

시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 [성능평가 편]

2018. 6.



국토교통부



한국시설안전공단

이 책자는 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 제43조 및 같은 법 시행령 제30조에 따라 제정한 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」 (국토교통부 고시, 제2018-45호, '18.01.18.)의 시행을 위하여 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가 편)」을 정한 것으로 유지관리·성능평가 수행자는 본 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가 편)」에 따라 실시하되, 개별 시설물의 특성 및 제반여건 등을 고려하여 적절히 응용 실시할 수 있습니다.

제 목 차 례

[공통편]

제1장 서론	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 용어의 정의	1
제2장 시설물의 관리일반	5
2.1 시설물의 안전 및 유지관리계획 수립 및 제출	5
2.2 설계도서 등의 보존	6
2.3 설계도서 등 관련서류의 작성·제출	6
2.4 성능평가 및 유지관리 결과보고서 제출	7
제3장 시설물의 성능평가	8
3.1 일반	8
3.2 성능평가의 종류	13
3.3 성능평가 실시 시기	17
3.4 성능평가 실시자의 자격 및 의무	17
3.5 안전관리	18
3.6 성능평가 계획수립	20
3.7 성능평가의 실시범위	21
3.8 성능평가 과업 내용	21
3.9 성능평가 요령	27
제4장 현장조사 및 시험	30
4.1 일반	30
4.2 현장 재료시험	30
4.3 실내시험	30
4.4 재료시험 요령	31
4.5 시험결과의 해석 및 평가	31

4.6 시험 보고서	32
제5장 종합성능등급의 결정	33
5.1 시설물의 안전성능 평가 방법	33
5.2 시설물의 내구성능 평가 방법	34
5.3 시설물의 사용성능 평가 방법	34
5.4 시설물의 종합평가 방법	35
5.5 종합성능등급 지정	35
5.6 안전성능·내구성능·사용성능 등급 및 종합성능등급 작성 방법	37
제6장 유지관리 전략 제안	38
6.1 일반	38
6.2 유지관리 전략 제안 시 고려사항	38
6.3 유지관리 전략 활용 방안	38
6.4 유지관리 전략 제안 절차	39
제7장 성능평가 결과보고서 작성 방법	42
7.1 성능평가 결과보고서 작성 방법	42
7.2 성능평가 보고서에 포함하여야 할 사항	43
7.3 e-보고서 작성 방법	46
제8장 시설물의 유지관리	48
8.1 일반	48
8.2 성능목표 설정 및 관리	48
8.3 보수·보강의 실시 등	49
8.4 유지관리 이력 관리 등	49
8.5 유지관리 결과보고서 작성 및 제출	50

부록 1. 균열조사 및 현장시험 요령

2. 시설물별 성능목표

3. 시설물별 성능간 가중치 및 부재가중치

4. 보고서 서식

5. 과업지시서 예시

6. 사전검토보고서 예시

[시설물편]

제1장 교량

제2장 터널

제3장 옹벽

제4장 절토사면

제5장 댐

제6장 하구둑

제7장 수문

제8장 제방

제9장 공항(여객터미널)

제10장 항만

제11장 상수도

공통편

제1장 서론

제2장 시설물의 관리일반

제3장 시설물의 성능평가

제4장 현장조사 및 시험

제5장 종합성능평가 등급의 결정

제6장 유지관리 전략 제시

제7장 성능평가 보고서 작성 방법

제8장 시설물의 유지관리

부록 1. 균열조사 및 현장시험 요령

2. 시설물별 성능목표

3. 유지관리 전략 제안

4. 보고서 서식

5. 과업지시서 예시

6. 사전검토보고서 예시

제1장 서론

1.1 목적

본 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 세부지침(성능평가 편)(이하 「세부지침」 이라 한다)은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」 이라 한다) 제43조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」 이라 한다) 제30조 및 같은 「법」 시행규칙(이하 「규칙」 이라 한다) 제32조에 따라 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」(국토교통부 고시 제2018-45호, 이하 「지침」 이라 한다)에서 정하는 유지관리·성능평가의 실시방법·절차 등에 관한 필요사항을 시설물별로 보다 상세히 제시하고 그 실시요령을 정하여 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속·정확하게 조사·평가하고, 그에 대한 적절한 성능확보를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진시킴과 더불어 과학적 유지관리를 체계화하는데 그 목적이 있다.

1.2 적용범위

본 「세부지침」은 「법」 제39조 및 제40조와 「령」 제28조에 따른 시설물의 유지관리·성능평가에 적용한다.

1.3 용어의 정의

- 성능평가 대상시설물
 - 건설공사를 통하여 만들어진 도로, 철도, 항만, 댐 등의 시설물로 「령」 별표 13의 범위에 포함된 시설물
- 관리주체
 - 관계 법령에 따라 해당 시설물의 관리자로 규정된 자나 해당 시설물의 소유자를 말함. 이 경우 해당 시설물의 소유자와의 관리계약 등에 따라 시설물의 관리책임을 진 자는 관리주체로 보며, 관리주체는 공공관리주체와 민간관리주체로 구분함
- 공공관리주체
 - 국가·지방자치단체
 - 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관
 - 「지방공기업법」에 따른 지방공기업

- 민간관리주체
 - 공공관리주체 외의 관리주체
- 유지관리
 - 완공된 시설물의 기능을 보전하고 시설물 이용자의 편의와 안전을 높이기 위하여 시설물을 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하며 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개량·보수·보강에 필요한 활동
- 성능평가
 - 시설물의 기능을 유지하기 위하여 요구되는 시설물의 성능(안전성능, 내구성능, 사용성능)을 종합적으로 평가하는 행위
- 안전성능
 - 조사 시점의 외관상 결함정도 및 시설물에 주어지는 내적하중(자중) 및 외적하중(활하중 등)으로 인해 시설물에 발생할 수 있는 손상 또는 붕괴에 저항하는 구조물의 성능
- 내구성능
 - 시설물 공용연수 경과 및 외부 환경조건에 따른 영향으로 인한 재료적 성질 변화로 발생할 수 있는 손상에 저항하는 구조물의 성능
- 사용성능
 - 시설물의 예상 수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야 할 사용자 편의성 및 계획 당시의 설계기준에 근거한 사용 목적을 만족하기 위한 구조물의 성능
- 종합성능
 - 조사 시점의 구조적 안전성능뿐만 아니라 시설물 공용연수 경과 및 외부 환경조건에 따른 손상에 저항하는 내구성능과 예상 수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야 할 사용성능을 종합적으로 반영한 구조물의 성능
- 성능목표
 - 시설물의 적절한 안전수준과 성능 및 기능을 유지·확보하여, 장기적인 유지관리 효율성을 극대화할 수 있는 수준
- 시설물 통합정보관리체계
 - 시설물의 안전과 유지관리에 관한 정보를 체계적으로 관리 및 활용하기 위하여 국토교통부장관이 구축·운영하는 시스템
- 도급(都給)
 - 원도급·하도급·위탁 그 밖에 명칭여하에 불구하고 성능평가를 완료하기로 약정하고, 상대방이 그 일의 결과에 대하여 대가를 지급하기로 약정하는 계약
- 하도급
 - 도급받은 성능평가 용역의 전부 또는 일부를 도급하기 위하여 수급인이 제3자와 체결하는 계약
- 하자담보책임기간

- 「건설산업기본법」과 「주택법」 등 관계법령에 따른 하자담보책임기간 또는 하자보수기간 등
- 사전조사
 - 성능평가 용역을 실시하는 사람이 당해시설물의 설계도서 등 유지관리 자료와 과업지시서 등이 법령, 「지침」 및 「세부지침」 등에 부합되는지의 여부를 검토하는 행위
- 현장조사
 - 기존 시설물에 관한 기초자료를 얻고, 시간이 경과함에 따라 구조물의 상태안전성변화(결함, 손상, 열화 등) 및 구성 재료의 변화, 균열폭과 길이 등을 추적하기 위하여 수행하는 행위
- 안전성능 평가
 - 조사 시점의 외관상 결함정도 및 시설물에 주어지는 내·외적하중(고정하중, 활하중 등)으로 인해 시설물에 발생할 수 있는 손상 또는 붕괴에 저항하는 시설물의 성능을 평가하는 것
 - 상태안전성능 평가 : 시설물의 외관을 조사하여 결함의 정도를 포함한 시설물에 대한 상태안전성능을 평가하는 행위
 - 구조안전성능 평가 : 현장조사를 통하여 수집된 자료를 기초로 하고 설계도서 및 기존의 성능평가 실시결과 및 안전점검 등에 의한 실시결과를 참고하여 시설물의 구조·수리·수문해석 등 구조안전성능을 평가하는 행위
- 내구성능 평가
 - 시설물을 사용한 연수 및 외부 환경조건에 따른 영향으로 인해 재료적 성질변화가 발생할 수 있는 손상에 저항하는 시설물의 성능을 평가하는 것
- 사용성능 평가
 - 시설물의 예상 수요를 고려하여 사용하고자 하는 시설물의 사용 가능한 연수 동안 확보해야 할 사용자 편의성 및 계획 당시의 설계기준에 근거한 사용 목적을 만족하기 위해 시설물의 성능을 평가하는 것
- 종합평가
 - 안전성능·내구성능·사용성능 평가 결과에 의하여 안전 및 성능수준을 종합적으로 평가하는 것
- 종합성능등급
 - 성능평가 실시결과 종합성능평가에 따른 당해 시설물의 성능을 나타내는 등급
- e-보고서
 - 성능평가 실시결과 작성한 보고서를 보관 및 활용 등 유지관리 업무에 효율적으로 활용할 수 있도록 전자매체에 의하여 작성한 보고서
- 복합시설물
 - 기능과 역할이 각각 다른 개별 시설물들이 집합된 시설물
- 보수(補修)

- 시설물의 성능을 회복 또는 향상시키는 것을 목적으로 한 유지관리 대책
- 보강(補強)
 - 시설물의 부재나 구조물의 내하력과 강성 등의 역학적인 성능을 회복 또는 향상시키는 것을 목적으로 한 대책
- 장비관리(裝備管理)
 - 성능평가에 사용하는 장비는 소요성능 및 측정의 정밀·정확도를 유지하도록 관리하여야 하며, 「국가표준기본법」 및 「계량에관한법률」에 의하여 검·교정을 받는 행위
- 기본과업(基本課業)
 - 시설물의 성능평가를 실시함에 있어 시설물의 구분 없이 기본적으로 실시하여야 하는 「지침」에서 정하고 있는 과업
- 선택과업(選擇課業)
 - 시설물의 성능평가를 실시함에 있어 시설물의 여건에 따라 실시하여야 하는 「지침」에서 정하고 있는 과업으로서 성능평가 목적을 달성하기 위하여 현지 여건을 감안하여 실시
- 현장시험
 - 시설물이 위치하는 현장에서 구조물에 손상을 입히지 않고 강도 및 결함 등을 측정하는 것
- 실내시험(室內試驗)
 - 시설물의 특정부분에 대한 자료가 필요할 경우 구조물로부터 재료의 일부를 채취하여 시험실에서 실시하는 시험

제2장 시설물 관리일반

2.1 시설물의 안전 및 유지관리계획 수립 및 제출

관리주체는 소관시설물에 대해 시설물의 안전 및 유지관리 계획(이하 「시설물관리계획」이라 한다)을 매년 수립·시행하여야 한다. 다만, 다음에 해당하는 시설물의 경우에는 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수 또는 구청장(구청장은 자치구의 구청장을 말하며, 이하 「시장·군수·구청장」이라 한다)이 수립하여야 한다.

- 「공동주택관리법」 제2조제2호에 따른 의무관리대상 공동주택이 아닌 공동주택 중 30세대 미만으로서 1세대의 면적이 「주택법」 제2조제6호에 따른 국민주택 규모 이하인 공동주택
 - 「건축법」 제2조제2항제11호에 따른 노유자시설 중 관리주체의 영세성으로 인하여 국가 또는 지방자치단체의 지원을 받고 있는 시설
 - 그 밖의 시설물 중 시설물의 규모, 경과년수 및 관리주체의 자력 등을 고려하여 시장·군수·구청장이 안전관리를 하여야 할 필요성이 있다고 인정하는 시설물
- 「시설물관리계획」에 포함되어야 할 사항은 다음과 같다.
- 시설물의 적정한 안전과 유지관리를 위한 조직·인원 및 장비의 확보에 관한 사항
 - 긴급 상황 발생 시 조치체계에 관한 사항
 - 시설물의 설계·시공·감리 및 유지관리 등에 관련된 설계도서의 수집 및 보존에 관한 사항
 - 안전점검 또는 정밀안전진단의 실시에 관한 사항
 - 보수·보강 등 유지관리 및 그에 필요한 비용에 관한 사항

관리주체는 소관 시설물이 제1종 또는 제2종시설물이 될 경우 매년 2월 15일까지 「시설물관리계획」을 제출하여야 한다.

성능평가 대상시설물의 관리주체는 해당 시설물의 생애주기를 고려하여 소관 시설물에 대해 5년마다 중기시설물관리계획(이하 「중기관리계획」이라 한다)을 수립·시행하여야 한다. 이 경우 성능평가 대상시설물의 관리주체는 해당 「중기관리계획」에 근거하여 「시설물관리계획」을 수립·시행하여야 한다.

「중기관리계획」에 포함되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준 설정에 관한 사항
- 성능평가 대상시설물의 성능목표 달성 방법에 관한 사항
- 성능평가 대상시설물의 안전점검등 및 성능평가, 유지관리 이행에 관한 사항
- 성능평가 대상시설물에 대한 안전점검등 및 성능평가 결과에 관한 사항
- 성능평가 대상시설물의 성능 변경(개축, 교체, 철거 등)에 관한 사항

「중기관리계획」은 성능평가 실시결과와 개축·교체·철거 등 시설물 준공 이후의 생애 주기와 관련된 사항 등을 반영하여 수립하고, 이를 5년마다 2월 15일까지 제출하여야 한다.

관리주체는 긴급한 보수·보강을 실시하거나, 수립된 보수·보강 계획 또는 안전점검등 및 성능평가 실시시기 변경 등으로 「시설물관리계획」이나 「중기관리계획」을 변경하는 경우에는 변경한 날로부터 15일 이내에 이를 제출하여야 한다.

「시설물관리계획」 및 「중기관리계획」의 제출은 「법」 제55조에 따른 시설물통합 정보관리체계를 이용하여 제출하여야 한다.

2.2 설계도서 등의 보존

관리주체는 「법」 제9조제5항에 따라 설계도서, 시설물관리대장, 감리보고서(이하 「관련서류」라 한다)를 보존하여야 하며 관련서류는 다음과 같다.

가. 설계도서

- 준공도면
- 준공내역서 및 시방서
- 구조계산서
- 그 밖에 시공 상 특기한 사항에 관한 보고서 등

나. 시설물관리대장

- 시설물통합정보관리체계 운영규정에 따른 서식에 따라 작성된 시설물관리대장

다. 감리보고서

- 최종감리보고서

2.3 설계도서 등 관련서류의 작성·제출

제1종시설물 및 제2종시설물을 건설·공급하는 사업주체는 「법」 제9조제1항에 따라 하는 「관련서류」를 관리주체와 국토교통부장관에게 제출한다.

관리주체 등은 「관련서류」를 시설물통합정보관리체계 운영규정에 따라 작성하여 시설물통합관리체계를 통해 제출하여야 하며, 이 경우 관리주체 및 국토교통부장관에게 제출한 것으로 본다.

관리주체는 「법」 제9조제4항에 따라 중요한 보수·보강을 실시한 경우에도 관련서류를 제출하여야 하며, 중요한 보수·보강의 범위는 다음과 같다.

- 철근콘크리트구조부 또는 철골구조부
- 건축물의 내력벽·기둥·바닥·보·지붕틀 및 주계단 (단, 사이기둥·최하층바닥·작

은 보·차양·옥외계단, 그 밖에 이와 유사한 것으로 건축물의 구조상 중요하지 아니한 부분 제외)

- 교량의 받침
- 터널의 복공부위
- 하천시설의 수문문비
- 댐의 본체, 시공이음부 및 여수로
- 조립식 건축물의 연결부위
- 상수도 관로이음부
- 항만시설 중 갑문문비 작동시설과 계류시설, 방파제, 파제제 및 호안의 구조체

2.4 성능평가 및 유지관리 결과보고서 제출

가. 성능평가 결과보고서

성능평가 결과보고서는 시설물 관리주체의 유지관리 업무에 효율적이며 체계적으로 활용할 수 있도록 성능평가 과업내용을 중심으로 작성·제출하여야 한다.

나. 유지관리 결과보고서

관리주체는 시설물의 주요 부위 등과 시설물의 성능 및 기능을 저하시킬 수 있는 부재(붕괴유발부재, 피로취약부위 등)에 대한 보수·보강 등의 유지관리를 실시한 경우 유지관리 결과보고서를 작성하여 제출하여야 한다.

유지관리 결과보고서는 시설물의 보수·보강 및 사용제한 실적 중심으로 내용을 작성하여야 하며, 이를 증빙할 수 있는 사진첩 또는 설계도서 등 「관련서류」를 포함하여야 한다.

유지관리 결과보고서는 유지관리를 완료한 날부터 30일 이내에 시설물통합정보관리 체계를 이용하여 제출하여야 한다.

제3장 시설물의 성능평가

3.1 일반

3.1.1 목적

성능평가의 목적은 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데에 있다.

성능평가는 제1종시설물에 대한 성능평가(이하 「제1종성능평가」라 한다)와 제2종 시설물에 대한 성능평가(이하 「제2종성능평가」라 한다)로 구분하여 실시하여야 한다.

3.1.2 시설물관리계획 수립

관리주체는 소관 성능평가 대상시설물에 대한 「시설물관리계획」 및 「중기관리계획」에 따라 체계적이고 일관성 있는 성능평가가 실시될 수 있도록 하여야 한다.

3.1.3 정밀안전점검 및 정밀안전진단과의 관계

성능평가는 「법」 제40조에 따라 정밀안전점검 및 정밀안전진단을 포함하여 실시하거나 최근 1년 이내에 실시한 정밀안전점검 및 정밀안전진단 결과를 활용할 수 있다.

정밀안전점검 및 정밀안전진단을 포함하거나 그 결과를 활용하여 성능평가를 실시하는 경우 제1종시설물은 정밀안전진단을, 제2종시설물은 정밀안전점검을 포함하거나 그 결과를 활용하여 성능평가를 실시하여야 한다.

관리주체가 제2종시설물에 대한 정밀안전진단을 실시하는 경우에는 정밀안전진단을 포함하거나 그 결과를 활용하여 「제1종성능평가」를 실시할 수 있다.

정밀안전점검 및 정밀안전진단 실시 결과를 활용하여 성능평가를 실시하는 경우 성능평가 착수일 기준으로 1년 이내 정밀안전점검 및 정밀안전진단 실시결과를 활용하여야 하며, 활용범위는 다음과 같다.

가. 정밀안전점검 결과 활용범위

- 기본시설물 또는 주요부재의 외관조사 및 외관조사망도 결과
 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등
 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식상태 등
- 간단한 현장 재료시험 등

- 콘크리트 탄산화 깊이 등
- 보수·보강 방법
- 기타 책임기술자가 판단에 따라 활용 가능한 항목

나. 정밀안전진단 결과 활용범위

- 대상시설물의 외관조사 및 외관조사망도 결과
 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등
 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식 및 접합(연결부) 상태 등
- 현장 재료시험 등
 - 콘크리트 시험 : 비파괴강도(초음파전달속도시험 등), 탄산화 깊이 측정, 염화물함유량시험, 철근배근상태 등
 - 강재 시험 : 강재 비파괴시험 등
 - 기계·전기설비 및 계측시설의 작동유무
 - 안전성평가 검토 결과
- 보수·보강 방법
- 기타 책임기술자가 판단에 따라 활용 가능한 항목

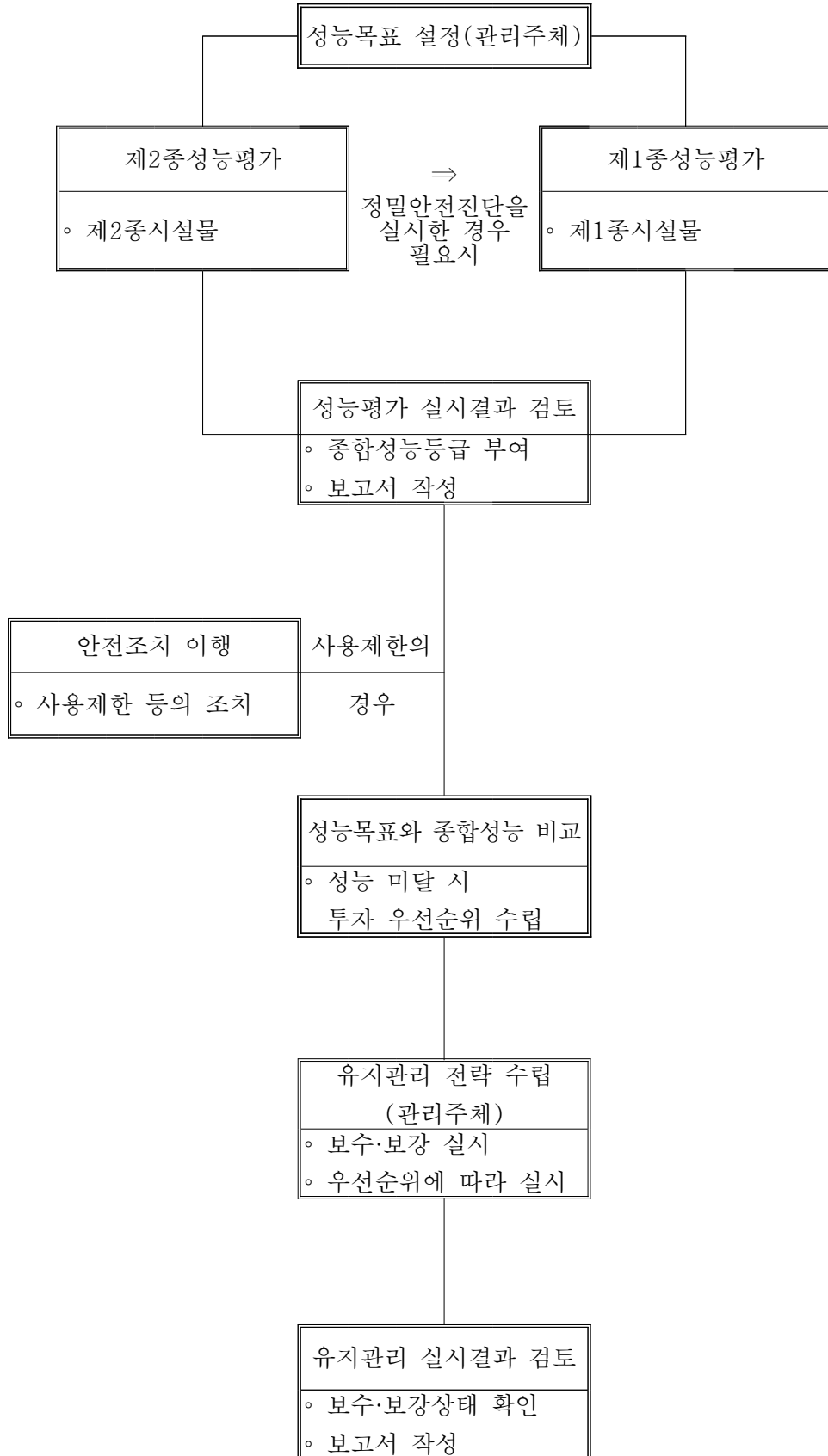
정밀안전점검 및 정밀안전진단 실시 결과를 활용하여 성능평가를 실시할 때, 정밀안전점검 및 정밀안전진단의 결과 자료가 부족한 경우에는 관련된 과업을 추가하여 실시할 수 있다.

3.1.4 예산의 확보

관리주체는 시설물의 안전점검등, 성능평가, 보수·보강 등에 대한 비용을 다음 각 호에 따라 유지관리 예산에 반영하여 적절한 시기에 유지관리가 시행되도록 하여야 한다.

- 안전점검등 및 성능평가 : 「법」 제37조 및 제44조에 따른 안전점검등 및 성능평가 비용의 산정기준
- 보수·보강 등 : 결함 및 손상의 종류와 정도에 따른 관련 각종 기준(표준시방서, 콘크리트 보수보강요령, 공동주택하자판정기준 등) 및 표준 품셈 등

관리주체는 소관 시설물의 유지관리를 전산기법을 이용한 「시설물통합정보관리체계」에 의하여 과학적으로 시행하도록 노력하여야 하며, 이에 따라 유지관리 예산 및 보수·보강 시기 등을 결정할 수 있도록 하여야 한다.



[그림 1] 성능평가 업무 흐름도

3.1.5 준비사항

성능평가 실시를 위하여 준비해야 할 사항은 다음과 같다.

가. 성능평가 과업지시서 등의 작성

소관 시설물에 대한 성능평가를 발주할 때에는 「법」 제40조제1항에 따라 성능평가가 성실히 수행되도록 「지침」을 준수하여 과업지시서 또는 용역설계서를 작성하여야 한다. 정밀안전점검 및 정밀안전진단을 포함하여 성능평가를 실시할 경우에도 지침을 검토 및 반영하여 과업지시서 또는 용역설계서를 작성한다.

나. 성능평가 과업지시서 등의 검토

성능평가를 실시하는 사람은 사전검토 결과 당해 시설물의 과업지시서 또는 용역설계서 내용이 관련 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침」과 위배되는 경우에 그 내용을 관리주체에게 보고하고, 과업수행계획서에 수록하여야 한다.

다. 일정계획 수립

라. 조사·시험 항목의 선정

마. 경험과 기술을 갖춘 기술 인력과 소요 장비

바. 해당시설물의 설계도서 및 유지관리 관련 자료 등

3.1.6 고려사항

성능평가를 위한 조사·시험항목을 선정할 때는 다음 각 호를 고려하여야 한다.

1. 시설물에 대한 구조적 특수성, 사용 환경 및 사용재료의 검토
2. 최신 기술과 실무 경험의 적용

3.1.7 장비관리

가. 관리일반

성능평가의 실시에 사용되는 장비는 「국가표준기본법」 및 「계량에 관한 법률」에 의거하여 검·교정을 받아야 하며, 소요성능 및 측정의 정밀·정확도를 유지하도록 관리하여야 한다. 다만, 「국가표준기본법」 및 「계량에 관한 법률」에 따른 검·교정 대상에 해당하지 아니하는 경우에는 그 소요성능을 갖춘 장비여야 한다.

「규칙」 제23조에 따라 갖춘 성능평가 측정 장비는 「규칙」 별지 제12호 서식과 함께 해당 진단측정 장비 사진을 포함하여 관리하여야 한다.

나. 검·교정 대상 성능평가 측정 장비

「국가표준기본법」 제14조(국가교정제도의 확립) 규정에 의한 국가측정표준과 국가 사회의 모든 분야에서 사용하는 측정기 기간의 조급성 제고를 위하여 측정기를 보유 또는 사용한 자는 주기적으로 해당 측정기를 교정하여야 하며, 이를 위하여 교정대상 및 적용범위를 자체규정으로 운용할 수 있다”고 「국가교정기관지정제도 운영요령」 제40조(교정대상 및 주기)에 규정되어 있다

「규칙」에서 정하고 있는 성능평가 측정 장비는 5분야 19종으로 이 성능평가 측정 장비 중에서 「국가표준기본법」 규정에 의한 교정대상이 되는 성능평가 측정 장비는 다음[표 1]의 6종이 해당된다.

[표 1] 법정 성능평가 측정 장비의 교정주기

전문분야	진단장비명		교정주기(월)	비고
공통	염분측정장비		12	
	도막두께측정장비		12	
	측량기	수준기	24	레벨
		각도측정기	24	테오도라이트
		거리측정기	24	광파측정기
교량 및 터널	내공변위측정기		12	
항만	유속계		12	
건축	진동측정기		12	

한편, 교정기기 및 대상은 매년 변동이 있으므로 「국가교정기관지정제도운영요령1)」 및 「교정대상 및 주기설정을 위한 지침2)」 등에서 확인이 필요하다.

다. 교정주기의 설정

「국가교정기관지정제도운영요령」에서 정한 표준교정주기는 가장 보편적인 상황 하에서 사용하였을 때 그 측정기의 정밀정확도가 유지될 수 있는 기간을 추정한 교정주기이다.

「교정대상 및 주기설정을 위한 지침」에서 25개 측정분야 총 448종의 측정기에 대하여 표준교정주기를 정하고 있으나, 각 산업체에 측정기를 사용하고 있거나 보유하고 있는 자는 측정기의 정확도, 안전성, 사용목적, 환경조건 및 사용빈도를 감안하여 주기를 조정토록 권고하고 있다.

1) 「국가교정기관 지정제도운영요령」 국가기술표준원 고시 제2016-398호 2016.10.25.

2) 「교정대상 및 주기설정을 위한 지침」 국가기술표준원 고시 제2015-499호 2015.10.30.

라. 기타 성능평가 기기의 검·교정

「법」에서 정하고 있는 성능평가 측정 장비 이외에 성능평가 실시에서 사용되는 각종 기기 또는 장비 및 센서 등에 대해서도 「국가교정기관지정제도운영요령」 및 「교정대상 및 주기설정을 위한 지침」에 근거하여 검·교정을 받아야 한다.

성능평가 실시에서 사용되는 법정 성능평가 측정 장비 이외의 검·교정이 필요한 대표적인 장비는 다음[표 2]와 같다.

[표 2] 법정 성능평가 측정 장비 이외의 장비 교정주기

진단장비명	교정주기(월)	비고
디지털고무경도측정기	12	
버니어캘리퍼스	12	
이산화탄소측정기	12	
산소측정기	12	
전자저울	12	
디지털 토크렌치	12	
토크렌치	6	볼트 체결력 측정

마. 교정기관

「국가표준기본법」에 따라 국가기술표준원에서 운영하고 있는 한국인증기구(KOLAS, Korea Laboratory Accreditation Scheme)로 부터 국가교정기관 및 시험검사기관으로 승인을 받은 교정기관에 해당 성능평가 측정 장비 및 각종 기구 및 센서 등에 대해서 검·교정을 받아야 한다.

3.2 성능평가의 종류

3.2.1 제2종성능평가

제2종성능평가는 시설물의 현 상태를 정확히 판단하고 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터의 변화를 확인하며 구조물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 면밀한 외관조사와 간단한 측정·시험장비로 필요한 측정 및 시험을 실시한다.

외관조사 및 측정·시험 결과와 이전의 성능평가 실시결과에서 발견된 결함의 진전 및 신규발생을 파악하여 시설물의 주요 부재별 상태를 평가하고 이전의 성능평가 실시결과와 비교·검토하여 시설물 전체에 대한 안전성능 및 내구성능, 사용성능 평가 결과를 결정하여야 하며, 결함부위 등 주요 부위에 대한 외관조사망도 작성 등 조사결과를 도면으로 기록하여야 한다.

제2종성능평가 실시결과 결함이 광범위하게 발생하는 등 제1종성능평가가 필요하다고 판단된 경우에는 점검자는 관리주체에게 즉시 보고하여야 하며, 관리주체는 제1종성능평가를 실시하여야 한다.

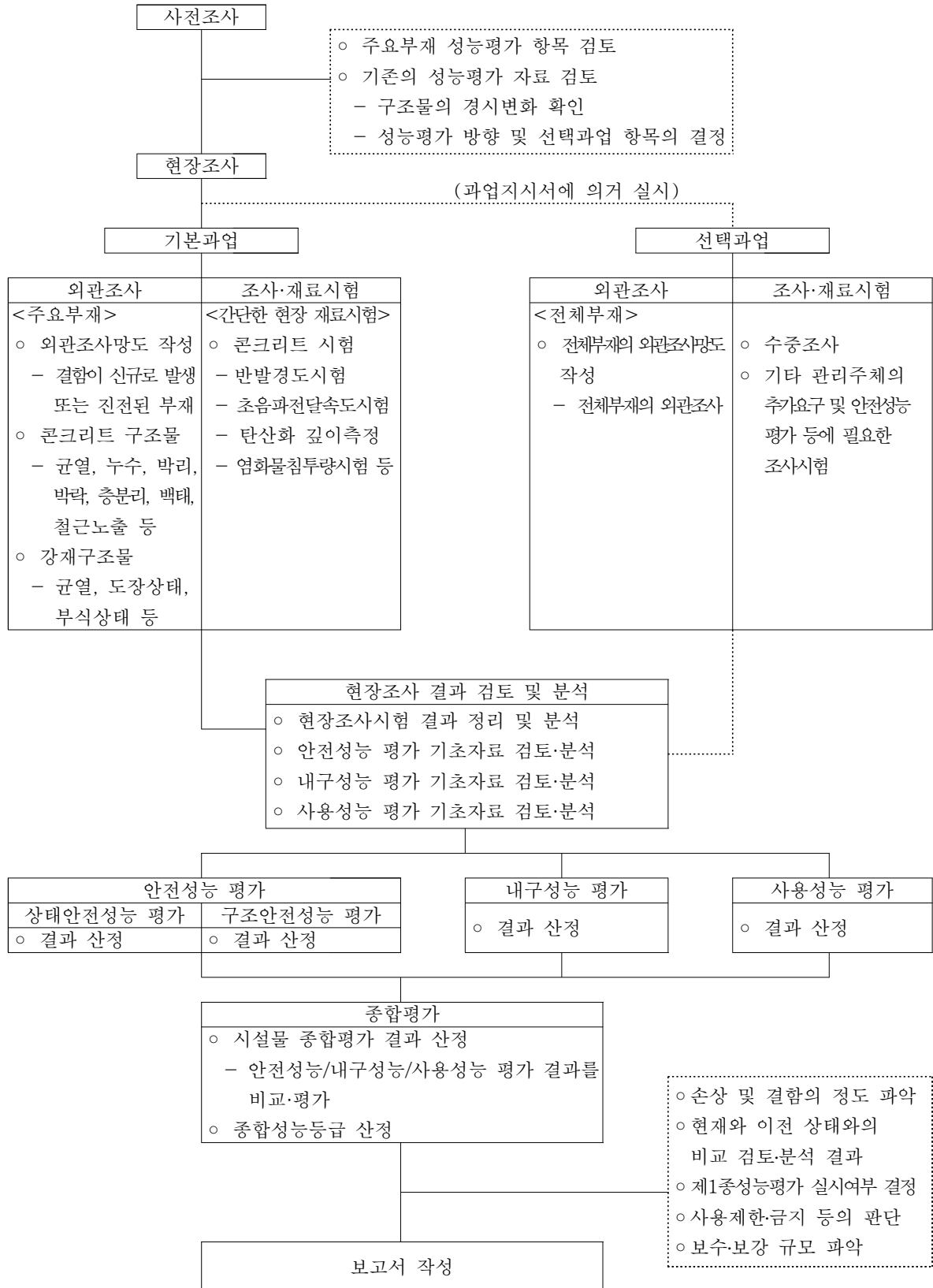
3.2.2 제1종성능평가

제1종성능평가는 정밀한 외관조사와 각종 측정·시험장비에 의한 측정·시험을 실시하여 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능 평가에 필요한 데이터를 확보한다.

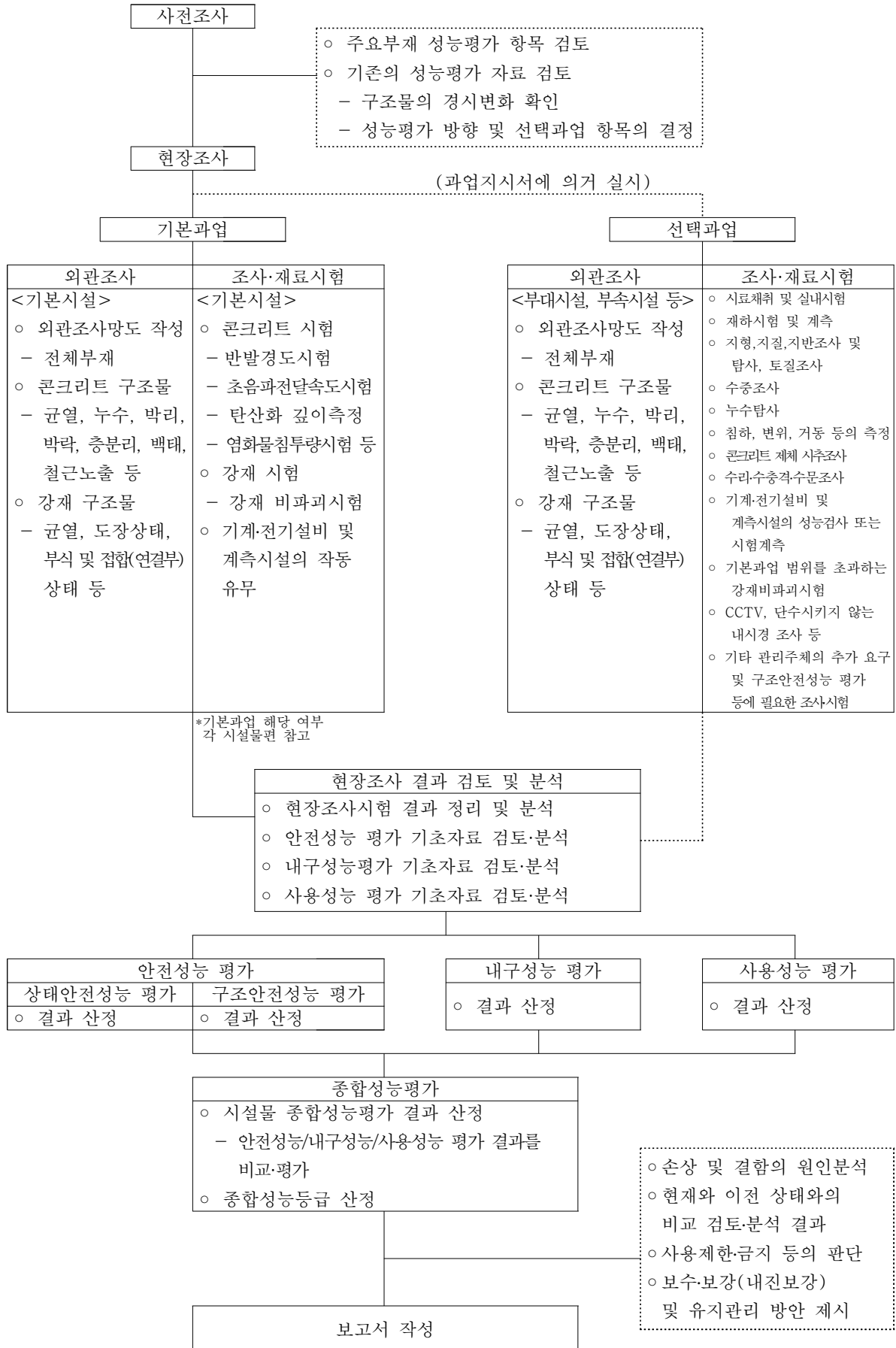
현장조사 시 필요한 경우 교통통제 및 안전조치를 취하여야 하며 시설물 근접조사를 위한 접근장비와 필요시 수중카메라 등 특수 장비와 잠수부 등 특수기술자도 투입하여야 한다.

결함의 유무 및 범위에 대한 확인이 필요한 때에는 현장 재료시험과 기타 필요한 재료시험을 병행하여야 한다. 대상시설물의 표면에 대한 외관조사 결과는 도면으로 기록하여야 하며, 구조물 전체 부재별 상태를 평가하고 시설물 전체에 대한 안전성능 및 내구성능, 사용성능 평가 결과를 결정하여야 한다.

제1종성능평가 결과 보수·보강이 필요한 경우에는 보수·보강방법을 제시하여야 한다. 이 경우 보수·보강 시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 현저하게 작용하는 상황에 대한 구조안전성능평가를 포함하여야 한다.



[그림 2] 제2종성능평가 흐름도



[그림 3] 제1종성능평가 흐름도

3.3 성능평가 실시 시기

관리주체는 소관 성능평가 대상시설물에 대하여 「영」 제28조제3호에 따라 성능평가를 실시하여야 하며, 실시주기의 산정은 이전 성능평가를 완료한 날을 기준으로 기산한다.

안전등급	정밀안전점검		정밀안전진단	성능평가
	건축물	그 외 시설물		
A등급	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상	5년에 1회 이상
B·C등급	3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상	
D·E등급	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	

○ 정밀안전점검

최초로 실시하는 정밀안전점검은 시설물의 준공일 또는 사용승인일(구조형태의 변경으로 시설물로 된 경우에는 구조형태의 변경에 따른 준공일 또는 사용승인일을 말한다)을 기준으로 3년 이내(건축물은 4년 이내)에 실시한다. 다만, 임시 사용승인을 받은 경우에는 임시 사용승인일을 기준으로 한다.

○ 정밀안전진단

최초로 실시하는 정밀안전진단은 준공일 또는 사용승인일(준공 또는 사용승인 후에 구조형태의 변경으로 제1종시설물로 된 경우에는 최초 준공일 또는 사용승인일을 말한다) 후 10년이 지난 때부터 1년 이내에 실시한다. 다만, 준공 및 사용승인 후 10년이 지난 후에 구조형태의 변경으로 인하여 제1종시설물로 된 경우에는 구조형태의 변경에 따른 준공일 또는 사용승인일로부터 1년 이내에 실시한다.

○ 성능평가

최초로 실시하는 성능평가는 성능평가 대상시설물 중 제1종시설물의 경우에는 최초로 정밀안전진단을 실시하는 때, 제2종시설물의 경우에는 「법」 제11조제2항에 따라 하자담보책임기간이 끝나기 전에 마지막으로 실시하는 정밀안전점검을 실시하는 때에 실시한다. 다만, 준공 및 사용승인 후 구조형태의 변경으로 인하여 성능평가 대상시설물로 된 경우에는 정밀안전점검 또는 정밀안전진단을 실시하는 때에 실시한다.

다만, 증축, 개축 및 리모델링 등을 위하여 공사 중이거나 철거예정인 시설물로서, 사용되지 아니하는 시설물에 대해서는 국토교통부장관과 협의하여 안전점검등 및 정밀안전진단, 성능평가의 실시를 생략하거나 그 시기를 조정할 수 있다.

3.4 성능평가 실시자의 자격 및 의무

성능평가 책임기술자는 「영」 별표 5에 따른 기술자격자로서 「규칙」 제10조에 따른 교육기관에서 시행하는 해당분야 교육과정을 이수하여야 한다.

책임기술자는 성능평가의 전반에 대한 총괄책임자로서 설계 및 평가, 성능회복과 유지관리를 포함한 공학적 및 기술적인 면에서의 전반적인 지식을 갖추어야 한다.

성능평가의 참여기술자는 「영」 별표 11의 등록기준에 규정된 기술 인력의 자격요건을 갖춘 사람으로 「규칙」 제10조에 따른 교육기관에서 시행하는 해당분야의 성능평가 교육과정을 이수하여야 한다.

책임기술자 등은 주관적인 판단에 따라 성능평가가 이루어질 우려가 있으므로 객관성과 일관성을 갖추어 평가와 관련된 조사, 시험 및 측정 등을 실시하여야 한다.

3.5 안전관리

3.5.1 일반

성능평가를 실시하는 책임기술자는 성능평가를 실시하는 자의 안전뿐만 아니라 공공의 안전을 위하여 장비 및 기기 등을 안전하게 운용하고 작업을 안전하게 수행하도록 계획 수립 시 안전관리계획을 포함하여 수립하여야 한다.

3.5.2 성능평가 종사자의 안전

성능평가를 실시하는 자는 안전모, 작업복, 작업화와 필요한 경우 청각, 시각 및 안면 보호장비 등을 포함한 개인용 보호 장구를 항상 착용하여야 하며 장비 및 기기를 항상 최적의 상태로 정비하여야 한다. 또한 밀폐된 공간에서의 작업이 필요한 경우에는 유해물질, 가스 및 산소결핍 등에 대한 조사와 대책을 사전에 마련하여야 한다.

가. 안전관리 조직

성능평가를 실시하는 기관은 종사자를 중심으로 안전관리 조직을 구성하도록 하며, 협력업체가 있는 경우에는 협력업체를 포함하도록 하고, 안전관리 책임자를 선임하도록 한다.

나. 안전교육

성능평가 대상 시설물의 특성과 현장조사의 난이도, 위험도를 고려하여 안전수칙 등을 제정하고 이에 따라 안전교육을 실시하도록 한다.

다. 보호구

성능평가 종사자는 고용노동부장관 지정 합격품을 사용하고, 적절한 보호구를 착용하며, 적합한 안전시설을 설치하여 사용한다.

다음의 각 사항의 작업 시에는 반드시 보호구를 착용하여야 한다.

- 높이 2m이상의 추락의 위험이 있는 장소에서는 안전벨트를 착용한다.
- 낙하물에 의한 위험이 있는 장소에서는 안전모 및 안전화를 착용한다.
- 분진 등이 현저하게 발생하는 장소에서는 방진 마스크를 착용한다.
- 유해물질 및 가스발생, 산소결핍 등 질식위험이 있는 장소에서는 방독 마스크 또는 방독면을 착용한다.

- 그라인더 작업 등 비산물에 의한 위험이 있는 작업은 보안경 또는 보안면을 착용한다.
- 현저한 소음이 발생하는 작업 장소에서는 귀마개를 착용한다.
- 수상 부분에서 작업을 할 때에는 구명장구 및 비상로프를 착용, 휴대한다.
- 기타 위험 요소가 있는 장소에서 작업 시에는 적절한 보호용구를 사용한다.

라. 안전사고의 처리

안전 관리자는 안전사고 발생 시 응급조치를 취하고 신속하게 인근 병원으로 후송하며, 관련법의 규정에 따라 처리한다.

마. 안전수칙

- 일기 조건으로 작업 수행이 곤란한 경우에는 작업을 하지 아니한다.
- 위험한 작업 시에는 안전 관리자가 입회하도록 하며, 특별교육을 실시한다.
- 작업 실시 전에 작업에 지장을 주는 요인이 있을 경우 관리주체의 협조를 얻어 안전 조치를 취한 후에 작업을 실시한다.
- 공공의 안전과 관계가 있을 경우에는 적절한 조치(출입 금지, 접근 금지 등의 표지판 설치, 교통신호수, 감시인 배치 등)를 한다.
- 안전 관리자는 위험물 저장소, 통제구역 등의 출입에 대하여는 관리주체와 사전협의를 하여야 하며, 관리주체는 이에 적극 협조한다.
- 야간 또는 어두운 곳에서의 작업 시에는 충분한 밝기의 조명 시설을 갖추어야 하고 식별이 용이하도록 조치를 하여야 하며, 수시로 작업자 상호간에 연락을 취할 수 있도록 한다.
- 밀폐된 장소에서의 산소결핍이 예상되는 장소는 작업 전에 반드시 산소 농도를 측정하고 적절한 조치를 취한다.
- 유해 가스 발생 및 잔류가 예상되는 장소는 반드시 사전에 정밀 측정기에 의한 측정 및 확인, 안전조치를 한 후에 작업한다.
- 전기를 사용 할 경우에는 감전사고 예방 조치를 취한다.
- 각종 측정 장비의 사용 시 주의사항을 숙지하여야 하며 무리한 사용과 조작을 하지 않는다.
- 장비 사용에 있어 취급 자격이 요구되는 장비는 유자격자 이외에는 사용하지 않아야 한다.
- 점검차량을 사용할 때는 굴절붐(Boom) 및 암(Arm) 회전 시 주의하고 자체적으로 작성한 안전수칙에 따라 장비운용을 시행한다.

3.5.3 공공의 안전

공공의 안전측면에서 관리주체는 성능평가 실시기간 동안 교통통제 및 작업 공간 확보를 위하여 적절한 계획을 수립·시행하여야 한다.

3.6 성능평가 계획수립

3.6.1 일반

시설물의 성능평가를 수행하기 위한 계획수립은 다음의 사항을 고려하여야 하며, 철저한 시설물의 성능평가를 위해 기후·온도·현지여건 등을 고려하여 가장 바람직한 기간 중에 실시되어야 한다.

성능평가를 실시하는데 있어 조사, 시험 및 측정을 수행하는데 가장 알맞은 장비를 활용할 수 있도록 필요한 장비에 대해 사전에 현장조사나 설계도서 등을 검토하여 계획을 수립하여야 한다.

관리주체는 소관시설물의 구조형태의 변경 등으로 관리기준이 변경된 경우, 그 변경 기준을 반영하여 성능평가 계획을 수립하여야 한다.

3.6.2 계획수립

- 가. 성능평가를 수행하는데 필요한 인원, 측정 장비 및 기기의 결정
- 나. 기 발생된 결함의 확인을 위한 기존 안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 자료의 검토
- 다. 성능평가를 수행하는데 안전사고 발생 위험요인 등에 대한 안전관리 계획 검토
- 라. 성능평가를 수행하는데 정밀안전점검 및 정밀안전진단 포함 및 결과 활용 여부 검토
- 마. 성능평가 실시 기간과 소요 작업시간의 예측
- 바. 타 기관 또는 주민과의 협조관계
- 사. 선택과업에 대한 조사범위, 장비 및 인력 동원계획
- 아. 비파괴 시험을 포함한 기타 재료시험의 실시 위치 및 시험 실시계획
- 자. 붕괴유발부재, 피로취약부위 등과 같이 특별한 주의를 필요로 하는 부재·부위
- 차. 시설물의 기초와 주위 지반에 대한 조사방법, 조사항목 및 범위

3.6.3 성능평가 실시 시기의 선정

시설물의 철저한 성능평가를 위하여 기후·온도·현지여건 등을 고려하여 가장 바람직한 기간 중에 실시되어야 한다.

3.6.4 장비의 선정

시설물의 성능평가에 사용하는 장비는 접근에 필요한 장비와 실제 조사, 시험 및 측정을 수행하는데 사용되는 성능평가 측정 장비를 말한다.

성능평가를 실시하는 사람은 구조부재에 접근할 필요가 있으며, 이 경우 가장 편리하고 안전한 장비를 선정하여야 한다.

성능평가 방법과 장비의 선정에 있어 책임기술자는 사전에 현장조사를 하여야 하며 도면이 있는 경우는 도면을 가지고 수행함으로써 구조물의 형상이나 세부 사항들에 대하여 가장 알맞은 장비가 선정되도록 하여야 한다.

3.6.5 관리기준이 변경된 시설물의 성능평가

사용 중인 시설물의 시설 관리기준 등이 변경된 경우에는 그 변경기준을 반영하여 성능평가를 실시하여야 한다.

3.7 성능평가 실시범위

성능평가의 실시범위는 대상시설물 전체를 원칙으로 하며, 실시범위에 대한 세부사항은 「시설물관」에서 규정하는 바에 따른다. 다만, 다음의 각 호에 해당하는 경우에는 대상시설물의 범위를 조정할 수 있다.

- 복합시설물을 이루는 시설물의 일부가 완공 또는 사용승인 시기가 다른 경우
- 시설물의 용도상 구조 및 기능에 영향을 주지 않는 시설물
- 다른 법령에 의해 성능평가를 주기적으로 실시하는 경우

3.8 성능평가 과업 내용

3.8.1 제2종성능평가 과업

가. 기본과업

제2종성능평가의 기본과업은 시설물의 구분 없이 기본적으로 실시하고, 정밀안전점검을 포함 및 결과를 활용하여 성능평가를 실시할 수 있는 과업을 말한다.

기본과업의 현장조사 및 시험 항목은 최소필요 조건으로 특별한 사유가 있는 경우에는 이를 고려하여 추가 또는 축소할 수 있다.

1) 자료수집 및 분석

- 준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리·수문계산서, 유지관리 지침서
- 시공·보수도면, 제작 및 작업도면
- 재료증명서, 품질시험기록, 재하시험 자료, 계측자료
- 시설물관리대장
- 시설물의 내구성능(염해·동해환경, 해안거리 등) 및 사용성능(사용자 편의성, 시설물의 수요 및 용량 등)에 대한 자료
- 기존 정밀안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 실시결과
- 보수·보강이력 및 유지관리 결과보고서

2) 현장조사 및 시험

- 대상시설물의 외관조사 및 외관조사망도 작성
 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등
 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식 및 접합(연결부) 상태 등
- 시설물의 내구성능 및 사용성능을 측정하기 위한 현장 재료시험
 - 콘크리트 시험 : 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달속도시험 등), 탄산화 깊이 측정, 염화물침투량시험 등
 - 강재 시험 : 강재 비파괴시험(시험량, 시험부위 등 세부사항은 시설물편 참조)
 - 기계·전기설비 및 계측시설의 작동유무 등

3) 안전성능평가

① 상태안전성능

- 외관조사 결과분석
- 현장시험 및 재료시험 결과 분석
- 대상 시설물(부재)에 대한 상태안전성능 평가
- 시설물 전체의 상태안전성능 결과에 대한 책임기술자의 소견

② 구조안전성능

- 조사, 시험, 측정 결과의 분석
- 기존의 구조계산서 또는 구조안전성능 평가 자료 분석
- 내하력 및 구조안전성능 검토
- 시설물의 구조안전성능 검토 결과에 대한 소견

4) 내구성능평가

- 외관조사 결과분석
- 현장시험 및 재료시험 결과 분석, 내구성능 관련 수집자료 검토
- 사용재료(콘크리트 및 강재 등)에 대한 내구성능 평가
- 시설물의 내구성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견

5) 사용성능 평가

- 사용성능 관련 수집자료 검토
- 사용 환경 및 기능 등에 대한 사용성능 평가
- 시설물의 사용성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견

6) 종합평가

- 안전성능, 내구성능, 사용성능 평가의 결과 분석
- 전체적인 평가에 대한 책임기술자의 소견
- 시설물의 종합성능등급 지정

7) 유지관리 전략 제언

- 시설물의 성능목표 및 성능평가 실시결과 검토·분석
- 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략 제시

8) 보고서 작성

- 외관조사망도 작성 등 보고서 작성

나. 선택과업

선택과업은 시설물의 여건에 따라 실시하여야 하는 과업으로서 제2종 성능평가의 목적을 달성하기 위하여 대상시설물의 특성 및 현지여건 등을 감안하여 실시하여야 한다.

1) 자료수집 및 분석

- 구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우)
- 실측도면 작성(도면이 없는 경우)

2) 현장조사 및 시험

- 시료채취 및 실내시험
- 재하시험 및 계측
- 지형, 지질, 지반조사 및 탐사, 토질조사
- 수중조사 (하천교량의 정밀안전진단을 성능평가에 포함하여 실시할 경우, 수중조사 실시에 관한 사항은 정밀안전진단 과업내용에 따른다.)
- 누수탐사
- 침하, 변위, 거동 등의 측정 (안전점검 실시결과, 원인 규명이 필요하다고 평가한 경우 필수)
- 콘크리트 체체 시추조사
- 수리·수충격·수문조사
- 시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등
- 조사용 접근장비 운용
- 조사부위 표면청소
- 마감재의 해체 및 복구
- 기계·전기설비 및 계측시설의 성능검사 또는 시험계측(건축물 제외)
- 기본과업 범위를 초과하는 강재비파괴시험
- CCTV 조사, 단수시키지 않는 내시경 조사 등
- 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능, 내구성능, 사용성능 평가에 필요한 추가적인 조사·시험

3) 안전성능평가

- 필요한 부위의 구조·지반·수리·수문 해석 등 구조안전성능 평가 (구조안전성능 검토를 위한 자료(구조계산서 및 구조안전성능 평가 자료 등)가 없거나 부족한 경우, 이전 성능평가 결과보고서 및 설계도서, 외관조사 및 재료시험 결과 등을 검토하여 구조적인 취약부에 대한 구조·지반·수리·수문 해석 등의 구조안전성능 평가를 실시한다.)
- 보수·보강방법을 제시한 경우 보수·보강 시 예상되는 임시 고정하중에 대

한 구조안전성능 평가

4) 내구성능 평가

- 기본과업의 평가 외 내구성능 평가

5) 사용성능 평가

- 기본과업의 평가 외 사용성능 평가

6) 유지관리 전략 제안

- 자료검토 및 전문가 자문을 통한 목표성능 설정 및 제안

3.8.2 제1종성능평가 과업

가. 기본과업

제1종성능평가의 기본과업은 시설물의 구분 없이 기본적으로 실시하고, 정밀안전진단을 포함 및 결과를 활용하여 성능평가를 실시할 수 있는 과업을 말한다.

기본과업의 현장조사 및 시험 항목은 최소필요 조건으로 특별한 사유가 있는 경우에는 이를 고려하여 추가 또는 축소할 수 있다.

1) 자료수집 및 분석

- 준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리·수문계산서, 유지관리 지침서
- 시공·보수도면, 제작 및 작업도면
- 재료증명서, 품질시험기록, 재하시험 자료, 계측자료
- 시설물관리대장
- 시설물의 내구성능(염해·동해환경, 해안거리 등) 및 사용성능(사용자 편의성, 시설물의 수요 및 용량 등)에 대한 자료
- 기존 정밀안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 실시결과
- 보수·보강이력 및 유지관리 결과보고서

2) 현장조사 및 시험

- 대상시설물의 외관조사 및 외관조사망도 작성
 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등
 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식 및 접합(연결부) 상태 등
- 시설물의 내구성능 및 사용성능을 측정하기 위한 현장 재료시험
 - 콘크리트 시험 : 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달속도시험 등), 탄산화 깊이 측정, 염화물침투량시험 등
 - 강재 시험 : 강재 비파괴시험(시험량, 시험부위 등 세부사항은 시설물편 참조)
 - 기계·전기설비 및 계측시설의 작동유무 등

3) 안전성능 평가

① 상태안전성능

- 외관조사 결과분석

- 현장시험 및 재료시험 결과 분석
 - 대상 시설물(부재)에 대한 상태안전성능 평가
 - 시설물 전체의 상태안전성능 결과에 대한 책임기술자의 소견
- ② 구조안전성능
- 조사, 시험, 측정 결과의 분석
 - 기존의 구조계산서 또는 구조안전성능 평가 자료 분석
 - 내하력 및 구조안전성능 평가
 - 시설물의 구조안전성능 결과에 대한 소견
- 4) 내구성능 평가
- 외관조사 결과분석
 - 현장시험 및 재료시험 결과 분석, 내구성능 관련 수집자료 검토
 - 사용재료(콘크리트 및 강재 등)에 대한 내구성능 평가
 - 시설물의 내구성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견
- 5) 사용성능 평가
- 사용성능 관련 수집자료 검토
 - 사용 환경 및 기능 등에 대한 사용성능 평가
 - 시설물의 사용성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견
- 6) 종합평가
- 안전성능, 내구성능, 사용성능 평가에 결과 분석
 - 전체적인 평가에 대한 책임기술자의 소견
 - 시설물의 종합성능등급 지정
- 7) 유지관리 전략 제언
- 시설물의 성능목표 및 성능평가 실시결과 검토·분석
 - 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략 제시
- 8) 보고서 작성
- 외관조사망도 작성 등 보고서 작성

나. 선택과업

선택과업은 시설물의 여건에 따라 실시하여야 하는 과업으로서 제1종성능평가의 목적을 달성하기 위하여 대상시설물의 특성 및 현지여건 등을 감안하여 실시하여야 한다.

- 1) 자료수집 및 분석
- 구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우)
 - 실측도면 작성(도면이 없는 경우)
- 2) 현장조사 및 시험
- 시료채취 및 실내시험

- 재하시험 및 계측
- 지형, 지질, 지반조사 및 탐사, 토질조사
- 수중조사 (하천교량의 정밀안전진단을 성능평가에 포함하여 실시할 경우, 수중조사 실시에 관한 사항은 정밀안전진단 과업내용에 따른다.)
- 누수탐사
- 침하, 변위, 거동 등의 측정 (안전점검 실시결과, 원인 규명이 필요하다고 평가한 경우 필수)
- 콘크리트 제체 시추조사
- 수리·수충격·수문조사
- 시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등
- 조사용 접근장비 운용
- 조사부위 표면청소
- 마감재의 해체 및 복구
- 기계·전기설비 및 계측시설의 성능검사 또는 시험계측(건축물 제외)
- 기본과업 범위를 초과하는 강재비파괴시험
- CCTV 조사, 단수시키지 않는 내시경 조사 등
- 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능, 내구성능, 사용성능 평가에 필요한 추가적인 조사·시험

3) 안전성능 평가

- 구조·지반·수리·수문 해석 (구조계의 변화 또는 내하력 및 구조안전성능이 저하가 예상되는 경우 필수)
- 구조안전성능 평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문
- 내진성능평가
- 제시한 보수·보강방법에 따라 보수·보강 시 예상되는 임시 고정하중에 대한 구조안전성능 평가

4) 내구성능 평가

- 기본과업의 평가 외 내구성능 평가

5) 사용성능 평가

- 기본과업의 평가 외 사용성능 평가

6) 유지관리 전략 제언

- 자료검토 및 전문가 자문을 통한 성능목표 설정 및 제언
- 내진보강 방안 제시
- 시설물 관리방안 제시

3.9 성능평가 요령

3.9.1 일반

시설물별 성능평가 실시요령이나 세부서식은 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」에서 규정한다.

시설물의 성능평가 실시에 관한 기초자료를 얻기 위해 사전조사와 현장조사를 실시해야하며, 그 방법 및 내용은 다음을 따른다.

성능평가를 실시하려는 자는 해당 시설물의 설계·시공 및 감리와 관련된 자료와 유지관리에 관련된 자료 등 성능평가 실시에 필요한 기초자료를 확보하거나 「법」 제10조제1항 및 제2항에 따라 관리주체에게 요청하여 자료를 확보하여야 한다.

관리주체는 원활한 성능평가가 실시되기 위해 성능평가를 실시하는 자가 기초자료를 확보하기 위한 요청에 적극적으로 협조하여야 한다.

당해 시설물의 중요도 및 특성에 따라 보완 또는 추가가 필요한 경우는 새로이 세부서식 등을 작성하여 성능평가 및 시설물관리에 사용할 수 있다.

3.9.2 사전조사

가. 설계도서 등의 관련서류 사전검토

성능평가 용역을 수주하여 실시하는 사람은 당해 시설물의 설계도서 등 유지관리 자료와 과업지시서 등이 법령 및 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」 등에 부합되는지의 여부를 검토하여 용역 착수일로부터 15일 이내에 관리주체에게 서면으로 보고하고 그 방침을 받아 용역 업무를 진행하여야 한다.

다만, 용역업무의 특수성 등으로 인하여 별도로 기간을 정할 경우에는 그 기간으로 한다.

사전검토의 주요 내용은 다음과 같으며, 사전검토 보고서 작성은 부록에 수록된 「사전검토 보고서 예시」를 참고하여 작성한다.

- 대상시설물의 성능평가 실시범위
- 유지관리 자료 보유 현황
- 과업의 범위
 - 기본과업 항목
 - 선택과업 항목
- 기본과업 재료시험 수량
- 기타 법령, 지침 및 세부지침과의 부합여부

나. 과업수행계획서 작성

설계도서 등의 사전검토를 거쳐 관리주체의 방침을 받은 결과를 반영한 과업수행계획서를 작성하여 관리주체에게 서면으로 보고하고 승인을 받아 용역 업무를 진행하여야 한다.

과업수행계획서는 다음에 열거한 순서로 하여 해당되는 사항을 일목요연하게 작성하여야 한다.

1. 과업의 목적
2. 과업의 개요
 - 1) 대상 시설물 현황 및 개요
 - 2) 과업범위
 - 3) 과업기간
3. 과업 수행방법
 - 1) 성능평가
 - (가) 조사 및 시험·측정
 - (나) 안전성능 평가
 - (다) 내구성능 평가
 - (라) 사용성능 평가
 - (마) 종합평가
 - (바) 유지관리 전략 제안
 - 2) 조사·시험관련 진단측정 장비
4. 과업수행 일정
5. 과업수행 조직
 - 1) 과업수행 조직체계
 - 2) 인원투입 계획
6. 안전관리계획
7. 사전검토 보고서 내용

다. 서류 관리

설계도서 등의 사전검토 보고서와 과업수행계획서에 관한 일체의 서류는 성능평가 실시결과 보고서에 수록하여야 한다.

3.9.3 현장조사

현장조사는 대상시설물에 관한 기초자료를 얻고, 시간이 경과함에 따라 구조물의 안전성능(결함 및 손상, 열화, 하중변화 등), 내구성능(염해·동해환경, 해안거리 등), 사용성능(사용자의 편의성, 시설물의 수요 및 용량 등)의 변화를 추적하기 위하여 수행한다. 균열조사에 대한 세부사항은 부록 「균열조사 요령」을 따른다.

시설물 현장에서의 측정은 도면이 없거나 도면상에 나타난 자료를 명확하게 확인하기 위하여 필요하며, 측정의 정확성은 원하는 목적을 달성할 수 있는 정도로 하여야 한다.

3.9.4 성능평가 부위의 청소

부식, 노후화 또는 기타 식별이 어려운 결함을 발견하기 위하여 육안으로 근접조사하기 전에 조사부위를 깨끗이 청소하여야 한다.

3.9.5 시설물의 안전성능 평가, 내구성능 평가, 사용성능 평가, 종합평가

성능평가를 실시한 사람은 주관적인 판단에 따라 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능 평가가 이루어질 우려가 있으므로 평가의 객관성과 일관성 확보를 위하여 책임기술자 등은 시설물의 안전성능 평가, 내구성능 평가, 사용성능 평가, 종합평가를 통일된 서식과 기준(시설물편 참조)에 의하여 실시하도록 한다.

3.9.6 시설물의 종합성능등급의 지정

성능평가를 실시하는 사람은 안전성능 평가, 내구성능 평가, 사용성능 평가 등을 종합적으로 평가하여 당해 시설물의 종합성능등급을 지정하여야 한다.

3.9.7 중대한 위험이 예견되는 결함

성능평가 기간 동안 공중에 중대한 위험을 끼칠 우려가 있는 구조물의 결함이 발견되는 경우에는 즉시 관리주체에 통보하여야 하며 관리주체는 필요한 조치를 하여야 한다.

제4장 현장조사 및 시험

4.1 일반

시설물의 평가를 적절히 수행하기 위하여 성능평가의 목적에 부합하는 현장 재료시험 및 실내시험을 실시하여야 하며 이를 위해 사전 현장조사, 도면 및 이전의 결과보고서 검토 등을 통하여 필요한 시험항목 및 시험횟수를 산정하여야 한다.

성능평가를 실시함에 있어 시설물별로 필요한 재료시험의 최소시험 항목과 기준수량은 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」을 따르며, 시설물의 특성과 성능평가의 목적에 따라 이를 조정할 경우에는 결과보고서에 그 사유를 명시하여야 한다.

4.2 현장 재료시험

현장 재료시험은 시설물이 위치하는 현장에서 시설물에 손상을 입히지 않고 강도 및 결함 등을 측정하는 것으로 이에 대한 세부사항은 부록 「재료시험 요령」에 따른다.

재료시험 방법은 시설물의 특성을 간접적으로 측정하는 시험방법으로 시험장비 및 측정방법의 특징, 적용한계 등을 고려하여 측정하여야 한다. 또한 시험을 실시하는 자는 시험장비의 사용법을 숙지하고 있는 충분한 경험을 갖춘 자이어야 하며 검·교정을 필한 장비를 사용하여야 한다.

4.3 실내시험

시설물로부터 재료의 일부를 채취하여 시험실에서 실시하는 실내시험은 시설물에 손상을 주기 때문에 특정부분에 대한 자료가 필요할 경우 실시하며, 가능한 전체적인 시설물의 평가에 유용하다고 판단되는 경우에 실시하여야 한다. 또한 재료채취에 의해 손상을 입은 부위는 원래 상태로 복구를 해야 한다.

실내시험은 KS규격을 기준으로 실시하고 KS규격에 없는 시험은 ASTM이나 AASHTO 등의 외국기준에 의해 실시할 수 있다.

4.3.1 콘크리트 시험

강도, 수분함량, 공기량, 염화물침투량, 탄산화깊이 시험 등

4.3.2 강재시험

강도 등

4.3.3 토질재료 시험

입도, 함수비, Atterberg한계, 투수, 다짐, 압밀, 압축시험 등

4.4 재료시험 요령

4.4.1 일반

재료시험 항목 및 수량은 성능평가 실시결과에 의한 시설물의 안전성능 또는 내구성능, 사용성능 평가가 객관적이며, 보편타당하게 이루어지고 이를 위한 기초자료를 충분히 확보할 수 있도록 결정하여야 한다.

선택과업 재료시험의 실시여부는 과업의 내용에 의거하여 실시하는 것을 원칙으로 하며, 과업의 내용에는 해당 재료시험의 기준수량이 명시되어야 한다. 다만 선택과업 재료시험에서 기준수량이 정해져 있는 경우에는 해당 재료시험의 목적을 달성하기 위한 최소수량으로 이를 준수하여야 한다.

「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」 및 「시설물편」에서 제시되는 내용을 원칙으로 하되 시설물 특성 및 제반여건을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

4.4.2 재료시험 항목 및 기준수량

가. 재료시험 항목 및 평가방법

성능평가는 현장조사 및 재료시험 결과에 의해 해당 시설물에 대한 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 실시하는 것으로 이에 필요한 재료시험 항목에 대하여 기본과업 및 선택과업 등의 내용으로 구분되며, 기본과업에 의한 재료시험은 필수적으로 실시한다. 다만, 선택과업의 재료시험 실시 여부는 성능평가 범위 및 내용 등을 고려한 과업의 내용에 따른다.

나. 재료시험 기준수량

안전성능 및 내구성능, 사용성능 평가를 위한 기본과업 및 선택과업의 기준수량은 「시설물편」의 재료시험 항목 및 수량에 따라 실시한다. 이외의 재료시험 항목 및 수량에 대하여는 과업의 내용에 따른다.

4.5 시험결과의 해석 및 평가

현장 재료시험 및 실내시험 결과는 그 분야에 경험이 있는 자에 의하여 해석되고 평가되어야 하며 이전에 같은 시험이 실시된 경우에는 시험결과를 비교하여 차이점을 분

석 평가하여야 한다. 또한 같은 재료 특성을 평가하는데 다른 형식의 시험방법이 사용되는 경우에는 각 시험결과를 비교하여 차이점을 파악하여야 한다.

필요한 경우 기존자료와 현장 계측자료를 토대로 예상되는 문제점을 분석하기 위하여 모델링을 통하여 이론적 해석을 실시할 수 있다.

4.6 시험 보고서

모든 현장 재료시험 및 실내시험 결과는 시험 보고서의 형태로 성능평가 결과보고서에 수록하여 시설물관리에 필요한 자료의 일부로 사용하여야 한다.

제5장 종합성능등급의 결정

5.1 시설물의 안전성능 평가 방법

안전성능은 상태안전성능과 구조안전성능으로 구분하여 평가를 실시하며, 세부적인 방법 및 절차·기준 등은 「시설물편」에 따른다.

책임기술자는 상태안전성능과 구조안전성능에 대한 외관조사와 각종 시험 및 측정 결과를 종합적으로 검토하여 안전성능에 대한 안전성능 등급을 지정하여야 한다.

5.1.1 시설물의 상태안전성능 평가 방법

상태안전성능 평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 결함, 손상, 열화 등 상태변화를 근거로 하여 상태안전성능 평가 기준에 따라 실시한다.

제2종성능평가에서는 대상시설물에 대하여 점검하고, 외관조사망도를 작성하여 상세히 상태안전성능 평가를 실시하며, 외관조사망도를 작성하지 않은 부위는 이전의 성능평가 보고서에 수록된 상태안전성능 평가 결과를 참조하여 책임기술자가 대상시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

제1종성능평가에서는 대상시설물에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 대상시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

상태안전성능 평가가 정확히 이루어졌는지 확인하는 동시에 기록용 문서로서 이용하기 위하여 외관조사 결과를 성능평가의 서식에 각각의 결함의 형태, 크기, 양 및 심각한 정도 등을 기록하여야 한다.

5.1.2 시설물의 구조안전성능 평가 방법

책임기술자는 재하시험(계측) 및 구조해석 또는 기존의 구조안전성능 평가 자료와 함께 부재별 상태, 재료시험 결과 및 각종 계측, 측정, 조사 및 시험 등을 통하여 얻은 결과를 분석하고 이를 바탕으로 시설물의 안전과 부재의 내하력 등을 종합적으로 평가하여 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」의 구조안전성능 평가 기준에 따라 시설물의 구조안전성능 평가 결과를 결정한다.

결과보고서에는 구조안전성능 평가에 사용된 해석방법의 종류 및 해석결과, 입력 자료에 대한 설명과 계산 기록을 포함하여야 한다.

1. 비파괴재하시험

○ 정적 또는 동적 재하시험

2. 지반조사 및 탐사

- 지표지질조사, 페이스맵핑, 시추 또는 오거보링, 시험굴, 공내시험, 시료채취, 토질 및 암반시험, G.P.R 탐사, 지하공동, 지층분석, 탄성파탐사, 전기탐사, 전자탐사, 시추공 토모그래피탐사, 물리검층 등
- 3. 지형, 지질조사 및 토질시험
- 4. 수리·수충격·수문 조사
- 5. 계측 및 분석
 - 시설물 및 시설물 주변의 지반에 대한 침하, 변위, 거동 등의 계측(경사계, 로드셀, 지하수위계, 소음 및 진동 등) 및 계측 데이터 분석
- 6. 수중조사
 - 조사선, 잠수부 등에 의한 교대·교각기초, 댐, 항만, 해저송유관 등의 수중조사
- 7. 누수탐사
- 8. 콘크리트 제체 시추조사
 - 시추, 공내시험, 시편채취, 강도시험, 물성시험 등
- 9. 콘크리트 재료시험
 - 코어채취, 강도시험, 성분분석, 공기량시험, 염화물침투량시험 등
- 10. 기계·전기설비 및 계측시설의 성능검사 또는 시험계측(건축물 제외)
- 11. 기본과업 범위를 초과하는 강제비파괴시험
- 12. 기타 구조안전성능 평가를 위하여 필요한 사항

5.2 시설물의 내구성능 평가 방법

시설물의 내구성능에 대한 평가는 시설물의 재료적 내구성능을 확인하기 시험결과와 외부환경에 대한 내구성능 저하인자 등을 종합적으로 검토하여 실시한다.

내구성능 평가를 위해 필요한 시험 항목 및 수량, 외부환경 인자 검토사항 등은 「세부지침」에 따르며, 시설물의 특성 및 평가 목적에 따라 이를 조정할 경우에는 결과보고서에 그 사유를 기재하여야 한다.

책임기술자는 내구성능을 확인하기 위한 시험결과, 부재의 열화 정도 등을 통하여 시설물의 사용 환경과 시설물의 물리적 상태를 함께 검토하여 내구성능 등급을 지정하여야 한다.

5.3 시설물의 사용성능 평가 방법

시설물의 사용성능에 대한 평가는 시설물의 설계 당시와 준공 이후 사용자·관리자의 사용상 편의성, 수요, 용량 등에 대한 현장조사, 설계도서 및 관리기준 등을 종합적으로 검토하여 평가를 실시하여야 하며, 이에 대한 세부사항은 「세부지침」에 따른다.

책임기술자는 현장조사, 설계도서 및 관리기준 등의 검토 결과와 시설물의 준공 이후 사용성능과 관련된 평가 지표의 변동 유무를 확인하여 평가에 반영하고 사용성능 등급

을 지정하여야 한다.

사용성능 평가를 위하여 시설물 유형, 준공시기 및 사용 환경이 유사한 시설물의 자료를 참고하여 반영할 수 있으며, 필요한 경우 자료를 획득할 수 있는 시험 및 측정 등을 추가로 실시할 수 있다.

5.4 시설물의 종합평가 방법

책임기술자는 성능평가를 통해 실시 결과에 따라 결정된 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급을 종합하여 종합성능등급을 결정하여야 한다.

종합평가 및 종합성능등급의 산정 절차와 방법은 「세부지침」에 따르며, 최종적으로 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급과 함께 종합성능등급의 결과를 작성하여 보고서에 수록한다.

이전 안전성능, 내구성능, 사용성능 및 종합성능등급을 변경하는 경우에는 성능평가 실시결과와 유지관리(보수·보강 등) 이력 등을 검토하여 변경된 사유를 성능평가 결과 보고서에 기재하여야 한다.

5.5 종합성능등급 지정

5.5.1 안전성능 등급

등급	안전성능 수준
A (우수)	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능 수준
D (미흡)	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

5.5.2 내구성능 등급

등급	내구성능 수준
A (우수)	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

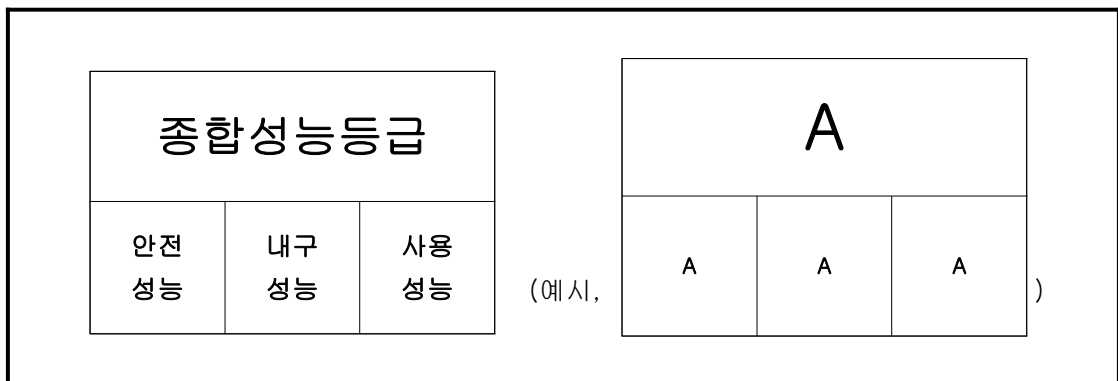
5.5.3 사용성능 등급

등급	사용성능 수준
A (우수)	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준
C (보통)	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준
E (불량)	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준

5.5.4 종합성능등급

등급	종합성능 수준
A (우수)	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

5.6 안전성능·내구성능·사용성능 등급 및 종합성능등급 작성 방법



제6장 유지관리 전략 제언

6.1 일반

현재 시설물의 예산 배정 방식은 대부분 시설물 손상 및 결함만으로 결정되며, 관리 주체의 주관적 요소가 지배적 결정 요인으로 작용되는 경우가 많다. 또한, 시설물 관리 부서의 보수보강예산은 한정되어 있기 때문에 모든 결함을 적기에 보수하기에는 충분치 못한 실정이다. 이와 같이 유지관리 전략 제안에 포함된 모든 조치를 시행하기가 현실적으로 어려운 경우 가용 자원 규모 내에서 가장 효과적인 유지관리 방안을 우선적으로 선정해야한다. 유지관리 전략 제언의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

6.2 유지관리 전략 제언 시 고려사항

일반적인 유지관리 단계의 우선순위 산정 시에는 유지보수 시 발생하는 편익을 개별로 추정하기가 어렵기 때문에 신설 투자 시 적용하는 서비스수준(LOS : Level of Service), 위험도(Risk), 생애주기비용(LCC : Life Cycle Cost) 방법 등을 적용하기는 쉽지 않다. 이는 시설물 관리주체가 유지보수 대상을 선정할 경우 수십~수백개 이상의 시설물을 대상으로 계획을 수립하기 때문에 각 시설물 및 공법별로 정량화하여 분석하는데 많은 시간과 비용이 발생되기 때문이다. 시설물의 보수·보강 공법, 단가 등의 자료를 통해 보수·보강 물량을 산출하고 부재 및 성능간 가중치를 적용하여 유지관리 전략을 제언한다.

6.3 유지관리 전략 활용 방안

유지관리 전략 산정결과는 안전성능, 내구성능, 사용성능 등을 고려한 종합적인 평가를 통해 보수·보강 유형별 중요도를 파악하고 다양한 요소를 반영하여 보다 명확하고 객관적 자료 제공할 수 있으며, 이를 통해 의사결정과정의 투명성을 확보할 수 있다.

6.4 유지관리 전략 제안 절차

유지관리 전략은 총 5단계로 구성되며, 조치별 비용대비 성능향상 기준으로 대상을 선정하는 방법을 선정한다.

[표 3] 유지관리 전략제안을 위한 우선순위 절차

구 분	분석 내용
<단계 I> 대상선정 단계	<ul style="list-style-type: none"> 관리주체의 목표 및 방향에 기반하여 성능평가 대상을 도출
<단계 II> 자료수집 단계	<ul style="list-style-type: none"> 시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집
<단계 III> 시설물 평가단계	<ul style="list-style-type: none"> 성능목표·영향도에 따라 후보 조치별 평가 우선순위 선정을 위한 지표도출
<단계 IV> 순위선정단계	<ul style="list-style-type: none"> 평가결과를 활용하여 비용효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정
<단계 V> 예산제약고려단계	<ul style="list-style-type: none"> 우선순위 선정 후 예산제약을 감안한 조치 선택

6.4.1 대상선정

관리주체의 목표 및 방향에 기반을 두어 성능평가 대상을 도출한다. 시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집한다.

6.4.2 자료수집

시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집한다.

6.4.3 시설물 평가

성능목표·영향도에 따라 후보 조치별 평가를 수행한다. 우선순위 선정을 위한 지표를 도출한다. 각 보수조치별로 비용을 산출한 후 안전성능, 내구성능, 사용성능에 대한 영향도(가중치)를 반영하여 효과지수(Efficiency Index)를 결정한다. 기본적으로 관리주체는 각 조치별로 평가지표를 분석할 수 있는 정보(영향도, 가중치 등)와 개략적인 비용을 산출하여야 한다.

- 부재별 손상별 보수물량 산출
- 표준 단가(건설공사 표준품셈, 건설공사 일위대가 등)를 통해 부재별 비용 산출
- 각 성능항목별 부재별 가중치와 성능간 가중치를 통해 효과지수 산정

* 요소별 가중치는 안전성능, 내구성능, 사용성능의 성능평가인자에 근거하여 설정하나, 해당 조치가 성능평가인자에 미치는 영향에 따라 관리자가 조정할 수 있다.

6.4.4 우선순위 수준 선정

우선순위 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 다음 각 호의 경우 중에서 결정한다.

- 현상유지(진행억제)
- 실용상 지장이 없는 성능까지 회복
- 초기 수준 이상으로 개선
- 개축

6.4.5 우선순위 선정

성능평가 가중치 및 기타 외부적 요소에 따라 조치별로 평가하여 비용대비 효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정한다. 관리자의 판단에 따라 우선순위지수 (PI : Priority Index)는 낮지만 보수가 필요하다고 판단되는 경우 우선순위를 조정할 경우 소견을 작성하여 시설물의 안전 및 유지관리 계획에 수록하여야 한다.

부재별 손상내역 및 공사비에 가중치를 적용하여 우선순위지수를 산정한다. 각 시설물에 따른 성능간 가중치 및 부재 가중치는 [부록]을 참조하여 선정한다.

$$\text{우선순위지수} = \frac{\sum_{n=1}^3 (P_n \times E_n)}{\text{비용}}$$

여기서, P1 : 성능간 가중치(안전성능)

P2 : 성능간 가중치(내구성능)

P3 : 성능간 가중치(사용성능)

E1: 부재 가중치(안전성능)

E2: 부재 가중치(내구성능)

E3: 부재 가중치(사용성능)

※ 부재가중치 = 공법별 가중치 × 영향도

[표 4] 우선순위지수 산정방법 예시

구분	손상 물량 (㎡)	보수 물량 (㎡)	단가 (천원)	비용 Cost (천원)	요소별 가중치			성능별 (EI)			합계 (EI)	우선 순위 지수 (PI) $EI/ Cost$	순위
					안전 성능 (E_1)	내구 성능 (E_2)	사용 성능 (E_3)	안전 성능 $E_1 \times P$	내구 성능 $E_2 \times P$	사용 성능 $E_3 \times P$			
조치1	100	150	10	1,500	20%	40%	50%	0.136	0.084	0.055	0.275	0.000183	2
조치2	10	15	20	300	30%	60%	—	0.204	0.126	—	0.33	0.0011	1
조치3	50	75	30	2,250	20%	—	30%	0.136	—	0.033	0.169	0.000075	3
조치4	60	90	40	3,600	20%	—	20%	0.136	—	0.022	0.158	0.000044	4
조치5	70	105	20	2,100	10%	—	—	0.068	—	—	0.068	0.000032	5
종합평가 가중치 : $P_1=68\%$, $P_2=21\%$, $P_3=11\%$													

<해설>

- 각 조치별로 안전성능, 내구성능, 사용성능 중 어떠한 조치를 높일 수 있는지 여부를 책임기술자가 판단함
- 예를 들어, 조치1은 안전,내구,사용성능을 다 높일 수 있는 공법으로 책임기술자가 판단하였으며, 시설물별 제시된 가중치에 영향도를 고려하여, E_1 , E_2 , E_3 를 산정

6.4.6 유지관리 전략 제언

우선순위지수를 통해 산정된 보수·보강 우선순위를 통해 유지관리 전략을 제언한다.

* 안전성능, 내구성능, 사용성능에 심각한 영향을 미치는 중대한 결함의 경우는 본 우선순위 기준과 상관없이 즉각적으로 보수·보강하는 것으로 한다.

제7장 성능평가 결과보고서 작성 방법

7.1 성능평가 결과보고서 작성 방법

성능평가 결과보고서는 시설물 관리주체의 유지관리 업무에 효율적이며 체계적으로 활용할 수 있도록 성능평가 과업내용을 중심으로 작성·제출하여야 한다. 성능평가 결과보고서는 시설물통합정보관리체계를 이용하여 제출하여야 한다.

7.1.1 제2종성능평가 실시결과 보고서

제2종성능평가는 부록의 「성능평가 표준서식」을 참고하여 작성하며, 제2종성능평가 결과 및 조치해야할 사항의 작성요령은 다음과 같다.

가. 제2종성능평가 결과표

제2종성능평가 결과표에는 해당시설물의 기본현황과 실시결과 요약을 기술하여야 하며, 특히 「라. 참고사항」에 다음의 내용이 작성되어야 한다.

- 차기 성능평가에서의 중점 점검부위 등
- 성능평가 결과에 따른 보수·보강의 필요여부 판단을 위한 제1종성능평가 실시여부 등에 관한 사항
- 성능평가 결과 중대한 결함이 있는 경우에는 필요한 후속 조치사항을 기재

나. 시설물 현황표

대상시설물의 기본현황을 기술하는 것으로 서식의 기타 란에는 대상 시설물의 종·평면도 및 중점 점검사항 등을 작성하며, 필요시 별도의 별지를 이용하여 작성한다.

특히, 시설물 현황표 구분에서 시설물 번호는 시설물통합정보관리체계상에서 부여하는 고유번호이며, 관리번호는 관리주체에서 유지관리를 위하여 정한 관리번호를 말한다. 중점 점검사항은 다음의 내용이 포함되어야 한다.

- 붕괴유발부재
- 보수·보강부위 등

7.1.2 제1종성능평가 실시결과 보고서

제1종성능평가는 부록의 「성능평가 표준서식」을 참고하여 작성하며, 제1종성능평가 결과 및 조치해야할 사항의 작성요령은 다음과 같다.

가. 제1종성능평가 결과표

제1종성능평가 결과표에는 대상시설물의 기본현황과 실시결과 요약을 기술하여야 하

며, 특히 「라. 참고사항」에 다음의 내용이 작성되어야 한다.

- 차기 성능평가에서의 중점 점검부위 등
- 성능평가 결과 중대한 결함이 있는 경우에는 필요한 후속 조치사항을 기재

나. 시설물 현황표

- 제2종성능평가 현황표(7.1.1 나. 시설물 현황표)의 작성방법을 참조한다.

7.2 성능평가 보고서에 포함하여야 할 사항

가. 서두

보고서의 표지 다음에 성능평가의 개요를 쉽게 알 수 있도록 다음의 서류를 붙인다.

- 제출문(성능평가를 실시한 기관의 장)
- 시설물의 성능목표 및 성능평가 결과표(기본성능 및 종합성능등급)
- 참여 기술진 명단
- 시설물의 위치도
- 시설물의 전경사진, 부위별 사진
- 성능평가 결과 요약문
- 보고서 목차

나. 성능평가의 개요

성능평가의 범위와 과업내용 등 계획 및 실시와 관련된 주요사항을 기술한다.

- 성능평가의 목적
- 시설물의 개요 및 이력사항
- 평가의 범위 및 과업내용
- 사용 장비 및 시험기기 현황
- 성능평가 수행일정

다. 자료수집 및 분석

성능평가의 관련 자료를 검토·분석하고 그 내용을 기술한다.

- 설계도면, 구조계산서
- 기존 정밀안전점검·정밀안전진단·성능평가 실시결과
- 안전성능, 내구성능 및 사용성능 평가를 위한 자료수집 현황
- 보수·보강이력 및 용도변경
- 시설물의 내진설계 여부 확인

- 기타 관련자료

라. 현장조사 및 시험

과업내용에 의거 실시한 현장조사, 시험 및 측정 등의 결과분석 내용을 기술하고, 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.

- 시설물의 외관조사 결과분석
- 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석
- 재료시험, 측정결과의 분석

마. 시설물의 안전성능 평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 시험의 분석 결과에 따라 시설물의 상태안전성능과 구조안전성능 결과를 작성한다.

1) 상태안전성능 평가

- 시설물의 외관조사 결과
- 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태안전성능 평가 결과 결정

2) 구조안전성능 평가

구조안전성능 평가를 위한 시험 및 계측 결과 분석(현장재하시험 및 계측, 지형·지질·지반·토질조사, 시설물의 변위·거동 등의 측정결과 분석 등)

- 구조계산 및 해석을 통한 결과 및 분석(관리주체의 요구에 의해 수행한 수리·수문 등 해석결과 및 분석 포함)
- 시설물의 내(하)력 평가 등(관리주체의 요구에 의해 수행한 내진성능평가 포함)
- 시설물의 보수·보강방법을 제시한 때에는 보수·보강 시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 구조안전성능 평가 포함
- 시설물의 구조안전성능 평가 결과 결정

바. 시설물의 내구성능 평가

- 내구성능 평가를 위한 관련자료 분석 및 결과
- 콘크리트 또는 강재 등의 내구성능 분석 및 결과
- 시설물의 내구성능 평가 결과 결정

사. 시설물의 사용성능 평가

- 사용성능 평가를 위한 관련자료 분석 및 결과
- 사용성능 평가를 위한 현장 및 실내시험 결과 분석
- 시설물의 사용성능 평가 결과 결정

아. 종합평가

- 시설물의 안전성능, 내구성능, 사용성능 결과 분석
- 안전성능, 내구성능, 사용성능을 종합하여 종합성능등급 결과의 결정
- 시설물의 종합성능등급 지정

자. 시설물의 유지관리 전략 제언

시설물의 성능평가 결과에 따라 손상 및 결함이 있는 부위 또는 부재 등에 대하여 적용할 보수·보강 방법과 우선순위 등의 유지관리 전략을 제시한다.

- 시설물의 성능목표 및 성능평가 실시결과 검토·분석
- 보수·보강방법에 대한 개요, 시공방법, 시공 시 주의사항 등
- 당해 시설물의 유지관리를 위한 요령, 대책 등
- 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략 제시

차. 종합결론 및 건의사항

- 성능평가 실시결과의 종합결론
- 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항
- 기타 필요한 사항

카. 부록

- 과업지시서
- 외관조사망도
- 구조해석 모델링 및 수치해석 자료 (입출력자료는 e-보고서에 포함)
- 측정, 시험, 계측 성과표
- 안전성능(상태 및 구조안전성능) 평가 결과 자료
- 내구성능 평가 결과 자료
- 사용성능 평가 결과 자료
- 시설물관리대장 사본
- 현황조사 및 외관조사 사진첩
- 사용 장비 및 기기의 사진
- 사전조사 자료 일체
- 기타 참고자료(성능평가 결과와 관련되는 설계도서, 감리보고서, 이전의 안전 점검등 결과보고서 등 관련자료 포함)

7.3 e-보고서 작성 방법

7.3.1 일반

성능평가 결과보고서는 e-보고서(「규칙」 별지 제20호 서식의 첨부자료로 제출하는 보고서로서 성능평가 실시결과를 작성한 보고서를 보관 및 활용 등 유지관리 업무에 효율적으로 활용할 수 있도록 전자매체(PDF파일)에 의하여 작성한 보고서)로 작성하여야 한다.

- e-보고서에는 조사내용, 결과분석 등을 열람할 수 있도록 작성하여야 하며, 첨부되는 사진(칼라) 또는 동영상(칼라) 등은 결함을 구체적으로 확인할 수 있도록 하며, e-보고서와 서식에서 상호 참조할 수 있도록 하여야 한다.
- e-보고서에는 성능평가를 위한 입·출력 자료 전체를 포함하여야 하며, 기간이 경과한 후에도 결함에 대한 해석이 가능하도록 상세하고 명확하여야 한다.

7.3.2 e-보고서의 작성 및 제출

e-보고서 구성은 다음의 내용에 맞게 구성되어야 하며, 폴더명 및 파일명은 식별 가능한 체계를 갖추어 작성해야 한다.

e-보고서를 시설물통합정보관리체계를 통하여 제출하는 경우 폴더의 구성은 다음과 같이 ① 계약서 및 대가내역서 폴더, ② 과업지시서 폴더, ③ 보고서 폴더, ④ 보고서 부록 폴더로 구성되며, 각각의 폴더에 관련 파일을 수록하여야 한다.

각 폴더에 저장하는 파일의 형식은 계약서 및 대가내역서, 과업지시서, 보고서 폴더에는 PDF 형식의 파일만을 저장하여야 하고, 보고서 부록 폴더의 파일 형식은 PDF 파일 형식을 원칙으로 하나, 일반적으로 사용하는 아래 표에 기재된 파일 형식은 수록 가능하다.

「계약서 및 대가내역서」폴더에는 계약서, 대가 산출 내역서 등 PDF 형식의 파일을 수록한다. 특히 다수의 시설물을 1건으로 계약한 경우 각 시설물 별로 계약금액을 알 수 있는 산출 내역서, 2개 이상의 업체가 공동 수행한 경우 각 업체의 계약금액을 알 수 있는 산출 내역서 등 PDF 형식의 파일을 반드시 수록하여야 한다.

「과업지시서」폴더에는 과업지시서, 과업수행계획서, 과업지시서나 용역설계서 내용이 법령, 지침 및 세부지침에 부합되는지 여부를 검토한 사전검토 보고서 등 PDF 형식의 파일을 수록한다.

「보고서」폴더에는 제2종성능평가, 제1종성능평가 보고서의 내용을 PDF 형식의 파일로 수록한다.

「보고서 부록」폴더에는 시설물관리대장, 사전조사 자료, 외관조사망도에 의한 손상 평가도, 시험 및 계측성과 자료, 사진첩, 시설물 평가(안전성능 평가, 내구성능 평가, 사용성능 평가, 종합평가)자료, 수치해석 입출력 자료, 전문가 자문내용, 관리주체 심의결과, 기타 참고자료 등 관련 파일을 수록한다.

[표 5] e-보고서 폴더 및 파일형식

폴더 구분	폴더 내의 파일형식	비 고
계약서 및 대가내역서	- *.pdf 파일	
과업지시서	- *.pdf 파일	
보고서	- *.pdf 파일	
보고서 부록	- *.pdf 파일 - *.txt 파일 - 이미지 파일: *.jpg, *.bmp, *.gif, *.tiff - 동영상 파일 : *.wmv, *.avi - 한글(한글) 파일 - MS Office 파일 - Auto Cad 파일	

※ 파일의 1개 크기는 50M Byte 이하로 작성한다.

제8장 시설물의 유지관리

8.1 일반

관리주체는 시설물의 기능 및 성능의 보존·관리를 위해 합리적이고 경제적인 보수·보강 등을 실시하고, 시설물의 규모 및 특성, 사용 환경 생애주기 등을 고려하여 체계적인 유지관리를 하여야 한다.

관리주체는 시설물의 안전점검등, 성능평가, 보수·보강 등에 대한 비용을 다음에 따라 유지관리 예산에 반영하여 적절한 시기에 유지관리가 시행되도록 하여야 한다.

- 안전점검등 및 성능평가 : 「법」 제37조 및 제44조에 따른 안전점검등 및 성능평가 비용의 산정기준
- 보수·보강 등 : 결함 및 손상의 종류와 정도에 따른 관련 각종 기준(표준시방서, 콘크리트 보수보강요령, 공동주택하자판정기준 등) 및 표준 품셈 등

관리주체는 소관 시설물의 유지관리를 전산기법을 이용한 시설물통합정보관리체계에 의하여 과학적으로 시행하도록 노력하여야 하며, 이에 따라 유지관리 예산 및 보수·보강 시기 등을 결정할 수 있도록 하여야 한다.

8.2 성능목표 설정 및 관리

관리주체는 성능평가 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정하여 유지관리를 하여야 한다.

관리주체는 시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 [표 5]와 같이 시설물의 사용 환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 하며, 시설물의 용도의 변경이나 전면적인 성능 변경이 예정(개축, 교체, 철거 등)된 경우 필요시 시설물의 성능목표에 대한 등급을 조정할 수 있다. 성능목표 선정 및 조정에 대한 세부적인 방법 및 절차는 「부록」에 따른다.

기존 성능목표 등급을 조정하여 변경할 경우에는 중기관리계획 및 유지관리 결과보고서에 변경된 성능목표 등급을 반영하여야 하며 그에 대한 사유도 포함하여야 한다.

관리주체는 시설물의 성능목표를 달성할 수 있도록 성능평가 실시결과에 따른 유지관리(보수·보강 등) 전략을 반영하여 효율적이고 경제적인 유지관리가 시행될 수 있도록 노력하여야 한다.

[표 6] 성능목표 설정 시 고려되어야 할 사항

구분		고려사항
교량	도로교량	일교통량, 중차량통행량, 차단 시 우회거리
	철도교량	일통과량, 평균속도
터널	도로터널	일교통량, 차단 시 우회거리
	철도터널	일통과량, 평균속도
옹벽		—
절토사면		—
댐		연평균 저수용량
하구둑		—
수문		—
제방		—
공항		연간 이용객 수 및 항공기 운항 편수
항만		연간 화물량(백만 톤 GT), 하역능력(천 톤), 접안능력
상수도		가동률

8.3 보수·보강의 실시 등

관리주체는 시설물의 성능 및 기능 등을 지속적으로 유지하고 공중의 안전 확보와 시설물을 사용 가능한 연수가 연장될 수 있도록 발견된 결함에 대해 합리적이고 경제적인 보수·보강 등을 실시하여야 한다.

관리주체는 안전점검등 및 성능평가 실시결과에 따라 발생한 결함의 종류 및 정도, 시설물의 중요도, 사용 환경 등을 면밀히 검토하여 필요한 보수·보강 방법 및 수준, 우선순위를 결정하여야 하며, 성능평가 대상시설물의 경우에는 성능목표를 고려하여 보수·보강 방법 및 수준, 우선순위를 결정한다.

8.4 유지관리 이력 관리 등

관리주체는 시설물의 체계적인 유지관리를 위해 「지침」 제6조에 따른 관련서류와 함께 시설물의 생애주기 동안 실시되는 유지관리 관련된 자료도 보존하고 관리하여야 한다. 유지관리와 관련된 자료는 다음과 같다.

- 안전점검 및 정밀안전진단 결과보고서
 - 유지관리 및 성능평가 결과보고서
 - 시설물의 유지관리를 위해 계측 및 측정된 자료 및 보고서
 - 그 밖에 유지관리상 특기한 사항에 관한 보고서 등
- * 유지관리와 관련된 자료는 관련 업무를 실시한 경우에 보존한다.

8.5 유지관리 결과보고서 작성 및 제출

관리주체는 「영」 제29조에 따른 시설물의 주요 부위 등과 시설물의 성능 및 기능을 저하시킬 수 있는 부재(붕괴유발부재, 피로취약부위 등)에 대한 보수·보강 등의 유지관리를 실시한 경우 유지관리 결과보고서를 작성하여 제출하여야 한다.

유지관리 결과보고서는 시설물의 보수·보강 및 사용제한 실적 중심으로 내용을 작성하여야 하며, 이를 증빙할 수 있는 사진첩 또는 설계도서 등 관련서류를 포함하여야 한다.

유지관리 결과보고서는 유지관리를 완료한 날로부터 30일 이내에 시설물통합정보관리체계를 이용하여 제출하여야 한다.

부록

부록 1. 균열조사 및 현장시험 요령

1. 균열조사 요령
2. 현장시험 요령
3. 자료검토 요령

부록 2. 시설물별 성능목표

부록 3. 시설물별 성능간 가중치 및 부재가중치

부록 4. 보고서 서식

1. 제2종 및 제1종성능평가 표준서식

부록 5. 과업지시서 예시

부록 6. 사전검토보고서 예시

부록 1

균열조사 및 현장시험 요령

1. 균열조사 요령
2. 현장시험 요령
3. 자료검토 요령

1. 균열조사 요령

1.1 일반

균열의 발생은 콘크리트 체적변화와 구속조건에 기인하는 것이지만 그 원인은 다양하고 그것이 복합되어 균열이 발생하는 경우가 많다. 그 때문에 균열이 발생했다면 여러 가지 관점에서 그 원인을 추적할 필요가 있으므로 균열의 형태에 대한 조사가 필요하다.

연속된 하나의 균열이라 해도 위치에 따라 폭이 다른 것이 보통이며, 보수·보강의 필요 여부 판정의 자료로 할 경우에는 최대 균열 폭을 이용하게 된다. 그러나 최대 폭을 나타내는 부분이 균열의 전체 길이 중 극히 일부분 일 경우나, 균열의 가장자리의 콘크리트가 국부적으로 일그러진 탓으로 다른 부분에 비교하여 큰 최대 폭이 되었을 경우 등에는 과잉 보수를 하게 되는 경우가 있다.

단순히 최대 균열 폭에만 주목하는 것이 아니라 균열이 전 구간에 걸친 균열 폭의 분포에도 유의해야 한다.

1.2 균열조사

가. 균열 폭의 측정

- ① 균열 폭은 콘크리트의 표면에서 균열 방향에 대해 직각으로 측정한 폭을 측정 기록한다.
- ② 균열 폭은 균열 발생의 원인 추정, 보수·보강 필요 여부의 판정, 보수·보강의 판단 자료가 되므로 측정 시 변동 원인을 고려하여 목적에 맞도록 측정해야 한다.
- ③ 균열 폭의 측정은 균열자(Crack Scale), 균열현미경 등을 사용한다.

나. 변동 균열의 측정

진행성 균열의 측정은 전기적인 측정 방법과 클립게이지를 사용하는 방법, 전기식 다이얼 게이지를 사용하는 방법이 있다. 또 표적기간을 접착게이지를 사용해 측정해도 된다.

균열 폭의 변동을 검토할 경우는 초기 값을 측정한 위치를 구조물에 기록하여 두고 그 후 같은 위치에서 측정하며, 다음 사항을 준수하는 것이 측정 결과의 신뢰성을 확보하는 바람직한 측정 방법이다.

- ① 균열 폭은 온도나 습도에 따라 변화되므로 변동 측정을 할 경우에는 측정시의 온·습도의 조건은 가능한 같도록 하는 것이 원칙이다.
- ② 하루의 온도는 시각에 따라 변화되므로 측정 시각은 되도록 일정하게 오전 10시 전후에 하는 것이 좋으며, 이 시각의 온도는 하루 평균기온에 거의相当하므로 자

료의 해석에 적합하다.

- ③ 직접 비를 맞는 경우의 구조물이나, 건축물의 외벽·지붕 슬래브 등의 부재에서는 강우가 있는 후 적어도 3일간 이상 경과된 뒤에 측정한다.
- ④ 보 등의 휨균열에서 구조내력 혹은 철근의 부식이 문제가 된다고 볼 수 있는 경우에는 철근과 같은 위치의 표면균열 폭을 측정한다.

다. 균열의 진행성

형성된 균열의 진행은 여러 요인의 영향을 받는다. 특히 균열제어 철근이 불충분하면 현저하게 영향을 받는다. 균열의 진행은 보수 시 어떤 재료를 사용할 것인가와 언제 시행하는 것이 최적기인가에 영향을 주므로 보수작업을 시행하기 전에 장래 균열 움직임에 대한 평가를 하는 것은 중요하다.

따라서 균열을 발견한 경우는 그것이 진행성인 것인지 여부를 확인하여야 한다. 이것은 구조물 변상의 원인 추적, 균열의 성질 판정 및 방법의 결정을 위한 중요한 요소가 된다.

균열이 진행성인 경우 다음 사항을 조사한다.

1) 측정시기와 간격 및 기간

균열의 진행 상태 측정 간격은 균열의 진행 정도에 따라 다르나 초기에는 빈틈이 없이 조사기간 중 1~2주 정도의 간격으로 측정을 하고, 필요시 진행 정도가 둔한 경우에는 순차로 간격을 지연시켜 기간은 반년 이상으로 하는 것이 좋다.

균열이 진행하지 않는 경우라도 계절의 변화(건습이나 온도의 변화)에 따라 균열 폭과 길이가 변화되므로 측정은 가급적 장기간 실시하는 것이 좋다. 균열의 진행이 급속한 경우에는 이미 발생된 균열과 균열 사이에 새로운 균열이 발생되는지의 여부를 조사한다.

2) 구조물에 가해지는 하중의 조사

균열의 진행이 인정되는 경우에는 구조물에 작용하는 하중에 대해서 조사한다. 이것은 활하중에 대해서 뿐만 아니라 토압, 기초의 이동, 회전, 침하, 인접 구조물에서의 영향 등 작용하는 하중의 크기와 그 이력에 대해서 조사한다.

3) 구조물의 구조 결함 조사

구조물의 콘크리트가 박락 등의 단면의 결손으로 철근이 부식, PS 강재의 절단 또는 정착부의 이완 등이 생긴 경우에는 부재의 강성이 저하되어 변형이 커지게 되고 균열이 진행되므로 구조상 결함의 유무에 대해서 조사한다.

4) 구조물의 환경 조사

건습의 반복 상태, 한랭지에서의 동결융해 상태 등을 조사한다.

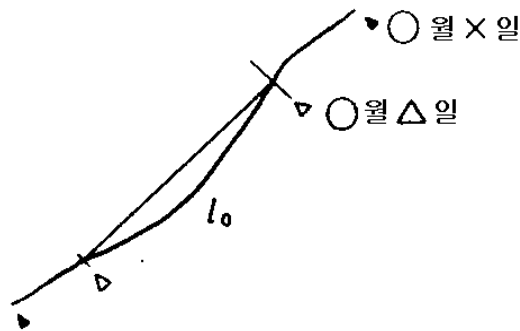
5) 사용재료의 조사

콘크리트 재료의 체적변화를 일으키는 것이 있는 경우, 예를 들면 알칼리 골재반응을 일으키는 골재, 페이스트의 팽창 계수와 차이가 큰 골재, 팽창물질을 함유한 골재, 혼화재료, 특히 팽창제의 사용 등 균열 발생에 영향을 주는 재료의 사용 유무를 조사한다.

라. 균열의 길이와 형태

균열의 길이는 균열의 원인 추정과 보수·보강의 필요 여부 판정에는 그다지 크게 관계되지는 않으며, 길이에 따라서 균열이 국부적인 원인에 의한 것인지, 광범위한 원인에 의한 것인지 등의 파악이 필요하다.

균열의 길이는 주로 보수·보강의 규모 파악과 공사비의 산출에 필요하므로 대표적으로 보수보강이 필요한 균열의 길이를 측정하고 기록 및 파악해 놓는 것이 필요하다.



[그림 4] 균열 길이의 기록 예

마. 균열의 관통 여부

균열의 관통 여부는 물이나 공기가 통하는가의 여부로 판정되며, 관통 여부의 조사는 콘크리트의 양면에서 관찰이 가능한 경우에는 표면과 이면의 형태가 일치되고 있는가 하는 점이 점검사항이 된다.

균열의 관통 여부 측정에는 다음과 같은 방법이 있다.

- ① 균열 부분을 정확하게 육안으로 확인한다.
- ② 액체를 부어서 누수 되는 위치나, 모양 등을 확인한다.
- ③ 코어링을 한다.
- ④ 초음파의 전달속도를 측정한다.

상기 균열조사 ①, ② 방법의 경우 균열에 빨간 잉크 등 색소(액체)를 미리 주입하여 액체와 공기가 통과하는가를 확인하면 된다. 한편, 콘크리트 양면이 관찰될 수 있는 경우는 표면과 이면의 형태가 일치하는가를 확인하면 된다.

바. 균열부 상황의 기록

균열부의 상태에서 이물질 충전의 유무, 백태현상의 유무, 철근의 녹 유무 등을 관찰하여 기록한다.

1.3 비파괴시험에 의한 균열깊이 조사³⁾

가. 일반

콘크리트 구조물에 발생된 균열깊이를 측정하기 위한 기본은 초음파전달속도법에 의하여 비파괴시험 방법으로 측정한다. 초음파의 발·수신자를 균열 근방에 설치하여 균열을 측정하는 방법을 기술한다.

초음파 발·수신자를 설치하는 위치와 탐촉자 직경에 따라 실제의 pulse 전달거리와 전달속도가 다르므로 균열깊이 추정 시에는 주의가 필요하다.

나. T-법

T-법은 발진자(Tx)를 고정하고, 수신자(Rx)를 10~15cm 간격으로 이동시켜 전파거리와 전달시간의 관계(주시곡선)로부터 균열 위치의 불연속 시간 T를 도면상에서 다음 식을 이용하여 균열 깊이 h를 구한다.

$$h = \frac{T \cos \alpha (T \cot \alpha + 2L)}{2(T \cot \alpha + L)} \quad \text{or} \quad h = \frac{L}{2} \left(\frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2} \right)$$

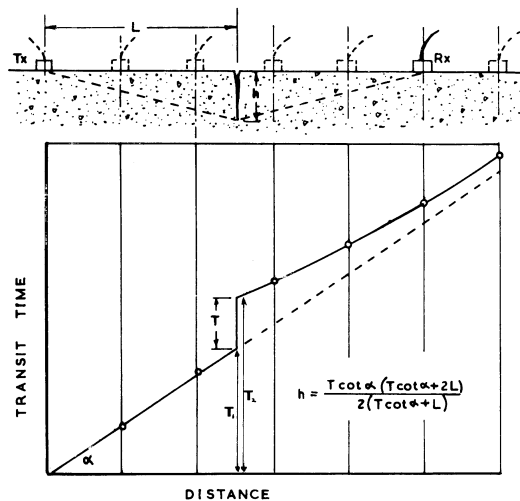
여기서, T : $T_2 - T_1$

L : 발진자(Tx)에서 균열까지의 거리

α : 주시곡선 시작점에서 균열까지의 전달시간 기울기

T_1 : 주시곡선의 측정 시작점에서 균열까지의 전달시간

T_2 : 주시곡선의 균열 시작점에서 이후의 전달시간



[그림 5] T-법

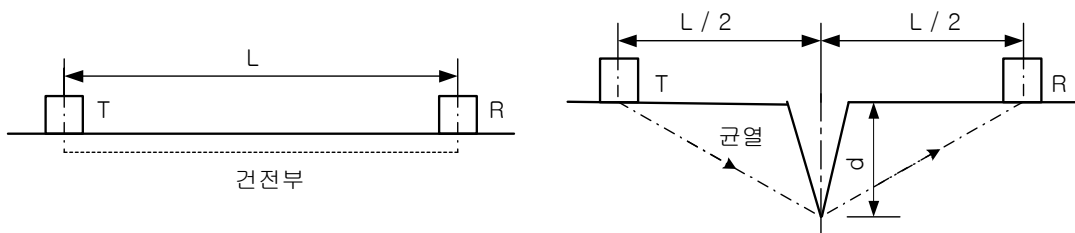
3) ○ KS F 2731:2013 콘크리트 압축 강도 추정을 위한 초음파 펄스 속도 시험방법
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

다. Tc-To 법

이 방법은 수신자와 발신자를 균열의 중심으로 등간격 x 로 배치한 경우의 전파시간 T_c 와 균열이 없는 부근 $2x$ 에서의 전파시간 T_o 로부터 균열깊이를 추정하는 방법으로 균열 면이 콘크리트의 표면과 직각으로 발생되어 있으며, 균열 주위의 콘크리트는 어느 정도 균질한 것이라고 가정하여 유도한 것이다.

이 방법의 균열깊이 탐사 결과는 15% 정도의 오차를 가지고 있으며, 균열에서 발·수신자까지의 거리 x 는 탐촉자까지의 거리이다.

$$h = X \sqrt{\left(\frac{T_c^2}{T_o^2} - 1\right)}$$

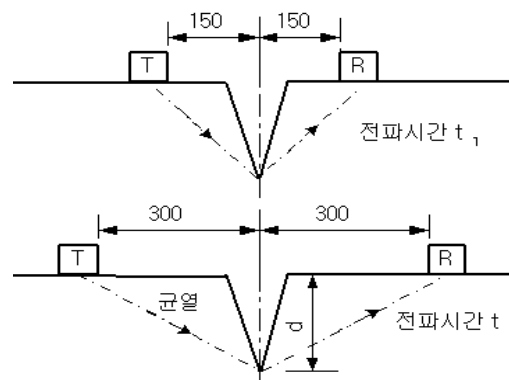


[그림 6] Tc-To 법

라. BS 법

BSI 1881 Part No. 203에 규정되어 있는 방법으로 발·수신자 배치를 균열 개구부에서 $a_1=150\text{mm}$ 일 경우의 전파시간 T_1 , $a_2=300\text{mm}$ 일 경우의 전파시간 T_2 를 이용하여 균열깊이 d 를 추정하는 방법으로 콘크리트 내부에 존재하는 철근의 영향으로 측정 결과의 오류를 나타낼 수 있으므로 주의가 요구된다.

$$d = 150 \sqrt{\frac{(4T_1^2 - T_2^2)}{(T_2^2 - T_1^2)}}$$



[그림 7] BS 법

마. 균열깊이 측정의 제약조건⁴⁾

- ① 균열깊이가 1,000mm 이상이 되면 수신하는 초음파전달속도가 현저하게 쇠퇴하기 때문에 일반적인 초음파측정기로는 측정이 곤란하다.
- ② 표층부 철근의 배근깊이가 100mm 이하가 되면 철근 배근깊이 이상인 표면균열의 깊이를 측정하는 것이 곤란하다.
- ③ 콘크리트의 품질불량 및 콘크리트 내부에 곰보나 공동(구멍) 등 다짐불량의 가능성이 있으면 정확한 측정이 곤란하다.
- ④ 균열 내부에 물, 이물질이 있는 대상이나, 미세균열이 밀집되어 있는 경우에는 측정이 곤란하게 된다.
- ⑤ 발생된 균열이 개폐되는 경향을 나타내고 있으면 측정이 곤란하다.
- ⑥ 측정 대상과 측정 정밀도
 - 평탄한 측정 면에 직각한 균열깊이 : 200mm 이하의 경우 $\pm 5\%$
 - 평탄한 측정 면에 직각한 균열깊이 : 1,000mm 이하의 경우 $\pm 3\%$
 - 경사균열의 균열깊이 길이 : $\pm 15\%$

4) 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

2. 현장시험 요령

2.1 반발경도시험⁵⁾

2.1.1 일반

가. 일반

초기 시공불량의 경우, 피복 콘크리트에 전반적인 내구성 저하가 나타날 수도 있으며, 공용중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화 요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다.

피복 콘크리트의 품질이 저하되어 있을 경우 탄산화나 염화물침투 진행속도가 더욱 빨라지게 되어 콘크리트 구조물에 내구성이 취약한 약점부가 발생할 수 있다.

나. 적용 범위

본 「세부지침」에서는 경화된 콘크리트의 반발경도와 압축강도 사이의 상관관계에 따른 상관 식을 도출하여 적용하는 것을 원칙으로 하며, 이것이 쉽지 않은 경우 기존의 콘크리트 비파괴강도 제안 식을 활용하여 평가할 수도 있다. 다수의 신뢰할 수 있는 비파괴강도 추정식이 제시되어 있으나, 추정식의 다양성만큼 비파괴강도가 일정하게 얻어지는 것이 아니므로, 코어 표본의 압축강도를 구하여 이 측정값과 반발도와의 상관관계를 구하는 것이 우선되어야 한다.

콘크리트 표면의 경도로부터 콘크리트의 비파괴강도를 추정하는 방법으로 그 시험 방법, 적용 가능한 강도 범위, 판정식 및 판정의 평가 방법에 대한 고려가 비파괴강도를 판정하는 과정에서 필요하다.

본 「세부지침」에서는 보통콘크리트의 비파괴강도 추정을 위한 시험 등의 절차에 대해서 기술한다.

다. 측정기의 점검 및 교정

반발경도측정기는 엄밀한 검사를 하더라도 사용 후에 기계적인 오차가 발생하는 것이 단점이 있으므로 사전에 테스트 앤빌(Test Anvil)에 의한 정기 교정을 실시하여야 한다.

테스트 앤빌에 의한 반발경도측정기(N형)의 반발경도 R은 80을 기준으로 80 ± 2 의 범위를 정상으로 할 경우, 가능한 한 80 ± 1 의 범위이어야 한다. 이 범위의 값을 벗어날 경우 조정하여야 한다. 반발 값이 72 정도까지 나타나고 더 이상 반발 값이 올라가지 않

5) ○ KS F 2730:2003 콘크리트 압축강도 추정을 위한 반발경도시험 방법
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

을 경우에는 다음 식에 의하여 보정하며, 이 이상의 보정 값을 필요로 하는 반발경도측정기는 사용하지 않는 것이 좋다.

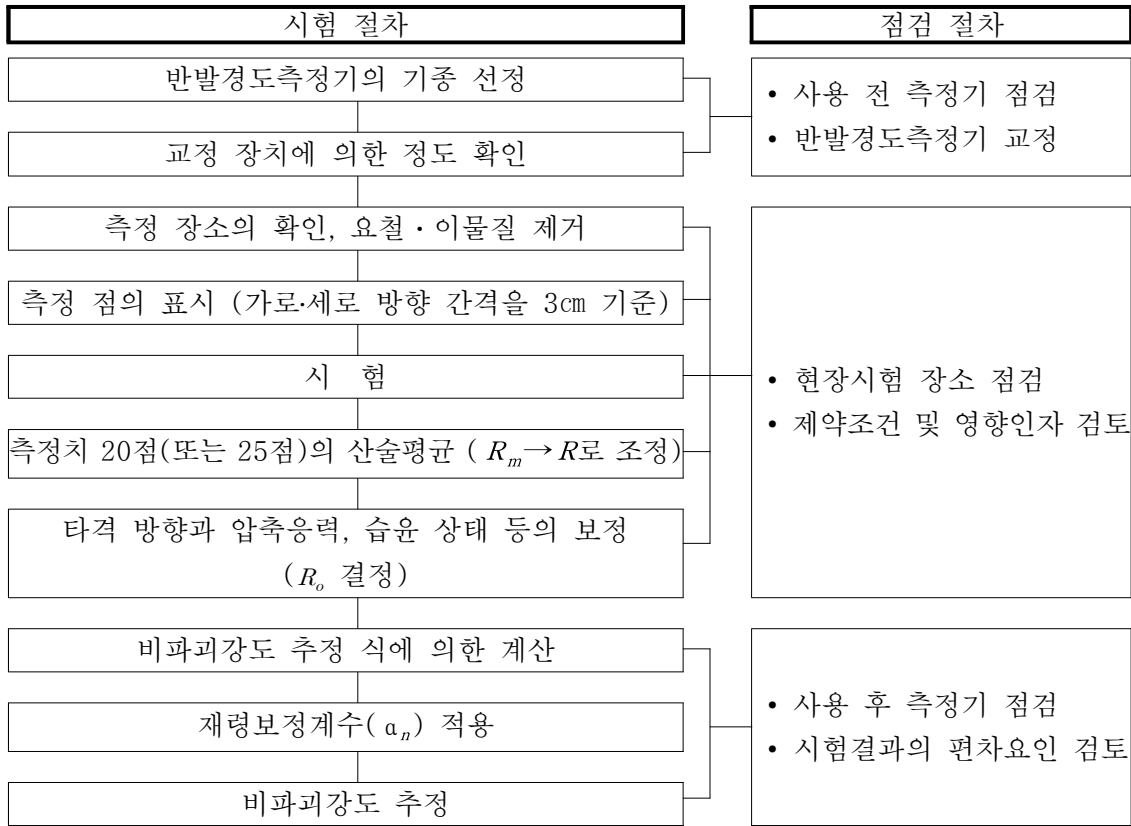
$$R = R_o \times 80 / R_a$$

여기에서 R_a : 테스트 앤빌에 따른 하향 타격 시($\alpha=-90^\circ$)의 반발도

R_o : 반발도 R 의 평균값

반발경도측정기와 테스트 앤빌의 보정 특성인 액면 수치(R_a)는 제작사에 따라 교정 반발경도의 치수의 범위는 차이를 나타내므로 유의하여 사용하여야 한다. 이는 제조사가 다른 반발경도측정기와 앤빌을 혼용하여 이용할 경우에는 그 결과 값(R_a)이 상이하므로 특별한 주의가 필요하며, 무심코 이를 혼용하여 사용하였을 경우 평가된 콘크리트 비파괴강도의 신뢰성에 문제점으로 나타난다.

2.1.2 시험 등의 절차



[그림 8] 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

가. 보정반발경도(R_o)의 계산

- ① 반발경도시험 값(R_m) 20개의 평균을 산정
- ② 평균값에서 $\pm 20\%$ 이상 벗어나는 경우의 시험 값은 버리고 나머지 시험 값의 평균 (R)을 산출
- ③ 시험 값 중 버리는 값이 4개 이상인 경우는 시험 부위의 결정에서 문제가 있을 수

있으므로 전체 시험 값 군을 무시

- ④ 반발경도시험 현장의 여건 등을 고려하는 반발경도에 영향을 미치는 요인을 검토하여 각종 보정 값(ΔR)을 산정
- ⑤ 산정한 보정 값(ΔR)을 평균시험 값(R)에 가감하여 보정반발경도(R_o)를 결정하여 콘크리트 비파괴강도 추정에 적용
- ⑥ 보정반발경도(R_o)는 소수 첫째자리 기준

나. 반발경도시험의 제약 조건

1) 반발경도측정기 활용을 위한 제약조건의 검토

- 대상구조물의 제약조건과 종류, 측정범위 등을 파악하여 시험 결과의 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 콘크리트에서의 반발도와 비파괴강도와의 관계는 각종 영향인자에 따라 다르므로 비파괴강도 추정의 정도를 향상시키기 위해서는 반드시 이들 인자에 관한 정보를 입수하여 이를 반영시켜야 한다.
- 현장측정 및 결과분석에 대한 절차는 KS F 2730의 규정에 준한다.

2) 대상 구조물의 제약조건

- 측정 부재의 선정
 - 부재의 두께 : 측정부의 콘크리트 두께 10cm 이상인 장소 선정
 - 측정 위치 : 보, 기둥 등 모서리로부터 3~6cm 이상 떨어진 장소에서 측정
- 측정 장소의 선정
 - 얇은 바닥판이나, 벽에서는 고정단 부근이나, 지지 변에 가까운 장소를 선정
 - 보, 기둥 등에서는 시공이음부, 재료분리, 높이, 방향 등의 강도변화를 고려해서 측정 장소를 선정
 - 측정 면이 모르타르, 타일 등 부착물이 있는 장소 등은 회피
 - 미장, 도장이 있을 경우 이것을 제거하여 콘크리트 면을 노출
 - 타격방향은 항상 측정 면에 대하여 직각방향으로 조용히 눌러서 측정

다. 반발경도시험에 영향을 미치는 인자

반발경도에 미치는 영향인자와 시험결과에 편차 요인에 대하여 시험 전·후에 이를 파악하여 산정한 각종 보정 값(ΔR)을 콘크리트 비파괴강도 추정에 적용하여야 한다.

1) 반발경도에 미치는 영향인자

- 콘크리트 및 반발경도측정기의 온도
- 콘크리트 표면의 함수 상태
- 콘크리트 탄산화(중성화) 정도
- 측정 시 타격방향
- 반발경도측정기의 종류

- 콘크리트의 거동

2) 시험결과와 편차 요인

- 시험결과 편차의 요인과 표준편차
- 콘크리트의 재료와 조합의 관계 : 시멘트, 골재 등
- 측정 대상면의 상태 : 콘크리트 표면상태, 측정 높이, 구속력 등
- 콘크리트의 재령
- 비파괴강도 추정 제안식의 이용

2.1.3 점검방법

가. 개요

슈미트해머 법은 경화 콘크리트 면에 슈미트해머로 타격에너지를 가하여 콘크리트 면의 경도에 따라 반발경도를 측정하고, 이 반발경도(R_0)와 콘크리트 압축강도(F_c) 사이에는 특정한 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 하여 콘크리트 압축강도를 측정할 수 있다.

나. 원리

- 간편하고 짧은 시간에 강도 추정이 가능한 우수한 사용성과 콘크리트 구조물 전체에 대해 강도 측정이 가능하다는 점에서 유효한 시험법이라 할 수 있다.
- 타격 시 해머 내의 중추 반동량을 반발도(R)로 표시하며, 이 반발도(R)의 크기에 따라 콘크리트 압축강도를 추정한다. 일반적으로 타격 시 반발도(R)는 타격 에너지 및 타격면의 형상, 크기, 재료의 물리적 특성에 따라 다르다.
- 콘크리트와 같은 불 균질한 재료에서는 슈미트해머로 표면에서 국부적 타격을 하는 경우 반발도(R)는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤 상태, 콘크리트의 재령 등에 차이가 날 수 있으므로 유의해야 한다.

다. 콘크리트의 비파괴강도 추정

- 코어표본을 이용하여 반발경도와 압축강도와의 상관관계를 이용하는 것을 원칙으로 한다.
- 반발경도시험 값 군의 평균과 코어표본으로 구한 압축강도를 통해 개별 시험 값을 플롯하고 전체 결과에 대한 선형 회귀식을 최소 제곱법에 의해 해당 시설물의 콘크리트 비파괴강도(F_c) 산정식을 도출한다.

$$F_c = k_1 \cdot R_0 + C \text{ (MPa)}$$

여기서, R_0 : 타격방향에 따른 보정반발도

k_1 , C 는 상수

2.1.4 콘크리트 비파괴강도 추정

가. 코어 표본을 이용한 반발경도와 압축강도의 상관관계

반발경도와 압축강도 사이의 상관관계를 구하는 방법 중 가장 신뢰할 수 있는 것은 현장 콘크리트의 코어를 통해 정보를 얻는 것이다.

- ① 코어 표본의 반발경도시험은 코어 표본을 채취하고자 하는 위치에서 코어채취 이전에 실시하여야 한다.
- ② 반발경도시험 값 군의 평균과 코어 표본으로 구한 압축강도를 통해 개별 시험 값을 플롯하고 전체 결과에 대한 선형 회귀 식을 최소 제곱법에 의해 해당 시설물의 콘크리트 비파괴강도(F_c) 제안 식을 도출한다.

$$F_c = k_1 \cdot R_0 + C \quad (\text{MPa})$$

여기서, R_0 : 반발도 R의 평균값

k_1 , C는 상수

나. 기존의 제안 식을 이용한 콘크리트 비파괴강도 추정

반발경도를 이용한 비파괴강도 추정은 가급적 시험 대상 구조체의 수 개소에 대해서 반발경도를 구하고, 상기 성형 및 코어 표본에 의한 반발경도와 압축강도의 비파괴강도 제안 식을 이용해야 한다.

다음은 국내에서 주로 이용되고 있는 제안 식을 정리한 것으로 이외의 신뢰성 있는 제안 식을 이용할 수 있으며, 제안식의 적용은 시험 방법 및 시험 조건에 맞는 제안 식을 선정하는 것이 중요하다.

[표 7] 기존의 비파괴강도 추정 제안식

연구자	추정 제안식 (MPa)	비고
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27 \cdot R_0$	
동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_0 - 110) \times 0.098$	
일본건축학회	$F_c = (7.3R_0 + 100) \times 0.098$	
U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_0 + 0.0932R_0^2) \times 0.098$	
木村	$F_c = (9.37 \times (0.987)^t R_0 + (1.3t - 109)) \times 0.098$	t는 재령(년)

다. 재령보정계수

콘크리트의 재령이 경과함에 따른 반발경도와 압축강도의 상관관계를 변하게 하며, 탄산화의 효과는 콘크리트의 표면반발경도를 증가시킨다.

따라서 장기재령 콘크리트의 강도 추정에서는 재령 28일의 강도추정식에서 구해진 비파괴강도에 슈미트해머 제조사에서 제시하고 있는 [표 6]의 재령보정계수(α)를 곱하여 평가한다.

[표 8] 재령보정계수, α 의 값 ($F_{28} = F_c \times \alpha$)

재령(일)	28	100	300	500	1000	3000
α	1.0	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

라. 코어강도를 고려한 비파괴강도 보정계수

신뢰성 있는 비파괴강도 추정을 위해서는 실구조물에서 채취한 코어강도를 고려할 필요가 있으며, 이를 위하여 선정된 비파괴강도 제안식에 아래와 같이 보정계수를 산출한 후, 보정계수를 제안식에 곱하여 대상 시설물의 콘크리트 비파괴강도를 추정하는 것이 바람직하다.

$$\text{보정계수, } C_t = \left(\sum_{i=1}^k \frac{R_{pr}}{R_s} \right) / k$$

여기서, R_{pr} : 코어 압축강도(MPa)

R_{st} : 반발경도시험에 의해 추정된 비파괴강도(MPa)

k : 자료의 개수

2.1.5 시험 보고서

시험결과 보고서는 반발경도시험에서 권장하는 사항에 따라 시험되었음을 명확히 하고, 시험조건 및 피시험체와 관련된 정보를 제공할 수 있도록 작성한다.

- 시험 일자, 시간
- 구조물에서 시험 영역의 위치
- 시험 대상 구조물 또는 표본에 대한 설명
- 콘크리트의 설계 조건
- 시험 위치의 표면 상태
 - 마무리 정도, 균열, 박리, 화재 피해 유무 등
- 시험시의 온도 및 콘크리트의 재령
- 콘크리트 내부의 함수 상태
 - 습윤 상태, 표면 건조 상태, 기건 상태 등
- 반발경도측정기의 종류 및 제품 번호
- 반발경도측정기의 타격 방향
- 시험 부위별 반발경도의 평균값
- 버린 반발경도의 값 및 위치

2.2 초음파전달속도시험⁶⁾

2.2.1 일반

가. 일반

콘크리트에서의 초음파전달속도시험은 음향적 측정방법인 음속법의 하나로 초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 초음파가 콘크리트를 통과하는 시간(Pulse Velocity)을 측정하여 이로부터 콘크리트의 비파괴강도, 결함의 유무, 균열 및 콘크리트의 내부 분리, 공동현상 등을 추정하는 비파괴적인 방법에 이용한다.

일반적으로 점검과 진단에서 사용하는 콘크리트 초음파측정기는 측정대상 콘크리트에 동일한 사용목적을 가지며, 초음파전달속도는 콘크리트의 구성 성분, 다짐 정도, 숙성도, 콘크리트 제품과 구조물 내에 본래부터 존재하는 자유수의 함유량에 따라 결정된다.

나. 적용범위

본 「세부지침」에서의 초음파전달속도시험은 콘크리트의 한쪽 끝에 접촉시킨 탐촉자로부터 발신한 초음파 펄스가 콘크리트 내부를 통과하여 반대방향의 다른 끝 쪽에 접촉시킨 탐촉자에 도달할 때까지의 소요시간 및 양 탐촉자간 거리를 측정하여 음속을 구하고, 그 음속 값을 이용하여 콘크리트의 비파괴강도를 추정하기 위하여 실시한다.

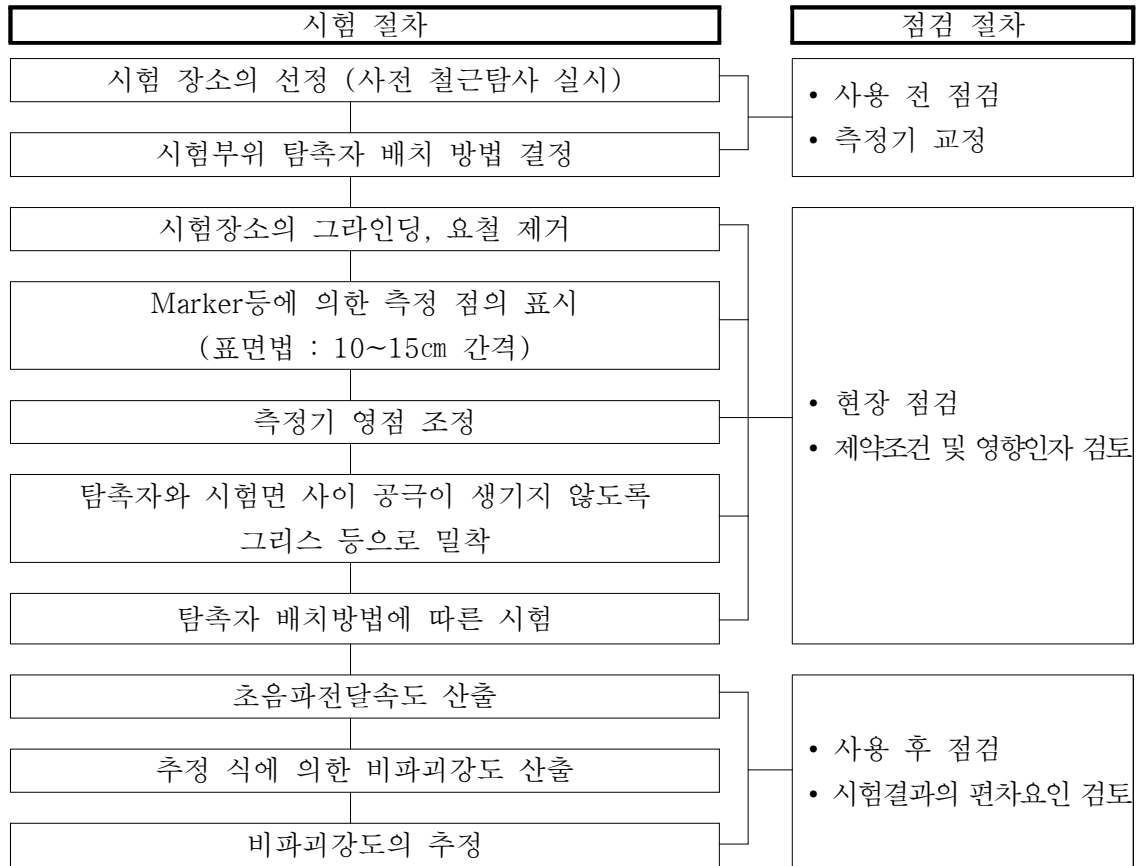
이 시험 방법은 콘크리트 비파괴강도 추정 이외에도 콘크리트의 탄성 계수, 균열 깊이, 내부 결함 등을 검사하는 데 이용할 수 있으며, 콘크리트의 비파괴강도를 추정하는 경우 다수의 신뢰할 수 있는 추정 제안식이 제시될 수 있으나, 추정식의 다양성만큼 비파괴강도가 일정하게 얻어지는 것이 아니므로 성형 또는 코어 표본의 압축강도를 구하여 이 측정값과 펄스속도와의 상관관계를 구하는 것이 우선되어야 한다.

다. 측정기의 영 보정(Zero Setting)

- 측정기를 사용하기 전에는 반드시 측정기에 대한 교정을 하여야 한다.
- 발신 및 수신 탐촉자를 합쳐서 측정 거리가 Zero의 경우에서 전달시간이 영점으로 나타나는 확인 여부와 측정 전에 표준시험체(교정봉)로 측정해서 미리 영 보정을 하여야 한다.
- 탐촉자 및 케이블의 교체의 경우 매번 영 보정하여야 하며, 전자회로나 케이블의 안정성을 확인하기 위해 수시로 영 보정을 재확인할 필요가 있다.

6) ○ KS F 2731:2003 콘크리트 압축강도 추정을 위한 초음파 펄스 속도 시험 방법
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

2.2.2 시험 등의 절차



[그림 9] 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

나. 초음파전달속도시험의 제약조건

1) 측정기 활용을 위한 제약조건의 검토

- 측정 대상구조물의 제약조건과 종류, 측정범위 등을 파악하여 측정 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 콘크리트 중의 초음파전달속도와 압축강도의 관계는 각종 영향인자에 따라 다르다. 비파괴강도 추정이나, 결함탐사의 정도를 향상시키기 위해서는 반드시 이들 영향인자에 관한 정보를 입수하여 이를 반영시켜야 한다.
- 현장측정 및 결과분석에 대한 절차는 KS F 2731의 규정에 준한다.

2) 측정 대상으로 하는 구조물에서의 제약조건

① 측정 대상구조물 : 콘크리트 구조물 전반

② 제약조건

- 콘크리트 표면에 도장이나, 외장재 및 구조물 내부에 철근이 과밀 배근되어 있는 경우, 균열 내부에 수분, 충전물, 미세균열, 밀집균열 등이 존재하는 구조물에서의 초음파전달속도의 시험은 곤란하다.
- 초음파전달속도시험 대상 콘크리트 면에 강재나 공동(구멍), 곰보가 존재하는

경우에는 초음파전달속도시험 결과가 크게 변화될 수 있다.

- 초음파전달속도시험에서는 시험 결과에 영향을 미칠 수 있는 부분과 없는 부분에 대한 병용 시험을 통해서 이를 확인하는 것이 바람직하다.
- 측정하기 전에 측정 위치 부근에 철근탐사장비로 철근이나 강재 등의 배치 여부 등을 확인하는 것이 필요하다.

다. 초음파전달속도시험에 미치는 영향인자

초음파전달속도에 미치는 영향인자와 시험결과에 편차 요인에 대하여 시험 전·후에 이를 파악하여 산정한 각종 영향계수를 콘크리트 비파괴강도 추정에 적용하여야 한다.

1) 초음파전달속도에 미치는 영향인자

○ 콘크리트의 함수량

- 콘크리트는 습윤 상태일수록 초음파전달속도는 커진다.
- 대상 부재의 함수량 차이를 고려하여 측정된 초음파전달속도를 보정해야 한다.

○ 콘크리트의 온도

- 콘크리트의 온도변화에 따라 초음파전달속도는 변한다.
- 콘크리트가 고온일 경우 초음파전달속도는 감소하며, 저온으로 동결되었을 경우 초음파전달속도는 증대하므로 이에 대한 보정이 필요하다.

○ 측정거리(표면법의 경우 : 탐촉자간의 간격)

- 콘크리트의 이질적인 성질이 시험에 영향을 미치지 않도록 충분히 길어야 한다.
- 굵은 골재의 최대치수가 20mm 미만의 경우 측정거리는 100mm 이상
- 굵은 골재의 최대치수가 20~40mm의 경우 측정거리는 150mm 이상

○ 시험 체의 형상

- 시험대상이 되는 부재의 단면치수에 따라 초음파전달속도에 영향을 미친다.
- 시험대상의 최소허용 측면 치수를 고려하여 시험하여야 한다.

○ 철근의 영향

- 강재에서의 초음파전달속도는 약 5.1km/s로 콘크리트보다 크다.
- 강재는 콘크리트에서 추정된 초음파전달속도의 정확도를 감소시키므로 가능한 한 철근이 탐촉자 사이의 직진 경로 그 가까이에 놓여 있지 않는 조건에서 시험해야 한다.
- 철근 간섭을 허용하기 위한 초음파전달속도 시험 값의 보정의 경우는 다음과 같으며, 이에 대한 보정한다.
 - 철근이 초음파 경로와 평행으로 배근된 경우
 - 철근이 초음파 경로와 직각으로 배근된 경우

○ 접촉매질

- 탐촉자와 콘크리트면과의 접촉(밀착) 상태가 불량한 경우에는 측정치의 재현성은 없어지고, 그 신뢰도 확보가 곤란하다.

- 접촉매질로 인해 콘크리트의 특성이 연속성을 잃을 수 있으므로, 접촉매질의 층이 얇아져 최솟값이 얻어질 때까지 읽기를 반복한다.

2) 측정결과와 편차요인

- 콘크리트의 재료, 배합, 재령
 - 콘크리트의 재료, 배합, 재령 등에 따라 초음파전달속도는 다르므로 비파괴강도 추정 전에 반드시 이들 정보를 입수하여 검토한 결과를 반영하여야 한다.
- 측정 대상면의 상태
 - 콘크리트 표면에 모래입자, 먼지, 수분함유, 미세균열 등은 초음파전달속도에 영향을 미치므로 이를 고려한 시험이 필요하다.
- 측정기의 사용요령
- 탐촉자의 연결
- 초음파전달속도의 관계
- 비파괴강도 추정식의 이용

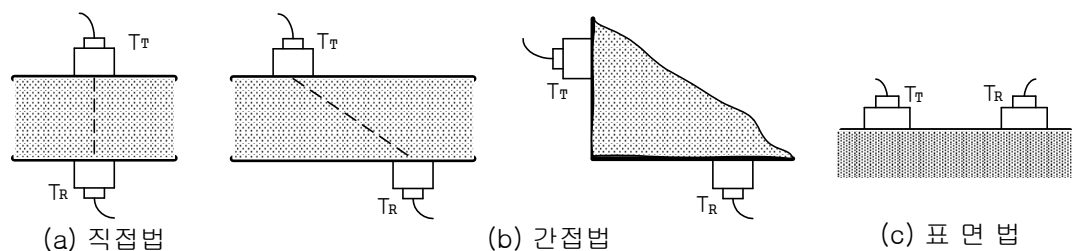
2.2.3 초음파전달속도시험

가. 탐촉자의 배치

본 시험의 정확도는 주로 투과 거리 측정의 정확도에 의해 좌우되며, 이 경우 탐촉자 간의 에너지 이동이 최대이기 때문에 비파괴강도 추정 시에는 [그림 10]에서 (a)의 직접법인 대향면의 배치방법을 원칙으로 한다.

다만 현장에서 탐촉자를 직접법으로 배치할 수 없는 경우 [그림 10]의 (b)와 (c)와 같은 간접법과 표면법으로의 측정은 그 신뢰성에 문제가 제기되고 있으나, 현장 조건에서는 표면법 적용의 경우가 많다.

이때 표면법의 탐촉자 간격은 100~150mm 간격으로 측정하는 것이 좋다.



[그림 10] 초음파 펄스 시험을 위한 탐촉자 배치 방법

나. 초음파전달속도의 산정

1) 직접법(Vd)

$$V_d = \frac{L}{T}$$

여기에서 V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도(m/s)

L : 투과 거리(m)

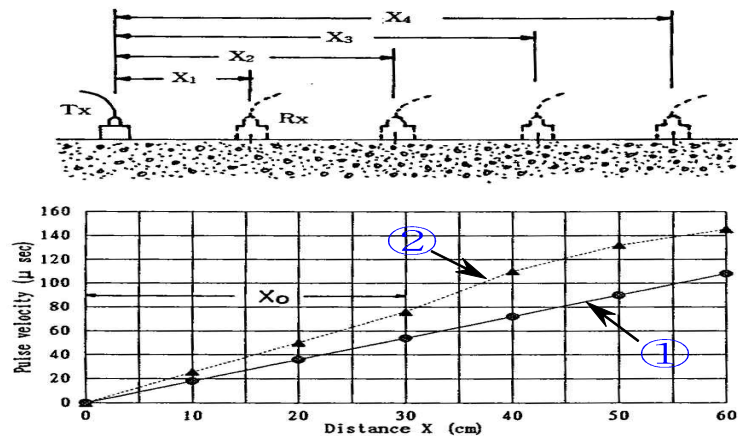
T : 유효 시간(s)

2) 표면법(Vi)

[그림 11]에서 ①의 경우로 각 거리 X_i 에 대한 전달시간 T_i 를 측정하여 X_i 와 T_i 의 관계를 그래프에 도시하여 나타나는 회귀직선식 $T = a + b \cdot S$ 의 상관계수에서 기울기의 함수를 초음파전달속도 V_i 를 결정한다.

$$\frac{dS}{dT} = \frac{1}{b} \quad (= V_i: \text{표면법 초음파전달속도})$$

[그림 11] ②의 경우인 콘크리트 내부의 구성 요소와 균열 및 결함 등에 의해 초음파 전달속도가 분산되면 경험적으로 3점 이상이 일직선으로 형성되는 구간의 회귀직선식에서 분석된 결정계수 r^2 값이 99% 이상이 되는 전달속도 V_i 를 결정한다.



[그림 11] 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정

2.2.4 콘크리트 비파괴강도 추정

가. 코어 표본을 이용한 초음파전달속도와 압축강도와의 상관관계

본 시험에 의한 콘크리트 비파괴강도를 도출하기 위해서는 구조체의 콘크리트에서 채취한 코어 표본을 이용하는 것이 유효하다.

- 절단과 습윤 처리된 코어 표본의 초음파전달속도는 구조물의 일부로 구성되어 있을 때보다 일반적으로 높게 나타나므로 코어 표본 채취 전에 초음파전달속도를 시험을 하는 것이 필요하다.
- 초음파전달속도시험 값과 코어 표본으로 구한 압축강도 시험 값을 플롯하고 전체 결과에 대한 선형회귀식을 최소 제곱법에 의해 해당 시설물의 콘크리트 비파괴강도 제안식을 도출한다.

$$F_c = k_1 V_d + C \text{ (Mpa)}$$

- 코어 표본의 압축강도 시험은 KS F 2422⁷⁾에 따른다.

나. 기존의 제안식을 이용한 콘크리트 비파괴강도 추정

초음파전달속도를 이용한 비파괴강도 추정은 코어 표본에 의한 초음파전달속도와 압축강도의 비파괴강도 제안식을 이용해야 한다.

다음은 국내에서 주로 이용되고 있는 제안식을 정리한 것으로 이외의 신뢰성 있는 제안식을 이용할 수 있으며, 제안식의 적용은 시험 방법 및 시험 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

[표 9] 기존의 비파괴강도 추정 제안식

연구자	추 정 식 (MPa)	비 고
일본건축학회식	$F_c = (215V_d - 620) \times 0.098$	V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도(km/s)
일본재료학회식	$F_c = (102V_d - 117) \times 0.098$	
J.Pysziak의 제안식	$F_c = (92.5V_d^2 - 508V_d + 782) \times 0.098$	
谷川의 제안식	$F_c = (172.5V_d - 499.6) \times 0.098$	

다. 초음파전달속도의 관계

초음파전달속도는 재료의 종류, 배합, 함수율 등 여러 가지의 원인으로 변동을 나타내고 있으며, 현장 콘크리트의 초음파전달속도 관계는 $V_d \approx 1.05 \sim 1.15 V_i$ 의 사이에 있다고 경험적으로 보고되고 있으며, PUNDIT 사용 설명서에서는 정량적인 콘크리트에서는 $V_d \approx 1.05 V_i$ 의 근사적인 관계로 나타내고 있다고 하였다.

7) KS F 2422 : 콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도시험 방법

보다 정확한 직접법(V_d)과 표면법(V_s)의 초음파전달속도의 관계를 파악하기 위해서는 표면법 측정을 수행한 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법)속도를 측정하여 상관관계에 의해 환산하여 이용하는 방법이 바람직하다.

라. 비파괴강도 보정계수

선정된 비파괴강도 제안식에 아래와 같이 보정계수를 산출한 후, 보정계수를 제안식에 곱하여 대상 시설물의 콘크리트 비파괴강도를 추정한다.

$$\text{보정계수 } C_t = \left(\sum_{i=1}^k \frac{R_{pr}}{R_{st}} \right) / k$$

여기서, R_{pr} : 코어 압축강도(MPa)

R_{st} : 초음파전달속도시험에 의해 추정된 비파괴강도(MPa)

2.2.5 시험 보고서

보고서는 초음파전달속도시험이 관련 근거에서 권장하는 사항에 따라 시험되었다는 것을 명확히 하고, 시험조건 및 피시험체와 관련된 정보를 제공할 수 있도록 하여야 하며, 다음 사항을 기록한다.

- 시험 일자, 시간
- 구조물에서 시험 영역의 위치
- 시험 대상 구조물 또는 표본에 대한 설명
- 콘크리트의 설계 조건
- 초음파전달 경로와 탐촉자 위치에 대한 스케치
 - 시험 부위 근처의 철근 또는 덕트의 세부 사항 포함
- 시험 위치의 표면상태
- 마무리 정도, 균열, 박리, 화해 유무 등
- 시험시의 온도 및 콘크리트의 재령
- 콘크리트 내부의 함수 상태
 - 습윤 상태, 표면건조상태, 기건 상태 등
- 장치의 종류, 신뢰도, 주파수 및 주요 특징
- 투과거리, 시험방법 및 결과의 정확도
- 초음파전달속도의 시험 값
- 철근 간섭으로 보정된 초음파전달속도 값

2.3 콘크리트 코어시험⁸⁾

2.3.1 일반

가. 일반

채취한 코어의 시험은 콘크리트 상태평가에 대한 가장 신뢰할 수 있는 시험 방법이나, 콘크리트 구조물에서 코어를 광범위하게 채취하지 못하는 현장여건의 어려움으로 대표적인 부분에 대해서 코어를 채취하고 광범위하게 실시한 비파괴시험 결과의 모체로서 콘크리트 강도 및 내구성 평가에 이용되고 있다.

현장에서 채취한 코어로부터 압축강도를 추정하는 방법은 국부파괴시험으로 비파괴 시험과는 구별되지만, 구조물의 실제 강도를 추정한다는 관점에서 비파괴적인 방법과 함께 실시한다. 그러나 내하 콘크리트 구조물에 있어 휨 부재에 대한 적용은 제한적이며, 구조물에 한정적으로만 적용이 가능하다는 단점이 있다.

코어채취의 기본적인 제약점들은 소요비용, 채취의 불편함, 콘크리트 구조물의 국부 파손 등의 특징이 있다.

나. 적용 범위

채취된 코어의 활용 목적은 다음과 같다.

- ① 대상 콘크리트의 관련 제반 정보 수집
- ② 코어강도와 각 비파괴시험법에 따른 비파괴강도 추정식의 신뢰성 확보를 위한 보정
- ③ 내부철근의 피복과 직경 측정 결과의 확인
- ④ 철근부식 상태 측정 결과의 확인
- ⑤ 발생 균열깊이의 측정 결과의 검증 및 보수상태 확인
- ⑥ 물리성 조사 : 탄산화깊이, 염화물침투량, 알칼리 골재 반응시험 등

다. 코어비트

보통 코어비트의 유효 천공지름으로는 $\phi 10 \sim 400\text{mm}$ 정도이며, 천공지름은 일반적으로는 내경을 나타내고 있어 코어채취 시에 코어비트의 두께 등을 고려하여야 한다.

1) 습식 코어비트

일반적으로 사용하는 코어드릴의 비트는 다이아몬드를 절삭재로 사용하여 박아 만든 보링용 비트로 절단 작업 중 코어드릴에 냉각수를 공급하면서 천공 하는 습식을 주로 이용하고 있다.

코어채취 시 필요한 냉각수의 양과 필요 천공속도를 파악하여야 한다.

8) ◦ KS F 2422:2002 콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도 시험 방법
◦ KS F 2405:2005 콘크리트의 압축강도 시험 방법
◦ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

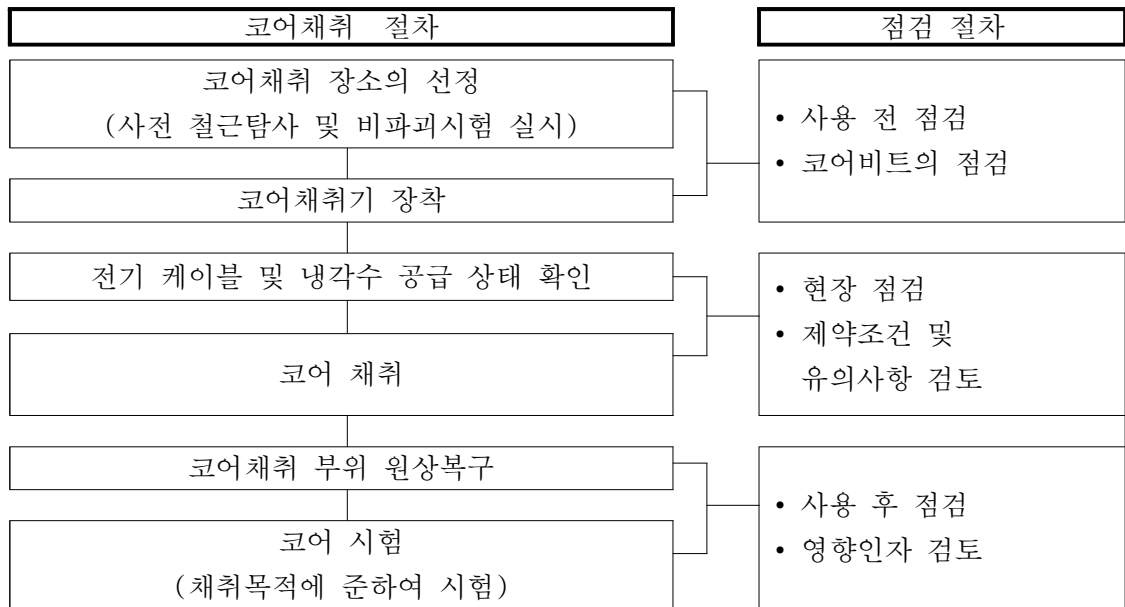
2) 건식 코어비트

코어를 채취하는 과정에서 콘크리트 중 일부 성분의 유출을 방지 할 목적으로 천공하는 건식은 내열성의 코어비트를 사용한다.

2.3.2 코어채취

가. 채취기의 활용을 위한 제약조건 검토

- 코어채취 대상구조물의 제약조건과 종류, 채취범위 등을 파악하여 결과의 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 열화 손상이 심한 장소에서 코어를 채취할 경우에는 인접하여 비교적 양호한 장소에서도 코어를 채취하여 상호 비교하는 것이 바람직하다.
- 코어채취 과정에서 구조물 및 코어 공시체가 손상이 되지 않도록 하여야 하며, 채취된 코어의 강도시험 방법은 KS F 2422 규격에 준한다.



[그림 12] 코어채취 방법 및 기기 점검 등의 절차

나. 코어채취의 유의사항

1) 코어채취 장소의 선정

① 코어채취 방향

- 코어채취 방향, 위치 및 수분공급의 유무 등에 의해 콘크리트의 품질이나 열화 정도가 다르기 때문에 조사목적에 맞는 채취 방향과 위치를 정하여야 한다.

② 코어채취장소의 선정

- 코어채취에 앞서 다음 사항에 대한 사전조사가 반드시 필요하다
 - 철근이나 배관·배선 등의 유무나 위치의 확인

- 예정되어 있는 채취 장소의 작업환경에 대한 검토
- 작업에 따르는 소음과 냉각수(배수·먼지 등)가 주변에 끼치는 영향

2) 대상 시설물에 따른 코어 채취 장소

- 대들보나, 슬래브에서는 주철근을 절단하는 경우가 없도록 유의하여야 한다.
- 코어를 완전 추출 또는 중간 추출할 것인지 등의 판단이 필요하다.
- 코어를 추출한 장소에 대해서는 신속히 보수하여야 한다.

3) 채취 코어의 직경 결정

- 강도평가의 경우 코어 공시체의 지름은 일반적으로 굵은 골재 치수의 3배 이상으로 하고, 어떤 경우에도 2배 이하로 되어서는 안 된다.
- 조사 목적에 따라 콘크리트 중 일부 성분의 유출이 방지되도록 건식 코어비트의 사용이 필요하다.

4) 코어의 보관

- 코어 추출 즉시 코어에 부착되고 있는 가루 및 먼지 등을 씻어 내고, 철근이나 균열 등의 유무를 확인하고, 사진촬영 한다.
- 세척된 코어 표면의 변색깊이나 탄산화 깊이 등을 조사해 둔다.
- 세척과 확인 및 사진촬영이 끝나면 즉시 습기 찬 형겅 등으로 코어를 감싼 후 두꺼운 비닐봉투에 수납하여 시험을 하는 장소로 발송한다.

5) 강도시험용 코어의 조건

- 채취한 코어는 거의 완전한 원기둥 모양의 공시체를 채취할 수 있어야 한다.
- 코어 공시체에 재료분리, 공극의 과다 및 코어의 단면 전체에 굵은 골재가 포함될 경우 등은 강도시험용 공시체로서는 부적절하다.
- 코어의 표층으로부터 1cm 정도의 부분은 공시체로서 사용하지 않는 것이 좋다.
- 시험 중에 코어가 파손될 경우가 있기 때문에 예비 코어 공시체가 있는 것이 바람직하다.
- 채취된 코어는 채취 후 3~4일 이내에 시험을 하는 것이 바람직하다.

2.3.3 코어강도에 미치는 영향인자

가. 코어의 보존

- 코어의 수분함유에 있어서 포화건조상태는 공기 중 건조 상태에 비해 10~15% 정도의 적은 값을 나타내므로 채취된 코어와 현장 콘크리트의 수분 상태를 고려하여 시험하는 것이 중요하다.

나. 높이/직경비의 영향

- 코어 공시체의 높이/직경비(h/d)가 적어질수록 겉보기 압축강도는 커진다.
- 공시체 높이가 직경의 2배보다 작을 경우에는 보정계수를 곱하여 공시체의 높

이가 직경의 2배가되는 코어 공시체의 압축강도로 환산하여야 한다.

다. 매입 철근의 영향

- 코어를 가로지르는 철근은 강도시험 결과 5~10% 정도가 감소된다.
- 코어 축에 수직으로 철근이 존재한다면 압축강도는 보정을 하며, 보정 값이 10%를 초과하는 코어강도는 제외한다.

라. 드릴링의 영향

- 절단토크와 코어강도의 관계는 절단토크에 반비례해서 코어강도가 감소한다.
- 드릴링에서 토크(Torque)의 세기가 크면 클수록, 드릴링 속도가 빠르면 코어 강도는 저하한다.

마. 코어채취 위치와 방향의 영향

- 일반적으로 콘크리트 채취방향이 콘크리트 타설 방향과 직각인 경우(보통 수평방향 채취)는 평행인 경우에 비하여 약 8% 강도 저하가 발생하는 것으로 보고되고 있어 이를 고려할 필요가 있다.

바. 코어 직경의 영향

- KS F 2405에서 사용되는 콘크리트강도 시험용 표준공시체는 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 사용
- 공시체의 형상이 얇은꼴이면 공시체의 치수가 작을수록 압축강도는 크게 나타나는 경향이 있으므로 설계기준에서는 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 공시체로 시험한 압축강도의 97%를 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 공시체 강도로 환산하도록 규정하고 있다.

2.3.4 시험 보고서

보고서는 코어채취 및 강도시험 등의 관련 근거에서 권장하는 사항에 따라 시험되었다는 것을 명확히 하고, 시험조건 및 피시험체와 관련된 정보를 제공할 수 있도록 하여야 하며, 다음 사항을 기록한다.

- 코어의 번호
- 코어의 채취 위치
- 코어의 채취방법
- 재령 : 채취 시의 재령 및 시험 시의 재령, 또는 그 어느 것으로 한다.
- 코어의 평균 지름(mm), 평균 높이(mm) 및 보정계수
- 최대 시험하중(N)
- 코어 압축강도(MPa)

2.4 철근탐사시험⁹⁾

2.4.1 일반

가. 일반

철근콘크리트의 철근량은 구조물 안전성 평가 결과에 영향을 크게 미치는 인자이므로 대상 구조물의 정확한 철근 정보를 파악하는 것은 매우 중요하다.

철근탐사장비의 사용법에 있어서는 제작사의 매뉴얼에 의하여 비교적 쉽게 사용 가능하지만 탐사 결과의 판독에 있어서는 각 장비마다 제공하는 탐사 가능 범위 및 오차가 실제와는 다른 경우가 많고, 분석 방법에 따라 또는 판독자에 따라 많은 오차 가능성을 포함하고 있다.

현재 사용되고 있는 철근탐사 방식은 보편적으로 전자기유도(자기감응) 방식과 전자파레이더 방식 등이 있다.

나. 적용 범위

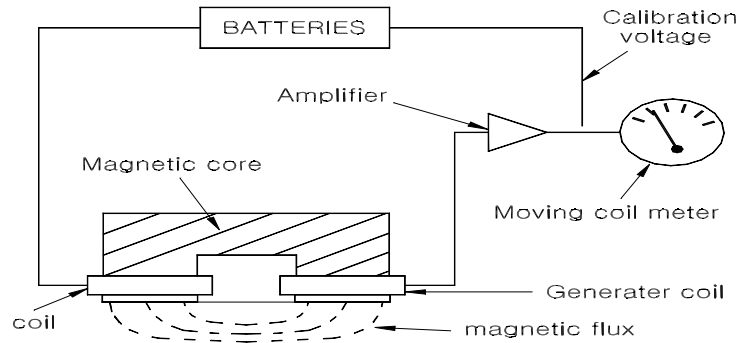
전자기유도 및 전자파레이더 방식에 의한 철근탐사 장비를 사용하여 철근 콘크리트 구조물에 배근된 철근의 위치, 지름, 콘크리트 피복 두께의 탐사에 적용한다.

- ① 철근의 위치, 지름, 콘크리트 피복 두께는 철근 콘크리트 구조물의 내력을 평가하는 데 이용할 수 있다.
- ② 콘크리트 강도, 품질 및 내구성 조사에 앞서 철근의 위치를 탐사하는 예비시험 방법으로 적용할 수 있다.
- ③ 탐사한 철근 위치, 지름, 그리고 콘크리트 피복 두께는 콘크리트 타설 후의 각 부재 배근의 적절성 여부를 판단하는 근거로 활용할 수 있다.

다. 전자기유도 방식

전자기유도 방식을 이용한 장비는 기본적으로 평행 공진(共振)회로의 전압진폭 감소에 기초를 두고 있으며, Probe나 Scanner에서 만들어진 코일에 전류를 흘려 교류자장을 만들어 내고, 코일 전압의 변화는 자장내 자성체의 특성 및 거리에 의해 변하기 때문에 콘크리트 내부에 철근의 위치 및 직경 등을 구하는 방법으로 이용되고 있다.

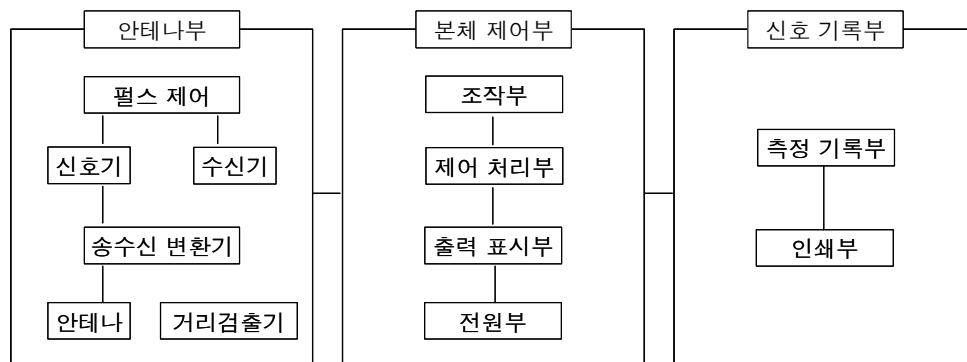
9) ◦ KS F 2734:2004 전자기유도법에 의한 철근 탐사 시험 방법
◦ KS F 2735:2004 전자파레이더법에 의한 철근탐사 시험 방법
◦ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
◦ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)



[그림 13] 전자기유도 방식에 의한 철근탐사장비의 구성

라. 전자파레이더 방식

해당 물체 내의 송신된 전자파가 전기적 특성(유전율 및 전도율)이 다른 물질(철근, 매설물, 공동 등)의 경계에서 반사파를 일으키는 성질을 이용해 콘크리트 표면으로부터 내부를 향해 전자파를 안테나로부터 방사하여 목표물에서 반사해 온 신호를 안테나로 수신한 후 콘크리트 내부의 상태를 수직 단면도로 본체 표시기에 나타내어 준다.

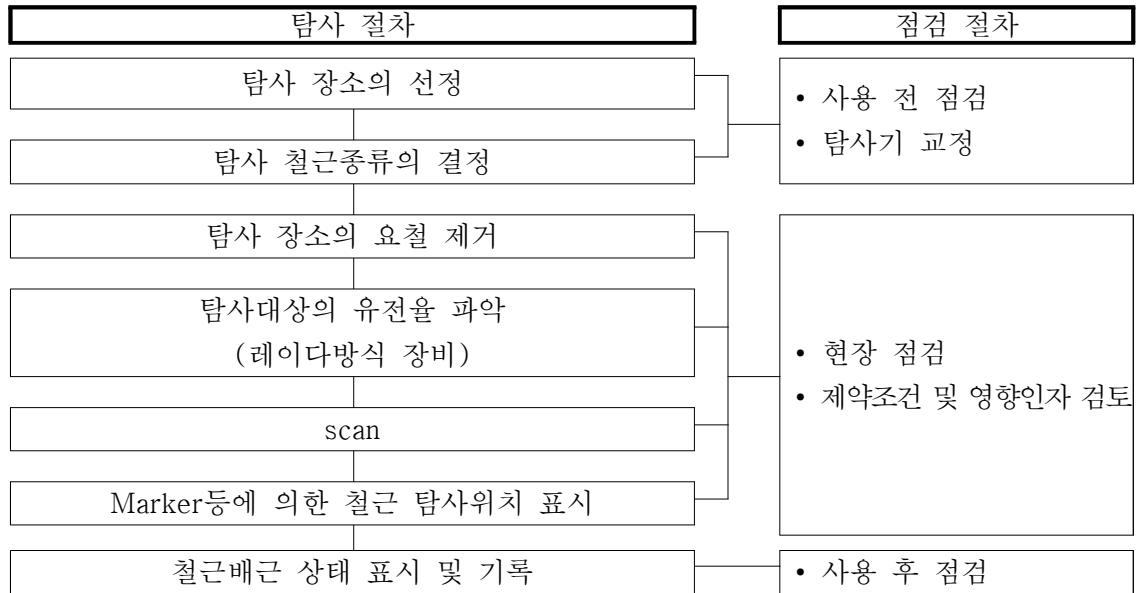


[그림 14] 전자파 레이더법에 의한 철근탐사장비의 장치 구성도

2.4.2 시험 등의 절차

가. 철근탐사시험을 위한 제약조건 검토

- 콘크리트 중의 각종 영향인자에 따라 철근탐사 결과가 다르게 나타나므로 이들 인자에 관한 정보를 입수하여 이를 반영시켜야 한다.
- 탐사 대상구조물의 제약조건과 종류, 탐사범위 등을 파악하여 탐사 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 탐사 장소의 이동 시 마다 전자파레이더 방식 장비는 탐사 대상 체의 유전율을 최소한의 드릴링에 의한 실측 피복두께를 파악하여 이를 고려한 교정을 실시하여야 한다.
- 철근탐사시험 방법에 대한 절차는 KS F 2734 및 KS F 2735의 규정에 준한다.



[그림 15] 철근탐사 및 장비 점검 등의 절차

나. 철근탐사장비별 시험 정밀도를 위한 제약조건

철근탐사장비의 특성에 따라 탐사 및 결과 처리방법이 상이하므로 이의 시험정밀도를 높일 수 있도록 다음의 사항을 검토하여 시험하여야 한다.

또한, 탐사방식에 따른 환경과 영향인자 등을 고려하여 시험하여야 한다.

- 탐사조건 및 적용한계
- 활용에서의 주의사항
- 활용 제고를 위한 조건

2.4.3 시험 보고서

보고서에는 탐사방식에 따른 시험의 관련 근거에서 권장하는 사항에 따라 시험되었음을 명확히 하고, 시험조건 및 피시험체와 관련된 정보를 제공 할 수 있도록 기록하여야 한다.

가. 전자기유도 방식

- 날짜, 시간, 측정 장소, 기온, 습도
- 시험 대상 구조물이나 부재에 대한 상세
- 시험 부위의 콘크리트 상세
- 시험 위치
- 사용한 철근탐사 시험기의 유형과 검 · 교정한 날짜
- 보정 법에 대한 상세
- 철근의 지름, 위치 그리고 콘크리트 피복 두께에 대한 시험 값

- 정밀도
- 시험한 철근의 배근상태에 대한 그림
- 참고 문헌

나. 전자파레이더 방식

- 날짜, 시간, 시험 장소, 기온, 습도
- 시험 대상 구조물에 대한 설명이나 탐사 시의 현장 조건
- 시험 위치
- 시험 한계 (잡음의 원인, 장애물 등등)
- 시험 값과 필터, 안테나 주파수 등의 매개변수의 표시
- 시험 대상 면에서의 안테나 횡단 위치, 작동 방향 및 방위
- 피복두께와 철근의 지름에 대한 실측값과 보정한 값
- 정밀도
- 시험한 철근의 배근상태에 대한 그림
- 참고 문헌

2.5 철근부식도시험¹⁰⁾

2.5.1 일반

가. 일반

철근콘크리트에 매입되어 있는 철근부식은 전기화학적 반응에 의거하여 진행하므로 철근부식시험은 전기화학적 방법을 적용한다. 정상적인 콘크리트는 강알칼리성으로 철근은 부동태로 전위는 $-100 \sim -200\text{mV}(\text{CSE})$ 를 나타내지만, 염화물의 침투와 탄산화(중성화)로 철근이 활성상태로 되어 부식이 진행하면 전위는 부(-)방향으로 진행한다.

철근의 전위는 철근부식 장소의 검출과 상태를 파악하는데 효과적이거나, 현장 구조물에서 철근부식은 위치와 진행 속도 등 불균일하게 발생하기 쉬워 현장시험 상의 제약으로 시험방법과 결과의 분석에서 여러 가지의 곤란한 문제가 따른다는 것을 유의해야 한다.

나. 적용 범위

본 「세부지침」에서는 철근부식시험과 관련하여 시험기구 및 시험방법 등의 비교에서 사용 빈도가 높은 자연전위법을 대상으로 기술한다.

[표 10] 철근의 부식진단에 관한 전기화학적 비파괴시험 방법

시험 종류	측정 내용	적용성		부식의 유무
		실험실	현장	
자연전위법	자연전위 측정으로 철근 부식 상태 판정	높다	높다	정성적
표면전위차법	전위 기울기의 측정으로 철근 부식 상태 판정	높다	높다	정성적
분극저항법	미소 직류의 인가로 분극저항 측정으로 철근부식 속도 측정	높다	중간	정량적

자연전위법은 조사시점에서 부식 가능성을 진단하는 것으로 구조물 내에서 철근부식 가능성이 높은 장소를 찾아내며, 공용 중에 내부철근이 부식되고 이로 인해 콘크리트에 균열이 발생할 때까지 철근이 부식하는 초기 단계를 파악하는 것에 유효하다.

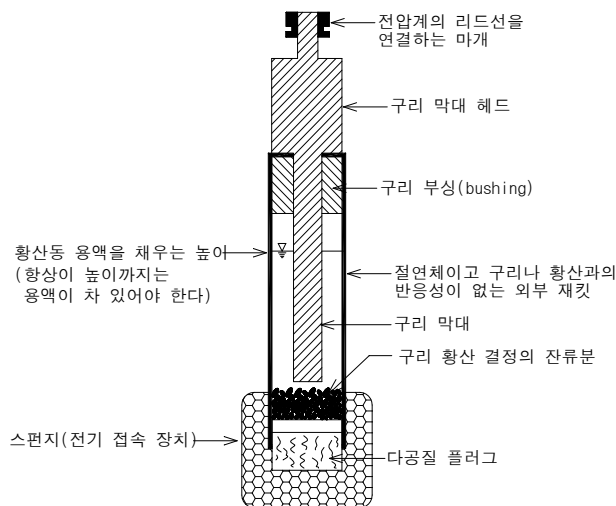
- 자연전위법은 조사시점에서의 철근의 부식 가능성에 대해서 진단하는 것이며, 철근의 부식속도를 측정하는 것이 아니다.
- 보다 정확한 철근부식의 진단을 실시하기 위해서는 다음의 시험결과를 종합하여 철근의 부식 정도를 판정하는 것이 바람직하다.
 - 철근의 피복두께

10) ○ KS F 2712:2002 콘크리트 내부 철근의 반전지 전위 시험 방법
 ○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
 ○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

- 콘크리트 중의 염화물침투량
- 콘크리트의 탄산화(중성화) 깊이
- 콘크리트의 저항률 측정
- 콘크리트 구조물의 균열 상황 등의 관찰

다. 반전지

동-황산동 반전지는 동이나 황산동과 반응하지 않는 절연체로 된 딱딱한 튜브 또는 용기, 모세관 현상에 의해 습윤 상태로 유지되는 다공질의 나무 또는 플라스틱 플러그 그리고 포화 황산동 용액이 담겨 있는 튜브 속에 침지된 구리 막대로 구성된다.

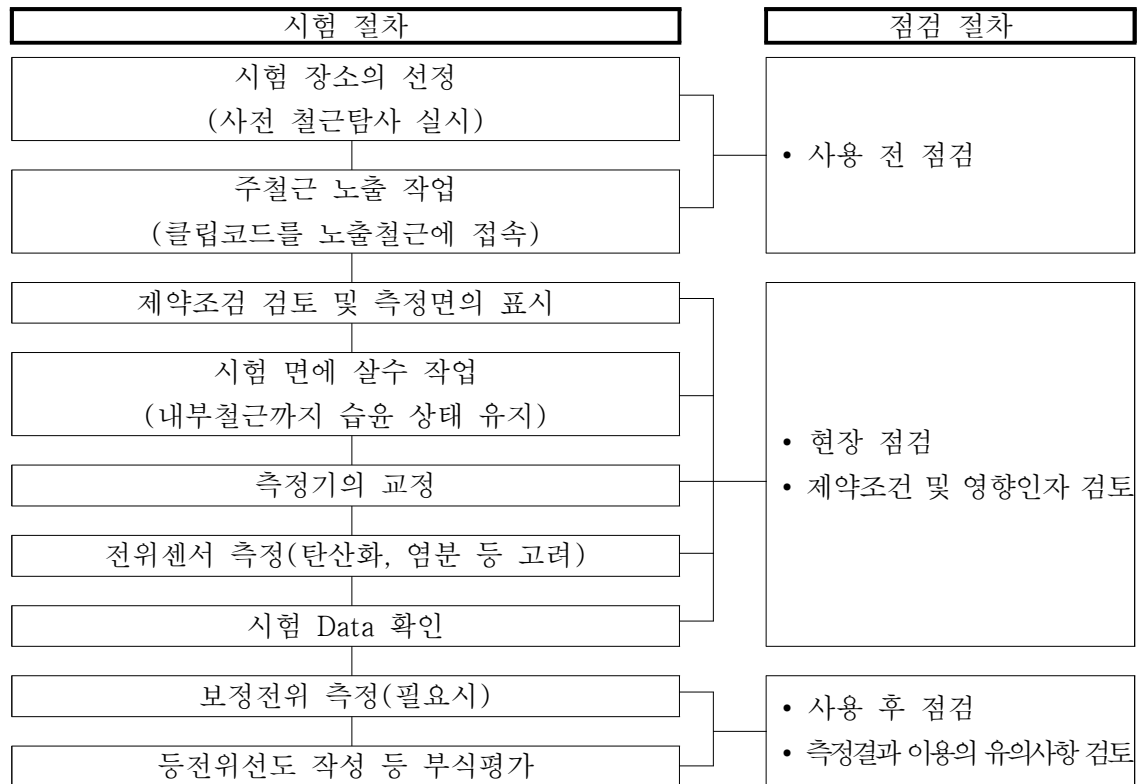


[그림 16] 동-황산동 반전지의 단면

2.5.2 시험 등의 절차

가. 철근부식 측정 장비의 활용을 위한 제약조건 검토

- 시험 대상구조물의 제약조건과 종류, 측정범위 등을 파악하여 시험 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 콘크리트 중의 각종 영향인자에 따라 측정결과가 다르게 나타나므로 이들 인자에 관한 정보를 입수하여 이를 반영시켜야 하며, 시험 대상은 시험정밀도의 저하 혹은 시험 불가능한 조건이 아닌 범위에 있어서는 자연전위의 측정이 가능하다.
- 현장시험 및 결과분석에 대한 절차는 KS F 2712의 규정에 준한다.



[그림 17] 철근부식도시험 및 측정기 점검 등의 절차

나. 시험 정밀도를 위한 제약 조건

1) 시험 정밀도

- 동일 반전지로 동일 위치에서 반전지를 연결했을 때와 끊었을 때의 반전지 전위 측정값의 차이가 10mV를 넘어서는 안 된다.
- 두 개의 서로 다른 반전지로 동일 위치에서 측정했을 때 측정값의 차이가 20 mV를 넘어서는 안 된다.
- 자연전위는 1mV의 단위까지 측정한다.

2) 자연전위법을 적용할 수 없는 경우

- 콘크리트 표면이 대단히 건조해 전기적으로 절연체에 가까울 경우
- 콘크리트 표면에 도장 등의 절연재료가 피복되어 있는 경우
- 콘크리트 표면이 물에 잠겨 있는 경우
- 내부철근이 에폭시 수지도장, 아연도금 등의 표면 코팅되어 있는 경우

3) 전위센서의 선정

- 막대형 전극 : 임의의 점을 개별적으로 측정
- 회전형 전극 : 한 번에 연속해서 동일한 간격의 점을 복수 측정

4) 대상지점의 고려 사항

- 콘크리트 표면상태 : 동결, 습윤 상태, 표면도장 여부 등
- 내부의 강재상태 : 강재표면에 절연재료의 피복 여부 등

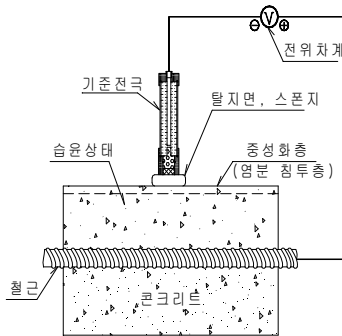
다. 측정간격의 선정

1) 통형 기준전극을 사용할 경우의 측정

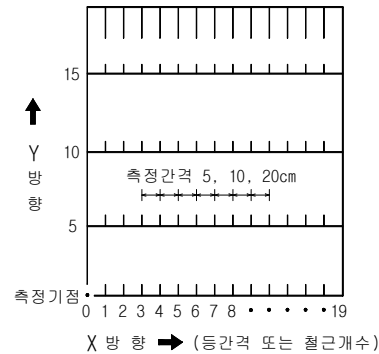
- [그림 18]에서 탈지면 등에 물을 적시고 충분히 짜내서 철근 바로 위 콘크리트 표면의 격자 상에서 한 점씩 측정하여 기록한다.

2) 회전식(휠) 기준전극을 사용할 경우의 측정

- 회전식 기준전극의 둘레에 고흡수성 스펀지를 장착한 회전식 기준 전극이 [그림 19]와 같이 선상이나 격자 상으로 측정한다.



[그림 18] 자연전위의 측정방법



[그림 19] 측정범위의 표시

라. 철근부식도시험 조건

1) 대상지점의 내부철근과의 통전 시험

- 시험 대상으로 하는 철근의 모두가 전기적으로 서로 연속하고 있는지를 통전 시험 등을 통하여 파악하여야 한다.

2) 시험 면과 내부철근 사이의 습윤 유지

- 콘크리트 표면에 살포되는 물이 콘크리트에 충분히 침투되어 있는 것을 확인한 후에 자연전위 측정을 실시하여야 한다.
- 측정 중에 콘크리트 표면이 충분한 습윤 상태에 있는지를 확인하여 그러하지 않을 경우에는 다시 콘크리트 표면을 습윤 시킬 필요가 있다.

3) 대상 콘크리트의 품질상태 보정

- 시험결과와 정밀도는 콘크리트의 품질(함수상태, 탄산화 정도, 염분함유량 등), 온도, 대조전극의 종류 등에 의해서 영향을 받으므로 이의 조건 등을 파악하여 기록하며, 측정결과와 보정에 이용하여야 한다.
- 철근까지 탄산화가 진행된 경우에서의 전위 해석은 반드시 충분한 전문지식을 가진 부식 기술자나 전문가에 의해 분석이 이루어져야 한다.

4) 대상 콘크리트 표면과 내부의 전위차 보정

- 자연전위의 측정은 피복 콘크리트의 품질에 따라서 큰 액간전위차나 전압강하 등의 오차를 포함하여 측정되는 오차를 보정하기 위해서 보정 전위 측정이 필요하다.
- 보정전위는 표면전위와 내부전위와의 실측값 전위차이다.

2.5.3 철근부식 판정

철근부식 유무의 판정은 KS F 2712에서 제시하고 있는 기준을 참고하여 다음 표와 같이 판정한다. 한편, 측정 장비의 제조사에서 제시하는 판정기준을 적용할 경우 그 기준을 기술하여야 한다.

[표 11] 철근부식 유무의 판정기준 (자연전위 : CSE 기준)

부식 등급	KS F 2712 규격	
	자연전위 E (mV)	부식 확률 P(%)
I	$E > -200$	90% 이상의 확률로 부식 없음
II	$-200 \geq E > -350$	불명확
III	$-350 \geq E$	90% 이상의 확률로 부식 있음

2.5.4 시험 보고서

시험 보고서는 다음 사항을 기록한다.

- 반전지의 종류(동-황산동 반전지 외에 다른 전지를 사용한 경우)
- 측정시 반전지의 평균 온도 예측값
- 콘크리트 표면의 사전 침윤 방법과 철근과의 접촉 방법
- 철근의 접촉 위치를 나타내는
 - 등전위도
 - 누적 도수 분포도
 - 또는 상기 두 가지 모두
- -350mV보다 (음의 방향으로) 낮은 전위 값의 백분율
- -200mV보다 (음의 방향으로) 낮은 전위 값의 백분율

2.6 콘크리트 탄산화 깊이 측정¹¹⁾

2.6.1 일반

가. 일반

본 「세부지침」에서는 콘크리트 내에 매입된 철근을 부식시킬 수 있는 탄산화의 영향을 파악하기 위하여 페놀프탈레인 용액의 분무에 의한 탄산화 깊이를 측정하는데 목적이 있다.

나. 적용 범위

이 측정 방법은 실험실 또는 현장에서 제작하여 옥내 또는 옥외 등에 보존된 콘크리트 및 모르타르 공시체, 콘크리트 구조물 또는 콘크리트 제품에서 채취된 코어 공시체, 사용 중인 콘크리트 구조물에서 채취한 시료 등에 적용할 수 있다.

다. 시료 채취 시 주의사항

- 측면을 측정 면으로 하는 경우에는 코어 공시체가 채취 후 부착된 찌꺼기를 물로 씻어 제거하여야 한다.
- 물을 뿌리지 않는 경우에는 절단면이 과도하게 고온이 되지 않도록 주의하고 산성수의 유무에 관계없이 콘크리트 가루나 찌꺼기가 절단면에 부착되어 있으면 정확도가 낮아지는 경우가 있으므로 주의가 필요하다.
- 콘크리트를 깎아내기 전에 깎아낼 면의 주위에 콘크리트 커터로 홈을 내 놓으면 측정이 쉬워지며, 측정 면이 젖어 있는 경우에는 측정 면을 건조시킨다.
- 측정 면을 공기 중에 장시간 방치해두면 측정 면이 탄산화하여 정확한 탄산화 깊이를 측정할 수 없게 되므로 유의해야 한다.

라. 측정 장치

- 페놀프탈레인 1% 용액 분무에 의한 탄산화 깊이를 측정할 경우 필요한 측정 장치
 - 공시체의 쪼갬 시험이 가능한 압축 시험기, 휨 시험기, 만능 시험기, 해머 등
 - 공시체를 절단할 수 있는 콘크리트 커터 등
 - 콘크리트 구조물을 깎아낼 수 있는 정, 드릴, 콘크리트 커터 등
 - 측정 면에 콘크리트의 작은 조각이나 가루를 제거할 수 있는 솔, 전기청소기 등
 - 건조기
 - 분무기

11) ○ KS F 2596:2004 콘크리트 탄산화 깊이 측정 방법

○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

- 버니어캘리퍼스, 눈금자 등
 - 정규 눈금 0.5mm까지 읽을 수 있는 것으로 준비하고 콘크리트 구조물에서 시료를 채취한 경우에는 1mm 눈금이 부착된 것도 사용 가능하다.
- 시약
 - KS M 8238에서 규정한 페놀프탈레인 용액 또는 이와 같은 성능을 갖는 시약을 이용한다.
 - 지시약으로 사용되는 페놀프탈레인 용액은 95% 에탄올 90ml에 페놀프탈레인 분말 1g을 녹여 물에 첨가하여 100ml로 하며, 다만 공시체가 매우 건조한 경우에는 95% 에탄올의 양을 70ml로 하여 첨가하는 물의 양을 증가시킬 수 있다.

2.6.2 시험방법

가. 일부 떼어내기에 의한 방법

- 일부 떼어내기에 의한 경우는 철근 부식상태의 확인을 동시에 하는 경우가 많으며, 철근위치를 파악한 후 떼어내기 할 위치를 결정하는 경우가 많다.
- 떼어내기 방법으로는 손각읍, 전동픽, 에어픽 등이 있으며, 이 순서대로 작업효율이 좋으며, 대상 개소, 부위, 노면 아래조건, 주위환경 등에 의한 방법을 적절히 선택한 후 분진의 비산방지책을 검토해야 한다.
- 떼어내기 종료 후 콘크리트 면에 가루가 부착된 상태라면, 측정에 지장이 있으므로 완전히 제거하여야 한다.

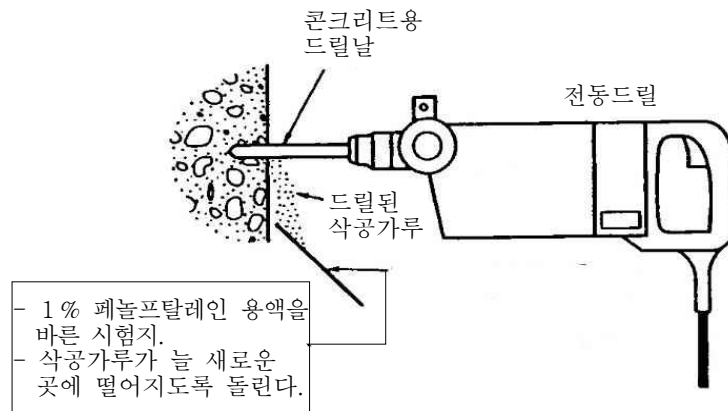
나. 코어 공시체를 이용하는 경우

- 압축강도시험과 병용하는 경우에는 원칙적으로 KS F 2422 「콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도시험방법」에 따르며, 철근배치 등 구조물의 실정과 사용 골재치수에 따라 조정한다.
- 코어는 구조물 어디에서 채취한 것인지 정보를 기입하며, 시험하기까지의 양생에 관해서는 코어면을 충분히 세척하여 수건 등으로 닦은 후 비닐자루에 밀봉하여 저장하는 것이 바람직하다.
- 코어공시체는 강도시험기 등으로 쪼갬 후 쪼갬 면을 측정대상으로 하는 것이 적절하다.
- 코어측면을 대상으로 하는 것은 코어비트 마찰에 의한 조성변화, 커팅시 수분에 의한 영향 등이 발생하므로 가능하면 피해야 한다.

다. 드릴을 이용하는 경우

- $\phi 10\text{mm}$ 의 드릴링에 의해 채취되는 콘크리트 가루를 이용하여 탄산화 깊이를 시험하는 방법으로 (사)일본비파괴검사협회에 의해 NDIS 3419 「드릴 삭공분을 이용한 콘크리트 구조물의 중성화시험(1999)」으로 제정되어 있다.

- 이 방법에서는 드릴링에 의해 발생하는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인 용액을 적신 원형 시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화 깊이로 정하고 있다.



[그림 20] 드릴에 의한 탄산화깊이 측정

2.6.3 탄산화 깊이 측정

- 측정면의 처리가 종료된 후 바로 측정 면에 시약을 분무기로 액체가 흘러 떨어지지 않을 정도로 분무한다.
- 콘크리트가 건조하여 적자색으로 변색된 부분이 선명하지 않은 경우에는 시약을 분무한 측정 면에 소량의 물을 분무하거나 시약을 재차 분무하여 변색이 선명해지고 난 뒤 측정하고 콘크리트 표면으로부터 적자색으로 변색한 부분까지의 거리를 0.5mm 단위로 측정한다.
- 측정 위치에 굽은 골재 입자가 있는 경우나 있었던 경우에는 입자 또는 입자가 빠져 패인 부분의 양단의 탄산화 위치를 연결하여 직선상에서 측정한다.
- 연한 적자색 부분이 나타나는 경우에는 선명한 적자색 단면까지의 거리를 탄산화 깊이로 측정함과 동시에 연한 적자색 부분까지의 거리도 함께 측정한다.
- 공시체의 쪼갬 면이나 절단면을 측정 면으로 하는 경우에는 탄산화의 상황에 따라 10~15mm 간격마다 1곳, 코어 공시체의 측면을 측정 면으로 하는 경우에는 5곳 이상으로 하는 것이 바람직하다.
- 탄산화 된 부분의 면적을 측정하면 보다 정확하게 평균 탄산화 깊이를 산출할 수 있으며, 콘크리트 구조물을 깎아낸 면에서 측정하는 경우에는 깎아낸 면의 크기에 따라 4~8곳 정도로 시험한다.
- 평균 탄산화 깊이는 측정값의 합계를 측정 개소수로 나누어 구하고 반올림하여 소수점 이하 한 자리까지 구한다.

[표 12] 페놀프탈레인 분무 시기와 측정 시기

측 정 면	청소방법 전 처리법	시약의 분무시기	탄산화깊이 측정시기 (분무 후의 경과시간)
<ul style="list-style-type: none"> • 현장 깎아낸 면 • 코어 할렬면 	blow 뿜기	직후	직후
		3~6시간 직후	1~10분 후
		1~7일 후	1분~2일 후
	blow 뿜기 후 물축임	직후~1일 후	직후
		2~4일 후	직후~2일 후
		5~7일 후	직후
<ul style="list-style-type: none"> • 임의 추출 코어 표면 • 콘크리트 커터 절단면 	물 씻기 후 표면 건조	1일 후	10분~2일 후
<ul style="list-style-type: none"> • 수중 양생 후의 할렬면 	blow 뿜기	직후~1일 후	직후
<ul style="list-style-type: none"> • 수중 양생 후 콘크리트 커터 절단면 	물 씻기 후 표면건조, 분무 전 물축임	1일 후	10분~2일 후

2.6.4 탄산화속도계수 산정

탄산화속도는 경과시간 t 의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 \sqrt{t} 법으로 표현된다. 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{탄산화속도계수 } A = \frac{D}{\sqrt{t}}$$

$$T = \left[\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$$

여기서, D : 탄산화 깊이(mm)

t : 공용년수(년)

2.6.5 시험 보고서

가. 반드시 기록하여야 할 사항

보고할 사항 중 명확히 파악할 수 없는 사항에 대해서는 [확인되지 않음]으로 표기한다.

- ① 구조물의 명칭
- ② 구조물의 경과 연수
- ③ 코어 채취 및 떼어냄을 행한 연월일 및 시험일
- ④ 코어 채취 및 떼어냄을 행한 위치 : 옥내, 옥외, 부위, 방위, 높이 등
- ⑤ 사용 골재의 종류(보통 골재, 경량 골재)
- ⑥ 측정면의 종류 : 코어의 측면, 코어의 할렬면, 구조물의 떼어낸 면 등
- ⑦ 시 약
- ⑧ 측정 기구 : 버니어 캘리퍼스, 눈금자 등

- ⑨ 시약 분무로부터 탄산화 깊이까지의 시간
- ⑩ 탄산화 깊이의 측정 장소의 각 측정값, 평균값, 최댓값
- ⑪ 연한 적자색으로 변색된 부분의 유무
 - 있는 경우 그 상황을 사진 등으로 기록한다.

나. 필요에 따라 기록하여야 할 사항

- ① 코어 채취 또는 떼어냄을 행한 위치에서의 누수 유무
- ② 구조물 주변의 탄산가스 농도
- ③ 콘크리트 압축 강도 : 설계기준강도 또는 코어 강도
- ④ 탄산화 상황의 사진
- ⑤ 철근의 피복두께
- ⑥ 탄산화 속도 계수

2.7 강재 용접부 비파괴시험

2.7.1 일반

가. 일반

강재 용접부 비파괴검사를 통하여 강구조물의 주부재 용접이음부의 결함상태를 조사하고, 검출된 결함은 적용규격에 따라 등급분류를 실시하고 그 결과에 따라 결함의 영향을 평가한다.

강재 비파괴시험 적용 방법은 기본적으로 강구조물에 대하여 육안조사(VT)를 실시하고, 적절한 시험방법을 선정하여 실시한다.

나. 시험(검사) 기술자

강재 비파괴시험을 하는 기술자는 그에 필요한 자격 또는 그에 상응하는 기초 기술의 습득 외에 모재의 재질, 용접부의 이음형상, 개선모양, 용접방법, 용접조건 그리고 이들 조건하에서 발생하기 쉬운 용접결함 등에 관한 충분한 지식과 경험을 가져야 한다.

2.7.2 초음파탐상시험¹²⁾

가. 일반

본 시험은 강재 내부의 결함(흠)을 찾아내기 위하여 강재 내에서의 초음파 파동 특성을 이용하여 강재 용접부의 내부결함, 면상결함, 균열, 용입불량 등을 조사하는데 그 목적이 있다.

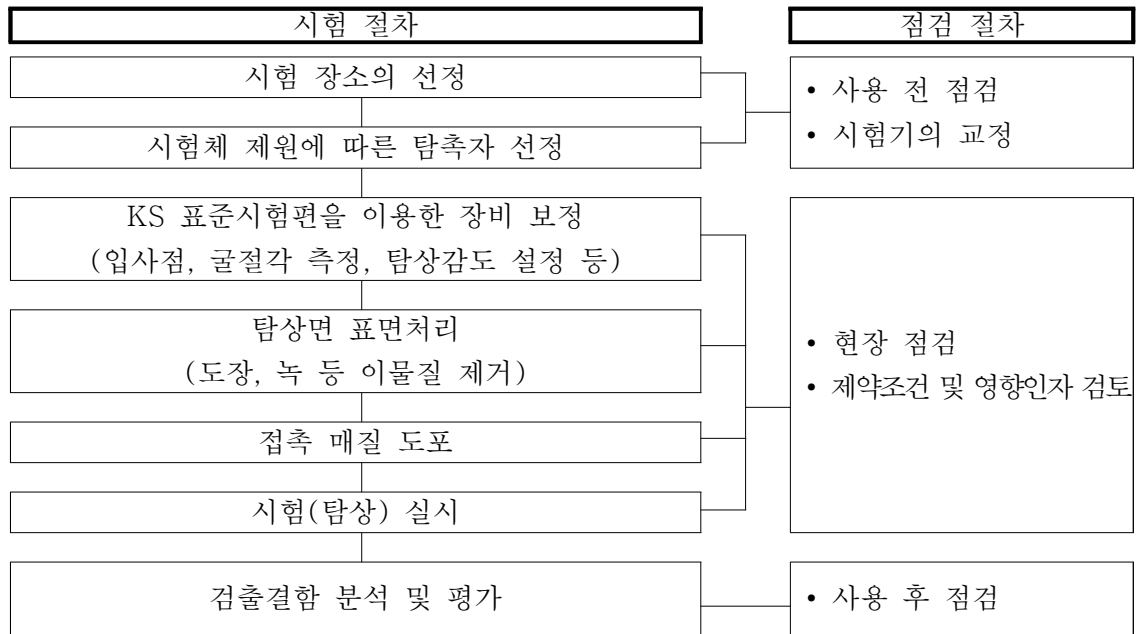
나. 적용범위

본 시험은 규격 두께 6mm 이상의 페라이트계 강의 완전용입 용접 부를 펄스 반사법을 사용한 기본표시의 초음파 탐상기에서 초음파탐상시험을 수동으로 실시하는 경우의 흠의 검출 방법, 위치 및 치수의 측정하는데 있다.

- ① 박판 용접부 및 필렛용접부 결함 검사에는 부적합
- ② 탐상기법의 특성상 시험결과의 재현성이 부족하며, 기술자는 시험대상체 및 강재 초음파시험에 대한 전문적인 지식과 충분한 경험이 필요

12) ○ KS B 0896:1999 강 용접부의 초음파 탐상 시험 방법
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

다. 시험 등의 절차



[그림 21] 강제 초음파시험 및 탐상기 점검 등의 절차

1) 탐상기의 활용을 위한 제약조건 검토

- 시험 대상구조물의 제약조건과 종류, 범위 등을 파악하여 시험 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 탐상기의 점검, 탐상, 결과분석 등에 대한 절차는 KS B 0896의 규정에 준한다.

2) 시험 정밀도를 위한 제약조건

탐상 결과의 신뢰도를 향상시키기 위해서 시험의 제약조건을 검토하여 시험 정밀도를 향상시킬 수 있어야 하며, 그 대표적인 내용을 정리하면 다음과 같다.

- ① 시험 체의 표면이 거칠면 부재로 전달되는 초음파 에너지가 적어지며, 노이즈와 신호의 구분에 어려움이 있어 모양이 일정치 않거나 너무 얇아도 곤란하다.
- ② 시험체 건전부의 재질이 균질해야 한다.
- ③ 초음파의 퍼짐에 있어 그 사각인 불감대가 존재한다.
- ④ 초음파 탐촉자와 시험체 사이에 공기층이 존재하면 시험체로 초음파의 전달이 안 되므로 매질이 필요하다.
- ⑤ 주로 상대적인 값을 이용하므로 표준시험편과 대비시험편이 있어야 한다.
- ⑥ 시험체 내부 조직에 따라 측정 데이터의 해석을 달리해야 한다.
- ⑦ 결함의 방향과 초음파의 전달방향에 따른 영향이 크다.

3) 시험 정밀도의 영향인자

- 사전정보 수집
 - 시험에 앞서서 대상 체의 모재 재질, 두께, 용접부의 이음형상, 개선팅 및 형상, 용접시공 상세, 용접보수 상세, 제작상의 특기사항 등의 정보가 없으면 정확한 판단을 할 수 없다.

○ 시험 면에 의한 감도 영향

- 시험에 부적당한 표면은 적절한 방법으로 마무리를 해야 한다. 시험면 표면 마무리는 주파수에 따라서도 감쇠 정도가 다르며, 높은 주파수일수록 그 영향은 현저하므로 주의를 요한다.

○ 용접부 시험에서의 결함 종류 추정

- 공용 중인 강재 구조물의 용접보수가 용이하지 않은 경우가 많으므로 가능한 정확히 결함의 종류를 추정해야 한다.

○ 온도의 영향

- 저온 또는 고온에서 탐촉자를 사용하는 경우에는 그 STB 굴절각은 공칭 값과 달라지므로 시험을 하는 장소에서 굴절각을 측정하여야 한다.

라. 초음파탐상기의 조정 및 점검

- 입사점, STB 굴절각, 탐상 굴절각, 측정 범위 및 탐상감도는 시험 전에 조정한다.
- 초음파탐상기의 조정은 작업시간 4시간 이내마다 점검하여 조정 시의 조건을 유지하고 있는 것에 대한 확인을 하여야 한다.

마. 결함의 판정

결함의 등급 분류는 결함 에코우 높이의 영역과 결함지시 길이에 대응하여 [표 11]에 따라 시행한다.

[표 13] 결함의 등급분류

영역		M검출 레벨은Ⅲ, L검출 레벨은 Ⅱ와Ⅲ			Ⅳ		
판 두께		18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과
등급	1 류	6mm 이하	t/3 이하	20mm 이하	4mm 이하	t/4 이하	15mm 이하
	2 류	9mm 이하	t/2 이하	30mm 이하	6mm 이하	t/3 이하	20mm 이하
	3 류	18mm 이하	t 이하	60mm 이하	9mm 이하	t/2 이하	30mm 이하
	4 류	3 류를 초과하는 것					

바. 탐상 보고서

- ① 시험 연월일
- ② 시험 번호 또는 기호
- ③ 시험 기술자의 서명 및 자격
- ④ 재질 및 치수
- ⑤ 용접 방법 및 그루브 모양

- ⑥ 사용한 탐상기 명, 성능 및 점검 일시
- ⑦ 사용한 탐촉자, 성능 및 점검 일시
- ⑧ 사용한 표준 시험편 또는 대비 시험편
- ⑨ 탐상 부분의 상태 및 손질 방법
- ⑩ 탐상 범위
- ⑪ 접촉 매질
- ⑫ 감도 보정량
- ⑬ 검출 레벨
- ⑭ 탐상 데이터
 - 용접선 방향의 탐촉자 위치, 탐촉자 용접부 거리, 빔 노정, 최대 에코 높이(영역), 흠의 지시 길이
- ⑮ 흠의 횡단면 위치 및 평면 위치
 - 깊이, 용접선에 직각 방향의 위치
 - 흠의 지시 길이의 시단 또는 종단
- ⑯ 합격 여부와 그 기준
- ⑰ DAC 회로를 사용하였을 때는 다음 기록을 한다.
 - 탐상기 명 및 DAC 사용 시의 성능
 - 탐촉자의 제조 번호 및 DAC의 사용 시의 성능
 - DAC의 기점 조정 거리
 - DAC의 경사값
 - DAC 사용 시의 에코 높이 구분선
- ⑱ 검정의 결과, 음향 이방성을 가진다고 검정된 경우, 다음 기록을 한다.
 - 공칭 굴절각
 - STB 굴절각
 - L, C, (Q) 방향 및 흠을 검출한 방향의 탐상 굴절각
 - 굴절 각도차($\Delta\theta$)
 - 횡파 음속비 및 그 측정 방법
- ⑲ 탠덤 탐상 법을 적용한 경우는 다음 기록을 한다.
 - 탐상 불능 영역
 - 탐상 지그의 시방
 - 탠덤 기준선의 위치
 - 흠의 판두께 방향의 위치(깊이)
- ⑳ 기타 사항(지정 사항, 협의 사항, 입회, 샘플링 방법 등)

2.7.3 자분탐상시험¹³⁾

가. 일반

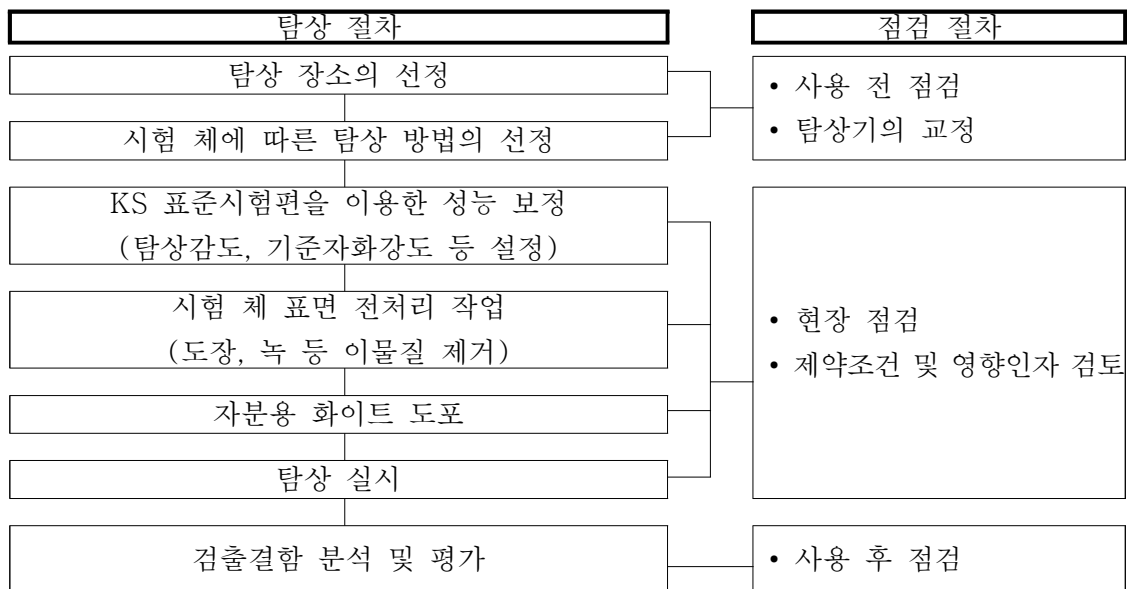
본 시험은 자성체의 표면에 있는 불연속 부를 검출하기 위하여 자성체를 자화시키고 자분(磁粉)을 적용시켜 누설자장에 의해 자분이 모이거나 붙어서 불연속부의 윤곽을 형성, 그 위치, 크기, 형태 등을 검사하는 비파괴검사 방법 중의 하나이다.

나. 적용 범위

본 「세부지침」에서는 자분탐상시험 방법 중의 극간법(Yoke Method)에 대해서 적용한다.

시험 체의 표면 및 표면부근에 있는 균열, 기타 흠을 검출하는 것을 목적으로 하며, 본 시험을 통하여 강구조물의 용접이음부의 결함상태를 조사하고, 그 결과에 따라 결함의 영향을 평가하나, 자성체 시험부재에만 적용 가능하다.

다. 시험 등의 절차



[그림 22] 자분탐상 및 탐상기 점검 등의 절차

1) 탐상기의 활용을 위한 제약조건 검토

- 자분탐상에서 가장 적절한 탐상방법을 선택 하여도 시험 체의 탐상면 전부에 필요한 유효 자계강도를 가할 수 없어서 검출해야 할 흠(결함)을 검출할 수 없는 경우와 시험결과 생기는 자분모양에도 의사모양이 포함되는 경우가 있을 수 있으므로 탐상에 충분히 유의할 필요가 있다.

13) ○ KS D 0213:1994 철강 재료의 자분 탐상 시험 방법 및 자분 모양의 분류
○ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)
○ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전기술공단('06.12)

- 탐상 대상구조물의 제약조건과 종류, 범위 등을 파악하여 탐상 정밀도를 높일 수 있는 방법을 강구하여야 한다.
- 현장탐상 및 자분 모양의 분류에 대한 절차는 KS D 0213의 규정에 준한다.

2) 탐상 정밀도를 위한 제약조건

- 전처리
 - 전처리의 범위는 시험범위보다 넓게 잡아야 한다.
 - 탐상 면에 대한 부적절한 전처리는 결함검출 성능을 저하시키는 요인으로 작용하게 되므로 적절한 표면상태가 되도록 하여야 한다.
- 자분 모양의 관찰
 - 자분모양의 관찰은 원칙적으로 자분의 적용이 끝난 직후에 하여야 한다.
- 탈자

3) 탐상 정밀도의 영향인자

- 자분 및 검사액
 - 검사액 및 자분은 적당한 표준시험편 등을 사용하여 필요에 따라 그 성능을 확인하여야 한다.
- 통전시간의 설정
 - 통전시간의 설정은 통전 중의 자분의 적용을 완료할 수 있는 통전시간을 설정 하여야 한다.

4) 탐상할 때의 주의사항

자분탐상에서는 탐상을 하는데 적당하지 않으면 시험 체의 탐상면 전부에 필요한 유효 자계강도를 가할 수 없어서 검출해야 할 흠을 검출할 수 없는 경우가 있다. 또, 탐상 결과 생기는 자분모양에도 의사모양이 포함되는 경우가 있기 때문에 즉시 흠이라고 판정하기 곤란한 경우가 있으므로 다음의 조건을 충분히 검토하여 유의하여야 한다.

- 탐상면의 분할
- 흠의 방향을 예측할 수 없는 경우
- 흠의 판정이 곤란한 경우
- 용접부 탐상에서의 주의사항
- 균열부에 대한 탐상 요령

라. 자분탐상기의 점검

자화전류를 설정하기 위해 사용하는 전류계 및 자화전류의 지속시간을 제어하기 위한 타이머의 점검은 적어도 년 1회하고 1년 이상 사용하지 않을 경우에는 사용 시에 점검하여 성능을 확인한 것을 사용해야 한다.

마. 자분 모양의 분류

균열에 의한 자분모양을 새로 넣고 그 밖에 독립한 자분모양, 연속한 자분모양 및 분

산된 자분모양의 4종류로 대별한다.

① 균열에 의한 자분모양

- 흠에 의한 자분모양인지 흠에 의하지 않은 의사 모양인지를 확인함에 따라 균열로 식별된 자분모양.

② 독립한 자분모양

- 독립하여 존재하는 각 자분모양은 다음 2종류로 분류한다.

- 선상의 자분모양
 - 자분모양에서 그 길이가 나비의 3배 이상인 것.
- 원형상의 자분모양
 - 자분모양에서 선상의 자분모양 이외의 것.

③ 연속한 자분모양

- 여러 개의 자분모양이 거의 동일 직선상에 연속하여 존재하고 서로의 거리가 2mm 이하인 자분모양. 자분모양의 길이는 특별히 지정이 없는 경우, 자분모양의 각각의 길이 및 서로의 거리를 합친 값으로 한다.

④ 분산한 자분모양

- 일정한 면적 내에 여러 개의 자분모양이 분산하여 존재하는 자분모양.

바. 탐상 보고서

자분탐상 시험의 조작에 의해 시험결과가 크게 영향 받는 시험방법이기 때문에 시험조작의 확인을 위해 세세한 시험조건의 기록이 필요하다.

2.8 염화물 침투량 시험¹⁴⁾

2.6.1 일반

가. 일반

본 「세부지침」에서는 경화된 콘크리트 내의 염화물 침투량을 측정하는데 목적이 있다.

나. 적용 범위

이 측정 방법은 경화된 콘크리트 내의 염화물 침투량을 측정하기 위해 각 용도에 맞도록 전위차 측정법, 흡광광도법, 질산은 적정법, 이온크로마토그래피법 중에 선택하여 측정하는 방법에 대하여 규정한다.

2.6.2 시험방법

가. 시료의 채취

○ 코어 채취 및 절단

- 콘크리트 코어는 철근부를 피하여 철근 깊이까지 채취하며, 채취된 코어는 15mm 간격으로 절단한다.(절단 후 실제 1개의 디스크(disk)의 폭은 15mm 보다 작아야 한다.)
- 850 μ m 체를 통과하도록 시료를 분쇄하며, 광택지를 10회 이상 옮기면서 시료를 잘 섞는다.
- 대략 10g 정도의 시료를 채취하며, 시료의 질량은 0.01g 까지 측정하고 25ml 비커에 담는다.

○ 산-가용성 염화물의 측정

- 염화물은 산-가용성 염화물(전 염화물)을 추출한다.
 - 75ml의 증류수로 시료를 분산시킨다.
 - 천천히 25ml의 질산(1:1)희석 용액을 가하고, 유리막대를 사용하여 시료의 덩어리를 모두 부수고, 황화수소의 냄새가 나는 것을 확인한 후 과산화수소(30% 용액) 3ml를 가한다.
 - 메틸 오렌지 지시약 3방울을 가한 후 젓는다.
 - 비커를 시계 접시로 덮고 1~2분간 방치한 후, 연분홍색이나 붉은색이 나타나 유지될 때까지 용액을 저으면서 질산(1:1)희석 용액을 조금씩 첨가한다.
 - 추가로 질산(1:1)희석 용액을 10방울 더 떨어뜨린 후, 용액을 덮고 빠르게 가열하여 끓인다.

14) ○ KS F 2717:2013 경화된 콘크리트의 염화물 함유량 측정 방법

- 시험법
 - 다이얼 측정판이 달린 장비를 사용할 경우, 전극을 증류수에 담가 대략적인 당량점을 결정할 필요가 있다.
 - 축척의 중간 값에서 20mV 정도 낮은 값을 나타내도록 장비를 조절하며, 대략적인 전위를 기록한 후 비커를 비우고 전극을 흡수지로 닦는다.
 - 상온으로 식힌 용액이 담긴 비커에 2ml의 0.05N 표준용액을 가한다.
 - 0.05N 질산은 표준용액을 10ml 뷰렛에 눈금까지 채우고 뷰렛의 끝을 용액 속이나 위에 오도록 한다.
 - 증류수에서의 당량점으로부터 -60mV를 나타낼 때까지 천천히 적정하여 이때의 질산은 표준용액의 첨가부피를 기록한다.

2.6.3 염화물 침투량 측정

가. 철근부 전염화물 침투량 C_r 이 2.5kg/m^3 이 되는 시점의 산정방법

○ 염화물 확산계수 산정 방법

- 염화물 확산계수는 아래의 식을 활용하여 구한다.

$$C_d - C_i = (C_s - C_i)(1 - \text{erf}(\frac{x}{\sqrt{D_d \cdot t}}))$$

여기서, C_d : 깊이 $x(\text{cm})$, 시간 t 년에서 염소이온 농도 (kg/m^3)

C_i : 초기 염소이온 농도 (kg/m^3)

C_s : 표면 염소이온 농도 (kg/m^3)

erf : 오차함수, $\text{erf}(s) = \frac{2}{\pi^{1/2}} \int_0^s e^{-\lambda^2} d\lambda$

D_d : 염소이온의 유효확산계수($\text{cm}^2/\text{년}$)

- 현장에서 채취된 코어시험체를 깊이별로 절단하여 KS F 2717(2013) 「경화된 콘크리트의 염화물 함유량 측정 방법」에 의하여 깊이별 염화물 침투량을 측정한다.
 - 측정에 필요한 시료는 10g으로 규정되어 있으며, 절단두께는 15mm 단위이며, 절단 후의 실제 시료의 두께는 약 12mm 전후가 되는게 일반적이다.
 - 측정 깊이의 대푯값은 절단두께를 0~15mm, 15~30mm, ...로 설정한 경우는 7.5mm, 22.5mm, ...로 설정한다.
 - 염화물 확산계수를 구하는데 사용되는 측정 깊이는 철근에 가까운 깊이에서 염화물이 어느 정도 침투되어 있는 구간을 선정하는 것이 바람직하며, 구간별로 염화물 확산계수를 산출할 수도 있다.(표면부의 경우 염화물의 변동이 심하여 염화물 확산계수 값의 편차가 클 수 있고, 깊이가 깊은 구간에서 염화물의 침투가 거의 없는 경우 염화물 확산계수 산정이 어려울 수 있다.)

- 산정된 측정 깊이 $x(\text{cm})$ 와 해당 깊이에서 측정된 염화물량을 기록하여 D_d 값으로 활용한다.
- 또한, 표면부 약 0~2mm 정도의 구간에서 시료를 채취하여 염화물량을 측정하며, 이를 표면부 염소이온 농도 C_s 값으로 활용하며, 채취된 코어시료에서 측정에 필요한 10g의 시료를 얻기 어려운 경우 코어채취부와 인접한 콘크리트에서 표면부(약 0~2mm)의 시료만을 추가로 채취하여 사용할 수 있다.
- 직접 표면부 염소이온 농도 C_s 값을 얻기 어려운 경우, 아래와 같이 콘크리트 표준시방서 해설(2009)의 해양콘크리트의 「해상부에 놓인 콘크리트 구조물의 해수접촉 부위별 표면 염화물 이온 농도 제안 값」 및 「해안 지역에서의 표면 염화물 이온 농도 제안 값」을 참고하여 사용할 수 있다.

[표 14] 해상부에 놓인 콘크리트 구조물의 해수접촉 부위별 표면염화물 이온 농도 제안 값

해안구분	해수접촉 부위	표면염화물 이온농도(kg/m^3)
서, 남해안	간만대	18.0
	물보라 지역	7.5
	해상대기중	5.0
동해안	간만대, 물보라 지역	13.0
	해상대기중	7.0

[표 15] 해안 지역에서의 표면염화물 이온 농도 제안 값

해안구분	해안에서 거리(m)	표면염화물 이온농도(kg/m^3)
서, 남해안	해안선 부근	5.0
	100	2.0
	250	1.5
동해안	해안선 부근	7.0
	100	4.5
	250	3.0
	500	2.5
	1,000	1.5

- 초기 염소이온 농도 C_s 는 시공 당시 골재 등에 함유된 염분으로서 콘크리트표준시방서에서 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 이하로 시공하도록 규정하고 있으며, 측정하기 어려운 경우 0으로 설정한다.
- erf 오차함수의 경우 프로그램을 활용하여 계산하며, (ex. MS excel의 경우 erf (하한값, 상한값)의 형태로 입력하여 계산하여 $\text{erf}[0, (\frac{x}{\sqrt[2]{D_d t}})]$ 입력할 수 있다.
- 상기의 과정을 거치면 $C_d - C_i = (C_s - C_i)(1 - \text{erf}(\frac{x}{\sqrt[2]{D_d t}}))$ 식에서 염화물 확산

계수 D_d 만이 변수로 남고 나머지는 모두 입력값을 가지게 되며, 따라서 상기 식을 만족시키는 D_d 값이 대상 부재의 염화물 확산계수가 된다.(임의의 D_d 값을 입력하여 $(C_d - C_i)$ 값과 $(C_s - C_i)(1 - \text{erf}(\frac{x}{\sqrt{D_d t}}))$ 의 값이 같아지는 D_d 값을 찾아낸다.)

나. 철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점의 산정

- 염화물 확산계수 산정식 $C_d - C_i = (C_s - C_i)(1 - \text{erf}(\frac{x}{\sqrt{D_d t}}))$ 에서 염화물 확산계수 D_d 를 이미 알고 있기 때문에, C_d 값(깊이 $x(\text{cm})$, 시간 t 년에서 염소이온 농도)을 $2.5 kg/m^3$ 로 입력하고, 대상부재의 철근피복 두께를 깊이 $x(\text{cm})$ 로 입력하여 시간 $t(\text{year})$ 를 산출한다.
- 산출된 시간 $t(\text{year})$ 는 철근부 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점이며, 염화물량 평가 등급기준과 비교하여 등급을 산정한다.

3. 자료검토 요령

3.1 대기환경

3.1.1 해안으로부터의 거리

- 점검 대상시설물의 위치(지번이나 주소)를 파악함
- 지도 및 인터넷 정보를 이용하여 해안까지의 최단거리(직선거리)를 측정함
- 대상 시설물의 해상높이는 실측이나 도면을 통하여 측정함

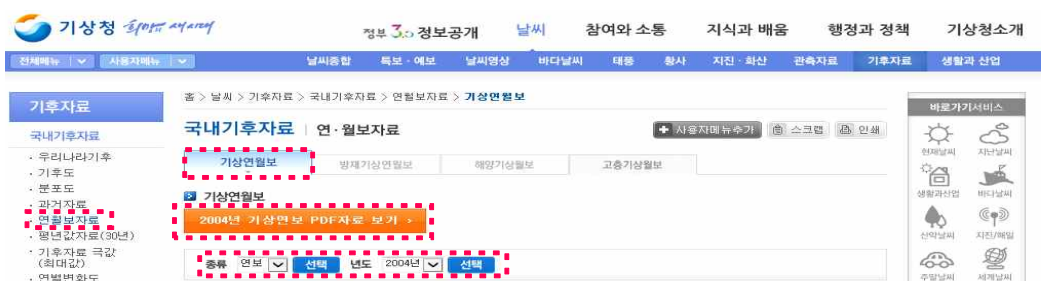
3.1.2 이산화황 농도(ppm)

- 이산화황에 의한 대기오염은 강재를 부식시키는 대표적 인자로서 전원지역, 도시지역, 공장밀집지역 등 지역에 따라 부식에 미치는 영향은 다를 수 있음
- 에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr/>)에서 제공하는 지역별 10년 동안의 평균 농도를 사용함
- 조사방법 : 에어코리아 홈페이지 ⇒ 통계정보



3.1.3 습도

- 기상청(<http://www.kma.go.kr/>)에서 제공하는 ‘기상연보’를 통한 해당지역의 10년 동안 평균 젖음시간(τ , 0°C 이상의 온도에서 상대 습도가 80% 이상인 경우) 관측일을 산정하여 사용함
- 조사방법 : 기상청 홈페이지 ⇒ 날씨누리(<http://www.weather.go.kr/>) ⇒ 기후자료 ⇒ 국내기후자료 ⇒ 연월보자료 ⇒ 기상연월보 ⇒ 연보, 해당연도 선택

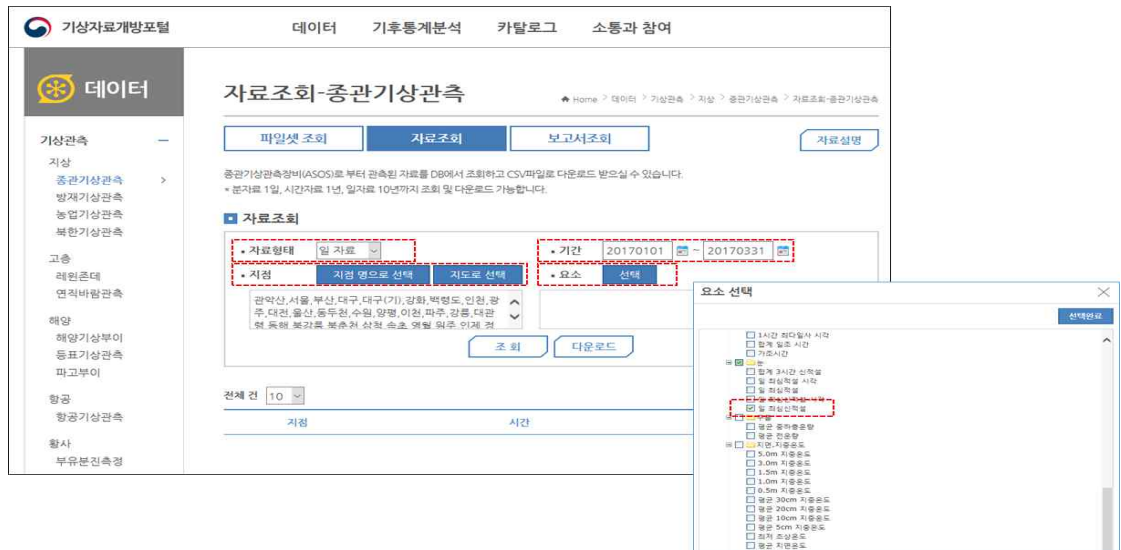


3.1.4 염해환경

- 대상 시설물의 위치(지번이나 주소)를 파악함
- 인터넷 포털사이트 지도를 이용하여 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 함
- 대상 시설물의 해상높이는 실측이나 도면을 통하여 측정함
- 강설횟수는 아래와 같이 기상청 기후자료를 참조하며, 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정함
- 같은 시라도 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 지점으로 반영함. 단 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용함
 - 기상자료개방포털(<http://data.kma.go.kr>)에 접속하여 기상관측 자료를 통한 동절기의 일 최심신적설을 조사함
 - 기상자료개방포털 홈페이지(회원가입 필수) ⇒ 데이터 ⇒ 기상관측 ⇒ 종관기상관측 ⇒ 자료조회 클릭

[그림 23] 기상자료개방포털 사용 예시 1

- 자료조회 입력 ⇒ 입력 후 다운로드 클릭
 - 자료형태 → 일 자료
 - 기간 → 해당 기간 설정(단위: 월)
 - 지점 → 해당 지점 설정
 - 요소 → 일 최심신적설 선택



[그림 24] 기상자료개방포털 사용 예시 2

- 해당 데이터를 엑셀로 저장 후 엑셀 필터링 등을 통해 아래 조건에 해당하는 일수를 계산함
 - 일 최심신적설 > 0인 일수
- 이전 10년간의 강설횟수 자료는 강설횟수 및 동결융해 사이클 수를 참조함

[표 16] 동결융해 사이클 수 (2007.11.01~2017.3.31)

지점명	주소	지점번호	동결융해 사이클수 (회/연평균)	
			일반부재 (수분미접촉)	취약부재 (수분접촉)
속초	강원도 고성군 봉포리	90	5.00	44.30
인제*	강원도 인제군 인제읍	93	13.00	96.00
철원	강원도 철원군 군탄리	95	15.70	84.00
동두천	경기도 동두천시 생연동	98	13.40	78.40
문산/파주	경기도 파주시 운천리	99	13.50	83.40
대관령	강원도 평창군 횡계리	100	15.60	68.50
춘천	강원도 춘천시 우두동	101	13.00	77.70
백령도	인천광역시 옹진군 연화리	102	5.90	23.20
북강릉*	강원도 강릉시 사천면	104	5.33	49.56
강릉	강원도 강릉시 용강동	105	3.60	37.50
동해	강원도 동해시 용정동	106	3.40	34.40
서울	서울특별시 종로구 송월동	108	8.60	45.90
인천	인천광역시 중구 전동	112	7.80	37.70
원주	강원도 원주시 명륜동	114	10.90	65.30
울릉도	경상북도 울릉군 도동리	115	12.30	14.40
수원	경기도 수원시 권선구 서둔동	119	11.10	60.60
영월	강원도 영월군 하송리	121	13.60	79.60
충주	충청북도 충주시 안립동	127	14.30	77.40
서산	충청남도 서산시 수석동	129	15.20	70.20
울진	경상북도 울진군 연지리	130	4.20	44.90
청주	충청북도 청주시 흥덕구 북대동	131	11.00	53.40
대전	대전광역시 유성구 구성동	133	11.50	60.60

추풍령	충청북도 영동군 관리	135	14.10	68.90
안동	경상북도 안동시 운안동	136	8.00	78.90
상주	경상북도 상주시 낙양동	137	9.70	64.40
포항	경상북도 포항시 남구 송도동	138	1.40	28.90
군산	전라북도 군산시 급동	140	11.70	50.00
대구	대구광역시 동구 효목동	143	3.60	41.30
전주	전라북도 전주시 완산구 남노송동	146	10.40	51.80
울산	울산광역시 중구 북정동	152	1.70	32.20
창원	경상남도 창원시 마산합포구 월포동	155	0.80	27.20
광주	광주광역시 북구 운암동	156	9.30	37.00
부산	부산광역시 중구 대청동1가	159	0.40	21.60
통영	경상남도 통영시 정량동	162	0.40	25.20
목포	전라남도 목포시 연산동	165	8.40	27.40
여수	전라남도 여수시 중앙동	168	0.80	20.70
흑산도	전라남도 신안군 예리	169	3.20	4.30
완도	전라남도 완도군 불목리	170	4.60	22.40
고창*	전라북도 고창군 대산면 매산리	172	13.43	56.71
순천*	전라남도 순천시 승주읍 평중리	174	14.67	70.50
진도	전라남도 진도군 사천리	175	10.70	40.40
제주	제주특별자치도 제주시 건입동	184	0.70	0.70
고산	제주특별자치도 제주시 고산리	185	0.80	1.00
성산	제주특별자치도 서귀포시 신산리	188	1.10	1.90
서귀포	제주특별자치도 서귀포시 서귀동	189	0.80	0.80
진주	경상남도 진주시 초전동	192	5.80	79.60
강화	인천광역시 강화군 삼성리	201	9.70	69.50
양평	경기도 양평군 양근리	202	9.60	73.90
이천	경기도 이천시 신하리	203	14.70	81.90
인제	강원도 인제군 남북리	211	12.20	79.20
홍천	강원도 홍천군 연봉리	212	11.90	81.40
태백	강원도 태백시 황지동	216	14.80	76.60
정선군*	강원도 정선군 정선읍 북설리	217	11.14	79.86
제천	충청북도 제천시 신월동	221	16.50	91.80
보은	충청북도 보은군 성주리	226	16.40	88.20
천안	충청남도 천안시 동남구 신방동	232	13.20	70.00
보령	충청남도 보령시 요암동	235	11.80	51.90
부여	충청남도 부여군 가탑리	236	15.00	78.50
금산	충청남도 금산군 아인리	238	15.70	86.30
부안	전라북도 부안군 역리	243	12.80	53.30
임실	전라북도 임실군 이도리	244	18.30	90.30
정읍	전라북도 정읍시 상동	245	13.40	51.80
남원	전라북도 남원시 수덕리	247	16.60	83.20
장수	전라북도 장수군 선창리	248	17.80	87.10
고창군*	전라북도 고창군 고창읍	251	12.30	51.50
영광군*	전라남도 영광군 군서면 마곡리	252	15.30	59.00
김해시*	경상남도 김해시 부원동	253	1.20	32.40
순창군*	전라북도 순창군 순창읍 교성리	254	15.44	76.00
북창원*	경상남도 창원시 성산구 중앙동	255	1.56	37.56
양산시*	경상남도 양산시 동면 금산리	257	1.56	36.11
보성군*	충청남도 태안군 태안읍 장산리	258	5.63	45.75
강진군*	전라남도 강진군 강진읍 남포리	259	10.00	52.38
장흥	전라남도 장흥군 축내리	260	10.50	63.00
해남	전라남도 해남군 남천리	261	12.50	63.40
고흥	전라남도 고흥군 행정리	262	4.50	56.60
의령군*	경상남도 의령군 의령읍 무전리	263	7.14	85.14
함양군*	충청남도 태안군 태안읍 장산리	264	12.00	79.57
광양시*	전라남도 광양시 마동	266	3.00	28.67
진도군*	전라남도 진도군 진도읍	268	4.67	27.00
봉화	경상북도 봉화군 의양리	271	16.20	103.30
영주	경상북도 영주시 성내리	272	10.60	76.80

문경	경상북도 문경시 유곡동	273	10.60	72.40
청송군*	경상북도 청송군 청송읍	276	12.14	94.86
영덕	경상북도 영덕군 성내리	277	3.00	42.40
의성	경상북도 의성군 원당리	278	10.40	101.20
구미	경상북도 구미시 남통동	279	7.90	65.10
영천	경상북도 영천시 망정동	281	9.20	78.90
경주시*	경상북도 경주시 서라벌대로	283	7.71	69.86
거창	경상남도 거창군 김천리	284	12.90	92.80
합천	경상남도 합천군 합천리	285	6.00	81.50
밀양	경상남도 밀양시 내이동	288	4.60	75.20
산청	경상남도 산청군 지리	289	6.40	65.80
거제	경상남도 통영시 장평리	294	0.90	27.10
남해	경상남도 남해군 다정리	295	1.30	34.50

* 측정기간이 10년 미만인 지점

3.1.5 동해환경

- 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)의 기상관측 자료를 통하여 지난 10년간 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
 - 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
- 조사방법
 - 기상자료개방포털 홈페이지(회원가입 필수) ⇒ 데이터 ⇒ 기상관측 ⇒ 종관기상관측 ⇒ 자료조회 클릭

[그림 25] 기상자료개방포털 사용 예시 3

- 자료조회 입력 ⇒ 입력 후 다운로드 클릭
 - 자료형태 → 일 자료
 - 기간 → 해당 기간 설정(단위: 월)
 - 지점 → 해당 지점 설정,
 - 요소 → 최고기온, 최저기온, 일강수량 선택



[그림 26] 기상자료개방포털 사용 예시 4

- 해당 데이터를 엑셀로 저장 후 엑셀 필터링 등을 통해 아래 조건에 해당하는 일수를 계산함
- 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정함
- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수
- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수
여기서, X는 동결융해 반복지수를 의미하며, 수분접촉 여부에 따라 구분·산정
- 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정함
- 같은 시라도 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영함. 단 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용함

부록 2

시설물별 성능목표

1. 시설물별 성능목표

□ 교량

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

1) 도로교량

성능목표 등급 : B(결함도 범위 : $0.13 \leq X < 0.2$ 또는 $0.2 \leq X < 0.26$)

○ 선정 기준

[표 17] 도로교량의 성능목표 등급 선정 기준

일교통량	구간당 일반국도: 10,000대 이상, 고속국도: 20,000대 이상	
중차량 통행량	차선당 일반국도: 1,000대 이상, 고속국도: 2,000대 이상	
대상교량의 차단 시 우회거리	5km 이상	
성능목표 등급	모든 조건이 해당되는 경우	나머지의 경우
	B (결함도 범위: $0.13 \leq X < 0.2$)	B (결함도 범위: $0.2 \leq X < 0.26$)

- 일교통량은 일반국도의 경우 10,000대, 고속국도는 20,000대의 수준으로 고려함
- 중차량 통행량은 일반국도의 경우 차선당 1,000대, 고속국도는 2,000대의 수준으로 고려함
- 일교통량 자료가 없는 경우에는 인접지점의 자료에 근거하여 관리자가 선정할 수 있도록 함

[표 18] 성능목표 등급의 분류기준에 따른 결함도 지수 및 결함도 점수 범위

기준	A	B		C	D	E
결함도 지수	0.10	0.16	0.23	0.40	0.70	1.00
결함도 점수 범위	$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.2$	$0.2 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

2) 철도교량

성능목표 등급 : B(결함도 범위 : $0.13 \leq X < 0.2$ 또는 $0.2 \leq X < 0.26$)

○ 선정 기준

[표 19] 철도교량의 성능목표 등급 선정 기준

일통과량 × 평균속도	6,000 이상	나머지의 경우
성능목표 등급	B (결함도 범위: $0.13 \leq X < 0.2$)	B (결함도 범위: $0.2 \leq X < 0.26$)

- “일통과량 × 평균속도”가 6,000 이상이면 성능목표 등급을 B(결함도 범위: $0.13 \leq X < 0.2$)로 관리하며, 나머지의 경우에는 B(결함도 범위: $0.2 \leq X < 0.26$)로 관리함
- 일통과량 및 구간 평균속도는 철도의 사용에 따라 변할 수 있는 통계 값이므로 주기적으로 업데이트함

[표 20] 성능목표 등급의 분류기준에 따른 결함도 지수 및 결함도 점수 범위

기준	A	B		C	D	E
결함도 지수	0.10	0.16	0.23	0.40	0.70	1.00
결함도 점수 범위	$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.2$	$0.2 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

나. 성능목표 등급의 조정

1) 도로교량

일교통량, 중차량 통행량, 우회거리에 따라 성능목표 등급을 두 단계의 결함도 범위 $0.13 \leq X < 0.2$ 또는 $0.2 \leq X < 0.26$ 의 B등급으로 선정하게 되어 있으나, 교량의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

2) 철도교량

일통과량 및 평균속도에 따라 성능목표 등급을 두 단계의 결함도 범위 $0.13 \leq X < 0.2$ 또는 $0.2 \leq X < 0.26$ 의 B등급으로 선정하게 되어 있으나, 교량의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 터널

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B(결함도 범위 : $0.15 \leq X < 0.23$ 또는 $0.23 \leq X < 0.3$)

○ 선정 기준

[표 21] 터널의 성능목표 등급 선정 기준

도로 터널	일교통량	일반국도: 10,000대 이상 고속국도: 20,000대 이상	나머지의 경우
	대상터널의 차단 시 우회거리	5km 이상	
철도 터널	평균속도×일 통행횟수	6000 이상	6000 미만
성능목표 등급 B등급 내에서의 결함도 범위		$0.15 \leq X < 0.23$	$0.23 \leq X < 0.3$

- 일 교통량은 일반국도의 경우 10,000대, 고속국도는 20,000대의 수준으로 고려함
- 구간의 일통과량 × 평균속도의 값을 6,000을 기준으로 함
- 자료가 없는 경우, 인접지점의 자료에 근거하여 관리자가 선정할 수 있음
- 성능목표 등급에서는 시설물의 사용환경에 대한 고려를 위해 다음과 같이 결함도 범위를 조정하여 성능목표 등급 선정에 이용함

[표 22] 성능목표 등급에 따른 결함도 범위

기준	A	B		C	D	E
결함도 범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.23$	$0.23 \leq X < 0.3$	$0.3 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

[표 23] 종합성능평가에서의 결함도 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.3$	$0.3 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

나. 성능목표 등급의 조정

1) 도로터널

일교통량 및 우회거리에 따라 성능목표 등급의 결함도 범위를 $0.15 \leq X < 0.23$ 인 B등급 또는 $0.23 \leq X < 0.3$ 인 B등급으로 선정하도록 되어 있으나 터널의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

2) 철도터널

평균속도 및 일 통행횟수에 따라 성능목표 등급의 결함도 범위를 $0.15 \leq X < 0.23$ 인 B등급 또는 $0.23 \leq X < 0.3$ 인 B등급으로 선정하도록 되어 있으나 터널의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 용벽

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B등급 (결함도 범위 : $0.15 \leq X < 0.3$)

[표 24] 종합성능평가에서의 결함도 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.3$	$0.3 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

나. 성능목표 등급의 조정

용벽의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

- 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.
 - * 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가
- 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.
 - * 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 절토사면

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B등급 (결함도 범위: $0.15 \leq X < 0.3$)

[표 25] 종합성능평가에서의 결함도 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.3$	$0.3 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

나. 성능목표 등급의 조정

절토사면의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 댐

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B(평가점수 범위: $4.0 \leq X < 4.5$ 또는 $3.5 \leq X < 4.0$)

○ 선정 기준

[표 26] 다목적댐의 성능목표 등급 선정 기준

연평균 저수용량	700 백만 m^3 이상	나머지의 경우
성능목표 등급	B (평가점수 범위: $4.0 \leq X < 4.5$)	B (평가점수 범위: $3.5 \leq X < 4.0$)

* 연평균 저수용량은 700 백만 m^3 을 고려함

[표 27] 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B		C	D	E
평가지수 범위	$4.5 \leq X < 5.0$	$4.0 \leq X < 4.5$	$3.5 \leq X < 4.0$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1.0 \leq X < 1.5$

나. 성능목표 등급의 조정

연평균 저수량에 따라 성능목표 등급을 두 단계의 평가점수 범위 $3.5 \leq X < 4.0$ 또는 $4.0 \leq X < 4.5$ 의 B등급으로 선정하게 되어 있으나, 댐의 중요도나 공용기간, 최근의 성능저하 경향, 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 하구둑

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B

[표 28] 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B		C	D	E
평가지수 범위	$4.5 \leq X < 5.0$	$4.0 \leq X < 4.5$	$3.5 \leq X < 4.0$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1.0 \leq X < 1.5$

나. 성능목표 등급의 조정

성능목표 등급을 B등급으로 선정하게 되어 있으나, 하구둑의 중요도나 공용기간, 최근의 성능저하 경향, 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 수문

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B

[표 29] 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B		C	D	E
평가지수 범위	$4.5 \leq X < 5.0$	$4.0 \leq X < 4.5$	$3.5 \leq X < 4.0$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1.0 \leq X < 1.5$

나. 성능목표 등급의 조정

성능목표 등급을 B등급으로 선정하게 되어 있으나, 수문의 중요도나 공용기간, 최근의 성능저하 경향, 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 제방

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B

[표 30] 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B		C	D	E
평가지수 범위	$4.5 \leq X < 5.0$	$4.0 \leq X < 4.5$	$3.5 \leq X < 4.0$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1.0 \leq X < 1.5$

나. 성능목표 등급의 조정

성능목표 등급을 B등급으로 선정하게 되어 있으나, 제방의 중요도나 공용기간, 최근의 성능저하 경향, 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 공항(여객터미널)

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B (건축물 평가점수 범위: $2 \leq x < 3$ 또는 $3 \leq x < 4$)

○ 선정 기준

[표 31] 공항(여객터미널)의 성능목표 등급 선정 기준

연간 이용객수	10,000,000명 이상	나머지의 경우
연간 항공기 운항편수	90,000대 이상	
성능목표 등급	B (건축물 평가점수 범위: $2 \leq x < 3$)	B (건축물 평가점수 범위: $3 \leq x < 4$)

* 연간 이용객수의 경우 10,000,000명 수준으로 고려함

* 연간 항공기 운항편수의 경우 90,000대 수준으로 고려함

[표 32] 성능목표 등급의 분류기준에 따른 건축물 평가점수 대표값 및 범위

기준	A	B		C	D	E
대표값	1	2.5	3.5	5	7	9
건축물 평가점수 범위	$0 \leq x < 2$	$2 \leq x < 3$	$3 \leq x < 4$	$4 \leq x < 6$	$6 \leq x < 8$	$8 \leq x < 10$

나. 성능목표 등급의 조정

공항(여객터미널)의 연간 이용객수 및 연간 항공기 운항편수에 따라 성능목표 등급을 두 단계의 건축물 평가점수 $2 \leq x < 3$ 또는 $3 \leq x < 4$ 의 B등급으로 선정하게 되어 있으나, 공항(여객터미널)의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화축진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 항만

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B(상태점수 범위: $4.0 \leq X < 4.5$ 또는 $3.5 \leq X < 4.0$)

○ 선정 기준

[표 33] 항만의 성능목표 등급 선정 기준

연간 화물량(백만 톤 GT) × 하역능력(천 톤)	10,000 이상	
접안능력	50,000톤(DWT) 이상	
성능목표 등급	모든 조건이 해당되는 경우	그 외의 경우
	B (상태점수 범위: $4.0 \leq X < 4.5$)	B (상태점수 범위: $3.5 \leq X < 4.0$)

- 항만의 연간 화물량과 하역능력의 상관관계에서 “연간 화물량(백만 톤 GT)×하역능력(천 톤)”이 10,000의 수준으로 고려함
- 항만의 접안능력은 50,000톤(DWT)의 수준으로 고려함
- 연간 화물량, 하역능력, 접안능력 자료가 없는 경우에는 인접항만의 자료에 근거하여 관리자가 선정할 수 있도록 함

[표 34] 성능목표 등급의 분류기준에 따른 상태 지수 및 상태 점수 범위

기준	A	B		C	D	E
상태 지수	4.75	4.25	3.75	3.0	2.0	1.25
상태 점수 범위	$4.5 \leq X \leq 5.0$	$4.0 \leq X < 4.5$	$3.5 \leq X < 4.0$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1.0 \leq X < 1.5$

나. 성능목표 등급의 조정

“연간 화물량(백만 톤 GT)×하역능력(천 톤)”과 접안능력에 따라 성능목표 등급을 두 단계의 상태점수 범위 $4.0 \leq X < 4.5$ 또는 $3.5 \leq X < 4.0$ 의 B등급으로 선정하게 되어 있으나, 항만 및 어항의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

- 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.
 - * 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가
- 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.
 - * 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

□ 상수도

가. 성능목표 등급 선정

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

성능목표 등급 : B(평가점수 범위: $4.0 \leq X < 4.5$ 또는 $3.5 \leq X < 4.0$)

○ 선정 기준

[표 35] 광역상수도의 성능목표 등급 선정 기준

가동률	75% 이상	나머지의 경우
성능목표 등급	B (평가지수 범위: $4.0 \leq X < 4.5$)	B (평가지수 범위: $3.5 \leq X < 4.0$)

* 가동률은 건설기준코드(구 상수도 설계기준(환경부고시 제2017-206호, '17.11.17.))에서 제시하고 있는 75%를 기준으로 고려함

[표 36] 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B		C	D	E
평가지수 범위	$4.5 \leq X < 5.0$	$4.0 \leq X < 4.5$	$3.5 \leq X < 4.0$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1.0 \leq X < 1.5$

나. 성능목표 등급의 조정

광역상수도의 가동률에 따라 성능목표 등급을 두 단계의 평가지수 범위 $3.5 \leq X < 4.0$ 또는 $4.0 \leq X < 4.5$ 의 B등급으로 선정하게 되어 있으나, 상수도의 중요도나 공용기간, 최근의 성능저하 경향, 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

○ 관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화축진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

○ 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능 목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

부록 3

시설물별 성능간 가중치 및 부재가중치

- ☐ 교량
- ☐ 터널
- ☐ 옹벽
- ☐ 절토사면
- ☐ 댐
- ☐ 하구둑
- ☐ 수문
- ☐ 제방
- ☐ 공항
- ☐ 항만
- ☐ 상수도

□ 교량

1. 도로교량

1.1 우선순위지수 산정

1.1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 37] 안전성능 가중치

구 분		일반교량 가중치	특수교량 가중치
상부 구조 (공통)	바닥판	20.4	8.2
	거더	24.7	11.1
	아치리브·트리스	0.0	12.3
	2차부재	5.3	2.3
교면포장		3.5	3.3
배수시설		2.7	2.5
보호시설		1.8	1.6
신축이음		6.2	5.8
받침		13.3	10.3
교대, 교각		22.1	26.1
케이블, 텐던		0.0	16.5

[표 38] 내구성능 가중치

구 분	일반교량 가중치	특수교량 가중치
바닥판	36.2	8.1
거더	27.5	28.8
2차부재	3.4	4.4
주탑	—	31.2
교각/교대	32.9	27.5

[표 39] 사용성능 가중치

구분	가중치	구분	가중치
노면 평탄성 (포장상태, 승차감)	29.7	유지관리성 (점검시설)	15.6
교량조명	14.5	평균속도	13.4
진동 사용성	26.8		

[표 40] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
일반국도	68	21	11
고속국도	68	19	13

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 41] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치		영향도 (상:100%, 하: 50%)
		일반	특수	
안전성능 (E1)	바닥판	20.4	8.2	50~100
	거더	24.7	11.1	50~100
	아치리브·트러스	—	12.3	50~100
	2차 부재	5.3	2.3	50~100
	교면포장	3.5	3.3	50~100
	배수시설	2.7	2.5	50~100
	보호시설	1.8	1.6	50~100
	신축이음	6.2	5.8	50~100
	받침	13.3	10.3	50~100
	교대, 교각	22.1	26.1	50~100
	케이블, 텐던	0.0	16.5	50~100
내구성능 (E2)	바닥판	36.2	8.1	50~100
	거더	27.5	28.8	50~100
	2차부재	3.4	4.4	50~100
	주탑	—	31.2	50~100
	교각, 교대	32.9	27.5	50~100
사용성능 (E3)	노면 평탄성(포장상태, 승차감)	29.7		50~100
	교량조명	14.5		50~100
	진동 사용성	26.8		50~100
	유지관리성(점검시설)	15.6		50~100
	평균속도	13.4		50~100

2. 철도교량

2.1 우선순위지수 산정

2.1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 42] 안전성능 가중치

구분		일반교량 가중치	특수교량 가중치
상부 구조 (공통)	바닥판	20.4	8.2
	거더	24.7	11.1
	아치리브·트러스	0.0	12.3
	2차부재	5.3	2.3
교면포장		3.5	3.3
배수시설		2.7	2.5
보호시설		1.8	1.6
신축이음		6.2	5.8
받침		13.3	10.3
교대, 교각		22.1	26.1
케이블, 텐던		0.0	16.5

[표 43] 내구성능 가중치

구분	일반교량 가중치	특수교량 가중치
바닥판	36.2	8.1
거더	27.5	28.8
2차부재	3.4	4.4
주탑	0.0	31.2
교각/교대	32.9	27.5

[표 44] 사용성능 가중치

구분	가중치
진동사용성	50.0
점검시설의 유무	13.6
일 통행 횟수	36.4

[표 45] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
일반철도	71	18	11
고속철도	73	16	11

2.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 46] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치		영향도 (상:100%, 하: 50%)
		일반	특수	
안전성능 (E1)	바닥판	20.4	8.2	50~100
	거더	24.7	11.1	50~100
	아치리브·트러스	0.0	12.3	50~100
	2차 부재	5.3	2.3	50~100
	교면포장	3.5	3.3	50~100
	배수시설	2.7	2.5	50~100
	보호시설	1.8	1.6	50~100
	신축이음	6.2	5.8	50~100
	받침	13.3	10.3	50~100
	교대, 교각	22.1	26.1	50~100
	케이블, 텐던	0.0	16.5	50~100
내구성능 (E2)	바닥판	36.2	8.1	50~100
	거더	27.5	28.8	50~100
	2차부재	3.4	4.4	50~100
	주탑	0.0	31.2	50~100
	교각, 교대	32.9	27.5	50~100
사용성능 (E3)	진동사용성	50.0		50~100
	유지관리성(점검시설)	13.6		50~100
	일 통행 횟수	36.4		50~100

□ 터널

1. 도로터널

1.1 우선순위지수 산정

1.1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 47] 안전성능 가중치

구분		도로터널	적용 가중치
라이닝 상태 관련	균 열	15.7	56.0
	누 수	12.4	
	파손 및 손상	8.7	
	박 리	3.4	
	충분리 및 박락	5.1	
	재료분리	2.9	
	철근노출	7.8	
	줄눈부 열화	—	
터널 주변 관련	내공단면 축소여부	15.3	38.8
	배수상태	6.6	
	지반상태	7.5	
	공동구상태	2.4	
	배면공동 유무	7.0	
지진 발생 관련		5.2	5.2

[표 48] 내구성능 가중치

구분	가중치	
	환기구 존재	환기구 없음
본선라이닝	60	70
갱문(구)	20	30
환기구 콘크리트	20	—

[표 49] 사용성능 가중치

구분	가중치	구분	가중치
주행성	30.9	유지관리성	24.6
방재성	35.8	수요 및 용량	8.7

[표 50] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
일반국도	72	18	10
고속국도	72	20	8

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 51] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치		영향도 (상:100%, 하: 50%)
		환기구○	환기구×	
안전성 (E1)	라이닝 상태 관련	56.0	56.0	50~100
	터널 주변 관련	38.8	38.8	50~100
	지진 발생 관련	5.2	5.2	50~100
내구성 (E2)	본선라이닝	60.0	70.0	50~100
	갱문(구)	20.0	30.0	50~100
		20.0		
사용성능 (E3)	주행성	30.9	30.9	50~100
	방재성	35.8	35.8	50~100
	유지관리성	24.6	24.6	50~100
	수요 및 용량	8.7	8.7	50~100

2. 철도터널

2.1 우선순위지수 산정

2.1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 52] 안전성능 가중치

구분		철도터널	적용 가중치
라이닝 상태 관련	균열	14.3	58.2
	누수	11.6	
	파손 및 손상	7.8	
	박리	3.3	
	충분리 및 박락	4.7	
	재료분리	3.0	
	철근노출	7.2	
	줄눈부 열화	6.3	
터널 주변 관련	내공단면 축소여부	14.6	36.6
	배수상태	6.4	
	지반상태	6.6	
	공동구상태	2.5	
	배면공동 유무	6.5	
지진 발생 관련		5.2	5.2

[표 53] 내구성능 가중치

구분	가중치	
	환기구 존재	환기구 없음
본선라이닝	60	70
갱문(구)	20	30
환기구 콘크리트	20	—

[표 54] 사용성능 가중치

구분	가중치	구분	가중치
주행성	28.4	유지관리성	30.5
방재성	31.9	수요 및 용량	9.2

[표 55] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
일반철도	72	18	10
고속철도	72	19	9

2.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 56] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치		영향도 (상:100%, 하: 50%)
		환기구○	환기구×	
안전성 (E1)	라이닝 상태 관련	58.2	58.2	50~100
	터널 주변 관련	22.0	22.0	50~100
	지진 발생 관련	5.2	5.2	50~100
내구성 (E2)	본선라이닝	60.0	70.0	50~100
	갱문(구)	20.0	30.0	50~100
	환기구 콘크리트	20.0	—	50~100
사용성능 (E3)	주행성	28.4	28.4	50~100
	방재성	31.9	31.9	50~100
	유지관리성	30.5	30.5	50~100
	수요 및 용량	9.2	9.2	50~100

□ 옹벽

1. 우선순위지수 산정

1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 57] 안전성능 가중치

구분	콘크리트 옹벽	보강토 옹벽	석축	돌망태 옹벽
침 하	12.9	5.3	6.1	7.3
활 동	16.1	17.7	9.8	14.5
배수공상태	16.8	—	9.8	—
계획선형오차 (전도/경사)	7.1	5.3	6.1	—
전면부 진행성 배부름	—	22.1	18.2	17.0
파손, 손상 및 균열	18.1	11.6	12.2	19.5 ¹⁾
표면열화	5.8	—	—	—
유실	—	11.5	9.8	14.5 ²⁾
이격	—	8.8	6.1	—
백태	2.6	—	—	—
철근노출	4.5	—	—	—
채움콘크리트 상태	—	—	9.8	—
결속철망상태	—	—	—	12.7
세 굴	16.1	17.7	12.1	14.5

주1) 돌망태 옹벽의 경우, 와이어매쉬 파손 및 손상에 대하여 적용한다.

주2) 돌망태 옹벽의 경우, 채움재 유실에 대하여 적용한다.

내구성능 가중치는 콘크리트 옹벽, 보강토옹벽(강재 보강재)의 경우에만 다음 [표 58]의 가중치를 적용하며, 그 외의 옹벽의 경우 별도의 가중치를 적용하지 않는다.

[표 58] 내구성능 가중치

구분	가중치
콘크리트, 전면판(블럭)	67.0
철근, 강재보강재	33.0

[표 59] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치	
	안전성능(P1)	내구성능(P2)
콘크리트 옹벽	70	30
보강토옹벽 - 일반블록 및 패널	80	20
보강토옹벽 - 특수공법(철근포함)	70	30
석축	70	30
돌망태옹벽	100	0

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 60] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치				영향도 (상:100%, 하: 50%)
		콘크리트 옹벽	보강토 옹벽	석축	돌망태옹 벽	
안전성능 (E1)	침 하	12.9	5.3	6.1	7.3	50~100
	활 동	16.1	17.7	9.8	14.5	50~100
	배수공상태	16.8	—	9.8	—	50~100
	계획선형오차 (전도/경사)	7.1	5.3	6.1	—	50~100
	전면부 진행성 배부름	—	22.1	18.2	17.0	50~100
	파손, 손상 및 균열	18.1	11.6	12.2	19.5	50~100
	표면열화	5.8	—	—	—	50~100
	유실	—	11.5	9.8	14.5	50~100
	이격	—	8.8	6.1	—	50~100
	백태	2.6	—	—	—	50~100
	철근노출	4.5	—	—	—	50~100
	채움콘크리트 상태	—	—	9.8	—	50~100
	결속철망상태	—	—	—	12.7	50~100
	세 굴	16.1	17.7	12.1	14.5	50~100
내구성능 (E2)	콘크리트, 전면판(블럭)	67.0	67.0	—	—	50~100
	철근, 강재보강재	33.0	33.0	—	—	50~100

□ 절토사면

1. 우선순위지수 산정

1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 61] 안전성능 가중치

구분	토사사면	암반사면	혼합사면
집수지형	12	6	7
불안정지질	—	15	14
불연속면특성	—	24	8
지반변형	24	9	11
지하수	18	8	12
배수조건	10	11	10
붕괴이력	22	10	11
낙석	—	17	12
사면상부상태	14	—	15

[표 62] 내구성능 가중치

구분	토사사면	암반사면	혼합사면
지반상태	40	25	29
표면보호공	25	10	15
사면보강공	35	25	24
절리상태 및 풍화진행도		40	32

[표 63] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치	
	안전성능(P1)	내구성능(P2)
절토사면	80	20

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 64] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치			영향도 (상:100%, 하: 50%)
		토사사면	암반사면	혼합사면	
안전성능 (E1)	집수지형	12	6	7	50~100
	불안정지질	—	15	14	50~100
	불연속면특성	—	24	8	50~100
	지반변형	24	9	11	50~100
	지하수	18	8	12	50~100
	배수조건	10	11	10	50~100
	붕괴이력	22	10	11	50~100
	낙석	—	17	12	50~100
	사면상부상태	14	—	15	50~100
내구성능 (E2)	지반상태	40	25	29	50~100
	표면보호공	25	10	15	50~100
	사면보강공	35	25	24	50~100
	절리상태 및 풍화진행도 관련		40	32	50~100

□ 댐

1. 우선순위지수 산정

1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 65] 안전성능 가중치

구분	필댐 평가지수	콘크리트댐
댐마루	16.1	14.3
상류(사)면	15.1	16.7
하류(사)면	16.0	23.8
기초 및 양안부	9.7	14.3
갤러리(검사랑)	0.0	21.4
배수구 및 그라우팅 터널	0.0	9.5
접근수로	4.3	—
조절부	8.6	—
도수로	9.7	—
감세공	10.8	—
일반적인 콘크리트 구조물	9.7	—

[표 66] 내구성능 가중치

세부시설물	구분	적용 가중치
토목시설 (댐 본체)	일반 콘크리트 구조물	30.0
	강재 도막	30.0
	강재 열화	30.0
기전시설 (문비 및 권양기 와이어로프 포함)	권양기	5.0
	수문 및 문틀	5.0

[표 67] 사용성능 가중치

구 분	세부지표	개별 가중치	적용 가중치
운영성	강재수문 및 권양기 작동 유무	23.3	71.7
	구동모터 및 브레이크	18.1	
	계측기	12.4	
	현장제어반 및 조작반	17.9	
유지관리성	점검시설	16.4	16.4
수요 및 용량	수질	11.9	11.9

[표 68] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
댐	74	17	9

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 69] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목		가중치		영향도 (상:100%, 하: 50%)
			필댐	콘크리트댐	
안전성능 (E1)	댐마루		16.1	14.3	50~100
	상류(사)면		15.1	16.7	50~100
	하류(사)면		16.0	23.8	50~100
	기초 및 양안부		9.7	14.3	50~100
	갤러리(검사랑)		0.0	21.4	50~100
	배수구 및 그라우팅 터널		0.0	9.5	50~100
	접근수로		4.3	—	50~100
	조절부		8.6	—	50~100
	도수로		9.7	—	50~100
	감세공		10.8	—	50~100
내구성능 (E2)	일반적인 콘크리트 구조물		9.7	—	50~100
	일반 콘크리트 구조물		30.0		50~100
	강재 도막		30.0		50~100
	강재 열화		30.0		50~100
	권양기		5.0		50~100
사용성능 (E3)	수문 및 문틀		5.0		50~100
	운영성	강재수문 및 권양기 작동 유무	23.3		50~100
		구동모터 및 브레이크	18.1		50~100
		계측기	12.4		50~100
		현장제어반 및 조작반	17.9		50~100
	유지관리성	점검시설	16.4		50~100
	수요 및 용량	수질	11.9		50~100

□ 하구둑

1. 우선순위지수 산정

1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 70] 안전성능 가중치

구분	적용 가중치
방조제	40.0
배수갑문	46.0
기전설비	14.0

[표 71] 내구성능 가중치

세부시설물	구분	전체시설물 적용 가중치 (교량포함)	기본시설물 적용 가중치 (교량 제외)
토목시설	방조제	18.0	24.7
	배수갑문	45.0	61.6
	교량	27.0	—
기전시설	기전시설	10.0	13.7

[표 72] 사용성능 가중치

구분	세부지표	개별 가중치	적용 가중
운영성	권양기의 작동유무 및 마찰부 손상	21	60
	현장제어반 및 조작반	13	
	구동모터 및 브레이크	14	
	수문작동 유무	12	
유지관리성	점검시설	13	13
수요 및 용량	염분침투	27	27

[표 73] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
하구둑	66	20	14

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 74] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목		가중치		영향도 (상:100%, 하: 50%)
			전체시설물 (교량포함)	기본시설물 (교량제외)	
안전성능 (E1)	방조제		40.0		50~100
	배수갑문		46.0		50~100
	기전설비		14.0		50~100
내구성능 (E2)	방조제		18.0	24.7	50~100
	배수갑문		45.0	61.6	50~100
	교량		27.0	—	50~100
	기전시설		10.0	13.7	50~100
사용성능 (E3)	운영성	권양기의 작동유무 및 마찰부 손상	21		50~100
		현장제어반 및 조작반	13		50~100
		구동모터 및 브레이크	14		50~100
		수문작동 유무	12		50~100
	유지 관리성	점검시설	13		50~100
	수요 및 용량	염분침투	27		50~100

□ 수문

1. 우선순위지수 산정

1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 75] 안전성능 가중치

구분	적용 가중치
수문본체, 관리교	63.0
배수시설물	27.0
문비 및 기계설비	10.0

[표 76] 내구성능 가중치

구분	적용 가중치
수문구조물(콘크리트 구조물)	85.0
문비 및 기계설비(강재 구조물)	15.0

[표 77] 사용성능 가중치

구분		세부지표	적용 가중치
수문 구조물	배수시설물	퇴적(배수지장)	13.0
기계설비	권양기	권양기 작동유무	27.0
		수밀성	20.0
		배수능력	20.0
기타 부대시설	점검로	점검 및 진단	20.0

[표 78] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
수문	66	20	14

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 79] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목		가중치	영향도 (상:100%, 하: 50%)
안전성능 (E1)	수문본체, 관리교		63.0	50~100
	배수시설물		27.0	50~100
	문비 및 기계설비		10.0	50~100
내구성능 (E2)	수문구조물(콘크리트 구조물)		85.0	50~100
	문비 및 기계설비(강재 구조물)		15.0	50~100
사용성능 (E3)	배수시설물	퇴적(배수지장)	13.0	50~100
	권양기	권양기 작동유무	27.0	50~100
		수밀성	20.0	50~100
		배수능력	20.0	50~100
		점검로	20.0	50~100
	점검로	점검 및 진단	20.0	50~100

□ 제방

1. 우선순위지수 산정

1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 80] 안전성능 가중치

구분	표준제방 가중치	특수제방 가중치
체체	49.0	—
호안	23.0	—
하상부	11.0	—
직립구조물	—	83.0
배수통관	17.0	17.0

[표 81] 내구성능 가중치

구분	적용 가중치
독마루	30.0
제외지	50.0
제내지	20.0

[표 82] 사용성능 가중치

구분	세부지표	개별 가중치
운영성	문짜의 기능	31.6
	배수암거 배수기능	18.8
	제방 사면 경사도	16.8
유지관리성	접근로 확보 여부	18.0
수요 및 용량	홍수 조절	14.8

[표 83] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
제방	66	20	14

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 의견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 84] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목		가중치		영향도 (상:100%, 하: 50%)
			표준제방	특수제방	
안전성능 (E1)	제체		49.0	—	50~100
	호안		23.0	—	50~100
	하상부		11.0	—	50~100
	직립구조물		—	83.0	50~100
	배수통관		17.0	17.0	50~100
내구성능 (E2)	독마루		30.0		50~100
	제외지		50.0		50~100
	제내지		20.0		50~100
사용성능 (E3)	운영성	문짝의 기능	31.6		50~100
		배수암거 배수기능	18.8		50~100
		제방 사면	16.8		50~100
	유지관리성	접근로	18.0		50~100
	수요 및 용량	홍수 조절	14.8		50~100

□ 공항

1. 우선순위지수 산정

1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 85] 안전성능 가중치

구분		가중치
철근 콘크리트	균열	10.2
	철근부식	13.0
	박리	7.2
	박락 및 층분리	7.2
	누수 및 백태	7.3
	철근노출	7.3
철골구조	용접 접합상태	13.1
	볼트 접합상태(앵커볼트 포함)	13.1
	강재의 부식도	7.2
	접합재 부식도(용접, 볼트)	10.1
	내화피복	4.3

내구성능 가중치는 유지공법 적용 시 부재 구성(기둥, 보, 트러스, 케이블, 브레이싱 등)에 따라 내구성 가중치를 구분하여 적용하면 상충되는 요소나 물량 산출의 복잡성 때문에 적용이 어려워므로 내구성능에 가장 큰 영향을 미치는 층별 중요도를 고려하여 각 층 부재의 기능과 부재가 부담하고 있는 층수의 영향도에 의하여 가중치를 산정하였다.

$$\text{층별 가중치 } W(n) = \frac{N-(n-1)}{N}$$

여기서, N: 공항(여객터미널)의 전체 층 수

n: 가중치 산정을 하고자하는 현재 층 (최하층이 1, 최상층은 N)

[표 86] 층별 가중치 산정의 예 (지하2개층, 지상10개층의 전체 12개 층일 경우)

위치	n	계산과정	층별 중요도	가중치
지하2층	1	$(12-(1-1)) / 12$	1.000	54
지상2층	4	$(12-(4-1)) / 12$	0.750	41
지상10층	12	$(12-(12-1)) / 12$	0.083	5
합계			1.833	100

[표 87] 사용성능 가중치

구분	가중치	구분	가중치
접근교통의 편리성	21.3	신속성(소요시간)	15.1
주차시설 만족도	9.5	정확성(수화물)	17.6
정보이용의 용이성	6.8	연간처리능력	20.1
공항시설 및 환경	9.6		

[표 88] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
공항	70	20	10

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 89] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목		가중치	영향도 (상:100%, 하: 50%)
안전성능 (E1)	철근 콘크리트	균열	10.2	50~100
		철근부식	13.0	50~100
		박리	7.2	50~100
		박락 및 층분리	7.2	50~100
		누수 및 백태	7.3	50~100
		철근노출	7.3	50~100
	철골구조	용접 접합상태	13.1	50~100
		볼트 접합상태(앵커볼트 포함)	13.1	50~100
		강재의 부식도	7.2	50~100
		접합재 부식도(용접, 볼트)	10.1	50~100
		내화피복	4.3	50~100
	공통	기울기	—	50~100
		변위, 변형	—	50~100

구분	지표항목	가중치	영향도 (상:100%, 하: 50%)
	부등침하	—	50~100
내구성능 (E2)	<p>층별 가중치 $W(n) = \frac{N-(n-1)}{N}$</p> <p>여기서, N : 공항 시설물의 전체 층 수 n : 가중치 산정을 하고자하는 현재 층 (최하층이 1, 최상층은 N)</p>		50~100
사용성능 (E3)	접근교통의 편리성	21.3	50~100
	주차시설 만족도	9.5	50~100
	정보이용의 용이성	6.8	50~100
	공항시설 및 환경(청결성, 쾌적성, 편리성)	9.6	50~100
	신속성(출발 및 도착 소요시간)	15.1	50~100
	정확성(수화물 처리오류 및 분실률)	17.6	50~100
	연간처리능력	20.1	50~100

□ 항만

1. 우선순위지수 산정

1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 90] 안전성능 가중치

구분	중력식	널말뚝식
상부공 및 벽체부	82.6	85.8
기초부	8.7	7.1
에이프런	8.7	7.1

* 잔교식 : 수상부(66.7), 수중부(33.3)

[표 91] 내구성능 가중치

구분	가중치	구분	가중치
안벽	25.0	돌핀	15.0
물양장	14.0	선착장	7.0
잔교	21.0	램프	5.0
부잔교	13.0		

[표 92] 사용성능 가중치

구분	가중치	구분	가중치
계선주	13.4	에이프런 포장	15.6
차막이	25.9	계류박지의 퇴적물	13.7
방충재	8.3	접안의 용이성 및 부두의 조명시설	23.1

[표 93] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
잔교식	66.0	22.0	12.0
중력식	65.0	22.0	13.0
널말뚝식	66.0	21.0	13.0

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 94] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치						영향도 (상:100%, 하: 50%)
안전성능 (E1)	상부공 및 벽체부	중력 식	82.6	널말 뚝식	85.8	잔교 식	수상부 66.7	50~100
	기초부		8.7		7.1		수중부 33.3	50~100
	에이프런		8.7		7.1			50~100
내구성능 (E2)	안벽	25.0						50~100
	물양장	14.0						50~100
	잔교	21.0						50~100
	부잔교	13.0						50~100
	돌핀	15.0						50~100
	선착장	7.0						50~100
	램프	5.0						50~100
사용성능 (E3)	계선주	13.4						50~100
	차막이	25.9						50~100
	방충재	8.3						50~100
	에이프런 포장	15.6						50~100
	계류박지의 퇴적물	13.7						50~100
	접안의 용이성 및 부두의 조명시설	23.1						50~100

□ 상수도

1. 우선순위지수 산정

1.1 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

[표 95] 안전성능 가중치

구분	조절지 있음	조절지 없음
조절지	20.0	0.0
관로	65.0	81.0
밸브실	15.0	19.0

[표 96] 내구성능 가중치

구분	조절지 있음	조절지 없음
조절지	20.0	0
관로	65.0	80.0
밸브실	15.0	20.0

[표 97] 사용성능 가중치

구분	가중치	구분	가중치
수질	10.4	펌프의 소음 및 진동	21.5
관로 사고 방지	7.3	전기설비	24.3
밸브 손상방지	12.3	가동률	24.2

[표 98] 성능간 가중치

구분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
상수도	60	25	15

1.1.2 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

[표 99] 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치				영향도 (상:100%, 하: 50%)
안전성능 (E1)	조절지	조 절 지 ○	20.0	조 절 지 ×	—	50~100
	관로		65.0		81.0	50~100
	밸브실		15.0		19.0	50~100
내구성능 (E2)	조절지	조 절 지 ○	20.0	조 절 지 ×	—	50~100
	관로		65.0		80.0	50~100
	밸브실		15.0		20.0	50~100
사용성능 (E3)	수질	10.4				50~100
	관로 사고 방지	7.3				50~100
	밸브 손상방지	12.3				50~100
	펌프의 소음 및 진동	21.5				50~100
	전기설비	24.3				50~100
	가동률	24.2				50~100

부록 4

보고서 서식

1. 제2종 및 제1종성능평가 표준서식

※ 상기 보고서 서식은 필요시 변경하여 사용할 수 있음

1. 제2종 및 제1종성능평가 표준서식

1.1 제2종 및 제1종성능평가 결과표

1.2 제2종 및 제1종성능평가 실시결과 요약표

1.3 시설물별 현황표

- ☐ 교량
- ☐ 터널
- ☐ 옹벽
- ☐ 절토사면
- ☐ 댐
- ☐ 하구둑
- ☐ 수문
- ☐ 제방
- ☐ 공항
- ☐ 항만
- ☐ 상수도

1.1 제2종 및 제1종성능평가 결과표

○○시설물 제1종(제2종) 성능평가 결과표

가. 일반현황					
용역명		성능평가기간			
관리주체명		대표자			
공동수급		계약방법			
시설물 구분		종 류		종 별	
준공일		성능평가금액 (천원)		종합성능 등급	
시설물 위치		시설물 규모			
나. 점검 실시결과 현황					
중대결함					
성능평가 주요결과					
주요 보수·보강					
다. 책임(참여)기술자 현황					
구 분	성 명	과업 참여기간	기술등급		
라. 참고사항					

1.2 제2종 및 제1종성능평가 실시결과 요약표

○○시설물 제1종(제2종) 성능평가 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견	
<ul style="list-style-type: none"> • • • • • 	<div> <div>책임기술자 :</div> <div>(서명)</div> </div>

가. 외관조사 결과 기본사항

상태안전성능 평가 결과 및 보수·보강				상태안전성능 평가 결과 :
결함발생 부재	상태안전성능 평가 결과	결함종류	보수·보강(안)	

나. 구조안전성능 평가 결과

구조안전성능 평가 수행 부재	해석방법	구조안전성능 평가 결과 요약	안전율	구조안전성능 평가 결과

다. 내구성능 평가 결과

내구성능 평가 결과 및 보수·보강				내구성능 평가 결과 :
결함발생 부재	내구성능 평가 결과	결함종류	보수·보강(안)	

시 험 명	시험 부위	시험 결과	내구성능 평가 결과
○ 탄산화깊이			
○ 염화물침투량			
○			

라. 사용성능 평가 결과

사용성능 평가	사용성능 평가 결과 요약	사용성능 평가 결과

마. 내진성능평가 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용 여부	결과	검토결과 요약
	Y/N		

바. 현장시험 (비파괴 및 추가시험)

시 험 명	시험 부위	시험 결과	책임기술자 의견
○ 콘크리트 비파괴			
○ 강재비파괴			
○			
○			
○			
○			

1.3 시설물별 현황표

- ☐ 교량
- ☐ 터널
- ☐ 옹벽
- ☐ 절토사면
- ☐ 댐
- ☐ 하구둑
- ☐ 수문
- ☐ 제방
- ☐ 공항
- ☐ 항만
- ☐ 상수도

□ 교량

○○교 현황표

작성일 : 년 월 일

구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명				시설물번호			
준공년월일				관리번호			
시설물위치							
설계하중				노선명(이정)			
제원	연장	L = ○○ m, (○@○○ = ○○ m)					
	폭	B = ○○ m, (보도 + 차도) ○차로					
구조 형식	상부			기초 형식	교대		
	하부				교각		
교량받침				신축이음			
교차시설물 (도로, 철도, 하천)				통과 높이			
부착시설내용							
기 타		※ 종 · 평면도 ※ 중점 사항(붕괴유발부재, 보수 · 보강 부위 등을 기재) ※ 별지 이용					

□ 터널

○○터널 현황표

작성일 : 년 월 일

터널명			
노선명		시행청	
시점		중점	
터널형식		관리주체	
차선수		환기방식	
연장		설계사	
내공단면		시공사	
배수형식		감리사	
종단기울기		착공	
평균선형		준공	
연결통로		갱문형식	
주요공법		보조공법	
기타	※ 종·평면도 ※ 중점 사항(보수·보강부위, 계측관리부위 등) ※ 별지 이용		

※ 도로터널의 경우

○○터널 현황표

작성일 : 년 월 일

터널명		관리주체	
선명		구간	
위치		연장	
소재지		준공년도	
종단구배		등급	
곡선반경		시공사	
터널형식		착공일자	
열차운행회수		준공일자	
배수형식		갱문형식	
단·복선		공법	주요
			보조
기타	※ 종·평면도 ※ 중점 사항(보수·보강부위, 계측관리부위 등) ※ 별지 이용		

※ 철도터널의 경우

○○지하차도 현황표

작성일 : 년 월 일

구 분		내 용	구 분		내 용
시설물명			시설물번호		
준공년도			관리번호		
위 치					
설계하중			노선명(이정)		
제원	연장				
	폭				
BOX 구간	연장		U-TYPE 구간	연장	
	토포고			옹벽 높이	
통과높이			펌프장유무		
신축이음유무			관리주체		
기 타		※ 종 · 평면도 ※ 중점 사항(보수 · 보강부위 등을 기재) ※ 별지 이용			

□ 옹벽

○○옹벽 현황표

작성일 : 년 월 일

시설물 번호				관리번호		
시설물명				시설물 구분		
위 치	행정구역					
	위치좌표	시점		종점		
제 원	옹벽형식					
	연 장		지면노출높이 (m)			
	저판폭(m)		노 선			
관리주체				관리주체구분		
주변환경						
시공현황	준공년도		시공자			
	부대시설					
비 고						

위치도 S = 1/25,000

표준 단면도

□ 절토사면

○○절토사면 현황표

작성일 : 년 월 일

시설물 번호			관리번호		
시설물명			시설물구분		
위 치	행정구역				
	위치좌표	시점 :			
		종점 :			
제 원	연 장		높 이		
	경사/방향		노 선		
관리주체			관리주체구분		
주변환경	인공구조물				
	주변지형		상부사면경사		
시공현황	준공년도		시 공 자		
	부대시설				
비 고					

절토사면 전경사진

--

표준 평면도

--

표준 횡단면	

위치도 (S = 1/25,000)

□ 댐

○○댐 현황표

시설물명				시설물번호			
준공년월일				관리번호			
위 치							
관리주체				Tel.			
댐 제 원	하 천 명				총 저수량		백만m ³
	댐 형 식				유효 저수량		백만m ³
	댐 높 이		m		사수량		백만m ³
	댐 길 이		m		홍수조절용량		백만m ³
	댐 체 적		천m ³		댐정상 표고		EL. m
	상류면경사				계획 홍수위		EL. m
	하류면경사				상시 만수위		EL. m
					제한 수위		EL. m
여 수 로	설계홍수량		m ³ /sec		저수위		EL. m
	수 문	형식			시설용량		천kW
		문수			유효낙차		m
		크기	m		사용수량		m ³ /sec
기 타							
<p>※ 종 · 평면도</p> <p>※ 중점 사항 (붕괴유발부재, 보수 · 보강 부위 등을 기재)</p> <p>※ 별지 이용</p>							

□ 하구둑

○○하구둑 현황표

시설물명				시설물번호			
준공년월일				관리번호			
위 치							
관리주체				Tel.			
배수 갑문	연 장	m		저수지 제원	하천명		
	높 이	m			하천등급	지방/급	
	문비수	개			유역면적	km ²	
	문비규격	가로 m × 세로 m	총저수량		천 m ³		
	권양형식				유효저수량	천 m ³	
	설계홍수량	m ³ /sec			총저수량	천 m ³	
	만수면적	km ²			홍수위	EL. m	
					사수위	EL. m	
방 조 제	연 장	m		설계 조건	설계홍수량	m ³ /sec	
	높 이	m			홍수위	EL. m	
	제정표고	EL. m			관리수위	EL. m	
	제정폭	m			사수위	EL. m	
	제체적	천 m ³			총저수량	m ³	
	최대저폭	m			유효저수량	m ³	
	상류면경사	1:			사수량	m ³	
	하류면경사	1:			만수위	EL. m	
갑문	연장	m			간조위	EL. m	
	통수폭	m			만조위	EL. m	
	통선폭	m					
	갑문수	m					
	갑문규격	가로 m × 세로 m					
기 타							
<p>※ 종·평면도</p> <p>※ 중점 사항 (붕괴유발부재, 보수·보강 부위 등을 기재)</p> <p>※ 별지 이용</p>							

□ 수문

○○수문 현황표

시설물명				시설물번호			
준공년월일				관리번호			
위 치							
관리주체				Tel.			
관련 하천	하천수계			수문 현황	문 비 수		
	하 천 명				문비규격		
	하천등급				암거규격		
	하천에서의 위치				암거런수		
	제 방 고				암거연장		
	제 방 폭				권양기 형식		
	계획 홍수위				수문 바닥고		
	계획 홍수량				유역면적		
					수혜면적		
기 타							
<p>※ 중·평면도</p> <p>※ 중점 사항 (보수·보강 부위 등을 기재)</p> <p>※ 별지 이용</p>							

□ 제방

○○제 방 현 황 표

시설물명		시설물번호	
준공년월일		관리번호	
위 치			
관리주체		Tel.	
하천수계		제방연장	m
하천명		계획홍수량	m ³ /s
하천등급		제방표고	EL. m
좌·우안	우안 (상류에서 하류방향)	기준여유고	m
기 타			
<p>※ 종 · 평면도</p> <p>※ 중점 사항 (붕괴유발부재, 보수 · 보강 부위 등을 기재)</p> <p>※ 별지 이용</p>			

□ 공항

○ ○ 공항 현황표

시설물명			시설물번호		
준공년월일	(경과년수: 년)		관리번호		
위 치					
관리주체		관리책임자		Tel.	
건축면적(m ²)			연면적(m ²)		
층 수	지하 : , 지상 :		주용도		
기초형식			구조형식		
최고높이(m)			지하깊이(GL이하 ~ 기초바닥까지)(m)		
기둥표준간격 (m)			지하수위(GL-)(m)		
내진설계여부	O () , X ()		기준층 슬래브두께(mm)		
콘크리트 설계강도(MPa)			철근종류(MPa)		
철골종류(MPa)			방수공법(재)	지붕층 :	
				지하층 :	
준공도면 보관여부	건축(), 구조(), 전기(), 기계(), 조경(), 토목()				
준공서류 보관여부	구조계산서(), 지질조사 보고서(), 시방서(), 품질관리계획서(), 내역서()				
기 타	※ 입·평면도 ※ 중점 사항 (붕괴유발부재, 보수·보강 부위 등을 기재) ※ 별지 이용				

작성일 : 년 월 일

□ 항만

○○부두 시설물 현황표

시설물명				시설물번호			
준공년월일				관리번호			
위 치							
관리주체				Tel.			
시 설 규 모	최대 계류선박규모	DWT		구조형식	잔교식	강(콘크리트)말뚝	
	연 장	m			돌핀식	자켓식	
	천단고	DL	m		중력식	케이슨식	
	수 심		m		널말뚝식	강널말뚝식	
					(갑문 형식)		
기 타							
<p>참고) 시설물 종류에 따라 아래의 항목에 대한 시설규모와 구조형식을 위 칸을 적절하게 활용하여 기입</p> <ul style="list-style-type: none"> - 갑문시설: <ul style="list-style-type: none"> · 시설규모: 최대통과선박, 갑거연장(총 및 유효길이), 폭, 높이, 갑문(길이, 수) · 갑문형식: 갑문형식(슬라이딩 게이트 등)을 기입 - 계류시설: <ul style="list-style-type: none"> · 시설규모: 최대계류선박 규모(DWT), 연장, 천단고(DL.m), 수심(m) · 구조형식: 잔교식, 돌핀식, 중력식, 널말뚝식 부두의 구조형식을 기입 - Buoy식 계류시설 <ul style="list-style-type: none"> · 시설규모: 최대계류선박규모, 수심 등 · 구조형식: 다부표식, 단부표식 <p>※ 종·평면도 ※ 중점 사항 (보수·보강 부위 등을 기재) ※ 별지 이용</p>							

□ 상수도

○○상수도 현황표

시설물명				시설물번호			
준공년월일				관리번호			
위 치							
관리주체				Tel.			
취수 시설	시설용량	m³/일		정수장	시설용량	m³/일	
취수 펌프장	시설용량	m³/일		관 로	관경	mm	
					연장	m	
가압 펌프장	시설용량	m³/일		조절지 및 배수지	시설용량	m³/일	
기 타							
<p>※ 종 · 평면도</p> <p>※ 중점 사항 (붕괴유발부재, 보수 · 보강 부위 등을 기재)</p> <p>※ 별지 이용</p>							

부록 5

과업지시서 예시 - 제1종(제2종) 성능평가

본 과업지시서 예시는 과업의 제반여건에 따라 변경될 수 있습니다.

제1종(제2종) 성능평가 과업지시서

1. 일반조건

1.1 과업명 : ○○교 제1종성능평가

1.2 과업의 목적

본 과업은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「시특법」 이라 한다.) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「영」 이라 한다) 제28조에 규정에 따른 제1종 성능평가(제2종성능평가)로서 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속·정확하게 조사·평가하고, 그에 대한 적절한 성능확보를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진시켜 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.3 과업의 범위

가. 시설물의 개요

- 1) 시설물 명 : ○○교
- 2) 위 치 : ○○도 ○○시(군) ○○동(면) ○○리
- 3) 제 원
 - 교 량 형 식 :
 - 연 장 : m
 - 교 폭 : m
 - 설 계 하 중 :
 - 준 공 년 도 : 년 월

나. 제1종성능평가(제2종성능평가) 대상시설물의 범위

구 분	부재명		제2종성능평가	제1종성능평가
대상 시설물	상부구조	바닥판, 거더	○	○
	하부구조	교대 및 교각, 주탑, 기초	○	○
	받침	교량받침	○	○
	케이블	케이블, 정착구, 행어밴드, 새들	○	○
	기타부재	신축이음, 배수시설, 난간 및 연석, 교면포장	○	○

1.4 과업 세부내용

- 자료수집 및 분석
- 현장조사 및 시험
- 안전성능 평가
- 내구성능 평가
- 사용성능 평가
- 종합평가
- 유지관리 전략 제안
- 보고서 작성

1.5 주요업무의 사전승인 등

계약상대자는 다음사항에 대해서는 사전에 관리주체의 승인을 받아 과업을 수행하여야 한다.

- 1) 사업수행계획서 및 착수신고서의 내용변경
- 2) 기본계획을 포함한 주요내용 및 방침의 설정 또는 변경
- 3) 기타 감독원의 지시나 계약상대자의 판단에 따라 승인 받아야 할 사항

1.6 과업수행 및 공정보고

1.6.1 착수신고서 제출

- 1) 계약상대자가 과업착수 시 제출할 착수신고서와 착수신고서에 포함하여 제출할 서류의 내용과 서식은 다음 각 호와 같다.
 - ㉠ 착수신고서
 - ㉡ 사업수행계획서
 - ㉢ 인력 및 장비 투입계획서
 - ㉣ 세부공정계획서
 - ㉤ 사업책임기술자 선임신고서
 - ㉥ 사업수행 조직표
 - ㉦ 안전관리계획서
 - ㉧ 사전검토 보고서
- 2) 계약상대자는 당해 시설물의 설계도서 등 유지관리 자료와 과업지시서 등이 법령 및 시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침(이하 「지침」이라 한다) 등에 부합되는지의 여부를 검토하여 용역 착수일로부터 15일 이내에 관리주체에게 서면으로 보고하고 그 방침을 받아 용역 업무를 진행하여야 한다. 다만, 용역업무의 특수

성 등으로 인하여 별도로 기간을 정할 경우에는 그 기간으로 한다.

- 3) 설계도서 등의 사전검토를 거쳐 관리주체의 방침을 받은 결과를 반영한 과업수행계획서를 작성하여 관리주체에게 서면으로 보고하고 승인을 받아 용역 업무를 진행하여야 한다.
- 4) 설계도서 등의 사전검토 보고서와 과업수행계획서에 관한 일체의 서류는 제1종성능평가(제2종성능평가) 실시결과 보고서에 수록하여야 한다.
- 5) 계약상대자는 상기 1.6.1항의 착수신고 서류 ○부를 관리주체에 제출하여야 한다.

1.6.2 공정보고

계약상대자는 과업수행기간 중 다음사항을 포함한 월간 진도보고를 매월 말일을 기준으로 하여 다음달 5일까지 성능평가 책임기술자의 확인을 받아 관리주체에 제출하여야 한다.

- 1) 과업추진내용 및 공정현황
- 2) 과업수행 상 중요 문제점 및 대책
- 3) 참여기술자 현황
- 4) 다음 달 과업수행 계획

1.7 법률준수의 의무

계약상대자는 이 과업을 수행함에 있어 관계 법률에 저촉되는 행위로 인한 모든 피해사항에 대하여 책임을 져야 한다.

1.8 안전관리

1.8.1 일반

제1종성능평가 및 제2종성능평가를 실시하는 사람은 안전은 물론 공공의 안전을 위하여 측정 장비 및 기기 등을 안전하게 운용하고 작업을 안전하게 수행하도록 안전관리 계획을 수립하여야 한다.

1.8.2 제1종성능평가 및 제2종성능평가 종사자의 안전

- 1) 제1종성능평가 및 2종 성능평가를 실시하는 사람은 안전모, 작업복, 작업화와 필요한 경우 청각, 시각 및 안면보호장비 등을 포함한 개인용 보호 장구를 항상 착용하여야 하며 측정 장비 및 기기를 항상 최적의 상태로 정비하여야 한다.
- 2) 밀폐된 공간에서의 작업이 필요할 경우에는 유해물질, 가스 및 산소결핍 등에 대한 조사와 대책을 사전에 마련하여야 한다.

1.8.3 공공의 안전

공공의 안전측면에서 관리주체는 시설물의 1종 성능평가 및 2종 성능평가 실시 기간 동안 교통통제와 작업 공간 확보를 위하여 적절한 계획을 수립 시행하여야 한다.

1.9 용어의 해석

과업지시서상의 용어해석에 차이가 있을 경우에는 관리주체와 계약상대자가 상호 협의하여 결정해야 한다.

2. 성능평가 계획 및 세부사항

2.1 성능평가 계획

2.1.1 일반

성능평가 계획은 현장에서의 사전조사를 실시한 후에 수립하며 조사항목은 아래와 같다.

- 현장여건 및 문제점
- 시설관리자 및 주민의견 청취
- 제반시설 관련자료

이때 도면 및 자료를 개략 검토한 후에 조사를 수행함으로써 구조물의 형상이나 세부사항들에 대한 사전 정보를 갖고 점검에 임하도록 한다.

2.1.2 성능평가 계획 수립

사전조사 시 수집된 자료를 검토 후 점검계획을 수립하며 다음 사항이 포함되어야 한다.

- 1) 조사범위 및 항목결정
 - 각 분야별 조사범위와 세부항목을 전체 성능평가 계획에 맞추어 결정
 - 책임기술자가 필요하다고 판단되는 경우별도 조사항목 포함
- 2) 기존 점검자료 및 성능평가자료 검토
 - 기 발견된 결함의 확인을 위해 검토
- 3) 분야별 소요인원 및 구성
 - 분야별 총 소요인원을 판단하여 가용인력을 구성, 투입계획수립
- 4) 재료시험 실시에 대한 적정성여부 판단
- 5) 성능평가기간 및 계획된 작업시간 예측
- 6) 성능평가 범위 및 안전성에 대한 판단

7) 장비 선정

구조물의 성능평가에 필요한 재료시험 장비, 측량장비를 준비할 때에는 분야별 세부 조사 항목에 부합되는 장비를 준비하도록 한다. 또한, 접근장비는 육안조사 및 장비에 의한 측정이 가능하도록 사다리, 고소차, 교량점검차, 비계, 점검보트, 예인선 및 부선 등을 준비한다.

이러한 장비선정 시에는 다음의 항목을 고려한다.

- 접근장비를 안전하게 지지하는지 여부
- 장비위치에 따른 교통통제의 필요성
- 장비설치에 따른 지장물 존재여부

8) 접근방법 결정

- 교량 하면(바닥판 하면, 거더 하면, 박스거더 내부, 하부구조 두부, 교량받침 등)에 대한 현장조사 시에는 사다리, 고소차, 교량점검차, 비계 설치, 사다리 설치 등 현장여건에 따라 안전을 고려한 최선의 방법을 선택한다.
- 교량점검차의 접근이 불가능한 수중구간의 접근은 예인선 및 부선에 고소차를 태워 실시하되 안전장치의 착용 등을 통해 안전에 유의하며, 특히 기상상태에 주의한다.

9) 성능평가 종사자의 안전

- 성능평가 업무 및 접근방법과 관련하여 점검자는 안전사고 예방에 유의한다.

10) 기타 점검자와 관리주체가 필요하다고 판단되는 사항

2.1.3 과업수행 적용 기준

본 과업은 다음의 현행 제규정 및 지침에 의거하여 제반사항을 성실히 이행하여야 한다.

- 1) 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 2) 시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침
- 3) 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 4) 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 5) 건설기준코드(구 도로교 설계기준)
- 6) 건설기준코드(구 철도 설계기준)
- 7) 건설기준코드(구 하천설계기준, 하천설계기준·해설)
- 8) 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 9) 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서)

2.2 점검실시 세부사항

2.2.1 자료수집 및 분석

관리주체가 보존하는 감리보고서·시설물관리대장 및 설계도서 등 관련서류와 다음에 명시된 자료를 수집하고 검토·분석하여 본 과업의 기초자료로 활용한다.

1) 설계도서

시설물의 준공도서로서 종·평면도, 단면도, 구조물도, 시공상세도, 구조계산서, 수리·수문계산서, 공사시방서 등 시설물의 유지관리에 필요한 도서

2) 시설물관리대장

3) 시공관련 자료

4) 안전점검 및 정밀안전진단 자료 및 성능평가 자료

5) 보수·보강공사 자료

2.2.2 현장조사 및 제반관련 시험 실시

1) 현장조사는 사전에 기존자료를 검토하여 예상되는 각종 손상에 대하여 충분히 이해한 후 현장조사에 임한다.

2) 현장조사는 「지침」 및 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시에 관한 세부지침」에 의해 실시하며, 성능평가 대상 구조물에 대한 상세 외관조사 및 현장시험을 실시하여 부재별로 성능평가에 활용한다.

3) 상세 외관조사 시 주요결함이 발견될 경우 이에 대한 구조안전성능 검토를 실시한다.

2.2.3 세부시설별 조사사항

부재구분		진단부위		진단방법
상 부 구 조	상 관 부	(1)교면포장(아스팔트, 콘크리트)		육 안
		(2)배수시설(배수구, 배수관)		육 안
		(3)방호울타리(강재, 콘크리트) 및 연석		육 안
		(4)바닥판	손상(균열, 탈락)	비파괴장비 및 육안
		(철근콘크리트,강바닥판)	열화(누수, 백태)	육 안
			(5)신축이음 (고무형, 강재형)	본체(강재, 고무재)
	거 더	(6)교량받침 (강재, 고무재)	후타재(콘크리트)	간단한 공기구, 육안
			기능, 손상, 열화	간단한 공기구, 육안
		(7)철근콘크리트	중양부 손상, 결함, 열화	비파괴장비 및 육안
			받침부 손상, 결함, 열화	비파괴장비 및 육안
		(8)프리스트레스트	중양부 손상, 결함, 열화	비파괴장비 및 육안
			받침부 손상, 결함, 열화	비파괴장비 및 육안
		(9)강재	손상(균열, 처짐, 변형)	계측장비, 육안
			연결부 상태	육 안
			열화(부식, 오염)	육 안
			브레이싱, 가로보	육 안
		하부구조	(10)교대 및 (11)교각	
(12)기초			육안, 설계·시공자료	

2.2.4 선택과업

선택과업은 과업수행 전 계약상대자와 합동으로 실시한 사전조사 결과에 따라 조사 항목을 선정하며, 과업수행 중에 발생하는 항목은 협의하여 추진한다.

2.2.5 시설물의 안전성능 평가

가. 상태안전성능 평가

상태안전성능 평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 결함, 손상, 열화 등 상태변화를 근거로 하여 상태안전성능 평가 기준에 따라 실시한다.

제2종성능평가에서는 대상시설물에 대하여 점검하고, 외관조사망도를 작성하여 상세히 상태안전성능 평가를 실시하며, 외관조사망도를 작성하지 않은 부위는 이전의 성능평가 보고서에 수록된 상태안전성능 평가 결과를 참조하여 책임기술자가 대상시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

제1종성능평가에서는 대상시설물에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 대상시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

상태안전성능 평가가 정확히 이루어졌는지 확인하는 동시에 기록용 문서로서 이용하기 위하여 외관조사 결과를 성능평가의 서식에 각각의 결함의 형태, 크기, 양 및 심각한 정도 등을 기록하여야 한다.

나. 구조안전성능 평가

책임기술자는 재하시험(계측) 및 구조해석 또는 기존 의 구조안전성능 평가 자료와 함께 부재별 상태, 재료시험 결과 및 각종 계측, 측정, 조사 및 시험 등을 통하여 얻은 결과를 분석하고 이를 바탕으로 시설물의 안전과 부재의 내하력 등을 종합적으로 평가하여 「세부지침」의 구조안전성능 평가 기준에 따라 시설물의 구조안전성능 평가 결과를 결정한다.

결과보고서에는 구조안전성능 평가에 사용된 해석방법의 종류 및 해석결과, 입력자료에 대한 설명과 계산기록을 포함하여야 한다.

1. 비파괴재하시험

○ 정적 또는 동적 재하시험

2. 지반조사 및 탐사

○ 지표지질조사, 페이스맵핑, 시추 또는 오거보링, 시험굴, 공내시험, 시료채취, 토질 및 암반시험, G.P.R 탐사, 지하공동, 지층분석, 탄성파탐사, 전기탐사, 전자탐사, 시추공 토모그래피탐사, 물리검층 등

3. 지형, 지질조사 및 토질시험

4. 수리·수충격·수문 조사

5. 계측 및 분석

○ 시설물 및 시설물 주변의 지반에 대한 침하, 변위, 거동 등의 계측(경사계, 로드

셀, 지하수위계, 소음 및 진동 등) 및 계측 데이터 분석

6. 수중조사

○ 조사선, 잠수부 등에 의한 교대·교각기초, 댐, 항만, 해저송유관 등의 수중조사

7. 누수탐사

8. 콘크리트 제체 시추조사

○ 시추, 공내시험, 시편채취, 강도시험, 물성시험 등

9. 콘크리트 재료시험

○ 코아 채취, 강도시험, 성분분석, 공기량시험, 염화물침투량시험 등

10. 기계·전기설비 및 계측시설의 성능검사 또는 시험계측(건축물 제외)

11. 기본과업 범위를 초과하는 강재비파괴시험

12. 기타 구조안전성능 평가를 위하여 필요한 사항

2.2.7 내구성능 평가

시설물의 내구성능에 대한 평가는 시설물의 재료적 내구성능을 확인하기 시험결과와 외부환경에 대한 내구성능 저하인자 등을 종합적으로 검토하여 실시한다.

내구성능 평가를 위해 필요한 시험 항목 및 수량, 외부환경 인자 검토사항 등은 「세부지침」에 따르며, 시설물의 특성 및 평가 목적에 따라 이를 조정할 경우에는 결과보고서에 그 사유를 기재하여야 한다.

책임기술자는 내구성능을 확인하기 위한 시험결과, 부재의 열화 정도 등을 통하여 시설물의 사용환경과 시설물의 물리적 상태를 함께 검토하여 내구성능 등급을 지정하여야 한다.

2.2.8 사용성능 평가

시설물의 사용성능에 대한 평가는 시설물의 설계 당시와 준공 이후 사용자·관리자의 사용상 편의성, 수요, 용량 등에 대한 현장조사, 설계도서 및 관리기준 등을 종합적으로 검토하여 평가를 실시하여야 하며, 이에 대한 세부사항은 「세부지침」에 따른다.

책임기술자는 현장조사, 설계도서 및 관리기준 등의 검토 결과와 시설물의 준공 이후 사용성능과 관련된 평가 지표의 변동 유무를 확인하여 평가에 반영하고 사용성능 등급을 지정하여야 한다.

사용성능 평가를 위하여 시설물 유형, 준공시기 및 사용환경이 유사한 시설물의 자료를 참고하여 반영할 수 있으며, 필요한 경우 자료를 획득할 수 있는 시험 및 측정 등을 추가로 실시할 수 있다.

2.2.9 시설물의 종합평가 및 종합성능등급 지정

책임기술자는 성능평가를 통해 실시 결과에 따라 결정된 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급을 종합하여 종합성능등급을 결정하여야 한다.

종합평가 및 종합성능등급의 산정 절차와 방법은 세부지침에 따르며, 최종적으로 안전

성능, 내구성능, 사용성능 등급과 함께 종합성능등급의 결과를 작성하여 보고서에 수록한다.

이전 안전성능, 내구성능, 사용성능 및 종합성능등급을 변경하는 경우에는 성능평가 실시결과와 유지관리(보수·보강 등) 이력 등을 검토하여 변경된 사유를 성능평가 결과 보고서에 기재하여야 한다.

가. 안전성능 등급

등급	안전성능 수준
A (우수)	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능 수준
D (미흡)	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

나. 내구성능 등급

등급	내구성능 수준
A (우수)	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

다. 사용성능 등급

등급	사용성능 수준
A (우수)	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준
C (보통)	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준
E (불량)	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준

라. 종합성능등급

등급	종합성능 수준
A (우수)	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

마. 안전성능·내구성능·사용성능 등급 및 종합성능등급 작성 방법

종합성능등급			A			
안전 성능	내구 성능	사용 성능		A	A	A

(예시,)

2.2.10 유지관리 전략 제안

가. 일반

관리주체는 시설물의 상태 및 기능, 성능 등을 지속적으로 유지하고 공중의 안전 확보와 시설물의 기대수명이 연장될 수 있도록 발견된 결함에 대해 합리적이고 경제적인 보수·보강 등을 실시하여야 한다.

관리주체는 안전점검등 및 성능평가 실시결과에 따라 발생한 결함의 종류 및 정도, 시설물의 중요도, 사용환경 및 경제성 등을 면밀히 검토하여 필요한 보수·보강 방법 및 수준, 우선순위를 결정하여야 하며, 성능평가 대상시설물의 경우에는 성능목표를 고려하여 보수·보강 방법 및 수준, 우선순위를 결정한다.

나. 보수·보강 방법

보수는 시설물의 내구성능을 회복 또는 향상시키는 것을 목적으로 한 대책을 말하며, 보강이란 부재나 시설물의 내하력과 강성 등의 역학적인 성능을 회복, 혹은 향상시키는 것을 목적으로 한 대책을 말한다.

보수를 위해서는 상태안전성능 평가, 내구성능 평가 결과 등을, 보강을 위해서는 상태안전성능 평가 및 구조안전성능 평가, 내구성능 평가 결과 등을 상세히 검토하고, 발생한 결함의 종류 및 정도, 시설물의 중요도, 사용 환경조건 및 경제성 등에 의해서 필요한 보수·보강 방법 및 수준을 정하여야 한다.

다. 보수·보강의 필요성 판단

보수의 필요성은 발생한 손상(균열 등)이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 의하여야 하며, 이를 위해 「지침」 및 각종 기준(표준시방서 등)을 참조한다.

보강의 경우는 부재안전율을 각종 기준에서 정하는 수치이상으로하기 위하여 어느 정도까지 부재단면 등을 증가하여야 하는지를 판단하여야 한다.

라. 보수·보강의 수준의 결정

보수·보강의 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 다음 각 호의 경우 중에서 결정한다.

- 현상유지(진행억제)
- 실용상 지장이 없는 성능까지 회복
- 초기 수준 이상으로 개선
- 개축

마. 공법의 선정

시설물 결함에 따른 보수·보강은 결함 발생 원인에 대한 정확한 분석 후 각종 기준(표준시방서, 콘크리트 보수보강요령, 공동주택하자판정기준 등)을 참고해 결함부위 또는 부재에 가장 적합한 보수·보강공법을 선정하도록 하며, 공법의 적용성, 안전성능, 내구성능, 사용성능, 경제성 등을 검토하여 결정한다.

이때 중요한 것은 구조물의 결함 발생 원인에 대한 면밀한 검토이며, 이를 통해 적절

한 공법을 선정할 수 있고, 또한 적절한 보수재료를 선택할 수 있다.

따라서 시설물관련 제반자료, 성능평가 시 수행한 각종 안전성능 평가 및 내구성능 평가, 사용성능 평가 결과를 기초로 하여, 결함부위 또는 부재에 적합한 보수·보강공법을 선정하여야 한다.

콘크리트의 대표적인 손상인 균열에 대한 보수·보강방법은 다음과 같으며, 시설물별 주요 보수·보강공법은 시설물편을 참조하여 보수·보강공법을 선택할 수 있다.

균열기준은 구조물의 중요도, 특성 등에 따라 다양하므로 구조물의 특성 및 균열현상 등을 고려하여 적절한 보수공법을 사용하여야 한다.

- 표면처리공법
- 주입공법
- 충전공법
- 침투성방수제 도포공법 등

바. 보수·보강 우선순위의 결정

시설물에서 발생된 각종 결함에 대한 보수·보강 우선순위는 다음과 같이 결정한다.

- 보수보다는 보강을, 보조부재보다는 주부재를 우선하여 실시
- 시설물 전체에서의 우선순위 결정은 각 부재가 갖는 중요도, 발생한 결함의 심각성 등을 종합 검토하여 실시

보수·보강의 수준과 우선순위는 시설물의 안전성능 저하가 우려되어 보수·보강이 시급하거나 투자대비 효과가 큰 시설물을 중심으로 시설물의 성능목표를 합리적이고 경제적으로 달성될 수 있도록 제시되어야 하며 세부적인 방법 및 절차는 「세부지침」에 따른다.

사. 유지관리 방안 제시

시설물을 안전하고 경제적으로 유지관리 하는데 필요한 사항을 제시하는 것으로 결함 및 손상의 종류와 원인, 점검요령, 조치대책, 성능목표, 투자우선순위 등에 관한 실무적이고 필수적인 내용을 해당 시설물의 그림 및 사진 등을 위주로 구성하여 성능평가 경험이 적은 사람도 쉽게 활용할 수 있도록 하여야 한다.

아. 유지관리 전략 제안

책임기술자는 성능평가를 통해 발견된 손상 및 결함에 대해 시설물의 성능목표를 달성하고 최적 성능과 기능을 유지할 수 있는 보수·보강 방법을 검토·분석하여 합리적인 유지관리 전략을 제시하여야 한다.

보수·보강 방법은 조사된 결함 및 손상에 대해 성능평가 실시결과와 성능목표간의 정도를 분석·검토하여 보수·보강 물량 산정과 적절한 공법을 선정하여야 한다.

보수·보강의 필요성은 성능평가 실시결과에 따른 결함의 정도에 대해 각종 기준(건설기준코드(구 설계기준 및 표준시방서) 등)을 참조 및 검토하여 판단하고, 그 결과에 대해 경제적이고 가장 적합한 공법을 선정하여야 한다.

보수·보강의 수준과 우선순위 결정은 시설물의 성능목표와 효용가치, 중요도, 사용환

경 등과 시설물의 안전성능 저하가 우려되어 보수·보강이 시급하거나 투자대비 효과가 큰 시설물을 중심으로 다음의 사항을 고려하여 우선순위를 수립하여야 한다. 이에 대한 세부적인 방법 및 절차는 「시설물편」에 따른다.

- 현재의 편익을 미래의 편익보다 우선하여 실시
- 미래의 비용을 현재의 비용보다 우선하여 실시
- 시설물의 안전성을 비용·편익보다 우선하여 실시
- 「법」 제22조에 따른 시설물의 중대한 결함에 대해서는 1~3호보다 우선하여 실시

책임기술자는 시설물의 성능목표를 달성 및 유지하고 중기관리계획에 반영될 수 있도록 경제적이고 합리적인 보수·보강 방법 및 우선순위 등을 검토하여 종합적인 유지관리 전략을 수립하여 결과보고서에 포함하여야 한다.

필요한 경우 성능평가 실시결과를 토대로 안전하고 경제적으로 시설물을 지속적으로 관리할 수 있는 방안을 제시할 수 있으며, 다음의 내용을 포함하여 경험이 적은 사람도 쉽게 활용할 수 있도록 하여야 한다.

- 대상시설물의 점검요령
- 결함 및 손상의 종류와 원인
- 결함 종류에 대한 조치대책
- 해당 시설물의 그림 및 사진 등

3. 보고서 작성 방법

3.1 일반

성능평가 실시결과 보고서는 시설물 관리주체의 유지관리업무에 효율적이며 체계적으로 활용할 수 있도록 과업내용을 중심으로 작성·제출하여야 하며, 세부적인 작성 방법은 「시설물편」을 참조한다.

3.2 성능평가 보고서에 포함될 사항

가. 서두

보고서의 표지 다음에 성능평가의 개요를 쉽게 알 수 있도록 다음의 서류를 붙인다.

- 제출문(성능평가를 실시한 기관의 장)
- 시설물의 성능목표 및 성능평가 결과표(기본성능 및 종합성능등급)
- 참여 기술진 명단
- 시설물의 위치도
- 시설물의 전경사진, 부위별 사진

- 성능평가 결과 요약문
- 보고서 목차

나. 성능평가의 개요

성능평가의 범위와 과업내용 등 계획 및 실시와 관련된 주요사항을 기술한다.

- 성능평가의 목적
- 시설물의 개요 및 이력사항
- 평가의 범위 및 과업내용
- 사용장비 및 시험기기 현황
- 성능평가 수행일정

다. 자료수집 및 분석

성능평가의 관련자료를 검토·분석하고 그 내용을 기술한다.

- 설계도면, 구조계산서
- 기존 정밀점검·정밀안전진단·성능평가 실시결과
- 안전성능, 내구성능 및 사용성능 평가를 위한 자료수집 현황
- 보수·보강이력 및 용도변경
- 시설물의 내진설계 여부 확인
- 기타 관련자료

라. 현장조사 및 시험

과업내용에 의거 실시한 현장조사, 시험 및 측정 등의 결과분석 내용을 기술하고, 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.

- 시설물의 외관조사 결과분석
- 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석
- 재료시험, 측정결과의 분석

마. 시설물의 안전성능 평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 시험의 분석 결과에 따라 시설물의 상태안전성능과 구조안전성능 결과를 작성한다

1) 상태안전성능 평가

- 시설물의 외관조사 결과
- 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태안전성능 평가 결과 결정

2) 구조안전성능 평가

구조안전성능 평가를 위한 시험 및 계측 결과 분석(현장재하시험 및 계측, 지형·지질·지반·토질조사, 시설물의 변위·거동 등의 측정결과 분석 등)

- 구조계산 및 해석을 통한 결과 및 분석(관리주체의 요구에 의해 수행한 수리·수문 등 해석결과 및 분석 포함)

- 시설물의 내(하)력 평가 등(관리주체의 요구에 의해 수행한 내진성능평가 포함)
- 시설물의 보수·보강방법을 제시한 때에는 보수·보강시 예상되는 임시 고정 하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 구조안전성능 평가 포함
- 시설물의 구조안전성능 평가 결과 결정

바. 시설물의 내구성능 평가

- 내구성능 평가를 위한 관련자료 분석 및 결과
- 콘크리트 또는 강재 등의 내구성능 분석 및 결과
- 시설물의 내구성능 평가 결과 결정

사. 시설물의 사용성능 평가

- 사용성능 평가를 위한 관련자료 분석 및 결과
- 사용성능 평가를 위한 현장 및 실내시험 결과 분석
- 시설물의 사용성능 평가 결과 결정

아. 종합평가

- 시설물의 안전성능, 내구성능, 사용성능 결과 분석
- 안전성능, 내구성능, 사용성능을 종합하여 종합성능등급 결과의 결정
- 시설물의 종합성능등급 지정

자. 시설물의 유지관리 전략 제언

시설물의 성능평가 결과에 따라 손상 및 결함이 있는 부위 또는 부재 등에 대하여 적용할 보수·보강 방법과 우선순위 등의 유지관리 전략을 제시한다.

- 시설물의 성능목표 및 성능평가 실시결과 검토·분석
- 보수·보강방법에 대한 개요, 시공방법, 시공시 주의사항 등
- 당해 시설물의 유지관리를 위한 요령, 대책 등
- 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략 제시

차. 종합결론 및 건의사항

- 성능평가 실시결과의 종합결론
- 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항
- 기타 필요한 사항

카. 부록

- 과업지시서
- 외관조사망도
- 구조해석 모델링 및 수치해석 자료 (입출력자료는 e-보고서에 포함)
- 측정, 시험, 계측 성과표

- 안전성능(상태 및 구조안전성능) 평가 결과 자료
- 내구성능 평가 결과 자료
- 사용성능 평가 결과 자료
- 시설물관리대장 사본
- 현황조사 및 외관조사 사진첩
- 사용 장비 및 기기의 사진
- 사전조사 자료 일체
- 기타 참고자료(성능평가 결과와 관련되는 설계도서, 감리보고서, 이전의 안전 점검등 결과보고서 등 관련자료 포함)

4. 성과품 납품목록

이 과업과 관련한 성과품은 다음과 같으며 이에 대한 지불은 산출내역서상의 계약금액으로 한다.

- 성능평가보고서(부록포함) : 20부
- CD보고서 : 5부
- 사진첩 : 3부

부록 6

사전검토 보고서 예시

제1종성능평가(제2종성능평가) 사전검토 보고서

1. 과업명 : ○○교 1종 성능평가

2. 과업의 목적

본 과업은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「시특법」 이라 한다.) 제43조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」 이라 한다) 제45조에 규정에 따른 제1종 성능평가(제2종성능평가)로서 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속·정확하게 조사·평가하고, 그에 대한 적절한 성능확보를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진시켜 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

3. 과업의 범위

3.1 시설물 명 : ○○교

3.2 위 치 : ○○도 ○○시(군) ○○동(면) ○○리

4. 사전검토 내용

4.1 제1종성능평가(제2종성능평가) 대상시설물의 범위

구분	부재명		성능평가		비고
			제1종 성능평가	제2종 성능평가	
교량	상부구조	바닥판, 거더	○	○	
	하부구조	교대 및 교각, 주탑, 기초	○	○	
	받침	교량받침	○	○	
	케이블	케이블, 정착구,행어밴드, 새들	○	○	
	텐던	강연선	○	○	
	기타부재	신축이음, 배수시설, 보호시설, 교면포장	○	○	
	2차부재	가로보 및 세로보	○	○	

4.2 성능평가 유지관리자료 보유 현황 검토

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비고
설계도서	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 공통 <ul style="list-style-type: none"> - 준공내역서 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서 		
	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 설계도면 <ul style="list-style-type: none"> - 교량 및 복개구조물 - 위치도, 평면도, 단면도(중·횡),상부·하부 구조물도, 빔상세도, 신축이음, 교량받침 상세도 		
시설물 관리대장	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 기본현황 ◦ 상제제원 ◦ 유지관리 이력 		
시공관련 자료	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 시공관련 자료 ◦ 품질관리 관련자료 <ul style="list-style-type: none"> - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록 - 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료 ◦ 사고기록 		
성능평가 자료			
보수·보강 자료			

4.3 제1종 성능평가(제2종 성능평가) 과업의 범위

[표 100] 제2종 성능평가일 경우

과업항목		지침 상 기본과업	금회 과업 내용
자료수집 및 분석		<ul style="list-style-type: none"> •설계도서 •시설물관리대장 •시공관련자료 •성능평가 실시결과 자료 •보수·보강이력 검토·분석 	○ 좌동
현장조사 및 시험		<ul style="list-style-type: none"> •외관조사 및 외관조사망도 작성 •간단한 현장 재료시험 등 <ul style="list-style-type: none"> - 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험) - 콘크리트 탄산화 깊이 측정 	○ 콘크리트 시험 - 반발경도시험 - 탄산화시험 ○ 철근탐사시험
안전 성능 평가	상태 안전 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> •외관조사 결과분석 •재료시험 결과 분석 •대상 시설물(부재)에 대한 상태평가 •시설물 전체의 상태안전성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견 (안전등급 지정) 	○ 좌동
	구조 안전 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> •기존 구조해석 자료를 통한 구조안전성 결과분석 	○ 좌동
내구성능 평가		<ul style="list-style-type: none"> •외관조사 결과분석 •재료시험 결과 분석 •내구성능 결과분석 	○ 좌동
사용성능 평가		<ul style="list-style-type: none"> •사용성능 결과분석 	○ 좌동
종합평가		<ul style="list-style-type: none"> •종합평가 결과분석 	○ 좌동
유지관리 전략 제언		<ul style="list-style-type: none"> •시설물의 성능목표 분석 •성능목표에 보수·보강 방법 및 전략 제시 	○ 좌동
보고서작성		<ul style="list-style-type: none"> •CAD 도면 작성 등 보고서 작성 	○ 좌동

[표 101] 제2종성능평가일 경우(계속)

과업항목		지침 상 선택과업	금회 과업 내용	비용반영
자료수집 및 분석		<ul style="list-style-type: none"> •구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우) •실측도면 작성(도면이 없는 경우) 	—	×
현장조사 및 시험		<ul style="list-style-type: none"> •전체부재에 대한 외관조사망도 작성 •시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등 •조사용 접근장비 운용 •조사부위 표면청소 •마감재의 해체 및 복구 •수중조사 •기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성 평가 등에 필요한 조사·시험 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전체부재 외관조사망도 작성 ○ 콘크리트 시험 <ul style="list-style-type: none"> － 코어채취 － 염화물침투량 － 실내시험 등 ○ 강재조사·시험 <ul style="list-style-type: none"> － 도막두께측정 	○
안전 성능 평가	상태 안전 성능 평가	—	—	×
	구조 안전 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> •필요한 부위의 구조·지반·수리·수문 해석 등 안전성평가 •임시 고정하중에 대한 안전성평가 	—	×
내구성능 평가		—	—	×
사용성능 평가		—	—	×
종합평가		—	—	×
유지관리 전략 제안		<ul style="list-style-type: none"> •보수·보강 방법 제시 	—	×
보고서작성		—	—	×

[표 102] 제1종성능평가일 경우

과업항목		지침 상 기본과업	금회 과업 내용
자료수집 및 분석		<ul style="list-style-type: none"> •설계도서 •시설물관리대장 •시공관련자료 •안전점검·정밀안전진단 실시결과 자료 •보수·보강이력 검토·분석 	○ 좌동
현장조사 및 시험		<ul style="list-style-type: none"> •전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 •현장 재료시험 등 <ul style="list-style-type: none"> - 콘크리트 시험 : 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달 속도시험 등), 탄산화 깊이측정, 염화물침투량시험 - 강재 시험 : 강재 비파괴시험 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전체부재 외관조사 및 외관조사망도 작성 ○ 콘크리트 시험 <ul style="list-style-type: none"> - 반발경도시험 - 초음파전달속도시험 - 탄산화시험 - 균열깊이 조사 ○ 철근탐사시험
안전 성능 평가	상태 안전 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> •외관조사 결과분석 •현장시험 및 재료시험 결과분석 •콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 •부재별 및 시설물 전체 상태평가 결과에 대한 소견 	○ 좌동
	구조 안전 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> •조사, 시험, 측정결과의 분석 •기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토·분석 •기존 자료를 내하력 및 구조 안전성평가 •시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견 	○ 좌동
내구성능 평가		<ul style="list-style-type: none"> •외관조사 결과분석 •재료시험 결과 분석 •내구성능 결과분석 	○ 좌동
사용성능 평가		<ul style="list-style-type: none"> •사용성능 결과분석 	○ 좌동
종합평가		<ul style="list-style-type: none"> •종합평가 결과분석 	○ 좌동
유지관리 전략 제언		<ul style="list-style-type: none"> •시설물의 성능목표 분석 •성능목표에 보수·보강 방법 및 전략 제시 	○ 좌동
보고서작성		<ul style="list-style-type: none"> •CAD 도면 작성 등 보고서 작성 	○ 좌동

[표 103] 제1종 성능평가일 경우(계속)

과업항목		지침 상 선택과업	금회 과업 내용	비용반영
자료수집 및 분석		<ul style="list-style-type: none"> •구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우) •실측도면 작성(도면이 없는 경우) 		×
현장조사 및 시험		<ul style="list-style-type: none"> •시료채취 및 실내시험 •지형,지질,지반조사 및 탐사, 토질조사 •수중조사 •조사용 접근장비 운용 •기본과업 범위를 초과하는 강제비파괴시험 •기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성평가 등에 필요한 조사·시험 	<ul style="list-style-type: none"> ○콘크리트 시험 <ul style="list-style-type: none"> -코어채취 -실내시험 등 ○수중조사 ○계측기 상태조사 <ul style="list-style-type: none"> -실내시험 등 ○강제 용접부 조사 <ul style="list-style-type: none"> -초음파두께측정 -자분탐상 	○ ○ ○ ○
안전 성능 평가	상태 안전 성능 평가	—	—	×
	구조 안전 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> •구조해석 •구조안전성 평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문 •내진성능 평가 및 사용성 평가 •임시 고정하중에 대한 안전성평가 	<ul style="list-style-type: none"> ○안전성평가 ○내진성능평가 	○ ×
내구성능 평가		—	—	×
사용성능 평가		—	—	×
종합평가		—	—	×
유지관리 전략 제언		<ul style="list-style-type: none"> •내진보강 방안 제시 •시설물 유지관리 방안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> ○내진보강 방안 제시 ○시설물 유지관리 방안 제시 	○ ×
보고서작성		—	—	×

4.4 제1종 성능평가 기본과업 재료시험 수량

[표 104] 제2종 성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	교 량		비 고
	상부구조	하부구조	
반반경도시험	◦50m 마다	◦연장 50m 마다	—
철근탐사시험	◦책임기술자 판단에 따라 수량 결정		—
탄산화 깊이 측정	◦5경간 이내 : 2~3개소 ◦5경간 이상 : 3~6개소		—
염화물 침투량 시험	◦책임기술자 판단에 따라 수량 결정		· 간만대 또는 비말대 포함
도장두께	◦강 부재 : 2~3개소/대상경간		· 바닥판, 거더, 2차부재, 교각(주탑), 케이블

[표 105] 제1종 성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	교 량		비 고
	상부구조	하부구조	
반발 경도시험	◦철근콘크리트 : 2개소/50m ◦강합성교 : 1개소/50m	◦1개소/연장50m ◦교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	· 동일부위에서 시험
초음파 전달속도시험	◦철근콘크리트 : 2개소/50m ◦강합성교 : 1개소/50m	◦1개소/연장50m ◦교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	
철근탐사시험	◦철근콘크리트 : 2개소/50m ◦강합성교 : 1개소/50m	◦1개소/연장50m ◦교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	—
탄산화 깊이 측정	◦5경간 이내 : 4~6개소 ◦5경간 이상 : 6~9개소		—
염화물 침투량 시험	◦3개소 이상		· 간만대 또는 비말대 포함
균열깊이조사	◦부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		· $C_w=0.3\text{mm}$ 이상 균열
강재용접부 초음파탐상시험	◦플레이트거더교 : 1개소/경간별 거더 ◦박스거더교 : 2개소/경간별 거더		· 맞대기용접부
도장두께	◦강 부재 : 5개소/대상경간		· 바닥판, 거더, 2차 부재, 교각(주탑), 케이블

4.5 기타 사항

5. 결론

[제2종성능평가의 경우 예시]

과업지시서와 용역설계서 검토결과, 2종 성능평가의 범위, 유지관리자료, 과업범위, 기본과업의 재료시험수량은 모두 지침과 부합됨.

[제1종성능평가의 경우 예시]

과업지시서와 용역설계서 검토결과, 제1종성능평가의 범위, 유지관리자료, 기본과업의 재료시험수량은 지침과 부합됨.

다만, 제1종성능평가 과업범위 중 아래와 같이 일부 항목에 대한 비용이 반영되지 않아 보완이 필요함

- 현장조사 및 시험
 - 계측기 상태조사
- 안전성능 평가
 - 내진성능 평가
- 유지관리 전략 제안
 - 시설물 유지관리 방안 제시

시설물편

제 1장	교량
제 2장	터널
제 3장	옹벽
제 4장	절토사면
제 5장	댐
제 6장	하구둑
제 7장	수문
제 8장	제방
제 9장	공항(여객터미널)
제10장	상수도
제11장	항만

제1장 교 량

1.1 관리일반

1.2 현장조사

1.3 재료시험 항목 및 수량

1.4 안전성능 평가 기준 및 방법

1.5 내구성능 평가 기준 및 방법

1.6 사용성능 평가 기준 및 방법

1.7 종합성능평가 기준 및 방법

제1장 교량

1.1 관리일반

1.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조의 규정에서 정하고 있는 시설물 중 교량에 적용한다.

복개구조물은 라멘형식으로 시공된 것으로서, 박스형식(개착식)의 복개구조물은 「제2장 터널」에 따라 성능평가를 실시한다.

교량 및 복개구조물의 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나, 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 건설기준코드(구 도로교 설계기준)
- 건설기준코드(구 철도 설계기준)
- 건설기준코드(구 하천설계기준, 하천설계기준·해설)
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

1.1.2 용어 정의

- 교량
도로 또는 철도가 계곡, 호수, 해안 등의 위를 건너거나 다른 도로, 철도, 수로, 가옥, 시가지 등의 위를 건너가는 경우에 이들 장애물의 상부로 통행할 수 있도록 축조하는 구조물
- 복개구조물
지상부분의 공간 활용을 위하여 수로나 하천 위를 슬래브 등으로 덮은 구조물로서 폭 6m 이상의 구조물을 말하며 도로의 ‘복개구조물’이라 함은 하천 등을 복개하여 도로 용도로 사용하는 모든 구조물

○ 결함

계획, 설계 및 시공단계에서 목표와는 다르게 비정상적으로 축조되어 부정적으로 작용하는 불완전한 초기하자상태

예) 콘크리트 다짐불량, 콘크리트의 강도부족, 철근배근 불량, 용접불량, 볼트체결 불량, 기초침하 등

○ 손상

구조물에 외적 또는 내적으로 작용하는 물리적인 힘에 의하여 불완전하게 된 상태

예) 균열, 파손, 변형, 침식 등

○ 열화

자연력 및 인위적작용을 받는 구조물이 시간이 경과됨에 따라 물리적, 화학적으로 변질, 변형 되어가는 현상

예) 동결융해, 염해, 중성화, 알칼리 골재반응, 화학적(황산염) 침식 강재부식 등

○ 세굴

흐르는 물에 의해 구조물 주위의 하상 재료가 제거되는 현상

○ 침식

흐르는 물 또는 파도로 인하여 구조물의 일부가 물리적으로 마모되는 현상

○ 안전율

구조물의 기능을 유지하기 위한 극한저항성능을 설계하중에 의한 하중영향을 나눈 값

○ 내하율

구조물의 극한저항성능에서 지속하중에 의한 하중영향을 뺀 값에 대하여 활하중에 의한 하중영향을 나눈 값

○ 내하력

구조물의 활하중에 대한 하중저항성능. 도로교량의 경우에는 일반적으로 내하율과 표준트럭활하중을 곱한 값

1.1.3 성능평가 실시 범위

교량의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같다.

[표 1.1] 성능평가 대상시설물의 세부범위

구분	부재명		성능평가		비고
			제1종 성능평가	제2종 성능평가	
교량	상부구조	바닥판, 거더	○	○	
	하부구조	교대 및 교각, 주탑, 기초	○	○	
	받침	교량받침	○	○	
	케이블	케이블, 정착구, 행어밴드, 새들	○	○	
	긴장재	강연선, 보호관	○	○	
	기타부재	신축이음, 배수시설, 보호시설, 교면포장	○	○	
	2차부재	가로보 및 세로보	○	○	

1.1.4 중대한 결함의 정도

교량 시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

1) 시설물의 기초세굴

○ 기초세굴에 대한 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우

2) 교량 교각의 부등침하

○ 교각 변위의 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우

3) 교량 받침의 파손

○ 교량받침의 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우

4) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실

○ 탄산화 잔여 깊이 또는 염화물 침투량 등에 대한 내구성능 기준이 “e” 판정으로 철근 콘크리트 바닥판, 철근콘크리트 거더, 프리스트레스트 콘크리트 거더, 교대 및 교각 등에서 철근(강선)부식과 관련하여 상태안전성능 기준이 “e”를 포함하는 경우

- 5) 주요 구조부위의 철근량 부족
 - 구조안전성능 검토 결과 철근량 부족으로 내력 보강이 필요한 경우로 철근콘크리트 바닥판, 거더 및 교각 코핑부 등이 해당
- 6) 콘크리트 부재의 균열 심화
 - 부재의 균열 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우
- 7) 철근콘크리트 부재의 심한 재료분리
 - 열화 및 손상의 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우
- 8) 철강재 용접부의 불량 용접
 - 강재 용접연결부 결함의 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우
- 9) 교대·교각의 균열 발생
 - 균열의 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우
- 10) 강재 거더 및 연결판의 균열 및 심한 변형
 - 모재 및 연결부 손상의 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우
- 11) 케이블
 - 케이블 부재의 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우
- 12) 프리스트레스 콘크리트 부재의 손상
 - 긴장재의 상태안전성능 기준이 “d” 이하인 경우

1.2 현장조사

1.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

[표 1.2] 교량 조사항목

구 분		평 가 항 목		비 고	
안전성능	상태 안전성능	공통	콘크리트	◦구조 균열(휨, 전단 등)	
				◦비구조 균열(건조수축 등)	
				◦박리(박락 포함)	
				◦열화(백태, 철근부식 등)	
				◦재료분리(철근노출 포함)	
			강재 (앵커볼트 포함)	◦균열(피로 등)	
				◦열화(부식, 도장탈락 등)	
				◦변형	
				◦용접부 결함	
				◦볼트부 결함	
			◦채수/누수		
			◦시공불량(설치결함 등)		
		교면포장	◦함몰(포트홀)		
			◦단차, 요철		
		배수시설	◦막힘		
			◦파손(배수관 또는 뚜껑)		
		보호시설	◦난간, 연석, 방호·방음·방풍벽 관련 손상		
		신축이음	◦고무재 파손(노화, 누수 포함)		
			◦유간 정도(부족 또는 과다)		
			◦이물질 퇴적 및 오염상태		
			◦후타재 손상(마모, 단차 등)		
			◦본체 손상		
		받침	◦가동장애(이동량 부족 포함)		
			◦편기		
			◦받침 손상(고무판 포함)		
			◦용량 부족		
			◦받침콘크리트 손상		

		교대	◦변위(침하, 뒹침, 측방유동 등)	
		교각	◦침식, 세굴	
			◦변형(기울음 등)	
		케이블	◦케이블 손상(단선 등)	
			◦정착구 손상	
			◦행어밴드, 새들 손상	
		긴장재	◦강연선, 보호관	
내구성능	구조 안전성능	상부구조	◦공용내하력 ◦주행안전성(철도교량에 적용) (고유 휨 진동수, 임계속도, 연직가속도, 연직 처짐, 면틀림, 종방향 변위, 단차) ※ 종방향 변위, 단차는 자갈케도만 평가	
		하부구조	◦세굴을 포함한 기초안전성(하천교량 적용)	
	콘크리트	◦ 탄산화 깊이		
		◦ 염화물 침투량		
		◦ 피복(표면부) 콘크리트의 품질		
		◦ 대기환경(염해환경, 동해환경)		
	강재	◦ 도장열화(발청, 박리, 균열, 부품, 백아화)		
		◦ 도장두께		
		◦ 대기환경(해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)		
		◦ 강설횟수(제설제 살포)		
사용성능	사용성	◦ 포장상태		
		◦ 교량조명		
		◦ 진동사용성		
		◦ 승차감		
	기능성	◦ 수요 및 용량(교통량, 통행량)		
		◦ 유지관리성(점검시설)		

1.2.2 현장조사 요령

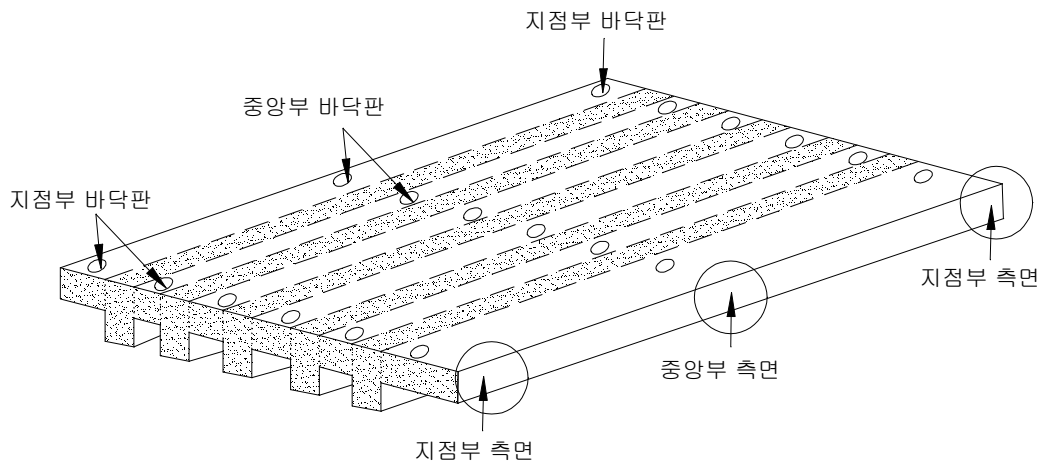
가. 안전성능 평가

1) 상태안전성능

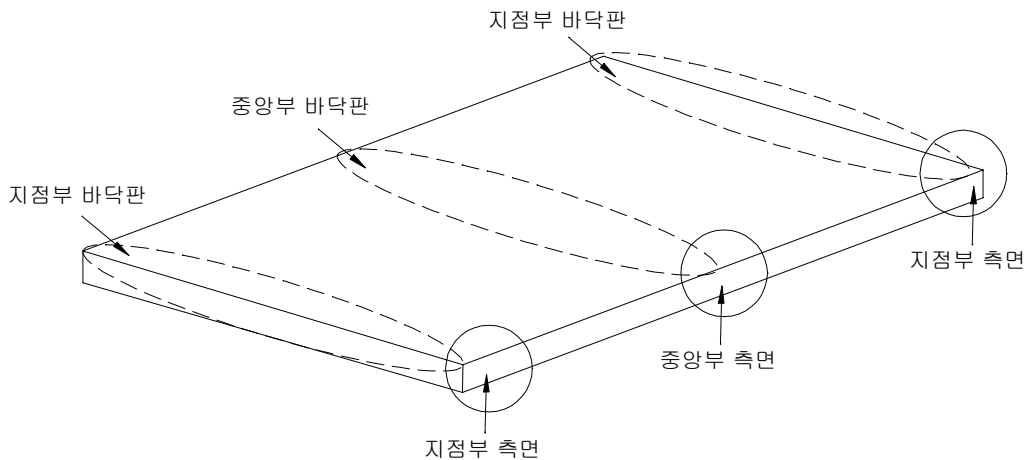
(가) 콘크리트 바닥판

[표 1.3] 콘크리트 바닥판 조사부위에 따른 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷ 공통		○ 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출 ○ 재료분리(공동, 공극) ○ 누수 및 백태(유리석회)
▷ 거더교		○ 균열, 망상균열
▷ 바닥판, 라멘상부	- 받침부(단부)	○ 부스러짐 ○ 사인장균열
	- 중앙부	○ 휨균열



[그림 1.1] 거더가 있는 경우의 바닥판 조사부위

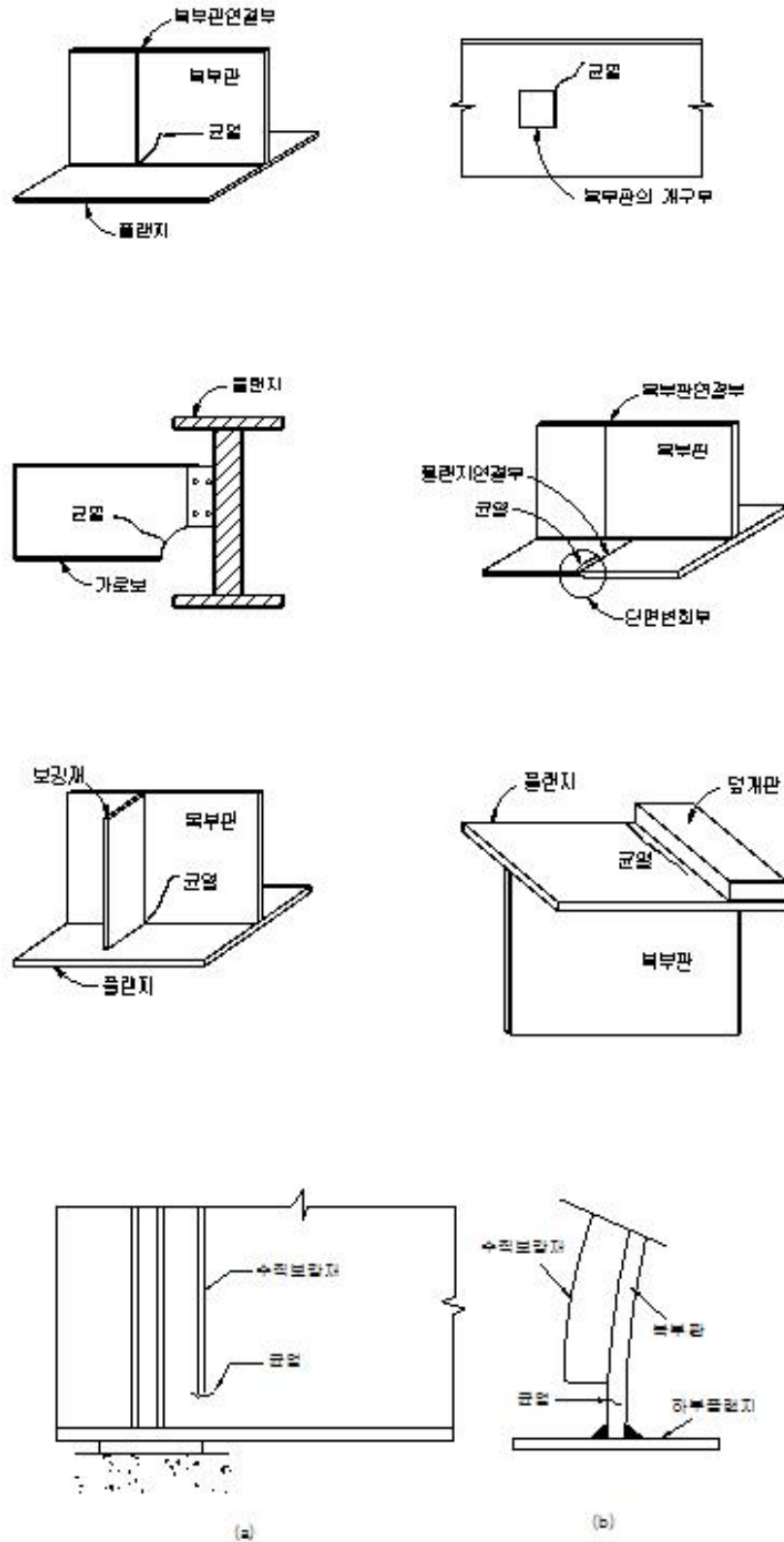


[그림 1.2] 거더가 없는 경우의 바닥판 조사부위

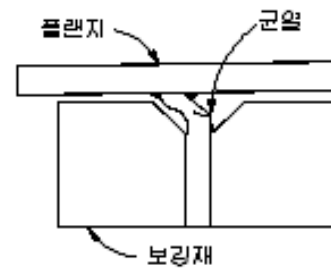
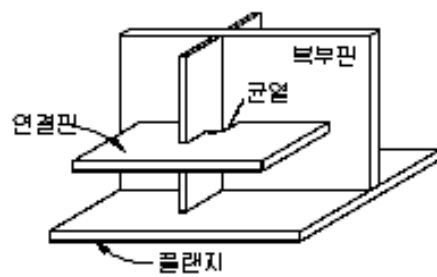
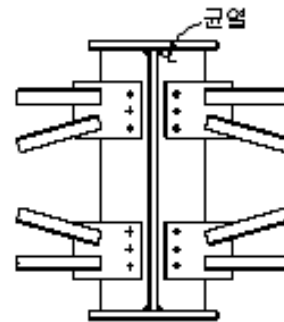
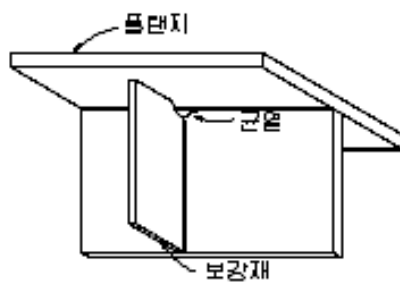
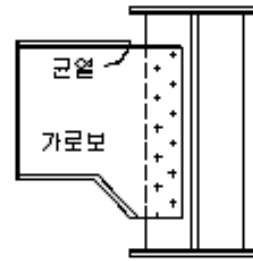
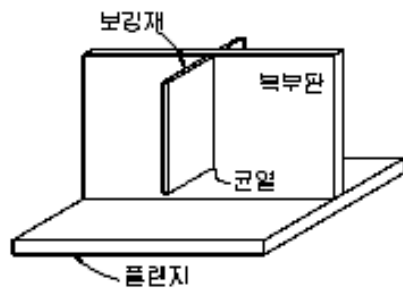
(나) 강 바닥판, 강 거더 및 강 교각(강 주탑, 아치리브, 트러스)

[표 1.4] 강 바닥판, 강 거더 및 강 교각 조사부위에 따른 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷ 공통	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도장 열화 및 부식 ○ 현장이음부 볼트손상, 누수 ○ 신축이음 하면, 배수구 주변, 난간하면 누수, 부식 ○ 이상음 발생
▷ 피로강도등급 낮은 용접상세부 (D, E급)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 피로균열
▷ 받침부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 복부판 부식 및 국부좌굴 ○ 거더와 받침연결부 부식 ○ 게르버교의 경우 핀 연결부 부식 ○ 지점보강재 하단 용접부 균열 ○ 박스내부 출입구 방치 ○ 박스내부 바닥 물고임 및 부식
▷ 중앙부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부식 ○ 플랜지 변형 및 처짐 ○ 맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열
▷ 주탑	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주탑하단부 연결볼트 부식 및 파단
▷ 보수부위	<ul style="list-style-type: none"> ○ 용접부 및 용접부 주변 균열
▷ 부재연결판	<ul style="list-style-type: none"> ○ 트러스교, 아치교의 현재, 사재, 수직재 연결판의 부식, 균열 및 변형 ○ 사장교, 현수교의 케이블 정착부 연결판의 부식, 균열 및 변형



[그림 1.3] 피로균열이 발생하기 쉬운 구조상세-1



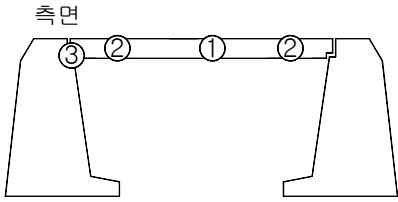
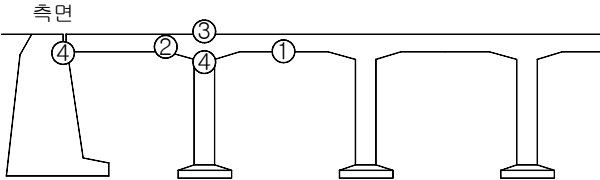
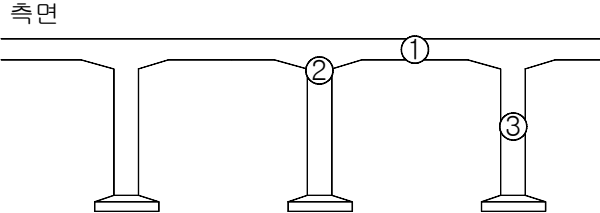
[그림 1.4] 피로균열이 발생하기 쉬운 구조상세-2

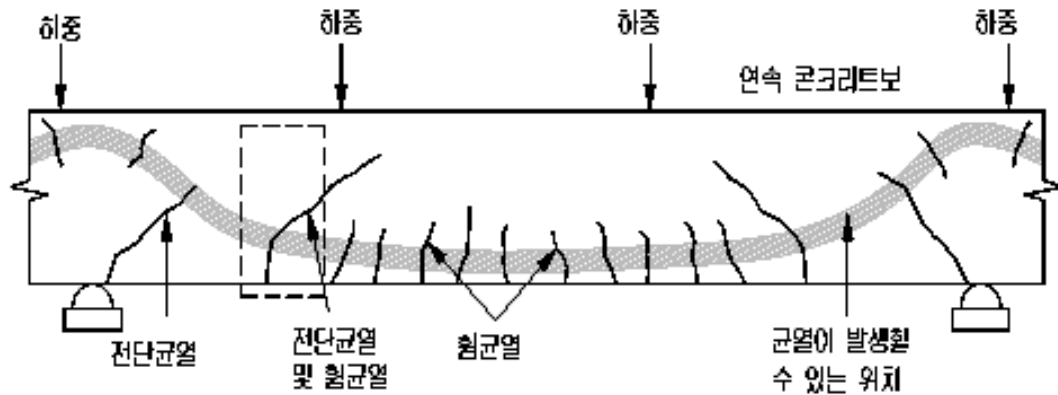
(다) 철근콘크리트 거더

[표 1.5] 철근콘크리트 거더의 조사부위와 손상종류

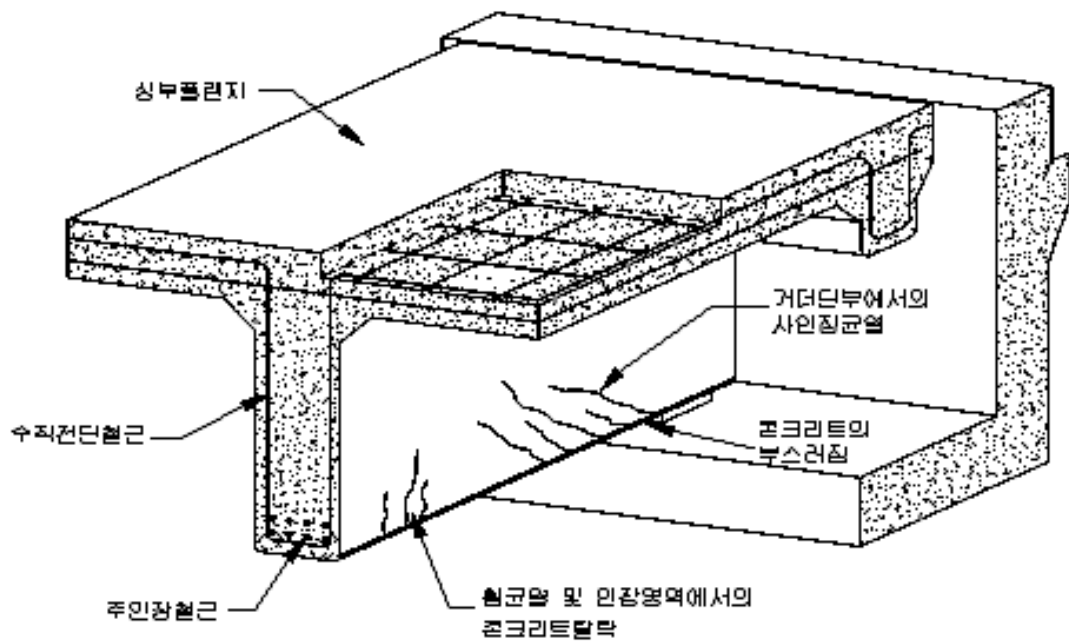
조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	○ 박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리석회)
▷받침부	○ 부스러짐 ○ 복부 사인장 균열
▷중양부	○ 횡방향 균열

[표 1.6] 철근콘크리트 거더의 구조형식에 따른 조사부위

구조형식	조 사 부 위	비 고
단순보		① 지간중양부 ② 지간 1/4부 ③ 받침부
연속보 게르버보		① 지간중양부 ② 변곡점부(약L/4) ③ 교각상부 ④ 받침부
라멘보		① 지간중양부 ② 우각부 ③ 교각부



[그림 1.5] 콘크리트 거더에 발생하는 균열의 유형과 위치

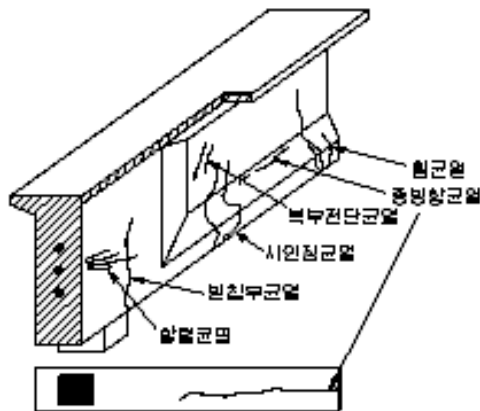


[그림 1.6] 철근콘크리트 거더의 조사부위

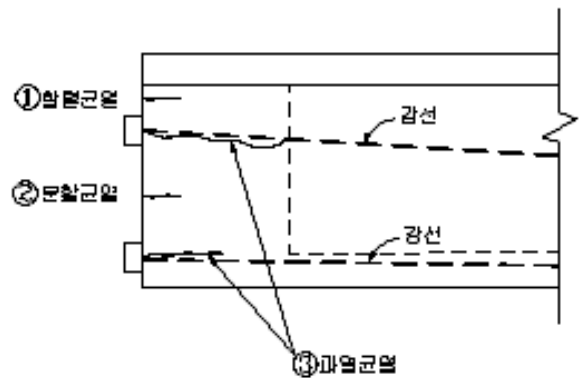
(라) 프리스트레스트 콘크리트 거더

[표 1.7] 프리스트레스트 콘크리트 거더의 조사부위에 따른 손상종류

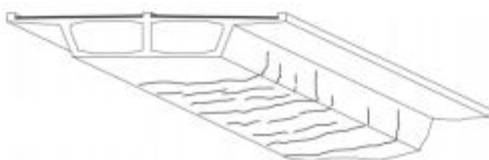
조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	○ 박리, 박락(파손), 철근노출, 백태
▷받침부	○ 부스러짐 ○ 복부 사인장균열 ○ 연속교 상단 휨균열 ○ 격벽 개구부 모서리 균열
▷중앙부	○ 휨균열, 거더처짐 ○ 쉬스관 노출 및 파손 ○ 박스내부 플랜지 및 복부의 강선방향 균열 ○ 시공이음부 균열 및 누수
▷강선정착부	○ 정착부 균열 및 파손



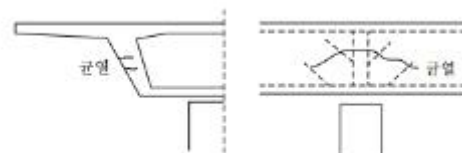
[그림 1.7] PSC I빔의 조사부위



[그림 1.8] 정착구역의 국부균열



[그림 1.9] PSC 박스거더의 균열

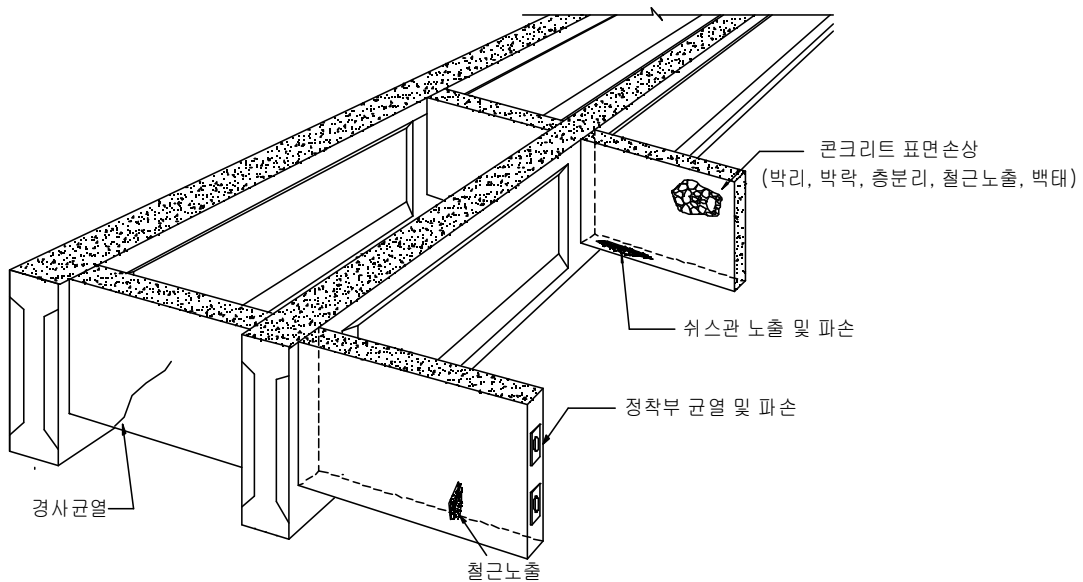


[그림 1.10] PSC 박스거더의 균열

(마) 콘크리트 가로보

[표 1.8] 콘크리트 가로보의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	○ 박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리석회)
▷철근콘크리트 가로보	○ 박락(파손), 철근노출 ○ 경사균열(거더의 상대처짐 의심)
▷프리스트레스트 콘크리트 가로보	○ 쉬스관 노출 및 파손 ○ 정착부 균열 및 파손

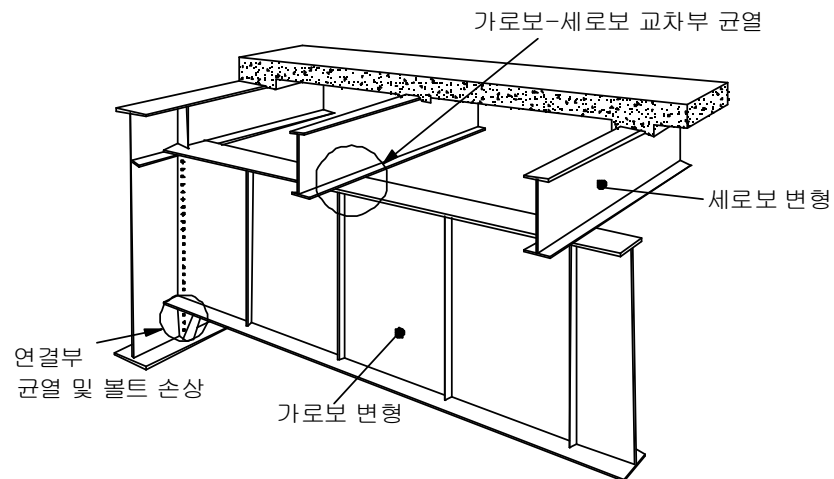


[그림 1.11] 콘크리트 가로보 조사부위 및 조사사항

(바) 강 가로보와 세로보

[표 1.9] 강 가로보의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷ 공통	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도장 열화 및 부식 ○ 현장이음부 볼트손상, 누수 ○ 이상음 발생
▷ 피로강도등급 낮은 용접상세부(D, E급)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 피로균열
▷ 2차부재	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가로보, 세로보, 브라켓 및 브레이싱 변형 ○ 하중집중점, 가로보와 세로부 교차부 균열 ○ 거세트판 용접부 끝부분 균열
▷ 보수부위	<ul style="list-style-type: none"> ○ 용접부 및 용접부 주변 균열



[그림 1.12] 강가로보 , 강세로보의 조사부위 및 조사사항

(사) 케이블

[표 1.10] 케이블 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷케이블 부재	○도장 손상 및 부식 ○부식으로 인한 케이블 단면 손상 ○케이블 변형 및 꺾임 ○외부 및 내부 소선 단선
▷보호관	○보호관의 파손
▷정착구	○강재 정착구의 도장손상 및 부식 ○콘크리트 정착구의 파손, 누수, 누유 및 체수 ○정착구 댐퍼 파손
▷행어밴드, 새들	○도장 열화 및 부식 ○고정볼트 이완, 탈락 ○변형 및 파손

< 해 설 >

[케이블 밴드]

1. 점검방법

- (1) 케이블밴드에 접하는 래핑와이어에 틈이 생겼다면 밴드가 미끄러졌을 가능성이 있으므로 미끄러진 흔적을 조사한다.
- (2) 밴드 볼트가 휘어져 있는지 조사한다.
- (3) 방수 목적으로 부착된 코킹재에 균열이나 부분누락이 있으면 물이 침투하므로 이상 유무를 조사한다.
- (4) 케이블밴드의 이동이나 회전이 도장균열이나 케이블밴드 캡 부분의 코킹상태 및 방수 상태를 세밀히 관찰한다.
- (5) 케이블하면부와 케이블밴드 회전으로 행어로프의 손상이 있는지 밴드 측면부는 막대거울을 이용하여 마찰 손상 여부 등을 확인한다.
- (6) 케이블밴드의 축력은 밴드볼트의 경사변화 기준에 의해 체크하며 기준봉과 마이크로게이지를 이용한 볼트 축력측정을 실시하여 관리 기준치 내에 충족 여부를 확인한다. (통상 조사 시기는 준공 후 1년 이내에 실시하며, 3년, 5년이 되는 시점에 실시한 후 매 5년 마다 실시하도록 한다.)
- (7) 케이블밴드의 회전 여부를 각도기로 조사 후 3°이상시 별도로 특별 관찰 조사를 실시하여 원인을 조사한 후 대책을 수립한다.
- (8) 볼트캡의 탈락이나 풀림이 있는지 육안 근접조사로 상태를 확인한다.
- (9) 케이블밴드 이동시 하중이 편중되어 구조계에 이상으로 나타나므로 밴드의 원 위치설치와 전반적인 조임 작업을 검토한다.
- (10) 케이블 단부에서의 코킹재 열화에 이상 유무를 조사하여야 한다.

2. 조사시 유의사항

- (1) 래핑와이어에 이상이 있을 때는 케이블뿐만 아니라 밴드에서의 미끄러짐에 대하여 조사하여야 하며 장력에도 불균형을 주어 과도한 응력집중 현상을 일으킬 수 있고 케이블의 풀림현상을 가중시킬 우려가 있으므로 세심한 조사가 필요하다.
- (2) 밴드 도장 균열부는 발생 원인을 면밀히 조사하고 조사 후에도 청결상태를 유지시키며 이후 변화 유무가 필요시 마킹 표기나 사진 촬영을 실시한다.
- (3) 케이블밴드 조사는 고소조사이므로 안전장비를 갖추고 조사도구사용과 이동시 안전에 유의한다.
- (4) 케이블 점검통로에서 조사도구의 낙하시 통행차량 및 보행자 부상 발생이 우려되므로 장비 및 도구에 안전고리 및 안전줄을 설치하여 사용한다.
- (5) 강풍과 폭우시는 조사업무를 보류하고 대피한 후 미끄럼 등 위험인자가 제거되어 조사가 가능한지 확인 후에 조사업무를 재개하도록 한다.

[센터 스테이, 사이드 스테이]

1. 조사방법

- (1) 코킹재는 손상받기 쉬우므로 주의해서 조사하여야 하며 코킹재 빠짐이나 열화상태를 조사한다.
- (2) 밴드 안장결기부 부근의 스테이 로프는 마모, 부식되기 쉬우므로 조사를 실시한다.
- (3) 핸드로프의 점검통로와 교량상면부를 이용한 센터스테이를 근접 육안조사를 실시한다.
- (4) 스테이 밴드연결, 강봉, 볼트너트부는 간격이동 여부를 줄자를 이용하여 조사 기록하며 변동 여부를 조사시 비교한다.
- (5) 스테이의 이동이나 회전시 도장균열이나 이탈부 박리현상이 발생되므로 세밀히 밀림여부를 관찰한다.
- (6) 스테이 러그 및 리브 용접부 등의 균열이나 파단 여부를 확인한다.
 - ① 스테이 연결 조정봉의 좌굴이나 뒤틀림 등을 확인한다.
 - ② 스테이 연결핀 및 볼트의 변형이나 유간간격 등 계절별로 상태를 확인하여야 한다.

2. 조사시 유의사항

- (1) 스테이 밴드 연결강봉의 볼트 간격 및 편상태 조사시 안전장비를 갖추고 조사 도구사용과 이동시 안전에 유의해야 한다.
- (2) 강풍과 폭우시는 조사업무를 보류하고 대피한 후 미끄럼 등 위험인자가 제거되어 조사가 가능한지 여부를 확인하여 조사를 재개한다.
- (3) 정착부가 변형되어 있는지 조사를 실시한다.

[케이블, 탐정새들]

1. 조사방법

- (1) 탐정 새들에서의 반력은 보강 리브에 전달되어 탐주 외벽으로 흐르게 된다. 따라서 보강판에는 국부적인 큰 하중이 작용하게 되므로 리브의 국부변형, 좌굴에 주의를 요한다.
- (2) 새들 내부의 결로 등에 의한 수분이 Bolt hole을 통해 보강부로 나오는 경우가 있으므로 볼트 나사산의 도막조사를 실시한다.

- (3) 핸드로프의 점검통로를 이용한 주케이블, 행어로프 근접 육안조사 및 하부에서의 망원경을 이용하여 조사를 실시한다.
- (4) 새들부 부식된 부분은 부식 정도를 파악하기 위해 브러쉬 등으로 표면을 긁어낸 후단면 결함 정도를 확인한다.
- (5) 케이블 하면부와 케이블밴드 회전으로 행어로프의 손상이 있는지 밴드 측면부는 막대 거울을 이용하여 마찰 손상 여부 등을 확인한다.
- (6) 볼트 고정부는 조사용 망치로 볼트머리 부분을 두들겨본 후 이완 및 이상음 발생여부를 판단한다.
- (7) 주케이블의 내부 부식이나 누수 등에 따라 래핑와이어 외관상태가 변화징후(부품, 탈락, 풀림, 도장변색 등)가 나타나므로 세밀한 관찰이 필요하다.
- (8) 스프레이 새들부 등 접근이 곤란한 경우 망원경이나 줌사진 촬영을 이용하여 조사를 실시한다.

2. 조사시 유의사항

- (1) 로프의 느슨한 정도, 인장부의 한 부분은 팽팽하고 다른 부분은 느슨한 건 아닌지 특히 짧은 행어에 주의를 기울일 필요가 있다. 안장걸기부나 정착부에서는 로프의 소선절단이나 꼬임이 발생하였는지 주의깊게 조사한다.
- (2) 긴 행어에 대해서는 접근 조사가 불가능하므로 정기적인 채도장 작업을 실시한다.
- (3) 케이블 조사는 고소조사이므로 안전장비를 갖추고 조사도구사용과 이동시 안전에 유의하고 2인 1조로 조사를 실시한다.
- (4) 케이블 점검통로에서 조사도구의 낙하시 통행차량 및 보행자 부상이 우려되므로 장비 및 도구에 안전고리 및 안전줄을 설치하여 사용한다.
- (5) 강풍과 폭우시는 조사업무를 보류하고 대피한 후 미끄럼 등 위험인자가 제거되어 조사가 가능한지 여부를 확인한 후 조사업무를 재개한다.

[사장교의 케이블, 케이블댐퍼, 케이블 정착부]

1. 조사방법

- (1) 케이블의 내부 부식이나 누수 등을 확인하여 조사한다.
- (2) 케이블 정착구의 볼트 풀림 및 휨 이상 유무를 확인하여 조사한다.
- (3) 케이블 댐퍼의 변형 및 고무판 이탈 부식의 유무를 확인하여 조사한다.
- (4) 케이블 장력의 변화를 확인하여 조사한다.
- (5) 케이블 연결 상태(소선의 틈 및 파손)를 확인하여 조사한다.
- (6) 케이블의 정착부 조사 시에는 추락의 위험이 있으므로 안전벨트를 착용한다.

2. 조사시 유의사항

- (1) 곤도라로 접근 불가능한 곳은 차량으로 이동하여 망원경 등으로 조사한다.
- (2) 케이블의 하부 정착부는 볼트의 풀림여부(너트와 부재사이의 도장상태 관찰) 및 용접부 균열 발생 등에 유의하여 조사한다.
- (3) 케이블의 상부 정착부는 수평방향의 균열발생 및 진행여부를 유의하여 관찰한다.
- (4) 케이블은 바람이 강한 날 이상진동 및 소음발생 여부를 유의하여 관찰한다.

(아) 긴장재

[표 1.11] 긴장재 조사부위와 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷강연선		○ 녹, 부식, 파단
▷보호관	공통	○ 파손, 공극(충전결함), 누수, 백태
	PE관	○ 접합불량, 변형
	강관	○ 녹, 부식, 변형

< 해 설 >

- 긴장재는 강연선, 그라우트, 보호관 등으로 이루어져 있으며 현장조사 시에는 육안으로는 보호관 외부만 관찰이 가능하다. 육안으로 관찰 가능한 손상종류는 보호관의 파손, 접합 불량, 녹, 파단, 선형이상 등이 있고, 타음조사(강구타격법)를 통해 그라우트 충전결함(공극) 유무를 확인할 수 있다.
- 충전결함이 발견 되었을 경우 책임기술자의 판단에 따라 선택과업으로 국부변형시험, 천공시험, 내시경조사 등을 수행하여 긴장재 내부의 상태를 조사할 수 있다.

[강연선]

1. 조사방법

- (1) 긴장재 내 강연선의 부식 징후를 조사하고 징후가 발견될 시 책임기술자의 기술적 판단에 따라 선택과업으로 국부변형시험, 천공시험, 내시경조사를 실시한다.
- (2) 긴장재 내 강연선의 부식 징후는 보호관 외관조사를 통해 확인한다.

[보호관-공통]

1. 조사방법

- (1) 보호관 외부의 파손 및 균열을 조사한다.
- (2) 보호관 내 강연선의 부식, 파단으로 인한 보호관 선형에 뒤틀림 등의 유무를 조사한다.
- (3) 보호관 내 그라우트 공극여부를 확인하기 위하여 타음조사(강구타격법)을 실시한다.
- (4) 타음조사는 1경간 내에 격벽상단 변곡부(Crown)와 방향전환블럭(Deviator) 양측 1.5m 구간에 대해 실시한다.
- (5) 강구가 달린 막대를 사용하여 보호관을 타격하는 타음조사는 보호관 내부가 그라우트로 완전히 충전되어 있을 때와 충전결함(공극)이 존재 할 때 타격음이 다르다. 이 타격음의 차이를 통해 그라우트 충전결함(공극) 유무를 추정한다.
- (6) 보호관 외부결함, 충전결함(공극) 유무 등에 대해 외관 조사망도를 작성한다.

2. 조사시 유의사항

- (1) 격벽상단 변곡부와 방향전환블럭구간은 긴장재 배치 형상에 따른 기하학적 요건 등으로 인해 충전결함(공극)이 예상되는 구간이므로 면밀히 조사하여야 한다.
- (2) 타음조사 시 충전결함(공극)이 있을 것으로 추정되는 구간에 대해서는 책임기술자의 기술적 판단에 따라 선택과업으로 국부변형시험, 천공시험, 내시경조사 등을 실시한다.

[보호관-PE관, 강관]

1. 조사방법

- (1) PE관의 경우 접합부의 접합불량, 이격, 변형 등을 조사한다.
- (2) 강관의 경우 녹, 부식, 변형 등을 조사한다.

2. 조사시 유의사항

- (1) PE관 및 강관의 접합부 접합불량, 이격, 균열을 통해 외부수 유입 가능성이 있을 경우, 책임기술자의 기술적 판단에 따라 선택과업으로 국부변형시험, 형상측량, 상시계측, 천공 시험, 내시경조사 등을 실시한다.

[외부긴장재 타음조사(강구타격법)]

- (1) 강구가 달린 쇠파대로 긴장재를 타격하여 충전결함(공극) 유무를 추정하는 것이 목적이다.
- (2) 타격음의 차이를 통해 그라우트 충전결함(공극) 유무를 추정하는 것이 타음조사의 원리이다.
 - 긴장재 내부가 그라우트로 완전히 충전되어 있을 때와 충전결함(공극)이 존재 할 때 타격음이 다르다.
- (3) 연속된 구간에 대하여 격벽상단 변곡부(Crown)와 방향전환블럭(Deviator) 양측 1.5m 구간에 대해 타음조사를 실시한다.
 - 격벽상단 변곡부(Crown)와 방향전환블럭(Deviator Block) 구간은 긴장재 배치 형상에 따른 기하학적 요건 등으로 인해 충전결함(공극)이 발생하기 쉬운 구간이다.
- (4) 시험 방법은 다음과 같다.
 - ① 타음조사 대상위치를 선정한다.
 - ② 강구달린 막대로 대상위치를 타격한다.
 - ③ 타격음을 청취하여 충전결함(공극) 유무를 추정한다.
- (5) 타음조사 결과 이상음이 발생하여 그라우트 충전결함(공극)이 예상되는 구간은 책임기술자의 기술적 판단에 따라 선택과업인 국부변형시험 실시 여부를 결정한다.

[외부긴장재 국부변형시험]

- (1) 국부변형시험은 현장조사 시 타음조사(강구타격법)을 통해 공극이 예상되는 구간에 대해 책임기술자의 기술적 판단에 따라 실시한다.
- (2) 시험 장비를 이용하여 긴장재에 지압력을 도입하였을 때 생기는 변위량을 측정하여 긴장재 내 그라우트 충전결함(공극) 정도를 확인하는 것이 목적이다.

(3) 시험 장비의 구성은 다음과 같다.

- 클램프(Clamp) : 조사 대상 긴장재 직경보다 물림폭이 넓고 반경보다 물림깊이가 깊은 C-Clamp 또는 이에 준하는 기타 형태의 지압 가능한 기구를 사용한다.
- 시험볼트(Test-bolt) : 토크렌치로 조임 가능한 시험볼트를 클램프에 장착하여 사용한다.
- 토크렌치(Torque Wrench) : 일정한 힘으로 클램프의 시험볼트를 조여 국부변형시험의 신뢰성을 확보하기 위해 사용한다.
- 눈금자 : 정규 눈금 1mm까지 읽어낼 수 있는 것을 사용한다.

(4) 시험 방법은 다음과 같다.

- ① 국부변형시험 위치를 선정한다.
- ② 시험위치를 형조 등으로 깨끗하게 닦는다.
- ③ 클램프의 시험볼트를 풀어 긴장재 중앙에 장착한다.
- ④ 시험볼트를 토크렌치로 조인다.
- ⑤ 발생한 변위량을 측정한다. 시차에 의한 오차를 줄이기 위해 눈금자와 일치하는 방향에서 눈금을 읽는다.
- ⑥ 변위량이 10mm 이상일 경우 책임기술자는 천공시험 또는 내시경조사 실시 여부를 결정한다. (변위량 10mm : 내시경장비 투입가능 최소 공극 크기)

(5) 시험 보고서에 기록하여야 할 사항은 다음과 같다.

- 긴장재의 위치
- 국부변형시험을 행한 연월일
- 긴장재 변위량
- 경과연수

[외부긴장재 천공(Hole-Saw)시험]

- (1) 국부변형시험 결과 10mm 이상의 변위량이 발생한 경우 책임기술자의 기술적 판단에 따라 관리주체의 승인 후 선택과업으로 천공시험을 실시한다.
- (2) 천공시험을 통해 그라우트를 완전히 제거하고 강연선의 표면을 노출시켜 상태를 확인한다.
- (3) 천공시험 시 그라우트재에 대한 탄산화 및 염화물침투량 시험을 병행하여 실시한다.
 - 염화물침투량 시험 시 강연선 표면에 가장 가까운 시료(강연선 표면에서 10mm 미만)를 채취하여 실시한다.
 - 탄산화시험은 천공부위에 지시약(페놀프탈레인 1%용액)을 분사하여 실시한다.

(5) 시험 장비는 다음과 같다.

- 천공부위 세척용품(형조 등)
- 홀쏘(Hole Saw) 장착 드릴
- 천공부위 먼지, 이물질 등 제거 도구(고무핌프, 에어스프레이 등)

(6) 시험 방법은 다음과 같다.

- ① 천공부위를 선정하고 형겅으로 깨끗이 닦아낸다.
- ② 홀쏘를 장착한 드릴로 천공한다.
- ③ 천공부위에 먼지, 이물질 등을 제거한다.
- ④ 천공부위를 통해 강연선 상태를 조사한다.
- ⑤ 그라우트재의 염화물침투량 시험을 위한 시료채취 및 탄산화시험을 실시한다.
- ⑥ 천공부위를 원상 복구 한다.

(7) 시험 보고서에 기록하여야 할 사항은 다음과 같다.

- 긴장재의 위치
- 강연선 상태
- 경과 연수, 그라우트 재령

[외부긴장재 내시경조사]

(1) 내시경조사는 외부긴장재를 천공하여 내시경장비를 내부로 삽입 시켜 그라우트 충전결함 (공극), 강연선의 부식 정도 등 내부 상태를 확인하는 것이 목적이다.

(2) 조사 장비는 다음과 같다.

- 산업용 내시경(Borescope)

- LCD모니터 해상도는 강연선의 녹, 부식, 파단이 확인 가능한 수준(최소 1024 x 768 이상) 이어야 한다.
- 튜브 길이는 1.5m 이상의 와이어 형이면서, 내시경헤드(카메라) 부분이 조작(회전, 꺾임 등)이 가능한 것을 사용해야 조사가 용이하다.
- 어두운 긴장재 내부를 촬영해야 하므로 내시경헤드(카메라)에 하이라이트 LED와 같은 내부를 밝힐 수 있는 장치가 탑재된 것을 사용한다.
- 천공장비(Hole-saw 장착 드릴 등)

(3) 조사방법은 다음과 같다.

- ① 내시경조사 위치를 선정한다.
- ② 천공작업을 수행하여 내시경 삽입 통로를 확보한다.
- ③ 내시경 카메라를 삽입하여 내부 상태를 조사한다. 이때 삽입은 천공부위를 기준으로 1.5m이상 삽입하여 조사한다.
- ④ 천공 부위를 원상복구 한다.

[외부긴장재 장력시험]

(1) 내시경조사 결과 강연선이 파단되어 상태평가 기준이 “c” 이하일 경우에는 책임기술자의 기술적 판단에 따라 장력시험을 수행한다.

(2) 내시경조사 결과를 바탕으로 그라우트 충전상태를 추정하여 긴장재의 단위길이 당 중량 차이를 고려하여 오차율을 낮출 수 있다.

(3) 시험 시 필요한 장비는 다음과 같다.

- 가속도 센서 : 가속도 시간이력 수집
- 가진망치 : 외부긴장재 가진 시 사용
- 가속도 데이터 계측 장비 : 가속도 센서로 부터 얻은 데이터 계측
- 분석 프로그램 : 가속도 시간이력곡선 수집 및 고속푸리에변환(Fast Fourier transform, FFT)용 프로그램
- 와이어(섀드와이어) : 간섭, 노이즈 방지용
- 기타 가속도 센서 부착용품 및 부착부위 세척용품(헝겂, 알콜 등)

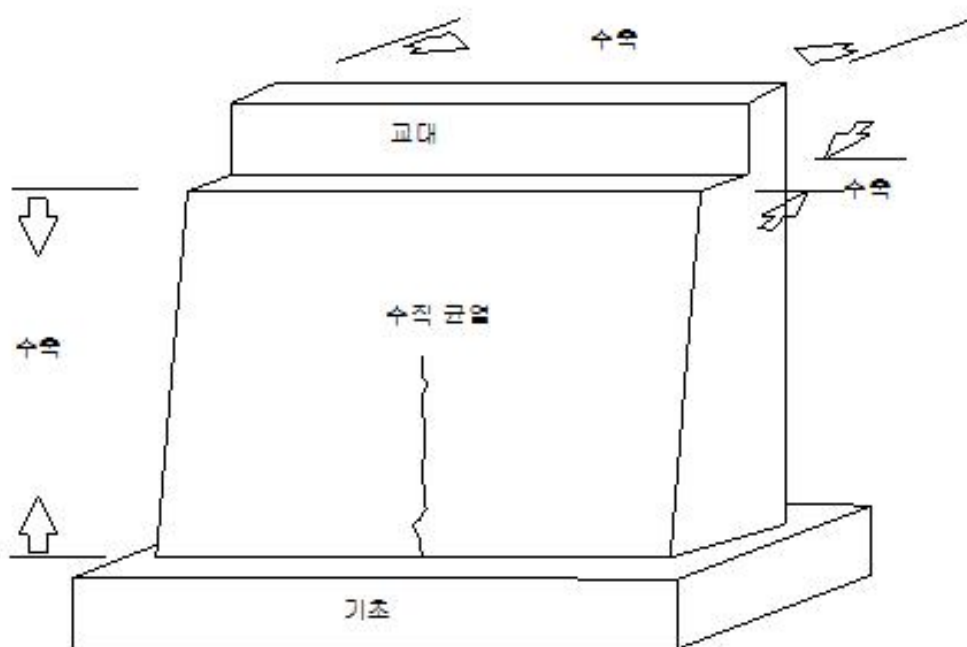
(5) 시험방법은 다음과 같다.

- ① 진동시험 대상 외부긴장재를 선정한다.
- ② 가속도 센서 부착 적정 위치를 선정하고 알콜로 부착면을 세척한다.
- ③ 진동망치로 외부긴장재를 타격하여 가진시킨다.
- ④ 가속도 시간이력 계측한다.
- ⑤ 고속푸리에변환을 통해 외부긴장재의 고유진동수를 분석한다.
- ⑥ 고유진동수를 활용하여 외부긴장재의 응력을 추정한다.

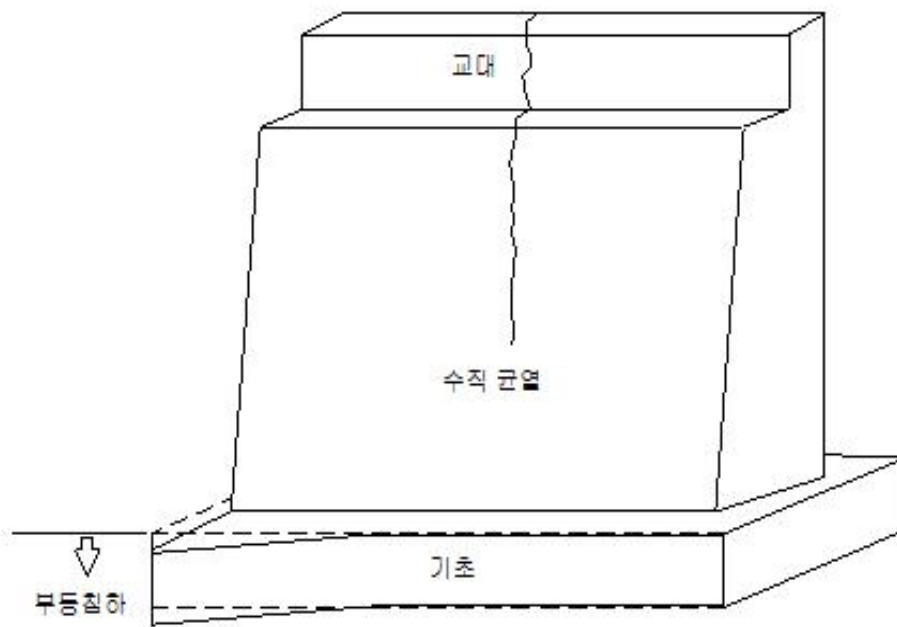
(자) 교대

[표 1.12] 교대의 조사부위와 손상종류

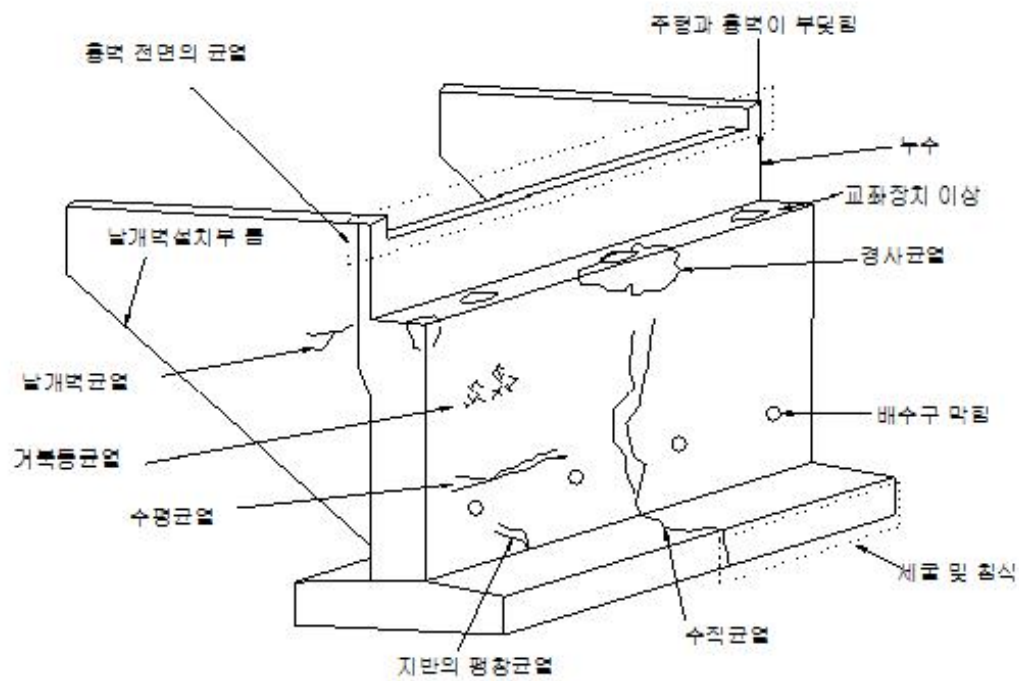
조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	○교대 기울음 및 전도 ○균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)
▷두부(Coping)	○두부 물고임 ○받침부 균열 및 파손 ○두부와 홍벽 경계부 균열 ○거더와 홍벽 신축유간 부족
▷벽체	○수직균열 및 침하 ○구체와 날개벽 분리 ○구체부 배수구 막힘 ○수면접촉부 침식
▷날개벽(옹벽 포함)	○날개벽 이동, 전도 ○석축이 있는 경우 사면붕괴



[그림 1.13] 온도응력, 건조수축에 의한 교대의 수직균열



[그림 1.14] 부등침하로 인한 교대의 수직균열

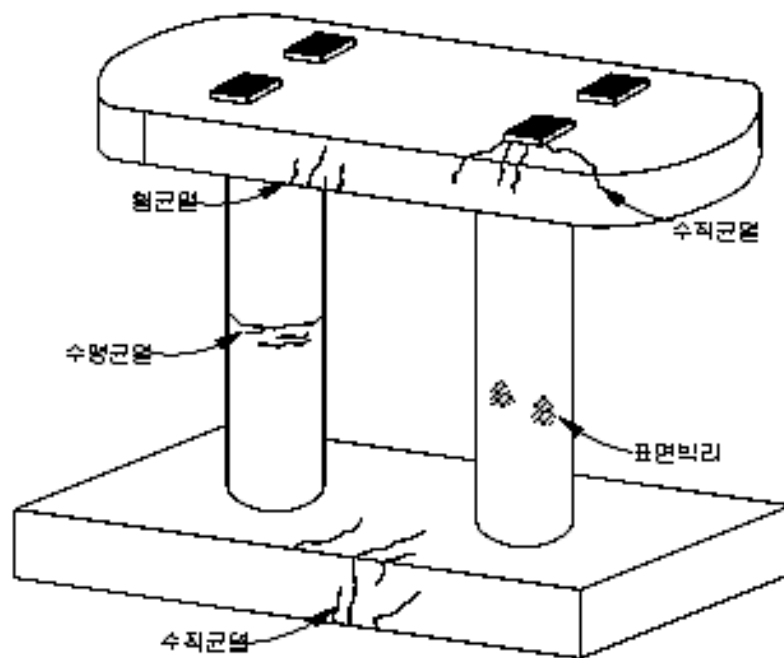


[그림 1.15] 교대의 조사부위

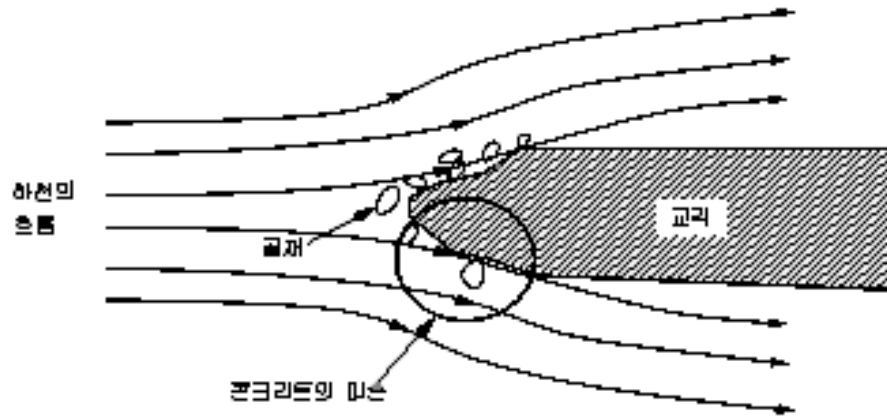
(차) 콘크리트 교각

[표 1.13] 콘크리트 교각의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	○ 교각 기울음 및 전도 ○ 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)
▷두부(Coping)	○ 두부 물고임 ○ 받침부 하부 균열 및 파손
▷벽체	○ 시공이음부 균열 ○ 이동 또는 기울음 ○ 수면접촉부 침식



[그림 1.16] 콘크리트 교각의 조사부위

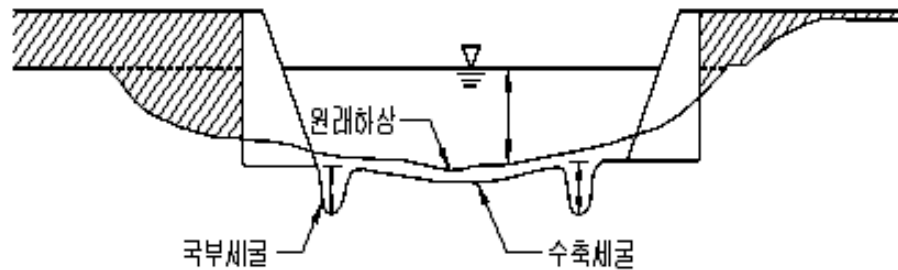


[그림 1.17] 유수에 의한 콘크리트 교각의 침식

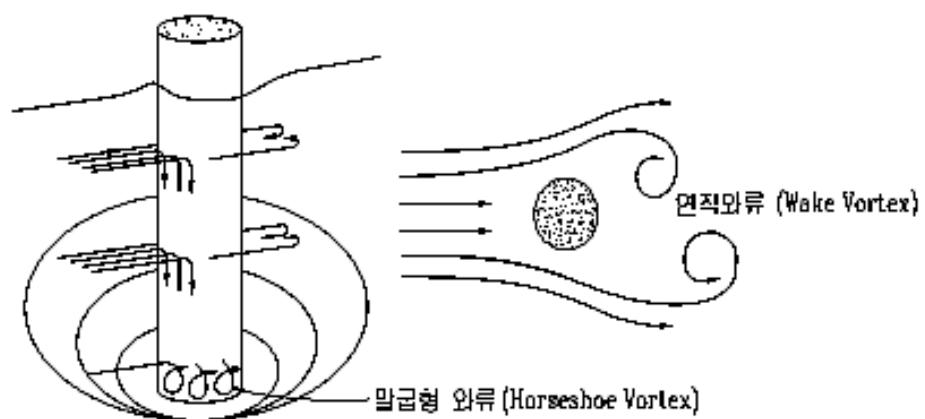
(카) 기초

[표 1.14] 기초의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	○ 박리, 박락, 철근노출, 백태 ○ 침식, 세굴, 측방유동, 침하 ○ 하부구조물 기울음 및 전도
▷직접기초	○ 콘크리트 균열 및 파손
▷말뚝기초	○ 말뚝 노출 및 침식
▷케이슨기초	○ 케이슨 노출 및 침식 ○ 충돌파손



[그림 1.18] 수축세굴과 국부세굴

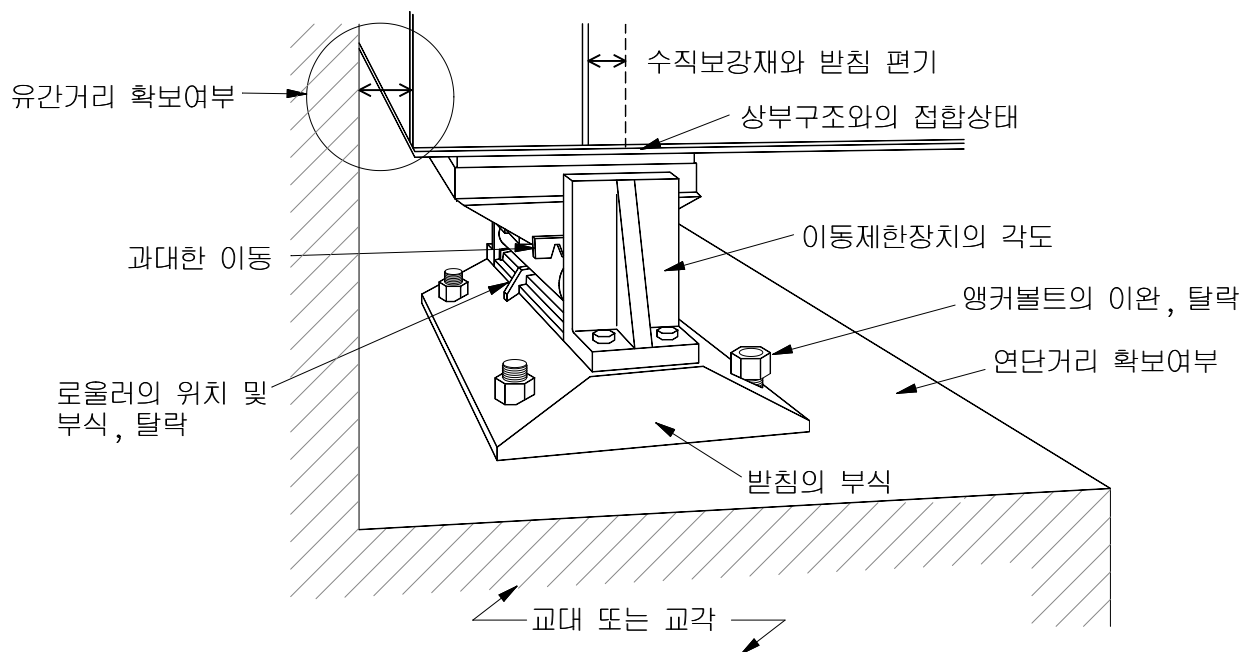


[그림 1.19] 원형기초의 국부세굴

(타) 교량받침

[표 1.15] 교량받침의 조사부위에 따른 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷본체	- 공통	<ul style="list-style-type: none"> ○가동받침의 신축유간 부족 ○가동받침 전·후방의 가동장애 요소 ○받침과 거더의 밀착상태 ○수직보강재와 받침 편기상태 ○받침 물고임 및 부식
	- 강재받침	<ul style="list-style-type: none"> ○가동면 부식 ○부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한장치)
	- 탄성받침	<ul style="list-style-type: none"> ○부품 및 갈라짐 ○고무판의 과도한 변형
▷받침콘크리트		<ul style="list-style-type: none"> ○앵커볼트 파손, 절단 ○콘크리트 파손, 하부공동 및 침하 ○교각두부 균열

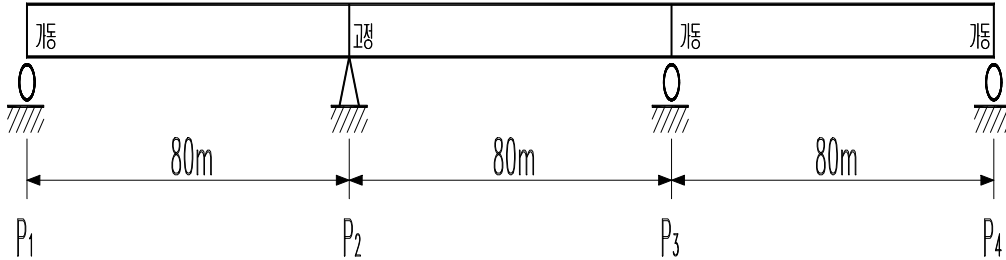


[그림 1.20] 교량받침 조사부위

< 해 설 >

[교량 받침 이동량 산정 및 받침 유간 확인]

- (1) 공용 중 온도변화로 인한 상부구조의 신축에 따라 이동량이 발생하고 교량받침 신축유간의 적정성을 판단하여야 한다.
- (2) 조사 온도별 이동량 계산 예



- P_4 받침 신장량 계산 (Δl) • 신축거더길이 : 160m
- 지난번 조사시 온도 : 10℃ • 금번 조사시 온도 : 30℃

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l = 1.2 \times 10^{-5} \times (30 - 10) \times 160,000 = 38.4 \text{ mm}$$

- 받침의 실제이동량을 측정하여 계산치 38.4mm와 비교한다.

(3) 받침 유간 확인방법 예

- 받침의 유간은 늘음방향, 줄음방향으로 확인하여야 한다.
- 조사시 온도 : 10℃
- 추가예상 이동량이 발생할 수 있는 온도
 - 겨울 : -10℃ (줄음방향 유간 계산시 보통지방 강교의 예)
 - 여름 : 40℃ (늘음방향 유간 계산시 보통지방 강교의 예)
 - 줄음방향 유간계산 :

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l = 1.2 \times 10^{-5} \times (-10 - 10) \times 160,000 = 38.4 \text{ mm}$$

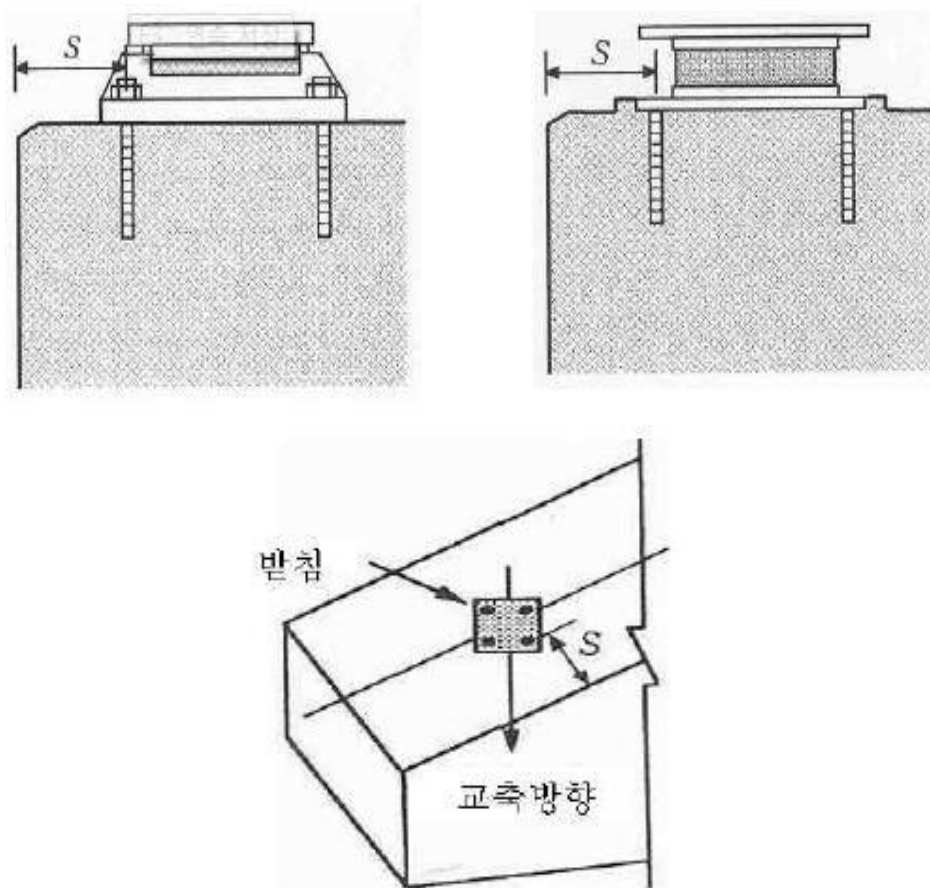
- 늘음방향 유간계산 :

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l = 1.2 \times 10^{-5} \times (40 - 10) \times 160,000 = 57.6 \text{ mm}$$

- 선팽창 계수 α : 강교(1.2×10^{-5}) , 콘크리트교(1.0×10^{-5})
- 유간의 실제 여유량이 상기의 값 이하인 경우에는 유간부족으로 인하여 거더나 교량받침에 손상이 발생하였는지 조사하여야 하며 계산치와 실제 측정치를 2~3차례 비교하여 이동 제한 장치의 절단, 받침의 이동, 교체 등 조치방법을 고려하는 것이 바람직하다.

[도로교량 받침 연단거리의 측정]

- (1) 교좌면은 받침을 통해서 상부구조로부터 하중 등의 집중하중을 받는 곳이고 또 지진시 등에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 지진시 하중을 전달하는 부재로서 앵커볼트에 의해 받침을 고정하는 경우에는 받침의 종류와 관계없이 앵커볼트의 중심에서 하부구조 정부 연단까지의 거리를 S 로 한다. 사교 혹은 곡선교의 경우 받침 연단거리 S 는 하부구조 정부연단과의 최단거리 방향으로 확보하여야 한다.
- (2) 하부구조 정부에 있어서 교축방향의 받침연단과 하부구조 정부 연단 사이의 거리, $S(\text{mm})$ 는 다음 값 이상을 확보하여야 한다.
 - 거더의 경간길이 100m 이하 : $S = 200 + 5L$
 - 거더의 경간길이 100m 이상 : $S = 300 + 4L$ [여기서, L 은 경간 길이(m)]



[그림 1.21] 교량받침의 연단거리

- (3) 단, 공용 중인 교량에 대한 교좌부의 연단거리 검토 시, 연단거리 S 를 만족시키지 못하더라도 앵커볼트로부터 발생되는 콘크리트 전단파괴를 방지한다면 즉, 받침 앵커볼트에 작용되는 외력에 대해 교좌부의 내력(콘크리트가 부담하는 내력+보강근이 부담하는 내력)이 충분한 전단력을 확보하고 있는 경우에는 안전한 것으로 본다.
- (4) 또한, 코핑이 없는 단일기둥 교각에서는 교좌부 파괴가 낙교 등과 연결될 가능성이 있으므로 이와 같은 경우에는 교축직각방향에 대해서도 교좌부 내력을 조사할 필요가 있다.

[철도교량 받침 연단거리의 측정]

- (1) 받침자리 및 거더 단부는 받침 및 스토퍼에 작용하는 하중을 확실하게 하부구조에 전달할 수 있는 구조이어야 한다.
- (2) 받침자리에는 수평 전단력에 대하여 지름 13mm 이상의 철근을 최대 200mm의 간격으로 교축방향과 교축직각방향에 배치되어야 한다.
- (3) 받침의 끝에서 거더 끝단까지의 거리는 받침에 작용하는 수평력 및 연직력에 대하여 안전해야 하며, 주거더의 종류에 따라 다음 값 이상이어야 한다.

• 철근콘크리트 거더 및 PSC거더의 경우

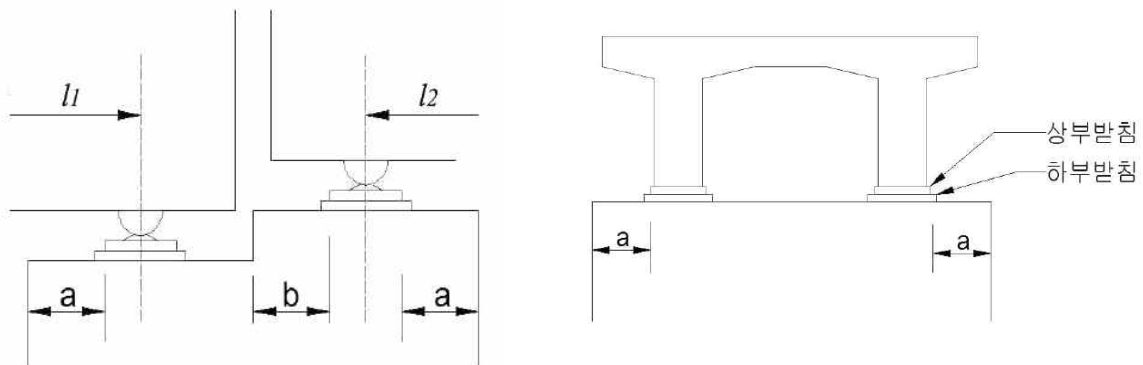
$l < 15\text{m}$	$a = 150\text{mm}, b = 150\text{mm}$
$15\text{m} \leq l < 20\text{m}$	$a = 200\text{mm}, b = 150\text{mm}$
$20\text{m} \leq l < 30\text{m}$	$a = 250\text{mm}, b = 150\text{mm}$
$30\text{m} \leq l < 40\text{m}$	$a = 350\text{mm}, b = 150\text{mm}$
$40\text{m} \leq l$	$a = 400\text{mm}, b = 150\text{mm}$

• 플레이트 거더의 경우

$l < 25\text{m}$	$a = 200\text{mm}, b = 150\text{mm}$
$25\text{m} \leq l$	$a = 250\text{mm}, b = 150\text{mm}$

• 트러스의 경우 $a = 300\text{mm}, b = 150\text{mm}$

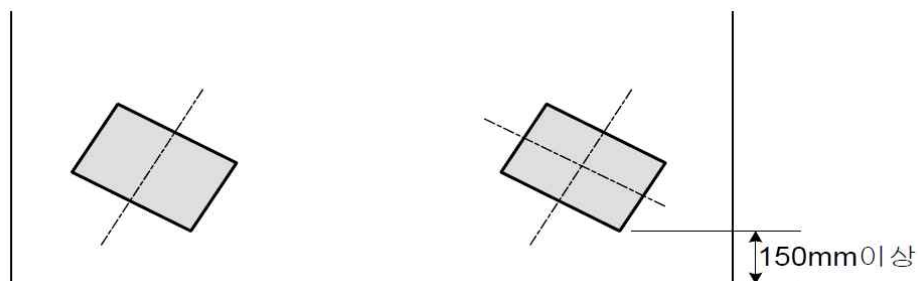
- (4) 사각을 가진 거더에서 받침 최외측선부터 거더 끝단까지의 교축방향으로의 최소거리는 일반적으로 150mm 이상으로 한다.



(a) 선로방향

(b) 선로직각방향

[그림 1.22] 받침의 끝에서 거더 끝단까지의 거리(a 및 b)의 값

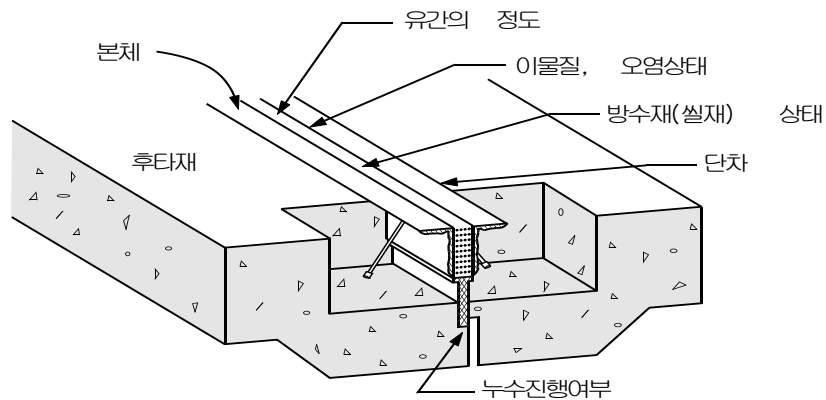


[그림 1.23] 사각을 가진 거더에서 받침의 배치

(과) 신축이음

[표 1.16] 신축이음의 조사부위에 따른 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷본체	- 공통	○충격음, 본체유동 및 파손 ○누수 ○유간부족 및 유간과다 ○유간 오물퇴적
	- 고무재	○고무판 마모, 강판노출 및 부식
	- 강재	○강재 연결부 이완 및 파손
▷후타재		○단차(본체, 교면포장, 접속슬래브) ○균열 및 파손



[그림 1.24] 신축이음 조사부위

(하) 교면포장

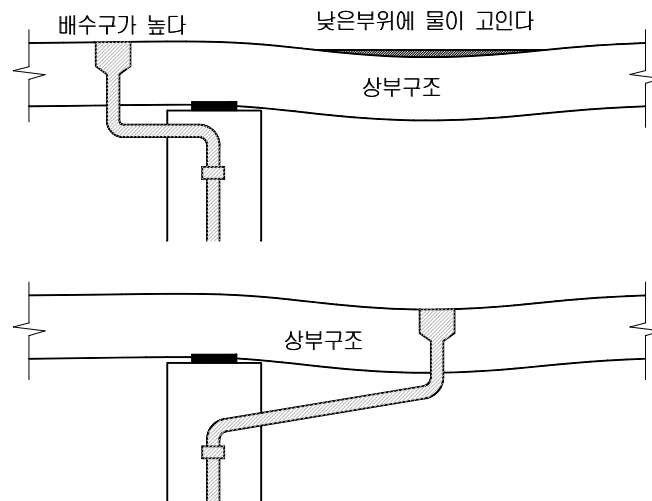
[표 1.17] 교면포장의 조사부위에 따른 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷공통	▷아스팔트	○균열, 함몰, 단차 및 요철, 블리딩, 마모, 평탄성
	▷콘크리트	○균열, 마모, 박리, 파손, 평탄성
▷신축이음 전후, 구조물 경계부		○단차, 파손
▷곡선부, 중차량 통행차로		○마모, 바퀴자국
▷배수구 주변		○물고임

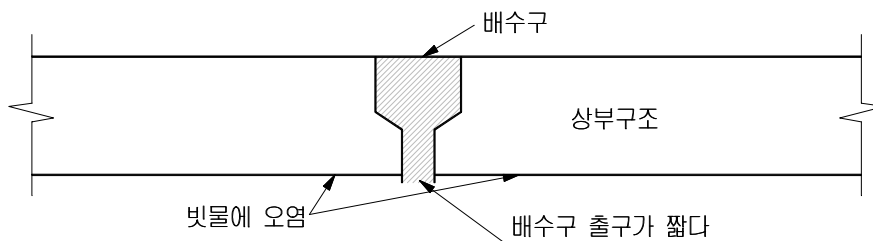
(거) 배수시설

[표 1.18] 배수시설의 조사부위에 따른 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷배수구(유입구) - 뚜껑(그레이팅)	<ul style="list-style-type: none"> ○뚜껑파손 및 주변파손, 누락 ○오물퇴적, 막힘 ○배수구의 설치높이가 높음 ○배수구 설치위치 불량 ○배수구 설치간격 넓음
▷배수관	<ul style="list-style-type: none"> ○관의 연결부 어긋남, 파손 ○이물질에 의한 막힘 ○지지철물의 이완 및 파손 ○배수관 길이 부족(짧음) ○유출구 위치 부적절(도로구간)



[그림 1.25] 배수구 물고임



[그림 1.26] 배수구 길이 부족

(너) 보호시설

[표 1.19] 보호시설의 조사부위에 따른 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷ 보호시설	- 강재, 알루미늄	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강재의 경우 도장 손상 및 부식 ○ 난간과 바닥판연결부의 결함, 파손 ○ 전체적인 처짐 및 선형불량 ○ 변형, 볼트부 결함, 용접부 결함 등
	- 철근 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> ○ 균열, 박리, 파손 ○ 철근노출 및 부식 ○ 전체적인 처짐 및 선형불량

2) 구조안전성능

(가) 재하시험

(1) 일반

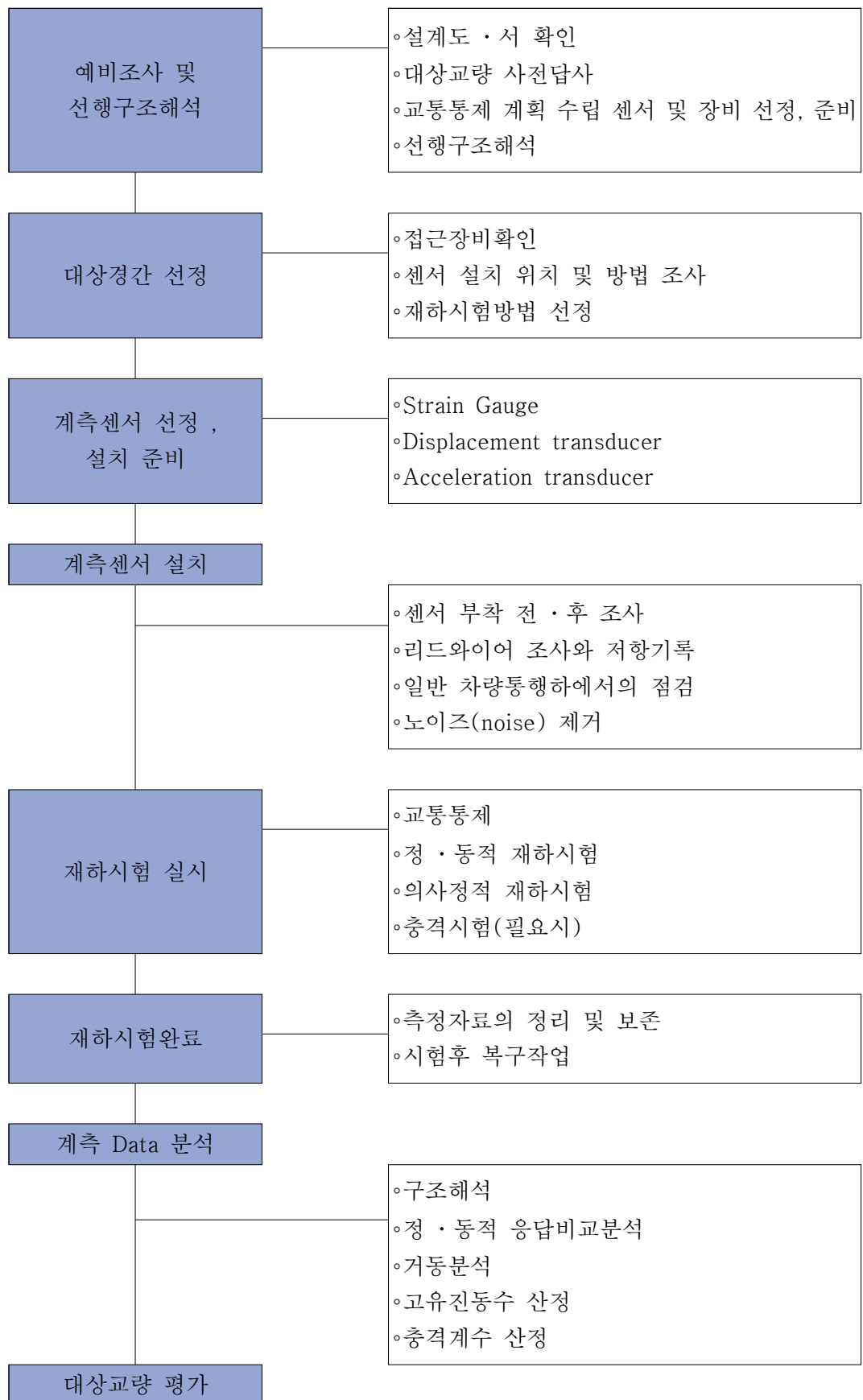
재하시험은 실험적인 방법으로 교량의 거동을 해석하는 방법으로서, 정해진 규정에 따라 교량의 탄성거동에 영향을 주지 않는 크기로 결정된 기지의 하중을 교량의 특정부위에 직접 재하하여 교량을 구성하는 주요 부재들의 실제거동을 관찰 및 계측하는 시험이다.

재하시험의 목적은 교량의 실제 내하력을 정량화시키기 위함이며, 재하시험의 결과는 이론적인 방법으로 평가된 교량의 내하력을 보완하는데 적용된다.

재하시험은 정적 및 동적재하시험으로 구분하여 실시하되 의사정적재하시험을 실시하는 경우에는 정적재하시험을 생략할 수 있다. 재하시험을 시행할 경우에는 시험방법, 시험하중, 계측기기의 운영, 시험원의 자격요건 및 안전조치계획 등을 포함한 신중한 계획이 이루어져야 한다.

내하력평가에서 재하시험의 세부목적은 다음과 같다.

- 교량의 실제 정적 및 동적거동 평가
- 처짐, 진동 등에 대한 사용성능 검토
- 새로운 해석방법 및 설계기법의 검증
- 교량의 결함원인의 분석 및 규명
- 해석에 의한 내하력이 작은 경우 실제거동을 반영한 내하력을 결정하여 교량 유지관리의 경제성 향상
- 보수·보강 효과 확인
- 교량의 동특성(진동수, 진동모드 및 감쇠비 및 충격계수)평가
- 설계도서 및 보수·보강 이력자료가 미비한 교량의 내하력평가



[그림 1.27] 재하시험 흐름도

(2) 재하시험 대상교량 선정

내하력평가 과정에서 재하시험 대상교량은 내하력평가 목적, 교량상태안전성능 및 선행 구조해석 결과와 다음에 기술한 사항을 종합적으로 고려하여 선정하여야 한다.

① 재하시험이 필요한 경우

- 설계도서가 충분치 않아 교량의 내하력 및 거동을 이론적인 방법만으로 평가할 수 없는 경우
- 교량의 구조계에 변경이 있는 보강을 실시하였거나 일부 부재가 원 설계와 다른 부재로 교체되어 교량의 전체적인 거동을 이론적인 방법만으로 해석하기 어려운 사유가 있는 경우
- 이론적인 방법으로 평가한 교량의 내하력이 관리주체가 정한 관리수준 목표 이하여서 교량의 실제 여유 내하력을 평가하고자 하는 경우
- 교량의 노후화, 구성 재료의 전반적인 열화와 주요 부재의 손상 등의 사유로 인하여 이론적인 방법으로만 교량의 정확한 내하력평가가 불가능하다고 판단되는 경우
- '18년 1월 18일 이후에 준공된 교량의 최초 성능평가 시 교량의 초기 동적특성 등 초기치 확보측면에서 재하시험을 실시할 경우
 - 단, 초기점검에서 실시한 경우는 제외
- 기타 교량의 동적 특성을 평가하고자 하는 경우

② 재하시험이 적합하지 않은 경우

- 상태안전성능 결과가 양호하고, 이론적인 방법으로 평가한 내하력이 관리수준 목표를 상당히 초과하는 경우
 - 단, 초기점검에서 실시하는 재하시험은 예외
- 교량의 심각한 노후화 또는 손상이 진행되어 긴급한 보강이 필요한 경우
 - 단, 보강 후에 보강효과 확인이 필요한 경우 필요시 재하시험을 실시
- 책임기술자가 판단할 때 내하력 평가에서 재하시험이 불필요한 경우

(3) 재하시험 계획

① 시험경간 선정

- 시험경간은 주형의 손상상태, 신축이음의 상태, 받침상태, 보수 및 보강이력 등을 고려하여 종합적으로 가장 취약하고 최대응답이 발생할 것으로 예측되는 경간을 선택함을 원칙으로 하되 교량 총 연장에 따라 시험경간 개소를 증가시킬 수 있다.
- 상부구조가 2개 이상의 형식으로 구성되었거나 연속교와 단순교의 조합으로 구성된 경우, 형식별로 1개 경간을 선정하여 재하시험을 실시하는 것이 바람직하다.
 - 단, 주 형식 이외의 나머지 형식이 주 형식의 일부로 분류 가능하거나 손상 및 노후상태, 하부구조상태, 구성비율, 보강이력 등을 고려할 때 재하시험의 필요성이 없는 경우는 예외로 한다.
- 국부적 충돌사고 및 손상, 일부 경간의 보강효과 검증 등 특수한 목적을 위한 재하시험은 예외로 한다.

② 계측기 및 센서의 부착

- 대상교량의 구조형식 및 계측 목적에 따라 센서 및 계측기의 종류, 부착위치 및 개소수, 재하하중, 시험횟수 등을 결정한다.
- 계측기와 센서는 압축·인장 휨변형률, 전단변형률, 최대처짐, 진동 및 동적특성, 균열거동 등을 계측하기 위하여 부착한다.
- 4차선 이하 교량의 경우 계측기와 센서의 부착 위치는 시험경간 내 전 거더를 대상으로 하며 4차선 이상의 경우는 예외로 한다.
- 슬래브교의 경우 시험트럭의 축간거리 간격만큼 이격시켜 전폭에 대하여 계측기와 센서를 부착함을 원칙으로 하며, 특수교량이나 박스교의 경우는 시험목적에 맞게 결정한다.
- 연속교의 경우 하중 영향범위를 고려하여 정·부 모멘트부에 공히 계측기와 센서를 부착하는 것을 원칙으로 한다.
- 센서를 부착할 경우 직사광선, 습기, 이물질에 의한 손상 및 간섭을 받지 않도록 방습 및 보호처리를 한다.

③ 재하하중 선택

- 재하하중은 교량의 형식과 설계활하중 및 노후정도를 고려하여 하중재하로 인한 계측효과를 충분히 얻을 수 있도록 재하하중을 정하여야 한다. 그리고 전륜/후륜의 축중은 현행법상 과적기준을 초과하지 않으며, 건설기준코드(구 도로교설계기준)의 규정을 벗어나지 않는 범위 내에서 시험 중 중량의 변화가 없는 토사를 적재한 덤프트럭을 사용한다.
 - 단, 교량의 노후 및 손상정도가 심하여 재하시험으로 추가적인 손상이 우려되는 경우는 선행 구조해석을 통하여 시험차량의 중량을 결정하는 것이 바람직하다.
- 시험차량은 성능이 양호한 차량을 선택하며, 차량에 대한 제원과 축중을 정확히 파악한다. 3차선 이상의 교량은 2대 이상을 교폭 또는 교축방향으로 동시에 재하시켜 시험하는 것이 바람직하며, 이때 트럭간 총중량의 차이는 최소화하고 가급적 같은 모델의 차량을 사용하는 것이 좋다.
- 우천시에는 우수로 인한 적재물의 중량 증가를 방지할 수 있도록 덮개를 씌우고, 시험 종료후 하중증가가 우려되는 경우 축중을 재측정한다.
- 철도교량의 경우 실제 열차를 사용한다(무궁화 기관차, KTX, KTX-산천 등).

④ 재하시험 계획

- 재하시험 시기는 교량의 주변여건, 교통량, 보행자의 안전 등 경제적, 사회적 손실을 고려하여 교통통제의 영향이 적은 시간대를 선정한다.
- 우천 시나 대기온도가 계측기의 작동범위를 벗어날 때는 적절한 대책을 마련하지 않는 한 재하시험을 실시하지 않는다.

⑤ 안전계획

- 재하시험원 및 교통통제원은 주·야간 모두 육안으로 식별이 가능한 복장을 착용한다.
- 차량의 안전운행을 위하여 각종 교통통제용 안전간판, 비상조명등, 보조장비를 설치하여 운영한다.
- 재하시험 종료 후 부분적으로 훼손된 교량표면을 원상 복구한다.

(4) 정적재하시험

정적재하시험은 센서의 부착, 측정장비와 센서의 연결, 측정장비 및 센서의 점검, 시험 차량의 중량 및 제원확인, 재하위치 표시, 교통통제 등이 완료되면 시작하도록 한다.

정적재하시험은 다음과 같은 목적에 따라 정적처짐 또는 정적변형률을 측정한다.

- 중립축 위치 판단
- 하중의 횡분배
- 주형과 바닥판과의 합성 작용
- 부재의 강성
- 응력 및 처짐의 영향선
- 계산응력과 측정응력의 비교

① 시험방법

- 재하시험은 재하차량 이외에 일반차량이 완전히 통제된 상태에서 실시한다.
- 재하경우별로 시험경간에 재하차량을 포함한 활하중이 전혀 재하되지 않은 상태에서 매 재하경우마다 영점 조정을 실시하여 시험결과를 정리할 때 반영토록 한다.
- 상부구조의 진동, 소음, 충격 등을 측정한다.
- 이 측정결과에 영향을 미칠 수 있으므로 시험차량은 시동을 끈 후 구조체의 응답 시간을 고려하여 약 1분 정도의 측정대기 시간을 가진 후 측정하는 것이 좋다.
- 재하경우별로 2회 이상 반복측정을 실시하는 것이 바람직하다.
- 활하중 재하위치는 설계조건, 차선조건을 고려하여 계측 대상부재에 최대응답이 발생하도록 결정하고, 대칭성과 중첩성을 확인할 수 있는 재하조건을 적어도 1회 이상 실시하는 것으로 한다.
- 전면 교통통제에 따른 차량지체가 예상되고, 교통사고의 가능성이 높은 경우에는 재하횟수를 합리적으로 줄여서 시행할 수 있으며, 재하차량을 차선별로 주행시켜 시험하는 의사정적 재하시험을 수행할 수 있다.

② 정적처짐

- 정적처짐의 측정위치는 대상교량의 규모와 재하시험의 목적에 따라 결정한다.
- 각 주형의 지간 중앙부에는 반드시 측점을 설치하고 필요에 따라 경간의 1/4지점, 3/4지점 (또는 1/3지점, 2/3지점) 등 측점수를 증가 시킨다.

③ 정적변형률

- 정적변형률의 측정위치는 대상교량의 구조적 특성과 재하시험의 목적에 따라 결정한다.

(5) 동적재하시험

교량의 동적재하시험은 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

시험차의 주행에 따른 동적응답 으로부터 실제 교량의 충격계수 및 진동평가를 위한 시험과 교량의 동적 특성을 구하기 위한 시험이 있다.

① 차량 주행시험

- 특수한 목적을 제외하고 동적재하시험은 재하차량 이외에 일반차량이 완전히 통제된 상태에서 실시한다(철도교량의 경우 실제 열차를 활용).
- 정적재하시험용 계측기와 동적재하시험용 계측기가 상이한 경우 계측기의 측정 오차를 검정하기 위하여 동적재하시험용 계측기를 사용하여 정적재하시험과 동일한 1개 재하 경우를 선택하여 정적재하시험을 실시한다.
- 시험차량의 주행속도는 상행차선과 하행차선에서 각각 최저 10km/h에서부터 현장여건상 가능한 최대 주행속도까지 10km/h 간격으로 속도를 증가시키면서 교량의 동적응답신호를 측정한다.
- 측정결과를 이용하여 교량의 충격계수, 동적변형률, 가속도, 진동주기, 고유진동수에 따라 사용성능 측면에서의 교량진동 특성을 분석한다.

② 동적특성 시험

- 교량의 동적특성 즉 고유진동수, 감쇠율, 모드형상을 구하는 시험으로써 상시미진동, 주행차량에 의한 진동, 가진기에 의한 진동 등을 가속도계 및 변위계로 측정하는 시험이다.
- 장대교의 경우 내진안전도, 내풍안전도를 평가함에 있어 대상교량의 동특성이 기본자료로 활용되며 공용중인 교량에서 기간 경과에 따른 동특성의 차이는 교량의 손상정도를 평가하는데 사용될 수 있다.

(6) 의사정적재하시험(도로교량에 적용)

의사정적재하시험은 동적재하시험과 마찬가지로 차량주행시험을 실시하여 계측된 응답파형으로부터 정적응답을 간접적으로 유추하는 재하시험 방법으로서 동적 측정장비를 이용할 수 있고 정적재하시험에 비하여 차량통제가 용이하기 때문에 재하시험 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다.

따라서 의사정적재하시험은 평가대상 교량의 현장여건, 교통량 등을 감안하여 차량의 전면교통통제를 실시하는 것이 바람직하지 않다고 판단될 때 실시하도록 한다.

의사정적재하시험은 다음과 같은 요령으로 실시한다.

- 시험대상 교량에 정적재하시험과 같은 요령으로 재하경우별로 재하위치를 표시한다.

- 시험대상 교량 전후방에 신호 및 교통통제요원을 배치하고 차량의 통행이 없는 시기에 시험차량을 교량으로 유도하여 재하위치를 통과하도록 한다.
- 차량의 통행이 없는 시기를 확보하기 곤란한 경우에는 시험차량의 전후방에 주행유도 차량을 운행하여, 시험차량이 평가대상교량을 통과할 때까지 다른 차량의 교량진입을 통제한다.
- 의사정적재하시험에서 시험차량의 속도는 약 10km/h 이내의 속도를 유지하도록 한다.
- 의사정적시험에서 계측된 데이터에서 동적효과를 제거하여 정적효과를 구한다.

(나) 세굴을 포함한 기초안전성

(1) 일반

교량 세굴은 유수에 의한 침식유발능력과 지반의 침식저항능력의 상호관계에 따라 발생하는 현상이므로 수리학과 지반공학적인 측면을 모두 고려하여 주의 깊게 평가하여야 한다. 특히, 교량의 하상변화에 영향을 주는 구조물이 영향권 내에 설치될 경우 기존교량의 세굴취약성을 평가하여야 한다. 또한 1단계 평가(세굴심 평가) 후 세굴이 발생할 수 있을 경우 2단계 평가(기초안전성) 여부를 결정하여야 하며, 기초의 변위량은 허용변위량을 초과하지 않아야 한다.

(2) 대상교량 선정

하천을 횡단하는 교량은 수중조사, 교량상태, 유속의 흐름, 주변 환경 변화 등을 고려하여 1단계 세굴심 검토를 통해 평가할 수 있으며, 필요시 2단계 기초안전성 전도, 활동, 지지력, 변위 등을 평가한다. 단, 수중조사 및 시추는 다음에 기술한 사항을 종합적으로 고려하여 결정한다.

그 외 교량의 경우 필요시 책임기술자 판단에 따라 세굴심 검토를 제외한 기초안전성만을 수행 할 수 있다.

① 수중조사, 시추 등이 필요한 경우(해상교량 포함)

- 1단계 세굴심 검토 및 2단계 기초안전성 검토를 위한 자료가 불충분하여 이론적인 방법만으로 평가가 불가능할 경우
- 구조계의 변동이 있는 보강을 실시하였거나 일부 부재가 원 설계와 다른 부재로 교체되어 교량의 전체적인 거동을 이론적인 방법만으로 해석하기 어려운 사유가 있는 경우
- 우물통과 교각기초 사이의 거동, 기초가 암반에 근입된 상태, 교대의 부등침하, 전방이동 등 최소한의 안전성능을 확보하지 못한 상태
- 하상정비계획 또는 준설 등에 의하여 교량주변에 하상변동이 발생했을 경우
- 교량이 위치한 하천에서 계획홍수량 이상의 홍수가 발생했을 경우
- 교량에 인접하여 교량확장, 철도 복선화 공사 등으로 인한 기초공사가 시행되었을 경우

② 수중조사, 시추 등이 필요없는 경우

- 상태안전성능 결과가 양호하고, 인접한 부근의 기초공사, 하상의 변동 및 유속의 변화 등이 없는 경우
- 책임기술자가 판단할 때 세굴을 포함한 기초안전성에 필요한 최소한의 안전성능을 확보하고 있으며, 자료가 충분하여 수중조사가 불필요한 경우

(3) 평가 일반

평가구간의 홍수 시 유량 및 유속, 하천의 흐름(수로의 이동, 흐름 유입각 등), 교각의 형상, 하상의 입자 등을 고려하여 종합적으로 가장 취약하고 세굴심이 많이 발생할 것으로 예측되는 구간을 선택함을 원칙으로 하되 교각 수에 따라 시험경간 개소를 증가시킬 수 있다.

- ① 홍수사상 선정 : 교량설치에 따른 세굴 검토를 위한 빈도는 홍수량에 따른다. 만약 500년 빈도 홍수량을 결정하기 어려운 경우에는 100년 빈도 홍수량의 1.7배 유량을 500년 빈도 홍수량으로 사용할 수 있다.

② 수면형 결정

- 최대세굴을 발생시킨다고 판단되는 유량에 대한 수면형을 결정한다.
- 수치모형을 사용할 경우 국내·외에서 널리 이용되는 모형을 선택하는 것이 바람직하며 특정하천에 이용하려면 활용 가능한 검증자료의 유무를 확인하고, 검증자료가 있는 경우라면 검증을 거친 후 사용하도록 한다.

③ 세굴량 산정 및 평가

- 세굴량은 하상상승 및 하상저하, 수축세굴, 국부세굴로 구분하여 산정하고 이를 합한 것으로 한다.
- 설치되는 교각의 폭이 3m 이상이고 홍수시의 수심이 9m 이상이거나 홍수 시 유속이 3m/s 이상일 경우에는 세굴 실험을 통하여 세굴량을 산정하여야 한다. 또한 공식을 사용하는 경우일지라도 공식적용상 어려움이 있거나 계산 결과에 대하여 불확실성이 큰 경우에는 세굴 실험을 통하여 세굴량을 산정하여야 한다.
- 수축세굴의 경우 Laursen의 공식을 사용하여 세굴량을 산정한다.
- 국부세굴공식을 이용하여 교각주위내 세굴량을 산정하는 경우 CSU 공식을 적용하여 산정하되, 불확실성을 감안하여 CSU 공식 이외에 Froehlich 공식, Laursen 공식, Neil 공식 중 최소한 2개 이상을 택하여 세굴량을 산출하고 세굴깊이와 세굴폭에 대한 평가를 실시한 후 세굴량을 결정하도록 한다. 각 공식으로 구한 세굴량의 차이가 큰 경우 산술 평균값을 적용할 수 있다.
- 세굴량을 산정하기 위한 기준, 절차 등은 건설기준코드(구 하천설계기준, 하천설계기준·해설)를 참조한다.

④ 기초안전성 평가

- 기초지반에 발생하는 응력은 지반의 전단강도와 비교할 때 소요의 안전율을 확보하는 응력이하가 되도록 한다.
- 기초의 전체침하량과 부등침하량은 구조물의 안전성능과 사용성능에 영향이 없어야 한다.

- 기초는 구조물의 전도, 활동, 회전, 부상에 대하여 안전하여야 한다.
- 허용침하량은 균등침하, 부등침하, 각변위 등으로 규정할 수 있으며 구조물의 종류, 형태, 기능에 따라 정한다. 별도의 기준이 없는 경우에는 국제적으로 통용되는 기준을 준용할 수 있다.
- 기초안정성 평가는 도로설계편람 제5편(2008), 건설기준코드(구 구조물기초 설계기준)를 참조한다.

[표 1.20] 기초형식별 안정검사 항목

기초형식 \ 검사항목		지지력		전도	활동	연직 변위량	수평 변위량
		연직	수평				
직접기초		○	(○) ¹⁾	○	○	○	—
케이슨 기초	$\beta l < 1$	○	○	—	○	○	—
	$1 < \beta l < 2$	○	○	—	○	○	○
강관널말뚝기초		○	—	—	—	○	○
말뚝 기초	유한장 말뚝	○	(○) ¹⁾	—	—	○	○
	반무한장 말뚝	○	(○) ¹⁾	—	—	○	○

주1) ()는 교대구조물과 같이 수평력이 크게 발생하는 기초구조물 및 연약한 지반과 같이 수평력에 취약한 구간에 대해 적용한다.

l : 기초의 유효근입깊이(m)

$$\beta : \text{기초의 특성값}(m^{-1}), \beta = \sqrt[4]{\frac{K_h \cdot D}{4EI}}$$

EI : 기초의 휨강성(kNm^2)

D : 기초폭 또는 지름(m)

K_h : 수평방향 지반반력 계수(kN/m^3)

[표 1.21] 기초형식별 안정검사 내용

기초형식		검사내용				
		전도	연직지지		수평지지, 활동, 수평변위량	
		전도항목	검사면	검사항목	검사항목	검사항목
직접기초		하중합력의 작용위치	저면	지지력	저면 [전면] ¹⁾	전단저항력 [수동저항력] ¹⁾
케이슨 기초		—	저면	지지응력	저면 전면 (설계지반력) ²⁾	전단저항력 수동저항력 (수평변위량) ²⁾
강관널말뚝기초		—	저면	지지력	설계지반력	수평변위량
말뚝 기초	유한장 말뚝	—	저면	지지력	설계지반력	수평변위량
	반무한장 말뚝					

주1) [] 전면지반의 수평저항을 기대하는 경우에 대해서만 검사를 한다.

주2) () : $1 < \beta l < 2$ 의 케이슨기초에 대해서는 기초이 강성을 평가하고 수평변위량에 대해서도 검사를 한다.

(3) 1단계 평가(세굴심 평가)에 필요한 자료

세굴심 평가에 필요한 자료 목록은 다음과 같다.

① 조사 시점에 세굴 관련 유지관리 자료가 확보되어 있는 경우

- 조사대상 교각부 설계도면
- 조사대상 교각부 주변 계획 하상고
- 유속 및 세굴심 관련 유지관리 이력 자료
- 하천정비 계획서

② 조사 시점에 세굴 관련 유지관리자료가 확보되어 있지 않은 경우

- 조사대상 교각 직상류류 수심
- 조사대상 교각 직상류부 평균유속
- 조사대상 교각의 형상, 폭 및 길이
- 흐름의 입사각
- 하상조건
- 하상재료의 입경

(4) 2단계 평가(기초안전성 평가)에 필요한 자료

기초안전성 평가에 필요한 자료 목록은 다음과 같다.

- 조사대상 교각부 설계도면(교각과 기초의 형상 및 제원)
- 세굴 후 하상고(1단계 평가 결과 이용)
- 수심 및 최대유속
- 지질주상도(지층별 단위중량, 내부마찰각, N치 등)
- 기초하부에 작용하는 연직하중, 수평하중, 모멘트하중

(다) 주행안전성

(1) 일반

교량의 동적 안전성능 확보를 위한 검토 항목 및 방법으로서 설계속도 200km/h 이상인 고속철도 교량은 일정간격의 연행하중 작용에 의한 공진위험 등이 발생함으로 철도 교량에 대해 동적검토를 필수적으로 수행할 필요가 있다.

최대 운행속도 200km/h(화물열차의 경우 150km/h) 이하의 일반철도 교량에 대해서는 교량의 첫 번째 휨 고유진동수가 3.0Hz 이하일 경우 동적거동에 대한 검토를 하도록 한다.

주요 검토 항목 및 평가기준은 다음과 같다.

- 첫 번째 휨 고유진동수 f_1 (Hz) 검토
- 임계속도 V_{cr} (m/sec) 검토
- 교량 상판의 연직가속도 검토
- 교량의 연직처짐 검토
- 면틀림 검토
- 종방향 변위
- 단차

(2) 대상교량 선정

철도교량은 주행 안전성을 평가하여 운행을 위한 한계조건을 만족하는지 여부를 판단하여야 한다. 단, 재하시험과 병행하는 경우와 주행안전성 단독으로 실시하는 경우는 다음에 기술한 사항을 종합적으로 고려하여 결정한다.

① 재하시험과 병행할 경우

- 재하시험 구간선정을 위한 선행구조해석 시, 주행안전성에 취약한 구간을 미리 선정하도록 한다.
- 재하시험 계획 시 필요한 계측 장비 및 센서 부착 위치 등 주행안전성 평가를 위한 추가 계획을 검토하여 동시 수행토록 한다.

② 재하시험 없이 단독으로 수행할 경우

- 주행안전성을 목적, 교량상태, 선행구조해석 결과를 바탕으로 취약구간을 선정하고 계측 및 구조해석을 실시토록 한다.
- 계측센서를 활용하여 24시간 이상의 상시실시계측을 통한 데이터의 획득을 기본으로 하고, 전차 재하시험 결과, 전차 시험 결과 및 구조해석 결과 등과 비교하여 상시계측 결과의 신뢰성을 확보한 후 주행안전성을 평가하여야 한다.

(3) 평가 일반

① 교량의 첫 번째 고유 횡 진동수, f_1^m (Hz)

교량의 첫 번째 고유 횡 진동수 평가를 통해 주행 안전성 확인을 위한 임계속도 계산 및 교량의 강성변화를 확인할 수 있다.

평가방법은 시험 또는 해석을 실시하여 확인한다. 시험에 의한 경우는 실 열차에 의한 재하시험을 실시하여 확인하거나, 재하시험이 불가능한 경우는 상시 주행열차에 의한 동적응답(변위, 변형률 또는 진동가속도) 이력곡선을 측정하여 구한다.

거더교의 경우는 경간 중앙부에서 1차 모드 진폭이 크게 발생하지만, 아치교는 경간 중앙부가 아닌 경간길이의 1/4 위치에서 진폭이 크게 발생하므로 측정대상 교량의 동특성을 사전에 파악하여 측정센서의 위치를 결정할 필요가 있다.

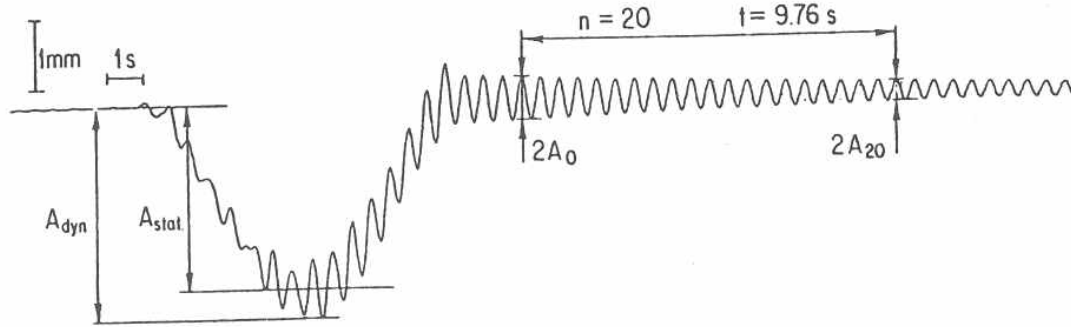
현장시험을 실시하는 경우 측정된 응답을 강제진동 상태와 자유진동 상태로 분리하여 분석하고, 각각의 상태에 대한 고유진동수를 제시하도록 한다. 그러나 기존 실측자료가 없는 경우(최초 재하시험)에는 고유치해석에 의한 값을 자유진동상태의 고유진동수 실측결과와 비교하여 평가한다.

동적 응답을 측정하기 위한 센서 부착위치는 가급적 1차 진동모드의 진폭이 크게 발생하는 부위를 대상으로 한다.

자유진동 상태에서의 고유진동수는 열차가 교량을 통과한 후 진동이 조화적(harmonically)으로 감소한다고 가정하면, 처짐 또는 변형률 이력곡선으로부터 [그림 1.28]과 같이 구하고, 그렇지 않은 경우 변위, 변형률 또는 진동가속도 이력곡선을 스펙트럼 분석하여 구한다. 또한 강제진동상태에서의 고유진동수도 스펙트럼 해석을 실시하여 구한다.

스펙트럼 해석시 Fourier 스펙트럼에 의해 고유진동수 판정이 어려운 경우, 해석치와 비교하여 구하거나, Power 스펙트럼을 작성하면 고유진동수를 판단할 수 있다.

해석에 의해 고유진동수를 산출하는 경우, 교량의 2차 부재, 궤도구조, 부속물 등의 강성 및 질량을 실제와 유사하게 해석에 반영하여야 한다. 그러나 이러한 부가질량과 강성을 정확히 해석에 반영하는 것이 쉽지 않기 때문에 건전한 교량의 경우 고유진동수 실측치가 해석값에 비해 크게 산출된다. 실측 고유진동수가 해석값보다 작게 산출되는 것은 구조물에 심각한 손상이 발생할 가능성이 있다.



[그림 1.28] 변위 이력곡선의 예

여기서, $f_1^m = n/t$ (Hz) : 실측 1차 휨 고유진동수

$$\delta = 1/n \times \ln(A_0 / A_n)$$

$$\xi = \delta / 2\pi : \text{감쇠비}$$

고유진동수는 일반적으로 교량 강성의 제곱근에 비례하고 고유진동수의 비에 따라 평가한다.

$$\text{고유진동수의 비, } \alpha = \frac{f_1^m}{f_1^{mp}} \text{ 또는 } \frac{f_1^m}{f_1^c}$$

여기서, f_1^m : 실측 1차 휨 고유진동수

f_1^{mp} : 초기 실측 1차 휨 고유진동수(초기 실측자료가 없는 경우, 가용한 실측자료 중 가장 앞선 실측자료를 적용)

f_1^c : 해석에 의한 1차 휨 고유진동수

② 임계속도, V_{cr} (m/sec)

임계속도 평가를 통해 주행안전성을 확인할 수 있다.

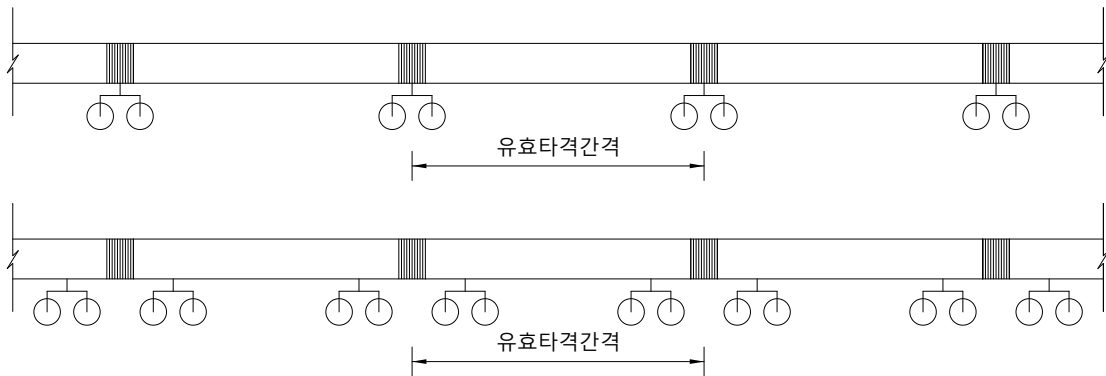
임계속도가 대상교량의 상시 운행속도 이하인 경우에는 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 동적 주행시험을 실시하고 공진발생 여부를 반드시 확인해야 한다. 측정대상 교량을 통과하는 모든 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 시험이 필요하며, 각각의 실 운행열차에 대해 3회 이상의 응답을 측정한다.

$$V_{cr} = f_1^m \times S_{eff}$$

여기서, S_{eff} (m)는 국내운행열차의 유효타격간격으로서 건설기준코드(구 철도설계기준)를 참조하여 구한다.

[표 1.22] 국내 운행열차의 유효타격간격(S_{eff})

열차형식	유효타격간격
새마을호, 무궁화호, 텀팅열차	23.50m
화물열차(유조차)	13.95m
KTX, KTX 산천	18.70m



[그림 1.29] 운행열차에 대한 유효타격간격 결정방법

일반적으로 강제진동상태에서의 고유진동수는 자유진동상태에서의 고유진동수에 비해 작으므로, f_1^m 은 안전측의 평가를 위해 실 열차 시험에 의한 강제진동 상태의 값을 적용하여 산출한다. 평가된 임계속도가 대상교량의 상시 운행속도 이하인 경우에는 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 동적 주행시험을 실시하고 공진발생 여부를 반드시 확인해야 한다. 측정대상 교량을 통과하는 모든 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 시험이 필요하며, 각각의 실 운행열차에 대해 3회 이상의 응답을 측정한다. 측정된 동적 응답 이력곡선에서 공진현상이 나타나는 경우에는 반드시 원인을 규명하고 적절한 조치를 취하도록 해야 한다.

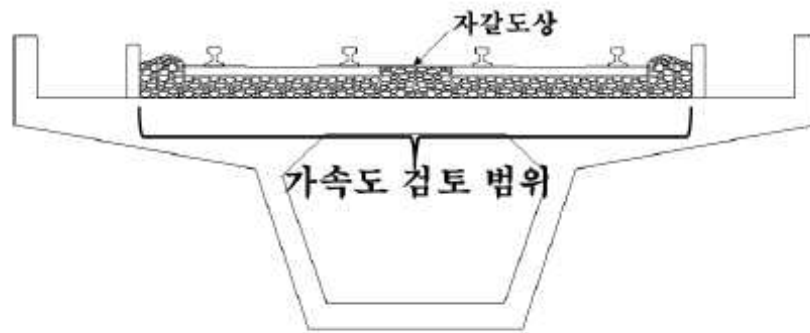
③ 교량 상판의 연직가속도, $a(m/s^2)$

교량 상판의 연직가속도 평가를 통해 주행안전성을 확인할 수 있다.

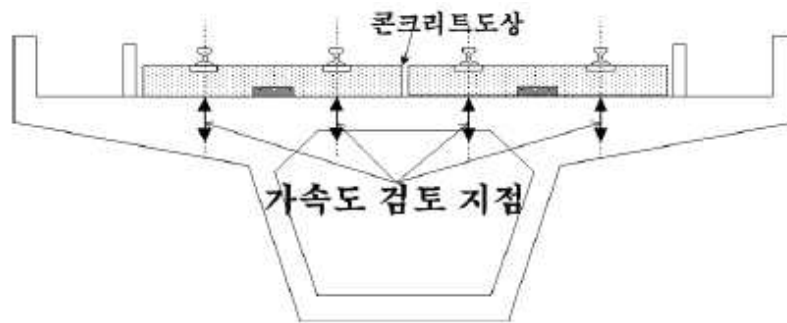
실험을 실시하여 확인하는 것을 원칙으로 하고 해석을 병행하여 실시토록 한다. 해석에 의한 연직가속도 검토는 건설기준코드(구 철도설계기준)를 따르도록 한다.

시험에 의한 경우는 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 진동가속도 이력곡선을 측정하여 최댓값으로 평가한다. 측정대상 교량을 통과하는 모든 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 시험이 필요하며, 각각의 실 운행열차에 대해 3회 이상의 응답을 측정한다. 또한, 복선 교량의 경우에는 최소 1회 이상의 교행 중의 응답을 측정한다.

센서의 교축방향 부착위치는 연직처짐이 가장 크게 발생하는 부위를 대상으로 한다. 건설기준코드(구 철도설계기준)에는 교량 단면에 대한 상판의 연직가속도 조사 위치가 규정되어 있으며, 현장시험의 경우에는 조사 위치가 제한적이므로 측정결과의 편차가 크게 발생한다. 따라서 조사 위치는 센서 부착이 가능한 위치 중 책임기술자가 최대가속도가 발생할 것으로 예상되는 부위를 선정하여 측정하도록 한다.



(a) 자갈도상



(b) 콘크리트도상

[그림 1.30] 교량 상판의 연직가속도 조사 위치

④ 교량의 연직처짐, δ

교량 연직처짐 평가를 통해 주행안전성을 확인할 수 있다.

해석적인 방법으로 교량의 연직처짐을 검토하는 방법은 건설기준코드(구 철도설계기준)에 규정되어 있다. 충격을 고려한 표준열차하중에 의한 처짐 δ 가 $L/600$ 이하여야 한다.

여기서 L은 지간길이이다. 하중조합은 [표 1.23], 하중재하 궤도 수는 [표 1.24]와 같다
 시험에 의한 연직처짐 측정시 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 처짐 이력곡선을 측정하여 최댓값으로 평가한다. 측정대상 교량을 통과하는 모든 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 시험이 필요하며, 각각의 실 운행열차에 대해 3회 이상의 응답을 측정하고, 복선 교량의 경우에는 최소 1회 이상의 교행중의 응답을 측정한다.

처짐의 경우, 교량의 강성 및 노후도와 매우 밀접한 관계가 있어 안전성능 평가시 반드시 필요한 계측항목이다. 접근여건 상 접촉식 변위계 설치가 어려울 경우 비접촉식 방법을 사용하여 변위를 측정하도록 한다. 비접촉식 방법으로는 가속도 신호, 속도 신호를 적분하여 변위를 추정하는 방법, 변형률-변위 관계를 이용하여 추정하는 방법, 영상 처리장치 및 GPS 장비를 사용하는 방법 등을 활용 할 수 있다.

[표 1.23] 연직처짐 검토를 위한 하중조합

주행안전성	표준열차하중 + 충격계수(복선 이상 재하)
승차감	1. 표준열차하중 + 충격계수(단선재하) 2. 실 열차하중 속도별 동적해석(단선재하) 승차감에 대한 연직변위는 1과 2중 불리한 값을 적용한다.

[표 1.24] 상판의 최대 처짐 검토를 위한 하중재하 궤도 수

궤도 수		
1	2	3 이상
1	1 또는 2 (가장 불리한 경우를 재하)	1 또는 2 또는 3 이상 (가장 불리한 경우를 재하)

⑤ 면틀림

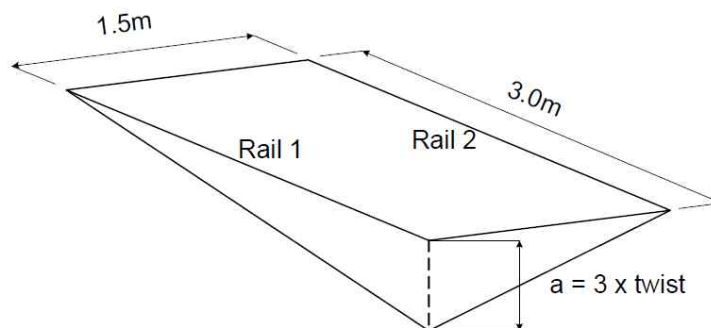
면틀림은 차륜과 레일의 접촉에 대한 안전을 확보하여 탈선 위험을 최소화하기 위한 것으로서 교량의 교축직각방향 회전에 의한 캔트변화(비틀림 각변화)를 제한하기 위한 기준이며 평가를 통해 주행안전성을 확인할 수 있다.

시험을 실시하여 확인하며 부득이한 경우 해석을 실시한다. 해석적인 방법으로 교량의 면틀림을 검토하는 방법은 건설기준코드(구 철도설계기준)에 규정되어 있다.

시험에 의한 경우, 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 4곳에서의 처짐 이력곡선을 측정하고, 이를 분석하여 최댓값으로 평가한다. 측정대상 교량을 통과하는 모든 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 시험이 필요하며, 각각의 실 운행열차에 대해 3회 이상의 응답을 측정한다. 또한 복선 교량의 경우에는 최소 1회 이상의 교행 중의 응답을 측정한다.

센서의 교축방향 부착위치는 가능한 연직처짐이 크게 발생하는 부위를 대상으로 하며, 4개의 센서를 상판 하면에 설치한다. [그림 1.31]과 같이 각각의 센서는 3m×1.5m(L×W)의 직사각형 꼭지점에 위치하도록 한다. 센서의 교축방향 위치는 레일 직하가 가장 바람직하지만 교량의 단면구성상 레일 직하에 설치하기 곤란한 경우에는 최대한 레일 위치에 근접시켜 센서를 설치하도록 한다.

교량 종방향 레일부를 따라 실 운행열차를 단선재하하여 속도별 최댓값을 산출한 후, 이들 값을 비교하여 불리한 값이 [표 1.25]의 허용치를 만족하는지 여부를 확인하도록 한다.



[그림 1.31] 면틀림의 정의

[표 1.25] 면틀림 기준

설계속도(V) (km/h)		면틀림(mm/m)	3 m 기준 면틀림 변화량
표준열차하중 재하	$V \leq 200$	1.0	3.0mm/3m
	$200 < V$	0.5	1.5mm/3m
실 운행열차 동적해석		0.4	1.2mm/3m

⑥ 상부구조 끝단 상부면 종방향 변위

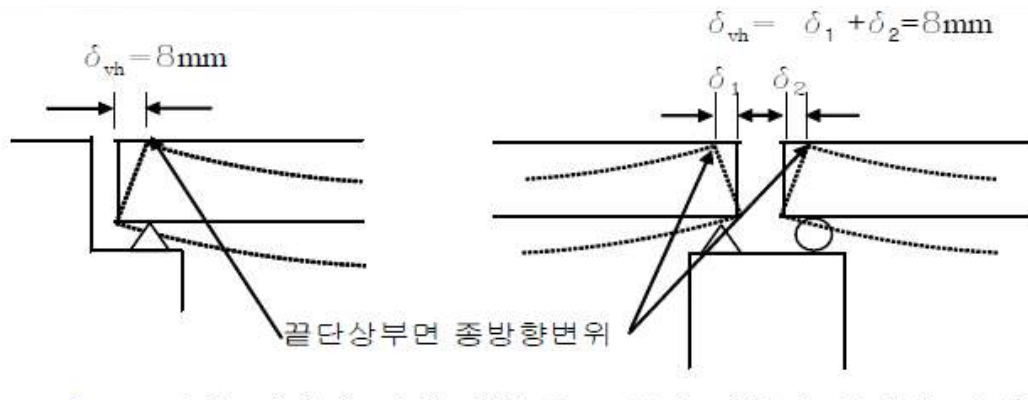
상부구조 끝단 상부면 종방향 변위 평가를 통해 자갈도상 불안정화 방지 및 양호한 궤도 상태를 확인 할 수 있다.

자갈궤도가 부설된 교량에만 적용한다. 종방향 해석 지침에는 열차수직하중이 작용할 때 교대부 상부구조 끝단 상면 또는 연속하는 상부구조 끝단 상면사이의 종방향 변위는 궤도-교량 종방향 상호작용을 고려하는 경우 8mm 이내, 궤도-교량 종방향 상호작용을 고려하지 않는 경우 10mm 이내로 제한한다.

2복선 이상의 구조물인 경우, 열차 수직하중은 최대 2개 선로에만 재하하는 것으로 한다.

상시 주행상태에 대한 변위 이력곡선을 측정하고, 이를 분석하여 최댓값으로 평가한다. 측정대상 교량을 통과하는 모든 실 운행열차의 상시 주행상태에 대한 시험이 필요하며, 각각의 실 운행열차에 대해 3회 이상의 응답을 측정한다. 또한, 복선 교량의 경우에는 최소 1회 이상 교행 중의 응답을 측정한다.

교대부와 신축이음장치가 설치된 교각부 중 상부구조와 교대 사이 또는 인접 경간 사이의 종방향 변위가 가장 크게 발생될 것으로 판단되는 개소를 측정위치로 선정하며, 상부면의 종방향 변위를 측정할 수 있도록 센서를 설치한다.



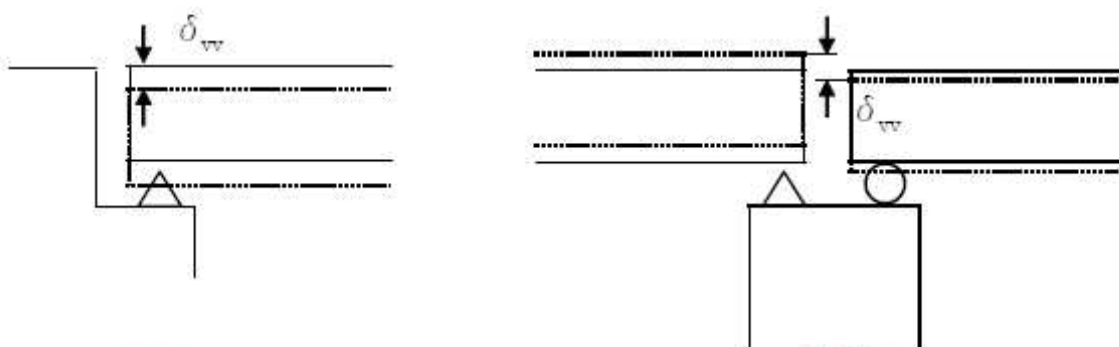
[그림 1.32] 단부 격임에 의한 상부구조 끝단 상면 종방향 변위

⑦ 인접 경간 사이 또는 상부구조와 교대 사이의 단차

인접 경간 사이 또는 상부구조와 교대 사이의 단차 평가를 통해 자갈도상 불안정화 방지 및 양호한 궤도 상태를 확인 할 수 있다.

자갈궤도가 부설된 교량에만 적용한다. 종방향 해석 지침에는 열차수직하중이 작용할 때 인접경간 사이 또는 상부구조와 교대사이의 단차는 열차속도 160km/h 미만에서는 3mm 이내, 160km/h 이상에서는 2mm 이내로 제한되어야 한다. 열차하중은 2복선 이상의 구조물인 경우라도 열차 수직하중은 최대 2개 선로에만 재하하는 것으로 한다.

상시 주행상태에 대한 변위 이력곡선을 측정하고, 이를 분석하여 최댓값으로 평가한다. 측정대상 교량을 통과하는 운행열차의 상시 주행상태에 대한 시험이 필요하며, 각각의 실 운행열차에 대해 3회 이상의 응답을 측정한다. 또한, 복선 교량의 경우에는 최소 1회 이상의 교행 중의 응답을 측정한다. 교대부와 신축이음장치가 설치된 교각부 상부구조와 교대 사이 또는 인접 경간 사이의 단차가 가장 크게 발생될 것으로 판단되는 개소를 측정위치로 선정하며, 교량 상판 상면에 센서를 설치한다.



[그림 1.33] 열차 수직하중 작용시 교량 상부구조 단부의 단차

(라) 구조안전성능의 고려사항

(1) 상부구조의 고려사항

상부구조의 구조안전성능 시 다음 사항을 충분히 고려하여 엄밀한 판정이 되도록 한다.

- 콘크리트 및 강재 등 재료의 실제강도
- 균열, 박리, 박락, 층분리
- 강재, 철근, 프리스트레싱 긴장재의 부식
- 구조부재의 실제단면적과 철근의 위치
- 처짐
- 볼트, 리벳, 용접 등 연결부위의 상태
- 신축 이음부와 받침부의 구속력

강교의 경우, 교량에 발생하는 결함 및 손상의 대부분이 용접부 및 절취부 등의 불연속면에 작용하는 응력집중에 의한 국부적인 추가손상 및 피로파손에 기인하므로 피로응력에 대한 평가를 필요로 하는 경우가 있다.

특히 철도교는 도로교와 달리 설계하중에 가까운 큰 하중이 통과하는 횟수가 많은 것이 특징으로 실동응력 범위가 커짐으로 인해 피로에 대한 고려가 필수조건이다.

(2) 여유도가 없는 구조물 (Nonredundant Structure)

구조물에는 부분적인 부재의 파괴가 교량 전체의 붕괴를 일으킬 것으로 예상되는 주요구조부재가 존재한다. 이러한 구조물의 구조안전성능 평가시에는 이들 여유도가 없는 부재에 특별히 유의해야 한다.

(3) 복잡한 구조물

「세부지침」은 국내에 일반적으로 사용되는 교량형식의 평가에 이용함을 목적으로 하기 때문에 현수교, 사장교, 곡선 거더교, 아치, 연속트러스 및 변단면 거더교량과 같이 복잡한 구조물의 안전성능검토에는 특별한 해석법 및 절차를 필요로 하며, 사교의 경우에는 부반력도 검토해야 한다.

(4) 내진안전성 평가

관리주체의 요구에 따라 내진안전성 평가를 실시할 경우 “기존 시설물의 내진성능평가 및 향상요령(국토교통부, 2012.12)”의 절차에 따라 내진 안전성평가 과업을 수행하도록 한다.

(5) 추가하중 검토

관리주체의 요구에 따라 책임기술자 판단하에 내풍, 내피로 등의 평가를 실시할 경우 실험 및 구조해석 등을 통하여 구조안전성능을 검토한다.

나. 내구성능 평가

1) 일반

시설물의 내구성능 평가는 콘크리트 내구성능 평가 및 강재 내구성능 평가로 구성된다.

2) 콘크리트 내구성능

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전 평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트의 품질이며, 열화환경 평가는 제설제에 의한 염해환경, 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합 등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

(가) 조사 구분

(1) 열화진전평가

- 피복(표면부) 콘크리트 품질
- 콘크리트 탄산화 깊이
- 콘크리트 염화물 침투량

(2) 열화환경평가

- 염해환경
- 동해환경

(나) 조사 방법

(1) 현장조사 요령

① 피복(표면부) 콘크리트 품질

- 슈미트해머를 활용한 비파괴강도의 측정은 KS F 2730:2008 콘크리트 압축강도 추정을 위한 반발경도 시험방법을 따른다.

② 콘크리트 탄산화 깊이

- 탄산화 깊이 측정은 KS F 2596 콘크리트의 탄산화 깊이 측정 방법을 따른다.

③ 콘크리트 염화물 침투량(염화물 함유량)

- 염화물 침투량(염화물 함유량)은 KS F 2713(콘크리트 및 콘크리트 재료의 염화물 분석 시험방법), KS F 2714(모르타르 및 콘크리트의 산-가용성 염화물 시험방법) 및 KS F 2717:2013 경화된 콘크리트의 염화물 함유량 측정 방법을 따른다.

(2) 자료 조사

① 염해환경

- 대상 시설물의 위치(지번이나 주소)를 파악한다.
- 인터넷 포털사이트 지도를 이용하여 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 한다.
- 강설횟수는 기상청 기후자료를 참조하며, 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정한다.

(2) 동해환경

- 기상자료개방포털에 접속하여 기상관측 자료를 통한 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
- 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 관측 지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.

수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =

: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수
수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =

: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수

3) 강재 내구성능

강재 내구성능 평가항목은 크게 내부적 요소와 외부적 요소로 구분된다.

내부적 요소는 ‘발청 및 도장열화’ 및 ‘도장두께’이며, 외부적 요소는 ‘해안 이격거리’, ‘이산화황 농도’, ‘습도’ 등을 포함하는 ‘대기환경’, 그리고 ‘강설횟수(제설제 살포빈도)’로 평가한다.

발청 및 도장열화는 발청, 박리, 균열, 부품, 변색·백아화 등 5가지 열화요인에 대해 각각 평가하고 중요도에 따라 가중평균을 한다.

(가) 조사 구분

(1) 내부적 요인

- 발청 및 도장열화
- 도장두께

(2) 외부적 요인

- 대기환경
- 강설횟수

(나) 조사 방법

(1) 현장조사 요령

① 발청 및 도장열화

- 발청 및 도장열화 기록(사진촬영): 발청/박리/균열/부품/변색·백아화 등 열화요인별로 구분하여 기록하며, 각 열화요인에 대해 열화수준별(열화도 높음, 보통, 낮음) 대표되는 부위는 반드시 기록한다.
- 전체 경간에 대해 전수조사를 실시하여 열화도가 낮음, 보통, 높음을 구분하고, 각 등급별로 1개소 이상씩을 선정한다.
- 선정된 평가경간은 전체 경간의 25%, 최소 3개 경간 이상을 만족하여야 하며, 평가경간을 포함하여 유사경간으로 지정한다.

[표 1.26] 도장열화 조사 방법

평가지표	조사항목	구분	현장조사 구간 선정	비고
발청 및 도장열화	열화형태 열화면적	상부 구조	<ul style="list-style-type: none"> • 전체 경간의 25% • 최소 3개 경간 이상 • 대상 경간에 대해 전수조사 	<ul style="list-style-type: none"> • 대상경간(교각/주탑)은 열화수준(낮음/보통/높음)이 고루 분포되도록 전수조사에 의해 선정
		하부 구조	<ul style="list-style-type: none"> • 전체 교각(주탑)의 25% • 최소 3개 이상 • 대상 교각(주탑)에 대해 전수조사 	

- 발청/박리/균열/부품은 육안조사 방법을 적용한다(대상경간 근접 접근 → 사진촬영 → 열화면적 측정 및 표준사진과 비교 → 등급 평가).
- 백아화 평가는 접착테이프를 사용하여 시험하려는 도장의 표면에서 백아를 떼어낸 후 테이프에 붙어 있는 백아를 대조용 바탕(검은색이나 흰색이나 대조가 뚜렷하게 나타날 수 있는 것)과 비교하여 측정하고 표준 등급 척도를 사용하여 백아화 정도를 평가한다.

② 도장두께

- 도장두께 측정기기는 공인기관에서 교정된 측정 장비를 사용하며 매번 측정 전 시편에 영점조정 후 측정하여야 한다.
- 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정할 수 있다.
- 작거나 곡면을 측정할 때에는 필히 영점조정을 하여야 하며, 조정은 코팅되지 않은 피 측정물의 기하학적으로 도형에 비슷한 상태에서 조정한다.
- 거친 표면에서의 영점을 얻기 위해서는 여러 점에서 조정해야 하고, 본체는 자동적으로 평균값을 계산한다.
- Probe는 측정 후 다른 곳으로 옮길 때 끌지 말아야 한다.
- 본체는 매우 민감한 장비이므로 취급 시 주의해야 된다.
- Probe의 접촉면은 항상 깨끗하게 유지하고, 먼지나 철판 가루로부터 멀리해야 한다.

(2) 자료 조사

① 대기환경

- 해안 이격거리에 따른 비래염분 농도(MDD, mg/dm²/day), 이산화황 농도(ppm), 습도(연간젖음시간, day) 등과 같은 대기조건이 복합적으로 작용하는 환경에서 강의 부식 속도등급에 근거하여 산정된다.
- 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고한다.

- 해안인근의 이격거리에 따른 비래염분 분포, 이산화황 농도, 연간 젖음시간 등 3가지 대기조건에 따라 강재의 등급을 분류한 것이다.
- 해안으로부터의 거리
 - 평가대상 교량의 위치(지번이나 주소)를 파악하고 지도 및 인터넷 정보를 이용하여 해안까지의 최단거리(직선거리)를 측정한다.
- 이산화황 농도(ppm)
 - 이산화황에 의한 오염은 시골, 도시, 산업해기를 구분하는 대표적인 부식인자이며 지역별 10년 동안의 평균 농도를 사용한다.
- 습도
 - 기상청에서 제공하는 ‘기상연보’를 통한 해당지역의 10년 동안 평균 젖음시간(τ , 0℃ 이상의 온도에서 상대 습도가 80% 이상인 경우) 관측일을 산정하여 사용한다.
- ② 강설횟수
 - 겨울철 도로상에 살포되는 제설제에 의한 강재 부식 및 이에 의한 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목이다.
 - 강재 부식은 제설제 살포량보다 살포빈도와 상관관계가 더 높으며, 살포빈도는 강설횟수(빈도)와 상관성이 있다.
 - 강설일수는 최근 10년간 최심신적설이 발생한 일수의 연간 평균값으로 산정한다.
 - 기상청(www.kma.go.kr) 기후자료를 통한 최근 10년간 강설횟수 조사한다.

다. 사용성능 평가

1) 일반

시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적에 만족하기 위한 성능으로 정의한다.

시설물의 사용성능평가는 사용성과 기능성으로 구분되며, 사용성은 사용자의 편의를 도모하는 시설물의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

(가) 조사 구분

(1) 도로교량

- 포장상태
- 교량조명
- 진동사용성
- 점검시설
- 교통량

(2) 철도교량

- 승차감
- 점검시설
- 통행량

(나) 조사 방법

(1) 현장조사 방법

① 포장상태

- 고속도로의 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 적용하고 일반국도는 포장상태지수(NHPCI)의 관리기준을 적용한다.
- 고속국도, 일반국도의 PCI 지수를 자료를 활용하여 평가를 수행하며, 평가된 자료가 없을 시에는 책임기술자의 판단하에 장비를 활용하여 평가를 수행할 수 있다.

② 교량조명

- 해당 교량에서 가로등과 가로등 중간의 위치에서 측정하며, 중앙차선과 가장 외곽차선에서의 노면 휘도를 측정하여 최저값을 기준으로 등급을 평가한다.
- 중앙차선 또는 가장 외곽차선의 노면 휘도 측정 시 일몰 후 야간에 자동차가 지나다니지 않는 시점에 해당 차선을 향하여 차량 진행방향으로 휘도계를 측정자의 허리위치에서 45° 각도로 10회 측정하고 측정된 값 중 최저값과 최댓값을 제외한 평균값을 사용한다.
- 단, 교량 조명이 설치되어 있지 않을 경우 해당 지표를 제외한다.

③ 진동사용성

- 도로교량 이용자가 교량 통과시 진동으로 인하여 느끼는 감각정도를 평가하기 위한 시험으로써 교량 이용차량 통과시 교량 거더의 진동수(Frequency, Hz)와 변위(Displacement, mm)를 측정하여 평가한다.

④ 점검시설(도로교량, 철도교량 공통 적용)

- 육안조사를 통하여 점검로의 설치유무 및 설치된 점검로의 상태를 평가한다.
- 특수교량(케이블교량 등)의 유지관리를 위하여 가장 필수적인 점검로와 레일의 설치유무 및 설치된 점검로와 레일의 상태를 육안조사를 통하여 평가한다.
- 단, 교량의 구조형식에 따라 점검로 설치가 불가능한 경우는 해당 지표를 제외한다.

⑤ 교통량

- 교량의 사후평가서를 참고하여 수요실제 값 대비 수요예측 값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가를 수행한다.
- 건설사업정보화시스템(www.calspia.go.kr)의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업효율성 분석을 위하여 수요실제와 수요예측 값을 활용한다.
- 수요실제는 시설물의 신설 이후 사후평가단계에서 실측된 수요이며, 수요예측은 예비타당성조사 또는 타당성조사 당시의 수요 추정 값인 예측치를 나타낸다.
- 도로교량은 수요실제 값 및 수요예측 값에 대한 단위는 대/일을 사용한다.

⑥ 승차감

- 승객의 승차감 만족을 위해서, 실 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최댓값과 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최댓값 중 불리한 값이 건설기준코드(구 철도설계기준)에 제시된 제한 기준을 만족해야한다.

⑦ 통행량

- 교량의 사후평가서를 참고하여 수요실제 값 대비 수요예측 값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가를 수행한다.
- 건설사업정보화시스템의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업효율성 분석을 위하여 수요실제와 수요예측 값을 활용한다.
- 해당 건설공사에 대한 건설공사사후평가서가 없을 경우 일일 통행 횟수로 등급을 산정한다.
- 단, 통행횟수는 일반철도 교량과 고속철도 교량을 구분하여 적용한다.
- 한국철도공사의 여객열차 일 통행 횟수의 경우, 코레일 홈페이지 → 사업분야 → 여객사업 → 열차운행현황에 의거하여 조사하고, SRT의 일통행횟수는 SRT홈페이지에서 확인 가능하다.

⑧ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

1.3 재료시험 항목 및 수량

1.3.1 제2종성능평가

가. 재료시험 항목

[표 1.27] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능
기본 과업	콘크리트	◦콘크리트강도 - 반발경도시험	◦피복(표면부) 콘크리트 품질 - 반발경도시험
		◦철근탐사시험 ¹⁾ - 철근 배근상태 - 철근 피복두께	◦탄산화깊이
			◦염화물 침투량
	강재	-	◦도장두께
	기타	◦외부긴장재 타음조사 ²⁾	-
선택 과업	콘크리트	◦콘크리트 강도 - 국부파괴시험법 : 코어강도 - 비파괴시험 : 초음파전달속도시험	-
		◦강재용접부 결함조사 - 자분탐상 및 초음파탐상	-
	기타	◦기타 필요한 조사 및 시험	-

주1) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 한다.

주2) 격벽상단 변곡부(크라운부) 및 방향전환블럭 전·후 1.5m 구간에 대해 실시한다.

나. 재료시험 기준수량

[표 1.28] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	교 량		비 고
	상부구조	하부구조	
반발경도시험 ¹⁾	◦50m 마다	◦연장 50m 마다	-
철근탐사시험 ²⁾	◦책임기술자 판단에 따라 수량 결정		-
탄산화 ³⁾ 깊이 측정	◦5경간 이내 : 2~3개소 ◦5경간 이상 : 3~6개소		-
염화물 ⁴⁾ 침투량 시험	◦책임기술자 판단에 따라 수량 결정		◦간만대 또는 비말대 포함
도장두께 ⁵⁾	◦강 부재 : 2~3개소/대상경간		◦바닥판, 거더, 2차부재, 교각(주탑), 케이블

주1) 각 부재별(바닥판, 거더, 2차부재, 교각/교대) 최소 1개소 이상 포함하여 실시한다.

주2) 최소 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 수량 이상 실시한다.

주3) 상부구조, 하부구조 최소 1개소 이상 포함하여 실시한다.

- 주4) 상부구조, 하부구조 최소 1개소 이상 실시하며 시료(코어) 채취 위치는 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시하고, 염해에 취약한 해상교량과 하천교량 중 염해의 영향이 있을 것으로 판단되는 하천과 바다가 만나는 합류부 부근 교량의 경우에는 교량 하부 수중부(간만대 또는 비말대)를 대상으로 1곳 이상의 시료를 채취하여 염화물 침투 및 염해 여부를 확인해야 한다.
- 주5) 도장두께 측정 대상경간은 책임기술자가 선정한다. 상부구조는 전체경간에 25%, 최소 3개 경간 이상을 만족해야 하며, 하부구조는 전개소를 원칙으로 하고 케이블은 형식, 재료에 따라 조사 및 수량을 선택적으로 평가하도록 한다.

[표 1.29] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	교 량		비 고
	상부구조	하부구조	
코어채취 ¹⁾	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—
초음파전달속도시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—
자분탐상시험 (초음파탐상시험)	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—

※ 책임기술자 판단에 따라 필요시 수중조사, 비파괴재하시험, 주행안전성(철도교량), 긴장재(국부변형시험, 천공시험, 내시경시험, 장력시험) 평가를 할 수 있다.

- 주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하며, 이전에 수행한 성능평가에서 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 평가기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

다. 재료시험 평가방법

[표 1.30] 제2종성능평가 재료시험 평가방법

구분	재료시험 항목	평가 방법
기본 과업	◦콘크리트강도 — 반발경도시험 ¹⁾ ◦피복 콘크리트 품질 — 반발경도시험 ¹⁾	◦외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 실시
	◦철근탐사시험 — 철근 배근상태 — 철근 피복두께	◦구조검토를 위한 철근조사 ◦콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
	◦탄산화깊이	◦현장측정
	◦염화물 침투량	◦탄산화속도계수 산정
	◦도장두께	◦시료채취 및 평가
	◦외부긴장재 타음조사	◦영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정
선택 과업	◦강구타격법	◦강구타격법
	◦콘크리트 강도 — 국부파괴시험법 : 코어강도 — 비파괴시험 : 초음파전달속도시험	◦콘크리트강도 평가의 기준 ◦필요시 콘크리트 물성시험 등
	◦외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 실시	◦외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 실시
	◦강재용접부 결함조사 — 자분탐사 및 초음파탐상	◦강재용접부 결함 탐상

- 주1) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도와 피복콘크리트품질을 평가한다.

피복콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여 결과를 활용하여야 한다.

1.3.2 제1종 성능평가

가. 재료시험 항목

[표 1.31] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능
기본 과업	콘크리트	◦콘크리트강도 - 비파괴시험 : 반발경도, 초음파전달속도 ◦철근탐사시험 ¹⁾ - 철근 배근상태 - 철근 피복두께 ◦균열깊이 조사	◦피복 콘크리트 품질 - 반발경도시험
			◦탄산화깊이
			◦염화물 침투량
	강재	◦용접부 결함탐사 - 초음파탐상	◦도장두께
	기타	◦외부긴장재 타음조사 ²⁾	—
선택 과업	공통	◦수중조사 ³⁾ ◦비파괴재하시험 ◦주행안전성 ⁴⁾	—
	콘크리트	◦콘크리트강도 - 국부파괴법 : 코어강도 ◦철근부식도 조사 ◦콘크리트 물성 및 미세구조	—
	강재	◦용접부 결함탐사 - 방사선투과시험 - 자분탐상시험	—
	기타	◦국부변형시험 ◦천공시험 ◦내시경조사 ◦장력시험 ◦기타 필요한 조사 및 시험	—

주1) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 한다.

주2) 격벽상단 변곡부(크라운부) 및 방향전환블럭 전·후 1.5m 구간에 대해 실시한다.

주3) 하천교량은 수중조사를 실시하여 1단계 세굴심 검토를 할 수 있으며, 2단계 기초안전성을 수행하는 자료로 활용할 수 있다.

주4) 주행안전성은 철도교량에 실시하며, 상시 실시 계측 및 구조해석을 통해 검토 할 수 있다.

나. 재료시험 기준수량

[표 1.32] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	교 량		비 고
	상부구조	하부구조	
반발 경도시험 ¹⁾	◦철근콘크리트 : 2개소/50m ◦강합성교 : 1개소/50m	◦1개소/연장50m ◦교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	· 동일부위에서 시험
초음파 전달속도시험	◦철근콘크리트 : 2개소/50m ◦강합성교 : 1개소/50m	◦1개소/연장50m ◦교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	
철근탐사시험	◦철근콘크리트 : 2개소/50m ◦강합성교 : 1개소/50m	◦1개소/연장50m ◦교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	—
탄산화 ²⁾ 깊이 측정	◦5경간 이내 : 4~6개소 ◦5경간 이상 : 6~9개소		—
염화물 ³⁾ 침투량 시험	◦3개소 이상		◦간만대 또는 비말대 포함
균열깊이조사	◦부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		◦Cw=0.3mm 이상균열
강재용접부 초음파탐상시험	◦플레이트거더교 : 1개소/경간별 거더 ◦박스거더교 : 2개소/경간별 거더		◦맞대기용접부
도장두께 ⁴⁾	◦강 부재 : 5개소/대상경간		◦바닥판, 거더, 2차부재, 교각(주탑), 케이블

주1) 각 부재별(바닥판, 거더, 2차부재, 교각/교대) 최소 1개소 이상 포함하여 실시한다.

주2) 상부구조, 하부구조 최소 1개소 이상 포함하여 실시한다.

주3) 상부구조, 하부구조 최소 1개소 이상 실시하며 시료(코어) 채취위치는 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시하고, 염해에 취약한 해상교량과 하천교량 중 염해의 영향이 있을 것으로 판단되는 하천과 바다가 만나는 합류부 부근 교량의 경우에는 교량 하부 수중부(간만대 또는 비말대)를 대상으로 1곳 이상의 시료를 채취하여 염화물 침투 및 염해 여부를 확인해야 한다.

주4) 도장두께 측정 대상경간은 책임기술자가 선정한다. 상부구조는 전체경간에 25%, 최소 3개 경간 이상을 만족해야 하며, 하부구조는 전개소를 원칙으로 하고 케이블은 형식, 재료에 따라 조사수량을 선택적으로 평가하도록 한다.

[표 1.33] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	교 량		비 고
	상부구조	하부구조	
코어채취 ¹⁾	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—
수중조사	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		◦하천(해상)에 위치한 교량의 기초조사
비파괴 재하시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—
주행안전성	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		◦철도교량
콘크리트 물성 및 미세구조	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—
철근부식도시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—
강재용접부 자분탐상시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		◦균열의심부
방사선투과시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		◦맞대기용접부
국부변형시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—
천공시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—
내시경조사 ²⁾	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—
장력시험 ³⁾	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—

주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하며, 이전에 수행한 성능평가에서 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 평가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

주2) 천공시험 결과 PSC교량의 긴장재내 강연선의 부식이 우려되는 경우 실시한다.

주3) '18년 1월 18일 이후에 준공된 교량의 최초 성능평가 시에 긴장재의 장력값(초기치) 확보를 위한 장력시험을 실시할 수 있으며, 강연선 상태안전성능 기준이 “e”인 경우에는 책임기술자의 기술적 판단에 따라 관리주체와 협의하여 실시할 수 있다.

[표 1.34] 제1종성능평가 재료시험 평가방법

구분		재료시험 항목	평가 방법
기본 과업	콘크리트	◦콘크리트강도 － 반발경도시험 ¹⁾ , 초음파전달속도	◦외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 실시
		◦피복 콘크리트 품질 － 반발경도시험 ¹⁾	
		◦철근탐사시험 － 철근 배근상태 － 철근 피복두께	◦구조검토를 위한 철근조사 ◦콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
		◦균열깊이 조사	◦발생균열의 철근깊이 이상 발전 또는 관통 여부 등 평가 ◦허용균열폭과의 비교·검토
		◦탄산화깊이	◦현장측정 ◦탄산화속도계수 산정
		◦염화물 침투량	◦시료채취 및 평가
	강재	◦도장두께	◦영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정
		◦용접부 비파괴 시험 － 맞대기 용접부 : 초음파탐상시험	◦필요시 방사선투과시험
	기타	◦ 외부긴장재 타음조사	◦강구타격법
선택 과업	공통	◦수중조사	◦하천(해상)에 위치한 교량의 기초조사
		◦비파괴 재하시험	◦구조물 실 거동(변형, 처짐) 평가
		◦주행안전성	◦구조물 실 거동(변위, 처짐, 단차 등) 평가
	콘크리트	◦콘크리트 강도 － 국부파괴시험법 : 코어강도	◦콘크리트강도 평가의 기준 ◦필요시 콘크리트 물성시험 등
		◦콘크리트 물성 및 미세구조	◦강도, 수분함량 등
		◦철근부식도 시험	◦주요부재의 철근 대상 ◦철근부식확률 평가
	강재	◦강재용접부 비파괴시험 － 맞대기용접부 : 방사선투과시험 － 균열의심부 : 자분탐상시험	◦균열의심부 필요시 염료침투탐상시험 실시
	기타	◦국부변형시험	◦긴장재 변형량 측정시험
		◦천공시험	◦긴장재 내 그라우트재 탄산화, 염화물 시험, 강연선 부식정도 조사
		◦내시경조사	◦강연선 부식정도 조사 ◦육안조사 불가 부위 조사
		◦장력시험	◦진동법에 의한 케이블, 긴장재부재 등의 장력 계측 조사

주1) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도와 피복콘크리트 품질을 평가한다.

피복콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여 결과를 활용하여야 한다.

1.3.3 재료시험 기준수량의 조정

가. 연장별 조정비

교량의 제1종, 제2종 성능평가에서 재료시험 항목은 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2017)」을 근거로 수량을 산정하였으므로, 연장별 조정비는 성능평가에도 적용한다.

경간당, 거더당 비율에 따라 기준 수량을 규정한 항목은 연장 300m 미만의 교량을 기준으로 한 것이므로 300m 이상일 경우 연장별 조정비에 따라 기본 재료시험의 기준 수량을 책임기술자의 판단에 따라 관리주체와 협의하여 조정할 수 있다.

○ 연장별 조정비

- 500m : 80%, 1,000m : 60%, 2,000m : 40%, 4,000m이상 : 30~20%

나. 재료시험 기준수량의 조정

교량의 제1종성능평가 및 제2종성능평가 시 하부구조에 대한 콘크리트의 조사·시험은 교대, 교각 개소수를 기준으로 재료시험 기준수량을 정하고 있으나, 라멘식과 같이 한 경간에 교각의 기둥이 다수로 존재하는 하부구조에서의 콘크리트 재료시험 기준수량은 상부구조의 경간수를 기준으로 실시한다.

1.4 안전성능 평가 기준 및 방법

1.4.1 안전성능 평가 기준 및 방법

시설물의 안전성능 평가 등급 산정 방법은 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가 결과를 비교하여 최저등급으로 결정한다.

Min(상태안전성능, 구조안전성능)

[표 1.35] 안전성능평가 항목 구분

구분	평가항목		성능평가			비고	
			도로 교량	철도교량			
				콘크리트 레도	자갈 레도		
교량	상태안전성능		○	○	○	하천(해상)을 횡단하는 교량 의 경우 세굴심 평가 실시	
	구조 안전성능	공용내하력	○	○	○		
		기초안전성	○	○	○		
		주행 안전성	고유 휨 진동수		○		○
			임계속도		○		○
			연직가속도		○		○
			연직처짐		○		○
			면틀림		○		○
			종방향 변위				○
			단차				○

도로교량의 경우, 구조안전성능 평가는 공용내하력, 세굴을 포함한 기초안전성 평가를 실시하여 최저등급을 구조안전성능등급으로 결정한다.

Min(상태안전성능, 공용내하력, 세굴을 포함한 기초안전성)

또한, 하천을 횡단하는 교량(해상교량 포함)의 경우는 세굴을 포함한 기초안전성을 평가해야 하며, 그 외 교량의 경우 필요시 책임기술자 판단에 따라 세굴을 제외하고 기초안전성만을 평가할 수 있다.

철도교량의 경우는 7개 지표 주행안전성 평가를 안전(O.K)/불안전(N.G)으로 실시하도록 하며 전체 구조안전성능 등급에는 영향이 없으나, 철도 운행 및 구조물 안전을 위해 보수보강 참고자료로 활용한다.

주행안전성 : 안전/불안전(고유 휨 진동수, 임계속도, 연직가속도, 연직처짐, 면틀림, 종방향 변위, 단차)

※ 종방향 변위, 단차는 자갈레도만 평가

1.4.2 상태안전성능 평가 기준

가. 일반

부재별 상태안전성능 기준은 교량의 거더와 가로보를 분리하고, 부재별 상태안전성능 기준을 부재의 중요도를 감안하여 차등화함으로써 가능한 전체 상태안전성능 기준과 부합하도록 조정하였다.

교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 내구성능에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d로 범위를 조정하였다.

나. 평가범위

교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d의 범위를 적용한다.

[표 1.36] 부재별 상태안전성능 적용 범위

부재의 분류		적용범위
상부구조	바닥판, 거더, 케이블, 긴장재, 아치리브, 트러스	a, b, c, d, e
	2차부재 (가로보 및 세로보)	a, b, c, d
하부구조	교대 및 교각, 기초, 주탑	a, b, c, d, e
받침	교량받침	a, b, c, d, e
보조부재	신축이음, 보호시설, 배수시설, 교면포장	a, b, c, d

부재별 상태안전성능은 전체 수량에 대한 손상수량의 비율에 의해 평가하는 정량적 평가와 시설물의 상태에 대한 책임기술자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행하며 정성적 평가 시 책임기술자에 의한 편차를 줄이기 위해 손상수량 및 손상현황에 대한 정도를 정확히 파악하여야 한다.

다. 부재별 상태안전성능 평가 기준

1) 콘크리트 바닥판

[표 1.37] 콘크리트 바닥판 평가기준

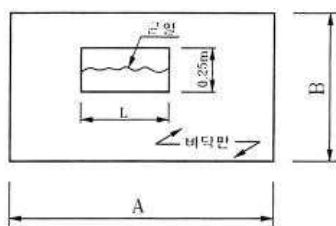
기준	균열		열화 및 손상
	1방향 균열	2방향 균열	
a	○ 균열폭 0.1mm미만	○ 망상균열폭 0.1mm미만	○ 없음
b	○ 균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만 ○ 균열율 2%미만	○ 망상균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	○ 표면 손상면적 2%미만
c	○ 균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만 ○ 균열율 2%이상~10% 미만	○ 망상균열폭 0.3mm이상	○ 표면 손상면적 2%이상~10%미만 ○ 철근부식 손상면적 2%미만 ○ 데크플레이트 박리 및 누수 발생
d	○ 균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 ○ 균열율 10%이상~20%미만	○ 망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생	○ 표면 손상면적 10%이상 ○ 철근부식 손상면적 2%이상 ○ 데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식 발생
e	○ 균열폭 1.0mm이상 ○ 균열율 20%이상	○ 망상균열에 의한 박리가 심하여 편칭과괴 발생 가능성 있음	○ 부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성능이 저하되는 경우

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 모든 교량형식의 RC 및 PC 바닥판과 RC 및 PSC 박스거더교량의 상부플랜지의 상태안전성능에 적용한다.
- 1방향균열의 경우 0.3mm미만의 균열평가 기준을 “b”로 1.0mm이상의 균열과 균열율 20% 이상인 상태를 “e”로 평가한다.
- 2방향균열의 경우 망상균열로 인한 박리 발생시 평가기준을 “d”, 편칭과괴의 발생 가능성이 있으면 “e”로 평가한다.
- “열화 및 손상” 손상항목은 표면손상 면적과 철근부식손상 면적으로 평가하며, 철근부식에 따르는 내하력 저하의 가능성이 없으면 표면손상으로, 부식에 의한 철근의 단면감소로 인하여 내하력 저하의 가능성이 있으면 철근부식손상으로 규정한다.
- 표면손상은 파손, 박락, 층분리, 재료분리 등과 같이 손상이 콘크리트 부분에 국한된 경우를 말하며, 철근부식손상은 철근노출 및 노출된 철근이 부식된 경우나, 탄산화 또는 콘크리트내의 염화물로 인해 내부철근의 부식이 발생하고, 이로 인해 콘크리트의 팽창, 균열 및 박리가 발생한 경우를 말한다.
- PSC 박스거더교의 경우 상하부 플랜지와 복부판이 일체가 되어 주형으로써 거동을 하지만, 활하중을 직접 받는 상부플랜지는 콘크리트 바닥판으로, 복부판과 하부플랜지는 PSC 거더로 구분하여 평가를 수행한다.
- 균열율은 폭 0.2mm이상의 균열을 대상으로 산정한다.

- 바닥판 하면이 테크플레이트로 보호된 경우 강바닥판이 아닌 콘크리트 바닥판으로 평가한다.
- 콘크리트 균열에 의한 평가기준은 콘크리트 부재에 대한 설계, 시공 및 유지관리 분야간의 일관성을 위해 건설기준코드(구 콘크리트 설계기준)에 명시된 허용균열폭을 참고하였다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

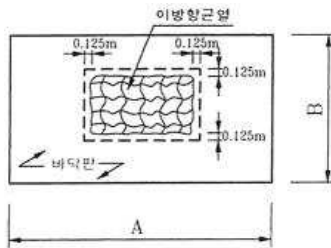
- 1방향 균열인 경우



- 균열발생 면적은 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하며, 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 구함
- 균열 면적률은 아래 식으로 산정함

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

- 2방향 균열인 경우



- 균열발생 면적은 균열발생 부위를 가로, 세로의 최외측 균열을 경계로 하여 사각형 형태로 구획한 후, 점선내 면면적인 (가로길이+0.25m)×(세로길이+0.25m)로 구함
- 균열 면적률은 아래 식으로 산정함

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열발생면적}(m^2)}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

- 표면손상에 대한 면적률 산정 방법

$$\text{표면손상면적률}(\%) = \frac{\text{결함 및 손상발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100$$

- 철근부식 손상면적률 산정 방법

노출의 발생면적은 철근노출 길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.

$$\text{철근노출면적률}(\%) = \frac{\text{철근노출면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{철근노출길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100$$

2) 강 바닥판, 강 거더 및 강 교각(강 주탑), 아치리브, 트러스

[표 1.38] 강 바닥판, 강 거더, 강 교각(강 주탑) 평가기준

기준	모재 및 연결부 손상				표면열화
	부재 균열	변형, 파단	연결 볼트 이완, 탈락	용접연결부 결함	
a	○ 없음	○ 없음	○ 없음	○ 없음	○ 없음
b	○ 보조부재의 국부적 균열	○ 보조부재의 국부적 변형	○ 보조부재 2%미만	○ 부분적 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷)	○ 부식발생 면적 2%미만
c	○ 보조부재의 전반적 균열 ○ 주부재의 국부적 균열	○ 보조부재의 전반적 변형 및 파단 ○ 주부재의 국부적 변형 ○ 주탑하단부 연결볼트 부식	○ 보조부재 2%이상~10%미만 ○ 주부재 2% 미만	○ 주부재의 심한 용접불량(기공, 슬래그, 언더컷) ○ 부분적 용입부족, 용접누락	○ 부식발생 면적 2%이상~10%미만
d	○ 주부재의 전반적 균열	○ 주부재의 전반적 변형 및 파단 ○ 좌굴에 의한 주부재 변형 ○ 주탑하단부 연결볼트 파단	○ 보조부재 10%이상 ○ 주부재 2%이상~10%미만	○ 인장플랜지 용접 연결부 용입부족 및 용접누락으로 인한 안전성저하	○ 부식발생 면적 10%이상 ○ 부식에 의한 단면손상 면적 10%미만
e	○ 균열이 주부재 단면의 20% 이상 진전	○ 좌굴에 의한 과대변형 및 파단으로 주부재의 안전성능 저하	○ 주부재 10%이상	○ 인장플랜지 용접 연결부 균열진전으로 인해 연결 기능 상실	○ 부식에 의한 단면손상 면적 10%이상

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 강 바닥판, 강 거더, 강 교각 및 케이블 교량의 보강형과 강 주탑의 상태안전성능 평가에 적용한다.
- 강재 거더에 대한 상태안전성능 평가시 용접연결부에 대한 육안조사 및 비파괴조사 결과를 반영하여 평가를 수행한다.
- 주부재라 함은 바닥판(거더)의 구성요소 중 하중을 직접 전달하는 요소를 말하며, 보조부재라 함은 주부재의 변형을 방지하기 위한 보강재를 말한다. 즉, 강박스의 경우 상·하부 플랜지, 복부판, 종리브, 지점부 격벽은 주부재이며, 수평/수직보강재, 횡리브는 보조부재이다.
- 용접불량의 종류는 내하력저하를 유발하지 않는 가벼운 용접결함(기공, 슬래그, 언더컷)과 내하력저하 가능성이 있는 중대 용접결함(용접누락, 용입부족)으로 구분하여 서로 다른 평가기준을 적용한다.
- 부식발생면적과 도장탈락면적을 구분하여 평가한다. 즉, 도장탈락은 부재의 내하력 저하와 무관하므로 평가기준을 완화하며, 부식이 발생하였을 경우에는 부식에 의한 단면손상이 시작되었다고 볼 수 있으므로 보다 엄격한 평가기준을 적용한다.

- 강 부재의 균열은 모재 및 용접연결부 균열을 포함한다.
- 강 주탑의 경우 케이블 정착구와 새들은 케이블 시스템에 포함하여 평가하며, 주탑 본체는 강 교각의 평가기준을 적용한다. 강 주탑 평가시 보조주탑 및 기초와의 연결부 볼트의 부식 및 파단에 대한 손상항목을 추가한다.
- 하중이 집중되는 부재연결판(트러스교의 현재, 사재, 수직재, 아치교의 아치부재, 수직재, 케이블 교량의 케이블 정착구)에 심한 부식, 균열, 변형과 같은 손상이 발생된 경우에는 연결판의 안전성능을 별도로 평가한다.

3) 철근콘크리트 거더

[표 1.39] 철근콘크리트 거더 평가기준

기준	균열	열화 및 손상
a	○ 균열폭 0.1mm 미만	○ 없음
b	○ 균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	○ 표면 손상면적 2%미만
c	○ 균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만	○ 표면 손상면적 2%이상~10%미만 ○ 철근부식 손상면적 2%미만
d	○ 균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 ○ 내하력저하로 인한 휨균열 과다발생	○ 표면 손상면적 10%이상 ○ 철근부식 손상면적 2%이상
e	○ 균열폭 1.0mm이상 ○ 휨균열 과다발생 및 과대처짐으로 인하여 거더의 안전성능 저하	○ 지점부 콘크리트 파손으로 인한 거더의 안전성능 저하

< 해설 >

- 본 상태안전성능 기준은 RCT거더교, 라멘교 및 프리플렉스교의 거더와 RC박스거더교의 거더부(복부판과 하부플랜지)의 평가에 적용한다.
- 철근콘크리트 부재의 경우 재료 및 구조적 특성상 어느 정도의 균열을 동반하는 구조체이며, 사인장균열과 휨균열 및 기타 균열을 구분하지 않고 하나의 평가기준을 적용하였다.
- 0.1mm미만의 균열은 콘크리트 부재에 흔히 발생할 수 있는 미세균열로써 평가기준을 “a”로 분류하였고, 1.0mm이상의 균열은 구조적 균열로써 “e”로 분류하였다.
- 철근콘크리트 거더에 발생한 손상의 경우, 철근에 영향을 미치지 않을 경우에는 표면손상으로, 철근노출 및 열화로 인해 철근부식의 가능성이 있을 경우에는 철근부식손상으로 구분하여 서로 다른 평가기준을 적용한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

4) 프리스트레스트 콘크리트 거더

[표 1.40] 프리스트레스트 콘크리트 거더 평가기준

기준	균열	열화 및 손상
a	○ 없음	○ 없음
b	○ 균열폭 0.2mm미만	○ 표면 손상면적 2%미만
c	○ 균열폭 0.2mm이상~0.3mm미만	○ 표면 손상면적 2%이상~10%미만 ○ 철근부식 손상면적 2%미만
d	○ 균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만 ○ 내하력저하로 인한 휨균열 과다발생	○ 표면손상면적 10%이상 ○ 철근부식 손상면적 2%이상
e	○ 균열폭 0.5mm이상 ○ 휨균열 과다발생 및 과대처짐으로 인하여 거더의 안전성능 저하	○ 단부 콘크리트의 심한 파손 또는 강선 정착부 파손으로 인한 부재의 안정성 저하

< 해설 >

- 본 상태안전성능 기준은 PSCI거더교의 거더, PSC박스거더교 및 케이블교량의 PSC 거더부 (복부판과 하부플랜지)의 평가에 적용한다.
- 프리스트레스트 콘크리트 거더의 경우에는 긴장재로 인해 철근콘크리트 거더보다 균열 발생 가능성이 적으므로 균열의 평가 기준을 중앙부(휨) 균열, 받침부(사인장) 균열 및 정착부 균열로 구분하지 않고 하나의 평가 기준을 적용한다.
- 프리스트레스 콘크리트 거더의 단부 콘크리트가 파손이 심하거나 정착부 파손으로 안정성이 저하되는 경우 평가기준을 “e”로 평가하며, 즉시 보강 또는 개축을 실시한다.
- PSC 부재는 균열이 발생하지 않도록 설계하므로, 균열이 없을 경우의 평가기준은 “a”로, 0.5mm이상의 균열이 발생할 경우 내하력저하로 인한 거더의 안전성능이 우려되므로 “e”로 분류한다.
- PSC 박스거더의 경우 하부플랜지와 복부는 거더로 평가하며, 상부플랜지는 바닥판으로 평가한다.
- 부재에 발생한 손상은 콘크리트 부분에 국한된 표면손상과 철근노출, 탄산화 및 염화물로 인한 철근부식 가능성이 있는 철근부식 손상으로 구분하여 평가한다.
- 설계·시공방법을 검토하여 인장균열을 제어하기 위해 긴장재 긴장을 한 프리플렉스교의 경우에는 프리스트레스트 콘크리트로 평가할 수 있다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

5) 콘크리트 가로보

[표 1.41] 콘크리트 가로보 평가기준

기준	균열	열화 및 손상, 철근부식
a	○ 균열폭 0.1mm미만	○ 없음
b	○ 균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	○ 표면 손상면적 2%미만
c	○ 균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만	○ 표면 손상면적 2%이상~10%미만 ○ 철근부식 손상면적 2%미만
d	○ 균열폭 0.5mm이상	○ 표면 손상면적 10%이상 ○ 철근부식 손상면적 2%이상
e	—	—

< 해설 >

- 본 상태안전성능 기준은 콘크리트 교량의 RC 및 PSC 가로보와 라멘교의 기둥과 기둥 사이를 연결하는 중간보의 평가를 적용한다.
- 2차부재인 철근콘크리트 가로보의 경우, 평가기준 범위를 “a~d”로 한다.
- 부재에 발생한 손상은 콘크리트 부분에 국한된 표면손상과 철근노출, 탄산화 및 염화물로 인한 철근부식 가능성이 있는 철근부식 손상으로 구분하여 평가한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

6) 강 가로보와 세로보

[표 1.42] 강 가로보와 세로보 평가기준

기준	모재 및 연결부 손상				표면열화
	부재의 균열	변형, 파단	연결 볼트 이완, 탈락	용접연결부 결함	
a	○ 없음	○ 없음	○ 없음	○ 없음	○ 없음
b	○ 보조부재의 국부적 균열	○ 보조부재의 국부적 변형	○ 보조부재 2%미만	○ 부분적 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷)	○ 부식발생 면적 2%미만
c	○ 보조부재의 전반적 균열 ○ 주부재의 국부적 균열	○ 주부재의 국부적 변형 ○ 변형 및 충격에 의한 손상발생	○ 보조부재 2%이상~10%미만 ○ 주부재 2% 미만	○ 주부재의 심한 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷) ○ 부분적 용입부족, 용접누락	○ 부식발생 면적 2%이상~10%미만 ○ 부식에 의한 단면 손상 면적 2%미만
d	○ 주부재의 전반적 균열	○ 주부재의 압축부 좌굴에 의한 변형 ○ 부재의 파단발생	○ 보조부재 10%이상 ○ 주부재 2%이상	○ 인장플랜지 용접 연결부 용입부족 및 용접누락으로 인한 안전성저하	○ 부식발생 면적 10%이상 ○ 부식에 의한 단면 손상 면적 2%이상
e	—	—	—	—	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 강I거더교, 플레이트거더교, 강박스거더교, 트러스교, 아치교 및 케이블교량의 강 가로보와 세로보의 평가에 적용한다.
- 2차부재인 강재 가로보 및 세로보의 경우 평가기준 범위를 “a~d”로 한다.
- 주부재라 함은 가로보(세로보)의 구성요소 중 하중을 직접 전달하는 요소를 말하며, 보조부재라 함은 주부재의 변형을 방지하기 위한 보강재를 말한다. 즉, 가로보의 경우 상·하부 플랜지, 복부판은 주부재이며, 수직보강재는 보조부재이다.
- 용접연결부 결함에 대한 평가기준을 용접불량의 종류에서 내하력 저하를 유발하지 않는 가벼운 용접결함(기공, 슬래그, 언더컷)과 내하력 저하 가능성이 있는 중대 용접결함(용접누락, 용입부족)으로 구분하여 서로 다른 평가기준을 적용한다.
- 부식 발생면적과 도장 손상면적을 구분하여 평가한다. 즉, 도장손상은 도장탈락, 변색 등 강재를 보호하는 도장의 기능이 저하된 상태를 말하며, 부재의 내하력 저하와 무관하므로 평가기준을 완화하고, 부식이 발생하였을 경우에는 부식에 의한 단면손상이 시작되었다고 볼 수 있으므로 보다 엄격한 평가기준을 적용한다.
- 강 부재의 균열은 모재 및 용접연결부 균열을 포함한다.

7) 케이블

[표 1.43] 케이블부재 평가기준

기준	케이블 부재			정착구	행어밴드, 새들
	부식	손상, 단선	보호관		
a	○ 없음	○ 없음	○ 없음	○ 없음	○ 없음
b	○ 점녹발생길이 10% 미만	○ 케이블의 변형발생	○ 보호관 파손길이 2%미만	○ 정착구 누수발생	—
c	○ 점녹발생길이 10% 이상 ○ 부식발생길이 2% 미만 ○ 내부소선 부식발생	○ 케이블의 변형으로 소선 손상 ○ 소선단선 갯수 2%미만	○ 보호관 파손길이 2%이상~ 10%미만	○ 표면부식 발생 ○ 변형 발생 ○ 댐퍼 열화, 변형 ○ 정착구 체수로 인한 강재부식 및 콘크리트 열화 발생	○ 부식발생 ○ 행어밴드 고정볼트 긴장력 감소
d	○ 부식발생길이 2% 이상 ○ 부식에 의한 단면감소발생 ○ 내부소선 부식으로 인한 단면 손상	○ 소선단선 갯수 2%이상~ 10%미만	○ 보호관 파손길이 10%이상	○ 부식으로 인한 단면손상 발생 ○ 부분적인 파손 ○ 댐퍼 이탈, 파손 ○ 정착구 체수로 인한 강재 단면 손상 및 콘크리트 파손 발생	○ 부식에 의한 단면 손상 발생 ○ 볼트이완 및 탈락 발생
e	○ 부식에 의해 케이블 소선 단선 발생	○ 소선단선 갯수 10%이상	—	○ 부식 및 파손으로 인한 정착구 안전성능 저하	○ 볼트이완 및 탈락으로 인한 변형 및 변위 발생 ○ 행어밴드 및 새들 파손

< 해 설 >

- 본 평가기준은 현수교의 주케이블과 행어케이블, 사장교의 사장재 및 기타형식의 교량 케이블의 평가에 적용한다.
- 점녹이라 함은 도장두께부족이나 도장하부의 염분입자 등으로 인해 점 모양의 부식이 발생한 것을 말하며, 일반적인 부식평가 기준에 비해 완화된 기준을 적용한다.
- 부식에 의해 발생한 단선은 조치를 취하지 않으면 연속적인 단선이 발생할 가능성이 크므로 엄격한 기준을 적용하여야 하나, 시공중 또는 공용중 일시적으로 발생한 충격에 의해 발생한 단선은 동일한 충격이 지속적으로 반복되지 않으면 손상이 진행되지 않으므로 부식에 의한 단선보다는 완화된 기준을 적용한다.
- 내부소선의 부식발생여부는 췌기조사방법에 의해 확인한다.
- 사장교 사장재에 보호관이 설치되어 있을 경우, 부분적으로 절취하여 케이블의 상태를 확인할 수 있으나, 전체적인 케이블의 상태를 직접적으로 확인할 수 없으므로, 보호관의 상태만 평가한다. 이 경우 보호관의 상태안전성능 기준 범위는 “a~d”이며, 보호관의 손상길이가 전체길이의 10%이상일 경우(d)에는 손상된 보호관을 제거한 후 케이블의 상태를 직접 확인하여야 한다.
- 현수교의 주탑상부와 앵커블록 내에 설치된 새들은 구조적으로 케이블 부재는 아니지만, 새들의 상태는 주탑이나 앵커블록보다 케이블의 안전과 밀접한 연관이 있으므로 케이블 부재의 평가항목에 포함한다.

8) 긴장재

[표 1.44] 긴장재 평가기준

기준	강연선 노출 및 손상	시멘트 그라우트 충전 결함	보호관 손상
a	○ 노출 없음	○ 충전결함 없음	○ 이상 없음
b	○ 노출 ¹⁾	○ 충전결함	○ 손상 ⁵⁾
c	○ 표면부식 ²⁾	○ 충전결함 시 염화물함량 ⁴⁾ 1.2kg/m ³ 이상 ~ 2.5kg/m ³ 미만	—
d	○ 단면손실을 동반한 부식 ³⁾	○ 충전결함 시 염화물함량 2.5kg/m ³ 이상	—
e	○ 강연선(소선) 파단(단선)	—	—

주1) 노출 : 강연선이 그라우트 충전결함으로 피복되지 않은 상태

주2) 표면부식 : 표면에 녹이 발생한 상태

주3) 부식 : 발청이 진전되어 단면감소가 발생한 상태

주4) 염화물함량 : 전 염화물 이온량 기준

주5) 보호관손상 : 누수 또는 백태, 단차, 파손 등

< 해 설 >

- 시멘트 그라우트의 전염화물 이온량은 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 내구성능 기준으로 평가한다.
- 외부텐던에 대한 내부 충전결함은 강구막대를 이용한 청음조사가 일반적으로서 격벽상단 변곡부(크라운부) 및 방향전환블럭 전·후 1.5m 구간에 대해 기본과업으로 실시한다.
- 강연선이 노출되어 있으나 표면부식이 없는 경우는 “b”이고 표면부식이 있으면 “c”이며 단면손실이 발생한 경우 “d”이다.
- 외부긴장재의 보호관은 강연선과 충전재(그라우트)의 케이싱 역할로 중요도가 높지 않으므로 평가기준 범위를 “a~b”로 하며, 평가기준이 “b” 일지라도 보호관 역할을 수행 못 할 정도의 손상이 조사되었을 경우에는 책임기술자가 판단하여 보수방안을 제시한다.
- 강연선의 파단(단선) 시작은 연속적인 추가 파단으로 이어질 수 있으므로 시설물의 사용을 중지하고 장력시험(외부강연선) 또는 재하시험(내부강연선)을 실시하여 결과에 따라 보수·보강 이후 계속사용 또는 개축을 검토하여야 한다.
- 강연선의 기준“a~e”와 시멘트그라우트의 기준“c~d”를 산정하기 위한 선택과업(천공시험, 내시경조사 등)은 책임기술자의 기술적인 판단에 따라 관리주체의 승인을 받아 실시하여야 한다.
- 내부긴장재의 경우 외관조사 시 프리스트레스트 콘크리트거더 상태안전성능 균열 평가 기준 “d, e”에 해당하는 균열폭의 구조적균열이 발견될 경우 균열에 대한 분석을 실시하여 긴장재 손상과 관련된 구조적 균열로 의심될 경우 책임기술자의 판단에 따라 천공 시험 등을 실시하여 강연선의 평가기준을 적용하여야 한다.
- 이때, 선택과업(국부변형시험, 천공시험, 내시경조사, 국부파취조사, 장력시험 등)에 대한 비용 산정은 필요시 견적을 받아 실제비용으로 계상한다.

9) 교대

[표 1.45] 교대 평가기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상
a	○ 구체 균열폭 0.1mm미만	○ 없음
b	○ 구체 균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	○ 표면 손상면적 2%미만 ○ 앵커블록 내부 결로 발생
c	○ 구체 균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만 ○ 교대와 날개벽사이에 폭 1.0mm이상의 균열발생	○ 표면 손상면적 2%이상~10%미만 ○ 철근부식 손상면적 2%미만 ○ 앵커블록 내부 결로에 의한 체수
d	○ 구체 균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 ○ 날개벽 기울음 및 손상 심화(배면토 유출) ○ 기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	○ 표면 손상면적 10% 이상 ○ 철근부식 손상면적 2%이상
e	○ 구체 균열폭 1.0mm이상 ○ 날개벽 전도 위험 있음 ○ 부등침하로 인한 교대 안전성능 저하	○ 코평부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성 있음 ○ 심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성능이 저하됨

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 콘크리트로 시공된 모든 형식의 교대와 현수교의 앵커블록의 평가에 적용한다.
- 균열폭에 관한 상태안전성능 기준은 교대 구체에서 발생한 균열에 국한한다.
- 열화 및 손상과 철근부식은 표면손상 면적과 부식으로 인한 철근의 단면손상 발생면적으로 평가한다.
- 상부구조의 침하 및 단차가 발생하거나, 받침 연단부 파손으로 거더의 탈락이 우려되는 경우 “e” 로 평가하며, 즉시 보강 또는 개축을 실시한다.
- 타정식 현수교의 앵커블록은 교대의 평가기준에 준하여 평가하며, 앵커블록을 제외한 하부구조물중에서 하중지지와 토류벽체의 기능을 동시에 갖고 있으면 교대로, 하중지지 기능만 있을 경우에는 교각으로 평가한다.
- 자정식 현수교의 주케이블이 정착되는 교각은 교각의 평가기준에 준하여 평가한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

10) 콘크리트 교각

[표 1.46] 콘크리트 교각 평가기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상, 철근부식
a	○ 균열폭 0.1mm미만	○ 없음
b	○ 균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	○ 표면 손상면적 2%미만
c	○ 균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만	○ 표면 손상면적 2%이상~10%미만 ○ 철근부식 손상면적 2%미만
d	○ 균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 ○ 기초의 부등침하로 인한 교각 기울음	○ 표면 손상면적 10% 이상 ○ 철근부식 손상면적 2%이상
e	○ 균열폭 1.0mm이상 ○ 부등침하로 인한 교각 안전성능 저하	○ 코핑부 파손으로 인하여 거더 탈락 가능성 있음 ○ 심한 철근부식으로 인하여 교각의 안전성능이 저하됨

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 콘크리트로 시공된 모든 형식의 교각의 평가에 적용한다.
- 열화 및 손상과 철근부식은 표면손상 면적과 부식으로 인한 철근의 단면손상 발생면적으로 평가한다.
- 코핑부 파손으로 거더의 탈락이 우려되는 경우 “e”로 평가하며 즉시 보강 또는 개축을 실시한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

11) 기초

[표 1.47] 기초 평가기준

기준	기초(직접, 말뚝, 케이슨)손상	지반의 안정성
a	○ 없음	○ 없음
b	○ 직접기초(확대기초)에 폭 0.3mm 미만의 균열 발생	○ 매립된 직접기초(확대기초)의 상부가 세굴 등에 의해 노출됨
c	○ 직접기초(확대기초)에 폭 0.3mm 이상의 균열 및 단면손상 발생 ○ 침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 단면손상 발생	○ 세굴이 직접기초(확대기초)의 하단까지 진행되어 말뚝 및 케이슨기초가 부분적으로 노출됨
d	○ 직접기초(확대기초)의 파손으로 인한 철근노출 발생 ○ 침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 철근노출 발생	○ 세굴에 의해 말뚝 및 케이슨기초가 전반적으로 노출됨 ○ 기초의 부등침하 및 측방유동에 의해 교대/교각이 기울음
e	○ 기초의 파손 및 침식으로 인한 하부 구조물의 안전성능 저하	○ 기초의 부등침하 및 측방유동에 의한 교대/교각의 기울음으로 인해 상부구조의 단차 및 파손 발생

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 케이블 교량의 주탑기초를 포함하여 모든 하부구조물의 기초의 평가에 적용한다.
- 기초 자체의 손상항목에는 직접기초(파일두부)의 파손, 파일의 손상 및 결함 등이 있으며, 지반의 안정성항목으로는 기초의 근입장 부족, 측방유동, 세굴 등에 의한 기초의 부등침하가 중요한 평가항목이 된다.
- 지반의 안정성 평가항목의 경우, 세굴이 진행하여 기초 하부의 국부적인 노출이 발생하면 평가기준은 “c”로 평가하고, 기초하부의 전반적인 노출 및 부등침하 발생시 “d”로 평가하며, 부등침하로 인한 상부구조물의 안전에 위해가 발생할 경우 “e”로 평가한다.

12) 교량받침

[표 1.48] 교량받침 평가기준

기준	받침 본체		받침 콘크리트
	탄성받침	강재받침	
a	○ 양호	○ 양호	○ 양호
b	○ 미세균열, 갈라짐 등 경미한 열화	○ 부식 ○ 먼지 쌓임	○ 부분적 박리, 탈락 등 손상
c	○ 측면 부품 ○ 받침두께의 0.3배 미만의 전단변형	○ 미끄럼판 부식 발생 ○ 부분적 변형, 고정장치 파손 및 이완	○ 받침 콘크리트에 0.3mm 이상 균열 발생 ○ 박리, 탈락 등 손상으로 지지단면 감소, 기능상 장애
d	○ 고무재 파손 및 단차, 균열 심화 ○ 받침두께의 0.3배 이상의 전단변형 ○ 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만 ○ 받침의 신축기능 불량	○ 받침 본체 부식으로 인한 받침 신축거동 장애발생 ○ 받침 본체 파손 ○ 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만	○ 받침 콘크리트 파손 및 하부공동으로 받침의 탈락 및 침하 발생가능성 있음
e	○ 받침 신축기능 불량으로 인하여 받침 본체 및 거더(바닥판)의 파손 발생 ○ 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상	○ 받침 신축기능 불량으로 인하여 거더등 주부재의 파손 발생 ○ 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상 ○ 작동불능 상태	-

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 강재 및 탄성받침의 평가에 적용하며, 기타 특수받침의 경우에도 본 평가기준을 준용한다.
- 받침 본체는 평가기준 범위는 “a~e”를 유지하고, 받침콘크리트는 본체에 비하여 중요도가 낮으므로 “a~d”로 한다.

13) 신축이음

[표 1.49] 신축이음 평가기준

기준	본 체	후타재
a	○ 없음	○ 양호
b	○ 토사, 이물질 퇴적 ○ 고무판 노화	○ 미세균열 발생
c	○ 물받이 미설치 또는 파손으로 인한 누수 ○ 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화 ○ 고무판 균열, 볼트 또는 너트의 부분 탈락 ○ 누수로 인하여 신축이음 하부의 받침 및 코핑부에 이물질 퇴적 및 부식발생	○ 균열이 50cm이하의 간격으로 발생 ○ 국부적인 박리, 박락, 파손
d	○ 강판유동 및 연결불량으로 이상음 발생 ○ 신축유간이 밀착으로 인한 거동불량 ○ 신축유간이 넓어 차량통행에 지장 초래 ○ 신축이음 본체 탈락, 파손 및 작동 불능	○ 신축이음의 심한 파손 및 단차로 인하여 차량통행 시 충격발생 ○ 파손 범위가 후타재 폭 이상으로 큼
e	—	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 모든 신축이음의 평가에 적용한다.
- 기타부재인 신축이음의 평가기준 범위를 “a~d”로 한다.
- 신축이음 본체 하부의 전체적인 부식 및 변형이 발생하는 경우 “d”로 평가하며, 긴급보수·보강을 실시한다.
- 후타재 균열이 30cm이하의 간격으로 발생하거나, 전반적인 파손과 단차가 발생하면 평가를 “d”로 한다.

14) 교면포장

[표 1.50] 교면포장 평가기준

기준	포장불량		배수
a	○ 미세균열	○ 없음	○ 없음
b	○ 포장불량률 2%미만	○ 포장손상이 미미하여 주행에 영향 없음	○ 배수구배 및 배수시설 불량에 의한 부분적 물고임
c	○ 포장불량률 2%이상~10%미만	○ 포장손상으로 인하여 차량의 통행에 영향 있음	○ 배수구배 및 배수시설 불량에 의한 물고임 발생으로 주행성저하
d	○ 포장불량률 10%이상	○ 전반적인 재포장이 필요한 상태	○ 배수불량에 의한 물고임으로 통행차량의 안전성능 저하
e	—	—	—

< 해설 >

- 본 상태안전성능 기준은 아스팔트포장과 콘크리트포장을 포함하여 모든 교면포장의 평가에 적용한다.
- 기타부재인 교면포장의 평가기준 범위를 “a~d”로 한다.
- 평가기준 “d”는 균열률을 포함하여 포장불량이 10%이상인 상태 즉, 전반적인 재포장이 필요한 상태로 평가한다.
- 포장불량률은 균열발생부, 표면이 노화되어 마모된 부분, 상온형 아스콘 등으로 임시 보수된 부분 등의 면적을 전부 더한 값을 경간면적으로 나눈 비율이다.

15) 배수시설

[표 1.51] 배수시설 평가기준

기준	상태기준 설명
a	○ 양호
b	○ 다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음
c	○ 배수시설의 상태불량, 길이부족 ○ 많은 퇴적물, 누수 ○ 누수로 인하여 구조물 부식 발생 ○ 배수관 유출구 위치가 부적절하여 하부통행에 따른 위험 초래
d	○ 파손이나 노후화로 인하여 재설치가 필요한 상태
e	—

< 해설 >

- 본 상태안전성능 기준은 모든 배수시설의 평가에 적용한다.
- 기타부재인 배수시설의 평가기준 범위를 “a~d”로 한다.
- 평가기준 “d”는 파손이나 노후화로 인하여 재설치가 필요한 상태로 정의한다.
- 한 경간에 두 개 이상의 배수시설이 있는 경우 각 배수시설의 평가기준 중 최저값을 배수시설의 평가결과로 한다.

16) 보호시설

[표 1.52] 보호시설 평가기준

기준	강재		콘크리트
a	○ 양호	○ 양호	○ 양호
b	○ 도장 불량 10%미만	○ 고정장치 및 연결재의 이완이 국부적 발생	○ 경미한 손상, 0.3mm이하 균열
c	○ 도장 불량 10%이상 ○ 부식으로 인한 단면 손상 10%미만	○ 파손 및 탈락 10%미만	○ 0.3mm이상 균열 ○ 박리, 파손, 철근노출 10% 미만 ○ 철근부식손상 길이 2% 미만
d	○ 부식으로 인한 단면 손상 10%이상	○ 파손 및 탈락 10%이상 ○ 낙석으로 인한 손상발생 ○ 고정부 열화 및 손상으로 인한 전도의 위험이 있음(방음벽)	○ 박리, 파손, 철근노출 10% 이상 ○ 철근부식손상 길이 2% 이상
e	—	—	—

< 해설 >

- 본 상태안전성능 기준은 강재 및 콘크리트 난간 및 연석을 포함하여 모든 난간과 연석의 평가에 적용한다.
- 기타부재인 난간과 연석의 평가기준 범위를 “a~d”로 하며, 평가단위는 부재의 길이로 한다.
- 중앙분리대, 방호벽, 방음벽의 평가시 난간 및 연석의 평가기준을 적용한다.
- 강재의 경우 도장 변색 및 손상 평가길이의 10%이상 즉, 단면 결손으로 차량이나 사용자에게 위험 가능성이 있는 평가기준은 “c”로 평가한다.
- 콘크리트는 0.3mm이상의 균열이 발생할 경우 평가기준은 “c”로 평가하며, 보수 및 보강을 실시한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

다. 구조형식에 따른 부재별 가중치

[표 1.53] 일반교량 부재별 가중치

성 능 구 분	시설물		일반교량									비 고
			Slab교	거더 분리형 교량			일체형 교량		라멘교			
				일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강바닥판	PSC박스	거더 없음	거더		
2차부재 없음	2차부재 없음											
상 태 안 전 성 능	상부 구조	바닥판	44	15	17	—	15	15	44	15	19	
		거더	—	25	27	44	25	25	—	25	25	
		2차부재	—	4	—	14	4	4	—	4	—	
	하부 구조	교대/교 각	13	13	13	13	13		13	13	13	
		기초	12	12	12	12	12		12	12	12	
	받침	교량받침	15	15	15	15	15		15	15	15	
	기타	신축이음	7	7	7	—	7		7	7	7	
		교면포장	4	4	4	—	4		4	4	4	
		배수시설	3	3	3	—	3		3	3	3	
		보호시설	2	2	2	2	2		2	2	2	
	소 계		100	100	100	100	100	100	100	100	100	

<해 설>

- 기둥, 거더 및 슬래브로 구성된 복개구조물은 거더가 있는 라멘교에 준해서 평가하며, 박스형 복개구조물은 터널시설물의 상태안전성능 기준에 따라 평가한다.
단, 박스형 복개구조물 상부슬래브에 차량하중 작용시 라멘교에 준해서 평가한다.
- 교량받침이 없는 라멘교의 경우, 교량받침에 할당된 가중치를 바닥판, 거더, 교대/교각의 가중치에 균등하게 배분한다.
- 기타시설물(신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석)이 없는 경우, 기타시설물에 할당된 가중치는 바닥판의 가중치에 포함시킨다.
- 기초에 대한 평가가 수행되지 않았을 경우, 기초에 할당된 가중치는 교대/교각의 가중치에 포함시킨다.
- 긴장재는 거더에 긴장력을 도입하여 일체로 거동하는 부재이므로 거더에 포함하여 평가하고, 긴장재의 가중치는 거더와 균등하게 배분한다.

[표 1.54] 특수교량 부재별 가중치

성능구분	시설물		특수교량								비고
			아치교 · 트러스교		현수교		사장교		엑스트라도즈드교		
			바닥판	바닥판 없음	일반 거더형	보강형, PSC거더형	일반 거더형	보강형, PSC거더형	일반 거더형	보강형, PSC거더형	
상 태 안 전 성 능	상부 구조	바닥판	4	－	10	－	11	－	15	－	
		거더(보강형)	11	13	10	15	11	17	13	18	
		아치리브·트러스	15	15	－	－	－	－	－	－	
		케이블	12	13	22	30	21	29	10	23	
		2차부재	2	3	3	－	3	－	3	－	
	하부 구조	주탑	－		13		13		13		
		보조주탑	－		4		4		4		
		교대(앵커블럭)	13		8		5		5		
		교각			－		3		3		
		기초	12		4		3		3		
	받침	교량받침	15		10		10		15		
	기타	신축이음	7		7		7		7		
		교면포장	4		4		4		4		
		배수시설	3		3		3		3		
		보호시설	2		2		2		2		
	소 계		100	100	100	100	100	100	100	100	

<해설>

- 케이블의 구조적 기여도는 현수교>사장교>엑스트라도즈드교의 순이며, 거더의 기여도는 이와는 반대로 현수교<사장교<엑스트라도즈드교 순이다.
- 상기 표에서 일반거더형이라 함은 바닥판과 거더가 구분되어 있는 교량을 말하며, 보강형과 PSC박스는 박스단면의 상부플랜지가 바닥판의 역할을 하는 폐합된 거더의 형태를 말한다.
- 일반거더형 케이블 교량의 경우 바닥판과 거더는 일반교량의 바닥판과 거더의 상태안전성능 기준에 준하여 평가하고, 보강형은 강거더, PSC 박스는 PSC 박스거더 부재의 상태안전성능 기준에 준하여 평가한다. 또한, 보강형 내부의 격벽은 강재 가로보의 상태안전성능 기준에 준하여 평가한다.

- 상기 표에서 교각이라 함은 하부구조물중에서 주탑, 앵커블록 및 교량 양단부의 교대(교각)를 제외하고 케이블 교량구간에 추가로 설치된 교각을 말하며, 추가 설치된 교각이 없을 경우에는 교각의 가중치를 교대의 가중치에 포함한다.
- 보조주탑은 강주탑과 기초사이에 설치되어 주탑의 하중을 기초로 전달하는 콘크리트 기둥을 말하며, 콘크리트 교각(주탑)의 상태안전성능 기준에 준하여 평가한다. 보조주탑이 없을 경우 보조주탑의 가중치를 주탑의 가중치에 포함한다. 기초는 주탑기초와 교대(교각)의 기초를 각각 평가하며, 주탑기초가 여러 개일 경우에도 개별적으로 평가한다.
- 기초에 대한 평가가 수행되지 않았을 경우, 기초에 할당된 가중치는 주탑(보조주탑이 있을 경우에는 보조주탑)과 교대/교각/앵커블록의 가중치에 균등 분배한다.
- 아치교, 트러스교의 케이블이 없을 경우, 케이블에 할당된 가중치는 바닥판, 거더, 아치리브/트러스에 균등분배 한다.
- 케이블교량 구간은 상부구조물의 하중이 케이블부재에 의하여 지지되는 구간까지를 말한다. 즉, 현수교의 주케이블이 일반교량 구간에 설치된 앵커블럭에 연결된 경우에는 거더가 행어케이블에 의해 주케이블에 연결되는 구간까지를 현수교의 구간으로 정의한다.

라. 경간(지점)별 부재 상태안전성능 산정

- 개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태안전성능 결과 중 최저값을 개별부재 상태안전성능 결과로 산정한다.
- 한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태안전성능 기준 중 최저값을 경간(지점) 상태안전성능 결과로 산정한다.
- 복개구조물은 바닥판의 장변방향으로 경간을 구분하고, 1경간의 길이는 약 50m 범위 또는 신축이음부를 경계로 경간을 구분하는 것으로 한다.

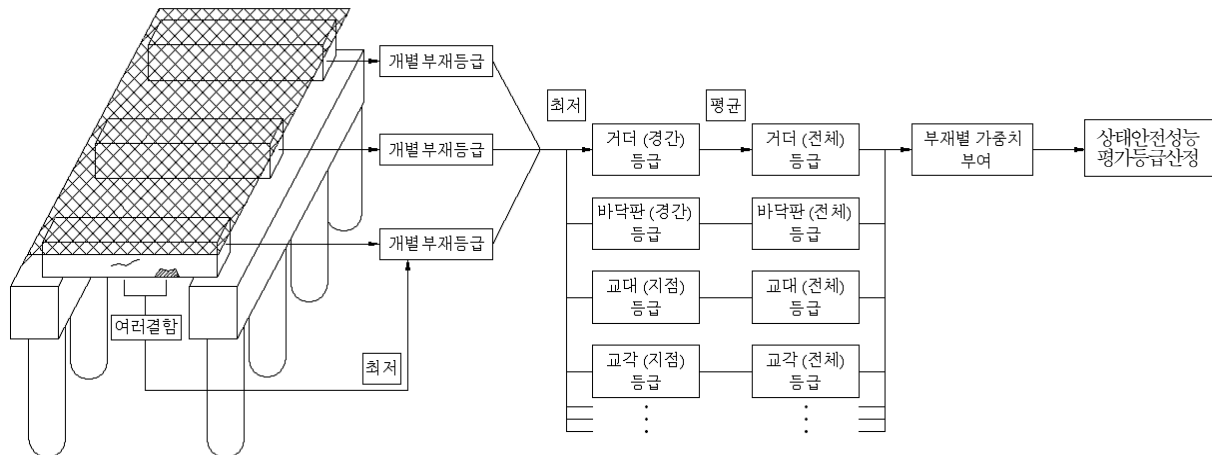
마. 전체 시설물의 상태안전성능 결과 결정

- 1) 구조형식이 같은 부재에 대해 부재별로 평균하여 부재 상태안전성능을 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다. 환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태안전성능 결과를 산정하기 위한 기준값이며, [표 1.55]의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태안전성능 결과를 구한다.

[표 1.55] 결함도 점수 범위에 따른 기준

기준	A	B	C	D	E
결함도 지수	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
결함도 범위	$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

2) [그림 1.34]는 전체 교량의 상태안전성능 결과 산정 방법의 예를 도식화한 결과이다.



[그림 1.34] 전체 교량의 상태안전성능 결과 산정 예

1.4.3 구조안전성능평가 기준

가. 일반

구조안전성능 항목별 평가방법은 정량적으로 평가하기 어렵거나 또한 다양한 경우가 대부분이므로 상호의 평가결과를 비교하는 것이 필수적이다.

본 장에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우에는 구조안전성능 기준을 제시하고 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있다. 또한, 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

만약 구조안전성능이 상태안전성능보다 낮은 등급으로 결정 될 경우, 구조안전성능의 평가등급에 따른 결함도 지수는 구조물의 안전측면을 고려하여 [표 1.55] 결함도 점수 범위에 따른 기준의 등급별 결함도 범위 점수 중 최솟값을 사용하며 설정된 결함지수는 [표 1.56]과 같다.

[표 1.56] 결함도 점수 범위에 따른 기준

기준	A	B	C	D	E
결함도 지수 (상태안전성능등급>구조안전성능등급)	0.13	0.26	0.49	0.79	1.00

나. 구조안전성능 기준

1) 내하력 평가

구조물의 구조안전성능은 주요 구조부재의 정밀외관조사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다.

강교의 경우 허용응력설계법(이하 ‘허용응력법’), 콘크리트교는 강도설계법(이하 ‘강도법’)으로 설계되었다.

구조안전성능 평가의 기본개념은 현행 도로교 설계방법으로 규정된 허용응력법과 강도법을 적용하며, 교량의 상부구조형식 및 사용재료에 따라 [표 1.57]와 같이 평가방법을 기본적으로 적용한다.

또한, 거더교의 바닥판은 강도법을 적용하며 표에 규정되어 있지 않은 상부구조형식을 갖는 교량의 평가방법에 대해서는 해당 교량형식의 설계방법이나 당초 설계법을 사용하여 평가한다.

[표 1.57] 상부구조 형식 및 구조재료에 따른 평가방법

구분	교량 상부구조 형식	교량 재료	안전성능 평가방법
콘크리트교	RC 슬래브교	철근콘크리트	강도법
	RC 라멘교	철근콘크리트	강도법
	RC T거더교	철근콘크리트	강도법
PSC 교	PSC I거더교, PSC 박스 거더교	프리스트레스트 콘크리트	허용응력법, 강도법
강교	강 I거더교	압연강재	허용응력법
	강박스거더교	관형강재	허용응력법
	플레이트거더교	관형강재	허용응력법
콘크리트교 강교	한계상태설계법으로 설계된 교량	콘크리트, 강	한계상태설계법

※ PSC 거더의 하중단계별 응력검토는 허용응력법을 적용하며 극한하중에 대해 안전성능 검토를 강도법으로 수행하여야 한다.

구조안전성능 검토는 대상 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 하고, 최근 도입되고 있는 신뢰성이론에 의한 평가방법은 충분한 통계자료가 뒷받침되어야 하므로 참고자료로 활용한다.

또한 교량의 구조안전성능은 내하력평가 개념으로 규정되어 왔으나 내하력은 활하중 여유도로서 하중비에 따라 내하력의 변동폭이 크게 변하므로 교량의 구조안전성능을 일관되게 평가하는 기준으로 적절하지 못하다.

따라서 구조안전성능은 교량의 안전율 개념을 도입하여 평가하였다. 그러나 안전율이 0.9에서 1.0 사이에 있어 재하시험에 의한 공용내하력 평가를 실시한 경우 공용내하력 산정결과에 따라 구조안전성능 결과를 산정한다.

[표 1.58] 구조물의 구조안전성능 기준

기준	구조안전성능 기준	비 고
A	SF > 1.0	◦허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}}$
B	0.9 ≤ SF < 1 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	0.9 ≤ SF < 1	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	◦강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi Mn}{Mu}$
E	SF < 0.75	

① 허용응력법에 의한 공용내하력 평가

○ 내하율의 평가

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시에 하중조합으로는 D+L(1.0+i)을 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 된다.

사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력을 사용하여 건설기준 코드(구 도로교 설계기준, 철도 설계기준) 규정에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

고정하중과 활하중에 의한 응력은 대상 부재단면에 있어서 철근 및 강재부식, 콘크리트의 탄산화, 염해, 동해 등에 의한 강도저하와 단면손실 등을 고려하여 계산한다. 이때 고정하중은 현재 교량에 작용하고 있는 모든 고정하중을 가능한 한 정확히 고려한다. 활하중은 현행 건설기준코드(구 도로교 설계기준, 철도 설계기준)의 설계활하중을 사용한다.

허용응력법에 의한 내하율은 강 부재의 내하력 산정 시 적용하는 것이 바람직하며, 허용응력법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{내하율(RF)} = \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$$

여기서, f_a = 실측 허용응력

f_d = 실측 고정하중에 의한 응력

f_l = 설계 활하중 (도로교의 경우 DB 또는 DL하중,

철도교의 경우 KRL하중)에 의한 응력

i = 충격계수는 건설기준코드(구 도로교 설계기준, 철도 설계기준)에서 제시한 설계 충격계수를 적용

○ 공용내하력의 산정

허용응력법에 의한 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{공용내하력(P)} = K_s \times RF \times P_r$$

$$\text{여기서, } K_s = \text{응답 보정계수} = \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$$

$$\text{또는 응답 보정계수} = \frac{\varepsilon_{\text{계산}}}{\varepsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$$

$i_{\text{계산}}$ = 도로교의 경우 건설기준코드(구 도로교 설계기준),

철도교의 경우 건설기준코드(구 철도 설계기준)

$i_{\text{실측}}$ = 동적재하시험으로부터 평가된 최대 충격계수

P_r = 설계 활하중

(도로교의 경우 DB 또는 DL하중, 철도교의 경우 LS하중)

$\delta_{\text{계산}}$ ($\delta_{\text{실측}}$) = 이론적인 처짐량 (실측 처짐량)

$\varepsilon_{\text{계산}}$ ($\varepsilon_{\text{실측}}$) = 이론적인 변형률 (실측 변형률)

② 강도법에 의한 공용내하력 평가

○ 내하율의 평가

강도법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시 도로교량 하중조합은 $1.3D+2.15L(1.0+i)$, 철도교량 하중조합은 $1.35D+1.85L(1.0+i)$ 을 사용하므로 하중계수는 각각 도로교량 1.3, 2.15, 철도교량 1.35, 1.85가 된다.

단면강도는 단면의 현재 상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 건설기준코드(구 도로교 설계기준, 철도 설계기준)의 공칭강도와 강도감소 계수에 따라 계산한다.

교량 설계시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가 시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용 중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정한다.

그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정 시는 교량의 현재 상태에 따른 단면감소와 코어 강도에 따른 재료강도를 고려하고 강도감소 계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다.

고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 고정하중과 현행 건설기준코드(구 도로교 설계기준)의 설계 활하중(DB 또는 DL하중) 및 건설기준코드(구 철도 설계기준)의 설계활하중(KRL하중)을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

강도설계법에 의한 내하율은 콘크리트 부재의 내하력 산정에 적용하는 것이 바람직하다.

$$\text{내하율(RF)} = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$$

여기서, ϕM_n = 극한 저항모멘트 (강구조물 $\phi = 1$,

RC·PC구조물의 휨부재 $\phi = 0.85$)

M_d = 실측 고정하중모멘트

M_l = 설계 활하중에 의한 모멘트

(도로교의 경우 DB 또는 DL하중, 철도교의 경우 KRL하중)

γ_l = 활하중 계수

γ_d = 고정하중 계수

i = 도로교의 경우 건설기준코드(구 도로교 설계기준),

철도교의 경우 건설기준코드(구 철도 설계기준)

○ 공용내하력의 산정

강도설계법에 의한 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{공용내하력}(P) = K_s \times RF \times P_r$$

여기서, $K_s = \text{응답 보정계수} = \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$

또는 $\text{응답 보정계수} = \frac{\varepsilon_{\text{계산}}}{\varepsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$

$P_r = \text{설계활하중}$

(도로교의 경우 DB 또는 DL하중, 철도교의 경우 KRL하중)

2) 세굴을 포함한 기초안전성

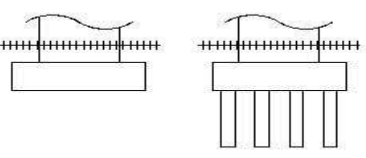
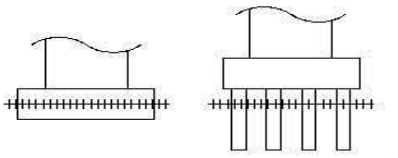
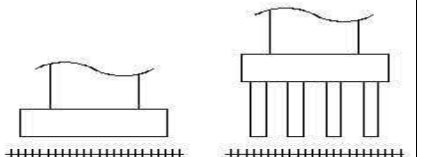
교량의 안전성능에 영향을 주는 모든 하부구조 부재의 불안정한 흔적에 대하여 특별히 관리를 하여야 하며, 하부구조의 평가는 정확한 공학적 판단 하에 실시한다. 하부 구조물의 적정성 여부는 준공도면, 시공도면, 구조 계산, 평가 결과 및 기타 적절한 자료를 토대로 한다.

교각 및 교대를 포함한 하부구조는 상부구조를 지지할 수 있는 최소한의 안전성능 확보 유무가 평가되어야 하며, 우물통과 교각기초 사이의 거동, 기초가 암반에 근입된 상태, 교대의 부등침하, 전방이동 등을 고려해야 한다.

하천(해상)을 횡단하는 공용중인 교량에 대한 세굴을 포함한 기초안전성 평가방법은 세굴심 검토와 기초지반의 안전성을 평가하도록 한다.

세굴심 검토와 기초지반의 안전성을 검토하는 2단계의 평가절차를 적용한다. 1단계 (세굴심 검토)의 경우, 예상세굴심과 기초근입심도를 비교하여 3가지 경우로 구분한다.

[표 1.59] 세굴에 취약한 교량의 등급판정

구 분	계산된 세굴심	필요한 조치
① 기초 상단 위에 세굴심 위치		조치가 필요 없음
② 기초 또는 말뚝 내에 세굴심 위치		기초의 구조 해석 수행
③ 기초 또는 말뚝하단 아래에 세굴심 위치		세굴심을 모니터링 하고 필요시 세굴방지공 설치

<해 설>

- ① : 계산된 세굴심이 기초상단에 위치하여 안전조치가 필요 없는 경우를 말한다.
- ② : 기초 또는 말뚝 내에 계산된 세굴심이 있어 구조해석 결과에 따라 안전조치가 필요한 경우를 말한다.
- ③ : 계산된 세굴심이 기초나 말뚝 하단 아래에 위치하여 긴급한 안전조치가 필요한 경우를 말한다.

기초나 말뚝 내에 예상세굴심이 있는 경우는 2단계(기초안전성)구조해석 결과에 따라 안전조치가 필요한 경우로서 등급 “a~d”로 구분한다.

예상세굴심이 기초상단에 위치하여 안전조치가 필요 없는 경우, 적정세굴보호공이 설치되어 있으며 공용중 세굴발생이 없을 것으로 예상되는 경우를 “a”로 평가한다.

그러나 기존에 세굴방지공이 설치되어 있지만 설계기준을 만족하지 못할 경우는 “b”로 평가한다.

구조해석 결과에 따라 안전율을 확보한 경우는 특별한 안전조치가 필요하지 않은 안전에 지장이 없는 상태이므로 등급 “c”로, 안전율을 확보하지 못한 경우 세굴방지공 설치 등의 긴급한 보수·보강 조치가 필요하므로 등급 “d”로 구분한다.

또한 교량기초는 기초형식에 따라 지지력, 전도, 활동에 안정하여야 하며 기초의 변위량은 허용변위량을 초과하지 않아야 한다.

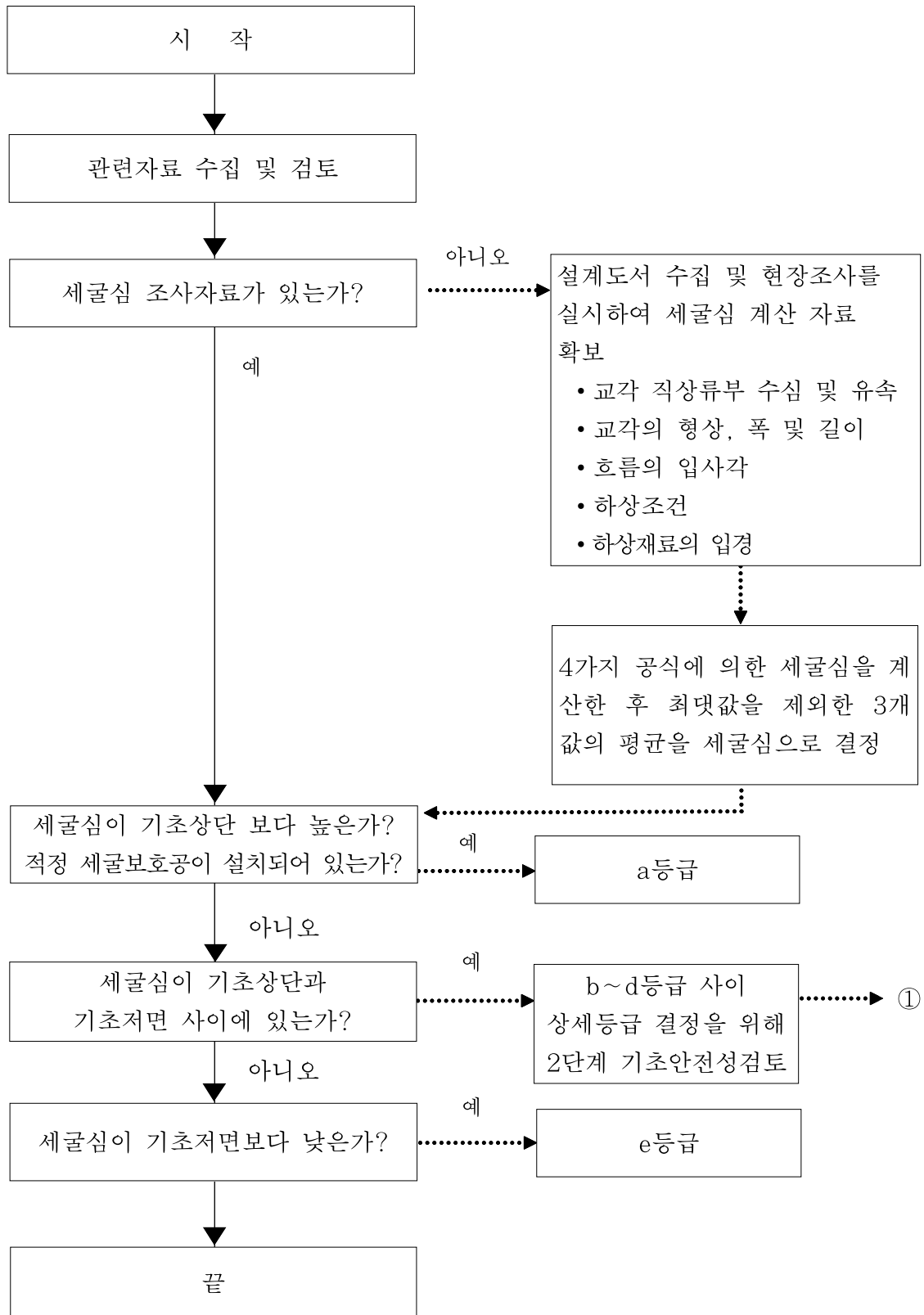
[표 1.60] 기초의 안전성능 평가기준

기준	1단계(세굴심 검토)	2단계(기초안전성)
a	○ 세굴심도가 기초상단보다 높을 경우	○ 적정 세굴보호공이 설치되어 있으며 공용중 세굴발생이 없는 경우
b	○ 세굴심도가 기초상단과 지초저면 사이에 있을 경우	○ 세굴보호공이 설치되어 있어 있으나 설계기준을 만족하지 못한 경우
c		○ 기초 지지력 확보 $S.F. \geq 1.0$ ○ 허용변위량 이내일 경우
d		○ 기초 지지력 부족 $S.F. < 1.0$ ○ 허용변위량을 초과할 경우
e	○ 세굴심도가 지초저면보다 낮을 경우	
<p>< 해 설 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 1단계(세굴심 검토)의 세굴심도 계산은 건설기준코드(구 하천설계기준, 도로교설계기준) 등 관련 설계기준을 참고하여 수행함한다. ○ 2단계(기초안전성) 평가의 기초지지력은 기초형식별로 도로교설계기준 등 관련 설계기준을 참고하여 책임기술자의 판단에 따라 산정할 수 있다. ○ 2단계(기초안전성) 평가의 실시가 곤란한 경우 책임기술자의 판단에 따라 1단계(세굴심 검토)에 의한 구조안전성능결과를 산정할 수 있다. ○ 지지력의 안전율($S.F.$) = 지반의 허용지지력/작용응력 ○ 기초형식별 허용변위량은 건설기준코드(구 도로교설계기준, 구조물 기초 설계기준) 등 관련 설계기준을 참고하여 결정한다. 		

<해 설>

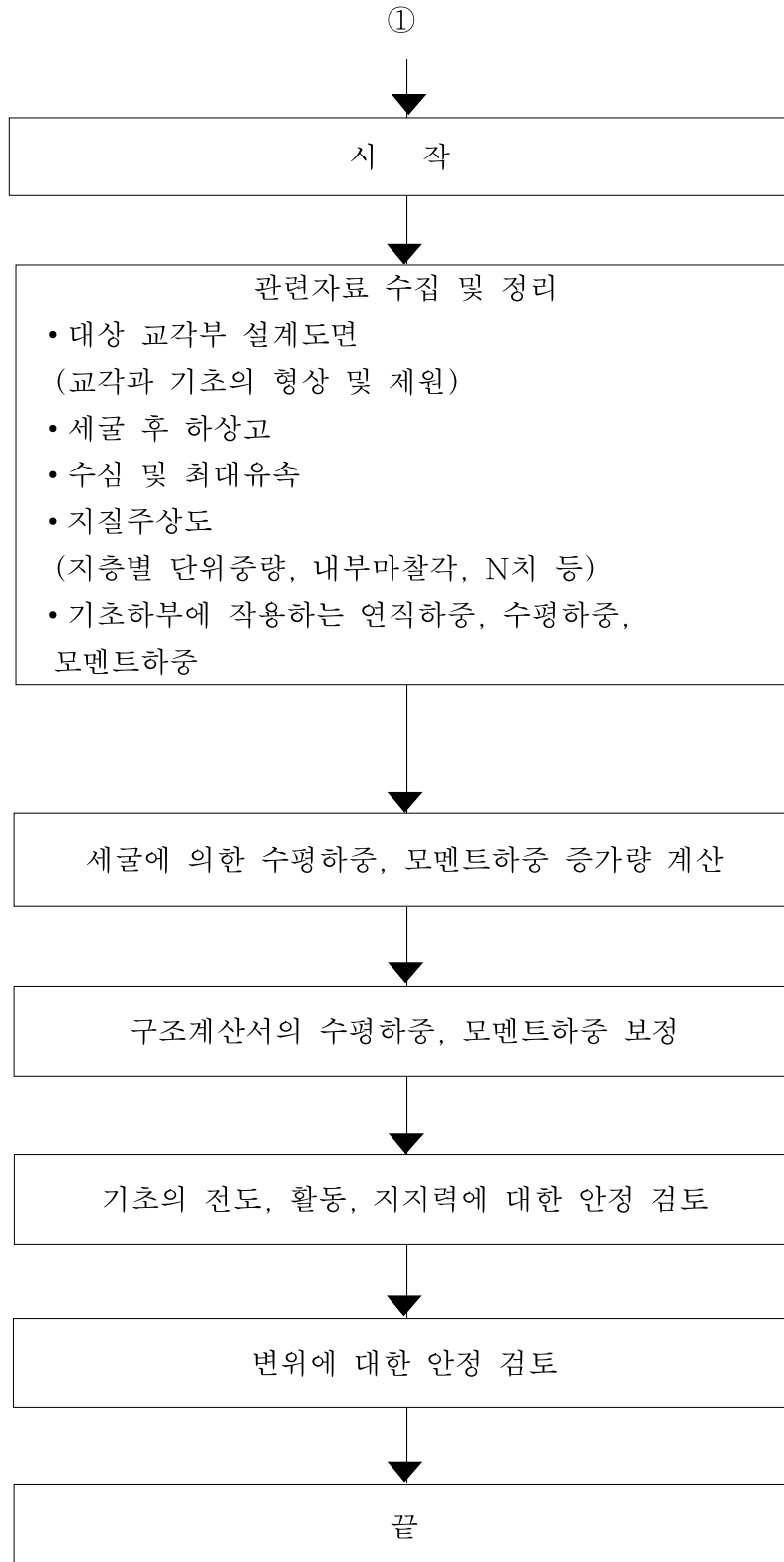
- 책임기술자는 유속, 교량의 형상, 사석의 크기 등을 고려하여 적정 세굴보호공이 설치여부를 판단할 수 있다.

① 1단계 세굴심 평가



[그림 1.35] 1단계 세굴심 평가 결과 산정 방법

② 2단계 기초안정성 평가



[그림 1.36] 2단계 기초안전성 평가 결과 산정 방법

3) 주행안전성 평가

① 교량의 첫 번째 고유 횡 진동수, f_1^m (Hz)

[표 1.61] 교량의 첫 번째 고유 횡 진동수에 대한 평가기준

등급	평가기준		비고
	초기 실측자료와 비교 ¹⁾	고유치해석에 의한 값과 비교	
안전 (O.K)	$\alpha \geq 1.0$	$\alpha \geq 1.05$	$\alpha = \frac{f_1^m}{f_1^{mp}}$ 또는 $\frac{f_1^m}{f_1^c}$
불안전 (N.G)	$\alpha < 1.0$	$\alpha < 1.05$	

주1) 초기 실측자료가 없는 경우, 가용한 실측자료 중 가장 최근 자료를 적용한다.

② 임계속도, V_{cr} (m/sec)

[표 1.62] 임계속도에 대한 평가기준

등급	평가기준	안전율	비고
안전 (O.K)	$V_{cr} > V_{operation}$ 이고, 초기치 ¹⁾ 이상인 경우	SF>1.0	· $V_{operation}$: 상시 운행속도 · SF(안전율) = 임계속도/실운행속도
불안전 (N.G)	$V_{cr} \leq V_{operation}$	SF≤1.0	

주1) 초기치가 없는 경우에는 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

③ 교량 상판의 연직가속도, a(m/s²)

[표 1.63] 교량 상판의 연직가속도에 대한 평가기준

등급	평가기준		안전율	비고
	자갈레도	콘크리트레도		
안전 (O.K)	0.35g 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	0.50g 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	SF>1.0	· g : 중력가속도 · SF(안전율) = 허용기준/발생응답
불안전 (N.G)	0.35g를 초과하는 경우	0.50g를 초과하는 경우	SF≤1.0	

주1) 초기치가 없는 경우에는 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

④ 교량의 연직처짐, δ

[표 1.64] 교량의 연직처짐에 대한 평가기준

등급	평가기준	안전율	비고
	주행안전성		
안전 (O.K)	$L/600$ 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	$SF \geq 1.0$	·SF(안전율) = 허용기준/발생응답
불안전 (N.G)	$L/600$ 을 초과하는 경우	$SF < 1.0$	

주1) 초기치가 없는 경우에는 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

⑤ 면틀림

[표 1.65] 면틀림에 대한 평가기준

등급	평가기준	안전율	비고
안전 (O.K)	[표1.25]의 값 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	$SF \geq 1.0$	·SF(안전율) = 허용기준/발생응답
불안전 (N.G)	[표1.25]의 값을 초과하는 경우	$SF < 1.0$	

주1) 초기치가 없는 경우에는 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

⑥ 상부구조 끝단 상부면 종방향 변위

[표 1.66] 상부구조 끝단 상면 종방향 변위에 대한 평가기준

등급	평가기준	안전율	비고
안전 (O.K)	8mm 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	$SF \geq 1.0$	·SF(안전율) = 허용기준/발생응답
불안전 (N.G)	8mm를 초과하는 경우	$SF < 1.0$	

주1) 초기치가 없는 경우에는 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

⑦ 인접 경간 사이 또는 상부구조와 교대 사이의 단차

[표 1.67] 인접 경간 사이 또는 상부구조와 교대 사이의 단차에 대한 평가기준

등급	평가기준		안전율	비고
	열차속도 160km/h 미만	열차속도 160km/h 이상		
안전 (O.K)	3mm 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	2mm 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	$SF \geq 1.0$	·SF(안전율) = 허용기준/발생응답
불안전 (N.G)	3mm를 초과하는 경우	2mm를 초과하는 경우	$SF < 1.0$	

주1) 초기치가 없는 경우에는 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

1.4.4 구조안전성능 결과 산정방법

가. 구조안전성능 결과산정

평가대상 교량에 대하여 구조안전성능을 실시한 후 그 결과를 비교하여 최저등급을 평가 결과로 결정한다.

나. 구조안전성능 결과산정 예시

평가대상 교량에 대하여 구조안전성능 산정 절차를 예시하면 다음과 같다.

교량의 구조안전성능 평가지수 = Min(공용내하력, 기초안전성), 주행안전성

※ 하천을 횡단하는 교량(해상교량 포함)의 경우 공용내하력과 기초안전성 평가를 실시하여 둘 중 최저등급으로 결정하며, 철도교량의 경우 주행안전성(7개 평가기준)은 평가하여 철도 운행 및 구조물의 보수보강 의사결정시 참고자료로 활용 한다.

1.4.5 안전성능 결과 산정방법

가. 안전성능 결과산정

- 1) 평가대상 교량에 대하여 상태안전성능 및 구조안전성능을 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능지수와 구조안전성능지수를 비교하여 작은 값을 최종 안전성능 지수로 결정하여 교량의 안전성능 결과를 결정한다.
- 2) 단, 구조안전성능을 실시하지 않은 경우는 상태안전성능지수를 안전성능지수로 같음 한다.

나. 안전성능 결과산정 예시

- 1) 평가대상 교량에 대하여 안전성능 산정 절차를 예시하면 다음과 같다.
- 2) 교량의 안전성능 결과를 결정하기 위해 교량 상태안전성능 및 구조안전성능 결과로 산출된 상태안전성능지수와 구조안전성능지수를 사용하며, 이 값 중에서 작은 값을 교량의 안전성능지수로 적용하여 안전성능 결과를 부여한다.
- 3) 단, 구조안전성능을 실시하지 않은 경우는 상태안전성능지수를 안전성능지수로 같음 한다.

안전성능등급 = Min(상태안전성능등급, 구조안전성능등급)

1.5 내구성능 평가 기준 및 방법

1.5.1 일반

교량 내구성능 평가는 강재 내구성능 평가 및 콘크리트 내구성능 평가로 구성된다. 콘크리트 교의 경우에는 콘크리트 내구성능 평가를 실시하고, 강재 및 콘크리트 부재로 구성된 교량의 경우 각 부재의 가중평균을 적용하여 내구성능등급을 산정한다.

1.5.2 강재 내구성능 평가 기준 및 방법

가. 개요

강재 내구성능 평가 항목은 크게 내부적 요소(열화진전 요소)와 외부적 요소(열화환경 요소)로 구분되며, 내부적 요소는 ‘발청’, ‘도장열화’, ‘도장두께’ 외부적 요소는 ‘해안 이격거리’, ‘이산화황 농도’, ‘습도’ 등을 포함하는 ‘대기환경’으로 구성된다.

여기서, 도장열화는 박리, 균열, 부품, 변색·백아화 등 4가지 열화요인에 대해 각각 평가한다. 발청을 포함하여 도장열화에 대한 세부지표 간의 중요도에 따라 합산 및 등급산정을 한다.

평가대상 부재에 대해 내부적 요소와 외부적 요소에 대해 강재 내구성능을 평가한다.

[표 1.68] 교량 평가지표 및 세부평가지표

구분	평가지표	세부 평가지표
강 부재	발청(표면부식)	—
	도장 열화	박리, 균열, 부품, 백아화
	도장 두께	—
	대기환경	해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도

나. 평가대상 부재

교량의 강재 내구성능 평가 대상 부재를 부재별로 분류하고, 대상부재는 강재가 적용된 부재에 한정한다.

[표 1.69] 교량 강재 내구성능 평가 대상 부재

부재 분류	
상부구조	바닥판, 거더, 케이블
	2차부재(가로보 및 세로보)
하부구조	교각, 주탑





다. 강재 내구성능 평가 기준

1) 발청 및 도장열화

(가) 발청(표면부식, 녹)

[표 1.70] 발청 평가기준

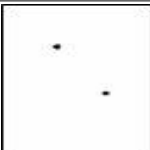
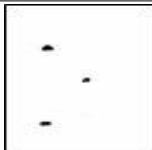
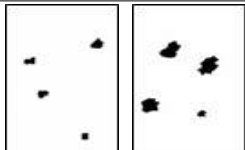
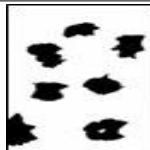
평가 기준	평가내용		비고
	발청 면적	외관 상태	
a	0.05% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 등급 1)	
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 등급 2)	
c	0.5 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 3)	
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 4/5)	
e	—	—	

발청			
표준사진 등급 1	표준사진 등급 2	표준사진 등급 3	표준사진 등급 4/5
			

(나) 도장 박리

[표 1.71] 도장 박리 평가기준



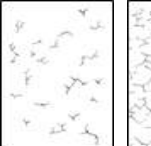
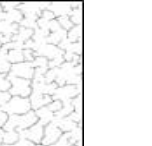
평가 기준	평가내용		비고
	도장 박리 면적	외관 상태	
a	0.1% 미만	외관상 박리가 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)	
b	0.1% 이상 ~ 0.3% 미만	미소하게 박리가 확인되지만, 박리된 부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)	
c	0.3% 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 박리가 보이는 상태(표준사진 3/4)	
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 박리가 발생되어 있는 상태(표준사진 5)	
e	—	—	

도장 박리			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3/4	표준사진 5
			

(다) 도장 균열

[표 1.72] 도장 균열 평가기준

평가 기준	평가내용		비고
	도장 균열 면적	외관 상태	
a	0.05% 미만	외관상 균열이 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)	
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 균열이 확인되지만, 균열부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)	
c	0.5% 이상 ~ 10.0% 미만	확실하게 균열이 보이는 상태(표준사진 3)	
d	10.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태(표준사진 4/5)	
e	—	—	

도장 균열				
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4/5	
				

(라) 도장 부품

[표 1.73] 도장 부품 평가기준



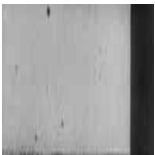

부품 크기 발생면적	0 ~ 0.05% 미만 (표준사진 밀도 2 이하)	0.05 이상 ~ 0.5% 미만 (표준사진 밀도 3)	0.5 이상 ~ 5.0% 미만 (표준사진 밀도 4)	5.0% 이상 (표준사진 밀도 5 이상)
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하 (크기등급 2)	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도 (0.5mm이하) (크기등급 3)	a	b	c	d
0.5~5mm의 범위 (크기등급 4)	b	c	c	d
5mm 초과 (크기등급 5)	c	d	d	d

도장 부품 (크기등급 3: 0.5mm 부품에 대한 예)			
표준사진 밀도 2 이하	표준사진 밀도 3	표준사진 밀도 4	표준사진 밀도 5 이상
			

(마) 도장 변색 및 백아화

[표 1.74] 도장 변색 및 백아화

평가 기준	평가내용		비고
	도장 변색	도장 백아화	
a	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음(표준사진 1)	
b	초기에 비해 변색되어 있음	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착(표준사진 2)	
c	초기에 비해 현저하게 변색되어 있음	초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착(표준사진 3)	
d	초기의 색이 거의 남아 있지 않음	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음(표준사진 4)	
e	—	—	

백아화			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4
			

<해 설>

- 각 표준사진에서 최우측단의 색상이 도장 본래의 색에 해당하며, 좌측의 색상은 도장 열화수준에 따라 구분됨

2) 도장두께

[표 1.75] 도장두께 평가기준

평가 기준	평가내용
	시방서 및 시공기준 대비 허용두께 불만족 비율
a	5% 미만
b	5% 이상 ~ 30% 미만
c	30% 이상 ~ 70% 미만
d	70% 이상
e	—

3) 대기환경 (해안 이격거리/이산화황 농도/습도)

[표 1.76] 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 ²⁾ (일)	해안 이격거리 (m) 이산화황 (ppm)	동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안	
		전지역	고창 · 태안	그외 지역	사천 · 거제	그외 지역	전지역	고창 · 태안	그외 지역	사천 · 거제	그외 지역	전지역	고창 · 태안	그외 지역	사천 · 거제	그외 지역
		500 초과	1000 초과	300 초과	100 초과	20 초과	250 초과 ~ 500 이하	500 초과 ~ 1000 이하	120 초과 ~ 300 이하	50 초과 ~ 100 이하	10 초과 ~ 20 이하	비말대 초과 ~ 250 이하	비말대 초과 ~ 500 이하	비말대 초과 ~ 120 이하	비말대 초과 ~ 50 이하	비말대 초과 ~ 10 이하
		MDD ¹⁾ ≤ 1.5					1.5 < MDD ¹⁾ ≤ 2.0					2.0 < MDD ¹⁾ ≤ 비말대				
100 초과	0.01 이하	a				b				c						
	0.01 초과	b				b				c						
	0.02 이하	c				c				c						
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a				b				b						
	0.01 초과	b				b				c						
	0.02 이하	b				c				c						
10 미만	0.01 이하	a				a				b						
	0.01 초과															
	0.02 이하															
	0.02 초과															

주1) 비래염분량(mg/100cm²/day, MDD) : 10cm×10cm의 면적에서 1일간 측정되는 염분량을 NaCl량으로 나타낸 값

주2) 연간 젖음 시간 : 0도씨 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간

<해설>

- 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고하여 설정하였다.
- 부식속도가 높음 및 매우 높은 경우 이에 대해 각각 “b”등급 및 “c”등급 적용한다

4) 강설횟수(제설제 살포빈도)

[표 1.77] 강설횟수의 평가기준

강설일수(x)	$x < 5$	$5 \leq x < 15$	$15 \leq x$
등급	a	b	c

<해설>

- 겨울철 도로상에 살포되는 제설제에 의한 강재 부식 및 이에 의한 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목이다.
- 강설횟수의 등급은 ASTM G85 Annex 5-Dilute electrolyte cycle fog/dry test에 따라 강재시편의 부식량을 측정하는 염수분무시험을 근거로 국내 지역별 기상조건을 고려하여 3등급 체계로 설정하였다.

라. 강재 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

강재 내구성능 평가 결과 산정방법은 평가항목별 가중치 및 부재별 가중치에 따라 내구성능을 평가하는 방법을 활용하여 등급을 산정하는 절차를 따른다.

2) 평가항목별 가중치

(가) 발청 및 도장열화 가중치

강재의 발청, 도장의 박리, 균열, 부품, 변색 및 백아화 등 각 지표별 평가결과에 의한 열화정도를 등급별 점수화하고, 가중치 적용 및 합산하여 ‘발청 및 도장열화’에 대한 종합점수를 산정한다.

각 세부지표의 등급별 점수는 아래의 표와 같다.

[표 1.78] 강재 발청 및 도장열화의 각 세부지표에 대한 등급별 점수

세부지표 등급	발청	박리	균열	부품	변색 및 백아화	종합점수 (세부지표별 등급점수의 합계)
a	5 (0)	2 (0)	1 (0)	1.5 (0)	0.5 (0)	10
b	10	4	2	3	1	20
c	20	8	4	6	2	40
d	35	14	7	10.5	3.5	70

<해 설>

- 시설물 상태안전성능 결함도 점수표의 점수배분율을 참고하여 ‘발청 및 도장열화’ 전체의 종합등급 배점은 A등급 10점, B등급 20점, C등급 40점, D등급 70점으로 한다.
- a등급에 대한 점수는 어떠한 열화도 발견되지 않았다면 0점을 부여한다.

(나) 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

발청 및 도장열화에 대한 종합점수는 다음과 같다.

[표 1.79] 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

등급	종합점수 범위	등급 정의	비고
a	13 미만	부식 및 도장열화로 인하여 내구성능 저하를 무시할 수준의 단계	차기 도래시기에는 전차 평가결과를 참고하여 평가 위치 및 수량을 결정함
b	13 이상 ~ 26 미만	경미한 결함이 있으나 그 이외의 부분에 대해서는 전반적으로 양호한 단계	
c	26 이상 ~ 49 미만	결함이 발생한 부재에 대해 일부 보수가 필요한 단계	
d	49 이상	광범위한 보수를 시행해야 하는 단계	

<해 설>

- 대상경간에 해당하는 강제부재는 조사방법 및 수량에 맞게 열화수준(낮음/보통/높음)이 고루 분포되도록 사전 육안조사에 의해 선정한다.
- 선정된 부재는 평가기준에 따라 발청 및 도장열화를 조사하여 등급별 점수를 계산하고 그 외의 부재는 유사경간으로 지정하여 책임기술자의 판단하에 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞는 구역으로 배분한다
- 열화수준에 따라 배열된 부재는 최종적으로 등급의 대푯값에 유사경간 수를 곱하고 평균값을 취하여 최종 등급을 산정한다.

(예) 거더수가 10개라고 가정하면, 최소 3개이상, 25%이상을 만족해야 하므로 열화수준 (낮음/보통/높음)에 맞는 총 3개 경간을 선정하며, 나머지 7개 거더는 열화의 수준을 고려하여 선정된 3개 거더의 유사한 경간으로 지정한 후 평가한다.

(나) 도장두께

도장 두께가 허용기준을 만족하지 못하는 경우, 균열 및 박리 또는 충격에 의한 깨짐 등과 같은 결함으로 이어질 수 있고, 이는 강제 내구성능 저하를 유발시킨다.

① 도장 최소두께 및 최대두께

- 지방서 및 도장 제조업체에서는 요구 최소두께 및 최대두께를 제시하고 있다.
- 도장종류에 따라 최소 또는 최댓값이 명시되어 있지 않는 경우 일반적으로 규정두께의 80%를 최소두께, 120%를 최대두께로 할 수 있다.

② 도장 허용두께(SSPC-PA2 참고)

- 측정 1개소내의 3개 지점값(직경 40mm의 1개소에서 3번의 측정 실시)은 값에 제한이 없으나, 3개 지점의 평균값 즉, 1개소의 평균값은 지방서 최솟값의 80% 이상이어야 하며, 최댓값의 120% 이내여야 한다.
- 조사단위면적 내 5개소의 최종 평균값은 지방서 최솟값 및 최댓값의 범위에 있어야 한다.

③ 도장 허용두께 불만족 비율

- 대상 조사구역은 일정 단위면적으로 나뉘질 수 있으며, 이러한 일정 단위면적을 조사단위면적으로 정의한다.
- ‘허용두께 불만족 비율’은 대상 조사구역 내의 도장 허용두께 불만족 비율로 정의한다. (조사구역내 몇 %의 조사단위면적에서 허용두께가 불만족하였는지에 대한 비율)

[표 1.80] 평가항목별 가중치

구분	평가지표		가중치
내부 요인	발청 및 도장열화	발청	60 (66)
		박리	
		균열	
		부품	
		변색	
	도장두께		20 (22)
외부 요인	대기 환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)		10 (12)
	강설횟수 (제설제 살포빈도)		10 (0)

<해설>

- 강재에 대한 평가항목별 가중치로서 일반적으로 상부구조 및 하부구조에 강 부재가 사용되지 않는 교량 형식에 대해서는 가중치 설정에서 제외한다.
- 발청/박리/균열/부품/변색·백아화 등은 직접적인 열화현상이고, 도장두께 기준치의 만족 여부는 열화가 발생하기 쉬운 조건으로 이 두 가지를 내부요인으로 분류한다. 또한, 해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도와 같은 대기환경과 제설제 살포빈도는 열화를 유발시키는 외부요인으로 분류한다.
- 열화가 시작되는 단계에서는 외부요인에 의해 열화가 촉진되므로 이에 대한 가중치를 부여한다.
- 철도교의 경우는 제설제의 영향이 없으므로 외부요인 중 대기환경에 대해서만 평가(괄호 안의 가중치 적용)한다.
- 부재의 형식, 구조 및 재료적인 특성에 의해(케이블 등) 내부요인(발청 및 도장열화, 도장두께)이 평가가 불가능한 경우, 해당부재는 강재내구성능 평가에서 제외한다.

3) 부재 종류별 가중치

교량을 구성하는 부재는 교량 형식에 따라 바닥판, 거더, 케이블, 2차부재, 교각(주탑)이 강부재로 구성될 수 있으며 강재 내구성능평가에서는 각 부재별 구성 재료의 중요도를 반영하여 평가한다.

① 일반교량

[표 1.81] 일반교량의 부재별 가중치

구분	평가부재		강거더교량				라멘교	
			강거더교			바닥판·거더 일체형	거더있음	
			일반	2차 부재 없음	바닥판 없음	강바닥판	2차부재 있음	2차 부재 없음
강재	상부	바닥판	16 (27)	18 (24)	—	16 (27)	16 (27)	18 (24)
		거더	48 (55)	56 (76)	55 (77)	48 (55)	48 (55)	56 (76)
		2차 부재	14 (18)	—	16 (23)	14 (18)	14 (18)	—
	하부	교각/교대	22 (0)	26 (0)	29 (0)	22 (0)	22 (0)	26 (0)

<해설>

- 강거더교(일반/2차부재없음), 라멘교 형식에서 강바닥판이 사용되지 않는 경우 바닥판에 부여된 가중치를 거더/2차부재 등 상부구조에 균등 분배한다.
- ()안의 값은 콘크리트 교각이 사용된 교량이다.

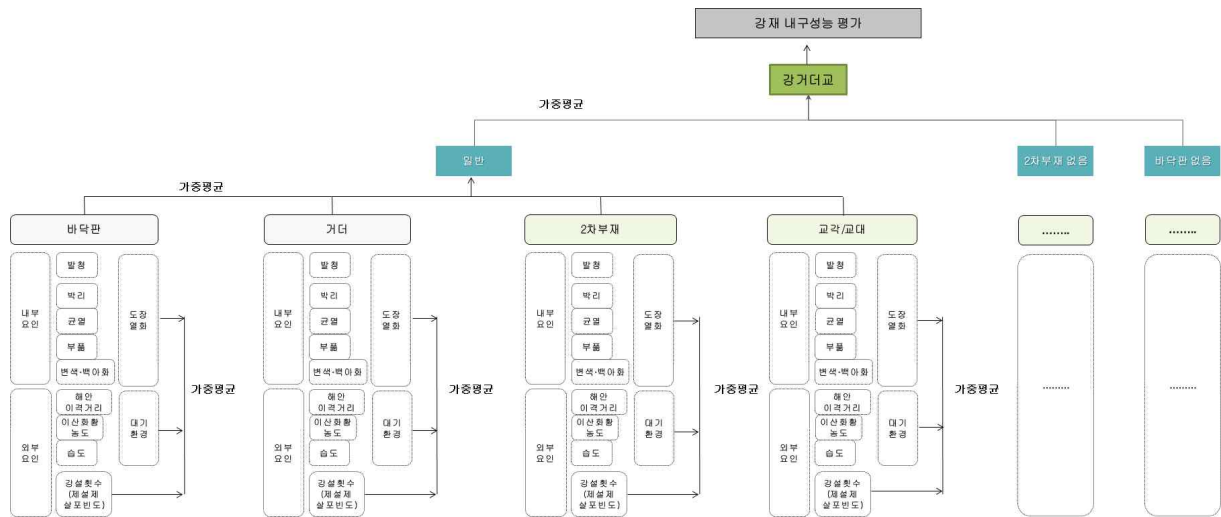
② 특수교량

[표 1.82] 케이블 교량의 부재별 가중치

구분	평가부재		아치교/트러스교		현수교			사장교			엑스트라도즈드교	
			바닥판	바닥판 없음	일반 거더형	보강형	PSC 거더형	일반 거더형	보강형	PSC 거더형	일반 거더형	PSC 거더형
강재	상부	케이블	21 (27)	23 (31)	40 (53)	40 (53)	76 (100)	33 (50)	33 (50)	65 (100)	33 (50)	33 (50)
		바닥판	7 (9)	—	8 (10)	—	—	7 (11)	—	—	7 (11)	—
		거더	19 (25)	20 (27)	23 (30)	36 (47)	—	20 (31)	32 (50)	—	20 (31)	32 (50)
		아치리브/트러스	26 (34)	28 (37)	—	—	—	—	—	—	—	—
		2차 부재	4 (5)	4 (5)	5 (7)	—	—	5 (8)	—	—	5 (8)	—
	하부	주탑	—	—	18 (0)	18 (0)	18 (0)	15 (0)	15 (0)	15 (0)	15 (0)	15 (0)
		보조 주탑	—	—	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)
		교각/교대	23 (0)	25 (0)	—	—	—	14 (0)	14 (0)	14 (0)	14 (0)	14 (0)

<해설>

- 일반거더형식에서 강바닥판이 사용되지 않는 경우 바닥판에 부여된 가중치를 케이블/거더/2차부재 등 상부구조에 균등 분배한다.
- 케이블 평가가 수행되지 않을 경우, 가중치를 상부, 하부구조로 균등분해 한다.
- 보조주탑이 없는 경우, 보조주탑에 부여된 가중치는 주탑의 가중치에 합산한다.
- 콘크리트 아치리브의 경우, 아치리브의 가중치를 상부, 하부구조에 균등하게 분배한다.
- ()안의 값은 콘크리트 교각이 사용된 교량이다.



[그림 1.37] 강재 내구성능 항목별 세부 평가방법

[그림 1.37]은 강 재료로 부재가 구성된 교량 중 강거더교의 평가 흐름도를 도식화한 그림이다.

강재 부재로 구성된 교량의 경우 [표 1.81], [표 1.82]의 교량 형식별 ‘부재별 가중치’를 참조하여 강재 내구성능평가 결과를 도출한다.

4) 결함도 지수

부재 수준의 내구성능 점수 산정 결과에 부재별 가중치를 곱하여 평가점수를 산정하고 아래의 점수범위에 따라 시설물에 대한 내구성능등급 산정한다.

[표 1.83] 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

[표 1.84] 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

마. 강재 내구성능 평가 결과 산정 예시

1) 대상교량

[표 1.85] 대상교량의 결과산정 예

교량형식		강박스 거더교(STB)(도로교)
경간장 및 경간수		50@5 = 250m
교폭		15m
거더	거더 갯수	2
	강박스 폭/높이	2.5m/2.0m
2차부재		L=1.5m, 교축방향 5m 간격 설치
바닥판		일반 RC
교각		일반 RC
도장 공용연수 (신규 또는 재도장 이후)		15년
환경조건	해안 이격거리	동해안으로부터 44 km
	연간 젖음 시간(일)	75일
	이산화황 농도	0.0038 ppm
	제설제(강설횟수)	10 회

2) 발청 및 도장열화 평가

- [표 1.86]는 거더에 대한 발청을 조사한 결과이다.
- 도장열화(박리/균열)의 경우도 같은 방법에 따라 조사하며, 산정된 유사경간수는 조사경간을 포함한 개소수를 의미한다.
- 부품, 변색 및 백아화의 경우 정성적인 기준을 적용하므로 각각의 등급을 산정하고 평가등급에 따른 결함도 지수를 합산하여 계산한다.

$$\text{변색 및 백아화} = [\sum(\text{조사경간 평가등급 결함도 지수} \times \text{유사경간 개수})] / \text{전체 경간수}$$
- 2차부재의 경우도 [표 1.86]~[표 1.89]의 방법으로 조사한다.

[표 1.86] 거더에 대한 발청 조사 예

조사경간	발청 발생 부분	발청면적 (cm^2)	유사 경간 개수
1경간	플랜지 밑면	10,381.3	3
3경간	플랜지 밑면	1,150.1	1
4경간	플랜지 밑면	152.8	1

[표 1.87] 조사경간별 면적을 산정 예

조사 경간	발청 면적율 ¹⁾ (%)	등급
1경간	0.160	b
3경간	0.018	a
4경간	0.002	a

주1) 발청면적율 = (발청 면적 / 부재 면적) × 100

[표 1.88] 발청 면적을 평균 산정 예

발청 면적을 평균 ¹⁾ (%)	등급	평점
0.100	b	10

주1) 발청면적을 평균 = $[\sum(\text{조사경간 발청면적} \times \text{유사경간 개수})] / \text{전체 경간수}$

○ 동일한 방법으로 도장열화를 조사하여 평가한 후 발청 및 도장열화 점수를 산정한다.

[표 1.89] 거더의 발청 및 도장열화 산정 예

거더						
평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	평가점수
등급	b	b	b	a	a	16
점수	10	4	2	0	0	
발청 및 도장열화 등급						b

○ 동일한 방법으로 강부재에 대해 발청 및 도장열화를 조사하여 평가한 후 평가점수를 산정한다.

[표 1.90] 2차부재의 발청 및 도장열화 평가점수 산정 예

2차부재						
평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	평가점수
등급	a	c	b	a	a	15
점수	5	8	2	0	0	
발청 및 도장열화 등급						b

3) 도장두께 평가

- 본 예제의 경우 평가수량 기준에 따라 3개 경간을 대상으로 하며, 경간별로 거더 1개(내측부 거더가 없는 경우에 해당)에 대해 조사한다.
- 1개 거더에서 5개소 측정한다.
- 1개소는 직경 40mm로서 3개 지점값의 평균값을 적용한다.
- 도장두께의 경우 육안으로 부재간의 유사한 정도를 판단하기 어려우므로 조사 대상을 모집단으로 하여 불만족 비율을 산정한다.

[표 1.91] 거더의 도장두께 평가 예

거더			
조사경간	조사 거더 번호	5개소 평균에 대한 기준 불만족 여부	판정
1	1	불만족	불만족
3	1	만족	만족
4	1	만족	만족
거더 도장두께 불만족 비율 = (불만족 거더 개수)/(조사 대상 거더 개수)×100 = 1/3×100 = 33% (c 등급)			

[표 1.92] 2차 부재의 도장두께 평가 예

2차부재			
조사경간	조사 부재 번호	5개소 평균에 대한 기준 불만족 여부	판정
1	1	불만족	불만족
	2	불만족	불만족
	3	만족	만족
3	1	만족	만족
	2	만족	만족
	3	만족	만족
4	1	만족	만족
	2	불만족	불만족
	3	만족	만족
2차부재 도장두께 불만족 비율 = (불만족 2차부재 개수)/(조사 대상 2차부재 개수)×100 = 3/9×100 = 33% (c 등급)			

4) 환경요인 평가

○ 해안 이격거리/강설횟수(제설제)/이산화황 농도 평가

[표 1.93] 환경요인 평가 예

평가지표		측정값	등급
대기 환경	해안 이격거리	동해안으로부터 44 km	a
	연간 젖음시간(일)	75일	
	이산화황 농도	0.0038 ppm	
	제설제(강설횟수)	10 회	b

5) 강제 내구성능 최종평가

○ 거더

[표 1.94] 평가항목별 가중치에 따른 거더의 내구성능 평가 예

평가지표	등급	점수	가중치	평점/100
발청 및 도장열화	b	0.2	60	0.12
도장두께	c	0.4	20	0.08
대기 환경	a	0.1	10	0.01
강설 회수	b	0.2	10	0.02
평점				0.23

○ 2차부재

[표 1.95] 평가항목별 가중치에 따른 2차부재의 내구성능 평가 예

평가지표	등급	점수	가중치	평점/100
발청 및 도장열화	b	0.2	60	0.12
도장두께	c	0.4	20	0.08
대기환경	a	0.1	10	0.01
강설 회수	b	0.2	10	0.02
평점				0.23

○ 부재별 가중치에 따라 시설물 최종 내구성능 평가

[표 1.96] 부재별 가중치에 따른 내구성능 평가 예

결함도 평가부재		부재별 평점	가중치	평점/100
상부	바닥판	—	—	—
	거더	0.23	77	0.18
	2차 부재	0.23	23	0.05
하부	교각	—	—	—
합계				0.23
시설물 강제 내구성능 등급				B

1.5.3 콘크리트 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질이며, 열화환경평가는 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 콘크리트 내구성능 평가시 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 평가에 영향을 미치지 않으며 교량의 유지관리를 위한 참고자료로 업무에 활용한다.

[표 1.97] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전항목	열화환경항목
염화물 침투량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

나. 평가대상 부재

교량의 콘크리트 내구성능 평가 대상 부재를 부재별로 분류하고, 대상부재는 콘크리트가 적용된 부재에 한정한다.

[표 1.98] 교량 콘크리트 내구성능 평가 대상 부재

부재 분류	
상부구조	바닥판, 거더
	2차부재(가로보 및 세로보)
하부구조	교대 및 교각, 주탑, 보조주탑

다. 콘크리트 내구성능 평가기준

1) 염화물 침투량

[표 1.99] 염화물 침투량 평가등급

평가 기준	평가내용		비고
	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$	
a	30년 초과	0.3 이하	
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$	
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$	
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

<해 설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 침투량 평가등급으로 설정한다.
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 “a”등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 “e”등급을 설정한 것은 차기 평가시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어설 가능성이 있기 때문이다.
- 한편, “b”, “c”, “d”등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여한다.
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 평가 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고한다.
- 철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점과 철근부 전염화물 침투량 C_r 을 평가하여 두 기준 등급 중 최솟값을 평가등급으로 한다.

2) 탄산화 깊이

[표 1.100] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	30년 초과	평가결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T: 잔여피복두께가 모든 탄산화되는 시간, D: 탄산화 깊이, t: 공용연수)
b	20년 < T ≤ 30년	
c	10년 < T ≤ 20년	
d	5년 < T ≤ 10년	
e	5년 이하	

<해 설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 도입한다.
- “e”등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 평가시점을 약 5년을 가정한다.
- 또한, 30년 초과를 “a”등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

3) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

초기 시공불량의 경우, 피복(표면부) 콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수 도 있으며, 공용 중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다.

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 1.101] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	
b	90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 < 100%	
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	
d	—	
e	—	

<해 설>

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.
- “a”등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, “b”등급은 설계값의 10% 정도로 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하될 가능성이 있다.
- “c”등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 1.102] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	
b	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$	
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	
d	—	
e	—	

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로서 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차를 있을 수 있다는 가정하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 “a”등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 “c”등급으로 설정한다.
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위이다.
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분한다.

4) 염해환경

[표 1.103] 염해환경의 평가기준(해안거리)

평가 기준	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)	비고
a	동해안	전지역	500 초과	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	1,000 초과 300 초과	
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	100 초과 20 초과	
b	동해안	전지역	$250 < X \leq 500$	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	$500 < X \leq 1000$ $120 < X \leq 300$	
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	$50 < X \leq 100$ $10 < X \leq 20$	
c	동해안	전지역	비말대 ¹⁾ $< X \leq 250$	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	비말대 $< X \leq 500$ 비말대 $< X \leq 120$	
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	비말대 $< X \leq 50$ 비말대 $< X \leq 10$	
d	—	—	—	
e	—	—	—	

주1) 여기서 비말대는 해수가 직접 닿지 않는 지역을 일컫는다.

[표 1.104] 염해환경의 평가기준(제설제)

평가항목	평가등급	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	7 < 강설일수 < 14
	c	14 < 강설일수

<해 설>

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분한다.

- 상기 2개 항목은 각각 해안인접성, 강설일수를 기본 항목으로 정하고 등급을 설정한다.
- 해안 인접성의 경우 동해와 서해를 동일한 조건으로 고려하고, 해안의 형상, 구조 및 환경에 따라 다른 해역에 비해 비교적 비래염분이 적은 남해는 동해 및 서해와 달리 완화된 등급을 부여함을 원칙으로 하였다.
- 대상 시설물의 위치(해상, 해안인근 내륙 등)에 따라 해안거리에 따른 비래염분 환경에 따른 비래염분 환경을 선별적으로 적용한다.
- 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가살포는 고려하지 않으며 강설일수가 14일 이상이면 “c” 등급을 부여한다.
- 강설일수는 최심신적설(하루동안 내린 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 취한다.

5) 동해환경

[표 1.105] 동해환경의 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$X < 3$	
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	
d	—	
e	—	

<해 설>

- X : 동결융해 반복지수(수분접촉 시)이다.
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결 융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 평가한다.
- 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단한다.

라. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

콘크리트 내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가 지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저등급을 반영한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 콘크리트 내구성능 평가시 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 평가에 영향을 미치지 않으며 교량의 유지관리를 위한 참고자료로 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경평가(전체 시설물 대상)

열화환경 평가는 제설제 염해환경, 비래염분 염해환경, 동해환경의 3개 항목에 대한 지표로 이루어진다.

열화환경평가는 해당 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리에 활용한다.

열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 1.106] 열화환경 평가등급

평가기준	열화환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길 수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

(나) 열화진전평가(부재수준의 평가)

콘크리트 내구성능 평가에 있어 열화진전평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.

- 내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트 품질의 3개 열화진전평가 지표이다.
- 세부 부재는 바닥판, 거더(2차부재), 교각/교대, 주탑으로 분류하며, 해안인근과 내륙지역으로 구분한다.

- 각 내구성능 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저값을 적용한다.
: 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복(표면부) 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.
: 다만, 피복 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균한다.
- 산출된 각 세부부재(예. 바닥판, 거더, 2차부재, 교각/교대/ 주탑 등)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 상위부재(예. 상부, 하부)의 내구성능 등급으로 도출하여 최종적으로 교량 시설물의 내구성능 평가등급을 도출한다.

교량 시설물

(부재별 가중치 적용)

상부

하부

(부재별 가중치 적용)

바닥판

거더

2차부재

교각/교대

주탑

(최저등급 적용)

(최저등급 적용)

탄산화 깊이

염화물 침투량

피복 콘크리트의 품질

측정결과별
최저등급 적용

측정결과별
최저등급 적용

측정결과 등급
점수 산술 평균

[그림 1.38] 콘크리트 내구성능 항목별 세부 평가방법

3) 결함도 지수

각 내구성능 등급별 결함도 지수와 등급산정을 위한 결함도 지수 범위는 아래와 같다.

[표 1.107] 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

[표 1.108] 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

(다) 부재 종류별 가중치

① 일반교량

[표 1.109] 일반교량의 부재별 가중치

구분	평가부재		슬래브 교량	거더교량					라멘교		
				일반 거더교			바닥판·거더 일체형		거더없음	거더	
				일반	2차 부재 없음	바닥판 없음	강바닥판	PSC 박스		2차 부재	2차 부재 없음
콘크리트	상부	바닥판	50	33	31	—	—	35	50	30	30
		거더	—	35	44	55	55	35	—	30	35
		2차 부재	—	7	—	10	10	5	—	7	—
	하부	교각/ 교대	50	25	25	35	35	25	50	33	35

<해설>

- 부재가 없는 경우, 평가가 수행되지 않았을 경우, 해당하는 부재의 가중치는 조사가 수행된 부재에 균등하게 배분한다.

② 특수교량

[표 1.110] 케이블 교량의 부재별 가중치

구분	결함도 평가부재		아치교/트러스교		현수교		사장교		엑스트라도즈드 교	
			바닥판	바닥판 없음	일반 거더형	보강형, PSC 거더형	일반 거더형	보강형, PSC 거더형	일반 거더형	PSC 거더형
콘크리트	상부	바닥판	26	—	15	—	15	—	25	—
		거더	41	50	15	40	15	40	25	65
		2차 부재	8	15	10	—	10	—	15	—
	하부	주탑	—	—	45	45	40	40	15	15
		보조 주탑	—	—	15	15	10	10	10	10
		교각/ 교대	25	35	—	—	10	10	10	10

<해설>

- 보조주탑이 없는 경우, 보조주탑에 부여된 가중치는 주탑의 가중치에 합산한다.
- 부재가 없는 경우, 평가가 수행되지 않았을 경우, 해당하는 부재의 가중치는 조사가 수행된 부재에 균등하게 배분한다.

(다) 세부부재 등급 산정에 따라 시설물 전체 등급 산정

교량 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 1.111] 일반교량의 열화진전 평가

시설명	평가등급	형식	부재명	평가등급
일반교량	A~E	상부	바닥판	a~e
			거더	a~e
			2차부재	a~e
		하부	바닥판	a~e

[표 1.112] 특수교량의 열화진전 평가

시설명	평가등급	형식	부재명	평가등급
특수교량	A~E	상부	바닥판	a~e
			거더	a~e
			2차부재	a~e
		하부	주탑	a~e
			보조주탑	a~e
			교각/교대	a~e

[표 1.113] 열화환경 평가

열화환경지표		평가등급	교량의 주요 대상 부재
제설제 염해환경		A or B or C	주로 교량의 바닥판 및 기타 상부부재가 해당되며, 바닥판에 관통균열이 있을 경우 하부의 거더에도 영향을 미칠 수 있으며, 신축이음부에 누수가 있을 경우 교좌, 교대 등으로 확대될 수 있음
비래염분 염해환경	해안거리에 따른 비래염분 염해환경	A or B or C	전체 시설물 대상이지만, 비래염분이 발생하는 해안쪽의 부재가 상대적으로 열악한 환경에 놓이게 됨
동해환경		A or B or C	전체 시설물에서 국부적으로 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

마. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 예시

1) 대상 교량 제원

[표 1.114] 대상 교량 제원

교량형식		콘크리트 박스 거더교(도로교)
경간장 및 경간수		50@5 = 250m
교폭		15m
바닥판의 높이		20m
거더 갯수		2
2차 부재		L=1.5m, 교축방향 5m 간격 설치
바닥판		일반 RC
교각		일반 RC
피복 두께		50mm
공용연수		20년
위치	지역	강원도 속초
	해안 이격거리	300m

2) 열화환경 평가

- 대상 교량은 해상 교량이 아니라, 해안 내륙에 위치한 교량이므로 해안거리에 따른 염해환경을 평가한다.
- 대상 교량은 동해안에 위치하기 때문에 해안거리에 따른 동해안의 비래염분 염해환경은 B등급으로 평가된다.
- 강원도 속초지역의 평균 강설일수는 12.1일로 제설제 염해환경 또한 B등급으로 평가된다.
- 또한 해당 지역의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 5.1회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 45.3회로서 동결융해 환경은 B등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우도 동결융해 사이클이 연평균 5.1회로서 동결융해의 피해를 입을 수 있음을 확인된다.

3) 열화진전 평가

(가) 염화물 침투량

- 염화물 침투량 시험은 3개소 이상에서 실시하도록 규정하고 있으며, 예시에서는 교각 1개소, 바닥판 1개소, 거더 1개소에서 측정된 것으로 가정한다.
- 대상 교량의 피복두께는 50mm이며, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과를 확보한다.

[표 1.115] 염화물 침투량 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재명	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				평가결과
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물 침투량	바닥판	1.5	1.05	0.4	0.1	a
	거더	1.5	0.98	0.4	0.1	a
	2차부재	—	—	—	—	—
	교각/교대	4.5	3.5	1.8	0.8	c

[표 1.116] 염화물 확산계수 산출

계산 항목	세부 부재명	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)
염화물 확산계수	바닥판	—	—	0.103	—
	거더	—	—	0.103	—
	2차부재	—	—	—	—
	교각/교대	—	—	—	0.194

<해 설>

- 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있다.

[표 1.117] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재명	계산 결과 (year)	평가결과
철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	바닥판	30년 초과	a
	거더	30년 초과	a
	2차부재	—	—
	교각/교대	30년 초과	a

[표 1.118] 염화물량 평가등급

세부 부재명	염화물 침투량 평가 등급
바닥판	a
거더	a
2차부재	—
교각/교대	c

(나) 탄산화 깊이

- 대상 교량은 5경간 이상으로 측정 개소는 상부/하부에서 총 6~9개소를 측정하도록 규정됨에 따라 8개소에서 측정하였다.(부재별 최소 1개소 이상)
- 각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저등급을 대상부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 한다.

[표 1.119] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재명	탄산화 깊이 (mm)		탄산화 속도계수		잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)		개별 평가등급		평가 결과
		No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	
탄산화 깊이	바닥판	10	9	2.2	2.0	30년 초과	30년 초과	a	a	a
	거더	8	9	1.8	2.0	30년 초과	30년 초과	a	a	a
	2차부재	9	9	2.0	2.0	30년 초과	30년 초과	a	a	a
	교각/교대	28	32	6.3	7.2	30년 초과	19	a	b	b

(다) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 대상 교량의 상부에서 2개소/50m, 하부에서 교각당 1개소당 1회를 측정한다.

[표 1.120] 피복(표면부) 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가 항목	부재 그룹명	세부 부재명	설계값 대비 강도추정값(%)	비건전부/건전부 비율(%)	개별 평가등급		평가 결과
피복 콘크리트의 품질	상부	바닥판	105	—	a	—	a
		거더	—	98	—	a	a
		2차부재	—	—	—	—	—
	하부	교각/교대	교대1	120	—	a	b (평균값)
			교각1	—	92	—	
			교각2	105	—	a	
			교각3	—	98	—	
			교각4	95	—	b	
			교대2	—	94	—	
						b	

⑤ 콘크리트 내구성능 평가

[표 1.121] 일반콘크리트 거더교의 콘크리트 내구성능 평가

부재 그룹	세부 부재명(가중치, %)	항목별 평가결과				
		염화물 침투량	탄산화 깊이	피복콘크리 트의 품질	부재	비고
상부	바닥판 (33)	a	a	a	a	0.1
	거더 (35)	a	a	a	a	0.1
	2차부재 (7)	—	a	—	a	0.1
하부	교각/교대 (25)	c	b	b	c	0.4
		결함도 지수	$(0.1 \times 33 + 0.1 \times 35 + 0.1 \times 7 + 0.4 \times 25) / 100 =$ 0.175			
		등급	B			

[표 1.122] 열화환경지표의 평가

열화환경지표		평가등급
제설제 염해환경		B
비래염분 염해환경	해안거리에 따른 비래염분 염해환경	B
동해환경		B

1.5.4 내구성능 평가 결과산정방법

재료적으로 강재 및 콘크리트 부재가 함께 사용된 교량의 경우 각 부재의 강재 내구성능 및 콘크리트 내구성능을 평가하고, 종합 내구등급을 산정한다.

강재 및 콘크리트 내구성능 결함도 지수를 적용하며, 내구성능등급은 [표1.84] 및 [표 108]의 등급산정을 위한 결함도 지수 범위를 활용한다.

[표 1.123] 일반교량 종합내구성능 평가를 위한 가중치

구분				내구성능 가중치		
				콘크리트	강재	
슬래브교				1.0	—	
일반거더교	일반	콘크리트 거더교		1.0	—	
		강거더교		0.60 (0.40)	0.40 (0.60)	
	2차부재 없음	콘크리트 거더교		1.0	—	
		강거더교		0.60 (0.40)	0.40 (0.60)	
	바닥판 없음		강거더교		0.34 (0.10)	0.66 (0.90)
	바닥판·거더 일체형	강바닥판			0.32 (0.11)	0.68 (0.89)
PSC 박스거더			1.0	—		
라멘교	거더 없음			1.0	—	
	거더 있음	콘크리트 거더		1.0	—	
		강합성 거더	2차부재 있음	0.65	0.35	
			2차부재 없음	0.69	0.31	

<해 설>

- ()의 수치는 교각이 강재로 된 경우

[표 1.124] 특수교량 종합내구성능 평가를 위한 가중치

구분			내구성능 가중치	
			콘크리트	강재
아치/트러스	콘크리트 바닥판		0.55	0.45
	강바닥판		(0.35)	(0.65)
현수교	일반 거더형	강상판형 거더	0.40 (0.16)	0.60 (0.84)
		강합성형 거더	0.51 (0.27)	0.49 (0.73)
	보강형		0.40 (0.16)	0.60 (0.84)
	PSC 거더		0.67 (0.43)	0.33 (0.57)
사장교	일반 거더형	강상판형 거더	0.40 (0.13)	0.60 (0.87)
		강합성형 거더	0.52 (0.25)	0.48 (0.75)
	보강형		0.40 (0.13)	0.60 (0.87)
	PSC 거더		0.69 (0.43)	0.31 (0.57)
엑스트라 도즈드교	일반거더형	강상판형 거더	0.40 (0.13)	0.60 (0.87)
		강합성형 거더	0.53 (0.27)	0.47 (0.73)
	PSC 거더		0.73 (0.47)	0.27 (0.53)

<해 설>

- ()의 수치는 하부구조(주탑/교각)이 강재로 된 경우

1.6 사용성능 평가 기준 및 방법

1.6.1 일반

교량의 사용성능 평가는 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적을 만족하기 위한 성능으로 정의한다.

시설물의 사용성능은 사용성과 기능성으로 구분되며, 사용성은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

각 성능별로 세부지표의 평가 결과를 가중치를 반영하여 사용성능 평가 등급으로 결정한다.

9.6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

교량의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성과 기능성으로 구분하고 시설물의 특징을 반영하여 도출한다.

교량에서는 서비스의 성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 사용자의 만족도 측면에서 사용성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 선정한다.

나. 세부지표의 평가범위

1) 도로교량

도로교량의 사용성능은 사용성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표로 포장상태, 교량조명, 진동사용성, 점검시설, 교통량으로 도출하고 a~e로 적용한다.

[표 1.125] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성능	사용성	포장상태	a, b, c, d, e
		교량조명	a, b, c, d, e
		진동사용성	a, b, c, d, e
기능성	유지관리성	점검시설	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	교통량	a, b, c, d, e

도로교량의 사용성능은 포장상태, 교량조명 등 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 책임기술자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

2) 철도교량

철도교량의 사용성능은 사용성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표를 도출하고 승차감은 a, b, d로, 점검시설과 통행량은 a~e로 적용한다.

[표 1.126] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성능	사용성	승차감	a, b, d
기능성	유지관리성	점검시설	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	통행량	a, b, c, d, e

철도교량의 사용성능은 승차감과 같이 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 책임기술자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 도로교량

(가) 사용성

① 포장상태

○ 고속도로(HPCI)

[표 1.127] 고속도로 포장상태 성능평가 기준

평가기준	평가내용	
	HPCI 범위	설명
a	4.0 초과	매우양호
b	$3.5 < \text{HPCI} \leq 4.0$	양호
c	$3.0 < \text{HPCI} \leq 3.5$	보통
d	$2.0 < \text{HPCI} \leq 3.0$	불량
e	2.0 미만	매우불량

<해 설>

- 본 성능평가기준은 고속도로의 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 적용한다.
- 고속도로의 포장상태지수 관리기준은 다음과 같고 아스팔트포장과 콘크리트 포장을 구분하여 적용한다.
- HPCI 산정식

아스팔트 포장: $\text{HPCI}_{10m} = 5 - 0.54 \times \text{IRI}^{0.8} - 0.75 \times \text{RD}^{1.2} - 0.9 \times \log(1 + 10 \times \text{SD})$

콘크리트포장: $\text{HPCI}_{10m} = 5 - 0.8 \times \text{IRI}^{0.7} - 0.85 \times \log(1 + 10 \times 2.5\text{SD})$

$$\text{여기서, } HPCI_{100m} = \sum_n^{n+10} (HPCI_{10m})$$

IRI (international roughness index) = 국제 평탄성 지수 (m/km)

RD(RUT depth) = 차바퀴 패임량(cm)

SD(Surface distress) = 노면 손상 환산 면적(m²)

$$SD = \sum \text{각 선상 균열길이} \times 0.15 + \sum \text{각 면상 균열면적}$$

- 콘크리트, 아스팔트 포장의 HPCI 등급기준에서 제시된 7등급 단계에서 3,4등급을 평가 등급의 C등급으로 5,6등급을 D등급으로 환산하여 평가 등급을 산정한다.
- IRI (국제평탄성지수) : 주행중 운전자가 느끼는 노면의 요철에 의한 진동을 표현할 수 있는 지수로 도로공사에서는 전문조사차량을 이용하여 노면 요철을 측정하여 프로그램으로 산출하고 그에 따른 DB를 구축하고 있다.
- RD (소성변형량): 광학적 라인을 비추어 라인의 굴곡을 이미지로 획득하여 이미지 처리를 거쳐 노면의 굴곡을 측정하는 방식이다.
- SD(표면손상) : 조사차량을 이용하여 10m간격으로 노면영상을 촬영하고 손상면적을 산정한다.

○ 일반도로(NHPCI)

[표 1.128] 일반도로 포장상태 성능평가 기준

평가기준	평가내용	
	NHPCI 범위	설명
a	6.0 초과	매우우수
b	$5.5 < \text{NHPCI} \leq 6.0$	우수
c	$4.0 < \text{NHPCI} \leq 5.5$	보통
d	$2.0 < \text{NHPCI} \leq 4.0$	불량
e	$0.0 < \text{NHPCI} \leq 2.0$	매우불량

<해 설>

- 본 성능평가기준은 고속도로의 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 적용함
- 일반국도 포장상태 평가지수인 NHPCI(National Highway Pavement Condition Index) 개발은 국도관리사무소의 관리자, 산·학·연 포장전문가로 구성된 패널의 현장조사 자료를 통계 분석하여 다음과 같은 식을 개발하였다.

$$\text{NHPCI} = \frac{1}{(0.33 + 0.003 \times X_{CR} + 0.004 \times X_{RD} + 0.0183 \times X_{IRI})^2}$$

이때, X_{CR} : 균열률(%)

X_{RD} : 소성변형(mm)

X_{IRI} : 종단평탄성(m/km)

② 교량조명

[표 1.129] 교량 조명의 성능평가 기준

평가 기준	평가내용	
	작동유무	설치상태
a	조명이 새로 신설되었으며, 모든 조명 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급 보다 높은 상태
b	모든 조명의 90% 이상 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급의 90% 이상
c	모든 조명의 80% 이상 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급의 80% 이상
d	모든 조명의 70% 이상 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급의 70% 이상
e	모든 조명의 70% 미만 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급의 70% 미만

<해 설>

- 평가기준은 「도로안전시설 설치 및 관리지침」의 도로 및 교통의 종류에 따른 도로조명 등급을 기준으로 적용한다. 따라서 해당 도로가 아래표의 도로 조명 등급에서 해당하는 등급을 먼저 산정하고 그 기준을 제대로 충족하는지를 기준으로 성능을 평가한다.
- 단, 교량 조명이 설치되어 있지 않을 경우 이 지표를 제외하고 나머지 지표로 도로(교량)에 대한 사용성능 평가를 수행한다.

[표 1.130] 운전자에 대한 도로조명의 휘도 기준

도로 조명 등급	평균 노면 휘도(최소허용치) [cd/m^2]
M1	2.0
M2	1.5
M3	1.0
M4	0.75
M5	0.5

- 교량 조명의 경우 차량주행 중 운전자가 느끼는 시인성에 집중하여 차선에 대한 노면휘도를 평가한다.

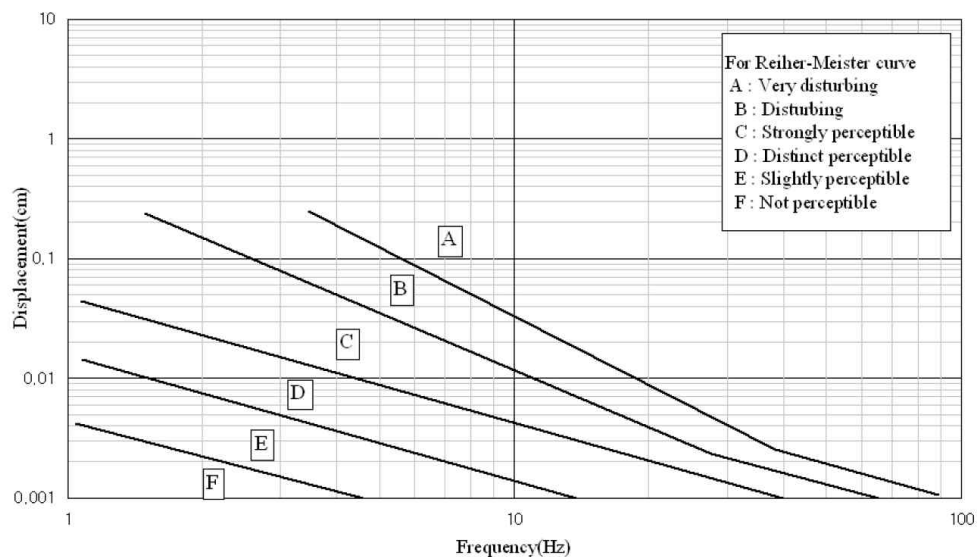
③ 진동사용성

[표 1.131] 진동사용성의 성능평가 기준

평가기준	평가내용
a	E, F 구간: 인지할 수 없거나 거의 인지할 수 없는 상태
b	D 구간: 약간 인지할 수 있는 상태
c	C 구간: 강하게 인지할 수 있는 상태
d	B 구간: 불안감이 조성되는 상태
e	A 구간: 매우 불안감이 조성되는 상태

<해 설>

- 본 성능평가의 기준은 진동으로 인하여 사람들이 느끼는 감각정도를 평가하는 Reiher-Meister(1931)의 허용곡선을 이용하여 적용한다. 진동사용성 측정 시 가장 통행량이 많은 일(Day)을 기준으로 24시간 측정하여 평가한다.



[그림 1.39] Reiher-Meister(1931)의 허용곡선

- 위 그림에서 a등급은 EF구간, b등급은 D구간, c등급은 C구간, d등급은 B구간, e등급은 A구간을 기준으로 적용한다.
- 도로 이용자가 교량 통과시 진동으로 인하여 느끼는 감각정도를 평가하기 위한 시험으로써 교량 이용차량 통과시 교량 거더의 진동수(Frequency, Hz)와 변위(Displacement, mm)를 측정한다.

(나) 유지관리성

① 점검시설

○ 일반교량

[표 1.132] 일반교량의 점검시설 성능평가 기준

평가 기준	평가내용	
	설치 유무	설치상태
a	점검로가 교각마다 모두 설치 되어 있을 때	점검로가 신설되어 모두 양호한 상태
b	점검로가 교각의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로가 모두 양호한 상태
c	점검로가 교각의 60% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로의 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요 할때
d	점검로가 교각의 40% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로의 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요 할때
e	점검로가 교각의 40% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 점검로의 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요한 상태

<해 설>

- 도로(일반교량)의 유지관리를 위하여 가장 필수적인 점검로의 설치유무 및 설치된 점검로의 상태를 평가한다. 조사방법은 육안조사를 통하여 5등급으로 평가하며 여기서 점검로는 교각의 점검로를 의미한다.
- 단, 교량의 구조형식에 따라 점검로 설치가 불가능한 경우는 해당 지표를 제외하고 등급 평가한다.

○ 특수교량

[표 1.133] 특수교량의 점검시설 성능평가 기준

평점 기준	평가내용	
	설치 유무	설치 상태
a	점검로와 레일이 교각마다 모두 설치되어 있을 때	점검로와 레일이 신설되어 모두 양호한 상태
b	점검로와 레일이 교각의 90% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로와 레일이 모두 양호한 상태
c	점검로와 레일이 교각의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로와 레일의 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요 할때
d	점검로와 레일이 교각의 70% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로와 레일의 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요 할때
e	점검로와 레일이 교각의 70% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 점검로와 레일의 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요한 상태

<해 설>

- 도로(특수교량)의 유지관리를 위하여 가장 필수적인 점검로와 레일의 설치유무 및 설치된 점검로와 레일의 상태를 평가한다. 조사방법은 육안조사를 통하여 5등급으로 평가한다.

(다) 수요 및 용량

① 교통량

[표 1.134] 교통량의 성능평가 기준

평가기준	평가내용
a	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 100 이상 일때
b	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 90 이상 100미만 일때
c	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 80 이상 90미만 일때
d	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70 이상 80미만 일때
e	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70이하 일때

<해 설>

- 도로 이용객의 이용 편의를 고려하여, 수요실제값 대비 수요예측값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가를 수행한다.
- 단위는 대/일을 사용한다.

2) 철도교량

(가) 사용성

① 승차감

[표 1.135] 승차감 성능평가 기준

평가 기준	평가내용	비고
a	속도 및 연장별 최대연직처짐 제한을 만족하고, 이전 실측치 이하인 경우	- a 또는 b등급에 해당하는 경우, 이전 실측치가 없으면 a등급으로 평가
b	속도 및 연장별 최대연직처짐 제한을 만족하고, 이전 실측치를 초과하는 경우	
d	속도 및 연장별 최대연직처짐 제한을 초과하는 경우	

<해설>

- 실제 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최댓값과 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최댓값 중 불리한 값이 아래표의 제한치를 만족해야 한다.

[표 1.136] 최대 연직처짐 제한(승차감: 매우양호)

설계속도 (V) (km/h)	거더 또는 부재의 경간(m)										
	0~20	25	30	35	40	45	50	55	60~75	80~95	100~120
270<V≤350	L /1500	L /1500	L /1600	L /1750	L /1900	L /2100	L /2200	L /2350	L /2500	L /2200	L /1900
200<V≤270	L /1300	L /1400	L /1500	L /1600	L /1700	L /1900	L /2000	L /2100	L /2000	L /1700	L /1400
V≤200	L /1100	L /1200	L /1300	L /1500	L /1500	L /1400	L /1300	L /1200	L /1100	L /800	L /600

(나) 유지관리성

① 점검시설

[표 1.137] 점검시설 성능평가 기준

평가 기준	평가내용	
	설치 유무	설치상태
a	점검로가 교각마다 모두 설치 되어 있을 때	점검로가 신설되어 모두 양호한 상태
b	점검로가 교각의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로가 모두 양호한 상태
c	점검로가 교각의 60% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로의 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요 할때
d	점검로가 교각의 40% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로의 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요 할때
e	점검로가 교각의 40% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 점검로의 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요한 상태

<해 설>

- 철도교량의 유지관리를 위하여 가장 필수적인 점검로의 설치유무 및 설치된 점검로의 상태를 평가한다. 조사방법은 육안조사를 통하여 5등급으로 평가하며 여기서 점검로는 교각의 점검로를 의미한다.
- 단, 교량의 구조형식에 따라 점검로 설치가 불가능한 경우는 해당 지표를 제외하고 등급 평가한다.

(다) 수요 및 용량

① 통행량

[표 1.138] 통행량 성능평가 기준

평가기준	평가내용
a	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 100 이상 일때
b	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 90 이상 100미만 일때
c	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 80 이상 90미만 일때
d	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70 이상 80미만 일때
e	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70이하 일때

<해 설>

- 철도 이용객의 이용 편의를 고려하여, 수요실제값 대비 수요예측값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가를 수행한다.
- 단위는 인/일을 사용한다.
- 단, 통행횟수는 일반철도 교량과 고속철도 교량을 구분하여 적용할 수 있다.

[표 1.139] 일 통행횟수 성능평가 기준 (고속철도)

평가기준	평가내용
a	일일 통행 횟수가 60회 미만 일 때
b	일일 통행 횟수가 60~120회 일 때
c	일일 통행 횟수가 120~180회 일 때
d	일일 통행 횟수가 180~240회 일 때
e	일일 통행 횟수가 240회 이상 일 때

[표 1.140] 구간별 일통행 횟수(고속철도)

구간	통행횟수
진주-마산	6
서울-인천공항	11
마산-동대구	14
포항-동대구	14
여수엑스포-익산	15
서울-행신	24
목포-광주송정	27
광주송정-익산	43
지제-수서	58
익산-서대전	63
서대전-오송	67
부산-동대구	101
용산-서울	104
동대구-대전	131
대전-오송	133
광명-용산	142
오송-천안아산	200
평균	68

[표 1.141] 일 통행횟수 성능평가 기준 (일반철도)

평가기준	평가내용
a	일일 통행 횟수가 25회 미만 일 때
b	일일 통행 횟수가 25~50회 일 때
c	일일 통행 횟수가 50~75회 일 때
d	일일 통행 횟수가 75~100회 일 때
e	일일 통행 횟수가 100회 이상 일 때

[표 1.142] 구간별 일통행 횟수(일반철도)

구간	통행횟수	구간	통행횟수	구간	통행횟수
태화강-경주	3	안동-영주	10	경주-영천	22
광주주송정-서광주	3	동백산-정동진	11	부산-구포	28
영주-동백산	4	백마고지-동두천	11	서대전-천안	28
구포-영주	4	마산-동대구	13	익산-서대전	29
서광주-순천	4	익산-신창	14	구포-밀양	30
순천-전주	4	여수엑스포-익산	14	밀양-동대구	33
영천-안동	5	신해운대-태화강	15	동대구-대전	33
부전-구포	6	태화강-경주	15	대전-전의	33
동백산-제천	7	신창-천안	16	전의-천안	34
오송-대전	8	신해운대-부전	17	용산-서울	36
진주-마산	8	영천-동대구	17	영등포-용산	78
제천-오송	9	광주송정-익산	18	천안-영등포	80
영주-제천	9	제천-청량리	18	평균	19

마. 사용성능 평가 결과 산정 방법

1) 세부지표별 가중치

도로교량, 철도교량 각 성능지표의 세부지표는 다음과 같다.

(가) 도로교량

[표 1.143] 도로교량의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구 분	포장상태	교량조명	진동사용성	점검시설	교통량
가중치	0.247	0.150	0.202	0.206	0.195

<해 설>

- 구조형식 및 책임기술자 판단에 따라 평가가 이루어지지 않은 지표는 해당지표의 가중치를 제외하고 평가한다.

(나) 철도교량

[표 1.144] 철도교량의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구 분	승차감	점검시설	통행량
가중치	0.5	0.14	0.36

<해 설>

- 구조형식 및 책임기술자 판단에 따라 평가가 이루어지지 않은 지표는 해당지표의 가중치를 제외하고 평가한다.

2) 사용성능 평가 결과 산정

최종 사용성능 평가 결과 산정 절차는 다음과 같다.

$$\text{사용성능평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w= 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c= 각 세부지표별 평가 결과

3) 최종평가결과

교량 성능평가를 적용할 때, 사용성능 결과를 결함도 지수로 환산한다. 사용성능 평가 결과는 아래의 표와 같이 결함도 지수를 활용하여 종합성능평가에 적용한다.

[표 1.145] 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

[표 1.146] 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

바. 사용성능 평가 결과 산정 예시

1) 성능지표 평가

(가) 포장상태 평가

- 고속도로와 국도에 대한 PMS의 정보를 활용하거나 실제 측정값을 적용하여 평가 등급을 산정한다.
- 측정결과, NHPCI값이 5.2~6.9의 값으로 나타났으며, 최저값 5.2에 대한 평가등급 적용시 c등급으로 나타난다.

[표 1.147] NHPCI 분석 결과

조사번호	호선	조사연장 (km)	평균			NHPCI
			균열율 (%)	종단평탄성 (IRI)	소성변경 (RD)	
00대교 (상행1차로)	46	0.890	0.37	1.95	3.62	6.9
00대교 (상행2차로)	46	0.930	14.86	1.88	7.51	5.2
00대교 (하행1차로)	46	0.910	3.91	3.32	6.96	5.5
00대교 (하행2차로)	46	0.930	7.34	2.98	8.62	5.2

(나) 교량 조명

- 조명의 작동여부와 설치상태를 평가하여 낮은 등급을 적용한다.
- 휘도는 10회 측정 후 측정된 값 중 최저값과 최댓값을 제외한 평균값을 적용한다.
- 전체 조명이 정상적으로 작동하고 있었으며 휘도의 측정값은 아래와 같다.

[표 1.148] 휘도 측정값

No	외곽차선 휘도	중앙차선 휘도
1	0.98	0.77
2	0.57	0.84
3	0.83	0.98
4	0.88	0.92
5	1.51	0.72
6	0.70	1.0
7	0.45	0.71
8	0.53	0.61
9	0.85	0.75
10	0.50	1.39
평균(최댓값, 최솟값 제외)	0.73	0.84

- 해당 도로는 M3에 해당하며 평균노면 휘도는 $1.0 [cd/m^2]$ 이 해당한다. 외곽차선 휘도와 중앙차선 휘도 중 낮은 값(0.73)을 적용하면 70%이상으로 d등급에 해당된다.

(다) 진동사용성

- 가장 통행량이 많은 일(Day)을 기준으로 24시간 측정하여 적용한다.
- 거더 경간 중앙부에 센서를 설치하여 측정하며 계측 데이터 중 유효데이터를 선별하여 적용한다.
- 계측 데이터 중 유효 데이터를 [표 1.149]와 같이 선별하였으며, 처짐의 최댓값은 5.55로 측정되었다.

[표 1.149] 처짐

구 분	측정센서		비 고
	처짐1	처짐2	
T1	- 0.85	- 1.13	
T2	- 4.51	- 5.38	
T3	- 4.26	- 4.81	
T4	- 4.98	- 5.34	
T5	- 4.25	- 5.07	
T6	- 4.34	- 5.31	
T7	- 4.65	- 5.55	max.

- 고유진동수 측정결과 중 유효한 데이터를 [표 1.150]과 같이 선별하였으며, 고유진동수 최댓값은 3.14 계산되었다.
- 따라서, 처침값 5.55, 고유진동수 3.14에 해당되는 구간은 A구간으로 나타났으며, e등급(매우 불안감이 조성되는 상태)으로 평가되었다.

[표 1.150] 고유진동수

구 분	고유진동수(Hz)		비 고
	1차	2차	
T1	2.02	2.33	
T2	2.33	3.14	max
T3	2.14	2.32	
T4	2.61	3.03	
T5	2.13	2.62	
T6	2.20	2.63	
T7	2.20	2.57	

(라) 점검시설

- 교량 점검시설의 설치유무와 설치 상태를 평가하여 낮은 등급으로 적용한다.
- 총 교각의 개수는 12개이며 점검로는 교각마다 설치되어 있고, 2개의 점검로가 수리가 필요하다.
- 따라서 설치유무는 a등급 설치상태는 c등급으로 평가되어 해당 세부지표의 등급은 c등급으로 평가되었다.

(마) 교통량

- 수요 예측과 소요실제를 비교하여 평가한다.
- 수요 예측은 8000/일 이며 수요 실제는 6000/일로 133%로 산정되어 a등급으로 평가되었다.

2) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능등급 산정

[표 1.151] 사용성능 평가

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
사용성능	사용성	포장상태	0.247	c	0.4
		교량조명	0.150	d	0.7
		진동사용성	0.202	e	1
기능성	유지관리성	점검시설의 유무	0.206	c	0.4
	수요 및 용량	교통량	0.195	a	0.1
				결함도 지수	0.508
				등급	D

- 사용성능 최종 등급을 산정하면, 0.4×0.247 (포장상태) + 0.7×0.150 (교량조명) + 1×0.202 (진동사용성) + 0.4×0.206 (점검시설의 유무) + 0.1×0.195 (교통수요) = 0.508.

1.7 종합평가 기준 및 방법

1.7.1 종합평가 기준

(가) 성능간 가중치 산정

종합평가 성능항목간 가중치는 도로교량의 경우 일반국도, 고속국도 교량으로 구분하며, 철도교량의 경우 일반철도, 고속철도로 구분하여 성능간 가중치를 적용하여 평가한다.

[표 1.152] 일반국도교량의 종합평가 산정기준

구분	성능항목		
	안전성능	내구성능	사용성능
성능간 가중치(W_n)	0.68	0.21	0.11

[표 1.153] 고속국도교량의 종합평가 산정기준

구분	성능항목		
	안전성능	내구성능	사용성능
성능간 가중치(W_n)	0.68	0.19	0.13

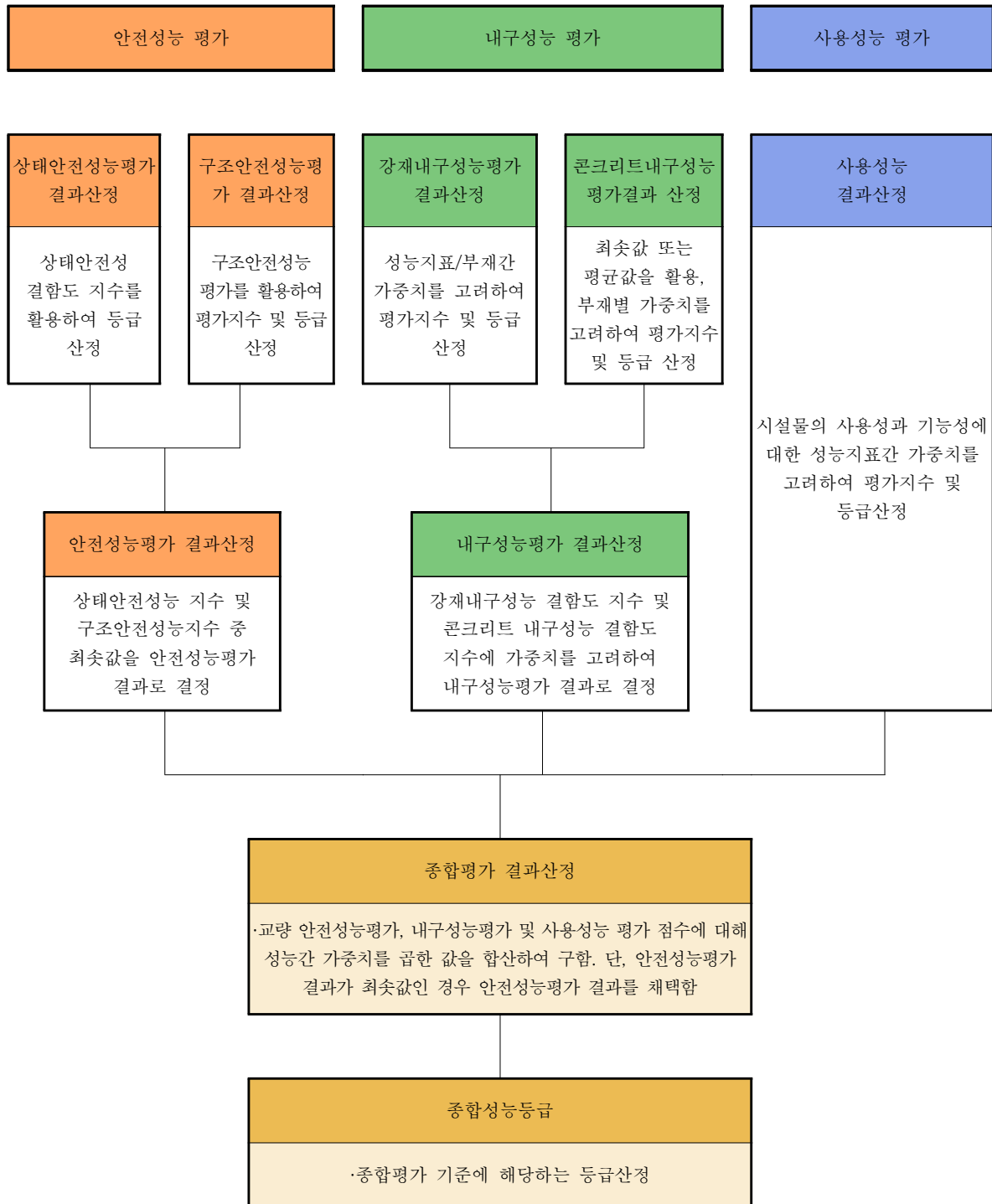
[표 1.154] 일반철도교량의 종합평가 산정기준

구분	성능항목		
	안전성능	내구성능	사용성능
성능간 가중치(W_n)	0.71	0.18	0.11

[표 1.155] 고속철도교량의 종합평가 산정기준

구분	성능항목		
	안전성능	내구성능	사용성능
성능간 가중치(W_n)	0.73	0.16	0.11

(나) 최종 등급 산정을 위한 평가체계



[그림 1.40] 교량의 종합성능등급 지정 절차

1.7.2 종합평가 결과 산정 방법

가. 종합평가 결과 산정

종합평가 산정시, 각 성능(안전성능, 내구성능, 사용성능)간 결합도 점수를 가중평균하여 종합성능등급 도출한다.

종합평가의 산정방법은 안전성능평가, 내구성능평가 및 사용성능평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

단, 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급을 비교하여 안전성능 등급이 가장 낮을 경우 구조물의 위험성을 고려하여 안전성능등급을 종합성능등급으로 지정한다.

$$\text{종합평가 점수}(E) = \sum[\text{성능별 결합도 점수}(X_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n)]$$

여기서, E_n : 성능별 결합도 점수

W_n : 성능간 가중치

(단, 안전성능이 확보되지 않을 경우, 안전성능등급 = 종합성능등급)

각 성능간 중요도를 고려하여 산정한 교량 종합성능등급은 아래 표와 같다.

[표 1.156] 교량 종합성능등급 기준

평가등급	평가점수	시설물의 상태
	범위	
A (우수)	$0 \leq E < 0.13$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$0.13 \leq E < 0.26$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.26 \leq E < 0.49$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.49 \leq E < 0.79$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.79 \leq E$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

나. 종합평가 결과 산정 예

교량 종합평가 결과 산정 방법은 [표 1.157]와 같다.

[표 1.157] 교량 종합성능등급 결과산정 예

시설물 종합성능등급 결과 산정표			
시설물명	일반국도 교량		
평가구분	성능별 결함도 점수 (X_n)	평가등급	성능간 가중치 (W_n)
안전성능 평가	0.257	b	0.68
내구성능 평가	0.214	b	0.21
사용성능 평가	0.459	c	0.11
종합평가 결과	$= 0.257 \times 0.68 + 0.214 \times 0.21 + 0.459 \times 0.11$ $= 0.270$ $\therefore \text{B 등급}$		

1.7.3 복합구조 형식 종합평가 기준 산정

가. 복합구조 형식 종합평가 기준

길이와 차선에 따른 가중치를 적용하여 종합평가 시 본교와 접속교 및 램프교를 모두 포함하여 최종 상태안전성능 결과를 산정한다.

전체교량은 본교, 접속교, 다수의 램프교로 구성되며 각각의 차선수에 따른 폭이 다르므로 차선은 가중치가 되고 연장비 계산에서 연장은 연장에 차선수를 곱한 값으로 한다.

1) 본교

같은 구조형식별로 분류한 후 부재별로 평균한다. 구조형식에 따른 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다.

(가) 본교 전체의 종합평가

본교 전체의 안전성능, 내구성능, 사용성능을 구조형식별로 산정한 후 종합평가환산 결함도 점수에 연장비를 곱한 후 전체를 합하여 산정한다.

[표 1.158] 복합구조 형식 본교 종합성능등급 결과산정 예(일반국도의 경우)

구 분	구조형식	안전 성능	내구 성능	사용 성능	종합성능 환산결함도 점수	상태안전 성능 결과	연장(m)	연장비	종합성능 환산결함도점수 × 연장비
본교	강거더교	0.257	0.214	0.459	0.270	C	2,000	0.571	0.154
	라멘교	0.187	0.245	0.242	0.205	B	1,000	0.286	0.059
	PSC박스 교	0.296	0.278	0.356	0.299	C	500	0.143	0.043
									0.256
									B

(나) 접속교

본교 기준에 준하여 평가한다.

(다) 램프교

램프교의 경우에는 각 램프에 대해 별도로 평가하며, 램프교 전체를 대표하는 종합평가 결과는 산정하지 않는다.

4) 전체 교량의 대표 종합평가 결과 산정

- 길이와 차선에 따른 가중치를 적용하여 종합평가 시 본교와 접속교 및 램프교를 모두 포함하여 최종 종합평가 환산 결함도 점수 결과를 산정한다.

[표 1.159] 전체교량 복합구조 형식 종합성능등급 결과산정 예

종류	구분	종합성능 환산결함도 점수	상태안전 성능 결과	연장(m)	차선	길이 × 차선	연장비	환산결함도점수 ×연장비
교량	본교	0.256	B	3,500	4	14,000	0.500	0.128
	접속교	0.266	C	3,000	4	12,000	0.429	0.114
	B램프교	0.187	B	200	2	400	0.014	0.003
	C램프교	0.236	B	100	2	200	0.007	0.002
	D램프교	0.625	D	100	2	200	0.007	0.004
	E램프교	0.285	C	300	2	600	0.021	0.006
	N램프교	0.176	B	200	2	400	0.014	0.003
	O램프교	0.294	C	100	2	200	0.007	0.002
								0.262
								C

제2장 터 널

2.1 관리일반

2.2 현장조사

2.3 재료시험 항목 및 수량

2.4 안전성능 평가 기준 및 방법

2.5 내구성능 평가 기준 및 방법

2.6 사용성능 평가 기준 및 방법

2.7 종합평가 기준 및 방법

제2장 터널

2.1 관리일반

2.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조에서 정하고 있는 시설물 중 터널에 적용한다.

터널 시설물은 그 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 터널 관련 건설기준코드
- 지하차도 관련 건설기준코드
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서 등)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

2.1.2 용어 정의

- 터널
지표면 하에 축조되는 도로나 공간으로 이용하는 지하구조물로서 단면적 2m² 이상의 것을 말한다.
- 도로 터널
도로법에 의한 도로상의 터널
- 고속철도 터널
고속철도법에 의한 철도상의 터널
- 광역철도 터널
철도건설법에 의한 광역철도상의 터널
- 도시철도 터널
도시철도법에 의하여 건설 또는 관리하는 철도상의 터널로서 터널의 연장은 도시철도 건설규칙에서 규정한 정거장이 포함된 지하터널 입출구부를 기준으로 함

- 일반철도 터널
 - 철도법에 의한 철도상의 터널
- 지하구조물
 - 지표면의 하부에 설치된 구조물
 - 단, 지상건축물과 연결된 지하구조물은 건축물로 본다.
- 본선라이닝
 - 벽돌, 콘크리트 블록, 무근 또는 철근 콘크리트로 구축되는 터널의 가장 내측에 시공되는 터널의 주요부재
- 갱문
 - 터널의 갱구를 보호하기 위하여 출입구에 설치하는 문 모양의 구조물
- 굴착터널
 - 지반을 굴착하여 만들어진 터널을 말하며 지반의 강도에 따라 암반터널, 토사터널, 연약지반터널 등으로 구분
- 개착터널
 - 지표면에서부터 굴착하고 터널식 구조물을 완성한 후 다시 매립한 터널
- 배수시설
 - 구조물이나 그 부대설비를 건전히 유지·관리하기 위하여 구배를 이용하여 지표수나 지하수, 터널 내 청소수 등을 자연적으로 흐르게 만든 시설물
- 공동구
 - 전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등 지하매설물을 공동 수용함으로써 미관의 개선, 도로구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 위하여 설치하는 시설물
- 연직갱 및 경사갱
 - 터널 내 공기질을 유지하기 위하여 신선공기를 흡기 또는 급기하거나 오염공기를 배출하기 위해 설치하는 시설물
- 피난연락갱
 - 터널에서의 화재 등 각종 재해로부터 사람이 안전한 장소로 이동하기 위하여 터널의 갱도끼리 서로 연결하는 갱도
- 건축한계
 - 터널의 이용목적에 원활하게 유지하기 위한 한계이며 열차 또는 차량을 위한 건축한계 내에는 시설물을 설치할 수 없도록 규제
- 내공변위량
 - 터널굴착으로 발생하는 터널 내공의 변화량으로 통상 내공단면의 축소량을 양(+)의 값으로 표현한 값
- 단층
 - 지각의 응력에 의하여 생긴 일정 규모 이상의 전단파괴면에서 양측에 상대적으로 어긋남을 가지는 선상 또는 대상의 부분

○ 대피로

터널 내의 화재 시 안전지역으로 대피자를 탈출시키기 위한 공간으로 터널과 평행한 서비스터널이나 경사갱 및 연직갱

○ 물리탐사

물리적 수단에 의하여 지질이나 암체의 종류, 성상 및 구조를 조사하는 방법으로서 탄성파탐사, 전기탐사, 중력탐사, 자기탐사, 전자탐사 및 방사능탐사 등

○ 바닥부

터널단면의 바닥 부분

○ 불연속면(discontinuities in rock mass)

모든 암반 내에 존재하는 절리, 퇴적암에 존재하는 층리, 변성암에 존재하는 엽리, 대규모 지질구조와 관련된 단층과 파쇄대 등 암반에서 나타나는 모든 연약면

○ 세그먼트(segments)

터널, 특히 쉴드터널공법에 사용되는 라이닝을 구성하는 단위조각으로, 재질에 따라 강판을 용접한 강제 세그먼트, 철근콘크리트제의 콘크리트 세그먼트, 주조에 의하여 제조된 주철 세그먼트 및 콘크리트 세그먼트의 단면에 지벨이 붙은 강판을 배치한 합성 세그먼트 등

○ 쏿크리트(shotcrete)

굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어내어 소정의 위치에 부착시켜 시공하는 콘크리트

○ 스프링 라인(spring line)

터널의 상반 아치의 시작선 또는 터널단면 중 최대폭을 형성하는 점을 종방향으로 연결하는 선

○ 신호기

운행 중인 차량이나 열차에 통행의 우선권 등 포괄적인 지시를 하는 장치

○ 어깨(shoulder)

터널의 천장과 스프링 라인의 중간점

○ 접속부

단면의 형태 및 규모가 같거나 다른 터널이 서로 접속되는 구간

○ 천장부(crown)

터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간

○ 천단침하

터널굴착으로 인하여 발생하는 터널 천장의 연직방향 침하를 말하며, 기준점에 대한 하향방향의 절대 침하량을 양(+)의 천단 침하량으로 정의

○ 측벽부(wall)

터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간

2.1.3 성능평가 실시 범위

터널은 크게 기본시설물, 부대시설물로 구분되며 기본시설물은 갯문, 굴착터널(굴착 구간) 라이닝, 개착터널(개착구간) 라이닝, 터널주변(배수시설, 공동구 등)으로 구성되어 있으며, 부대시설물은 연직갱 및 경사갱, 환기구, 피난연락갱, 연결터널(환기시설) 등으로 구성되어 있다.

터널시설물의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같다.

[표 2.1] 성능평가 대상시설물의 세부범위

구분	시설물명	비고
기본시설물	갯문	재래식터널 NATM터널 SHIELD터널 개착터널에 공통적용
	굴착터널(굴착구간) 라이닝	
	개착터널(개착구간) 라이닝	
	터널주변(배수시설, 공동구 등)	
부대시설물	연직갱 및 경사갱	개착터널에 공통적용
	환기구	
	피난연락갱	
	연결터널(환기시설)	

2.1.4 중대한 결함의 정도

터널 시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

1) 터널지반의 부등침하

- 터널지반의 부등침하 정도가 안전등급 기준이 “D” 이하로 판정할 수 있는 경우

2) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실

- 내구성능 평가지표 중 탄산화 깊이 또는 콘크리트 염화물 침투량에 대한 기준이 “e” 이하인 경우

- 철근노출에 대한 상태안전성능 평가기준이 “e”를 포함하는 경우

3) 벽체균열 심화 및 탈락

- 상태안전성능 평가지표 중 진행성 균열에 대한 기준이 “d” 이하이며, 면적률이 20% 이상인 고정 균열에 대한 기준이 “e”인 경우

- 상태안전성능 평가지표 중 면적률이 20% 이상인 파손 및 손상에 대한 기준이 “d” 이하인 경우

4) 복공부위 심한 누수 및 변형

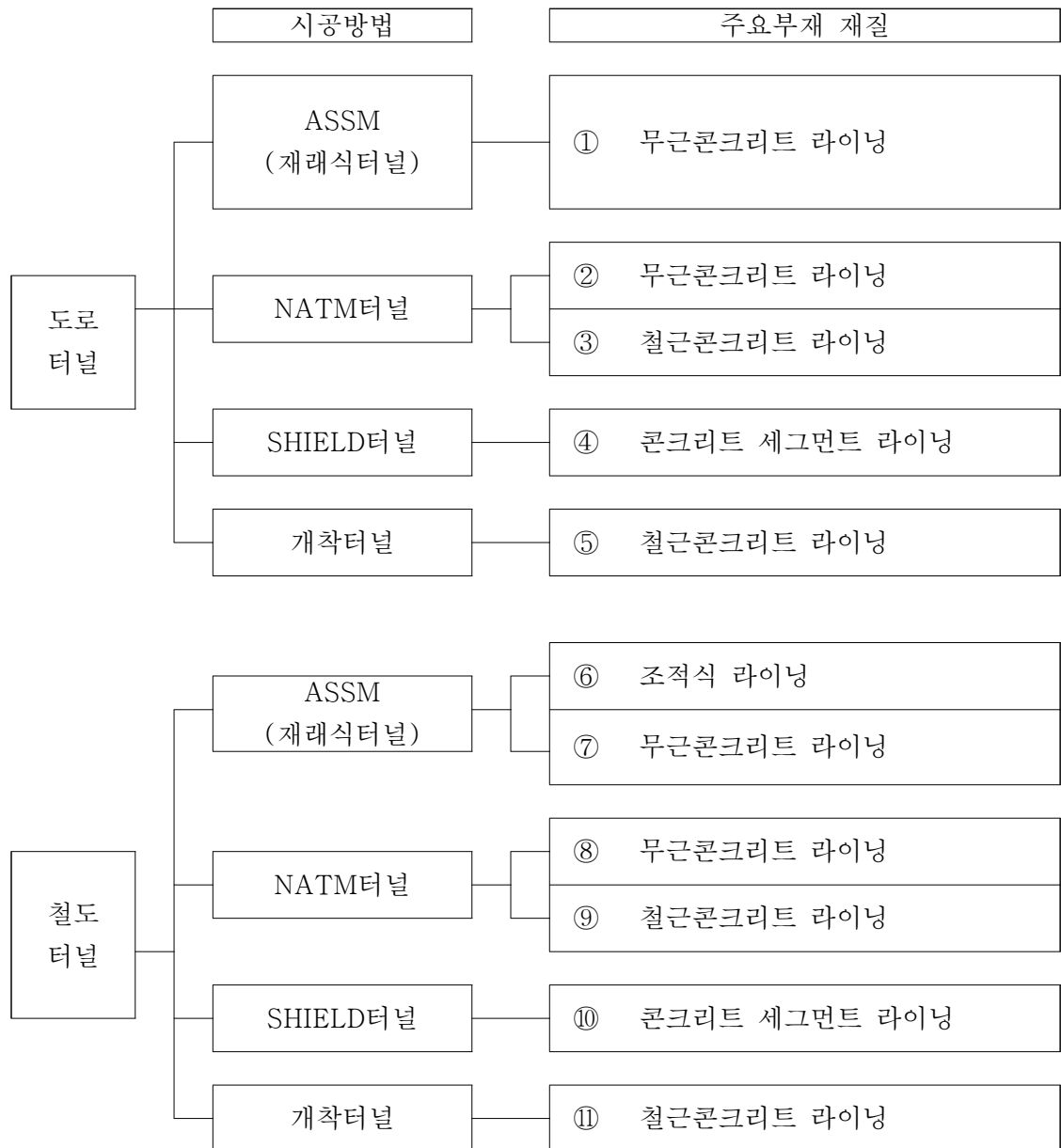
- 상태안전성능 평가지표 중 누수에 대한 기준이 “d” 이하이며, 토립자가 함께 나와 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나 고드름 및 측빙 등으로 차량통행에 현저한 지장을 주는 경우

- 터널의 변형정도가 안전등급 기준 “D” 이하로 판정할 수 있는 경우

2.2 현장조사

2.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

가. 시공방법 및 주요부재 재질에 따른 터널 분류



[그림 2.1] 터널 시공방법 및 주요부재 재질에 따른 터널 분류

나. 성능항목별 성능평가지표

[표 2.2] 터널의 성능평가 시 성능지표

구 분			성 능 지 표	비 고
안전 성능	상태 안전성능	라이닝 상태	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 균열 ◦ 누수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 박리 ◦ 층분리 및 박락 ◦ 재료분리 ◦ 철근노출 ◦ 줄눈부 열화(재래식터널의 조적식라이닝의 경우만 적용) 	
		터널 주변	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 배수상태 ◦ 지반상태 ◦ 공동구상태 ◦ 내공단면 변형여부 ◦ 배면 공동 유무 	
	구조 안전성능	상시/ 지진시	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 안전율 ◦ 변위 ◦ 응력 	
내구 성능	무근콘크리트		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 표면부콘크리트 품질 ◦ 염해환경 ◦ 동해환경 	
	철근콘크리트		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 피복콘크리트 품질 ◦ 염화물량 ◦ 탄산화 깊이 ◦ 염해환경 ◦ 동해환경 	
사용 성능*	사용 성능	주행성	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 포장상태 ◦ 터널 내 휘도 ◦ 터널 내 조도 	
		방재성	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 방재시설 ◦ 비상대피시간 	
	기능 성능	유지관리성	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 기계/전기설비의 기능성 ◦ 전력/통신/신호설비의 기능성 	
		수요 및 용량	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 통행량 ◦ 일 통행횟수 	

*사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

2.2.2 현장조사 요령

가. 안전성능

1) 측점 분할

(가) 일반사항

- 측점 분할 작업은 현장조사에서 최초로 실시하는 작업으로서 터널의 진행 방향으로 위치를 표시하는 작업을 말한다.
- 사전조사 시에 입수한 자료를 검토하여 도면에서의 표기 방식을 참고로 현장에서 해당 위치를 표시하고, 위치 표시는 현장에서 쉽게 식별될 수 있도록 하여 추후 유지관리 시에도 활용할 수 있어야 한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 성능평가 시 측점 분할 간격은 각종 현장 조사 시 좌우로 확인 가능한 거리인 5.0m 내외가 적당하며 면밀한 조사가 필요한 구간에 대하여는 별도로 세분해야 하고, 내업 정리 및 분석 작업은 필요에 따라 5~50m 간격으로 조정이 가능하다.

(다) 결과분석

- 국부적인 표면 오염이나 습기 등이 있는 경우 이를 제거하고 스프레이, 매직, 유성 펜 등으로 표시하며 석필, 분필 등으로 표시할 수도 있다. 철도 터널, 도로터널과 같이 현장에서 기 표시된 측점은 반드시 확인하여야 한다.
- 측점분할은 통상 터널 입구부터 시작하여 출구에서 끝나며 분할에 따른 오차를 최소화하고, 단면 변화 구간, 횡갱구간, 소화전, 응급 대피소 등 현장에서 직접 확인 가능한 위치는 현장조사 전에 위치를 파악하여, 측점 분할함으로써 오차를 줄인다.

2) 터널단면 측량

(가) 일반사항

- 외관조사 결과 터널 내공단면이 불규칙한 곳에 대하여는 정확한 단면상태 및 시공상태의 파악을 위하여 터널의 종·횡단 측량 또는 선형 측량을 실시한다.
- 준공도상의 단면과 현 상태의 차이를 검토하고 건축한계(또는 시설한계)와 비교하여 보수·보강대책 수립 시와 유지·관리업무 수행 시에도 활용할 수 있도록 한다.

(나) 조사수량 및 측량방법

- 터널 성능평가 시 터널단면 측량은 최소 200m마다 1개소씩 측량하며, 특히 단면 변화구간 및 육안조사 단면의 이상부위는 보다 정확한 측량이 필요하다.
- 추가적인 조사가 필요한 경우에는 종단측량 및 선형측량의 경우 설계 시점부터 종점까지(통상 터널 입구부터 출구) 측량한다.
- 사용하는 장비는 일반적으로 일체형 광과거리계에 의한 측량기를 사용하며, 측정간격은 100~200m 범위에서 변상정도에 따라 위치를 선정하여 측량한다.

(다) 결과분석

- 횡단측량 시 측정된 결과와 설계도면 및 건축 한계선과 비교하여, 도면과 일치하는지 여부를 확인한다. 이때 건축 한계선을 초과하는 경우는 매우 심각한 단면 변화 구간으로서 이에 대한 적절한 조치가 필요하다.

3) 내공변위 측정

(가) 일반사항

- 측정 목적은 터널 라이닝의 상대변위 및 집중현상을 측정하여 터널내부의 붕괴 예측과 굴착지반이나 구조물의 변위예측을 위함이다.
- 내공변위계는 앵커(Anchor)와 자(Tape)로 구성된다. 장점은 간편한 작동, 경량이므로 취급이 용이하다는 점이다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 터널 성능평가 시 내공변위 측정은 변위가 예상되거나 발생한 지점에 최소 1개소를 측정한다. 이때의 다이얼게이지의 눈금을 읽어 측정치로 하고 3회 반복 측정치의 산술 평균치를 측정치로 한다.
- 측정하고자 하는 지점에 앵커를 삽입시킬 수 있도록 천공한 다음 앵커를 삽입한 후 그라우팅이나 레진(Resin) 또는 시멘트 모르타르로 고정시키고, 고정된 양단의 앵커에 내공변위계의 후크를 걸고 일정한 장력이 되도록 조작한다.

(다) 결과분석

- 성능평가 시의 내공 변위의 측정은 시공 현장이나, 유지관리 과정에서처럼 정기적으로 조사할 수는 없으므로, 통상 1차 조사 후 15일 또는 30일 단위로 실시하여 내공변위의 진행성 여부 및 응력 집중 정도를 파악한다.

4) 내부결함 탐사

(가) 일반사항

- 라이닝의 내부결함(라이닝 두께, 배면공동의 규모 등)과 라이닝 내부의 강지보 설치 및 철근의 배근 상태를 파악하기 위하여 비파괴검사 방법과 보링(Boring) 등을 실시하여 조사한다.

(나) 조사방법

- 타음검사
 - 햄머(Hammer)로 라이닝 표면을 타격하여 햄머의 반발방향과 타격음에 의해 이상 유무를 조사하는 수단으로 정성적인 방법이지만 적정한 라이닝두께의 유무, 배면공동의 유무, 박리부분의 검사, 압축파괴의 유무, 라이닝표면의 열화 상황을 조사한다.
 - 건전한 콘크리트라이닝은 타격음이 청음을 내고, 열화된 라이닝은 둔한 소리를

낸다. 또 라이닝배면에 공동이 있는 경우와 압축파괴된 부위도 역시 둔한 음을 낸다. 특히 벽돌·석적으로 시공된 경우의 건전한 라이닝은 금속성의 음을 낸다.

○ 전자파법(레이다 탐사법)

- 100MHz~1GHz정도의 높은 주파수의 전자파를 콘크리트 중에 방사하여 라이닝 배면에서의 반사파를 잡아 그 파형을 해석하는 것으로 라이닝 콘크리트의 두께, 공동의 유무를 판정하는 방법이다.

○ 라이닝 보링(Boring)조사

- 라이닝 두께와 배면의 공동, 지질상황 등을 직접 보링(Boring)에 의해 조사하는 방법으로 사전에 위치, 깊이 등에 대해 충분히 검토하여 실시할 필요가 있다.

○ 내시경조사

- 보링(Boring)또는 드릴링에 의해 천공 후 공내에 내시경 조사장비를 삽입하여 라이닝 배면의 상황을 육안 관찰하는 방법이다.

○ 초음파법

- 음향적 측정방법인 음속법의 하나로 초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 초음파가 콘크리트를 통과하는 시간(Pulse Velocity)을 측정하여 이로부터 콘크리트의 비파괴강도, 결함의 유무, 균열 및 콘크리트의 내부 분리, 공동현상 등을 추정하는 방법이다.

5) 진동 및 소음 측정

(가) 일반사항

- 터널 구조물을 통과하는 각종 차량 및 철도 객차 등에서 발생하는 진동과 주변 공사장 및 중장비 주행 등에 따른 터널 라이닝에 미치는 진동의 영향을 파악하고자 진동측정을 실시할 수 있다.
- 일반적으로 큰 소리 또는 음(Noise)에 의한 일상생활에 방해가 되는 소리, 감정적 혐오감을 주는 소리를 소음이라 하며, 터널의 사용성능을 고려하여 진동측정과 동시에 소음측정도 실시할 수 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 터널 성능평가 시 진동 및 소음측정은 주변건물 신축 및 열차, 차량 통과 등의 피해가 예상되는 경우 책임기술자 판단에 따라 실시 할 수 있다.
- 진동측정기는 물리적인 운동이나 압력을 전류로 바꾸어 주는 변환기 또는 센서, 전류를 전달하는 케이블, 증폭장치 및 최초 신호의 상대 시간변화를 보존하는 저장장치 및 이로부터 재생된 신호를 최후의 영구적인 기록으로 보존하는 출력 기록 장치로 구분된다.
- 시간적인 변동이 거의 없는 소음에서는 그 읽는 값을 그대로 소음의 크기로 평가하지만 도로터널, 철도터널과 같이 시간별로 소음이 변하거나, 인접의 공사장이 있는 경우 등은 그 소음치가 시간에 따라 변하므로 최고치 및 최저치 등을 조사하여 산출한다.

(다) 결과분석

- 일반적으로 진동규제기준치는 최대입자속도(Peak Particle Velocity)에 따라 결정하여 사용되고 있음. 전반적으로 최대입자속도 0.05m/sec보다 작은 발파나 진동의 경우 인접구조물에 손상이 생기지 않는 것으로 되어 있다.
- 소음측정 시 유의할 점은 어떤 점의 소음레벨은 주위의 반사음이나, 타 소음원 등의 영향을 받아 나타나는 결과임. 따라서 주위의 영향을 배제하고 음원의 음 자체를 측정하기 위해서는 가급적 주위에 반사물 등이 없는 곳에서 또한 음원에 접근하여 소음을 측정하는 것이 타당하다.

6) 수질 조사 및 침전물 분석 시험

- 수질분석 시험은 필요시 지하수 등의 침출수 및 유수가 콘크리트 구조물에 접하거나 침투하여 콘크리트와 화학반응을 일으켜 구조물을 노후화시킬 수 있는 성분을 함유하고 있는가를 판단하기 위한 시험이다.
- 시료채취 과정에서 오염물질이 혼입되지 않도록 주의해야 하며, 일반적으로 지하수 등은 오염이 적어 전처리없이 시험을 해도 지장이 없는 때가 많다. 그러나 시료의 상태나 시험의 종류에 따라서는 공존 물질의 방해를 제거하기 위한 전처리를 필요로 하는 경우도 있다.
- 시료 채취 후 시험 실시까지의 기간 동안 보관은 시료 특성에 따라 냉암소 보관, 보관 유효기간 등의 지배를 받으므로 주의하여야 한다.

7) 배수상태조사

배수상태조사는 터널과 같은 시설물의 운영 중 발생하는 용수, 강수가 터널 주변의 지표수 및 지하수에 영향을 미쳐 시설물의 안전상태를 미리 예측하고 대처하기 위해 실시하며, 주요 내용은 다음과 같다.

- 시추자료, 지표의 용수지점, 우물의 수위 등으로 지하수위 등고선을 그리고 그 흐름방향이나 구배를 찾아서 터널용수의 유무나 갈수범위 등을 추정한다. 또한 지하수가 불투수층으로 막혀 낮은 지하수층과 지하수층으로 분리되는 경우 대수층으로 분류한다.
- 위의 결과를 참조하여 터널 주변의 배수상태 즉, 내부와 외부상태를 검토한다.

8) 지반상태조사 (지형 및 지질조사 포함)

(가) 현장시험

- 현장시험은 지반정보를 구하는 중요한 방법으로서 특히 지층구성이나 거시적 지반정보를 얻는 것과 원지반 상태 그대로에서 각종 지반정보를 얻는 것이 특징이다.
- 불교란 시료를 채취하기 어려워서 실내시험에서 공학적 특성을 측정할 수 없는 구간에서는 현장 원위치 시험을 실시하여 지반특성을 측정한다.

(나) 현장시험의 종류와 적용

- 시추공을 이용한 시험법에는 시추공 저면을 이용하는 것이 있으며, 시험목적으로 분류하면 원위치 지반의 강도와 변형계수 등의 역학적 정보를 얻기 위한 것과 지하수 정보나 물리 정보를 얻기 위한 것이 있다.

(다) 풍화변질 및 단층파쇄대

- 터널에 영향을 줄 수 있는 범위 등을 조사한다.

9) 갯문상태 조사

- 갯문은 터널 입·출부에 위치하여 터널의 안전성에 유해요소로 작용할 수 있으므로 손상상태를 파악하여 시설물 유지관리에 활용한다.

10) 특수조건조사

- 전력구 터널, 전차선을 설치한 터널 등에서 누수로 인한 낙수 및 동결위험도를 조사하여 시설물유지관리에 활용한다.

11) 공동구조사

- 터널의 안전성과 공동구에 발생한 변형의 상관관계를 고려하여 공동구에 발생한 변상상태를 파악하여 시설물 유지관리에 활용한다.

나. 내구성능

1) 염화물 침투량(염화물 함유량)

- 콘크리트 내의 염화물 침투량(염화물 함유량)(이하 ‘염화물 침투량’이라 함)에 관한 KS 규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

2) 탄산화 깊이

- 탄산화 깊이 측정은 KS 규격에 따라 실시하며, 시료를 직접 채취하거나 일부 떼어 내기 혹은 드릴링을 통해 시료를 확보하여 적절한 측정장비를 이용하여 탄산화 깊이를 측정한다.

3) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

- 피복(표면부) 콘크리트 품질은 반발경도값을 원칙으로 사용하며, 설계강도값과 비교하는 경우와 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우로 구분하여 실시한다.
- 설계강도값과 비교하는 경우는 강도 추정값과 설계값을 비교하여 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능을 평가한다.
- 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우는 강도를 추정할 필요가 없으며, 반발경도값을 직접 비교하여 판정한다.
- 안전성능의 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험) 측정 결과를 활용하여 평가한다.

4) 염해환경

- 대상시설물의 위치(주소)를 확인하고 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 한다.

5) 동해환경

- 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)의 기상관측 자료를 통하여 지난 10년간 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
 - 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
- 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 같은 시라고 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.
 - 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수
 - 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수여기서, X는 동결융해 반복지수를 의미하며, 수분접촉 여부에 따라 구분·산정

다. 사용성능

1) 포장상태

- 고속국도의 경우 고속도로 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 활용하며, 일반국도의 경우 일반도로 포장상태지수(NHPCI)의 관리기준을 적용한다.
- 고속국도, 일반국도의 PCI 지수의 자료를 활용하여 평가를 수행하며, 평가된 자료가 없을 시에는 책임기술자의 판단하에 장비를 활용하여 평가를 수행할 수 있다.

2) 터널 내 휘도

- 휘도 측정은 도로터널의 경계부 및 기본부의 평균휘도 KS 규격에 따라 실시한다.
- 터널의 방향 또는 교통량에 따라 적용기준을 달리한다. 경계부 평균휘도는 남향과 북향을 기준으로 적용기준이 나뉘며, 기본부의 평균휘도는 교통량에 따라 적용기준이 나뉜다.

3) 터널 내 조도

- 조도 측정은 원칙적으로 터널의 중앙부에서 수행하며, 조명이 없는 경우에는 조도측정을 하지 않는다.
- 터널 내부로 40m 이상 진입 시에는 외부 태양광의 영향을 받지 않으므로 조도 측정시에는 터널 내 중앙부까지 진입이 어려운 경우 50m 이상 진입 후 측정한다.

4) 방재시설

- 방재시설의 설치기준에 따라 육안 및 간단한 작동시험을 실시하여 기준 부합여부와 작동상태를 확인한다.

5) 비상대피시간

- 도로터널의 경우 설계도서 및 현장조사를 통하여 피난연락경의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.
- 철도터널의 경우 설계도서 및 현장조사를 통하여 대피통로의 위치와 간격을 확인하여 평가한다.

6) 기계/전기/전력/통신/신호설비의 기능성

- 각종 설비에 대한 점검보고서 등의 자료를 활용하여 평가를 수행하며, 평가된 자료가 없을 시에는 책임기술자 판단에 따라 해당분야 기술자를 활용하여 평가할 수 있다.

7) 교통량 및 일 통행 횟수

- 건설사업정보화시스템의 건설공사사후평가에 입력된 사후평가서를 참고하여 수요 예측값 대비 수요실제값의 비율을 분석하여 해당 등급에 따라 평가를 수행한다.
- 건설사업정보화시스템의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업효율성 분석을 위하여 수요예측과 수요실제 값을 활용한다.
- 수요예측은 국가 교통 DB, 예비타당성조사 또는 타당성조사 당시의 수요 추정값인 예측치이며, 수요실제는 시설물의 신설 이후 사후평가단계에서 실측된 수요를 나타낸다.
- 도로터널은 수요예측값 및 수요실제값에 대한 단위로 대/일을 사용한다. 사후평가시스템에서 제공하지 않는 경우, 기존 타당성 조사에서 산정된 수요 예측값과 국가교통 DB의 실측값을 활용하여 산정한다.
- 일 통행 횟수는 여객열차의 경우 한국철도공사의 열차운행현황에 따라 조사하며, 화물열차의 일 통행 횟수의 경우 물류본부(철도운행정보-화물열차 시간표)에 의거하여 조사를 수행한다.
- 한국철도공사의 여객열차 일 통행 횟수의 경우 코레일 홈페이지 → 사업분야 → 여객사업 → 열차운행현황에 의거하여 조사하며, SRT의 일 통행 횟수는 SRT 홈페이지에서 확인 가능하다.

2.3 재료시험 항목 및 수량

2.3.1 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 2.3] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능		◦ 측점분할	◦ 콘크리트 강도(국부파괴시험법)
		◦ 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾	◦ 철근탐사시험 - 철근 배근상태 - 철근 피복두께
			◦ 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 초음파전달속도시험
내구성능		◦ 탄산화깊이 ◦ 염화물 침투량	-
사용성능	도로	◦ 터널 내 휘도	◦ 기타 필요한 조사 및 시험
	철도	◦ 터널 내 조도	

주1) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도와 피복(표면부) 콘크리트품질을 평가한다.

- 콘크리트 강도
 - 반발경도시험 결과와 설계강도를 비교하여 콘크리트 강도를 평가한다.
 - 피복(표면부) 콘크리트품질 평가
 - 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다.
- 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여 결과를 활용하여야 한다.

나. 제1종성능평가

[표 2.4] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능		◦ 측정분할	◦ 콘크리트 강도(국부파괴시험법)
		◦ 터널단면측량	◦ 내공변위 측정
		◦ 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾ , 초음파전달속도시험	◦ 진동 및 소음측정
		◦ 철근탐사시험 - 철근 배근상태 - 철근 피복두께	◦ 변형률 측정
		◦ 철근부식도시험	◦ 수질조사 및 침전물 조사
		◦ 균열깊이 조사	◦ 시추조사 ◦ 지반탐사
내구성능		◦ 탄산화깊이	—
		◦ 염화물 침투량	
사용성능	도로	◦ 터널 내 휘도	◦ 기타 필요한 조사 및 시험
	철도	◦ 터널 내 조도	

주1) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도와 피복(표면부) 콘크리트품질을 평가한다.

- 콘크리트 강도
 - 반발경도시험 결과와 설계강도를 비교하여 콘크리트 강도를 평가한다.
- 피복(표면부) 콘크리트품질 평가
 - 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다.
단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여 결과를 활용하여야 한다.

2.3.2 재료시험 기준수량

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 2.5] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
측점분할	◦ 5 ~ 50m 간격	책임기술자 조정가능
반발경도시험	◦ 총연장 ÷ 300m 개소	책임기술자가 상향조정 가능
탄산화 깊이	◦ 총연장 1,000m 미만 : 2개소 ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 2개소 + 1,000m 당 1개소 추가	책임기술자가 상향조정 가능
염화물 침투량	◦ 총연장 1,000m 미만 : 2개소(갱문 1개소 포함) ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소2개소(갱문포함) + 1,000m 당 1개소 추가	책임기술자가 상향조정 가능
휘도	◦ 총 10개소	책임기술자가 상향조정 가능
조도	◦ 총 10개소	

[표 2.6] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
콘크리트 강도 (국부파괴시험법) ¹⁾	◦ 총연장 1,000m 미만 : 2개소 ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소2개소(갱문포함) + 1,000m 당 1개소 추가	책임기술자가 상향조정 가능
초음파 전달속도시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
철근탐사시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
기타 필요한 조사 및 시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 2.7] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
측점분할	◦ 5 ~ 50m 간격	책임기술자 조정가능
단면측량	◦ (총연장 ÷ 200m) + 1개소	책임기술자 조정가능
반발경도시험	◦ (총연장 ÷ 100m) × 2개소	시험부위는 책임기술자가 판단 (단, 장년변화평가시동일부시험원칙) 책임기술자가 상향조정 가능
초음파 전달속도시험		
철근탐사시험	◦ 총연장 1,000m 미만 : 4개소 ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 4개소 + 500m 당 1개소 추가	책임기술자가 상향조정 가능
철근부식도시험	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	—
균열깊이 조사	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	—
탄산화 깊이	◦ 총연장 1,000m 미만 : 4개소 ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 4개소 + 500m 당 1개소 추가	책임기술자가 상향조정 가능
염화물 침투량	◦ 총연장 1,000m 미만 : 4개소(갱문 1개소 포함) ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 4개소(갱문포함) + 500m 당 1개소 추가	책임기술자가 상향조정 가능
휘도	◦ 총 10개소	책임기술자가 상향조정 가능
조도	◦ 총 10개소	

[표 2.8] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
콘크리트 강도 (국부파괴시험법) ¹⁾	◦ 총연장 1,000m 미만 : 2개소 ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 2개소(갱문포함) + 1,000m 당 1개소 추가	책임기술자가 상향조정 가능
내공변위측정	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
진동 및 소음측정	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
변형률 측정	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
수질 및 침전물조사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
시추조사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
지반탐사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
기타 필요한 조사 및 시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

2.4 안전성능 평가 기준 및 방법

2.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가 기준 및 방법

1) 일반

터널의 상태안전성능 평가는 외관을 조사하여 획득한 결함 및 손상 등 시설물의 물리적 상태변화와 연관된 성능지표 조사결과를 활용하여, 상태변화가 전체 구조물의 안전성에 미치는 영향정도를 고려하기 위하여 성능지표별로 구분된 평가기준을 적용하여 결함지수를 산정한 후 평가를 실시한다.

2) 평가범위

터널의 상태안전성능 평가 대상인 기본시설물과 부대시설물은 [표 2.1]과 같다. 터널 부대시설물 중에서 시설물의 중요도가 상대적으로 작으며 본선 구조물에 부분적으로 확폭 또는 접속된 별도공간인 비상주차대, 대피소/변압기굴, 덕트슬래브, 배전실/통신실/기재갱 등은 상태안전성능 평가 시 기본시설물에 포함하여 평가한다. 시설물의 중요도 및 규모 등이 상대적으로 큰 연직갱/경사갱, 환기구, 피난연락갱, 연결터널 등은 별도평가 후 부대시설물 가중치를 적용하여 시설물을 평가한다.

상태안전성능 평가 대상구간에 무근콘크리트 라이닝과 철근콘크리트 라이닝 또는 개착터널과 굴착터널 구간이 교호하여 시공된 경우 각각 평가 후 각 길이를 환산한 가중치를 적용한 가중산술평균 방법으로 평가한다.

3) 상태안전성능 평가 성능지표 및 기준

터널의 상태안전성능 평가는 라이닝 상태안전성능 평가와 터널주변 상태안전성능 평가로 구분하여 실시하며 상태안전성능 평가 시 고려해야 할 주요 성능지표는 다음과 같다.

[표 2.9] 터널의 상태안전성능 평가 시 성능지표

구 분		성 능 지 표	비 고
상태 안전성능	라이닝 상태	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 균열 ◦ 누수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 박리 ◦ 층분리 및 박락 ◦ 재료분리 ◦ 철근노출 ◦ 줄눈부 열화(재래식터널의 조적식라이닝의 경우만 적용) 	주요부재
	터널 주변	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 배수상태 ◦ 지반상태 ◦ 공동구상태 ◦ 내공단면 변형여부 ◦ 배면 공동 유무 	배수시설, 공동구 등

평가기준은 5단계로 세분하였고, 평가항목별 상태안전성능 평가기준은 터널의 안전성 평가기준과 차이를 두기 위하여 소문자 a, b, c, d, e로 표기한다.

현장 조사 시 각각의 평가항목에 대한 상태안전성능 평가는 가장 취약한 것을 기준으로 하여 결정하도록 하며, 책임 기술자는 현장 상태를 기준으로 상태안전성능을 판단하고 하향조정하여 평가할 수 있다.

터널 라이닝의 상태안전성능 평가 시 본선라이닝(갱구부, 개착구간, 굴착구간)의 단위 길이 기준은 일반적으로 30m로 하며, 단면형식에 따라 단위면적을 기준으로 평가를 실시한다. 상태안전성능 평가의 단위면적은 터널 라이닝의 신축이음(약 20~30m)을 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 조정할 수 있다.

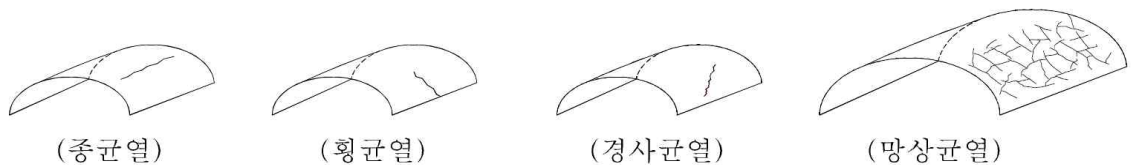
(가) 균열

[표 2.10] 터널의 균열 평가기준

평가기준 구분		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	무균(균열)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과 3.0mm 이하	3.0mm 초과
	철근(균열)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과
개착터널	BOX(균열)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과
조적식 라이닝	줄눈균열	없음	아주 경미한 줄눈깨짐	벽돌 2개소 이하	벽돌 2~5개소	벽돌 5개소 이상

< 해 설 >

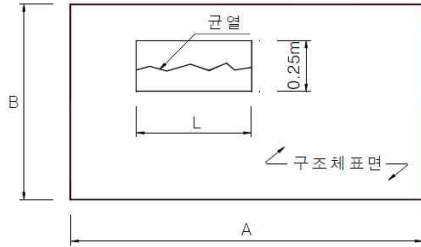
- 진행성의 유무가 확인되지 않는 경우에 적용하며 진행성이 확인되는 경우 평가는 하향조정하고 정기적으로 관찰하도록 한다.
- ※ 진행성 여부의 판별은 주기적인 점검(정기점검) 결과를 활용하여 판단한다.
- 균열형상은 종균열, 횡균열, 경사균열, 망상균열로 구분하며 횡균열을 제외한 균열의 평가 및 균열이 다음 스팬(Span)에 연속적으로 이어져 있는 경우는 책임기술자의 판단에 의하여 평가결과는 하향조정할 수 있다.



[그림 2.2] 터널의 상태안전성능 평가 시 균열의 평가기준

- 균열의 발생위치는 천장부, 어깨부, 측벽부로 표기하며, 균열에 의한 단차가 발생하였거나 구조체를 관통하는 균열일 경우 책임기술자의 판단에 의해 하향조정할 수 있다.
- 구조적 균열은 설계 오류로 인한 균열, 외부 하중에 의한 균열, 단면 및 철근량의 부족에 의한 균열 등이 있음. 콘크리트 구조의 균열은 콘크리트와 철근 사이의 응력, 변형률, 미끄러짐(slip), 부착응력 등에 따라 균열형성단계와 균열안정화 단계의 2단계로 형성됨. 구조적 균열발생 시 면적률에 관계없이 평가는 하향조정하고, “d”이하로 발생하였을 경우에는 안전성평가를 통하여 과하중의 양상과 그 결과의 분석을 실시하도록 한다.
- 조적식 라이닝의 경우 줄눈깨짐의 연속성 정도에 따라 평가는 하향 조정하도록 한다.
- 보수·보강부위는 기존의 균열폭과 길이의 변화, 새로운 균열 및 들뜸의 진행성 유무 등을 주기적인 점검을 수행하고 그 결과를 활용하여 평가할 수 있다.

- 면적률이 20% 이하일 경우는 해당 상태안전성능 평가 결과를 기재하고, 면적률 20% 이상과 구조적 균열 및 단차균열일 경우의 평가는 하향 조정할 수 있다.
- 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.

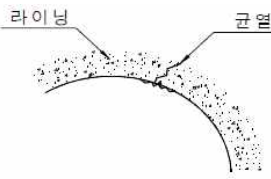
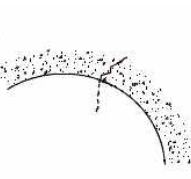
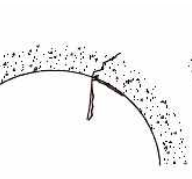
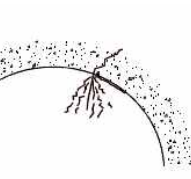


$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{구조체표면(점검단위)면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이(L)} \times 0.25}{A \times B(\text{m})} \times 100 = \%$$

- 다만, 발생한 균열이 터널의 구조적인 안전성에 미치는 영향이 미미한 경우의 평가는 책임기술자의 판단에 의하여 상향조정할 수 있음

(나) 누수

[표 2.11] 터널의 누수 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
	없음	스며있음	떨어짐	흐름	분출
누수	   				
	스며있음	떨어짐	흐름	분출	

< 해 설 >

- 누수발생부위는 천장부, 어깨부, 측벽부, 바닥부로 구분하며, 천장부 및 어깨부에 누수가 발생하여 차량통행에 지장을 주는 경우 평가는 하향조정하도록 한다.
- 아치부에 발생한 누수가 얼어 고드름이 형성된 경우와 측벽부에 발생한 누수가 얼어서 건축한계를 초과하여 차량통행에 지장을 주는 경우에는 평가를 하향조정 하도록 한다.
※ 상태안전성능평가 결과가 “d”이하이며, 토립자가 함께 나와 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나 고드름 및 측빙 등으로 차량통행에 현저한 지장을 주는 경우에는 중대한 결함으로 봄
- 노면에 토사유출 또는 동결이 발생되어 차량통행에 지장이 될 경우에는 평가를 하향 조정하고, 그 원인을 정밀조사하도록 한다.
- 누수가 배수공과 시공이음, 신축이음의 결함, 균열, 배면공동, 수맥 등의 영향으로 인하여 발생할 경우에는 수압 등에 의한 구조적 결함을 유발시킬 수 있는지 여부 등을 검토할 수 있다.

- 누수는 건기시와 우기시에 따라 계절별로 차이가 발생할 수 있으므로 계절적 요인을 반영하여 평가할 수 있다.
- 보수·보강부위는 누수상태(수질, 수량, 물흐름)의 변화 유무 등을 주기적인 점검(정기 점검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다.

(다) 파손 및 손상

[표 2.12] 터널의 파손 및 손상 평가기준

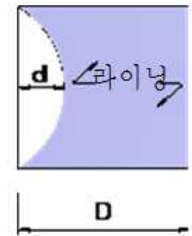
평가기준		a	b	c	d	e
구분						
콘크리트 라이닝	손상도	없음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
조적식 라이닝	손상 두께	없음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1~2개	벽돌 2개 이상

<해설>

- 손상도는 콘크리트 라이닝에 대한 것으로 설계두께에 대한 손상된 두께를 말하며, 일반적으로 라이닝 설계두께를 기준으로 하고, 라이닝 측정두께가 있는 경우 이를 기준으로 한다.

※ 손상도 = d (파손 및 손상두께) / D (설계두께)

- 여기서, 손상도 평가 시 기준면적은 설계두께의 2배와 같은 일변의 길이를 갖는 정사각형의 면적 또는 이와 동일한 면적을 갖는 독립된 부위



- 조적식 라이닝에서 파손 및 손상두께는 벽돌두께를 기준으로 적용한다.
- 지반탐사 등으로 측정된 라이닝 두께가 설계두께에 못 미치는 경우에는 이를 손상으로 평가할 수 있다.
- 파손 및 손상발생부위는 아치부와 측벽부로 구분하며, 아치부에 파손 및 손상이 발생하여 낙하위험이 있는 경우 평가는 하향조정한다.
- 면적률이 20% 이하일 경우는 해당 상태안전성능 평가 결과를 기재하고, 면적률이 20% 이상일 경우의 평가는 $b \rightarrow c$, $c \rightarrow d$, $d \rightarrow e$ 로 하향 조정할 수 있다.

(라) 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 재료분리, 철근노출, 줄눈부 열화)

[표 2.13] 터널의 재질열화 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
박리	없음	6.0mm 미만	6.0mm이상 25mm미만	25mm이상 이거나 조골재 손실	박리가 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
재료분리	없음	면적률 5% 미만	면적률 5~10%	면적률 10~20%	면적률 20%이상
층분리 및 박락	없음	깊이 12mm 미만 또는 직경 75mm 미만	깊이 12~25mm 미만 또는 직경 75~150mm 미만	깊이 25mm 이상 또는 직경 150mm 이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
철근노출	없음	면적률 1% 미만	면적률 1~3%	면적률 3~5%	면적률 5% 이상
줄눈부 열화	없음	아주 경미하게 열화된 상태	벽돌 2개 규모 이상의 재질열화	벽돌 2~5개 정도의 재질열화	벽돌 5개 이상 규모의 재질열화

< 해 설 >

- 박리, 층분리 및 박락, 재료분리는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 사용기간이나 주변환경영향 등에 따라 열화되는 특성을 나타낸다.
- 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 층분리 및 박락은 콘크리트 박락된 깊이, 직경, 상태 등을 고려하여 판단하도록 한다.
- 박리·층분리 및 박락이 심한 경우에는 다른 변상조건들과 비교·검토하여 그 원인을 조사하도록 한다.
- 재료분리의 경우 발생범위와 정도로부터 판단하도록 하며, 면적률 계산 시 해당 Span별 면적대비 재료분리 발생구간의 면적의 비로서 표현한다.
- 철근노출은 철근콘크리트 라이닝인 경우에 적용하며, 심한 부식이 우려되는 경우에는 부식도를 측정하여 철근의 부식상태를 평가하도록 한다. 또한, 철근노출 발생 면적은 철근 노출 길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.
- 박리, 층분리 및 박락의 면적률이 20% 이하일 경우는 해당 상태안전성능 평가 결과를 기재하고, 면적률이 20% 이상일 경우의 평가는 b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.
- 줄눈부 열화 평가에서 채움재의 탈락으로 인하여 벽돌의 파손 또는 누수를 유발하는 경우 책임기술자의 판단에 따라 평가는 b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.

(마) 내공단면 변형여부

[표 2.14] 터널의 내공단면 변형여부

평가기준 구분	a	b	c	d	e
내공변위	없음	1mm/년 미만	1~3mm/년	3~10mm/년	10mm/년 이상

< 해 설 >

- 터널의 완공 이후 유지보수 기간 내에 발생가능한 주변지반의 변화로 인하여 터널 라이닝의 변형을 초래할 수 있으며, 내공변위 평가를 통해 라이닝의 상태를 판정하기 위해서 어느 정도의 계측 기간이 필요하다.
- 내공단면의 변형여부는 1차 조사 이후 15일 또는 30일 단위로 실시하여 내공변위의 진행성 여부 및 응력 집중에 따른 변형을 파악하며, 현장조사 자료와 기존 자료의 비교·검토를 통해 외력변화 등에 의한 변위속도 및 변형양상을 통하여 라이닝 상태를 평가한다.
- 내공변위 측정 시 측정오차가 발생 가능할 경우, 발생된 변상상태를 고려하여 책임기술자의 판단에 의해 평가결과는 상향 또는 하향 조정할 수 있다.

(바) 배면 공동 유무

[표 2.15] 터널의 배면 공동 유무 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
배면 공동 유무	발견된 공동이 없는 경우	배면공동이 존재하나 라이닝에 변형을 유발하지 않은 경우	배면공동으로 인하여 라이닝에 이차적인 변형이 발생한 경우		

< 해 설 >

- 터널 라이닝 배면에 존재하는 공동으로 인하여 발생할 수 있는 터널의 붕괴를 방지하고자 배면공동의 유무를 평가하며, 공동의 깊이 및 폭을 추정하는데 매우 어려움이 있으므로 최신 탐사장비를 활용하여 공동유무를 조사한다.
- 터널 라이닝 배면에 공동이 존재하며 이로 인하여 라이닝에 변형이 발생하였을 때에는 광범위한 부재에서 결함 발생 가능성이 조사되었으나, 터널 구조물의 안전에는 지장이 없는 경우, 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요한 경우, 심각한 결함으로 안전에 위협이 있는 경우로 구분하고 전문가의 판단에 따라 점수를 부여한다.
- 공동의 크기가 대규모인 경우 또는 계측기간 동안 진행성을 파악한 경우에는 원인 및 터널에 미치는 영향을 파악하여 즉각적인 조치를 취하여야 한다.

(사) 배수상태

[표 2.16] 터널의 배수상태 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
배수상태	배수에 문제가 없는 경우	오염됨		배수불량 및 막힘 (배수시설 작동불량)	

< 해 설 >

- 배수상태는 지하수를 유도하여 배수를 허용하는 배수형 터널의 경우에 한하며, 배수형 터널이 아닌 경우에는 전문가의 판단에 따라 별도로 적용하도록 한다.
- 배수된 물의 함유성분에 의한 오염이 우려되는 경우에는 수질을 조사하여 오염의 원인을 평가하도록 한다.
- 배수된 물에 토사가 섞여 나오는 경우에는 계속적인 토사유출로 라이닝 배면에 문제가 발생할 가능성이 있으므로 토사유출량과 터널안정성에 대해 정밀조사하도록 한다.
- 집수정이 설치된 경우 배수시설(펌프설비 등)의 작동유무, 정착상태, 전원설비상태 등을 점검하고 작동이 안되거나 정착이 불량한 경우 관리주체에 통보하여 교체 또는 수리 등의 조치가 가능하도록 하여야 한다.

(아) 지반상태

[표 2.17] 터널의 지반상태 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
지반상태	지반상태에 문제가 없는 경우	풍화변질	단층파쇄대/토사		
			영향범위 외	영향범위 내	
				중·소규모 단층	대규모 단층

< 해 설 >

- 기시공된 터널에서는 주변지반상태를 육안으로 확인하는 것이 쉽지 않으므로 설계 및 시공 자료를 참고하여 지반상태를 평가하도록 하며, 책임기술자 판단에 따라 필요시 관리주체와 협의하여 지반조사를 하도록 한다.
- 지반상태가 터널에 영향을 미치는 범위는 0.5D를 기준으로 한다(여기서, D는 터널의 직경을 의미함).
- 지반의 풍화변질상태는 육안으로 확인할 수 있는 갱구부 주변의 지반이나 노출된 암반으로부터 평가하도록 한다.
- 터널에 직접적인 영향을 주는 지질구조(단층, 습곡, 선구조선)의 영향은 지질도나 시공 자료, 지표지질조사결과 그리고 필요시 인공위성사진, 항공사진 등을 이용하여 검토하도록 한다.

- 이완토압, 편토압, 소성압 등으로 인하여 내공변위가 발생한 경우에는 단층과쇄대의 영향범위 내에 해당하는 점수를 부여한다.
- 도심지 터널의 경우 낮은 심도로 인하여 불량지반, 복합지반에 위치하는 경우에 지반 상태를 평가하고 영향범위에 따른 점수를 부여한다.

(자) 공동구상태

[표 2.18] 터널의 공동구상태 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
공동구상태	공동구에 문제가 없는 경우	보통인 상태 덧개파손 및 이물질 퇴적 오염된 및 침수		불량한 상태	

< 해 설 >

- 통신케이블, 신호용케이블, 전기케이블 등의 보호를 위해 터널 내에 설치되는 공간을 가리키며, 일반적으로 배수시설과 병행하여 시공된다.
- 공동구의 오염상태, 덧개파손, 이물질의 퇴적이나 침수 등을 조사하여 상태를 평가하도록 하며, 공동구 주변의 변화상태 등에 유의하여야 한다.
- 공동구의 변형과 라이닝부 및 바닥부, 주변지반과의 상관관계를 고려하여 상태의 정도를 평가하도록 하며, 터널의 변상에 기인한 변형의 경우에는 손상원인을 규명하도록 한다.

(차) 특수조건

[표 2.19] 터널의 특수조건 평가기준(도심지터널)

평가기준 구분	a	b	c	d	e
특수조건	특수조건에 해당하지 않는 경우	도심지 토사터널			
		주의범위 (1D~2D)	제한범위 (1D 미만)	—	—

[표 2.20] 터널의 특수조건 평가기준(전력구 터널 등)

평가기준 구분	a	b	c	d	e
특수조건	특수조건에 해당하지 않는 경우	전력구터널, 전차선을 설치한 터널			
		측벽부 낙수	아치부 낙수	동결위험	

< 해 설 >

- 도심지 토사터널은 터널심도, 인접시설물(건축물, 철도, 도로 등)과의 거리 등을 검토·분석하고 터널에 영향을 미치는 범위(주의:1D~2D, 제한:1D 미만)를 고려하여 이를

반영한다(여기서, D는 터널의 직경을 의미함).

- 전력구터널, 전차선을 설치한 터널은 전기를 사용하므로 누전문제에 대한 위험성을 상태안전성능 평가에 추가 반영하도록 하고, 특히 전차선을 설치한 터널은 동결 시 차량운행에 지장을 초래할 수 있으므로 이를 반영한다.
- 기타 일반적인 터널조건과 다른 특수터널인 경우, 조사자의 판단에 따라 상태안전성능 평가에 특수조건을 부과하여 가점하도록 한다.

4) 기본시설 결함지수 산정기준

(가) 터널별 결함지수 산정기준

터널 시설물 분류에 따른 터널별 상태안전성능 평가를 위한 결함점수와 결함지수 산출 방법은 다음과 같다. 여기서, 결함점수는 평가기준에 따른 평가점수를 합산하여 산정하며 (\sum 평가점수), 산정된 결함점수를 가중치의 합계(\sum 가중치)로 나누어 산정한다.

단, 아래 표에서 제시된 평가지표 중 시설물별 특수성으로 인하여 공통적으로 적용되지 않는 지표가 발생될 경우, 상태안전성능 평가표에서 해당 평가지표를 제외한 후 결함지수(f)를 산정한다.

- 도로터널-ASSM(재래식터널)-무근콘크리트 라이닝

[표 2.21] 도로터널-ASSM(재래식터널)의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라이닝	균열	0	4	7	11	16	16
	누수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박리	0	1	2	3	4	4
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
터널 주변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	9	9
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
	특수조건	0	1	3	4~6		6
기본시설 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치}(w)}$							

○ 도로터널-NATM터널-무근콘크리트 라이닝

[표 2.22] 도로터널-NATM터널(무근)의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		0≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3	4	4
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	9	9
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
	특수조건	0	1	3	4~6		6
<div> <div>기본시설 결함지수 (f) =</div> <div> $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$ </div> </div>							

○ 도로터널-NATM터널-철근콘크리트 라이닝

[표 2.23] 도로터널-NATM 터널의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	3	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	1	3	4	6	6
	공동구상태	0	1	2			2
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	2	3~5		5
기본시설 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치}(w)}$							

○ 도로터널-SHIELD터널-콘크리트 세그먼트 라이닝

[표 2.24] 도로터널-SHIELD터널의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		0≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	3	4	6	6
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	1	3	4	6	6
	공동구상태	0	1	2			2
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	2	3	5	7	7
	특수조건	0	1	2	3~5		5
<div> <div>기본시설 결함지수 (f) =</div> <div> $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치}(w)}$ </div> </div>							

○ 도로터널-개착터널-BOX형 철근콘크리트 구조물

[표 2.25] 도로터널-개착터널-BOX형의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	17	17
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	1	2	3	5	5
특수조건		0	1	2	3~5		5
기본시설 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$							

○ 철도터널-ASSM(재래식터널)-조적식 라이닝

[표 2.26] 철도터널-ASSM(재래식터널)의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	17	17
	누 수	0	3	5	7	11	11
	줄눈부 열화	0	2	3	5	7	7
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	4	4
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	4	6	8	8
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	8	8
	배면공동 유무	0	2	3	5	7	7
특수조건		0	1	3	4~6		6
기본시설 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$							

○ 철도터널-ASSM(재래식터널)-무근콘크리트 라이닝

[표 2.27] 철도터널-ASSM(재래식터널)의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		0≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3	4	4
	충분리 및 박락	0	1	3	4	6	6
	재료분리	0	1	2	3		3
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	8	8
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	3	4~6		6
<div> <div>기본시설 결함지수 (f) =</div> <div> $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$ </div> </div>							

○ 철도터널-NATM터널-무근콘크리트 라이닝

[표 2.28] 철도터널-NATM터널(무근)의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3	4	4
	충분리 및 박락	0	1	3	4	6	6
	재료분리	0	1	2	3		3
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	8	8
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	3	4~6		6
기본시설 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치 (w)}}$							

○ 철도터널-NATM터널_철근콘크리트 라이닝

[표 2.29] 철도터널-NATM터널의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		0≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f	
라 이 닝	균 열	0	4	7	10	15	15
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	8	8
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	2	3~5		5
기본시설 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치}(w)}$							

○ 철도터널-SHIELD터널-콘크리트 세그먼트 라이닝

[표 2.30] 철도터널-SHIELD터널의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	10	15	15
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	8	8
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
	특수조건	0	1	2	3~5		5
<div> <div>기본시설 결함지수 (f)</div> <div> $= \frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치}(w)}$ </div> </div>							

○ 철도터널-개착터널-BOX형 철근콘크리트 구조물

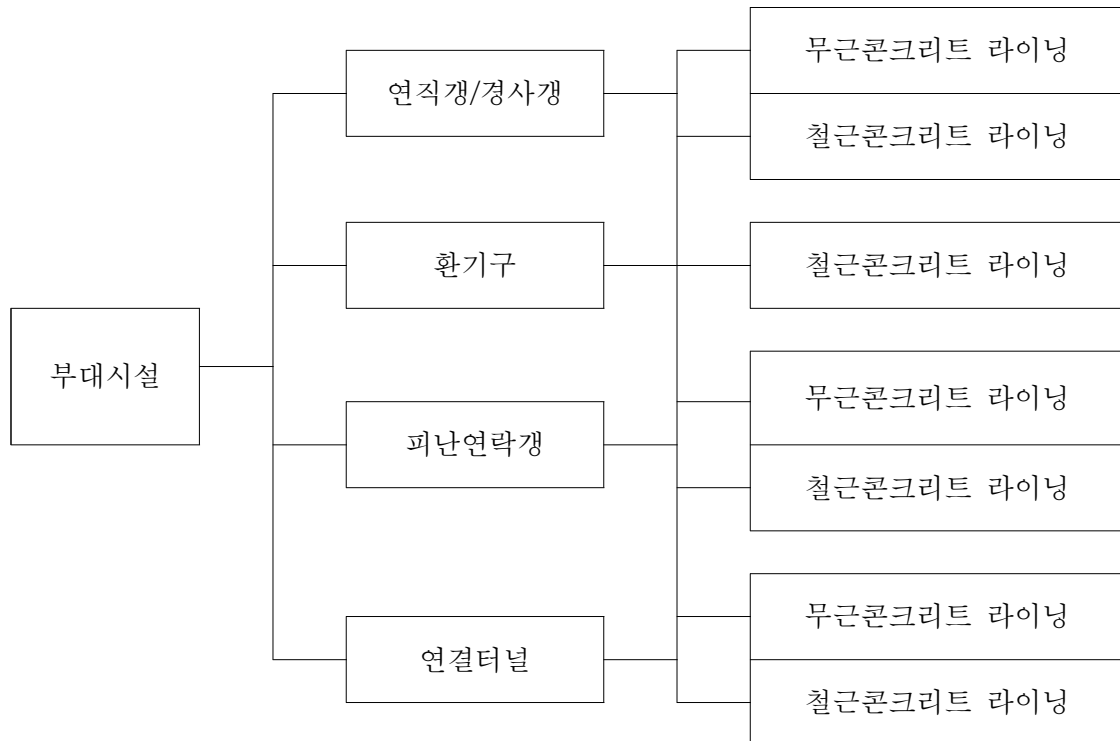
[표 2.31] 철도터널-개착터널-BOX형의 결함지수 산정 예

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		0≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	14	14
	파손 및 손상	0	2	4	6	8	8
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	16	16
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	1	3	4	6	6
	배면공동 유무	0	1	2	3	5	5
	특수조건	0	1	2	3~5		5
<div> <div>기본시설 결함지수 (f) =</div> <div> $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$ </div> </div>							

5) 부대시설 결합지수 산정기준

(가) 터널 부대시설 분류

터널 부대시설 중에서 중요도 및 규모가 상대적으로 큰 별도평가 부대시설을 기능 및 라이닝의 재질에 따라 분류하면 아래 그림과 같다.



[그림 2.2] 부대시설 분류

(나) 부대시설 상태안전성능평가 성능지표

터널 부대시설은 기본시설의 성능지표(터널주변 성능지표 제외)를 준용하여 평가한다.

(다) 부대시설 가중치

부대시설 평가결과를 기본시설을 포함한 전체시설물의 상태안전성능 평가 결과에 반영하기 위한 방법으로 아래 표와 같이 기본시설과 별도로 부대시설 결합점수에 따른 가중치(W)를 정하였으며, 부대시설 평가기준은 기존의 산정 개념과 유사하게 보수적인 관점에서 하위상태에 비중을 두어 산정한다.

부대시설 가중치 적용은 기본시설 결합지수(f)에 부대시설 가중치(W)를 곱하여 전체 시설물의 결합지수(F)를 산정하고, 시설물 상태안전성능 평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

$$\text{전체시설물의 결합지수(F)} = \text{기본시설 결합지수(f)} \times \text{부대시설 가중치(W)}$$

[표 2.32] 부대시설의 가중치

가중치(W)	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 결합지수	$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
시설물 상태안전 성능 평가	문제점이 없는 최상 의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본 시설 기능 수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설에 영향을 주는 상태	기본시설의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

부대시설의 상태안전성능 평가는 개별 부대시설을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대 시설 결합지수를 산정하고 부대시설 상태안전성능 평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

$$\text{부대시설의 결합지수}(f) = \sum(f_n) / n$$

여기서, f_n : 개별 부대시설의 상태안전성능 평가 결합지수

n : 개별 부대시설의 개수

(라) 부대시설 결합지수 산정기준

터널 부대시설 구조물 분류에 따른 상태안전성능 평가를 위한 결합점수와 결합지수 산출방법은 기본시설기준(터널주변점수 제외)을 준용한다.

2.4.2 구조안전성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

1) 일반

터널의 구조안전성능 평가는 외관조사 및 비파괴 현장시험에 의한 터널 부재별 상태 안전성능 평가를 분석하고, 필요시 지형 및 지질조사, 지반탐사(GPR 등), 누수탐사, 각종 계측 등의 실시결과를 고려하여 이론적 계산과 해석적 검증을 통하여 성능지표를 검토하여 터널에 대한 안전성능을 평가한다.

[표 2.33] 터널의 구조안전성능 평가 시 성능지표

구 분		성능지표	비 고
구조안전성능	상시	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 안전율 ◦ 변위 ◦ 응력 	—
	지진시	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 안전율 ◦ 변위 ◦ 응력 	—

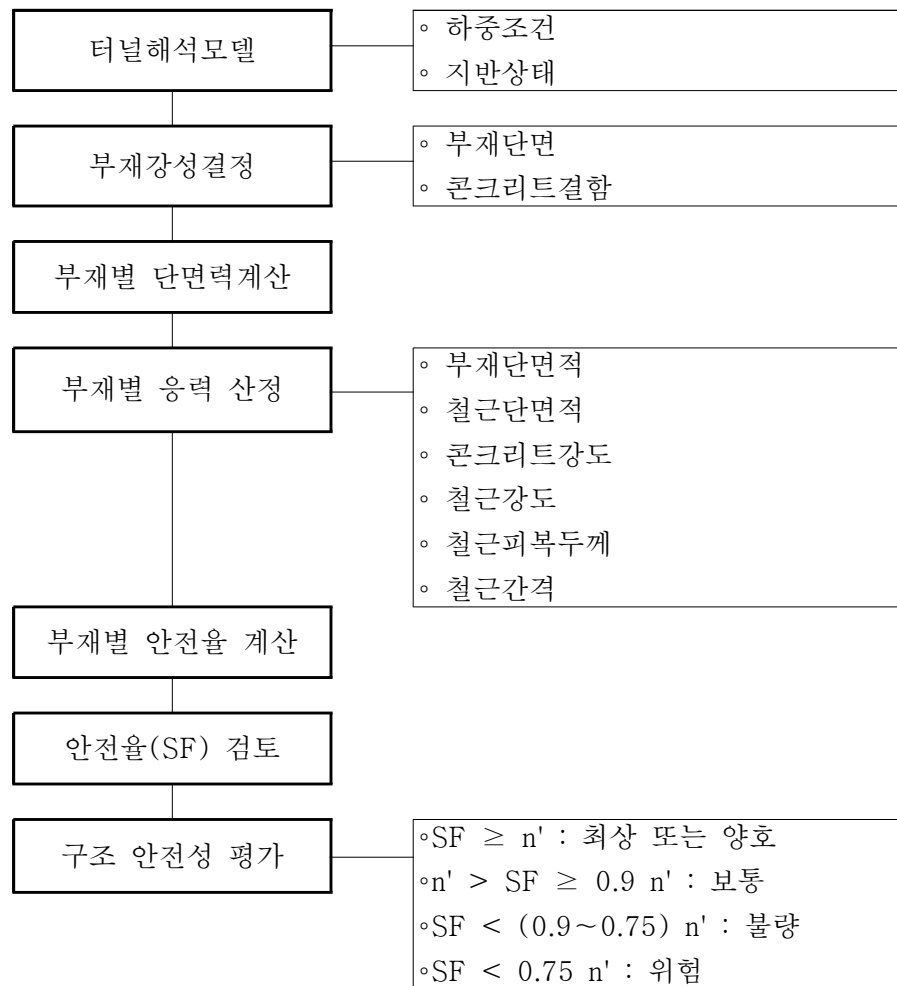
2) 구조안전성능 평가 방법

터널의 구조안전성능 평가방법은 일반적으로 주변지반의 응력상태를 고려한 해석적 방법에 의해 이루어진다. 해석적 방법에 의해 구조물의 안전성을 평가하는 경우 현장조사 및 수집자료에 의해 얻어진 구조물의 치수, 시공상세도, 재료의 성질 및 구조물의 결합, 주변지반조건 등을 종합하여 실제상태에 대한 해석을 통해 올바른 평가를 기대할 수 있으므로 관련 설계 및 안전에 관한 제반기준을 적용하고 공인된 신뢰도가 있는 해석방법에 의해 평가되어야 한다.

구조물의 해석 시 안전여유율이 고려되어 있으므로 현재상태의 구조물에 대한 구조해석 결과가 「건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)」의 안전도 기준에 미흡하다고 해서 구조물이 불안전 하다는 것이 아니라 단지, 구조물의 안전여유율이 작다는 것을 의미한다.

따라서 구조해석에 의한 구조물의 안전성 평가는 현재상태의 구조물이 얼마나 안전여유율을 확보하고 있는지의 정도를 평가하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

즉, 구조해석 결과 안전여유율이 등가안전율(n') 이상인 경우는 안전성이 충분히 확보된 구조물로 평가하고 등가안전율 미만이나 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 이상일 때는 안전성은 있지만 충분치 못한 상태로서 구조물의 상태를 주기적으로 점검 및 과대하중 재하억제 등의 관리가 필요한 상태로 평가하며, 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 미만인 경우에는 사용제한여부의 판단이 요구되거나 사용금지를 요하는 안전성이 결여된 구조물이라고 평가할 수 있다.



[그림 2.3] 구조안전성능평가 결과 산정 방법

내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 「기존시설물(터널) 내진성능 평가요령 (2011, 국토해양부)」 내용을 참고하여 평가한다.

3) 구조안전성능 평가 기준

터널은 대부분 지표면 아래에 축조되는 구조물로서 지하수의 부력, 지반의 부등침하 및 누수에 의한 지반함몰 등의 영향을 받는다. 따라서 터널의 설계·준공도서 및 기존의 안전점검 또는 정밀안전진단 보고서 등을 검토하여 구조물의 안전성을 판단하거나 실제 주요부재의 상태안전성평가 결과가 불량하게 나타나 현장조사 시 문제점이 발생한 부위를 대상으로 안전율(Safety factor, SF) 검토를 수행하여 구조물의 안전성을 판단하는 것이 필요하다.

국내에서의 구조물 안전성평가는 평가대상 항목의 안전율을 이용하여 수행하고 있으며, 안전율 검토는 허용응력설계법(부재의 발생응력과 허용응력의 비)이나 강도설계법(부재의 소요강도와 설계강도의 비)에 따라 구조물의 각 부재에 작용하는 외력에 의한 응력을 산정하여 이루어지고 있다. 일반적으로 터널은 지반과의 상호작용을 바탕으로 구조적 거동이 이루어지므로 구조해석에 필요한 경계조건, 지반상수 등은 설계·준공도서 또는 지반조사에 의해 얻거나 건설기준코드 등에 나와 있는 값을 참고로 하여 구

한다.

상기와 같은 내용을 근간으로 검토한 휨, 전단, 압축 등의 최저 안전율 정도에 따라 구조물의 안전성에 대한 평가기준을 설정하면 다음 표와 같다. 구조안전성능의 평가등급에 따른 결함지수는 구조물의 안전측면을 고려하여 각 등급의 결함지수 범위 중 최저치를 사용하며 설정된 결함지수는 아래의 표와 같다.

[표 2.34] 구조안전성능평가 기준치

평가등급	내 용	결함지수
A	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상이 없는 경우	0.14
B	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상(단면손실)이 있는 경우	0.29
C	안전율(SF)이 1.0 미만~0.9이상	0.54
D	안전율(SF)이 0.9 미만~0.75이상	0.74
E	안전율(SF)이 0.75 미만	0.99

2.4.3 안전성능 결과 산정 방법

가. 상태안전성능 결과산정 방법

1) 기본시설 상태안전성능 결과산정

(가) 제1단계 : 라이닝 결함지수(f1) 산정

- ① 갭문 및 개착구간을 포함하는 본선라이닝의 평가단위(e.g. 스패น or 면적)별 성능지표별 최저의 결함점수를 부여한다.
- ② 라이닝 평가단위별 결함지수를 구한다.
- ③ 본선라이닝 전체에 대한 결함지수(f1)를 구한다. 이때에 라이닝 평가단위별 성능지표에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

(나) 제2단계 : 라이닝 상태안전성능 평가 결과 산정

- ① 갭문 및 개착구간을 포함하는 본선라이닝의 평가단위별 성능지표와 결함점수에 대한 평가를 5단계의 등급(a, b, c, d, e)으로 평가함
- ② 본선라이닝 전체에 대한 성능지표별 결함점수(산술평균값)과 결함지수에 대한 평가를 5단계의 등급(a, b, c, d, e)으로 평가함
- ③ 터널주변 상태에 대한 배수, 지반, 공동구상태 및 특수조건 등의 결함점수를 부여함

(다) 제3단계 : 기본시설물 상태안전성능 평가 결과산정

- ① 1단계의 라이닝 결함지수(f1) 산정 시 사용한 성능지표별 결함점수 산술 평균값과 2단계의 터널 주변상태 평가 결함점수를 합함
- ② 기본시설물의 결함지수(f)를 산정하고, 기본시설물 상태안전성능 등급을 5단계(A, B, C, D, E)로 평가함
- ③ 기본시설물의 상태안전성능 등급 산정

- A등급(우수) : 기본시설물 결합지수(F) $0.00 \leq F < 0.15$
- B등급(양호) : 기본시설물 결합지수(F) $0.15 \leq F < 0.30$
- C등급(보통) : 기본시설물 결합지수(F) $0.30 \leq F < 0.55$
- D등급(미흡) : 기본시설물 결합지수(F) $0.55 \leq F < 0.75$
- E등급(불량) : 기본시설물 결합지수(F) $0.75 \leq F$

2) 부대시설 상태안전성능 결과산정

[부대시설물]

(가) 제1단계 : 부대시설별 결합지수(fn) 산정

- ① 부대시설 평가대상마다 성능지표별 최저의 결합점수를 부여함
- ② 부대시설 평가단위별 결합지수를 구함
- ③ 부대시설 전체에 대한 결합지수(f)를 구함. 이때에 부대시설 성능지표에 대한 결합점수를 산술평균하여 구함

(나) 제2단계 : 전체 부대시설 상태안전성능 평가 결과 산정

- ① 부대시설 평가대상별 성능지표와 결합지수에 대한 평가를 5단계의 등급(a, b, c, d, e)으로 평가함
- ② 부대시설 평가항목(산술평균값)과 결합지수(f)에 대한 평가를 5단계의 등급(a, b, c, d, e)으로 평가함
- ③ 개별 부대시설을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설 결합지수를 산정하고 전체 부대시설 상태안전성능 등급을 5단계(A, B, C, D, E)로 평가함

$$\text{부대시설의 결합지수}(f) = \sum(fn) / N$$

여기서, fn : 개별 부대시설의 상태적 결합지수

N : 개별 부대시설의 개수

(다) 제3단계 : 가중치(W) 부여

- ① 전체 부대시설 결합지수(f)에 해당하는 가중치를 산정함

[표 2.35] 부대시설의 가중치

가중치(W)	1.0	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 결합지수	$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
시설물 상태안전성 능 평가	문제점이 없는 최상 의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본 시설 기능 수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설에 영향을 주는 상태	기본시설의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

[전체시설물]

(라) 제4단계 : 전체 시설물 상태안전성능평가 결과산정

- ① 기본시설물 결합지수(f)에 부대시설 가중치(W)를 곱하여 전체시설물의 결합지수(F)를 산정하고, 시설물 상태안전성능평가 등급을 5단계(A, B, C, D, E)로 평가함

$$\text{시설물의 결합지수(F)} = \text{기본시설 결합지수(f)} \times \text{부대시설물 가중치(W)}$$

② 전체시설물의 상태안전성능 등급 산정

- A등급(우수) : 전체시설물 결합지수(F) $0.00 \leq F < 0.15$
- B등급(양호) : 전체시설물 결합지수(F) $0.15 \leq F < 0.30$
- C등급(보통) : 전체시설물 결합지수(F) $0.30 \leq F < 0.55$
- D등급(미흡) : 전체시설물 결합지수(F) $0.55 \leq F < 0.75$
- E등급(불량) : 전체시설물 결합지수(F) $0.75 \leq F$

3) 상태안전성능 평가 결과산정 예시

상태안전성능평가의 근거자료 확인을 위해 결합점수가 부여된 결합물량 집계표는 외관망도 또는 부록에 수록하여야 한다.

‘도로터널-ASSM(재래식터널)-무근 콘크리트 라이닝’형식의 터널에 대한 상태안전성능평가 결과 산정(예)를 단계별로 구분하여 예시하였다.

[기본시설물]

(가) 제1단계 : 라이닝 결합지수(f1) 산정

SPAN No.	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 및 박락	재료분리	결합점수 합계	라이닝 결합지수
1	7	3	6	3	2	0	21	0.42
2	4	0	2	3	1	3	13	0.26
3	4	0	2	1	0	0	7	0.14
4	4	0	4	2	1	1	12	0.24
5	7	3	2	1	2	1	16	0.32
산술평균	5.2	1.2	3.2	2.0	1.2	1.0	13.8	0.28

- ① “SPAN No 1”의 평가지표에 대한 최저등급의 결합점수를(균열 c-7, 누수 b-3, 파손 및 손상 d-6, 박리 d-3, 충분리 및 박락 c-2, 재료분리 a-0) 부여하고 라이닝의 결합점수 21점을 구함
- ② “SPAN No 1”의 라이닝 결합지수를 구한다. 이때에 도로터널 ASSM-무근콘크리트 라이닝 결합지수(f1)($\sum \text{결합점수}(21\text{점}) / \sum \text{가중치}(50) = 0.42$)를 구함
- ③ 상기 ①, ②와 같은 방법으로 나머지 SPAN의 결합점수를 구하고 라이닝 5개 SPAN의 결합점수에 대한 산술평균값을 구한 후 가중치의 합으로 나누어 전체

라이닝의 결함지수를 구함

- 평가지표 결함점수 : 균열 5.2, 누수 1.2, 파손 및 손상 3.2, 박리 2.0, 층분리 및 박락 1.2, 재료분리 1.0, 결함점수 합계 13.8점
- 라이닝 결함지수(f) : $0.28(13.8/50=0.28)$

(나) 제2단계 : 라이닝 상태안전성능 평가 결과 산정

SPAN No.	균열	누수	파손 및 손상	박리	층분리 및 박락	재료분리	라이닝등급
1	c	b	d	d	c	a	c
2	b	a	b	d	b	d	b
3	b	a	b	b	a	a	a
4	b	a	c	c	b	b	b
5	c	b	b	b	c	b	c
산술평균	c	a	c	c	b	c	b

- ① 라이닝 스판별 성능지표와 결함지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김
- ② 라이닝 2개 스판의 성능지표에 대한 산술평균값과 결함지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김

(다) 제3단계 : 터널 주변상태 결함점수 산정

SPAN No.	내공단면 변형여부	배수상태	공동구 상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계	주변상태
1	4	2	1	2	2	1	12	0.24
2	0	0	0	2	2	1	5	0.10
3	7	3	1	2	2	1	16	0.32
4	4	4	2	2	1	1	14	0.28
5	4	2	0	2	0	1	9	0.18
산술평균	3.8	2.2	0.8	2.0	1.4	1.0	11.2	0.22

- ① "SPAN No. 1"의 성능지표에 대한 최저등급의 평가점수를(내공단면 변형여부 b-4, 배수상태 b-2, 공동구 상태 b-1, 지반상태 b-2, 배면공동 유무 b-2, 특수조건 b-1) 부여하고 평가점수의 합산하여 터널주변의 결함점수를(12점) 구함
- ② "SPAN No. 1"의 터널주변의 결함지수(\sum 결함점수(12점)/ \sum 가중치(50점)=0.24)를 구함
- ③ 상기 ①, ②와 같은 방법으로 나머지 SPAN에 대하여 결함지수를 구함. 라이닝 5개 SPAN의 평가지표에 대한 산술평균값을 구한 후 터널주변 결함지수를 구함
 - 평가지표 결함점수 : 내공단면 변형여부 3.8, 배수상태 2.2, 공동구상태 0.8, 지반상태 2.0, 배면공동 유무 1.4, 특수조건 1.0, 결함점수 합계 11.2점
 - 터널주변 결함지수(f) : $0.22(11.2/50=0.22)$

(라) 제4단계 : 기본시설물 상태안전성능 평가 결과 산정

구분	라이닝						터널주변						합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분 리 및 박락	재료 분리	내공단면 변형여부	배수 상태	공동구 상태	지반 상태	배면 공동 유무	특수 조건	
결합 점수	5.2	1.2	3.2	2.0	1.2	1.0	3.8	2.2	0.8	2.0	1.4	1.0	25.0
결합 지수	$\text{기본시설물 결합지수}(f) = \frac{\Sigma \text{결합점수}}{\Sigma \text{가중치}} = \frac{25}{100} = 0.25$												
												상태안전성능 평가 등급	B

- ① 제1단계의 라이닝 결합지수 산정 시 사용한 평가지표별 결합점수 산술평균값 (결합점수 : 균열 5.2, 누수 1.2, 파손 및 손상 3.2, 박리 2.0, 충분리 및 박락 1.2, 재료분리 1.0, 합계 13.8점)과 터널주변 결합점수(결합점수 : 내공단면 변형 여부 3.8, 배수상태 2.2, 공동구상태 0.8, 지반상태 2.0, 배면공동 유무 1.4, 특수 조건 1.0, 합계 11.2점)를 합하여 기본시설물 결합점수 25.0점을 구함
- ② 기본시설 결합지수(f) (결합지수(f) : $\Sigma \text{결합점수}(25\text{점}) / \Sigma \text{가중치}(100\text{점}) = 0.25$)를 구한 후 결합지수에 대한 5단계(A, B, C, D, E) 등급 중 해당등급(B)을 부여함

(마) 조합 시 연장별 평가방법

한 개의 터널에 여러 개의 구조형식이 있는 경우 다음과 같은 산정방법에 의해 상태안전성능 등급을 산정한다.

- ① 한 터널의 철근구간, 무근구간, 조적구간에 대해 제1단계의 라이닝 평가항목별 결합점수 산술평균값에 주변상태점수를 합하여 결합점수 산정 후 각 구간별 결합지수를 각각 산정한다.
- ② 연장별 가중치를 산정한다(연장별가중치 = 해당구간 연장/ 전체연장).
- ③ Σ (각 구간별 결합지수×연장별 가중치)를 구한 후 결합지수에 대한 5단계(A, B, C, D, E) 등급 중 해당 상태안전성능 등급을 산정한다.

시설물명	라이닝 결합점수		주변 상태	결합지수	연장별 가중치	기본시설 결합지수 (f)	상태안전성 능 평가 등급
00터널	철근구간	17.8	13.4	31.2/100=0.312	0.36 (360m)	0.263	B
	무근구간	9.8	12.3	22.1/100=0.221	0.46 (460m)		
	조적구간	15.7	11.5	27.2/100=0.272	0.18 (180m)		

[부대시설물]

(가) 제1단계 : 부대시설물별 결함지수(f) 산정

시설물 구분	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 및 박락	재료분리	결함점수 합계	라이닝 결함지수
연결통로 1	4	0	0	1	0	0	5	0.10
연결통로 2	4	0	2	0	1	1	8	0.16
산술평균	4.0	0	1.0	0.5	0.5	0.5	6.5	0.13

- ① "연결통로 No. 1"의 평가지표에 대한 최저등급의 결함점수를(균열 b-4, 누수 a-0, 파손 및 손상 a-0, 박리 b-1, 충분리 및 박락 a-0, 재료분리 a-0) 부여함. 부대시설물의 결함점수 5점을 구함
- ② "연결통로 No. 1"의 결함지수를 구함 (Σ 결함점수(5점)/ Σ 가중치(50점))
- ③ 상기 ①, ②와 같은 방법으로 나머지 부대시설에 대하여 구함. 나머지 부대시설의 성능지표에 대한 산술평균값을 구한 후 부대시설물의 결함지수를 구함
 - 평가항목 결함점수 : 균열 4.0, 누수 0.0, 파손 및 손상 1.0, 박리 0.5, 충분리 및 박락 0.5, 재료분리 0.5, 결함점수 합계 6.5점
 - 부대시설 결함지수(f) : 0.13(6.5/50=0.13)

(나) 제2단계 : 전체 부대시설물 상태안전성능 평가 결과 산정

부대시설	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 및 박락	재료분리	부대시설 등급
연결통로 No. 1	b	a	a	b	a	a	a
연결통로 No. 2	b	a	b	a	b	b	b
산술평균	b	a	a~b	a~b	a~b	a~b	a

- ① 부대시설별 성능지표와 결함지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김
- ② 부대시설의 성능지표에 대한 산술평균값과 결함지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김
- ③ 상기의 과정을 부대시설물별로 반복하여 부대시설물별 결함지수 산정
- ④ 개별 부대시설 결과를 산술평균하여 부대시설 결함지수를 산정하고 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김

(다) 제3단계 : 가중치(W) 부여

부대시설	개별 부대시설 결함지수	전체 부대시설 결함지수(f)	부대시설 가중치	가중치 결정
연결통로 No. 1	0.1	0.13	$0 \leq f < 0.15$	1.0
연결통로 No. 2	0.16			

[전체시설물]

(라) 제4단계 : 전체 시설물 상태안전성능 평가 결과 산정

① 기본시설물 결합지수(f)에 부대시설 가중치(W)를 곱하여 전체시설물의 결합지수(F)를 산정한다.

$$- \text{결합지수(F)} = \text{기본시설 결합지수(f)} \times \text{부대시설물 가중치(W)}$$

② 전체시설물의 상태안전성능등급 산정

시설물명	기본시설 결합지수(F)	부대시설 가중치(W)	결합지수(F)	상태안전성능등급
OO터널	0.25	1.0	0.25	B

나. 구조안전성능 결과산정 방법

1) 구조안전성능 결과산정

(가) 개착터널(cut and cover : BOX, 지하차도), Shield 터널

구조물의 해석방법에는 강도설계법과 허용응력설계법이 있으며 이 중 강도설계법을 원칙으로 하지만 특별한 경우에는 허용응력설계법을 적용할 수 있다. 강도설계법에서는 구조물의 안전여유를 두 가지 측면에서 고려하는데 하나는 하중의 변경, 구조해석시의 가정과 계산을 간단하게 함으로써 야기될 지 모르는 초과하중의 영향을 고려한 하중계수이며, 다른 하나는 설계계산상의 불확실성, 부재의 다양한 형식에 대한 상대적 중요도, 재료의 설계강도 및 실제단면치수와 제작 시공기술 등에 관련된 다소의 불리한 오차들이 개별적으로는 허용한계에 있더라도 총체적으로 결합 시 부재의 강도감소를 초래할 가능성에 대비한 강도감소계수이다.

이러한 하중계수와 강도감소계수에 의한 설계상의 구조물 안전여유율을 등가안전율이라 하며 다음 식으로 표현된다. 이의 값은 활하중/고정하중의 비(L/D)와 휨부재 혹은 전단부재의 여부에 따라 차이를 갖는데 휨응력에 대해서는 약 1.5~2.0이고, 전단응력에 대해서는 1.7~2.5정도의 값을 가진다.

$$n' = \frac{\gamma_D + \gamma_L L/D}{\Phi(1 + L/D)}$$

여기서, n' : 등가안전율

γ_D : 고정하중계수

γ_L : 활하중계수

L/D : 활하중과 고정하중의 비

Φ : 강도감소계수

일반적으로 설계개념의 안전율을 도입하는 개착터널(cut and cover), Shield 터널 등은 안전율 산정이 가능하므로 [표 2.34]와 같이 구조안전성능 평가결과를 산정한다.

○ 안전성평가는 일반적으로 수치해석을 통한 부재의 응력크기로 평가

- 안전율 SF=1 이상인 경우 : A등급으로 평가
- 안전율 SF=1 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우 : B등급으로 평가
- 안전율 SF=1보다 작은 경우 : C, D, E등급으로 평가
 - C등급 : $0.90 \leq SF < 1.0$
 - D등급 : $0.75 \leq SF < 0.90$
 - E등급 : $SF < 0.75$

여기서, 강도설계법 안전율 : $SF = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi Mn}{Mu}$

허용응력설계법 안전율 : $SF = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_a + f_l}$

(나) 굴착터널(Mined Tunnel : 재래식, NATM 터널)

굴착터널에 대한 구조안전성능 평가는 설계개념의 안전율을 도입했을 경우에는 안전율 산정이 가능하므로, [표 2.34]와 같이 구조안전성능 평가 결과를 산정한다. 그러나 설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우에는 터널 상태안전성능 평가 시 지반상태와 라이닝변상 등을 기 반영하였고, 구조안전성능 평가를 정량화하여 A, B, C, D, E 등급으로 분류하기가 곤란하므로 안전, 불안전 여부만을 평가하고 안전할 경우 A등급, 불안전할 경우에는 E등급을 부여한다.

일반적으로 터널은 지반조건이 서로 다르기 때문에 대표단면 선정의 타당성, 지반정수의 정확성, 단층 및 절리 등의 불연속면 특성의 포함여부, 해석방법 등에 따라 구조안전성능 평가 결과가 좌우된다. 산악터널과 도심지 터널의 주변지반조사의 어려움으로 인해 지반정수의 가정을 통한 터널해석에는 많은 오차를 포함하고 있다.

설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우 터널해석은 각종 변상과 변위에 따라 수치해석 및 역해석을 실시하여 보수·보강 범위를 산정하고 있으므로 구조안전성능 평가를 정량화하여 A, B, C, D, E 등급으로 분류하기가 곤란하여 반영하지 않고 안전, 불안전 여부만을 평가하고 안전할 경우 A등급, 불안전할 경우에는 E등급을 부여한다.

다만, 터널의 수치해석에 의한 안전성평가 시에는 수치해석에 필요한 지반정수가 지반조사에 의하여 획득될 경우 터널의 라이닝에 작용하는 하중조건과 터널라이닝의 변상상태를 역해석적 방법이나 일반적인 라이닝 구조해석 방법으로 터널의 구조안전성능을 제시할 수 있다.

이런 경우 라이닝의 강도와 지반특성을 수치해석에 반영하여 터널라이닝의 설계기준 강도에 대비하여 안전율을 판단함으로써 안전성여부를 평가하는데 참고자료로 활용한다.

2) 구조안전성능 평가 결과산정 예시

(가) 안전율을 도입한 경우의 방법

개착터널(cut and cover)과 굴착터널(Mined Tunnel)중 설계당시 안전율을 도입한 경우에는 구조안전성능 평가 결과산정 방법을 다음과 같이 예시하였다.

[표 2.36] 터널의 구조안전성능 평가 결과산정(개착터널) 예

시설물 구조안전성능 평가 결과산정 표			
시설물명	○○○ 터널		표번호 TS. NO.3
부재구분	안전율(SF)	평가결과	비 고
상부슬래브(횡방향) 휨모멘트	1.08	a	
상부슬래브(종방향) 휨모멘트	0.92	c	
상부슬래브 전단력	1.03	b	손상(단면감소)발생
구조안전성능평가 결과	◦ 최저 안전성능평가 결과 = C, 결함지수 = 0.54		

[표 2.37] 터널의 구조안전성능 평가 결과산정(ASSM 터널) 예

시설물 구조안전성능 평가 결과산정 표			
시설물명	○○○ 터널		표번호 TS. NO.4
부재구분	안전율(SF)	평가결과	비 고
콘크리트라이닝 전단응력	2.5	a	
콘크리트라이닝 압축응력	1.8	a	
구조안전성능평가 결과	◦ 최저 안전성능평가 결과 = A, 결함지수 = 0.14		

(나) 안전율을 도입하지 않을 경우의 방법

안전율을 도입하지 않은 경우 수치해석에 의한 구조안전성능 평가 방법은 다음과 같다.

[표 2.38] 터널의 구조안전성능 평가 결과산정(NATM터널) 예

시설물 구조안전성능 평가 결과산정 표			
시설물명	○○○ 터널	표번호	TS. NO.5
부재구분	변위 또는 응력	구조안전성능 여부 (안전, 불안전)	비 고
◦ 변위발생경향	(단위 : mm)		- 정성적표현
- 천단변위	0.78	안전	
- 내공변위	2.89	안전	
◦ 응력발생경향	(단위 : kgf/cm ²)		- 정성적표현
- 휨압축응력	12 kgf/cm ²	안전	
- 전단응력	5.19 kgf/cm ²	안전	
구조안전성능평가 결과	◦ 구조안전성능평가결과 : 안전 ※ 일반터널(Mined Tunnel)에서 안전성평가를 정량적으로 표시할 수 없는 경우는 정성적으로 표시함		

다. 안전성능 평가 결과산정 방법

1) 안전성능 평가 결과산정

평가대상 터널에 대하여 상태 및 구조 안전성능 평가를 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능 평가등급과 구조안전성능 평가등급을 비교하여 최저 등급을 최종 안전성능 평가 등급으로 결정한다.

단, 구조안전성능 평가를 실시하지 않은 경우는 상태안전성능 평가 등급을 최종 안전성능 평가 등급으로 같음한다.

$$\text{터널의 안전성능 평가 등급} = \text{Min}(G_c, G_s)$$

여기서, G_c : 터널의 상태안전성능 등급

G_s : 터널의 구조안전성능 등급

2) 안전성능 평가 결과산정 예시

평가대상 터널에 대하여 안전성능 평가 산정 절차를 예시하면 다음과 같다.

[표 2.39] 터널의 안전성능 평가 결과산정(NATM터널)

시설물 안전성능 평가 결과산정 표				
시설물명	○○○ 터널		표번호	TS. NO.4
평가구분	결합지수	평가결과	비 고	
상태안전성능 평가	0.25	B	근거 표번호	
구조안전성능 평가	1.00	A	근거 표번호	
안전성능 평가결과	◦ 안전성능평가 결과 = B ◦ 안전성능 평가지수(p_s) = 0.25			

2.5 내구성능 평가 기준 및 방법

2.5.1 내구성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가에 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질, 열화환경평가에는 제설제에 의한 염해환경, 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이 포함된다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합 등급에는 열화진전평가만이 사용되고, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

[표 2.40] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전 항목	열화환경 항목
염화물 침투량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

나. 평가대상 부재

터널(도로/철도)의 경우, 무근콘크리트 및 철근콘크리트 등 2가지의 사용재료에 따라 평가지료를 설정하였으며, 세부 부재는 ‘본선라이닝’, ‘갯문(구)’, ‘환기구콘크리트’로 구분하였다.

[표 2.41] 평가대상의 구분

시설명	세부구분	부재명
터널	도로터널	본선라이닝
		갯문(구)
		환기구콘크리트
	철도터널	본선라이닝
		갯문(구)
		환기구콘크리트

다. 평가지표별 기준 및 점검방법

1) 염화물 침투량

[표 2.42] 염화물 침투량 평가등급

등급	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$	비 고
a	30년 초과	0.3 이하	<ul style="list-style-type: none"> - 깊이별 염화물 침투량 측정 - 공용연수와 염화물 침투량을 고려하여 염화물 확산계수 산정 - 염화물 확산계수로서 철근의 부식 발생 임계치에 도달하는 시간 산정 - “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$	
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$	
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

<해 설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정한다.
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문이다.
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을 수록 낮은 등급을 부여한다.
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고한다.

2) 탄산화 깊이

[표 2.43] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

등급	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T	비고
a	30년 초과	점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 T계산 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계 피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T : 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간, D: 탄산화 깊이, t: 공용연수)
b	20년 < T ≤ 30년	
c	10년 < T ≤ 20년	
d	5년 < T ≤ 10년	
e	5년 이하	

<해설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 포함한다.
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화될 가능성을 고려한 것이다.
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

3) 피복(표면부) 콘크리트 품질

초기 시공불량의 경우, 피복콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수 도 있으며, 공용 중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화 요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다. 피복콘크리트품질의 경우 반발경도 측정 결과를 활용하여 평가를 수행한다.

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 2.44] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

등급	상세	비고
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태
b	90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 < 100%	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.
- a등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있다.
- c등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 2.45] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

등급	상세	비고
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정 하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정한다.
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위이다.
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분한다.

4) 염해환경

[표 2.46] 염해환경의 평가기준(해안거리)

항목	등급	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)
해안거리에 따른 비래염분 염해환경	a	동해안	전지역	500 초과
		서해안	고창, 태안 그 외 지역	1,000 초과 300 초과
		남해안	사천, 거제 그 외 지역	100 초과 20 초과
	b	동해안	전지역	$250 < X \leq 500$
		서해안	고창, 태안 그 외 지역	$500 < X \leq 1000$ $120 < X \leq 300$
		남해안	사천, 거제 그 외 지역	$50 < X \leq 100$ $10 < X \leq 20$
	c	동해안	전지역	비말대* $< X \leq 250$
		서해안	고창, 태안 그 외 지역	비말대 $< X \leq 500$ 비말대 $< X \leq 120$
		남해안	사천, 거제 그 외 지역	비말대 $< X \leq 50$ 비말대 $< X \leq 10$

* 비말대 : 바닷가에서 파도가 칠 때 튀어 오르는 물방울이 미치는 범위로 해수가 직접 닿지 않는 지역을 일컫음

[표 2.47] 염해환경의 평가기준(제설제)

항목	등급	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	$7 \leq$ 강설일수 < 14
	c	$14 \leq$ 강설일수

<해 설>

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분한다.
- 상기 항목은 각각 해안인접성과 강설일수를 기본 항목으로 정하고 등급을 설정한다.
- 해안 인접성의 경우 동해와 서해를 동일한 조건으로 고려하고, 해안의 형상, 구조 및 환경에 따라 다른 해역에 비해 비교적 비래염분이 적은 남해는 동해 및 서해와 달리 완화된 등급을 부여함을 원칙으로 하였다.
- 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설 시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가살포는 고려하지 않으며 강설일수가 14일 이상이면 c 등급을 부여한다.
- 강설일수는 최심신적설(하루동안 내린 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 취한다.

5) 동해환경

[표 2.48] 동해환경의 평가기준

등급	동결융해 반복지수(X)	비고
a	$X < 3$	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	

<해 설>

- X는 동결융해 반복지수로서 수분과의 접촉 여부로 구분하여 산정한다.
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정한다.
- 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단한다.

라. 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저 등급을 반영한다. 부재별 내구성능 평가결과는 부재별 가중치를 고려하여 등급을 도출한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경 평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다. 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경 평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경 평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경 평가는 제설제 염해환경, 비래염분 염해환경, 동해 환경의 3개 열화환경평가 지표로 이루어진다. 열화환경평가는 3가지 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다.

열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 2.49] 열화 환경 평가기준

평가등급	열화 환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길 수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태

○ 염해환경

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설로 인하여 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 나누어서 평가한다.

○ 동해환경

- 대상 터널이 위치한 지역의 10년간 동절기 기상청 데이터를 기준으로 동해환경을 파악하여 동결융해 반복지수를 도출하고, 동결융해 환경등급을 평가한다.
- 동일한 동결융해 사이클에 노출되어 있더라도 동결융해에 대한 위험도는 부재별 수분공급 환경에 따라 다르며, 열화환경 등급으로 반영되는 동결융해 환경은 수분에 노출되는 부재의 동결융해 사이클 수가 되며, 수분에 노출되지 않는 부재의 동결융해 사이클 수(강수가 있을 때만 해당됨)는 비록 수분에 직접 노출되지 않더라도 동결융해에 대하여 취약할 수 있음에 대한 참고자료로서 활용한다.

(나) 열화진전 평가(부재수준의 평가)

이 단계에서는 각 세부부재별로 내구성능에 관한 열화진전평가를 실시한다. 터널의 경우 세부부재는 갱문, 본선 라이닝, 환기구 콘크리트가 대상이 된다. 또한 각 부재는 무근콘크리트와 철근콘크리트로 구분하여 평가한다.

내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다. 각 내구성능 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.
- 최저등급제를 적용하는 것은 염해 혹은 탄산화 등 어느 한가지 지표에 의해서만 피해가 발생하여도 심각한 결과가 발생할 수 있으며 대책을 강구하여야 하기 때문이다.
- 다만, 피복 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균한다.

산출된 각 세부부재(ex. 본선라이닝, 갱문, 환기구콘크리트)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 최종적으로 터널 시설물의 콘크리트 내구성능 평가등급을 도출한다.

각 세부 부재별 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표는 아래와 같으며, 외부 콘크리트와 내부 콘크리트에 대한 내구성능 평가를 각각 산출한다.

○ 본선라이닝/갱문(구)

<무근콘크리트>

지표명	
열화진전평가	표면부 콘크리트 품질

<철근콘크리트>

지표명	
열화진전평가	염화물 침투량
	탄산화 깊이
	피복콘크리트 품질

○ 환기구콘크리트

<무근콘크리트>

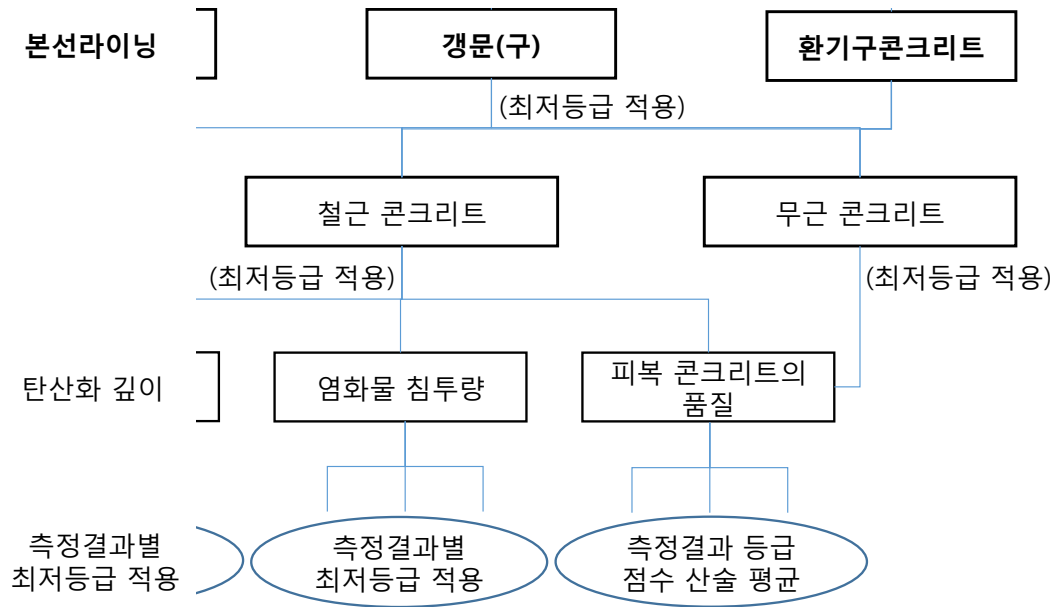
지표명	
열화진전평가	표면부 콘크리트 품질

<철근콘크리트>

지표명	
열화진전평가	탄산화 깊이
	피복콘크리트 품질

터널 시설물

(부재별 가중치 적용)



[그림 2.4] 터널의 내구성능 평가 예시

○ 등급별 평가점수 및 지수범위

- 부재별 등급에 따른 결함도 지수 및 최종 등급 산정을 위한 평가지수 범위는 다음과 같다.

[표 2.50] 평가등급에 따른 결함도 지수

a	b	c	d	e
0.08	0.23	0.43	0.65	0.88

[표 2.51] 등급 산정을 위한 내구성능 평가 지수 범위

A	B	C	D	E
$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.30$	$0.30 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

(다) 세부부재 등급 산정 안에 따라 시설물 전체 등급 산정

각 부재별 가중치는 아래 표와 같으며, 각 부재별 가중치를 활용하여 터널의 콘크리트 내구성능 등급을 산정한다.

[표 2.52] 도로 및 철도터널의 세부 부재에 따른 가중치

시설명	세부 부재명	부재별 가중치(%)	
도로, 철도터널	본선라이닝	60	70
	갱문(구)	30	30
	환기구콘크리트	10	—

* 철도터널의 경우, 환기구콘크리트가 설치되어 있지 않으면 환기구콘크리트를 제외한 부재별 가중치를 적용함

(라) 세부 시설물 등급 산정 안에 따라 시설물 전체 등급 산정

터널의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 2.53] 열화진전평가

시설명	평가등급	부재명	평가등급
터널	A~E	본선라이닝	a~e
		갱문(구)	a~e
		환기구콘크리트	a~e

[표 2.54] 열화환경평가

열화환경지표	평가등급	터널의 주요 대상 부재
제설제 염해환경	A or B or C	철도터널의 경우 제설제를 사용하지 않기 때문에 제설제 염해환경은 a로 평가함
비래염분 염해환경	A or B or C	해안인근에 있어서 비래염분 환경에 있는 경우 갱문이 주요 대상 부재이며, 본선 라이닝은 갱문쪽 일부분만 대상이 됨
동해환경	A or B or C	누수가 있는 콘크리트 라이닝 부위와 갱문이나 본선 라이닝 하단부 등 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

3) 결과산정 예

○ 대상 터널

[표 2.55] 대상 터널 예시

콘크리트	일반 RC
지역	수원
공용연수	20년
연장	510m
피복 두께	50mm

(가) 열화환경 평가

- 대상 터널은 수원에 위치하여 해안거리에 따른 비래염분 염해환경은 a등급이 된다.
- 수원지역의 평균 강설일수는 12.4일로서 제설제 염해환경은 b등급이 된다.
- 또한 해당 지역의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 11.6회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 60.7회로서 동결융해 환경은 c등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우는 동결융해 사이클이 연평균 11.6회로서 동결융해의 피해를 입을 수 있음을 확인한다.

(나) 열화진전 평가_염화물 침투량

- 염화물 침투량 시험은 본선 라이닝 2개소 및 갭문 1개소에서 실시한다.
- 대상 콘크리트 부재의 피복두께는 50mm이며, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과를 확보한다.

[표 2.56] 염화물 침투량 평가

열화진전 평가 항목	대상 부재	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				평가등급
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물 침투량	본선라이닝 No.1	1.5	1.05	0.4	0.1	a
	본선라이닝 No.2	1.5	0.98	0.4	0.1	a
	갭문	4.5	3.5	1.8	0.8	c

[표 2.57] 염화물 확산계수 산출

계산 항목	대상 부재	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)
염화물 확산계수	본선라이닝 No.1	—	—	0.103	—
	본선라이닝 No.2	—	—	0.103	—
	갭문	—	—	—	0.194

* 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있음

[표 2.58] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

열화진전 평가 항목	대상 부재	계산 결과 (year)	평가등급
철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	본선라이닝 No.1	30년 초과	a
	본선라이닝 No.2	30년 초과	a
	갯문	30년 초과	a

[표 2.59] 염화물침투량 최종 평가등급

시설물	염화물 침투량 평가	철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가
터널	c	a
	최종평가 c등급	

(다) 열화진전 평가-탄산화 깊이

- 탄산화 깊이의 측정은 본선 라이닝 2개소 및 갯문 1개소에서 실시한다.
- 각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저등급을 대상 부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 한다.

[표 2.60] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가 항목	대상 부재	탄산화 깊이 (mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)	개별 평가등급	평가 등급
탄산화 깊이	본선라이닝 No.1	10	2.2	30년 초과	a	b
	본선라이닝 No.2	28	6.3	19	b	
	갯문	9	2.0	30년 초과	a	a

(라) 열화진전 평가-피복 콘크리트의 품질

- 피복 콘크리트의 품질은 10개소에서 실시하였다.

[표 2.61] 피복 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재	설계값 대비 강도추정값(%)	비건전부/건전부 비율(%)	개별 평가등급		평가 등급
피복 콘크리트의 품질	본선라이닝	105	96	a	a	a
		110	98	a	a	
	갯문	120	102	a	a	b
		120	93	a	b	
	환기구 콘크리트	95	82	b	c	c

(마) 콘크리트 내구성능 평가 요약

[표 2.62] 터널의 콘크리트 내구성능 평가

세부 부재명(가중치, %)	항목별 평가결과				평가결과 (내구성능 평가지수)
	염화물 침투량	탄산화 깊이	피복콘크리트 품질	부재평가결과 (결함도지수)	
본선라이닝 (60)	a	b	a	b (0.23)	C (pd = 0.31)
갱문 (30)	c	a	b	c (0.43)	
환기구 콘크리트 (10)	—	—	c	c (0.43)	
	최저등급제				가중치 고려

[표 2.63] 열화환경지표의 평가

열화환경지표	평가등급
제설제 염해환경	B
비래염분 염해환경	A
동해환경	C

2.6 사용성능 평가 기준 및 방법

2.6.1 일반

사용성능이란 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야 할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적에 만족하기 위한 성능으로 정의한다.

시설물의 사용성능 평가는 사용성능과 기능성으로 구분되며, 사용성능은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

2.6.2 도로터널 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

도로터널의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다. 도로터널에서는 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 사용자의 만족도 측면에서 주행성, 방재성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 적용한다.

나. 세부지표의 평가범위

도로(터널)의 사용성능은 주행성, 방재성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표를 도출하였다. 이중 포장상태, 터널 내 휘도, 방재시설, 기계/전기설비, 교통량은 a~e로 범위를 정하고 비상대피시간은 a, c, e로 범위를 정한다.

[표 2.64] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성	주행성	포장상태	a, b, c, d, e
		터널내 휘도	a, b, c, d, e
	방재성	방재시설	a, b, c, d, e
		비상대피시간	a, c, e
기능성	유지관리성	기계/전기설비	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	통행량	a, b, c, d, e

도로(터널)의 사용성능 평가는 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 주행성

(가) 포장상태

○ 고속국도(HPCI)

[표 2.65] 고속국도 포장상태 성능평가 기준

등급	등급기준	
	HPCI 범위	설명
a	4.0 초과	매우양호
b	3.5~4.0	양호
c	3.0~3.5	보통
d	2.0~3.0	불량
e	2.0 이하	매우불량

<해 설>

- 본 성능평가기준은 고속도로의 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 적용한다.
- 고속도로의 포장상태지수 관리기준은 다음과 같고 아스팔트포장과 콘크리트 포장을 구분하여 적용한다.
- HPCI 산정식

아스팔트 포장: $HPCI_{10m} = 5 - 0.54 \times IRI^{0.8} - 0.75 \times RD^{1.2} - 0.9 \times \log(1 + 10 \times SD)$

콘크리트포장: $HPCI_{10m} = 5 - 0.8 \times IRI^{0.7} - 0.85 \times \log(1 + 10 \times 2.5SD)$

여기서, $HPCI_{100m} = \sum_n^{n+10} (HPCI_{10m})$

IRI (international roughness index) = 국제 평탄성 지수 (m/km)

RD(RUT depth) = 차바퀴 패임량(cm)

SD(Surface distress) = 노면 손상 환산 면적(m²)

$SD = \sum \text{각 선상 균열길이} \times 0.15 + \sum \text{각 면상 균열면적}$

○ 일반국도(NHPCI)

[표 2.66] 일반국도 포장상태 성능평가 기준

등급	등급기준	
	NHPCI 범위	설명
a	6.0 이상	매우우수
b	5.5~6.0	우수
c	4.0~5.5	보통
d	2.0~4.0	불량
e	0.0~2.0	매우불량

<해 설>

- 본 성능평가기준은 고속국도의 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 적용한다.
- 일반국도 포장상태 평가지수인 NHPCI(National Highway Pavement Condition Index)개발은 국토관리사무소의 관리자, 산·학·연 포장전문가로 구성된 패널의 현장 조사 자료를 통계 분석하여 다음과 같은 식을 개발하였다.

$$NHPCI = \frac{1}{(0.33 + 0.003 \times X_{CR} + 0.004 \times X_{RD} + 0.0183 \times X_{IRI})^2}$$

이때, X_{CR} : 균열률(%)

X_{RD} : 소성변형(mm)

X_{IRI} : 종단평탄성(m/km)

(나) 터널 내 휘도

[표 2.67] 터널 내 휘도 성능평가 기준

등급	등급기준
a	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준 보다 높은 상태
b	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준의 85% 이상
c	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준의 75% 이상
d	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준의 65% 이상
e	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준의 65% 미만

<해 설>

- 본 성능평가기준은 주간의 자동차 터널 도로의 경계부 및 기본부의 평균 휘도 KS C 3703을 참조하여 적용한다.
- 상기 기준은 설계속도 100km/h를 기준으로 설정하였고 80km에서는 - 25% 된 값을 적용한다.
- 해당도로의 설계속도를 파악하고 그 기준을 제대로 충족하는지를 기준으로 성능을 평가한다.
- 단 터널의 방향이나 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다. 경계부 평균휘도는 남향과

북향에 따라 다른 기준을 적용하고 기본부는 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다.

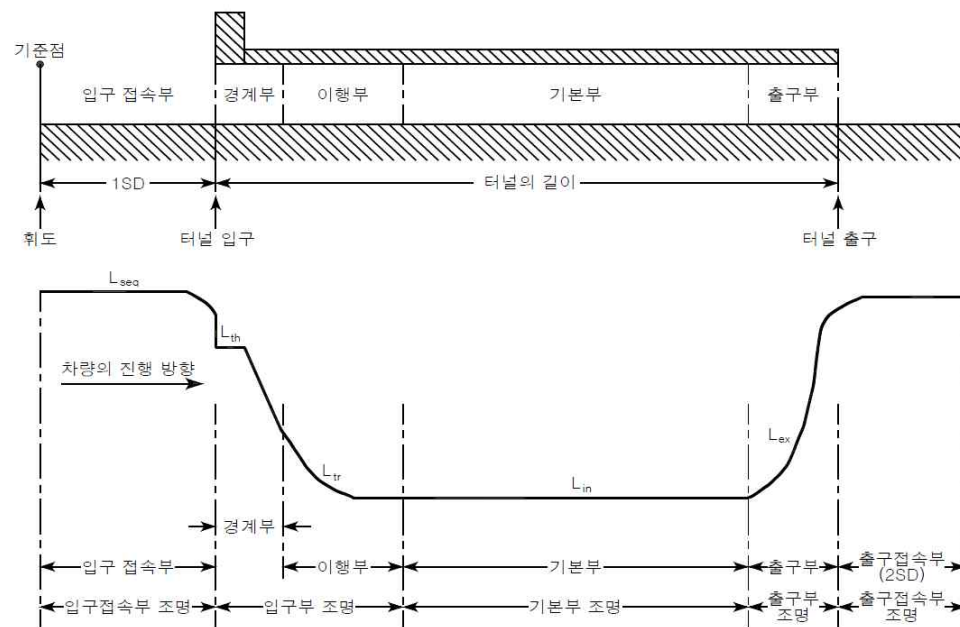
- 경계부와 기본부를 각각 평가하여 낮은 등급을 적용한다.

[표 2.68] 설계속도에 따른 위치별 평균 휘도 [cd/m^2]

설계 속도 (km/h)	경계부 평균 휘도		기본부 평균휘도		
	남향	북향	적읍	보통	많음
100	370	480	7	9	11
80	260	360	5	6.5	8
60	200	250	3	4.5	6

- KS C 3703 터널 조명기준에 따르면 기본부는 이행부 끝에서부터 출구부 시작점까지의 구역으로 기본부 조명은 터널 전체길이에 걸쳐서 거의 균일한 휘도를 확보하는 조명을 의미한다.
- 반면에 경계부는 터널입구, 혹은 태양에 의한 입구 그림자 선으로부터 터널 안쪽으로 정지거리 만큼까지의 구역으로 경계부의 조명수준은 경계구역의 초반에서의 값과 같아야 한다.
- 기본부 평균휘도는 교통량을 기준으로 명시하였고 교통량에 따라 다른 값을 적용한다.

① 터널 조명의 구성 <참조> 터널 조명 기준(KS C 3703: 2014)



[그림 2.5] 터널 조명의 구성(일방교통 터널의 세로단면도, 기술표준원 2014)

② 경계부 노면휘도에 대한 조절계수

[표 2.69] 경계부 노면휘도에 대한 조절계수(기술표준원 2014)

터널 길이	교 통 량 (1)	출구부 보임(기준점으로부터)				출구부 안보임(기준점으로부터)			
		주광 입사				주광 입사			
		좋은		나쁨		좋은		나쁨	
		벽면 반사율				벽면 반사율			
		30% 초과	30% 이하	30% 초과	30% 이하	30% 초과	30% 이하	30% 초과	30% 이하
50m 미만	전부	0% (주간 경계부 조명 필요 없음)				0% (주간 경계부 조명 필요 없음)			
50~100m 미만	적음	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	50%
	보통	25%	25%	25%	25%	25%	50%	50%	50%
	많음	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
100~200m 미만	적음	50%	50%	50%	50%	50%	100%	100%	100%
	보통	75%	75%	75%	75%	75%	100%	100%	100%
	많음	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
200m 이상	전부	100%				100%			

주) (1)교통량 : 단위 [차량대수/시간/차로]

① 일방통행 : 많음 (1,000 이상), 보통 (1,000 미만~300초과), 적음(300이하)

② 양방통행 : 많음(300 이상), 보통(300미만~100초과), 적음(100이하)

③ 경계부 노면휘도

[표 2.70] 주간의 자동차 터널 도로의 경계부 노면 휘도 $L_t h$ [cd/m^2]

20도 원추형 시야 내의 경계부 평균 노면휘도 Lt h [cd/m ²]									
20도 원추형 시야내의 하늘의 비율		20%초과		20%이하~ 10%초과		10%이하~ 5%초과		5%이하~0%	
시야내의 밝기상황		터널 방위 ⁽¹⁾				주변 반사 ⁽²⁾			
		남향	북향	남향	북향	보통	높음	보통	높음
설계 속도 (km/h)	60	200	250	150	200	125	175	75	150
	80	260	360	200	300	180	270	150	240
	100	370	480	280	400	240	360	200	320

주1) 터널 입구의 방위(남향: 남쪽입구, 북향: 북쪽입구)

- 터널 입구의 방위가 동-서쪽인 경우 노면의 휘도는 남향과 북향의 중간치를 선택함

주2) 터널 입구 주변의 반사에 따르는 영향

① 높음 : 터널입구 지물이 흰색, 회색 등의 반사율이 높을 경우를 말하며, 입구 부근에 장기간 적설상태가 계속되는 경우도 여기에 포함됨

② 보통 : 상기 이외의 경우를 말함

④ 기본부 노면휘도

[표 2.71] 주간의 자동차 터널 도로의 기본부 평균 노면휘도 [cd/m^2]

정지거리(설계속도)	터널의 교통량		
	적음	보통	많음
160m (100km/h)	7	9	11
100m (80km/h)	5	6.5	8
60m (60km/h)	3	4.5	6

- 터널 경계부 노면휘도 값은 아래와 같이 결정한다.
- 터널의 설계속도와 주행방향을 확인하여 적용한다.
- 경계부 휘도에 대한 조절계수로 경계부 휘도 값에 곱하는 비율을 결정한다.
- 기준점 위치에서 터널을 향하여 사진을 촬영하고, 20° 원뿔의 바닥 원 (반경은 정지거리에 $\tan 10^\circ$ 를 곱한 값)을 터널 입구를 중심으로 그려서 원 안의 하늘 면적 비율을 구하거나, 설계하고자 하는 터널에 가장 유사한 경관을 적용하여 기준점에서 터널을 바라볼 때의 하늘의 비율을 구한다.
- 주간의 자동차 터널도로의 경계부 평균 노면휘도 값을 읽고, 경계부 노면휘도에 대한 조절계수의 비율(%)을 곱하여 산정한다.

2) 방재성

(가) 방재시설

[표 2.72] 방재시설의 성능평가 기준

등급	등급기준	
	설치 유무	설치상태
a	방재시설이 설치기준에 따라 설치되었을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이내이며 모두 양호한 상태
b	방재시설이 설치기준의 90% 이상 설치되어 있을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이상이며 모두 양호한 상태
c	방재시설이 설치기준의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요 할 때
d	방재시설이 설치기준의 70% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요 할 때
e	방재시설이 설치기준의 70% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요 할 때

<해 설>

- 상기 표의 방재시설은 다음 표의 소화설비, 경보설비, 피난설비, 소화활동설비, 기타 설비를 포함하며 터널의 연장별 방재시설 기준을 얼마나 만족하고 있는냐에 따라 등급을 설정한다.
- 설치유무와 설치상태를 반영하여 더 낮은 등급을 대상지표의 평가등급으로 산정한다.
- 점검 및 조사방법은 육안조사를 통하여 5등급으로 평가한다.
- 다음 표에서 터널연장 3,000m 이상은 1등급, 1,000m 이상~3,000m미만은 2등급, 500m 이상~1,000m미만 3등급, 500m미만은 4등급이다.

[표 2.73] 방재시설의 설치기준

방재시설 \ 터널등급		1등급	2등급	3등급	4등급	비 고
소화 설비	소화기구	●	●	●	●	
	옥내소화전설비	●○	●○			연장등급, 방재등급 병행
	물분무설비	○				
경보 설비	비상경보설비	●	●	●		
	자동화재탐지설비	●	●			
	비상방송설비	○	○	○		
	긴급전화	○	○	○		
	CCTV	○	○	○	△	△: 200m 이상 터널
	영상유고감지설비	△	△	△		
	재방송설비	○	○	○	△	△: 200m 이상 터널
	정보표시판	○	○			
	진입차단설비	○	○			
피난 대피 설비	비상조명등	●	●	●	△	△: 200m 이상 터널
	유도등	○	○	○		
	피난연결통로	●	●	●		
	피난대피터널(1)	●	△			1등급: 피난대피터널을 우선 적용 2등급: 격벽분리형 피난 대피통로를 우선 적용
	격벽분리형 피난대피통로(1)	△	●	●		
소화 활동 설비	비상주차대	○	○			
	제연설비	○	○			
	무선통신보조설비	●	●	●	△(2)	
	연결송수관설비	●○	●○			연장등급, 방재등급 병행
비상 전원 설비	(비상)콘센트설비	●	●	●		
	무정전전원설비	●	●	●	△(3)	
비상 발전 설비	비상발전설비	●○	●○	△		연장등급, 방재등급 병행
<p>● 기본시설 : 연장등급에 의함 ○ 기본시설 : 방재등급에 의함</p> <p>△ 권장시설 : 설치의 필요성 검토에 의함</p> <p>(1) 피난연결통로의 설치가 불가능한 터널에 설치</p> <p>(2) 4등급 터널의 경우, 재방송설비가 설치되는 경우에 병용하여 설치함</p> <p>(3) 4등급 터널은 방재시설이 설치되는 경우에 시설별로 설치함</p>						

○ 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.

○ 등급결정인자 : 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동 상태

(나) 비상대피시간

[표 2.74] 비상대피시간의 성능평가 기준

등급	등급기준
a	피난연락갱이 300m 이하 간격으로 설치됨, 연장 500m 미만의 터널
c	피난연락갱이 300m 초과와 간격으로 설치됨
e	피난연락갱이 설치되어 있지 않음

<해설>

- 비상대피시간의 성능평가 기준은 비상대피시간에 직접적으로 영향을 미치는 피난 연락갱의 유무 및 피난연락갱의 설치간격, 건교부는 일방통행터널에서 대인용 피난 연결통로의 설치간격은 250m이하로 하며, 3개소마다(750m 이하의 간격) 구급차량이 통과할 수 있는 차량용 피난연결통로를 설치하도록 규정한다.
- 연장 500m 미만의 터널은 피난 시 입출구부의 거리가 250m 이하이므로 a등급으로 평가한다.
- 본 세부지침에서는 피난연락갱의 간격을 대피시간을 기준으로 다음과 같이 산정하였다.

[표 2.75] 각국의 기준 및 설계자료에 제시된 대피속도 (건설교통부, 2004)

구분	대피속도	비고
99 WRA(PIARC)보고서	0.5~1.5m/s	연기농도(가시도), 조명에 따라서 차이 있음
NFPA-code 130	약 1.0m/s	4%이하의 진입로
한국도로공사	0.8~0.9m/s	
터널기술	1.19m/s	Eureka test에 근거함
영국	0.7~1.0m/s	
스웨덴	0.7m/s	평균보행속도

[표 2.76] 화재시 대피시간기준(건설교통부, 2004)

구분	화재확산시간	인지시간	대피시간	보행속도
NFPA -130	6	1~2	4~5	1.01
RABT	5~7		3~5	1~1.5
스웨덴			3	0.7
Eureka test	6	1	5	1.19

- 본 세부지침에서는 화재확산시간을 6분을 기준으로 하여 6분 안에 대략 0.8~1.0m의 속도로 도달할 수 있는 거리인 250~300m로 정하였다.
- 설계도서를 확인하여 피난연락갱의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.

3) 유지관리성

(가) 기계/전기설비

[표 2.77] 기계/전기설비 성능평가 기준

등급	등급기준
a	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이내이며, 장치의 외관 및 작동에 불량인 없는 양호한 상태
b	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이상이며, 장치의 외관 및 작동에 불량인 없는 건전한 상태
c	불량이 경미하여 작동에 영향이 없는 상태
d	상태 및 작동이 불량하여 수리가 필요한 상태
e	상태가 불량하여 설비의 작동이 불가능한 상태로 교체가 필요한 상태

<해 설>

- 기계/전기설비는 설계도서에 명시된 기계/전기 시설의 각 장치의 설치유무를 먼저 판단하고, 현재의 외관 상태나 작동 상태 등을 점검한다.
- 각 장치별로 현재의 외관 상태나 작동 유무는 위의 표를 참조하여 평가한다.
- 종합적인 전기설비의 상태는 다음의 프로세스로 판단한다. 먼저 구성 장치들의 등급을 위의 표를 통해 결정하고 각 수변전설비, 예비전원설비, 감시제어설비, 환기 동력설비, 조명설비의 등급을 각각 구성장치들의 평균등급으로 산정한다.
- 그 후 수변전설비, 예비전원설비, 감시제어설비, 환기 동력설비, 조명설비의 등급 중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.
- 전기설비의 구분

[표 2.78] 전기설비의 구분

구분	구성	내용
수변전설비	수전설비	인입구 배선, 전력보호장치 등
	변전설비	접지, 변압기, 차단기, 제어장치 등 포함
예비전원설비	비상발전기	차단기, 계전기, 배선 등
	축전지설비	차단기, 배선, 등
	UPS(무정전전원)	축전지, 정전압정주파 전원장치
감시제어설비	자동제어설비	전력제어, 변압기온도제어, 조명제어, 교통관제(CCTV, 비상전화, 방송장비) 등 포함
	현장기기	전류변환기기, 전압변환기
환기동력설비	환기동력설비	케이블, 현장 개폐기, 콘덴서 등 포함
조명설비	조명설비	기본조명, 비상등, 외 포함

- 전기설비의 구분에 따른 각종 설비에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 등급결정인자 : 설비 설치 유무, 설비 작동 상태

[표 2.79] 일반용 전기설비의 점검방법 및 기준 (「전기사업법」 시행규칙)

점검항목	점검방법 및 항목	점검기준
절연저항	<ul style="list-style-type: none"> 주회로 및 분기회로 배선과 대지간의 절연저항 측정치 	<ul style="list-style-type: none"> 대지전압 150V 이하 : 0.1MΩ 이상 대지전압 150V 초과 300V 이하 : 0.2MΩ 이상 사용전압 300V 초과 400V 미만(비접지 계통) : 0.3MΩ 이상 사용전압 400V 이상 : 0.4MΩ 이상
인입구 배선	<ul style="list-style-type: none"> 육안점검 	<ul style="list-style-type: none"> 규격전선의 사용 여부 전선 접속 상태 및 전선피복의 손상 여부 배선공사방법의 적합 여부
옥내배선	<ul style="list-style-type: none"> 육안점검 	<ul style="list-style-type: none"> 규격전선의 사용 여부 전선피복의 손상 여부 배선공사방법의 적합 여부
누전차단기	<ul style="list-style-type: none"> 육안점검 	<ul style="list-style-type: none"> 설치 및 작동 여부 열화 및 손상 여부
개폐기 (차단기)	<ul style="list-style-type: none"> 육안점검 	<ul style="list-style-type: none"> 개폐기의 설치 여부 개폐기 설치 위치의 적합 여부 개폐기의 열화 및 손상 여부 정격퓨즈의 사용 여부 개폐기의 결선 상태 다선식 전로의 각 극 개폐장치 여부
접지저항	<ul style="list-style-type: none"> 전기기계구 금속제 외함과 대지간의 접지저항 측정치 	<ul style="list-style-type: none"> 제3종 접지 : 100Ω 이하 특별 제3종 접지 : 10Ω 이하
그 밖의 항목		<ul style="list-style-type: none"> 그 밖에 전기설비의 안전관리를 위하여 산업통상자원부장관이 정하는 사항

4) 수요 및 용량
(가) 교통량

[표 2.80] 교통량의 성능평가 기준

등급	등급기준
a	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 100 이상일 때
b	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 90 이상 100미만일 때
c	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 80 이상 90미만일 때
d	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70 이상 80미만일 때
e	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70이하일 때

<해설>

- 도로(터널)의 수요 및 용량을 평가하기 위하여 가장 필수적인 사용자(운전자) 입장에서 교통량이 적절하여 편리하게 이용 가능한 시설인가 혹은 교통량이 많아 불편한가를 평가한다.
- 이를 평가하기 위한 평가방법으로 해당시설물에 대한 사후평가서를 참고하여 수요 예측값 대비 수요실제값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가한다.
- 건설기술 진흥법 제52조에 따르면 건설공사준공 후 5년 이내에 300억원 이상의 공공 건설공사에 대해서는 사후평가서를 작성하고 건설사업정보화시스템(www.calspia.go.kr)의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업효율성 분석을 위하여 수요예측과 수요실제 값을 입력하도록 되어 있다.
- 수요예측은 예비타당성조사 또는 타당성조사 당시의 수요 추정값인 예측치이며, 수요실제는 시설물의 신설 이후 사후평가단계에서 실측된 수요를 나타낸다.
- 도로터널의 경우 수요예측값 및 수요실제값에 대한 단위는 대/일을 사용한다. 사후 평가시스템에서 제공하지 않는 경우, 기존 타당성 조사에서 산정된 수요 예측값과 국가교통 DB의 실측값을 활용하여 산정한다.

라. 사용성능 평가 결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능 평가 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 2.81] 도로(터널)분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치

구분	포장상태	터널내 휘도	방재 시설	비상대피 시간	기계/전기 설비	통행량
가중치	0.182	0.139	0.187	0.184	0.144	0.164

[표 2.82] 사용성능 평가지표에 대한 가중치 조정방법(예)

구분	포장상태	터널내 휘도	방재 시설	비상대피 시간	기계/전기 설비	통행량
가중치	0.224	0.171	—	0.226	0.177	0.202

* 가중치 조정 예 : 방재시설에 대한 평가가 제외되는 경우, 방재시설에 해당하는 가중치 0.187을 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분

2) 결과 산정 일반

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 포장상태 평가

- 고속국도와 일반국도에 대해 각각 다른 평가 기준을 적용한다.
- 고속국로와 일반국도에 대한 PMS의 정보를 활용하거나 실제 측정값을 적용하여 평가 등급을 산정한다.

○ 터널 내 휘도

- KS C 3793의 터널 조명 기준을 만족하는지 여부를 평가한다.
- 경계부 평균 휘도는 남향과 북향에 따라 다른 기준을 적용하고 기본부는 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다. 경계부와 기본부를 각각 평가하여 낮은 등급을 적용한다.

○ 방재 시설

- 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동상태를 평가한다.

○ 비상대피시간

- 피난연락궤의 간격을 대피시간을 기준으로 산정하여 평가 기준을 설정한다.
- 설계도서를 확인하여 피난연락궤의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.

○ 기계/전기 설비

- 기계/전기설비의 구분에 따른 각종설비에 대하여 육안조사 및 작동시험을 통하여 평가한다.
- 구성 장치들의 등급을 먼저 결정하고 각 수변전설비, 예비전원설비, 감시제어설비, 환기 동력설비, 조명설비의 등급을 각각 구성장치들의 평균등급으로 산정하고, 이후 각 설비의 등급중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.

○ 교통량

- 수요 예측과 소요실제를 비교하여 평가한다.
- 수요 예측 결과 값에 따라 평가 등급이 달라질 수 있어 객관성 있는 자료 활용이 필요하다.

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

a등급은 5점, b등급은 4점, c등급은 3점, d등급은 2점, e등급은 1점으로 적용한다.

$$\text{사용성능평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w = 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c = 각 세부지표별 평가 결과

마. 사용성능 평가 결과 산정 예시

1) 평가항목별(지표별) 평가

○ 포장상태 평가

- 고속도로와 국도에 대한 PMS의 정보를 활용하거나 실제 측정값을 적용하여 평가 등급을 산정한다.
- 측정결과, NHPCI값이 5.6~6.2의 값으로 나타났으며, 최하값 5.6에 대한 평가 등급 적용 시 b등급으로 나타난다. (참조: 도로교량 결과산정 예)

○ 터널 내 휘도

- KS C3793의 터널 조명 기준을 만족하는지 여부를 평가한다.
- 경계부 평균 휘도는 남향과 북향에 따라 다른 기준을 적용하고 기본부는 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다. 경계부와 기본부를 각각 평가하여 낮은 등급을 적용한다.
- 해당 터널의 기본정보와 평가 예는 아래와 같다.

[표 2.83] 터널 휘도 평가 예

설계속도	방향	교통량	측정값[cd/m ²]		최종등급
			경계부	기본부	
80km	남향	양방향 200대/시간/ 차로	300	6	b
			a	b	

○ 방재 시설

- 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시한다.
- 해당 터널의 연장등급 및 방재등급에 따라 해당터널의 등급을 3등급으로 가정한다.

[표 2.84] 방재시설의 설치기준 평가 예

방재시설 \ 설치유무 및 상태		설치유무	수리	교체
소화설비	소화기구	○		
경보설비	비상경보설비	○	V	
	비상방송설비	○		
	긴급전화	○		
	CCTV	○		
	영상유고감지설비	○		
	재방송설비			
피난대피설비	비상조명등	○	V	
	유도등	○		
	피난연결통로	○		
소화활동설비	무선통신보조설비	○		
	(비상)콘센트설비	○		
비상전원설비	무정전전원설비	○		
	비상발전설비	○		

- 해당 시설은 설치기준의 90% 이상 설치되어 있고(설치유무 b등급), 20% 미만의 수리가 필요(설치상태 c등급)하여 c등급으로 평가한다.

○ 비상대피시간

- 설계도서를 확인하여 피난연락갱의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.
- 해당 터널의 피난연락갱의 간격은 270m로 a등급으로 평가한다.

○ 기계/전기 설비

- 기계/전기설비의 구분에 따른 각종설비에 대하여 육안조사 및 작동시험을 통하여 평가한다.
- 각 구성요소의 등급을 평균시 최종평가 결과 점수표를 활용하여 등급을 설정한다.

[표 2.85] 기계/전기설비의 평가 예

구분	구성	평가결과	등급점수	합계	설비등급
수변전설비	수전설비	b	4	3.5	b
	변전설비	c	3		
예비전원설비	비상발전기	a	5	4	b
	축전지설비	b	4		
	UPS (무정전전원)	c	3		
감시제어설비	자동제어설비	b	4	4.5	a
	현장기기	a	5		
환기동력설비	환기동력설비	b	4	4	b
조명설비	조명설비	c	3	3	c
최종등급	c				

○ 교통량

- 수요 예측과 소요실제를 비교하여 평가한다.
- 기존 타당성 조사 시 7,000/일의 수요예측을 확인하였고 수요실제가 6,000/일로 수요예측/수요실제의 비율이 100%이상으로 a등급으로 평가한다.

2) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성 등급 산정

[표 2.86] OO터널 최종 사용성능 평가

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
사용성능	주행성	포장상태	0.182	b	4
		터널내 휘도	0.139	b	4
	방재성	방재시설	0.187	c	3
		비상대피시간	0.184	a	5
기능성	유지관리성	기계/전기설비	0.144	c	3
	수요 및 용량	교통량	0.164	a	5

- 위의 식대로 사용성능 점수를 산정해보면

$$4 \times 0.182(\text{포장상태}) + 4 \times 0.139(\text{터널휘도}) + 3 \times 0.187(\text{방재시설}) + 5 \times 0.184(\text{비상대피시간}) + 3 \times 0.144(\text{기계/전기설비}) + 5 \times 0.164(\text{교통량}) = 4.017$$
- 이를 최종 등급 산정 표에 적용시켜 보면 본 터널의 사용성능 등급은 B등급으로 평가된다.

2.6.3 철도터널 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

철도터널의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다. 철도터널에서는 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 사용자의 만족도 측면에서 주행성, 방재성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 선정한다.

나. 세부지표의 평가범위

철도터널의 사용성능은 주행성, 장애성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표를 도출하였다. 이중 터널 내 조도, 방재시설, 전력/통신/신호설비, 일통행 횟수는 a~e로 범위를 정하고 비상대피시간은 a, c, e로 범위를 정한다.

[표 2.87] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성	주행성	터널 내 조도	a, b, c, d, e
	방재성	방재시설	a, b, c, d, e
		비상대피시간	a, c, e
기능성	유지관리성	전력/통신/신호설비	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	일통행 횟수	a, b, c, d, e

철도터널의 사용성능 평가는 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 주행성

(가) 터널 내 조도

[표 2.88] 터널 내 조도 성능평가 기준

등급	등급기준
a	중앙부 기준 10lx 이상
b	중앙부 기준 8lx 이상 10lx 미만
c	중앙부 기준 6lx 이상 8lx 미만
d	중앙부 기준 5lx 이상 6lx 미만
e	중앙부 기준 5lx 미만

<해 설>

- 본 성능평가기준은 건설기준코드(구 철도설계기준) 및 관련 문헌 「철도 터널 조명 조도기준 제정립」을 참조하여 적용한다.
- 터널 기본부 조도는 10lx 이상되지만 국내 지하철 운영기관의 조도는 5~10lx를 기준으로 적용한다.
- 건설기준코드(구 철도설계기준-시스템편) : 터널 바닥면 평균조도는 5lx이상으로 적용한다.
- 호남고속철도, 수도권고속철도, 부산-울산 일반철도, 성남-여주 일반철도의 평균 조도는 5~10lx 사이로 나타난다.
- 조명이 없는 철도터널의 경우 조도 측정을 하지 않는다.
- 조도 측정위치는 원칙적으로 터널 중앙부에서 수행한다.
- 갱구부 터널 내부로 40m 이상 진입 시 외부 태양광의 영향을 받지 않으므로 조도 측정 시 터널 내 중앙부까지 진입이 어려운 경우에는 50m 이상 진입 후 측정한다.

2) 방재성

(가) 방재시설

[표 2.89] 방재시설의 성능평가 기준

등급	등급기준	
	설치 유무	설치상태
a	방재시설이 설치기준에 따라 설치되었을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이내이며 모두 양호한 상태
b	방재시설이 설치기준의 90% 이상 설치되어 있을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이상이며 모두 양호한 상태
c	방재시설이 설치기준의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요 할 때
d	방재시설이 설치기준의 70% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요 할 때
e	방재시설이 설치기준의 70% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요 할 때

<해 설>

- 방재시설은 아래표의 사전검지설비, 비상연락장구, 대피용시설, 구조용설비 및 장비를 포함하며 터널의 연장별 방재시설 기준을 얼마나 만족하고 있는냐에 따라 등급을 설정한다.
- 설치유무와 설치상태를 반영하여 더 낮은 등급을 평가 대상지표의 평가등급으로 산정한다.
- 점검 및 조사방법은 육안조사를 통하여 5등급으로 평가한다.

[표 2.90] 방재시설의 설치기준

항 목			적용 구간	설치기준
사고 예방	사전 검지 설비	안 전 스위치	모든 터널에서 적용	· 1.5km 선로간격 설치
	비상 연락 장구	비상연락 유선전화	모든 터널에서 적용	· 500m 선로간격 설치
		휴 대 폰 및 열차무선	모든 터널에서 적용	· 차량열차무선시스템 설치 (터널 내 무선중계기 설치) · 전구간 휴대전화 사용 가능 · 휴대전화용안테나등 설치
대피	기타 대피용 시설	대피로	모든 터널에서 적용	· 전구간 터널내 전구간 70cm 이상 폭으로 설치 · 핸드레일 1.2m 높이로 설치
		본선과 대피통로 접속부	5km이상 터널에서 적용	· 방연문, 방연샷타, 제연커튼 등을 설치하여 연기확산 방지
		비상조명	모든 터널에서 적용	· 터널 내 20m 간격 · 등 밝기 10 Lux이상 조도유지
		유도등 유 도 표지판	모든 터널에서 적용	· 설치간격 : 양측 100m · 설치높이 : 1m이하 · 정전 시 20분 이상 전원공급 가능한 축전지 내장
		대피통로 출구문 개폐장치	5km이상 터널에서 적용	· 수직터널, 경사터널의 출구문에 개폐장치 설치
		피난계단	5km이상 터널에서 적용	· 계단 폭은 1.2m 이상 · 계단 난간 설치
구조	구조용 설비	콘 셴 트	모든 터널에서 적용	· 양측 250 m 이내 간격 설치
		비상연락유선전화	모든 터널에서 적용	· 설치간격은 500 m 간격
		이 정 표 지 판	모든 터널에서 적용	· 1km이상 터널에 대하여 도로변 설치
	구조용 장비	구조용 궤도차량	5km이상 터널에서 적용	· 5km 이상 터널 · 터널에서 35km 이내 범위 상시대기
		응급구조 수레	5km이상 터널에서 적용	· 5km 이상 터널 구조지휘 공간에 2개씩 배치

○ 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.

○ 등급결정인자 : 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동 상태경보 시설

(나) 비상대피시간

[표 2.91] 비상대피시간의 성능평가 기준

등급	등급기준
a	대피통로가 2.5km 간격 미만으로 설치됨
c	대피통로가 2.5km 간격 이상으로 설치됨
e	대피통로가 설치되어 있지 않음

<해설>

- 도로터널과 철도터널은 방재의 개념이 다르며 철도는 단체승객을 운송하는 궤도 교통으로 사고의 빈도가 낮아 방재관련 시설이 도로 터널보다 훨씬 적게 설계되어 있다.
- 따라서 철도터널의 비상대피 시간의 성능평가 기준은 도로터널과 다르게 설정한다.
- 고속철도 터널 방재기준에서 제시하는 2.5km를 기준으로 a, c등급을 설정하였고 5km 이상의 터널에 적용한다. 연장이 짧은 터널의 경우 대피시설이 없더라도 대피시간 확보가 용이한 것으로 판단한다.
- 기존 철도의 대부분은 별도 대피통로가 없이 자갈궤도로 부설되어 있고 이러한 터널은 e등급으로 설정한다.
- 설계도서를 확인하여 대피통로 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.

3) 유지관리성

(가) 전력/통신/신호설비

[표 2.92] 전력/통신/신호설비 성능평가 기준

등급	등급기준
a	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이내이며, 장치의 외관 및 작동에 불량이 없는 양호한 상태
b	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이상이며, 장치의 외관 및 작동에 불량이 없는 건전한 상태
c	불량이 경미하여 작동에 영향이 없는 상태
d	상태 및 작동이 불량하여 수리가 필요한 상태
e	상태가 불량하여 설비의 작동이 불가능한 상태로 교체가 필요한 상태

<해설>

- 전력/통신/신호설비는 설계도서에 명시된 전기 시설의 각 장치의 설치유무를 먼저 판단하고, 현재의 외관상태나 작동상태등을 점검한다. 장치별로 현재의 외관상태나 작동유무는 위의 표를 참조하여 결정한다.

- 터널 내 전기설비는 철도터널 전문시방서를 참조하여 전력설비, 정보·통신설비, 신호설비로 구분한다.
- 종합적인 전기설비의 상태는 다음의 프로세스로 판단한다. 먼저 구성 장치들의 등급을 위의 표를 통해 결정하고 각 전력설비, 정보통신설비, 신호설비의 등급을 각각 구성 장치들의 평균등급으로 산정한다.
- 그 후 전력설비, 정보통신설비, 신호설비의 등급중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.

[표 2.93] 전기설비의 구분

구분	구성	내용
전력설비	조명설비	형광등기구, LED조명기구, 비상조명등, 각종 표시등 포함
	선로	가공선로, 지중선로, 케이블 등 포함
	변전설비	접지, 변압기, 차단기, 제어장치 등 포함
	전차선 시스템	급전선, 전차선, 조가선, 보호선, 가동브레킷 등 포함
정보통신설비	통신선로	통신케이블, 광전송망 설비 포함
	이동통신설비	케이블 안테나, 양방향 증폭기, 광보조중계기 등
	전화설비	연선전화기, 비상신고통화장치 포함
신호설비	신호기	상치신호기, 종속신호기, 신호부속기 등 포함
	각종 표지류	허용 및 절대정지표지, 번호표지판, 위치표지판, 안전스위치판 등

- 전기설비의 구분에 따른 각종 설비에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 등급결정인자 : 설비 설치 유무, 설비 작동 상태

[표 2.94] 일반용 전기설비의 점검방법 및 기준 (「전기사업법」 시행규칙)

점검항목	점검방법 및 항목	점검기준
절연저항	<ul style="list-style-type: none"> 주회로 및 분기회로 배선과 대지간의 절연저항 측정치 	<ul style="list-style-type: none"> 대지전압 150V 이하 : 0.1MΩ 이상 대지전압 150V 초과 300V 이하 : 0.2MΩ 이상 사용전압 300V 초과 400V 미만(비접지 계통) : 0.3MΩ 이상 사용전압 400V 이상 : 0.4MΩ 이상
인입구 배선	<ul style="list-style-type: none"> 육안점검 	<ul style="list-style-type: none"> 규격전선의 사용 여부 전선 접속 상태 및 전선피복의 손상 여부 배선공사방법의 적합 여부
옥내배선	<ul style="list-style-type: none"> 육안점검 	<ul style="list-style-type: none"> 규격전선의 사용 여부 전선피복의 손상 여부 배선공사방법의 적합 여부
누전차단기	<ul style="list-style-type: none"> 육안점검 	<ul style="list-style-type: none"> 설치 및 작동 여부 열화 및 손상 여부
개폐기 (차단기)	<ul style="list-style-type: none"> 육안점검 	<ul style="list-style-type: none"> 개폐기의 설치 여부 개폐기 설치 위치의 적합 여부 개폐기의 열화 및 손상 여부 정격퓨즈의 사용 여부 개폐기의 결선 상태 다선식 전로의 각 극 개폐장치 여부
접지저항	<ul style="list-style-type: none"> 전기기계구 금속제 외함과 대지간의 접지저항 측정치 	<ul style="list-style-type: none"> 제3종 접지 : 100Ω 이하 특별 제3종 접지 : 10Ω 이하
그 밖의 항목	—	<ul style="list-style-type: none"> 그 밖에 전기설비의 안전관리를 위하여 산업통상자원부장관이 정하는 사항

4) 수요 및 용량

(가) 교통량

[표 2.95] 교통량의 성능평가 기준

등급	등급기준
a	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 100 이상일 때
b	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 90 이상 100미만일 때
c	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 80 이상 90미만일 때
d	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70 이상 80미만일 때
e	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70미만일 때

<해 설>

- 철도터널의 수요 및 용량을 평가하기 위하여 가장 이용객의 입장에서 통행횟수가 적절하여 편리하게 이용 가능한 시설인가 혹은 통행횟수가 많아 불편한가를 평가한다. 이를 평가하기 위한 평가방법으로 해당시설물에 대한 사후평가서를 참고하여 수요 예측값 대비 수요실제값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가한다.
- 건설기술 진흥법 제52조에 따르면 건설공사준공 후 5년 이내에 300억원 이상의 공공 건설공사에 대해서는 사후평가서를 작성하고 건설사업정보화시스템(www.calspia.go.kr)의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업효율성 분석을 위하여 수요예측과 수요실제 값을 입력하도록 되어 있다. 수요예측은 예비타당성조사 또는 타당성조사 당시의 수요 추정 값인 예측치이며, 수요실제는 시설물의 신설 이후 사후평가단계에서 실측된 수요를 나타낸다. 철도터널의 경우 수요예측값 및 수요실제값에 대한 단위는 인/일을 적용한다.
- 해당 건설공사에 대한 건설공사사후평가서가 없을 경우 일일 통행 횟수로 등급을 산정한다.
- 단 통행횟수는 일반철도 터널과 고속철도 터널을 구분하여 적용한다.

[표 2.96] 일 통행횟수 성능평가 기준(고속철도)

등급	등급기준
a	일일 통행 횟수가 60회 이하일 때
b	일일 통행 횟수가 60회 초과 120회 이하일 때
c	일일 통행 횟수가 120회 초과 180회 이하일 때
d	일일 통행 횟수가 180회 초과 240회 이하일 때
e	일일 통행 횟수가 240회 초과일 때

<해 설>

- 고속철도(KTX, SRT)의 철도노선(경부선, 경전선, 동해선, 호남선, 전라선) 모두를 분석하여, 철도노선별로 1일 통행량을 분석하여 설정한다.
- 한국철도공사의 여객열차 일 통행 횟수의 경우 코레일 홈페이지 → 사업분야 → 여객사업 → 열차운행현황에 의거하여 조사한다.
- SRT의 일통행횟수는 SRT홈페이지에서 확인 가능하다.
- 이를 구간별로 나누어 합산하면 아래와 같다.

[표 2.97] 구간별 일통행 횟수(고속철도)

구간	통행횟수
진주-마산	6
서울-인천공항	11
마산-동대구	14
포항-동대구	14
여수엑스포-익산	15
서울-행신	24
목포-광주송정	27
광주송정-익산	43
지제-수서	58
익산-서대전	63
서대전-오송	67
부산-동대구	101
용산-서울	104
동대구-대전	131
대전-오송	133
광명-용산	142
오송-천안아산	200
평균	68

- 최대 200 회를 기준으로 20% 여유를 두어 a, b, c, d의 등급을 정하고 현재 수준의 20% 이상일 때를 e등급으로 정한다.

[표 2.98] 일 통행횟수 성능평가 기준(일반철도)

등급	등급기준
a	일일 통행 횟수가 25회 이하일 때
b	일일 통행 횟수가 25회 초과 50회 이하일 때
c	일일 통행 횟수가 50회 초과 75회 이하일 때
d	일일 통행 횟수가 75회 초과 100회 이하일 때
e	일일 통행 횟수가 100회 초과일 때

<해 설>

- 한국철도공사의 일반철도(경부, 장항, 호남, 전라 등) 전체 노선을 분석하여 일일 통행 횟수를 산정한다.
- 노선별 일일 통행 횟수는 아래와 같다.

[표 2.99] 구간별 일통행 횟수(일반철도)

구간	통행횟수	구간	통행횟수	구간	통행횟수
태화강-경주	3	안동-영주	10	경주-영천	22
광주송정-서광주	3	동백산-정동진	11	부산-구포	28
영주-동백산	4	백마고지-동두천	11	서대전-천안	28
구포-영주	4	마산-동대구	13	익산-서대전	29
서광주-순천	4	익산-신창	14	구포-밀양	30
순천-전주	4	여수엑스포-익산	14	밀양-동대구	33
영천-안동	5	신해운대-태화강	15	동대구-대전	33
부전-구포	6	태화강-경주	15	대전-전의	33
동백산-제천	7	신창-천안	16	전의-천안	34
오송-대전	8	신해운대-부전	17	용산-서울	36
진주-마산	8	영천-동대구	17	영등포-용산	78
제천-오송	9	광주송정-익산	18	천안-영등포	80
영주-제천	9	제천-청량리	18	평균	19

- 최대 80회를 기준으로 20% 여유를 두어 a, b, c, d의 등급을 정하고 현재 수준의 20% 이상일 때를 e등급으로 정한다.

라. 사용성능 평가 결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능평가 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 등급 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 2.100] 철도터널분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	터널 내 조도	방재시설	비상대피시간	전력/통신 /신호설비	통행량
가중치	0.141	0.228	0.245	0.208	0.178

[표 2.101] 철도터널분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	터널 내 조도	방재시설	비상대피시간	전력/통신 /신호설비	통행량
가중치	0.187	0.302	—	0.275	0.236

* 가중치 조정 예 : 비상대피시간에 대한 평가가 제외되는 경우, 비상대피시간에 해당하는 가중치 0.245를 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분한다.

2) 결과 산정 일반

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 터널 내 조도

- 건설기준코드(구 철도설계기준) 및 관련 문헌 「철도 터널 조명 조도기준 재정립」을 참조하여 적용한다.
- 중앙부의 조도를 측정하여 등급평가 수행한다.

○ 방재 시설

- 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동상태를 평가한다.

○ 비상대피시간

- 비상대피시간을 대피통로의 간격을 통해 평가 기준을 설정한다.
- 설계 도서를 확인하여 대피통로의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.

○ 전력/통신/신호설비

- 전력/통신/신호설비의 구분에 따른 각종설비에 대하여 육안조사 및 작동시험을 통하여 평가한다.
- 구성 장치들의 등급을 먼저 결정하고 각 전력설비, 정보통신설비, 신호설비의 등급을 각각 구성장치들의 평균등급으로 산정하고, 이후 전력설비, 정보통신설비, 신호설비의 등급 중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.

○ 교통량

- 수요 예측과 소요실제를 비교하여 평가하거나 일일통행횟수로 평가한다.
- 수요 예측 결과 값에 따라 평가 등급이 달라질 수 있어 객관성 있는 자료 활용이 필요하다.
- 건설공사사후평가가서 없을 경우 일일 통행 횟수로 등급을 산정하여 적용한다.

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

a등급은 5점, b등급은 4점, c등급은 3점, d등급은 2점, e등급은 1점으로 적용한다.

$$\text{사용성능 평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w = 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c = 각 세부지표별 평가 결과

3) 결과산정 예

- 도로터널의 결과 산정 예 참조

2.6.4 최종평가결과

최종평가 결과는 아래 표를 활용하여 적용하며 터널의 경우 결함도 지수화 단계를 거쳐 종합 평가에 활용한다.

[표 2.102] 최종평가 결과 점수

등급	설명	결과 점수
A	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준	4.5 이상
B	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준	3.5~4.5
C	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준	2.5~3.5
D	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준	1.5~2.5
E	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준	1.5 미만

* 터널 구조물에 성능평가를 적용할 때, 안전성과 내구성능은 평가지수로 평가결과가 도출되기 때문에 사용성능평가 결과를 평가지수로 환산 할 필요가 있음

* 따라서 사용성능평가 결과는 아래의 표와 같이 지수화 하여 종합성능평가 시 적용함

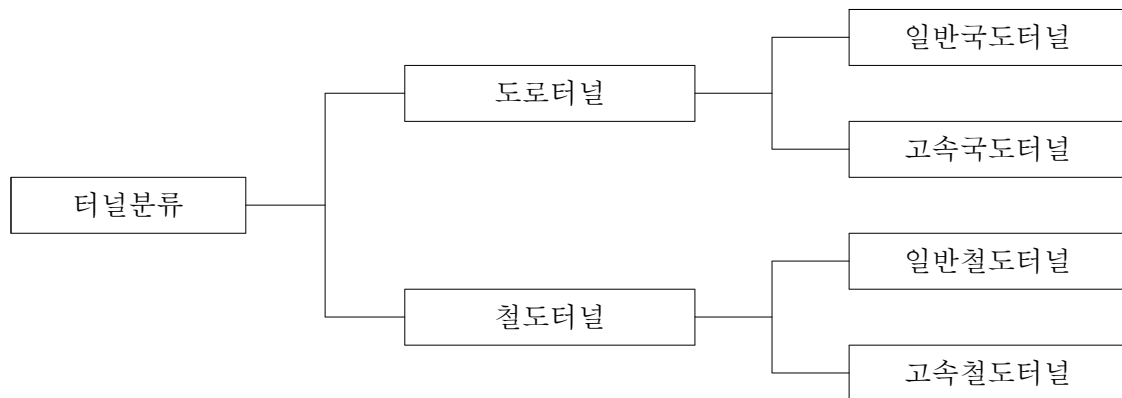
[표 2.103] 사용성능 결과점수의 평가지수(pu)화

기준	A	B	C	D	E
사용성능 평가지수	0.08	0.23	0.43	0.65	0.88

2.7 종합평가 기준 및 방법

2.7.1 종합평가 일반

시설물의 종합평가는 아래 그림과 같이 각 시설물의 용도를 고려하여 4가지 형식으로 구분하여 평가를 실시하며, 안전성능, 내구성능 및 사용성능평가 결과를 종합적으로 고려하여 결정한다.



[그림 2.6] 종합평가 시 터널의 분류

2.2.2 종합평가 결과산정 방법

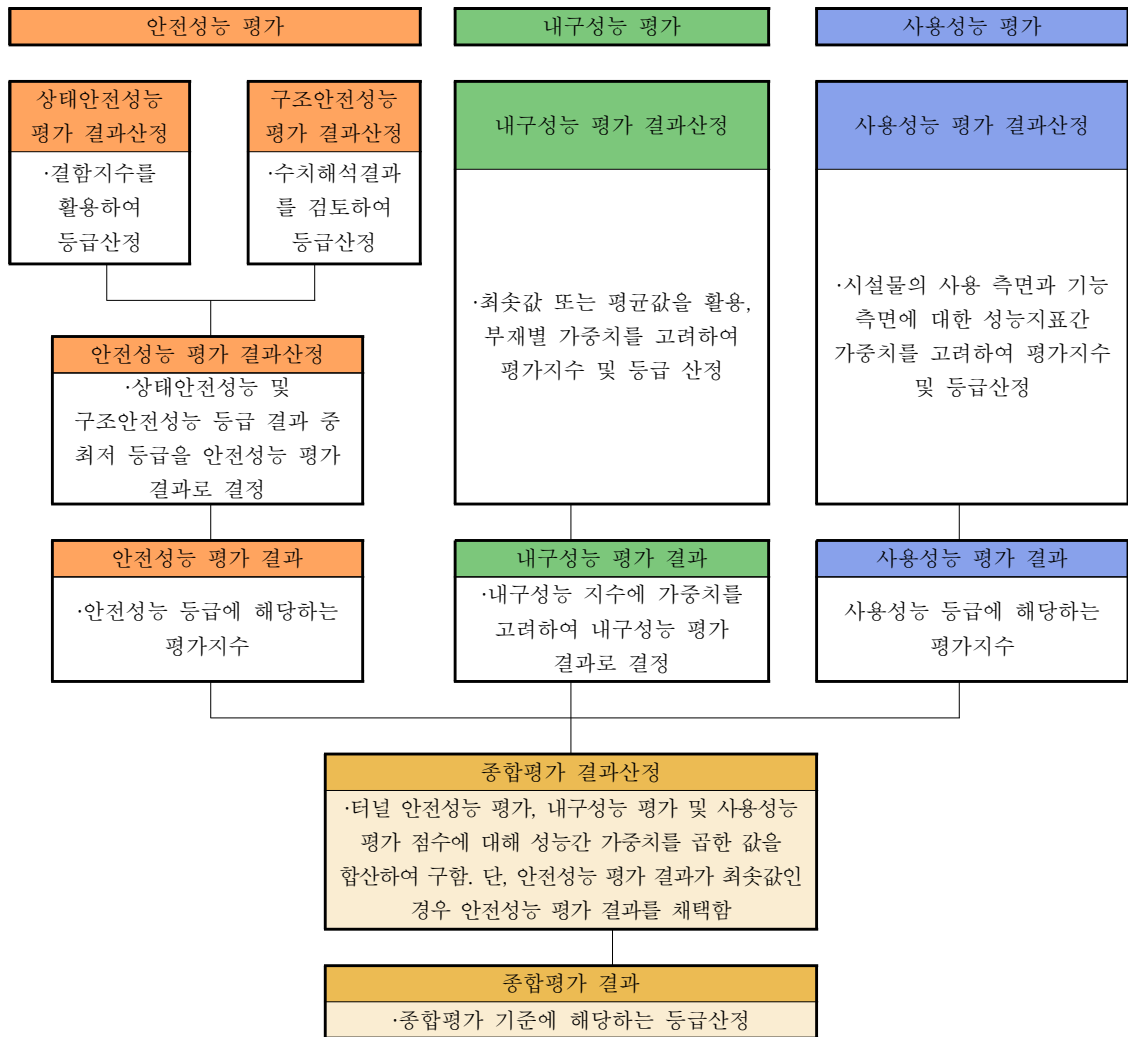
종합평가의 산정방법은 터널 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능 평가지수가 최댓값일 경우에는 안전성능 평가지수를 종합평가 지수로 선정한다.

$$\text{터널의 종합성능평가 지수}(P) = \sum(\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$$

종합평가를 위한 성능항목 간 가중치는 사회기반시설 회계처리지침(기획재정부, 2011)에 따라 「도로법」에 의한 도로의 정의에 의해 일반국도, 고속국도 터널로 구분하며, 「철도산업발전기본법」에 의한 철도의 정의에 의해 일반철도, 고속철도 터널로 구분하여 평가한다. 단, 이외의 터널에 대해서는 시공방법 및 용도에 따라 유사한 터널의 종합평가 산정기준을 따른다.

[표 2.104] 터널의 종합평가 산정기준

구분		성능항목		
		안전성능	내구성능	사용성능
성능간 가중치(Wn)	일반국도터널	0.72	0.18	0.10
	고속국도터널	0.72	0.20	0.08
	일반철도터널	0.72	0.18	0.10
	고속철도터널	0.72	0.19	0.09



[그림 2.7] 터널의 종합평가 결과산정 절차

각 성능간 가중치를 고려하여 산정한 터널의 종합성능 평가 지수에 따라 종합성능 등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 2.105] 터널의 종합평가 결과산정 예

종합성능등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq P < 0.15$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq P < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq P < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq P < 0.75$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq P$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

터널의 종합평가 결과를 취합정리하면 아래 표와 같다.

[표 2.106] 터널의 종합평가 결과산정 예

시설물 종합평가 결과산정 표					
시설물명	○○○ 터널			표번호	TS. NO.6
평가구분	평가지수	평가결과	성능간 가중치(Wn)	비 고	
안전성능 평가	ps=0.25	B	0.72	근거 표번호	
내구성능 평가	pd=0.31	C	0.18	근거 표번호	
사용성능 평가	pu=0.23	B	0.10	근거 표번호	
종합성능 평가 결과	○ 터널의 종합 성능평가지수(P) $= \sum \text{평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn)$ $= 0.25 \times 0.72 + 0.31 \times 0.18 + 0.23 \times 0.10 = 0.259$ ○ 터널의 종합 성능평가지수(P) : 0.259 ○ 터널의 종합평가 결과 : B				

제3장 응 벽

3.1 관리일반

3.2 현장조사

3.3 재료시험 항목 및 수량

3.4 안전성능 평가 기준 및 방법

3.5 내구성능 평가 기준 및 방법

3.6 종합평가 기준 및 방법

제3장 옹벽

3.1 관리일반

3.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조의 규정에서 정하고 있는 시설물 중 옹벽에 적용한다.

옹벽은 그 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 범구나 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 건설기준코드(구 구조물기초 설계기준)
- 옹벽 관련 건설기준코드
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서 등)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

3.1.2 용어 정의

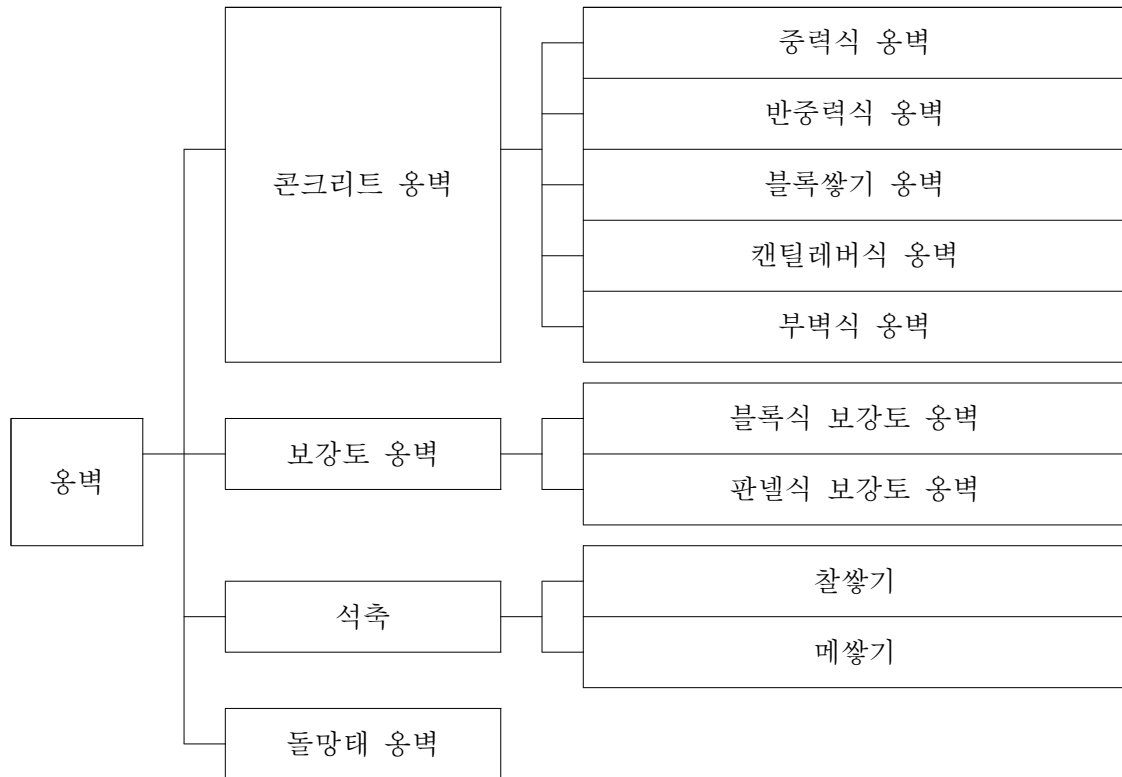
○ 옹벽

옹벽(擁壁)은 토압에 저항해 흩이 무너지지 못하게 하여 토지의 이용을 극대화시키기 위한 구조물로서 다음과 같이 분류된다.

- 부지옹벽 : 부지 조성을 위한 옹벽
- 도로, 철도 및 기타옹벽 : 도로법, 철도법에 의한 옹벽 및 기타 용도의 옹벽
- 수리시설 옹벽 : 댐, 하천 등의 수리구조물 옹벽

3.1.3 성능평가 대상 시설

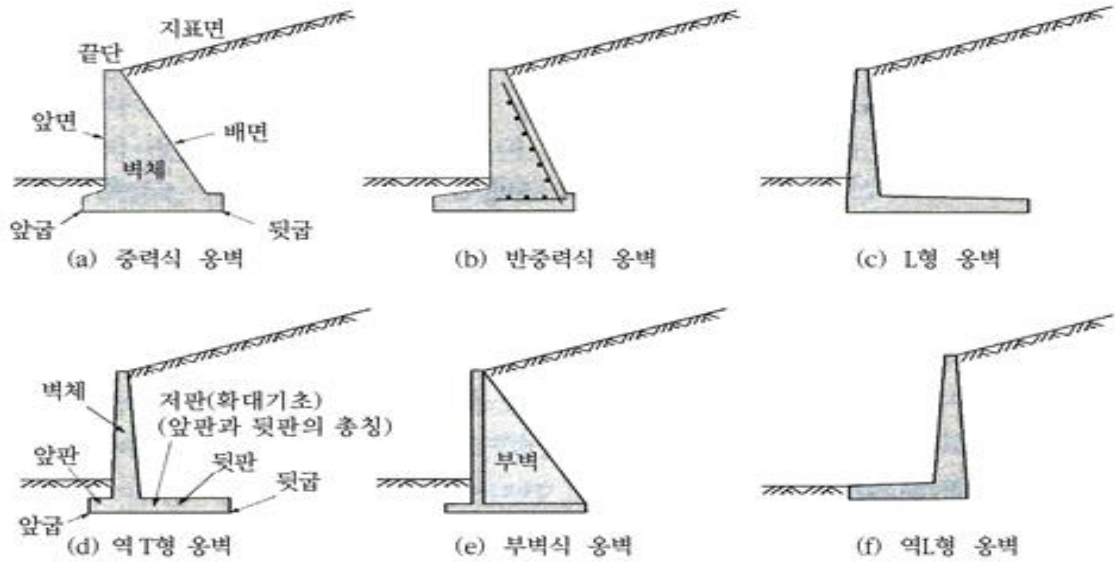
옹벽 시설물의 대상 범위는 「법」에 따른 제2종시설물 중 도로 및 철도의 부대시설로서, 재료형식에 따라 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 석축(돌쌓기 옹벽), 돌망태 옹벽으로 구분된다.



[그림 3.1] 재료형식에 따른 옹벽 분류

○ 콘크리트 옹벽

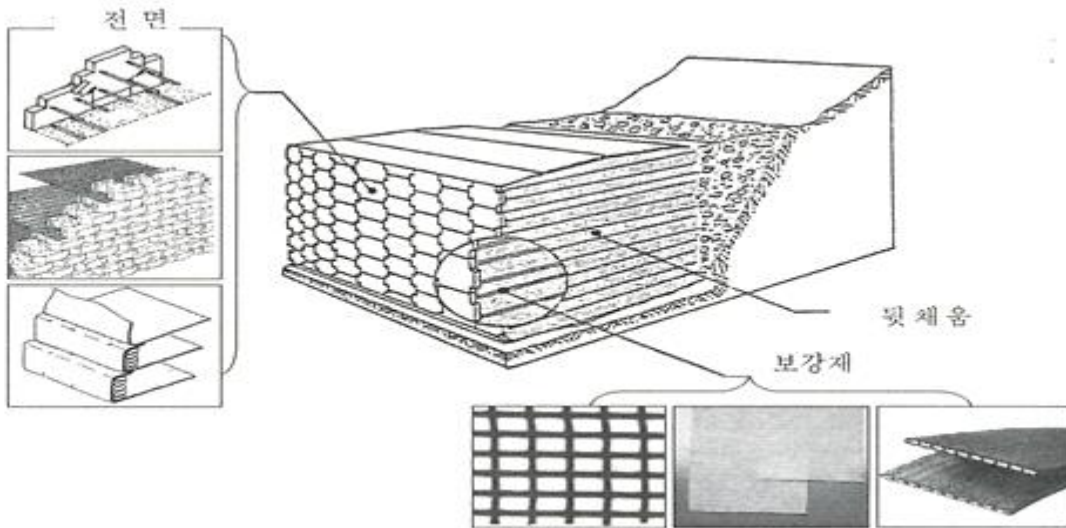
- 콘크리트 옹벽은 중력식, 반중력식, 캔틸레버식, 부벽식 등이 있다.
- 구조형식별 정의는 다음과 같다.
 - 중력식 옹벽 : 자중으로 토압을 지지하는 무근콘크리트 옹벽으로 벽체 내에 콘크리트 저항력 이상의 인장력이 생기지 않도록 하여야 하며, 높이가 낮고 기초 지반이 양호한 경우에 적용
 - 반중력식 옹벽 : 중력식 옹벽과 같은 구조형식으로 중력식 옹벽의 벽체 내에 생긴 인장력을 콘크리트 대신 소량의 철근으로 보강한 개념
 - 역T형, L형, 역L형(캔틸레버식)옹벽 : 벽체의 자중과 저판위의 흙의 중량으로 토압에 저항하는 형식으로 철근콘크리트 구조이며 통상적인 높이의 옹벽에서는 경제적이어서 옹벽 중 가장 많이 사용
 - 부벽식 옹벽 : 캔틸레버식 옹벽의 배면에 일정한 간격의 부벽을 설치하여 벽체를 보강한 옹벽



[그림 3.2] 콘크리트 옹벽의 종류

○ 보강토 옹벽

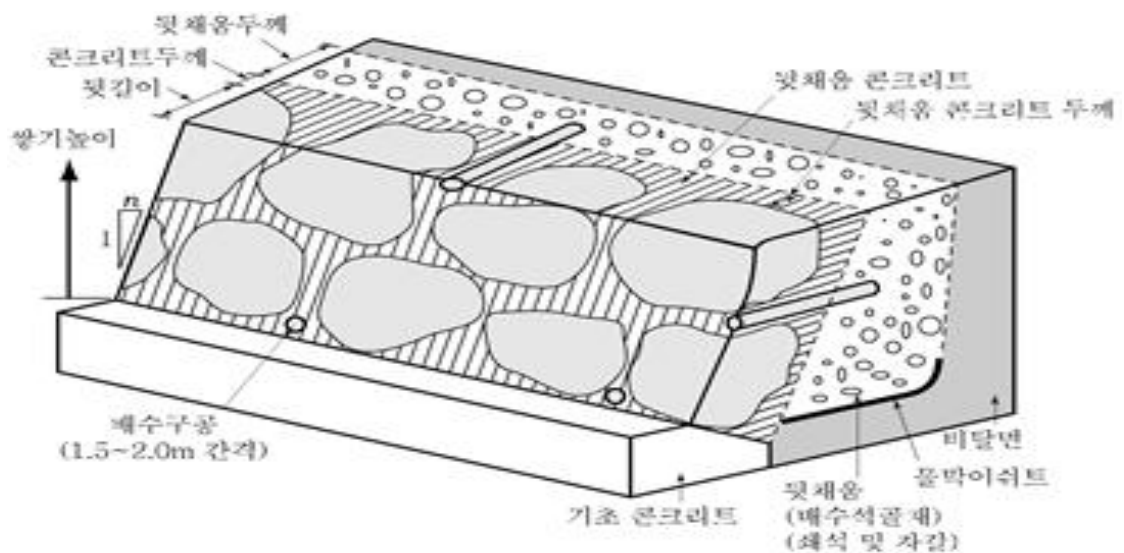
- 보강토 옹벽은 크게 전면벽체, 보강재 및 뒤채움재로 구성된다.
- 구성요소별 정의는 다음과 같다.
 - 전면판 : 보강토 옹벽은 흙과 보강재만으로 단부의 토립자 이완을 방지할 수 없으므로 콘크리트 패널, 철판 또는 FRP Segments, 모르터 블록, Geosynthetics을 이용한 지지구조가 필요함
 - 보강재 : 흙과의 접촉 면적이 거칠며凹凸이 많은 구조 또는 흙 속에서 지지 저항을 일으킬 수 있는 강성이 크고 변형이 잘 일어나지 않는 재질로써 흙과 보강재와의 마찰저항으로 전면판의 이동을 방지하는 역할
 - 뒤채움재 : 보강토 옹벽 뒷면에 배수성이 양호하고 전면 배수공이 충분한 양질의 토사를 채우는 것
 - 배수시설 : 다량의 배면 유입수로 뒤채움 흙이 포화되면 흙의 전단강도가 급격히 저하하여 불안한 상태가 될 수 있으므로 배면 용출수의 유무, 수량의 과다에 따라 적절한 배수시설 필요



[그림 3.3] 보강토 옹벽의 구성

○ 석축(돌쌓기 옹벽)

- 석축은 크게 기초, 견čit돌 및 채움 콘크리트로 구성된다.
- 구성요소별 정의는 다음과 같다.
 - 기초 : 원지반으로부터 본체부를 지지하고 있는 콘크리트 기초를 말함
 - 견čit돌 : 일정간격으로 가공된 석괴를 의미하며 견čit돌의 자중에 의해 배면지반을 지지하는 역할
 - 채움 콘크리트 : 채움 콘크리트는 찰쌓기 구조형식에서 시공되며 견čit돌과 견čit돌사이를 모르타르로 결합시킴과 동시에 간극을 메워서 배면지반의 토사유실을 방지



[그림 3.4] 석축의 구성

○ 돌망태 옹벽

- 돌망태 옹벽은 크게 철망과 채움재로 구성된다.
- 구성요소별 정의는 다음과 같다.
 - 철망 : 철망은 돌망태 채움재의 유실을 방지하는 기능을 담당하며 철망이 손상된 경우에는 채움재가 유출되어 유실현상이 발생 가능
 - 채움재 : 돌망태 옹벽에서의 채움재는 자중에 의해 배면지반의 유출과 이동을 방지하는 역할

3.1.4 중대한 결함의 정도

옹벽 시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

1) 시설물의 기초세굴

- 상태안전성능 평가지표 중 기초부 세굴에 대한 상태안전성능 평가기준이 “e”의 경우

2) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실

- 내구성능 평가지표에서 콘크리트 탄산화 깊이 또는 콘크리트의 염화물 침투량 등에 대한 평가기준이 “e” 판정으로 철근노출에 대한 상태안전성능 평가기준에서 “e”를 포함하는 경우

3) 절토·성토사면의 균열·이완 등에 따른 옹벽의 균열 또는 파손

- 절토·성토사면의 균열·이완 등에 따른 파손 및 손상, 재료분리 또는 균열에 대한 상태안전성능 평가기준에서 “e”의 경우

3.2 현장조사

3.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

옹벽의 성능 평가 평가항목은 다음과 같다.

[표 3.1] 콘크리트 옹벽의 조사항목

평가항목					
안전성능	상태 안전성능 ¹⁾	침하			
		활동			
		배수공상태			
		계획선형오차(전도/경사)			
		파손 및 손상(재료분리)			
		균열			
		표면열화 (마모/침식, 박리, 박락 및 층분리)			
		백태			
		철근노출 ²⁾			
		세굴			
		주변영향 인자	배수시설		
			사면조사	사면구배	
	낙석흔적				
	침출수				
	구조 안전성능	저면활동	평상시		
			지진시		
		원호활동	평상시		
			지진시		
		전도			
		지지력	평상시		
			지진시		
		침하			
		설계전단강도			
		설계휨강도			
내구성능		염화물 침투량 ²⁾			
		탄산화 깊이 ²⁾			
	피복(표면부) 콘크리트 품질				
	염해환경 ²⁾				
	동해환경				

주1) 상태안전성능 조사 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

주2) 무근콘크리트로 시공된 경우, 철근노출, 염화물 침투량, 탄산화 깊이, 염해환경에 대한 평가 제외

[표 3.2] 보강토 옹벽의 조사항목

평가항목					
안전성능	상태 안전성능 ¹⁾	침하			
		계획선행오차(전도/경사)			
		활동			
		전면부 진행성 배부름			
		파손, 손상 및 균열			
		유실			
		이격			
		세굴			
		주변영향 인자	배수시설		
	사면조사		사면구배		
			낙석흔적		
		침출수			
	구조 안전성능	저면활동		평상시	
				지진시	
		원호활동		평상시	
				지진시	
		전도			
		지지력		평상시	
지진시					
침하					
인발파괴					
보강재 파단					
내구성능	전면판		염화물 침투량 ²⁾		
			탄산화 깊이 ²⁾		
			피복(표면부)콘크리트 품질		
			염해환경 ²⁾		
			동해환경		
	보강재 ³⁾ (강재)		발청		
			변색		
도막(도금) 두께					

주1) 상태안전성능 조사 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

주2) 전면판에 철근이 포함되지 않은 경우, 염화물 침투량, 탄산화 깊이, 염해환경에 대한 평가 제외

주3) 보강토 옹벽의 보강재(강재)에 대한 평가는 필요시 선택과업으로 수행

[표 3.3] 석축의 조사항목

평가항목					
안전성능	상태 안전성능 ¹⁾	침하			
		계획선형오차(진도/경사)			
		활동			
		전면부 진행성 배부름			
		파손, 손상 및 균열			
		배수공상태			
		유실			
		이격			
		채움콘크리트 상태			
		세굴			
		주변영향인자	배수시설		
			사면조사	사면구배	
	낙석흔적				
	침출수				
	구조 안전성능	저면활동		평상시	
				지진시	
		원호활동		평상시	
				지진시	
		전도			
		지지력		평상시	
				지진시	
		침하			
벽체의 평균폭					
내구성능	견čit돌 추정강도				
	견čit돌 풍화도				

주1) 상태안전성능 조사 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

[표 3.4] 돌망태 용벽의 조사항목

평가항목			
안전성능	상태 안전성능 ¹⁾	침하	
		활동	
		채움재 유실	
		와이어메쉬 파손 및 손상	
		진행성 변형 발생	
		결속철망 상태	
		세굴	
		주변영향인자	배수시설
			사면구배
			낙석흔적
			침출수
	구조 안전성능	저면활동	평상시
			지진시
		원호활동	평상시
			지진시
		전도	
		지지력	평상시
			지진시
		침하	

주1) 상태안전성능 조사 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

3.2.2 현장조사 요령

가. 옹벽의 점검사항

시설물의 재해예방 및 안전성을 확보하고 보수대책공법 제시를 전제로 하여 손상원인을 규명하고, 보수공법을 선정하기 위한 정보를 얻기 위하여 구조물을 부분적으로 파괴하는 시험도 포함함으로써 옹벽을 구성하고 있는 재료의 내구성능, 배면 및 기초지반의 상태 등을 정량적으로 구해야 한다.

성능평가 시의 점검항목 및 방법을 제시하며, 추가조사 항목은 관리주체와 협의하여 조사한다.

[표 3.5] 사전조사

점검사항	검토내용
기초 자료조사 및 검토	<ul style="list-style-type: none"> 과업지시서 지반조사 현황 및 결과분석 지반분류 현황 및 평가 지반 및 재료 특성치 조사와 관련된 평가 기타 옹벽과 관련된 모든 자료 조사 및 분석
해석방법 및 결과분석	<ul style="list-style-type: none"> 사용프로그램 확인 해석용 입력자료 분석평가 보조공법의 유무 및 적정성 검토
설계도면 검토	<ul style="list-style-type: none"> 옹벽의 단면계획 검토 시공방법 검토 시공순서도 해석결과와 설계도면의 일치성 비교 검토

나. 안전성능

1) 측점 분할

(가) 일반사항

- 측점분할 작업은 현장조사에서 최초로 실시하는 작업으로서 진행 방향으로 위치를 표시하는 작업을 말한다.
- 예비조사와 기타 사전 조사 시에 입수한 자료를 검토하여 도면에서의 표기 방식을 참고로 현장에서 해당 위치를 표시하고, 위치 표시는 현장에서 쉽게 식별될 수 있도록 하여 추후 유지관리 시에도 활용할 수 있어야 한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 측점분할 간격은 20m 내외가 적당하며, 면밀한 조사가 필요한 구간에 대해서는 별도로 세분해야하고, 내업작업 및 결과분석 작업은 평가단위로 분할하여 실시해야 한다.

(다) 결과분석

- 국부적인 표면 오염이나 습기 등이 있는 경우에는 이를 제거하고 스프레이, 매직, 유성펜 등으로 표시하며, 석필, 분필 등으로 표시할 수도 있다.
- 측정분할은 통상 옹벽 시점부터 시작하여 종점에서 끝나며, 분할에 따른 오차를 최소화하고, 단면변화구간이나 굴곡구간 등 현장에서 직접 확인 가능한 위치는 현장조사 전에 미리 확인하여 측점을 분할함으로써 오차를 줄인다.

2) 측량

(가) 일반사항

- 외관조사 결과 옹벽의 단차나 침하가 발생한 곳에 대해서 정확한 단면상태 및 시공 상태 파악을 위하여 옹벽의 선형측량 및 수준측량을 실시한다.
- 준공도상의 단면과 현 상태의 차이를 검토·비교하여 보수·보강대책 수립 시와 유지·관리업무 수행 시에도 활용할 수 있도록 한다.

(나) 조사수량 및 측량방법

- 옹벽측량은 단면형상이 변화하는 구간과 표고가 변화하는 구간을 중심으로 옹벽의 시점부터 종점까지 실시한다.
- 사용하는 장비는 일반적으로 일체형 광과거리계에 의한 측량기(Rec. Elta RL 등)와 평판측량 및 수준측량(레벨측량)기 중 선택·조합하여 사용한다.

(다) 결과분석

- 옹벽 측량 시 측정된 결과와 설계도면과 일치하는지 여부를 확인한다.

3) 지반조사

(가) 일반사항

- 구조안전성능 평가 시 토압산정과 지지력검토를 위해 실시하며, 시험방법은 책임기술자의 판단하에 시추 또는 원위치 시험 중 적절한 방법을 선택하여 KS규격을 기준으로 실시한다.

(나) 조사수량 및 방법

- 제1종성능평가 시에는 필수적으로 대표단면에 주동영역 및 수동영역에 각각 1회씩 2회 이상 실시한다.
- 제2종성능평가 시에는 점검결과에 따라 구조안전성능 평가 시 책임기술자의 판단 하에 실시한다.
- 지반조사는 대표지반을 설정하여 1구간 실시를 원칙으로 하나, 지층의 변화가 심한 경우에는 책임기술자 판단에 따라 조사 횟수를 상향조정할 수 있다.
- 보강토 옹벽의 뒷채움 흙에 대해서는 입도분포 시험을 실시하여 구조안전성능 평가 시 고려하여 해석한다.

4) 지하수위 측정

(가) 일반사항

- 수리시설 옹벽과 같이 부력 및 양압력에 대한 고려가 필요한 지반에 대해서 실시하며, 시험방법은 책임기술자 판단에 따라 적절한 시험법을 선택하여 실시한다.

(나) 조사수량 및 방법

- 지하수위 측정은 필요시 1회 측정을 원칙으로 하지만 책임기술자 판단에 따라 상향조정이 가능하다.

5) 진행성 변형 및 변위조사

(가) 일반사항

- 변위 및 변형은 크게 진행성 및 비진행성으로 분류할 수 있으며, 진행성 변위는 시설물 전체의 안전성에 크게 영향을 미칠 수 있다.
- 비진행성이라고 판단되는 변위 및 변형도 장기적인 미소한 변위가 누적되면 위험수준에 도달할 수 있으므로, 과거의 측정자료를 분석하여 장기 계측을 고려할 필요가 있다.

(나) 조사수량 및 방법

- 제1종성능평가 시 변위 및 변형에 대한 조사는 상태안전성능 평가 결과 최대변위 (계획선형오차, 배부름 등) 또는 변형량이 발생한 지점에서 실시하며, 최소 1개소 이상 설치 및 최소 3개월 이상 측정을 원칙으로 하나, 책임기술자의 판단 하에 상향조정할 수 있다.
- 제2종성능평가 시 변위 및 변형은 평가결과에 따라 책임기술자 판단 하에 실시하며, 주기적인 관측 또는 계측에 의해서 진행여부를 판단한다.
- 평가결과에 따라 책임기술자 판단 하에 추가적인 계측이 필요하다고 판단되면 장기 계측을 실시할 수 있다.

6) 배수상태 조사

- 웅벽의 배수상태 조사는 시설물의 사용 중에 발생하는 지표수 및 지하수 유입 시 그 기능을 적절히 발휘할 수 있는가를 알아보기 위해 실시하며, 주요 내용은 다음과 같다.
 - 시공당시 배수공이 적절히 설치되었는가를 확인함
 - 배수공이 이물질로 막혀 그 기능을 상실했는지 확인함
 - 강우 시 주변 지표수가 배수시설로 원활히 유입되는지 확인함

7) 기타 재료시험

- 웅벽시공에 사용된 재료(보강재, 견čit돌, 철망 등)의 시험이 필요한 경우에는 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침」 등 규정에 의하여 실시한다.

8) 대상 시설물의 계측계획과 방법

- 웅벽 시설물의 사전조사 과정에서 위험한 요소의 판단, 정밀조사 부위의 선정은 물론 계측기를 이용한 진단요소 등을 결정하도록 한다.
- 성능평가 시 계측관리를 통해 보다 효율적인 웅벽 시설물의 유지관리를 할 수 있을 것이다.

[표 3.6] 계측조사 항목 및 내용

계측항목	계측내용	계측기기	비고
균열	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 균열폭 ◦ 균열길이 ◦ 균열방향 	<ul style="list-style-type: none"> - 균열폭자(단기) - 균열폭경(단기) - 균열내시경(단기) - 균열측정기(장기) 	
침하	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 지중침하 ◦ 지표침하 	<ul style="list-style-type: none"> - 지중침하계(장기) - 지표침하계(장기) - 측량기 	기초지반 배면지반
누수·용수	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 누수량 ◦ 누수지점 및 범위 ◦ 피압수 	<ul style="list-style-type: none"> - 유량측정기(단기) - 지하수위계(장·단기) - 간극수압계(장·단기) 	
계획선형오차 (전도/경사)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 전면부 기울기 	<ul style="list-style-type: none"> - 측량기 - tiltmeter - 클리노 컴퍼스 - 지중경사계(장·단기) 	
구조안전성능평가	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 토압 	<ul style="list-style-type: none"> - 토압계(장·단기) 	

<해 설>

- 장기 : 계측기를 설치하여 장기간 동안 계측이 필요한 경우 적용
- 단기 : 당해 성능평가 시에만 적용

다. 내구성능

1) 콘크리트 내구성능

(가) 염해환경

- 대상시설물의 위치(주소)를 확인하고 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 한다.

(나) 동해환경

- 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)의 기상관측 자료를 통하여 지난 10년간 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
 - 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
 - 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 같은 시라고 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.
 - 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수
 - 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수
- 여기서, X는 동결융해 반복지수를 의미하며, 수분접촉 여부에 따라 구분·산정

(다) 피복(표면부) 콘크리트 품질

- 피복 콘크리트 품질은 반발경도값을 원칙으로 사용하며, 설계강도값과 비교하는 경우와 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우로 구분하여 실시한다.
- 설계강도값과 비교하는 경우는 강도 추정값과 설계값을 비교하여 피복 콘크리트의 내구성능을 평가한다.
- 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우는 강도를 추정할 필요가 없으며, 반발경도값을 직접 비교하여 판정한다.
- 안전성능의 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험) 측정 결과를 활용하여 평가한다.

(라) 콘크리트 탄산화 깊이

- 부재를 천공할 때의 콘크리트 분말가루나, 코어시료에 대하여 페놀프탈레인 (1%) 용액에 의한 변색반응검사 등으로 한다. 단, 검사부위는 부재가 위치한 환경과 설계·시공 상태를 고려하여 건전한 곳을 선택한다.

(마) 콘크리트 염화물 침투량(콘크리트 염화물 함유량)

- 콘크리트 내의 염화물 침투량(염화물 함유량)에 관한 KS 규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

6) 건설킨돌 추정강도

- 슈미트 해머를 이용하여 강도를 추정한다.

7) 건설킨돌 풍화도

- 암석의 풍화도를 조사하는 방법으로는 단순육안관찰, 현미경상의 풍화면적 측정, 광물함량이나 화학성분비 측정 등이 있으나, 현장에서 신속하고 비교적 용이하게 조사할 수 있는 방법으로 해머타격 시험을 통해 암석의 풍화도를 평가한다.
- 해머 타격 시 들리는 소리에 따라 등급을 구분하며, 등급분류를 위한 보조 정보로서 균열 및 부서지는 정도, 구성광물의 착색이나 변색 등을 조사한다.
- 해머타격 시험을 통한 암반의 풍화등급 5단계 분류법을 이용한다.

2) 강재 내구성능

(가) 강재의 도장열화

- 외관조사는 원칙적으로 면밀한 육안조사와 간단한 비파괴 검사를 중심으로 실시한다.
- 외관조사의 결과는 표준서식에 기록하고, 필요한 경우에는 개략도면에 표시하고 이들에 대한 분석·평가를 실시한다.
- 보고서에는 외관조사 및 상태안전성능 평가 등의 내용을 종합적으로 검토·분석한 결과를 기재하여야 한다.
- 외관조사에서 이상이 발견된 사항에 대해서는 사진 촬영하여 보고서의 설명자료로 이용할 수 있도록 보존한다.
 - 사진자료는 성능평가 시에 가능한 한 같은 위치에서 얻는 것을 원칙으로 한다.
 - 사진자료에서 얻어야 할 사항은 전술한 성능평가의 내용을 확인할 수 있는 정

도로 한다.

- 옹벽에서 발견된 각종 안전성능과 재료의 열화 등에 관련한 문제점에 대해서는 다음에 진행되는 성능평가에서 그 진행 여부를 확인, 감시할 수 있도록 현장의 대상 부위에 관리주체와 협의하여 필요시 표시하여야 하며, 표시한 날짜와 그 크기(폭, 길이 등)를 기록하여 남겨 둔다.

(나) 강재 도장 두께

- 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기에 의해 측정한다.

3.3 재료시험 항목 및 수량

3.3.1 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 3.7] 옹벽 형식별 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업		선택과업
안전 성능	공통	<ul style="list-style-type: none"> 측점분할(평가단위) <ul style="list-style-type: none"> 신축이음부 또는 20m 간격 선형 및 수준측량 등 		<ul style="list-style-type: none"> 지반조사 지하수위측정 시험 지중경사계측 토압 진행성 변형 및 변위 조사
	콘크리트 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험: 반발경도시험 		<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 국부파괴시험: 코어채취 철근탐사시험 <ul style="list-style-type: none"> 철근 배근상태, 피복두께
	보강토 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> 블록 강도 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험: 반발경도시험 		—
	석축	—		—
	돌망태 옹벽	—		—
내구 성능	콘크리트 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 탄산화 깊이 콘크리트 염화물 침투량 		—
	보강토 옹벽	전면판*	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 탄산화깊이 콘크리트 염화물 침투량 	—
		보강재	—	<ul style="list-style-type: none"> 도막두께
	석축	<ul style="list-style-type: none"> 견čit돌 추정강도 		<ul style="list-style-type: none"> 견čit돌 풍화도

<해 설>

- 보강토 옹벽의 전면판에 철근이 포함되지 않은 경우, 탄산화 깊이, 염화물 침투량에 대한 재료시험 제외

나. 제1종성능평가

[표 3.8] 옹벽 형식별 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업		선택과업
안전 성능	공통	<ul style="list-style-type: none"> 측점분할(평가단위) <ul style="list-style-type: none"> 신축이음부 또는 20m 간격 선형 및 수준측량 등 지반조사 진행성 변형 및 변위 조사 		<ul style="list-style-type: none"> 지하수위측정 시험 지중경사계측 토압
	콘크리트 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험: 반발경도시험, 초음파전달속도시험 철근탐사시험 <ul style="list-style-type: none"> 철근 배근상태, 피복두께 철근부식도 시험 균열조사(깊이, 길이, 진행성 여부) 		<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 국부파괴시험: 코어채취 콘크리트 물성 및 미세구조
	보강토 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> 블록 강도 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험: 반발경도시험 		—
	석축	—		—
	돌망태 옹벽	—		—
내구 성능	콘크리트 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 탄산화 깊이 콘크리트 염화물 침투량 		—
	보강토 옹벽	전면판*	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 탄산화 깊이 콘크리트 염화물 침투량 	—
		보강재	—	◦ 도막두께
	석축	<ul style="list-style-type: none"> 견čit돌 추정강도 견čit돌 풍화도 		—

<해 설>

- 보강토 옹벽의 전면판에 철근이 포함되지 않은 경우, 탄산화 깊이, 염화물 침투량에 대한 재료시험 제외

3.3.2 재료시험 기준수량

재료시험의 기준수량은 과업을 위한 최소 수량을 말하며, 책임기술자의 판단에 따라 추가적인 시험의 개소수가 필요한 경우에는 관리주체와 협의하여 시험수량을 상향 조절할 수 있다.

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 3.9] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
측점분할	◦ 20m 간격, 신축이음부	◦ 책임기술자 조정 가능
측량	◦ 옹벽의 선형측량 및 수준측량	
반발경도시험*	◦ 총수량 = (총 연장 ÷ 50m)개소	
탄산화 깊이	<총 연장> ◦ 100m 미만: 2개소 ◦ 100m 이상: 최소 2개소 + 100m 당 1개소 추가	◦ 책임기술자가 상향 조정 가능
염화물 침투량		
견čit돌 추정강도	◦ 총수량 = (총 연장 ÷ 50m)개소	

<해 설>

- 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트(블록) 강도와 피복(표면부)콘크리트 품질을 평가한다.
 - 콘크리트(블록) 강도
 - 반발경도시험 결과와 설계강도를 비교하여 콘크리트(블록) 강도를 평가한다.
 - 피복(표면부)콘크리트 품질 평가
 - 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여야 한다.

[표 3.10] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
코어채취 ¹⁾	◦ 책임기술자 판단에 따라 기준수량 결정	
철근탐사시험 ¹⁾	◦ 총수량 = (총 연장 ÷ 50m)개소	
지반조사 ²⁾	◦ 대표지반 설정 1단면	
지하수위측정	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
진행성 변형 및 변위 조사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
지중경사계측	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
토압	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
도막두께	<총 연장> ◦ 100m 미만: 1개소 ◦ 100m 이상: 최소 1개소 + 100m 당 1개소 추가	
견čit돌 풍화도	◦ 평가단위당 1개소	

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존 자료 이용 가능하다.

주2) 지층의 변화가 심한 경우에는 책임기술자 판단에 따라 상향조정 가능하다.

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 3.11] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
측점분할	◦ 20m 간격, 신축이음부	◦ 책임기술자 조정 가능
측량	◦ 옹벽의 선형측량 및 수준측량	
지반조사 ¹⁾	◦ 대표지반 설정 1단면 이상	◦ 주동영역, 수동영역 각각 1회 이상
반발경도시험 ²⁾	◦ 평가단위당 1개소 이상	◦ 동일 부위 시험 원칙
초음파전달 속도시험		◦ 책임기술자가 상향 조정 가능
철근부식도시험 ³⁾		◦ 시험 실시 근거 명기
탄산화 깊이	<총 연장> ◦ 100m 미만: 2개소 ◦ 100m 이상: 최소 2개소 + 50m당 1개소 추가	◦ 책임기술자가 상향 조정 가능
염화물 침투량		
견čit돌 추정강도	◦ 평가단위당 1개소 이상	
견čit돌 풍화도	◦ 평가단위당 1개소 이상	
철근탐사시험	◦ 평가단위당 1개소 이상	◦ 가능한 한 이전의 시험부위와 중복 피함
균열깊이 조사 ³⁾	◦ 평가단위에서 조사된 최대균열폭에 실시	
진행성 변형 및 변위 조사	◦ 최소 1개소 이상 설치 및 최소 3개월 이상 측정	◦ 책임기술자 조정 가능

주1) 지층의 변화가 심한 경우에는 책임기술자 판단에 따라 상향조정 가능하다.

주2) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트(블록) 강도와 피복(표면부)콘크리트 품질을 평가한다.

- 콘크리트(블록) 강도

· 반발경도시험 결과와 설계강도를 비교하여 콘크리트(블록) 강도를 평가한다.

- 피복(표면부)콘크리트 품질 평가

· 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여야 한다.

주3) 철근부식도시험 및 균열깊이 조사의 경우, 기존 자료분석 내용과 철근부식 위험성이 낮은 것으로 책임기술자가 판단할 경우 관리주체와 협의하여 구조물 파괴시험을 생략할 수 있다.

[표 3.12] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
코어채취 ¹⁾	<총 연장> ◦ 100m 미만: 2개소 ◦ 100m 이상: 최소 2개소 + 50m당 1개소 추가	◦ 책임기술자 조정 가능
지하수위측정 ²⁾	◦ 대표지반 설정 1회 이상	◦ 책임기술자가 상향 조정 가능
지중경사계측	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
토압	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
도막두께	<총 연장> ◦ 100m 미만: 1개소 ◦ 100m 이상: 최소 1개소 + 100m 당 1개소 추가	

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존 자료 이용 가능하다.

주2) 양압력 및 부력의 영향이 있을 수 있는 지반에 대하여 실시한다.

3.4 안전성능 평가 기준 및 방법

3.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가 기준

1) 일반

옹벽의 상태안전성능 평가는 외관조사를 실시하여 결함 및 손상 등을 조사하고, 성능 지표별 평가기준에 따라 결함점수 및 결함지수를 산정하는 방식으로 이루어진다.

2) 평가범위

옹벽의 상태안전성능 평가 적용범위는 도로 및 철도의 부대시설로서 「법」상 지면으로부터 노출된 높이가 5m 이상인 부분의 합이 100m 이상인 옹벽 시설물에 적용한다.

3) 상태안전성능 평가 성능지표 및 기준

옹벽의 상태안전성능 평가 시 고려해야할 주요 평가항목은 다음과 같다.

[표 3.13] 옹벽의 상태안전성능 평가항목

구 분		평 가 항 목	비 고
상태 안전성능	콘크리트 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 침하 ◦ 활동 ◦ 배수공상태 ◦ 계획선형오차(전도/경사) ◦ 파손 및 손상(재료분리) ◦ 균열 ◦ 표면열화(마모/침식, 박리, 박락 및 층분리) ◦ 백태 ◦ 철근노출 ◦ 세굴 ◦ 주변영향인자(배수시설, 사면구배, 낙석흔적, 침출수) 	
	보강토 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 침하 ◦ 계획선형오차(전도/경사) ◦ 활동 ◦ 전면부 진행성 배부름 ◦ 파손, 손상 및 균열 ◦ 유실 ◦ 이격 ◦ 세굴 ◦ 주변영향인자(배수시설, 사면구배, 낙석흔적, 침출수) 	

[표 3.13] 옹벽의 상태안전성능 평가항목(계속)

구 분		평 가 항 목	비 고
상태 안전성능	석축	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 침하 ◦ 계획선형오차(전도/경사) ◦ 활동 ◦ 전면부 진행성 배부름 ◦ 배수공상태 ◦ 파손, 손상 및 균열 ◦ 유실 ◦ 이격 ◦ 채움콘크리트 상태 ◦ 세굴 ◦ 주변영향인자(배수시설, 사면구배, 낙석흔적, 침출수) 	
	돌망태 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 침하 ◦ 활동 ◦ 채움재 유실 ◦ 와이어메쉬 파손 및 손상 ◦ 진행성 변형 발생 ◦ 결속철망 상태 ◦ 세굴 ◦ 주변영향인자(배수시설, 사면구배, 낙석흔적, 침출수) 	

평가기준은 5단계로 세분하였고, 평가항목별 상태안전성능 평가 기준은 옹벽의 안전성능 평가 결과와 구분하기 위하여 소문자 a, b, c, d, e로 표기한다. 또한 별도의 시험으로 구해야만 하는 정량적 수치를 지양하였으며, 외관조사를 통하여 얻을 수 있고 쉽게 판단할 수 있는 평가방법을 따랐다.

현장조사 시 각각의 평가항목에 대한 상태안전성능 평가는 가장 취약한 것을 기준으로 하여 결정하도록 하며, 책임기술자는 현장 상태를 기준으로 상태안전성능을 판단하고 하향조정하여 평가할 수 있다.

4) 상태안전성능 평가 항목별 세부기준

(가) 콘크리트 옹벽

○ 침하

[표 3.14] 침하 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상 16cm미만	16cm이상
진행성	2cm미만	2cm이상 5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상

○ 활동

[표 3.15] 활동 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상 16cm미만	16cm이상
진행성	2cm미만	2cm이상 5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상

○ 배수공

[표 3.16] 배수공 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
상태	배수공 내부가 우천시마다 맑은 물이 흘러서 깨끗한 상태	배수공 내부가 우천시마다 세립토가 섞여서 배수된 흔적이 있는 상태	배수공 내부가 우천시마다 조립토가 섞여서 배수된 흔적이 있는 상태	배수공 내부에 전혀 배수된 흔적이 없고, 거미줄이나 기타 이물질이 있는 상태	배수공을 전혀 설치하지 않은 경우

○ 계획선형오차(전도/경사)

[표 3.17] 계획선형오차 평가기준

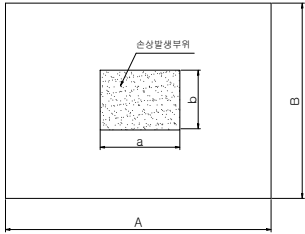
구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	2%미만	2%이상 3%미만	3%이상 4%미만	4%이상 6%미만	6%이상
진행성	1%미만	1%이상 2%미만	2%이상 3%미만	3%이상 4%미만	4%이상

<해 설>

- 계획선형오차는 준공시와 현시점에서의 변위발생으로 평가한다. 단, 설계도서 및 준공도서가 비치되어 있지 않은 경우에는 최초 측정시기와 현 측정시의 상대적인 값으로 평가한다.

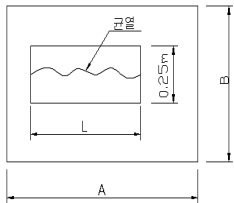
○ 파손 및 손상(재료분리)

[표 3.18] 파손 및 손상 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
깊이	없음	0mm이상 5mm미만	5mm이상 10mm미만	10mm이상 20mm미만	20mm이상
면적율 10%미만	a	b	c	d	e
면적율 10%이상	a	c	d	e	e
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> $\frac{\text{손상발생면적}}{\text{점검단위면적}} \times 100 = \frac{\text{손상폭}(a) \times \text{손상높이}(b)}{A \times B} \times 100 = \%$ </div> </div>					

○ 균열

[표 3.19] 균열 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
최대균열폭	0.1mm미만	0.1mm이상 0.2mm미만	0.2mm이상 0.3mm미만	0.3mm이상 0.5mm미만	0.5mm이상
면적율 20%미만	a	b	c	d	e
면적율 20%이상 또는 구조적 균열	a	c	d	e	e
<p>* 진행성의 유무가 확인되지 않은 경우에 적용하며, 진행성이 확인되는 경우 단계를 하향조정하고 정기적으로 관찰하도록 함</p> <p>* 균열형상은 종균열, 횡균열, 망상균열, 경사균열로 구분하며, 옹벽 상·하부에 걸쳐 연결된 종균열의 경우 단계를 하향조정하고 균열의 원인을 조사하도록 함</p> <p>* 면적율이 20% 이하일 경우에는 결함단계를 기재하고, 면적율이 20%이상일 경우에는 a→a, b→c, d→e, e→e 로 하향 조정함</p> <p>* 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 함</p> <p>* 구조적 균열은 설계 오류로 인한 균열, 외부 하중에 의한 균열, 단면 및 철근량 부족에 의한 균열 등이 있음</p> <p>* 콘크리트 구조의 구조적 균열은 콘크리트와 철근사이의 응력, 변형률, 미끄러짐(slip), 부착응력 등에 따라 균열형성단계와 균열안정화 단계의 2단계로 형성됨</p> <p>* 구조적 균열발생시 평가점수는 면적율에 관계없이 결함기준을 1단계 하향조정하고, d이상으로 발생하였을 경우에는 구조안전성능 평가를 통하여 과하중의 양상과 그 결과의 분석을 실시하도록 함</p> <p>* 누수는 균열을 동반하여 발생하지만 지하수위가 낮거나 건기에는 누수에 대한 관찰이 어려움 따라서 누수에 대한 평가항목을 별도로 규정하지 않고 다음의 평가기준에 의하여 누수에 대한 영향을 고려하며, 적용범위는 콘크리트 옹벽에 한하여 실시함</p> <p>* 누수가 육안으로 확인 가능한 경우에는 균열조사를 실시하여 평가결과보다 1단계 하향 조정함</p> <p>* 누수가 육안으로 확인이 불가능한 경우에는 평가단위에서 조사된 최대 균열폭에 대하여 균열깊이를 조사한 후 균열깊이가 콘크리트 피복보다 클 경우 균열에 대한 결함점수를 1단계 하향 조정함</p>					
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> $\frac{\text{균열발생면적}}{\text{점검단위면적}(span)} \times 100 = \frac{\text{균열길이}(L) \times 0.25}{A \times B} \times 100 = \quad \%$ </div> </div>					

○ 표면열화(마모/침식, 박리, 박락 및 층분리)

[표 3.20] 표면열화 평가기준

평가기준 구분		a	b	c	d	e
마모/침식		없음	침식/마모에 의해 골재가 노출된 상태	상, 하부와 비교해서 단면 (철근덮개)이 감소되기 시작한 상태 (다소 심한상태)	철근덮개가 탈락되고 철근이 부분적으로 노출되어 부식이 발생한 상태 (심한상태)	침식부위의 철근이 완전히 노출되어 구조적인 기능을 상실한 상태 (매우 심한상태)
박리	상태	없음	0.5mm미만	0.5mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 25mm미만	25mm이상이거나 조골재 손실
	면적을 20% 미만	a	b	c	d	e
	면적을 20% 이상	a	c	d	e	e
박락 및 층분리	상태	없음	15mm미만	15mm이상 20mm미만	20mm이상 25mm미만	25mm이상
	면적을 20% 미만	a	b	c	d	e
	면적을 20% 이상	a	c	d	e	e

○ 백태

[표 3.21] 백태 평가기준

평가기준 구분		a	b	c	d	e
조사된 상태		없음	국부적으로 발견	여러 곳에서 발견	심한상태	매우 심하고 범위가 매우 넓은 상태

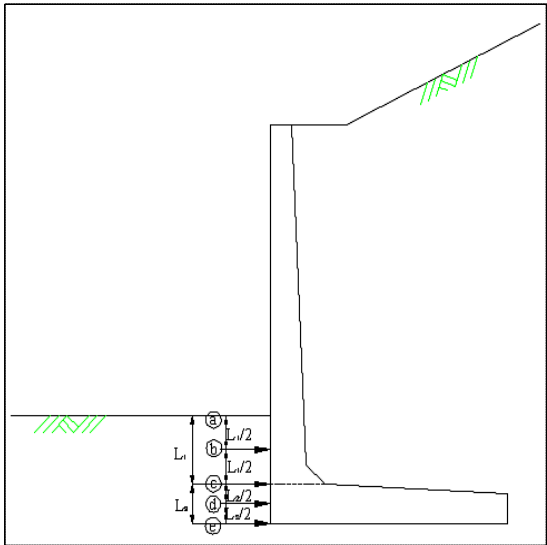
○ 철근노출

[표 3.22] 철근노출 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
철근노출 면적율	0%	0%초과 1%미만	1%이상 3%미만	3%이상 5%미만	5%이상
$\frac{\text{철근노출면적}}{\text{점검단위면적}(span)} \times 100 = \frac{\text{철근노출길이}(L) \times 0.25}{A \times B} \times 100 = \quad \%$					

○ 세굴

[표 3.23] 세굴 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
조사된 상태	세굴이 전혀 발생하지 않은 상태	세굴이 (지표면에서 현치하부/2) 부분까지 발생한 상태	세굴이 저판의 현치하부까지 발생한 상태	세굴이 (저판의 최대두께/2) 부분까지 발생한 상태	세굴이 기초저면까지 발생한 상태
					

※ 평가 결과가 "e"이면 중대한 결함으로 봄

(나) 보강토 옹벽

○ 침하

[표 3.24] 침하 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	5cm미만	5cm이상 10cm미만	10cm이상 20cm미만	20cm이상 30cm미만	30cm이상
진행성	3cm미만	3cm이상 8cm미만	8cm이상 16cm미만	16cm이상 25cm미만	25cm이상

○ 계획선형오차(전도/경사)

[표 3.25] 계획선형오차 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	2%미만	2%이상 3%미만	3%이상 4%미만	4%이상 6%미만	6%이상
진행성	1%미만	1%이상 2%미만	2%이상 3%미만	3%이상 4%미만	4%이상

<해설>

- 계획선형오차는 준공시와 현시점에서의 변위발생으로 평가함. 단, 설계도서 및 준공도서가 비치되어 있지 않은 경우에는 최초 측정시기와 현 측정시의 상대적인 값으로 평가함
- 보강토옹벽은 시공 중의 변위발생이 5% 미만이고 진행성이 아닌 경우에는 구조물 사용성에 지장이 없는 시공오차로 간주하며, 준공 후 추가적인 변위에 대해서만 적용함

○ 활동

[표 3.26] 활동 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상 16cm미만	16cm이상
진행성	2cm미만	2cm이상 5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상

○ 전면부 진행성 배부름

[표 3.27] 전면부 진행성 배부름 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 비진행성 상태	경미하게 발생한 비진행성 상태	경미하게 발생한 진행성 상태	심하게 발생하여 구조적인 안정에 영향을 줄 정도의 진행성 상태	매우 심하게 발생하여 경사가 발생하고 구조적인 안정에 크게 영향을 줄 정도의 진행성 상태

○ 파손 및 손상, 균열

[표 3.28] 파손 및 손상, 균열 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	없음	파손이 경미하고 추가적인 손상진행의 가능성이 없는 양호한 상태	파손이 경미하지만 다른 추가적인 손상진행의 가능성이 있는 보통의 상태	시설의 주요부에 부분적인 파손이 발생하여 제체의 안전성이 저하되거나, 손상의 진행에 따라 손상규모가 확대될 위험이 있는 심각한 상태	시설의 주요부에 큰 파손이 발생하여 시설의 기능상실, 안전성 결여 또는 파괴로 이어질 수 있는 위험한 상태

○ 유실

[표 3.29] 유실 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 상태	평가단위에서 1개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 3개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 4개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 5개소 이상 발생한 상태

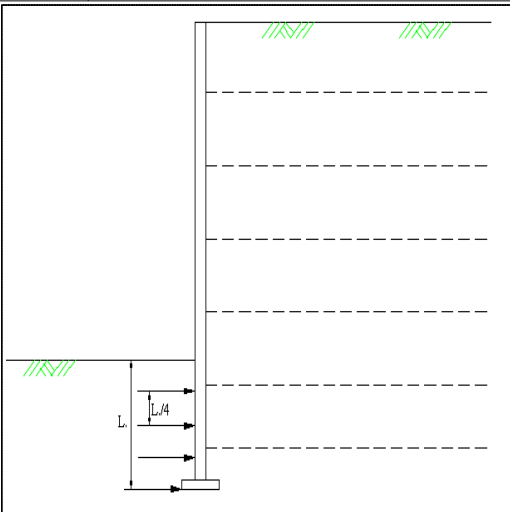
○ 이격

[표 3.30] 이격 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 상태	평가단위에서 1개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 3개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 4개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 5개소 이상 발생한 상태

○ 세굴

[표 3.31] 세굴 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	세굴이 전혀 발생하지 않은 상태	(근입깊이/4)의 각각의 위치까지 세굴이 발생한 상태			세굴이 기초저면까지 발생한 상태
					

<해 설>

- 평가 결과가 "e"이면 중대한 결함으로 봄

(다) 석축

○ 침하

[표 3.32] 침하 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상 16cm미만	16cm이상
진행성	2cm미만	2cm이상 5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상

○ 계획선형오차(전도/경사)

[표 3.33] 계획선형오차(전도/경사) 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	2%미만	2%이상 3%미만	3%이상 4%미만	4%이상 6%미만	6%이상
진행성	1%미만	1%이상 2%미만	2%이상 3%미만	3%이상 4%미만	4%이상

<해설>

- 계획선형오차는 준공시와 현시점에서의 변위발생으로 평가함. 단, 설계도서 및 준공도서가 비치되어 있지 않은 경우에는 최초 측정시기와 현 측정시의 상대적인 값으로 평가함.

○ 활동

[표 3.34] 활동 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상 16cm미만	16cm이상
진행성	2cm미만	2cm이상 5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상

○ 전면부 진행성 배부름

[표 3.35] 전면부 진행성 배부름 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 비진행성 상태	경미하게 발생한 비진행성 상태	경미하게 발생한 진행성 상태	심하게 발생하여 구조적인 안정에 영향을 줄 정도의 진행성 상태	매우 심하게 발생하여 경사가 발생하고 구조적인 안정에 크게 영향을 줄 정도의 진행성 상태

○ 배수공상태

[표 3.36] 배수공상태 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	배수공 내부가 우천시마다 맑은 물이 흘러서 깨끗한 상태	배수공 내부가 우천시마다 세립토가 섞여서 배수된 흔적이 있는 상태	배수공 내부가 우천시마다 조립토가 섞여서 배수된 흔적이 있는 상태	배수공 내부에 전혀 배수된 흔적이 없고, 거미줄이나 기타 이물질이 있는 상태	배수공을 전혀 설치하지 않은 경우

○ 파손 및 손상, 균열

[표 3.37] 파손 및 손상, 균열 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	없음	파손이 경미하고 추가적인 손상진행의 가능성이 없는 양호한 상태	파손이 경미하지만, 다른 추가적인 손상진행의 가능성이 있는 보통의 상태	시설의 주요부에 부분적인 파손이 발생하여 제체의 안전성이 저하되거나, 손상의 진행에 따라 손상규모가 확대될 위험이 있는 심각한 상태	시설의 주요부에 큰 파손이 발생하여 시설의 기능상실, 안전성 결여 또는 파괴로 이어질 수 있는 위험한 상태

○ 유실

[표 3.38] 유실 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 상태	평가단위에서 1개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 3개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 4개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 5개소 이상 발생한 상태

○ 이격

[표 3.39] 이격 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 상태	평가단위에서 1개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 3개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 4개소 이하로 발생한 상태	평가단위에서 5개소 이상 발생한 상태

○ 채움콘크리트 상태

[표 3.40] 채움콘크리트 상태 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 상태	채움콘크리트 에 일부 미세한 균열이 발생한 상태	채움콘크리트 에 일부 균열이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않다고 판단되는 상태	채움콘크리트 가 풍화된 상태 (작은 충격 혹은 문지름에 시멘트 모르터가 떨어져 나가는 상태)	채움콘크리트 가 유실된 상태

○ 세굴

[표 3.41] 세굴 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	세굴이 전혀 발생하지 않은 상태	(기초콘크리트 상단까지의 깊이/3)의 각각의 위치까지 세굴이 발생한 상태		기초콘크리트 상단까지 세굴이 발생한 상태	세굴이 기초저면까지 발생한 상태

The diagram illustrates a pile foundation subjected to scour. The pile is shown in cross-section, with dimensions L_1 and L_2 indicated. Red hatching indicates the scour depth, which is shown to be $L_2/3$ at the pile top and bottom. Green hatching indicates the pile top and bottom. The diagram shows scour at the pile top and bottom, with dimensions L_1 , L_2 , and $L_2/3$ indicated.

<해 설>

- 평가 결과가 "e"이면 중대한 결함으로 봄.

(라) 돌망태 옹벽

○ 침하

[표 3.42] 침하 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	5cm미만	5cm이상 10cm미만	10cm이상 20cm미만	20cm이상 30cm미만	30cm이상
진행성	3cm미만	3cm이상 8cm미만	8cm이상 16cm미만	16cm이상 25cm미만	25cm이상

○ 활동

[표 3.43] 활동 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
비진행성	5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상 16cm미만	16cm이상
진행성	2cm미만	2cm이상 5cm미만	5cm이상 8cm미만	8cm이상 12cm미만	12cm이상

○ 채움재 유실

[표 3.44] 채움재 유실 평가기준

구분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 상태	경미하게 발생한 상태	다소 크게 발생한 상태	평가단위의 1개소에서 심각하게 발생하여 구조적인 안정에 영향을 줄 정도	평가단위의 2개소 이상에서 매우 심하게 발생하여 구조적인 안정에 크게 영향을 줄 정도

○ 와이어메쉬 파손 및 손상

[표 3.45] 와이어메쉬 파손 및 손상 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 상태	파손이 경미하고 추가적인 손상의 진행 가능성이 없는 상태	파손이 경미하지만 추가적인 손상 진행의 가능성이 있는 상태	파손이 진행되어 채움재 유실 발생이 진행된 상태	철망이 파단되어 채움재 유실과 구조적 안정에 영향을 미칠 정도의 상태

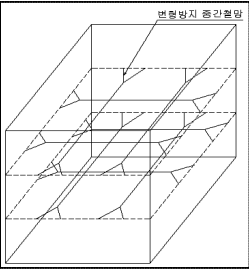
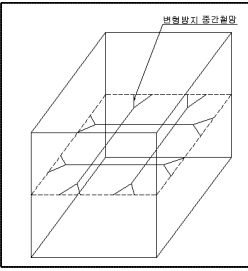
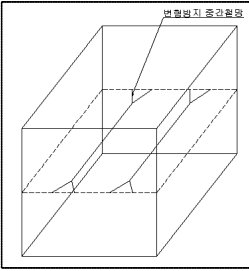
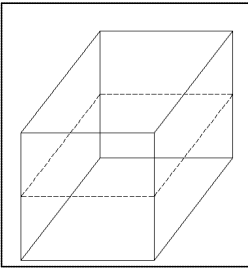
○ 진행성 변형발생

[표 3.46] 진행성 변형발생 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	건전한 비진행성 상태	경미하게 발생한 비진행성 상태	경미하게 발생한 진행성 상태	심하게 발생하여 구조적인 안정에 영향을 줄 정도의 진행성 상태	매우 심하여 경사가 발생하고 구조적인 안정에 크게 영향을 줄 정도의 진행성 상태

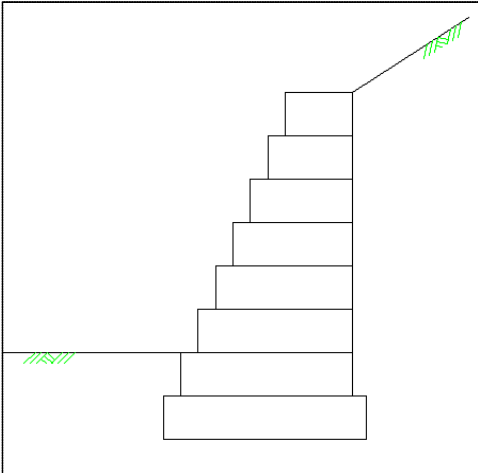
○ 철망결속 상태

[표 3.47] 철망결속 상태 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	- 아래 참조 -				
	* 변형방지 철망이 가로, 세로 각각 3단 이상일 경우 : a * 가로, 세로 각각 2단일 경우(그림 a) : b * 가로, 세로 각각 1단일 경우(그림 b) : c * 가로 또는 세로 단방향으로 1단일 경우(그림 c) : d * 변형방지철망이 설치되어 있지 않은 경우(그림 d) : e				
					
	a	b	c	d	

○ 세굴

[표 3.48] 세굴 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
조사된 상태	세굴이 전혀 발생하지 않은 상태	(근입깊이/4)의 각각의 위치까지 세굴이 발생한 상태			세굴이 기초저면까지 발생한 상태
					

<해 설>

- 상태평가 결과가 "e"이면 중대한 결함으로 봄.

나. 상태안전성능 평가 방법

옹벽분류에 따른 옹벽별 상태안전성능 평가를 위한 결함등급 및 결함점수와 결함지수 산출방법은 다음과 같다.

(가) 콘크리트 옹벽

[표 3.49] 콘크리트 옹벽 평가기준

평가기준		a	b	c	d	e
		0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f
침 하		0	2	4	6	8
활 동		0	2	5	8	10
배수공상태		0	2	5	8	11
계획선형오차 (전도/경사)		0	1	2	3	5
파손 및 손상 (재료분리)		0	1	2	3	5
균 열		0	2	3	5	7
표면 열화	마모/침식	0	0	1	1	1
	박리	0	0	1	1	1
	박락 및 층분리	0	0	1	1	1
백태		0	0	1	1	2
철근노출		0	1	1	2	3
세 굴		0	2	5	8	10
주변영향 인자	배수 시설	배수시설이 양호할 경우 : 0 , 배수시설이 없거나 불량할 때 : 1				
	사면 조사	사면구배	적절	0	부적절	1
		낙석흔적	미발생	0	발생	1
		침출수	무	0	유	1
철근콘크리트 옹벽 결함지수 (f)		①	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{68}$		②	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{58}$
중력식 옹벽 결함지수 (f)		①	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{65}$		②	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{55}$

<해 설>

- 철근이 포함되지 않은 경우 철근노출 평가 제외한다.
- 세굴 발생이 가능한 부위가 불투수 처리(아스콘, 콘크리트 포장)가 되었을 경우 ②번 산정식을 사용함.
- 콘크리트 옹벽의 누수에 대한 평가는 철근콘크리트 옹벽에 한하여 실시하며, 평가단위당 균열폭 최대점을 기준으로 균열깊이 측정을 실시하여 균열깊이가 콘크리트 피복보다 클 경우에 결함점수를 한 단계 하향 조정함.
- 주변영향인자 평가항목 중 사면조사는 절토사면 및 사면 보호시설물에 해당하여 실시하며, 해당 시설물이 아닌 경우에는 평가식의 분모를 3점 감산하여 계산함.
- 수중옹벽의 경우, 평가항목 중 배수공상태 항목은 설계도서를 검토하여 불필요시 결함지수에서 제외하며, 평가식의 분모에서 그 점수만큼 감산하여 계산함.

(나) 보강토 옹벽

[표 3.50] 보강토 옹벽 평가기준

평가기준		a	b	c	d	e
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
침 하		0	0	1	2	3
계획선형오차 (전도/경사)		0	0	1	2	3
활 동		0	2	4	6	8
전면부 진행성 배부름		0	2	5	8	10
파손, 손상 및 균열		0	1	2	4	6
유 실		0	1	2	4	6
이 격		0	1	2	3	4
세 굴		0	2	4	6	8
주변영향 인자	배수시설	배수시설이 양호할 경우 : 0 , 배수시설이 없거나 불량할 때 : 1				
	사면조사	사면구배	적절	0	부적절	1
		낙석흔적	미발생	0	발생	1
		침출수	무	0	유	1
보강토 옹벽 결함지수 (f)		①	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{52}$		②	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{44}$

<해 설>

- 세굴 발생이 가능한 부위가 불투수 처리(아스콘, 콘크리트 포장)가 되었을 경우 ②번 산정식을 사용함.
- 전면판에 발생한 균열은 파손으로 처리함.
- 주변영향인자 평가항목 중 사면조사는 절토사면 및 사면 보호시설물에 해당하여 실시하며, 해당 시설물이 아닌 경우에는 평가식의 분모를 3점 감산하여 계산함.

(다) 석축

[표 3.51] 석축 평가기준

평가기준		a	b	c	d	e
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
침하		0	1	2	3	4
계획선형오차 (전도/경사)		0	1	2	3	4
활동		0	1	3	5	7
전면부 진행성 배부름		0	3	6	9	12
배수공상태		0	1	3	5	7
파손, 손상 및 균열		0	2	4	6	8
유실		0	1	3	5	7
이격		0	1	2	3	4
채움콘크리트 상태		0	1	3	5	7
세굴		0	2	4	6	8
주변영향 인자	배수시설	배수시설이 양호할 경우 : 0 , 배수시설이 없거나 불량할 때 : 1				
	사면조사	사면구배	적절	0	부적절	1
		낙석흔적	미발생	0	발생	1
		침출수	무	0	유	1
석축 결함지수 (f)		①	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{72}$		②	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{64}$

<해 설>

- 세굴 발생이 가능한 부위가 불투수 처리(아스콘, 콘크리트 포장)가 되었을 경우 ②번 산정식을 사용함.
- 석괴에 발생한 균열은 파손으로 처리함.
- 주변영향인자 평가항목 중 사면조사는 절토사면 및 사면 보호시설물에 해당하여 실시하며, 해당 시설물이 아닌 경우에는 평가식의 분모를 3점 감산하여 계산함.

(라) 돌망태 옹벽

[표 3.52] 돌망태 옹벽 평가기준

평가기준		a	b	c	d	e
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
침하		0	0	1	2	3
활동		0	1	2	3~4	5~6
채움재 유실		0	1	2	3~4	5~6
와이어메쉬 파손 및 손상		0~1	2	3	4~5	6~7
진행성 변형 발생		0~1	2~3	4~5	6~7	8~9
결속철망상태		0	1	2	3	4~5
세굴		0	1	2	3~4	5~6
주변영향 인자	배수시설	배수시설이 양호할 경우 : 0 , 배수시설이 없거나 불량할 때 : 1				
	사면조사	사면구배	적절	0	부적절	1
		낙석흔적	미발생	0	발생	1
		침출수	무	0	유	1
돌망태 옹벽 결함지수 (f)		①	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{46}$		②	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{40}$

<해 설>

- 세굴 발생이 가능한 부위가 불투수 처리(아스콘, 콘크리트 포장)가 되었을 경우 ②번 산정식을 사용함.
- 주변영향인자 평가항목 중 사면조사는 절토사면 및 사면 보호시설물에 해당하여 실시하며, 해당 시설물이 아닌 경우에는 평가식의 분모를 3점 감산하여 계산함.

다. 상태안전성능 평가 결과 산정

옹벽 형식별 상태안전성능 평가 결과에 따라 결함지수를 구하고, [표 3.53]의 산정기준을 적용하여 해당 시설물의 상태안전성능 평가 등급을 도출한다.

[표 3.53] 상태안전성능 평가 결과 산정기준

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$

3.4.2 구조안전성능 평가 기준 및 방법

가. 구조안전성능 평가 기준

1) 일반

구조안전성능평가 시 각 재료형식별 토압산정 및 적용안전율은 건설기준코드(구 구조물기초 설계기준)을 근거로 실시하도록 하며, 여기에 제시되지 않은 사항에 대해서는 보편화된 방법 또는 개정된 내용을 이용토록 한다.

기존 안전성 검토 자료를 활용할 경우, 옹벽 시설물의 해석조건의 변화(토압, 상재 하중, 경계조건 등)가 없을 경우 책임기술자의 판단에 따라 기존 자료를 활용할 수 있다.

토압산정 시 지하수위의 고려여부는 설계도서를 검토하여 시설물이 배면지반 포화 시에도 충분한 저항력을 고려해 설계했는지를 검토한 후 결정한다. 또한 소단을 통해 연속적으로 구성되어있는 옹벽시설물에 대해서는 상하부 옹벽의 높이 및 이격거리를 고려하여 개별 또는 전체에 대한 안전성능평가를 실시하며, 개별에 대한 안전성능평가 시 상부옹벽은 하부옹벽의 상재하중으로 적용하여 실시하도록 한다.

보고서에는 평가에 사용된 해석방법의 종류 및 해석결과에 대한 설명과 계산기록을 포함하여야 한다. 책임기술자는 시설물의 종류 및 구조적 특성에 따라 안전성능평가를 위하여 필요한 계측, 측정, 조사 및 시험 등에 대해 관리주체와 협의해야 하며, 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료의 검토, 기존 점검이력 분석 및 각종 계측·측정·조사·시험 자료를 충분히 활용하여야 한다.

본 장에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 본 장에 기술된 것과 같이 안전성능평가 기준을 제시하고, 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있으며, 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

2) 구조안전성능 평가 방법

구조안전성능 평가는 조사범위의 대표단면을 설정하여 실시하는 것을 원칙으로 하며, 각 평가항목에 대한 안전율을 계산한 후 각 항목에 대한 안전율 중 최저치를 구조안전성능 결과로 결정한다.

모델링에 의한 수치해석과 같이 해석결과를 정량적으로 평가할 수 없는 안정해석의 경우 책임기술자는 이 결과를 구조안전성능 평가 결과에 반영시켜 기준을 하향조정할 수 있다.

상태안전성능 평가 결과 d등급 이하로 판정된 시설물에 대해서는 결함요소를 고려할 수 있는 수치해석 프로그램(FEM 및 FDM)을 이용하여 구조물의 안전성 여부를 판단할 수 있으며, 여기서 사용되는 입력데이터는 현장조사 결과에서 얻은 자료를 사용하여 현상태의 시설물 상태를 최대한 고려하여 해석한다.

또한 옹벽 뿐만 아니라 기초지반 및 배면지반이 포함된 전체안전성 해석이 필요하며, 전체 안전성 해석에는 수정 Bishop법, Janbu의 간편법, Spencer방법 등이 사용될 수 있다. 안전성해석에서 사용되는 모든 전산해석프로그램은 범용으로 사용되고 있는

검증된 프로그램을 사용하도록 한다.

내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

나. 구조안전성능 평가 방법

옹벽의 구조안전성능 평가는 크게 내적·외적안전성으로 구분하며, 국내에서는 평가 대상 항목의 안전율을 이용하여 하고 있으며, 안전율 검토는 허용응력설계법(부재의 발생응력과 허용응력의 비)이나 강도설계법(부재의 소요강도와 설계강도의 비)에 따라 구조물의 각 부재에 작용하는 외력에 의한 응력을 산정하여 이루어지고 있다.

외적안전성평가는 지지력, 침하를 제외하고 안전율을 도입하여 산정이 가능하며, 지지력과 침하는 옹벽의 규모와 보호시설물의 조건이 각각 상이하므로 검토하고자 하는 구조물의 기준에 맞추어 산정한다. 각 항목별 안전율, 계산방법 및 기준은 건설기준코드(구 구조물기초 설계기준), 옹벽 관련 건설기준코드 및 구조형식이 유사한 항만의 중력식 안벽 평가기준 등을 참고하여 작성한다.

※ 「시설물의 안전 및 유지관리 세부지침-(Ⅱ)성능평가」 항만편 참조」

1) 내적 안전성평가

[표 3.54] 옹벽 형식별 내적 안전성평가 항목 및 평가기준

구 분	평가기준 검토항목	a	b	c	d	e	비 고
콘크리트 옹벽	설계전단강도	1.0이상	1.0이상 ¹⁾	1.0미만 ~ 0.9이상	0.9미만 ~ 0.75이상	0.75미만	설계전단강도 작용전단력
	설계휨강도						설계휨강도 작용모멘트
보강토 옹벽	인발파괴에 대한 안정	1.0이상	1.0이상 ¹⁾	1.0미만 ~ 0.9이상	0.9미만 ~ 0.75이상	0.75미만	보강재적용길이 보강재소요길이
	보강재 파단에 대한 안정						설계인장강도 작용인장응력
석축	벽체의 평균폭	1.0이상	1.0이상 ¹⁾	1.0미만 ~ 0.9이상	0.9미만 ~ 0.75이상	0.75미만	실제평균폭 평균폭산정값

주1) 허용안전율 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우

<해 설>

- 콘크리트 옹벽의 내적안전성 검토는 작용모멘트(또는 전단력)와 설계모멘트(또는 전단력)의 비로 평가함.
- 콘크리트 옹벽의 내적안전성 검토는 각 구조부재별 전단력과 모멘트의 검토로 이루어지며, 검토결과와 최저값을 대푯값으로 설정함.
- 보강토 옹벽의 내적안전성 검토 시 보강재와 성토재료와의 마찰계수와 토압분포산정은 건설기준코드(구 구조물기초 설계기준)에 의하여 산정함.
- 보강토 옹벽의 인발파괴 및 파단에 대한 안전성 평가 시 적용안전율은 다음과 같음.
 - 인발파괴에 대한 검토 : 1.5
 - 보강재 파단에 대한 검토 : 철재보강재 1.0, 섬유보강재 1.5

(보강재의 항복강도 결정 시 변형율은 NCMA(national concrete masonry association), BS(british standard) 규정 등에 의해 결정함.)

- 석축의 벽체평균폭 검토는 Hendron(1960)의 제안식을 이용해 한계비 검토에 따른 평균폭 산정과 현 상태의 평균폭에 대한 비로 평가함.

(가) 보강토 옹벽

- 보강토 옹벽의 내적안전성 평가는 크게 보강재와 흙 사이의 마찰저항에 대한 부분과, 보강재 자체의 파괴에 대한 부분으로 구분한다.
- 보강토 옹벽의 내적안전해석은 보강토체를 활동영역과 저항영역으로 나누고, 각각의 보강재에 발생하는 최대작용하중을 계산 후 보강재의 인장파괴와 보강재가 저항영역으로부터 빠져나오는지의 인발파괴에 대하여 검토한다.
- 파괴면은 각 보강재에 발생하는 최대인장력을 연결한 선이며 형상은 벽체저면에서 대수나선형태로 발생한다. 안정해석의 간편성을 위하여 직선 또는 이중직선으로 가정할 수 있다.
- 파괴면에서 각각의 보강재에 작용하는 최대인발하중(T_{\max})은 각 보강재 위치에서 작용하는 수평토압계수와 보강재의 수직설치 간격을 고려하여 계산한다.

$$T_{\max} = \sigma_h S_v \text{ (kN/m)}$$

여기서, σ_h : 각 보강재층에서의 수평응력

S_v : 보강재의 수직설치 간격

- 보강재 파단에 대한 안전성 검토는 각각의 보강재 위치에서 구한 최대인발하중보다 보강재의 장기설계인장강도(T_a)가 크거나 또는 인발저항력(P)이 커야 한다.

2) 외적 안전성평가

[표 3.55] 옹벽 형식별 외적 안전성평가 항목 및 평가기준(콘크리트 옹벽, 석축)

평가기준 검토항목		a	b	c	d	e
활 동	평상시	1.5이상	1.5이상 ¹⁾	1.5미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.1이상	1.1이상 ¹⁾	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
전 도		2.0이상	2.0이상 ¹⁾	2.0미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
지지력	평상시	3.0이상	3.0이상 ¹⁾	3.0미만~2.5이상	2.5미만~1.8이상	1.8미만
	지진시	2.0이상	2.0이상 ¹⁾	2.0미만~1.8이상	1.8미만~1.5이상	1.5미만
침 하		1.2이상	1.2미만~1.1이상	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만

주1) 허용안전율 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우

<해 설>

- 지지력은 (지반의 허용지지력/작용응력)의 비로 평가함.
- 침하는 (보호시설의 허용침하량/침하발생량)의 비로 평가함.
- 활동은 수평활동과 원호활동을 구분하여 실시함

[표 3.56] 옹벽 형식별 외적 안전성평가 항목 및 평가기준(보강토 옹벽, 돌망태 옹벽)

평가기준 검토항목		a	b	c	d	e
저면활동	평상시	1.5이상	1.5이상 ¹⁾	1.5미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.1이상	1.1이상 ¹⁾	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
원호활동	평상시	1.3이상	1.3이상 ¹⁾	1.3미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
	지진시	1.1이상	1.1이상 ¹⁾	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
전 도		1.5이상	1.5이상 ¹⁾	1.5미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만
지지력	평상시	2.5이상	2.5이상 ¹⁾	2.5미만~2.0이상	2.0미만~1.5이상	1.5미만
	지진시	2.0이상	2.0이상 ¹⁾	2.0미만~1.8이상	1.8미만~1.5이상	1.5미만
침 하		1.2이상	1.2미만~1.1이상	1.1미만~1.0이상	1.0미만~0.75이상	0.75미만

주1) 허용안전율 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우

<해 설>

- 지지력은 (지반의 허용지지력/작용응력)의 비로 평가한다.
- 침하는 (보호시설의 허용침하량/침하발생량)의 비로 평가한다.
- Rigid Box 위에 축조된 보강토 옹벽의 해석은 Box와 옹벽을 일체로 해석한다.

(가) 콘크리트 옹벽

○ 활동

- 활동에 대한 안정성은 기초 지반면과 콘크리트 옹벽 저면에서의 미끄러짐이 발생하는가에 대한 검토이다. 경사하중 또는 비탈면상에 설치된 기초, 수평력을 받는 구조물의 기초에 대해서는 활동에 대한 파괴를 검토하여야 한다.
- 활동에 대한 검토는 활동을 유발하는 횡방향 하중과 활동에 저항하는 저항력의 비율이 기준안전율 이상이어야 한다.

$$FS = \frac{S_R}{S_D}$$

여기서, S_R : 활동저항력 (resisting force to sliding)

S_D : 활동력 (sliding force)

- 옹벽은 옹벽배면에 작용하는 토압의 수평성분에 의해서 수평방향으로 활동하려는 특성을 지닌다. 이 경우 옹벽 저판의 바닥면에서 저항력이 충분히 확보되어야 하며 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$FS = \frac{\sum V \tan \delta + c_a B}{\sum H}$$

여기서, $\sum V$: 모든 연직력의 합(kN)

$\sum H$: 모든 수평력의 합(kN)

δ : 옹벽 저판과 지지지반 사이의 마찰각

c_a : 옹벽 저판과 지지지반 사이의 부착력(kN/m²)

B : 옹벽 저판의 폭(m)

○ 전도

- 전도는 콘크리트 옹벽의 앞굽을 중심으로 콘크리트 옹벽 전체가 앞으로 회전하는지 여부에 대하여 검토한다. 옹벽은 배면의 횡방향 토압으로 인해 저판앞굽을 중심으로 전도하므로 옹벽은 이에 대해 충분히 안전하게 저항하여야 한다.
- 전도의 검토는 콘크리트 옹벽에 작용하는 하중의 조합에 의해 작용모멘트와 저항모멘트의 비율이 기준안전율 이상이어야 한다.

$$FS = \frac{M_R}{M_D}$$

여기서, M_R : 저항모멘트 (resisting moment)

M_D : 활동모멘트 (driving moment)

○ 지지력

- 지지력 검토는 다음과 같이 콘크리트 옹벽 하부에 발생하는 지반반력(q_{\max})과 지반의 극한지지력(q_u)의 비율이 기준안전율 이상이어야 한다.

$$FS = \frac{q_u}{q_{\max}}$$

여기서, q_u : 지반의 극한지지력

q_{\max} : 최대지반반력

○ 침하

- 옹벽의 허용침하량은 인접 토공 또는 구조물의 허용침하기준을 만족하여야 하며, 침하량 산정은 일반적인 기초 침하량 산정방법에 따른다.

(나) 석축

○ 활동

- 뒤채움 흙 내부, 성토와 벽면 경계면 및 옹벽 저면과 지지지반의 경계면에서 전단파괴를 생기게 하는 활동(미끄럼) 대한 안전성을 검토한다.

$$FS = \frac{H_u}{Q_H} = \frac{W + P_{AV}}{P_{AH}} \mu$$

여기서, μ : 저면 마찰계수

○ 전도

- 석축의 전도에 대한 안전성평가는 다음과 같다.

$$FS = \frac{\text{저항 모멘트}}{\text{전도 모멘트}} = \frac{W \cdot x_c}{P_{AH} \cdot y_A - P_{AV} \cdot x_A}$$

여기서, W : 옹벽자중

x_c : 앞굽에서 옹벽 도심까지의 수평거리

P_{AH} : 주동토압의 수평성분

P_{AV} : 주동토압의 수직성분

y_A : 주동토압의 작용높이

x_c : 앞굽에서 주동토압 작용점까지의 수평거리

○ 지지력

- 석축과 같이 경사타입의 구조물은 지면과 벽면에 지반 반력이 발생한다.
- 이 때문에 지반반력은 구부림 기초로 하여 계산해야 한다. 석축과 같이 벽 두께가 동일한 두께인 옹벽의 경우에는 저면의 최대 지반 반력을 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$q_{\max} = \frac{1.1(V_0 - Q_n \sin \theta)}{B} = \frac{1.1 V_0}{B}$$

(다) 보강토 옹벽

- 보강토체를 강체로 간주하여 중력식 옹벽의 안정해석과 동일하게 수행한다. 보강토 옹벽의 가상배면은 보강토체와 뒤채움사이의 경계면으로 한다.
- 보강토 옹벽에서 전면벽의 경사도 8° 를 기준으로, 8° 보다 작으면 수직전면벽으로 간주하여 Rankine 토압론에 의거해 외적안정을 검토하고, 전면벽의 경사도가 8° 보다 크기가 같을 경우에는 Coulomb 토압론에 의거해 외적안정을 검토한다.

(라) 돌망태 옹벽

- 돌망태 옹벽을 강체로 간주하여 중력식 옹벽의 안정해석과 동일하게 수행한다.
- 돌망태 옹벽의 자중은 돌망태 채움재에 사용하는 채움돌의 단위중량을 토대로 계산한다. 자중은 옹벽단면의 도심에 수직으로 작용하는 것으로 한다.
- 돌망태 옹벽에 작용하는 토압은 Coulomb 토압공식을 이용하여 계산하며, 옹벽 상부 끝점과 하부 끝점을 연결하는 가상배면의 1/3 위치에 작용시킨다. 뒤채움 형태 또는 상재하중의 형태가 복잡한 경우에는 시행착기방법을 이용할 수 있다.

3.4.3 안전성능 평가 결과산정 방법

가. 상태안전성능 평가 결과산정 방법

1) 상태안전성능 평가 결과산정

상태안전성능 평가를 수행하기 위해서는 먼저 신축이음부 또는 20m 단위(20m를 원칙으로 하나 현장상황에 따라 책임기술자가 조정가능)로 평가단위를 구분하고, 평가단위별 외관조사를 실시한다. 외관조사 결과에 따라 평가항목별 평가기준에 부합하는 결함점수를 부여한 후, 결함점수 합계를 구하여 평가단위별 결함지수를 산정한다. 평가단위별 결함지수를 산술평균하여 최종 결함지수를 도출하고, 결함지수에 해당하는 상태안전성능 평가 등급을 결정한다.

2) 상태안전성능 평가 결과산정 예시

콘크리트 옹벽의 상태안전성능 평가 결과 산정 방법을 예시하였다.

Span No. 1	Span No. 2	Span No. 3	Span No. 4	Span No. 5

[그림 3.5] span별 또는 평가단위별 외관조사 예시(콘크리트 옹벽)

[표 3.57] 옹벽의 상태안전성능 평가 결과산정 예시(콘크리트 옹벽)

Span No	침하	활동	배수 공 상태	계획 선형 오차	파손 및 손상	균열	표면열화			백태	철근 노출	세굴	주변영향인자				결함 점수 합계	결함 지수	평가 결과
							마모/ 침식	박리	박락/ 충분리				배수 시설	사면상태					
														사면 구배	낙석 흔적	침출 수			
1	0	0	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.0	0.10	a
2	0	0	5	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11.0	0.16	b
3	0	0	5	0	2	5	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	16.0	0.24	b
평 균	0.00	0.00	5.00	0.00	0.67	4.00	0.00	0.00	0.67	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.30	0.17	－
													상태안전성능 평가 결과				b		

나. 구조안전성능 평가 결과산정 방법

1) 구조안전성능 평가 결과산정

구조안전성능 평가는 대표단면을 설정하여 실시하는 것을 원칙으로 하며, 각 평가항목에 대한 안전율을 계산한 후 그 결과를 비교하여 안전율 중 최저값을 구조안전성능 평가 결과로 결정한다. 구조안전성능 평가는 결과가 등급으로 산정되므로 상태안전성능 평가 결과와 비교하기 위해서는 별도로 결함지수를 부여해야 하며, 결함지수는 다음의 표를 참고하여 부여한다. 결함지수는 구조물의 안전측면을 고려하여 보수적으로 부여하며, 평가등급별 결함도 범위 중 높은 값에서 0.01을 감하여 산정한다.

[표 3.58] 구조안전성능 평가 등급에 따른 결함지수

등급	평가기준	결함지수
a	허용안전율 이상인 경우	0.14
b	허용안전율 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우	0.29
c	허용안전율보다 작은 경우	0.54
d		0.74
e		0.99

2) 구조안전성능 평가 결과산정 예시

콘크리트 옹벽에 대하여 구조안전성능 평가 결과산정 과정을 예시하면 다음과 같다.

[표 3.59] 옹벽의 구조안전성능 평가 결과산정 예시(콘크리트 옹벽)

구조안전성능 평가 결과 산정표					
시설물명		OO시 OOAPT 진입로 콘크리트옹벽		표번호	RW. No. 3
평가항목구분		안전율	평가결과		비 고
수평활동		1.5	a		평상시 안전율 적용
원호활동		1.6	a		평상시 안전율 적용
전도		1.1	c		
침하		1.3	a		
지지력		3.2	a		평상시 안전율 적용
구조 검토	설계 전단강도	1.0	a	c	전단력 및 모멘트 검토결과 의 최저값을 안전성 대표기준으로 설정
	설계휨강도	0.95	c		
구조안전성능 평가 결과		◦구조안전성능 평가 등급 = c ◦구조안전성능 평가 결함지수 = 0.54			

다. 안전성능 평가 결과산정 방법

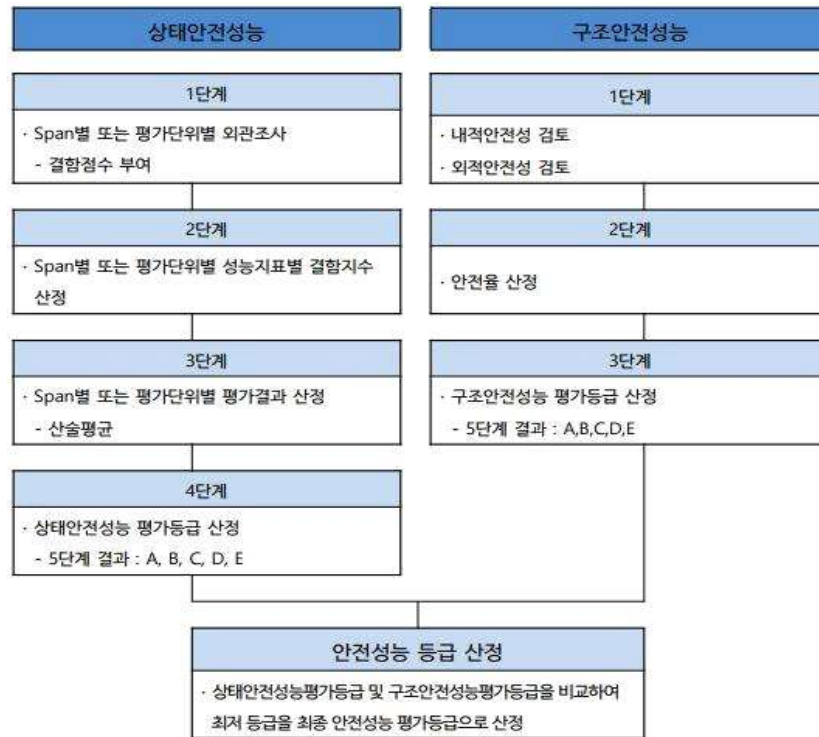
1) 안전성능 평가 결과산정

평가대상 옹벽에 대하여 상태안전성능 및 구조안전성능 평가를 실시한 후 각 결함지수를 비교하여 보수적인 값을 최종 안전성능평가 결과로 결정한다.

옹벽의 종합 안전성능 평가등급 = $\text{Min}(G_c, G_s)$

여기서, G_c : 옹벽의 상태안전성능 평가등급

G_s : 옹벽의 구조안전성능 평가등급



[그림 3.6] 옹벽의 안전성능평가등급 산정 흐름도

2) 안전성능 평가 결과산정 예시

평가대상 옹벽에 대하여 안전성능 평가 산정 절차를 예시하면 다음과 같다.

[표 3.60] 옹벽의 안전성능 평가 결과산정 예시(콘크리트 옹벽)

안전성능평가 결과 산정표				
시설물명	OO시 OOAPT 진입로 옹벽		표번호	
평가구분	결함지수	평가결과	비 고	
상태안전성능 평가	0.17	b	근거 표번호	
구조안전성능 평가	0.54	c	근거 표번호	
안전성능 평가결과	◦ 안전성능평가 등급 = c ◦ 안전성능평가 지수 = 0.54			

3.5 내구성능 평가 기준 및 방법

3.5.1 일반

시설물의 내구성능 평가는 크게 강재 내구성능 평가 및 콘크리트 내구성능 평가 분야로 구성된다. 웅벽(콘크리트 웅벽/보강토 웅벽) 시설의 경우 전면부를 중심으로 콘크리트와 관련된 내구성능을 평가하며, 석축의 경우 건čit돌의 내구성능을 평가한다. 각 평가분야에서 부재별 평가 및 가중치를 적용한 등급산정을 하고, 각 등급산정 결과에 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 웅벽 시설물 내구성능에 대한 최종등급을 결정한다.

3.5.2 콘크리트/석축 내구성능 평가항목 및 기준

가. 개요

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트 품질을 평가하며, 열화환경평가로는 제설제에 의한 염해환경, 비래염분에 의한 염해환경 및 동해환경에 대해 평가한다. 석축은 일반 콘크리트 웅벽과는 달리 건čit돌 추정강도 및 건čit돌 풍화도로 내구성능을 평가한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 등급에는 열화진전평가 결과만을 사용한다. 열화환경평가 결과는 내구성능 등급 산정 시에는 직접적으로 적용하지 않으며 웅벽의 유지관리 계획 수립 시 참고한다.

[표 3.61] 콘크리트/석축 내구성능 평가항목의 구분

구분		평가항목
콘크리트, 보강토 옹벽*	열화진전평가	탄산화 깊이
		염화물 침투량
		피복(표면부) 콘크리트 품질
	열화환경평가요소	염해환경
		동해환경
석축		건čit돌 추정강도
		건čit돌 풍화도

<해 설>

- 평가대상 부재에 철근이 포함되지 않은 경우, 염화물 침투량, 탄산화 깊이, 염해환경에 대한 평가 제외

나. 평가대상 부재

콘크리트(콘크리트 웅벽과 보강토 웅벽), 석축에 대해 내구성능 평가를 수행하며, 부재별 가중치를 고려하지 않고 단일 구조물 형식으로 적용한다.

[표 3.62] 콘크리트 내구성능 평가대상

구분	평가대상 부재	비고
콘크리트	콘크리트 옹벽	—
	보강토 옹벽	전면판 대상
석축	건čit돌	—

다. 콘크리트/석축 내구성능 평가 기준

1) 염화물 침투량

[표 3.63] 염화물 침투량 평가등급

평가 기준	평가내용	
	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$
a	30년 초과	0.3 이하
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$
e	5년 이하	2.5 이상

<해 설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정한다.
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문이다.
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여한다.
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 평가 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고한다.

2) 탄산화 깊이

[표 3.64] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T	비고
a	30년 초과	점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 T계산 탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계 피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T: 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간, D: 탄산화 깊이, t: 공용연수)
b	20년 < T ≤ 30년	
c	10년 < T ≤ 20년	
d	5년 < T ≤ 10년	
e	5년 이하	

<해설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 포함한다.
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화될 가능성을 고려한 것이다.
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

3) 피복(표면부) 콘크리트 품질

초기 시공불량의 경우, 피복(표면부) 콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수도 있으며, 공용 중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다. 피복(표면부) 콘크리트 품질의 경우 반발정도 측정 결과를 활용하여 평가를 수행한다.

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 3.65] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	상세	비고
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태
b	90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 < 100%	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 피복(표면부) 콘크리트 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.
- a등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있다.
- c등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 3.66] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	상세	비고
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$	동해 등에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	동해 등에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정 하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정한다.
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위이다.
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분한다.

4) 염해환경

[표 3.67] 염해환경의 평가기준(해안거리)

평가 기준	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)
a	동해안	전지역	500 초과
	서해안	고창, 태안	1,000 초과
		그 외 지역	300 초과
	남해안	사천, 거제	100 초과
b	동해안	전지역	250 < X ≤ 500
		고창, 태안	500 < X ≤ 1000
	서해안	그 외 지역	120 < X ≤ 300
		사천, 거제	50 < X ≤ 100
c	동해안	전지역	비말대* < X ≤ 250
		고창, 태안	비말대 < X ≤ 500
	서해안	그 외 지역	비말대 < X ≤ 120
		사천, 거제	비말대 < X ≤ 50
d	—	—	—
e	—	—	—

<해 설>

- 여기서 비말대는 해수가 직접 닿지 않는 지역을 일컫음

[표 3.68] 염해환경의 평가기준(제설제)

평가항목	등급	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	7 ≤ 강설일수 < 14
	c	14 ≤ 강설일수

<해 설>

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분한다.
- 상기 항목은 각각 해안인접성과 강설일수를 기본 항목으로 정하고 등급을 설정한다.
- 해안 인접성의 경우 동해와 서해를 동일한 조건으로 고려하고, 해안의 형상, 구조 및 환경에 따라 다른 해역에 비해 비교적 비래염분이 적은 남해는 동해 및 서해와 달리 완화된 등급을 부여함을 원칙으로 하였다.
- 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설 시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가살포는 고려하지 않으며 강설일수가 14일 이상이면 C 등급을 부여한다.
- 강설일수는 최심신적설(하루동안 내린 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 취한다.

5) 동해환경

[표 3.69] 동해환경의 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$X < 3$	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	
d	—	
e	—	

<해 설>

- 수분 접촉 여부로 구분하여 계산한다.
- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X값 =
 $[\text{일 최저기온} < -2.2^{\circ}\text{C}] \& [\text{일 최고기온} > 0^{\circ}\text{C}] \& [\text{강수량} > 0]$ 인 연평균 일수
- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X값
 $[\text{일 최저기온} < -2.2^{\circ}\text{C}] \& [\text{일 최고기온} > 0^{\circ}\text{C}]$ 인 연평균 일수
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결 융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정한 것에 따른 것이다.
- 지난 10년간 동절기 기상청 데이터 기준
 - 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
- 수분과의 접촉 여부는 점검자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단한다.

6) 견칫돌 추정강도

[표 3.70] 견칫돌 추정강도 평가기준

평가 항목	평가 기준	그룹 A 암석 종류의 견칫돌(예)			
		설계값(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
견칫돌/블록 추정강도	a	97.5% 이상 100% 이하	95% 이상 100% 이하	94% 이상 100% 이하	90% 이상 100% 이하
	b	95% 이상 97.5% 미만	90% 이상 95% 미만	88% 이상 94% 미만	80% 이상 90% 미만
	c	92.5% 이상 95% 미만	85% 이상 90% 미만	82% 이상 88% 미만	70% 이상 80% 미만
	d	90% 이상 92.5% 미만	80% 이상 85% 미만	75% 이상 82% 미만	60% 이상 70% 미만
	e	90% 미만	80% 미만	75% 미만	60% 미만

[표 3.71] 암종별 내압강도

건čit돌 암종	그룹	암편 내압강도 (kg/cm ²)
풍화암	A	300 이상 700 미만
	B	100 ~ 200 미만
연암	A	700 이상 1,000 미만
	B	200 이상 500 미만
보통암	A	1,000 이상 1,300 미만
	B	500 이상 800 미만
경암	A	1,300 이상 1,600 미만
	B	800 이상
극경암	A	1,600 이상
	B	

[표 3.72] 암석 분류

구분	A 그룹	B 그룹
대표적 암명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각력암, 석회암, 사암, 위록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 유문암, 사문암, 혈암(세일), 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 혈암(세일), 이암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각 판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 것, 천매상의 것
500 ~ 1000gr 슈미트 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되거나 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점의 암이 부서지지 않고, 분상이 되어 남고 암편의 비산 정도가 적은 것

7) 건춧돌 풍화도

[표 3.73] 건춧돌 풍화도 평가기준

풍화도	암석의 풍화도				
	a	b	c	d	e
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

[표 3.74] 해머타격 시험을 통한 암반의 풍화등급 분류법

풍화등급	설 명	사진
신선함 (F)	<ul style="list-style-type: none"> •해머타격 시 높은 쇠소리가 들림 •균열 없음 •석재로 사용될 수 있을 정도로 신선 	
약한풍화 (SW)	<ul style="list-style-type: none"> •해머타격 시 쇠소리가 들림 •미세균열이나 절리 관찰 가능 •약간의 착색 흔적 	
보통풍화 (MW)	<ul style="list-style-type: none"> •해머타격 시 약간 무거운 쇠소리가 들림 •해머로 여러 번 타격으로 부서짐 •구성광물의 변색 및 착색 흔적 	
심한풍화 (HW)	<ul style="list-style-type: none"> •해머타격 시 둔탁한 소리가 들림 •거칠한 광물 알갱이들이 관찰됨 •완전 변색, 심한 착색 	
완전풍화 (CW)	<ul style="list-style-type: none"> •손가락으로도 쉽게 흙으로 부서짐 •암조직의 흔적이 관찰되며 흙을 다져놓은 정도의 강도를 가짐 	

라. 콘크리트 내구성능 평가 방법

1) 개요

내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저 등급을 반영한다. 웅벽의 경우 단일부재로 간주하기 때문에 다른 시설물과 달리 부재별 평가를 별도로 실시하지 않는다. 열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다. 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경 평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경 평가는 제설제 염해환경, 비래염분 염해환경, 동해환경의 3개 열화환경평가 지표로 이루어진다. 열화환경평가는 3가지 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다. 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 3.75] 열화환경 평가등급

평가등급	열화 환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길 수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

○ 염해환경

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설로 인하여 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 나누어서 평가한다.

○ 동해환경

- 대상 웅벽이 위치한 지역의 10년간 동절기 기상청 데이터를 기준으로 동해환경을 파악하여 동결융해 반복지수를 도출하고, 동결융해 환경등급을 평가한다.
- 동일한 동결융해 사이클에 노출되어 있더라도 동결융해에 대한 위험도는 부재별 수분공급 환경에 따라 다르며, 열화환경 등급으로 반영되는 동결융해 환경은 수분에 노출되는 부재의 동결융해 사이클 수가 되며, 수분에 노출되지 않는 부재의 동결융해 사이클 수(강수가 있을 때만 해당됨)는 비록 수분에 직접 노출되지 않더라도 동결융해에 대하여 취약할 수 있음에 대한 참고자료로서 활용한다.

(나) 열화진전 평가(부재수준의 평가)

내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트의 품질 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.

각 내구성능 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복(표면부) 콘크리트 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.
- 최저등급제를 적용하는 것은 염해 혹은 탄산화 등 어느 한 가지 지표에 의해서만 피해가 발생하여도 심각한 결과가 발생할 수 있으며 대책을 강구하여야 하기 때문이다.
- 다만, 피복 콘크리트 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균한다.

옹벽은 단일 부재로 구성된 것으로 내구성능 항목들의 평가 결과는 옹벽의 내구성능 평가 등급이 된다.

옹벽의 환경에 따른 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표는 아래와 같다.

○ 콘크리트 옹벽(철근콘크리트가 사용된 경우)

[표 3.76] 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표

염해환경 - 도로시설물			그 외 환경 - 기타 시설물	
열화진전평가		염화물 침투량	열화진전평가	탄산화 깊이
		탄산화 깊이		피복(표면부) 콘크리트 품질
		피복(표면부)		
		콘크리트 품질		

<해 설>

- 옹벽의 경우, 구조물의 환경조건에 따라 평가지표항목을 구분하여 적용함.

옹벽 시설물

(최저등급 적용)

탄산화 깊이

염화물 침투량

피복 콘크리트의 품질

측정결과별
최저등급 적용

측정결과별
최저등급 적용

측정결과 등급
점수 산술 평균

[표 3.77] 내구성능 항목별 세부 평가방법

○ 등급별 평가점수 및 지수범위

- 부재별 등급에 따른 평가점수 및 최종 등급 산정을 위한 평가지수 범위는 다음과 같다.

[표 3.78] 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.08	0.23	0.43	0.65	0.88

[표 3.79] 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.30$	$0.30 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

(다) 시설물 전체 등급 산정

옹벽의 경우, 단일 구조물로 부재별 가중치가 없기 때문에 단계 2)의 부재평가 결과가 옹벽 시설물의 열화진전평가 결과로 적용된다. 옹벽의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 3.80] 옹벽의 열화진전 평가

시설명	평가등급	지표명	평가등급
OO옹벽	a~e	염화물 침투량	a~e
		탄산화 깊이	a~e
		피복(표면부) 콘크리트 품질	a~c

[표 3.81] 열화환경 평가

열화환경지표	평가등급	주요 대상 부재
제설제 염해환경	A or B or C	옹벽의 경우 구조물의 높이에 따라 제설제 염해환경에 대한 노출정도가 다를 수 있으며, 하단부가 상대적으로 열악한 환경임
비래염분 염해환경	A or B or C	비래염분이 발생하는 해안쪽의 부재가 상대적으로 열악한 환경에 놓이게 됨
동해환경	A or B or C	전체 시설물에서 국부적으로 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

<해 설>

- 제설제 염해환경이나 비래염분 염해환경에 있지 않은 경우 제설제와 비래염분의 염해환경은 A등급으로 평가한다.

3) 결과산정 예

(가) 대상 옹벽

[표 3.82] 대상 옹벽 예시

옹벽형식	역L형 콘크리트 옹벽
지역	서울
공용연수	20년
연장	150.0m
역L형 옹벽	20m
지면노출높이(m)	H= 2.0~13.0m
피복 두께	50mm

○ 열화환경 평가

- 대상 옹벽이 위치한 서울지역의 비래염분 염해환경은 A등급이 된다.
- 서울시의 평균 강설일수는 12.3일로 제설제 염해환경 또한 B등급이 된다.
- 또한 해당 지역의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 8.6회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 45.8회로서 동결융해 환경은 B 등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우도 동결융해 사이클이 연평균 8.6회로서 동결융해의 피해를 입을 수 있음을 확인한다.

○ 열화진전 평가 - 염화물 침투량

- 염화물 침투량 시험은 2개소에서 실시한다.
- 대상 옹벽의 피복두께는 50mm이며, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과를 확보한다.

[표 3.83] 염화물 침투량 평가

열화진전 평가 항목	옹벽	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				평가등급
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물	No.1	1.5	1.05	0.4	0.1	a
침투량	No.2	4.5	3.5	1.8	0.8	c

[표 3.84] 염화물 확산계수 산출

계산 항목	옹벽	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)
염화물 확산계수	No.1	—	—	0.103	—
	No.2	—	—	—	0.194

<해 설>

- 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있다.

[표 3.85] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

열화진전 평가 항목	옹벽	계산 결과 (year)	평가등급
철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	No.1	30년 초과	a
	No.2	30년 초과	a

[표 3.86] 염화물 침투량 최종 평가등급

시설물	염화물 침투량 평가	철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가
옹벽	c	a
	염화물 침투량 평가등급 : c	

○ 열화진전 평가 - 탄산화 깊이

- 탄산화 깊이는 2개소에서 측정하였다.
- 2개소 측정결과 중 최저등급을 대상부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 한다.

[표 3.87] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가 항목	옹벽	탄산화 깊이 (mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)	개별 평가등급	평 가 등 급
탄산화 깊이	No.1	9	2.0	30년 초과	a	b
	No.2	32	7.2	19	b	

○ 열화진전 평가 - 피복콘크리트 품질

- 피복콘크리트 품질은 2개소에서 측정하였다.

[표 3.88] 피복콘크리트 품질 평가

열화진전 평가 항목	시설물	세부 부재명	설계값 대비 강도추정값(%)	비건전부/ 건전부 비율(%)	개별 평가등급		평가 등급
피복 콘크리트 품질	옹벽	No.1	105	95	a (0.08)	a (0.08)	a
		No.2	99	98	b (0.23)	a (0.08)	
		평균값			a (0.16)	a (0.08)	

○ 콘크리트 내구성능 평가 요약

[표 3.89] 옹벽의 콘크리트 내구성능 평가

대상 시설물	항목별 평가결과			
	염화물 침투량	탄산화 깊이	피복콘크리트 품질	평가등급
옹벽	c	b	a	c (0.43)
	최저등급제			

[표 3.90] 열화환경지표의 평가

열화환경지표	평가등급
제설제 염해환경	B
비래염분 염해환경	A
동해환경	B

마. 석축의 내구성능 평가 방법

○ 석축의 내구성능 평가의 경우, 콘크리트의 내구성 평가 방법과 동일한 방식으로 수행하며, 건칫돌 추정강도 및 건칫돌 풍화도의 최저등급제를 적용한다.

3.5.3 강재 내구성능 평가 기준 및 기준

가. 개요

보강토 옹벽에서 지반을 보강하기 위하여 사용되는 보강재에는 강재 띠형 및 그리드형 보강재, 토목섬유 보강재 등이 있다. 보강재의 내구성능 평가 대상으로는 시간에 따라 부식이 발생함으로써 보강성능이 저하될 수 있는 강재 보강재를 대상으로 한다.

강재 보강재에는 일반적으로 금속재료의 부식을 방지하기 위하여 표면에 아연도금 처리가 되어 있다. 방식에서 있어서 주된 역할을 하게 되며, 제작 및 설계 시 부재 수명을 고려하여 도막(도금) 및 부재두께를 결정하여야 한다. 이와 같은 점을 고려하여 보강토 옹벽의 보강재에 대해서는 발청, 박리, 균열, 부풀음, 변색 등 주요 열화현상 중 발청, 변색 및 도막(도금)두께를 평가한다.

점검 및 조사 시 사전 구조해석 및 주변 지형물/구조물의 영향을 면밀히 검토하여 반드시 구조 안전성이 확보될 수 있는 경우에 한하여 조사하며, 조사범위는 옹벽의 최상단 보강재로 한정하고 (필요시) 선택과업으로서 수행한다.

나. 평가대상 부재

[표 3.91] 평가대상 부재

구 분		평가지표
보강토 옹벽	강재 띠형 보강재 강재 그리드형 보강재	<ul style="list-style-type: none"> • 발청 • 변색 • 도막(도금)두께

다. 강재 내구성능 평가기준

1) 발청

[표 3.92] 보강재 발청 평가기준

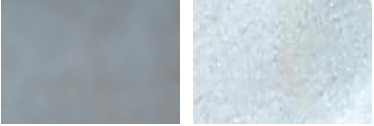
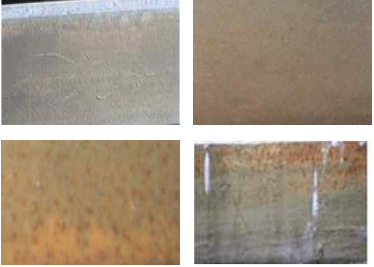

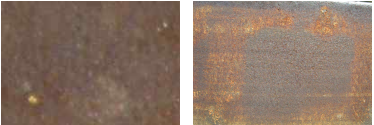
평가 기준	녹 길이
a	점녹 발생 없음
b	점녹 발생 길이 10% 미만
c	점녹 발생 길이 10% 이상, 부식 발생 길이 2% 미만
d	부식 발생 길이 2% 이상
e	—

2) 변색

[표 3.93] 보강재 변색 평가기준

평가 기준	부재 표면색
a	변색 없음(백녹)
b	황, 적색 변색 발생
c	적색, 검정 변색 발생
d	광범위의 검정 변색 발생
e	—

[표 3.94] 열화상태별 표면색 및 표준사진

표면색	표준사진
변색 없음(백녹)	
황, 적색 변색 발생	
적색, 검정 변색 발생	
광범위의 검정 변색 발생	

3) 도막(도금)두께

[표 3.95] 도막(도금)두께 평가기준

기준	도막(도금) 두께(μm)
a	85 이상
b	75 이상 85 미만
c	65 이상 75 미만
d	65 미만
e	—

라. 강재 내구성능 평가 방법

1) 개요

옹벽에서 지반을 보강하기 위하여 사용되는 보강재에는 강재 띠형 및 그리드형 보강재, 토목섬유 보강재 등이 있다. 보강재의 내구성능 평가 대상으로는 시간에 따라 부식이 발생함으로써 보강성능이 저하될 수 있는 강재 보강재를 대상으로 한다. 강재 보강재의 내구성능 평가는 평가항목별 가중치를 적용하는 방식으로 산정한다.

2) 결과산정절차 일반

옹벽의 보강재에 대한 평가항목으로는 발청, 변색, 도막(도금)두께로서 각 평가항목에 대해 등급분류기준에 따라 평가한 후, 아래의 가중치를 적용하여 최종 등급을 산정한다. 조사수량은 옹벽 총연장이 100m 미만일 경우 1개소, 100m 이상일 경우 최소 1개소에 100m 당 1개소를 추가한다.

○ 보강재 열화에 대한 가중치

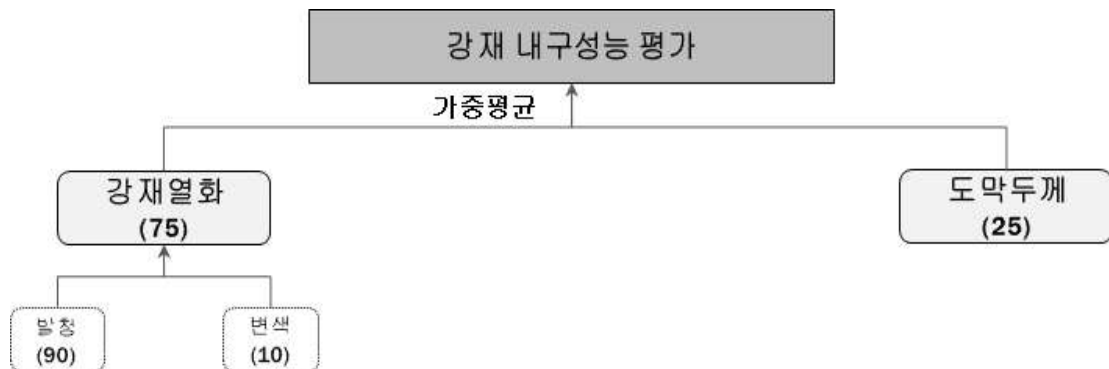
[표 3.96] 보강재 열화에 대한 가중치

구분		결함도 평가항목	가중치(%)
보강토 옹벽 강재 보강재	강재 열화	발청	90
		변색	10

○ 보강재 강재 내구성능 종합평가 가중치

[표 3.97] 보강재 강재 내구성능 종합평가 가중치

구분		결함도 평가항목	가중치(%)
보강토 옹벽 강재 보강재	강재 내구성능	강재 열화(발청/변색)	75
		도막(도금)두께	25



[그림 3.7] 강재 내구성능 항목별 세부 평가방법

3) 결과산정 예

(가) 대상 보강재

[표 3.98] 대상 보강재

옹벽 연장	250 m
보강재 형식	스트립 보강재
설치갯수	300
설치길이(m)	2.0 ~ 10.0
연직간격(m)	1.5
수평간격(m)	1.3

(나) 발청 평가결과

[표 3.99] 보강재 발청 평가 예

보강재 번호	조사결과	등급	등급점수
S-1	점록 발생 길이 6%	b	0.23
S-2	점록 발생 길이 4.8%	b	0.23
S-3	점록 발생길이 3.5%	b	0.23
등급점수 평균		b	0.23

(다) 변색 평가결과

[표 3.100] 보강재 변색 평가 예

보강재 번호	조사결과	등급	등급점수
S-1	적색, 검정 변색 발생	c	0.43
S-2	황, 적색 변색 발생	b	0.23
S-3	황, 적색 변색 발생	b	0.23
등급점수 평균		c	0.30

(라) 도막(도금)두께 평가결과

[표 3.101] 보강재 도막(도금)두께 평가 예

보강재 번호	조사결과 (5개소 평균값)	등급	등급점수
S-1	66	c	0.43
S-2	77	b	0.23
S-3	80	b	0.23
등급점수 평균		c	0.30

(마) 보강재 열화수준 평가

- 앞에서는 보강재의 발청과 변색을 각각 평가하였으며, 두 결과를 종합하여 보강재의 열화수준에 대해 평가한다.

[표 3.102] 보강재 열화수준 평가 예

평가항목	평가결과	가중치	평점
발청	0.23	90	0.21
변색	0.30	10	0.03
합계			0.24

(바) 강재 내구성능 종합평가

- 보강재의 열화수준 평가결과 및 도막(도금)두께 평가결과를 종합적으로 고려하여 보강재 내구성능을 종합평가한다.

[표 3.103] 강재 내구성능 평가 예

평가항목	항목별 평점	가중치	평점
강재 열화수준 (발청/변색)	0.24	75	0.18
강재 도막두께	0.30	25	0.08
합계			0.26
강재 내구성능 등급			b

3.5.4 내구성능 평가 결과산정 방법

가. 콘크리트 웅벽/석축 내구성능 평가 결과산정 방법

콘크리트 웅벽/석축의 내구성능 평가 결과산정 방법은 앞의 [표 3.82]~[표 3.90]을 참조한다.

나. 보강토 웅벽 내구성능 평가 결과산정 방법

보강토 웅벽의 보강재에 대한 내구성능 평가를 실시한 경우, 강재에 대한 내구성능 평가 후, 콘크리트 : 강재 = 60 : 40의 가중치를 적용하여 종합 내구성능 평가를 수행한다.

[표 3.104] 보강토 웅벽의 종합 내구성능 평가 결과(예시)

내구성능 평가 결과 산정표			
시설물명 평가항목구분	보강토 웅벽	표번호	비 고
콘크리트 내구성평가	c (0.43)	—	
강재 내구성평가	b (0.26)	—	
내구성능 평가 결과	◦ 내구성능 평가 결과 $= 0.43 \times 0.60 + 0.26 \times 0.40 = 0.36$ ◦ 내구성능 등급 : c등급		

3.6 종합평가 기준 및 방법

3.6.1 종합평가 일반

시설물의 종합평가는 재료형식에 따라 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 석축(돌쌓기 옹벽), 돌망태 옹벽으로 구분하여 실시하며, 안전성능 및 내구성능 평가 결과를 종합적으로 고려하여 결정한다.

3.6.2 종합평가 결과산정방법

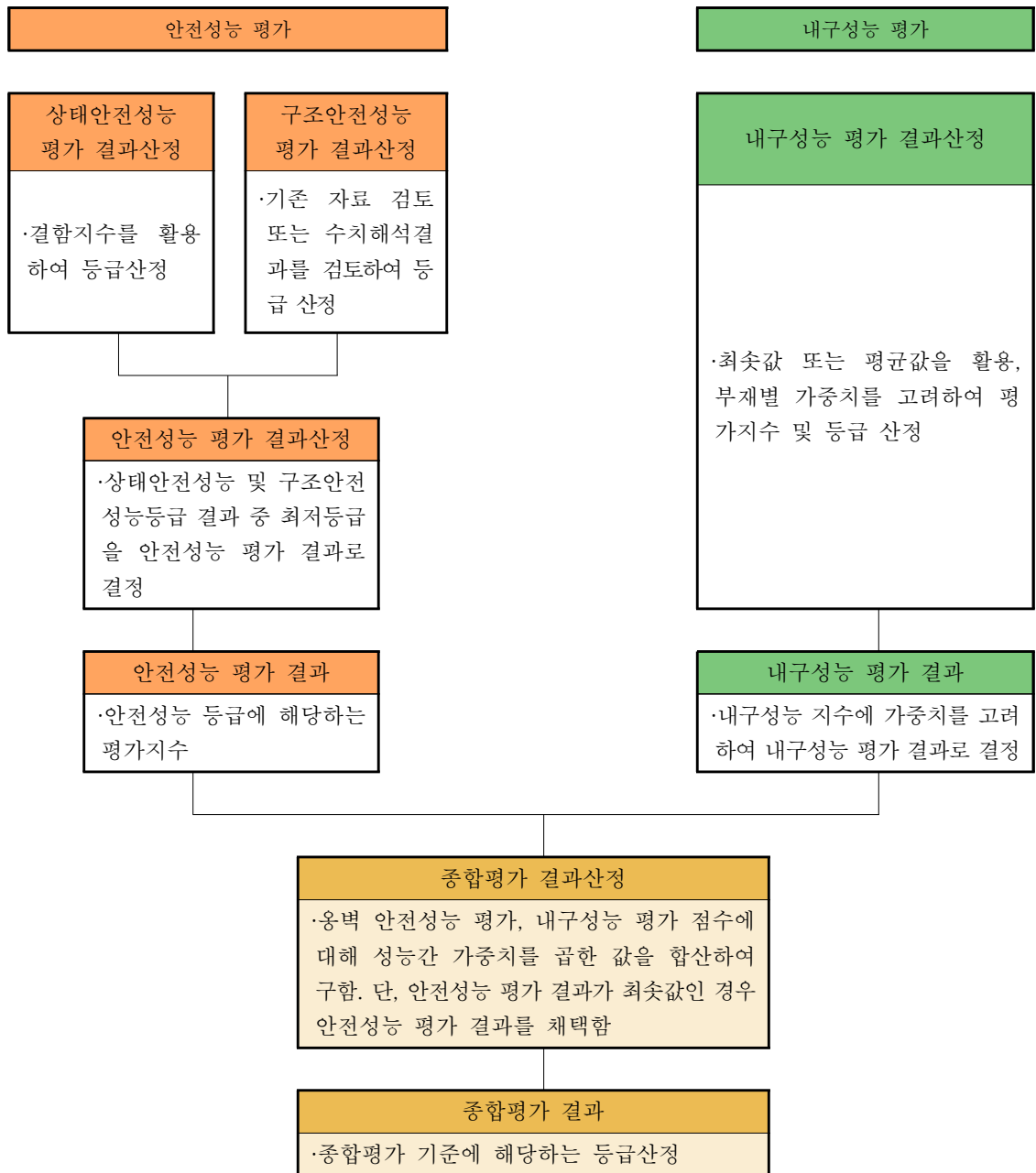
종합평가의 산정방법은 옹벽의 안전성능 평가 및 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

옹벽의 종합평가 지수(P) = $\sum(\text{성능 평가지수}(pn) \times \text{성능항목 가중치}(Wn))$

단, 안전성능 평가 결과와 내구성능 평가 결과를 비교하여 안전성능 평가 결과가 최저값인 경우에는 가중치를 적용하지 않고 안전성능 평가 결과를 종합평가 결과로 산정한다.

[표 3.105] 옹벽 형식별 성능항목 가중치

구분		성능항목 가중치(Wn)	
		안전성능	내구성능
콘크리트옹벽		0.70	0.30
보강토 옹벽	일반 블록 및 패널	0.80	0.20
	특수공법(철근 포함)	0.70	0.30
석축		0.70	0.30
돌망태옹벽		1.00	—



[그림 3.8] 옹벽의 종합평가 결과산정절차

옹벽의 종합평가 지수에 따라 종합성능등급을 산정하면 다음과 같다.

[표 3.106] 옹벽의 종합평가 결과산정 예

종합성능등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq P < 0.15$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq P < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq P < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq P < 0.75$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq P$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

옹벽의 종합평가 결과 산정에 대한 예시는 다음과 같다.

[표 3.107] 종합평가 결과산정 예시(콘크리트 옹벽)

종합평가 결과산정 표					
시설물명	OO시 OOAAPT 진입로 옹벽			표번호	
평가구분	성능 평가지수	평가결과	성능간 가중치(Wn)	비 고	
안전성능 평가	0.29	b	0.70	근거 표번호	
내구성능 평가	0.43	c	0.30	근거 표번호	
종합평가 결과	○ 옹벽의 종합평가 지수(P) $= \sum(\text{성능 평가지수}(p_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n))$ $= 0.29 \times 0.70 + 0.43 \times 0.30 = 0.33$ ○ 옹벽의 종합평가 지수 : 0.33 ○ 옹벽의 종합평가 결과 : C				

제4장 절토사면

4.1 관리일반

4.2 현장조사

4.3 재료시험 항목 및 수량

4.4 안전성능 평가 기준 및 방법

4.5 내구성능 평가 기준 및 방법

4.6 종합평가 기준 및 방법

제4장 절토사면

4.1 관리일반

4.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조의 규정에서 정하고 있는 시설물 중 절토사면에 적용한다.

절토사면의 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규 및 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 건설공사 비탈면 설계기준)
- 건설기준코드(구 건설공사 비탈면 표준시방서)
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조설계기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 건설공사 비탈면 유지관리지침
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드
- 도로안전시설 설치 및 관리지침
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

4.1.2 용어 정의

- 절토사면
원지반을 절취 등의 토목공사로 인하여 인공적으로 형성한 절토사면
- 상부자연사면
절취를 하지 않은 자연 상태의 사면

- 사면 경사
사면 경사는 각 소단의 수평면과 이루는 사면의 각도를 말하며, 사면의 평균경사는 비탈어깨 또는 상부자연사면 경계에서부터 비탈끝까지의 각도를 말함
- 산마루배수구
상부자연사면으로부터 유입되는 표면수를 절토사면 외부로 배수시키기 위하여 산마루에 설치하는 배수시설
- 소단
사면의 안정 및 유지관리를 위하여 높이에 따라 일정 간격의 폭으로 조성되는 수평공간
- 소단배수구
소단부 침식 방지 및 지표수의 원활한 배수를 위해 소단 전면에 배수구를 설치하는 공법
- 비탈끝
사면 경사가 수평면 또는 완경사면으로 이행하는 부분
- 경계부
상부자연사면에서 깎기면이 시작되는 부분 또는 도로에서 쌓기면이 시작되는 부분
- 이격부
비탈끝에서 도로어깨까지의 공간, 포획거리와 이격거리로 구분
- 포획거리
붕괴산물을 포획할 수 있는 공간으로 비탈끝에서 측구 등의 낙석방호시설까지의 거리를 말함
- 측구
절토사면으로부터 배출되는 지하수 및 지표수와 도로상에 흐르는 용수를 집수시설 등으로 유도하는 공법으로 L형 측구, U형 측구, J형 측구 등이 있으며, 최근에는 높이를 1.0~1.5m 로 시공하여 낙석에 저항할 수 있는 효율을 높임
- 수평배수공
지하 용수가 빈번한 지점에서 강제적으로 지반 내부에 유로를 형성함으로써 상시 지하수위의 증가를 억제시킬 필요가 있을 때 설치하는 공법
- 지하배수구
사면을 통해 흘러 노면 속으로 유입되는 물은 하단부에 맹암거를 시공하여 배수를 유도하며, 측구 되메우기 시에는 암거 혹은 배수관을 통해 배수를 유도하는 구조물
- 결함
시설물이 자체적인 변화 또는 외부의 작용에 의해 불완전하게 된 상태
- 계곡부
골짜기라 불리는 좁고 길게 움푹 들어간 지형으로 강우 시 또는 평상시에 물이 흐르는 지형

○ 집수지형

상부자연사면과 절토사면 내에 표면이 움푹 들어가서 강우 시 지표수가 흘러 집수되는 지형

○ 균열

인장을 받는 부재의 재료적 결함 또는 과도한 하중 등으로 인하여 원래 연결되어 있던 재료가 분리되어 발생하는 작은 틈. 균열 주위에는 큰 응력 집중이 발생함

○ 불안정지질

사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하고 있어 사면에 불안정 요인으로 작용하는 지질의 분포규모

○ 낙석방지망

예상치 못한 낙석 또는 소규모 낙석 발생 가능성 등이 있는 사면을 철제망으로 덮어 낙석의 운동에너지를 감소시키고 하부유입을 차단하는 공법

○ 낙석방지울타리

사면으로부터 발생하는 낙석의 충격에너지를 흡수하여 도로유입을 차단하는 공법

○ 네일

보강재를 프리스트레싱 없이 좁은 간격으로 토사 및 풍화암층에 삽입하여 전체적인 전단강도를 증대시킴으로써 지반을 보강하는 공법

○ 누수

지하수에서 바닥 또는 위에 형성된 반투수층을 통하여 대수층으로부터 물이 흐르는 현상. 또는 댐이나 사면, 옹벽으로부터 물이 새는 것

○ 단층

지각변동에 의하여 지층이 어긋나는 현상을 말하며 규모는 수 cm에서 수천 m에 달하는 것까지 다양하며, 이동방향에 따라 세분화됨. 대체로 파쇄대를 수반하여 사면에서 용수가 나오기도 함

○ 록볼트

지반 내 볼트를 삽입한 후 정착시킴으로써 소규모의 활동이 가능한 암 블록을 원지반에 고정시키는 공법

○ 록앵커

그라우트 주입과 지반에 삽입된 강재의 인장에 의해 앵커체를 지반에 정착시켜 앵커체 두부에 작용한 하중을 정착지반에 전달하는 것으로 대규모 암반블록에 적용

○ 맹암거

흙 속에 일정간격으로 구멍을 뚫어놓아 배수시키는 형태로, 장시간에 걸친 배수를 원할 때는 그 속에 유공관을 매설하기도 함. 사면을 통해 흘러 노면속으로 유입되는 물은 하단부에 맹암거를 시공하여 배수를 유도하며, 측구 되메우기 시에는 암거 혹은 배수관을 통해 배수를 유도하는 구조물

○ 물리적 풍화

암석이 건조, 습윤, 동결, 융해 등의 반복에 의하여 열화되는 것을 말함. 기계적 풍화라고도 하며 지표부근에서 깊은 곳으로 진행함

○ 배수

지표수나 지하수를 자연적 또는 인공적으로 배출하는 방법으로 지형에 따라 자연적으로 이루어지는 자연배수와 시설물을 통해 인위적으로 이루어지는 시설 배수로 분류

○ 배수공

옹벽, 석축 등에서 배후의 지반에서 발생하는 물을 빼기 위하여 옹벽의 표면까지 설치하는 작은 구멍

○ 배수구

지하수 및 지표수의 흐름 경로에 인공구조물을 설치하여 사면과 도로의 유입을 방지하고 원활한 배수를 유도하기 위한 배수시설

○ 보강토공법

쌓기 제방이나 벽체의 배면 또는 성토사면에 금속이나 합성섬유, 천 등의 보강재를 부설 또는 삽입함으로써 흙과 보강재가 일체 되어 전단에 저항하도록 조성하는 공법으로 토압의 저감, 사면 안정, 지지력 증대, 변형이나 침하억제 등에 사용

○ 불연속면

암반이 연속체가 아닌 불연속체로 거동하도록 만드는 역할을 하며 균열, 절리, 단층, 층리, 엽리, 편리, 파쇄대 등의 연약 면에 대한 총칭

○ 비탈면녹화

사면에 식생을 피복하여 우수에 의한 침식 및 유실을 방지하기 위한 표면보호공법

○ 세굴

풍화정도가 심한 암반사면의 상부나 토사사면에서 지표수에 의해 물길이가 형성되면서 침식되는 현상

○ 앵커

토사 또는 암반사면의 이완된 지반이나 불연속면 등이 존재하고 붕괴 위험이 있는 경우, 불안정한 지반의 안정성 확보를 위해 앵커체를 지반에 정착 및 인장시켜 활동면상의 전단강도를 증가하여 지지력을 확보하는 공법

○ 역지말뚝

사면의 활동면을 관통하여 부동지반까지 설치함으로써 활동하중을 말뚝의 수평 저항으로 저항하는 공법

○ 원호파괴

최소 안전율을 보이는 지점을 따라 원호형태로 발생하는 붕괴형태, 주로 토사 사면이나 풍화대 및 불연속면의 발달빈도가 높은 파쇄대에서 발생

○ 인장균열

지반 내 인장응력이 발생하여 이로 인해 발생한 균열

○ 토양경도

토양경도계를 이용하여 사면에서 측정한 값으로 토양경도지수(mm)를 환산하여 경도(R, kg/m²)로 나타냄

○ 파쇄대

단층에 따르는 폭 수 cm ~ 수십 m의 암석이 파쇄된 대상부 또는 암석의 파쇄·압쇄된 폭 수백 ~ 수천 m의 대상부

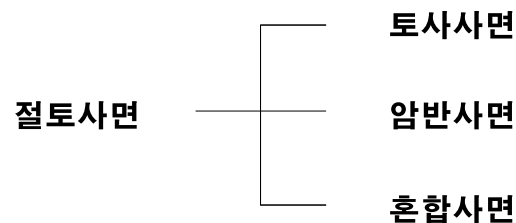
- 소규모 파쇄대는 댐 등 구조물 기초의 지지력, 힘 전달, 또는 깎기의 안정 등에 문제가 발생됨
- 대규모 파쇄대는 산사태, 유송토사, 깎기, 쌓기의 안정성 등에 문제가 발생되며 파쇄대의 크기가 일정하지 않고 파쇄대 내의 각 부에서 상이한 특성을 나타냄

○ 포행

지표 부근의 흙, 표토, 응고하지 않은 퇴적물 등이 사면의 경사면을 따라 중력 방향으로 장시간에 걸쳐 미끄러져 내려오는 활동

4.1.3 성능평가 대상 시설

절토사면의 대상 범위는 「법」에 따른 제2종 시설물로서 지반의 구성 재료에 따라 토사사면과 암반사면 그리고 토사와 암반이 혼합되어 있는 경우는 혼합사면으로 구분한다.



[그림 4.1] 절토사면의 분류

토층심도율(Soil depth ratio: SR)은 토사사면과 암반사면을 구분할 수 있는 지표로서 다음 식과 같이 사면높이에 대한 토층두께의 비로 정의된다.

$$SR = \frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}}$$

토층심도는 토층의 두께로서 충적층 또는 풍화등급상 잔류토(Residual soil)와 완전 풍화암(Completely weathered rock)을 대상으로 측정한다.

[표 4.1] 토층심도에 따른 절토사면 구분

구분	토층심도율	비고
토사사면	> 0.4	
암반사면	≤ 0.4	
토층심도율이 0.2 ~ 0.4일 경우, 혼합사면으로 구분하여 토사와 암반을 모두 고려하여 평가함		

가. 토사사면

주요 구성 물질이 토사로 이루어져 토사지반의 거동을 보이는 사면을 지칭하며, 지반 포화시와 불포화시의 단위중량 변화량이 암반사면에 비해 큰 특징을 가진다. 대표적인 붕괴유형으로는 세굴, 표층유실, 표층붕괴, 활동파괴 등이 있다.

[표 4.2] 토사사면의 세부 평가범위

구분	평가범위	세부 평가범위
기본 시설물	상부자연사면 및 시설물	상부자연사면 경사, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 구조물 변형, 인장균열 등
	절토부	지반상태, 지하수, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 인장균열 등
	사면하부	붕괴이력, 배수상태 등
부대 시설물	보호시설	사면에 적용된 보호공법의 상태
	보강시설	사면에 적용된 보강공법의 상태
	배수처리시설	사면 및 구조물에 적용된 지표 및 지하 배수시설의 상태
	이격거리 내 시설	예상 피해구조물 규모 등

나. 암반사면

암반사면은 주요 구성 물질이 암반으로 구성된 사면을 지칭하며 주로 불연속면에 의한 거동이 우세하게 나타난다. 대표적인 붕괴유형으로는 낙석, 켜기파괴, 평면파괴, 전도파괴 등이 있다.

[표 4.3] 암반사면의 세부 평가범위

구분	평가범위	세부 평가범위
기본 시설물	상부자연사면 및 시설물	집수지형, 배수상태, 지반변형, 구조물 변형, 인장균열 등
	절토부	암반상태, 지하수, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 인장균열, 구성지질, 불연속면, 낙석 등
	사면하부	붕괴이력, 배수상태, 낙석 등
부대 시설물	보호시설	사면에 적용된 보호공법의 상태
	보강시설	사면에 적용된 보강공법의 상태
	배수처리시설	사면 및 구조물에 적용된 지표 및 지하 배수시설의 상태
	이격거리 내 시설	예상 피해구조물 규모 등

다. 혼합사면

혼합사면은 투수율이 낮은 암반층과 토사층이 상하 또는 좌우로 구성되어 있는 사면을 의미한다. 혼합사면의 붕괴양상은 토사사면과 암반사면의 붕괴양상을 모두 가지고 있으므로 안정해석 시 암반붕괴에 대한 안정해석과 토사붕괴에 대한 안정해석 모두를 실시해야 한다.

4.1.4 중대한 결함의 정도

절토사면에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

- 절토·성토사면의 균열·이완 등에 따른 옹벽의 균열 또는 파손

4.2 현장조사

4.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

가. 평가지표별 조사항목

[표 4.4] 토사사면의 조사항목

구분		평가지표	조사항목
안전성능	상태안전성능 ¹⁾	집수지형	사면 내·외 집수지형 개수
		지반변형	포행, 단차, 배부름 등
		지하수	누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		사면상부 상태	상부자연사면의 경사
		붕괴이력	세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		인장균열	인장균열 유무(진행성)
	구조안전성능	한계평형해석	건기시 안전율
			우기시 안전율
			지진시 안전율
내구성능	지반상태	동적콘관입시험(DCPT) Nd치	
		토양경도(정밀점검시 대체 시험법)	
	표면보호공	식생 피복율	
		손상 면적율	
	사면보강공	보강공 두부와 지반의 밀착도	
		보강공 두부의 균열 및 파손	

주1) 상태안전성능 조사 시, 조사대상 사면에 점검로가 설치되어 있는 경우에는 연결부 체결 상태, 지반인접부의 세굴상태 등 점검로의 상태에 대해 전반적으로 육안점검을 실시하며, 덩굴식물 등의 피복에 따른 점검로의 사용성 저하여부도 파악하도록 함

[표 4.5] 암반사면의 조사항목

구분		평가지표	조사항목
안전성능	상태안전성능 ¹⁾	집수지형	사면 내·외 집수지형 개수
		불안정지질	단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태
		불연속면특성	연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격
		지반변형	포행, 단차, 배부름 등
		지하수	누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		붕괴이력	세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		낙석	발생규모, 예상 낙석에너지
		인장균열	인장균열 유무(진행성)
	구조안전성능	평사투영해석	썩기파괴
			평면파괴
			전도파괴
		한계평형해석	건기시 안전율
			우기시 안전율
			지진시 안전율
내구성능	지반상태		동적콘관입시험(DCPT) Nd치
			토양경도(정밀점검시 대체 시험법)
			설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도 추정값의 비율
	표면보호공		식생 피복율
			손상 면적율
	사면보강공		보강공 두부와 지반의 밀착도
			보강공 두부의 균열 및 파손
	절리상태 및 풍화진행도		절리상태 및 풍화 진행도

주1) 상태안전성능 조사 시, 조사대상 사면에 점검로가 설치되어 있는 경우에는 연결부 체결 상태, 지반인접부의 세굴상태 등 점검로의 상태에 대해 전반적으로 육안점검을 실시하며, 녕쿨식물 등의 피복에 따른 점검로의 사용성 저하여부도 파악하도록 함

[표 4.6] 혼합사면의 조사항목

구분		평가지표	조사항목
안전성능	상태안전성능 ¹⁾	집수지형	사면 내·외 집수지형 개수
		불안정지질	단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태
		불연속면특성	연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격
		지반변형	포행, 단차, 배부름 등
		지하수	누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		붕괴이력	세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		낙석	발생규모, 예상 낙석에너지
		사면상부 상태	상부자연사면의 경사
		인장균열	인장균열 유무(진행성)
	구조안전성능	평사투영해석	썰기파괴
			평면파괴
			전도파괴
		한계평형해석	건기시 안전율
			우기시 안전율
			지진시 안전율
내구성능	지반상태		동적콘관입시험(DCPT) Nd치
			토양경도(정밀점검시 대체 시험법)
			설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도 추정값의 비율
	표면보호공		식생 피복율
			손상 면적율
	사면보강공		보강공 두부와 지반의 밀착도
			보강공 두부의 균열 및 파손
	절리상태 및 풍화진행도		절리상태 및 풍화 진행도

주1) 상태안전성능 조사 시, 조사대상 사면에 점검로가 설치되어 있는 경우에는 연결부 체결 상태, 지반인접부의 세굴상태 등 점검로의 상태에 대해 전반적으로 육안점검을 실시하며, 녕쿨식물 등의 피복에 따른 점검로의 사용성 저하여부도 파악하도록 함

나. 조사항목 및 기준수량

[표 4.7] 안전성능 평가 조사항목 및 기준수량

성능	평가지표	조사항목	기준수량
안전 성능	집수지형	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 사면 내 집수지형 개수 ◦ 사면 외 집수지형 개수 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 평가대상 구간에 대해 측정 ◦ 시·종점부, 계곡부에 따라 200m 미만의 간격으로 책임기술자가 조정 가능
	불안정 지질	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태 	
	불연속면 특성	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 평가대상 구간에 대해 측정(3set 이상) ◦ 사면의 방향이나 불연속면의 경사, 경사방향이 일치하지 않은 경우는 수량 추가
	지반변형	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 크리프(Creep), 단차, 배부름 등 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 평가대상 구간에 대해 측정 ◦ 시·종점부, 계곡부에 따라 200m 미만의 간격으로 책임기술자가 조정 가능
	지하수	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 누수 발생 위치 및 유량 	
	배수조건	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등 	
	붕괴이력	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등 	
	낙석	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 발생규모, 예상 낙석에너지 	
	사면상부 상태	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 상부자연사면의 경사 	
	인장균열	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 유/무 진행성 여부 등 ◦ 폭, 깊이, 길이, 위치 등 	
	안전율	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 평사투영해석(암반) ◦ 한계평형해석(토사, 암반) 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 평가대상 구간을 대상으로 1단면 이상 측정 ◦ 시·종점부, 계곡부에 따라 200m 미만의 간격으로 책임기술자가 조정 가능

[표 4.8] 내구성능 평가 조사항목 및 기준수량

성능	평가지표	조사항목	기준수량
내구 성능	지반상태	◦ 동적콘관입시험 (DCPT) Nd치	◦ 20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 ◦ 1개소당 일정간격을 두고 3회 측정
		◦ 토양경도(정밀점검시 대체 시험법)	◦ 20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 ◦ 1개소당 상부/중부/하부 각 10회
		◦ 설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도 추정값의 비율	◦ 20m 구간별 1개소, 최소 10개소
	표면보호공	◦ 식생 피복율	◦ 계획 및 시공 피복 사면 면적에 대한 점검시 식생 피복면적의 비 측정
		◦ 손상 면적율	◦ 콘크리트뿔어붙이기/석장공 시공면적에 대한 손상면적의 비 측정
	사면 보강공	◦ 보강공 두부와 지반의 밀착도 ◦ 보강공 두부의 균열 및 파손	◦ 전체 보강공의 25% 이상
	암반의 절리상태 및 풍화도	◦ 풍화 진행도	◦ 20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상

4.2.2 현장조사 요령

가. 조사영역 및 사면의 분할

1) 측점분할

(가) 일반사항

- 측점 분할 작업은 현장조사에서 최초로 실시하는 작업으로서 사면에 인접한 도로 및 철도의 진행 방향으로 위치 및 길이를 표시하는 작업을 말한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 측점 분할 간격은 현장 조사 시 좌우로 확인 가능한 10m 간격으로 시점부에서 종점부까지 표시하며 면밀한 조사가 필요한 구간에 대해서는 별도로 세분화 하여 표시한다.
- 국부적인 표면 오염이나 습기 등이 있는 경우 이를 제거하고 스프레이 락카 등으로 측구나 옹벽, 또는 사면의 표면에 표시한다.
- 추가 점검 시 확인이 가능하도록 시점부와 종점부에는 현장구분을 위한 현장명을 표시한다.

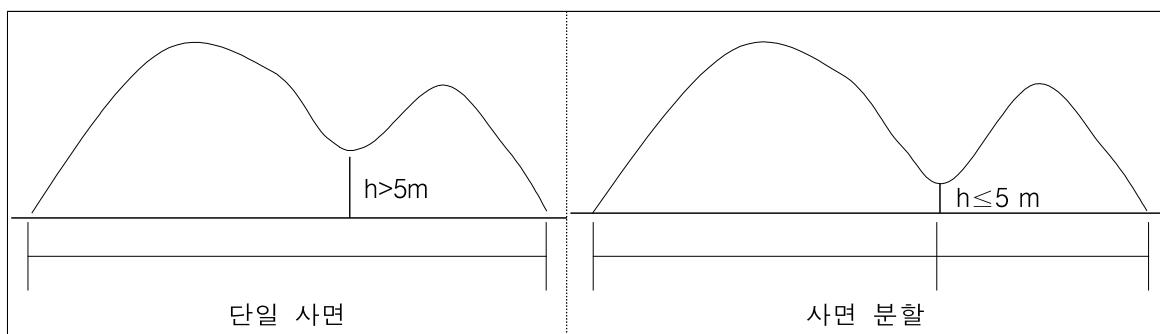
2) 사면분할

(가) 일반사항

- 사면의 분할은 현장조사에서 규모와 영역을 결정하는 작업을 의미한다. 현장에서 접하게 되는 절토사면은 대개 지형적인 특성에 의해 여러 사면이 연속하여 연결되어 있어 이를 구분하기 위한 명확한 기준이 필요하다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 사면을 바라보며 우측을 시점, 좌측을 종점으로 하여 절토사면의 수직고가 5m 이하로 낮아지는 지점에서 분할한다.



[그림 4.2] 절토사면의 분할기준

3) 평가대상 구간의 분할

(가) 일반사항

- 사면의 경사, 지반(토사 및 암반)상태 등 구성 물질의 변화에 따라 안정성에 미치는 영향범위가 달라질 수 있다.
- 따라서 사면 성능에 따른 보수/보강 등 효율적이고 경제적인 안정성 대책마련을 위해 상황에 따라 평가대상 구간을 분할하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 안전성능 및 내구성능 평가를 위한 구간분할의 경우, 동일 사면 내에서 다음의 경우에 구간분할을 실시한다.
 - 사면의 구성재료(토사, 암반, 혼합)가 변화할 경우
 - 사면의 경사방향이 40° 이상 변화할 경우
 - 기준규모의 연장이 200m 이상일 경우

나. 상태안전성능 평가를 위한 조사방법

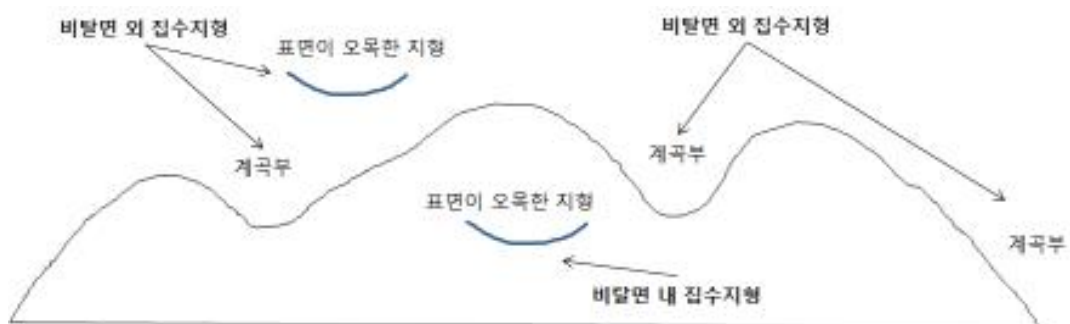
1) 집수지형

(가) 일반사항

- 절토사면의 시·중점부와 상부 계곡부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 절토사면에 유입되는 지형을 분할한 구간별로 사면 내·외로 구분하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 절토사면 내에 요철지형으로 형성되어 지표수가 한곳으로 모여 물이 고이는 지형의 개수를 1개소~4개소 이상으로 평가한다.
- 절토사면 외에 상부자연사면, 시·중점부의 계곡부 및 집수지형 등의 개수를 1개소~4개소 이상으로 평가한다.



[그림 4.3] 집수지형 구분 모식도

2) 불안정 지질

(가) 일반사항

- 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하고 있어 사면에 불안정 요인으로 작용하는 지질의 분포규모 및 상태를 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 평가대상 구간에 대해 각각 실시하여 일부 분포, 국지적 분포, 사면 전 영역에 걸친 분포로 나누어 분포도를 평가하며, 불안정 지질의 퇴적암 분포 유무, 파쇄정도, 누수 및 유실물 발생 유무 등의 상태를 육안 관찰하여 평가한다.
 - 일부 분포 : 불안정지질에 의해 변형, 강도저하 등의 결함이 발생할 수 있으나 그 영향이 매우 한정되어 있으며, 평가하고자 하는 사면에 대한 영향이 극히 일부인 경우 또는 불안정 지질은 분포하고 있으나 사면에 영향이 없다고 판단되는 경우
 - 국지적 분포 : 불안정 지질에 의한 결함이 사면 일부에 발생할 수 있으며, 이로 인한 보호 조치가 요구되는 경우
 - 전영역에 걸친 분포 : 불안정 지질에 의한 결함의 규모가 매우 커서 보강조치가 요구되는 경우
- 표면보호공(사면녹화 또는 콘크리트뿔어붙이기 등)이 적용된 경우, 건설공사 시 작성된 '현황도 작성 보고서'와 주변 지형 및 지반특성을 참고하여 평가를 실시한다.

※ 깎기비탈면 현황도 보고서 작성 근거 : 건설교통부 도로건설과-406 시행공문(2005) 「절토 사면 현황도 작성」, 「건설공사 비탈면 설계기준(2011, 국토해양부)」

3) 불연속면 특성

(가) 일반사항

- 불연속면은 암반에서 나타나는 모든 연약면을 총괄적으로 나타내며, 작은 단열 구조로부터 큰 단층까지 다양한 규모를 가진다.
- 불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없다. 따라서 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안전성능에 절대적인 영향을 미치며, 대부분의 경우 불연속면을 따라 붕괴가 발생한다.
- 불연속면의 특성은 방향성을 제외한 세부 상태(연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격)를 평가하여 6개 항목의 산술평균값으로 평가한다.

(나) 불연속면 특성의 세부 항목별 조사방법

- 평가대상 구간별 3set 이상의 불연속면을 측정하며 불연속면의 방향성이 불규칙한 경우 25m 간격으로 측정하고 가장 불리한 구간을 안전성능 평가에 반영한다.
- 사면에 표면보호공(비탈면녹화 또는 콘크리트뿔어붙이기 등)이 적용된 경우, 건설공사 시 작성된 '현황도 작성 보고서'와 주변 지형 및 지반특성을 참고하여 평가를 실시한다.

※ 깎기비탈면 현황도 보고서 작성 근거 : 건설교통부 도로건설과-406 시행공문(2005) 「절토 사면 현황도 작성」, 「건설공사 비탈면 설계기준(2011, 국토해양부)」

① 연장성

(1) 일반사항

- 연장성은 불연속면의 넓이나 길이의 의미를 담고 있다. 특히, 사면에서는 불연속면의 연장성에 따라 파괴 가능한 블록을 형성시킬 수 있을 뿐만 아니라, 연장성이 매우 큰 불연속면은 때에 따라 인장균열로 진전될 수도 있다. 그러나 연장성은 불연속면의 특성 중에서 정량화하기 가장 어려운 요소 중 하나이다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- 불연속면의 길이를 10m 이상의 줄자를 사용하여 측정하고 숫자로 기록한다.

(3) 결과분석

- 불연속면의 연장성을 표현하는 방법은 [표 4.9]와 같다.

[표 4.9] 연장성 분류 기준

등 급	연장성 [m]
매우 낮은 연속성 (very low persistence)	$X < 1$
낮은 연속성 (low persistence)	$1 < X \leq 3$
보통 연속성 (medium persistence)	$3 < X \leq 10$
높은 연속성 (high persistence)	$10 < X \leq 20$
매우 높은 연속성 (very high persistence)	$X > 20$

② 틈새

(1) 일반사항

- 틈새는 분리된 인접 불연속면간의 수직거리를 의미하며 주로 물, 점토광물, 석영, 방해석 등으로 채워져 있고 비워져 있는 경우도 있다.
- 틈새의 충전물 중 모암과의 결합력이 매우 양호하여 암반분리의 의미가 없는 경우 즉, 치밀한 석영맥, 기타 암맥류 등으로 견고하게 충전된 것은 제외된다. 틈새는 불연속면의 이완정도나 사면내의 수압, 투수량 등에 영향을 미칠 수 있다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- mm단위를 측정할 수 있는 줄자를 사용하여 불연속면의 틈새를 측정한다. 틈새가 좁을 경우 틈새 게이지(feeler gauge)를 이용하여 측정하여 기록한다.

(3) 결과분석

- 측정한 틈새 폭에 따라 표 4.10과 같이 분류한다.

[표 4.10] 틈새(간극) 분류 기준

구 분	간극 폭 [mm]
밀착됨 (tight)	간극을 쥔 수 없을 정도로 아주 좁고 밀착됨
약간 벌어짐 (partly open)	간극이 0.1mm 미만
벌어짐 (open)	$0.1 \leq X < 1$
약간 넓음 (moderately wide)	$1 \leq X < 5$
넓음 (wide)	$5 \leq X$

③ 거칠기

(1) 일반사항

- 불연속면의 거친 정도는 불연속면의 거동 시 전단강도에 큰 영향을 미치므로 불연속면으로 구성된 암반사면의 안전성능을 평가하는데 중요한 요소이다.
- 불연속면의 거칠기는 수 m정도의 대규모 거칠기(만곡, waviness)와 수 cm정도의 소규모 거칠기(요철, unevenness)로 나눌 수 있는데, 대규모 거칠기는 요철 부분이 전단활동 시 닳아 없어지지 않는 반면 작은 규모 거칠기는 전단활동 시 마모되기 쉽고 거칠기가 클수록 불연속면의 유효마찰각은 커진다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- 전문가의 육안관찰로 암반블록 활동이 예측되는 방향의 거칠기를 관찰하여 거칠기의 등급을 결정한다.

(3) 결과분석

- 불연속면의 거칠기 측정 결과는 [표 4.11]과 같이 기재한다.

[표 4.11] 불연속면 거칠기 등급

등급	설명
매우 거칠 (very rough)	불연속면의 표면에 거의 수직적인 계단 형태의 요철이 존재한다. 불연속면 표면을 만질 때 매우 거친 느낌이 든다.
거칠 (rough)	경사진 계단 형태의 요철이 확실하게 나타난다. 표면요철이 확실하게 식별되며, 불연속면 표면을 만질 때 거친 느낌이 든다.
약간 거칠 (slightly rough)	불연속면의 표면요철이 식별가능하며, 손으로 느낄 수 있다.
평탄 (smooth)	육안으로는 표면 요철의 식별이 어려우나, 손으로 느낄 수 있다.
매우평탄 (slickensided)	불연속면의 미끄러진 표면에 광택이 나는 부분이 관찰된다.

④ 충전물

(1) 일반사항

- 충전물은 불연속면의 간극을 채우고 있는 물질에 대한 용어로서 그 성분은 주로 석영(quartz), 녹니석(chlorite), 방해석(calcite), 점토(clay), 이질물(siltmaterial), 단층점토(fault clay), 단층각력(fault breccia) 등이다.

- 충전물은 그 발생기원의 다양성으로 인하여 전단강도, 투수도 등과 같은 암반의 물리적 거동에 복잡하게 작용하며 이러한 물리적 거동은 충전물의 광물학적 특성, 충전물의 입도, 함수율과 투수성, 기존의 전단변위 등에 기인한다. 충전물의 함수율과 투수도 및 전단변위 등에 영향을 미칠 수 있다.
- (2) 조사수량 및 측정방법
- mm 단위를 측정할 수 있는 자를 이용하여 불연속면의 간극 내에 채워져 있는 물질의 두께를 측정하고 재료를 기입한다.
- (3) 결과분석
- 충전물 재료와 두께에 따라서 [표 4.12]와 같이 분류하여 기록한다.

[표 4.12] 충전물 분류 기준

충전물 재료	충전물 두께
없음	—
딱딱한	5mm 미만
	5mm 이상
부드러움	5mm 미만
	5mm 이상

⑤ 풍화도

(1) 일반사항

- 지질학적인 풍화의 의미는 “암석이 물 또는 공기와 접촉하여 흙으로 풍화되어가는 자연적 과정”으로 간단히 요약될 수 있다. 암석의 풍화는 주로 지표면 부근에서 발생하여 흙의 형성, 풍화된 암반부위 형성 등을 통해 하부의 신선한 기반암과 대조를 이루고 이로 인해 공학적 특성의 차이를 야기한다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- 암석의 풍화도를 조사하는 방법으로는 단순육안관찰, 현미경 상의 풍화면적 측정, 광물함량이나 화학성분비 측정 등이 있으나 현장에서 신속하고 비교적 용이하게 조사할 수 있는 방법으로는 국제암반역학회(ISRM)이 제시한 육안관찰에 따른 6단계의 풍화등급으로 나누는 방법이 대표적이다.
- 본 장에서는 암반사면에 대한 상태안전성능 평가를 위해 6단계의 풍화등급 중 ‘풍화잔류토(RS)’를 제외하고 5단계로 나누어 분할된 구간마다 풍화등급을 조사하여 평가한다.






(3) 결과분석

- 암반의 풍화상태는 [표 4.13]과 같이 5단계의 풍화등급에 따라 기록한다.

[표 4.13] 국제암반역학회(ISRM) 풍화등급의 분류

풍화등급	설 명	공학적 특성
신선함 (F)	암석의 풍화 흔적을 볼 수 없다. 주 불연속면 표면에 경미한 변색이 있을 수 있다.	· 발파로 굴착가능 · 모든 구조물 기초로 적합
약한풍화 (SW)	불연속면의 표면과 암석의 변색 상태가 풍화 지표가 된다. 불연속면이 얼룩져 있거나 변색되어 있고, 외부적으로는 신선한 상태보다 약한 상태이다.	· 발파로 굴착가능 · 대규모의 댐을 제외한 모든 구조물 기초로 적합
보통풍화 (MW)	조암광물의 절반 이하가 변질(decomposed)되거나 토양으로 분해(disintergrated)된 상태이다. 신선암 및 변색된 암은 핵석(corestone)이나 불연속면의 골격을 이룬다.	· Ripper로 굴착가능 · 대부분의 소규모 구조물 기초로 가능
심한풍화 (HW)	암석 구성 재료의 절반 이상이 부스러졌거나 흙으로 변했다. 신선하거나 변색된 암석이 기반암이나 핵석(corestone) 상태로 존재한다.	· Scraping으로 굴착가능 · 구조물 기초시 신뢰도 낮음
완전풍화 (CW)	모든 암석 재료가 부스러졌거나 흙으로 변했다. 그러나 절리흔적과 같은 원래의 암반 조직은 보존되어 있다.	· Scraping으로 굴착가능 · 토질 시험 결과에 따라 기초 사용 결정

[표 4.14] 해머타격 시험을 통한 암반의 풍화등급 5단계 분류법

풍화등급	설 명	사진
신선함 (F)	<ul style="list-style-type: none"> ·해머타격 시 높은 쇠소리가 들림 ·균열 없음 ·석재로 사용될 수 있을 정도로 신선 	
약한풍화 (SW)	<ul style="list-style-type: none"> ·해머타격 시 쇠소리가 들림 ·미세균열이나 절리 관찰 가능 ·약간의 착색 흔적 	
보통풍화 (MW)	<ul style="list-style-type: none"> ·해머타격 시 약간 무거운 쇠소리가 들림 ·해머로 여러 번 타격으로 부서짐 ·구성광물의 변색 및 착색 흔적 	
심한풍화 (HW)	<ul style="list-style-type: none"> ·해머타격 시 둔탁한 소리가 들림 ·거칠한 광물 알갱이들이 관찰됨 ·완전 변색, 심한 착색 	
완전풍화 (CW)	<ul style="list-style-type: none"> ·손가락으로도 쉽게 흙으로 부서짐 ·암조직의 흔적이 관찰되며 흙을 다져놓은 정도의 강도를 가짐 	

⑥ 절리간격

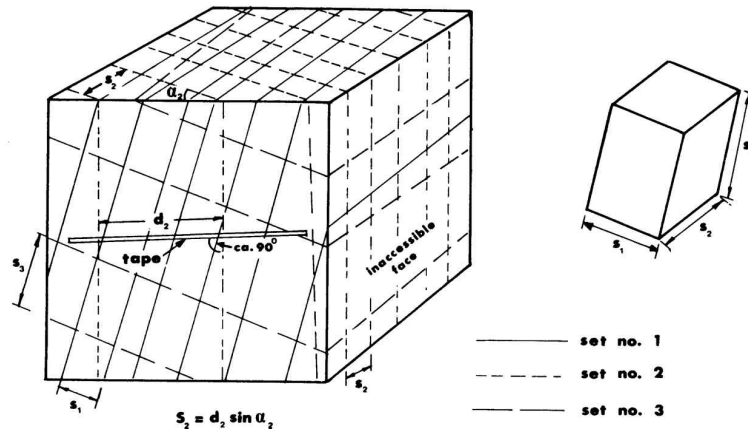
(1) 일반사항

- 불연속면의 간격은 인접 불연속면 사이의 수직거리로서, 사면 내에서 암반 블록의 크기를 결정할 뿐만 아니라 수리전도도나 용수특성에도 영향을 미치게 된다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- 측정용 줄자를 이용하여 대상 불연속면이 다른 불연속면군에 직각인 노두에서 누락 없이 측정하여야 한다. 이때 다른 불연속면군에 직각인 노두에서 측정할 수 없을 경우, 줄자와 불연속면 사이의 예각(α)을 콤팩스로 측정하여 다음 식으로부터 사거리에 대한 보정을 실시한다.

$$S = d_m \sin \alpha$$



[그림 4.4] 불연속면 간격 측정방법

(3) 결과분석

- 각 불연속면군의 최소간격, 최대간격, 최빈간격을 기록하여야 하고, 히스토그램으로 불연속면 간격의 분포특성을 알 수 있다.
- 일반적으로 불연속면 간격에 대한 용어는 [표 4.15]과 같이 나타낸다.

[표 4.15] 불연속면 간격 분류 기준

등 급	간격 [m]
매우 조밀 (very close spacing)	$X < 0.06$
조밀 (close spacing)	$0.06 \leq X < 0.2$
보통 (moderate spacing)	$0.2 \leq X < 0.6$
넓음 (wide spacing)	$0.6 \leq X < 2$
매우 넓음 (very wide spacing)	$2 \leq X$

4) 지반변형

(가) 일반사항

- 지반변형은 사면의 상하부와 절토사면 내의 모든 변형을 모두 포함한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 절토사면의 경우 자연 상태의 응력준위를 인위적으로 변화시킴에 따른 응력 이완과 해방의 원인으로 지반변형이 유발될 수 있다. 조사대상 구간의 전반에 걸쳐 이에 대한 조사를 실시하여야 하며, 사면 상하부의 경우는 지반 함몰이나 융기 등의 현상을 관찰하고, 사면 내에서는 사면경사 불량 여부를 파악한다.

5) 지하수

(가) 일반사항

- 사면 내 지하수량을 간접적으로 평가하기 위한 방법으로써 사면에서 관찰되는 물의 흐름을 2가지로 구분하고 그 위치를 조사하여 평가한다.
- 불연속면을 따르는 투수 문제는 암반의 공학적, 역학적 특성에 지대한 영향을 미치는데 충전물의 함수비 변화에 따른 충전물 강도 변화, 간극수압 증대에 따른 전단강도 및 지반 지지력 약화 등으로 대표될 수 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간별로 사면의 표면에서 관찰되는 누수 흔적으로 관찰하며, 누수 흔적이 없는 경우 ‘건조’, 축축하게 젖어 있는 정도를 ‘젖음’, 물의 흐름이 보이는 정도를 ‘흐름’으로 분류하여 평가한다.
- 또한, ‘젖음’상태에서 사면 상부와 하부를 분류하여 누수 위치를 평가하며, ‘흐름’ 상태에서도 누수위치에 대한 조사는 동일하다.
- 동일한 구간 내에서 다수의 누수 흔적이 관찰되는 경우 가장 불리한 조건으로 평가한다.

6) 배수조건

(가) 일반사항

- 배수조건은 측구 및 배수공 등 배수구의 설치와 관리 상태를 평가한다.
- 사면에 흐르는 지표 및 지하용수는 사면의 불안정성을 증대시키는 역할을 할 수 있다. 용수를 적게하는 방법으로는 소단배수공, 집수정이나 보링을 통한 집수를 배수처리 하는 배수공 등이 있으며, 용수를 처리하는 방법은 도랑굴착, 호스, 집수매트, 돌망태(개비온) 등을 통한 배수방법이 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 판단기준은 배수가 양호하여 건조상태와 같이 간극수압이 발생하지 않을 경우에 해당되는 항목을 ‘완전배수’ 상태로 하여 5단계로 육안조사를 통해 평가하며 평가대상 구간의 지표수 및 지하수에 따른 배수시설의 상태를 평가한다.
- 완전배수 : 지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태

- 양호 : 배수시설이 노후되었으나 배수기능이 원활한 상태
- 보통 : 배수시설이 노후되고 일부 균열이 관찰되나 배수기능이 원활한 상태
- 불량 : 배수시설이 노후되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태
- 매우불량 : 지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태

7) 붕괴이력

(가) 일반사항

- 이미 발생한 붕괴 규모에 대한 평가로서 세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴로 4단계의 등급을 분류하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간별로 붕괴이력을 조사하여 평가하며, 사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력, 표층유실 및 낙석, 암탈락 등 표층파괴 발생이력, 사면의 안정성에 영향을 미치며 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력, 그리고 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태로 분류하여 평가한다.

8) 낙석

(가) 일반사항

- 낙석은 암반사면에서 빈번히 발생하는 붕괴유형으로서, 절토사면에서 관찰되는 뜬돌 및 이완암의 규모와 높이, 경사 등을 고려하여 낙석에너지를 추정하고, 추정된 에너지 규모에 따라 등급을 구분하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간에 대해 이미 발생하여 적치된 낙석의 양으로 발생규모를 평가하고, 사면에 존재하는 뜬돌 및 이완암 등 낙석 발생 가능성이 있는 암괴의 규모로 예상 낙석에너지를 평가한다.

9) 사면 상부 상태

(가) 일반사항

- 사면 상부에 존재하는 자연사면에서 유입되는 지표수에 의한 영향을 평가하기 위해서 자연사면의 경사를 측정하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간의 상부자연사면 대표 경사를 평지 또는 역경사에서 30°이상까지의 범위에서 5단계 등급으로 분류하여 평가한다.

10) 인장균열

(가) 일반사항

- 인장균열이 사면의 안전을 계산에 미치는 영향은 미소하지만 인장균열 내에 물이 채워질 경우 지반의 전단강도가 약화될 수 있으며, 인장균열이 진행성인 경우 사면파괴에 대한 중요한 증거가 되므로 조사에 신중을 기하여야 한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 인장균열의 발생 여부를 파악하기 위해서는 조사대상 사면의 상부로부터 가상의 원호활동원에 포함되는 위치까지 조사하는 것이 원칙이나 보다 신뢰성 있는 조사를 위해서는 사면 상부 전반에 대하여 조사할 것을 권장한다.
- 평가대상 구간 내에 인장균열의 유무를 파악하고 인장균열이 확인되는 경우 폭, 깊이, 길이, 진행성 여부 등을 파악하여야 한다.
- 인장균열의 진행성(또는 확장) 여부는 최근 점검 자료와 비교 계측 등을 통하여 판단하며, 인장균열이 확인될 경우 상태안전성능 평가 결과를 하향하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다.

다. 구조안전성능 평가를 위한 조사방법

1) 강도정수 산정

사면의 안정해석법은 여러 가지가 있으나 그 정확성은 강도정수와 사면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우되며, 대부분의 경우에 있어서는 토질 특성과 기하학적 조건이 각 해석방법의 차이보다 결과에 더 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 안정해석에 있어서 강도정수를 정확히 결정하는 것이 가장 중요한 사항이 된다.

(가) 기존 문헌자료 검토

- 사면 점검시 안정해석을 수행하기 위해서는 현장상황과 가장 가까운 강도정수의 적용이 매우 중요하다. 그러나 지반정수 값을 구하기 위한 시험은 선택사항이며, 대부분의 사면에서 정확한 지반정수 값을 구하기에는 어려움이 있다.
- 사면 안정해석을 수행하기 전에 해당 현장에 대한 물성시험 값이 없다면 인근 사면의 자료를 검토하여 유사한 지반에 대한 강도정수 값을 이용하거나 기존 문헌자료를 충분히 검토하여 평가 대상 사면과 가까운 지반상태의 강도정수 값을 이용하여 안정해석을 수행하여야 한다.

(나) 토사사면의 시험

- 토사사면의 안전성능을 검토하기 위한 실내시험 항목은 아래와 같으며, 각 항목 별로 안정해석 시 필요한 조건을 반영하여 KS규정에 의한 시험을 실시하되 각 항목별로 최소 3개 이상의 시험 결과를 취득하여 반영토록 한다.
- 토질분류 : 함수비, 애터버그 한계, 비중, 입도시험, 단위중량(습윤, 건조)
- 전단강도시험 : 직접전단시험, 삼축압축시험 ⇒ 점착력, 내부마찰각

(다) 암반사면의 시험

- 일반적으로 암반은, 무결한 상태(intact)의 비교적 균질한 무결암과 단층과 절리 등과 같은 역학적 결함을 가진 불연속면으로 구성된다. 따라서 암반은 본질적으로 구조적인 불연속성, 불균질성, 이방성을 보이며, 이러한 특징들이 암반의 공학적인 특성을 좌우한다. 무수한 불연속면이 존재하는 암반의 강도를 대표하는 값을 측정하는 것은 어려울 뿐만 아니라, 사면의 안전성능은 불연속면의 특성에 의해 더 크게 좌우된다. 암석의 강도나 불연속면의 진단시험 결과는 암반 분류 및 안정해석에서 주로 이용된다.

[표 4.16] 암석의 실내시험 종류

시험구분	시험명	시험방법
물리특성	공극률 및 밀도	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM C 97
	흡수율 및 비중	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM C 97
역학특성	일축압축시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 2938
	삼축압축시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 7012
	압열인장시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 3967
	절리면 진단시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 5067
	슬레이킹시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 4644
	스웰링시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법
	점하충강도시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 5731
	탄성계수시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 7012

2) 내진성능 평가

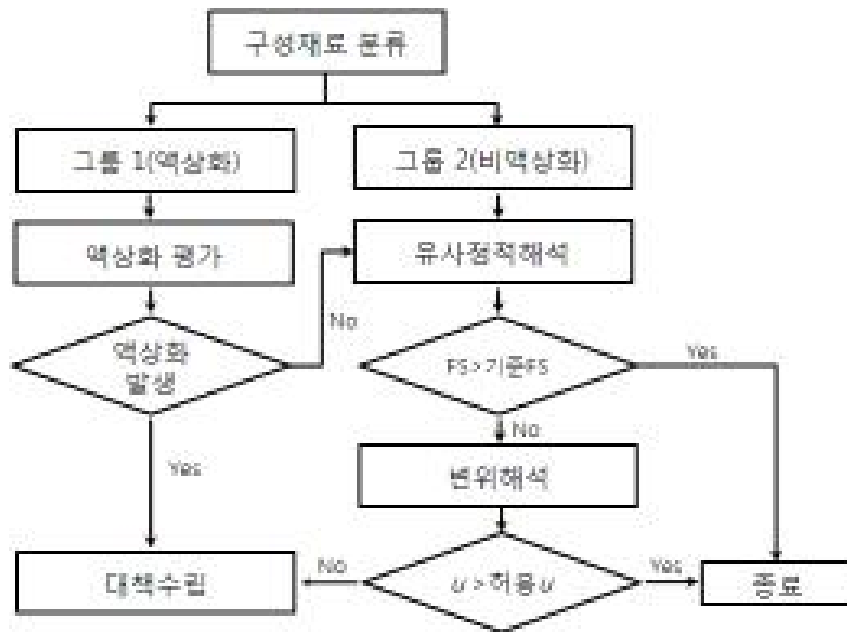
(가) 일반사항

- 내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구 결과¹⁾에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 절토사면의 내진성능 평가는 ‘건설기준코드(구 건설공사 비탈면 설계기준)’을 참고하며, 관리주체와 협의하여 실시 할 수 있다.
- 토사사면의 내진성능 평가는 액상화 발생가능성 검토, 안정해석, 변위해석으로 이루어진다. 우선 사면의 구성 재료를 액상화 발생 가능성의 유무에 따라 구분하여 액상화 지반에 대해서는 액상화 검토를 수행하여 액상화가 발생할 것으로 예상되는 경우 재설계를 실시하고 그렇지 않을 경우에는 비액상화지반으로 간주하여 사면안정해석을 수행한 후 기준안전율 이하로 산정되면 변위해석을 수행하여 안전성능을 검토한다. 사면의 내진성능 평가 흐름도는 [[그림 4.5]와 같다.

1) 기존 시설물의 내진성능 평가 및 향상요령('11.12.) : 국토해양부, 한국시설안전공단



[그림 4.5] 내진성능평가 흐름도

3) 토사사면의 안정 해석

(가) 일반사항

- 토사사면의 안정해석은 원호파괴에 대한 해석이 주를 이루며, 암반사면의 경우에도 풍화가 심하고 불연속면이 매우 조밀하게 발달했을 경우 원호파괴에 대한 안정 해석을 실시할 수 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 사면안정해석 시 강도정수 적용을 다음과 같이 분류하였으며, [표 4.17]은 유효 응력과 전응력 해석시의 전단강도 식을 나타낸 것이다.

[표 4.17] 토사사면 전단강도식

해석조건	유효응력 해석	전응력 해석
전단강도식	$S = C' + \sigma \tan \phi'$ <p>S : 활동면에서의 전단강도 σ : 유효응력 C', ϕ' : 유효응력에 대한 점착력 및 전단 저항각</p>	$S = C_u + \sigma \tan \phi_u$ <p>S : 활동면에서의 전단강도 σ : 전응력 C_u, ϕ_u : 전응력에 대한 점착력 및 전단 저항각</p>

① 깎기 직후의 안정

- 모래, 자갈 토질인 경우 유효응력해석을 하며, 강도정수는 압밀배수(CD)삼축 시험 또는 직접전단시험 결과를 사용한다. 단, 입자크기, 시료성형, 시료채취가 곤란한 경우는 상대밀도와 입도를 고려하여 추정 사용할 수 있다.
- 점성토인 경우 전응력 해석을 적용하며, 강도정수는 현장상태와 동일한 밀도와 함수비 조건에 대해 비압밀비배수(UU)삼축시험을 한다.

② 장기안정 상태

- 간극수압을 고려한 유효응력 해석을 적용하며, 강도정수는 압밀배수(CD)삼축 시험, 직접전단시험, 압밀비배수(CU)삼축시험에서 구하여 적용한다.

③ 수위급강하 상태

- 압밀된 후 하중조건이 급변하여 배수가 될 시간이 없으므로 전응력해석을 적용하며, 강도정수는 현장밀도와 함수비조건으로 압밀비배수(CU)삼축시험으로 하며, 압밀압력은 각 시료에 동일하게 적용하고 파괴시 축압만 변화시킴에 유의한다.

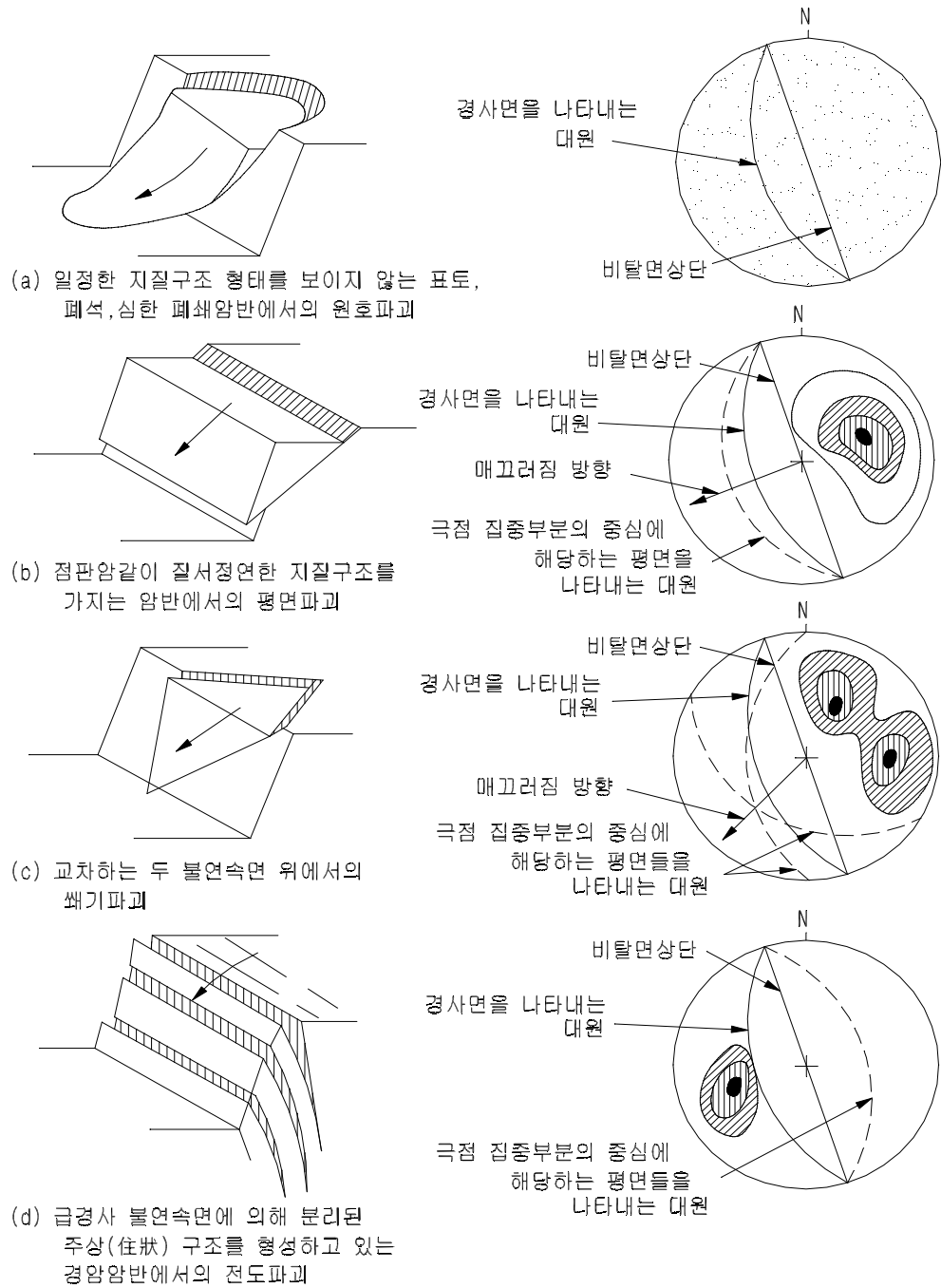
④ 기타 반영 사항

- 상용화된 해석프로그램의 경우 각각 사용하는 해석방법이 조금씩 다를 수 있으나 대부분 타당하고 유효한 해석법을 사용하고 있으므로 해석결과의 차이는 크지 않다. 따라서 사면 안정 검토에 있어서는 해석방법의 차이보다는 강도정수와 사면의 기하학적 조건이 가장 중요한 사항이다. 한편, 사면 안정 해석시 대상 사면에서의 다음과 같은 기타조건도 반영하여야 한다.
 - 국부적인 파괴나 활동으로 교란된 이력이 있는 대상사면에 대한 시험은 시료를 충분히 변위시킬 수 있는 링 전단시험 또는 직접 전단시험을 실시하여 잔류강도의 강도정수를 해석에 반영한다.
 - 인장균열 깊이와 인장균열에 수압이 작용하는 경우 등도 반영하여야 한다.
 - 보강된 경우의 사면 안정 검토는 외적 안정 검토 시 복합보강지반을 중력식 구조물과 같이 보고 실시하며, 내적 안정 검토시는 보강구조체에 붕괴면을 가정하고 힘의 균형으로 안정을 검토한다.

4) 암반사면 안정 해석

(가) 평사투영해석

- 평사투영해석은 절리, 단층, 층리 등의 지질구조와 사면의 방향을 평사투영도에 2차원으로 도시하고 파괴면의 전단강도를 고려하여 사면에서 발생할 수 있는 파괴유형을 기하학적으로 분석하는 방법이다. 평사투영해석을 통해 분석할 수 있는 절토사면의 파괴유형을 [[그림 4.6]에 나타내었다.
- [[그림 4.6-(a)] 불연속면 및 지질구조가 뚜렷한 방향성을 보이지 않고 불연속면 빈도가 매우 높은 암반 사면의 경우 발생할 수 있는 파괴 형태이다.
- [[그림 4.6-(b)] daylight envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 평면파괴의 가능성을 지시한다.
- [[그림 4.6-(c)] 두 개 이상의 대표 절리군의 대원이 교차한 점이 기준 영역에 도시될 경우 켜기 파괴의 가능성을 지시한다.
- [[그림 4.6-(d)] Toppling envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 전도파괴의 가능성을 지시한다.
- 평사투영해석을 통해 결정된 파괴 유형이 결정되면 각 유형에 맞는 한계평형해석 방법으로 안전성능을 해석한다.



[그림 4.6] 암반사면의 파괴 유형별 평사투영해석 예시

(나) 한계평형해석

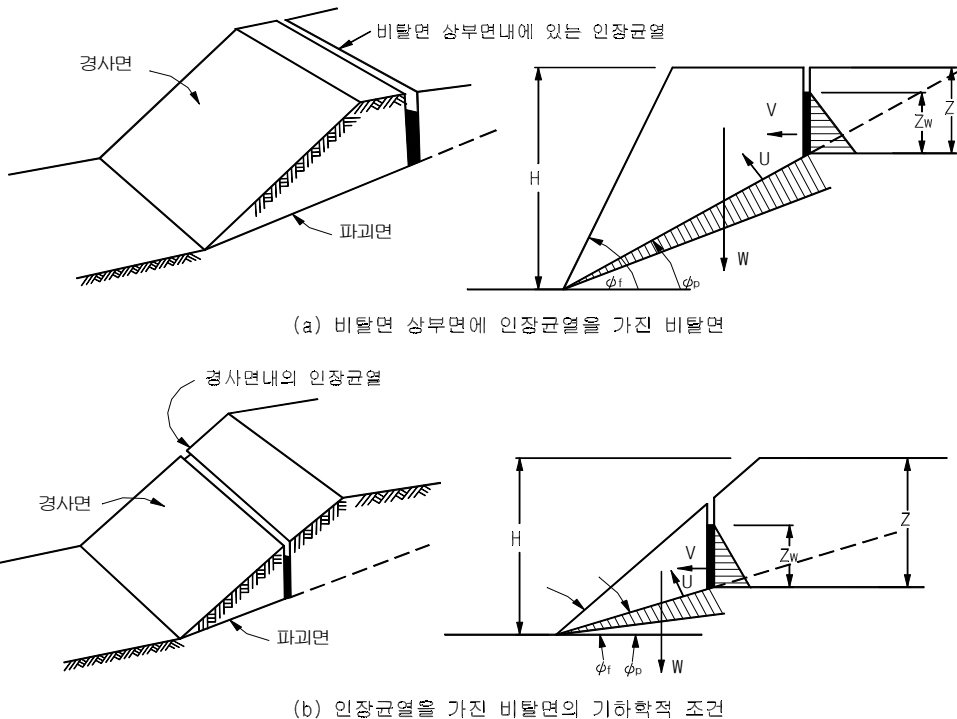
① 원호파괴

- 원호파괴는 토사사면뿐만 아니라 연약암반 및 과쇄암반 사면에서도 발생할 수 있다. 흙의 경우, 어떤 우세한 지질구조가 존재하지 않을 때 파괴면은 최소 저항선을 따라 사면 전체를 통해 자유롭게 나타날 수 있다. 균열과 풍화가 심하게 발달된 암반으로 구성된 사면 역시 토사사면과 유사한 거동을 보이며 파괴면도 원형을 이루고 있다.
- 따라서 이러한 사면의 안정해석은 토질역학적 접근방식으로 해석이 가능하다. 사면의 안전율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F = \frac{\text{활동에 저항하는 유효전단강도}}{\text{파괴면을 따라 작용하는 전단응력}}$$

② 평면파괴

- 평면파괴는 층리면과 같은 지질학적 불연속면이 경사면과 동일한 방향이고 마찰각보다 더 큰 각도로 경사져 있을 때 발생한다.
- 평면파괴가 발생하기 위해서는 예외가 있을 수 있지만 파괴가 발생할 불연속면의 경사방향과 사면의 경사방향의 차이가 $\pm 20^\circ$ 이내에 존재해야 하며 불연속면의 경사각이 사면의 경사각보다는 작고 마찰각보다는 더 커야 한다.



[그림 4.7] 인장균열을 가진 사면의 기하학적 조건

- [그림 4.7은 한계평형해석에서 고려되는 평면파괴의 일반적인 기하학적 조건이다. 여기서 사면의 안정성 해석은 인장균열의 위치에 따라, 인장균열이 사면의 상부면에 존재하는 경우와 사면의 경사면내에 존재하는 경우로 구분하여 실시한다.
- 사면의 안전율은 활동을 유발시키는 힘의 총합에 대한 활동에 저항하는 힘의 총합의 비로 계산된다.

$$F = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p}$$

여기서, c : 절리면의 점착력

A : 활동면의 면적($(H-z) \operatorname{cosec} \psi_p$)

W : 암괴의 자중

ψ_p : 활동면의 경사각

ψ_f : 사면의 경사각

U : 파괴면에 작용하는 수압

V : 인장균열에 작용하는 수압

ϕ : 활동면의 마찰각

한편, 수압에 의한 작용력 U 와 V 는 다음과 같다.

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w z_w (H - z) \operatorname{cosec} \psi_p$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z_w^2$$

여기서, γ_w : 물의 단위중량(t/m^3)

z_w : 인장균열 H 의 물의 높이(m)

H : 사면의 높이(m)

ψ_p : 활동면의 마찰각($^\circ$)

③ 켜기파괴

- 켜기파괴는 두 불연속면 위에 놓여있는 켜기형 암반이 두 불연속면과 만나서 이루는 교선을 따라 아래로 미끄러져 내리는 파괴 형태를 말한다.
- 켜기파괴는 켜기를 이루는 두 불연속면에 작용하는 수직력 뿐만 아니라 두 파괴면의 밑면적이 고려된 마찰력과 점착력, 그리고 수압과 기타 외력의 영향에 의존하므로 매우 복잡한 양상을 띤다. 미끄러짐이 가능하려면 교선의 경사각이 사면의 경사각보다 작고 마찰각보다 커야 한다.
- 켜기를 형성시키는 두 불연속면의 마찰각이 같다고 가정하면 [그림 4.8]에서 도시된 켜기의 안전율은 다음 식과 같이 정의된다.

$$F = \frac{(R_A + R_B) \tan \phi}{W \sin \psi_i}$$

여기서, R_A, R_B : A, B면상의 수직반력

W : 켜기를 이루는 암반의 중량

ϕ : 사면의 마찰각

ψ_i : 교선의 경사각

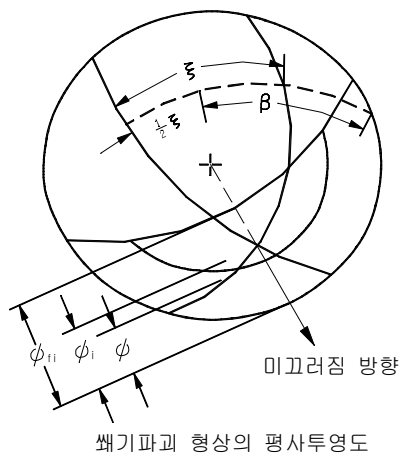
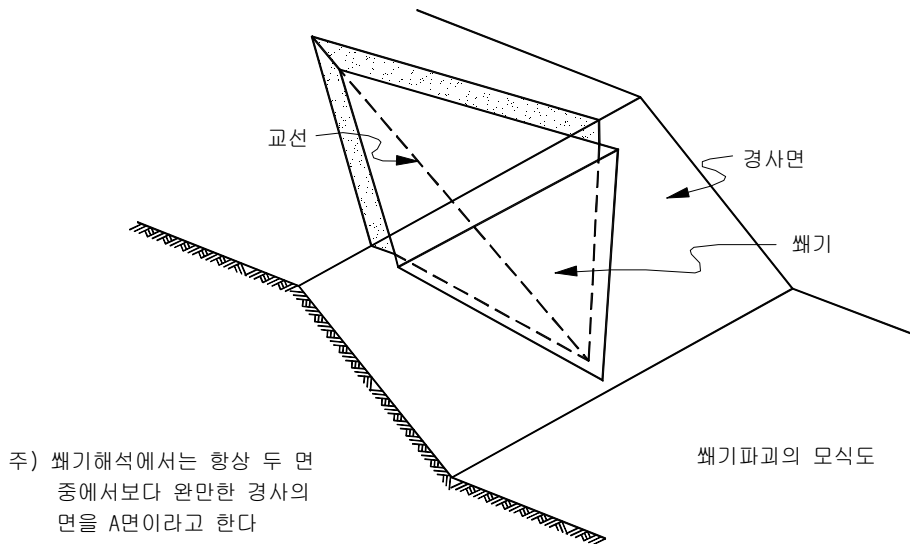
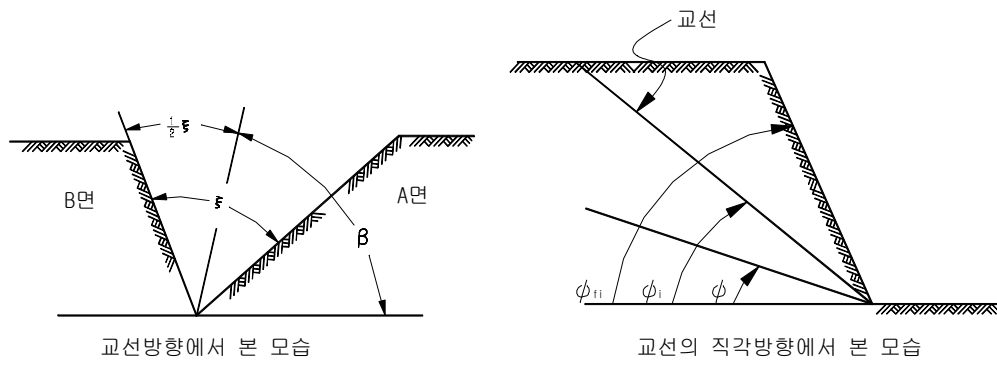
- R_A, R_B 를 구하기 위해 교선에 대한 수평 및 수직방향의 성분으로 나누어 표시한 후 R_A, R_B 를 더하고 이를 위 식에 대입하면 다음식과 같이 사면의 안전율을 구할 수 있다.

$$F = \frac{\sin \beta}{\sin \frac{1}{2} \xi} \frac{\tan \phi}{\tan \psi_i}$$

여기서, β : 수평면에서 켜기 이등분선까지의 각

ξ : 켜기의 사이각

- β 와 ξ 는 [그림4.8]과 같이 평사투영망을 이용하여 구할 수 있다.

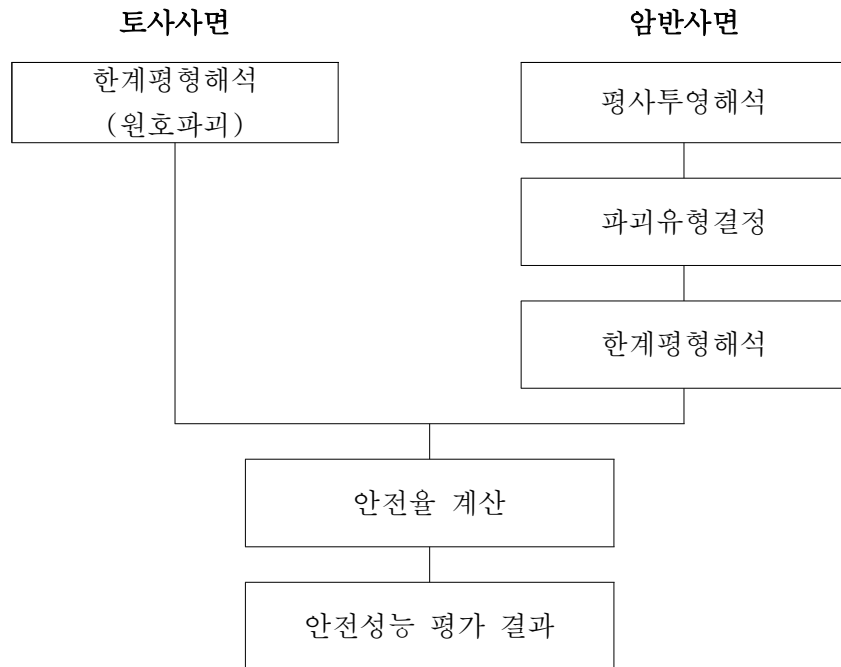


[그림 4.8] 뺨기파괴 활동면 및 사잇각 산출 방법

5) 구조안전성능 해석결과

- 사면의 안전성능 평가는 사면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다.
- 토사사면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다.
- 또한 암반사면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사사면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어 져야 한다. [그림 4.9]은 구조안전성능 평가 과정을 나타낸 흐름도이며, [표 4.18]은 사면의 종류에 따른 개략적인 해석 범위를 기술한 것이다.

이러한 과정을 거쳐 최종 안정성 해석 결과가 도출된다면 안전성능 평가 기준을 근거로 각 절토사면의 안전성능 평가 결과를 산정한다.



[그림 4.9] 구조안전성능 평가결과 산정 과정

[표 4.18] 절토사면의 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사사면	—	○	—	· 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반사면	○	△	○	· 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 · 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴해석을 실시
혼합사면	○	○	○	· 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 · 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

[표 4.19] 사면의 안정해석 프로그램 예시

구 분		사용되는 강도정수	프로그램
한계평형 해석	원호파괴	지반의 단위중량(건조/습윤), 점착력, 내부마찰각	SoilWorks MIDAS/GTS PC STABL5M, PCSTABL6, TALREN, SLOPE/W, UTEXAS, MALE, PC-SLOPE, STABRD, STABL 등
	평면파괴	암반의 단위중량, 절리면의 점착력, 절리면의 마찰각, 사면 및 절리의 경사/경사방향	ROCPLAN, ROCKPACK 등
	썩기파괴	암반의 단위중량, 절리면의 점착력, 절리면의 마찰각 사면 및 절리의 경사/경사방향	SWEDGE, ROCKPACK 등
평사투영해석		사면 및 절리의 경사/경사방향, 절리면의 마찰각	DIPS, FLAC MAN 등

6) 구조안전성능 평가를 위한 고려사항

- 사면의 구조안전성능 평가는 사면 자체의 안전성능 확보 여부에 대한 평가로 현장에서 대상 사면의 현황과 상태 등 제반 특성들을 정확히 도출하고 이에 근거하여 평가를 수행하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 기존 자료의 충실한 검토, 시공 방법과 기간의 보수·보강이력 검토, 각종 계측, 조사, 시험을 통해 충분히 기초자료를 확보하는 것이 필수적이다.
- 일반적으로 절토사면의 안전성능 검토를 위해 고려되어야 할 주요 사항은 다음과 같으며, 보고서에는 평가에 사용된 해석 방법의 종류 및 해석결과에 대한 설명과 계산 기록을 포함하여야 한다.
 - 지반 구성재료에 대한 기본 물성시험 결과
 - 기본 물성시험 결과가 없는 경우 인근 사면의 자료나 문헌자료를 확보하여 검토
 - 불연속면 특성 및 정량적 조사 결과
 - 사면의 변형/변위 및 거동 등의 특성 분석 결과
 - 기초자료를 검토하여 육안관찰 시 인지하기 어려운 지층구조 및 연약지질 파악
 - 상부자연사면 등 주변지역에 대한 지형정보

라. 내구성능 평가를 위한 조사방법

1) 토사사면의 지반상태

(가) 동적콘관입시험

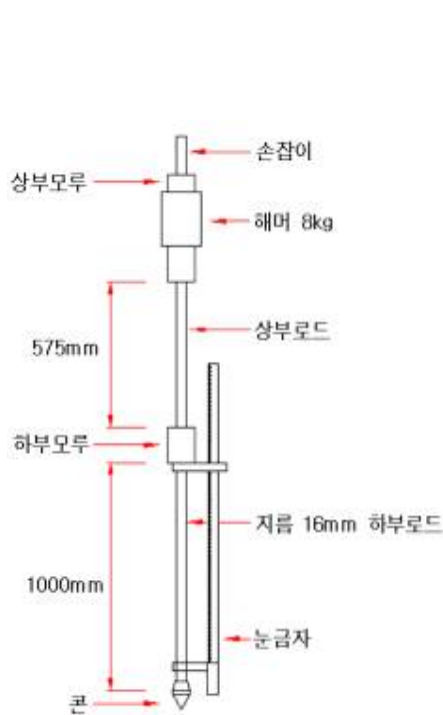
① 일반사항

- 동적 콘 관입시험법(이하 DCPT)은 8kg의 해머의 충격 하중이 지반층을 뚫고 들어가는 충격횟수 당 관입량(이하 PR : mm/blow)을 측정하는 방법이다.

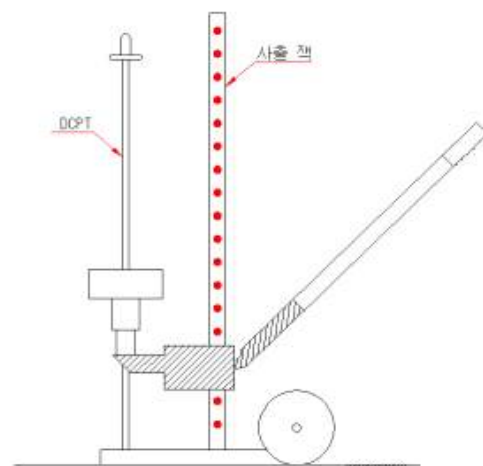
② 장비 외형

- 동적 콘 관입시험기를 DCPT라 부르며, 이 장비는 지반의 다짐 강도를 측정하는데 사용한다. DCPT는 [그림 4.10]과 같이 크게 상부부분과 하부부분 그리고 눈금자 이렇게 세 부분으로 나눌 수 있다.
- 상부부분은 장비를 수직으로 유지시켜주기 위해 잡는 핸들과 그 밑에 상부모루 그리고 상부모루에서 하부모루까지 움직이는 8kg의 해머, 해머의 자유낙하 운동을 이끄는 지름 16mm, 길이 575mm의 상부로드, 이렇게 다섯 부분으로 이루어져 있다.
- 하부 부분은 하부모루에서 전해져 오는 충격량을 콘까지 보내주는 지름 16mm, 길이 1000mm의 하부로드와 그 밑에 지반을 관입하는 콘으로 나누어져 있다. 콘은 [그림 4.10]과 같이 지름 20mm에 60° 형태로 되어 있다.
- 눈금자는 하부로드 1000mm 보다는 긴 막대 형태로 되어 있으며, 하부로드 옆에 조립하여 붙여 사용하며 1mm 단위로 눈금이 그려져 있다.
- 기타 동적 콘 관입시험에 필요한 장비는 다음과 같다.
 - DCPT 조립 도구

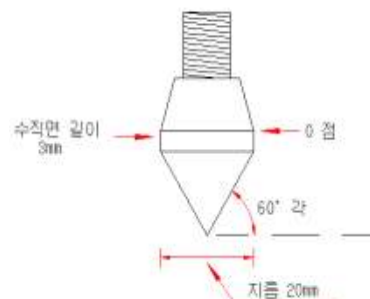
- DCPT 윤활오일
 - DCPT 사출잭
 - DATA 기록지
- 주요 부분별 오차 한계는 다음과 같다.
- 8kg 해머의 무게 오차 한계는 0.01kg 임
 - 해머의 자유낙하를 지지하는 상부 로드의 길이 오차 한계는 1mm임
 - 관입 콘의 콘 각도 60°의 오차 한계는 1°임
 - 콘 최대 직경의 200mm의 오차 한계는 0.25mm임



<동적콘관입시험기 외형>



<사출 잭(extraction jack)>



<콘의 세부 모형>

[그림 4.10] 동적콘관입시험기의 외형

③ 시험방법 및 순서

- 장비의 핸들을 잡고 수직 상태를 유지한 후 해머를 상부모루까지 들어 올린 후 가만히 놓아 하부모루까지 떨어지는 해머의 자유낙하 에너지가 충격량으로 바뀌어 하부 로드를 타고 콘이 지반을 뚫으며 이때 관입되는 양을 눈금자로 읽어가면서 측정한다.
- 측정된 전체 관입량을 충격 횟수로 나누어 평균값을 내면 PR 값이 되고, 이를 통해 지반의 강도 측정을 모사할 수 있다.
- 위치 고정 : 측정하고자 하는 위치에 장비를 고정시킨 후 콘의 제로 점까지 관입을

한 후 눈금자가 가리키는 숫자를 기준으로 영점을 정한다.

- 해머의 자유낙하 : 헨들을 붙잡고 DCPT를 수직상태로 유지한 후 해머를 상부 모루까지 들어올린다. 이 때 해머가 상부로드 하단을 가격하여 DCPT가 들리는 일이 없도록 조심히 들어 올리며 상부로드 하단에 해머가 닿는 순간에 받쳐 들던 손을 놓아 해머를 떨어뜨린다. 충격에 따른 눈금자 위치를 읽은 후 기록지에 해머 충격 횟수에 따른 관입량을 기입한다.
- 관입량 기록 : 관입량은 지반 두께 200mm 이상 총 지반 두께 1000mm를 가늠할 수 있는 900mm이하까지 기록하며, 관입량이 900mm를 넘는 경우 지반에서 DCPT 제거 시 DCPT 장비에 손상을 가져올 수 있으므로 주의한다.
- 기록의 오류(취사선택) : 연속된 충격 횟수 5회 이상 관입량 PR값이 2mm/blow인 경우 혹은 시험도중 DCPT가 옆으로 기울어져 관입지점에서 헨들부분까지 수평 변위량이 75mm이상이 발생하는 경우에는 시험을 멈추고 원 관입지점 300mm 이내에서 시험을 다시 수행한다.
- DCPT 사출 : DCPT 시험이 모두 끝나고 나면 맨손으로 억지로 뽑아 내지 말고 사출 잭(extraction jack)을 이용하여 DCPT를 뽑아낸다. 만일 맨 손으로 뽑아내는 경우 로드가 휘어질 우려가 있다.
- 데이터 기록 : 충격횟수에 따른 매회 기록과 데이터를 기록할 수 있으며, 함수비를 측정할 수 있을 경우에는 함수비 란에 기입하도록 한다. 눈금자의 눈금을 읽는 방법은 근사치 값을 읽어 1mm 단위로 기입한다.

※ 참고자료 : 「포장 하부구조 다짐관리 잠정지침(2011.04., 국토해양부)」

④ 장비체크

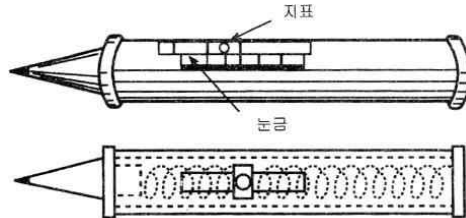
- 시험 시작 전에 동적 콘 관입시험도구의 상태 및 노후도를 확인한 후 상부, 하부 로드 및 구성부품에 따른 보수나 교체를 실시해 준다.
- 상부, 하부 로드의 경우 휘어진 부분은 없는지 반드시 체크하며, 콘 팁 역시 코가 휘어지거나 마모가 심하지는 않는지 확인한다. 장비 체크가 끝난 후에는 모든 결속 부분을 단단하게 고정시켜 준다.

(나) 토양경도시험

① 일반사항

- 토양경도는 토양의 치밀도 또는 견밀도라고도 하며, 토양경도계(산중식 경도계)를 이용하여 사면 상부, 중부, 하부를 각 10회씩 측정하여 평균하고 토양경도지수를 mm 단위로 나타낸다.
- 외부 관입 물체에 대해서 저항하는 토양의 힘을 경도(Hardness), 저항(Resistance) 또는 강도(Strength)라 하며, 관입시키는 원추의 각도와 단면적, 기록장치에 따라 다양한 경도계가 있다.
- 일반적으로 토양경도계라 하면 산중식 경도계와 끝이 원추형인 봉을 토양깊이 60~80cm 까지 관입하여 깊이별 원추의 관입저항을 측정하는 관입식 토양경도계를 의미하며, 여기서는 산중식 경도계에 대한 점검방법을 기술한다.

- 산중식 경도계는 토양 표면의 경도를 손으로 밀어 측정하는 휴대용 기기(Hand-Push형)로 반경 0.9cm, 높이 4cm의 금속 원추에, 4cm 수축에 8kg의 힘이 필요한 용수철이 연결되어 있으며 토양에 직각으로 눌렀을 때, 관입이 정지될 때의 원추가 후진한 길이(mm)를 재고, 그때의 용수철의 수축에 해당하는 무게를 토양에 접한 원추의 단면적(cm^2)으로 나누어 경도(kg/cm^2)를 계산한다. 일반적으로 원추의 관입깊이(mm)를 토양경도로 표시한다.



[그림 4.11] 산중식 토양경도계 구조

② 조사수량 및 측정방법

- 경도를 측정하고자 하는 부위의 토양을 수평이나 수직으로 표면을 평평하게 다듬는다.
- 경도계를 손에 단단히 잡고 유동지표를 0에 맞추고 토양에 직각으로 관입시킨다.
- 유동지표가 가리키는 눈금(mm)을 정확히 읽고 mm로 표시한다.
- 관입 깊이 $w(\text{mm})$ 는 다음과 같은 계산식에 의해 경도($R, \text{kg}/\text{cm}^2$)로 환산할 수 있다.

$$R = \frac{100w}{0.795 \times (40 - w)^2}$$

2) 암반사면의 지반상태

(가) 슈미트해머 측정(Schmidt Hammer Rebound Hardness Test)

① 일반사항

- 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법은 경화 암반면에 슈미트해머로 타격에너지를 가하여 암반면의 경도에 따라 반발경도를 측정하고, 이 반발경도(R_o)와 암반 압축강도(f_c) 사이에는 특정한 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 하여 암반 압축강도를 추정할 수 있다.
- 슈미트해머는 콘크리트용인 N, NR형 등이 있으나, 암반 사면조사 시에는 암석용인 L형을 사용하여야 한다.

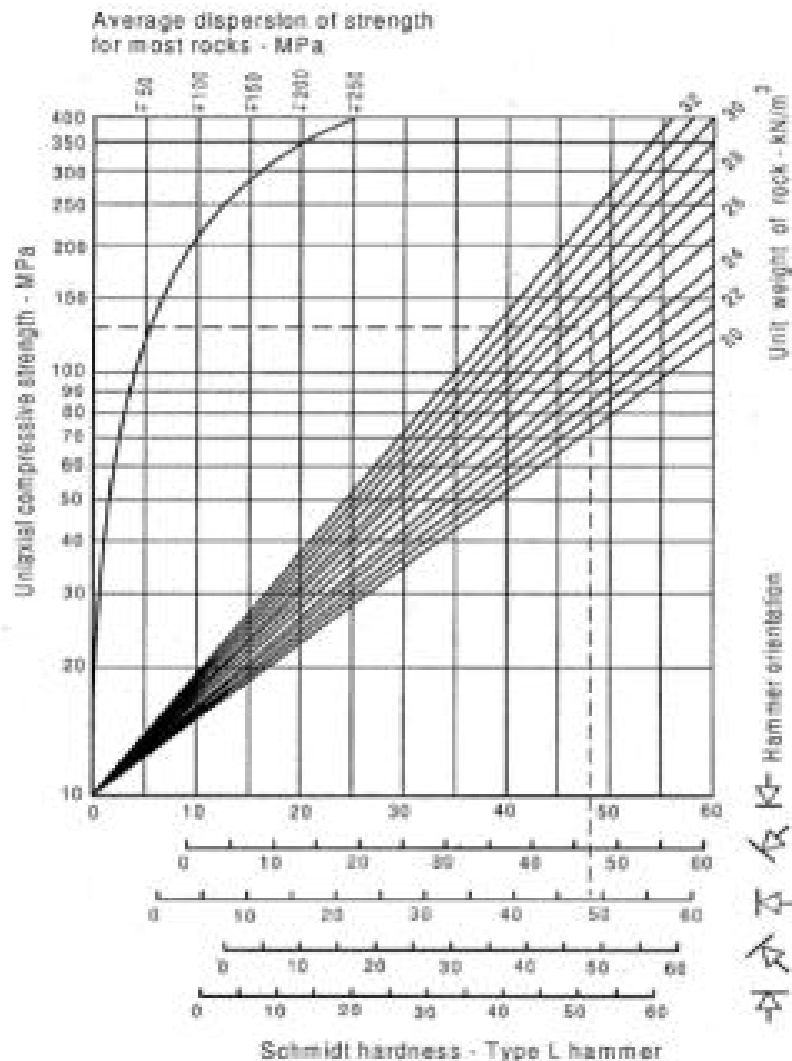
② 조사수량 및 측정방법

- 타격면을 선정할 때는 충전물이나 분해된 암석 입자가 없는 편평한 면을 선택하여 그 면에 수직하게 타격한다. 동일한 곳을 계속 가격하지 않고 이전에 타격한 곳에서 최소한 플런저 직경만큼 떨어진 곳을 타격한다.
- 슈미트 해머의 원리는 암반 타격 시 반발치(R)와 암반의 압축강도 (F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.
- 타격시 해머 내의 중추 반동량을 반발치(R)로 표시하며, 이 반발치(R)의 크기에 따라 암반의 압축강도를 추정한다. 일반적으로 타격 시 반발치(R)는 타격에너지 및 피 타격체의 형상, 크기, 재료의 물리적 특성에 따라 다르다.

- 단, 슈미트 해머법이 재료의 강도와 일률적인 관계가 있는 것만은 아니다. 특히 암반과 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 해머로 표면에서 국부적 타격을 하는 경우 반발치(R)는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 암반의 재령 등에 차이가 난다. 하지만 간편하고 짧은 시간에 강도 추정이 가능한 우수한 사용성과 암반 전체에 대해 강도 측정이 가능하다는 점에는 유효한 시험법이라 할 수 있다.

③ 결과분석

- 슈미트해머를 이용하여 강도를 추정할 경우, [표 4.20]을 이용하여 타격방향에 따른 보정절차를 거친 후, 20개의 타격점에 대한 반발값 중 하위 50%의 값을 버리고, 상위 50%만을 취하여 그 평균값을 대표값으로 한다.
- 일축압축강도는 슈미트해머 반발지수에 대한 일축압축강도 변화차트 [그림 4.12]를 이용하여 추정한다.



[그림 4.12] 슈미트해머 반발지수를 이용한 일축압축강도 변환 차트

[표 4.20] 타격 방향에 따른 반발값 보정표

반발값	아래쪽		위쪽		수평
	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-4.0	-3.3	-1.7

3) 표면보호공

(가) 식생피복율

○ 사면 전체 면적 대비 피복 면적의 비로서 현장 육안조사를 통하여 면적율을 측정한다. 현장상황 및 여건에 맞게 간단한 도구를 사용한다.

- 필요 측정 기구 : 줄자, 필기도구, 디지털카메라 등
- 식생피복율(%) = 식생피복면적(m^2)/사면면적(m^2) x 100

(나) 콘크리트뿔어붙이기/석장공

○ 주요 손상유형을 균열, 박락, 누수로 한정하고 현장 근접 육안조사를 통하여 손상 면적율을 측정한다. 현장상황 및 여건에 맞게 간단한 도구를 사용한다.

- 필요 측정 기구 : 줄자, 필기도구, 디지털카메라, 필요시 균열자 및 균열경, 반발경도측정기 등
- 손상면적율(%) = 손상발생면적(m^2)/조사면적(m^2) x 100

※ 참고자료 : 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서(교량)(2012.12., 한국시설안전공단)」

4) 사면보강공

○ 사면보강공의 근접 육안관찰로 보강공의 두부와 지반의 밀착도 및 두부의 균열과 파손 정도를 관찰하여 표면보강공의 등급을 결정한다.

5) 암반의 절리상태 및 풍화진행도

- 암반의 절리상태 및 풍화진행도 조사방법은 “상태안전성능 평가를 위한 조사 방법”에서 ‘불연속면 특성’의 조사방법과 동일하게 실시한다.
- 세부 평가지표 및 평가결과는 내구성능 평가 기준에서 제시하는 사항을 따른다.

4.3 재료시험 항목 및 수량

4.3.1 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 4.21] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능	공통	—	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시추조사 <ul style="list-style-type: none"> — 시추코아 채취 — 시추공내 절리방향성 분석 — 지하수위측정 ○ 물리탐사 <ul style="list-style-type: none"> — 전기비저항탐사, 탄성파탐사, GPR탐사 중 1가지 이상 ○ 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가등에 필요한 조사·시험
	토사	—	<ul style="list-style-type: none"> ○ 직접전단시험 ○ 삼축압축시험
	암반	—	<ul style="list-style-type: none"> ○ 물성시험 <ul style="list-style-type: none"> — 밀도, 비중, 단위중량, 흡수율, 공극률, 흡수팽창 시험, 슬레이킹 시험, 투수시험, 탄성파 속도 ○ 절리면 전단시험
내구성능	공통	—	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가등에 필요한 조사·시험
	토사	○ 토양경도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 물성시험 <ul style="list-style-type: none"> — 함수비, 비중, 입도분석, 액성한계시험, 소성한계시험, 체분석 ○ 동적콘관입시험 <ul style="list-style-type: none"> — 필요시 표준관입시험
	암반	○ 암반비파괴강도(반발경도시험)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일축압축시험 <ul style="list-style-type: none"> — 코어채취 불가시 점하중시험

나. 제1종성능평가

[표 4.22] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능	공통	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시추조사 <ul style="list-style-type: none"> － 시추코아 채취 － 시추공내 절리방향성 분석 － 지하수위측정 ○ 물리탐사 <ul style="list-style-type: none"> － 전기비저항탐사, 탄성파탐사, GPR탐사 중 1가지 이상 	○ 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사·시험
	토사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 직접전단시험 <ul style="list-style-type: none"> － 강도정수 － 필요시 삼축압축시험 	－
	암반	<ul style="list-style-type: none"> ○ 물성시험 <ul style="list-style-type: none"> － 밀도, 비중, 단위중량, 흡수율, 공극률, 흡수팽창 시험, 슬레이킹 시험, 투수시험, 탄성파 속도 ○ 절리면 전단시험 	－
내구성능	공통	－	○ 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사·시험
	토사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 동적콘관입시험 ○ 물성시험 <ul style="list-style-type: none"> － 함수비, 비중, 입도분석, 액성한계시험, 소성한계시험, 체분석 	○ 표준관입시험(동적콘관입시험)
	암반	<ul style="list-style-type: none"> ○ 암반 비파괴강도(반발경도시험) ○ 일축압축시험 <ul style="list-style-type: none"> － 코어채취 불가시 점하중시험 	－

4.3.2 재료시험 기준수량

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 4.23] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
토양경도	○ 20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 － 1개소당 상부/중부/하부 각 10회	토양경도계
암반 비파괴강도 (반발경도시험)	○ 20m 구간별 1개소, 최소 10개소	슈미트해머

[표 4.24] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
시추조사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
물리탐사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
토질물성시험	○ 평가대상 구간별 3회	
직접전단시험	○ 평가대상 구간별 1회	
삼축압축시험	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
일축압축시험	○ 평가대상 구간별 3회	
점하중시험	○ 평가대상 구간별 3회 － 일축압축 시험 시 생략	
절리면 전단시험	○ 평가대상 구간별 1회	
암반물성시험	○ 평가대상 구간별 3회	
동적콘관입시험	○ 20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 － 1개소당 상부/중부/하부 각 10회	

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 4.25] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
암반 비파괴강도 (반발경도시험)	○ 20m 구간별 1개소, 최소 10개소	
시추조사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
물리탐사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
토질물성시험	○ 평가대상 구간별 3회	
직접전단시험	○ 평가대상 구간별 1회	
삼축압축시험	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
일축압축시험	○ 평가대상 구간별 3회	
점하중시험	○ 평가대상 구간별 3회 － 일축압축 시험 시 생략	
절리면 전단시험	○ 평가대상 구간별 1회	
암반물성시험	○ 평가대상 구간별 3회	
동적콘관입시험	○ 20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 － 1개소당 상부/중부/하부 각 10회	

[표 4.26] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
표준관입시험	○ 20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 － 1개소당 상부/중부/하부 각 10회	

4.4 안전성능평가 기준 및 방법

4.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능평가 기준 및 방법

1) 일반

안전성능은 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능과 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

○ 상태안전성능은 사면의 내적상태와 외적상태의 관찰을 통해 평가

- 사면 내적상태 : 사면을 구성하는 재료의 특성(토층·암반 등) 및 형상에서 관찰되는 특징을 의미하며 육안관찰, 실내실험, 현장실험 등으로 평가한다.
- 사면 외적상태 : 사면에서 관찰되는 외부요인(지하수, 식생, 시설물 등)의 특징을 의미하며 주로 육안관찰을 통해 평가한다.

○ 구조안전성능은 공학적인 관점에서 평가할 수 있는 안전 수준

2) 평가범위

절토사면의 상태안전성능 평가 적용범위는 도로 및 철도의 부대시설로 「시설물안전법」 상 연직높이 30m 이상(옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이)을 포함한 절토부로서 단일 수평연장 100m이상인 절토사면에 적용한다.

3) 상태안전성능평가 성능지표 및 기준

절토사면의 상태안전성능평가 시 형식별 고려해야할 주요 성능지표는 다음과 같다.

[표 4.27] 사면 형식별 성능지표

구분	성능지표		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 집수지형 ◦ 지반변형 ◦ 지하수 ◦ 배수조건 ◦ 사면상부 상태 ◦ 붕괴이력 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 집수지형 ◦ 불안정지질 ◦ 불연속면 특성 ◦ 지반변형 ◦ 지하수 ◦ 배수조건 ◦ 붕괴이력 ◦ 낙석 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 집수지형 ◦ 불안정지질 ◦ 불연속면 특성 ◦ 지반변형 ◦ 지하수 ◦ 배수조건 ◦ 붕괴이력 ◦ 낙석 ◦ 사면상부 상태

(가) 집수지형

사면의 시·중점부와 상부 계곡부, 사면 내 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 사면에 유입되는 지형의 개수로 평가하며 사면 내 점수와 사면 외 점수 중 낮게 평가되는 항목으로 등급을 산정하여 평가한다.

- 절토사면 내 : 사면 내 요철지형으로 지표수가 한곳으로 모여 고이는 지형
- 절토사면 외 : 상부자연사면, 시·중점부의 계곡부 및 집수지형

[표 4.28] 집수지형 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소
	e	4개소 이상	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상

(나) 불안정지질

사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하고 있어 사면에 불안정 요인으로 작용하는 지질의 분포규모 및 상태를 평가한다.

[표 4.29] 불안정지질 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
규모 및 상태	a	없음	없음
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태
	c	국지적 분포(파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태
	d	전반적인 분포(파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한 상태
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태

- 일부분포 : 불안정지질에 의해 변형, 강도저하 등의 결함이 발생할 수 있으나 (혹은 발생했으나) 그 영향이 매우 한정되어 있으며, 평가하고자 하는 사면에 대한 영향이 극히 일부인 경우(혹은 불안정지질은 관찰되나 사면에 영향이 없다고 판단되는 경우).

- 국지적 분포 : 불안정지질에 의한 결함이 사면 일부에 발생할 수 있으며, 이로 인한 보호 조치가 요구되는 경우
- 전반적인 분포 : 불안정지질에 의한 결함의 규모가 매우 커 보강(보호 공법과 병행) 조치가 요구되는 경우

(다) 불연속면 특성

[표 4.30] 불연속면 특성 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
불연속면의 상태	a	매우 양호	불연속면의 세부(연장, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격) 상태를 평가하여 산술평균값으로 평가 불연속면 상태 점수 = $\sum (① \sim ⑥) / 6$
	b	양호	
	c	보통	
	d	불량	
	e	매우불량	

[표 4.31] 불연속면 세부상태 평가기준

평가항목		등급				
		a	b	c	d	e
점수	암반	0	5	10	16	24
	혼합	0	1	3	5	8
① 연 장 성		1m미만	1m이상 3m미만	3m이상 10m미만	10m이상 20m미만	20m이상
② 틈 새		0	0.1mm미만	0.1mm이상 1mm미만	1mm이상 5mm미만	5mm이상
③ 거 칠 기		매우 거칠	거칠	약간 거칠	평탄	매우 평탄
④ 충 전 물		없음	단단한 충전물 (5mm미만)	단단한 충전물 (5mm이상)	연약한 충전물 (5mm미만)	연약한 충전물 (5mm이상)
⑤ 풍 화 도		신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화
⑥ 절리간격		2m이상	0.6m이상 2m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만

(라) 지반변형

지반 변형은 사면의 배부름 현상(bulging)과 같이 지반 자체의 변형과 관련된 것으로 현재 변형의 증거가 관찰되지 않으면 “없음”으로 하고 변형의 증거가 있을 때에는 위험도 및 피해도에 따라 등급을 결정한다.

[표 4.32] 지반변형 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태

(마) 지하수

사면 내 지하수량을 간접적으로 평가하기 위한 방법으로써 사면에서 관찰되는 물의 흐름을 2가지로 구분하고 그 위치를 조사하여 평가한다.

[표 4.33] 지하수 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
누수상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태

(바) 배수조건

사면에 설치된 배수시설의 상태를 평가한다.

- 배수시설의 결함 : 균열, 변형, 세굴, 파손 등으로 물의 흐름을 방해하는 손상

[표 4.34] 배수조건 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
배수조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나 배수기능이 원활한 상태
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태
	e	매우불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태

(사) 붕괴이력

이미 발생한 붕괴 규모에 대한 평가로서 세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴로 등급을 분류하여 평가한다.

[표 4.35] 붕괴이력 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
붕괴이력	a	없음	없음
	b	세굴 및 표층 균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면의 표층파괴 발생이력
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태

(아) 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생하는 붕괴유형으로서, 사면에서 관찰되는 뜬돌 및 이완암의 규모와 높이, 사면의 경사 등을 고려하여 낙석에너지를 추정하고, 추정된 에너지 규모에 따라 등급을 구분하여 평가한다.

낙석의 평가는 발생규모와 예상낙석에너지 중 낮은 등급의 점수로 산정하여 평가한다.

[표 4.36] 발생규모 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
발생 규모	a	없음	기 발생하여 적치된 낙석의 양으로 평가하며 평가구간 내에 발생한 낙석의 규모를 모두 합하여 평가
	b	1m³미만	
	c	1m³이상 5m³미만	
	d	5m³이상 10m³미만	
	e	10m³이상	

[표 4.37] 예상 낙석에너지 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
예상 낙석 에너지	a	없음	사면에 존재하는 뜬돌 및 이완암 등 낙석발생 가능성이 있는 암괴의 규모 및 위치 등을 적용하여 낙석에너지 산정 $E_i = (1 - \frac{\mu}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H$
	b	50kJ미만	
	c	50kJ이상 70kJ미만	
	d	70이상 120kJ미만	
	e	120kJ이상	

- 예상 낙석에너지(일본도로협회, 2000)

$$E_i = (1 - \frac{\mu}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H$$

여기서, E_i = 낙석에너지(kJ), θ = 사면의 경사, μ =낙석의 등가마찰계수(0.15),

β = 회전에너지계수(0.1), m = 낙석의 중량(t), H = 낙석의 높이(m),

g = 중력가속도(9.8m/sec²), (μ , β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용)

(자) 사면의 상부 상태

[표 4.38] 사면의 상부 상태 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가
	c	10°이상 20°미만	
	d	20°이상 30°미만	
	e	30°이상	

(차) 인장균열

인장균열은 유무 확인, 진행성 여부를 근거로 평가하며, 단층이나 습곡의 존재 여부, 암종이나 풍화 지반의 분포, 엽리나 기타 불연속면의 분포, 차별풍화 여부, 균열의 규모, 위치나 깊이 방향 등의 조사 자료는 개략적인 붕괴규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용한다.

[표 4.39] 인장균열 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
인장균열 유무 및 진행성	a	없음	인장균열 없음
	b	—	
	c	—	
	d	있음(비진행성)	인장균열이 확인되나 비진행성인 상태
	e	있음(진행성)	인장균열이 확인되며 진행 중인 상태

나. 구성 재료에 따른 지표등급 점수

1) 토사사면

[표 4.40] 토사사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	3	5	8	12
② 지반변형	0	5	10	16	24
③ 지하수	0	4	8	12	18
④ 배수조건	0	2	4	7	10
⑤ 사면상부상태	0	3	6	9	14
⑥ 붕괴이력	0	5	9	14	22
결함지수 = $\Sigma(\text{①} \sim \text{⑥}) / 100$					

2) 암반사면

[표 4.41] 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = $\Sigma(\text{①} \sim \text{⑧}) / 100$					

3) 혼합사면

[표 4.42] 혼합사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

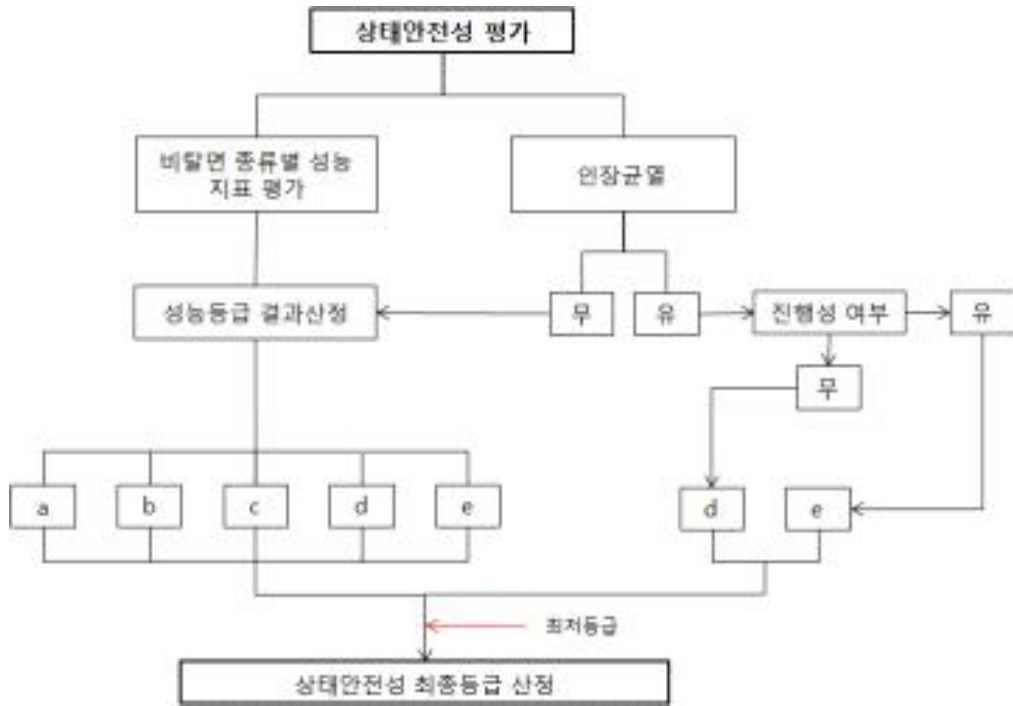
평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	2	3	5	7
② 불안정 지질	0	3	6	9	14
③ 불연속면의 특성	0	1	2~3	4~5	6~8
④ 지반변형	0	2	5	7	11
⑤ 지하수	0	3	5	8	12
⑥ 배수조건	0	2	4	7	10
⑦ 붕괴이력	0	2	5	7	11
⑧ 낙석	0	3	5	8	12
⑨ 사면상부상태	0	3	6	10	15
결합지수 = $\Sigma(①\sim⑨) / 100$					

다. 상태안전성능평가 결과 산정

1) 개요

상태안전성능 등급의 결과 산정방법은 평가된 항목별 점수를 모두 합산하여 100으로 나눈 값으로 산정한다. 집수지형 및 낙석의 경우 두 개의 평가항목 중 등급이 낮은 항목을 선정한다. 또한 불연속면의 특성(연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격)은 각 항목별 평가된 점수의 산술평균값으로 평가한다.

다만, 인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결합점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.



[그림 4.13] 인장균열 유/무에 따른 상태안전성능평가 결과 예

[표 4.43] 인장균열의 결함점수 산정

구분	평가등급	결함점수	결함지수
인장균열	a	8	0.08
	d	65	0.65
	e	88	0.88

2) 결과 산정

상태안전성능 평가는 토층심도율(SR)에 따라 다시 토사사면과 암반사면, 그리고 혼합사면으로 나누어 평가한다.

상태안전성능의 평가 결과는 인장균열 유무 및 진행성여부를 고려하여 분할 평가한 구간 중 최소 등급으로 산정된 값을 적용한다.

[표 4.44] 상태안전성능평가 결과 산정기준

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$

[표 4.45] 구간별 상태안전성능평가 결과 산정 예

사면의 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가 등급	최종 평가결과 선정	비고
320m	구간 A	100m	a	C	
	구간 B	90m	c		
	구간 C	130m	b		
	구간별 평가 후 최소 등급을 선정 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소 등급으로 선정				

[표 4.46] 상태안전성능평가 결과 산정 예

시설물명	○○사면	근거표번호		
사면종류	절토사면	구성재료	혼합	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
(1) 집수지형	사면 내	2	3	c
	사면 외	3		
(2) 불안정 지질		3	3	b
(3) 불연속면의 특성		3	3	c
(4) 지반변형		2	2	b
(5) 지하수		3	3	b
(6) 배수조건		2	2	b
(7) 붕괴이력		5	5	c
(8) 낙석	규모	8	8	d
	예상낙석에너지	3		
(9) 사면의 상부 상태		10	10	d
총점		44	39	—
결함지수		0.39		
상태안전성능 평가 결과		C		

4.4.2 구조안전성능평가 기준 및 방법

가. 구조안전성능평가 기준

사면은 자연지반이 주 구성 물질이므로 안정해석을 실시함에 있어 타 시설물에 비해 불확실성이 높은 요소들이 많이 존재한다. 따라서 구조안전성능 평가 기준은 인공구조물로 이루어진 타 시설물에 비해 높은 수준의 평가기준을 적용하는 것이 바람직하므로 국내에서 표준으로 사용되는 ‘건설기준코드(구 건설공사 비탈면 설계기준)’의 깎기비탈면 설계 시 허용안전율을 평가기준에 적용한다. 또한 기준산정에 있어 안정해석 결과가 허용안전율 보다 클 경우에는 설계기준에 적합한 상태이므로 B, C가 아닌 A로 산정하며, 허용안전율 보다 작을 경우에는 보강 및 사용제한 등의 조치가 필요한 D, E로 산정한다.

[표 4.47] 구조안정성능 평가 기준

평가기준		상 태	
등급	결함 지수	건기	우기(침투해석)/내진
a	0.08	안전율 1.5 이상	안전율 1.2(1.3) 이상/1.1 이상
b	—	—	—
c	—	—	—
d	0.65	안전율 1.0 이상, 1.5 미만	안전율 1.0 이상, 1.2(1.3) 미만/ 안전율 1.0 이상, 1.1 미만
e	0.88	안전율 1.0 미만	안전율 1.0 미만
<ul style="list-style-type: none"> · 암반사면 <ul style="list-style-type: none"> - 건기시 : 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음. - 우기시 : 인장균열이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 $HW=1/2H$로 가정하여 적용 · 토사사면 <ul style="list-style-type: none"> - 건기시 : 지하수위 미고려 - 우기시 : 1) 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) 2) 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술 (FS=1.3적용) · 두 가지 이상의 파괴유형에 대하여 안정해석을 실시하였을 경우 가장 작은 안전율 값을 구조안전성능 평가에 적용 			

나. 구조안전성능 평가결과 산정

구조안전성능 평가 시 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형 해석을 실시한다.

또한, 암반사면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사사면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어 져야 한다.

내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

[표 4.48] 안정해석 조건에 따른 기준안전율

구분		건기	우기(침투해석)	지진시
절토사면	일반	FS > 1.5	FS > 1.2(1.3)	FS > 1.1

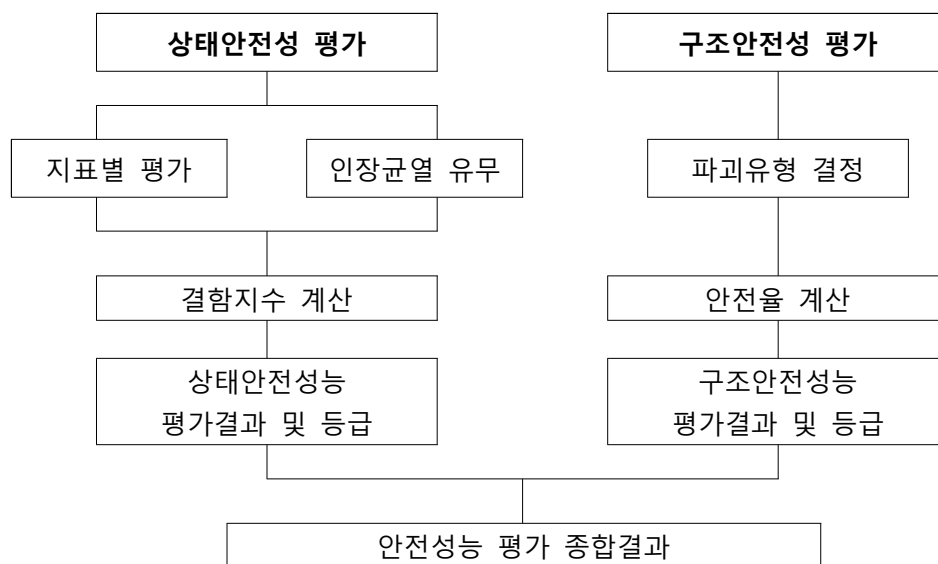
[표 4.49] 구조안전성능 평가 결과 산정 예

구조안전성능 평가결과 산정표					
시설물명		○○절토사면		근거표번호	
구성재료	파괴유형	기준안전율		평가결과	비 고
암반	평면파괴	건기시	1.52	a	완전 건조시
		우기시	1.20		HW=1/2H
	췌기파괴	건기시	－	a	췌기파괴 가능성 없음
		우기시	－		
	전도파괴	건기시	－	a	전도파괴 가능성 없음
		우기시	－		
토사	원호파괴	건기시	1.62	a	침투해석 조건
		우기시	1.36		
지진시		－		－	필요시
구조안전성능 평가결과		A			

4.4.3 안전성능 평가 결과산정 방법

가. 일반

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종 등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다. 따라서 a, d, e 3등급으로 분류하여 평가되는 구조안전성능 평가는 매우 중요하다. 상태안전성능 결과에서 c등급 이상의 결과를 얻었다 할지라도 구조안전성능 평가에서 안전율이 1.0미만으로 해석된다면 e등급으로 해당 사면은 매우 불안정한 것으로 판단되기 때문에 안정성 확보를 위한 보강공법이 시급하다.



[그림 4.14] 안전성능 평가 결과 산정 과정

나. 안전성능 평가 결과산정 예

[표 4.50] 안전성능 평가 결과 산정 예

안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명	○○사면		비고	근거표번호
평가구분	결함지수	평가결과		
상태안전성능	0.39	C	인장균열 없음	
구조안전성능	0.08	A	평면파괴	안전율=1.20 (우기시)
안전성능	0.39	C		
안전성능 결과	· 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소 등급을 선택 · 안전성능 평가 결과 : C 등급			

[표 4.51] 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (E) < 0.15$	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (E) < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq (E) < 0.75$	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (E) < 1.00$	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

4.5 내구성능 평가 기준 및 방법

4.5.1 일반

절토사면에 대한 내구성능 정의로는 ‘외부환경 및 하중에 대해 원래의 사면상태가 시간에 따라 변형되거나 변질되지 않고 안전성능을 저하시키지 않도록 유지하는 성질’과 같다. 이와 같은 정의에 따라 사면 고유의 성질 및 고유의 성질을 유지하도록 하는 지표 중에서 시간에 따라 변화하여 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대해 내구성능 평가를 수행한다. 선정된 지표에 대해 평가기준에 따라 등급산정을 하고, 각 등급산정 결과에 사면형식별 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 절토사면의 시설물에 대한 내구성능등급을 결정한다.

4.5.2 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 개요

절토사면은 형식별로 토사사면, 암반사면, 혼합사면으로 구분할 수 있으며, 형식 구분에 대한 기준은 토층심도율이 적용된다. 토사사면에 대해서는 ‘지반상태(토질)’, ‘표면보호공’ 및 ‘사면보강공’에 대해 평가하고, 암반사면에 대해서는 ‘지반상태(암반)’, ‘절리상태 및 풍화도’, ‘표면보호공’ 및 ‘사면보강공’에 대해 평가한다. 토층심도율이 0.2~0.4인 혼합사면에 대해서는 토질 및 암반 각각에 해당하는 지표에 대해 평가하고, 이 중 낮은 등급을 최종등급으로 결정한다.

각 평가지표에 대한 등급분류 기준은 다음과 같은 사항이 고려되었다. 공용중인 절토사면에 대해서 관련 평가지표가 실제로 점검이 가능한 조사방법에 의해 측정 및 평가될 수 있는지를 고려한 것이다. 예를 들어, 토사사면의 지반상태를 평가하기 위해 표준관입시험이 적용될 수 있겠으나, 공용중인 사면에 대해서 장비의 진입 및 설치가 용이하지 않다. 따라서 이러한 경우 휴대가 용이한 동적콘관입시험기를 사용하여 조사하며(제2종 성능평가 수준시 토양경도계 사용 가능), 등급분류 기준은 해당 시험법으로부터 얻을 수 있는 측정값을 고려하여 결정하였다.

나. 사면 형식별 평가지표

절토사면 내구성능 평가지표를 형식별로 구분하여 나타내면 [표 4.52]과 같다.

[표 4.52] 사면 형식별 내구성능 평가지표

구 분	평가지표
토사사면	<ul style="list-style-type: none"> • 지반상태(토질) • 표면보호공 • 사면보강공
암반사면	<ul style="list-style-type: none"> • 지반상태(암반) • 표면보호공 • 사면보강공 • 절리상태 및 풍화진행도
혼합사면	• 토사사면과 암반사면의 지표를 모두 고려

다. 내구성능 평가 성능지표 및 기준

1) 토사사면의 지반상태

표준관입시험은 대형의 장비를 사용해야 하는 관계로 공용 중의 사면에 활용하는 것은 적합하지 않다. 소형의 장비(휴대용 콘관입시험기)를 사용하는 동적콘관입시험은 표준 관입시험과 동일한 원리를 적용하고 있으며, 표준관입시험의 N치와 동적콘관입시험의 Nd치는 $N_d = 1.15N$ 의 관계를 가지고 있다. 동적콘관입시험(DCPT)은 타격횟수(Nd)를 측정하고 측정값의 범위에 따라 등급을 산정하며 토사의 종류가 점성토의 경우에는 연경도, 사질토의 경우는 상대밀도에 따라 분류할 수 있다.

붕적 자갈층으로 형성된 사면의 경우 더욱 신뢰성 있는 평가결과를 얻기 위해서는 표준관입시험의 수행에 대한 검토가 필요하며, 이에 대해서는 관리주체 및 점검책임자의 판단에 따라 시험방법을 결정한다.

[표 4.53] 토사사면의 지반상태 등급 및 기준

항목	등급	상세	비고		
지반상태 (토사)	a	매우견고/매우조밀	동적콘관입시험(DCPT) Nd치		
	b	견고/조밀	구분	점성토(연경도)	사질토(상대밀도)
			Nd치	3 미만 (매우 연약)	5 미만 (매우 느슨)
				3 이상 5 미만 (연약)	5 이상 12 미만 (느슨)
				5 이상 10 미만 (보통 견고)	12 이상 35 미만 (중간 조밀)
				10 이상 18 미만 (견고)	35 이상 58 미만 (조밀)
				18 이상 (매우 견고)	58 이상 (매우 조밀)
e	매우연약/매우느슨				

[표 4.54] 토양경도계 측정에 따른 등급

항목	지반종류	등급	분류	토양경도(mm)
지반상태 (토사)	모래	a	매우조밀	$26.0 \leq X$
		b	조밀	$23.3 \leq X < 26.0$
		c	보통	$20.4 \leq X < 23.3$
		d	느슨	$17.2 \leq X < 20.4$
		e	매우느슨	$X < 17.2$
	모래질 실트	a	매우조밀	$18.9 \leq X$
		b	조밀	$14.9 \leq X < 18.9$
		c	보통	$12.0 \leq X < 14.9$
		d	느슨	$10.2 \leq X < 12.0$
		e	매우느슨	$X < 10.2$
	실트	a	매우조밀	$11.1 \leq X$
		b	조밀	$9.7 \leq X < 11.1$
		c	보통	$7.1 \leq X < 9.7$
		d	느슨	$4.7 \leq X < 7.1$
		e	매우느슨	$X < 4.7$

2) 암반사면의 지반 상태

암석의 강도는 풍화에 따라 시간적으로 변하는 물성치로 초기 암반 상태가 한 등급 낮은 등급으로 떨어질 때의 강도 감소율을 최하등급으로 설정하고 나머지 등급은 등간격으로 한다.

[표 4.55] 암반사면의 지반상태 등급 및 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계값(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	95%이상 100%이하	94%이상 100%이하	90%이상 100%이하
	b	95%이상 97.5%미만	90%이상 95%미만	88%이상 94%미만	8%이상 90%미만
	c	92.5%이상 95%미만	85%이상 90%미만	82%이상 88%미만	70%이상 80%미만
	d	90%이상 92.5%미만	80%이상 85%미만	75%이상 82%미만	60%이상 70%미만
	e	90% 미만	80% 미만	75% 미만	60% 미만

<해 설>

- 최하등급의 설정근거는 건설공사 표준품셈에 제시된 암종별 내암강도를 참고하였음(극경암 → 경암, 경암 → 보통암, 보통암 → 연암, 연암 → 풍화암으로 될 때의 강도 감소율)
- 설계 값이 없는 경우 초기점검 시 측정값을 기준으로 평가함

[표 4.56] 압종별 압편 내압강도

압종	그룹	압편 내압강도 (kg/cm ²)
풍화암	A	300 이상 700 미만
	B	100 이상 200 미만
연암	A	700 이상 1,000 미만
	B	200 이상 500 미만
보통암	A	1,000 이상 1,300 미만
	B	500 ~ 800 미만
경암	A	1,300 이상 1,600 미만
	B	800 이상
극경암	A	1,600 이상
	B	
구분	A 그룹	B 그룹
대표적 암명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 위록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 김람암, 사교암, 유교암, 현암, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 혈암, 니암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각 판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 것, 천매상의 것
500 ~ 1000gr 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 압편으로 되어 비산되거나 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점의 암이 부서지지 않고, 분상이 되어 남고 압편의 비산 정도가 적은 것

3) 표면보호공

표면보호공은 사면의 안정성에 직접적인 영향을 주지는 않으나, 사면의 상태 보호 및 유지시키는데 영향을 준다. 식생의 경우 전체 면적 대비 피복 면적의 비, 콘크리트뿔어붙이기 및 석장공 같은 구조물공의 경우 전체 시공 면적 대비 손상 면적의 비를 기준으로 등급을 분류한다. 단, 식생과 구조물공이 혼재되어 있는 경우는 구조물공이 사면의 상태에 더 영향을 주므로 이에 대한 등급을 최종등급으로 한다.

[표 4.57] 표면보호공 평가 등급 및 기준

항목	등급	보호공 종류		비고
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿔어붙이기/석장공 (손상 면적율, %)	
표면 보호공	a	매우 양호 (90% 이상)	균열 및 박락 없음 (0 ~ 10% 미만)	식생과 구조물공(콘크 리트뿔어붙이기 /석장공)이 혼재되어 있는 경우는 구조물공의 등급을 최종등급으로 함
	b	양호 (70% 이상 ~ 90% 미만)	일부 균열 발생 (10% 이상 ~ 30% 미만)	
	c	보통 (50% 이상 ~ 70% 미만)	균열 및 일부 박락 발생 (30% 이상 ~ 50% 미만)	
	d	불량 (30% 이상 ~ 50% 미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생 (50% 이상 ~ 70% 미만)	
	e	매우 불량 (0% ~ 30% 미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생 (70% 이상)	

4) 사면보강공

사면보강공에 대한 내구성능 평가는 사면의 안정성과 직·간접적으로 영향을 주는 보강 구조물을 대상으로 수행한다. 시공시의 보강공의 상태 및 성능은 양호하다는 기본 전제조건 하에 시간에 따라 보강성능 저하에 영향을 줄 수 있는 ‘보강공 두부와 지반의 밀착도’ 및 ‘보강공 두부의 균열 및 파손’에 대해 평가한다. 각각에 대해 평가하고 낮은 등급을 최종등급으로 산정한다.

[표 4.58] 사면보강공 평가 등급 및 기준

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면 보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	—	미세한 균열 및 파손 발생
	c	일부 유격 발생	일부 균열 및 파손이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않은 상태
	d	—	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태
	e	전체적인 유격 발생	균열 및 파손이 심각한 상태

5) 암반의 절리상태 및 풍화진행도

절리상태(길이/틈새/거칠기/충전물) 및 풍화진행도는 시간에 따라 변화하여 암반사면의 안전성능 저하를 유발할 수 있는 가장 큰 요인에 해당하므로 이에 대한 내구성능 평가를 실시한다.

길이, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화진행도에 대해 각각 평가하고 평균점수에 따라 등급을 산정한다. 풍화진행도는 국제암반역학회(ISRM)이 제시한 풍화등급분류 방법 및 해머 타격 시험을 통한 암반의 풍화등급 분류법에 따라 평가를 실시한다.

[표 4.59] 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

구분	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1mm	0.1~1mm 미만	1~5mm 미만	≥ 5mm
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

4.5.3 내구성능평가 결과산정 방법

가. 개 요

내구성능평가 결과 산정방법은 각 지표별 평가 등급의 결함도指數와 가중치를 활용하여 최종 등급을 산정하며, 혼합사면의 경우 토질과 암반을 각각 평가하여 낮은 등급을 최종등급으로 결정한다.

사면 형식별 지표의 중요도에 따라 가중치가 다르며, 평가지표에 대한 평가대상 시설물이 없는 경우에는 가중치를 보정하여 평가에 반영한다. 예를 들어 토사사면에 ‘사면보강공’이 없는 경우에는 ‘지반상태’와 ‘표면보호공’ 두 개의 지표에 대해 가중치를 보정한 값을 적용하여 결함도指數를 산정한다. 지표별 가중치는 [표 4.61]와 같다.

[표 4.60] 등급별 결함도指數 및 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
0.08	0.23	0.43	0.65	0.88
$0 \leq E < 0.15$	$0.15 \leq E < 0.30$	$0.30 \leq E < 0.55$	$0.55 \leq E < 0.75$	$0.75 \leq E$

[표 4.61] 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분		지표명	지표별 가중치(%)			
			기본	가중치 보정		
토사사면		지반상태(토질)	40	53	62	100
		표면보호공	25	—	38	—
		사면보강공	35	47	—	—
암반사면		지반상태(암반)	25	28	33	38
		절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62
		표면보호공	10	—	14	—
		사면보강공	25	28	—	—
혼합사면	토질	지반상태(토질)	40	53	62	100
		표면보호공	25	—	38	—
		사면보강공	35	47	—	—
	암반	지반상태(암반)	25	28	33	38
		절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62
		표면보호공	10	—	14	—
		사면보강공	25	28	—	—

나. 결과산정절차

결과산정절차는 혼합사면의 내구성능평가 예이다. 평가대상 구간에 평가지표 대상 시설물(표면보호공, 사면보강공 등)이 없는 경우는 해당지표를 제외하고 평가하는 지표에 대한 가중치를 보정하여 산정한다.

[표 4.62] 단계별 결과산정절차

구분	내용
1단계	토사사면 지표별 평가 및 등급산정
	암반사면 지표별 평가 및 등급산정
2단계	평가항목별 가중치에 따라 구간별 내구등급 산정 토사/암반 구간별 등급점수 = $\sum(\text{지표등급점수} \times \text{가중치})$
3단계	토사사면과 암반사면의 평가등급 중 낮은 등급을 최종등급으로 결정

[표 4.63] 토사사면의 조사 방법 및 수량

평가지표	평가범위	조사/점검 방법	조사/점검 수량
지반상태 (토사)	토사구간 전체	동적콘관입시험 (정밀안전진단시)	20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 (1개소당 1~2m 간격을 두고 3회 측정)
표면보호공 (토사)	토사구간 전체	식생이 있는 구간에 대한 피복율 측정	토사구간 계획 및 시공 면적에 대한 점검시 식생 피복면적의 비
		콘크리트뿔어붙이기/ 석장공이 설치된 구간에 대한 손상 면적을 측정	콘크리트뿔어붙이기/ 석장공 시공면적에 대한 손상면적의 비
사면보강공	토사구간 전체 보강공	보강공 두부와 지반 밀착도 및 보강공 두부의 균열 및 파손 상태 육안조사	전체 보강공의 25% 이상

[표 4.64] 암반사면의 조사 방법 및 수량

평가지표	평가범위	조사/점검 방법	조사/점검 수량
지반상태 (암반)	암반구간 전체	설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도 추정값 비율 측정	20m 구간별 최소 1개소, 최소 10개소 이상
표면보호공 (암반)	암반구간 전체	토질구간의 경우와 동일	토질구간의 경우와 동일
사면보강공	암반구간 전체 보강공	토질구간의 경우와 동일	토질구간의 경우와 동일
절리상태 및 풍화진행도	암반구간 전체	절리상태: 육안조사 풍화진행도: ISRM 5단계 분류법 또는 해머타격 시험에 의한 풍화도	20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상

다. 내구성능 평가 결과산정 예

[표 4.65] 평가대상 사면 개요

사면 형식		혼합사면 (토사사면+암반사면)
공용 기간		10년
암반구간 설계(초기)강도		35MPa
길이		100m
면적	전체	3,000m ²
	토질구간	1,000m ²
	암반구간	2,000m ²
표면보호공	식생	토질구간 시공 (준공시 1,000m ² , 공용중 석장공 시공에 의해 700m ² 로 감소)
	석장공	토질구간 시공 (공용중 시공, 300m ²)
사면보강공	그라운드 앵커	암반구간 100개 시공

1) 토사구간의 지표평가

① 지반상태

[표 4.66] 지반상태(토사)

시험개소	동적콘관입시험(DCPT) Nd치	비고
A-1	27	최소
A-2	29	—
A-3	34	—
A-4	31	—
A-5	37	최대
평균값	31	최소/최대 제외
등급	C 사질토 상대밀도(중간조밀 12~35)	

② 표면보호공

[표 4.67] 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	피복면적	피복율(%)
식생	520m ² / 700m ²	74.3
등급	B 양호(70% 이상 ~ 90% 미만)	

[표 4.68] 표면보호공 손상 면적

표면보호공 종류	손상면적	손상면적율(%)
석장공	96m ² / 300m ²	32.0
등급	C 균열 및 일부 박락 발생(30% 이상 ~ 50% 미만)	

<해 설>

- 식생과 구조물공이 혼재되어 있는 경우 구조물공의 등급을 최종등급으로 함

2) 암반구간의 지표평가

① 지반상태

[표 4.69] 지반상태(암반)

시험개소	슈미트해머에 의한 추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비 강도(%)	비고
A-1	34.83	99.5	
A-2	34.79	99.4	
(A-O)	(OO)	(OOO)	
(A-O)	(OO)	(OOO)	
A-8	34.83	99.5	
A-9	34.75	99.3	최소
A-10	34.89	99.7	최대
평균값		99.5	최소 및 최대 제외
등급	A 보통암 (94 ~ 100%)		

② 사면보강공

[표 4.70] 사면보강공

앵커번호	밀착도	균열 및 파손	앵커별 등급	등급점수	비고
A-1	B	C	C	0.43	
A-2	A	B	B	0.23	
(A-O)	(O)	(O)	(O)	(OO)	최대
(A-O)	(O)	(O)	(O)	(OO)	
(A-O)	(O)	(O)	(O)	(OO)	최소
A-25	B	A	B	0.23	
평균값				0.29	최소 및 최대 제외
등급				B	

③ 절리상태 및 풍화진행도

[표 4.71] 절리상태 및 풍화진행도

시험개소	시험개소별 등급	등급점수	비고
A-1	C	0.43	
A-2	B	0.23	최소
A-3	C	0.43	
A-4	D	0.65	최대
A-5	C	0.43	
평균값		0.43	최소 및 최대 제외
등급		C	

3) 혼합사면의 내구성능 등급 산정

① 토사구간 내구성능 등급

[표 4.72] 토사구간의 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태	C	0.4	0.62	0.267
표면보호공	C	0.4	0.38	0.163
사면보강공	—	—	—	—
결함도 지수				0.43
등급				C

② 암반구간 내구성능 등급

[표 4.73] 암반구간의 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a)×(b)
지반상태	A	0.08	28	0.022
표면보호공	—	—	—	—
사면보강공	B	0.23	28	0.064
절리상태 및 풍화진행도	C	0.43	44	0.189
결합도 지수				0.275
암반구간 등급				B

③ 혼합사면의 내구성능 등급 산정

[표 4.74] 혼합사면 내구성능 평가 최종 등급 산정

구간	내구성능 등급	결합지수	근거 표번호	최종등급*
토사구간	C	0.43	[표 4.72]	C
암반구간	B	0.275	[표 4.73]	

<해 설>

- 토사 및 암반 구간 중 더 낮은 등급을 최종 등급으로 함

[표 4.75] 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (E) < 0.15$	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (E) < 0.30$	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq (E) < 0.75$	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (E) < 1.00$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능 수준

4.6 종합평가 기준 및 방법

4.6.1 종합평가 일반

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

- 안전성능평가 결과가 가장 낮은 등급일 때
 - 안전성능평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정함
- 안전성능평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우
 - 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정함

4.6.2 종합평가 결과산정방법

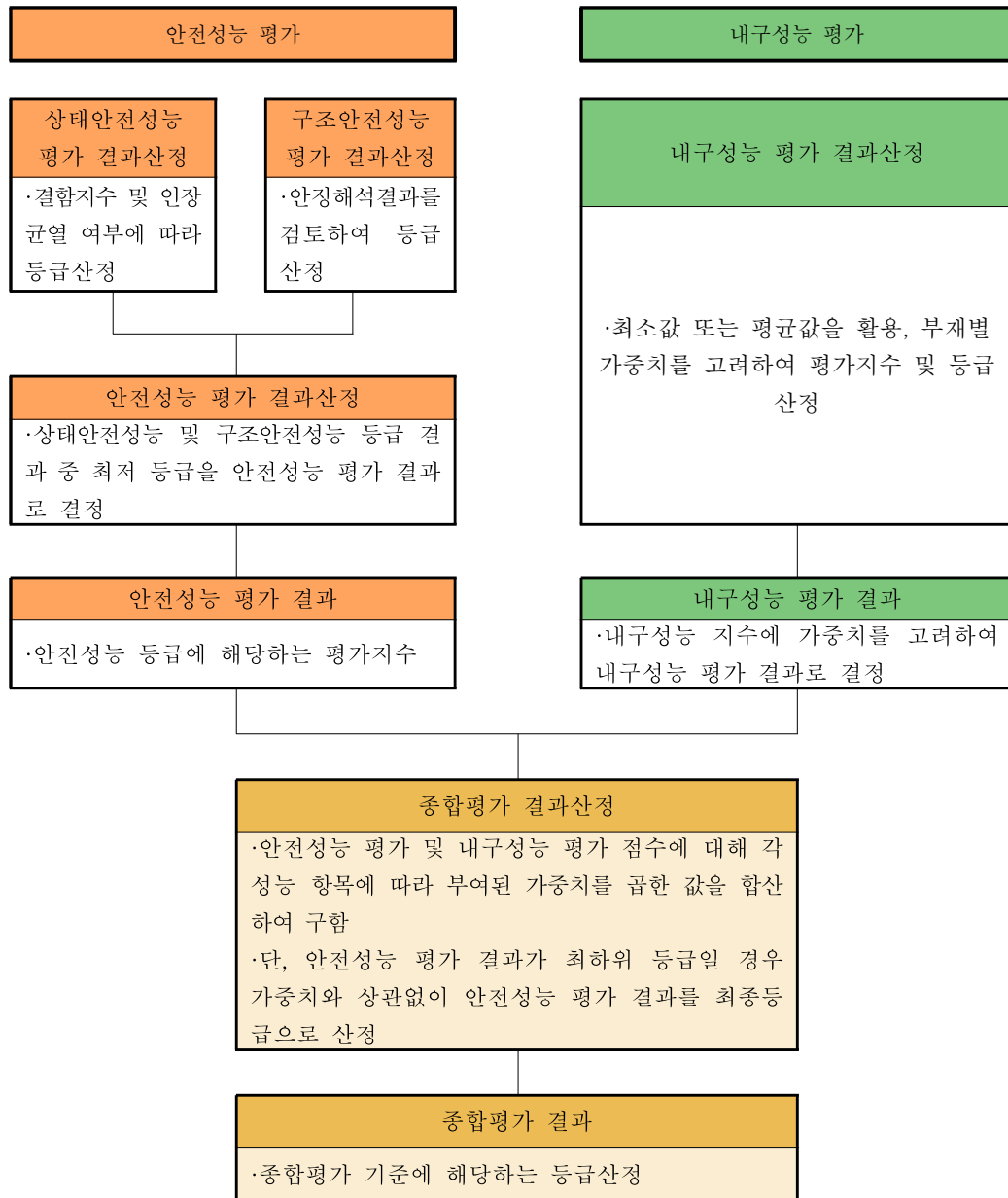
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

사면의 종합평가 지수(P) = $\sum(\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$

[표 4.76] 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치(Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2



[그림 4.15] 절토사면의 종합평가 결과 산정 절차

- 상태안전성능 : 인장균열이 없는 경우 결합지수에 따라 등급을 산정하며, 인장균열이 있는 경우에는 진행 여부에 따라 최저등급으로 산정
- 구조안전성능 : 안정해석결과 안전율에 따라 등급 산정
- 안전성능 평가 : 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최저등급으로 산정
- 내구성능 평가 : 지표별 평가등급을 산정하여 등급에 따른 결합지수에 사면형식별 지표 가중치를 곱하여 내구성능 등급 산정
- 종합평가 : 안전성능 평가 결과가 최하위 등급일 경우 가중치와 상관없이 안전성능 평가 결과를 최종등급으로 산정하며, 그렇지 않을 경우 각 성능항목의 가중치를 곱한 값으로 최종등급을 산정

[표 4.77] 절토사면의 종합평가 산정 예

시설물 종합평가 결과 산정표					
시설물명	○○○ 사면		분류	일반도로 / 혼합사면	
평가구분	성능평가 지수	평가결과	성능간 가중치(Wn)	비 고	
안전성능 평가	ps=0.39	C	0.833	근거 표번호	표 4.50
내구성능 평가	pd=0.43	C	0.167	근거 표번호	표 4.74
종합평가 결과	○ 사면의 종합평가 지수(P) $= \sum(\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$ $= 0.39 \times 0.8 + 0.43 \times 0.2 = 0.398$				
	결함지수	0.398	종합평가등급	C	

[표 4.78] 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (P) < 0.15$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (P) < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (P) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq (P) < 0.75$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (P) < 1.00$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

제5장 댐

5.1 관리일반

5.2 현장조사

5.3 재료시험 항목 및 수량

5.4 안전성능 평가 기준 및 방법

5.5 내구성능 평가 기준 및 방법

5.6 사용성능 평가 기준 및 방법

5.7 종합평가 기준 및 방법

제5장 댐

5.1 관리일반

5.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조에서 정하고 있는 댐에 적용하는 것을 기본으로 한다.

댐의 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 건설기준코드(구 댐 설계기준)
- 건설기준코드(구 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편))
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서 등)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

※ 다목적댐이 아닌 댐 및 다기능보 등에 성능평가를 적용 시에는 본 장의 성능평가 요령을 준용할 수 있다.

5.1.2 용어 정의

- 다목적댐

「댐 건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률」에 의하여 건설하는 댐으로 두 가지 이상의 목적을 갖는 댐을 말한다.

5.1.3 성능평가 실시 범위

댐의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같다.

[표 5.1] 성능평가 대상시설물의 세부범위

구분	부재명	성능평가		비고
		제1종성능평가	제2종성능평가	
댐	댐체	○	○	
	여수로	○	○	
	기초 및 양안부	○	○	
	여수로 강제수문(문비)	○	○	

<해 설>

- 댐 여수로의 수문 또는 문비는 이하 ‘강제수문’으로 표기한다.

5.1.4 중대한 결함의 정도

댐에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

1) 시설물의 기초세굴

- 상태안전성능 평가지표 중 필댐 여수로 감세공의 ‘플립버킷의 하류 또는 기초의 침식’에 대한 기준이 “d” 이하인 경우

2) 댐 본체의 균열 및 시공이음부의 시공불량 등에 의한 누수

- 상태안전성능 평가지표 중 필댐 댐마루의 ‘중·횡방향 균열’에 대한 기준이 “d” 이하인 경우
- 상태안전성능 평가지표 중 필댐의 ‘상류사면 누수’ 또는 ‘하류사면 누수’ 등에 대한 기준이 “d” 이하인 경우
- 상태안전성능 평가지표 중 콘크리트댐 하류면 ‘수축시공이음부 누수’ 등에 대한 기준이 “d” 이하인 경우

3) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 중성화(탄산화)에 따른 내력손실

- 내구성능 평가지표 중 일반적인 콘크리트 구조물에서 ‘탄산화 잔여 깊이’ 또는 ‘염화물 침투량’ 등에 대한 기준이 “e” 판정으로 상태안전성능 평가지표 중 철근 노출 상태안전성능 평가기준에서 “e”를 포함하는 경우

4) 물이 흘러 넘치는 부분의 콘크리트 파손 및 누수

- 상태안전성능 평가지표 중 필댐 여수로 조절부의 ‘월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화’에 대한 기준이 “e” 인 경우

5) 기초지반의 누수, 파이핑 및 세굴

- 상태안전성능 평가지표 중 필댐 기초 및 양안부의 ‘기초의 침식 및 침투’에 대한 기준이 “d” 이하인 경우

6) 강재수문의 작동불량

- 사용성능 평가지표 중 기계설비의 권양기 작동상태에 대한 기준이 “d” 이하인 경우

5.2 현장조사

5.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

댐의 성능평가 시 조사항목은 구조물의 세부 형식 및 조건에 따라 다를 수 있으므로 본 절에서 제시하고 있는 사항을 수정, 보완하여 사용할 수 있다.

또한 제1종 및 제2종성능평가 실시 시 기본과업과 선택과업의 내용을 적절히 혼용하여 대상 시설물에 대한 상세한 성능평가를 실시하여야 한다.

다만, 제1종 및 제2종성능평가에서 전기 및 기계설비에 대한 조사·시험에 대해서 필요 시 선택과업으로 실시할 경우에는 관리주체와 협의하여 조사·시험 수준을 결정하며, 최근의 조사결과가 있는 경우 해당 자료를 검토하여 평가에 활용할 수 있다.

가. 제2종성능평가의 조사항목

1) 필댐

필댐의 조사항목은 다음과 같으며, 여기에는 표면차수벽형 석괴댐 등이 포함된다.

[표 5.2] 필댐의 조사항목

구 분				조사항목	비고
안전 성능	상태 안전 성능	댐체 및 양안부	댐마루	◦ 중·횡방향 균열	
				◦ 침하	
				◦ 수평변위	
				◦ 제체유실	
				◦ 사면불안정	
			상류 사면	◦ 누수	
				◦ 침하 및 변형	
				◦ 차수벽 노후화	
				◦ 사면불안정 및 사면보호	
				◦ 사면침식	
			하류 사면	◦ 누수	
				◦ 사면불안정	
				◦ 사면보호상태	
				◦ 침하 및 변형	
				◦ 사면침식	
				◦ 식생	
				◦ 동물의 굴	
		기초 및 양안부		◦ 침하	
				◦ 기초의 불안정	
				◦ 기초의 침식 및 침투	
		여수로	접근 수로	◦ 콘크리트 라이닝 손상	
				◦ 불안정한 측벽 또는 라이닝	
				◦ 접근수로 상부 자연사면 불안정	
				◦ 접근수로 내 식생 및 잡물	

구 분				조사항목	비고		
			조절부	◦ 에이프런 구조물 손상			
				◦ 피어와 벽체 구조물의 손상			
				◦ 월류부 웨어 구조물의 손상			
				◦ 강재수문가이드, 스톱로그가이드 또는 강재수문 지수판에서의 공동화 현상			
			도수로	◦ 바닥슬래브 부등침하, 들뜸, 단차			
				◦ 바닥슬래브 콘크리트 균열 및 손상			
				◦ 벽체 손상			
				◦ 횡방향 이음부 손상			
			감세공	◦ 플립버켓 세굴			
				◦ 플립버켓 하류 또는 기초 침식			
				◦ 플립버켓 이음부 손상			
				◦ 정수지 바닥 및 측벽 세굴			
		일반적 콘크리트 구조물	◦ 일반 구조물 균열				
			◦ 수처리 구조물 균열				
			◦ 박락 및 층분리				
			◦ 누수				
			◦ 파손 및 손상				
			◦ 철근노출				
	◦ 박리						
	◦ 백태						
	기계 설비	강재수문 /문틀	◦ 강재수문 변형, 누수 마찰부 손상(롤러 힌지)				
	구조안전성능			◦ 침투수의 안전성(파이핑) 분석	도서검토		
				◦ 사면활동의 안전성 분석	도서검토		
				◦ 응력-변형 해석	도서검토		
				◦ 수문학적 안전성 분석	도서검토		
내구 성능	콘크리트 내구성능	댐체 및 여수로	◦ 탄산화 깊이				
			◦ 피복(표면부) 콘크리트 품질				
			◦ 동해환경	참고항목			
	강재 내구성능	공통		◦ 대기환경(해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)			
				◦ 도장열화(발청, 박리, 균열, 부품, 변색 및 백아화)			
		강재수문		◦ 도장두께			
				◦ 발청			
		권양기 와이어로프		◦ 직경감소			
				◦ 소선절단			
				◦ 계측기			
		사용 성능	운영성			◦ 강재수문 및 권양기 작동 유무(기계)	
						◦ 현장제어반 및 조작반	
◦ 구동모터 및 브레이크							
◦ 강재수문 및 권양기 작동 유무(전기)							
◦ 계측기							
유지관리성			◦ 점검시설				
수요 및 용량			◦ 수질				

<해 설>

- 필댐 중 표면차수벽형 석피댐(CFRD)인 경우 댐체 상류면에 대해 콘크리트 내구성능 조사 포함

2) 콘크리트댐

콘크리트댐의 조사항목은 다음과 같으며, 복합댐의 경우에는 필댐의 조사항목을 함께 반영한다.

[표 5.3] 콘크리트댐의 조사항목

구 분				조사항목		비고
안전 성능	상태 안전 성능	댐체 및 양안부	댐마루	◦ 균열 및 단차		
				◦ 수축이음부의 열립		
			상류면	◦ 수축이음부 열립		
				◦ 균열		
			하류면	◦ 박락		
				◦ 균열 및 단차		
				◦ 수축시공이음부 누수		
				◦ 수평시공이음부 누수		
		기초 및 양안부	◦ 균열 및 박락			
			◦ 양안부를 통한 과도한 침투			
		여수로		◦ 암반 불안정		
		일반적 콘크리트 구조물	◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일			
			◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일			
	◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일					
	기타	갤러리 (검사랑)	◦ 횡방향 갤러리(검사랑) 균열			
			◦ 상류 종방향 갤러리(검사랑) 균열			
			◦ 기초배수 탁수			
		배수구 및 그라우팅 터널	◦ 콘크리트 라이닝 균열 및 단차			
			◦ 암반 낙석			
구조안전성능				◦ 외적안정해석	도서검토	
				◦ 월류부 내하력 검토	도서검토	
				◦ 수문학적 안전성 검토	도서검토	
내구 성능	콘크리트 내구성능			◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
	강재 내구성능			◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
사용 성능	운영성			◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
	유지관리성			◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
	수요 및 용량			◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		

나. 제1종성능평가의 조사항목

1) 필댐

필댐의 조사항목은 다음과 같으며, 여기에는 표면차수벽형 석괴댐 등이 포함된다.

[표 5.4] 필댐의 조사항목

구 분				조사항목	비고
안전 성능	상태 안전 성능	댐체 및 양안부	댐마루	◦ 종·횡방향 균열	
				◦ 침하	
				◦ 수평변위	
				◦ 체체유실	
				◦ 사면불안정	
			상류 사면	◦ 누수	
				◦ 침하 및 변형	
				◦ 차수벽 노후화	
				◦ 사면불안정 및 사면보호	
				◦ 사면침식	
			하류 사면	◦ 누수	
				◦ 사면불안정	
				◦ 사면보호상태	
				◦ 침하 및 변형	
				◦ 사면침식	
			기초 및 양안부	◦ 식생	
				◦ 동물의 굴	
				◦ 침하	
				◦ 기초의 불안정	
				◦ 기초의 침식 및 침투	
		여수로	접근 수로	◦ 콘크리트 라이닝 손상	
				◦ 불안정한 측벽 또는 라이닝	
				◦ 접근수로 상부 자연사면 불안정	
				◦ 접근수로 내 식생 및 잡물	
			조절부	◦ 에이프런 구조물 손상	
				◦ 피어와 벽체 구조물의 손상	
				◦ 월류부 웨어 구조물의 손상	
				◦ 강재수문가이드, 스톱로그가이드 또는 강재수문 지수판에서의 공동화 현상	
			도수로	◦ 바닥슬래브 부등침하, 들뜸, 단차	
				◦ 바닥슬래브 콘크리트 균열 및 손상	
				◦ 벽체 손상	
				◦ 횡방향 이음부 손상	
			감세공	◦ 플립버켓 세굴	
				◦ 플립버켓 하류 또는 기초 침식	
				◦ 플립버켓 이음부 손상	
				◦ 정수지 바닥 및 측벽 세굴	
		일반적 콘크리트 구조물		◦ 일반 구조물 균열	
				◦ 수처리 구조물 균열	
				◦ 박락 및 층분리	
				◦ 누수	
				◦ 파손 및 손상	
				◦ 철근노출	

구 분				조사항목	비고
		기계 설비 ¹⁾	권양기	◦ 박리	
				◦ 백태	
			강재수문 / 문틀	◦ 마찰부손상(시브, 감속기, 커플링)	
				◦ 강재수문 변형, 누수, 마찰부 손상(롤러 힌지)	
				◦ 강재수문 부식	
	구조안전성능			◦ 침투수의 안전성(파이핑) 분석	도서검토
				◦ 사면활동의 안전성 분석	도서검토
				◦ 응력-변형 해석	도서검토
				◦ 수문학적 안전성 분석	도서검토
내구 성능	콘크리트 내구성능 ²⁾	댐체 및 여수로	◦ 탄산화 깊이		
			◦ 피복(표면부) 콘크리트 품질		
			◦ 동해환경	참고항목	
	강재 내구성능	강재수문	◦ 도장열화(발청, 박리, 균열, 부품, 변색 및 백아화)		
			◦ 도장두께		
		권양기 와이어로프	◦ 발청		
			◦ 직경감소		
			◦ 소선절단		
		공통	◦ 대기환경(해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)		
		사용 성능	운영성		
◦ 현장제어반 및 조작반					
◦ 구동모터 및 브레이크					
◦ 강재수문 및 권양기 작동 유무(전기)					
◦ 계측기					
유지관리성			◦ 점검시설		
수요 및 용량			◦ 수질		

주1) 상태안전성능에서 기계설비의 세부 조사사항은 아래와 같다.

[표 5.5] 기계설비의 세부 조사사항

구 분	세 부 사 항
가이드 롤러(Guide Roller)	균열, 부식, 고착상태, 체결상태
러버셀(Rubber Seal)	누수, 볼트체결상태
시브(Sheave)	균열, 부식, 고착상태
힌지(Hinge)	균열, 고착상태
드럼(Drum) 및 기어(Gear)	균열, 치면마모 상태
스러스트 브레이크(Thrust Brake)	밴드(Bend)마모, 드럼균열
로프 앤드 스피들(Rope End Spindle)	로프상태, 운전상태
강재수문 및 문틀	부식상태

<해 설>

- 필댐 중 표면차수벽형 석피댐(CFRD)인 경우 댐체 상류면에 대해 콘크리트 내구성능 조사 포함

2) 콘크리트댐

콘크리트댐의 조사항목은 다음과 같으며, 복합댐의 경우에는 필댐의 조사항목을 함께 반영한다.

[표 5.6] 콘크리트댐의 조사항목

구 분				조사항목	비고
안전 성능	상태 안전 성능	댐체 및 양안부	댐마루	◦ 균열 및 단차	
				◦ 수축이음부의 열립	
			상류면	◦ 수축이음부 열립	
				◦ 균열	
			하류면	◦ 박락	
				◦ 균열 및 단차	
		◦ 수축시공이음부 누수			
		◦ 수평시공이음부 누수			
		기초 및 양안부	◦ 균열 및 박락		
			◦ 양안부를 통한 과도한 침투		
		여수로	◦ 암반 불안정		
			◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
			◦ 일반적 콘크리트 구조물		
		기계설비	◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
			◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
	기타	갤러리 (검사랑)	◦ 횡방향 갤러리(검사랑) 균열		
			◦ 상류 종방향 갤러리(검사랑) 균열		
			◦ 기초배수 탁수		
		배수구 및 그라우팅 터널	◦ 콘크리트 라이닝 균열 및 단차		
	◦ 암반 낙석				
구조안전성능	◦ 구조안전 검토	도서검토 또는 필요 시 선택적으로 수행			
	◦ 내진성능 검토				
	◦ 응력-변형 검토				
	◦ 수문학적 안전성 검토				
내구 성능	콘크리트 내구성능		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
	강재 내구성능		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
사용 성능	운영성		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
	유지관리성		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
	수요 및 용량		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		

5.2.2 현장조사 요령

가. 안전성능 평가

1) 자료검토

- ① 설계 및 시공 관련 자료(설계도, 지질도, 수리 및 구조계산서 등 포함)
- ② 건설 당시 기록(공사 기록사진, 항공사진 등)
- ③ 수문·기상·지형 및 유량 자료 등
- ④ 과거 주요 재해 현황(홍수·지진 등)
- ⑤ 제반 설비
- ⑥ 기존 평가자료(안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 등)
- ⑦ 관리 및 운영자료(관리대장 및 연보 등)
- ⑧ 보수·보강 이력 자료
- ⑨ 구조 등 변경사항 및 저수지 퇴적자료 등
 - 성능평가 시에는 설계도서, 시설물관리대장, 시공관련 자료, 관리연보, 지진 등 관련 자료, 이전에 실시된 성능평가, 안전점검 및 정밀안전진단 등 자료, 보수·보강공사 자료 등을 분석하여 결함의 진행성 및 안전성 여부를 검토한다.

2) 외관조사 요령

- 시설물별 현장조사 요령을 참조하여 수행한다.

(나) 점검방법

① 필댐

- 필댐에서의 누수는 발생위치, 발생량, 혼탁상태 등의 조사를 시행하여야 하며, 누수발생 위치는 주로 댐하류사면, 댐하류측 기초부위, 양안부, 댐체와 이질재료의 접합부위 등을 중심으로 상세히 조사한다.
- 특별한 이유 없이 누수량이 갑자기 증가하는 것은 댐의 손상이 진행되고 있음을 의미하며, 특히 누수에 의해 청수에서 탁수로 변화하는 것은 파이핑 현상에 의한 토립자의 유실을 의미하므로 정밀조사를 실시한다.
- 필댐에서의 부등침하하는 균열을 동반시킬 뿐만 아니라 침하율이 큰 경우에는 댐체나 기초지반을 통하여 누수에 의한 파이핑 현상 또는 내부 침식에 의한 재료의 손실 및 댐 하부의 함몰 등이 일어날 수 있으므로 과도한 침하 또는 부등침하에 대하여 세심한 점검이 이루어져야 한다.
- 상류사면에서는 저류수에 의하여 침식 또는 함몰현상이 발생할 수 있으며, 저수지 수위의 급격한 변동 시 사면활동이 발생할 수 있으므로 저수지내에서의 파랑, 비, 바람, 소용돌이에 의한 손상상태를 면밀히 조사한다.
- 하류사면에서는 저수위의 변화와 일기를 고려한 누수량의 변화상태와 온도변화 그리고 습지 유무 등을 조사한다.

② 콘크리트댐

- 콘크리트댐의 균열, 침하 및 노후화상태에 대하여 세심한 점검을 하며 과도한

응력에 대한 댐체의 변형과 기초지반의 침하현상 발생여부에 대하여 점검하여야 한다.

- 균열은 누수의 경로가 되어 댐 결함의 중요한 요인으로 작용할 수 있으므로 균열위치, 방향, 깊이, 길이를 면밀히 점검하여야 하며, 특히 콘크리트댐에서의 이음새 손상 및 누수상태에 대하여 점검한다.

③ 공통

- 양안부의 사면안정 검토를 위하여 지형 및 지질 상태, 식생상태, 인장균열 여부 등을 조사한다.
- 댐마루에서의 변위발생, 균열발생 및 가드레일의 변형을 조사하며, 댐 표면에 위치한 매설계기 및 기타 시설물의 손상상태를 조사한다.
- 계측자료의 검토결과 댐 안전에 영향을 미칠 만큼 큰 변화가 있을 경우 기타 점검결과와의 상관성을 면밀히 검토한다.
- 댐체에서의 식생상태와 유해동물의 서식에 의한 손상상태에 대하여 조사한다.
- 기존의 사람에 의한 근접조사 대신에 영상처리기법을 이용한 외관조사 방법을 적용할 수 있다. 이 방법은 조사목적을 달성할 수 있는 해상도로 촬영된 디지털 영상을 획득하고, 수집된 영상자료는 영상처리기법을 이용하여 결함 및 손상에 대한 평가 자료로 활용할 수 있다.

④ 여수로

- 여수로의 댐의 중요한 부속구조물로서 여수로의 손상은 댐체에 직접 또는 간접적인 불안전요인으로 작용하는 경우가 많으므로 균열, 변형, 침하, 침식 등에 대하여 면밀한 조사를 시행하고 기능상 저해요소에 대하여도 조사한다.
- 여수로의 균열은 대부분 콘크리트 균열로 콘크리트 타설불량, 뒤탈채움재 초과응력, 기초지반의 부등침하, 알칼리골재반응, 풍화작용, 박리 등에 기인되므로 점검 시 세심한 조사가 이루어져야 한다.
- 여수로 구조물에서의 누수는 여수로와 기초지반과의 접촉면, 여수로와 댐체와의 접촉면을 소홀히 취급하여 발생하는 경우가 많으므로 정밀한 조사가 필요하다.
- 여수로의 변형은 물의 흐름을 방해하므로 여러가지 형태의 손상이 초래되고, 표면에 직접 작용하는 물의 흐름에 의해 침식이 발생되며, 알칼리골재반응에 의한 부식 등에 의하여 콘크리트 표면에서의 침식이 가속화되므로 상세한 점검을 한다.
- 여수로 강재수문 개방 시 발생하는 교각부위의 와류발생 상태를 확인한다. 이때 비정상적이고 다량의 공기를 연행하는 와류는 콘크리트 세굴의 주요원인이 되므로 세심한 조사를 한다.
- 여수로 바닥 콘크리트 변위, 균열, 심한 마모나 세굴 및 토사의 퇴적에 관하여 점검한다.
- 콘크리트 이음부는 구조적으로 취약하고 시공과정에서 결함 발생가능성이 크고 동시에 균열 내에서의 수분 결빙은 구조물의 손상에 큰 영향을 미치므로

세심한 조사를 한다.

- 접근수로의 식생상태, 바닥콘크리트상태, 사면활동, 수로장애물 등을 점검한다.
- 공동현상으로 인한 여수로 도류부의 파손을 막기위한 공기흡입장치의 손상상태를 점검한다.
- 감세공의 사류와 와류에 의한 감세지 바닥과 주변의 손상상태, 침식 및 호안상태를 점검한다.

⑤ 강재수문 및 권양기

- 댐의 안전에 직접적으로 관련된 설비(댐체의 강재수문 및 권양기)에 대하여 조사한다.

3) 현황조사

- 최근의 조사자료가 있는 경우 이를 최대한 활용하는 것을 기본으로 한다.
- 필요 시 관리주체와 협의하여 성능평가 수준 및 과업범위에 따라 조사내용, 지점, 방법 등을 신중히 고려하여 각 분야별 전문성이 있는 기관 또는 전문가가 선택적으로 조사를 실시할 수 있다.

(가) 선택적 조사항목

- ① 변위측량
- ② 저수지 내 퇴사량 조사
- ③ 시추 및 토질 조사
- ④ 수리·수문 조사 및 물리탐사 등

(나) 조사방법

① 변위측량

- 침하 및 변위를 측정하기 위하여 댐체의 외형을 측량하며, 이 경우 기존의 측량 성과물과 비교·검토를 한다.
- 댐체에 대한 측량은 댐마루의 상·하류측, 상류사면 그리고 하류사면에 기설되어 있는 침하판을 이용하게 되며, 인근 고정지점에 설치되어 있는 기준점으로부터 측량하여 상대적인 침하 및 변위상태를 파악한다.
- 필요 시 양안부를 포함한 주변 지형측량을 수행하여 안부활동 등에 의한 댐체에 미치는 영향을 검토한다.
- 주변 지형측량의 범위는 댐의 안전에 미칠 수 있는 영향범위로 현장답사 시 사전에 판단한다.

② 저수지 내 퇴사량 조사

- 댐 준공 후부터 조사 시점까지의 퇴사량 조사 결과를 검토하여 향후의 퇴사특성을 예측, 판단기준으로 활용할 수 있다.
- 또한, 퇴사량이 많은 경우 퇴사가 댐체에 외부하중으로 작용할 수 있으므로 이 경우에는 퇴사를 댐의 안정해석 시 하중조건으로 고려하여야 한다.

③ 시추 및 토질 조사

- 현장 시추조사는 주로 구조물 및 기초지반의 주상도를 구하고, 시료를 채취하

기 위한 것이며, 이외에도 시추조사를 이용하여 각종 검사를 수행하고 향후 필요한 계측기기를 매설하기 위한 계측기 매설공으로도 사용할 수 있다.

- 현장 시추조사는 댐체에 최대한 손상을 주지 않도록 수행하되 위의 여러가지 활용목적을 감안하여 위치, 개소, 방법 등을 충분히 검토하여 계획을 수립, 수행한다.
- 현장 시추조사를 필요로 할 경우에는 전문기술자의 판단에 의하여 조사 위치를 결정한다.
- 댐 축조재료의 적정성과 댐의 현 상태를 조사하고 수치해석에서 필요한 각종 상수를 구하기 위하여 필요한 토질시험 등을 수행한다.

④ 수리·수문 조사

- 유역, 하천특성은 유역의 강우-유출간의 관계규명과 홍수량을 추정하는데 필요한 기초자료이며, 유역과 하천의 특성을 파악하기 위한 제반 인자를 분석한다.
- 댐 준공 후 관측된 기상과 수문자료 및 토지이용 변화를 분석함으로써 유출형태, 홍수량상, 설계에 사용된 확률홍수량 등에 대하여 검토한다.
- 최근까지의 강우자료가 포함된 수문자료를 이용하여 확률홍수량 및 가능최대홍수량을 산정한 후 댐 설계당시의 설계홍수량과 비교·평가한다.
- 저수지의 수위가 저수지 운영규정에 제시된 수위(상시만수위, 제한수위 등)에 적합하게 유지되는지 검토한다.

4) 현장조사 요령

(가) 점검항목

- ① 콘크리트 비파괴강도
- ② 부재단면의 규격
- ③ 철근배근상태
- ④ 철근 부식도 시험
- ⑤ 강재 접합부 검사(용접접합 등)
- ⑥ 강재 부식 등(강재부식, 접합부 부식 등)
- ⑦ 변위·변형
- ⑧ 실내시험(콘크리트 코어 강도, 비중, 강재의 강도 등)
- ⑨ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 점검방법

- ① 콘크리트 비파괴강도
 - 콘크리트 비파괴강도는 반발경도시험 및 초음파전달속도시험 등을 수행하여 추정하며, 다른 비파괴시험을 사용하는 경우에는 책임기술자의 판단에 따른다.
- ② 부재단면의 규격
 - 외관조사 및 간단한 측정도구를 이용한다.
- ③ 철근배근상태

- 비파괴시험(전자기유도방식, 전자파레이방식)을 위주로 한다. 시험할 내용은 철근량, 피복두께, 철근의 규격, 배근상태 등이다. 단, 균열 및 변형(처짐) 등의 결함·손상이 발생된 부재와 부재의 내력검토가 필요한 부재에 대하여 실시한다.
- ④ 철근 부식도 시험
 - 외관조사에 의한 비파괴검사(잔연전위법 등)로 한다. 단, 균열 및 재료분리 등의 결함·손상이 발생된 부위와 건전부위를 각각 검사하여 비교한다.
- ⑤ 강재 접합부 검사(용접접합 등)
 - 강재용접부에서는 외관조사와 비파괴검사(자분탐상법, 염료침투시험법 등)를 위주로 하고, 볼트접합부에서는 외관조사와 토크검사(TS볼트-너트를 사용한 경우에는 제외)를 위주로 한다.
- ⑥ 강재 부식 등(강재부식, 접합부 부식 등)
 - 외관조사 및 간단한 계측기구를 이용한다.
- ⑦ 변위·변형
 - 외관조사 및 트랜시트 또는 이와 유사한 측정기구를 이용한다.
- ⑧ 실내시험(콘크리트 코어 강도, 비중, 강재의 강도 등)
 - 콘크리트 코어 강도, 비중, 강재의 강도 등에 관한 KS규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

나. 내구성능 평가

1) 자료조사

(가) 자료조사 항목

- ① 대기환경
 - 해안 이격 거리
 - 이산화황 농도(ppm)
 - 습도
- ② 열화환경
 - 염해환경
 - 동해환경
- ③ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 방법

- ① 해안 이격 거리
 - 대상 댐의 위치(주소)를 확인하고 지도에서 주변에 영향을 줄 수 있는 해안이 있는지 확인 후 댐에서 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정한다.
 - 인터넷 포털사이트를 이용하여 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정한다.
 - 필요 시 책임기술자의 판단에 따라 도장열화에 영향을 줄 수 있는 해안에 대한 현장을 조사한다.
- ② 이산화황 농도(ppm)

- 이산화황 농도의 지역별 분류는 에어코리아 환경부 대기환경정보에서 제공하는 지역별 10년 동안 평균농도자료를 기준으로 한다.
- 필요시 책임기술자 판단에 따라 분류한 지역에 노출시험지를 설치하여 이를 주기적으로 측정하고, 실내시험과 현장조사와의 상관성을 고려하여 아황산가스와 부식과의 관계를 도출할 수 있다.

③ 습도

- 기상청에서 제공하는 ‘기상연보’를 통한 해당지역의 10년 동안 평균 젖음 시간(τ , 0℃ 이상의 온도에서 상대 습도가 80% 이상인 경우) 관측일을 산정하여 결빙, 적설자료를 사용한다.

④ 염해환경

- 대상 댐의 위치(주소)를 확인하고 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 한다.
- 댐 시설물은 염해환경이 조성되기 어려운 조건이나, 제설제나 비래염분 등에 의한 염해환경이 조성되는 것으로 판단되는 경우 염해환경에 대한 평가를 실시할 수 있다.

⑤ 동해환경

- 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)의 기상관측 자료를 통하여 지난 10년간 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
 - 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
 - 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 같은 시라고 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.
 - 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수
 - 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수
- 여기서, X 는 동결융해 반복지수를 의미하며, 수분접촉 여부에 따라 구분·산정

2) 외관조사 요령

(가) 점검항목

- ① 강재의 도장열화(발청, 박리, 균열, 부품, 변색·백아화)
- ② 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 점검방법

- 강재수문에 대한 강재 도장열화 조사 시 강재수문에 대한 전수조사를 실시하여 열화도를 낮음, 보통, 높음의 3가지 수준으로 구분하고 각 수준별로 1개소 이상씩을 조사 대상 강재수문으로 선정한다.
- 조사 대상 선정 시 전체 강재수문 중 25%, 3개 강재수문 이상의 조건을 만족하여야 하며, 조사 대상 외의 경우는 유사 강재수문으로 지정한다. 이 때 조사

대상 개수가 선정기준 미만인 경우에는 관리주체와 협의하여 선정한다.

- 외관조사에서 이상이 발견된 사항에 대해서는 사진 촬영하여 보고서의 설명 자료로 이용할 수 있도록 보존한다.
- 사진자료는 매 성능평가 시에 가능한 한 같은 위치에서 얻는 것을 원칙으로 한다.
- 외관조사의 결과는 각 열화요인별로 표준서식에 기록한다.
- 도장을 하지 않는 권양기 와이어로프는 열화항목 중 발청에 대해 조사하며, 조사 대상인 강재수문의 와이어로프를 중심으로 조사한다.

2) 현장조사 요령

(가) 점검항목

- ① 강재 도장 두께
- ② 권양기 와이어로프 직경감소 및 소선절단
- ③ 피복(표면부) 콘크리트 품질
- ④ 콘크리트 탄산화 깊이
- ⑤ 콘크리트 염화물 침투량

- 댐 시설물은 기본적으로 염해를 입지 않는 환경조건에 놓여있다고 가정하나, 열화환경 및 책임기술자 판단에 따라 관리주체와 협의하여 필요 시 염화물 침투량에 대한 평가를 선택적으로 실시할 수 있다.

(나) 점검방법

① 강재 도장 두께

- 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기에 의해 측정한다.

② 권양기 와이어로프 직경감소 및 소선절단

- 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게, 그리스를 제거한 후 대상 와이어로프 당 버니어 캘리퍼스로 3개소 이상을 측정하되, 1개소 당 일정간격을 두고 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단한다.
- 직경 측정은 준공 당시 와이어로프의 부하상태와 동일한 상태에서 측정하며, 기준이 되는 직경값 또한 준공당시와 같은 부하상태에서의 직경을 기준으로 한다.
- 와이어로프의 구조는 일반적으로 스트랜드 수 × 스트랜드를 구성하는 소선의 수로 표시되며, 와이어로프의 소선 절단율은 와이어로프의 한 꼬임(스트랜드)에서 끊어진 소선의 수를 육안으로 세어 산정한다.

③ 피복(표면부) 콘크리트 품질

- 피복(표면부) 콘크리트 품질은 반발경도값을 원칙으로 사용하며, 설계강도값과 비교하는 경우와 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우로 구분하여 실시한다.
- 설계강도값과 비교하는 경우는 강도 추정값과 설계값을 비교하여 피복(표면

부) 콘크리트의 내구성능을 평가한다.

- 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우는 강도를 추정할 필요가 없으며, 반발경도값을 직접 비교하여 판정한다.

④ 콘크리트 탄산화 깊이

- 부재를 천공할 때의 콘크리트 분말가루나, 코어시료에 대하여 페놀프탈레인 (1%)용액에 의한 변색반응검사 등으로 한다. 단, 검사부위는 부재가 위치한 환경과 설계·시공 상태를 고려하여 건전한 곳을 선택한다.

⑤ 콘크리트 염화물 침투량(콘크리트 염화물 함유량)

- 콘크리트 내의 염화물 침투량(염화물 함유량)에 관한 KS 규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

다. 사용성능 평가

1) 자료조사

(가) 자료조사 항목

- ① 계측기 작동률
- ② 수질
- ③ 강재수문 및 권양기 작동유무
- ④ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 방법

① 계측기 작동률

- 댐 운영 실무편람 등에 명시된 계측기의 설치 개수 대비 정상적으로 작동되지 않는 계측기의 개수를 조사한다.
- 필댐의 경우 누수량계, 변위계, 간극수압계, 콘크리트댐의 경우 누수량계, 변위계, 양압력계를 조사 대상으로 한다.
- 필요 시 계측기의 정상 작동여부를 현장조사를 통해 판단할 수 있다.

② 수질

- 한국수자원공사의 물정보관에서 제공하는 수질등급기준 정보를 활용한다.
- 수소이온농도(pH), 화학적 산소요구량(COD, mg/l), 부유물질량(SS, mg/l), 산소요구량(BOD, mg/l), 대장균 수(균수/100ml)의 항목에 대해 조사한다.

③ 강재수문 및 권양기 작동 유무

- 권양기와 관련된 시설물의 개보수 이력을 조사한다.
- 필요 시 현장조사를 통해 조사할 수 있다.

④ 현장제어반 및 조작반

- 현장제어반 및 조작반이 신규로 설치되었는지 여부를 조사한다.
- 필요 시 현장조사를 통해 조사할 수 있다.

⑤ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

2) 현장조사

(가) 현장조사 항목

- ① 강제수문 및 권양기 작동 유무(기계)
- ② 현장제어반 및 조작반
- ③ 구동모터 및 브레이크
- ④ 강제수문 및 권양기 작동 유무(전기)
- ⑤ 계측기 작동률
- ⑥ 점검시설

(나) 현장조사 방법

- ① 강제수문 및 권양기 작동 유무(기계)
 - 관리주체와의 협의에 따라 필요 시 실제 강제수문 및 권양기 작동 유무를 조사할 수 있다.
 - 강제수문별로 상승·정지·재상승과 하강·정지·재하강으로 구분하여 실행하고, 권양기의 작동상태 및 이음발생 등을 확인한다.
 - 진동소음의 경우 권양기의 작동시험을 시행하는 중에 모터부 하측 감속기부 하측에 대하여 수직(또는 수평)방향에 대하여 각각 1회 이상 진동값을 측정하고 분석하며, 진동측정중이나 그 후에 모터측 커플링측 감속기측에 대하여 1m 거리에서의 소음을 각 1회 이상 측정하고 분석하여 평가한다.
- ② 현장제어반 및 조작반
 - 육안조사를 통해 변형·파손 등의 유무를 조사하고 필요 시 조작·작동 가능 여부를 조사한다.
 - 필요 시 절연·접지 상태 등을 포함하여 전지적 제어 가능 여부를 조사한다.
- ③ 구동모터 및 브레이크
 - 육안조사를 통해 전반적인 상태를 평가한다.
 - 필요 시 구동모터의 공급전압, 운전전류, 온도상승여부 등을 측정·조사하여 운전상태의 이상 유무를 파악하고, 공급전압 및 운전전류는 클램프미터, 전력분석기등을 활용하여 구동모터의 정·역(권상·권하)상태에서 전압 및 전류를 1회 이상 측정하여 이때 측정값이 정격전압·전류를 초과하는지 등을 확인한다.
- ④ 강제수문 및 권양기 작동 유무(전기)
 - 현장제어반, 모터·브레이크, 개도계, 리미트 S/W를 점검한다.
- ⑤ 계측기 작동률
 - 자료조사를 통해 확보된 자료를 바탕으로 필요 시 휴대용 측정기를 이용한 수동 측정, Digital Multimeter를 이용한 개별 센서의 저항값 측정, 컴퓨터를 이용한 자동 계측 등을 통해 안정적인 측정값 출력여부 및 기존 측정값 범위와의 비교 등을 실시한다.
- ⑥ 점검시설
 - 시설물 조사에 필요한 접근로 및 점검로의 유무와 상태를 조사한다.

5.3 재료시험 항목 및 수량

5.3.1 제2종성능평가

가. 재료시험 항목

[표 5.7] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능
기본 과업	콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 반발경도시험¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> 피복(표면부) 콘크리트 품질 <ul style="list-style-type: none"> 반발경도시험¹⁾
			<ul style="list-style-type: none"> 탄산화깊이
선택 과업	콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 국부파괴법 : 코어강도 비파괴시험 : 초음파전달속도시험 철근탐사시험 <ul style="list-style-type: none"> 철근 배근상태 철근 피복두께 	<ul style="list-style-type: none"> 염화물 침투량
	강재	—	<ul style="list-style-type: none"> 도장두께²⁾
	기전설비	—	<ul style="list-style-type: none"> 강재수문조사시험

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있다.
피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건진부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건진부는 최소 1개소 이상 포함되어야 한다.

주2) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

나. 재료시험 기준수량

[표 5.8] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	필댐	콘크리트댐
반발경도시험 ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> 개별시설별 3회 이상 여수로 : 개별시설별 3회 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 월류부 : 블록별 1회 이상 비월류부 : 2~3블록별 1회 이상
탄산화 깊이 측정	<ul style="list-style-type: none"> 개별시설별 1회 이상 여수로 : 개별시설별 1회 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 월류부 : 블록별 1회 이상

주1) 측정치는 콘크리트 강도 및 피복 (표면부) 콘크리트 품질 평가 시 활용할 수 있다.

[표 5.9] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	필댐/콘크리트댐	비 고
코어채취 ¹⁾	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
초음파전달속도시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
철근탐사시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
염화물 ²⁾ 침투량 시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
도장두께 ³⁾	◦강재수문 당 3개소, 1개소 당 3회 이상	
강재수문조사시험	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	

- 주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하며, 이전에 수행한 안전점검이나 정밀안전진단 혹은 성능평가에서 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 평가기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.
- 주2) 댐 시설물은 기본적으로 염해를 입지 않는 환경조건에 놓여있다고 가정하나, 열화환경에 따라 또는 책임기술자 판단에 따라 염화물 침투량에 대한 평가를 실시할 수 있다.
- 주3) 도장두께 측정 강재수문은 책임기술자가 선정하며, 전체 강재수문 중 25%, 3개 강재수문 이상의 조건을 만족하되 강재수문 개수가 선정기준 미만인 경우에는 관리주체와 협의하여 선정한다.

5.3.2 제1종성능평가

가. 재료시험 항목

[표 5.10] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능	사용성능
기본 과업	콘크리트	◦콘크리트강도 - 비파괴시험 : 반발경도 ¹⁾ , 초음파속도 ◦철근탐사시험 ²⁾ - 철근 배근상태, 철근 피복두께 ◦철근부식도 조사 ◦균열깊이 조사	◦피복(표면부) 콘크리트 품질 - 반발경도 ¹⁾ ◦탄산화깊이	-
	강재(수문)	-	◦도장두께 ³⁾	
	기계설비	-	-	
	전기설비	-	-	
선택 과업	콘크리트	◦콘크리트강도 - 국부파괴법 : 코어강도 ◦콘크리트 물성 및 미세구조	◦염화물 침투량	
	수문(강재)	◦초음파 두께 측정 ◦용접부 결함탐사 - 자분탐상시험 - 초음파탐상	-	
	기계설비	-	◦강재수문 기계조사시험 - 와이어로프 직경측정(정지 시)	◦강재수문 기계조사시험 - 치면 경도측정 - 소음·진동 측정 - 주요마찰부 작동확인 (베어링, 기어, 롤러)
	전기설비	-	-	◦강재수문 전기조사시험 - 공급전압 및 운전전류측정 - 절연·접지저항측정 - 주요부재의 작동확인 (현장제어반, 구동모터 등)

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있다.
 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 한다.

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 한다.

주3) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

나. 재료시험 기준수량

[표 5.11] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	필댐	콘크리트댐	비 고
반발경도시험 ¹⁾	◦개별시설별 3회 이상 ◦여수로: 개별시설별 6회 이상	◦월류부: 블록별 1회이상 ◦비월류부: 2~3블록별 1회 이상	• 동일부위 시험
초음파 전달속도시험			
철근탐사시험 ²⁾	◦개별시설별 3회 이상 ◦여수로 : 개별시설별 6회 이상	◦월류부 : 블록별 1회 이상	
탄산화 깊이 측정	◦개별시설별 3회 이상 ◦여수로: 개별시설별 3회 이상	◦월류부: 블록별 1회 이상	
철근부식도시험 ³⁾	◦복합시설별 1회 이상		시험 실시의 근거 명기
균열깊이조사	◦세부시설별 상태안전성능 평가 및 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 조사 및 수량 결정		상태안전성능 평가기준 참조
도장두께 ⁴⁾	◦강재수문 당 5개소, 1개소 당 3회 이상		
강재수문 작동유무 ⁵⁾	◦조사 기간 중 최소 1회 이상		

주1) 측정치는 콘크리트 강도 및 피복 (표면부) 콘크리트 품질 평가 시 활용할 수 있다.

주2) 콘크리트댐의 경우 무근콘크리트 부위를 제외한 철근콘크리트인 월류부의 복합부재별로 평가가 가능하도록 실시하여야 한다. 철근탐사시험은 기존 진단이나 성능평가에서 조사 결과 및 분석 자료가 있는 경우 분석항목에서 제외할 수 있다.

주3) 철근부식이 의심스러운 경우, 책임기술자의 판단에 따라 조사수량 추가

주4) 도장두께 측정 강재수문은 책임기술자가 선정하며, 전체 강재수문 중 25%, 3개 강재수문 이상의 조건을 만족하되 강재수문 개수가 선정기준 미만인 경우에는 관리주체와 협의하여 선정한다.

주5) 관리주체의 작동 협조를 받아 실시하는 강재수문 작동 가능 여부에 대한 육안관찰을 말하며, 상승, 상승 중 정지, 재 상승, 하강, 하강 중 정지, 재 하강으로 구분하여 작동상태를 확인. 관리주체와 책임기술자의 협의 결과에 따라 실시여부를 결정한다.

[표 5.12] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	필담	콘크리트담	비 고
코어채취 ¹⁾	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		실내시험 선택과업
염화물 ²⁾ 침투량 시험	◦개별시설별 3회 이상 ◦여수로 : 개별시설별 3회 이상	◦월류부 : 블록별 1회 이상	
초음파두께측정	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		스킨플레이트를 최소 3개소 이상 측정 (개소당 4회 측정)
강재용접부 결함 탐사	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		자분탐상 또는 초음파 탐상 등
와이어로프 직경 측정 ³⁾	◦도장열화 조사 대상 강재수문에 설치된 와이어로프 - 대상 와이어로프 당 3개소 이상 측정 - 1개소 당 일정 간격을 두고 3회 측정		
공급전압 및 운전전류측정 ⁴⁾	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		
접지저항측정 ⁵⁾	◦각 설비의 대수별 1회 이상 측정		
절연저항측정 ⁶⁾	◦선로별로 1회 이상 측정 ◦각 설비의 대수별 1회 이상 측정		

주1) 관리주체와 협의하여 코어를 채취했을 경우, 실내시험인 압축강도, 비중, 흡수율 등의 항목은 필수적으로 실시한다. 단, 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

주2) 담 시설물은 기본적으로 염해를 입지 않는 환경조건에 놓여있다고 가정하나, 열화환경에 따라 또는 책임기술자 판단에 따라 염화물 침투량에 대한 평가를 실시할 수 있다.

주3) 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 버어니어 캘리퍼스로 0.1 m 간격씩 3방향에서 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단한다.

주4) 구동모터의 현장제어반 및 조작반에 부착된 전압·전류계 또는 클램프미터, 전력분석기 등을 이용하여 구동모터의 정·역운전 상태에서 각상의 전압·전류를 각각 1회 이상 측정하여야 하며, 이때 측정된 값이 정격전압의 허용범위 이내를 유지하는지, 운전전류가 명판상에 기재된 정격전류를 초과하는지 등을 확인한다.

주5) 온도·습도 및 토양의 상황 등에 의하여 변화하므로 접지 저항계 등을 사용하여 접지시스템별로 분류하여 측정한다.

주6) 날씨, 기온, 습도, 오염의 정도 등에 따라 좌우되기 때문에 사용의 상황, 기상조건 등을 염두에 두고 그 적부를 판정한다.

- 500V의 절연 저항계를 사용하여 간선용 혹은 분기용으로 시설하는 개폐기 또는 차단기 등으로 구분 지을 수 있는 선로별로 1회 이상 측정

- 전동기의 경우 전로와 대지간 뿐만 아니라, 코일-권선 간의 절연상태를 설비의 대수별로 1회 이상 측정

5.4 안전성능 평가 기준 및 방법

5.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가 기준 및 방법

1) 일반

댐은 구조형식 및 축조재료, 세부부재 구분에 따라 상태안전성능 평가기준을 제시하였다. 상태안전성능 평가 결과 산정은 상태변화가 전체 구조물에 미치는 안전성능의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 결함 및 손상을 평가유형별로 구분, 영향계수를 적용하고 단계별로 평가점수를 산정하여 실시한다.

2) 영향계수

영향계수는 안전성능에 직접적인 영향을 미치는 중요결함의 상태에 대한 평가를 기준으로 하되 국부결함, 일반손상의 평가 결과를 상향조정하기 위한 계수이다. 책임기술자는 이를 기준으로 하여 판단에 따라 다소 조정할 수 있다.

① 중요결함

- 침하, 경사/전도 및 활동 등과 같이 전체 구조물의 구조적인 안전에 직접 영향을 미치는 결함

② 국부결함

- 수평이음부 불량 등과 같이 구조물의 안전성능에 직접적인 영향을 미치지 않지만 손상이 진전될 경우 전체 구조물의 안전에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 결함

③ 일반손상

- 파손, 마모, 콘크리트 재료분리 등과 같이 구조물의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상

2) 평가범위

댐은 구조형식별로 필댐, 콘크리트댐으로 나누어 평가하며, 각각 댐체, 양안부, 여수로, 일반적인 콘크리트 구조물 등으로 나누어 a~e등급까지의 범위를 적용한다. 상세한 평가 시설 및 부재는 5.2.1절에 제시한 바와 같다.

나. 시설 및 부재별 상태안전성능 평가기준

1) 필댐

(가) 댐마루

[표 5.13] 필댐 댐마루 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
중·횡방향 균열	중요 결함	1.0	a	5	○ 중·횡방향 균열이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 중·횡방향 균열길이 0~1m, 댐마루의 10% 이하인 상태
			c	3	○ 중·횡방향 균열길이 1~5m, 댐마루의 10~50% 상태
			d	2	○ 중·횡방향 균열길이 5m이상, 댐마루의 50% 이상 ○ 난간이 기울어진 상태
			e	1	○ 중·횡방향 균열길이 5m이상, 댐마루의 50% 이상 ○ 종방향 균열깊이가 저수위 이하이고, 횡방향 균열이 깊고 저수위 이하까지 진행되었을 경우
침하	중요 결함	1.0	a	5	○ 결함이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 침하 및 부등침하량이 0.1 m 이하로 경미한 상태
			c	3	○ 과도한 침하 및 부등침하량이 0.1~0.5 m인 상태
			d	2	○ 과도한 침하 및 부등침하량이 0.5 m 이상 ○ 댐마루 도로의 경사와 사면이 함몰된 상태
			e	1	○ 과도한 침하 및 부등침하량이 0.5 m 이상 ○ 상시만수위 0.6m까지 진행된 매우 위험한 상태
수평변위	중요 결함	1.0	a	5	○ 결함이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 과도한 수평변위가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 과도한 수평변위의 징후가 존재하나 경미한 상태 (용기 0~0.5 m, 측방이동 0~0.3 m 변위 발생시)
			d	2	○ 과도한 수평변위로 댐마루 도로의 변형이 심각한 상태 (용기 0.5 m 이상, 측방이동 0.3 m 이상 변위 발생시)
			e	1	○ 과도한 수평변위로 댐마루 도로의 변형이 매우 위험한 상태 (용기 0.5 m 이상, 측방이동 0.3 m 이상 변위 발생시)
제체유실	중요 결함	1.0	a	5	○ 결함이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 댐마루 제체의 유실면적이 5m ² 이하인 상태
			c	3	○ 댐마루 제체의 유실면적이 5~15m ² 인 상태
			d	2	○ 댐마루 제체의 유실면적이 15m ² 이상 심각한 상태 (침하량과 누수량이 서서히 증가, 함몰, 누수의 변색 등의 징후가 나타남)
			e	1	○ 댐마루 제체의 유실면적이 15m ² 이상 매우 위험한 상태 (침하량과 누수량이 급격히 증가, 함몰, 누수의 변색 등의 징후가 나타남)
사면 불안정	중요 결함	1.0	a	5	○ 최상의 건전한 상태
			b	4	○ 댐체에 슬라이딩 길이가 1m 이하의 손상이 있는 상태
			c	3	○ 댐체에 슬라이딩 길이가 1~2m 이하의 손상이 있는 상태
			d	2	○ 댐체에 슬라이딩 길이가 2m 이상의 손상이 있는 상태
			e	1	○ 댐체에 슬라이딩 길이가 2m 이상 매우 위험한 상태

(나) 상류사면

[표 5.14] 필댐 상류사면 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
누 수	중요 결함	1.0	a	5	○ 결함이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 댐체를 통한 누수가 일정한 양호한 상태
			c	3	○ 댐체를 통한 누수가 크게 증가하지 않는 보통의 상태
			d	2	○ 댐체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상이 시작되는 심각한 상태
			e	1	○ 댐체를 통한 초과누수로 저수지 수면에 거품 또는 소용돌이 현상, 저수지 수위의 저하, 함몰 등의 현상이 매우 심각한 상태
침하 및 변형	중요 결함	1.0	a	5	○ 결함이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 침하깊이 0~0.1 m, 제체의 변형 0~10%인 상태
			c	3	○ 침하깊이 0.1~0.5 m, 제체의 변형 10~50%인 상태
			d	2	○ 침하깊이 0.5 m 이상, 제체의 변형 50% 이상인 상태
			e	1	○ 침하깊이 0.5 m 이상, 제체의 변형 50% 이상 위험한 상태
차수벽 노후화*	중요 결함	1.0	a	5	○ 차수벽의 노후화가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 차수벽의 노후화가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 차수벽의 노후화가 경미한 상태 (슬래브 균열폭<0.1 mm, 조인트 열림<2.0mm, 철근부식확률 50%일 때)
			d	2	○ 차수벽의 노후화가 심각한 상태(슬래브 균열폭≥0.1mm, 조인트 열림≥2.0mm, 철근부식확률 90%이상일 때)
			e	1	○ 차수벽의 노후화가 매우 심각한 상태 (슬래브의 균열, 조인트의 분리, 조인트 열림>2.5mm, 철근의 부식확률이 100% 일 때)
사면 불안정	중요 결함	1.0	a	5	○ 사면불안정이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 사면불안정이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 얇은 균열 및 활동, 융기 및 함몰, 습윤지 등이 부분적으로 나타나 사면불안정이 경미한 상태
			d	2	○ 깊은 균열 및 활동, 융기 및 함몰, 습윤지 등이 나타나 사면불안정이 시작되는 상태
			e	1	○ 깊은 균열 및 활동, 융기 및 함몰, 습윤지 등이 하류사면 지단과 접하게 되어 사면불안정이 매우 심각한 상태
사면보호 상태	중요 결함	1.0	a	5	○ 사면불안정의 징후가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 사면 전체의 0~10%가 유실된 상태
			c	3	○ 사면 전체의 10~50%가 유실된 상태
			d	2	○ 사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 심각한 상태
			e	1	○ 사면 전체의 50% 이상이 유실된 매우 위험한 상태
사면침식	국부 결함	1.0	a	5	○ 사면침식이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 사면침식고가 0~0.5m 이하인 상태
		1.2	c	3	○ 사면침식고가 0.5~2m 이하이며, 사석의 유실이 일부 존재하는 상태
		1.4	d	2	○ 사면침식고가 2m이상이며,소협곡이 이루어지는 초기상태
		2.0	e	1	○ 사면침식고가 2m이상이며, 소협곡이 이루어진 매우 위험한 상태

<해 설>

- 차수벽의 균열에 대해서는 책임기술자의 판단 하에 구조적균열, 비구조적 균열(일반적인 콘크리트의 특성에 따른 균열 및 조인트 열림 등)을 구분하고 필요 시 [표 5.26]의 수처리 구조물에 대한 기준을 이용하여 평가할 수 있다. 다만, 이 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

(다) 하류사면

[표 5.15] 댐 하류사면 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
누 수	중요 결함	1.0	a	5	○ 댐체의 과도한 누수가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 댐체의 과도한 누수가 거의 없는 양호한 상태 (0.1 L/s 이하)
			c	3	○ 댐체의 과도한 누수의 징후가 시작되는 경미한 상태 (0.1~1.0 L/s)
			d	2	○ 댐체의 과도한 누수로 탁류 발생, 평소 누수량보다 증가 시 (1.0 L/s 이상)
			e	1	○ 댐체의 과도한 누수로 탁류 발생, 누수의 온도변화가 심하고, 비강우시 누수량이 평소 누수량의 배 이상 증가 시 (1.0 L/s 이상)
사면 불안정	중요 결함	1.0	※ 상류사면과 동일 평가		
사면보호 상태	중요 결함	1.0	※ 상류사면과 동일 평가		
침하 및 변형	중요 결함	1.0	※ 상류사면과 동일 평가		
사면침식	일반 손상	1.0	a	5	○ 사면침식이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 사면침식이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○ 사면침식이 일부 나타난 경미한 상태
		1.7	d	2	○ 사면침식에 의하여 도랑이 형성되기 시작하는 상태
		3.0	e	1	○ 사면침식에 의하여 도랑이 형성된 매우 심각한 상태
식 생	일반 손상	1.0	a	5	○ 사면에 식생이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 사면에 일년생 식물이 있는 상태
		1.3	c	3	○ 사면에 다년생 식물이 있는 상태
		1.7	d	2	○ 사면에 관목류가 있는 상태
		3.0	e	1	○ 사면에 다년생 식물 및 관목류가 있는 상태
동물의 굴	일반 손상	1.0	a	5	○ 사면에 동물의 서식 흔적이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 사면에 동물의 굴 직경이 0~10 mm, 개수 0~1개
		1.3	c	3	○ 사면에 동물의 굴 직경이 10~50 mm, 개수 2~4개
		1.7	d	2	○ 사면에 동물의 굴 직경이 50 mm 이상, 개수 5개 이상
		3.0	e	1	○ 사면에 동물의 굴 직경이 50 mm 이상이 수없이 존재

(라) 기초 및 양안부

[표 5.16] 기초 및 양안부 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
침하	중요 결합	1.0	a	5	○ 과도한 침하, 부등침하가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 과도한 침하, 부등침하가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 과도한 침하, 부등침하가 경미한 상태
			d	2	○ 과도한 침하 및 부등침하로 댐마루 도로의 경사와 사면이 함몰되고 기초가 불안정한 상태
			e	1	○ 과도한 침하 및 부등침하가 상시만수위 0.6m까지 진행되고, 기초가 불안정한 매우 심각한 상태
기초의 불안정	중요 결합	1.0	a	5	○ 기초의 불안정이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 기초의 불안정이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 기초의 불안정이 경미한 상태
			d	2	○ 과도한 침하 및 부등침하로 기초가 불안정한 상태
			e	1	○ 과도한 침하 및 부등침하로 기초가 불안정한 매우 심각한 상태
기초의 침 식 및 침 투	중요 결합	1.0	a	5	○ 기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투가 일부 나타나는 경미한 상태
			d	2	○ 기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투로 도랑이 형성되고, 탁류 발생, 평소 누수량보다 증가하여 심각한 상태
			e	1	○ 기초 및 양안부의 침식, 과도한 침투로 도랑이 형성되고, 누수의 온도 변화가 심하고, 비강우시 누수량이 평소 누수량의 배 이상 증가하여 매우 심각한 상태

2) 콘크리트댐 평가기준

(가) 댐체-댐마루

[표 5.17] 콘크리트댐 댐마루 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
균열 및 단차	중요 결함	1.0	a	5	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열 및 단차가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열 및 단차가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열 및 단차가 발생한 상태(균열깊이 < 0.3 m)
			d	2	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열 및 단차가 발생한 상태 (균열깊이 ≥ 0.3 m)
			e	1	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열 및 단차가 발생한 상태 (균열깊이 > 3 m, 단차 > 2mm)
수축 이음부의 열림	중요 결함	1.0	a	5	○ 수축이음부의 열림이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 수축이음부의 열림이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 수축이음부의 열림이(< 2.0 mm) 상태
			d	2	○ 수축이음부의 열림이(≥ 2.0 mm) 진행성인 상태
			e	1	○ 수축이음부의 열림이(> 2.5 mm) 진행성인 상태

(나) 댐체-상류면

[표 5.18] 콘크리트댐 상류면 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
수축이음 부 열림	중요 결함	1.0	a	5	○ 수축이음부의 열림이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 수축이음부의 열림이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 수축이음부의 열림이(< 2.0mm) 상태
			d	2	○ 수축이음부의 열림이(≥ 2.0mm) 상태
			e	1	○ 수축이음부의 열림이(> 2.5mm) 상태
균 열	중요 결함	1.0	a	5	○ 연직 및 대각선 균열과 박락이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 연직 및 대각선 균열과 박락이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 연직 및 대각선 균열이 경미한 상태 (길이 < 1.5 m, 깊이 < 0.3 m)
			d	2	○ 연직 및 대각선 균열이 심각한 상태 (길이 ≥ 1.5 m, 깊이 ≥ 0.3 m)
			e	1	○ 연직 및 대각선 균열이 매우 위험한 상태 (길이 > 6.0 m, 깊이 > 1.5 m)
박 락	일반 손상	1.0	a	5	○ 박락이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 박락이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○ 박락이 경미한 상태 (길이<1.5 m, 깊이<0.3 m)
		1.7	d	2	○ 박락이 심각한 상태 (길이≥1.5 m, 깊이≥0.3 m)
		3.0	e	1	○ 박락이 매우 위험한 상태 (길이>6.0 m, 깊이>1.5 m)

(다) 댐체-하류면

[표 5.19] 콘크리트댐 하류면 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
균열 및 단차	중요 결함	1.0	a	5	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열 및 단차가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열 및 단차가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열(균열깊이<0.3 m) 및 단차가 발생한 상태
			d	2	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열(균열깊이≥0.3 m) 및 단차가 발생한 상태
			e	1	○ 상류에서 하류까지 확장된 횡방향 균열(균열깊이>3.0 m) 및 단차가(단차 > 2.5mm) 발생한 상태
수축 이음부 누수	중요 결함	1.0	a	5	○ 수축이음부를 통한 누수가 없는 상태
			b	4	○ 수축이음부를 통한 누수가 경미한 상태 (이음부위당 ≤ 3 L/min)
			c	3	○ 수축이음부를 통한 누수가 소량인 상태 (이음부위당 > 3 L/min)
			d	2	○ 수축이음부를 통한 누수가 심각한 상태 (이음부위당 > 75 L/min)
			e	1	○ 수축이음부를 통한 누수가 매우 위험한 상태 (이음부위당 > 370 L/min)
시공 이음부 누수	중요 결함	1.0	a	5	○ 시공이음부를 통한 누수가 없는 상태
			b	4	○ 시공이음부를 통한 누수가 경미한 상태 (이음부위당 ≤ 3 L/min)
			c	3	○ 시공이음부를 통한 누수가 소량인 상태 (이음부위당 > 3 L/min)
			d	2	○ 시공이음부를 통한 누수가 심각한 상태 (이음부위당 > 75 L/min)
			e	1	○ 시공이음부를 통한 누수가 매우 위험한 상태 (이음부위당 > 370 L/min)
균열 및 박락	일반 손상	1.0.	a	5	○ 연직 및 대각선 균열과 박락이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 연직 및 대각선 균열과 박락이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○ 연직 및 대각선 균열과 박락이 경미한 상태 (길이 < 1.5 m, 깊이 < 0.3 m)
		1.7	d	2	○ 연직 및 대각선 균열과 박락이 심각한 상태 (길이 ≥ 1.5 m, 깊이 ≥ 0.3 m)
		3.0	e	1	○ 연직 및 대각선 균열과 박락이 매우 위험한 상태 (길이 > 6.0 m, 깊이 > 1.5 m)

(라) 댐체-기초 및 양안부

[표 5.20] 기초 및 양안부 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
양안부를 통한 과도한 침투	중요 결함	1.0	a	5	○ 양안부를 통한 과도한 침투가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 양안부를 통한 과도한 침투가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 양안부를 통한 과도한 침투가 경미한 상태
			d	2	○ 양안부를 통한 과도한 침투가 심각한 상태 (침투량 > 180 L/min, 증가율 < 3 L/일)
			e	1	○ 양안부를 통한 과도한 침투가 매우 위험한 상태 (침투량 > 370 L/min, 증가율 < 19 L/일)
암반 불안정	중요 결함	1.0	a	5	○ 암반의 불안정이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 암반의 불안정이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 암반의 불안정이 경미한 상태
			d	2	○ 암반의 불안정이 심각한 상태 (이동중지, 사면보호공 원상태 유지)
			e	1	○ 암반의 불안정이 매우 위험한 상태 (이동이 진행, 양압력 생성)

(마) 기타시설-갤러리(검사랑)

[표 5.21] 콘크리트댐 갤러리(검사랑) 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
횡방향 갤러리(검사랑) 의 균열	중요 결함	1.0	a	5	○ 횡방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 횡방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 횡방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 경미한 상태 (균열 폭 < 0.5mm)
			d	2	○ 횡방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 심각한 상태 (균열 폭 > 1.0mm)
			e	1	○ 횡방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 매우 위험한 상태 (균열 폭 < 2.0mm, 균열을 통한 침투 > 38 L/min)
상류 종방향 갤러리 (검사랑) 의 균열	중요 결함	1.0	a	5	○ 상류 종방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 상류 종방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 상류 종방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 경미한 상태 (약간습윤)
			d	2	○ 상류 종방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 심각한 상태 (균열을 통한 침투 > 19 L/min)
			e	1	○ 상류 종방향 갤러리(검사랑)에서의 균열이 매우 위험한 상태 (균열을 통한 침투 > 75 L/min)
기초배수 탁수	중요 결함	1.0	a	5	○ 기초배수의 탁수가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 기초배수의 탁수가 균열이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 기초배수의 탁수가 경미한 상태
			d	2	○ 기초배수의 탁수가 심각한 상태 (배수량 > 180 L/min, 증가율 < 3 L/일)
			e	1	○ 기초배수의 탁수가 매우 위험한 상태 (배수량 > 370 L/min, 증가율 < 19 L/일)

(바) 기타시설-배수구 및 그라우팅 터널

[표 5.22] 콘크리트댐 배수구 및 그라우팅터널 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
콘크리트 라이닝 균열 및 단차	중요 결함	1.0	a	5	○ 콘크리트 라이닝 균열 및 단차가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 콘크리트 라이닝 균열 및 단차가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 콘크리트 라이닝 균열 및 단차가 경미한 상태 (균열 폭 < 2.0mm)
			d	2	○ 콘크리트 라이닝 균열 및 단차가 심각한 상태 (균열 폭 < 5.0mm, 단차 > 2.0mm, 침투 > 19 L/min)
			e	1	○ 콘크리트 라이닝 균열 및 단차가 매우 위험한 상태 (균열 폭 < 12.0mm, 단차 > 5.0mm, 침투 > 75 L/min)
암반 낙석	일반 손상	1.0	a	5	○ 암반낙석이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 암반낙석이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○ 암반낙석이 경미한 상태
		1.7	d	2	○ 암반낙석이 심각한 상태
		3.0	e	1	○ 암반낙석이 매우 위험한 상태 (암반의 이동 및 이음부 단차 > 5.0mm)

3) 공통 - 여수로

(가) 접근수로

[표 5.23] 접근수로 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
콘크리트 라이닝 손상	일반 손상	1.0	a	5	○콘크리트 라이닝 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○콘크리트 라이닝 손상이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○콘크리트 라이닝 손상이 경미한 상태
		1.7	d	2	○콘크리트 라이닝에 균열 또는 슬래브의 변형이 심각한 상태
		3.0	e	1	○콘크리트 라이닝에 균열 또는 슬래브의 변형이 매우 심각한 상태
불안정한 측벽 또는 라이닝	일반 손상	1.0	a	5	○불안정한 측벽 또는 라이닝 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○불안정한 측벽 또는 라이닝 손상이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○불안정한 측벽 및 라이닝에 균열, 누수 등 손상이 경미한 상태
		1.7	d	2	○불안정한 측벽의 배수불량, 배면토압 증가에 의한 균열과 라이닝면의 균열 또는 히빙현상 등 손상이 심각한 상태
		3.0	e	1	○불안정한 측벽의 배수불량, 배면토압 증가와 라이닝면의 균열 또는 히빙현상 등 손상이 매우 심각한 상태
접근수로 상부의 자연사면 불안정	일반 손상	1.0	a	5	○접근수로 상부의 자연사면 불안정이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○접근수로 상부의 자연사면 불안정이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○접근수로 상부의 자연사면이 일부 낙석이 있는 상태
		1.7	d	2	○접근수로 상부의 자연사면이 일부 사면붕괴 및 균열로 여수로가 손상받을 위험이 존재하는 상태
		3.0	e	1	○접근수로 상부의 자연사면이 국부적인 사면붕괴 및 균열로 여수로가 봉쇄되거나 손상받을 위험이 존재하는 상태
접근수로 내의 식생 및 잡물	일반 손상	1.0	a	5	○접근수로내의 식생 및 잡물이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○접근수로내의 식생 및 잡물이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○접근수로내의 식생 및 잡물이 경미한 상태
		1.7	d	2	○접근수로내의 식생 및 잡물이 강재수문 조작을 방해하는 상태
		3.0	e	1	○접근수로내의 식생 및 잡물이 산사태 등으로 여수로를 봉쇄할 위험이 있는 상태

(나) 조절부

[표 5.24] 조절부 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
에이프런 구조물의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	a	5	○에이프런 구조물의 손상 및 노후화가 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○에이프런 구조물의 손상 및 노후화가 없는 양호한 상태
		1.2	c	3	○에이프런 구조물의 손상 및 균열, 박락, 철근노출 등 노후화가 경미한 상태
		1.4	d	2	○에이프런 구조물의 손상 및 이음부 균열을 통한 침투, 부등침하 $\leq 5\text{mm}$ 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	e	1	○에이프런 구조물의 손상 및 이음부 균열을 통한 침투, 부등침하 $> 5\text{mm}$ 등 노후화가 매우 심각한 상태
피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	a	5	○피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화가 없는 최상의 건전한 상태
		1.1	b	4	○피어와 벽체 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누수, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 경미한 상태
		1.2	c	3	○피어와 벽체 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누수, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 진행되어 성능회복을 위한 보수를 필요로 하는 상태
		1.4	d	2	○피어와 벽체 구조물의 손상 및 철근노출, 시공이음부 단차 $> 2\text{mm}$ 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	e	1	○피어와 벽체 구조물의 손상 및 이음부 균열, 시공이음부 단차 $> 5\text{mm}$ 등 노후화가 매우 심각한 상태
월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	a	5	○월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화가 없는 최상의 건전한 상태
		1.1	b	4	○월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누수, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 경미한 상태
		1.2	c	3	○월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누수, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등 노후화가 진행되어 성능회복을 위한 보수를 필요로 하는 상태
		1.4	d	2	○월류부 웨어 구조물의 손상 및 철근노출, 시공이음부 단차 $>2\text{mm}$, 시공이음부 누수 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	e	1	○월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 박락, 철근노출, 이음부의 균열을 통한 누수, 시공이음부 단차 $> 5\text{mm}$ 등 노후화가 매우 심각한 상태
강재수문 가이드, 스톱로그 가이드 또는 강재수문 지수판에서의 공동화 현상	국부 결함	1.0	a	5	○강재수문 가이드, 스톱로그 가이드 또는 강재수문 지수판에서의 공동화 현상이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○강재수문 가이드, 스톱로그 가이드 또는 강재수문 지수판에서의 공동화 현상이 없는 양호한 상태
		1.2	c	3	○강재수문 가이드, 스톱로그 가이드 또는 강재수문 지수판에서의 공동화 현상이 경미한 상태
		1.4	d	2	○강재수문 가이드, 스톱로그 가이드 또는 강재수문 지수판에서의 공동화 현상이 심각한 상태
		2.0	e	1	○강재수문 가이드, 스톱로그 가이드 또는 강재수문 지수판에서의 공동화 현상이 매우 심각한 상태

(다) 도수로

[표 5.25] 도수로 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차	중요 결함	1.0	a	5	○ 바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차 < 2mm 상태
			d	2	○ 바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차 ≥ 2mm 상태
			e	1	○ 바닥슬래브의 부등침하로 인한 슬래브판의 변형, 들뜸, 단차 > 5mm 매우 심각한 상태
바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상	국부 결함	1.0	a	5	○ 바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 없는 양호한 상태
		1.2	c	3	○ 바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 경미한 상태
		1.4	d	2	○ 바닥슬래브의 콘크리트 균열 폭>1.0mm, 깊이>0.15 m로 손상이 심각한 상태
		2.0	e	1	○ 바닥슬래브의 콘크리트 균열 폭>5.0mm, 깊이>0.3 m, 철근노출 등 손상이 매우 심각한 상태
벽체의 손상 및 노후화	국부 결함	1.0	a	5	○ 벽체의 손상 및 노후화가 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 벽체의 손상 및 노후화가 없는 양호한 상태
		1.2	c	3	○ 벽체의 손상 및 노후화가 경미한 상태
		1.4	d	2	○ 벽체의 손상이 시공이음부 단차 > 2mm, 균열 및 누수 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	e	1	○ 벽체의 손상이 시공이음부 단차 > 5mm, 균열 및 누수, 박락, 철근노출 등 노후화가 매우 심각한 상태
횡방향 이음부의 손상	국부 결함	1.0	a	5	○ 횡방향 이음부의 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 횡방향 이음부의 손상이 없는 양호한 상태
		1.2	c	3	○ 횡방향 이음부의 누수 < 4 L/min 경미한 상태
		1.4	d	2	○ 횡방향 이음부의 누수 > 75 L/min 심각한 상태
		2.0	e	1	○ 횡방향 이음부의 공동현상, 콘크리트 탈락, 누수가 이음부위당 > 370 L/min 매우 심각한 상태

(라) 감세공

[표 5.26] 감세공 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
플립버켓의 세굴	중요 결함	1.0	a	5	○ 플립버켓의 세굴이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 플립버켓의 세굴이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 플립버켓의 세굴구멍의 지름과 깊이 < 0.15m 상태
			d	2	○ 플립버켓의 세굴구멍의 지름과 깊이 > 0.30m 상태
			e	1	○ 플립버켓의 세굴이 기초에 도달한 매우 심각한 상태
플립버켓의 하류 또는 기초의 침식	중요 결함	1.0	a	5	○ 플립버켓의 하류 또는 기초의 침식이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 플립버켓의 하류 또는 기초의 침식이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 플립버켓의 하류 또는 기초의 침식이 경미한 상태
			d	2	○ 플립버켓의 하류 또는 기초의 침식이 심각한 상태 (이음부 균열 폭 > 5mm)
			e	1	○ 플립버켓의 하류 또는 기초의 침식이 매우 심각한 상태 (이음부 균열 폭 > 12mm, 측벽기울기 > 10°)
플립버켓의 이음부 손상	국부 결함	1.0	a	5	○ 플립버켓의 이음부 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 플립버켓의 이음부 손상이 없는 양호한 상태
		1.2	c	3	○ 플립버켓의 이음부에 침식, 균열 등 손상이 경미한 상태
		1.4	d	2	○ 플립버켓의 이음부에 침식, 균열 등 손상이 심각한 상태
		2.0	e	1	○ 플립버켓의 이음부에 침식, 균열 등 손상이 매우 심각한 상태
정수지 바닥 및 측벽의 세굴	국부 결함	1.0	a	5	○ 정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○ 정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 없는 양호한 상태
		1.2	c	3	○ 정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 경미한 상태
		1.4	d	2	○ 정수지 바닥 및 측벽의 세굴 > 0.15m 심각한 상태
		2.0	e	1	○ 정수지 바닥 및 측벽의 세굴이 슬래브 전체 두께 침식 또는 파괴로 매우 심각한 상태 (균열 폭 > 12mm, 측벽기울기 > 10°)

4) 공통 - 일반적인 콘크리트 구조물

(가) 일반적인 콘크리트 구조물

[표 5.27] 일반적인 콘크리트 구조물 평가기준

평가 지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준	
일반 구조물 균열 ¹⁾	국부 결함	1.0	a	5	면적률 ²⁾ 5% 이하	0.1mm 미만
		1.0	a	5		0.1mm~0.2mm 미만
		1.0	a	5		0.2mm~0.3mm 미만
		1.1	b	4		0.3mm~0.5mm 미만
		1.2	c	3		0.5mm 이상
		1.0	a	5	면적률 20% 이하	0.1mm 미만
		1.0	a	5		0.1mm~0.2mm 미만
		1.1	b	4		0.2mm~0.3mm 미만
		1.2	c	3		0.3mm~0.5mm 미만
		1.4	d	2		0.5mm 이상
		1.0	a	5	면적률 20% 이상	0.1mm 미만
		1.1	b	4		0.1mm~0.2mm 미만
		1.2	c	3		0.2mm~0.3mm 미만
		1.4	d	2		0.3mm~0.5mm 미만
		2.0	e	1		0.5mm 이상
수처리 구조물 균열 ¹⁾	국부 결함	1.0	a	5	면적률 5% 이하	0.1mm 미만
		1.0	a	5		0.1mm~0.2mm 미만
		1.1	b	4		0.2mm~0.3mm 미만
		1.2	c	3		0.3mm~0.5mm 미만
		1.4	d	2		0.5mm 이상
		1.0	a	5	면적률 20% 이하	0.1mm 미만
		1.1	b	4		0.1mm~0.2mm 미만
		1.2	c	3		0.2mm~0.3mm 미만
		1.4	d	2		0.3mm~0.5mm 미만
		2.0	e	1		0.5mm 이상
		1.1	b	4	면적률 20% 이상	0.1mm 미만
		1.2	c	3		0.1mm~0.2mm 미만
		1.4	d	2		0.2mm~0.3mm 미만
		2.0	e	1		0.3mm~0.5mm 미만
		2.0	e	1		0.5mm 이상

평가 지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
박리	국부 결함	1.0	a	5	○ 박리발생이 없음
		1.1	b	4	○ 박리깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적률 10% 미만
		1.2	c	3	○ 박리깊이 0.5 ~ 1.0mm 미만이면서 박리면적률 10% 미만 ○ 박리깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적률 10% 이상
		1.4	d	2	○ 박리깊이 1.0 ~ 25mm 미만이면서 박리면적률 10% 미만 ○ 박리깊이 0.5~10mm 미만이면서 박리면적률 10% 이상
		2.0	e	1	○ 박리깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적률 10% 이상 ○ 박리깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실
박락 및 충분리	국부 결함	1.0	a	5	○ 박락/충분리의 발생이 없음
		1.1	b	4	○ 박락/충분리 깊이 15mm 미만이면서 면적률 10% 미만
		1.2	c	3	○ 박락/충분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적률 10% 미만 ○ 박락/충분리 깊이 15mm 미만이면서 면적률 10% 이상
		1.4	d	2	○ 박락/충분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적률 10% 미만 ○ 박락/충분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적률 10% 이상
		2.0	e	1	○ 박락/충분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적률 10% 이상 ○ 박락/충분리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실
누수	국부 결함	1.0	a	5	○ 누수가 없음
		1.1	b	4	○ 현저한 흔적 (누수부위가 습윤된 상태)
		1.2	c	3	○ 누수의 진행이 관찰가능 상태 (방울방울 떨어짐)
		1.4	d	2	○ 누수의 진행이 관찰가능 상태 (소량이 분출)
		2.0	e	1	○ 누수의 진행이 확연한 상태 (많은 양의 분출)
파손 및 손상	일반 손상	1.0	a	5	○ 파손/손상 없음
		1.1	b	4	○ 파손/손상깊이 20mm 미만이면서 면적률 10% 미만
		1.3	c	3	○ 파손/손상깊이 20~50mm 미만이면서 면적률 10% 미만 ○ 파손/손상깊이 20mm 미만이면서 면적률 10% 이상
		1.7	d	2	○ 파손/손상깊이 50~80mm 미만이면서 면적률 10% 미만 ○ 파손/손상깊이 50mm 미만이면서 면적률 10% 이상
		3.0	e	1	○ 파손/손상깊이 80mm 이상이면서 면적률 10% 미만, ○ 파손/손상깊이 50mm 이상이면서 면적률 10% 이상
백 태	일반 손상	1.0	a	5	○ 백태가 없음
		1.1	b	4	○ 백태 발생 면적률이 5% 미만
		1.3	c	3	○ 백태 발생 면적률이 5~10% 미만
		1.7	d	2	○ 백태 발생 면적률이 10~20% 미만
		3.0	e	1	○ 백태 발생 면적률이 20% 이상

<해 설>

- 콘크리트의 균열은 일반손상 중 하나로 구조적·비구조적 균열로 구분되나, 현장조사 시 균열의 종류를 구분하기가 어렵기 때문에 균열의 종류를 구분하지 않고, 건설기준 코드(구 콘크리트구조설계기준, 2012)의 수처리 구조물 콘크리트 허용균열 폭 0.15~0.25mm 및 일반 콘크리트 구조물 허용균열 폭 0.3~0.4mm 등을 고려하여 콘크리트 균열 폭 및 면적률에 따른 평가기준을 설정함
- 콘크리트 균열 면적률 산정 방법은 제 1장 교량편 [표 1.37] 참조

5) 공통 - 기계설비

(가) 권양기(기계설비)

[표 5.28] 권양기 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
마찰부 손상 (시브(sheave), 감속기, 커플링(coupling))	일반 손상	1.0	a	5	○ 손상이 없는 양호한 상태
		1.1	b	4	○ 손상이 없는 건전한 상태
		1.3	c	3	○ 약간의 이음 이상진동이 있으나 사용가능한 상태, ○ 그리스 도포가 불량한 상태
		1.7	d	2	○ 부식고착으로 이음 이상진동이 과도한 상태 ○ 그리스가 건조되거나 이물질이 다량 함유된 상태
		3.0	e	1	○ 손상 등이 발생하여 보수가 필요한 상태 ○ 정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한적 작동이 되는 상태

(나) 강재수문 및 문틀(기계설비)

[표 5.29] 강재수문 및 문틀 평가기준

평가 지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
강재수문 부식	중요 결함	1.0	a	5	○ 부식이 없음
			b	4	○ 전면부식이 조금 발견되거나, 건전부 모재두께의 5%미만의 점부식이 관찰되는 상태
			c	3	○ 가벼운 전면부식이 전단면에 발생되거나, 건전부 모재두께의 5~10%의 점부식이 관찰되는 상태
			d	2	○ 심화된 전면부식이 전단면에 발생되어 있거나, 건전부 모재두께의 10~30%의 점부식이 관찰되는 상태로 보수를 하지 않으면 안되는 상태
			e	1	○ 전면부식과 건전부 모재두께의 30% 이상의 점부식으로 인하여 당장 보강을 하지 않으면 안되는 상태
강재수문 변형	국부 결함	1.0	a	5	○ 문짝에 변형이 없는 양호한 상태
		1.1	b	4	○ 문짝의 변형을 육안으로 판별이 어려운 상태
		1.2	c	3	○ 외부충격에 의한 국부적인 변형이 발생한 상태이나 기능에 이상이 없는 상태
		1.4	d	2	○ 변형이 경간의 1/800이상 발생한 상태
		2.0	e	1	○ 변형으로 작동이 원활하지 못한 상태로 작동시 접촉, 끼임 발생과 부분적인 두께감소가 1/2이상인 경우
누 수	일반 손상	1.0	a	5	○ 누수가 없는 양호한 상태
		1.1	b	4	○ 누수 가능성이 없는 건전한 상태
		1.3	c	3	○ 미세한 누수 가능성이 있는 경미한 상태
		1.7	d	2	○ 지수고무의 훼손 및 밀착불량 등으로 부분적인 누수가 발생하는 상태
		3.0	e	1	○ 문짝의 변형으로 누수가 다량으로 발생하여 별도 부대 설비(모래주머니)를 설치하여야 누수가 가능한 상태
마찰부 손상 (롤러 헌지)	일반 손상	1.0	a	5	○ 부식고착이 없고 회전이 원활한 건전한 상태
		1.1	b	4	○ 부식고착이 있으나, 회전이 원활한 건전한 상태
		1.3	c	3	○ 고착으로 회전 및 작동이 불량하나, 강재수문의 작동에는 이상이 없는 상태
		1.7	d	2	○ 고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 강재수문 작동이 불량한 상태
		3.0	e	1	○ 고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 작동이 불가능한 상태

5.4.2 구조안전성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

구조안전성능 평가는 주어진 하중에 대하여 시설물이 견디는 능력을 평가하는 항목으로서 이를 통해 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조 및 운영상의 성능 확보여부를 판단하게 된다.

구조안전성능 평가를 위하여 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료의 검토, 기록을 통한 운영이력의 분석, 부재별 상태안전성능 평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통하여 충분한 기초자료를 확보하는 것이 중요하며, 구조안전성능 평가 시 검토할 사항은 다음과 같다.

- 제체의 사면안정 해석
- 제체의 침투수에 대한 안전성 해석
- 구조물의 내하력 해석
- 응력-변형의 안전성 분석
- 구조물의 안정해석
- 수리, 수문학적 안전성 해석
- 시설물의 내진성능 평가 등
- 기타 안전성능 평가를 위하여 필요한 사항

본 절에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우에는 구조적 안전성능 기준을 제시하고 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있다. 또한, 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

나. 구조안전성능 평가 기준

1) 필댐

필댐의 역학적 성질은 제체 재료의 중량을 이용하는 것으로서 그 안전조건은 다음과 같다.

- 제체가 활동하지 않을 것
- 비탈면이 안정되어 있을 것
- 기초지반이 압축에 대해 안전할 것

필댐의 특성으로는 지형, 지질, 재료 및 기초의 상태에 크게 구애받지 않고서도 축조할 수 있다는 장점이 있는 반면에 홍수 월류에 대해서는 거의 저항력이 없고 침하가 불가피한 구조물이라는 단점을 가지고 있다. 따라서 필댐의 특성을 고려한 구조안전성능 평가가 중요하다.

(가) 계측데이터 분석

계측데이터 분석방법은 다음과 같다.

- 계측치와 허용기준치를 비교·검토하는 방법
- 계측데이터의 변화추이를 분석하는 방법

필댐에서의 계측기록으로 댐의 구조안전성능을 평가하는 가장 기본적인 방법은 허용기준치와 비교하는 것이다. 그러나 허용기준치는 댐의 재령 및 모든 측정 자료가 미비한 상태에서 선정되거나 혹은 대부분의 경우 허용기준치가 설정되어 있지 않기 때문에 일반적으로 참고자료로 이용되고 있다.

댐 안전의 실질적인 허용기준치 설정은 수 년 간의 장기적인 측정자료 및 댐 만수 시와 홍수 시 수문 방류를 경험한 후 현장특성 및 모든 것을 고려해서 설정되어야 하며, 계측값은 계측기 설치 시 초기값 설정 및 외부 환경조건에 따라 현장상태와 다른 값을 나타낼 수 있으므로 기술자의 판단이 중요하다.

따라서 댐 안전을 판단하는데 중요한 요소들은 다음과 같다.

- ① 관측결과의 변화속도
- ② 관측결과의 수렴성과 벗어남의 경향
- ③ 관측결과의 주기적 변화
- ④ 관측결과의 변화범위

계측데이터는 우선적으로 신뢰성이 있는 자료인지가 평가되어야 하며, 신뢰성이 인정된다면 다음 표의 기준에 따라 평가하며, 계측데이터는 기타 안전성능 평가항목에서 검토할 경우 입력자료로서 활용되거나 그 결과가 상호 비교되어야 한다.

[표 5.30] 계측데이터 검토에 대한 평가 기준

평가 기준	평가 점수	상 태
a	5	계측치가 허용기준치 이내이며, 경시변화 경향에 증감이 없는 경우
b	4	계측치가 허용기준치 이내이며, 경시변화 경향에 미세한 증감이 있는 경우
c	3	계측치가 허용기준치를 벗어나는 경우도 있으며, 경시변화 경향에 약간의 증감이 있는 경우
d	2	계측치가 허용기준치를 벗어나는 경우도 있으며, 경시변화의 경향이 확연하게 증감하는 경우
e	1	계측치가 허용기준치를 벗어나는 경우도 있으며, 경시변화의 경향이 급하게 증감하는 경우

(나) 침투수의 안전성 분석

침투수의 안전성 분석내용 중 침투누수량은 허용누수량이 설정되어 있다면 이를 기준으로 하여 비교·분석하고, 아울러 계측기록에 의한 실측자료와 비교·분석하여 안전성을 판정할 수 있다.

한편, 일반적으로 허용누수량 설정에는 어려움이 있으며, 계측에 의한 누수량에는 강우 등의 외부 수량이 포함될 수 있으므로 해석에 따른 누수량으로 댐체의 안전성을 판

정할 때에는 기술자의 판단이 필요하다.

필댐의 제체 및 기초는 침투를 완전히 차단할 수 없기 때문에 침투에 의한 침투수압, 동수경사가 어느 한도를 넘어서면 파이프와 같은 파괴 요인이 되므로 신중한 검토와 대책이 필요하다. 이러한 파괴의 원인은 대상 재료의 불균일성이나 지질조건의 변화, 시공상 부주의 등에 의한 경우가 많으므로 이론적인 취급은 곤란하지만 보통은 침투유속의 한계치를 구하여 토립자의 이동 가능성을 검토하는 한계유속방법과 한계 동수경사를 구하여 파이프의 발생가능성을 검토한다.

○ 한계유속에 의한 방법(Justin 방법)

- 제체 및 기초의 토립자 입경에 대하여 소류력에 의하여 입자가 밀려나가는 한계의 침투유속(V , cm/s)을 구하고 그 한계치를 넘으면 파이프가 발생한다고 본다.

$$V = \sqrt{\frac{Wg}{Ar_w}}$$

여기서, V : 한계유속(cm/s)

W : 토립자의 수중중량(g)

g : 중력가속도(980cm/s^2)

A : 물의 흐름을 받는 토립자의 면적(cm^2)

r_w : 물의 단위체적중량(g/cm^3)

- 제체 및 기초지반에서의 침투유속은 다양한 수위조건 및 지층조건을 고려할 수 있는 해석적 방법으로 구하는 것이 유용하다.
- 한계치는 그 지층에서의 토립자 입경이나 투수계수를 이용하여 구할 수 있으며, 각 방법에 대한 타당성이 인정된다면 사용할 수 있다.
- [표 5.30]은 토립자 입경에 의한 한계유속 지표표로서 실제의 댐체 토립자에는 여러 크기의 것이 혼합되어 있어 입경의 기준을 정하기 어려우므로 실유속과 비교할 때에는 아래 표에서 제시한 입경에 대한 한계유속의 1/100 이하가 되도록 해야 한다. 한계유속 방법에 의한 침투수의 안전성은 실제 댐체 및 기초지반에서의 침투유속에 대한 한계유속의 비로서 [표 5.31]의 기준으로 평가한다.

[표 5.31] 한계유속 지표표

재료번호	입경(mm)	한계유속(cm/s)
1	4.0~4.8	20.0
2	2.8~3.4	17.0
3	1.0~1.2	10.0
4	0.7~0.85	1.5
5	0.4~0.7	7.0
6	0.25~0.5	4.2
7	0.11~0.25	3.5
8	0.075~0.11	2.5
9	0.044~0.075	2.0

○ 한계동수경사에 의한 방법

- 입자형상, 입도분포 등은 고려하지 않고 유효응력이 영이 되는 조건을 생각하여 검토한다. 다음 식으로 계산되는 한계동수경사(i_c)에 대하여 테르자기(Terzaghi)의 간편법 및 유선방법, 하자(Harza)의 유선방법 등의 방법으로 구하는 유출동수구배의 비로 다음 표의 기준으로 평가한다.

$$i_c = \frac{h}{d} = \frac{G_s - 1}{1 + e} = (1 - n)(G_s - 1)$$

여기서, i_c : 한계동수경사

h : 저수지 전수두(m)

d : 분사지점의 수두(m)

G_s : 토립자의 비중

e : 흙의 간극비

n : 흙의 간극률

- 여러 유출동수구배 산정방법은 각 방법에 대한 타당성이 인정된다면 사용이 가능하다. 분사현상에 대한 저항력은 소성지수가 큰 재료일수록 큰 경향이 있으며 점착력이 없는 세립자의 i_c 는 0.5~0.8로 가정한다. 침투류 해석에 의하여 산출한 동수경사가 한계동수 경사의 1/2 이하가 되도록 해야 한다.
- 침투수의 안전성 분석내용 중 침투수 수압은 계측기록에 의한 실측자료와 비교·분석하여 안전성을 판정할 수 있다. 또한 제체 내 간극수압 분포는 사면활동의 안전성 검토 시 입력자료로 활용한다.

[표 5.32] 침투수 안전성 분석 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	한계치의 100% 미만인 경우
b	4	—
c	3	한계치의 100% 이상 110% 미만인 경우
d	2	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
e	1	한계치의 130% 이상인 경우

(다) 사면활동의 안전성 분석

제체 및 기초의 활동파괴에 대한 안전성의 검토에 고려되는 하중은 자중, 정수압, 간극수압 및 지진관성력으로 하고 이를 저수지의 상태에 따라 적용해야 한다. 활동파괴에 대한 안정계산에 사용하는 조건은 다음과 같으며, 하중조합은 건설기준코드(구 댐 설계기준)을 참고하여 적용한다.

[표 5.33] 활동파괴를 검토하는 조건(건설기준코드(구 댐 설계기준))

구분	저수지 수위	정수압 계산 수위	침투수(간극수압) 상태	지진관성력 설계진도	원형활동면 분할법 적용	
					응력표시	계산사면
1	완성직후	빈 경우	축제중 간극수압이 잔류	50%	전응력 또는 유효응력	상·하류측
2	설계 홍수위	설계 홍수위	설계홍수위에서 침투류가 정상상태	0%	유효응력	상·하류측
3	상시 만수위	상시 만수위	상시만수위에서 침투류가 정상상태	100%	유효응력	상·하류측
4	중간수위	중간수위	중간수위에서 침투류가 정상상태	100%	유효응력	상류측
5	수위급강하					
(a)	일상적으로 수위급강하가 이루어지는 댐	강하 후 수위 최저수위	상시만수위에서 최저수위까지 강하했을 때 이미 간극수압이 잔류	100%	유효응력	상류측
(b)	그 외 댐			50%	유효응력	

○ 활동파괴에 대한 안정계산에 사용하는 제체의 자중

- 댐체 완성 직후, 정상침투 시, 수위 급강하 시 등의 경우에 따라 단위체적 중량을 달리하여야 하며, 실제 시험결과를 이용하는 것이 좋다.
- 댐체 완성직후는 검토가 필요한 경우에 한하여 수행한다.
- 정상침투 시는 상시만수위, 설계홍수위(최근에 수문학적 안전성 평가를 실시하여 재분석된 최고수위가 설계홍수위 보다 높은 경우는 이를 적용)를 적용한다.
- 중간수위는 상시만수위 이하의 수위로서 사면활동 최소안전율이 최저인 수위로 시산으로 산정한다.
- 수위급강하 시는 수위가 상시만수위에서 저수위 등 가능 최저 수위까지 저하하는 경우에 대하여 검토를 수행한다.
- 단 표면차수벽형 석괴댐(CFRD)의 경우 수위급변화 조건에 따라 댐체의 간극수압의 변화가 미미하므로 수위급강하 시는 강하된 상태의 수위를 고려한다. 중간수위의 경우도 저수지 수위 자료를 분석하여 댐 운영 중 지속 가능한 저수지 수위 중 중간수위(댐 높이의 45~50%)에 가까운 수위를 적용할 수 있다.

○ 제체의 지진관성력

- 침윤선 윗부분은 습윤 중량에, 침윤선 아랫부분은 포화중량에 설계진도를 곱한 것으로 한다.

- 작용위치는 절편의 활동면상으로 한다.
 - 작용방향은 수평방향만 작용하는 것으로 한다.
- 유효응력해석법에 의한 안정계산에서 고려되는 간극수압
- 완성 직후, 정상침투 시, 수위 급강하 시 등의 경우에 따라 적용하여야 하며, 침투류 해석결과를 반영할 수 있다.
- 설계수치(입력 물성 값)
- 적절한 토질시험의 결과를 기초로 하고 시공조건 및 배수조건 등을 고려하여 신중하게 결정해야 한다.
- 사면활동에 대한 안정계산
- 임계원에 의한 활동면법 또는 응력-변형해석법을 사용한다. 가장 일반적인 방법은 활동면법으로 실제의 활동과괴 현상에 잘 부합될 뿐 아니라 안전측이기 때문이다.
 - 활동면법에는 블록해석법, 무한사면해석법, 평면해석법, 마찰원법 및 Ordinary, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, Spencer 등의 절편법 등이 있으므로 이 중 적합한 것을 택하도록 한다.
 - 응력-변형해석법은 댐체 및 기초의 응력과 변형 등의 크기와 분포상태를 수치해석적인 방법으로 구하는 방법이다.

활동면법에 따른 안정계산에 의하여 댐체의 구조안전성능을 판단할 시는 최소안전율로 표시한다. 활동에 대한 기준 최소안전율은 재료의 시험과 안정계산의 정밀도가 불충분하거나 연약지반 위의 댐과 같이 불안정 요소가 포함되었다고 판단되는 경우에는 1.5를 적용하되 여타의 경우는 아래 표를 기준으로 한다.

[표 5.34] 사면활동 기준 최소안전율 평가기준

구분	체체조건	저수상태	지진	안 전 율		비 고
				상류	하류	
1	완성직후 (간극수압 최대)	바닥상태	있음	1.3	1.3	
2	완성직후	일부저수 ¹⁾	없음	1.3	—	
3	평상시	설계홍수위	없음	1.2	1.2	
4	평상시	만 수	있음	1.2	1.2	
5	평상시	일부저수 ²⁾	있음	1.15	—	
6	평상시	급 강 하	있음	1.2	—	

주1) 상류측 비탈면의 하부존이 암석 등으로 되어 있어 간극수압이 발생하지 않을 경우에 한함

주2) 수위는 보통 댐 높이의 45~50%를 적용하여 계산함

사면활동에 대한 안전성은 위의 최소안전율 기준에 산출된 안전율의 비로 아래 표의 기준으로 평가한다.

[표 5.35] 사면활동 안전성 검토 평가기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상이거나, 단면손실이 없는 경우
b	4	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상이거나 같으며, 단면손실이 있는 경우
c	3	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 90% 이상, 100% 미만인 경우
d	2	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 75% 이상, 90% 미만인 경우
e	1	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 75% 미만인 경우

- 상기 활동면법에서의 지진력은 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대체하고 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 한 것이며, 이 방법은 이미 경험적으로 안정적인 방법임이 입증되고 있다.
- 댐의 동적 특성을 고려하지 않은 한계점이 있으므로 기존 이루어지던 진도법에 보완하여 동적해석방법을 안전성 검토에 활용할 필요가 있다. 동적해석방법의 절차 및 방법, 평가기준에 대해서는 건설기준코드(구 댐 설계기준) 참조
- 위의 사면활동 안전성 검토에 대한 평가기준에서 지진 시의 안전율에 의해 평가 결과가 “c” 이하로 검토되었을 시 동적해석을 실시할 수 있다. 동적해석 실시 결과 건설기준코드(구 댐 설계기준)에서 정의하는 평가기준을 만족할 경우에는 진도법에 의한 평가결과를 한 단계씩 상향 조정하며, 평가기준을 만족하지 못할 시에는 진도법에 의한 평가결과를 그대로 적용하기로 한다. 이는 종래의 정역학적인 설계방법인 진도법이 현재 내진설계의 기본인 점과, 동적해석방법이 댐체의 실제적인 동적거동을 모사하며 진도법을 보완할 수 있을 정도로 기술 진전이 이루어졌다는 것을 함께 고려한 것이다.

(라) 응력-변형의 안전성 분석

- 땀땀은 점토, 모래, 자갈 등 자연재료를 이용하여 축조된 구조물로서 압축성을 가지고 있는 재료적 특성으로 인하여 성토 및 담수, 운영 중 수위변화 등의 과정을 통하여 침하, 용기, 국부적인 응력집중 및 균열, 응력전이에 의한 수압할렬 등이 발생할 수 있다.
- 따라서 과도한 변형, 균열, 누수량의 증가 등 땀체 및 기초에 중요한 손상이 발생되었거나 손상 발생이 예상되는 경우 책임기술자가 관리주체와 협의하여 필요 시 실시할 수 있다.
- 흙의 응력-변형 특성은 재료특성, 함수비, 포화도, 구속응력, 응력상태 등 여러 가지 복잡한 요인에 의해 변화되므로 응력-변형 해석을 실시할 경우 땀체의 지반공학적 특성을 반영할 수 있는 모델을 적용해야 하며, 이 때 필요한 매개변수

는 실내 및 현장시험, 기존 댐의 관측기록 등을 통하여 결정할 수 있다. 또한 성토속도, 담수속도, 시간경과에 따른 수위 변화 등의 조건에 따른 해석을 수행하여 변형량, 국부파괴, 수압할렬 등을 분석, 지반거동에 따른 안전성을 평가할 수 있다.

① 응력-변형 해석에 의해 산출된 변위에 대한 안전성 평가

- 계측기록에 의한 실측자료와 비교·분석하거나 현장에서 실시되는 측량결과와 비교·분석이 필요하다. 또한 일반적으로 알려진 댐의 높이, 경과시간에 의한 침하량 경험식과 비교할 수 있다. 결국 변위에 대하여 댐체의 안전성을 판단할 시에는 기술자의 전문적인 판단이 중요하다.

② 응력-변형 해석에 의해 산출된 응력상태에 대한 안전성 평가

- 국부적인 응력집중에 따른 국부파괴 가능성과 응력전이에 따른 토압저하와 수압에 의해 발생하는 파이핑 발생 가능성으로 댐체의 안전성을 판단할 수 있다.
- 산출되는 응력상태에서 축차응력이 커 파괴상태에 다다르거나, 주응력이 수압보다 작을 경우에는 파이핑 발생 가능성이 있으므로 응력상태에 따른 국부파괴 가능성 및 수압할렬 발생가능성을 다음 표의 기준으로 평가한다.

[표 5.36] 응력상태에 따른 안전성 검토 평가기준(응력-변형해석)

평가기준	평가점수	상 태
a	5	한계치의 100% 미만인 경우
b	4	—
c	3	한계치의 100% 이상 110% 미만인 경우
d	2	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
e	1	한계치의 130% 이상인 경우

(마) 수문학적 안전성 평가

- 수문학적 안전성 평가는 댐의 구조형식별(필댐 및 콘크리트댐 등)로 현장조사 결과에 의해 도출된 댐의 상태를 고려하여 1차적으로 수행될 필요가 있다.
- 여유고 부족 또는 월류 발생 등의 1차적인 조건을 만족시키지 못할 경우 그에 따른 댐체의 구조적인 안전을 검토하고, 최종적으로 댐 붕괴 발생 시 하류에 미치는 인적, 경제적 위험요인을 기준으로 평가하는 단계적인 평가기준의 도입이 요구된다.
- 기존 댐의 가능최대홍수량(PMF)에 대한 수문학적 안전성 평가기준을 아래와 같이 1~3단계로 구분, 연계하여 설정하였다.
- ① 제 I 단계: 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가
- ② 제 II 단계: 가능최대홍수량(PMF)에 대한 구조적 안전성 평가
- ③ 제 III 단계: 하류부의 추가적 위험도에 따른 평가

① 제 I 단계 평가

- 댐의 상태는 성능평가 시 수행된 상태안전성능 평가 결과를 의미한다. 즉, 여유고가 부족하더라도 상대적으로 댐의 상태가 양호한 댐은 보다 나은 점수를 받을 수 있는 가능성을 부여하는 것이다. 콘크리트댐과 필댐 등은 월류 시 댐체의 안전성에 차이가 나타날 수 있기 때문에 필댐, 복합댐 및 CFRD는 보다 보수적인 기준을 적용하였다.
- 현재의 저수지 운영률(Reservoir Operation Method, ROM)에 따른 방류능력 검토결과 여유고가 부족하거나 또는 댐체를 월류할 경우 비구조적인 대책으로 보다 효과적인 ROM을 적용하여 홍수소통의 가능 여부를 재검토할 필요가 있다. 즉, 조절수문을 갖고 있는 댐의 경우 홍수량 유입 예측 시 초기수위를 저하시켜 최대한의 소통능력을 확보한 후 제체의 월류를 방지할 수 있는지를 검토하며, 댐의 현재 상태에 따라 추가적인 II, III 단계의 평가수행 여부를 결정하도록 한다.
- 또한, 다양한 비구조적 대책에 의해서도 제체의 월류가 불가피하거나 월류 방지수준이지만 댐의 상태가 부실한 경우로 분석된다면 e 및 d의 결과를 갖고 II 및 III 단계의 평가결과와 연계하여 최종평가가 수행된다.

② 제 II 단계 평가

- 제 II 단계 평가는 가능최대 홍수량에 대한 구조적 안전성 평가로서, 콘크리트 댐에 한하여 제 I 단계에서 d 및 e의 판정을 받은 경우에 수행된다.
- 필댐, 복합댐 및 CFRD 등의 경우 비구조적 대책에 의해서도 월류 시(제 I 단계 e) 그리고 비구조적 대책에 의해 월류가 방지되는 경우(제 I 단계 d)는 II 단계 평가 없이 바로 제 III 단계 평가가 수행된다.
- 구조적 안전성 평가는 크게 강재수문 및 콘크리트댐체로 구분하여 수행한다. 각 구조적인 안전성은 PMF 유입 시 댐체에서의 수리·수문학적인 분석자료(여유고 부족 또는 댐체를 월류할 경우)를 사용하여 구조해석을 수행한 후 결정될 수 있다. 콘크리트 댐체의 구조적 안전성 평가 절차 및 평가기준은 본 절의 “2) 콘크리트댐”에서 제시한 바를 따른다. 강재수문의 구조적 안전성은 응력상태를 평가한다.
- II단계 평가의 월류수심 조건의 공식은 미국 연방재난관리청(FEMA)에서 콘크리트 댐체의 붕괴여부를 판단하는 한계수심(Critical Depth, h_c)이며, 이보다 큰 수심으로 월류할 경우 허용이 어려울 것으로 판단하여 d 및 e 구분의 기준으로 하였다.

③ 제 III 단계 평가

- 제 III 단계 평가는 댐의 PMF 유입 시 발생할 수 있는 하류부의 추가적 위험도에 따른 평가이다. 콘크리트댐이 제 I 단계 평가결과가 d 및 e인 경우에 대해서는 제 II 단계와 연계하여 평가하고 필댐, 복합댐 및 CFRD의 경우에는 제 I 단계 평가결과가 d 및 e인 경우에 대해 제 II 단계 평가 없이 수행한다.
- “댐의 월류나 붕괴 시 하류부의 범람정도가 붕괴되지 않은 상태와 큰 차이가 없을 것으로 판단되는 경우”란 댐의 붕괴로 인해 하류부에 야기되는 추가적인 수위상승이 미미하여 잠재적인 위험이 낮은 댐의 경우로 해석될 수 있다.
- 하류부의 인명피해 및 경제적 손실은 대상 댐의 EAP(Emergency Action

Plan, 비상대처계획)를 참조하여 책임기술자가 판단하도록 하며, EAP가 수립되지 않은 댐에 대해서는 「시트법」의 제1종 및 제2종 시설물의 범위(제1종: 1,000만톤 이상, 제2종: 100만톤 이상)를 기준으로 총 저수용량의 규모에 따라 위험도 등급을 III단계 평가기준 표와 같이 결정한다.

I~III의 단계별 수문학적 안전성 평가기준은 다음에 제시한 바와 같다.

[표 5.37] 제 I 단계: 댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가

단계	구분	점수	댐의 형식	댐의 상태	평가기준	비 고
I	a	5	①, ②	모든 등급	검토 여유고가 여유고 기준을 만족하는 경우	I 단계 평가만 수행
	b	4	①, ②	A~C	검토 여유고가 여유고 기준을 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우	
	c	3	①, ②	D, E	검토 여유고가 여유고 기준을 만족하지 못하나 월류하지 않는 경우	
				A~C	댐 월류가 발생하나 비구조적 대책에 의해 월류가 방지될 수 있는 경우	
	d	2	①, ②	D, E	댐 월류가 발생하나 비구조적 대책에 의해 월류가 방지될 수 있는 경우	①:II, III단계 평가, ②:III단계 평가 수행
	e	1	①, ②	모든 등급	댐 월류가 발생하며, 비구조적 대책에 의해 월류방지가 불가능한 경우	-

<해 설>

- 댐의 형식 : ① 콘크리트댐, ② 필댐, 복합댐 및 CFRD
- 댐의 상태 : 댐 토목시설물의 상태안전성능 평가 기준(A~E)

[표 5.38] 제 II 단계: 가능최대 홍수량(PMF)에 대한 구조적 안전성 평가

단계	구분	점수	평가기준
II	a	5	PMF 유입 시 강재수문 및 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)의 구조적 안전성이 확보되는 경우
	b	4	PMF 유입 시 콘크리트 댐체(월류부 및 비월류부)는 구조적 안전성이 확보되나 강재수문의 구조적 안전성이 확보되지 않는 경우
	c	3	PMF 유입 시 비월류부 콘크리트 댐체의 안전성은 확보되나, 월류부 콘크리트 댐체와 강재수문의 안전성이 확보되지 않는 경우
	d	2	PMF 유입 시 강재수문 및 콘크리트 댐체가 (월류부 및 비월류부) 모두 구조적안전성을 확보하지 못하면서 댐마루 월류수심이 $h_c \leq 0.52H_d^{0.45} - 0.3$ 의 조건인 경우
	e	1	PMF 유입 시 강재수문 및 콘크리트 댐체가 (월류부 및 비월류부) 모두 구조적안전성을 확보하지 못하면서 댐마루 월류수심이 $h_c > 0.52H_d^{0.45} - 0.3$ 의 조건인 경우

<해 설>

- 구조적 안전성 검토항목 : 활동, 전도, 지지력 및 구조물의 응력비 (안전성 확보여부는 본 세부지침(댐)의 평가기준을 따름)
- h_c ≡ 댐마루 월류수심(m), H_d ≡ 댐 높이(m)

[표 5.39] 제 III 단계: PMF 유입시 하류부의 추가적 위험도에 따른 평가

단계	구분	점수	평가기준	비 고
III	a	5	댐의 붕괴 시 하류부의 인명 및 경제적 손실이 거의 없는 경우	
	b	4	댐의 붕괴 시 하류부의 범람정도가 붕괴되지 않은 상태와 큰 차이가 없을 것으로 판단되는 경우	상·하류 수위차가 적을 것으로 예상되는 경우
	c	3	댐의 붕괴가 댐 구조물 자체의 경제적 손실 이상의 피해는 거의 발생하지 않고 하류부에 주택 및 산업시설 등이 적어 인명피해의 가능성이 낮을 것으로 예상되는 경우, 또는 총 저수용량 100만 m ³ 미만인 경우	총 저수용량 규모는 EAP가 미수립된 댐에 대해 적용
	d	2	댐의 붕괴가 광범위한 경제적 손실을 초래하며 하류부에 주택 및 산업시설 등이 산재하여 인명피해의 가능성이 상당할 것으로 예상되는 경우 총 저수용량 100만 m ³ 이상 1,000만 m ³ 미만인 경우	
	e	1	댐의 붕괴가 대규모 경제적 손실을 초래하며 하류부에 주택 및 산업시설 등이 밀집되어 인명피해의 가능성이 높을 것으로 예상되는 경우 총 저수용량 1,000만 m ³ 이상인 경우	

<해 설>

- 경제적 손실과 인명피해의 범위는 기 수립된 각 댐의 EAP(비상대처계획) 내용 등을 참조하여 책임기술자가 판단하고, EAP가 수립되지 않은 댐에 대해서는 총 저수용량의 규모에 따라 결정함
- 총 저수용량 규모는 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」의 제1종 및 제2종 시설물의 범위(제1종: 1,000만톤 이상, 제2종: 100만톤 이상)를 기준으로 설정함

이상과 같은 단계별 평가를 종합한 수문학적 안전성 평가 결과는 최종적으로 다음과 같이 각 단계별 평가점수에 가중치를 적용하여 산출한다.

$$\text{수문학적 안전성 평가점수}(S_H) = \sum_{i=1}^N S_i W_i, \quad i=1 \sim N(N=2 \text{ 또는 } 3)$$

여기서, N : 평가단계의 수

S_i 및 W_i : 각 단계의 평가점수와 아래 표와 같이 결정되는 가중계수

[표 5.40] 수문학적 안전성 평가단계별 가중치

댐 형식	제 I 단계 (W_1)	제 II 단계 (W_2)	제 III 단계 (W_3)	비 고
콘크리트	0.5	0.3	0.2	
필댐, 복합댐, CFRD	0.7	—	0.3	제 II 단계 미적용

- 또한 책임기술자는 장기적인 관점에서 댐 시설물의 안전 및 운영 등에 영향을 미칠 수 있는 기후변화 관련인자를 참고하여 소견을 제시할 수 있다.
- 기후변화 관련인자로는 기상청 등에서 제공하는 기후변화 시나리오 기반 자료 및 이에 따른 월최대 강수량 변화율, 연강우강도 변화율, 최소기온 등을 참고할 수 있다.

2) 콘크리트댐

- 콘크리트 댐은 댐체의 자중과 댐체에 작용하는 외력에 대한 전도, 활동, 지지력 등의 외적안정해석과 피어부 등의 구조부재에 대한 내하력을 검토하여야 한다. 외적안정해석과 내하력 검토에 영향을 주는 인자들은 시간적, 환경적인 원인들에 의해 변화할 수 있으며, 특히 이상기후에 의한 홍수량의 증가, 양압력의 변화 등이 발생될 수 있다.
- 외적안정해석과 내하력 검토에 따른 안전성평가는 건설기준코드(구 댐 설계기준)에서 제시된 영향인자와 측정된 영향인자들을 적용하여 수행하는 것을 원칙으로 하고 그 이외의 추가적인 항목은 적절한 공인 기준에 따라 적용할 수 있다.
- 외적안정해석과 내하력 검토는 평상 시(지진력 미고려 조건)와 지진 시로 구분하여 수행한다.
 - 평상 시 조건의 경우는 설계홍수위 또는 최근 검토한 홍수량 유입 시의 최고수위 조건에 대하여 검토한다.
 - 지진 시에는 유사정적해석 방법을 적용하는 것을 원칙으로 하며 시설물 조건에 따라 필요 시 추가적으로 동적해석을 실시하여 댐체의 안전성을 평가할 수 있다.
 - 지진 시 고려하는 하중은 정적인 상태조건에 지진이 발생된 경우 구조물에 가해지는 하중들로 정적 수압하중, 동수압, 지진하중이 있다.
 - 정적 수압하중은 상시만수위, 설계홍수위 또는 댐 운영 중 재검토된 최고수위에 대한 하중조건 중 설계홍수위 또는 댐 운영 중 재검토된 최고수위에서 지진이 복합적으로 발생하는 것을 고려하는 것은 과대한 해석으로 판단할 수 있기 때문에 상시만수위 조건에서만 지진 시 외적안정해석 및 내하력 검토에 대한 안전성을 평가한다.
- 양압력은 암반을 기초로 하는 콘크리트댐의 댐체와 암반의 경계부에서 오랜 시간에 걸쳐 형성되는 압력으로 일시적인 수위의 변화에 따라 즉시 변동되는 것은 아니다. 건설기준코드(구 댐 설계기준)에서 역시 홍수와 같은 일시적인 수위의 변화에 따른 양압력의 변동여부에 대해서 별도의 기준을 제시하고 있지 않다. 따라서 건설기준코드(구 댐 설계기준)에서 제시하고 있는 기초지반 분류에서 보통암(S_B) 이상인 경우 홍수 시(설계홍수위나 최근 검토한 홍수량 유입시의 최고수위 조건) 양압력은 평상시 조건(상시만수위)의 양압력이 지속된다는 가정 하에 검토를 실시한다. 단, 양압력의 계측자료가 있으면 계측자료에 의한 변동추이를 반영할 필요가 있다.
- 홍수 시 방류수가 댐체에 작용하는 하중에 대해서는 건설기준코드(구 댐 설계기준)에서 별도로 규정하고 있지 않으며, 국외의 경우에도 월류부를 통한 방류수가 댐체에 하중으로 미치는 영향은 없는 것으로 규정하고 있으므로, 홍수 시 방류수에 의한 영향은 유속을 고려하여 적용 여부를 결정할 필요가 있다.

(가) 외적안정해석

- 외적안정해석은 비월류부와 월류부로 구분하여 수행하며, 각 경우를 대표할 수 있는 단면을 해석단면으로 선정한다.

- 외적안정해석에 의한 평가등급은 안전측을 고려하여 각 해석 단면 및 평상시와 지진 시에 대한 수위조건에서 가장 불안정한 상태를 나타내는 조건의 등급을 적용한다.

① 전도에 대한 안정

- 하중 검토 시 고려한 댐체 저면의 길이에 대하여 수직력과 수평력에 의한 합력이 중앙 1/3내에 작용하여 댐체 상류면에 연직방향의 인장응력이 발생하지 않도록 편심거리(e)는 댐체 저면 길이의 1/6 이내이어야 한다.
- 전도에 대한 기준선은 전단키를 제외한 암반선을 기준으로 한다.

$$e = \frac{L}{2} - \frac{\sum M_r - \sum M_o}{\sum V}$$

여기서, e : 댐체 저면 중심에서 합력의 작용점까지 편심거리(m)

L : 댐체 저면의 길이(m)

M_r : 저항 모멘트(N·m)

M_o : 전도 모멘트(N·m)

V : 수직력(N)

② 활동에 대한 안정

- 활동에 대하여 적용하는 전단강도 및 마찰계수는 암반과 콘크리트의 값 중에서 작은 값을 취하고 실측을 원칙으로 하되, 불가능할 경우에는 건설기준코드(구 댐 설계기준)의 값을 적용한다. 안전율은 4.0 이상으로 한다.

$$F_s = \frac{\tau_o \cdot L \cdot B + f \cdot \sum V}{\sum H}$$

여기서, F_s : 활동안전율

τ_o : 콘크리트 또는 암반의 전단강도(Mpa)

L : 댐체 저면의 길이(m)

B : 하중계산 시 고려한 댐체의 폭(m)

f : 콘크리트 또는 암반의 내부마찰계수

V : 수직력(N), H : 수평력(N)

③ 지지력에 대한 안정

- 지지력에 대한 안정조건은 상류측 선단에서의 인장응력이 발생하지 않도록 엄격히 제한하며, 그 이외의 저면에서는 허용 압축 및 인장응력을 넘지 않도록 한다. 허용응력 기준은 건설기준코드(구 댐 설계기준)을 참조하여 산정한다.

$$\left(\frac{q_1}{q_2} \right) = \frac{\sum V}{L \cdot B} \left\{ 1 \pm \frac{6e}{L} \right\}$$

여기서, q_1, q_2 : 지반반력(MPa)

V : 수직력(N)

e : 댐체 저면중심에서 합력의 작용점까지의 편심거리(m)

L : 댐체 저면의 길이(m)

B : 하중계산시 적용한 댐체의 폭(m)

[표 5.41] 활동에 대한 평가 기준

평가기준	평가점수	평가기준
a	5	활동에 대한 안전율이 4.0 이상일 경우
b	4	—
c	3	활동에 대한 안전율이 3.5이상 4.0미만일 경우
d	2	활동에 대한 안전율이 2.5이상 3.5미만일 경우
e	1	활동에 대한 안전율이 2.5미만일 경우

[표 5.42] 전도 및 지지력에 대한 평가 기준

평가기준	평가점수	평가기준
a	5	하중의 작용점이 편심거리 이내에 존재하여 상류측에 인장응력이 발생하지 않는 경우
b	4	—
c	3	하중의 작용점이 편심거리를 초과하여 상류측에 인장응력이 발생하나 허용인장응력의 1/2이내인 경우
d	2	하중의 작용점이 허용 편심거리를 초과하여 상류측에 인장응력이 허용인장응력 1/2 이상이나 허용응력 이내일 경우
e	1	하중의 작용점이 허용 편심거리를 초과하여 상류측에 인장응력이 허용인장응력을 초과할 경우

④ 외적안정에 대한 동적해석

- 앞에서 제시한 지진 시 평가 방법은 지진력을 유사정적하중으로 작용시키는 방법으로 상대적으로 높은 안전율을 확보할 수 있는 것으로 알려져 있다.
- 그러나 이는 댐의 동적인 특성을 고려하지 못하므로, 필요 시 동적해석방법을 외적 안정해석에 활용할 수 있다.
 - 동적해석 방법의 절차, 방법 및 안전성평가에 대해서는 건설기준코드(구 댐 설계기준)을 따른다.
 - 유사정적해석에 의한 평가결과가 “c” 이하로 평가된 조건에 대하여 동적탄성 해석을 실시할 수 있다. 이를 통해 외적안정과 국부응력에 대한 동적해석을 실시할 수 있으며, 이 때 국부응력은 주로 저부에서의 응력을 검토한다.
 - 외적안정과 국부응력에 대한 동적해석결과가 다음 표의 기준을 만족하는 경우 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가한다.
 - 동적해석 결과 구조 안전성을 확보한 것으로 평가된 경우 유사정적해석에 의한 외적 안정성평가 등급을 한 단계씩 상향 조정하며, 동적해석 결과 구조 안

전성을 만족하지 못한 것으로 평가된 경우 유사정적해석에 의해 산정된 평가 등급을 그대로 적용한다.

- 동적해석 시 책임기술자의 판단에 따라 동적소성해석방법을 사용할 수 있다.

[표 5.43] 외적안정과 국부응력에 대한 동적해석결과 평가기준

평가항목	평가 내용
[1] 전도	합력의 작용점이 저면 내에 존재하고 최대 동적 인장응력이 동적 인장강도 이하
[2] 활동	henny식에 의한 전단마찰 동적 안전율이 1.0 이상이고 최대 동적 전단 응력이 동적 전단강도 이하
[3] 지지력	최대 압축응력이 지반의 허용지지력의 1.3배 이하 또는 콘크리트 동적 압축강도 이하

<해 설>

- 동적 전단강도(v_{ca})는 정적 전단강도의 1.0배, 정적 전단강도는 정적 압축강도(f_{ck})의 0.1배
- 동적 인장강도(f_{ta})는 정적 쪼갬 인장강도의 1.5배, 정적 쪼갬 인장강도는 $0.5 \sim 0.6 \sqrt{f_{ck}}$ 를 적용할 수 있으며 일반적인 댐 콘크리트의 경우 보통 $0.57 \sqrt{f_{ck}}$ 를 적용
- 동적 압축강도(f_{ca})는 정적 압축강도(f_{ck})의 1.15배

(나) 월류부 내하력 검토

- 월류부의 내하력 검토는 강재수문을 지지하는 월류부 피어 등 구조부재에 대하여 수행하는 것을 원칙으로 하며 이 때 댐축 방향에 대한 평가가 포함되어야 한다.
- 내하력 검토는 콘크리트구조기준해설 등에서 제시하고 있는 기존구조물의 안전성평가에 대한 조향을 참조하여 수행한다.
- 내하력 검토 결과에 대한 평가는 다음 표를 기준으로 실시하며 평가등급은 안전율을 고려하여 각 해석 단면 및 수위조건에서 가장 불안정한 상태를 나타내는 조건의 등급을 적용한다.
- 지진 시 월류부 내하력 검토는 유사정적해석 방법을 적용하는 것을 원칙으로 하나, 당초 설계시 축방향력에 대한 설계가 되지 않은 구조물의 경우 책임기술자의 판단에 따라 동적해석방법에 의하여 내하력을 검토할 수 있으며 아래 표의 기준을 적용하여 검토 결과에 대한 평가등급을 산정할 수 있다.

[표 5.44] 내하력 검토에 대한 평가 기준

평가기준	평가점수	평가 내용	비 고
a	5	SF > 1.0으로 주부재에 손상이 없는 경우	SF(안전율)= $\frac{\text{내하력}}{\text{발생하중}}$
b	4	SF > 1.0으로 주부재에 손상(중요결함)이 있는 경우	
c	3	$0.9 \leq \text{SF} < 1$	
d	2	$0.75 \leq \text{SF} < 0.9$	
e	1	SF < 0.75	

- 지진 시 구조물의 내하력 검토를 위하여 적용한 유사정적해석 방법을 보완하기 위한 목적으로 필요 시 동적해석방법을 적용할 수 있다.
 - 건설기준코드(구 댐 설계기준)에서 제시하고 있는 동역학적 검토 시 내하력 산정절차 및 건설기준코드(구 콘크리트구조기준해설) 등을 참조하여 수행한다.
 - 외적안정에 대한 동적해석의 경우와 마찬가지로 유사정적해석에 의한 평가결과가 “c” 이하로 평가된 조건에 대하여 동적해석을 실시할 수 있으며, 내하력 평가를 위하여 책임기술자의 판단에 따라 동적탄성해석 또는 동적소성해석을 적용할 수 있다.
 - 동적해석 결과 구조 안전성을 확보한 것으로 평가된 경우 유사정적해석에 의한 내하력 평가 등급을 한 단계씩 상향 조정하며, 동적해석 결과 구조 안전성을 만족하지 못한 것으로 평가된 경우 유사정적해석에 의해 산정된 평가등급을 그대로 적용한다.

(다) 수문학적 안전성 평가 기준

- 필댐에서 제시한 단계별 평가기준을 따른다.

3) 기계설비

- 기계설비의 안전성 평가는 안전성에 문제가 있다고 판단되는 특별한 경우를 제외하고는 별도로 수행하지 않는 것이 일반적이다.
- 안전성 평가를 수행할 경우에 동일규격의 설비가 다수 설치된 경우에는 취약한 설비를 선정하여 대표적으로 수행하며 안전성 평가 결과를 동일규격의 설비에 같이 적용하며, 제반설계서 또는 기존의 정밀안전진단 또는 성능평가 보고서가 있는 경우 이들을 검토하여 안전성을 판단하고 설계서 등이 없는 경우에는 주요 부재에 대한 응력비 검토를 시행한다.
 - 수압은 수문의 바닥고에서 상시만수위까지 고려하며, 평상시 조건의 경우 물결의 처오름 높이를 포함한 파랑고, 지진시의 경우는 지진에 의한 파랑고를 저수지 수위에 포함한다.
 - 주요부재는 강재설비설계기준, 댐연시설기술기준, 수문·통문게이트설계요령 및 건설기준코드(구 농지개량사업계획설계기준(해면간척편)) 등을 참고하여 검토하여야 한다.
 - 부재의 적용치수는 주로 설계도서를 기준으로 하고 특별한 경우(부식이 많이 진행된 경우 등)에는 실측값을 적용한다.
 - 안전성 평가는 부재의 휨, 전단 등에 대한 응력비(허용응력/발생력) 값에 따라 아래와 같이 안전성 평가 결과를 결정한다.

[표 5.45] 안전성 평가 지수에 따른 평가 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	산출된 응력비가 1.5 이상인 경우
b	4	산출된 응력비가 1.5 미만 1.1이상인 경우
c	3	산출된 응력비가 1.1 미만 1.0이상인 경우
d	2	산출된 응력비가 1.0 미만 0.9이상인 경우
e	1	산출된 응력비가 0.9미만인 경우나, 부식으로 단면손실이 있는 경우

<해 설>

- 응력비는 부재의 허용응력/발생응력에 대한 비율로 산출

5.4.3 안전성능 평가 결과 산정 방법

가. 상태안전성능 결과산정 방법

- 댐 시설물에 대한 상태안전성능 평가는 아래 그림과 같이 단계별로 구분할 때 일반적으로 통합시설물(6단계)에 해당하는 시설물로서 간주되며, 이를 하위단계인 복합시설, 개별시설, 복합부재, 개별부재로 구분한다.
- 외관조사망도는 개별부재에 대하여 작성하는 것을 원칙으로 하고 필요 시 개별부재의 크기, 면적에 따라 부위별로 분할하여 작성한다.



[그림 5.1] 댐 시설물 단계별 평가 절차

나. 평가단계별 구분

시설물의 안전성능을 평가하기 위하여 다음 표와 같이 평가단계별 구분표를 작성한다.

[표 5.46] 평가단계별 구분표(예시)

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분							
평가구분		평가대상								
상태 안전성능	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상)	블록1 (담마루1 ... 상류면1 ... 하류면1 ...)	좌안 옹벽 1,2,...	웨어 1,2,...	바닥 슬래브 1,2,...	바닥 슬래브 1,2,...	•권양기 로프 드럼 감속기 제동장치 •강재수문 외관 아암 보강재 트러니언 수밀부 롤러부 (가이드 플레이트 포함)	기계 설비	
	2단계	개별부재	블록2 (담마루2 ... 상류면2 ... 하류면2 ...)	우안 옹벽 1,2,...	좌안 옹벽 1,2,...	우안 옹벽 1,2,...	좌안 옹벽 1,2,...			
	3단계	복합부재	블록 1,2,3,...	접근 수로	조절부	급경사 수로	감세공			권양기1,2,... 강재수문1,2,...
안전성능 (상태안전/ 구조안전)	4단계	개별시설	필댐:제체1, <제체2> (콘크리트댐 : 비월류부)	필댐 : 여수로1 <여수로2> (콘크리트댐 : 월류부)				강재수문1, 강재수문2, ...		
				토목시설				기계설비		
안전성능	5단계	복합시설	제체	여수로						
	6단계	통합시설	00 댐							

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

<해 설>

- 구조안전성능과는 4단계에서 통합([그림 5.1] 참조)

1) 1단계 상태안전성능 평가 : 부재(部材)별 손상상태 평가표 작성

- 시설물의 상태안전성능 평가 단계별 구분표에 따라 개별부재를 1개 외관조사망도 또는 필요에 따라 부위별로 다수의 외관조사망도로 구분하여 개략도에 손상 및 결함상태를 도시하고, 조사결과표에 개별부재에 대한 손상내용을 상세히 기록한 후, 그 손상 정도에 대하여 5단계(a~e) 상태안전성능 평가 결과 및 평가점수를 부여한다.
- 손상상태 평가표에는 평가항목에 없는 상태변화라 할지라도 모두 기록하는 것을 원칙으로 한다.

[표 5.47] 부재별 손상상태 평가표

부위(망번호) / 개별부재		복합부재 / 개별시설물		표 번호	
블록1 / 댐마루		블록1 / 제체		No. 1-1	
<p>※ 개략도 작성 시 규격용지를 횡으로 사용할 경우 또는 부위별로 여러 장일 경우는 손상에 일련번호를 매기고, 별도의 용지에 아래의 조사결과표를 개별부재에 대하여 작성</p>					
조 사 결 과 표					
번 호	상태변화 종류	상태변화 내용	단 위	크 기	평가결과
①	균열	중방향균열	폭(mm) × 길이(m)	5.0 × 5.0	d
②	변형	가드포스트 기울어짐			c
③					
④					
조사일자 : 20 . . .			조사자 : 홍길동, 김철수		

2) 2단계 상태안전성능 평가 : 개별부재(個別部材) 평가표 작성

- 댐체, 여수로 등과 같이 길거나 또는 면적이 넓은 슬래브는 이를 1개의 개별부재로 평가할 경우 일부에 발생한 손상이 평가결과에 미치는 영향이 크므로 콘크리트 구조물에서는 그 손상이 부재에 영향을 미칠 수 있는 범위(길이 10~20m) 또는 수축이음부, 제체에서는 수십~수백m로 적절히 동일 규모가 되도록 분할하여 각각을 개별부재로서 평가한다.
- 개별 부재별로 작성된 외관조사망도에 나타난 손상 및 결함을 평가유형별로 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분한다.
- 개별부재의 평가는 각각의 손상 및 결함에 대한 평가기준에 따른 평가점수(M)에 손상 및 결함이 부재의 안전에 미치는 영향을 반영한 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 산출한다.
- 산출된 결함 및 손상의 상태안전성능 평가지수(E_1) 중 최솟값을 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) 및 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

[표 5.48] 상태안전성능 평가 결과별 평가지수 및 평가유형별 영향계수

상태안전성능 평가 결과별 평가지수 범위		구 분		영 향 계 수(F)					
평가기준	평가지수 (E ₁ ~ ₇ , Es, Ec)	평가기준 (평가점수 : M)		a (5)	b (4)	c (3)	d (2)	e (1)	
a	4.5 ≤ E ₁ ≤ 5.0	평 가 유 형	중요결함	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
b	3.5 ≤ E ₁ < 4.5		국부결함	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0	
c	2.5 ≤ E ₁ < 3.5		일반손상		1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
d	1.5 ≤ E ₁ < 2.5								
e	1.0 ≤ E ₁ < 1.5								

- 결함 및 손상의 상태안전성능 평가지수(E_1) = $M \times F$
여기서, M : 평가점수, F : 영향계수
- 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) = Min (다수의 E_1 값)
평가결과를 결정하기 위한 평가지수 값은 소수3째 자리를 반올림하여 사용한다.

[표 5.49] 개별부재 평가표(예)

개 별 부 재		댐마루			표 번호
1단계 표 번호		1-1			2-1
조사항목	평가유형	평가기준	평가점수 M	영향계수 F	평가지수 $E_1 = M \times F$
중방향 균열	중요결함		2	1.0	2.0
	국부결함				
가드포스트 파손	일반손상		3	1.3	3.9
개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) = 상태안전성능 평가지수 E_1 중 최솟값 =					2.0
개별부재의 상태안전성능 평가 결과 =					d

3) 3단계 상태안전성능 평가 : 복합부재(複合部材) 평가표 작성

- 복합부재는 개별부재의 집합으로 주요부재와 보조부재로 구분할 수 있다.
- 복합부재의 평가는 개별부재가 복합부재의 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도를 반영. 콘크리트 부재는 조사망 면적 비율을 기준으로 중요도 결정한다. 이때 개별부재의 중요도의 합이 100이 되도록 규정
- 중요도가 규정되지 않은 추가적인 개별부재가 있는 경우에는 그 개별부재의 중요도를 판단하여 정하고, 기타의 부재들은 규정된 비율대로 배분한다.
- 책임기술자는 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정할 수 있다.
- 또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응한 보정을 하기 위하여 조정계수를 사용한다.
- 복합부재의 평가지수(E_3) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 평가지수(E_2) 별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재 전체의 안전성을 보수적으로 평가한다. 즉, 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출하게 된다.
- 복합부재의 평가는 개별부재의 평가지수(E_2)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3)를 산출하고 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.
 - 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) = $\sum(E_2 \times A \times W) / \sum(A \times W)$
 여기서, E_2 : 개별부재의 상태안전성능 평가지수
 A : 조정계수
 W : 중요도

[표 5.50] 평가지수에 따른 조정계수

평가결과	a	b	c	d	e
평가지수 ($E_1 \sim 7$, E_s , E_c)	5.0 ~ 4.5이상	4.5미만~ 3.5이상	3.5미만~ 2.5이상	2.5미만~ 1.5이상	1.5미만~ 1.0이상
조정계수(A)	1	2	3	6	6

[표 5.51] 중요도 조정방법(예)

구 분	댐 마 루	상류사면	하류사면	기타	비 고
중요도	40 $\pm 8(20\%)$	30 $\pm 6(20\%)$	30 $\pm 6(20\%)$	—	
중요도 (조정 후)	$40 \times 100 / 110$ $= 36.4 \Rightarrow 36$	$30 \times 100 / 110$ $= 27.3 \Rightarrow 27$	$30 \times 100 / 110$ $= 27.3 \Rightarrow 27$	10	

- 상기 예시는 시설물에서 어느 특정 부재가 추가되거나, 없는 경우에 중요도를 조정하여 중요도의 합이 100이 되도록 조정하기 위한 방법이다.

[표 5.52] 복합부재 평가표(예)

복 합 부 재	블록1					표 번호
2단계 표번호	2-1, 2-2, 2-3, 2-4					No. 3-1
개별부재	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E_2	A	W	$A \times W$	$E_2 \times A \times W$
댐 마 루1	d	2.0	6	40	240.0	480.0
상류사면 조사망1	c	3.4	3	30	90.0	306.0
하류사면 조사망1	b	3.6	2	14	28.0	100.8
하류사면 조사망2	c	2.8	3	16	48.0	134.4
합계(Σ)				100	406.0	1021.2
<조사자 의견>						
1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) $= \Sigma(E_2 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 1,021.2 / 406.0 =$						2.52
2. 복합부재의 상태안전성능 평가 결과 =						c

4) 4단계 상태안전성능 평가 : 개별시설(個別施設) 평가표 작성(구조안전성능과 통합)

- 댐의 제체는 개별시설로서 동일기능을 수행하는 복합부재(블록1, 블록2, ...)의 집합으로 구성되어 있다.
- 개별시설의 평가는 복합부재의 중요도는 같다는 가정하에 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3)에 규모(길이, 면적, 부피, Capacity 등)를 반영하여 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_c)를 산출하고 상태안전성능 평가 결과를 결정한다. 댐 시설물에서 규모(S)값은 조사망 면적(m^2)을 사용하는 것을 원칙으로 하고, 책임기술자의 판단에 따라 길이, 부피 등을 사용할 수 있다.
- 또한 개별시설의 평가단계에서는 구조안전성능 평가결과를 반영하여 종합평가를 수행한다.
 - 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_c) = $\text{Min} + V_1 \times V_2$
 여기서, $V_1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$
 $V_2 = \Sigma(E_3 \times S) / (5 \times \Sigma S)$
 S : 규모
 Max : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) 최댓값
 Min : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) 최솟값

[표 5.53] 개별시설 평가표 (4단계평가표 부분 예시)

개 별 시 설	제 체			
3단계 표번호	3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 3-5			
복합부재명	평가결과	평가지수	규 모(m ²)	계산값
		E ₃	S	E ₃ ×S
블록1	c	2.52	150	378.0
블록2	b	3.50	200	700.0
블록3	b	3.77	250	942.5
블록4	b	3.87	200	774.0
블록5	c	3.02	250	755.0
합계(Σ)			1050.0	3,549.5
<조사자 의견>				
1. 상태안전성능 평가지수(E ₃) 최댓값 (Max. Value) =				3.87
2. 상태안전성능 평가지수(E ₃) 최솟값 (Min. Value) =				2.52
3. V ₁ = 0.3×(Max.-Min) = 0.3×(3.87-2.52) =				0.41
4. V ₂ = Σ(E ₃ ×S) / (5×ΣS) = 3,549.5 / (5×1050.0) =				0.68
5. 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E _c) = Min.+V ₁ ×V ₂ = 2.52+0.41×0.68 =				2.80
6. 개별시설의 상태안전성능 평가 결과 =				c

[표 5.54] 상태안전성능과 구조안전성능 평가 결과 종합

상태안전성능 평가					
개별시설명	평가결과	평가지수	규 모(m²)	계산값	
		E ₃	S	E ₃ ×S	
월류부	c	2.52	150	378.0	
비월류부	b	3.50	200	700.0	
합계(Σ)			350	1,078.0	
<조사자 의견>					
1. 상태안전성능 평가지수(E ₃) 최댓값 (Max. Value) =				3.50	
2. 상태안전성능 평가지수(E ₃) 최솟값 (Min. Value) =				2.52	
3. V ₁ = 0.3×(Max.-Min) = 0.3×(3.50-2.52) =				0.29	
4. V ₂ = Σ(E ₃ ×S) / (5×ΣS) = 1,078.0 / (5×350.0) =				0.62	
5. 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E _c) = Min.+V ₁ ×V ₂ = 2.52+0.29×0.62 =				2.70	
6. 개별시설의 상태안전성능 평가 결과 =				C	
구조안전성능 평가					
평가항목	평가결과	평가점수	평가항목	평가결과	평가점수
1. 사면안정해석	b	4			
2. 수문학적 안전성	c	3			
<검토자의견>					
1. 평가항목수(N)에 따라 E _s 수식 선택					
1.1) N=1이면 E _s = Min,					
N=2이면 E _s = Min + 0.3 × (Max - Min)					
1.2) N>2이면 E _s = Min + 0.3 × (Max - Min) × Σ M / (5 × (N-2))					
(Max, Min = 평가점수 최대, 최솟값 : M = 최대, 최솟값을 제외한 나머지 중간값)					
2. 개별시설 구조안전성능 평가지수(E _s) =				3.3	
3. 개별시설 구조안전성능 평가 결과 =				C	
종 합 평 가					
1. 개별시설 안전성능 평가지수(E ₄) = 최솟값 (E _c , E _s) =				2.70	
2. 개별시설 안전성능 평가 결과 =				C	

<해 설>

- 구조안전성능 평가는 본 절의 ‘라. 구조안전성능 결과산정 방법’을, 안전성능평가는 ‘마. 안전성능평가 산정 기준’을 참조한다.

5) 5단계 안전성능평가 : 복합시설(複合施設) 평가표 작성

- 댐 시설은 각각 기능이 다른 다수의 복합시설(제체, 여수로 등)이 모여 있으며, 각각의 복합시설들은 주요시설과 보조시설로 구분할 수 있다. 개별시설의 기능에 문제가 발생할 경우 복합시설의 목적수행에 미치는 영향을 판단하여 개별시설의 중요도를 반영한다.
- 개별시설의 안전성능평가지수(E_4)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 복합시설의 안전성능평가지수(E_5)를 산출하고 복합시설의 안전성능 평가 결과를 결정한다. 이때 개별시설의 중요도의 합은 100이 되도록 규정하고, 개별시설의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있는 경우에는 규정된 값의 20% 범위 내에서 조정할 수 있다.
 - 복합시설의 안전성능 평가지수(E_5) = $\sum(E_4 \times A \times W) / \sum(A \times W)$
 여기서, E_4 : 개별시설의 평가지수
 A : 조정계수
 W : 중요도
 - ① 필댐 (토목시설: 85%, 기계설비: 15%)
 - ② 콘크리트댐 (토목시설: 80%, 기계설비: 20%)
- 이 때 기계설비의 안전성능평가는 본 절 '다. 기계설비'의 절차를 참조하여 복합시설의 안전성능평가를 실시한다.
- 제체가 다수인 경우, 중요도는 각각의 길이, 면적, 체적 등의 비율로 중요도를 배분할 수 있다. 여수로가 다수인 경우, 중요도는 각각의 면적 또는 여수로 설계방류량 비율로 배분이 가능하다. 콘크리트 댐의 경우 월류부와 비월류부의 중요도의 배분은 댐 축의 길이 비율로 배분한 후 월류부의 값에 20%를 할증한 값을 중요도로 하고, 비월류부는 월류부 할증 값을 제외하여 중요도를 산출할 수 있다.

[표 5.55] 복합시설 평가표(예1)

복 합 시 설	제체					표 번호
4단계 표번호	4-1, 4-2					No. 5-1
개별시설	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E_4	A	W	$A \times W$	$E_4 \times A \times W$
제체1	C	2.80	3	50	150.0	420.0
제체2	B	3.54	2	50	100.0	354.0
합계(Σ)				100	250.0	774.0
<조사자 의견>						
1. 복합시설의 안전성능 평가지수(E_5) = $\sum(E_4 \times A \times W) / \sum(A \times W) = 774.0 / 250.0 =$						3.10
2. 복합시설의 안전성능 평가 결과 =						C

[표 5.56] 복합시설 평가표(예2)

복 합 시 설	여수로					표 번호
4단계 표번호	4-3, 4-4					No. 5-2
개별시설	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E_4	A	W	$A \times W$	$E_4 \times A \times W$
여수로	B	3.62	2	85	170	615.4
기계설비	B	3.57	2	15	30	107.1
합계(Σ)				100	200	722.5
<조사자 의견>						
1. 복합시설의 안전성능 평가지수(E_5) $= \Sigma(E_4 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 722.5 / 200 =$						3.61
2. 복합시설의 안전성능 평가 결과 =						B

6) 6단계 안전성능 평가 : 통합시설(統合施設) 평가표 작성

- 댐은 유지관리 방법이 다른 복합시설(제체, 여수로, 기타시설)로 구성되어 있는 통합시설에 해당한다. 이들은 어느 시설이든 문제가 발생할 때 통합시설의 안전과 목적수행에 지장이 발생하므로 복합시설의 안전성능 평가지수(E_5)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 통합시설의 안전성능 평가지수(E_6)를 산출한다. 이때 복합시설의 중요도의 합은 100이 되도록 규정하고, 복합시설의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있는 경우에는 규정된 값의 20% 범위 내에서 조정할 수 있다.
- 댐 시설물의 안전성능 평가는 통합시설 평가표(6단계평가)를 작성하는 것으로 종료한다.
 - 통합시설의 안전성능평가지수(E_6) = $\Sigma(E_5 \times A \times W) / \Sigma(A \times W)$
 여기서, E_5 : 복합시설의 평가지수
 A : 조정계수
 W : 중요도
 ① 필댐 (제체: 74%, 여수로: 26%), ② 콘크리트댐 (댐체: 51%, 여수로: 49%)

[표 5.57] 통합시설 평가표(예)

통 합 시 설	○○댐					표 번호
5단계 표번호	5-1, 5-2, 5-3					No. 6-1
복합시설	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E_5	A	W	$A \times W$	$E_5 \times A \times W$
제 체	C	3.10	3	74	222	688.20
여 수 로	B	3.61	2	26	52	187.72
합계(Σ)				100	274	875.92
<조사자 의견>						
1. 통합시설의 안전성능 평가지수(E_5) $= \Sigma(E_5 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 875.92 / 274$						3.20
2. 통합시설의 안전성능 평가 결과 =						C

다. 기계설비

- 기계설비의 상태를 평가하기 위한 평가단계별 구분은 강재수문을 개별시설에 해당하는 것으로 하고, 강재수문 및 권양기로 구분하여 복합부재로 평가한다.
- 또한, 각각의 복합부재를 다음 표와 같이 개별부재로 분류하고, 설치되어 있는 개별부재의 중요도는 동일하게 적용한다.
- 4단계 평가 시 규모는 복합부재의 중요도로 정하며, 댐 형식별 복합부재의 중요도는 각각 다음과 같다.
 - 필댐 - 권양기 : 53%, 강재수문 및 문틀: 47%
 - 콘크리트댐 - 권양기: 55%, 강재수문 및 문틀: 45%
- 기계설비는 여수로 등 해당시설물의 개별시설로 평가하고, 토목시설과 함께 복합시설을 평가한다.
- 5단계 평가 시 개별시설의 중요도는 토목시설 85%, 기계설비 15%를 적용한다.
- 책임기술자는 현장 여건에 따라 중요도를 20% 범위 내에서 조정할 수 있다.
- 기계설비의 손상상태평가표는 복합부재에 대하여 작성하며, 주로 손상상태를 기록하고 필요한 경우에만 개략도를 포함하여 작성한다.
- 기계설비의 상태안전성능 평가 절차는 댐 시설물과 같은 방법 및 절차로 수행한다.

[표 5.58] 기계설비의 상태안전성능 평가 단계별 구분표

상태안전성능 평가 단계별 구분		부재 및 시설물의 단계별 구분			
평가구분		평가대상			
상태 안전성능	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함,손상)	○ 권양기 로프, 드럼, 감속기 제동장치	○ 권양기 로프, 드럼, 감속기 제동장치	...
	2단계	개별부재	○ 강재수문 외판, 아암, 보강재 트러니언, 수밀부 롤러부(가이드 플레이트포함)	○ 강재수문 외판, 아암, 보강재 트러니언, 수밀부 롤러부(가이드플레 이트포함)	
	3단계	복합부재	권양기, 강재수문	권양기, 강재수문	...
상태/구조 안전성능	4단계	개별시설	여수로 기계설비	취수시설 기계설비 ²⁾	...
	5단계	복합시설	여수로	기타 시설	
	6단계	통합시설	00 댐		
안전성능	7단계	종합시설	-		

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

주2) 성능평가는 기본시설만을 대상으로 하므로 취수시설 등 부대시설에 해당하는 기계설비를 제외하고 4, 5단계를 통합하여 평가할 수 있다.

라. 구조안전성능 결과산정 방법

1) 구조안전성능 결과산정

- 구조물의 각종 해석을 통하여 안전성 평가기준에 따른 각각의 안전성 평가 결과가 결정되면 이들을 종합하여 하나의 구조안전성능 평가 결과를 결정하기 위하여 본 평가체계에서 다음과 같은 수식을 사용한다.

$$\text{안전성능 평가지수}(E_s) = L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N-2)}, \quad (N > 2)$$

$$= L + 0.3(H - L), \quad (N = 2)$$

여기서, N : 구조안전성능 검토항목 수

L : 검토항목의 구조안전성능 평가지수(평가점수) 중 최솟값

H : 검토항목의 구조안전성능 평가지수(평가점수) 중 최댓값

M_i : 검토항목의 최대 및 최솟값을 제외한 나머지 값들

- 이 수식에 의해 산출되는 구조안전성능 평가지수(E_s)는 각 검토항목의 안전성 평가 결과 중 가장 낮은 안전성 평가 결과보다 다소 상향된 결과로 평가된다.
- 검토단면이 다수인 경우도 각 검토단면의 안전성 평가 결과를 하나의 검토항목으로 간주하여 위의 식에 의해 최종적인 전체 구조물의 구조안전성능 평가 결과를 결정할 수 있다.
- 구조안전성능 평가는 각 시설물의 개별부재 또는 복합부재에 대한 각종 해석(구조, 수리해석 등)에 의한 안전율을 계산하여 각각의 안전성 평가 기준에 따른 구조안전성능 평가 결과를 결정한 후 위의 식으로 개별시설물의 구조안전성능 평가지수를 산출한다.
- 또한 다음에 제시된 구조안전성능 평가지수 범위에 따른 안전성 평가 기준에 의해 개별시설물의 구조안전성능 평가 결과를 결정한다.

[표 5.59] 구조안전성능 평가지수에 따른 구조안전성능 평가 기준

구조안전성능 평가지수의 범위	구조안전성능 평가 기준	구조안전성능 평가 점수
$4.5 \leq E_s \leq 5.0$	A	5
$3.5 \leq E_s < 4.5$	B	4
$2.5 \leq E_s < 3.5$	C	3
$1.5 \leq E_s < 2.5$	D	2
$1.0 \leq E_s < 1.5$	E	1

2) 구조안전성능 평가결과 산정 예시

- 시설물은 분야별로 크게 댐체, 여수로, 기계설비 등으로 구분할 수 있으며, 앞서 기술한 상태안전성능 평가단계별 구분표에서 4단계에 포함되는 구조안전성능 평가 산정 방법을 다음과 같이 예로 들었다.

[표 5.60] 구조안전성능 평가표 (4단계 상태안전성능 평가표 부분 예시)

구조안전성능 평가					
평가항목	평가결과	평가점수	평가항목	평가결과	평가점수
1. 계측데이터	c	3	5.		
2. 사면안정해석	b	4	6.		
3. 수문학적 안전성	c	3	7.		
4.			8.		
<검토자 의견>					
1. 평가항목수(N)에 따라 Es 수식 선택 1.1) N=1이면 $Es = Min$ N=2이면 $Es = Min + 0.3 \times (Max - Min)$ 1.2) N>2이면 $Es = Min + 0.3 \times (Max - Min) \times \sum M / (5 \times (N-2))$ (Max, Min = 평가점수 최대, 최솟값 : M = 최대, 최솟값을 제외한 나머지 중간값)					
2. 개별시설 구조안전성능 평가지수(Es) =					3.18
3. 개별시설 구조안전성능 평가 결과 =					C

마. 안전성능 평가 산정 기준

- 시설물의 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 결과를 종합적으로 비교·검토하여 아래와 같이 해당 시설물에 대한 안전성능 결과를 산정한다.

[표 5.61] 안전성능평가 종합결과 산정 기준

안전성능 평가 지수(E)	안전성능 결과 기준	비 고
$4.5 \leq E \leq 5.0$	A	
$3.5 \leq E < 4.5$	B	
$2.5 \leq E < 3.5$	C	
$1.5 \leq E < 2.5$	D	
$1.0 \leq E < 1.5$	E	

바. 안전성능 평가 결과산정

- 평가대상 개별시설에 대하여 상태안전성능 평가 및 구조안전성능 평가를 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능 평가지수와 구조안전성능 평가지수를 비교하여 작은 값을 종합평가를 위한 평가지수(E_4)로 결정·적용하여 개별시설의 평가 결과를 결정하고, 평가단계별로 그 결과를 취합하여 평가를 실시한다.
- 구조안전성능 평가를 실시하지 않은 경우는 상태안전성능 평가지수를 안전성능에 대한 평가지수로 같음한다.
- 안전성능 평가 결과를 결정하기 위해 시설물별 상태안전성능 평가 및 구조안전성능 평가 결과로 산출된 상태안전성능 평가지수와 구조안전성능 평가지수를 사용하며, 이 값 중에서 작은 값을 개별시설의 평가지수(E_4)로 적용하여 평가지수에 따른 종합평가 기준에 따라 평가대상 시설물에 대한 평가 결과를 부여한다.

$$\text{안전성능 평가지수 } (E_4) = \text{Min}(E_c, E_s)$$

여기서, E_c : 개별시설의 상태안전성능 평가지수

E_s : 개별시설의 구조안전성능 평가지수

- 개별시설 평가 이후 복합시설, 통합시설 순서로 안전성능 평가가 수행되며 최종 안전성능 평가는 복합시설의 평가결과로 안전성능에 대한 대표등급이 부여된다.
- 또한, 안전성능 평가 결과의 판정 시에는 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가 결과 및 안전성능에 영향을 미치는 주요 지표에 대한 조사·평가결과 판정에 대한 관련분야 전문가 소견을 종합하여 책임기술자가 판단한 근거를 포함하는 소견을 달아야 한다.

5.5 내구성능 평가 기준 및 방법

5.5.1 일반

댐의 내구성능평가는 크게 강재 내구성능평가 및 콘크리트 내구성능평가 분야로 구성된다. 댐 시설물의 경우 강재 내구성능평가 분야에서는 세부시설물별로 조사된 지표별 결과값 및 세부시설물별 가중치를 적용하여 등급을 산정한다. 콘크리트 내구성능평가 분야에서는 시설물의 특성을 고려하여 선정된 평가지표에 대하여 평가지표별로 최저등급 또는 평균값을 적용하여 대푯값을 산정하고, 세부시설별 가중치를 적용하여 등급을 산정한다. 또한 강재 내구성능과 콘크리트 내구성능에 대한 가중치를 적용하여 전체 댐 시설물에 대한 최종 내구성능 결과를 도출한다.

5.5.2 강재 내구성능 평가 지표 및 기준

가. 개요

강재 내구성능 평가 항목은 크게 내부적 요소(열화진전 요소)와 외부적 요소(열화환경 요소)로 구분되며, 내부적 요소는 ‘발청 및 도장열화’, ‘도장두께’, 외부적 요소는 ‘해안 이격거리’, ‘이산화황 농도’, ‘습도’ 등을 포함하는 ‘대기환경’으로 구성된다.

여기서, 강재수문의 도장열화는 발청을 포함하여 박리, 균열, 부푼, 변색·백아화 등 5가지 열화요인에 대해 각각 평가하고 중요도 비율에 따라 합산 및 등급산정을 한다. 권양기는 와이어로프에 대하여 발청, 직경감소, 소선절단 등의 지표에 대하여 평가하도록 제시하고 있으나, 권양기 구동형식이 와이어로프가 아니거나 액츄에이팅 방식이 상이한 경우 이들 지표는 강재 내구성능 평가단계에서 제외할 수 있다. 다만, 평가에서 제외된 경우라 하더라도 조사된 내용은 보수보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.

[표 5.62] 댐 강재 내구성능 평가지표 및 세부평가지표

구분	평가지표	세부 평가지표
강재수문	발청 및 도장 열화	발청, 박리, 균열, 부푼, 백아화
	도장 두께	—
	대기환경	해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도
권양기 와이어로프	발청(표면부식)	—
	직경감소	—
	소선절단	—
	대기환경	해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도



나. 강제 내구성능 평가 성능지표 및 기준

1) 도장열화

(가) 발청(표면부식, 녹)

[표 5.63] 발청 평가기준(강제수문)

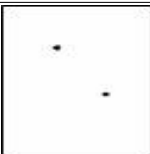
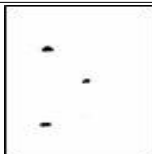
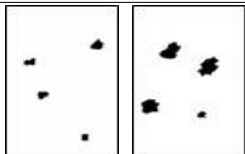
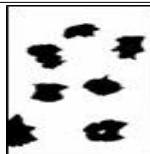
평가 기준	평가내용	
	발청 면적	외관 상태
a	0.05% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 등급 1)
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 등급 2)
c	0.5 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 3)
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 4/5)
e	—	—

발청			
표준사진 등급 1	표준사진 등급 2	표준사진 등급 3	표준사진 등급 4/5
			

(나) 도장 박리

[표 5.64] 도장 박리 평가기준




평가 기준	평가내용	
	도장 박리 면적	외관 상태
a	0.1% 미만	외관상 박리가 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 Quantity 1)
b	0.1% 이상 ~ 0.3% 미만	미소하게 박리가 확인되지만, 박리된 부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 Quantity 2)
c	0.3% 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 박리가 보이는 상태(표준사진 Quantity 3/4)
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 박리가 발생되어 있는 상태(표준사진 Quantity 5)
e	—	—

도장 박리			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3/4	표준사진 5
			

(다) 도장 균열

[표 5.65] 도장 균열 평가기준



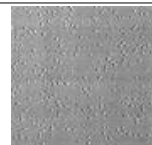
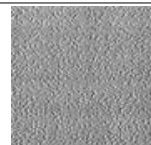
평가 기준	평가내용	
	도장 균열 면적	외관 상태
a	0.05% 미만	외관상 균열이 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 Density 1)
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 균열이 확인되지만, 균열부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 Density 2)
c	0.5% 이상 ~ 10.0% 미만	확실하게 균열이 보이는 상태(표준사진 Density 3)
d	10.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태(표준사진 Density 4/5)
e	—	—

도장 균열					
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4/5		
					

(라) 도장 부품

[표 5.66] 도장 부품 평가기준





부품 크기 \ 발생면적	0 ~ 0.05% 미만 (표준사진 Density 2 이하)	0.05 이상 ~ 0.5% 미만 (표준사진 Density 3)	0.5 이상 ~ 5.0% 미만 (표준사진 Density 4)	5.0% 이상 (표준사진 Density 5 이상)
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하 (크기등급 2)	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도 (0.5mm이하) (크기등급 3)	a	b	c	d
0.5~5mm의 범위 (크기등급 4)	b	c	c	d
5mm 초과 (크기등급 5)	c	d	d	d

도장 부품 (크기등급 3: 0.5mm 부품에 대한 예)				
표준사진 밀도 2 이하	표준사진 밀도 3	표준사진 밀도 4	표준사진 밀도 5 이상	
				

(마) 도장 변색 및 백아화

[표 5.67] 도장 변색 및 백아화

평가 기준	평가내용	
	도장 변색	도장 백아화
a	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음(표준사진 1)
b	초기에 비해 변색되어 있음	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착(표준사진 2)
c	초기에 비해 현저하게 변색되어 있음	초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착(표준사진 3)
d	초기의 색이 거의 남아 있지 않음	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음(표준사진 4)
e	—	—

백아화			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4
			

<해 설>

- 각 표준사진에서 최우측단의 색상이 도장 본래의 색에 해당하며, 좌측의 색상은 도장 열화수준에 따라 구분됨

2) 도장두께

[표 5.68] 도장두께 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수(대표값)
a	5% 미만	5
b	5% 이상 ~ 30% 미만	4
c	30% 이상 ~ 70% 미만	3
d	70% 이상	2
e	—	1

<해 설>

- 조사대상 개소수의 평균값
- 건설기준코드(구 시방서) 및 시공기준 등 대비 허용두께 불만족 비율

3) 권양기 와이어로프
(가) 발청(표면부식, 녹)

[표 5.69] 발청 평가기준(권양기 와이어로프)

등급	점녹 및 부식 길이	비고
a	점녹 발생 없음	점녹 및 부식에 의해 와이어로프 전체 단면의 감소가 발생하거나 내부소선의 부식 및 단면손상이 발생할 경우는 내구성능 평가 대상에서 제외되며 안전성능 분야에서 평가함
b	점녹 발생 길이 10% 미만	
c	점녹 발생 길이 10% 이상 부식 발생 길이 2% 미만	
d	부식 발생 길이 2% 이상	

<해 설>

- 권양기 와이어로프는 1차원 형태의 부재로서 열화면적에 의한 평가가 어려우며, 길이 단위로 평가한다.
- 점녹은 점 모양의 부식이 발생한 것을 말하며, 일반적인 부식에 비해 완화된 기준에 해당한다.
- 점녹 및 부식에 의해 와이어로프 전체 단면의 감소가 발생하거나 내부소선의 부식 및 단면손상이 발생할 경우는 내구성능 평가 대상에서 제외되며 안전성능 분야에서 평가한다.

(나) 직경 감소

[표 5.70] 와이어로프 직경감소 평가기준

등급	와이어로프 직경 감소	평가점수(대표값)
a	없음 또는 1% 미만	5
b	1% 이상, 4% 미만	4
c	4% 이상, 7% 미만	3
d	7% 이상	2
e	—	1

<해 설>

- 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 대상 와이어로프 당 버니어 캘리퍼스로 3개소 이상을 측정하되, 1개소 당 일정간격을 두고 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단한다.
- 직경 측정은 준공 당시 와이어로프의 부하상태와 동일한 상태에서 측정하며, 기준이 되는 직경값 또한 준공당시와 같은 부하상태에서의 직경을 기준으로 한다.

(다) 소선 절단

[표 5.71] 와이어로프 소선절단 평가기준

등급	와이어로프 소선 절단	평가점수(대표값)
a	없음 또는 1% 미만	5
b	1% 이상, 5% 미만	4
c	5% 이상, 10% 미만	3
d	10% 이상	2
e	—	1

<해 설>

- 와이어로프의 구조는 일반적으로 스트랜드 수 × 스트랜드를 구성하는 소선의 수로 표시되며, 와이어로프의 소선 절단율은 와이어로프의 한 꼬임(스트랜드)에서 끊어진 소선의 수를 육안으로 세어 산정한다.
- 소선 절단율(%) = 한 스트랜드에서 절단된 소선수/한 스트랜드의 총 소선수 × 100

4) 대기환경 (해안 이격거리/이산화황 농도/습도)

[표 5.72] 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 (일)	해안 이격거리 (m)	동해안					서해안					남해안				
		전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역	전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역	전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역
		500 초과	1000 초과	300 초과	100 초과	20 초과	250 초과 ~ 500 이하	500 초과 ~ 1000 이하	120 초과 ~ 300 이하	50 초과 ~ 100 이하	10 초과 ~ 20 이하	비말대 초과 ~ 250 이하	비말대 초과 ~ 500 이하	비말대 초과 ~ 120 이하	비말대 초과 ~ 50 이하	비말대 초과 ~ 10 이하
		이산화황 (ppm)					MDD ≤ 1.5					1.5 < MDD ≤ 2.0				
100 초과	0.01 이하	a					b					c				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	c					c					c				
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a					b					b				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	b					c					c				
	0.02 초과	b					c					c				
10 미만	0.01 이하	a					a					b				
	0.01 초과 0.02 이하															
	0.02 초과															
	0.02 초과															

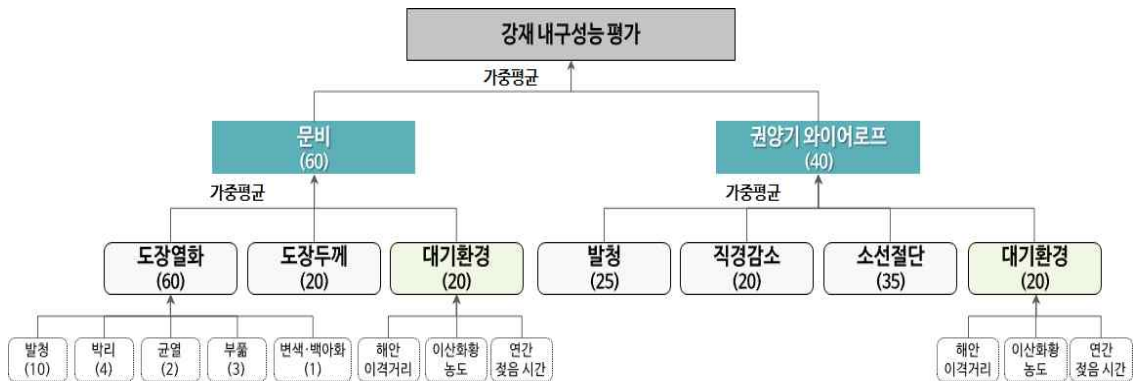
<해 설>

- 비래염분량(mg/100cm²/day, MDD) : 10cm × 10cm의 면적에서 1일간 측정되는 염분량을 NaCl량으로 나타낸 값
- 연간 젖음 시간 : 0도씨 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간
- 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고하여 설정하였다.
- 부식속도가 높음 및 매우 높은 경우 이에 대해 각각 b등급 및 c등급을 적용한다.
- 각 등급별 평가점수(대푯값)은 a : 5.0, b : 4.0, c : 3.0, d : 2.0, e : 1.0을 적용한다.

다. 강재 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

강재 내구성능 평가 결과 산정방법은 평가항목별 가중치 및 부재별 가중치에 따라 내구성능을 평가하는 방법을 활용하여 등급을 산정하는 절차를 따르며, 강재 내구성능 평가절차는 다음 그림과 같다. 다만, 권양기 형식이나 액츄에이팅 방식이 상이한 경우 ‘권양기 와이어로프’ 관련 지표는 강재 내구성능 평가단계에서 제외할 수 있다. 다만, 평가에서 제외된 경우라 하더라도 조사된 내용은 보수보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.



[그림 5.2] 강재 내구성능 평가 예시

2) 평가항목별 가중치

(가) 발청 및 도장열화 가중치

강재의 발청, 도장의 박리, 균열, 부품, 변색 및 백아화 등 각 지표별 평가결과에 의한 열화정도를 등급별 점수화하고, 아래 표와 같은 각 지표별 가중치를 적용 및 합산하여 ‘발청 및 도장열화’에 대한 종합점수를 산정한다.

[표 5.73] 강재 발청 및 도장열화의 각 세부지표에 대한 등급별 점수

세부지표 등급	발청	박리	균열	부품	변색 및 백아화	종합점수 (세부지표별 등급점수의 합계)
a	5 (0)	2 (0)	1 (0)	1.5 (0)	0.5 (0)	10
b	10	4	2	3	1	20
c	20	8	4	6	2	40
d	35	14	7	10.5	3.5	70

<해 설>

- 시설물 상태안전성능 평가 결함도 점수표의 점수배분율을 참고하여 ‘발청 및 도장열화’ 전체의 종합등급 배점은 A등급 10점, B등급 20점, C등급 40점, D등급 70점으로 한다.
- a등급에 대한 점수는 어떠한 열화도 발견되지 않았다면 0점을 부여한다.

(나) 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

‘발청 및 도장열화’에 대한 종합점수는 다음과 같다. 이는 결함도 기준으로 평가된 점수(S)로서 다음 식에 따라 수리시설물인 댐의 점수 분류체계(DS)로 변환하여 평가한다.

$$DS = DS_1 + \Delta DS$$

$$\Delta DS = \frac{(S - S_1)(DS_2 - DS_1)}{(S_2 - S_1)}$$

여기서, DS : ‘발청 및 도장열화’ 지표에 대한 등급점수

DS_1 : 해당 등급에 대한 최솟값

DS_2 : 해당 등급에 대한 최댓값

S : 세부지표 평가결과로부터 얻은 열화 종합점수

S_1 : 해당 등급에 대한 열화 종합점수 최솟값

S_2 : 해당 등급에 대한 열화 종합점수 최댓값

[표 5.74] 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

등급	등급 점수범위 (DS1 ~ DS2)	종합점수 (S1 ~ S2)	등급 정의	비고
a	4.5 ~ 5.0	13 미만	부식 및 도장열화로 인하여 내구성능 저하를 무시할 수 준의 단계	-다음 회 조사 시에는 전번 조사결과를 참고하여 조사위치 및 수량을 결정함
b	3.5 ~ 4.5	13 이상 ~ 26 미만	경미한 결함이 있으나 그 이외의 부분에 대해서는 전반적으로 양호한 단계	
c	2.5 ~ 3.5	26 이상 ~ 49 미만	결함이 발생된 부재에 대해 일부 보수가 필요한 단계	
d	1.5 ~ 2.2	49 이상	광범위한 보수를 시행해야 하는 단계	

<해 설>

- 조사대상 강재수문은 조사방법 및 수량에 맞게 열화수준(낮음/보통/높음)이 고루 분포되도록 사전 육안조사에 의해 선정한다.
- 와이어로프는 일반적으로 조사대상 강재수문에 설치된 와이어로프를 조사하며, 열화 항목 중 와이어로프에 대해서만 조사한다.
- 선정된 강재수문에 대해서는 평가기준에 따라 발청 및 도장열화를 조사하여 등급별 점수를 계산하고 그 외의 강재수문은 유사 강재수문으로 지정하여 책임기술자의 판단 하에 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞는 구역으로 배분한다
- 열화수준에 따라 배분된 강재수문은 최종적으로 등급의 대푯값에 유사 강재수문 수를 곱하고 평균값을 취하여 최종 등급을 산정한다.

(예) 강재수문 수가 10개라고 가정하면, 최소 3개이상, 25%이상을 만족해야 하므로 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞도록 총 3개 강재수문을 선정하고 나머지 7개 강재수문은 선정된 3개와 유사한 열화수준을 갖는 것을 지정하여 배분한다.

(다) 도장두께

도장 두께가 허용기준을 만족하지 못하는 경우, 균열 및 박리 또는 충격에 의한 깨짐 등과 같은 결함으로 이어질 수 있고, 이는 강재 내구성능 저하를 유발시킨다. 단, 발청/박리/균열 등과 같이 직접적인 열화가 아니므로, ‘도장열화’ 항목과는 별도로 평가한다.

① 도장 최소두께 및 최대두께

- 건설기준코드(구 시방서) 및 도장 제조업체에서는 요구 최소두께 및 최대두께를 제시하고 있다.
- 도장종류에 따라 최소 또는 최대값이 명시되어 있지 않는 경우 일반적으로 규준두께의 80%를 최소두께, 120%를 최대두께로 할 수 있다.

② 도장 허용두께(SSPC-PA2 참고)

- 측정 1개소내의 3개 지점값(직경 40mm의 1개소에서 3번의 측정 실시)은 값에 제한이 없으나, 3개 지점의 평균값 즉, 1개소의 평균값은 건설기준코드(구 시방서) 최솟값의 80% 이상이어야 하며, 최댓값의 120% 이내이어야 한다.
- 조사단위면적 내 5개소의 최종 평균값은 건설기준코드(구 시방서) 최솟값 및 최댓값의 범위에 있어야 한다.

③ 도장 허용두께 불만족 비율

- 대상 조사구역은 일정 단위면적으로 나뉘질 수 있으며, 이러한 일정 단위면적을 조사단위면적으로 정의한다.
- 등급분류기준표에 제시된 ‘허용두께 불만족 비율’은 대상 조사구역 내의 도장 허용두께 불만족 비율로 정의한다(조사구역내 몇 %의 조사단위면적에서 허용두께가 불만족되는지에 대한 비율).

(라) 강재내구성능 종합

① 강재수문

[표 5.75] 강재수문 평가항목별 가중치

구분	평가지표		가중치
내부요인	도막 열화	발청	60
		박리	
		균열	
		부품	
		변색	
	도장두께		20
외부 환경요인	대기 환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)		20

<해설>

- 발청/박리/균열/부품/변색·백아화 등은 직접적인 열화현상이고, 도장두께 기준치 불만족은 열화가 발생하기 쉬운 조건으로 이 두 가지를 내부요인으로 분류한다. 또한, 해

안 이격거리, 이산화황 농도, 습도와 같은 대기환경 등은 열화를 유발시키는 환경적 요인으로 분류한다.

- 열화가 시작되는 단계에서는 환경요인에 의해 열화가 촉진되므로 이에 대한 가중치를 부여한다.

② 권양기 와이어로프

[표 5.76] 평가항목별 가중치 (권양기 와이어로프)

평가지표	가중치
발청	25
대기환경	20
직경감소	20
소선절단	35

③ 부재별 가중치

[표 5.77] 강재수문 및 권양기 와이어로프 가중치

구분	가중치
강재수문	60
권양기 와이어로프	40

<해설>

- 강재수문과 권양기 와이어로프를 각각 하나의 대상 평가군으로 보고 앞에서 산정된 평가값을 활용하여 댐 시설물에 대한 강재 내구성능 평가결과를 도출한다.
- 권양기 형식 또는 작동 방식이 상이하여 권양기 와이어로프 관련 항목이 평가에서 제외된 경우에는 강재수문에 대한 평가결과를 강재 내구성능 평가결과로 하며, 조사내용은 보수·보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.

④ 강재내구성능 종합등급 산정

- 앞에서 기술한 평가항목별, 부재별 가중치를 적용하여 산정된 평가점수를 아래 표와 같은 구간에 따라 구분하여 강재내구성능에 대한 종합등급을 산출한다.

[표 5.78] 등급별 점수 및 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$4.5 \leq E \leq 5.0$	$3.5 \leq E < 4.5$	$2.5 \leq E < 3.5$	$1.5 \leq E < 2.5$	$1.0 \leq E < 1.5$

마. 강재 내구성능 평가 결과 산정 예시

1) 대상 댐 시설물 선정

강재내구성능 평가를 위해 선정한 댐의 주요 제원 및 환경조건은 다음 표와 같다.

[표 5.79] 대상 댐 시설물의 주요 제원 및 환경조건

구분		제원 및 조건
강재수문	형식	슬라이드 게이트
	갯수	5 sets
	제원(폭×높이)	4m × 8m
	도장 공용년수	10년
권양기 와이어로프	연결상태	강재수문 1식당 단일 전동기 설치
	길이	20m
	제원	Ø56 (6×37) Galvanized 설계(초기) 직경 56.5mm
환경조건	해안 이격거리	동해안으로부터 50km
	연간 젖음 시간(일)	75일
	이산화황 농도	0.0038ppm

2) 발청 및 도장열화 평가

(가) 강재수문

- 발청 및 도장열화에 대해서는 대상 부재에 대해 단위섹션으로 구분하여 조사를 실시할 수 있으며(단위섹션 구분 예 : 2.0m×2.0m), 이는 조사의 편의를 위한 것이므로 열화된 것으로 조사된 섹션의 수 또는 비율이 강재 내구성능 평가결과에 영향을 미치지 않는다.
- 강재수문 1개당 앞, 뒷면을 모두 조사하는 것을 기본으로 한다.
- [표 5.79]는 강재수문에 대한 발청을 조사한 결과이다.
- 도장열화(박리/균열)의 경우도 같은 방법에 따라 조사하며, 산정된 유사 강재수문 수는 조사대상 강재수문을 포함한 총 개소수를 의미한다.
- 부품, 변색 및 백아화의 경우 정성적인 기준을 적용하므로 각 조사 강재수문별 등급을 산정하고 다음과 같이 평가등급에 따른 평점을 합산하여 계산한다.
부품/변색 및 백아화 점수 = $[\sum(\text{조사 강재수문 평점} \times \text{유사 강재수문 개수})] / \text{전체 강재수문 수}$

[표 5.80] 강제수문에 대한 발청 조사 예

조사대상 강제수문	열화섹션 수	섹션별 발청면적 (cm ²)	유사 강제수문 개수
G-1	3	5,816	2
		100	
		728	
G-3	4	184	3
		188	
		180	
		188	

[표 5.81] 도장열화 평점 산정(발청에 대한 예)

강제수문 번호	유사 강제수문 개수	발청 면적률(%)	등급	평점
G-1	2	1.04	c	20
G-3	3	0.12	b	10

<해설>

- 발청면적률(%) = (Σ섹션별 발청 면적 / 부재 면적) × 100
- 여기서 부재면적은 부재 외부 전체 면적을 의미함

[표 5.82] 발청 면적률 평균 산정 예

발청 면적률 평균(%)	등급	평점
0.48	b	10

<해설>

- 발청면적률 평균 = (Σ조사 강제수문 발청면적률 × 유사 강제수문 개수) / 전체 강제수문 수

[표 5.83] 강제수문 발청 및 도장열화 종합점수 산정 예

강제수문							
평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	종합점수	등급점수
등급	b	b	b	a	a	16	3.73
점수	10	4	2	0	0		
강제수문 발청 및 도장열화 종합등급							b

- 1개 강제수문에서 5개소에 대해 측정한다.
- 1개소는 직경 40mm로서 3개 지점값(gage reading)을 1개소에서 측정한다.

[표 5.84] 강제수문 도장두께 평가 예

강제수문 번호	5개소 평균값의 기준 불만족 여부	평가내용
G-1	만족	전체 강제수문에 대한 불만족 비율 $= (\text{불만족 강제수문 개수}) / (\text{조사 강제수문 개수}) \times 100$ $= 1/5 \times 100 = 20\%$ (b 등급)
G-2	만족	
G-3	불만족	
G-4	만족	
G-5	만족	

(나) 권양기 와이어로프

- 권양기 와이어로프는 기본적으로 열화항목 중 발청에 대해서만 조사하고, 조사대상 강제수문에 설치된 와이어로프를 조사하는 것을 기본으로 한다.
- 와이어로프는 1차원 부재로서 발청이 발생한 길이를 측정한다.

[표 5.85] 권양기 와이어로프 발청 평가 예

와이어로프 번호	조사결과	등급	등급점수
G1-WR-1	점녹 발생 길이 6%	b	4
G1-WR-2	점녹 발생 길이 4.8%	b	4
G1-WR-3	점녹 발생 길이 3.5%	b	4
G1-WR-4	점녹 발생 길이 5.5%	b	4
G1-WR-5	점녹 발생 길이 4.3%	b	4
등급점수 평균			4
등급			b

[표 5.86] 와이어로프 직경감소 평가 예

와이어로프 번호	측정위치 번호	3회 평균값 (mm)	평균 직경	감소율 (%)	등급	등급점수
G1-WR-1	1	55.95	55.91	1.0	a	5
	2	55.90				
	3	55.89				
	4	56.05				
	5	55.80				
G1-WR-2				1.5	b	4
G1-WR-3				2.0	b	4
G1-WR-4				2.5	b	4
G1-WR-5				1.1	b	4
전체평균						4.2
등급						b

[표 5.87] 와이어로프 소선절단 평가 예

와이어로프 번호	측정위치 번호	위치별 절단 소선수	와이어로프 절단 소선수	절단율 (%)	등급	등급점수
G1-WR-1	1	2	4	1.8	b	4
	2	3				
	3	1				
	4	4				
	5	3				
G1-WR-2				0.9	a	5
G1-WR-3				1.2	b	4
G1-WR-4				0.8	a	5
G1-WR-5				1.1	b	4
전체평균						4.4
등급						b

3) 환경요인 평가

[표 5.88] 환경요인 평가 예

평가지표		측정값	등급
대기환경	해안 이격거리	동해안으로부터 50 km	a
	이산화황 농도	0.0038 ppm	
	연간 젖음시간(일)	75일	

4) 각 부재별 강재내구성능 평가

[표 5.89] 평가항목별 가중치에 따른 강재수문 강재내구성능 평가 예

평가지표	등급	가중치	평점
발청 및 도장열화	b	60	2.24
도장두께	b	20	0.80
대기환경	a	20	1.00
평점			4.04

[표 5.90] 평가항목별 가중치에 따른 와이어로프 강재내구성능 평가 예

평가항목	등급	가중치	평점
발청	b	25	1.00
대기환경	a	20	1.00
직경감소	b	20	0.80
소선절단	b	35	1.40
평점			4.20

5) 강재내구성능 최종평가

- 아래 표와 같이 각 부재별 가중치에 따라 해당 시설물에 대한 강재내구성능 최종 평가를 실시한다.

[표 5.91] 부재별 가중치에 따른 강재 내구성능 평가 예

구분	부재별 평점	가중치	평점
강재수문	4.04	60	2.42
와이어로프	4.20	40	1.68
합계			4.10
강재내구성능 평가 결과			b

<해설>

- 산정 예시와 달리 권양기 형식이나 작동 방식이 상이한 경우에는 ‘권양기 와이어로프’ 관련 지표를 강재내구성능 평가에서 제외하며, 조사된 내용을 보수·보강 방안 등에 제시할 수 있다.

5.5.3 콘크리트 내구성능 평가 지표 및 기준

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가 항목은 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트의 품질이며, 열화환경평가는 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 콘크리트 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용된다. 열화환경평가는 콘크리트 내구성능 평가에는 직접적으로 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

[표 5.92] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전항목	열화환경항목
탄산화 깊이 염화물 침투량(필요시) 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

나. 평가지표

댐은 크게 ‘필댐’과 ‘콘크리트 댐’으로 구분되며, 필댐 중 두 가지 형식을 결합한 CFRD(Concrete Faced Rockfill Dam, 표면차수벽 석괴댐)가 있다. 콘크리트 내구성능 평가 시 대상 부재는 필댐의 경우 여수로, 콘크리트 댐은 댐체와 여수로, CFRD은 댐체 상류면과 여수로에 대해 수행한다.

[표 5.93] 댐의 평가대상 부재

시설명	형식	부재명	세부부재명
댐	필댐	여수로	접근수로
			조절부
			도수로
			감세공
	콘크리트댐	댐체	댐마루
			상류면
			하류면
		여수로	접근수로
			조절부
			도수로
			감세공
			상류면
	CFRD	여수로	접근수로
			조절부
			도수로
			감세공

다. 콘크리트 내구성능 평가기준

1) 염화물 침투량

댐 시설물은 기본적으로 염해를 입지 않는 환경조건에 놓여있다고 볼 수 있으나, 열화환경에 따라 또는 책임기술자 판단에 따라 염화물 침투량에 대한 평가를 실시할 수 있다.

[표 5.94] 염화물 침투량 평가등급

평가 기준	평가내용		비고
	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$	
a	30년 초과	0.3 이하	
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$	
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$	
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

<해 설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정한다.
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문이다.
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을 수록 낮은 등급을 부여한다.
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 점검 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고한다.

2) 탄산화 깊이

[표 5.95] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	30년 초과	점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 T 계산 탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T : 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간, D : 탄산화 깊이, t : 공용연수)
b	$20\text{년} < T \leq 30\text{년}$	
c	$10\text{년} < T \leq 20\text{년}$	
d	$5\text{년} < T \leq 10\text{년}$	
e	5년 이하	

<해설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T 를 구하는 시간적 개념을 포함한다.
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T 가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화 될 가능성을 고려한 것이다.
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

3) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

초기 시공불량의 경우, 피복콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수도 있으며, 공용 중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화 요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다.

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 5.96] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가기준	평가내용	비고
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	
b	$90\% \leq \text{강도 추정값이 설계값 대비} < 100\%$	
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	
d	—	
e	—	

<해설>

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.

- a등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있다.
- c등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 5.97] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가기준	평가내용	비고
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	
b	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$	
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	
d	—	
e	—	

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정한다.
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위이다.
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분한다.

4) 염해환경

대부분의 다목적댐은 기본적으로 염해를 입지 않는 환경조건에 놓여있다고 가정하나, 책임기술자 판단에 따라 염해환경에 대한 평가를 실시하여 그 결과를 참조할 수 있다.

[표 5.98] 염해환경의 평가기준(해안거리)

평가 기준	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)	비고
a	동해안	전지역	500 초과	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	1,000 초과 300 초과	
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	100 초과 20 초과	
b	동해안	전지역	250 < X ≤ 500	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	500 < X ≤ 1000 120 < X ≤ 300	
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	50 < X ≤ 100 10 < X ≤ 20	
c	동해안	전지역	비말대* < X ≤ 250	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	비말대 < X ≤ 500 비말대 < X ≤ 120	
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	비말대 < X ≤ 50 비말대 < X ≤ 10	
d	—	—	—	
e	—	—	—	

<해 설>

- 여기서 비말대는 해수가 직접 닿지 않는 지역을 일컫음

[표 5.99] 염해환경의 평가기준(제설제)

항목	등급	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	7 ≤ 강설일수 < 14
	c	14 ≤ 강설일수

<해 설>

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분한다.
- 상기 항목은 각각 해안인접성과 강설일수를 기본 항목으로 정하고 등급을 설정한다.
- 해안 인접성의 경우 동해와 서해를 동일한 조건으로 고려하고, 해안의 형상, 구조 및 환경에 따라 다른 해역에 비해 비교적 비래염분이 적은 남해는 동해 및 서해와 달리 완화된 등급을 부여함을 원칙으로 하였다.
- 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설 시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가살포는 고려하지 않으며 강설일수가 14일 이상이면 C 등급을 부여한다.
- 강설일수는 최심신적설(하루동안 내린 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 취한다.

5) 동해환경

[표 5.100] 동해환경의 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$X < 3$	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	
d	—	
e	—	

<해 설>

- X는 동결융해 반복지수로서 수분과의 접촉 여부로 구분하여 산정한다.
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정한다.
- 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단한다.

라. 콘크리트 내구성능 결과 산정 방법

1) 개요

콘크리트 내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가 지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저등급을 반영한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경평가

내구성능평가에 있어 열화환경평가는 염해환경(필요 시), 동해환경의 지표로 이루어진다.

열화환경평가는 각 부재별 열화진전평가 이전에 독립적으로 실시하며, 전체 시설물을 대상으로 한다.

열화환경평가는 상기 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다.

열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 5.101] 열화환경 평가등급

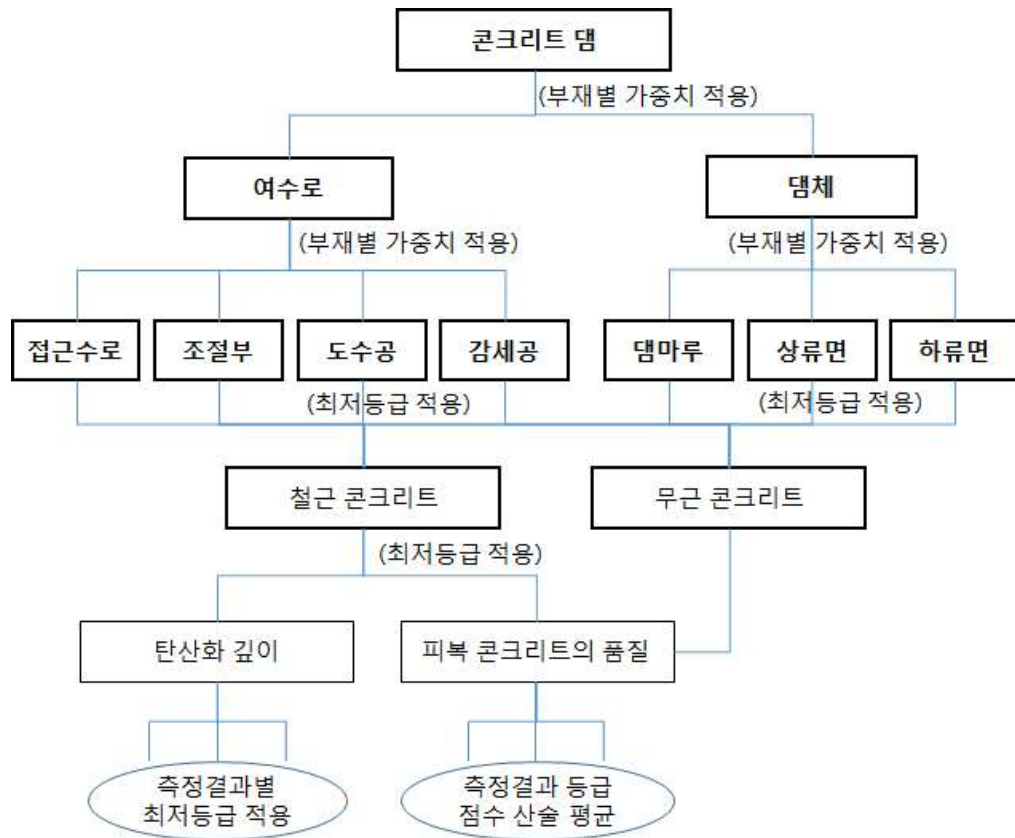
평가등급	열화환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

(나) 열화진전평가(부재수준의 평가)

콘크리트 내구성능 평가에 있어 열화진전평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량(필요시), 피복(표면부) 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.

- 내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트 품질의 3개 열화진전평가 지표이다.
- 각 내구성능을 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최솟값을 적용한다.
 - 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복(표면부) 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.
 - 다만, 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술 평균한다.
- 산출된 각 세부부재(ex. 접근수로, 조절부, 도수공, 감세공)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 상위부재(ex. 여수로)의 내구성능 등급으로 도출하여 최종적으로 댐 시설물의 콘크리트 내구성능 평가등급을 도출한다.

다음은 콘크리트 댐에 대한 콘크리트 내구성능 평가절차를 예로 든 것이며, 각 평가 지표별로 최저등급 또는 평균값을 적용하고 각 시설별로는 부재별 가중치를 적용한다. 여기서는 열화환경평가 지표 중 염해환경과 열화진전평가 지표 중 염화물 침투량을 제외한 평가절차를 사례로 제시하였으나, 상기 지표에 대한 평가를 수행하는 경우에는 제 1장 교량편 [그림 1.40]의 절차를 참조하여 수행할 수 있다.



[그림 5.3] 콘크리트 댐의 콘크리트 내구성능 평가 예시

3) 등급별 평가점수 및 지수 범위

부재별 등급에 따른 평가점수 및 평가지수 범위는 다음과 같다.

[표 5.102] 등급별 평가점수

평가기준	a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
평가점수	5	4	3	2	1

[표 5.103] 등급별 평가지수 범위

a등급	b등급	c등급	c등급	e등급
$4.5 \leq X \leq 5$	$3.5 \leq X < 4.5$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1 \leq X < 1.5$

4) 세부부재별 가중치

[표 5.104] 여수로의 부재별 가중치

구분	부재명	부재별 가중치(%)
여수로	접근수로	25
	조절부	25
	도수공	25
	감세공	25

[표 5.105] 댐체의 부재별 가중치

구분	부재명	부재별 가중치(%)
댐체	댐마루	30
	상류면	40
	하류면	30

<해 설>

- CFRD댐에서의 댐체는 상류면(100%)만 적용함

5) 시설물 전체 콘크리트 내구성능 등급 산정

- 댐의 세부시설물인 여수로/댐체의 각 시설물별 가중치는 아래 표와 같다.

[표 5.106] 댐의 형식에 따른 시설별 가중치

형식	세부 시설물명	시설물별 가중치(%)
필댐	여수로	100
콘크리트댐	댐체	70
	여수로	30
CFRD*	댐체	50
	여수로	50

<해 설>

- CFRD의 경우, 댐체(상류면)만을 수행한다.

○ 댐 시설물의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 5.107] 댐의 열화진전 평가

구분	평가결과	세부시설명	평가등급	부재명	평가등급
필댐	a~e	여수로	a~e	접근수로	a~e
				조절부	a~e
				도수로	a~e
				감세공	a~e
콘크리트 댐	a~e	여수로	a~e	접근수로	a~e
				조절부	a~e
				도수로	a~e
				감세공	a~e
		댐체	a~e	댐마루	a~e
				상류면	a~e
				하류면	a~e
CFRD댐	a~e	여수로	a~e	접근수로	a~e
				조절부	a~e
				도수로	a~e
				감세공	a~e
		댐체	a~e	상류면	a~e

[표 5.108] 열화환경 평가

열화환경지표	평가 결과	댐의 주요 대상 부재
제설제 염해환경*	a*	해당사항 없음
비래염분 염해환경*	a*	해당사항 없음
동해환경	a or b or c	동결융해 사이클이 반복됨에 따라 표면부터 내구성능이 저하하게 되며, 수분의 공급이 용이한 부재에서 발생할 가능성이 큼

<해 설>

- 상기 제설제 및 비래염분 염해환경은 기본적으로는 댐 시설물의 열화환경이 아닌 것으로 판정하여 a등급으로 미리 설정할 수 있다.
- 그러나, 현장 점검책임자가 제설제나 비래염분에 의한 염해환경이 조성되는 것으로 판단되는 경우 염해환경을 평가하여 반영하여야 한다.

마. 콘크리트 내구성능 결과 산정 예시

1) 대상 댐 제원

[표 5.109] 대상 댐 예시

위 치		대전광역시		
제 원	댐형식	콘크리트 댐		
	댐 높이	70m	댐 길이	500m
	강재수문	(B×H) : 13.0m x 15.97m, 6문		
공용연수		20년		
피복두께		50mm		
콘크리트		일반 RC		

2) 열화환경 평가

- 대상 댐이 위치한 대전지역의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 10.58회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 59.50회로서 동결융해 환경은 b등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우도 동결융해 사이클이 연평균 10.58회로서 동결융해의 피해를 입을 수 있음이 확인된다.
- 대상 댐은 내륙에 위치한 댐이나, 인접도로에 살포되는 제설제에 의한 염해환경을 평가하였다. 대전지역의 평균 강설일수는 14.5일로 제설제에 의한 염해환경은 b등급으로 평가된다.

3) 열화진전 평가

(가) 염화물 침투량

- 염화물 침투량 시험을 하는 경우에는 3개소 이상에서 실시하며, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과를 확보한다.

[표 5.110] 염화물 침투량 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재명	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				평가등급
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물 침투량	1	1.5	1.05	0.4	0.1	a
	2	1.5	0.98	0.4	0.1	a
	3	4.5	3.5	1.8	0.8	c

[표 5.111] 염화물 확산계수 산출

계산 항목	세부 부재명	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)
염화물 확산계수	1	—	—	0.103	—
	2	—	—	0.103	—
	3	—	—	—	0.194

<해 설>

- 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있다.

[표 5.112] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재명	계산 결과 (year)	평가등급
철근부 전염화물 함유량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	1	30년 초과	a
	2	30년 초과	a
	3	30년 초과	a

[표 5.113] 염화물량 최종 평가등급

세부 부재명	염화물 침투량 최종 평가 등급
1	a
2	a
3	c

(나) 탄산화 깊이

- 각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저등급을 대상부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 한다.

[표 5.114] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가 항목	부재 그룹	세부 부재	탄산화 깊이 (mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)	평가 등급	부재 그룹 등급
탄산화 깊이	댐체	댐마루 1	10	2.2	30년 초과	a	a
		댐마루 2	9	2.0	30년 초과		
		상류면 1	8	1.8	30년 초과	a	
		상류면 2	9	2.0	30년 초과		
		하류면 1	28	6.3	30년 초과	b	
		하류면 2	32	7.2	19		
	여수로	도수로	9	2.0	30년 초과	a	a

(다) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 댐체에서 6개소, 여수로에서 1개소를 측정하였다.

[표 5.115] 피복(표면부) 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가 항목	부재 그룹	세부 부재	설계값 대비 강도추정값 (%)	비건전부/ 건전부 비율(%)	개별 평가등급		평가 등급	부재 그룹 등급
피복(표 면부) 콘크리트 의 품질	댐체	댐마루 1	105	—	a	—	a	a
		댐마루 2	—	98	—	a		
		상류면 1	—	—	—	—	a	
		상류면 2	120	—	a	—		
		하류면 1	—	92	—	b	b	
		하류면 2	105	—	a	—		
	여수로	도수로	—	98	—	a	a	a

(라) 콘크리트 내구성능 평가 결과

[표 5.116] 콘크리트 내구성능 평가 (열화진전 평가)

부재 그룹	세부 부재명(가중치, %)	항목별 평가결과				
		탄산화 깊이	피복(표면부) 콘크리트 품질	부재	부재 그룹	댐
댐체	댐마루 (30)	a	a	a	a	a
	상류면 (40)	a	a	a		
	하류면 (30)	a	b	b		
여수로	접근수로 (25)	—	—	—	a	
	조절부 (25)	—	—	—		
	도수공 (25)	a	a	a		
	감세공 (25)	—	—	—		
평가방식		최저등급제			가중치 고려	

[표 5.117] 열화환경지표의 평가

열화환경지표	평가등급	비고
동해환경	b	—
염해환경	b	필요 시 수행

5.5.4 내구성능 평가 결과산정방법

- 댐의 세부시설을 구성하는 강재(강재수문 및 권양기 와이어로프 등)와 콘크리트의 내구성능은 다음과 같은 가중치를 적용하여 내구성능 결과를 도출한다.

[표 5.118] 댐 시설물 내구성능 평가를 위한 가중치

구분	종합 내구성능 평가 가중치	
	강재	콘크리트
댐 시설물 종합 내구성능	35	65

5.6 사용성능 평가 기준 및 방법

1.6.1 일반

댐의 사용성능 평가는 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야 할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적을 만족하기 위한 성능으로 정의한다. 사용성능 평가는 운영성과 기능성(유지관리성, 수요 및 용량)으로 구분된다.

사용성능은 각 세부지표의 평가결과에 대해 가중치를 반영하여 사용성능 평가 결과를 산정하며, 평가에서 제외되는 지표가 있는 경우 해당 지표에 대한 가중치를 타 지표에 배분(기존 가중치 비율 고려)하여 산정한다.

1.6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

댐의 사용성능 평가를 위한 세부지표는 댐의 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로서 사용자의 시설물 가동 시 안정감 측면에서의 운영성과 시설물의 기능유지 측면에서의 유지관리성, 수요 및 용량으로 한다.

나. 세부지표의 평가범위

댐의 사용성능은 기계·전기설비 및 계측기의 작동과 관련된 운영성, 유지관리를 위한 점검시설의 유무, 수요 및 용량 관점에서의 수질 등을 세부지표로 하여 a~e 등급 범위로 평가결과를 도출한다. 또한, 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 기술자의 주관적인 의견이 포함된 정성적 평가를 동시에 수행한다.

[표 5.119] 세부지표별 적용 범위

구분	세부지표의 분류	차등 적용 범위
운영성	강제수문 작동 유무(기계)	a, b, c, d, e
	현장제어반 및 조작반	a, b, c, d, e
	구동모터 및 브레이크	a, b, c, d, e
	강제수문 작동 유무(전기)	a, b, c, d, e
	계측기	a, b, c, d, e
유지관리성	점검시설	a, b, c, d, e
수요 및 용량	수질	a, b, c, d, e

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 운영성

(가) 강재수문 작동 유무(기계)

[표 5.120] 강재수문 작동 유무(기계) 성능평가 기준

등급	등급기준
a	상승 및 하강에 이상이 없는 양호한 상태
b	작동 시 이음발생이 없으며 상승 및 하강에 이상이 없는 정상의 상태
c	상승 및 하강이 가능하나 이음발생 등이 있으며, 상하한 자동정지가 불량하나, 약간의 조정으로 원상복구가 가능한 상태
d	상승 및 하강이 정상 작동되지 않고, 비상점검 등의 임시조치 후에 제한 작동 가능한 상태
e	전혀 작동되지 않는 상태

<해설>

- a등급과 b등급의 차이는 신규로 설치되었는지의 여부를 기준으로 판단함. 여기서 신규 설치란 3년 미만의 사용연수를 가진 구조물을 의미함
- 강재수문 작동 유무(기계) 검사는 먼저 시설물의 개보수 이력을 검토하고 각 강재수문별로 상승·정지·재상승과 하강·정지·재하강으로 구분하여 실행한 후 권양기의 작동 상태·이음발생 등을 확인하여 평가함
- 진동소음의 경우 권양기의 작동시험을 시행하는 중에 모터부 하측 감속기부하측에 대하여 수직(또는 수평)방향에 대하여 각각 1회 이상 진동값을 측정하고 분석함. 진동 측정중이나 그후에 모터측 커플링측 감속기측에 대하여 1m 거리에서의 소음을 각 1회 이상 측정하고 분석하여 평가함
- 자세한 진동기준이나 소음기준은 ‘안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서-탐’의 내용을 참고
- 각 권양기/강재수문의 평가 등급을 평균하여 등급을 산정함 (결과산정 예 참조)

(나) 현장 제어반 및 조작반

[표 5.121] 현장제어반 및 조작반 성능평가 기준

등급	등급기준
a	현장 제어반의 불량률이 없는 양호한 상태
b	현장 제어반의 불량률이 없는 건전한 상태
c	(불량률이 경미하여 전기설비의 기동 및 운전에 영향이 없는상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태)
d	현장 제어반 상태가 불량인 상태 (불량률이 심각하여 전기설비의 기동 및 운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치~1MΩ이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
e	현장 제어반의 불량률이 매우 위험한 상태 (불량 상태가 위험하여 전기설비의 기동 및 운전이 불가능한 상태, 절연: 0MΩ이하, 접지: 규정치의 +30% 초과~ ∞)

<해설>

- a등급의 양호한 상태와 b등급의 건전한 상태는 현장제어반의 신규 설치(3년 이내) 여부를 기준으로 판단함
- 기본적으로 c등급은 운전에는 영향이 없지만 외함접지 설치유무, 절연 등 안전 측면에서 문제가 있는 경우를 의미하고 d등급은 운전에 문제가 있으나 응급수리로 가동 가능한 경우이며 e등급은 운전에 큰 문제가 있어 보수나 교체가 필요한 경우를 의미함
- 아래 표를 활용하여 상세육안점검을 실시함으로써 전반적인 상태를 파악하고 조사 결과 중 최저 등급을 기준으로 해당 설비를 평가함 (결과산정 예 참조)

[표 5.122] 현장제어반 및 조작반 불량

구분		점검사항
현장 제어반 조작반	반(PNL)의 내·외관 상태	-반의 오손·파손·부식유무, 문 개폐 및 잠금장치 상태, 반의 부착 및 고정상태 등 -반 내부의 방진·방습조치 설치 및 작동유무 등
	표시·계기류	-계기류(전압·전류계)외관·지시상태, 파손·손상유무 등
	차단기 및 접촉기류	-차단기(NFB·MCCB)·접촉기류·S/W류 및 각종 접점상태(손상, 파손, 부식 등 문제점 유무), 보호장치·FUSE·CT·PT의 동작상태 및 파손·손상 유무, 결선·부착상태 등
	배선류	-배선상태(반 내부의 전선·케이블 단말처리 및 배선정리 상태, 단선·단락·열화·변색 유무 등)
	접지	-접지 유무 및 설치상태(외함 접지선의 굵기 및 손상유무 등)
	동작유무	-전기적 동작여부(조작 및 제어불능 유무 등)

<해설>

- 절연저항은 간편한 절연저항계에 의한 측정이 보편적이며 신설인 경우 내선규정 135-2, 사용 중인 경우 전기설비기술기준 27조, 52조 및 내선규정 135-2 등에 따름
- 접지저항은 인명사고 및 장비보호에 대한 기본적인 안전장치이며 접지저항계가 측정에 사용됨. 판정기준은 건설기준코드(구 건축전기설비공사 표준시방서(9-4 접지설비공사)), 전기설비 기술설계 핸드북(6.1접지공사) 및 전기설비기술기준(제3절 전로의 절연 및 접지), NEC 250 (Grounding, Grounding conductors) 및 KSC IEC 60364-5-54, KSC IEC 62305, ESB(한전 내선규정) 등의 규정에 따름

(다) 구동모터 및 브레이크

[표 5.123] 구동모터 및 브레이크 성능평가 기준

등급	등급기준
a	구동모터·브레이크장치의 불량률이 없는 양호한 상태
b	구동모터·브레이크장치의 불량률이 없는 양호한 상태
c	(불량률이 경미하여 설비운전에 영향이 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태)
d	구동모터·브레이크장치의 상태가 불량한 상태 (불량률이 심각하여 설비운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치~1MΩ이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
e	구동모터·브레이크장치의 불량률이 매우 위험한 상태 (불량 상태가 위험하여 설비운전이 불가능한 상태, 절연: 0MΩ이하, 접지: 규정치의 +30% 초과~ ∞)

<해설>

- 아래 표를 활용하여 상세육안점검을 실시함으로써 전반적인 상태를 파악하고 조사 결과 중 최저 등급을 기준으로 해당 설비를 평가함 (결과산정 예 참조)

[표 5.124] 구동모터 및 브레이크 장치불량

구분	점검사항
구동모터· 브레이크	외관상태
	접지
	동작유무
	배선류

<해설>

- 구동모터, 브레이크는 구동모터의 공급전압, 운전전류, 온도상승여부 등을 측정·조사하여 운전상태의 이상 유무를 파악함. 공급전압 및 운전전류는 클램프미터, 전력분석기등을 활용하여 구동모터의 정·역(권상·권하)상태에서 전압 및 전류를 1회 이상 측정하여 이 때 측정값이 정격전압·전류를 초과하는지 등을 확인함

(라) 강제수문 작동 유무(전기)

[표 5.125] 강제수문 작동 유무(전기) 성능평가 기준

등급	등급기준
a	전기적인 강제수문작동 상에 이상이 없는 양호한 상태
b	전기적인 강제수문작동 상에 이상이 없는 건전한 상태
c	전기적인 강제수문작동 상에 이상이 경미한 상태 (현장제어반 및 조작반, 구동모터, 브레이크 등의 결함이 경미하여 현장에서 즉시 조치가 가능한 상태)
d	전기적으로 강제수문작동이 불량한 상태 (정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한작동 가능한 상태)
e	전기적으로 강제수문작동이 전혀 되지 않는 상태

<해설>

- 현장제어반, 모터·브레이크, 개도계, 리미트 S/W를 점검하고, 각 설비의 가장 낮은 등급을 기준으로 해당 설비를 평가함 (결과산정 예 참조)

(마) 계측기

[표 5.126] 계측기 성능평가 기준

등급	등급기준
a	계측기 작동률이 90% 이상인 상태
b	계측기 작동률이 80~90% 미만인 상태
c	계측기 작동률이 70~80% 미만인 상태
d	계측기 작동률이 50~70% 미만인 상태
e	계측기 작동률이 50% 이하인 상태

<해설>

- 계측기 작동률은 계측기 자체의 성능을 평가하는 지표로서 댐 시설물의 사용성능 평가에는 반영하지 않을 수 있음
- 계측기는 필댐의 경우에는 누수량계, 변위계, 간극수압계, 콘크리트댐에는 누수량계, 변위계, 양압력계의 작동률로 측정함
- 작동률은 편람에 기입된 설치 개수 대비 고장난 개수를 조사하여 산정함
- 대상 댐의 계측기현황은 댐 운영 실무편람 등 관리주체의 관리·운영자료를 확인하여 조사함
- 계측기의 정상작동유무는 아래와 같은 방법을 사용함
 - 관리주체 소유의 휴대용 측정기를 이용한 수동측정 : 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및 기존 측정값 범위와 비교
 - Digital Multimeter를 이용한 개별 센서의 저항값 측정 : 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및 [적-흑] [적-녹] 저항치의 합계와 [황-흑] 저항치와 비슷한지 비교(Carlson Type 센서의 점검방법)
 - 컴퓨터를 이용한 자동 계측 : 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및 지진 가속도계의 임의의 외부진동에 대한 반응여부 확인

2) 유지관리성

(가) 점검시설

[표 5.127] 점검시설 성능평가 기준

등급	등급기준
a	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 구비되어 있음(신설)
b	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 양호한 상태임
c	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 결함(볼트, 나사 풀림, 녹 등)이 있어 수리가 필요한 상태
d	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 사용 시 심각한 안전상의 문제가 있어 교체가 필요한 상태
e	시설물의 조사에 필요한 점검로가 없어 새로 설치를 요하는 상태

<해설>

- 이 항목은 시설물 조사 및 유지관리에 필요한 접근로 및 점검로의 유무로 판단하여 적용함
- a, b등급의 경우는 사다리 및 접근로가 양호한 상태로 신설인 경우 a등급으로 규정함. c등급은 사용하는데 문제가 없으나 일부 수리가 필요한 상태를 의미하고 d등급은 사용하는데 문제가 있어 교체가 필요한 상태를 의미함. e등급은 점검로가 없어 점검시 특수한 장비를 사용해야 하는 경우를 의미함

3) 수요 및 용량

(가) 댐의 수질

[표 5.128] 댐의 수질 성능평가 기준

등급	등급기준	비고
a	수질등급기준 I a, I b	I~VI의 수질등급 기준은 「환경정책기본법」 시행령 제2조 별표를 따르며, 물정보포털에서 다목적댐에 대한 등급기준을 월별로 제시하고 있음
b	수질등급기준 II	
c	수질등급기준 III	
d	수질등급기준 IV	
e	수질등급기준 V, VI	

<해설>

- 성능평가는 다목적댐을 대상으로 하므로 한국수자원공사 물정보포털에서 제공하는 수질 정보를 활용하여 등급 산정 : 대상 댐의 최근 3년 간 7~9월의 수질 중 가장 낮은 등급으로 해당 댐의 수질 등급을 평가함
 - [참고] : 물정보포털-운영관측-실시간정보-댐/보-댐/보수질자료
- 다목적댐에 대한 pH, BOD, SS, COD, 대장균 군수 등을 월별로 측정된 결과를 물정보 포털에 공개하고 있으며, 여기에 제시된 등급을 활용하여 수질을 평가함

[표 5.129] 호소 생활환경 기준 (「환경정책기본법」 시행령 제2조 별표)

등급		상태 (캐릭터)	기							준			
			수소 이온 농도 (pH)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	총유기 탄소량 (TOC) (mg/L)	부유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총인 (T-P) (mg/L)	총질소 (T-N) (mg/L)	클로로 필-a (Chl-a) (mg/m³)	대장균군 (균수/100ml)		
											총 대장균 군	분원성 대장균 군	
매우 좋음	Ia		6.5~ 8.5	2 이하	2 이하	1 이하	7.5 이상	0.01 이하	0.2 이하	5 이하	50 이하	10 이하	
좋음	Ib		6.5~ 8.5	3 이하	3 이하	5 이하	5.0 이상	0.02 이하	0.3 이하	9 이하	500 이하	100 이하	
약간 좋음	II		6.5~ 8.5	4 이하	4 이하	5 이하	5.0 이상	0.03 이하	0.4 이하	14 이하	1,000 이하	200 이하	
보통	III		6.5~ 8.5	5 이하	5 이하	15 이하	5.0 이상	0.05 이하	0.6 이하	20 이하	5,000 이하	1,000 이하	
약간 나쁨	IV		6.0~ 8.5	8 이하	6 이하	15 이하	2.0 이상	0.10 이하	1.0 이하	35 이하			
나쁨	V		6.0~ 8.5	10 이하	8 이하	쓰레기 등이 떠 있지 않을 것	2.0 이상	0.15 이하	1.5 이하	70 이하			
매우 나쁨	VI			10 초과	8 초과		2.0 미만	0.15 초과	1.5 초과	70 초과			

라. 사용성능 평가 결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 등급 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 아래 1)의 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다([표 5.130] 참조).

1) 세부지표별 가중치

[표 5.130] 댐 분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	강재수문 작동유무 (기계)	현장제어반 및 조작반	구동모터 및 브레이크	강재수문 작동유무 (전기)	계측기	점검시설	수질
가중치	0.144	0.127	0.152	0.155	0.143	0.147	0.132

<해 설>

- 가중치 조정 예 : 계측기에 대한 평가가 제외되는 경우, 계측기에 해당하는 가중치 0.143을 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분(아래 표 참조)

[표 5.131] 사용성능 평가지표별 가중치 조정방법(예)

구분	강재수문 작동유무 (기계)	현장제어반 및 조작반	구동모터 및 브레이크	강재수문 작동유무 (전기)	계측기	점검시설	수질
가중치	0.167	0.148	0.178	0.181	—	0.172	0.154

2) 사용성능 평가 결과 산정

최종 사용성능 평가 결과 산정 절차는 다음과 같다.

$$\text{사용성능 평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w= 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c= 각 세부지표별 평가 결과

[표 5.132] 평가등급별 점수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
5	4	3	2	1

[표 5.133] 최종 등급산정을 위한 점수 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
4.5 이상	3.5 ≤ X < 4.5	2.5 ≤ X < 3.5	1.5 ≤ X < 2.5	1.0 ≤ X < 1.5

마. 사용성능 평가 결과 산정 예시

1) 지표별 평가

(가) 강재수문 작동 유무(기계)

- 시설물의 개보수 이력을 검토하고 각 강재수문별의 상승·정지·하강 등을 실행한 후 권양기의 작동상태·이음발생 등을 확인하여 평가한다.
- 각 강재수문의 등급을 평가한 후 평균을 내어 최종 등급을 산정한다.

[표 5.134] 강재수문 작동 유무(기계) 평가 산정 예

구분	상하한정지	중간정지	평가결과	등급점수	최종 등급
#1	양호	양호	b	4	b* (3.67)
#2	불량	불량	c	3	
#3	양호	양호	b	4	

<해 설>

- 각 최종등급은 사용성능 최종평가 결과표의 점수를 준용하여 적용

(나) 현장제어반 및 조작반

- 상세육안점검을 실시하고 절연저항 및 접지저항 등을 측정하여 평가한다.
- 각 세부시설별 조사결과에 대해서는 가장 낮은 등급을 기준으로 평가하며, 해당 지표의 최종평가는 전체 세부시설 평가결과의 평균값을 취한다.

[표 5.135] 현장제어반 및 조작반 평가 산정 예

조사내용 구분	평가결과		
	1호기	2호기	3호기
반의 변형·파손유무, 내장 부속설비의 상태	양호	양호	양호
외함접지 설치유무	설치	설치	설치
조작 및 작동상태	경미한 불량	양호	양호
배관배선류의 변형 및 손상여부	양호	양호	양호
개도장치 및 안전리미트 스위치류의 상태	양호	양호	양호
평가결과	c	b	a
등급점수	3	4	5
최종등급	b		

<해 설>

- 3호기는 신설된 경우로 a등급으로 평가함

(다) 구동모터 및 브레이크

- 변형 파손유무, 외함접지 설치여부, 작동상태, 배관 변형 및 손상 여부 등을 평가한다.
- 각 세부시설별 조사결과에 대해서는 가장 낮은 등급을 기준으로 평가하며, 해당 지표의 최종평가는 전체 세부시설 평가결과의 평균값을 취한다.

[표 5.136] 구동모터 및 브레이크 평가 산정 예

조사내용 구분	평가결과		
	1호기	2호기	3호기
변형·파손유무	양호	양호	양호
외함접지 설치유무	설치	설치	설치
작동상태	불량	양호	경미한 불량
배관배선류의 변형 및 손상여부	양호	양호	양호
평가결과	d	b	c
등급점수	2	4	3
최종등급	c		

(라) 강재수문 작동 유무(전기)

- 상세육안점검을 실시하고 전기적 동작 여부(작동 및 검출불능 유무 등)을 검사하여 평가한다.
- 각 세부시설별 조사결과에 대해서는 가장 낮은 등급을 기준으로 평가하며, 해당 지표의 최종평가는 전체 세부시설 평가결과의 평균값을 취한다.

[표 5.137] 강재수문 작동 유무(전기) 평가 산정 예

조사내용 구분	평가결과		
	1호기	2호기	3호기
현장제어반	양호	양호	양호
모터·브레이크	양호	양호	양호
개도계	경미한 결함	불량	양호
리미트 S/W	양호	양호	양호
평가결과	c	d	b
등급점수	2	4	3
최종등급	c		

(마) 계측기

- 댐운영 실무편람 등 관리주체의 관리·운영자료를 확인하여 실제 운용중인 계측기 현황을 조사하여 평가를 수행한다.
- 안정적인 측정값 출력 여부 확인 및 기존 측정값 범위와 비교하여 평가한다.
- 계측기는 필댐의 경우에는 누수량계, 변위계, 간극수압계, 콘크리트댐에는 누수량계, 변위계, 양압력계의 작동률을 측정하여 평가한다.

[표 5.138] 계측기 평가 산정 예

구분	관리 수량	고장개수	평가등급	등급점수	최종 등급
누수량계	4	1	c	3	c (3.33)
변위계	20	4	b	4	
간극수압계	21	5	c	3	

(바) 점검시설

- 시설물 조사에 필요한 접근로의 유무 및 상태를 조사하여 평가한다.
- 해당 시설은 점검에 필요한 사다리 및 접근로가 구비되어 있고 양호한 상태로서 b 등급으로 평가하였다.

[표 5.139] 점검시설 평가 산정 예

설치유무	상태	평가등급
사다리 및 접근로 설치	양호	b

(사) 수질

- 해당 댐의 수질자료 등급을 활용하여 평가한다.
- 측정항목은 총 5개항목(pH, BOD, SS, COD, 대장균수)이며 측정값을 기준으로 5단계로 적용하며 최근 3년 간 7~9월의 수질 중 가장 낮은 등급을 활용하여 평가한다.

[표 5.140] 수질 평가 산정 예

구분	pH	BOD	COD	SS	대장균수	등급	
7월	6.9	1.0	2.1	0.5	9.0	I a	a
8월	7.3	1.2	2.1	1.1	32.0	I b	
9월	7.7	1.3	2.1	2.4	115.0	I b	

2) 지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

[표 5.141] 사용성능 평가 결과 예

구분	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
운영성	강제수문 작동 유무(기계)	0.143	b	4
	현장제어반 및 조작반	0.127	b	4
	구동모터 및 브레이크	0.152	c	3
	수문 작동 유무(전기)	0.155	c	3
	계측기	0.143	c	3
유지관리성	점검시설	0.147	b	4
수요 및 용량	수질	0.132	a	5

- 사용성능 최종 등급을 산정하면, 4×0.143 (강제수문 작동 유무(기계)) + 4×0.127 (현장제어반 및 조작반) + 3×0.152 (구동모터 및 브레이크) + 3×0.155 (강제수문 작동 유무(전기)) + 3×0.143 (계측기) + 4×0.147 (점검시설) + 5×0.132 (수질) = 3.678이다.
- 따라서 상기 댐의 최종 사용성능 등급은 B등급으로 평가한다.

5.7 종합평가 기준 및 방법

5.7.1 종합평가 일반

(가) 성능 간 가중치 적용

댐의 종합평가는 아래 표 및 그림과 같이 안전성능, 내구성능 및 사용성능 평가 결과에 대한 성능 간 가중치를 고려하여 결정한다.

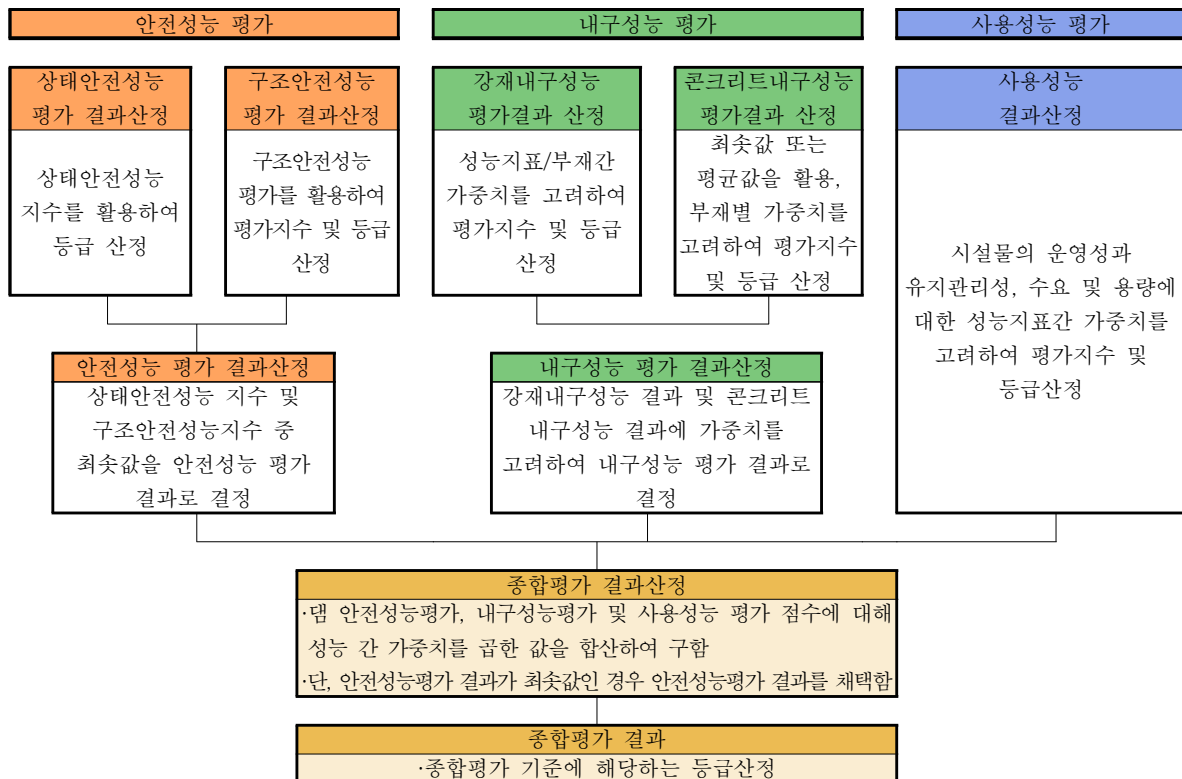
[표 5.142] 댐의 종합평가 산정기준

성능별 가중치			합계
안전성능	내구성능	사용성능	
74	17	9	100



[그림 5.4] 종합평가 분석 구조

(나) 최종 등급 산정을 위한 평가체계



[그림 5.5] 댐의 종합평가 결과산정절차

5.7.2 종합평가 기준

가. 종합평가 결과 산정

종합평가 산정 시, 각 성능(안전성능, 내구성능, 사용성능)간 평가점수를 가중평균하여 도출한다.

종합평가의 산정방법은 안전성능평가, 내구성능평가 및 사용성능평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

단, 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급을 비교하여 안전성능 등급이 가장 낮을 경우 구조물의 위험성을 고려하여 안전성능 등급이 종합성능등급으로 평가된다.

$$\text{종합평가 지수}(E) = \sum(\text{성능평가지수}(E_n) \times \text{성능별 가중치}(W_n))$$

여기서, E_n : 평가성능별 평가지수

W : 가중치

(단, 안전성능이 확보되지 않을 경우, 종합성능등급 = 안전성능 등급)

각 성능 간 중요도를 고려하여 산정한 댐 종합성능등급은 아래 표와 같다.

[표 5.143] 댐 종합평가 기준 및 정의

평가등급	평가점수	정의
	범위	
A (우수)	$4.5 \leq E$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$3.5 \leq E < 4.5$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성능 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$2.5 \leq E < 3.5$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성능 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 불편함이 있으나, 전체적인 시설물의 안전성능에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$1.5 \leq E < 2.5$	시설물의 지속적인 사용이 우려되는 수준으로 긴급한 보수 또는 보강 및 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$1.0 \leq E < 1.5$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전성능에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

나. 종합평가 결과 산정 예

상기의 기준에 따라 댐 시설물의 종합평가 결과를 도출한 예는 다음과 같다.

[표 5.144] 댐 종합평가 결과산정 예

시설물 종합평가 결과 산정표			
시설물명	00댐	형식	콘크리트댐
평가구분	성능평가점수 (평가지수)	평가등급	성능간 중요도 (W _n)
안전성능 평가	3.62	B	0.74
내구성능 평가	3.71	B	0.17
사용성능 평가	3.68	C	0.09
종합평가 결과	$= 3.62 \times 0.74 + 3.71 \times 0.17 + 3.68 \times 0.09 = 3.64$ $\therefore \text{B 등급}$		

제6장 하 구 독

6.1 관리일반

6.2 현장조사

6.3 재료시험 항목 및 수량

6.4 안전성능 평가 기준 및 방법

6.5 내구성능 평가 기준 및 방법

6.6 사용성능 평가 기준 및 방법

6.7 종합평가 기준 및 방법

제6장 하구둑

6.1 관리일반

6.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조에서 정하고 있는 시설물 중 하구둑 시설물에 적용한다.

하구둑의 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 범구나 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 건설기준코드(구 댐 설계기준)
- 건설기준코드(구 하천 설계기준)
- 건설기준코드(구 농지개량사업계획설계기준(해면간척편, 댐편))
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서 등)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

※ 방조제의 성능평가 실시 시에는 본 장의 성능평가 요령을 준용할 수 있다.

6.1.2 용어 정의

- 하구둑

하구둑은 각종 용수이용을 목적으로 하천과 해안의 경계부에 설치하는 둑을 말하며, 조류를 차단하여 담수호를 조성하고 둑을 이용하여 교통개선을 하며 매립지 조성을 한다.

6.1.3 성능평가 실시 범위

하구둑의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같다.

[표 6.1] 하구둑 시설물의 성능평가 세부범위

구분	시설물명
하구둑	방조제
	배수(갑)문
	배수(갑)문 강재수문 ¹⁾

주1) 수문 또는 문비는 이하 ‘강재수문’으로 표기한다.

6.1.4 중대한 결함의 정도

하구둑 시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

1) 시설물의 기초세굴

- 상태안전성능 평가지표 중 제체기초 및 양안부의 침식, 침투에 대한 기준이 “d” 이하인 경우
- 상태안전성능 평가지표 중 배수갑문 콘크리트 구조물의 세굴 등에 대한 기준이 “d” 이하인 경우

2) 하구둑의 본체, 강재수문의 파손, 누수 또는 세굴

- 상태안전성능 평가지표 중 제체를 통한 누수에 대한 기준이 “d” 이하인 경우
- 상태안전성능 평가지표 중 배수갑문에서 수축이음부 누수 또는 수평시공이음부 누수 등에 대한 기준이 “e” 이하인 경우
- 사용성능 평가지표 중 강재수문에서 권양기 작동에 대한 기준이 “d” 이하인 경우

3) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실

- 내구성능 평가지표 중 탄산화 깊이 또는 염화물 침투량 등에 대한 기준이 “e” 판정으로 상태안전성능 평가지표 중 철근노출 상태안전성능 평가기준에서 “e”를 포함하는 경우

6.2 현장조사

6.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

가. 제2종성능평가의 조사항목

1) 안전성능

[표 6.2] 하구둑 시설물의 안전성능 평가 항목

구분			평가항목
상태 안전성능	콘크리트구조물		◦ 균열
			◦ 박리
			◦ 박락 및 층분리
			◦ 철근노출
			◦ 누수
			◦ 파손 및 재료분리
			◦ 백태
	방조제(제체)		◦ 제체 마루의 종·횡방향 균열
			◦ 제체 마루의 수평변위
			◦ 제체 마루의 유실
			◦ 사면 불안정에 의한 제체 마루 손상
			◦ 제체를 통한 누수
			◦ 제체의 침하 및 변형
			◦ 피복공의 변형(배열이완, 이탈, 함몰)
			◦ 제체 기초 및 양안부의 침식, 침투
			◦ 제체 식생
			◦ 제체 동물서식
	배수갑문		◦ 콘크리트 구조물의 세굴
			◦ 바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차
			◦ 물받이공의 하류 또는 기초의 침식
			◦ 언주 및 문주의 변위
			◦ 수축이음부를 통한 누수
			◦ 수평시공이음부를 통한 누수
			◦ 불안정한 측벽 또는 라이닝
			◦ 접근수로 상부의 자연사면 불안정
			◦ 접근수로내의 식생 및 잡물
	기전설비	강제수문 및 문틀	◦ 강제수문 부식
			◦ 강제수문 변형
			◦ 누수
			◦ 마찰부(힌지, 롤러) 손상
		전기설비	◦ 기타사항
구조 안전성능	방조제 및 배수갑문		◦ 침투수의 안전성능 분석
			◦ 사면활동의 안전성능 분석
			◦ 응력-변형의 안전성능 분석
			◦ 수리·수문학적 안전성능 평가
			◦ 콘크리트 구조물의 정적해석평가
			◦ 콘크리트 구조물의 내진해석평가
	기계·전기설비		◦ 뱀, 전단 등에 대한 응력비

2) 내구성능

[표 6.3] 하구둑 시설물의 내구성능 평가 항목

부재구분	평가항목
방조제 및 배수갑문 (콘크리트 구조물)	◦ 탄산화 깊이
	◦ 염화물 침투량
	◦ 피복(표면부) 콘크리트의 품질
	◦ 염해환경
	◦ 동해환경
기계·전기설비 (강재 구조물)	◦ 발청 및 도장열화
	◦ 도장두께
	◦ 대기환경(해안이격거리, 이산화황 농도, 습도)
	◦ 권양기의 와이어로프의 직경감소 및 소선절단

3) 사용성능

[표 6.4] 하구둑 시설물의 사용성능 평가 항목

부재구분	평가항목
기계·전기설비	◦ 권양기 작동유무
	◦ 권양기 마찰부 손상
	◦ 현장제어반 및 조작반 손상
	◦ 구동모터 및 브레이크 손상
	◦ 강재수문 작동유무
기타 부대시설	◦ 점검시설
	◦ 염분침투

6.2.2 현장조사 요령

가. 시설물별 현장조사 요령

1) 하구둑 기초자료 조사·분석

- 시설물별 성능평가의 일반적인 점검항목을 안전성능 항목, 내구성능 항목, 사용성능 항목으로 구분하여 수행한다.
- 사람에 의한 근접조사 대신에 영상처리기법을 이용한 외관조사 방법을 적용할 수 있다.
- 이 방법은 조사목적을 달성할 수 있는 해상도로 촬영된 디지털 영상을 획득하고, 수집된 영상자료는 영상처리기법을 이용하여 결함 및 손상에 대한 평가 자료로 활용할 수 있다.

2) 방조제

- 현장조사 시 조사항목에 대한 상세한 외관조사 및 비파괴시험을 실시한다.
- 수중부위에 대해 세굴여부 등을 조사한다.
- 상태안전성능 평가에 근거하여 구조안전성능 평가에 사용할 위험부재와 단면을 선정한다.
- 구조안전성능의 측면에서 제방은 적절한 제고와 단면을 유지하여 해수와 내수가 월류 되지 않아야 하며, 허용량 이상의 누수를 발생시키지 않아야 하며, 자연적, 인위적 하중에 안전하여야 한다.

3) 배수(갑)문

- 현장조사 시 조사항목에 대한 상세한 외관조사 및 비파괴시험을 실시한다.
- 또한 수중조사 등을 통해 연주(교각, 교대), 기초상판, 물받이공, 바닥보호공 등의 상태를 확인한다.
- 측량을 통해 구체구조물의 침하상태를 판단한다.
- 상태안전성능 평가에 근거하여 구조안전성능 평가에 사용할 위험부재와 단면을 선정한다.
- 구조안전성능의 측면에서 강재수문(갑문)은 충분한 통수단면을 확보하고 양압력, 수압, 파압, 풍압, 지진력 등 자연적 하중에 안전하여야 한다.
- 교량에 의한 인위적 하중과 기계·전기적으로도 안전하여야 한다.

4) 기전설비

- 기계 및 전기부문에 대한 점검은 성능평가 요령에 의해 실시하여야 하며, 배수문(갑문)의 형식에 따라 세부내용을 변경하여 실시할 수 있다.

5) 부대시설

- 부대시설은 하구둑 시설물의 안전에 직접 영향을 미치는 시설물에 대해서 필요시 관리주체와 협의하여 수행할 수 있다.
- 조작실은 부대시설로 구분하고, 공항(여객터미널)편에 따라 평가한다.

나. 성능항목 별 현장조사 요령

1) 안전성능 평가

(가) 외관조사 요령

- 시설물별 현장조사 요령을 참조하여 수행한다.

(나) 현장조사 요령

(1) 점검항목

- ① 콘크리트 비파괴강도(초음파 전달 속도)
- ② 철근배근상태
- ③ 철근 부식도 시험
- ④ 실내시험(콘크리트 코어 강도 등)
- ⑤ 제방의 거동
- ⑥ 토질조사
- ⑦ 제방단면
- ⑧ 구조물의 내하력
- ⑨ 강재수문의 통수능력
- ⑩ 접속교량
- ⑪ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(2) 점검방법

① 콘크리트 비파괴강도

- 콘크리트 비파괴시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험, 조합법)을 위주로 한다. 다른 비파괴시험을 사용하는 경우에는 책임기술자의 판단에 따른다.

② 철근배근상태

- 비파괴시험(전자기유도방식, 전자파레이방식)을 위주로 한다. 시험할 내용은 철근량, 피복두께, 철근의 규격, 배근상태 등이다. 단, 균열 및 변형(처짐) 등의 결함·손상이 발생된 부재와 부재의 내력검토가 필요한 부재에 대하여 실시한다.

③ 철근 부식도 시험

- 외관조사에 의한 비파괴검사(잔여전위법 등)로 한다. 단, 균열 및 재료분리 등의 결함·손상이 발생된 부위와 건전부위를 각각 검사하여 비교한다.

④ 실내시험(콘크리트 코어 강도 등)

- 콘크리트 코어 강도 등에 관한 KS규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

⑤ 제방의 거동

- 구조안전성능을 판별하기 위해 필요시 관리주체와 협의하여 수행한다.
- 제방의 전체적 침하량에 의해 결정한다.
 - 제방 종횡단 및 현황측량, 침하판 매설 시 이에 대한 측량
- 계측자료를 통한 제방거동분석을 통해 이를 판단한다.
- 아울러 상태안전성능 평가 시에 발견된 각종 균열에 대해서도 제방거동분석을 통해 그 원인을 판단한다.

⑥ 토질조사

- 구조안전성능을 판별하기 위해 필요시 관리주체와 협의하여 수행한다.
- 상태안전성능 평가 시 선정된 지점에 대한 토질조사를 통해 제방재료의 강도 등을 산정하여 활동, 누수, 파이핑 등에 대해 검토하며, 이를 위해 다음과 같은 시험을 실시한다.
 - 시추 (표준관입시험, 불교란 시료채취, 현장투수시험 등)
 - 침윤선조사 (레이다탐사, 전기탐사, 공내색도 주입 등)

⑦ 제방단면

- 구조안전성능을 판별하기 위해 필요시 관리주체와 협의하여 수행한다.
- 측량성과를 기준으로 제방단면의 적정성(형식, 정폭, 사면기울기)과 제고(설계 고조위+도파고+여유고)의 적정성을 검토한다.

⑧ 구조물의 내하력

- 구조안전성능을 판별하기 위해 필요시 관리주체와 협의하여 수행한다.
- 구조물의 내하력을 계산하여 구조물에 미치는 자연적, 인위적 하중에 대해 구조 안전성능을 확보하고 있는지를 결정한다.
- 이때 현장측정자료(현황측량, 부재치수 측정 및 철근탐지결과 등)를 근간으로 구조안전성능 평가를 실시하여야 하며, 준공도면, 구조계산서 등을 참고로 한다.

⑨ 강재수문의 통수능력

- 구조안전성능을 판별하기 위해 필요시 관리주체와 협의하여 수행한다.
- 강재수문의 통수단면 적정성 판단은 기존 수리·수문자료 또는 전문기관에 의한 제조사 자료에 근거한다.

⑩ 접속교량

- 구조안전성능을 판별하기 위해 필요시 관리주체와 협의하여 수행한다.
- 배수갑문에 설치되어 있는 접속교량에 대한 성능평가는 제1장 교량에 준하여 실시한다.

2) 내구성능 평가

(가) 자료조사

(1) 자료조사 항목

① 대기환경

- 해안 이격 거리
- 이산화황 농도(ppm)
- 습도

② 열화환경

- 염해환경
- 동해환경

③ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(2) 자료조사 항목

① 해안 이격 거리

- 대상시설물의 위치(주소)를 확인하고 지도에서 주변에 영향을 줄 수 있는 해안이 있는지 확인 후 인터넷 포털사이트 등을 이용하여 시설물에서 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정한다. 다만, 하구둑의 경우 해안과 인접한 시설물의 위치특성을 고려하여 해안 이격거리를 산정·평가할 수 있다.
- 필요 시 책임기술자의 판단에 따라 도장열화에 영향을 줄 수 있는 해안에 대한 현장을 조사한다.

② 이산화황 농도(ppm)

- 이산화황 농도의 지역별 분류는 에어코리아 환경부 대기환경정보에서 제공하는 지역별 10년 동안 평균농도자료를 기준으로 한다.
- 필요시 책임기술자 판단에 따라 분류한 지역에 노출시험지를 설치하여 이를 주기적으로 측정하고, 실내시험과 현장조사와의 상관성을 고려하여 아황산가스와 부식과의 관계를 도출할 수 있다.

③ 습도

- 기상청에서 제공하는 ‘기상연보’를 통한 해당지역의 10년 동안 평균 젖음 시간(τ , 0℃ 이상의 온도에서 상대 습도가 80% 이상인 경우) 관측일을 산정하여 결빙, 적설자료를 사용한다.

④ 염해환경

- 대상시설물의 위치(주소)를 확인하고 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 한다.

⑤ 동해환경

- 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)의 기상관측 자료를 통하여 지난 10년간 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
 - 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
- 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 같은

시라고 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.

- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수
 - 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수
- 여기서, X는 동결융해 반복지수를 의미하며, 수분접촉 여부에 따라 구분·산정

(나) 외관조사 요령

(1) 점검항목

- ① 강재의 도장열화(발청, 박리, 균열, 부품, 변색·백아화)
- ② 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(2) 점검방법

- 강재수문에 대한 강재 도장열화 조사 시 강재수문에 대한 전수조사를 실시하여 열화도를 낮음, 보통, 높음의 3가지 수준으로 구분하고 각 수준별로 1개소 이상씩을 조사 대상으로 선정한다.
- 조사 대상 선정 시 전체 강재수문 중 25%, 3개 이상의 조건을 만족하여야 하며, 조사 대상 외의 경우는 유사 강재수문으로 지정한다. 이 때 조사대상 개수가 선정기준 미만인 경우에는 관리주체와 협의하여 선정한다.
- 외관조사에서 이상이 발견된 사항에 대해서는 사진 촬영하여 보고서의 설명자료로 이용할 수 있도록 보존한다.
 - 사진자료는 매 성능평가 시에 가능한 한 같은 위치에서 얻는 것을 원칙으로 한다.
- 도장을 하지 않는 권양기 와이어로프는 열화항목 중 발청에 대해 조사하며, 조사 대상인 강재수문의 와이어로프를 중심으로 조사한다.

(다) 현장조사 요령

(1) 점검항목

- ① 강재 도장 두께
- ② 권양기 와이어로프 직경감소 및 소선절단
- ③ 피복 콘크리트 품질
- ④ 콘크리트 탄산화 깊이
- ⑤ 콘크리트 염화물 침투량

(2) 점검방법

- ① 강재 도장 두께
 - 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기에 의해 측정한다.
- ② 권양기 와이어로프 직경감소 및 소선절단
 - 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 버어니어 캘리퍼스로 0.1m 간격씩 3방향에서 3회 측정하여 평균치로 환산하여

최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단한다.

③ 피복 콘크리트 품질

- 피복 콘크리트 품질은 반발경도 값을 원칙으로 사용하며, 설계강도 값과 비교하는 경우와 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우로 구분하여 실시한다.
- 설계 강도 값과 비교하는 경우는 강도 추정 값과 설계 값을 비교하여 피복 콘크리트의 내구성능을 평가한다.
- 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우는 강도를 추정할 필요가 없으며, 반발경도 값을 직접 비교하여 판정한다.

③ 콘크리트 탄산화 깊이

- 부재를 천공할 때의 콘크리트 분말가루나, 코어시료에 대하여 페놀프탈레인 (1%)용액에 의한 변색반응검사 등으로 한다. 단, 검사부위는 부재가 위치한 환경과 설계·시공 상태를 고려하여 건전한 곳을 선택한다.

④ 콘크리트 염화물 침투량(콘크리트 염화물 함유량)

- 콘크리트 내의 염화물 침투량(염화물 함유량)에 관한 KS 규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

3) 사용성능 평가

(가) 자료조사

(1) 자료조사 항목

- ① 현장제어반 및 조작반
- ② 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(2) 자료조사 방법

- ① 현장제어반 및 조작반
 - 현장제어반 및 조작반이 신규로 설치되었는지 여부를 조사
 - 필요 시 현장조사를 통해 조사할 수 있다.
- ② 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 현장조사

(1) 현장조사 항목

- ① 권양기의 작동유무
- ② 현장제어반 및 조작반
- ③ 구동모터 및 브레이크
- ④ 전기설비 작동유무
- ⑤ 점검시설
- ⑥ 염분침투

(2) 현장조사 방법

- ① 권양기의 작동 유무

- 진동소음의 경우 권양기의 작동시험을 시행하는 중에 모터부 하측 감속기부 하측에 대하여 수직(또는 수평)방향에 대하여 각각 1회 이상 진동값을 측정하고 분석하며, 진동측정중이나 그 후에 모터측 커플링측 감속기측에 대하여 1m 거리에서의 소음을 각 1회 이상 측정하고 분석하여 평가한다.
- ② 현장제어반 및 조작반
- 육안조사를 통해 변형·파손 등의 유무를 조사하고 필요 시 조작·작동 가능 여부를 조사한다.
 - 필요 시 절연·접지 상태 등을 포함하여 전지적 제어 가능 여부를 조사한다.
- ③ 구동모터 및 브레이크
- 육안조사를 통해 전반적인 상태를 평가한다.
 - 필요 시 구동모터의 공급전압, 운전전류, 온도상승여부 등을 측정·조사하여 운전 상태의 이상 유무를 파악하고, 공급전압 및 운전전류는 클램프미터, 전력 분석기 등을 활용하여 구동모터의 정·역(권상·권하)상태에서 전압 및 전류를 1회 이상 측정하여 이때 측정값이 정격전압·전류를 초과하는지 등을 확인한다.
- ④ 강제수문 작동유무
- 관리주체의 작동 협조를 받아 실시하며, 상승, 상승 중 정지, 재상승, 하강, 하강 중 정지, 재 하강으로 구분하여 작동상태를 확인한다.
 - 관리주체와 책임기술자의 협의 결과에 따라 실시 여부를 검토한다.
- ⑤ 점검시설
- 시설물 조사에 필요한 접근로 및 점검로의 유무와 상태를 조사한다.
- ⑥ 염분침투
- 하구둑에서 가장 가까운 취수장에서 염분농도가 가장 높게 나타나는 갈수기 때 염분농도 측정 데이터를 활용하여 평가한다.
 - 취수장에서의 염분농도 측정 데이터가 없는 경우, 취수장과 가장 가까운 저수지, 하천 등에서의 측정데이터를 활용하여 평가한다.
 - 갈수기는 하천의 유량이 감소하는 시기를 나타내며, 가뭄과 겨울철에 적설, 결빙으로 인해 발생하며, 매년 12월 1일부터 다음해 4월 30일까지의 기간으로 나타낸다.

6.3 재료시험 항목 및 수량

6.3.1 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 6.5] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전 성능	콘크리트 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험 : 반발경도시험¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> 철근탐사시험²⁾ <ul style="list-style-type: none"> 철근 배근상태 철근 피복두께
			<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 국부파괴시험법 : 코어강도 비파괴시험 : 초음파전달속도시험
내구 성능	콘크리트 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 피복(표면) 콘크리트 품질 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험 : 반발경도시험¹⁾ 	-
		<ul style="list-style-type: none"> 탄산화깊이 	
		<ul style="list-style-type: none"> 염화물 침투량 	
	강재	<ul style="list-style-type: none"> 도장두께³⁾ 	-
사용 성능	기전설비	-	<ul style="list-style-type: none"> 강재수문 및 각종 기기의 시험

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있다.
피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 한다.

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 한다.

주3) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

나. 제1종성능평가

[표 6.6] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전 성능	콘크리트 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험 : 반발경도시험¹⁾, 초음파전달속도시험 	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 국부파괴시험법 : 코어강도
		<ul style="list-style-type: none"> 철근탐사시험²⁾ <ul style="list-style-type: none"> 철근 배근상태 철근 피복두께 	
		<ul style="list-style-type: none"> 철근부식도 측정 	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 물성 및 미세구조
		<ul style="list-style-type: none"> 균열깊이 조사 	
	강재수문	—	<ul style="list-style-type: none"> 초음파두께측정 강재 용접결함조사
내구 성능	콘크리트 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 피복 콘크리트 품질 <ul style="list-style-type: none"> 반발경도시험 	—
		<ul style="list-style-type: none"> 탄산화깊이 	
		<ul style="list-style-type: none"> 염화물 침투량 	
	강재수문	<ul style="list-style-type: none"> 도장두께³⁾ 	—
사용 성능	기전설비	<ul style="list-style-type: none"> 강재수문 및 권양기 작동유무 	<ul style="list-style-type: none"> 강재수문 전기 및 기계 조사시험

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있다. 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 한다.

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 한다.

주3) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

6.3.2 재료시험 기준수량

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 6.7] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
반발경도시험	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 역 T형 배수갑문 : 피어수 × 1회 ◦ 박스형 배수갑문 : 구조체수 × 1회 ◦ 기타시설 : 시설물별 3회 	
탄산화 깊이	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 역 T형 배수갑문 : 피어수 × 1회 ◦ 박스형 배수갑문 : 구조체수 × 1회 ◦ 기타시설 : 시설물별 3회 	
염화물 침투량	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	
도장두께 ^{2,3)}	◦ 강재수문 당 3개소, 1개소 당 3회 이상	

주1) 관리주체의 작동 협조를 받아 실시하며, 상승, 상승 중 정지, 재 상승, 하강, 하강 중 정지, 재 하강으로 구분하여 작동상태의 확인. 관리주체와 책임기술자의 협의 결과에 따라 실시여부를 결정한다.

주2) 도장두께 측정 강재수문은 책임기술자가 선정하며, 전체 강재수문 중 25%, 3개 이상의 조건을 만족하되 강재수문 개수가 선정기준 미만인 경우에는 관리주체와 협의하여 선정한다.

주3) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

[표 6.8] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
코어채취 ¹⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 강도 및 염화물 침투량 시험 등
초음파전달 속도시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 날개벽 및 물받이 포함
철근탐사시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
각종 기기의 시험 ²⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
접지저항측정 ³⁾	◦ 각 설비의 대수별 1회 이상 측정	
절연저항측정 ³⁾	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 선로별로 1회 이상 측정 ◦ 각 설비의 대수별 1회 이상 측정 	
와이어로프 직경감소 및 소선절단 ⁴⁾	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 강재수문에 설치된 와이어로프 - 대상 와이어로프 당 3개소 이상 측정 - 1개소 당 일정 간격을 두고 3회 측정 	

주1) 관리주체와 협의하여 코어를 채취했을 경우, 실내시험인 압축강도, 비중, 흡수율 등의 항

목은 필수적으로 실시한다. 단, 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

주2) 온도·습도 및 토양의 상황 등에 의하여 변화하므로 접지 저항계 등을 사용하여 현장 제어반 및 전동기, 피뢰침 설비 등으로 분류하여 측정한다.

- 접지저항측정 과업 수행 시 책임기술자의 소견을 보고서에 수록하여야 하며, 결과를 사용성능 평가에 활용할 수 있다.

주3) 날씨, 기온, 습도, 오염의 정도 등에 따라 좌우되기 때문에 사용의 상황, 기상조건 등을 염두에 두고 그 적부를 판정한다.

- 500V의 절연 저항계를 사용하여 간선용 혹은 분기용으로 시설하는 개폐기 또는 차단기 등으로 구분 지을 수 있는 선로별로 1회 이상 측정
- 전동기의 경우 전로와 대지간 뿐만 아니라, 코일-권선 간의 절연상태를 설비의 대수별로 1회 이상 측정
- 절연저항측정 과업 수행 시 책임기술자의 소견을 보고서에 수록하여야 하며, 결과를 사용성능 평가에 활용할 수 있다.

주4) 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 버어니어 캘리퍼스로 0.1 m 간격씩 3방향에서 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단한다.

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 6.9] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
초음파 전달속도시험	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 역 T형 배수갑문 : 피어수 × 2회 ◦ 박스형 배수갑문 : 구조체수 × 2회 ◦ 기타시설 : 시설물별 4회 	
철근탐사시험 ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 역 T형 배수갑문 : 피어수 × 2회 ◦ 박스형 배수갑문 : 구조체수 × 2회 ◦ 기타시설 : 시설물별 4회 	
철근부식도 시험 ²⁾	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 배수갑문 : 1회 	
균열깊이 조사	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정 	
반발경도시험	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 역 T형 배수갑문 : 피어수 × 2회 ◦ 박스형 배수갑문 : 구조체수 × 2회 ◦ 기타시설 : 시설물별 4회 	
탄산화 깊이	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 역 T형 배수갑문 : 피어수 × 2회 ◦ 박스형 배수갑문 : 구조체수 × 2회 ◦ 기타시설 : 시설물별 1회 	
염화물 침투량	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 배수갑문 : 해측 3회 ◦ 기타시설 : 시설물별 1회 	
초음파두께측정	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 스킨플레이트를 최소 3개소 이상 측정 (개소당 4회 측정)
도장두께 ^{3,4)}	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 강재수문 당 5개소, 1개소 당 3회 이상 	
강재수문 및 권양기 작동유무	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 각 강재수문별 1회 	

주1) 콘크리트 구조물의 경우 무근콘크리트 부위를 제외한 주요 부재별로 평가가 가능하도록 실시하여야 한다.

주2) 철근부식이 의심스러운 경우, 책임기술자의 판단에 따라 조사수량 추가

주3) 도장두께 측정 강재수문은 책임기술자가 선정하며, 전체 강재수문 중 25%, 3개 이상의 조건을 만족하되 강재수문 개수가 선정기준 미만인 경우에는 관리주체와 협의하여 선정한다.

주4) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

주5) 관리주체의 작동 협조를 받아 실시하며, 상승, 상승 중 정지, 재 상승, 하강, 하강 중 정지, 재 하강으로 구분하여 작동상태의 확인. 관리주체와 책임기술자의 협의 결과에 따라 실시여부를 결정한다.

[표 6.10] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
코어채취 ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 역 T형 배수갑문 : 총 피어수/3공 ◦ 박스형 배수갑문 : 구조체수 × 1회 ◦ 기타시설 : 시설물별 3공 	◦ 강도 및 염화물침투량 시험 등
강재 용접결함탐상	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 자분탐상 또는 초음파탐상
각종 기기의 시험 ²⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
접지저항측정 ³⁾	◦ 각 설비의 대수별 1회 이상 측정	
절연저항측정 ⁴⁾	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 선로별로 1회 이상 측정 ◦ 각 설비의 대수별 1회 이상 측정 	
권양와이어로프 직경감소 및 소선절단 ⁵⁾	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 대상 와이어로프 당 3개소 이상 (1개소를 1m 범위로 함) – 1개소 당 20m 간격을 두고 5개 지점에서 측정 	

- 주1) 관리주체와 협의하여 코어를 채취했을 경우, 실내시험인 압축강도, 비중, 흡수율 등의 항목은 필수적으로 실시한다. 단, 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.
- 주2) 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 버어니어 캘리퍼스로 0.1m 간격씩 3방향에서 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단
- 주3) 온도·습도 및 토양의 상황 등에 의하여 변화하므로 접지 저항계 등을 사용하여 현장 제어반 및 전동기, 피뢰침 설비 등으로 분류하여 측정한다.
- 접지저항측정 과업 수행 시 책임기술자의 소견을 보고서에 수록하여야 하며, 결과를 사용성능 평가에 활용할 수 있다.
- 주4) 날씨, 기온, 습도, 오염의 정도 등에 따라 좌우되기 때문에 사용의 상황, 기상조건 등을 염두에 두고 그 적부를 판정한다.
- 500V의 절연 저항계를 사용하여 간선용 혹은 분기용으로 시설하는 개폐기 또는 차단기 등으로 구분 지을 수 있는 선로별로 1회 이상 측정
 - 전동기의 경우 전로와 대지간 뿐만 아니라, 코일-권선 간의 절연상태를 설비의 대수별로 1회 이상 측정
 - 절연저항측정 과업 수행 시 책임기술자의 소견을 보고서에 수록하여야 하며, 결과를 사용성능 평가에 활용할 수 있다.
- 주5) 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 버어니어 캘리퍼스로 0.1m 간격씩 3방향에서 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단한다.

6.4 안전성능 평가 기준 및 방법

6.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가 기준 및 방법

1) 일반

하구둑 시설물의 상태안전성능 평가는 결함 및 손상 등 시설물의 물리적 상태변화와 연관된 성능지표 조사결과를 활용하여, 상태변화가 전체 구조물에 미치는 안전성능의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 결함 및 손상을 평가 유형별로 구분하여 영향계수를 적용한다.

2) 평가범위

하천시설물에 나타나는 다양한 형태의 손상을 기본으로 하였으며, 일반적인 콘크리트에서 나타나는 균열, 박락, 층분리, 철근노출, 재료분리, 백태, 누수, 파손, 신축이음 탈락 및 열화, 방수·방식도장 열화 및 탈락 등과 구조물의 변형, 세굴, 침하 등을 대상으로 한다.

3) 평가유형의 구분

[표 6.11] 하구둑 평가유형의 구분

평가 유형	정 의	평가 기준	평가 점수	영향 계수
중요 결함	침하, 경사/전도 및 활동 등과 같이 전체 구조물의 구조적인 안전에 직접영향을 미치는 결함	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0
국부 결함	수평이음부 불량 등과 같이 구조물의 안전성능에 직접적인 영향을 미치지 않지만 손상이 진전될 경우 전체구조물의 안전에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 결함	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0 1.1 1.2 1.4 2.0
일반 손상	파손, 마모, 콘크리트 재료분리 등과 같이 구조물의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0 1.1 1.3 1.7 3.0

3) 기본시설 평가지수 산정기준

(가) 방조제

○ 제체

[표 6.12] 방조제의 상태안전성능 평가 기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
제체 마루의 중·횡방향 균열	중요 결함	1.0	a	5	○ 중·횡방향 균열이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 중·횡방향 균열길이 0~1m이하 제정의 10% 이하인 상태
			c	3	○ 중·횡방향 균열길이 1~5m 제정의 10~50% 상태
			d	2	○ 중·횡방향 균열길이 5m이상 제정의 50% 이상, 난간이 기울어진 상태
			e	1	○ 중·횡방향 균열길이 5m이상 제정의 50% 이상, 종방향 균열깊이가 저수위 이하이고, 횡방향 균열이 깊고 저수위 이하까지 진행되었을 경우
제체 마루의 수평변위	중요 결함	1.0	a	5	○ 결함이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 과도한 수평변위가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 과도한 수평변위의 징후가 존재하나 경미한 상태 (융기 0~0.5 m, 측방이동 0~0.3 m 변위 발생시)
			d	2	○ 과도한 수평변위로 댐마루 도로의 변형이 심각한 상태 (융기 0.5 m 이상, 측방이동 0.3 m 이상 변위 발생시)
			e	1	○ 과도한 수평변위로 댐마루 도로의 변형이 매우 위험한 상태 (융기 0.5 m 이상, 측방이동 0.3 m 이상 변위 발생시)
제체 마루의 유실	중요 결함	1.0	a	5	○ 결함이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 제체 마루의 유실면적이 5㎡ 이하인 상태
			c	3	○ 제체 마루의 유실면적이 5~15㎡ 미만인 상태
			d	2	○ 제체 마루의 유실면적이 15㎡ 이상 심각한 상태 (침하량과 누수량이 서서히 증가, 함몰, 누수의 변색 등의 징후가 나타남)
			e	1	○ 제체 마루의 유실면적이 15㎡ 이상 매우 위험한 상태 (침하량과 누수량이 급격히 증가, 함몰, 누수의 변색 등의 징후가 나타남)
제체 사면 불안정에 의한 마루손상	중요 결함	1.0	a	5	○ 최상의 건전한 상태
			b	4	○ 제체에 슬라이딩 길이가 1m 이하의 손상이 있는 상태
			c	3	○ 제체에 슬라이딩 길이가 1~2m 이하의 손상이 있는 상태
			d	2	○ 제체에 슬라이딩 길이가 2m 이상의 손상이 있는 상태
			e	1	○ 제체에 슬라이딩 길이가 2m 이상 매우 위험한 상태

[표 6.13] 방조제의 상태안전성능 평가 기준 (계속)

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
제체를 통한 누수	중요 결함	1.0	a	5	○ 결함이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 제체를 통한 누수의 징후가 보이는 상태 (초목의 이상 성장, 염분농도의 변화 등)
			c	3	○ 제체를 통한 누수를 육안으로 확인할 수 있는 정도로서 일 최대 누수가 증가하지 않는 상태
			d	2	○ 제체를 통한 누수로 제체 토립자의 유실이 발생하고, 탁수가 유출되는 상태
			e	1	○ 제체를 통한 누수로 제체 토립자의 유실이 심하고, 제체에 침하, 함몰 등 변형이 발생하고, 제체 붕괴 위험이 있는 상태
제체 침하 및 변형	중요 결함	1.0	a	5	○ 결함이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 침하깊이 0~0.1 m 이하, 제체의 변형 0~10% 이하인 상태
			c	3	○ 침하깊이 0.1~0.5 m, 제체의 변형 10~50%인 상태
			d	2	○ 침하깊이 0.5 m 이상, 제체의 변형 50% 이상인 상태
			e	1	○ 침하깊이 0.5 m 이상, 제체의 변형 50% 이상 위험한 상태
피복공의 변형 (배열이완, 이탈, 함몰)	중요 결함	1.0	a	5	○ 피복공의 사면보호 기능이 최상인 상태
			b	4	○ 피복공 사석의 배열이완 개소별 면적이 25m ² 이하 ○ 콘크리트 슬래브에 세굴, 마모 등 경미한 노후화가 진행된 상태
			c	3	○ 피복공 사석의 배열이완 개소별 면적이 25~50m ² ○ 피복공 사석의 이탈 및 함몰이 발생한 면적의 합이 단위 조사망 면적의 5 % 이하 ○ 콘크리트 슬래브의 수축이음부 부재간에 부등침하에 의한 변위 또는 단차 발생 및 슬래브에 균열발생 등 사면보호 기능상 약간의 문제가 있는 상태
			d	2	○ 피복공 사석의 배열이완 개소별 면적이 50m ² 이상 ○ 피복공 사석의 이탈 및 함몰이 발생한 면적의 합이 단위 조사망 면적의 5~15 % 범위 또는 제체의 안정성에 영향을 미치는 상태 ○ 콘크리트 슬래브의 들뜸, 부등침하, 슬래브의 파손 또는 수축이음부의 이격에 의한 성토재 유실 등이 발생할 수 있는 상태로서 제체의 안정성에 영향을 미치는 상태
			e	1	○ 피복공 사석의 이탈 및 함몰이 발생한 면적의 합이 단위 조사망 면적의 15 % 이상 또는 제체의 안정성에 위험을 초래할 수 있는 상태 ○ 콘크리트 슬래브의 들뜸, 부등침하, 슬래브의 파손 또는 수축이음부의 이격에 의한 성토재 유실 등이 발생한 상태로서 제체의 안정성에 위험을 초래할 수 있는 상태

[표 6.14] 방조제의 상태안전성능 평가 기준 (계속)

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
제체 기초 및 양안부의 침식, 침투	중요 결함	1.0	a	5	○기초 및 양안부의 침식, 침투가 없는 최상의 상태
			b	4	○기초 및 양안부의 침식, 침투가 없는 양호한 상태
			c	3	○기초 및 양안부의 침식, 침투가 일부 나타나는 경미한 상태
			d	2	○기초 및 양안부의 침식, 침투로 도랑이 형성되고 타류 발생, 평소 누수량보다 증가하여 심각한 상태
			e	1	○기초 및 양안부의 침식, 침투로 도랑이 형성되고 누수의 온도 변화가 심하고, 비강우시 누수량이 평소 누수량의 배 이상 증가하여 매우 심각한 상태
제체 사면 식생	일반 손상	1.0	a	5	○사면에 식생이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○사면에 일년생 식물이 있는 상태
		1.3	c	3	○사면에 다년생 식물이 있는 상태
		1.7	d	2	○사면에 관목류가 있는 상태
		3.0	e	1	○사면에 다년생 식물 및 관목류가 있는 상태
제체 사면 동물서식	일반 손상	1.0	a	5	○사면에 동물의 서식 흔적이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○사면에 동물의 굴 직경이 0~10 mm 이하, 개수 0~1개
		1.3	c	3	○사면에 동물의 굴 직경이 10~50 mm, 개수 2~4개
		1.7	d	2	○사면에 동물의 굴 직경이 50 mm 이상, 개수 5개 이상
		3.0	e	1	○사면에 동물의 굴 직경이 50 mm 이상이 수없이 존재

(나) 배수갑문

○ 콘크리트 구조물

[표 6.15] 배수갑문 콘크리트 구조물의 상태안전성능 평가 기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	최대 균열폭	면적률 5%이하	면적률 20%이하	면적률 20%이상
일반 구조물 콘크리트 균열	국부 결함	1.0	a	5	0.1mm 미만	a	a	a
		1.1	b	4	0.1mm~0.2mm 미만	a	a	b
		1.2	c	3	0.2mm~0.3mm 미만	a	b	c
		1.4	d	2	0.3mm~0.5mm 미만	b	c	d
		2.0	e	1	0.5mm 이상	c	d	e
수처리 구조물 콘크리트 균열	국부 결함	1.0	a	5	0.1mm 미만	a	a	b
		1.1	b	4	0.1mm~0.2mm 미만	a	b	c
		1.2	c	3	0.2mm~0.3mm 미만	b	c	d
		1.4	d	2	0.3mm~0.5mm 미만	c	d	e
		2.0	e	1	0.5mm 이상	d	e	e
백태	일반 손상	1.0	a	5	○ 백태가 없음			
		1.1	b	4	○ 백태 발생 면적율이 5% 미만			
		1.3	c	3	○ 백태 발생 면적율이 5~10% 미만			
		1.7	d	2	○ 백태 발생 면적율이 10~20% 미만			
		3.0	e	1	○ 백태 발생 면적율이 20% 이상			
박리	국부 결함	1.0	a	5	○ 박리발생이 없음			
		1.1	b	4	○ 박리깊이 0.5mm 미만이면서 박리 면적율 10% 미만			
		1.2	c	3	○ 박리깊이 0.5~1.0mm 미만이면서 박리면적율 10% 미만 ○ 박리깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상			
		1.4	d	2	○ 박리깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적율 10% 미만 ○ 박리깊이 0.5~10mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상			
		2.0	e	1	○ 박리깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적율 10% 이상 ○ 박리깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실			
박락 및 층분리	국부 결함	1.0	a	5	○ 박락/층분리의 발생이 없음			
		1.1	b	4	○ 박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적율 20% 미만			
		1.2	c	3	○ 박락/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적율 20% 미만 ○ 박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적율 20% 이상			
		1.4	d	2	○ 박락/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적율 20% 미만 ○ 박락/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적율 20% 이상			
		2.0	e	1	○ 박락/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적율 20% 이상 ○ 박락/층분리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실			

[표 6.16] 배수갑문 콘크리트 구조물의 상태안전성능 평가 기준(계속)

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
철근노출	국부 결함	1.0	a	5	철근노출 없음
		1.1	b	4	철근노출 면적률이 1.0% 미만
		1.2	c	3	철근노출 면적률이 1.0~3.0% 미만
		1.4	d	2	철근노출 면적률이 3.0~5.0% 미만
		2.0	e	1	철근노출 면적률이 5.0% 이상
균열을 통한 누수	국부 결함	1.0	a	5	○ 누수가 없음
		1.1	b	4	○ 현저한 흔적 (누수부위가 습윤된 상태)
		1.2	c	3	○ 누수의 진행이 관찰가능 상태 (방울방울 떨어짐)
		1.4	d	2	○ 누수의 진행이 관찰가능 상태 (소량이 분출)
		2.0	e	1	○ 누수의 진행이 확연한 상태 (많은 양의 분출)
파손	일반 손상	1.0	a	5	○ 파손이 없음
		1.1	b	4	○ 파손깊이 20mm 미만이면서 파손면적률 10% 미만,
		1.3	c	3	○ 파손깊이 20~50mm 미만이면서 파손면적률 10% 미만 ○ 파손깊이 20mm 미만이면서 파손면적률 10% 이상
		1.7	d	2	○ 파손깊이 50~80mm 미만이면서 파손면적률 10% 미만 ○ 파손깊이 20~50mm 미만이면서 파손면적률 10% 이상
		3.0	e	1	○ 파손깊이 80mm 이상이면서 파손면적률 10% 미만, ○ 파손깊이 50mm 이상이면서 파손면적률 10% 이상

○ 배수갑문

[표 6.17] 배수갑문의 상태안전성능 평가 기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
콘크리트 구조물의 세굴	중요 결함	1.0	a	5	○ 세굴이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 세굴이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 세굴구멍의 지름과 깊이 < 0.15m 상태
			d	2	○ 세굴구멍의 지름과 깊이 > 0.30m 상태
			e	1	○ 세굴이 기초에 도달한 매우 심각한 상태
바닥슬래 브부등침 하, 들뜸, 단차	중요 결함	1.0	a	5	○ 바닥 슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 바닥 슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 바닥 슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차 < 2mm 상태
			d	2	○ 바닥 슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차 > 2mm 상태
			e	1	○ 바닥슬래브의 부등침하로 인한 슬래브판의 변형, 들뜸, 단차 > 5mm 매우 심각한 상태
물받이공 하류 또는 기초 침식	중요 결함	1.0	a	5	○ 물받이공의 하류 또는 기초의 침식이 없는 최상의 상태
			b	4	○ 물받이공의 하류 또는 기초의 침식이 없는 양호한 상태
			c	3	○ 물받이공의 하류 또는 기초의 침식이 경미한 상태
			d	2	○ 물받이공의 하류 또는 기초의 침식이 심각한 상태 (이음부 균열 폭 > 5mm)
			e	1	○ 물받이공의 하류 또는 기초의 침식이 매우 심각한 상태 (이음부 균열 폭 > 12mm, 측벽기울기 > 10°)
언주 및 문주의 변위	중요 결함	1.0	a	5	○ 변위가 발생하지 않은 최상의 상태
			b	4	○ 변위가 발생하지 않은 양호한 상태
			c	3	○ 변위가 발생하였으나, 강재수문 작동에 문제가 없는 상태
			d	2	○ 변위가 발생하여 강재수문 작동시 마찰음이 발생하는 상태 또는 강재수문 폐쇄시 누수가 심각한 상태
			e	1	○ 변위가 발생하여 강재수문 작동시 자중으로 닫히지 않는 상태
수축이음 부를 통한 누수	중요 결함	1.0	a	5	○ 수축이음부를 통한 누수가 없는 최상의 상태
			b	4	○ 수축이음부를 통한 누수가 없는 양호한 상태
			c	3	○ 수축이음부를 통한 누수가 경미한 상태 (이음부위당 < 3 L/min)
			d	2	○ 수축이음부를 통한 누수가 심각한 상태 (이음부위당 > 75 L/min)
			e	1	○ 수축이음부를 통한 누수가 매우 위험한 상태 (이음부위당 > 370 L/min)

[표 6.18] 배수갑문의 상태안전성능 평가 기준(계속)

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
수평 시공이음 부 누수	중요 결함	1.0	a	5	○수평시공이음부 누수가 없는 최상의 상태
			b	4	○수평시공이음부 누수가 없는 양호한 상태
			c	3	○수평시공이음부 누수가 경미한 상태 (이음부위당 < 3 L/min)
			d	2	○수평시공이음부 누수가 심각한 상태 (이음부위당 > 75 L/min)
			e	1	○수평시공이음부 누수가 매우 위험한 상태 (이음부위당 > 370 L/min)
불안정한 측벽 또는 라이닝	일반 손상	1.0	a	5	○불안정한 측벽 또는 라이닝 손상이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○불안정한 측벽 또는 라이닝 손상이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○불안정한 측벽 및 라이닝에 균열, 누수 등 손상이 경미한 상태
		1.7	d	2	○불안정한 측벽의 배수불량, 배면토압 증가에 의한 균열과 라이닝면의 균열 또는 히빙현상 등 손상이 심각한 상태
		3.0	e	1	○불안정한 측벽의 배수불량, 배면토압 증가와 라이닝면의 균열 또는 히빙현상 등 손상이 매우 심각한 상태
접근수로 상부의 자연사면 불안정	일반 손상	1.0	a	5	○접근수로 상부의 자연사면 불안정이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○접근수로 상부의 자연사면 불안정이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○접근수로 상부의 자연사면이 일부 낙석이 있는 상태
		1.7	d	2	○접근수로 상부의 자연사면이 일부 사면붕괴 및 균열로 수로가 손상받을 위험이 존재하는 상태
		3.0	e	1	○접근수로 상부의 자연사면이 국부적인 사면붕괴 및 균열로 수로가 봉쇄되거나 손상 받을 위험이 존재하는 상태
접근수로 내 식생 및 잡물	일반 손상	1.0	a	5	○접근수로내의 식생 및 잡물이 없는 최상의 상태
		1.1	b	4	○접근수로내의 식생 및 잡물이 없는 양호한 상태
		1.3	c	3	○접근수로내의 식생 및 잡물이 경미한 상태
		1.7	d	2	○접근수로내의 식생 및 잡물이 수문조작을 방해하는 상태
		3.0	e	1	○접근수로내의 식생 및 잡물이 산사태 등으로 수로를 봉쇄할 위험이 있는 상태

(다) 기계설비

○ 권양기

[표 6.19] 권양기의 상태안전평가 기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
마찰부 손상(시브 , 감속기, 커플링)	일반 손상	1.0	a	5	○ 손상이 없는 양호한 상태
		1.1	b	4	○ 손상이 없는 건전한 상태
		1.3	c	3	○ 약간의 이음 이상진동이 있으나 사용가능한 상태, ○ 그리스 도포가 불량한 상태
		1.7	d	2	○ 부식고착으로 이음 이상진동이 과도한 상태 ○ 그리스가 건조되거나 이물질이 다량 함유된 상태
		3.0	e	1	○ 손상 등이 발생하여 보수가 필요한 상태 ○ 정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한적 작동이 되는 상태

○ 강재수문 및 문틀

[표 6.20] 강재수문 및 문틀의 상태안전성능 평가 기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
강재수문 부식	중요 결함	1.0	a	5	○ 부식이 없음
			b	4	○ 전면부식이 조금 발견되거나, 건전부 모재두께의 5%미만의 점부식이 관찰되는 상태
			c	3	○ 가벼운 전면부식이 전단면에 발생되거나, 건전부 모재 두께의 5~10%의 점부식이 관찰되는 상태
			d	2	○ 심화된 전면부식이 전단면에 발생되어 있거나, 건전부 모재두께의 10~30%의 점부식이 관찰되는 상태로 보수를 하지 않으면 안되는 상태
			e	1	○ 전면부식과 건전부 모재두께의 30% 이상의 점부식으로 인하여 당장 보강을 하지 않으면 안되는 상태
강재수문 변형	국부 결함	1.0	a	5	○ 강재수문에 변형이 없는 양호한 상태
		1.1	b	4	○ 강재수문의 변형을 육안으로 판별이 어려운 상태
		1.2	c	3	○ 외부충격에 의한 국부적인 변형이 발생한 상태이나 기능에 이상이 없는 상태
		1.4	d	2	○ 변형이 경간의 1/800이상 발생한 상태
		2.0	e	1	○ 변형으로 작동이 원활하지 못한 상태로 작동시 접촉, 끼임 발생과 부분적인 두께감소가 1/2이상인 경우
누수	일반 손상	1.0	a	5	○ 누수가 없는 양호한 상태
		1.1	b	4	○ 누수 가능성이 없는 건전한 상태
		1.3	c	3	○ 미세한 누수가 있는 경미한 상태
		1.7	d	2	○ 지수고무의 훼손 및 밀착불량 등으로 부분적인 누수가 발생하는 상태
		3.0	e	1	○ 강재수문의 변형으로 누수가 다량으로 발생하여 별도 부대설비(모래주머니)를 설치하여야 지수가 가능한 상태
마찰부 (힌지, 롤러)손상	일반 손상	1.0	a	5	○ 부식고착이 없고 회전이 원활한 양호한 상태
		1.1	b	4	○ 부식고착이 있으나 회전이 원활한 건전한 상태
		1.3	c	3	○ 고착으로 회전 및 작동이 불량하나 강재수문의 작동에는 이상이 없는 상태
		1.7	d	2	○ 고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 강재수문 작동이 불량한 상태
		3.0	e	1	○ 고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 작동이 불가능한 상태

6.4.2 구조안전성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

1) 일반

주어진 하중에 대하여 시설물이 견디는 능력을 평가하는 항목으로서 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조 및 운영상의 성능 확보여부를 판단하게 된다.

2) 구조안전성능 평가 항목

구조안전성능 평가를 위하여 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료의 검토, 기록을 통한 운영이력의 분석, 부재별 상태안전성능 평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통하여 충분한 기초자료를 확보하는 것이 중요하며, 안전성능 평가 시 검토할 사항은 다음과 같다.

- 방조제의 사면안정 해석
- 방조제의 침투수에 대한 안전성 해석
- 방조제의 응력-변형 해석
- 구조물의 내하력 해석
- 구조물의 안정해석
- 수리, 수문학적 안전성 해석
- 시설물의 내진성능 평가 등
- 기타 안전성능 평가를 위하여 필요한 사항

3) 구조안전성능 평가 적용

항목별 평가방법은 정량적으로 평가하기 어렵거나 또한 다양한 경우가 대부분이므로 상호의 평가결과를 비교하는 것이 필수적이며, 본 절에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우에는 구조적 안전성능 기준을 제시하고 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있다. 또한, 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

나. 구조안전성능 평가 기준

1) 방조제 및 배수갑문

(가) 침투수의 안전성능 분석

○ 침투누수량

- 허용누수량이 설정되어 있다면 이를 기준으로 하여 분석하고, 계측기록에 의한 실측자료와의 비교·분석으로 구조 안전성능 판정 가능

일반적으로 허용누수량 설정에는 어려움이 있고, 계측에 의한 누수량에는 강우 등의 외부 수량이 포함될 수 있으므로 해석에 따른 누수량으로 제체의 안전성능을 판정할 때에는 기술자의 판단이 필요하다.

제체 및 기초는 침투를 완전히 차단할 수 없기 때문에 침투에 의한 한도를 넘어서면 파이핑과 같은 파괴 요인이 되므로 침투수압, 동수경사에 대한 검토와 대책 필요하다.

이러한 파괴의 원인은 대상 재료의 불균일성이나 지질조건의 변화, 시공상 부주의 등에 의한 경우가 많으므로 이론적인 취급은 곤란하다. 보통은 침투유속의 한계치를 구하여 토립자의 이동 가능성을 검토하는 한계유속방법과 한계 동수경사를 구하여 파이핑의 발생가능성을 검토하는 한계동수경사방법으로 안전여부를 판정한다.

○ 한계유속에 의한 방법

- 제체 및 기초의 토립자 입경에 대하여 소류력에 의하여 입자가 밀려나가는 침투유속이 한계치를 넘으면 파이핑이 발생한다고 봄
- 제체 및 기초지반에서의 침투유속은 다양한 수위조건 및 지층조건을 고려할 수 있는 해석적 방법으로 구하는 것이 유용함
- 한계치는 그 지층에서의 토립자 입경이나 투수계수를 이용하여 구할 수 있으며, 각 방법에 대한 타당성이 인정된다면 사용 가능
- 실제의 제체 토립자에는 여러 크기의 것이 혼합되어 있어 입경의 기준을 정하기 어려우므로 실유속과 비교할 때에는 입경에 대한 한계유속의 1/100 이하가 되도록 해야 함
- 한계유속 방법에 의한 침투수의 안전성능은 실제 제체 및 기초지반에서의 침투유속에 대한 한계유속의 비로서 평가함

$$V = \sqrt{\frac{Wg}{Ar_w}}$$

여기서, V : 한계유속(cm/s)

Wg : 토립자의 수중중량(g)

g : 중력가속도(cm/s²)

A : 물의 흐름을 받는 토립자의 면적(cm²)

r_w : 물의 단위체적중량(g/cm³)

[표 6.21] 한계유속 기준표

재료번호	입경(mm)	한계유속(cm/s)
1	4.0~4.8	20.0
2	2.8~3.4	17.0
3	1.0~1.2	10.0
4	0.7~0.85	1.5
5	0.4~0.7	7.0
6	0.25~0.5	4.2
7	0.11~0.25	3.5
8	0.075~0.11	2.5
9	0.044~0.075	2.0

○ 한계동수경사에 의한 방법

- 입자형상, 입도분포 등은 고려하지 않고 유효응력이 영이 되는 조건을 생각하여 검토한다. 다음 식으로 계산되는 한계동수경사(i_c)에 대하여 테르자기(Terzaghi)의 간편법 및 유선망법, 하자(Harza)의 유선망법 등의 방법으로 구하는 유출동수구배의 비로 다음 표의 기준으로 평가한다.
- 여러 유출동수구배 산정방법은 각 방법에 대한 타당성이 인정된다면 사용이 가능하다. 분사현상에 대한 저항력은 소성지수가 큰 재료일수록 큰 경향이 있으며 점착력이 없는 세립자의 i_c 는 0.5~0.8로 가정한다. 침투류 해석에 의하여 산출한 동수경사가 한계동수 경사의 1/2 이하가 되도록 해야 한다.
- 침투수의 안전성 분석내용 중 침투수 수압은 계측기록에 의한 실측자료와 비교·분석하여 안전성을 판정할 수 있다. 또한 제체 내 간극수압 분포는 사면활동의 안전성 검토 시 입력 자료로 활용한다.

$$i_c = \frac{h}{d} = \frac{G_s - 1}{1 + e} = (1 - n)(G_s - 1)$$

여기서, i_c : 한계동수경사

h : 저수지 전수두(m)

d : 분사지점의 수두(m)

G_s : 토립자의 비중

e : 흙의 간극비

n : 흙의 간극률

[표 6.22] 침투수 안전성능 분석 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	한계치의 100% 미만인 경우
b	4	—
c	3	한계치의 100% 이상 110% 미만인 경우
d	2	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
e	1	한계치의 130% 이상인 경우

(나) 사면활동의 안전성능 분석

- 제체 및 기초의 활동파괴에 대한 안전성의 검토에 고려되는 하중
 - 자중, 정수압, 간극수압 및 지진관성력으로 하고 이를 저수지의 상태에 따라 적용해야 한다.
- 활동파괴에 대한 안정계산에 사용하는 제체의 자중
 - 제체 완성직후, 정상침투시, 수위급강하시 등의 경우에 따라 단위체적 중량을 달리 하여야 하며, 실제 시험결과를 이용하는 것이 좋다.
- 사면활동에 대한 안정계산
 - 사면활동에 대한 안정계산은 크게 나누어 임계원에 의한 활동면법과 응력-변형 해석법을 사용한다.
 - 활동면법에는 블록해석법, 무한사면해석법, 평면해석법, 마찰원법 및 Ordinary, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, Spencer 등의 절편법 등이 있으므로 이중 적합한 것을 택하도록 한다.
 - 응력-변형해석법은 제체 및 기초의 응력과 변형 등의 크기와 분포상태를 수치 해석적인 방법으로 구하는 방법이다.
 - 상기 안정계산에 의하여 제체의 안전성을 판단할 시는 최소안전율로 표시한다. 설계기준 안전율은 지구별, 노선별, 형태별로 다를 수 있고 또 설계자에 따라 다를 수 있으나, 특별한 경우를 제외하고는 방조제 완성 후의 단면은 1.2 이상을 기준으로 한다.

[표 6.23] 응력-변형 해석에 따른 안전성 검토에 대한 평가 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상인 경우
b	4	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상이거나 같으며 단면손실이 있는 경우
c	3	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 90% 이상 100% 미만인 경우
d	2	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 75% 이상 90% 미만인 경우
e	1	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 75% 미만인 경우

(다) 응력-변형의 안전성능 분석

다음과 같은 경우 응력-변형 해석을 실시할 필요가 있다.

- 체체가 높은 경우
- 각 존의 물성치가 크게 다를 경우
- 변형이 큰 재료로 축조하는 경우
- 구조물과의 접합부가 긴 경우
- 내진설계를 하는 경우

체체는 산토, 점토, 모래, 자갈 등 자연재료를 이용하여 축조된 구조물로서 압축성을 가지고 있는 재료적 특성으로 인하여 성토 및 수위변화 등의 과정을 통하여 침하, 융기, 국부적인 응력집중 및 균열 등이 발생하게 됨. 따라서 재료특성, 성토속도, 체체 단면, 강도특성 등의 입력조건을 반영한 해석을 수행하여 변형량, 국부파괴 등을 분석, 지반 거동에 따른 안전성능을 평가한다.

응력-변형 해석에 의한 안전성능 분석내용 중 산출되는 응력상태에 대해서는 국부적인 응력집중에 따른 국부파괴 가능성과 응력전이에 따른 토압저하와 수압에 의해 발생하는 파이핑 발생 가능성으로 체체의 안전성능을 판단할 수 있다.

산출되는 응력상태에서 축차응력¹⁾이 커 파괴상태에 다다르거나, 주응력이 수압보다 작을 경우에는 파이핑 발생가능성이 있으므로 응력상태에 따라 국부파괴 가능성 및 수압 할렬²⁾ 발생 가능성은 다음 표를 기준으로 평가다.

1) 축차응력 : 최대주응력과 최소주응력의 차를 축차응력이라함

2) 수압할렬 : 높은 수압으로 인하여 암반이나 지반이 균열발생으로 파쇄되는 현상

[표 6.24] 응력-변형 해석에 따른 안전성능 검토에 대한 평가 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	한계치의 100% 미만인 경우
b	—	—
c	3	한계치의 100% 이상 110% 미만인 경우
d	2	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
e	1	한계치의 130% 이상인 경우

(라) 수리·수문학적 안전성능 평가

하구둑은 시설물의 특성상 제방의 둑마루 표고가 외조위로부터 여유고를 확보하고 있는지와 배수갑문이 내측으로부터 유입되는 홍수량을 배제시킬 수 있는 통수능력을 갖고 있는지를 모두 평가해야 한다.

평가 시에는 대상 시설물이 위치하고 있는 하천의 하천기본계획 및 유역종합 치수계획 등 하천관리에 관한 상위개념의 최근 분석자료를 검토하여 수문학적 안전성능 평가 자료로 활용하는 것을 기본으로 한다.

○ 방조제 독마루 표고 결정의 적정성

- 건설기준코드(구 하천설계기준)에 의하면 독마루 표고는 다음과 같이 산정됨
- 독마루표고 = 설계조위 + 파고(또는 처오름 높이) + 여유고
- 상기 식에서 각 항목의 결정은 건설기준코드(구 하천설계기준, 구 항만 및 어항 설계기준·해설 및 구 농지개량사업계획 설계기준(해면간척편) 등)에 제시된 정의 및 산정방법에 의해 이루어짐. 방조제 독마루 표고에 대한 적정성을 평가할 때는 침하로 인한 여유고의 감소(측량 또는 계측자료 분석 등 이용) 여부 뿐 아니라 자료 축적에 따라 가변적인 설계조위, 처오름 높이 등을 모두 고려해야 함
- 설계조위
 - 설계조위는 구조물이 가장 위험하게 되는 조위로 하는 것이 원칙
 - 구조물의 목적에 따라, 또는 같은 목적의 구조물이라도 설계 계산의 목적에 따라 다른 설계조위를 적용하는 경우가 있음
 - 다만, 폭풍해일 대책시설에 있어서 마루높이는 월파량에 의하여 결정되므로 월파량이 최대가 되는 조위를 설계조위로 하지만, 안정계산에 있어서는 보다 낮은 조위에서도 위험한 경우가 있으므로 이 때에는 그 조위를 설계조위로 하여 검토할 필요가 있음
- 처오름 높이
 - 파의 처오름 높이는 제체의 형상, 설치 위치 및 해저지형에 따라 적절히 산정
 - 자세한 산정방법은 상기 기준에 제시된 내용을 참조
- 여유고
 - 하구둑의 여유고는 구조물의 중요도, 유지관리, 구조물의 설치지점의 지질과 축조재료, 구조물의 기능 등에 따라 결정되나 1.0 m 전후의 여유고를 둠
 - 하구둑의 침하의 주요 원인은 성토제 및 기초지반의 압밀 등에 의하여 발생하는 것으로 공사완료 후 3년간의 침하량을 가산

[표 6.25] 방조제 여유고의 적정성에 대한 평가기준

평가등급	평가점수	상태
a	5	독마루 표고에 대한 여유고를 확보한 경우
b	4	독마루 표고에 대한 여유고 부족분이 0~50%까지인 경우
c	3	독마루 표고에 대한 여유고 부족분이 50~100%까지인 경우
d	2	독마루 표고에 대한 여유고 부족분이 100~120%까지로 도파의 가능성이 있는 경우
e	1	독마루 표고에 대한 여유고 부족분이 120%를 초과하여 도파로 인한 제방 안전성능에 문제가 있을 경우

<해설>

- 상기 표에서 ‘여유고’는 과업 시점에서 변경된 조건 및 실측값을 고려하여 ‘독마루 표고-조위-처오름 높이’한 값을 의미함.

○ 배수갑문 방류능력에 대한 안전성능

- 건설기준코드(구 댐설계기준)에 의하면 방류 시 형성되는 월류수맥이 월류수면 상부구조물에 관하여 확보해야 할 여유고(상부구조물과 월류수맥 간 간격)는 다음과 같이 제시되어 있음
- 월류수면 상부구조물의 여유고에 있어 계획홍수량이 방류되는 경우 월류부에 설치되는 강재수문과 교각 구조물의 공간 높이는 월류수맥의 상부 경계면보다 1.5m 이상의 여유가 있도록 해야 함. 단, 월류수심이 2.5m 이하일 경우에는 여유고를 1.0m 정도로 취할 수 있음
- 이상 홍수량에 대해서는 이 여유고 제한에 의하지 않아도 좋으나, 흐름이 월류수면 상부 구조물에 직접 부딪히지 않게 여유를 갖도록 해야 함

하구둑의 경우 배수갑문 상부구조물은 대부분 공도교 형태로 이루어져 있으므로 갑문 방류 시 흐름이 상부구조물의 기능을 저해하지 않도록 유지되는 것이 바람직하기 때문에 상기 기준에 제시된 여유고 확보 기준에 따라 안전성능 평가를 수행한다.

한편, 유입 홍수량에 대한 배수갑문 방류능력의 안전성능을 평가하기 위해서는 홍수 유입수문곡선과 외조위 조건의 다양한 조합 및 배수갑문 규모 및 운영방식에 따라 결정되는 최고 내수위를 산정해야 하고 이를 위해 필요한 자료는 다음과 같다.

- 설계 빈도에 대한 홍수 유입수문곡선
- 인근 기준 검조소 조위조건 및 조석 조화상수(국립해양조사원 제공)
- 극대 호우사상에 대한 실측 홍수 유입수문곡선 및 외조위 기록
- 기왕 최고 외조위 기록
- 대조평균만조위에 대한 설계조위 및 실측조위곡선
- 하구둑 직상류부 담수호 내용적 곡선(토사 퇴적 고려)

이 자료 중 주기적으로 변화하는 외조위 조건과 홍수 유입수문곡선이 맞물리는 특성에 따라 ‘고고조(HHW) 일치형’, ‘고저조(HWH) 일치형’, ‘저고조(LHW) 일치형’, ‘저저조(LLW) 일치형’ 등의 조합을 형성하여 내수위를 검토하도록 한다. 각 조합별로 검토된 내수위 중 최고수위가 시설물의 수문학적 안전성능에 있어 가장 불리한 조건을 형성하므로 이 최고수위를 기준으로 배수갑문의 방류능력에 대한 안전성능을 평가하도록 한다.

[표 6.26] 배수갑문 통한 방류 시 월류수면 상부구조물 여유고에 대한 평가기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	검토 여유고가 기준 여유고 이상인 경우
b	4	검토 여유고가 기준 여유고 이하이나 월류수면이 상부 구조물과 부딪히지 않는 경우
c	3	월류수면이 상부 구조물과 부딪히나 월류하지 않고 안전성능에 문제가 없다고 판단되는 경우
d	2	월류수면이 상부구조물을 월류하나 피해정도가 경미한 경우
e	1	월류수면이 상부구조물을 월류하고 피해정도가 중대한 경우

(마) 콘크리트 구조물

하구둑의 콘크리트 구조물에 대한 외적안전해석(전도, 활동, 지지력 등) 등은 건설기준코드(구 댐설계기준, 구 농지개량사업계획설계기준(해면간척편) 및 구 콘크리트구조기준 등)을 따르며, 내하력 검토 및 외적안전에 대한 동적해석 등은 제 5장 댐편을 준용한다.

2) 기계·전기설비

- 기계·전기설비의 안전성 평가는 안전성에 문제가 있다고 판단되는 특별한 경우를 제외하고는 별도로 수행하지 않는 것이 일반적이다.
- 안전성 평가를 수행할 경우에 동일규격의 설비가 다수 설치된 경우에는 취약한 설비를 선정하여 대표적으로 수행하며 안전성 평가 결과를 동일규격의 설비에 같이 적용하며, 제반설계서 또는 기존의 정밀안전진단 또는 성능평가 보고서가 있는 경우 이들을 검토하여 안전성을 판단하고 설계서 등이 없는 경우에는 주요 부재에 대한 응력비 검토를 시행한다.
 - 하중의 산출은 계획수위(하천정비 기본계획에 나와 있는 홍수위) 및 강재수문의 바닥고에 따라야한다.
 - 주요부재는 굽힘응력, 전단응력, 처짐, 스킨플레이트 등에 대한 허용응력은 강재설비설계기준, 댐언시설기술기준, 수문·통문게이트설계요령 및 건설기준코드(구 농지개량사업계획설계기준(해면간척편)) 등을 참고하여 검토하여야 한다.
 - 부재의 적용치수는 주로 설계도서를 기준으로 하고 특별한 경우(부식이 많이 진행된 경우 등)에는 실측값을 적용한다.
 - 안전성 평가는 부재의 휨, 전단 등에 대한 응력비(허용응력/발생력) 값에 따라 아래와 같이 안전성평가 결과를 결정한다.

[표 6.27] 강재수문 구조검토에 대한 평가 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	산출된 응력비가 1.5 이상인 경우
b	4	산출된 응력비가 1.5 미만 1.1이상인 경우
c	3	산출된 응력비가 1.1 미만 1.0이상인 경우
d	2	산출된 응력비가 1.0 미만 0.9이상인 경우
e	1	산출된 응력비가 0.9미만인 경우나, 부식으로 단면손실이 있는 경우

<해설>

- 응력비는 부재의 허용응력/발생응력에 대한 비율로 산출

6.4.3 안전성능 평가 결과 산정 방법

가. 하구둑 시설물 평가 단계별 절차

하구둑 시설물은 크게 방조제, 배수(갑)문, 기계·전기설비 등으로 구분된다. 하구둑 시설물에 대한 상태안전성능 평가는 하구둑이 통합시설물(6단계)에 해당하는 시설물로서 간주하고 하위단계인 복합시설, 개별시설, 복합부재, 개별부재로 단계별로 구분한다.

외관조사망도는 개별부재에 대하여 작성하는 것을 원칙으로 하고, 필요시 개별부재의 크기, 면적에 따라 부위별로 분할하여 작성한다.



Note : $E_1 \sim E_7, E_8$: 평가지수, M : 상태평가 점수, F : 영향계수, A : 조정계수, W : 중요도

[그림 6.1] 하구둑 시설물 평가 단계별 절차

나. 안전성능 평가 단계별 구분

1) 방조제

하구둑에서 방조제는 위치 및 단면형태에 따라 방조제1, 방조제2, ... 등의 개별시설로 구분하고 이를 다시 1km 단위로 분할하여 구간1, 구간2 ...등의 복합부재로 구분한다.

복합부재는 수백m 단위로 분할하여 블록1, 블록2 ... 등의 개별부재로 구분한 후 그 중요도는 길이 등의 규모 비율을 적용하여 중요도의 합이 100이 되도록 한다.

외관조사망도는 개별부재에 대하여 작성하는 것을 원칙으로 하고 필요시 개별부재의 크기, 면적에 따라 부위(해측 사면, 호측 사면 등)별로 분할하여 작성한다.

다음 표는 방조제의 평가단계별 구분을 표시한다. 방조제의 상태평가 절차는 배수갑문 시설물과 같은 방법 및 절차로 수행한다.

[표 6.28] 방조제의 평가단계별 구분(예)

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분
평가구분		평가대상	
상태안전성능 평가	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상) 개별부재	블록1(해측사면, 제체마루, 내측사면...) 블록2(해측사면, 제체마루, 내측사면...) ...
	2단계	개별부재	
	3단계	복합부재	구간1 구간2 ...
안전성능 평가	4단계	개별시설	방조제1 방조제2 ...
안전성능 평가	5단계	복합시설	방조제
	6단계	통합시설	하구둑

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

2) 배수(갑)문

○ 독립기초구조(역T형식)

- 배수갑문은 강재수문 구조물, 물받이공, 바닥보호공으로 구분
- 그중 강재수문 구조물은 권양기실, 권양기대, 문주, 언주, 문소란, 지수벽, 기초상판으로 구분하고 각각을 개별부재로서 평가함
- 기초상판 사이의 중간 슬래브는 기초상판에 포함하여 평가함
- 문소란은 강재수문 작동을 유도하는 언주와 문주에 있는 호구장 등이 설치된 부분으로서 2차 콘크리트 부분을 포함하여 평가함
- 동일한 개별부재가 다수일 경우(예: 1개의 피어에 문주가 2개인 경우 등) 중요도를 조정하여 동일하게 배분한다.
- 각 개별부재에 대한 중요도는 길이 등의 규모 비율을 적용하여 합이 100이 되도록 함

[표 6.29] 배수갑문의 평가단계별 구분표(예) (독립기초구조: 역T형식)

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분			
평가구분		평가대상				
상태안전성능 평가	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상) 개별부재	권양기실 권양기대 문주 언주 문소란 지수벽 기초상판 (좌측면 우측면 ...)	블록1 블록2 ... (부위1 부위2 ...)	구간1 구간2 ... (부위1 부위2 ...)	블록1 블록2
	2단계	개별부재				
	3단계	복합부재	피어1 피어2 ...	상류측 하류측	좌안상류측 좌안하류측 우안상류측 우안하류측	상류측 하류측
안전성능 평가	4단계	개별시설	강재수문 구조물	물받이공	호안공	바닥보호공
	5단계	복합시설	배수갑문			
	6단계	통합시설	하구둑			

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

<해설>

- 호안은 배수갑문에 포함

○ 라멘구조(상자형식: Box형식)

- 구체(구체1, 구체2)는 수축이음부로서 구분되어 구조적으로 독립된 형태의 구조물을 지칭하는 것으로 함
- 구체의 벽면은 언주와 문주, 바닥슬래브는 기초상판 등에 해당되는 것으로 간주함
- 역T형식의 배수갑문과 동일한 방법으로 평가함

3) 기계·전기 설비

기전설비 시설물의 상태를 평가하기 위한 평가단계별 구분은 단경간(1련) 강재수문에 있는 기전설비를 개별시설에 해당하는 것으로 하고, 이를 권양기, 강재수문, 전기설비로 구분하여 복합부재로 평가한다. 각각의 복합부재를 다음 표와 같이 개별부재로 분류된다. 설치되어 있는 개별부재의 중요도는 동일하게 적용한다.

4단계 평가 시 규모는 복합부재의 중요도(권양기 42%, 강재수문 58%)로 정한다. 기전설비의 상태안전성능 평가 절차는 배수갑문 시설물과 같은 방법 및 절차로 수행한다,

[표 6.30] 기전설비의 평가단계별 구분표(예)

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 단계별 구분		
평가구분		평가대상			
상태안전성능 평가	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상) 개별부재	-권양기 로프, 드럼 감속기, 제동장치	-권양기 로프, 드럼 감속기, 제동장치	...
	2단계	개별부재	-강재수문 외판, 아암 보강재, 트러니언 수밀부 롤러부(가이드 플레이트포함)	-강재수문 외판, 아암 보강재, 트러니언 수밀부 롤러부(가이드 플레이트포함)	
	3단계	복합부재	권양기1 강재수문1	권양기2 강재수문2	...
상태안전성능 평가 구조안전성능 평가 안전성능 평가	4단계	개별시설	기계설비1	기계설비2	...
안전성능 평가	5단계	복합시설	기계설비		
	6단계	통합시설	하 구 독		

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

다. 상태안전성능 평가 결과 산정 방법

1) 1단계 상태안전성능 평가 : 부재(部材)별 손상상태 평가표 작성

시설물의 상태안전성능 평가 단계별 구분표에 따라 개별부재를 1개 외관조사망도 또는 필요에 따라 부위별로 다수의 외관조사망도로 구분하여 개략도에 손상 및 결함상태를 도시하고, 조사결과표에 개별부재에 대한 손상내용을 상세히 기록한 후, 그 손상 정도에 대하여 5단계(a~e) 상태안전성능 평가 결과 및 평가점수를 부여한다.

손상상태 평가표에는 평가항목에 없는 상태변화라 할지라도 모두 기록하는 것을 원칙으로 한다.

각 상태변화에 대한 상태안전성능 평가 결과가 c, d, e 등급일 경우 보수·보강 우선 순위에 따라 보수·보강 실시한다.

[표 6.31] 부재(부위)별 손상상태 평가표 (예)

부위(망번호) / 개별부재	복합부재 / 개별시설물	표번호			
좌측면 / 언주	피어1	No. 1-1			
<div>※ 개략도 작성 시 규격용지를 횡으로 사용할 경우 또는 부위별로 여러 장일 경우는 손상에 일련번호를 매기고, 별도의 용지에 아래의 조사결과표를 개별부재에 대하여 작성한다.</div>					
조 사 결 과 표					
번호	손상(결함)종류	손상(결함)내용	단 위	크 기	평가결과
①	균열	건조수축균열	폭(mm)*길이(cm)		b
②	균열	경사균열	폭(mm)*길이(cm)		c
③	충분리	배력철근을 따라 발생	면적(m²)		c
④	세굴	언주하부세굴	면적(m²)*깊이(m)		b
조사일자 : 20 . .			조사자 : 홍길동, 김철수		

2) 2단계 상태안전성능 평가 : 개별부재(個別部材) 평가표 작성

제체 및 수로터널 등과 같이 길거나 또는 면적이 넓은 슬래브는 이를 1개의 개별부재로 평가할 경우 일부에 발생한 손상이 평가결과에 미치는 영향이 크다. 따라서 콘크리트 구조물에서는 그 손상이 부재에 영향을 미칠 수 있는 범위(길이 10~20m) 또는 수축이음부, 제체에서는 수백m 단위의 블록으로 구분하여 개별부재로서 평가한다.

개별부재별로 작성된 외관조사망도에 나타난 손상 및 결함을 평가유형별로 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분한다. 개별부재의 평가는 각각의 손상 및 결함에 대한 평가기준에 따른 평가점수(M)에 손상 및 결함이 부재의 안전에 미치는 영향을 반영한 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 산출한다.

산출된 결함 및 손상의 상태안전성능 평가지수(E_1) 중 최솟값을 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) 및 상태안전성능 평가 결과로 결정한다.

[표 6.32] 상태안전성능 평가 결과별 평가지수 및 평가유형별 영향계수

평가기준별 평가지수 범위		구 분		영 향 계 수				
평가기준	평가지수 ($E_1 \sim 7, E_s, E_c$)	평가기준에 따른 평가점수		a:5	b:4	c:3	d:2	e:1
a	$4.5 \leq E_1 \leq 5.0$	평 가 유 형	중요결함	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
b	$3.5 \leq E_1 < 4.5$		국부결함	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0
c	$2.5 \leq E_1 < 3.5$							
d	$1.5 \leq E_1 < 2.5$		일반손상	1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
e	$1.0 \leq E_1 < 1.5$							

* 결함 및 손상의 상태안전성능 평가지수(E_1) = $M \times F$ (여기서, M : 평가점수, F : 영향계수)

* 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) = Min (다수의 E_1 값)

* 평가결과를 결정하기 위한 평가지수 값은 소수3째 자리를 반올림하여 사용

[표 6.33] 개별부재 평가표 (예)

개 별 부 재 :	언주1				표번호
1단계 표번호 :	1-1, 1-2				2-1
조사항목	평가유형	평가기준	평가점수	영향계수	평가지수
			M	F	$E_1 = M \times F$
벽체의 기울기	중요결함	표 -	4	1.0	4.0
벽체의 과응력 균열	국부결함	표 -	4	1.1	4.4
벽체 콘크리트 파손	일반손상	표 -	3	1.3	3.9
1. 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) = Min (다수의 E_1 값) =					3.9
2. 개별부재의 상태안전성능 평가 결과 =					b

3) 3단계 상태안전성능 평가 : 복합부재(複合部材) 평가표 작성

복합부재는 개별부재의 집합으로 주요부재와 보조부재로 구분한다. 복합부재의 평가는 개별부재가 복합부재의 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도를 반영. 이때 개별부재의 중요도의 합이 100이 되도록 규정한다.

○ 중요도가 규정되지 않은 추가적인 개별부재가 있는 경우

- 그 개별부재의 중요도를 판단하여 정하고, 기타의 부재들은 규정된 비율대로 배분함

○ 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우

- 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정 가능. 또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응한 보정을 하기 위하여 조정 계수 사용

복합부재의 평가지수(E_3) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 평가지수(E_2)별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재 전체의 안전성능을 평가 절하한다. 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출한다.

복합부재의 평가는 개별부재의 평가지수(E_2)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3)를 산출하고 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

$$\text{복합부재의 상태안전성능 평가지수}(E_3) = \sum(E_2 \times A \times W) / \sum(A \times W)$$

여기서, E_2 : 개별부재의 상태안전성능 평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 6.34] 표 평가지수에 따른 조정계수

평가결과	a	b	c	d	e
평가지수 ($E_1 \sim 7$, E_s , E_c)	5.0 ~ 4.5이상	4.5미만~ 3.5이상	3.5미만~ 2.5이상	2.5미만~ 1.5이상	1.5미만~ 1.0이상
조정계수(A)	1	2	3	6	6

[표 6.35] 복합부재의 중요도 조정방법 (예)

구 분	권양기실	권양기대	문주	문소란	지수벽	언주	기초상판
중요도	9 ±20%	11 ±20%	17 ±20%	12 ±20%	18 ±20%	17 ±20%	16 ±20%
중요도 (조정 후)	—	11*100/91 =12.09 ⇒ 12	17*100/91 =1.68 ⇒ 19	12*100/91 =13.19 ⇒ 13	18*100/91 =1.68 ⇒ 19	17*100/91 =1.68 ⇒ 19	16*100/91 =17.58 ⇒ 18

* 상기 예시는 시설물에서 어느 특정 부재가 추가되거나 없는 경우에 중요도를 조정하여 중요도의 합이 100이 되도록 조정하기 위한 방법임

[표 6.36] 복합부재 평가표 (예)

복 합 부 재 :	피어1					표번호
2단계 표번호 :	2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7					No. 3-1
개별부재	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E_2	A	W	$A \times W$	$E_2 \times A \times W$
권양기설	b	3.9	2	9	18	70.2
권양기대	c	3.4	3	11	33	112.2
문주	b	3.6	2	17	34	122.4
문소란	c	3.6	2	12	24	86.4
지수벽	c	2.8	3	18	54	151.2
연주	b	3.6	2	17	34	122.4
기초상판	b	3.6	2	16	32	115.2
합계(Σ)				100	229	780
<조사자 의견>						
1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) $= \Sigma(E_2 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 780 / 229 =$ 2. 복합부재의 상태안전성능 평가 결과 =						3.43 c

4) 4단계 상태안전성능 평가 : 개별시설(個別施設) 평가표 작성

개별시설의 평가는 복합부재의 수량을 기준으로 중요도를 배분하며, 이때, 개별부재의 중요도의 합이 100이 되도록 규정한다.

○ 중요도가 규정되지 않은 추가적인 개별시설이 있는 경우

- 그 개별시설의 중요도를 판단하여 정하고, 기타의 시설들은 규정된 비율대로 배분함

○ 개별시설의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우

- 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정 가능

개별시설의 평가는 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3)에 중요도를 반영하여 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_4)를 산출하고 상태안전성능 평가 결과를 결정한다. 또한 개별시설의 평가단계에서는 안전성능 평가 결과를 결정한다.

$$\text{개별시설의 상태안전성능 평가지수}(E_c) = \text{Min} + V_1 \times V_2$$

$$\text{여기서, } V_1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$$

$$V_2 = \Sigma(E_3 \times W) / (5 \times \Sigma W)$$

W : 중요도

Max : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) 최댓값

Min : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) 최솟값

[표 6.37] 개별시설 평가표 (4단계 평가표 부분 예시)

개 별 시 설 :	강재수문 구조물			
3단계 표번호 :	3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 3-5, 3-6, 3-7			
복합부재명	평가결과	평가지수	중요도(%)	계산값
		E_3	W	$E_3 \times W$
피어1	c	3.43	20	68.6
피어2	b	4.27	20	85.4
피어3	b	3.89	20	77.8
피어4	c	3.30	20	66.0
피어5	b	3.71	20	74.2
합계(Σ)			100.0	372
<조사자 의견>				
1. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최댓값 (Max. Value) =				4.27
2. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최솟값 (Min. Value) =				3.30
3. $V_1 = 0.3 \times (\text{Max.} - \text{Min.}) = 0.3 \times (4.27 - 3.30) =$				0.29
4. $V_2 = \Sigma(E_3 \times W) / (5 \times \Sigma W) = 372 / (5 \times 100) =$				0.74
5. 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_c) = $\text{Min.} + V_1 \times V_2 = 3.30 + 0.29 \times 0.74 =$				3.51
6. 개별시설의 상태안전성능 평가 결과 =				b

○ 구조안전성능 평가 결과 산정 방법

각종 해석을 통하여 각각의 구조 안전성능 평가 결과가 결정되면 이들을 종합하여 하나의 구조안전성능 평가 결과를 결정하기 위하여 본 평가체계에서 다음과 같은 수식을 사용한다.

이 수식에 의해 산출되는 평가지수(E_s)는 각 검토항목의 구조안전성능 평가 결과 중 가장 낮은 평가 결과보다 다소 상향된 결과로 평가된다.

$$\begin{aligned} \text{구조안전성능 평가지수}(E_s) &= L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N-2)}, \quad (N > 2) \\ &= L + 0.3(H - L), \quad (N = 2) \end{aligned}$$

여기서, N : 구조안전성능 검토항목 수

L : 검토항목의 안전성능 평가 지수(평가점수) 중 최솟값

H : 검토항목의 안전성능 평가 지수(평가점수) 중 최댓값

M_i : 검토항목의 최대 및 최솟값을 제외한 나머지 값들

[표 6.38] 안전성능 평가지수에 따른 구조안전성능 평가 기준

안전성능 평가지수의 범위	안전성능 평가기준	안전성능 평가점수	비 고
$4.5 \leq E_s \leq 5.0$	a	5	
$3.5 \leq E_s < 4.5$	b	4	
$2.5 \leq E_s < 3.5$	c	3	
$1.5 \leq E_s < 2.5$	d	2	
$1.0 \leq E_s < 1.5$	e	1	

○ 안전성능 평가 기준

시설물의 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 안전성능 평가를 결정하며, 시설물에 대한 안전성능 평가 기준은 아래 표에 따라 결정한다.

[표 6.39] 안전성능 평가지수별 평가기준

종합평가지수(E)	종합평가 기준	비 고
$4.5 \leq E \leq 5.0$	A	
$3.5 \leq E < 4.5$	B	
$2.5 \leq E < 3.5$	C	
$1.5 \leq E < 2.5$	D	
$1.0 \leq E < 1.5$	E	

○ 안전성능 평가 결과 산정

평가대상 개별시설에 대하여 상태안전성능 평가 및 구조안전성능 평가를 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능 평가지수와 구조안전성능 평가지수를 비교하여 작은 값을 종합평가를 위한 종합평가지수(E)로 결정·적용하여 개별시설의 종합평가 결과를 결정하고, 평가단계별로 그 결과를 취합하여 종합평가를 실시한다.

정밀점검 등 구조안전성능 평가를 실시하지 않은 경우는 상태안전성능 평가지수를 종합평가지수로 갈음한다.

안전성능 평가 결과는 상태안전성능 평가지수와 구조안전성능 평가지수 중에서 작은 값을 개별시설의 안전성능 평가지수(E_4)로 적용하여 시설물에 대한 종합평가 결과를 부여한다.

$$\text{개별시설의 안전성능 평가지수 } (E_4) = \text{Min}(E_c, E_s)$$

여기서, E_c : 개별시설의 상태안전성능 평가지수

E_s : 개별시설의 구조안전성능 평가지수

[표 6.40] 개별시설 평가표

개 별 시 설 :	강제수문 구조물			표번호	
3단계 표번호 :	3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 3-5, 3-6, 3-7			4-1	
복합부재명	평가결과	평가지수 E ₃	중요도 W	계산값 E ₃ ×W	
피어1	c	3.43	20	3.43	
피어2	b	4.27	20	4.27	
피어3	b	3.89	20	3.89	
피어4	c	3.30	20	3.3.0	
피어5	b	3.71	20	3.71	
합계(Σ)			100.0	18.6	
<조사자 의견>					
1. 상태안전성능 평가지수(E ₃) 최댓값 (Max. Value) =				4.27	
2. 상태안전성능 평가지수(E ₃) 최솟값 (Min. Value) =				3.30	
3. V ₁ = 0.3×(Max.-Min) = 0.3×(4.27-3.30) =				0.29	
4. V ₂ = Σ(E3×W) / (5×ΣW) = 372 / (5×100) =				0.74	
5. 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E _c) =Min.+V ₁ *V ₂ =3.30+0.29×0.74 =				3.51	
6. 개별시설의 상태안전성능 평가 결과 =				b	
구 조 안 전 성 평 가					
평가항목	평가결과	평가점수	평가항목	평가결과	평가점수
1. 구조해석	a	5	3. 사면안정해석		
2. 구조물안정해석	b	4	4. 수리수문해석	d	2
<검토자 의견>					
1. 평가항목수(N)에 따라 E _s 수식 선택 1.1) N=1이면 E _s = Min, N=2이면 E _s = Min + 0.3 × (Max - Min) 1.2) N>2이면 E _s = Min + 0.3 × (Max - Min) × Σ M / (5 × (N-2)) (Max, Min = 평가점수 최대, 최솟값 : M = 최대, 최솟값을 제외한 나머지 중간값)					
2. 개별시설 구조안전성능 평가지수(E _s) =				2.72	
3. 개별시설 구조안전성능 평가 결과 =				C	
총 합 평 가					
1. 개별시설 안전성능 평가지수(E ₄) = 최솟값 (E _c , E _s) =				2.72	
2. 개별시설 안전성능 평가 결과 =				C	

5) 5단계 안전성능평가 : 복합시설(複合施設) 평가표 작성

배수갑문은 각각 기능이 다른 다수의 개별시설(강제수문 구조물, 물받이공, 호안공, 바닥보호공 등)이 모여 홍수배제 및 조수방어라는 하나의 목적을 수행한다. 각각의 개별 시설들은 주요시설과 보조시설로 구분할 수 있으며, 개별시설의 기능에 문제가 발생할 경우 복합시설의 목적수행에 미치는 영향을 판단하여 개별시설의 중요도 반영한다.

복합시설의 평가는 개별시설의 평가지수(E_4)에 중요도 및 조정계수 반영하여 평가 결과를 도출한다.

$$\text{복합시설의 상태안전성능 평가지수}(E_5) = \sum(E_4 \times A \times W) / \sum(A \times W)$$

여기서, E_4 : 개별시설의 평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 6.41] 개별시설의 중요도 조정방법 (예)

구 분	강제수문 구조물	물받이공	호안공	바닥보호공	비고
중요도	49 ±20%	27 ±20%	12 ±20%	12 ±20%	
중요도 (조정 후)	49*100/88 =55.7	27*100/88 =30.7	12*100/88 =13.6	—	

* 상기 예시는 시설물에서 어느 특정 시설물이 추가되거나 없는 경우에 중요도를 조정하여 중요도의 합이 100이 되도록 조정하기 위한 방법임

[표 6.42] 복합시설 평가표 (예)

복 합 시 설 :	배수갑문					표번호
4단계 표번호 :	4-1, 4-2					5-1
개별시설	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E_4	A	W	$A \times W$	$E_4 \times A \times W$
강제수문 구조물	c	2.72	3	49	147	399.8
물받이공	c	3.00	3	27	81	243.0
호안공	c	3.27	3	12	36	117.7
바닥보호공	c	3.05	3	12	36	109.8
합계(Σ)				100	300	870.3
<조사자 의견>						
1. 복합시설의 안전성능 평가지수 $E_5 = \sum(E_4 \times A \times W) / \sum(A \times W) =$						2.90
2. 복합시설의 안전성능 평가 결과 =						c

6) 6단계 안전성능 평가 : 통합시설(統合施設) 평가표 작성

하구둑은 유지관리 특성이 다른 다수의 복합시설(방조제, 배수갑문, 기전설비)로 구성되며, 하구둑의 설치목적인 조수방어 및 홍수배제를 수행하는 통합시설에 해당된다.

이들은 각각의 시설에 문제가 발생할 경우 통합시설의 안전과 목적수행에 미치는 영향은 차이가 발생할 수 있으므로 복합시설이 통합시설에 미치는 영향을 고려하여 그 중요도를 반영하며, 이때 복합시설의 중요도의 합은 100이 되도록 규정. 책임기술자는 복합시설의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정할 수 있다.

○ 중요도가 규정되지 않은 추가적인 복합시설이 있는 경우

- 책임기술자가 그 복합시설의 중요도를 판단하여 정하고, 기타의 복합시설들은 규정된 비율대로 배분하여 감함

○ 중요도는 제시되어 있으나 해당 복합시설이 없는 경우

- 그 중요도를 나머지 복합시설에 가중 배분

통합시설의 평가는 복합시설의 평가지수(E_5)에 조정계수 및 중요도를 반영하여 평가지수(E_6)를 산출하고 평가 결과를 결정한다. 하구둑 시설물의 안전성능 평가는 통합시설 평가표(6단계평가)를 작성하는 것으로 종료된다.

$$\text{통합시설의 종합평가지수}(E_6) = \sum(E_5 \times A \times W) / \sum(A \times W)$$

여기서, E_5 : 복합시설의 평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 6.43] 복합시설의 중요도 조정방법 (예)

구 분	방조제	배수갑문	기계설비	비 고
중요도	40 ±20%	46 ±20%	14 ±20%	

[표 6.44] 통합시설 평가표 (예)

통 합 시 설 :		하구둑				표번호
5단계 표번호 :		5-1, 5-2, 5-3				No. 6-1
복합시설	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E_5	A	W	$A \times W$	$E_5 \times A \times W$
배수갑문	c	2.90	3	40	120	348.0
방조제	b	4.18	2	46	92	384.6
기계설비	b	4.02	2	14	28	112.6
합계(Σ)				100	240	845.2
<조사자 의견>						
1. 통합시설의 안전성능 평가지수 $E_6 = \sum(E_5 \times A \times W) / \sum(A \times W) =$						3.52
2. 통합시설의 안전성능 평가 결과 =						b

6.5 내구성능 평가 기준 및 방법

6.5.1 일반

시설물의 내구성능 평가는 크게 강재 내구성능 평가 및 콘크리트 내구성능 평가 분야로 구성됨. 각각의 평가분야에서 부재별 평가 및 가중치를 적용한 등급산정을 하고, 각 등급산정 결과에 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 시설물 내구성능에 대한 최종 등급을 결정한다.

6.5.2 강재 내구성능 평가 지표 및 기준

가. 개요

강재 내구성능 평가지표(평가항목)는 크게 내부적 요소와 외부적 요소로 구분되며, 하구둑 시설물의 경우 내부적 요소는 ‘발청 및 도장열화’ 및 ‘도장두께’, 외부적 요소는 ‘해안 이격거리’, ‘이산화황 농도’, ‘습도’ 등을 포함한 ‘대기환경’으로 구성된다.

여기서, 강재수문의 도장열화는 발청을 포함하여 박리, 균열, 부품, 변색·백아화 등 5가지 열화요인에 대해 각각 평가하고 중요도 비율에 따라 합산 및 등급산정을 한다.

권양기는 와이어로프에 대하여 발청, 직경감소, 소선절단 등의 지표에 대하여 평가하도록 제시하고 있으나, 권양기 형식이나 액츄에이팅 방식이 상이한 경우 이들 지표는 강재 내구성능 평가단계에서 제외할 수 있다. 다만, 평가에서 제외된 경우라 하더라도 조사된 내용은 보수보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.

[표 6.45] 세부시설물별 강재 내구성능 평가지표

세부시설물	평가지표
강재수문	발청 및 도장열화 (발청, 박리, 균열, 부품, 변색·백아화)
	도장두께
	대기환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)
권양기 와이어로프	발청
	직경감소
	소선절단
	대기환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)





나. 강재 내구성능 평가 성능지표 및 기준

1) 발청 및 도장열화

(가) 발청(표면부식, 녹): 강재수문

[표 6.46] 발청의 평가기준

평가 기준	발청 면적	외관 상태
a	0.05% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 등급 1)
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 등급 2)
c	0.5 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 3)
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 4/5)
e	—	—

발청			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4/5
			

(나) 발청(표면부식, 녹): 권양기 와이어로프

[표 6.47] 발청 평가기준(권양기 와이어로프)

평가 기준	점녹 및 부식 길이	비고
a	점녹 발생 없음	점녹 및 부식에 의해 와이어로프 전체 단면의 감소가 발생하거나 내부소선의 부식 및 단면손상이 발생할 경우는 내구성능 평가 대상에서 제외되며 안전성능 분야에서 평가함
b	점녹 발생 길이 10% 미만	
c	점녹 발생 길이 10% 이상 부식 발생 길이 2% 미만	
d	부식 발생 길이 2% 이상	
e	—	

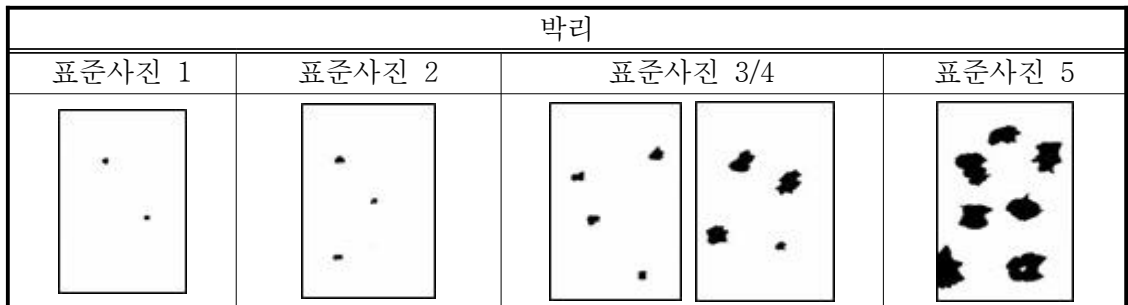
<해설>

- 권양기 와이어로프는 1차원 형태의 부재로서 열화면적에 의한 평가가 어려우며, 길이 단위로 평가한다.
- 점녹은 점 모양의 부식이 발생한 것을 말하며, 일반적인 부식에 비해 완화된 기준에 해당한다.
- 점녹 및 부식에 의해 와이어로프 전체 단면의 감소가 발생하거나 내부소선의 부식 및 단면손상이 발생할 경우는 내구성능 평가 대상에서 제외되며 안전성능 분야에서 평가한다.

(다) 도장 박리

[표 6.48] 박리의 평가기준




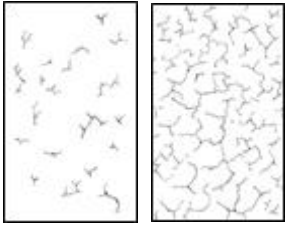
평가 기준	도장 박리 면적	외관 상태
a	0.1% 미만	외관상 박리가 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)
b	0.1% 이상 ~ 0.3% 미만	미소하게 박리가 확인되지만, 박리된 부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)
c	0.3% 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 박리가 보이는 상태(표준사진 3/4)
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 박리가 발생되어 있는 상태(표준사진 5)
e	—	—



(라) 도장균열

[표 6.49] 균열의 평가기준





평가 기준	도장 균열 면적	외관 상태
a	0.05% 미만	외관상 균열이 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 균열이 확인되지만, 균열부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)
c	0.5% 이상 ~ 10.0% 미만	확실하게 균열이 보이는 상태(표준사진 3)
d	10.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태(표준사진 4/5)
e	—	—

균열			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4/5
			

(마) 도장부품

[표 6.50] 부품의 평가기준





발생면적 부품 크기	0 ~ 0.05% 미만 (표준사진 2 이하)	0.05 이상 ~ 0.5% 미만 (표준사진3)	0.5 이상 ~ 5.0% 미만 (표준사진4)	5.0% 이상 (표준사진 5 이상)
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하 (크기등급 2)	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도 (0.5mm이하) (크기등급 3)	a	b	c	d
0.5~5mm의 범위 (크기등급 4)	b	c	c	d
5mm 초과 (크기등급 5)	c	d	d	d

부품 (크기등급 3: 0.5mm 부품에 대한 예)			
표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4	표준사진 5
			

(바) 변색 및 백아화

[표 6.51] 변색 및 백아화의 평가기준

평가 기준	변색	백아화
a	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음(표준사진 1)
b	초기에 비해 변색되어 있음	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착(표준사진 2)
c	초기에 비해 현저하게 변색되어 있음	초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착(표준사진 3)
d	초기의 색이 거의 남아 있지 않음	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음(표준사진 4)
e	—	—

백아화			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4
			

<해설>

- 각 표준사진에서 최우측단의 색상이 도장 본래의 색에 해당하며, 좌측의 색상은 도장 열화수준에 따라 구분됨

2) 도장두께

[표 6.52] 도장두께 평가기준

평가 기준	시방서 및 시공기준 대비 허용두께 불만족 비율
a	5% 미만
b	5% 이상 ~ 30% 미만
c	30% 이상 ~ 70% 미만
d	70% 이상
e	—

<해설>

- 조사대상 개소수의 평균값
- 건설기준코드(구 시방서) 및 시공기준 대비 허용두께 불만족 비율

3) 대기환경(해안 이격거리/이산화황 농도/습도)

[표 6.53] 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 (일)	해안 이격거리 (m)	동해안					서해안					남해안				
		전지역	고창 · 태안	그외 지역	사천 · 거제	그외 지역	전지역	고창 · 태안	그외 지역	사천 · 거제	그외 지역	전지역	고창 · 태안	그외 지역	사천 · 거제	그외 지역
이산화황 (ppm)		500 초과	1000 초과	300 초과	100 초과	20 초과	250 초과 ~ 500 이하	500 초과 ~ 1000 이하	120 초과 ~ 300 이하	50 초과 ~ 100 이하	10 초과 ~ 20 이하	비말대 초과 ~ 250 이하	비말대 초과 ~ 500 이하	비말대 초과 ~ 120 이하	비말대 초과 ~ 50 이하	비말대 초과 ~ 10 이하
		MDD ≤ 1.5					1.5 < MDD ≤ 2.0					2.0 < MDD ≤ 비말대				
100 초과	0.01 이하	a					b					c				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	c					c					c				
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a					b					b				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	b					c					c				
10 미만	0.01 이하	a					a					b				
	0.01 초과 0.02 이하															
	0.02 초과															

<해 설>

- 비래염분량(mg/100cm²/day, MDD) : 10cm×10cm의 면적에서 1일간 측정되는 염분량을 NaCl량으로 나타낸 값
- 연간 젖음 시간 : 0도씨 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간
- 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고하여 설정하였다.
- 부식속도가 높음 및 매우 높은 경우 이에 대해 각각 b등급 및 c등급을 적용한다.
- 각 등급별 평가점수(대푯값)은 a : 5.0, b : 4.0, c : 3.0, d : 2.0, e : 1.0을 적용한다.
- 하구둑의 경우 해안과 인접한 시설물이므로 대기환경에 대한 평가기준 중 해안 이격 거리는 시설물의 위치특성을 고려하여 평가한다.

4) 권양기와이어로프

(가) 직경감소

[표 6.54] 와이어로프 직경감소 평가기준

평가기준	와이어로프 직경 감소
a	없음 또는 1% 미만
b	1% 이상, 4% 미만
c	4% 이상, 7% 미만
d	7% 이상
e	—

<해 설>

- 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 대상 와이어로프 당 버니어 캘리퍼스로 3개소 이상을 측정하되, 1개소 당 일정간격을 두고 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균 직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단한다.
- 직경 측정은 준공 당시 와이어로프의 부하상태와 동일한 상태에서 측정하며, 기준이 되는 직경값 또한 준공당시와 같은 부하상태에서의 직경을 기준으로 한다.

(나) 소선절단

[표 6.55] 와이어로프 소선절단 평가기준

평가기준	와이어로프 소선 절단
a	없음 또는 1% 미만
b	1% 이상, 5% 미만
c	5% 이상, 10% 미만
d	10% 이상
e	—

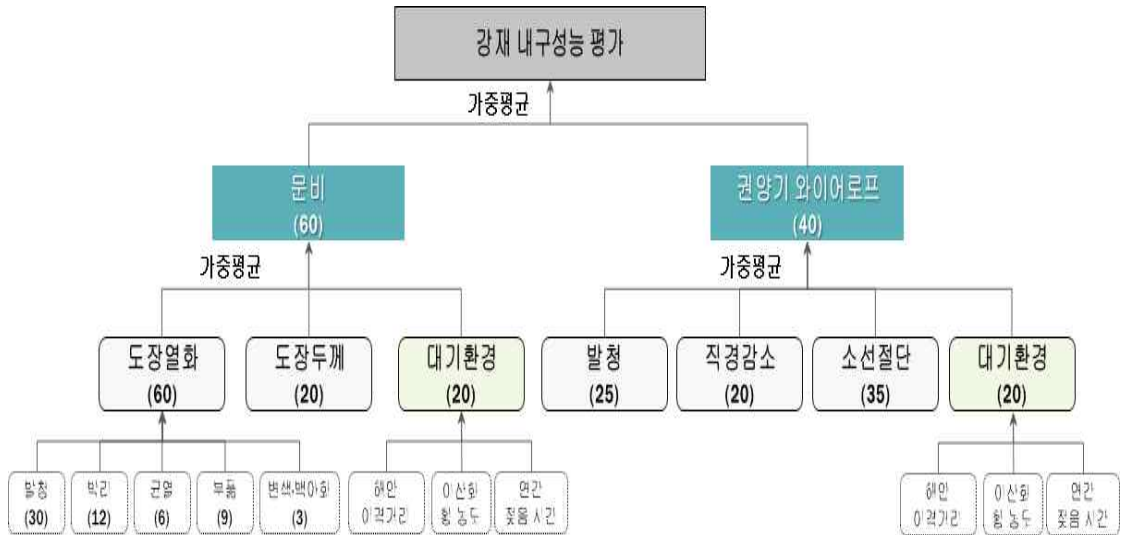
<해 설>

- 와이어로프의 구조는 일반적으로 스트랜드 수 × 스트랜드를 구성하는 소선의 수로 표시되며, 와이어로프의 소선 절단율은 와이어로프의 한 꼬임(스트랜드)에서 끊어진 소선의 수를 육안으로 세어 산정한다.
- 소선 절단율(%) = 한 스트랜드에서 절단된 소선수/한 스트랜드의 총 소선수 × 100

다. 강재 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

강재 내구성능 평가 결과 산정방법은 평가항목별 가중치 및 부재별 가중치에 따라 내구성능을 평가하는 방법을 활용하여 등급을 산정하는 절차를 따르며, 강재 내구성능 평가절차는 다음 그림과 같다. 다만, 권양기 형식이나 액츄에이팅 방식이 상이한 경우 ‘권양기 와이어로프’ 관련 지표는 강재 내구성능 평가단계에서 제외할 수 있다. 다만, 평가에서 제외된 경우라 하더라도 조사된 내용은 보수보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.



[그림 6.2] 강재 내구성능 항목별 세부 평가방법

2) 평가항목별 가중치

(가) 발청 및 도장열화 가중치

강재의 발청, 도장의 박리, 균열, 부품, 변색 및 백아화 등 각 지표별 평가결과에 의한 열화정도를 등급별 점수화하고, 아래 표와 같은 각 지표별 가중치를 적용 및 합산하여 ‘발청 및 도장열화’에 대한 종합점수를 산정한다.

[표 6.56] 강재 발청 및 도장열화의 각 세부지표에 대한 등급별 점수

세부지표 등급	발청	박리	균열	부품	변색 및 백아화	종합점수 (세부지표별 등급점수의 합계)
a	5 (0)	2 (0)	1 (0)	1.5 (0)	0.5 (0)	10
b	10	4	2	3	1	20
c	20	8	4	6	2	40
d	35	14	7	10.5	3.5	70

<해 설>

- 시설물 상태안전성능 평가 결함도 점수표의 점수배분율을 참고하여 ‘발청 및 도장열화’ 전체의 종합등급 배점은 A등급 10점, B등급 20점, C등급 40점, D등급 70점으로 한다.
- a등급에 대한 점수는 어떠한 열화도 발견되지 않았다면 0점을 부여한다.

(나) 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

‘발청 및 도장열화’에 대한 종합점수는 다음과 같다. 이는 결함도 기준으로 평가된 점수(S)로서 다음 식에 따라 수리시설물의 점수 분류체계(DS)로 변환하여 평가한다.

$$DS = DS_1 + \Delta DS$$

$$\Delta DS = \frac{(S - S_1)(DS_2 - DS_1)}{(S_2 - S_1)}$$

여기서, DS : ‘발청 및 도장열화’ 지표에 대한 등급점수

DS_1 : 해당 등급에 대한 최솟값

DS_2 : 해당 등급에 대한 최댓값

S : 세부지표 평가결과로부터 얻은 열화 종합점수

S_1 : 해당 등급에 대한 열화 종합점수 최솟값

S_2 : 해당 등급에 대한 열화 종합점수 최댓값

[표 6.57] 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

등급	등급 점수범위 (DS1 ~ DS2)	종합점수 (S1 ~ S2)	등급 정의	비고
a	4.5 ~ 5.0	13 미만	부식 및 도장열화로 인하여 내구성능 저하를 무시할 수준의 단계	-다음 회 조사 시에는 전번 조사결과를 참고하여 조사위치 및 수량을 결정함
b	3.5 ~ 4.5	13 이상 ~ 26 미만	경미한 결함이 있으나 그 이외의 부분에 대해서는 전반적으로 양호한 단계	
c	2.5 ~ 3.5	26 이상 ~ 49 미만	결함이 발생된 부재에 대해 일부 보수가 필요한 단계	
d	1.5 ~ 2.2	49 이상	광범위한 보수를 시행해야 하는 단계	

<해 설>

- 조사대상 강제수문은 조사방법 및 수량에 맞게 열화수준(낮음/보통/높음)이 고루 분포되도록 사전 육안조사에 의해 선정한다.
- 와이어로프는 일반적으로 조사대상 강제수문에 설치된 와이어로프를 조사하며, 열화항목 중 와이어로프에 대해서만 조사한다.

- 선정된 강제수문에 대해서는 평가기준에 따라 발청 및 도장열화를 조사하여 등급별 점수를 계산하고 그 외의 강제수문은 유사 강제수문으로 지정하여 책임기술자의 판단하에 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞는 구역으로 배분한다
- 열화수준에 따라 배분된 강제수문은 최종적으로 등급의 대푯값에 유사 강제수문 수를 곱하고 평균값을 취하여 최종 등급을 산정한다.

(예) 강제수문 수가 10개라고 가정하면, 최소 3개이상, 25%이상을 만족해야 하므로 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞도록 총 3개를 선정하고 나머지 7개 강제수문은 선정된 3개 강제수문과 유사한 열화수준을 갖는 강제수문으로 지정하여 배분한다.

(다) 도장두께

도장 두께가 허용기준을 만족하지 못하는 경우, 균열 및 박리 또는 충격에 의한 깨짐 등과 같은 결함으로 이어질 수 있고, 이는 강제 내구성능 저하를 유발시킨다. 단, 발청/박리/균열 등과 같이 직접적인 열화가 아니므로, ‘도장열화’ 항목과는 별도로 평가한다.

① 도장 최소두께 및 최대두께

- 건설기준코드(구 시방서) 및 도장 제조업체에서는 요구 최소두께 및 최대두께를 제시하고 있다.
- 도장종류에 따라 최소 또는 최댓값이 명시되어 있지 않는 경우 일반적으로 규준두께의 80%를 최소두께, 120%를 최대두께로 할 수 있다.

② 도장 허용두께(SSPC-PA2 참고)

- 측정 1개소내의 3개 지점값(직경 40mm의 1개소에서 3번의 측정 실시)은 값에 제한이 없으나, 3개 지점의 평균값 즉, 1개소의 평균값은 건설기준코드(구 시방서) 최솟값의 80% 이상이어야 하며, 최댓값의 120% 이내이어야 한다.
- 조사단위면적 내 5개소의 최종 평균값은 건설기준코드(구 시방서) 최솟값 및 최댓값의 범위에 있어야 한다.

③ 도장 허용두께 불만족 비율

- 대상 조사구역은 일정 단위면적으로 나뉘질 수 있으며, 이러한 일정 단위면적을 조사단위면적으로 정의한다.
- 등급분류기준표에 제시된 ‘허용두께 불만족 비율’은 대상 조사구역 내의 도장 허용두께 불만족 비율로 정의한다(조사구역내 몇 %의 조사단위면적에서 허용두께가 불만족되는지에 대한 비율).

3) 강재내구성능 종합

(가) 강재수문

[표 6.58] 강재수문 평가항목별 가중치

구분	평가지표		가중치	
내부요인	도막 열화	발청	30	60
		박리	12	
		균열	6	
		부품	9	
		변색	3	
	도장두께		20	
외부 환경요인	대기 환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)		20	

(나) 권양기 와이어로프

[표 6.59] 평가항목별 가중치 (권양기 와이어로프)

평가지표	가중치
발청	25
대기환경	20
직경감소	20
소선절단	35

(다) 종합평가 가중치

[표 6.60] 강재수문 및 권양기 와이어로프 가중치

구분	가중치
강재수문	60
권양기 와이어로프	40

<해설> 권양기 형식 또는 작동 방식이 상이하여 권양기 와이어로프 관련 항목이 평가에서 제외된 경우에는 강재수문에 대한 평가결과를 강재 내구성능 평가결과로 하며, 조사내용은 보수·보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.

(라) 강재내구성능 종합등급 산정

[표 6.61] 등급별 점수 및 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$4.5 \leq E \leq 5.0$	$3.5 \leq E < 4.5$	$2.5 \leq E < 3.5$	$1.5 \leq E < 2.5$	$1.0 \leq E < 1.5$

4) 결과산정 예

[표 6.62] 대상 하구둑 시설물

강제수문	형식	슬라이드 게이트
	갯수	5 sets
	제원(폭×높이)	4m × 8m
	도장 공용년수	10년
권양기 와이어로프	연결상태	강제수문 1식당 단일 전동기 설치
	길이	20m
	제원	Ø56 (6×37) Galvanized 설계(초기) 직경 56.5mm
환경조건	해안 이격거리	250km
	이산화황 농도	0.0038ppm

(가) 발청 및 도장열화 세부지표별 평가

○ 강제수문

- 발청 및 도장열화에 대해서는 대상 부재에 대해 단위섹션으로 구분하여 조사를 실시할 수 있으며(단위섹션 구분 예 : 2.0m×2.0m), 이는 조사의 편의를 위한 것이므로 열화된 것으로 조사된 섹션의 수 또는 비율이 강제 내구성능 평가결과에 영향을 미치지 않는다.
- 강제수문 1개당 앞, 뒷면을 모두 조사하는 것을 기본으로 한다.
- [표 6.63]는 강제수문에 대한 발청을 조사한 결과이다.
- 도장열화(박리/균열)의 경우도 같은 방법에 따라 조사하며, 산정된 유사 강제수문 수는 조사대상 강제수문을 포함한 총 개소수를 의미한다.
- 부품, 변색 및 백아화의 경우 정성적인 기준을 적용하므로 각 조사 강제수문별 등급을 산정하고 다음과 같이 평가등급에 따른 평점을 합산하여 계산한다.
부품/변색 및 백아화 점수 = $[\sum(\text{조사 강제수문 평점} \times \text{유사 강제수문 개수})] / \text{전체 강제수문 수}$

[표 6.63] 열화섹션 조사 예

대표 강제수문	열화섹션 수	섹션별 발청면적 (cm ²)	유사 강제수문 개수
강제수문 G-1	3	5,816	2
		100	
		728	
강제수문 G-3	4	184	3
		188	
		180	
		188	

- 강제수문별 평점 산정 (발청에 대한 예): 문비별 평균 점수 산정 및 전체 문비에 대한 평점을 산정함

[표 6.64] 도장열화 평점 산정(발청에 대한 예)

강제수문 번호	유사 강제수문 개수	발청 면적률 ¹⁾ (%)	등급	평점
G-1	2	1.04	c	20
G-3	3	0.12	b	10

주1) 발청면적률(%) = (Σ섹션별 발청 면적 / 부재 면적*) × 100

* 여기서 부재면적은 부재 외부 전체 면적을 의미함

[표 6.65] 발청 면적률 평균 산정 예

발청 면적률 평균 ¹⁾ (%)	평가결과	평점
0.48	b	10

주1) 발청면적률 평균 = (Σ조사 강제수문 발청면적률 × 유사 강제수문 개수)/전체 강제수문 수

- 종합점수 산정 및 등급결정: 각 지표에 대한 평점을 산정하고, 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준을 참조하여 평가결과를 산정함

[표 6.66] 종합점수 산정 예

강제수문							
평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	종합점수	종합결과
평가결과	b	b	b	a	a	16	3.73
평가점수	10	4 ¹⁾	2 ¹⁾	0 ¹⁾	0 ¹⁾		
도장열화 평가결과							b

주1) 예를 들은 것으로서 발청의 경우와 동일한 절차로 평가함

- 권양기 와이어로프
- 발청 측정결과

[표 6.67] 권양기 와이어로프 발청 평가 예

와이어로프 번호	조사결과	평가결과	평가점수
G1-WR-1	점녹 발생 길이 6%	b	4
G1-WR-2	점녹 발생 길이 4.8%	b	4
G1-WR-3	점녹 발생 길이 3.5%	b	4
G1-WR-4	점녹 발생 길이 5.5%	b	4
G1-WR-5	점녹 발생 길이 4.3%	b	4
등급점수 평균			4
등급			b

○ 도장두께 평가

- 강재수문

[표 6.68] 강재수문 도장두께 평가 예

강재수문 번호	5개소 평균값의 기준 불만족 여부	평가내용
G-1	만족	전체 강재수문에 대한 불만족 비율 $= (\text{불만족 강재수문 개수}) / (\text{조사 강재수문 개수}) \times 100$ $= 1/5 \times 100 = 20\%$ (b 등급)
G-2	만족	
G-3	불만족	
G-4	만족	
G-5	만족	

○ 와이어로프 직경감소 및 소선절단

- 직경감소

[표 6.69] 와이어로프 직경감소 평가 예

와이어로프 번호	측정위치 번호	3회 평균값 (mm)	평균 직경	감소율 (%)	평가결과	평가점수
G1-WR-1	1	55.95	55.91	1.0	a	5
	2	55.90				
	3	55.89				
	4	56.05				
	5	55.80				
G1-WR-2				1.5	b	4
G1-WR-3				2.0	b	4
G1-WR-4				2.5	b	4
G1-WR-5				1.1	b	4
전체평균						4.2
등급						b

- 소선절단

[표 6.70] 와이어로프 소선절단 평가 예

와이어로프 번호	측정위치 번호	위치별 절단 소선수	와이어로프 절단 소선수	절단율 (%)	평가결과	평가점수
G1-WR-1	1	2	4	1.8	b	4
	2	3				
	3	1				
	4	4				
	5	3				
G1-WR-2				0.9	a	5
G1-WR-3				1.2	b	4
G1-WR-4				0.8	a	5
G1-WR-5				1.1	b	4
전체평균						4.4
등급						b

○ 환경요인 평가

- 대기환경(해안 이격거리/이산화황 농도/습도) 평가

[표 6.71] 환경요인 평가 예

평가지표		측정값	평가결과
대기환경	해안 이격거리	동해안으로부터 50 km	a
	이산화황 농도	0.0038 ppm	
	연간 젖음시간(일)	75일	

○ 평가항목별 가중치에 따라 각 부재에 대해 부재 수준의 내구성능 평가

- 강재수문

[표 6.72] 강재수문 내구성능 평점 산정 예

평가지표	지표 평가결과	가중치	부재 평가결과
발청 및 도장열화	b	60	2.24
도장두께	b	20	0.80
대기환경	a	20	1.00
평점			4.04

- 와이어로프

[표 6.73] 와이어로프 내구성능 평점 산정 예

평가항목	지표 평가결과	가중치	부재 평가결과
발청	b	25	1.00
대기환경	a	20	1.00
직경감소	b	20	0.80
소선절단	b	35	1.40
평점			4.20

<해설> 도장열화 등급 b이하에 대한 가중치

○ 부재별 가중치에 따라 시설물 전체에 대한 내구성능 평가

[표 6.74] 강재 내구성능 평가 예

강재수문 및 권양기 와이어로프 강재 내구성능			
결함도 평가부재	부재 평가결과	가중치	평가등급
강재수문	4.04	60	2.42
와이어로프	4.20	40	1.68
합계			4.10
강재 내구성능 평가 결과			B

<해설> 산정 예시와 달리 권양기 형식이나 작동 방식이 상이한 경우에는 ‘권양기 와이어로프’ 관련 지표를 강재내구성능 평가에서 제외하며, 조사된 내용을 보수·보강 방안 등에 제시할 수 있다.

6.5.3 콘크리트 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질이며, 열화환경평가는 제설제에 의한 염해환경, 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이다. 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

[표 6.75] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전항목	열화환경항목
염화물 침투량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

나. 평가대상 부재

하구둑은 ‘배수갑문’, ‘방조제’로 총 2개의 세부 시설물로 나누어 평가를 실시하며, 배수갑문의 “강재수문”, 방조제는 “제방”에서 다루어지는 부재와 동일한 형식의 부재를 평가대상으로 한다. 따라서 부재별 가중치도 “수문”, “제방”에서 다루어지는 가중치를 적용한다.

[표 6.76] 하구둑의 평가대상 부재

부재구분	세부 시설물	부재
하구둑	배수갑문	수문본체
		암거
		날개벽
		물받이
	방조제 (콘크리트일 경우 평가)	뒷비탈(제내측사면)
		독마루
		앞비탈(제외측사면)

다. 평가지표별 기준 및 점검방법

1) 염화물 침투량

[표 6.77] 염화물 침투량 평가등급

평가 기준	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$	비 고
a	30년 초과	0.3 이하	<ul style="list-style-type: none"> - 깊이별 염화물 침투량 측정 - 공용연수와 염화물 침투량을 고려하여 염화물 확산계수 산정 - 염화물 확산계수로서 철근의 부식 발생 임계치에 도달하는 시간 산정 - “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$	
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$	
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

<해 설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가 등급으로 설정한다.
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문이다.
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을 수록 낮은 등급을 부여한다.
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 점검 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고한다.

2) 탄산화 깊이

[표 6.78] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T	비고
a	30년 초과	점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 T계산 탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계 피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T : 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간, D : 탄산화 깊이, t : 공용연수)
b	20년 < T ≤ 30년	
c	10년 < T ≤ 20년	
d	5년 < T ≤ 10년	
e	5년 이하	

<해설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 포함한다.
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화 될 가능성을 고려한 것이다.
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

3) 피복(표면부) 콘크리트 품질

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 6.79] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	상세	비고
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태
b	90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 < 100%	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.
- a등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있다.
- c등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 6.80] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	상세	비고
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정한다.
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위이다.
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분한다.

4) 염해환경

[표 6.81] 염해환경의 평가기준(해안거리)

항목	평가 기준	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)
해안거리에 따른 비래염분 염해환경	a	동해안	전지역	500 초과
		서해안	고창, 태안	1,000 초과
			그 외 지역	300 초과
	b	남해안	사천, 거제	100 초과
			그 외 지역	20 초과
		동해안	전지역	$250 < X \leq 500$
	c	서해안	고창, 태안	$500 < X \leq 1000$
			그 외 지역	$120 < X \leq 300$
		남해안	사천, 거제	$50 < X \leq 100$
			그 외 지역	$10 < X \leq 20$
	c	서해안	고창, 태안	비말대* $< X \leq 250$
			그 외 지역	비말대 $< X \leq 500$
		남해안	사천, 거제	비말대 $< X \leq 120$
			그 외 지역	비말대 $< X \leq 50$
		남해안	그 외 지역	비말대 $< X \leq 10$

[표 6.82] 염해환경의 평가기준(제설제)

항목	평가 기준	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	$7 \leq$ 강설일수 < 14
	c	$14 \leq$ 강설일수

<해 설>

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분한다.
- 상기 항목은 각각 해안인접성과 강설일수를 기본 항목으로 정하고 등급을 설정한다.
- 해안 인접성의 경우 동해와 서해를 동일한 조건으로 고려하고, 해안의 형상, 구조 및 환경에 따라 다른 해역에 비해 비교적 비래염분이 적은 남해는 동해 및 서해와 달리 완화된 등급을 부여함을 원칙으로 하였다.
- 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설 시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가살포는 고려하지 않으며 강설일수가 14일 이상이면 C 등급을 부여한다.
- 강설일수는 최심신적설(하루동안 내린 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 취한다.

4) 동해환경

[표 6.83] 동해환경의 평가기준

평가 기준	동결융해 반복지수(X)	비고
a	$X < 3$	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	

<해 설>

- X는 동결융해 반복지수로서 수분과의 접촉 여부로 구분하여 산정한다.
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정한다.
- 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단한다.

라. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저 등급을 반영한다. 부재별 내구성능 평가결과는 부재별 가중치를 고려하여 등급을 도출한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다. 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다. 해수에 접하는 강재수문은 하구둑 기준에 준하여 평가한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경 평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경 평가는 제설제 염해환경, 비래염분 염해환경, 동해환경의 3개 열화환경평가 지표로 이루어진다. 열화환경평가는 3가지 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다. 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 6.84] 열화환경 평가등급

평가기준	열화 환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

○ 염해환경

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설로 인하여 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 나누어서 평가한다.

○ 동해환경

- 대상 하구둑이 위치한 지역의 10년간 동절기 기상청 데이터를 기준으로 동해환경을 파악하여 동결융해 반복지수를 도출하고, 동결융해 환경등급을 평가한다.
- 동일한 동결융해 사이클에 노출되어 있더라도 동결융해에 대한 위험도는 부재별 수분공급 환경에 따라 다르며, 열화환경 등급으로 반영되는 동결융해 환경은 수분에 노출되는 부재의 동결융해 사이클 수가 되며, 수분에 노출되지 않는 부재의 동결융해 사이클 수(강수가 있을 때만 해당됨)는 비록 수분에 직접 노출되지 않더라도 동결융해에 대하여 취약할 수 있음에 대한 참고자료로서 활용한다.

(나) 열화진전 평가(부재수준의 평가)

이 단계에서는 각 세부부재별로 내구성능에 관한 열화진전평가를 실시한다.

내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다. 하구둑의 경우 배수갑문, 교량, 방조제가 세부 시설물이 되며, 배수갑문의 세부부재는 수문본체/암거/날개벽/물받이가 되며, 방조제의 경우 뒷비탈(제내측사면), 둑마루, 앞비탈(제외측사면)가 된다.

각 내구성능 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급으로 결정한다.
- 이는, 염해 혹은 탄산화 등 어느 한 가지 지표에 의해서만 피해가 발생하여도 심각한 결과가 발생할 수 있으며 이에 대책을 강구하여야 한다.
- 다만, 피복 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균하여 결정한다.

산출된 각 세부부재(ex. 수문본체, 암거, 물받이, 날개벽)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 상위부재(ex. 배수갑문)의 콘크리트 내구성능 등급을 산출하며, 상위 부재(ex. 방조제, 배수갑문, 교량)의 가중치를 고려하여 최종적으로 하구둑 시설물의 콘크리트 내구성능 등급을 산출한다. 각 세부 시설물별 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표는 아래와 같다.

○ 배수갑문(수문본체/암거/날개벽/물받이)

지표명	
열화진전평가	염화물량
	탄산화 깊이
	피복(표면부) 콘크리트 품질

○ 방조제(뒷비탈(제내측사면), 둑마루, 앞비탈(제내측사면), 콘크리트 시설의 경우만 해당됨)

지표명	
열화진전평가	염화물량
	탄산화 깊이
	피복(표면부) 콘크리트 품질

○ 등급별 평가점수 및 지수범위

- 부재별 등급에 따른 평가점수 및 최종 등급 산정을 위한 평가지수 범위는 다음과 같음

[표 6.85] 등급별 평가점수

평가기준	a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
평가점수	5	4	3	2	1

[표 6.86] 등급별 평가지수 범위

a등급	b등급	c등급	c등급	e등급
$4.5 \leq X \leq 5$	$3.5 \leq X < 4.5$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1 \leq X < 1.5$

(다) 부재별 평가등급 산정안에 따라 세부시설물 등급 산정

배수갑문/방조제의 2개 세부 시설물의 각 부재별 가중치는 아래 표와 같으며, 각 부재별 가중치를 활용하여 세부시설물별 등급을 산정한다.

[표 6.87] 배수갑문의 부재별 가중치

세부 시설물	부재명	부재별 가중치(%)
배수갑문	수문본체	50
	암거	40
	날개벽	5
	물받이	5

[표 6.88] 방조제의 부재별 가중치

세부 시설물	부재명	부재별 가중치(%)
방조제	앞비탈(제외측사면)	50
	독마루	30
	뒷비탈(제내측사면)	20

(라) 세부 시설물 등급 산정안에 따라 시설물 전체 등급 산정

하구둑의 세부시설물인 배수갑문/방조제의 각 시설물별 가중치는 아래 표와 같으며, 각 시설물별 가중치를 활용하여 하구둑의 내구성능 등급을 산정한다.

[표 6.89] 하구둑의 세부 시설물 형식에 따른 가중치

형식	세부 시설물명	시설물별 가중치(%)
하구둑	배수갑문	62
	방조제 (콘크리트일 경우 평가)	38

* 방조제가 콘크리트가 아닐 경우, 부재별 가중치는 배수갑문(100%)로 평가를 실시함

하구둑 시설물의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 6.90] 열화진전 평가

시설명	평가등급	세부시설명	평가등급	부재명	평가등급
하구둑	A~E	배수갑문	A~E	수문본체	A~E
				암거	A~E
				날개벽	A~E
				물받이	A~E
		방조제	A~E	앞비탈 (제외측사면)	A~E
				독마루	A~E
				뒷비탈 (제내측사면)	A~E

[표 6.91] 열화환경 평가

열화환경지표	하구둑의 주요 대상 부재
제설제 염해환경	주로 교량의 바닥판 및 기타 상부부재가 해당되며, 바닥판에 관통균열이 있을 경우 하부의 거더에도 영향을 미칠 수 있으며, 신축이음부에 누수가 있을 경우 교좌, 교대 등으로 확대될 수 있음 또한, 교량의 바닥판에 뿌려진 제설제는 수문본체에도 영향을 줄 수 있음
비래염분 염해환경	전체 시설물 대상이지만, 비래염분이 발생하는 해안쪽의 부재가 상대적으로 열악한 환경에 놓이게 됨
동해환경	전체 시설물에서 국부적으로 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

3) 결과산정 예

○ 대상 하구둑

[표 6.92] 대상 하구둑 예시

콘크리트		일반 RC
피복 두께		50mm
공용연수		20년
위치	지역	부산
	해안 이격거리	300m
강재 수문	연장	510m
	높이	30m
	강재수문 수	10개 - L=500m, 10문 - 주수문: B47m x H9m x 6문 - 조절수문: B47m x H8m x 4문
갑문	연장	50m
	갑문수	1개(해측, 내측) - 갑실: L50m x W9.0m - 상류갑문: B9m x H8m x 2set - 하류갑문: B9m x H7m x 2set

(가) 열화환경 평가

대상 하구둑은 부산에 위치하여(부산지역까지 동해안) 해안거리에 따른 동해안의 비래 염분 염해환경은 B등급이 된다. 부산지역의 평균 강설일수는 0.5일로서 제설제 염해환경 또한 A등급이 된다. 또한 해당 지역의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 0.42회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 21.17회로서 동결융해 환경은 B등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우는 동결융해 사이클이 연평균 0.42회로서 동결융해의 피해에 대하여 안전하다.

(나) 열화진전 평가_염화물 침투량

- 염화물 침투량 시험은 배수갑문의 해측 3개소에서 실시
- 대상 콘크리트 부재의 피복두께는 50mm이며, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과를 확보

[표 6.93] 염화물 침투량 평가

열화진전 평가 항목	수문본체	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				평가결과
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물 침투량	No.1	1.5	1.05	0.4	0.1	a
	No.2	1.5	0.98	0.4	0.1	a
	No.3	4.5	3.5	1.8	0.8	c

[표 6.94] 염화물 확산계수 산출

계산 항목	수문본체	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)
염화물 확산계수	No.1	—	—	0.103	—
	No.2	—	—	0.103	—
	No.3	—	—	—	0.194

* 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있음

[표 6.95] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

열화진전 평가 항목	수문본체	계산 결과 (year)	평가결과
철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	No.1	30년 초과	a
	No.2	30년 초과	a
	No.3	30년 초과	a

[표 6.96] 염화물량 최종 평가등급

시설물	염화물 침투량 평가	철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가
수문본체	c	a
	최종평가 : c	

(다) 열화진전 평가_탄산화 깊이

- 탄산화 깊이는 수문본체 2개소에서 측정하는 것으로 함
- 각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저등급을 대상 부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 함

[표 6.97] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가 항목	배수갑문	탄산화 깊이 (mm)		탄산화 속도계수		잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)		개별 평가결과		평가 결과
		No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	
탄산화 깊이	수문본체 No.1	10	9	2.2	2.0	30년 초과	30년 초과	a	a	a
	수문본체 No.2	28	32	6.3	7.2	30년 초과	19	a	b	b

(라) 열화진전 평가_피복 콘크리트의 품질

- 피복 콘크리트의 품질은 수문본체 4개소에서 측정하는 것으로 하였음

[표 6.98] 피복 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가 항목	시설물	세부 부재명	설계값 대비 강도추정값(%)	비건전부/건전부 비율(%)	개별 평가결과		평가 결과
피복 콘크리트의 품질	배수 갑문	수문본체 No.1	105	—	a	—	a (평균값)
		수문본체 No.2	—	98	—	a	
		수문본체 No.3	120	—	a	—	
		수문본체 No.4	—	92	—	b	

이상과 같은 과정을 거쳐 다른 부재 및 시설물의 내구성능 평가 또한 아래와 같은 결과가 나온 것으로 가정한다.

(마) 콘크리트 내구성능 평가 요약

[표 6.99] 하구둑의 콘크리트 내구성능 평가

세부 시설물 (가중치, %)	세부 부재명 (가중치, %)	항목별 평가결과					
		염화물 침투량	탄산화 깊이	피복콘크 리트의 품질	부 재	세부 시설물	하구둑
배수갑문 (62)	수문본체 (50)	c	b	a	c	b	b
	암거 (40)	a	a	a	a		
	날개벽 (10)	—	—	—	—		
	물받이 (5)	—	—	—	—		
방조제 (38)	앞비탈	a	a	b	a	a	
	독마루	a	a	a	a		
	뒷비탈	—	—	—	—		
		최저등급제				가중치 고려	

[표 6.100] 열화환경지표의 평가

열화환경지표	평가결과
제설제 염해환경	a
비래염분 염해환경	b
동해환경	b

6.5.4 내구성능 평가 결과산정방법

하구둑의 세부시설을 구성하는 강재(강재수문 및 권양기 와이어로프 등)과 콘크리트의 내구성능은 다음과 같은 가중치를 적용하여 내구성능 결과를 도출한다.

[표 6.101] 종합내구성능 가중치

구분	종합 내구성능 평가 가중치	
	강재	콘크리트
하구둑	35	65

6.6 사용성능 평가 기준 및 방법

6.6.1 일반

사용성능이란 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적에 만족하기 위한 성능으로 정의한다. 시설물의 사용성능 평가는 사용성능과 기능성으로 구분되며, 사용성능은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족 여부로 평가한다.

6.6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

하구둑의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성능과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다. 하구둑에서는 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 운영자의 안정감 측면에서 운영성과 시설물의 기능 유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 선정한다.

나. 세부지표의 평가범위

하구둑의 사용성능을 운영성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표로 권양기의 작동유무, 현장제어반 및 조작반, 구동모터 및 브레이크, 전기시설의 작동유무, 점검시설, 염분침투를 도출하고 a~e의 차등 적용한다.

[표 6.102] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성능	운영성	권양기의 작동유무	a, b, c, d, e
		현장제어반 및 조작반	a, b, c, d, e
		구동모터 및 브레이크	a, b, c, d, e
		강재수문 작동유무	a, b, c, d, e
기능성	유지관리성	점검시설	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	염분침투	a, b, c, d, e

하구둑의 사용성능 평가는 점검시설과 같이 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 운영성

(가) 권양기의 작동유무

[표 6.103] 권양기의 작동 사용성능평가 기준

평가 기준	상 태
a	상승 및 하강에 이상이 없는 양호한 상태
b	작동시 이음발생이 없으며 상승 및 하강에 이상이 없는 정상의 상태
c	상승 및 하강이 가능하나 이음발생 등이 있으며, 상하한 자동정지가 불량하나, 약간의 조정으로 원상복구가 가능한 상태
d	상승 및 하강이 정상 작동되지 않고, 비상점검 등의 임시조치 후에 제한 작동 가능한 상태
e	전혀 작동되지 않는 상태

(나) 현장제어반 및 조작반

[표 6.104] 현장제어반 및 조작반 사용성능평가 기준

평가 기준	상 태
a	현장 제어반의 불량이 없는 양호한 상태
b	현장 제어반의 불량이 없는 건전한 상태
c	(불량이 경미하여 전기설비의 기동 및 운전에 영향이 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태)
d	현장 제어반 상태가 불량인 상태 (불량이 심각하여 전기설비의 기동 및 운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치~1MΩ이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
e	현장 제어반의 불량이 매우 위험한 상태 (불량 상태가 위험하여 전기설비의 기동 및 운전이 불가능한 상태, 절연: 0MΩ이하, 접지: 규정치의 +30% 초과~ ∞)

<해 설>

- a등급의 양호한 상태와 b등급의 건전한 상태는 현장제어반의 신규 설치(3년 이내) 여부를 기준으로 판단함
- 기본적으로 c등급은 운전에는 영향이 없지만 외함접지 설치유무, 절연 등 안전 측면에서 문제가 있는 경우를 의미하고 d등급은 운전에 문제가 있으나 응급수리로 가동 가능한 경우이며 e등급은 운전에 큰 문제가 있어 보수나 교체가 필요한 경우를 의미함
- 아래 표를 활용하여 상세육안점검을 실시함으로써 전반적인 상태를 파악하고 조사 결과 중 최저 등급을 기준으로 해당 설비를 평가함 (결과산정 예 참조)

[표 6.105] 현장제어반 및 조작반 불량

구분		점검사항
현장 제어반 조작반	반(PNL)의 내·외관 상태	-반의 오손·파손·부식유무, 문 개폐 및 잠금장치 상태, 반의 부착 및 고정상태 등 -반 내부의 방진·방습조치 설치 및 작동유무 등
	표시·계기류	-계기류(전압·전류계)외관·지시상태, 파손·손상유무 등
	차단기 및 접촉기류	-차단기(NFB·MCCB)·접촉기류·S/W류 및 각종 접점상태 (손상, 파손, 부식 등 문제점 유무), 보호장치·FUSE· CT·PT의 동작상태 및 파손·손상 유무, 결선·부착상태 등
	배선류	-배선상태(반 내부의 전선·케이블 단말처리 및 배선정리 상 태, 단선·단락·열화·변색 유무 등)
	접지	-접지 유무 및 설치상태(외함 접지선의 굵기 및 손상유무 등)
	동작유무	-전기적 동작여부(조작 및 제어불능 유무 등)

- 절연저항은 간편한 절연저항계에 의한 측정이 보편적이며 신설인 경우 내선규정 135-2, 사용 중인 경우 전기설비기술기준 27조, 52조 및 내선규정 135-2 등에 따름
- 접지저항은 인명사고 및 장비보호에 대한 기본적인 안전장치이며 접지저항계가 측정에 사용됨. 판정기준은 건설기준코드(구 건축전기설비공사 표준시방서(9-4 접지설비공사)), 전기설비 기술설계 핸드북(6.1접지공사) 및 전기설비기술기준(제3절 전로의 절연 및 접지), NEC 250 (Grounding, Grounding conductors) 및 KSC IEC 60364-5-54, KSC IEC 62305, ESB(한전 내선규정) 등의 규정에 따름

(다) 구동모터 및 브레이크

[표 6.106] 구동모터 및 브레이크 사용성능평가 기준

평가 기준	상 태
a	구동모터·브레이크장치의 불량이 없는 양호한 상태
b	구동모터·브레이크장치의 불량이 없는 건전한 상태
c	(불량이 경미하여 설비운전에 영향이 없는 상태, 절연: 경년열화를 고려한 1MΩ 정도, 접지: 규정치 이내의 상태)
d	구동모터·브레이크장치의 상태가 불량한 상태 (불량이 심각하여 설비운전에 큰 영향을 주는 경우, 절연: 규정치~1MΩ이하, 접지: 규정치를 초과하나 규정치의 +30% 이내)
e	구동모터·브레이크장치의 불량이 매우 위험한 상태 (불량 상태가 위험하여 설비운전이 불가능한 상태, 절연:0MΩ이하, 접지: 규정치의 +30% 초과~ ∞)

<해 설>

- 아래 표를 활용하여 상세육안점검을 실시함으로써 전반적인 상태를 파악하고 조사 결과 중 최저 등급을 기준으로 해당 설비를 평가함 (결과산정 예 참조)

[표 6.107] 구동모터 및 브레이크 장치불량

구분		점검사항
구동모터· 브레이크	외관상태	-변형·파손·부식 등의 유무
	접지	-접지 유무 및 설치상태(외함 접지선의 굵기 및 손상유무 등)
	동작유무	-전기적 동작상태 (이상진동·소음·발열여부 등)
	배선류	-배선상태(배선정리, 단선·단락·열화·변색 유무 등) -배관의 파손·변형유무

- 구동모터, 브레이크는 구동모터의 공급전압, 운전전류, 온도상승여부 등을 측정·조사하여 운전상태의 이상 유무를 파악함. 공급전압 및 운전전류는 클램프미터, 전력분석기 등을 활용하여 구동모터의 정·역(권상·권하)상태에서 전압 및 전류를 1회 이상 측정하여 이 때 측정값이 정격전압·전류를 초과하는지 등을 확인함

(라) 강제수문 작동유무

[표 6.108] 강제수문의 사용성능평가 기준

평가 기준	상 태
a	전기적인 강제수문 작동 상에 이상이 없는 양호한 상태
b	전기적인 강제수문 작동 상에 이상이 없는 건전한 상태
c	전기적인 강제수문 작동 상에 이상이 경미한 상태 (현장제어반 및 조작반, 구동모터, 브레이크 등의 결함이 경미하여 현장에서 즉시 조치가 가능한 상태)
d	전기적으로 강제수문 작동이 불량한 상태 (정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한작동 가능한 상태)
e	전기적으로 강제수문 작동이 전혀 되지 않는 상태

<해 설>

- 현장제어반, 모터·브레이크, 개도계, 리미트 S/W를 점검하고, 각 설비의 가장 낮은 등급을 기준으로 해당 설비를 평가함 (결과산정 예 참조)

2) 유지관리성

(가) 점검시설

[표 6.109] 점검시설 사용성능평가 기준

평가 기준	상 태
a	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 구비되어 있음(신설)
b	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 양호한 상태임
c	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 결함(볼트, 나사 풀림, 녹 등)이 있어 수리가 필요한 상태
d	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 사용시 심각한 안전상의 문제가 있어 교체가 필요한 상태
e	시설물의 조사에 필요한 점검로가 없어 새로 설치를 요하는 상태

<해 설>

- 이 항목은 시설물 조사 및 유지관리에 필요한 접근로 및 점검로의 유무로 판단하여 적용함
- a, b등급의 경우는 사다리 및 접근로가 양호한 상태로 신설인 경우 a등급으로 규정함. c등급은 사용하는데 문제가 없으나 일부 수리가 필요한 상태를 의미하고 d등급은 사용하는데 문제가 있어 교체가 필요한 상태를 의미함. e등급은 점검로가 없어 점검시 특수한 장비를 사용해야 하는 경우를 의미함

3) 수요 및 용량

(가) 염분침투

[표 6.110] 염분침투의 사용성능평가 기준

평가 기준	상 태
a	하구둑에서 가장 가까운 취수장에서 갈수기 때 염분농도가 0.2 psu 이하일 경우
b	하구둑에서 가장 가까운 취수장에서 갈수기 때 염분농도가 0.2 psu 초과하고 0.3 psu 이하일 경우
c	하구둑에서 가장 가까운 취수장에서 갈수기 때 염분농도가 0.3 psu 초과하고 0.4 psu 이하일 경우
d	하구둑에서 가장 가까운 취수장에서 갈수기 때 염분농도가 0.4 psu 초과하고 0.5 psu 이하일 경우
e	하구둑에서 가장 가까운 취수장에서 갈수기 때 염분농도가 0.5 psu 초과일 경우

<해 설>

- 염분침투 예방은 하구둑의 가장 중요한 기능으로 기능성평가에 포함되었음
- 하구둑 시설의 주요 목적인 염분침투 방지에 대한 성능평가지표로 하구둑에서 가장 가까운 취수장에서 염분농도가 가장 높게 나타나는 갈수기 때 염분 측정 데이터를 활용하여 평가함(취수장 염분측정 데이터가 없는 경우, 취수장 인근 저수지, 하천수의 염분 측정 데이터를 활용함)
- 갈수기(Drought Period)는 하천의 유량이 감소하는 시기를 나타내며, 가뭄과 겨울철의 적설, 결빙으로 인해 발생하며, “환경오염사고 예방 및 수습업무 처리 규정”의 1장 2조 4항에 따르면 갈수기는 매년 12월1일부터 다음해 4월 30일까지의 기간으로 나타남
- 환경부가 규정한 염분농도는 생활용수 0.5 psu, 공업용수 0.3 psu 이하로 규정되어 되어 있으며, 이를 기준으로 세부적인 등급기준을 산정함

라. 사용성능 평가 결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능 평가 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 서비스 등급 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 6.111] 수문 분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

	권양기의 작동유무	현장제어반 및 조작반	구동모터 및 브레이크	강제수문 작동유무	점검시설	염분침투
가중치	0.152	0.132	0.153	0.179	0.172	0.212

[표 6.112] 사용성능 평가지표에 대한 가중치 조정방법(예)

	권양기의 작동유무	현장제어반 및 조작반	구동모터 및 브레이크	강제수문 작동유무	점검시설	염분침투
가중치	0.179	0.156	—	0.211	0.203	0.250

* 가중치 조정 예 : 구동모터 및 브레이크에 대한 평가가 제외되는 경우, 구동모터 및 브레이크에 해당하는 가중치 0.153을 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분한다.

2) 결과 산정 일반

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 권양기의 작동유무

- 시설물의 개보수 이력을 검토하고 각 강재수문별로 상승·정지·재상승과 하강·정지·재하강으로 구분하여 실행한 후 권양기의 작동상태·이음발생 등을 확인함

○ 현장제어반 및 조작반

- 상세육안점검을 실시하고 절연저항 및 접지저항등을 측정하여 평가함

○ 구동모터 및 브레이크

- 구동모터, 브레이크는 구동모터의 공급전압, 운전전류, 온도상승여부 등을 측정·조사하여 운전상태의 이상 유무를 파악함

○ 강재수문 작동유무

- 상세육안점검을 실시하고 강재수문 동작 여부(작동 및 검출불능 유무 등)을 검사함

○ 점검시설

- 시설물 조사에 필요한 접근로의 유무 및 상태를 조사하여 평가함
- a, b등급의 구분은 신설인 경우만 a등급으로 평가함

○ 염분침투

- 하구둑에서 가장 가까운 취수장에서 갈수기 때 염분농도를 조사하여 평가함
- 공업용수 기준 염분농도 0.3 psu 이하에서 0.2 psu 이하일 경우 a등급, 0.2 psu 초과 0.3 이하일 경우 평가결과를 b로 산정함

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 서비스 등급 산정

a등급은 5점, b등급은 4점, c등급은 3점, d등급은 2점, e등급은 1점으로 적용한다.

$$\text{사용성능 평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w= 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c= 각 세부지표별 평가 결과

마. 사용성능 평가 결과 산정 예시

1) 평가항목별(지표별) 평가

○ 권양기의 작동유무

- 시설물의 개보수 이력을 검토하고 각 강재수문별의 상승·정지·하강 등을 실행한 후 권양기의 작동상태·이음발생 등을 확인하여 평가함
- 각 강재수문의 등급을 평가한 후 평균을 내어 최종 등급을 산정함

[표 6.113] 권양기 작동유무 평가 산정 예

구분	상하한정지	중간정지	평가결과	평가점수	작동유무 평가결과
#1	양호	양호	b	4	b* (3.67)
#2	불량	불량	c	3	
#3	양호	양호	b	4	

* 각 최종등급은 서비스 성능 최종평가 결과 표의 점수를 준용하여 적용

○ 현장제어반 및 조작반

- 상세육안점검을 실시하고 절연저항 및 접지저항 등을 측정하여 평가함
- 점검내용의 가장 낮은 등급을 기준으로 해당 설비 평가함

[표 6.114] 현장제어반 및 조작반 평가 산정 예

점검내용 구분	평가결과		
	1호기	2호기	3호기
반의 변형·파손유무, 내장 부속설비의 상태	양호	양호	양호
외함접지 설치유무	설치	설치	설치
조작 및 작동상태	경미한 불량	양호	양호
배관배선류의 변형 및 손상여부	양호	양호	양호
개도장치 및 안전리미트 스위치류의 상태	양호	양호	양호
평가결과	c	b	a
평가점수	3	4	5
현장제어반 및 조작반 평가결과	b		

* 2호기와 3호기의 차이의 경우 3호기는 신설되어 a로 평가함

○ 구동모터 및 브레이크

- 변형 파손유무, 외함 접지 설치여부, 작동상태, 배관 변형 및 손상 여부 등을 평가함
- 점검내용의 가장 낮은 등급을 기준으로 해당 설비 평가함

[표 6.115] 구동모터 및 브레이크 평가 산정 예

점검내용 구분	평가결과		
	1호기	2호기	3호기
변형·파손유무	양호	양호	양호
외함접지 설치유무	설치	설치	설치
작동상태	불량	양호	경미한 불량
배관배선류의 변형 및 손상여부	양호	양호	양호
평가결과	d	b	c
평가점수	2	4	3
구동모터 및 브레이크 평가결과	c		

○ 강제수문 작동유무

- 상세육안점검을 실시하고 강제수문 동작 여부(작동 및 검출불능 유무 등)을 검사하여 평가함
- 점검내용의 가장 낮은 등급을 기준으로 해당 설비를 평가함

[표 6.116] 전기설비 작동유무 평가 산정 예

점검내용 구분	평가결과		
	1호기	2호기	3호기
현장제어반	양호	양호	양호
모터·브레이크	양호	양호	양호
개도계	경미한 결함	불량	양호
리미트 S/W	양호	양호	양호
평가결과	c	d	b
평가점수	2	4	3
작동유무 평가결과	c		

○ 점검시설

- 시설물 조사에 필요한 접근로의 유무 및 상태를 조사하여 평가함
- 해당 시설은 점검에 필요한 사다리 및 접근로가 구비되어 있고 시설이 양호하여 b로 평가함

[표 6.117] 점검시설 평가 산정 예

설치유무	상태	평가결과
사다리 및 접근로 설치	양호	b

○ 염분침투

- 염분침투는 하구둑에서 가장 가까운 취수장에서 1년 중 염분농도가 가장 높게 나타나는 갈수기 시기 때의 염분농도를 측정하여 평가함
- 년중 강수량이 적고 수위가 낮아 갈수기로 판단되는 시점(1월~4월)에 하구둑에서 가장 가까운 취수장의 염분농도를 월별로 각각 측정하여 가장 낮은 등급을 활용하여 평가함

[표 6.118] 염분농도 평가 산정 예

구분	염분농도	평가결과	등급점수	염분농도 평가결과
1월	0.1 psu	a	5	c(3)
2월	0.3 psu	b	4	
3월	0.4 psu	c	3	
4월	0.4 psu	c	3	

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 서비스 등급 산정

[표 6.119] OO하구둑 최종 사용성능 평가

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	평가점수
사용성능	운영성	권양기 작동유무	0.152	b	4
		현장제어반 및 조작반	0.132	b	4
		구동모터 및 브레이크	0.153	c	3
		전기설비의 작동유무	0.179	c	3
기능성	유지관리성	점검시설	0.172	b	4
	수요 및 용량	염분침투	0.212	c	5

- 위의 식대로 사용성능 평가 점수를 산정해보면

$$- 4 \times 0.152 + 4 \times 0.132 + 3 \times 0.153 + 3 \times 0.179 + 4 \times 0.172 + 5 \times 0.212 = 3.88$$
- 이를 최종 등급 산정표에 적용시켜 보면 본 하구둑의 최종등급은 B등급으로 평가함

6.6.4 최종평가결과

최종평가 결과는 아래 표를 활용하여 적용한다.

[표 6.120] 최종평가 결과 점수

등급	결과 점수	설명
A	$4.5 < x \leq 5.0$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성 성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B	$3.5 < x \leq 4.5$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C	$2.5 < x \leq 3.5$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D	$1.5 < x \leq 2.5$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E	$x \leq 1.5$	심각한 결함 또는 내구성 성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

6.7 종합평가 기준 및 방법

6.7.1 종합평가 일반

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 서비스 성능 평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 가중 평균한 값으로 결정한다.

- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때
 - 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정됨
- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

[표 6.121] 성능별 가중치

성능별 가중치(%)			합계
안전성능	내구성능	사용성능	
66	20	14	100

<해설> 책임기술자는 외부요인에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단 될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정할 수 있음

6.6.2 종합평가 결과산정방법

안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때에는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우 각 성능(안전, 내구, 사용성)간 성능인자에 따라 가중평균하여 종합성능등급 도출한다.

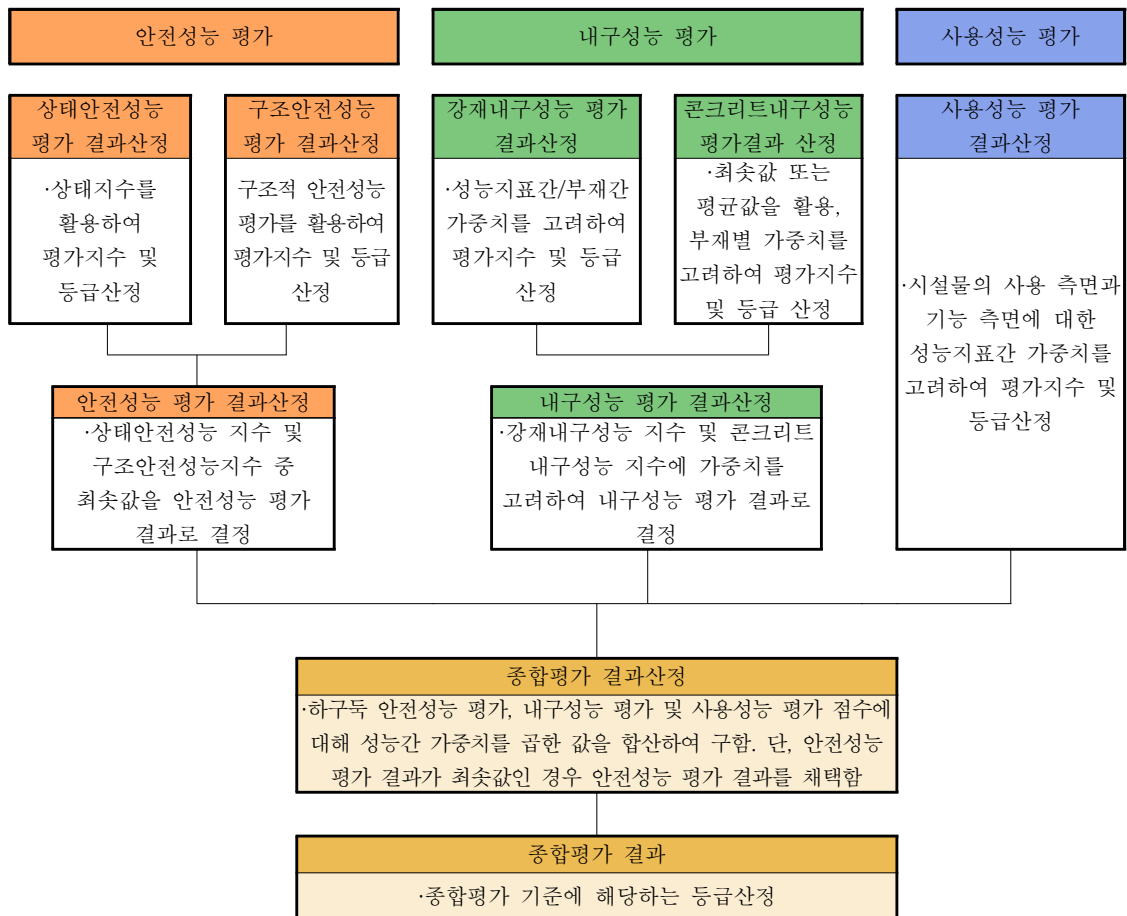
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

$$\text{종합평가 지수}(E) = \sum(\text{성능평가지수}(E_n) \times \text{성능별 가중치}(W_n))$$

여기서, E_n : 평가성능별 평가지수

W : 가중치

종합평가 산정절차는 아래의 표에서 제시한 절차에 따른다.



[그림 6.3] 하구둑의 종합평가 결과산정절차

각 성능간 가중치를 고려하여 산정한 종합평가 지수에 따라 종합성능등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 6.122] 성능별 가중치

종합평가지수(E)	종합평가 등급
$4.5 \leq E \leq 5.0$	A
$3.5 \leq E < 4.5$	B
$2.5 \leq E < 3.5$	C
$1.5 \leq E < 2.5$	D
$1.0 \leq E < 1.5$	E

종합평가에 대한 예시는 아래와 같다.

[표 6.123] 종합평가 결과산정 표 예

시설물 종합평가 결과산정 표				
시설물명	○○하구둑		표번호	CPD. NO.1
평가구분	성능평가지수	평가결과	비 고	
안전성능 평가	Es=3.8	B	근거 표번호	
내구성능 평가	Ed=2.6	C	근거 표번호	
사용성능 평가	Ef=2.7	C	근거 표번호	
종합평가 결과	◦ 종합평가 지수 : 3.1 ◦ 종합평가 결과 : C			

제7장 수 문

7.1 관리일반

7.2 현장조사

7.3 재료시험 항목 및 수량

7.4 안전성능 평가 기준 및 방법

7.5 내구성능 평가 기준 및 방법

7.6 사용성능 평가 기준 및 방법

7.7 종합평가 기준 및 방법

제7장 수문

7.1 관리일반

7.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조의 규정에서 정하고 있는 하천 시설물 중 수문에 적용한다.

수문은 그 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나, 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

※ 하수암거 및 우수암거의 성능평가 실시는 본 장의 암거에 대한 성능평가 요령을 준용할 수 있다.

7.1.2 용어 정의

- 수문
본류를 횡단하거나, 본류로 유입되는 지류를 횡단하여 제방을 분리시키는 형태로 설치된 문비(문짝)(이하 ‘문비’라 한다.)를 가진 구조물을 말한다.
- 통문
하천의 통문은 제방을 관통하여 설치한 사각형 단면의 수로로서 문비를 가진 구조물을 말한다.
- 통관
제방을 관통하여 설치한 원형 단면의 수로로서 문비를 가진 구조물을 말한다.
- 암거
용수 또는 배수용의 수로가 도로나 제방 등의 아래에 매설된 경우를 암거라 하며, 암거 단면의 형상이 사각형이면 통문으로, 원형이면 통관이라 한다.
- 문기둥
수문의 문비를 지지하는 기둥형태의 구조물이며, 높이는 완전히 열었을 경우 여유고를 확보하여야 한다.

○ 문비 조작대

권양기의 설치 및 수문의 개폐를 목적으로 설치된 구조물을 말한다.

○ 흉벽

수문의 본체와 제방 내 토립자의 이동 및 유출을 방지함과 동시에 날개벽의 파손 등으로 인한 제방붕괴를 방지하는 구조물이며, 본체와 일체구조로 제외지 계획제방 단면 내에 위치하여야 한다.

○ 차수벽

제방과의 접촉면을 따라 발생하는 침투수의 침투경로를 길게 하기 위해 설치하는 구조물이며, 침투수류에 의해 암거주변에 파이프이 생기는 것을 막기 위해 암거 본체와 일체의 콘크리트 벽으로 상단높이는 계획홍수위까지, 1.0m이상의 폭과 35cm 이상의 두께를 가져야 한다. 또한, 제방단면이 크고 암거의 길이가 길 경우 2개 이상을 설치한다.

○ 날개벽

배면의 흩을 지탱하여 붕괴를 방지하는 날개 형태의 구조물이며, 본체와 분리된 철근콘크리트 구조물로써 날개벽 상단부는 계획제방단면에 일치하여야 한다.

○ 물받이

도수를 발생시켜 유수의 세력을 완화시킬 목적으로 설치하는 구조물을 말한다.

○ 차수판

차수를 목적으로 설치하는 판형태의 구조물, 일반적으로 철제형 구조물을 말한다.

7.1.3 성능평가 실시 범위

하천 시설물 중 수문은 크게 수문구조물과 문비 및 기계설비의 개별시설로 구분되며, 각 개별시설별로 아래와 같은 하위부재의 분류로 구분된다.

[표 7.1] 수문 시설물의 성능평가를 위한 대상 부재

시설물 구분	복합시설 구분	개별시설 구분	복합부재 구분
수문	수문구조물	◦ 수문본체	
		◦ 배수시설물	◦ 배수암거 ◦ 날개벽 ◦ 물받이
		◦ 부대시설	◦ 관리교
	문비 및 기계설비	◦ 문비 및 기계설비	◦ 문비 ◦ 권양기

7.1.4 중대한 결함의 정도

수문 시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

1) 시설물의 기초세굴

○ 상태안전성능 평가지표 중 기초세굴에 대한 기준이 "d" 이하인 경우

2) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실

○ 내구성능 평가지표 및 기준의 재질변화에서 콘크리트 탄산화 잔여 깊이 또는 콘크리트 염화물 침투량 등에 대한 내구성능 평가 기준이 "e" 판정으로 철근노출에 대한 상태안전성능 평가 기준이 "e"를 포함하는 경우

3) 수문의 작동불량(하천)

○ 사용성능 평가지표 중 문비 작동여부에 대한 기준이 "d" 이하인 경우

7.2 현장조사

7.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

가. 제2종성능평가의 조사항목

1) 안전성능

[표 7.2] 수문 시설물의 안전성능 평가 항목

부재구분		평가항목
수문 구조물	수문본체, 관리교	변형
		균열(구조 및 건축수축 균열)
		기초 세굴
		박락
		철근노출
		콘크리트 파손
		박리
		누수
		백태
	배수시설물	상(하)부 슬래브 처짐
		흡관변형
		균열(종단 및 횡단균열)
		기초 세굴
		박락
		철근노출
		콘크리트 파손
		박리
		신축이음부 불량
		단차
		누수
		백태
		연결관 돌출
	공통	내하력 검토
		도압 검토
		수문 본체 하중 검토
		구조계산(탄성 해석)
		단면 내하력 검토(휨, 전단)
문비 및 기계설비	문비	문비의 부식손상
		문비의 변형
		마찰부 손상
		문비 구조검토
	기계설비	랙바의 손상
		마찰부 손상

2) 내구성능

[표 7.3] 수문 시설물의 내구성능 평가 항목

부재구분		평가항목
수문 구조물 (콘크리트 구조물)		피복(표면부) 콘크리트의 품질
		탄산화 깊이
		염화물 침투량
		동결융해 반복지수
문비 및 기계설비 (강재 구조물)		강재 도막열화
		문비 도막두께
		해안과의 이격거리
		이산화황 농도
		권양기 와이어로프 직경감소
		권양기 와이어로프 소선절단

<해 설>

- 콘크리트 구조물의 내구성능 평가 시, 해수에 접하는 수문은 하굿둑 기준에 준하여 평가함

3) 사용성능

[표 7.4] 수문 시설물의 사용성능 평가 항목

부재구분		평가항목
수문 구조물	배수시설물	퇴적(배수지장)
기계설비	권양기	작동불량(작동유무)
		수밀부 누수
		배수능력
기타 부대시설	점검로	점검 및 진단

7.2.2 현장조사 요령

가. 시설물의 현장조사 요령

수문 시설물의 성능평가는 수문구조물의 결함, 노후화에 따른 성능저하 등의 상태 파악을 위해 안전성능, 내구성능, 사용성능으로 나누어 현장조사를 실시한다.

시설물의 현장조사 시, 책임기술자는 수중조사에 대한 필요성 여부를 판단하여 시행하여야 한다.

1) 안전성능 평가를 위한 현장조사

수문 시설물의 안전성능 평가에서는 부재의 결함 형태를 파악하고, 기능상의 문제를 점검하며 수문의 구조적·수리학적 문제점을 조사한다.

○ 수문 및 암거

- 수문과 암거의 노후화도 조사를 위하여 외관조사로 콘크리트 구조물의 균열, 박리, 층분리, 백태, 누수, 부등침하, 손상 등을 조사한다.
- 수문 날개벽과 저판부의 세굴현상이나 배수문의 작동불량과 같은 중대한 결함이 발견되었을 경우에는 「시특법」의 규정에 따라 조치한다.

○ 문비

- 문비 및 문틀의 주부재 변형여부, 지수고무의 열화여부, 동판의 탈락·변형여부, 도장상태, 볼트·너트의 이완상태를 각 문비별로 조사한다.
- 수문의 대표 문비를 선정하여 수평형의 배치간격, 사용부재, 문비의 크기 등 실제 치수를 측정한다.

○ 제방

- 수문에 인접한 제방(부대시설)의 성능평가 범위는 수문 설치부근(전후 20m)으로 한다.
- 제방의 성능평가는 「제8장 제방」을 준용하여 실시한다.

○ 기계설비

- 외관조사
 - 권양기의 구동부인 커플링부, 베어링부의 조사를 실시하며, 그리스주유 여부도 조사한다. (랙바손상을 강재내구성능에서 가져가는 경우 내구성능 파트로 이동)
 - 기계설비의 손상상태평가표는 복합부재에 대하여 작성하며, 주로 손상상태를 기록하고 필요한 경우에만 개략도를 포함하여 작성한다.

- 작동시험
 - 문비의 작동시험은 권양기와 문비, 문틀의 정상적인 작동여부를 판단하는 것으로 각 문비별로 작동과 관련된 구동부의 특별한 소음발생여부, 수문 개도계의 오차여부, 자동정지 여부, 자동 및 수동작동 가능여부를 기록한다.
 - 문비의 작동과 관련하여 권양기 모터의 작동상태, 핸드레버 관리상태 또는 문비 지수판 고무의 부식 및 훼손 등을 파악하고 문틀의 노후화 상태를 기록한다.

○ 수문의 구조안전성능 평가

- 암거의 길이가 30m 이상일 경우 부등침하에 대한 구조검토를 시행한다.
(이음매를 설치할 필요가 있는 경우는 종방향 구조계산 실시 후 설치)
- 구조물과 제체 지반의 물성차이에 따른 주변지반의 상대적인 변위에 의한 구조물의 균열, 제체 누수, 접합부 틈새, 지수판 균열, 날개벽 손상, 하부 공동 등이 발생할 수 있으므로 유의하여 점검한다.
- 물받이와 접촉하여 설치된 바닥보호공은 그 피해가 본체에 영향을 주는 경우가 있으므로 하류부 하상 저하 국부세굴의 발생에 유의하여 점검한다.

2) 내구성능 평가를 위한 현장조사

시설물의 내구성능 평가에서는 부재별 노후화로 인한 성능저하에 대한 평가를 수행하며, 콘크리트와 강재로 나누어 결함에 대한 평가를 수행한다.

○ 콘크리트 구조물의 현장조사

- 콘크리트 구조물의 경우, 탄산화 깊이, 피복(표면부) 콘크리트 품질 및 동해환경에 대한 평가를 실시한다.
- 노출된 콘크리트 및 구조물 취약부에 대한 평가(탄산화 깊이, 피복(표면부) 콘크리트 품질 등)는 재료시험에 의거 현장시험을 실시하며, 재료시험은 「공통편」에서 제시하는 시험 방법을 준용한다.
- 동해환경 평가는 기상자료개방포털에 접속하여 기상관측 자료를 통한 동결기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사하며, 조사 결과를 통해 동결융해 반복지수(X)를 산정하여 평가결과를 도출한다.
- 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 같은 시라고 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.
- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수

- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수

○ 강재 구조물의 현장조사

- 강재 구조물의 경우, 도장열화, 도장두께, 와이어로프의 직경감소 및 소선절단, 대기환경에 대한 평가를 실시한다.
- 도장열화 평가는 대상 시설물의 육안점검 및 사진촬영 결과와 KS 기준에 따른 표준사진 비교를 통해 등급을 산정하며, 필요 시 도막진단 프로그램을 활용하여 평가를 수행할 수 있다.
- 도장두께는 공인기관에서 교정된 측정 장비(영구자석식 측정기, 전자식 측정기)를 사용해야 하며, 측정 전 시편에 영점조정 후 측정한다.
- 또한, 전면에 걸친 도막의 측정 및 검사는 비효율적으로 사전에 외관검사와 시공기록 검사를 통해 조사자가 필요하다고 판단하는 개소에 한해서 실시하는 것이 바람직하다.
- 와이어로프의 직경감소 평가는 그리스를 제거한 후, 버니어 캘리퍼스로 대상 와이어로프의 당 3개소 이상 측정한 결과 값을 평균치로 환산하여 평가한다.
- 와이어로프 소선절단 평가 항목은 육안 점검에 의한 평가를 실시한다.
- 소선 절단율(%) = 한 스트랜드에서 절단된 소선수/한 스트랜드의 총 소선수 × 100
- 대기환경 평가는 해안이격거리, 이산화황 농도, 습도 기준치를 종합하여 평가를 실시한다.
- 해안이격거리는 인터넷 포털사이트를 이용하여 해안까지의 최단거리를 측정한다.
- 이산화황 농도는 에어코리아 환경부 대기환경정보에서 제공하는 지역별 10년 동안 평균농도자료를 기준으로 하되 필요시 책임기술자 판단에 따라 분류한 지역에 노출시험지를 설치하여 이를 주기적으로 측정하고, 실내시험과 현장 조사와의 상관성을 고려하여 아황산가스와 부식과의 관계를 도출할 수 있다.
- 습도는 기상청에서 제공하는 ‘기상연보’를 통한 해당지역의 10년 동안 평균 젖음 시간(τ , 0℃ 이상의 온도에서 상대 습도가 80% 이상인 경우) 관측일을 산정하여 결빙, 적설자료를 사용한다.

3) 사용성능 평가를 위한 현장조사

수문의 사용성능 평가는 평가 항목의 특성을 기준으로 사용성능과 기능성으로 구분하여 평가를 실시한다.

○ 문비

- 현장에서 직접 문비의 상승과 하강 상태를 측정하여 평가 등급을 산정하며, 각 문비별 1회 이상 작동시험을 통해 평가를 실시한다.
- 현장에서 수밀부 누수에 대한 육안 점검을 통해 평가 등급을 산정한다.
- 현장에서 배수지장물 존재 여부와 배수기능 저하 여부를 육안점검을 통해 평가 등급을 산정한다.
- 배수암거의 설계 단면적에 대한 자료와 현장 실측 통수 단면적 자료 비교를 통해 평가를 실시한다.

나. 현황측량 요령

1) 현황측량

- 수문과 인접지역(수문구조물 폭 + 하천 상하류 총20m)의 종평면도를 작성할 수 있도록 현황측량을 실시한다.
 - 평면도 작성을 위한 측량
 - 시설물의 배치상황을 알 수 있는 정도로 실시
 - 종단면도 작성을 위한 측량
 - 암거상부에 작용하는 하중조건을 상세히 알 수 있는 정도로 실시
 - 수준측량
 - 기존의 측량자료가 있으면 이를 인용하고, 없으면 인근의 도근점에서부터 표고를 측량하여 수문 주요부의 표고를 확정

2) 외관조사망도 구성

- 외관조사망도 작성 시 문비를 지지하는 구조물인 수문본체는 경간(련수)을 기준으로 본체1, 본체2, ... 등의 복합부재로 구분하고, 이를 조작대, 문기둥, 보기둥, 문틀, 기초상판 등의 개별부재로 구분하여 각 개별부재를 1개 외관조사망도로 구성한다.
- 암거의 경우 신축이음 등의 구조적 불연속지점을 기준으로 암거를 분할 후 각각을 개별부재로 구분하고 1개 외관조사망도로 구성한다.

7.3 재료시험 항목 및 수량

7.3.1 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 7.5] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능	수문 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험 : 반발경도시험¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도(국부파괴시험법)
			<ul style="list-style-type: none"> 철근탐사시험²⁾ <ul style="list-style-type: none"> 철근 배근상태 철근 피복두께
			<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 국부파괴시험 : 코어강도 비파괴시험 : 초음파전달속도시험
	문비	—	—
	기전설비	—	<ul style="list-style-type: none"> 각종 기기의 시험
내구성능	수문 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 피복 콘크리트 품질 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험 : 반발경도시험¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> 염화물 침투량
		<ul style="list-style-type: none"> 탄산화깊이 	
	강재	<ul style="list-style-type: none"> 도장두께³⁾ 	—
사용성능	기전설비	<ul style="list-style-type: none"> 문비의 작동유무 	—

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있음
 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 함

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 함

주3) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정함

나. 제1종성능평가

[표 7.6] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능	현황	◦ 현황측량	◦ 기초·지반시험
	수문 구조물	◦ 콘크리트 강도 － 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾ , 초음파전달속도시험	◦ 콘크리트 강도 － 국부파괴시험 : 코어채취
		◦ 철근탐사시험 ²⁾ － 철근 배근상태 － 철근 피복두께	
		◦ 철근부식도	◦ 콘크리트 물성 및 미세구조
		◦ 균열깊이 조사	
	문비	－	◦ 용접부 결함탐사
	기전설비	－	
내구성능	수문 구조물	◦ 피복 콘크리트 품질 － 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾	◦ 염화물 침투량
		◦ 탄산화깊이	
	문비	◦ 도장두께 ³⁾	－
사용성능	기전설비	◦ 문비의 작동유무	◦ 수문기계조사시험

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있음
피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 함

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 함

주3) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정함

7.3.2 재료시험 기준수량

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 7.7] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
반발경도 시험	<ul style="list-style-type: none"> 수문 본체 1회 암거길이 40m 당 1회 	<ul style="list-style-type: none"> 날개벽 및 물받이 포함
탄산화 깊이	<ul style="list-style-type: none"> 수문 본체 1회 암거길이 40m 당 1회 	<ul style="list-style-type: none"> 날개벽 및 물받이 포함
도장두께 ^{1,2)}	문비 당 3개소, 1개소 당 3회 이상	
문비의 작동유무	각 문비별 1회	

주1) 도장두께 측정 문비는 책임기술자가 선정하며, 전체 문비 중 25%, 3개 문비 이상의 조건을 만족하되 문비 개수가 선정기준 미만인 경우에는 관리주체와 협의하여 선정함

주2) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정함

[표 7.8] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
코어채취 ¹⁾	과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	<ul style="list-style-type: none"> 강도 및 염화물량 시험 등
초음파전달 속도시험	과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	<ul style="list-style-type: none"> 날개벽 및 물받이 포함
철근탐사시험	과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
각종 기기의 시험 ²⁾	과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
염화물 침투량	과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
권양와이어로프 직경감소 및 소선절단 ³⁾	<ul style="list-style-type: none"> 도장열화 조사 대상 문비에 설치된 와이어로프 - 대상 와이어로프 당 3개소 이상 측정 - 1개소 당 일정 간격을 두고 3회 측정 	

주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 관리주체와 협의한 후 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하고 1개소 당 3개의 코어를 채취함

코어에 대한 실내시험인 압축강도, 비중, 흡수율 등의 항목은 필수적으로 실시함

또한, 이전에 수행한 성능평가에서 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 이들의 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있음

주2) 수문에 대한 시험은 관리주체와 협의하여 실시함

주3) 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 버어니어 캘리퍼스로 0.1m 간격씩 3방향에서 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단함

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 7.9] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
현황측량 ¹⁾	◦ 수문 폭 + 하천 상하류 20m	
반발경도시험	◦ 수문 본체 2회 ◦ 암거길이 40m 당 1회	◦ 날개벽 및 물받이 포함
초음파전달 속도시험	◦ 수문 본체 2회 ◦ 암거길이 40m 당 1회	◦ 날개벽 및 물받이 포함
철근배근탐사	◦ 수문 본체 2회 ◦ 암거길이 40m 당 1회	
균열깊이조사	◦ 책임기술자 판단에 따라 조사 및 수량 결정	
철근부식도시험	◦ 책임기술자 판단에 따라 조사 및 수량 결정	
탄산화 깊이	◦ 수문 본체 2회 ◦ 암거길이 40m 당 1회	◦ 날개벽 및 물받이 포함
도장두께 ^{2,3)}	◦ 문비 당 5개소, 1개소 당 3회 이상	
문비의 작동유무	◦ 각 문비별 1회	

주1) 수문의 배치사항 전반이 나타나도록 중·평면도 작성함. 현황측량 시 수준측량은 기존의 측량자료가 있으면 이를 인용하고, 없으면 인근의 도근점에서부터 표고를 측정하여 수문의 주요부의 표고를 확정함

단, 기존 현황측량결과가 있으면 이를 인용함

주2) 도장두께 측정 문비는 책임기술자가 선정하며, 전체 문비 중 25%, 3개 문비 이상의 조건을 만족하되 문비 개수가 선정기준 미만인 경우에는 관리주체와 협의하여 선정함

주3) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정함

[표 7.10] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
기초·지반시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
코어채취 ¹⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 강도 및 염화물량 시험 등
강재 용접결함탐상	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 자분 또는 초음파탐상
각종 기기의 시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
염화물 침투량	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
권양와이어로프 직경감소 및 소선절단 ²⁾	◦ 수문(문비 강재)에 설치된 와이어로프 - 대상 와이어로프 당 3개소 이상 측정 - 1개소 당 일정 간격을 두고 3회 측정	

주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 관리주체와 협의한 후 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하고 1개소 당 3개의 코어를 채취함.

코어에 대한 실내시험인 압축강도, 비중, 흡수율 등의 항목은 필수적으로 실시함.

또한, 이전에 수행한 성능평가에서 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 이들의 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있음

주2) 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 버니어 캘리퍼스로 0.1 m 간격씩 3방향에서 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단함

7.4 안전성능 평가 기준 및 방법

7.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가 기준 및 방법

1) 일반

수문은 구조형식 및 축조재료, 세부 부재구분에 따라 다양한 형태의 손상이 발생될 수 있으므로 수문 형식 및 부재별 안전성능 평가 기준을 마련해야 한다.

2) 평가범위

하천시설물에 나타나는 다양한 형태의 손상을 기본으로 하였으며, 일반적인 콘크리트에서 나타나는 균열, 박락, 층분리, 철근노출, 재료분리, 백태, 누수, 파손, 신축이음 탈락 및 열화, 방수·방식도장 열화 및 탈락 등과 구조물의 변형, 세굴, 침하 등을 대상으로 한다.

3) 평가유형의 구분

[표 7.11] 수문 평가유형의 구분

평가 유형	정 의	평가 기준	평가 점수	영향 계수
중요 결함	침하, 경사/전도 및 활동 등과 같이 전체 구조물의 구조적인 안전에 직접영향을 미치는 결함	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0
국부 결함	구조물의 안전성능에 직접적인 영향을 미치지 않지만 손상이 진전될 경우 전체구조물의 안전에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 결함	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0 1.1 1.2 1.4 2.0
일반 손상	구조물의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0 1.1 1.3 1.7 3.0

3) 기본시설 평가지수 산정기준

(가) 수문 구조물

○ 일반 구조물 콘크리트 균열의 평가기준

[표 7.12] 콘크리트 균열의 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	최대 균열폭	면적을 5%이하	면적을 20%이하	면적을 20%이상
일반손상	a	5	0.1mm 미만	a	a	a
	b	4	0.1mm이상~0.2mm 미만	a	a	b
	c	3	0.2mm이상~0.3mm 미만	a	b	c
	d	2	0.3mm이상~0.5mm 미만	b	c	d
	e	1	0.5mm 이상	c	d	e

<해 설>

- 콘크리트의 균열은 일반손상 중 하나로 구조적·비구조적 균열로 구분되나, 현장조사 시 균열의 종류를 구분하기가 어렵기 때문에 균열의 종류를 구분하지 않고, 콘크리트 구조설계 기준(2007)의 수처리 구조물 콘크리트 허용균열 폭 0.15~0.25mm 및 일반 콘크리트 구조물 허용균열 폭 0.3~0.4mm 등을 고려하여 콘크리트 균열 폭 및 면적율에 따른 상태안전성능 평가 기준을 설정함
- 평가표에서는 일반손상의 등급별 영향계수를 제시하였으나, 균열의 결함 및 손상정도에 따라 일반손상, 국부결함, 중요결함으로 변경하여 적용함

[표 7.13] 평가유형의 구분

평가유형	영향계수	평가기준	평가유형	영향계수	평가기준
중요결함 (구조적균열, 종단균열)	1.0	a	국부결함 (횡단균열)	1.0	a
		b		1.1	b
		c		1.2	c
		d		1.4	d
		e		2.0	e

○ 수처리 구조물 콘크리트 균열의 평가기준

[표 7.14] 수처리 구조물 콘크리트 균열의 평가기준

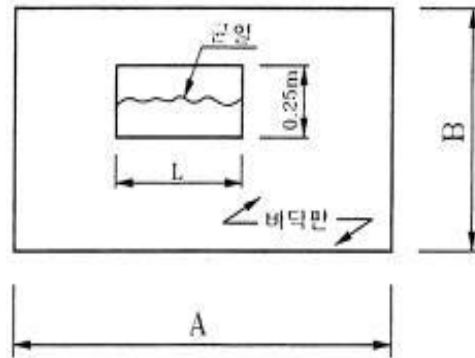
평가기준	평가점수	최대 균열폭	면적을 5%이하	면적을 20%이하	면적을 20%이상
a	5	0.1mm 미만	a	a	b
b	4	0.1mm이상~0.2mm 미만	a	b	c
c	3	0.2mm이상~0.3mm 미만	b	c	d
d	2	0.3mm이상~0.5mm 미만	c	d	e
e	1	0.5mm 이상	d	e	e

<해 설>

○ 수처리 구조물 → 하수 접촉 구조물

○ 콘크리트 균열 면적을 산정 방법

- 1방향 균열인 경우

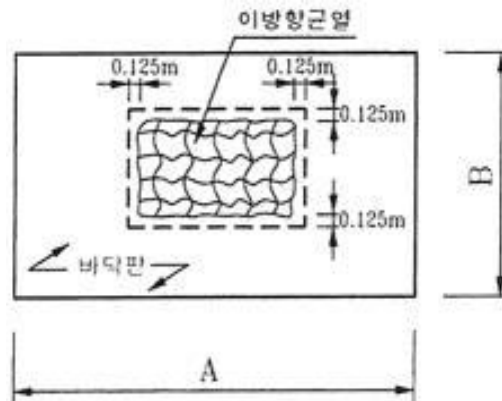


[그림 7.1] 1방향 균열

- ① 균열발생 면적은 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하며,
- ② 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 구함
- ③ 균열 면적율은 아래 식으로 산정함

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \quad \%$$

- 2방향 균열인 경우



[그림 7.2] 2방향 균열

- ① 균열발생 면적은 균열발생부위를 가로, 세로의 최·외측균열을 경계로 하여 사각형 형태로 구획한 후
- ② 점선 내면 면적인 (가로길이+0.25m)×(세로길이+0.25m)로 구함
- ③ 균열 면적율은 아래 식으로 산정함

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열발생면적}(m^2)}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \quad \%$$

○ 백태 및 누수에 대한 평가기준

[표 7.15] 백태 및 누수 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	면 적 율
일반손상	a	5	0%
	b	4	5% 미만
	c	3	5%이상~10% 미만
	d	2	10%이상~20% 미만
	e	1	20% 이상

<해 설>

- 백태, 박락에 대한 면적율 산정 방법
 - 면적율은 결함 및 손상의 상태안전성능 평가 기준에 별도로 정하지 않은 경우에 다음을 적용

$$\text{면적율}(\%) = \frac{\text{결함 및 손상발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100$$

○ 박락, 층분리에 대한 평가기준

[표 7.16] 박락, 층분리 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	박락, 층분리 깊이	면적율 20% 이하	면적율 20% 이상
국부결함	a	5	없음	a	a
	b	4	15mm 미만	b	c
	c	3	15mm이상~20mm 미만	c	d
	d	2	20mm 이상 ~ 25mm 미만	d	e
	e	1	25mm 이상이거나, 조골재 손실	e	e

○ 철근노출에 대한 평가기준

[표 7.17] 철근노출 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	철근노출 면적율
국부결함	a	5	0%
	b	4	1% 미만
	c	3	1% 이상~3% 미만
	d	2	3% 이상~5% 미만
	e	1	5%이상

<해 설>

- 상태안전성능 평가 결과가 "e"이면 중대한 결함으로 봄
- 철근노출의 발생면적은 철근노출 길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 함

$$\text{철근노출면적율}(\%) = \frac{\text{철근노출면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{철근노출길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100$$

○ 파손에 대한 평가기준

[표 7.18] 파손 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	깊 이	면적율 10% 미만	면적율 10% 이상
국부결함	a	5	없음	a	—
	b	4	5mm 미만	b	c
	c	3	5mm 이상~10mm 미만	c	d
	d	2	10mm 이상~20mm 미만	d	e
	e	1	20mm 이상	e	e

<해 설>

- 파손은 박리, 세굴, 재료분리(곰보판), 몰탈 탈락 등 여타의 손상을 포함함

○ 기초세굴에 대한 평가기준

[표 7.19] 기초세굴 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	기초 세굴
중요결함	a	5	없음
	b	4	시공당시 지반과 비교하여 약간의 세굴(기초와 무관)
	c	3	시공당시 지반과 비교하여 기초근입 깊이가 반 이상 줄어든 경우
	d	2	세굴이 진행하여 기초하부의 국부적 노출
	e	1	기초하부 완전 노출

<해 설>

- 상태안전성능 평가 결과가 "d"이면 중대한 결함으로 봄

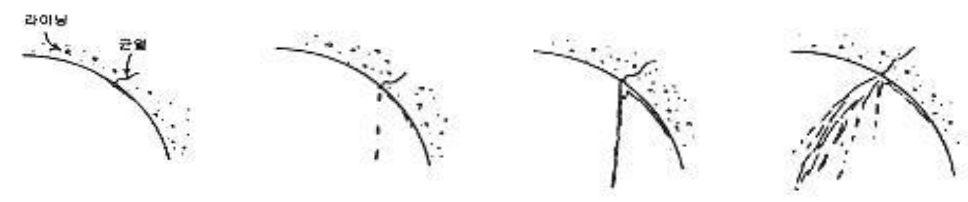
○ 부재 변형에 대한 평가기준

[표 7.20] 부재 변형 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	변형발생 (상·하부 슬래브 처짐, 휨관변형)
중요결함	a	5	변형이 발생되지 않은 상태
	b	4	부분적으로 경미한 변형이 발생한 상태이나, 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
	c	3	변형의 정도가 보통정도이나, 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
	d	2	변형의 정도가 국부적으로 심각하여 부분적인 구조적 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
	e	1	변형의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여구조적인 안전을 상실한 상태

○ 신축이음불량에 대한 평가기준

[표 7.21] 신축이음불량 평가기준

평가유형	a (5)	b (4)	c (3)	d (2)	e (1)
국부결함	신축이음을 통한 누수가 없음	신축이음을 통해 물이 스며들고 있음 (또는 가능성이 있음)	신축이음을 통해 물이 떨어짐 (또는 가능성이 있음)	신축이음을 통해 물이 흐름 (또는 가능성이 있음)	신축이음을 통해 물이 분출됨 (또는 가능성이 있음)
 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> 스며있음 떨어짐 흐름 분출 </div>					

(나) 문비

○ 문비 부식손상에 대한 평가기준

[표 7.22] 문비 부식손상 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	상 태
중요결함	a	5	○ 부식이 없음
	b	4	○ 전면부식이 조금 발견되거나, 건전부 모재두께의 5%미만의 점부식이 관찰되는 상태
	c	3	○ 가벼운 전면부식이 전단면에 발생되거나, 건전부 모재두께의 5~10%의 점부식이 관찰되는 상태
	d	2	○ 심화된 전면부식이 전단면에 발생되어 있거나, 건전부 모재두께의 10~30%의 점부식이 관찰되는 상태로 보수를 하지 않으면 안되는 상태
	e	1	○ 전면부식과 건전부 모재두께의 30% 이상의 점부식으로 인하여 당장 보강을 하지 않으면 안되는 상태

○ 문비변형에 대한 평가기준

[표 7.23] 문비변형 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	상 태
국부결함	a	5	변형이 없는 양호한 상태
	b	4	변형이 없는 건전한 상태
	c	3	부분변형이 있으나 문틀에 밀착되는 상태
	d	2	변형으로 문틀에 밀착하지 못하여 잭스크류 등의 별도의 누름 장치를 이용하여야 문틀에 밀착되는 상태
	e	1	변형으로 작동이 원활하지 못한 상태로 작동시 접촉, 끼임 발생과 부분적인 두께감소가 1/2이상인 경우

○ 마찰부 손상(문비)에 대한 평가기준

[표 7.24] 마찰부 손상(문비) 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	상 태
중요결함	a	5	회전이 원활한 양호한 상태
	b	4	약간의 부식이 있으나 작동이 원활한 건전한 상태
	c	3	고착으로 회전 및 작동이 불량하나 문비의 작동에는 이상이 없는 상태
	d	2	고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 문비작동이 불량한 상태
	e	1	고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 작동이 불가능한 상태

(다) 기계설비

○ 랙바 손상에 대한 평가기준

[표 7.25] 랙바 손상 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	상 태
국부결함	a	5	랙바에 손상이 없는 양호한 상태
	b	4	랙바에 손상이 없는 건전한 상태
	c	3	랙바의 마모가 허용범위 이내의 정상적이거나 구리스 도포가 불량하거나 부식이 발생한 상태
	d	2	랙바의 직경감소가 10%이내이나 편마모가 발생한 경우
	e	1	랙바의 최대 직경감소가 10%이상 발생한 경우

○ 마찰부(베어링, 크리치, 커프링) 손상에 대한 평가기준

[표 7.26] 마찰부 손상 평가기준

평가유형	평가기준	평가점수	상 태
일반손상	a	5	작동이 원활한 양호한 상태
	b	4	작동이 원활한 건전한 상태
	c	3	이음 등의 발생이 있으나 작동에는 이상이 없는 상태
	d	2	이상 진동으로 소음이 과다하게 발생하고 고착으로 회전이 불량한 상태
	e	1	진동이 과다하게 발생하여 작동이 불가능한 상태

7.4.2 구조안전성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

1) 일반

주어진 하중에 대하여 시설물이 견디는 능력을 평가하는 항목으로써 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 운영상의 성능 확보여부를 판단하게 된다. 주요 평가 항목으로는 수문의 경우 내하력 검토, 토압 검토, 수문 본체 하중 검토, 구조계산, 단면 내하력 검토 등이 이에 속한다.

2) 구조안전성능 평가 방법

구조안전성능 평가를 위하여 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료의 검토, 기록을 통한 운영이력의 분석, 부재별 평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통하여 충분한 기초자료를 확보하는 것이 중요하며, 구조안전성능 평가 시 검토할 사항은 다음과 같다.

- 비파괴 시험결과 분석
- 토질조사 등의 결과 분석
- 시설물의 변형/변위 및 거동 등의 측정결과 분석
- 구조물의 구조검토·해석결과 분석
- 기타 구조안전성능 평가를 위하여 필요한 사항

나. 구조안전성능 평가 기준

1) 수문구조물

(가) 수문구조물의 구조안전성능 평가

- 제반 설계서 또는 기존 성능평가 보고서의 내하력 검토결과가 있는 경우
 - 이들을 검토하여 구조물의 구조안전성능을 판단
- 설계서 등이 없는 경우
 - 주요부재에 대한 내하력 검토를 시행함. 이때, 내하력 검토는 주요 구조부재 중 취약부재를 선택하여 시행

(나) 내하력 검토

- 내하력 검토는 콘크리트구조설계기준에 있는 강도설계법에 의해 검토하는 것으로 하며, 이때, 강도감소계수와 하중계수는 기존시설의 구조안전성능 평가 내용에서 정한 바를 따름

(다) 토압

- 토압은 토질조사에 근거하여 산출하는 것이 기본이나 토질조사결과가 없는 경우에는 구조물기초설계기준('14, 국토해양부) 등에 나와 있는 일반적인 토사에 대한 값을 취해 토압 산정
- 암거의 경우에 암거 주위의 교통하중에 의한 추가하중은 지하철설계기준(서울시) 등에 나와 있는 DB하중의 지하공간에서의 분포 값을 취해 산출

(라) 수문본체

- 수문본체의 경우 자중, 권양하중, 풍압, 활하중 등을 고려하며, 이들 하중의 산출은 도로교설계기준('12, 국토해양부) 등을 참조하고, 홍수위는 기존의 하천기본계획 등에 나와 있는 홍수위를 취하며, 홍수 시 지하수위는 홍수위와 동일하게 형성된다고 가정

(마) 구조계산

- 구조계산은 탄성해석을 실시
- 지지조건은 토질조사 결과가 있는 경우에는 지반스프링을 취하며(도로교설계기준 참조), 토질조사 결과가 없는 경우에는 힌지와 롤러로서 취함

(바) 단면 내하력 검토

- 단면의 내하력 검토는 휨, 전단 등에 대해 검토하며, 이때, 설계도면이 있으면 설계도면에 따르고 설계도면이 없는 경우엔 하천구조물표준도('94, 건설부) 등을 참조하여 내하력 검토를 실시

- 내하력 검토 후 휨, 전단 등에 대한 내하율(내하력/발생력) 값에 따라 구조안전 성능 평가 결과를 결정
- 수문의 조작대 표고가 홍수위보다 낮으면 홍수시 권양기 침수로 인하여 수문 조작이 불가능할 수 있음. 조작대 표고는 필히 검증된 결과를 사용하며 홍수위는 하천기본계획상의 홍수위편을 참조하여 수문지점의 홍수위를 산출함(직선보간법 등 사용). 조작대 표고와 수문지점의 홍수위 값에 따라 안전성능 평가 결과를 결정함

[표 7.27] 내하율에 의한 구조안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	산출된 내하율이 1.0 이상인 경우
b	4	산출된 내하율이 1.0 이상인 경우이나 주요부재의 단면손실이 있는 경우
c	3	산출된 내하율이 1.0 미만 0.9이상인 경우
d	2	산출된 내하율이 0.9 미만 0.75이상인 경우
e	1	산출된 내하율이 0.75미만인 경우

[표 7.28] 조작대 접근성에 대한 구조안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	조작대 표고가 홍수위보다 높고, 접근로 표고도 홍수위보다 높은 경우
b	4	—
c	3	조작대 표고가 홍수위보다 높으나, 접근로 표고가 홍수위보다 낮은 경우
d	2	조작대 표고가 홍수위보다 낮은 경우
e	1	—

2) 문비

- 문비에 대한 구조안전성능 평가는 구조안전성능에 문제가 있다고 판단되는 특별한 경우를 제외하고는 별도로 수행하지 않음
- 구조안전성능 평가를 수행할 경우에 동일규격의 설비가 다수 설치된 경우에는 취약한 설비를 선정하여 대표적으로 수행하며, 구조안전성능 평가 결과를 동일규격의 설비에 같이 적용함
- 제반설계서 또는 기존의 성능평가 보고서 및 정밀안전진단 보고서가 있는 경우 이들을 검토하여 구조안전성능을 판단하고 설계서 등이 없는 경우에는 주요부재에 대한 응력비 검토를 시행함
 - 하중의 산출은 계획수위(하천기본계획에 나와 있는 홍수위) 및 문비의 바닥고에 따라야 함

- 주요부재는 굽힘응력, 전단응력, 처짐, 스킨플레이트 등에 대한 허용응력은 강재 설비설계기준, 댐언시설기술기준, 수문·통문게이트설계요령 및 농지개량사업 계획설계기준(해면간척편) 등을 참고하여 검토하여야 함
- 부재의 적용치수는 주로 설계도서를 기준으로 하고, 특별한 경우(부식이 많이 진행된 경우 등)에는 실측값을 적용함
- 구조안전성능 평가는 부재의 휨, 전단 등에 대한 응력비(허용응력/발생응력) 값에 따라 안전성능 평가 결과를 결정함

[표 7.29] 문비 구조검토에 대한 구조안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	산출된 응력비가 1.5 이상인 경우
b	4	산출된 응력비가 1.5 미만 1.1이상인 경우
c	3	산출된 응력비가 1.1 미만 1.0이상인 경우
d	2	산출된 응력비가 1.0 미만 0.9이상인 경우
e	1	산출된 응력비가 0.9미만인 경우나, 부식으로 단면손실이 있는 경우

7.4.3 안전성능 평가 결과 산정 방법

가. 수문 시설물 평가 단계별 절차

수문 시설물의 안전성능 평가는 아래 그림과 같이 단계별로 구분할 때, 통합시설물 (6단계)에 해당하는 시설물로 간주하고 있으며, 수문 시설물은 크게 수문 구조물, 문비 및 기계설비 등으로 구분하여 평가한다.

외관조사망도는 개별부재에 대하여 작성하는 것을 원칙으로 하고, 필요시 개별부재의 크기, 면적에 따라 부위별로 분할하여 작성한다.



Note ; $E_1 \sim E_7, E_8$: 평가지수, M : 상태평가 점수, F : 영향계수, A : 조정계수, W : 중요도

[그림 7.3] 수문 시설물 평가 단계별 절차

나. 안전성능 평가 단계별 구분

1) 수문구조물

수문 구조물을 복합시설물로 보고 이를 하위단계인 개별시설, 복합부재, 개별부재로 구분한 후 개별부재부터 평가를 실시한다.

평가의 최초단계인 손상상태 평가표에 대한 외관조사망도는 개별부재에 대하여 작성하는 것을 원칙으로 하고 필요시 개별부재의 크기, 면적에 따라 부위별로 분할하여 작성한다. 시설물의 상태를 평가하기 위하여 시설물을 평가단계별로 구분하여 다음 표와 같이 평가단계별 구분표를 작성한다.

[표 7.30] 수문구조물의 안전성능 평가단계별 구분표

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분					
평가구분		평가대상						
안전 성능 평가	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상)	조작대 문기동 보기동 문틀 기초상판	-유입구 좌 물받이 우 물받이 ...	-유입구 좌 날개벽 우 날개벽 ...	좌측벽체 상부슬래브 우측벽체 하부슬래브 ...	-상부구조 교량상면 교량하면 ...	블록1, 블록2, ...
	2단계	개별부재	(좌측면, 우측면, ...)	-유출구 좌 물받이 우 물받이 ...	-유출구 좌 날개벽 우 날개벽 ...		-하부구조 교대1 교각1 ...	
	3단계	복합부재	본체	물받이	날개벽	암거	관리교량	인접제방
	4단계	개별시설	수문본체	배수시설물			부대시설	
	5단계	복합시설	수문 구조물, <문비>					
	6단계	통합시설	수 문					

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

2) 문비 및 기계설비

문비 및 기계설비의 상태를 평가하기 위한 평가단계별 구분은 단경간(1련) 수문에 있는 문비 및 기계설비를 개별시설에 해당하는 것으로 하고, 이를 권양기, 문비로 구분하여 복합부재로 평가한다. 또한 각각의 복합부재를 다음 표와 같이 개별부재로 분류하고, 설치되어 있는 개별부재의 중요도는 동일하게 적용한다.

권양기 등 기계설비를 선택과업으로 조사한 경우 4단계 평가 시, 규모는 복합부재의 중요도를 권양기 39%, 문비 61%를 적용한다.(책임기술자는 현장 여건에 따라 중요도를 20% 범위 내에서 조정가능)

문비의 손상상태평가표는 복합부재에 대하여 작성하며, 주로 손상상태를 기록하고 필요한 경우에만 개략도를 포함하여 작성한다.

문비 및 기계설비에 대한 상태안전성능 평가 절차는 수문본체 구조물과 같은 방법 및 절차로 수행한다.

[표 7.31] 문비 및 기계설비의 안전성능 평가단계별 구분표

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 단계별 구분		
평가구분		평가대상			
안전성능 평가	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상)	-권양기 로프 드럼 감속기 제동장치	-권양기 로프 드럼 감속기 제동장치	...
	2단계	개별부재	-문비 외관 보강재 수밀부 롤러부(가이드 플레이트포함) (부위1, 부위2 ...)	-문비 외관 보강재 수밀부 롤러부(가이드 플레이트포함) (부위1, 부위2 ...)	
	3단계	복합부재	권양기1 문비1	권양기2 문비2	...
	4단계	개별시설	문비 및 기계설비 1	문비 및 기계설비 2	...
	5단계	복합시설	문비, 기계설비, <수문 구조물>		
	6단계	통합시설	수문		

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

다. 상태안전성능 평가 결과 산정 방법

1) 1단계 상태안전성능 평가 : 부재(部材)별 손상상태 평가표 작성

시설물의 상태안전성능 평가 단계별 구분표에 따라 개별부재를 1개 외관조사망도 또는 필요에 따라 부위별로 다수의 외관조사망도로 구분하여 개략도에 손상 및 결함상태를 도시하고, 조사결과표에 개별부재에 대한 손상내용을 상세히 기록한 후, 그 손상 정도에 대하여 5단계(a~e) 상태안전성능 평가 결과 및 평가점수를 부여한다.

손상상태 평가표에는 평가항목에 없는 상태변화라 할지라도 모두 기록하는 것을 원칙으로 한다.

각 상태변화에 대한 상태안전성능 평가 결과가 c, d, e 등급일 경우 보수·보강 우선 순위에 따라 보수·보강 실시한다.

[표 7.32] 부재(부위)별 손상상태평가표(예)

부위(망번호) / 개별부재		복합부재 / 개별시설		표번호	
좌측면 / 조작대		본체1 / 수문본체		No. 1-1	
※ 필요시 별도의 용지에 아래의 조사결과표를 작성					
조 사 결 과 표					
번호	손상(결함)종류	손상(결함)내용	단 위	크 기	평가결과
①	균열	건조수축균열	폭(mm) × 길이(cm)	0.2 × 150	b
②	균열	구조적균열	폭(mm) × 길이(cm)	0.3 × 230	c
③	박락	배력철근을 따라 발생	면적(m²)	15.0	d
④	기초세굴	보기동하부세굴	면적(m²)×깊이(m)	8.5 × 0.08	d
조사일자 : 20 . .			조사자 : 홍길동, 김철수		

2) 2단계 상태안전성능 평가 : 개별부재(個別部材) 평가표 작성

암거의 특정구간이 긴 경우에는 이 구간을 1개의 개별부재로 평가할 때, 일부에 발생한 손상이 개별부재의 평가결과에 미치는 영향이 크므로, 그 손상이 부재에 영향을 미칠 수 있는 범위(길이 10~30m) 또는 수축이음부를 기준으로 다수의 외관조사망도로 구분하고 각각을 개별부재로서 평가한다. 개별부재별로 작성된 외관조사망도에 나타난 손상 및 결함을 평가유형별로 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분한다.

개별부재의 평가는 각각의 손상 및 결함에 대한 평가기준에 따른 평가점수(M)에 손상 및 결함이 부재의 안전에 미치는 영향을 반영한 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 산출한다. 산출된 결함 및 손상의 상태안전성능 평가지수(E_1) 중 최솟값을 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) 및 상태안전성능 평가 결과로 결정한다.

[표 7.33] 상태안전성능 평가 결과별 평가지수 및 평가유형별 영향계수

평가기준별 평가지수 범위		구 분		영 향 계 수				
평가기준	평가지수 ($E_1 \sim E_7, Es, Ec$)	평가기준에 따른 평가점수		a:5	b:4	c:3	d:2	e:1
a	$4.5 \leq E_1 \leq 5.0$	평 가 유 형	중요결함	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
b	$3.5 \leq E_1 < 4.5$		국부결함	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0
c	$2.5 \leq E_1 < 3.5$			1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
d	$1.5 \leq E_1 < 2.5$		일반손상	1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
e	$1.0 \leq E_1 < 1.5$							

<해 설>

- 결함 및 손상의 상태안전성능 평가지수(E_1) = $M \times F$ (여기서, M : 평가점수, F : 영향계수)
- 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) = Min (다수의 E_1 값)
- 평가결과를 결정하기 위한 평가지수 값은 소수3째 자리를 반올림하여 사용함

[표 7.34] 개별부재 평가표(예)

개 별 부 재 :	조작대 / 본체1				표번호
1단계 표번호 :	1-1, 1-2				2-1
조사항목	평가유형	평가기준	평가점수	영향계수	평가지수
			M	F	$E_1 = M \times F$
균열	중요결함	표 -	3	1.0	3.0
박락	국부결함	표 -	4	1.1	4.4
누수	일반손상	표 -	3	1.3	3.9
1. 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) = 상태안전성능 평가지수 E_1 중 최솟값 = 3.0					
2. 개별부재의 상태안전성능 평가 결과 = c					

3) 3단계 상태안전성능 평가 : 복합부재(複合部材) 평가표 작성

복합부재는 개별부재의 집합으로 주요부재와 보조부재로 구분할 수 있다.

복합부재의 평가는 개별부재가 구조체의 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도를 반영하고, 개별부재의 중요도의 합이 100이 되도록 한다. 중요도를 규정하지 않은 기타의 다른 복합부재에 속하는 개별부재들은 부재숫자에 따라 균등배분하거나 면적 등의 규모 비율을 적용하여 중요도의 합이 100이 되도록 한다. 책임기술자는 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정할 수 있고, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응한 보정을 하기 위하여 조정계수를 사용한다.

복합부재의 평가지수(E_3) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 평가지수(E_2)별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재 전체의 안전성능을 평가절하 한다.

단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출한다.

복합부재의 평가는 개별부재의 평가지수(E_2)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3)를 산출하고 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

$$\text{복합부재의 상태안전성능 평가지수}(E_3) = \sum(E_2 \times A \times W) / \sum(A \times W)$$

여기서, E_2 : 개별부재의 상태안전성능 평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 7.35] 평가지수에 따른 조정계수

평가결과	a	b	c	d	e
평가지수 ($E_1 \sim E_7$, Es, Ec)	5.0 ~ 4.5이상	4.5미만~ 3.5이상	3.5미만~ 2.5이상	2.5미만~ 1.5이상	1.5미만~ 1.0이상
조정계수(A)	1	2	3	6	6

[표 7.36] 중요도 조정방법

구분	조작대	문기둥	문틀	보기둥	기초상판	비고(합계)
중요도	16	20	18	26	20	100
중요도 (조정 후)	—	$20 \times 100 / 84$ = 24	$18 \times 100 / 84$ = 21	$26 \times 100 / 84$ = 31	$20 \times 100 / 84$ = 24	100

<해 설>

- 부재가 추가되거나 제외되는 경우, 중요도 환산 방법을 참조하여 중요도 산정

[표 7.37] 복합부재 평가표(예)

복 합 부 재 :	본체1/수문 구조물					표번호
2단계 표번호 :	2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5					No. 3-1
개별부재	평가결과	평가지수 E2	조정계수 A	중요도(%) W	계산값 A × W	계산값 E ₂ ×A×W
조작대	c	3.0	3	16	48	144.0
문기둥	b	3.6	2	20	40	144.0
문틀	b	3.6	2	18	36	129.6
보기둥	b	3.6	2	26	52	187.2
기초상판	b	3.6	2	20	40	144.0
합계(Σ)				100	216	748.8
<조사자 의견>						
1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) = $\Sigma(E_2 \times A \times W) / \Sigma(A \times W)$ =						3.47
2. 복합부재의 상태안전성능 평가 결과 =						c

<해설>

- 기타 구조물의 중요도는 부재숫자에 따라 균등하게 부여하거나 부재 규모로 부여하도록 하며, 중요도 부여방식은 책임기술자가 정함

4) 4단계 상태안전성능 평가 : 개별시설(個別施設) 평가표 작성

수문 구조물의 개별시설은 동일기능을 수행하는 복합부재의 집합으로 구성된다.

개별시설의 평가는 복합부재가 구조체의 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도를 반영하고, 복합부재의 중요도의 합이 100이 되도록 한다.

중요도를 규정하지 않은 기타의 다른 복합부재에 속하는 개별부재들은 부재숫자에 따라 균등배분하거나 면적 등의 규모 비율을 적용하여 중요도의 합이 100이 되도록 한다.

책임기술자는 복합부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정이 가능하다.

개별시설의 평가는 복합부재의 중요도가 같다는 가정 하에 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E3)에 중요도를 반영하여 개별시설의 상태안전성능 평가지수(Ec)를 산출하고 상태안전성능 평가 결과를 결정한다. 또한 개별시설의 평가단계에서는 구조안전성능 평가를 수행하여 종합평가 결과를 결정한다.

$$\text{개별시설의 상태안전성능 평가지수}(E_c) = \text{Min} + V_1 \times V_2$$

여기서, $V_1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$

$$V_2 = \sum(E_3 \times W) / (5 \times \sum W)$$

W : 중요도

Max : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) 최댓값Min : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) 최솟값

[표 7.38] 중요도 조정방법

구 분	본체	배수시설물			부대시설		비 고
		물받이	날개벽	암거	관리고	인접제방	
중요도	100	18	19	63	35	65	$18+19+63 \Rightarrow 100$ $35+65 \Rightarrow 100$

<해 설>

- 상기 예시는 시설물에서 어느 특정 부재가 추가되거나 없는 경우에 중요도를 조정하여 중요도의 합이 100이 되도록 조정하기 위한 방법임

[표 7.39] 개별시설 상태안전성능 평가표(부분 예시)

개 별 시 설 :	배수시설물			
3단계 표번호 :	3-2, 3-3, 3-4			
복합부재명	평가결과	평가지수 E_3	중요도 W	계산값 $E_3 \times W$
물받이공	c	3.44	18	61.92
날개벽	b	3.50	19	66.50
암거	b	3.77	63	237.51
합계(Σ)			100	365.93
<조사자 의견>				
1. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최댓값 (Max. Value) =				
				3.77
2. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최솟값 (Min. Value) =				
				3.44
3. $V_1 = 0.3 \times (\text{Max.} - \text{Min.}) = 0.3 \times (3.77 - 3.44) =$				
				0.10
4. $V_2 = \Sigma(E_3 \times W) / (5 \times \Sigma W) = 365.93 / (5 \times 100.0) =$				
				0.73
5. 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_c) = Min.+ $V_1 \times V_2$				
				3.51
6. 개별시설의 상태안전성능 평가 결과 =				
				b

○ 구조안전성능 평가 결과 산정 방법

각종 해석을 통하여 각각의 구조 안전성능 평가 결과가 결정되면 이들을 종합하여 하나의 안전성능 평가 결과를 결정하기 위하여 본 평가체계에서 다음과 같은 수식을 사용한다.

이 수식에 의해 산출되는 평가지수(E_s)는 각 검토항목의 구조안전성능 평가 결과 중 가장 낮은 구조안전성능 평가 결과보다 다소 상향된 결과로 평가된다.

$$\begin{aligned} \text{구조안전성능 평가지수}(E_s) &= L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N-2)}, \quad (N > 2) \\ &= L + 0.3(H - L), \quad (N = 2) \end{aligned}$$

여기서, N : 구조안전성능 검토항목 수

L : 검토항목의 안전성능 평가 지수(평가점수) 중 최솟값

H : 검토항목의 안전성능 평가 지수(평가점수) 중 최댓값

M_i : 검토항목의 최대 및 최솟값을 제외한 나머지 값들

[표 7.40] 수문구조물 구조안전성능 평가표(예)

구 조 안 전 성 능 평 가					
평가항목	평가결과	평가점수	평가항목	평가결과	평가점수
1. 내하력	a	5	4. 기타 검토2	b	4
2. 조작대접근성	b	4	5. 기타 검토3	d	2
3. 기타 검토1	c	3			
<검토자 의견>					
1. 평가항목수(N)에 따라 E_s 수식 선택					
1.1) $N=1$ 이면 $E_s = \text{Min}$, $N=2$ 이면 $E_s = \text{Min} + 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$					
1.2) $N>2$ 이면 $E_s = \text{Min} + 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min}) \times \sum M / (5 \times (N-2))$					
(Max, Min = 평가점수 최대, 최솟값 : M = 최대, 최솟값을 제외한 나머지 중간값)					
2. 개별시설 구조안전성능 평가지수(E_s) =				2.66	
3. 개별시설 구조안전성능 평가 결과 =				C	

○ 안전성능 평가 기준

시설물의 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 안전성능 평가를 결정하며, 시설물에 대한 안전성능 평가 기준은 아래 표에 따라 결정한다.

[표 7.41] 안전성능 평가지수에 따른 안전성능 평가기준

안전성능 평가지수(E)	안전성능 평가기준	비 고
$4.5 \leq E \leq 5.0$	A	
$3.5 \leq E < 4.5$	B	
$2.5 \leq E < 3.5$	C	
$1.5 \leq E < 2.5$	D	
$1.0 \leq E < 1.5$	E	

○ 안전성능 평가 결과 산정

평가대상 개별시설에 대하여 상태안전성능 평가 및 구조안전성능 평가를 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능 평가지수와 구조안전성능 평가지수를 비교하여 작은 값을 종합평가를 위한 안전성능 평가지수(E)로 결정·적용하여 개별시설의 안전성능 평가 결과를 결정하고, 평가단계별로 그 결과를 취합하여 안전성능 평가를 실시한다.

구조안전성능 평가를 실시하지 않은 경우는 상태안전성능 평가지수를 종합평가지수로 갈음한다.

안전성능 평가 결과는 상태안전성능 평가지수와 구조안전성능 평가지수 중에서 작은 값을 개별시설의 안전성능 평가지수(E_4)로 적용하여 시설물에 대한 종합평가 결과를 부여한다.

$$\text{개별시설의 안전성능 평가지수 } (E_4) = \text{Min}(E_c, E_s)$$

여기서, E_c : 개별시설의 상태안전성능 평가지수

E_s : 개별시설의 구조안전성능 평가지수

[표 7.42] 수문본체 구조안전성능 평가표(예)

개 별 시 설 :	수 문 본 체			표번호 4-1	
3단계 표번호 :	3-2, 3-3, 3-4				
상 태 안 전 성 능 평 가					
복합부재명	평가결과	평가지수(E_3)	규 모S(m)	계산값($E_3 \times S$)	
물받이공	c	3.44	18	61.92	
날개벽	b	3.50	19	66.50	
암거	b	3.77	63	237.51	
합계(Σ)			100.0	365.93	
1. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최댓값 (Max. Value) =				3.77	
2. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최솟값 (Min. Value) =				3.44	
3. $V1 = 0.3 \times (\text{Max.} - \text{Min}) = 0.3 \times (3.77 - 3.02) =$				0.10	
4. $V2 = \Sigma(E_3 \times S) / (5 \times \Sigma S) = 362.9 / (5 \times 105.0) =$				0.73	
5. 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_c) = $\text{Min.} + V_1 \times V_2$				3.51	
6. 개별시설의 상태안전성능 평가 결과 =				b	
구 조 안 전 성 능 평 가					
평가항목	평가결과	평가점수	평가항목	평가결과	평가점수
1. 내하력	a	5	4. 기타 검토2	b	4
2. 조작대접근성	b	4	5. 기타 검토3	d	2
3. 기타 검토1	c	3			
1. 평가항목수(N)에 따라 E_s 수식 선택					
1.1) $N=1$ 이면 $E_s = \text{Min}$, $N=2$ 이면 $E_s = \text{Min} + 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$					
1.2) $N>2$ 이면 $E_s = \text{Min} + 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min}) \times \Sigma M / (5 \times (N-2))$ (Max, Min = 평가점수 최대, 최솟값 : M = 최대, 최솟값을 제외한 나머지 중간값)					
2. 개별시설 구조안전성능 평가지수(E_s) =				2.66	
3. 개별시설 구조안전성능 평가 결과 =				C	
개 별 시 설 안 전 성 능 평 가					
1. 개별시설 안전성능 평가지수(E_4) = $\text{Min}(E_c, E_s)$				2.66	
2. 개별시설 안전성능 평가 결과 =				C	

5) 5단계 안전성능평가 : 복합시설(複合施設) 평가표 작성

수문 구조물은 각각 기능에 따라 주요시설과 보조시설로 구분할 수 있으며, 개별시설의 기능에 문제가 발생할 경우 복합시설의 목적수행에 미치는 영향을 판단하여 개별시설의 중요도를 반영한다.

시설별 중요도 : 수문본체 63, 배수시설물 27, 부대시설 10

복합시설의 평가 시 중요도의 결정은 복합부재 평가(3단계평가)에서와 같은 방법으로 수행하며, 개별시설의 종합평가지수(E_4)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 복합시설의 안전성능 평가지수(E_5)를 산출하고 안전성능 평가 결과를 결정한다.

$$\text{복합시설의 상태안전성능 평가지수}(E_5) = \sum(E_4 \times A \times W) / \sum(A \times W)$$

여기서, E_4 : 개별시설의 평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 7.43] 복합시설 평가표(예)

복 합 시 설 :		수문 구조물				표번호
4단계 표번호 :		4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5				5-1
개별시설	평가결과	평가지수 E_4	조정계수 A	중요도(%) W	계산값 $A \times W$	계산값 $E_4 \times A \times W$
수문본체	C	2.66	3	63	189.0	502.74
배수시설물	C	2.66	3	27	81	215.46
부대시설	C	3.27	3	10	30.0	98.1
합계(Σ)				100	300	816.3
<조사자 의견>						
1. 복합시설의 안전성능 평가지수(E_5) =						
$\Sigma(E_4 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 816.3 / 300 =$						2.72
2. 복합시설의 안전성능 평가 결과 =						C

6) 6단계 안전성능 평가 : 통합시설(統合施設) 평가표 작성

수문은 유지관리 방법이 다른 복합시설(수문 구조물, 문비 등)로 구성된 시설로 통합 시설에 해당한다. 각각의 시설에 문제가 발생할 경우 시설의 안전과 목적수행에 미치는 영향은 차이가 발생할 수 있으므로 복합시설이 통합시설에 미치는 영향을 고려하여 그 중요도를 반영하며, 이때 복합시설의 중요도의 합은 100이 되도록 규정한다. 책임기술 자는 복합시설의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정할 수 있다.

○ 중요도가 규정되지 않은 추가적인 복합시설이 있는 경우

- 책임기술자가 그 복합시설의 중요도를 판단하여 정하고, 기타의 복합시설들은 규정된 비율대로 배분하여 감함

○ 중요도는 제시되어 있으나 해당 복합시설이 없는 경우

- 그 중요도를 나머지 복합시설에 가중 배분함

통합시설의 평가는 복합시설의 종합평가지수(E_5)에 조정계수 및 중요도를 반영하여 통합시설의 종합평가지수(E_6)를 산출하고 종합평가 결과를 결정한다. 수문 시설물의 평가는 통합시설 평가표(6단계평가)를 작성하는 것으로 종료된다.

$$\text{통합시설의 종합평가지수}(E_6) = \sum(E_5 \times A \times W) / \sum(A \times W)$$

여기서, E_5 : 복합시설의 평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 7.44] 복합시설의 중요도 조정방법 (예)

구 분	수문 구조물	문비 및 기계설비	비 고
중요도	75±15(20%)	25±5(20%)	75 + 25 = 100
중요도 (조정 후)	75 + 5 ⇒ 80	25 - 5 ⇒ 20	80 + 20 = 100

[표 7.45] 통합시설 평가표(예)

통 합 시 설	수문					표 번호
5단계 표번호	5-1, 5-2					No. 6-1
복합시설	평가결과	평가지수 E_5	조정계수 A	중요도(%) W	계산값 $A \times W$	계산값 $E_5 \times A \times W$
수문 구조물	C	2.72	3	75	225.0	612.0
문비 및 기계설비	B	3.63	2	25	50.0	181.5
합계(Σ)				100	275	793.5
<조사자 의견>						
1. 통합시설의 안전성능 평가지수(E_6) = $\sum(E_5 \times A \times W) / \sum(A \times W) = 793.5 / 275.0 =$						2.89
2. 통합시설의 안전성능 결과 =						C

7.5 내구성능 평가 기준 및 방법

7.5.1 일반

시설물의 내구성능 평가는 크게 강재 내구성능 평가 및 콘크리트 내구성능 평가 분야로 구성된다. 각각의 평가분야에서 부재별 평가 및 가중치를 적용한 등급산정을 하고, 각 등급산정 결과에 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 시설물 내구성능에 대한 최종 등급을 결정한다.

7.5.2 강재 내구성능 평가 지표 및 기준

가. 개요

강재 내구성능 평가지표(평가항목)는 크게 내부적 요소와 외부적 요소로 구분되며, 수문 시설물의 경우 내부적 요소는 발청 및 도장열화 및 도장두께, 외부적 요소는 해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도 등을 포함한 대기환경으로 구성된다.

여기서, 문비의 도장열화는 발청을 포함하여 박리, 균열, 부품, 변색·백아화 등 5가지 열화요인에 대해 각각 평가하고 중요도 비율에 따라 합산 및 등급산정을 한다.

권양기는 와이어로프에 대하여 발청, 직경감소, 소선절단 등의 지표에 대하여 평가하도록 제시하고 있으나, 권양기 형식이나 액츄에이팅 방식이 상이한 경우, 이들 지표는 강재 내구성능 평가단계에서 제외할 수 있다. 다만, 평가에서 제외된 경우라 하더라도 조사된 내용은 보수보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.

[표 7.46] 세부시설물별 강재 내구성능 평가지표

세부시설물	평가지표
문비	발청 및 도장열화 (발청, 박리, 균열, 부품, 변색·백아화)
	도장두께
	대기환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)
권양기 와이어로프	발청
	직경감소
	소선절단
	대기환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)





나. 강제 내구성능 평가 성능지표 및 기준

1) 발청 및 도장열화

(가) 발청(표면부식, 녹) : 문비 및 공도교

[표 7.47] 발청의 평가기준

평가기준	발청 면적	외관 상태
a	0.05% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)
c	0.5 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 3)
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 4/5)

발청			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4/5
			

(나) 발청(표면부식, 녹) : 권양기 와이어로프

[표 7.48] 발청 평가기준(권양기 와이어로프)

평가기준	점녹 및 부식 길이	비고
a	점녹 발생 없음	점녹 및 부식에 의해 와이어로프 전체 단면의 감소가 발생하거나 내부소선의 부식 및 단면손상이 발생할 경우는 내구성능 평가 대상에서 제외되며 안전성능 분야에서 평가함
b	점녹 발생 길이 10% 미만	
c	점녹 발생 길이 10% 이상 부식 발생 길이 2% 미만	
d	부식 발생 길이 2% 이상	

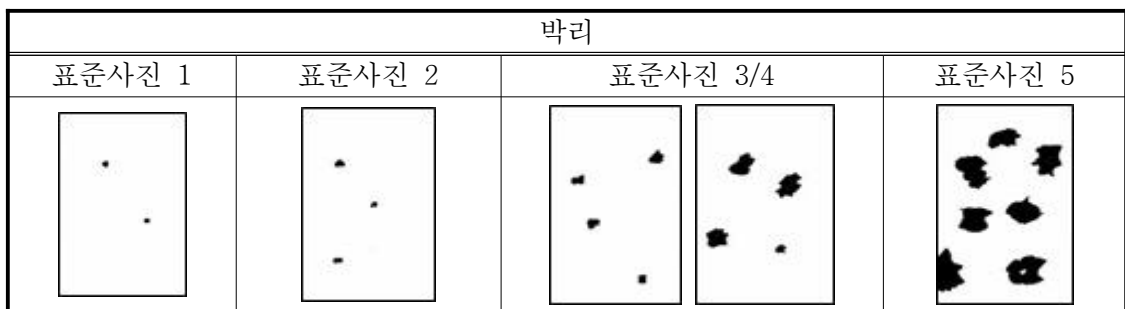
<해 설>

- 권양기 와이어로프는 1차원 형태의 부재로서 열화면적에 의한 평가가 어려우며, 길이 단위로 평가함
- 점녹은 점 모양의 부식이 발생한 것을 말하며, 일반적인 부식에 비해 완화된 기준에 해당함
- 점녹 및 부식에 의해 와이어로프 전체 단면의 감소가 발생하거나 내부소선의 부식 및 단면손상이 발생할 경우는 내구성능 평가 대상에서 제외되며 안전성능 분야에서 평가함

(다) 도장 박리

[표 7.49] 도장박리의 평가기준

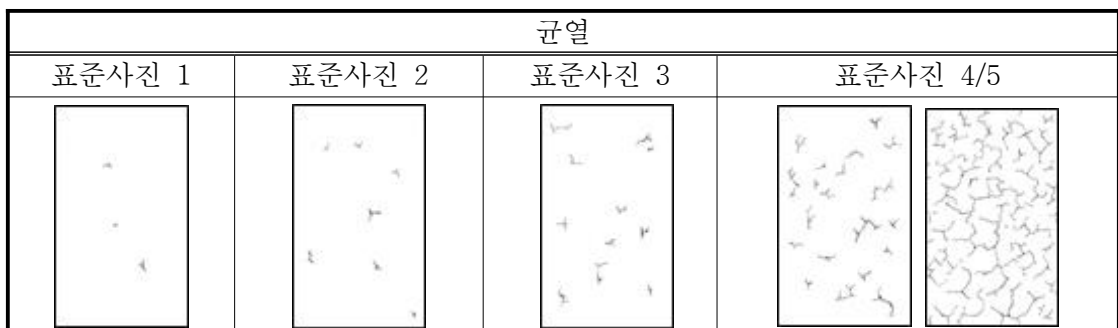
평가기준	도장 박리 면적	외관 상태
a	0.1% 미만	외관상 박리가 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)
b	0.1% 이상 ~ 0.3% 미만	미소하게 박리가 확인되지만, 박리된 부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)
c	0.3% 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 박리가 보이는 상태(표준사진 3/4)
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 박리가 발생되어 있는 상태(표준사진 5)



(라) 도장균열

[표 7.50] 도장균열의 평가기준




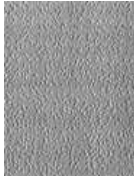
평가기준	도장 균열 면적	외관 상태
a	0.05% 미만	외관상 균열이 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 균열이 확인되지만, 균열부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)
c	0.5% 이상 ~ 10.0% 미만	확실하게 균열이 보이는 상태(표준사진 3)
d	10.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태(표준사진 4/5)



(마) 도장부품

[표 7.51] 도장부품의 평가기준





부품 크기 / 발생면적	0 ~ 0.05% 미만 (표준사진 밀도 2 이하)	0.05 이상 ~ 0.5% 미만 (표준사진 밀도 3)	0.5 이상 ~ 5.0% 미만 (표준사진 밀도 4)	5.0% 이상 (표준사진 밀도 5 이상)
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하 (크기등급 2)	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도 (0.5mm이하) (크기등급 3)	a	b	c	d
0.5~5mm의 범위 (크기등급 4)	b	c	c	d
5mm 초과 (크기등급 5)	c	d	d	d

부품 (크기등급 3: 0.5mm 부품에 대한 예)			
표준사진 밀도 2 이하	표준사진 밀도 3	표준사진 밀도 4	표준사진 밀도 5 이상
			

(바) 변색 및 백아화

[표 7.52] 변색 및 백아화의 평가기준

평가 기준	변색	백아화
a	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음(표준사진 1)
b	초기에 비해 변색되어 있음	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착(표준사진 2)
c	초기에 비해 현저하게 변색되어 있음	초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착(표준사진 3)
d	초기의 색이 거의 남아 있지 않음	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음(표준사진 4)

백아화			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4
			

<해 설>

- 각 표준사진에서 최우측단의 색상이 도장 본래의 색에 해당하며, 좌측의 색상은 도장 열화수준에 따라 구분됨

2) 도장두께

[표 7.53] 도장두께 평가기준

평가기준	시방서 및 시공기준 대비 허용두께 불만족 비율
a	5% 미만
b	5% 이상 ~ 30% 미만
c	30% 이상 ~ 70% 미만
d	70% 이상
e	—

<해 설>

- 조사대상 개소수의 평균값
- 시방서 및 시공기준 대비 허용두께 미달 비율

3) 대기환경(해안 이격거리/이산화황 농도/습도)

[표 7.54] 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 (일)	해안 이격거리 (m) 이산화황 (ppm)	동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안	
		전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역	전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역	전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역
		500 초과	1000 초과	300 초과	100 초과	20 초과	250 초과 ~ 500 이하	500 초과 ~ 1000 이하	120 초과 ~ 300 이하	50 초과 ~ 100 이하	10 초과 ~ 20 이하	비말대 초과 ~ 250 이하	비말대 초과 ~ 500 이하	비말대 초과 ~ 120 이하	비말대 초과 ~ 50 이하	비말대 초과 ~ 10 이하
		MDD ≤ 1.5					1.5 < MDD ≤ 2.0					2.0 < MDD ≤ 비말대				
100 초과	0.01 이하	a					b					c				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	c					c					c				
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a					b					b				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	b					c					c				
10 미만	0.01 이하	a					a					b				
	0.01 초과 0.02 이하															
	0.02 초과															

<해 설>

- 비래염분량(mg/100cm²/day, MDD) : 10cm×10cm의 면적에서 1일간 측정되는 염분량을 NaCl량으로 나타낸 값
- 연간 젖음 시간 : 0도씨 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간
- 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고하여 설정함
- 부식속도가 높음 및 매우 높은 경우 이에 대해 각각 b등급 및 c등급을 적용함
- 각 등급별 평가점수(대푯값)은 a : 5.0, b : 4.0, c : 3.0, d : 2.0, e : 1.0을 적용함

4) 권양기 와이어로프

(가) 직경감소

[표 7.55] 와이어로프 직경감소 평가기준

평가기준	와이어로프 직경 감소
a	없음 또는 1% 미만
b	1% 이상, 4% 미만
c	4% 이상, 7% 미만
d	7% 이상
e	—

<해 설>

- 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 대상 와이어로프 당 버니어 캘리퍼스로 3개소 이상을 측정하되, 1개소 당 일정간격을 두고 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균 직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단함
- 직경 측정은 준공 당시 와이어로프의 부하상태와 동일한 상태에서 측정하며, 기준이 되는 직경 값 또한 준공당시와 같은 부하상태에서의 직경을 기준으로 함

(나) 소선절단

[표 7.56] 와이어로프 소선절단 평가기준

평가기준	와이어로프 소선 절단
a	없음 또는 1% 미만
b	1% 이상, 5% 미만
c	5% 이상, 10% 미만
d	10% 이상
e	—

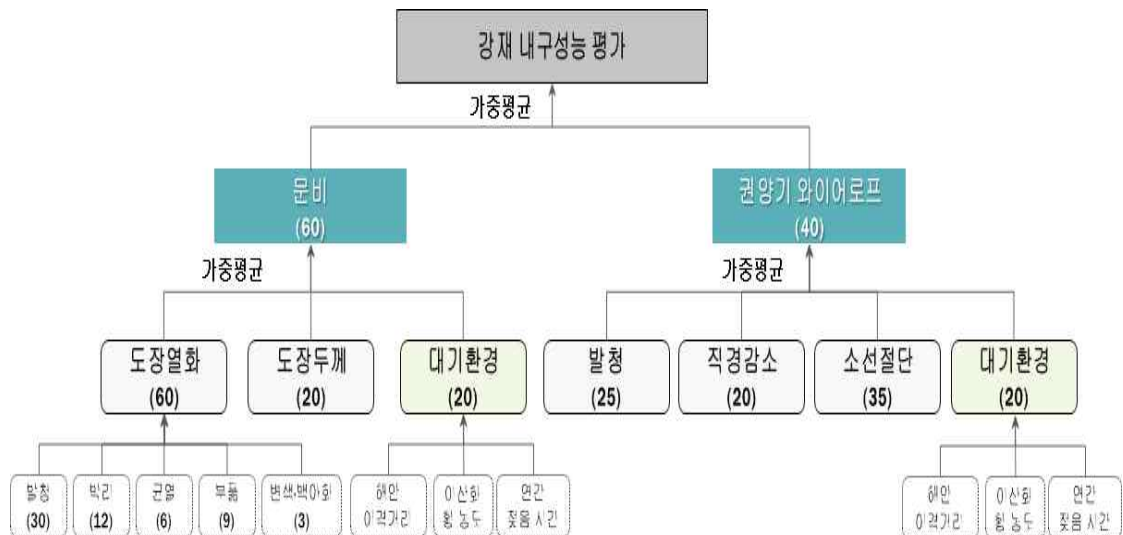
<해 설>

- 와이어로프의 구조는 일반적으로 스트랜드 수 × 스트랜드를 구성하는 소선의 수로 표시되며, 와이어로프의 소선 절단율은 와이어로프의 한 꼬임(스트랜드)에서 끊어진 소선의 수를 육안으로 세어 산정함
- 소선 절단율(%) = 한 스트랜드에서 절단된 소선수/한 스트랜드의 총 소선수 × 100

다. 강제 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

강제 내구성능 평가 결과 산정방법은 평가항목별 가중치 및 부재별 가중치에 따라 내구성능을 평가하는 방법을 활용하여 등급을 산정하는 절차를 따르며, 강제 내구성능 평가절차는 다음 그림과 같다. 다만, 권양기 형식이나 액츄에이팅 방식이 상이한 경우 ‘권양기 와이어로프’ 관련 지표는 강제 내구성능 평가단계에서 제외할 수 있다. 다만, 평가에서 제외된 경우라 하더라도 조사된 내용은 보수보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.



[그림 7.4] 강제 내구성능 항목별 세부 평가방법

2) 평가항목별 가중치

(가) 발청 및 도장열화 가중치

강제의 발청, 도장의 박리, 균열, 부품, 변색 및 백아화 등 각 지표별 평가결과에 의한 열화정도를 등급별 점수화하고, 아래 표와 같은 각 지표별 가중치를 적용 및 합산하여 ‘발청 및 도장열화’에 대한 종합점수를 산정한다.

[표 7.57] 강제 발청 및 도장열화의 각 세부지표에 대한 등급별 점수

세부지표 등급	발청	박리	균열	부품	변색 및 백아화	종합점수 (세부지표별 등급점수의 합계)
a	5 (0)	2 (0)	1 (0)	1.5 (0)	0.5 (0)	10
b	10	4	2	3	1	20
c	20	8	4	6	2	40
d	35	14	7	10.5	3.5	70

<해 설>

- 시설물 상태안전성능 평가 결함도 점수표의 점수배분율을 참고하여 ‘발청 및 도장열화’ 전체의 종합등급 배점은 A등급 10점, B등급 20점, C등급 40점, D등급 70점으로 한다.
- a등급에 대한 점수는 어떠한 열화도 발견되지 않았다면 0점을 부여한다.

(나) 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

‘발청 및 도장열화’에 대한 종합점수는 다음과 같다. 이는 결함도 기준으로 평가된 점수(S)로서 다음 식에 따라 수리시설물인 댐의 점수 분류체계(DS)로 변환하여 평가한다.

$$DS = DS_1 + \Delta DS$$

$$\Delta DS = \frac{(S - S_1)(DS_2 - DS_1)}{(S_2 - S_1)}$$

여기서, DS : ‘발청 및 도장열화’ 지표에 대한 등급점수

DS_1 : 해당 등급에 대한 최솟값

DS_2 : 해당 등급에 대한 최댓값

S : 세부지표 평가결과로부터 얻은 열화 종합점수

S_1 : 해당 등급에 대한 열화 종합점수 최솟값

S_2 : 해당 등급에 대한 열화 종합점수 최댓값

[표 7.58] 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

등급	등급 점수범위 (DS1 ~ DS2)	종합점수 (S1 ~ S2)	등급 정의	비고
a	4.5 ~ 5.0	13 미만	부식 및 도장열화로 인하여 내구성능 저하를 무시할 수준의 단계	-다음 회 조사 시에는 전번 조사결과를 참고하여 조사위치 및 수량을 결정함
b	3.5 ~ 4.5	13 이상 ~ 26 미만	경미한 결함이 있으나 그 이외의 부분에 대해서는 전반적으로 양호한 단계	
c	2.5 ~ 3.5	26 이상 ~ 49 미만	결함이 발생된 부재에 대해 일부 보수가 필요한 단계	
d	1.5 ~ 2.2	49 이상	광범위한 보수를 시행해야 하는 단계	

<해 설>

- 조사대상 문비는 조사방법 및 수량에 맞게 열화수준(낮음/보통/높음)이 고루 분포되도록 사전 육안조사에 의해 선정한다.
- 와이어로프는 일반적으로 조사대상 문비에 설치된 와이어로프를 조사하며, 열화항목 중 와이어로프에 대해서만 조사한다.

- 선정된 문비에 대해서는 평가기준에 따라 발청 및 도장열화를 조사하여 등급별 점수를 계산하고 그 외의 문비는 유사문비로 지정하여 책임기술자의 판단하에 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞는 구역으로 배분한다

- 열화수준에 따라 배분된 문비는 최종적으로 등급의 대푯값에 유사문비 수를 곱하고 평균값을 취하여 최종 등급을 산정한다.

(예) 문비수가 10개라고 가정하면, 최소 3개이상, 25%이상을 만족해야 하므로 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞도록 총 3개 문비를 선정하고 나머지 7개 문비는 선정된 3개 문비와 유사한 열화수준을 갖는 문비로 지정하여 배분한다.

- 상기 해설에서 ‘문비’란 여수로의 ‘강재수문’을 의미한다.

(다) 도장두께

도장 두께가 허용기준을 만족하지 못하는 경우, 균열 및 박리 또는 충격에 의한 깨짐 등과 같은 결함으로 이어질 수 있고, 이는 강재 내구성능 저하를 유발시킨다. 단, 발청/박리/균열 등과 같이 직접적인 열화가 아니므로, ‘도장열화’ 항목과는 별도로 평가한다.

① 도장 최소두께 및 최대두께

- 건설기준코드(구 시방서) 및 도장 제조업체에서는 요구 최소두께 및 최대두께를 제시하고 있다.
- 도장종류에 따라 최소 또는 최댓값이 명시되어 있지 않는 경우 일반적으로 규준두께의 80%를 최소두께, 120%를 최대두께로 할 수 있다.

② 도장 허용두께(SSPC-PA2 참고)

- 측정 1개소내의 3개 지점값(직경 40mm의 1개소에서 3번의 측정 실시)은 값에 제한이 없으나, 3개 지점의 평균값 즉, 1개소의 평균값은 건설기준코드(구 시방서) 최솟값의 80% 이상이어야 하며, 최댓값의 120% 이내이어야 한다.
- 조사단위면적 내 5개소의 최종 평균값은 건설기준코드(구 시방서) 최솟값 및 최댓값의 범위에 있어야 한다.

③ 도장 허용두께 불만족 비율

- 대상 조사구역은 일정 단위면적으로 나뉘질 수 있으며, 이러한 일정 단위면적을 조사단위면적으로 정의한다.
- 등급분류기준표에 제시된 ‘허용두께 불만족 비율’은 대상 조사구역 내의 도장 허용두께 불만족 비율로 정의한다(조사구역내 몇 %의 조사단위면적에서 허용두께가 불만족되는지에 대한 비율).

3) 강재내구성능 종합

(가) 문비

[표 7.59] 문비 평가항목별 가중치

구분	평가지표		가중치	
내부요인	도막 열화	발청	30	60
		박리	12	
		균열	6	
		부품	9	
		변색	3	
	도장두께		20	
외부 환경요인	대기 환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)		20	

(나) 권양기 와이어로프

[표 7.60] 평가항목별 가중치 (권양기 와이어로프)

평가지표	가중치
발청	25
대기환경	20
직경감소	20
소선절단	35

(다) 종합평가 가중치

[표 7.61] 문비 및 권양기 와이어로프 가중치

구분	가중치
문비	60
권양기 와이어로프	40

<해 설>

- 권양기 형식 또는 작동 방식이 상이하여 권양기 와이어로프 관련 항목이 평가에서 제외된 경우에는 문비에 대한 평가결과를 강재 내구성능 평가결과로 하며, 조사내용은 보수·보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.

(라) 강재내구성능 종합등급 산정

[표 7.62] 등급별 점수 및 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$4.5 \leq E \leq 5.0$	$3.5 \leq E < 4.5$	$2.5 \leq E < 3.5$	$1.5 \leq E < 2.5$	$1.0 \leq E < 1.5$

4) 결과산정 예

[표 7.63] 대상 수문 시설물

문비	형식	슬라이드 게이트
	갯수	5 sets
	제원(폭×높이)	4m × 8m
	도장 공용년수	10년
권양기 와이어로프	연결상태	수문 1식당 단일 전동기 설치
	길이	20m
	제원	Ø56 (6×37) Galvanized 설계(초기) 직경 56.5mm
환경조건	해안 이격거리	동해안으로부터 50km
	연간 젖음 시간(일)	75일
	이산화황 농도	0.0038ppm

(가) 도장열화 세부지표별 평가

○ 문비

- 발청 및 도장열화에 대해서는 대상 부재에 대해 단위섹션으로 구분하여 조사를 실시할 수 있으며(단위섹션 구분 예 : 2.0m×2.0m), 이는 조사의 편의를 위한 것이므로 열화된 것으로 조사된 섹션의 수 또는 비율이 강재 내구성능 평가결과에 영향을 미치지 않는다.
- 문비 1개당 앞, 뒷면을 모두 조사하는 것을 기본으로 한다.
- [표 7.64]는 문비에 대한 발청을 조사한 결과이다.
- 도장열화(박리/균열)의 경우도 같은 방법에 따라 조사하며, 산정된 유사 문비 수는 조사대상 문비를 포함한 총 개소수를 의미함
- 부품, 변색 및 백아화의 경우 정성적인 기준을 적용하므로 각 조사문비별 등급을 산정하고 다음과 같이 평가등급에 따른 평점을 합산하여 계산함
부품/변색 및 백아화 점수 = $[\sum(\text{조사 문비 평점} \times \text{유사문비 개수})] / \text{전체 문비수}$

[표 7.64] 열화섹션 조사 예

대표 문비	열화섹션 수	섹션별 발청면적 (cm ²)	유사 문비 개수
수문 G-1	3	5,816	2
		100	
		728	
수문 G-3	4	184	3
		188	
		180	
		188	

- 문비별 평점 산정 (발청에 대한 예): 문비별 평균 점수 산정 및 전체 문비에 대한 평점 산정함

[표 7.65] 도장열화 평점 산정(발청에 대한 예)

수문 번호	유사 문비 개수	발청 면적율(%)	등급	평점*
G-1	2	1.04	c	20
G-3	3	0.12	b	10

<해 설>

- 발청면적률(%) = (Σ섹션별 발청 면적 / 부재 면적) × 100
- 여기서 부재면적은 부재 외부 전체 면적을 의미함

[표 7.66] 발청 면적률 평균 산정 예

발청 면적률 평균(%)	평가결과	평점
0.48	b	10

<해 설>

- 발청면적률 평균 = (Σ조사문비 발청면적률 × 유사문비 개수)/전체 문비수

- 종합점수 산정 및 등급결정: 각 지표에 대한 평점을 산정하고, 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준을 참조하여 평가결과를 산정함

[표 7.67] 도장열화 평가결과 산정 예

수문							
평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	종합점수	종합결과
평가결과	b	b	b	a	a	16	3.73
평가점수	10	4 ¹⁾	2 ¹⁾	0 ¹⁾	0 ¹⁾		
도장열화 평가결과							b

주1) 예를 들은 것으로서 발청의 경우와 동일한 절차로 평가함

- 권양기 와이어로프
 - 발청 측정결과

[표 7.68] 권양기 와이어로프 발청 평가 예

와이어로프 번호	조사결과	평가결과	평가점수
G1-WR-1	점녹 발생 길이 6%	b	4
G1-WR-2	점녹 발생 길이 4.8%	b	4
G1-WR-3	점녹 발생 길이 3.5%	b	4
G1-WR-4	점녹 발생 길이 5.5%	b	4
G1-WR-5	점녹 발생 길이 4.3%	b	4
평가점수 평균			4
평가결과			b

○ 도장두께 평가

- 문비

[표 7.69] 문비 도장두께 평가 예

문비		
문비 번호	5개소 평균값의 기준 불만족 여부	평가내용
G-1	만족	전체 문비에 대한 불만족 비율 $= (\text{불만족 문비 개수})/(\text{조사 문비 개수}) \times 100 = 1/5 \times 100 = 20\%$ (b 등급) - 여기서 ‘문비’란 여수로의 ‘강재수문’을 의미
G-2	만족	
G-3	불만족	
G-4	만족	
G-5	만족	

○ 와이어로프 직경감소 및 소선절단

- 직경감소

[표 7.70] 와이어로프 직경감소 평가 예

와이어로프 번호	측정위치 번호	3회 평균값 (mm)	평균 직경	감소율 (%)	평가결과	평가점수
G1-WR-1	1	55.95	55.91	1.0	a	5
	2	55.90				
	3	55.89				
	4	56.05				
	5	55.80				
G1-WR-2				1.5	b	4
G1-WR-3				2.0	b	4
G1-WR-4				2.5	b	4
G1-WR-5				1.1	b	4
전체평균						4.2
평가결과						b

- 소선절단

[표 7.71] 와이어로프 소선절단 평가 예

와이어로프 번호	측정위치 번호	위치별 절단 소선수	와이어로프 절단 소선수	절단을 (%)	평가결과	평가점수
G1-WR-1	1	2	4	1.8	b	4
	2	3				
	3	1				
	4	4				
	5	3				
G1-WR-2				0.9	a	5
G1-WR-3				1.2	b	4
G1-WR-4				0.8	a	5
G1-WR-5				1.1	b	4
전체평균						4.4
평가결과						b

○ 환경요인 평가

- 대기환경(해안 이격거리/이산화황 농도/습도) 평가

[표 7.72] 환경요인 평가 예

평가지표		측정값	평가결과
대기환경	해안 이격거리	동해안으로부터 50 km	a
	이산화황 농도	0.0038 ppm	
	연간 젖음시간(일)	75일	

○ 평가항목별 가중치에 따라 각 부재에 대해 부재 수준의 내구성능 평가

- 문비

[표 7.73] 문비 내구성능 평점 산정 예

평가지표	등급	가중치	평가점수
발청 및 도장열화	b	60	2.24
도장두께	b	20	0.80
대기환경	a	20	1.00
평가점수			4.04

- 와이어로프

[표 7.74] 와이어로프 내구성능 평점 산정 예

평가항목	평가결과	가중치	평가점수
발청	b	25	1.00
대기환경	a	20	1.00
직경감소	b	20	0.80
소선절단	b	35	1.40
평가점수			4.20

○ 부재별 가중치에 따라 시설물 전체에 대한 내구성능 평가

[표 7.75] 수문(문비 및 권양기 와이어로프) 시설물 강제 내구성능

문비 및 권양기 와이어로프 강제 내구성능			
결함도 평가부재	부재별 평가점수	가중치	평가점수
문비	4.04	60	2.42
와이어로프	4.20	40	1.68
합계			4.10
문비/로프 내구성능 등급			B

<해 설>

- 산정 예시와 달리 권양기 형식이나 작동 방식이 상이한 경우에는 ‘권양기 와이어로프’ 관련 지표를 강제내구성능 평가에서 제외하며, 조사된 내용을 보수·보강 방안 등에 제시할 수 있음

7.5.3 콘크리트 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가로는 염화물 침투량(필요 시), 탄산화 깊이, 피복 콘크리트의 품질이며, 열화환경평가는 동결융해의 반복에 의한 동해환경이다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합 등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 콘크리트 내구성능 등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

[표 7.76] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전항목	열화환경항목
탄산화 깊이 염화물 침투량(필요시) 피복(표면부) 콘크리트의 품질	동해환경

나. 평가대상 부재

수문은 유량조절 및 수심유지를 위하여 수로에 설치하는 문으로 주로 콘크리트 구조물에 강재 개폐식 수문을 설치하는 구조물이며, ‘수문본체’, ‘암거’, ‘날개벽’, ‘물받이’ 로 구성되어 있다.

[표 7.77] 수문의 평가대상 부재

구 분	시설물
수문	수문본체
	암거
	날개벽
	물받이

다. 평가지표별 기준 및 점검방법

1) 염화물 침투량

[표 7.78] 염화물 침투량 평가등급

평가 기준	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$	비 고
a	30년 초과	0.3 이하	- 깊이별 염화물 침투량 측정 - 공용연수와 염화물 침투량을 고려하여 염화물 확산계수 산정 - 염화물 확산계수로서 철근의 부식 발생 임계치에 도달하는 시간 산정 - “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$	
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$	
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

<해 설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가 등급으로 설정함
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것임
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문임
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여함
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 점검 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고하도록 함

2) 탄산화 깊이

[표 7.79] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T	비고
a	30년 초과	점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 T계산 탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계 피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T : 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간, D : 탄산화 깊이, t : 공용연수)
b	20년 < T ≤ 30년	
c	10년 < T ≤ 20년	
d	5년 < T ≤ 10년	
e	5년 이하	

<해설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 포함함
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화 될 가능성을 고려한 것임
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것임

3) 피복(표면부) 콘크리트 품질

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 7.80] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	상세	비고
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태
b	90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 < 100%	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가함
- a등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있음
- c등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태임

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 7.81] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	상세	비고
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도 값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용함
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정 하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정함
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위임
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분함

4) 동해환경

[표 7.82] 동해환경의 평가기준

평가기준	동결융해 반복지수(X)	비고
a	$X < 3$	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	

<해 설>

- X는 동결융해 반복지수로서 수분과의 접촉 여부로 구분하여 산정함
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 싸이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정함
- 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단함

라. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저 등급을 반영한다. 부재별 내구성능 평가결과는 부재별 가중치를 고려하여 등급을 도출한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다. 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 콘크리트 내구성능 평가에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 콘크리트 내구성능 평가 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다. 해수에 접하는 수문은 하굿둑 기준에 준하여 평가한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경 평가(전체 시설물 대상)

수문 시설물의 경우 열화환경평가는 동해환경 지표로 실시한다. 열화환경평가는 각 부재별 열화진전평가 이전에 독립적으로 실시하며, 전체 시설물을 대상으로 한다.

열화환경평가는 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다. 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

수문 시설물은 염해환경이 조성되지 않는 시설물이기 때문에 원칙적으로 동해환경만을 평가한다.(제설제나 비래염분 염해환경이 조성되는 것으로 판단되는 경우 염해환경을 평가할 수 있음)

[표 7.83] 열화환경 평가기준

평가기준	열화 환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

○ 동해환경

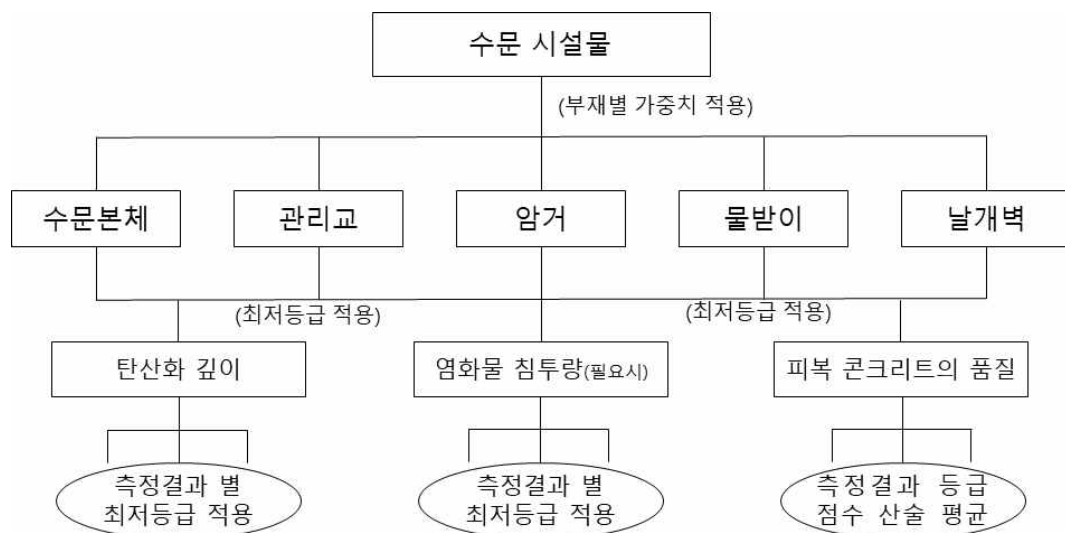
- 대상 수문이 위치한 지역의 10년간 동절기 기상청 데이터를 기준으로 동해 환경을 파악하여 동결융해 반복지수를 도출하고, 동결융해 환경등급을 평가
- 동일한 동결융해 사이클에 노출되어 있더라도 동결융해에 대한 위험도는 부재별 수분공급 환경에 따라 다르며, 열화환경 등급으로 반영되는 동결융해 환경은 수분에 노출되는 부재의 동결융해 사이클 수가 되며, 수분에 노출되지 않는 부재의 동결융해 사이클 수(강수가 있을 때만 해당됨)는 비록 수분에 직접 노출되지 않더라도 동결융해에 대하여 취약할 수 있음에 대한 참고자료로서 활용함

(나) 열화진전 평가(부재수준의 평가)

이 단계에서는 각 세부부재별로 내구성능에 관한 열화진전평가를 실시한다. 수문 시설물의 세부부재는 수문본체/암거/날개벽/물받이로 구성된다. 내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 함유량(필요 시), 피복 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.

각 내구성능을 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급으로 결정
 - 다만, 피복 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균함
- 산출된 각 세부부재(예, 수문본체, 암거, 물받이, 날개벽)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 수문 시설물의 콘크리트 내구성능 등급으로 도출한다. 다음은 콘크리트 내구성능 평가절차를 예로 든 그림이다.



[그림 7.5] 콘크리트 내구성능 항목별 세부 평가방법

○ 등급별 평가점수 및 지수범위

부재별 등급에 따른 평가점수 및 최종 등급 산정을 위한 평가지수 범위는 다음과 같다.

[표 7.84] 등급별 평가점수

평가기준	a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
평가점수	5	4	3	2	1

[표 7.85] 등급별 평가지수 범위

a등급	b등급	c등급	c등급	e등급
$4.5 \leq X \leq 5$	$3.5 \leq X < 4.5$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1 \leq X < 1.5$

(다) 세부부재 등급 산정안에 따라 시설물 전체 등급 산정

수문의 세부부재 등급의 가중치를 활용하여 수문의 내구성능 등급을 산정한다. 내구성능 조사를 실시하지 않는 부재의 경우 부재별 가중치를 적용하지 않고, 내구성능 조사를 실시한 부재의 가중치를 동일비율로 상향조정하여 적용한다.

[표 7.86] 수문의 부재별 가중치

형식	세부 부재명	부재별 가중치(%)
수문	수문본체	40
	관리교	5
	암거	40
	날개벽	10
	물받이	5

수문의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 7.87] 수문의 열화진전 평가

시설명	평가등급	부재명	평가등급
수문	A~E	수문본체	A~E
		관리교	A~E
		암거	A~E
		날개벽	A~E
		물받이	A~E

[표 7.88] 열화환경 평가

열화환경지표	평가등급	주요 대상 부재
제설제 염해환경	A	해당사항 없음
비래염분 염해환경	A	해당사항 없음
동해환경	A or B or C	전체 시설물에서 국부적으로 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

<해 설>

- 상기 제설제 및 비래염분 염해환경은 수문시설물의 열화환경이 아닌 것으로 판정하여 2개 항목에 대한 평가항목은 A등급으로 미리 설정함
- 현장 점검책임자가 제설제나 비래염분에 의한 염해환경이 조성되는 것으로 판단되는 경우 염해환경을 평가하여 반영하여야 함

3) 결과산정 예

○ 대상 수문

[표 7.89] 대상 수문 예시

위 치	부산(가정)
공용연수	20년
피복두께	50mm
콘크리트	일반 RC
높이	70m
연장	500m
수문갯수	(B×H) : 13.0m x 15.97m, 6문

(가) 열화환경 평가

해당 지역(부산(가정))의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 0.42회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 21.17회로서 동결융해 환경은 B등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우는 동결융해 사이클이 연평균 0.42회로서 동결융해의 피해에 대하여 안전하다.

(나) 열화진전 평가_탄산화 깊이

탄산화 깊이는 수문본체 2개소, 암거 2개소에서 측정하는 것으로 설정한다.

각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저 등급을 대상 부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 한다.

[표 7.90] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가항목	세부부재명	탄산화 깊이(mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간, T(년)	평가 결과	부재별 평가결과
탄산화 깊이	수문본체 No.1	9	2.0	30년 초과	a	b
	수문본체 No.2	32	7.2	19년	b	
	암거 No.1	9	2.0	30년 초과	a	a
	암거 No.2	9	2.0	30년 초과	a	

(다) 열화진전 평가_피복(표면부) 콘크리트의 품질

피복(표면부) 콘크리트의 품질은 수문본체 2개소, 암거 2개소에서 측정하는 것으로 설정한다.

[표 7.91] 피복(표면부) 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가항목	시설물	세부 부재명	절개값 대비 강도추정값(%)	비건전부/ 건전부 비율(%)	평가결과		부재별 평가결과
피복 콘크리트 의품질	수문	수문본체 No.1	105	—	a	—	a
		수문본체 No.2	—	98	—	a	
		암거 No.1	120	—	a	—	b
		암거 No.2	—	92	—	b	

(라) 콘크리트 내구성능 평가 요약

[표 7.92] 수문의 콘크리트 내구성능 평가 (열화진전 평가)

시설물	세부 부재명(가중치, %)	항목별 평가결과			
		탄산화 깊이	피복콘크리 트의 품질	부재별 평가결과	수문
수문	수문본체 (40)	b	a	b	B
	관리교 (5)	—	—	—	
	암거 (40)	a	b	b	
	날개벽 (10)	—	—	—	
	물받이 (5)	—	—	—	
최저등급제					가중치 고려

[표 7.93] 열화환경지표의 평가

열화환경지표	평가결과
동해환경	B

7.5.4 내구성능 평가 결과산정방법

수문의 세부시설을 구성하는 강재(문비 및 권양기 와이어로프 등)과 콘크리트의 내구성능은 다음과 같은 가중치를 적용하여 내구성능 결과를 도출한다.

[표 7.94] 수문시설 종합내구성능 평가 가중치

구분	종합 내구성능 평가 가중치	
	강재	콘크리트
수문 시설물 종합 내구성능	35	65

7.6 사용성능 평가 기준 및 방법

7.6.1 일반

사용성능이란 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적에 만족하기 위한 성능으로 정의한다. 시설물의 사용성능 평가는 사용성능과 기능성으로 구분되며, 사용성능은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

7.6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

수문의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성능과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다. 수문에서는 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 운영자의 안정감 측면에서 운영성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량이 평가된다.

나. 세부지표의 평가범위

수문의 사용성능을 운영성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표로 문비의 작동유무, 수밀성, 점검시설, 퇴적(배수지장), 통수능력을 도출하고 a~e로 차등 적용한다.

[표 7.95] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성능	운영성	문비의 작동유무	a, b, c, d, e
		수밀성	a, b, c, d, e
기능성	유지관리성	점검시설(관리교 포함)	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	퇴적(배수지장)	a, b, c, d, e
		통수능력	a, b, c, d, e

수문의 사용성능 평가는 점검시설과 같이 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 운영성

(가) 문비의 작동유무

[표 7.96] 문비의 작동 평가기준

평가기준	평가내용
a	전동 및 수동 상승·하강에 이상이 없는 양호한 상태이며, 상하한 자동정지도 양호한 상태
b	작동 시 이음발생이 없으며, 상승 및 하강에 이상이 없는 건전한 상태
c	작동 시 구동부에 다소간의 이상 진동 및 이음발생 등이 있으나, 상승·하강은 원활한 상태
d	전동 작동이 원활하지 않고, 비상점검 등의 임시조치 후에 제한 작동 가능한 상태
e	전혀 작동되지 않는 상태

(나) 수밀성

[표 7.97] 수밀성(수밀부누수) 평가기준

평가기준	평가내용
a	누수가 없는 양호한 상태
b	누수가능성이 없는 건전한 상태
c	미세한 누수가 있는 경미한 상태
d	지수고무의 훼손 및 밀착불량 등으로 부분적인 누수가 발생하는 상태
e	문비의 변형으로 누수가 다량으로 발생하여 별도 부대설비(모래주머니)를 설치하여야 지수가 가능한 상태

2) 유지관리성

(가) 점검시설(관리교 포함)

[표 7.98] 점검시설 평가기준

평가기준	평가내용
a	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 구비되어 있음(신설)
b	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 양호한 상태임
c	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 결함(볼트, 나사 풀림, 녹 등)이 있어 수리가 필요한 상태
d	시설물의 조사에 필요한 사다리 및 접근로가 있으나 사용시 심각한 안전상의 문제가 있어 교체가 필요한 상태
e	시설물의 조사에 필요한 점검로가 없어 새로 설치를 요하는 상태

<해 설>

- 이 항목은 점검시설에 있어 공통적으로 적용되는 기준으로 시설물 조사에 필요한 접근로 및 점검로의 유무로 판단하여 적용함
- a, b등급의 경우는 사다리 및 접근로가 양호한 상태로 신설인 경우 a등급으로 규정함. c등급은 사용하는데 문제가 없으나 일부 수리가 필요한 상태를 의미하고 d등급은 사용하는데 문제가 있어 교체가 필요한 상태를 의미함. e등급은 점검로가 없어 점검 시 특수한 장비를 사용해야 하는 경우를 의미함
- a등급의 신설은 준공 후 3년 미만을 의미함

3) 수요 및 용량

(가) 퇴적(배수지장)

[표 7.99] 퇴적(배수지장)의 평가기준

평가기준	평가내용
a	양호
b	다소의 배수지장물이 있으나, 배수에는 이상 없음
c	배수지장물로 인해 배수기능을 제대로 발휘하지 못하여 부분적 채수현상 발생
d	배수지장물로 인해 배수기능을 제대로 발휘하지 못하여 광범위한 채수현상 발생
e	배수지장물로 인해 배수기능을 완전히 상실

(나) 통수능력

[표 7.100] 수문의 통수 능력 평가기준

평가기준	평가내용
a	통수 단면적이 설계 단면적의 95% 이상일 때
b	통수 단면적이 설계 단면적의 90~95%일 때
c	통수 단면적이 설계 단면적의 85~90%일 때
d	통수 단면적이 설계 단면적의 80~85% 일 때
e	통수 단면적이 설계 단면적의 80%미만일 때

<해 설>

- 본 성능평가 기준은 배수 능력에 대한 성능평가 기준을 설정하기 위하여 배수암거의 설계 단면적 대비 실제 단면적을 비교하여 평가함
- 배수암거의 설계 단면적에 대한 자료와 현장 실측 통수 단면적에 대한 자료를 검토하여 적용함

라. 사용성능 평가 결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능 평가 결과 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 결과를 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 결과를 적용하여 해당 지표의 평가 결과를 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 평가 등급은 각 세부평가 지표별 평가 결과에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 7.101] 수문 분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

	문비의 작동유무	수밀성	점검시설	퇴적(배수지장)	통수능력
가중치	0.168	0.158	0.202	0.203	0.270

[표 7.102] 사용성능 평가지표별 가중치 조정방법(예)

	문비의 작동유무	수밀성	점검시설	퇴적(배수지장)	통수능력
가중치	0.201	0.198	—	0.254	0.338

<해 설>

- 가중치 조정 예 : 점검시설에 대한 평가가 제외되는 경우, 점검시설에 해당하는 가중치 0.202를 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분함

2) 사용성능 평가 결과 산정

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 문비의 작동유무

- 문비의 전동 및 수동 상승·하강에 이상 여부에 대하여 평가함
- 현장에서 직접 문비의 상승과 하강 상태를 측정하여 평가 결과를 산정함

○ 수밀성

- 수밀부의 누수에 대한 이상 여부에 대하여 평가함
- 현장에서 수밀부 누수에 대한 육안 점검을 통해 평가 결과를 산정함

○ 점검시설

- 수문에 접근하기 용이한 사다리 및 점검로 구비여부에 대하여 평가함
- 현장에서 점검로 구비 상태 및 현황을 육안 점검을 통해 평가 결과를 산정함

○ 퇴적(배수지장)

- 배수지장물 여부 및 채수현상에 대하여 평가함
- 현장에서 배수지장물 존재 여부와 배수기능 저하 여부를 육안점검을 통해 평가 결과를 산정함

○ 통수능력

- 배수암거의 설계 단면적 대비 통수 단면적에 대하여 평가함
- 배수암거의 설계 단면적에 대한 자료와 현장 실측 통수 단면적에 대한 자료 활용하여 적용함

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 평가 결과 산정

평가결과가 a인 경우, 5점, b인 경우, 4점, c인 경우, 3점, d인 경우, 2점, e인 경우, 1점으로 적용한다.

$$\text{사용성능 평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w= 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c= 각 세부지표별 평가 결과

마. 사용성능 평가 결과 산정 예시

1) 평가항목별(지표별) 평가

○ 문비의 작동유무

- 수문의 기계설비를 작동하여 상승 및 하강에 대한 이상 여부를 확인하여 평가함
- 각 수문의 작동을 평가한 후, 각 수문 평가점수의 평균으로 문비 작동유무의 평가 결과를 도출함

[표 7.103] 문비 작동유무 평가 산정 예

구분	상승·하강·정지	진동발생	개별평가결과	평가점수	평가결과
#1	양호	양호	b	4	c(3.0)
#2	양호	이상 진동	c	3	
#3	불량	이상 진동	d	2	
#4	작동안됨	—	e	1	
#5	양호(신설)	양호(신설)	a	5	

○ 수밀성

- 수문이 닫힌 상태에서 문비의 변형여부 및 누수발생 여부를 확인하여 평가함
- 각 수문의 상태를 평가한 후, 각 수문 평가점수의 평균으로 수밀부 누수 평가 결과를 도출함

[표 7.104] 수밀부 누수 평가 산정 예

구분	누수여부	문비상태	개별평가결과	평가점수	평가결과
#1	양호	양호	b	4	c(2.8)
#2	양호	양호	b	4	
#3	미세한누수	양호	c	3	
#4	다량누수	변형	e	1	
#5	부분적인누수	고무훼손	d	2	

○ 점검시설

- 수문의 조사에 필요한 사다리 및 접근로 구비여부를 확인하여 평가함
- 해당시설은 점검에 필요한 사다리 및 접근로가 구비되어 있고 양호한 상태로 b로 평가함

[표 7.105] 점검시설 평가 산정 예

설치유무	상태	평가결과
사다리 및 접근로 설치	양호	b

○ 퇴적(배수지장)

- 수문을 개방한 상태에서 수문 인근에서 배수가 잘되는지 여부를 확인하여 평가함
- 각 수문내 퇴적여부를 평가한 후, 평가점수의 평균으로 배수지장 평가 결과를 도출함

[표 7.106] 배수지장 평가 산정 예

구분	배수지장물	배수상태	개별평가결과	평가점수	평가결과
#1	없음	양호	a	5	c(3.0)
#2	적음	양호	b	4	
#3	보통	부분채수	c	3	
#4	많음	광범위채수	d	2	
#5	많음	기능상실	e	1	

○ 통수능력

- 배수암거의 설계 단면적(안쪽치수) 대비 실제 통수 단면적 비율을 산정하여 평가함
- 각 배수암거의 퇴적 및 통수 단면적을 측정하여 평가한 후, 평가점수의 평균으로 통수능력 평가 결과를 도출함

[표 7.107] 통수능력 평가 산정 예

구분	설계단면적	통수단면적	개별평가결과	평가점수	평가결과
#1	2.25	2.3	a	5	b(3.8)
#2	2.25	2.0	c	3	
#3	2.25	2.1	b	4	
#4	2.25	1.9	d	2	
#5	2.25	2.2	a	5	

2) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 평가 등급 산정

[표 7.108] OO수문 최종 사용성능 평가

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	평가점수
사용성능	운영성	문비의 작동유무	0.168	c	3
		수밀성	0.158	c	3
기능성	유지관리성	점검시설	0.202	b	4
	수요 및 용량	퇴적(배수지장)	0.203	c	3
		통수능력	0.27	b	4

- 위의 식대로 사용성능을 산정해보면

$$- 3 \times 0.168(\text{문비의 작동유무}) + 3 \times 0.158(\text{수밀성}) + 4 \times 0.202(\text{점검시설}) + 3 \times 0.203(\text{퇴적}) + 4 \times 0.27(\text{통수능력}) = 3.475$$
- 이를 최종 등급 산정표에 적용시켜 보면 본 수문의 최종등급은 C등급으로 평가함

7.6.4 사용성능 평가 결과

사용성능 평가 결과는 아래 표를 활용하여 적용한다.

[표 7.109] 사용성능 평가 결과 점수

등급	설명	결과 점수
A	현재 수요 등에 대해 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준	$4.5 \leq x$
B	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준	$3.5 \leq x < 4.5$
C	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준	$2.5 \leq x < 3.5$
D	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준	$1.5 \leq x < 2.5$
E	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준	$x < 1.5$

7.7 종합평가 기준 및 방법

7.7.1 종합평가 일반

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 서비스 성능 평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 가중 평균한 값으로 결정한다.

- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때
 - 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정됨
- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

[표 7.110] 성능별 가중치

성능별 가중치(%)			합계
안전성능	내구성능	사용성능	
66	20	14	100

<해 설>

- 책임기술자는 외부요인에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단 될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정할 수 있음

7.7.2 종합평가 결과산정방법

안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때에는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우 각 성능(안전, 내구, 사용성)간 성능인자에 따라 가중 평균하여 종합성능등급 도출한다.

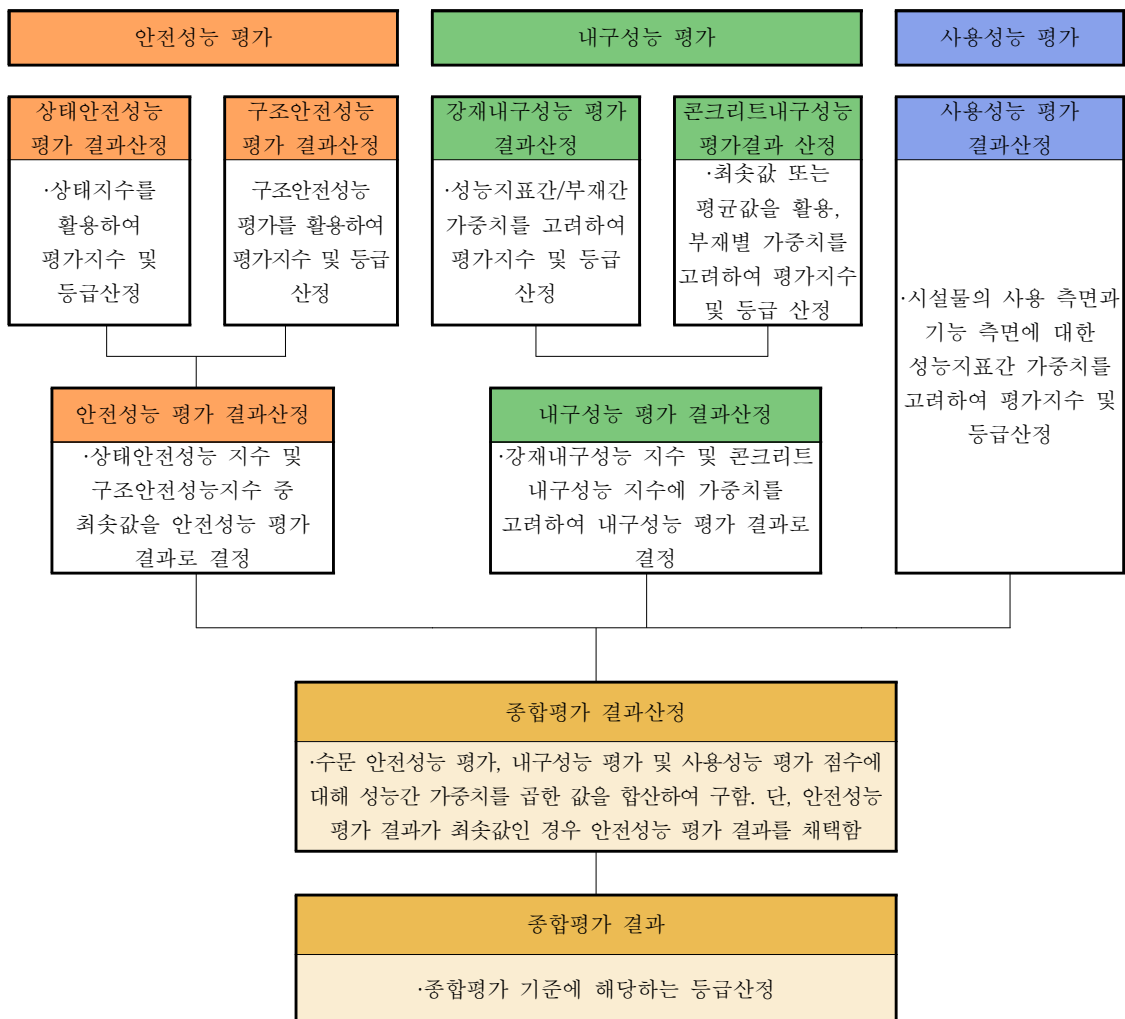
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

$$\text{종합평가 지수}(E) = \sum(\text{성능평가지수}(E_n) \times \text{성능별 가중치}(W_n))$$

여기서, E_n : 평가성능별 평가지수

W : 가중치

종합평가 산정절차는 아래의 표에서 제시한 절차에 따른다.



[그림 7.6] 수문의 종합평가 결과산정절차

각 성능간 가중치를 고려하여 산정한 종합평가 지수에 따라 종합성능등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 7.111] 성능별 가중치

종합평가지수(E)	종합평가 등급
$4.5 \leq E \leq 5.0$	A
$3.5 \leq E < 4.5$	B
$2.5 \leq E < 3.5$	C
$1.5 \leq E < 2.5$	D
$1.0 \leq E < 1.5$	E

종합평가에 대한 예시는 아래와 같다.

[표 7.112] 종합평가 결과 산정표 예

시설물 종합평가 결과 산정표				
시설물명	○○배수문		표번호	CPD. NO.1
평가구분	성능평가지수	평가결과	비 고	
안전성능 평가	$E_s=4.56$	A	근거 표번호	
내구성능 평가	$E_d=3.6$	B	근거 표번호	
사용성능 평가	$E_f=3.9$	B	근거 표번호	
종합성능 평가결과	○ 종합평가 지수 : 4.28 ○ 종합평가 결과 : A (종합평가지수 = $4.56 \times 0.66 + 3.6 \times 0.2 + 3.9 \times 0.14$)			

각 성능간 가중치를 고려하여 산정한 종합평가 지수에 따라 종합성능등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 7.113] 수문 종합평가 기준 및 정의

평가등급	평가 지수	정의
A (우수)	$4.5 \leq E$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$3.5 \leq E < 4.5$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성능 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$2.5 \leq E < 3.5$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성능 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 불편함이 있으나, 전체적인 시설물의 안전성능에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$1.5 \leq E < 2.5$	시설물의 지속적인 사용이 우려되는 수준으로 긴급한 보수 또는 보강 및 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$1.0 \leq E < 1.5$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전성능에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

제8장 제 방

8.1 관리일반

8.2 현장조사

8.3 재료시험 항목 및 수량

8.4 안전성능 평가 기준 및 방법

8.5 내구성능 평가 기준 및 방법

8.6 사용성능 평가 기준 및 방법

8.7 종합평가 기준 및 방법

제8장 제방

8.1 관리일반

8.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조의 규정에서 정하고 있는 시설물 중 제방에 적용한다.

제방 시설물은 그 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나, 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 제방관련 설계기준 및 표준시방서
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

8.1.2 용어 정의

- 제방(堤防)

유수가 하도 밖으로 넘치는 것을 방지하기 위하여 하천을 따라 토사 등으로 축조한 구조물로서, 본 장에서의 제방은 축조재료에 따라 표준제, 특수제를 말하며, 호안과 기타 시설물을 포함한다.

- 표준제

토사로 축조된 비탈면을 갖는 경사제를 말한다.

- 특수제

특수한 목적으로 토사와 함께 콘크리트, 석재 등의 재료로 축조되며, 석축, 옹벽, 말뚝 등으로 앞비탈의 구조가 수직(경사도가 45°이상)인 제방을 말한다.

- 호안

제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 직접 보호하기 위하여 제방 앞비탈 또는 하안에 설치하는 구조물로서 비탈덮기, 기초(비탈멈춤), 밀다짐공으로 구성되며, 고수호안·저수호안·제방호안으로 구분된다.

○ 비탈멈춤

비탈덮기의 활동과 비탈덮기 이면의 토사유출을 방지하기 위하여 설치한다.
(기초와 병행하여 설치하는 경우도 있음)

○ 호안머리보호공

저수호안을 유수로부터 보호하기 위하여 고수부지와 접합부에 설치 또는 제방 호안을 전단면에 설치할 경우 제방 상단부에 설치하는 구조물을 말한다.

○ 구조이음눈

비탈덮기 일부분의 파괴가 전체에 미치지 않도록 비탈덮기 종단방향(10~20m 간격)에 이음부를 둔 것을 말한다.

○ 통관

제방을 관통하여 설치한 원형 단면의 수로로서 문짝을 가진 구조물을 말한다.

8.1.3 성능평가 실시 범위

하천 시설물 중 제방은 크게 표준제방 및 특수제방으로 구분되며, 각 개별시설물 별로 아래와 같은 개별시설로 구분된다.

[표 8.1] 제방시설물의 성능평가를 위한 시설 구분

시설물 구분	개별시설 구분
표준제방	제체
	호안
	하상부
특수제방	직립구조물(말뚝, 석축, 옹벽)
	(토사제체, 호안)
공통	배수통관

8.1.4 중대한 결함의 정도

제방 시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

- 1) 토사 제체의 비탈사면의 활동으로 제체의 연직붕괴 우려
 - 상태안전성능 평가지표 중 제체 비탈사면활동에 대한 기준이 "d" 이하인 경우
- 2) 호안공 또는 직립구조물의 기초부 세굴로 구조물 붕괴 우려
 - 상태안전성능 평가지표 중 호안의 기초·밑다짐공의 세굴에 대한 기준이 "d" 이하인 경우
 - 상태안전성능 평가지표 중 직립구조물 기초부 세굴에 대한 기준이 "d" 이하인 경우
- 3) 제체의 누수 또는 세굴 및 침식으로 제체 붕괴 우려
 - 상태안전성능 평가지표 중 제체누수에 대한 기준이 "d" 이하인 경우
 - 상태안전성능 평가지표 중 제체의 세굴 및 침식에 대한 기준이 "e" 이하인 경우
- 4) 직립구조물 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실
 - 내구성능 평가지표 중 탄산화 깊이 또는 염화물 침투량에 대한 기준이 "e" 판정으로 철근노출 부식 등의 외관상태를 동반하는 경우

8.2 현장조사

8.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

가. 제2종성능평가의 조사항목

1) 안전성능

[표 8.2] 제방 시설물의 안전성능 평가 항목

구분			평가항목
상태 안전성능	표준 제방	제체	◦ 침 하
			◦ 활 동
			◦ 누 수
			◦ 세굴(침식)
			◦ 훼손
			◦ 수목의 식생
		호안	◦ 기초 세굴
			◦ 비탈덧기 활동
			◦ 비탈덧기의 손상
			◦ 호안머리보호공의 손상
		하상부	◦ 구조이음눈, 비탈멈춤공 등의 손상
			◦ 세 굴
			◦ 퇴 적
	특수 제방	직립구조물	◦ 침 하
			◦ 경사/전도
			◦ 활 동
			◦ 변 형
			◦ 파 손
			◦ 균 열
			◦ 박리(박락, 층분리)
			◦ 마모/침식
	공통	배수통관	◦ 신축이음부 이격, 사석블록 이격, 말뚝간의 이격
			◦ 구조물 손상정도
구조 안전성능	제방(공통)		◦ 제방 월류에 대한 안정
			◦ 제방 활동에 대한 안정
			◦ 제방 누수에 대한 안정
			◦ 제방 침하에 대한 안정
			◦ 제방 세굴에 대한 안정
	특수제방		◦ 특수제방의 옹벽 및 말뚝에 대한 안정 (활동, 전도, 내하력)
	콘크리트구조물		◦ 철근탐사 - 철근 배근상태, 철근 피복두께 ◦ 균열깊이 조사 ◦ 콘크리트 물성 및 미세구조

2) 내구성능

[표 8.3] 제방 시설물의 내구성능 평가 항목

구분	평가항목
콘크리트 구조물 (콘크리트 호안블록 포함)	◦ 콘크리트 추정강도
	◦ 탄산화 잔여깊이(속도계수)
	◦ 전염화물 침투량
	◦ 염해환경(해안거리 및 강설횟수)
	◦ 동해환경(동결융해 반복지수)

3) 사용성능

[표 8.4] 제방 시설물의 사용성능 평가 항목

구분	평가항목
제방(공통)	◦ 제방사면 경사도
	◦ 접근로 확보 여부
	◦ 홍수조절
배수통관	◦ 문짝의 기능
	◦ 배수암거 배수기능

8.2.2 현장조사 요령

가. 시설물의 현장조사 요령

제방의 현장조사는 제방의 설치 후에 발생한 제·내외지의 수리·수문학적 변동사항 및 제체, 직립구조물, 호안 등의 구조적 손상상태 등을 파악하여, 제방파괴 원인을 사전에 발견한다. 특히, 제방 누수파괴의 주원인인 제체 횡단구조물과의 접속부의 공동, 누수에 대한 조사와 제내측 유수지 및 저지대 사면의 조사에 역점을 두며 “하천기본계획”과 관련하여 계획하폭 등을 사전에 검토하여 안전점검 시 고려한다.

아울러 성능평가 시 책임기술자는 수중조사에 대한 필요성 여부를 판단하여 시행한다.

1) 점검대상

○ 제체

- 표준제 : 앞비탈, 앞턱, 독마루, 뒷비탈, 뒷턱 등
- 특수제 : 토사제체, 직립구조물(옹벽공, 말뚝공, 석축공) 등

○ 호안(저수호안 포함)

- 비탈덮기, 호안머리 보호공, 구조이음눈

- 하상부
 - 밑다짐공, 하상보호사석의 손상상태 등
- 배수통관

[표 8.5] 안전성능 평가의 점검 내용

제방 파괴 원인	상태안전성능 및 구조안전성능 평가 내용
홍수의 월류로 인한 파괴	계획홍수위에 따른 제방고의 적정성
제외측 앞비탈의 홍수에 의한 유실파괴	호안의 설치유무 및 그 상태
제방 비탈의 붕락에 의한 파괴	제방비탈경사와 토질역학적 측면의 사면활동 안전성능
제체의 누수에 기인한 파괴	제체 폭의 적정성 및 제방 횡단구조물의 누수성

2) 수리·수문학적 점검사항

- 대상 하천의 “하천기본계획”자료를 근거로 하여 계획수위 및 계획하폭 등 제반 사항의 변동에 따른 제방 안전도에 대해 점검함

3) 제방파괴 요인 및 취약부

(가) 제방파괴 요인

- 월류에 의해서 발생하는 제방 파괴
 - 월류수의 소류력에 의해 제체 표면이나 법면의 침식
 - 제체내 함수비 증가로 제체의 액상화 및 강도 저하
 - 유수압의 증가 및 제체강도저하로 붕괴
- 세굴 및 침식에 의한 제방 파괴
 - 홍수시의 유수의 소류력에 의한 비탈덧기의 파손 및 유실
 - 유수의 소류력에 의한 기초부의 세굴
 - 유수 및 강우에 의한 제체 침식 및 비탈면 붕괴
 - 호안공의 붕괴 및 제체의 유실
- 침투(누수)에 의한 제방 파괴
 - 강우 및 유수의 제체 침투로 간극수압 상승
 - 제체의 표면 강도 저하와 제체의 함수비 증가로 침윤면 상승
 - 연약지반일 경우 수위증가로 기초지반의 누수
- 제체 또는 기초지반의 파이핑 등에 의한 누수량 증가 및 파괴
 - 제방 횡단 구조물의 접합부의 공동
 - 횡단구조물 배면부 다짐불량으로 공동부 발생
 - 하중 및 재료의 이질성으로 인한 횡단구조물 주변 부등침하 발생

- 접합부에 균열이 발생되고 침하의 진행으로 공동발생
- 공동을 통해 누수가 발생되고 제방 붕괴로 이어짐

○ 기타

- 동식물에 의한 훼손으로 홍수시 국부 파괴
- 경작 등 인위적인 훼손으로 제방단면이 부족하여 홍수시 유수의 제체 침투 및 유수압의 증가로 제체 붕괴
- 중장비 차량의 독마루 통행과 같은 과하중에 의한 제체 붕괴

(나) 제방파괴 취약부

- 유수를 직접적으로 제어하는 제방의 특성상 유수의 흐름특성은 제방에 손상을 유발하는 원인과 밀접한 관련이 있으며, 특히 제체를 유수의 침식 및 세굴로부터 직접 보호하는 호안공은 홍수에 의하여 기초가 세굴되거나 제체의 액상화 현상에 따른 유동으로 인하여 파괴될 수 있음
- 일반적으로 하도 흐름특성이 불연속적이 되어 제방 손상의 발생확률이 높은 취약 지점으로는 다음과 같은 곳을 들 수 있으며, 현장조사 시 유의할 필요가 있음
 - 하폭의 급변(확대 및 축소) 지점
 - 만곡부 외측지점
 - 제체 횡단 구조물 지점
 - 교량, 보 등 하도를 횡단하는 구조물 설치지점
 - 호안이 끝나는 제체부분 및 제방 재질 특성이 서로 다른 지점
 - 본 · 지류 합류지점 및 배수위 구간

4) 시설물 점검사항

(가) 제체

○ 월류

- 제방고와 계획홍수위에 의한 여유고를 고려하여 제방의 월류 가능성을 검토함
- 월류 제방은 제방의 침식, 세굴 등을 조사함
- 유로 만곡부는 수위 상승이 우려되는 지점이므로 특히 세심히 점검함

○ 세굴

- 최근에 골재채취 등의 하상굴착이 있는 부분은 하안이나 제방사면에 대한 영향을 고려하여 점검하며, 기 검토된 계획하상과 평형하상고 이하로 골재가 채취되었을 경우에는 평형하상이론에 의한 상하류의 영향도 조사대상에 포함함
- 하안의 침식이나 하상의 국부세굴 등을 점검하여 제체세굴 가능성을 예견함
- 제방과 교량, 낙차공, 수문 등의 각종 하천구조물의 접속부는 그 기능 및 재료의 상이함으로 인하여 홍수에 취약하므로, 구조물 상 · 하류의 와류 등에 의한 제방 세굴에 대해 점검함

- 과거의 하천유로 변경사항 등을 과거자료 및 지역주민 등에 대한 탐문조사를 통하여 기초누수에 대한 취약지점 등을 파악함
- 활동
- 제정부의 종방향 균열이나 비탈면의 층분리 등을 면밀히 점검하여 사면활동을 파악함
 - 위험지점 비탈면의 경사를 측정하여 추후 구조안전성능 평가 시 고려함
- 누수
- 누수는 제방에 결정적 손실을 가져올 수 있으므로 누수지점, 누수경로 및 양상(빗물침투 또는 파이핑) 등을 상세히 조사하며, 누수가 발견될 시(특히 혼탁수가 유출될 시) 즉시 관리주체에 통보하고 구조안전성능 평가 필요성 여부를 판단함
 - 홍수기에는 제내지 비탈면의 국부세굴이나 지반붕괴 현상과 아울러 파이핑 현상 유무를 확인하고, 갈수기에는 그 흔적 확인과 동시에 탐문조사를 시행함
 - 취약단면의 독마루폭, 비탈경사와 제방 저폭을 확인하여 침윤선 검토 시 자료로 사용함
 - 두더지, 들쥐 등 야생동물의 구멍은 누수파괴의 원인이 되므로 세심한 조사를 실시함
 - 지반 누수는 고수부지부의 표토가 유실되거나, 제내 비탈기슭 부근에서 골재 채취 등 굴착을 실시하여, 투수층이 노출되어 일어나는 경우가 있으므로 세심한 조사를 실시함
 - 제방 관통 구조물의 표면과 제체사이의 공극은 홍수 시 제방누수 및 파괴의 주원인이므로 물리탐사(전기비저항탐사, 탄성파탐사 등) 장비를 사용한 검사를 실시하며, 특히 사용치 않는 폐관의 경우에는 세심한 주의를 요함
 - 제방 및 주변의 수목(교목)의 뿌리에 의한 제체파괴 또는 누수 그 가능성을 점검함
- 제방침하
- 제방 침하하는 장기간에 걸쳐 일어나는 경우가 많아 단기간의 점검을 통한 확인은 어려우나, 제방 측방(제내·외측)의 흙의 부풀어 오름으로 간이 판별할 수 있음
- 변위측정
- 변위발생이 우려되는 구간에 대한 제체중심, 비탈경사, 독마루폭, 제방 저폭 등의 변위발생 여부를 측정하여 기초파괴, 제체파괴, 활동 등의 진행여부를 판단함

(나) 호안

○ 비탈 덮기

- 홍수 시 감수속도가 빠른 하천 등에서 뒷채움 토사가 유출됨에 따라 공동현상이 발생하여 비탈덮기가 파괴되므로 비탈덮기 재료의 편평성을 조사함
- 경사가 급한 호안에서 내측토압이나 수압에 의한 붕괴가 나타나므로, 하천시설 기준상의 비탈경사에 준한 조사를 실시함
- 상하류 비탈덮기공의 마감부는 유수에 의한 세굴 취약지점이므로 면밀한 점검이 요구되며, 소구 멈춤공(마감부 처리공)의 유무를 조사함
- 비탈경사 변화지점이나 비탈덮기 재료의 변화구간은 세굴위험 구간이므로 세심한 점검을 실시함

○ 기초(비탈 멈춤)

- 호안 파괴의 주요 원인이 기초세굴에 의한 것이므로 세굴정도를 면밀히 조사하여야 하며, 필요시 측량 및 수중조사를 병행함

○ 밀다짐공

- 비탈경사 변화지점의 하상은 세굴에 취약하므로 밀다짐공의 점검 시 유의함

○ 비탈덮기 재료별 점검 요령

- 비탈덮기 점검요령

[표 8.6] 비탈덮기 점검요령

재료 구분	점 검 사 항
1. 때붙임	- 때의 생육정도 및 조밀도
2. 돌망태공	- 철선의 부식 및 파손상태, 탈석
3. 돌붙임	- 배수구멍 유무 - 배부르기 또는 탈석 - 줄눈의 탈락
4. 콘크리트블록붙임	- 블록 뒷면 공동 상태파악(표면 두드림) - 배부르기 또는 블록유실

(다) 옹벽

- 콘크리트 옹벽은 균열, 백태 등의 콘크리트 구조물로서의 점검사항에 대해 실시함
- 이음부 등의 시공상태를 판단하며, 부등침하에 대해 세심한 점검을 실시함
- 전도 위험성에 대해서는 현장 측량을 실시하여 안전성능 여부를 판단함
- 수면의 접촉부에 대하여 옹벽의 파손여부를 조사함

(라) 널말뚝 구조제방

- 널말뚝을 이용한 제방은 주로 수면에 접해있는 경우가 많으므로 하상세굴에 대해 수중조사를 실시함
- 널말뚝의 부식 및 훼손상태 점검을 실시하며, 특히 수면의 접촉부는 세심한 검사를 실시함

(마) 석축

- 석축의 취약부인 기초 콘크리트의 침하상태를 점검하며, 기초 상부에 계획 토피가 있는 경우의 세굴에 대해 점검함
- 석축면의 배수공은 토압에 대해 매우 중요한 시설이므로 설치 유무 및 간격에 대해 점검함
- 줄눈의 탈락과 석축의 배부르기 또는 탈석에 대해 점검함

(바) 배수통관

- 제체를 횡단하여 설치된 배수통관에 대한 통관의 내부 토사퇴적, 이음부의 이격, 구조물의 손상상태를 조사하며, 통관의 내부가 협소하여 직접조사가 곤란할 시에는 CCTV를 통한 간접조사를 실시함
- 배수통관과 제체의 접합부위는 공동으로 인해 유수의 침투에 취약하므로 누수 흔적, 세굴 등에 대하여 세밀히 조사함

나. 성능항목 별 현장조사 요령

1) 안전성능 평가

(가) 외관조사 요령

- 시설물별 현장조사 요령을 참조하여 수행함

(나) 현장조사 요령

(1) 점검항목

- ① 콘크리트 비파괴강도(초음파 전달속도)
- ② 철근배근상태(철근탐사시험)
- ③ 철근 부식도 시험
- ④ 균열깊이 조사 등

(2) 점검방법

① 콘크리트 비파괴강도

- 콘크리트 비파괴시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험, 조합법)을 위주로 함. 다른 비파괴시험을 사용하는 경우에는 책임기술자의 판단에 따름

② 철근배근상태

- 비파괴시험(전자기유도방식, 전자파레이방식)을 위주로 한다. 시험할 내용은 철근량, 피복두께, 철근의 규격, 배근상태 등이다. 단, 균열 및 변형(처짐) 등의 결함·손상이 발생한 부재와 부재의 내력검토가 필요한 부재에 대하여 실시함

③ 철근 부식도 시험

- 외관조사에 의한 비파괴검사(자연전위법 등)로 한다. 단, 균열 및 재료분리 등의 결함·손상이 발생한 부위와 건전부위를 각각 검사하여 비교함

④ 균열깊이 조사

- 발생 균열의 철근깊이 이상 발전 및 관통 여부에 대한 평가를 실시하며, 허용 균열 폭과의 비교 검토를 통해 등급을 산정함

2) 내구성능 평가

(가) 자료조사

(1) 자료조사 항목

① 염해환경

- 해안 이격거리
- 강설 횟수

② 동해환경(동결융해 반복지수)

(2) 자료조사 방법

① 염해환경

- 대상 시설물의 위치(지번이나 주소)를 파악하여, 인터넷 포털 사이트 지도를 이용하여 하천 및 해안까지의 최단거리(직선거리)를 측정함

- 강설횟수는 기상청에서 제공하는 기후자료를 참조하며, 기상청 자료의 최신신적설이 발생한 일수를 최근 10년간 평균값으로 하여 평가를 실시함

② 동해환경

- 동해환경 평가는 기상청 기후자료를 통해 동결융해 반복일수를 산정하고, KS F 2456(A법)에 의해 상대 동탄성 계수를 측정함
- 단, 초기 데이터가 없는 경우, 최초 점검 시 데이터를 구축하고 차회 점검 시 해당 데이터를 사용하여 계산함
- 동결융해 반복일수 300일 기준으로 상대동탄성계수가 90% 이상일 경우 동해환경 평가를 생략할 수 있음

3) 사용성능 평가

(가) 현장조사

(1) 현장조사 항목

- ① 하천 측량
- ② 점검 시설
- ③ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(2) 자료조사 방법

- ① 하천 측량
 - 월류 및 사면 안전성능 평가 측면으로, 경사도, 제방고 및 독마루폭이 하천설계 기준에 적합한지 평가를 실시함
- ② 점검 시설
 - 시설물 조사에 필요한 접근로 및 점검로의 유무와 상태를 조사함

8.3 재료시험 항목 및 수량

8.3.1 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 8.7] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전 성능	제방	—	◦ 제방 중·횡단측량
			◦ 시추조사
			◦ 제체 물리탐사
			◦ 하상재료 시험
	콘크리트 구조물	◦ 콘크리트 강도 — 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾	◦ 철근탐사시험 ²⁾ — 철근 배근상태 — 철근 피복두께
			◦ 콘크리트 강도 — 국부파괴시험 : 코어강도 — 비파괴시험 : 초음파전달속도시험
내구 성능	콘크리트 구조물	◦ 피복 콘크리트 품질 — 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾	—
		◦ 탄산화깊이	
		◦ 염화물 침투량	

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있음
피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있음. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 함

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 함

나. 제1종성능평가

[표 8.8] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전 성능	제방 및 하상	—	◦ 제체 시추조사
			◦ 제체 물리탐사
			◦ 하상재료 시험
	콘크리트 구조물	◦ 콘크리트 강도 — 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾ , 초음파전달속도시험	◦ 콘크리트 강도 — 국부파괴시험
		◦ 철근탐사시험 ²⁾ — 철근 배근상태 — 철근 피복두께	
		◦ 철근부식도	◦ 콘크리트 물성 및 미세구조
		◦ 균열깊이 조사	
내구 성능	콘크리트 구조물	◦ 피복 콘크리트 품질 — 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾	—
		◦ 탄산화깊이	
		◦ 염화물 침투량	

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있음
피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있음. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 함

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 함

8.3.2 재료시험 기준수량

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 8.9] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	특수제 콘크리트 구조물	콘크리트 호안블록	비고
반발경도시험	◦ 구조물 이음부 기준 1회 이상 (이음부 간격 30m 이상 또는 높이 10m 이상의 경우 1.5배 가산)	◦ 호안 1km당 3회 이상 (호안블록 3개소 샘플 선정)	
탄산화 깊이 ¹⁾	◦ 구조물 이음부 기준 1회 이상 (이음부 간격 30m 이상 또는 높이 10m 이상의 경우 1.5배 가산)	—	
염화물 침투량	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	—	

주1) 탄산화 깊이 측정 평가는 철근콘크리트로 구성된 구조물에 한하여 수행

[표 8.10] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
제방 중·횡단 측량 ¹⁾	◦ 제방 1km당 1개소(10~20m 정도)	
시추조사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
물리탐사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
하상재료시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
코어채취 ²⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 강도 및 염화물량 시험 등
철근탐사시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	

주1) 측량은 인근 1, 2등 수준점을 기준으로 하여 제방고, 폭, 비탈경사, 비탈덮기 설치고 등을 파악함

주2) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있음

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 8.11] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	특수제 콘크리트 구조물	콘크리트 호안블록	비고
반발경도시험	◦ 구조물 이음부 기준 2회 이상 (이음부 간격 30m 이상 또는 높이 10m 이상의 경우 1.5배 가산)	◦ 호안 1km당 6회 이상 ¹⁾ (호안블록 6개소 샘플 선정)	
탄산화 깊이 ²⁾	◦ 구조물 이음부 기준 2회 이상 (이음부 간격 30m 이상 또는 높이 10m 이상의 경우 1.5배 가산)	—	
염화물 침투량	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	—	
초음파 전달속도시험	◦ 구조물 이음부 기준 2회 이상 (이음부 간격 30m 이상 또는 높이 10m 이상의 경우 1.5배 가산)	—	◦ 동일 부위 시험 원칙
철근탐사시험	◦ 구조물 이음부 기준 2회 이상 (이음부 간격 30m 이상 또는 높이 10m 이상의 경우 1.5배 가산)	—	◦ 가능한 한 이전의 시험부위와 중복 피함
철근부식도시험	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	—	◦ 시험 실시 근거 명기
균열깊이 조사	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	

주1) 호안블록의 표면세굴 및 파손이 전체의 10% 이상이 발생하여 강도상의 문제가 있다고 판단되는 경우에는 손상 구간의 블록에 대하여 3개소 이상 샘플을 채취하여 실내시험(압축강도, 흡수율)을 실시함

주2) 탄산화 깊이 측정 평가는 철근콘크리트로 구성된 구조물에 한하여 수행함

[표 8.12] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
하천측량	◦ 대상 전 구간 실시(기준점 측량, 종·횡단 측량)	필수 실시
제체 물리탐사	◦ 제방 2km당 100m 이상	필수 실시
제체 시추조사	◦ 제방 2km당 1개소	필수 실시
하상재료시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
코어채취 ¹⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 강도 및 염화물량 시험 등

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있음

8.4 안전성능 평가 기준 및 방법

8.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가 기준 및 방법

1) 일반

제방은 구조형식 및 축조재료에 따라 다양한 형태의 손상이 발생될 수 있으므로 제방 형식 및 부재별 안전성능 평가 기준을 마련해야 한다.

2) 평가범위

제방에 나타나는 다양한 형태의 손상을 기본으로 하였으며, 제방은 표준제방과 특수 제방으로 나뉘며 표준제방에서는 주로 침하, 활동, 누수, 세굴, 훼손, 수목의 식생 등을, 특수제방에서는 침하, 경사/전도, 활동, 변형, 박리, 균열, 파손 등을 대상으로 한다.

3) 평가유형의 구분

[표 8.13] 제방 평가유형의 구분

평가 유형	정 의	평가 기준	평가 점수	영향 계수
중요 결함	침하, 경사/전도 및 활동 등과 같이 전체 구조물의 구조적인 안전에 직접영향을 미치는 결함	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0
국부 결함	수평이음부 불량 등과 같이 구조물의 안전성능에 직접적인 영향을 미치지 않지만 손상이 진전될 경우 전체구조물의 안전에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 결함	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0 1.1 1.2 1.4 2.0
일반 손상	파손, 마모, 콘크리트 재료분리 등과 같이 구조물의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0 1.1 1.3 1.7 3.0

3) 기본시설 평가지수 산정기준

(가) 표준제방

○ 표준제방 제체

[표 8.14] 표준제방 제체 평가기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
제체 침하	중요 결함	1.0	a	5	○ 거의 발생하지 않음.
			b	4	○ 육안으로 관찰가능한 경미한 침하
			c	3	○ 단차 및 균열의 조짐이 보이거나, 경미한 단차 및 균열이 발생
			d	2	○ 단차 및 균열이 육안으로 뚜렷이 관찰되며, 빗물이 고일 정도 발생
			e	1	○ 부분적인 함몰이 발생되고, 비탈면 활동조짐이 보임.
활동	중요 결함	1.0	a	5	○ 활동이 발생되지 않은 상태, 독마루의 손상 없음
			b	4	○ 육안으로 관찰되지 않으나 부분적으로 부등침하흔적이 있는 경우, 독마루의 손상이 없음
			c	3	○ 부분적으로 경미한 상태의 활동이 발생하였으나, 제체의 안전성능에는 영향이 없고 지속적인 관찰 필요한 상태, 독마루의 손상 흔적 보임
			d	2	○ 활동이 발생하여 비탈면이 부분적으로 전방으로 밀려난 상태이나 연직붕괴까지는 이르지 않은 상태, 독마루의 손상 폭이 큼
			e	1	○ 활동의 정도가 아주 심하고, 광범위하게 발생하여 연직붕괴에 이르러 구조적인 안정을 상실한 위험한 상태, 독마루에 함몰을 동반하는 균열 발생
누수	중요 결함	1.0	a	5	지반누수: 발생하지 않음 제체누수: 발생하지 않음
			b	4	지반누수: 누수는 발생하지 않으나 기초지반이 투수성이 있음 제체누수: 누수는 발생하지 않으나 제체재료가 투수성이 큼
			c	3	지반누수: 누수는 발생되지 않으나 제내외측에 골재채취 등으로 투수층이 노출되어 있음 제체누수: 부분적으로 누수흔적이 있으나 제체 재료유실은 발생되지 않음
			d	2	지반누수: 부분적으로 파이핑현상 발생하나, 심하지 않음 제체누수: 누수가 발생되어 경미한 제체재료의 유실이 있음
			e	1	지반누수: 심한 파이핑 현상이 발생하여 제체의 안전성능에 심각한 영향을 미침 제체누수: 누수와 함께 제체재료의 유실이 심하여(파이핑현상) 제체의 안전성능에 심각한 영향을 미침

[표 8.14] 표준제방 제체 평가기준(계속)

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
세굴 및 침식	국부 결함	1.0	a	5	○ 세굴 및 침식이 거의 발생하지 않음
		1.1	b	4	○ 경미하게 발생한 상태로서 보수 불필요
		1.2	c	3	○ 다소 크게 발생한 상태로서 보수를 요하나 단면축소로 인한 누수, 사면붕괴 등의 영향은 없는 상태임
		1.4	d	2	○ 심하게 발생하여 비탈면의 붕괴나 제체내 누수로 이어질 가능성이 있음
		2.0	e	1	○ 매우 심하여 비탈면의 붕괴와 제체 내 누수가 발생된 상태
제체의 훼손	일반 손상	1.0	a	5	○ 훼손이 거의 없는 상태
		1.1	b	4	○ 경미한 훼손이 있으나 보수 불필요
		1.3	c	3	○ 다소 크게 발생한 상태로서 보수를 요함
		1.7	d	2	○ 훼손 정도가 심하여 누수, 붕괴로 이어질 가능성이 있음
		3.0	e	1	○ 훼손 정도가 매우 심하여 이로 인해 부분적인 제체붕괴와 제체 내 누수가 발생하고 있는 상태
수목의 식생	일반 손상	1.0	a	5	○ 문제가 될 수목식생이 거의 없는 상태
		1.1	b	4	○ 수목이 식생하고 있으나, 유수와 접하는 계획홍수위 이하 부분에서는 문제가 될 식생은 없음
		1.3	c	3	○ 유수와 접하는 계획홍수위 이하부분에서 문제가 될 수목이 식생하고 있고, 일부는 유실되어 제체에 손상을 유발시킨 상태
		1.7	d	2	—
		3.0	e	1	—

○ 표준제방 호안

[표 8.15] 표준제방호안 평가기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
호안의 기초· 밀다짐공 세굴	중요 결함	1.0	a	5	○ 세굴이 거의 발생하지 않은 상태
			b	4	○ 경미한 세굴이 발생하여 부분적인 밀다짐공의 교란이 있으나 기초는 노출되지 않은 상태
			c	3	○ 세굴의 발생으로 밀다짐공이 유실되고, 기초가 노출된 상태
			d	2	○ 심한 세굴의 발생으로 밀다짐공의 유실, 기초하단 깊이까지 세굴 되어 호안의 붕괴가 예상되는 상태
			e	1	○ 부분적으로 기초가 유실되어 호안이 붕괴된 상태
비탈덧기 의 활동	중요 결함	1.0	a	5	○ 활동이 없는 상태
		1.1	b	4	○ 경미한 활동(배부름)이 발생하였으나 보수가 필요하지 않은 상태
		1.2	c	3	○ 활동의 발생으로 배부름 현상이 심하고, 접속구조물인 턱 피복콘크리트, 호안머리 보호공에 영향을 미쳐 이들 구조물에도 손상이 동반된 상태
		1.4	d	2	○ 활동이 심하게 발생하여 부분적으로 붕괴가 발생되어 시급한 보수를 요하는 상태
		2.0	e	1	○ 비탈덧기가 전반적으로 붕괴되어 전반적인 재시공이 요구되는 상태
비탈덧기의 손상(줄눈 이격, 파손, 탈락)	국부 결함	1.0	a	5	○ 손상이 없는 상태
		1.1	b	4	○ 경미한 줄눈 이격은 있으나 파손, 탈락은 발생하지 않은 상태
		1.2	c	3	○ 부분적으로 파손, 탈락이 발생하였고, 줄눈이 이격되는 등 배면 토사 유출이 심하게 발생할 우려가 있는 상태
		1.4	d	2	○ 손상이 심하여 부분적인 비탈덧기의 유실이 발생하였고, 이로 인해 홍수시 전체적인 비탈덧기의 붕괴가 예상되는 상태
		2.0	e	1	○ 대부분의 비탈덧기가 붕괴되어 제방 자체의 파괴로 이어질 정도인 상태
호안머리 보호공 손상 (균열, 파 손, 들뜸)	국부 결함	1.0	a	5	○ 손상이 없는 상태
		1.1	b	4	○ 경미한 손상이 있으나 비탈덧기에 영향을 미칠 정도는 아닌 상태
		1.2	c	3	○ 부분적으로 파손, 탈락이 발생하였고, 줄눈이 이격되는 등 배면 토사 유출이 심하게 발생할 우려가 있는 상태
		1.4	d	2	○ 손상이 심하여 부분적인 비탈덧기의 유실이 발생하였고, 이로 인해 홍수시 전체적인 비탈덧기의 붕괴가 예상되는 상태
		2.0	e	1	○ 대부분의 비탈덧기가 붕괴되어 제방 자체의 파괴로 이어질 정도인 상태
호안 구조이음 눈 손상	일반 손상	1.0	a	5	○ 손상이 없는 상태
		1.1	b	4	○ 경미한 손상이 있으나 비교적 양호한 상태
		1.2	c	3	○ 다소 심한 균열, 이격, 파손, 탈락 등의 손상이 있으나 비탈덧기에 영향을 미칠 정도는 아닌 상태
		1.4	d	2	○ 전반적으로 탈락, 유실되어 비탈덧기의 안전에 심각한 영향을 미칠 우려가 있는 상태
		2.0	e	1	—

○ 표준제방 하상부

[표 8.16] 표준제방 하상부 평가기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
하상부의 세굴 및 퇴적	일반 손상	1.0	a	5	○ 세굴 및 퇴적이 거의 없는 상태
		1.1	b	4	○ 경미하게 세굴 되었으나 계획하상고 이내인 상태 ○ 경미하게 퇴적되었으나 통수에 전혀 지장이 없는 상태
		1.3	c	3	○ 세굴로 하상보호사석의 유실 및 호안 기초부위가 노출된 상태 ○ 토사의 퇴적, 유목 등으로 통수능에 지장을 줄 수 있는 상태
		1.7	d	2	—
		3.0	e	1	—

(나) 특수제방

○ 직립구조물

[표 8.17] 직립구조물 평가기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용	
침하	중요 결함	1.0	a	5	직립구조물 손상상태 ○ 거의 발생하지 않음	제체의 손상상태 ○ 거의 발생하지 않음
			b	4	○ 경미한 침하가 있으나 구조물 표고가 설계시 표고 이상으로 확보하고 있는 경우	○ 경미한 침하가 있으나, 독마 루가 설계시 여유고를 확보 하고 있는 경우
			c	3	○ 구조물 표고는 계획홍수위 이 상을 확보하나 침하로 인해 구 조물에 경미한 균열, 시공 이 음부 이격 등의 손상이 발생한 상태	○ 배면 제체에 단차 및 균열이 육안으로 뚜렷하게 관찰되며 빗물이 고일 정도 발생
			d	2	○ 구조물의 표고가 계획홍수위 이하로 침하되고, 구조물에 다 소 폭이 큰 균열, 시공이음부 이격 등의 손상이 발생한 상태	○ 배면 제체에 부분적 함몰이 발생되고, 비탈면 활동조짐 이 보임
			e	1	○ 구조물에 심각한 손상이 발생 하여 구조물의 붕괴가 예상될 경우	-
경사/전도	중요 결함	1.0	a	5	최대기울기의 범위 비진행성 진행성	조사된 상태 ○ 경사/전도가 발생되지 않은 상태
					2%미만 1%미만	
			b	4	2%이상~ 3%미만 1%이상~ 2%미만	○ 부분적으로 경미한 경사/전도가 발생 한 상태이나 근본적인 보수는 필요하 지 않는 상태
			c	3	3%이상~ 4%미만 2%이상~ 3%미만	○ 경사/전도의 정도가 보통정도이나 지 속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도 의 상태
말뚝구조 의 활동	중요 결함	1.0	d	2	4%이상~ 6%미만 3%이상~ 4%미만	○ 경사/전도의 정도가 심각하여 구조물 의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미 칠 수 있는 상태
			e	1	6%이상 4%이상	○ 경사/전도의 정도가 아주 심하고 광범 위하게 발생하여 구조적인 안정을 상 실한 위험한 상태
			a	5	○ 활동이 없는 상태	
			b	4	○ 경미한 활동흔적이 있으나, 구조물에 손상이 없는 상태	
			c	3	○ 경미한 활동으로 구조물에 경미한 균열이 발생	
말뚝구조 의 변형	중요 결함	1.0	d	2	○ 활동으로 인해 벽체가 기울어지기 시작하고 후면 매립부에 큰 균열이 발생하여 사면 파괴정후가 완전한 상태	
			e	1	○ 활동으로 사면 파괴가 크게 일어나고 널말뚝 벽체가 쓰러져 구조적인 기능을 완전히 상실한 상태	
			a	5	○ 변형이 거의 발생하지 않은 상태	
			b	4	○ 부분적으로 경미한 변형이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않는 상태	
			c	3	○ 변형의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시 할 정도의 상태	
			d	2	○ 변형의 정도가 심각하여 말뚝의 구조적인 안정에 심각한 영향 을 미칠 수 있는 상태	
			e	1	○ 변형의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안 정을 상실할 위험한 상태	

[표 8.18] 직립구조물 평가기준(계속)

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용		
파손	국부 결함	1.0	a	5	○ 손상이 없는 건전한 상태		
		1.1	b	4	○ 경미한 손상이 있으나 보수는 요하지 않는 상태		
		1.2	c	3	○ 국부적인 파손으로 보수를 요하는 상태		
		1.4	d	2	○ 구조물의 안전성능에 영향을 미치는 정도의 파손으로 긴급한 보수를 요하는 상태		
		2.0	e	1	○ 파손이 대규모로 발생하여 구조물의 일부가 붕괴되고 배면 제체의 붕괴를 동반한 경우		
균열	국부 결함	1.0	a	5	RC부재		PSC부재
					콘크리트옹벽	RC말뚝구조	PSC 말뚝
					○ 건전한 상태	○ 건전한 상태	○ 건전한 상태
		1.1	b	4	○ 경미한 상태의 과응력균열, 부식균열 및 일반균열	○ 경미한 말뚝 연결부 균열	○ 경미한 말뚝연결부 균열
		1.2	c	3	○ 과응력 균열, 부식균열 및 일반균열이 다소 심한 상태	○ 경미한 상태 과응력균열, 부식균열, 일반균열, 말뚝연결부 균열 또는 말뚝연결부 균열이 다소 심한 상태	○ 경미한 상태의 과응력균열, 부식균열, 일반균열 및 말뚝연결부 균열
		1.4	d	2	○ 전반적으로 균열발생이 심하여 구조부재 기능 상실이 우려되는 상태	○ 심한 상태의 과응력균열	○ 심한상태의 과응력균열, 부식균열 및 말뚝연결부 균열
박리 (박락, 층분리)	국부 결함	1.0	a	5	RC부재		PSC부재
					콘크리트옹벽	RC말뚝구조	PSC 말뚝
					○ 건전한 상태	○ 건전한 상태	○ 건전한 상태
		1.1	b	4	○ 박리의 초기단계로 철근 부식에 의해 박리부분에 균열이 형성되기 시작하거나 경미하게 콘크리트 덮개가 탈락된 경우	○ 박리의 초기단계로 박리부분에 균열이 형성되기 시작하거나 경미한 콘크리트 덮개가 탈락된 상태	-
		1.2	c	3	○ 콘크리트 덮개가 일어나는 심한 부분 박리나, 박리부분이 탈락하는 완전박리가 다소 심하게 발생한 상태	○ 콘크리트 덮개가 일어나는 부분박리가 심하게 발생한 상태	○ 경미한 상태의 부분 박리
		1.4	d	2	○ 완전박리로 철근 부식이 심각하여 구조물의 내하력 감소로 구조물 붕괴로 이어질 우려가 있는 상태	○ 박리부분이 탈락하는 완전박리가 심한 상태	○ 심한상태의 부분 박리나 경미한 상태의 완전 박리
		2.0	e	1	○ 완전박리로 철근 부식이 심각하여 구조물의 내하력 일부 붕괴된 상태	○ 박리상태가 매우 심하여 철근이 거의 다 부식되어 구조적 기능을 상실한 상태	○ 완전박리로 콘크리트 덮개가 완전히 탈락하고 강선의 부식이 매우 심한 상태

[표 8.19] 직립구조물 평가기준(계속)

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
마모/침식	국부 결함	1.0	a	5	○ 마모/침식된 부위가 없음
		1.1	b	4	○ 마모/침식이 경미한 상태
		1.2	c	3	○ 마모/침식이 다소 심한 상태
		1.4	d	2	—
		2.0	e	1	—
신축이음 부 및 사석블록 의 이격	일반 손상	1.0	a	5	○ 건전한 상태
		1.1	b	4	○ 경미한 발생으로 배면 토사 유출이 없는 상태
		1.3	c	3	○ 다소 크게 발생하여 배면 토사 유출이 있는 상태
		1.7	d	2	○ 평가단위의 1개소에서 심각하게 발생하여 구조적인 안정에 영향을 줄 정도
		3.0	e	1	○ 평가단위의 2개소 이상에서 매우 심하게 발생하여 구조적인 안정에 크게 영향을 줄 정도
기초부 세굴	일반 손상	1.0	a	5	○ 하상의 세굴이 없는 상태
		1.1	b	4	○ 하상이 세굴되었으나, 기초부의 노출이 안된 상태
		1.3	c	3	○ 하상세굴로 기초부가 노출되어 기초부 보호사석이 부분적으로 교란 또는 유실된 상태
		1.7	d	2	○ 기초부 보호사석의 대부분 유실로 기초부 하단까지 하상이 세굴되어 구조물 안전성능에 영향을 미칠 정도
		3.0	e	1	○ 기초부 보호사석의 전반적인 유실 및 구조물의 활동 변위가 발생하였거나, 부분적으로 구조물의 붕괴로 전체 제방의 안전에 위협이 예상되는 경우

○ 배수통관 상태안전성능 항목 및 기준

[표 8.20] 배수통관 평가기준

상태변화	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가 내용
배수암거 구조물 손상	중요 결함	1.0	a	5	○ 거의 손상이 없는 상태
			b	4	○ 경미한 손상이 있으나 누수, 체체 토사 유출우려가 없는 상태
			c	3	○ 손상이 발생하여 누수, 체체 토사 유출이 우려되는 상태
			d	2	○ 손상이 심하여 체체의 파괴에 영향을 미칠 우려가 있는 상태
			e	1	○ 일부 구조물이 파괴되어 체체의 손상이 발생한 상태

8.4.2 구조안전성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

1) 일반

주어진 하중에 대하여 시설물이 견디는 능력을 평가하는 항목으로서 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 운영상의 성능 확보여부를 판단하게 된다. 주요 평가 항목으로는 제방의 경우 월류, 활동, 누수, 침하, 세굴에 대한 안정해석을 공통적으로 조사하고 특수제방의 경우 옹벽 및 말뚝에 대한 안정해석이 이에 속한다.

2) 구조안전성능 평가 방법

일반적으로 토사로 축조되는 제방의 파괴는 주로 월류, 세굴, 누수 등에 의해 발생하며 제방은 다음조건을 만족해야 한다.

- 홍수시 월류해서는 안됨
- 제체가 세굴되지 않아야 함
- 하천수위 급강하 시 비탈면의 활동에 대하여 안전해야 함
- 연약지반일 경우, 파괴와 침하에 안전해야 함
- 누수 및 파이프에 안전해야 함

강우 시 제체함수비가 상승해도 비탈면 붕괴에 대해 안전해야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위하여 다음과 같은 평가를 수행해야한다.

- 제방(공통) 월류에 대한 안정
- 제방(공통) 활동에 대한 안정
- 제방(공통) 누수에 대한 안정
- 제방(공통) 침하에 대한 안정
- 제방(공통) 세굴에 대한 안정
- 특수제방의 옹벽 및 말뚝에 대한 안정 (활동, 전도, 내하력)

나. 구조안전성능 평가 기준

1) 제방(공통)

(가) 제방 월류에 대한 안정

제방은 제방지점의 하천계획홍수를 원활히 소통시킬 수 있는 높이여야 하며, 또한 시공 후의 침하나 예상치 못한 요인에 대한 안전을 고려하여 일정 여유고를 확보하여야 한다.

○ 계획홍수량에 따른 여유고

계획홍수량 (m ³ /sec)	여 유 고 (m)
200 미만	0.6 이상
200 이상 ~ 500 미만	0.8 이상
500 이상 ~ 2,000 미만	1.0 이상
2,000 이상 ~ 5,000 미만	1.2 이상
5,000 이상 ~ 10,000 미만	1.5 이상
10,000 이상 ~	2.0 이상

<해 설>

- 제방의 월류에 대한 안전성능 평가는 조사 당시의 제방고와 수리·수문분석을 통한 하천의 계획홍수위를 비교함으로써 제방고의 적정성 여부를 검토하는 것임. 여기서 계획홍수위는 하천기본계획이 수립된 하천에서는 하천기본계획의 자료를 준용하고, 하천기본계획이 수립되어 있지 않거나 특정 홍수에 대한 검토 시는 정밀안전진단(또는 안전점검) 시의 수리·수문 분석결과를 이용하여야 함

○ 월류에 대한 안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	평 가 내 용
a	5	○ 제방고 > 계획홍수위 + 여유고 이고, ○ 호안고 > 계획홍수위
b	4	○ 계획홍수위 + 여유고 ≥ 제방고 > 계획홍수위 + (여유고×0.9) 이고, ○ 호안고 ≥ 계획홍수위
c	3	○ 계획홍수위 + (여유고×0.9) ≥ 제방고 > 계획홍수위 + (여유고×0.75) 이고, ○ 호안고 ≥ 계획홍수위
d	2	○ 계획홍수위 + (여유고×0.75) ≥ 제방고 > 계획홍수위 이거나, ○ 호안고 < 계획홍수위
e	1	○ 제방고 < 계획홍수위

(나) 제방 활동에 대한 안정

원호활동을 고려한 제방 비탈면 안전계산에서 안전율은 다음 표의 기준을 따르되 간극수압과 제체의 연직붕괴를 고려하여 결정한다.

안전도 검토 방법에는 전응력 분석방법, 유효응력 분석방법이 있으며, 전응력 분석방법은 단기간의 안정분석 또는 공사완료 직후의 안정분석 시에 적용하고, 장기간의 분석을 위해서는 유효응력 분석방법을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

○ 제체활동에 대한 안전율

제체상태	간극수압 상태	안전율
인장균열(crack) 불고려시	간극수압을 고려하지 않는 경우	2.0 이상
	간극수압을 고려하는 경우	1.4 이상
인장균열(crack) 고려시	간극수압을 고려하지 않는 경우	1.8 이상
	간극수압을 고려하는 경우	1.3 이상

<해 설>

- 제방의 원호활동을 고려한 비탈면의 활동에 대한 안전성능 평가 기준은 다음과 같음
 - 안정계산은 연직붕괴와 간극수압을 고려하는 것을 원칙으로 함
 - 기준안전율 : 하천설계기준에서 제시한 안전율

○ 활동에 대한 안전성능 평가 기준

평가기준	평가 점수	평 가 내 용
a	5	○ 안전율(SF)이 기준안전율 초과
b	4	○ 안전율(SF)이 기준안전율이상이나, 제체단면 손실이 있는 경우
c	3	○ 기준안전율의 90% ≤ 안전율(SF) < 기준안전율의 100%
d	2	○ 기준안전율의 75% ≤ 안전율(SF) < 기준안전율의 90%
e	1	○ 안전율(SF) < 기준안전율의 75%

(다) 제방 누수에 대한 안정

누수에는 제체누수와 기초지반 누수가 있으며, 제체누수는 침윤선이 제체 내에 위치하여 비탈면 붕괴를 야기하며, 지반 누수는 파이핑 현상으로 제방의 붕괴를 유발한다.

○ 제체누수의 원인

- 제방단면이 너무 작은 경우
- 제체 재료가 투수성이 크고 차수벽이 없는 경우
- 제체를 충분히 다지지 않은 경우
- 제체가 두더지 등에 의해 구멍이 뚫린 경우
- 제체 내에 매설되어 있는 구조물(통문, 통관 등)과의 접속부에 공동이 발생한 경우

○ 기초지반 누수의 원인(파이핑 현상 동반)

- 지반의 투수성이 큰 모래층 또는 자갈층인 경우
- 고수부지 부근의 표토가 세굴되어 투수층이 노출되었을 경우
- 골재 채취 등으로 투수층이 노출되었을 경우
- 설계 시 예상 못했던 지반 침하로 침투압이 증가하였을 경우

일반적으로 허용누수량 설정에는 어려움이 있고, 계측에 의한 누수량에는 강우 등의 외부 수량이 포함될 수 있으므로 해석에 따른 누수량으로 제체의 안전성능을 판정할 때에는 기술자의 판단이 필요하다. 제체 및 기초는 침투를 완전히 차단할 수 없기 때문에 파이핑과 같은 파괴 요인이 되는 침투수압, 동수경사에 대한 검토와 대책 필요하다.

이러한 파괴의 원인은 대상 재료의 불균일성이나 지질조건의 변화, 시공상 부주의 등에 의한 경우가 많으므로 이론적인 취급은 곤란하다.

보통은 침투유속의 한계치를 구하여 토립자의 이동 가능성을 검토하는 한계유속방법과 한계 동수경사를 구하여 파이핑의 발생가능성을 검토하는 한계동수경사방법으로 안전 여부를 판정한다.

○ 한계유속에 의한 방법

제체 및 기초의 토립자 입경에 대하여 소류력에 의하여 입자가 밀려나가는 한계의 침투유속이 그 한계치를 넘으면 파이핑이 발생한다고 본다. 제체 및 기초지반에서의 침투유속은 다양한 수위조건 및 지층조건을 고려할 수 있는 해석적 방법으로 구하는 것이 유용하다. 한계치는 그 지층에서의 토립자 입경이나 투수계수를 이용하여 구할 수 있으며, 각 방법에 대한 타당성이 인정된다면 사용 가능하다.

실제의 제체 토립자에는 여러 크기의 것이 혼합되어 있어 입경의 기준을 정하기 어려우므로 실유속과 비교할 때에는 입경에 대한 한계유속의 1/100 이하가 되도록 해야 한다. 한계유속 방법에 의한 침투수의 안전성능은 실제 제체 및 기초지반에서의 침투유속에 대한 한계유속의 비로서 평가한다.

$$V = \sqrt{\frac{Wg}{Ar_w}}$$

여기서, V : 한계유속(cm/s)

Wg : 토립자의 수중중량(g)

g : 중력가속도(cm/s²)

A : 물의 흐름을 받는 토립자의 면적(cm²)

r_w : 물의 단위체적중량(g/cm³)

[표 8.21] 한계유속 기준표

재료번호	입경(mm)	한계유속(cm/s)
1	4.0~4.8	20.0
2	2.8~3.4	17.0
3	1.0~1.2	10.0
4	0.7~0.85	1.5
5	0.4~0.7	7.0
6	0.25~0.5	4.2
7	0.11~0.25	3.5
8	0.075~0.11	2.5
9	0.044~0.075	2.0

○ 한계동수경사에 의한 방법

- 입자형상, 입도분포 등은 고려하지 않고 유효응력이 영이 되는 조건을 생각하여 검토함
- 다음의 식으로 계산되는 한계동수경사에 대하여 Terzaghi의 간편법 및 유선망법, Harza의 유선망법 등의 방법으로 구하는 유출동수구배의 비로서 평가함
- 유출동수경사는 각 해석조건별 유출동수경사 중 최대치 성분 즉, 최대출구동수경사(i_{emax})의 성분을 침투류 해석 결과로 부터 구함
- 한계동수경사(i_c)는 Terzaghi식에 의하여 계산함
- 분사현상에 대한 저항력은 소성지수가 큰 재료일수록 큰 경향이 있으며 점착력이 없는 세립자의 한계동수경사(i_c)는 0.5~0.8로 봄
- 최대출구동수경사(i_{emax})와 한계동수경사(i_c)의 비를 계산하고, 파이핑에 대한 안전성능 평가함
- 침투수 수압은 계측기록에 의한 실측자료와 비교·분석하여 안전성능 판정 가능
- 제체 내 간극수압 분포는 사면활동의 안전성능 검토 시 입력 자료로 활용함

$$i_c = \frac{h}{d} = \frac{G_s - 1}{1 + e} = (1 - n)(G_s - 1)$$

i_c	:	한계동수경사
h	:	저수지 전수두(m)
d	:	분사지점의 수두(m)
G_s	:	토립자의 비중
e	:	흙의 간극비
n	:	흙의 간극율

[표 8.22] 침투수의 안전성능(파이핑) 검토에 대한 평가기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	한계치의 100% 미만인 경우
b	4	—
c	3	한계치의 100% 이상 110% 미만인 경우
d	2	한계치의 110% 이상 130% 미만인 경우
e	1	한계치의 130% 이상인 경우

(라) 특수제방 옹벽 및 말뚝에 대한 안전

특수제방의 옹벽 및 말뚝에 대한 안전성능 검토는 구조물의 활동 및 전도에 대한 검토가 필요하며, 또한 배면 토압에 대한 구조물 자체의 내하력 검토가 필요하다.

○ 특수제방 옹벽 및 말뚝의 활동, 전도에 대한 안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	평 가 내 용
a	5	안전율(SF)이 1.3 초과인 경우
b	4	$1.20 \leq \text{안전율(SF)} \leq 1.3$
c	3	$1.17 \leq \text{안전율(SF)} < 1.20$
d	2	$0.97 \leq \text{안전율(SF)} < 1.17$
e	1	$\text{안전율(SF)} < 0.97$

○ 특수제방 옹벽 및 말뚝의 내하력에 대한 안전성능 평가 기준

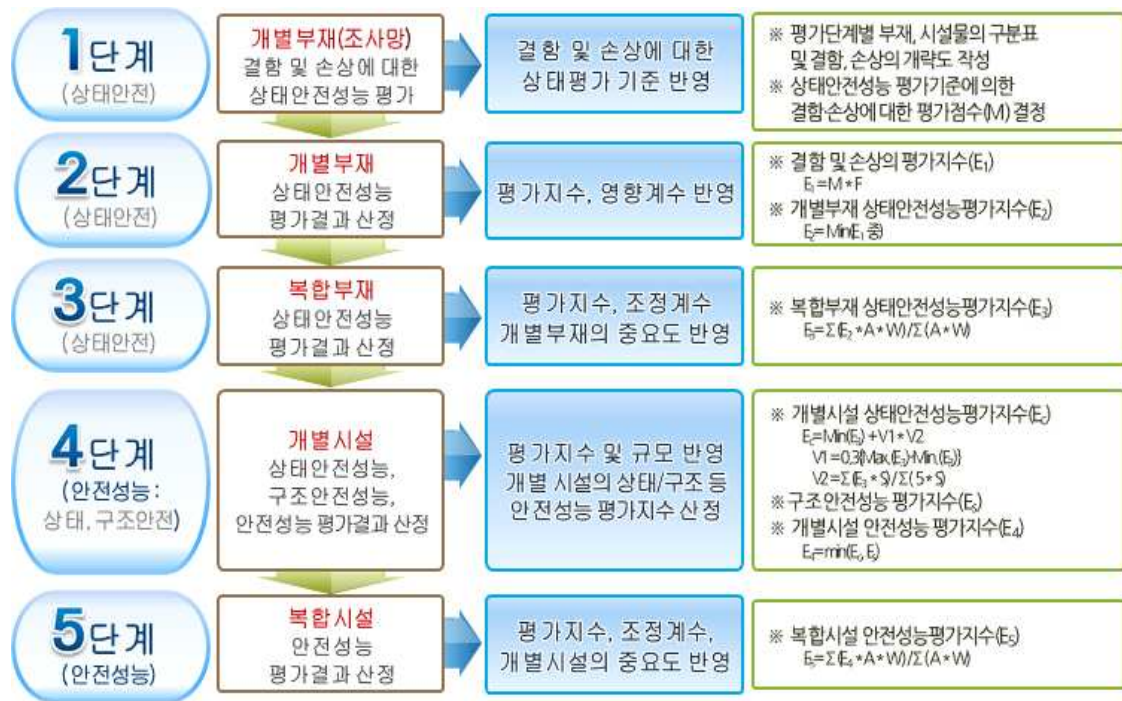
평가기준	평가점수	평 가 내 용 (안전율 SF = 설계강도 / 소요강도)
a	5	$\text{SF} > 1.0$
b	4	$\text{SF} \geq 1.0$ 이나, 단면 손상이 발생한 경우
c	3	$0.9 \leq \text{SF} < 1.0$
d	2	$0.75 \leq \text{SF} < 0.9$
e	1	$\text{SF} < 0.75$

8.4.3 안전성능 평가 결과 산정 방법

가. 제방 시설물 평가 단계별 절차

제방 시설물에 대한 평가는 아래 그림과 같이 단계별로 구분할 때 복합시설물(5단계)에 해당하는 시설물로 간주하고, 하위단계인 개별시설, 복합부재, 개별부재로 구분한다.

외관조사망도는 개별부재에 대하여 작성하는 것을 원칙으로 하고 필요시 개별부재의 크기, 면적에 따라 부위별로 분할하여 작성한다.



Note : $E_1 \sim E_7$, E_2 , E_3 : 평가지수, M : 상태평가 점수, F : 영향계수, A : 조정계수, W : 중요도

[그림 8.1] 제방 시설물 평가 단계별 절차

나. 안전성능 평가 단계별 구분

[표 8.23] 제방 시설물의 평가 단계별 구분

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분			
평가구분		평가대상				
안전성능 평가	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상)	제체 조사망1 제체 조사망2	호안 조사망1 호안 조사망2	하상부 조사망1 하상부 조사망2	1통관 1구간 1통관 2구간 2통관 1구간 2통관 2구간
	2단계	개별부재
	3단계	복합부재	제체1 제체2 ...	호안1 호안2 ...	하상부1 하상부2 ...	배수통관1 배수통관2 ...
	4단계	개별시설	제체	호안	하상부	배수통관
	5단계	복합시설	제방			

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

다. 상태안전성능 평가 결과 산정 방법

1) 1단계 상태안전성능 평가 : 부재(部材)별 손상상태 평가표 작성

시설물의 상태안전성능 평가 단계별 구분표에 따라 개별부재를 1개 외관조사망도 또는 필요에 따라 부위별로 다수의 외관조사망도로 구분하여 개략도에 손상 및 결함상태를 도시하고, 조사결과표에 개별부재에 대한 손상내용을 상세히 기록한 후, 그 손상 정도에 대하여 5단계(a~e) 상태안전성능 평가 결과 및 평가점수를 부여한다.

손상상태 평가표에는 평가항목에 없는 상태변화라 할지라도 모두 기록하는 것을 원칙으로 한다. 각 상태변화에 대한 상태안전성능 평가 결과가 c, d, e 등급일 경우 보수·보강 우선순위에 따라 보수·보강 실시한다.

[표 8.24] 부재(부위)별 손상상태평가표(예)

부위(망번호) / 개별부재		복합부재 / 개별시설물		표 번호	
제체1/제체		제체 / 제방		No. 1-1	
<p>개략도 작성 시 규격용지를 횡으로 사용할 경우 또는 부위별로 여러 장일 경우는 손상에 일련번호를 매기고, 별도의 용지에 아래의 조사결과표를 개별부재에 대하여 작성한다.</p>					
조 사 결 과 표					
번 호	손상(결함) 종류	손상(결함)내용	단 위	크 기	평가결과
①	제체활동	경미함	폭(mm) × 길이(cm)	—	b
②	제체누수	누수흔적 있음	폭(mm) × 길이(cm)	—	c
조사일자 : 20 . .			조사자 :		

2) 2단계 상태안전성능 평가 : 개별부재(個別部材) 평가표 작성

개별 부재별로 작성된 외관조사망도에 나타난 손상 및 결함을 평가유형별로 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분한다. 개별부재의 평가는 각각의 손상 및 결함에 대한 평가 기준에 따른 평가점수(M)에 손상 및 결함이 부재의 안전에 미치는 영향을 반영한 평가 유형별 영향계수(F)를 곱하여 산출한다. 산출된 결함 및 손상의 상태안전성능 평가지수(E_1) 중 최솟값을 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) 및 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

[표 8.25] 상태안전성능 평가 결과별 평가지수 및 평가유형별 영향계수

평가기준별 평가지수 범위		구 분		영 향 계 수				
평가기준	평가지수 ($E_1 \sim E_7, E_s, E_c$)	평가기준에 따른 평가점수		a:5	b:4	c:3	d:2	e:1
a	$4.5 \leq E_1 \leq 5.0$	평 가 유 형	중요결함	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
b	$3.5 \leq E_1 < 4.5$		국부결함	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0
c	$2.5 \leq E_1 < 3.5$							
d	$1.5 \leq E_1 < 2.5$		일반손상	1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
e	$1.0 \leq E_1 < 1.5$							

<해 설>

- 결함 및 손상의 상태안전성능 평가지수(E_1) = M × F(여기서, M : 평가점수, F : 영향계수)
- 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) = Min (다수의 E_1 값)
- 평가결과를 결정하기 위한 평가지수 값은 소수3째 자리를 반올림하여 사용함

[표 8.26] 개별부재 평가표(예)

개별부재	제체 조사망 1				표번호
1단계 표번호	1-1, 1-2				2-1
조사항목	평가유형	평가기준	평가점수	영향계수	평가지수
			M	F	$E_1 = M \times F$
제체 활동	중요결함	표참조	4	1.0	4.0
제체 누수	중요결함	〃	3	1.0	3.0
1. 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_2) = 상태안전성능 평가지수 E_1 중 최솟값 =					3.0
2. 개별부재의 상태안전성능 평가 결과 =					c

3) 3단계 상태안전성능 평가 : 복합부재(複合部材) 평가표 작성

복합부재의 평가는 개별부재가 복합부재의 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도를 반영한다. 이때 개별부재의 중요도는 합이 100이 되도록 규정함. 제방은 각 개별부재의 중요도를 규모에 따라 적용한다. 책임기술자는 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정할 수 있다.

또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응한 보정을 하기 위하여 조정계수를 사용한다. 복합부재의 평가지수(E_3) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 평가지수(E_2)별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재 전체의 안전성능을 평가 절하한다. 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가 지수의 평가결과를 도출한다.

복합부재의 평가는 개별부재의 평가지수(E_2)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3)를 산출하고 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

$$\text{복합부재의 상태안전성능 평가지수}(E_3) = \sum(E_2 \times A \times W) / \sum(A \times W)$$

여기서, E_2 : 개별부재의 상태안전성능 평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 8.27] 평가지수에 따른 조정계수

평가결과	a	b	c	d	e
평가지수 ($E_1 \sim E_7$, Es, Ec)	5.0 ~ 4.5이상	4.5미만~ 3.5이상	3.5미만~ 2.5이상	2.5미만~ 1.5이상	1.5미만~ 1.0이상
조정계수(A)	1	2	3	6	6

[표 8.28] 복합부재 평가표(예)

개별시설명	제체					표번호
2단계 평가표	2-1, 2-2, 2-3, 2-4					No. 3-1
개별부재	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E_2	A	W	$A \times W$	$E_2 \times A \times W$
조사망1	a	4.5	1	25	25	112.5
조사망2	b	4.0	2	25	50	200
조사망3	a	4.5	1	25	25	112.5
조사망4	b	3.5	2	25	50	175
합계(Σ)				100	150	600
<조사자 의견>						
1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) = $\sum(E_2 \times A \times W) / \sum(A \times W) = 600 / 150$ =						4.00
2. 복합부재의 상태안전성능 평가 결과 =						b

4) 4단계 상태안전성능 평가 : 개별시설(個別施設) 평가표 작성

제체는 개별시설로서 제체, 호안, 하상부, 배수통관의 부재 집합으로 구성되어 있다. 복합부재의 중요도는 [표 8.30]에 따라 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_c)를 산출하고 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

또한 개별시설의 평가단계에서는 구조안전성능 평가를 수행하여 개별시설의 안전성능 평가 결과를 산정한다.

$$\text{개별시설의 상태안전성능 평가지수}(E_c) = \text{Min} + V_1 \times V_2$$

$$\text{여기서, } V_1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$$

$$V_2 = \sum(E_3 \times W) / (5 \times \sum W)$$

W : 중요도

Max : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) 최댓값

Min : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_3) 최솟값

[표 8.29] 시설물별 중요도

구 분	제체	호안	하상부	배수통관	비 고
중요도	49	23	11	17	

[표 8.30] 개별시설 평가표(부분 예시)

개 별 시 설 :	제방			
3단계 표번호 :	3-1, 3-2, 3-3, 3-4			
복합부재명	평가결과	평가지수	중요도(%)	계산값
		E_3	W	$E_3 \times W$
제체	b	4.0	49	196
호안	c	3.4	23	78.2
하상부	b	3.6	11	39.6
배수통관	b	3.6	17	61.2
합계(Σ)			100.0	375
<조사자 의견>				
1. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최댓값 (Max. Value) =				4.0
2. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최솟값 (Min. Value) =				3.4
3. $V_1 = 0.3 \times (\text{Max.} - \text{Min}) = 0.3 \times (4.0 - 3.4) =$				0.18
4. $V_2 = \sum(E_3 \times W) / (5 \times \sum W) = 375 / (5 \times 100) =$				0.75
5. 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_c)				
=Min. + $V_1 \times V_2 = 3.4 + 0.18 \times 0.75 =$				3.54
6. 개별시설의 상태안전성능 평가 결과 =				b

○ 구조안전성능 평가 결과 산정 방법

월류, 활동, 전도, 내하력 등 여러 안전성능 평가 항목에 대한 평가 결과를 종합하여 구조안전성능 평가지수를 다음 식에 의하여 산정하되, 하나의 평가항목을 다수의 단면에 대하여 검토 한 경우에는 그 평가항목에 대한 평가결과 중 최저평가점수를 그 평가항목의 평가점수로 하여 다음 식에 의하여 전체시설물에 대한 구조안전성능 평가지수 값을 결정하여야 한다.

제방의 내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구 결과¹⁾에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

$$\begin{aligned} \text{구조안전성평가지수}(E_s) &= L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N-2)}, & (N > 2) \\ &= L + 0.3(H - L), & (N = 2) \end{aligned}$$

여기서, N : 구조안전성능 평가 항목 수

L : 검토항목의 구조안전성능 평가지수(평가점수) 중 최솟값

H : 검토항목의 구조안전성능 평가지수(평가점수) 중 최댓값

M_i : 검토항목의 최대 및 최솟값을 각각 1개씩 제외한 나머지 값들

- ① 검토한 안전성능 평가 항목에 대하여 평가기준에 의거 각각 안전성능 평가 점수를 결정함
- ② ①의 결과를 이용하여 각 안전성능 평가항목별로 안전성능 평가 점수를 산정함.
하나의 평가항목을 여러 단면에 대하여 검토한 경우에는 그 평가항목에 대한 평가 결과 중 최저치를 그 평가항목의 평가결과로 함
- ③ ②에서 산정된 각 평가항목별 안전성능 평가 점수를 이용하여 위 식에 의하여 종합 안전성능 평가지수를 산정함
- ④ ③의 결과 산정된 종합 안전성능 평가 지수를 다음 표의 안전성능 평가지수에 따른 안전성능 평가 기준에 따라 안전성능 평가 결과를 결정함

[표 8.31] 구조안전성능 평가지수(E_s) 범위에 따른 구조안전성능 평가 기준

구조안전성능 평가지수의 범위	안전성능 평가기준	안전성능 평가 점수
$4.5 \leq E_s \leq 5.0$	A	5
$3.5 \leq E_s < 4.5$	B	4
$2.5 \leq E_s < 3.5$	C	3
$1.5 \leq E_s < 2.5$	D	2
$1.0 \leq E_s < 1.5$	E	1

1) 기존 시설물의 내진성능 평가 및 향상요령('04.05): 국토해양부, 한국시설안전공단

2) 구조안전성능 평가 결과산정 예시

[표 8.32] 개별시설 구조안전성능 평가표(부분 예시)

구 조 안 전 성 능 평 가					
평가항목	평가결과	평가점수	평가항목	평가결과	평가점수
1. 월류에 대한 안전성능 검토	a	5	5. 옹벽 내하력 검토	d	2
2. 활동에 대한 안전성능 검토 (사면안정 해석)	b	4			
3. 누수에 대한 안전성능 검토 (침투류 및 파이핑 해석)	c	3			
4. 옹벽의 전도에 대한 검토	c	3			
<검토자 의견>					
1. 평가항목수(N)에 따라 E_s 수식 선택 1.1) N=1이면 $E_s = \text{Min}$ N=2이면 $E_s = \text{Min} + 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$ 1.2) N>2이면 $E_s = \text{Min} + 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min}) \times \sum M / (5 \times (N-2))$ (Max, Min = 평가점수 최대, 최솟값 : M = 최대, 최솟값을 제외한 나머지 중간값)					
2. 개별시설 구조안전성능 평가지수(E_s) =					2.60
3. 개별시설 구조안전성능 평가 결과 =					C

○ 안전성능 평가 기준

시설물의 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 종합평가를 결정하며, 시설물에 대한 종합평가 기준은 아래 표의 종합평가지수에 따라 결정한다.

[표 8.33] 종합평가지수에 따른 종합평가 기준

종합평가지수(E)	종합평가 기준	비 고
$4.5 \leq E \leq 5.0$	A	
$3.5 \leq E < 4.5$	B	
$2.5 \leq E < 3.5$	C	
$1.5 \leq E < 2.5$	D	
$1.0 \leq E < 1.5$	E	

○ 안전성능 평가 결과 산정

평가대상 개별시설에 대하여 상태안전성능 평가 및 구조안전성능 평가를 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능 평가지수와 안전성능 평가지수를 비교하여 작은 값을 종합평가를 위한 종합평가지수(E)로 결정·적용하여 개별시설의 종합평가 결과를 결정하고, 평가단계별로 그 결과를 취합하여 종합평가를 실시한다.

안전성능 종합평가 결과를 결정하기 위해 시설물별 상태안전성능 평가 및 구조안전성능 평가 결과로 산출된 상태안전성능 평가지수와 안전성능 평가지수를 사용하며, 이 값 중에서 작은 값을 개별시설의 안전성능 평가지수(E_4)로 하며, 이 값으로 개별시설의 안전성능 평가 결과를 부여한다.

$$\text{개별시설의 안전성능 평가지수 } (E_4) = \text{Min}(E_c, E_s)$$

여기서, E_c : 개별시설의 상태안전성능 평가지수

E_s : 개별시설의 구조안전성능 평가지수

[표 8.34] 개별시설 평가표 예시

개 별 시 설 :	제 방			표 번호
3단계 표번호 :	3-1, 3-2, 3-3, 3-4			4-1
상 태 평 가				
복합부재명	평가결과	평가지수(E_3)	중요도(%)	계산값($E_3 \times S$)
제체	b	4.0	49	196
호안	c	3.4	23	78.2
하상부	b	3.6	11	39.6
배수통관	b	3.6	17	61.2
합계(Σ)			100.0	375
<div><조사자 의견></div>				
1. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최댓값 (Max. Value) =				4.0
2. 상태안전성능 평가지수(E_3) 최솟값 (Min. Value) =				3.4
3. $V_1 = 0.3 \times (\text{Max.} - \text{Min}) = 0.3 \times (4.0 - 3.4) =$				0.18
4. $V_2 = \Sigma(\times W) / (5 \times \Sigma W) = 375 / (5 \times 100) =$				0.75
5. 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_c)				
=Min. + $V_1 \times V_2 = 3.4 + 0.18 \times 0.75 =$				3.54
6. 개별시설의 상태안전성능 평가 결과 =				b
평가항목	평가 결과	평가 점수	평가항목	평가 결과
1. 월류에 대한 안전성능 검토	a	5	5. 옹벽 내하력 검토	d
2. 활동에 대한 안전성능 검토 (사면안정 해석)	b	4		
3. 누수에 대한 안전성능 검토 (침투류 및 파이핑 해석)	c	3		
4. 옹벽의 전도에 대한 검토	c	3		
1. 평가항목수(N)에 따라 E_s 수식 선택				
1.1) N=1이면 $E_s = \text{Min}$, N=2이면 $E_s = \text{Min} + 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$				
1.2) N>2이면 $E_s = \text{Min} + 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min}) \times \Sigma M / (5 \times (N-2))$				
(Max, Min = 평가점수 최대, 최솟값 : M = 최대, 최솟값을 제외한 나머지 중간값)				
2. 개별시설 구조안전성능 평가지수(E_s) =				2.60
3. 개별시설 구조안전성능 평가 결과 =				C
중 합 평 가				
1. 개별시설 안전성능 평가지수(E_4) = $\text{Min}(E_c, E_s)$				2.60
2. 개별시설 안전성능 평가 결과 =				C

8.5 내구성능 평가 기준 및 방법

8.5.1 일반

제방 시설물의 경우 강재 내구성능 평가는 실시하지 않으며, 콘크리트 내구성능 평가만을 실시함. 내구성능 평가에서는 최저등급제를 적용하여 단위 부재별 내구성능 평가를 실시한 후, 각 등급산정 결과에 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 시설물 내구성능에 대한 최종등급을 결정한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

8.5.2 콘크리트 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질이며, 열화환경평가는 제설제에 의한 염해환경, 동결융해의 반복에 의한 동해환경이다.

[표 8.35] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전항목	열화환경항목
탄산화 깊이 염화물 침투량(필요시) 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

나. 평가대상 부재

제방은 유수가 하도 밖으로 넘치는 것을 방지하기 위하여 하천을 따라 토사 등으로 축조한 시설물이다. 여기서는 토사로 이루어진 표준제방이 아니라, 콘크리트 구조물로 이루어진 특수제방을 대상으로 함. 제방의 경우, ‘뒷비탈(제내측사면)’, ‘독마루’, ‘앞비탈(제외측사면)’로 나뉜다.

[표 8.36] 제방의 평가대상 부재

시설명	세부 부재
제방	뒷비탈(제내측사면)
	독마루
	앞비탈(제외측사면)

다. 평가지표별 기준 및 점검방법

1) 염화물 침투량

[표 8.37] 염화물 침투량 평가등급

평가 기준	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$	비 고
a	30년 초과	0.3 이하	<ul style="list-style-type: none"> - 깊이별 염화물 침투량 측정 - 공용연수와 염화물 침투량을 고려하여 염화물 확산계수 산정 - 염화물 확산계수로서 철근의 부식 발생 임계치에 도달하는 시간 산정 - “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$	
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$	
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

<해 설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정함
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것임
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문임
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여함
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 성능평가 보고서에 별도로 기재함

2) 탄산화 깊이

[표 8.38] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T	비고
a	30년 초과	점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 T계산 탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계 피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T: 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간, D: 탄산화 깊이, t: 공용연수)
b	20년 < T ≤ 30년	
c	10년 < T ≤ 20년	
d	5년 < T ≤ 10년	
e	5년 이하	

<해설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 포함함
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화 될 가능성을 고려함
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려함

3) 피복(표면부) 콘크리트 품질

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 8.39] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	상세	비고
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태
b	90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 < 100%	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가함
- a등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있음
- c등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태임

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 8.40] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	상세	비고
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도 값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용함
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정 하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정함
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위를 의미함
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분함

4) 염해환경

[표 8.41] 염해환경의 평가기준(제설제)

항목	평가 기준	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	$7 \leq \text{강설일수} < 14$
	c	$14 \leq \text{강설일수}$

<해 설>

- 염해환경은 겨울철 강설에 따른 독마루 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 설정함
- 강설일수는 동절기 제설제 환경 하에 위치한 콘크리트 시설물의 내구성 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가 살포는 고려하지 않으며, 강설일수가 14일 이상이면 C 등급을 부여함
- 강설일수는 최심신적설(하루동안 온 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 적용함

4) 동해환경

[표 8.42] 동해환경의 평가기준

평가 기준	동결융해 반복지수(X)	비고
a	$X < 3$	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	

<해 설>

- X는 동결융해 반복지수로서 수분과의 접촉 여부로 구분하여 산정함
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정함
- 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단함

라. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저 등급을 반영한다. 부재별 내구성능 평가결과와 부재별 가중치를 고려하여 등급을 도출한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경 평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다. 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경 평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다. 해수에 접하는 제방은 하구둑 기준에 준하여 평가한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경 평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경 평가는 제설제 염해환경, 동해환경의 2개 열화환경 평가 지표로 이루어진다. 열화환경평가는 2가지 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다. 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 8.43] 열화환경 평가등급

평가기준	열화 환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

○ 염해환경

- 염해환경은 겨울철 강설로 인한 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경을 평가함

○ 동해환경

- 대상 수문이 위치한 지역의 10년간 동절기 기상청 데이터를 기준으로 동해 환경을 파악하여 동결융해 반복지수를 도출하고, 동결융해 환경등급을 평가
- 동일한 동결융해 사이클에 노출되어 있더라도 동결융해에 대한 위험도는 부재별 수분공급 환경에 따라 다르며, 열화환경 등급으로 반영되는 동결융해 환경은 수분에 노출되는 부재의 동결융해 사이클 수가 되며, 수분에 노출되지 않는 부재의 동결융해 사이클 수(강수가 있을 때만 해당됨)는 비록 수분에 직접

노출되지 않더라도 동결융해에 대하여 취약할 수 있음에 대한 참고자료로서 활용함

(나) 열화진전 평가(부재수준의 평가)

이 단계에서는 각 세부부재별로 내구성능에 관한 열화진전평가를 실시한다. 제방 시설물의 세부 부재는 독마루, 앞비탈(제외측사면), 뒷비탈(재내측사면)로 구성된다. 내구성능 평가에 있어 열화진전평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.

각 내구성능 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급을 대상 부재의 내구성능 등급으로 산정함
- 다만, 피복 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균함

산출된 각 세부부재(예, 뒷비탈, 독마루, 앞비탈)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 제방 시설물의 콘크리트 내구성능 등급으로 도출한다. 각 세부 시설물별 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표는 아래와 같다.

○ 독마루

지표명	
열화진전평가	염화물 침투량
	탄산화 깊이
	피복(표면부) 콘크리트 품질

<해 설>

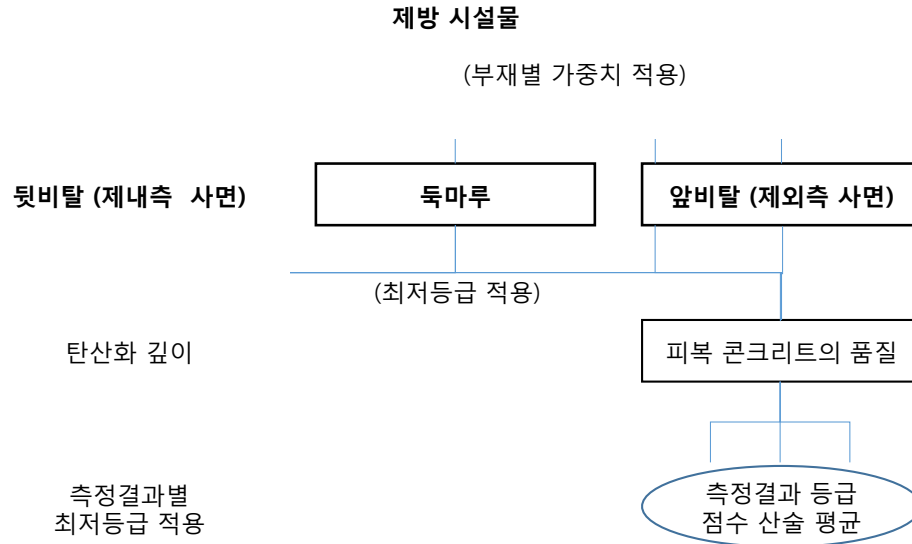
- 독마루에 제설제가 살포되는 환경인 경우 제내지와 제외지의 철근콘크리트 부재에 염화물 침투량을 평가할 필요가 있음
- 제방이 비래염분 염해환경에 있지 않고, 독마루에 제설제를 살포하지 않는 경우는 염화물 침투량 시험을 실시하지 않음

○ 앞비탈(제외측사면), 뒷비탈(재내측사면)

지표명	
열화진전평가	탄산화 깊이
	피복(표면부) 콘크리트 품질

<해 설>

- 제방이 해안인근에 위치할 경우 하굿둑 매뉴얼을 참고하여 비래염분에 의한 염해환경을 평가하고 평가결과가 B등급 이하인 경우 제내지, 제외지의 철근콘크리트 부재 또한 염화물 침투량 평가가 필요함



[그림 8.2] 제방의 내구성능 평가 예시

○ 등급별 평가점수 및 지수범위

- 부재별 등급에 따른 평가점수 및 최종 등급 산정을 위한 평가지수 범위는 다음과 같음

[표 8.44] 등급별 평가점수

평가기준	a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
평가점수	5	4	3	2	1

[표 8.45] 등급별 평가지수 범위

a등급	b등급	c등급	c등급	e등급
$4.5 \leq X \leq 5$	$3.5 \leq X < 4.5$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1 \leq X < 1.5$

(다) 세부부재등급 산정 안에 따라 시설물 전체 등급 산정

○ 각 부재별 가중치를 활용하여 제방의 내구성능 등급을 산정함

[표 8.46] 제방의 시설물 형식에 따른 가중치

형식	부재명	부재별 가중치(%)
제방	뒷비탈(제내측사면)	20
	독마루	30
	앞비탈(제외측사면)	50

○ 제방 시설물의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타냄

[표 8.47] 열화진전 평가

시설명	평가등급	부재명	평가등급
제방	A~E	뒷비탈(제내측사면)	A~E
		둑마루	A~E
		앞비탈(제외측사면)	A~E

[표 8.48] 열화환경 평가

열화환경지표	평가등급	제방의 주요 대상 부재
제설제 염해환경	A or B or C	제설제가 살포될 경우 제방의 도로부분 및 뒷비탈(제내측사면) 및 앞비탈(제외측사면)의 철근콘크리트 부재
비래염분 염해환경	A	해당사항 없음
동해환경	A or B or C	전체 시설물에서 국부적으로 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

<해 설>

- 비래염분 염해환경은 제방의 열화환경이 아닌 것으로 판정하여 A등급으로 미리 설정하였으나, 현장 점검책임자가 비래염분에 의한 염해환경이 조성되는 것으로 판단되는 경우 하구둑 시설물의 비래염분 염해환경 평가를 참조하여 반영하여야 함
- 열화환경평가는 독립적인 평가를 실시하여 시설물 내구성능 등급 산정에는 반영하지 않으며, 기타 유지관리에 필요한 자료로서 활용됨

3) 결과산정 예

○ 대상 제방

[표 8.49] 대상 제방 예시

콘크리트 부재	일반 RC
피복 두께	50mm
공용연수	20년
지역	고창
연장	100m
높이	10m

(가) 열화환경 평가

- 고창지역의 평균 강설일수는 12.5일로서 제설제 염해환경은 B등급이 됨
- 또한, 해당 지역의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 11.8회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 50.6회로서 동결융해 환경은 B등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우도 동결융해 사이클이 연평균 11.8회로서 동결융해의 피해를 입을 수 있음을 확인함

(나) 열화진전 평가_염화물 침투량

- 염화물 침투량 시험은 배수갑문의 해측 3개소에서 실시함
- 대상 콘크리트 부재의 피복두께는 50mm이며, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과를 확보함

[표 8.50] 염화물 침투량 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				평가결과
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물 침투량	앞비탈	1.5	1.05	0.4	0.1	a
	뒷비탈	1.5	0.98	0.4	0.1	a
	독마루	4.5	3.5	1.8	0.8	c

[표 8.51] 염화물 확산계수 산출

계산 항목	세부 부재	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)
염화물 확산계수	앞비탈	—	—	0.103	—
	뒷비탈	—	—	0.103	—
	독마루	—	—	—	0.194

<해 설>

- 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있음

[표 8.52] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재	계산 결과 (year)	평가결과
철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	앞비탈	30년 초과	a
	뒷비탈	30년 초과	a
	독마루	30년 초과	a

[표 8.53] 염화물량 최종 평가등급

시설물	염화물 침투량 평가	철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가
제방	c	a
	평가결과 : c	

(다) 열화진전 평가_탄산화 깊이

- 탄산화 깊이는 독마루에서 25m 간격으로 2회씩 실시함
- 각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저등급을 대상부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 함

[표 8.54] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가 항목	측정 위치	탄산화 깊이 (mm)		탄산화 속도계수		잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)		개별 평가결과		평가 결과
		No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	
탄산화 깊이	독마루 No.1	10	9	2.2	2.0	30년 초과	30년 초과	a	a	a
	독마루 No.2	8	9	1.8	2.0	30년 초과	30년 초과	a	a	a
	독마루 No.3	9	9	2.0	2.0	30년 초과	30년 초과	a	a	a
	독마루 No.4	28	32	6.3	7.2	30년 초과	19	a	b	b

(라) 열화진전 평가_피복(표면부) 콘크리트의 품질

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 독마루에서 25m 간격으로 2회씩 실시함

[표 8.55] 피복(표면부) 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가 항목	측정 위치	설계값 대비 강도추정값 (%)	비건전부/건전부 비율(%)	개별 평가결과		평가 결과
피복(표면부) 콘크리트의 품질	독마루 No.1	105	95	a	a	a (평균값)
	독마루 No.2	101	98	a	a	
	독마루 No.3	120	93	a	b	
	독마루 No.4	98	92	b	b	

(마) 콘크리트 내구성능 평가 요약

[표 8.56] 제방의 콘크리트 내구성능 평가

세부부재 (가중치, %)	항목별 평가결과				
	염화물 침투량	탄산화 깊이	피복(표면부) 콘크리트의 품질	부재별 평가결과	제방
뒷비탈 (20) (제내측사면)	a	—	—	a	b
둑마루 (30)	c	b	a	c	
앞비탈 (50) (제외측사면)	a	—	—	a	
	최저등급제			가중치 고려	

[표 8.57] 열화환경지표의 평가

열화환경지표	평가결과
제설제 염해환경	b
동해환경	b

8.6 사용성능 평가 기준 및 방법

8.6.1 일반

사용성능이란 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적에 만족하기 위한 성능으로 정의한다. 시설물의 사용성능 평가는 사용성능과 기능성으로 구분되며, 사용성능은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도를 평가하고, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

8.6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

제방의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성능과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다. 제방에서는 서비스의 성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 운영자의 안정감 측면에서 운영성, 사용자의 주관적 위험도 측면에서 방재성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 선정한다.

나. 세부지표의 평가범위

제방의 사용성능을 운영성, 방재성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표를 도출하고 배수통관 문짝과 배수암거 배수는 a, b, c로, 제방 비탈면의 경사도는 a, c, e로, 점검시설과 홍수방어는 a~e로 차등 적용한다.

[표 8.58] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성능	운영성	배수통관 문짝	a, b, c
		배수암거 배수	a, b, c
	방재성	제방 비탈면 경사도	a, c, e
기능성	유지관리성	점검시설	a, c, e
	수요 및 용량	홍수 방어	a, b, c, d, e

제방의 사용성능 평가는 점검시설과 같이 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 운영성

(가) 배수통관 문짝

[표 8.59] 배수통관 문짝의 성능평가 기준

평가기준	상 태
a	하천외수 차단기능 및 문짝자체 이상이 없는 상태
b	문짝 자체 경미한 손상이 있으나 하천 외수 차단기능에는 문제가 없는 상태
c	하천외수 차단기능에 이상이 있는 상태
d	—
e	—

(나) 배수암거 배수

[표 8.60] 배수암거 배수의 성능평가 기준

평가기준	상 태
a	암거내부 퇴적이 거의 없는 상태
b	암거내부 퇴적심이 암거높이의 30% 미만인 상태
c	암거 내부퇴적심이 암거 높이의 30%이상이거나 기타 이물질 등으로 배수기능에 지장이 있는 상태
d	—
e	—

2) 방재성

(가) 제방 비탈면 경사도

[표 8.61] 제방 비탈면 경사도의 성능평가 기준

평가기준	상 태
a	1:3 보다 완만한 비탈경사
b	1:3~1:2의 비탈경사
c	1:2 보다 급한 비탈경사
d	—
e	—

<해 설>

- 본 성능평가 기준은 하천설계기준을 참조 하여 적용함. 제방고와 제내지반고의 차이가 0.6m 미만인 구간을 제외하고는 제방 비탈면은 1:3또는 이보다 완만하게 설치함
- 1:2는 종래의 제방에 적용되는 경사도로서 새로운 설계 기준을 반영하고 있느냐를 판단 하여 기능성을 평가함

3) 유지관리성

(가) 점검시설

[표 8.62] 점검시설 성능평가 기준

평가기준	상 태
a	시설물의 관리에 필요한 도로 및 접근로가 기준에 맞게 설치되어 있으며, 도로 및 접근로가 건전한 상태(신설)
b	시설물의 관리에 필요한 도로 및 접근로가 기준에 맞게 설치되어 있으며, 도로 및 접근로가 양호한 상태
c	시설물의 관리에 필요한 도로 및 접근로가 기준에 맞게 설치되어 있으나, 결함이 있어 수리가 필요한 상태
d	시설물의 관리에 필요한 도로 및 접근로가 기준에 맞게 설치되어 있으나, 사용 시 심각한 안전상의 문제가 있어 교체가 필요한 상태
e	시설물의 조사에 필요한 도로 및 접근로의 노후화로 새로 설치를 요하는 상태

<해 설>

- 이 항목은 점검시설에 있어 공통적으로 적용되는 기준으로 시설물 조사에 필요한 접근로 및 점검로의 유무로 판단하여 적용함.
(하천설계기준 점검로 설치기준을 참고하여 평가함)

4) 수요 및 용량

(가) 홍수방어

[표 8.63] 홍수방어의 성능평가 기준

평가기준	등급기준
a	현재 제방의 여유고 및 독마루폭이 계획홍수량대비 기준을 다 만족하고 있을때
b	여유고나 독마루폭 둘중의 하나가 계획홍수량대비 기준을 만족하지 못할 때 20%이내의 여유고나 독마루폭 손실
c	여유고나 독마루폭 둘중의 하나가 계획홍수량대비 기준을 만족하지 못할 때 20%이상의 여유고나 독마루폭 손실
d	여유고와 독마루폭 둘다 계획홍수량대비 기준을 만족하지 못할 때 20%이내의 여유고나 독마루폭 손실
e	여유고와 독마루폭 둘다 계획홍수량대비 기준을 만족하지 못할 때 20%이상의 여유고나 독마루폭 손실

<해 설>

- 본 성능평가 기준은 제방의 주된 기능인 홍수방어에 초점을 두어 등급을 설정함
- 제방의 홍수방어능력은 제방의 단면에 따르며 제방단면을 결정하는 인자는 제방고, 둑마루 폭, 비탈경사 등이 있음. 이중 비탈의 경사는 사용성에서 지표로 선정되었고 제방고와 둑마루 폭을 활용하여 평가함
- 제방고는 기본적으로 계획 홍수위에 여유고를 더한 높이 이상으로 설계함
- 여유고는 계획홍수량을 안전하게 소통시키기 위하여 안전값으로 주어지는 여분의 제방 높이를 의미한다. 이때 계획홍수량에 따른 여유고는 아래 표와 같음

[표 8.64] 하천설계기준 및 해설 (2009)

계획홍수량 (m ³ /sec)	여유고 (m)
200미만	0.6
200이상~500미만	0.8이상
500이상~2000 미만	1.0이상
2000이상~5000미만	1.2이상
5000이상~10000미만	1.5이상
10000이상	2.0이상

<해 설>

- 둑마루 폭은 침투수에 대한 안전의 확보 및 홍수시의 방재활동을 목적으로 하며 계획 홍수량에 따른 둑마루 폭은 아래 표와 같음

[표 8.65] 하천설계기준 및 해설 (2009)

계획홍수량 (m ³ /sec)	둑마루폭 (m)
200미만	4.0이상
200이상~5000미만	5.0이상
5000이상~10000 미만	6.0이상
10000이상	7.0이상

<해 설>

- 현재의 여유고와 둑마루 폭이 기준을 동시에 만족하고 있으면 a등급, 한쪽만 만족하고 있으면 제방의 소실정도에 따라 b혹은 c등급, 둘다 만족하지 못하면 제방의 소실정도에 따라 d혹은 e등급으로 평가함

라. 사용성능 평가 결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능 평가 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 8.66] 제방 분야의 사용성능 평가 평가지표에 대한 가중치 산정

	배수통관 문짝	배수암거 배수	제방 비탈면 경사도	점검시설	홍수방어
가중치	0.140	0.170	0.176	0.171	0.344

[표 8.67] 사용성능 평가 평가지표에 대한 가중치 조정방법(예)

	배수통관 문짝	배수암거 배수	제방 비탈면 경사도	점검시설	홍수방어
가중치	0.170	0.206	—	0.207	0.417

<해 설>

- 가중치 조정 예 : 제방 비탈면 경사도에 대한 평가가 제외되는 경우, 제방 비탈면 경사도에 해당하는 가중치 0.176을 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분함

2) 결과 산정 일반

(가) 평가항목별(지표별) 평가

- 배수통관 문짝
 - 육안점검을 통해 문짝의 하천외수 차단기능을 평가함
- 배수암거 배수
 - 육안점검과 암거내부의 퇴적심을 측정하여 평가함
- 제방비탈면 경사도
 - 하천설계기준을 참조하여 적용함
 - 비탈면의 경사도를 측정하여 평가함
- 점검시설
 - 시설물 조사에 필요한 접근로의 유무 및 상태를 조사하여 평가함
 - a, b등급의 구분은 신설인 경우만 a등급으로 규정함
- 홍수방어
 - 하천설계기준의 여유고와 독마루폭에 대한 기준을 참조하여 적용함

- 제방의 홍수방어능력은 제방의 단면에 따르며 이를 결정하는 인자인 제방고, 둑마루폭을 평가함

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 서비스 등급 산정

a등급은 5점, b등급은 4점, c등급은 3점, d등급은 2점, e등급은 1점으로 적용한다.

$$\text{사용성능 평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w= 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c= 각 세부지표별 평가 결과

마. 사용성능 평가 결과 산정 예시

1) 평가항목별(지표별) 평가

○ 배수통관 문짝

- 육안점검을 통해 문짝의 하천외수 차단기능을 평가함
- 각 문짝의 등급을 우선 평가하고 산정된 등급들의 평균을 산정하여 해당 시설물의 등급을 산정함

[표 8.68] 배수통관 문짝 평가 산정 예

구분	육안점검	하천외수 차단	평가결과	등급점수	통관 문짝 평가결과
#1	양호	양호	b	4	b(4.33)
#2	경미한 손상	양호	b	4	
#3	양호	양호	a	5	

<해 설>

- #1과 #3의 차이는 #3의 경우는 신설

○ 배수암거 배수

- 육안점검과 암거내부의 퇴적심을 측정하여 평가함
- 각 암거의 등급을 우선 평가하고 산정된 등급들의 평균을 산정하여 해당 시설물의 등급을 산정함

[표 8.69] 배수암거 배수 평가 산정 예

구분	암거높이(m)	퇴적심(m)	평가결과	등급점수	배수암거 평가결과
#1	1.5	0.3	b	4	b(3.67)
#2	1.5	0.2	b	4	
#3	1.5	0.5	c	3	

○ 제방비탈면 경사도

- 비탈면의 경사도를 측정하여 평가함
- 해당 시설물의 비탈면 경사는 1 : 2 보다 완만하여 b등급으로 평가함

○ 점검시설

- 시설물 조사에 필요한 접근로의 유무 및 상태를 조사하여 평가함

[표 8.70] 점검시설 평가 산정 예

설치유무	상태	평가결과
사다리 설치	양호	b

○ 홍수방어

- 제방의 홍수방어능력은 제방의 단면에 따르며 이를 결정하는 인자인 제방고, 둑마루 폭을 평가함
- 여유고와 둑마루폭 둘다 기준을 20%이내에서 충족하지 못하고 있어 d등급으로 평가함

[표 8.71] 홍수방어 평가 산정 예

구분	계획홍수량	높이/폭	만족여부	손실률	평가결과
여유고	100	0.5	불만족	17%	d
둑마루폭		3.6	불만족	10%	

2) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 평가 등급 산정

[표 8.72] OO제방 최종 사용성능 평가

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	평가점수
사용성능	운영성	배수통관 문짝	0.14	b	4
		배수암거 배수	0.17	b	4
	방재성	비탈면 경사도	0.176	b	4
기능성	유지관리성	점검시설	0.171	b	4
	수요 및 용량	홍수방어	0.344	d	2

- 위의 식대로 사용성능 평가 등급을 산정해보면
 - $4 \times 0.140(\text{배수통관 문짝}) + 4 \times 0.17(\text{배수암거배수}) + 4 \times 0.176(\text{비탈면경사}) + 4 \times 0.17(\text{점검시설}) + 2 \times 0.344(\text{홍수방어}) = 3.316$
- 이를 최종 등급 산정표에 적용시켜 보면 본 제방의 최종등급은 C등급으로 평가함

8.6.4 사용성능 평가 결과

사용성능 평가 결과는 아래 표를 활용하여 적용한다.

[표 8.73] 사용성능평가 결과 점수

등급	설명	결과 점수
A	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준	$4.5 \leq x$
B	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준	$3.5 \leq x < 4.5$
C	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준	$2.5 \leq x < 3.5$
D	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준	$1.5 \leq x < 2.5$
E	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준	$x < 1.5$

8.7 종합평가 기준 및 방법

8.7.1 종합평가 일반

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 서비스 성능 평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 가중 평균한 값으로 결정한다.

- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때
 - 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정됨
- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

[표 8.74] 성능별 가중치

성능별 가중치(%)			합계
안전성능	내구성능	사용성능	
66	20	14	100

<해 설>

- 책임기술자는 외부요인에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단 될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정할 수 있음

8.8.2 종합평가 결과산정방법

안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때에는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우 각 성능(안전, 내구, 사용성)간 성능인자에 따라 가중 평균하여 종합성능등급 도출한다.

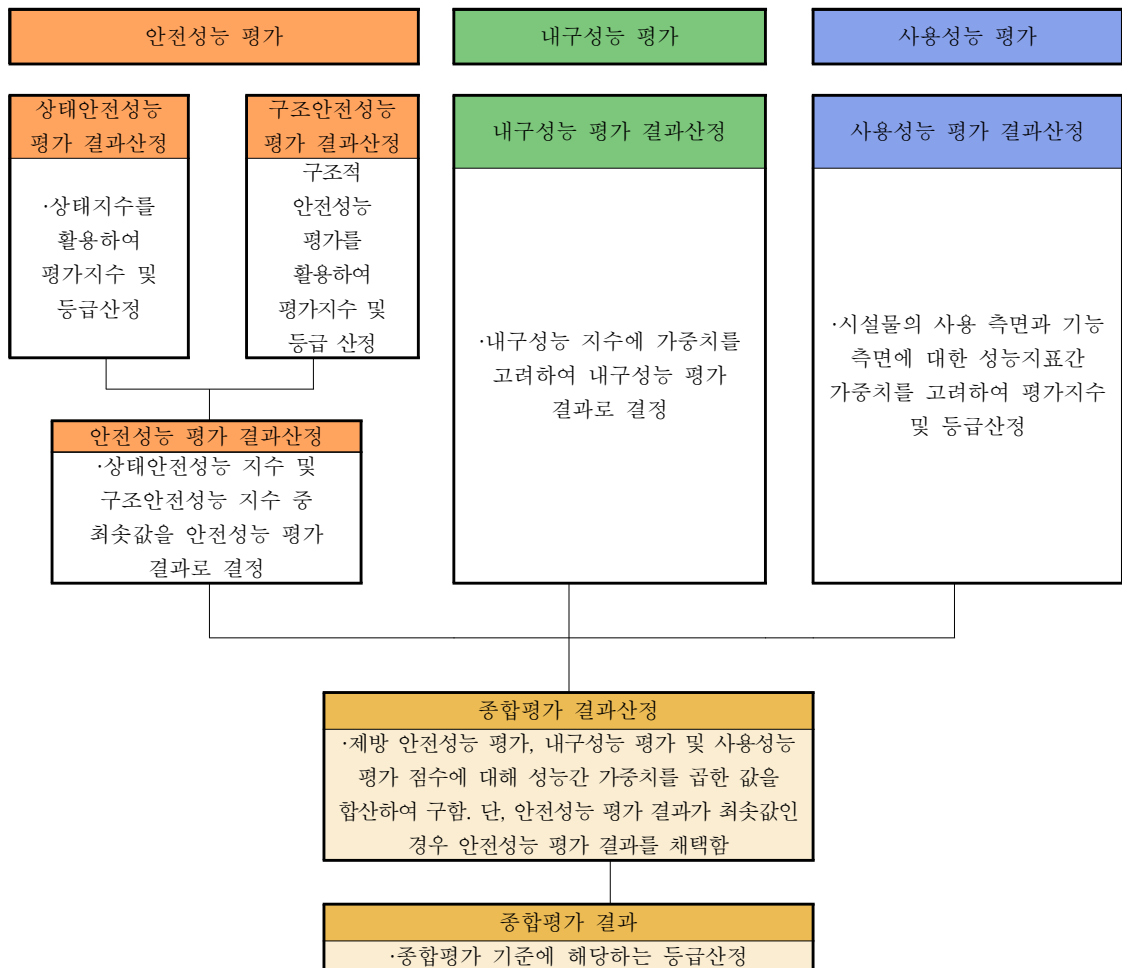
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

$$\text{종합평가 지수}(E) = \sum(\text{성능평가지수}(E_n) \times \text{성능별 가중치}(W_n))$$

여기서, E_n : 평가성능별 평가지수

W : 가중치

종합평가 산정절차는 아래의 표에서 제시한 절차에 따른다.



[그림 8.3] 제방의 종합평가 결과산정절차

각 성능간 가중치를 고려하여 산정한 종합평가 지수에 따라 종합성능등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 8.75] 성능별 가중치

종합평가지수(E)	종합평가 등급
$4.5 \leq E \leq 5.0$	A
$3.5 \leq E < 4.5$	B
$2.5 \leq E < 3.5$	C
$1.5 \leq E < 2.5$	D
$1.0 \leq E < 1.5$	E

종합평가에 대한 예시는 아래와 같다.

[표 8.76] 종합평가 결과 산정표 예

시설물 종합평가 결과 산정표				
시설물명	○○제		표번호	CPD. NO.1
평가구분	성능평가지수	평가결과	비 고	
안전성능 평가	$E_s=3.56$	B	근거 표번호	
내구성능 평가	$E_d=3.6$	B	근거 표번호	
사용성능 평가	$E_f=3.9$	B	근거 표번호	
종합평가 결과	○ 종합평가 지수 : 3.62 ○ 종합평가 결과 : B (종합평가지수 = $3.56 \times 0.66 + 3.6 \times 0.2 + 3.9 \times 0.14$)			

각 성능 간 가중치를 고려하여 산정한 종합평가 지수에 따라 종합성능등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 8.77] 제방 종합평가 기준 및 정의

평가등급	평가점수	정의
A (우수)	$4.5 \leq E$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$3.5 \leq E < 4.5$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$2.5 \leq E < 3.5$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$1.5 \leq E < 2.5$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$1.0 \leq E < 1.5$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

제9장 공 항(여객터미널)

9.1 관리일반

9.2 현장조사

9.3 재료시험 항목 및 수량

9.4 안전성능 평가 기준 및 방법

9.5 내구성능 평가 기준 및 방법

9.6 사용성능 평가 기준 및 방법

9.7 종합평가 기준 및 방법

제9장 공항(여객터미널)

9.1 관리일반

9.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조의 규정에서 정하고 있는 건축물 중 공항(여객터미널)에 적용한다.

공항(여객터미널)은 그 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 건축구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 강구조설계기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 건설기준코드(구 건축공사 표준시방서)
- 건설기준코드(구 강구조공사 표준시방서)
- 그 밖에 건축시설물 관련 건설기준코드
- 「산업표준화법」에 의한 한국 산업규격(KS)
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서 등)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

9.1.2 용어 정의

- 공항
공항시설을 갖춘 공공용 비행장으로서 국토교통부장관이 그 명칭·위치 및 구역을 지정·고시한 것을 말한다.
- 공항시설
항공기의 이륙·착륙 및 여객·화물의 운송을 위한 시설과 그 부대시설 및 지원시설로서 공항구역 안에 있는 시설과 공항구역 밖에 있는 시설 중 대통령이 정하는 시설로 국토교통부장관이 지정한 시설을 말한다.

○ 공항의 기본시설

- 활주로, 유도로, 계류장, 착륙대 등 항공기의 이착륙시설
- 여객터미널, 화물터미널 등 여객시설 및 화물처리시설
- 항행안전시설
- 관제소, 송수신소, 통신소 등의 통신시설
- 기상관측시설
- 공항 이용객을 위한 주차시설 및 경비·보안시설
- 이용객에 대한 홍보시설 및 안내시설

○ 여객터미널

항공기를 이용하는 승객을 처리하거나 수하물을 취급하는 시설과 승객이 이용하는 편의시설 및 세관 또는 출입국 관리 등의 정부기관의 시설 등이 있는 공항의 터미널 구역의 중심시설을 말한다.

9.1.3 성능평가 실시 범위

공항(여객터미널)의 성능평가 실시 범위는 공항 시설물 중 여객터미널에 한정하며 평가 대상부재는 아래 표와 같다.

[표 9.1] 성능평가 대상시설물의 세부범위

구분	부재명	성능평가		비고
		제1종성능평가	제2종성능평가	
공항(여객터미널)	내력벽	○	○	
	기둥	○	○	
	보	○	○	
	바닥슬래브	○	○	
	지붕틀	○	○	
	주계단	○	○	

9.1.4 중대한 결함의 정도

공항(여객터미널)에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

- 1) 공항(여객터미널)의 기둥·보 또는 내력벽의 내력손실
 - 상태안전성능 평가지표 중 부재 내력에 대한 구조안전성능 평가 기준이 “d” 이하인 경우
- 2) 철근콘크리트 시설물의 염해 또는 중성화(탄산화)에 따른 내력손실
 - 내구성능 평가지표 및 기준의 재질변화에서 콘크리트 탄산화 잔여 깊이 또는 콘크리트의 염화물 침투량 등에 대한 내구성능 평가 기준이 “e” 판정으로 철근노출에 대한 상태안전성능 평가 기준이 “e”를 포함하는 경우
- 3) 조립식 구조체의 연결부설로 인한 내력상실
 - 상태안전성능 평가지표 중 부재 내력에 대한 구조안전성능 평가 기준이 “d” 이하인 경우
 - 상태안전성능 평가지표 중 강재용접부 결함 또는 강재 접합볼트 누락 등에 대한 상태안전성능 평가 기준이 “d” 이하인 경우
- 4) 주요 구조부재의 과도한 변형 및 균열심화
 - 상태안전성능 평가지표 중 부재의 변위·변형에 대한 상태안전성능 평가 기준이 “d” 이하이면서 과도한 균열을 동반하는 경우
- 5) 지반침하 및 이로 인한 활동적인 균열
 - 상태안전성능 평가지표 중 공항시설 여객터미널의 기울기에 대한 상태안전성능 평가 기준이 “d” 이하이면서 균열의 심한 변화를 동반하는 경우
- 6) 누수·부식 등에 의한 구조물의 기능상실
 - 상태안전성능 평가지표 중 콘크리트 내부의 철근부식에 대한 상태안전성능 평가 기준이 “e”이면서 누수를 동반하는 경우
 - 상태안전성능 평가지표 중 강재 용접접합부 부식 또는 볼트 접합부 부식에 대한 상태안전성능 평가 기준이 “d” 이하인 경우

9.2 현장조사

9.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

공항(여객터미널)의 성능평가 시 점검사항은 구조물의 형식에 따라 다를 수 있으므로 적절히 수정, 보완하여 사용한다. 각 구조형식별 점검사항은 평가결과를 기초로 판단하며, 이는 점검부위별 각각의 점검사항에 대한 주요 손상상태를 파악하는데 활용할 수 있다.

다만, 제2종성능평가 및 제1종성능평가에서 전기 및 기계설비에 대한 조사·시험에 대해서 선택과업으로 실시할 경우에는 관리주체와 협의하여 조사·시험 수준을 결정하며, 환기구 상태(덮개 등)의 조사결과는 관리주체의 유지관리방안 제시에 활용한다.

[표 9.2] 계절별 주요 조사항목

계절별 주요 조사항목		비고
해빙기	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 공항(여객터미널)의 부등침하 상태 ◦ 공항(여객터미널) 주변지표면 상태 ◦ 변위·변형 발생유무 ◦ 균열·손상 발생유무 ◦ 도장열화 발생유무 	
우기	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 공항(여객터미널)의 방수상태 ◦ 배수로상태(건물주변, 옥상 등) ◦ 공항(여객터미널) 외부 부착물상태 ◦ 공항(여객터미널) 주변지표면 상태 ◦ 변위·변형 발생유무 ◦ 균열·손상 발생유무 ◦ 도장열화 발생유무 	

가. 제2종성능평가의 조사항목

1) 철근콘크리트 구조

철근콘크리트 구조의 점검항목은 다음과 같으며, 여기서, 철근콘크리트 구조에는 라멘 구조, 벽식 구조, 프리캐스트콘크리트(PC)구조, 무량판구조 등의 구조형식을 포함한다.

[표 9.3] 철근콘크리트 구조의 조사항목

구 분			조사항목	비고
안전성능	상태 안전성능	부재 상태평가	◦ 균열	
			◦ 철근부식	
			◦ 박리	
			◦ 박락 및 층분리	
			◦ 누수 및 백태	
			◦ 철근노출	
		변위·변형	◦ 기울기	
			◦ 변위, 변형	
			◦ 부등침하	
구조 안전성능		◦ 부재 내력	도서검토	
		◦ 접합부 내력	도서검토	
내구성능			◦ 탄산화깊이	
			◦ 염화물 침투량	
			◦ 피복콘크리트품질	
			◦ 염해환경	
			◦ 동해환경	
			◦ 토양환경	
사용성능 ¹⁾	사용성	◦ 접근 교통의 편리성		
		◦ 주차시설의 만족도		
		◦ 정보이용의 용이성		
		◦ 공항시설 및 환경(청결성, 쾌적성, 편리성)		
		◦ 신속성(출발 및 도착 소요시간)		
		◦ 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)		
	기능성	◦ 연간처리능력		

주1) 사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

2) 강구조

[표 9.4] 강구조의 조사항목

구 분			조사항목	비고
안전성능	상태 안전성능	부재 상태평가	◦ 용접 접합상태	
			◦ 볼트 접합상태(앵커볼트 포함)	
			◦ 강재의 부식도	
			◦ 접합재 부식도(용접, 볼트)	
			◦ 내화피복	
			◦ 강재의 강도(도서검토) 및 규격	
		변위·변형	◦ 기울기	
			◦ 변위, 변형	
			◦ 부등침하	
구조 안전성능		◦ 부재 내력	도서검토	
		◦ 접합부 내력	도서검토	
내구성능			◦ 발청 및 도장열화	
			◦ 도장두께	
			◦ 누수	
			◦ 대기환경(해안 이격 거리, 이산화황 농도, 습도)	
사용성능 ¹⁾	사용성	◦ 접근 교통의 편리성		
		◦ 주차시설의 만족도		
		◦ 정보이용의 용이성		
		◦ 공항시설 및 환경(청결성, 쾌적성, 편리성)		
		◦ 신속성(출발 및 도착 소요시간)		
		◦ 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)		
	기능성	◦ 연간처리능력		

주1) 사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

3) 철골·철근콘크리트 구조

[표 9.5] 철골·철근콘크리트 구조의 조사항목

구 분				조사항목	비고
안전성능	상태 안전성능	부재 상태 평가	철 근 콘 크 리 트	◦ 균열	
				◦ 철근부식	
				◦ 박리	
				◦ 박락 및 층분리	
				◦ 누수 및 백태	
				◦ 철근노출	
			강 구 조	◦ 용접 접합상태	
				◦ 볼트 접합상태(앵커볼트 포함)	
				◦ 강재의 부식도	
				◦ 접합재 부식도(용접, 볼트)	
내구성능	철근 콘크리트	강구조	변위·변형	◦ 내화피복	
				◦ 강재의 강도(도서검토) 및 규격	
				◦ 기울기	
				◦ 변위, 변형	
				◦ 부등침하	
				◦ 부재 내력	도서검토
				◦ 접합부 내력	도서검토
				◦ 탄산화깊이	
				◦ 염화물 침투량	
				◦ 피복콘크리트품질	
사용성능 ¹⁾	사용성	기능성		◦ 염해환경	
				◦ 동해환경	
				◦ 토양환경	
				◦ 발청 및 도장열화	
				◦ 도장두께	
				◦ 누수	
				◦ 대기환경(해안 이격 거리, 이산화황 농도, 습도)	
				◦ 접근 교통의 편리성	
				◦ 주차시설의 만족도	
				◦ 정보이용의 용이성	
사용성능 ¹⁾	사용성	기능성		◦ 공항시설 및 환경(청결성, 쾌적성, 편리성)	
				◦ 신속성(출발 및 도착 소요시간)	
				◦ 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)	
				◦ 연간처리능력	

주1) 사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

나. 제1종성능평가의 조사항목

1) 철근콘크리트 구조

철근콘크리트 구조의 점검항목은 다음과 같으며, 여기서, 철근콘크리트 구조에는 라멘 구조, 벽식 구조, 프리캐스트콘크리트(PC)구조, 무량판구조 등의 구조형식을 포함한다.

[표 9.6] 철근콘크리트 구조의 조사항목

구 분			조사항목	비고
안전성능	상태 안전성능	부재 상태평가	◦ 균열	
			◦ 철근부식	
			◦ 박리	
			◦ 박락 및 층분리	
			◦ 누수 및 백태	
			◦ 철근노출	
		변위·변형	◦ 기울기	
			◦ 변위, 변형	
			◦ 부등침하	
구조 안전성능	◦ 부재 내력	도서검토		
	◦ 접합부 내력	도서검토		
내구성능			◦ 탄산화깊이	
			◦ 염화물 침투량	
			◦ 피복콘크리트품질	
			◦ 염해환경	
			◦ 동해환경	
			◦ 토양환경	
사용성능 ¹⁾	사용성	◦ 접근 교통의 편리성		
		◦ 주차시설의 만족도		
		◦ 정보이용의 용이성		
		◦ 공항시설 및 환경(청결성, 쾌적성, 편리성)		
		◦ 신속성(출발 및 도착 소요시간)		
		◦ 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)		
	기능성	◦ 연간처리능력		

주1) 사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

2) 강구조

[표 9.7] 강구조의 조사항목

구 분			조사항목	비고
안전성능	상태 안전성능	부재 상태평가	◦ 용접 접합상태	
			◦ 볼트 접합상태(앵커볼트 포함)	
			◦ 강재의 부식도	
			◦ 내화피복	
			◦ 접합재 부식도(용접, 볼트)	
			◦ 강재의 강도 및 규격	
		변위·변형	◦ 기울기	
			◦ 변위, 변형	
			◦ 부등침하	
구조 안전성능		◦ 부재 내력	도서검토	
		◦ 접합부 내력	도서검토	
내구성능			◦ 발청 및 도장열화	
			◦ 도장두께	
			◦ 누수	
			◦ 대기환경(해안 이격 거리, 이산화황 농도, 습도)	
사용성능 ¹⁾	사용성	◦ 접근 교통의 편리성		
		◦ 주차시설의 만족도		
		◦ 정보이용의 용이성		
		◦ 공항시설 및 환경(청결성, 쾌적성, 편리성)		
		◦ 신속성(출발 및 도착 소요시간)		
		◦ 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)		
	기능성	◦ 연간처리능력		

주1) 사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

3) 철골·철근콘크리트 구조

[표 9.8] 철골·철근콘크리트 구조의 조사항목

구 분				조사항목	비고
안전성능	상태 안전성능	부재 상태 평가	철 근 콘 크 리 트	◦ 균열	
				◦ 철근부식	
				◦ 박리	
				◦ 박락 및 층분리	
				◦ 누수 및 백태	
				◦ 철근노출	
				강 구 조	◦ 용접 접합상태
		◦ 볼트 접합상태(앵커볼트 포함)			
		◦ 강재의 부식도			
		◦ 접합재 부식도(용접, 볼트)			
		변위·변형	◦ 내화피복		
	◦ 강재의 강도 및 규격				
◦ 기울기					
구조안전성능	◦ 변위, 변형				
	◦ 부등침하				
내구성능	철근 콘크리트	◦ 부재 내력	도서검토		
		◦ 접합부 내력	도서검토		
		강구조	◦ 탄산화깊이		
			◦ 염화물 침투량		
			◦ 피복콘크리트품질		
			◦ 염해환경		
	◦ 동해환경				
	◦ 토양환경				
	강구조	◦ 발청 및 도장열화			
		◦ 도장두께			
		◦ 누수			
		◦ 대기환경(해안 이격 거리, 이산화황 농도, 습도)			
사용성 ¹⁾		사용성	◦ 접근 교통의 편리성		
			◦ 주차시설의 만족도		
	◦ 정보이용의 용이성				
	◦ 공항시설 및 환경(청결성, 쾌적성, 편리성)				
	◦ 신속성(출발 및 도착 소요시간)				
	◦ 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)				
기능성	◦ 연간처리능력				

주1) 사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위한 점검로 보수 필요유무 및 점검로 상태 등을 육안 점검하도록 함

9.2.2 현장조사 요령

가. 안전성능 평가

1) 자료검토

- 성능평가 시에는 설계도서, 시설물관리대장, 시공관련 자료, 이전에 실시된 성능평가 및 안전점검등 자료, 보수·보강공사 자료 등을 분석하여 결함의 진행성 및 안전성능 여부를 검토한다.

2) 외관조사 요령

(가) 점검항목

- ① 공항(여객터미널)의 평면, 입면, 단면, 용도 등의 변경사항
- ② 구조부재의 변경사항
- ③ 하중조건, 기초·지반 조건, 주변 환경조건 등의 변동사항
- ④ 균열발생 상태
 - 균열발생 위치
 - 균열의 유형 및 형상(종류)
 - 균열의 크기(폭, 길이 등)
 - 균열의 진행 상황
 - 균열부위의 누수여부
- ⑤ 구조물 혹은 부재의 전반적인 상태
 - 구조물 혹은 부재의 변위·변형 상태
 - 부등침하, 편심·집중 하중상태, 과다적재 하중상태, 진동·충격 상태, 이상 체감 등
 - 콘크리트의 표면열화 상태
 - 박리, 박락, 층분리, 백태(백화), 누수 등
 - 철근의 노출 및 부식 상태
 - 강재구조물의 열화 상태
 - 균열, 도장 및 내화피복 등 마감, 부식, 접합부, 변형·변위 등의 상태
- ⑥ 공항(여객터미널)의 내진설계 및 내풍설계 여부의 확인(구조계산서 확인)
- ⑦ 보수·보강 실태 조사 및 기록
- ⑧ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 점검방법

- 외관조사는 원칙적으로 면밀한 육안조사와 간단한 비파괴 검사를 중심으로 실시한다.
- 조사 대상 부위는 필요할 경우 마감재(돌, 타일, 도배지, 단열재, 수장재, 천장재, 마루재 등)를 부분적으로 제거하고 실시한다.
- 조사결과에서 중대한 결함이 발생하는 경우에는 필요한 조치를 취한다.
- 외관조사의 결과는 표준서식에 기록하고, 필요한 경우에는 개략도면에 표시하

며 이들에 대한 분석·평가를 실시한다.

- 보고서에는 외관조사 및 상태안전성능 평가 등의 내용을 종합적으로 검토·분석한 결과를 기재하여야 한다.
- 외관조사에서 이상이 발견된 사항에 대해서는 사진 촬영하여 보고서의 설명 자료로 이용할 수 있도록 보존한다.
 - 사진자료는 매 성능평가 시에 가능한 한 같은 위치에서 얻는 것을 원칙으로 한다.
 - 사진자료에서 얻어야 할 사항은 전술한 성능평가의 내용을 확인할 수 있는 정도로 한다.
- 공항(여객터미널)에서 발견된 각종 안전성능과 재료의 열화 등에 관련한 문제점에 대해서는 다음에 진행되는 성능평가에서 그 진행 여부를 확인, 감시할 수 있도록 현장의 대상 부위에 관리주체와 협의하여 필요시 표시하여야 하며, 표시한 날짜와 그 크기(폭, 길이 등)를 기록하여 남겨 둔다.
- 이전에 실시한 안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 등의 실시결과에 의해서 선정된 주요 손상부위 또는 설계도서 검토 결과 문제가 되는 부위 및 열화된 부위, 이러한 현상이 예상되는 부위를 우선적으로 선정한다.
- 구조적인 조건의 변경(제 하중, 구조변경, 구조물의 큰 변형, 부재의 손상이나 보강 등)이 구조안전성능에 영향을 미칠 것으로 판단되는 경우에는 선택과업으로서 일부 부재에 대해 내력을 다시 계산하여 부분적인 구조안전성능을 평가한다.

3) 현장조사 요령

(가) 점검항목

- ① 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달속도시험 등)
- ② 부재단면의 규격
- ③ 철근배근상태
- ④ 철근 부식도 시험
- ⑤ 강재 접합부 검사(용접접합, 볼트접합)
- ⑥ 강재 부식 등(강재부식, 접합부 부식, 내화피복 손상 등)
- ⑦ 변위·변형
- ⑧ 실내시험(콘크리트 코어 강도, 비중, 강재의 강도 등)
- ⑨ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 점검방법

- ① 콘크리트 비파괴강도
 - 콘크리트 비파괴시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험, 조합법 등)을 통해 콘크리트 강도를 평가한다. 다른 비파괴시험을 사용하는 경우에는 책임기술자의 판단에 따른다.
- ② 부재단면의 규격
 - 외관조사 및 간단한 측정도구를 이용한다.

③ 철근배근상태

- 비파괴시험(전자기유도방식, 전자파레이방식)을 위주로 한다. 시험할 내용은 철근량, 피복두께, 철근의 규격, 배근상태 등이다. 단, 균열 및 변형(처짐) 등의 결함·손상이 발생된 부재와 부재의 내력검토가 필요한 부재에 대하여 실시한다.

④ 철근 부식도 시험

- 외관조사 또는 비파괴검사(자연전위법 등)로 한다. 단, 균열 및 재료분리 등의 결함·손상이 발생된 부위와 건전부위를 각각 검사하여 비교한다.

⑤ 강재 접합부 검사(용접접합, 볼트접합)

- 강재용접부에서는 외관조사와 비파괴검사(자분탐상법, 염료침투시험법 등)를 위주로 하고, 볼트접합부에서는 외관조사와 토크검사(TS볼트-너트를 사용한 경우에는 제외)를 위주로 한다.

⑥ 강재 부식 등(강재부식, 접합부 부식, 내화피복 손상 등)

- 외관조사 및 간단한 계측 기구를 이용한다.

⑦ 변위·변형

- 외관조사 및 트랜싯 또는 이와 유사한 측정 기구를 이용한다.

⑧ 실내시험(콘크리트 코어 강도, 비중, 강재의 강도 등)

- 콘크리트 코어 강도, 비중, 강재의 강도 등에 관한 KS규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

나. 내구성능 평가

1) 자료조사

(가) 자료조사 항목

① 대기환경

- 해안 이격 거리(염해환경)
- 이산화황 농도(ppm)
- 습도

② 열화환경

- 동해환경
- 토양환경

③ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 방법

① 해안 이격 거리

- 대상 공항의 위치(주소)를 확인하고 지도에서 주변에 영향을 줄 수 있는 해안이 있는지 확인 후 공항에서 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정한다.
- 인터넷 포털사이트를 이용하여 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정한다.
- 필요시 책임기술자의 판단에 따라 도장열화에 영향을 줄 수 있는 해안에 대한 현장을 조사한다.

② 이산화황 농도(ppm)

- 이산화황 농도의 지역별 분류는 에어코리아 환경부 대기환경정보에서 제공하는 지역별 10년 동안 평균농도자료를 기준으로 한다.
- 필요시 책임기술자 판단에 따라 분류한 지역에 노출시험지를 설치하여 이를 주기적으로 측정하고, 실내시험과 현장조사와의 상관성을 고려하여 아황산가스와 부식과의 관계를 도출할 수 있다.

③ 습도

- 기상청에서 제공하는 ‘기상연보’를 통한 해당지역의 10년 동안 평균 젖음 시간(τ , 0℃ 이상의 온도에서 상대 습도가 80% 이상인 경우) 관측일을 산정하여 결빙, 적설자료를 사용한다.

④ 염해환경

- 대상 공항의 위치(주소)를 확인하고 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 한다.

⑤ 동해환경

- 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)의 기상관측 자료를 통하여 지난 10년간 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
 - 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
 - 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 같은 시라고 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.
 - 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수
 - 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수
- 여기서, X 는 동결융해 반복지수를 의미하며, 수분접촉 여부에 따라 구분·산정

⑥ 토양환경

- 토양 시료를 채취할 경우, 공항(여객터미널) 인근에서 채취하는 것이 어려운 경우 주변 부대건물 지역의 토양을 채취하여 사용할 수 있다.
- 바다를 매립하여 건설된 공항의 경우 토양환경이 열악한 환경조건인 경우가 많으나, 지하의 열악한 환경조건에 대응할 수 있는 특수한 방수층이 시공된 경우는 토양환경이 열악하더라도 지하 구조물에 미치는 영향이 거의 없기 때문에 평가 기준을 안전한 환경조건인 a등급을 적용할 수 있다. 단, 이 경우에도 토양환경은 조사하여야 하며, 최초 설계시의 자료(매립 토양환경 및 이에 대한 대응조치) 등에 대하여 확인할 필요가 있다.

2) 외관조사 요령

(가) 점검항목

- ① 강재의 발청
- ② 강재의 도장열화(박리, 균열, 부품, 변색·백아화)
- ③ 누수
- ④ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 점검방법

- 외관조사는 원칙적으로 면밀한 육안조사와 간단한 비파괴 검사를 중심으로 실시한다.
- 조사 대상 부위는 필요할 경우 마감재(돌, 타일, 도배지, 단열재, 수장재, 천장재, 마루재 등)를 부분적으로 제거하고 실시한다.
- 외관조사의 결과는 표준서식에 기록하고, 필요한 경우에는 개략도면에 표시하고, 이들에 대한 분석·평가를 실시한다.
- 보고서에는 외관조사 및 내구성능 평가 등의 내용을 종합적으로 검토·분석한 결과를 기재하여야 한다.
- 외관조사에서 이상이 발견된 사항에 대해서는 사진 촬영하여 보고서의 설명자료로 이용할 수 있도록 보존한다.
 - 사진자료는 매 성능평가 시에 가능한 한 같은 위치에서 얻는 것을 원칙으로 한다.
 - 사진자료에서 얻어야 할 사항은 전술한 성능평가의 내용을 확인할 수 있는 정도로 한다.
- 공항(여객터미널)에서 발견된 각종 내구성능과 재료의 열화 등에 관련한 문제점에 대해서는 다음에 진행되는 성능평가에서 그 진행 여부를 확인, 감시할 수 있도록 현장의 대상 부위에 관리주체와 협의하여 필요시 표시하여야 하며, 표시한 날짜와 그 크기(폭, 길이 등)를 기록하여 남겨 둔다.

2) 현장조사 요령

(가) 점검항목

- ① 강재 도장 두께
- ② 피복콘크리트품질
- ③ 콘크리트 탄산화깊이
- ④ 콘크리트 염화물 침투량

(나) 점검방법

- ① 강재 도장 두께
 - 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기에 의해 측정한다.
- ② 피복콘크리트품질
 - 피복콘크리트품질은 반발경도값을 원칙으로 사용하며, 설계강도값과 비교하는 경우와 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우로 구분하여 실시한다.
 - 설계강도값과 비교하는 경우는 강도 추정 값과 설계 값을 비교하여 피복콘크

리트의 내구성능을 평가한다.

- 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우는 반발경도값을 직접 비교하여 판정한다.
- 안전성능의 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험) 측정 결과를 활용하여 평가할 수 있다.

③ 콘크리트 탄산화깊이

- 부재를 천공할 때의 콘크리트 분말가루나, 코어시료에 대하여 페놀프탈레인 (1%)용액에 의한 변색반응검사 등으로 한다. 단, 검사부위는 부재가 위치한 환경과 설계·시공 상태를 고려하여 건전한 곳을 선택한다.

④ 콘크리트 염화물 침투량(콘크리트 염화물 함유량)

- 콘크리트 내의 염화물 침투량(염화물 함유량)에 관한 KS 규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

다. 사용성능 평가

1) 자료조사

(가) 자료조사 항목

- ① 접근교통의 편리성
- ② 주차시설의 만족도
- ③ 정보이용의 용이성
- ④ 공항시설 및 환경(청결성, 쾌적성, 편리성)
- ⑤ 신속성(출발 및 도착 소요시간)
- ⑥ 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)
- ⑦ 연간처리능력
- ⑧ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 방법

① 접근교통의 편리성

- 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ) 자료를 검토하여 평가한다.
- 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과를 검토하여 평가한다.
- 필요시 책임기술자의 판단에 따라 설문조사를 수행하여 평가할 수 있다.

② 주차시설의 만족도

- 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ) 자료를 검토하여 평가한다.
- 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과를 검토하여 평가한다.
- 필요시 책임기술자의 판단에 따라 설문조사를 수행하여 평가할 수 있다.

③ 정보이용의 용이성

- 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ) 자료를 검토하여 평가한다.
- 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과를 검토하여 평가한다.
- 필요시 책임기술자의 판단에 따라 설문조사를 수행하여 평가할 수 있다.

④ 공항시설 및 환경(청결성, 쾌적성, 편리성)

- 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ) 자료를 검토하여 평가한다.
- 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과를 검토하여 평가한다.
- 필요시 책임기술자의 판단에 따라 설문조사를 수행하여 평가할 수 있다.

⑤ 신속성(출발 및 도착 소요시간)

- 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ) 자료를 검토하여 평가한다.
- 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과를 검토하여 평가한다.
- 국제선과 국내선에 소요되는 시간에 차이가 있으므로 구분하여 평가한다.

⑥ 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)

- 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ) 자료를 검토하여 평가한다.
- 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과를 검토하여 평가한다.

⑦ 연간처리능력

- 국토교통부에서 고시된 공항개발 중장기 종합계획을 통하여 시설물별 현재 시설규모 및 수용능력에 대한 자료를 검토할 수 있으며, 공항공사에서 관리하는 항공통계에서 실제 운항 편수, 여객수, 화물톤수 등에 대한 통계자료를 분석하여 평가한다.

⑧ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

9.3 재료시험 항목 및 수량

9.3.1 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 9.9] 철근콘크리트 구조의 제2종성능평가 재료시험 항목

구분	안전성능	내구성능
기본과업	◦ 변위·변형	◦ 탄산화깊이 ◦ 염화물 침투량(외부 콘크리트)
	◦ 부재의 규격	
	◦ 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 반발경도시험	
선택과업	◦ 콘크리트 강도(국부파괴시험법)	◦ 염화물 침투량(내부 콘크리트)
	◦ 철근탐사시험 - 철근 배근상태 - 철근 피복두께	
	◦ 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 초음파전달속도시험	◦ 토양환경
		◦ 해안 이격 거리 ◦ 이산화황 농도

주1) 도장두께 시험은 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

[표 9.10] 강구조의 제2종성능평가 재료시험 항목

구분	안전성능	내구성능
기본과업	◦ 변위·변형	◦ 도장두께 ¹⁾
	◦ 강재의 규격	
선택과업	◦ 강재용접부 등 결함조사	◦ 토양환경
	◦ 강재의 부식 등	◦ 해안 이격 거리
	◦ 강재의 강도	◦ 이산화황 농도

주1) 도장두께 시험은 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

[표 9.11] 철골·철근콘크리트 구조의 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능
기본과업	철근 콘크리트구조	◦ 부재의 규격	◦ 탄산화깊이
		◦ 콘크리트 강도 － 비파괴시험 : 반발경도시험	◦ 염화물 침투량(외부 콘크리트)
	강구조	◦ 강재의 규격	◦ 도장두께 ¹⁾
	공통	◦ 변위·변형	－
선택과업	철근 콘크리트구조	◦ 콘크리트 강도(국부파괴시험법)	◦ 염화물 침투량(내부 콘크리트)
		◦ 철근탐사시험 － 철근 배근상태 － 철근 피복두께	
		◦ 콘크리트 강도 － 비파괴시험: 초음파전달속도시험	
	강구조	◦ 강재용접부 등 결함조사	－
		◦ 강재의 부식 등	
		◦ 강재의 강도	
	공통	－	◦ 토양환경 ◦ 해안 이격 거리 ◦ 이산화황 농도

주1) 도장두께 시험은 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

나. 제1종성능평가

[표 9.12] 철근콘크리트 구조의 제1종성능평가 재료시험 항목

구분	안전성능	내구성능
기본과업	◦ 변위·변형	◦ 탄산화깊이
	◦ 부재의 규격	
	◦ 철근탐사시험 - 철근 배근상태 - 철근 피복두께	
	◦ 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 반발경도시험, 초음파전달속도시험	◦ 염화물 침투량(외부 콘크리트)
	◦ 균열깊이 조사	
	◦ 철근부식도 시험	
선택과업	◦ 콘크리트 강도(국부파괴시험법)	◦ 염화물 침투량(내부 콘크리트)
		◦ 토양환경
		◦ 해안 이격 거리
		◦ 이산화황 농도

[표 9.13] 강구조의 제1종성능평가 재료시험 항목

구분	안전성능	내구성능
기본과업	◦ 변위·변형	◦ 도장두께 ¹⁾
	◦ 강재의 규격	
	◦ 강재볼트접합부(토크시험)조사	
선택과업	◦ 강재접합부조사 - 자분탐상법 - 염료침투시험법 등	◦ 토양환경
	◦ 강재용접부 등 결함조사	
	◦ 강재의 부식 등	◦ 해안 이격 거리
	◦ 강재의 강도	◦ 이산화황 농도

주1) 도장두께 시험은 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

[표 9.14] 철골·철근콘크리트 구조의 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능
기본과업	철근 콘크리트구조	◦ 부재의 규격	◦ 탄산화깊이
		◦ 철근탐사시험 － 철근 배근상태 － 철근 피복두께	
		◦ 콘크리트 강도 － 비파괴시험 : 반발경도시험, 초음파전달속도시험	◦ 염화물 침투량(외부 콘크리트)
		◦ 균열깊이 조사	
		◦ 철근부식도 시험	
	강구조	◦ 강재의 규격	◦ 도장두께 ¹⁾
		◦ 강재볼트접합부(토크시험)조사	
	공통	◦ 변위·변형	－
선택과업	철근 콘크리트구조	◦ 콘크리트 강도(국부파괴시험법)	◦ 염화물 침투량(내부 콘크리트)
	강구조	◦ 강재접합부조사 － 자분탐상법 － 염료침투시험법 등	－
		◦ 강재용접부 등 결함조사	
		◦ 강재의 부식 등	
		◦ 강재의 강도	
	공통	－	◦ 토양환경
			◦ 해안 이격 거리
			◦ 이산화황 농도

주1) 도장두께 시험은 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

9.3.2 재료시험 기준수량

가. 표본 층(단위) 선정

1) 일반

공항(여객터미널)의 전체 층수와 전체 연면적에 따라 표본 층 또는 표준 단위를 선정하는데, 표준 층과 표준 단위의 선정 개소수가 서로 상이할 경우 층수별 연면적별 표준 층(단위) 중 최대치를 기준으로 하여 표본 층(단위)을 선정한다.

[표 9.15] 층수별 재료시험 대상 표본 층 선정기준

층수	수량기준		비고
	제2종성능평가	제1종성능평가	
21층 ~ 30층	4개 층 이상	6개 층 이상	
11층 ~ 20층	3개 층 이상	4개 층 이상	
1층 ~ 10층	2개 층 이상	3개 층 이상	

<해 설>

- 31층 이상인 경우에는 10개 층마다 제2종성능평가는 1개 층씩, 제1종성능평가는 2개층씩 증가함
- 층수는 지하층까지 포함된 층수임

[표 9.16] 연면적별 재료시험 대상 표본 단위 선정기준

연면적	수량기준		비고
	제2종성능평가	제1종성능평가	
50,000 ~ 75,000m ²	4개 단위 이상	6개 단위 이상	
25,000 ~ 49,999m ²	3개 단위 이상	4개 단위 이상	
1 ~ 24,999m ²	2개 단위 이상	3개 단위 이상	

<해 설>

- 75,000m² 이상인 경우에는 25,000m² 마다 제2종성능평가는 1개 단위씩, 제1종성능평가는 2개 단위씩 증가함

2) 표본 층(단위)

다음의 사항을 우선적으로 고려하여, 공항(여객터미널)을 평가하는데 필수적이고 전체 공항(여객터미널)을 대표할 만한 층이나 부위를 선정한다.

- 외관조사에서 결함·손상이 발견되었거나 예상되는 부위
- 최저층(피트 포함)
- 주차장 구조물
- 최상층 및 지붕층
- 평면 및 구조부재가 변화된 부위
- 장주, 장 경간, 중량물이 적재된 부위 등

3) 기준수량 조정

책임기술자의 판단에 의해 수량의 조정이 가능하며, 조정 시에는 그 사유를 명기하여야 한다.

나. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 9.17] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 항목

구분	기준수량	비고
부재의 규격	표본 층(단위) 수 × 2종 부재(기둥 또는 내력벽, 보, 슬래브 중) × 부재 종류별 1개소 이상(단면변화부위가 있는 경우 측정개소 1개소 추가)	
변위·변형 ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> 부재변형 : 공항(여객터미널)의 전체에 대한 외관조사를 실시한 결과, 균열 및 손상(처짐 등)이 발생되었거나, 발생가능성이 있는 주요 부위 건물기울기 : 측정이 가능한 공항(여객터미널) 4면의 외벽모서리 전체 부등침하기울기 : 최저층 바닥 또는 천장슬래브에서 건물의 장변방향과 단변방향으로 2개소 이상 	
반발경도시험 ²⁾	표본 층(단위) 수 × 2종 부재(기둥 또는 내력벽, 보, 슬래브 중) × 각 부재별 2개소(단부, 중앙부)	
탄산화깊이		
염화물 침투량	외부 : 2개소 이상	
도장두께	<ul style="list-style-type: none"> 지하층 및 지상층 각 1개 층 기둥/보/트러스/슬래브/케이블/가새 등 해당 층에 존재하는 강재 부재 각각에 대해 최소 5개소 이상 	

주1) 신축이음이 있는 경우에는 신축이음부로 구획된 구조물을 기본 단위로 한다.

주2) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도 추정과 피복콘크리트품질을 평가한다.

- 콘크리트 강도

· 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도를 추정한다.

- 피복콘크리트품질 평가

· 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여 결과를 활용하여야 한다.

· 기본과업 : 외부 콘크리트 - 건전부 및 비건전부 각 3개소

* 외부 콘크리트 : 외기와 접하는 콘크리트(외벽 등)

· 선택과업 : 내부 콘크리트 - 지상층 및 지하층의 각 1개 층 × 2종 부재(기둥 또는 내력벽, 보, 슬래브 중) × 각 부재별 2개소(단부, 중앙부)

* 내부 콘크리트 : 외기와 접하지 않는 콘크리트(내벽 등)

※ 피복콘크리트품질 평가의 내부 콘크리트의 경우 최초 성능평가 시에는 필수적으로 실시하여야 한다.

<해 설>

○ 단, 무량관구조의 경우에는 보 부재 대신에 지판부재로 한다.

○ 복합구조형식인 경우, 전체 연면적에 대한 해당 구조형식의 연면적의 비율로 재료시험 기준수량을 산정하며, 산정방법 예시는 다음과 같다(단, 형식별 최소 1개소 이상).

- 한 건축물에 A구조형식과 B구조형식으로 이루어져 있는 경우

$$A\text{구조형식 표본층(단위)수} = \text{전체표본층(단위)수} \times \frac{A\text{구조형식 연면적}}{\text{전체 연면적}(A+B)}$$

[표 9.18] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 항목

구분	기준수량		비고
콘크리트 강도 (국부파괴시험법)	◦ 과업의 내용에 따라 조사 및 수량 결정		
철근탐사시험	◦ 표본 층(단위) 수 × 2종 부재(기둥 또는 내력벽, 보, 슬래브 중) × 각 부재별 2개소(단부, 중앙부)		
초음파 전달속도시험			
강재 접합부 검사	◦ 표본 층(단위) 수 × 3개 부재 이상		용접접합 볼트접합
강재의 부식 등			강재부식 접합부 부식 내화피복 손상
강재의 강도	◦ 과업의 내용에 따라 조사 및 수량 결정		
토양환경			
해안 이격 거리			
이산화황 농도			
염화물 침투량 ¹⁾	내부	◦ 지상층 및 지하층의 각 1개 층 × 1개 부재 이상	

주1) 염화물 침투량 시험의 내부 콘크리트의 경우 최초 성능평가 시에는 필수적으로 실시하여야 한다.

<해 설>

- 단, 무량판구조의 경우에는 보 부재 대신에 지판부재로 한다.
- 복합구조형식인 경우, 전체 연면적에 대한 해당 구조형식의 연면적의 비율로 재료시험 기준수량을 산정하며, 산정방법 예시는 다음과 같다(단, 형식별 최소 1개소 이상).
 - 한 건축물에 A구조형식과 B구조형식으로 이루어져 있는 경우

$$A\text{구조형식 표본층(단위)수} = \text{전체표본층(단위)수} \times \frac{A\text{구조형식 연면적}}{\text{전체 연면적}(A+B)}$$

다. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 9.19] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 항목

구분	기준수량	비고
부재의 규격	표본 층(단위) 수 × 2종 부재(기둥 또는 내력벽, 보, 슬래브 중) × 부재 종류별 1개소 이상(단면변화부위가 있는 경우 측정개소 1개소 추가)	
철근탐사시험		
반발경도시험 ¹⁾	표본 층(단위) 수 × 2종 부재(기둥 또는 내력벽, 보, 슬래브 중) × 각 부재별 2개소(단부, 중앙부)	
초음파 전달속도시험		
균열깊이 조사	책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	
철근부식도 시험	표본 층(단위) 수 × 1개 부재 이상	
강재볼트접합부 (토크시험)조사	표본 층(단위) 수 × 3개소 이상	용접접합 볼트접합
변위·변형 ²⁾	<ul style="list-style-type: none"> 부재변형 : 공항(여객터미널)의 전체에 대한 외관조사를 실시한 결과, 균열 및 손상(처짐 등)이 발생되었거나, 발생가능성이 있는 주요 부위 건물기울기 : 측정이 가능한 공항(여객터미널) 4면의 외벽모서리 전체 부등침하기울기 : 최저층 바닥 또는 천장슬래브에서 건물의 장변방향과 단변방향으로 2개소 이상 	
탄산화깊이	표본 층(단위) 수 × 2종 부재(기둥 또는 내력벽, 보, 슬래브 중) × 각 부재별 1개소(단부, 중앙부)	
염화물 침투량	외부 3개소 이상	
도장두께	<ul style="list-style-type: none"> 지하층 및 지상층 각 1개 층 기둥/보/트러스/슬래브/케이블/가새 등 해당 층에 존재하는 강재 부재 각각에 대해 최소 5개소 이상 	

주1) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도 추정과 피복콘크리트품질을 평가한다.

- 콘크리트 강도
 - 반발경도시험 및 초음파전달속도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도를 추정한다.
- 피복콘크리트품질 평가
 - 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여 결과를 활용하여야 한다.
 - 기본과업 : 외부 콘크리트 - 건전부 및 비건전부 각 3개소
 - * 외부 콘크리트 : 외기와 접하는 콘크리트(외벽 등)
 - 선택과업 : 내부 콘크리트 - 지상층 및 지하층의 각 1개 층 × 2종 부재(기둥 또는 내력벽, 보, 슬래브 중) × 각 부재별 2개소(단부, 중앙부)
 - * 내부 콘크리트 : 외기와 접하지 않는 콘크리트(내벽 등)
 - ※ 피복콘크리트품질 평가의 내부 콘크리트의 경우 최초 성능평가 시에는 필수적으로 실시하여야 한다.

주2) 신축이음이 있는 경우에는 신축이음부로 구획된 구조물을 기본 단위로 한다.

<해 설>

- 단, 무량판구조의 경우에는 보 부재 대신에 지판부재로 한다.
- 복합구조형식인 경우, 전체 연면적에 대한 해당 구조형식의 연면적의 비율로 재료시험 기준수량을 산정하며, 산정방법 예시는 다음과 같다(단, 형식별 최소 1개소 이상).
- 한 건축물에 A구조형식과 B구조형식으로 이루어져 있는 경우

$$A\text{구조형식 표본층(단위)수} = \text{전체표본층(단위)수} \times \frac{A\text{구조형식 연면적}}{\text{전체 연면적}(A+B)}$$

[표 9.20] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 항목

구분	기준수량	비고
콘크리트 강도 (국부파괴시험법)	◦ 과업의 내용에 따라 조사 및 수량 결정	
초음파탐상법, 방사선탐상법 등	◦ 표본 층(단위) 수 × 3개소 이상	용접접합 볼트접합
염화물 침투량 ¹⁾	내부 ◦ 지상층 및 지하층 각 1개 층 × 1개 부재 이상	
강재 접합부 검사	◦ 표본 층(단위) 수 × 3개 부재 이상	용접접합 볼트접합
강재의 부식 등	◦ 표본 층(단위) 수 × 3개 부재 이상	강재부식 접합부 부식 내화피복 손상
강재의 강도	◦ 과업의 내용에 따라 조사 및 수량 결정	
토양환경	◦ 과업의 내용에 따라 조사 및 수량 결정	
해안 이격 거리	◦ 과업의 내용에 따라 조사 및 수량 결정	
이산화황 농도	◦ 과업의 내용에 따라 조사 및 수량 결정	

주1) 염화물 침투량 시험의 내부 콘크리트의 경우 최초 성능평가 시에는 필수적으로 실시하여야 한다.

<해 설>

- 단, 무량관구조의 경우에는 보 부재 대신에 지판부재로 한다.
- 복합구조형식인 경우, 전체 연면적에 대한 해당 구조형식의 연면적의 비율로 재료시험 기준수량을 산정하며, 산정방법 예시는 다음과 같다(단, 형식별 최소 1개소 이상).
- 한 건축물에 A구조형식과 B구조형식으로 이루어져 있는 경우

$$A\text{구조형식 표본층(단위)수} = \text{전체표본층(단위)수} \times \frac{A\text{구조형식 연면적}}{\text{전체 연면적}(A+B)}$$

9.4 안전성능 평가 기준 및 방법

9.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가 기준 및 방법

1) 일반

상태안전성능 평가 결과 산정은 각 부재별 및 항목별로 현장조사·시험한 결과에 해당하는 대푯값을 아래와 같이 산정하여 평가점수를 부여하고, 그 결과를 기준으로 각 항목별 평가를 실시한다.

2) 평가범위

[표 9.21] 상태안전성능 평가 결과 및 점수 산정기준

구분	평가항목	상태안전성능 평가 결과 및 점수의 산정방법	비고
철근콘크리트 라멘조, 철골·철근 콘크리트구조, 철근콘크리트 벽식 구조, 프리캐스트콘 크리트조, 무량판조, 조적조	균열	<ul style="list-style-type: none"> 부재 평가점수 : 단위부재의 조사한 균열 폭 및 면적률에 해당하는 평가점수의 평균 값 부재 대푯값 : 결함·손상부재를 포함해 평가대상 부재수의 최소범위에 대한 결함·손상 부재의 평가점수의 평균 값 	<ul style="list-style-type: none"> 최소범위 기둥, 벽 : 각 전체 부재의 20% 보, 슬래브 : 각 전체 부재의 30%
	철근 부식	<ul style="list-style-type: none"> 부재 평가점수 : 단위부재의 측정결과에 대한 평균 값 부재 대푯값 : 측정부재 전체에 대한 평균 값 	
	표면 노후	<ul style="list-style-type: none"> 부재 평가점수 : 단위부재의 조사결과 및 면적률에 해당하는 평가점수에 대한 평균 값 항목 평가점수 : 결함·손상부재를 포함해 평가대상 부재수의 최소범위에 대한 결함·손상 부재의 평가점수의 평균 값 부재 대푯값 : 항목 평가점수의 최솟값 	<ul style="list-style-type: none"> 최소범위 기둥, 벽 : 각 전체 부재의 20% 보, 슬래브 : 각 전체 부재의 30%
철골조, 철골·철근 콘크리트조	강재규격 및 강도 (도서검토)	<ul style="list-style-type: none"> 부재 평가점수 : 단위부재의 측정결과에 해당하는 평가점수 부재 대푯값 : 측정부재 전체에 대한 평균 값 	
	접합 상태	<ul style="list-style-type: none"> 부재 평가점수 : 단위부재의 측정결과에 해당하는 평가점수 부재 대푯값 : 측정부재 전체에 대한 평균 값 	<ul style="list-style-type: none"> 용접접합 볼트접합
	강재 부식도	<ul style="list-style-type: none"> 부재 평가점수 : 단위부재의 측정결과에 해당하는 평가점수 부재 대푯값 : 측정부재 전체에 대한 평균 값 	
	접합재 부식도	<ul style="list-style-type: none"> 부재 평가점수 : 단위부재의 측정결과에 해당하는 평가점수 부재 대푯값 : 측정부재 전체에 대한 평균 값 	<ul style="list-style-type: none"> 볼트접합
	내화 피복	<ul style="list-style-type: none"> 부재 평가점수 : 단위부재의 측정결과에 대한 평균 값 부재 대푯값 : 측정부재 전체에 대한 평균 값 	
공통	변위 변형	<ul style="list-style-type: none"> 수평기울기 : 측정결과의 최솟값에 해당하는 평가점수 	
		<ul style="list-style-type: none"> 수직기울기 : 측정결과의 최솟값에 해당하는 평가점수 	<ul style="list-style-type: none"> 처짐 및 부등침하에 의한 구조 및 부재의 기울기

3) 상태안전성능 평가 성능지표별 기준

각 평가항목에 대한 평가 기준은 그 상태에 따라 a~e의 5단계로 매기고, 각 평가기준에 해당하는 평가점수는 각 표와 같다.

(가) 균열

[표 9.22] 콘크리트 균열에 대한 평가기준

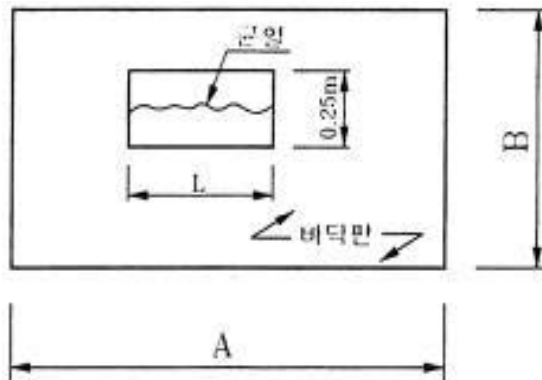
평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	1방향 균열	2방향 균열	
a	· $C_w^{1)} < 0.1\text{mm}$	· $C_w < 0.1\text{mm}$	1
b	· $0.1\text{mm} \leq C_w < 0.3\text{mm}$ · $C_r^{2)} < 2\%$	· $0.1\text{mm} \leq C_w < 0.3\text{mm}$	3
c	· $0.3\text{mm} \leq C_w < 0.5\text{mm}$ · $2\% \leq C_r < 10\%$	· $0.3\text{mm} \leq C_w$	5
d	· $0.5\text{mm} \leq C_w < 1.0\text{mm}$ · $10\% \leq C_r < 20\%$	· 망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생	7
e	· $1.0\text{mm} \leq C_w$ · $20\% \leq C_r$	· 망상균열에 인한 박리가 심하여 편칭파괴 발생 가능성 있음	9

주1) C_w : 최대균열폭(단위 : mm)

주2) C_r : 균열률(단위 : %)

<해 설>

- 면적률(%) = $\frac{\text{균열발생면적}}{\text{점검단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이}(L) \times 0.25}{\text{점검단위면적}} \times 100$
- 균열발생면적 산정은 균열길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 계산
(단, 벽체 및 슬래브 등의 판재에만 적용)
- 콘크리트 균열 면적률 산정 방법



- 균열발생 면적은 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하며, 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 구함
- 균열 면적률은 아래 식으로 산정함

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = (\%)$$

(나) 철근부식

[표 9.23] 콘크리트 내부의 철근부식에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용			강재의 부식 환경	
	자연전위(mV)	철근의 부식상태	상태계수 (α)	부식 환경조건	부식 환경 계수(β)
a	$E > 0$	녹이 발생하지 않았거나 약간의 점녹이 발생한 상태	1	건조 환경	1.0
b	$-200 < E \leq 0$	점녹이 광범위하게 발생한 상태	3	습윤 환경	1.1
c	$-350 < E \leq -200$	면녹이 발생하였고 부분적으로 들뜬 녹이 발생한 상태	5	부식성 환경	1.2
d	$-500 < E \leq -350$	들뜬 녹이 광범위하게 발생하였거나, 20% 이하의 단면결손이 발생한 상태	7	고부식성 환경	1.3
e	$E \leq -500$	두꺼운 층상의 녹이 발생하였거나, 20% 이상의 단면결손이 발생한 상태	9	—	—

<해 설>

- 철근부식의 대푯값 = $\alpha \times \beta$
- 근거 : ASTM 및 준ASTM(일본)
- 상태안전성능 평가 결과가 “e”이면서 누수를 동반하는 경우는 중대한 결함으로 판단함

(다) 박리

[표 9.24] 콘크리트 박리에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용			평가점수 (대푯값)
	박리깊이 : S_c (단위:mm)	면적률 10% 이하	면적률 10% 이상	
a	$S_c = 0$	a	a	1
b	$0 < S_c < 0.5$	b	c	3
c	$0.5 \leq S_c < 1.0$	c	d	5
d	$1.0 \leq S_c < 25$	d	e	7
e	$25 \leq S_c$	e	e	9

(라) 박락 및 층분리

[표 9.25] 콘크리트 박락 및 층분리에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용			평가점수 (대푯값)
	박락, 층분리 깊이 : S_d (단위:mm)	면적률 20% 이하	면적률 20% 이상	
a	$S_d = 0$	a	a	1
b	$0 < S_d < 15$	b	c	3
c	$15 \leq S_d < 20$	c	d	5
d	$20 \leq S_d < 25$	d	e	7
e	$25 \leq S_d$ (혹은 조골재 손실)	e	e	9

(마) 누수 및 백태

[표 9.26] 콘크리트 누수 및 백태에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	누수 및 백태 발생 없음	1
b	누수부위가 건조한 상태의 경미한 누수흔적이 있거나, 백태발생 면적률 5%미만	3
c	누수부위가 습윤한 상태의 현저한 누수흔적이 있거나, 백태발생 면적률 5%~10%미만	5
d	누수의 진행이 관찰가능하거나, 백태발생 면적률 10~20%미만	7
e	누수의 진행이 확연하거나, 백태발생 면적률 20%이상	9

(바) 철근노출

[표 9.27] 콘크리트 부재에서 철근노출에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	$r_a^{1)} = 0$	1
b	$0 < r_a < 1.0\%$	3
c	$1.0\% \leq r_a < 3.0\%$	5
d	$3.0\% \leq r_a < 5.0\%$	7
e	$5.0\% \leq r_a$	9

주1) r_a : 철근노출 면적률(%) = $\frac{\text{철근노출면적}}{\text{점검단위면적}} \times 100 = \frac{\text{철근노출길이}(L) \times 0.25}{\text{점검단위면적}} \times 100$

(사) 부재단면의 규격

[표 9.28] 콘크리트 부재단면의 규격에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	$100\% \leq c^{1)}$	1
b	$95\% \leq c < 100\%$	3
c	$90\% \leq c < 95\%$	5
d	$75\% \leq c < 90\%$	7
e	$c < 75\%$	9

주1) $c = (\text{측정단면적} \div \text{설계단면적}) \times 100\%$

(아) 변위·변형

[표 9.29] 부재의 변위·변형에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용 (보 및 슬래브의 처짐)	평가점수 (대푯값)
a	$L(\text{경간 길이 cm}) / 480$ 이하	1
b	$L / 480$ 이하(경미한 손상)	3
c	$L / 240$ 이하	5
d	$L / 150$ 이하	7
e	$L / 150$ 초과	9

<해 설>

- 상태안전성능 평가 결과가 “d”이하이면서 과도한 균열을 동반하는 경우는 중대한 결함으로 판단함
- 시공오차를 제외한 순 변위·변형

(자) 기울기(부등침하)

[표 9.30] 기울기(부등침하)에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	기울기	내용	
a	1 / 750 이내	예민한 기계기초의 위험 침하 한계	1
b	1 / 500 이내	구조물의 균열발생 한계	3
c	1 / 250 이내	구조물의 경사도 감지	5
d	1 / 150 이내	구조물의 구조손상이 예상되는 한계	7
e	1 / 150 초과	구조물이 위험할 정도	9

<해 설>

- 상태안전성능 평가 결과가 “d”이하이면서 과도한 균열을 동반하는 경우는 중대한 결함으로 판단함
- 시공오차를 제외한 순 기울기

(차) 강재 규격 및 강도

강재규격 및 강도에 대한 상태안전성능 평가 결과 판정은 하나의 부재에서 조사·시험한 부재 규격의 평가 결과와 강재강도의 평가 결과 중에 낮은 평가 결과를 택하는 것으로 한다.

[표 9.31] 강재 부재단면의 규격에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	$100\% \leq s^{1)}$	1
b	$95\% \leq s < 100\%$	3
c	$90\% \leq s < 95\%$	5
d	$75\% \leq s < 90\%$	7
e	$s < 75\%$	9

주1) $s = (\text{측정단면적} \div \text{설계단면적}) \times 100\%$

[표 9.32] 강재강도에 대한 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	$100\% \leq a_s^{1)}$	1
b	$95\% \leq a_s < 100\%$	3
c	$90\% \leq a_s < 95\%$	5
d	$75\% \leq a_s < 90\%$	7
e	$a_s < 75\%$	9

주1) $a_s = (\text{측정강도} \div \text{설계기준강도}) \times 100\%$

(카) 강재 접합부

[표 9.33] 강재 용접부 결함의 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	결함이 없는 최상의 상태	1
b	국부적인 미세결함이 있는 양호한 상태	3
c	부분적으로 결함이 있는 보통의 상태	5
d	광범위하게 결함이 발생되어 내력저하의 우려가 있는 불량한 상태	7
e	내력저하가 심각히 우려되는 매우 불량한 상태	9

<해 설>

- 상태안전성능 평가 결과가 “d”이하이면 중대한 결함으로 판단함

[표 9.34] 강제 접합볼트 누락, 풀림 및 이완상태의 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	결함이 없는 최상의 상태	1
b	$T_L^{1)} < 5\%$	3
c	$5\% \leq T_L < 10\%$	5
d	$10\% \leq T_L < 30\%$	7
e	$30\% \leq T_L < 100\%$	9

주1) T_L : 토크치 부족률(%) = $\frac{\text{부족토크치}}{\text{설계토크치}} \times 100$

또는 접합볼트너트 결함률(%) = $\frac{\text{볼트너트누락 또는 풀림 갯수}}{\text{설계상 볼트너트수}} \times 100$

<해 설>

- 상태안전성능 평가 결과가 “d”이하이면 중대한 결함으로 판단함

(타) 강제 부식

[표 9.35] 강제 부식의 평가기준

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	도장하였을 때	도장하지 않았을 때	
a	부식이 전혀 없거나 또는 평활면의 도장은 다소 울퉁불퉁함을 일으키고 부풀어 있는 상태	안정화된, 얇고 치밀한 검은색의 녹이 피막을 형성한 상태	1
b	도장의 울퉁불퉁함이나 부풀은 것이 모서리에 연속적인 부식이 심하게 발생했거나 평활면의 부식이 발생한 정도	부식이 상당히 진전되었지만 두께 허용치를 만족할 때	3
c	판 두께의 감소가 평균하여 10%미만		5
d	판 두께의 감소가 평균하여 10%이상 15%미만		7
e	판 두께의 감소가 평균하여 15%이상		9

(파) 접합재 부식도(강재 용접접합부 및 볼트접합부)

[표 9.36] 강재 용접접합부 부식의 평가기준

평가 기준	평가내용		강재의 부식 환경	
	부식 정도	상태계수 (α)	부식 환경조건	부식 환경 계수(β)
a	부식이 전혀 없거나 또는 용접재의 도장은 다소 울퉁불퉁함을 일으키고 부풀어 있는 상태	1	건조 환경	1.0
b	도장의 울퉁불퉁함이나 부풀은 것이 모서리에 연속적인 부식이 심하게 발생했거나 용접재의 부식이 발생한 정도	3	습윤 환경	1.1
c	용접재 두께의 평균 감소율 5%미만	5	부식성 환경	1.2
d	용접재 두께의 평균 감소율 5%이상 10%미만	7	고부식성 환경	1.3
e	용접재 두께의 평균 감소율 10%이상	9	—	—

[표 9.37] 볼트접합부 부식의 평가기준

평가 기준	평가내용		강재의 부식 환경	
	부식 정도	상태계수 (α)	부식 환경조건	부식 환경 계수(β)
a	부식이 전혀 없거나 얇고 치밀한 검은색의 녹이 피막을 형성한 상태	1	건조 환경	1.0
b	볼트 또는 접합판재에 부분적으로 들뜬 녹이 발생한 상태	3	습윤 환경	1.1
c	볼트 또는 접합판재 두께의 평균 감소율 5%미만	5	부식성 환경	1.2
d	볼트 또는 접합판재 두께의 평균 감소율 5%이상 10%미만	7	고부식성 환경	1.3
e	볼트 또는 접합판재 두께의 평균 감소율 10%이상	9	—	—

<해 설>

- 상태안전성능 평가 결과가 “d”이하이면 중대한 결함으로 판단함
- 볼트접합 부식의 대푯값 = $\alpha \times \beta$
- 접합판재 두께 : 설계 두께값

(하) 강제 내화피복

[표 9.38] 강제 내화피복의 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	$100\% \leq C_f^{1)}$	1
b	$100\% \leq C_f$ (경미한 손상 있음)	3
c	$85\% \leq C_f < 100\%$	5
d	$70\% \leq C_f < 85\%$	7
e	$C_f < 70\%$	9

주1) $C_f = (\text{측정 두께} \div \text{설계기준 두께}) \times 100\%$

또는 (부재손상면적 \div 부재전체면적) $\times 100\%$ 중 최저등급

나. 상태안전성능 평가 결과 산정 방법

1) 부재상태 평가

부재상태 평가는 각 평가항목·부재·층별 중요도를 고려하여 부재단위, 층 단위, 공항(여객터미널) 전체단위에 대하여 실시한다.

[표 9.39] 부재상태 평가 절차

구분 순서	평가 단계	평가 방법
1	부재단위 평가	<ul style="list-style-type: none"> 개별부재의 결함정도에 따른 평가점수 부여 개별부재에 대해 평가항목의 중요도 반영 부재단위(벽, 기둥, 보, 슬래브 등)별로 각 평가항목에 대해 평가점수 종합, 결과 판정
2	층 단위 평가	<ul style="list-style-type: none"> 각 평가항목 및 부재의 중요도를 고려해 층 단위의 평가점수를 종합, 결과 판정
3	전체단위 평가	<ul style="list-style-type: none"> 상기 1, 2단계 및 각층의 중요도를 고려해 공항(여객터미널)의 평가점수를 종합, 결과 판정

<해 설>

- 부재상태 평가 결과의 판정 시에는 책임기술자 또는 관련분야 전문가가 판단한 근거를 포함하는 소견을 달아야 함

2) 변위·변형 평가

변위·변형 평가는 각 평가항목에 대하여 수행하며, 구체적인 방법과 절차는 예제의 평가요령을 따른다.

3) 상태안전성능 평가

상태안전성능 평가 결과는 구조형식 평가 결과와 변위·변형 평가 결과 중 작은 값으로 결정한다.

상태안전성능 평가 = MIN(부재상태 평가, 변위·변형 평가)

9.4.2 구조안전성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

공항(여객터미널)의 구조해석 및 구조안전성능 검토는 설계 당시에 적용된 기준에 의해 실시하고, 그 결과에 따라 구조안전성능 평가를 실시할 수 있으며, 2차 이상의 성능평가를 실시할 경우, 전회차 성능평가 시와 구조 또는 용도 등의 변경사항이 없을 시에는 전회차 자료를 활용할 수 있다. 또한, 공항(여객터미널)이 부대시설물인 경우에는 부재별 상태평가, 재료시험 결과 및 각종 계측, 측정조사 및 시험 등을 통하여 얻은 결과를 분석하여 구조적으로 취약한 시설물을 선정하여 구조안전성능 평가를 실시한다.

공항(여객터미널)에 대한 성능평가 과정에서 실시한 조사·시험 및 상태안전성능 평가 결과를 반영한 구조응력해석과 부재단면의 내력검토의 결과에 따라 구조안전성능 평가가 객관적으로 이루어져야 하며, 필요한 경우에 구조에 대한 사용제한이나 보강을 합리적으로 이행하도록 하고 그 자료를 체계적으로 관리할 수 있도록 하며, 내진성능평가는 “기존시설물의 내진성능 평가 및 향상요령”을 참조할 수 있다.

나. 구조안전성능 평가 기준

1) 구조안전성능 평가 기준

구조안전성능 평가는 공항(여객터미널)이 구조안전성능을 확보하고 있는 수준에 따라 a~e등급의 5단계로 매기고, 각 구조안전성능 평가 기준에 해당하는 평가점수는 다음과 같다.

[표 9.40] 구조안전성능 평가 기준

평가 기준	평가내용	평가점수	
		범위	대푯값
a	구조물의 내력이 설계목표치를 만족하고, 부분 및 전반적으로 문제점이 거의 없는 최상의 상태	$0 \leq x < 2$	1
b	구조물의 내력이 설계목표치를 만족하나, 경미한 손상이 발생된 대체로 양호한 상태	$2 \leq x < 4$	3
c	구조물의 내력이 부분적으로 부족하나, 전반적으로 구조물의 안전성능이 확보되어 있는 보통의 상태	$4 \leq x < 6$	5
d	전반적으로 구조물의 내력이 부족하여 구조물의 안전성능 확보가 곤란하고 불량한 상태	$6 \leq x < 8$	7
e	전반적으로 구조물의 내력부족이 현저하여 붕괴가 우려되는 심각한 상태	$8 \leq x$	9

<해 설>

- 구조안전성능 평가 결과의 판정 시에는 책임기술자 또는 관련분야 전문가가 판단한 근거를 포함하는 소견을 달아야 함

2) 부재 내력에 대한 평가 기준

부재별 구조안전성능 평가는 구조해석을 수행하여 공항(여객터미널)을 구성하고 있는 기둥, 벽, 보, 슬래브 등의 각 부재의 내력비(이하 안전율(SF)이라 함)로 평가하며, 평가 기준은 a ~ e의 5단계로 구분하여 매긴다.

[표 9.41] 부재 내력에 대한 구조안전성능 평가 기준

평가기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	$100\% \leq SF^{1)}$	1
b	$100\% \leq SF$ (경미한 손상 있음)	3
c	$90\% \leq SF < 100\%$	5
d	$75\% \leq SF < 90\%$	7
e	$SF < 75\%$	9

주1) SF : 안전율 = (부재강도 ÷ 소요강도) × 100%

<해 설>

- 구조안전성능 평가 결과가 “d”이하이면 중대한 결함으로 판단함
- 여기서, 부재강도는 설계도서 검토 및 현장조사 결과로부터 분석·판단한 부재단면의 내력을 말함

다. 구조안전성능 결과 산정 방법

구조안전성능 평가는 평가항목·부재·층별·중요도를 고려하여 부재단위, 층 단위, 공항(여객터미널) 전체단위에 대하여 실시한다.

[표 9.42] 구조안전성능 평가 절차

구분 순서	평가 단계	평가 방법
1	부재단위 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상태안전성능 평가 항목별 결과 검토 및 반영 ○ 부재 치수 및 적용하중, 절점 및 지지점 등의 평가, 구조 응력해석 또는 재하시험 대상 부재의 단면내력 검토 및 안전율에 따라 부재 단위별로 평가점수 부여하여 구조안전성능 평가 결과 판정
2	층 단위 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부재의 중요도를 고려해 층 단위 평가점수를 종합하여 구조안전성능 평가 결과 판정
3	전체단위 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상기 1, 2단계 및 각 층의 중요도를 고려, 공항(여객터미널)의 평가점수를 종합하여 구조안전성능 평가 결과 판정

9.4.4 안전성능 평가 결과 산정 방법

가. 일반

공항(여객터미널)의 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가, 변위·변형평가를 실시한 각각의 결과로 부여된 상태안전성능 평가 결과와 구조안전성능 평가 결과 중 작은 값으로 결정하며, 다음과 같은 공항(여객터미널)의 안전성능 평가 기준에 의해 결정한다.

$$\text{안전성능 평가} = \text{MIN}(\text{상태안전성능 평가}, \text{구조안전성능 평가})$$

또한, 안전성능 평가 결과의 판정 시에는 상태안전성능 평가 및 구조안전성능 평가 결과에 대한 관련분야 전문가 소견을 종합하여 책임기술자가 판단한 근거를 포함하는 소견을 달아야 한다.

[표 9.43] 공항(여객터미널) 안전성능 평가 기준

안전성능 평가 기준	평가점수	
	범위	대푯값
a	$0 \leq x < 2$	1
b	$2 \leq x < 4$	3
c	$4 \leq x < 6$	5
d	$6 \leq x < 8$	7
e	$8 \leq x$	9

9.4.5 안전성능 평가 중요도 설정

가. 중요도 산정기준

[표 9.44] 중요도 산정기준

중요도 정도	중요도 범위	대푯값
압도적으로 중요	$0.8 \leq g \leq 1.0$	0.9
대단히 중요	$0.6 \leq g < 0.8$	0.7
보통 중요	$0.4 \leq g < 0.6$	0.5
약간 중요	$0.2 \leq g < 0.4$	0.3
미미한 정도	$0 \leq g < 0.2$	0.1

나. 평가항목별 중요도

1) 항목별 중요도

항목별 중요도는 각각의 평가항목이 공항(여객터미널)에 미치는 절대적인 영향성 정도로 설정하며, 평가에 적용되는 중요도를 구조형식별로 분류하면 다음과 같다.

[표 9.45] 철근콘크리트 구조의 평가항목 및 중요도

구분	평가항목		중요도	비고
상태안전성능	◦ 균열		0.7	
	◦ 철근부식		0.9	
	표면노후	◦ 박리	0.5	
		◦ 박락 및 층분리		
		◦ 누수 및 백태		
		◦ 철근노출		

<해설>

- 표면노후는 박리, 박락 및 층분리, 누수 및 백태, 철근노출 중 불리한 값을 적용

[표 9.46] 강구조의 평가항목 및 중요도

구분	평가항목		중요도	비고
상태안전성능	◦ 강재의 강도 및 규격(도서검토)		0.5	
	◦ 용접 접합상태		0.9	
	◦ 볼트 접합상태(앵커볼트 포함)		0.9	
	◦ 강재의 부식도		0.5	
	◦ 접합재 부식도(용접, 볼트)		0.7	
	◦ 내화피복		0.3	

[표 9.47] 철골·철근콘크리트 구조의 평가항목 및 중요도

구분		중요도	평가항목		중요도	비고
상태 안전 성능	철 근 콘 크 리 트	0.9	◦ 균열		0.7	
			◦ 철근부식		0.9	
			표면노후	◦ 박리	0.5	
				◦ 박락 및 층분리		
				◦ 누수 및 백태		
				◦ 철근노출		
	강 구 조	0.9	◦ 강재의 강도 및 규격(도서검토)		0.5	
			◦ 용접 접합상태		0.9	
			◦ 볼트 접합상태(앵커볼트 포함)		0.9	
			◦ 강재의 부식도		0.5	
			◦ 접합재 부식도(용접, 볼트)		0.7	
			◦ 내화피복		0.3	

2) 부재별 중요도

[표 9.48] 철근콘크리트 벽식 구조 부재별 중요도

대분류	평가항목	중요도	비고
철근콘크리트 벽식 구조	◦ 내력벽	0.9	
	◦ 슬래브	0.5	

[표 9.49] 프리캐스트 콘크리트조 부재별 중요도

대분류	평가항목	중요도	비고
프리캐스트 콘크리트조	◦ 내력벽	0.9	
	◦ 접합부	0.9	
	◦ 슬래브	0.5	

[표 9.50] 철근콘크리트 라멘조, 철골·철근 콘크리트조 부재별 중요도

대분류	평가항목	중요도	비고
철근콘크리트 라멘조 철골·철근 콘크리트조	◦ 기둥	0.9	
	◦ 내력벽	0.9	
	◦ 큰보	0.7	
	◦ 작은보	0.5	
	◦ 슬래브	0.3	

[표 9.51] 강구조 부재별 중요도

대분류	중분류	중요도	평가항목	중요도	비고
강구조	부재별 내력비	0.9	◦ 기둥	0.9	
			◦ 큰보	0.9	
			◦ 작은보	0.7	
			◦ 슬래브	0.5	
	접합부 내력비	0.9	◦ 기둥 이음부	0.9	
			◦ 보 이음부	0.7	
			◦ 기둥+보 접합부	0.7	
			◦ 보+보 접합부	0.5	
			◦ 주각 접합부	0.9	

[표 9.52] 무량판구조 부재별 중요도

대분류	평가항목	중요도	비고
무량판구조	◦ 기둥	0.9	
	◦ 슬래브	0.9	

3) 층별 중요도

층별 중요도는 각 층의 구조가 담당하고 있는 구조기능과 하중 및 외력에 대한 지지의 부담비율 $\zeta_n(n=1, 2, \dots, n)$ 에 의해 정의 될 수 있으며, 각 층 부재의 기능과 역할의 분담은 층별로 부재가 부담하고 있는 층수의 비율에 의하여 산정한다.

$$\text{층별 부담비율 } \zeta_n = \frac{N-(n-1)}{N}$$

※ 여기서 N=지하층을 포함한 전체층수, n=지하층을 포함한 해당층수

[표 9.53] 층별 중요도 산정 예시

하중분담정도(ζ_n)		중요도 정도	중요도 범위	대푯값
지하2층	1.00	압도적으로 중요	$0.8 \leq g \leq 1.0$	0.9
지상2층	0.75	대단히 중요	$0.6 \leq g < 0.8$	0.7
지상5층	0.50	보통 중요	$0.4 \leq g < 0.6$	0.5
지상7층	0.333	약간 중요	$0.2 \leq g < 0.4$	0.3
지상9층	0.167	미미한 정도	$0 \leq g < 0.2$	0.1

4) 변위·변형 중요도

[표 9.54] 변위·변형의 중요도

구분	평가항목	중요도	비고
변위·변형	◦ 기울기	0.7	
	◦ 변위·변형	0.9	
	◦ 부등침하	0.9	

5) 평가항목별 중요도

[표 9.55] 평가항목별 중요도

항목	상태안전성능	구조안전성능	변위·변형	비고
중요한 정도의 표현	대단히 중요	압도적으로 중요	대단히 중요	
중요도	0.7	0.9	0.7	

다. 안전성능 평가 결과 산정 예시

1) 시설물 개요

구분	내용
시설물 명	○○공항
구조형식	철근콘크리트 구조
층 수	지하 1층
	지상 3층

2) 상태안전성능 결과 산정 예시

(가) 부재상태 평가

(1) 결함유형별 평가 결과 산정

[표 9.56] 철근콘크리트구조 결함유형별 평가 결과 예시

표본층	구분		기둥		내력벽		큰보		작은보		슬래브	
			점수	등급	점수	등급	점수	등급	점수	등급	점수	등급
B1	균열		1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
	철근부식		1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
	표면 노후	박리	1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
		박락 및 층분리	1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
		누수 및 백태	1	a	—	—	1	a	—	—	5	c
		철근노출	1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
1F	균열		1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
	철근부식		1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
	표면 노후	박리	1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
		박락 및 층분리	1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
		누수 및 백태	1	a	—	—	1	a	—	—	5	c
		철근노출	1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
2F	균열		1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
	철근부식		1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
	표면 노후	박리	1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
		박락 및 층분리	1	a	—	—	1	a	—	—	1	a
		누수 및 백태	1	a	—	—	1	a	—	—	5	c
		철근노출	1	a	—	—	1	a	—	—	1	a

<해 설>

- 표면노후는 박리, 박락 및 층분리, 누수 및 백태. 철근노출 중 불리한 값을 적용

(2) 부재별 평가 결과 산정

[표 9.57] 부재별 평가 결과 예시

구분		B1	1F	2F
기둥	평가점수	1.00	1.00	1.00
	평가등급	a	a	a
내력벽	평가점수	—	—	—
	평가등급	—	—	—
큰보	평가점수	2.80	2.80	2.80
	평가등급	b	b	b
작은보	평가점수	—	—	—
	평가등급	—	—	—
슬래브	평가점수	3.00	3.00	3.00
	평가등급	b	b	b

○ 척도값 산정(슬래브, B1)

- $g(\text{균열}) = 0.7$
- $g(\text{철근부식}) = 0.9$
- $g(\text{표면노후}) = 0.5$
- $g(X) = 1.0$
- $g(\text{균열}, \text{철근부식}, \text{표면노후}) = g(\text{균열}) + g(\text{철근부식}) + g(\text{표면노후}) + \lambda[g(\text{균열})g(\text{철근부식}) + g(\text{균열})g(\text{표면노후}) + g(\text{철근부식})g(\text{표면노후})] + \lambda^2(g(\text{균열})g(\text{철근부식})g(\text{표면노후}))$
- $1 = 0.7 + 0.9 + 0.5 + \lambda(0.7 \times 0.9 + 0.7 \times 0.5 + 0.9 \times 0.5) + \lambda^2(0.7 \times 0.9 \times 0.5)$
- $0.315\lambda^2 + 1.43\lambda + 1.1 = 0$
- $\lambda^* = -0.982$

* λ : 퍼지 척도로서 각 집합들 간의 상호작용관계를 나타냄

○ 중요도 합성

- $g(\text{균열}, \text{철근부식}, \text{표면노후}) = 1.0$
- $g(\text{균열}, \text{철근부식}) = 0.7 + 0.9 - 0.982 \times 0.7 \times 0.9 = 0.981$
- $g(\text{균열}, \text{표면노후}) = 0.7 + 0.5 - 0.982 \times 0.7 \times 0.5 = 0.856$
- $g(\text{철근부식}, \text{표면노후}) = 0.9 + 0.5 - 0.982 \times 0.9 \times 0.5 = 0.958$
- $g(\text{균열}) = 0.7$
- $g(\text{철근부식}) = 0.9$
- $g(\text{표면노후}) = 0.5$

○ 평가

- 부재별 평가_(X) = $1.00 \times 1.0 + (1.00 - 1.00) \times 0.981 + (5.00 - 1.00) \times 0.5 = 3.0(\text{b등급})$

(3) 층별 평가 결과 산정

[표 9.58] 층별 평가 결과 예시

구분	B1	1F	2F
평가점수	2.49	2.49	2.49
평가등급	b	b	b

○ 척도값 산정(B1)

- $g_{(기둥)} = 0.9$
- $g_{(큰보)} = 0.7$
- $g_{(슬래브)} = 0.3$
- $g_{(X)} = 1.0$
- $g_{(기둥, 큰보, 슬래브)} = g_{(기둥)} + g_{(큰보)} + g_{(슬래브)} + \lambda [g_{(기둥)}g_{(큰보)} + g_{(기둥)}g_{(슬래브)} + g_{(큰보)}g_{(슬래브)}] + \lambda^2(g_{(기둥)}g_{(큰보)}g_{(슬래브)})$
- $1 = 0.9 + 0.7 + 0.3 + \lambda(0.9 \times 0.7 + 0.9 \times 0.3 + 0.7 \times 0.3) + \lambda^2(0.9 \times 0.7 \times 0.3)$
- $0.189\lambda^2 + 1.11\lambda + 0.9 = 0$
- $\lambda^* = -0.972$

* λ : 퍼지 척도로서 각 집합들 간의 상호작용관계를 나타냄

○ 중요도 합성

- $g_{(기둥, 큰보, 슬래브)} = 1.0$
- $g_{(기둥, 큰보)} = 0.9 + 0.7 - 0.972 \times 0.9 \times 0.7 = 0.988$
- $g_{(기둥, 슬래브)} = 0.9 + 0.3 - 0.972 \times 0.9 \times 0.3 = 0.938$
- $g_{(큰보, 슬래브)} = 0.7 + 0.3 - 0.972 \times 0.7 \times 0.3 = 0.796$
- $g_{(기둥)} = 0.9$
- $g_{(큰보)} = 0.7$
- $g_{(슬래브)} = 0.3$

○ 평가

- 층별 평가_(X) = $1.00 \times 1.0 + (2.80 - 1.0) \times 0.796 + (3.00 - 2.80) \times 0.3 = 2.49(b\text{등급})$

(4) 부재상태 평가 결과 산정

[표 9.59] 부재상태 평가 결과 예시

구분	평가점수	평가등급
부재상태 평가	2.49	b

○ 척도값 산정

- $g_{(B1)} = 0.9$
- $g_{(1F)} = 0.7$
- $g_{(2F)} = 0.3$
- $g_{(X)} = 1.0$
- $g_{(B1, 1F, 2F)} = g_{(B1)} + g_{(1F)} + g_{(2F)} + \lambda[g_{(B1)}g_{(1F)} + g_{(B1)}g_{(2F)} + g_{(1F)}g_{(2F)}] + \lambda^2(g_{(B1)}g_{(1F)}g_{(2F)})$
- $1 = 0.9 + 0.7 + 0.3 + \lambda(0.9 \times 0.7 + 0.9 \times 0.3 + 0.7 \times 0.3) + \lambda^2(0.9 \times 0.7 \times 0.3)$
- $0.189\lambda^2 + 1.11\lambda + 0.9 = 0$
- $\lambda^* = -0.972$

* λ : 퍼지 척도로서 각 집합들 간의 상호작용관계를 나타냄

○ 중요도 합성

- $g_{(B1, 1F, 2F)} = 1.0$
- $g_{(B1, 1F)} = 0.9 + 0.7 - 0.972 \times 0.9 \times 0.7 = 0.988$
- $g_{(B1, 2F)} = 0.9 + 0.3 - 0.972 \times 0.9 \times 0.3 = 0.938$
- $g_{(1F, 2F)} = 0.7 + 0.3 - 0.972 \times 0.7 \times 0.3 = 0.796$
- $g_{(B1)} = 0.9$
- $g_{(1F)} = 0.7$
- $g_{(2F)} = 0.3$

○ 평가

- 부재상태 평가_(X) = $2.49 \times 1.0 + (2.49 - 2.49) \times 0.796 + (2.49 - 2.49) \times 0.3 = 2.49$ (b등급)

(나) 변위·변형 평가

(1) 항목별 변위·변형평가 결과 산정

[표 9.60] 변위·변형 항목별 평가 결과 예시

구분	평가점수	평가등급
기울기	1	a
변위·변형	1	a
부등침하	1	a

(2) 변위·변형평가 결과 산정

[표 9.61] 변위·변형 평가 결과 예시

구분	평가점수	평가등급
변위·변형 평가	1.00	a

○ 척도값 산정

- $g(\text{기울기}) = 0.9$
- $g(\text{변위·변형}) = 0.9$
- $g(\text{부등침하}) = 0.9$
- $g(x) = 1.0$
- $g(\text{기울기}, \text{변위·변형}, \text{부등침하}) = g(\text{기울기}) + g(\text{변위·변형}) + g(\text{부등침하}) + \lambda[g(\text{기울기})g(\text{변위·변형}) + g(\text{기울기})g(\text{부등침하}) + g(\text{변위·변형})g(\text{부등침하})] + \lambda^2(g(\text{기울기})g(\text{변위·변형})g(\text{부등침하}))$
- $1 = 0.9 + 0.9 + 0.9 + \lambda(0.9 \times 0.9 + 0.9 \times 0.9 + 0.9 \times 0.9) + \lambda^2(0.9 \times 0.9 \times 0.9)$
- $0.729\lambda^2 + 2.43\lambda + 1.7 = 0$
- $\lambda^* = -0.999$

* λ : 퍼지 척도로서 각 집합들 간의 상호작용관계를 나타냄

○ 중요도 합성

- $g(\text{기울기}, \text{변위·변형}, \text{부등침하}) = 1.0$
- $g(\text{기울기}, \text{변위·변형}) = 0.9 + 0.9 - 0.999 \times 0.9 \times 0.9 = 0.991$
- $g(\text{기울기}, \text{부등침하}) = 0.9 + 0.9 - 0.999 \times 0.9 \times 0.9 = 0.991$
- $g(\text{변위·변형}, \text{부등침하}) = 0.9 + 0.9 - 0.999 \times 0.9 \times 0.9 = 0.991$
- $g(\text{기울기}) = 0.9$
- $g(\text{변위·변형}) = 0.9$
- $g(\text{부등침하}) = 0.9$

○ 평가

- $\text{변위·변형평가}_{(X)} = 1.00 \times 1.0 + (1.00 - 1.00) \times 0.991 + (1.00 - 1.00) \times 0.9 = 1.00(\text{a등급})$

(다) 상태안전성능 평가 결과 산정

상태안전성능 평가 결과 = MIN(부재상태 평가 결과, 변위·변형 평가 결과)

[표 9.62] 상태안전성능 평가 결과 산정

구분	평가점수	평가등급
부재상태 평가	2.49	b
변위·변형 평가	1.00	a
상태안전성능 평가	2.49	b

3) 구조안전성능 결과 산정 예시

(가) 부재별 구조안전성능 평가 결과 산정

[표 9.63] 부재별 구조안전성능 평가 결과 예시

구분		B1	1F	2F
기둥	평가점수	3	3	3
	평가등급	b	b	b
내력벽	평가점수	—	—	—
	평가등급	—	—	—
큰보	평가점수	3	3	5
	평가등급	b	b	c
작은보	평가점수	—	—	—
	평가등급	—	—	—
슬래브	평가점수	1	3	3
	평가등급	a	b	b

(나) 층별 구조안전성능 평가 결과 산정

[표 9.64] 층별 구조안전성능 평가 결과 예시

구분		B1	1F	2F
구조안전성능	평가점수	2.98	3.00	4.40
	평가등급	b	b	c

○ 척도값 산정(B1)

- $\lambda^* = -0.972$

* λ : 퍼지 척도로서 각 집합들 간의 상호작용관계를 나타냄

○ 중요도 합성

- $g(\text{기둥, 큰보, 슬래브}) = 1.0$
- $g(\text{기둥, 큰보}) = 0.9 + 0.7 - 0.972 \times 0.9 \times 0.7 = 0.988$
- $g(\text{기둥, 슬래브}) = 0.9 + 0.3 - 0.972 \times 0.9 \times 0.3 = 0.938$
- $g(\text{큰보, 슬래브}) = 0.7 + 0.3 - 0.972 \times 0.7 \times 0.3 = 0.796$
- $g(\text{기둥}) = 0.9$
- $g(\text{큰보}) = 0.7$
- $g(\text{슬래브}) = 0.3$

○ 평가

- 구조안전성능 평가_(X) = $1.00 \times 1.0 + (3.00 - 1.0) \times 0.989 + (3.00 - 3.00) \times 0.9 = 2.98(\text{b등급})$

(다) 구조안전성능 평가 결과 산정

[표 9.65] 구조안전성능 평가 결과 예시

구분	평가점수	평가등급
구조안전성능 평가	3.41	b

○ 척도값 산정

- $\lambda^* = -0.972$

* λ : 퍼지 척도로서 각 집합들 간의 상호작용관계를 나타냄

○ 중요도 합성

- $g_{(BI, 1F, 2F)} = 1.0$

- $g_{(BI, 1F)} = 0.9 + 0.7 - 0.972 \times 0.9 \times 0.7 = 0.988$

- $g_{(BI, 2F)} = 0.9 + 0.3 - 0.972 \times 0.9 \times 0.3 = 0.938$

- $g_{(1F, 2F)} = 0.7 + 0.3 - 0.972 \times 0.7 \times 0.3 = 0.796$

- $g_{(BI)} = 0.9$

- $g_{(1F)} = 0.7$

- $g_{(2F)} = 0.3$

○ 평가

- 구조안전성능 평가_(X) = $2.98 \times 1.0 + (3.00 - 2.98) \times 0.938 + (4.40 - 3.00) \times 0.3 = 3.41(b\text{등급})$

4) 안전성능 평가 결과 산정 예시

(가) 안전성능 평가 결과 산정

안전성능 평가 결과 = MIN(상태안전성능 평가 결과, 구조안전성능 평가 결과)

[표 9.66] 안전성능 평가 결과 산정

구분	평가점수	평가등급
상태안전성능	2.49	b
구조안전성능	3.41	b
안전성능 평가	3.41	B

9.5 내구성능 평가 기준 및 방법

9.5.1 일반

공항(여객터미널)의 내구성능 평가는 크게 강재 내구성능 평가 및 콘크리트 내구성능 평가 분야로 구성된다. 강재 내구성능 평가 분야에서는 대상부재별로 조사된 지표별 결과값 및 대상부재별 가중치를 적용하여 등급을 산정한다. 콘크리트 내구성능 평가 분야에서는 평가지표별로 최저등급 또는 평균값을 적용하여 대푯값을 산정하고, 대상부재별 가중치를 적용하여 등급을 산정한다. 또한 강재 내구성능과 콘크리트 내구성능에 대한 가중치를 적용하여 전체 공항(여객터미널)에 대한 최종 내구성능 결과를 도출한다.

9.5.2 강재 내구성능 평가 지표 및 기준

가. 개요

강재 내구성능 평가 항목은 크게 내부적 요소(열화진전 요소)와 외부적 요소(열화환경 요소)로 구분되며, 내부적 요소는 발청, 도장열화, 도장두께, 누수이며, 외부적 요소는 해안 이격 거리, 이산화황 농도, 습도 등을 포함하는 대기환경으로 구성된다.

여기서, 발청 및 도장열화는 발청, 박리, 균열, 부품, 변색·백아화 등 5가지 열화요인에 대해 각각 평가하고 중요도 비율에 따라 합산 및 등급산정을 한다.

[표 9.67] 공항(여객터미널) 평가지표 및 세부평가지표

구분	평가지표	세부 평가지표
강 부재	발청(표면부식)	—
	도장 열화	박리, 균열, 부품, 백아화
	도장 두께	—
	누수	—
	대기환경	해안 이격 거리, 이산화황 농도, 습도

나. 평가대상 부재

공항(여객터미널)의 강재 내구성능 평가 대상 부재를 주요 부재 및 보조 부재로 분류하여 놓았으며, 대상부재는 강재가 적용된 부재에 한정한다.

[표 9.68] 공항(여객터미널) 강재 내구성능 평가 대상 부재

부재 분류	
주요 부재	기둥, 보, 트러스
보조 부재	케이블, 브레이싱




다. 강재 내구성능 평가 성능지표 및 기준

1) 발청 및 도장열화

(가) 발청(표면부식, 녹)

[표 9.69] 발청 평가기준

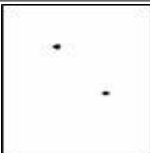
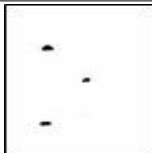
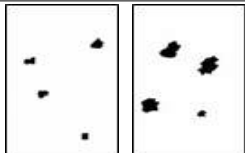
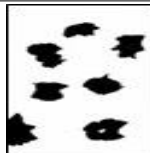
평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	발청 면적	외관 상태	
a	0.05% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 등급 1)	1
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 등급 2)	3
c	0.5 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 3)	5
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 4/5)	7
e	—	—	9

발청			
표준사진 등급 1	표준사진 등급 2	표준사진 등급 3	표준사진 등급 4/5
			

(나) 도장 박리

[표 9.70] 도장 박리 평가기준




평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	도장 박리 면적	외관 상태	
a	0.1% 미만	외관상 박리가 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)	1
b	0.1% 이상 ~ 0.3% 미만	미소하게 박리가 확인되지만, 박리된 부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)	3
c	0.3% 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 박리가 보이는 상태(표준사진 3/4)	5
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 박리가 발생되어 있는 상태(표준사진 5)	7
e	—	—	9

도장 박리			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3/4	표준사진 5
			

(다) 도장 균열

[표 9.71] 도장 균열 평가기준

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	도장 균열 면적	외관 상태	
a	0.05% 미만	외관상 균열이 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)	1
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 균열이 확인되지만, 균열부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)	3
c	0.5% 이상 ~ 10.0% 미만	확실하게 균열이 보이는 상태(표준사진 3)	5
d	10.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태(표준사진 4/5)	7
e	—	—	9

도장 균열			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4/5
			

(라) 도장 부품

[표 9.72] 도장 부품 평가기준



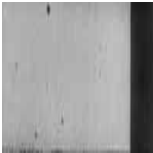
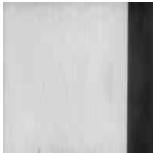
부품 크기 발생면적	0 ~ 0.05% 미만 (표준사진 밀도 2 이하)	0.05 이상 ~ 0.5% 미만 (표준사진 밀도 3)	0.5 이상 ~ 5.0% 미만 (표준사진 밀도 4)	5.0% 이상 (표준사진 밀도 5 이상)
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하 (크기등급 2)	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도 (0.5mm이하) (크기등급 3)	a	b	c	d
0.5~5mm의 범위 (크기등급 4)	b	c	c	d
5mm 초과 (크기등급 5)	c	d	d	d

도장 부품 (크기등급 3: 0.5mm 부품에 대한 예)			
표준사진 밀도 2 이하	표준사진 밀도 3	표준사진 밀도 4	표준사진 밀도 5 이상
			

(마) 도장 변색 및 백아화

[표 9.73] 도장 변색 및 백아화

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	도장 변색	도장 백아화	
a	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음(표준사진 1)	1
b	초기에 비해 변색되어 있음	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착 (표준사진 2)	3
c	초기에 비해 현저하게 변색되어 있음	초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착(표준사진 3)	5
d	초기의 색이 거의 남아 있지 않음	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음(표준사진 4)	7
e	—	—	9

백아화			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4
			

<해 설>

- 각 표준사진에서 최우측단의 색상이 도장 본래의 색에 해당하며, 좌측의 색상은 도장 열화수준에 따라 구분됨

2) 도장두께

[표 9.74] 도장두께 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	5% 미만	1
b	5% 이상 ~ 30% 미만	3
c	30% 이상 ~ 70% 미만	5
d	70% 이상	7
e	—	9

<해 설>

- 3개 지점의 평균값
- 시방서 및 시공기준 대비 허용두께 불만족 비율

3) 누수

[표 9.75] 누수 평가기준

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	상태 정의	비고	
a	깨끗한 상태	현재에는 누수 발생이 없고 과거에도 누수 발생 흔적이 없음	1
b	건조 상태	현재에는 누수 발생이 없으나 과거에는 누수 발생 흔적이 있음	3
c	습윤 상태	과거의 누수 발생 여부와 상관없이 현재 결로와 같은 경미한 누수가 발생	5
d	젖음 상태	과거의 누수 발생 여부와 상관없이 현재 흐르는 물줄기 혹은 떨어지는 물방울을 관찰할 수 있을 만큼 심각한 누수가 발생	7
e	—	—	9

5) 대기환경 (해안 이격 거리/이산화황 농도/습도)

[표 9.76] 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 (일)	해안 이격거리 (m)	동해안		서해안		남해안		동해안		서해안		남해안				
		전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역	전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역	전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역
		500 초과	1000 초과	300 초과	100 초과	20 초과	250 초과 ~ 500 이하	500 초과 ~ 1000 이하	120 초과 ~ 300 이하	50 초과 ~ 100 이하	10 초과 ~ 20 이하	비말대 초과 ~ 250 이하	비말대 초과 ~ 500 이하	비말대 초과 ~ 120 이하	비말대 초과 ~ 50 이하	비말대 초과 ~ 10 이하
		MDD ≤ 1.5					1.5 < MDD ≤ 2.0					2.0 < MDD ≤ 비말대				
100 초과	0.01 이하	a					b					c				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	c					c					c				
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a					b					b				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	b					c					c				
10 미만	0.01 이하	a					a					b				
	0.01 초과															
	0.02 이하															
	0.02 초과															

<해 설>

- 비래염분량(mg/100cm²/day, MDD) : 10cm × 10cm의 면적에서 1일간 측정되는 염분량을 NaCl량으로 나타낸 값
- 연간 젖음 시간 : 0도씨 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간
- 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고하여 설정하였다.
- 부식속도가 높음 및 매우 높은 경우 이에 대해 각각 b등급 및 c등급을 적용한다.
- 각 등급별 평가점수(대푯값)은 a : 5.0, b : 4.0, c : 3.0, d : 2.0, e : 1.0을 적용한다.

라. 강재 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

강재 내구성능은 평가항목별 가중치 및 부재별 가중치에 따라 평가 결과를 산정한다.

2) 평가항목별 가중치

(가) 발청 및 도장열화 가중치

강재의 발청, 도장의 부품, 균열, 박리, 변색 각 지표별 평가항목에 대한 열화 등급별 점수에 (가중치/가중치합(100))를 곱하여 평가항목별 점수를 산정하고 각 평가항목의 점수를 합산하여 발청 및 도장열화의 종합점수를 산정한다.

[표 9.77] 발청 및 도장열화 평가지표별 가중치

구분	발청	박리	균열	부품	변색
가중치	50	20	10	15	5

(나) 평가지표별 가중치

[표 9.78] 평가지표별 가중치

구분	평가지표		내부 부재	외부 부재
내부 요인	도장열화	발청	35	37
		박리		
		균열		
		부품		
		변색		
	도장두께		23	27
누수		29	18	
외부 환경요인	대기 환경 (해안 이격 거리, 이산화황 농도, 습도)		13	18
합계			100	100

3) 부재 종류별 가중치

공항(여객터미널)을 구성하는 부재는 기둥, 보, 트러스, 케이블, 브레이싱, 슬래브, 벽체 등과 같이 각기 다르므로 최종적으로 수행하는 종합내구성능 평가에서는 각 부재별 구성 부재의 중요도를 반영하는 것이 필요하다.

[표 9.79] 부재 종류에 따른 가중치

구성부재	내력벽이 있는 경우		내력벽이 없는 경우
	기둥이 있는 경우	기둥이 없는 경우	기둥이 있는 경우
기둥	18	—	28
보	18	18	18
트러스	18	18	18
케이블	11	11	11
브레이싱	10	10	10
슬래브	7	7	7
비내력벽	8	8	8
내력벽	10	28	—

<해 설>

- 조사층의 해당 부재가 없는 경우, 조사된 부재들의 가중치대로 배분하여 적용함

예 : 기둥, 보, 슬래브, 비내력벽에 대해서 조사가 수행된 경우, ‘내력벽이 없고 기둥이 있는 경우’의 가중치에 대해서 조사되지 않은 부재(트러스, 케이블, 브레이싱)의 가중치(18, 11, 10)의 합(A)을 조사된 부재의 가중치에 따라 배분함

- 보정된 부재의 가중치 = 기존 부재의 가중치 + (조사되지 않은 부재의 가중치 합 $\times \frac{\text{기존 부재의 가중치}}{\text{조사된 부재의 가중치 합}}$)

4) 조사층별 가중치

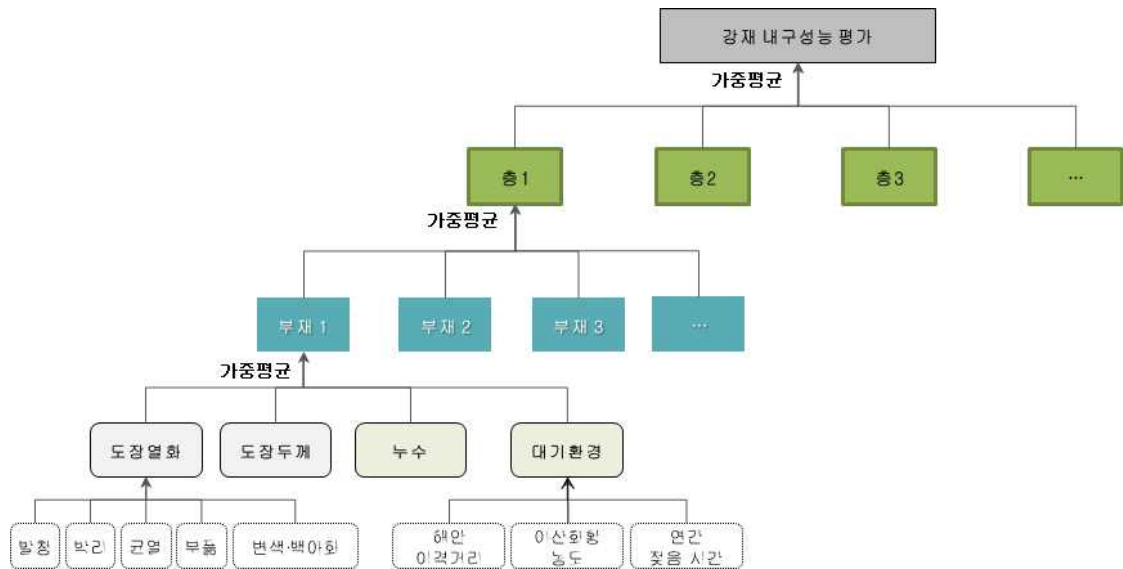
공항(여객터미널)은 여러 층으로 이루어져 있으므로 하중 분배에 따른 각 층의 가중치를 산정하여 공항(여객터미널)의 강재 내구성능 평가 등급을 산정한다. 층별 중요도는 각 층의 구조가 담당하고 있는 구조적 기능과 역할인 하중과 외력에 대한 지지의 부담비율 $\zeta_n(n=1, 2, \dots, n)$ 에 의해 정의 될 수 있으며, 각 층 부재의 기능과 역할의 부담은 층별로 부재가 부담하고 있는 층수의 비율에 의하여 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$\text{층별 부담비율 } \zeta_n = \frac{N - (n - 1)}{N}$$

여기서, N=지하층을 포함한 전체층수, n=지하층을 포함한 해당층수

[표 9.80] 층별 중요도 산정

하중분담정도(ζ_n)	중요도 정도	중요도 범위	대푯값	가중치
지하2층 1.00	압도적으로 중요	$0.8 \leq g \leq 1.0$	0.9	36
지상2층 0.75	대단히 중요	$0.6 \leq g < 0.8$	0.7	28
지상5층 0.50	보통 중요	$0.4 \leq g < 0.6$	0.5	20
지상7층 0.333	약간 중요	$0.2 \leq g < 0.4$	0.3	12
지상9층 0.167	미미한 정도	$0 \leq g < 0.2$	0.1	4



[그림 9.1] 강제 내구성능 항목별 세부 평가방법

마. 강제 내구성능 평가 결과 산정 예시

1) 항목별 내구성능 평가

(가) 도장열화 세부지표별 평가

[표 9.81] 도장열화 종합평가 예시

도장열화 종합									
조사층	조사 부재	부재 위치	발청	박리	균열	부품	변색	평가결과	
								점수*	등급
지하 1층	부재 1	내부	1	1	3	1	1	1.2	a
	부재 2	내부	3	5	3	1	3	3.1	b
	부재 3	내부	3	1	1	3	5	2.5	b
지상 1층	부재 1	내부	3	5	1	3	1	3.1	b
	부재 2	내부	1	3	1	1	3	1.5	a
	부재 3	내부	3	3	5	3	3	3.2	b
지상 2층	부재 1	내부	1	3	3	1	3	1.7	a
	부재 2	내부	3	1	3	5	1	2.8	b
	부재 3	내부	3	3	1	5	5	3.2	b
지상 3층	부재 1	외부	3	1	3	1	5	2.4	b
	부재 2	외부	1	3	3	1	1	1.6	a
	부재 3	외부	3	5	1	3	3	3.2	b

<해설>

○ 각 세부지표 평점에 세부지표별 가중치를 적용한 후 합산한 결과

(나) 도장두께 평가

[표 9.82] 도장두께 평가 예시

도장두께						
조사층	조사 부재	부재 위치	측정 값(비율) ¹⁾	허용두께 미달 비율	평가결과	
					점수	등급
지하 1층	부재 1	내부	108(108%)	0%	1	a
	부재 2	내부	105(105%)	0%	1	a
	부재 3	내부	111(111%)	0%	1	a
지상 1층	부재 1	내부	77(77%)	3%	1	a
	부재 2	내부	82(82%)	0%	1	a
	부재 3	내부	75(75%)	5%	3	b
지상 2층	부재 1	내부	90(90%)	0%	1	a
	부재 2	내부	95(95%)	0%	1	a
	부재 3	내부	97(97%)	0%	1	a
지상 3층	부재 1	외부	65(65%)	15%	3	b
	부재 2	외부	68(68%)	12%	3	b
	부재 3	외부	62(62%)	18%	3	b

주1) 측정 값(비율) = $\frac{\text{측정된 도장두께}}{\text{시방서 기준 도장두께}} \times 100 = (\%)$

(다) 누수 평가

[표 9.83] 누수 평가 예시

누수					
조사층	조사 부재	부재 위치	누수 상태	평가결과	
				점수	등급
지하 1층	부재 1	내부	습윤 상태	5	c
	부재 2	내부	습윤 상태	5	c
	부재 3	내부	젖음 상태	7	d
지상 1층	부재 1	내부	깨끗한 상태	1	a
	부재 2	내부	깨끗한 상태	1	a
	부재 3	내부	깨끗한 상태	1	a
지상 2층	부재 1	내부	건조 상태	3	b
	부재 2	내부	깨끗한 상태	1	a
	부재 3	내부	깨끗한 상태	1	a
지상 3층	부재 1	외부	건조 상태	3	b
	부재 2	외부	건조 상태	3	b
	부재 3	외부	깨끗한 상태	1	a

(라) 대기환경 평가

[표 9.84] 대기환경 평가 예시

평가지표		측정값	평가결과	
			점수	등급
대기 환경	해안 이격 거리	서해안으로부터 1 km	1	a
	연간 젖음 시간(일)	20일		
	이산화황 농도	0.0038 ppm		

2) 점검 부재의 강재 내구성능 등급 산정

[표 9.85] 점검 부재의 강재 내구성능 등급 산정 예시

점검 부재의 종합 내구성능 등급 산정										
조사층	조사 부재	부재 위치	도장열화	도장두께	누수	대기환경	평가결과		평가결과	
							점수	등급	점수	등급
지하 1층	부재 1	내부	a	a	c	a	2.23	b	2.81	b
			1.2	1	5	1				
	부재 2	내부	b	a	c	a	2.92	b		
			3.1	1	5	1				
	부재 3	내부	b	a	d	a	3.28	b		
			2.5	1	7	1				
지상 1층	부재 1	내부	b	a	a	a	1.76	a	1.73	a
			3.1	1	1	1				
	부재 2	내부	a	a	a	a	1.18	a		
			1.5	1	1	1				
	부재 3	내부	b	b	a	a	2.25	b		
			3.2	3	1	1				
지상 2층	부재 1	내부	a	a	b	a	1.83	a	1.76	a
			1.7	1	3	1				
	부재 2	내부	b	a	a	a	1.65	a		
			2.8	1	1	1				
	부재 3	내부	b	a	a	a	1.79	a		
			3.2	1	1	1				
지상 3층	부재 1	외부	b	b	b	a	2.42	b	2.30	b
			2.4	3	3	1				
	부재 2	외부	a	b	b	a	2.12	b		
			1.6	3	3	1				
	부재 3	외부	b	b	a	a	2.35	b		
			3.2	3	1	1				

3) 조사층의 강재 내구성능 등급 산정

[표 9.86] 조사층의 강재 내구성능 등급 산정 예

조사층의 종합 내구성능 등급 산정							
조사층	기둥	보	트러스	케이블	브레이싱	평가결과	
						점수	등급
지하 1층	b	c	—	—	—	3.40	b
	2.81	4.32	—	—	—		
지상 1층	a	b	b	c	b	2.82	b
	1.73	2.86	3.89	4.12	2.45		
지상 2층	a	a	b	—	—	1.91	a
	1.76	1.36	2.68	—	—		
지상 3층	b	b	—	b	b	2.60	b
	2.30	2.87	—	3.25	2.22		

4) 조사층의 강재 내구성능 등급 산정

[표 9.87] 공항(여객터미널)의 강재 내구성능 등급 산정 예

공항(여객터미널)의 강재 내구성능 등급 산정							
조사층	등급	평점	하중분담 정도	대꽃값	가중치	평가결과	
						점수	등급
지하 1층	b	3.40	1.00	0.9	36	2.71	b
지상 1층	b	2.82	0.75	0.7	28		
지상 2층	a	1.91	0.50	0.5	20		
지상 3층	b	2.60	0.25	0.3	12		

9.5.3 콘크리트 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

콘크리트 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가에는 탄산화깊이, 염화물 침투량, 피복콘크리트의 품질이 포함되며, 열화환경평가에는 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경과 토양pH, 황산이온, 염소이온에 따른 토양환경이 포함된다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 콘크리트 내구성능등급의 평가 시에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 콘크리트 내구성능등급 평가 산정에는 활용하지 않고 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

[표 9.88] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전항목	열화환경항목
탄산화깊이	염해환경
염화물 침투량	동해환경
피복콘크리트품질	토양환경

나. 평가대상 부재

공항(여객터미널)에 대하여 콘크리트 내구성능 평가를 실시하며, 노출환경에 따라 외부 대기에 노출된 외부 콘크리트와 실내 환경에 있는 내부 콘크리트로 구분한다.

[표 9.89] 노출 환경별 평가항목

노출 환경	평가항목	
	열화진전항목	열화환경항목
내부 콘크리트	탄산화깊이 염화물 침투량(최초 성능평가 시) 피복콘크리트품질(최초 성능평가 시)	—
외부 콘크리트	탄산화깊이 염화물 침투량 피복콘크리트품질	염해환경 동해환경 토양환경

다. 평가지표별 기준 및 조사방법

1) 염화물 침투량

[표 9.90] 염화물 침투량 평가등급

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$	
a	30년 초과	0.3 이하	1
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$	3
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$	5
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$	7
e	5년 이하	2.5 이상	9

<해설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가 등급으로 설정함
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것임
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년으로 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어 설 가능성이 있기 때문임
- 한편, b, c, d등급의 경우, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여함
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2 kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 점검 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고할 수 있도록 함

2) 탄산화깊이

[표 9.91] 탄산화깊이에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)	비고
a	30년 초과	1	점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 T계산 탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계 피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T : 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간, D : 탄산화깊이, t : 공용연수)
b	$20\text{년} < T^{1)} \leq 30\text{년}$	3	
c	$10\text{년} < T \leq 20\text{년}$	5	
d	$5\text{년} < T \leq 10\text{년}$	7	
e	5년 이하	9	

주1) T : 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간

<해 설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 포함함
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화될 가능성을 고려한 것임
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것임

3) 피복콘크리트품질

초기 시공불량의 경우, 피복콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수 있으며, 공용 중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다. 피복콘크리트품질의 경우 반발경도 측정 결과를 활용하여 평가를 수행한다.

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 9.92] 피복콘크리트품질에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
a	$100\% \leq q_{cl}^{1)}$	피복콘크리트의 내구성능이 양호한 상태	1
b	$90\% \leq q_{cl} < 100\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함	3
c	$q_{cl} < 90\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태	5
d	—	—	7
e	—	—	9

주1) $q_{cl} = (\text{측정강도} \div \text{설계기준강도}) \times 100\%$

<해 설>

- 피복콘크리트품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가함
- a등급은 강도 추정 값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계 값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있음
- c등급은 강도 추정 값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태임

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 9.93] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고	평가점수 (대푯값)
a	$95\% \leq q_{c2}^{1)}$	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음	1
b	$85\% \leq q_{c2} < 95\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함	3
c	$q_{c2} < 85\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태	5
d	—	—	7
e	—	—	9

주1) $q_{c2} = (\text{비건전부 반발경도 값} \div \text{건전부 반발경도 값}) \times 100\%$

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용함
- 동일한 건전부끼리 상호 비교하더라도 두 지점 간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정 하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정함
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤 상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위임
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분함

4) 염해환경

[표 9.94] 염해환경의 평가기준(해안거리)

평가 기준	해안	적용지역	해안으로부터 거리 $X(m)$
a	동해안	전지역	500 초과
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	1,000 초과 300 초과
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	100 초과 20 초과
b	동해안	전지역	$250 < X \leq 500$
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	$500 < X \leq 1000$ $120 < X \leq 300$
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	$50 < X \leq 100$ $10 < X \leq 20$
c	동해안	전지역	비말대 ¹⁾ $< X \leq 250$
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	비말대 $< X \leq 500$ 비말대 $< X \leq 120$
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	비말대 $< X \leq 50$ 비말대 $< X \leq 10$
d	—	—	—
e	—	—	—

주1) 비말대 : 해수가 직접 닿지 않는 지역

<해 설>

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기 중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분함
- 상기 항목은 각각 해안인접성과 강설일수를 기본 항목으로 정하고 등급을 설정함
- 해안 인접성의 경우 동해와 서해를 동일한 조건으로 고려하고, 해안의 형상, 구조 및 환경에 따라 다른 해역에 비해 비교적 비래염분이 적은 남해는 동해 및 서해와 달리 완화된 등급을 부여함을 원칙으로 하였음
- 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설 시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가살포는 고려하지 않으며 강설일수가 14일 이상이면 C 등급을 부여함
- 강설일수는 최심신적설(하루 동안 내린 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 취함

5) 동해환경

[표 9.95] 동해환경의 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$X < 3$	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	
d	—	
e	—	

<해 설>

- 수분 접촉 여부로 구분하여 계산함
- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 $X_{값} =$
 $[\text{일 최저기온} < -2.2^{\circ}\text{C}] \& [\text{일 최고기온} > 0^{\circ}\text{C}] \& [\text{강수량} > 0]$ 인 연평균 일수
- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 $X_{값}$
 $[\text{일 최저기온} < -2.2^{\circ}\text{C}] \& [\text{일 최고기온} > 0^{\circ}\text{C}]$ 인 연평균 일수
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정한 것에 따른 것임
- 지난 10년간 동절기 기상청 데이터 기준
- 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
- 수분과의 접촉 여부는 점검자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단함
- 측정해야 할 사항
 - 동절기 기간(11/1 ~ 3/31)의 기상청 자료 : 일 최저기온, 일 최고기온, 강수량
- 판단해야 할 사항
 - 부재별 수분과의 지속적인 접촉 여부를 판단함
 - 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 열악한 조건을 기준으로 점검함
 - 점검 시 사진 자료를 남겨 이력관리가 가능하도록 함

6) 토양환경

[표 9.96] 열화환경 평가등급

평가 기준	평가내용
a	$pH \geq 7$ 이상 또는 황산염 질량비 $< 0.2\%$ 또는 염소이온 ≤ 500 ppm
b	$5 \leq pH < 7$ 또는 $0.2\% \leq$ 황산염 질량비 $< 2.0\%$ 또는 $500\text{ppm} < \text{염소이온} \leq 1,000\text{ppm}$
c	$pH < 5$ 이하 또는 황산염 질량비 $\geq 2.0\%$ 또는 염소이온 $> 1,000$ ppm
d	—
e	—

<해 설>

- 토양 시료를 채취할 경우, 여객터미널 인근에서 채취하는 것이 어려운 경우 주변 부대건물 지역의 토양을 채취하여 사용할 수 있음
- 바다를 매립하여 건설된 공항(여객터미널)의 경우 토양환경이 열악한 환경조건인 경우가 많으나, 지하의 열악한 환경조건에 대응할 수 있는 특수한 방수층이 시공된 경우는 토양환경이 열악하더라도 지하 구조물에 미치는 영향이 거의 없기 때문에 평가 기준을 안전한 환경조건인 a등급을 적용할 수 있음(이 경우에도 토양환경은 조사하여야 하며, 최초 설계시의 자료(매립 토양환경 및 이에 대한 대응조치) 등에 대하여 확인할 필요가 있음)
- 공업지역은 pH 5~6, 농업지역 pH 5~7, 일반지역 pH 6~7, 산악지역 pH 5~6, 해안지역의 경우 pH 8~10 정도를 보이는 경향이 있음
- 토양의 경우, 산성비 및 기타 수분이 토양 속에 포화되어 지하 콘크리트의 표면과 접촉하며 중화에 의한 알칼리 손실이 발생함
- 염소이온의 경우 토양내 수분에 의하여 확산이 활발히 이루어질 수 있으며 콘크리트 표면과 지속적으로 접촉할 시 콘크리트의 내구성능 저하를 일으킬 수 있음
- 설계기준 및 지방서에 지하 콘크리트 구조물을 대상으로 한 토양의 염화물 침투량에 대한 기준 값은 없는 실정임

라. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

콘크리트 내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가 지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저등급을 반영한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하는데, 대상 시설물의 콘크리트 내구성능 등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 콘크리트 내구성능 평가 등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경평가는 염해환경(비래염분), 동해환경, 토양환경의 3개 열화환경평가 지표로 이루어진다.

열화환경평가는 각 부재별 열화진전평가 이전에 독립적으로 실시하며, 전체 시설물을 대상으로 한다.

열화환경평가는 3가지 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다.

지하의 열악한 환경조건에 대응할 수 있는 특수한 방수층이 시공된 경우는 토양환경이 열악하더라도 지하 구조물에 미치는 영향이 거의 없기 때문에 평가 기준을 안전한 환경조건인 a등급을 적용할 수 있다.

열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 9.97] 열화환경 평가등급

평가등급	열화환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길 수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

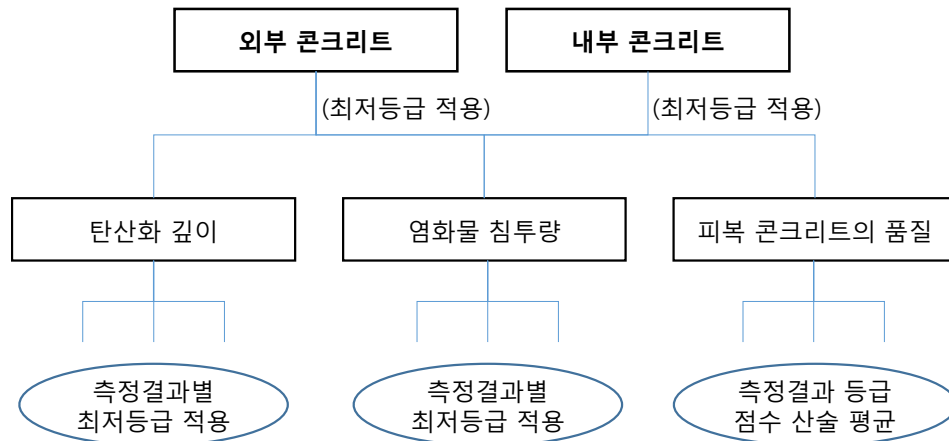
(나) 열화진전평가(부재수준의 평가)

콘크리트 내구성능 평가에 있어 열화진전평가는 탄산화깊이, 염화물 침투량, 피복콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.

각 콘크리트 내구성능 평가를 합에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화깊이, 염화물 침투량 및 피복콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 콘크리트 내구성능 등급이 된다.
- 다만, 피복콘크리트품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균한다.

각 세부 부재별 열화진전평가에 대한 콘크리트 내구성능 평가지표는 아래와 같으며, 외부 콘크리트와 내부 콘크리트에 대한 내구성능 평가를 각각 산출한다.



[그림 9.2] 공항(여객터미널)의 내구성능 평가 예시

[표 9.98] 내·외부 콘크리트 열화진전평가 지표

외부콘크리트	
열화진전평가	탄산화깊이
	염화물 침투량
	피복콘크리트의 품질

내부콘크리트	
열화진전평가	탄산화깊이
	염화물 침투량(최초 수행시)
	피복콘크리트의 품질 (최초 수행시)

(다) 콘크리트 내구성능 등급 산정

공항(여객터미널)의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

내부 콘크리트의 경우 염화물 침투량과 피복콘크리트의 품질 평가가 최초 점검 시에 한하여 초기 품질 확인차원에서 실시하기 때문에 문제가 없는 경우 부재별 가중치를 적용하지 않고, 공항(여객터미널)의 내구성능 등급에도 반영하지 않는다.

공항(여객터미널)은 주로 해안가에 위치하고 있어 염해, 동해 등의 열화환경이 상대적으로 열악한 외부 콘크리트에 높은 가중치를 주며, 실내의 온화한 열화환경에 있는 콘크리트에 대하여 낮은 가중치를 부여한다.

[표 9.99] 내·외부 콘크리트 부재별 가중치

노출 환경	부재 구분	부재별 가중치(%)
내부 콘크리트	단일 부재로 적용	30
외부 콘크리트	단일 부재로 적용	70

* 내부 콘크리트의 평가를 수행하지 않을 경우 외부 콘크리트의 가중치를 100%로 함

공항(여객터미널)의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 9.100] 열화진전평가

시설명	평가등급	세부 부재명	평가등급
공항 (여객터미널)	a~e	내부 콘크리트	a~e
		외부 콘크리트	a~e

[표 9.101] 열화환경평가

열화환경지표	평가등급	비고
비래염분 염해환경	a or b or c	비래염분이 발생하는 해안 쪽의 부재가 상대적으로 열악한 환경에 놓이게 됨 (염해환경에서만 사용)
동해환경	a or b or c	동결융해 사이클이 반복됨에 따라 표면부터 내구성능이 저하하게 되며, 수분의 공급이 용이한 부재에서 발생할 가능성이 큼
토양환경	a or b or c	토양에 매립된 구조물에 한하여 실시함

마. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 예시

1) 열화환경 평가

[표 9.102] 토양환경 평가 예시

측정 No.	평가항목 및 등급						개별 평가 결과	평가 결과
	pH		황산염 질량비		염소이온			
	측정값	등급	측정값(%)	등급	측정값(ppm)	등급		
No.1	6.5	b	0.10	a	700	b	b	b
No.2	7.2	a	0.15	a	300	a	a	
No.3	6.7	b	0.12	a	900	b	b	
	최저등급							

2) 열화진전 평가

(가) 염화물 침투량

[표 9.103] 염화물 침투량 평가 예시

측정위치	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				평가결과	
	표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	점수	등급
내부 지하 1층	0.1	0.1	0.1	0.1	1	a
내부 지하 2층	0.1	0.1	0.1	0.1	1	a
외부 No.1	1.5	1.05	0.4	0.1	1	a
외부 No.2	1.5	0.98	0.4	0.1	1	a
외부 No.3	4.5	3.5	1.8	0.8	5	c

[표 9.104] 염화물 확산계수 산출 예시

측정위치	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
	표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)
내부 지하 1층	내부 콘크리트는 염화물 확산계수 산정 불필요			
내부 지하 2층				
외부 No.1	—	—	0.103	—
외부 No.2	—	—	0.103	—
외부 No.3	—	—	—	0.194

<해 설>

- 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있음

[표 9.105] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가 예시

측정위치No.	계산 결과 (year)	평가결과	
		점수	등급
내부	해당사항 없음		
외부 No.1	30년 초과	1	a
외부 No.2	30년 초과	1	a
외부 No.3	30년 초과	1	a

[표 9.106] 염화물량 최종 평가등급 예시

시설물 구분	평가내용	개별평가결과		평가결과	
		점수	등급	점수	등급
내부 콘크리트	염화물 침투량 평가	1	a	1	a
	철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가	—	—		
외부 콘크리트	염화물 침투량 평가	5	c	5	c
	철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가	1	a		

<해 설>

- 내부 콘크리트는 초기 타설시 염분이 규정대로($0.3 kg/m^3$) 타설된 것으로 확인되어, 문제가 없으므로, 추후의 점검주기에서는 평가하지 않을 수 있음

(나) 탄산화깊이 평가

[표 9.107] 탄산화깊이 평가 예시

측정위치	탄산화깊이 (mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T (년)	개별 평가결과		평가결과	
				점수	등급	점수	등급
내부 지하1층 내력벽	15	3.4	30년 초과	1	a	3	b
내부 지하1층 기둥	18	4.0	30년 초과	1	a		
내부 지하2층 내력벽	28	6.3	30년 초과	1	a		
내부 지하2층 기둥	32	7.2	29	3	b		
외부 No.1	9	2.0	30년 초과	1	a	1	a
외부 No.2	9	2.0	30년 초과	1	a		
외부 No.3	9	2.0	30년 초과	1	a		

(다) 피복콘크리트품질 평가

[표 9.108] 피복콘크리트품질 평가 예시

측정위치	$q_{c1}^{1)}(\%)$	$q_{c2}^{2)}(\%)$	개별평가결과				평가결과	
			점수	등급	점수	등급	점수	등급
내부 지하1층 내력벽	105	해당사항 없음	1	a	-	-	1	a (평균값)
	112		1	a				
내부 지하1층 기둥	120		1	a				
	121		1	a				
내부 지하2층 내력벽	106		1	a				
	109		1	a				
내부 지하2층 기둥	115		1	a				
	113		1	a				
외부 No.1	115	-	1	a	-	-	1.67	a (평균값)
외부 No.2	-	92	-	-	3	b		
외부 No.3	111	-	1	a	-	-		
외부 No.4	-	90	-	-	3	b		
외부 No.5	120	-	1	a	-	-		
외부 No.6	-	96	-	-	1	a		

주1) q_{c1} = (측정강도 ÷ 설계기준강도) × 100%

주2) q_{c2} = (비건전부 반발경도 값 ÷ 건전부 반발경도 값) × 100%

3) 콘크리트 내구성능 평가 요약

[표 9.109] 공항(여객터미널)의 콘크리트 내구성능 평가 예시

시설물구분	염화물 침투량		탄산화 깊이		피복 콘크리트품질		개별 평가결과		가중치 (%)	평가결과	
	점수	등급	점수	등급	점수	등급	점수	등급		점수	등급
내부 콘크리트	1.00	a	3.00	b	1.00	a	3.00	b	30	4.40	c
외부 콘크리트	5.00	c	1.00	a	1.67	a	5.00	c	70		

<해 설>

- 내부 콘크리트는 초기 타설시 염분이 규정대로(0.3 kg/m^3) 타설된 것으로 확인되어, 문제가 없으므로, 종합평가 대상에서 제외함

[표 9.110] 열화환경지표의 평가 예시

열화환경지표	평가등급
토양환경	b
동해환경	b

9.5.4 내구성능 평가 결과산정방법

본 내구성능 평가 방법에서는 콘크리트 구조물 및 강 구조물을 포함하는 공항(여객 터미널)의 내구성능 평가 방법을 제시한다.

가. 구성 재료에 따른 부재별 내구성능 평가 방법

철근콘크리트 혹은 강재로 구성될 수 있는 기둥, 보의 경우에는 아래의 산출 식에 의해 구성 재료비에 따른 가중치를 산정하여 부재의 종합평점을 산정하고 케이블과 같이 강재로만 이루어진 부재의 경우에는 구성 재료에 따른 부재별 가중치를 산정하지 않는다.(예: 케이블의 경우에서 S_c 는 0 임)

$$\text{부재 종합평점}(E_t) = (E_c \times \frac{S_c}{S_c + S_s}) + (E_s \times \frac{S_s}{S_c + S_s})$$

여기서, E_t : 해당 조사층의 부재 종합평점

E_c : 철근콘크리트 부재의 종합평점(동일 부재 3개에 대한 평균값)

E_s : 강재 부재의 종합평점(동일 부재 3개에 대한 평균값)

S_c : 해당 조사층의 전체 철근콘크리트 부재 수

S_s : 해당 조사층의 전체 강재 부재 수

평점의 범위에 따른 종합 내구등급 산정은 아래 표의 등급분류기준을 적용한다.

[표 9.111] 점수범위에 따른 등급분류 기준

기준	a	b	c	d	e
등급분류를 위한 점수범위	$0 \leq X < 2$	$2 \leq X < 4$	$4 \leq X < 6$	$6 \leq X < 8$	$8 \leq X$

나. 내구성능 평가 결과 산정 예시

[표 9.112] 내구성능 평가 결과 산정 예시

구분	평가점수	평가등급	부재수	평가점수	평가등급
콘크리트	4.40	c	200	3.84	B
강재	2.71	b	100		

9.6 사용성능 평가 기준 및 방법

9.6.1 일반

공항(여객터미널)의 사용성능 평가는 사용성능과 기능성으로 구분되며 사용성능은 사용자가 공항(여객터미널)을 사용하면서 느끼는 만족도 및 편의성으로 정의하고 기능성은 공항(여객터미널)이 본래의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량으로 정의한다.

각 성능별로 세부지표의 평가 결과를 가중치를 반영하여 최종 평가 등급으로 결정한다.

9.6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

사용성능 평가 기준은 먼저 사용성능과 기능성을 분리하고, 아래의 표와 같이 각 성능별 세부지표의 기준을 중요도를 감안하여 평가함으로써 가능한 한 전체 성능평가 기준과 부합하도록 조정한다.

각 성능별 세부지표는 시설물의 특성을 고려하여 구분한다.

공항(여객터미널)에서는 서비스의 성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 특성을 편리성, 수요 및 용량으로 구분한다.

나. 세부지표의 평가범위

공항(여객터미널)의 사용성능을 사용성, 기능성의 관점에서 세부지표를 도출하고 이중 접근교통의 편리성, 주차시설 만족도, 공항시설 및 환경(청결성/쾌적성/편리성), 정보이용의 용이성, 신속성(출발 및 도착 소요시간), 정확성(수하물 처리오류 및 분실률), 승객 및 화물 처리능력은 a~e로 범위를 정한다.

[표 9.113] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성	편리성	접근교통의 편리성	a, b, c, d, e
		주차시설 만족도	a, b, c, d, e
		정보이용의 용이성	a, b, c, d, e
		공항시설 및 환경 (청결성/쾌적성/편리성)	a, b, c, d, e
		신속성(출발 및 도착 소요시간)	a, b, c, d, e
		정확성(수하물 처리오류 및 분실률)	a, b, c, d, e
기능성	수요 및 용량	연간처리능력	a, b, c, d, e

공항(여객터미널)의 사용성능 평가는 신속성, 정확성, 승객 및 화물처리능력과 같이 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 접근교통의 만족성, 주차시설 만족도, 공항시설 및 환경과 같이 사용자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 함께 수행한다.

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 편리성

(가) 접근교통의 편리성

[표 9.114] 접근교통의 편리성 성능평가 기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	서비스에 대한 문제점이 없는 매우 우수한 상태 (100~90점 이상)	5
b	서비스에 대한 경미한 개선이 요구되나 전반적으로 우수한 상태 (90미만~80이상)	4
c	서비스에 대한 부분적 개선이 요구되는 보통의 상태 (80미만~70이상)	3
d	서비스에 대한 전반적인 개선이 요구되는 보통의 상태 (70미만~60이상)	2
e	서비스가 불량하여 적극적인 개선이 시급하게 요구되는 상태 (60미만)(서비스평가 결과의 e/f를 e로 적용)	1

<해 설>

- 본 성능평가 기준은 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ)를 근거로 설정함
- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제3항에 따른 이용자만족도에 대한 세부 평가기준을 기반으로 평가함
- 해당 세부지표는 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과 혹은 사용자 설문조사를 수행하여 평가함
- 접근교통의 편리성은 대중교통 다양성, 다양한 대중교통 수단의 적시성, 타 교통수단과의 연계성을 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함

(나) 주차시설 만족도

[표 9.115] 주차시설 만족도 성능평가 기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	서비스에 대한 문제점이 없는 매우 우수한 상태 (100~90점 이상)	5
b	서비스에 대한 경미한 개선이 요구되나 전반적으로 우수한 상태 (90미만~80이상)	4
c	서비스에 대한 부분적 개선이 요구되는 보통의 상태 (80미만~70이상)	3
d	서비스에 대한 전반적인 개선이 요구되는 보통의 상태 (70미만~60이상)	2
e	서비스가 불량하여 적극적인 개선이 시급하게 요구되는 상태 (60미만)(서비스평가 결과의 e/f를 e로 적용)	1

<해 설>

- 본 성능평가 기준은 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ)를 근거로 설정함
- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제3항에 따른 이용자만족도에 대한 세부 평가기준을 기반으로 평가함
- 해당 세부지표는 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과 혹은 사용자 설문조사를 수행하여 평가함
- 주차시설 만족도는 공항(여객터미널) 내 주차 안내표지의 적정성, 공항(여객터미널) 내 충분한 주차 공간, 주차시설 위치의 적정성, 가격대비 주차시설 만족도를 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함(접근교통의 편리성 참조)
- 평가등급은 기준에 따라 a~e등급으로 평가함

(다) 정보이용의 용이성

[표 9.116] 정보이용의 용이성 성능평가 기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	서비스에 대한 문제점이 없는 매우 우수한 상태 (100~90점 이상)	5
b	서비스에 대한 경미한 개선이 요구되나 전반적으로 우수한 상태 (90미만~80이상)	4
c	서비스에 대한 부분적 개선이 요구되는 보통의 상태 (80미만~70이상)	3
d	서비스에 대한 전반적인 개선이 요구되는 보통의 상태 (70미만~60이상)	2
e	서비스가 불량하여 적극적인 개선이 시급하게 요구되는 상태 (60미만)(서비스평가 결과의 e/f를 e로 적용)	1

<해 설>

- 본 성능평가 기준은 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ)를 근거로 설정함
- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제3항에 따른 이용자만족도에 대한 세부 평가기준을 기반으로 평가함
- 해당 세부지표는 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과 혹은 사용자 설문조사를 수행하여 평가함
- 정보이용의 용이성은 터미널 내 이용경로 및 안내표지 제공의 적정성, 운항정보 등 공항(여객터미널) 정보이용의 용이성, 안내표지/안내판 내용의 정확성, 공항(여객터미널) 안내방송의 명확성을 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실 사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함(접근교통의 편리성 참조)
- 평가등급은 기준에 따라 a~e등급으로 평가함

(라) 공항(여객터미널)시설 및 환경(청결성/쾌적성/편리성)

[표 9.117] 공항(여객터미널)시설 및 환경(청결성/쾌적성/편리성)의 성능평가 기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	서비스에 대한 문제점이 없는 매우 우수한 상태 (100~90점 이상)	5
b	서비스에 대한 경미한 개선이 요구되나 전반적으로 우수한 상태 (90미만~80이상)	4
c	서비스에 대한 부분적 개선이 요구되는 보통의 상태 (80미만~70이상)	3
d	서비스에 대한 전반적인 개선이 요구되는 보통의 상태 (70미만~60이상)	2
e	서비스가 불량하여 적극적인 개선이 시급하게 요구되는 상태 (60미만)(서비스평가 결과의 e/f를 e로 적용)	1

<해 설>

- 본 성능평가 기준은 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ)를 근거로 설정함
- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제3항에 따른 이용자만족도에 대한 세부 평가기준을 기반으로 평가함
- 해당 세부지표는 항공교통서비스 평가 결과 리포트를 준용하거나 자체만족도 조사결과 혹은 사용자 설문조사를 수행하여 평가함
- 공항(여객터미널)시설 및 환경(청결성/쾌적성/편리성)은 공항(여객터미널) 내 화장실 및 시설의 청결성, 공항(여객터미널) 내 조명, 냉난방시설 운영의 적정성, 공항(여객터미널) 내 흡연 공간 유지와 청결성, 공항(여객터미널) 내 대기의자 이용의 편리성, 공항(여객터미널) 내 Wi-Fi 사용의 편리성 등을 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함(접근교통의 편리성 참조)
- 평가등급은 기준에 따라 a~e등급으로 평가함

(마) 신속성(출발 및 도착 소요시간)

① 국내선

[표 9.118] 신속성(출발 및 도착 소요시간)의 성능평가 기준(국내선)

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	출발(국내선)	도착(국내선)	
a	90점 ≤ 신속성 ¹⁾	90점 ≤ 신속성	5
b	80점 ≤ 신속성 < 90점	80점 ≤ 신속성 < 90점	4
c	70점 ≤ 신속성 < 80점	70점 ≤ 신속성 < 80점	3
d	60점 ≤ 신속성 < 70점	60점 ≤ 신속성 < 70점	2
e	신속성 < 60점	신속성 < 60점	1

주1) 신속성 : 출발 = {100 - [총소요시간-15분]}, 도착 = {100 - [총소요시간-12분]}

<해설>

- 본 성능평가 기준은 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ)를 근거로 설정함
- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제2항에 따른 공항(여객터미널) 서비스 분야에 대한 평가항목별 세부지표 및 산정방법을 기반으로 평가함
- 신속성(출발 및 도착 소요시간)은 국제선과 국내선에 소요되는 시간에 차이가 있어 구분하며 국내선의 경우도 출발과 도착시 소요되는 시간에 차이가 있어서 구분 평가할 것
- 국내선의 출발/도착시간의 정의는 아래와 같음

[표 9.119] 출발/도착시간의 정의

구분	출발	도착
국내선	체크인, 보안검색에 소요되는 시간	도착수하물 수취 대기 소요시간

<해설>

- 출발 시 15분을 기준으로 기준시간을 초과할 경우 초과되는 시간만큼 100점에서 차감하는 방식으로 계산을 하며, 도착 시 12분을 기준으로 기준시간을 초과할 경우 초과되는 시간만큼 100점에서 차감하는 방식으로 계산함
- 출발의 경우 계산식은 {100 - [총소요시간-15분]}이며, 도착의 경우 계산식은 {100 - [총소요시간-12분]}으로 산정하며, 출발과 도착에 대한 평가 결과의 최솟값을 신속성(국내선)의 평가 결과로 선정
- * 출발 및 도착 소요시간은 평균 소요시간을 기준으로 평가함
- 평가등급은 기준에 따라 a~e등급으로 평가함

② 국제선

[표 9.120] 신속성(출발 및 도착 소요시간)의 성능평가 기준(국제선)

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	출국(국제선)	입국(국제선)	
a	90점 ≤ 신속성 ¹⁾	90점 ≤ 신속성	5
b	80점 ≤ 신속성 < 90점	80점 ≤ 신속성 < 90점	4
c	70점 ≤ 신속성 < 80점	70점 ≤ 신속성 < 80점	3
d	60점 ≤ 신속성 < 70점	60점 ≤ 신속성 < 70점	2
e	신속성 < 60점	신속성 < 60점	1

주1) 신속성 : 출발 = {100 - [총소요시간-45분]}, 도착 = {100 - [총소요시간-40분]}

<해 설>

- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제2항에 따른 공항(여객터미널) 서비스 분야에 대한 평가항목별 세부지표 및 산정방법을 기반으로 평가함
- 신속성(출발 및 도착 소요시간)은 국제선과 국내선에 소요되는 시간에 차이가 있어 구분하며 국제선의 경우도 출국과 입국 시 소요되는 시간에 차이가 있어서 구분 평가
- 국내선과 국제선의 출국/입국시간의 정의는 아래와 같음

[표 9.121] 출국/입국시간의 정의

구분	출국	입국
국제선	체크인, 보안검색, 출국심사에 소요되는 시간	입국심사, 세관검사, 도착수하물 수취 대기에 소요되는 시간

<해 설>

- 출국 시 45분을 기준으로 기준시간을 초과할 경우 초과되는 시간만큼 100점에서 차감하는 방식으로 계산을 하며, 입국 시 40분을 기준으로 기준시간을 초과할 경우 초과되는 시간만큼 100점에서 차감하는 방식으로 계산함
- 출국의 경우 계산식은 {100 - [총소요시간-45분]}이며, 입국의 경우 계산식은 {100 - [총소요시간-40분]}으로 산정하며, 출국과 입국에 대한 평가 결과의 최댓값을 신속성(국제선)의 평과 결과로 선정함
- * 출발 및 도착 소요시간은 평균 소요시간을 기준으로 평가함
- 평가등급은 기준에 따라 a~e등급으로 평가함

(바) 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)

[표 9.122] 정확성(수하물 처리오류 및 분실률)의 성능평가 기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대푯값)
a	90점 ≤ 수화물 처리오류 및 분실률 ¹⁾	5
b	80점 ≤ 수화물 처리오류 및 분실률 < 90점	4
c	70점 ≤ 수화물 처리오류 및 분실률 < 80점	3
d	60점 ≤ 수화물 처리오류 및 분실률 < 70점	2
e	수화물 처리오류 및 분실률 < 60점	1

주1) 수화물 처리오류 및 분실률 = $\left[1 - \frac{\text{수화물 처리 1만개 당 처리 오류수} - 0.0034}{5 - 0.0034}\right] \times 100$

<해 설>

- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제2항에 따른 공항(여객터미널) 서비스 분야에 대한 평가항목별 세부지표 및 산정방법을 기반으로 평가함
- 수하물 처리오류 및 분실률은 수화물 처리 1만개 당 처리 오류수를 기준으로 평가할 것
- 1만개 당 처리 오류수가 0.5개씩 증가될수록 평가점수가 약 10점씩 차감되는 형태를 보이며, 5개가 발생될 경우 0점으로 평가하며, 수하물 처리오류 및 분실률에 대한 계산식은 $\left[1 - \frac{\text{수화물 처리 1만개 당 처리 오류수} - 0.034}{5 - 0.034}\right] \times 100$ 으로 산정할 것
- 평가등급은 기준에 따라 a~e등급으로 평가함

2) 수요 및 용량

(가) 연간처리능력

① 국내선

[표 9.123] 연간처리능력의 성능평가 기준(국내선)

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	여객	화물	
a	100점 ≤ 연간처리능력 ¹⁾	100점 ≤ 연간처리능력	5
b	90점 ≤ 연간처리능력 < 100점	90점 ≤ 연간처리능력 < 100점	4
c	80점 ≤ 연간처리능력 < 90점	80점 ≤ 연간처리능력 < 90점	3
d	70점 ≤ 연간처리능력 < 80점	70점 ≤ 연간처리능력 < 80점	2
e	연간처리능력 < 70점	연간처리능력 < 70점	1

주1) 연간처리능력 = $\left[\frac{\text{수용능력}}{\text{실제 여객수}} \times 100 \right]$

② 국제선

[표 9.124] 연간처리능력의 성능평가 기준(국제선)

평가 기준	평가내용		평가점수 (대푯값)
	여객	화물	
a	100점 ≤ 연간처리능력 ¹⁾	100점 ≤ 연간처리능력	5
b	90점 ≤ 연간처리능력 < 100점	90점 ≤ 연간처리능력 < 100점	4
c	80점 ≤ 연간처리능력 < 90점	80점 ≤ 연간처리능력 < 90점	3
d	70점 ≤ 연간처리능력 < 80점	70점 ≤ 연간처리능력 < 80점	2
e	연간처리능력 < 70점	연간처리능력 < 70점	1

주1) 연간처리능력 = $\left[\frac{\text{수용능력}}{\text{실제 여객수}} \times 100 \right]$

<해 설>

- 국토교통부에서 고시된 공항개발 중장기 종합계획을 통하여 시설물별 현재 시설규모 및 수용능력에 대한 자료를 검토 할 수 있으며, 한국공항공사 홈페이지 (<http://www.airport.co.kr/www/main.do>)의 항공통계 메뉴에서 공항별 실제 운항편수, 여객수, 화물톤수 등에 대한 통계자료를 확인
- 연간처리능력은 국내선과 국제선으로 구분하며, 여객 부분과 화물 부분을 구분하여 평가 하되 가장 최근 1년간의 자료를 활용
- 여객의 경우 계산식은 $\left[\frac{\text{수용능력}}{\text{실제 여객수}} \times 100 \right]$ 이며, 화물의 경우 계산식은 $\left[\frac{\text{수용능력}}{\text{실제 화물톤수}} \times 100 \right]$ 으로 산정하며, 여객과 화물에 대한 평가 결과 중 낮은 등급을 연간처리능력(국내선)의 평가 등급으로 산정함
- 평가등급은 기준에 따라 a~e등급으로 평가함

라. 사용성능 평가 결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능 평가 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 9.125] 공항(여객터미널)의 사용성능 평가 지표에 대한 가중치 산정

	접근교통의 편리성	주차시설 만족도	정보이용의 용이성	공항시설 및 환경	신속성	정확성	연간처리 능력
가중치	0.213	0.095	0.068	0.096	0.151	0.176	0.201

[표 9.126] 사용성능 평가 지표에 대한 가중치 조정방법(예)

	접근교통의 편리성	주차시설 만족도	정보이용의 용이성	공항시설 및 환경	신속성	정확성	연간처리 능력
가중치	0.229	0.102	—	0.103	0.162	0.189	0.216

<해설>

- 가중치 조정 예 : 정보이용의 용이성에 대한 평가가 제외되는 경우, 정보이용의 용이성에 해당하는 가중치 0.068을 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분한다.

2) 결과 산정 일반

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 접근교통의 편리성

- 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ)에 해당항목이 지표로 포함되어 있어 평가 지표로 선정함
- 대중교통 다양성, 다양한 대중교통 수단의 적시성, 타 교통수단과의 연계성을 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 평가함

○ 주차시설 만족도

- 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ)를 근거로 설정함
- 주차시설 만족도는 공항(여객터미널) 내 주차 안내표지의 적정성, 공항(여객터미널) 내 충분한 주차 공간, 주차시설 위치의 적정성, 가격대비 주차시설 만족도를 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함

○ 정보이용의 용이성

- 본 성능평가 기준은 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ)를 근거로 설정함
- 정보이용의 용이성은 터미널 내 이용경로 및 안내표지 제공의 적정성, 운항정보 등 공항(여객터미널) 정보이용의 용이성, 안내표지/안내판 내용의 정확성, 공항(여객터미널) 안내방송의 명확성을 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함

○ 공항(여객터미널)시설 및 환경

- 국제공항 협의회(ACI)에서 실시하는 공항서비스평가(ASQ)를 근거로 설정함
- 공항(여객터미널)시설 및 환경(청결성/쾌적성/편리성)은 공항(여객터미널) 내 화장실 및 시설의 청결성, 공항(여객터미널) 내 조명, 냉난방시설 운영의 적정성, 공항(여객터미널) 내 흡연 공간 유지와 청결성, 공항(여객터미널) 내 대기 의자 이용의 편리성, 공항(여객터미널) 내 Wi-Fi 사용의 편리성 등을 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함

○ 신속성

- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제2항에 따른 공항(여객터미널)서비스 분야에 대한 평가항목별 세부지표 및 산정방법을 기반으로 평가함
- 신속성은 국제선과 국내선 그리고 출발과 도착 시 소요되는 시간에 차이가 있어서 구분하여 평가 할 것

○ 정확성

- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제2항에 따른 공항(여객터미널)서비스 분야에 대한 평가항목별 세부지표 및 산정방법을 기반으로 평가함
- 수하물 처리오류 및 분실률은 수화물 처리 1만개 당 처리 오류수를 기준으로 평가함

○ 연간처리능력

- 용량은 국토교통부에서 고시된 공항개발 중장기 종합계획을 통하여 구하고 수요는 한국공항공사의 항공통계를 활용하여 수요 및 용량의 비율을 산정하여 적용함
- 국내선과 국제선 그리고 여객부문과 화물부문을 구분하여 평가함

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정
최종 사용성능 평가 결과 산정 절차는 다음과 같다.

$$\text{사용성능 평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w= 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c= 각 세부지표별 평가 결과

마. 사용성능 평가 결과 산정 예시

○ 접근교통의 편리성

- 대중교통 다양성, 다양한 대중교통 수단의 적시성, 타 교통수단과의 연계성을 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 평가함
- OO공항(여객터미널)은 근처 버스터미널에서 해당 공항(여객터미널)까지 월, 수, 목, 토, 일요일 하루 2대, 화, 금요일 하루 3대가 운행하였으며, 해당공항(여객터미널)에서 근처버스터미널까지 월, 수, 목, 토, 일요일 하루 3대, 화, 금요일 하루 4대가 운행함
- 분석결과, 타 공항(여객터미널)에 비해 서비스가 불량하여 적극적인 개선이 시급하게 요구되는 상태이므로 e등급으로 평가함

○ 주차시설 만족도

- 주차시설 만족도는 공항(여객터미널) 내 주차 안내표지의 적정성, 공항(여객터미널) 내 충분한 주차 공간, 주차시설 위치의 적정성, 가격대비 주차시설 만족도를 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함
- OO공항(여객터미널)은 항공편수가 많지 않음에도 불구하고 주차시설이 넓고 주차요금 징수가 수행되지 않아 주차시설에 대한 전반적인 만족도가 높음
- 자체만족도(KAC-CSI) 조사결과, 해당 공항(여객터미널)시설에 대한 교통시설에 대한 평가가 98.3점을 획득함
- 분석결과, 서비스에 대한 경미한 개선이 요구되나 전반적으로 우수한 상태이므로 b등급으로 평가함

○ 정보이용의 용이성

- 정보이용의 용이성은 터미널 내 이용경로 및 안내표지 제공의 적정성, 운항정보 등 공항(여객터미널) 정보이용의 용이성, 안내표지/안내판 내용의 정확성, 공항(여객터미널) 안내방송의 명확성을 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함
- 해당공항(여객터미널)은 터미널 내 이용경로 및 안내표지, 운항정보 등 공항

정보이용 부분 양호함

- 자체만족도(KAC-CSI) 조사결과, 해당공항시설에 대한 안내표지판, 공항안내 방송에 대한 평가가 각각 97.5점, 96.7점을 획득함
- 분석결과, 서비스에 대한 문제점이 없는 매우 우수한 상태이므로 a등급으로 평가함

○ 공항(여객터미널)시설 및 환경

- 공항(여객터미널)시설 및 환경(청결성/쾌적성/편리성)은 공항(여객터미널) 내 화장실 및 시설의 청결성, 공항(여객터미널) 내 조명, 냉난방시설 운영의 적정성, 공항(여객터미널) 내 흡연 공간 유지와 청결성, 공항(여객터미널) 내 대기의자 이용의 편리성, 공항(여객터미널) 내 Wi-Fi 사용의 편리성 등을 세부항목으로 각각 7단계 등급의 만족도 조사를 실시한 후, 실사용자들의 주관적인 판단을 종합적으로 고려하여 등급을 평가함
- 해당 공항(여객터미널) 내 화장실 및 시설의 청결, 공항(여객터미널) 내 조명, 냉난방시설, 대기의자, Wi-Fi 사용 등 양호함
- 자체만족도(KAC-CSI) 조사결과, 무안공항(여객터미널)시설에 대한 쾌적성(온도, 습도), 조명, 청결성, 조정시설에 대한 평가가 각각 95.8, 97.5, 97.5, 96.7점을 획득함
- 분석결과, 서비스에 대한 문제점이 없는 매우 우수한 상태이므로 a등급으로 평가함

○ 신속성

- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제2항에 따른 공항(여객터미널)서비스 분야에 대한 평가항목별 세부지표 및 산정방법을 기반으로 평가함
- 출발과 도착을 각각 평가 후 낮은 등급으로 적용함
- 해당공항(여객터미널)의 출발/도착 소요시간은 다음과 같이 산정됨

[표 9.127] 출발/도착시간 평가 예

구분		출발 (분)		도착 (분)
국내선		체크인	보안검색	도착수화물 대기 시간
		10	10	25
평가결과	점수	95점		87점
	등급	a		b
	점수	4		
	등급	b		

○ 정확성

- 항공교통서비스평가 업무 지침 제7조(서비스평가 항목 등)제2항에 따른 공항(여객터미널)서비스 분야에 대한 평가항목별 세부지표 및 산정방법을 기반으로

로 평가함

- 항공편수가 많지 않고 직항으로만 운행되어 수하물 오류 및 분실률이 극히 미미하고 수화물 처리 1만 개당 처리오류수가 1개정도이기 때문에 80.4점임
- 따라서 등급기준에 따라 b등급으로 평가함

○ 연간처리능력

- 용량은 국토교통부에서 고시된 공항개발 중장기 종합계획을 통하여 구하고 수요는 한국공항공사의 항공통계를 활용하여 수요 및 용량의 비율을 산정하여 적용함
- 여객과 화물의 평가 등급 중 낮은 등급을 연간처리능력의 평가결과로 적용함

[표 9.128] 연간처리능력 평가 예

구분		여객(명/년)	화물(톤/년)
용량		1000,000	200,000
수요		850,000	250,000
평가결과	점수	5	3
	등급	a	c
	점수	3	
	등급	c	

[표 9.129] OO공항(여객터미널) 최종 사용성능 평가

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과			
				점수	등급	점수	등급
사용성	편의성	접근교통	0.213	1	e	3.32	C
		주차시설	0.095	4	b		
		정보이용	0.068	5	a		
		시설 및 환경	0.096	5	a		
		신속성	0.151	4	b		
		정확성	0.176	4	b		
기능성	수요 및 용량	연간처리능력	0.201	3	c		

3) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

- 위의 식대로 사용성능 등급을 산정해보면

$$1 \times 0.213 + 4 \times 0.095 + 5 \times 0.068 + 5 \times 0.096 + 4 \times 0.151 + 4 \times 0.176 + 3 \times 0.201 = 3.324$$

- 이를 최종 등급 산정 표에 적용시켜 보면 본 공항(여객터미널)의 최종등급은 C등급으로 평가함

9.6.3 사용성능 평가 결과

사용성능 평가 결과는 아래 표를 활용하여 적용한다.

[표 9.130] 사용성능 평가 결과 점수

평가등급	시설물의 사용성능	평가점수 범위
A (우수)	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준	$4.5 < x \leq 5.0$
B (양호)	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준	$3.5 < x \leq 4.5$
C (보통)	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준	$2.5 < x \leq 3.5$
D (미흡)	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준	$1.5 < x \leq 2.5$
E (불량)	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준	$x \leq 1.5$

9.7 종합평가 기준 및 방법

9.7.1 종합평가 일반

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 가중 평균한 값으로 결정한다.

- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때
 - 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정됨
- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

[표 9.131] 성능별 가중치

성능별 가중치(%)			합계
안전성능	내구성능	사용성능	
70	20	10	100

<해 설>

- 책임기술자는 외부요인에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단 될 경우 규정된 값의 20%값 범위 내에서 조정할 수 있음

9.7.2 종합평가 기준

가. 공항(여객터미널) 종합평가 기준

안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때에는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우 각 성능(안전, 내구, 사용성)간 성능인자에 따라 가중 평균하여 종합성능등급 도출한다.

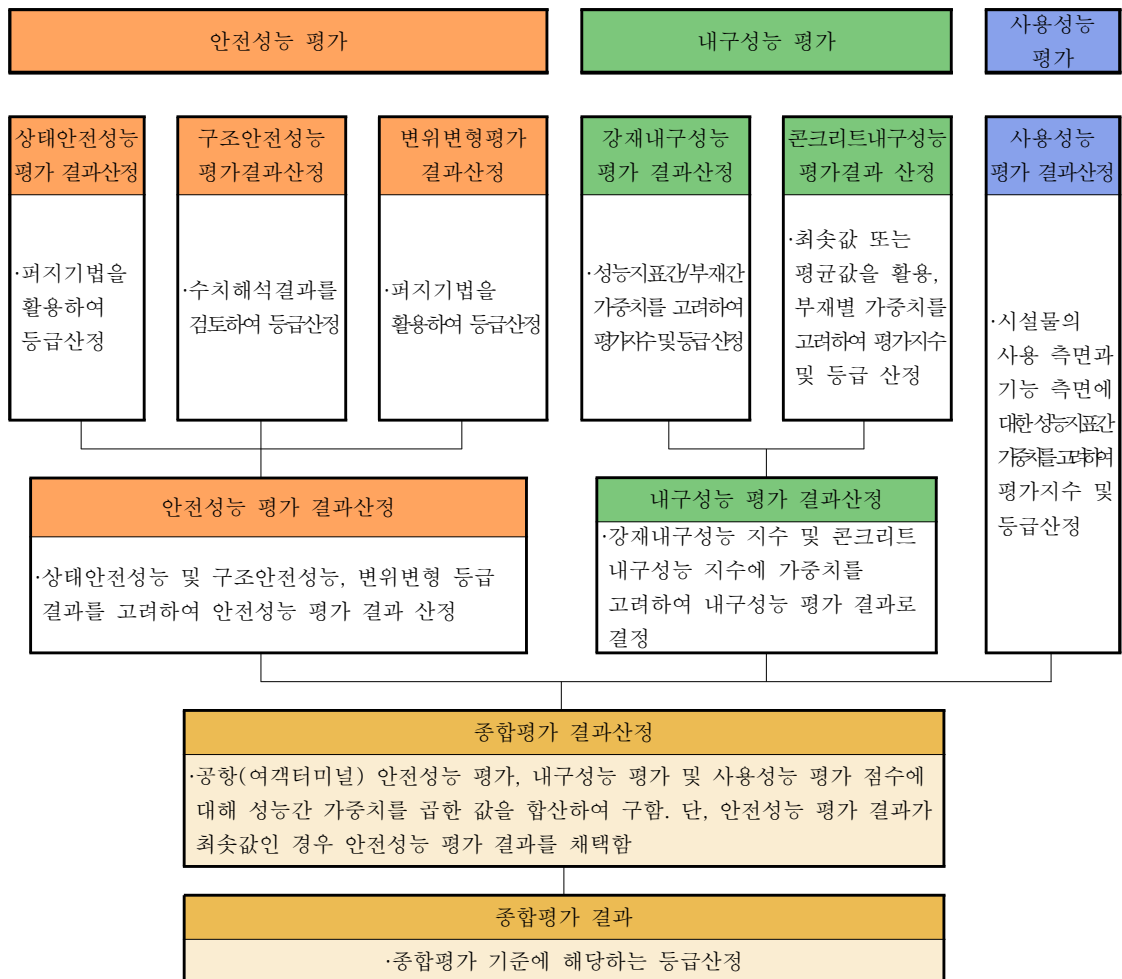
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

$$\text{종합평가 지수}(E) = \sum(\text{성능평가지수}(E_n) \times \text{성능별 가중치}(W_n))$$

여기서, E_n : 평가 성능별 평가지수

W : 가중치

종합평가 산정절차는 아래의 표에서 제시한 절차에 따른다.



[그림 9.3] 공항시설 여객터미널의 종합평가 결과산정절차

각 성능간 종합평가 결과 판정 시 다음과 같이 환산하여 평가한다.

[표 9.132] 종합평가 결과 판정 시 안전성능 평가점수 환산식

안전성능 평가등급	평가점수		환산식
	안전성능 평가 점수	환산 평가점수	
a	$0 \leq x < 2$	$4.5 < x \leq 5.0$	$5.0 - (x \times 0.25)$
b	$2 \leq x < 4$	$3.5 < x \leq 4.5$	$5.5 - (x \times 0.5)$
c	$4 \leq x < 6$	$2.5 < x \leq 3.5$	$5.5 - (x \times 0.5)$
d	$6 \leq x < 8$	$1.5 < x \leq 2.5$	$5.5 - (x \times 0.5)$
e	$8 \leq x$	$x \leq 1.5$	$3.5 - (x \times 0.25)$

[표 9.133] 종합평가 결과 판정 시 내구성능 평가점수 환산식

내구성능 평가등급	평가점수		환산식
	내구성능 평가점수	환산 평가점수	
a	$0 \leq x < 2$	$4.5 < x \leq 5.0$	$5.0 - (x \times 0.25)$
b	$2 \leq x < 4$	$3.5 < x \leq 4.5$	$5.5 - (x \times 0.5)$
c	$4 \leq x < 6$	$2.5 < x \leq 3.5$	$5.5 - (x \times 0.5)$
d	$6 \leq x < 8$	$1.5 < x \leq 2.5$	$5.5 - (x \times 0.5)$
e	$8 \leq x$	$x \leq 1.5$	$3.5 - (x \times 0.25)$

[표 9.134] 종합평가 결과 판정 시 사용성능 평가점수 환산식

사용성능 평가등급	평가점수		환산식
	사용성능 평가점수	환산 평가점수	
a	$4.5 < x \leq 5.0$	$4.5 < x \leq 5.0$	—
b	$3.5 < x \leq 4.5$	$3.5 < x \leq 4.5$	
c	$2.5 < x \leq 3.5$	$2.5 < x \leq 3.5$	
d	$1.5 < x \leq 2.5$	$1.5 < x \leq 2.5$	
e	$x \leq 1.5$	$x \leq 1.5$	

각 성능간 중요도를 고려하여 산정한 공항(여객터미널)의 종합평가 점수에 따라 종합성능등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 9.135] 공항(여객터미널)의 종합평가 기준

평가 등급	평가점수 범위	시설물의 성능
A (우수)	$4.5 < x \leq 5.0$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$3.5 < x \leq 4.5$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$2.5 < x \leq 3.5$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$1.5 < x \leq 2.5$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$x \leq 1.5$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

공항(여객터미널)의 종합평가 결과를 취합정리하면 아래 표와 같다.

[표 9.136] 공항(여객터미널)의 종합평가 결과산정 예

시설물 종합평가 결과 산정표							
시설물명	○○○ 공항 (여객터미널)		표번호		TS. NO.6		
평가구분	성능평가 점수	평가등급	환산점수	환산등급	성능간 중요도 (Wn)	비 고	
안전성능 평가	3.28	B	3.86	B	0.70	근거 표번호	
내구성능 평가	3.84	B	3.58	B	0.20	근거 표번호	
사용성능 평가	3.32	C	3.32	B	0.10	근거 표번호	
종합평가 결과	$= 3.86 \times 0.7 + 3.58 \times 0.2 + 3.32 \times 0.1$ $= 3.75$ $\therefore B \text{ 등급}$						

9.2.3 부대시설물 종합평가 기준

복합시설물에 해당하는 건축물에 본 세부지침을 준용하여 적용할 경우 사용성능을 제외한 안전성능, 내구성능을 준용하여 적용할 수 있다. 사용성능을 제외한 안전성능, 내구성능을 준용하여 적용하는 경우 책임기술자의 판단에 따라 사용성능의 성능간 가중치를 안전성능과 내구성능에 분배하여 적용할 수 있다. 복합시설물에 해당하는 건축물의 경우 종합평가 결과를 다음 표에 따라 환산하여 적용할 수 있다.

[표 9.137] 종합평가 결과 판정 시 환산식

종합평가등급	평가점수		환산식 (x : 건축물 평가점수)
	시설물 평가점수	시설물 평가지수	
A	$0 \leq x < 2$	$4.5 < x \leq 5.0$	$5.0 - (x \times 0.25)$
B	$2 \leq x < 4$	$3.5 < x \leq 4.5$	$5.5 - (x \times 0.5)$
C	$4 \leq x < 6$	$2.5 < x \leq 3.5$	$5.5 - (x \times 0.5)$
D	$6 \leq x < 8$	$1.5 < x \leq 2.5$	$5.5 - (x \times 0.5)$
E	$8 \leq x$	$x \leq 1.5$	$3.5 - (x \times 0.25)$

제10장 항 만

10.1 관리일반

10.2 현장조사

10.3 재료시험 항목 및 수량

10.4 안전성능 평가 기준 및 방법

10.5 내구성능 평가 기준 및 방법

10.6 사용성능 평가 기준 및 방법

10.7 종합평가 기준 및 방법

제10장 항만

10.1 관리일반

10.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조에서 정하고 있는 항만시설물에 적용한다.

항만시설물은 그 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 국토교통부 발행 항만시설물 관련 기준 및 지침
 - 항만시설물 안전점검 및 정밀안전진단 실시요령
 - 항만구조물 중력식 안벽 및 외곽시설 보수·보강 표준 지침서
 - 항만구조물 잔교식 안벽 보수·보강 표준 지침서
- 건설기준코드(구 항만 및 어항공사 표준시방서)
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서 등)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

10.1.2 용어 정의

- 항만시설(港灣施設)
항만법상 항만시설로서 ① 수역시설, ② 외곽시설, ③ 계류시설, ④ 임항 교통시설, ⑤ 여객이용시설, ⑥ 보관시설, ⑦ 화물 정리시설 등을 포함한다.
- 계류시설
선박을 계류(Mooring)하는 안벽, 물양장, 잔교, 돌핀, 선착장, 램프 등을 총칭하여 계류시설이라고 한다.
- 부두(埠頭)
선박이 접안하여 화물을 적양하고 또 여객이 승강하는 장소를 말하며, 화물처리

시설, 보관시설, 선박보급시설, 항만후생시설, 상옥, 대합실 등의 여객시설, 임항 교통시설 등의 육상부분들도 포함한 광범위한 임항지대를 총괄하여 부두라고 한다. 그러나 좁은 뜻으로는 계선안 혹은 이에 인접하는 에이프린 정도까지 소지구(小地區)의 의미로도 쓰인다. 부두는 일반공공부두, 전용으로 이용하는 전용부두, 특수화물을 취급하는 전문부두로 구별한다.

○ 안벽(岸壁)

선박을 안전하게 접안하여 화물의 하역 및 승객을 승하선시킬 수 있는 구조물로서, 전면 수심 4.5m이상으로 대형 선박이 접안하는 접안시설을 말한다. 구조 형식에 따라 중력식, 잔교식, 선반식, 강널말뚝식(셀식포함), 부잔교식 등이 있다.

○ 잔교식 안벽

해안선이 접한 육지에서 직각 또는 일정한 각도로 돌출한 부두. 선박의 접안이 용이하도록 바다위에 기둥(파일)을 박고 그 위에 콘크리트나 철판 등으로 상부 시설을 설치한 교량 모양의 부두(말뚝구조의 계류시설)를 말한다.

○ 중력식 안벽

토압, 수압 등의 외력을 벽체중량과 그 마찰력으로 저항하도록 축조된 안벽구조 형식, 안벽깊이가 커지면 토압은 깊이의 자승에 비례하므로 벽체의 안정, 특히 활동의 안정이 나빠지는 경향이 있다. 벽체의 종류는 케이슨식, L형 블록식, 콘크리트 블록식, 셀 블록식, 직립소파식 등이 있다.

○ 널말뚝식 안벽

널말뚝식 안벽은 U형, Z형의 강널말뚝 혹은 콘크리트 널말뚝을 박고, 두부를 타이로드 혹은 버팀말뚝 등에 의해 앵커링을 해서 배후의 토압에 대해 지탱하는 안벽을 말한다. 종류로는 보통 널말뚝식, 자립식, 사향버팀식, 이중널말뚝식 등이 있다.

○ 돌핀(Dolphin)

육지와 상당한 거리에 있는 해상에서 일정 수심이 확보되는 위치에 소정의 선박이 계류하여 하역할 수 있도록 시설한 구조물로서, 육지와는 도교로 연결한 해상 시설물을 말한다.

10.1.3 성능평가 실시 범위

항만시설물의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같다.

[표 10.1] 항만시설물의 대상시설 범위

구 분		시설물명	비 고
잔교식	기본시설물	◦바닥판	
		◦가로보, 세로보	
		◦하부구조(수상부)	
		◦하부구조(수중부)	
		◦토류벽	
		◦부대시설	
중력식 및 널말뚝식	기본시설물	◦상부공	
		◦본체부(수상부)	
		◦본체부, 기초부(수중부)	
		◦부대시설	

10.1.4 중대한 결함의 정도

항만시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같으며 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정 가능하다.

1) 시설물의 기초세굴

○ 기초부 세굴에 대한 상태안전성능 평가 기준에서 “e”의 경우

2) 항만 계류시설 중 강관 또는 철근콘크리트 파일의 파손·부식

○ 강관 및 철근콘크리트 말뚝의 파손, 충격손상, 및 부식 등에 대한 상태안전성능 평가 기준에서 “d” 이하의 경우

3) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실

○ 탄산화 잔여 깊이 및 전염화물 침투량 등에 대한 내구성능 평가 기준에서 “e” 판정으로 철근노출과 부식을 동반하고 있는 경우

4) 잔교·시설 파손 및 결함

○ 잔교식 안벽과 중력식 안벽의 상부공 및 본체부 파손에 대한 상태안전성능 평가 기준에서 “e”의 경우

5) 케이슨구조물의 파손

○ 속채움재 유실 및 케이슨 및 블록 이격 등에 대한 상태안전성능 평가 기준에서 “e”의 경우

6) 안벽의 법선변위 및 침하

○ 안벽의 침하, 경사/전도, 활동 등에 대한 상태안전성능 평가 기준의 “d” 이하의 경우

10.2 현장조사

10.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

가. 안전성능 평가

1) 잔교식 안벽

[표 10.2] 잔교식 안벽의 점검항목

구분	주요부재	점 검 항 목
수상부	콘크리트 바닥판	<ul style="list-style-type: none"> 파손 충격손상 균열(과응력균열, 부식균열, 일반균열) 박리(완전박리, 부분박리)
	콘크리트 세로보 및 가로보	<ul style="list-style-type: none"> 파손 충격손상 균열(과응력균열, 부식균열, 일반균열, 부식균열-스터럽) 박리(완전박리, 부분박리, 완전박리-스터럽, 부분박리-스터럽)
	콘크리트 말뚝	<ul style="list-style-type: none"> 파손 충격손상 균열(과응력균열, 부식균열, 일반균열, 말뚝연결부 균열) 박리(완전박리, 부분박리) 침식
	토류벽	<ul style="list-style-type: none"> 파손 충격손상 균열(과응력균열, 부식균열, 일반균열) 박리(완전박리, 부분박리) 침하
	강말뚝	<ul style="list-style-type: none"> 파손 충격손상 및 좌굴 부식(전반부식, 국부부식, 홈/파공)
수중부	콘크리트 말뚝	<ul style="list-style-type: none"> 파손 충격손상 균열(과응력균열, 부식균열, 일반균열, 수중균열 진전) 박리(완전박리, 부분박리) 침식
	강말뚝	<ul style="list-style-type: none"> 파손 충격손상 및 좌굴 침식

2) 중력식 안벽

[표 10.3] 중력식 안벽의 점검항목

구분	주요부재		점 검 항 목
수상부 및 수중부	상부공 및 본체부		<ul style="list-style-type: none"> ◦침 하 ◦경사/전도 ◦활 동 ◦파 손 ◦균열(과응력균열, 부식균열, 일반균열) ◦박리(완전박리, 부분박리) ◦마모/침식 ◦속채움재 유실(케이슨식) ◦케이슨, 블록 이격
수중부	기초부		<ul style="list-style-type: none"> ◦세 굴 ◦기초사석교란
수상부	에이프런		<ul style="list-style-type: none"> ◦침하 ◦공동(콘크리트 포장 하부)

3) 널말뚝식 안벽

[표 10.4] 널말뚝식 안벽의 점검항목

구분	주요부재		점 검 항 목
수상부 및 수중부	상부공 및 본체부		<ul style="list-style-type: none"> ◦침 하 ◦변 형 ◦활 동 ◦후면부 함몰 ◦파손
	상부공 및 본체부	콘크리트 널말뚝	<ul style="list-style-type: none"> ◦파손 ◦균열(과응력균열, 부식균열, 일반균열) ◦박리(완전박리, 부분박리) ◦마모/침식
		강널말뚝	<ul style="list-style-type: none"> ◦파손 ◦부식(전반부식, 국부부식, 홈/파공) ◦마모/침식
수중부	기초부		<ul style="list-style-type: none"> ◦세 굴 ◦기초사석교란
수상부	에이프런		<ul style="list-style-type: none"> ◦침하 ◦공동(콘크리트 포장 하부)

나. 내구성능 평가

[표 10.5] 내구성능 평가 점검항목

콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> ◦피복콘크리트 품질 ◦탄산화깊이 ◦염화물함유량 ◦염해환경 ◦동해환경
강재	<ul style="list-style-type: none"> ◦발청(표면부식) ◦도장열화(박리, 균열, 부품, 변색) ◦도장두께 ◦피복재손상 ◦아노드 손상소모량 및 전위차(잔교(강관파일)식, 강널말뚝식) ◦대기환경(이산화황 농도/습도)

다. 사용성능 평가

[표 10.6] 사용성능 평가 점검항목

공통	<ul style="list-style-type: none"> ◦계선주 ◦차막이 ◦방충재 ◦에이프런 포장 ◦계류박지의 퇴적물 ◦접안의 용이성
	<ul style="list-style-type: none"> ◦부두의 조명시설 ◦물동량

<해설>

- 사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위해 점검로* 상태(외관상태, 견고한 구조로 설치, 사다리에 등반이율 적정 설치, 접근성 용이 등)를 육안 점검하도록 함

* 점검로 ① 철재 등의 재질로 설치되어 일상적인 유지관리 활동(점검 및 보수)을 위한 통행로(통로 구조 및 사다리 등) 역할을 담당하는 시설

② 별도의 외관조사망도 작성은 필요하지 않으며, 간단한 공기구와 숙련된 점검자의 육안점검으로 수행하도록 함

10.2.2 현장조사 요령

가. 안전성능

1) 외관조사 요령

○ 시설물 이용

- 시설물 용도 변경이력
- 시설물의 보수, 보강 및 개축 등 변경이력
- 하중재하조건의 변경이력
- 대상선박 등 계류조건의 변경
- 하역, 운반 장치 등 동하중의 하중현황
- 재해, 손괴의 이력
- 기타

○ 시설물의 입지 환경

- 조석, 파랑 등 해상조건의 변화
- 지반의 변동, 융기, 함몰, 활동, 균열 등
- 지반의 원호활동 징후
- 해저지반의 세굴, 퇴적
- 하역 기계 기초의 변위
- 구조물에 부착하는 패류, 조류의 상태
- 인근의 시설물로 인한 간섭, 장애
- 기타

2) 현장조사 요령

(1) 점검항목

- ① 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달속도시험 등)
- ② 철근배근상태
- ③ 철근 부식도 시험
- ④ 실내시험(콘크리트 코어 강도 등)
- ⑤ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(2) 점검방법

① 콘크리트 비파괴강도

- 콘크리트 비파괴시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험, 조합법 등)을 통해 콘크리트 강도를 평가한다. 다른 비파괴시험을 사용하는 경우에는 책임기술자의 판단에 따른다.

② 철근배근상태

- 비파괴시험(전자기유도방식, 전자파레이방식)을 위주로 한다. 시험할 내용은 철근량, 피복두께, 철근의 규격, 배근상태 등이다. 단, 균열 및 변형(처짐) 등의 결

함·손상이 발생된 부재와 부재의 내력검토가 필요한 부재에 대하여 실시한다.

③ 철근 부식도 시험

- 외관조사에 의한 비파괴검사(자연전위법 등)로 한다. 단, 균열 및 재료분리 등의 결함·손상이 발생된 부위와 건전부위를 각각 검사하여 비교한다.

④ 실내시험(콘크리트 코어 강도 등)

- 콘크리트 코어 강도 등에 관한 KS규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

나. 내구성능

1) 자료조사

(가) 자료조사 방법

① 대기환경

- 이산화황 농도(ppm)
- 습도

② 열화환경

- 염해환경
- 동해환경

③ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 항목

① 이산화황 농도(ppm)

- 이산화황 농도의 지역별 분류는 환경부 대기환경정보(에어코리아)에서 제공하는 지역별 10년 동안 평균농도자료를 기준으로 한다.
- 필요시 책임기술자 판단에 따라 분류한 지역에 노출시험지를 설치하여 이를 주기적으로 측정하고, 실내시험과 현장조사와의 상관성을 고려하여 아황산가스와 부식과의 관계를 도출할 수 있다.

③ 습도

- 기상청에서 제공하는 ‘기상연보’를 통한 해당지역의 10년 동안 평균 젖음 시간(τ , 0℃ 이상의 온도에서 상대 습도가 80% 이상인 경우) 관측일을 산정하여 결빙, 적설자료를 사용한다.

④ 염해환경

- 대상시설물의 위치(주소)를 확인하고 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 한다.

⑤ 동해환경

- 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)의 기상관측 자료를 통하여 지난 10년간 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
 - 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
- 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 같은 시라고 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점

으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.

- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수
 - 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수
- 여기서, X는 동결융해 반복지수를 의미하며, 수분접촉 여부에 따라 구분·산정

2) 외관조사 요령

(가) 점검항목

- ① 강재의 발청
- ② 강재의 도장열화(박리, 균열, 부품, 변색·백아화)
- ③ 피복 콘크리트 품질
- ④ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 점검방법

- 외관조사는 원칙적으로 면밀한 육안조사와 간단한 비파괴 검사를 중심으로 실시한다.
- 외관조사의 결과는 표준서식에 기록하고, 필요한 경우에는 개략도면에 표시하고, 이들에 대한 분석·평가를 실시한다.
- 보고서에는 외관조사 및 현장조사 결과 등의 내용을 종합적으로 검토·분석한 결과를 기재하여야 한다.
- 외관조사에서 이상이 발견된 사항에 대해서는 사진 촬영하여 보고서의 설명자료로 이용할 수 있도록 보존한다.
 - 사진자료는 매 성능평가 시에 가능한 한 같은 위치에서 얻는 것을 원칙으로 한다.
 - 사진자료에서 얻어야 할 사항은 전술한 성능평가의 내용을 확인할 수 있는 정도로 한다.
- 항만시설물에서 발견된 각종 내구성능과 재료의 열화 등에 관련한 문제점에 대해서는 다음에 진행되는 성능평가에서 그 진행 여부를 확인, 감시할 수 있도록 현장의 대상 부위에 관리주체와 협의하여 필요시 표시하여야 하며, 표시한 날짜와 그 크기(폭, 길이 등)를 기록하여 남겨 둔다.

3) 현장조사 요령

(가) 점검항목

- ① 강재 도장 두께
- ② 피복 콘크리트 품질
- ③ 콘크리트 탄산화 깊이
- ④ 콘크리트 염화물 침투량

(나) 점검방법

- ① 강재 도장 두께

- 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기에 의해 측정한다.
- ② 피복 콘크리트 품질
- 피복 콘크리트 품질은 반발경도값을 원칙으로 사용하며, 설계강도값과 비교하는 경우와 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우로 구분하여 실시한다.
 - 설계강도값과 비교하는 경우는 강도 추정값과 설계값을 비교하여 피복 콘크리트의 내구성능을 평가한다.
 - 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우는 강도를 추정할 필요가 없으며, 반발경도값을 직접 비교하여 판정한다.
 - 안전성능의 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험) 측정 결과를 활용하여 평가한다.
- ③ 콘크리트 탄산화 깊이
- 부재를 천공할 때의 콘크리트 분말가루나, 코어시료에 대하여 페놀프탈레인 (1%)용액에 의한 변색반응검사 등으로 한다. 단, 검사부위는 부재가 위치한 환경과 설계·시공 상태를 고려하여 건전한 곳을 선택한다.
- ④ 콘크리트 염화물 침투량(콘크리트 염화물 함유량)
- 콘크리트 내의 염화물 침투량(염화물 함유량)에 관한 KS 규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

다. 사용성능

1) 자료조사 요령

(가) 자료조사 항목

- ① 접안의 용이성
- ② 물동량
- ③ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 방법

- ① 접안의 용이성
 - 접안유도시스템(Docking Sonar(aid) System)의 설치 유무와 운영일지에 기록된 야간의 접이안 유무로 해당 지표의 등급을 평가한다.
 - 접안유도시스템이 설치된 경우에는 상시적인 야간 접이안에 대해 사용성능이 우수한 것으로 판단하고, 접안유도시스템이 없을 경우에는 야간 접이안을 안전하지 않는 것으로 판단하여 적용한다.
- ② 물동량
 - 항만의 수요 및 용량은 물동량을 기준으로 항만의 하역능력과 실물동량(처리량)의 비율을 통해 평가한다.

2) 외관조사 요령

(가) 외관조사 항목

- ① 계선주
- ② 차막이
- ③ 방충재
- ④ 에이프런 포장
- ⑤ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 외관조사 방법

① 계선주

- 설치된 계선주와 수리 및 교체가 필요한 계선주의 비율을 산정하여 등급을 설정한다.
- 계선주의 수리 및 교체에 대한 명확한 기준을 제시하고, 실제 구조물의 사진을 활용하여 수리와 교체에 대한 구분을 객관화한다.
- 교체와 보수의 판단기준: 교체와 보수는 기능의 상실 유무로 판단하며 계선주의 경우 부식은 방청 및 채도장 작업을 통해 개선을 시킬 수 있어 보수로 판단하고 파손이나 탈락으로 인하여 본래의 기능을 상실하였을 경우에는 교체로 판단한다.

② 차막이

- 설치된 차막이와 교체가 필요한 차막이의 비율을 산정하여 등급을 설정한다.
- 차막이에는 보수는 없고 교체만 있어 해당 사항을 등급 설정에 반영한다.

③ 방충재

- 설치된 방충재와 수리 및 교체가 필요한 방충재의 비율을 활용하여 평가 등급을 설정한다.
- 방충재에 대한 수리 및 교체가 필요할 경우 관리주체와 협의하여 명확한 기준을 제시하고 실제 사진을 활용하여 수리와 교체에 대한 부분을 객관화한다.
- 교체와 보수의 판단기준 : 교체와 보수는 기능의 상실 유무로 판단하며 방충재의 경우 고무재 균열, 볼트탈락, 볼트이완은 간단한 작업을 통해 개선을 시킬 수 있어 보수로 판단하고 체인파손, 고무재 탈락, 고무재 파손 등으로 인하여 본래의 기능을 상실하였을 경우에는 교체로 판단한다.

④ 에이프런 포장

- 포장의 상태와 균열 면적으로 에이프런 포장에 대한 사용자의 만족도를 평가한다.

3) 현장조사 요령

(가) 현장조사 항목

- ① 각종 기기의 시험
- ② 소음·진동 측정
- ③ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 현장조사 방법

① 각종 기기의 시험

- 각종 기기의 시험은 필요 시 수행하도록 하며, 결과에 대해서는 책임기술자 소견을 작성하여 보고서에 수록한다.
- 기기의 특성 및 상황을 고려하여 작동시험을 수행하며, 실시 시기 및 수량은 관리주체와 협의하여 정하는 것을 원칙으로 한다.

② 소음·진동 측정

- 소음·진동 측정은 필요 시 수행하도록 하며, 결과에 대해서는 책임기술자 소견을 작성하여 보고서에 수록한다.
- 기기의 특성 및 상황을 고려하여 소음·진동을 측정하며, 실시 시기 및 수량은 관리주체와 협의하여 정하는 것을 원칙으로 한다.

10.3 재료시험 항목 및 수량

10.3.1 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 10.7] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전 성능	콘크리트 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> - 비파괴시험 : 반발경도시험¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도(국부파괴시험법) 철근탐사시험²⁾ <ul style="list-style-type: none"> - 철근 배근상태 - 철근 피복두께
	강관파일	—	—
내구 성능	콘크리트 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 피복 콘크리트 품질 <ul style="list-style-type: none"> - 반발경도시험¹⁾ 	—
		<ul style="list-style-type: none"> 탄산화깊이 	
		<ul style="list-style-type: none"> 염화물 침투량 	
사용성능	강재	<ul style="list-style-type: none"> 피복재 손상 전위측정 	<ul style="list-style-type: none"> 도장두께³⁾ 수중조사
		—	<ul style="list-style-type: none"> 소음·진동 측정 각종 기기의 작동시험

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있다. 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 한다.

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 한다.

주3) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

나. 제1종성능평가

[표 10.8] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전 성능	콘크리트 구조물	◦ 콘크리트 강도 － 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾ , 초음파전달속도시험	◦ 콘크리트 강도(국부파괴시험법)
		◦ 철근탐사시험 ²⁾ － 철근 배근상태 － 철근 피복두께	－
		◦ 철근부식도	
		◦ 균열깊이 조사	
	강관파일	－	◦ 수중조사
	기타	－	◦ 기초지반(시추)조사
내구 성능	콘크리트 구조물	◦ 피복 콘크리트 품질 － 반발경도시험 ¹⁾	－
		◦ 탄산화깊이	
		◦ 염화물 침투량	
	강재	◦ 도장두께 ³⁾	－
		◦ 전위측정	
사용성능		－	◦ 소음·진동 측정
			◦ 각종 기기의 작동시험

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있다. 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 한다.

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 한다.

주3) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

10.3.2 재료시험 기준수량

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 10.9] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
반발경도시험	◦ 각 부재별 6회 이상	
탄산화 깊이	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	
염화물 침투량	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	
피복재 손상	◦ 각 선좌당 최소 10개 부재 대상	◦ 강말뚝
전위측정 ¹⁾	◦ 각 선좌당 10 개소 이상	◦ 수중 강말뚝

주1) 전위측정은 수면 아래로 2~3m 깊이마다 측정한다.

[표 10.10] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
코어채취 ¹⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
초음파전달 속도시험	◦ 각 부재별 각 6회 이상	
도장두께 ²⁾	◦ 잔교식(강말뚝) 구조 : 수상부 방식이 도장으로 되어 있는 부재로 선좌당 최소 10개소 이상 (자켓구조물의 경우에는 각 부재에서 고르게 선정) ◦ 널말뚝식 구조 : 수상부 5개소/10m (널말뚝 길이)	◦ 잔교식 안벽
수중조사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 강관파일 부식두께 ³⁾ 측정 ◦ 수중시설 외관조사
철근탐사시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
소음·진동측정	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
각종 기기의 작동시험 ⁴⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	

주1) 이전에 수행한 성능평가에서 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 이들의 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

주2) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

주3) 평균해수면 아래 2m 지점에서 1개소에서 4점(90° 간격) 실시하는 것을 원칙으로 한다.

주4) 기기의 특성 및 상황을 고려하여 작동시험 수량은 책임기술자가 조정 가능하나, 그 실시 시기는 관리주체와 협의하여 정하는 것을 원칙으로 한다.

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 10.11] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
반발경도시험	◦ 각 부재별 10회 이상	
초음파전달 속도시험	◦ 각 부재별 각 10회 이상	◦ 동일부위 시험
철근탐사시험	◦ 본체부 : 3회 이상 ◦ 바닥판, 보 : 각 10회 이상	
철근부식도 시험	◦ 바닥판, 보 : 각 3회 이상	
균열깊이조사	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	◦ 상태안전성능 평가 기준 참조
전위측정 ¹⁾	◦ 각 선좌당 10개소 이상	◦ 수중 강말뚝
탄산화 깊이	◦ 바닥판, 보 : 각 3회 이상	
염화물 침투량	◦ 바닥판, 보 : 각 3회 이상	
도장두께 ²⁾	◦ 잔교식(강말뚝) : 수상부 선좌당 최소 10개 부재 (각 부재에서 5개 선정) ◦ 널말뚝식 : 수상부 5개소/10m(널말뚝 길이)	◦ 잔교식 안벽
피복재 손상	◦ 각 선좌당 최소 10개 부재 대상	◦ 강말뚝

주1) 전위측정은 수면 아래로 2~3m 깊이마다 측정한다.

주2) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

[표 10.12] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
코어채취 ¹⁾	◦ 바닥판, 보 : 각 3회 이상	◦ 실내시험 병행
수중조사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 강관파일 부식두께 측정 ◦ 수중시설 외관조사
기초지반(시추) 조사 ²⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
소음·진동 측정	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
각종 기기의 작동시험	◦ 진단기간 중 1회 이상 실시 ³⁾	

주1) 코어에 대한 실내시험인 압축강도, 비중, 흡수율 등의 항목은 필수적으로 실시한다. 단, 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 그 수량만큼 총수량에서 공제가 가능하다.

주2) 다음의 경우에 기초지반조사를 실시하며, 설계 시나 이전의 성능평가 실시결과에서 이용 가능한 자료는 이를 적용할 수 있다.

- 외관조사 결과 중대한 구조적 결함이 발견된 경우
- 콘크리트의 강도가 현저하게 저하된 경우
- 구조물에 작용하는 하중조건이 크게 변하였거나, 변화가 예상되는 경우

주3) 기기의 특성 및 상황을 고려하여 작동시험 수량은 책임기술자가 조정 가능하나, 그 실시 시기는 관리주체와 협의하여 정하는 것을 원칙으로 한다.

10.4 안전성능 평가 기준 및 방법

10.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가 기준

1) 잔교식 안벽

(가) 콘크리트 부재의 상태안전성능 평가 기준

[표 10.13] 파손의 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가 점수	RC 및 PSC부재
a	5	◦ 콘크리트부재에 파손이 발생하지 않은 양호한 상태
b	4	◦ 파손이 경미하고, 추가적인 손상진행의 가능성이 없는 건전한 상태
c	3	◦ 파손이 경미하지만, 철근부식 등과 같은 추가적인 손상진행의 가능성이 있는 보통의 상태
d	2	◦ 시설의 주요부에 부분적인 파손이 발생하여 체체의 안전성능이 저하되거나, 손상의 진행에 따라 손상규모가 확대될 위험이 있는 불량한 상태
e	1	◦ 시설의 주요부에 큰 파손이 발생하여 시설의 기능상실, 안전성능 결여 또는 파괴로 이어질 수 있는 위험한 상태

<해설>

- 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄
- 콘크리트 구조부재의 종류에 상관없이 파손의 상태안전성능 평가 기준을 적용함

[표 10.14] 충격손상의 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가 점수	RC 부재(바닥판, 보, RC말뚝) 및 PSC 부재
a	5	◦ 콘크리트부재에 손상이 발생하지 않은 양호한 상태
b	4	◦ 충격에 의한 손상이 경미하고, 추가적인 손상진행의 가능성이 없는 건전한 상태
c	3	◦ 충격에 의한 손상이 경미하지만, 손상부위를 따라 추가적인 손상진행의 가능성이 있는 보통의 상태
d	2	◦ 시설의 주요부에 충격손상이 발생하여 체체의 안전성능이 저하되거나, 손상의 진행에 따라 손상규모가 확대될 위험이 있는 불량한 상태
e	1	◦ 시설의 주요부에 큰 충격손상이 발생하여 시설의 기능상실, 안전성능 결여 또는 파괴로 이어질 수 있는 위험한 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.15] 균열의 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	RC 부재		PSC 부재
		바닥판, 보, 세로보	RC 말뚝	PSC 말뚝
a	5	◦ 양호한 상태	◦ 양호한 상태	◦ 양호한 상태
b	4	◦ 경미한 상태의 과응력 균열, 부식균열 및 일반균열	◦ 경미한 말뚝 연결부 균열	◦ 경미한 상태의 과응력 균열 및 일반균열
c	3	◦ 과응력균열, 부식균열 및 일반균열이 다소 심한 상태	◦ 경미한 말뚝 연결부 균열 ◦ 부식균열이나 일반균열 또는 말뚝연결부 균열이 다소 심한 상태	◦ 과응력균열, 부식균열 및 말뚝연결부 균열
d	2	◦ 전반적으로 균열이 하게 발생하여 구조부재의 기능상실이 우려되는 상태	◦ 심한 상태의 과응력 균열	◦ 심한상태의 과응력 균열, 부식균열 및 말뚝 연결부 균열
e	1	◦ 보에 사인장 관통균열이 발생하여 매우 위험한 상태	◦ 관통균열이 발생하여 매우 위험한 상태	◦ 관통균열이 발생하여 매우 위험한 상태

<해설> 균열은 과응력균열, 부식균열, 일반균열, 말뚝연결부 균열 및 수중균열로 세분할 수 있으며, RC 부재 및 PSC 부재에 대한 균열의 상태안전성능 평가 기준을 설정

[표 10.16] 박리의 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	RC 부재		PSC 부재
		바닥판, 보, 토류벽	RC 말뚝	PSC 말뚝
a	5	◦ 양호한 상태	◦ 양호한 상태	◦ 양호한 상태
b	4	◦ 박리의 초기단계로 철근 부식에 의해 박리부분에 균열이 형성되기 시작하거나 경미하게 콘크리트 덮개가 탈락 된 경우 ◦ 보의 스테럽 부식으로 경미한 박리가 발생한 상태	◦ 박리의 초기단계로 철근 부식에 의해 박리부분에 균열이 형성되기 시작하거나 경미하게 콘크리트 덮개가 탈락된 상태	◦ 박리의 초기단계로 철근부식에 의해 균열이 형성되기 시작한 상태
c	3	◦ 콘크리트 덮개가 일어나는 다소 심한 부분박리가 발생하거나, 박리부분이 탈락하는 완전박리가 다소 심하게 발생한 상태 ◦ 보의 스테럽 부식이 심하여 박리가 심하게 발생한 상태	◦ 콘크리트 덮개가 일어나는 부분박리가 다소 심하게 발생한 상태	◦ 경미한 상태의 부분박리
d	2	◦ 박리부분이 탈락하여 노출철근의 부식이 발생한 상태	◦ 박리부분이 탈락하는 완전박리가 다소 심한 상태	◦ 심한상태의 부분 박리나 경미한 상태의 완전 박리
e	1	◦ 노출된 철근의 부식이 심하여 구조적 기능을 상실한 상태	◦ 박리 상태가 매우 심하여 철근이 거의 다 부식되어 구조적 기능을 상실한 상태	◦ 완전박리 상태가 심하여 콘크리트 덮개가 완전히 탈락하고 강선의 부식이 매우 심한 상태

<해설> 박리는 콘크리트 덮개가 일어나는 정도의 부분박리와 덮개와 완전히 탈락하는 완전 박리로 세분할 수 있으며, RC부재 및 PSC 부재에 대한 박리의 상태안전성능 평가 기준을 설정하였음

[표 10.17] 콘크리트 침식의 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	RC 및 PSC 말뚝
a	5	◦ 침식된 부위가 없는 양호한 상태
b	4	◦ 말뚝의 모서리부가 둥글게 되거나 골재가 노출된 상태
c	3	◦ 상, 하부와 비교해서 단면(철근덮개)이 감소되기 시작한 상태
d	2	◦ 철근덮개가 탈락되고 철근이 부분적으로 노출되어 부식이 발생한 상태
e	1	◦ 침식부위의 철근이 완전히 노출되어 구조적인 기능을 상실한 상태

[표 10.18] 토류벽의 침하의 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	최대 침하량의 범위		조사된 상태
		비진행성	진행성	
a	5	5cm미만	2cm미만	◦ 침하가 발생되지 않은 상태
b	4	5cm이상 ~ 8cm미만	2cm이상 ~ 5cm미만	◦ 부분적으로 경미한 침하가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
c	3	8cm이상 ~ 12cm미만	5cm이상 ~ 8cm미만	◦ 침하의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d	2	12cm이상 ~ 16cm미만	8cm이상 ~ 12cm미만	◦ 침하의 정도가 심각하여 안벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	16cm이상	12cm이상	◦ 침하의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

[표 10.19] 강말뚝의 파손에 대한 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	결 함 상 태
a	5	◦ 양호한 상태
b	4	◦ 파손이 경미하고, 추가적인 손상진행의 가능성이 없는 건전한 상태
c	3	◦ 파손이 경미하지만 추가적인 손상진행의 가능성이 있는 보통의 상태
d	2	◦ 구조적인 기능을 상실할 정도는 아니나 충격 등으로 국부적인 파손이 발생하여 구조물의 안전성능을 저하시킬 수 있는 불량한 상태
e	1	◦ 말뚝이 부러지거나 크게 변형되어 구조부재의 기능을 상실한 정도의 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.20] 강말뚝의 충격손상에 대한 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	결 함 상 태
a	5	◦ 양호한 상태
b	4	◦ 충격하중으로 경미한 국부적인 변형(패임, dent)이 발생한 상태
c	3	◦ 충격하중으로 다소 심한 국부적인 변형이 발생하고 손상진행의 가능성이 있는 보통의 상태
d	2	◦ 충격하중으로 인해 국부적으로 변형과 말뚝전체의 변형이 동시에 발생한 상태로 구조물의 안전성능을 저하시킬 수 있는 상태
e	1	◦ 말뚝이 절단되거나 크게 변형되어 구조부재의 기능을 상실한 위험한 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.21] 강말뚝의 침식에 대한 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	육안조사만 한 경우	두께 측정을 병행한 경우
a	5	◦ 양호한 상태	◦ 양호한 상태
b	4	◦ 침식으로 두께 감소가 경미하게 일어난 상태	◦ 두께감소가 5% 미만인 상태
c	3	◦ 침식으로 두께 감소가 다소 심하게 일어난 상태	◦ 두께감소가 20% 미만인 상태
d	2	◦ 침식으로 두께 감소가 심각하게 일어난 상태	◦ 두께감소가 30% 미만인 상태
e	1	◦ 침식으로 두께 감소가 매우 심하게 발생하여 위험한 상태	◦ 두께감소가 30% 이상인 상태

2) 중력식 안벽

[표 10.22] 중력식 안벽의 평가유형 및 영향계수

위 치	손상형태 및 조사항목	평가유형	평가기준	평가점수	영향계수	
상부공 및 본체부	◦ 침 하	중요결함	a	5	1.0	
	◦ 경사/전도		b	4		
	◦ 활 동		c	3		
			d	2		
	◦ 파 손	일반손상	e	1	1.0	
	◦ 균열 (과응력균열, 부식균열, 일반균열)		a	5		1.0
			b	4		1.1
			c	3		1.3
			d	2		1.7
	◦ 박 리 (완전박리, 부분박리)	e	1	3.0		
◦ 마모/침식	국부결함	a b c d e	5 4 3 2 1	1.0 1.1 1.2 1.4 2.0		
◦ 속채움재 유실						
◦ 케이슨 및 블록 이격						
					◦ 세 굴	
						◦ 기초사석교란
b	4	1.1				
c	3	1.3				
d	2	1.7				
e	1	3.0				

(가) 상부공 및 본체부

[표 10.23] 침하의 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	최대 침하량의 범위		조사된 상태
		비진행성	진행성	
a	5	5cm미만	2cm미만	◦ 침하가 발생되지 않은 상태
b	4	5cm이상 ~ 8cm미만	2cm이상 ~ 5cm미만	◦ 부분적으로 경미한 침하가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
c	3	8cm이상 ~ 12cm미만	5cm이상 ~ 8cm미만	◦ 침하의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d	2	12cm이상 ~ 16cm미만	8cm이상 ~ 12cm미만	◦ 침하의 정도가 심각하여 안벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	16cm이상	12cm이상	◦ 침하의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.24] 경사/전도의 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	최대기울기의 범위		조사된 상태
		비진행성	진행성	
a	5	2%미만	1%미만	◦ 경사/전도가 발생되지 않은 상태
b	4	2%이상 ~ 3%미만	1%이상 ~ 2%미만	◦ 부분적으로 경미한 경사/전도가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않는 상태
c	3	3%이상 ~ 4%미만	2%이상 ~ 3%미만	◦ 경사/전도의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d	2	4%이상 ~ 6%미만	3%이상 ~ 4%미만	◦ 경사/전도의 정도가 심각하여 안벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	6%이상	4%이상	◦ 경사/전도의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.25] 활동의 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	최대 활동의 범위		조사된 상태
		비진행성	진행성	
a	5	5cm미만	2cm미만	◦ 활동이 발생되지 않은 상태
b	4	5cm이상 ~ 8cm미만	2cm이상 ~ 5cm미만	◦ 부분적으로 경미한 활동이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
c	3	8cm이상 ~ 12cm미만	5cm이상 ~ 8cm미만	◦ 활동의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d	2	12cm이상 ~ 16cm미만	8cm이상 ~ 12cm미만	◦ 활동의 정도가 심각하여 안벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	16cm이상	12cm이상	◦ 활동의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.26] 파손의 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	상부공 및 본체부
a	5	◦ 콘크리트 부재에 파손이 발생하지 않은 양호한 상태
b	4	◦ 파손이 경미하고 추가적인 손상진행의 가능성이 없는 건전한 상태
c	3	◦ 파손이 경미하지만, 철근부식 등과 같은 추가적인 손상진행의 가능성이 있는 보통의 상태
d	2	◦ 시설의 주요부에 부분적인 파손이 발생하여 체체의 안전성능이 저하되거나, 손상의 진행에 따라 손상규모가 확대될 위험이 있는 불량한 상태
e	1	◦ 시설의 주요부에 큰 파손이 발생하여 시설의 기능상실, 안전성능 결여 또는 파괴로 이어질 수 있는 위험한 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "e" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.27] 균열의 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	상부공 및 본체부
a	5	◦ 양호한 상태
b	4	◦ 경미한 상태의 과응력 균열, 부식균열 및 일반균열
c	3	◦ 과응력 균열, 부식균열 및 일반균열이 다소 심한 상태
d	2	◦ 전반적으로 균열이 심하게 발생하여 보수가 요구되는 상태
e	1	◦ 대규모 관통 균열의 발생으로 구조물의 기능성에 영향을 초래하여 우선적인 보수가 요구되는 상태

[표 10.28] 박리의 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	상부공 및 본체부
a	5	◦ 양호한 상태
b	4	◦ 박리의 초기단계로 철근 부식에 의해 박리부분에 균열이 형성되기 시작하거나 경미하게 콘크리트 덮개가 탈락 된 경우
c	3	◦ 콘크리트 덮개가 일어나는 다소 심한 부분박리가 발생하거나, 박리부분이 탈락하는 완전박리가 다소 심하게 발생한 상태
d	2	◦ 박리부분이 탈락하여 노출철근의 부식이 발생한 상태
e	1	◦ 노출된 철근의 부식이 심하여 구조적 기능을 상실한 상태

[표 10.29] 마모/침식의 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	상부공 및 본체부
a	5	◦ 침식된 부위가 없는 양호한 상태
b	4	◦ 침식에 의해 골재가 노출된 상태
c	3	◦ 상·하부와 비교해서 단면(철근덮개)이 감소되기 시작한 상태
d	2	◦ 철근덮개가 탈락되고 철근이 부분적으로 노출되어 부식이 발생한 상태
e	1	◦ 침식부위의 철근이 완전히 노출되어 구조적인 기능을 상실한 상태

[표 10.30] 케이슨식 안벽의 속채움재 유실 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	◦ 양호한 상태
b	4	◦ 경미하게 발생한 상태
c	3	◦ 다소 크게 발생한 상태
d	2	◦ 심하게 발생하여 구조적인 안정에 영향을 줄 정도
e	1	◦ 매우 심하여 경사가 발생하고 구조적인 안정에 크게 영향을 줄 정도

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "e" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.31] 케이스 및 블록식 안벽의 이격 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	◦ 양호한 상태
b	4	◦ 경미하게 발생한 상태
c	3	◦ 다소 크게 발생한 상태
d	2	◦ 평가단위의 1개소에서 심각하게 발생하여 구조적인 안정에 영향을 줄 정도
e	1	◦ 평가단위의 2개소 이상에서 매우 심하게 발생하여 구조적인 안정에 크게 영향을 줄 정도

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "e" 이하이면 중대한 결함으로 봄

(나) 기초부

[표 10.32] 기초부 세굴 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	세굴의 최대 깊이	조사된 상태
a	5	10cm미만	◦ 세굴이 없는 상태
b	4	10cm이상 ~ 30cm미만	◦ 세굴이 경미하게 발생한 상태
c	3	30cm이상 ~ 50cm미만	◦ 세굴이 다소 심하게 발생한 상태
d	2	50cm이상 ~ 70cm미만	◦ 세굴이 심하여 안벽 하단부가 크게 드러나고 기초사석이 교란되어 구조적인 안정에 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	70cm이상	◦ 세굴이 아주 심하여 안벽의 안정이 심각하게 위협받고 있는 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "e" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.33] 기초사석 교란 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	◦ 발생한 곳이 없음
b	4	◦ 기초사석이 부분적으로 경미하게 교란되어 있음
c	3	◦ 기초사석이 전반적으로 다소 심하게 교란되어 있고 사석 경사에 변화발생
d	2	◦ 기초사석이 심하게 유실되어 안벽 하단부가 크게 드러나서 구조적인 안정에 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	◦ 기초사석이 완전히 유실되어 안벽의 안정이 심각하게 위협받고 있는 상태

[표 10.34] 에이프런 침하 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	최대 침하량의 범위		조사된 상태
		비진행성	진행성	
a	5	5cm미만	2cm미만	◦ 침하가 발생하지 않은 상태
b	4	5cm이상 ~ 8cm미만	2cm이상 ~ 5cm미만	◦ 부분적으로 경미한 침하가 발생한 상태
c	3	8cm이상 ~ 12cm미만	5cm이상 ~ 8cm미만	◦ 전반적으로 보통정도의 침하가 발생하였으나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
d	2	12cm이상 ~ 16cm미만	8cm이상 ~ 12cm미만	◦ 침하가 심각한 정도로 발생하여 에이프런 사용성능에 문제를 일으키는 상태
e	1	16cm이상	12cm이상	◦ 침하의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 우선적인 보수가 요구되고 본체의 안정성에 영향을 줄 수 있는 상태

[표 10.35] 에이프런 공동(콘크리트 포장 하부) 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	조사된 상태
a	5	◦ 침하가 발생하지 않은 상태
b	4	◦ 부분적으로 경미한 침하가 발생한 상태
c	3	◦ 전반적으로 보통정도의 침하가 발생하였으나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
d	2	◦ 침하가 심각한 정도로 발생하여 에이프런 사용성능에 문제를 일으키는 상태
e	1	◦ 침하의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 우선적인 보수가 요구되고 본체의 안정성에 영향을 줄 수 있는 상태

3) 널말뚝식 안벽

널말뚝식 안벽에 대한 상태안전성능 평가의 기준은 기본적으로 중력식 안벽에서 정한 기준을 적용하여, 따로 정할 필요가 있는 항목에 대해서만 별도의 기준을 정하고, 널말뚝 벽체는 콘크리트 널말뚝과 강재널말뚝으로 구분한다.

정의된 상태안전성능 평가 기준은 상태안전성능 평가를 위한 표준기준이며, 조사책임자의 판단으로 상태안전성능 평가 결과를 다소 조정 평가 가능하다.

○ 침하

- 널말뚝식 안벽 상부공 및 벽체의 침하는 중력식 안벽의 침하와는 다소 차이가 나는 발생 원인을 갖고 있으나 이에 대한 상태안전성능 평가 기준으로 중력식 안벽 상부공 및 본체부에 발생하는 침하에 대한 기준을 동일하게 적용

○ 활동

- 널말뚝식 안벽의 활동은 중력식 안벽의 활동과는 달리 벽체 후면에서부터 사면 활동이 일어나 사면 파괴가 일어나는 현상이므로 갑작스런 붕괴를 초래할 수 있음

○ 파손, 균열, 박리, 마모 및 침식

- 널말뚝식 상부공 및 콘크리트 벽체에 발생하는 파손, 균열, 박리, 마모 및 침식은 그 발생의 원인 및 현상이 중력식 안벽과 동일하므로 중력식 구조물에 대해 정한 상태안전성능 평가 기준을 적용

○ 마모 및 침식

- 강널말뚝의 마모 및 침식에 대한 상태안전성능 평가는 잔교식 안벽의 마모 및 침식 기준을 적용

○ 널말뚝 기초부 세굴

- 널말뚝식 안벽의 기초부에 발생하는 세굴은 중력식 안벽과는 달리 근입장의 감소로 나타나지만 그 평가기준은 당초 근입부의 해저면에서 조사된 세굴의 최대 깊이에 대해 중력식 안벽의 세굴에 대한 평가기준을 적용

○ 기초사석의 교란

- 널말뚝식 안벽의 기초사석 교란에 대한 상태안전성능 평가 기준은 중력식 안벽에 대한 평가 기준을 동일하게 적용

[표 10.36] 널말뚝식 안벽의 평가유형 및 영향계수

위 치	손상형태 및 조사항목		평가 유형	평가 기준	평가 점수	영향 계수
상부공 및 벽체부	◦ 침하		중요 결함	a	5	1.0
	◦ 변형			b	4	
	◦ 활동			c	3	
	◦ 후면부 함몰			d	2	
	◦ 파손		일반 손상	e	1	1.0
	콘크리트 말뚝부	◦ 균열(과응력균열)		a	5	
		◦ 균열(일반균열)		b	4	
		◦ 박리(완전박리, 부분박리)		c	3	
		◦ 마모/침식		d	2	
	강널말뚝	◦ 마모/침식		e	1	
기초부	◦ 세굴		국부 결함	a	5	1.0
	◦ 기초사석교란			b	4	1.1
에이 프론	◦ 침하		일반 손상	c	3	1.2
	◦ 공동(콘크리트 포장 하부)			d	2	1.4
				e	1	2.0
				a	5	1.0
				b	4	1.1
				c	3	1.3
		d	2	1.7		
		e	1	3.0		

[표 10.37] 널말뚝식 안벽 변형의 상태안전성능 평가 기준

평가 기준	평가 점수	조사된 최대 변형의 범위		조사된 상태
		비진행성	진행성	
a	5	(만곡) 4cm미만 (경사) 2%미만	(만곡) 2cm미만 (경사) 1%미만	◦ 변형이 발생하지 않은 상태
b	4	(만곡) 4.0cm이상 ~ 7.0cm미만 (경사) 2%이상 ~ 3%미만	(만곡) 2.0cm이상 ~ 4.0cm미만 (경사) 1%이상 ~ 2%미만	◦ 부분적으로 경미한 변형이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않는 상태
c	3	(만곡) 7.0cm이상 ~ 10.0cm미만 (경사) 3%이상 ~ 4%미만	(만곡) 4.0cm이상 ~ 7.0cm미만 (경사) 2%이상 ~ 3%미만	◦ 변형의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d	2	(만곡) 10.0cm이상 ~ 15.0cm미만 (경사) 4%이상 ~ 6%미만	(만곡) 7.0cm이상 ~ 10.0cm미만 (경사) 3%이상 ~ 4%미만	◦ 변형의 정도가 심각하여 안벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	(만곡) 15.0cm이상 (경사) 6%이상	(만곡) 10.0cm이상 (경사) 4%이상	◦ 변형의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.38] 널말뚝식 안벽 활동의 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	◦ 활동의 징후가 보이지 않는 양호한 상태
b	4	◦ 후면 매립부에 경미한 균열이 발생한 상태이나 근본적인 보수·보강이 필요하지 않은 상태
c	3	◦ 후면 매립부에 경미한 균열이 발생한 상태이며, 지속적인 관찰로 진행성의 감시가 필요한 상태
d	2	◦ 활동으로 인해 벽체가 기울어지기 시작하고, 후면 매립부에 큰 균열이 발생하여 사면 파괴징후가 완전한 상태
e	1	◦ 활동으로 사면 파괴가 크게 일어나고, 널말뚝 벽체가 쓰러져 구조적인 기능을 완전히 상실한 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄

[표 10.39] 널말뚝식 안벽 후면부 함몰 상태안전성능 평가 기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	◦후면부 함몰이 발생하지 않은 양호한 상태
b	4	◦후면부에 경미한 함몰이 발생한 상태
c	3	◦후면부 함몰이 소규모로 발생하였으나, 진행성의 감시가 필요한 상태
d	2	◦후면부가 함몰되었으나 벽체의 붕괴로는 발전되지 않은 상태로 긴급조치가 필요한 상태
e	1	◦후면부가 광범위하게 함몰되어 벽체의 구조적인 기능을 완전히 상실한 상태

<해설> 상태안전성능 평가 결과가 "d" 이하이면 중대한 결함으로 봄

4) 기타형식의 안벽 및 항만시설과 어항시설

기타형식 안벽 및 항만시설과 어항시설의 상태안전성능 평가 기준은 잔교식, 중력식, 널말뚝식 안벽의 해당 부분에 대한 상태안전성능 평가 기준을 적용하며, 정의된 상태안전성능 평가 기준을 표준기준으로 하며 조사책임자의 판단을 통해 다소 조정하여 평가 가능하다.

나. 상태안전성능 평가 결과 산정 방법

1) 잔교식 안벽

(가) 상태안전성능 평가 방법

개별 구조부재의 평가점수를 기준으로 각 구조부재 그룹별로 평가기준을 결정한다.

구조부재별 상태안전성능 평가를 토대로 각 조사단위의 상태안전성능 평가를 수행한다.

최종적으로는 모든 조사단위의 상태안전성능 평가 결과를 이용하여 조사대상 전체 구조물에 대한 상태안전성능 평가 결과를 설정한다.

(나) 대상 구조물에 대한 상태안전성능 평가 단계

① 개별 구조부재의 상태안전성능 평가

개별 구조부재에 대해 정의된 상태안전성능 평가 기준을 이용하여 조사된 결함의 정도에 따라 평가점수를 정하고, 그 최소치로 개별 구조부재의 상태안전성능 평가점수를 결정한다.

② 조사단위별 상태안전성능 평가

각 구조부재에 결정된 평가점수들을 정리하고 구조부재의 중요도를 고려하여 제안된 산정식에 따라 각 구조부재에 대한 상태지수를 계산하며, 계산된 상태지수에 따라 구조부재별 상태안전성능 평가 점수를 결정하고 그 중 가장 나쁜 상태안전성능

평가 결과를 조사단위의 상태안전성능 평가 결과로 결정한다.

③ 조사대상 전체구조물 상태안전성능 평가

조사대상 전체구조물 상태안전성능 평가 결과는 각 조사단위별로 결정된 상태안전성능 평가 결과를 조사대상 구조물 전체에 포함된 모든 조사단위의 길이를 고려하여 산정하며, 전체구조물의 상태안전성능 평가는 조사대상 전체구조물의 전반적인 상태를 파악하기 위한 목적이고 상태안전성능 평가 결과에 의한 조치사항은 각 조사단위에서 제시한다.

(다) 개별 구조부재의 상태안전성능 평가

상태안전성능 평가에서 정의된 평가 기준에 의해 조사된 결함의 정도에 따라 평가점수를 정하고, 그 최소치로 개별 구조부재의 상태 평가점수를 결정한다.

(라) 조사 단위별 상태안전성능 평가

조사단위에 대한 상태안전성능 평가는 각 구조부재별 결함에 대한 상태안전성능 평가 결과를 토대로 산정하게 되며, 그 평가기준은 5단계(a~e)로 다시 분류한다.

조사단위별 상태안전성능 평가 절차는 다음과 같다.

각 구조부재별로 상태안전성능 평가 결과 판정에 사용되는 부재 수의 결정

$$N_R = N_T T \times SP / 100$$

여기서, N_R = 상태안전성능 평가 결과 판정에 사용되는 총 구조부재의 수
 N_T = 조사된 총 구조부재의 수
 SP = 구조부재의 중요도에 따라 결정된 표본 추출 백분율

구조물 전체의 안전에 미치는 영향이 큰 구조부재(예를 들어, 말뚝)일수록 상대적으로 작은 값의 백분율을 사용함으로써 보다 심각한 상태의 부재들만을 선정하여 평가할 수 있도록 한다.

[표 10.40] 구조부재의 중요도에 따라 표본 추출할 부재 백분율

구조부재 종류	SP : 표본추출 백분율(%)
말 뚝	25
세로보	30
바닥판	40
가로보(파일캡)	40
토류벽	50

○ 구조부재별 상태안전성능 평가 결과 산정

각 구조부재의 중요도를 고려하여 계산된 N_R 개수만큼의 부재를 심각한 상태의 부재부터 산정한 후 각 평가부재 수에 해당되는 평가점수를 곱하고 이들을 합한 값을 N_R 로 나누어 구조부재별 상태지수를 다음과 같이 계산한다.

$$\text{구조부재의 상태지수 (CI)} = \frac{\sum_{K=1}^5 M_K N_K}{N_R}$$

여기서, CI = 상태지수
 M_k = 상태안전성능 평가지수(5~1)
 N_k = 각 평가결과에 해당하는 평가 부재의 수

계산된 상태지수를 이용하여 [표 10.41]에 의해 각 구조부재의 상태안전성능 평가 결과(a~e)를 산정한다.

[표 10.41] 상태지수에 의한 평가기준

평가기준	상태지수(CI)
a	4.5 이상 ~ 5.0 이하
b	3.5 이상 ~ 4.5 미만
c	2.5 이상 ~ 3.5 미만
d	1.5 이상 ~ 2.5 미만
e	1.0 이상 ~ 1.5 미만

○ 조사단위의 상태안전성능 평가 결과 산정

조사단위 속에 포함된 말뚝, 보, 바닥판, 토류벽 등 각 구조부재에 대한 상태안전성능 평가 결과 중 가장 나쁜 상태의 결과를 조사단위의 상태안전성능 평가 결과로 결정한다.

[표 10.42] 구조부재별 상태안전성능 평가 결과 산정 [예제1 - RC말뚝]

1. 상태안전성능 평가 결과 판정에 사용될 말뚝 수 계산				
◦ 총 조사 말뚝 수 : $N_T = 178$				
◦ 평가말뚝 수 : $N_R = N_T \times SP = 178 \times 0.25 = 44.5 \Rightarrow 45$ 사용				
2. 상태지수 계산				
평가기준	평가점수 (M_K)	조사부재수	평가부재수 (N_K)	평가점수 × 평가부재수 ($M_K \times N_K$)
a	5	95	0	0
b	4	27	0	0
c	3	32	21	63
d	2	19	19	38
e	1	5	5	5
계		178 (N_T)	45 (N_R)	106 $\sum(M_K \times N_K)$

$$CI = \frac{\sum_{K=1}^5 M_K N_K}{N_R} = \frac{106}{45} = 2.36$$

d

[표 10.43] 구조부재별 상태안전성능 평가 결과 산정 [예제2 - 바닥판]

1. 상태안전성능 평가 결과 판정에 사용될 바닥판 수 계산				
◦ 총조사 바닥판 수 : $N_T = 125$				
◦ 평가바닥판 수 : $N_R = N_T \times SP = 125 \times 0.40 = 50 \Rightarrow 50$ 사용				
2. 상태지수 계산				
평가기준	평가점수 (M_K)	조사부재수	평가부재수 (N_K)	평가점수 \times 평가부재수 ($M_K \times N_K$)
a	5	110	35	175
b	4	12	12	48
c	3	3	3	9
d	2	0	0	0
e	1	0	0	0
계		125 (N_T)	50 (N_R)	232 ($\sum M_K \times N_K$)
$CI = \frac{\sum_{K=1}^5 M_K N_K}{N_R} = \frac{232}{50} = 4.64$				a

[표 10.44] 구조부재별 상태안전성능 평가 결과 산정 [예제3 - 세로보]

1. 상태안전성능 평가 결과 판정에 사용될 세로보의 수 계산				
◦ 총조사 세로보 수 : $N_T = 117$				
◦ 평가세로보 수 : $N_R = N_T \times SP = 117 \times 0.30 = 35.1 \Rightarrow 36$ 사용				
2. 상태지수 계산				
평가기준	평가점수 (M_K)	조사부재수	평가부재수 (N_K)	평가점수 \times 평가부재수 ($M_K \times N_K$)
a	5	92	11	55
b	4	12	12	48
c	3	10	10	30
d	2	3	3	6
e	1	0	0	0
계		125 (N_T)	50 (N_R)	139 ($\sum M_K \times N_K$)
$CI = \frac{\sum_{K=1}^5 M_K N_K}{N_R} = \frac{139}{36} = 3.86$				b

[표 10.45] 구조부재별 상태안전성능 평가 결과 산정 [예제4 - 가로보]

1. 상태안전성능 평가 결과 판정에 사용될 가로보의 수 계산				
<ul style="list-style-type: none"> 총 조사 세로보 수 : $N_T = 154$ 평가 세로보 수 : $N_R = N_T \times SP = 154 \times 0.40 = 61.6 \Rightarrow 62$ 사용 				
2. 상태지수 계산				
평가기준	평가점수 (M_K)	조사부재수	평가부재수 (N_K)	평가점수 \times 평가부재수 ($M_K \times N_K$)
a	5	97	5	25
b	4	28	28	112
c	3	17	17	51
d	2	11	11	22
e	1	1	1	1
계		154 (N_T)	62 (N_R)	211 ($\sum M_K \times N_K$)

$$CI = \frac{\sum_{K=1}^5 M_K N_K}{N_R} = \frac{211}{62} = 3.40$$

c

위의 예제들에서 가장 나쁜 상태안전성능 평가 결과는 RC말뚝부재로서 “d”이다. 따라서 예제들이 동일한 조사단위의 각 구조부재에 대한 평가결과라면 조사단위의 상태안전성능 평가 결과는 가장 나쁜 상태인 말뚝 부재의 상태안전성능 평가 결과를 채택하여 “d”로 결정한다.

(마) 조사대상 전체 구조물의 상태안전성능 평가

조사대상 전체 구조물에 대한 상태안전성능 평가에는 조사대상에 포함된 각 조사단위별 상태지수를 이용하며, 포함된 모든 조사단위의 길이를 고려하여 다음과 같은 식으로 상태지수를 산정한 후 [표 10.41]에 의해 전체구조물의 상태안전성능 평가 결과(A~E)를 결정한다.

$$\text{전체 구조물의 상태지수 } CI = L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{n=1}^N (CI)_n l_n}{5 \sum_{n=1}^N l_n}$$

여기서, L = 포함된 조사단위의 상태지수 중 최솟값(가장 나쁜 결과에 해당)
 H = 포함된 조사단위의 상태지수 중 최댓값(가장 좋은 결과에 해당)
 N = 포함된 총 조사단위 수
 $(CI)_n$ = n번째 조사단위의 상태지수
 l_n = n번째 조사단위의 길이

위의 식은 전체 구조물의 상태지수를 가장 나쁜 상태의 조사단위에 대한 상태지수로 채택하는 것이 아니라 그보다는 다소 상향조정하는 것을 의미한다. 상향조정은 포함된

조사단위의 최대 상태지수(H)와 최소 상태지수(L) 차이의 30% 까지만 좋게 평가할 수 있도록 정한 것이며 각 조사단위별 상태지수를 고려하여 상향조정에 반영한다.

[표 10.46] 전체 구조물의 상태안전성능 평가(예)

조사단위 (n)	평가결과	상태지수 $((CI)_n)$	길이(m) (l_n)	상태지수 × 길이 $((CI)_n \times l_n)$
1	b	4.38	100	438
2	c	3.07	100	307
3	b	4.65	200	930
4	c	2.89	100	189
5	d	2.23	200	446
6	b	3.96	100	396
계			800 $(\sum l_n)$	2706 $(\sum (CI)_n \times l_n)$

- 총 조사단위 수 : $N = 6$
- 조사단위의 상태지수 중 : $L = 2.23$
- 조사단위의 상태지수 중 최댓값 : $H = 4.655$

$$CI = L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{n=1}^N (CI)_n l_n}{\sum_{n=1}^N l_n}$$

$$CI = 2.23 + 0.3(4.65 - 2.23) \times \frac{2706}{5 \times 800} = 2.23 + 0.491 = 2.721$$

C

2) 중력식 안벽

(가) 상태안전성능 평가 방법

중력식 및 널말뚝식 안벽 시설물의 상태변화가 전체 구조물에 미치는 안전성능의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 결함 및 손상을 평가유형별로 구분하여 영향계수를 적용한다. 우선 평가단위별로 조사결과를 정리하여 평가단위별 상태안전성능 평가 결과를 산정한다. 그 결과를 토대로 조사단위의 상태안전성능 평가 결과를 결정한다. 최종적으로는 조사대상 전체구조물의 상태안전성능 평가 결과를 산정한다.

[표 10.47] 결함과 손상에 대한 평가유형

평가유형	정 의	평가기준	평가점수	영향계수
중요결함	◦ 침하, 경사/전도 및 활동 등과 같이 전체 구조물의 구조적인 안전에 직접영향을 미치는 결함	a	5	1.0
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
국부결함	◦ 수평이음부 불량 등과 같이 구조물의 안전성능에 직접적인 영향을 미치지 않지만 손상이 진전될 경우 전체구조물의 안전에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 결함	a	5	1.0
		b	4	1.1
		c	3	1.2
		d	2	1.4
		e	1	2.0
일반손상	◦ 파손, 마모, 콘크리트 재료분리 등과 같이 구조물의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상	a	5	1.0
		b	4	1.1
		c	3	1.3
		d	2	1.7
		e	1	3.0

각 부재에서 발생하는 각종 손상 및 결함에 대한 상태안전성능 평가 시 손상이 전체 구조물에 미치는 안전성능의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 영향계수를 적용한다.

영향계수는 안전성능에 직접적인 영향을 미치는 중요 결함의 상태안전성능 평가 기준을 근거로 하여 국부적인 결함의 결과를 상향조정함으로써 이들이 전체 구조물에 미치는 영향을 평가 절하하는 계수이며, 영향계수는 상태안전성능 평가를 위한 표준기준이며, 조사책임자의 판단으로 다소 조정할 수 있다.

(나) 중력식 안벽의 상태안전성능 평가 단계

① 평가단위별 상태안전성능 평가

평가단위별로 조사된 각 손상 및 결함형태별 평가점수를 구하고, 평가점수에 결함이 구조체에 미치는 중요도를 고려한 영향계수를 곱하여 상태지수를 구한 후 그 중

가장 심각한 상태지수를 이용하여 평가단위의 상태안전성능 평가 결과를 구한다.

② 조사단위별 상태안전성능 평가

평가단위별로 산정된 상태 평가점수에 상태의 심각성을 감안한 조정계수를 곱하고 이를 전체 조사단위에 대하여 가중 평균하여 조사단위별 상태지수를 계산한 후 조사단위의 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

③ 조사대상 전체구조물의 상태안전성능 평가

조사대상 전체구조물의 상태안전성능 평가는 조사단위별로 결정된 상태지수 중 심각한 쪽을 고려하고 조사단위 길이를 고려하여 결정한다.

상기의 방법으로 결정되는 조사대상 구조물의 조사단위에 대한 상태안전성능 평가 결과는 구조물의 건전도 상태를 파악하고, 구조물의 보수 우선순위를 결정하는데 이용되며, 조사대상 전체구조물의 상태안전성능 평가는 구조물 전체의 전반적인 상태를 파악하기 위한 목적으로 실시한다.

(다) 평가단위별 상태안전성능 평가

각 평가단위에 대한 상태안전성능 평가는 평가단위에 포함된 각종 유형의 손상 및 결함형태에 대해 정의한 평가점수에 영향계수를 곱하여 구해진 상태지수 중 최소 상태지수에 해당되는 상태안전성능 평가 결과를 평가단위의 결과로 채택한다.

[표 10.48] 평가단위별 상태안전성능 평가 결과 산정(예)

조사단위 번호: 1

평가단위 번호: 10

손상형태 및 조사항목			평가기준	조사량 및 상태	평가 점수	영향 계수	상태 지수
상부공 및 본체부	침하	중요 결함	중력식 안벽	2.5 cm	4	1.0	4.0
	경사/전도		"	0.5%	5	1.0	5.0
	활동		"	4 cm	4	1.0	4.0
	파손	일반 손상	"	없음	5	1.0	5.0
	균열(과응력균열)		"	0.15 mm	4	1.1	4.4
	균열(부식균열)		"	없음	5	1.0	5.0
	균열(일반균열)		"	없음	5	1.0	5.0
	박리(완전박리, 부분박리)		"	없음	5	1.0	5.0
	마모/침식		"	1군데	4	1.1	4.4
	속채움재 유실(케이슨식)	국부 결함	"	없음	5	1.0	5.0
	케이슨, 블록 이격		"	—	—	—	—
기초부	세굴		"	없음	5	1.0	5.0
	기초사석교란		"	없음	5	1.0	5.0
에이 프론	침하	일반 손상	"	3 cm	4	1.1	4.4
	공동(콘크리트 포장 하부)		"	없음	5	1.0	5.0

상태안전성능 평가 결과별 상태지수 범위		구 분	영 향 계 수				
평가기준	상태지수(CI)	평가결과 (평가점수)	a(5)	b(4)	c(3)	d(2)	e(1)
a	$4.5 \leq CI \leq 5.0$	중요결함	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
b	$3.5 \leq CI < 4.5$	국부결함	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0
c	$2.5 \leq CI < 3.5$						
d	$1.5 \leq CI < 2.5$	일반손상	1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
e	$1.0 \leq CI < 1.5$						
최소 상태지수(CI) = <div>4.0</div> ⇒ 평가단위 평가결과 = <div>b</div>							

(라) 조사단위의 상태안전성능 평가

조사단위에 대한 상태안전성능 평가는 각 평가단위의 상태안전성능 평가 결과에 해당되는 평가점수를 이용하여 다음 식으로 계산되는 상태지수를 이용 결정한다.

$$\text{조사단위의 상태지수 } CI = \frac{\sum_{m=1}^5 m \cdot N_m \cdot A_m}{\sum_{m=1}^5 N_m \cdot A_m}$$

여기서, m = 평가결과(a~e)에 따른 평가점수
 N_m = 평가점수 m 에 해당하는 평가단위의 수
 A_m = 평가점수 m 에 해당하는 조정계수로 정의된 값

여기서, 조정계수의 사용은 평가단위별 상태안전성능 평가에서 보다 심각한 상태의 평가단위에 가중치를 두기 위한 것이다.

[표 10.49] 상태지수에 의한 상태안전성능 평가 결과

평가기준	평가점수(m)	상태지수(CI)	조정계수(A)
a	5	4.5이상 ~ 5.0미만	1
b	4	3.5이상 ~ 4.5미만	2
c	3	2.5이상 ~ 3.5미만	3
d	2	1.5이상 ~ 2.5미만	6
e	1	1.0이상 ~ 1.5미만	6

각 조사단위의 상태안전성능 평가 결과가 결정되면 잔교식 안벽에서와 마찬가지로 c, d, e 일 경우 보수 우선순위에 따라 보수 조치하며, 필요에 따라 정밀안전진단을 실시하게 되며 다음 표는 조사단위의 상태안전성능 평가 예이다.

[표 10.50] 조사단위의 상태안전성능 평가(예)

■ 각 조사단위별 평가단위의 상태안전성능 평가 결과 정리

평가단위 조사단위	평가단위별 상태안전성능 평가 결과									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
2	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c
3	c	d	c	d	c	d	c	d	c	d
4	a	b	c	d	e	e	d	c	b	a

■ 조사단위별 상태지수 및 평가결과의 계산

[조사단위 1]

평가 기준	평가점수 (m)	조정계수 (A_m)	평가단위수 (N_m)	조정계수×평가단위수 ($N_m A_m$)	조정계수×평가단위수×평가 점수 ($m \cdot N_m A_m$)
a	5	1	5	5	25
b	4	2	5	10	40
c	3	3	0	0	0
d	2	6	0	0	0
e	1	6	0	0	0
계	—	—	10 ($\sum N_m$)	15 ($\sum N_m A_m$)	65 ($\sum m \cdot N_m A_m$)
$\text{조사단위 상태 지수 } CI = \frac{\sum_{m=1}^5 m \cdot N_m A_m}{\sum_{m=1}^5 N_m A_m} = \frac{65}{15} = 4.33 \Rightarrow b$					

[조사단위 2]

평가 기준	평가점수 (m)	조정계수 (A_m)	평가단위수 (N_m)	조정계수×평가단위수 ($N_m A_m$)	조정계수×평가단위수×평가 점수 ($m \cdot N_m A_m$)
a	5	1	0	0	0
b	4	2	5	10	40
c	3	3	5	15	45
d	2	6	0	0	0
e	1	6	0	0	0
계	—	—	10 ($\sum N_m$)	25 ($\sum N_m A_m$)	85 ($\sum m \cdot N_m A_m$)
$\text{조사단위 상태 지수 } CI = \frac{\sum_{m=1}^5 m \cdot N_m A_m}{\sum_{m=1}^5 N_m A_m} = \frac{85}{25} = 3.40 \Rightarrow c$					

[표 10.51] 조사단위의 상태안전성능 평가(예) (계속)

[조사단위 3]

평가 기준	평가점수 (m)	조정계수 (A_m)	평가단위수 (N_m)	조정계수×평가단위수 ($N_m A_m$)	조정계수×평가단위수×평가 점수 ($m \cdot N_m A_m$)
a	5	1	0	0	0
b	4	2	0	0	0
c	3	3	5	15	45
d	2	6	5	30	60
e	1	6	0	0	0
계	—	—	10 ($\sum N_m$)	45 ($\sum N_m A_m$)	105 ($\sum m \cdot N_m A_m$)
$\text{조사단위 상태 지수 } CI = \frac{\sum_{m=1}^5 m \cdot N_m A_m}{\sum_{m=1}^5 N_m A_m} = \frac{105}{45} = 2.33 \Rightarrow d$					

[조사단위 4]

평가 기준	평가점수 (m)	조정계수 (A_m)	평가단위수 (N_m)	조정계수×평가단위수 ($N_m A_m$)	조정계수×평가단위수×평가 점수 ($m \cdot N_m A_m$)
a	5	1	2	2	10
b	4	2	2	4	16
c	3	3	2	6	18
d	2	6	2	12	24
e	1	6	2	12	12
계	—	—	10 ($\sum N_m$)	36 ($\sum N_m A_m$)	80 ($\sum m \cdot N_m A_m$)
$\text{조사단위 상태지수 } CI = \frac{\sum_{m=1}^5 m \cdot N_m A_m}{\sum_{m=1}^5 N_m A_m} = \frac{80}{36} = 2.22 \Rightarrow d$					

(마) 조사대상 전체 구조물의 상태안전성능 평가

조사대상 구조물에 대한 조치사항은 조사단위별로 처리하나 조사 안벽 전체 구조물의 건전도 상태를 파악하고 보수 우선순위 결정을 위한 기본 자료로 사용하기 위해 전체 구조물의 상태안전성능 평가가 필요하다.

조사대상 전체 구조물에 대한 상태안전성능 평가 결과는 각 조사단위의 상태지수를 이용하여 전체 구조물에 대한 상태지수를 구하고 그 값에 따라 결정하였으며, 전체 구조물의 상태지수는 심각한 상태의 조사단위를 기준으로 계산하며 각 조사단위의 길이를 고려하여 다음과 같은 식으로 계산한다.

$$\text{전체 구조물의 상태지수 } CI = L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{n=1}^N (CI)_n \times l_n}{5 \sum_{n=1}^N l_n}$$

여기서, L = 포함된 조사단위의 상태지수 중 최솟값(가장 나쁜 결과에 해당)
 H = 포함된 조사단위의 상태지수 중 최댓값(가장 좋은 결과에 해당)
 N = 포함된 총 조사단위 수
 $(CI)_n$ = n 번째 조사단위의 상태지수
 l_n = n 번째 조사단위의 길이

[표 10.52] 조사 대상 전체 구조물의 상태안전성능 평가 결과 산정(예)

조사단위 (n)	평가결과	상태지수 ($(CI)_n$)	길이(m) (l_n)	상태지수 × 길이 ($(CI)_n \times l_n$)
1	b	4.33	100	433
2	c	3.40	100	340
3	d	2.33	100	233
4	d	2.22	100	222
계	—	—	400 ($\sum l_n$)	1228 ($\sum (CI)_n \times l_n$)
<ul style="list-style-type: none"> 총 조사단위 수 : $N = 4$ 조사단위의 상태지수 중 최솟값 : $L = 2.22$ 조사단위의 상태지수 중 최댓값 : $H = 4.33$ $CI = L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{n=1}^N (CI)_n \times l_n}{5 \sum_{n=1}^N l_n}$				
<ul style="list-style-type: none"> $CI = 2.22 + 0.3(4.33 - 2.22) \times \frac{1228}{5 \times 400} = 2.22 + 0.38 = 2.61$ 				C

3) 널말뚝식 안벽

(가) 상태안전성능 평가 방법

중력식 안벽에 대한 상태안전성능 평가절차와 동일한 방법으로 실시한다.

평가단위별 상태안전성능 평가를 거쳐 조사단위와 전체구조물에 대한 상태안전성능 평가를 실시한다.

그에 따른 상태안전성능 평가 결과를 산정한다.

(나) 널말뚝식 안벽의 상태안전성능 평가 단계

중력식 안벽의 해당 항과 동일한 방법을 적용한다.

(다) 평가단위, 조사단위 및 전체 구조물의 상태안전성능 평가

널말뚝식 안벽의 평가단위, 조사단위 및 조사 대상 전체 구조물에 대한 상태안전성능 평가는 중력식 안벽의 상태안전성능 평가와 동일한 방법을 적용한다.

[표 10.53] 평가단위별 상태안전성능 평가(예)

조사단위 번호: 1

평가단위 번호: 7

손상형태 및 조사항목			평가기준	조사량 및 상태	평가 점수	영향 계수	상태 지수	
상 부 공 및 벽 체 부	침하		중요 결함	널말뚝 안벽	1.0 cm	4	1.0	4.0
	변형			〃	없음	5	1.0	5.0
	활동			〃	2 cm	4	1.0	4.0
	후면부 함몰			〃	없음	5	1.0	5.0
	파손		일반 손상	〃	0.1 mm	4	1.1	4.4
	콘크리트 말뚝부	균열(과응력균열)		〃	없음	5	1.0	5.0
		균열(부식균열)		〃	없음	5	1.0	5.0
		균열(일반균열)		〃	없음	5	1.0	5.0
		박리(완전박리, 부분박리)		〃	없음	5	1.0	5.0
		마모/침식		〃	없음	5	1.0	5.0
	강널말 뚝	부식(전반부식, 국부부식, 홈/과공)		〃	5% 두께 감소	4	1.1	4.4
		마모/침식		〃	3 cm	4	1.1	4.4
	기초 부	세굴		국부	〃	2%	4	1.1
기초사석교란		결함	〃	없음	5	1.0	5.0	
에이 프론	침하		일반 손상	〃	없음	5	1.0	5.0
	공동(콘크리트 포장 하부)							

평가단위의 평가점수 및 상태안전성능 평가 결과 결정

상태안전성능 평가 결과별 상태지수 범위		구 분	영 향 계 수				
평가기준	상태지수(CI)	평가결과 (평가점수)	a(5)	b(4)	c(3)	d(2)	e(1)
a	$4.5 \leq CI \leq 5.0$	중요결함	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
b	$3.5 \leq CI < 4.5$						
c	$2.5 \leq CI < 3.5$	국부결함	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0
d	$1.5 \leq CI < 2.5$	일반손상	1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
e	$1.0 \leq CI < 1.5$						

최소 상태지수(CI) = 4.0 ⇒ 평가단위 평가결과 = b

종합의견:

요약서 작성 확인자 (인) 확인일자

[표 10.54] 조사단위의 상태안전성능 평가(예)

■ 각 조사단위별 평가단위의 상태안전성능 평가 결과 정리

조사 단위	평가단위별 상태안전성능 평가														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	b	a	a	a	a	b	b	c	b	b	c	b	a	a	b

■ 조사단위별 상태지수의 계산[조사단위 1]

평가 기준	평가점 수 (m)	조정 계수 (A_m)	평가단위수 (N_m)	조정계수 × 평가단위수 ($N_m A_m$)	조정계수 × 평가단위수 × 평가점수 ($m \cdot N_m A_m$)
a	5	1	6	6	30
b	4	2	7	14	56
c	3	3	2	6	18
d	2	6	0	0	0
e	1	6	0	0	0
계	—	—	15 ($\sum N_m$)	26 ($\sum N_m A_m$)	104 ($\sum m \cdot N_m A_m$)
$\text{조사단위 상태지수(CI)} = \frac{\sum_{m=1}^5 m \cdot N_m A_m}{\sum_{m=1}^5 N_m A_m} = \frac{104}{26} = 4.00 \Rightarrow b$					

[표 10.55] 조사대상 전체 구조물의 상태안전성능 평가 결과 산정(예)

조사단위 (n)	평가결과	상태지수($(CI)_n$)	길이(m)(l_n)	상태지수 × 길이 ($(CI)_n \times l_n$)
1	b	4.00	300	1200
계	—	—	300 ($\sum l_n$)	1200 ($\sum (CI)_n \times l_n$)
<ul style="list-style-type: none"> 총 조사단위 수 : $N = 1$ 조사단위의 상태지수 중 최솟값 : $L = 4.00$ 조사단위의 상태지수 중 최댓값 : $H = 4.00$ $\text{전체 구조물의 상태지수 (CI)} = L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{n=1}^N (CI)_n \times \ell_n}{5 \sum_{n=1}^N \ell_n} = 4.00$				
$\Rightarrow \boxed{\text{조사대상 전체 구조물 상태안전성능 평가 결과} = B}$				

10.4.2 구조안전성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

1) 구조안전성능 평가를 위한 선택과업

시설물의 구조안전성능 평가의 목적은 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 운영상의 안전성능에 대한 확보여부를 평가하는데 있으므로 현장으로부터 시설물의 현황과 상태 및 특성을 충분히 파악하여 제반 문제점을 도출하고 기초자료 분석 및 구조검토·해석 등에 의해 문제점에 대한 원인을 규명함과 더불어 구조안전성능 여부를 판단하여야 한다.

구조안전성능 평가를 위하여 기본과업 이외의 필요한 계측, 측정, 조사 및 시험 등의 선택과업을 시설물 종류 및 구조적 특성에 따라 책임기술자는 관리주체와 협의하여야 하며, 이를 위해서는 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료의 검토, 기록을 통한 운영이력의 분석, 부재별 상태안전성능 평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통하여 충분한 기초자료를 확보하는 것이 중요하다.

2) 구조안전성능 평가의 적용

구조안전성능 평가 항목별 평가방법은 정량적으로 평가하기 어렵거나 또한 다양한 경우가 대부분이므로 상호의 평가결과를 비교하는 것이 필수적이다.

또한, 본 장에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우에는 본 장에 기술된 것과 같이 5단계의 안전성능 평가 기준을 제시하고 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있다.

또한 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

나. 구조안전성능 평가 기준

1) 잔교식 안벽

잔교식 안벽은 상부의 콘크리트 바닥판, 가로보 및 세로보 그리고 하부구조의 강관 또는 콘크리트 파일로 구성되어 있으며 잔교식 안벽은 연직방향 하중을 받는 교량과 유사한 구조를 갖고 있으나 선박의 접안력, 계류력, 조류 및 파랑에 의한 측방향 하중을 받는 구조물이다.

건설기준코드(구 항만 및 어항 설계기준·해설)에 따르면 구조물 각 부재의 외력에 대한 안전검토는 구조물의 특성 등에 따라 허용응력설계법 또는 한계상태설계법에 의한다. 단, 철근콘크리트 구조물 부재의 안전검토는 한계상태설계법에 의하는 것을 표준으로 하되, 건설기준코드(구 항만 및 어항 설계기준)의 한계상태설계법을 참고할 수 있도록 하고 있다. 따라서 잔교식 구조물에서는 강도설계법에 따라 상부구조 및 하부구조 철근 콘크리트 각 부재의 작용(극한)모멘트와 설계모멘트의 비를 그리고 강재의 하부구조 경우는 허용응력법에 따라 검토응력과 허용응력과의 비를 건설기준코드(구 항만 및 어항 설계기준)의 방법에 따른 지진의 영향을 고려하여 아래 표의 기준에 따라 검토, 평가하는 것을 원칙으로 한다.

다만, 철근콘크리트 구조물의 경우 강도설계법에 따른 검토결과 문제가 있는 경우에는 허용응력법에 의한 검토를 병행하여 구조물의 외관상태 및 비파괴 조사결과 등을 종합적으로 고려하여 구조안전성능 평가를 수행할 수 있도록 한다.

강도설계법에 의한 검토시는 각 부재의 설계모멘트와 작용모멘트의 비가 1.0 이상인 경우 그리고 허용응력설계법의 경우는 허용응력과 검토응력의 비가 1.0 이상인 경우를 “a”로 설정하였으며, 1.0 미만, 0.9 미만, 0.75 미만의 경우를 각각 “c”, “d”, “e”로 설정하였다. 따라서 설계기준을 만족하는 경우 모두 “a”를 적용하고, 만족시키지 못하는 경우는 “c” 이하를 적용하였으며 “b”는 평가기준에서 제외한다.

여기서, 검토단면의 각 부재에 대한 평가점수는 다음 표를 적용하여 산정하며, 검토단면의 평가결과는 각 부재의 평가점수를 이용하여 결정한다.

잔교식 안벽의 경우 표본추출 백분율을 적용하여 가중 평균하는 외관상태안전성능 평가와는 달리 바닥판, 가로보, 세로보 및 하부구조(강파일 또는 콘크리트파일)에서의 각 부재별 중요도는 구조검토에서 고려하지 않는다.

$$\text{강도설계법에 의한 검토기준} = \frac{\text{설계모멘트}}{\text{작용모멘트}}$$

$$\text{허용응력설계법에 의한 검토기준} = \frac{\text{허용응력}}{\text{검토응력}}$$

횡간교의 흙막이부에 대한 기초지반의 활동은 점성토와 같은 연약지반에서 원호활동에 대한 검토를 수행하고 사면이 사질토로 구성되어 있는 경우에는 원칙적으로 비탈기슭을 지나는 직선활동면에 대하여 검토를 수행하여 다음 표에 따라 평가결과를 산정한다.

건설기준코드(구 항만 및 어항 설계기준)에 따르면 활동파괴에 대한 안전율은 상시는 1.2 이상, 지진시는 1.0 이상을 표준으로 하고 있으며 본 세부지침에서는 안전율 1.2(지진시, 1.0)를 만족시킬 때는 “a”로 나머지는 “c”, “d” 및 “e”의 총 4개 단계로 설정한다.

[표 10.56] 구조검토에 대한 평가 기준 (강도설계법 및 허용응력설계법)

평가 기준	평가 점수	상 태 (설계모멘트(허용응력)와 작용모멘트(검토응력)의 비)
a	5	1.0 이상
c	3	0.9 이상 1.0 미만
d	2	0.75 이상 0.9 미만
e	1	0.75 미만

[표 10.57] 원호 및 직선활동에 대한 평가기준

평가기준	평가점수	상 태	
a	5	평상시	◦안전율이 1.2이상인 경우
		지진시	◦안전율이 1.0이상인 경우
c	3	평상시	◦안전율이 1.0이상 1.2미만인 경우
		지진시	◦안전율이 0.9이상 1.0미만인 경우
d	2	평상시	◦안전율이 0.8이상 1.0미만인 경우
		지진시	◦안전율이 0.7이상 0.9미만인 경우
e	1	평상시	◦안전율이 0.8 미만인 경우
		지진시	◦안전율이 0.7 미만인 경우

2) 중력식 안벽

(가) 일반적인 구조안전성능 검토

케이슨과 블록식 등 중력식 안벽의 구조안전성능 검토는 일반적으로 다음과 같은 사항에 대해 수행하며, 검토방법 및 안전율은 건설기준코드(구 항만 및 어항 설계기준)을 따르는 것을 원칙으로 한다.

- 벽체의 활동
- 지반의 지지력
- 원호활동
- 벽체의 전도
- 침하

(나) 활동에 대한 구조안전성능 검토

- 중력식 안벽의 활동에 대한 안전율은 벽체에 작용하는 연직 및 수평력 그리고 벽체 저면과 기초와의 마찰계수에 의해 결정
- 평상시 1.2 이상, 이상시 1.0 이상을 표준

(다) 기초지반의 구조안전성능 검토

구조물의 기초지반에 작용하는 편심·경사하중에 대한 지지력 검토는 원호활동해석법에 의하여 산정하는 것을 표준으로 한다.

- 평상시 1.2 이상, 지진시는 1.0 이상을 기준
- 전도(지진시는 1.1적용) 및 원호활동에 대한 안전율도 동일한 값을 적용

기초지반은 새로이 가해진 하중증가에 대해서 침하를 일으키므로 지반조사를 통한 현재 지반상태에서의 추가침하 예정량을 검토할 필요가 있다.

침하량 검토 결과로부터 얻어진 침하완료 예정시점의 상부공 표고(A)와 설계표고(B)와의 비교를 통해 구조안전성능 평가를 수행하며, B-A의 값이 5~15cm 일 때를 양호한 경우와 불량한 경우의 경계치인 “c”의 상태로 결정한다. 일반적으로 상부공의 침하된 표고가 설계표고보다 약 30cm 정도를 초과하게 되면增高시 계선주의 사용이 어려워지고 방충재의 재배치를 고려해야하는 등의 기능성 측면과 화물 선하작업의 구조안전성능 측면에서 문제가 발생하므로 이때의 상태를 “e”로 설정하였다. 구조안전성능 평가의 기준은 현장 측정 자료를 근거로 한 상태안전성능 평가의 기준과 별도로 설정한다.

[표 10.58] 활동, 지지력, 원호활동 및 전도에 대한 평가기준

평가기준	평가점수	상 태	
a	5	평상시	◦안전율이 1.2 이상인 경우
		지진시	◦안전율이 1.0(전도, 1.1) 이상인 경우
c	3	평상시	◦안전율이 1.0 이상 1.2 미만인 경우
		지진시	◦안전율이 0.9 이상 1.0(전도, 1.1) 미만인 경우
d	2	평상시	◦안전율이 0.8 이상 1.0 미만인 경우
		지진시	◦안전율이 0.7 이상 0.9 미만인 경우
e	1	평상시	◦안전율이 0.8 미만인 경우
		지진시	◦안전율이 0.7 미만인 경우

[표 10.59] 침하에 대한 평가기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	◦B-A의 값이 5cm 미만인 경우
b	4	◦B-A의 값이 5cm 이상 10cm 미만인 경우
c	3	◦B-A의 값이 10cm 이상 15cm 미만인 경우
d	2	◦B-A의 값이 15cm 이상 30cm 미만인 경우
e	1	◦B-A의 값이 30cm 이상인 경우

3) 널말뚝식 안벽

널말뚝식 안벽의 구조안전성능 평가는 널말뚝 벽체와 뒤채움 토사가 일체로 회전하여 널말뚝 구조가 붕괴되는 현상인 원호활동과 널말뚝에 작용하는 외력에 의한 부재의 응력과 허용응력의 비교를 통해 구조안전성능 검토를 수행하며, 적용 안전율 및 검토방법은 건설기준코드(구 항만 및 어항 설계기준)을 따르는 것을 원칙으로 한다.

[표 10.60] 활동에 대한 평가기준

평가기준	평가점수	상 태	
a	5	평상시	◦안전율이 1.2 이상인 경우
		지진시	◦안전율이 1.0 이상인 경우
c	3	평상시	◦안전율이 1.0 이상 1.2미만인 경우
		지진시	◦안전율이 0.9 이상 1.0미만인 경우
d	2	평상시	◦안전율이 0.8 이상 1.0미만인 경우
		지진시	◦안전율이 0.7 이상 0.9미만인 경우
e	1	평상시	◦안전율이 0.8 미만인 경우
		지진시	◦안전율이 0.7 미만인 경우

[표 10.61] 구조검토에 대한 평가기준

평가 기준	평가 점수	상 태 (허용응력과 검토응력의 비)
a	5	◦1.0 이상
c	3	◦0.9 이상 1.0 미만
d	2	◦0.75 이상 0.9 미만
e	1	◦0.75 미만

4) 기타형식의 계류시설

기타형식 계류시설의 구조안전성능 평가 기준은 잔교식, 중력식, 널말뚝 안벽의 해당 부분에 대한 기준을 준용한다.

다. 구조안전성능 결과 산정 방법

구조안전성능 평가 결과는 각각의 검토항목(구조검토, 활동, 전도, 침하, 지지력 등)에 따라 계산된 안전율을 허용안전율과 비교하여 기준에 따라 얻어진 각 평가점수로부터 산정한다. 각 검토항목에 대한 중요도는 동일한 것으로 간주하여 평가한다.

1) 안전성능 평가 지수

검토단면이 다수인 경우도 각 검토단면의 구조안전성능 평가 지수를 하나의 검토 항목으로 간주하여 아래 식을 적용하여 최종적인 전체 구조물의 구조안전성능 평가 지수를 결정한다.

$$\begin{aligned} \text{구조안전성평가지수} &= L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N-2)}, (N > 2) \\ &= L + 0.3(H - L), (n = 2) \end{aligned}$$

여기서, N = 구조안전성능 검토항목의 수 (구조검토, 활동, 전도, 지지력 등)
 L = 검토항목의 평가점수 중 최솟값
 H = 검토항목의 평가점수 중 최댓값
 M_i = 검토항목의 최대 및 최솟값을 제외한 나머지 값들

구조안전성능 평가 지수에 의한 구조안전성능 평가 결과는 다음 표에 따라 결정한다.

[표 10.62] 구조안전성능 평가 지수에 의한 안전성능 평가 기준

구조안전성능 평가 기준	구조안전성능 평가 지수
a	4.5 이상 ~ 5.0 이하
b	3.5 이상 ~ 4.5 미만
c	2.5 이상 ~ 3.5 미만
d	1.5 이상 ~ 2.5 미만
e	1.0 이상 ~ 1.5 미만

[표 10.63] 중력식 안벽 구조안전성능 평가 결과 산정(예) : 검토단면-1

검토항목	적용기준 (평상시)	안전율 또는 상태	평가결과	성능지수	비 고
활 동	[표 10.58]	1.1	c	3	
전 도	"	1.3	a	5	
지지력	"	0.9	d	2	
침 하	[표 10.59]	9.2cm	b	4	
구조안전성능 평가 결과	$\text{구조안전성능평가지수} = L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N-2)}, (N > 2)$ $= 2 + 0.3(5 - 2) \frac{(4 + 3)}{5 \times (4 - 2)}$ $= 2.63$ <p>구조안전성능 평가 결과 = c ([표 10.64] 적용)</p>				

10.4.3 안전성능 평가 결과 산정 방법

가. 일반

시설물의 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태안전성능 평가 결과와 구조안전성능 평가 결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 안전성능평가의 결과를 결정하며, 시설물에 대한 안전성능평가 기준은 안전성능 평가 지수에 따라 결정한다.

[표 10.64] 안전성능 평가 지수에 의한 안전성능 평가 기준

안전성능 평가 기준	안전성능 평가 지수
A	4.5 이상 ~ 5.0 이하
B	3.5 이상 ~ 4.5 미만
C	2.5 이상 ~ 3.5 미만
D	1.5 이상 ~ 2.5 미만
E	1.0 이상 ~ 1.5 미만

나. 안전성능 평가 결과 산정 방법

상태안전성능 평가 결과와 구조안전성능 평가 결과 중 최솟값을 안전성능 평가결과로 하여 결정한다.

$$\text{안전성능 평가 결과} = \text{MIN}(\text{상태안전성능 평가 결과}, \text{구조안전성능 평가 결과})$$

10.5 내구성능 평가 기준 및 방법

10.5.1 일반

시설물의 내구성능 평가는 크게 강재 내구성능 평가 및 콘크리트 내구성능 평가 분야로 구성된다. 강재 내구성능 평가분야에서는 평가항목에 대한 평가 및 가중치를 적용한 개별부재의 등급을 산정 한다. 조사단위 및 시설물 전체에 대한 내구성능 평가 및 등급 산정은 조사된 부재의 수 및 부재별 등급, 조사단위 규모 등을 고려하여 결정한다.

10.5.2 강재 내구성능 평가 지표 및 기준

가. 개요

강재 내구성능 평가항목은 크게 내부적 요소(열화진전 요소)와 외부적 요소(열화환경 요소)로 구분되며, 내부적 요소로는 ‘발청’ 및 ‘도장 열화’, ‘도장 두께’, ‘피복재 손상’, ‘아노드 손상’ 등이 있고, 외부적 요소에는 ‘이산화황 농도’, ‘습도’를 포함하는 대기환경이 있다.

여기서, 발청지표의 경우는 수상부(비말대), 간만대, 수중부 등 부재의 설치환경에 관계 없이 평가한다. 도장열화 지표의 경우 수상부(비말대) 대기노출 또는 간만대에 위치하며 방식커버가 시공되지 않은 강부재에 대해서는 도장의 ‘박리’, ‘균열’, ‘부품’, ‘변색’ 등 4가지 세부지표(열화요인)에 대해 각각 평가한 후 열화모델에 근거하여 등급을 최종 산정하지만, 그 밖의 방식커버 및 페트로레이팅라이닝이 시공되는 경우 및 일반적으로 방식용 도장을 별도로 시공하지 않는 수중부에 대해서는 평가항목에서 제외한다.

또한, 대기환경 지표는 수상부(비말대) 대기노출 강재에 한하여 평가항목으로 포함하고, 그 외의 설치환경으로서 간만대의 경우는 해수의 영향이 더 크므로 평가항목에서 제외한다.

강구조물의 용접부 내구성능은 평가지표에 포함하나 용접부의 경우 안전성능과 매우 밀접한 연관성이 있으므로, 평가결과는 안전성능 점검의 전단계로서 활용하며 책임기술자의 판단에 따라 별도로 실시한다.

[표 10.65] 향만 계류시설 강부재(강말뚝 및 널말뚝 등)의 사용환경별 평가항목

사용환경 구분		발청 및 도장열화	도장두께	피복재 손상	아노드 손상	용접부 부식	대기환경
수상부(비말대) 대기노출 ¹⁾		- 강재 발청, - 도장 박리/균열/부품/변색 및 백아화	O ³⁾	X ³⁾	X	X ⁴⁾	O
간만대	피복재 ²⁾ 시공	- 강재 발청	X	O	X	X ⁴⁾	X
	피복재 미시공	- 강재 발청, - 도장 박리/균열/부품/변색 및 백아화	O	X	X	X ⁴⁾	X
수중부		- 강재 발청	X	X	O	X ⁴⁾	X

주1) 도장에 의한 방식방법 적용

주2) 방식커버 및 페트로레이팅라이닝 등으로 구성되는 피복재

주3) 평가항목에 포함(O) 및 미포함(X)

주4) 강재의 용접부 내구성능은 평가지표에 포함하나 용접부의 경우 안전성능과 매우 밀접한 연관성이 있으므로, 평가결과는 안전성능 점검의 전단계로서 활용하며 책임기술자의 판단에 따라 별도로 실시한다.

나. 평가대상 부재

향만 시설물의 강재 내구성능 평가 대상 부재는 계류시설에서 강재가 적용된 부재에 한정한다.

[표 10.66] 향만 계류시설의 강재 내구성능 평가대상 부재

부재 분류	
계류시설 주요부재	강말뚝
	강널말뚝





다. 강제 내구성능 평가 성능지표 및 기준

1) 발청 및 도장열화

(가) 발청(표면부식, 녹)

[표 10.67] 발청 평가기준

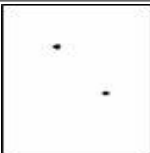
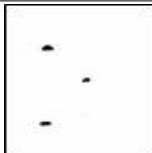
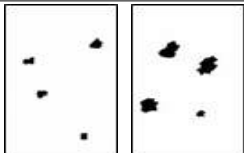
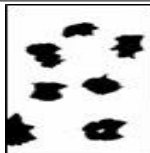
평가 기준	평가내용	
	발청 면적	외관 상태
a	0.05% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 등급 1)
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 등급 2)
c	0.5 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 3)
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 4/5)
e	—	—

발청			
표준사진 등급 1	표준사진 등급 2	표준사진 등급 3	표준사진 등급 4/5
			

(나) 도장 박리

[표 10.68] 도장 박리 평가기준




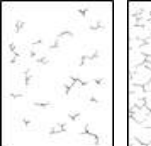

평가 기준	평가내용	
	도장 박리 면적	외관 상태
a	0.1% 미만	외관상 박리가 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)
b	0.1% 이상 ~ 0.3% 미만	미소하게 박리가 확인되지만, 박리된 부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)
c	0.3% 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 박리가 보이는 상태(표준사진 3/4)
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 박리가 발생되어 있는 상태(표준사진 5)
e	—	—

도장 박리			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3/4	표준사진 5
			

(다) 도장 균열

[표 10.69] 도장 균열 평가기준

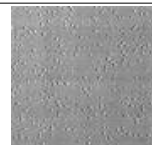
평가 기준	평가내용	
	도장 균열 면적	외관 상태
a	0.05% 미만	외관상 균열이 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 균열이 확인되지만, 균열부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)
c	0.5% 이상 ~ 10.0% 미만	확실하게 균열이 보이는 상태(표준사진 3)
d	10.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태(표준사진 4/5)
e	—	—

도장 균열				
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4/5	
				

(라) 도장 부품

[표 10.70] 도장 부품 평가기준



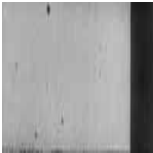
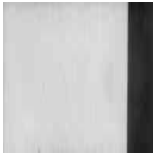
부품 크기 \ 발생면적	0 ~ 0.05% 미만 (표준사진 밀도 2 이하)	0.05 이상 ~ 0.5% 미만 (표준사진 밀도 3)	0.5 이상 ~ 5.0% 미만 (표준사진 밀도 4)	5.0% 이상 (표준사진 밀도 5 이상)
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하 (크기등급 2)	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도 (0.5mm이하) (크기등급 3)	a	b	c	d
0.5~5mm의 범위 (크기등급 4)	b	c	c	d
5mm 초과 (크기등급 5)	c	d	d	d

도장 부품 (크기등급 3: 0.5mm 부품에 대한 예)			
표준사진 밀도 2 이하	표준사진 밀도 3	표준사진 밀도 4	표준사진 밀도 5 이상
			

(마) 도장 변색 및 백아화

[표 10.71] 도장 변색 및 백아화

평가 기준	평가내용	
	도장 변색	도장 백아화
a	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음(표준사진 1)
b	초기에 비해 변색되어 있음	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착(표준사진 2)
c	초기에 비해 현저하게 변색되어 있음	초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착(표준사진 3)
d	초기의 색이 거의 남아 있지 않음	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음(표준사진 4)
e	—	—

백아화			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4
			

<해설> 각 표준사진에서 최우측단의 색상이 도장 본래의 색에 해당하며, 좌측의 색상은 도장
열화수준에 따라 구분됨

2) 도장두께

[표 10.72] 도장두께 평가기준

평가 기준	시방서 및 시공기준 대비 허용두께 불만족 비율
a	5% 미만
b	5% 이상 ~ 30% 미만
c	30% 이상 ~ 70% 미만
d	70% 이상
e	—

<해설> 3개 지점의 평균값

3) 피복재 손상

[표 10.73] 피복재 손상 평가기준

평가 기준	외관 상태	외부 도복장 손상 면적율
a	방식커버 및 내부 도복장의 손상이 없거나 무시할 수준으로서 방식기능이 매우 양호한 상태	0.1% 미만
b	방식커버의 손상이 일부 발생하였으며 내부 도복장의 열화가 일부 진행되고 있는 상태	0.1% 이상 ~ 0.3% 미만
c	방식커버 손상이 광범위하고 내부 도복장의 열화가 상당히 진행된 상태	0.3% 이상 ~ 2.0% 미만
d	방식커버가 탈락되고 내부 도복장의 열화가 상당히 진행된 상태	2.0% 이상 ~ 5.0% 미만
e	내부 도복장의 열화가 심각한 상태	5.0% 이상

<해설>

- 피복재 손상은 항만에 적용되는 강말뚝 중 유기라이닝과 같은 방식커버 및 외부 도복장으로 시공되어 있는 부재에 대해 해당
- 피복재(방식커버) 외부 도복장의 손상면적율은 KS M ISO 4628-5를 참조

4) 아노드 손상·소모량 및 방식전위

[표 10.74] 아노드 손상 평가기준

평가 기준	손상 정도	소모량	방식전위
a	외관상 매우 우수한 상태	70% 미만	사용되는 기준전극에 따라 적용(해설 참고)
b	파손이 경미하고, 추가 손상진행의 가능성은 없는 양호한 상태		
c	파손이 일부 발생하였으며, 추가 손상진행의 가능성이 있는 보통의 상태		
d	국부적으로 파손이 발생하여 부식을 일으킬 수 있거나 부식이 일부 발생한 상태		
e	전체 파손 또는 강 부재와 분리되어 방식기능 상실 및 부식이 진행된 상태로서 교체가 필요한 상태	70% 이상	사용되는 기준전극에 따라 적용(해설 참고)

<해설>

- 아노드의 손상은 외부손상과 소모량, 방식전위를 고려하여 설정함
- 본 세부지침에서는 건설기준코드(구 항만 및 어항설계기준·해설)를 준용하여 소모량 및 방식전위를 정함

○ 대표 기준전극별 방위전식 판단기준

- 운용 가능(등급 a ~ d)

기준전극	방식전위 (운용 가능)
해수염화은전극	-780mV 이하
포화카로멜전극	-770mV 이하
포화황산동전극	-850mV 이하

<해설> 도장과 포화카로멜전극 아노드방식을 병용할 경우, -800mV 이하 ~1,100mV의 범위에 있을 때 운용 가능함

- 교체 필요(등급 e)

기준전극	방식전위 (교체 필요)
해수염화은전극	-780mV 초과
포화카로멜전극	-770mV 초과
포화황산동전극	-850mV 초과

<해설> 도장과 포화카로멜전극 아노드방식을 병용할 경우, -800mV 초과 시 교체 필요

5) 대기환경(이산화황 농도/습도)

[표 10.75] 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 ¹⁾ (일)	이산화황 ²⁾ (ppm)		
	0.01이하	0.01초과 0.02이하	0.02이상
100 초과	B	C	C
10 ~ 100	B	B	C
10 미만	A	B	C

주1) 0℃ 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간으로서 기상청 통계자료를 활용하여 평가

주2) 환경부 대기환경정보(에어코리아) 통계자료를 활용하여 평가

- 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고하여 설정하였음
- 이산화황 농도(ppm), 습도(연간젖음시간, day) 등과 같은 대기조건이 복합적으로 작용하는 환경에서 탄소강의 부식등급은 다음과 같은 부식속도 등급에 근거하여 산정됨
 - C1 ~ C3 등급의 경우 부식속도가 상대적으로 낮으며 이에 대해 a등급 적용
 - 부식속도가 높음 및 매우 높은 경우 이에 대해 각각 b등급 및 c등급 적용

[표 10.76] 부식속도 등급

KS D ISO 9223		환경조건에 의한 적용 등급
부식속도 등급	부식성	
C_1	매우 낮음	a
C_2	낮음	
C_3	중간	
C_4	높음	b
C_5	매우 높음	c

<해설>

- 상기 부식속도 측정은 KS D ISO 9226을 바탕으로 이루어짐
- 상기 등급분류 표는 우리나라 해안인근의 이산화황 농도, 연간 젖음시간 등 2가지 대기조건에 따라 강재의 등급을 분류한 것임
- 이산화황 농도
 - 이산화황은 대표적인 강재 부식인자로서 농도 및 부착속도를 근거로 분포를 분류한 것임(환경부 데이터 참조)
- * 습도(연간젖음 시간)
 - 습도의 경우 연간 젖음시간(0도씨 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상)이 부식에 영향을 미치는 요소로서 우리나라의 경우 10일 및 100일을 기준으로 지역적 분류가 가능함(기상청 데이터 참조)
 - 습도, 즉 연간 젖음시간이 10일 미만인 경우 다른 조건에 비해 부식속도가 상당히 감소하기 때문에, 비래염분 농도에 따라서만 a 또는 b 등급으로 평가될 수 있음
 - 상세 지표 중 연간 젖음 시간 및 이산화황 농도를 평가하기 위해서는 기상청 및 에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr/>)에서 제공하는 데이터를 활용하며, 시설물에서 가장 가까운 관측소의 자료를 이용함

라. 강제 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 평가항목별 가중치

[표 10.77] 평가항목별 가중치

구 분	평가지표	가중치
내부요인	발청 및 도장열화	40
	도장두께	20
	피복재 손상	15
	아노드 손상·소모량 및 방식전위	15
환경적 요인	대기환경 (이산화황, 습도)	10

2) 사용환경에 따른 평가지표 가중치

(가) 수상부(비말대) 대기노출

[표 10.78] 수상부(비말대)에서의 평가지표 가중치

구 분	평가지표	가중치
수상부(비말대) 대기노출	발청 및 도장열화	60
	도장두께	25
	대기환경 (이산화황, 습도)	15

(나) 간만대 피복재 시공 및 미시공

[표 10.79] 간만대 피복재 시공 및 미시공 경우의 평가지표 가중치

구 분	평가지표	가중치
간만대 피복재 시공	피복재 손상	30
	발청 및 도장열화	70
간만대 피복재 미시공	도장두께	30
	발청 및 도장열화	70

[표 10.80] 수중부 경우의 평가지표 가중치

구 분	평가지표	가중치
수중부	아노드 손상	30
	발청 및 도장열화	70

3) 세부지표별 가중치

(가) 발청 및 도장열화 세부지표별 가중치

[표 10.81] 발청 및 도장열화 가중치

세부평가지표		가중치
발청 및 도장열화	발청	50
	박리	20
	균열	10
	부품	15
	변색	5

(나) 계류시설의 구성 부재간 가중치

○ 잔교식 안벽

[표 10.82] 잔교식 안벽 부재간 가중치

구성부재	가중치
콘크리트 바닥판	22
콘크리트 세로보 및 가로보	27
강말뚝	28
토류벽	17
부대시설	6

○ 널말뚝식 안벽

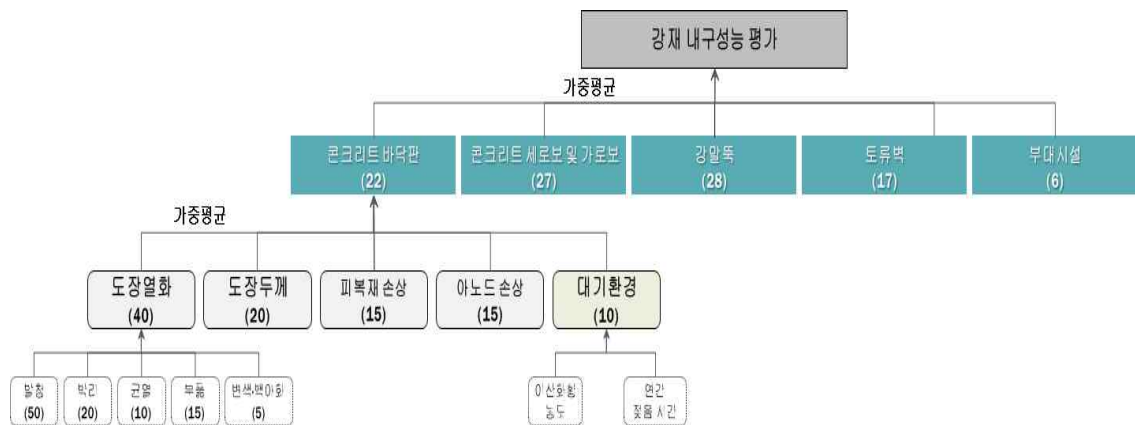
[표 10.83] 널말뚝식 안벽 부재간 가중치

구성부재	가중치
상부공	25
벽체(널말뚝)	30
에이프런	15
기초부	20
부대시설	10

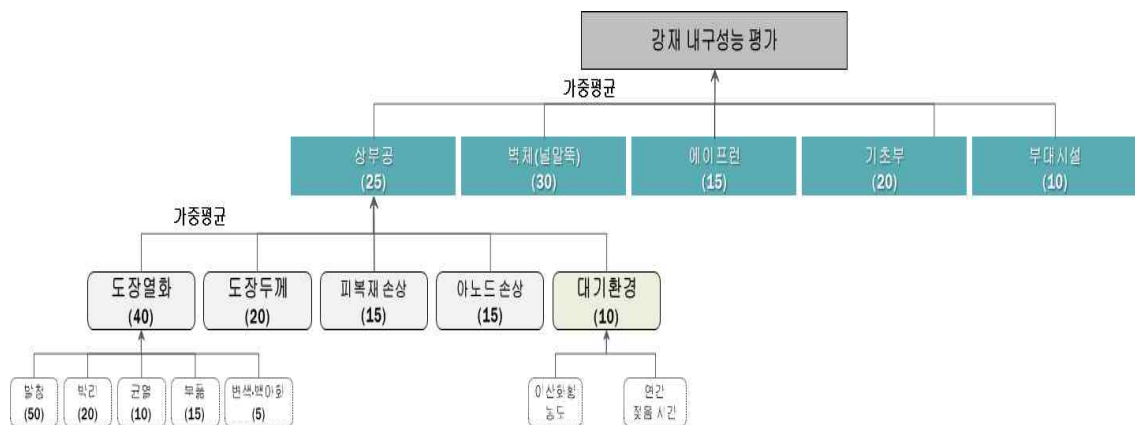
○ 계류시설의 유형

[표 10.84] 계류시설물 유형별 가중치

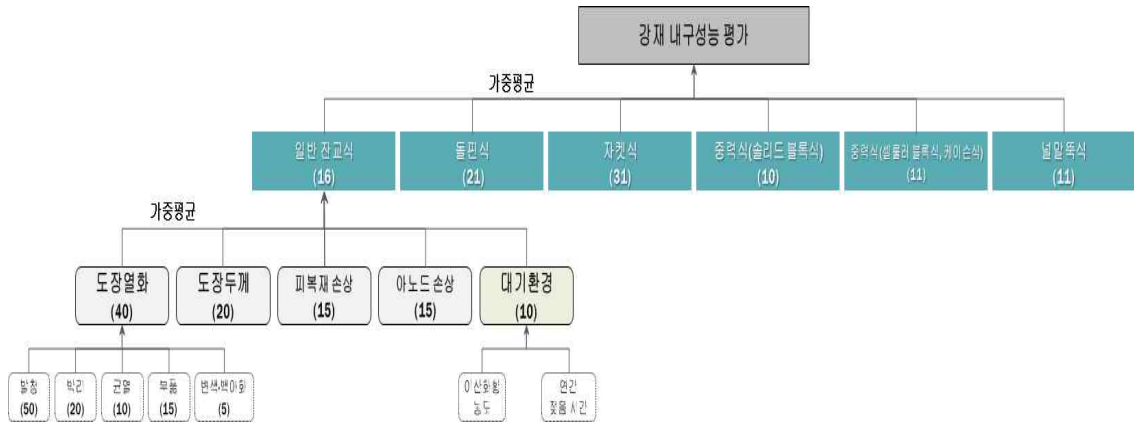
계류시설물 유형	가중치
일반 잔교식	16
돌핀식	21
자켓식	31
중력식(솔리드블록식)	10
중력식(셀룰러블록식, 케이슨식)	11
널말뚝식	11



[그림 10.1] 잔교식 안벽 강재 내구성능 항목별 세부 평가방법



[그림 10.2] 널말뚝식 안벽 강재 내구성능 항목별 세부 평가방법



[그림 10.3] 계류시설 강제 내구성능 항목별 세부 평가방법

4) 강제 내구성능 평가 결과산정 절차

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 발청 및 도장열화 평가

- 수상부(비말대) 대기노출 강제
 - 강제 발청, 도장의 박리/균열/부품/변색 평가
 - 각 세부지표에 대한 평가결과를 등급별 점수화하고 합산한 후 열화모델을 포함하는 것이 바람직
- 간만대 범위에 위치한 강제
 - 간만대 범위의 강말뚝에는 일반적으로 방식커버가 설치되며, 커버 내부에는 페트로레이텀라이닝이 시공됨. 이 경우 강제 자체의 발청에 대해서만 평가
 - 방식커버 없이 도장만 된 강제의 경우 수상부 대기노출 강제의 경우에 준해서 평가
- 수중부에 위치한 강제(방식 도장 미시공)
 - 일반적으로 도장이 시공되지 않으며 발청에 대해서만 평가
 - ‘간만대’라고 하는 것은 평균저조위 수위와 평균고저위 수위 사이에 있는 범위로 정의됨

○ 도장두께

- 수상부(비말대)에 위치하며 대기에 노출된 도장 시공 강제, 간만대에 위치하며 방식커버 없이 도장만 시공된 강제에 대해 평가기준에 따라 도장두께 평가 및 등급 결정

○ 피복재 손상

- 간만대 범위의 강말뚝에는 일반적으로 방식커버가 설치되며, 커버 내부에는 페트로레이팅이 시공됨
- 방식커버는 내부 도복장의 보호 역할이며, 내부 도복장이 손상될 경우에 강제의 열화 및 내구성능이 저하되기 쉬운 조건을 제공함

- 외부 도복장의 손상 정도에 대해서 평가기준에 따라 평가하고 등급을 결정함
- 아노드 손상
 - 수중부에는 부식방지를 위해 아노드가 설치되고 있으며, 이에 대한 평가에서는 외부 손상 정도와 물리적 소모량 및 방식전위를 종합적으로 고려함
- 대기환경
 - 수상부 대기노출 강재에 대해서는 이산화황 농도 및 연간 젖음 시간(습도)을 세부지표로 하는 대기환경에 대해 평가함
 - 간만대 범위에 위치한 강재의 경우 대기 보다는 해수의 영향을 더 크게 받으므로 대기환경 평가에서 제외함

(나) 평가항목별 가중치를 적용하여 개별 부재 등급 산정

- 점검 대상구간에 있는 각 개별 부재별로 각 평가항목에 대한 평가결과에 가중치를 적용 및 합산하여 등급 산정
- 예로서, 잔교식 안벽의 강말뚝의 경우는 간만대에서 수중부까지의 범위에 위치하고 있으며 이 경우 다음의 절차로 등급 산정
 - 간만대에서는 발청 : 피복재손상 = 70 : 30의 가중치를 적용하여 등급 산정
 - (피복재:발청및도장열화:도장두께:아노드:대기환경 = 16:40:18:16:10을 이용했을 경우)
 - 수중부에서는 발청 : 아노드손상 = 70 : 30의 가중치를 적용하여 등급 산정
 - 위 두 개의 등급 산정 결과중 최저 등급을 해당 부재의 등급으로 함

(다) 조사단위구역에 대한 내구등급 산정

- 조사단위에 대한 평가는 부재별 등급산정 결과를 토대로 산정하며 아래의 절차를 따름
- 등급 산정에 사용되는 부재 수(NR)의 결정

$$N_R = N_T \times SP / 100$$

여기서, N_R = 등급 산정에 사용되는 부재 수

N_T = 조사된 총 부재 수

SP = 구조부재의 중요도에 따라 결정된 표본 추출 백분율

[표 10.85] 구조부재별 표본추출 백분율

구조부재 종류	표본추출 백분율(SP, %)
말뚝	25
세로보	30
바닥판	40
가로보	40
토류벽	50

- 등급 산정: 구조부재의 중요도를 고려하여 계산된 NR 개수만큼의 부재를 심각한 상태의 부재부터 산정한 후 각 평가부재 수에 해당하는 평가점수를 곱하고 이들을 합한 값을 NR로 나누어 조사단위구역 내의 강재 내구성능에 대한 평가점수를 산정함

$$\text{조사단위구역 강재내구성 평가점수} = \frac{\sum_{k=1}^5 M_k N_k}{N_R}$$

여기서, M_k = 개별 부재의 평점

N_k = 해당 개별 부재의 평점에 상응하는 부재 수

N_R = 등급 산정에 사용되는 부재 수

(라) 전체 시설물에 대한 내구등급 산정

- 조사 대상 전체 구조물의 강재 내구성능에 대한 평가는 조사 대상에 포함된 각 조사단위구역별 평가점수를 이용하며, 포함된 모든 조사단위구역의 길이를 고려하여 다음의 식으로 전체 시설의 평가점수를 산정함. 또한 평가점수에 따른 등급은 아래의 표를 참조하여 결정함

$$\text{전체 시설의 강재내구성 평가점수} = L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{n=1}^N (CI)_n l_n}{5 \sum_{n=1}^N l_n}$$

여기서, L = 포함된 조사단위의 평가점수 중 최저등급에 해당하는 평점

H = 포함된 조사단위의 평가점수 중 최고등급에 해당하는 평점

N = 총 조사단위 수

$(CI)_n$ = n 번째 조사단위의 평점

l_n = n 번째 조사단위 길이

마. 결과산정 예

○ 대상 항만 시설

항만 시설명	A 연안항
조사단위구역 및 구역별 길이	A-1 부두 (50m) A-2 부두 (70m) A-3 부두 (30m)
대상 계류시설물 형식	잔교식 안벽
적용 방식대책	잔교식 안벽 강말뚝 방식방법: - 수상부(간만대): 페트로 테이핑 및 방식커버 시공 - 수중부: 아노드 설치 (방식을 위해 별도의 추가 도장 미시공)
연안항 주변 대기환경	이산화황 농도: 0.0038ppm 습도(연간 젖음시간(일)): 75일 ※ 본 예제의 잔교식안벽 강말뚝에 대한 강재 내구성능 평가의 경우, 강말뚝이 방식커버에 의해 보호되고 있으며, 또한 대기환경 보다는 해수의 영향이 더 크므로 대기환경 평가는 제외함.

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 발청 및 도장열화 평가

- 간만대 범위에 있는 강말뚝 부분에 대해서는 발청, 박리/균열/부품/변색 등의 관련 세부지표 중 발청에 대해서만 평가
- 수중부 범위에 있는 강말뚝에 대해서는, 방식을 위해 별도의 도장이 시공되지 않았으므로 발청에 대해서 평가

[표 10.86] 강말뚝(간만대 방식커버, 수중부 미도장) 발청 평가 예

강말뚝 발청							
점검구역	점검 강말뚝 부재 번호	간만대			수중부		
		발청 면적율(%)	등급	평점	발청 면적율(%)	등급	평점
A-1 부두	1	전면부식 12 점녹 8.0	d	2	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4
	2	전면부식 0.2 점녹 12.0	c	3	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4
	3	전면부식 0.2 점녹 12.0	c	3	전면부식 12 점녹 8.0	d	2
	(지면 관계상 생략)						
	120	전면부식 0.2 점녹 12.0	c	3	전면부식 0.2 점녹 12.0	c	3
A-2 부두	1	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4
	2	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4
	3	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4	전면부식 12 점녹 8.0	d	2
	(지면 관계상 생략)						
	150	전면부식 0.2 점녹 12.0	c	3	전면부식 12 점녹 8.0	d	2
A-3 부두	1	전면부식 0.2 점녹 12.0	c	3	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4
	2	전면부식 0.2 점녹 12.0	c	3	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4
	3	전면부식 12 점녹 8.0	d	2	전면부식 12 점녹 8.0	d	2
	(지면 관계상 생략)						
	90	전면부식 12 점녹 8.0	d	2	전면부식 0.2 점녹 5.0	b	4

○ 도장두께

- 해당 없음

○ 피복재 손상

- 간만대 범위의 강말뚝 부분에 대해 내부 도복장(페트로 테잎)의 손상정도에 따라 평가

[표 10.87] 강말뚝(간만대 방식커버, 수중부 미도장) 피복재 손상 평가 예

강말뚝 피복재 손상				
점검구역	점검 강말뚝 부재 번호	간만대		
		외부 도복장 손상 면적율(%)	등급	평점
A-1 부두	1	7	d	2
	2	6	d	2
	3	4	c	3
	(지면 관계상 생략)			
	120	4	c	3
A-2 부두	1	4	c	3
	2	4	c	3
	3	4	c	3
	(지면 관계상 생략)			
	150	6	d	2
A-3 부두	1	3	c	3
	2	9	d	2
	3	9	d	2
	(지면 관계상 생략)			
	90	10	d	2

○ 아노드 손상

- 수중부 범위에 있는 강말뚝 부분에 대해 외부손상정도/소모량/방식전위를 기준으로 평가

[표 10.88] 강말뚝(간만대 방식커버, 수중부 미도장) 아노드 손상 평가 예

아노드 손상						
점검구역	점검 강말뚝 부재 번호	수중부 강말뚝 아노드				
		외부 손상정도	소모량(%)	방식전위 (mV)	등급	평점
A-1 부두	1	파손 경미	40	-950	b	4
	2	파손 경미	40	-950	b	4
	3	파손 경미	40	-950	b	4
	(지면 관계상 생략)					
	120	파손 경미	40	-950	b	4
A-2 부두	1	국부 파손	60	-850	d	2
	2	국부 파손	60	-850	d	2
	3	국부 파손	60	-850	d	2
	(지면 관계상 생략)					
	150	국부 파손	60	-850	d	2
A-3 부두	1	파손 일부	50	-920	c	3
	2	파손 일부	50	-920	c	3
	3	파손 일부	50	-920	c	3
	(지면 관계상 생략)					
	90	파손 일부	50	-920	c	3

○ 대기환경

- 해당 없음

(나) 평가항목별 가중치를 적용하여 개별 부재 등급 산정

- 간만대의 경우 발청 : 피복재손상 = 70 : 30의 가중치를 적용하여 등급 산정
- 수중부의 경우 발청 : 아노드손상 = 70 : 30의 가중치를 적용하여 등급 산정
- 위 두 개의 등급 산정 결과중 최저 등급을 해당 부재의 등급으로 함

[표 10.89] 강말뚝 개별부재 등급 산정 예

강말뚝 개별 부재 등급										
점검 구역	점검 강말뚝 부재 번호	간만대				수중부				부재별 등급
		발청 평점	피복재 평점	가중 치적 용 평점	등급	발청 평점	아노드 평점	가중 치 적용 평점	등급	
A-1 부두	1	2	2	2	d	4	4	4	b	d
	2	3	2	2.7	c	4	4	4	b	c
	3	3	3	3	c	2	4	2.6	c	c
	(지면 관계상 생략)									
	120	3	3	3	c	3	4	3.3	c	c
A-2 부두	1	4	3	3.7	b	4	2	3.4	c	c
	2	4	3	3.7	b	4	2	3.4	c	c
	3	4	3	3.7	b	2	2	2	d	d
	(지면 관계상 생략)									
	150	3	2	2.7	c	2	2	2	d	d
A-3 부두	1	3	3	3	c	4	3	3.7	b	c
	2	3	2	2.7	c	4	3	3.7	b	c
	3	2	2	2	d	2	3	2.3	d	d
	(지면 관계상 생략)									
	90	2	2	2	d	4	3	3.7	b	d

(다) 조사단위구역에 대한 내구성능 등급 산정

- 등급 산정에 사용되는 부재 수 결정 및
- 조사단위구역 평점 산출 식에 따라 점수 산정 및 등급평가

[표 10.90] 조사단위구역 내구등급 산정 예

조사단위구역 내구성능 등급									
점검 구역	조사 부재수	등급산정에 사용되는 부재수	평가 기준	평가 점수 (Mk)	조사 부재수	평가 부재수 (Nk)	Mk×Nk	평점	조사 단위 구역 등급
A-1 부두	120	30	a	5	15	0	0	2.33	d
			b	4	35	0	0		
			c	3	50	10	30		
			d	2	20	20	40		
			e	1	—	—	—		
			계		120	30	70		
A-2 부두	150	37	a	5	20	0	0	2.00	d
			b	4	30	0	0		
			c	3	60	0	0		
			d	2	40	37	74		
			e	1	—	—	—		
			계		150	37	74		
A-3 부두	90	22	a	5	15	0	0	2.09	d
			b	4	20	0	0		
			c	3	35	2	6		
			d	2	20	20	40		
			e	1	—	—	—		
			계		90	22	46		

(라) 전체 시설물에 대한 내구등급 산정

- 전체시설의 강제 내구성능 평가점수 산정식에 따라 평점 산정 및 등급 결정

[표 10.91] 전체 시설물 강제 내구등급 산정 예

전체 시설물 내구성능							
점검 구역	조사 단위구역 평점 (CI) _n	조사 길이 (ln)	(CI) _n × ln	조사단위 평가점수 중 최저등급 평점 (L)	조사단위 평가점수 중 최고등급 평점 (H)	전체 시설물 내구성능	
						평점	등급
A-1 부두	2.33	50	116.5	2.00	2.33	2.04	D
A-2 부두	2.00	70	140.0				
A-3 부두	2.09	30	62.7				
계		150	319.2				

10.5.3 콘크리트 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트의 품질이며, 열화환경평가는 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경을 평가한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

[표 10.92] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전 평가 항목	열화환경 평가 항목
염화물 침투량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

나. 평가대상 부재

항만시설의 종류에는 안벽, 갑문, 방파제가 있으며, 안벽의 경우 잔교식 안벽과 중력식 안벽, 널말뚝식 안벽에 대하여 평가를 실시한다(부재는 철근 콘크리트만 대상으로 실시함).

다. 평가지표별 기준 및 점검방법

1) 염화물 침투량

[표 10.93] 염화물 침투량 평가등급

평가 기준	평가내용	
	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$
a	30년 초과	0.3 이하
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$
e	5년 이하	2.5 이상

<해설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 함유량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정한다.
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문이다.
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여한다.
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2 kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 점검 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고한다.

2) 탄산화 깊이

[표 10.94] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	평가점수 (대표값)	비고
a	30년 초과	1	점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 T계산 탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계 피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T : 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간, D : 탄산화 깊이, t : 공용연수)
b	20년 < $T^{1)}$ ≤ 30년	3	
c	10년 < T ≤ 20년	5	
d	5년 < T ≤ 10년	7	
e	5년 이하	9	

주1) T : 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간

<해 설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T 를 구하는 시간적 개념을 포함한다.
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T 가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화될 가능성을 고려한 것이다.
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

3) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

초기 시공불량의 경우, 피복콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수 도 있으며, 공용 중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화 요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다.

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 10.95] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상
b	90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 < 100%
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만
d	—
e	—

<해설>

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.
- a등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있다.
- c등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 10.96] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상
b	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만
d	—
e	—

<해설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정 하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정한다.
- 여기서 건전부는 특이한 표면 손상이 없으며, 강우에 노출되지 않고 누수가 없는 부위이며, 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위이다.
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분한다.

4) 염해환경

[표 10.97] 염해환경의 평가기준(해안거리)

평가 기준	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)
a	동해안	전지역	500 초과
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	1,000 초과 300 초과
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	100 초과 20 초과
b	동해안	전지역	$250 < X \leq 500$
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	$500 < X \leq 1000$ $120 < X \leq 300$
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	$50 < X \leq 100$ $10 < X \leq 20$
c	동해안	전지역	비말대 ¹⁾ $< X \leq 250$
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	비말대 $< X \leq 500$ 비말대 $< X \leq 120$
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	비말대 $< X \leq 50$ 비말대 $< X \leq 10$
d	—	—	—
e	—	—	—

주1) 여기서 비말대는 해수가 직접 닿지 않는 지역을 일컫음

5) 동해환경

[표 10.98] 동해환경의 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$X < 3$	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	
d	—	
e	—	

<해설>

○ 수분 접촉 여부로 구분하여 계산함

○ 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 $X_{값} =$

【일 최저기온 $< -2.2^{\circ}\text{C}$ 】 & 【일 최고기온 $> 0^{\circ}\text{C}$ 】 & 【강수량 > 0 】인 연평균 일수

- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X값
 - 【 일 최저기온 < -2.2°C 】 & 【 일 최고기온 > 0°C 】인 연평균 일수
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정한 것에 따른 것임
- 지난 10년간 동절기 기상청 데이터 기준
- 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
- 수분과의 접촉 여부는 점검자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단함
- 측정해야 할 사항
 - 동절기 기간(11/1 ~ 3/31)의 기상청 자료 : 일 최저기온, 일 최고기온, 강수량
- 판단해야 할 사항
 - 부재별 수분과의 지속적인 접촉 여부를 판단함
 - 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 열악한 조건을 기준으로 점검함
 - 점검 시 사진 자료를 남겨 이력관리가 가능하도록 함

라. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저등급을 반영한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경 평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경 평가는 비래염분 염해환경(해안거리) 및 동해환경에 대한 평가로 2개 열화환경평가 지표로 이루어진다.

열화환경평가는 각 부재별 열화진전평가 이전에 독립적으로 실시하며, 전체 시설물을 대상으로 한다.

열화환경평가는 해당 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다.

열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 10.99] 열화환경 평가등급

평가등급	열화환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

○ 염해환경

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경으로 나눈다.
- 대상 시설물의 위치(해상, 내륙 등)에 따라 해안거리에 따른 비래염분 환경을 적용한다.
 - 해안거리에 따른 비래염분 환경 평가

○ 동해환경

- 대상 시설물이 위치한 지역의 10년간 동절기 기상청 데이터를 기준으로 동해환경을 파악하여 동결융해 반복지수를 도출하고, 동결융해 환경등급을 평가한다.
- 동일한 동결융해 사이클에 노출되어 있더라도 동결융해에 대한 위험도는 부재별 수분공급 환경에 따라 다르며, 열화환경 등급으로 반영되는 동결융해 환경은 수분에 노출되는 부재의 동결융해 사이클 수가 되며, 수분에 노출되지 않는 부재의 동결융해 사이클 수(강수가 있을 때만 해당됨)는 비록 수분에 직접 노출되지 않더라도 동결융해에 대하여 취약할 수 있음에 대한 참고자료로서 활용한다.

(나) 열화진전 평가(부재수준의 평가)

내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.

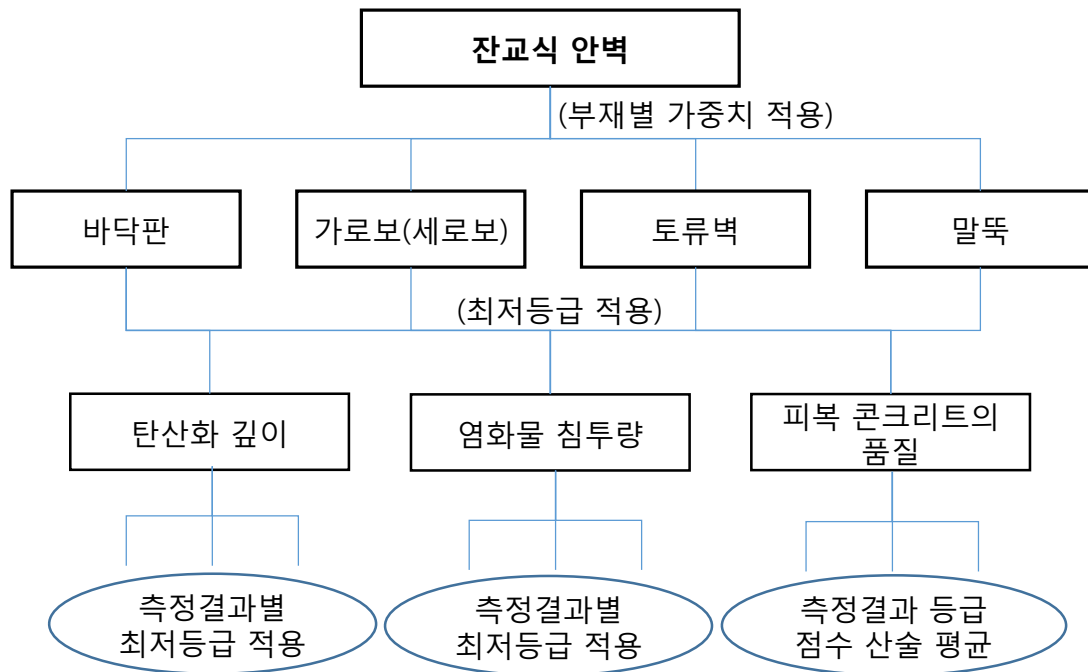
각 내구성능 평가항에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.
- 최저등급제를 적용하는 것은 염해 혹은 탄산화 등 어느 한 가지 지표에 의해서만 피해가 발생하여도 심각한 결과가 발생할 수 있으며 대책을 강구하여야 하기 때문이다.
- 다만, 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술 평균한다.

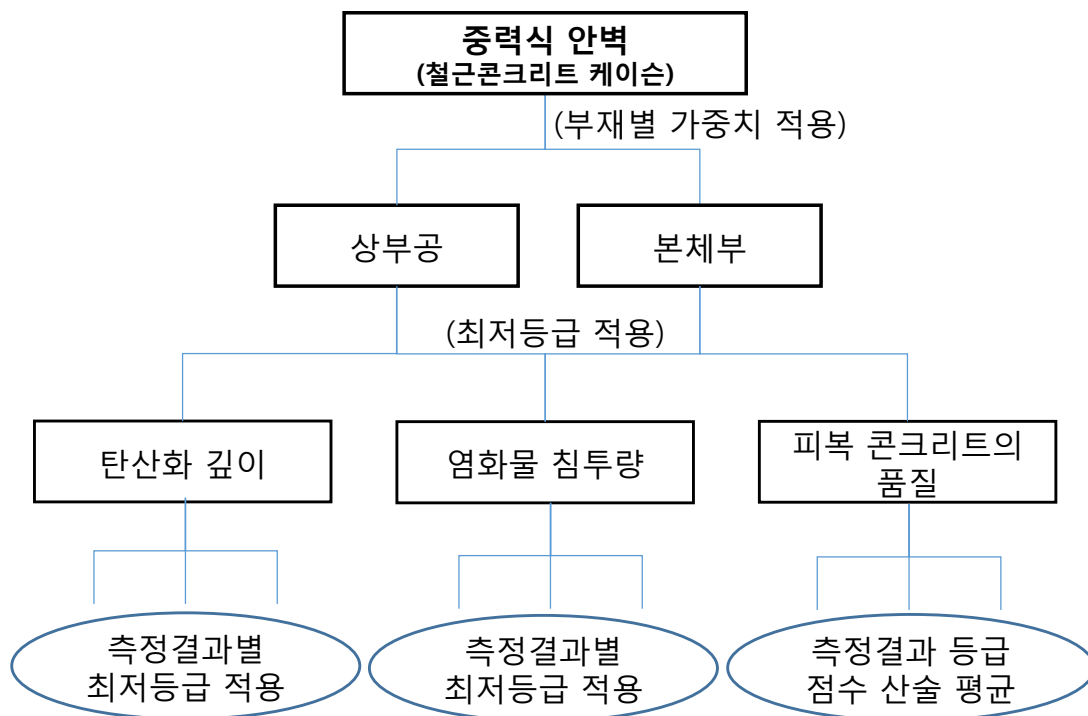
각 세부 부재별 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표는 아래와 같으며, 중력식 안벽은 철근콘크리트 케이슨의 경우, 널말뚝식 안벽은 콘크리트 말뚝인 경우에 대하여 콘크리트 내구성능 평가를 실시한다.

강-콘크리트 합성 말뚝은 콘크리트 부위에 대해서만 내구성능 평가를 실시한다.

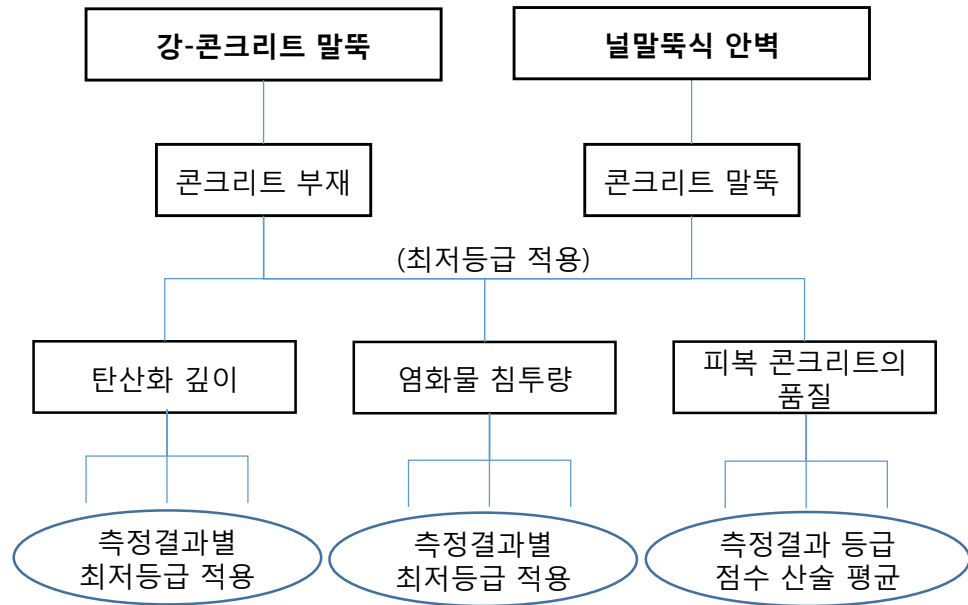
강-콘크리트 말뚝과 널말뚝식 안벽은 단일부재로 적용한다.



[그림 10.4] 내구성능 항목별 세부 평가방법_잔교식 안벽 예시



[그림 10.5] 내구성능 항목별 세부 평가방법_중력식 안벽 예시



[그림 10.6] 내구성능 항목별 세부 평가방법_강-콘크리트 말뚝 및 널말뚝식 안벽 예시

각 세부 부재별 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표는 아래와 같다.

- 잔교식 안벽(콘크리트 바닥판, 가로(세로보), 말뚝, 토류벽), 중력식 안벽(철근 콘크리트 케이슨)

지표명	
열화진전평가	염화물 침투량
	탄산화 깊이
	피복(표면부) 콘크리트의 품질

- 널말뚝식 안벽(콘크리트 말뚝), 강-콘크리트 합성 말뚝(콘크리트 부위)

지표명	
열화진전평가	염화물 침투량
	탄산화 깊이
	피복(표면부) 콘크리트의 품질

- 등급별 평가점수 및 지수범위

- 부재별 등급에 따른 평가점수 및 최종 등급 산정을 위한 평가지수 범위는 다음과 같다.

[표 10.100] 등급별 평가점수

평가기준	a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
평가점수	5	4	3	2	1

[표 10.101] 등급별 평가지수 범위

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$4.5 \leq X \leq 5$	$3.5 \leq X < 4.5$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1 \leq X < 1.5$

(다) 세부부재 등급 산정안에 따라 시설물 전체 등급 산정

[표 10.102] 항만 시설물의 열화진전 평가

시설명	평가등급	부재명	부재별 가중치(%)	평가등급
잔교식 안벽	A~E	바닥판	25	A~E
		가로보(세로보)	25	A~E
		말뚝	25	A~E
		토류벽	25	A~E
중력식 안벽 (철근콘크리트 케이슨)	A~E	상부공	50	A~E
		본체부(수상부)	50	A~E
강-콘크리트 합성 말뚝	A~E	콘크리트 부재	100	A~E
널말뚝식 안벽	A~E	콘크리트 말뚝	100	A~E

[표 10.103] 열화환경 평가

열화환경지표		평가등급	비 고
제설제 염해환경		A	해당사항 없음
비래염분 염해환경	해안거리별	A or B or C	해안으로부터 거리별 비래염분량을 평가하여 실시함
동해환경		A or B or C	전체 시설물에서 국부적으로 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

마. 결과산정 예

○ 대상 시설물

[표 10.104] 대상 시설물 예시

시설물	중력식 안벽
형식 및 콘크리트	케이슨, 철근콘크리트
지역	강원도 속초
공용연수	20년
피복 두께	50mm

1) 열화환경 평가

- 해당 지역인 과천과 가장 인접한 서울의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 5.2회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 45.0회로서 동해 환경은 B등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우는 동결융해 사이클이 연평균 5.2회로서 동결융해의 피해를 입을 수 있음을 확인한다.
- 안벽은 해수와 접해 있기 때문에 해안거리에 따른 비래염분 환경은 고려하지 않는다.

(가) 열화진전 평가_염화물 침투량

- 염화물 침투량 시험은 부재별 3개소 이상에서 실시함

대상 시설물의 피복두께는 50mm이며, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과를 확보

[표 10.105] 염화물 침투량 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재명	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				평가등급
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물 침투량	상부공 No.1	1.5	1.05	0.4	0.1	a
	상부공 No.2	1.5	0.98	0.4	0.1	a
	상부공 No.3	4.5	3.5	1.8	0.8	c
	본체부 No.1	7	5.5	2.8	1.1	c
	본체부 No.2	7	5.4	2.7	1.1	c
	본체부 No.3	7	5.6	2.6	1.1	c

[표 10.106] 염화물 확산계수 산출

계산 항목	세부 부재명	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)
염화물 확산계수	상부공 No.1	—	—	0.103	—
	상부공 No.2	—	—	0.103	—
	상부공 No.3	—	—	—	0.194
	본체부 No.1	—	—	—	0.177
	본체부 No.2	—	—	—	0.177
	본체부 No.3	—	—	—	0.177

* 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있음

[표 10.107] 철근부의 전염화물 함유량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재명	계산 결과 (year)	평가등급
철근부 전염화물 함유량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	상부공 No.1	30년 초과	a
	상부공 No.2	30년 초과	a
	상부공 No.3	30년 초과	a
	본체부 No.1	30년 초과	a
	본체부 No.2	30년 초과	a
	본체부 No.3	30년 초과	a

[표 10.108] 염화물량 최종 평가등급

세부 부재명	염화물 침투량 평가 등급
상부공	c
본체부	c

(나) 열화진전 평가_탄산화 깊이

- 탄산화는 상부공 3개소, 본체부 3개소에 대하여 평가함
- 각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저등급을 대상부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 함

[표 10.109] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재명	탄산화 깊이 (mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)	개별 평가 등급	평가 등급
탄산화 깊이	상부공 No.1	32	7.2	29	b	b
	상부공 No.2	28	6.3	30년 초과	a	
	상부공 No.3	34	7.6	23	b	
	본체부 No.1	8	1.8	30년 초과	a	a
	본체부 No.2	9	2.0	30년 초과	a	
	본체부 No.3	9	2.0	30년 초과	a	

(다) 열화진전 평가_피복 콘크리트의 품질

- 피복 콘크리트의 품질은 대상 안벽의 상부공에서 10개소, 본체부에서 10개소 측정함

[표 10.110] 피복 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가 항목	세부 부재명	설계값 대비 강도추정값(%)	비건전부/ 건전부 비율(%)	개별 평가등급		평가 등급
피복 콘크리트의 품질	상부공	105	98	a	a	a (평균값)
		110	100	a	a	
		107	99	a	a	
		106	97	a	a	
		107	96	a	a	
	본체부	101	93	a	b	b (평균값)
		99	92	b	b	
		103	96	a	a	
		98	95	b	a	
		95	93	b	b	

2) 콘크리트 내구성능 평가 요약

[표 10.111] 대상 중력식 안벽의 콘크리트 내구성능 평가

부재명 (가중치, %)	항목별 평가결과				
	염화물침투량	탄산화 깊이	피복콘크리트의 품질	부재	안벽
상부공 (50)	c	b	a	c	C
본체부 (50)	c	a	b	c	
	최저등급제			가중치 고려	

[표 10.112] 열화환경지표의 평가

열화환경지표		평가등급
비래염분 염해환경	해안거리에 따른 비래염분 염해환경	해당 사항 없음
동해환경		B

10.5.4 내구성능 평가 결과산정방법

항만의 계류시설은 크게 안벽 및 물양장, 잔교 및 돌핀, 기타 선착장과 램프 등으로 구성되어 있다. 강재 및 콘크리트 부재가 함께 사용되는 계류시설물은 안벽 및 물양장, 잔교 및 돌핀이며, 여기서 안벽과 물양장, 잔교와 돌핀은 각각 유사 구조형식을 취하고 있다. 또한, 안벽과 물양장의 경우 잔교식 및 널말뚝식과 같이 구조형식에 따라 분류될 수 있다.

가. 잔교식 구조물 종합내구성능

- 잔교식 구조물은 콘크리트 바닥판, 콘크리트 세로보 및 가로보, 강 말뚝 또는 PSC 말뚝, 토류벽으로 구성된다.
- 잔교식 구조물의 종합내구성능 등급산정은 다음의 경우에 따라 산정할 수 있다.
 - CASE 1) 잔교식 구조물에 강말뚝이 적용될 경우의 종합내구성능 등급산정은 다음 표의 가중치를 적용하여 산정한다.

[표 10.113] 잔교식 구조물의 구성부재별 가중치

구성 부재	가중치
콘크리트 바닥판	25
콘크리트 세로보 및 가로보	25
강말뚝	25
토류벽	25

- CASE 2) 잔교식 구조물에 PSC 말뚝이 적용될 경우에는 콘크리트 내구성능의 부재별 가중치를 따른다.
- CASE 3) 잔교식 구조물에 강 말뚝과 PSC 말뚝이 혼용되어 적용될 경우 다음식에 의해 종합평점을 산정한다.

$$\left(\text{강 말뚝 등급} \times \frac{N_s}{N_c + N_s} \right) + \left(\text{PSC 말뚝 등급} \times \frac{N_c}{N_c + N_s} \right) \times \text{가중치} = \text{종합 평점}$$

여기서, N_s = 강 말뚝 수, N_c = PSC 말뚝 수

나. 널말뚝식 구조물 종합내구성능

- 널말뚝식 구조물은 벽체(강재 또는 콘크리트)에 대해서만 내구성능 평가를 수행한다.
- 널말뚝식 구조물의 종합내구성능 등급산정은 다음의 경우에 따라 산정할 수 있다.
- CASE 1) 널말뚝식 구조물에 강말뚝이 적용될 경우의 종합내구성능 등급산정은 다음 표의 가중치를 적용하여 산정함

[표 10.114] 널말뚝식 구조물의 구성부재별 가중치

구성 부재	가중치
벽체(강재)	100

- CASE 2) 널말뚝식 구조물에 콘크리트 널말뚝이 적용될 경우에는 콘크리트 내구성능의 부재별 가중치를 따름
- CASE 3) 널말뚝식 구조물에 강재 널말뚝과 콘크리트 널말뚝이 혼용되어 적용될 경우 다음 등급분류 식에 의해 종합평점을 산정함

$$\left(\text{강 널말뚝 등급} \times \frac{N_s}{N_c + N_s} \right) + \left(\text{콘크리트 널말뚝 등급} \times \frac{N_c}{N_c + N_s} \right) \times \text{가중치} = \text{종합 평점}$$

여기서, N_s = 강 널말뚝 면적, N_c = 콘크리트 널말뚝 면적

각 시설물에서 각 부재는 강재 또는 콘크리트 내구성능 평가방법에 따라 평가하며, 전체 시설물에 대해서는 부재종류별 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 전체 시설물에 대한 최종 내구등급을 산정한다.

다. 계류시설 종합내구성능

- 계류시설에는 일반 잔교식 안벽, 돌핀식 안벽, 자켓식 안벽, 중력식(솔리드블록식) 안벽, 중력식(셀룰러블록식, 케이슨식) 안벽, 널말뚝식 안벽 등이 있으며, 이와 같은 각 시설물에 대해 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 계류시설 전체에 대한 종합 내구등급을 산정한다.
- 종합평점에 대한 최종 등급분류는 다음 표를 따른다.

[표 10.115] 평점 범위별 등급분류기준

기준	a	b	c	d	e
등급별 점수	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0
평점 범위별 등급분류기준	5.0 ~ 4.5 이상	4.5 미만 ~ 3.5 이상	3.5 미만 ~ 2.5 이상	2.5 미만 ~ 1.5 이상	1.5 미만 ~ 1.0 이상

10.6 사용성능 평가 기준 및 방법

10.6.1 일반

사용성능이란 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적에 만족하기 위한 성능으로 정의한다. 시설물의 사용성능 평가는 사용성능과 기능성으로 구분되며, 사용성능은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

10.6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 시설물 사용성능 평가 개요

1) 세부지표의 구분

항만의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성능과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다. 항만에서는 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 사용자의 편리함 측면에서 편의성과 시설물의 기능 유지 측면에서 수요 및 용량을 선정한다.

1) 세부지표의 구분

항만의 사용성능을 시설물에 대한 편의성과 수요 및 용량의 관점에서 세부지표로 계선주, 차막이, 방충재, 에이프런 포장, 계류박지의 퇴적물, 접안의 용이성, 조명시설, 물동량을 선정하고 a~e의 등급으로 차등 적용한다.

[표 10.116] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성능	편의성	계선주	a, b, c, d, e
		차막이	a, b, c, d, e
		방충재	a, b, c, d, e
		에이프런 포장	a, b, c, d, e
		계류박지의 퇴적물	a, b, c, d, e
		접안의 용이성	a, b, c, d, e
		부두의 조명시설	a, b, c, d, e
기능성	수요 및 용량	물동량	a, b, c, d, e

항만의 사용성능 평가는 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

나. 세부지표 별 성능평가 기준

1) 편의성

편의성은 항만의 사용자가 접안을 하거나 부두를 사용할 때의 느끼는 불편함의 유무를 기준으로 세부지표를 선정하였다. 계선주, 차막이, 방충재, 에이프런의 포장, 계류박지의 퇴적물, 접안의 용이성, 부두 조명시설의 평가기준은 다음과 같다.

(가) 계선주

[표 10.117] 계선주의 성능평가 기준

평가기준	평가내용
a	계선주가 신설되어 모두 건전한 상태 (최근3년)
b	설치된 계선주가 모두 양호한 상태
c	설치된 계선주의 20%미만의 수리나 10% 미만의 교체가 필요한 상태
d	설치된 계선주의 40%미만의 수리나 20% 미만의 교체가 필요한 상태
e	설치된 계선주의 40%이상의 수리나 20% 이상의 교체가 필요한 상태

<해설>

- 본 성능평가의 평가 기준은 기존 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서-항만」의 계선주에 포함되어 있었으나 등급의 판단에 대한 기준이 정성적이므로 본 세부지침에서는 객관적인 평가 기준 수립하였음
- 설치된 계선주와 수리 및 교체가 필요한 계선주의 비율을 산정하여 등급을 설정함
- 계선주의 수리 및 교체에 대한 명확한 기준을 제시하고, 실제 구조물의 사진을 활용하여 수리와 교체에 대한 구분을 객관화함
- 교체와 보수의 판단기준: 교체와 보수는 기능의 상실 유무로 판단하며 계선주의 경우 부식은 방청 및 재도장 작업을 통해 개선을 시킬 수 있어 보수로 판단하고 파손이나 탈락으로 인하여 본래의 기능을 상실하였을 경우에는 교체로 판단함

(나) 차막이

[표 10.118] 차막이의 성능평가 기준

평가기준	평가내용
a	차막이가 신설되어 모두 건전한 상태 (최근3년)
b	설치된 차막이가 모두 양호한 상태
c	설치된 차막이의10% 미만의 교체가 필요한 상태 (50cm이상 파손 개수)
d	설치된 차막이의20% 미만의 교체가 필요한 상태
e	설치된 차막이의20% 이상의 교체가 필요한 상태

<해설>

- 설치된 차막이와 교체가 필요한 계선주의 비율을 산정하여 등급을 설정함
- 차막이에는 보수는 없고 교체만 있어 해당 사항을 등급 설정에 반영함
- 차막이에 대한 교체 기준 명확화 (50cm기준: 항만시설물 유지관리시스템 운영 매뉴얼 참조)

(다) 방충재

[표 10.119] 방충재의 성능평가 기준

평가기준	평가내용
a	방충재가 신설되어 모두 건전한 상태 (최근3년)
b	설치된 방충재가 모두 양호한 상태
c	설치된 방충재의20%미만의 수리나 10% 미만의 교체가 필요한 상태
d	설치된 방충재의40%미만의 수리나 20% 미만의 교체가 필요한 상태
e	설치된 방충재의40%이상의 수리나 20% 이상의 교체가 필요한 상태

<해설>

- 설치된 방충재와 수리 및 교체가 필요한 방충재의 비율을 활용하여 평가 등급을 설정함
- 방충재에 대한 수리 및 교체에 대한 명확한 기준을 제시하고 실제 사진을 활용하여 수리와 교체에 대한 분을 객관화함
- 교체와 보수의 판단기준: 교체와 보수는 기능의 상실 유무로 판단하며 방충재의 경우 고무재 균열, 볼트탈락, 볼트이완은 간단한 작업을 통해 개선을 시킬 수 있어 보수로 판단하고 체인파손, 고무재 탈락, 고무재 파손 등으로 인하여 본래의 기능을 상실하였을 경우에는 교체로 판단함

(라) 에이프런 포장

[표 10.120] 에이프런 포장 성능평가 기준

평가기준	평가내용	
	조사대상 면적 대비	상태 평가
a	5%미만	포장의 손상이 없는 상태
b	5%이상 10%미만	부분적으로 경미한 균열, 함몰, 파손이 발생한 상태
c	10%이상 20%미만	포장의 손상이 전반적으로 발생하여 에이프런의 사용성능에 다소 영향을 미치는 상태
d	20%이상 30%미만	전반적으로 포장의 손상이 심하여 사용성능이 심각하게 저하되고 보수가 요구되는 상태
e	30%이상	교통 통행에 위험을 초래할 정도로 포장의 함몰과 파손이 매우 심각한 정도로 광범위 하게 발생

<해설> 포장의 상태와 균열 면적으로 에이프런 포장에 대한 사용자의 만족도를 평가함

(마) 계류박지의 퇴적물

[표 10.121] 계류박지의 퇴적물 성능평가 기준

평가기준	평가내용
a	톤수에 따른 만재흘수에 여유수심을 더한 수심의 110% 만족
b	톤수에 따른 만재흘수에 여유수심을 더한 수심의 100% 만족
c	톤수에 따른 만재흘수에 여유수심을 더한 수심의 90% 만족
d	톤수에 따른 만재흘수에 여유수심을 더한 수심의 80% 만족
e	톤수에 따른 만재흘수에 여유수심을 더한 수심의 80% 미만

<해설>

- 계류박지에 일정한 수심이 유지되어 정박이 용이하도록 사용자의 편의성 및 만족도를 평가함. 단 계류박지의 수심측정은 최대수용 가능한 선박 폭의 1.5배되는 위치에서 측정함
- 건설기준코드 (구 항만 및 어항 설계기준)에 따르면 계류박지수심은 대상선박의 기본 수 준면하 만재흘수에 여유수심을 확보한 수심을 의미함. 여유수심 산정이 곤란한 경우 선 급 및 선종별 만재흘수에 최소 여유수심 50cm 이상을 고려하여 산정함

(바) 접안의 용이성

[표 10.122] 접안의 용이성 성능평가 기준

평가기준	평가내용
a	접안유도시스템을 설치하고 상시적인 야간 접·이안이 용이하며 안전한 접·이안이 이루어지는 상태
b	접안유도시스템을 설치하였으나 야간 접·이안 없이 부두를 운영하는 상태
c	접안유도시스템을 설치하지 않고 야간 접·이안 없이 부두를 운영하는 상태
d	접안유도시스템을 설치하지 않고 상시로 야간 접·이안이 이루어지는 상태
e	접안유도시스템을 설치하지 않고 접이안이 용이하지 않아 지속적인 체선이 이루어지는 상태

<해설>

- 접안유도시스템(Docking Sonar(aid) System)의 설치 유무와 운영일지에 기록된 야간의 접이안 유무로 해당 지표의 등급을 평가함
- 접안유도시스템이 설치된 경우에는 상시적인 야간 접이안에 대해 사용성능이 우수한 것으로 판단하고, 접안유도시스템이 없을 경우에는 야간 접이안을 안전하지 않는 것으로 판단하여 적용함

(사) 부두의 조명시설

[표 10.123] 부두의 조명시설 성능평가 기준

평가기준	평가내용(lx)	
	일반/위험물	단순작업(벨트컨베이어사용)
a	125 이상 150 미만	50 이상 60 미만
b	100 이상 125 미만	40 이상 50 미만
c	80 이상 100 미만	35 이상 40 미만
d	60 이상 80 미만	30 이상 35 미만
e	60 미만	30 미만

<해설>

- 건설기준코드(구 항만 및 어항설계 기준) 조명설비의 옥외 조명기준을 적용하여 평가함
- 부두별 조명의 평균을 산정하여 적용함

2) 수요 및 용량

수요 및 용량은 시설물의 제공되는 성능이 사용자의 수요를 얼마나 잘 반영하고 있는가를 기준으로 설정한다.

(가) 물동량

[표 10.124] 수요 및 용량의 성능평가 기준

평가기준	평가내용
a	[하역능력/물동량(처리량)×100] 이 100 이상 일때
b	[하역능력/물동량(처리량)×100] 이 90 이상 100미만 일때
c	[하역능력/물동량(처리량)×100] 이 80 이상 90미만 일때
d	[하역능력/물동량(처리량)×100] 이 70 이상 80미만 일때
e	[하역능력/물동량(처리량)×100] 이 70이하 일때

<해설>

- 항만의 수요 및 용량은 물동량을 기준으로 항만의 하역능력과 물동량(처리량)의 비율을 통해 평가함
- 항만의 물동량이 많을수록 유지관리 비용이 많이 든다는 개념을 적용함
- 항만의 하역능력은 무역항/연안항의 항만시설운영세칙의 하역능력 자료를 사용함

라. 사용성능 평가 결과 산정 방법

다. 세부지표별 가중치

각 세부지표의 사용성능 평가 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 등급 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 10.125] 향만 분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

	계선주	차막이	방충재	에이프런 포장	계류박지 퇴적물	접안의 용이성	부두의 조명시설	물동량
가중치	0.166	0.052	0.230	0.060	0.144	0.192	0.060	0.097

[표 10.126] 사용성능 평가지표에 대한 가중치 조정방법(예)

	계선주	차막이	방충재	에이프런 포장	계류박지 퇴적물	접안의 용이성	부두의 조명시설	물동량
가중치	0.223	0.070	—	0.080	0.193	0.258	0.080	0.130

<해설>

- 가중치 조정 예 : 방충재에 대한 평가가 제외되는 경우, 방충재에 해당하는 가중치 0.230을 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분함

2) 결과 산정 일반

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 계선주

- 계선주의 수리 및 교체에 대한 명확한 구분을 제시하고, 설치된 계선주와 수리 및 교체가 필요한 계선주의 비율을 산정하여 평가 등급을 설정함

○ 차막이

- 차막이의 교체에 대한 명확한 기준을 제시하고, 설치된 차막이와 교체가 필요한 차막이의 비율을 산정하여 평가 등급을 설정함

○ 방충재

- 방충재의 수리 및 교체에 대한 명확한 구분을 제시하고, 설치된 방충재와 수리 및 교체가 필요한 방충재의 비율을 산정하여 평가 등급을 설정함

○ 에이프런 포장

- 포장의 상태와 균열 면적으로 에이프런 포장에 대한 사용자의 만족도를 평가함

○ 계류박지의 퇴적물

- 항만은 최대 수용가능 선박 폭의 1.5배 떨어진 위치에서 수심을 측정함

○ 접안의 용이성

- 접안유도시스템(Docking Sonar(aid) System)의 설치 유무와 운영일지에 기록된 야간의 접이안 유무로 해당 지표의 등급을 평가함

○ 부두의 조명시설

- 해당 지표는 항만에만 적용되며 부두별 조명의 평균을 산정하여 적용함

○ 물동량

- 물동량으로 수요 및 용량의 등급을 판단함
- 항만의 연간 하역능력과 실물동량(처리량)의 비율을 산정하여 평가함

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

각 세부지표별 성능평가를 실시한 후 그 결과값에 AHP로 산정된 가중치를 곱하여 최종 사용성능 평가 결과를 산정한다. 최종 사용성능 평가 결과 산정 프로세스를 수식으로 나타내면 다음과 같다. 이때 a등급은 5점, b등급은 4점, c등급은 3점, d등급은 2점, e등급은 1점으로 적용한다.

$$\text{사용성능 평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w = 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c = 각 세부지표별 평가 결과

마. 사용성능 평가 결과 산정 예시

1) 평가항목별(지표별) 평가

○ 계선주

- 설치된 계선주와 수리 및 교체가 필요한 계선주의 비율을 산정하여 등급을 평가함
- 계선주의 교체와 보수는 기능의 상실 유무로 판단하며 계선주의 경우 부식은 방청 및 재도장 작업을 통해 개선을 시킬 수 있어 보수로 판단하고 파손이나 탈락으로 인하여 본래의 기능을 상실하였을 경우에는 교체로 판단함

[표 10.127] 계선주 평가 예

구분	설치개수	교체	수리	평가등급
계선주(항만)	17	1	1	C

○ 차막이

- 계선주, 방충재와 달리 차막이는 수리가 없는 실정임
- 차막이의 교체에 대한 명확한 기준을 제시하고, 설치된 차막이와 교체가 필요한 차막이의 비율을 산정하여 평가 등급을 설정함
- 아래표에서 파손은 경미한 파손을 의미하며 교체는 50cm이상의 파손을 의미함

[표 10.128] 차막이 평가 예

구분	설치개수	파손	교체	평가등급
차막이	57	19	5	C

○ 방충재

- 설치된 방충재와 수리 및 교체가 필요한 방충재의 비율을 산정하여 등급을 평가함
- 방충재의 경우 고무재 균열, 볼트탈락, 볼트이완은 간단한 작업을 통해 개선을 시킬 수 있어 보수로 판단하고 체인파손, 고무재 탈락, 고무재 파손 등으로 인하여 본래의 기능을 상실하였을 경우에는 교체로 판단

[표 10.129] 방충재 평가 예

구분	설치개수	수리	교체	평가등급
차막이	16	0	0	b

○ 에이프런 포장

- 포장의 상태와 균열 면적으로 에이프런 포장에 대한 사용자의 만족도를 평가함

[표 10.130] 에이프런 포장 평가 예

구분	조사면적	균열면적	상태	평가등급
차막이	400	28	경미한 균열	b

○ 계류박지의 퇴적물

[표 10.131] 계류박지의 퇴적물 평가 예

기준	선석수심(m)	수심측정값(m)	조위표(m)	평가등급
10000(DWT)	9	-5	-5	a

○ 접안의 용이성

- 접안유도시스템(Docking Sonar(aid) System)의 설치 유무와 운영일지에 기록된 야간의 접이안 유무로 해당 지표의 등급을 평가함

[표 10.132] 접안의 용이성 평가 예

접안유도시스템 설치 유무	야간접·이안 유무	평가등급
설치무	상시적인 접안	d

○ 부두의 조명시설

[표 10.133] 부두의 조명시설 평가 산정 예

구분	일반/단순	측정조도 (lux)	평가결과	등급점수	최종 등급
부두#1	일반	70	d	2	d(2.33)
부두#2	일반	55	e	1	
부두#3	단순	45	b	4	

○ 물동량

- 물동량으로 수요 및 용량의 등급을 판단해 수요 및 용량의 등급을 평가함

[표 10.134] 물동량 평가 예

구분	예측(RT)	실제(RT)	비율(%)	평가등급
물동량	18,701	18,487	101	a

2) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

[표 10.135] OO항만 최종 사용성능 평가

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
사용성능	편의성	계선주	0.166	c	3
		차막이	0.052	c	3
		방충재	0.230	b	4
		에이프런 포장	0.060	b	4
		박지의 퇴적물	0.144	a	5
		접안의 용이성	0.192	d	2
		부두의 조명시설	0.060	d	2
기능성	수요 및 용량	물동량	0.097	a	5

<해설>

- 위의 식대로 사용성능을 산정해보면

$$- 3 \times 0.166 + 3 \times 0.052 + 4 \times 0.230 + 4 \times 0.060 + 5 \times 0.144 + 2 \times 0.192 + 2 \times 0.060 + 5 \times 0.097 = 3.523$$

- 이를 최종 등급 산정표에 적용시켜 보면 본 항만의 사용성능등급은 B등급으로 평가함

10.6.4 사용성능 평가 결과

사용성능 평가 결과는 아래 표를 활용하여 적용한다.

[표 10.136] 사용성능 평가 결과 점수

등급	결과 점수	설명
A	$4.5 \leq x$	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B	$3.5 \leq x < 4.5$	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준
C	$2.5 \leq x < 3.5$	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준
D	$1.5 \leq x < 2.5$	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준
E	$x < 1.5$	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준

10.7 종합평가 기준 및 방법

10.7.1 종합평가 일반

시설물의 종합평가는 아래그림과 같이 각 시설물 계류시설의 구조형식을 고려하여 3가지 구조형식(잔교식, 중력식, 널말뚝식)으로 구분하여 평가를 실시하며, 안전성능, 내구성능 및 사용성능 평가 결과를 종합적으로 고려하여 결정한다.

[표 10.137] 항만의 종합평가 산정기준

계류시설 구조형식	성능별 가중치			합계
	안전성능	내구성능	사용성능	
잔교식	66	22	12	100
중력식	65	22	13	
널말뚝식	66	21	13	

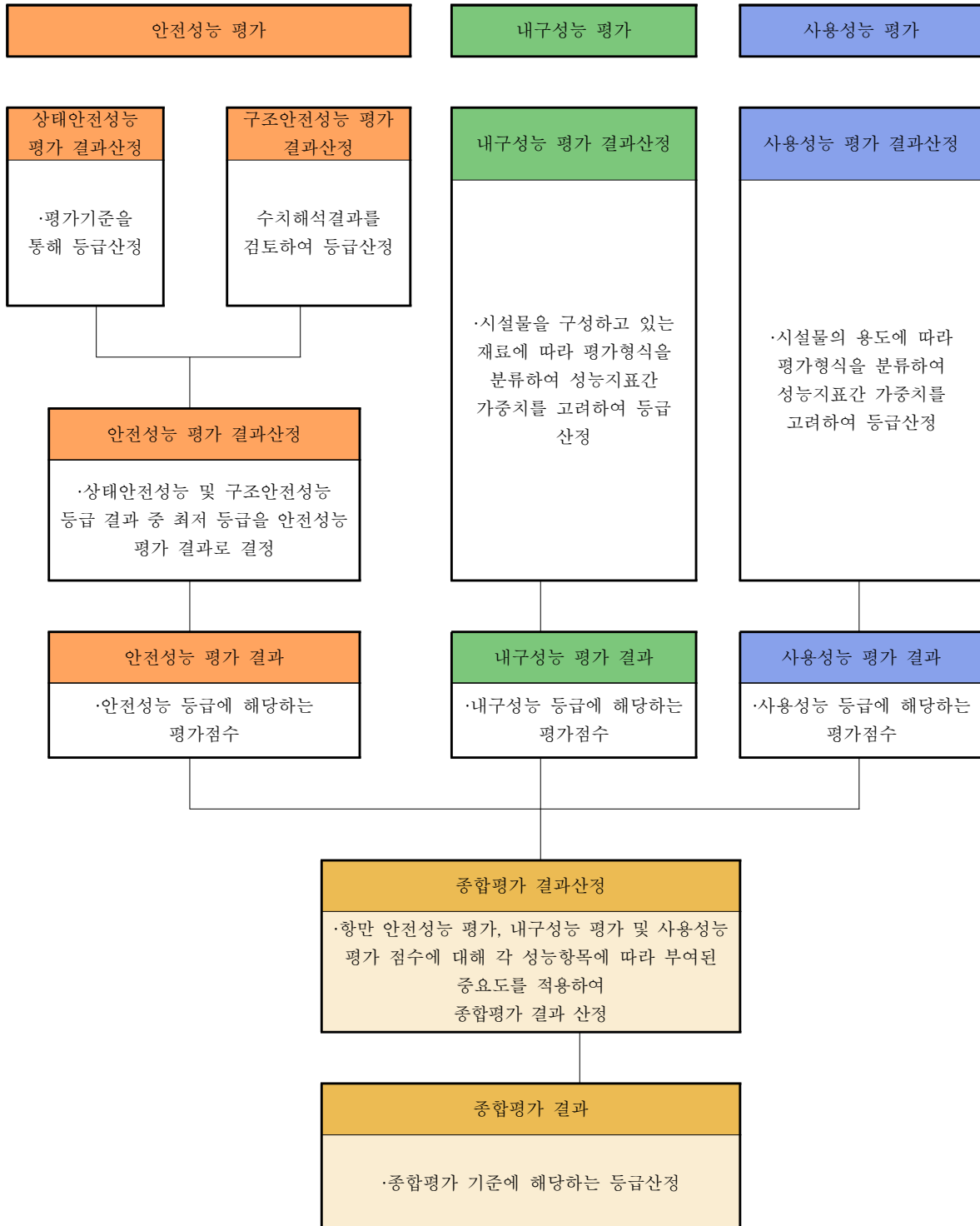


[그림 10.7] 종합평가 분석 구조

10.7.2 종합평가 기준

가. 항만시설물 종합평가 기준

종합평가의 산정방법은 항만 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가 점수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 중요도를 적용하여 종합평가 결과를 산정한다.



[그림 10.8] 항만의 종합평가 결과산정절차

각 성능간 가중치를 고려하여 산정한 종합평가 지수에 따라 종합성능등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 10.138] 항만 종합평가 기준 및 정의

평가등급	평가점수	정의
	범위	
A (우수)	$4.5 \leq x$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성 성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$3.5 \leq x < 4.5$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$2.5 \leq x < 3.5$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$1.5 \leq x < 2.5$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$1.0 \leq x < 1.5$	심각한 결함 또는 내구성 성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

종합평가에 대한 예시는 아래와 같다.

[표 10.139] 종합평가 결과 산정 예시

시설물 종합평가 결과 산정표			
시설물명	00항(잔교식)		
평가구분	평가지수	평가등급	중요도
안전성능 평가	3.78	B	66
내구성능 평가	4.75	A	22
사용성능 평가	3.86	B	12
종합평가 결과	◦항만의 종합평가 지수: 4.00 ◦항만의 종합성능등급 : B		

제11장 상 수 도

11.1 관리일반

11.2 현장조사

11.3 재료시험 항목 및 수량

11.4 안전성능 평가 기준 및 방법

11.5 내구성능 평가 기준 및 방법

11.6 사용성능 평가 기준 및 방법

11.7 종합평가 기준 및 방법

제11장 상수도

11.1 관리일반

11.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조에서 규정하고 있는 시설물 중 상수도에 적용한다.

상수도시설물의 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나, 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 수도법, 수도법시행령, 수도법시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 건설기준코드(구 상수도시설기준 및 상수도 표준시방서)
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서 등)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

11.1.2 용어 정의

- 상수도
「수도법」 제3조에 따라 관로, 그 밖의 공작물을 사용하여 원수나 정수를 공급하는 시설의 전부를 의미하며, 국가·지방자치단체·한국수자원공사 또는 국토교통부장관이 인정하는 자가 둘 이상의 지방자치단체에 원수나 정수를 공급하는 광역상수도를 말한다.
- 상수도의 기본시설
상수도는 복합적인 구조체로서 기본시설물에 대한 시설물별 분류는 관로시설, 토목구조물, 건축구조물, 기계 및 전기설비(이하 ‘기전설비’)로 정한다.
 - 관로시설 : 취수부터 송수까지의 관로와 관로에 속하여 있는 밸브실 및 수로터널을 포함하며, 배수관로 및 급수관로는 제외하도록 한다.
 - 토목구조물 : 취수시설, 취수장, 정수시설, 가압장, 배수지 등을 말한다.

- 건축구조물 : 토목구조물과 건축물이 일체로 된 경우의 건축물은 기본 시설물에 포함하여 평가하며 관리동 등 별도로 분리되어 있는 건축물은 제외 하도록 한다.
 - 기전설비 : 도수·송수펌프설비, 염소중화설비를 포함하며 도수·송수펌프의 모터 및 관련 기동반 또는 현장제어반을 말한다. 계측시설이 포함되는 경우, 수처리 공정과 관련된 계측시설을 제외하고 토목분야의 시설물의 안전과 관련된 계측 시설만을 포함하도록 한다.
- 개별부재
하나의 외관조사망도 단위로 구분하는 부재를 말한다.
 - 복합부재
개별부재의 집합으로 하나의 분할구간을 말한다.
 - 개별시설물
동일기능을 수행하는 복합부재의 집합으로 구성된 시설물을 말한다.
 - 복합시설물
각각 기능과 역할이 다른 개별시설물의 집합을 말한다.
 - 통합시설물
분야별 시설물로서 관로시설물, 토목구조물, 건축구조물, 기전설비 등을 말한다.
 - 종합시설물
평가대상 시설물의 총체를 말하는 것으로 각기 기능과 역할이 다르며, 전체적인 종합시설물에 대한 안전적 측면에서도 영향정도에 차이가 있는 분야별 통합시설물의 집합으로 구성된다.

11.1.3 성능평가 실시 범위

상수도시설물의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같으며 다음의 사항을 참고하도록 한다.

- 1) 기본시설에 대해 성능평가를 실시하도록 하며 부대시설(옹벽, 절토사면 등)에 대해서는 성능평가를 실시하지 않는다.
- 2) 취수시설에 대한 평가는 수원지(용수전용댐)를 제외한 취수시설에 한하여 실시한다.
- 3) 토목구조물과 건축물이 일체로 된 경우의 건축물에 대해서는 세부지침 「공항(여객터미널)」 편에 준하여 평가하도록 한다.
- 4) 기본시설에 포함되는 배수지는 송수관로 관말부에 위치한 배수지를 의미한다.

[표 11.1] 성능평가 대상시설물의 세부범위

구분	시설물명(기본시설)	성능평가		비고
		제2종 성능평가	제1종 성능평가	
상수도	취수시설	○	○	기본과업
	취수장	○	○	
	관로시설 (취·도·송수관로 및 수로터널)	○	○	
	정수시설	○	○	
	가압장	○	○	
	배수지·조절지	○	○	

11.1.4 중대한 결함의 정도

상수도시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

- 1) 시설물의 기초세굴
 - 기초세굴에 대한 상태안전성능 평가 기준이 “e” 이하인 경우
- 2) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 중성화(탄산화)에 따른 내력손실
 - 탄산화 잔여 깊이 또는 염화물 침투량 등에 대한 내구성능 평가 기준이 “e” 판정으로 철근노출 상태안전성능 평가 기준에서 “e”를 포함하는 경우
- 3) 상수도 관로 결함에 따른 누수 발생
 - 관로(매설관로) 누수에 대한 상태안전성능 평가 기준이 “d” 이하인 경우
- 4) 상수도 관로의 파손, 변형 및 부식
 - 관로부식, 관두깨, 관체 변형률에서 각각의 상태안전성능 평가 기준이 “d” 이하인 경우

11.2 현장조사

11.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

상수도의 성능평가 시 점검사항은 구조물의 형식에 따라 다를 수 있으므로 수정, 보완하여 사용한다. 각 구조형식별 점검 사항은 평가결과를 기초로 판단하며, 이는 점검 부위별 각각의 점검사항에 대한 주요 손상상태를 파악하는데 활용할 수 있다.

제2종성능평가 및 제1종성능평가 실시에서 시설물의 성능평가를 적용함에 있어 기본 과업과 선택과업의 내용을 적절히 혼용하여 대상 시설물에 대한 상세한 성능평가를 실시하여야 한다.

다만, 제2종성능평가 및 제1종성능평가에서 기전설비에 대한 조사·시험이 필요한 경우에는 선택과업으로 실시할 수 있으며 조사·시험 수준은 관리주체와 협의하여 결정하도록 하고 최근의 조사결과가 있는 경우에는 해당 자료의 검토결과를 활용할 수 있다.

가. 제2종성능평가 조사항목

[표 11.2] 상수도시설물 제2종성능평가 조사항목

구 분			조사항목	비고
안전성능	상태 안전성능	관로	밸브누수	
		토목구조물	침하/부상	
			경사	
			활동	
			기초세굴	
			콘크리트 균열	
			콘크리트 박리	
			콘크리트 박락 및 층분리	
			콘크리트누수 (콘크리트부재/신축이음 부위)	
			콘크리트백태	
			콘크리트 파손	
			콘크리트 신축이음 탈락 및 열화	
	구조 안전성능	관로시설	관로 내·외압	기존자료 검토
		토목구조물	휨, 전단, 좌굴하중	
내구성능	강재	관로	경과년수	
			발청 및 도장 열화	발청(표면부식, 녹)
				도장 박리
				도장 균열
				도장 부품
				도장 변색 및 백아화
			도장두께	

			토양환경	관대지 전위차	
				토양 비저항	
				토양 pH	
				황산 및 염소이온	
				관주변 토양종류	
			대기환경	해안 이격거리	
				이산화황 농도	
				연간 젖음시간(일)	
	콘크리트	토목구조물	탄산화 깊이		
			염화물 침투량		
			피복(표면부) 콘크리트의 품질		
			동해환경		
			토양환경		
사용성능 ¹⁾	사용성	수질			
		관로사고이력			
	기능성	가동률			

주1) 사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위해 점검로 상태(외관상태, 견고한 구조로 설치, 사다리에 등받이울 적정 설치, 접근성 용이 등)를 육안 점검하도록 함

○ 점검로 ① 철재 등의 재질로 설치되어 일상적인 유지관리 활동(점검 및 보수)을 위한 통행로(통로 구조 및 사다리 등) 역할을 담당하는 시설

② 별도의 외관조사망도 작성은 필요하지 않으며, 간단한 공기구와 숙련된 점검자의 육안점검으로 수행하도록 함

나. 제1종성능평가 조사항목

[표 11.3] 상수도시설물 제1종성능평가 조사항목

구 분			조사항목		비고	
안전성능	상태 안전성능	관로시설	관로부식			
			관두께			
			관체변형률(%)			
			관로누수			
			관로용접부 평가			
			밸브누수			
		수로터널 · 토목구조물	침하/부상			
			경사			
			활동			
			기초세굴			
			콘크리트 균열			
			콘크리트 박리			
			콘크리트 박락 및 층분리			
			콘크리트 철근노출			
			콘크리트 누수(부재/신축이음 부위)			
			콘크리트 백태			
			콘크리트 파손			
			콘크리트 신축이음 탈락 및 열화			
			강재변형 및 변위			
			강재 피로균열			
			강재부식			
		기전설비 ¹⁾	펌프베드 기초부			
			관체손상 정도			
			기기설비 마찰부 손상			
	구조 안전성능	관로	관로 내·외압 검토		기존자료 검토 또는 필요시 해석	
		토목구조물	흙, 전단, 좌굴하중 검토			
내구성능	강재	관로시설	경과년수			
			발청 및 도장 열화	발청(표면부식, 녹)		
				도장 박리		
				도장 균열		
				도장 부품		
				도장 변색 및 백아화		
			도장두께			
			토양환경	관대지 전위차		
				토양 비저항		
				토양 pH		

			대기환경	황산 및 염소이온		
				관주변 토양종류		
				해안 이격거리		
				이산화황 농도		
				연간 젖음시간(일)		
		기계설비	권양와이어 소선절단 및 감소			
	콘크리트	수로터널 · 토목구조물	탄산화 깊이			
			염화물 침투량			
			피복(표면부) 콘크리트의 품질			
			동해환경			
			토양환경			
사용성능 ²⁾	사용성	수질				
		관로사고이력				
		밸브의 손상				
	기능성	펌프의 소음 및 진동				
		전기설비의 절연 및 접지				
		전기설비 상태				
		가동률				

주1) 상태안전성능에서 기전설비 중, 전기설비의 세부 조사사항은 아래와 같음

설비명	대상기기	점검항목	점검사항
가압·송수·취수 펌프 모터	현장제어반	-손상 및 파손유무 -절연·접지상태 -작동상태	내·외관상태
			표시·계기 상태
			차단기 및 접촉기류
			배선 및 케이블
			접지 및 동작유무
	기동반		내·외관상태
			표시·계기 상태
			차단기
			모선 및 케이블
			계기용변성기류
			보호계전기
			역률보상용 전력콘덴서
			-
펌프모터			
펌프실 배수설비 및 크레인 설비*	-외관상태 -접지 및 작동상태	-	

* 2톤 이하의 크레인을 대상으로 함

주2) 사용성능의 평가 시, 점검자의 안전확보를 위해 점검로 상태(외관상태, 견고한 구조로 설치, 사다리에 등반이율 적정 설치, 접근성 용이 등)를 육안 점검하도록 함

- 점검로 ① 철재 등의 재질로 설치되어 일상적인 유지관리 활동(점검 및 보수)을 위한 통행로(통로 구조 및 사다리 등) 역할을 담당하는 시설
- ② 별도의 외관조사망도 작성은 필요하지 않으며, 간단한 공기구와 숙련된 점검자의 육안점검으로 수행하도록 함

11.2.2 성능평가 외관조사 요령

시설물별 외관조사 요령에 따라 구조물의 특성을 고려하여 필요한 외관조사 및 현장조사를 실시한다. 시설물의 현장조사 시, 책임기술자는 수중조사에 대한 필요성 여부를 판단하여 시행하여야 한다.

가. 취수시설

1) 제2종성능평가

- ① 토목구조물 및 강재에 대하여 육안조사로 손상상태를 점검하고, 필요하다고 판단될 경우 현장시험을 실시하여 구조물의 손상상태와 노후도 상태를 평가하고 시험보고서를 작성한다.
- ② 가능한 범위 내에서 구조물 주위의 세굴, 퇴사량 등을 조사한다.
- ③ 기타 점검자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

2) 제1종성능평가

- ① 취수시설 구조물의 수중조사는 무단수로 실시할 경우에는 접근유속으로 인한 안전사고의 우려가 크므로 조사기간 중에는 반드시 관리주체와 단수조치 등 협의를 취한 후 성능평가에 임한다.
- ② 재료의 강도, 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과를 확인하기 위하여 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ③ 취수시설에 대한 외관조사망도를 작성하여 각 부재별·부위별 결함의 종류, 노후화의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

나. 취수장(흡수정 및 펌프장 구조물)

1) 제2종성능평가

- ① 용수공급에 지장이 없는 범위 내에서 흡수정을 Pit별로 단수를 실시하여 가능한 흡수정의 물과 이토를 제거한 후 점검한다.
- ② 토목구조물 및 강재에 대하여 육안조사로 손상상태를 점검하고 필요하다고 판단될 경우 현장시험을 실시하여 구조물의 손상상태와 노후도 상태를 평가하고 시험보고서를 작성한다.
- ③ 콘크리트 구조물에 도장을 한 경우에는 도장상태를 점검한다.
- ④ 기타 점검자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

2) 제1종성능평가

- ① 재료의 강도, 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과를 확인하기 위하여 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ② 외관조사 결과 외관상으로 노후도가 상당히 진행된 강재에 대하여 시편채취가 가능한 경우에는 실내시험을 실시하며 그 외의 경우에는 관체의 부식도, 실(Seal)두께 추정치, 용접(접합)부위의 결함상태 등에 대한 비파괴시험을 실시하고

시험결과를 기록 정리한다.

- ③ 취수장에 대한 외관조사망도를 작성하여 각 부재별·부위별 결함의 종류, 노후도의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

다. 관로시설(취·도·송수관로 및 수로터널)

1) 제2종성능평가

(가) 관로

- ① 관로를 관중, 매설년도, 관경 등을 고려하여 구간별로 분할하여 관로의 상태를 평가한다.
- ② 관련 자료를 분석하고 그 결과를 평가한다.
- ③ 관이 노출되는 지점의 일부를 선정하여 도장두께를 측정하고, 관체 및 배관의 부식 등 손상상태를 점검한다.
- ④ 전체 관로구간을 현지 답사하여 관로상의 지장물, 주변환경, 하중의 변동사항 및 누수여부를 육안으로 점검한다.
- ⑤ 관 파열로 제3자에게 중대한 재해를 줄 우려가 있는 도로의 경사지, 주거 밀집 지역, 주요공단지역, 다중교통도로, 철도횡단구간 등을 점검하고 위험이 예상되는 구간에 대해서는 관로의 보호공, 긴급차단밸브의 설치여부를 확인한다.
- ⑥ 관로사고 시 긴급복구에 장기간이 소요되는 하천횡단 및 복개구간, 구조물 Box 통과구간을 점검하고 필요 시 예비관로 추가설치 등 방안을 검토한다.
- ⑦ 관로에 방식설비가 되어 있는 경우에는 테스트 박스(T/B)에서 전위를 측정하여 기록하고, 이를 분석하여 평가한다.
- ⑧ 기타 점검자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

(나) 각종 밸브실 및 밸브실내 배관

- ① 밸브실 및 밸브실내 배관조사는 전체 밸브실의 15~20%를 선정하여 실시하되, 토압 및 차량하중 등을 고려하여 선정한다.
- ② 밸브실의 토목구조물 및 강재에 대하여 육안조사로 손상상태를 점검하고 필요하다고 판단될 경우 현장시험을 실시하여 구조물의 손상상태와 노후도 상태를 평가하고 시험보고서를 작성한다.
- ③ 각종 밸브실(제수밸브, 공기밸브, 이토밸브, 신축관, 유량계 등)의 내부침수 및 도로포장 등에 의한 매몰여부를 점검한다.
- ④ 각종 밸브류가 적정한 위치에 설치되어 있는지를 준공도면 및 현장조사 시 지형 등을 통하여 확인한다.
- ⑤ 밸브교체가 신속히 될 수 있는지를 준공도면 및 현장조사를 통하여 점검한다.
- ⑥ 각종 밸브실 구조물은 외부지하수의 유입방지를 위하여 구조물의 방수처리 유무를 점검한다.
- ⑦ 단수 시 수격압의 경감과 수두가 40m이상인 경우에 개폐조작을 원활히 하기 위하여 부제수밸브의 설치상태 및 이상 유무 등을 점검한다.
- ⑧ 각종 밸브류는 내부압력에 적합한 규격을 설치하였는지를 검토한다.

- ⑨ 각종 밸브류 및 이음부 플랜지부위는 집중응력이 발생되기 쉬우므로 밸브류 또는 관의 파열 우려가 있는지를 점검한다.
- ⑩ 각종 밸브류의 기초고정 볼트는 밸브실 바닥과 일체가 되도록 고정이 되어 있는지를 점검한다.
- ⑪ 부등침하가 우려되는 장소에 신축관을 적절하게 설치하였는지를 검토하고, 신축 이음 등 이음부위의 상태를 조사하여 기록한다.
- ⑫ 기타 점검자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

2) 제1종성능평가

(가) 관로

- ① 관로는 단수조치를 하고 관로주위를 터파기하여 육안조사, 비파괴시험 등으로 직접 점검하는 방법이 있으며, 수행 전 관리주체와 사전 협의한다.
- ② 관내부의 검사는 단수 조치 후 점검자가 내부에 진입하여 관체 및 배관의 부식 등을 점검하는 방법이 있으며, 수행 전 관리주체와 사전 협의한다.
- ③ 관로에 방식설비가 설치되어 있는 경우에는 관로방식설비에 대한 노후화 정도 및 성능저하상태를 정밀히 조사한다.
- ④ 관로는 대부분이 지중에 매설되어 시편채취가 곤란할 뿐만 아니라 관 내부조사가 무단수로는 사실상 곤란하므로 성능평가 과업실시 기간 중에 관리주체와 협의 하여 이설구간이 있을 경우 회수되는 기존 매설관의 시편을 채취하여 관의 상태를 확인하고, 재료시험 등 실내시험 등을 통하여 관의 상태를 점검한다.
- ⑤ 관로의 상태안전성능 평가 결과 취약하다고 판단되는 구간에 대하여는 관리주체와 사전에 협의 후, 굴착하여 관체의 부식도, 실(Seal)두께, 관의 손상정도 및 용접부검사 등을 실시하여 평가한다.
- ⑥ 관 매설지역의 토양특성에 따라 토양시료를 채취하여 관 주변의 토양부식성을 분석하여야 한다. 토양시료는 굴착조사 및 관로이설·교체공사시 관과 인접한 토양을 채취하고 임의로 채취할 경우에는 관로 노선상에 매설심도를 고려하여 가능한 관과 인접한 토양을 채취한다.
- ⑦ 과대한 하중이 예상되는 구간에 대하여는 관로탐지기 또는 지중탐사장비 등을 이용하여 매설깊이 등을 조사하여 기록한다.
- ⑧ 관로상의 곡관부위, 이형관 등 분기점, 터널 입·출구부 등에 누수가 있거나 누수 발생 유무 확인이 필요한 경우에는 누수탐사기나 지중탐사장비 등을 사용하여 누수여부를 확인한다.

(나) 각종 밸브실 및 밸브실내 배관

- ① 밸브실 및 밸브실내 배관조사는 전체 밸브실에 대해 실시한다.
- ② 밸브실 구조물의 경우 콘크리트의 강도와 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과 필요하다고 판단되는 부재에 대해서는 필요한 현장시험을 실시하고 시험 보고서를 작성한다.
- ③ 밸브실 구조물의 각 부재별·부위별 손상의 종류, 노후도의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

(다) 수로터널

- ① 수로터널의 점검 시에는 지형, 지질, 지하수위 및 주변환경 등에 의해 안전성능이 좌우되는 요소가 많으므로 이들에 대한 상황을 우선적으로 충분히 숙지하여야 한다.
- ② 수로터널이 압력수로인 경우에는 내·외부수압에 충분히 견딜 수 있는 단면의 철근콘크리트 라이닝을 확보하고 있는지 설계도면이나 준공도면 등을 통해 확인함과 더불어 터널출입구에 강관 또는 주철관 등으로 적정하게 삽입되어 있는지도 확인하여야 한다.
- ③ 수로터널 내부의 현장조사는 수요처의 단수일정으로 한정된 짧은 시간에 많은 인력이 집중 투입되어 조사가 이루어지는 것이 대부분이므로 체계적이고 효율적인 조사팀의 구성, 점검범위 및 수준, 점검항목 및 내용, 점검순서 및 방법, 안전수칙 등의 계획이 사전에 마련해야함과 더불어 관리주체와 면밀한 협의·검토가 필수적이다.
- ④ 수로터널의 출입구는 안전취약구간에 해당하므로 절취면 및 보호공의 유지상태가 적정한지 면밀히 조사·기록토록 한다.

라. 정수시설

1) 제2종성능평가

- ① 정수시설의 구조물은 취수장의 외관조사 요령에 준하여 실시한다.
- ② 기타 점검자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

2) 제1종성능평가

- ① 재료의 강도, 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과를 확인하기 위하여 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ② 외관조사 결과 외관상으로 노후도가 상당히 진행된 강재에 대해서 시편채취가 가능한 경우에는 실내시험을 실시하여야 하며, 그 외의 경우에는 관체의 부식도, 실(Seal)두께 추정치, 용접(접합)부위의 상태 등에 대한 비파괴시험을 실시하고 시험결과를 기록·정리한다.
- ③ 정수시설물 별로 외관조사망도를 작성하여 각 부재별·부위별 손상의 종류, 노후도의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

마. 가압장

1) 제2종성능평가

- ① 가압장 구조물은 취수장의 외관조사 요령에 준하여 실시한다.
- ② 토출관로내의 수격압 방지시설인 각종 밸브류 및 장치의 작동상태를 확인한다.
- ③ 각종 밸브류의 도장손상, 부식 등의 이상여부를 점검하고 비상 시 퇴수관로 상태를 확인한다.

2) 제1종성능평가

- ① 재료의 강도, 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과를 확인하기 위하여 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ② 외관조사 결과 외관상으로 노후도가 상당히 진행된 강재에 대하여 시편채취가 가능한 경우에는 실내시험을 실시하며, 그 외의 경우에는 초음파탐상시험 등으로 관체의 부식도, 실(Seal)두께 추정치, 용접(접합)부위의 결함상태 등에 대한 비파괴시험을 실시하고 시험결과를 기록·정리한다.
- ③ 가압장에 대한 외관조사망도를 작성하여 각 부재별·부위별 손상의 종류, 노후도의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

바. 조절지 및 배수지

1) 제2종성능평가

- ① 조절지 및 배수지의 점검은 취수장의 외관조사 요령에 준한다.
- ② 고지대에 위치한 조절지, 배수지 주변지역의 상태를 관찰하여 누수, 지반침하 등과 구조물의 상태를 점검한다.

2) 제1종성능평가

- ① 재료의 강도, 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과를 확인하기 위하여 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ② 외관조사 결과 외관상으로 노후도가 상당히 진행된 강재에 대하여 시편채취가 가능한 경우에는 실내시험을 실시하며, 그 외의 경우에는 관체의 부식도, 실(Seal)두께 추정치, 용접(접합)부위의 결함상태 등에 대한 비파괴시험을 실시하고 시험결과를 기록·정리한다.
- ③ 외관조사망도를 작성하여 각 부재별·부위별 결함의 종류, 노후도의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

11.2.3 성능평가 조사내용

가. 안전성능평가

1) 자료조사

(가) 관로

○ 관로구간 분할

- 관로를 체계적이고 효율적으로 평가 하기 위해서는 현장조사에 앞서 수집된 자료의 분석과 예비(사전)조사를 통해 얻어진 물리적, 환경적 요소 및 중요도 등을 고려하여 관로의 분할기준을 설정한다.
- 분할기준에 의해 전체관로를 각 단위관로구간으로 세분화하는 것이 필요하며, 현장조사 시 관로구간 분할기준이 되는 항목들이 현장의 상황에 따라 부적절할 수 있으므로 현장조사과정에서 얻어진 정보를 검토하여 적절히 재조정하여야 한다.

① 평가 항목 중심으로 분할

- 관로용도 : 생활용수, 공업용수, 취수, 도수, 송수 및 배수 등
- 관리권역 : 수도사업소별, 공구별 등
- 관로특성 : 관경, 관종, 경과년수, 방식도장 유무 등
- 지반조건 : 암반, 토사, 연약(점토)지반, 이토층 등
- 매설현황 : 매설깊이, 매설지역(도로, 녹지, 농경지, 산지, 하천, 제방, 철도, 수관교, 교량첨가관 등)
- 운영상황 : 가압, 자연유하, 전기방식유무, 관내수질 등
- 사고 유발성 : 사고이력, 타 시설물과의 간섭, 문제내재 구간(Known Problem Areas) 등
- 사고 피해도 : 단수지역 범위, 침수구역, 교통장애도, 복구 용이성 등

② 관로의 위치에 따른 분할

- 도로, 하천, 제방, 철도 등의 횡단구간이나 수관교, 교량첨가관 등의 구간에서는 그 연장이 극히 짧은 경우에 대하여 별도의 구간으로 세분화하는 것보다 인접구간에 포함시키는 것이 합리적이다.
- 관로 중간에 설치된 조절지의 경우는 조절지의 규모, 주변의 환경 등을 고려하여 별도의 구간으로 세분할 것인지 아니면 인접구간에 포함시킬 것인지는 책임기술자의 판단에 따른다.
- 또한, 시설물 관리주체의 관리기준(Block 구성 등)이 있을 경우에는 이를 관로구간 분할에 반영하되, 관로조건에 따라 책임기술자가 조정하여 결정한다.

(나) 수로터널

○ 외관조사망도 구성

- 수로터널의 중간부에 유지관리 경사갱이 있는 경우
- 수로터널과 경사갱이 연결되는 지점을 기준으로 복합부재(구간1, 구간2, ...)로서 구분한다.

- 수로터널의 중간부에 유지관리 경사갱이 없는 경우
 - 입구부, 중간부, 출구부의 3등분으로 구분하나, 복합부재는 일반적으로 4개 블록(1개 블록=40m)으로 한다.
- 각각의 구간(복합부재)을 수축이음부 또는 수십~수백m의 다수의 블록(개별부재)으로 세분하여 외관조사망도를 작성한다.

(다) 토목구조물

○ 외관조사망도 구성

- 개별부재(예 : 착수정 1지, . . . , 정수지 1지 등)를 하나의 외관조사망도 단위로 구분하는 것을 원칙으로 하고, 필요 시 책임기술자의 판단에 따라 신축이음부, 불연속면 등을 기준으로 구간 분할하여 작성할 수 있다.

2) 현장조사

(1) 점검항목

- ① 콘크리트 비파괴강도
- ② 철근배근상태
- ③ 철근 부식도 시험
- ④ 실내시험(콘크리트 코어 강도 등)
- ⑤ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(2) 점검방법

- ① 콘크리트 비파괴강도
 - 콘크리트 비파괴강도는 반발경도시험 및 초음파전달속도시험 등을 수행하여 추정하며, 다른 비파괴시험을 사용하는 경우에는 책임기술자의 판단에 따른다.
- ② 철근배근상태
 - 비파괴시험(전자기유도방식, 전자파레이방식)을 위주로 한다. 시험할 내용은 피복두께, 배근상태이다. 단, 균열 및 변형(처짐) 등의 결함·손상이 발생된 부재와 부재의 내력검토가 필요한 부재에 대하여 실시한다.
- ③ 철근 부식도 시험
 - 외관조사에 의한 비파괴검사(자연전위법 등)로 한다. 단, 균열 및 재료분리 등의 결함·손상이 발생된 부위와 건전부위를 각각 검사하여 비교한다.
- ④ 실내시험(콘크리트 코어 강도 등)
 - 콘크리트 코어 강도 등에 관한 KS규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

(나) 점검방법

- 시설물별 현장조사 요령을 참조하여 수행한다.

나. 내구성능 평가

1) 자료조사

(가) 자료조사 항목

- ① 경과연수

- ② 대기환경 - 해안 이격 거리
- ③ 대기환경 - 이산화황 농도(ppm)
- ④ 대기환경 - 습도
- ⑤ 열화환경 - 동해환경
- ⑥ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 방법

① 경과년수

- 각 단위관로구간으로 세분화 하고 관로구간의 분할기준이 되는 관로 구간별로 설치년도로부터 성능평가완료일 까지의 경과년수를 조사한다.

② 해안 이격 거리

- 대상 상수도시설물의 위치(주소)를 확인하고 지도에서 주변에 영향을 줄 수 있는 해안이 있는지 확인 후 상수도시설물에서 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정한다.
- 지도상(인터넷 포털사이트 등 이용가능)의 시설물 위치부터 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정함

③ 이산화황 농도(ppm)

- 이산화황 농도의 지역별 분류는 한국환경공단에서 운영하는 에어코리아(www.airkorea.or.kr) 대기환경정보에서 제공하는 지역별 10년 동안 평균농도 자료를 기준으로 한다.
- 필요시 책임기술자 판단에 따라 분류한 지역에 노출시험지를 설치하여 이를 주기적으로 측정하고, 실내시험과 현장조사와의 상관성을 고려하여 아황산가스와 부식과의 관계를 도출할 수 있다.

④ 습도

- 기상청에서 제공하는 ‘기상연보’를 통한 해당지역의 10년 동안 평균 젖음 시간(τ , 0℃ 이상의 온도에서 상대 습도가 80% 이상인 경우) 관측일을 산정하여 결빙, 적설자료를 사용한다.

⑤ 동해환경

- 기상자료개방포털(www.data.kma.go.kr)에 접속하여 기상관측 자료를 통한 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
- 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
- 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 같은 시라고 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.
- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 $X_{값} =$
: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수

- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =

: {일 최저기온 $< -2.2^{\circ}\text{C}$ } & {일 최고기온 $> 0^{\circ}\text{C}$ }인 연평균 일수

여기서, X 는 동결융해 반복지수를 의미하며, 수분접촉 여부에 따라 구분·산정함

2) 외관조사 요령

(가) 점검항목

- ① 강재의 도장열화(발청, 박리, 균열, 부품, 변색·백아화)
- ② 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 점검방법

- 외관조사는 원칙적으로 면밀한 육안조사와 간단한 비파괴 검사를 중심으로 실시한다.
- 조사 대상 부위는 필요할 경우 마감재(돌, 타일, 도배지, 단열재, 수장재, 천장재, 마루재 등)를 부분적으로 제거하고 실시한다.
- 외관조사의 결과는 표준서식에 기록하고, 필요한 경우에는 개략도면에 표시하여 이들에 대한 분석·평가를 실시한다.
- 보고서에는 외관조사 및 상태안전성능 평가 등의 내용을 종합적으로 검토·분석한 결과를 기재하여야 한다.
- 외관조사에서 이상이 발견된 사항에 대해서는 사진 촬영하여 보고서의 설명자료로 이용할 수 있도록 보존한다.
 - 사진자료는 매 성능평가 시에 가능한 한 같은 위치에서 얻는 것을 원칙으로 한다.
 - 사진자료에서 얻어야 할 사항은 전술한 성능평가의 내용을 확인할 수 있는 정도로 한다.
- 강재에서 발견된 각종 열화 등에 관련한 문제점에 대해서는 다음에 진행되는 성능평가에서 그 진행 여부를 확인, 감시할 수 있도록 현장의 대상 부위에 관리주체와 협의하여 필요시 표시하여야 하며, 표시한 날짜와 그 크기(폭, 길이 등)를 기록하여 남겨 둔다.

3) 현장조사 요령

(가) 점검항목

- ① 강재 도장 두께
- ② 피복 콘크리트 품질
- ③ 콘크리트 탄산화 깊이
- ④ 콘크리트 염화물 침투량
- ⑤ 열화환경 - 토양환경
- ⑥ 권양와이어 직경감소 및 소선절단

(나) 점검방법

- ① 강재 도장 두께
 - 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기에 의해 측정한다.

② 피복 콘크리트 품질

- 피복 콘크리트 품질은 반발경도값을 사용하는 것을 원칙으로 하며, 설계강도값과 비교하는 경우와 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우로 구분하여 실시한다.
- 설계강도값과 비교하는 경우는 강도 추정값과 설계값을 비교하여 피복 콘크리트의 내구성을 평가한다.
- 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우는 강도를 추정할 필요가 없으며, 반발경도값을 직접 비교하여 판정한다.

③ 콘크리트 탄산화 깊이

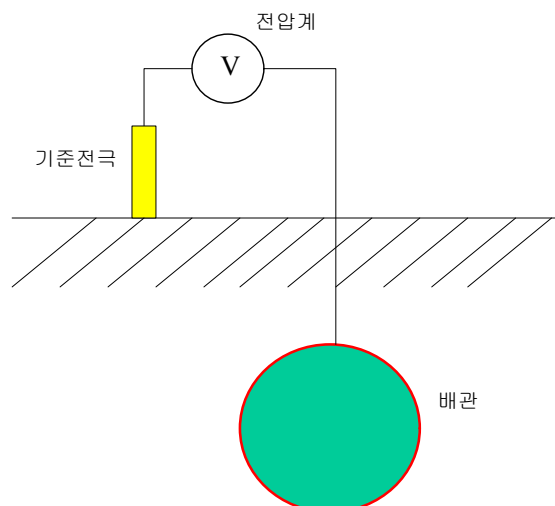
- 부재를 천공할 때의 콘크리트 분말가루나, 코어시료에 대하여 페놀프탈레인 (1%)용액에 의한 변색반응검사 등으로 한다.

④ 콘크리트 염화물 침투량(콘크리트 염화물 함유량)

- 상수도시설물은 기본적으로 염해를 입지 않는 환경조건에 놓여있다고 가정하나, 염해환경 및 책임기술자 판단에 따라 관리주체와 협의하여 필요 시 염화물 침투량에 대한 평가를 선택적으로 실시할 수 있다.
- 콘크리트 내의 염화물 침투량(염화물 함유량)에 관한 KS 규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

⑤ 토양환경

- 관대전위차
 - 매설배관의 관대지전위차를 측정하는 방법으로 매설배관에서 인출한 전선과 토양 표면에 접촉시킨 기준전극 사이에 볼트메타(voltmeter)를 연결시켜 기준전극에 대한 배관의 전위를 측정한다. 이렇게 측정한 값을 관대지전위차(pipe to soil potential, P/S전위)라고 한다. 현장에서 P/S전위 측정 시 기준전극으로 가장 많이 사용하는 것은 포화황산동전극(Cu/CuSO_4)이며, 특수한 상황 하에서는 염화은(Ag/AgCl) 전극을 사용하기도 한다.



[그림 11.1] 매설배관의 관대지전위차 측정 개념도

- 토양비저항
 - 토양 저항을 측정하기 위해서 4전극법(Wenner four pin method, 4pin)을 사용하여 4전극을 사용할 때 4전극은 원하는 공간에 직선으로 찢어 넣는다.
 - 4 전극법의(Wenner Four Pin Method)의 측정원리는 [그림 11.2]와 같다.
 - 이로부터 다음과 같이 토양비저항(ρ)을 구할 수 있다.

$$V = IR$$

$$\rho = 2\pi aR$$

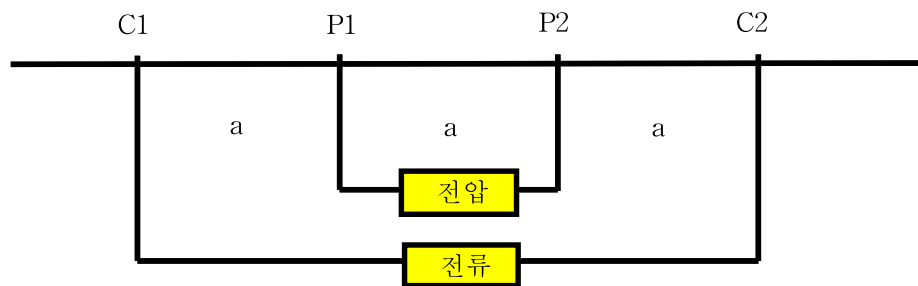
여기서, V : P1과 P2 사이의 전압 [V]

I : C1과 C2 사이의 전류 [A]

R : P1과 P2 사이의 저항 [ohm]

ρ : 토양비저항 [ohm-m]

a : PIN 간격 [m]



[그림 11.2] 4 전극법의 원리

- 토양 pH, 토양의 황산이온 및 염소이온, 토양의 함수비는 매설관로 주변에서 채취한 토양시료에 대해서 시험실 분석을 원칙으로 한다. 다만, 토양 pH는 토양 부식성의 경향을 파악하기 위해서 pH-Meter에 의해 현장에서 간이 측정도 할 수 있다.
- 토양 시료를 채취할 경우, 평가 대상 시설물(관로 및 토목구조물)의 인근에서 채취하는 것을 우선하며 어려운 경우 주변 지역의 토양을 채취하여 사용할 수 있다. 또한 토양환경의 변화가 심한(시가지, 주택지, 공업지대 등) 지역은 상대적으로 측정 구간을 짧게 한다.

⑥ 권양와이어 직경감소 및 소선절단

- 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않도록 그리스를 제거한 후 대상 와이어로프 당 버니어 캘리퍼스로 3개소 이상을 측정한다. 1개소 당 일정간격을 두고 3회 측정하여 평균치로 환산하고 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단한다.
- 직경 측정은 준공 당시 와이어로프의 부하상태와 동일한 상태에서 측정하며, 기준이 되는 직경값 또한 준공당시와 같은 부하상태에서의 직경을 기준으로 한다.
- 와이어로프의 구조는 일반적으로 스트랜드 수 × 스트랜드를 구성하는 소선의 수로 표시되며, 와이어로프의 소선 절단율은 와이어로프의 한 꼬임(스트랜드)

에서 끊어진 소선의 수를 육안으로 세어 산정한다.

다. 사용성능 평가

1) 자료조사

(가) 자료조사 항목

- ① 수질
- ② 관로사고이력
- ③ 가동률
- ④ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 방법

① 수질

- 「먹는물 수질 기준 및 검사 등에 관한 규칙」의 별표1 “먹는물의 수질기준”에 따른 수질검사 적정성 여부로 평가하도록 한다.
- 국가상수도정보시스템(www.waternow.go.kr) 혹은 물정보포털서비스(www.water.or.kr) 정수장수질 등 정보공개 자료를 검토하여 평가한다.
 - 물정보포털서비스 → 운영관측 → 상수도 → 수질정보
 - 국가상수도정보시스템 → 정보공개 → 수돗물 수질자료
- 필요시 책임기술자의 판단에 따라 현장조사를 수행할 수 있다.

② 관로사고이력

- 관로시설 사고이력 분석은 사전에 관리주체와 협의하여 최근년도부터 5년간의 연도별 수도시설 점검정비 보고서 등의 관로 누수사고 자료를 근거로 수행한다.
- 국가상수도정보시스템(www.waternow.go.kr)의 관로 누수사고 등의 정보를 검토하여 평가한다.
 - 국가상수도정보시스템 → 정보공개 → 상수도통계 → 물손실관리
- 필요시 책임기술자의 판단에 따라 해당 자료를 보완 조사하여 적용할 수 있다.

③ 가동률

- 시설용량 대비 일최대생산량에 대해 가동률을 평가하며 예비율은 효율 100%에서 가동률을 뺀 값으로 판정한다.
- 환경부포털(www.me.go.kr)을 활용하여 일 최대생산량 및 시설용량에 대한 자료를 활용한다.
 - 환경부포털 → 법령/정책 → 환경정책 → 상하수도 → 연도별 상수도 통계

④ 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

2) 현장조사

(가) 점검항목

- ① 밸브의 손상
- ② 펌프의 소음 및 진동
- ③ 전기설비의 절연 및 접지
- ④ 전기설비의 상태

(나) 현장조사 요령

① 밸브의 손상

- 장내배관의 밸브본체, 연결플랜지부, 축봉부 등의 외관 및 작동상태 등을 육안으로 확인 하도록 한다.
- 밸브 상세검사는 중요 밸브와 내부 결함이 파악되는 밸브를 선정하여 수행한다. 필요한 경우, 밸브 기어박스를 분해한 후 내부 기어작동 및 마모상태 등을 측정·조사 할 수 있다.

② 펌프의 소음 및 진동

- 펌프 소음 측정 방법
 - 펌프 설비를 펌프 반부하측 베어링부, 커플링 연결부, 모터 반부하측 베어링부의 3개 부분으로 구분하고 각각 수평으로 1m 거리에서 운전시의 소음을 측정하고 그 값의 평균값을 발생소음의 기준으로 한다.
- 펌프 진동 측정 방법
 - 기기의 진동측정 회수는 펌프 부하측 및 반부하측을 수직, 수평 방향에 대하여 진동한계 속도를 측정하며, 펌프와 모터의 측정은 각각의 베어링 하우스 또는 기초에 고정되는 기계표면에서 서로 직교한 수직, 수평방향으로 진동을 측정한다.

③ 전기설비의 절연 및 접지

- 전기설비 점검 및 조사는 수배전반, 고압펌프모터설비(기동반, 현장조작반), 비상 발전기 등을 대상으로 외관 및 작동상태와 필요에 따라 시험 측정조사(절연저항측정, 접지저항측정, 고압모터전류신호분석, 적외선 열화상 진단 등)를 실시한다.

④ 전기설비의 상태

- 전기설비의 손상유무를 육안 점검하고, 설비의 종류와 특성에 따라 작동시험을 실시한다.

11.3 재료시험 항목 및 수량

11.3.1 재료시험 항목

재료시험 항목은 기본과업과 선택과업으로 나누고 필수적으로 실시해야 하는 항목을 “기본과업”으로, 과업의 내용과 범위에 따라 선택적으로 추가되는 항목을 “선택과업”으로 구분하였다.

가. 제2종성능평가

[표 11.4] 제2종성능평가 재료시험 항목

구 분		재료시험 항목		
		안전성능	내구성능	사용성능
기본 과업	토목 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 반발경도시험¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> 피복 콘크리트 품질 <ul style="list-style-type: none"> 반발경도시험¹⁾ 탄산화깊이 	—
	관로	—	<ul style="list-style-type: none"> 관대지전위차 토양부식성조사 <ul style="list-style-type: none"> 토양비저항 측정 토양 pH 황산이온 및 염소이온 토양의 함수비 도장두께²⁾ 	—
	기전 설비	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 주요기기 작동유무³⁾
선택 과업	토목 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 강도 <ul style="list-style-type: none"> 국부파괴법 : 코어강도 비파괴시험 : 초음파전달속도 시험 철근탐사시험 <ul style="list-style-type: none"> 철근 배근상태 철근 피복두께 	<ul style="list-style-type: none"> 염화물 침투량 	—

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있음
피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있음. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 함

주2) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정함

주3) 기계 및 계측시설과 전기설비의 작동유무를 판단하며, 기전설비의 특성 및 상황을 고려하여 관리주체와 협의 후, 실시하도록 함

나. 제1종성능평가

[표 11.5] 제1종성능평가 재료시험 항목

구 분		재료시험 항목		
		안전성능	내구성능	사용성능
기본 과업	수로 터널 · 토목 구조물	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트강도 <ul style="list-style-type: none"> 비파괴시험 : 반발경도¹⁾, 초음파속도(수로터널 제외) 철근탐사²⁾ <ul style="list-style-type: none"> 철근 배근상태 철근 피복두께 철근부식도 균열깊이 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 피복 콘크리트 품질 <ul style="list-style-type: none"> 반발경도¹⁾ 탄산화 깊이³⁾ 염화물 침투량³⁾ 	—
	관로	<ul style="list-style-type: none"> 관두께 측정 용접부 결함탐사 <ul style="list-style-type: none"> 자분탐상시험 초음파탐상 	<ul style="list-style-type: none"> 관대지전위차 토양부식성조사 <ul style="list-style-type: none"> 토양비저항 측정 토양 pH 황산이온 및 염소이온 토양의 함수비 도장두께⁴⁾ 	—
	기계설비	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 성능시험(취수·송수·가압 펌프, 2톤 이하의 크레인 및 호이스트, 염소중화설비)
	전기설비	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 전기설비의 작동유무
선택 과업	수로터널 · 토목구조물	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트강도 <ul style="list-style-type: none"> 국부파괴법 : 코어강도 콘크리트 물성 및 미세구조 지반(시추)조사 	—	—
	관로	<ul style="list-style-type: none"> 굴착조사 강재조사 <ul style="list-style-type: none"> 인장강도 및 성분조사 	—	—
	기계설비	<ul style="list-style-type: none"> 장내 배관두께(초음파측정) 주요마찰부 손상 	<ul style="list-style-type: none"> 와이어 로프 단면감소 및 소선절단 상태 	<ul style="list-style-type: none"> 펌프 소음·진동 측정 밸브 분해 조사 등
	전기설비	<ul style="list-style-type: none"> 펌프베드 기초불량 상태 점검 <ul style="list-style-type: none"> 기초볼트 부식 및 이완 그라우팅 훼손 	—	<ul style="list-style-type: none"> 취수·송수·가압펌프모터 관련 기동반·현장제어반의 조사 및 시험 <ul style="list-style-type: none"> 열화상진단 절연저항측정 접지저항측정 펌프모터의 작동상태측정 (공급전압, 운전전류 등)

주1) 안전성능 기본과업에 해당하는 콘크리트 강도는 반발경도시험에 의하되, 내구성능에서 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가를 위해 측정된 값을 포함하여 평가할 수 있음
 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있음. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 포함되어야 함

주2) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 함

주3) 수로터널의 경우, 철근콘크리트라이닝 구조에서 실시함

주4) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정함

11.3.2 재료시험 기준수량

재료시험 기준수량은 과업을 위한 최소의 수량을 말하며 책임기술자의 판단에 따라 추가적인 시험의 개소수가 필요한 경우에는 관리주체와 협의하여 시험수량을 달리할 수 있다.

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 11.6] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	관로	수로터널 ¹⁾	토목구조물 ²⁾	기전설비	비고
반발경도시험	—	· 200m당 1회 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 3개소 이상 · 정수장 5개소 이상	—	
탄산화 깊이 측정	—	· 복합부재/3개소 이상 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 1개소 이상 · 정수장 3개소 이상	—	
관대지전위차	(T/B)당×1개소	—	—	—	
토양비저항	· 1개소/300m	—	—	—	
토양 pH	· 2.0km당 1개소	—	—	—	
황산이온 및 염소이온	· 2.0km당 1개소	—	—	—	
토양의 함수비	· 2.0km당 1개소	—	—	—	
도장두께	· 조사 밸브실의 5%	—	—	—	
주요기기 작동유무 ³⁾	—	—	—	· 책임기술자 판단	

주1) 수로터널의 경우, 철근콘크리트라이닝 구조에서 실시

주2) 취수시설에서의 재료시험은 책임기술자 판단에 따라 실시여부 및 수량 결정

— 시설별의 종류 : 취수장, 가압장, 조절지, 배수지 등

주3) 작동유무를 검토하는 주요기기는 관리주체와 협의를 통해 결정하며, 기기의 특성 및 상황을 고려하여 성능시험 수량은 책임기술자가 판단하도록 함

[표 11.7] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	관로	수로터널	토목구조물	기전설비	비고
코어채취 ¹⁾	—	· 1개소당 3개	· 1개소당 3개	—	강도 시험 등
초음파전달속도	—	—	· 과업에서 조사 및 수량결정	—	
철근탐사시험	—	—	· 과업에서 조사 및 수량결정	—	
염화물 침투량	—	· 과업에서 조사 및 수량결정	· 과업에서 조사 및 수량결정	—	

주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 관리주체와 협의하여 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하고 1개소 당 3개의 코어를 채취하여 강도시험 등 실내 시험을 실시하도록 함. 단, 이전에 수행한 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 이들의 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존 자료 활용할 수 있음

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 11.8] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	관로	수로터널 ¹⁾	토목구조물 ²⁾	기전설비	비고
반발경도시험	· 조사 밸브실의 5%	· 길이 200m당 1회, 최소 9개소 이상	· 시설별 각 5개소 이상, · 정수장 10개소 이상	—	
초음파 전달속도시험	· 조사 밸브실의 5%	· 길이 200m당 1회, 최소 9개소 이상	· 시설별 각 5개소 이상, · 정수장 10개소 이상	—	
철근탐사시험	· 조사 밸브실의 5%	· 복합부재/3개소 이상, 최소 9개소 이상	· 시설별 각 3개소 이상, · 정수장 10개소 이상	—	
탄산화 깊이 측정	· 조사 밸브실의 5%	· 복합부재/3개소 이상, 최소 9개소 이상	· 시설별 각 3개소 이상, · 정수장 9개소 이상	—	
염화물 침투량	· 책임기술자 판단	· 책임기술자 판단	· 코어채취 수량, 책임기술자 조정 가능	—	
철근부식도시험	· 책임기술자 판단	· 책임기술자 판단	· 책임기술자 판단	—	
균열깊이 조사	—	· 책임기술자 판단	· 책임기술자 판단	—	
관두깨측정	· 조사 밸브실의 5%	—	—	—	
관대지전위차측정	· (T/B)당 1개소	—	—	—	
토양비저항측정	· 300m당 1개소	—	—	—	
토양 pH	· 2.0km당 1개소	—	—	—	
황산이온 및 염소이온	· 2.0km당 1개소	—	—	—	
토양의 함수비	· 2.0km당 1개소	—	—	—	
도장 두께	· 조사 밸브실의 5%	—	—	—	
강재 비파괴시험	· 필요시 실시 (책임기술자 판단)	—	—	—	
주요기기 성능시험 ³⁾	—	—	—	· 진단기간 중 1회 실시	
전기설비 작동유무				· 진단기간 중 1회 실시	

주1) 철근콘크리트라이닝 구조에서 실시

주2) 취수시설에서의 재료시험은 책임기술자 판단에 따라 실시여부 및 수량 결정

— 시설별의 종류 : 취수장, 가압장, 조절지, 배수지 등

주3) 취수·송수·가압펌프, 2톤 이하의 크레인 및 호이스트, 염소중화설비에 대한 성능시험은 관리주체와 협의하여 실시하며, 기기의 특성 및 상황을 고려하여 성능시험 수량은 책임 기술자가 판단하도록 함

[표 11.9] 제1종 성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	관로	수로터널	토목구조물	기전설비	비고
코어채취 ¹⁾ (콘크리트 물성 등)	—	1개소당 3개	1개소당 3개	—	
지반(시추)조사 ²⁾	—	과업에서 조사 및 수량 결정	과업에서 조사 및 수량 결정	—	
굴착조사	3개소	—	—	—	
강재 인장강도 및 성분조사	1개소	—	—	—	
소음·진동측정	—	—	—	과업에서 조사 및 수량 결정	
배관두께 (초음파특정)	—	—	—	과업에서 조사 및 수량 결정	
주요 마찰부손상				과업에서 조사 및 수량 결정	
권양와이어 단면감소 및 소선절단	—	—	—	와이어로프 당 3개소 이상	
절연저항측정	—	—	—	펌프모터별 1회 실시	
접지저항측정	—	—	—	접지System별 1회 실시	
적외선열화탐사	—	—	—	설비별 1회 실시	

주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 관리주체와 협의하여 구조물에 영향이 최소화 되는 지점을 선정토록 하고 1개소 당 3개의 코어를 채취하여 강도시험 등 실내시험을 실시 하도록 함. 단, 정수장의 경우 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존자료를 활용 할 수 있음

주2) 구조적인 중대한 결함이 발생하거나 콘크리트강도의 현저한 저하 또는 구조물에 작용하는 하중조건의 변경 및 하중조건의 변경이 예상되는 경우 등 구조적 안전성능 검토가 필요한 경우 관리주체와 협의하여 실시 할 수 있음

11.4 안전성능평가 기준 및 방법

11.4.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가 기준 및 방법

1) 일반

상태안전성능 평가 결과 산정은 상태변화가 전체 구조물에 미치는 안전성능의 영향 정도와 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 결함 및 손상을 평가유형별로 구분하고 영향계수를 적용하여 단계별로 평가점수를 산정하도록 한다.

2) 평가유형 및 영향계수

시설물의 상태안전성능 평가는 결함 및 손상에 따른 각각의 상태안전성능 평가 기준을 적용하며, 상태변화가 전체 구조물에 미치는 안전성의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 결함 및 손상을 평가유형별로 구분하여 영향계수를 적용한다.

(가) 평가유형의 구분

결함 및 손상에 대한 평가유형은 다음과 같이 구분한다.

○ 중요결함

- 침하, 경사/전도 및 활동 등과 같이 전체 구조물의 구조적인 안전에 직접영향을 미치는 결함

○ 국부결함

- 기초세굴 등과 같이 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치지 않지만 손상이 진전될 경우 전체 구조물의 안전에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 결함

○ 일반손상

- 콘크리트 균열, 박리, 박락, 파손 등과 같이 구조물의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상

(나) 영향계수의 적용

각 부재에서 발생하는 각종 손상 및 결함에 대한 상태안전성능 평가 시 손상이 전체 구조물에 미치는 안전성의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 영향계수를 적용한다.

영향계수는 안전성능에 직접적인 영향을 미치는 중요결함의 평가 기준을 결과로 하여 국부적인 결함의 평가 기준 결과를 상향조정한다. 이로 인해 이들이 전체 구조물에 미치는 영향을 평가 절하하는 계수이며, 영향계수는 상태안전성능 평가를 위한 표준 기준이며, 책임기술자의 판단으로 다소 조정할 수 있다.

[표 11.10] 관로의 상태안전성능 평가유형 및 영향계수

상태안전성능 평가항목	평가유형	영향계수	평가기준	평가점수	비고
관로부식	중요결함	1.0	a	5	
관두깨			b	4	
관제변형률			c	3	
관로누수			d	2	
			e	1	
관로용접부 평가	국부결함	1.0	a	5	
		1.1	b	4	
		1.2	c	3	
		1.4	d	2	
		2.0	e	1	
밸브 누수	일반손상	1.0	a	5	
		1.1	b	4	
		1.3	c	3	
		1.7	d	2	
		3.0	e	1	

[표 11.11] 토목구조물 상태안전성능 평가유형 및 영향계수

상태안전성능 평가항목	평가유형	영향계수	평가기준	평가점수	비 고					
침하 / 부상	중요결함	1.0	a	5						
경 사			b	4						
			c	3						
활 동			d	2						
			e	1						
기초세굴	국부결함	1.0	a	5						
		1.1	b	4						
		1.2	c	3						
		1.4	d	2						
		2.0	e	1						
콘크리트 균열		일반손상	1.0	a	5					
콘크리트 박리										
콘크리트 박락 / 층분리										
철근노출										
누수	콘크리트부재						1.1	b	4	
	신축이음부위						1.3	c	3	
백 태							1.7	d	2	
콘크리트 파손							3.0	e	1	
신축이음열화 및 탈락	탈락정도									
	열화정도									

[표 11.12] 강구조물 상태안전성능 평가유형 및 영향계수

상태안전성능 평가항목	평가유형	영향계수	평가기준	평가점수	비 고
강재변형 및 변위	중요결함	1.0	a	5	
			b	4	
			c	3	
			d	2	
			e	1	
강재부식	국부결함	1.0	a	5	
		1.1	b	4	
		1.2	c	3	
		1.4	d	2	
강재 피로균열		2.0	e	1	

[표 11.13] 기전설비 상태안전성능 평가유형 및 영향계수

상태안전성능 평가항목		평가유형	영향계수	평가기준	평가점수	비 고
펌프 설비	펌프베드 기초부	일반손상	1.0	a	5	
			1.1	b	4	
			1.3	c	3	
			1.7	d	2	
			3.0	e	1	
장내 배관	관체손상 정도	중요결함	1.0	a	5	
				b	4	
				c	3	
				d	2	
				e	1	
기계 설비	마찰부손상	일반손상	1.0	a	5	
			1.1	b	4	
			1.3	c	3	
			1.7	d	2	
			3.0	e	1	

다. 상태안전성능 평가 성능지표기준

각 평가항목에 대한 평가 기준은 그 상태에 따라 a~e의 5단계로 평가하고, 각 평가 기준에 해당하는 평가점수는 각 표와 같다.

1) 관로

(가) 관로부식

[표 11.14] 관로부식의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
중요 결함	1.0	a	5	부식이 없음
		b	4	경미한 전면부식이 조금 발생되거나 건전부 모재두께의 10% 미만의 점부식이 관찰되는 상태
		c	3	심화된 전면부식이 전단면에 발생되었거나 건전부 모재두께의 10~30% 미만의 점부식이 관찰되는 상태
		d	2	건전부 모재두께의 30~50% 미만의 점부식이 관찰되는 상태
		e	1	건전부 모재두께의 50%이상의 점부식이 관찰되는 상태

<해설>

- 관로의 관체, 밸브 및 볼트·너트 등의 관로부식에 대해 평가함

(나) 관두께

[표 11.15] 관두께의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용	
				수도용 도복장 강관(y(년))	주철관(t(mm))
중요 결함	1.0	a	5	$y \geq 30$	$t \geq 1.0$
		b	4	10 이상 30 미만	0.8 이상 1.0 미만
		c	3	5 이상 10 미만	0.6 이상 0.8 미만
		d	2	2 이상 5 미만	0.4 이상 0.6 미만
		e	1	$y < 2$	$t < 0.4$

<해설>

- 관체는 시간이 경과함에 따라 부식에 의해 관두께가 감소되며, 결국 관의 소요두께 미만이 되면 관의 파손이나 파열 등으로 관로사고가 발생하게 됨. 따라서 부식깊이와 관두께 측정 결과에 의해 현재의 잔존 관두께를 검토함
- 수도용도복장 강관

$$y(\text{년}) = \{\text{측정 최소관두께}(\text{mm}) - \text{최대 관부식 깊이}(\text{mm})\} / \text{최대부식도}$$
 여기서, y = 소요관두께 미만이 되는 기간

$$\text{최대부식도}(\text{mm/년}) = \text{최대 관부식 깊이}(\text{mm}) / \text{경과년수}(\text{년})$$
- 주철관

$$t(\text{평균 잔존 관두께율}) = \text{잔존 평균 관두께} / \text{규정 관두께}$$

(다) 관채변형률

[표 11.16] 관채변형률의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용	비고
중요 결함	1.0	a	5	없음	- 수도용 도복장강관에 적용하며 주철관은 해당 없음 - 관채 변형률은 내측 내경에 의해, 평균 내경과 최대 또는 최소 내경의 비율에 의해 구한 값임
		b	4	3% 미만	
		c	3	3% 이상 15% 미만	
		d	2	15% 이상 30% 미만	
		e	1	30% 이상	

(라) 관로누수(매설관로)

[표 11.17] 관로누수의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
중요 결함	1.0	a	5	누수가 없음
		b	4	누수의 진행이 관찰 가능(방울 방울 떨어짐)
		c	3	누수의 진행이 확인 함(많은 양의 분출)
		d	2	누수의 진행으로 2차 재해가 우려 됨
		e	1	누수의 진행으로 2차 재해가 발생 됨

<해설>

- 취수장, 정수장, 밸브실 등의 누수는 [표 11.19] 밸브누수 평가기준을 따름

(마) 관로용접부 평가

[표 11.18] 관로용접부 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
국부 결함	1.0	a	5	용접부상태가 양호
	1.1	b	4	용접부상태가 전반적으로 양호하나 결함이 있는 상태로 결함판정 결과 합격범위 내
	1.2	c	3	용접부에 전반적인 결함이 존재하며 진전 가능성이 있는 상태
	1.4	d	2	용접부상태에 결함이 있는 상태로 결함판정 결과 불합격 범위에 해당
	2.0	e	1	결함 진전 발생

(바) 밸브누수

[표 11.19] 밸브누수의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
일반 손상	1.0	a	5	누수가 없음
	1.1	b	4	미량의 누수가 발생(습윤 상태)
	1.3	c	3	경미한 누수가 발생(방울방울 떨어지는 상태)
	1.7	d	2	누수의 진행 관찰(흐름 상태)
	3.0	e	1	누수의 진행이 확연함(분출 상태)

2) 토목구조물

(가) 침하부상

[표 11.20] 침하부상의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
중요 결합	1.0	a	5	침하/부상이 발생되지 않은 상태
		b	4	부분적으로 경미한 침하/부상이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
		c	3	침하/부상의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
		d	2	침하/부상의 정도가 심각하여 구조적인 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
		e	1	침하/부상의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안전을 위협받고 있는 상태

(나) 경사

[표 11.21] 경사의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
중요 결합	1.0	a	5	경사/전도가 발생되지 않은 상태
		b	4	부분적으로 경미한 경사/전도가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
		c	3	경사/전도의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
		d	2	경사/전도의 정도가 심각하여 구조물의 구조적인 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
		e	1	경사/전도의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안전을 상실한 위험한 상태

(다) 활동

[표 11.22] 활동의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
중요 결합	1.0	a	5	활동이 발생되지 않은 상태
		b	4	부분적으로 경미한 활동이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
		c	3	활동의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
		d	2	활동의 정도가 심각하여 구조적인 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
		e	1	활동의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안전이 위협받고 있는 위험한 상태

(라) 기초세굴

[표 11.23] 기초세굴의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
국부 결함	1.0	a	5	세굴이 없는 상태
	1.1	b	4	세굴이 경미하게 발생된 상태
	1.2	c	3	경미한 세굴이 여러 곳에 산재되어 있거나 세굴이 다소 심하게 발생된 상태
	1.4	d	2	세굴이 심하여 하단부가 크게 들어 나고 구조적인 안전에 영향을 미칠 수 있는 상태
	2.0	e	1	세굴이 아주 심하여 구조적 안전이 심각하게 위협받고 있는 위험한 상태

(마) 콘크리트 균열

[표 11.24] 콘크리트 균열 평가기준

①일반콘크리트 균열 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용			
				최대균열폭	면적율		
					5%이하	20%이하	20%이상
일반 손상	1.0	a	5	0.1mm 미만	a	a	a
	1.1	b	4	0.1mm~0.2mm 미만	a	a	b
	1.3	c	3	0.2mm~0.3mm 미만	a	b	c
	1.7	d	2	0.3mm~0.5mm 미만	b	c	d
	3.0	e	1	0.5mm 이상	c	d	e

②수처리콘크리트 균열 평가기준

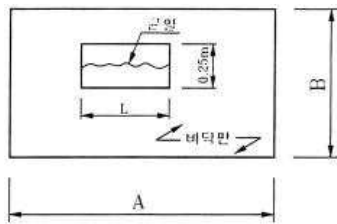
평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용			
				최대균열폭	면적율		
					5%이하	20%이하	20%이상
일반 손상	1.0	a	5	0.1mm 미만	a	a	b
	1.1	b	4	0.1mm~0.2mm 미만	a	b	c
	1.3	c	3	0.2mm~0.3mm 미만	b	c	d
	1.7	d	2	0.3mm~0.5mm 미만	c	d	e
	3.0	e	1	0.5mm 이상	d	e	e

<해설>

- 콘크리트의 균열은 일반손상 중 하나로 구조적·비구조적 균열로 구분되나, 현장조사 시 균열의 종류를 구분하기가 어렵기 때문에 균열의 종류를 구분하지 않고, 콘크리트 구조기준(2012)의 수처리 구조물 콘크리트 허용균열 폭 0.15~0.25mm 및 일반 콘크리트 구조물 허용균열 폭 0.3~0.4mm 등을 고려하여 콘크리트 균열 폭 및 면적율에 따른 상태평가 기준을 설정함

- 균열 면적을 산정 방법

- 1방향 균열인 경우



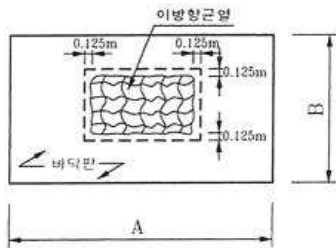
- 균열발생 면적은 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하며, 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 구함

- 균열 면적율은 아래 식으로 산정함

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100$$

$$= \frac{\text{균열길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

- 2방향 균열인 경우



- 균열발생 면적은 균열발생 부위를 가로, 세로의 최외측 균열을 경계로 하여 사각형 형태로 구획한 후, 점선내면 면적인(가로길이+0.25m)×(세로길이+0.25m)로 구함

- 균열 면적율은 아래 식으로 산정함

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100$$

$$= \frac{\text{균열발생면적}(m^2)}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

(바) 콘크리트 박리

[표 11.25] 콘크리트 박리의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
일반 손상	1.0	a	5	박리 발생이 없음
	1.1	b	4	박리 깊이 0.5mm 미만이면서 박리 면적을 10% 미만
	1.3	c	3	박리 깊이 0.5 ~ 1.0mm미만이면서 박리면적을 10% 미만 박리 깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적을 10% 이상
	1.7	d	2	박리 깊이 1.0 ~ 25mm 미만이면서 박리면적을 10% 미만 박리 깊이 0.5~10mm 미만이면서 박리면적을 10% 이상
	3.0	e	1	박리 깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적을 10% 이상 박리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실

(사) 콘크리트 박락 및 층분리

[표 11.26] 콘크리트 박락 및 층분리의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
일반 손상	1.0	a	5	박락/층분리 발생이 없음
	1.1	b	4	박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적을 10% 미만
	1.3	c	3	박락/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적을 10% 미만 박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적을 10% 이상
	1.7	d	2	박락/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적을 10% 미만 박락/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적을 10% 이상
	3.0	e	1	박락/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적을 10% 이상 박락/층분리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실

(아) 콘크리트 철근노출

[표 11.27] 콘크리트 철근노출의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
일반 손상	1.0	a	5	철근노출 없음
	1.1	b	4	철근노출 면적율이 1.0% 미만
	1.3	c	3	철근노출 면적율이 1.0~3.0% 미만
	1.7	d	2	철근노출 면적율이 3.0~5.0% 미만
	3.0	e	1	철근노출 면적율이 5.0% 이상

<해설>

$$\circ \text{ 철근노출면적율}(\%) = \frac{\text{철근노출면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{철근노출길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

(자) 콘크리트 누수

[표 11.28] 콘크리트 누수의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용	
				콘크리트 부재	신축이음부위
일반 손상	1.0	a	5	누수가 없음	누수가 없음
	1.1	b	4	현저한 흔적 (누수부위가 습윤된 상태)	누수 흔적이나 토사 등의 오염
	1.3	c	3	누수의 진행이 관찰가능 상태 (방울방울 떨어짐)	파손에 의한 누수발생
	1.7	d	2	누수의 진행이 관찰가능 상태 (소량이 분출)	누수로 인한 신축이음 하부구조물의 부식발생
	3.0	e	1	누수의 진행이 확인한 상태 (많은 양의 분출)	누수로 인한 신축이음 하부구조물의 부식심화

<해설>

- 상수도 구조물에서 누수가 과대해지면 지반함몰 및 내구성저하 등의 여러 문제를 야기하므로 누수에 대한 구조물의 평가는 중요함. 그러나 누수를 정량적으로 평가하는 것은 어렵기 때문에 누수흔적이나 진행정도를 기준으로 콘크리트 부재와 신축이음 부위로 구분하여 평가함

(차) 콘크리트 백태

[표 11.29] 콘크리트 백태의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
일반 손상	1.0	a	5	백태가 없음
	1.1	b	4	백태 발생 면적율이 5% 미만
	1.3	c	3	백태 발생 면적율이 5~10% 미만
	1.7	d	2	백태 발생 면적율이 10~20% 미만
	3.0	e	1	백태 발생 면적율이 20% 이상

(카) 콘크리트 파손

[표 11.30] 콘크리트 파손의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
일반 손상	1.0	a	5	파손이 없음
	1.1	b	4	파손깊이 20mm 미만이면서 파손면적을 10% 미만,
	1.3	c	3	파손깊이 20~50mm 미만이면서 파손면적을 10% 미만 파손깊이 20mm 미만이면서 파손면적을 10% 이상
	1.7	d	2	파손깊이 50~80mm 미만이면서 파손면적을 10% 미만 파손깊이 20~50mm 미만이면서 파손면적을 10% 이상
	3.0	e	1	파손깊이 80mm 이상이면서 파손면적을 10% 미만, 파손깊이 50mm 이상이면서 파손면적을 10% 이상

<해설>

- 파손은 콘크리트가 재료적, 환경적, 또는 외부적인 하중조건에 의해 손상을 입은 것을 말하며 재료분리(곰보판), 물탈 탈락 등 여타의 손상을 포함함

(타) 신축이음 및 탈락

[표 11.31] 신축이음 탈락 및 열화의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용	
				부재의 탈락정도	부재의 열화정도
일반 손상	1.0	a	5	없음	없음
	1.1	b	4	없음	고무판 마모, 강재의 부식(녹) 발생 등의 경미한 열화
	1.3	c	3	고정 장치의 이완으로 신축이음 본체 유동	고무판 마모, 강재의 부식(녹) 발생 등의 열화심화
	1.7	d	2	고정 장치의 파손으로 신축이음 본체 일부 탈락 및 손상	—
	3.0	e	1	신축이음 본체 파손	—

<해설>

- 상수도 구조물은 대부분 장대형으로 신축이음이 여러 곳에 설치되어 신축이음 부재가 탈락 하거나, 열화가 크게 진행되는 경우에는 누수 등의 발생으로 여러 가지 문제를 야기할 수 있으므로 구조물의 상태평가 시 신축이음의 상태를 고려함이 필요함에 따라 신축이음 탈락 및 열화 정도에 따른 기준을 설정함

3) 강구조물

(가) 강재변형 및 변위

[표 11.32] 강재변형 및 변위 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
중요 결함	1.0	a	5	변형이나 변위 등이 전혀 없음
		b	4	변형이나 변위가 없으나 미소한 처짐의 발생 (최대 허용처짐량의 20% 미만)
		c	3	변형이나 변위가 미미하고 이로 인한 손상이 없으며 처짐이 다소 크게 발생(최대 허용처짐량의 20~50% 미만)
		d	2	변형이나 변위가 다소 크게 발생하였으나 이로 인한 손상은 없고 처짐이 크게 발생 (최대 허용처짐량의 50%~100% 미만)
		e	1	변형이나 변위가 과대하고 이로 인해 손상이 발생

(나) 강재부식

[표 11.33] 강재부식의 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
국부 결함	1.0	a	5	부식이 전혀 없음
	1.1	b	4	국부적으로 부식이 발생(부식발생 면적을 5% 미만)
	1.2	c	3	부식이 다소발생(부식발생 면적을 5~15% 미만)
	1.4	d	2	전반적으로 부식이 발생(부식발생 면적을 15~30% 미만)
	2.0	e	1	부식발생이 심화(부식발생 면적을 30% 이상)

<해설>

- 부식의 정도에 따른 발생 면적율, 부식깊이 등의 측정결과로 평가

(다) 강재 피로균열

[표 11.34] 강재 피로균열 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
국부 결함	1.0	a	5	전 부재에 걸쳐 균열발생이 없음
	1.1	b	4	보조부재에 국부적으로 미세 표면균열이 발생
	1.2	c	3	주 부재에 국부적으로 미세 표면균열 발생
	1.4	d	2	주 부재에 균열길이 20mm 미만의 관통균열 발생
	2.0	e	1	주 부재에 균열길이 20mm 이상의 관통균열 발생

4) 기전설비

(가) 펌프베드 기초부

[표 11.35] 펌프베드 기초부 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
국부 결함	1.0	a	5	베드 기초에 전혀 균열이 없는 최상의 상태
	1.1	b	4	베드 기초에 균열이 없는 양호한 상태
	1.2	c	3	베드 기초에 미세균열이 부분적으로 발생한 보통의 상태
	1.4	d	2	베드 기초의 볼트주위에 균열이 발생한 상태
	2.0	e	1	펌프 고정이 불가능한 정도로 베드 기초에 균열이 발생하여 보강 또는 교체 등이 필요한 상태

(나) 장내배관 누수

[표 11.36] 장내배관 누수 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
중요 결함	1.0	a	5	누수가 전혀 없음
		b	4	미량의 누수가 발생(습윤 상태)
		c	3	경미한 누수가 발생(방울방울 떨어지는 상태)
		d	2	누수의 진행 관찰(흐름 상태)
		e	1	누수의 진행이 확인함(분출 상태)

(다) 기기설비 마찰부 손상

[표 11.37] 기기설비 마찰부 손상 평가기준

평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가내용
일반 손상	1.0	a	5	손상이 없는 양호한 상태
	1.1	b	4	손상이 없는 건전한 상태
	1.3	c	3	약간의 이음 이상진동이 있으나 사용가능한 상태, 그리스 도포가 불량한 상태
	1.7	d	2	부식고착으로 이음 이상진동이 과다한 상태 그리스가 건조되거나 이물질이 다량 함유된 상태
	3.0	e	1	손상 등이 발생하여 보수가 필요한 상태 정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한적 작동이 되는 상태

나. 상태안전성능 평가 결과 산정 방법

상수도시설물은 종합시설물로서 크게 관로시설물, 토목구조물, 기계·전기설비 및 건축구조물로 구분된다. 각각의 시설물의 상태안전성능의 평가는 하위단계인 개별부재, 복합부재, 개별시설, 복합시설, 통합시설로 구분하여 아래 그림과 같이 상태안전성능 평가 결과 산정방법에 따라 평가를 수행한다.

외관조사망도는 개별부재에 대하여 작성하는 것을 원칙으로 하고, 필요시 개별부재의 크기, 면적에 따라 부위별로 분할하여 작성한다.



Note ; $E_1 \sim E_7$, E_c , E_s : 평가지수, M: 상태평가 점수, F: 영향계수, A: 조정계수, W: 중요도

[그림 11.3] 상수도시설물 평가 단계별 절차

[표 11.38] 상수도시설물의 평가단계별 평가대상 부재 및 시설물 구분(예)

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분				
평가구분		평가대상					
상태안전 성능평가	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상)	관로1 관로2 ... 밸브실1 밸브실2 ... 등등	블록1 블록2 ...	슬래브 벽체 기둥 보 ... 등등	펌프1,... 전동기1,... 베드1,... 배관1,... 권양와이어 권양레일 등등	건축물 적용
	2단계	개별부재	세부구간 2-1 세부구간 2-2 ...				
	3단계	복합부재	구간1 구간2 ...	구간1 구간2 ...	취수탑1,... 흡수정1,... 착수정1,... 침전지1,... 여과지1,... 정수지1,... 등등	펌프설비1, ... 배관설비1, ... 권양와이어 1,... 등등	
상태안전 성능평가 + 구조안전 성능평가	4단계	개별시설물	계통1 계통2 ...	수로터널1 수로터널2 ...	취수탑 흡수정 착수정 침전지 여과지 정수지 등등	펌프설비 배관설비 기기설비 등등	
안전성능 평가	5단계	복합시설물	관로	수로터널	취수시설 취수장1,... 정수장1,... 가압장1,... 등등	취수장1,... 정수장1,... 가압장1,... 등등	
	6단계	통합시설물	관로시설물		토목구조물	기전설비	건축 구조물
	7단계	종합시설물	상 수 도				

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도를 작성하며 건축물의 안전성능 평가는 세부지침 「공항(여객터미널)」 편을 준용함

1) 관로

(가) 1단계 평가

○ 부재별 손상 및 결함상태 조사표 작성

- 1단계 평가는 개별부재에 대한 손상 및 결함 조사표로서, 소정의 연장구간(단위조사구간)으로 구획한 개별부재(부위)에 대해 개별부재(부위)에 발생되어 있는 손상 및 결함 등의 조사항목에 대한 상태안전성능 기준을 표기(알파벳 소문자)한다.

[표 11.39] 관로의 개별부재(부위)별 손상 및 결함상태 조사표 예

개별부재(부위) 손상 및 결함상태 조사표				
조사망번호	부재(부위)명	복합부재명	개별시설물명	표번호
Sta. No. 49+00~52+00	관로 세부구간 2-2	관로구간 2	○○계통	No. P1-1-2
외관조사망도 작성(손상·결함상태 도시 및 주기사항 기록)				
번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	평가결과
①	관로부식	경미한 전면부식	최대부식깊이 : 0.2mm 최대부식면적 : 0.05m ²	b
②	관체 변형률	실측내경 : 평균 1820mm, 최대 1864mm	2.4 %	b
특기사항	- 관중 : 강관, - 관경 : D=1,200mm, - 연장 : L=120m			
조사일자	2018. 10. 23 14:00 ~ 17:00	조사자	홍길동, 김철수	

(나) 2단계 평가

○ 개별부재 상태안전성능 평가표 작성

- 1단계에서 개별부재별로 조사 작성된 손상 및 결함상태 조사표에 의해 1단계 평가표를 참조하여 손상 및 결함의 평가유형에 따라 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분한다.
- 손상 및 결함별 상태안전성능 평가기준에 의한 평가점수(M)에 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 결함 및 손상별 상태안전성능 평가지수(E_{C1})를 산출한다(단, 상태안전성능 평가지수 값은 소수점 이하 3째 자리에서 반올림).
- 산출된 결함 및 손상별 상태안전성능 평가지수(E_{C1}) 중 최솟값을 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})를 산정한 후 [표 11.40]의 상태안전성능 평가지수 범위에 따른 상태안전성능 평가 기준에 의해 개별부재의 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 부여한다.

[표 11.40] 상태안전성능 평가지수 범위에 따른 평가기준 및 평가유형별 영향계수(F)

상태안전성능 평가지수 범위에 따른 상태안전성능 평가		구 분		영 향 계 수(F)				
상태안전성능 평가지수(E_c)	평가기준	평가기준		a	b	c	d	e
$4.5 \leq E_c \leq 5.0$	a	평가점수		5	4	3	2	1
$3.5 \leq E_c < 4.5$	b	평 가 유 형	중요결함	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$2.5 \leq E_c < 3.5$	c		국부결함	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0
$1.5 \leq E_c < 2.5$	d		일반손상	1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
$1.0 \leq E_c < 1.5$	e							

[표 11.41] 관로 개별부재의 상태안전성능 평가표 예

개별부재 상태안전성능 평가표					
개별부재명	관로 2-2	개별부재규모	강관 $D = 1,200mm$ $L = 120m$		표번호
복합부재명	관로구간 2	개별시설물명	○○계통		No. P1-2-2
근거(1단계) 표번호	No. P1-1-2 (1단계에서 다수의 개별부위 조사표가 작성된 경우에는 각각의 개별부위 표번호 기입)				
평가항목	평가유형	상태안전성능 평가기준	상태안전성능 평가점수 (M)	영향계수 (F)	상태안전성능 평가지수 ($E_{C1}=M \times F$)
관로부식	중요결함	관로	4	1.0	4.0
관체 변형률	중요결함	관로	4	1.0	4.0
:					
평가의견					
상태안전성능 평가 결과	1. 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2}) = 상태안전성능 평가지수(E_{C1})값 중 최솟값 = 4.0 2. 개별부재(관로1-2-2)의 상태안전성능 평가 결과 = b				

(다) 3단계 평가

○ 복합부재 상태안전성능 평가표 작성

관로의 복합부재는 관로계통(도수, 송수, 배수 등)에서 하나의 분할구간을 의미하며 관로구간, 밸브실 및 조절지 등 개별부재의 집합이므로 복합부재의 평가는 각 개별부재가 복합부재의 기능과 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도(W)를 반영함이 필요하다. 따라서 복합부재를 구성하는 각 주요개별부재에 대한 중요도를 다음 [표 11.42]와 같이 설정하였으며, 각 개별부재별 중요도의 합은 100이 되도록 하며, 책임기술자는 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 $\pm 20\%$ 범위 내에서 조정할 수 있다.

- 중요도가 설정되지 않은 추가적인 개별부재가 있는 경우
 - 그 개별부재의 중요도를 책임기술자가 판단하여 정하되 각 개별부재의 중요도 합은 100이 되도록 한다.
- 중요도는 설정되어 있으나 평가대상이 아닌 개별부재인 경우
 - 중요도는 개별부재 종류별로 설정하되, 각각의 개별부재에 대해서 관로의 경우 규모(단면적 \times 연장, m^3), 밸브실의 경우 경의 경우 개수, 조절지의 경우 체적(m^3) 등을 기준으로 배분한다.

[표 11.42] 관로의 개별부재 종류에 따른 중요도(W) 및 조정방법의 예

구 분	조 절 지	관 로	밸 브 실	비 고
중요도 (%)	20 $\pm 4(16\sim 24)$	65 $\pm 13(52\sim 78)$	15 $\pm 3(12\sim 18)$	()내는 책임기술자가 조정할 수 있는 중요도의 범위
조정 후 중요도 (%)	—	$65 \times 100 / 80$ $= 81.25$ $\Rightarrow 81$	$15 \times 100 / 80$ $= 18.75$ $\Rightarrow 19$	-조절지가 없는 경우 조절지의 중요도 값을 나머지 개별부재의 중요도 가중치를 적용하여 배분

복합부재의 상태안전성능은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응하는 보정을 하기 위하여 다음 [표 11.43]과 같은 조정계수(A)를 적용한다.

복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재전체의 안전성을 평가절하 하는 것으로서 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출하고자 함에 있다.

[표 11.43] 상태안전성능 평가지수에 따른 조정계수(A)

상태안전성능 평가기준	a	b	c	d	e
상태안전성능 평가지수(E_c)	5.0 ~ 4.5이상	4.5미만~ 3.5이상	3.5미만~ 2.5이상	2.5미만~ 1.5이상	1.5미만~ 1.0이상
조정계수(A)	1	2	3	6	6

○ 복합부재 상태안전성능 평가

개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})에 중요도(W) 및 조정계수(A)를 반영하는 아래 식을 사용하여 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3})를 산출하고, [표 11.40]의 상태안전성능 평가지수 범위에 따른 상태안전성능 평가 기준에 의해 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

• 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) = $\sum(E_{C2} \times P) / \sum P$

- 여기서, E_{C2} : 개별부재의 상태안전성능 평가지수

P : 조정 값(=A × W)

A : 조정계수

W : 중요도

[표 11.44] 관로 복합부재의 상태안전성능 평가표 예

복합부재 상태안전성능 평가표						
복합부재명	관로구간 2		개별 시설물명	○○계통		표번호
복합부재 규모	강관, D = 1,200mm, L = 1,800m					No. P1-3-2
근거(2단계)	No. P1-2-1, No. P1-2-2, No. P1-2-3,					
표번호	No. P1-2-4, No. P1-2-5, No. P1-2-6, No. P1-2-7					
개별부재 구분	상태안전성능 평가 결과	상태안전성능 평가지수(E _{C2})	조정계수 (A)	중요도 (W, %)	조정값 (P=A×W)	계산값 (E _{C2} ×P)
관로 2-1	c	3.2	3	65/2	97.5	312.0
관로 2-2	b	3.6	2	65/2	65.0	234.0
밸브실 1	a	4.6	1	15/3	5.0	23.0
밸브실 2	b	3.9	2	15/3	10.0	39.0
밸브실 3	c	2.8	3	15/3	15.0	42.0
조절지 1	c	3.0	3	20/2	30.0	90.0
조절지 2	d	2.3	6	20/2	60.0	138.0
합계(Σ)				100	282.5	878.0
평가의견						
상태안전성능 평가 결과	1. 복합부재 상태안전성능 평가지수(E _{C3}) = Σ(E _{C2} ×P) / ΣP					
	= 878.0 / 282.5 = 3.11					
	2. 복합부재(관로구간 1-2) 상태안전성능 평가 결과 = c					

(라) 4단계 평가

○ 개별시설물 상태안전성능 평가표 작성

도수관로, 송수관로1, 송수관로2, ... 등 각 계통별 관로는 개별시설물로서 동일 기능을 수행하는 복합부재(구간1, 구간2, ...)의 집합으로서 구성된다.

개별시설물의 상태안전성능 평가 복합부재의 중요도가 같다는 가정 하에 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3})에 복합부재의 규모(관로구간 : 관의 단면적× 해당 관의 연장, 별도의 구간으로 구분된 조절지 : 가로×세로×높이)를 반영하여 아래 식에 의해 개별시설물의 상태안전성능 평가지수(E_{C4})를 산출하고, [표 11.40]에서 제시한 상태안전성능 평가지수의 범위에 따른 상태안전성능 평가 기준에 의해 개별시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

- 개별시설물의 상태안전성능 평가지수(E_{C4}) = $\text{Min} + V_1 \times V_2$

여기서, $V_1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$

$$V_2 = \frac{\sum(E_{C3} \times S)}{5 \times \sum S}$$

S : 복합부재별 규모(m^2 , m^3)

Max : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최댓값

Min : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최솟값

개별시설물의 평가단계에서는 안전성능 평가가 필요한 경우 상태안전성능 평가와 더불어 구조안전성능 평가를 수행하고, 상태안전성능 평가 결과와 구조안전성능 평가 결과를 비교·검토하여 안전성능 평가가 수행된다.

[표 11.45] 관로 개별시설물의 상태안전성능 평가표 예

개별시설물 상태안전성능 평가표				
개별시설물명	○○계통	개별시설물규모	강관, $D = 1,200\text{mm}$, $L = 5,500\text{m}$	표번호
근거(3단계) 표번호	No. P1-3-1, No. P1-3-2, No. P1-3-3			No. P1-4-1
복합부재구분	상태안전성능 평가 결과	상태안전성능 평가지수(E_{C3})	규모(S, m^3)	계산값($E_{C3} \times S$)
관로구간 1	b	3.69	2,035	7,509
관로구간 2	c	3.11	2,035	6,329
관로구간 3	b	3.92	2,148	8,420
합계(Σ)			6,218	22,258
평가의견				
상태안전성능 평가결과	1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최솟값(Min) = 3.11 2. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최댓값(Max) = 3.92 3. $V_1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min}) = 0.3 \times (3.92 - 3.11) = 0.243$ 4. $V_2 = \frac{\sum(E_{C3} \times S)}{5 \times \sum S} = \frac{22,258}{5 \times 6,218} = 0.716$ 5. 개별시설물(송수관로1)의 상태안전성능 평가지수(E_{C4}) = $\text{Min} + V_1 \times V_2 = 3.11 + 0.243 \times 0.716 = 3.28$ 6. 개별시설물(송수관로1)의 상태안전성능 평가 결과 = c			

2) 수로터널

(가) 1단계 평가

○ 부재별 손상 및 결함상태 조사표 작성

수로터널의 개별부재(부위)를 서로 다른 연장으로 구획하게 되면 복합부재나 개별시설물 등의 평가 시 연장에 대한 보정을 하여야 하는 번거로움이 있으므로 가능한 한 동일한 연장으로 개별부재(부위)를 구획하는 것이 바람직하다.

1단계는 상기와 같이 수로터널의 분할구간 중 소정의 동일 연장구간으로 구획한 개별부재(부위)에 대해 개별부재(부위)에 발생되어 있는 손상 및 결함상태를 도시하는 외관조사망도를 작성하고, 조사내용을 상세히 기록하며 손상 및 결함별 상태안전성능 평가기준에 의한 평가결과를 표기(알파벳 소문자)한다.

[표 11.46] 수로터널의 개별부재(부위)별 손상 및 결함상태 조사표 예

개별부재(부위) 손상 및 결함상태 조사표				
조사망번호	부재(부위)명	복합부재명	개별시설물명	표번호
Sta. No. 3+00~5+00	블록 3-1-2	터널구간 3-1	수로터널 3	No. 3T-1-2
외관조사망도 작성(손상·결함상태 도시 및 주기사항 기록)				
번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	평가결과
①	콘크리트 균열	수평균열 2개소	○ 균열폭 : 0.12~0.18mm ○ 균열길이 : 15.8m	b
②	콘크리트 균열	수직균열 3개소	○ 균열폭 : 0.2~0.25mm ○ 균열길이 : 3.6m	c
③	콘크리트 박리	부분적 박리	○ 박리면적 : 0.52m ² ○ 박리깊이 : 1.2mm	d
특기사항	○ 마제형 철근콘크리트 라이닝 구조 ○ 규모 : $D = 2.5m$ ○ 연장 : $L = 80m$ ○ 조사단위면적 : $2.5m \times 3.14 \times 80.0m = 628.0m^2$			
조사일자	2018. 10. 23 14:00 ~ 17:00		조사자	홍길동, 김철수

(나) 2단계 평가

○ 개별부재 상태안전성능 평가표 작성

1단계에서 개별부재별로 조사 작성된 손상 및 결함상태 조사표에 의해 손상 및 결함의 평가유형에 따라 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분하고 손상 및 결함별 상태안전성능 평가 기준에 의한 평가점수(M)에 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 결함 및 손상별 상태안전성능 평가지수(E_{C1})를 산출한다. 단, 상태안전성능 평가지수 값은 소수점 이하 3째 자리에서 반올림한다.

산출된 결함 및 손상별 상태안전성능 평가지수(E_{C1}) 중 최솟값을 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})를 산정한 후 [표 11.40]에 제시된 상태안전성능 평가 지수 범위에 따른 상태안전성능 평가 기준에 의해 개별부재의 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 부여한다.

[표 11.47] 수로터널 개별부재의 상태안전성능 평가표 예

개별부재 상태안전성능 평가표					
개별부재명	블록3-1-2	개별부재규모	$D = 2.5m, L = 80m$		표번호
복합부재명	터널구간 3-1	개별시설물명	수로터널 3		No. 3T-2-1
근거(1단계) 표번호	No. 3T-1-2 (1단계에서 다수의 개별부위 조사표가 작성된 경우에는 각각의 개별부위 표번호 기입)				
평가항목	평가유형	상태안전성능 평가기준	상태안전성능 평가점수 (M)	영향계수 (F)	상태안전성능 평가지수 ($E_{C1}=M \times F$)
콘크리트 균열	일반손상	토목구조물	4	1.1	4.0
콘크리트 균열	일반손상	토목구조물	3	1.3	3.9
콘크리트 박리	일반손상	토목구조물	2	1.7	3.4
평가의견					
상태안전성능 평가 결과	1. 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2}) = 상태안전성능 평가지수(E_{C1})값 중 최솟값 = 3.4 2. 개별부재(블록3-1-2)의 상태안전성능 평가 결과 = c				

(다) 3단계 평가 : 복합부재 상태안전성능 평가표 작성

수로터널의 복합부재는 수도터널을 분할한 다수의 구간들 중 하나의 구간을 의미하는 것으로 단위조사 구간(Block)인 개별부재의 집합이므로 복합부재의 평가는 각 개별부재가 복합부재의 기능과 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도(W)를 반영하는 것이 필요하다. 또한 각 개별부재에 대한 중요도의 합은 100이 되도록 하며, 책임기술자는 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 $\pm 20\%$ 범위 내에서 조정할 수 있다.

- 중요도가 설정되지 않은 추가적인 개별부재가 있는 경우
 - 그 개별부재의 중요도를 책임기술자가 판단하여 정하되 각 개별부재의 중요도 합은 100이 되도록 한다.
- 중요도는 설정되어 있으나 평가대상이 아닌 개별부재인 경우
 - 그 개별부재의 중요도 값을 나머지 평가대상 개별부재에 배분한다.

또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응하는 보정을 하기 위하여 앞의 [표 11.43]에 제시된 상태안전성능 평가지수에 따른 조정계수(A)를 사용한다. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재전체의 안전성을 평가절하 하는 것으로서 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출하고자 함에 있다.

복합부재의 상태안전성능 평가는 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})에 중요도(W) 및 조정계수(A)를 반영하여 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3})를 산출하고 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

[표 11.48] 수도터널 복합부재의 상태안전성능 평가표 예

복합부재 상태안전성능 평가표						
복합부재명	터널구간 3-1	개별시설물명	수로터널 3			표번호
복합부재규모	마제형 철근콘크리트라이닝 구조 $D = 2.5m, L = 240m$					No. 3T-3-1
근거(2단계) 표번호	No. 3T-2-1, No. 3T-2-2, No. 3T-2-3					
개별부재구분	상태안전성능 평가결과	상태안전성능 평가지수(E_{C2})	조정계수 (A)	중요도 (W, %)	조정값 ($P=A \times W$)	계산값 ($E_{C2} \times P$)
블록3-1-1	b	4.2	2	100/3	66.7	280.1
블록3-1-2	c	3.4	3	100/3	100.0	340.0
블록3-1-3	b	3.9	2	100/3	66.7	260.1
합계(Σ)				100	233.4	880.2
평가의견						
상태안전성능 평가 결과	1. 복합부재 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) = $\Sigma(E_{C2} \times P) / \Sigma P = 880.2 / 233.4 = 3.77$ 2. 복합부재(터널구간 3-1) 상태안전성능 평가 결과 = b					

(라) 4단계 평가

○ 개별시설물 상태가표 작성

관로 도중에 설치되는 수로터널은 다수의 터널이 설치될 수 있으며, 각각의 수로터널을 개별시설물로 구분하며, 동일기능을 수행하는 복합부재(구간1, 구간2, ...)의 집합으로서 구성된다.

개별시설물의 상태안전성능 평가는 복합부재의 중요도가 같다는 가정 하에 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3})에 복합부재의 규모(수로터널의 단면적×수로터널의 연장)를 반영하여 개별시설물의 상태안전성능 평가지수(E_{C4})를 산출하고, [표 11.40]에서 제시한 상태안전성능 평가지수의 범위에 따른 상태안전성능 평가기준에 의해 개별시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

또한, 개별시설물의 평가단계에서는 안전성능 평가가 필요한 경우 상태안전성능 평가와 더불어 구조안전성능 평가를 수행하고, 상태안전성능 평가 결과와 구조안전성능 평가 결과를 비교·검토하여 안전성능 평가가 이루어진다.

[표 11.49] 수로터널 개별시설물의 상태안전성능 평가표 예

개별시설물 상태안전성능 평가표				
개별 시설물명	수로터널 3	개별 시설물규모	마제형 철근콘크리트라이닝 구조 $D = 2.5m, L = 740m$	표번호
근거(3단계) 표번호	No. 3T-3-1, No. 3T-3-2, No. 3T-3-2			No. 3T-4-1
복합부재구분	상태안전성능 평가결과	상태안전성능 평가지수(E_{C3})	규모(S, m^3)	계산값($E_{C3} \times S$)
터널구간 3-1	b	3.77	1,177.5	4,439.2
터널구간 3-2	c	3.42	1,275.6	4,362.6
터널구간 3-3	b	3.83	1,177.5	4,509.8
합계(Σ)			3,630.6	13,311.6
평가의견				
상태안전성능 평가 결과	1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최솟값(Min) = 3.42 2. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최댓값(Max) = 3.83 3. $V_1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (3.83 - 3.42) = 0.123$ 4. $V_2 = \Sigma(E_{C3} \times S) / 5 \times \Sigma S = 13,311.6 / 5 \times 3,630.6 = 0.733$ 5. 개별시설물(수로터널3)의 상태안전성능 평가지수(E_{C4}) $= Min + V_1 \times V_2 = 3.42 + 0.123 \times 0.733 =$ 6. 개별시설물(수로터널3)의 상태안전성능 평가 결과 =			
				3.51 b

3) 토목구조물

(가) 1단계 평가

○ 부재별 손상 및 결함상태 조사표 작성

상수도의 토목구조물은 대부분 철근콘크리트 구조로서 슬래브, 벽체, 기둥 및 보 등으로 구성되며 이러한 구성요소를 개별부재로 본다.

1단계는 상기와 같은 개별부재에 대해 개별부재에 발생되어 있는 손상 및 결함상태를 도시하는 외관조사망도를 작성하고 조사내용을 상세히 기록하며, 손상 및 결함별 상태안전성능 평가기준에 의해 상태안전성능 평가 결과를 표기(알파벳 소문자)한다.

필요에 따라 개별부재를 부위별로 다수의 조사망을 구획하여 외관조사망도를 작성할 수 있으며, 이러한 경우 2단계에서 부위별 손상 및 결함을 취합하여 개별부재에 대한 상태안전성능 평가를 실시토록 한다.

[표 11.50] 토목구조물의 개별부재(부위)별 손상 및 결함상태 조사표 예

개별부재(부위) 손상 및 결함상태 조사표				
조사망번호	부재(부위)명	복합부재명	개별시설물명	표번호
A-S2W-3	벽체A-2-3	A-2호침전지	A정수장 침전지	No. SW-1-1
외관조사망도 작성(손상·결함상태 도시 및 주기사항 기록)				
번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	평가결과
①	침하	부분적 경미한 침하 (보수불필요)	○ 침하깊이 : 1.5mm ○ 침하진전 없음	b
②	콘크리트 균열	수직균열 3개소	○ 균열폭 : 0.15~0.20mm 미만 ○ 균열길이 : 5.6m	b
③	콘크리트 박리	부분적 박리	○ 박리면적 : 0.40m ² ○ 박리깊이 : 0.4mm	c
④	누수	신축이음부위에 상당한 누수발생	○ 누수로 인한 철근부식진행	d
⑤	콘크리트 파손	부분적 파손	○ 파손면적 : 0.4m ² ○ 파손깊이 : 30mm	c
특기사항	○ 철근콘크리트 구조 및 에폭시방수·방식실시 ○ 규모 : H = 3.5m, L = 30.0m ○ 조사단위면적 : 3.5m × 30.0m = 105m ²			
조사일자	2018. 10. 23 14:00 ~ 17:00		조사자	홍길동, 김철수

(나) 2단계 평가

○ 개별부재 상태안전성능 평가표 작성

1단계에서 개별부재별로 조사 작성된 손상 및 결함상태 조사표에 의해 손상 및 결함의 평가유형에 따라 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분하고 손상 및 결함별 상태안전성능 평가 기준에 의한 평가점수(M)에 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 결함 및 손상별 상태안전성능 평가지수(E_{C1})를 산출한다. 단, 상태안전성능 평가지수 값은 소수점 이하 3째 자리에서 반올림한다.

산출된 결함 및 손상별 상태안전성능 평가지수(E_{C1}) 중 최솟값을 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})를 산정한 후 [표 11.40]에 제시된 상태안전성능 평가 지수 범위에 따른 상태안전성능 평가 기준에 의해 개별부재의 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 부여한다.

[표 11.51] 토목구조물 개별부재의 상태안전성능 평가표 예

개별부재 상태안전성능 평가표					
개별부재명	벽체A-2-3	개별부재규모	철근콘크리트 구조 $H = 3.5m, \quad L = 30.0m$		표번호
복합부재명	A-2호 침전지	개별시설물명	A 정수장 침전지		No. SW-2-1
근거(1단계) 표번호	No. SW-1-1 (1단계에서 다수의 개별부위 조사표가 작성된 경우에는 각각의 개별부위 표번호 기입)				
평가항목	평가유형	상태안전성능 평가기준	상태안전성능 평가점수 (M)	영향계수 (F)	상태안전성능 평가지수 ($E_{C1}=M \times F$)
침하	중요결함	토목구조물	4	1.0	4.0
콘크리트 균열	일반손상	토목구조물	4	1.1	4.4
콘크리트 박리	일반손상	토목구조물	3	1.3	3.9
누수	일반손상	토목구조물	2	1.7	3.4
콘크리트 파손	일반손상	토목구조물	3	1.3	3.9
평가의견					
상태안전성능 평가 결과	1. 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2}) = 상태안전성능 평가지수(E_{C1})값 중 최솟값 = 3.4 2. 개별부재(벽체A-2-3)의 상태안전성능 평가 결과 = c				

(다) 3단계 평가

○ 복합부재 상태안전성능 평가표 작성

토목구조물의 복합부재는 각각의 개별부재(슬래브, 벽체, 기둥 및 보 등)로 구성되는 단위구조물로서 복합부재의 평가는 각각의 개별부재가 복합부재의 기능과 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도(W)를 반영하는 것이 필요하며, 이때 각 개별부재의 중요도 합은 100이 되도록 한다. 표준적인 개별부재별 중요도(W)를 설정하면 [표 11.52]와 같으며, 책임기술자는 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 $\pm 20\%$ 값 범위 내에서 조정할 수 있다.

[표 11.52] 토목구조물 개별부재별 중요도(W) 기준

개별부재구분	중요도(W)		비 고
	내력구조인 경우	비 내력구조인 경우	
바닥슬래브	20	25	
상부슬래브	10	10	
벽 체	25	10	
기 둥	25	30	
보	20	25	

- 중요도가 규정되지 않은 추가적인 개별부재가 있는 경우
 - 그 개별부재의 중요도를 책임기술자가 판단하여 정하고 기타의 부재들은 규정된 비율대로 배분한다.
- 중요도는 제시되어 있으나 평가할 수 있는 해당 개별부재가 없는 경우
 - 그 중요도를 나머지 개별부재에 배분한다.

또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응하는 보정을 하기 위하여 [표 11.43]에 제시된 상태안전성능 평가지수에 따른 조정계수(A)를 사용한다. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재전체의 안전성을 평가절하 하는 것으로서 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출하고자 함에 있다.

복합부재의 상태안전성능 평가는 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})에 중요도(W) 및 조정계수(A)를 반영하여 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3})를 산출하고, 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

다음 [표 11.53]에 토목구조물의 복합부재에 대한 표준적인 상태안전성능 평가표 작성 예를 제시하였다.

[표 11.53] 토목구조물 복합부재의 상태안전성능 평가표 예

복합부재 상태안전성능 평가표						
복합부재명	A-2호 침전지	개별시설물명	A 정수장 침전지	표번호		
복합부재규모	철근콘크리트 구조, H=3.5m, W=12.0m, L=30.0m			No. AS-3-2		
근거(2단계) 표번호	No. BS-2-1, No. US-2-1, No. SW-2-1, No. CL-2-1, No. BM-2-1					
개별부재구분	상태안전성능 평가 결과	상태안전성능 평가지수(E _{C2})	조정계수 (A)	중요도 (W, %)	조정값 (P=A×W)	계산값 (E _{C2} ×P)
바닥슬래브	b	3.7	2	20	40	148.0
상부슬래브	c	3.1	3	10	30	93.0
벽 체	c	3.4	3	25	75	255.0
기 등	a	4.7	1	25	25	117.5
보	a	4.8	1	20	20	96.0
합계(Σ)				100	190	709.5
평가의견						
상태안전성능 평가 결과	1. 복합부재 상태안전성능 평가지수(E _{C3}) = Σ(E _{C2} × P) / ΣP = 709.5 / 190.0 = 3.73 2. 복합부재(A-2호 침전지) 상태안전성능 평가 결과 = b					

(라) 4단계 평가

○ 개별시설물 상태안전성능 평가표 작성

토목구조물의 개별시설물은 대부분 동일한 기능과 형식을 가진 단위구조물들의 복수계열로 이루어진 집합구조물로서 개별시설물을 구성하는 복합부재들은 각각 동일한 고유의 기능을 가지면서 다른 복합부재와 유기적으로 밀접하게 관계되어 있다.

따라서 개별시설물의 상태안전성능 평가는 복합부재의 중요도가 같다는 가정 하에 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3})에 복합부재의 규모(조사면적, m^2)를 반영하여 개별시설물의 상태안전성능 평가지수(E_{C4})를 산출하고, [표 11.40]에서 제시한 상태안전성능 평가지수의 범위에 따른 상태안전성능 평가 기준에 의해 개별시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

또한, 개별시설물의 평가단계에서는 안전성능 평가가 필요한 경우 상태안전성능 평가와 더불어 구조안전성능 평가를 수행하고, 상태안전성능 평가 결과와 구조안전성능 평가 결과를 비교·검토하여 안전성능 평가가 이루어진다.

[표 11.54] 토목구조물의 개별시설물 상태안전성능 평가표 예

개별시설물 상태안전성능 평가표				
개별시설물명	A정수장 침전지	개별 시설물규모	철근콘크리트구조 ($H3.5m \times W120m \times L=30.0m \times 4$)	표번호
근거(3단계) 표번호	No. AS-3-1, No. AS-3-2, No. AS-3-3, No. AS-3-4			No. AS-4-1
복합부재구분	상태안전성능 평가결과	상태안전성능 평가지수(E_{C3})	규모(S, m^2)	계산값($E_{C3} \times S$)
A-1호 침전지	c	3.38	1,260	4,258.8
A-2호 침전지	b	3.73	1,260	4,699.8
A-3호 침전지	b	3.85	1,260	4,851.0
A-4호 침전지	c	3.14	1,260	3,956.4
합계(Σ)			5,040	17,766.0
평가의견				
상태안전성능 평가결과	1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최솟값(Min) = 3.14 2. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최댓값(Max) = 3.85 3. $V_1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (3.85 - 3.14) = 0.213$ 4. $V_2 = \Sigma(E_{C3} \times S) / 5 \times \Sigma S = 17,766.0 / 5 \times 5,040.0 = 0.705$ 5. 개별시설물(A정수장 침전지)의 상태안전성능 평가지수(E_{C4}) $= Min + V_1 \times V_2 = 3.14 + 0.213 \times 0.705 = 3.29$ 6. 개별시설물(A정수장 침전지)의 상태안전성능 평가 결과 = c			

4) 기전설비

(가) 1단계 평가

○ 부재별 손상 및 결함상태 조사표 작성

기전설비의 손상 및 결함상태조사표는 복합부재에 대하여 작성하며, 조사표에는 손상상태를 기록하고 필요한 경우에 한해서 개략도를 포함하여 작성한다. 각각의 단위기기 설비(펌프설비, 배관설비, 권양와이어 등)를 구성하고 있는 요소(펌프, 전기설비, 펌프베드, 흡입관, 토출관, 와이어 로프 등)를 개별부재(부위)로 보며, 이들의 개별부재에 발생되어 있는 손상 및 결함상태의 조사내용을 상세히 기록하며, 손상 및 결함별 상태안전성능 평가기준에 의해 상태기준을 표기(알파벳 소문자)한다.

그러나 필요에 따라 개별부재를 부위별로 다수의 조사망을 구획하여 외관조사 망도를 작성할 수 있으며, 이러한 경우 2단계에서 부위별 손상 및 결함을 취합하여 개별부재에 대한 상태안전성능 평가를 실시토록 한다.

[표 11.55] 기전설비의 개별부재(부위)별 손상 및 결함상태 조사표 예

개별부재(부위) 손상 및 결함상태 조사표				
조사망번호	부재(부위)명	복합부재명	개별시설물명	표번호
<i>B-P1-1</i>	<i>B-펌프1호</i>	<i>B-펌프설비1호</i>	<i>B취수장 펌프설비</i>	<i>No. P-1-1</i>
외관조사망도 작성(손상·결함상태 도시 및 주기사항 기록)				
번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	평가결과
①	펌프베드	손상유무	미세균열이 부분적으로 발생	c
②	관체손상	펌프 장내 배관 누수 등 손상 정도		b
③	마찰부손상	기기설비 마찰부 손상		c
④				
특기 사항	o 펌프형식 : 다단보류트 양흡입펌프 o 펌프특성 : 양정: 50m, 동력: 100kw, 토출량: 7.5m ³ /분			
조사 일자	2018. 10. 23 14:00 ~ 17:00		조사자	홍길동, 김철수

(나) 2단계 평가

○ 개별부재 상태안전성능 평가표 작성

1단계에서 개별부재별로 조사 작성된 손상 및 결함상태 조사표에 의해 손상 및 결함의 평가유형을 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분하여 손상 및 결함별 상태안전성능 평가기준에 의한 평가점수(M)에 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 결함 및 손상별 상태안전성능 평가지수(E_{C1})를 산출한다. 단, 상태안전성능 평가지수 값은 소수점 이하 3째 자리에서 반올림한다.

산출된 결함 및 손상별 상태안전성능 평가지수(E_{C1}) 중 최솟값을 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})를 산정한 후 [표 11.40]에 제시된 상태안전성능 평가 지수 범위에 따른 상태안전성능 평가 기준에 의해 개별부재의 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 부여한다.

[표 11.56] 기전설비 개별부재의 상태안전성능 평가표 예

개별부재 상태안전성능 평가표					
개별부재명	B-펌프1호	개별 부재규모	양정 : 50m, 동력 : 100kw, 토출량 : 7.5m³/분		표번호
복합부재명	B-펌프설비 1호	개별 시설물명	B취수장 펌프설비		No. P-2-1
근거(1단계) 표번호	No. P-1-1 (1단계에서 다수의 개별부위 조사표가 작성된 경우에는 각각의 개별부위 표번호 기입)				
평가항목	평가유형	상태안전성능 평가기준	상태안전성능 평가점수 (M)	영향계수 (F)	상태안전성능 평가지수 (E _{C1} =M ×F)
펌프베드	일반손상	기전설비	3	1.3	3.9
관채손상	중요결함	기전설비	4	1.0	4.0
마찰부손상	일반손상	기전설비	3	1.3	3.9
평가의견					
상태안전성 능 평가 결과	1. 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E _{C2}) = 상태안전성능 평가지수(E _{C1})값 중 최솟값 = 3.9 2. 개별부재(B-펌프1호)의 상태안전성능 평가 결과 = b				

(다) 3단계 평가

○ 복합부재 평가표 작성

기전설비의 복합부재는 단위설비를 의미하는 것으로 이를 구성하는 각각의 개별 부재가 복합부재의 기능과 안전에 미치는 영향정도에 따라 복합부재 평가 시 그 중요도를 반영하는 것이 필요하다. 하지만 기전설비에 있어서의 개별부재들은 단위 설비의 복합부재 안전에 미치는 영향도가 크게 차이를 가지지 않으므로 개별부재별 중요도(A)는 동일하게 적용함을 원칙으로 한다. 단, 개별부재의 특성이나 상황 등에 따라 중요도에 차이가 있다고 판단되는 경우에는 책임기술자가 개별부재별 중요도를 $\pm 20\%$ 값 범위 내에서 조정할 수 있는 것으로 하며 이때 개별부재의 중요도의 합은 100이 되도록 한다.

또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응하는 보정을 하기 위하여 [표 11.43]에 제시된 상태안전성능 평가지수에 따른 조정계수(A)를 사용한다. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 산정 시 조정 계수의 사용은 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재전체의 안전성을 평가절하 하는 것으로서 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출하고자 함에 있다.

복합부재의 상태안전성능 평가는 개별부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C2})에 중요도(W) 및 조정계수(A)를 반영하여 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3})를 산출하고 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

[표 11.57] 기전설비 복합부재의 상태안전성능 평가표 예

복합부재 상태안전성능 평가표						
복합부재명	B-펌프설비1호		개별시설물명	B취수장 펌프설비		표번호
복합부재규모	펌프 : 양정 50m, 동력 100kw, 토출량 7.5m³/분					No. P-3-1
	펌프베드 : 철근콘크리트기초(W1.2m×L2.5m×H0.5m)					
근거(2단계) 표번호	No. P-2-1, No. P-2-2, No. P-2-3					
개별부재 구분	상태안전성능 평가 결과	상태안전성능 평가 지수(E _{C2})	조정계수 (A)	중요도 (W, %)	조정값 (P=A×W)	계산값 (E _{C2} ×P)
B-펌프1호	b	3.6	2	100/3	66.7	240.1
B-펌프1호 전기설비	a	4.7	1	100/3	33.3	156.5
B-펌프1호 베드	c	2.9	3	100/3	100.0	290.0
합계(Σ)				100	200.0	686.6
평가의견						
상태안전성능 평가 결과	1. 복합부재 상태안전성능 평가지수(E _{C3}) = Σ(E _{C2} ×P) / ΣP = 686.6/200.0 = 3.43 2. 복합부재(B-펌프설비1호) 상태안전성능 평가 결과 = c					

(라) 4단계 평가

○ 개별시설물 상태안전성능 평가표 작성

기전설비의 개별시설물은 대부분 동일한 기능과 형식을 가진 단위설비들의 복수 계열로 이루어진 집합구조물로서 개별시설물을 구성하는 복합부재들은 각각 동일한 고유의 기능을 가지면서 다른 복합부재와 유기적으로 밀접하게 관계되어 있다.

따라서 개별시설물의 상태안전성능 평가는 복합부재의 중요도가 같다는 가정 하에 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3})에 복합부재의 규모(시설용량, $m^3/분$)를 반영하여 개별시설물의 상태안전성능 평가지수(E_{C4})를 산출하고, [표 11.40]에서 제시한 상태안전성능 평가지수의 범위에 따른 상태안전성능 평가 기준에 의해 개별 시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

또한, 개별시설물의 평가단계에서는 안전성능 평가가 필요한 경우 상태안전성능 평가와 더불어 구조안전성능 평가를 수행하고, 상태안전성능 평가 결과와 구조안전성능 평가 결과를 비교·검토하여 안전성능 평가가 이루어진다.

[표 11.58] 기전설비 개별시설물의 상태안전성능 평가표 예

개별시설물 상태안전성능 평가표				
개별시설물명	B취수장 펌프설비	개별시설 물규모	$H50m \times P100kw \times Q7.5m^3/분 \times 3대$ $H50m \times P60kw \times Q4.0m^3/분 \times 1대$	표번호
근거(3단계) 표번호	No. P-3-1, No. P-3-2, No. P-3-3, No. P-3-4			No. P-4-1
복합부재구분	상태안전성능 평가결과	상태안전성능 평가지수(E_{C3})	규모(S, $m^3/분$)	계산값($E_{C3} \times S$)
B-펌프설비1호	c	3.43	7.5	25.7
B-펌프설비2호	b	4.02	7.5	30.2
B-펌프설비3호	c	3.38	7.5	25.4
B-펌프설비4호	a	4.57	4.0	18.3
합계(Σ)			26.5	99.6
평가의견				
상태안전성능 평가 결과	1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최솟값(Min) = 3.38 2. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최댓값(Max) = 4.57 3. $V_1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (4.57 - 3.38) = 0.357$ 4. $V_2 = \Sigma(E_{C3} \times S) / 5 \times \Sigma S = 99.6 / 5 \times 26.5 = 0.752$ 5. 개별시설물(B취수장 펌프설비)의 상태안전성능 평가지수(E_{C4}) $= Min + V_1 \times V_2 = 3.38 + 0.357 \times 0.752 = 3.65$ 6. 개별시설물(B취수장 펌프설비)의 상태안전성능 평가 결과 = b			

11.4.2 구조안전성능 평가 방법 및 적용

가. 일반

시설물의 구조안전성능 평가의 목적은 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조적 안전성 및 운영상의 안전성에 대한 확보여부를 평가하는데 있으므로 현장으로부터 시설물의 현황과 상태 및 특성을 충분히 파악하여 제반 문제점을 도출하고 기초자료 분석 및 구조검토·해석 등에 의해 문제점의 원인을 규명함과 더불어 안전성 여부를 판단하여야 한다.

구조안전성능 평가를 위하여 기본과업 이외의 필요한 계측, 측정, 조사 및 시험 등의 선택과업을 시설물 종류 및 구조적 특성에 따라 책임기술자는 관리주체와 협의하여야 하며, 이를 위해서는 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료의 검토, 기록을 통한 운영이력의 분석, 부재별 상태안전성능 평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통하여 충분한 기초자료를 확보하는 것이 중요하며, 구조안전성능 평가 시 검토할 사항은 다음과 같다.

- ① 비파괴 시험결과 분석
- ② 토질조사 등의 결과 분석
- ③ 시설물의 변형/변위 및 거동 등의 측정결과 분석
- ④ 구조물의 구조검토·해석결과 분석
- ⑤ 기타 구조안전성능 평가를 위하여 필요한 사항

나. 내진성능 평가 방법

상수도 시설물의 내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

다. 구조안전성능 평가 방법

구조물의 구조안전성능 평가방법은 대부분 해석적 방법에 의해 이루어지며 특별한 경우 재하시험방법에 의해 수행하기도 한다.

1) 해석적 방법에 의해 구조물의 구조안전성능을 평가하는 경우의 조건

현장조사 및 수집 자료에 의해 얻어진 구조물의 치수, 시공 상세도, 재료의 성질 및 구조물의 결합 등을 종합하여 실제 상태대로 해석해야만 올바른 평가를 기대할 수 있으며, 구조설계기준 및 표준시방서 등에 규정된 설계 및 안전에 관한 제반기준을 적용하고 공인된 신뢰도가 있는 해석방법에 의해 평가되어야 한다.

2) 구조물의 해석방법

강도설계법과 허용응력설계법이 있으며, 이 중 강도설계법을 원칙으로 하지만 특별한 경우에는 허용응력설계법을 적용할 수 있다.

○ 강도설계법에서의 구조물 안전여유율 두 가지 측면에서 고려 사항

- 하중의 변경, 구조해석 시의 가정과 계산을 간단하게 함으로써 야기될지 모르는 초과하중의 영향을 고려한 하중계수를 고려한다.
- 설계계산상의 불확실성, 부재의 다양한 형식에 대한 상대적 중요도, 재료의 설계 강도 및 실제단면치수와 제작시공기술 등에 관련된 다소의 불리한 오차들이 개별적으로는 허용한계에 있더라도 총체적으로 결합 시 부재의 강도감소를 초래할 가능성에 대비한 강도감소계를 고려한다.

이러한 하중계수와 강도감소계수에 의한 설계상의 구조물 안전여유율을 등가안전율이라 하며, 다음 식으로 표현된다. 이의 값은 활하중/고정하중의 비(L/D)와 휨부재 혹은 전단부재의 여부에 따라 차이를 갖는데 휨부재에서는 약 1.5~2.0이고 전단부재인 경우는 1.7~2.5정도의 값을 갖는다.

$$n' = \frac{\gamma_D + \gamma_L L/D}{\Phi(1 + L/D)}$$

여기서, n' : 등가안전율

γ_D : 고정하중계수

γ_L : 활하중계수

L/D : 활하중과 고정하중의 비

Φ : 강도감소계수

이와 같이 구조물의 해석 시 안전여유율이 고려되어 있으므로 현재 상태의 구조물에 대한 구조해석 결과가 콘크리트 구조설계기준 및 표준시방서 등의 안전도 기준에 미흡하다고 해서 구조물의 안전성이 없는 것이 아니라 단지, 구조물의 안전여유율이 적다는 것을 의미한다.

따라서 구조해석에 의한 구조물의 구조안전성능 평가는 현재상태의 구조물이 얼마나 안전여유율을 확보하고 있는지의 정도에 따라 평가하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

3) 구조해석 결과의 평가의 적용

○ 안전여유율이 등가안전율 이상인 경우

- 안전성이 확보된 구조물로 평가

○ 등가안전율 미만이나 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 이상일 경우

- 안전성은 있지만 충분치 못한 상태로서 구조물의 상태를 주기적으로 점검 및 과대하중 재하억제 등의 관리가 필요한 상태로 평가

○ 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 미만인 경우

- 사용제한여부의 판단이 요구되거나 사용금지를 요하는 안전성이 결여된 구조물이라고 평가

라. 구조안전성능 평가의 적용

구조안전성능 평가 항목별 평가방법은 정량적으로 평가하기 어렵거나 또한 다양한 경우가 대부분이므로 상호의 평가결과를 비교하는 것이 필수적이다.

또한, 본 장에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우에는 본 장에 기술된 것과 같이 5단계의 구조안전성능 평가 기준을 제시하고 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있다.

또한 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

11.4.3 구조안전성능 평가 기준

가. 관로시설물

상수도의 관로시설물은 크게 관로와 수로터널로 구분되며, 대부분 지중에 부설되거나 축조되는 시설물들로 이루어져 있으므로 지하수의 부력, 지반의 부등침하 및 누수에 의한 지반함몰 등의 영향을 받고 관로 및 각종 배관이 벽체 등을 관통하여 연결되는 부위는 하중 및 지지조건이 달라 부등침하의 영향을 받는다.

따라서 상수도 관로시설물의 설계·준공도서 및 성능평가 결과보고서(없는 경우, 안전점검 또는 정밀안전진단 보고서) 등을 검토하여 시설물의 구조안전성능을 판단하거나 실제 주요부재(밸브실 제외)의 상태안전성능 평가 결과가 불량하게 나타나 현장조사 시 문제점이 발생한 부위를 대상으로 안전율(Safe factor, SF) 검토를 수행하여 시설물의 구조안전성능을 판단하는 것이 필요하다.

외국에서의 시설물 구조안전성능 평가는 평가대상 항목의 안전율을 이용하여 구조안전성능 평가지수(Es)를 계산하고 이의 구조안전성능 평가지수를 토대로 구조안전성능 평가기준에 근거하는 안전성능 평가가 수행되고 있다(US Army, 1990).

또한, 안전율 검토도 국내에서와 같이 허용응력설계법(부재의 발생응력과 허용응력의 비)이나 강도설계법(부재의 소요강도와 설계강도의 비)에 따라 시설물의 각 부재에 작용하는 외력에 의한 응력을 산정하여 이루어지고 있다.

일반적으로 상수도의 관로시설물은 지반과의 상호작용을 바탕으로 구조적 거동이 이루어지므로 구조나 지반해석에 필요한 경계조건, 토질상수 등은 설계·준공도서 또는 토질조사에 의해 얻거나, 「상수도시설기준, 환경부, 2004」 및 「Steel Pipe A Guide for Design and Installation, AWWA MANUAL M11」 그리고 「구조물기초 설계기준, 국토교통부, 2016」 등에 나와 있는 값을 참고로 하여 구하며, 관로의 안전성검토 식은 「상수도시설기준, 환경부」에 제시된 식의 사용을 원칙으로 한다.

하중의 조합을 통한 안전율 검토는 고정하중, 활하중, 전토압, 반토압 및 수압 등을 모두 고려하고 하중조합은 지하수의 유무에 따라 구분토록 하며, 강도감소계수와 하중계수는 콘크리트 구조물 설계기준에서 정해진 값을 적용하며 단면의 안전율은 휨, 전단 및 좌굴 등에 대하여 검토한다.

상기와 같은 내용을 근간으로 부재나 구조물의 구조적 안전율 정도에 따른 구조안전성능 평가기준을 설정하면 [표 11.59]와 같다.

[표 11.59] 부재 및 구조물의 구조안전성능 평가 기준

구조안전성능 평가 기준	평가 점수	구조안전성능 평가 내용	비 고
a	5	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상이 없는 경우	◦ 강도설계법 $SF = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\Phi M_n}{M_u}$ ◦ 허용응력설계법 $SF = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}}$
b	4	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상(단면손실)이 있는 경우	
c	3	안전율(SF)이 1.0 미만~0.9이상	
d	2	안전율(SF)이 0.9 미만~0.75이상	
e	1	안전율(SF)이 0.75 미만	

나. 토목구조물

상수도의 토목구조물은 대부분 철근콘크리트구조로서 지표면 아래에 축조되므로 지하수의 부력, 지반의 부등침하 및 누수에 의한 지반함몰 등의 영향을 받고 관로 및 각종 배관이 벽체 등을 관통하여 연결되는 구조물 부위는 하중 및 지지조건이 달라 부등침하의 영향을 받는다.

따라서 상수도 토목구조물의 설계·준공도서 및 성능평가 결과보고서(없는 경우, 안전점검 또는 정밀안전진단 보고서) 등을 검토하여 구조물의 구조안전성능을 판단하거나 실제 주요부재의 상태안전성능 평가 결과가 불량하게 나타나 현장조사 시 문제점이 발생한 부위를 대상으로 안전율(Safe factor, SF) 검토를 수행하여 구조물의 구조안전성능을 판단하는 것이 필요하다.

외국에서의 시설물 구조안전성능 평가는 평가대상 항목의 안전율을 이용하여 구조안전성능 평가지수(Es)를 계산하고 이의 구조안전성능 평가지수를 토대로 구조안전성능 평가기준에 근거하는 안전성능 평가가 수행되고 있다(US Army, 1990)

또한, 안전율 검토도 국내에서와 같이 허용응력설계법(부재의 발생응력과 허용응력의 비)이나, 강도설계법(부재의 소요강도와 설계강도의 비)에 따라 시설물의 각 부재에 작용하는 외력에 의한 응력을 산정하여 이루어지고 있다.

일반적으로 상수도의 토목구조물은 지반과의 상호작용을 바탕으로 구조적 거동이 이루어지므로 구조나 지반해석에 필요한 경계조건, 토질상수 등은 설계·준공도서 또는 토질조사에 의해 얻거나, 「상수도시설기준, 환경부, 2008」 및 「구조물기초 설계기준, 국토교통부, 2016」 등에 나와 있는 값을 참고로 하여 구한다.

구조해석은 탄성해석을 원칙으로 하며, 지지조건은 토질주상도를 참조하며 지반스프링 또는 힌지와 롤러로써 지지조건을 부여한다.

하중의 조합을 통한 안전율 검토는 고정하중, 활하중, 전토압, 반토압 및 수압 등을 모두 고려하고 하중조합은 지하수의 유무에 따라 구분토록 하고 강도감소계수와 하중계수는 콘크리트 구조기준에서 정해진 값을 적용하며 단면의 안전율은 휨, 전단 및 좌굴 등에 대하여 검토한다.

토목구조물의 부재나 구조물에 대한 구조안전성능 평가 기준은 관로시설물편에서 제시한 앞의 [표 11.59]와 같다.

다. 구조안전성능 평가 결과산정 방법

구조안전성능 평가는 평가체계의 4단계에서 수행하는 평가로서 개별시설물에 대하여 실시하게 되므로 개별시설물을 구성하고 있는 각종 부재나 구조물의 구조해석을 통하여 얻어진 각각의 구조적 안전율들을 종합적으로 검토·분석함으로써 개별시설물에 대한 안전성능 평가가 이루어지게 되며, 개별시설물의 구조안전성능 평가는 부재별 상태안전성능 평가, 재료시험 결과 및 각종 계측, 측정, 조사 및 시험 등을 통하여 얻은 결과를 분석하여 구조적으로 취약한 개별시설물을 선정하여 실시한다.

개별시설물의 구조안전성능 평가가 합리적이고 정량적으로 이루어지도록 하기 위해서 다음과 같은 평가체계에 의해 구조안전성능 평가가 수행되도록 표준을 정하였다.

먼저 구조해석을 통해 얻어진 부재별 또는 구조물별 구조적 안전율에 따라 [표 11.59]의 기준에 의해 부재별 또는 구조물별 안전성평가 결과 및 평가점수를 부여한다.

그리고 아래의 식을 사용하여 개별시설물에 대한 구조안전성능 평가지수(E_s)를 산정한 후 구조안전성능 평가지수의 범위에 따른 [표 11.60]의 구조안전성능 평가 기준에 의해 개별시설물의 구조안전성능 평가 결과를 결정한다.

구조안전성능 평가지수(E_s)를 산정하는 아래 식은 개별시설물을 구성하고 있는 각각의 부재나 구조물의 구조안전성능 평가 결과들 중 가장 낮은 구조안전성능 평가 결과보다 다소 상향된 개별시설물의 구조안전성능 평가 결과를 가지게 된다.

한편, 부재나 구조물의 검토단면이 다수인 경우도 각 검토단면의 구조안전성능 평가 결과(평가점수)를 하나의 검토항목으로 간주하여 아래 식에 의해 최종적인 개별시설물의 구조안전성능 평가 결과를 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{구조안전성능 평가지수}(E_s) &= L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N-2)}, (N > 2) \\ &= L + 0.3(H - L), (N = 2) \end{aligned}$$

여기서, N : 구조안전성능 평가 항목 수

L : 검토항목의 구조안전성능 평가지수(평가점수) 중 최솟값

H : 검토항목의 구조안전성능 평가지수(평가점수) 중 최댓값

M_i : 검토항목의 최대 및 최솟값을 각각 1개씩 제외한 나머지 값들

[표 11.60] 구조안전성능 평가 지수에 따른 구조안전성능 평가 기준

구조안전성능 평가지수의 범위	구조안전성능 평가 기준	비 고
$4.5 \leq E_s \leq 5.0$	a	
$3.5 \leq E_s < 4.5$	b	
$2.5 \leq E_s < 3.5$	c	
$1.5 \leq E_s < 2.5$	d	
$1.0 \leq E_s < 1.5$	e	

라. 구조안전성능 평가 결과산정 예

본 구조안전성능 평가 결과 산정 방법에서는 관로와 토목구조물을 중심으로 구조안전성능 평가표 작성 예를 [표 11.61] 및 [표 11.62]에 제시하였으며, 나머지 시설물들(수로 터널, 기전설비 등)의 구조안전성능 평가표도 이에 준하여 작성토록 하고 구조안전성능 평가 결과는 알파벳 소문자로 표기한다.

[표 11.61] 관로의 개별시설물에 대한 구조안전성능 평가표 예

개별시설물 구조안전성능 평가표				
개별시설물명	송수관로 1			표번호
개별시설물규모	강관, $D = 1,200mm$, $L = 5,500m$			No. P1-1
평가항목	안전율(SF)	평가결과	평가점수	비 고
관로구간1-1	0.92	c	3	
관로구간1-2	1.06	b	4	단면감소(부식)발생
관로구간1-3	0.87	d	2	
평가의견				
구조안전성능 평가 결과	1. 평가항목수 $N = 3$, 최소평가점수 $L = 2$, 최대평가점수 $H = 4$ 2. 개별시설물(송수관로 1)의 구조안전성능 평가 지수(E_{SI}) $= 2 + 0.3 \times (4-2) \times 3 / \{5 \times (3-2)\} = 2.36$ 3. 개별시설물(송수관로 1)의 구조안전성능 평가 결과 = d			

[표 11.62] 토목구조물의 개별시설물에 대한 구조안전성능 평가표 예

개별시설물 구조안전성능 평가표				
개별시설물명	A정수장 침전지			표번호
개별시설물규모	철근콘크리트구조($H3.5m \times W12.0m \times L=30.0m \times 4지$)			No. C1-1
평가항목	안전율(SF)	평가결과	평가점수	비 고
A-1호 침전지	0.95	c	3	
A-2호 침전지	1.03	b	4	균열 및 박락 등에 의한 단면손실 발생
A-3호 침전지	1.12	a	5	
평가의견				
구조안전성능 평가 결과	1. 평가항목수 $N=4$, 최소평가점수 $L=2$, 최대평가점수 $H=5$ 2. 개별시설물(A정수장 침전지)의 구조안전성능 평가 지수(E_{SI}) $= 2 + 0.3 \times (5-2) \times (3+4) / \{5 \times (4-2)\} = 2.63$ 3. 개별시설물(A정수장 침전지)의 구조안전성능 평가 결과 = c			

11.4.4 안전성능 평가 결과산정 방법

시설물의 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 안전성능 평가를 결정하며, 시설물에 대한 안전성능 평가 기준은 아래 표의 안전성능 평가 지수에 따라 결정한다.

[표 11.63] 안전성능 평가지수에 따른 안전성능 평가 기준

안전성능 평가지수($Et_1 \sim Et_4$)	안전성능 평가 기준	비 고
$4.5 \leq (Et_1 \sim Et_4) \leq 5.0$	a 또는 A	
$3.5 \leq (Et_1 \sim Et_4) < 4.5$	b 또는 B	
$2.5 \leq (Et_1 \sim Et_4) < 3.5$	c 또는 C	
$1.5 \leq (Et_1 \sim Et_4) < 2.5$	d 또는 D	
$1.0 \leq (Et_1 \sim Et_4) < 1.5$	e 또는 E	

<해설>

- Et_1 는 개별시설물의 안전성능 평가(4단계), Et_2 는 복합시설물의 안전성능 평가(5단계), Et_3 는 통합시설물의 안전성능 평가(6단계) 및 Et_4 는 종합시설물의 안전성능 평가(7단계)를 의미함

가. 안전성능 평가 기준

1) 개별시설물

개별시설물의 안전성능 평가 결과 산정은 4단계 평가단계에서 수행하는 평가항목 중 하나로서 구조안전성능 평가를 실시하지 않는 경우에는 상태안전성능 평가 결과를 안전성능 평가 결과로 같음한다. 하지만, 구조안전성능 평가를 실시하는 경우에는 개별시설물을 구성하고 있는 각각의 부재나 구조물의 상태안전성능 및 구조안전성능 평가 결과로 산출된 개별시설물의 상태안전성능 평가지수(E_C)와 구조안전성능 평가지수(E_S)중 작은 값을 안전성능 평가지수(E_t)로 적용하여 [표 11.63]의 안전성능 평가지수(E_t)에 따른 안전성능 평가 기준에 의해 개별시설물에 대한 안전성능 평가 결과를 부여하며 알파벳 소문자로 표기한다.

$$\bigcirc \text{ 개별시설물 평가지수}(E_t) = \text{MIN}(E_C, E_S)$$

여기서, E_C : 상태안전성능 평가지수

E_S : 구조안전성능 평가지수

2) 복합, 통합 및 종합시설물

개별시설물의 평가단계(4단계) 이후에 순차적으로 이루어지는 복합시설물의 종합평가(5단계), 통합시설물의 종합평가(6단계) 및 종합시설물의 종합평가(7단계) 시 수행되는 각각의 종합평가 결과 산정은 개별시설물의 안전성능 평가지수를 기초로 하여 시설물의 중요도(W) 및 [표 11.64]의 안전성능 평가지수에 따른 조정계수(A)를 반영하여 다음에 예시되는 안전성능 평가 결과 산정 예시에 따라 이루어진다. 단, 복합시설물 및 통합시설물의 평가 결과는 알파벳 소문자로 표기하며 종합시설물에 대한 평가등급은 알파벳 대문자로 표기한다.

[표 11.64] 안전성능 평가지수에 따른 조정계수(A)

안전성능 평가기준	a 또는 A	b 또는 B	c 또는 C	d 또는 D	e 또는 E
안전성능 평가지수(E_t)	$5.0 \geq E_t \geq 4.5$	$4.5 > E_t \geq 3.5$	$3.5 > E_t \geq 2.5$	$2.5 > E_t \geq 1.5$	$1.5 > E_t \geq 1.0$
조정계수(A)	1	2	3	6	6

나. 안전성능 평가 결과산정

1) 개별시설물 안전성능 평가

개별시설물에 대한 구조안전성능 평가를 실시하지 않은 경우에는 앞에서 예시한 개별시설물 상태안전성능 평가표 작성으로 가름되지만 구조안전성능 평가를 실시한 경우에는 개별시설물 상태안전 성능평가표를 작성하지 않고 다음에 예시되는 [표 11.65] 및 [표 11.66]을 표준으로 개별시설물의 안전성능 평가표를 작성토록 한다.

[표 11.65] 관로의 개별시설물 안전성능 평가표 예

개별시설물 안전성능 평가표				
개별시설물명	송수관로 1	개별시설물 규모	강관, $D = 1,200mm$, $L = 5,500m$	표번호
				No. P1-4-1
상 태 평 가				
근거(3단계) 표번호	No. P1-3-1, No. P1-3-2, No. P1-3-3			
복합부재구분	상태안전성능 평가결과	상태안전성능 평가지수(E_{C3})	규모(S , m^3)	계산값($E_{C3} \times S$)
관로구간 1	b	3.69	2,035	7,509
관로구간 2	c	3.11	2,035	6,329
관로구간 3	b	3.92	2,148	8,420
합계(Σ)			6,218	22,258
상태안전성능 평가 의견				
상태안전성능 평가 결과	1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최솟값(Min) = 3.11			
	2. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최댓값(Max) = 3.92			
	3. $V_1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (3.92 - 3.11) = 0.243$			
	4. $V_2 = \Sigma(E_{C3} \times S) / 5 \times \Sigma S = 22,258 / 5 \times 6,218 = 0.716$			
	5. 개별시설물(송수관로 1)의 상태안전성능 평가지수(E_{C4}) = Min + $V_1 \times V_2 = 3.11 + 0.243 \times 0.716$ = 3.28			
	6. 개별시설물(송수관로 1)의 상태안전성능 평가 결과 = c			
구 조 안 전 성 평 가				
구조안전성능 평가항목	안전율(SF)	구조안전성능 평가 결과	구조안전성능 평가점수	비 고
관로구간 1	0.92	c	3	
관로구간 2	1.06	b	4	단면감소(부식)발생
관로구간 3	0.87	d	2	
구조안전성능 평가의견				
구조안전성능 평가결과	1. 평가항목수 $N = 3$, 최소평가점수 $L = 2$, 최대평가점수 $H = 4$			
	2. 개별시설물의 구조안전성능 평가지수(E_{S1}) = $2 + 0.3 \times (4 - 2) \times 3 / 5 \times (3 - 2)$ = 2.36			
	3. 개별시설물(송수관로 1)의 구조안전성능 평가 결과 = d			
종 합 평 가				
구조안전성능 평가의견				
안전성 평가결과	상태안전성능 평가지수(E_{C4})	구조안전성능 평가지수(E_{S1})	안전성능 평가지수(E_{t1})	안전성능 평가 결과
	3.28	2.36	2.36	d

[표 11.66] 토목구조물의 개별시설물 안전성능 평가표 예

개별시설물 안전성능 평가표				
개별시설물명	A정수장 침전지	개별시설물 규모	철근콘크리트구조 (H3.5m×W12.0m×L=30.0m×4지)	표번호
				No. AS-4-1
상 태 평 가				
근거(3단계) 표번호	No. AS-3-1, No. AS-3-2, No. AS-3-3, No. AS-3-4			
복합부재구분	상태안전성능 평가 결과	상태안전성능 평가지수(E_{C3})	규모(S , m^2)	계산값($E_{C3} \times S$)
A-1호 침전지	c	3.38	1,260	4,258.8
A-2호 침전지	b	3.73	1,260	4,699.8
A-3호 침전지	b	3.85	1,260	4,851.0
A-4호 침전지	c	3.14	1,260	3,956.4
합계(Σ)			5,040	17,766.0
상태안전성능 평가 의견				
상태안전성능 평가결과	1. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최솟값(Min) = 3.14 2. 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E_{C3}) 중 최댓값(Max) = 3.85 3. $V_1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (3.85 - 3.14) = 0.213$ 4. $V_2 = \Sigma(E_{C3} \times S) / 5 \times \Sigma S = 17,766.0 / 5 \times 5,040.0 = 0.705$ 5. 개별시설물(A정수장 침전지)의 상태안전성능 평가지수(E_{C4}) = Min + $V_1 \times V_2 = 3.14 + 0.213 \times 0.705$ = 3.29 6. 개별시설물(A정수장 침전지)의 상태안전성능 평가 결과 = c			
안 전 성 평 가				
안전성능 평가항목	안전율(SF)	안전성능 평가 결과	안전성능 평가점수	비 고
A-1호 침전지	0.95	c	3	균열 및 박락 등에 의한 단면손실 발생
A-2호 침전지	1.03	b	4	
A-3호 침전지	1.12	a	5	
A-4호 침전지	0.86	d	2	
안전성능 평가 의견				
안전성능 평가 결과	1. 평가항목수 $N = 4$, 최소평가점수 $L = 2$, 최대평가점수 $H = 5$ 2. 개별시설물(A정수장 침전지)의 안전성능 평가지수(E_{S1}) = $2 + 0.3 \times (5-2) \times (3+4) / 5 \times (4-2)$ = 2.63 3. 개별시설물(A정수장 침전지)의 안전성능 평가 결과 = c			
종 합 평 가				
안전성능 평가 의견				
안전성능 평가 결과	상태안전성능 평가지수(E_{C4})	안전성능 평가지수(E_{S1})	안전성능 평가지수(E_{t1})	안전성능 평가 결과
	3.29	2.63	2.63	c

2) 복합시설물 안전성능 평가

상수도의 복합시설물은 각각 기능과 역할이 각각 다른 개별시설물들의 집합으로 구성되며, 이러한 개별시설물들의 문제발생 시 해당 복합시설물의 기능성 및 안전성에 미치는 영향도가 거의 비슷하다고 할 수 있으므로 복합시설물을 구성하는 각 개별시설물의 중요도는 동일하다고 보며, 개별시설물별 규모(크기)에 대한 가중치만 고려하는 것으로 한다.

따라서 복합시설물의 안전성능 평가는 각 개별시설물의 안전성능 평가지수(Et_1)에 규모에 따른 가중치(S)를 고려하고, 안전성능 평가지수에 따른 조정계수(A)를 반영한다. 이 때에 산정식은 아래 식을 적용하여 복합시설물의 안전성능 평가지수(Et_2)를 산출하고 복합시설물에 대한 안전성능 평가 결과를 결정하며 표기는 알파벳 소문자로 표기한다.

$$\bigcirc \text{ 복합시설물의 안전성능 평가지수}(Et_2) = \sum(Et_1 \times P) / \sum P$$

여기서, Et_1 : 개별시설물의 안전성능 평가지수

P : 조정 값($=A \times S$)

A : 조정계수

S : 개별시설물별 규모(m^2 , m^3)

[표 11.67] 및 [표 11.68]은 관로와 토목구조물에 대한 복합시설물의 표준적인 안전성능 평가표 작성 예를 나타내었으며, 수로터널, 기전설비 등도 이의 표에 준하여 작성토록 한다.

[표 11.67] 관로의 복합시설물 안전성능 평가표 예

복합시설물 안전성능 평가표						
복합시설물명	관 로	복합시설물 규 모	$D = 1,000 \sim 1,500mm$ $L = 14,500m$		표번호	
근거(4단계) 표번호	No. GP-4-1, No. P1-4-1, No. P2-4-1, No. DP-4-1				No. PL-5-1	
개별시설물 구분	안전성능 평가 결과	안전성능 평가지수(Et1)	조정계수 (A)	규 모 (S, m³)	조정값 (P=A ×S)	계산값 (Et₁ ×P)
도수관로	b	3.84	2	1,766.3	3,532.6	13,565.2
송수관로1	d	2.48	6	6,217.3	37,303.8	92,513.4
송수관로2	c	3.01	3	5,652.0	16,956.0	51,037.6
배수관로	c	2.96	3	2,355.0	7,065.0	20,912.4
합계(Σ)				15,990.6	64,857.4	178,028.6
평가의견						
안전성능 평가 결과	1. 복합시설물(관로) 안전성능 평가지수(Et2) = Σ(Et₁×P) / ΣP = 178,028.6 / 64,857.4 = 2.74 2. 복합시설물(관로) 안전성능 평가 결과 = c					

[표 11.68] 토목구조물의 복합시설물 안전성능 평가표 예

복합시설물 안전성능 평가표						
복합시설물명	A 정수장	복합시설물 규 모	시설용량(Q) = 200,000m3/일			표번호
근거(4단계) 표번호	No. AG-4-1, No. AS-4-1, No. AF-4-1, No. AW-4-1					No. AT-5-1
개별시설물 구분	안전성능 평가 결과	안전성능 평가지수 (Et ₁)	조정계수 (A)	규 모 (S, m ³)	조정값 (P=A ×S)	계산값 (Et ₁ ×P)
착수정	b	3.75	2	600.0	1,200.0	4,500.0
침전지	c	2.63	3	5,040.0	15,120.0	39,765.6
여과지	c	3.39	3	1,080.0	3,240.0	10,983.6
정수지	b	4.34	2	1,400.0	2,800.0	12,152.0
합계(Σ)				8,120.0	22,360.0	67,401.2
평가의견						
안전성능 평가 결과	1. 복합시설물(A정수장) 안전성능 평가지수(Et ₂) = Σ(Et ₁ ×P) / ΣP = 67,401.2 / 22,360.0 = 3.01 2. 복합시설물(A정수장) 안전성능 평가 결과 =					

3) 통합시설물 안전성능 평가

상수도의 통합시설물은 분야별 시설물로서 관로시설물, 토목구조물, 기전설비 등을 말하며 각각의 통합시설물을 구성하는 복합시설물에서 문제가 발생하는 경우 해당 통합시설물의 기능성 및 안전성에 미치는 영향도가 차이를 가지지 않는다고 볼 수 있으므로 복합시설물별 중요도는 동일한 것으로 하며 복합시설물별 규모(크기 또는 시설용량)에 대한 가중치만 고려하는 것으로 한다.

통합시설물의 안전성능 평가는 각 복합시설물의 안전성능 평가지수(Et₂)에 규모에 따른 가중치(S)를 고려하고, [표 11.64]의 안전성능 평가지수에 따른 조정계수(A)를 반영한다. 산정식은 아래 식을 적용하며 통합시설물의 안전성능 평가지수(Et₃)를 산출한 다음 통합시설물에 대한 안전성능 평가 결과를 결정하고 평가 결과는 알파벳 소문자로 표기한다.

$$\bigcirc \text{ 통합시설물의 안전성능 평가지수}(Et_3) = \Sigma(Et_2 \times P) / \Sigma P$$

여기서, Et₂ : 복합시설물의 안전성능 평가지수

P : 조정 값(=A×S)

A : 조정계수

S : 복합시설물별 규모(m³, m³/일)

[표 11.69] 관로시설물의 통합시설물 안전성능 평가표 예

통합시설물 안전성능 평가표						
통합시설물명	관로시설물	통합시설물 규 모	관로 : $D1,000 \sim 1,500mm \times L14,5km$ 터널 : $D2.5m \times 2.04km$			표번호
근거(5단계) 표번호	No. PL-5-1, No. WT-5-1					No. PF-6-1
복합시설물 구분	안전성능 평가결과	안전성능 평가지수 (Et_2)	조정계수 (A)	규 모 (S, $m^3/분$)	조정값 ($P=A \times S$)	계산값 ($Et_2 \times P$)
관 로	c	2.74	3	15,990.6	47,971.8	131,442.7
수로터널	b	4.03	2	10,008.8	20,017.6	80,670.9
합계(Σ)					67,989.4	212,113.6
평가의견						
안전성능 평가 결과	1. 통합시설물(관로시설물) 안전성능 평가지수(Et_3) = $\Sigma(Et_2 \times P) / \Sigma P = 212,113.6 / 67,989.4 = 3.12$ 2. 통합시설물(관로시설물) 안전성능 평가 결과 = c					

[표 11.70] 토목구조물의 통합시설물 안전성능 평가표 예

통합시설물 안전성능 평가표						
통합시설물명	토목구조물	통합시설물 규 모	시설용량(Q) = 200,000m³/일			표번호
근거(5단계) 표번호	No. IF-5-1, No. IP-5-1, No. AT-5-1, No. BP-5-1					No. CC-6-1
복합시설물 구분	안전성능 평가결과	안전성능 평가지수 (Et₂)	조정계수 (A)	규 모 (S, m³/일)	조정값 (P=A × S)	계산값 (Et₂ × P)
A 취수시설물	b	4.05	2	220	440	1,782.0
A 취수장	d	2.39	6	220	1,320	3,154.8
A 정수장	c	3.01	3	200	600	1,806.0
A 가압장	a	4.53	1	120	120	543.6
합계(Σ)					2,480	7,286.4
평가의견						
안전성능 평가 결과	1. 통합시설물(토목구조물) 안전성능 평가지수(Et₃) = Σ(Et₂×P) / ΣP = 7,286.4 / 2,480 = 2.94 2. 통합시설물(토목구조물) 안전성능 평가 결과 = c					

3) 종합시설물 안전성능 평가표 작성

(가) 분야별 시설물(통합시설물)의 중요도

상수도의 종합시설물은 평가대상 시설물의 총체를 말하는 것으로 각기 기능과 역할이 다르며, 전체적인 종합시설물에 대한 안전적 측면에서도 영향정도에 차이가 있는 분야별 시설물(통합시설물)의 집합으로 구성된다.

그러므로 평가단계에서 최종적으로 수행하는 종합시설물의 안전성능 평가에서는 각 분야별 시설물(통합시설물)의 중요도를 반영하는 것이 필요함에 따라 [표 11.71]과 같이 통합시설물별 중요도를 정하였으며, 통합시설물별 중요도의 합은 100이 되도록 하였다. 책임기술자는 통합시설물의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 $\pm 20\%$ 값 범위 내에서 조정할 수 있다.

[표 11.71] 분야별 시설물(통합시설물)의 중요도(W)

통합시설물 구 분	관로시설물	토목구조물	기전설비	건축구조물
중요도(W)	47	27	13	13

○ 중요도가 규정되지 않은 추가적인 통합시설물이 있는 경우

- 그 통합시설물의 중요도를 책임기술자가 판단하여 정하고 기타의 통합시설물들은 규정된 비율대로 배분한다.

○ 중요도는 제시되어 있으나 평가할 수 있는 해당 통합시설물이 없는 경우

- 그 중요도를 나머지 통합시설물에 배분한다.

(나) 종합시설물의 안전성능 평가 결과

종합시설물의 안전성능 평가 결과는 상기에서 정한 복합시설물별 중요도(A)와 앞에서 제시한 [표 11.64]의 안전성능 평가지수에 따른 조정계수(A)를 반영한다. 평가 결과는 아래 식을 적용하도록 하며 평가등급의 산출은 앞의 [표 11.63]을 참조하여 결정한다.

○ 종합시설물의 안전성능 평가지수(Et_4) = $\sum(Et_3 \times P) / \sum P$

여기서, Et_3 : 통합시설물의 안전성능 평가지수

P : 조정 값($=A \times W$)

A : 조정계수

W : 복합시설물별 중요도

다음 [표 11.72]에 종합시설물의 표준적인 안전성능 평가표 작성 예를 제시하였다.

[표 11.72] 종합시설물의 안전성능 평가표 예

종합시설물 안전성능 평가표						
종합시설물명	○○상수도	종합시설물 규 모	시설용량(Q)=200,000m³/일			표번호
근거(6단계) 표번호	No. PF-6-1, No. CC-6-1, No. AC-6-1, No. ME-6-1					No. TF-7-1
통합시설물 구분	안전성능 평가결과	안전성능 평가지수 (Et ₃)	조정계수 (A)	중요도 (W)	조정값 (P=A ×W)	계산값 (Et ₃ ×P)
관로시설물	C	3.12	3	47	141.0	439.9
토목구조물	C	2.94	3	27	81.0	238.1
기전 설비	A	4.78	1	13	13.0	62.1
건축구조물	B	4.35	1	13	13.0	56.6
합계(Σ)				100	248.0	796.7
평가의견						
안전성능 평가 결과	1. 종합시설물(○○상수도)의 안전성능 평가지수(Et ₄) = Σ(Et ₃ ×P) / ΣP = 796.7 / 248.0 = 3.21 2. 종합시설물(○○상수도)의 안전성능 평가 결과 = C					

11.5 내구성능 평가 기준 및 방법

11.5.1 일반

상수도시설물의 내구성능 평가는 크게 강재 내구성능 평가 및 콘크리트 내구성능 평가 분야로 구성된다. 강재 내구성능 평가 분야에서는 점검대상 단위관로구간 내의 세부 시설물별로 각 평가항목에 대해 평가 및 가중치를 적용하여 등급을 산정하고, 세부시설물 가중치에 따라 단위점검구간 내 내구성능 등급을 산정하며, 전체 관로에 대해서는 개별 관로구간들의 중요도는 같다는 가정 하에 시설규모를 반영하여 등급을 산정한다.

강재 관로 및 콘크리트 수로터널을 포함한 전체 관로시설물, 콘크리트 구조물 및 강구조물을 포함한 토목구조물에 대한 평가는 각 세부시설물 종류의 규모를 고려하여 평가한다.

11.5.2 강재 내구성능 평가 지표 및 기준

가. 개요

강재 내구성능 평가 항목은 크게 열화진전 평가(내부적 요소)와 열화환경평가(외부적 요소)로 구분된다. 열화진전평가로는 발청 및 도장열화, 도장두께, 경과년수, 누수이며 열화환경평가는 관주변 토양종류, 토양 비저항, 토양 pH, 황산 및 염소이온, 관대지 전위차를 포함하는 토양매설환경과 해안 이격거리(비래염분), 이산화황 농도, 습도 등을 포함하는 대기환경으로 구성된다.

여기서, 발청 및 도장열화와 토양환경의 경우 각각의 평가를 위한 세부평가항목이 존재하며 가중치 비율에 따라 합산하여 평가하도록 한다.

[표 11.73] 강재 내구성능 평가항목의 구분

구분	평가항목	비고
열화진전항목	발청 및 도장열화	세부평가 실시
	도장두께	—
	경과년수	—
	누수	—
열화환경항목	토양환경	세부평가 실시
	대기환경	—

나. 평가대상 부재

상수도시설물의 강재 내구성능 평가는 강재가 적용된 부재에 대해 평가하며 대상은 관로 및 강구조물에 대해 평가한다.

[표 11.74] 강재 내구성능 평가 대상 분류

구분	평가 부재
관로시설	취수/도수/송수용 강관(배수 및 급수 관로 제외)
강구조물	강재 에어챔버, 강재 약품저장 탱크 등
기계설비	권양와이어로프 등

시설물별 평가항목 구분은 아래 표와 같다.

[표 11.75] 강재 내구성능 평가대상 시설물별 평가항목의 구분

구분	평가항목	세부 평가항목
관로시설 ¹⁾	발청 및 도장열화 ²⁾	발청, 박리, 균열, 부품
	도장두께 ²⁾	—
	경과년수	—
	토양환경(매설관로)	관주변 토양종류, 토양 비저항, 토양 pH, 황산 및 염소이온, 관대지 전위차
	대기환경(노출관로)	해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도
강구조물 ³⁾	발청 및 도장열화	발청 박리, 균열, 부품, 변색
	도장두께	—
	누수	—
	대기환경	해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도
기전설비 ⁴⁾ (권양와이어로프)	도장열화	발청
	대기환경	해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도
	직경감소	—
	소선절단	—

주1) 매설관로의 경우, 관로 노출환경(이설공사 등)이 가능한 경우 실시함

주2) 도장열화는 도장이 시공된 관로에 한하여 평가함

주3) 관로를 제외한 강구조물(강재 에어챔버, 강재 약품저장 탱크 등)에 대해 적용함

주4) 권양와이어로프의 직경감소 및 소선절단 외의 수문의 평가는 성능평가 세부지침 「수문」 편 준용





다. 강제 내구성능 평가항목 및 기준

1) 발청 및 도장열화

(가) 발청(표면부식, 녹)

[표 11.76] 발청 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		녹 면적	외관 상태
a	5	전면부식 형태의 녹 면적 0.05% 미만 또는 점녹 분포면적 1% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 등급 1)
b	4	전면부식 형태의 녹 면적 0.05% ~ 0.5% 미만 또는 점녹 분포면적 1% ~ 10% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 등급 2)
c	3	전면부식 형태의 녹 면적 0.5% ~ 5.0% 미만 또는 점녹 분포면적 10% 이상	확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 3)
d	2	전면부식 형태의 녹 면적 5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 4/5)
e	1	—	—

전면부식 형태의 발청			
표준사진 등급 1	표준사진 등급 2	표준사진 등급 3	표준사진 등급 4/5
			

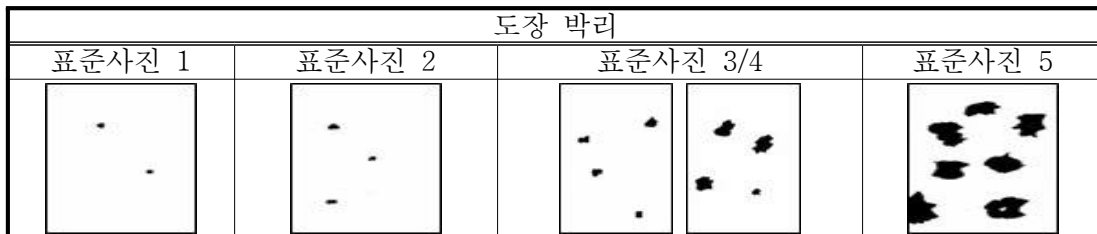
<해설>

- 점녹이라 함은 도장두께 부족이나 도장 하부의 염분입자 등으로 인해 점 모양의 부식이 발생한 것을 말함
- 열화면적 측정은 밝은 조명 아래에서 수행하며 어느 한 조사단위에 점녹 및 전면부식이 같이 발생한 것에 대한 평가의 경우, 최하 등급을 그 조사단위에 대한 등급으로 결정함

(나) 도장 박리

[표 11.77] 도장 박리 평가기준

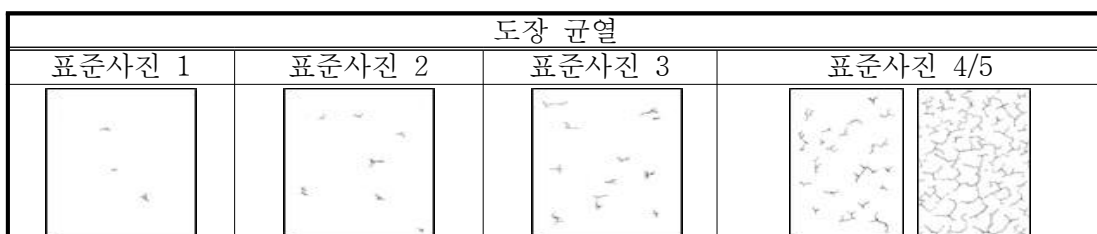
평가 기준	평가 점수	평가내용	
		도장 박리 면적	외관 상태
a	5	0.1% 미만	외관상 박리가 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1에 해당)
b	4	0.1% 이상 ~ 0.3% 미만	미소하게 박리가 확인되지만, 박리된 부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2에 해당)
c	3	0.3% 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 박리가 보이는 상태(표준사진 3~4에 해당)
d	2	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 박리가 발생되어 있는 상태(표준사진 5 이상)
e	1	—	—



(다) 도장 균열

[표 11.78] 도장 균열 평가기준

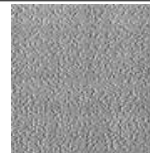
평가 기준	평가 점수	평가내용	
		도장 균열 면적	외관 상태
a	5	0.05% 미만	외관상 균열이 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)
b	4	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 균열이 확인되지만, 균열부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)
c	3	0.5% 이상 ~ 10.0% 미만	확실하게 균열이 보이는 상태(표준사진 3)
d	2	10.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태(표준사진 4/5)
e	1	—	—



(라) 도장 부품

[표 11.79] 도장 부품 평가기준

부품 크기 \ 발생면적	0 ~ 0.05% 미만 (표준사진 밀도 2 이하)	0.05 이상 ~ 0.5% 미만 (표준사진 밀도 3)	0.5 이상 ~ 5.0% 미만 (표준사진 밀도 4)	5.0% 이상 (표준사진 밀도 5 이상)
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하 (크기등급 2)	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도 (0.5mm이하) (크기등급 3)	a	b	c	d
0.5~5mm의 범위 (크기등급 4)	b	c	c	d
5mm 초과 (크기등급 5)	c	d	d	d

도장 부품 (크기등급 3: 0.5mm 부품에 대한 예)			
표준사진 밀도 2 이하	표준사진 밀도 3	표준사진 밀도 4	표준사진 밀도 5 이상
			

<해설>

- 열화에 의한 부착력 상실로 인해 도장이 부풀어 오르는 현상에 대한 등급분류 기준
- 부품 등급은 부품 특성을 양(밀도)과 크기로 평가한 등급으로 검사한 영역에서 다른 부품이 나타난 경우, 시험 영역에서 전형적인 크기의 부품을 기준으로 선택하도록 함

(마) 도장 변색 및 백아화

[표 11.80] 도장 변색 및 백아화 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		도장 변색	도장 백아화
a	5	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음(표준사진 1)
b	4	초기에 비해 변색되어 있음	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착(표준사진 2)
c	3	초기에 비해 현저하게 변색되어 있음	초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착(표준사진 3)
d	2	초기의 색이 거의 남아 있지 않음	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음(표준사진 4)
e	1	—	—

백아화			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4
			

<해설>

- 각 표준사진에서 최우측단의 색상이 도장 본래의 색에 해당하며, 좌측의 색상은 도장 열화 수준에 따라 구분됨
- 도장 변색 및 백아화는 관로에 대한 지표에서는 제외하며, 강구조물(부속시설물)에 대한 지표로 한정함
- 백아화는 도장성분 중 한 가지 또는 그 이상의 성분이 분해되어 일어나는 현상으로, 미세한 분말이 도장의 표면에 약하게 부착되어 있는 것으로 보이는 겉모양임

2) 도장두께

[표 11.81] 도장두께 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		시방서 및 시공기준 대비 허용두께 불만족 비율	비고
a	5	5% 미만	- 수도용 도복장강관에 적용
b	4	5% 이상 ~ 30% 미만	
c	3	30% 이상 ~ 70% 미만	
d	2	70% 이상	
e	1	—	

<해설>

- 조사단위면적 내 5개소를 측정하며 1개소당 3개 지점의 평균값을 사용함
- 대상 조사구역 내의 시방서 및 시공기준 대비 도장 허용두께 불만족 비율로 평가

- 도장 최소두께 및 최대두께 : 건설기준코드(구 시방서) 및 도장 제조업체에서는 제공하는 도장종류에 따른 도장두께를 사용하며, 최소 또는 최댓값이 명시되어 있지 않는 경우에는 일반적으로 규준두께의 80%를 최소두께, 120%를 최대두께를 사용함
- 도장 허용두께 : 측정 1개소내의 3개 지점값(직경 40mm의 1개소에서 3번의 측정 실시)은 값에 제한이 없으나, 3개 지점의 평균값 즉, 1개소의 평균값은 건설기준코드(구 시방서) 최솟값의 80% 이상이어야 하며, 최댓값의 120% 이내이어야 함
- 조사단위면적 내 5개소의 최종 평균값은 건설기준코드(구 시방서) 최솟값 및 최댓값의 범위에 있어야함

3) 경과년수

[표 11.82] 경과년수 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		경과년수	비고
a	5	10 미만	- 수도용 도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용 - 관로의 설치년도로부터 성능평가 완료일 까지의 경과년수 적용
b	4	10 이상 ~ 20 미만	
c	3	20 이상 ~ 30 미만	
d	2	30 이상 ~ 40 미만	
e	1	40 이상	

4) 누수

[표 11.83] 강제 누수 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		상태 정의	비고
a	5	깨끗한 상태	현재에는 누수 발생이 없고 과거에도 누수 발생 흔적이 없음
b	4	건조 상태	현재에는 누수 발생이 없으나 과거에는 누수 발생 흔적이 있음
c	3	습윤 상태	과거의 누수 발생 여부와 상관없이 현재 결로와 같은 경미한 누수가 발생
d	2	젖음 상태	과거의 누수 발생 여부와 상관없이 현재 흐르는 물줄기 혹은 떨어지는 물방울을 관찰할 수 있을 만큼 심각한 누수가 발생
e	1	—	—

<해설>

- 관로를 제외한 강구조물에 적용함(관로에 대한 누수 평가는 상태안전성능에서 평가)

5) 토양환경

(가) 관주변 토양종류

[표 11.84] 관주변 토양종류 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		토양종류	비고
a	5	모래	- 수도용 도복장 강관과 주철관 모두 동일한 기준으로 적용
b	4	실트	
c	3	점토	
d	2	석탄질 토양, 오염 토양	
e	1	쇄석	

<해설>

- 삼각도표에 의한 토양종류를 기준으로 하고, 석탄질 토양, 오염 토양, 쇄석을 추가함
- 토양시료를 채취하여 시험실 분석에 의한 결과와 현장에서 측정된 결과를 기준으로 하며, 최근에 시험한 자료가 있을 경우에는 그 결과를 활용

(나) 토양 비저항

[표 11.85] 토양비저항 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		토양비저항($\Omega\cdot\text{cm}$)	비고
a	5	10,000 이상	- 수도용 도복장 강관과 주철관 모두 동일한 기준으로 적용
b	4	5,000 ~ 10,000 미만	
c	3	2,000 ~ 5,000 미만	
d	2	700 ~ 2,000 미만	
e	1	700 미만	

(다) 토양 pH

[표 11.86] 토양 pH 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		토양 pH	비고
a	5	8.5 이상	- 수도용 도복장강관과 주철관 모두 동일한 기준으로 적용
b	4	6 ~ 8.5 미만	
c	3	4 ~ 6 미만	
d	2	2 ~ 4 미만	- 토양 pH가 6 이상이나, Redox 전위가 50mV 이하인 경우 d를 부여함
e	1	2 미만	

(라) 황산 및 염소이온

[표 11.87] 황산 및 염소이온 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		황산이온 및 염소이온 함량(mg/kg)	비고
a	5	황산이온 200 미만 또는 염소이온 100 미만	수도용 도복장강관과 주철관 모두 동일한 기준으로 적용
b	4	황산이온 200~300 미만 또는 염소이온 100~150 미만	
c	3	황산이온 300~400 미만 또는 염소이온 150~200 미만	
d	2	황산이온 400~500 미만 또는 염소이온 200~250 미만	
e	1	황산이온 500 이상 또는 염소이온 250 이상	

(마) 관대지 전위차

[표 11.88] 관대지 전위차 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		관대지전위차(mV)	비고
a	5	(-)850 ~ (-)2500	수도용 도복장강관에 적용
b	4	(-)650 ~ (-)850 미만 또는 (-)2500 이하	
c	3	(-)400 ~ (-)650 미만	
d	2	0 ~ (-)400 미만	
e	1	0 이상	

6) 대기환경 (해안 이격거리/이산화황 농도/습도)

[표 11.89] 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 (일)	<div>해안 이격거리 (m)</div> <div>이산화황 (ppm)</div>	동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안	
		전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역	전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역	전지역	고창 · 태안	그 외 지역	사천 · 거제	그 외 지역
		500 초과	1000 초과	300 초과	100 초과	20 초과	250 초과 ~ 500 이하	500 초과 ~ 1000 이하	120 초과 ~ 300 이하	50 초과 ~ 100 이하	10 초과 ~ 20 이하	비말대 초과 ~ 250 이하	비말대 초과 ~ 500 이하	비말대 초과 ~ 120 이하	비말대 초과 ~ 50 이하	비말대 초과 ~ 10 이하
		MDD ≤ 1.5					1.5 < MDD ≤ 2.0					2.0 < MDD ≤ 비말대				
100 초과	0.01 이하	a				b				c						
	0.01 초과 0.02 이하	b				b				c						
	0.02 초과	c				c				c						
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a				b				b						
	0.01 초과 0.02 이하	b				b				c						
	0.02 초과	b				c				c						
10 미만	0.01 이하	a				a				b						
	0.01 초과 0.02 이하															
	0.02 초과															

<해설>

- 비래염분량(mg/100cm²/day, MDD) : 10cm × 10cm의 면적에서 1일간 측정되는 염분량을 NaCl량으로 나타낸 값
- 연간 젖음 시간 : 0도씨 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간
- 평가지역이 동일한 경우, 최저등급으로 평가

7) 권양와이어 직경 감소

[표 11.90] 와이어로프 직경감소 평가기준

평가 기준	평가 점수	와이어로프 직경 감소
a	5	없음 또는 1% 미만
b	4	1% 이상, 4% 미만
c	3	4% 이상, 7% 미만
d	2	7% 이상
e	1	—

<해설>

- 드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 대상 와이어로프 당 버니어 캘리퍼스로 3개소 이상을 측정하되, 1개소 당 일정 간격을 두고 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단함
- 직경 측정은 준공 당시 와이어로프의 부하상태와 동일한 상태에서 측정하며, 기준이 되는 직경값 또한 준공당시와 같은 부하상태에서의 직경을 기준으로 함

8) 권양와이어 소선 절단

[표 11.91] 와이어로프 소선절단 평가기준

평가 기준	평가 점수	와이어로프 소선 절단
a	5	없음 또는 1% 미만
b	4	1% 이상, 5% 미만
c	3	5% 이상, 10% 미만
d	2	10% 이상
e	1	—

<해설>

- 와이어로프의 구조는 일반적으로 스트랜드 수 × 스트랜드를 구성하는 소선의 수로 표시되며, 와이어로프의 소선 절단율은 와이어로프의 한 꼬임(스트랜드)에서 끊어진 소선의 수를 육안으로 세어 산정함
- 소선 절단율(%) = 한 스트랜드에서 절단된 소선수/한 스트랜드의 총 소선수 × 100

라. 강재 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

강재 내구성능 평가 결과 산정방법은 평가항목별 가중치 및 부재별 가중치에 따라 관로의 강재내구성능을 평가하는 방법으로 강재 내구성능 평가 예시는 아래 그림을 참조하도록 한다.



[그림 11.4] 강재 내구성능 평가 예시

2) 세부평가항목별 가중치 적용

(가) 발청 및 도장열화 세부평가항목 가중치

강재의 발청, 도장의 박리, 균열, 부품, 변색 및 백아화 등 각 지표별 평가결과에 의한 열화정도를 점수화하고, 아래 표와 같은 각 지표별 가중치를 적용 및 합산하여 발청 및 도장열화에 대한 평가점수를 산정한다.

[표 11.92] 발청 및 도장열화 세부평가항목에 대한 가중치

구분	발청	박리	균열	부품	변색	비고
관로	53	21	10	16	—	
강구조물	50	20	10	15	5	
기전설비	100	—	—	—	—	권양화이어

(나) 토양환경 세부평가항목 가중치

토양환경에 속하는 각 항목별 평가결과를 점수화하고, 아래 표와 같은 각 항목별 가중치를 적용 및 합산하여 토양환경에 대한 평가점수를 산정한다.

[표 11.93] 토양환경 세부평가항목에 대한 가중치

구분	관주변 토양종류	토양 비저항	토양 pH	황산 및 염소이온	관대지전위차
관로	17	29	15	17	22

(다) 세부평가항목별 점수범위에 따른 분류

[표 11.94] 세부평가항목 가중치 합산 점수범위에 따른 분류 기준

기준	a	b	c	d	e
점수에 따른 평가항목 기준	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0
세부평가항목 가중치 합산점수	5.0 ~ 4.5 이상	4.5 미만 ~ 3.5 이상	3.5 미만 ~ 2.5 이상	2.5 미만 ~ 1.5 이상	1.5 미만 ~ 1.0 이상

3) 강재 내구성능 평가항목별 가중치 적용

상수도시설물의 강재 내구성에 대해 개별부재를 평가하기 위해서는 각 평가항목별 가중치를 반영하는 것이 필요하다. 각 평가항목의 가중치 합은 100이 되도록 하며, 평가에서 제외된 항목이 있는 경우 가중치의 합이 100이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

[표 11.95] 강재 내구성능 평가항목별 가중치

구분		발청 및 도장열화	도장 두께	경과년수	누수	환경	
						토양	대기
관로	매설관로	26	21	36	—	17	—
	노출관로	29	23	37	—	—	11
강구조물	내부	36	23	—	29	—	12
	외부	37	27	—	18	—	18

<해설>

- 가중치 조정 예 : 노출관로에서 발청 및 도장열화가 제외되는 경우, 제외되는 가중치를 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분함
- 강구조물 중, 강재 연락교의 경우 세부지침 「교량」 편 강재 내구성능 평가방법에 따르며 평가항목별 가중치는 발청 및 도장열화 : 도장두께 : 대기환경 = 67 : 22 : 11 으로 사용함

[표 11.96] 강재 내구성능 기전설비(권양와이어) 평가항목별 가중치

구분	발청	대기환경	직경감소	소선절단
권양와이어	25	20	20	24

4) 관로 개별부재 종류에 따른 가중치 적용

관로 개별시설물 평가를 수행하기 위해 관로의 개별부재간 가중치를 반영하도록 한다.

[표 11.97] 강재 내구성능 관로 개별부재 종류에 따른 가중치

세부시설	가중치
관로	80
밸브실	20

5) 관로 개별 시설물별 평가점수 산정

점검대상 관로구간 간의 가중치로서 개별 관로구간의 중요도가 같다는 가정 하에 시설 규모를 반영하여 등급점수 산정한다.

$$\text{평가점수} = \text{Min} + V_1 \times V_2$$

여기서, $V_1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$

$$V_2 = \Sigma(E_C \times S) / 5 \times \Sigma S$$

E_C = 개별 관로구간 평가점수

S = 관로구간별 규모

Max= 관로구간 평가점수 중 최댓값

Min= 관로구간 평가점수 중 최솟값

마. 강제 내구성능 평가 결과 산정 예시

1) 대상 상수도시설물 선정

강제내구성능 평가를 위해 선정한 상수도시설물의 주요 제원 및 환경조건은 다음 표와 같다.

[표 11.98] 강제 내구성능 평가를 주요 제원 및 환경조건

상수도 시설명	○○ 상수도
관로구간 분할	송수관로구간 1 ~ 3
단위 점검구간 및 세부시설	- 관로구간 1: 관로구간 1-1(100m) 및 1-2(100m), 밸브실 1-1 및 1-2 - 관로구간 2: 관로구간 2-1(100m), 밸브실 2-1 - 관로구간 3: 관로구간 3-1(100m) 및 3-2(100m), 밸브실 3-1 및 3-2
관로구간별 규모	- 관로구간 1: 2,035m ³ - 관로구간 2: 2,035m ³ - 관로구간 3: 2,148m ³
관중/관경 및 도장	폴리에틸렌 분체라이닝 강관(4호, 호칭경 600mm) 시방서 기준 내면 피복두께: 0.5 mm 시방서 기준 외면 피복두께: 2.2 mm
관로 경과년수	10년 (시공후 유지보수 이력 없음)
관로 주변환경	전구간 토양매설(지반조건 및 매설현황 일정)
주변환경	- 해안 이격거리: 서해안으로부터 44km (고창/태안 이외 지역) - 이산화황 농도: 0.0038ppm - 습도(연간 젖음시간(일)): 75일

2) 1단계 : 평가항목별(지표별) 평가 및 개별부재 평가결과 산정

(가) 발청 및 도장열화 평가

- 점검대상 관로구간 내의 세부시설물(관로 및 밸브실 관로)별로 각 세부지표에 대한 평가기준에 따라 평가한다.
- 예로써 관로의 발청에 대한 평가결과는 아래와 같으며, 밸브실에 대해서도 유사한 방법으로 평가한다.

[표 11.99] 관로 발청 평가 예

관로 발청				
관로구간	단위 점검구간	발청 면적율(%)	평가결과	평가점수
1	1-1	전면부식 0.2, 점녹 5.0	b	4
	1-2	전면부식 0.1, 점녹 4.0	b	4
2	2-1	전면부식 (-), 점녹 1.0	b	4
3	3-1	전면부식 0.3, 점녹 12.0	c	3
	3-2	전면부식 0.02, 점녹 (-)	a	5

[표 11.100] 관로 발청 및 도장열화 평가 예

관로 발청 및 도장열화 종합							
관로구간	단위점검 구간	발청	박리	균열	부품	발청 및 도장 열화 평가점수*	평가결과
1	1-1	4	3	4	4	3.79	b
	1-2	4	3	4	4	3.79	b
2	2-1	4	3	5	4	3.89	b
3	3-1	3	2	4	3	2.89	c
	3-2	5	4	4	4	4.53	a

주) 각 세부지표 평점에 세부지표별 가중치를 적용한 후 합산한 결과

[표 11.101] 밸브실 관로 발청 및 도장열화 평가 예

밸브실 관로 도장열화 종합							
관로구간	밸브실	발청	박리	균열	부품	발청 및 도장 열화 평가점수*	평가결과
1	1-1	5	4	5	5	b	4.79
	1-2	5	4	5	5	b	4.79
2	2-1	5	4	5	5	b	4.79
3	3-1	4	4	4	5	c	4.16
	3-2	5	4	4	5	b	4.69

주) 각 세부지표 평점에 세부지표별 가중치를 적용한 후 합산한 결과

(나) 도장두께 평가

- 점검대상 관로구간 내의 세부시설물(관로 및 밸브실 관로)별로 관체의 도장 두께에 대해 평가기준에 따라 등급을 결정한다.

[표 11.102] 도장두께 평가 예

도장두께					
관로구간	단위 점검구간	5개소 평균두께(mm)	허용두께 미달 비율	평가결과	평가점수
1	1-1	2.30 (104.5%)*	0	a	5
	1-2	2.40 (109.1%)	0	a	5
2	2-1	2.30 (104.5%)	0	a	5
3	3-1	2.35 (106.8%)	0	a	5
	3-2	2.1 (95.45%)	0	a	5

주) 지방서 기준 두께 대비 점검시 두께

(다) 경과년수 평가

- 점검대상 관로구간 내의 세부시설물(관로 및 밸브실 관로)별로 시공 및 유지관리 이력자료를 근거로 평가한다.

[표 11.103] 관로 경과년수 평가 예

관로				
관로구간	단위 점검구간	경과년수	평가결과	평가점수
1	1-1	10	b	4
	1-2			
2	2-1			
3	3-1			
	3-2			

[표 11.104] 밸브실 경과년수 평가 예

밸브실				
관로구간	밸브실	경과년수	평가결과	평가점수
1	1-1	10	b	4
	1-2			
2	2-1			
3	3-1			
	3-2			

(라) 토양매설 환경

- 매설 관로의 토양환경에 대한 평가로서 점검 대상구역 전체에 대해 관주변토양 종류/토양비저항/토양pH/황산및염소이온/관대지전위차 등 각 세부지표의 평가 기준에 따라 평가한다.
- 각 세부지표에 대한 평가결과를 평가기준에 따라 점수화하고, 가중치 적용 및 합산하여 토양환경을 결정한다.

[표 11.105] 토양매설환경 평가 예

토양매설환경								
관로구간	단위점검구간	관주변 토양종류	토양 비저항	토양 pH	황산 및 염소이온	관대지 전위차	평가결과	평가점수
1	1-1	3	3	4	3	3	c	3.15
	1-2							
2	2-1							
3	3-1							
	3-2							

(마) 대기환경 평가

- 대기환경에 대한 평가는 점검 대상구역 전체에 대해 해안이격거리/이산화황농도/습도 등의 세부지표별 평가기준에 따라 평가한다.

[표 11.106] 대기환경 평가 예

평가항목		측정값	평가결과	평가점수
대기 환경	해안 이격거리	서해안으로부터 44 km	a	5
	연간 젖음시간(일)	75일		
	이산화황 농도	0.0038 ppm		

주) 지역적인 특성을 고려하여 전체시설물에 동일하게 대기환경 평가

(바) 관로 개별부재 평가결과 산정

- 점검대상 관로구간 내의 세부시설물(관로 및 밸브실 관로)별로 각 평가항목에 대한 평가결과에 평가항목별 가중치를 적용 및 합산하여 등급을 산정한다.

[표 11.107] 관로 강제 내구성능 개별부재 평가 예

관로 개별부재 평가								
관로 구간	단위점검 구간	발청 및 도장열화	도장 두께	경과년수	토양환경	대기환경	평가점수	평가결과
1	1-1	3.79	5	4	3.15	해당없음	4.01	b
	1-2	3.79	5	4	3.15		4.01	b
2	2-1	3.89	5	4	3.15		4.04	b
3	3-1	2.89	5	4	3.15		3.78	b
	3-2	4.53	5	4	3.15		4.20	b

[표 11.108] 밸브실 강제 내구성능 개별부재 평가 예

밸브실 개별부재 평가								
관로 구간	밸브실	발청 및 도장열화	도장 두께	경과년수	토양환경	대기환경	평가점수	평가결과
1	1-1	4.35	5	4	3.15	해당없음	4.26	b
	1-2	4.35	5	4	3.15		4.26	b
2	2-1	4.35	5	4	3.15		4.26	b
3	3-1	3.65	5	4	3.15		4.07	b
	3-2	4.23	5	4	3.15		4.23	b

3) 2단계 : 관로 복합부재 가중치에 따라 관로구간내 단위점검구간의 평가결과 산정

[표 11.109] 관로 강제 내구성능 복합부재 평가 예

관로 복합부재 평가					
관로구간	단위 점검구간 관로 및 밸브실	세부시설별 평점	가중치	평가점수	평가결과
1	관로구간 1-1	4.01	80/2	4.06	b
	관로구간 1-2	4.01	80/2		
	밸브실 1-1	4.26	20/2		
	밸브실 1-2	4.26	20/2		
2	관로구간 2-1	4.04	80	4.08	b
	밸브실 2-1	4.26	20		
3	관로구간 3-1	3.78	80/2	4.02	b
	관로구간 3-2	4.20	80/2		
	밸브실 3-1	4.07	20/2		
	밸브실 3-2	4.23	20/2		

4) 3단계 : 관로 개별시설물 가중치에 따라 관로구간 전체의 평가결과 산정

○ 관로 복합부재에 시설규모를 반영하여 등급점수 산정한다.

[표 11.110] 관로 강제 내구성능 개별시설물 평가 예

관로 개별시설물 평가					
관로구간	관로구간별평점 (V_1)	시설규모(m^3) (V_2)	계산값 ($V_1 \times V_2$)	평가점수	평가결과
1	4.06	2,035	8,384	4.07	b
2	4.08	2,035	8,445		
3	4.02	2,148	8,785		
합계		6,218	25,614		
1.관로(송수관로)구간 평가점수 중 최솟값(Min) = 4.02					
2.관로(송수관로)구간 평가점수 중 최댓값(Max) = 4.08					
3. $V1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.062$					
4. $V2 = \Sigma(E_C \times S)/5 \times \Sigma S = 25614/(5 \times 6218) = 0.824$					
5.관로(송수관로) 전체 내구 평점 = $Min + V_1 \times V_2 = 4.02 + 0.062 \times 0.824 = 4.07$					
6.관로(송수관로) 전체 내구 등급 = b					

- 5) 4단계 : 관로 복합시설물 가중치에 따라 관로구간 전체의 평가결과 산정
 ○ 관로 개별시설물평가에 시설규모를 반영하여 등급점수 산정한다.

[표 11.111] 관로 강제 내구성능 평가 예

관로 개별시설물 평가					
관로구간	관로구간별평점 (V_1)	시설규모(m^3) (V_2)	계산값 ($V_1 \times V_2$)	평가점수	평가결과
도수관로	3.84	8,538	32,785.9	4.01	b
취수관로	4.01	12,807	51,356.1		
송수관로	4.07	25,614	104,249.9		
합계		46,959	188,391.9		

1.관로 강재 내구성능 평점

$= \Sigma(E_c \times S) / \Sigma S = 188,391.9 / 46,959 = 4.01$

2.관로 강재 내구성능 평가 결과 = b

11.5.3 콘크리트 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 개요

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질이며, 열화환경평가는 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경과 토양pH, 황산이온, 염소이온에 따른 토양환경이다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합 성능등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합성능등급 산정에는 활용하지 않고 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

[표 11.112] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

구분	평가항목	비고
열화진전항목	염화물 침투량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트의 품질	부재 수준 평가
열화환경항목	동해환경 토양환경	전체 시설물 대상

나. 평가대상 부재

상수도시설물에 대하여 콘크리트 내구성능 평가를 실시하며, 부재별 가중치를 고려하지 않은 개별시설물 형식으로 적용한다.

[표 11.113] 콘크리트 내구성능 평가대상 시설물별 평가항목의 구분

구분		평가항목	
		열화진전항목	열화환경항목
관로 ¹⁾ 및 토목구조물	철근 콘크리트	염화물 침투량(염해환경 ²⁾ 인 경우 실시) 탄산화 깊이 피복 콘크리트의 품질	동해환경 토양환경
	무근 콘크리트	피복(표면부) 콘크리트의 품질	동해환경 토양환경
수로터널	철근 콘크리트	탄산화 깊이 피복 콘크리트의 품질	동해환경 토양환경
	무근 콘크리트	피복(표면부) 콘크리트의 품질	동해환경 토양환경

주1) 밸브실 및 조절지에 대해 콘크리트 내구성능 평가 수행함

주2) 염해환경은 소독제로 액화염소 등을 사용하여 염해의 가능성이 있는 수구조물 등에 대한 환경을 의미함. 단, 염화물 침투량의 수행은 과업에서 책임기술자가 판단하도록 함

다. 콘크리트 내구성능 평가항목 및 기준

1) 염화물 침투량

- 상수도시설물은 기본적으로 염해를 입지 않는 환경조건에 놓여있다고 가정하나, 환경에 따라 또는 책임기술자 판단에 따라 염화물 침투량에 대한 평가를 실시할 수 있다.

[표 11.114] 염화물 침투량 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_d(kg/m^3)$
a	5	30년 초과	0.3 이하
b	4	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$
c	3	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$
d	2	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_d < 2.5$
e	1	5년 이하	2.5 이상

<해설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가 결과로 설정함
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것임
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문임
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여함
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 점검 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고함

2) 탄산화 깊이

[표 11.115] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	비고
a	5	30년 초과	점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후, T 계산 탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T : 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간, D : 탄산화 깊이, t : 공용연수)
b	4	20년 < $T \leq 30$ 년	
c	3	10년 < $T \leq 20$ 년	
d	2	5년 < $T \leq 10$ 년	
e	1	5년 이하	

<해설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T 를 구하는 시간적 개념을 포함함
- “e”등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T 가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화 될 가능성을 고려한 것임
- 또한, 30년 초과를 “a”등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것임

3) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 설계강도값과 건전부/비건전부를 적용하여 평가하며 2개의 방법 중, 낮은 평가결과를 사용한다.
 - 피복(표면부) 콘크리트의 공용 중, 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화요인에 의하여 국부적으로 나타날 수 있다.

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 11.116] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	비고
a	5	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	피복 콘크리트의 내구성이 양호
b	4	90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 < 100%	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성이 저하되기 시작함
c	3	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성이 저하되기 진전된 상태
d	2	—	—
e	1	—	—

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 11.117] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	비고
a	5	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	4	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성이 저하되기 시작함
c	3	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성이 저하되기 진전된 상태
d	2	—	—
e	1	—	—

<해설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용함
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정 하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 “a”등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 “c”로 평가함
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위임
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분함

4) 동해환경

[표 11.118] 동해환경 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	비고
a	5	$X < 3$	기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	4	$3 \leq X < 50$	
c	3	$50 \leq X$	
d	2	—	
e	1	—	

주) 상수도시설물의 경우, 시설물이 광역적으로 분포하므로 행정구역이 상이한 경우는 행정구역별 동해환경을 평가함

<해설>

- X는 동결융해 반복지수로서 수분과의 접촉 여부로 구분하여 산정함
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정함
- 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단함

5) 토양환경

[표 11.119] 토양환경 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용
a	5	pH ≥ 7 이상 또는 황산염 질량비 $< 0.2\%$ 또는 염소이온 ≤ 500 ppm
b	4	$5 \leq \text{pH} < 7$ 또는 $0.2\% \leq \text{황산염 질량비} < 2.0\%$ 또는 $500\text{ppm} < \text{염소이온} \leq 1,000\text{ppm}$
c	3	pH < 5 이하 또는 황산염 질량비 $\geq 2.0\%$ 또는 염소이온 $>1,000$ ppm
d	2	—
e	1	—

<해설>

- 관로의 경우, 토양환경의 평가는 책임기술자의 판단에 따름
- 토목시설물이 한 부지 내에 있는 경우, 1개 시설물을 선정하여 토양환경을 평가함
- 공업지역은 pH 5~6, 농업지역 pH 5~7, 일반지역 pH 6~7, 산악지역 pH 5~6, 해안지역의 경우 pH 8~10 정도를 보이는 경향이 있음
- 토양의 경우, 산성비 및 기타 수분이 토양 속에 포화되어 지하 콘크리트의 표면과 접촉하며 중화에 의한 알칼리 손실이 발생함
- 염소이온의 경우 토양내 수분에 의하여 확산이 활발히 이루어질 수 있으며 콘크리트 표면과 지속적으로 접촉할 시 콘크리트의 내구성능 저하를 일으킬 수 있음

라. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

콘크리트 내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가 지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저등급을 반영한다. 열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합성능등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

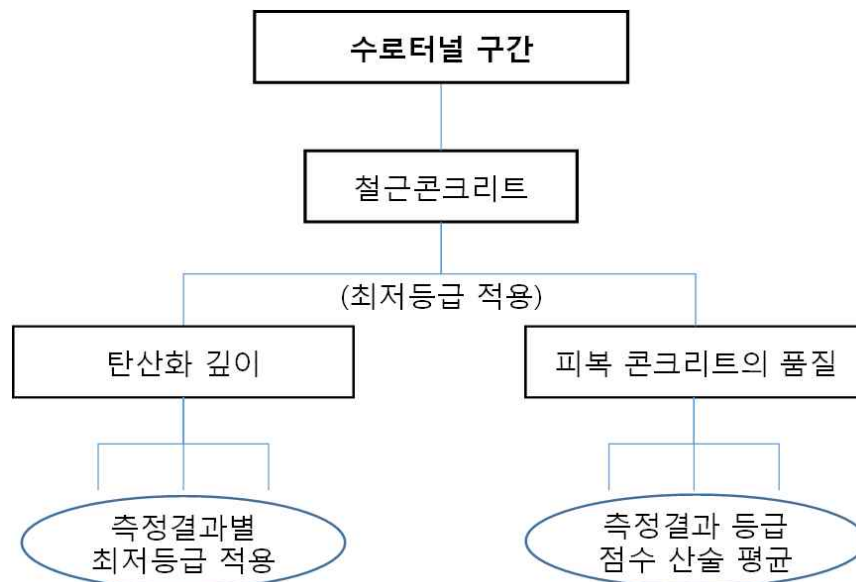
(가) 열화진전평가(부재수준의 평가)

콘크리트 내구성능 평가에 있어 열화진전평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.

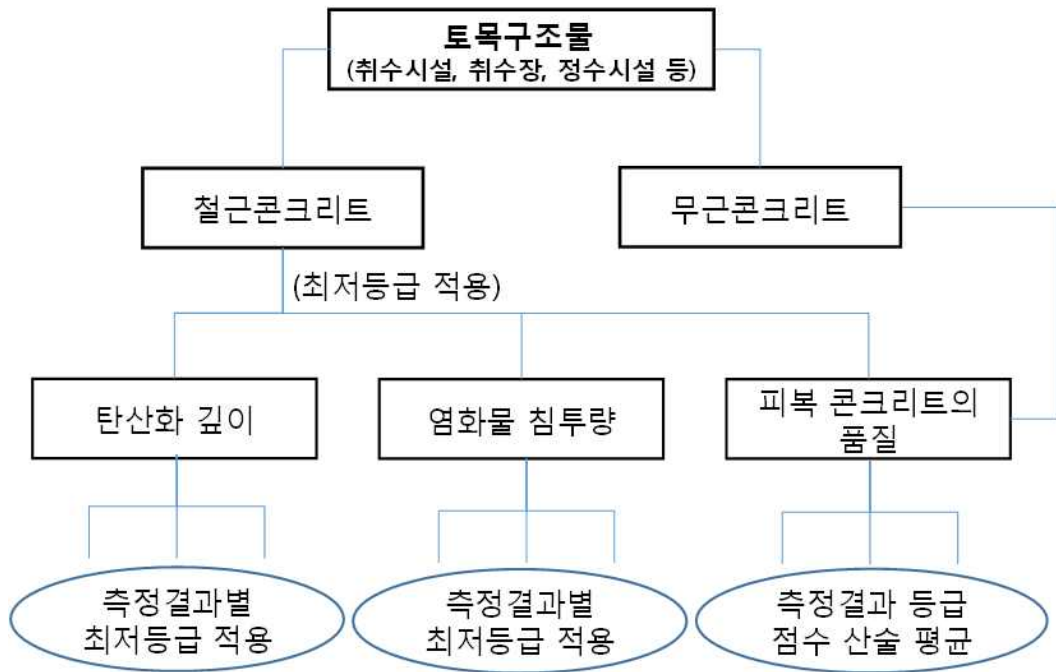
각 콘크리트 내구성능 평가를 함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가결과가 대상 부재의 내구성능 등급이 됨
- 다만, 피복 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균함

각 세부 부재별 열화진전평가에 대한 내구성능 평가항목은 아래와 같으며 수로터널과 토목구조물을 분리하여 평가하고, 철근콘크리트와 무근콘크리트로 구분하여 평가한다.



[그림 11.5] 내구성능 항목별 세부 평가방법 수로터널 예시



[그림 11.6] 내구성능 항목별 세부 평가방법 토목구조물 예시

(나) 열화환경평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경평가는 동해환경, 토양환경의 열화환경평가 지표로 이루어지며 염해의 가능성이 있다고 판단되는 경우에 한하여 염해환경을 추가적으로 평가할 수 있다(‘염해환경의 평가기준은 「댐」 편 참조).

열화환경평가는 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다.

[표 11.120] 콘크리트 내구성능 열화환경 평가기준

평가기준	열화환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길 수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

(다) 세부부재 등급 산정에 따라 시설물 전체 등급 산정

상수도시설물의 콘크리트 내구성능 평가 결과는 최종적으로 아래와 같이 나타내며 구조물별로 부재별 가중치는 적용하지 않는다.

[표 11.121] 콘크리트 내구성능 열화진전평가

구분	시설별	평가기준	비고
관로시설	밸브실	a ~ e	밸브실 별
	조절지	a ~ e	단일 부재별
	수로터널	a ~ e	구간별
토목구조물	취수시설, 취수장, 정수시설, 가압장, 배수지 등	a ~ e	단일 부재별

[표 11.122] 콘크리트 내구성능 열화환경평가

열화환경지표	평가기준	비고
동해환경	a or b or c	동결융해 사이클이 반복됨에 따라 표면부터 내구성능이 저하하게 되며, 수분의 공급이 용이한 부재에서 발생할 가능성이 큼
토양환경	a or b or c	토양에 매립된 구조물에 한하여 실시함

마. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 예시

1) 대상 상수도시설물 선정

콘크리트 내구성능 평가를 위해 선정한 상수도시설물의 주요 제원 및 환경조건은 다음 표와 같다.

[표 11.123] 대상 상수도 시설물 예시

시설물 종류	가압장(착수정)
콘크리트	일반 RC
피복 두께	50mm
공용연수	20년
지역	과천

1) 열화진전평가

(가) 염화물 침투량

- 필요한 경우, 염화물 침투량 시험 실시하며, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과를 확보한다.

[표 11.124] 염화물 침투량 평가 예

열화진전 평가 항목	측정위치	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				평가결과
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물 침투량	No.1	1.5	1.05	0.4	0.1	a
	No.2	4.5	3.5	1.8	0.8	c

[표 11.125] 염화물 확산계수 산출 예

계산 항목	측정위치	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)
염화물 확산계수	No.1	—	—	0.103	—
	No.2	—	—	—	0.194

※ 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있음

[표 11.126] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가 예

열화진전 평가 항목	측정위치No.	계산 결과 (year)	평가결과
철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	No.1	30년 초과	a
	No.2	30년 초과	a

[표 11.127] 염화물 침투량 최종 평가결과 예

시설물 구분	염화물 침투량 평가	철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가
가압장	c	a
	최저 평가기준 적용 : c	

(나) 탄산화 깊이 평가

- 탄산화 깊이는 2개소에서 측정하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가결과 중 최저등급을 대상부재의 탄산화 깊이에 대한 평가결과로 한다.

[표 11.128] 탄산화 깊이 평가 예

열화진전 평가 항목	측정 위치	탄산화 깊이(mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)	평가결과	
					개별	구역별
탄산화 깊이	No.1	9	2.0	30년 초과	a	a
	No.2	32	7.2	29	b	

(다) 피복 콘크리트 품질 평가

○ 피복 콘크리트의 품질은 4개소에서 측정하였다.

[표 11.129] 피복 콘크리트의 품질 평가 예

열화진전 평가 항목	측정위치	설계값 대비 강도추정값(%)	비건전부/ 건전부 비율(%)	개별 평가결과		평가 등급
피복 콘크리트의 품질	No.1	105	—	a	—	a
	No.2	—	98	—	b	
	No.3	120	—	a	—	
	No.4	—	92	—	b	

(라) 콘크리트 내구성능 열화진전평가

[표 11.130] 콘크리트 내구성능 열화진전평가 예

시설물 구분	항목별 평가결과			평가 결과
	염화물침투량	탄산화깊이	피복콘크리트의 품질	
가압장	c	b	a	c
	최저등급제			

2) 콘크리트 내구성능 열화환경평가

- 해당 지역인 과천과 가장 인접한 서울의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 8.6회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 45.8회로서 동해 환경 평가결과는 b이다.
 - 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우는 동결융해 사이클이 연평균 8.6회로서 동결융해의 피해를 입을 수 있음이 확인된다.
- 토목시설물이 한 부지 안에 있으므로 토양환경은 시설별로 별도 평가하지 않으며 선정한 가압장에 대한 토양환경을 토목시설물의 토양환경으로 사용한다.
- 콘크리트 내구성능 열화환경평가는 유지관리의 자료로 활용한다.

[표 11.131] 콘크리트 내구성능 토양환경 평가 예

측정 No.	평가항목 및 결과						개별 평가 결과	평가 결과
	pH		황산염 질량비		염소이온			
	측정값	평가결과	측정값 (%)	평가결과	측정값 (ppm)	평가결과		
No.1	6.5	b	0.10	a	700	b	b	b
No.2	7.2	a	0.15	a	300	a	a	
No.3	6.7	b	0.12	a	900	b	b	
	최저등급							

[표 11.132] 콘크리트 내구성능 열화환경평가 예

열화환경지표	평가결과
토양환경	b
동해환경	b

11.5.4 내구성능 평가 결과산정방법

본 내구성능 평가 방법에서는 관로(강제) 및 수로터널(콘크리트)을 포함하는 관로시설물, 콘크리트 구조물 및 강구조물을 포함하는 토목구조물의 종합내구성능 평가방법을 제시한다.

상수도시설물은 관로, 토목구조물, 건축구조물, 기전설비로 구성되어 있으며 종합내구성능 평가 시 적용하는 가중치는 아래 표를 따르도록 한다. 단, 해당 시설물에 대한 평가가 수행되지 않은 경우에는 해당시설물에 대한 중요도 가중치를 적용하여 배분한다.

[표 11.133] 상수도 시설물 내구성능 평가를 위한 가중치

시설물 구분	관로시설물 (관로 및 수로터널)	토목구조물 (콘크리트 및 강구조물)	건축구조물	기전설비
가중치	47	27	13	13

가. 관로시설물 내구성능 평가 방법

○ 관로시설물 종합평점(E_t) = $\Sigma(E_i \times S_i) / \Sigma S_i$

여기서, E_i : 관로 및 수로터널 평점

S_i : 관로 또는 수로터널 규모(m^3 , $m^3/일$)

평점의 범위에 따른 종합 내구등급 산정은 아래 표의 등급분류기준을 적용한다.

[표 11.134] 점수범위에 따른 등급분류 기준

기준	a	b	c	d	e
등급분류를 위한 점수범위	5.0 ~ 4.5 이상	4.5 미만 ~ 3.5 이상	3.5 미만 ~ 2.5 이상	2.5 미만 ~ 1.5 이상	1.5 미만 ~ 1.0 이상

나. 토목구조물(콘크리트 구조물 및 강구조물) 내구성능 평가방법

○ 토목구조물 종합평점(E_t) = $\Sigma(E_i \times S_i) / \Sigma S_i$

여기서, E_i : 콘크리트 구조물 및 강구조물 평점

S_i : 콘크리트 구조물 및 강구조물 규모(m^3)

평점의 범위에 따른 종합 내구등급 산정은 ‘가’ 항 관로시설물 내구성능의 경우와 같은 등급분류기준을 적용한다.

다. 내구성능 평가 결과산정

상수도시설물의 내구성능 평가 결과 예는 [표 11.135]와 같으며 내구성능 등급은 [표 11.136]과 같다.

[표 11.135] 내구성능 평가결과

분류	세부분류	평가결과	평가점수	규모	계산값	가중치	평가등급
관로	관로	<i>c</i>	<i>2.76</i>	<i>25,310.8</i>	<i>3.54</i>	<i>60</i>	<i>4.12</i> (<i>B</i>)
	수로터널	<i>a</i>	<i>5.00</i>	<i>13,781.9</i>			
토목 구조물	콘크리트 및 강구조물	<i>a</i>	<i>5.00</i>	<i>36927.9</i>	<i>5.00</i>	<i>40</i>	

[표 11.136] 내구성능 평가 기준

평가등급	평가점수 범위	내구성능 수준
A (우수)	$4.5 \leq X$	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	$3.5 \leq X < 4.5$	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$2.5 \leq X < 3.5$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	$1.5 \leq X < 2.5$	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	$1.0 \leq X < 1.5$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

11.6 사용성능 평가 기준 및 방법

11.6.1 일반

사용성능 평가는 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적을 만족하기 위한 성능으로 정의한다.

상수도시설물의 사용성능 평가는 운영성과 유지관리성 및 수요 및 용량으로 구분하고 각 세부지표의 평가결과에 대해 가중치를 반영하여 최종 등급을 결정한다.

11.6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

상수도시설물의 사용성능 평가를 위한 세부지표는 상수도시설물의 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로서 사용자의 시설물 가동 시 안정감 측면에서의 운영성과 시설물의 기능유지 측면에서의 유지관리성, 수요 및 용량으로 한다.

나. 세부지표의 평가범위

상수도시설물의 사용성능은 운영성 관점에서 수질, 관로사고이력, 밸브의 손상에 대해 평가하며, 기전설비와 관련된 펌프의 소음 및 진동, 전기설비의 절연 및 접지, 전기설비 상태 등에 대해서는 유지관리성으로 평가한다. 또한 수요 및 용량을 평가하기 위해 가동률에 대해 평가하며 각 지표에 대하여 “a”~“e”범위의 평가기준으로 평가결과를 도출한다.

[표 11.137] 사용성능 평가항목 적용

구분	세부지표의 분류	평가기준 범위
운영성	수질	a, e
	관로사고이력	a, b, c, d, e
	밸브의 손상	a, b, c, d, e
유지관리성	펌프의 소음 및 진동	a, b, c, d, e
	전기설비의 절연 및 접지	a, b, c, d, e
	전기설비 상태	a, b, c, d, e
수요 및 용량	가동률	a, b, c, d, e

[표 11.138] 상수도시설물의 사용성능 평가단별 절차

구분		1단계 (개별시설물)	2단계 (복합시설물)	3단계
수질	평가대상	정수장1 정수장2 배수지1 ...	정수장 배수지	평가항목별 가중치 반영
	평가방법	[평가대상] * [시설용량]	최저등급 결과 적용	
관로사고이력	평가대상	관로 누수건수 등		
	평가방법	사고건수 * 관로 연장		
밸브의 손상	평가대상	기전설비 장내배관1 기전설비 장내배관2 ...	취수장 가압장 ...	
	평가방법	평가대상 규모 반영	시설별 용량반영	
펌프의 소음 및 진동	평가대상	취수펌프1 취수펌프2 가압펌프1 ...	취수장 가압장 ...	
	평가방법	평가대상 규모 반영	시설별 용량반영	
전기설비의 절연 및 접지	평가대상	취수펌프1 절연 및 접지 취수펌프2 절연 및 접지 가압펌프1 절연 및 접지 ...	취수장 가압장 ...	
	평가방법	평가대상 규모 반영	시설별 용량반영	
전기설비 상태	평가대상	취수펌프1 작동상태 취수펌프2 작동상태 가압펌프1 작동상태 ...	취수장 가압장 ...	
	평가방법	평가대상 규모 반영	시설별 용량반영	
가동률	평가대상	정수장1 정수장2		
	평가방법	[평가시설] * [시설용량]		

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 운영성

(가) 수질

[표 11.139] 수질 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용
a	5	점검대상연도 수질기준 초과횟수가 없는 경우
b	4	—
c	3	—
d	2	—
e	1	점검대상연도 수질기준 초과횟수가 1회이상인 경우

<해설>

- 정수장의 수질과 배수지의 수질을 점검하여 평가함
- 정수장과 배수지의 수질은 「먹는물 수질 기준 및 검사 등에 관한 규칙」의 별표1 “먹는물의 수질기준”에 따른 수질검사 적정성 여부로 평가함
- 수질의 평가는 각 정수장과 배수지의 수질평가 결과를 비교하여 최저값을 최종평가 결과로 산정함(결과 산정 예 참조)

(나) 관로사고이력

[표 11.140] 관로사고이력 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		사고이력(건/km/년)	비고
a	5	$f = 0$	f: 관로사고이력(최근 5년간 이력을 기준으로 산정함을 원칙으로 함)
b	4	$0 < f \leq 0.7$	
c	3	$0.7 < f \leq 1.4$	
d	2	$1.4 < f \leq 2.1$	
e	1	$2.1 < f$	

<해설>

- 관로사고이력은 관리주체와 협의하여 최근 5년간의 사고이력 관련 자료(수도사고 이력, 점검·정비 등)를 수집하고 사고 유형별로 구분함
- 최근 5년간의 해당 광역상수도의 연장당 관로 누수 사고건수(건/년·km)와 타공사, 관로 이설공사 등 사용자의 불편함을 야기하는 사고건수를 포함하여 평가함

(다) 밸브(장내배관)의 손상

[표 11.141] 밸브(장내배관)의 손상 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용
a	5	밸브의 작동이 원활하고 여타 손상이 전혀 없음
b	4	밸브의 작동에 문제가 없고 발청부식 등의 손상이 경미하게 발생
c	3	밸브의 작동에 문제가 없고 축부에서 경미한 누수가 발생
d	2	밸브는 작동가능하나 고장으로 수리가 필요하거나 누수의 진행 관찰이 필요
e	1	밸브의 작동이 불가하거나 누수의 진행(분출)이 확연함

<해 설>

- 장내배관 밸브의 손상에 대해 평가하며 해당밸브의 작동상태, 변색, 지수상태(청음) 등을 평가함
- 취수장, 가압장, 정수장 등을 구분하여 2단계로 평가함
- 1단계의 경우, 개별시설물(취수장·가압장·정수장 내)에 포함된 각 배관들의 손상상태 등을 평가하고 개별시설물의 규모를 고려하여 평가결과를 산정함
- 2단계의 경우, 복합시설물의 평가결과와 규모를 반영하여 평가함(결과 산정 예 참조)
- 주요밸브를 대상으로 평가하며 그 외에 밸브작동에 대한 평가가 어려운 밸브(수동밸브 등)에 대해서는 필요시 관리주체와 협의하여 평가하도록 함

2) 유지관리성

(가) 펌프의 소음 및 진동

[표 11.142] 펌프의 소음 및 진동 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		진동한계 (RMS, mm/s)	소음(dB)
a	5	$X \leq 3.7$	펌프 1m에서 평균소음의 크기가 80dB 이하
b	4	$X \leq 5.6$	펌프 1m에서 평균소음의 크기가 80dB 초과, 90dB이하
c	3	$X \leq 9$	펌프 1m에서 평균소음의 크기가 90dB 초과, 100dB이하
d	2	$9 < X$	펌프 1m에서 평균소음의 크기가 100dB 초과, 120dB이하
e	1	$11 < X$	펌프 1m에서 평균소음의 크기가 120dB 초과

<해 설>

- 펌프의 진동 및 소음을 각각 평가하여 평가결과 중 최저값을 적용함
- 취수장, 가압장, 정수장 등을 구분하여 2단계로 평가함
- 1단계의 경우, 개별시설물(취수장·가압장·정수장 내)에 포함된 각 펌프의 소음·진동을 평가하고 개별시설물의 규모를 고려하여 평가결과를 산정함
- 2단계의 경우, 복합시설물의 평가결과와 규모를 반영하여 평가함(결과 산정 예 참조)

(나) 전기설비의 절연 및 접지

[표 11.143] 전기설비의 절연 및 접지불량 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용	
		절연열화	접지불량
a	5	절연열화가 전혀 없는 상태	접지불량이 전혀 없음
b	4	절연열화가 매우 미미한 상태	접지불량이 매우 미미한 상태
c	3	절연열화가 경미한 상태(경년열화를 고려한 1MΩ 정도)	접지불량이 경미한 상태(규정된 접지저항치 범위 내)
d	2	절연열화가 심화된 상태(경년열화를 고려한 1MΩ 이하로서 규정된 절연저항치 정도)	접지불량이 심화된 상태(규정된 접지저항치의 120% 이하)
e	1	절연열화가 매우 위험하게 진행된 상태(규정된 절연저항치 미만)	접지불량이 위험하게 진행된 상태(규정된 접지저항치의 120% 초과)

<해 설>

- 전기설비의 절연열화 및 접지불량을 각각 평가하여 평가결과 중 최저값을 적용함
- 취수·가압·송수 펌프의 조작반 및 펌프모터, 합류배관의 비상발전기, 수배전반 등을 평가함
- 개별시설물(취수장·가압장·정수장 내)에 전기설비의 절연·접지에 대해 평가하며 평가단계는 펌프의 진동 및 소음의 평가단계를 준용하도록 함

(다) 전기설비의 상태

[표 11.144] 전기설비의 상태 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용
a	5	전기설비의 불량이 전혀 없는 상태
b	4	전기설비의 불량이 전혀 없는 상태
c	3	전기설비의 불량이 경미한 상태(설비의 기동 및 운전에 지장이 없는 상태)
d	2	전기설비의 불량이 심화된 상태(설비의 기동 및 운전에 지장을 초래하는 상태)
e	1	전기설비의 불량이 극심한 상태(설비의 기동 및 운전이 불가능한 상태)

<해 설>

- 전기설비의 상태는 송수펌프모터·기동반·조작반·발전기 등에 적용하며 해당 설비의 상태를 기준으로 평가함
- 전기설비의 상태는 전기설비의 절연·접지 평가와 유사하게 적용함

3) 수요 및 용량

(가) 가동률

[표 11.145] 가동률 평가기준

평가 기준	평가 점수	평가내용
a	5	가동률이 70%이상~85%이하 또는 가동률 85%초과~100%이하이고 이용율이 80%이하인 경우
b	4	가동률이 60%이상~70미만 또는 가동률 85%초과~100%이하이고 이용율이 80%초과인 경우
c	3	가동률이 50%이상~60%미만
d	2	위에 해당되지 않는 경우
e	1	인가없이 운휴 또는 폐지시

<해 설>

- 환경부의 「2016년도 일반수도사업 운영·관리 실태점검 종합계획」의 가동률 참조
- 상수도 가동률과 이용율은 아래와 같은 식을 사용하여 산정하도록 함
 - 가동률(%) = (평가대상연도 일최대생산량(m³/일)/설계시설용량(m³/일))×100
 - 이용율(%) = (평가대상연도 일평균생산량(m³/일)/설계시설용량(m³/일))×100
- 점검대상연도의 상수도통계자료 등을 활용하여 평가함
- 해당 시설물에 포함되어 있는 모든 정수장의 가동률에 대한 평가결과를 산정한 후, 각 정수장의 규모를 반영하여 가중평균을 통해 최종 등급을 산정함(결과 산정에 참조)

라. 사용성능 평가 결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능 평가 결과산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 결과를 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 결과를 적용하여 해당 지표의 평가 결과를 결정한다. 해당 시설물의 최종 사용성능 등급은 각 세부평가 지표별 평가 결과에 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 아래 표의 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 11.146] 상수도시설물의 사용성능 평가항목에 대한 가중치 산정

	수질	관로사고 이력	밸브의 손상	펌프의 소음 및 진동	전기설비의 절연 및 접지	전기설비 상태	가동률
가중치	0.274	0.155	0.203	0.114	0.096	0.085	0.073

주) 가중치 조정 예 : 계측기에 대한 평가가 제외되는 경우, 계측기에 해당하는 가중치 0.143을 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분(아래 표 참조)

[표 11.147] 사용성능 평가항목별 가중치 조정방법(예)

	수질	관로사고 이력	밸브의 손상	펌프의 소음 및 진동	전기설비의 절연 및 접지	전기설비 상태	가동률
가중치	0.324	—	0.240	0.135	0.114	0.101	0.086

2) 세부지표별 사용성능 등급 산정 방법

$$\text{사용성능 평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w= 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c= 각 세부지표별 평가 결과

[표 11.148] 평가결과에 따른 평가점수

평가결과	a	b	c	d	e
평가점수	5	4	3	2	1

[표 11.149] 최종 등급산정을 위한 점수 범위

평가등급	A	B	C	D	E
점수범위	4.5 이상	$3.5 \leq X < 4.5$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1.0 \leq X < 1.5$

평가결과에 따른 사용성능의 등급기준은 [표 11.151] 과 같다.

[표 11.150] 사용성능 등급기준

평가등급	평가점수 범위	사용성능 수준
A (우수)	$4.5 \leq X$	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$3.5 \leq X < 4.5$	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준
C (보통)	$2.5 \leq X < 3.5$	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$1.5 \leq X < 2.5$	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준
E (불량)	$1.0 \leq X < 1.5$	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준

마. 사용성능 평가 결과 산정 예

1) 세부지표별 사용성능 평가

(가) 수질

정수장의 수질과 배수지의 수질을 점검하여 평가하도록 하며 「먹는물 수질 기준 및 검사 등에 관한 규칙」의 별표1 “먹는물의 수질기준”에 따른 수질검사 적정성 여부로 평가한다.

○ 수질 평가 결과 산정 예시

- 2단계 평가로 이루어지며 각 정수장의 수질평가 결과와 배수장의 수질평가 결과 중 낮은 결과를 적용하여 평가한다.

[표 11.151] 수질 평가 예

1단계 평가	구분	평가기준	시설용량 (1000m ³ /d)	계산값	평가결과
가. 정수장 평가	A 정수장	<i>a</i>	70	350	<i>a</i>
	B정수장	<i>a</i>	40	200	
	합계(Σ)		110	550	
나. 배수지 평가	A배수지	<i>a</i>	70	350	<i>b</i>
	B배수지	<i>e</i>	40	40	
	합계(Σ)		110	390	
2단계 평가	<i>Min(정수장등급, 배수지등급)</i>				
수질 평가결과	<i>b</i>				

(나) 관로사고 이력

관로시설 사고이력 분석은 관리주체에서 수집한 최근년도부터 5년간의 관로 누수사고 자료를 근거로 수행하며 타공사, 관로이설공사 등을 포함한다.

[표 11.152] 관로사고이력 평가 예

연도	관로시설사고건수			연장 (km)	관로시설 사고율(건/년·km)		
	타공사 이설공사	관로누수	총 사고건수		타공사 이설공사	관로누수	총 사고율
2014	0	8	8	63,673	0.000	0.126	0.126
2015	0	18	18		0.000	0.283	0.283
2016	1	16	17		0.016	0.251	0.267
2017	0	5	5		0.000	0.078	0.078
2018	0	0	0		0.000	0.000	0.000
총 기간	1	47	48		0.016	0.738	0.754
평균			9.6	63,673			0.150
관로사고이력 평가결과							b

(다) 밸브의 손상

밸브의 손상은 기전설비의 장내배관내의 밸브의 손상을 의미하는 것으로 해당밸브의 작동상태, 변색, 지수상태(청음) 등을 평가하도록 한다.

○ 밸브의 손상 평가 결과 산정 예시

- 1단계 개별시설물 평가
 - 개별시설물(취수장, 가압장, 정수장)에 포함된 각 배관들의 밸브 상태와 규모를 고려하여 개별시설물의 밸브 손상을 평가한다.

[표 11.153] 밸브의 손상 개별시설 평가 예

OO취수장	평가기준	규모(m ³ /min)	계산값
취수펌프배관#1	<i>b</i>	22.7	90.8
취수펌프배관#2	<i>b</i>	17.8	71.2
취수펌프배관#3	<i>b</i>	17.8	71.2
취수펌프배관#4	<i>b</i>	22.7	90.8
합류배관	<i>b</i>	81	324
합계(Σ)		162	648
밸브의 손상 개별시설 평가 = $\Sigma(\text{계산값}) / \Sigma(\text{규모})$ = $648 / 162 = 4$			<i>b</i>

- 2단계 복합시설물 평가
 - 복합시설물의 평가결과와 규모를 반영하여 밸브 손상에 대한 평가결과를 결정한다.

[표 11.154] 밸브의 손상 평가 예

OO광역상수도	평가기준	규모(천 m ³ /d)	계산값
OO취수장	<i>b</i>	162	648
OO가압장	<i>b</i>	142.4	569.6
OO정수장	<i>b</i>	146.3	585.2
OO1가압장	<i>b</i>	37	148
OO2가압장	<i>b</i>	37	148
합계(Σ)		524.7	2098.8
밸브의 손상 평가결과 = $\Sigma(\text{계산값}) / \Sigma(\text{규모})$ = $2098.8 / 524.7 = 4.0$			<i>b</i>

(라) 펌프의 소음 및 진동

펌프의 소음 및 진동은 진동과 소음의 평가 중 낮은 결과를 적용하여 평가한다.

○ 펌프의 소음 및 진동 평가 결과 산정 예시

- 1단계 개별시설물 평가
 - 개별시설물(취수장, 가압장, 정수장 등)에 포함된 각 펌프의 소음 및 진동을 평가하고 낮은 결과를 각 개별시설물의 평가결과로 적용한다.

[표 11.155] 펌프의 소음 및 진동 개별시설 평가 예

00가압장	진동	소음	규모(m ³ /min)	계산값
가압펌프#1	a	c	18.5	55.5
가압펌프#2	-	-	-	-
가압펌프#3	-	-	-	-
가압펌프#4	a	c	18.5	55.5
합계(Σ)			37.0	111.0
펌프의 소음 및 진동 개별시설 평가 = Σ(계산값) / Σ(규모) = 111.0 / 37.0 = 3				c

- 2단계 복합시설물 평가
 - 복합시설물의 평가결과와 규모를 반영하여 펌프의 소음 및 진동에 대한 평가 결과를 결정한다.

[표 11.156] 펌프의 소음 및 진동 평가 예

00광역상수도	평가기준	규모(천 m ³ /d)	계산값
00취수장	c	162	648
00가압장	c	142.4	427.2
00정수장	—	—	—
001가압장	c	37	111
002가압장	c	37	111
합계(Σ)		378.4	1135.2
펌프의 소음 및 진동 평가결과 = $\Sigma(\text{계산값}) / \Sigma(\text{규모})$ $= 1135.2 / 378.4 = 3.0$			c

(마) 전기설비의 절연 및 접지

전기설비의 절연 및 접지는 절연과 접지의 평가 중 낮은 결과를 적용하여 평가한다.

○ 전기설비의 절연 및 접지 평가 결과 산정 예시

- 1단계 개별시설물 평가
 - 취수·가압·송수 펌프의 조작반 및 펌프모터 등에 대해 절연 및 접지를 평가하고 낮은 결과를 각 개별시설물의 평가결과로 적용한다.

[표 11.157] 전기설비의 절연 및 접지 개별시설 평가 예

OO취수장		절연	접지	평가기준	규모(m³/min)	계산값
취수펌프#1	조작반	b	c	c	22.7	68.1
	펌프모터	b	b			
취수펌프#2	조작반	b	c	c	17.8	53.4
	펌프모터	b	b			
취수펌프#3	조작반	b	c	c	17.8	53.4
	펌프모터	b	b			
취수펌프#4	조작반	b	c	c	22.7	68.1
	펌프모터	b	b			
합류배관	발전기	b	c	c	81	243
	수배전반	b	c			
합계(Σ)					162	486
전기설비의 절연 및 접지 개별시설 평가 = $\Sigma(\text{계산값}) / \Sigma(\text{규모})$ = $486 / 162 = 3$						c

- 2단계 복합시설물 평가
 - 복합시설물의 평가결과와 규모를 반영하여 전기설비의 절연 및 접지에 대한 평가결과를 결정한다.

[표 11.158] 전기설비의 절연 및 접지 평가 예

OO광역상수도	평가기준	규모(천 m³/d)	계산값
OO취수장	c	162	486
OO가압장	c	142.4	427.2
OO정수장	c	146.3	438.9
OO1가압장	c	37	111
OO2가압장	c	37	111
합계(Σ)		524.7	1574.1
전기설비의 절연 및 접지 평가결과 = $\Sigma(\text{계산값}) / \Sigma(\text{규모})$ = $1574.1 / 524.7 = 3.0$			c

(바) 전기설비 상태

전기설비의 상태는 조작반, 펌프모터, 발전기, 수배전반 등에 대해 평가한다.

○ 전기설비 상태 평가 결과 산정 예시

- 1단계 개별시설물 평가
 - 조작반, 펌프모터 등 전기설비에 대해 작동상태를 평가한다.

[표 11.159] 전기설비의 상태 개별시설 평가 예

OO취수장		작동상태	평가기준	규모(m³/min)	계산값
취수펌프#1	조작반	b	b	22.7	90.8
	펌프모터	b			
취수펌프#2	조작반	b	b	17.8	71.2
	펌프모터	b			
취수펌프#3	조작반	b	b	17.8	71.2
	펌프모터	b			
취수펌프#4	조작반	b	b	22.7	90.8
	펌프모터	b			
합류배관	발전기	b	b	81	324
	수배전반	b			
합계(Σ)				162	648
전기설비의 상태 개별시설 평가 = $\Sigma(\text{계산값}) / \Sigma(\text{규모})$ = $648 / 162 = 4$					b

- 2단계 복합시설물 평가
 - 복합시설물의 평가결과와 규모를 반영하여 전기설비상태에 대한 평가결과를 결정한다.

[표 11.160] 전기설비 상태 평가 예

OO광역상수도	평가기준	규모(천m³/d)	계산값
OO취수장	b	162	648
OO가압장	b	142.4	569.6
OO정수장	b	146.3	585.6
OO1가압장	b	37	148
OO2가압장	b	37	148
합계(Σ)		524.7	2098.8
전기설비의 상태 평가결과 = $\Sigma(\text{계산값}) / \Sigma(\text{규모})$ = $2098.8 / 524.7 = 4.0$			b

(사) 가동률

해당 시설물에 포함되어 있는 정수장에 대해 가동률과 이용율을 검토하며 각 정수장의 규모를 반영한 후, 가중평균을 통해 결과를 산정한다.

[표 11.161] 가동률 평가 예

구분	00정수장	00정수장
시설용량(천m ³ /d)	70	40
연간최대생산량	50	30
가동률	71.4%	75%
일평균생산량	40	25
이용률	57.1%	62.5%
평가기준	a	a
계산값	350	200
가동률 평가결과 = $\Sigma(\text{계산값}) / \Sigma(\text{시설용량})$ = $550 / 110 = 5.0$		a

2) 지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

각 세부지표들의 평가결과로 도출된 값을 통해 가중치를 적용하여 상수도시설물의 사용성능 평가결과를 결정하도록 한다. 이때 평가점수에 따른 평가등급은 [표 11.134]와 같다.

[표 11.162] 상수도시설물 사용성능 평가 예

구분			평가결과	평가점수	가중치	계산값
사용성	운영성	수질	<i>a</i>	<i>5</i>	<i>0.274</i>	<i>1.4</i>
		관로사고이력	<i>b</i>	<i>4</i>	<i>0.155</i>	<i>0.6</i>
		밸브의 손상	<i>b</i>	<i>4</i>	<i>0.203</i>	<i>0.8</i>
기능성	유지 관리성	펌프의 소음 및 진동	<i>c</i>	<i>3</i>	<i>0.114</i>	<i>0.3</i>
		전기설비의 절연 및 접지	<i>c</i>	<i>3</i>	<i>0.096</i>	<i>0.3</i>
		전기설비 상태	<i>b</i>	<i>4</i>	<i>0.085</i>	<i>0.3</i>
	수요 및 용량	가동률	<i>a</i>	<i>5</i>	<i>0.073</i>	<i>0.4</i>
산식		$5 \times 0.274(\text{수질}) + 4 \times 0.155(\text{관로사고이력}) + 4 \times 0.203(\text{밸브의 손상}) + 3 \times 0.114$ $(\text{펌프의 소음 및 진동}) + 3 \times 0.096(\text{전기설비의 절연 및 접지}) + 4 \times 0.085$ $(\text{전기설비 상태}) + 5 \times 0.073(\text{가동률}) = 4.137$				<i>4.1</i>
사용성능평가 결과						<i>B</i>

11.7 종합평가 기준 및 방법

11.7.1 종합평가 일반

(가) 성능 간 가중치 적용

상수도시설물의 종합평가는 아래 표와 같이 안전성능, 내구성능 및 사용성능 평가 결과에 대해 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 결정한다.

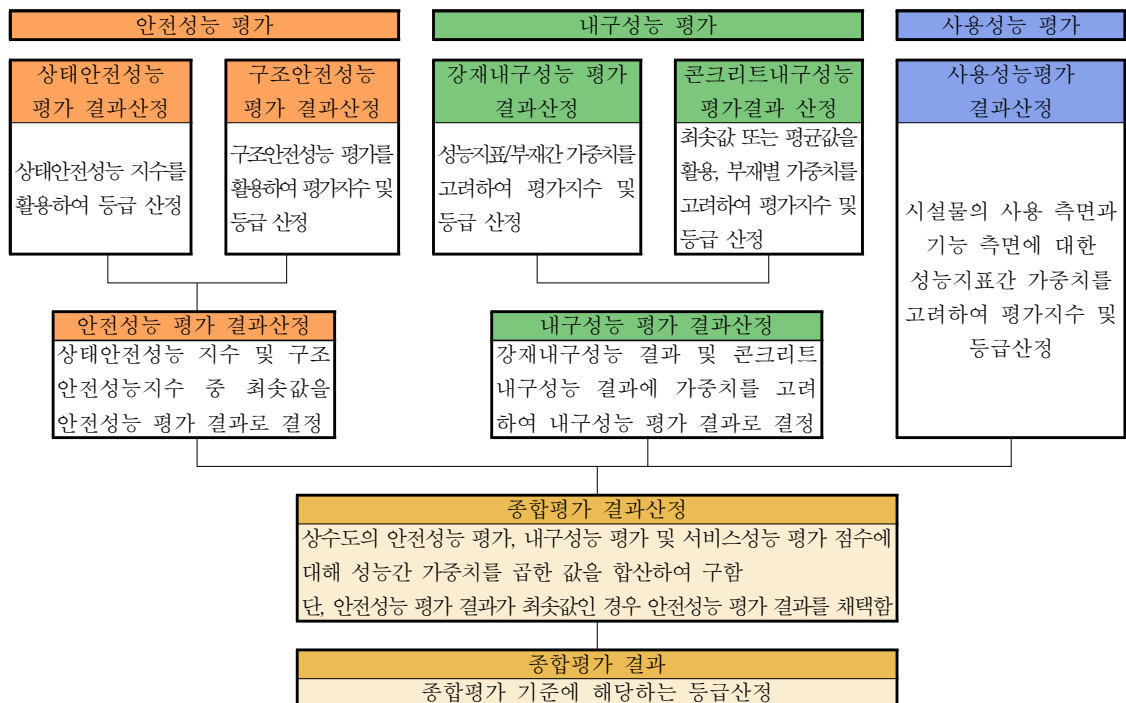
단, 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성 등급을 종합성능등급으로 선정하도록 한다.

- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때
 - 안전성 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정된다.
- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우
 - 각 성능간의 가중치를 반영하여 종합평가의 결과를 산출한다.

[표 11.163] 상수도의 종합평가 산정기준

성능별 가중치			합계
안전성	내구성능	사용성	
60	25	15	100

(나) 최종 등급 산정을 위한 평가체계



[그림 11.7] 상수도시설물의 종합평가 결과산정 절차

11.7.2 종합평가 결과

가. 종합평가 결과산정

종합평가의 산정방법은 상수도의 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가 점수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 중요도를 적용하여 종합평가 결과를 산정한다.

$$\text{종합평가 지수}(E) = \sum(\text{성능평가지수}(E_n) \times \text{성능별 가중치}(W_n))$$

여기서, E_n : 평가성능별 평가지수

W : 가중치

(단, 안전성능이 확보되지 않을 경우, 종합성능등급 = 안전성능 등급)

나. 종합성능 등급기준

각 성능간 중요도를 고려하여 산정한 종합평가지수에 따라 종합성능등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 11.164] 상수도시설물의 종합평가 기준

평가등급	평가점수 범위	종합성능 수준
A (우수)	$4.5 < E \leq 5.0$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$3.5 < E \leq 4.5$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$2.5 < E \leq 3.5$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$1.5 < E \leq 2.5$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$1.0 < E \leq 1.5$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

다. 종합평가 결과 산정 예

상기의 기준에 따라 상수도시설물의 종합평가 결과를 도출한 예는 다음과 같다.

[표 11.165] 상수도시설물의 종합평가 결과산정 예

시설물 종합평가 결과 산정표			
시설물명	○○○ 상수도시설물		
평가구분	평가지수	평가등급	중요도
안전성능 평가	3.78	B	60
내구성능 평가	4.75	A	25
사용성능 평가	3.86	B	15
종합평가 결과	○ 상수도의 종합평가지수 : 3.78 (안전성능 평가지수가 최하위 점수인 경우) ○ 상수도의 종합평가 결과 : B		

시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가 편)

승인 국토교통부 시설안전과
발행 한국시설안전공단

2018년 6월 일 초판

* 본 세부지침의 내용에 관한 질의 및 건의 사항은
국토교통부 시설안전과 및 한국시설안전공단으로
연락하여 주시기 바랍니다.

한국시설안전공단 (http://www.kistec.or.kr)
(우) 52852 경상남도 진주시 사들로 131 대표전화 1599-4114, 055-771-1400

본 세부지침의 내용은 공단홈페이지에서
다운로드 받으실 수 있습니다.