
제9장 제 방

9.1 관리일반

9.2 현장조사

9.3 재료시험 항목 및 수량

9.4 상태평가기준 및 방법

9.5 안전성평가기준 및 방법

9.6 종합평가기준 및 방법

9.7 보수·보강 방법

제9장 제방

9.1 관리일반

9.1.1 적용 범위

본 장은 「법」 제2조(정의)의 규정에서 정하고 있는 시설물 중 제방 시설물에 적용한다.

○ 제2종시설물

- 국가하천의 제방(부속시설인 통관 및 호안을 포함한다.)

※ 제방의 안전점검·정밀안전진단 시 수문시설이 포함될 경우에도 수문에 대하여는 제8장 수문에 따라 제방시설물과 별도로 안전등급을 부여한다.

제방 시설물의 특성에 따라 본 장의 서식을 적절히 응용하여 안전점검 및 정밀안전진단을 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 발주자와 사전협의하여 적용할 수 있다.

9.1.2 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 경사제.

○ 특수제

- 특수한 목적으로 토사와 혼합 또는 단독재료에 의해 콘크리트, 석재, 기타 재료 등으로 축조된 제방.

※ 홍수방지벽, 석축, 옹벽, 말뚝 등으로 이루어진 제방 포함.

○ 호안

- 제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 직접 보호하기 위하여 제방 앞비탈 또는 하안에 설치하는 구조물로서 비탈덮기, 기초(비탈멈춤), 밑다짐공으로 구성되며, 고수호안·저수호안·제방호안으로 구분된다.

○ 비탈멈춤

- 비탈덮기의 활동과 비탈덮기 이면의 토사유출을 방지하기 위하여 설치(기초와 병행하여 설치하는 경우도 있음)

○ 호안머리보호공

- 저수호안을 유수로부터 보호하기 위하여 고수부지와 접합부에 설치 또는 제방호안을 전단면에 설치할 경우 제방 상단부에 설치하는 구조물.

○ 구조이음눈

- 비탈덮기 일부분의 파괴가 전체에 미치지 않도록 비탈덮기 종단방향(10~20m 간격)에 이음부를 둔 것.

○ 통관

- 제방을 관통하여 설치한 원형 단면의 수로로서 문짝을 가진 구조물을 말한다.

○ 접속부

- 수문, 통문, 통관 등과 제체가 접속되는 구간을 말한다.

○ 추락방지시설

- 공중(公衆)이 이용하는 난간, 점검로 등의 이용자 안전을 확보하기 위한 시설을 말한다.

○ 도로부 신축이음부

- 도로교량, 도로터널의 차량이동 부위에 온도 등에 따라 늘어나거나 줄어들면서 생길 수 있는 변형 또는 균열을 방지하기 위한 장치(댐, 제방 등 시설물은 부대 시설에 포함된 도로교량에 한함)를 말한다.

○ 환기구 등의 덮개

- 시설물의 출입구, 환기와 같은 시설물 유지관리 목적으로 보행자 또는 차량이동 구간에 설치된 환기구, 맨홀 등의 덮개(지지구조, 철물, 연결재, 걸침턱 등)를 말한다.

9.1.3 안전점검 및 정밀안전진단 대상 시설

제방 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 [표 9.1]과 같다.

[표 9.1] 제방 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대상시설 범위

구 분		시설물명	점검 및 진단 실시범위			비 고
			정기안전점검	정밀안전점검	정밀안전진단	
기본 시설물	표준 제방	◦ 제체	○	○	○	
		◦ 호안	○	○	○	
		◦ 하상부	○	○	○	
		◦ 배수통관	○	○	○	
		◦ 접속부	○	○	○	
	특수 제방	◦ 직립구조물	○	○	○	
		◦ 접속부	○	○	○	
공중이 이용하는 부위		◦ 추락방지시설	○	○	○	
		◦ 도로포장	○	○	○	
		◦ 도로부 신축이음부	○	○	○	
		◦ 환기구 등의 덮개	○	○	○	

9.1.4 중대한 결함 등의 정도

가. 중대한 결함의 적용 범위

제방 시설물의 구조안전에 중대한 영향을 미치는 것으로 인정되는 결함으로 대통령령으로 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
 - [표 9.14] 제체 비탈사면활동에 대한 상태평가기준이 “d” 이하인 경우
- 2) 호안공 또는 직립구조물의 기초부 세굴로 구조물 붕괴 우려
 - [표 9.16] 호안의 기초·밑다짐공 세굴에 대한 상태평가기준이 “d” 이하인 경우
 - [표 9.33] 직립구조물 기초부 세굴에 대한 상태평가기준이 “d” 이하인 경우
- 3) 제체 및 접속부의 누수 또는 세굴 및 침식으로 제체 붕괴 우려
 - [표 9.15] 제체 및 접속부 누수에 대한 상태평가기준이 “d” 이하인 경우
 - [표 9.18] 제체 및 접속부의 세굴 및 침식에 대한 상태평가기준이 “e”인 경우
- 4) 직립구조물 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실
 - [표 9.38] 탄산화 잔여 깊이 또는 [표 9.39] 전염화물 이온량 등에 대한 상태평가기준이 “d” 판정으로 철근노출 부식 등의 외관상태를 동반하는 경우
 - [표 9.38] 탄산화 잔여 깊이 또는 [표 9.39] 전염화물 이온량 등에 대한 상태평가기준이 “e” 판정인 경우

나. 공중이 이용하는 부위의 적용 범위

제방 시설물의 공중의 안전에 영향을 미치는 것으로 인정되는 결함으로 대통령령으로 정하는 공중이 이용하는 부위의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

- 1) 추락방지시설
 - 추락방지시설에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우
- 2) 도로포장
 - 도로포장에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우
- 3) 도로부 신축이음부
 - 도로부 신축이음부에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우
- 4) 환기구 등의 덮개
 - 환기구 등의 덮개에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

9.2 현장조사

9.2.1 시설물의 점검사항

가. 시설물별 상태변화의 평가항목

1) 표준제방

위 치	손상형태 및 조사항목	비 고
제 체	침 하	○외관조사에 의한 징후 조사
	활 동	○독마루의 침하량 및 균열 폭
	누 수	○청문 및 누수흔적
	세굴(침식)	○세굴 및 침식의 정도
	훼손	○구멍, 경작, 골채채취 등
	수목의 식생	○수목 식생의 위치
호 안	기초 세굴	○기초세굴의 정도
	비탈덮기 활동	○비탈면 배부름 및 구조물 손상
	비탈덮기의 손상	○줄눈이격, 파손, 탈락 등
	호안머리보호공의 손상	○균열, 파손, 들뜸 등
	구조이음눈, 비탈멈춤공 등의 손상	○균열, 이격, 파손, 들뜸 등
하상부	세 굴	○세굴의 정도
	퇴 적	○퇴적의 정도
배수통관	구조물 손상정도	○구조물의 손상정도
	배수기능 상태	○배수기능 상태
접속부	침 하	○외관조사에 의한 징후 조사
	누수 및 공동	○구조물 주변 누수 및 공동
	세굴(침식)	○세굴 및 침식의 정도
여유고 검토	계획홍수위와 제방고의 차이(여유고)	○계획홍수위 및 제방고 확인

※ 접속부는 누수 및 공동에 의해 제방 누수사고의 주원인이므로 세심한 점검을 실시하여야 한다.

※ 여유고 검토는 제방고(독마루 높이)를 측정(수준측량)하여 하천기본계획 또는 준공도면 상의 제방고와 비교·검토하여 그 결과를 보고서에 제시하여야 한다. 제방고 측정은 9.2.2 시설물 현장조사 요령 가. 정밀안전점검 현장조사 요령 4) 시설물 점검사항 (아) 제방 여유고 조사에 따른다.

2) 특수제방

위 치	손상형태 및 조사항목	비 고
직립구조물	침 하	○ 구조물 및 제체의 손상상태
	경사/전도	○ 진행성과 비진행성 전도
	활 동	○ 구조물 손상 및 파괴징후
	변 형	○ 말뚝구조의 변형 여부
	파 손	○ 구조물의 손상 정도
	균 열	○ 과응력균열, 부식균열 등
	박리(박락, 층분리)	○ 박리의 발생 정도
	마모/침식	○ 마모 및 침식의 정도
	신축이음부 이격, 사석블록 이격, 말뚝간의 이격	○ 이격에 의한 토사유출 등
	기초부 세굴	○ 기초유실 및 하상 세굴 정도
접속부	침 하	○ 외관조사에 의한 징후 조사
	누수 및 공동	○ 구조물 주변 누수 및 공동
	세굴(침식)	○ 세굴 및 침식의 정도
	단차 및 이격(원인 검토)	○ 단차 및 이격 정도
여유고 검토	계획홍수위와 제방고의 차이(여유고)	○ 계획홍수위 및 제방고 확인

주) 하상부, 통관은 표준제방 참조

※ 접속부는 누수 및 공동에 의해 제방 누수사고의 주원인이므로 세심한 점검을 실시하여야 한다.

※ 여유고 검토는 제방고(둑마루 높이)를 측정(수준측량)하여 하천기본계획 또는 준공도면 상의 제방고와 비교·검토하여 그 결과를 보고서에 제시하여야 한다. 제방고 측정은 9.2.2 시설물 현장조사 요령 가. 정밀안전점검 현장조사 요령 4) 시설물 점검사항 (아) 제방 여유고 조사에 따른다.

3) 공중이 이용하는 부위 점검항목(표준제, 특수제 공통)

위 치	조사항목	비 고
공중이 이용하는 부위	추락방지시설의 상태	
	도로부 포장 및 신축이음부 상태	
	환기구 등의 덮개 상태	
	기타조사	

4) 세부시설별 점검사항

○ No.1

세부 시설	부재명 및 항목		점 검 사 항	비 고	
표 준 제	제 체	침하	주변보다 낮아진 제방부위 확인		
		세굴	하안 침식현황		
			하도 횡단 구조물(교량, 보 등)과 제체의 접합부		
			하상의 국부세굴		
			만곡부의 세굴		
			활동	독마루 종방향 균열	
		비탈면 층분리 현상			
		누수	뒷비탈면 국부세굴및 파이핑 현상		
			야생동물의 구멍		
			수목(교목)에 의한 누수여부		
			제내·외측 인위적굴착현황		
		기타	제방내 불법경작 현황		
	호 안	비탈 덮기	비탈덮기내 공동현상		
			비탈덮기 경사		
			호안공 상하류 마감부처리상태		
			비탈덮기 재료 변화지점부		
			비탈경사 변화지점		
			폐물임공의 경우 생육정도 및 조밀도		
			돌망태공의 철선 부식 및 탈석		
		돌물임공의 배부르기 또는 탈석유무			
		기초	기초공 파괴 및 유실	필요시 수중조사 실시	
		밀다짐공	비탈경사 변화지점 및 만곡부의 밀다짐공 세굴	"	
	기타	호안머리보호공, 구조이음눈, 비탈멈춤공의 손상여부			
	배수통관		통관 구조물 손상상태 및 배수기능 상태	필요시 C.C.TV조사	
	점검시설 ¹⁾		점검시설 상태(시설물의 관리에 필요한 도로 및 접근로가 기준에 맞게 설치되어 있으며, 도로 및 접근로의 상태)		
	접속부	침하	주변보다 낮아진 제방부위 확인		
		누수 및 공동	뒷비탈면 국부세굴 및 파이핑 현상		
			횡단구조물 주변 누수 및 공동		
		세굴	횡단구조물 주변 세굴		
	여유고 검토			계획홍수위 및 제방고 확인	하천기본계획 또는 준공도면 분석

주1) 점검시설 : ① 하천설계기준 관리용 도로 및 점검로 참고

② 제방시설의 안전성에 영향을 미치지 않아 상태평가 적용에 해당되지 않으므로 별도의 외관조사망도 작성은 필요하지 않으며, 간단한 공기구와 숙련된 점검자의 육안점검으로 수행한다.

세부 시설	부재명 및 항목		점 검 사 항	비 고
특 수 제	제체	침하	주변보다 낮아진 제방부위 확인	
		세굴	하안 침식현황	
			하상의 국부세굴	
			만곡부의 세굴	
		활동	독마루 종방향 균열	
			비탈면 층분리 현상	
		누수	뒷비탈면 국부세굴 및 파이핑현상	
			야생동물의 구멍	
			제내·외측 인위적굴착현황	
		기타	제방내 불법경작 현황	
	옹벽		콘크리트 균열, 박리, 층분리, 박락, 백태 등	
			이음부 파손	
			전도 위험성	
			옹벽 기초부 세굴	필요시 수중조사 실시
	말뚝		하상 세굴	〃
			말뚝의 부식, 훼손상태	
	석축		기초 콘크리트의 침하 및 세굴상태	필요시 수중조사 실시
			배수공 유무확인	
			배부르기 또는 탈석	
			줄눈의 탈락	
	점검시설 ¹⁾		점검시설 상태(시설물의 관리에 필요한 도로 및 접근로가 기준에 맞게 설치되어 있으며, 도로 및 접근로의 상태)	
	접속부	침하	주변보다 낮아진 제방부위 확인	
		누수 및 공동	뒷비탈면 국부세굴 및 파이핑 현상	
			횡단구조물 주변 누수 및 공동	
		세굴	횡단구조물 주변 세굴	
	배수통관		통관 구조물 손상상태 및 배수기능 상태	필요시 C.C.TV조사
여유고 검토		계획홍수위 및 제방고 확인	하천기본계획 또는 준공도면 분석	

주1) 점검시설 : ① 하천설계기준 관리용 도로 및 점검로 참고

② 제방시설의 안전성에 영향을 미치지 않아 상태평가 적용에 해당되지 않으므로 별도의 외관조사망도 작성은 필요하지 않으며, 간단한 공기구와 숙련된 점검자의 육안점검으로 수행한다.

나. 현장조사 및 재료시험의 요령

1) 상세 외관조사의 범위

(가) 외관조사 범위의 원칙

- 제방을 구성하는 제체 및 접속부
- 특수제방의 직립구조물, 호안 및 접속부
- 저수호안이 있을 시 포함하며, 다만 저수호안의 조사물량이 과대한 경우에는 조사비용 등을 협의하여 결정
- 제내지 20m 지반상태 및 하상

(나) 하상부의 조사

- 하상부에 대한 조사는 하상부에 대한 6년 이내에 측량한 자료가 있거나 하상의 변동이 없다고 판단되는 경우 및 하천측량을 실시한 경우에는 생략할 수 있다.

(다) 수중조사

- 호안공 기초의 세굴 또는 특수제방 직립구조물의 세굴이 우려되는 부위에는 하상조사와 병행하여 수중조사를 실시한다.

2) 하천 측량

하천의 계획홍수량 소통여부에 대한 수문학적 안전성을 검토하여야 하기 때문에 안전점검 및 정밀안전진단 대상 전 구간에 대한 하천측량(기준점측량, 종·횡단 측량)을 실시하여야 한다.

측량범위는 제방, 하상, 좌우안 제내지 20m까지로 한다. 다만, 이 구간에 대한 6년 이내의 측량자료가 있을 시는 생략할 수 있다.

3) 제체 시추조사

제체의 안전성은 사면안전성 해석, 침투류 해석에 대하여 검토하여야 하기 때문에 이에 필요한 자료를 획득하기 위하여 제체에 대한 시추조사와 제체재료에 대한 시험을 실시하며, 시추조사의 기준수량은 제방 2km마다 1개소씩 실시하는 것을 원칙으로 하나, 다음의 경우에는 생략할 수 있다.

- ① 제방 건설 후의 시추조사 자료가 있을 시
- ② 제방이 자동차전용도로로서 도로시방서 기준에 따라 축조되었을 경우 등

다만, 생략할 경우(①의 경우)에는 기존 시추조사 자료를 검토하여 제체 물리탐사(전기비저항탐사 등)를 기준수량의 2배 이상 실시한다.

그리고 시추조사 시의 시추심도는 기초지반의 연약성 여부를 판단할 수 있는 깊이 까지 하여야 하며, 포함되어야 할 시험항목은 다음과 같다.

- 시추조사 시 포함되어야 할 필수 시험 항목
 - 투수시험(현장투수시험이 불가할 경우 실내투수시험 실시)
 - 표준관입시험

- 삼축압축시험, 압밀시험(제체 주재료가 점성토인 경우)
- 입도분석
- 단위중량
- 비중시험
- 액성 및 소성한계시험
- 들밀도 시험(시추시 재료채취가 곤란하여 단위중량, 비중시험이 어려울 경우만)

4) 제체 물리탐사시험(전기비저항 탐사 등)

제체의 국부적인 공동이나 누수층은 제체의 안전성에 심각한 영향을 미치므로 이에 대한 조사를 위하여 제체에 대한 시추조사와 병행하여 제체에 대한 물리탐사시험을 실시하는 것을 원칙으로 한다.

이때 물리탐사시험은 가능한 시추조사 지점이 포함되도록 구간을 선정하여 실시하여 시험결과 자료분석의 신뢰성을 제고하도록 한다.

제체 물리탐사시험의 기준조사 수량은 2km 당 100m 이상 실시하는 것으로 하며, 시험구간은 제체 횡단구조물(수문, 통관 등) 지점, 하천횡단구조물 접속지점, 제체 누수흔적이 있는 지점, 연약 기초지반 지점이 포함될 수 있도록 책임기술자가 판단하여 결정한다.

한편, 제체 물리탐사시험도 시추조사와 같이 제방이 자동차전용도로로서 도로시방서 기준에 의하여 축조된 경우에는 생략하여도 무방하다.

5) 하상재료 시험

장기적인 하상변동 분석이 필요하거나, 하상변동이 심한(상류로부터의 토사 이동 및 급경사 하천으로 세굴이 우려되는 하천) 하천에서는 하상재료를 채취하여 입도분석 등의 재료시험을 실시한다.

하상재료의 실시 여부 및 시험회수, 시험항목 등은 관리주체가 판단하여 결정하는 것을 원칙으로 한다.

6) 여유고 측량

하천제방의 월류 여부를 판단하기 위해 제방의 여유고 측량을 실시하여야 한다.

여유고 측량은 수준측량과 GPS 측량 등을 이용하며, 기준점은 인근에서 표고를 확인할 수 있는 교량, 표석 등을 이용할 수 있다.

측량 범위는 제방 마루의 중심부를 대상으로 하며, 하천기본계획에 제시된 횡단측선 간격을 기준으로 시행한다. 단, 하천기본계획에서 여유고를 만족하는 제방 구간은 여유고 측량을 생략할 수 있다.

7) 공중이 이용하는 부위 조사

책임기술자는 추락방지시설, 도로부 포장 및 신축이음부, 환기구 등의 덮개와 같은 공중이 이용하는 부위가 대상시설물에 해당되는지 여부를 확인하고, 해당 부위의 결함 조사를 실시한다.

단, 시설물에 공중이 이용하는 부위가 해당하지 않는 경우 책임기술자의 판단에 따라 조사부위를 제외할 수 있다.

대상시설물에 해당되는 공중이 이용하는 부위는 숙련된 점검자의 육안조사 또는 점검 로봇 등을 활용한 외관조사 및 영상분석(법 시행령 별표 10의14)을 활용하여 결함 및 파손 등을 점검하고 각 평가항목 및 기준에 따라 중대한 결함 등의 해당 여부를 검토하여야 한다.

조사된 결함 및 파손 중 중대한 결함 등이 발견된 경우는 해당부위의 외관조사망도 및 사진대지를 작성하여 「법」 제22조제2항에 따라 관리주체에게 통보하여야 한다.

9.2.2 시설물 현장조사 요령

가. 정밀안전점검 현장조사 요령

제방의 안전점검은 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 접촉부의 공동, 누수에 대한 조사와 제내측 유수지 및 저지대 사면의 조사에 역점을 두며 “하천정비 기본계획”과 관련하여 계획하폭 등을 사전에 검토하여 안전점검 시 고려한다.

아울러 안전점검 시 책임기술자는 수중조사에 대한 필요성 여부를 판단하여 시행한다.

1) 점검대상

(가) 제체

- 표준제 : 앞비탈, 앞턱, 독마루, 뒷비탈, 뒷턱 등
- 특수제 : 토사제체, 직립구조물(옹벽공, 말뚝공, 석축공) 등

(나) 호안(저수호안 포함)

- 비탈덧기, 호안머리 보호공, 구조이음눈

(다) 하상부

- 밑다짐공, 하상보호사석의 손상상태 등

(라) 배수통관

(마) 접촉부

2) 수리·수문학적 점검사항

대상 하천의 “하천정비 기본계획”자료를 근거로 하여 계획수위 및 계획하폭 등 제반 사항의 변동에 따른 제방 안전도에 대해 점검한다.

3) 제방파괴 요인 및 취약부

(가) 제방파괴 요인

- ① 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
- ② 세굴 및 침식에 의한 제방 파괴
 - ㉠ 홍수시의 유수의 소류력에 의한 비탈덮기의 파손 및 유실
 - ㉡ 유수의 소류력에 의한 기초부의 세굴
 - ㉢ 유수 및 강우에 의한 제체 침식 및 비탈면 붕괴
 - ㉣ 호안공의 붕괴 및 제체의 유실
- ③ 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
- ④ 제방 횡단 구조물의 접속부의 공동
 - ㉠ 횡단구조물 배면부 다짐불량으로 공동부 발생
 - ㉡ 하중 및 재료의 이질성으로 인한 횡단구조물 주변 부등침하 발생
 - ㉢ 접속부에 크랙이 발생되고 침하의 진행으로 공동발생
 - ㉣ 공동을 통해 누수가 발생되고 제방 붕괴로 이어짐
- ⑤ 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 흐름 특성은 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 있다.

일반적으로 하도 흐름특성이 불연속적이 되어 제방 손상의 발생확률이 높은 취약 지점으로는 다음과 같은 곳을 들 수 있으며, 현장조사 시 유의할 필요가 있다.

- ① 하폭의 급변(확대 및 축소) 지점
- ② 만곡부 외측지점
- ③ 제체 횡단 구조물 지점
- ④ 교량, 보 등 하도를 횡단하는 구조물 설치지점
- ⑤ 호안이 끝나는 제체부분 및 제방 재질 특성이 서로 다른 지점
- ⑥ 본 · 지류 합류지점 및 배수위 구간

4) 시설물 점검사항

앞의 3)항을 참조하여 다음과 같이 점검한다.

(가) 제체

① 월류

- ㉠ 제방고와 계획홍수위에 의한 여유고를 고려하여 제방의 월류 가능성을 검토한다.
- ㉡ 월류 제방은 제방의 침식, 세굴 등을 조사한다.
- ㉢ 유로 만곡부는 수위 상승이 우려되는 지점이므로 특히 세심히 점검한다.

② 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 포함한다.
- ㉡ 하안의 침식이나 하상의 국부세굴 등을 점검하여 제체세굴 가능성을 예견한다.
- ㉢ 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 점검한다.
- ㉣ 과거의 하천유로 변경사항 등을 과거자료 및 지역주민 등에 대한 탐문조사를 통하여 기초누수에 대한 취약지점 등을 파악한다.

③ 활동

- ㉠ 제정부의 종방향 균열이나 비탈면의 층분리 등을 면밀히 점검하여 사면활동을 파악한다.
- ㉡ 위험지점 비탈면의 경사를 측정하여 추후 상태평가 시 고려한다.

④ 누수

- ㉠ 누수는 제방에 결정적 손실을 가져올 수 있으므로 누수지점, 누수경로 및 양상 (빗물침투 또는 파이핑) 등을 상세히 조사하며, 누수가 발견될시(특히 혼탁수가 유출될 시) 즉시 관리주체에 통보하고 정밀안전진단 필요성 여부를 판단한다.
- ㉡ 홍수기에는 제내지 비탈면의 국부세굴이나 지반붕괴 현상과 아울러 파이핑 현상 유무를 확인하고, 갈수기에는 그 흔적 확인과 동시에 탐문조사를 시행한다.
- ㉢ 취약단면의 독마루폭, 비탈경사와 제방저폭을 확인하여 침윤선 검토 시 자료로 사용한다.
- ㉣ 두더지, 들쥐 등 야생동물의 구멍은 누수파괴의 원인이 되므로 세심한 조사를 실시한다.

- ㉓ 지반 누수는 고수부지부의 표토가 유실되거나, 제내 비탈기슭 부근에서 골재 채취 등 굴착을 실시하여, 투수층이 노출되어 일어나는 경우가 있으므로 세심한 조사를 실시한다.
- ㉔ 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 요한다.
- ㉕ 제방 및 주변의 수목(교목)의 뿌리에 의한 제체파괴 또는 누수 그 가능성을 점검한다.
- ⑤ 제방침하
 - 제방 침하하는 장기간에 걸쳐 일어나는 경우가 많아 단기간의 점검을 통한 확인은 어려우나, 제방 측방(제내·외측)의 흙의 부풀어 오름으로 간이 판별할 수 있다.
 - 침하 의심 구간은 침하핀 등을 설치한 후 정기적인 측량(침하량 값, 조사일자별 변화추이 등)을 통해 추적·관찰하여야 한다.
- ⑥ 변위측정
 - 변위발생이 우려되는 구간에 대한 제체중심, 비탈경사, 독마루폭, 제방저폭 등의 변위발생 여부를 측정하여 기초파괴, 제체파괴, 활동 등의 진행여부를 판단한다.

(나) 호안

- ① 비탈 덮기
 - ㉗ 홍수 시 감수속도가 빠른 하천 등에서 뒷채움 토사가 유출됨에 따라 공동현상이 발생하여 비탈덮기가 파괴되므로 비탈덮기 재료의 편평성을 조사한다.
 - ㉘ 경사가 급한 호안에서 내측토압이나 수압에 의한 붕괴가 나타나므로, 하천시설 기준상의 비탈경사에 준한 조사를 실시한다.
 - ㉙ 상하류 비탈덮기공의 마감부는 유수에 의한 세굴 취약지점이므로 면밀한 점검이 요구되며, 소구 멈춤공(마감부 처리공)의 유무를 조사한다.
 - ㉚ 비탈경사 변화지점이나 비탈덮기 재료의 변화구간은 세굴위험 구간이므로 세심한 점검을 실시한다.
- ② 기초(비탈 멈춤)
 - 호안 파괴의 주요 원인이 기초세굴에 의한 것이므로 세굴정도를 면밀히 조사하여야 하며, 필요시 측량 및 수중조사를 병행한다.
- ③ 밀다짐공
 - 비탈경사 변화지점의 하상은 세굴에 취약하므로 밀다짐공의 점검 시 유의한다.
- ④ 비탈덮기 재료별 점검 요령

[표 9.2] 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

- ① 콘크리트 옹벽은 균열, 백태 등의 콘크리트 구조물로서의 점검사항에 대해 실시한다.
- ② 이음부 등의 시공상태를 판단하며, 부등침하에 대해 세심한 점검을 한다.
- ③ 전도 위험성에 대해서는 현장 측량을 실시하여 안전성 여부를 판단한다.
- ④ 수면의 접촉부에 대하여 옹벽의 파손여부를 조사한다.

(라) 널말뚝 구조제방

- ① 널말뚝을 이용한 제방은 주로 수면에 접해있는 경우가 많으므로 하상세굴에 대해 수중조사를 실시한다.
- ② 널말뚝의 부식 및 훼손상태 점검을 실시하며, 특히 수면의 접촉부는 세심한 검사를 실시한다.

(마) 석축

- ① 석축의 취약부인 기초 콘크리트의 침하상태를 점검하며, 기초 상부에 계획 토피가 있는 경우의 세굴에 대해 점검한다.
- ② 석축면의 배수공은 토압에 대해 매우 중요한 시설이므로 설치 유무 및 간격에 대해 점검한다.
- ③ 줄눈의 탈락과 석축의 배부르기 또는 탈석에 대해 점검한다.

(바) 배수통관

- ① 제체를 횡단하여 설치된 배수통관에 대한 통관의 내부 토사퇴적, 이음부의 이격, 구조물의 손상상태를 조사하며, 통관의 내부가 협소하여 직접조사가 곤란할 시에는 CCTV를 통한 간접조사를 실시한다.
- ② 배수통관과 제체의 접합부위는 공동으로 인해 유수의 침투에 취약하므로 누수흔적, 세굴 등에 대하여 세밀히 조사한다.

(사) 접속부

- ① 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 정밀안전진단 필요성 여부를 판단한다.
- ② 제방 횡단 구조물 배면과 제체사이의 공동은 홍수 시 제방 누수 및 파괴의 주원인이므로 물리탐사(전기비저항탐사, 탄성파탐사 등) 장비를 사용한 검사를 실시하며, 특히 사용치 않는 폐관의 경우에는 세심한 주의를 요한다.
- ③ 침하 의심 구간은 침하핀 등을 설치한 후 정기적인 측량(침하량 값, 조사일자별 변화추이 등)을 통해 추적·관찰하여야 한다.

(아) 제방 여유고 조사

- ① 제방 여유고 검토는 실측자료를 원칙으로 하되, 하천기본계획상의 자료가 있을 시는 이를 활용할 수 있다.
- ② 제방 월류 취약지점에 대한 제방고(둑마루높이)를 측정하고 하천기본계획상의 제방고와 비교·검토 및 계획홍수위를 활용하여 여유고 확보 여부를 조사한다.
- ③ 기본적으로 제방 여유고 조사를 실시하여야 하는 구간은 다음과 같다.
 - 제체 횡단구조물 지점(접속부) 상하류 20m 구간
 - 하도 횡단 구조물(교량, 보) 접합부 지점 상하류 20m 구간
 - 제방고가 낮아 책임기술자가 필요하다고 판단하는 구간

나. 정밀안전진단 외관조사 요령

1) 진단 대상

(가) 제체

- 표준제 : 앞비탈, 앞터, 둑마루, 뒷비탈, 뒷터 등
- 특수제 : 토사제체, 직립구조물(옹벽공, 말뚝공, 석축공, 홍벽) 등

(나) 호안(저수호안 포함)

- 비탈덮기, 기초(비탈멈춤), 밑다짐공, 호안머리 보호공, 구조이음눈

(다) 하상부

- 밑다짐공, 하상보호사석 상태, 하상의 퇴적 및 세굴 상태 등

(라) 배수통관

(마) 접속부

(바) 기타시설

○ 법의 제1종 및 제2종 외의 하천횡단 구조물

※ 기타시설에 대하여는 평가를 실시하지 않고, 손상상태도 및 보수·보강 방안만 제시한다.

2) 부재별 정밀안전진단 요령

각 부재별 정밀안전진단 요령은 가의 정밀안전점검 요령에 준하여 실시하며, 보다 정밀한 외관조사를 병행한다.

3) 수중구조물 점검사항

[표 9.3] 수중구조물 점검사항

점 검 부 위		점 검 사 항
표준제	비탈덮기	비탈덮기 유실, 제체의 유실
	기초(비탈멈춤), 밀다짐공	세굴 및 파손
특수제	옹 벽	균열, 박리, 기초부 세굴
	말 뚝	부식 및 기초부 세굴
	석 축	기초부 세굴

9.3 재료시험 항목 및 수량

9.3.1 정밀안전점검

가. 재료시험 항목 및 평가방법

[표 9.4] 정밀안전점검의 재료시험 항목

구 분	기본과업	선택과업
제방		○ 제방 중 · 횡단측량 ○ 시추조사 ○ 제체 물리탐사 ○ 하상재료 시험 ○ 여유고 측량¹⁾
콘크리트 구조물	○ 콘크리트강도 － 비파괴시험 : 반발경도 ○ 콘크리트 탄산화 깊이	○ 콘크리트강도 － 국부파괴법 : 코어강도 ○ 철근배근 상태조사 ○ 염화물함유량²⁾

주1) 하천기본계획에 따른 여유고를 확보하지 못한 경우 수행하며, 준공도서 및 타당성 검토 등 5년 이내의 실측 자료를 활용할 수 있다. 다만 하상 변동 등 제방 조건의 변화가 우려될 경우 실측한다.

주2) 제1장 교량 1.3.1절 참조

[표 9.5] 정밀안전점검 재료시험 평가방법

구 분	재료시험 항목	평가방법
기본 과업	콘크리트 구조물	○ 콘크리트 비파괴강도 － 반발경도시험 ○ 콘크리트 탄산화 깊이 측정
	제방	○ 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 필요함 ○ 현장측정 ○ 탄산화속도계수 산정
선택 과업	제방	○ 제방 중 · 횡단측량
		○ 제방고
		○ 제방의 안전성평가 자료 획득
		○ 제체 내부의 공동 또는 누수층 파악
		○ 장기적인 하상변동 분석
	콘크리트 구조물	○ 제방고 실측 및 여유고 확보 유무 파악
		○ 콘크리트강도
		○ 콘크리트강도 평가의 기준
		○ 필요시 콘크리트 물성시험 등
		○ 구조검토를 위한 철근조사
		○ 콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
		○ 염화물함유량 시험
		○ 시료채취 및 평가

나. 재료시험 기준수량

[표 9.6] 정밀안전점검의 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	특수제 콘크리트 구조물	콘크리트 호안블록	비 고
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 측정 ¹⁾			

1) 무근콘크리트 부위를 제외한 철근콘크리트인 이음부의 복합부재별로 평가가 가능하도록 실시하여야 한다.

[표 9.7] 정밀안전점검의 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	기 준 수 량	비 고
제방 중·횡단 측량 ¹⁾	○ 제방 1km당 1개소(10~20m 정도)	
시추조사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	· 9.2.1절 '나'항 참조
물리탐사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	· 9.2.1절 '나'항 참조
하상재료시험	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	· 9.2.1절 '나'항 참조
여유고 측량	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
코어채취 ²⁾	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	· 강도 및 염화물함유량 시험 등
철근탐사시험	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
염화물함유량	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	

주1) 측량은 인근 1, 2등 수준점을 기준으로 하여 제방고, 폭, 비탈경사, 비탈덮기 설치고 등에 대하여 파악 가능하도록 실시

주2) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

9.3.2 정밀안전진단

가. 재료시험 항목

[표 9.8] 정밀안전진단의 재료시험 항목

구 분	기본과업	선택과업
제방 및 하상		○ 하천 측량 ○ 제체 물리탐사 ○ 제체 시추조사 ○ 하상재료 시험 ○ 여유고 측량¹⁾
콘크리트 구조물	○ 콘크리트강도 － 비파괴시험 : 반발경도, 초음파 ○ 철근탐사 ○ 콘크리트 탄산화 깊이 ○ 염화물함유량²⁾ ○ 철근부식도시험 ○ 균열깊이 조사	○ 콘크리트강도 － 국부파괴법 : 코어강도

주1) 하천기본계획에 따른 여유고를 확보하지 못한 경우 수행하며, 준공도서 및 타당성 검토 등 5년 이내의 실측 자료를 활용할 수 있다. 다만 하상 변동 등 제방 조건의 변화가 우려될 경우 실측한다.

주2) 제1장 교량 1.3.2절 참조

[표 9.9] 정밀안전진단 재료시험 평가방법

구 분	재료시험 항목	평가방법
기본 과업	○ 콘크리트 비파괴강도 － 반발경도시험 － 초음파전달속도시험	○ 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 필요함
	○ 콘크리트 탄산화 깊이 측정	○ 현장측정
	○ 염화물함유량 시험	○ 탄산화속도계수 산정
	○ 철근탐사시험 － 철근배근상태 － 철근피복두께	○ 시료채취 및 평가
	○ 철근부식도시험	○ 구조검토를 위한 철근조사
	○ 균열깊이 조사	○ 콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
선택 과업	○ 하천 측량	○ 주요부재의 철근 대상
	○ 제체 물리탐사	○ 철근부식확률 평가
	○ 제체 시추조사	○ 발생균열의 철근깊이 이상 발견 또는 관통 여부 등 평가
	○ 하상재료시험(입도시험 등)	○ 허용균열폭과의 비교·검토
	○ 여유고 측량	○ 계획홍수위에 대한 제방고 및 호안 설치고의 적정성 파악
	○ 콘크리트강도 － 국부파괴 : 코어채취	○ 하상의 세굴 및 퇴적 여부
콘크리트 구조물	○ 콘크리트강도 － 국부파괴 : 코어채취	○ 제체 내부의 공동 또는 누수층 파악
		○ 제체의 안전성평가 자료 획득
		○ 장기적인 하상변동 분석
		○ 제방고 실측 및 여유고 확보 유무 파악

나. 재료시험 기준수량

[표 9.10] 정밀안전진단의 기본과업 재료시험 기준

구 분	특수제방 콘크리트 구조물	콘크리트 호안블록	비 고
반발경도시험	○ 구조물 이음부 기준 2회 이상 (이음부 간격 30m 이상 또는 높이 10m 이상의 경우 1.5배 가산)	○ 호안(제방) 1km당 6회 이상 ^{*)} (호안블록 6개소 샘플 선정)	• 동일 부위 시험 원칙
초음파 전달속도시험		—	
탄산화 깊이 측정		—	
철근탐사시험		—	• 가능한 한 이전의 시험부위와 중복 피함
염화물함유량	○ 조사 · 시험수량은 책임기술자가 결정	—	• 시험 실시 근거 명기
철근부식도시험	○ 조사 · 시험수량은 책임기술자가 결정	—	• 시험 실시 근거 명기
균열깊이 조사	○ 조사 · 시험수량은 책임기술자가 결정		• 상태평가기준 참조

참고) 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 실시한다.

[표 9.11] 정밀안전진단의 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	기 준 수 량	비 고
하천측량	○ 대상 전 구간 실시 (기준점측량, 종 · 횡단 측량)	• 9.2.1절 ‘나’항 참조
제체 물리탐사	○ 제방 2km당 100m 이상	
제체 시추조사	○ 제방 2km당 1개소	
하상재료시험	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
여유고 측량	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
코어채취 ¹⁾	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	• 강도 및 염화물함유량 시험 등

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존 자료 이용 가능

9.4 상태평가기준 및 방법

9.4.1 상태평가항목 및 기준

가. 평가유형 및 영향계수

시설물의 상태평가는 결함 및 손상에 따른 각각의 상태평가기준을 적용하며, 상태 변화가 전체 구조물에 미치는 안전성의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 결함 및 손상을 평가유형별로 구분하여 영향계수를 적용한다.

1) 평가유형의 구분

결함 및 손상에 대한 평가유형은 다음과 같이 구분한다.

① 중요결함

- 침하, 경사/전도 및 활동 등과 같이 전체 구조물의 구조적인 안전에 직접영향을 미치는 결함

② 국부결함

- 체체 세굴 및 침식 등과 같이 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치지 않지만 손상이 진전될 경우 전체 구조물의 안전에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 결함

③ 일반손상

- 수목식생, 콘크리트 재료분리·파손·마모 등과 같이 구조물의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상

2) 영향계수의 적용

각 부재에서 발생하는 각종 손상 및 결함에 대한 상태평가 시 손상이 전체 구조물에 미치는 안전성의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 영향계수를 적용한다.

영향계수는 안전성에 직접적인 영향을 미치는 중요결함을 기준으로 하여 국부적인 결함을 상향 조정함으로써 이들이 전체 구조물에 미치는 영향을 평가 절하하는 계수이며, 상태평가를 위한 표준기준으로서 책임기술자의 판단으로 다소 조정할 수 있다.

나. 표준제방

1) 표준제방의 평가항목별 평가유형 및 영향계수

[표 9.12] 표준제방의 평가항목별 평가유형 및 영향계수

위 치	손상형태 및 조사항목	평가유형	평가기준	평가점수	영향계수
제 체	침 하	중요결함	a	5	1.0
	활 동		b	4	
	누 수		c	3	
	월류(여유고 조사)		d	2	
			e	1	
	세굴(침식)	국부결함	a	5	1.0
			b	4	1.1
			c	3	1.2
			d	2	1.4
			e	1	2.0
	훼손	일반손상	a	5	1.0
			b	4	1.1
	수목의 식생		c	3	1.3
			d	2	1.7
			e	1	3.0
호 안	기초 세굴	중요결함	a	5	1.0
			b	4	
	비탈덮기 활동		c	3	
			d	2	
			e	1	
하상부	비탈덮기의 손상	국부결함	a	5	1.0
			b	4	1.1
	호안머리보호공의 손상		c	3	1.2
			d	2	1.4
			e	1	2.0
접속부	구조이음눈, 비탈멈춤공 등의 손상	일반손상	a	5	1.0
			b	4	1.1
	세 굴		c	3	1.3
	퇴 적		d	2	1.7
			e	1	3.0
점속부	침 하	중요결함	a	5	1.0
			b	4	
	누수 및 공동		c	3	
	세굴(침식)		d	2	
			e	1	

2) 손상 및 결함형태별 상태평가기준

표준제방에서의 손상 및 결함형태별로 상태평가기준을 정하였고, [표 9.13]~[표 9.26]에서 정의된 기준은 상태평가를 위한 표준적인 기준으로 실무에 활용 시에는 책임기술자의 판단으로 상태평가기준을 다소 조정 평가할 수 있다.

[표 9.13] 제체 및 접속부의 침하에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	상태평가기준
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, 비탈사면 활동조짐이 보임

※) 침하는 제방의 안전상태를 보여주는 중요한 ‘증상/징후’이지만 구조물의 규모, 재료 구성, 기초지반 특성 및 기후 등 외부 환경요인에 따라 그 크기가 다르다. 다만 하천설계기준에서 제시하고 있는 허용침하량의 최소값인 10cm를 초과할 경우, 외관조사에 징후가 없으면 ‘d 등급’으로 평가하며 징후를 동반할 경우 ‘e등급’으로 평가한다. 이때 침하량은 준공도서 제방고 또는 준공자료가 없을 경우 최초로 측정한 제방고를 기준으로 산정한다

[표 9.14] 활동에 대한 상태평가기준

평가 기준	평가 점수	독마루의 손상 범위	조사된 상태
a	5	없음	○ 활동이 발생되지 않은 상태, 독마루의 손상 없음
b	4	없음	○ 육안으로 관찰되지 않으나 부분적으로 부등침하흔적이 있는 경우, 독마루의 손상 없음
c	3	흔적 보임	○ 부분적으로 경미한 상태의 활동이 발생하였으나, 제체의 안전성에는 영향이 없고 지속적인 관찰 필요한 상태. 독마루의 손상 흔적 보임
d	2	폭이 큼	○ 활동이 발생하여 비탈사면이 부분적으로 전방으로 밀려난 상태이나 연직붕괴까지는 이르지 않은 상태, 독마루의 손상 폭이 큼
e	1	함몰을 동반하는 균열 발생	○ 활동의 정도가 아주 심하고, 광범위하게 발생하여 연직붕괴에 이르러 구조적인 안정을 독마루에 활동을 동반하는 균열 발생

※) 비탈사면의 활동은 비탈사면이 전방으로 밀려나는 형태이므로 활동에 대한 상태평가 기준은 독마루에서의 침하량 및 균열폭을 기준하였다.
활동에 대하여는 횡방향의 부등침하와 구분하기 어려운 점이 있으나, 현장의 손상상태를 면밀히 파악하여 책임기술자가 판단하는 것이 타당할 것이다.

[표 9.15] 제체 및 접속부의 누수에 대한 상태평가기준

평가 기준	평가 점수	조사된 상태	
		지반누수	제체누수
a	5	○ 발생하지 않음	○ 발생하지 않음
b	4	○ 누수는 발생하지 않으나 기초지반이 투수성이 있음	○ 누수는 발생하지 않으나 제체재료가 투수성이 큼
c	3	○ 누수는 발생되지 않으나 제내외측에 골재채취 등으로 투수층이 노출되어 있음	○ 부분적으로 누수흔적이 있으나 제체 재료 유실은 발생되지 않음
d	2	○ 부분적으로 파이핑 현상 발생하나, 심하지 않음	○ 누수가 발생되어 경미한 제체 재료의 유실이 있음
e	1	○ 심한 파이핑 현상이 발생하여 제체의 안전성에 심각한 영향을 미침	○ 누수와 함께 제체재료의 유실이 심하여(파이핑 현상) 제체의 안전성에 심각한 영향을 미침

주) 상태평가결과가 "d" 이하이면 9.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

※) 제체 누수는 평상시에는 관찰하기가 어려우므로 가능한 한 홍수기에 현장조사를 할 필요가 있으며, 부득이한 경우에는 청문조사, 누수흔적으로 상태를 파악하여야 한다. 특히, 제체 누수 파괴의 주요 원인인 제체 횡단구조물과의 접속부 누수 여부를 반드시 점검한다.

[표 9.16] 호안의 기초·밑다짐공 세굴에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	상태평가기준
a	5	○ 세굴이 거의 발생하지 않은 상태
b	4	○ 경미한 세굴이 발생하여 부분적인 밑다짐공의 교란이 있으나 기초는 노출되지 않은 상태
c	3	○ 세굴의 발생으로 밑다짐공이 유실되고, 기초가 노출된 상태
d	2	○ 심한 세굴의 발생으로 밑다짐공의 유실, 기초하단깊이까지 세굴되어 호안의 붕괴가 예상되는 상태
e	1	○ 부분적으로 기초가 유실되어 호안이 붕괴된 상태

※) 제방 파괴는 대부분 월류, 세굴에 의하여 야기되며, 세굴의 의한 제방파괴 유형 중 기초 세굴로 호안의 붕괴로 이어지는 유형이 일반적이다.

기초세굴에 대한 상태평가기준은 세굴깊이를 정량적으로 파악하기 어려우므로 제방의 안전에 영향을 미치는 세굴의 정도에 따라 책임기술자가 판단하여 평가점수를 부여할 수 있도록 기준을 정하였다.

[표 9.17] 비탈덮기의 활동에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 활동이 없는 상태
b	4	○ 경미한 활동(배부름)이 발생하였으나 보수가 필요하지 않은 상태
c	3	○ 활동의 발생으로 배부름 현상이 심하고, 접속구조물인 턱 피복콘크리트, 호안머리 보호공에 영향을 미쳐 이들 구조물에도 손상이 동반된 상태
d	2	○ 활동이 심하게 발생하여 부분적으로 붕괴가 발생되어 시급한 보수를 요하는 상태
e	1	○ 비탈덮기가 전반적으로 붕괴되어 전반적인 재시공이 요구되는 상태

※) 비탈덮기의 활동에 대한 상태평가기준은 현장에서 활동의 상태를 파악하여 제방의 안전에 영향을 미치는 정도에 따라 책임기술자가 판단하여 점수를 부여할 수 있도록 기준을 정하였다.

[표 9.18] 제체 및 접속부의 세굴 및 침식에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 세굴 및 침식이 거의 발생하지 않음
b	4	○ 경미하게 발생한 상태로서 보수 불필요
c	3	○ 다소 크게 발생한 상태로서 보수를 요하나 단면축소로 인한 누수, 사면붕괴 등의 영향은 없는 상태임
d	2	○ 심하게 발생하여 비탈사면의 붕괴나 제체내 누수로 이어질 가능성이 있음
e	1	○ 매우 심하여 비탈사면의 붕괴와 제체 내 누수가 발생한 상태

주) 상태평가결과가 "e"이면 9.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

※) 제체는 유수와 접하는 앞비탈의 계획홍수위 이하부위는 호안을 설치하기 때문에 유수에 의한 직접적인 세굴이나 침식우려는 없다. 따라서 제체의 세굴은 주로 강우에 의해 발생되어진다고 할 수 있다. 상태평가기준은 세굴 및 침식정도를 정량적으로 파악하기는 어려우므로 현장에서의 책임기술자가 제체에 미치는 영향의 정도를 판단하여 점수를 부여할 수 있도록 기준을 정하였다.

[표 9.19] 비탈덮기의 손상(줄눈이격, 파손, 탈락)에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 손상이 없는 상태
b	4	○ 경미한 줄눈 이격은 있으나 파손, 탈락은 발생하지 않은 상태
c	3	○ 부분적으로 파손, 탈락이 발생하였고, 줄눈이 이격되는 등 배면 토사 유출이 심하게 발생할 우려가 있는 상태
d	2	○ 손상이 심하여 부분적인 비탈덮기의 유실이 발생하였고, 이로 인해 홍수시 전체적인 비탈덮기의 붕괴가 예상되는 상태
e	1	○ 대부분의 비탈덮기가 붕괴되어 제방 자체의 파괴로 이어질 정도인 상태

※) 유수와 직접 접하는 비탈덮기는 항상 유수의 영향을 받고 있어 어느 정도의 손상은 피할 수 없다. 유수에 의한 영향을 크게 비탈덮기의 활동과 세굴로 구분할 때, 활동은 비탈덮기의 전체적인 붕괴로 이어지고, 세굴은 유수의 소류력으로 부분적인 탈락, 파손을 야기한다. 따라서 세굴에 의한 비탈덮기의 손상은 국부손상에 포함하였다.

[표 9.20] 호안머리보호공 손상(균열, 파손, 들뜸)에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 손상이 없는 상태
b	4	○ 경미한 손상이 있으나 비탈덮기에 영향을 미칠 정도는 아닌 상태
c	3	○ 부분적으로 파손, 탈락이 발생하였고, 줄눈이 이격되는 등 배면 토사 유출이 심하게 발생할 우려가 있는 상태
d	2	○ 손상이 심하여 부분적인 비탈덮기의 유실이 발생하였고, 이로 인해 홍수시 전체적인 비탈덮기의 붕괴가 예상되는 상태
e	1	○ 대부분의 비탈덮기가 붕괴되어 제방 자체의 파괴로 이어질 정도인 상태

※) 호안머리보호공은 비탈덮기가 제체에 견고하게 부착할 수 있도록 하고, 또한 활동(미끄러짐)을 방지하는 역할도 한다. 손상의 정도에 따라 비탈덮기의 안전에 직접적인 영향을 미친다. 호안머리보호공에 발생하는 균열, 파손, 들뜸 등의 손상에 대한 상태평가기준을 설정하였다.

[표 9.21] 제체의 훼손에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 훼손이 거의 없는 상태
b	4	○ 경미한 훼손이 있으나 보수 불필요
c	3	○ 다소 크게 발생한 상태로서 보수를 요함
d	2	○ 훼손 정도가 심하여 누수, 붕괴로 이어질 가능성이 있음
e	1	○ 훼손 정도가 매우 심하여 이로 인해 부분적인 제체붕괴와 제체내 누수가 발생하고 있는 상태

※) 제체의 훼손은 직접적으로 제방의 안전에 영향을 미치는 것은 아니나 제방의 노후화, 제체의 강도저하를 초래하며, 대표적으로 들쥐나 두더쥐에 의한 구멍, 경작, 골채채취 등의 유형이 있다. 상태평가기준은 훼손정도를 정량적으로 나타내기는 어렵고, 현장에서 손상 정도를 책임기술자가 제체에 미치는 영향을 판단하여 점수를 부여할 수 있도록 기준을 정하였다.

[표 9.22] 수목의 식생에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 문제가 될 수목식생이 거의 없는 상태
b	4	○ 수목이 식생하고 있으나, 유수와 접하는 계획홍수위 이하 부분에서는 문제가 될 식생은 없음
c	3	○ 유수와 접하는 계획홍수위 이하부분에서 문제가 될 수목이 식생하고 있고, 일부는 유실되어 제체에 손상을 유발시킨 상태
d	2	—
e	1	—

※) 수목의 식생도 직접적으로 제방의 안전에 영향을 미치는 것은 아니나 제방의 노후화, 제체의 강도저하를 초래하며, 홍수시 수목이 유실될 때 뿌리가 제체내 깊이 착근되어 있을 경우에는 제체의 안전에 영향을 미칠 수가 있다. 이외, 식생의 뿌리부에서의 공동, 들뜸 등으로 유수가 침투하여 제방을 연약화 시킨다.
상태평가기준은 현장의 식생상태를 조사하여 책임기술자가 제체에 미치는 영향을 판단하여 점수를 부여할 수 있도록 기준을 정하였다.

[표 9.23] 호안 구조이음눈 손상에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 손상이 없는 상태
b	4	○ 경미한 손상이 있으나 비교적 양호한 상태
c	3	○ 다소 심한 균열, 이격, 파손, 탈락 등의 손상이 있으나 비탈덧기에 영향을 미칠 정도는 아닌 상태
d	2	○ 전반적으로 탈락, 유실되어 비탈덧기의 안전에 심각한 영향을 미칠 우려가 있는 상태
e	1	—

[표 9.24] 하상부의 세굴에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 세굴이 거의 없는 상태
b	4	○ 경미하게 세굴되었으나 계획하상고 이내인 상태
c	3	○ 세굴로 하상보호사석의 유실 및 호안 기초부위가 노출된 상태
d	2	—
e	1	—

[표 9.25] 하상부의 퇴적에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 퇴적이 거의 없는 상태
b	4	○ 경미하게 퇴적되었으나 통수에 전혀 지장이 없는 상태
c	3	○ 토사의 퇴적, 유목 등으로 통수능에 지장을 줄 수 있는 상태
d	2	—
e	1	—

[표 9.26] 월류(여유고 조사)에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 여유고를 확보한 상태
b	4	—
c	3	○ 여유고를 미확보한 상태
d	2	—
e	1	○ 월류하는 상태

※ 하천기본계획에서 검토된 계획홍수위와 제방고를 우선 비교·평가하며, 여유고 미확보한 경우 제방고를 실측하여 보완 검토하고 그 결과를 ‘월류(여유고 조사)’ 결과로 한다.

※ 월류(여유고 조사) 상태평가 결과 “c” 이하 경우, 안전성평가를 통해 추가 검토한다.

다. 특수제방

1) 특수제방의 평가항목별 평가유형 및 영향계수

[표 9.27] 특수제방의 평가항목별 평가유형 및 영향계수

위 치	손상형태 및 조사항목	평가유형	평가기준	평가점수	영향계수
직립 구조물	침 하	중요결함	a	5	1.0
	경사/전도		b	4	
	활 동		c	3	
	변 형		d	2	
	파 손		e	1	
	균열	국부결함	a	5	1.0
	박리(박락, 층분리)		b	4	1.1
			c	3	1.2
			d	2	1.4
	마모/침식		e	1	2.0
	신축이음부 이격, 사석블록 이격, 말뚝간의 이격	일반손상	a	5	1.0
			b	4	1.1
			c	3	1.3
	기초부 세굴	일반손상	d	2	1.7
			e	1	3.0

2) 손상 및 결함형태별 상태평가기준

특수제방에서의 손상 및 결함형태별로 상태평가기준을 정함에 있어서 제체 및 호안, 그리고 하상부의 손상 및 결함에 대한 사항은 표준제방을 그대로 적용하였고, 여기서는 직립구조물의 손상에 대한 사항만 기술하였다.

[표]에서 정의된 기준은 상태평가를 위한 표준적인 기준이며, 실무에 활용 시에는 책임기술자의 판단으로 상태평가점수를 다소 조정 평가할 수 있다.

[표 9.28] 직립구조물 침하의 상태평가기준

평가 기준	평가 점수	조사된 상태	
		직립구조물 손상상태	제체의 손상상태
a	5	○ 거의 발생하지 않음	○ 거의 발생하지 않음
b	4	○ 경미한 침하가 있으나 구조물 표고가 설계시 표고 이상으로 확보하고 있는 경우	○ 경미한 침하가 있으나, 독마루가 설계시 여유고를 확보하고 있는 경우
c	3	○ 구조물 표고는 계획홍수위 이상을 확보하나 침하로 인해 구조물에 경미한 균열, 시공이음부 이격 등의 손상이 발생한 상태	○ 배면 제체에 단차 및 균열이 육안으로 뚜렷이 관찰되며 빗물이 고일 정도 발생
d	2	○ 구조물의 표고가 계획홍수위 이하로 침하되고, 구조물에 다소 폭이 큰 균열, 시공이음부 이격 등의 손상이 발생한 상태	○ 배면 제체에 부분적 함몰이 발생되고, 비탈사면 활동조짐이 보임
e	1	○ 구조물에 심각한 손상이 발생하여 구조물의 붕괴가 예상될 경우	—

※) 직립구조물에 발생하는 침하에 대한 상태평가기준은 선정된 기준을 적용하고, 직립구조물의 침하를 동반하지 않는 제체 자체의 침하에 대하여는 표준제방의 제체 평가기준을 적용한다.

[표 9.29] 경사/전도의 상태평가기준

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 구조물의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	6%이상	4%이상	○ 경사/전도의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실한 위험한 상태

[표 9.30] 말뚝구조의 활동에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 활동이 없는 상태
b	4	○ 경미한 활동흔적이 있으나, 구조물에 손상이 없는 상태
c	3	○ 경미한 활동으로 구조물에 경미한 균열이 발생
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

※) 직립구조물에 발생하는 활동에 대한 상태평가기준은 제체의 활동에 대한 평가기준을 적용하되, 말뚝구조의 활동은 콘크리트 및 석축구조의 활동과는 달리 벽체 후면에서부터 사면 활동이 일어나 사면 파괴로 이어지는 양상이므로 상기의 별도 상태평가기준을 정하였다.

[표 9.31] 말뚝구조의 변형에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 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 감시할 정도의 상태
d	2	○ 변형의 정도가 심각하여 말뚝의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	○ 변형의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 위험한 상태

[표 9.32] 신축이음부 및 사석블록의 이격에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 건전한 상태
b	4	○ 경미한 발생으로 배면 토사 유출이 없는 상태
c	3	○ 다소 크게 발생하여 배면 토사 유출이 있는 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

※) 콘크리트 구조의 신축이음부 이격, 말뚝 간의 이격, 사석블록의 이격에 대한 상태평가기준을 상기와 같이 적용한다.

[표 9.33] 직립구조물의 기초부 세굴에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 하상의 세굴이 없는 상태
b	4	○ 하상이 세굴되었으나, 기초부의 노출이 안된 상태
c	3	○ 하상세굴로 기초부가 노출되어 기초부 보호사석이 부분적으로 교란 또는 유실된 상태
d	2	○ 기초부 보호사석의 대부분 유실로 기초부 하단까지 하상이 세굴되어 구조물 안전성에 영향을 미칠 정도
e	1	○ 기초부 보호사석의 전반적인 유실 및 구조물의 활동변위가 발생하였거나, 부분적으로 구조물의 붕괴로 전체 제방의 안전에 위험이 예상되는 경우

주) 상태평가결과가 "d" 이하이면 9.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

[표 9.34] 직립구조물의 파손에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 손상이 없는 건전한 상태
b	4	○ 경미한 손상이 있으나 보수는 요하지 않는 상태
c	3	○ 국부적인 파손으로 보수를 요하는 상태
d	2	○ 구조물의 안전성에 영향을 미치는 정도의 파손으로 긴급한 보수를 요하는 상태
e	1	○ 파손이 대규모로 발생하여 구조물의 일부가 붕괴되고 배면 체체의 붕괴를 동반한 경우

[표 9.35] 균열의 상태평가기준

평가 기준	평가 점수	RC 부재		PSC 부재
		콘크리트 웅벽	RC 말뚝 구조	PSC 말뚝
a	5	○ 건전한 상태	○ 건전한 상태	○ 건전한 상태
b	4	○ 경미한 상태의 과응력균열, 부식균열 및 일반균열	○ 경미한 말뚝 연결부 균열	○ 경미한 말뚝연결부 균열
c	3	○ 과응력 균열, 부식균열 및 일반균열이 다소 심한 상태	○ 경미한 상태 과응력균열 ○ 부식균열, 일반균열 또는 말뚝연결부 균열이 다소 심한 상태	○ 경미한 상태의 과응력균열, 부식균열, 일반균열 및 말뚝연결부 균열
d	2	○ 전반적으로 균열발생이 심하여 구조부재 기능 상실이 우려되는 상태	○ 심한 상태의 과응력 균열	○ 심한상태의 과응력균열, 부식균열 및 말뚝연결부 균열
e	1	○ 사인장 관통균열이 발생하여 매우 위험한 상태	○ 관통균열이 발생하여 매우 위험한 상태	○ 관통균열이 발생하여 매우 위험한 상태

※) 균열은 과응력균열, 부식균열, 일반균열, 말뚝연결부 균열 및 수중 균열로 세분할 수 있으며, 콘크리트 구조 및 말뚝구조에 있어서 RC 부재 및 PSC 부재에 대한 균열의 상태평가 기준을 설정하였다.

[표 9.36] 박리의 상태평가기준

평가 기준	평가 점수	RC 부재		PSC 부재
		콘크리트 구조	RC 말뚝	PSC 말뚝
a	5	○ 건전한 상태	○ 건전한 상태	○ 건전한 상태
b	4	○ 박리의 초기단계로 철근 부식에 의해 박리부분에 균열이 형성되기 시작하거나 경미하게 콘크리트 덮개가 탈락 된 경우	○ 박리의 초기단계로 박리부분에 균열이 형성되기 시작하거나 경미한 콘크리트 덮개가 탈락된 상태	—
c	3	○ 콘크리트 덮개가 일어나는 심한 부분박리나, 박리부분이 탈락하는 완전박리가 다소 심하게 발생한 상태	○ 콘크리트 덮개가 일어나는 부분박리가 심하게 발생한 상태	○ 경미한 상태의 부분박리
d	2	○ 완전박리로 철근부식이 심각하여 구조물의 내하력 감소로 구조물 붕괴로 이어질 우려가 있는 상태	○ 박리부분이 탈락하는 완전박리가 심한 상태	○ 심한상태의 부분 박리나 경미한 상태의 완전 박리
e	1	○ 완전박리로 철근부식이 심각하여 구조물의 내하력 감소로 구조물 일부 붕괴된 상태	○ 박리상태가 매우 심하여 철근이 거의 다 부식되어 구조적 기능을 상실한 상태	○ 완전박리로 콘크리트 덮개가 완전히 탈락하고 강선의 부식이 매우 심한 상태

※) 박리는 콘크리트 덮개가 일어나는 정도의 부분박리와 덮개와 완전히 탈락하는 완전박리로 세분할 수 있으며, RC부재 및 PSC 부재에 대한 박리의 상태평가기준을 설정하였다.

[표 9.37] 마모/침식의 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 마모/침식된 부위가 없음
b	4	○ 마모/침식이 경미한 상태
c	3	○ 마모/침식이 다소 심한 상태
d	2	—
e	1	—

※) 마모/침식은 국부적인 결함으로 구조물 전체의 안전에는 크게 영향이 없으므로 최하 평가점수는 "c"로 기준하였으며, 이에 대한 상태평가기준을 설정하였다.

[표 9.38] 탄산화 잔여 깊이의 상태평가기준

평가기준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	○ 30mm 이상	탄산화에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	○ 10mm 이상 ~ 30mm 미만	향후 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성 있음
c	○ 0mm 이상 ~ 10mm 미만	경우에 따라서 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
d	○ 0mm 미만	○ 철근부식 발생 조건 만족
e	○ 0mm 미만	○ 철근부식도 조사 등을 통해 철근부식 발생 확인

주1) 상태평가결과가 "d"이고 철근노출 부식 등의 외관상태를 동반하는 경우에 해당하거나, 상태평가결과가 "e"판정에 해당하면 9.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

주2) 제1장 교량[표 1.28] 해설을 따른다.

[표 9.39] 전염화물 이온량의 상태평가기준

평가기준	전염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	◦ 염화물 $\leq 0.3\text{kg/m}^3$	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	◦ $0.3\text{kg/m}^3 < \text{염화물} < 1.2\text{kg/m}^3$	콘크리트 중의 염화물 이온농도가 높으나, 부식이 발생할 가능성 적음
c	◦ $1.2\text{kg/m}^3 \leq \text{염화물} < 2.5\text{kg/m}^3$	향후 염화물에 의한 부식이 발생할 가능성 높음
d	◦ 염화물 $\geq 2.5\text{kg/m}^3$	◦ 철근부식 발생 조건 만족
e	◦ 염화물 $\geq 2.5\text{kg/m}^3$	◦ 철근부식도 조사 등을 통해 철근부식 발생 확인

주1) 상태평가결과가 "d"이고 철근노출 부식 등의 외관상태를 동반하는 경우에 해당하거나, 상태평가결과가 "e"판정에 해당하면 9.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

※ 제1장 교량 [표 1.29] 참조

라. 배수통관

배수통관에 대한 상태평가는 원칙적으로 다음 기준에 따르되, 제시한 기준을 적용할 수 없는 손상에 대하여는 “수문시설”의 상태평가기준을 준용할 수 있다.

1) 배수통관의 평가항목별 평가 유형 및 영향계수

[표 9.40] 배수통관 평가항목별 평가유형 및 영향계수

손상형태 및 조사항목	평가유형	평가기준	평가점수	영향계수
배수암거 구조물 손상	중요결함	a	5	1.0
		b	4	
		c	3	
		d	2	
		e	1	
문짝의 기능	일반손상	a	5	1.0
배수암거 배수기능		b	4	1.1
		c	3	1.3

주) 배수통관의 손상에 직접적으로 제방의 안전성에 영향을 미치지 않는 손상형태(문짝 기능상태, 배수암거 기능상태)는 최저 "c"까지만 설정

2) 손상 및 결함형태별 상태평가기준

배수통관에서의 손상 및 결함형태별로 다음과 같이 상태평가기준을 정하였고, 배수암거 구조물의 손상은 제방의 안전성에 직접 영향을 미칠 수 있으므로 배수통관의 상태평가결과가 제방에 반영될 수 있도록 정하였다.

[표 9.41] 배수통관의 배수암거 구조물 손상의 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 거의 손상이 없는 상태
b	4	○ 경미한 손상이 있으나 누수, 제체 토사 유출우려가 없는 상태
c	3	○ 손상이 발생하여 누수, 제체 토사 유출이 우려되는 상태
d	2	○ 손상이 심하여 제체의 파괴에 영향을 미칠 우려가 있는 상태
e	1	○ 일부 구조물이 파괴되어 제체의 손상이 발생한 상태

[표 9.42] 배수통관 문짝 기능의 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 하천외수 차단기능 및 문짝자체 이상이 없는 상태
b	4	○ 문짝 자체 경미한 손상이 있으나 하천 외수 차단기능에는 문제가 없는 상태
c	3	○ 하천외수 차단기능에 이상이 있는 상태

[표 9.43] 배수통관 배수암거 배수기능에 대한 상태평가기준

평가기준	평가점수	조사된 상태
a	5	○ 암거내부 퇴적이 거의 없는 상태
b	4	○ 암거내부 퇴적심이 암거높이의 30% 미만인 상태
c	3	○ 암거내부퇴적심이 암거 높이의 30% 이상이거나 기타 이물질 등으로 배수기능에 지장이 있는 상태

마. 공중이 이용하는 부위

[표 9.44] 추락방지시설 상태평가기준

평가기준	조사된 상태
a	○손상 및 결함 등이 없는 최상의 상태
b	○추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태
c	○추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○고정부 및 연결부 파손 등으로 인해 추락방지시설의 전도 및 이탈이 발생할 수 있어 즉각적인 보수·보강이 필요한 상태
e	○추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태

[표 9.45] 도로포장 상태평가기준

평가기준	조사된 상태
a	○포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태
b	○포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생된 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○포장 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불편감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태
d	○깊이 8cm 이상의 포트홀에 의해 차량에 심각한 손상이 발생할 수 있어 즉각적인 보수가 필요한 상태 ○배수불량으로 인한 주행차로 상시 물고임으로 통행차량의 안전성 저하가 우려되는 상태
e	○도로포장 결함 및 파손 정도가 심각하고 차량주행이 불가하여 차량통행 제한 및 사용금지가 필요한 상태

[표 9.46] 도로부 신축이음부 상태평가기준

평가기준	조사된 상태
a	○ 신축이음부에 손상이 없는 상태
b	○ 신축이음 본체의 토사 및 이물질 퇴적, 고무판 노후, 후타재의 미세균열이 발생된 상태로 기능발휘에는 지장이 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○ 신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50cm 이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○ 신축유간 밀착으로 인한 거동불량 또는 신축유간이 넓어 차량통행에 지장을 초래할 수 있어 교체가 필요한 상태 ○ 신축이음의 파손 상태가 심각하여 차량통행 시 충격이 발생하는 등 긴급한 보수·보강이 필요한 상태
e	○ 신축이음부 본체 탈락으로 차량주행 시 파손을 유발하거나, 주행 중 사고의 원인이 될 수 있는 상태

[표 9.47] 환기구 등의 덮개 상태평가기준

평가기준	조사된 상태
a	○ 환기구 등의 덮개가 최상의 상태
b	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태 ○ 기능성에 문제가 없어 결함 및 파손에 대해 지속적 관찰이 필요한 상태
c	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태
d	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능이 상실되어 국부적인 교체 및 보강이 필요한 상태
e	○ 결함 및 파손 정도가 심각하거나 덮개 등이 탈락된 상태

9.4.2 상태평가결과 산정 방법

가. 제방 시설물 평가 단계별 절차

제방 시설물에 대한 평가는 [그림 9.1]과 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_c , E_s : 평가지수, M : 상태평가 점수, F : 영향계수, A : 조정계수, W : 중요도

[그림 9.1] 제방 시설물 평가 단계별 절차

나. 평가 단계별 구분

제방 시설물의 상태를 평가하기 위하여 시설물을 단계별로 구분하고, 다음 표와 같이 평가단계별 구분표를 최종 5단계의 복합시설 단계까지 구분·작성하여 본 보고서에 수록한다.

상태평가의 기초가 되는 단위 조사망도의 작성 요령은 다음과 같다.

제방 측량 측점(Sta. No)이나 하천정비기본계획의 하천측량 측점(Sta. No)을 기준하여 1km 단위로 구분하거나, 측량자료가 없을 시는 하천의 특성(만곡부, 하천횡단구조물 설치지점 등), 제방단면의 변화지점, 제방 횡단구조물 지점, 비탈덮기 변화지점 등을 중심으로 구분한다.(다만, 조사대상 제방 연장이 1km 미만이거나 전체적으로 변화가 없어 구분할 필요성이 없을 경우에는 전체 연장을 하나의 블록으로 할 수 있다.) 구분한 각 블록을 20~100m 단위 또는 책임기술자의 판단에 따라 일정한 간격으로 세분하여 단위 조사망도로 한다(단, 제방횡단구조물 지점의 접속부를 유의하여 구성한다).

[표 9.48] 제방의 평가단계별 구분

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분
평가구분		평가대상	
상태평가	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상)	조사망1(제체, 호안, 등), 배수통관1(배수암거, 문짝) 조사망2(제체, 호안, 등), 배수통관2(배수암거, 문짝)
	2단계	개별부재	...
	3단계	복합부재	블록(구간)1 블록(구간)2 ...
상태평가 안전성평가 종합평가	4단계	개별시설	제방1 ²⁾ 제방2 ...
종합평가	5단계	복합시설	제방
	6단계	통합시설	—
	7단계	종합시설	—

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

주2) 제방1, 제방2는 좌안, 우안 제방을 의미함

1) 1단계 상태평가 : 부재(部材)별 손상상태 평가표 작성

시설물의 상태평가 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) 상태평가결과 및 평가점수를 부여한다.

- 손상상태 평가표에는 평가항목에 없는 상태변화라 할지라도 모두 기록하는 것을 원칙으로 한다.
- 각 상태변화에 대한 상태평가결과가 c, d, e 일 경우 보수·보강 우선순위에 따라 보수·보강을 한다.

[표 9.49] 부재(부위)별 손상상태평가표 (예)

부위(망번호) / 개별부재	복합부재 / 개별시설물	표 번호			
조사망1 / 블록1	블록1 / 제방1	No. 1-1			
※ 개략도 작성 시 규격용지를 횡으로 사용할 경우 또는 부위별로 여러 장일 경우는 손상에 일련번호를 매기고, 별도의 용지에 아래의 조사결과표를 개별부재에 대하여 작성한다. ※ 평가 근거가 되는 부재의 치수, 크기, 면적 등을 반드시 기입한다.					
조사된 상태					
번호	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
③	기초세굴	경미함	면적(m ²)	—	b
④	비탈덮기 손상	파손, 탈락	개소	5	c
조사일자 : 20 . .			조사자 :		

[표 9.50] 부재(부위)별 손상상태평가표 (예_접속부 포함 단위조사망)

부위(망번호) / 개별부재		복합부재 / 개별시설물		표 번호	
조사망1(접속부포함) / 블록1		블록1 / 제방1		No. 1-1	
※ 개략도 작성 시 규격용지를 횡으로 사용할 경우 또는 부위별로 여러 장일 경우는 손상에 일련 번호를 매기고, 별도의 용지에 아래의 조사결과표를 개별부재에 대하여 작성한다. ※ 평가 근거가 되는 부재의 치수, 크기, 면적 등을 반드시 기입한다.					
조 사 결 과 표					
번호	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
③	기초세굴	경미함	면적(m ²)	—	b
④	비탈덮기 손상	파손, 탈락	개소	5	c
⑤	접속부세굴	경미함	면적(m ²)	—	b
조사일자 : 20 . .			조사자 :		

2) 2단계 상태평가 : 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 평가기준에 따른 평가점수(M)에 손상 및 결함이 부재의 안전에 미치는 영향을 반영한 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 산출한다.
- 산출된 결함 및 손상의 상태평가지수(E_1) 중 최솟값을 개별부재의 상태평가지수(E_2) 및 상태평가결과를 결정한다.

[표 9.51] 평가기준별 평가지수 및 결함유형별 영향계수

평가결과별 평가지수 범위		구 분		영 향 계 수(F)				
평가기준	평가지수 (E_{1-7} , E_s , E_c)	평가기준 (평가점수 : M)		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	$2.5 \leq E_1 < 3.5$		일반손상	1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
d	$1.5 \leq E_1 < 2.5$							
e	$1.0 \leq E_1 < 1.5$							

▷ 결함 및 손상의 상태평가지수(E_1) = $M \times F$

- 여기서, M : 평가점수, F : 영향계수

▷ 개별부재의 상태평가지수(E_2) = Min (다수의 E_1 값)

- 평가결과를 결정하기 위한 평가지수 값은 소수 3째 자리를 반올림하여 사용한다.

[표 9.52] 개별부재 평가표 (예)

개별부재	조사망 1				표번호
1단계 표번호	1-1, 1-2				2-1
조사항목	평가유형	평가기준	평가점수 M	영향계수 F	평가지수 $E_1 = M \times F$
제체 활동	중요결함	표참조	4	1.0	4.0
제체 누수	중요결함	"	3	1.0	3.0
기초 세굴	중요결함	"	4	1.0	4.0
비탈덮기 파손, 탈락	국부결함	"	3	1.2	3.6
1. 개별부재의 상태평가지수(E_2) = 상태평가지수 E_1 중 최솟값 =					3.0
2. 개별부재의 상태평가결과 =					c

3) 3단계 상태평가 : 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 반영한다. 이때 개별부재의 중요도의 합이 100이 되도록 규정한다.
- 제방은 각 개별부재의 중요도를 동일하게 적용한다.
- 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 평가 절하한다. 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출한다.
- 복합부재의 평가는 개별부재의 평가지수(E_2)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 복합부재의 상태평가지수(E_3)를 산출하고 상태평가결과를 결정한다.

▷ 복합부재의 상태평가지수(E_3) = $\sum(E_2 \times A \times W) / \sum(A \times W)$

여기서, E_2 : 개별부재의 상태평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 9.53] 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 9.54] 중요도 조정방법(예)

구 분	제체	배수통관 및 기타	비 고
중요도	83 $\pm 17(20\%)$	17 $\pm 3(20\%)$	
중요도 (조정 후)	$83 \times 100 / 83$ $\Rightarrow 100$	—	

- 상기 예시는 시설물에서 어느 특정 부재가 추가되거나, 없는 경우에 중요도를 조정하여 중요도의 합이 100이 되도록 조정하기 위한 방법이다.

[표 9.55] 복합부재 평가표 (예)

개별시설명	블록 1					표번호
2단계 평가표	2-1, 2-2, 2-3, 2-4					No. 3-1
개별부재	평가결과	평가지수 E_2	조정계수 A	중요도(%) W	계산값 $A \times W$	계산값 $E_2 \times A \times W$
조사망 1	c	3.0	3	42.5	127.5	382.5
조사망 2	c	3.4	3	42.5	127.5	433.5
배수통관1	b	3.6	2	7.5	15.0	54.0
배수통관2	b	3.6	2	7.5	15.0	54.0
합계(Σ)				100	285.0	924.0
<조사자 의견>						
1. 복합부재의 상태평가지수(E_3) $= \Sigma(E_2 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 924.0 / 285.0 =$ 2. 복합부재의 상태평가결과 =						
						3.24 c

4) 4단계 상태평가 : 개별시설(個別施設) 평가표 작성

- 제체는 개별시설로서 동일기능을 수행하는 복합부재(블록1, 블록2, ...)의 집합으로 구성되어 있다.
- 개별시설의 평가는 복합부재의 중요도는 같다는 가정 하에 복합부재의 상태평가지수(E_3)에 규모(길이, 면적, 부피, Capacity 등)를 반영하여 개별시설의 상태평가지수(E_c)를 산출하고 상태평가결과를 결정한다.
- 또한 개별시설의 평가단계에서는 안전성평가를 수행하여 종합평가결과를 결정한다.

▷ 개별시설의 상태평가지수(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 상태평가지수(E_3) 최댓값

Min : 복합부재의 상태평가지수(E_3) 최솟값

[표 9.56] 개별시설 평가표 (4단계 평가표 부분 예시)

개 별 시 설	제체1			
3단계 표번호	3-1, 3-2, 3-3, 3-4			
복합부재명	평가결과	평가지수 E_3	규 모(m) S	계산값 $E_3 \times S$
블록1	c	3.24	20	64.8
블록2	b	3.50	20	70.0
블록3	b	3.77	20	75.4
블록4	b	3.67	15	58.1
합계(Σ)			75.0	268.3
<조사자 의견>				
1. 상태평가지수(E_3) 최댓값 (Max. Value) =				
				3.87
2. 상태평가지수(E_3) 최솟값 (Min. Value) =				
				3.24
3. $V_1 = 0.3 \times (\text{Max.} - \text{Min.}) = 0.3 \times (3.87 - 3.24) =$				
				0.19
4. $V_2 = \Sigma(E_3 \times S) / (5 \times \Sigma S) = 268.3 / (5 \times 75.0) =$				
				0.72
5. 개별시설의 상태평가지수(E_c)				
$= \text{Min.} + V_1 \times V_2 = 3.24 + 0.19 \times 0.72 =$				3.38
6. 개별시설의 상태평가결과 =				
				c

9.5 안전성평가기준 및 방법

9.5.1 일반

가. 안전성평가의 절차

1) 안전성평가를 위한 선택과업

시설물의 안전성평가의 목적은 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조적 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 문제점에 대한 원인을 규명함과 더불어 안전성 여부를 판단하여야 한다.

안전성 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 상태평가결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통하여 충분한 기초자료를 확보하는 것이 중요하며, 안전성평가 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 안전성평가를 위하여 필요한 사항

2) 내진성능평가

「법」 제12조제3항에 따라 내진성능평가를 실시할 경우 세부지침 공통편의 부록 6. 내진성능평가 공통적용사항과 내진성능평가 세부지침(하구둑·제방편) 등에 따라 시설물의 내진성능을 만족시키도록 내진성능평가를 수행하며, 관련 문헌을 참고할 수 있다.

나. 제방의 안전성평가항목

일반적으로 토사로 축조되는 제방의 파괴는 주로 월류, 세굴, 누수 등에 의해 발생하며 제방은 다음조건을 만족해야 한다.

- ① 홍수시 월류해서는 안된다.
- ② 제체가 세굴되지 않아야 한다.
- ③ 하천수위 급강하 시 비탈면의 활동에 대하여 안전해야 한다.
- ④ 연약지반일 경우 파괴와 침하에 안전해야 한다.
- ⑤ 누수 및 파이핑에 안전해야 한다.
- ⑥ 강우 시 제체함수비가 상승해도 비탈면 붕괴에 대해 안전해야 한다.

1) 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.

[표 9.57] 계획홍수량에 따른 여유고

계획홍수량 (m ³ /sec)	여 유 고 (m)	비 고
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	

2) 제방 활동에 대한 안정

원호활동을 고려한 제방 비탈면 안전계산에서 안전율은 다음 [표 9.58]의 기준을 따르되 간극수압과 제체의 연직붕괴(제체상태의 인장균열)를 고려하여 결정한다.

안전도 검토 방법에는 전응력 분석방법, 유효응력 분석방법이 있으며, 전응력 분석 방법은 단기간의 안정분석 또는 공사완료 직후의 안정분석 시에 적용하고, 장기간의 분석을 위해서는 유효응력 분석방법을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

[표 9.58] 제체활동에 대한 안전율

제체상태	간극수압 상태	안전율
인장균열(crack) 불고려시	간극수압 불고려시	2.0 이상
	간극수압 고려시	1.4 이상
인장균열(crack) 고려시	간극수압 불고려시	1.8 이상
	간극수압 고려시	1.3 이상

3) 제방 누수에 대한 안정

누수에는 제체누수와 기초지반 누수가 있으며, 제체누수는 침윤선이 제체 내에 위치하여 비탈면 붕괴를 야기하며, 지반 누수는 파이핑 현상으로 제방의 붕괴를 유발한다.

(가) 제체누수의 원인

- ① 제방단면이 너무 작은 경우
- ② 제체 재료가 투수성이 크고 차수벽이 없는 경우
- ③ 제체를 충분히 다지지 않은 경우
- ④ 제체가 두더쥐 등에 의해 구멍이 뚫린 경우
- ⑤ 제체 내에 매설되어 있는 구조물(통문, 통관 등)과의 접속부에 공동이 발생한 경우

(나) 기초지반 누수의 원인(파이핑 현상 동반)

- ① 지반의 투수성이 큰 모래층 또는 자갈층인 경우
- ② 고수부지 부근의 표토가 세굴되어 투수층이 노출되었을 경우
- ③ 골재 채취 등으로 투수층이 노출되었을 경우
- ④ 설계 시 예상 못했던 지반 침하로 침투압이 증가하였을 경우

(다) 파이핑 현상 판정 방법

- ① 한계동수 경사에 의한 판정
- ② 한계유속에 의한 판정
- ③ 크리프 비에 의한 판정
- ④ 침투압에 의한 판정

4) 제방 침하에 대한 안정

- ① 제방침하의 원인은 지반의 탄성침하, 압밀, 흙이 측방으로 부풀어 오르는 현상 등을 생각할 수 있으므로 지반조사를 통해 압밀침하량을 산정하여 안전하고 경제적인 제방이 되도록 산정
- ② 연약지반에 제방을 축조하는 것은 가능한 피하고, 부득이한 경우에는 연약토사의 치환, 지하수위를 낮추어 압밀침하를 촉진시키는 방법 등의 조치를 취해야 한다.

5) 제방 세굴에 대한 안정

- 유수와 접하는 제방 앞비탈에는 계획홍수위 이상 높이까지 비탈덮기를 설치하여 유수에 의한 제체 세굴을 방지하여야 한다.

9.5.2 안정성평가기준

앞 절에서 제시한 제방의 안전에 영향을 미치는 주요 요소에 대하여 정량적으로 안전성을 검토할 수 있는 요소를 선별하여 안전성평가기준을 제시하였다.

가. 월류에 대한 안전성평가기준

제방의 월류에 대한 안전성평가는 조사 당시의 제방고·호안고와 수리·수문분석을 통한 하천의 계획홍수위를 비교·분석함으로써 제방고·호안고의 적정성 여부를 검토하는 것이다.

여기서 계획홍수위는 하천정비기본계획이 수립된 하천에서는 하천정비기본계획의 자료를 준용하고, 하천정비기본계획이 수립되어 있지 않거나 특정 홍수에 대한 검토시는 정밀안전진단(또는 안전점검) 시의 수리·수문 분석결과를 이용하여야 한다.

[표 9.59] 월류에 대한 안전성평가기준

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. 활동에 대한 안전성평가기준

제방의 원호활동을 고려한 비탈면의 활동에 대한 안전성평가기준은 다음과 같다.

1. 안정계산은 연직붕괴와 간극수압을 고려하는 것을 원칙으로 함
2. 기준안전율 : 건설기준코드(구 하천설계기준)에서 제시한 안전율

[표 9.60] 활동에 대한 안전성평가기준

평가 기준	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. 누수에 대한 안전성평가기준

제체누수는 일반적으로 제방 비탈기슭 부근에서 침투수가 유출하는 것을 말하며, 이것은 하천의 외수위가 상승하여 제체내로 유수가 침투하여 발생하는 것이다. 즉 침윤선이 제내지 비탈면에 도달하면 누수가 시작되고 그 양이 많으면 파이핑 현상에 의해 붕괴 위험을 내포하게 된다.

누수에는 제체누수와 기초지반 누수가 있으며, 제체누수는 침윤선이 제체 내에 위치하여 비탈면 붕괴를 야기하며, 지반누수는 파이핑 현상으로 제방의 붕괴를 유발한다.

일반적으로 허용누수량 설정에는 어려움이 있고, 계측에 의한 누수량에는 강우 등의 외부 수량이 포함될 수 있으므로 해석에 따른 누수량으로 제체의 안전성을 판정할 때에는 기술자의 판단이 필요하다. 제체 및 기초는 침투를 완전히 차단할 수 없기 때문에 파이핑과 같은 파괴 요인이 되는 침투수압, 동수경사에 대한 검토와 대책이 필요하다. 이러한 파괴의 원인은 대상 재료의 불균일성이나 지질조건의 변화, 시공 상 부주의 등에 의한 경우가 많으므로 이론적인 취급은 곤란하다.

보통은 침투유속의 한계치를 구하여 토립자의 이동 가능성을 검토하는 한계유속방법과 한계동수경사를 구하여 파이핑의 발생가능성을 검토하는 한계동수경사방법으로 안전성 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 안전성은 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 9.61] 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	8.5
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 유출동수경사의 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 안전성을 평가함
- 침투수 수압은 계측기록에 의한 실측자료와 비교·분석하여 안전성 판정 가능
- 제체 내 간극수압 분포는 사면활동의 안전성 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 9.62] 누수에 대한 안전성(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. 특수제방의 옹벽 및 말뚝에 대한 안전성평가기준

특수제방의 옹벽 및 말뚝에 대한 안전성 검토는 구조물의 활동 및 전도에 대한 검토가 필요하며, 또한 배면 토압에 대한 구조물 자체의 내하력 검토가 필요하다.

[표 9.63] 특수제방 옹벽 및 말뚝의 활동, 전도에 대한 안전성평가기준

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	안전율(SF) < 0.97

[표 9.64] 특수제방 옹벽 및 말뚝의 내하력에 대한 안전성평가기준

평가기준	평가점수	평 가 내 용 (안전율 SF = 설계강도 / 소요강도)
a	5	SF > 1.0
b	4	SF ≥ 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	SF < 0.75

9.5.3 안전성평가결과 산정 방법

가. 안전성평가결과 산정

월류, 활동, 전도, 내하력 등 여러 안전성평가항목에 대한 평가결과를 종합하여 안전성 평가지수를 다음 식에 의하여 산정하되, 하나의 평가항목을 다수의 단면에 대하여 검토한 경우에는 그 평가항목에 대한 평가결과 중 최저평가점수를 그 평가항목의 평가점수로 하여 다음 식에 의하여 전체시설물에 대한 안전성 평가지수값을 결정하여야 한다.

$$\begin{aligned} \text{안전성평가지수}(E_s) &= L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N - 2)}, & (N > 2) \\ &= L + 0.3(H - L), & (N = 2) \end{aligned}$$

여기서, N : 안전성평가항목 수

L : 검토항목의 안전성평가지수(평가점수) 중 최솟값

H : 검토항목의 안전성평가지수(평가점수) 중 최댓값

M_i : 검토항목의 최대 및 최솟값을 각각 1개씩 제외한 나머지 값들

나. 안전성평가결과 산정 방법

- ① 검토한 안전성평가항목에 대하여 평가기준에 의거 각각 안전성평가 점수를 결정한다.
- ② ①의 결과를 이용하여 각 안전성평가항목별로 안전성평가 점수를 산정한다.
 - 하나의 평가항목을 여러 단면에 대하여 검토한 경우에는 그 평가항목에 대한 평가결과 중 최저치를 그 평가항목의 평가결과로 함.
- ③ ②에서 산정된 각 평가항목별 안전성평가 점수를 이용하여 위 식에 의하여 종합 안전성평가지수를 산정한다.
- ④ ③의 결과 산정된 종합 안전성평가지수를 다음 [표 9.65]의 안전성평가지수에 따른 안전성평가기준에 따라 안전성평가결과를 결정한다.

[표 9.65] 안전성평가지수(E_s) 범위에 따른 안전성평가기준

안전성평가지수의 범위	안전성평가기준	안전성평가 점수	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	

[표 9.66] 제방 시설물의 안전성 평가표(4단계 평가표 부분 예시)

안 전 성 평 가					
평가항목	평가결과	평가점수	평가항목	평가결과	평가점수
1. 월류에 대한 안전성 검토	a	5	5. 옹벽 내하력 검토	d	2
2. 활동에 대한 안전성 검토 (사면안정 해석)	b	4			
3. 누수에 대한 안전성 검토 (침투류 및 파이핑 해석)	c	3			
4. 옹벽의 전도에 대한 검토	c	3			
<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 안전성평가지수(Es) =				2.60	
3. 개별시설 안전성평가결과 =				C	

9.6 종합평가기준 및 방법

9.6.1 일반

시설물의 상태평가와 안전성평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가 결과와 안전성평가결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 종합평가를 결정하며, 시설물에 대한 종합평가기준은 [표 9.67]의 종합평가지수(E4~7)에 따라 결정한다.

[표 9.67] 종합평가지수에 따른 종합평가기준

종합평가지수($E_{4\sim7}$)	종합평가기준	비 고
$4.5 \leq (E_{4\sim7}) \leq 5.0$	A	
$3.5 \leq (E_{4\sim7}) < 4.5$	B	
$2.5 \leq (E_{4\sim7}) < 3.5$	C	
$1.5 \leq (E_{4\sim7}) < 2.5$	D	
$1.0 \leq (E_{4\sim7}) < 1.5$	E	

9.6.2 종합평가결과 산정 방법

가. 종합평가결과 산정

평가대상 개별시설에 대하여 상태평가 및 안전성평가를 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태평가지수와 안전성평가지수를 비교하여 작은 값을 종합평가를 위한 종합평가지수(E_4)로 결정·적용하여 개별시설의 종합평가결과를 결정하고, 평가단계별로 그 결과를 취합하여 종합평가를 실시한다.

안전성평가를 실시하지 않은 경우는 상태평가지수를 종합평가지수로 같음한다.

나. 종합평가결과 산정 방법

평가대상 시설물에 대하여 평가단계별 구분표에 따라 종합평가 산정 절차를 예시하였다.

1) 4단계 종합평가 : 개별시설(個別施設) 평가표 작성

시설물의 평가단계별 구분표에서 4단계에 해당하는 종합평가결과를 결정하기 위해 시설물별 상태평가 및 안전성평가결과로 산출된 상태평가지수와 안전성평가지수를 사용하며, 이 값 중에서 작은 값을 개별시설의 종합평가지수(E_4)로 적용하여 [표 9.68]에 따라 평가대상 시설물에 대한 종합평가결과를 부여한다.

안전성평가를 실시하지 않은 경우는 상태평가지수를 종합평가지수로 같음한다.

▷ 개별시설의 종합평가지수 (E_4) = Min(E_c , E_s)

여기서, E_c : 개별시설의 상태평가지수

E_s : 개별시설의 안전성평가지수

[표 9.68] 개별시설 평가표 (예)

개별시설	제방1			표번호	
3단계 표번호	No. 3-1, 3-2, 3-3, 3-4			No. 4-1	
상 태 평 가					
복합부재명	평가결과	평가지수 E ₃	연 장(m) S	계산값 E ₃ ×S	
블록1	c	3.24	20.0	64.8	
블록2	b	3.50	20.0	70.0	
블록3	b	3.77	20.0	75.4	
블록4	b	3.67	15.0	58.1	
합계(Σ)			75.0	268.3	
<조사자 의견>					
1. 상태평가지수(E ₃) 최댓값 (Max. Value) =				3.87	
2. 상태평가지수(E ₃) 최솟값 (Min. Value) =				3.24	
3. V ₁ = 0.3×(Max.-Min) = 0.3×(3.87-3.24) =				0.19	
4. V ₂ = Σ(E ₃ ×S) / (5×ΣS) = 268.3 / (5×75.0) =				0.72	
5. 개별시설의 상태평가지수(E _c) = Min.+V ₁ ×V ₂ = 3.24+0.19×0.72 =				3.38	
6. 개별시설의 상태평가결과 =				C	
안 전 성 평 가					
평가항목	평가결과	평가점수	평가항목	평가결과	평가점수
1. 월류에 대한 안전성 검토	a	5	5. 옹벽 내하력 검토	d	2
2. 활동에 대한 안전성 검토 (사면안정 해석)	b	4			
3. 누수에 대한 안전성 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 = 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 안전성평가지수(E _s) =				2.60	
3. 개별시설 안전성평가결과 =				C	
종 합 평 가					
1. 개별시설 종합평가지수(E ₄) = 최솟값 (E _c , E _s) =				2.60	
2. 개별시설 종합평가결과 =				C	

2) 5단계 종합평가 : 복합시설(複合施設) 평가표 작성

개별시설의 기능에 문제가 발생할 경우 복합시설의 목적수행에 미치는 영향을 판단하여 개별시설의 중요도를 반영한다. 각각의 제방에 대한 중요도는 제방의 길이에 대한 비율로서 정할 수 있으며, 책임기술자는 현장 여건에 따라 중요도를 20% 범위 내에서 조정할 수 있다.

복합시설의 평가는 복합부재 평가(3단계 종합평가)에서와 같은 방법으로 수행하며, 개별시설의 종합평가지수(E4)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 복합시설의 종합평가지수(E5)를 산출하고 종합평가결과를 결정한다.

5단계부터는 각각 다른 시설물의 종합평가결과를 취합하는 과정이다.

$$\triangleright \text{복합시설의 종합평가지수}(E5) = \sum(E4 \times A \times W) / \sum(A \times W)$$

여기서, E4 : 개별시설의 평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 9.69] 복합시설 평가표(예)

복 합 시 설	○○제방					표 번호
4단계 표번호	4-1, 4-2					5-1
개별시설	평가결과	평가지수 E ₄	조정계수 A	중요도(%) W	계산값 A×W	계산값 E ₄ ×A×W
제방1	C	2.60	3	60	180.0	468.0
제방2	B	3.54	2	40	80.0	283.2
합계(Σ)				100	260.0	751.2
<조사자 의견>						
1. 복합시설의 종합평가지수(E ₅) = $\sum(E_4 \times A \times W) / \sum(A \times W)$						
= 751.2 / 260 =						2.89
2. 복합시설의 종합평가결과 =						
						C

9.7 보수·보강 방법

제방 시설물의 주요 보수·보강 방법을 소개하면 다음과 같다.

9.7.1 제체

제체에서는 균열, 누수, 변형, 침하, 활동, 침식 그리고 풍화 등의 손상현상이 주요 대상이 된다.

일반적인 보수·보강방법은 다음같이 적용할 수 있다.

- 그라우팅공법, 치환공법
- 저수위조절
- 압성토공법
- 말뚝공법
- 아스팔트 및 점토차수공법
- 쉬트파일공법
- 토목섬유공법

9.7.2 배수통관

배수통관에 대한 보수는 하수관로 또는 상수관로의 보수공법을 적용하되, 가능하면 비 굴착에 의한 보수·보강공법을 적용토록 한다.

9.7.3 콘크리트구조물의 손상에 대한 일반적인 보수·보강공법

- 표면보호공법
- 단면보수공법
- 강판접착공법
- 프리스트레스 도입공법
- 콘크리트 덧붙이기공법