
제4장 댐

4.1 관리일반

4.2 현장조사

4.3 재료시험 항목 및 수량

4.4 안전성능 평가기준 및 방법

4.5 내구성능 평가기준 및 방법

4.6 사용성능 평가기준 및 방법

4.7 종합평가기준 및 방법

제4장 댐

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) 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.

4.1.2 용어 정의

- 다목적댐
 - 「댐 건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률」에 의하여 건설하는 댐으로 두 가지 이상의 목적을 갖는 댐을 말한다.
- 부댐
 - 소요 목적을 위해 본댐 외 하천을 횡단하거나 지형이 낮은 곳에 설치되는 시설물
- 취수시설
 - 생활, 공업, 농업, 하천유지용수 및 발전용수 등 각 목적에 적합한 용수를 안정적으로 취수, 공급할 수 있는 시설
- 수압터널 및 도수터널
 - 일반적으로 상수 및 각종 용수 또는 홍수조절 등의 목적으로 설치하는 터널로서 도로, 철도, 지하철 등과 같은 교통터널과는 달리 물이 흐르는 시설
- 공도교
 - 여수로 수문(월류웨어) 부분을 횡단하는 댐 제체의 부속구조물
- 스톱로그
 - 댐 여수로 수문 등의 보수나 점검 시에 수위 유지, 역류 방지 등을 위하여 상하류의 수압 평형상태에서 조작되는 수문
- 관리동·조작실 등 건축물
 - 댐의 관리 및 댐 수문 조작·운영 또는 스톱로그 등의 보관을 하기 위한 댐 시설에 속해 있는 건축물
- 추락방지시설
 - 공중(公衆)이 이용하는 난간, 점검로 등의 이용자 안전을 확보하기 위한 시설
- 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)
- 환기구 등의 덮개
 - 시설물의 출입구, 환기와 같은 시설물 유지관리 목적으로 보행자 또는 차량이동 구간에 설치된 환기구, 맨홀 등의 덮개(지지구조, 철물, 연결재, 걸침턱 등)

4.1.3 성능평가 실시 범위

댐의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같다.

- ① 기본 시설물을 제외한 시설물의 성능평가는 해당 시설물(상수도, 건축물, 옹벽 등)에 따라 실시하여야 한다. 다만, 사용성능평가는 본 세부지침에 따라 실시한다.
- ② 대상 시설물은 안전점검등 및 성능평가 비용의 산정기준에서 해당 시설물에 따라 예산을 확보하여야 한다.
- ③ 댐체와 별개로 설치된 공도교, 취수시설 등의 경우에는 본 실시범위 대상시설에서 제외할 수 있다.
- ④ 부대 시설물 및 기타 시설물이 「영」 제4조에 따른 제1종·제2종시설물에 해당되는 경우에는 「법」 제11조 및 제12조에 따라 제1종시설물은 제1종성능평가를 실시하여야 하고, 제2종시설물은 제2종성능평가를 실시하여야 한다.

[표 4.1] 성능평가 대상시설물의 세부범위

구분	부재명	성능평가		비고
		제1종성능평가	제2종성능평가	
기본 시설물	댐체	○	○	제1종성능평가 : 기본과업 제2종성능평가 : 기본과업
	여수로	○	○	
	기초 및 양안부	○	○	
	여수로 강재수문(문비)	○	○	
부대 시설물	부댐	○		제1종성능평가 : 선택과업 제2종성능평가 : 선택과업
	취수시설	○		
	수압터널 및 도수터널	○		
	발전소 구조물	○		
	공도교	○		
	스톱로그	○		
기타 시설물	관리동 등 건축물			제1종성능평가 : 선택과업 제2종성능평가 : 선택과업
	옹벽			
	절토사면			
공중이 이용하는 부위	추락방지시설	○	○	제1종성능평가 : 기본과업 제2종성능평가 : 기본과업
	도로포장	○	○	
	도로부 신축이음부	○	○	
	환기구 등의 덮개	○	○	

주) 선택과업은 별도 대가를 반영하여 실시

<해 설>

- 댐 여수로의 수문 또는 문비는 이하 ‘강재수문’으로 표기한다.

4.1.4 중대한 결함 등의 정도

가. 중대한 결함의 적용 범위

댐 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) 시설물의 기초세굴

- 상태안전성능 평가지표 중 필댐 여수로 감세공의 ‘플립버켓의 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 철근노출 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

나. 공중이 이용하는 부위의 적용 범위

댐 시설물의 공중의 안전에 영향을 미치는 것으로 인정되는 결함으로 대통령령으로 정하는 공중이 이용하는 부위의 적용 범위는 다음과 같다.

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

4.2 현장조사

4.2.1 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 결정 하며, 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 4.2] 필댐의 조사항목

구 분				조사항목	비고
안전 성능	상태 안전 성능	댐체 및 양안부	댐마루	◦ 종·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	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	
			조절부	◦ 에이프런 구조물 손상	
				◦ 피어와 벽체 구조물의 손상	
				◦ 월류부 웨어 구조물의 손상	

구 분				조사항목	비고
			도수로	◦ 강재수문가이드, 스톱로그가이드 또는 강재수문 지수판에서의 공동화 현상	
				◦ 바닥슬래브 부등침하, 들뜸, 단차	
				◦ 바닥슬래브 콘크리트 균열 및 손상	
				◦ 벽체 손상	
			감세공	◦ 횡방향 이음부 손상	
				◦ 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	
				◦ 직경감소	
		권양기 와이어로프		◦ 소선절단	
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 석괴댐(CFRD)인 경우 댐체 상류면에 대해 콘크리트 내구성능 조사 포함

[표 4.3] 공중이 이용하는 부위의 조사항목

구 분	조 사 항 목	비 고
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설의 상태 ◦ 도로부 포장 및 신축이음부 상태 ◦ 환기구 등의 덮개 상태 ◦ 기타조사	

2) 콘크리트댐

콘크리트댐의 조사항목은 다음과 같으며, 복합댐의 경우에는 필댐의 조사항목을 함께 반영한다.

[표 4.4] 콘크리트댐의 조사항목

구 분				조사항목	비고
안전 성능	상태 안전 성능	댐체 및 양안부	댐마루	◦ 균열 및 단차	
				◦ 수축이음부의 열림	
			상류면	◦ 수축이음부 열림	
				◦ 균열	
				◦ 박락	
			하류면	◦ 균열 및 단차	
				◦ 수축시공이음부 누수	
				◦ 수평시공이음부 누수	
				◦ 균열 및 박락	
		기초 및 양안부	◦ 양안부를 통한 과도한 침투		
			◦ 암반 불안정		
		여수로		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일	
		일반적 콘크리트 구조물		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일	
		기계설비		◦ 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		
	강재내구성능		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
사용 성능	운영성		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
	유지관리성		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		
	수요 및 용량		◦ 필댐 여수로 조사항목과 동일		

[표 4.5] 공중이 이용하는 부위의 조사항목

구 분	조 사 항 목	비 고
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설의 상태 ◦ 도로부 포장 및 신축이음부 상태 ◦ 환기구 등의 덮개 상태 ◦ 기타조사	

나. 제1종 성능평가의 조사항목

1) 필댐

필댐의 조사항목은 다음과 같으며, 여기에는 표면차수벽형 석괴댐 등이 포함된다.

[표 4.6] 필댐의 조사항목

구 분				조사항목	비고
안전 성능	상태 안전 성능	댐체 및 양안부	댐마루	◦ 종·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	
			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 ¹⁾	권양기	◦ 마찰부손상(시브, 감속기, 커플링)	
			강재수문/ 문틀	◦ 강재수문 변형, 누수, 마찰부 손상(롤러 힌지)	
				◦ 강재수문 부식	

구 분			조사항목	비고
	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		◦ 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	

주1) 상태안전성능에서 기계설비의 세부 조사사항은 아래와 같다.

주2) 필댐 중 표면차수벽형 석괴댐(CFRD)인 경우 댐체 상류면에 대해 콘크리트 내구성능 조사 포함

[표 4.7] 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 엔드 스피들(Rope End Spindle)	로프상태, 운전상태
강재수문 및 문틀	부식상태

[표 4.8] 공중이 이용하는 부위의 조사항목

구 분	조 사 항 목	비 고
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설의 상태 ◦ 도로부 포장 및 신축이음부 상태 ◦ 환기구 등의 덮개 상태 ◦ 기타조사	

2) 콘크리트댐

콘크리트댐의 조사항목은 다음과 같으며, 복합댐의 경우에는 필댐의 조사항목을 함께 반영한다.

[표 4.9] 콘크리트댐의 조사항목

구 분				조사항목	비고
안전 성능	상태 안전 성능	댐체 및 양안부	댐마루	◦ 균열 및 단차	
				◦ 수축이음부의 열림	
			상류면	◦ 수축이음부 열림	
				◦ 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	
		기계설비		◦ 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 조사항목과 동일		
	강재내구성능		◦ 필댐 조사항목과 동일		
사용 성능	운영성		◦ 필댐 조사항목과 동일		
	유지관리성		◦ 필댐 조사항목과 동일		
	수요 및 용량		◦ 필댐 조사항목과 동일		

[표 4.10] 공중이 이용하는 부위의 조사항목

구 분	조 사 항 목	비 고
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설의 상태 ◦ 도로부 포장 및 신축이음부 상태 ◦ 환기구 등의 덮개 상태 ◦ 기타조사	

4.2.2 현장조사 요령

가. 안전성능 평가

1) 자료검토

- 설계 및 시공 관련 자료(설계도, 지질도, 수리 및 구조계산서 등 포함)
- 건설 당시 기록(공사 기록사진, 항공사진 등)
- 수문·기상·지형 및 유량 자료 등
- 과거 주요 재해 현황(홍수·지진 등)
- 제반 설비
- 기존 평가자료(안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 등)
- 관리 및 운영자료(관리대장 및 연보 등)
- 보수·보강 이력 자료
- 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

○ 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.

○ 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.

○ 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.

○ 여수로

- 여수로는 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, 뒕채움재 초과 응력, 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 호안 상태를 점검한다.

○ 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

- 변위측량
- 저수지 내 퇴사량 조사
- 시추 및 토질 조사
- 수리·수문 조사 및 물리탐사 등

(나) 조사방법

- 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.
- 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.
- 시추 및 토질 조사
 - 현장 시추조사는 주로 구조물 및 기초지반의 주상도를 구하고, 시료를 채취하기 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.

○ 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 가능최대 홍수량을 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

- 콘크리트 비파괴강도
- 부재단면의 규격
- 철근배근상태
- 철근 부식도 시험
- 강재 접합부 검사(용접접합 등)
- 강재 부식 등(강재부식, 접합부 부식 등)
- 변위·변형
- 실내시험(콘크리트 코어 강도, 비중, 강재의 강도 등)
- 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 점검방법

- 콘크리트 비파괴강도
 - 콘크리트 비파괴강도는 반발경도시험 및 초음파전달속도시험 등을 수행하여 추정하며, 다른 비파괴시험을 사용하는 경우에는 책임기술자의 판단에 따른다.
- 부재단면의 규격
 - 외관조사 및 간단한 측정도구를 이용한다.
- 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 실시한다.
- 철근 부식도 시험
 - 외관조사에 의한 비파괴검사(잔연전위법 등)로 한다. 단, 균열 및 재료분리 등의 결함·손상이 발생한 부위와 건전부위를 각각 검사하여 비교한다.
- 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.

- 강재 부식 등(강재부식, 접합부 부식 등)
 - 외관조사 및 간단한 계측기구를 이용한다.
- 변위·변형
 - 외관조사 및 트랜시트 또는 이와 유사한 측정기구를 이용한다.
- 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

- 대기환경
 - 해안 이격 거리
 - 이산화황 농도(ppm)
 - 습도
- 열화환경
 - 염해환경
 - 동해환경
- 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 방법

- 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.
- 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.
- 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.

○ 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.

○ 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

2) 외관조사 요령

(가) 점검항목

- 강재의 도장열화(발청, 박리, 균열, 부품, 변색·백아화)
- 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 조사대상 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

- 강재 도장 두께
- 권양기 와이어로프 직경감소 및 소선절단
- 피복(표면부) 콘크리트 품질
- 콘크리트 탄산화 깊이
- 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

- 강재 도장 두께
 - 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기에 의해 측정한다.
- 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.
- 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(표면부) 콘크리트의 내구성능을 평가한다.
 - 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우는 강도를 추정할 필요가 없으며, 반발경도값을 직접 비교하여 판정한다.
- 콘크리트 탄산화 깊이
 - 탄산화 깊이 측정은 KS 규격에 따라 실시하며, 시료를 직접 채취하거나 일부 떼어내기 혹은 드릴링을 통해 시료를 확보하여 적절한 측정 장비를 이용하여 탄산화 깊이를 측정한다.
- 콘크리트 염화물 침투량(콘크리트 염화물 함유량)
 - 콘크리트 내의 염화물 침투량(염화물 함유량)에 관한 KS 규격에 따라 공인 시험기관에서 실시한다.

다. 사용성능 평가

1) 자료조사

(가) 자료조사 항목

- 계측기 작동률
- 수질
- 강채수문 및 권양기 작동유무
- 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

(나) 자료조사 방법

- 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.
- 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.
- 강채수문 및 권양기 작동 유무
 - 권양기와 관련된 시설물의 개보수 이력을 조사한다.
 - 필요 시 현장조사를 통해 조사할 수 있다.
- 현장제어반 및 조작반
 - 현장제어반 및 조작반이 신규로 설치되었는지 여부를 조사한다.
 - 필요 시 현장조사를 통해 조사할 수 있다.
- 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

2) 현장조사

(가) 현장조사 항목

- 강채수문 및 권양기 작동 유무(기계)
- 현장제어반 및 조작반
- 구동모터 및 브레이크
- 강채수문 및 권양기 작동 유무(전기)
- 계측기 작동률
- 점검시설

(나) 현장조사 방법

- 강채수문 및 권양기 작동 유무(기계)
 - 관리주체와의 협의에 따라 필요 시 실제 강채수문 및 권양기 작동 유무를 조사할 수 있다.
 - 강채수문별로 상승·정지·재상승과 하강·정지·재하강으로 구분하여 실행하고,

권양기의 작동상태 및 이음발생 등을 확인한다.

- 진동소음의 경우 권양기의 작동시험을 시행하는 중에 모터부 하측 감속기부하측에 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.
- 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.
- 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, 전력 분석기등을 활용하여 구동모터의 정·역(권상·권하)상태에서 전압 및 전류를 1회이상 측정하여 이때 측정값이 정격전압·전류를 초과하는지 등을 확인한다.
- 강재수문 및 권양기 작동 유무(전기)
 - 현장제어반, 모터·브레이크, 개도계, 리미트 S/W를 점검한다.
- 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.
- 점검시설
 - 시설물 조사에 필요한 접근로 및 점검로의 유무와 상태를 조사한다.

라. 공중이 이용하는 부위

- 책임기술자는 추락방지시설, 도로부 포장 및 신축이음부, 환기구 등의 덮개와 같은 공중이 이용하는 부위가 대상시설물에 해당되는지 여부를 확인하고, 해당 부위의 결함조사를 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 등 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 외관조사 망도 및 사진대지를 작성하여 「법」 제22조제2항에 따라 관리주체에게 통보하여야 한다.

4.3 재료시험 항목 및 수량

4.3.1 제2종성능평가

가. 재료시험 항목

[표 4.11] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능
기본 과업	콘크리트	- 콘크리트 강도 - 반발경도시험¹⁾	- 피복(표면부) 콘크리트 품질 - 반발경도시험¹⁾
			탄산화깊이
선택 과업	콘크리트	- 콘크리트 강도 - 국부파괴법 : 코어강도 - 비파괴시험 : 초음파전달속도시험 - 철근탐사시험 - 철근 배근상태 - 철근 피복두께	염화물 침투량
	강재	—	도장두께²⁾
	기전설비	—	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 건전부, 비건전부를 구분하여 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 건전부와 비건전부는 각각 최소 1개소 이상 포함되어야 한다.

주2) 도장두께는 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정한다.

나. 재료시험 기준수량

[표 4.12] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	필댐	콘크리트댐
반발경도시험 ¹⁾	- 개별시설별 3회 이상 - 여수로 : 개별시설별 3회 이상	- 월류부 : 블록별 1회 이상 - 비월류부 : 2~3블록별 1회 이상
탄산화 깊이 측정	- 개별시설별 1회 이상 - 여수로 : 개별시설별 1회 이상	월류부 : 블록별 1회 이상

주1) 측정치는 콘크리트 강도 및 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가 시 활용할 수 있다.

[표 4.13] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	필댐/콘크리트댐	비 고
코어채취 ¹⁾	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 강도 및 염화물량 시험 등
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 실내 시험에 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.

4.3.2 제1종성능평가

가. 재료시험 항목

[표 4.14] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능	사용성능
기본 과업	콘크리트	◦콘크리트강도 - 비파괴시험 : 반발경도¹⁾, 초음파속도 ◦철근탐사시험²⁾ - 철근 배근상태, 철근 피복두께 ◦철근부식도 조사 ◦균열깊이 조사	◦피복(표면부) 콘크리트 품질 - 반발경도¹⁾ ◦탄산화깊이	—
	강재(수문)	—	◦도장두께 ³⁾	—
	기계설비	—	—	◦강재수문 작동유무
	전기설비	—	—	◦강재수문 작동유무
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 건전부, 비건전부를 구분하여 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 건전부와 비건전부는 각각 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 4.15] 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 조사결과 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 4.16] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	필댐	콘크리트댐	비 고
코어채취 ¹⁾	◦과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		◦ 실내시험 선택과업 ◦ 강도 및 염화물량 시험 등
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) 댐 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 0.1m 간격씩 3방향에서 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 여부를 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 접지 시스템별로 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 대수 별로 1회 이상 측정

4.4 안전성능 평가기준 및 방법

4.4.1 상태안전성능 평가기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가기준 및 방법

1) 일반

댐은 구조형식 및 축조재료, 세부부재 구분에 따라 상태안전성능 평가기준을 제시하였다. 상태안전성능 평가결과 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 평가결과를 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 뿔댐, 콘크리트댐으로 나누어 평가하며, 각각 댐체, 양안부, 여수로, 일반적인 콘크리트 구조물 등으로 나누어 a~e등급까지의 범위를 적용한다. 상세한 평가시설 및 부재는 4.2.1절에 제시한 바와 같다.

나. 시설 및 부재별 상태안전성능 평가기준

1) 필댐

(가) 댐마루

[표 4.17] 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 4.18] 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<0.1mm, 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 4.31]의 수처리구조물에 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 4.19] 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 4.20] 기초 및 양안부 평가기준

평가지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
침하	중요 결함	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 결함	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 결함	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 4.21] 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 4.22] 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 4.23] 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 4.24] 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 4.25] 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 4.26] 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 4.27] 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 4.28] 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 ≤ 5mm 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	e	1	○에이프런 구조물의 손상 및 이음부 균열을 통한 침투, 부등침하 > 5mm 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 > 2mm 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	e	1	○피어와 벽체 구조물의 손상 및 이음부 균열, 시공이음부 단차 > 5mm 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>2mm, 시공이음부 누수 등 노후화가 심각한 상태
		2.0	e	1	○월류부 웨어 구조물의 손상 및 균열, 박락, 철근노출, 이음부의 균열을 통한 누수, 시공이음부 단차 > 5mm 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 4.29] 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 4.30] 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 4.31] 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 확인한 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, 건설기준코드(구 콘크리트구조 설계기준, 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 4.32] 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) 강제수문 및 문틀(기계설비)

[표 4.33] 강제수문 및 문틀 평가기준

평가 지표	평가 유형	영향 계수	평가 기준	평가 점수	평가기준
강제수문 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
강제수문 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, 강제수문의 작동에는 이상이 없는 상태
		1.7	d	2	○ 고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 강제수문 작동이 불량한 상태
		3.0	e	1	○ 고착으로 회전이 불량(마찰음 발생 등)하여 작동이 불가능한 상태

6) 공통 - 공중이 이용하는 부위

[표 4.34] 공중이 이용하는 부위 평가기준

평가항목	평가등급	평가기준
추락방지 시설	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 발생 할 수 있어 즉각적인 보수·보강이 필요한 상태
	e	○ 추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태
도로포장	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 8cm이상의 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
도로부 신축이음부	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 50cm이하의 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
환기구 등의 덮개	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

4.4.2 구조안전성능 평가기준 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 평가결과 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 평가기준

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 4.35] 계측데이터 검토에 대한 평가기준

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 장우 등의 외부 수량이 포함될 수 있으므로 해석에 따른 누수량으로 댐체의 안전성을

판정할 때에는 기술자의 판단이 필요하다.

필댐의 제체 및 기초는 침투를 완전히 차단할 수 없기 때문에 침투에 의한 침투수압, 동수경사가 어느 한도를 넘어서면 파이핑과 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 파이핑의 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 파이핑이 발생한다고 본다.

$$V = \sqrt{\frac{Wg}{Ar_w}}$$

여기서, V : 한계유속(cm/s)

W : 토립자의 수중중량(g)

g : 중력가속도(980cm/s²)

A : 물의 흐름을 받는 토립자의 면적(cm²)

r_w : 물의 단위체적중량(g/cm³)

- 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 4.36]는 토립자 입경에 의한 한계유속 기준표로서 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 4.37]의 기준으로 평가한다.

[표 4.36] 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 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 사면 활동의 안전성 검토 시 입력자료로 활용한다.

[표 4.37] 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 활동과괴에 대한 안전성의 검토에 고려되는 하중은 자중, 정수압, 간극수압 및 지진관성력으로 하고 이를 저수지의 상태에 따라 적용해야 한다. 활동과괴에 대한 안정계산에 사용하는 조건은 다음과 같으며, 하중조합은 건설기준코드(구 댐 설계 기준)을 참고하여 적용한다.

[표 4.38] 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 체체의 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.

○ 체체의 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 수치 해석적인 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 4.39] 사면활동 기준 최소안전율 평가기준

구분	체조건	저수상태	지진	안 전 율		비 고
				상류	하류	
1	완성직후 (간극수압 최대)	바닥상태	있음	1.3	1.3	
2	완성직후	일부저수1)	없음	1.3	—	
3	평상시	설계홍수위	없음	1.2	1.2	
4	평상시	만 수	있음	1.2	1.2	
5	평상시	일부저수2)	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 4.40] 사면활동 안전성 검토 평가기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상이며, 단면손실이 없는 경우
b	4	최소안전율 기준에 대해 산출된 안전율이 100% 이상이나, 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 내진성능을 확보하고 있는 것으로 평가한다. 동적해석 결과, 내진성능 확보 시 진도법에 의한 평가등급을 최대 “b”까지 상향 조정할 수 있다. 평가기준을 만족하지 못할 시에는 진도법에 의한 평가결과를 그대로 적용하기로 한다.

(라) 응력-변형의 안전성 분석

- 필댐은 점토, 모래, 자갈 등 자연재료를 이용하여 축조된 구조물로서 압축성을 가지고 있는 재료적 특성으로 인하여 성토 및 담수, 운영 중 수위변화 등의 과정을 통하여 침하, 융기, 국부적인 응력집중 및 균열, 응력전이에 의한 수압할렬 등이 발생할 수 있다.
- 따라서 과도한 변형, 균열, 누수량의 증가 등 댐체 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 댐체의 지반 공학적 특성을 반영할 수 있는 모델을 적용해야 하며, 이 때 필요한 매개변수는 실내 및 현장시험, 기존 댐의 관측기록 등을 통하여 결정할 수 있다. 또한 성토

속도, 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 판단 할 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 다다른거나, 주응력이 수압 보다 작을 경우에는 파이핑 발생 가능성이 있으므로 응력상태에 따른 국부파괴 가능성 및 수압할렬 발생가능성을 다음 표의 기준으로 평가한다.

[표 4.41] 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 평가결과를 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 「시특법」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 4.42] 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 평가기준(A~E)

[표 4.43] 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 4.44] 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 평가결과는 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 4.45] 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 관련인자로 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. 외적 안정해석과 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 최고 수위 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 최고 수위 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 4.46] 활동에 대한 평가기준

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 4.47] 전도 및 지지력에 대한 평가기준

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 평가방법은 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 동적탄성해석을 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 내진성능을 확보하고 있는 것으로 평가한다.
 - 동적해석 결과 내진성능 확보 시 유사정적해석에 의한 외적 안정성 평가등급을 최대 “b”까지 상향 조정할 수 있다. 동적해석 결과 구조 안전성을 만족하지 못한 것으로 평가된 경우 유사정적해석에 의해 산정된 평가등급을 그대로 적용한다.
 - 동적해석 시 책임기술자의 판단에 따라 동적소성해석방법을 사용할 수 있다.

[표 4.48] 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 전단응력이 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 안전성 평가에 대한 조항을 참조하여 수행한다.
- 내하력 검토 결과에 대한 평가는 다음 표를 기준으로 실시하며 평가등급은 안전측을 고려하여 각 해석 단면 및 수위조건에서 가장 불안정한 상태를 나타내는 조건의 등급을 적용한다.
- 지진 시 월류부 내하력 검토는 유사정적해석 방법을 적용하는 것으로 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 4.49] 내하력 검토에 대한 평가기준

평가기준	평가점수	평가 내용	비 고
a	5	SF > 1.0으로 주부재에 손상이 없는 경우	SF(안전율)= 내하력 발생하중
b	4	SF > 1.0으로 주부재에 손상(중요결함)이 있는 경우	
c	3	$0.9 \leq SF < 1$	
d	2	$0.75 \leq SF < 0.9$	
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. 동적해석결과가 [표 4.49]의 기준을 만족할 경우 내진성능을 확보하고 있는 것으로 평가한다.
 - 동적해석 결과 구조 안전성을 확보한 것으로 평가된 경우 유사정적해석에 의한 내하력 평가 등급을 최대 “b”까지 상향 조정할 수 있다. 동적해석 결과 구조 안전성을 만족하지 못한 것으로 평가된 경우 유사정적해석에 의해 산정된 평가등급을 그대로 적용한다.

(다) 수문학적 안전성 평가기준

- 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 평가결과를 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, 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 안전성 평가결과를 결정한다.

[표 4.50] 안전성 평가지수에 따른 평가기준

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>

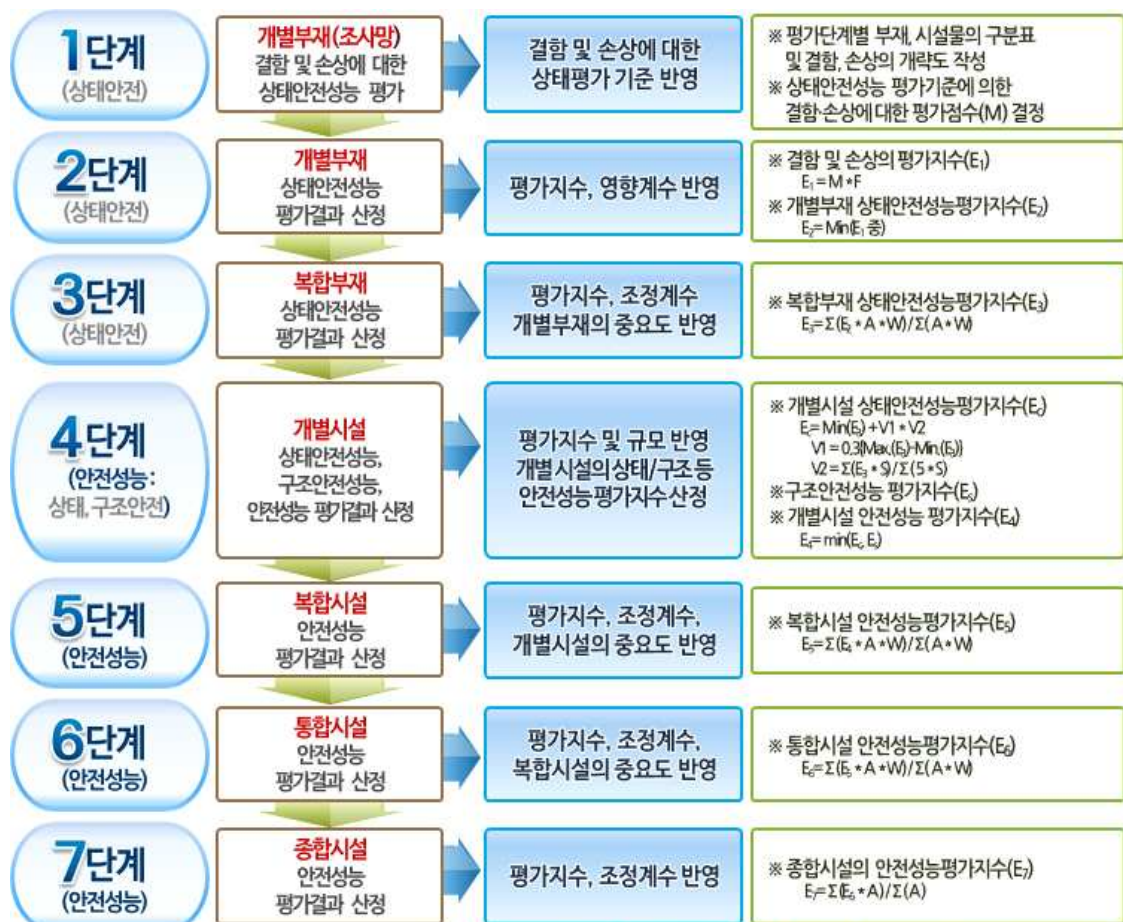
- 응력비는 부재의 허용응력/발생응력에 대한 비율로 산출

4.4.3 안전성능 평가결과 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. 다만, 부대시설물 및 기타시설물을 선택과업으로 수행하는 경우 중합시설물(7단계)에 해당하는 시설물로 간주된다.

외관조사망도는 개별부재에 대하여 작성하는 것을 원칙으로 하고 필요 시 개별부재의 크기, 면적에 따라 부위별로 분할하여 작성한다.



Note; $E_1 \sim E_7, E_8, E_9$: 평가지수, M: 상태평가 점수, F: 영향계수, A: 조정계수, W: 중요도

[그림 4.1] 댐 시설물 단계별 평가 절차

나. 평가단계별 구분

1) 기본시설물

시설물의 안전성능을 평가하기 위하여 다음 표와 같이 평가단계별 구분표를 작성한다.

[표 4.51] 기본시설물 평가단계별 구분표

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분				
평가구분		평가대상					
상태 안전성능	1단계	상태변화 ¹⁾ (결합, 손상)	블록1 (댐마루1 ... 상류면1 ... 하류면1 ...) 블록2 (댐마루2 ... 상류면2 ... 하류면2 ...)	좌안 옹벽 1,2,...우안 옹벽 1,2,... 바닥슬래브 1,2,...	웨어 1,2,... 피어 1,2,... 좌안 옹벽 1,2,... 우안 옹벽 1,2,...	바닥 슬래브 1,2,... 우안 옹벽 1,2,... 좌안 옹벽 1,2,...	바닥 슬래브1,2, ... 우안 옹벽 1,2,... 좌안 옹벽 1,2,... 날개벽등
	2단계	개별부재					
		3단계	복합부재	블록 1,2,3,...	접근 수로	조절부	급경사수로
안전성능 (상태안전/ 구조안전)	4단계	개별시설	필댐:제체1, <제체2> (콘크리트댐 : 비월류부)	필댐 : 여수로1 <여수로2> (콘크리트댐 : 월류부)			
안전성능	5단계	복합시설	제체	여수로, <기계설비>			
	6단계	통합시설	00 댐(기본시설물), <부대시설물>, <기타시설물>				
	7단계	종합시설	00 댐				

2) 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 4.52] 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(가이드 플레이트포함)	
	3단계	복합부재	권양기1, 강재수문1	권양기2, 강재수문2	...
안전성능 (상태안전/ 구조안전)	4단계	개별시설	기계설비1	기계설비2	...
안전성능	5단계	복합시설	기계설비, <여수로>		
	6단계	통합시설	00 댐(기본시설물), <부대시설물>, <기타시설물>		
	7단계	종합시설	00 댐		

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

3) 부대시설물

[표 4.53] 부대시설물 평가단계별 구분표

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분							
평가구분		평가대상								
상태 안전성능	1단계	상태변화 ¹⁾ (결합, 손상)	블록 1,2...	슬래브 1,2... 벽체 1,2... 기둥 1,2,... 보 1,2,...)	교량 적용	취수구 1,2... 권양기 1,2... 강재수문 1,2...	블록 1,2...	건축물 적용	교량 적용	스톱로그 1,2... 개폐장치 1,2... 보관시설 1,2...
	2단계	개별부재								
	3단계	복합부재	블록 1,2,...	취수탑 1,2,...	취수구 1,2... 권양기 1,2... 강재수문 1,2...	구간1,2, ...	스톱로그 개폐장치 보관시설			
안전성능 (상태안전/ 구조안전)	4단계	개별시설	부담 1,2,...	취수시설 1,2,...			도수터널 1,2... 수압철관 1,2... 조압수조 1,2...			스톱로그 1,2,...
안전성능	5단계	복합시설	부담	취수시설			수압터널 및 도수터널	발전소 구조물	공도교	스톱로그
	6단계	통합시설	00 댐(부대시설물), <기본시설물>, <기타시설물>							
	7단계	종합시설	00 댐							

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

4) 기타시설물

[표 4.54] 기타시설물 평가단계별 구분표

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분		
평가구분		평가대상			
상태 안전성능	1단계	상태변화 ¹⁾ (결함, 손상)	건축물 적용	옹벽 적용	절토사면 적용
	2단계	개별부재			
	3단계	복합부재			
안전성능 (상태안전/ 구조안전)	4단계	개별시설			
안전성능	5단계	복합시설	관리동·조작실 등 건축물	옹벽	절토사면
	6단계	통합시설	00 댐(기타시설물), <기본시설물>, <부대시설물>		
	7단계	종합시설	00 댐		

주1) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

다. 상태안전성능 평가기준

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 평가결과 및 평가점수를 부여한다.
- 손상상태 평가표에는 평가항목에 없는 상태변화라 할지라도 모두 기록하는 것을 원칙으로 한다.

[표 4.55] 부재별 손상상태 평가표

부위(망번호) / 개별부재		복합부재 / 개별시설물			표 번호
블록1 / 댐마루		블록1 / 제체			No. 1-1
※ 개략도 작성 시 규격용지를 횡으로 사용할 경우 또는 부위별로 여러 장일 경우는 손상에 일련번호를 매기고, 별도의 용지에 아래의 조사결과표를 개별부재에 대하여 작성					
조 사 결 과 표					
번 호	상태변화 종류	상태변화 내용	단 위	크 기	평가결과
①	균열	종방향균열	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 평가결과를 결정한다.

[표 4.56] 상태안전성능 평가결과별 평가지수 및 평가유형별 영향계수

상태안전성능 평가결과별 평가지수 범위		구 분		영 향 계 수(F)				
평가기준	평가지수 ($E_1 \sim 7, E_s, E_c$)	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 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 4.57] 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 $E_1 = M \times F$
종방향 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 = 개별부재의 상태안전성능 평가결과 =					2.0 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 평가결과를 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 4.58] 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 4.59] 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 4.60] 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×W	E ₂ ×A×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) = Σ(E ₂ ×A×W)/Σ(A×W) = 1,021.2/406.0=						2.52
2. 복합부재의 상태안전성능 평가결과 =						c

4) 4단계 상태안전성능 평가 : 개별시설(個別施設) 평가표 작성

- 댐의 제체는 개별시설로서 동일기능을 수행하는 복합부재(블록1, 블록2, …)의 집합으로 구성되어 있다.
- 개별시설의 평가는 복합부재의 중요도는 같다는 가정하에 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E₃)에 규모(길이, 면적, 부피, Capacity 등)를 반영하여 개별시설의 상태안전성능 평가지수(E_c)를 산출하고 상태안전성능 평가결과를 결정한다. 댐 시설물에서 규모(S)값은 조사망 면적(m²)을 사용하는 것을 원칙으로 하고, 책임 기술자의 판단에 따라 길이, 부피 등을 사용할 수 있다.
- 또한 개별시설의 평가단계에서는 구조안전성능 평가결과를 반영하여 종합평가를 수행한다.

$$\text{개별시설의 상태안전성능 평가지수}(E_c) = \text{Min} + V_1 \times V_2$$

$$\text{여기서, } V_1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$$

$$V_2 = \sum(E_3 \times S) / (5 \times \sum S)$$

S : 규모

Max : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E₃) 최댓값

Min : 복합부재의 상태안전성능 평가지수(E₃) 최솟값

[표 4.61] 취수시설 중요도

구 분	기계설비	취수탑	관리교	비 고
중요도	65 ±13(20%)	20 ±4(20%)	15 ±3(20%)	

[표 4.62] 개별시설 평가표 (4단계평가표 부분 예시)

개 별 시 설	제체1			
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 _e) = Min.+V ₁ ×V ₂ = 2.52+0.41×0.68 =				2.80
6. 개별시설의 상태안전성능 평가결과 =				c

라. 구조안전성능 결과산정 방법

1) 구조안전성능 결과산정

- 구조물의 각종 해석을 통하여 안전성 평가기준에 따른 각각의 안전성 평가결과가 결정되면 이들을 종합하여 하나의 구조안전성능 평가결과를 결정하기 위하여 본 평가체계에서 다음과 같은 수식을 사용한다.

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

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 평가결과 중 가장 낮은 안전성 평가결과보다 다소 상향된 결과로 평가된다.
- 검토단면이 다수인 경우도 각 검토단면의 안전성 평가결과를 하나의 검토항목으로 간주하여 위의 식에 의해 최종적인 전체 구조물의 구조안전성능 평가결과를 결정할 수 있다.
- 구조안전성능 평가는 각 시설물의 개별부재 또는 복합부재에 대한 각종 해석(구조, 수리해석 등)에 의한 안전율을 계산하여 각각의 안전성 평가기준에 따른 구조안전성능 평가결과를 결정한 후 위의 식으로 개별시설물의 구조안전성능 평가지수를 산출한다.
- 또한 다음에 제시된 구조안전성능 평가지수 범위에 따른 안전성 평가기준에 의해 개별시설물의 구조안전성능 평가결과를 결정한다.

[표 4.63] 구조안전성능 평가지수에 따른 구조안전성능 평가기준

구조안전성능 평가지수의 범위	구조안전성능 평가기준	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 4.64] 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 $Es = Min$ $N=2$ 이면 $Es = Min + 0.3 \times (Max - Min)$ 1.2) $N>2$ 이면 $Es = Min + 0.3 \times (Max - Min) \times \sum M / (5 \times (N-2))$ (Max, Min = 평가점수 최대, 최솟값 : M = 최대, 최솟값을 제외한 나머지 중간값)					
2. 개별시설 구조안전성능 평가지수(Es) =					3.18
3. 개별시설 구조안전성능 평가결과 =					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 4.65] 안전성능평가 종합결과 산정 기준

안전성능 평가지수(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 평가결과산정

- 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 평가결과를 결정하고, 평가단계별로 그 결과를 취합하여 평가를 실시한다.
- 안전성능 평가결과를 결정하기 위해 시설물별 상태안전성능 평가 및 구조안전성능 평가결과로 산출된 상태안전성능 평가지수와 구조안전성능 평가지수를 사용하며, 이 값 중에서 작은 값을 개별시설의 평가지수(E_4)로 적용하여 평가지수에 따른 종합평가기준에 따라 평가대상 시설물에 대한 평가결과를 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 평가결과의 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.

[표 4.66] 상태안전성능과 구조안전성능 평가결과 종합

상태안전성능 평가					
복합부재명	평가결과	평가지수	규 모(m²)	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 평가결과 =				c	
구조안전성능 평가					
평가항목	평가결과	평가점수	평가항목	평가결과	평가점수
1. 계측데이터	c	3			
2. 사면안정해석	b	4			
3. 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) =				3.18	
3. 개별시설 구조안전성능 평가결과 =				c	
종 합 평 가					
1. 개별시설 안전성능 평가지수(E ₄) = 최솟값 (E _c , E _s) =				2.80	
2. 개별시설 안전성능 평가결과 =				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 평가결과를 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%)
- 제체가 다수인 경우, 중요도는 각각의 길이, 면적, 체적 등의 비율로 중요도를 배분할 수 있다. 여수로가 다수인 경우, 중요도는 각각의 면적 또는 여수로 설계 방류량 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 4.67] 복합시설 평가표(예1)

복 합 시 설		제 체				표 번 호
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 평가결과 =						C

[표 4.68] 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×W	E ₄ ×A×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 ₆) $= \Sigma(E_4 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 722.5 / 200 =$ 2. 복합시설의 안전성능 평가결과 =						3.61 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(E₅)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 통합시설의 안전성능 평가지수(E₆)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.

- 통합시설의 안전성능평가지수(E₆) = $\Sigma(E_5 \times A \times W) / \Sigma(A \times W)$

여기서, E₅ : 복합시설의 평가지수

A : 조정계수

W : 중요도

[표 4.69] 기본시설물 중요도

구 분	제체	여수로	비고
필댐	74 ±15(20%)	26 ±5(20%)	
콘크리트 댐	51 ±10(20%)	49 ±10(20%)	

[표 4.70] 부대시설물 중요도

구 분	부담	취수시설	수압터널 및 도수시설	발전소 구조물	공도교	스톱로그	비고
중요도	36 ±7.2(20%)	16 ±3.2(20%)	21 ±4.2(20%)	11 ±2.2(20%)	8 ±1.6(20%)	8 ±1.6(20%)	

<해 설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다

[표 4.71] 기타시설물 중요도

구 분	관리동·조작실 등 건축물	옹벽	절토사면	비고
중요도	21 ±4.2(20%)	41 ±8.2(20%)	38 ±7.6(20%)	

<해 설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다

[표 4.72] 기본시설물 통합시설 평가표(예)

통 합 시 설	○○댐(기본시설물)					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×W	E ₅ ×A×W
제 체	c	3.10	3	74	222.0	688.20
여 수 로	b	3.61	2	26	52.0	187.72
합계(Σ)				100	279.0	875.92
<조사자 의견>						
1. 통합시설의 안전성능 평가지수(E ₆) $= \Sigma(E_5 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 875.92 / 279.0$ 2. 통합시설의 안전성능 평가결과 =						3.20 C

[표 4.73] 부대시설물 통합시설 평가표(예)

통 합 시 설	○○댐(부대시설물)					표 번호
5단계 표번호	5-11, 5-12, 5-13					No. 6-2
복합시설	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E ₅	A	W	A×W	E ₅ ×A×W
부담	c	3.34	3	36	108.0	360.72
취수시설	d	2.36	6	16	96.0	226.56
수압터널 및 도수터널	c	3.36	3	21	63.0	211.68
발전소 구조물	c	3.41	3	11	33.0	112.53
공도교	b	3.64	2	8	16.0	58.24
스톱로그	c	3.45	3	8	24.0	82.8
합계(Σ)				100	340.0	1052.53
<조사자 의견>						
1. 통합시설의 안전성능 평가지수(E ₆) $= \Sigma(E_5 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 1052.53 / 340.0$ 2. 통합시설의 안전성능 평가결과 =						3.10 C

[표 4.74] 기타시설물 통합시설 평가표(예)

통 합 시 설	○○댐(기타시설물)					표 번호
5단계 표번호	5-21, 5-22, 5-23					No. 6-3
복합시설	평가결과	평가지수	조정계수	중요도(%)	계산값	계산값
		E ₅	A	W	A×W	E ₅ ×A×W
관리동 등 건축물	c	3.41	3	21	63.0	214.83
옹벽	c	3.45	3	41	123.0	424.35
절토사면	c	3.25	3	38	114.0	370.5
합계(Σ)				100	300.0	1009.68
<조사자 의견>						
1. 통합시설의 안전성능 평가지수(E ₆) $= \Sigma(E_5 \times A \times W) / \Sigma(A \times W) = 1009.68 / 300.0$ 2. 통합시설의 안전성능 평가결과 =						3.37 C

- 부대시설물 및 기타시설물의 통합시설물 평가를 위하여 결과 판정 시 다음과 같이 환산하여 평가한다.

[표 4.75] 교량 평가지수 환산식

안전성능 평가지수(E)	환산 평가점수	환산식
$0 \leq E < 0.13$	$4.5 \leq E \leq 5.0$	$4.5 + 3.85 \times (0.13 - x)$
$0.13 \leq E < 0.26$	$3.5 \leq E < 4.5$	$3.5 + 7.70 \times (0.26 - x)$
$0.26 \leq E < 0.49$	$2.5 \leq E < 3.5$	$2.5 + 4.35 \times (0.49 - x)$
$0.49 \leq E < 0.79$	$1.5 \leq E < 2.5$	$1.5 + 3.33 \times (0.79 - x)$
$0.79 \leq E$	$1.0 \leq E < 1.5$	$1.0 + 2.38 \times (1.0 - x)$

[표 4.76] 터널, 옹벽, 절토사면 평가지수 환산식

안전성능 평가지수(E)	환산 평가점수	환산식
$0 \leq E < 0.15$	$4.5 \leq E \leq 5.0$	$4.5 + 3.33 \times (0.15 - x)$
$0.15 \leq E < 0.30$	$3.5 \leq E < 4.5$	$3.5 + 6.67 \times (0.30 - x)$
$0.30 \leq E < 0.55$	$2.5 \leq E < 3.5$	$2.5 + 4.00 \times (0.55 - x)$
$0.55 \leq E < 0.75$	$1.5 \leq E < 2.5$	$1.5 + 5.00 \times (0.75 - x)$
$0.75 \leq E$	$1.0 \leq E < 1.5$	$1.0 + 2.00 \times (1.0 - x)$

[표 4.77] 건축물 평가지수 환산식

안전성능 평가지수(E)	환산 평가점수	비 고
$0 \leq E < 2$	$4.5 \leq E \leq 5.0$	$4.5 + 0.25 \times (2 - x)$
$2 \leq E < 4$	$3.5 \leq E < 4.5$	$3.5 + 0.50 \times (4 - x)$
$4 \leq E < 6$	$2.5 \leq E < 3.5$	$2.5 + 0.50 \times (6 - x)$
$6 \leq E < 8$	$1.5 \leq E < 2.5$	$1.5 + 0.50 \times (8 - x)$
$8 \leq E$	$1.0 \leq E < 1.5$	$1.0 + 0.25 \times (10 - x)$

7) 7단계 안전성능 평가 : 종합시설(綜合施設) 평가표 작성

- 댐은 유지관리 방법이 다른 통합시설(기본시설물, 부대시설물, 기타시설물)로 구성되어 있는 종합시설에 해당한다. 이들은 어느 시설이든 문제가 발생할 때 종합시설의 안전과 목적수행에 지장이 발생하므로 통합시설의 안전성능 평가지수(E_6)에 중요도를 반영하여 통합시설의 안전성능 평가지수(E_7)를 산출한다.
- 이때 통합시설의 중요도의 합은 100이 되도록 규정하고, 통합시설의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있는 경우에는 규정된 값의 20% 범위 내에서 조정할 수 있다.
- 댐 시설물의 안전성능 평가는 종합시설 평가표(7단계평가)를 작성하는 것으로 종료한다.

[표 4.78] 종합시설 중요도

구 분	기본시설물	부대시설물	기타시설물	비고
필댐	85 ±17(20%)	10 ±2(20%)	5 ±1(20%)	
콘크리트댐	84 ±17(20%)	11 ±2(20%)	5 ±1(20%)	

[표 4.79] 종합시설 평가표(예)

종합시설	○○댐			표 번호
6단계 표번호	6-1, 6-2, 6-3			No. 7-1
통합시설	평가결과	평가지수	중요도(%)	계산값
		E_7	W	$E_6 \times W$
기본시설물	C	3.20	85	2.72
부대시설물	C	3.10	10	0.31
기타시설물	C	3.37	5	0.17
합계(Σ)			100.0	3.20
<조사자 의견>				
1. 종합시설의 안전성능 평가지수(E_6) $= 3.20 \times 0.85 + 3.10 \times 0.10 + 3.37 \times 0.05 =$ 2. 종합시설의 안전성능 평가결과 =				3.20 C

4.5 내구성능 평가기준 및 방법

4.5.1 일반

댐의 내구성능평가는 크게 강재내구성능평가 및 콘크리트 내구성능평가 분야로 구성된다. 댐 시설물의 경우 강재내구성능평가 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 강재내구성능과 콘크리트 내구성능에 대한 가중치를 적용하여 전체 댐 시설물에 대한 최종 내구성능 결과를 도출한다.

4.5.2 강재내구성능 평가 지표 및 기준

가. 개요

강재내구성능 평가항목은 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 강재내구성능 평가단계에서 제외할 수 있다. 다만, 평가에서 제외된 경우라 하더라도 조사된 내용은 보수보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.

[표 4.80] 댐 강재내구성능 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. 강제내구성능 평가 성능지표 및 기준

1) 도장열화

(가) 발청(표면부식, 녹)

[표 4.81] 발청 평가기준(강재수문)

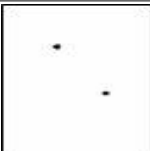
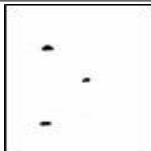
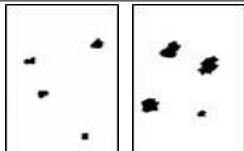
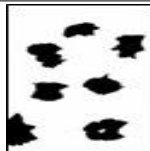
평가 기준	평가내용	
	발청 면적	외관 상태
a	0.05% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 등급 1)
b	0.05 이상~0.5% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 등급 2)
c	0.5 이상~5.0% 미만	확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 3)
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 4/5)
e	—	—

발청			
표준사진 등급 1	표준사진 등급 2	표준사진 등급 3	표준사진 등급 4/5
			

(나) 도장 박리

[표 4.82] 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 4.83] 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 4.84] 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 4.85] 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	—	—



<해 설>

- 각 표준사진에서 최우측단의 색상이 도장 본래의 색에 해당하며, 좌측의 색상은 도장 열화수준에 따라 구분됨

2) 도장두께

[표 4.86] 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 지방서) 및 시공기준 등 대비 허용두께 불만족 비율

3) 권양기 와이어로프

(가) 발청(표면부식, 녹)

[표 4.87] 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	

<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.

(나) 직경 감소

[표 4.88] 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

<해설>

- 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 4.89] 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 4.90] 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 ¹⁾ (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
100 초과	0.01 이하	a					b					c				
	0.01 초과	b					b					c				
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a					b					b				
	0.01 초과	b					b					c				
10 미만	0.01 이하	a					a					b				
	0.01 초과															

주1) 연간 젖음 시간 : 0도씨 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간

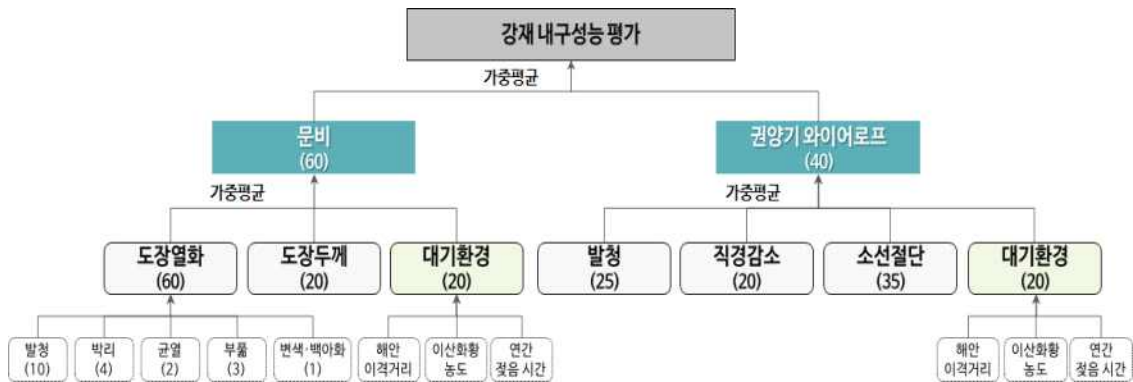
<해 설>

- 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. 강제내구성능 평가결과 산정 방법

1) 개요

강제내구성능 평가결과 산정방법은 평가항목별 가중치 및 부재별 가중치에 따라 내구성능을 평가하는 방법을 활용하여 등급을 산정하는 절차를 따르며, 강제내구성능평가절차는 다음 그림과 같다. 다만, 권양기 형식이나 액츄에이팅 방식이 상이한 경우 ‘권양기 와이어로프’ 관련 지표는 강제내구성능 평가단계에서 제외할 수 있다. 다만, 평가에서 제외된 경우라 하더라도 조사된 내용은 보수보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.



[그림 4.2] 강제내구성능 평가 예시

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 4.91] 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.

$$DS = DS_2 - \Delta DS$$

$$\Delta DS = \frac{(S - S_1)(DS_2 - DS_1)}{(S_2 - S_1)}$$

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 4.92] 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

등급	등급 점수범위 ($DS_1 \sim DS_2$)	종합점수 ($S_1 \sim S_2$)	등급 정의	비고
a	4.5 ~ 5.0	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 강재수문은 조사방법 및 수량에 맞게 열화수준(낮음/보통/높음)이 고루 분포되도록 사전 육안조사에 의해 선정한다.
- 와이어로프는 일반적으로 조사대상 강재수문에 설치된 와이어로프를 조사하며, 열화항목 중 와이어로프에 대해서만 조사한다.
- 선정된 강재수문에 대해서는 평가기준에 따라 발청 및 도장열화를 조사하여 등급별 점수를 계산하고 그 외의 강재수문은 유사 강재수문으로 지정하여 책임기술자의 판단하에 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 강재내구성능 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 허용 두께가 불만족되는지에 대한 비율).

(라) 강재내구성능 종합

① 강재수문

[표 4.93] 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, 해안 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 4.94] 평가항목별 가중치 (권양기 와이어로프)

평가지표	가중치
발청	25
대기환경	20
직경감소	20
소선절단	35

③ 개별 시설물별 가중치

[표 4.95] 기본시설물 강제내구성능 시설물별 가중치

구분	가중치
강재수문	60
권양기 와이어로프	40

<해설>

- 강재수문과 권양기 와이어로프를 각각 하나의 대상 평가군으로 보고 앞에서 산정된 평가값을 활용하여 댐 시설물에 대한 강제내구성능 평가결과를 도출한다.
- 권양기 형식 또는 작동 방식이 상이하어 권양기 와이어로프 관련 항목이 평가에서 제외된 경우에는 강재수문에 대한 평가결과를 강제내구성능 평가결과로 하며, 조사내용은 보수·보강 방안 등 유지관리 전략 수립을 위한 자료로 제시될 수 있다.

[표 4.96] 부대시설물 강제내구성능 시설물별 가중치

구분	가중치
부담	35
취수시설	17
수압터널 및 도수터널	21
발전소 구조물	11
공도교	8
스톱로그	8

<해설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다.

[표 4.97] 기타시설물 강제내구성능 시설물별 가중치

구분	가중치
관리동·조작실 등 건축물	22
옹벽	41
절토사면	37

<해 설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다.

④ 통합 시설물별 가중치

[표 4.98] 강제내구성능 가중치

구분	가중치
기본시설물	84
부대시설물	11
기타시설물	5

<해 설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다.

④ 강제내구성능 종합등급 산정

- 앞에서 기술한 평가항목별, 시설물별 가중치를 적용하여 산정된 평가점수를 아래 표와 같은 구간에 따라 구분하여 강제내구성능에 대한 종합등급을 산출한다.

[표 4.99] 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. 강재내구성능 평가결과 산정 예시

1) 대상 댐 시설물 선정

강재내구성능 평가를 위해 선정한 댐의 주요 제원 및 환경조건은 다음 표와 같다.

[표 4.100] 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 강재내구성능 평가결과에 영향을 미치지 않는다.
- 강재수문 1개당 앞, 뒷면을 모두 조사하는 것을 기본으로 한다.
- [표 4.101]은 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 4.101] 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 4.102] 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 4.103] 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 4.104] 강제수문 발청 및 도장열화 종합점수 산정 예

강제수문							
평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	종합점수	등급점수
등급	b	b	b	a	a	16	4.27
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 4.105] 강제수문 도장두께 평가 예

강제수문 번호	5개소 평균값의 기준 불만족 여부	평가내용
G-1	만족	전체 강제수문에 대한 불만족 비율 $= (\text{불만족 강제수문 개수}) / (\text{조사 강제수문 개수}) \times 100$ $= 1/5 \times 100 = 20\% \text{ (b 등급)}$
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 4.106] 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 4.107] 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 4.108] 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 4.109] 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 4.110] 평가항목별 가중치에 따른 강제수문 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 4.111] 평가항목별 가중치에 따른 와이어로프 강제내구성능 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) 시설물별 강제내구성능 평가

- 아래 표와 같이 각 시설물별 가중치에 따라 해당 시설물에 대한 강제내구성능 평가를 실시한다.

[표 4.112] 기본시설물 강제내구성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
강제수문	4.04	60	2.42
와이어로프	4.20	40	1.68
합계			4.10
기본시설물 강제내구성능 평가결과			b

<해설>

- 산정 예시와 달리 권양기 형식이나 작동 방식이 상이한 경우에는 ‘권양기 와이어로프’ 관련 지표를 강제내구성능 평가에서 제외하며, 조사된 내용을 보수·보강 방안 등에 제시할 수 있다.

[표 4.113] 부대시설물 강제내구성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
부담	3.90	38	1.48
취수시설	3.65	18	0.66
수압터널 및 도수터널	4.10	23	0.94
발전소 구조물	3.55	12	0.43
공도교	3.40	9	0.31
스톱로그	—	—	—
합계			3.82
부대시설물 강제내구성능 평가결과			b

[표 4.114] 기타시설물 강제내구성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
관리동·조작실 등 건축물	3.44	100	3.44
옹벽	—	—	—
절토사면	—	—	—
합계			3.44
기타시설물 강제내구성능 평가결과			c

6) 강제내구성능 최종 평가

- 아래 표와 같이 각 시설물별 가중치에 따라 해당 시설물에 대한 강제내구성능 최종평가를 실시한다.

[표 4.115] 강제내구성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
기본시설물	4.10	84	3.44
부대시설물	3.82	11	0.42
기타시설물	3.44	5	0.17
합계			4.03
강제내구성능 평가결과			b

4.5.3 콘크리트 내구성능 평가 지표 및 기준

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가항목은 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 4.116] 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 석피댐)가 있다. 콘크리트 내구성능 평가 시 대상 부재는 필댐의 경우 여수로, 콘크리트 댐은 댐체와 여수로, CFRD은 댐체 상류면과 여수로에 대해 수행한다.

[표 4.117] 댐의 평가대상 부재

시설명	형식	부재명	세부부재명
댐	필댐	여수로	접근수로
			조절부
			도수로
			감세공
	콘크리트댐	댐체	댐마루
			상류면
			하류면
		여수로	접근수로
			조절부
			도수로
			감세공
	CFRD	댐체	상류면
		여수로	접근수로
			조절부
			도수로
			감세공

다. 콘크리트 내구성능 평가기준

1) 염화물 침투량

담 시설물은 기본적으로 염해를 입지 않는 환경조건에 놓여있다고 볼 수 있으나, 열화환경에 따라 또는 책임기술자 판단에 따라 염화물 침투량에 대한 평가를 실시할 수 있다.

[표 4.118] 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.
- 책임 기술자의 판단하에 보수/보강, 환경 등의 영향으로 염소이온의 유효확산계수($cm^2/년$)를 파악하기 어려운 경우 철근부 전염화물 침투량(kg/m^3)으로만 평가한다.
- 염소이온의 유효확산계수($cm^2/년$) 산정이 불가능한 경우는 아래와 같다.
 - 표면부가 아니라 콘크리트 내부에서 염화물 침투량의 최대값이 나타나게 되는 경우
 - 피복(표면부) 콘크리트에 대한 보수/보강이 진행된 경우
- 단, 철근부 전염화물 침투량으로만 평가를 진행한 경우에도 깊이별 염화물량 측정 결과를 보고서에 별도로 기재하여, 등급 산정의 근거로 활용한다.

2) 탄산화 깊이

[표 4.119] 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	

<해 설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T 를 구하는 시간적 개념을 포함한다.
- 피복두께 실측치가 있는 경우 설계피복두께가 아닌 실측치를 활용하여 평가를 진행한다.
- 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 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 4.120] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$100\% \leq q_{cl}^{1)}$	피복콘크리트의 내구성능이 양호한 상태
b	$90\% \leq q_{cl} < 100\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	$q_{cl} < 90\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

주1) $q_{cl} = (\text{측정강도} \div \text{설계기준강도}) \times 100\%$

<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 4.121] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$95\% \leq q_{c2}^{1)}$	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	$85\% \leq q_{c2} < 95\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	$q_{c2} < 85\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

주1) $q_{c2} = (\text{비건전부 반발경도 값} \div \text{건전부 반발경도 값}) \times 100\%$

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로서 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도 값을 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 건전부는 특이한 표면 손상과 누수가 없고 표면부 열화가 진행되지 않은 부위이며, 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행된 부위로 해당 구간 중 상대 비교하여 가장 취약한 부분을 비건전부로 구분한다.
(단, 건전부를 특정하기 어려운 경우 먼치리를 통해 열화된 표면부를 제거한 후 실시한다.)

4) 염해환경

대부분의 다목적댐은 기본적으로 염해를 입지 않는 환경조건에 놓여있다고 가정하나, 책임기술자 판단에 따라 염해환경에 대한 평가를 실시하여 그 결과를 참조할 수 있다.

[표 4.122] 염해환경의 평가기준(해안거리)

평가 기준	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)	비고
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	
	서해안	고창, 태안	500 < X ≤ 1000	
		그 외 지역	120 < X ≤ 300	
	남해안	사천, 거제	50 < X ≤ 100	
c	동해안	전지역	비말대* < X ≤ 250	
	서해안	고창, 태안	비말대 < X ≤ 500	
		그 외 지역	비말대 < X ≤ 120	
	남해안	사천, 거제	비말대 < X ≤ 50	
d	—	—	—	
e	—	—	—	

* 비말대 : 해수가 직접 닿지는 않으나 파도가 칠 때 튀어오르는 물방울이 미치는 범위

[표 4.123] 염해환경의 평가기준(제설제)

항목	등급	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	7 ≤ 강설일수 < 14
	c	14 ≤ 강설일수
	d	—
	e	—

<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 4.124] 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>

- 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 평가결과 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, 평가결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다.

열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 4.125] 열화환경 평가등급

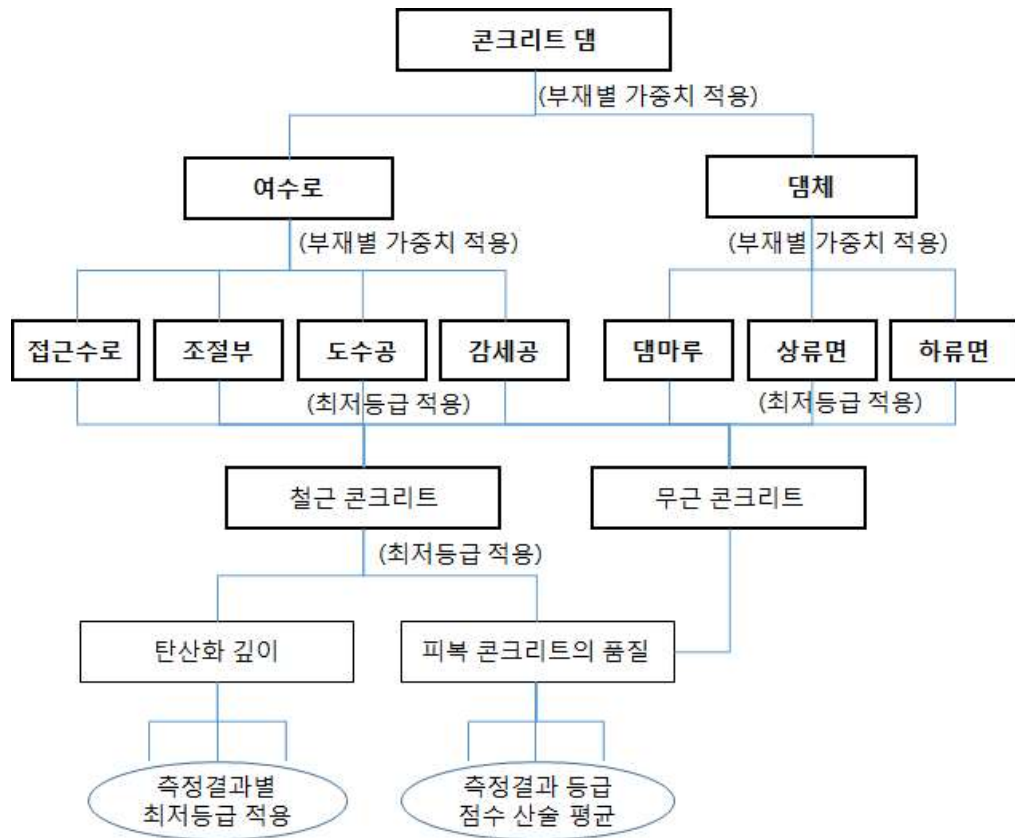
평가등급	열화환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

(나) 열화진전평가(부재수준의 평가)

콘크리트 내구성능 평가에 있어 열화진전평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량(필요 시), 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 평가 등급 점수를 산술평균한다.
- 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 4.3] 콘크리트 댐의 콘크리트 내구성능 평가 예시

3) 등급별 평가점수 및 지수 범위

부재별 등급에 따른 평가점수 및 평가지수 범위는 다음과 같다.

[표 4.126] 등급별 평가점수

평가기준	a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
평가점수	5	4	3	2	1

[표 4.127] 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 4.128] 여수로의 부재별 가중치

구분	부재명	부재별 가중치(%)
여수로	접근수로	25
	조절부	25
	도수공	25
	감세공	25

[표 4.129] 댐체의 부재별 가중치

구분	부재명	부재별 가중치(%)
댐체	댐마루	30
	상류면	40
	하류면	30

<해 설>

- CFRD댐에서의 댐체는 상류면(100%)만 적용함

5) 개별 시설물별 가중치

[표 4.130] 기본시설물 댐의 형식에 따른 시설물별 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.

[표 4.131] 부대시설물 콘크리트 내구성능 시설물별 가중치

구분	시설물별 가중치(%)
부댐	35
취수시설	17
수압터널 및 도수터널	21
발전소 구조물	11
공도교	8
스톱로그	8

<해 설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다.

[표 4.132] 기타시설물 콘크리트 내구성능 시설물별 가중치

구분	시설물별 가중치(%)
관리동·조작실 등 건축물	22
옹벽	41
절토사면	37

<해 설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다.

6) 통합 시설물별 가중치

[표 4.133] 콘크리트 내구성능 가중치

구분	시설물별 가중치(%)
기본시설물	84
부대시설물	11
기타시설물	5

<해 설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다.

댐 시설물의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 4.134] 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
CFRD댐	a~e	여수로	a~e	하류면	a~e
				접근수로	a~e
				조절부	a~e
				도수로	a~e
				감세공	a~e
		댐체	a~e	상류면	a~e

[표 4.135] 열화환경 평가

열화환경지표	평가결과	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 4.136] 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 시험은 철근을 피하여 철근 깊이까지 콘크리트 코어를 채취한 후 10~20mm 간격으로 절단하며 3개소 이상 평가한다.
- 염화물 침투량 평가등급은 철근부를 기준으로 평가한다.
- 부재별 평가등급은 측정 위치별 등급 중 최소등급을 적용한다.

- 대상 콘크리트 부재의 피복두께는 50mm로, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과 확보한다.

[표 4.137] 염화물 침투량 평가

열화진전 평가항목	담체	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				철근부 개별 평가등급	평가등급
		표면부	중간부		철근부		
		0-2 mm	2-15 mm	15-30 mm	30-45 mm		
염화물 침투량	No.1	1.5 (d)	1.05 (c)	0.4 (b)	0.1 (a)	a	c
	No.2	1.5 (d)	0.98 (c)	0.4 (b)	0.1 (a)	a	
	No.3	4.5 (e)	3.5 (e)	1.8 (d)	0.8 (c)	c	

[표 4.138] 염화물 확산계수 산출

계산 항목	담체	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부	중간부		철근부
		0-2 mm	2-15 mm	15-30 mm	30-45 mm
염화물 확산계수	No.1	—	—	0.103	—
	No.2	—	—	0.103	—
	No.3	—	—	—	0.194

<해 설>

- 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있다.

[표 4.139] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

열화진전 평가항목	담체	계산 결과 (year)	개별 평가등급	평가등급
철근부 전염화물 함유량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	No.1	30년 초과	a	a
	No.2	30년 초과	a	
	No.3	30년 초과	a	

[표 4.140] 염화물량 최종 평가등급

세부시설 부재	염화물 침투량 평가	철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가
담체	c	a
	최저 평가기준 적용 : c	

(나) 탄산화 깊이

각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저 등급을 대상부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 한다.

[표 4.141] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가항목	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	aa	
		댐마루 2	9	2.0	30년 초과	a	
		상류면 1	8	1.8	30년 초과		
		상류면 2	9	2.0	30년 초과	a	
		하류면 1	28	6.3	30년 초과	b	
		하류면 2	32	7.2	19		

(다) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

피복(표면부) 콘크리트의 품질은 댐체에서 6개소를 측정하였다.

[표 4.142] 피복(표면부) 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가항목	부재 그룹	세부 부재	설계값 대비 강도추정값 (%)	비건전부/ 건전부 비율(%)	개별 평가등급		평가 등급	부재 그룹 등급
피복 (표면부) 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	—		

(라) 부재별 콘크리트 내구성능 평가

[표 4.143] 댐체 콘크리트 내구성능 평가 (열화진전 평가)

부재 그룹	세부 부재명 (가중치, %)	항목별 평가결과				
		탄산화 깊이	피복(표면부) 콘크리트 품질	부재	평가결과	
					점수	등급
댐체	댐마루 (30)	a	a	a	a	a
	상류면 (40)	a	a	a		
	하류면 (30)	a	b	b		
평가방식		최저등급제			가중치 고려	

[표 4.144] 여수로 콘크리트 내구성능 평가 (열화진전 평가)

부재 그룹	세부 부재명 (가중치, %)	항목별 평가결과				
		탄산화 깊이	피복(표면부) 콘크리트 품질	부재	평가결과	
					점수	등급
여수로	접근수로 (25)	—	—	—	a	a
	조절부 (25)	—	—	—		
	도수공 (25)	a	a	a		
	감세공 (25)	—	—	—		
평가방식		최저등급제			가중치 고려	

(마) 시설물별 콘크리트 내구성능 평가

[표 4.145] 기본시설물 콘크리트 내구성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
댐체	4.70	70	3.29
여수로	5.00	30	1.50
합계			4.79
기본시설물 콘크리트 내구성능 평가결과			a

[표 4.146] 부대시설물 콘크리트 내구성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
부담	4.56	38	1.73
취수시설	4.06	18	0.73
수압터널 및 도수터널	4.45	23	1.02
발전소 구조물	4.40	12	0.53
공도교	4.40	9	0.40
스톱로그	—	—	—
합계			4.41
부대시설물 콘크리트 내구성능 평가결과			b

[표 4.147] 기타시설물 콘크리트 내구성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
관리동 등 건축물	4.40	22	1.00
옹벽	3.02	41	1.24
절토사면	3.02	37	1.12
합계			3.36
기타시설물 강콘크리트 내구성능 평가결과			c

(마) 콘크리트 내구성능 최종평가

[표 4.148] 콘크리트 내구성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
기본시설물	4.79	84	4.02
부대시설물	4.41	11	0.49
기타시설물	3.36	5	0.17
합계			4.68
콘크리트 내구성능 평가결과			a

[표 4.149] 열화환경지표의 평가

열화환경지표	평가등급	비고
동해환경	B	—
염해환경	B	필요 시 수행

4.5.4 내구성능 평가결과산정방법

댐의 세부시설을 구성하는 강재(강재수문 및 권양기 와이어로프 등)와 콘크리트의 내구성능은 다음과 같은 가중치를 적용하여 내구성능 결과를 도출한다.

[표 4.150] 댐 시설물 내구성능 평가를 위한 가중치

구분	종합 내구성능 평가 가중치	
	강재	콘크리트
댐 시설물 종합 내구성능	35	65

[표 4.151] 내구성능 평가결과산정 예

구분	평가점수	평가등급	중요도	평점
강재내구성능	4.03	b	35	1.41
콘크리트 내구성능	4.68	a	65	3.04
합계			100	4.45
내구성능 평가결과	$= 4.03 \times 0.35 + 4.68 \times 0.65 = 4.45(\text{B등급})$			

4.6 사용성능 평가기준 및 방법

4.6.1 일반

댐의 사용성능 평가는 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야 할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적에 만족하기 위한 성능으로 정의한다. 사용성능 평가는 운영성과 기능성(유지관리성, 수요 및 용량)으로 구분된다.

사용성능은 각 세부지표의 평가결과에 대해 가중치를 반영하여 사용성능 평가결과를 산정하며, 평가에서 제외되는 지표가 있는 경우 해당 지표에 대한 가중치를 타 지표에 배분(기존 가중치 비율 고려)하여 산정한다.

4.6.2 사용성능 평가항목 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.

1) 댐

[표 4.152] 세부지표별 적용 범위

구분	세부지표의 분류	차등 적용 범위
운영성	강재수문 작동 유무(기계)	a, b, c, d, e
	현장제어반 및 조작반	a, b, c, d, e
	구동모터 및 브레이크	a, b, c, d, e
	강재수문 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

2) 부담

[표 4.153] 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

3) 취수시설

[표 4.154] 세부지표별 적용 범위

구분	세부지표의 분류	차등 적용 범위
운영성	밸브의 손상	a, b, c, d, e
	전기설비의 절연 및 접지	a, b, c, d, e
	전기설비 상태	a, b, c, d, e
유지관리성	점검시설	a, b, c, d, e

4) 발전소 구조물

[표 4.155] 세부지표별 적용 범위

구분	세부지표의 분류	차등 적용 범위
운영성	전기설비의 절연 및 접지	a, b, c, d, e
	전기설비 상태	a, b, c, d, e

5) 공도교

[표 4.156] 세부지표별 적용 범위

구분	세부지표의 분류	차등 적용 범위
유지관리성	점검시설	a, b, c, d, e

6) 스톱로그

[표 4.157] 세부지표별 적용 범위

구분	세부지표의 분류	차등 적용 범위
운영성	스톱로그 및 권양장치 설치(작동) 성능	a, b, c, d, e
유지관리성	유지관리 상태 및 소모성 재료 성능상태	a, b, c, d, e
	퇴적	a, b, c, d, e

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 운영성

(가) 강제수문 작동 유무(기계)

[표 4.158] 강제수문 작동 유무(기계) 성능평가기준

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
- 강제수문 작동 유무(기계) 검사는 먼저 시설물의 개보수 이력을 검토하고 각 강제수문별로 상승·정지·재상승과 하강·정지·재하강으로 구분하여 실행한 후 권양기의 작동상태·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. 진동측정중이나 그후에 모터측 커플링측 감속기측에 대하여 1m 거리에서의 소음을 각 1회 이상 측정하고 분석하여 평가함
- 자세한 진동기준이나 소음기준은 ‘안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서-댐’의 내용을 참고
- 각 권양기/강제수문의 평가 등급을 평균하여 등급을 산정함 (결과산정 예 참조)

(나) 현장 제어반 및 조작반

[표 4.159] 현장제어반 및 조작반 성능평가기준

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 운전에는 문제가 있으나 응급수리로 가동 가능한 경우이며 e등급은 운전에는 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 4.160] 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 기술 설계 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 내선 규정) 등의 규정에 따름

(다) 구동모터 및 브레이크

[표 4.161] 구동모터 및 브레이크 성능평가기준

등급	등급기준
a	구동모터·브레이크장치의 불량인 양호한 상태
b	구동모터·브레이크장치의 불량인 양호한 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~ ∞)

<해설>

- 아래 표를 활용하여 상세육안점검을 실시함으로써 전반적인 상태를 파악하고 조사 결과 중 최저 등급을 기준으로 해당 설비를 평가함 (결과산정 예 참조)

[표 4.162] 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

<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 4.163] 강제수문 작동 유무(전기) 성능평가기준

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 4.164] 계측기 성능평가기준

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

(바) 밸브(장내배관)의 손상

[표 4.165] 밸브(장내배관)의 손상 평가기준

평가 기준	등급기준
a	밸브의 작동이 원활하고 여타 손상이 전혀 없음
b	밸브의 작동에 문제가 없고 발청부식 등의 손상이 경미하게 발생
c	밸브의 작동에 문제가 없고 축부에서 경미한 누수가 발생
d	밸브는 작동가능하나 고장으로 수리가 필요하거나 누수의 진행 관찰이 필요
e	밸브의 작동이 불가하거나 누수의 진행(분출)이 확인함

<해 설>

- 장내배관 밸브의 손상에 대해 평가하며 해당밸브의 작동상태, 변색, 지수상태(청음) 등을 평가함
- 주요밸브를 대상으로 평가하며 그 외에 밸브작동에 대한 평가가 어려운 밸브(수동밸브 등)에 대해서는 필요시 관리주체와 협의하여 평가하도록 함

(사) 전기설비의 절연 및 접지

[표 4.166] 전기설비의 절연 및 접지불량 평가기준

평가 기준	등급기준	
	절연열화	접지불량
a	절연열화가 전혀 없는 상태	접지불량이 전혀 없음
b	절연열화가 매우 미미한 상태	접지불량이 매우 미미한 상태
c	절연열화가 경미한 상태 (경년열화를 고려한 1MΩ 정도)	접지불량이 경미한 상태 (규정된 접지저항치 범위 내)
d	절연열화가 심화된 상태 (경년열화를 고려한 1MΩ 이하로서 규정된 절연저항치 정도)	접지불량이 심화된 상태 (규정된 접지저항치의 120% 이하)
e	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

(아) 전기설비의 상태

[표 4.167] 전기설비의 상태 평가기준

평가 기준	등급기준	
a	전기설비의 불량이 전혀 없는 상태	
b	전기설비의 불량이 전혀 없는 상태	
c	전기설비의 불량이 경미한 상태(설비의 기동 및 운전에 지장이 없는 상태)	
d	전기설비의 불량이 심화된 상태(설비의 기동 및 운전에 지장을 초래하는 상태)	
e	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

(자) 스톱로그 설치(작동) 성능, 권양장치 작동 성능

[표 4.168] 스톱로그 설치(작동) 성능평가기준

등급	등급기준
a	스톱로그 설치 및 권양장치 작동상에 이상이 없는 양호한 상태
b	스톱로그 설치 및 권양장치 작동상에 이상이 없는 건전한 상태
c	스톱로그 설치 및 권양장치 작동상에 이상이 경미한 상태
d	스톱로그 설치 및 권양장치 작동이 불량한 상태 (정상 작동되지 않고 비상점검 등의 임시조치 후에 제한작동 가능한 상태)
e	스톱로그 설치 및 권양장치 작동이 전혀 되지 않는 상태

<해설>

- 권양시설의 상태를 점검하고, 스톱로그 설치 상 이상 유무를 평가함

2) 유지관리성

(가) 점검시설

[표 4.169] 점검시설 성능평가기준

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

(나) 스톱로그 상태 및 소모성 재료 성능상태

[표 4.170] 스톱로그 유지관리 상태 및 소모성 재료 성능평가기준

등급	등급기준
a	유지관리 상태 및 소모성 재료 성능상태가 양호한 상태
b	유지관리 상태 및 소모성 재료 성능상태가 건전한 상태
c	유지관리 상태 및 소모성재료 성능이 어느정도 관리는 되고 있으나, 결함이 있어 수리가 필요한 상태
d	유지관리 상태 및 소모성재료 성능상태가 미비하고, 결함이 있어 수리가 필요한 상태
e	유지관리 상태 및 소모성재료 성능상태가 부실하여 새로운 설치가 필요한 상태

3) 수요 및 용량

(가) 댐의 수질

[표 4.171] 댐의 수질 성능평가기준

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 국가수자원 관리종합정보시스템 또는 환경부 물환경 정보시스템에서 제공하는 수질 정보를 활용하여 등급 산정 : 대상 댐의 최근 3년간 7~9월의 수 질 중 가장 낮은 등급으로 해당 댐의 수질등급을 평가한다.
- [참고] : 국가수자원관리종합정보시스템-수질측정망-호소수 또는 환경부 물환경정보시스템-수질측정망-호소수
- 다목적댐에 대한 pH, BOD, SS, COD, 대장균 군수 등을 월별로 측정된 결과를 물정보포털에 공개하고 있으며, 여기에 제시된 등급을 활용하여 수질을 평가함

[표 4.172] 호소 생활환경 기준 (「환경정책기본법」 시행령 제2조 별표)

등급		상태 (캐릭터)	기							준			
			수소이 온농도 (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)	클로로필 -a (Chl-a) (mg/m ³)	대장균군 (군수/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			

(나) 퇴적

[표 4.173] 스톱로그 퇴적 성능평가기준

등급	등급기준
a	스톱로그 프레임부의 퇴적이 없는 양호한 상태임
b	스톱로그 프레임부의 퇴적이 없는 대부분 양호한 상태이나, 일부 퇴적흔이 확인되는 상태임
c	스톱로그 프레임부에 일부 퇴적이 있는 상태임
d	스톱로그 프레임부에 일정량이상 퇴적이 있는 상태임
e	스톱로그 프레임부가 퇴적되어 성능상 문제가 있는 상태로 즉시 조치가 필요한 상태임

라. 사용성능 평가결과 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 평가결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 등급 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가가중치를 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 4.175] 참조).

1) 세부지표별 가중치

- 댐

[표 4.174] 댐의 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 4.175] 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

- 부댐

[표 4.176] 부댐의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	강재수문 및 권양기 작동 유무(기계)	현장제어반 및 조작반	구동모터 및 브레이크	강재수문 및 권양기 작동 유무(전기)	계측기	점검시설
가중치	0.166	0.146	0.175	0.179	0.165	0.169

- 취수시설

[표 4.177] 취수시설의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	밸브의 손상	전기설비의 절연 및 접지	전기설비 상태	점검시설
가중치	0.385	0.182	0.162	0.271

- 발전소 구조물

[표 4.178] 발전소 구조물의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	전기설비의 절연 및 접지	전기설비 상태
가중치	0.530	0.470

- 공도교

[표 4.179] 공도교의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	점검시설
가중치	1.000

- 스톱로그

[표 4.180] 스톱로그의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	설치(작동) 성능	권양장치 작동성능	보관시설 상태	퇴적
가중치	0.400	0.300	0.200	0.100

2) 개별 시설물별 가중치

[표 4.181] 부대시설 사용성능 시설물별 가중치

구분	가중치
부담	26
취수시설	20
수압터널 및 도수터널	21
발전소 구조물	14
공도교	9
스톱로그	10

<해 설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다.

3) 통합 시설물별 가중치

[표 4.182] 콘크리트 내구성능 가중치

구분	가중치
기본시설물	85
부대시설물	15

<해 설>

- 평가에서 제외된 시설물이 있는 경우 중요도의 합이 100이 되도록 중요도를 조정할 수 있다.

4) 사용성능 평가결과 산정

최종 사용성능 평가결과 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 평가결과

[표 4.183] 평가등급별 점수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
5	4	3	2	1

[표 4.184] 최종 등급산정을 위한 점수 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
4.5 이상	$3.5 \leq X < 4.5$	$2.5 \leq X < 3.5$	$1.5 \leq X < 2.5$	$1.0 \leq X < 1.5$

마. 사용성능 평가결과 산정 예시

1) 지표별 평가

(가) 강제수문 작동 유무(기계)

- 시설물의 개보수 이력을 검토하고 각 강제수문별의 상승·정지·하강 등을 실행한 후 권양기의 작동상태·이음발생 등을 확인하여 평가한다.
- 각 강제수문의 등급을 평가한 후 평균을 내어 최종 등급을 산정한다.

[표 4.185] 강제수문 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	

<해설>

- 각 최종등급은 사용성능 최종평가결과표의 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 평가결과와 평균값을 취한다.

[표 4.186] 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		

<해설>

- 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 4.187] 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) 강제수문 작동 유무(전기)

- 상세육안점검을 실시하고 전기적 동작 여부(작동 및 검출불능 유무 등)를 검사하여 평가한다.
- 각 세부시설별 조사결과에 대해서는 가장 낮은 등급을 기준으로 평가하며, 해당 지표의 최종평가는 전체 세부시설 평가결과의 평균값을 취한다.

[표 4.188] 강제수문 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 4.189] 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 4.190] 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 4.191] 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 4.192] 사용성능 평가결과 예

구분	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
운영성	강제수문 작동 유무(기계)	0.144	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, 4×0.144 (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) = 3.682이다.

○ 따라서 상기 댐의 사용성능 등급은 b등급으로 평가한다.

3) 시설물별 사용성능 등급 산정

[표 4.193] 부대시설물 사용성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
부담	4.18	33	1.38
취수시설	3.89	25	0.97
수압터널 및 도수터널	—	—	—
발전소 구조물	4.00	18	0.72
공도교	4.00	11	0.44
스톱로그	3.90	13	0.51
합계			4.02
부대시설물 사용성능 평가결과			b

4) 사용성능 최종평가

[표 4.194] 사용성능 평가 예

구분	평가점수	가중치	평점
기본시설물	3.68	85	3.13
부대시설물	4.02	15	0.60
합계			3.73
사용성능 평가결과			B

4.7 종합평가기준 및 방법

4.7.1 종합평가 일반

(가) 성능 간 가중치 적용

댐의 종합평가는 아래 표 및 그림과 같이 안전성능, 내구성능 및 사용성능 평가결과에 대한 성능 간 가중치를 고려하여 결정한다.

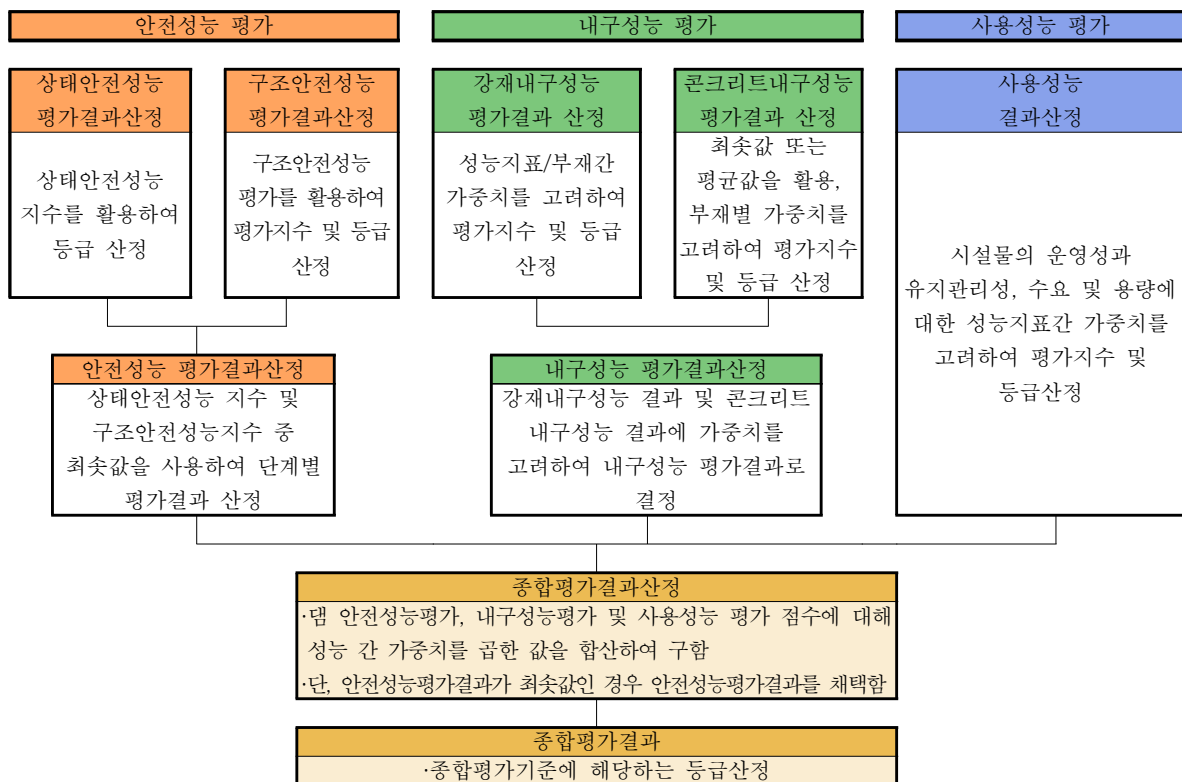
[표 4.195] 댐의 종합평가 산정기준

성능별 가중치			합계
안전성능	내구성능	사용성능	
74	17	9	100



[그림 4.4] 종합평가 분석 구조

(나) 최종 등급 산정을 위한 평가체계



[그림 4.5] 댐의 종합평가결과산정절차

4.7.2 종합평가기준

가. 종합평가결과 산정

종합평가 산정 시, 각 성능(안전성능, 내구성능, 사용성능)간 평가점수를 가중평균하여 도출한다.

종합평가의 산정방법은 안전성능평가, 내구성능평가 및 사용성능평가결과에 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.

$$\text{종합평가지수}(E) = \sum(\text{성능평가지수}(E_n) \times \text{성능별 가중치}(W_n))$$

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 4.196] 댐 종합평가기준 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. 종합평가결과 산정 예

상기의 기준에 따라 댐 시설물의 종합평가결과를 도출한 예는 다음과 같다.

[표 4.197] 댐 종합평가결과산정 예

시설물 종합평가결과 산정표			
시설물명	00댐	형식	콘크리트댐
평가구분	성능평가점수 (평가지수)	평가등급	성능간 중요도 (W_n)
안전성능 평가	3.20	C	0.74
내구성능 평가	4.45	B	0.17
사용성능 평가	3.73	B	0.09
종합평가결과	○ 댐의 종합평가지수 : 3.20 (안전성능 평가등급이 최하위 등급인 경우) ○ 댐의 종합평가결과 : C		