

제 I 편 공통 편

제1장 성능평가 개요

제2장 현장조사 및 시험

제3장 시설물 성능평가

제4장 유지관리 전략

제1장 성능평가 개요

1.1 과업의 개요

1.2 성능평가 수행 일정

1.3 사용장비

제1장 성능평가 개요

1.1 과업의 개요

1.1.1 과업명

서울문산고속도로 시설물 안전점검 (정기,정밀안전점검)용역

1.1.2 과업의 목적

본 용역은 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(약칭 : 시설물안전법) 제11조 및 동법 시행령 제8조에 의거 실시하는 안전점검 및 동법 제40조에 따른 성능평가를 시행하여 비탈면·옹벽관련 재해를 예방하고, 시설물의 물리적, 기능적 결함을 발견함으로써 신속하고 적절한 하자보수 조치를 취하고 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 조사·측정·평가하여 향후 시설물의 유지관리 및 정기, 정밀안전점검·하자보수·성능평가 등 필요한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.1.3 과업 대상 시설물

가. 절토사면

〈표 1.1-1〉 과업대상 시설물(절토사면)

NO	시설물명	위치	연장(m)	높이(m)	종별	비고
1	절토사면(STA.28+720~28+880(좌))	26.400~26.560	160.0	32.8	2중	
2	절토사면(STA.29+700~30+200(우))	27.400~27.900	500.0	30.9	2중	
3	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))	28.720~29.280	560.0	35.5	2중	

1.1.4 대상 시설물의 평가 범위

본 성능평가지 시행될 대상 시설물의 평가범위는 다음과 같다.

〈표 1.1-2〉 대상 시설물 평가범위

구 분			평가 범위	세부 평가 범위
절 토 사 면	토사 사면	기본 시설물	상부자연사면 및 시설물	상부자연사면 경사, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 구조물 변형, 인장균열 등
			절토부	지반상태, 지하수, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 인장균열 등
			사면하부	붕괴이력, 배수상태 등
		부대 시설물	보호시설	사면에 적용된 보호공법의 상태
			보강시설	사면에 적용된 보강공법의 상태
			배수처리시설	사면 및 구조물에 적용된 지표 및 지하 배수시설 상태
			이격거리내 시설	예상 피해구조물 규모 등
	암반 사면	기본 시설물	상부자연사면 및 시설물	집수지형, 배수상태, 지반변형, 구조물 변형, 인장균열 등
			절토부	암반상태, 지하수, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 인장균열, 구성지질, 불연속면, 낙석 등
			사면하부	붕괴이력, 배수상태, 낙석 등
		부대 시설물	보호시설	사면에 적용된 보호공법의 상태
			보강시설	사면에 적용된 보강공법의 상태
			배수처리시설	사면 및 구조물에 적용된 지표 및 지하 배수시설 상태
			이격거리내 시설	예상 피해구조물 규모 등

1.1.5 과업의 범위 및 내용

<표 1.1-3> 과업의 범위 및 내용

구 분		내 용
자료수집 및 분석		○ 설계도서, 시설물관리대장, 시공관련 자료 ○ 안전점검 및 정밀안전진단 자료, 기술자문 자료 ○ 시설물의 안전 및 유지관리 세부지침(성능평가 편) ○ 보수·보강공사 자료 등
현장조사 및 시험		○ 기존자료를 검토한 후 예상 손상에 대하여 이해한 후 현장조사 시행 ○ 대상 구조물에 대한 상세 외관조사 및 현장시험 등을 실시 ○ 재료시험 및 측정 결과분석
안전 성능 평가	상태안전성능평가	○ 시설물의 외관조사 결과 분석 ○ 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태안전성능 평가 결과 결정
	구조안전성능평가	○ 주요결함이 발견될 경우 이에 대한 구조안전성 검토를 실시 ○ 구조안전성능 평가를 위한 시험 및 계측 결과 분석 ○ 구조계산 및 해석을 통한 결과 및 분석 ○ 시설물의 구조안전성능 평가 결과 결정
내구성능평가		○ 재료적 내구성능을 확인하기 위한 시험결과와 외부환경에 대한 내구성능 저하인자 등을 종합적으로 검토 ○ 시험 항목 및 수량, 외부환경 인자 검토사항 등은 「세부지침」에 따르며, 시설물의 특성 및 평가 목적에 따라 이를 조정 ○ 내구성능을 확인하기 위한 시험결과, 부재의 열화 정도 등을 통하여 시설물의 사용환경과 시설물의 물리적 상태를 함께 검토하여 내구성능 등급을 지정
종합성능평가		○ 안전성능, 내구성능 등급을 고려한 종합성능등급 결과 작성 ○ 이전 성능평가 실시결과와 비교·분석하여 변경시 사유 기재
유지관리 전략 제언		○ 시설물 성능목표를 달성하고 최적 성능과 기능을 유지할 수 있는 보수·보강 방법을 검토·분석하여 합리적인 유지관리 전략을 제시 ○ 보수·보강 방법은 성능평가 실시결과와 성능목표간의 정도를 분석·검토하여 보수·보강 물량 산정과 적정한 공법을 선정 ○ 보수·보강의 수준과 우선순위 결정은 시설물의 성능목표와 효용가치, 중요도, 사용환경 등과 시설물의 안전성능 저하가 우려되어 보수·보강이 시급하거나 투자대비 효과가 큰 시설물을 중심으로 다음의 사항을 고려하여 우선순위를 수립 ○ 시설물의 성능목표를 달성 및 유지하고 중기관리계획에 반영될 수 있도록 경제적이고 합리적인 보수·보강 방법 및 우선순위 등을 검토하여 종합적인 유지관리 전략을 수립 ○ 필요한 경우 성능평가 실시결과를 토대로 안전하고 경제적으로 시설물을 지속적으로 관리할 수 있는 방안 제시 - 대상시설물의 점검요령 - 결함 및 손상의 종류와 원인 - 결함 종류에 대한 조치대책 - 해당 시설물의 그림 및 사진 등

1.2 성능평가 수행일정

1.2.1 과업기간

2022. 08. 18. ~ 2022. 12. 31

1.2.2 과업 수행 일정

<표 1.2-1> 과업수행일정

공 종		2022년 8월 18일 ~ 2022년 12월 31일											비 고
		8월	9월			10월			11월		12월		
		18	10	20	30	10	20	31	15	30	15	31	
1. 자료수집 및 분석													- 8/18 착수
· 관계도서 수집 및 분석 현장답사 및 점검계획 수립													
2. 현장조사 및 시험													-현장조사 및 시험 -구조물별 조사팀 운영 -필요시 추가조사
· 외관조사 · 재료시험 및 측정													
3. 시설물의 평가													-현장조사와 내업작업 병행 실시
· 상태평가, 성능평가, 종합평가													
4. 보수·보강 및 유지관리 방안 제시													
· 보수·보강방안 제시 · 유지관리방안 제시													
5. 보고서 작성													- 12/31 준공예정
· 보고서 작성 · 보고서 수정 및 납품													
공정율(%)	진행	5	7	10	10	10	10	15	15	5	5	8	
	누계	5	12	22	32	42	52	67	82	87	92	100	

1.3 사용장비

본 성능평가에 사용된 장비는 다음과 같다.

<표 1.3-1> 사용장비 목록

기기명		사 용 목 적	비고
공기구	줄자 5m, 50m	제원 측정	
	Dacometer	거리 측정	
	카메라(디지털)	시설물 전경 및 세부사진 촬영	
	망원경	접근 불가능한 구조물 조사	
	무전기	진단현장 통신연락	
	사다리	구조물 외관조사	
	줄 자	거리측정	
비탈면 조사 및 시험	클리노미터	불연속면 방향성 측정	
	반발경도 측정기	암반강도 측정	
	지질해머	암반강도 분류	
	프로파일게이지	불연속면 거칠기 측정	
			
줄자 5m, 50m		Dacometer	클리노미터
			
지질해머		프로파일게이지	반발경도 측정기(암반)

제2장 현장조사 및 시험

2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

2.2 현장조사(절토사면)

제2장 현장조사 및 시험

2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

시설물 성능평가를 위한 사면 종류에 따른 성능항목별 조사항목은 다음과 같다.

〈표 2.1-1〉 토사비탈면 조사항목

구 분		평가지표	조사항목
안전 성능	상태 안전성능	집수지형	사면 내·외 집수지형 개수
		지반변형	포행, 단차, 배부름 등
		지하수	누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		사면상부 상태	상부자연사면의 경사
		붕괴이력	세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		인장균열	인장균열 유무(진행성)
	구조 안전성능	한계평형해석	건기시 안전율, 우기시 안전율, 지진시 안전율
내구성능		지반상태	동적콘관입시험(DCPT) Nd치
			토양경도(정밀점검시 대체 시험법)
		표면보호공	식생 피복율, 손상 면적율
		사면보강공	보강공 두부와 지반의 밀착도
			보강공 두부의 균열 및 파손

〈표 2.1-2〉 암반비탈면 조사항목

구 분		평가지표	조사항목
안전 성능	상태 안전성능	집수지형	사면 내·외 집수지형 개수
		불안정지질	단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태
		불연속면특성	연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격
		지반변형	포행, 단차, 배부름 등
		지하수	누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		붕괴이력	세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		낙석	발생규모, 예상 낙석에너지
		인장균열	인장균열 유무(진행성)
	구조 안전성능	평사투영해석	췌기파괴, 평면파괴, 전도파괴
		한계평형해석	건기시 안전율, 우기시 안전율, 지진시 안전율

<표 2.1-2> 암반비탈면 조사항목(계속)

구 분	평가지표	조사항목
내구성능	지반상태	동적콘관입시험(DCPT) Nd치
		토양경도(정밀점검시 대체 시험법)
		설계(초기) 값 대비 슈미트해머 강도 추정값의 비율
	표면보호공	식생 피복율, 손상 면적율
	사면보강공	보강공 두부와 지반의 밀착도
		보강공 두부의 균열 및 파손
	절리상태 및 풍화진행도	절리상태 및 풍화 진행도

<표 2.1-3> 혼합비탈면 조사항목

구 분		평가지표	조사항목
안전 성능	상태 안전성능	집수지형	사면 내·외 집수지형 개수
		불안정지질	단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태
		불연속면특성	연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격
		지반변형	포행, 단차, 배부름 등
		지하수	누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		붕괴이력	세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		낙석	발생규모, 예상 낙석에너지
		사면상부 상태	상부 자연사면 경사
		인장균열	인장균열 유무(진행성)
	구조 안전성능	평사투영해석	췌기파괴, 평면파괴, 전도파괴
		한계평형해석	건기시 안전율, 우기시 안전율, 지진시 안전율
내구성능		지반상태	동적콘관입시험(DCPT) Nd치
			토양경도(정밀점검시 대체 시험법)
			설계(초기) 값 대비 슈미트해머 강도 추정값의 비율
		표면보호공	식생 피복율, 손상 면적율
		사면보강공	보강공 두부와 지반의 밀착도
			보강공 두부의 균열 및 파손
		절리상태 및 풍화진행도	절리상태 및 풍화 진행도

2.2 현장조사(절토사면)

2.2.1 사전조사

대상시설물에 대한 자료수집과 현장예비조사를 통해 과업대상 시설물의 중점조사내용, 현장조사 및 시험의 방향설정과 조사방법 및 공기계획 등을 수립하도록 계획하였다. 또한, 상기 조사내용을 토대로 현장조사 요원에게 사전교육을 실시하여 중점조사내용 및 현장시험 등을 숙지시켜 정확한 조사가 시행되도록 한다.

〈표 2.2-1〉 절토사면 사전조사 내용

구 분	내 용
기초자료 조사 및 검토	○과업지시서 검토 ○지질 및 지반조사 보고서, 지질도 및 단면도 ○항공사진, 위성사진, 수치지형도 및 분석 ○강우자료 분석 ○시공관련 자료 분석 : 재해기록 및 공사기록 등 ○안전점검 및 정밀안전진단 자료, 기술자문 자료 ○보수·보강공사 자료 등 기타 필요하다고 판단되는 자료
설계도면 검토	○사면 표준횡단도 검토 ○사면 개설방법 : 발파, 리핑 등 ○사면 부대 구조물 설치 설계도면, 배수시스템 분석 ○설계도면과 일치성 분석 ○사면 해석 결과 분석 : 안전율, 지반변위량 등 ○보조공법 유무 및 적정성
시설관리자 방문조사	○시설관리자 의견청취 ○중요구간 비탈면 현황 관리 조사
현장답사	○대상 시설물의 현황 파악, 이용 현황, 입지환경조성 및 외형 조사 ○현장조사에 필요한 장비, 차량, 투입인력 등 사전계획 수립 ○현장여건 및 문제점 파악

2.2.2 조사영역 및 사면 분할

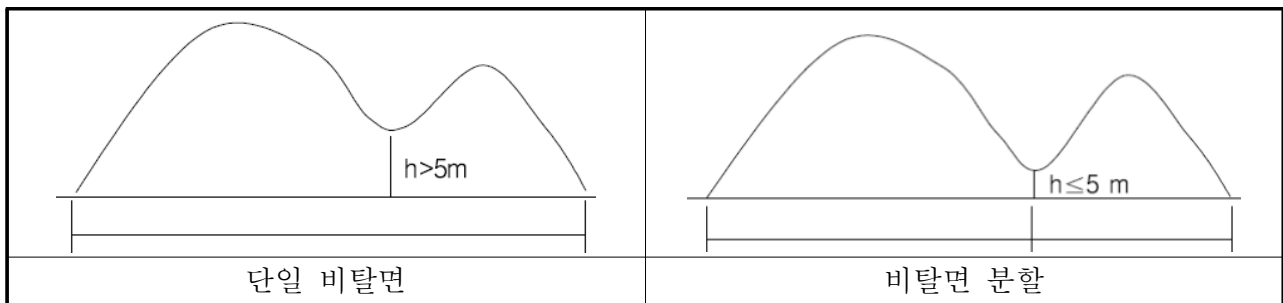
가. 측점분할

측점 분할 작업은 현장조사에서 최초로 실시하는 작업으로서 사면에 인접한 도로 및 철도의 진행 방향으로 위치 및 길이를 표시하는 작업을 말한다. 측점 분할 간격은 현장 조사 시 좌우로 확인 가능한 10m 간격으로 시점부에서 종점부까지 표시하며 면밀한 조사가 필요한 구간에 대해서는 별도로 세분화하여 표시한다.

나. 사면 분할

사면 분할은 현장조사에서 규모와 영역을 결정하는 작업을 의미한다. 현장에서 접하게 되는 절토사면은 대개 지형적인 특성에 의해 여러 사면이 연속하여 연결되어 있어 이를 구분하기 위한 명확한 기준이 필요하다.

- 1) 사면을 바라보며 우측을 시점, 좌측을 종점으로 하여 절토사면의 수직고가 5m이하로 낮아지는 지점에서 분할한다.



〈그림 2.2-1〉 절토비탈면 분할 기준

- 2) 안전성능 및 내구성능 평가를 위한 구간분할의 경우, 동일 사면 내에서 다음의 경우에 구간분할을 실시한다.

- 사면의 구성재료(토사, 암반, 혼합)가 변화할 경우
- 사면의 경사방향이 40° 이상 변화할 경우
- 기준규모의 연장이 200m 이상일 경우

2.2.3 상태안전성능 평가를 위한 조사방법

가. 집수지형

절토사면의 시·종점부와 상부 계곡부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 절토사면에 유입되는 지형을 분할한 구간별로 사면 내·외로 구분하여 평가한다.

나. 불안정 지질

절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하고 있어 사면에 불안정 요인으로 작용하는 지질의 분포 규모 및 상태를 평가한다.

분할된 평가대상 구간에 대해 각각 실시하여 일부 분포, 국지적 분포, 사면 전 영역에 걸친 분포로 나누어 분포도를 평가하며, 불안정 지질의 퇴적암 분포 유무, 파쇄정도, 누수 및 유실물 발생 유무 등의 상태를 육안 관찰하여 평가한다. 표면보호공(사면녹화 또는 콘크리트뿔어붙이기 등)이 적용된 경우 주변 지형 및 지반특성을 참고하여 평가를 실시한다.

다. 불연속면 특성

암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안전성능에 절대적인 영향을 미치며, 대부분의 경우 불연속면을 따라 붕괴가 발생한다. 불연속면의 특성은 방향성을 제외한 세부 상태(연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격)를 평가하여 6개 항목의 산술평균값으로 평가한다.

<표 2.2-2> 연장성 분류 기준

등 급	연장성(m)
매우 낮은 연속성 (very low persistence)	$X < 1$
낮은 연속성 (low persistence)	$1 < X \leq 3$
보통 연속성 (medium persistence)	$3 < X \leq 10$
높은 연속성 (high persistence)	$10 < X \leq 20$
매우 높은 연속성 (very high persistence)	$X > 30$

<표 2.2-3> 틈새 분류 기준

등 급	연장성(m)
밀착됨 (tight)	간극을 쥌 수 없을 정도로 아주 좁고 밀착됨
약간 벌어짐 (partly open)	간극이 0.1mm 미만
벌어짐 (open)	$0.1 \leq X < 1$
약간 넓음 (moderately wide)	$1 \leq X < 5$
넓음 (wide)	$5 \leq X$

<표 2.2-4> 불연속면 거칠기 등급

등 급	설 명
매우 거침(very rough)	불연속면의 표면에 거의 수직적인 계단 형태의 요철이 존재한다. 불연속면 표면을 만질 때 매우 거친 느낌이 든다.
거침(rough)	경사진 계단 형태의 요철이 확실하게 나타난다. 표면요철이 확실하게 식별되며, 불연속면 표면을 만질 때 거친 느낌이 든다.
약간 거침(slightly rough)	불연속면의 표면요철이 식별가능하며, 손으로 느낄 수 있다.
평탄(smooth)	육안으로는 표면 요철의 식별이 어려우나, 손으로 느낄 수 있다.
매우 평탄(slickensided)	불연속면의 미끄러진 표면에 광택이 나는 부분이 관찰된다.

<표 2.2-5> 충전물

충전물 재료	충전물 두께
없 음	-
딱딱함	5mm 미만
	5mm 이상
부드러움	5mm 미만
	5mm 이상

<표 2.2-6> 국제암반역학회(ISRM) 풍화등급의 분류

풍화등급	설 명	공학적 특성
신선암 (F)	○ 암석의 풍화 흔적을 볼 수 없다. ○ 주 불연속면 표면에 경미한 변색이 있을 수 있다.	○ 발파로 굴착가능 ○ 모든 구조물 기초로 적합
약한풍화 (SW)	○ 불연속면의 표면과 암석의 변색 상태가 풍화 지표가 된다. ○ 불연속면이 얼룩져 있거나 변색되어 있고, 외부적으로는 신선한 상태보다 약한 상태이다.	○ 발파로 굴착가능 ○ 대규모의 댐을 제외한 모든 구조물 기초로 적합
보통풍화 (MW)	○ 조암광물의 절반 이하가 변질되거나, 토양으로 분해된 상태이다. ○ 신선암 및 변색된 암은 핵석이나 불연속면의 골격을 이룬다.	○ Ripper로 굴착가능 ○ 대부분의 소규모 구조물 기초로 가능
심한풍화 (HW)	○ 암석 구성 재료의 절반 이상이 부스러졌거나 흙으로 변했다. ○ 신선하거나 변색된 암석이 기반암이나, 핵석상태로 존재한다.	○ Scraping으로 굴착가능 ○ 구조물 기초 신뢰도 낮음
완전풍화 (CW)	○ 모든 암석 재료가 부스러졌거나 흙으로 변했다. ○ 그러나 절리흔적과 같은 원래의 암반 조직은 보존되어 있다.	○ Scraping으로 굴착가능 ○ 토질 시험 결과에 따라 기초 사용 결정

<표 2.2-7> 해머타격 시험을 통한 암반의 풍화등급 5단계 분류법

풍화등급	설 명
신선암 (F)	○ 해머타격 시 높은 쇠소리가 들림 ○ 균열 없음 ○ 석재로 사용될 수 있을 정도로 신선
약한풍화 (SW)	○ 해머타격 시 쇠소리가 들림 ○ 미세균열이나 절리 관찰 가능 ○ 약간의 착색 흔적
보통풍화 (MW)	○ 해머타격 시 약간 무거운 쇠소리가 들림 ○ 해머로 여러 번 타격으로 부서짐 ○ 구성광물의 변색 및 착색 흔적
심한풍화 (HW)	○ 해머타격 시 둔탁한 소리가 들림 ○ 거칠한 광물 알갱이들이 관찰됨 ○ 완전 변색, 심한 착색
완전풍화 (CW)	○ 손가락으로도 쉽게 흙으로 부서짐 ○ 암조직의 흔적이 관찰되며 흙을 다져놓은 정도의 강도를 가짐

<표 2.2-8> 불연속면 간격 분류 기준

등 급	간 격(m)
밀착됨 (tight)	$X < 0.06$
약간 벌어짐 (partly open)	$0.06 \leq X < 0.2$
벌어짐 (open)	$0.2 \leq X < 0.6$
약간 넓음 (moderately wide)	$0.6 \leq X < 2$
넓음 (wide)	$2 \leq X$

라. 일반 지형

조사대상 구간의 전반에 걸쳐 이에 대한 조사를 실시하여야 하며, 사면 상하부의 경우는 지반 함몰이나 융기 등의 현상을 관찰하고, 사면 내에서는 사면경사 불량 여부를 파악한다.

마. 지하수

분할된 구간별로 사면의 표면에서 관찰되는 누수 흔적으로 관찰하며, 동일한 구간 내에서 다수의 누수 흔적이 관찰되는 경우 가장 불리한 조건으로 평가한다.

바. 배수조건

5단계로 육안조사를 통해 평가하며 평가대상 구간의 지표수 및 지하수에 따른 배수시설의 상태를 평가한다.

- 양호 : 배수시설이 노후되었으나 배수기능이 원활한 상태
- 보통 : 배수시설이 노후되고 일부 균열이 관찰되나 배수기능이 원활한 상태
- 불량 : 배수시설이 노후되고 균열, 변형 등 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태
- 매우 불량 : 지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태

사. 붕괴이력

분할된 구간별로 붕괴이력을 조사하여 평가하며, 사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력, 표층유실 및 낙석, 암탈락 등 표층파괴 발생이력, 사면의 안정성에 영향을 미치며 보강공법을 요하는 대규모 침층파괴 발생이력, 그리고 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태로 분류하여 평가한다.

아. 낙석

분할된 구간에 대해 이미 발생하여 적치된 낙석의 양으로 발생규모를 평가하고, 사면에 존재하는 뜬돌 및 이완암 등 낙석 발생 가능성이 있는 암괴의 규모로 예상 낙석에너지를 평가한다.

자. 사면 상부 상태

사면 상부에 존재하는 자연사면에서 유입되는 지표수에 의한 영향을 평가하기 위해서 자연사면의 경사를 측정하여 평가한다. 분할된 구간의 상부자연사면 대표 경사를 평지 또는 역경사에서 30° 이상까지의 범위에서 5단계 등급으로 분류하여 평가한다.

차. 인장균열

인장균열의 발생 여부를 파악하기 위해서는 조사대상 사면의 상부로부터 가상의 원호활동원에 포함되는 위치까지 조사하는 것이 원칙이나 보다 신뢰성 있는 조사를 위해서는 사면 상부 전반에 대하여 조사한다.

평가대상 구간 내에 인장균열의 유무를 파악하고 인장균열이 확인되는 경우 폭, 깊이, 길이, 진행성 여부 등을 파악하여야 한다. 인장균열의 진행성(또는 확장) 여부는 최근 점검 자료와 비교 계측 등을 통하여 판단하며, 인장균열이 확인될 경우 상태안전성능 평가 결과를 하향하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다.

2.2.4 구조안전성 평가를 위한 조사방법

가. 강도정수의 산정

사면의 안정해석법은 여러 가지가 있으나 그 정확성은 강도정수와 사면의 기하학적조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우되며, 대부분의 경우에 있어서는 토질 특성과 기하학적 조건이 각 해석방법의 차이보다 결과에 더 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 안정해석에 있어서 강도정수를 정확히 결정하는 것이 가장 중요한 사항이 된다. 강도정수의 산정은 기존 문헌자료를 검토하거나 현장시험 또는 실내시험을 통해 결정한다.

나. 토사사면의 안정해석

토사사면의 안정해석은 원호파괴에 대한 해석이 주를 이루며, 암반사면의 경우에도 풍화가 심하고 불연속면이 매우 조밀하게 발달했을 경우 원호파괴에 대한 안정 해석을 실시할 수 있다.

다. 암반사면의 안정해석

암반사면에 대한 안정해석은 지표지질조사에서 얻은 비탈면에 분포된 불연속면 주향과 경사(또는 경사방향, 경사)를 측정·분석하여 평사투영법(Stereographic projection method)에 의해 붕괴가능 사면을 판단한 후 위험지역에 대해 불연속대로 인해 예상되는 파괴면을 대표단면으로 설정하여 한계평형해석법에 의한 안정해석을 수행할 수 있다.

〈표 2.2-9〉 절토비탈면 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토사	암반	
토사사면	—	○	—	○ 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반사면	○	△	○	○ 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 ○ 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴해석을 실시
혼합사면	○	○	○	○ 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 ○ 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

2.2.5 내구성능 평가를 위한 조사방법

가. 토양경도시험

1) 일반 사항

토양경도는 토양의 치밀도 또는 견밀도라고도 하며, 토양경도계(산중식 경도계)를 이용하여 사면 상부, 중부, 하부를 각 10회씩 측정하여 평균하고 토양경도지수를 mm 단위로 나타낸다. 외부 관입 물체에 대해서 저항하는 토양의 힘을 경도(Hardness), 저항 (Resistance) 또는 강도(Strength)라 하며, 관입시키는 원추의 각도와 단면적, 기록장치에 따라 다양한 경도계가 있다.

일반적으로 토양경도계라 하면 산중식 경도계와 끝이 원추형인 붕을 토양깊이 60~80cm 까지 관입하여 깊이별 원추의 관입저항을 측정하는 관입식 토양경도계를 의미하며, 여기서는 산중식 경도계에 대한 점검방법을 기술한다.

산중식 경도계는 토양 표면의 경도를 손으로 밀어 측정하는 휴대용 기기 (Hand-Push형)로 반경 0.9cm, 높이 4cm의 금속 원추에, 4cm 수축에 8kg의 힘이 필요한 용수철이 연결되어 있으며 토양에 직각으로 눌렀을 때, 관입이 정지될 때의 원추가 후진한 길이(mm)를 재고, 그때의 용수철의 수축에 해당하는 무게를 토양에 접한 원추의 단면적(cm^2)으로 나누어 경도(kg/cm^2)를 계산한다. 일반적으로 원추의 관입깊이(mm)를 토양경도로 표시한다.

2) 측정 방법

- ① 경도를 측정하고자 하는 부위의 토양을 수평이나 수직으로 표면을 평평하게 다듬는다.
- ② 경도계를 손에 단단히 잡고 유동지표를 0에 맞추고 토양에 직각으로 관입시킨다.
- ③ 유동지표가 가리키는 눈금(mm)을 정확히 읽고 mm로 표시한다.
- ④ 관입 깊이 $w(\text{mm})$ 는 다음과 같은 계산식에 의해 경도($R, \text{kg/cm}^2$)로 환산할 수 있다.

$$R = \frac{100w}{0.795 \times (40 - w)^2}$$

나. 슈미트해머 측정(Schmidt Hammer Rebound Hardness Test)

1) 일반 사항

슈미트 해머(Schmidt Hammer)법은 경화 암반면에 슈미트해머로 타격에너지를 가하여 암반면의 경도에 따라 반발경도를 측정하고, 이 반발경도(R_o)와 암반 압축강도(f_c) 사이에는 특정한 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 하여 암반 압축강도를 추정할 수 있다.

슈미트해머는 콘크리트용인 N, NR형 등이 있으나, 암반 사면조사 시에는 암석용인 L형을 사용하여야 한다.

2) 측정 방법

- ① 타격면을 선정할 때는 충전물이나 분해된 암석 입자가 없는 편평한 면을 선택하여 그 면에 수직하게 타격한다. 동일한 곳을 계속 가격하지 않고 이전에 타격한 곳에서 최소한 플런저 직경만큼 떨어진 곳을 타격한다.
- ② 슈미트 해머의 원리는 암반 타격 시 반발치(R)와 암반의 압축강도 (F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.
- ③ 타격시 해머 내의 중추 반동량을 반발치(R)로 표시하며, 이 반발치(R)의 크기에 따라 암반의 압축강도를 추정한다. 일반적으로 타격 시 반발치(R)는 타격에너지 및 피 타격체의 형상, 크기, 재료의 물리적 특성에 따라 다르다.
- ④ 슈미트 해머법이 재료의 강도와 일률적인 관계가 있는 것만은 아니다. 특히, 암반과 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 해머로 표면에서 국부적 타격을 하는 경우 반발치(R)는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 암반의 재령 등에 차이가 난다. 하지만 간편하고 짧은 시간에 강도 추정이 가능한 우수한 사용성과 암반 전체에 대해 강도 측정이 가능하다는 점에는 유효한 시험법이라 할 수 있다.

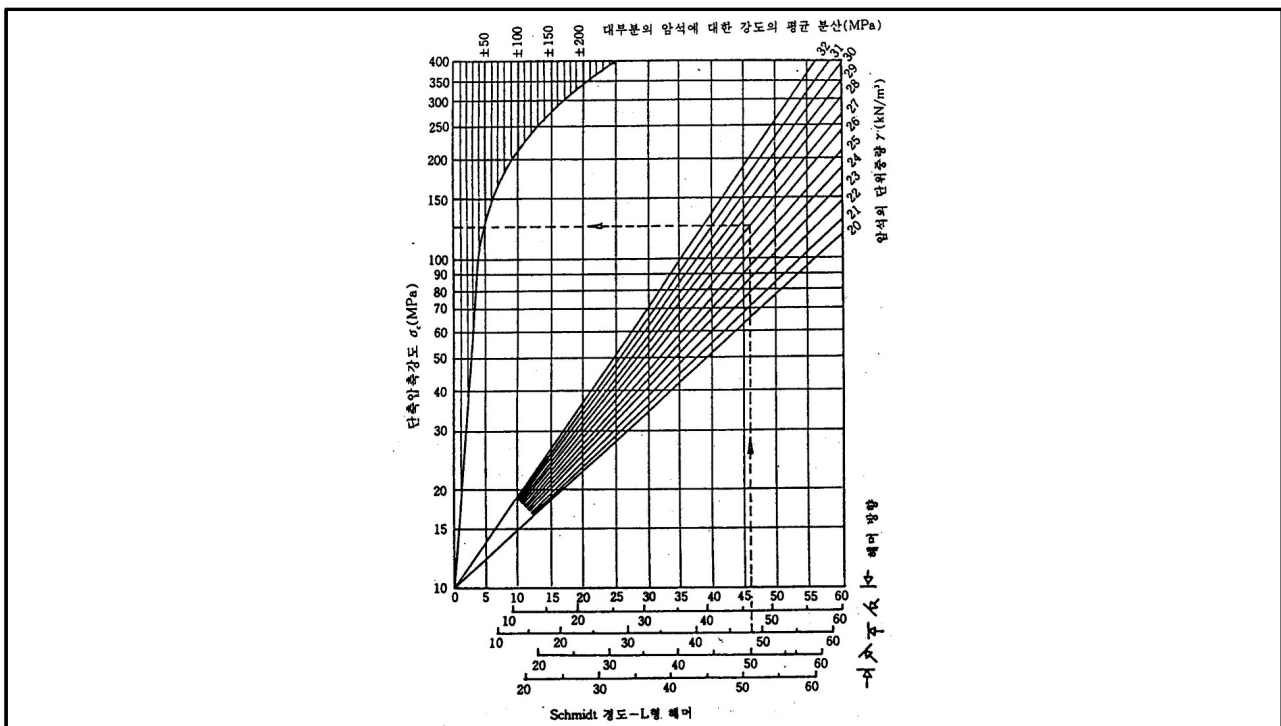
3) 결과 분석

슈미트해머를 이용하여 강도를 추정할 경우, 다음 표를 이용하여 타격방향에 따른 보정절차를 거친 후, 20개의 타격점에 대한 반발값 중 하위 50%의 값은 버리고, 상위 50%만을 취하여 그 평균값을 대표값으로 한다. 슈미트해머 반발값(대표값)을 이용하여 암석의 일축압축강도를 추정할 경우, 아래 식 이용 및 슈미트해머 반발지수에 대한 일축압축강도 변화차트를 이용하여 추정한다.

$$JCS = 10^{(0.0008r\gamma + 1.01)} (\text{MPa}) \quad (r : \text{반발값}, \gamma : \text{암석의 밀도} (\text{kN/m}^3))$$

<표 2.2-10> 타격 방향에 따른 반발값 보정표

반발값	아래쪽		위쪽		수평
	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-8.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-4.0	-3.3	-1.7



<그림 2.2-2> 슈미트해머 반발지수를 이용한 일축압축강도 변환 차트

다. 식생피복율

사면 전체 면적 대비 피복 면적의 비로서 현장 육안조사를 통하여 면적율을 측정한다. 현장상황 및 여건에 맞게 간단한 도구를 사용한다.

- 필요 측정 기구 : 줄자, 필기도구, 디지털카메라 등
- 식생피복율(%) = 식생피복면적(m^2)/사면면적(m^2) x 100

라. 손상면적율

사면 전체 면적 대비 피복 면적의 비로서 현장 육안조사를 통하여 면적율을 측정한다. 현장상황 및 여건에 맞게 간단한 도구를 사용한다.

- 필요 측정 기구 : 줄자, 필기도구, 디지털카메라 등
- 식생피복율(%) = 식생피복면적(m^2)/사면면적(m^2) x 100

마. 암반의 절리상태 및 풍화진행도

암반의 절리상태 및 풍화진행도 조사방법은 “상태안전성능 평가를 위한 조사방법”에서 ‘불연속면 특성’의 조사방법과 동일하게 실시한다. 세부 평가지표 및 평가결과는 내구성능 평가 기준에서 제시하는 사항을 따른다.

제3장 시설물 성능평가

- 3.1 일반 사항
- 3.2 성능평가 방법
- 3.3 안전성능평가
- 3.4 내구성능평가
- 3.5 종합평가

제3장 시설물 성능평가

3.1 일반 사항

성능평가 대상 비탈면은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 제40조 및 동법 시행령 제28조의 규정에서 정하고 있는 제2종 시설물로서 지반의 구성 재료에 따라 토사사면과 암반사면 그리고 토사와 암반이 혼합되어 있는 경우는 혼합사면으로 구분한다.

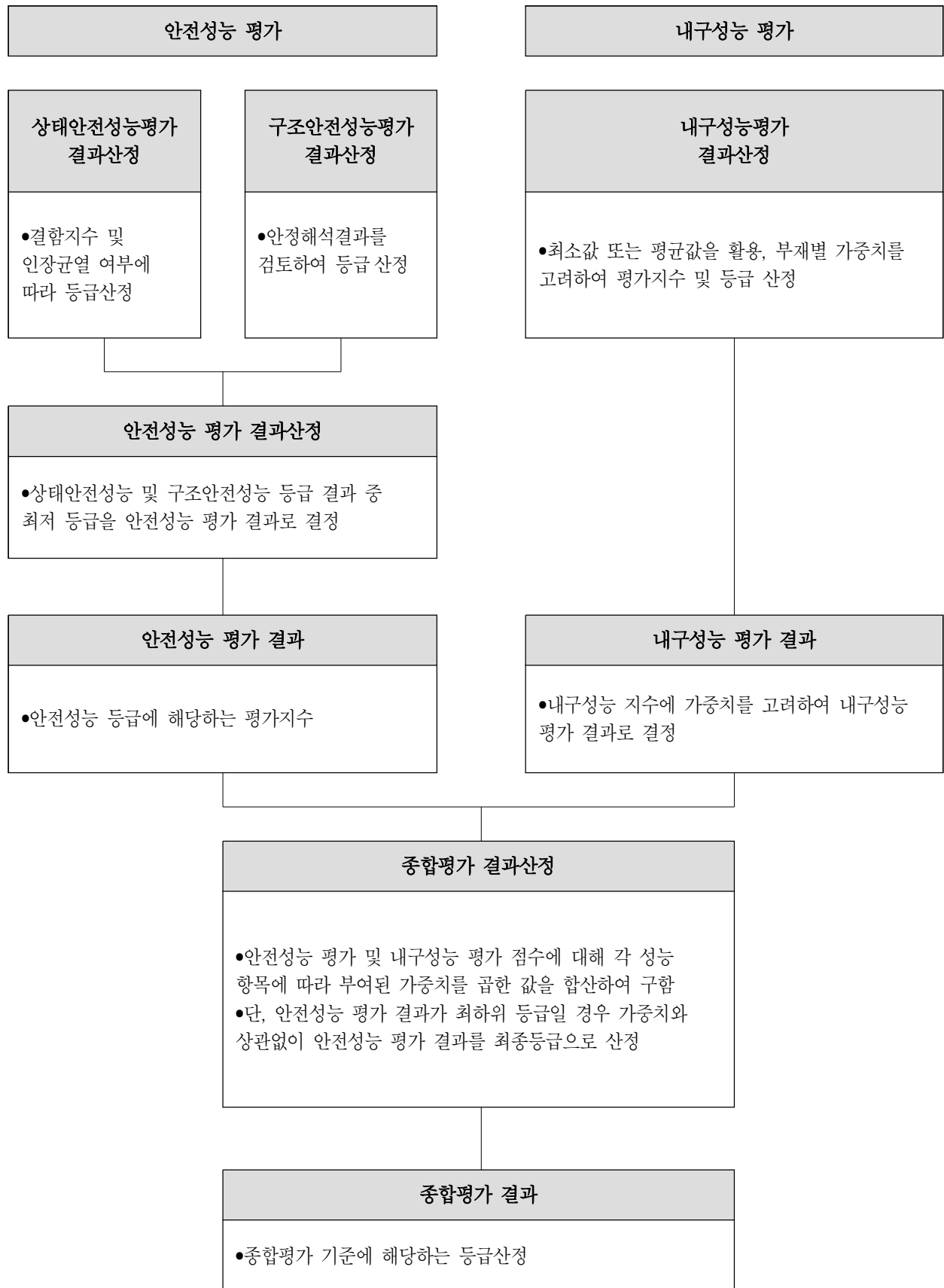
절토사면의 성능평가 적용범위인 2종 시설물은 도로 및 철도의 부대시설로 연직높이 30m 이상 (옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이)을 포함한 절토부로서 단일 수평연장 100m이상인 절토사면에 적용한다.

3.2 성능평가 방법

절토비탈면의 성능평가는 안전성능평가와 내구성능평가를 평가하고 이를 종합적으로 분석하여 최종 종합평가를 시행한다. 안전성능평가는 각 지표별 결합지수에 따라 등급을 산정하는 상태안전성능과 안정해석 결과를 통해 얻어진 안전율로 등급을 산정하는 구조안전성능평가로 세분화된다. 각 단계별 성능평가 방법은 다음과 같다.

- 1) 상태안전성능 : 인장균열이 없는 경우 결합지수에 따라 등급을 산정하며, 인장균열이 있는 경우에는 진행 여부에 따라 최저등급으로 산정
- 2) 구조안전성능 : 안정해석결과 안전율에 따라 등급 산정
- 3) 안전성능평가 : 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최저등급으로 산정
- 4) 내구성능평가 : 지표별 평가등급을 산정하여 등급에 따른 결합지수에 사면형식별 지표 가중치를 곱하여 내구성능 등급 산정
- 5) 종합평가 : 안전성능 평가 결과가 최하위 등급일 경우 가중치와 상관없이 안전성능 평가 결과를 최종등급으로 산정하며, 그렇지 않을 경우 각 성능항목의 가중치를 곱한 값으로 최종등급을 산정

상기와 같은 항목별 성능평가를 통해 최종 성능평가가 이루어지며, 성능평가 흐름도는 다음과 같다.



<그림 3.2-1> 성능평가 흐름도

3.3 안전성능평가

안전성능은 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능과 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

□ 상태안전성능은 사면의 내적상태와 외적상태의 관찰을 통해 평가

- 사면 내적상태 : 사면을 구성하는 재료의 특성(토층·암반 등) 및 형상에서 관찰되는 특징을 의미하며 육안관찰, 실내실험, 현장실험 등으로 평가한다.
- 사면 외적상태 : 사면에서 관찰되는 외부요인(지하수, 식생, 시설물 등)의 특징을 의미하며 주로 육안관찰을 통해 평가한다.

□ 구조안전성능은 공학적인 관점에서 평가할 수 있는 안전 수준

가. 상태안전성능평가 기준 및 방법

1) 상태안전성능평가 성능지표 및 기준

절토사면의 상태안전성능평가 시 형식별 고려해야할 주요 성능지표는 다음과 같다.

〈표 3.3-1〉 사면 형식별 성능지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 집수지형 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 사면상부 상태 ○ 붕괴이력	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석	○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

〈표 3.3-2〉 집수지형 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상

<표 3.3-3> 불안정지질 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
규모 및 상태	a	없음	없음
	b	일부 분포 (건고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태

<표 3.3-4> 불연속면 특성 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
불연속면의 상태	a	매우 양호	불연속면의 세부(연장, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격) 상태를 평가하여 산술평균값으로 평가 불연속면 상태 점수 = $\Sigma(①\sim⑥) / 6$
	b	양호	
	c	보통	
	d	불량	
	e	매우 불량	

<표 3.3-5> 불연속면 세부 상태 평가기준

평가항목		등급				
		a	b	c	d	e
점수	일반	0	5	10	16	24
	혼합	0	1	3	5	8
① 연 장 성		1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상
② 틈 새		0	0.1mm미만	0.1mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 5.0mm미만	5.0mm이상
③ 거 칠 기		매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
④ 충 전 물		없음	단단한 충전물 (5mm미만)	단단한 충전물 (5mm이상)	연약한 충전물 (5mm미만)	연약한 충전물 (5mm이상)
⑤ 풍 화 도		신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화
⑥ 절리간격		2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만

<표 3.3-6> 지반변형 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태

<표 3.3-7> 지하수 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
누수상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태

<표 3.3-8> 배수시설 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
배수조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나 배수기능이 원활한 상태
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태

<표 3.3-9> 붕괴이력 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
붕괴이력	a	없음	없음
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층파괴 발생이력
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태

<표 3.3-10> 낙석 발생 규모 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
발생 규모	a	없음	기 발생하여 적치된 낙석의 양으로 평가하며 평가구간 내에 발생한 낙석의 규모를 모두 합하여 평가
	b	1.0m³미만	
	c	1.0m³이상 5.0m³미만	
	d	5.0m³이상 10.0m³미만	
	e	10.0m³이상	

<표 3.3-11> 예상 낙석에너지 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
예상 낙석 에너지	a	없음	사면에 존재하는 뜬돌 및 이완암 등 낙석발생 가능성이 있는 암괴의 규모, 위치 등을 적용하여 낙석에너지 산정 $E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H$ 여기서, E_i = 낙석에너지(kJ), θ = 사면의 경사, u = 낙석의 등가마찰계수(0.15), β = 회전에너지계수(0.1), m = 낙석의 중량(t), H = 낙석의 높이(m), g = 중력가속도(9.8m/sec²), (u, β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용)
	b	50kJ미만	
	c	50kJ이상 70kJ미만	
	d	70kJ이상 120kJ미만	
	e	120kJ이상	

<표 3.3-12> 사면의 상부 상태 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사
	b	10° 미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가
	c	10° 이상 20° 미만	
	d	20° 이상 30° 미만	
	e	30° 이상	

<표 3.3-13> 인장균열 평가기준

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용
인장균열 유무 및 진행성	a	없음	인장균열 없음
	b	—	—
	c	—	—
	d	있음(비진행성)	인장균열이 확인되나 비진행성인 상태
	e	있음(진행성)	인장균열이 확인되나 진행중인 상태

<표 3.3-14> 공중이 이용하는 부위 평가기준

평가항목	평가등급	평가기준
추락방지 시설	a	○규격에 맞게 설치되어 있고 손상 및 결함 등이 없는 최상의 상태
	b	○추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 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 파손	a	○포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태
	b	○포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생한 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 발생한 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	○규격에 맞게 설치되어 있고 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

2) 구성 재료에 따른 지표등급 점수

<표 3.3-15> 토사사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	3	5	8	12
② 지반변형	0	5	10	16	24
③ 지하수	0	4	8	12	18
④ 배수조건	0	2	4	7	10
⑤ 사면 상부상태	0	3	6	9	14
⑥ 붕괴이력	0	5	9	14	22
결함지수 = $\Sigma(①\sim⑥) / 100$					

<표 3.3-16> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = $\Sigma(①\sim⑧) / 100$					

<표 3.3-17> 혼합사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	2	3	5	7
② 불안정 지질	0	3	6	9	14
③ 불연속면의 특성	0	1	2~3	4~5	6~8
④ 지반변형	0	2	5	7	11
⑤ 지하수	0	3	5	8	12
⑥ 배수조건	0	2	4	7	10
⑦ 붕괴이력	0	2	5	7	11
⑧ 낙석	0	3	5	8	12
⑨ 사면 상부상태	0	3	6	10	15
결합지수 = $\Sigma(①\sim⑨) / 100$					

3) 상태안전성능평가 결과 산정

① 개요

상태안전성능 등급의 결과 산정방법은 평가된 항목별 점수를 모두 합산하여 100으로 나눈 값으로 산정한다. 집수지형 및 낙석의 경우 두 개의 평가항목 중 등급이 낮은 항목을 선정한다. 불연속면 특성(연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격)은 각 항목별 평가된 점수의 산술평균값으로 평가한다. 다만, 인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결합점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다

<표 3.3-18> 인장균열 결합점수 산정

구 분	평가등급	결합점수	결합지수
인장균열	a	8	0.08
	d	65	0.65
	e	88	0.88

② 결과 산정

상태안전성능의 평가 결과는 인장균열 유무 및 진행성여부를 고려하여 분할 평가한 구간 중 최소 등급으로 산정된 값을 적용한다.

<표 3.3-19> 상태안전성능 평가 결과 범위

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$

나. 구조안전성능평가 기준 및 방법

1) 구조안전성능평가 기준

사면은 자연지반이 주 구성물질이므로 안정해석을 실시함에 있어 타 시설물에 비해 불확실성이 높은 요소들이 많이 존재한다. 따라서 구조안전성능 평가 기준은 인공구조물로 이루어진 타 시설물에 비해 높은 수준의 평가기준을 적용하는 것이 바람직하므로 국내에서 표준으로 사용되는 ‘건설기준코드(구 건설공사 비탈면 설계기준)’의 깎기비탈면 설계시 허용안전율을 평가기준에 적용한다. 또한 기준산정에 있어 안정해석 결과가 허용안전율 보다 클 경우에는 설계기준에 적합한 상태이므로 B, C가 아닌 A로 산정하며, 허용안전율 보다 작을 경우에는 보강 및 사용제한 등의 조치가 필요한 D, E로 산정한다.

<표 3.3-20> 구조안전성능 평가기준

평가기준		상 태	
등급	결합지수	전기	우기(침투해석)/내진
a	0.08	안전율 1.5 이상	안전율 1.2(1.3) 이상/1.1 이상
b	—	—	—
c	—	—	—
d	0.65	안전율 1.0 이상, 1.5 미만	안전율 1.0 이상, 1.2(1.3) 미만/ 안전율 1.0 이상, 1.1 미만
e	0.88	안전율 1.0 미만	안전율 1.0 미만

2) 구조안전성능평가 결과 산정

구조안전성능 평가시 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형 해석을 실시한다.

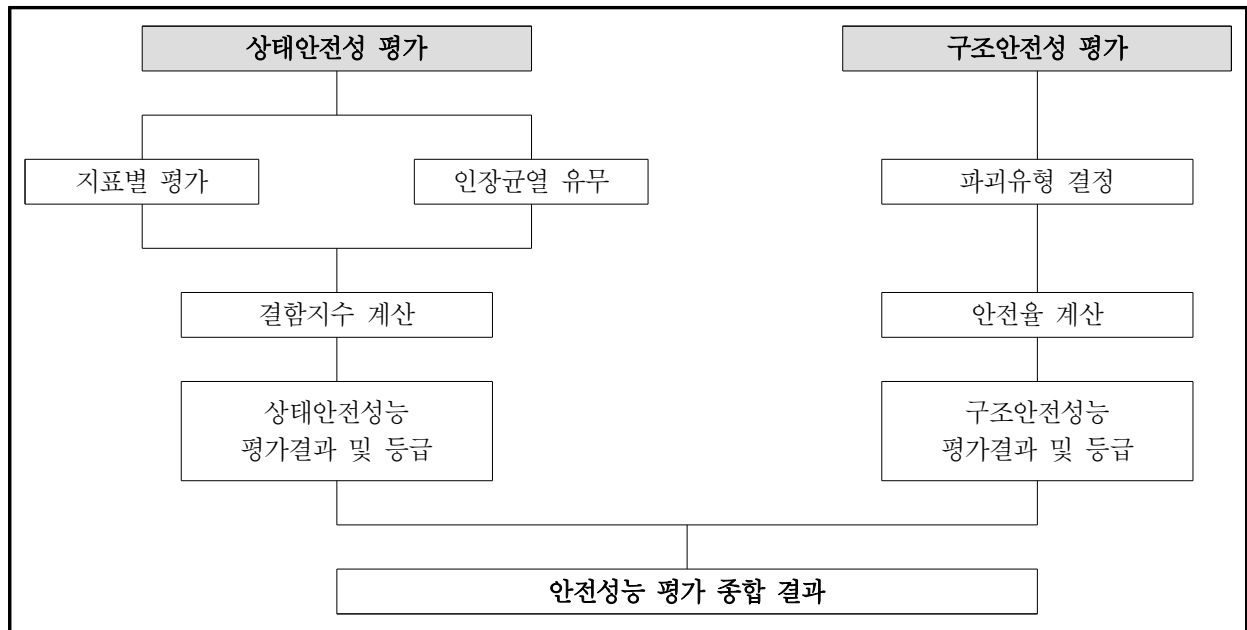
또한, 암반사면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사사면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어 져야 한다. 내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

<표 3.3-21> 안정해석 조건에 따른 기준안전율

구 분		전기	우기(침투해석)	지진시
절토사면	일반	FS > 1.5	FS > 1.2(1.3)	FS > 1.1

다. 안전성능평가 결과 산정 방법

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다. 따라서 a, d, e 3등급으로 분류하여 평가되는 구조안전성능 평가는 매우 중요하다. 상태안전성능 결과에서 c등급 이상 결과를 얻었다 할지라도 구조안전성능 평가에서 안전율이 1.0미만으로 해석된다면 e등급으로 해당 사면은 매우 불안정한 것으로 판단되기 때문에 안정성 확보를 위한 보강공법이 시급하다.



〈그림 3.3-2〉 안전성능평가 결과 산정 과정

〈표 3.3-22〉 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (E) < 0.15$	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (E) < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준
D (미흡)	$0.55 \leq (E) < 0.75$	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (E) < 1.00$	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

3.4 내구성능평가

비탈면이란 기존 원지반을 깎아서 부지를 조성할 때 형성되는 경사진 지반으로 정의할 수 있으며, 절토비탈면에 대한 내구성능 용어 정의로는 “외부환경 및 하중에 대해 원래의 사면상태가 시간에 따라 변형되거나 변질되지 않고 안전성능을 저하시키지 않도록 유지하는 성질”과 같다.

이와 같은 정의에 따라 비탈면 고유의 성질과 그 고유의 성질을 유지하도록 하는 지표 중에서 시간에 따라 변화하여 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대해 내구성능 평가를 수행한다.

선정된 지표에 대해 평가기준에 따라 등급산정을 하고, 각 등급 산정 결과에 사면형식별 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 절토사면의 시설물에 대한 내구성능등급을 결정한다.

가. 내구성능평가 항목 및 기준

1) 개 요

절토사면은 형식별로 토사사면, 암반사면, 혼합사면으로 구분할 수 있으며, 형식 구분에

대한 기준은 토층심도율이 적용된다. 토사사면에 대해서는 지반상태(토질), 표면보호공 및 사면보강공에 대해 평가하고, 암반사면에 대해서는 지반상태(암반), 절리상태 및 풍화도, 표면보호공 및 사면보강공에 대해 평가한다. 토층심도율이 0.2~0.4인 혼합사면에 대해서는 토질 및 암반 각각에 해당하는 지표에 대해 평가하고, 이 중 낮은 등급을 최종등급으로 결정한다.

<표 3.4-1> 사면 형식별 내구성능 평가지표

구 분	평가지표
토사사면	○ 지반상태(토질) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공
암반사면	○ 지반상태(암반) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공 ○ 절리상태 및 풍화진행도
혼합사면	○ 토사사면과 암반사면의 지표를 모두 고려

각 평가지표에 대한 등급분류 기준은 다음과 같은 사항이 고려되었다. 공용중인 절토사면에 대해서 관련 평가지표가 실제로 점검이 가능한 조사방법에 의해 측정 및 평가될 수 있는지를 고려한 것이다.

예를 들어, 토사사면의 지반상태를 평가하기 위해 표준관입시험이 적용될 수 있겠으나, 공용중인 사면에 대해서 장비의 진입 및 설치가 용이하지 않다. 따라서 이러한 경우 휴대가 용이한 동적콘관입시험기를 사용하여 조사하며(제2종 성능평가 수준시 토양경도계 사용 가능), 등급분류 기준은 해당 시험법으로부터 얻을 수 있는 측정값을 고려하여 결정하였다.

2) 내구성능 평가 성능지표 및 기준

① 토사사면의 지반상태

표준관입시험은 대형의 장비를 사용해야 하는 관계로 공용 중의 사면에 활용하는 것은 적합하지 않다. 소형의 장비(휴대용 콘관입시험기)를 사용하는 동적콘관입시험은 표준관입시험과 동일한 원리를 적용하고 있으며, 표준관입시험의 N 치와 동적콘관입시험의 N_d 치는 $N_d=1.15N$ 의 관계를 가지고 있다.

동적콘관입시험(DCPT)은 타격횟수(N_d)를 측정하고 측정값의 범위에 따라 등급을 산정하며 토사의 종류가 점성토의 경우에는 연경도, 사질토의 경우는 상대밀도에 따라 분류할 수 있다. 붕적 자갈층으로 형성된 사면의 경우 더욱 신뢰성 있는 평가결과를 얻기 위해서는 표준관입시험의 수행에 대한 검토가 필요하며, 이에 대해서는 관리주체 및 점검책임자의 판단에 따라 시험방법을 결정한다.

〈표 3.4-2〉 토사사면의 지반상태 등급 및 기준

항목	등급	상세	비 고		
지반상태 (토사)	a	매우건고/매우조밀	동적콘관입시험(DCPT) N_d 치		
	b	건고/조밀	구분	점성토(연경도)	사질토(상대밀도)
			N_d 치	3 미만 (매우 연약)	5 미만 (매우 느슨)
				3 이상 5 미만 (연약)	5 이상 12 미만 (느슨)
				5 이상 10 미만 (보통 견고)	12 이상 35 미만 (중간 조밀)
				10 이상 18 미만 (견고)	35 이상 58 미만 (조밀)
	d	연약/느슨		18이상 (매우 견고)	58이상 (매우 조밀)
	e	매우연약/매우느슨			

<표 3.4-3> 토양경도계 측정에 따른 등급 및 기준

항목	지반종류	등급	분 류	토양경도(mm)
지반상태 (토사)	모래	a	매우 조밀	$26.0 \leq X$
		b	조밀	$23.3 \leq X < 26.0$
		c	보통	$20.4 \leq X < 23.3$
		d	느슨	$17.2 \leq X < 20.4$
		e	매우 느슨	$X < 17.2$
	모래질 실트	a	매우 조밀	$18.9 \leq X$
		b	조밀	$14.9 \leq X < 18.9$
		c	보통	$12.0 \leq X < 14.9$
		d	느슨	$10.2 \leq X < 12.0$
		e	매우 느슨	$X < 10.2$
	실트	a	매우 조밀	$11.1 \leq X$
		b	조밀	$9.7 \leq X < 11.1$
		c	보통	$7.1 \leq X < 9.7$
		d	느슨	$4.7 \leq X < 7.1$
		e	매우 느슨	$X < 4.7$

② 암반사면의 지반상태

암석강도는 풍화에 따라 시간적으로 변하는 물성치로 초기 암반 상태가 한 등급 낮은 등급으로 떨어질 때의 강도 감소율을 최하등급으로 설정하고 나머지 등급은 등간격으로 한다.

최하등급 설정근거는 건설공사 표준품셈에 제시된 암종별 내압강도를 참고하며, 극경암→경암, 경암→보통암, 보통암→연암, 연암→풍화암으로 될 때의 강도 감소율이다. 설계값이 없는 경우 초기점검시 측정값을 기준으로 평가한다.

<표 3.4-4> 암반사면의 지반상태 등급 및 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	95.0%이상 100%이하	94.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	95.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 95.0%미만	88.0%이상 94.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 95.0%미만	85.0%이상 90.0%미만	82.0%이상 88.0%미만	70.0%이상 80.0%미만
	d	90.0%이상 92.5%미만	80.0%이상 85.0%미만	75.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	75.0%미만	60.0%미만

<표 3.4-5> 암종별 암편 내압강도

암종	그룹	암편 내압강도(kg/cm ²)
풍화암	A B	300 이상 700 미만 100 이상 200 미만
연암	A B	700 이상 1,000 미만 200 이상 500 미만
보통암	A B	1,000 이상 1,300 미만 500 이상 800 미만
극경암	A B	1,600 이상

<표 3.4-6> A그룹, B그룹 대표 암종

구분	A 그룹	B 그룹
대표적 암명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 위록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 김랍암, 사교암, 유교암, 현암, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 혈암, 니암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각 판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 것, 천매상의 것
500 ~ 1000gr 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되거나 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점의 암이 부서지지 않고, 분상이 되어 남고 암편 비산 정도가 적은 것

③ 표면보호공

표면보호공은 사면의 안정성에 직접적인 영향을 주지는 않으나, 사면의 상태 보호 및 유지시키는데 영향을 준다. 식생의 경우 전체 면적 대비 피복 면적의 비, 콘크리트뿔어붙이기 및 석장공 같은 구조물공의 경우 전체 시공 면적 대비 손상 면적의 비를 기준으로 등급을 분류한다.

단, 식생과 구조물공이 혼재되어 있는 경우는 구조물공이 사면의 상태에 더 영향을 주므로 이에 대한 등급을 최종등급으로 한다.

<표 3.4-7> 표면보호공 평가등급 및 기준

항목	등급	보호공의 종류		비 고
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿔어붙이기/석장공 (손상 면적율, %)	
표면 보호공	a	매우 양호 (90% 이상)	균열 및 박락 없음 (0 ~ 10% 미만)	식생과 구조물공(콘크리트뿔어 붙이기/석장공)이 혼재되어 있는 경우는 구조물공의 등급을 최종등급으로 함
	b	양호 (70% 이상 ~ 90% 미만)	일부 균열 발생 (10% 이상 ~ 30% 미만)	
	c	보통 (50% 이상 ~ 70% 미만)	균열 및 일부 박락 발생 (30% 이상 ~ 50% 미만)	
	d	불량 (30% 이상 ~ 50% 미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생 (50% 이상 ~ 70% 미만)	
	e	매우 불량 (0% ~ 30% 미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생 (70% 이상)	

④ 사면보강공

사면보강공에 대한 내구성능 평가는 사면의 안정성과 직·간접적으로 영향을 주는 보강 구조물을 대상으로 수행한다. 시공시의 보강공의 상태 및 성능은 양호하다는 기본 전제조건 하에 시간에 따라 보강성능 저하에 영향을 줄 수 있는 ‘보강공 두부와 지반의 밀착도’ 및 ‘보강공 두부의 균열 및 파손’에 대해 평가한다. 각각에 대해 평가하고 낮은 등급을 최종 등급으로 산정한다.

<표 3.4-8> 사면보강공 평가 등급 및 기준

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면 보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	—	미세한 균열 및 파손 발생
	c	일부 유격 발생	일부 균열 및 파손이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않은 상태
	d	—	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태
	e	전체적인 유격 발생	균열 및 파손이 심각한 상태

⑤ 암반의 절리상태 및 풍화진행도

절리상태(길이/틈새/거칠기/충전물) 및 풍화진행도는 시간에 따라 변화하여 암반사면의 안전성능 저하를 유발할 수 있는 가장 큰 요인에 해당하므로 이에 대한 내구성능평가를 실시한다.

길이, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화진행도에 대해 각각 평가하고 평균점수에 따라 등급을 산정한다. 풍화진행도는 국제암반역학회(ISRM)이 제시한 풍화등급분류 방법 및 해머타격 시험을 통한 암반의 풍화등급 분류법에 따라 평가를 실시한다.

〈표 3.4-9〉 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

평가항목	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1mm	0.1~1mm미만	1~5mm 미만	≥ 5mm
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

나. 내구성능평가 결과 산정 방법

1) 개 요

내구성능평가 결과 산정방법은 각 지표별 평가 등급의 결합도 지수와 가중치를 활용하여 최종 등급을 산정하며, 혼합사면의 경우 토질과 암반을 각각 평가하여 낮은 등급을 최종등급으로 결정한다.

사면 형식별 지표의 중요도에 따라 가중치가 다르며, 평가지표에 대한 평가대상 시설물이없는 경우에는 가중치를 보정하여 평가에 반영한다. 예를 들어 토사사면에 ‘사면보강공’ 이없는 경우에는 ‘지반상태’ 와 ‘표면보호공’ 두 개의 지표에 대해 가중치를 보정한 값을 적용하여 결합도 지수를 산정한다. 지표별 가중치는 다음과 같다.

〈표 3.4-10〉 등급별 결합도 지수 및 범위

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.08	0.23	0.43	0.65	0.88
$0 \leq E < 0.15$	$0.15 \leq E < 0.30$	$0.30 \leq E < 0.55$	$0.55 \leq E < 0.75$	$0.75 \leq E$

<표 3.4-11> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분		지표명	지표별 가중치			
			기본	가중치 보정		
토사사면		지반상태(토질)	40	53	62	100
		표면보호공	25	—	38	—
		사면보강공	35	47	—	—
암반사면		지반상태(암반)	25	28	33	38
		절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62
		표면보호공	10	—	14	—
		사면보강공	25	28	—	—
혼합사면	토사	지반상태(토질)	40	53	62	100
		표면보호공	25	—	38	—
		사면보강공	35	47	—	—
	암반	지반상태(암반)	25	28	33	38
		절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62
		표면보호공	10	—	14	—
		사면보강공	25	28	—	—

2) 결과 산정 절차

평가대상 구간에 평가지표 대상 시설물(표면보호공, 사면보강공 등)이 없는 경우는 해당지표를 제외하고 평가하는 지표에 대한 가중치를 보정하여 산정한다.

<표 3.4-12> 단계별 결과 산정 절차(혼합사면)

구 분	내 용
1단계	토사사면 지표별 평가 및 등급산정
	암반사면 지표별 평가 및 등급산정
2단계	평가항목별 가중치에 따라 구간별 내구등급 산정 토사/암반 구간별 등급점수 = $\sum(\text{지표등급점수} \times \text{가중치})$
3단계	토사사면과 암반사면의 평가등급 중 낮은 등급을 최종등급으로 결정

<표 3.4-13> 토사사면의 조사 방법 및 수량

평가지표	평가범위	조사/점검 방법	조사/점검 수량
지반상태 (토사)	토사구간 전체	동적콘관입시험 (정밀안전진단시)	20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 (1개소당 1~2m 간격을 두고 3회 측정)
표면보호공 (토사)	토사구간 전체	식생이 있는 구간에 대한 피복율 측정	토사구간 계획 및 시공 면적에 대한 점검시 식생 피복면적의 비
		콘크리트뿔어붙이기/석장공이 설치된 구간에 대한 손상 면적을 측정	콘크리트뿔어붙이기/ 석장공 시공면적에 대한 손상면적의 비
사면보강공	토사구간 전체 보강공	보강공 두부와 지반 밀착도 및 보강공 두부의 균열 및 파손 상태 육안조사	전체 보강공의 25% 이상

<표 3.4-14> 암반사면의 조사 방법 및 수량

평가지표	평가범위	조사/점검 방법	조사/점검 수량
지반상태 (암반)	암반구간 전체	설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도 추정값 비율 측정	20m 구간별 최소 1개소, 최소 10개소 이상
표면보호공(암반)	암반구간 전체	토질구간의 경우와 동일	토질구간의 경우와 동일
사면보강공	암반구간 전체/ 보강공	토질구간의 경우와 동일	토질구간의 경우와 동일
절리상태 및 풍화진행도	암반구간 전체	절리상태: 육안조사 풍화진행도: ISRM 5단계 분류법 또는 해머타격 시험에 의한 풍화도	20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상

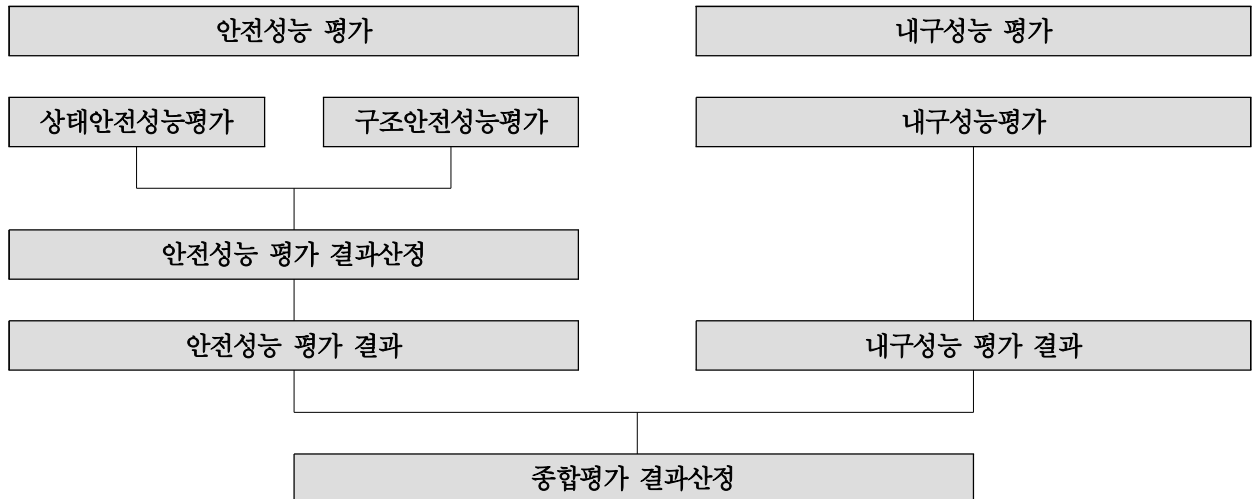
<표 3.4-15> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
a (우수)	$0.00 \leq (E) < 0.15$	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
b (양호)	$0.15 \leq (E) < 0.30$	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
c (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
d (미흡)	$0.55 \leq (E) < 0.75$	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
e (불량)	$0.75 \leq (E) < 1.00$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

3.5 종합평가

가. 종합평가 일반

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능 등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.



<그림 3.5-1> 종합평가 흐름도

- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때
 - 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정함.
- 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우
 - 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정함.

나. 종합평가 결과 산정방법

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

$$\text{사면의 종합평가 지수(P)} = \sum(\text{성능평가지수(pn)} \times \text{성능간 가중치(Wn)})$$

<표 3.5-1> 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치(Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2

다. 종합성능등급 지정

성능평가를 실시한 책임기술자는 당해 시설물에 대해 종합적으로 평가한 결과로부터 종합성능 등급을 지정하여야 한다.

〈표 3.5-2〉 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합 성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (P) < 0.15$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구 성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (P) < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (P) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq (P) < 0.75$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (P) < 1.00$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

제4장 유지관리 전략

4.1 개 요

4.2 유지관리 전략 제안

4.3 시설물의 유지관리

제4장 유지관리 전략

4.1 개 요

현재 시설물의 예산 배정 방식은 대부분 시설물 손상 및 결함만으로 결정되며, 관리주체의 주관적 요소가 지배적 결정 요인으로 작용되는 경우가 많다. 또한, 시설물 관리부서의 보수보강예산은 한정되어 있기 때문에 모든 결함을 적기에 보수하기에는 충분치 못한 실정이다. 이와 같이 유지관리 전략 제안에 포함된 모든 조치를 시행하기가 현실적으로 어려울 경우 가용 자원 규모 내에서 가장 효과적인 유지관리 방안을 우선적으로 선정해야 한다.

유지관리 전략 제안 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

4.1.1 유지관리 전략 제안 시 고려사항

일반적인 유지관리 단계의 우선순위 산정 시에는 유지보수 시 발생하는 편익을 개별로 추정하기가 어렵기 때문에 신설 투자 시 적용하는 서비스수준(LOS : Level of Service), 위험도(Risk), 생애주기비용(LCC : Life Cycle Cost) 방법 등을 적용하기는 쉽지 않다.

이는 시설물 관리주체가 유지보수 대상을 선정할 경우 수십~수백개 이상의 시설물을 대상으로 계획을 수립하기 때문에 각 시설물 및 공법별로 정량화하여 분석하는데 많은 시간과 비용이 발생되기 때문이다.

시설물의 보수·보강 공법, 단가 등의 자료를 통해 보수·보강 물량을 산출하고 부재 및 성능간가중치를 적용하여 유지관리 전략을 제안한다.

4.1.2 유지관리 전략 활용

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

4.2 유지관리 전략 제안

4.2.1 성능목표 등급 선정

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

성능목표 등급 : B

<표 4.2-1> 종합성능평가에서의 결함도 범위

기준	A	B	C	D	E
평가지수 범위	$0 \leq E < 0.15$	$0.15 \leq E < 0.30$	$0.30 \leq E < 0.55$	$0.55 \leq E < 0.75$	$0.75 \leq E$

4.2.2 성능목표 등급 조정

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

- 관리주체는 기존 성능목표 조건외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능목표 등급을 상향 조정 할 수 있다.
- 상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

4.2.3 유지관리 전략 제안 절차

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

<표 4.2-2> 유지관리 전략제안을 위한 우선순위 절차

구 분	분 석 내 용
<단계 I> 대상 선정 단계	○ 관리주체의 목표 및 방향에 기반하여 성능평가 대상을 도출
<단계 II> 자료 수집 단계	○ 시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집
<단계 III> 시설물 평가 단계	○ 성능목표·영향도에 따라 후보 조치별 평가 ○ 우선순위 선정을 위한 지표도출
<단계 IV> 순위 선정 단계	○ 평가결과를 활용하여 비용효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정
<단계 V> 예산제약 고려 단계	○ 우선순위 선정 후 예산제약을 감안한 조치 선택

가. 대상 선정

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

나. 자료 수집

시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집한다.

다. 시설물 평가

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

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

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

라. 우선순위 수준 선정

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

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

4.2.4 우선 순위 지수 산정(절토사면)

가. 성능항목별 가중치

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

<표 4.2-3> 안전성능 가중치

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

<표 4.2-4> 내구성능 가중치

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

<표 4.2-5> 성능간 가중치

구 분	성능별 가중치	
	안전성능(P1)	내구성능(P2)
절토사면	80	20

나. 공법별 가중치

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

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당공법이 지표항목이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

<표 4.2-6> 공법별 가중치 산정

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

4.2.5 우선순위 선정

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

부재별 손상내역 및 공사비에 가중치를 적용하여 우선순위지수를 산정한다.

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

여기서, P1 : 성능간 가중치(안전성능)

P2 : 성능간 가중치(내구성능)

P3 : 성능간 가중치(사용성능)

E1 : 부재 가중치(안전성능)

E2 : 부재 가중치(내구성능)

E3 : 부재 가중치(사용성능)

※ 부재가중치 = 공법별 가중치 × 영향도

4.3 시설물의 유지관리

4.3.1 개요

관리주체는 시설물의 기능 및 성능의 보존·관리를 위해 합리적이고 경제적인 보수·보강 등을 실시하고, 시설물의 규모 및 특성, 사용 환경 생애주기 등을 고려하여 체계적인 유지관리를 하여야 한다. 관리주체는 시설물의 안전점검등, 성능평가, 보수·보강 등에 대한 비용을 다음에 따라 유지관리 예산에 반영하여 적절한 시기에 유지관리가 시행되도록 하여야 한다.

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

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

4.3.2 성능목표 설정 및 관리

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

관리주체는 시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용 환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 하며, 시설물의 용도의 변경이나 전면적인 성능 변경이 예정(개축, 교체, 철거 등)된 경우 필요시 시설물의 성능목표에 대한 등급을 조정할 수 있다.

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

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

<표 4.3-1> 성능목표 설정 시 고려되어야 할 사항

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

4.3.3 보수·보강의 실시 등

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

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

4.3.4 유지관리 이력 관리 등

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

- 안전점검 및 정밀안전진단 결과보고서
- 유지관리 및 성능평가 결과보고서
- 시설물의 유지관리를 위해 계측 및 측정된 자료 및 보고서
- 그 밖에 유지관리상 특기한 사항에 관한 보고서 등

4.3.5 유지관리 결과보고서 작성 및 제출

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

유지관리 결과보고서는 시설물의 보수·보강 및 사용제한 실적 중심으로 내용을 작성하여야 하며, 이를 증빙할 수 있는 사진첩 또는 설계도서 등 관련서류를 포함하여야 한다. 유지관리 결과보고서는 유지관리를 완료한 날로부터 30일 이내에 시설물통합정보관리체계를 이용하여 제출하여야 한다.