
제11장 절토사면

11.1 관리일반

11.2 현장조사

11.3 재료시험 항목 및 수량

11.4 안전성능 평가기준 및 방법

11.5 내구성능 평가기준 및 방법

11.6 종합평가기준 및 방법

제11장 절토사면

11.1 관리일반

11.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조의 규정에서 정하고 있는 시설물 중 절토사면에 적용한다.

절토사면의 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규 및 기준을 따른다.

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 건설공사 비탈면 설계기준)
- 건설기준코드(구 건설공사 비탈면 표준시방서)
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조설계기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 건설공사 비탈면 유지관리지침
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드
- 도로안전시설 설치 및 관리지침
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

11.1.2 용어 정의

- 절토사면
 - 원지반을 절취 등의 토목공사로 인하여 인공적으로 형성한 절토사면
- 상부자연사면
 - 절취를 하지 않은 자연 상태의 사면
- 사면 경사
 - 사면 경사는 각 소단의 수평면과 이루는 사면의 각도를 말하며, 사면의 평균 경사는 비탈어깨 또는 상부자연사면 경계에서부터 비탈끝까지의 각도를 말함
- 산마루배수구
 - 상부자연사면으로부터 유입되는 표면수를 절토사면 외부로 배수시키기 위하여 산마루에 설치하는 배수시설

- 소단
 - 사면의 안정 및 유지관리를 위하여 높이에 따라 일정 간격의 폭으로 조성되는 수평공간
- 소단배수구
 - 소단부 침식 방지 및 지표수의 원활한 배수를 위해 소단 전면에 배수구를 설치하는 공법
- 비탈끝
 - 사면 경사가 수평면 또는 완경사면으로 이행하는 부분
- 경계부
 - 상부자연사면에서 깎기면이 시작되는 부분 또는 도로에서 쌓기면이 시작되는 부분
- 이격부
 - 비탈끝에서 도로어깨까지의 공간, 포획거리와 이격거리로 구분
- 포획거리
 - 붕괴산물을 포획할 수 있는 공간으로 비탈끝에서 측구 등의 낙석방호시설까지의 거리를 말함
- 측구
 - 절토사면으로부터 배출되는 지하수 및 지표수와 도로상에 흐르는 용수를 집수시설 등으로 유도하는 공법으로 L형 측구, U형 측구, J형 측구 등이 있으며, 최근에는 높이를 1.0~1.5m 로 시공하여 낙석에 저항할 수 있는 효율을 높임
- 수평배수공
 - 지하 용수가 빈번한 지점에서 강제적으로 지반 내부에 유로를 형성함으로써 상시 지하수위의 증가를 억제시킬 필요가 있을 때 설치하는 공법
- 지하배수구
 - 사면을 통해 흘러 노면 속으로 유입되는 물은 하단부에 맹암거를 시공하여 배수를 유도하며, 측구 되메우기 시에는 암거 혹은 배수관을 통해 배수를 유도하는 구조물
- 결함
 - 시설물이 자체적인 변화 또는 외부의 작용에 의해 불완전하게 된 상태
- 계곡부
 - 골짜기라 불리는 좁고 길게 움푹 들어간 지형으로 강우 시 또는 평상시에 물이 흐르는 지형
- 집수지형
 - 상부자연사면과 절토사면 내에 표면이 움푹 들어가서 강우 시 지표수가 흘러 집수되는 지형
- 균열
 - 인장을 받는 부재의 재료적 결함 또는 과도한 하중 등으로 인하여 원래 연결되어 있던 재료가 분리되어 발생하는 작은 틈. 균열 주위에는 큰 응력 집중이 발생함

○ 불안정지질

- 사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하고 있어 사면에 불안정 요인으로 작용하는 지질의 분포규모

○ 낙석방지망

- 예상치 못한 낙석 또는 소규모 낙석 발생 가능성 등이 있는 사면을 철제망으로 덮어 낙석의 운동에너지를 감소시키고 하부유입을 차단하는 공법

○ 낙석방지울타리

- 사면으로부터 발생하는 낙석의 충격에너지를 흡수하여 도로유입을 차단하는 공법

○ 네일

- 보강재를 프리스트레싱 없이 좁은 간격으로 토사 및 풍화암층에 삽입하여 전체적인 전단강도를 증대시킴으로써 지반을 보강하는 공법

○ 누수

- 지하수에서 바닥 또는 위에 형성된 반투수층을 통하여 대수층으로부터 물이 흐르는 현상. 또는 댐이나 사면, 옹벽으로부터 물이 새는 것

○ 단층

- 지각변동에 의하여 지층이 어긋나는 현상을 말하며 규모는 수 cm에서 수천 m에 달하는 것까지 다양하며, 이동방향에 따라 세분화됨. 대체로 파쇄대를 수반하여 사면에서 용수가 나오기도 함

○ 록볼트

- 지반 내 볼트를 삽입한 후 정착시킴으로써 소규모의 활동이 가능한 암 블록을 원지반에 고정시키는 공법

○ 록앵커

- 그라우트 주입과 지반에 삽입된 강재의 인장에 의해 앵커체를 지반에 정착시켜 앵커체 두부에 작용한 하중을 정착지반에 전달하는 것으로 대규모 암반블록에 적용

○ 땀암거

- 흙 속에 일정간격으로 구멍을 뚫어놓아 배수시키는 형태로, 장시간에 걸친 배수를 원할 때는 그 속에 유공관을 매설하기도 함. 사면을 통해 흘러 노면속으로 유입되는 물은 하단부에 땀암거를 시공하여 배수를 유도하며, 측구 되메우기 시에는 암거 혹은 배수관을 통해 배수를 유도하는 구조물

○ 물리적 풍화

- 암석이 건조, 습윤, 동결, 융해 등의 반복에 의하여 열화되는 것을 말함. 기계적 풍화라고도 하며 지표부근에서 깊은 곳으로 진행함

○ 배수

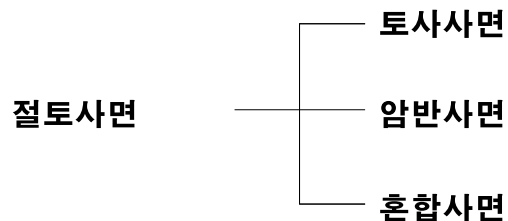
- 지표수나 지하수를 자연적 또는 인공적으로 배출하는 방법으로 지형에 따라 자연적으로 이루어지는 자연배수와 시설물을 통해 인위적으로 이루어지는 시설배수로 분류

- 배수공
 - 옹벽, 석축 등에서 배후의 지반에서 발생하는 물을 빼기 위하여 옹벽의 표면까지 설치하는 작은 구멍
- 배수구
 - 지하수 및 지표수의 흐름 경로에 인공구조물을 설치하여 사면과 도로의 유입을 방지하고 원활한 배수를 유도하기 위한 배수시설
- 보강토공법
 - 쌓기 제방이나 벽체의 배면 또는 성토사면에 금속이나 합성섬유, 천 등의 보강재를 부설 또는 삽입함으로써 흙과 보강재가 일체 되어 전단에 저항하도록 조성하는 공법으로 토압의 저감, 사면 안정, 지지력 증대, 변형이나 침하억제 등에 사용
- 불연속면
 - 암반이 연속체가 아닌 불연속체로 거동하도록 만드는 역할을 하며 균열, 절리, 단층, 층리, 엽리, 편리, 파쇄대 등의 연약 면에 대한 총칭
- 비탈면녹화
 - 사면에 식생을 피복하여 우수에 의한 침식 및 유실을 방지하기 위한 표면보호공법
- 세굴
 - 풍화정도가 심한 암반사면의 상부나 토사사면에서 지표수에 의해 물길이가 형성되면서 침식되는 현상
- 앵커
 - 토사 또는 암반사면의 이완된 지반이나 불연속면 등이 존재하고 붕괴 위험이 있는 경우, 불안정한 지반의 안정성 확보를 위해 앵커체를 지반에 정착 및 인장시켜 활동면상의 전단강도를 증가하여 지지력을 확보하는 공법
- 억지말뚝
 - 사면의 활동면을 관통하여 부동지반까지 설치함으로써 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 저항하는 공법
- 원호파괴
 - 최소 안전율을 보이는 지점을 따라 원호형태로 발생하는 붕괴형태, 주로 토사 사면이나 풍화대 및 불연속면의 발달빈도가 높은 파쇄대에서 발생
- 인장균열
 - 지반 내 인장응력이 발생하여 이로 인해 발생한 균열
- 토양경도
 - 토양경도계를 이용하여 사면에서 측정한 값으로 토양경도지수(mm)를 환산하여 경도(R , kg/m^2)로 나타냄
- 파쇄대
 - 단층에 따르는 폭 수 cm ~ 수십 m의 암석이 파쇄된 대상부 또는 암석의 파쇄·압쇄된 폭 수백 ~ 수천 m의 대상부

- 소규모 파쇄대는 댐 등 구조물 기초의 지지력, 힘 전달, 또는 깎기의 안정 등에 문제가 발생됨
 - 대규모 파쇄대는 산사태, 유송토사, 깎기, 쌓기의 안정성 등에 문제가 발생되며 파쇄대의 크기가 일정하지 않고 파쇄대 내의 각 부에서 상이한 특성을 나타냄
- 포행
 - 지표 부근의 흙, 표토, 응고하지 않은 퇴적물 등이 사면의 경사면을 따라 중력 방향으로 장시간에 걸쳐 미끄러져 내려오는 활동
- 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 부대시설에 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)

11.1.3 성능평가 대상 시설

절토사면의 대상 범위는 「법」에 따른 제2종 시설물로서 지반의 구성 재료에 따라 토사사면과 암반사면 그리고 토사와 암반이 혼합되어 있는 경우는 혼합사면으로 구분한다.



[그림 11.1] 절토사면의 분류

토층심도율(Soil depth ratio: SR)은 토사사면과 암반사면을 구분할 수 있는 지표로서 다음 식과 같이 사면높이에 대한 토층두께의 비로 정의된다.

$$SR = \frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}}$$

토층심도는 토층의 두께로서 충적층 또는 풍화등급상 잔류토(Residual soil)와 완전 풍화암(Completely weathered rock)을 대상으로 측정한다.

[표 11.1] 토층심도에 따른 절토사면 구분

구분	토층심도율	비고
토사사면	> 0.4	
암반사면	≤ 0.4	
혼합사면	$0.2 \sim 0.4$	
토층심도율이 0.2 ~ 0.4일 경우, 혼합사면으로 구분하여 토사와 암반을 모두 고려하여 평가함		

가. 토사사면

주요 구성 물질이 토사로 이루어져 토사지반의 거동을 보이는 사면을 지칭하며, 지반 포화시와 불포화시의 단위중량 변화량이 암반사면에 비해 큰 특징을 가진다. 대표적인 붕괴유형으로는 세굴, 표층유실, 표층붕괴, 활동파괴 등이 있다.

[표 11.2] 토사사면의 세부 평가범위

구분	평가범위	세부 평가범위
기본 시설물	상부자연사면 및 시설물	상부자연사면 경사, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 구조물 변형, 인장균열 등
	절토부	지반상태, 지하수, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 인장균열 등
	사면하부	붕괴이력, 배수상태 등
부대 시설물	보호시설	사면에 적용된 보호공법의 상태
	보강시설	사면에 적용된 보강공법의 상태
	배수처리시설	사면 및 구조물에 적용된 지표 및 지하 배수시설의 상태
	이격거리 내 시설	예상 피해구조물 규모 등

나. 암반사면

암반사면은 주요 구성 물질이 암반으로 구성된 사면을 지칭하며 주로 불연속면에 의한 거동이 우세하게 나타난다. 대표적인 붕괴유형으로는 낙석, 켜기파괴, 평면파괴, 전도파괴 등이 있다.

[표 11.3] 암반사면의 세부 평가범위

구분	평가범위	세부 평가범위
기본 시설물	상부자연사면 및 시설물	집수지형, 배수상태, 지반변형, 구조물 변형, 인장균열 등
	절토부	암반상태, 지하수, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 인장균열, 구성지질, 불연속면, 낙석 등
	사면하부	붕괴이력, 배수상태, 낙석 등
부대 시설물	보호시설	사면에 적용된 보호공법의 상태
	보강시설	사면에 적용된 보강공법의 상태
	배수처리시설	사면 및 구조물에 적용된 지표 및 지하 배수시설의 상태
	이격거리 내 시설	예상 피해구조물 규모 등

다. 혼합사면

혼합사면은 투수율이 낮은 암반층과 토사층이 상하 또는 좌우로 구성되어 있는 사면을 의미한다. 혼합사면의 붕괴양상은 토사사면과 암반사면의 붕괴양상을 모두 가지고 있으므로 안정해석 시 암반붕괴에 대한 안정해석과 토사붕괴에 대한 안정해석 모두를 실시해야 한다.

라. 공중이 이용하는 부위

[표 11.4] 공중이 이용하는 부위의 세부 평가범위

구분	평가범위	세부 평가범위
공중이 이용하는 부위	추락방지시설	설치상태 및 사용자의 이용성
	도로포장	파손, 포트홀 등 차량통행 가능 여부
	도로부 신축이음부	신축이음부 상태에 따른 차량통행 가능 여부
	환기구 등의 덮개	결함 및 파손 등 사용가능 여부

11.1.4 중대한 결함의 정도

가. 중대한 결함의 적용 범위

절토사면 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.

○ 절토·성토사면의 균열·이완 등에 따른 옹벽의 균열 또는 파손

나. 공중이 이용하는 부위의 적용 범위

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

다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다

1) 추락방지시설

○ 추락방지시설에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

2) 도로포장

○ 도로포장에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

3) 도로부 신축이음부

○ 도로부 신축이음부에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

4) 환기구 등의 덮개

○ 환기구 등의 덮개에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

11.2 현장조사

11.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

가. 평가지표별 조사항목

[표 11.5] 토사사면의 조사항목

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

[표 11.6] 암반사면의 조사항목

구분		평가지표	조사항목
안전성능	상태안전성능	집수지형	사면 내·외 집수지형 개수
		불안정지질	단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태
		불연속면특성	연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격
		지반변형	포행, 단차, 배부름 등
		지하수	누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		붕괴이력	세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		낙석	발생규모, 예상 낙석에너지
		인장균열	인장균열 유무(진행성)
	구조안전성능	평사투영해석	췌기파괴
			평면파괴
			전도파괴
		한계평형해석	건기시 안전율
			우기시 안전율
			지진시 안전율
내구성능		지반상태	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 11.7] 혼합사면의 조사항목

구분		평가지표	조사항목
안전성능	상태안전성능	집수지형	사면 내·외 집수지형 개수
		불안정지질	단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태
		불연속면특성	연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격
		지반변형	포행, 단차, 배부름 등
		지하수	누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		붕괴이력	세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		낙석	발생규모, 예상 낙석에너지
		사면상부 상태	상부자연사면의 경사
		인장균열	인장균열 유무(진행성)
	구조안전성능	평사투영해석	썰기파괴
			평면파괴
			전도파괴
		한계평형해석	건기시 안전율
			우기시 안전율
			지진시 안전율
내구성능	지반상태	동적콘관입시험(DCPT) Nd치	
		토양경도	
		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 11.8] 공중이 이용하는 부위 조사항목

구분	평가지표	조사항목
공중이 이용하는 부위	추락방지시설	파손상태 등 사용자의 안전 확보 가능 여부
	도로포장	포트홀, 파손 등 포장상태
	도로부 신축이음부	고무판, 후타재, 신축유간의 상태 등 차량통행 가능 여부
	환기구 등의 덮개	결함 및 파손 등 사용가능 여부

나. 조사항목 및 기준수량

[표 11.9] 안전성능 평가 조사항목 및 기준수량

성능	평가지표	조사항목	기준수량
안전 성능	집수지형	◦ 사면 내 집수지형 개수 ◦ 사면 외 집수지형 개수	◦ 평가대상 구간에 대해 측정 ◦ 시·중점부, 계곡부에 따라 200m 미만의 간격으로 책임기술자가 조정 가능
	불안정 지질	◦ 단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태	
	불연속면 특성	◦ 연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격	◦ 평가대상 구간에 대해 측정 (3set 이상) ◦ 사면의 방향이나 불연속면의 경사, 경사방향이 일치하지 않은 경우는 수량 추가
	지반변형	◦ 크리프(Creep), 단차, 배부름 등	◦ 평가대상 구간에 대해 측정 ◦ 시·중점부, 계곡부에 따라 200m 미만의 간격으로 책임기술자가 조정 가능
	지하수	◦ 누수 발생 위치 및 유량	
	배수조건	◦ 산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등	
	붕괴이력	◦ 세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등	
	낙석	◦ 발생규모, 예상 낙석에너지	
	사면상부 상태	◦ 상부자연사면의 경사	
	인장균열	◦ 유/무 진행성 여부 등 ◦ 폭, 깊이, 길이, 위치 등	
	안전율	◦ 평사투영해석(암반) ◦ 한계평형해석(토사, 암반)	
			◦ 평가대상 구간을 대상으로 1단면 이상 측정 ◦ 시·중점부, 계곡부에 따라 200m 미만의 간격으로 책임기술자가 조정 가능

[표 11.10] 내구성능 평가 조사항목 및 기준수량

성능	평가지표	조사항목	기준수량
내구 성능	지반상태	◦ 동적콘관입시험 (DCPT) Nd치	◦ 20m 구간별 1개소 ¹⁾ ◦ 1개소당 일정간격을 두고 3회 측정
		◦ 토양경도(정밀점검시 대체 시험법)	◦ 20m 구간별 1개소 ¹⁾ ◦ 1개소당 각 10회
		◦ 설계(초기)값 대비 슈미트 해머 강도 추정값의 비율	◦ 20m 구간별 1개소 ²⁾
	표면보호공	◦ 식생 피복율	◦ 계획 및 시공 피복 사면 면적에 대한 점검시 식생 피복면적의 비 측정
		◦ 손상 면적율	◦ 콘크리트땀어붙이기/석장공 시공면적에 대한 손상면적의 비 측정
	사면 보강공	◦ 보강공 두부와 지반의 밀착도 ◦ 보강공 두부의 균열 및 파손	◦ 전체 보강공의 25% 이상
	암반의 절리상태 및 풍화도	◦ 풍화 진행도	◦ 20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상

주1) 총 연장이 100m 이하인 경우, 최소 5개소에 대하여 조사하도록 함

주2) 총 연장이 200m 이하인 경우, 최소 10개소에 대하여 조사하도록 함

11.2.2 현장조사 요령

가. 조사영역 및 사면의 분할

1) 측점분할

(가) 일반사항

- 측점 분할 작업은 현장조사에서 최초로 실시하는 작업으로서 사면에 인접한 도로 및 철도의 진행 방향으로 위치 및 길이를 표시하는 작업을 말한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 측점 분할 간격은 현장 조사 시 좌우로 확인 가능한 10m 간격으로 시점부에서 종점부까지 표시하며 면밀한 조사가 필요한 구간에 대해서는 별도로 세분화 하여 표시한다.
- 국부적인 표면 오염이나 습기 등이 있는 경우 이를 제거하고 스프레이 락카 등으로 측구나 옹벽, 또는 사면의 표면에 표시한다.
- 추가 점검 시 확인이 가능하도록 시점부와 종점부에는 현장구분을 위한 현장명을 표시한다.

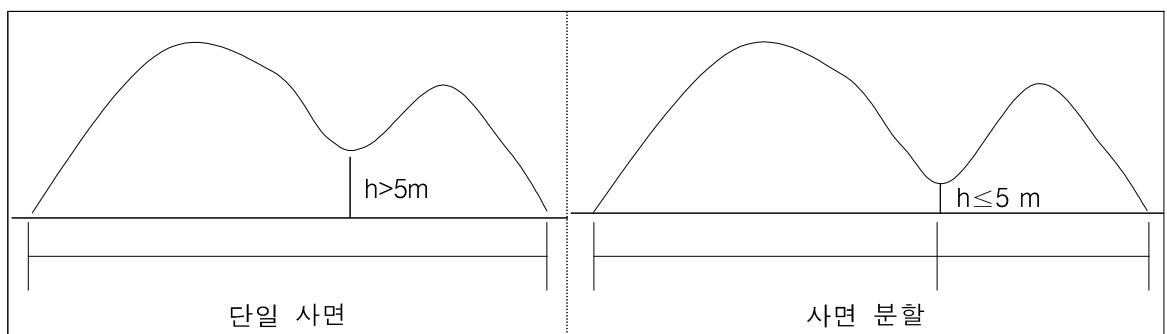
2) 사면분할

(가) 일반사항

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

(나) 조사수량 및 측정방법

- 사면을 바라보며 우측을 시점, 좌측을 종점으로 하여 절토사면의 수직고가 5m 이하로 낮아지는 지점에서 분할한다.



[그림 11.2] 절토사면의 분할기준

3) 평가대상 구간의 분할

(가) 일반사항

- 사면의 경사, 지반(토사 및 암반)상태 등 구성 물질의 변화에 따라 안정성에 미치는 영향범위가 달라질 수 있다.
- 따라서 사면 성능에 따른 보수/보강 등 효율적이고 경제적인 안정성 대책마련을 위해 상황에 따라 평가대상 구간을 분할하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 안전성능 및 내구성능 평가를 위한 구간분할의 경우, 동일 사면 내에서 다음의 경우에 구간분할을 실시한다.
 - 사면의 구성재료(토사, 암반, 혼합)가 수평적으로 변화할 경우
 - 사면의 경사방향이 40° 이상 변화할 경우
 - 동일구간의 연장이 200m 이상일 경우

나. 상태안전성능 평가를 위한 조사방법

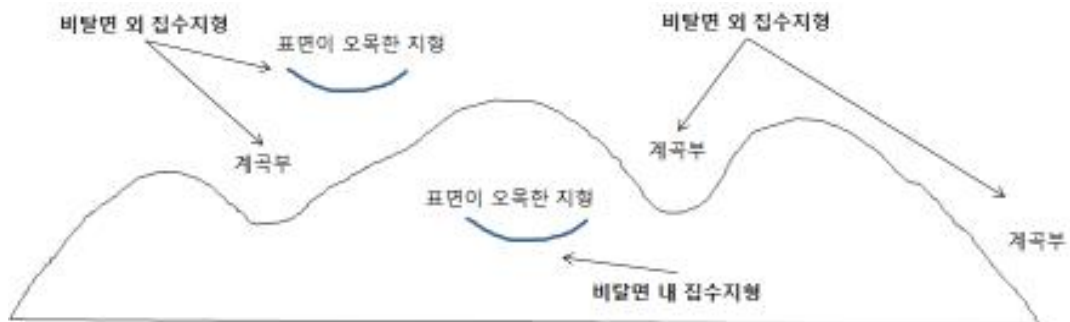
1) 집수지형

(가) 일반사항

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

(나) 조사수량 및 측정방법

- 절토사면 내에 요철지형으로 형성되어 지표수가 한곳으로 모여 물이 고이는 지형의 개수를 1개소~4개소 이상으로 평가한다.
- 절토사면 외에 상부자연사면, 시·종점부의 계곡부 및 집수지형 등의 개수를 1개소~4개소 이상으로 평가한다.



[그림 11.3] 집수지형 구분 모식도

2) 불안정 지질

(가) 일반사항

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

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 평가대상 구간에 대해 각각 실시하여 일부 분포, 국지적 분포, 사면 전 영역에 걸친 분포로 나누어 분포도를 평가하며, 불안정 지질의 퇴적암 분포 유무, 파쇄정도, 누수 및 유실물 발생 유무 등의 상태를 육안 관찰하여 평가한다.
 - 일부 분포 : 불안정지질에 의해 변형, 강도저하 등의 결함이 발생할 수 있으나 그 영향이 매우 한정되어 있으며, 평가하고자 하는 사면에 대한 영향이 극히 일부인 경우 또는 불안정 지질은 분포하고 있으나 사면에 영향이 없다고 판단되는 경우
 - 국지적 분포 : 불안정 지질에 의한 결함이 사면 일부에 발생할 수 있으며, 이로 인한 보호 조치가 요구되는 경우
 - 전영역에 걸친 분포 : 불안정 지질에 의한 결함의 규모가 매우 커서 보강조치가 요구되는 경우
- 절토사면 내에 불안정지질이 존재하였으나 표면보호공(녹화, 콘크리트뿔어붙이기, 옹벽 등)이 적용되어 육안관찰을 할 수 없는 경우에는 보호조치가 완료된 것으로 간주하여 불안정지질이 없는 것으로 본다.

3) 불연속면 특성

(가) 일반사항

- 불연속면은 암반에서 나타나는 모든 연약면을 총괄적으로 나타내며, 작은 단열 구조로부터 큰 단층까지 다양한 규모를 가진다.
- 불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없다. 따라서 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안전성능에 절대적인 영향을 미치며, 대부분의 경우 불연속면을 따라 붕괴가 발생한다.
- 불연속면의 특성은 방향성을 제외한 세부 상태(연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격)를 평가하여 6개 항목의 산술평균값으로 평가한다.

(나) 불연속면 특성의 세부 항목별 조사방법

- 평가대상 구간별 3set 이상의 불연속면을 측정하며 불연속면의 방향성이 불규칙한 경우 25m 간격으로 측정하고 가장 불리한 구간을 안전성능 평가에 반영한다.
- 사면에 표면보호공(비탈면녹화 또는 콘크리트뿔어붙이기, 옹벽 등)이 적용된 경우, 건설공사 시 작성된 '현황도 작성 보고서'와 주변 지형 및 지반특성을 참고하여 평가를 실시할 수 있다.

※ 깎기비탈면 현황도 보고서 작성 근거 : 건설교통부 도로건설과-406 시행공문(2005년) 「절토사면 현황도 작성」, 「건설기준코드 KDS 11 70 05 쌓기·깎기(2020.8, 국토교통부)」

① 연장성

(1) 일반사항

- 연장성은 불연속면의 넓이나 길이의 의미를 담고 있다. 특히, 사면에서는 불연속면의 연장성에 따라 파괴 가능한 블록을 형성시킬 수 있을 뿐만 아니라, 연장성이 매우 큰 불연속면은 때에 따라 인장균열로 진전될 수도 있다. 그러나 연장성은 불연속면의 특성 중에서 정량화하기 가장 어려운 요소 중 하나이다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- 불연속면의 길이를 10m 이상의 줄자를 사용하여 측정하고 숫자로 기록한다.

(3) 결과분석

- 불연속면의 연장성을 표현하는 방법은 [표 11.11]과 같다.

[표 11.11] 연장성 분류 기준

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

② 틈새

(1) 일반사항

- 틈새는 분리된 인접 불연속면간의 수직거리를 의미하며 주로 물, 점토광물, 석영, 방해석 등으로 채워져 있고 비워져 있는 경우도 있다.
- 틈새의 충전물 중 모암과의 결합력이 매우 양호하여 암반분리의 의미가 없는 경우 즉, 치밀한 석영맥, 기타 암맥류 등으로 견고하게 충전된 것은 제외된다. 틈새는 불연속면의 이완정도나 사면내의 수압, 투수량 등에 영향을 미칠 수 있다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- mm단위를 측정할 수 있는 줄자를 사용하여 불연속면의 틈새를 측정한다. 틈새가 좁을 경우 틈새 게이지(feeler gauge)를 이용하여 측정하여 기록한다.

(3) 결과분석

- 측정한 틈새 폭에 따라 [표 11.12]와 같이 분류한다.

[표 11.12] 틈새(간극) 분류 기준

구 분	간극 폭 [mm]
밀착됨 (tight)	간극을 쥔 수 없을 정도로 아주 좁고 밀착됨
약간 벌어짐 (partly open)	간극이 0.1mm 미만
벌어짐 (open)	$0.1 \leq X < 1$
약간 넓음 (moderately wide)	$1 \leq X < 5$
넓음 (wide)	$5 \leq X$

③ 거칠기

(1) 일반사항

- 불연속면의 거친 정도는 불연속면의 거동 시 전단강도에 큰 영향을 미치므로 불연속면으로 구성된 암반사면의 안전성능을 평가하는데 중요한 요소이다.
- 불연속면의 거칠기는 수 m정도의 대규모 거칠기(만곡, waviness)와 수 cm정도의 소규모 거칠기(요철, unevenness)로 나눌 수 있는데, 대규모 거칠기는 요철 부분이 전단활동 시 닳아 없어지지 않는 반면 작은 규모 거칠기는 전단활동 시 마모되기 쉽고 거칠기가 클수록 불연속면의 유효마찰각은 커진다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- 전문가의 육안관찰로 암반블록 활동이 예측되는 방향의 거칠기를 관찰하여 거칠기의 등급을 결정한다.

(3) 결과분석

- 불연속면의 거칠기 측정 결과는 [표 11.13]과 같이 기재한다.

[표 11.13] 불연속면 거칠기 등급

등급	설명
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.
매우평탄 (slickensided)	불연속면의 미끄러진 표면에 광택이 나는 부분이 관찰된다.

④ 충전물

(1) 일반사항

- 충전물은 불연속면의 간극을 채우고 있는 물질에 대한 용어로서 그 성분은 주로 석영(quartz), 녹니석(chlorite), 방해석(calcite), 점토(clay), 이질물(siltmaterial), 단층점토(fault clay), 단층각력(fault breccia) 등이다.
- 충전물은 그 발생기원의 다양성으로 인하여 전단강도, 투수도 등과 같은 암반의 물리적 거동에 복잡하게 작용하며 이러한 물리적 거동은 충전물의 광물학적 특성, 충전물의 입도, 함수율과 투수성, 기존의 전단변위 등에 기인한다. 충전물의 함수율과 투수도 및 전단변위 등에 영향을 미칠 수 있다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- mm 단위를 측정할 수 있는 자를 이용하여 불연속면의 간극 내에 채워져 있는 물질의 두께를 측정하고 재료를 기입한다.

(3) 결과분석

- 충전물 재료와 두께에 따라서 [표 11.14]와 같이 분류하여 기록한다.

[표 11.14] 충전물 분류 기준

충전물 재료	충전물 두께
없음	—
딱딱한	5mm 미만
	5mm 이상
부드러움	5mm 미만
	5mm 이상

⑤ 풍화도

(1) 일반사항

- 지질학적인 풍화의 의미는 “암석이 물 또는 공기와 접촉하여 흙으로 풍화되어가는 자연적 과정”으로 간단히 요약될 수 있다. 암석의 풍화는 주로 지표면 부근에서 발생하여 흙의 형성, 풍화된 암반부위 형성 등을 통해 하부의 신선한 기반암과 대조를 이루고 이로 인해 공학적 특성의 차이를 야기한다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- 암석의 풍화도를 조사하는 방법으로는 단순육안관찰, 현미경 상의 풍화면적 측정, 광물함량이나 화학성분비 측정 등이 있으나 현장에서 신속하고 비교적 용이하게 조사할 수 있는 방법으로는 국제암반역학회(ISRM)이 제시한 육안관찰에 따른 6단계의 풍화등급으로 나누는 방법이 대표적이다.
- 본 장에서는 암반사면에 대한 상태안전성능 평가를 위해 6단계의 풍화등급 중 ‘풍화잔류토(RS)’를 제외하고 5단계로 나누어 분할된 구간마다 풍화등급을 조사하여 평가한다.

(3) 결과분석

- 암반의 풍화상태는 [표 11.15]와 같이 5단계의 풍화등급에 따라 기록한다.

[표 11.15] 국제암반역학회(ISRM) 풍화등급의 분류

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

[표 11.16] 해머타격 시험을 통한 암반의 풍화등급 5단계 분류법

풍화등급	설 명	사진
신선함 (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	

⑥ 절리간격

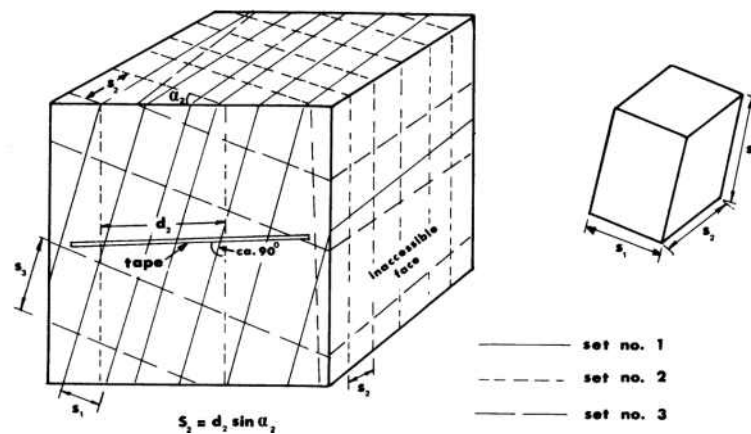
(1) 일반사항

- 불연속면의 간격은 인접 불연속면 사이의 수직거리로서, 사면 내에서 암반블록의 크기를 결정할 뿐만 아니라 수리전도도나 용수특성에도 영향을 미치게 된다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- 측정용 줄자를 이용하여 대상 불연속면이 다른 불연속면군에 직각인 노두에서 누락 없이 측정하여야 한다. 이때 다른 불연속면군에 직각인 노두에서 측정할 수 없을 경우, 줄자와 불연속면 사이의 예각(α)을 콤파스로 측정하여 다음 식으로부터 사거리에 대한 보정을 실시한다.

$$S = d_m \sin \alpha$$



[그림 11.4] 불연속면 간격 측정방법

(3) 결과분석

- 각 불연속면군의 최소간격, 최대간격, 최빈간격을 기록하여야 하고, 히스토그램으로 불연속면 간격의 분포특성을 알 수 있다.
- 일반적으로 불연속면 간격에 대한 용어는 [표 11.17]과 같이 나타낸다.

[표 11.17] 불연속면 간격 분류 기준

등 급	간격 [m]
매우 조밀 (very close spacing)	$X < 0.06$
조밀 (close spacing)	$0.06 \leq X < 0.2$
보통 (moderate spacing)	$0.2 \leq X < 0.6$
넓음 (wide spacing)	$0.6 \leq X < 2$
매우 넓음 (very wide spacing)	$2 \leq X$

4) 지반변형

(가) 일반사항

- 지반변형은 사면의 상하부와 절토사면 내의 모든 변형을 모두 포함한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 절토사면의 경우 자연 상태의 응력준위를 인위적으로 변화시킴에 따른 응력이완과 해방의 원인으로 지반변형이 유발될 수 있다. 조사대상 구간의 전반에 걸쳐 이에 대한 조사를 실시하여야 하며, 사면 상하부의 경우는 지반 함몰이나 융기 등의 현상을 관찰하고, 사면 내에서는 사면경사 불량 여부를 파악한다.

5) 지하수

(가) 일반사항

- 사면 내 지하수량을 간접적으로 평가하기 위한 방법으로써 사면에서 관찰되는 물의 흐름을 2가지로 구분하고 그 위치를 조사하여 평가한다.
- 불연속면을 따르는 투수 문제는 암반의 공학적, 역학적 특성에 지대한 영향을 미치는데 충전물의 함수비 변화에 따른 충전물 강도 변화, 간극수압 증대에 따른 전단강도 및 지반 지지력 약화 등으로 대표될 수 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간별로 사면의 표면에서 관찰되는 누수 흔적으로 관찰하며, 누수 흔적이 없는 경우 ‘건조’, 축축하게 젖어 있는 정도를 ‘젖음’, 물의 흐름이 보이는 정도를 ‘흐름’으로 분류하여 평가한다.
- 또한, ‘젖음’상태에서 사면 상부와 하부를 분류하여 누수 위치를 평가하며, ‘흐름’ 상태에서도 누수위치에 대한 조사는 동일하다.
- 동일한 구간 내에서 다수의 누수 흔적이 관찰되는 경우 가장 불리한 조건으로 평가한다.

6) 배수조건

(가) 일반사항

- 배수조건은 측구 및 배수공 등 배수구의 설치와 관리 상태를 평가한다.
- 사면에 흐르는 지표 및 지하용수는 사면의 불안정성을 증대시키는 역할을 할 수 있다. 용수를 적재하는 방법으로는 소단배수공, 집수정이나 보링을 통한 집수를 배수처리 하는 배수공 등이 있으며, 용수를 처리하는 방법은 도랑굴착, 호스, 집수매트, 돌망태(개비온) 등을 통한 배수방법이 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 판단기준은 배수가 양호하여 건조상태와 같이 간극수압이 발생하지 않을 경우에 해당되는 항목을 ‘완전배수’ 상태로 하여 5단계로 육안조사를 통해 평가하며 평가대상 구간의 지표수 및 지하수에 따른 배수시설의 상태를 평가한다.
 - 완전배수 : 지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태

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

7) 붕괴이력

(가) 일반사항

- 이미 발생한 붕괴 규모에 대한 평가로서 세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴로 4단계의 등급을 분류하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

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

8) 낙석

(가) 일반사항

- 낙석은 암반사면에서 빈번히 발생하는 붕괴유형으로서, 절토사면에서 관찰되는 뜬돌 및 이완암의 규모와 높이, 경사 등을 고려하여 낙석에너지를 추정하고, 추정된 에너지 규모에 따라 등급을 구분하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

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

9) 사면 상부 상태

(가) 일반사항

- 사면 상부에 존재하는 자연사면에서 유입되는 지표수에 의한 영향을 평가하기 위해서 자연사면의 경사를 측정하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간의 상부자연사면 대표 경사를 평지 또는 역경사에서 30°이상까지의 범위에서 5단계 등급으로 분류하여 평가한다.

10) 인장균열

(가) 일반사항

- 인장균열이 사면의 안전을 계산에 미치는 영향은 미소하지만 인장균열 내에 물이 채워질 경우 지반의 전단강도가 약화될 수 있으며, 인장균열이 진행성인 경우 사면파괴에 대한 중요한 증거가 되므로 조사에 신중을 기하여야 한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 인장균열의 발생 여부를 파악하기 위해서는 조사대상 사면의 상부로부터 가상의 원호활동면에 포함되는 위치까지 조사하는 것이 원칙이나 보다 신뢰성 있는 조사를 위해서는 사면 상부 전반에 대하여 조사할 것을 권장한다.
- 평가대상 구간 내에 인장균열의 유무를 파악하고 인장균열이 확인되는 경우 폭, 깊이, 길이, 진행성 여부 등을 파악하여야 한다.
- 인장균열의 진행성(또는 확장) 여부는 최근 점검 자료와 비교 계측 등을 통하여 판단하며, 인장균열이 확인될 경우 상태안전성능 평가결과를 하향하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다.

다. 구조안전성능 평가를 위한 조사방법

1) 강도정수 산정

사면의 안정해석법은 여러 가지가 있으나 그 정확성은 강도정수와 사면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우되며, 대부분의 경우에 있어서는 토질 특성과 기하학적 조건이 각 해석방법의 차이보다 결과에 더 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 안정해석에 있어서 강도정수를 정확히 결정하는 것이 가장 중요한 사항이 된다.

(가) 기존 문헌자료 검토

- 사면 점검시 안정해석을 수행하기 위해서는 현장상황과 가장 가까운 강도정수의 적용이 매우 중요하다. 그러나 지반정수 값을 구하기 위한 시험은 선택사항이며, 대부분의 사면에서 정확한 지반정수 값을 구하기에는 어려움이 있다.
- 사면 안정해석을 수행하기 전에 해당 현장에 대한 물성시험 값이 없다면 인근 사면의 자료를 검토하여 유사한 지반에 대한 강도정수 값을 이용하거나 기존 문헌자료를 충분히 검토하여 평가 대상 사면과 가까운 지반상태의 강도정수 값을 이용하여 안정해석을 수행하여야 한다.

(나) 토사사면의 시험

- 토사사면의 안전성능을 검토하기 위한 실내시험 항목은 아래와 같으며, 각 항목별로 안정해석 시 필요한 조건을 반영하여 KS규정에 의한 시험을 실시하되 각 항목별로 최소 3개 이상의 시험 결과를 취득하여 반영토록 한다.
 - 토질분류 : 함수비, 애터버그 한계, 비중, 입도시험, 단위중량(습윤, 건조)
 - 전단강도시험 : 직접전단시험, 삼축압축시험 ⇒ 점착력, 내부마찰각

(다) 암반사면의 시험

- 일반적으로 암반은, 무결한 상태(intact)의 비교적 균질한 무결암과 단층과 절리 등과 같은 역학적 결함을 가진 불연속면으로 구성된다. 따라서 암반은 본질적으로 구조적인 불연속성, 불균질성, 이방성을 보이며, 이러한 특징들이 암반의 공학적인 특성을 좌우한다. 무수한 불연속면이 존재하는 암반의 강도를 대표하는 값을 측정하는 것은 어려울 뿐만 아니라, 사면의 안전성능은 불연속면의 특성에 의해 더 크게 좌우된다. 암석의 강도나 불연속면의 진단시험 결과는 암반 분류 및 안정해석에서 주로 이용된다.

[표 11.18] 암석의 실내시험 종류

시험구분	시험명	시험방법
물리특성	공극률 및 밀도	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM C 97
	흡수율 및 비중	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM C 97
역학특성	일축압축시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 2938
	삼축압축시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 7012
	압열인장시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 3967
	절리면	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 5067
	전단시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 4644
	슬레이킹시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법
	스웰링시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 5731
	점하중강도시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 7012
	탄성계수시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 7012

2) 내진성능 평가

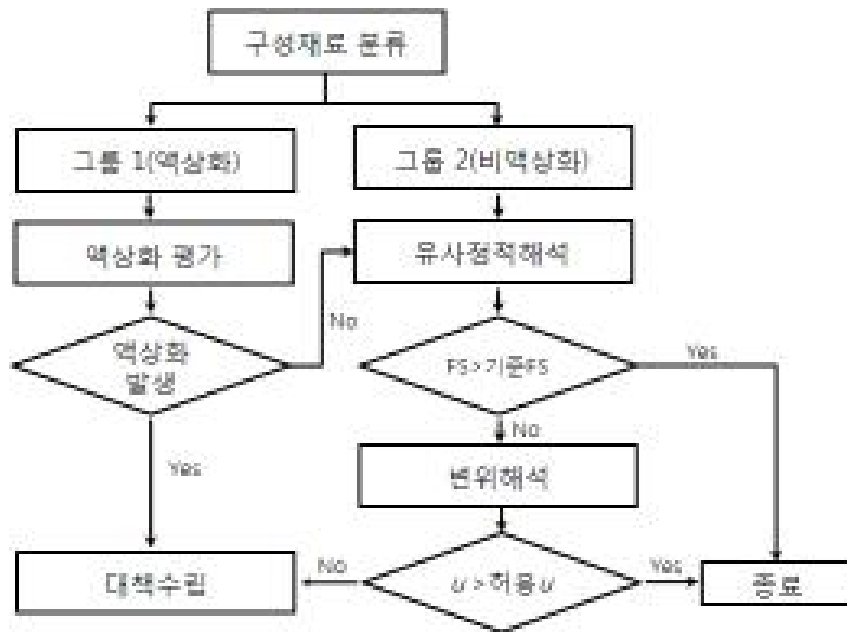
(가) 일반사항

- 내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과¹⁾에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 절토사면의 내진성능 평가는 ‘건설기준코드(구 건설공사 비탈면 설계기준)’을 참고하며, 관리주체와 협의하여 실시 할 수 있다.
- 토사사면의 내진성능 평가는 액상화 발생가능성 검토, 안정해석, 변위해석으로 이루어진다. 우선 사면의 구성 재료를 액상화 발생 가능성의 유무에 따라 구분하여 액상화 지반에 대해서는 액상화 검토를 수행하여 액상화가 발생할 것으로 예상되는 경우 재설계를 실시하고 그렇지 않을 경우에는 비액상화지반으로 간주하여 사면안정해석을 수행한 후 기준안전율 이하로 산정되면 변위해석을 수행하여 안전성능을 검토한다. 사면의 내진성능 평가 흐름도는 [그림 11.5]와 같다.

1) 기존 시설물의 내진성능 평가 및 향상요령('11.12.) : 국토해양부, 한국시설안전공단



[그림 11.5] 내진성능평가 흐름도

3) 토사사면의 안정 해석

(가) 일반사항

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

(나) 조사수량 및 측정방법

- 사면안정해석 시 강도정수 적용을 다음과 같이 분류하였으며, [표 11.19]는 유효응력과 전응력 해석시의 전단강도 식을 나타낸 것이다.

[표 11.19] 토사사면 전단강도식

해석조건	유효응력 해석	전응력 해석
전단강도식	$S = C' + \sigma \tan \phi'$ S : 활동면에서의 전단강도 σ : 유효응력 C', ϕ' : 유효응력에 대한 점착력 및 전단 저항각	$S = C_u + \sigma \tan \phi_u$ S : 활동면에서의 전단강도 σ : 전응력 C_u, ϕ_u : 전응력에 대한 점착력 및 전단 저항각

① 깎기 직후의 안정

- 모래, 자갈 토질인 경우 유효응력해석을 하며, 강도정수는 압밀배수(CD)삼축시험 또는 직접전단시험 결과를 사용한다. 단, 입자크기, 시료성형, 시료채취가 곤란한 경우는 상대밀도와 입도를 고려하여 추정 사용할 수 있다.
- 점성토인 경우 전응력 해석을 적용하며, 강도정수는 현장상태와 동일한 밀도와 함수비 조건에 대해 비압밀비배수(UU)삼축시험을 한다.

② 장기안정 상태

- 간극수압을 고려한 유효응력 해석을 적용하며, 강도정수는 압밀배수(CD)삼축시험, 직접전단시험, 압밀비배수(CU)삼축시험에서 구하여 적용한다.

③ 수위급강하 상태

- 압밀된 후 하중조건이 급변하여 배수가 될 시간이 없으므로 전응력해석을 적용하며, 강도정수는 현장밀도와 함수비조건으로 압밀비배수(CU)삼축시험으로 하며, 압밀압력은 각 시료에 동일하게 적용하고 파괴시 축압만 변화시킴에 유의한다.

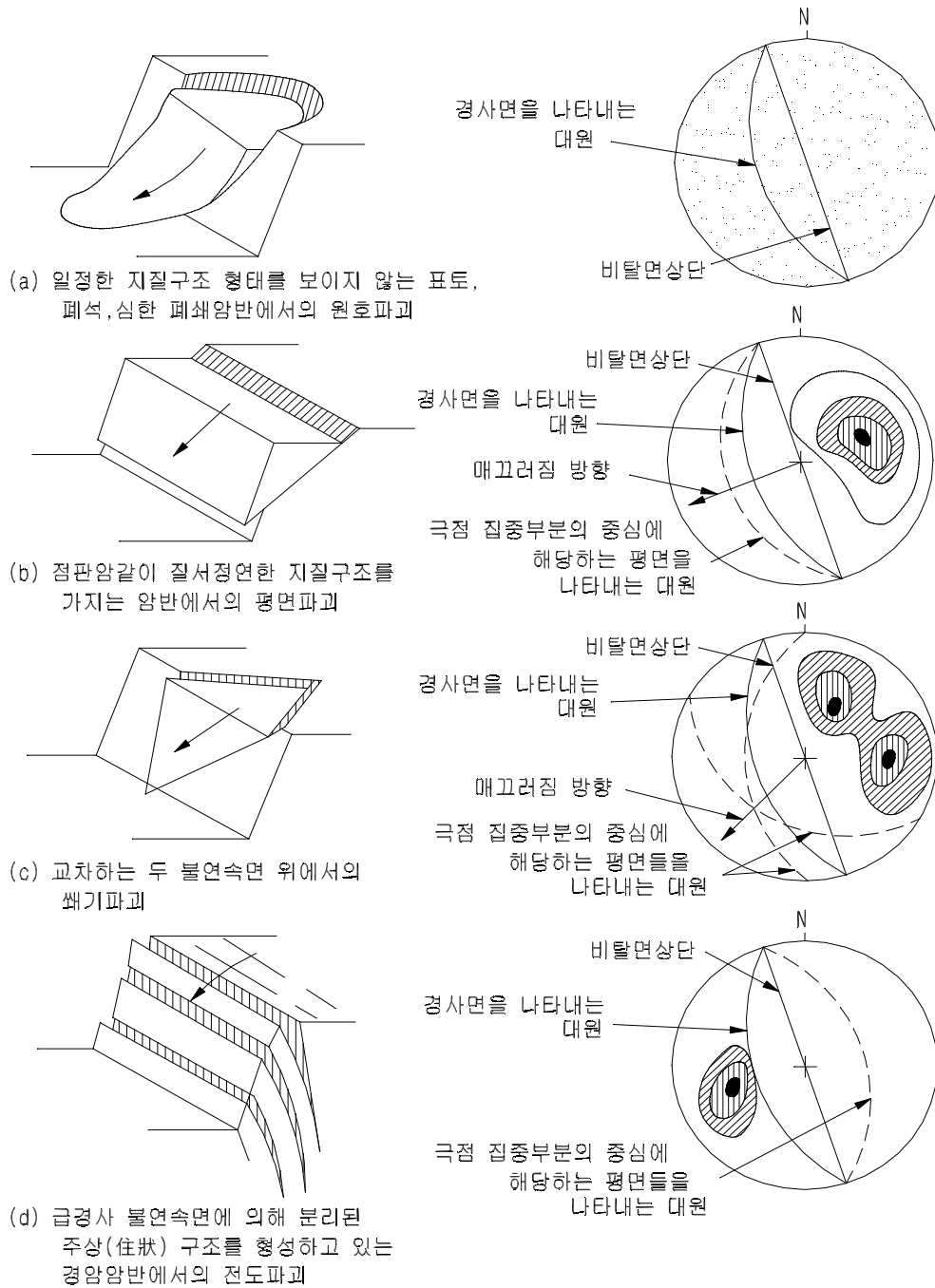
④ 기타 반영 사항

- 상용화된 해석프로그램의 경우 각각 사용하는 해석방법이 조금씩 다를 수 있으나 대부분 타당하고 유효한 해석법을 사용하고 있으므로 해석결과의 차이는 크지 않다. 따라서 사면 안정 검토에 있어서는 해석방법의 차이보다는 강도정수와 사면의 기하학적 조건이 가장 중요한 사항이다. 한편, 사면 안정해석시 대상 사면에서의 다음과 같은 기타조건도 반영하여야 한다.
 - 국부적인 파괴나 활동으로 교란된 이력이 있는 대상사면에 대한 시험은 시료를 충분히 변위시킬 수 있는 링 전단시험 또는 직접 전단시험을 실시하여 잔류강도의 강도정수를 해석에 반영한다.
 - 인장균열 깊이와 인장균열에 수압이 작용하는 경우 등도 반영하여야 한다.
 - 보강된 경우의 사면 안정 검토는 외적 안정 검토 시 복합보강지반을 중력식 구조물과 같이 보고 실시하며, 내적 안정 검토시는 보강구조체에 붕괴면을 가정하고 힘의 균형으로 안정을 검토한다.

4) 암반사면 안정 해석

(가) 평사투영해석

- 평사투영해석은 절리, 단층, 층리 등의 지질구조와 사면의 방향을 평사투영도에 2차원으로 도시하고 파괴면의 전단강도를 고려하여 사면에서 발생할 수 있는 파괴유형을 기하학적으로 분석하는 방법이다. 평사투영해석을 통해 분석할 수 있는 절토사면의 파괴유형을 [그림 11.6]에 나타내었다.
- [그림 11.6-(a)] 불연속면 및 지질구조가 뚜렷한 방향성을 보이지 않고 불연속면 빈도가 매우 높은 암반 사면의 경우 발생할 수 있는 파괴 형태이다.
- [그림 11.6-(b)] daylight envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 평면파괴의 가능성을 지시한다.
- [그림 11.6-(c)] 두 개 이상의 대표 절리군의 대원이 교차한 점이 기준 영역에 도시될 경우 썬기 파괴의 가능성을 지시한다.
- [그림 11.6-(d)] Toppling envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 전도파괴의 가능성을 지시한다.
- 평사투영해석을 통해 결정된 파괴 유형이 결정되면 각 유형에 맞는 한계평형해석 방법으로 안전성능을 해석한다.



[그림 11.6] 암반사면의 파괴 유형별 평사투영해석 예시

(나) 한계평형해석

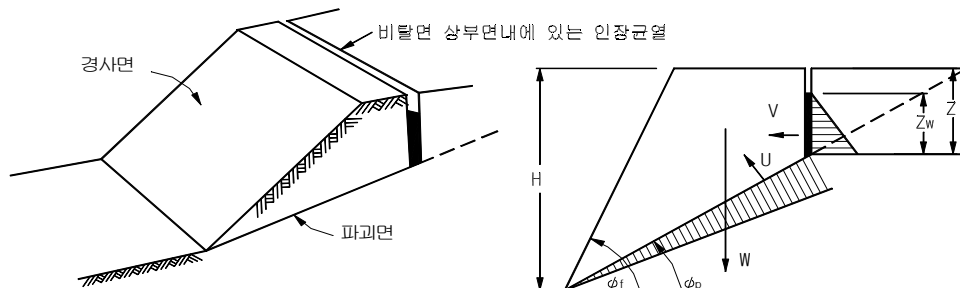
① 원호파괴

- 원호파괴는 토사사면뿐만 아니라 연약암반 및 파쇄암반 사면에서도 발생할 수 있다. 흙의 경우, 어떤 우세한 지질구조가 존재하지 않을 때 파괴면은 최소저항선을 따라 사면 전체를 통해 자유롭게 나타날 수 있다. 균열과 풍화가 심하게 발달된 암반으로 구성된 사면 역시 토사사면과 유사한 거동을 보이며 파괴면도 원형을 이루고 있다.
- 따라서 이러한 사면의 안정해석은 토질역학적 접근방식으로 해석이 가능하다. 사면의 안전율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

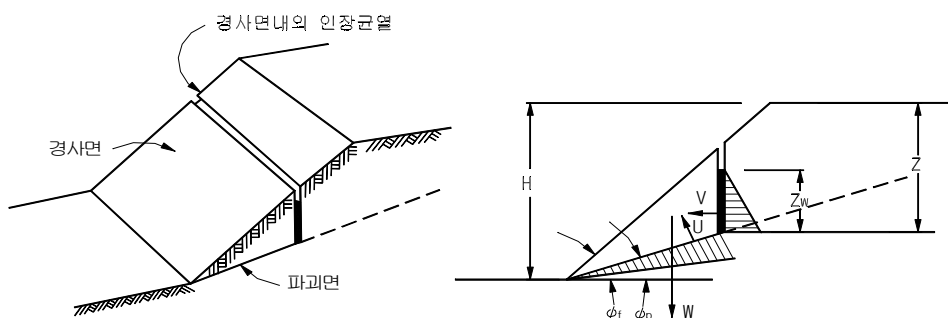
$$F = \frac{\text{활동에 저항하는 유효전단강도}}{\text{파괴면을 따라 작용하는 전단응력}}$$

② 평면파괴

- 평면파괴는 층리면과 같은 지질학적 불연속면이 경사면과 동일한 방향이고 마찰각보다 더 큰 각도로 경사져 있을 때 발생한다.
- 평면파괴가 발생하기 위해서는 예외가 있을 수 있지만 파괴가 발생할 불연속면의 경사방향과 사면의 경사방향의 차이가 $\pm 20^\circ$ 이내에 존재해야 하며 불연속면의 경사각이 사면의 경사각보다는 작고 마찰각보다는 더 커야 한다.



(a) 비탈면 상부면에 인장균열을 가진 비탈면



(b) 인장균열을 가진 비탈면의 기하학적 조건

[그림 11.7] 인장균열을 가진 사면의 기하학적 조건

- [그림 11.7]은 한계평형해석에서 고려되는 평면파괴의 일반적인 기하학적 조건이다. 여기서 사면의 안정성 해석은 인장균열의 위치에 따라, 인장균열이 사면의 상부면에 존재하는 경우와 사면의 경사면내에 존재하는 경우로 구분하여 실시한다.
- 사면의 안전율은 활동을 유발시키는 힘의 총합에 대한 활동에 저항하는 힘의 총합의 비로 계산된다.

$$F = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p}$$

여기서, c : 절리면의 점착력

A : 활동면의 면적($(H-z) \operatorname{cosec} \psi_p$)

W : 암괴의 자중

ψ_p : 활동면의 경사각

ψ_f : 사면의 경사각

U : 파괴면에 작용하는 수압

V : 인장균열에 작용하는 수압

ϕ : 활동면의 마찰각

한편, 수압에 의한 작용력 U 와 V 는 다음과 같다.

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w z_w (H - z) \operatorname{cosec} \psi_p$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z_w^2$$

여기서, γ_w : 물의 단위중량(t/m^3)

z_w : 인장균열 H 의 물의 높이(m)

H : 사면의 높이(m)

ψ_p : 활동면의 마찰각($^\circ$)

③ 켜기과괴

- 켜기과괴는 두 불연속면 위에 놓여있는 켜기형 암반이 두 불연속면과 만나서 이루는 교선을 따라 아래로 미끄러져 내리는 과괴 형태를 말한다.
- 켜기과괴는 켜기를 이루는 두 불연속면에 작용하는 수직력 뿐만 아니라 두 과괴면의 밑면적이 고려된 마찰력과 점착력, 그리고 수압과 기타 외력의 영향에 의존하므로 매우 복잡한 양상을 띤다. 미끄러짐이 가능하려면 교선의 경사각이 사면의 경사각보다 작고 마찰각보다 커야 한다.
- 켜기를 형성시키는 두 불연속면의 마찰각이 같다고 가정하면 [그림 11.8]에서 도시된 켜기의 안전율은 다음 식과 같이 정의된다.

$$F = \frac{(R_A + R_B) \tan \phi}{W \sin \psi_i}$$

여기서, R_A, R_B : A, B면상의 수직반력

W : 켜기를 이루는 암반의 중량

ϕ : 사면의 마찰각

ψ_i : 교선의 경사각

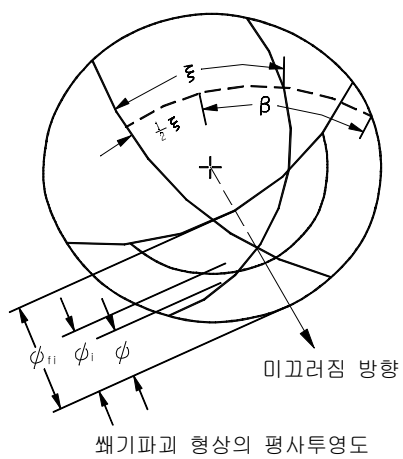
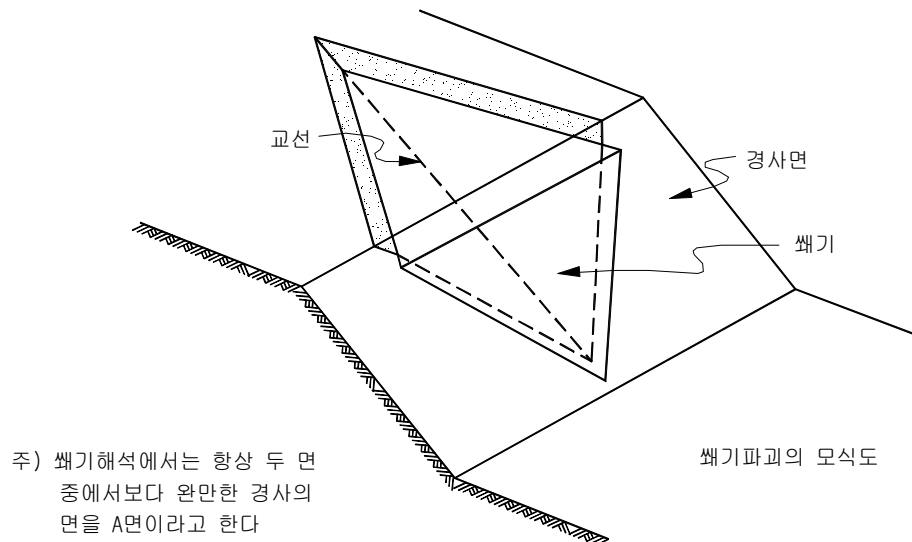
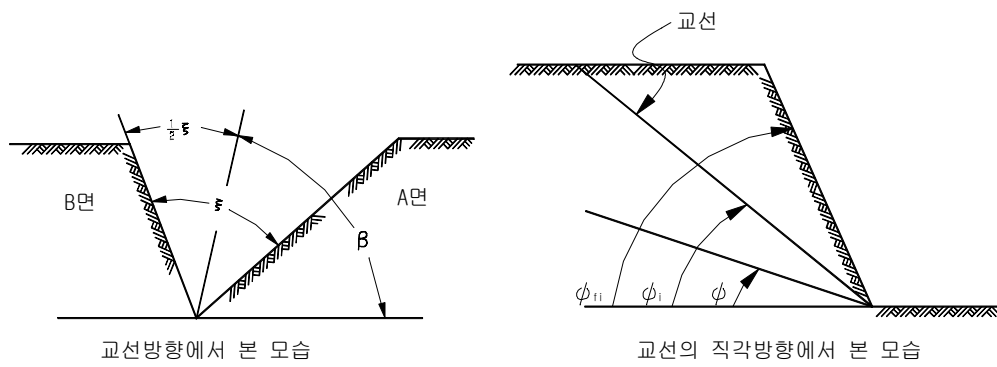
- R_A, R_B 를 구하기 위해 교선에 대한 수평 및 수직방향의 성분으로 나누어 표시한 후 R_A, R_B 를 더하고 이를 위 식에 대입하면 다음식과 같이 사면의 안전율을 구할 수 있다.

$$F = \frac{\sin \beta}{\sin \frac{1}{2} \xi} \frac{\tan \phi}{\tan \psi_i}$$

여기서, β : 수평면에서 켜기 이등분선까지의 각

ξ : 켜기의 사이각

- β 와 ξ 는 [그림11.8]과 같이 평사투영망을 이용하여 구할 수 있다.

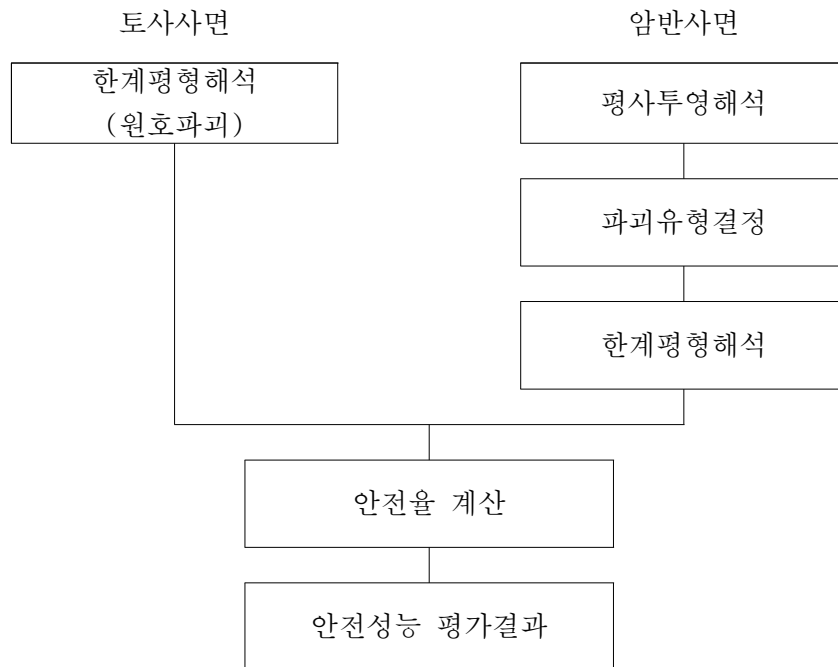


[그림 11.8] 빼기파괴 활동면 및 사잇각 산출 방법

5) 구조안전성능 해석결과

- 사면의 안전성능 평가는 사면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다.
- 토사사면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다.
- 또한 암반사면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사사면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어 져야 한다. [그림 11.9]는 구조안전성능 평가 과정을 나타낸 흐름도이며, [표 11.20]은 사면의 종류에 따른 개략적인 해석 범위를 기술한 것이다.

이러한 과정을 거쳐 최종 안정성 해석 결과가 도출된다면 안전성능 평가기준을 근거로 각 절토사면의 안전성능 평가결과를 산정한다.



[그림 11.9] 구조안전성능 평가결과 산정 과정

[표 11.20] 절토사면의 유형별 안정해석 범위

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

[표 11.21] 사면의 안정해석 프로그램 예시

구 분		사용되는 강도정수	프로그램
한계평형 해석	원호파괴	지반의 단위중량(건조/습윤), 점착력, 내부마찰각	SoilWorks MIDAS/GTS PC STABL5M, PCSTABL6, TALREN, SLOPE/W, UTEXAS, MALE, PC-SLOPE, STABRD, STABL 등
	평면파괴	암반의 단위중량, 절리면의 점착력, 절리면의 마찰각, 사면 및 절리의 경사/경사방향	ROCPLAN, ROCKPACK 등
	썩기파괴	암반의 단위중량, 절리면의 점착력, 절리면의 마찰각 사면 및 절리의 경사/경사방향	SWEDGE, ROCKPACK 등
평사투영해석		사면 및 절리의 경사/경사방향, 절리면의 마찰각	DIPS, FLAC MAN 등

6) 구조안전성능 평가를 위한 고려사항

- 사면의 구조안전성능 평가는 사면 자체의 안전성능 확보 여부에 대한 평가로 현장에서 대상 사면의 현황과 상태 등 제반 특성들을 정확히 도출하고 이에 근거하여 평가를 수행하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 기존 자료의 충실한 검토, 시공 방법과 기간의 보수·보강이력 검토, 각종 계측, 조사, 시험을 통해 충분히 기초자료를 확보하는 것이 필수적이다.
- 일반적으로 절토사면의 안전성능 검토를 위해 고려되어야 할 주요 사항은 다음과 같으며, 보고서에는 평가에 사용된 해석 방법의 종류 및 해석결과에 대한 설명과 계산 기록을 포함하여야 한다.
 - 지반 구성재료에 대한 기본 물성시험 결과
 - 기본 물성시험 결과가 없는 경우 인근 사면의 자료나 문헌자료를 확보하여 검토
 - 불연속면 특성 및 정량적 조사 결과
 - 사면의 변형/변위 및 거동 등의 특성 분석 결과
 - 기초자료를 검토하여 육안관찰 시 인지하기 어려운 지층구조 및 연약지질 파악
 - 상부자연사면 등 주변지역에 대한 지형정보

라. 내구성능 평가를 위한 조사방법

1) 토사사면의 지반상태

(가) 동적콘관입시험

① 일반사항

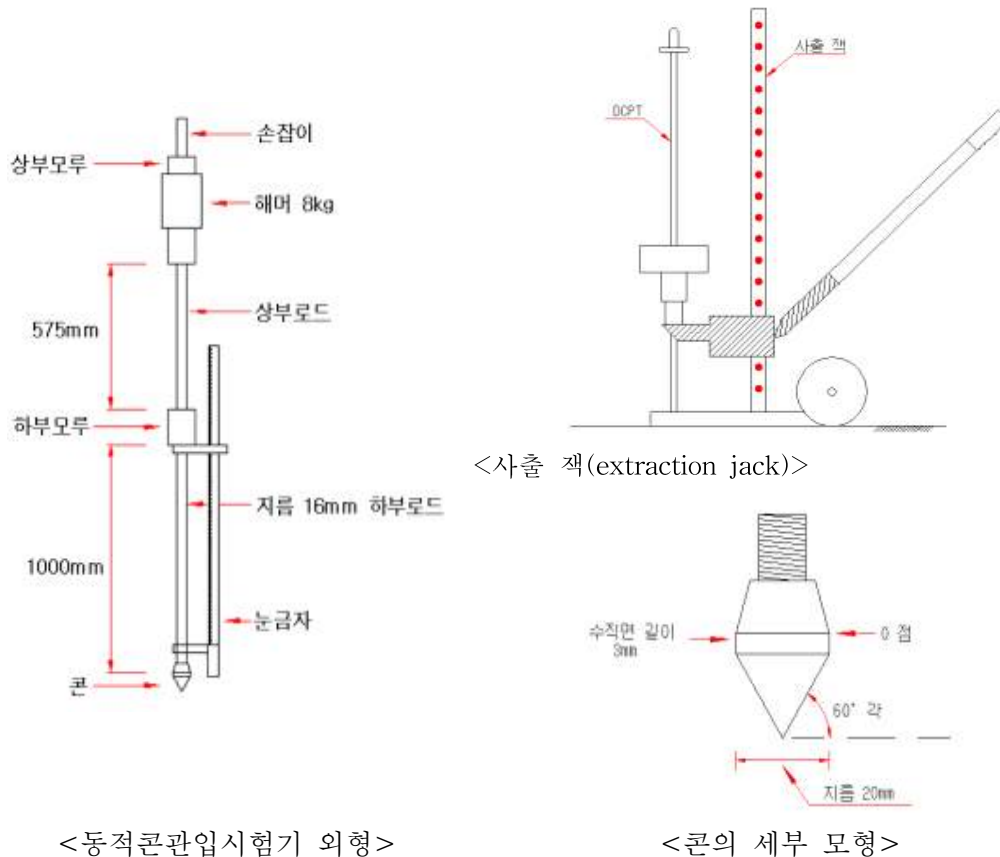
- 동적 콘 관입시험법(이하 DCPT)은 8kg의 해머의 충격 하중이 지반층을 뚫고 들어가는 충격횟수 당 관입량(이하 PR : mm/blow)을 측정하는 방법이다.

② 장비 외형

- 동적 콘 관입시험기를 DCPT라 부르며, 이 장비는 지반의 다짐 강도를 측정하는데 사용한다. DCPT는 [그림 11.10]과 같이 크게 상부부분과 하부부분 그리고 눈금자 이렇게 세 부분으로 나눌 수 있다.
- 상부부분은 장비를 수직으로 유지시켜주기 위해 잡는 핸들과 그 밑에 상부모루 그리고 상부모루에서 하부모루까지 움직이는 8kg의 해머, 해머의 자유낙하 운동을 이끄는 지름 16mm, 길이 575mm의 상부로드, 이렇게 다섯 부분으로 이루어져 있다.
- 하부 부분은 하부모루에서 전해져 오는 충격량을 콘까지 보내주는 지름 16mm, 길이 1000mm의 하부로드와 그 밑에 지반을 관입하는 콘으로 나누어져 있다. 콘은 [그림 11.10]과 같이 지름 20mm에 60° 형태로 되어 있다.
- 눈금자는 하부로드 1000mm 보다는 긴 막대 형태로 되어 있으며, 하부로드 옆에 조립하여 붙여 사용하며 1mm 단위로 눈금이 그려져 있다.
- 기타 동적 콘 관입시험에 필요한 장비는 다음과 같다.
 - DCPT 조립 도구
 - DCPT 윤활오일
 - DCPT 사출액
 - DATA 기록지

○ 주요 부분별 오차 한계는 다음과 같다.

- 8kg 해머의 무게 오차 한계는 0.01kg 임
- 해머의 자유낙하를 지지하는 상부 로드의 길이 오차 한계는 1mm임
- 관입 콘의 콘 각도 60°의 오차 한계는 1°임
- 콘 최대 직경의 200mm의 오차 한계는 0.25mm임



[그림 11.10] 동적콘관입시험기의 외형

③ 시험방법 및 순서

- 장비의 핸들을 잡고 수직 상태를 유지한 후 해머를 상부모루까지 들어 올린 후 가만히 놓아 하부모루까지 떨어지는 해머의 자유낙하 에너지가 충격량으로 바뀌어 하부 로드를 타고 콘이 지반을 뚫으며 이때 관입되는량을 눈금자로 읽어가면서 측정한다.
- 측정된 전체 관입량을 충격 횟수로 나누어 평균값을 내면 PR 값이 되고, 이를 통해 지반의 강도 측정을 모사할 수 있다.
- 외치 고정 : 측정하고자 하는 위치에 장비를 고정시킨 후 콘의 제로 점까지 관입을 한 후 눈금자가 가리키는 숫자를 기준으로 영점을 정한다.
- 해머의 자유낙하 : 핸들을 붙잡고 DCPT를 수직상태로 유지한 후 해머를 상부 모루까지 들어올린다. 이 때 해머가 상부로드 하단을 가격하여 DCPT가 들리는 일이 없도록 조심히 들어 올리며 상부로드 하단에 해머가 닿는 순간에 받쳐 들던 손을 놓아 해머를 떨어뜨린다. 충격에 따른 눈금자 위치를 읽은 후 기록지에 해머 충격 횟수에 따른 관입량을 기입한다.

- 관입량 기록 : 관입량은 지반 두께 200mm 이상 총 지반 두께 1000mm를 가늠할 수 있는 900mm이하까지 기록하며, 관입량이 900mm를 넘는 경우 지반에서 DCPT 제거 시 DCPT 장비에 손상을 가져올 수 있으므로 주의한다.
 - 기록의 오류(취사선택) : 연속된 충격 횟수 5회 이상 관입량 PR값이 2mm/blow인 경우 혹은 시험도중 DCPT가 옆으로 기울어져 관입지점에서 핸들부분까지 수평 변위량이 75mm이상이 발생하는 경우에는 시험을 멈추고 원 관입지점 300mm 이내에서 시험을 다시 수행한다.
 - DCPT 사출 : DCPT 시험이 모두 끝나고 나면 맨손으로 억지로 뽑아 내지 말고 사출 잭(extraction jack)을 이용하여 DCPT를 뽑아낸다. 만일 맨 손으로 뽑아내는 경우 로드가 휘어질 우려가 있다.
 - 데이터 기록 : 충격횟수에 따른 매회 기록과 데이터를 기록할 수 있으며, 함수비를 측정할 수 있을 경우에는 함수비 란에 기입하도록 한다. 눈금자의 눈금을 읽는 방법은 근사치 값을 읽어 1mm 단위로 기입한다.
- ※ 참고자료 : 「포장 하부구조 다짐관리 잠정지침(2011.04., 국토해양부)」

④ 장비체크

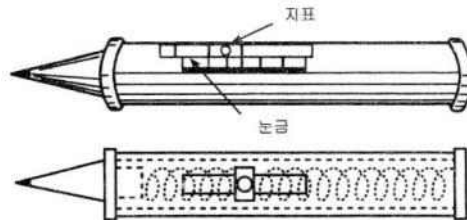
- 시험 시작 전에 동적 콘 관입시험도구의 상태 및 노후도를 확인한 후 상부, 하부 로드 및 구성부품에 따른 보수나 교체를 실시해 준다.
- 상부, 하부 로드의 경우 휘어진 부분은 없는지 반드시 체크하며, 콘 팁 역시 코가 휘어지거나 마모가 심하지는 않는지 확인한다. 장비 체크가 끝난 후에는 모든 결속 부분을 단단하게 고정시켜 준다.

(나) 토양경도시험

① 일반사항

- 토양경도는 토양의 치밀도 또는 견밀도라고도 하며, 토양경도계(산중식 경도계)를 이용하여 사면 상부, 중부, 하부를 각 10회씩 측정하여 평균하고 토양경도지수를 mm 단위로 나타낸다.
- 외부 관입 물체에 대해서 저항하는 토양의 힘을 경도(Hardness), 저항(Resistance) 또는 강도(Strength)라 하며, 관입시키는 원추의 각도와 단면적, 기록장치에 따라 다양한 경도계가 있다.
- 일반적으로 토양경도계라 하면 산중식 경도계와 끝이 원추형인 봉을 토양깊이 60~80cm 까지 관입하여 깊이별 원추의 관입저항을 측정하는 관입식 토양경도계를 의미하며, 여기서는 산중식 경도계에 대한 점검방법을 기술한다.

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



[그림 11.11] 산중식 토양경도계 구조

② 조사수량 및 측정방법

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

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

2) 암반사면의 지반상태

(가) 슈미트해머 측정(Schmidt Hammer Rebound Hardness Test)

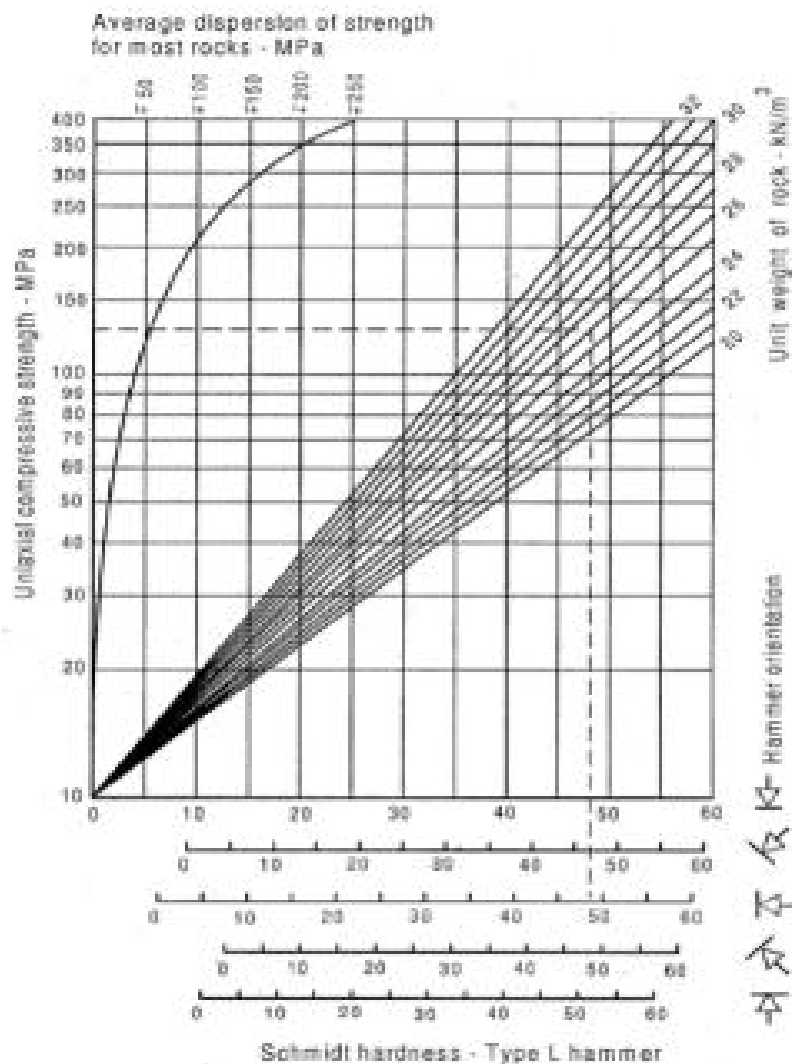
① 일반사항

- 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법은 경화 암반면에 슈미트해머로 타격에너지를 가하여 암반면의 경도에 따라 반발경도를 측정하고, 이 반발경도(R_o)와 암반 압축강도(f_c) 사이에는 특정한 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 하여 암반 압축강도를 추정할 수 있다.
- 슈미트해머는 콘크리트용인 N, NR형 등이 있으나, 암반 사면조사 시에는 암석용인 L형을 사용하여야 한다.

② 조사수량 및 측정방법

- 타격면을 선정할 때는 충전물이나 분해된 암석 입자가 없는 편평한 면을 선택하여 그 면에 수직하게 타격한다. 동일한 곳을 계속 가격하지 않고 이전에 타격한 곳에서 최소한 플런저 직경만큼 떨어진 곳을 타격한다.
- 슈미트 해머의 원리는 암반 타격 시 반발치(R)와 암반의 압축강도 (F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

- 타격시 해머 내의 중추 반동량을 반발치(R)로 표시하며, 이 반발치(R)의 크기에 따라 암반의 압축강도를 추정한다. 일반적으로 타격 시 반발치(R)는 타격에너지 및 피 타격체의 형상, 크기, 재료의 물리적 특성에 따라 다르다.
 - 단, 슈미트 해머법이 재료의 강도와 일률적인 관계가 있는 것만은 아니다. 특히 암반과 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 해머로 표면에서 국부적 타격을 하는 경우 반발치(R)는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 암반의 재령 등에 차이가 난다. 하지만 간편하고 짧은 시간에 강도 추정이 가능한 우수한 사용성과 암반 전체에 대해 강도 측정이 가능하다는 점에는 유효한 시험법이라 할 수 있다.
- ③ 결과분석
- 슈미트해머를 이용하여 강도를 추정할 경우, [표 11.22]를 이용하여 타격방향에 따른 보정절차를 거친 후, 20개의 타격점에 대한 반발값 중 하위 50%의 값을 버리고, 상위 50%만을 취하여 그 평균값을 대표값으로 한다.
 - 일축압축강도는 슈미트해머 반발지수에 대한 일축압축강도 변화차트 [그림 11.12]를 이용하여 추정한다.



[그림 11.12] 슈미트해머 반발지수를 이용한 일축압축강도 변환 차트

[표 11.22] 타격 방향에 따른 반발값 보정표

반발값	아래쪽		위쪽		수평
	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-4.0	-3.3	-1.7

3) 표면보호공

(가) 식생피복율

- 사면 전체 면적 대비 피복 면적의 비로서 현장 육안조사를 통하여 면적율을 측정한다. 현장상황 및 여건에 맞게 간단한 도구를 사용한다.
- 필요 측정 기구 : 줄자, 필기도구, 디지털카메라 등
- 식생피복율(%) = 식생피복면적(m^2)/사면면적(m^2) x 100

(나) 콘크리트뿔어붙이기/석장공

- 주요 손상유형을 균열, 박락, 누수로 한정하고 현장 근접 육안조사를 통하여 손상 면적율을 측정한다. 현장상황 및 여건에 맞게 간단한 도구를 사용한다.
 - 필요 측정 기구 : 줄자, 필기도구, 디지털카메라, 필요시 균열자 및 균열경, 반발경도측정기 등
 - 손상면적율(%) = 손상발생면적(m^2)/조사면적(m^2) x 100
- ※ 참고자료: 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서(교량)(2012.12, 한국시설안전공단)」

4) 사면보강공

- 사면보강공의 근접 육안관찰로 보강공의 두부와 지반의 밀착도 및 두부의 균열과 파손 정도를 관찰하여 표면보강공의 등급을 결정한다.

5) 암반의 절리상태 및 풍화진행도

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

마. 공중이 이용하는 부위 평가를 위한 조사방법

- 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 등을 활용한 외관조사 및 영상분석(법 시행령 별표 10의14)을 활용하여 결함 및 파손 등을 점검하고 각 평가항목 및 기준에 따라 중대한 결함 등의 해당 여부를 검토하여야 한다.
- 조사된 결함 및 파손 중 중대한 결함 등이 발견된 경우는 해당부위의 외관조사 망도 및 사진대지를 작성하여 「법」 제22조제2항에 따라 관리주체에게 통보하여야 한다.

11.3 재료시험 항목 및 수량

11.3.1 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 11.23] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능	공통	—	○ 시추조사 — 시추코아 채취 — 시추공내 절리방향성 분석 — 지하수위측정 ○ 물리탐사 — 전기비저항탐사, 탄성파탐사, GPR탐사 중 1가지 이상 ○ 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사·시험
	토사	—	○ 직접전단시험 ○ 삼축압축시험
	암반	—	○ 물성시험 — 밀도, 비중, 단위중량, 흡수율, 공극률, 흡수팽창 시험, 슬레이킹 시험, 투수시험, 탄성파 속도 ○ 절리면 전단시험
내구성능	공통	—	○ 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사·시험
	토사	○ 토양경도	○ 물성시험 — 함수비, 비중, 입도분석, 액성 한계시험, 소성한계시험, 체분석 ○ 동적콘관입시험 — 필요시 표준관입시험
	암반	○ 암반비파괴강도(반발경도시험)	○ 일축압축시험 — 코어채취 불가시 점하중시험

나. 제1종성능평가

[표 11.24] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능	공통	○ 시추조사 － 시추코아 채취 － 시추공내 절리방향성 분석 － 지하수위측정 ○ 물리탐사 － 전기비저항탐사, 탄성파탐사, GPR탐사 중 1가지 이상	○ 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사·시험
	토사	○ 직접전단시험 － 강도정수 － 필요시 삼축압축시험	－
	암반	○ 물성시험 － 밀도, 비중, 단위중량, 흡수율, 공극률, 흡수팽창 시험, 슬레이킹 시험, 투수시험, 탄성파 속도 ○ 절리면 전단시험	－
내구성능	공통	－	○ 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사·시험
	토사	○ 동적콘관입시험 ○ 물성시험 － 함수비, 비중, 입도분석, 액성한계시험, 소성한계시험, 체분석	○ 표준관입시험(동적콘관입시험)
	암반	○ 암반 비파괴강도(반발경도시험) ○ 일축압축시험 － 코어채취 불가시 점하중시험	－

11.3.2 재료시험 기준수량

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 11.25] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
토양경도	○ 20m 구간별 1개소 － 1개소당 각 10회	토양경도계
암반 비파괴강도 (반발경도시험)	○ 20m 구간별 1개소, 최소 10개소	슈미트해머

[표 11.26] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
시추조사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
물리탐사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
토질물성시험	○ 평가대상 구간별 3회	
직접전단시험	○ 평가대상 구간별 1회	
삼축압축시험	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
일축압축시험	○ 평가대상 구간별 3회	
점하중시험	○ 평가대상 구간별 3회 － 일축압축 시험 시 생략	
절리면 전단시험	○ 평가대상 구간별 1회	
암반물성시험	○ 평가대상 구간별 3회	
동적콘관입시험	○ 20m 구간별 1개소 － 1개소당 각 10회	

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 11.27] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
암반 비파괴강도 (반발경도시험)	○ 20m 구간별 1개소 ¹⁾	
시추조사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
물리탐사	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
토질물성시험	○ 평가대상 구간별 3회	
직접전단시험	○ 평가대상 구간별 1회	
삼축압축시험	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
일축압축시험	○ 평가대상 구간별 3회	
점하중시험	○ 평가대상 구간별 3회 - 일축압축 시험 시 생략	
절리면 전단시험	○ 평가대상 구간별 1회	
암반물성시험	○ 평가대상 구간별 3회	
동적콘관입시험	○ 20m 구간별 1개소 ²⁾ - 1개소당 각 10회	

주1) 총 연장이 200m 이하인 경우, 최소 10개소에 대하여 조사하도록 함

주2) 총 연장이 100m 이하인 경우, 최소 5개소에 대하여 조사하도록 함

[표 11.28] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
표준관입시험	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	

11.4 안전성능평가기준 및 방법

11.4.1 상태안전성능 평가기준 및 방법

가. 상태안전성능평가기준 및 방법

1) 일반

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

○ 상태안전성능은 사면의 내적상태와 외적상태의 관찰을 통해 평가

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

○ 구조안전성능은 공학적인 관점에서 평가할 수 있는 안전 수준

2) 평가범위

절토사면의 상태안전성능 평가 적용범위는 도로 및 철도의 부대시설로 「법」 상 연직높이 30m 이상(옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이)을 포함한 절토부로서 단일 수평 연장 100m이상인 절토사면에 적용한다.

3) 상태안전성능평가 성능지표 및 기준

절토사면의 상태안전성능평가 시 형식별 고려해야할 주요 성능지표는 다음과 같다.

[표 11.29] 사면 형식별 성능지표

구분	성능지표		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	◦ 집수지형 ◦ 지반변형 ◦ 지하수 ◦ 배수조건 ◦ 사면상부 상태 ◦ 붕괴이력	◦ 집수지형 ◦ 불안정지질 ◦ 불연속면 특성 ◦ 지반변형 ◦ 지하수 ◦ 배수조건 ◦ 붕괴이력 ◦ 낙석	◦ 집수지형 ◦ 불안정지질 ◦ 불연속면 특성 ◦ 지반변형 ◦ 지하수 ◦ 배수조건 ◦ 붕괴이력 ◦ 낙석 ◦ 사면상부 상태

(가) 집수지형

사면의 시·중점부와 상부 계곡부, 사면 내 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 사면에 유입되는 지형의 개수로 평가하며 사면 내 점수와 사면 외 점수 중 낮게 평가되는 항목으로 등급을 산정하여 평가한다.

- 절토사면 내 : 사면 내 요철지형으로 지표수가 한곳으로 모여 고이는 지형
- 절토사면 외 : 상부자연사면, 시·중점부의 계곡부 및 집수지형

[표 11.30] 집수지형 평가기준

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

(나) 불안정지질

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

[표 11.31] 불안정지질 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
규모 및 상태	a	없음	없음
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태
	c	국지적 분포(파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태
	d	전반적인 분포(파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 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

- 일부분포 : 불안정지질에 의해 변형, 강도저하 등의 결함이 발생할 수 있으나 (혹은 발생했으나) 그 영향이 매우 한정되어 있으며, 평가하고자 하는 사면에 대한 영향이 극히 일부인 경우(혹은 불안정지질은 관찰되나 사면에 영향이 없다고 판단되는 경우).

- 국지적 분포 : 불안정지질에 의한 결함이 사면 일부에 발생할 수 있으며, 이로 인한 보호 조치가 요구되는 경우
- 전반적인 분포 : 불안정지질에 의한 결함의 규모가 매우 커 보강(보호 공법과 병행) 조치가 요구되는 경우

(다) 불연속면 특성

[표 11.32] 불연속면 특성 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
불연속면의 상태	a	매우 양호	불연속면의 세부(연장, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격) 상태를 평가하여 산술평균값으로 평가 불연속면 상태 점수 = $\sum (\text{①} \sim \text{⑥}) / 6$
	b	양호	
	c	보통	
	d	불량	
	e	매우불량	

[표 11.33] 불연속면 세부상태 평가기준

평가항목		등급				
		a	b	c	d	e
점수	암반	0	5	10	16	24
	혼합	0	1	3	5	8
① 연 장 성		1m미만	1m이상 3m미만	3m이상 10m미만	10m이상 20m미만	20m이상
② 틈 새		0	0.1mm미만	0.1mm이상 1mm미만	1mm이상 5mm미만	5mm이상
③ 거 칠 기		매우 거칠	거칠	약간 거칠	평탄	매우 평탄
④ 충 전 물		없음	단단한 충전물 (5mm미만)	단단한 충전물 (5mm이상)	연약한 충전물 (5mm미만)	연약한 충전물 (5mm이상)
⑤ 풍 화 도		신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화
⑥ 절리간격		2m이상	0.6m이상 2m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만

(라) 지반변형

지반 변형은 사면의 배부름 현상(bulging)과 같이 지반 자체의 변형과 관련된 것으로 현재 변형의 증거가 관찰되지 않으면 “없음”으로 하고 변형의 증거가 있을 때에는 위험도 및 피해도에 따라 등급을 결정한다.

[표 11.34] 지반변형 평가기준

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

(마) 지하수

사면 내 지하수량을 간접적으로 평가하기 위한 방법으로써 사면에서 관찰되는 물의 흐름을 2가지로 구분하고 그 위치를 조사하여 평가한다.

[표 11.35] 지하수 평가기준

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

(바) 배수조건

사면에 설치된 배수시설의 상태를 평가한다.

- 배수시설의 결함 : 균열, 변형, 세굴, 파손 등으로 물의 흐름을 방해하는 손상

[표 11.36] 배수조건 평가기준

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

(사) 붕괴이력

이미 발생한 붕괴 규모에 대한 평가로서 세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴로 등급을 분류하여 평가한다.

[표 11.37] 붕괴이력 평가기준

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

(아) 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생하는 붕괴유형으로서, 사면에서 관찰되는 뜬돌 및 이완암의 규모와 높이, 사면의 경사 등을 고려하여 낙석에너지를 추정하고, 추정된 에너지 규모에 따라 등급을 구분하여 평가한다.

낙석의 평가는 발생규모와 예상낙석에너지 중 낮은 등급의 점수로 산정하여 평가한다.

[표 11.38] 발생규모 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
발생 규모	a	없음	기 발생하여 적치된 낙석의 양으로 평가하며 평가구간 내에 발생한 낙석의 규모를 모두 합하여 평가
	b	1m³미만	
	c	1m³이상 5m³미만	
	d	5m³이상 10m³미만	
	e	10m³이상	

[표 11.39] 예상 낙석에너지 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
예상 낙석 에너지	a	없음	사면에 존재하는 뜬돌 및 이완암 등 낙석발생 가능성이 있는 암괴의 규모 및 위치 등을 적용하여 낙석에너지 산정 $E_i = (1 - \frac{\mu}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H$
	b	50kJ미만	
	c	50kJ이상 70kJ미만	
	d	70이상 120kJ미만	
	e	120kJ이상	

- 예상 낙석에너지(일본도로협회, 2000)

$$E_i = (1 - \frac{\mu}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H$$

여기서, E_i = 낙석에너지(kJ), θ = 사면의 경사, μ =낙석의 등가마찰계수(0.15),
 β = 회전에너지계수(0.1), m = 낙석의 중량(t), H = 낙석의 높이(m),
 g = 중력가속도(9.8m/sec²), (μ , β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용)

(자) 사면의 상부 상태

[표 11.40] 사면의 상부 상태 평가기준

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

(차) 인장균열

인장균열은 유무 확인, 진행성 여부를 근거로 평가하며, 단층이나 습곡의 존재 여부, 암종이나 풍화 지반의 분포, 엽리나 기타 불연속면의 분포, 차별풍화 여부, 균열의 규모, 위치나 깊이 방향 등의 조사 자료는 개략적인 붕괴규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용한다.

[표 11.41] 인장균열 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
인장균열 유무 및 진행성	a	없음	인장균열 없음
	b	—	
	c	—	
	d	있음(비진행성)	인장균열이 확인되나 비진행성인 상태
	e	있음(진행성)	인장균열이 확인되며 진행 중인 상태

(카) 공중이 이용하는 부위

[표 11.42] 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 파손	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 발생 하였으나, 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

나. 구성 재료에 따른 지표등급 점수

1) 토사사면

[표 11.43] 토사사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

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

2) 암반사면

[표 11.44] 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

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

3) 혼합사면

[표 11.45] 혼합사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

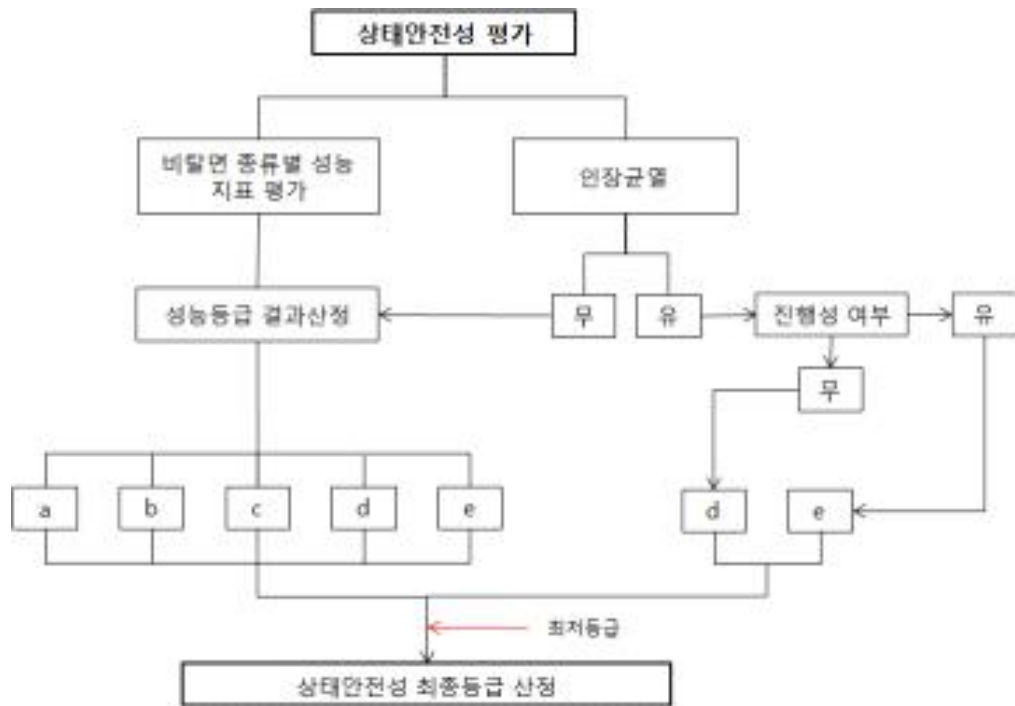
평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	2	3	5	7
② 불안정 지질	0	3	6	9	14
③ 불연속면의 특성	0	1	2~3	4~5	6~8
④ 지반변형	0	2	5	7	11
⑤ 지하수	0	3	5	8	12
⑥ 배수조건	0	2	4	7	10
⑦ 붕괴이력	0	2	5	7	11
⑧ 낙석	0	3	5	8	12
⑨ 사면상부상태	0	3	6	10	15
결합지수 = $\Sigma(①\sim⑨) / 100$					

다. 상태안전성능평가결과 산정

1) 개요

상태안전성능 등급의 결과 산정방법은 평가된 항목별 점수를 모두 합산하여 100으로 나눈 값으로 산정한다. 집수지형 및 낙석의 경우 두 개의 평가항목 중 등급이 낮은 항목을 선정한다. 또한 불연속면의 특성(연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격)은 각 항목별 평가된 점수의 산술평균값으로 평가한다.

다만, 인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결합점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.



[그림 4.1] 인장균열 유/무에 따른 상태안전성능평가결과 예

[표 11.46] 인장균열의 결함점수 산정

구분	평가등급	결함점수	결함지수
인장균열	a	8	0.08
	d	65	0.65
	e	88	0.88

2) 결과 산정

상태안전성능 평가는 토층심도율(SR)에 따라 다시 토사사면과 암반사면, 그리고 혼합사면으로 나누어 평가한다.

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

[표 11.47] 상태안전성능평가결과 산정기준

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

[표 11.48] 구간별 상태안전성능평가결과 산정 예

사면의 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가 등급	최종 평가결과 선정	비고
320m	구간 A	100m	a	C	
	구간 B	90m	c		
	구간 C	130m	b		
	구간별 평가 후 최소 등급을 선정 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소 등급으로 선정				

[표 11.49] 상태안전성능평가결과 산정 예

시설물명	○○사면	근거표번호		
사면종류	절토사면	구성재료	혼합	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
(1) 집수지형	사면 내	2	3	c
	사면 외	3		
(2) 불안정 지질		3	3	b
(3) 불연속면의 특성		3	3	c
(4) 지반변형		2	2	b
(5) 지하수		3	3	b
(6) 배수조건		2	2	b
(7) 붕괴이력		5	5	c
(8) 낙석	규모	8	8	d
	예상낙석에너지	3		
(9) 사면의 상부 상태		10	10	d
총점		44	39	—
결함지수		0.39		
상태안전성능 평가결과		C		

11.4.2 구조안전성능평가기준 및 방법

가. 구조안전성능평가기준

사면은 자연지반이 주 구성 물질이므로 안정해석을 실시함에 있어 타 시설물에 비해 불확실성이 높은 요소들이 많이 존재한다. 따라서 구조안전성능 평가기준은 인공구조물로 이루어진 타 시설물에 비해 높은 수준의 평가기준을 적용하는 것이 바람직하므로 국내에서 표준으로 사용되는 ‘건설기준코드(구 건설공사 비탈면 설계기준)’의 깎기비탈면 설계 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 11.50] 구조안정성능 평가기준

평가기준		상 태	
등급	결함 지수	건기	우기(침투해석)/내진
a	0.08	안전율 1.5 이상	안전율 1.2(1.3) 이상/1.1 이상
b	—	—	—
c	—	—	—
d	0.65	안전율 1.0 이상, 1.5 미만	안전율 1.0 이상, 1.2(1.3) 미만/ 안전율 1.0 이상, 1.1 미만
e	0.88	안전율 1.0 미만	안전율 1.0 미만
• 암반사면 - 건기시 : 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음. - 우기시 : 인장균열이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 $HW=1/2H$ 로 가정하여 적용 • 토사사면 - 건기시 : 지하수위 미고려 - 우기시 : 1) 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) 2) 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우 지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술 (FS=1.3적용) • 두 가지 이상의 파괴유형에 대하여 안정해석을 실시하였을 경우 가장 작은 안전율 값을 구조안전성능 평가에 적용			

나. 구조안전성능 평가결과 산정

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

또한, 암반사면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사사면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어 져야 한다.

내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

[표 11.51] 안정해석 조건에 따른 기준안전율

구분		건기	우기(침투해석)	지진시
절토사면	일반	FS > 1.5	FS > 1.2(1.3)	FS > 1.1

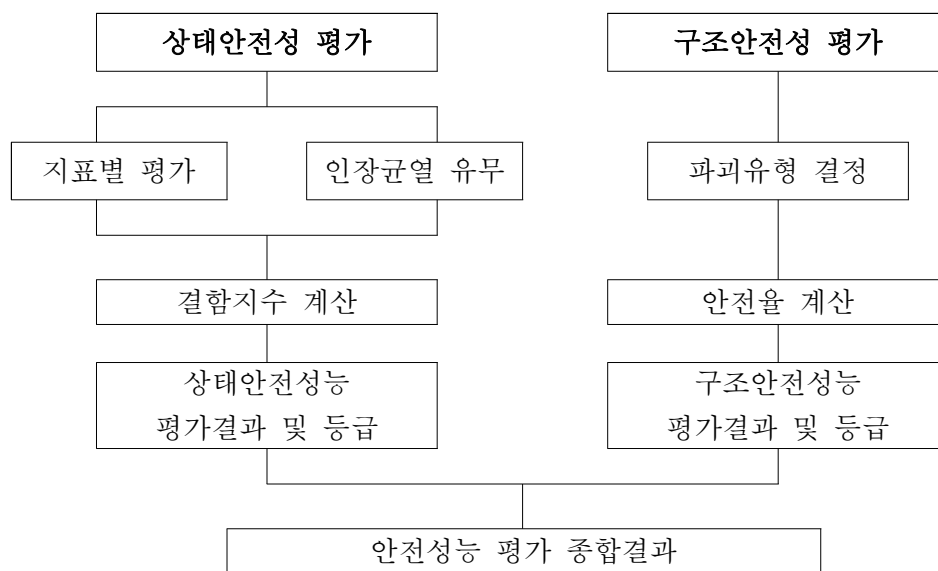
[표 11.52] 구조안전성능 평가결과 산정 예

구조안전성능 평가결과 산정표					
시설물명		○○절토사면		근거표번호	
구성재료	파괴유형	기준안전율		평가결과	비 고
암반	평면파괴	건기시	1.52	a	완전 건조시
		우기시	1.20		HW=1/2H
	췌기파괴	건기시	－	a	췌기파괴 가능성 없음
		우기시	－		
	전도파괴	건기시	－	a	전도파괴 가능성 없음
		우기시	－		
토사	원호파괴	건기시	1.62	a	침투해석 조건
		우기시	1.36		
지진시		－		－	필요시
구조안전성능 평가결과		A			

11.4.3 안전성능 평가결과산정 방법

가. 일반

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



[그림 4.2] 안전성능 평가결과 산정 과정

나. 안전성능 평가결과산정 예

[표 11.53] 안전성능 평가결과 산정 예

안전성능 평가결과 산정표				
시설물명	○○사면		비고	근거표번호
평가구분	결함지수	평가결과		
상태안전성능	0.39	C	인장균열 없음	안전율=1.20 (우기시)
구조안전성능	0.08	A	평면파괴	
안전성능	0.39	C		
안전성능 결과	· 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소 등급을 선택 · 안전성능 평가결과 : C 등급			

[표 11.54] 안전성능 평가결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (E) < 0.15$	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (E) < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq (E) < 0.75$	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 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

11.5 내구성능 평가기준 및 방법

11.5.1 일반

절토사면에 대한 내구성능 정의로는 ‘외부환경 및 하중에 대해 원래의 사면상태가 시간에 따라 변형되거나 변질되지 않고 안전성능을 저하시키지 않도록 유지하는 성질’과 같다. 이와 같은 정의에 따라 사면 고유의 성질 및 고유의 성질을 유지하도록 하는 지표 중에서 시간에 따라 변화하여 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대해 내구성능 평가를 수행한다. 선정된 지표에 대해 평가기준에 따라 등급산정을 하고, 각 등급산정 결과에 사면형식별 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 절토사면의 시설물에 대한 내구성능등급을 결정한다.

11.5.2 내구성능 평가항목 및 기준

가. 개요

절토사면은 형식별로 토사사면, 암반사면, 혼합사면으로 구분할 수 있으며, 형식 구분에 대한 기준은 토층심도율이 적용된다. 토사사면에 대해서는 ‘지반상태(토질)’, ‘표면보호공’ 및 ‘사면보강공’에 대해 평가하고, 암반사면에 대해서는 ‘지반상태(암반)’, ‘절리상태 및 풍화도’, ‘표면보호공’ 및 ‘사면보강공’에 대해 평가한다. 토층심도율이 0.2~0.4인 혼합사면에 대해서는 토질 및 암반 각각에 해당하는 지표에 대해 평가하고, 이 중 낮은 등급을 최종등급으로 결정한다.

각 평가지표에 대한 등급분류 기준은 다음과 같은 사항이 고려되었다. 공용중인 절토사면에 대해서 관련 평가지표가 실제로 점검이 가능한 조사방법에 의해 측정 및 평가될 수 있는지를 고려한 것이다. 예를 들어, 토사사면의 지반상태를 평가하기 위해 표준관입시험이 적용될 수 있겠으나, 공용중인 사면에 대해서 장비의 진입 및 설치가 용이하지 않다. 따라서 이러한 경우 휴대가 용이한 동적콘관입시험기를 사용하여 조사하며(제2종성능평가 수준시 토양경도계 사용 가능), 등급분류 기준은 해당 시험법으로부터 얻을 수 있는 측정값을 고려하여 결정하였다.

나. 사면 형식별 평가지표

절토사면 내구성능 평가지표를 형식별로 구분하여 나타내면 [표 11.55]과 같다.

[표 11.55] 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

다. 내구성능 평가 성능지표 및 기준

1) 토사사면의 지반상태

표준관입시험은 대형의 장비를 사용해야 하는 관계로 공용 중의 사면에 활용하는 것은 적합하지 않다. 소형의 장비(휴대용 콘관입시험기)를 사용하는 동적콘관입시험은 표준관입시험과 동일한 원리를 적용하고 있으며, 표준관입시험의 N치와 동적콘관입시험의 Nd치는 $N_d = 1.15N$ 의 관계를 가지고 있다. 동적콘관입시험(DCPT)은 타격횟수(Nd)를 측정하고 측정값의 범위에 따라 등급을 산정하며 토사의 종류가 점성토의 경우에는 연경도, 사질토의 경우는 상대밀도에 따라 분류할 수 있다.

붕적 자갈층으로 형성된 사면의 경우 더욱 신뢰성 있는 평가결과를 얻기 위해서는 표준관입시험의 수행에 대한 검토가 필요하며, 이에 대해서는 관리주체 및 점검책임자의 판단에 따라 시험방법을 결정한다.

[표 11.56] 토사사면의 지반상태 등급 및 기준

항목	등급	상세	비고		
지반상태 (토사)	a	매우견고/매우조밀	동적콘관입시험(DCPT) Nd치		
	b	견고/조밀	구분	점성토(연경도)	사질토(상대밀도)
			Nd치	3 미만 (매우 연약)	5 미만 (매우 느슨)
				3 이상 5 미만 (연약)	5 이상 12 미만 (느슨)
				5 이상 10 미만 (보통 견고)	12 이상 35 미만 (중간 조밀)
				10 이상 18 미만 (견고)	35 이상 58 미만 (조밀)
				18 이상 (매우 견고)	58 이상 (매우 조밀)
e	매우연약/매우느슨				

[표 11.57] 토양경도계 측정에 따른 등급

항목	지반종류	등급	분류	토양경도	
				(kg/cm ²)	(mm)
지반상태 (토사)	모래	a	매우조밀	$16.7 \leq X$	$26.0 \leq X$
		b	조밀	$10.5 \leq X < 16.7$	$23.3 \leq X < 26.0$
		c	보통	$6.7 \leq X < 10.5$	$20.4 \leq X < 23.3$
		d	느슨	$4.2 \leq X < 6.7$	$17.2 \leq X < 20.4$
		e	매우느슨	$X < 4.2$	$X < 17.2$
	실트질 모래	a	매우조밀	$5.3 \leq X$	$18.9 \leq X$
		b	조밀	$3.0 \leq X < 5.3$	$14.9 \leq X < 18.9$
		c	보통	$1.9 \leq X < 3.0$	$12.0 \leq X < 14.9$
		d	느슨	$1.4 \leq X < 1.9$	$10.2 \leq X < 12.0$
		e	매우느슨	$X < 1.4$	$X < 10.2$
	실트	a	매우조밀	$1.7 \leq X$	$11.1 \leq X$
		b	조밀	$1.3 \leq X < 1.7$	$9.7 \leq X < 11.1$
		c	보통	$0.8 \leq X < 1.3$	$7.1 \leq X < 9.7$
		d	느슨	$0.5 \leq X < 0.8$	$4.7 \leq X < 7.1$
		e	매우느슨	$X < 0.5$	$X < 4.7$

2) 암반사면의 지반 상태

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

[표 11.58] 암반사면의 지반상태 등급 및 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계값(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	95%이상 100%이하	94%이상 100%이하	90%이상 100%이하
	b	95%이상 97.5%미만	90%이상 95%미만	88%이상 94%미만	8%이상 90%미만
	c	92.5%이상 95%미만	85%이상 90%미만	82%이상 88%미만	70%이상 80%미만
	d	90%이상 92.5%미만	80%이상 85%미만	75%이상 82%미만	60%이상 70%미만
	e	90% 미만	80% 미만	75% 미만	60% 미만

<해 설>

- 최하등급의 설정근거는 건설공사 표준품셈에 제시된 암종별 내암강도를 참고하였음(극경암 → 경암, 경암 → 보통암, 보통암 → 연암, 연암 → 풍화암으로 될 때의 강도 감소율)
- 설계 값이 없는 경우 초기점검 시 측정값을 기준으로 평가함

[표 11.59] 암종별 암편 내압강도

암종	그룹	암편 내압강도 (kg/cm ²)
풍화암	A	300 이상 700 미만
	B	100 이상 200 미만
연암	A	700 이상 1,000 미만
	B	200 이상 500 미만
보통암	A	1,000 이상 1,300 미만
	B	500 ~ 800 미만
경암	A	1,300 이상 1,600 미만
	B	800 이상
극경암	A	1,600 이상
	B	
구분	A 그룹	B 그룹
대표적 암명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 위록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 김람암, 사교암, 유교암, 현암, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 혈암, 니암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각 판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 것, 천매상의 것
500 ~ 1000gr 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되거나 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점의 암이 부서지지 않고, 분상이 되어 남고 암편의 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. 식생 피복율과 구조물공의 손상면적율을 평가하고 둘 중 낮은 등급으로 표면보호공의 등급을 결정한다.

[표 11.60] 표면보호공 평가 등급 및 기준

항목	등급	보호공 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿔어붙이기/석장공 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호 (90% 이상)	균열 및 박락 없음 (0 ~ 10% 미만)
	b	양호 (70% 이상 ~ 90% 미만)	일부 균열 발생 (10% 이상 ~ 30% 미만)
	c	보통 (50% 이상 ~ 70% 미만)	균열 및 일부 박락 발생 (30% 이상 ~ 50% 미만)
	d	불량 (30% 이상 ~ 50% 미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생 (50% 이상 ~ 70% 미만)
	e	매우 불량 (0% ~ 30% 미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생 (70% 이상)

4) 사면보강공

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

[표 11.61] 사면보강공 평가 등급 및 기준

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

5) 암반의 절리상태 및 풍화진행도

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

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

[표 11.62] 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

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

11.5.3 내구성능평가결과산정 방법

가. 개 요

내구성능평가결과 산정방법은 각 지표별 평가 등급의 결함도 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 시설물이 없는 경우에는 가중치를 보정하여 평가에 반영한다. 예를 들어 토사사면에 ‘사면보강공’이 없는 경우에는 ‘지반상태’와 ‘표면보호공’ 두 개의 지표에 대해 가중치를 보정한 값을 적용하여 결함도 지수를 산정한다. 지표별 가중치는 [표 11.63]과 같다.

[표 11.63] 등급별 결함도 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 11.64] 사면형식에 따른 지표별 가중치

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

나. 결과산정절차

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

[표 11.65] 단계별 결과산정절차

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

[표 11.66] 토사사면의 조사 방법 및 수량

평가지표	평가범위	조사/점검 방법	조사/점검 수량
지반상태 (토사)	토사구간 전체	토양경도시험 (정밀안전진단시 동적콘관입시험)	20m 구간별 1개소 ¹⁾ (1개소당 각 10회)
표면보호공 (토사)	토사구간 전체	식생이 있는 구간에 대한 피복을 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

주1) 총 연장이 100m 이하인 경우, 최소 5개소에 대하여 조사하도록 함

[표 11.67] 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 ¹⁾
표면보호공 (암반)	암반구간 전체	식생이 있는 구간에 대한 피복을 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	암반구간 전체 보강공	보강공 두부와 지반 밀착도 및 보강공 두부의 균열 및 파손 상태 육안조사	전체 보강공의 25% 이상
절리상태 및 풍화진행도	암반구간 전체	절리상태: 육안조사 풍화진행도: ISRM 5단계 분류법 또는 해머타격 시험에 의한 풍화도	20m 구간별 1개소 ¹⁾

주1) 총 연장이 200m 이하인 경우, 최소 10개소에 대하여 조사하도록 함

다. 내구성능 평가결과산정 예

[표 11.68] 평가대상 사면 개요

사면 형식		혼합사면 (토사사면+암반사면)
공용 기간		10년
암반구간 설계(초기)강도		35MPa
길이		100m
면적	전체	3,000m ²
	토질구간	1,000m ²
	암반구간	2,000m ²
표면보호공	식생	토질구간 시공 (준공시 1,000m ² , 공용중 석장공 시공에 의해 700m ² 로 감소)
	석장공	토질구간 시공 (공용중 시공, 300m ²)
사면보강공	그라운드 앵커	암반구간 100개 시공

1) 토사구간의 지표평가

① 지반상태

[표 11.69] 지반상태(토사)

시험개소	동적콘관입시험(DCPT) Nd치	비고
A-1	27	최소
A-2	29	—
A-3	34	—
A-4	31	—
A-5	37	최대
평균값	31	최소/최대 제외
등급	C 사질토 상대밀도(중간조밀 12~35)	

② 표면보호공

[표 11.70] 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	피복면적	피복율(%)
식생	520m ² / 700m ²	74.3
등급	B 양호(70% 이상 ~ 90% 미만)	

[표 11.71] 표면보호공 손상 면적

표면보호공 종류	손상면적	손상면적율(%)
석장공	96m ² / 300m ²	32.0
등급	C 균열 및 일부 박락 발생(30% 이상 ~ 50% 미만)	

2) 암반구간의 지표평가

① 지반상태

[표 11.72] 지반상태(암반)

시험개소	슈미트해머에 의한 추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비 강도(%)	비고
A-1	34.83	99.5	
A-2	34.79	99.4	
(A-O)	(OO)	(OOO)	
(A-O)	(OO)	(OOO)	
A-8	34.83	99.5	
A-9	34.75	99.3	최소
A-10	34.89	99.7	최대
평균값		99.5	최소 및 최대 제외
등급	A 보통암 (94 ~ 100%)		

② 사면보강공

[표 11.73] 사면보강공

앵커번호	밀착도	균열 및 파손	앵커별 등급	등급점수	비고
A-1	B	C	C	0.43	
A-2	A	B	B	0.23	
(A-O)	(O)	(O)	(O)	(OO)	최대
(A-O)	(O)	(O)	(O)	(OO)	
(A-O)	(O)	(O)	(O)	(OO)	최소
A-25	B	A	B	0.23	
평균값				0.29	최소 및 최대 제외
등급				B	

③ 절리상태 및 풍화진행도

[표 11.74] 절리상태 및 풍화진행도

시험개소	시험개소별 등급	등급점수	비고
A-1	C	0.43	
A-2	B	0.23	최소
A-3	C	0.43	
A-4	D	0.65	최대
A-5	C	0.43	
평균값		0.43	최소 및 최대 제외
등급		C	

3) 혼합사면의 내구성능 등급 산정

① 토사구간 내구성능 등급

[표 11.75] 토사구간의 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태	C	0.4	0.62	0.267
표면보호공	C	0.4	0.38	0.163
사면보강공	—	—	—	—
결함도 지수				0.43
등급				C

② 암반구간 내구성능 등급

[표 11.76] 암반구간의 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a)×(b)
지반상태	A	0.08	28	0.022
표면보호공	—	—	—	—
사면보강공	B	0.23	28	0.064
절리상태 및 풍화진행도	C	0.43	44	0.189
결합도 지수				0.275
암반구간 등급				B

③ 혼합사면의 내구성능 등급 산정

[표 11.77] 혼합사면 내구성능 평가 최종 등급 산정

구간	내구성능 등급	결합지수	근거 표번호	최종등급*
토사구간	C	0.43	[표 11.75]	C
암반구간	B	0.275	[표 11.76]	

<해 설>

- 토사 및 암반 구간 중 더 낮은 등급을 최종 등급으로 함

[표 11.78] 내구성능 평가결과에 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

11.6 종합평가기준 및 방법

11.6.1 종합평가 일반

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

- 안전성능평가결과가 가장 낮은 등급일 때
 - 안전성능평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정함
- 안전성능평가결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우
 - 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정함

11.6.2 종합평가결과산정방법

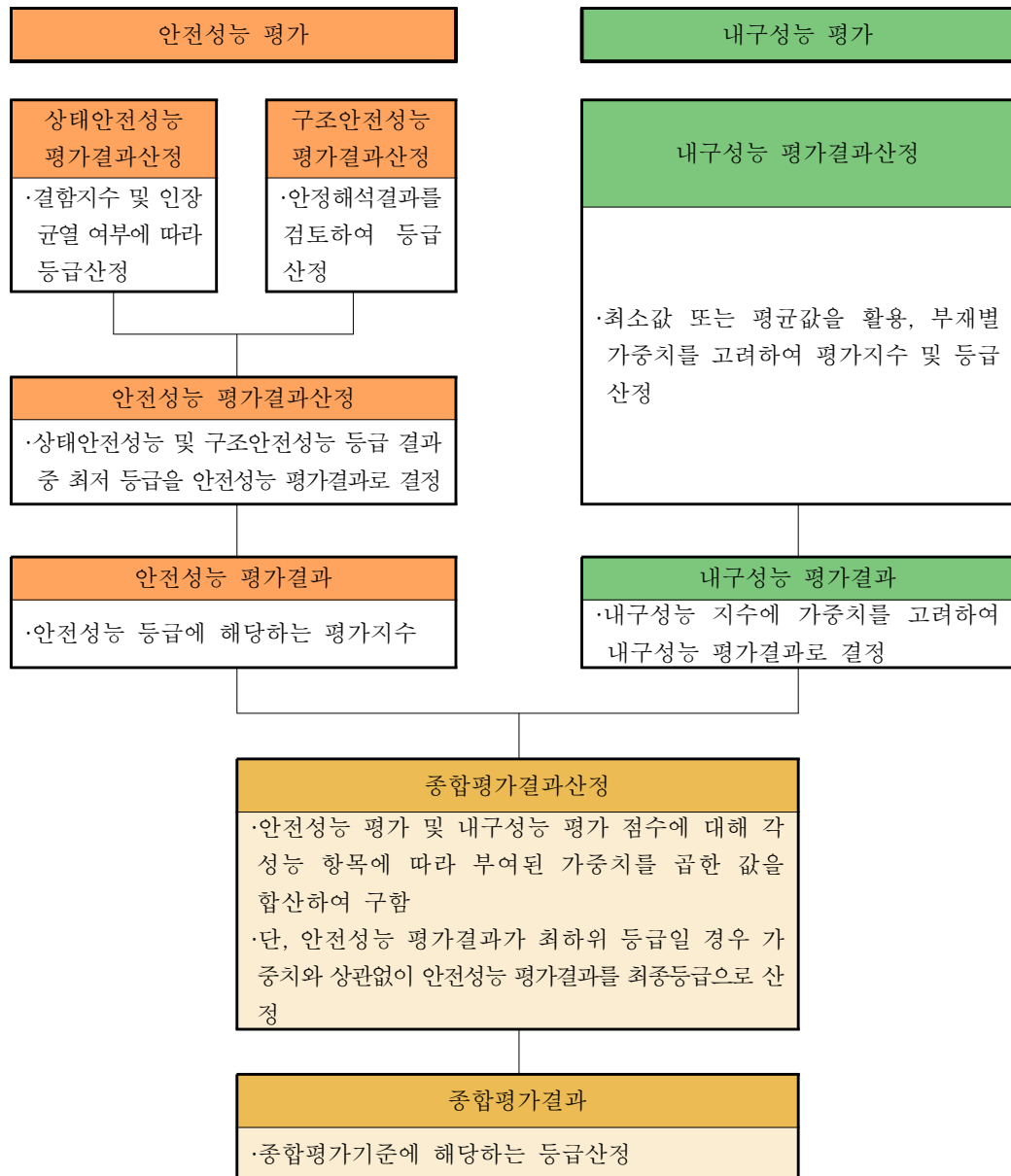
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

단, 안전성능, 내구성능 등급을 비교하여 안전성능 등급이 가장 낮은 경우 구조물의 위험성을 고려하여 안전성능 등급이 종합성능등급으로 평가된다.

사면의 종합평가지수(P) = $\sum(\text{성능평가지수}(p_n)) \times \text{성능간 가중치}(W_n)$

[표 11.79] 성능간 가중치 산정 값

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



[그림 11.13] 절토사면의 종합평가결과 산정 절차

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

[표 11.80] 절토사면의 종합평가 산정 예

시설물 종합평가결과 산정표					
시설물명	○○○ 사면		분류	일반도로 / 혼합사면	
평가구분	성능평가 지수	평가결과	성능간 가중치(W_n)	비 고	
안전성능 평가	$p_s=0.39$	C	0.8	근거 표번호	표 11.54
내구성능 평가	$p_d=0.43$	C	0.2	근거 표번호	표 11.78
종합평가 결과	○ 사면의 종합평가지수 : 0.39 (안전성능 평가등급이 최하위 등급인 경우) ○ 사면의 종합평가결과 : C				
	결합지수	0.398	종합평가등급	C	

[표 11.81] 절토사면의 종합평가결과에 따른 종합성능 등급 기준

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

시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가 편)

승인 국토교통부 시설안전과
발행 국토안전관리원

2018년 6월 일 초판
2019년 1월 일 개정판
2021년 12월 일 개정판
2022년 12월 일 개정판
2023년 12월 일 개정판
2024년 12월 일 개정판

* 본 세부지침은 개정 이후 계약되는 성능평가에 적용하시기 바랍니다.

* 본 세부지침의 내용에 관한 질의 및 건의 사항은
국토교통부 시설안전과 및 국토안전관리원으로
연락하여 주시기 바랍니다.

국토안전관리원
(<http://www.kalis.or.kr>)

(우) 52852 경상남도 진주시 사들로 131
대표전화 1599-4114, 055-771-1400

본 세부지침의 내용은 관리원 홈페이지에서
다운로드 받으실 수 있습니다.