제14장 절 토 사 면

14.1 관리일반

14.2 현장조사

14.3 재료시험 항목 및 수량

14.4 상태평가기준 및 방법

14.5 안전성평가기준 및 방법

14.6 종합평가기준 및 방법

14.7 보수·보강 방법

제14장 절토사면

14.1 관리일반

14.1.1 적용 범위

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

○ 제2종시설물

- 지면으로부터 연직높이(옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이) 30m 이상을 포함한 절토부로서 단일 수평연장 100m 이상인 절토사면

※ 도로, 철도, 항만, 댐 또는 건축물의 부대시설

절토사면의 특성에 따라 본 장의 서식을 적절히 응용하여 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나, 기준을 따른다.

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

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

14.1.2 용어 정의

○ 절토사면

- 원지반 절취 등의 토목공사로 인하여 인공적으로 형성된 사면

○ 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)

14.1.3 안전점검 및 정밀안전진단 대상 시설

절토사면 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 [표 14.1]과 같다.

[표 14.1] 절토사면 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대상시설 범위

구 분	시설물명	점검 및 진단 실시범위			비 고
		정기안전점검	정밀안전점검	정밀안전진단	
기본 시설물	◦ 상부자연사면	○	○	○	
	◦ 사면	○	○	○	
	◦ 사면하부	○	○	○	
부대 시설물	◦ 보호시설	○	○	○	
	◦ 보강시설	○	○	○	
	◦ 배수처리시설	○	○	○	
	◦ 이격거리내 시설	○	○	○	
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설	○	○	○	
	◦ 도로포장	○	○	○	
	◦ 도로부 신축이음부	○	○	○	
	◦ 환기구 등의 덮개	○	○	○	

14.1.4 중대한 결함 등의 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

- 사면 손상상태 평가에서 “d” 이하인 경우
  - 토사, 연약암반, 파쇄암반, 절리암반 등

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.

○ 추락방지시설

- 추락방지시설에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

○ 도로포장

- 도로포장에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

○ 도로부 신축이음부

- 도로부 신축이음부에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

○ 환기구 등의 덮개

- 환기구 등의 덮개에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

14.2 현장조사

14.2.1 시설물의 점검 사항

가. 절토사면 상태변화의 점검항목

1) 정기안전점검

[표 14.2] 정기안전점검 내용 및 항목

점 검 내 용	점 검 항 목	비 고
사면손상상태	– 파괴징후 · 전반적인 외관상태 · 인장균열 및 이완 암괴 유/무 · 지반 및 구조물 변형 유/무 – 파괴현황 · 파괴유형, 위치, 규모	
사면파괴요인	– 지반상태 · 구성물질, 풍화도, 불연속면 방향 – 사면형상 · 사면의 경사 · 집수지형 유/무 – 배수상태 – 보호시설 상태	

2) 정밀안전점검

[표 14.3] 정밀안전점검 내용 및 항목

점 검 부 위	점 검 항 목	비 고
사면손상상태	– 파괴징후 · 인장균열, 이완암괴 규모 · 사면 및 구조물 변형 상태 – 파괴현황 · 파괴유형, 위치, 규모 등	
사면파괴요인	– 지반상태 · 토질 조건 및 토층 심도 · 토질의 연경도 · 절리 경사 및 방향 · 절리간격, 거칠기, 연장 등의 상태 – 사면형상 · 사면 경사 및 집수지형 – 자연적 외부 요인 상태 · 강우 및 지하수 상태 (필요한 경우 지진 하중) – 인위적 외부 요인 상태 · 절취 상태, 배수 조건 · 표면 보호 및 보강공 상태 (옹벽 및 앵커의 경우 관련 세부지침 또는 유지관리 매뉴얼에 따라 조사 평가) · 계측기 점검 – 슈미트해머에 의한 강도 조사 – 토양경도계에 의한 토질조건 조사	
시 험 (안전성평가의경우)	– 토질시험 · 전단시험(점착력, 첨두마찰각, 잔류마찰각), 표준관입시험 – 암석시험 · 일축압축강도 (코어시료 획득 불가시 점하중시험으로 환산) · 절리면 직접전단시험(점착력, 내부마찰각) · 물성시험 : 단위중량, 탄성계수, 포아송 비	

3) 정밀안전진단

시설물의 재해예방 및 안전성을 확보하고 보수대책공법 제시를 전제로 하여 결함 및 손상원인을 규명하고 보수, 보강공법을 선정하기 위한 정보를 얻기 위하여 지반 시추조사 및 물리탐사(필요시), 토질 및 암석의 물성시험 등도 포함함으로써 지반의 상태를 정량적으로 획득해야 한다.

정밀안전진단 시의 사전조사는 [표 14.4]에 의하고, 정밀안전진단 항목 및 방법은 [표 14.5]에 준하여 실시하며, 이외의 추가되는 조사 항목은 관리주체와 협의하여 조사한다.

[표 14.4] 절토사면의 일반적인 사전조사 항목

사전조사 항목	검 토 내 용
기초 자료조사 및 검토	- 과업지시서 검토 - 지반 및 지질조사 보고서 및 결과 분석 - 지질도 및 단면도 분석 - 항공사진, 위성영상, 수치지형도 분석 - 강우자료 분석 - 재해 기록 및 공사 기록 - 기타 절토사면과 관련된 모든 자료 조사
절토사면 해석방법 및 결과분석	- 사면 유형에 따른 해석방법 결정 - 사용될 해석 프로그램 확인 - 해석용 입력자료 분석 - 안전율 및 지반 변위량 분석 - 보조 공법의 유무 및 적정성
설계도면 검토	- 절토사면의 표준 횡단면 검토 - 사면의 개설 방법 (발파, 리핑 등) - 절토사면 부대 구조물 설치 설계도면 분석 - 배수 시스템 - 해석결과와 설계도면 일치성 비교

[표 14.5] 절토사면의 일반적인 정밀안전진단 항목 및 방법

점검부위	진 단 항 목	검사장비/방법
사면손상 상태조사	○ 파괴 징후 조사 – 인장균열 : 유/무, 폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부 – 지반변형 : 유/무, 변형범위, 변형방향, 최대 변위량 – 구조물변형 : 유/무, 구조물 유형/규모, 변형범위, 변형방향, 최대 변위량	줄자, 클리노컴파스, 균열측정기 육안조사 등
	○ 파괴 현황 조사 – 파괴 유형 – 파괴부위의 위치 – 파괴 발생 규모 : 폭, 길이, 깊이, 높이	거리측정기, 카메라, 줄자, 클리노컴파스, 육안조사 등
사면파괴 요인조사	○ 지반상태 – 토질 및 지반조건, 토층 두께 – 대표적인 절리의 특성 (경사/경사방향, 절리상태) : 길이, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도 등	거리측정기, 클리노컴파스, 줄자, 프로파일게이지, 지질해머, 육안조사 등
	○ 사면형상 – 사면경사, 집수지형	클리노컴파스, 육안조사 등
	○ 자연적 외부요인 – 강우량(해당지역의 최근 30개년의 최대 일강우강도의 누년 평균값) – 지하수위	강우자료 참조 시추조사 육안조사 등
	○ 인위적 외부요인 – 표면보호공 상태 – 절취 상태 – 사면 보강공 상태 (옹벽 및 앵커의 경우 관련 세부지침 또는 유지관리 매뉴얼에 따라 조사 평가) · 계측기 점검 – 배수조건	육안조사 등
지표·지질·지반조사 및 시험	○ 토질 및 암석 물성시험 – 암석 : 일축압축강도시험(코어시료 획득 불가시 점하중시험으로 환산), 절리면 직접전단시험(점착력, 내부마찰각), 단위중량, 탄성파속도, 탄성계수, 포아송 비 – 토질 : 토사 전단강도(삼축, 직접) 시험, 표준관입시험, 토질 분류(함수비, 애터버그 한계, 비중, 입도시험) 등 ○ 지표, 지질조사 – 지질구조대(단층, 습곡, 파쇄대) 조사 – 선조사법(또는 창조사법)을 이용한 절리특성 자료획득 ○ 물리탐사(사면의 상태를 관찰하기 어려운 경우 실시) – 전기비저항 탐사, 탄성파 탐사, GPR 탐사 등 중 1가지 이상 실시 ○ 시추조사 – 시추코아 채취 – 지하수위 측정 – 시추공내 절리방향성 분석	물리탐사, 토질/암석물성시험, 시추조사, 선(창)조사법 육안조사 등

4) 공중이 이용하는 부위 점검항목

점 검 내 용	점 검 항 목	비 고
공중이 이용하는 부위	- 추락방지시설의 상태 - 도로부 포장 및 신축이음부 상태 - 환기구 등의 덮개 상태 - 기타조사	

나. 현장조사 요령

1) 개요

절토사면은 다른 일반구조물과 달리 지형, 지질 등의 지반조건과 강우, 기온 등과 같은 외부조건에 의해 주로 영향을 받는 구조물로서 계획단계로부터 시공 및 유지단계에 이르기까지 원지반의 조건이 사면의 안전성을 주로 좌우한다. 또한 원지반에 대한 정밀하고 객관적인 자료의 획득이 매우 어렵고, 정밀안전진단이나 안전점검을 수행하는 전문가에 따라 조사결과가 크게 달라질 가능성이 높다. 따라서 현장조사 및 시험의 방법이나 항목, 수량 등에 대한 통일된 기준의 제시가 필수적이다.

또한 본「장」에서 제시된 현장조사 및 재료시험의 항목과 수량은 최소한의 것을 제시한 것으로 지반 및 지질특성을 정확하게 파악하기 위해서는 전문가의 판단에 따라 그 이상의 항목과 수량을 수행하여야 한다.

절토사면의 현장조사는 사면의 유형에 따라 크게 토사사면과 암반사면으로 구별하여 조사하며, 조사내용은 사면 손상상태 조사, 사면 파괴요인 조사, 시험 및 물리탐사로 구분할 수 있다.

2) 조사영역 및 사면의 분할

사면의 분할은 현장조사에서 최초로 실시하는 작업으로 정밀안전점검이나 정밀안전진단의 대상이 되는 절토사면의 규모와 영역을 결정하는 작업을 의미한다. 현장에서 접하게 되는 절토사면은 대개 지형적인 특성에 의해 여러 절토사면이 연속하여 연결되어 있어 이를 구분하기 위한 명확한 기준이 필요하다.

(가) 사면의 분할

사면 분할은 사면을 바라보며 우측을 시점, 좌측을 종점으로 하되, 사면의 수직고가 5m 이하로 낮아지는 지점에서 분할한다.

(나) 현장조사 등 구간분할

상태평가 및 안전성평가를 위한 구간분할의 경우, 동일사면 내에서 다음의 경우에 구간분할을 실시하여 현장조사를 하여야 한다. 다만 구간분할을 하지 않았을 경우에는 그 사유를 보고서에 포함하여야 한다.

(1) 사면의 구성재료(토사, 연약암반, 파쇄암반, 절리암반)가 수평적으로 변화할 경우

(2) 사면의 경사방향이 40° 이상 변화할 경우

(3) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

3) 사면 손상상태 조사

(가) 파괴징후

① 인장균열

- 인장균열의 발생 여부를 파악하기 위해서는 조사대상 절토사면의 상부로부터 가상의 원호활동원에 포함되는 위치까지 조사하는 것이 원칙이나 보다 신뢰성 있는 조사를 위해서는 사면 상부 전반에 대하여 조사할 것을 권장한다.
- 인장균열이 사면의 안전율 계산에 끼치는 영향은 미소하지만 인장균열 내에 물이 채워질 경우 지반의 전단강도가 약화될 수 있으며, 인장균열이 진행성인 경우 사면파괴에 대한 중요한 증거가 되므로 조사에 신중을 기하여야 한다.
- 인장균열의 진행성(또는 확장) 여부는 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 판단한다.

② 지반변형

- 지반변형은 사면 상하부와 사면 내의 모든 변형을 모두 포함한다.
- 절토사면의 경우 자연상태의 응력준위를 인위적으로 변화시킴에 따른 응력이완과 해방의 원인으로 지반변형이 유발될 수 있다. 조사대상 사면 전반에 걸쳐 이에 대한 조사를 실시하여야 하며, 사면 상하부의 경우는 지반 함몰이나 융기 등의 현상을 관찰하고, 사면 내에서는 사면경사 불량 여부를 파악한다.

③ 구조물 변형

- 조사대상 사면에 존재하는 구조물은 옹벽, 배수시설 등이 있으며, 이들의 변형은 지반의 변형을 외적으로 표현해 주는 지표가 될 수 있다.
- 응력의 집중이나 기타의 원인에 의해 발생된 구조물의 변형 여부 및 발생위치, 개소수 등을 전반적으로 조사하여야 한다.
-

(나) 파괴현황

파괴현황은 기존에 발생한 파괴현황을 검토함으로써 사면의 불안정성 및 유사한 형태의 지속적인 파괴발생 가능성을 평가하는 항목으로서 파괴의 규모 및 개소수, 유형 등에 대한 조사가 대상사면 전반에 걸쳐서 수행되어야 한다.

4) 사면 파괴요인 조사

(가) 지반상태

① 토질조건

- 흙은 점성토와 사질토로 대별할 수 있으나 지반상에 존재하는 토질은 대부분 혼재하여 있다. 사질토의 전단저항원리는 입자간 회전과 활동에 의한 마찰저항과 interlocking이며, 점성토는 구성입자간의 전기적인 힘에 의해 지배받는다.
- 토질조건은 정밀안전점검 단계에서는 현장 육안관찰과 토양경도계, 휴대용 콘 시험기 등을 통하여 판단하며, 정밀안전진단 단계에서는 대상사면의 토사 전단저항각 또는 N치를 통하여 토질조건을 평가한다.
- 또한 안전성평가를 실시할 경우는 실내실험을 실시하며, 조사대상 사면에 대한 시료는 전면에 골고루(최소 3개소 이상) 채취하여, 이에 대한 토성 실내시험을 실시한 후 평균적인 결과를 사용할 것을 권장한다.
- 한편, 전단저항각 또는 N치를 조사하기 위한 시추 샘플링 및 표준관입시험은 최소한 1개소에 대하여 토사존재 깊이까지 실시하며 흙의 분류 및 샘플링, 표준관입시험 등은 한국산업규격(KS)에 근거하여 실시한다.

② 토층심도율

- 대상 절토사면의 토층심도율(SR)을 계산을 위해서는 사면 내의 토층 두께를 측정하여야 한다.
- 토층의 두께는 정밀안전점검 단계에서는 육안관찰을 통해, 정밀안전진단 단계에서는 측량, 비파괴 물리탐사 및 자료조사 등을 통하여 파악한다. 토층두께는 대상사면 내 토층이 가장 두꺼운 지점의 두께로 적용한다.
- 토층심도율(SR)은 사면높이에 대한 토층 두께의 비로 정의되며 아래 식과 같이 계산되어진다.

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

③ 연약암반의 지반강도 특성

- 지반을 구성하는 암석이 풍화를 심하게 받았거나 신생대 제3기 층과 같이 미고결 암석인 경우 지반의 강도가 매우 연약하며, 이러한 경우 지반강도 특성(연약한 정도)에 따라 지반의 역학적 특성이 현저하게 대별된다.
- 지반강도 특성은 지질해머를 이용한 육안 관찰을 통해, 약간 연약, 연약, 매우 연약 등으로 구분 지을 수 있으며, 각 구분은 일축압축강도 기준으로 20MPa ~ 5MPa, 5MPa ~ 1MPa, 1MPa 이하에 해당한다.

④ 풍화

- 지질학적인 풍화의 의미는 “암석이 물 또는 공기와 접촉하여 흙으로 붕괴되어 가는 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.

- 암석의 풍화도를 조사하는 방법으로는 단순육안관찰, 현미경상의 풍화면적 측정, 광물함량이나 화학성분비 측정 등이 있으나, 현장에서 신속하고 비교적 용이하게 조사할 수 있는 방법으로는 ISRM이 제시한 육안관찰에 의한 6단계의 풍화등급으로 나누는 방법이 대표적이다.

  - 필요장비
    · 지질해머
    · 끝이 뾰족한 칼
  - 조사수량
    · 상태평가 및 안전성평가를 위하여 분할된 구간마다 풍화등급을 조사한다.
  - 결과분석
    · 상암반의 풍화상태는 [표 14.6]과 같이 ISRM이 제시한 6단계의 풍화등급에 따라 기록한다.

[표 14.6] 풍화등급의 6단계 분류법

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(disintegrated)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 · 토질시험 결과에 따라 기초 사용 결정
풍화잔류토 (RS)	모든 암석이 흙으로 변했고 원래 암반의 구조와 조직은 관찰할 수 없다. 큰 부피의 변화가 생겼으나 흙은 거의 운반되지 않았다.	· 기초부에 부적합 · 사면침식요인 · 성토재 사용시 재료 선별

⑤ 불연속면 특성 조사

- 불연속면은 암반에서 나타나는 모든 연약면을 총괄적으로 나타내며, 작은 단열구조로부터 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 안전성에 절대적인 영향을 미치며, 대부분의 경우 불연속면을 따라 붕괴가 발생한다.
- 불연속면 특성 조사의 경우는 다음과 같다.
  - 정밀안전점검
    · 육안관찰에 의한 대표적인 불연속면군 약 3개조에 대해 실시
  - 정밀안전진단
    · 10m 이상의 측선을 이용한 선조사법(scanline method)을 실시
    · 조사창측정법(window method)을 실시

※ 선조사법으로 조사를 할 경우 지반의 구조적인 변화를 고려해 3회 이상 실시할 것을 권장하며, 횟수는 절개면의 연장에 따라 조정될 수 있다.
선조사법과 조사창측정법은 불연속면의 통계분석을 위하여 설정된 측선이나 구획 내에 존재하는 불연속면에 대하여 연번을 부여한 후 각 불연속면의 교차거리, 방향성, 길이(연장), 틈새(간격), 거칠기, 불연속면의 종류 등을 획득하는 방법이다.

[불연속면 특성 조사 항목]

㉠ 불연속면의 방향성

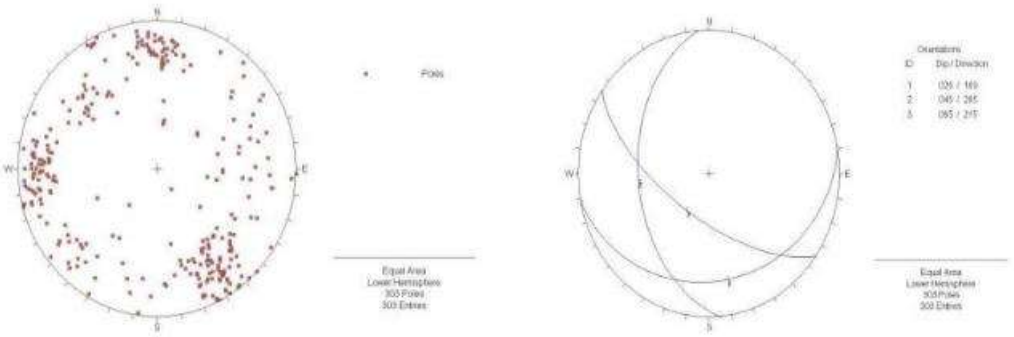
불연속면의 방향성은 사면의 방향성과 연관되어 안전성에 영향을 미치는 가장 중요한 인자중의 하나로 공간에서 불연속면의 분포경향을 나타낸다.

○ 조사 방법 및 수량

- 방향의 측정은 클리노컴파스나, 클리노메타를 이용하여 측정한다.
  - 대개 불연속면의 방향성은 주향(strike)과 경사(dip)로 표시하거나, 경사방향(dip direction)과 경사(dip)로 표시하며, 공학적인 문제에서는 '경사(dip)/경사방향(dip direction)'의 표시방법을 많이 사용한다. 이때 경사는 2자리로, 경사방향은 3자리로 표기한다. 예) 12/015
- 정밀안전점검
  - 전문가의 판단에 따라 조사영역별로 대표적인 불연속면군 약 3개조를 선정하고 각 불연속면군당 2-3개씩 측정하여 기록한다.
- 정밀안전진단
  - 불연속면군을 결정하기 위해 노두면에서 선조사법나 조사창측정법을 이용하여 충분한 양의 불연속면에 자료를 획득하여야한다.
  - 그러나 노두면이 관찰되지 않을 경우 시추작업 후 공내 조사기법(bore hole TV, camera, televiewer, Bips 등)을 이용하여 약 80~300개 정도의 측정자료를 수집해야 하며, 150개 정도가 적정한 수준이다.

○ 결과분석

- 측정된 불연속면은 평사투영법을 이용하여 도시하며, 목적에 따라 대원표시법이나, 극점표시법으로 나타낸다.([그림 14.1] 참조)



(a) 극점표시법 (b) 대원표시법

[그림 14.1] 불연속면의 표시방법

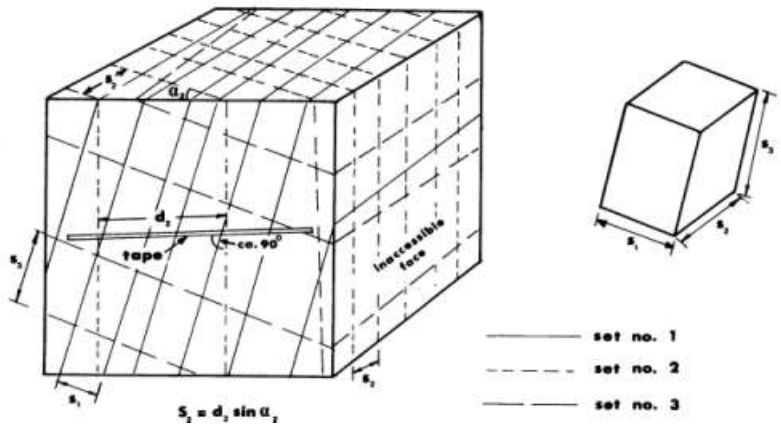
㉡ 간격

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

○ 조사 방법 및 수량

- 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.([그림 14.2] 참조)

$$S = d_m \sin\alpha$$



[그림 14.2] 노두 관찰을 통한 불연속면 간격 측정방법

○ 결과분석

- 각 불연속면군의 최소간격, 최대간격, 최빈간격을 기록하여야 하고, 히스토그램으로 불연속면 간격의 분포특성을 알 수 있다.
- 일반적으로 불연속면 간격에 대한 용어는 [표 14.7]과 같이 나타낸다.

[표 14.7] 불연속면 간격 분류 기준

등 급	간격 [m]
매우 조밀 (very close spacing)	0.06 미만
조밀 (close spacing)	0.06 ~ 0.2
보통 (moderate spacing)	0.2 ~ 0.6
넓음 (wide spacing)	0.6 ~ 2
매우 넓음 (very wide spacing)	2 이상

㉣ 연장성

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.

○ 조사 방법 및 수량

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

○ 결과분석

- 불연속면의 연장성을 표현하는 방법은 [표 14.8]과 같다.

[표 14.8] 연장성 분류 기준

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

㉣ 거칠기

불연속면의 거친 정도는 불연속면의 거동 시 전단강도에 큰 영향을 미치므로 불연속면으로 구성된 암반사면의 안전성을 평가하는데 중요한 요소이다.

불연속면의 거칠기는 수 m 정도의 대규모 거칠기(만곡, waviness)와 수 cm 정도의 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.

○ 조사 방법 및 수량

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

○ 결과분석

- 불연속면의 거칠기 측정 결과는 [표 14.9]와 같이 기재한다.

[표 14.9] 불연속면 거칠기 등급

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

㉤ 틈새(간극)

틈새는 분리된 인접 불연속벽면간의 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 사면 내의 수압, 투수량 등에 영향을 미칠 수 있다.

○ 조사 방법 및 수량

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

○ 결과분석

- 측정한 틈새 폭에 따라 [표 14.10]과 같이 분류한다.

[표 14.10] 틈새(간극) 분류 기준

구 분	간극 폭
밀착됨 (tight)	간극을 잴 수 없을 정도로 아주 좁고 밀착됨
약간 벌어짐 (partly open)	간극이 0.1mm 미만
벌어짐 (open)	0.1 ~ 1.0 mm
약간 넓음 (moderately wide)	1 ~ 5 mm
넓음 (wide)	5mm 이상

㉤ 충전물

충전물은 불연속면의 인접 벽면간을 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.

○ 조사 방법 및 수량

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

○ 결과분석

- 충전물 재료와 두께에 따라서 [표 14.11]과 같이 분류하여 기록한다.

[표 14.11] 충전물 분류 기준

충전물 재료	충전물 두께
없음	-
딱딱함	5mm 미만
	5mm 이상
부드러움	5mm 미만
	5mm 이상

㉥ 누수

암반 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.

○ 조사 방법 및 수량

- 사면의 불연속면에서 누수 개소를 조사하여 각 누수상태를 평가한다.

○ 결과 분석

- 불연속면을 따른 누수 상태는 [표 14.12]에 따른다.

[표 14.12] 누수상태 분류 기준

누수상태	설명
완전건조 (completely dry)	누수 흔적을 찾아볼 수 없다.
습함(damp)	손에 물이 묻지 않으나, 불연속면이 약간 축축한 상태이다.
젖어있음(wet)	불연속면이 물기로 젖어있고, 손에 물이 묻는다.
떨어짐(dropping)	불연속면 사이로 물방울이 떨어진다.
흐름(flowing)	불연속면 사이로 물방울이 단속적으로 떨어지지 않고 계속 흘러나온다.

◎ 블록형상

암반은 절리의 간격 및 방향에 따라 특징적인 형태를 갖고 있다.

절리의 방향이 직각이고 등간격이면 정육면체의 형태를 가지고, 두 방향의 절리 간격은 넓고 한 방향이 좁으면 판상의 형태를 보인다.

절리가 세 방향 이상으로 발달하면, 절리의 방향은 일반적으로 직각이 아니며 이러한 경우에는 쐐기형 또는 다면체의 형태를 보인다.

○ 조사 방법 및 수량

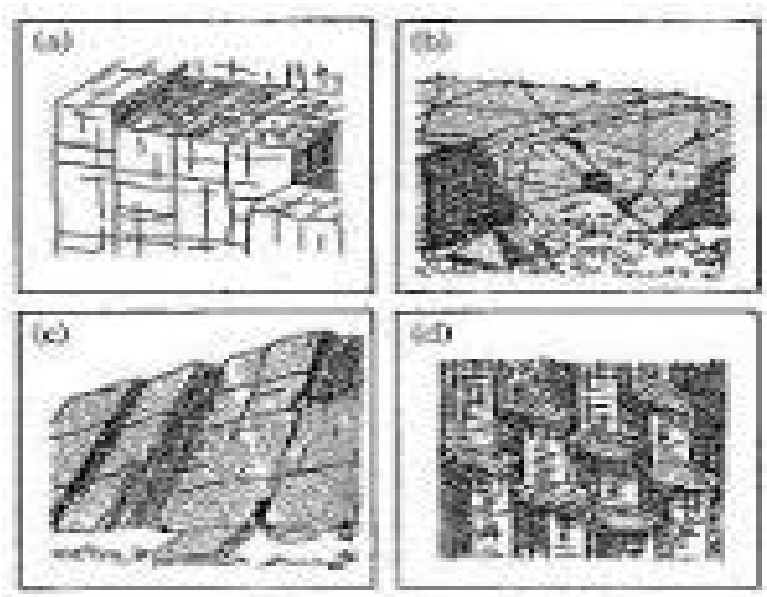
- 육안조사로 사면을 구성하고 있는 암반의 개략적인 블록 형상을 기록한다.

○ 결과 분석

- 블록의 형상은 [표 14.13]에 따라 분류하여 기재한다.([그림 14.3] 참조)

[표 14.13] 블록형상 분류 기준

블록형상	설명
괴상(massive)	불연속면이 거의 없고, 절리간격이 매우 넓음
판상(tabular)	다른 두 방향의 치수보다 한 쪽 방향의 치수가 상당히 작음
각주상(columnar)	다른 두 방향의 치수보다 한 쪽 방향의 치수가 상당히 큼
불규칙상(irregular)	블록의 크기와 형상의 변화가 심함
블록상(blocky)	거의 정육면체형의 사각형
파쇄상(crushed)	불연속면이 매우 조밀하게 발달하여 각설탕 같은 모양



(a) 블록상　(b) 불규칙상　(c) 판상　(d) 각주상

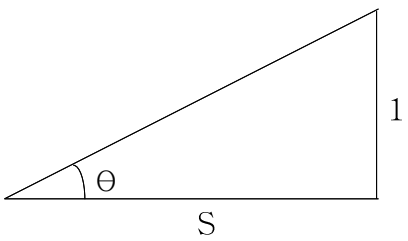
[그림 14.3] 암반 블록의 형상

(나) 사면형상

① 사면경사

대상사면에 대한 측량 등을 통하여, 사면경사, 사면경사각 또는 경사율(%)을 이용하여 절토사면의 형상을 평가할 수 있다.

[그림 14.4]은 사면경사, 사면경사각, 경사율(%)에 대한 개념이다.



[그림 14.4] 사면경사(1:S), 사면경사각(°), 경사율(%)

여기서, S(1:S) = 사면경사,　θ = 사면경사각(°), 경사율 = (1/S) × 100% 이다.

② 집수지형

대상사면의 상부에 집수유역이 존재한다면 이에 대한 고려를 실시한다.

유출계수, 도달시간, 유역면적, 침투율, 토질조건 및 증발산 등 수문학적 평가가 필요하지만 포괄적 차원에서 기술자의 판단을 반영하여 5단계로 평가한다.

(다) 자연요인

강우에 대한 항목은 해당지역의 최근 30개년의 최대 일강우강도의 누년 평균값을 획득하며, 지하수 조건은 시추조사 시 지하수위를 함께 조사하거나 물리탐사를 이용한다.

암반사면의 경우 현장측정 자료가 없는 경우 육안관찰을 통해 암반의 불연속면이나 토사 표면에서 발생하는 누수상태 및 위치 등을 고려하여 추정할 수 있다.

(라) 인위요인

① 표면보호

표면보호공은 숏크리트공, 격자블럭공, 돌붙임공 및 식생공(떼붙임공법, 씨앗살포공법(seed spray), 매트(mat)공법, 넷(net)공법, 녹생토공법) 유무를 육안으로 조사하여 판단한다.

사면 보수·보강을 위한 보호/보강 및 낙석방지공법 등 부대시설이 아닌 식생 및 표면보호공의 상태만을 조사하며, 식생의 조밀도와 표면보호공의 상태를 5단계로 평가한다.

② 보호/보강상태

사면의 안전성을 확보하기 위하여 활동력을 억제시키거나, 저항을 증가시키기 위한 공법을 절토사면에 시공한 경우 시공된 부대시설(록볼트 및 앵커공, 쏘일네일링, 숏크리트공, 낙석방지공, 옹벽 등)이 그 역할을 충분히 발휘하는지 조사하여 판단할 필요가 있다. 암반사면에 숏크리트공, 식생공 등의 표면보호공이 적용된 경우 표면보호 상태는 보호/보강상태에 포함하여 평가한다.

적용공법에 따라 다소의 차이는 있지만 시설의 결함, 노후화 및 기타사항을 조사하여 평가기준에 적용한다. 설치되어 있는 옹벽 및 앵커 등의 보강시설은 다음의 내용을 참고하여 현장조사 및 평가를 실시하여야 한다.

- 옹벽의 경우 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침[안전점검·진단 편]」 중 「옹벽」의 유형별 상태평가 기준을 참고하여 평가한다. 특히, 옹벽은 결함에 대한 지속적인 추적관리가 요구되므로 별도의 외관조사망도를 작성하여 보고서에 첨부한다.
- 앵커의 경우「그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼」의 정밀점검 및 정밀안전진단 점검항목을 참고하여 조사한 결과로부터 평가한다.

③ 배수조건

수량의 다소에 관계없이 용수가 지속된다면 사면상의 식생공이 점착치 못하게 되고 원지반을 침식시키게 되므로 용수부분에 대한 처리가 필요하다.

또한 용수는 사면의 불안정성을 증대시키는 역할을 할 수 있다. 용수를 적게하는 방법으로는 사면어깨배수공, 소단배수공, 집수정이나 보링을 통한 집수를 배수처리하는 방법 등이 있으며, 용수를 처리하는 방법은 도랑굴착, 호스, 집수매트, 돌망태(개비온) 등을 통한 배수방법이 있다.

판단기준은 배수가 양호하여 건조상태와 같이 간극수압이 발생하지 않을 경우에 해당되는 항목을 좋음으로 하여 5단계로 육안조사를 통하여 평가한다.

5) 실내 시험

(가) 토사사면의 시험

토사사면의 안전성을 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

○ 표준관입시험

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

(나) 암반 강도 시험

① 일반사항

- 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, 절토사면의 안전성은 불연속면의 특성에 의해 더 크게 좌우된다. 암석의 강도나 불연속면의 전단시험 결과는 암반 분류 및 안정해석에서 주로 이용된다.

② 시험방법

㉠ 일축압축강도시험(Uniaxial Compressive Strength Test)

- 현장에서 획득한 암편을 원주모양으로 성형하거나 시추코어 시료에 대하여 축방향으로 압축력을 가하여 강도를 측정하는 시험이다.
- 시료 성형 시 일반적으로 NX(50~54㎜) 크기의 코어가 되도록 하며, 길이가 대략 직경의 2배가 되도록 한다.
- 일축압축강도는 다음과 같이 계산된다.

$$S_c = -\frac{P_c}{A}$$

(S_c : 일축압축강도, P_c : 시료 파괴 시의 하중, A : 시료의 단면적)

㉡ 점하중 시험(Point Load Test)

- 이 시험법은 현장에서 또는 실험실에서 신속하게 측정할 수 있는 강도 시험법이며,

코어시료 획득이 불가능하여 일축압축강도 시험을 실시할 수 없을 경우 이 시험법을 통해 일축압축강도를 환산한다.

- 점하중 시험법은 다른 시험법과는 달리 간단한 하중기만 필요하며 정형화된 시료 준비가 필요 없는 간편한 방법이다. 점하중 시험법에 의한 시료의 파괴는 인장파괴로 나타나며, 따라서 일축압축강도보다 상대적으로 낮은 강도 값을 갖게 된다.
- 시추코어를 시료로 사용할 때는 NX 크기의 코어를 주로 이용하며, 직경에 대한 길이의 비가 1 이상이어야 한다. 시험결과는 점하중 강도지수(point load strength index)로 나타내며 다음과 같다.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

여기서, P = 하중,

D_e = 환산단면적

- 시험편의 등가직경으로서 코어의 축에 수직한 방향으로 가압하는 경우 $D_e^2 = D^2$
- 축방향 가압 또는 비정형의 시험편의 경우 $D_e^2 = \frac{4A}{\pi}$

(A : 파괴면의 단면적)

- 시험편이 NX 코어가 아닌 비정형일 경우는 I_s를 NX 코어의 값으로 환산한다. 이 환산값은 $I_s(50) = F \times I_s$이고, 여기서 $F = (D_e/50)^{0.45}$가 된다.

㉢ 슈미트해머 반발경도법(Schmidt Hammer Rebound Hardness Test)

- 반발경도법은 암석표면의 경도를 측정하여, 그 측정치로부터 암석의 압축강도를 추정하는 방법이다. 충격에 대한 반발을 측정하는 장치이므로 방향성을 고려해 주어야 한다.
- 슈미트해머는 콘크리트용인 N, NR형 등이 있으나, 암반 사면조사 시에는 암석용인 L형을 사용하여야 한다.
- 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.

㉣ 불연속면 전단시험

- 전문가의 판단에 따라 절토사면의 안전성에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 불연속면 군 하나를 택하여 전단시험을 실시한다.
- 수직응력을 달리하여 얻은 전단강도에 대한 회귀직선을 구하여 불연속면의 마찰각 및 점착력을 구한다.

③ 시험수량

㉠ 안전성평가를 위하여 분할된 구간마다 조사를 실시한다.

㉡ 정밀안전점검

- 불연속면에 대한 전단시험을 생략할 수 있고, 일축압축강도의 경우 슈미트해머를 이용한 20개의 타격점에 대한 반발 값으로 일축압축강도를 추정할 수 있다.

㉢ 정밀안전진단

- 비교적 균일한 특성을 나타내는 3개 이상의 시험편에 대해 실험실에서 일축압축강도 시험을 실시하여 강도 값을 직접 구한다.
- 또한 1개 이상의 시료에 대하여 수직응력을 달리하여 5회 이상의 전단시험을 실시한 후 불연속면의 마찰각을 구한다.

④ 결과 분석

㉠ 일축압축강도시험 결과분석

- 3개 이상의 시험편에 대한 일축압축강도는 산술평균으로 대표값을 산정한다.
- 단, 정상적인 파괴가 일어나지 않고, 시험편 내에 존재하는 구조적인 연약면을 따라 파괴되었을 경우는 그 값을 제외시킨다.

㉡ 점하중 시험법 결과분석

- 점하중 시험법으로 일축압축강도를 추정할 경우, 점하중 강도지수(I_s)에 상수를 곱한 값으로 계산된다.

$$S_c \cong 24 \cdot I_s(50)$$ (NX 시추코어를 이용한 실험일 경우)

- 그러나, 암반분류에 적용할 때는 일축압축강도 추정값을 사용하지 않고 점하중 강도지수값을 직접 이용한다.

㉢ 슈미트해머 반발경도 시험 결과분석

- 슈미트해머를 이용하여 강도를 추정할 경우, [표 14.14]를 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 식을 이용한다.

$$JCS = 10^{(0.0008r\gamma + 1.01)} \quad (\mathrm{MPa})$$

(r : 반발값, γ : 암석의 밀도(kN/㎥))

[표 14.14] 타격 방향에 따른 반발값 보정표

반발값	아래쪽		위쪽		수평
	α=−90°	α=−45°	α=+90°	α=+45°	α=0°
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

㉣ 불연속면 전단시험 결과분석

- 수직응력을 달리하면서 전단강도 값을 얻고, 수직응력 대 전단응력 그래프를 통해 회귀직선을 구한 후 회귀직선의 기울기와 절편으로 불연속면의 마찰각 및 점착력을 구한다.

6) 계측기 점검 및 계측계획과 방법

(가) 계측기 점검

사면에 계측기가 설치되어 있는 경우에는 계측기 현황, 작동유무, 계측자료 분석결과(이전 계측자료와의 비교검토 등) 등을 보고서에 명시한다.

특히, 붕괴징후가 관찰되는 등 안전성에 심각한 문제를 야기할 수 있는 시설물에 대해서는 정기적인 계측결과를 검토 분석함으로써 지속적인 유지관리가 반드시 이루어져야 한다.

(나) 계측계획과 방법

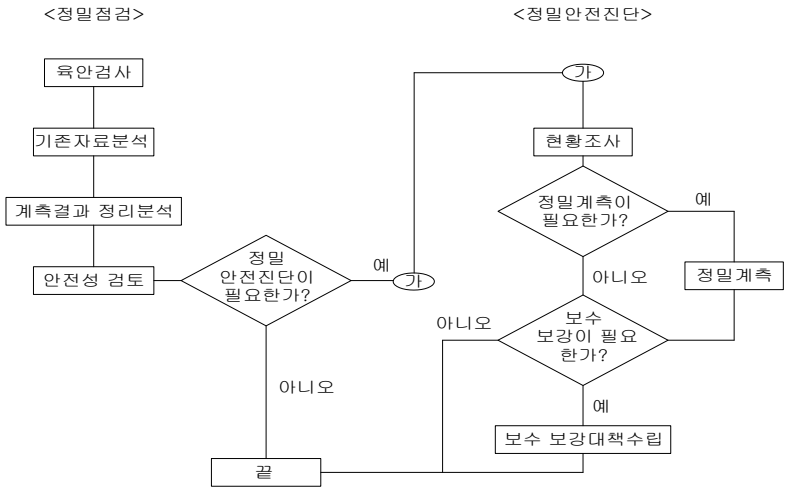
계측이 필요하다고 인정되는 시설물에 대하여는 위치 및 개소를 선정하여 정기적으로 계측을 시행하고 그 기록(계측위치, 계측기기의 종류, 계측결과의 값, 위치별 개소가 표기된 도면 등)을 보관하여야 한다.

계측을 실시한 경우에는 시설물 계측지점을 표시 보존함으로써 연계성 있는 계측을 할 수 있도록 도면과 계측지점을 일치시켜 기록을 보존한다.

정밀안전진단 결과 계측이 필요한 것으로 판단되는 절토사면에 대하여서는 [표 14.15]와 같이 계측하고자 하는 항목과 내용에 따라 적절한 계측기를 설치하여야 한다.
[그림 14.5]은 정밀안전진단 시 계측의 필요성을 판단하는 흐름도이다.

[표 14.15] 진단항목별 계측내용

계측항목	계 측 내 용	계 측 기 기	비 고
지 표·지 질	– 지표변위량	– 지표면 신축계 – 지표면 경사계 – 측량기 등	
지중수평변위	– 지층내 수평 이동	– 지중 수평변위계 등	
배 수	– 강우량 – 간극수압	– 우량계 – 지하수위계 – 간극수압계 등	



[그림 14.5] 계측자료 활용의 흐름도

7) 공중이 이용하는 부위 조사

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

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

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

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

14.3 재료시험 기준수량

토사사면에 대한 현장조사・재료시험 내용 및 기준수량은 [표 14.16]에, 암반사면에 대한 현장조사・재료시험 내용 및 기준수량은 [표 14.17]에 요약하여 기술하였다.

각 표에 제시된 현장조사・재료시험 내용 및 기준수량은 상태평가, 안전성 평가를 위해 분할한 구간별로 실시한다. 사면에 표면보호공(숏크리트공, 식생공 등)이 적용되어 관찰이 불가능한 경우, 건설공사 시 작성된 '현황도 작성 보고서'와 주변 지형 및 지반 특성을 참고하여 평가를 실시할 수 있다.

[표 14.16] 토사사면 현장조사・재료시험 항목 및 수량

항목	조사부위	조사항목	기준수량	조사방법	비고
토질조건	대상사면 상·중·하부	토양경도	3	토양경도계	
	토심 가장 두꺼운 곳	토질물성	3	시료채취	시추조사
		전단저항각	1	표준관입시험	
토층두께	토심 가장 두꺼운 곳	토층심도	1	정밀안전점검시 육안조사	
토질분류	대상사면 상・중・하부	함수비	3	KS 규정에 따라 실시	정밀안전 점검시 생략가능
		애터버그 한계	3		
		(연경도)			
		비중	3		
		입도분석	3		

[표 14.17] 암반사면 현장조사・재료시험 항목 및 수량

항목	조사부위	조사항목	최소 수량	조사방법
일축압축시험	구간	일축압축강도	•정밀안전점검시 생략가능 •정밀안전진단시 3회	시료채취
점하중시험	구간	점하중강도	•정밀안전점검시 생략가능	현장조사/ 시료채취
슈미트 해머 반발경도시험	구간	반발치	-	현장조사
절리면 전단시험	구간	전단강도, 마찰각	•정밀안전점검시 생략가능 •정밀안전진단시 1회	시료채취
풍화등급	불연속면, 구간	풍화상태	필요수량	육안조사
불연속면 방향성	불연속면	경사 및 경사방향	필요수량	현장조사
불연속면 간격	불연속면	간격	필요수량	현장조사
불연속면 연장성	불연속면	길이	필요수량	현장조사
불연속면의 거칠기	불연속면	거칠기	필요수량	현장조사
불연속면의 간극	불연속면	틈	필요수량	현장조사
불연속면 내 충전물	불연속면	충전물 종류 및 두께	필요수량	현장조사
누수상태	불연속면	누수량	필요수량	육안조사
블록형상	구간	블록형상	필요수량	육안조사
시추조사	구간	지반상태	필요시 시행	시추

14.4 상태평가기준 및 방법

14.4.1 상태평가기준

가. 지반특성에 따른 절토사면의 분류

국내에 분포하는 다양한 지반 및 지질조건에 따른 사면의 거동특성 및 파괴양상에 대한 분석을 통해 절토사면은 토층심도율에 의해 토사사면과 암반사면으로 구분할 수 있으며, 암반사면은 다시 지반강도특성 및 암반의 블록크기 비에 의해 절리암반사면, 파쇄암반사면, 연약암반사면으로 세분될 수 있다.

토층심도율(soil depth ratio: SR)은 사면을 토사사면과 암반사면으로 구분할 수 있는 지시자로서 식 (14.1)과 같이 토층 심도와 사면 높이의 비로 정의된다.

토층심도는 토층의 두께로서 붕적층 또는 [표 14.6]의 풍화등급상 완전풍화(CW)와 풍화잔류토(RS)를 대상으로 측정한다.

$$SR = \frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}} \quad (14.1)$$

암반의 블록크기 비(block size ratio: BR)는 식 (14.2)와 같이 블록크기 지수(block size index, Ib)와 사면높이(H)의 비를 말하며, 블록크기 지수는 식 (14.3)과 같이 각 절리군의 평균 간격(Si)의 산술 평균으로 정의 할 수 있다.

$$BR = \frac{\text{Block size index (Ib)}}{\text{Slope height (H)}} \quad (14.2)$$

$$Ib = \frac{\sum_{i=1}^{3} Si}{3} \quad (14.3)$$

[표 14.18]은 토층심도율과 블록크기 비에 따른 절토사면의 분류를 나타낸 것이다.

[표 14.18] 절토사면의 분류

구 분		토층심도율	압축강도	블록크기비	주요 파괴유형	비고
토사사면		> 0.4	-	-	원호, 표층	
암반사면	연약암반사면	≤ 0.4	≤10 MPa	-	표면, 원호 평면, 쐐기	제3기층 등
	파쇄암반사면		>10 MPa	≤ 0.01	쐐기, 평면 원호, 전도	단층 파쇄대 등
	절리암반사면			> 0.01	쐐기, 평면 전도, 낙석	일반 암반사면
혼합사면		0.2 ~ 0.4			복합	

나. 상태평가항목

상태평가 항목은 사면의 분류에 따라 적용하며 혼합사면은 토사와 암반을 각각 구분하여 평가를 실시한다. 절토사면의 상태평가를 위한 조사항목은 사면의 손상상태와 파괴요인의 평가로 구분하여 실시한다.

1) 절토사면 손상상태 평가항목

절토사면의 손상상태 조사는 사면에 발생한 파괴이력과 현재 진행중인 파괴징후에 대한 조사로서 절토사면 상태평가의 직접적 평가내용이다.

조사항목은 크게 사면의 파괴징후에 관련된 항목과 기 발생된 파괴현황에 관련된 항목으로 나눌 수 있으며, 자세한 내용은 [표 14.19]에 기술하였다.

[표 14.19] 절토사면의 손상상태 평가항목

구 분	평가 요소
파괴징후	- 인장 균열 또는 이완 암괴의 존재와 상태 - 사면 지반의 변형(bulging 등) 현상의 존재와 상태 - 구조물(옹벽 및 측구 등) 또는 인접 구조물(도로 등)의 변형(균열 등) 상태
파괴현황	- 발생한 파괴의 규모 및 개소 - 발생한 파괴의 유형

2) 절토사면 파괴요인 평가항목

절토사면의 파괴요인 조사는 사면 파괴의 원인이나 요소로 작용하는 인자들에 대한 조사로서 절토사면 상태평가의 간접적 평가내용이다.

조사항목은 크게 사면의 내부 파괴요인 항목과 외부 파괴요인 항목으로 나눌 수 있으며 자세한 내용은 [표 14.20]에 기술하였다.

[표 14.20] 절토사면의 파괴요인 평가항목

구 분		내부 파괴 요인		외부 파괴 요인	
		지반 상태	사면 형상	자연적 요인	인위적 요인
토사사면		토질조건 토층심도율	사면의 경사 집수지형	강우/지하수	표면상태 보호/보강상태 배수상태
암반사면	연약암반사면	지반강도 특성 면구조경사 내구성(풍화상태)	사면의 경사	강우/지하수	절취상태 보호/보강상태 배수상태
	파쇄암반사면	절리간격 저면경사 절리상태	사면의 경사	강우/지하수	절취상태 보호/보강상태 배수상태
	절리암반사면	절리방향 절리경사 절리상태	사면의 경사	강우/지하수	절취상태 보호/보강상태 배수상태

다. 절토사면의 상태평가기준

절토사면 상태평가결과는 세부 평가항목별 평가에 의해 산출된 결함지수(F)에 따라 A, B, C, D, E의 5개의 기준으로 구분한다. 사면 손상상태 지수(f1)와 사면 파괴요인 지수(f2)는 상태평가기준 결정과정에서는 사용되지 않지만 평가 대상 절토사면을 보다 객관적이고 구체적으로 판단할 수 있는 유용한 지표가 될 수 있다.

[표 14.21] 절토사면의 상태평가기준

평가기준	결함 지수 (F)	상 태
A	0≤F<0.15	문제점이 없는 최상의 상태
B	0.15≤F<0.30	경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태
C	0.30≤F<0.55	보통의 손상, 결함이 발생하였으나 안전성에 지장은 없으며, 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 간단한 보강이 필요한 상태
D	0.55≤F<0.75	손상, 결함이 진전되고, 파괴 잠재성이 존재하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정하여야 하는상태
E	0.75≤F	심각한 손상, 결함 및 파괴 잠재성에 의하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

※ 인장균열, 지반변형, 구조물변형 등이 진행성으로 확인되는 경우 상태평가결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

※ 보호/보강공법이 적용됨에 따라 사면의 안전성이 크게 향상되었다고 판단되었을 경우 상태평가 결과를 상향할 수 있다.

14.4.2 상태평가항목 및 기준

가. 결함지수 산정 방안

절토사면의 상태평가는 손상상태와 파괴요인을 구분하여 평가하며, 각각의 평가항목에 대한 상태평가는 가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하고, 여러 개소에서 나타날 경우 등급을 하향 조정한다.

이러한 세부기준은 국내·외의 다양한 문헌과 그간 국내에서 조사되었던 사면 자료의 분석을 통해 결정하였으며, 다양한 전문가들의 의견 및 현실 여건을 반영하였다.

절토사면의 유형별 결함지수 산출방법은 다음과 같다.

○ 사면 손상상태 지수는 손상상태 항목 점수의 합을 총점 24점으로 나누어 계산

○ 사면 파괴요인 지수 역시 파괴요인 항목 점수의 합을 총점 52점으로 나누어 계산

○ 사면 결함지수는 사면 손상상태 항목 점수와 사면 파괴요인 항목 점수의 합을 총점 76으로 나누어 계산

나. 상태평가항목 및 기준

1) 토사사면

○ 사면 손상상태 평가기준

항 목 \ 평가기준			a	b	c	d	e
파괴 징후	①인장균열	구 분	없음	1㎜ 미만	1㎜ 이상 5㎜ 미만	5㎜ 이상 5㎝ 미만	5㎝ 이상
		점 수	0	1~3	4~5	6~7	8~10
	②지반변형	구 분	없음		있음		
		점 수	0~2		3~5		
	③구조물변형	구 분	없음		있음		
		점 수	0~2		3~5		
파괴 현황	④발생규모	구 분	0	1㎥ 미만	1㎥ 이상 8㎥ 미만	8㎥ 이상 64㎥ 미만	64㎥ 이상
		점 수	0	1	2	3	4
사면 손상상태 지수 (f1) = ∑(①~④) / 24							

○ 사면 파괴요인 평가기준

항 목 \ 평가기준			a	b	c	d	e
지반상태	⑤토질조건	사질토	매우 조밀	조밀	보통	느슨	매우 느슨
		점성토	매우 단단	단단	보통	연약	매우 연약
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
	⑥토층심도율	구 분	0.45 미만	0.45 이상 0.5 미만	0.5 이상 0.6 미만	0.6 이상 0.8 미만	0.8 이상
		점 수	0	1	2	3	4
사면형상	⑦사면경사	구 분	1:2 미만	1:2 이상 1:1.5 미만	1:1.5 이상 1:1.2 미만	1:1.2 이상 1:1 미만	1:1 이상
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
	⑧집수지형	구 분	무관	1	2	3	4
		점 수	0	1	2	3	4
자연요인	⑨강우 및 지하수	강우량	0㎜ 이상 50㎜ 미만	50㎜ 이상 100㎜ 미만	100㎜ 이상 150㎜ 미만	150㎜ 이상 200㎜ 미만	200㎜ 이상
		지하수위	완전 건조	절토사면 높이의 1/3	절토사면 높이의 1/2	절토사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
인위요인	⑩표면보호	구 분	숏크리트, 석장공 등	식생 양호	식생 보통	식생 불량	식생 없음
		점 수	0	1	2	3	4
	⑪배수조건	구 분	완전 배수	양호	보통	불량	매우 불량
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
	⑫보호/보강 상태	구 분	양호함		노후됨		결함이 관찰됨
		점 수	0~2		3~5		6~8
사면 파괴요인 지수 (f2) = Σ(⑤~⑫) / 52							

○ 결함지수(F) 산정

결함지수 (F) = Σ(①~⑫) / 76

〈해 설〉

※ 혼합사면은 토사와 암반을 각각 구분하여 평가를 실시한다. 단, 토층심도는 전체높이에 대한 토사의 비율로 평가한다.

1) 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 인장균열의 진행성(또는 확장)이 명확하게 확인되는 경우 상태평가결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

2) 지반변형 상태는 사면의 배부름 현상(bulging) 또는 암괴의 이완 등 지반 자체의 변형과 관련된 것으로 현재 변형의 증거가 관찰되지 않으면 “없음”을 기준으로 하나, 변형의 잠재성에 따라 기준을 구분할 수 있도록 하였다. 점검 시 변형의 증거가 관찰될 경우 역시 변형의 정도에 따라 전문가의 의견에 따라 기준을 부여한다. 또한, 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 진행성이 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하며 정기적으로 관찰한다.

3) 구조물변형 상태는 사면 및 주변 구조물(옹벽, 측구 및 인접 도로 등)의 변형과 관련된 것으로서 각 기준의 결정은 “2)”항의 지반변형과 동일한 방법을 적용하며 진행성이 확인되는 경우 역시 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

4) 파괴현황은 이미 발생한 파괴현황으로서 발생 규모는 발생한 각각의 파괴의 폭, 길이, 두께의 곱으로 정의하며, 한 사면에서 여러 번의 파괴가 발생한 것은 모두 합하여 결정한다.

5) 토질조건은 풍화토, 붕적토 등에 대하여 아래 표와 같이 사질토 및 점성토로 구분하여 평가하며, 호박돌 및 핵석이 토층 내에 존재할 경우는 기준을 하향 조정한다.

사질토의 상태	N 치	φ(°)	현 장 관 찰
매우 조밀	> 50	> 41	발파 또는 중장비에 의해서만 자국을 낼 수 있다.
조밀	30～50	36～41	손의 힘으로 삽을 이용하여 자국을 낼 수 있다.
보통	10～30	30～36	힘을 주어서 삽질을 할 수 있다.
느슨	4～10	28.5～30	쉽게 삽질할 수 있다.
매우 느슨	0～4	< 28.5	엄지손가락 또는 주먹으로 쉽게 자국을 낼 수 있다.

점성토의 상태	N 치	φ(°)	현 장 관 찰
매우 단단	> 15	> 10	손톱으로 흙에 자국을 낼 수 있다.
단단	8～15	5～10	엄지손가락으로 흙을 움푹 들어가게 할 수 있지만 흙 속에 엄지손가락을 넣기 힘들다
보통	4～8	2.5～5	노력하면 엄지손가락이 수 cm 들어간다.
연약	2～4	1.25～2.5	엄지손가락이 쉽게 수 cm 들어간다.
매우 연약	0～2	< 1.25	주먹이 쉽게 10cm 정도 들어간다.

6) 토층의 두께는 평가구간 내에서 토층이 가장 두꺼운 지점의 두께로 평가한다.

7) 사면의 경사는 평가구간 내의 평균 사면경사로 평가한다.

8) 집수지형은 표면이 움푹 들어가서 강우 시 지표수가 흘러 집수되는 지형으로 평가한다.

9) 강우 및 지하수 조건은 해당 평가기준 중 가장 불리한 사항을 평가한다.

10) 표면보호상태는 사면 표면에 시공되어있는 표면보호공이나 식생공 상태 등을 평가한다.

11) 배수조건은 측구 및 배수공 등, 배수 구조물의 설치와 관리 상태를 평가한다. 즉, 완전배수는 배수가 양호하여 건조상태와 같이 간극수압이 발생하지 않을 경우를 말하며, 양호는 배수상태가 양호하여 즉시 배수될 경우, 보통은 배수로가 있는 경우, 불량은 배수로가 없거나 있어도 원활치 못한 경우, 매우 불량은 물이 상당히 고여 있는 경우를 말한다.

12) 보강상태는 절토사면에 시공된 보호/보강재의 상태를 평가하는 것으로서 재료의 노후와 결함 정도를 전문가의 판단을 통해 평가한다. 또한 보호/보강공법이 적용됨에 따라 사면의 안전성이 크게 향상되었다고 판단되었을 경우 상태평가 기준을 상향할 수 있다.

2) 연약암반사면

○ 사면 손상상태 평가기준

항 목 \ 평가기준			a	b	c	d	e
파괴 징후	①인장균열	구 분	없음	1㎜ 미만	1㎜ 이상 5㎜ 미만	5㎜ 이상 5㎝ 미만	5㎝ 이상
		점 수	0	1~3	4~5	6~7	8~10
	②지반변형	구 분	없음		있음		
		점 수	0~2		3~5		
	③구조물변형	구 분	없음		있음		
		점 수	0~2		3~5		
파괴 현황	④발생규모	구 분	0	1㎥ 미만	1㎥ 이상 8㎥ 미만	8㎥ 이상 64㎥ 미만	64㎥ 이상
		점 수	0	1	2	3	4
사면 손상상태 지수 (f1) = ∑(①~④) / 24							

○ 사면 파괴요인 평가기준

항 목 \ 평가기준			a	b	c	d	e
지반 상태	⑤지반강도특성	구 분	–	–	약간 연약	연약	매우 연약
		점 수	0	1	2	3	4
	⑥면구조 경사 –사면 경사	구 분	10°이상	0°초과 10°미만	0°	–10°이상 0°미만	–10°미만
		점 수	0	1	2	3	4
	⑦풍화상태	구 분	신선	약간풍화	보통풍화	심한풍화	완전풍화
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
사면 형상	⑧사면경사	구 분	1:1.5 미만	1:1.2 이상 1:1.5 미만	1:1 이상 1:1.2 미만	1:0.7 이상 1:1 미만	1:0.7 이상
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
자연 요인	⑨강우 및 지하수	강우량	0㎜ 이상 50㎜ 미만	50㎜ 이상 100㎜ 미만	100㎜ 이상 150㎜ 미만	150㎜ 이상 200㎜ 미만	200㎜ 이상
		지하수위	완전 건조	절토사면 높이의 1/3	절토사면 높이의 1/2	절토사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
인위 요인	⑩절취상태	구 분	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨
		점 수	0	1	2	3	4
	⑪배수조건	구 분	완전 배수	양호	보통	불량	매우 불량
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
	⑫보호/ 보강상태	구 분	양호함		노후됨		결함이 관찰됨
		점 수	0~2		3~5		6~8
사면 파괴요인 지수 (f2) = ∑(⑤~⑫) / 52							

○ 결함지수(F) 산정

결함지수 (F) = ∑(①~⑫) / 76

〈해 설〉

1) 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 인장균열의 진행성(또는 확장)이 명확하게 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

2) 지반변형 상태는 사면의 배부름 현상(bulging) 또는 암괴의 이완 등 지반 자체의 변형과 관련된 것으로 현재 변형의 증거가 관찰되지 않으면 “없음”을 기준으로 하나, 변형의 잠재성에 따라 기준을 구분할 수 있도록 하였다. 점검 시 변형의 증거가 관찰될 경우 역시 변형의 정도에 따라 전문가의 의견에 따라 기준을 부여한다. 또한, 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 진행성이 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하며 정기적으로 관찰한다.

3) 구조물변형 상태는 사면 및 주변 구조물(옹벽, 측구 및 인접 도로 등)의 변형과 관련된 것으로서 각 기준의 결정은 “2)”항의 지반변형과 동일한 방법을 적용하며 진행성이 확인되는 경우 역시 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

4) 파괴현황은 이미 발생한 파괴현황으로서 발생 규모는 발생한 각각의 파괴의 폭, 길이, 두께의 곱으로 정의하며, 한 사면에서 여러 번의 파괴가 발생한 것은 모두 합하여 결정한다.

5) 지반강도 특성 평가는 지질 해머를 이용한 육안 관찰을 기준으로 하되, 약간 연약, 연약, 매우 연약은 각각 일축압축강도 기준 시 10~5MPa, 5~1MPa, 1MPa 이하에 해당한다.

6) 면구조는 연약암반 내에 존재하는 층리면 등 연속적 면구조를 지시한다. 규칙적인 면구조가 없을 경우에는 최상위 기준으로 평가한다.

7) 풍화상태는 절취 후 원암의 풍화정도를 지시하며 신선(F), 약간풍화(SW), 보통풍화(MW), 심한 풍화(HW), 완전풍화(CW~RS) 등으로 구분한다.

8) 사면의 경사는 평가 영역 내의 평균 사면경사로 평가한다.

9) 강우 및 지하수 조건은 해당 평가기준 중 가장 불리한 사항을 평가한다.

10) 절취상태는 굴착방법에 따라 분류하며, 선균열발파일 경우 매우 좋음, 제어발파일 경우 좋음, 기계굴착일 경우 보통, 일반발파일 경우 나쁨, 불완전 발파일 경우 매우 나쁨에 해당된다. 단, 시공당시의 굴착방법을 확인할 수 없는 경우에는 사면의 측면형상(직선형, 요철형, 돌출형 등)과 절토부 내 뜬돌유무 등을 고려하여 절취상태를 평가할 수 있다. 즉 측면형상이 반듯하고 뜬돌이 없는 경우를 가장 좋은 상태로 평가하고, 측면형상이 요철형, 돌출형 등 불규칙하고 뜬돌이 많은 경우를 가장 나쁜 상태로 평가할 수 있다.

11) 배수조건은 측구 및 배수공 등 배수 구조물의 설치와 관리 상태를 평가한다. 즉, 완전배수는 배수가 양호하여 건조상태와 같이 간극수압이 발생하지 않을 경우를 말하며, 양호는 배수상태가 양호하여 즉시 배수될 경우, 보통은 배수로가 있는 경우, 불량은 배수로가 없거나 있어도 원활치 못한 경우, 매우 불량은 물이 상당히 고여 있는 경우를 말한다.

12) 보강상태는 절토사면에 시공된 보호/보강재의 상태를 평가는 것으로서 재료의 노후와 결함 정도를 전문가의 판단을 통해 평가한다. 또한 보호/보강공법이 적용됨에 따라 사면의 안전성이 크게 향상되었다고 판단되었을 경우 상태평가 기준을 상향할 수 있다.

3) 파쇄암반사면

○ 사면 손상상태 지수(f1)

항 목 \ 평가기준			a	b	c	d	e
파괴 징후	①인장균열	구 분	없음	1㎜ 미만	1㎜ 이상 5㎜ 미만	5㎜ 이상 5㎝ 미만	5㎝ 이상
		점 수	0	1~3	4~5	6~7	8~10
	②지반변형	구 분	없음		있음		
		점 수	0~2		3~5		
	③구조물변형	구 분	없음		있음		
		점 수	0~2		3~5		
파괴 현황	④발생규모	구 분	0	1㎥ 미만	1㎥ 이상 8㎥ 미만	8㎥ 이상 64㎥ 미만	64㎥ 이상
		점 수	0	1	2	3	4
사면 손상상태 지수 (f1) = ∑(①~④) / 24							

○ 사면 파괴요인 지수(f2)

항 목 \ 평가기준			a	b	c	d	e
지반 상태	⑤절리간격	구 분	2m 이상	60㎝ 이상 2m 미만	20㎝ 이상 60㎝ 미만	6㎝ 이상 20㎝ 미만	6㎝ 미만
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
	⑥저면경사	구 분	0° 미만	0° 이상 10° 미만	10° 이상 20° 미만	20° 이상 30° 미만	30° 이상
		점 수	0	1	2	3	4
	⑦절리상태	구 분	매우 유리	유리	보통	불리	매우 불리
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
사면 형상	⑧사면경사	구 분	1:1.2 미만	1:1.2 이상 1:1 미만	1:1 이상 1:0.7 미만	1:0.7 이상 1:0.5 미만	1:0.5 이상
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
자연 요인	⑨강우 및 지하수	강우량	0㎜ 이상 50㎜ 미만	50㎜ 이상 100㎜ 미만	100㎜ 이상 150㎜ 미만	150㎜ 이상 200㎜ 미만	200㎜ 이상
		지하수위	완전 건조	절토사면 높이의 1/3	절토사면 높이의 1/2	절토사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
인위 요인	⑩절취상태	구 분	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨
		점 수	0	1	2	3	4
	⑪배수조건	구 분	완전 배수	양호	보통	불량	매우 불량
		점 수	0	1	2	3	4
	⑫보호/ 보강상태	구 분	양호함		노후됨		결함이 관찰됨
		점 수	0~2		3~5		6~8
사면 파괴요인 지수 (f2) = ∑(⑤~⑫) / 52							

○ 사면 상태평가지수(F)

결함지수 (F) = ∑(①~⑫) / 76

〈해 설〉

1) 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 인장균열의 진행성(또는 확장)이 명확하게 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

2) 지반변형 상태는 사면의 배부름 현상(bulging) 또는 암괴의 이완 등 지반 자체의 변형과 관련된 것으로 현재 변형의 증거가 관찰되지 않으면 “없음”을 기준으로 하나, 변형의 잠재성에 따라 기준을 구분할 수 있도록 하였다. 점검 시 변형의 증거가 관찰될 경우 역시 변형의 정도에 따라 전문가의 의견에 따라 기준을 부여한다. 또한, 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 진행성이 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하며 정기적으로 관찰한다.

3) 구조물변형 상태는 사면 및 주변 구조물(옹벽, 측구 및 인접 도로 등)의 변형과 관련된 것으로서 각 기준의 결정은 “2)”항의 지반변형과 동일한 방법을 적용하며 진행성이 확인되는 경우 역시 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

4) 파괴현황은 이미 발생한 파괴현황으로서 발생 규모는 발생한 각각의 파괴의 폭, 길이, 두께의 곱으로 정의하며, 한 사면에서 여러 번의 파괴가 발생한 것은 모두 합하여 결정한다.

5) 절리간격은 평가구간 내의 평균 절리간격으로 평가한다.

6) 사면의 방향과 20° 이내의 차이를 보이는 절리의 경사로 판정하며 해당 절리가 없을 경우 최상위 등급으로 판정한다.

7) 절리상태는 상세 절리 상태 점수에 대한 산술평균값을 참고하여 유리 및 불리를 평가한다.

구 분	상세 절리 상태				
① 길 이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
② 틈 새	0	< 0.1mm	0.1~1mm 미만	1~5mm 미만	≥ 5mm
③ 거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
④ 충전물	없음	단단한 충전물 (< 5mm)	단단한 충전물 (≥ 5mm)	연약한 충전물 (< 5mm)	연약한 충전물 (≥ 5mm)
⑤ 풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화
점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
절리상태 점수 = Σ (①~⑤) / 5					

8) 사면의 경사는 평가구간 내의 평균 사면경사로 평가한다.

9) 강우 및 지하수 조건은 해당 평가기준 중 가장 불리한 사항을 평가한다.

10) 절취상태는 굴착방법에 따라 분류하며, 선균열발파일 경우 매우 좋음, 제어발파일 경우 좋음, 기계굴착일 경우 보통, 일반발파일 경우 나쁨, 불완전 발파일 경우 매우 나쁨에 해당된다. 단, 시공당시의 굴착방법을 확인할 수 없는 경우에는 사면의 측면형상(직선형, 요철형, 돌출형 등)과 절토부 내 뜬돌유무 등을 고려하여 절취상태를 평가할 수 있다. 즉 측면형상이 반듯하고 뜬돌이 없는 경우를 가장 좋은 상태로 평가하고, 측면형상이 요철형, 돌출형 등 불규칙하고 뜬돌이 많은 경우를 가장 나쁜 상태로 평가할 수 있다.

11) 배수조건은 측구 및 배수공 등 배수 구조물의 설치와 관리 상태를 평가한다. 즉, 완전배수는 배수가 양호하여 건조상태와 같이 간극수압이 발생하지 않을 경우를 말하며, 양호는 배수상태가 양호하여 즉시 배수될 경우, 보통은 배수로가 있는 경우, 불량은 배수로가 없거나 있어도 원활치 못한 경우, 매우 불량은 물이 상당히 고여 있는 경우를 말한다.

12) 보강상태는 절토사면에 시공된 보호/보강재의 상태를 평가는 것으로서 재료의 노후와 결함 정도를 전문가의 판단을 통해 평가한다. 또한 보호/보강공법이 적용됨에 따라 사면의 안전성이 크게 향상되었다고 판단되었을 경우 상태평가 기준을 상향할 수 있다.

4) 절리암반사면

○ 사면 손상상태 지수(f1)

항 목 \ 평가기준			a	b	c	d	e
파괴 징후	①인장균열	구 분	없음	1㎜ 미만	1㎜ 이상 5㎜ 미만	5㎜ 이상 5㎝ 미만	5㎝ 이상
		점 수	0	1~3	4~5	6~7	8~10
	②지반변형	구 분	없음		있음		
		점 수	0~2		3~5		
	③구조물변형	구 분	없음		있음		
		점 수	0~2		3~5		
파괴 현황	④발생규모	구 분	0	1㎥ 미만	1㎥ 이상 8㎥ 미만	8㎥ 이상 64㎥ 미만	64㎥ 이상
		점 수	0	1	2	3	4
사면 손상상태 지수 (f1) = ∑(①~④) / 24							

○ 사면 파괴요인 지수(f2)

항 목 \ 평가기준			a	b	c	d	e
지반 상태	⑤절리방향 (사면과의 차이)	구 분	사면 방향과 45°이상	사면 방향과 30°~ 45°	사면 방향과 20°~ 30°	사면 방향과 10°~ 20°	사면 방향과 10° 미만
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
	⑥절리경사 -사면경사	구 분	10°이상	0°초과 10°미만	0°	-10°이상 0°미만	-10°미만
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
	⑦절리상태	구 분	매우 유리	유리	보통	불리	매우 불리
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
사면 형상	⑧사면경사	구 분	1:1.0 미만	1:1.0 이상 1:0.7 미만	1:0.7 이상 1:0.5 미만	1:0.5 이상 1:0.3 미만	1:0.3 이상
		점 수	0	1	2	3	4
자연 요인	⑨강우 및 지하수	강우량	0㎜ 이상 50㎜ 미만	50㎜ 이상 100㎜ 미만	100㎜ 이상 150㎜ 미만	150㎜ 이상 200㎜ 미만	200㎜ 이상
		지하수위	완전 건조	절토사면 높이의 1/3	절토사면 높이의 1/2	절토사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1	2	3	4
인위 요인	⑩절취상태	구 분	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
	⑪배수조건	구 분	완전 배수	양호	보통	불량	매우 불량
		점 수	0	1	2	3	4
	⑫보호/ 보강상태	구 분	양호함		노후됨		결함이 관찰됨
		점 수	0~2		3~5		6~8
사면 파괴요인 지수 (f2) = ∑(⑤~⑫) / 52							

○ 사면 상태평가지수(F)

결함지수 (F) = ∑(①~⑫) / 76

〈해 설〉

1) 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 인장균열의 진행성(또는 확장)이 명확하게 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

2) 지반변형 상태는 사면의 배부름 현상(bulging) 또는 암괴의 이완 등 지반 자체의 변형과 관련된 것으로 현재 변형의 증거가 관찰되지 않으면 “없음”을 기준으로 하나, 변형의 잠재성에 따라 기준을 구분할 수 있도록 하였다. 점검 시 변형의 증거가 관찰될 경우 역시 변형의 정도에 따라 전문가의 의견에 따라 기준을 부여한다. 또한, 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 진행성이 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하며 정기적으로 관찰한다.

3) 구조물변형 상태는 사면 및 주변 구조물(옹벽, 측구 및 인접 도로 등)의 변형과 관련된 것으로서 각 기준의 결정은 “2)”항의 지반변형과 동일한 방법을 적용하며 진행성이 확인되는 경우 역시 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

4) 파괴현황은 이미 발생한 파괴현황으로서 발생 규모는 발생한 각각의 파괴의 폭, 길이, 두께의 곱으로 정의하며, 한 사면에서 여러 번의 파괴가 발생한 것은 모두 합하여 결정한다.

5), 6) 절리방향에 대한 판정은 절리와 사면의 방향이 가장 가까운 절리로 판정한다. 절리경사는 사면의 방향과 20° 이내의 차이를 보이는 절리의 경사로 판정하며 해당 절리가 없을 경우 최상위 등급으로 판정한다. 단 쐐기파괴가 우려될 경우 절리 교차선의 방향성과 경사각으로 대체하여 평가한다.

7) 절리상태는 상세 절리 상태 점수에 대한 산술평균값을 참고하여 유리 및 불리를 평가한다.

구 분	상세 절리 상태				
① 길 이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
② 틈 새	0	< 0.1mm	0.1~1mm 미만	1~5mm 미만	≥ 5mm
③ 거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
④ 충전물	없음	단단한 충전물 (< 5mm)	단단한 충전물 (≥ 5mm)	연약한 충전물 (< 5mm)	연약한 충전물 (≥ 5mm)
⑤ 풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화
점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
절리상태 점수 = Σ (①~⑤) / 5					

8) 사면의 경사는 평가구간 내의 평균 사면경사로 평가한다.

9) 강우 및 지하수 조건은 해당 평가기준 중 가장 불리한 사항을 평가한다.

10) 절취상태는 굴착방법에 따라 분류하며, 선균열발파일 경우 매우 좋음, 제어발파일 경우 좋음, 기계굴착일 경우 보통, 일반발파일 경우 나쁨, 불완전 발파일 경우 매우 나쁨에 해당된다. 단, 시공당시의 굴착방법을 확인할 수 없는 경우에는 사면의 측면형상(직선형, 요철형, 돌출형 등)과 절토부 내 뜬돌유무 등을 고려하여 절취상태를 평가할 수 있다. 즉 측면형상이 반듯하고 뜬돌이 없는 경우를 가장 좋은 상태로 평가하고, 측면형상이 요철형, 돌출형 등 불규칙하고 뜬돌이 많은 경우를 가장 나쁜 상태로 평가할 수 있다.

11) 배수조건은 측구 및 배수공 등 배수 구조물의 설치와 관리 상태를 평가한다. 즉, 완전배수는 배수가 양호하여 건조상태와 같이 간극수압이 발생하지 않을 경우를 말하며, 양호는 배수상태가 양호하여 즉시 배수될 경우, 보통은 배수로가 있는 경우, 불량은 배수로가 없거나 있어도 원활치 못한 경우, 매우 불량은 물이 상당히 고여 있는 경우를 말한다.

12) 보강상태는 절토사면에 시공된 보호/보강재의 상태를 평가는 것으로서 재료의 노후와 결함 정도를 전문가의 판단을 통해 평가한다. 또한 보호/보강공법이 적용됨에 따라 사면의 안전성이 크게 향상되었다고 판단되었을 경우 상태평가 기준을 상향할 수 있다.

다. 공중이 이용하는 부위

1) 추락방지시설

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

2) 도로포장

평가기준	상 태
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 불쾌감을 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

3) 도로부 신축이음부

평가기준	상 태
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

4) 환기구 등의 덮개

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

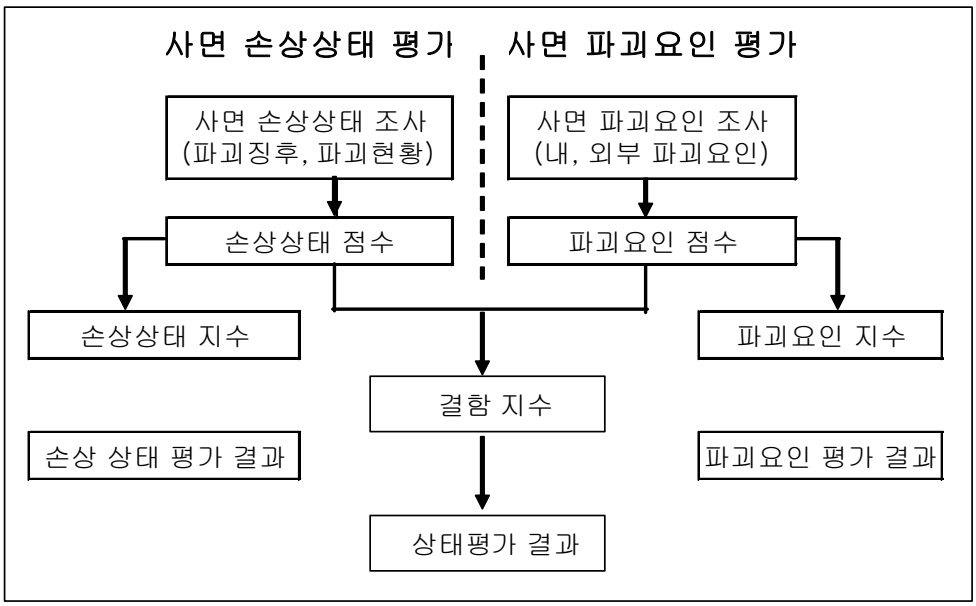
14.4.3 상태평가결과 산정 방법

가. 상태평가결과 산정

절토사면 상태평가 과정은 단위 사면을 분류 기준에 의해 분류하고 평가기준에 의해 각 항목에 대한 결함점수를 부여하여 단위 사면의 사면 손상상태 지수와 사면 파괴요인 지수를 산정한 후 사면 손상상태 평가결과와 사면 파괴요인 평가결과를 결정한다.

상태평가결과는 사면 손상상태 항목과 사면 파괴요인 항목의 결함점수를 통해 산정된 결합지수로 결정한다. 그 평가 과정은 [그림 14.6]과 같다.

사면의 분류 시 2개 이상의 사면 범주로 간주하여 복수로 평가할 필요가 있을 경우, 가장 불리한 평가 결과에 의해 최종 상태평가 결과를 결정한다.



[그림 14.6] 상태평가 결과 산정 과정

나. 상태평가 결과 산정 방법

[표 14.22] 절토사면의 상태평가 결과 산정 예

<table>
<tr><td colspan="3">시설물명</td><td colspan="3">○○절토사면</td><td>표번호</td></tr>
<tr><td colspan="3">근거 표번호</td><td colspan="3">[표 14.18] 절리암반사면</td><td>[표 4.19]
[표 4.20]</td></tr>
<tr><td colspan="3">평가요소</td><td>결함점수</td><td>결함종류별
평가결과</td><td>총 점</td><td>결함지수</td><td>상태
평가결과</td></tr>
<tr><td rowspan="4">사면손상상태지수</td><td rowspan="3">파괴징후</td><td>① 인장균열</td><td>0</td><td>a</td><td rowspan="4">5</td><td rowspan="4">f1=0.21</td><td rowspan="4">b</td></tr>
<tr><td>② 지반변형</td><td>3</td><td>c</td></tr>
<tr><td>③ 구조물변형</td><td>0</td><td>a</td></tr>
<tr><td>파괴현황</td><td>④ 발생규모</td><td>2</td><td>c</td></tr>
<tr><td rowspan="10">사면파괴요인지수</td><td rowspan="3">지반상태</td><td>⑤ 절리 방향
−사면 방향</td><td>6</td><td>d</td><td rowspan="10">24</td><td rowspan="10">f2=0.46</td><td rowspan="10">c</td></tr>
<tr><td>⑥ 절리 경사
− 사면 경사</td><td>6</td><td>d</td></tr>
<tr><td>⑦ 절리상태</td><td>4</td><td>c</td></tr>
<tr><td>사면형상</td><td>⑧ 사면의 경사</td><td>1</td><td>b</td></tr>
<tr><td>자연요인</td><td>⑨ 강우 및
지하수</td><td>2</td><td>c</td></tr>
<tr><td rowspan="3">인위요인</td><td>⑩ 절취상태</td><td>2</td><td>b</td></tr>
<tr><td>⑪ 배수조건</td><td>1</td><td>b</td></tr>
<tr><td>⑫ 보호/보강상태</td><td>2</td><td>a</td></tr>
<tr><td colspan="3">합계(Σ)</td><td></td><td></td><td>29</td><td>F = 0.38</td><td>C</td></tr>
<tr><td colspan="2">상태평가
결 과</td><td colspan="5">○사면손상상태지수(f1) = (① + ...④)/24 = 0.21 → b 등급
○사면파괴요인지수(f2) = (⑤ + …⑫)/52 = 0.46 → c 등급
○절토사면 상태평가결과(F) : (5+24)/76 = 0.38 → C</td></tr>
</table>

14.5 안전성평가기준 및 방법

14.5.1 일반

가. 일반

1) 안전성평가 절차

시설물의 안전성 평가는 정밀안전진단 시에 실시한다. 다만, 정밀안전점검 또는 긴급점검 시 일부 부재에 대하여 안전성평가가 필요하다고 판단될 경우 선택과업으로 실시할 수 있으나, 결함이 광범위하고 중대한 경우에는 「법」 제12조제1항에 따라 정밀안전진단을 실시하여야 한다.

책임기술자는 재하시험(계측) 및 구조해석 또는 기존의 안전성평가 자료와 함께 부재별 상태평가, 재료시험 결과 및 각종 계측, 측정, 조사 및 시험 등을 통하여 얻은 결과를 분석하고 이를 바탕으로 구조물의 안전과 부재의 내(하)력 등을 종합적으로 평가하여 본 세부지침의 안전성평가 기준에 따라 시설물의 안전성평가 결과를 결정한다.

안전성평가는 지반의 구성물질에 따라 그 특성이 상이한 토사사면과 암반사면을 구분하여 실시한다.

일반적으로 사면 안정해석에 사용되어지는 방법은 크게 평사투영법을 활용한 운동학적 해석(암반사면)과 안전율(factor of safety)의 개념을 적용한 한계평형해석(토사사면 및 암반사면)에 의한 평가로 대분된다.

보고서에는 평가에 사용된 해석 방법의 종류 및 해석결과에 대한 설명과 계산기록을 포함하여야 한다.

2) 정밀안전점검 결과에 따른 정밀안전진단 및 안전성평가

정밀안전점검 결과에 따라 정밀안전진단 또는 안전성평가를 수행하여야 하는 조건으로 현장조사 책임기술자는 관련 내용이 당해 시설물에 해당하는 경우에는 관리주체와 협의하여 정밀안전진단 또는 안전성평가 등을 실시하여야 한다. 그러하지 않은 경우에는 그 사유가 분명하게 보고서에 포함되어야 한다.

(가) 정밀안전진단 실시의 경우

○ 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 인장균열의 진행성(또는 확장)이 명확하게 확인되는 경우

○ 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 지반변형 상태는 사면의 배부름 현상(bulging) 또는 암괴의 이완 등의 진행성이 확인되는 경우

○ 최근 점검자료와의 비교 또는 현장조사 결과로부터 주변 구조물(옹벽, 측구 및 인접 도로 등)의 변형 등의 진행성이 확인되는 경우

(나) 안전성평가 실시의 경우

○ 정밀안전점검, 긴급점검 등에서 상태기준이 D 이하로 판정되었을 경우

○ 전문가에 의해 안전성평가 요구가 있을 경우

나. 안전성평가를 위한 과업

절토사면의 안전성평가는 사면 자체의 안전성 확보 여부에 대한 평가로 현장으로부터 대상 절토사면의 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 안전성 검토를 위해 고려되어야 할 주요 사항은 다음과 같으며, 보고서에는 평가에 사용된 해석 방법의 종류 및 해석 결과에 대한 설명과 계산 기록을 포함하여야 한다.

○ 지반 구성재료에 대한 기본 물성시험 결과

○ 암반사면의 경우 체계적인 불연속면의 정량적 분석 결과 및 강도 특성

○ 사면의 변형/변위 및 거동 등의 특성 분석 결과

○ 야외에서 인지되지 않은 대규모 지질이상대 파악

○ 절토사면 및 주변지역에 대한 정밀한 지형정보

14.5.2 안전성평가 기준

가. 평사투영해석

평사투영해석은 절리, 단층, 층리 등 암반사면에 분포하는 3차원적 지질구조와 사면의 방향 및 경사각 등을 평사투영도에 2차원적으로 도시하고 파괴면의 전단강도를 고려하여 사면에서 발생할 수 있는 파괴유형과 안전성을 정성적으로 분석하는 방법이다.

[그림 14.7]은 평사투영해석을 통해 분석할 수 있는 절토사면의 파괴유형이다.

나. 한계평형해석

1) 원호파괴

원호파괴는 토사사면 뿐 아니라 연약암반 및 파쇄암반사면에서 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.

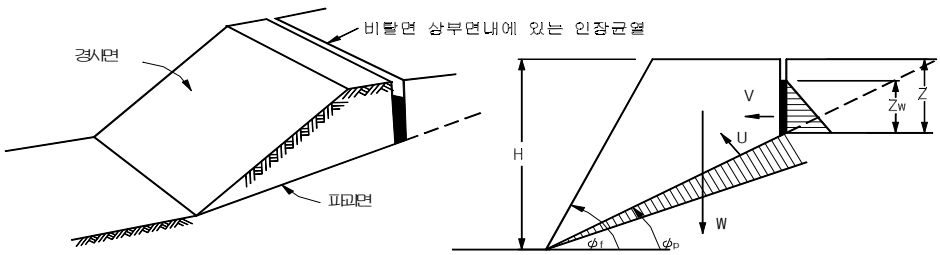
따라서 이러한 사면의 안정해석은 토질역학적 접근방식으로 해석이 가능하다. 사면의 안전율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F = \frac{\text{활동에 저항하는 유효전단강도}}{\text{파괴면을 따라 작용하는 전단응력}} \qquad (14.4)$$

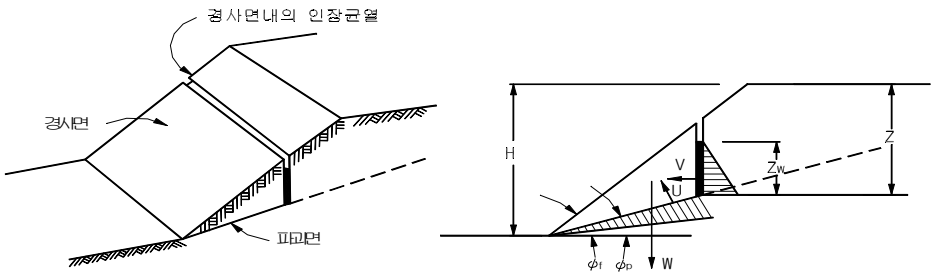
2) 평면파괴

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 ±20° 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 14.8] 인장균열을 가진 사면의 기하학적 조건

[그림 14.8]은 한계평형해석에서 고려되는 평면파괴의 일반적인 기하학적 조건이다. 여기서 사면의 안정성 해석은 인장균열의 위치에 따라, 인장균열이 사면의 상부면에 존재하는 경우와 사면의 경사면 내에 존재하는 경우로 구분하여 실시한다.

사면의 안전율은 활동을 유발시키는 힘의 총합에 대한 활동에 저항하는 힘의 총합의 비로 계산된다.

$$F = \frac{cA + (W\cos\psi_p - U - V\sin\psi_p)\tan\phi}{W\sin\psi_p + V\cos\psi_p} \quad (14.5)$$

여기서, c : 절리면의 점착력,

A : 활동면의 면적((H-z)cosec ψ_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 U와 V는 다음과 같다.

$$U = \frac{1}{2}\gamma_w z_w (H - z)\,\mathrm{cosec}\,\psi_p \quad (14.6)$$

$$V = \frac{1}{2}\gamma_w z_w^2 \quad (14.7)$$

여기서, γ_w : 물의 단위중량(t/㎥)

z_w : 인장균열 H의 물의 높이(m)

H : 사면의 높이(m)

ψ_p : 활동면의 마찰각(°)

3) 쐐기파괴

쐐기파괴는 두 불연속면 위에 놓여있는 쐐기형 암반이 두 불연속면과 만나서 이루는 교선을 따라 아래로 미끄러져 내리는 파괴 형태를 말한다.

쐐기파괴는 쐐기를 이루는 두 불연속면에 작용하는 수직력 뿐만 아니라 두 파괴면의 밑면적이 고려된 마찰력과 점착력, 그리고 수압과 기타 외력의 영향에 의존하므로 매우 복잡한 양상을 띤다. 미끄러짐이 가능하려면 교선의 경사각이 사면의 경사각보다 작고 마찰각보다 커야 한다.

쐐기를 형성시키는 두 불연속면의 마찰각이 같다고 가정하면 [그림 14.9]에서 도시된 쐐기의 안전율은 식 (14.8)과 같이 정의된다.

$$F = \frac{(R_A + R_B)\tan\phi}{W\sin\psi_i} \quad (14.8)$$

여기서, RA, RB : A, B면상의 수직반력

W : 쐐기를 이루는 암반의 중량

ϕ : 사면의 마찰각

ψ_i : 교선의 경사각

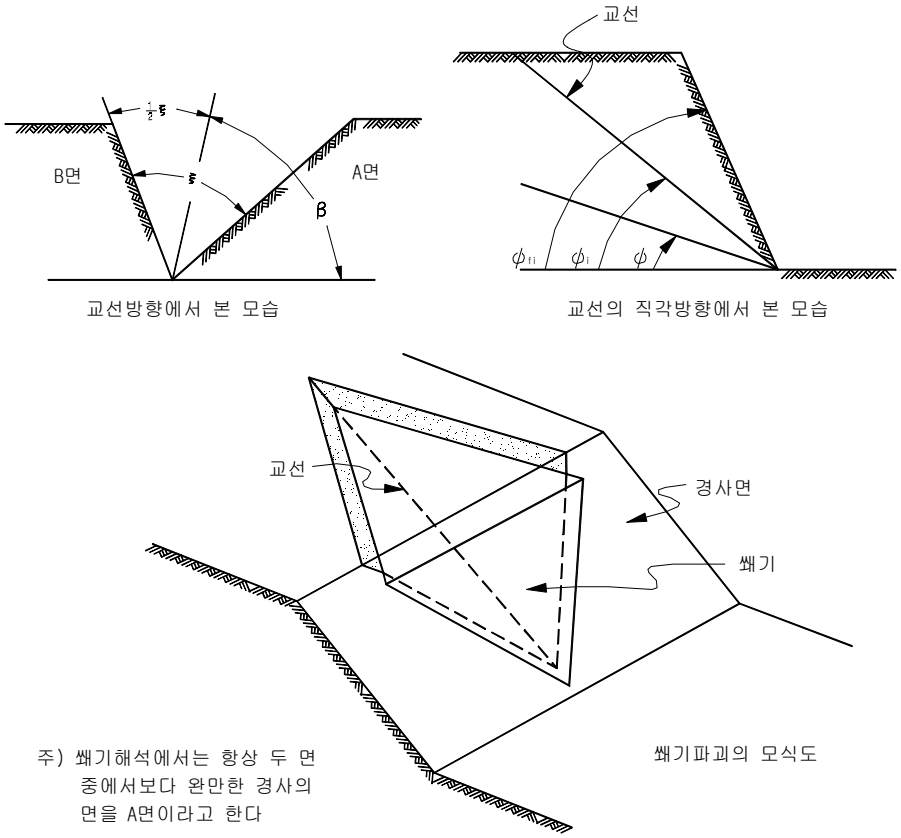
RA, RB를 구하기 위해 교선에 대한 수평 및 수직방향의 성분으로 나누어 표시한 후 RA, RB를 더하고 이를 위 식에 대입하면 식 (14.9)와 같이 사면의 안전율을 구할 수 있다.

$$F = \frac{\sin\beta}{\sin\frac{1}{2}\xi} \frac{\tan\phi}{\tan\Psi_i} \qquad (14.9)$$

여기서, β : 수평면에서 쐐기 이등분선까지의 각

ξ : 쐐기의 사이각

β와 ξ는 [그림 14.9]에서와 같이 평사투영망을 이용하여 구할 수 있다.



[그림 14.9] 쐐기파괴의 해석

다. 토사사면의 안정해석

사면은 중력에 의한 자중의 위치에너지를 항상 갖고 있다. 여기에 간극수압, 재하중, 지진 등의 외력이 작용하면 사면의 안정은 큰 영향을 받는다. 이때 자중 및 외력에 의해 발생되는 사면내부의 전단응력이 사면을 구성하고 있는 흙이 갖고 있는 전단강도보다 크게 되면 사면파괴가 생기게 된다.

토사사면의 안정해석은 원호파괴에 대한 해석이 주를 이루며, 암반사면의 경우에도 토층이 3m 이상 되거나 풍화가 심하고 불연속면이 매우 조밀하게 발달했을 경우 원호파괴에 대한 안정해석을 실시하여야 한다.

1) 허용안전율

토사사면 안정해석에서 안전율은 주어진 활동면에 대한 흙의 전단강도를 사면에 발생하는 전단응력으로 나눈 값이다. 다시 말하면 안전율이란 사면이 한계평형상태에 도달하도록 강도 정수를 나누어 주는 계수이다.

따라서 이론상으로는 안전율이 1 이상이면 사면은 안전한 것이지만 실제에 있어서는 안전율이 허용안전율(Allowable Factor of Safety) 이상이 되어야만 사면을 안전한 것으로 판정한다. 이는 사면의 실제거동에 대한 불확실성을 도입한 안전율 개념이다. 이 허용안전율의 역할은 여러 가지가 있으나 크게 두 가지로 정리하면 다음과 같다.

(가) 자료의 불확실성에 대한 대비 기능

① 강도 정수의 불확실성

② 하중의 불확실성

③ 해석방법과 파괴모델의 불확실성

(나) 사면의 변형을 허용치 이내로 제한하는 기능
(경험적 요소로 한계평형상태에 대한 여유)

2) 안정해석 조건

토사사면의 토질이 점성토인 경우 절취로 인한 응력감소로 시간이 경과함에 따라 팽창하게 되고, 따라서 강도가 감소하여 장기적인 안정이 절토 직후의 안정보다 중요하다.

사면안정해석 시점에 따른 강도정수 적용을 다음과 같이 분류하였으며, [표 14.23]은 유효응력과 전응력 해석시의 전단강도식을 나타낸 것이다.

(가) 절토 직후의 안정

① 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.

② 점성토인 경우

- 전응력 해석을 적용하며, 강도정수는 현장상태와 동일한 밀도와 함수비 조건에 대해 비압밀비배수(UU)삼축시험을 한다.

(나) 장기안정 상태

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

(다) 수위급강하 상태

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

[표 14.23] 전단강도식

해 석 조 건	유효응력 해석	전응력 해석
전단강도식	$S = C' + \sigma \tan \varphi'$ S : 활동면에서의 전단강도 σ : 유효응력 C′, Φ′ : 유효응력에 대한 점착력 및 전단 저항각	$S = Cu + \sigma \tan \varphi u$ S : 활동면에서의 전단강도 σ : 유효응력 C′, Φ′ : 유효응력에 대한 점착력 및 전단 저항각

3) 기타 반영 사항

상용화된 사면 안정 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 안정해석 시 대상사면에서의 다음과 같은 기타조건도 반영하여야 한다.

(가) 국부적인 파괴나 활동으로 교란된 이력이 있는 대상사면에 대한 시험은 시료를 충분히 변위시킬 수 있는 링 전단시험 또는 직접 전단시험을 실시하여 잔류강도의 강도정수를 해석에 반영한다.

(나) 인장균열 깊이와 인장균열에 수압이 작용하는 경우 등도 반영하여야 한다.

(다) 보강된 경우의 사면 안정 검토는 외적 안정 검토시 복합보강지반을 중력식 구조물과 같이 보고 실시하며, 내적 안정 검토 시는 보강구조체에 붕괴면을 가정하고 힘의 균형으로 안정을 검토한다.

라. 안전성평가기준

절토사면은 자연지반이 주 구성물질이므로 안정해석을 실시함에 있어 타 시설물에 비해 불확실성이 높은 요소들이 많이 존재한다. 따라서 절토사면의 안전성평가 기준은 인공구조물로 이루어진 타 시설물에 비해 높은 수준의 평가기준을 적용하는 것이 바람직하므로 국내에서 표준(건설공사비탈면설계기준)으로 사용되는 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 14.24] 절토사면 안전성평가기준

평가기준	상 태	
	건기	우기(침투해석)/내진
A	안전율 1.5 이상	안전율 1.2(1.3) 이상/1.1 이상
B	–	–
C	–	–
D	안전율 1.0 이상, 1.5 미만	안전율 1.0 이상, 1.2(1.3) 미만/ 안전율 1.0 이상, 1.1 미만
E	안전율 1.0 미만	안전율 1.0 미만

· 암반사면

- 건기시 : 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음.
- 우기시 : 인장균열이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 HW=1/2H로 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, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술 (FS=1.3적용)

· 두 가지 이상의 파괴유형에 대하여 안정해석을 실시하였을 경우 가장 작은 안전율 값을 적용

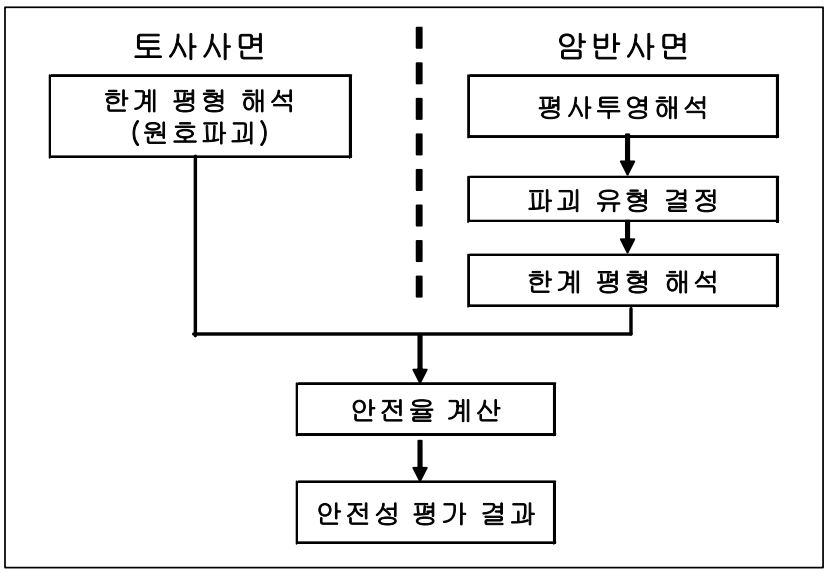
14.5.3 안전성평가결과 산정 방법

가. 안전성평가결과 산정

절토사면의 안전성평가는 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 이루어져야 한다. [그림 14.10]은 안전성평가 과정을 나타낸 흐름도이며, [표 14.25]는 각 절토사면의 종류에 따른 개략적인 해석 범위를 기술한 것이다.

이러한 과정을 거쳐 최종 안정성 해석 결과가 도출된다면 앞 절에서 언급한 안전성 평가기준을 근거로 각 절토사면의 안전성평가 결과를 산정한다.



[그림 14.10] 안전성평가 결과 산정 과정

[표 14.25] 절토사면의 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사사면		○		
연약암반 사면	○	○	○	· 평사투영해석 결과 불안정 시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 · 평사투영해석 결과와 별도로 원호파괴해석 실시
파쇄암반 사면	○	○	○	· 평사투영해석결 과 불안정 시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 · 평사투영해석 결과와 별도로 원호파괴해석 실시
절리암반 사면	○		○	· 평사투영해석 결과 불안정 시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 · 3m 이상 토층이 관찰될 경우 평사투영해석 결과와 별도로 원호파괴해석 실시

[표 14.26] 절토사면의 안정해석 프로그램의 예

구 분		사용되는 강도정수	프로그램
한계평형 해석	원호파괴	지반의 단위중량(건조/습윤), 점착력, 내부마찰각	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
	쐐기파괴	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

나. 안전성평가 결과 산정 방법

[표 14.27] 절토사면의 안전성평가 결과 산정 예

시설물 안전성평가 결과 산정표				
시설물명		○○절토사면	표번호	
파괴유형		안전율	평가결과	비 고
평면파괴	건기	3.4	a	완전 건조시
	우기	1.98	a	완전 포화시
쐐기파괴		-	a	쐐기블록 형성 안됨
전도파괴		-	a	전도파괴 위험 불럭 없음
안전성 평가 결과		◦안전성평가 결과 : A		

14.6 종합평가 기준 및 방법

14.6.1 종합평가 기준

시설물의 상태평가와 안전성평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 종합평가를 결정하며, 시설물에 대한 종합평가 기준은 [표 14.28]의 종합평가 지수에 따라 결정한다.

[표 14.28] 종합평가 지수에 따른 종합평가 기준

종합평가 지수(E)	종합평가 기준	비 고
0.00 ≤ (E) 〈 0.15	A	
0.15 ≤ (E) 〈 0.30	B	
0.30 ≤ (E) 〈 0.55	C	
0.55 ≤ (E) 〈 0.75	D	
0.75 ≤ (E)	E	

14.6.2 종합평가 등급 산정 방법

가. 종합평가 등급 산정

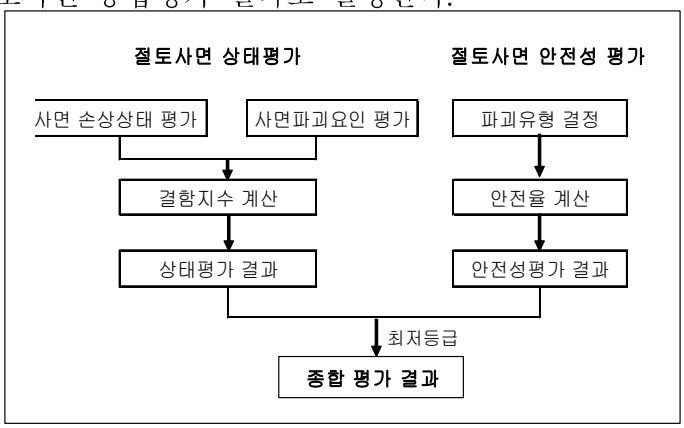
절토사면 상태평가와 안전성평가 결과 2개 등급 중 최저등급을 절토사면 종합평가 결과로 결정한다.([그림 14.11] 참조)

1) 정밀안전점검

절토사면의 손상상태 평가와 파괴요인 평가를 종합하여 절토사면 상태평가 결과를 결정하며, 절토사면 안전성평가를 시행한 경우에는 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교하여 최저등급을 절토사면 종합평가 결과로 결정한다.

2) 정밀안전진단

절토사면 상태평가 결과(손상상태 평가 + 파괴요인 평가)와 안전성평가 결과 중 최저등급을 절토사면 종합평가 결과로 결정한다.



[그림 14.11] 종합평가결과 산정 과정

나. 종합평가 결과 산정 방법

상태평가와 안전성평가를 모두 시행했을 경우의 종합평가 결과 산정 예시는 다음 [표 14.29]와 같다.

[표 14.29] 절토사면의 종합평가결과 산정 예

절토사면 종합평가 결과 산정표				
시설물명	○○ 절토사면		표번호	
평가구분	결함지수	평가결과	비 고	
상태평가	F=0.38	C	근거표번호	
안전성평가	안전율=1.98 (우기시)	A	근거표번호	
종합평가	-	C		
종합평가 결과	· 상태평가 등급과 안전성평가 등급 중 최소 등급을 선택 · 절토사면의 종합평가 결과 : C			

14.7 보수・보강 방법

절토사면 시설물의 주요 보수・보강 방법을 소개하면 다음과 같다.

[표 14.30] 절토사면 대책공법의 종류 및 적용

구분	종 류	공 법 개 요	적 용
보강공법	절취공법 (경사완화)	사면의 경사를 완화시켜 사면의 안정성을 증대시키는 공법	토사사면 암반사면
	록볼트 (rock bolt)	강봉을 이용하여 암체들 서로를 연결시켜 암반의 전단강도를 증가시키는 공법	암반사면
	앵커 (anchor)	앵커의 인장력으로 암반블록이나 토체를 안정된 지반에 고정하여 안정화 시키는 공법	토사사면 암반사면
	소일네일링 (soil nailing)	지중에 보강재를 좁은 간격으로 삽입하여 사면의 전단강도를 증가시키는 공법	토사사면 연약/파쇄 암반사면
	억지말뚝	절토사면의 하중을 말뚝의 수평저항으로 받아 활동을 억지시키는 공법	토사사면
	다우웰 (dowel)	소규모의 국부적인 탈락이 예상되는 암블록에 직경 25mm, 길이 1-3m 정도의 강재를 설치하여 암블록의 탈락을 방지시키는 공법	암반사면
	콘크리트 버팀벽 (buttress)	사면의 암 탈락에 의해 지지력이 상실된 구간에 버팀벽을 설치하여 보강하는 공법	토사사면 암반사면
	옹벽	옹벽구조물을 설치하여 옹벽이 배면토압을 부담하도록 하여 사면을 안정화시키는 공법	토사사면
	마이크로파일 (micro pile)	지중에 천공 후 강관을 삽입하고 시멘트 밀크를 주입하여 소구경 파일을 형성하는 공법	토사사면
	보강토 공법	흙 사면내에 보강재를 배치하여 보강재와 흙의 마찰력을 이용하여 파괴나 변형에 저항하는 공법 (그라우팅 공법 등)	토사사면
	조합 공법	여러 보강공법을 조합하여 시공하는 공법	토사사면 암반사면

[표 14.30] 절토사면 대책공법의 종류 및 적용(계속)

구분	종 류	공 법 개 요	적 용
보호공법	식생공	절토사면 표면에 식생을 하여 우수에 의한 침식을 방지하고 풍화작용을 억제시키는 공법	흙 사면 암반사면
	돌쌓기, 블록쌓기	경사도가 1:1이상(45°이상)인 절토사면에 사용하며 돌이나 블록 등으로 사면을 덮어 풍화 및 침식을 방지하는 공법	흙 사면
	돌붙임, 블록붙임	경사도가 1:1이하(45°이하)인 절토사면에 사용하여 옹벽으로서의 역할과 함께 풍화 및 침식을 방지하는 공법	흙 사면
	콘크리트격자	콘크리트 격자를 사면에 덮어 절토사면의 표면붕락을 방지하는 공법	흙 사면
	숏크리트 (shotcrete)	표면 정리후 철망을 앵커핀으로 고정시킨 후 시멘트 모르터를 뿜칠하여 표면을 보호하는 공법	암반사면
	개비온(돌망태) (gabion)	철망상자속에 돌채움을 한 돌망태를 벽돌 쌓는 방법으로 쌓아 올려 벽체를 형성하는 공법	흙 사면 암반 사면
	조합 공법	여러 보호공법을 조합하여 시공하는 공법	토사사면 암반사면
낙석방지공법	뜬돌제거	절토사면상의 뜬돌, 전석이 박리 또는 낙하되지 않도록 제거하는 공법	암반사면 토사사면
	와이어로프 걸이	뜬돌이나 전석이 움직이지 않도록 격자모양의 와이어로프나 여러개의 로프를 이용하여 절토사면상에 고정시키는 공법	암반사면
	낙석방지망	방지망의 장력 및 자중을 이용하여 이완된 암석을 포획하거나 암석의 운동에너지를 억제하는 공법	암반사면
	낙석방지울타리	지주, 와이어로프, 철망, 유연성 재료 등으로 구성된 울타리로 낙석에너지를 흡수하는 공법	암반사면
	피암터널	강재, 철근콘크리트 및 PC 콘크리트 등으로 도로위에 처마를 설치하여 낙석을 받아 막거나 계곡으로 낙하시켜 낙석에 의한 피해를 방지하는 공법	암반사면
	낙석방지 옹벽	토사나 전석이 도로에 유입되는 것을 방지하기 위해 절토사면 앞에 옹벽을 설치하는 공법	암반사면 토사사면
	낙석흡수도랑 (ditch)	절토사면의 하단부에 도랑을 설치하여 낙석을 방지하는 공법	암반사면
	조합 공법	여러 낙석방지공법을 조합하여 시공하는 공법	토사사면 암반사면

14.7.1 보수・보강공법의 종류

절토사면의 보수・보강은 다음의 4 종류로 구분된다.

가. 경사완화 및 구조물에 의한 보강공법

나. 표면보호공법

다. 낙석방지공법

라. 배수공법

가. 경사완화 및 구조물에 의한 보강공법

1) 경사완화(절취공법)

경사완화공법(또는 절취공법)은 활동하려는 토괴 또는 암괴를 제거하여 활동하중을 경감시킴으로써 절토사면의 안정을 도모하는 방법이다.

절토사면의 경사를 완화하여 활동암괴를 제거하므로 확실한 안정공법으로 여겨지나 절취를 실시하였음에도 불구하고 파괴가 발생하는 경우가 있다. 특히 절토사면 내에 연약대층이 함유되어 있는 경우에는 절취 후 파괴가 계속될 수 있다. 그러므로 공사 중간에 절토사면의 잠재적인 내적 취약점을 명확히 조사하여 사면의 안정성을 재검토하고, 필요하다면 앵커공과 같은 다른 보강공법과 병행하여 시공해야 한다.

절토사면 상부의 자연 사면의 경사도가 큰 경우에는 굴착량이 막대하고, 경제성, 시공성의 면에서 어려운 점이 많으므로 다른 보강공법을 고려하는 것이 바람직하다.

절취경사의 결정은 표준경사도를 기초로 하며 지반의 특성 및 지형적 조건과 같은 현장 여건 그리고 시공성을 종합적으로 고려하여 판단하여야 하며 붕괴요인을 가진 지반의 경우 주의하여야 한다. 특히 암반사면의 경우는 지표지질조사 및 시추조사에 의해 파악된 절리의 방향성 및 발달상태에 따라 각각의 절토사면에 대하여 안정해석을 실시하여 사면 경사를 결정하는 것을 우선으로 한다.

2) 록볼트(rock bolt)

록볼트는 이완암반과 모암의 일체화를 목적으로 혹은 불연속면을 경계로 한 여러 층을 일체화하기 위한 목적으로 사용한다.

록볼트의 작용효과는 부재의 전단강도나 원지반과의 인발저항에 의한 직접적인 원지반의 보강뿐만 아니라 간접적으로 원지반의 물성을 강화하는 효과가 있다. 록볼트를 사용하는 경우에는 절토사면 표면의 얕은 위치에 견고한 암반이 존재하여야 한다.

록볼트의 정착력을 정확히 추정하는 것은 곤란한 경우가 많기 때문에 사전에 인발시험을 실시하여 정착범위를 확인하여 두는 것이 중요하다.

3) 앵커(anchor)

앵커는 흙, 또는 암반의 절토사면 이완된 지반이나 불연속면 등이 존재하고 붕괴할 염려가 있는 경우나 불안정한 절토사면의 안정을 꾀할 경우에 사용한다.

앵커는 단독으로 사용하는 경우와 현장타설 콘크리트 격자, 옹벽, 억지말뚝과 병용시키는

경우가 있으며 지지력을 구하는 방법, 안전성, 신뢰성, 내구력의 문제 등 설계 및 시공 측면에서 미해결된 면이 있기 때문에 충분한 검토가 필요하다. 앵커의 종류는 앵커와 지반의 정착방식에 따라 마찰형, 지압형, 복합형이 있다.

4) 소일네일링(soil nailing)

소일네일링 공법은 네일(nail)이라고 불리우는 보강재를 프리스트레싱 없이 좁은 간격으로 지반에 삽입하여 절토사면의 전체적인 전단강도를 증가시킨다. 또한 숏크리트 등으로 굴착면을 보호하는 표면보호공을 조합하여 시공하는 경우가 많다.

소일네일링 공법의 장점은 가격이 비교적 저렴하고, 장비가 단순하며 접근이 어려운 장소와 협소한 공간에서도 작업이 용이하다는 점이며, 단점은 지하수위가 없는 지반 또는 지하수위의 저하에 의해 안정화된 지반에 제한적으로 사용된다는 점이다.

5) 억지말뚝

억지말뚝 공법은 절토사면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 받아 활동을 억지시키는 공법이다.

억지말뚝의 설계 시에는 말뚝에 발생하는 휨모멘트와 전단력을 고려하여, 말뚝의 단면, 종류, 간격 등을 결정한다. 휨모멘트가 큰 경우에는 말뚝머리에 앵커를 설치할 수도 있다. 말뚝의 타설위치는 지반활동 시 압축상태에 놓이게 되는 절토사면의 말단부 근처가 유리하다.

억지말뚝 공법은 기초부 암반이 토압으로 인해 활동현상이 발생한 지역, 토층 사이의 경계면에서 평면파괴가 발생하거나 풍화층의 유실과 침식으로 표면 붕괴의 우려가 있는 지역, 급경사의 토사사면으로 경사완화가 불가능하거나 단층파쇄대 구간으로서 지하수위가 낮고 침투수 영향이 적은 구간에 적용된다.

6) 다우웰(dowel)

다우웰 공법은 암반에서의 소규모 단독 분리암괴에 의해 암괴의 탈락이 예상될 때 암괴를 절토사면에 고정하기 위하여 적용하는 공법이다. 즉, 직경 25㎜, 길이 1m ~ 3m 정도의 철봉을 보링공 내에 삽입하여 그라우트 주입을 실시함으로서 절리면의 전단강도를 증가시키는 수동보강형 공법이다.

7) 콘크리트 버팀벽(buttress)

절토사면에서 암탈락이 발생하거나 사면 절취 시 과다발파에 의하여 사면상에 빈 공간이 생기게 되면 절토사면 하부의 지지력을 상실하게 되어 또 다른 암탈락이 발생할 위험이 커진다. 이러한 경우, 하부의 빈 공간에 콘크리트 버팀벽을 설치하여 경제적으로 절토사면의 안정성을 높일 수 있다.

8) 옹벽

옹벽은 벽의 자중과 저판상부의 토사 중량 등으로 토압에 저항하여 절토사면을 지탱하고 안정을 도모하기 위한 목적으로 설치하는 벽체 구조물이다.

옹벽의 설계 시 안정성 확보를 위하여 전도에 대한 안정성, 미끄러짐에 대한 안정성, 지반의 지지력 등에 대하여 검토를 수행해야 한다. 미끄러짐에 대한 안정성만이 부족한 경우에는 옹벽 바닥면에 활동방지용 턱(shear key)을 설치할 수도 있다.

9) 마이크로 파일(micro pile)

마이크로 파일은 토사사면에 적용하는 공법으로 지중에 천공 후 지름 162.5㎜의 강관을 삽입하고 시멘트 밀크를 주입하여 소구경 파일을 형성하는 공법으로 암반이 견고할 때 별도의 장비가 필요하나 시공성과 품질 확보가 우수하다.

10) 보강토 공법

보강토 공법은 흙쌓기나 흙깍기 사면 내에 강재나 망 등의 보강재를 배치하여 보강재와 흙의 마찰력을 이용하여 파괴나 변형에 저항하는 공법이다.

보강토 공법은 지형 등의 제약을 받아서 흙쌓기나 흙깎기의 적정경사를 확보할 수 없는 경우나 절토사면을 보강할 필요가 있는 장소 또는 도시부에서 용지보상비가 과다한 장소 등에 사용한다.

주된 공법으로서 흙쌓기에서는 보강토벽공법, 망에 의한 보강공법 등이, 흙깎기에서는 철근 삽입, 각종 그라우팅, 강화섬유 주입 등의 보강공법이 있다.

나. 표면보호공법

1) 식생공

식생공은 절토사면에 대하여 식생을 실시하는 공법으로 우수에 의한 침식 방지, 지표면 온도변화의 완화, 뿌리로 표토를 묶어 동상붕락의 억제 및 완화, 미적효과 등을 목적으로 한다.

그러나 식생공의 억지효과에 대한 평가가 어렵기 때문에 사면의 안정성 계산에는 이러한 식생공을 포함시키지 않는다. 따라서 식생공은 사면이 안정되어 있는 곳이나 억지효과가 있는 구조부재와 병행하여 이용한다.

국내 사면 보호공법으로 사용되는 식생공은 떼심기, 씨앗뿌리기공법, 씨앗 부착 거적덮기, 코이어넷(coir net), 코매트(co-mat), 녹생토 등 여러 종류가 있다.

2) 돌쌓기, 블록쌓기

돌쌓기이나 블록쌓기 공법은 1:1 이상(45° 이상)의 급경사 절토사면에 사용되며 절토사면의 풍화 및 침식등을 방지하고 옹벽으로서 토압에도 충분히 견딜 수 있는 구조이어야 한다.

돌쌓기 공법은 흙막이용, 절토사면 보호용으로 옛날부터 사용되어 왔으나 최근에는 블록쌓기 공법이 많이 사용되고 있다.

3) 돌붙임, 블록붙임

돌붙임이나 블록붙임 공법은 절토사면의 풍화 및 침식 등의 방지를 주목적으로 하여 1:1 이하(45° 이하)의 완경사 절토사면에, 특히 점착력이 없는 토사 및 허물어지기 쉬운 절토사면에 사용한다.

돌붙임 및 블록붙임 공법은 표면 보호공으로서 사용되는 이외에 소규모의 절토사면 붕괴의 되메움 보호 등에서도 사용된다.

4) 콘크리트 격자

① 콘크리트 격자 블록

용수가 있는 흙깎기 절토사면, 장대 절토사면이나 표준경사보다 급한 흙쌓기 사면에서 상황에 따라 식생이 적합하지 않은 곳 혹은 식생을 실시하더라도 표면이 붕낙할 염려가 있는 경우에 사용된다. 경사가 1:0.8(55°)보다 완만한 절토사면에 사용하는 것이 좋다.

일반적으로 격자는 프리캐스트 제품으로 격자의 교점부분에는 활동방지 말뚝 혹은 철근 등을 설치한다. 격자 내에는 비옥토를 되메우고 식생을 해서 보호하는 것이 좋으나 사면경사가 1:1.2(40°)보다 급한 경우, 많은 용수가 있는 경우 혹은 비옥토가 얻기 힘든 경우, 기타 식생만으로는 유출될 염려가 있는 경우 등에는 잡석을 넣어서 보호한다.

미관을 중요시 할 경우에는 돌붙임 사이에 씨앗 비옥토를 채우거나 씨앗뿜어붙이기 공을 병용하거나 식생망태를 사용하여 녹화할 수도 있다. 용수가 특히 많은 경우에는 절토사면에 도수를 설치할 필요가 있다.

② 현장타설 콘크리트 격자

용수가 있는 풍화암이나 장대절토사면 등에서 절토사면의 장기적인 안정이 염려되는 곳, 혹은 콘크리트 블록 격자공으로는 붕낙할 염려가 있는 곳에 사용된다.

격자는 철근콘크리트의 현장타설로 용수처리를 충분히 실시하고, 격자내에는 상황에 따라 찰쌓기식 돌붙임, 블록붙임, 콘크리트 붙임, 식생 등으로 보호한다.

암반 중에 균열이 많고 물이 침투해서 풍화를 촉진하던가 붕낙을 일으킬 염려가 있는 경우에는 모르터 뿜어붙이기 혹은 시멘트 밀크의 주입 등도 병용된다.

상황에 따라 격자의 교점부분에 활동방지 말뚝이나 앵커를 설치한다. 격자는 절토사면에 박히도록 하는 방법과 사면위에 설치하는 방법이 있다. 연약한 지반에 설치할 경우에는 콘크리트 기초가 필요하다.

5) 모르터 및 콘크리트 뿜어붙이기(숏크리트)

절토사면에 용수가 없고 당장 붕괴의 위험성은 없으나 풍화되기 쉬운 암석 또는 풍화로 인해 박리될 염려가 있는 암석이나 호박돌이 섞인 토사 등 식생이 적당하지 않은 곳에 사용된다.

모르터 뿜어붙이기공은 비교적 엷게 뿜어 붙일 경우에, 콘크리트 뿜어붙이기공은 비교적 두껍게 뿜어 붙일 경우에 사용된다. 뿜어 붙일 면에 다소의 용수가 있는 경우에는 물구멍을 만들어 적절한 배수처리를 하여야 하며 또한 장래 붕괴의 원인이 될 수 있는 노출된 곳을 남기지 않아야 한다.

6) 돌망태옹벽(개비온,gabion)

개비온(gabion)은 일정규격의 직사각형 아연도금 철망상자 속에 돌채움을 한 돌망태를 벽돌 쌓는 방법으로 쌓아 올려 벽체를 형성하는 공법으로서 콘크리트 옹벽 대체공법으로 사용한다.

본 공법의 특징은 배수성이 양호하기 때문에 설계 시에 수압의 작용을 고려할 필요가 없다. 그러나 차도에 가깝고 경사가 급한 곳에 사용할 경우는 장기적으로 철선의 부식으로 인해 돌이 떨어져서 낙하할 수 있기 때문에 시공시 충분한 주의가 필요하다.

다. 낙석방지공법

낙석방지공법은 절토사면에서 풍화의 진행, 지진, 호우 등에 의해 낙석의 위험이 있는 것으로 판단되는 곳에 실시한다.

낙석방지공법의 선정은 절토사면의 상황, 즉 절토사면의 지형, 지질 및 식생상황 등과 같은 조사결과에 근거하여야 하며 낙석발생 시 예상되는 피해 정도에 따라 이러한 방법들을 조합시키거나 선택하여 선정한다.

1) 뜬돌제거

뜬돌제거는 사면상의 뜬돌이나 이완암블록이 낙하하지 않도록 직접 낙석을 억지하거나 제거 또는 정리하는 것이다.

2) 록볼트 및 앵커

록볼트 및 앵커 공법은 낙석방지 공법의 일환으로 사용되기도 하며 앞에 언급된 경사완화 및 구조물에 의한 공법 중 록볼트공 및 앵커공을 참조하여 고려할 수 있다.

3) 와이어로프 걸이

뜬돌이나 전석이 구르거나 미끄러지 않도록 격자모양으로 짠 와이어로프나 수 개의 로프 등을 사용하여 그 기초를 덮거나 걸어서 사면상에 고정시키는 경우에 사용한다.

뜬돌이나 전석이 거대한 경우나 토지의 제약 조건 등으로 사면에 고정시켜야 할 때에 자주 사용되지만 이 공법은 영구적인 구조물이 아닌 가설 구조물로 취급한다. 와이어로프의 앵커는 뜬돌이나 전석의 무게에 충분히 견디도록 기초부까지 충분히 넣고 또 돌이 로프에서 빠져나가지 않도록 한다.

4) 낙석방지망

낙석방지망은 강우나 풍화, 나무뿌리의 작용 등으로 인해 낙석발생 가능성이 있는 부분을 망으로 덮어 낙석을 예방하는 공법으로 망의 장력 및 자중과 이완된 암석의 포획효과에 의해 암석의 운동에너지를 억제하는 공법이다.

낙석방지망공은 구조물에 의한 절토사면 보호공을 시공하지 않은 암반 또는 자갈 혼입 토사 절토사면에 낙석이 예상되는 경우에 사용한다.

낙석방지망공은 낙석의 발생을 미연에 방지하고, 만일 낙석이 발생한 경우에 돌이 튀지 않도록 사면끝으로 유도하는 것을 목적으로 하고 있다. 종류로는 포켓(주머니)식, 비포켓식이 있다.

5) 낙석방지울타리

낙석방지울타리는 지주, 와이어로프, 철망, 유연성 재료 등을 이용하여 낙석에너지를 흡수하는 것으로써 일반적으로 50kJ 이하의 소규모 낙석대책으로 주로 사용되나 유연성 등을 이용하여 50kJ 이상의 큰 낙석에너지를 흡수할 수 있는 기능성 낙석방지울타리도 다양하게 개발되어 있다.

낙석방지울타리는 장대 절토사면 등에서 지진 또는 집중호우 등으로 낙석이 발생하는 경우에 낙석방지망만으로는 낙석을 효과적으로 제어하기 힘들 것으로 판단되는 위치에 사용한다. 특히, 경암, 연암, 및 자갈 혼입 토사 등으로 구성된 절토사면에서 낙석방지망만으로는 낙석의 위험을 효과적으로 대처하기 힘든 경우에는 낙석 방지울타리를 설치하는 것이 바람직하다.

토사가 혼합되어 낙하하는 경우는 콘크리트 옹벽을 설치하고 그 상부에 낙석방지울타리를 설치한다.

6) 피암터널

피암터널은 강재, 철근콘크리트 및 PC 콘크리트 등으로 도로 위에 처마를 설치하여 낙석을 받아 막거나 계곡으로 낙하시켜 낙석에 의한 피해를 방지하는 공법이다.

피암터널은 급한 장대사면이 연이어져 있는 경우나 낙석의 규모가 커서 낙석방지울타리만으로는 방지할 수 없는 경우 또는 낙석의 지름이 큰 경우에 사용한다. 피암터널의 상부에는 완충재(토사 등)를 두어 낙석의 충격을 완화하여야 하며 상단부 표면은 경사지게하여 발생된 낙석을 다른 방향으로 유도하여 충격에너지를 감소한다.

7) 낙석방지 옹벽

낙석방지 옹벽은 토사나 낙석이 도로에 떨어지는 것을 방지하기 위해 설치하는 구조물이다.

낙석방지 옹벽은 그 배후에 주머니부를 설치하여 어느 정도의 낙석이나 붕토를 퇴적시킬 수 있는 구조로 하는 것이 바람직하기 때문에 배면 지형은 사면경사가 완만한 경우와 도로의 측방에 여유가 있는 장소가 조건으로 된다.

낙석방지 옹벽공을 설계할 경우 예상되는 낙석의 중량, 속도, 최대 도약고, 지형, 지질 등을 고려하여 옹벽의 안정(연직지지, 수평지지, 전도) 및 구체 단면의 강도에 대하여 검토하여야 한다.

8) 낙석 방지 제방 및 도랑(ditch)

절토사면의 하단부에 설치하는 낙석 방지 도랑은 도랑을 설치할 공간이 확보되어 있다면 낙석을 방지하는데 효과적이고 경제적인 방법으로 지형, 지질 등의 현장 조건을 이용하여 낙석 에너지의 흡수 및 낙석의 유도를 도모하는 것이다.

흙제방 및 도랑을 설치하는 경우에는 배수공을 병설하여 배수대책도 충분히 배려할 필요가 있다.

라. 배수공법

1) 산마루측구

절토사면의 상부자연사면에 콘크리트 U형 수로 등의 배수로를 설치함으로써, 강우나 강설에 의해 지표수가 절토사면 내로 침투하는 것을 방지하여 절토사면 내 간극수압의 상승을 차단하거나 지표수의 흐름을 차단시켜 절토사면의 침식을 방지하는 공법이다.

산마루측구 시공 시 측구와 지표가 밀착되지 않는 경우, 측구와 지표 틈새로 강우가 침투하여 배수효과가 거의 없을 뿐 아니라 토층이 유실되어 지반침하가 발생하는 경우가 많으므로 측구와 지표를 반드시 밀착시켜야 한다. 또한 품질관리를 위하여 가능한 현장타설 콘크리트 배수로를 설치하는 것이 바람직하다.

2) 소단배수로

소단배수로는 절토사면에 흐르는 빗물이나 용수에 의한 침식을 방지하기 위하여 폭이 3m 이상인 넓은 소단에 설치한다.

종단경사에 따라 배수처리를 실시하며 20m 이상 절토 구간이 끝나는 곳에서는 산마루측구와 연결 또는 방류하여 절토사면이 유실되지 않도록 설치한다. 단, 비탈면 침식의 위험성이 적다고 판단될 때는 설치하지 않을 수 있다.

3) 도수로

도수로는 집수된 물을 수로 또는 도로외부로 유출시키는 기능을 수행한다. 원칙적으로 현장타설 콘크리트로 설치하며 도수로의 주변은 콘크리트로 보호하고 세굴이나 풀등의 유입에 의한 통수기능 저하를 방지한다.

4) 수평배수공

절토사면 내에 비교적 깊은 지반 내에 지하수를 배제하는 경우나 지하배수공(암거공) 등에 의해 지하수위 저하를 기대할 수 없는 경우에 횡방향공을 굴착하고 유공관등을 삽입하여 배수한다.

수평배수공의 길이는 2m 이상이 바람직하다.

규모가 큰 지반활동 지대에서는 배수터널이나 여러 본의 보정공을 조합하여 처리한다.

5) 집수정

집수정은 물빼기 보링공으로는 보링 길이가 길게 되는 경우나 기반 부근에 집중적으로 지하수를 집수하는 경우에 사용한다.

절토사면의 보수・보강공법은 사면의 구성재료와 공법의 원리에 [표 14.31] 및 [표 14.32]으로 구분하여 적용하여야 한다.

[표 14.31] 토사사면의 원리별 대책공법 종류

원 리	공 법
경사도완화	절취
흙막이 (토류공)	앵커(anchor)
	소일네일링(soil nailing)
	억지말뚝
	마이크로 파일(micro pile)
	옹벽
	개비온(gabion)
배수	산마루측구
	수평배수공
	소단배수로
	도수로
표면보호	식생공
	격자블록
	돌쌓기, 돌붙임

[표 14.32] 암반 사면의 원리별 대책공법 종류

원 리	공 법
경사도완화	절취
암반보강	록볼트(rock bolt)
	앵커(anchor)
	다우웰(dowel)
	콘크리트 버팀벽(buttress)
	숏크리트(shotcrete)
간극수압감소	수평배수공
	측구배수공
표면보호	식생공
낙석제어	낙석방지망
	낙석방지울타리
	뜬돌제거(면정리)
	낙석흡수 도랑(ditch)
	피암터널