

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면)

2012. 12.

우리나라는 '60년대 이후의 급속한 경제성장 과정에서 대부분의 시설물들이 “공기단축”과 “공사비절감” 위주로 건설되어 선진국의 시설물에 비해 시작부터 안전에 취약할 수밖에 없었습니다. 그럼에도 불구하고 사용 중 유지관리 마저 소홀히 하여 '90년대 들어 성수대교와 삼풍백화점 붕괴사고 등의 값비싼 대가를 치른 경험이 있습니다.

이에 따라 정부에서는 1995년 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」을 제정하여 시설물의 안전관리를 시행하고 있으며, 특히 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 업무를 표준화하기 위하여 국토해양부와 우리공단은 교량·댐 등 12개 국가 주요시설물의 점검·진단 업무의 실시방법 및 절차 등을 규정한 세부지침을 마련하였습니다.

이 해설서는 2010.12월 출간된 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」중 시설물편 제12장 절토사면에 대한 바른 이해와 적절한 적용에 도움이 되도록 하기 위하여 작성되었습니다. 2011년에 공통편과 시설물편 6종(교량, 터널, 댐, 항만, 상수도, 건축)의 해설서를 발간하였으며, 금년에는 시설물편 나머지 6종(하구둑, 수문, 제방, 하수처리장, 옹벽, 절토사면)의 해설서를 발간하게 되었습니다.

아울러 본 해설서는 초보자가 알기 쉽도록 그림과 사진 등을 많이 포함하여 편집 구성에 최선을 다하였으나 미흡한 점도 많을 것입니다. 앞으로 계속 보완 발전시켜 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단에 유용하게 활용될 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

끝으로 본 해설서 개발작업에 참여하여 주신 직원과 자문위원 여러분의 노고에 깊은 감사를 드리는 바입니다.

제 목 차 례

12.1 관리 일반	
12.1.1 적용범위	12-1
12.1.2 용어정의	12-2
12.1.3 안전점검 및 정밀안전진단 대상 시설	12-3
12.1.4 중대한 결함의 정도	12-4
12.2 현장조사	
12.2.1 시설물의 점검 사항	12-5
12.3 재료시험 기준수량	12-43
12.4 상태평가 기준 및 방법	
12.4.1 상태평가 기준	12-45
12.4.2 상태평가 항목 및 기준	12-48
12.4.3 상태평가 결과 산정 방법	12-61
12.5 안전성평가 기준 및 방법	
12.5.1 일반	12-68
12.5.2 안전성평가 기준	12-72
12.5.3 안전성평가 결과 산정 방법	12-87
12.6 종합평가 기준 및 방법	
12.6.1 종합평가 기준	12-90
12.6.2 종합평가등급 산정 방법	12-91
12.7 보수보강 방법	
12.7.1 보수보강공법의 종류	12-93
부록 A. 과업지시서 예시	12-137
부록 B. 사전검토 보고서 예시	12-155

제 12 장 절 토 사 면

12.1 관리일반

12.2 현장조사

12.3 재료시험 기준수량

12.4 상태평가 기준 및 방법

12.5 안전성평가 기준 및 방법

12.6 종합평가 기준 및 방법

12.7 보수·보강 방법

제12장 절 토 사 면

12.1 관리 일반

12.1.1 적용 범위

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

○ 2종 시설물

- 연직높이 50m 이상(옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이)을 포함한 절토부로서 단일 수평연장 200m 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 안전관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 콘크리트 구조설계기준
- 콘크리트 표준시방서
- 건설공사 비탈면 (설계기준, 유지관리지침, 표준시방서)
- 도로안전시설 설치 및 관리지침
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)

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

【해설】

1. 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 “이하 시특법” 시행령[별표1] “1종시설물 및 2종 시설물의 범위”(제2조제1항관련)의 기준으로 절토사면을 정의한다.
2. 절토사면의 정의(“도로, 철도, 항만, 댐 또는 건축물의 부대시설”)가 최근 시특법 개정(‘2011.11.16)으로 부대시설이 아닌 독립시설로 변경한다.
3. 건설공사 비탈면 설계기준에 의하면 ‘절토사면’을 ‘깎기비탈면’으로 정의한다. 본 지침의 개정시까지 혼용하여 사용한다.

12.1.2 용어 정의

○ 절토사면

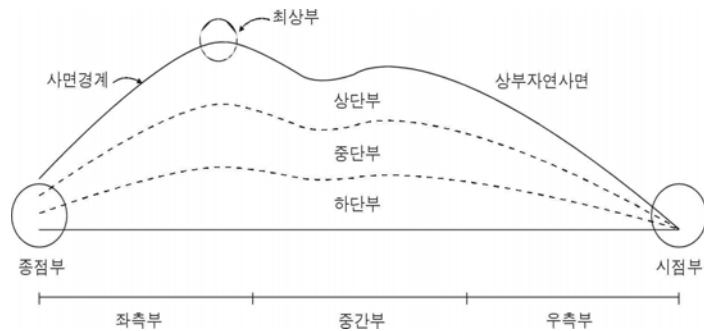
원지반 절취 등의 토목공사로 인하여 인공적으로 형성된 사면

【해설】

1. 용어 정의(「건설공사 비탈면 설계기준」)

(1) 절토사면이란 기존 원지반을 깎아서 부지를 조성할 때 형성되는 경사진 지반을 말한다. 절토사면은 원지반의 상태를 정확히 파악하는 것이 중요하며, 특히 암반과 토사의 경계부분, 원지반 내부의 불안정한 특징 등을 찾는 것이 매우 중요하다. 흩으로 이루어진 토사사면과 암으로 이루어진 암반사면으로 구분한다.

(2) 절토사면의 각 부위별 명칭은 절토사면의 전방에서 사면을 바라보았을 때를 기준으로 하며, 절토사면의 종단방향에 따라 '좌측부', '중간부', '우측부', 상하 위치에 따라 '상단', '중단', '하단'으로, 우측부의 끝점은 '시점부', 반대 위치는 '종점부'로 칭한다. 또한, 절토사면과 상부자연사면과의 경계를 '사면경계'라 하며 이중 제일 높은 곳을 '최상부'라 한다.



【해설 그림 12.1.1】절토사면 각 부위별 명칭

12.1.3 안전점검 및 정밀안전진단 대상 시설

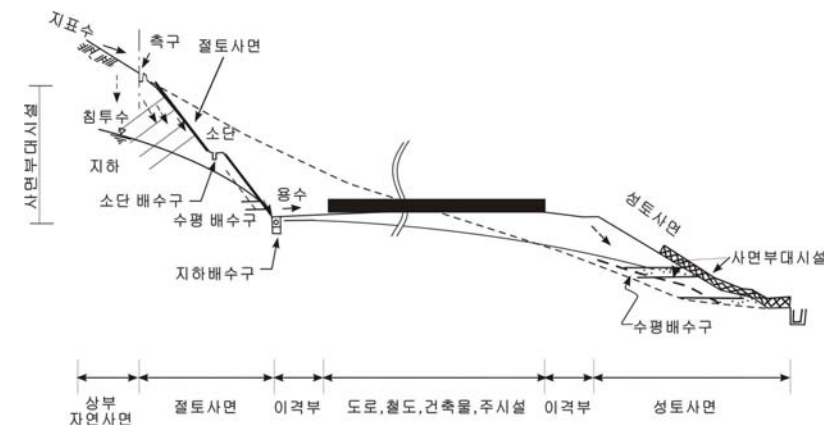
절토사면 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 [표 12.1]과 같다.

【표 12.1】절토사면 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대상시설 범위

구 분	시설물명	점검 및 진단 실시범위			비 고
		정기점검	정밀점검	정밀안전진단	
기본 시설물	◦ 상부자연사면	○	○	○	
	◦ 사면		○	○	
	◦ 사면하부		○	○	
부대 시설물	◦ 보호시설	○	○	○	
	◦ 보강시설	○	○	○	
	◦ 배수처리시설	○	○	○	
	◦ 이격거리내 시설	○	○	○	

【해설】

1. 일반적으로 절토사면은 공간적 위치나 기능에 따라 상부자연사면, 사면, 사면부대시설, 이격부(사면하부)로 나눈다.



【해설 그림 12.1.2】절토사면 구성모식도

12.1.4 중대한 결함의 정도

절토사면에서 대통령령이 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

【해설】

1. 「시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령」 제2장 시설물의 안전조치 등에 제12조(중대한 결함) 법 제11조제1항 및 제2항에서 “대통령령으로 정하는 중대한 결함”이란 다음 각 호의 결함을 말한다.
2. 「시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령」 [별표 5] “시설물 구조안전상 주요부위의 중대한 결함”(제13조 관련) 절토사면에 주요부위의 중대한 결함을 말한다.
3. 시특법 제11조에 따라 안전점검 또는 정밀안전진단을 실시한 자는 지체없이 그 결과를 관리주체에게 통보하여야 하며, 영 제12조의 ‘중대한 결함’이 발생한 경우에는 그 내용을 특별자치도지사, 시장, 군수 또는 구청장에게도 통보하여야 한다.
4. 시특법 영 제12조의 ‘중대한 결함’은 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」 공통편 3.1.7항의 내용과 같다.
5. 특별자치도지사, 시장, 군수, 또는 구청장에 통보를 하는 경우 그 통보 내용에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.
 - (1) 시설물의 명칭 및 소재지
 - (2) 관리주체의 상호, 명칭, 성명(법인인 경우에는 대표자의 성명을 말한다) 및 주소
 - (3) 안전점검 또는 정밀안전진단의 실시기간과 실시자
 - (4) 시설물의 상태별 등급과 중대한 결함 내용
 - (5) 관리주체가 조치하여야 할 사항
 - (6) 그 밖에 안전관리에 필요한 사항

12.2 현장조사

12.2.1 시설물의 점검 사항

가. 절토사면 상태변화의 점검항목

1) 정기점검

【표 12.2】 정기점검 내용 및 항목

점검 내용	점 검 항 목	점 검 장 비
사면손상상태	<간단한 외관조사> － 파괴징후 · 전반적인 외관상태 · 인장균열 및 이완 압괴 유/무 · 지반 및 구조물 변형 유/무 － 파괴현황 · 파괴유형, 위치, 규모	－ 카메라 － 필기도구 － 줄자 － 클리노컴퍼스 － GPS(위치측정기) → 도면사용 가능
사면파괴요인	<간단한 외관조사> － 지반상태 · 구성물질, 풍화도, 불연속면 방향 － 사면형상 · 사면의 경사 · 침수지형 유/무 － 배수상태 － 보호시설 상태	

【해설】

1 점검계획

(1) 일 반

점검계획은 현장에서의 예비조사 후에 수립하며 조사항목은 아래와 같다.

- ① 현장여건 및 문제점
- ② 시설관리자 및 주민의견 청취
- ③ 제반시설 관련자료

이때 도면 및 자료를 개략 검토한 후에 조사를 수행함으로써 구조물의 형상이나 세부사항들에 대한 예비검증이 되도록 한다.

(2) 점검계획 수립

예비조사시 수집된 자료의 검토 후 점검계획을 수립하며 다음 사항이 포함되어야 한다.

① 조사범위 및 항목결정

(가) 각 분야별 조사범위와 세부항목을 전체 점검계획에 맞추어 결정

(나) 책임기술자가 필요하다고 판단되는 경우 별도조사항목 포함

② 기존 점검자료 검토

(가) 기발견된 결함의 확인을 위해 검토

③ 분야별 소요인원 및 구성

(가) 분야별 총 소요인원을 판단하여 가용인력을 판단, 투입계획수립

④ 재료시험 실시에 대한 적정성여부 판단

⑤ 점검기간 및 계획된 작업시간 예측

⑥ 점검범위 및 안전성에 대한 판단

⑦ 점검장비 선정

재료시험에 대한 장비, 측량장비, 토질, 시험 장비를 준비할 때에는 분야별 세부조사항목에 부합되는 장비를 준비한다. 또한, 접근장비는 육안조사 및 점검 장비에 의한 측정이 가능 하도록 사다리, 램프, 리프트카, 비계 등을 준비한다. 이러한 장비선정시에 다음 항목을 고려한다.

(가) 접근장비를 안전하게 지지하는지 여부

(나) 장비위치에 따른 교통통제 필요성

(다) 장비설치에 따른 지장물 존재여부

(라) 점검시간을 고려한 접근장비 선정

⑧ 접근방법 결정

(가) 점검은 비계, 리프트카, 사다리 설치 등 현장여건에 따라 안전을 고려해 최선의 방법을 선택한다.

⑨ 점검종사자 안전

(가) 점검업무 및 접근방법과 관련하여 점검자는 안전사고 예방에 유의한다.

⑩ 기타 점검자와 관리주체가 필요하다고 판단되는 사항

2. 정기점검은 절토사면의 파괴요인과 절토사면의 손상 및 결함을 조기에 발견하고 기능적 상태를 판단하여 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 실시하는 육안검사 수준의 점검이다.

3. 일반적으로 절토사면의 정기점검은 해빙기점검, 춘계점검, 우기점검, 추계점검 등이 있으며, 점검자 및 관리주체는 정기점검 실시결과 중대한 결함이 있는 경우에는 법 제11조에 따라 즉시 관계행정부서의 장에게 통보하여야 한다.

4. 관리주체는 정기점검 실시결과 필요할 경우 결함의 정도에 따라 긴급점검 또는 정밀 안전진단을 실시하는 등 필요한 조치를 취하여야 한다.

2)정밀점검

[표 12.3] 정밀점검 내용 및 항목

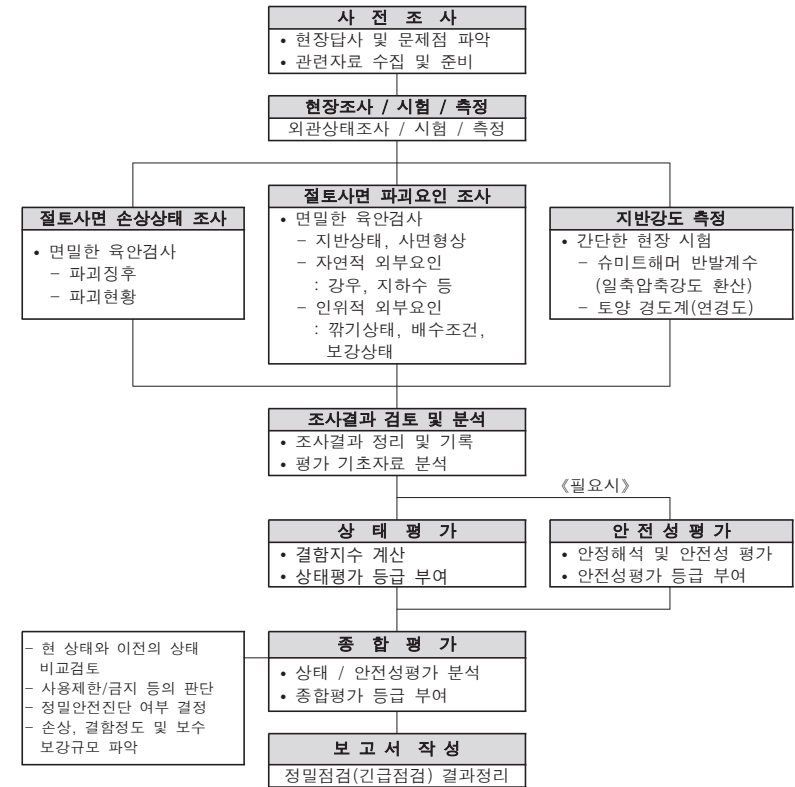
점 검 부 위	점 검 항 목	점 검 장 비
사면손상 상태	<면밀한 외관조사> - 파괴징후 · 인장균열, 이완압괴 규모 · 사면 및 구조물 변형 상태 - 파괴현황 · 파괴유형, 위치, 규모 등	- 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 지질용 해머 - 클리노콤팩스 - 거리측정기 - GPS(위치측정기) → 도면사용 가능 - 슈미트헤머 - 토양경도계
사면파괴 요인	<면밀한 외관조사> - 지반상태 · 토질 조건 및 토층 심도 · 토질의 연경도 · 절리 경사 및 방향 · 절리간격, 거칠기, 연장 등의 상태 - 사면형상 · 사면 경사 및 침수지형 - 자연적 외부 요인 상태 · 강우 및 지하수 상태 (필요할 경우 지진 하중) - 인위적 외부 요인 상태 · 절취 상태, 배수 조건 · 표면 보호 및 보강공 상태 <간단한 측정> - 반발경도법에 의한 강도 조사 (슈미트헤머, 토양경도계)	
시 험 (안전성평가의 경우)	<안정해석을 위한 지반정수 분석> - 토질시험 · 전단시험(점착력, 점두마찰각, 잔류마찰각), 표준관입시험 - 암석시험 · 일축압축강도 (코어시료 획득 불가시 점하중시험으로 환산) · 절리면 직접전단시험(점착력, 내부마찰각) · 물성시험 : 단위중량, 탄성계수, 포아송 비	- 토질/암석물성시험

【해설】

- 정밀점검은 정기점검보다 정밀한 육안검사와 측정기구를 통해 절토사면의 불연속면, 암중, 상부자연사면 등의 사면 상태와 붕괴이력, 사면시설 현황 등을 정확히 조사한다.
필요시 선택과업(추가비용을 필요로 하는 과업)으로 안정해석(지반정수 산정을 위한 토질 및 암석물성시험 포함)을 통한 안전성 평가를 실시할 수 있다.
- 절토사면의 정밀점검은 기본과업과 선택과업으로 구분하여 실시하며 정밀점검의 과업 구분은 [해설 표 12.2.1]과 같으며, 정밀점검 흐름도는 [해설 그림 12.2.1]과 같다.

[해설 표 12.2.1] 정밀점검 과업 내용

과업항목	기본과업	선택과업 (필요시)
자료수집 및 분석	• 준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리·수문계산서 • 시공·보수·보강도면, 제작 및 작업도면 • 재료증명서, 품질시험기록, 재하시험 자료, 계측자료 • 시설물관리대장 • 기존 안전점검·정밀안전진단 실시결과 검토·분석 - 구조물의 경시변화 확인 - 점검방향 및 선택과업 항목의 결정 • 보수·보강이력 검토·분석	• 구조·수리·수문 계산 (계산서가 없는 경우) • 실측도면 작성 (도면이 없는 경우)
현장조사 및 시험	• 기본시설물 또는 주요부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등 - 지반상태 변화 : 파괴징후, 파괴현황, 지반 상태, 사면 형상 등 • 간단한 현장 시험 등 - 암반 비파괴강도(반발경도시험) - 토양경도 측정	• 전체부재에 대한 외관조사망도 작성 • 시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등 • 지반조사 - 토질시험 - 암석시험 • 시추조사 - 절리방향성 분석 - 지하수위측정 • 물리탐사 • 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성 평가 등에 필요한 조사·시험
상태평가	• 외관조사 결과분석 • 현장시험 결과 분석 • 대상 시설물(부재)에 대한 상태평가 • 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 책임 기술자의 소견 (안전등급 지정)	-
안전성 평가	-	• 필요한 부위의 구조·지반·수리·수문 해석 등 안전성평가 • 임시 고정하중에 대한 안전성평가
보수·보강 방법	-	• 보수·보강 방법 제시
보고서 작성	• CAD 도면 작성 등 보고서 작성	-



[해설 그림 12.2.1] 정밀점검 흐름도

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 획득해야한다.

정밀안전진단 시의 사전조사는 [표 12.4]에 의하고, 정밀안전진단 항목 및 방법은 [표 12.5]에 준하여 실시하며, 이외의 추가되는 조사 항목은 관리주체와 협의하여 조사한다.

[표 12.4] 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 12.5] 절토사면의 일반적인 정밀안전진단 항목 및 방법

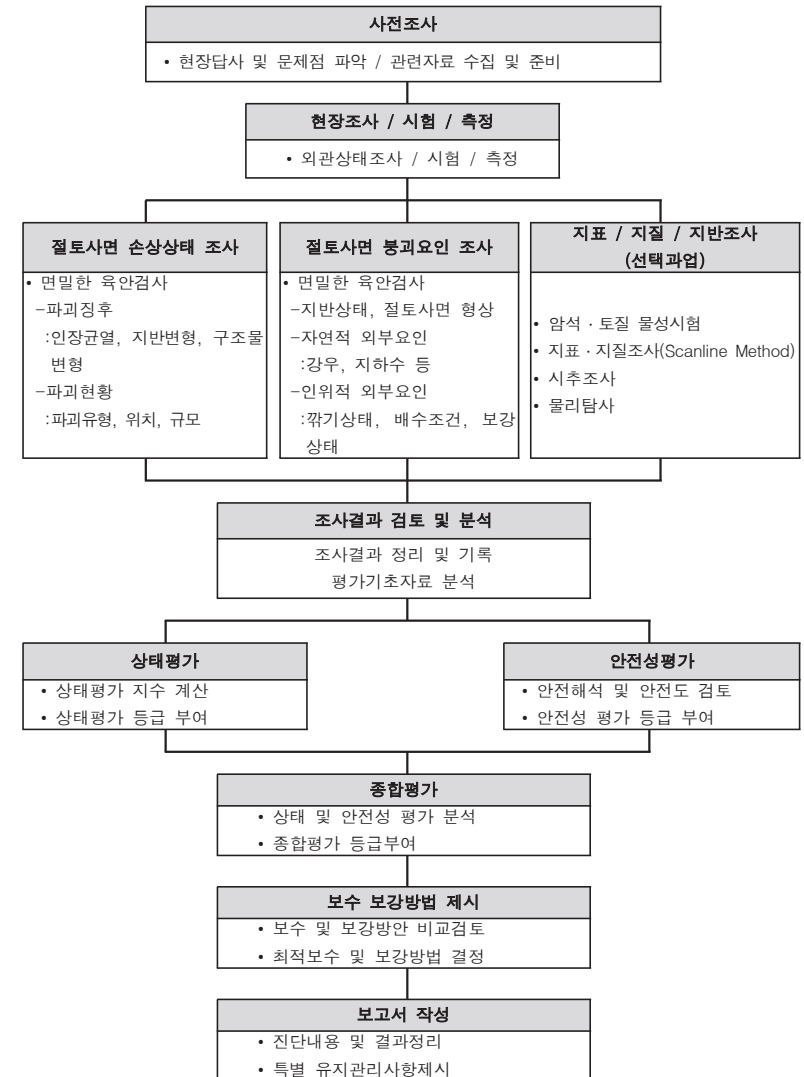
점검부위	진 단 항 목	검사장비/방법
사면손상 상태조사	○ 파괴 징후 조사 - 인장균열 : 유/무, 폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부 - 지반변형 : 유/무, 변형범위, 변형방향, 최대 변위량 - 구조물변형 : 유/무, 구조물 유형/규모, 변형범위, 변형방향, 최대 변위량	줄자, 클리노컴퍼스, 균열측정기, 육안조사 등
	○ 파괴 현황 조사 - 파괴 유형 - 파괴부위의 위치 - 파괴 발생 규모 : 폭, 길이, 깊이, 높이	거리측정기, 카메라, 줄자, 클리노컴퍼스, 육안조사 등
사면파괴 요인조사	○ 지반상태 - 토질 및 지반조건, 토층 두께 - 대표적인 절리의 특성 (주향/경사, 절리상태) : 길이, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도	거리측정기, 클리노컴퍼스, 줄자, 프로파일게이지, 지질해머, 육안조사 등
	○ 사면형상 - 사면경사, 집수지형	클리노컴퍼스, 육안조사 등
	○ 자연적 외부요인 - 강우량 (시간당 강우량, 1일 강우량, 누적강우량) - 지하수위	강우자료 참조, 시추조사, 육안조사 등
	○ 인위적 외부요인 - 표면보호공 상태 - 절취 상태 - 사면 보강공 상태 - 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, 액터버그 한계, 비중, 입도시험) 등 ○ 지표, 지질조사 - 지질구조대(단층, 습곡, 파쇄대) 조사 - 선조사법(또는 창조사법)을 이용한 절리특성 자료획득 ○ 물리탐사 (법면의 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

【해설】

- 정밀안전진단은 정밀한 육안조사와 시험·측정장비 및 기기를 사용하여 절토사면의 물리적·기능적 결함을 발견하고 그에 대한 신속하고 적절한 조치를 하기 위하여 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 검토·분석·평가하고, 보수·보강방법을 제시한다.
- 절토사면의 정밀안전진단의 과업 구분은 [해설 표 12.2.2]와 같으며, 정밀안전진단의 흐름도는 [해설 그림 12.2.2]와 같다.

[해설 표 12.2.2] 정밀안전진단 과업 내용

과업항목	기본과업	선택과업 (필요시)
자료수집 및 분석	- 준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리·수문계산서 - 시공·보수도면, 제작 및 작업도면 - 재료증명서, 품질시험기록, 재하시험 자료, 계측자료 - 시설물관리대장 - 기존 안전점검·정밀안전진단 실시결과 검토·분석 - 구조물의 경시변화 확인 - 점검방향 및 선택과업 항목의 결정 - 보수·보강이력 검토·분석	- 구조·수리·수문 계산 (계산서가 없는 경우) - 실측도면 작성 (도면이 없는 경우)
현장조사 및 시험	- 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 - 콘크리트 구조물: 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등 - 지반상태 변화 : 파괴징후, 파괴현황, 지반상태, 사면형상 등 - 자연적 외부요인 - 강우, 지하수 등 - 인위적 외부요인 - 절취상태, 배수조건, 보강상태 등 - 현장조사 - 슈미트해머 반발계수 - 토양경도계 - 지표, 지질 지반조사 - 토사사면 - 암반사면 - 시추조사 - 물리탐사	- 시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해제 등 - 조사용 접근장비 운용 - 계측시설의 성능검사 또는 시험계측 - 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성평가 등에 필요한 조사·시험
상태평가	- 외관조사 결과분석 - 현장시험 및 재료시험 결과분석 - 지반구성물질 특성 평가 - 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 소견	-
안전성평가	- 조사, 시험, 측정결과의 분석 - 기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토·분석 - 지반 안전성평가 - 시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견	- 구조안전성 평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문 - 내진성능 평가 및 사용성 평가 - 임시 고정하중에 대한 안전성평가
종합평가	- 시설물의 종합평가 결과에 대한 소견 - 안전등급 지정	-
보수·보강 방법	보수·보강 방법 제시	- 내진보강 방안 제시 - 시설물 유지관리 방안 제시
보고서작성	CAD 도면 작성 등 보고서 작성	-



[해설 그림 12.2.2] 정밀안전진단 흐름도

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 안전 점검을 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.

【해설】

1. 본 장에서 제시된 현장조사 및 재료시험의 항목은 기본과업과 선택과업으로 구분할 수 있으며, 선택과업인 경우 기본대가 외에 추가대가 산정을 통하여 실시한다.
2. 암반사면이란 사면의 주요구성물질이 암반으로 구성된 사면을 지칭하며 주로 불연속면에 의한 거동지배를 우세하게 받는 사면으로 대표적인 붕괴유형으로는 낙석, 썰기파괴, 평면파괴 등이 있으며 지반구성재료의 취성적인 거동으로 인해 붕괴의 사전인지하기가 매우 힘들다.



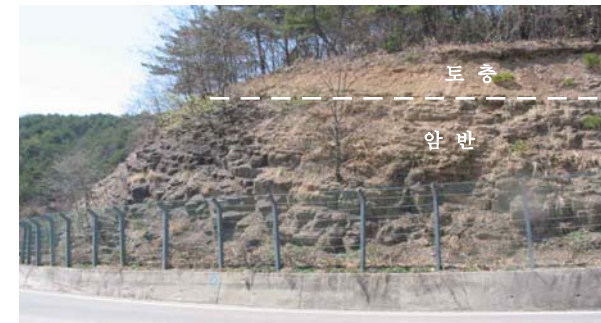
【해설 사진 12.2.1】 암반절토사면

3. 토사사면이란 사면의 주요구성물질이 토사로 이루어져 토사지반의 거동을 보이는 사면을 지칭하며, 지반포화시와 불포화시의 단위중량 변화량이 암반사면에 비해 큰 특징을 가진다. 대표적인 붕괴유형으로는 세굴, 유실, 표층붕괴, 활동파괴 등이 있으며, 연성거동으로 인해 사전붕괴인지에는 가장 유리하다.



【해설 사진 12.2.2】 토사절토사면

4. 혼합사면은 투수율이 낮은 암반층과 토사지반이 상하로 구성되어 있는 것을 말한다. 최근의 연구결과에 따르면 집중강우시 상부의 토층이 쉽게 붕괴되는 약점을 가지고 있어 대규모 붕괴사면에서 혼합사면이 차지하는 분포비율은 상대적으로 높은 것으로 알려져 있다. 강우시 지하수의 흐름은 불투수층인 암반층과 투수층인 토사층의 경계인 토층심도선을 따라 흐르게 되고 토층심도선을 따라 지하수의 이동이 활발해지면서 토사유실과 마찰저항 저하로 잠재적인 파괴면을 형성하게 되며 집중강우시 활동력증가로 붕괴되는 특징을 가지고 있다. 혼합사면은 토사사면의 붕괴양상과 암반사면의 붕괴양상을 모두 가지므로 안정해석시 암반붕괴에 대한 안정해석과 토사붕괴에 대한 안정해석을 모두 실시해야 한다.



【해설 사진 12.2.3】 혼합사면

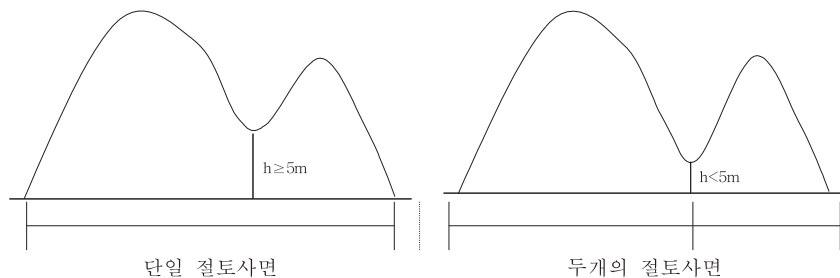
2) 조사영역 및 사면의 분할

사면의 분할은 현장조사에서 최초로 실시하는 작업으로 정밀점검이나 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.

- 사면 분할은 사면을 바라보며 우측을 시점, 좌측을 종점으로 하되, 사면의 수직고가 5m 이하로 낮아지는 지점에서 분할한다.
- 상태평가 및 안전성평가를 위한 구간분할의 경우, 동일사면 내에서 다음의 경우에 구간분할을 실시한다.
 - (1) 사면의 구성재료(토사, 연약암반, 파쇄암반, 절리암반)가 변화할 경우
 - (2) 사면의 경사가 10° 이상으로 변할 경우
 - (3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
 - (4) 사면의 경사방향이 40° 이상 변화할 경우
 - (5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

【해설】

1. 사면은 일반적으로 사중점부의 계곡부를 기준으로 연속된 동일 절토부로 구성되어 있을 때 단일 절토사면으로 본다. 단, [해설 그림 12.2.3]와 같이 절토부내 계곡부가 위치하는 경우 절토된 계곡부 높이가 5m이하 일때는 계곡부를 기준으로 절토사면을 구분하여 분할한다. 또한, 절토사면 시중점부 범위는 준공도면상의 절토구간을 기준으로 한다.



【해설 그림 12.2.3】 절토사면의 분할구분

3) 사면 손상상태 조사

(가) 파괴정후

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 안전을 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 기준에 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.

【해설】

1. 인장균열

붕괴활동면이 발생된 사면이 연성적으로 거동할 때 인장균열이 관찰된다. 인장균열은 일반적으로 상부자연사면에서 관찰되고 붕괴부 이동방향에 수직으로 발달하는 것이 특징이며, 사면내에서도 인장균열이 나타나기도 한다.

또한 인장균열은 붕괴 원인의 단서를 제공하므로 균열이 발생한 부위는 상세한 조사를 실시해야 한다. 즉, 단층이나 습곡의 존재 여부, 암종이나 풍화 지반의 분포, 엽리나 기타 불연속면의 분포, 차별풍화 여부 등을 조사해야 하며, 균열의 규모, 위치나 깊이 방향 등의 조사 자료를 토대로 개략적인 붕괴규모나 양상을 예측한다.



[해설 사진 12.2.4] 상부자연사면 내 인장균열



[해설 사진 12.2.5] 사면 내 인장균열

2. 지반변형

깎기부나 상부자연사면에서 활동면 상단의 균열부에 나타나는 지반의 고저차를 단차라 한다. 깎기부에서 활동면 하단의 변형으로 지반이 전방으로 밀리는 현상을 배부름이라 하며, 사면 선단부위나 도로에서 발견되는 활동면 하단의 변형으로 부풀은 현상을 융기라 한다. 지속적인 지반변위나 변형으로 낙석형 전도나 낙석이 특정부위에서 계속 발생하는 경우는 붕괴의 전조현상으로 의심할 수 있으며, 필요시 임시조치와 관련전문가의 자문을 통해 대책을 검토할 수 있다.



[해설 사진 12.2.6] 단차



[해설 사진 12.2.7] 배부름



[해설 사진 12.2.8] 도로 융기

3. 구조물변형

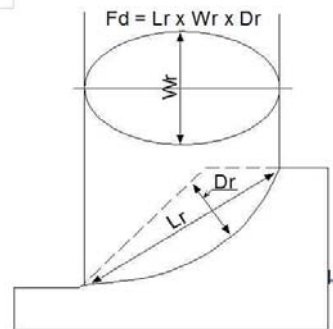
일반적으로 자연지반은 큰 변형이나 변위가 발생하기 전까지 인지하기 어렵다. 인공구조물의 경우 시공 당시의 모양이나 위치가 변형되면 사면의 움직임에 대한 인지가 가능하다. 따라서, 옹벽, 배수구, 점검로 등 사면 시설과 사면 내에 위치한 전신주 등을 관찰하여 붕괴 징후를 예측할 수 있다. 사면에 시공한 콘크리트 뿔어붙이기나 식생녹화, 계단식(화단)옹벽, 돌망대 옹벽, 철재 점검로가 설치되어 있는 경우 이들의 변형이나 변형이 사면의 거동을 개략적으로 지시하는 간이계측기 역할을 하므로 점검시 주의 깊은 관찰이 요망된다.



[해설 사진 12.2.9] 보호, 보강시설의 변형

4. 파괴현황

파괴규모는 [해설 그림 12.2.4]와 같이 파괴면(surface of rupture)의 폭(Wr), 길이(Lr), 깊이(Dr)의 곱으로 정의된다.(IAEG 산사태 위원회, 1990)



[해설 그림 12.2.4] 파괴규모의 정의

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 정밀점검 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 사면내의 토층 두께를 측정하여야 한다.

토층의 두께는 정밀점검 단계에서는 육안관찰을 통해, 정밀안전진단 단계에서는 측량, 비파괴 물리탐사 및 자료조사 등을 통하여 파악한다. 토층두께는 대상사면 내 토층이 가장 두꺼운 지점의 두께로 적용한다.

토층심도율(SR) 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 20~5MPa, 5~1MPa, 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

암반의 풍화상태는 [표 12.6]과 같이 ISRM이 제시한 6단계의 풍화등급에 따라 기록한다.

[표 12.6] 풍화등급의 6단계 분류법

풍화등급	설 명	공학적 특성
신선암 (F)	암석의 풍화 흔적을 볼 수 없다. 주 불연속면 표면에 경미한 변색이 있을 수 있다.	· 발파로 굴착가능 · 모든 구조물 기초로 적합
약한풍화 (SW)	불연속면의 표면과 암석의 변색 상태가 풍화 지표가 된다. 불연속면이 얼룩져 있거나 변색되어 있고, 외부적으로는 신선한 상태보다 약한 상태이다.	· 발파로 굴착가능 · 대규모의 댐을 제외한 모든 구조물 기초로 적합
보통풍화 (MW)	조암광물의 절반 이하가 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 · 토질 시험 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.

○ 정밀점검

- － 육안관찰에 의한 대표적인 방향에 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, 횡수는 절개면의 연장에 따라 조정될 수 있다.

선조사법과 조사창측정법은 불연속면의 통계분석을 위하여 설정된 측선이나 구획내에 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 클리노콤파스나, 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

- 정밀점검

전문가의 판단에 따라 절토사면에서 관찰되는 불연속면군을 육안으로 판단하여 대표적인 방향성이라고 판단되는 방향을 각 불연속면군당 2~3개씩 측정하여 기록한다.

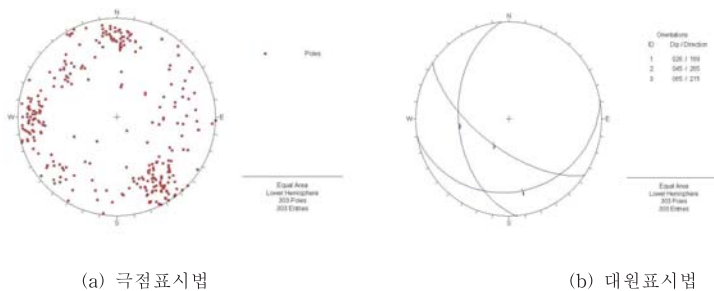
- 정밀안전진단

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 적절한 수준이다.

- 결과분석

측정된 불연속면은 평사투영법을 이용하여 도시하며, 목적에 따라 대원표시법이나, 극점표시법으로 나타낸다.([그림 12.1] 참조)



[그림 12.1] 불연속면의 표시방법

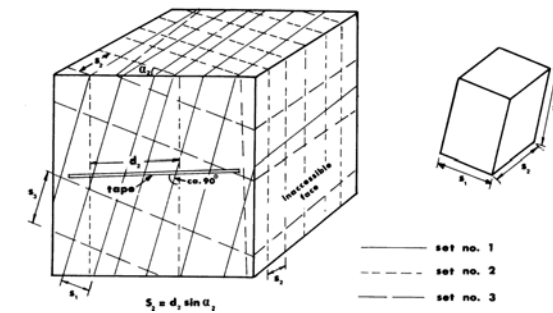
㉡ 간격

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 12.2] 참조)

$$S = d_m \sin \alpha$$



[그림 12.2] 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 12.7]과 같이 나타낸다.

[표 12.7] 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

㉔ 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 12.8]과 같다.

[표 12.8] 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

㉕ 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 12.9]와 같이 기재한다.

[표 12.9] 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.

㉖ 틈새(간극)

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.

- 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 12.10]과 같이 분류한다.

[표 12.10] 틈새(간극) 분류 기준

구 분	간극 폭
밀착됨 (tight)	간극을 쥔 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

㉗ 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), 단층갈력(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 12.11]과 같이 분류하여 기록한다.

[표 12.11] 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 12.12]에 따른다.

[표 12.12] 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 썰기형 또는 다면체의 형태를 보인다.

- 조사 방법 및 수량

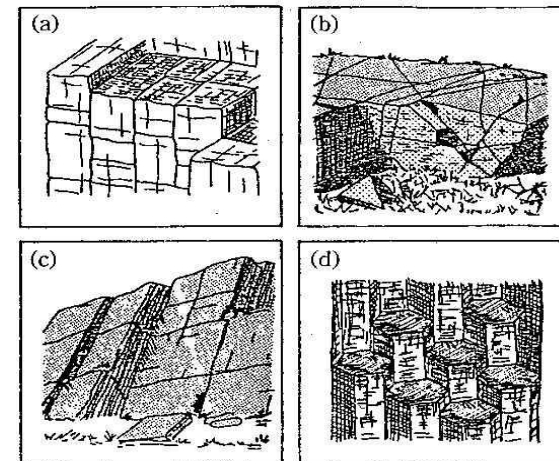
육안조사로 사면을 구성하고 있는 암반의 개략적인 블록 형상을 기록한다.

- 결과 분석

블록의 형상은 [표 12.13]에 따라 분류하여 기재한다.([그림 12.3] 참조)

[표 12.13] 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 12.3] 암반 블록의 형상

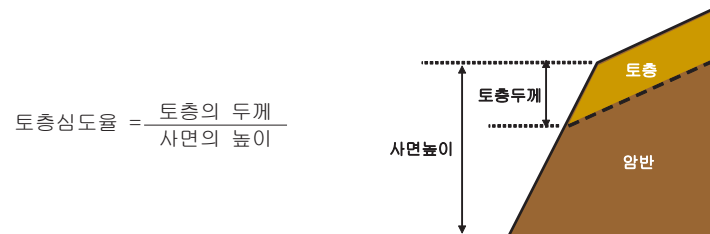
【해설】

1. 토질조건

【해설 표 12.2.3】 흙의 상태에 따른 토질 분류

흙의 상태		N 치	$\phi(^{\circ})$	현 장 관 찰
사 질 토	매우조밀	> 50	> 41	발파 또는 중장비에 의해서만 자국을 낼 수 있다.
	조밀	30 ~ 50	36 ~ 41	손의 힘으로 삼을 이용하여 자국을 낼 수 있다.
	보통	10 ~ 30	30 ~ 36	힘을 주어서 삼질을 할 수 있다.
	느슨	4 ~ 10	28.5 ~ 30	쉽게 삼질할 수 있다.
	매우느슨	0 ~ 4	< 28.5	엄지손가락 또는 주먹으로 쉽게 자국을 낼 수 있다.
점 성 토	매우단단	> 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.
	매우연약	0 ~ 2	< 1.25	주먹이 쉽게 10cm 정도 들어간다.

2. 토층심도율



【해설 그림 12.2.5】 토층심도율의 정의

3. 지반강도 특성

현장에서의 지반강도 측정을 목적으로 가장 일반적으로 사용되는 슈미트헤머 반발 경도시험은 한 지점에서 20회 이상 타격하여 상위 50% 값의 평균치를 대표값으로 결정하며, 슈미트헤머 반발값과 일축압축강도간의 상관표를 이용하여 일축압축강도 추정한다. 조사구간에 지반상태가 서로 다른 분포를 보일 경우 지반상태를 대표할 수 있는 지점마다 반발시험을 실시한다. 이때 사용되는 슈미트헤머는 콘크리트용 헤머(N-type)가 아닌 암석용 헤머(L-type)를 사용하여야 하며, 지질헤머 등을 이용하여 이완되지 않은 암반을 타격지점으로 선택하여 암반과 타격방향이 수직되도록 하여야 한다.

4. 풍화

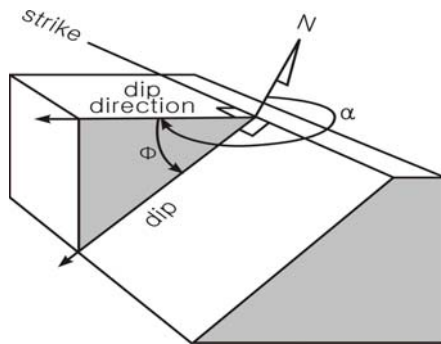
【해설 표 12.2.4】 풍화등급의 6단계 분류법

풍화등급	특징	사진
신선 (F)	- 해머 타격시 높은 쇠소리가 들림 - 균열 없음 - 석재로 사용될 수 있을 정도로 신선함	
약간풍화 (SW)	- 해머 타격시 쇠소리가 들림 - 미세균열이나 절리 관찰가능 - 약간의 착색흔적	
보통풍화 (MW)	- 해머 타격시 약간 무거운 쇠소리가 들리며 여러번의 타격으로 부서짐 - 절리나 균열 발달 - 구성광물의 변색 및 착색흔적	
심한풍화 (HW)	- 해머 타격시 둔탁한 소리가 들림 - 손으로 부서지며 거칠거칠한 광물 알갱이들이 관찰됨 - 완전 변색, 심한 착색	
완전풍화 (CW)	- 손가락으로도 쉽게 흙으로 부서짐 - 암조각의 흔적이 관찰되며 흙을 다져놓은 정도의 강도를 가짐	
풍화잔류토 (RS)	- 암이 흙으로 완전히 풍화됨 - 원암보다 부피가 팽창되고 구성입자의 약간의 이동이 있음	

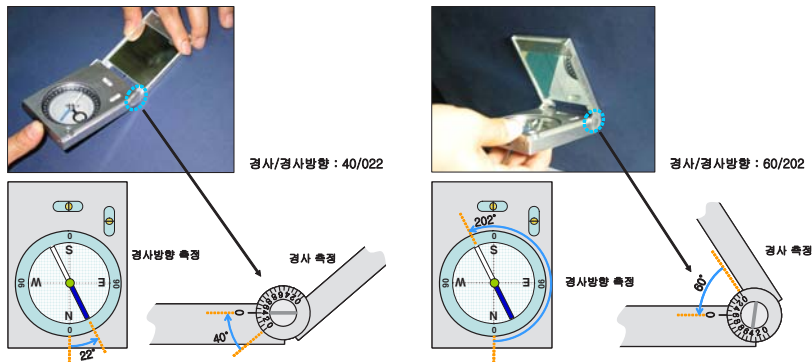
5. 불연속면 특성 조사

불연속면의 방향성을 표시하는데 있어 최근 가장 많이 사용되는 방법은 ‘경사/경사방향’ 표시법이다. 이 표시법에서 경사(dip)는 수평면으로부터 측정된 경사면의 최대 경사각을 말하며 [해설 그림 12.2.6]의 ϕ 각이다.

경사방향(dip direction)은 진북으로부터 시계방향으로 측정된 경사의 방향으로 [해설 그림 12.2.6]의 α 각이다. 주향은(strike)은 수평기준면과 경사면의 교선의 궤적으로서 경사와 경사방향에 직각이다.



[해설 그림 12.2.6] 경사, 경사방향, 주향에 대한 정의



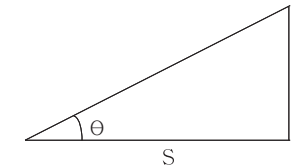
[해설 그림 12.2.7] 클리노컴파스를 이용한 불연속면 방향성 측정방법

(나) 사면형상

① 사면경사

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

[그림 12.4]은 사면경사, 사면경사각, 경사율(%)에 대한 개념이다.

[그림 12.4] 사면경사(1:S), 사면경사각($^{\circ}$), 경사율(%)

여기서, $S(1:S)$ = 사면경사, θ = 사면경사각($^{\circ}$), 경사율 = $(1/S) \times 100\%$ 이다.

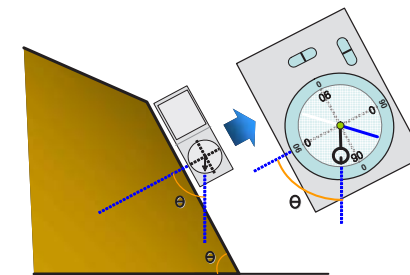
② 집수지형

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.

【해설】

1. 사면의 경사는 정밀점검 시에는 <해설 그림 12.2.8>와 같이 클리노컴파스를 이용하여 약식으로 측정하여도 무방하나 정밀안전진단 시에는 측량을 통하여 정확히 측정한다.



[해설 그림 12.2.8] 클리노컴파스를 이용한 사면의 경사 측정

(다) 자연적 외부요인 (강우 및 지하수 조건)

강우에 대한 항목은 해당지역의 과거 최대 강우강도를 2일 누적강우량, 시우량, 1일강우량 등의 형식으로 구분하여 획득하며, 지하수 조건은 시추조사 시 지하수위를 함께 조사하거나 물리탐사를 이용한다.

암반사면의 경우 절리틈으로부터 흘러나오는 지하수로부터 추정할 수 있다.

(라) 인위적 외부요인

① 표면보호

표면보호공은 슛크리트공, 격자블럭공, 돌붙임공 및 식생공(폐불임공법, 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, 슛크리트공, 낙석방지공, 옹벽 등)이 그 역할을 충분히 발휘하는지 조사하여 판단할 필요가 있다.

적용공법에 따라 다소의 차이는 있지만 시설의 결함, 노후화 및 기타사항을 조사하여 평가기준에 적용한다.

③ 배수조건

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

또한 용수는 사면의 불안정성을 증대시키는 역할을 할 수 있다. 용수를 적게 하는 방법으로는 사면언캐배수공, 소단배수공, 집수정이나 보링을 통한 집수를 배수처리 하는 방법 등이 있으며, 용수를 처리하는 방법은 도랑굴착, 호스, 집수매트, 돌담대(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.

【해설】

1. 실내시험은 흙으로 분류된 지반에서 획득한 교란 또는 불교란 시료를 대상으로 실시하며, 흙의 분류, 다짐특성, 역학특성 및 투수특성 등을 구하기 위한 시험이다. 원칙적으로 시험방법은 한국산업규격(KS F)을 따라 수행하지만, 한국산업규격에 제시되어 있지 않은 시험방법은 미국표준시험(ASTM), 국제표준기구(ISO) 등의 시험방법을 준용하여 적용할 수 있다.

【해설 표 12.2.5】 일반적인 토질실내시험 방법

시험구분	시험명	표준시험방법
물리특성	밀도시험	KS F 2308 밀도시험
	액성한계시험	KS F 2303 액성소성한계시험
	소성한계시험	KS F 2303 액성소성한계시험
	함수량시험	KS F 2306 자연함수비
	입도분포시험	KS F 2302 입도분포시험
역학특성	다짐시험	KS F 2312 다짐시험
	전단강도시험	KS F 2314 일축압축시험(PI>30점성토)
		KS F 2346 압밀배수시험(CD)
		비압밀비배수시험(UU),
		ASTM D 2850
투수특성	실내CBR시험	KS F 2343 직접전단시험
	투수시험	KS F 2320 실내CBR시험
		KS F 2322 투수시험

(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 전단 시험 결과는 암반 분류 및 안정해석에서 주로 이용된다.

② 시험방법

㉠ 일축압축강도시험(Uniaxial Compressive Strength Test)

- 현장에서 획득한 암편을 원주모양으로 성형하거나 시추코어시료에 대하여 축 방향으로 압축력을 가하여 강도를 측정하는 시험이다.
- 시료 성형시 일반적으로 NX(50~54mm) 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 파괴시의 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,

$$D_e =$$

- 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_s 를 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.

㉠ 정밀점검

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

㉔ 정밀안전진단

비교적 균일한 특성을 나타내는 3개 이상의 시험편에 대해 실험실에서 일축 압축강도 시험을 실시하여 강도 값을 직접 구한다.

또한 1개 이상의 시료에 대하여 수직응력을 달리하여 5회 이상의 전단시험을 실시한 후 불연속면의 마찰각을 구한다.

④ 결과 분석

㉑ 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.

㉒ 점하중 시험법 결과분석

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

$$S_c \approx 24 \cdot I_s(50) \quad (\text{NX 시추코어를 이용한 실험일 경우})$$

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

㉓ 슈미트해머 반발경도 시험 결과분석

슈미트해머를 이용하여 강도를 추정할 경우, [표 12.14]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.

슈미트해머 반발값(대표값)을 이용하여 암석의 일축압축강도를 추정할 경우, 아래 식을 이용한다.

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

(r : 반발값, γ : 암석의 밀도(kN/m^3))

[표 12.14] 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

㉔ 불연속면 전단시험 결과분석

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

【해설】

1. 암석에 대한 실내시험은 사면을 구성하는 암석 및 암반의 물리적, 역학적 특성을 확인하기 위하여 수행한다. 암석 및 암반시험은 한국산업규격(KS F)을 따라서 수행하지만, 한국산업규격에 제시되어 있지 않은 시험은 한국암반공학회(KSRM) 암석표준시험법, 국제암반학회(ISRM) 제안시험법을 준용하여 실시할 수 있다.

【해설 표 12.2.6】 암석의 실내시험 방법

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 전단시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 5067
	슬레이킹시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 4644
	스웰링시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법
	점하중강도시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 5731
	탄성계수시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 7012

6) 계측계획과 방법

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

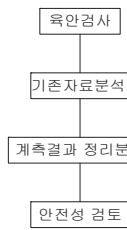
계측을 실시한 경우에는 시설물 계측지점을 표시 보존함으로써 연계성 있는 계측을 할 수 있도록 도면과 계측지점을 일치시켜 기록 보존한다. 특히, 붕괴경후가 관찰되는 등 안전성에 심각한 문제를 야기할 수 있는 시설물에 대해서는 정기적인 계측결과를 검토 분석함으로써 지속적인 유지관리가 반드시 이루어져야 한다.

정밀안전진단 결과 계측이 필요한 것으로 판단되는 절토사면에 대하여서는 [표 12.15]와 같이 계측하고자 하는 항목과 내용에 따라 적절한 계측기를 설치하여야 한다. [그림 12.5]은 정밀안전진단 시 계측의 필요성을 판단하는 흐름도이다.

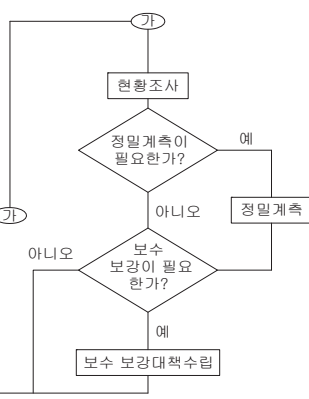
[표 12.15] 진단항목별 계측내용

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	

<정밀점검>



<정밀안전진단>



[그림 12.5] 계측자료 활용의 흐름도

【해설】

1. 절토사면의 계측항목은 계측의 목적, 사면의 변상상황, 붕괴형태, 현장조건 등을 충분히 검토한 다음에 적절히 결정할 필요가 있다. 또 계측기기는 필요로 하는 데이터의 정밀도, 계측기기의 특성, 현지조건 등을 고려하여 계측항목에 따라 적절한 것을 선정하는 것이 중요하다. 일반적인 절토사면의 붕괴형태와 계측기기의 적합성 관계는 다음과 같다.

[해설 표 12.2.7] 붕괴 형태와 계측기기의 적합성

계측기기명 및 계측방법	사면의 붕괴형태 등 주요한 계측대상항목	응 력 개 방 현 상	붕 락 현 상	평 면 활 동 붕 괴	배 기 변 형 붕 괴	원 호 활 동 붕 괴	복 합 활 동 붕 괴	전 도 붕 괴	백 링 붕 괴
지표면신축계	인장부 부근의 머리부 변위량			○	○	◎	◎	○	
지반경사계	활동머리부, 중간부, 말단부의 표면경사량					◎	◎	△	
광파측거법	지표면 변위량(수평, 수직성분)	○		△	△	△	○	△	△
소폭판측량	"			△	△	△	△	△	
파이프변형계	활동면위치의 검출과 변형누적경향			△	△	△	△		
삼입식지중경사계	활동면위치의 검출과 암괴이동량			○	○	○	◎	△	
고정식 지중경사계	"			△	△	△	○		
지중신축계	"			△	△	△	○	△	
다단식 지중신축계	"			△	△	△	○	△	
지중변위계	지중 변위량(수평, 수직성분)	○		○	○	○	○	△	△
검지선식 낙석감지기	낙석의 감지		◎						
전도스위치	지반, 암괴의 경사량(전도, 회전)							△	
GPS 측량	지표면 변위량(수평, 수직성분)							△	
지하수위계	지하수 동태 관측과 사면 안정도의 검토	○		○	○	○	○		
간극수압계	사면 부근의 간극수압 측정			△	△	△	△		
우설량계	우량데이터 수집(사면안정과 강우의 관계)	○	○	○	○	◎	◎	○	○
적설량계	강설데이터 수집(사면안정과 적설의 관계)	△					△		
유량계	지하수 배제 효과의 확인						○		

(기호설명) ◎ : 가장 적합한 것, ○ : 약간 적합한 것, △ : 적합한 케이스와 적합하지 않은 케이스가 있는 것(시행·연구 단계의 것), 무기입 : 적합하지 않은 것으로 생각되는 것.

2. 계측기기의 배치(설치 또는 배치밀도)는 계측기기의 선정과 동시에 중요한 검토사항이다. 절토사면의 붕괴나 활동 등의 블록분포상황, 위험상황, 계측기기의 특성, 현지조건 등을 고려하여 사면의 거동을 효율적으로 파악할 수 있는 위치에 적절히 배치해야 한다. 일반적인 절토사면의 대표적인 붕괴 형태와 계측기기의 선정 및 배치와 관련한 내용에 대하여 [해설표 12.2.8]에 정리하여 기술하였다.

[해설 표 12.2.8] 사면의 붕괴 형태와 계측기기의 배치 예

붕괴 형태	대상 지질	계측항목	계측기기 및 방법	계측상의 문제점	비고
평면 활동 붕괴	연암, 경암	①지표변위량 (수평, 수직성분) ②지중변위량 (활동면의 확인)	①지표면신축계 이동말촉측량 소목판측량 ②지중경사계 지중신축계 파이프변형계	활동면 위치나 머리부 텐션 크랙의 위치 예측이 사전에는 어렵고, 절취후의 거동 계측밖에 안되나, 사면의 지질구조 조사나 절취 후의 절취사면 상세 관찰을 실시하는 것이 중요하다.	필요하면 우설량계와 지하수위 관측을 실시한다.
쐼기 활동 붕괴	연암, 경암	①지표변위량 (수평, 수직성분) ②지중변위량 (활동면의 확인)	①지표면신축계 이동말촉측량 소목판측량 ②지중경사계 지중신축계 파이프변형계	활동 블록의 사전 결정이 어렵고, 계측 위치의 결정이 곤란하나, 사면의 지질 구조 조사나 절취 후의 절취사면 상세 관찰을 충분히 실시하는 것이 중요하다.	필요하면 우설량계와 지하수위 관측을 실시한다. 파괴형태로서는 많다.
원호 활동 붕괴	토사, 연암, 경암	①지표변위량 (수평, 수직성분) ②지중변위량 (활동면의 확인)	①지표면신축계 이동말촉측량 지반경사계 ②지중경사계 지중신축계 파이프변형계	활동 블록의 사전 결정이 어렵고, 계측 위치의 결정이 곤란하나, 사면의 지질 구조 조사나 절취 후의 절취사면 상세 관찰을 충분히 실시하는 것이 중요하다.	필요하면 우설량계와 지하수위 관측을 실시한다.
복합 활동 붕괴	토사, 연암, 경암, 암반 영사태 풍화암 활동	①지표변위량 (수평, 수직성분) ②지중변위량 (활동면의 확인)	①지표면신축계 이동말촉측량 지반경사계 ②지중경사계 지중신축계 파이프변형계	사전 조사 결과에서 지질 구조를 검토하고 이동 블록의 범위를 예정하여 계측을 실시할 필요가 있다. 소위 지활동 타입의 형태로 초생형의 경우에는 지형상에서의 예측은 곤란하다.	필요하면 우설량계와 지하수위 관측을 실시한다.
전도 붕괴	연암, 경암	①지표변위량 (수평, 수직성분, 경사량) ②지중변위량 (활동면의 확인, 수평변위량)	①지표면신축계 광파측거법 ②지중경사계 지중변위계	전도와 낙석-붕락의 구별이 의외로 어렵고, 충분한 지질조사를 실시하여 지질 구조를 파악할 필요가 있다. 계측 데이터에서 사면의 안정 평가와 결부시키는 것이 어렵다.	
응력 개방에 의한 변상	토사, 연암, 경암	①지표면변위량 ②지중변위량	①광파측거법 ②지중수직변위계 지중경사계 파이프변형계	응력개방에 따른 지반 팽창(변상)인가 활동이나 붕괴에 의한 변상인가의 구별이 어렵다. 응력개방에 의한 변상이 발생된 경우가 경향이 사면의 안정성에 어떻게 관련되는가 또는 주변에 대한 안정성의 평가가 어렵다.	열수변질을 받은 바위로 점토광물을 함유하는 경우, 발생하는 경우가 많다.
붕락 현상	연암, 경암	①낙석표면변위량 ②낙석감지기 ③대척공계측 숏크리트응력계	①광파측거법 ②낙석감지기 ③흑볼트측력계 숏크리트응력계	전조 현상이 생긴 다음 붕락이 발생될 때까지의 시간이 짧다. 계측보다도 붕락 대책이 우선되는 경우가 많은 편이며, 대책공의 거동 계측이 급후 필요하다고 생각된다.	낙석감지기는 사후 감지이며, 예측되지 않는다.

12.3 재료시험 기준수량

토사사면에 대한 현장조사·재료시험 내용 및 기준수량은 [표 12.16]에, 암반사면에 대한 현장조사·재료시험 내용 및 기준수량은 [표 12.17]에 요약하여 기술하였다.

[표 12.16] 토사사면 현장조사·재료시험 항목 및 수량

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

주1) 제1장 교량 1.3.1절 참조

[표 12.17] 암반사면 현장조사·재료시험 항목 및 수량

항목	조사부위	조사항목	최소 수량	조사방법
일축압축시험	구간	일축압축강도	- 정밀점검시 생략가능 - 정밀안전진단시 3회	시료채취
점하중시험	구간	점하중강도	정밀점검시 생략가능	현장조사/ 시료채취
슈미트 해머 반발경도시험	구간	반발치		현장조사
절리면 전단시험	구간	전단강도, 마찰각	- 정밀점검시 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

【해설】

1. 재료시험 조사항목은 상태평가 및 안전성평가를 위한 최소한의 시험항목이며, 책임기술자의 판단에 따라 추가 항목이 필요한 경우에는 관리주체와 협의하여 추가할 수 있다.
2. 재료시험 기준수량도 과업을 위한 최소 수량을 말하며, 책임기술자의 판단에 따라 추가적인 시험의 개소수가 필요한 경우에는 관리 주체와 협의하여 시험수량을 달리할 수 있다.

12.4 상태평가 기준 및 방법

12.4.1 상태평가 기준

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 (12.1)과 같이 토층 심도와 사면 높이의 비로 정의된다.

토층심도는 토층의 두께로서 충적층 또는 풍화등급상 잔류토(residual soil)와 완전풍화암 (completely weathered rock)을 대상으로 측정한다.

$$SR = \frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}} \quad (12.1)$$

암반의 블록크기 비(block size ratio: BR)는 식 (12.2)와 같이 블록크기 지수(block size index, Ib)와 사면높이(H)의 비를 말하며, 블록크기 지수는 식 (12.3)과 같이 각 절리군의 평균 간격(Si)의 산술 평균으로 정의 할 수 있다.

$$BR = \frac{\text{Block size index (Ib)}}{\text{Slope height (H)}} \quad (12.2)$$

$$Ib = \frac{\sum_{i=1}^3 Si}{3} \quad (12.3)$$

[표 12.18]은 토층심도율과 블록크기 비에 따른 절토사면의 분류를 나타낸 것이다.

[표 12.18] 절토사면의 분류

구 분		토층심도율	압축강도	블록크기비	주요 파괴유형	비고
토사사면		> 0.4	—	—	원호, 표층	
암반 사면	연약암반사면	≤ 0.4	≤10 MPa	—	표면, 원호 평면, 쉼기	제3기층 등
	파쇄암반사면		>10 MPa	≤ 0.01	쉼기, 평면 원호, 전도	단층 파쇄대 등
	절리암반사면			> 0.01	쉼기, 평면 전도, 낙석	일반 암반사면
토층심도율이 0.2 ~ 0.4일 경우, 혼합 사면으로 규정하여 토사 사면과 암반 사면의 특성을 모두 고려할 필요가 있음						

나. 상태평가 항목

절토사면의 상태평가를 위한 조사항목은 사면의 손상상태와 파괴요인의 평가로 구분하여 실시한다.

1) 절토사면 손상상태 평가 항목

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

조사항목은 크게 사면의 파괴징후에 관련된 항목과 기 발생한 파괴현황에 관련된 항목으로 나눌 수 있으며, 자세한 내용은 [표 12.19]에 기술하였다.

[표 12.19] 절토사면의 손상상태 평가 항목

구 분	평가 요소
파괴징후	- 인장 균열 또는 이완 압괴의 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 평가 항목

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 12.20]에 기술하였다.

[표 12.20] 절토사면의 파괴요인 평가 항목

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	절리주향 절리경사 절리상태	사면의 경사	강우/지하수	절취상태 보호/보강상태 배수상태

다. 절토사면의 상태평가 기준

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

[표 12.21] 절토사면의 상태평가 기준

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

※ 인장균열, 지반변형, 구조물변형 등이 진행성으로 확인되는 경우

상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.

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

12.4.2 상태평가 항목 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. 상태평가 항목 및 기준

1) 토사사면

○ 사면 손상상태 평가 기준

평가기준			a	b	c	d	e
항 목							
파괴 정후	①인장균열	구 분	없음	1mm 미만	1mm 이상 5mm 미만	5mm 이상 5cm 미만	5cm 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 평가 기준

평가기준			a	b	c	d	e
항 목							
지반 상태	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	
사면 형상	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
자연 요인	⑨강우 및 지하수	1일 강우량	0mm	0mm 이상 50mm 미만	50mm 이상 100mm 미만	100mm 이상 150mm 미만	150mm 이상
		지하수위	완전 건조	사면 높이의 1/3	사면 높이의 1/2	사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
인위 요인	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		결합이 관찰됨
		점 수	0~2		3~6		6~8
사면 파괴요인 지수 (f2) = ∑(⑤~⑫) / 52							

$$\text{사면 파괴요인 지수 (f2)} = \sum((\text{⑤} \sim \text{⑫}) / 52)$$

○ 결함지수(F) 산정

$$\text{결함지수 (F)} = \sum(\text{①} \sim \text{⑫}) / 76$$

【해설】

- 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 인장균열의 진행성(또는 확장)이 명확하게 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.
- 지반변형 상태는 사면의 배부를 현상(bulging) 또는 양괴의 이완 등 지반 자체의 변형과 관련된 것으로 현재 변형의 증거가 관찰되지 않으면 “없음”을 기준으로 하나, 변형의 잠재성에 따라 기준을 구분할 수 있도록 하였다. 점검시 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 실시하여 정기적으로 관찰한다.
- 구조물변형 상태는 사면 및 주변 구조물(옹벽, 측구 및 인접 도로 등)의 변형과 관련된 것으로서 각 기준의 결정은 “2)”항의 지반변형과 동일한 방법을 적용하여 진행성이 확인되는 경우 역시 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.
- 파괴현황은 이미 발생한 파괴 현황으로서 발생 규모는 발생한 각각의 파괴의 폭, 길이, 두께의 곱으로 정의하며, 한 사면에서 여러 번의 파괴가 발생한 것은 모두 합하여 결정한다.
- 토질조건은 풍화토, 붕괴토 등에 대하여 아래 표와 같이 사질토 및 점성토로 구분하여 평가하며, 호박돌 및 핵석이 토층 내에 존재할 경우는 기준을 하향 조정한다.

사질토의 상태	N 치	$\phi(^{\circ})$	현 장 관 찰
매우 조밀	> 50	> 41	발파 또는 증장비에 의해서만 자국을 낼 수 있다.
조밀	30~50	36~41	손의 힘으로 삼을 이용하여 자국을 낼 수 있다.
보통	10~30	30~36	힘을 주어서 삼질을 할 수 있다.
느슨	4~10	28.5~30	쉽게 삼질할 수 있다.
매우 느슨	0~4	< 28.5	엄지손가락 또는 주먹으로 쉽게 자국을 낼 수 있다.

점성토의 상태	N 치	$\phi(^{\circ})$	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 엄지손가락이 수 cm 들어간다.
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.

- 토층의 두께는 사면 내에서 토층이 가장 두꺼운 지점의 두께로 평가한다.
- 사면의 경사는 평가영역 내의 평균 사면경사로 평가한다.
- 강우 및 지하수 조건은 해당 평가기준 중 가장 불리한 사항을 평가한다.
- 표면보호상태는 사면 표면에 시공되어있는 표면보호공이나 석장공 상태 등을 평가한다.
- 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 배수로나 없거나 있어도 원활치 못한 경우, 매우 불량은 물이 상당히 고여 있는 경우를 말한다.

11. 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.

2) 연약암반사면

○ 사면 손상상태 평가 기준

평가기준			a	b	c	d	e
항 목							
파괴 정후	①인장균열	구 분	없음	1mm 미만	1mm 이상 5mm 미만	5mm 이상 5cm 미만	5cm 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) = Σ(①~④) / 24							

○ 사면 파괴요인 평가 기준

평가기준								
항 목		a	b	c	d	e		
지반 상태	⑤지반강도 특성	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	1일 강우량	0mm	0mm 초과 50mm 미만	50mm 이상 100mm 미만	100mm 이상 150mm 미만	150mm 이상	
		지하수위	완전 건조	사면 높이의 1/3	사면 높이의 1/2	사면 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) = Σ(⑤~⑫) / 52								

○ 결함지수(F) 산정

$$\text{결함지수 (F)} = \sum(\text{①} \sim \text{⑫}) / 76$$

【해설】

- 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 인장균열의 진행성(또는 확장)이 명확하게 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.
- 지반변형 상태는 사면의 배부를 현상(bulging) 또는 양괴의 이완 등 지반 자체의 변형과 관련된 것으로 현재 변형의 증거가 관찰되지 않으면 “없음”을 기준으로 하나, 변형의 잠재성에 따라 기준을 구분할 수 있도록 하였다. 점검시 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.
- 구조물변형 상태는 사면 및 주변 구조물(옹벽, 측구 및 인접 도로 등)의 변형과 관련된 것으로서 각 기준의 결정은 “2)”항의 지반변형과 동일한 방법을 적용하여 진행성이 확인되는 경우 역시 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.
- 파괴현황은 이미 발생한 파괴 현황으로서 발생 규모는 발생한 각각의 파괴의 폭, 길이, 두께의 곱으로 정의하며, 한 사면에서 여러 번의 파괴가 발생한 것은 모두 합하여 결정한다.
- 지반강도 특성 평가는 지질 해머를 이용한 육안 관찰을 기준으로 하되, 약간 연약, 연약, 매우 연약은 각각 일축압축강도 기준 시 20~5MPa, 5~1MPa, 1MPa 이하에 해당한다.
- 면구조는 연약암반 내에 존재하는 층리면 등 연속적 면구조를 지시한다. 규칙적인 면구조가 없을 경우에는 최상위 기준으로 평가한다.
- 풍화상태는 절취 후 원암의 풍화정도를 지시하며 신선(F), 약간풍화(SW), 보통풍화(MW), 심한풍화(HW), 완전풍화(CW~RS) 등으로 구분한다.
- 사면의 경사는 평가 영역 내의 평균 사면경사로 평가한다.
- 강우 및 지하수 조건은 해당 평가 기준 중 가장 불리한 사항을 평가한다.
- 절취상태는 굴착방법에 따라 분류하며, 선굴열발파일 경우 매우 좋음, 제어발파일 경우 좋음, 기계굴착일 경우 보통, 일반발파일 경우 나쁨, 불완전 발파일 경우 매우 나쁨에 해당된다.
- 배수조건은 측구 및 배수공 등 배수 구조물의 설치와 관리 상태를 평가한다. 즉, 완전 배수는 배수가 양호하여 건조상태와 같이 간극수압이 발생하지 않을 경우를 말하며, 양호는 배수상태가 양호하여 즉시 배수될 경우, 보통은 배수로나 있는 경우, 불량은 배수로나 없거나 있어도 원활치 못한 경우, 매우 불량은 물이 상당히 고여 있는 경우를 말한다.
- 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)

평가기준			a	b	c	d	e
파괴 정후	①인장균열	구 분	없음	1mm 미만	1mm 이상 5mm 미만	5mm 이상 5cm 미만	5cm 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	1m' 미만	1m' 이상 8m' 미만	8m' 이상 64m' 미만	64m' 이상
		점 수	0	1	2	3	4

사면 손상상태 지수 (f1) = $\Sigma(\text{①} \sim \text{④}) / 24$

○ 사면 파괴요인 지수(f2)

평가기준			a	b	c	d	e
지반 상태	⑤절리간격	구 분	2m 이상	60cm 이상 2m 미만	20cm 이상 60cm 미만	6cm 이상 20cm 미만	6cm 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 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	1일 강우량	0mm	0mm 초과 50mm 미만	50mm 이상 100mm 미만	100mm 이상 150mm 미만	150mm 이상
		지하수위	완전 건조	사면 높이의 1/3	사면 높이의 1/2	사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
		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
	⑪배수조건	구 분	완전 배수	양호	보통	불량	매우 불량
		점 수	0	1	2	3	4
	⑫보호/ 보강상태	구 분	양호함		노후됨		결함임 관찰됨
		점 수	0~2		3~5		6~8

사면 파괴요인 지수 (f2) = $\Sigma(\text{⑤} \sim \text{⑫}) / 52$

○ 사면 상태평가 지수(F)

$$\text{결합지수 (F)} = \Sigma(\text{①} \sim \text{⑫}) / 76$$

【해설】

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. 점검시 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 적용하여 진행성이 확인되는 경우 역시 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.
4. 파괴현황은 이미 발생한 파괴 현황으로서 발생 규모는 발생한 각각의 파괴의 폭, 길이, 두께의 곱으로 정의하며, 한 사면에서 여러 번의 파괴가 발생한 것은 모두 합하여 결정한다.
5. 저면경사는 전도파괴 해석에 사용되는 두개의 절리군 중 경사가 낮은 절리군의 경사를 말하며 파쇄암반사면 내에 존재하는 개개 암석 블록의 저면경사각을 기준으로 한다.
6. 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 거칠	거칠	약간 거칠	평탄	매우 평탄
④ 충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
⑤ 풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화
점 수	0	1~2	3~4	5~6	7~8
절리상태 점수 = $\sum (①\sim⑤) / 5$					

7. 사면의 경사는 평가 영역 내의 평균 사면경사로 평가한다.
8. 강우 및 지하수 조건은 해당 평가 기준 중 가장 불리한 사항을 평가한다.
9. 절취상태는 굴착방법에 따라 분류하며, 선균열발파일 경우 매우 좋음, 제어발파일 경우 좋음, 기계굴착일 경우 보통, 일반발파일 경우 나쁨, 불안전 발파일 경우 매우 나쁨에 해당된다.
10. 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.

11. 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)

평가기준			a	b	c	d	e
항 목							
파괴 정후	①인장균열	구 분	없음		1mm 이상 5mm 미만	5mm 이상 5cm 미만	5cm 이상
		점 수	0		1~3	4~5	6~7
	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) = Σ(①~④) / 24							

○ 사면 파괴요인 지수(f2)

평가기준			a	b	c	d	e
항 목							
지반 상태	⑤절리주향 (사면과의 차이)	구 분	사면 주향과 45°이상	사면 주향과 30° ~ 45°	사면 주향과 20° ~ 30°	사면 주향과 10° ~ 20°	사면 주향과 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	1일 강우량	0mm	0mm 초과 50mm 미만	50mm 이상 100mm 미만	100mm 이상 150mm 미만	150mm 이상
		지하수위	완전 건조	사면 높이의 1/3	사면 높이의 1/2	사면 높이의 2/3	완전 포화
		점 수	0	1	2	3	4
인위 요인	⑩절취상태	구 분	매우 좋음	중음	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) = Σ(⑤~⑫) / 52							

○ 사면 상태평가 지수(F)

$$\text{결합지수 (F)} = \Sigma(\text{①} \sim \text{⑫}) / 76$$

【해설】

- 최근 점검자료와의 비교나 계측 등을 통하여 인장균열의 진행성(또는 확장)이 명확하게 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.
- 지반변형 상태는 사면의 배부를 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. 정검시 변형의 증거가 관찰될 경우 역시 변형의 정도에 따라 전문가의 의견에 따라 기준을 부여한다. 또한, 최근 점검 자료와의 비교나 계측 등을 통하여 진행성이 확인되는 경우 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하며 정기적으로 관찰한다.
- 구조물변형 상태는 사면 및 주변 구조물(옹벽, 측구 및 인접 도로 등)의 변형과 관련된 것으로서 각 기준의 결정은 “2)”항의 지반변형과 동일한 방법을 적용하여 진행성이 확인되는 경우 역시 상태평가 결과를 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다.
- 파괴 현황은 이미 발생한 파괴 현황으로서 발생 규모는 발생한 각각의 파괴의 폭, 길이, 두께의 곱으로 정의하며, 한 사면에서 여러 번의 파괴가 발생한 것은 모두 합하여 결정한다.
- 절리의 경사방향 및 경사는 평면 파괴의 기준이며, 뺨기 파괴가 우려될 경우, 이를 절리 교차선의 방향성과 경사각으로 대체하여 평가한다.
- 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 거칠	거칠	약간 거칠	평탄	매우 평탄
④ 충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
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					

- 사면의 경사는 평가 영역 내의 평균 사면경사로 평가한다.
- 강우 및 지하수 조건은 해당 평가 기준 중 가장 불리한 사항을 평가한다.
- 절취상태는 굴착방법에 따라 분류하며, 선굴열발파일 경우 매우 좋음, 제어발파일 경우 좋음, 기계굴착일 경우 보통, 일반발파일 경우 나쁨, 불안전 발파일 경우 매우 나쁨에 해당된다.
- 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 배수구가 있는 경우, 불량은 배수구가 없거나 있어도 원활치 못한 경우, 매우 불량은 물이 상당히 고여 있는 경우를 말한다.

11. 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.

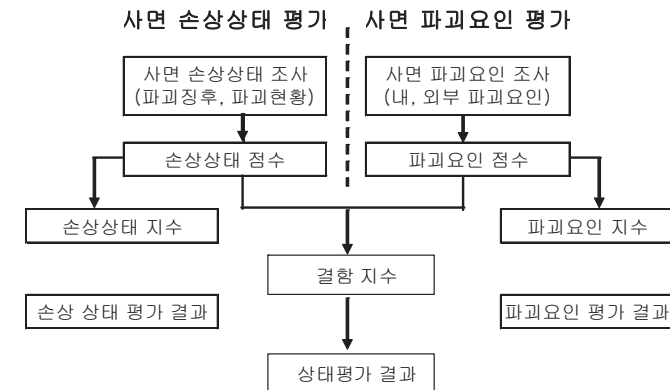
12.4.3 상태평가 결과 산정 방법

가. 상태평가 결과 산정

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

상태평가 결과는 사면 손상상태 항목과 사면 파괴요인 항목의 결합점수를 통해 산정된 결합지수로 결정한다. 그 평가 과정은 [그림 12.6]과 같다.

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



[그림 12.6] 상태평가 결과 산정 과정

【해설】

- 한국시설안전공단에서 개발한 상태평가프로그램 이용하면 편리하게 상태평가를 할 수 있다.
(홈페이지 : www.kistec.or.kr>기술정보>기술자료>상태평가)

나. 상태평가 결과 산정 방법

【표 12.22】 절토사면의 상태평가 결과 산정 예

시설물명			○○절토사면			표번호	
근거 표번호			[표 12.18]			[표 12.19]	
평가요소			결함점수	결함종류별 평가결과	총 점	결함지수	상태 평가결과
사면 손상 상태 지수	파괴징후	① 인장균열	0	a	5	f1=0.21	b
		② 지반변형	3	c			
		③ 구조물변형	0	a			
	④ 파괴현황		2	c			
사면 파괴 요인 지수	지반상태	⑤ 절리 방향 -사면 방향	6	d	24	f2=0.46	c
		⑥ 절리 경사 - 사면 경사	6	d			
		⑦ 절리상태	4	c			
	사면형상	⑧ 사면의 경사	1	b			
	자연요인	⑨ 강우 및 지하수	2	c			
	인위요인	⑩ 절취상태	2	b			
		⑪ 배수조건	1	b			
		⑫ 보호/보강상태	2	a			
합계(Σ)					29	F = 0.38	C
상태평가 결 과		○ 사면손상상태지수(f1) = (① + ...④)/24 = 0.21 → b 등급 ○ 사면파괴요인지수(f2) = (⑤ + ...⑫)/52 = 0.46 → c 등급 ○ 절토사면 상태평가 결과(F) : (5+24)/76 = 0.38 → C					

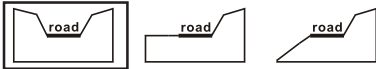
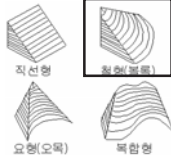
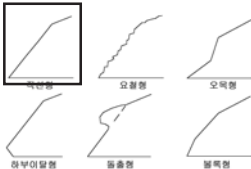
【해설】

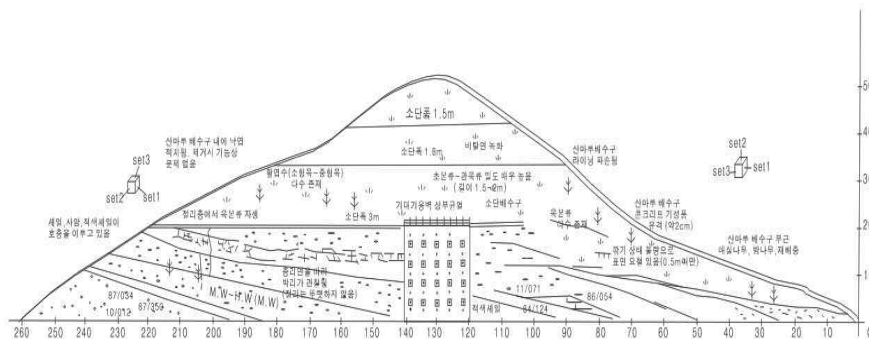
1. 실무자의 이해를 돕기 위하여 실제 수행된 절토사면에 대한 상태평가 예제를 소개하고자 한다.

【해설 표 12.4.1】 ○○절토사면 일반현황 조사 결과

조사기간	2011. 06. ~ 2011. 06.	조 사 자	홍길동
일 기	맑음	코 드	
행정구역	경상남도 ○○시 ○○면 ○○리		
위 경 도	시 점 : N (○○° 07' 58.5") E (○○° 01' 28.0")		
	총 점 : N (○○° 07' 53.1") E (○○° 01' 19.9")		
도 로	거 리 표 : 국도 2호선 (진주→하동) ○○km ○○m (하행)		
	왕복 4차선		도 로 폭 : 20.2m
	교 통 량 : 9,966 대/일		
절토사면	길 이 : 260m		높 이 : 52m
	경 사/경사방향 : 55/134~167		
	도로와의 이격거리 : 평균 3.7m		
	구성물질 : 암반		토층심도 : 0m
낙석/튼돌	소 단 : 3소단		
	낙석 존재유무 : 무		낙석의 양 : -
	낙석 평균크기 : - 낙석 최대크기 : -		
	튼돌 존재유무 : 무		튼돌의 양 : -
절토사면 시공현황	튼돌 평균크기 : -		
	종 류	위 치	상 태
	L형측구	0~260m	양호
	산마루배수구	0~260m	부분훼손
	소단배수구	1소단	양호
	비탈면녹화	0~260m(1소단 상부)	양호
	기대기옹벽	120~140m	부분훼손
	록볼트	120~140m	양호
붕괴이력	낙석방지울타리		0~260m
	유 형	규 모	위 치
기 타			

[해설 표 12.4.2] ○○절토사면 지형, 식생 조사 결과 및 현황도(Face mapping)

주변지형의 특성	주변 지형		구릉			
	종단면 형상					
	기타 특징		-			
사면의 특성	종 횡 단 면			종 단 면 특 성		
상부자연사면	경 사 도		(-)10~3°			
	인장균열		무			
	포행흔적		무			
	수목의 기울어짐		무			
	인공구조물		무			
	산마루측구		유			
	계곡부		무			
식 생	①종 류	초 본	관 목	침엽수	활엽수	
	②밀 도	중	0.1 그루/m ²	0.2 그루/m ²	0.2 그루/m ²	
	③근계특징	천근성 (○), 심근성 ()				



대상 절토사면은 ‘보통풍화’~‘심한풍화’의 사암과 세일로 구성된 양반사면으로 반발경도에 의한 추정압축강도가 119.5MPa이고 블록크기비가 0.01이상임으로 절리양반사면으로 판정하여 상태 평가를 실시하였다.

[해설 표 12.4.3] ○○절토사면 손상상태 조사결과표

시설물명	○○ I 지구 절토사면			표번호	<표 3.1-4>
손상상태 조사 결과표					
1. 파괴징후					
일련번호	징후종류	상 태		상태 점수	비고
		위치	상태 및 규모		
1-1	인장균열	-	없음	0	
1-2	지반변형	-	없음	2	
1-3	구조물 변형	-	없음	2	
2. 파괴현황					
일련번호 1-4	파괴유형	상 태		상태 점수	비고
		위치	규모		
				0	
조사기간	2011. 06. ~ 2011. 06.		조사자	홍길동	

[해설 표 12.4.4] ○○절토사면 파괴요인 조사결과표

시설물명		○ ○ I 지구 절토사면		표번호	<표 3.1-5>
파괴요인 조사 결과표					
1. 지반상태					
일련번호	구 분		상 태	상태점수	비고
1-5	토사	토질조건	-	-	
1-6		토층두께	-	-	
1-7	연약암반	지반강도 특성	-	-	
1-8		면구조 방향	-	-	
1-9		풍화상태	-	-	
1-10	파쇄암반	절리 간격	-	-	
1-11		절리방향·사면방향	-	-	
1-12		절리 상태	-	-	
1-13	절리암반	절리방향·사면방향	124° - 150° = 26°	4	
1-14		절리경사·사면경사	11° - 55° = -44°	8	
1-15		절리상태	보통	3	
2. 사면형상					
1-16	토사/암반	사면의 경사	55°	2	
1-17	토사	집수지형	-	-	
3. 자연적 외부요인					
1-18	강우 및 지하수	지하수	사면 높이의 1/3	1	
4. 인위적 외부요인					
1-19	토사	표면보호상태	-	-	
1-20	암반	깨기상태	보통	3	
1-21	배수조건		불량	3	
1-22	보호/보강상태		양호함	2	
조사기간	2011. 06. ~ 2011. 06.		조사자	홍길동	

[해설 표 12.4.5] ○○절토사면 상태평가등급 산정표

시설물명			○○ I 지구 절토사면			표번호	
근거표번호			<표 3.1-4>, <표 3.1-5>			<표 3.1-6>	
평가요소			결합점수	결합종류별 등급	총 점	결합지수	상태 평가등급
사 면 손 상 상 태 지 수	파괴징후	① 인장균열	0	a	4	f1=0.17	b
		② 지반변형	2	b			
		③ 구조물변형	2	b			
	④ 파괴현황		0	0			
사 면 파 괴 요 인 지 수	지반상태	⑤ 절리주향 (사면과의 차이)	4	c	26	f2=0.50	c
		⑥ 저면경사 - 사면경사	8	e			
		⑦ 절리상태	3	c			
	사면형상	⑧ 사면의 경사	2	c			
	자연요인	⑨ 강우 및 지하수	1	b			
	인위요인	⑩ 깎기상태	3	c			
		⑪ 배수조건	3	d			
		⑫ 보호/보강상태	2	b			
합계(Σ)					30	F = 0.39	C
상태평가결과			○ 손상상태지수(f1) = (① + ...④)/24 = 0.17 → b ○ 파괴요인지수(f2) = (⑤ + ...⑫)/52 = 0.50 → c ○ 절토사면 상태평가결과(F) : (4+26)/76 = 0.39 → C				

12.5 안전성평가 기준 및 방법

12.5.1 일반

가. 일반

시설물의 안전성 평가는 정밀안전진단시에 실시한다. 다만, 정밀점검 또는 긴급 점검시 일부 부재에 대하여 안전성평가가 필요하다고 판단될 경우 선택과업으로 실시할 수 있으나, 결함이 광범위하고 중대한 경우에는 「법」 제7조제1항에 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.

【해설】

1. 절토사면의 안정해석 방법은 크게 경험적인 해석, 기하학적인 해석, 운동학적 해석(한계평형해석) 등으로 구별할 수 있으며, 경험적인 해석에는 SMR(Slope Mass Rating), RMR(Rock Mass Rating) 등이 있다. 기하학적인 해석은 운동학적인 해석의 전단계로서 평사투영법과 블록이론 해석 등이 있으며, 이러한 해석은 정성적인 결과를 도출한다.
2. 이보다 정밀한 해석에는 운동학적 해석으로 한계평형해석, 수치해석(FEM, FDM) 등이 있으며, 일반적으로 많이 사용되는 한계평형법은 파괴여부를 판단하기 위해 안전율을 산정하는 해석법이며, 수치해석법은 시설물의 기능성(serviceability)과 관련된 변형정도를 예측하는 해석방법으로서 이러한 해석은 정량적인 결과를 도출한다. 이중 수치해석 방법은 강도감쇠기법을 이용하여 안전율을 간접적으로 구하는 기법이 최근 활발히 활용되고 있다.
3. 절토사면의 안정해석은 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.

4. 또한 암반사면의 경우라 할지라도 지반의 강도특성이나 불연속면의 분포특성 등에 따라 토사사면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 원호파괴 가능성에 대한 검토도 이루어져야 한다.

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 해석결과에 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

【해설】

※ 사면의 안정성 평가는 기존 자료 검토 및 현장조사 결과 분석등을 통해 실시하며, 선택적으로 해석적 기법을 활용하여 평가한다.

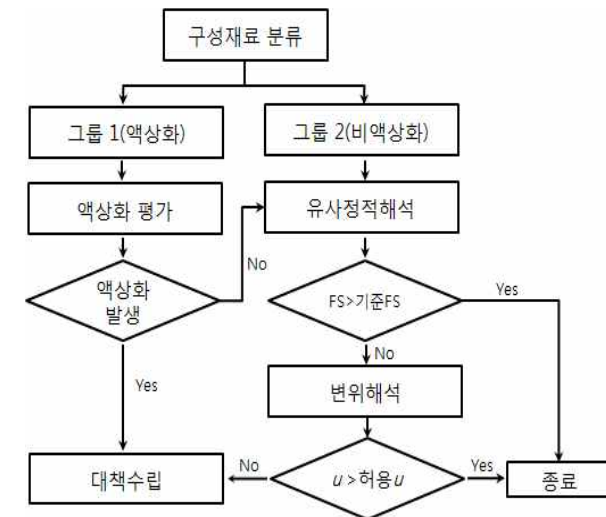
1. 현장조사결과뿐만 아니라 사면 주변의 지형적, 수리적, 시설물 등의 상황과 인근의 유사한 지반조건에서의 사면 시공사례 등을 종합적으로 검토하여 안정해석을 수행하여야 한다.
2. 지하수 조건은 지반조사 결과 및 지형조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 실시한다.
3. 강우의 침투를 고려한 해석을 실시할 경우, 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건 및 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시한다.
4. 토사사면 안정해석은 사면내의 지하수위 및 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건을 고려하여 유효응력해석 또는 전응력해석을 수행한다.
5. 불연속면에 기인한 파괴가 예상되는 암반사면의 경우에는 불연속면의 전단강도를 이용하여 안정해석을 수행한다.

다. 내진성능 평가

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.

【해설】

1. 절토사면의 내진성능 평가는 최근 개정된 건설공사 비탈면 설계기준(2011.12)을 참고하며, 관리주체와 협의하여 실시 할 수 있다.
2. 절토사면의 내진성능 평가는 액상화 발생가능성 검토, 안정해석, 변위해석으로 이루어진다. 우선 사면 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 기준안전을 이하로 산정되는 경우 변위해석을 수행하여 안정성을 검토한다. 사면의 내진성능 평가 흐름도는 아래 [해설 그림 12.4.1]과 같다.



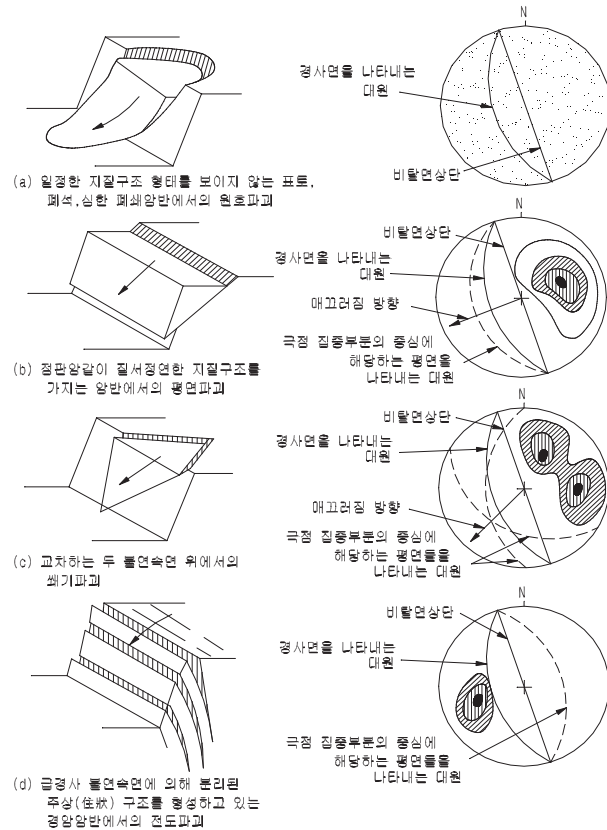
【해설 그림 12.4.1】 내진성능평가 흐름도

12.5.2 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 12.7]은 평사투영해석을 통해 분석할 수 있는 절토사면의 파괴유형이다.



[그림 12.7] 절토사면의 파괴 유형과 평사투영해석

암반사면의 안전성평가시에는 붕괴유형에 따라 적용하는 한계평형해석식의 종류가 다르므로 반드시 붕괴유형을 고려하여 안정해석을 수행하여야 한다.

○ [그림 12.7]-(a)

분포하는 절리 등의 지질구조 형태가 뚜렷한 방향성을 보이지 않는 경우로서 주로 절리의 발달이 매우 조밀한 암반사면이나 토사사면에서 발생하는 유형을 보여줌.

○ [그림 12.7]-(b)

daylight envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 평면파괴의 가능성을 제시

○ [그림 12.7]-(c)

두 개의 군으로 극점의 분포가 나타나고 있으며 극점의 집중부의 조합점은 daylight envelope 내에 위치함으로써 켜기 파괴의 가능성을 제시

○ [그림 12.7]-(d)

toppling envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 전도파괴의 가능성을 제시

【해설】

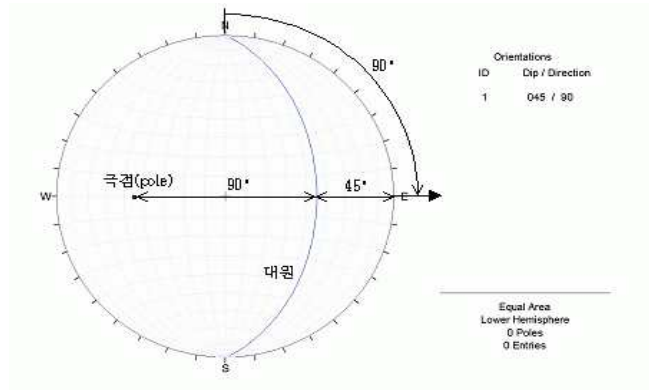
1. 평사투영도 해석 방법의 순서는 다음과 같다.

- (1) 평사투영망(stereonet)에 불연속면의 극점(혹은 대원)과 불연속면들의 교차점의 극점(혹은 교차점)을 투영한다.
- (2) 사면의 노출범위(daylight envelope)와 불연속면의 내부마찰각을 이용하여 마찰원(friction cone)을 작도하고 전도파괴 범위(toppling envelope)를 작도한다.
- (3) 불안정지역에 위치하는 불연속면의 극점이나 두 불연속면이 교차하는 점을 조사하여 이것으로 암반파괴(평면, 켜기 및 전도파괴)를 일으킬 수 있는 위험 가능성을 예비 평가한다.

2. 평사투영법을 이용한 불연속면의 기하학적 해석

- (1) 암반사면 해석에서 가장 중요한 점은 지질자료의 체계적인 수집과 표시이며, 그렇게 함으로써 자료를 쉽게 평가하고 안정성 해석에 포함시킬 수 있게 된다. 이러한 차원에서 평사투영법은 지질자료를 표시하는 편리한 수단이 되고 있다.
- (2) 평사투영법에서는 보편적으로 등면적투영(equal area projection)망과 등각투영(equal angle projection)망이 사용되고 있으며 본 내용에서는 등면적투영망을 이용한 평사투영해석법에 대해 설명하고자 한다.
- (3) 등면적투영은 지리학자가 지구의 구면을 평면 위에 나타내기 위해 사용한 방법으로서 가장 보편적으로 사용되는 투영법이다. 구조지질학에 이 투영법을 적용할 때에는 기준구면 상에서의 평면의 궤적이 그 면의 경사와 경사방향을 정의하도록 사용한다. 공간상에서 이동은 자유로우나 회전은 제한된 기준구를 생각해 보면 표면상의 한 점과 구의 중심을 연결하는 반경은 공간내에 고정된 방향을 가지게 된다.

- (4) 만약 구의 중심이 고려하고자 하는 평면에 놓이도록 이 구를 이동시킨다면 평면과 구의 교선이 그리는 대원(great circle)은 공간에서 면의 경사와 방위를 정의하게 된다. 동일한 정보가 구의 상반부와 하반부에 모두 주어지므로 어느 한 부분만 필요한데, 공학적인 적용에 있어서는 하반구(lower reference hemisphere)가 자료의 표시에 이용된다. 대원 이외에도 평면의 경사와 방위를 그 면의 극점(pole)으로 정의할 수도 있다. 극점은 평면에 수직한 반경선이 구면을 관통한 점이다. [해설 그림 12.4.2]는 등면적투영법을 이용하여 경사와 경사방향이 45/090인 불연속면의 대원과 극점을 도시하는 것이다.

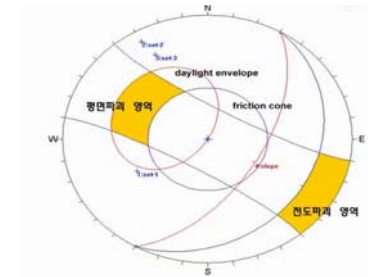


[해설 그림 12.4.2] 등면적투영법을 이용한 불연속면의 표현 예

- (5) 평사투영법을 사용하여 사면내에 발달한 불연속면과 사면의 방향성을 도시하면 면들간의 기하학적 조건을 판단 할 수 있으며 이러한 판단은 암반사면에서의 평면 파괴, 전도파괴, 썩기파괴 등의 파괴유형과 파괴가능성을 가능할 수 있는 훌륭한 기준이 된다.

① 평사투영법을 이용한 평면파괴 및 전도파괴 해석

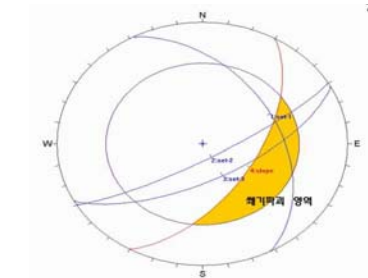
평사투영법을 이용한 평면파괴 및 전도파괴 해석의 첫 단계는 현장에서 측정된 불연속면의 방향성들과 사면의 방향성을 평사투영망에 도시하는 것이다. 이때 사면의 방향성에 대하여는 경사와 경사방향을 나타내는 대원과 daylight envelope를 도시하고 불연속면의 방향성에 대하여는 경사와 경사방향에 대한 극점으로 도시한다. 불연속면과 사면에 대한 도시가 끝나면 암반의 전단저항각을 반경으로 하여 마찰소원(friction cone)을 작도하여 daylight envelope와 마찰소원에 의한 평면파괴 영역(plane failure envelope)을 설정한다. 또한 사면의 경사각에서 전단저항각을 뺀 값을 경사각으로 하는 대원을 작도하고 이 대원과 70° 및 100°의 위선이 서로 만나는 구간을 작도하여 전도파괴 영역(toppling failure envelope)을 설정한다. 최종적으로 불연속면의 극점들이 평면 및 전도 파괴 영역에 도시되었는지를 판단하여 파괴가능성을 판단한다. [해설 그림 12.4.3]은 평사투영법을 이용한 평면파괴 및 전도파괴 해석의 예이다.



[해설 그림 12.4.3] 평사투영법을 이용한 평면 및 전도파괴 해석

② 평사투영법을 이용한 썩기파괴 해석

평사투영법을 이용한 썩기파괴 해석에서는 사면과 불연속면의 방향성을 경사와 경사방향에 대한 대원으로 도시한다. 썩기파괴 영역은 90°에서 마찰각을 뺀 값을 반경으로 하는 마찰각원(friction circle)을 도시하고 마찰각원보다 크고 사면의 경사각보다 작은 범위를 썩기파괴 영역(wedge failure envelope)으로 설정한다. 이 때 각 불연속면들의 대원이 이 영역에서 교차 될 경우 썩기파괴의 가능성을 지시한다. [해설 그림 12.4.4]는 평사투영법을 이용한 썩기파괴 해석의 예이다.



[해설 그림 12.4.4] 평사투영법을 이용한 썩기파괴 해석

이상과 같은 과정은 DIPS와 같은 전산프로그램을 이용하면 편리하고 신속하게 분석할 수 있다.

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.

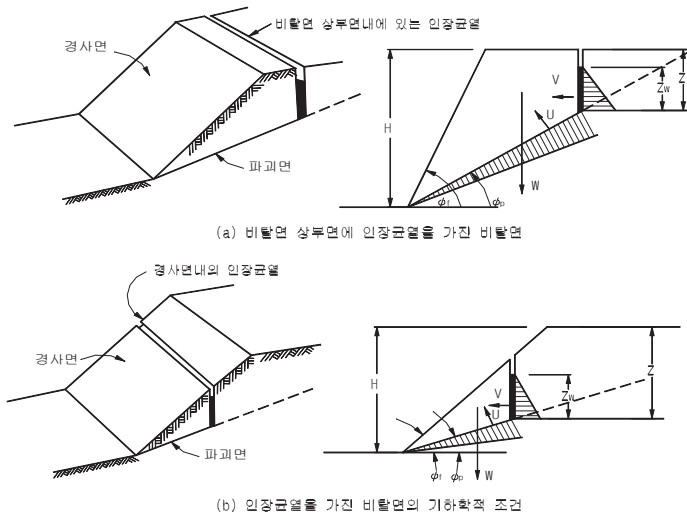
따라서 이러한 사면의 안정해석은 토질역학적 접근방식으로 해석이 가능하다. 사면의 안전율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F = \frac{\text{활동에 저항하는 유효전단강도}}{\text{파괴면을 따라 작용하는 전단응력}} \quad (12.4)$$

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 $\pm 20^\circ$ 이내에 존재해야 하며 불연속면의 경사각이 사면의 경사각보다는 작고 마찰각보다는 더 커야 한다.



[그림 12.8] 인장균열을 가진 사면의 기하학적 조건

[그림 12.8]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.

$$F = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p} \quad (12.5)$$

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.

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w z_w (H - z) \operatorname{cosec} \psi_p \quad (12.6)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z_w^2 \quad (12.7)$$

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) 켜기파괴

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

켜기파괴는 켜기를 이루는 두 불연속면에 작용하는 수직력 뿐만 아니라 두 파괴면의 밀면적이 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 12.9]에서 도시된 켜기의 안전율은 식 (12.8)과 같이 정의된다.

$$F = \frac{(R_A + R_B) \tan \phi}{W \sin \psi_i} \quad (12.8)$$

여기서, R_A, R_B : A, B면상의 수직반력

W : 켜기를 이루는 암반의 중량

ϕ : 사면의 마찰각

ψ_i : 교선의 경사각

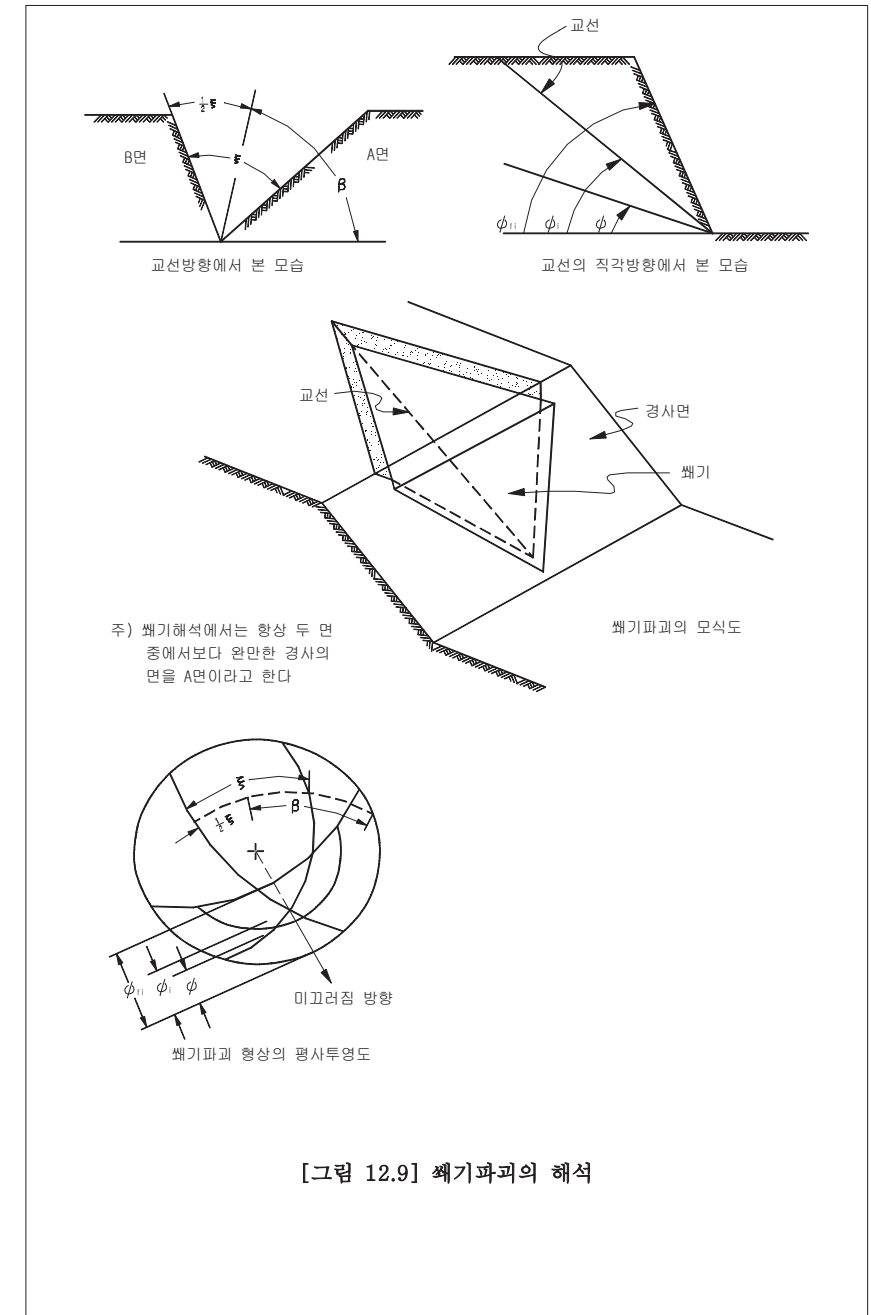
R_A, R_B 를 구하기 위해 교선에 대한 수평 및 수직방향의 성분으로 나누어 표시한 후 R_A, R_B 를 더하고 이를 위 식에 대입하면 식 (12.9)와 같이 사면의 안전율을 구할 수 있다.

$$F = \frac{\sin \beta}{\sin \frac{1}{2} \xi} \frac{\tan \phi}{\tan \psi_i} \quad (12.9)$$

여기서, β : 수평면에서 켜기 이등분선까지의 각

ξ : 켜기의 사이각

β 와 ξ 는 [그림 12.9]에서와 같이 평사투영망을 이용하여 구할 수 있다.



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 발생하는 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 1이상이면 사면은 안전한 것이지만 실제로 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 12.23]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 파괴시 축압만 변화시킴에 유의한다.

[표 12.23] 전단강도식

해 석 조 건	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

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 안정해석시 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.

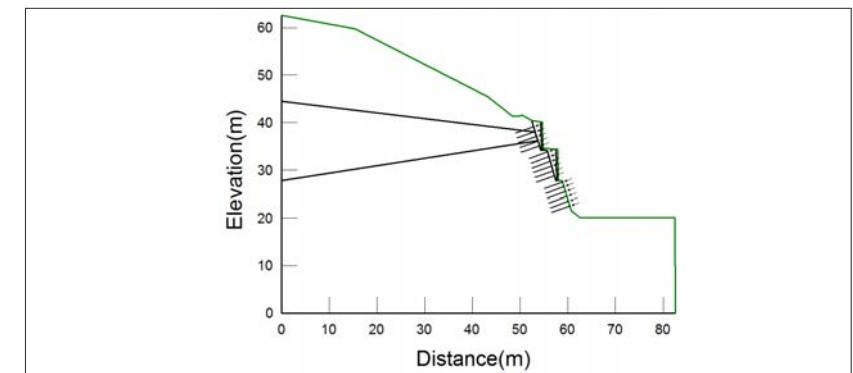
(나) 인장균열 깊이와 인장균열에 수압이 작용하는 경우 등도 반영하여야 한다.

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

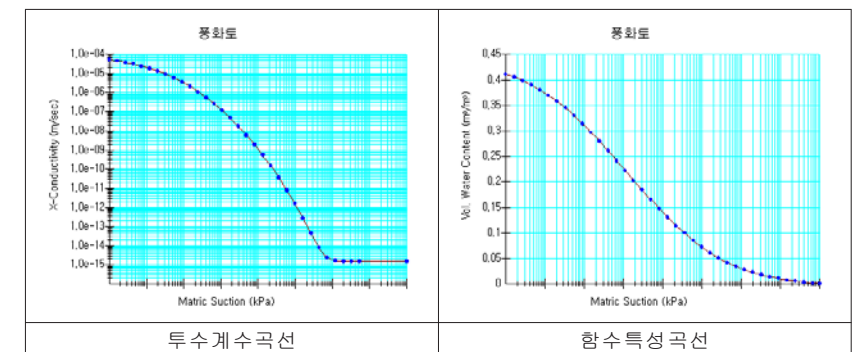
【해설】

1. 토사사면의 우기시 안정성을 평가하는 방법에는 크게 2가지 방법이 있다. 첫 번째 평가 방법은 강우의 침투를 고려한 안정해석 방법으로 강우강도, 강우지속시간등을 고려하여 평가하는 방법이다(기준안전율 1.3). 두 번째 평가 방법은 지하수위를 지표면까지 가정하여 안정성을 검토하는 것으로 지표면까지 포화된다는 가정하의 해석방법이다(기준안전율 1.2(건설공사비탈면 설계기준(국토해양부, 2012) 참조)).
2. 이러한 토사사면의 안정성을 평가하는 프로그램에는 Talren, Slope/w(Seep/w), Soil-works 등이 있다.
3. 다음은 토사사면에 침투하는 강우의 투수특성과 지속강우특성을 고려하여 사면 안정 해석을 실시하는 예시 과정이다. 예시 과정에서는 Slope/w(Seep/w)프로그램을 이용하여 안정성을 평가하였다.(일반적으로, 두 번째 방법인 지표면까지 지하수위를 가정한 방법은 일반적으로 많이 사용하기 때문에 생략하도록 한다.)

(1) OO지역 OO사면의 모델 단면 선정



(2) 매질에 따른 투수계수곡선과 함수특성곡선 입력(불투수층 제외)

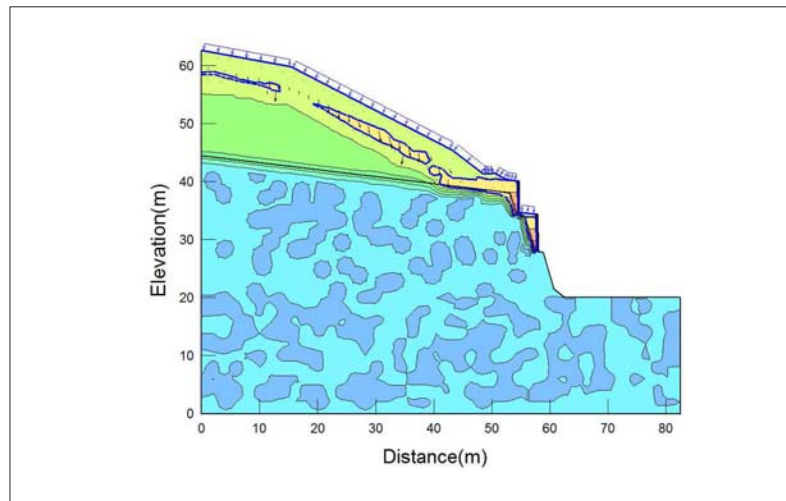


(3) 초기간극수압분포 결정 및 강우강도 선정

: 본 해석에서는 초기 모관흡수력을 15Kpa로 설정하였으며, 강우강도는 해당 지역의 확률강우량표를 참고하여 재현기간 10년 지속기간 48시간을 적용하였다.

OO지역의 확률강우량									
재현기간 (년)	지 속 기 간								
	4시간	6시간	9시간	12시간	15시간	18시간	24시간	48시간	
2	79.8	93.0	105.9	114.8	123.9	130.7	141.0	153.8	
3	94.6	110.2	125.4	136.1	148.3	157.1	170.8	188.6	
5	111.1	129.4	147.0	159.8	175.6	186.4	204.0	227.3	
10	131.7	153.5	174.3	189.5	209.8	223.3	245.7	276.0	
20	151.6	176.6	200.4	218.1	242.6	258.7	285.7	322.6	
30	163.0	189.9	215.5	234.5	261.5	279.1	308.7	349.5	
50	177.2	206.5	234.2	255.1	285.1	304.6	337.5	383.1	
70	186.6	217.4	246.6	268.5	300.6	321.2	356.4	405.1	
80	190.3	221.7	251.5	273.8	306.7	327.9	363.9	413.8	
100	196.5	228.9	259.6	282.8	317.0	338.9	376.4	428.4	
200	215.6	251.3	284.9	310.4	348.7	373.1	415.0	473.5	
300	226.8	264.3	299.6	326.5	367.2	393.1	437.6	499.8	
500	240.9	280.7	318.2	346.8	390.5	418.2	466.1	533.0	

(4) OO지역 OO사면의 강우를 고려한 침투해석 결과



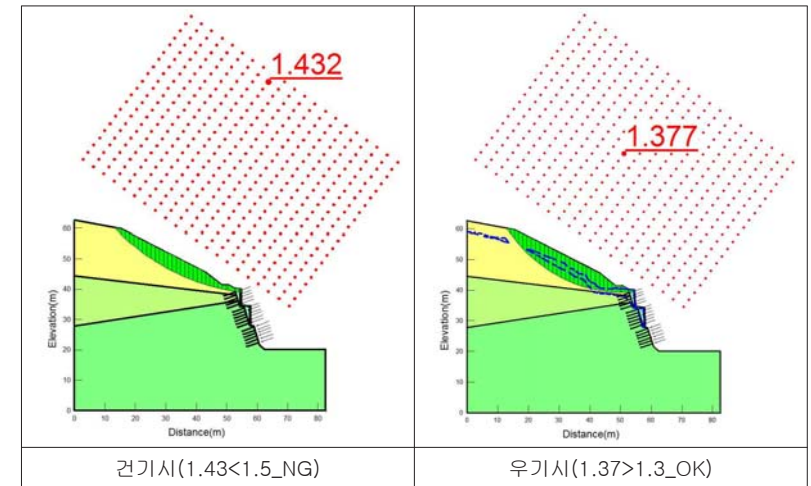
(5) 한계평형해석법을 이용한 안전율 검토

위의 침투해석 결과를 이용한 한계평형해석은 다음과 같다.

① 적용된 지반정수

구분	단위중량(kN/㎡)	내부마찰각(°)	점착력(kPa)
풍화토	18	10	27
풍화암	20	32	30
기반암	23	35	300

② 침투해석 결과를 이용한 안정성 평가 결과



: 침투해석을 이용한 안정성 평가 결과, 우기시에는 기준안전율을 만족하나, 건기시는 기준안전율(1.43<1.5_NG)을 만족하지 못하기 때문에, [표 12.24]의 기준에 따라 안정성평가등급은 'D'로 산정한다.

라. 안전성평가 기준

안전성평가는 안전점검(정밀점검, 긴급점검)에서는 상태기준이 D 이하로 판정되거나, 전문가에 의해 안전성평가 요구가 있을 경우에 실시하며, 정밀안전진단에서는 필수적으로 수행되어야 한다. 안전성평가에서는 안정해석 결과(안전율)를 통해 안전성평가 결과를 산정한다.

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 허용안전율보다 클 경우에는 설계기준에 적합한 상태이므로 B, C가 아닌 A로 산정하며, 허용안전율보다 작을 경우에는 보강 및 사용제한 등의 조치가 필요한 D, E로 산정한다.

[표 12.24] 절토사면 안전성평가 기준

평가기준	상 태	
	건기	우기/내진
A	안전율 1.5 이상	안전율 1.2 이상/1.1 이상
B	—	—
C	—	—
D	안전율 0.75 이상, 1.5 미만	안전율 0.75 이상, 1.2 미만/ 안전율 0.75 이상, 1.1 미만
E	안전율 0.75 미만	안전율 0.75 미만

· 암반사면 : 건기시 - 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음.
우기시 - 인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 $HW=1/2H$ 로 가정하여 적용
* 평사투영해석 시 안정한 것으로 해석되어 한계평형해석을 수행하지 않았을 경우는 평가기준을 "A"로 한다.

· 토사사면 : 건기시 - 지하수위 미고려
우기시 - 지하수위는 지표면에 위치

· 두 가지 이상의 파괴유형에 대하여 안정해석을 실시하였을 경우 가장 작은 안전율 값을 안전성평가에 적용한다.

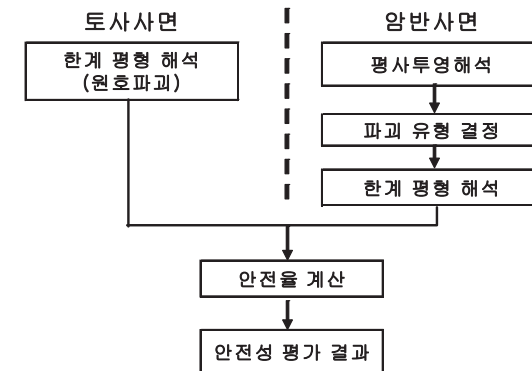
12.5.3 안전성평가 결과 산정 방법

가. 안전성평가 결과 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 12.10]은 안전성평가 과정을 나타낸 흐름도이며, [표 12.25]는 각 절토사면의 종류에 따른 개략적인 해석 범위를 기술한 것이다.

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



[그림 12.10] 안전성평가 결과 산정 과정

[표 12.25] 절토사면의 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사사면		○		
연약암반 사면	○	○	○	· 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 · 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴해석 실시
파쇄암반 사면	○	○	○	· 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 · 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴해석 실시
절리암반 사면	○		○	· 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 · 3m이상 토층이 관찰될 경우 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴해석 실시

[표 12.26] 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
	췌기파괴	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 12.27] 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
췌기파괴		—	a	췌기블록 형성 안됨
전도파괴		—	a	전도파괴 위험 불력 없음
안전성 평가결과		°안전성평가 결과 : A		

12.6 종합평가 기준 및 방법

12.6.1 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 12.28]의 종합평가지수에 따라 결정한다.

[표 12.28] 종합평가지수에 따른 종합평가 기준

종합평가지수(E)	종합평가 기준	비 고
$0.00 \leq (E) < 0.15$	A	
$0.15 \leq (E) < 0.30$	B	
$0.30 \leq (E) < 0.55$	C	
$0.55 \leq (E) < 0.75$	D	
$0.75 \leq (E)$	E	

12.6.2 종합평가등급 산정 방법

가. 종합평가등급 산정

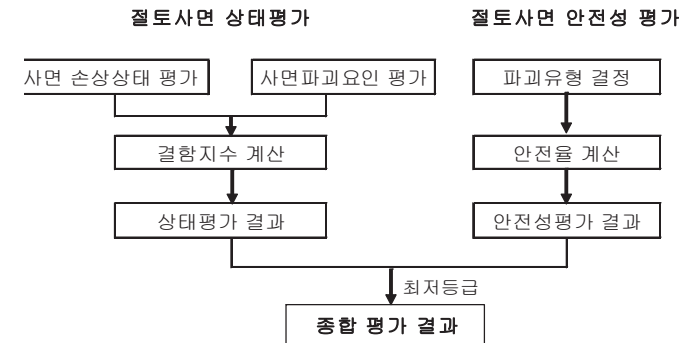
절토사면 상태평가와 안전성평가 결과 2개 등급 중 최저등급을 절토사면 종합평가결과로 결정한다. ([그림 12.11] 참조)

1) 정밀점검

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 12.11] 종합평가 결과 산정 과정

나. 종합평가 결과 산정 방법

상태평가와 안전성평가를 모두 시행했을 경우의 종합평가 결과 산정 예시는 다음 [표 12.29]와 같다.

[표 12.29] 절토사면의 종합평가 결과 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 종합평가결과 : <u>C</u>			

12.7 보수·보강 방법

절토사면 시설물의 주요 보수·보강 방법을 소개하면 다음과 같다.

[표 12.30] 절토사면 대책공법의 종류 및 적용

구분	종 류	공 법 개 요	적 용
보 강 공 법	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/파쇄암 반사면
	억지말뚝	절토사면의 하중을 말뚝의 수평저항으로 받아 활동을 억지시키는 공법	토사사면
	다우월 (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 12.30] 절토사면 대책공법의 종류 및 적용 (계속)

구분	종 류	공 법 개 요	적 용
보 호 공 법	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
	샷크리트 (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
낙 석 방 지 공 법	뜯돌제거	절토사면상의 뜯돌, 전석이 박리 또는 낙하되지 않도록 제거하는 공법	암반사면 토사사면
	와이어로프 결이	뜯돌이나 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

12.7.1 보수 · 보강공법의 종류

절토사면의 보수·보강은 다음의 4 종류로 구분된다.

가. 경사완화 및 구조물에 의한 보강공법

나. 표면보호공법

다. 낙석방지공법

라. 배수공법

【해설】

1. 절토사면에 적용되는 일반적인 보수 · 보강방법으로는 절취를 통한 경사완화공법, 말뚝, 앵커, 락볼트, 소일네일링, 옹벽 등을 이용한 보강공법, 강우나 풍화 진행 등으로 안전율이 감소되는 것을 방지하기 위한 표면보호공법, 낙석방지망, 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽 등의 낙석방지공법, 산마루측구, 소단배수로, 수평배수공 등의 배수공법이 있다.

가. 경사완화 및 구조물에 의한 보강공법

1) 경사완화(절취공법)

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

절토사면의 경사를 완화하여 활동압괴를 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 얇은 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, 역지말뚝과 병용시키는 경우가 있으며 지지력을 구하는 방법, 안전성, 신뢰성, 내구력의 문제 등 설계 및 시공측면에서 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 슛크리트 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) 역지말뚝

역지말뚝 공법은 절토사면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 받아 활동을 억지시키는 공법이다.

역지말뚝의 설계시에는 말뚝에 발생하는 휨모멘트와 전단력을 고려하여, 말뚝의 단면, 종류, 간격 등을 결정한다. 휨모멘트가 큰 경우에는 말뚝머리에 앵커를 설치할 수도 있다. 말뚝의 타설위치는 지반활동시 압축상태에 놓이게 되는 절토사면의 말단부 근처가 유리하다.

역지말뚝 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 분리압괴에 의해 압괴의 탈락이 예상될 때 압괴를 절토사면에 고정하기 위하여 적용하는 공법이다. 즉, 직경 25mm, 길이 1~3m 정도의 철봉을 보링공 내에 삽입하여 그라우트 주입을 실시함으로써 절리면의 전단강도를 증가시키는 수동보강형 공법이다.

7) 콘크리트 버팀벽(buttrass)

절토사면에서 암탈락이 발생하거나 사면 절취시 과다발파에 의하여 사면상에 빈공간이 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 저관상부의 토사 중량 등으로 토압에 저항하여 절토사면을 지탱하고 안정을 도모하기 위한 목적으로 설치하는 벽체 구조물이다.

옹벽의 설계시 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 162.5mm의 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 흙깎기 사면내에 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.

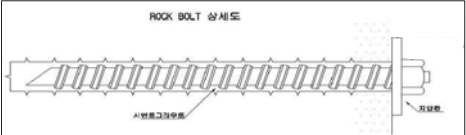
주된 공법으로서 흙쌓기에서는 보강토벽공법, 망에 의한 보강공법 등이, 흙깎기에서는 철근 삽입, 각종 그라우팅, 강화섬유 주입 등의 보강공법이 있다.

【해설】

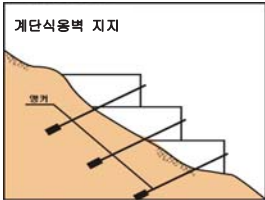
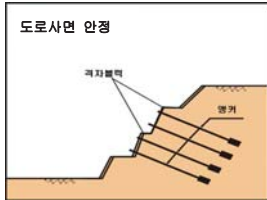
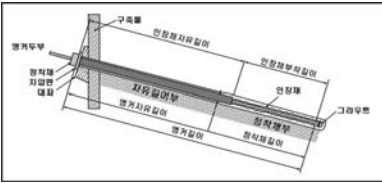
1. 절취공법 (관련공법 : 상부깎기, 수평깎기)

특성	- 경사를 낮추어 위험요인을 제거하는 안정공법 - 사면의 구성 물질에 상관없이 적용가능 - 대규모 보강공법이 필요할 경우 유리한 공법 - 도로 곡선부에 위치한 도로사면의 경우 깎기를 통한 도로 선형 개선 효과
적용 사례	  <깎기 시공 모습> <깎기 적용 1>
설계 및 시공 유의점	◇ 깎기를 통한 경사완화 후에도 추가적인 붕괴가 있을 수 있으므로 깎기 시공 중에도 도로사면의 취약점을 명확히 조사하여 안정성을 재검토하고 필요시 앵커공과 같은 다른 보강공법과 병행하여 시공 ◇ 상부자연사면의 경사가 높은 경우에는 깎기 물량이 증가하여 경제성, 시공성이 떨어지므로 다른 보강공법을 고려하는 것이 유리 ◇ 깎기 공법 설계시 도로사면의 안정성을 확보하고 장기적인 유지관리가 최소화되어야 하며 형성된 새로운 도로사면은 주변경관과 어울리도록 시공 ◇ 깎기 시공후 노출 지반은 시간 경과에 따라 풍화, 강우침투 등으로 점차 불안정해지므로 최초 설계시 장기적인 안정성과 지속적인 유지관리를 감안하여 설계 ◇ 깎기 시공시 낙석 등 유실물 도로부 유입 방지를 위한 하단부 암파쇄방호시설 설치

2. 록볼트

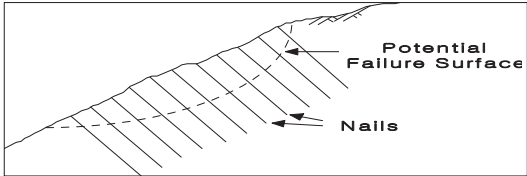
특성	- 원지반 자체의 강도를 이용하여 원지반을 지지 - 암반사면의 진행성파괴에 보강효과가 큼 - 소규모 암괴 또는 썰기 구간에 적용 가능  <록볼트 상세도>
적용 사례	 <록볼트 시공 중 모습 1>  <록볼트 시공 중 모습 2>  <록볼트 시공 후 인발시험>  <록볼트 적용>
설계 및 시공 유의점	◇ 록볼트는 소규모 보강이 필요한 부분에 주로 적용되며, 규모에 따라 보강되는 부분의 안정성이 확보되도록 랜덤볼트 또는 패턴볼트 형식으로 적용 ◇ 록볼트는 현장용접이나 이음재를 이용하여 연결되는 부분이 최소가 되도록 적용 ◇ 불연속면의 간격이 좁은 도로사면에는 사용 불가 ◇ 록볼트 정착방법, 정착재료는 시공시 지반조건, 사용목적, 시공성 등을 고려하여 선정 ◇ 지하수 발생 구간에서는 정착 기능이 미흡하므로, 용수 발생 구간 선정 제외

3. 앵커

특성	- 암절취사면의 경우 록앵커(rock anchor), 흙막기사면의 경우 어스앵커(earth anchor) 구별 적용 - 시공 위치를 다소 자유롭게 선택할 수 있고 구간별 시공 가능 - 대심도 붕괴 예상 지역에 적용 - 기대기옹벽(합벽식옹벽, 버트리스, 계단식옹벽)의 적용 후 구조물의 전도방지를 위해 시공  계단식옹벽 지지  도로사면 안정  <앵커 개요도 >
적용 사례	 <어스앵커 적용>  <록앵커 적용 1 >  <록앵커 적용 2>  <계단식(화단)옹벽 시공 후 앵커 적용>

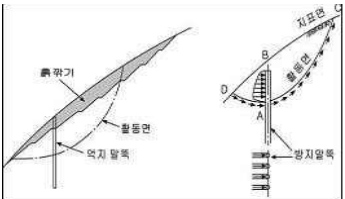
설계 및 시공 유의점	◇ 앵커의 간격과 길이는 고정되는 도로사면의 전체적인 안정성을 고려하여 결정하고, 적절하게 분산 배치하여 지반에 고른 저항력이 발휘되도록 시공 ◇ 앵커를 설치하는 지반 내에 구조물, 말뚝 또는 지중시설이 있으면 시설물 위치를 고려하여 앵커 배치 ◇ 앵커 자유장은 4.5m 이상을 확보 하며 파괴면 보다 1m 이상 깊게 설정 ◇ 앵커 정착부는 지표면까지 최소 5m 이상 지반의 피복 두께를 확보하여야 함 ◇ 도로사면의 지반이 연약하면 콘크리트 뿔어붙이기 등을 타설한 후에 앵커를 시공 ◇ 유기질 점토나 실트 등 강도가 매우 적은 지반 설치 불가
-------------------------------	--

4. 소일네일링

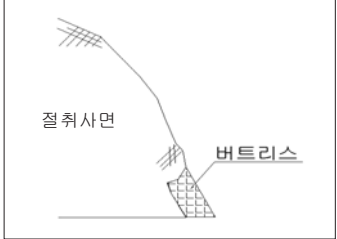
특성	- 급경사 도로사면에 적용 가능 보강 공법 - 천부 붕괴 예상 도로사면에 적용  <네일 개요도>
적용 사례	 <네일 시공 중 모습>  <네일 시공>  <네일 적용>  <네일 시공 후 모습 >
	◇ 네일의 간격과 길이는 고정되는 도로사면의 전체적인 안정성을 고려하여 결정하며, 적절하게 분산 배치하여 지반에 고른 저항력이 발휘되도록 시공 ◇ 다음과 같은 지반조건에서는 가급적 네일 공법 적용하지 말 것(만약 적용 시 각각의 적용 제한 조건에 대한 보완방안을 고려한 후에 적용) ① 1 ~ 2m의 연직굴착에서 자립되지 않는 지반조건 : 순수한 모래, 자갈 ② 함수비가 높고 굴착면에서 용수가 발생하는 지반 : 수평배수공, 벽체 배면의 토목성유 연직배수재, 배수구멍을 설치 ③ 연약한 점성토 지반 : 그라우트와의 주변마찰저항력 부족 및 크립 발생 ④ 예민비가 큰 지반이나 팽창성 지반조건

설계 및 시공 유의점	◇ 네일의 설치길이는 제한이 없지만 현장 용접이나 이음재를 이용하여 연결되는 부분이 최소가 되도록 시공 ◇ 네일의 설치간격이 너무 넓으면 안 되며, 시공성을 고려하여 설치각도를 결정 ◇ 네일링에는 전면벽체를 함께 설치하여 하나의 구조물로 거동되도록 하는 것을 추천함 ◇ 계절적인 지하수, 지표수의 침투, 상부 배수시설의 누수가 발생되더라도 원활한 배수가 이루어지도록 배수시설 설치
-------------------------------	---

5. 억지말뚝

특성	- 대규모 붕괴 발생 도로사면이나, 신설 구간 중 대규모 붕괴 가능성이 높은 도로사면에 적용 - 다른 공법에 비하여 비교적 지중 깊은 곳에 까지 발생하는 활동력에 저항할 수 있는 공법  <억지말뚝 개요도>
적용 사례	  <억지말뚝 시공 중 모습> <억지말뚝 시공후 소단처리>
설계 및 시공 유의점	◇ 장비의 대형화가 요구되므로 시공성, 경제성 고려 ◇ 안전해석 시 상부토체에 대한 안정성 별도 고려 ◇ 천공후 강관 삽입시 내부 슬러지 완전 제거

6. 콘크리트 버팀벽(buttrass)

특성	- 사면 하부 지지력이 상실된 공간에 콘크리트 뒤채움 - 과거 사면 하부 발파에 의한 이완암 부분 보강 - 안정된 상부자연사면을 가진 경우 사면 하부를 대상으로 소규모 대책 공법으로 효율성 극대화 추구  <버트리스 개요도>
적용 사례	  <버트리스 적용 1> <버트리스 적용 2>
설계 및 시공 유의점	◇ 시공시 기존 사면과 현장타설 콘크리트와의 일체성 구조를 가지도록 뒤채움 철저 ◇ 현장타설 콘크리트 공법 채택

7. 옹벽

특성	- 여러 형태의 옹벽이 존재하며, 도로사면 환경에 맞는 옹벽 선택이 다양 - 시공이 간편하고 보편화된 공법 - 옹벽 높이가 높을 경우 친환경적이지 못한 단점 존재
적용 사례	  <콘크리트 옹벽 기초 작업> <콘크리트 옹벽 적용>
설계 및 시공 유의점	◇ 콘크리트 타설시 계절적 영향을 많이 받으므로 동절기 시공시 이에 대한 대비 및 관리 철저 ◇ 옹벽 자체의 균열이나 변형 발생하지 않도록 시공 ◇ 기초를 완전히 다진 후 시공

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 억제효과에 대한 평가가 어렵기 때문에 사면의 안정성 계산에는 이러한 식생공을 포함시키지 않는다. 따라서 식생공은 사면이 안정되어 있는 곳이나 억제효과가 있는 구조부재와 병행하여 이용한다.

국내 사면 보호공법으로 사용되는 식생공은 패심기, 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 흩꺼기 절토사면, 장대 절토사면이나 표준경사보다 급한 흩꺼기 사면에서 상황에 따라 식생이 적합하지 않은 곳 혹은 식생을 실시하더라도 표면이 붕락할 염려가 있는 경우에 사용된다. 경사가 1:0.8(55°)보다 완만한 절토사면에 사용하는 것이 좋다. 일반적으로 격자는 프리캐스트 제품으로 격자의 교점 부분에는 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 씨앗뿌어붙이기공을 병용하거나 식생망태를 사용하여 녹화할 수도 있다. 용수가 특히 많은 경우에는 절토사면에 도수공을 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 찰쌍기식 돌붙임, 블록붙임, 콘크리트 붙임, 식생 등으로 보호한다. 암반 중에 균열이 많고 물이 침투해서 풍화를 촉진하던가 붕낙을 일으킬 염려가 있는 경우에는 모르타 뿔어붙이기 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) 모르타 및 콘크리트 뿔어붙이기(슛크리트)

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

모르타 뿔어붙이기공은 비교적 얇게 뿔어 붙일 경우에, 콘크리트 뿔어붙이기공은 비교적 두껍게 뿔어 붙일 경우에 사용된다. 뿔어 붙일 면에 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 설계시에 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.

【해설】

1. 식생공

특성	- 깎기나 면정리 등의 시공 후 표층 보호를 위해 시공 - 친환경적 공법
적용 사례	  <비탈면 녹화 추천 현장 1> (표층침식 : 풍화암층) <비탈면 녹화 추천 현장 2> (표층침식 : 토층)   <비탈면 녹화 적용 1> <비탈면 녹화 적용 2>  <비탈면 녹화 적용 3>

설계 및 시공 유의점	◇ 도로사면 구성 재료, 경사도, 주변 환경 등을 고려하여 식생종류, 피복 두께 등 결정 - 급경사 도로사면 : 객토 두께를 두껍게 하며, 잔디 등 식재 - 완경사 도로사면 : 객토 두께를 얇게 하며, 초목류 식재 ◇ 사면 녹화공법은 객토의 부착성, 온도 유지, 습도 공급 등에 민감하므로 주의하여 설계·시공 ◇ 객토는 균열이 발생하면 온도 유지, 습도 공급에 한계성을 가지므로 시공에 유의 ◇ 식생 피복 완료시까지 지속적인 수분 및 양분 공급 등 유지관리 필요 ◇ 설치 현장의 주변 식생을 고려하여 식생 종류 선택
시공불량 사 례	 <코이어넷 유실>  <객토 균열 발생>  <때심기 유실>  <네트 지반 부착 미흡>

2. 돌(블록)쌓기

개요 및 특성	◇ 개요 - 과거 석축, 축대 등의 용어로 흙막이용이나 표면보호를 위해 많이 사용된 옹벽으로 최근에는 자연석을 구하기 어려워 콘크리트 블록을 이용하여 많이 사용됨. 자중에 의해 토압에 저항하는 형식의 옹벽 ◇ 특성 - 토사와 풍화암으로 이루어진 도로사면의 침식 방지와 붕괴부 처리
적용 사례	  <돌쌓기옹벽 적용 1> <돌쌓기옹벽 적용 2>
설계 및 시공 유의점	◇ 노후화로 인해 사용 암석이 빠지는 경우 빈번함 ◇ 사면의 경사가 급한 경우 모르타르 등을 병행하여 시공

3. 콘크리트 격자

개요 및 특성	◇ 개요 - 격자형태의 블록을 도로사면에 고정시켜 강우에 의한 침식예방 공법 ◇ 특성 - 격자블록 안쪽에는 녹생토, 돌붙임공을 통해 친환경적인 도로사면 조성
적용 사례	  <격자블록 적용 1> <격자블록 적용 2>
설계 및 시공 유의점	◇ 지하수 발생 사면의 경우 배수에 안전을 기함 ◇ 돌채움시 바닥에 필터층을 설계, 시공하는 것이 유리 ◇ 도로사면과 일체형을 이루기 위해 고정핀 설치 유의 ◇ 도로사면이 요철형인 경우 형상에 따라 시공 ◇ 예상 붕괴 심도가 깊은 도로사면의 경우 적용 한계성 - 격자블록 구조물은 도로사면 표층유실 및 세굴을 방지하고 자체적으로 파괴가 발생되지 않도록 하여야 함 ◇ 일반적으로 격자블록 공법을 적용하는 조건은 - 강우시 표면수에 의해 침식되기 쉬운 지반조건 - 규모가 큰 성토사면의 하부 - 안정화된 도로사면에 부분적으로 용수가 있는 경우 - 식생 도입이 곤란한 토질조건인 도로사면

4. 콘크리트 뿔머붙이기 (쑏크리트)

개요 및 특성	◇ 개요 - 시멘트, 모래, 물이 혼합된 모르타르를 현장타설 하여 도로사면 표층부에 피복하는 공법 ◇ 특성 - 도로사면과 공기와의 접촉을 차단시켜 풍화 속도 지연 및 작은 구속압으로 안정성 확보 - 불연속면에 대한 정착 현상 및 구속압을 일정하게 유지하여 도로사면 안정성을 확보
적용 사례	  <콘크리트 뿔머붙이기 적용 1> <콘크리트 뿔머붙이기 적용 2>  <와이어매쉬 설치>

설계 및 시공 유의점	◇ 콘크리트 뿔어붙이기는 도로사면의 풍화 억제와 암반의 이탈을 막기 위해 적용하며, 일반적으로 적용하는 조건은 다음과 같음 - 도로사면의 경사 및 지반조건에 관계없이 적용 가능 - 용수가 없고 암반균열이 적은 곳에 적합 - 넓은 면적에 암반의 탈락 및 소규모 붕락이 예상되는 곳 - 급경사의 도로사면에 요철이 심하고 바위가 돌출된 곳 - 급경사의 도로사면에 단층파쇄대의 풍화진행으로 움푹 패인 구간 ◇ 콘크리트 뿔어붙이기 공법은 기본적으로 배수처리를 필요로 하며, 용수가 많은 지반은 지하수 배수시설과 병행하여 적용 ◇ 콘크리트 뿔어붙이기는 도로사면 대규모 붕괴를 방지하는 목적으로는 적절치 않으며 보강공법과 같이 적용
시공불량 사 례	  <콘크리트 뿔어붙이기 균열> <와이어매쉬 미설치 시공>   <콘크리트 뿔어붙이기 균열 및 백대현상> <콘크리트 뿔어붙이기 적용구간 붕괴>

5. 돌망태옹벽

개요 및 특성	◇ 개요 - 강재의 망태에 돌을 채워 넣음으로써 도로사면 표층부의 침식을 방지하고 암성토의 역할을 하는 공법 ◇ 특성 - 배수기능이 뛰어나 수압이 작용하는 사면에 적용 - 토사, 혼합, 쌓기 사면에 주로 사용
적용 사례	  <돌망태옹벽 적용 1> <돌망태옹벽 적용 2>
설계 및 시공 유의점	◇ 부식방지를 위한 처리 필요 - 철망의 일부가 부식 또는 시공 중 손상 등의 이유로 부분적인 파손이 발생하더라도 원래의 형상을 유지하고 옹벽의 기능을 수행할 수 있는 종류 ◇ 채움재는 돌망태옹벽 자체의 중량을 견딜 수 있고 장기적인 내구성을 가진 재료를 사용해야 하며, 채움재의 크기는 망눈의 최대치수보다 큰 것을 사용하며, 100 ~ 150 mm의 망눈을 권장함. 250 mm 이상은 가급적 사용하지 않을 것 ◇ 사용재료는 자연골재, 부순암석(퇴적암 중 사암, 셰일 계열의 암석은 제외), 부순 콘크리트 등을 사용할 것을 권장함

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 낙석발생시 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 굴러거나 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. 와이어 로프의 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.

낙석 방지망공은 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 낙석에너지 흡수하는 것으로써 일반적으로 50kJ 이하의 소규모 낙석대책으로 주로 사용되거나 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.

8) 피암터널

피암터널은 강재, 철근콘크리트 및 PC 콘크리트 등으로 도로위에 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.

9) 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 사면 경사가 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.

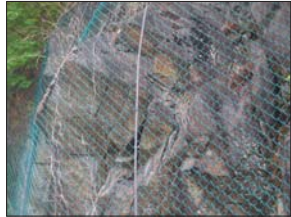
10) 낙석 방지 제방 및 도랑(ditch)

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

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

【해설】

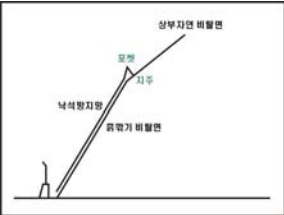
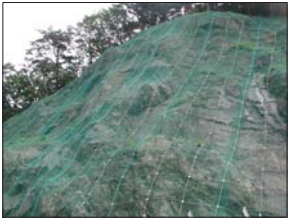
1. 뜯돌 제거

개요 및 특성	◇ 개요 - 부분적으로 이완암블록이 존재하여 낙석 발생 가능성이 높은 경우에 적용되는 공법 ◇ 특성 - 대규모의 깎기를 시행하지 않고 부분적으로 시공 가능 - 위험요인을 직접적으로 제거하여 도로사면 안정성 확보
적용 사례	  <이완암제거 추천 현장 1> <이완암제거 추천 현장 2>  <이완암제거 작업 모습 >
설계 및 시공 유의점	◇ 과도한 제거로 인해 사면의 안정성이 낮아질 수 있으므로 사전에 철저한 계획수립 및 감독 필요 ◇ 하단부 이완암제거는 지지력이 상실되어 붕괴로 발전할 가능성 있음

2. 와이어로프 걸기

개요 및 특성	◇ 개요 - 도로사면 내 대규모 이완암이 존재할 경우 와이어로프를 이용하여 이완암블록을 원지반에 묶어주는 공법 ◇ 특성 - 도로사면 상부 돌출된 암괴나 단독암괴 시공에 유리 - 영구적인 사용 불가 - 불안정한 암괴 전체를 안정시킬 수 없음
적용 사례	 <와이어로프걸기공 적용>
설계 및 시공 유의점	◇ 영구적인 공법이 아니므로 다른 공법 적용이 불가할 경우 사용 ◇ 암반의 크기, 위치, 방향을 고려하여 시공 ◇ 와이어로프의 규격 등 사용 자재에 대한 검수 철저

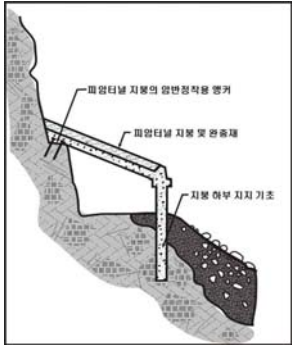
3. 낙석방지망

개요 및 특성	◇ 개요 - 이완암블록이나 뜬돌의 낙석발생시 도로유입을 차단하고 이격거리 내로 유도하는 공법 ◇ 특성 - 이완암 및 뜬돌 등의 낙석 발생시 도로 유입 차단 - 하단부에는 발생한 낙석 및 유실물을 포획할 수 있도록 낙석방지울타리, 측구, 낙석방지옹벽 등을 병행하여 시공  <낙석방지망 개요도>
적용 사례	  <비포켓식 낙석방지망> <포켓식 낙석방지망>
설계 및 시공 유의점	◇ 비포켓식 낙석방지망 시공시 도로사면과 밀착될 수 있도록 와이어와 와이어의 이음새에 고정핀 설치 ◇ 상부자연사면에 뜬돌 등이 분포할 경우 포켓식 낙석방지망을 설치하여 낙석의 도로 유입 차단

4. 낙석방지울타리

개요 및 특성	◇ 개요 - 소규모 낙석의 도로 유입 차단을 위해 낙석의 튀는 높이가 낙석방지울타리 높이보다 작을 것으로 예상되는 도로사면 하단에 설치하는 공법 ◇ 특성 - 시공성, 경제성이 유리함 - 소규모 낙석방지에 효과적임 - 도로사면의 높이가 높을 경우 낙석 포획 한계 (포획 효과를 높이기 위해 낙석방지옹벽, 측구 상단에 적용)
적용 사례	  <낙석방지울타리 적용 1> <낙석방지울타리 적용 2>
설계 및 시공 유의점	◇ 와이어의 인장이 확보될수 있도록 시공 ◇ 낙석 등 유실물 적재로 인한 기능 저하 방지를 위해 주기적인 관리 필요

5. 피암터널

개요 및 특성	◇ 개요 - 강재나 철근 콘크리트 등으로 도로에 터널을 설치하여 낙석이 터널 위로 구르게 하여 하천으로 유도되도록 하여 낙석 발생 피해를 예방하는 공법 ◇ 특성 - 도로 인근에 여유 폭이 없고, 낙석 발생의 가능성이 있는 급경사(1:0.3 이상) 도로사면에 주로 적용 - 높이 30m 이상으로 높거나 낙석의 규모가 커 사면 보호 및 보강공법의 적용이 용이하지 못한 경우 주로 적용  <피암터널 개요도>
적용 사례	 <피암터널 적용 1>  <피암터널 적용 2>

설계 및 시공 유의점	◇ 피암터널 상부는 일정한 경사(20°~30°)를 주어 낙석 등 붕괴 유실물들이 터널 상부를 타고 도로 밖으로 흘러내릴 수 있도록 하며, 낙석의 충격을 완화하기 위한 완충재(자갈, 페타이어, EPS 등) 설계 ◇ 낙석에너지와 피암터널 구성요소(피암터널 지붕, 완충재층, 지붕 하부지지 기초 등)의 에너지 흡수 가능량을 고려하여 낙석의 충격에 버틸 수 있도록 설계 ◇ 피암터널 지붕을 양반에 정착시키는 앵커는 구조물 하중과 낙석 충격에 따른 하중 모두에 저항할 수 있도록 안정적인 정착이 요구되며, 피암터널 지붕과 기둥의 두께는 낙석 에너지 흡수와 완충재의 효율성 등을 고려하여 결정 ◇ 피암터널 지붕 지지를 위한 기둥은 신선한 암반까지 삽입하여 최소한의 침하에 견디도록 설계
시공불량 사 례	 <피암터널 상단 경사층 미설치 (불량)>  <피암터널 날개벽 파손 (불량)>

6. 낙석방지옹벽

개요 및 특성	◇ 개요 - 토사나 암반 붕괴가 예상되는 지역에 유실 토사나 낙석의 도로 유입을 방지하는 공법 ◇ 특성 - 시공성이 유리함 - 측구 및 낙석방지울타리 보다 흡수능력이 높음 - 타공법과 병행하여 사용시 효과 극대
적용 사례	  <낙석방지옹벽 적용 1> <낙석방지옹벽 적용 2>
설계 및 시공 유의점	◇ 포획공간을 위해 뒤택움을 하지 말것 ◇ 작용토압이 큰 구간에서는 부적합 ◇ 시공시 배수공 적용

7. 낙석방지 제방 및 도랑(월류방지턱)

개요 및 특성	◇ 개요 - 계단식(화단)옹벽이나 소단배수구 등에 설치하는 공법으로 포획 공간을 확보하여 상부로부터의 낙석, 토사 유실 등에 대비하는 공법 ◇ 특성 - 1m 높이의 월류방지턱 시공을 통해 상부자연사면에서 발생하는 낙석 및 유실물 포획 가능
적용 사례	  <월류방지턱 적용 1> <월류방지턱 적용 2>
설계 및 시공 유의점	◇ 월류방지턱 시공시 상부 뒤택움 없이 시공 ◇ 월류방지턱 적용만으로 포획이 어려울 경우 낙석방지울타리와 병행하여 시공

라. 배수공법

1) 산마루측구

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

산마루측구 시공시 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 20m이상 절토 구간이 끝나는 곳에서는 산마루측구와 연결 또는 방류하여 절토사면이 유실되지 않도록 설치한다. 단, 사면 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 지반내에 지하수를 배제하는 경우나 지하배수공(암거공) 등에 의해 지하수위 저하를 기대할 수 없는 경우에 횡방향공을 굴착하고 유공관등을 삽입하여 배수한다.

수평배수공의 길이는 2m 이상이 바람직하다.

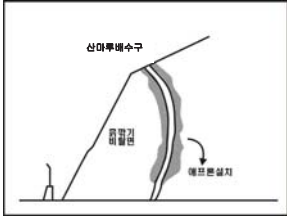
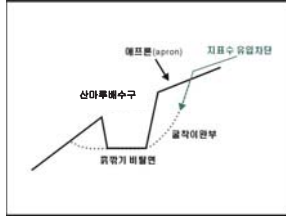
규모가 큰 지반활동지대에서는 배수터널이나 여러 본의 보정공을 조합하여 처리한다.

5) 집수정

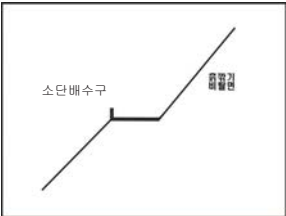
집수정은 물빠기 보링공으로는 보링 길이가 길게 되는 경우나 기반 부근에 집중적으로 지하수를 집수하는 경우에 사용한다.

【해설】

1. 산마루측구

개요 및 특성	◇ 개요 - 도로사면 경계부를 따라 배수로를 설치하여 지표수의 유입을 차단하는 공법 ◇ 특성 - 유입되는 지표수에 도로사면 침식 등의 예방을 위하여 좌, 우측부로 유도 배수  <산마루배수구 개요도>  <애프론 설치 단면>
적용 사례	 <산마루배수구 시공 모습>  <산마루배수구 적용>
설계 및 시공 유의점	◇ 측구 시공시 굴착 이완부에 애프론(apron) 설치 ◇ 산마루배수구 시공시 지표수가 측구 하부로 유입되지 않도록 세심한 시공 관리 ◇ 도로사면과 측구 경계부가 일체성을 유지하여 지표수가 측구로 유도되도록 설계·시공

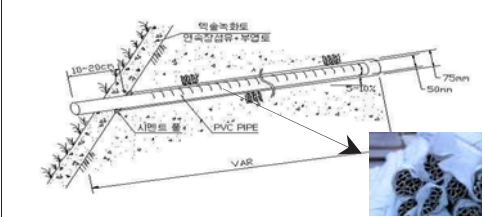
2. 소단배수구

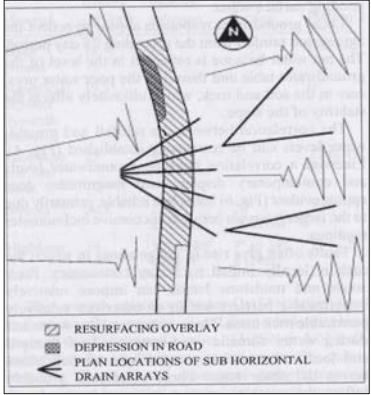
개요 및 특성	◇ 개요 - 도로사면 소단에 유입되는 지표수의 원활한 배수를 위한 공법 ◇ 특성 - 유입되는 지표수에 의해 도로사면이 침식되지 않도록 좌, 우측부로 유도 배수   <소단배수구 개요도 1> <소단배수구 개요도 2>
적용 사례	  <소단배수구 적용(양호)> <소단배수구 시공(불량)>
설계 및 시공 유의점	◇ 소단배수구 경계부 유실 방지를 위해 전단면 배수 형태로 시공 ◇ 사면 접합부를 사면과 일체화시켜 지표수를 배수로로 유도 ◇ 지표와 밀착하지 못한 경우 지표 틈새로 지표수 유입 가능성이 있으므로 지표와 밀착하여 시공

3. 도수로(횡배수시설)

개요 및 특성	◇ 개요 - 도로사면에서 내려온 유수를 도로 건너편의 하천이나 계곡으로 유도하기 위해 도로 하부에 설치하는 배수시설 ◇ 특성 - 도로사면으로 집수되는 유수량이 많을 때 적용 - 도로사면 맞은 편이 하천지역이나, 계곡부 일 때 적용 유리
적용 사례	 <횡배수시설 적용 >
설계 및 시공 유의점	◇ 집수구간에 유실물 등의 이물질로 인해 막힘 현상이 빈번히 발생하므로 정기적인 청소 및 점검이 필요

4. 수평배수공

개요 및 특성	◇ 개요 - 도로사면 내부로 유입되는 지하수를 신속히 배수시켜 안정화를 추구하는 공법 ◇ 특성 - 지하수가 빈번한 지점에서 도로사면 내부로 강제적인 배수로를 형성하여 상시 지하수위의 증가 억제  <수평배수공 개요도>
적용 사례	 <수평배수공 설치사례>  <수평배수공 공내 다발관>  <수평배수공 유도 성공 1>  <수평배수공 유도 성공 2>

설계 및 시공 유의점	◇ 집수면적, 경사도, 지하수 누수지점 등을 고려한 배수공 설치 ◇ 지하수 누수 흔적 지점에 집중적으로 배수공 설치 ◇ 일방향 타설 방식보다는 지형 형상을 고려한 방사형 타설이 효과적  <지형 고려 수평배수공 배열 - 영국>
시공불량 사 례	 <수평배수공 일정 간격 설치>

5. 집수시설(정)

개요 및 특성	◇ 개요 - 계곡부나 집수 지형을 따라 내려온 유수를 모아 하류로 내려 보내는 시설 ◇ 특성 - 소단배수구, 종배수구, 산마루배수구를 통해 유입된 유수를 모아서 배수
적용 사례	  <집수시설 적용 1> <집수시설 적용 2>
설계 및 시공 유의점	◇ 원활한 배수 유도를 위해 연결부 시공 철저 ◇ 원활한 배수를 위한 정기적인 청소 필요

절토사면의 보수 · 보강공법은 사면의 구성재료와 공법의 원리에 따라 [표 12.31] 및 [표 12.32]으로 구분하여 적용하여야 한다.

[표 12.31] 토사사면의 원리별 대책공법 종류

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

[표 12.32] 암반 사면의 원리별 대책공법 종류

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

부 록

A. 과업지시서 예시

B. 사전검토 보고서 예시

부록 A

과업지시서 예시

-정밀점검, 정밀안전진단

본 과업지시서 예시는 과업의 제반여건에 따라 변경될 수 있습니다.

정밀안전진단(안전점검) 과업지시서

1. 일반조건

1.1 과업명 : ○○절토사면 정밀안전진단(안전점검)

1.2 과업의 목적

본 과업은 “시설물의안전관리에관한특별법”(이하 “시특법“ 이라한다.) 제7조 및 동법 시행령 제9조에 규정에 따른 정밀안전진단(안전점검)으로서 시설물에 대한 물리적 기능적 결함을 조사하고 구조적 안전성 및 손상상태를 점검하여, 재해를 예방하고 시설물의 효용을 증진시켜 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.3 과업의 범위

1.3.1 시설물 명 : ○○절토사면

1.3.2 위치 : ○○도 ○○시(군) ○○동(면) ○○리

1.3.3 제 원

- 사면연장 : m
- 사면높이 : m
- 준공년도 :

1.3.4 정밀안전진단(안전점검) 대상시설물의 범위

[정밀안전진단]

- 상부자연사면
- 사면
- 사면하부
- 보호시설
- 보강시설
- 배수처리시설
- 이격거리내 시설

[정밀점검]

- 상부자연사면
- 사면
- 사면하부
- 보호시설
- 보강시설
- 배수처리시설
- 이격거리내 시설

1.4 과업내용

[정밀안전진단]

- 1) 자료수집 및 분석
- 2) 현장조사 및 시험
- 3) 상태평가
- 4) 안전성평가
- 5) 종합평가
- 6) 보수·보강방법
- 7) 보고서 작성

[안전점검]

- 1) 자료수집 및 분석
- 2) 현장조사 및 시험
- 3) 상태평가
- 4) 안전성평가(선택과업이 있을 경우)
- 5) 보수·보강방법(선택과업이 있을 경우)
- 6) 보고서 작성

1.5 주요업무의 사전승인 등

계약상대자는 다음사항에 대해서는 사전에 관리주체의 승인을 받아 과업을 수행하여야 한다.

- 1) 과업수행계획서 및 착수신고서의 내용변경
- 2) 기본계획을 포함한 주요내용 및 방침의 설정 또는 변경
- 3) 기타 감독원의 지시나 계약상대자의 판단에 따라 승인 받아야 할 사항

1.6 과업수행 및 공정보고

1.6.1 착수신고서 제출

- 1) 계약상대자가 과업착수시 제출할 착수신고서와 착수신고서에 포함되어 제출할 서류의 내용과 서식은 다음 각호와 같다.

- ㉠ 착수신고서
- ㉡ 사업수행계획서
- ㉢ 인력 및 장비 투입계획서
- ㉣ 세부공정계획서
- ㉤ 사업책임기술자 선임신고서
- ㉥ 사업수행 조직표
- ㉦ 안전관리계획서
- ㉧ 사전검토 보고서

- 2) 계약상대자는 당해 시설물의 설계도서 등 유지관리자료와 과업지시서 등이 법령 및 지침, 세부지침 등에 부합되는지의 여부를 검토하여 용역 착수일로부터 15일 이내에 관리주체에게 서면으로 보고하고 그 방침을 받아 용역 업무를 진행하여야 한다. 다만, 용역업무의 특수성 등으로 인하여 별도로 기간을 정할 경우에는 그 기간으로 한다.
- 3) 설계도서 등의 사전검토를 거쳐 관리주체의 방침을 받은 결과를 반영한 과업수행 계획서를 작성하여 관리주체에게 서면으로 보고하고 승인을 받아 용역 업무를 진

행하여야 한다.

- 4) 설계도서 등의 사전검토 보고서와 과업수행계획서에 관한 일체의 서류는 정밀안전진단(안전점검) 실시결과 보고서에 수록하여야 한다.
- 5) 계약상대자는 상기 1.6.1항의 착수신고 서류 ○부를 관리주체에 제출하여야 한다.

1.6.2 공정보고

계약상대자는 과업수행기간중 다음사항을 포함한 월간진도보고를 매월 말일을 기준으로 하여 다음달 5일까지 점검책임기술자의 확인을 받아 관리주체에 제출하여야 한다.

- 1) 과업추진내용 및 공정현황
- 2) 과업수행상 중요 문제점 및 대책
- 3) 참여기술자 현황
- 4) 다음 달 과업수행 계획

1.7 법률준수의 의무

계약상대자는 이 과업을 수행함에 있어 관계 법률에 저촉되는 행위로 인한 모든 피해 사항에 대하여 책임을 져야 한다.

1.8 안전관리

1.8.1 일반

안전점검 및 정밀안전진단을 실시하는 사람은 안전은 물론 공공의 안전을 위하여 진단측정장비 및 기기 등을 안전하게 운용하고 작업을 안전하게 수행하도록 안전관리계획을 수립하여야 한다.

1.8.2 안전점검 및 정밀안전진단 종사자의 안전

- 1) 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하는 사람은 안전모, 작업복, 작업화와 필요한 경우 청각, 시각 및 안면보호장비 등을 포함한 개인용 보호장구를 항상 착용하여야 하며 진단측정장비 및 기기를 항상 최적의 상태로 정비하여야 한다.
- 2) 밀폐된 공간에서의 작업이 필요할 경우에는 유해물질, 가스 및 산소결핍 등에 대한 조사와 대책을 사전에 마련하여야 한다.

1.8.3 공공의 안전

공공의 안전측면에서 관리주체는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 기간 동안 교통통제와 작업공간 확보를 위하여 적절한 계획을 수립 시행하여야 한다.

1.9 용어의 해석

과업지시서상의 용어해석에 차이가 있을 경우에는 관리주체와 계약상대자가 상호 협의하여 결정해야 한다.

2. 점검계획 및 세부사항

2.1 점검계획

2.1.1 일 반

점검계획은 현장에서의 예비조사 후에 수립하며 조사항목은 아래와 같다.

- 1) 현장여건 및 문제점
- 2) 시설관리자 및 주민의견 청취
- 3) 제반시설 관련자료

이때 도면 및 자료를 개략 검토한 후에 조사를 수행함으로써 구조물의 형상이나 세부사항들에 대한 예비검증이 되도록 한다.

2.1.2 점검계획 수립

예비조사시 수집된 자료의 검토 후 점검계획을 수립하며 다음 사항이 포함되어야 한다.

- 1) 조사범위 및 항목결정
 - 각 분야별 조사범위와 세부항목을 전체 점검계획에 맞추어 결정
 - 책임기술자가 필요하다고 판단되는 경우 별도조사항목 포함
- 2) 기존 점검자료 검토
 - 기발견된 결함의 확인을 위해 검토
- 3) 분야별 소요인원 및 구성
 - 분야별 총 소요인원을 판단하여 가용인력을 판단, 투입계획수립
- 4) 재료시험 실시에 대한 적정성여부 판단
- 5) 점검기간 및 계획된 작업시간 예측
- 6) 점검범위 및 안전성에 대한 판단
- 7) 점검장비 선정

재료시험에 대한 장비, 측량장비, 토질, 기계, 전기, 시험장비를 준비할 때에는 분야별 세부조사항목에 부합되는 장비를 준비한다. 또한, 접근장비는 육안조사 및 점검장비에 의한 측정이 가능 하도록 사다리, 이동식작업대, 리프트카, 비계, 모터카 등을 준비한다.

이러한 장비선정시에 다음항목을 고려한다.

- ① 접근장비를 안전하게 지지하는지 여부
- ② 장비위치에 따른 교통통제 필요성
- ③ 장비설치에 따른 지장물 존재여부

8) 점검종사자 안전

- 점검업무 및 접근방법과 관련하여 점검자는 안전사고 예방에 유의한다.

9) 기타 점검자와 관리주체가 필요하다고 판단되는 사항

2.1.3 과업수행 적용 기준

본 과업은 다음의 현행 제규정 및 지침에 의거하여 제반사항을 성실히 이행하여야 한다.

- 1) 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 2) 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침
- 3) 건설공사 비탈면 설계기준
- 3) 콘크리트 구조설계기준
- 4) 콘크리트 표준시방서
- 5) 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 6) 국토해양부 발행 각종 관련 표준시방서

2.2 점검실시 세부사항

2.2.1 자료수집 및 분석

관리주체가 보존하는 감리보고서·시설물관리대장 및 설계도서 등 관련서류와 다음에 명시된 자료를 수집하고 검토·분석하여 본 과업의 기초자료로 활용한다.

- 1) 설계도서
시설물의 준공도서로서 종·평면도, 단면도, 구조물도, 시공상세도, 구조계산서, 공사시방서 등 시설물의 유지관리에 필요한 도서
- 2) 시설물관리대장
- 3) 시공관련 자료
- 4) 안전점검 및 정밀안전진단 자료
- 5) 보수·보강공사 자료

2.2.2 현장 조사 및 제반관련 시험 실시

- 1) 현장조사는 사전에 기존자료를 검토하여 예상되는 각종손상에 대하여 충분히 이해한 후 현장조사에 임한다.
- 2) 현장조사는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단지침(세부지침, 절토사면편)에 의해 실시하며, 점검대상 구조물에 대한 상세외관조사 및 현장시험을 실시하여 부위(당)별, 부재별로 상태평가에 활용한다.
- 3) 상세외관조사시 주요결함이 발견될 경우 이에 대한 안전성검토 실시한다.

2.2.3 세부시설별 조사사항

※ 정밀안전진단(안전점검) 대상시설물의 범위와 기본과업 및 선택과업구분에 따라 당해 시설물에 해당하는 조사사항을 선택하여 명시함

구 분		조사 사항
절토사면	사면손상상태	<면밀한 외관조사> - 파괴정후 · 인장균열, 이완암괴 규모 · 사면 및 구조물 변형 상태 - 파괴현황 · 파괴유형, 위치, 규모 등
	사면파괴요인	<면밀한 외관조사> - 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 (필요할 경우 지진 하중) - 인위적 외부 요인 상태 · 절취 상태, 배수 조건 · 표면 보호 및 보강공 상태 <간단한 측정> - 반발경도법에 의한 강도 조사 (슈미트해머, 토양경도계)
	시 험 (안전성평가의 경우)	<안정해석을 위한 지반정수 분석> - 토질시험 · 전단시험(점착력, 점두마찰각, 잔류마찰각), 표준관입시험 - 암석시험 · 일축압축강도 (코어시료 획득 불가시 점하중시험으로 환산) · 절리면 직접전단시험(점착력, 내부마찰각) · 물성시험 : 단위중량, 탄성계수, 포아송 비

2.2.4 선택과업

선택과업은 과업 수행전 계약상대자와 합동으로 실시한 사전조사 결과에 따라 조사 항목을 선정하며, 과업수행 중에 발생하는 항목은 협의하여 추진한다.

2.2.5 상태평가

상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 세부지침의 상태평가 기준에 따라 실시한다.

정밀안전진단에서는 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정한다.

상태평가가 정확히 이루어졌는지 확인하는 동시에 기록용 문서로서 이용하기 위하여 안전점검·정밀안전진단을 실시한 사람은 외관조사 결과를 안전점검·정밀안전진단 서식에 각각의 결함의 형태, 크기, 양 및 심각한 정도 등을 기록하여야 한다.

(정밀점검에서는 기본시설물에 대하여 점검하고, 외관조사망도를 작성하여 상세히 상태평가를 실시하며, 외관조사망도를 작성하지 않은 부위는 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서에 수록된 상태평가 결과를 참조하여 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정한다.)

2.2.6 안전성평가(안전점검의 경우 선택과업)

책임기술자는 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 세부지침의 안전성평가 기준에 따라 시설물의 안전성평가 결과를 결정한다.

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

2.2.7 종합평가 및 안전등급 지정

- 1) 상태평가 및 안전성평가를 실시한 결과를 종합하여 세부지침의 종합평가 기준에 따라 시설물의 종합평가 결과를 결정한다.
- 2) 정밀안전진단(안전점검)을 실시한 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정한다.
다만 정밀안전진단(안전점검) 실시결과 기존의 안전등급보다 상향하여 조정할 경우에는 해당 시설물에 대한 보수·보강 조치 등 그 사유가 분명하여야 한다.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2.2.8 보수·보강방법(안전점검의 경우 선택과업)

1) 일반

보수는 시설물의 내구성능을 회복 또는 향상시키는 것을 목적으로 한 유지관리 대책을 말하며, 보강이란 부재나 구조물의 내하력과 강성 등의 역학적 성능을 회복, 혹은 향상시키는 것을 목적으로 한 대책을 말한다.

보수를 위해서는 상태평가 결과 등을, 보강을 위해서는 상태평가 및 안전성평가 결과 등을 상세히 검토하고, 발생된 결함의 종류 및 정도, 구조물의 중요도, 사용 환경조건 및 경제성 등에 의해서 필요한 보수·보강 방법 및 수준을 정하여야 한다.

2) 보수·보강의 필요성 판단

보수의 필요성은 발생된 손상(균열 등)이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 의하여야 하며, 이를 위해 본 지침 및 각종 기준(표준시방서 등)을 참조한다.

보강의 경우는 부재안전율을 각종 기준에서 정하는 수치이상으로 하기 위하여 어느 정도까지 부재단면 등을 증가하여야 하는지를 판단하여야 한다.

3) 보수·보강의 수준의 결정

보수·보강의 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 아래의 경우 중에서 결정한다.

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

4) 공법의 선정

구조물 결함에 따른 보수·보강은 보수재료와 공법 선정시 공법의 적용성, 구조적 안전성, 경제성 등을 검토하여 결정한다.

이때 중요한 것은 구조물의 결함 발생 원인에 대한 정확한 분석이며, 이를 통해 적절한 공법을 선정할 수 있고, 또한 적절한 보수재료를 선택할 수 있다.

따라서 시설물관련 제반자료, 진단시 수행한 각종 상태평가 및 안전성 평가 결과를 기초로 하여, 결함 발생 원인에 대한 정확한 분석 후 결함부위 또는 부재에 가장 적합한 보수·보강공법을 선정하여야 한다.

5) 보수·보강 우선순위의 결정

각 시설물은 주요부재와 보조부재로 이루어져 있으며, 이들 시설물에서 발생된 각종 결함에 대한 보수·보강 우선순위는 다음과 같이 결정한다.

- 보수보다 보강을, 주부재를 보조부재보다 우선하여 실시한다.
- 시설물 전체에서의 우선순위 결정은 각 부재가 갖는 중요도, 발생한 결함의 심각성 등을 종합 검토하여 결정한다.

6) 유지관리 방안 제시(선택과업)

시설물을 안전하고 경제적으로 유지관리하는데 필요한 사항을 제시하는 것으로 결함 및 손상의 종류와 원인, 점검요령, 조치대책 등에 관한 실무적이고 필수적인 내용을 해당 시설물의 그림 및 사진 등을 위주로 구성하여 안전점검 경험이 적은 사람도 쉽게 활용할 수 있도록 하여야 한다.

3. 보고서 작성 방법

3.1 일반

정밀안전진단(안전점검) 실시결과 보고서는 시설물 관리주체의 유지관리업무에 효율적이며 체계적으로 활용할 수 있도록 과업내용을 중심으로 작성·제출하여야 하며, 세부적인 작성 방법은 세부지침을 참조한다.

3.2 정밀점검보고서에 포함될 사항

1) 서두

- 보고서의 표지 다음에 정밀점검의 개요를 쉽게 알 수 있도록 다음의 서류를 붙인다.
- 제출문(정밀점검을 실시한 기관의 장)
 - 정밀점검 결과표 (안전등급)
 - 시설물 현황표
 - 참여 기술진 명단
 - 시설물의 위치도
 - 시설물의 전경사진, 부위별 사진
 - 정밀점검 실시결과 요약문
 - 보고서 목차

2) 정밀점검의 개요

정밀점검의 범위와 과업내용 등 정밀점검 계획 및 실시와 관련된 주요사항을 기술한다.

- 점검의 목적
- 시설물의 개요 및 이력사항
- 점검의 범위 및 과업내용
- 사용장비 및 기기 현황
- 점검 수행 일정

3) 자료수집 및 분석

정밀점검의 관련자료를 검토·분석하고 그 내용을 기술한다.

- 설계도면, 구조계산서
- 기존 정밀점검·정밀안전진단 실시결과
- 보수·보강이력
- 시설물의 내진설계 여부 확인
- 기타 관련자료

4) 현장조사 및 시험

과업내용에 의거 실시한 현장조사, 시험 및 측정 등의 결과분석 내용을 기술하고, 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.

- 기본시설물 또는 주요부재별 외관조사 결과분석
- 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석
- 재료시험 및 측정 결과분석

5) 시설물의 상태평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 시험의 분석 결과에 따라서 상태평가 결과의 작성 방법은 세부지침의 제8장에서 기술한 내용을 따른다.

- 대상 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과 결정
- 콘크리트 또는 강재의 내구성 평가

6) 안전등급 지정

정밀점검 실시결과 상태평가 및 안전성평가(필요시) 등을 종합적으로 평가하여 제11장에서 기술한 내용을 따라 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 한다.

7) 시설물의 안전성 평가 (필요한 경우 추가로 실시)

안전점검 결과 시설물의 보수·보강방법을 제시한 때에는 보수·보강시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 시행방법을 검토

8) 종합결론 및 건의

- 정밀점검 실시결과와 종합결론
- 정밀안전진단 및 시설물의 사용제한의 필요성 여부

- 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항
- 기타 필요한 사항

9) 부록

- 과업지시서
- 외관조사망도
- 측정, 시험 성과표
- 상태평가 결과 자료
- 시설물관리대장 사본
- 현황조사 및 외관조사 사진첩
- 사용장비 및 기기의 사진
- 사전조사 자료 일체
- 기타 참고자료

(정밀점검 결과와 관련되는 설계도서, 감리보고서, 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서 등 관련자료 포함)

3.3 정밀안전진단보고서에 포함될 사항

1) 서두

보고서의 표지 다음에 정밀안전진단의 개요를 쉽게 알 수 있도록 다음의 서류를 붙인다.

- 제출문(정밀안전진단을 실시한 기관의 장)
- 정밀안전진단 결과표 (안전등급)
- 시설물 현황표
- 참여 기술진 명단
- 시설물의 위치도
- 시설물의 전경사진, 부위별 사진
- 정밀안전진단 실시결과 요약문
- 보고서 목차

2) 정밀안전진단의 개요

정밀안전진단의 범위와 과업내용 등 정밀안전진단 계획 및 실시와 관련된 주요 사항을 기술한다.

- 진단의 목적
- 시설물의 개요 및 이력사항
- 진단의 범위 및 과업내용
- 사용장비 및 시험기기 현황
- 진단 수행 일정

3) 자료수집 및 분석

정밀안전진단의 관련자료를 검토·분석하고 그 내용을 기술한다.

- 설계도면, 구조계산서

- 기존 정밀점검·정밀안전진단 실시결과
- 보수·보강이력 및 용도변경
- 시설물의 내진설계 여부 확인
- 기타 관련자료

4) 현장조사 및 시험

과업내용에 의거 실시한 현장조사, 시험 및 측정 등의 결과분석 내용을 기술하고, 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.

- 전체 시설물 외관조사 결과분석
- 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석
- 재료시험, 측정결과의 분석

5) 시설물의 상태평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 시험의 분석 결과에 따라서 시설물의 상태평가 결과를 작성하며, 작성 방법은 세부지침의 제8장에서 기술한 내용을 따른다.

- 콘크리트 또는 강재의 내구성 평가
- 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결정

6) 시설물의 안전성평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 재료시험 등의 결과를 분석하고 이를 바탕으로 구조물의 내구성, 사용성 및 안전성 등을 검토하고 시설물의 구조적, 기능적 안전성을 평가한다.

- 현장 재하시험 및 계측 결과분석
- 지형, 지질, 지반, 토질조사 등의 결과분석
- 시설물의 변위, 변형 등의 측정결과 분석
- 시설물의 구조 및 지반해석 및 구조 및 지반해석을 통한 분석결과
- 정밀안전진단 결과 시설물의 보수·보강방법을 제시한 때에는 보수·보강시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 구조안전성 평가 포함 시행
- 시설물의 안전성평가 결정

안전성평가 작성 방법은 세부지침의 제9장에서 기술한 내용을 따른다.

7) 종합평가

- 시설물의 상태평가와 안전성평가 결과를 종합하여 안전상태 종합평가 결과의 결정한다

종합평가 작성 방법은 세부지침의 제10장에서 기술한 내용을 따른다.

8) 안전등급 지정

정밀안전진단 실시결과 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여 제11장에서 기술한 내용을 따라 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 한다.

9) 보수·보강 방법

시설물의 상태평가와 안전성평가 결과에 따라 손상 및 결함이 있는 부위 또는 부재에 대하여 적용할 보수·보강 방법을 제시함.

(내진성능 평가 후 내진능력 부족시의 경우를 포함)

- 보수·보강방법에 대한 개요, 시공방법, 시공시 주의사항 등
- 당해 시설물의 유지관리를 위한 요령, 대책 등

시설물을 안전하고 경제적으로 유지관리하는데 필요한 사항을 제시하는 것으로 결함 및 손상의 종류와 원인, 점검요령, 조치대책 등에 관한 실무적이고 필수적인 내용을 해당 시설물의 그림 및 사진 등을 위주로 구성하여 안전점검 경험이 적은 사람도 쉽게 활용할 수 있도록 하여야 한다.

10) 종합결론 및 건의사항

- 정밀안전진단 실시결과와 종합결론
- 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항
- 기타 필요한 사항

11) 부록

- 과업지시서
- 외관조사망도
- 구조해석 모델링 및 수치해석 자료 (입출력자료는 e-보고서에 포함)
- 측정, 시험, 계측 성과표
- 상태평가 결과 자료
- 안전성평가 결과 자료
- 시설물관리대장 사본
- 현황조사 및 외관조사 사진첩
- 사용장비 및 기기의 사진
- 사전조사 자료 일체
- 기타 참고자료

(정밀안전진단 결과와 관련되는 설계도서, 감리보고서, 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서 등 관련자료 포함)

4. 성과품 납품목록

이 과업과 관련한 성과품은 다음과 같으며 이에 대한 지불은 산출내역서상의 계약금액으로 한다

- 1) 정밀안전진단(안전점검)보고서(부록포함) : 20부(안전점검의 경우 10부)
- 2) CD보고서 : 5부
- 3) 사진첩 : 3부

부록 B

사전검토 보고서 예시

정밀안전진단(안전점검) 사전검토 보고서

1. 과업명 : ○○절토사면 정밀안전진단(안전점검)

2. 배경 및 목적

시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침(국토해양부고시 제2010-1037호, 2010. 12.31)의 3.1.4항 및 3.9.2항에 따라 과업대상 시설물의 과업지시서 또는 용역설계서 내용이 법령 및 지침, 세부지침 등에 부합되는지 여부를 검토하고, 그 결과를 관리주체에 보고하고 과업수행계획서에 수록하고자 함

3. 과업의 범위

3.1 시설물 명 : ○○절토사면

3.2 위치 : ○○도 ○○시(군) ○○동(면) ○○리

4. 사전검토 내용

4.1 안전점검 및 정밀안전진단 대상시설물의 범위

구 분	시설물명	지침 및 세부지침상 점검 및 진단 실시범위			금회 실시범위	제외사유
		정기 점검	정밀 점검	정밀 안전진단		
기본 시설물	◦ 상부자연사면	○	○	○		
	◦ 사면		○	○		
	◦ 사면하부		○	○		
부대 시설물	◦ 보호시설	○	○	○		
	◦ 보강시설	○	○	○		
	◦ 배수처리시설	○	○	○		
	◦ 이격거리내 시설	○	○	○		

4.2 안전점검 및 정밀안전진단 유지관리자료 보유 현황 검토

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비고
설계도서	◦ 공통 - 준공내역서 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서		
	◦ 설계도면 - 공통 - 토목 - 건축 - 기계·전기설비		
시설물 관리대장	◦ 기본현황 ◦ 상체제원 ◦ 유지관리 이력		
시공관련 자료	◦ 시공관련 자료 ◦ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록 - 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료 ◦ 사고기록		
안전점검 및 정밀안전진단 자료			
보수보강 자료			

4.3 안전점검 및 정밀안전진단 과업의 범위

[표 1.1] 정밀점검일 경우

과업항목	지침상 기본과업	금회 과업 내용	
자료수집 및 분석	- 설계도서 - 시설물관리대장 - 시공관련자료 - 안전점검·정밀안전진단 실시결과 자료 - 보수·보강이력 검토분석	○저동	
현장조사 및 시험	- 기본시설물 또는 주요부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등 - 지반상태 변화 : 파괴정후, 파괴현황, 지반 상태, 사면 형상 등 - 간단한 현장 시험 등 - 암반 비파괴강도(반발경도시험) - 토양경도 측정	○콘크리트 시험 -반발경도시험 -탄성률시험 -균열길이 조사 ○토양성분시험	
상태평가	- 외관조사 결과분석 - 현장시험 결과 분석 - 대상 시설물(부재)에 대한 상태평가 - 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 책임 기술자의 소견 (안전등급 지정)	○저동	
안전성평가	-		
보수·보강 방법	-		
보고서작성	•CAD 도면 작성 등 보고서 작성	○저동	
과업항목	지침상 선택과업	금회 과업 내용	비용 반영
자료수집 및 분석	- 구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우) - 실측도면 작성 (도면이 없는 경우)		
현장조사 및 시험	- 전체부재에 대한 외관조사망도 작성 - 시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해제 등 - 지반조사 및 시험 - 토질시험 - 암석시험 - 시추조사 - 절리방향성 분석 - 지하수위측정 - 물리탐사 - 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성 평가 등에 필요한 조사시험	○콘크리트 시험 -반발경도시험 -탄성률시험 -균열길이 조사 ○토질시험	○ ○ ○
상태평가	-		
안전성평가	- 필요한 부위의 구조지반수리수문 해석 등 안전성평가 - 임시 고정하중에 대한 안전성평가		
보수·보강 방법	•보수·보강 방법 제시		

[표 1.2] 정밀안전진단일 경우

과업항목	지침상 기본과업	금회 과업 내용
자료수집 및 분석	- 설계도서 - 시설물관리대장 - 시공관련자료 - 안전점검·정밀안전진단 실시결과 자료 - 보수·보강이력 검토분석	○저동
현장조사 및 시험	- 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 - 콘크리트 구조물: 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등 - 지반상태 변화 : 파괴정후, 파괴현황, 지반 상태, 사면형상 등 - 자연적 외부요인 - 강우, 지하수 등 - 인위적 외부요인 - 절취상태, 배수조건, 보강상태 등 - 현장조사 - 슈미트해머 반발계수 - 토양경도계 - 지표,지질 지반조사 - 토사사면 - 암반사면 - 시추조사 - 물리탐사	○전체부재 외관조사 및 외관조사망도 작성 ○콘크리트 시험 -반발경도시험 -조음파전달속도시험 -탄성률시험 -균열길이 조사 ○전기비저항탐사 ○탄성파탐사
상태평가	- 외관조사 결과분석 - 현장시험 및 재료시험 결과분석 - 콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 - 부재별 및 시설물 전체 상태평가 결과에 대한 소견	○저동
안전성평가	- 조사, 시험, 측정결과와 분석 - 기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토분석 - 내하력 및 구조 안전성평가 - 시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견	○저동
종합평가	- 시설물의 종합평가 결과에 대한 소견 - 안전등급 지정	○저동
보수·보강방법	•보수·보강 방법 제시	○저동
보고서작성	•CAD 도면 작성 등 보고서 작성	○저동

[표 1.2] 정밀안전진단일 경우(계속)

과업항목	지침상 선택과업	금회 과업 내용	비용 반영
자료수집 및 분석	- 구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우) - 실측도면 작성 (도면이 없는 경우)		
현장조사 및 시험	- 시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전 시설 설치 및 해체 등 - 조사용 접근장비 운용 - 계측시설의 성능검사 또는 시험계측 - 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성평가 등에 필요한 조사·시험	○ 시험 -양식식내시험 -식내 토질시험 등 ○ 지반 및 토질조사 ○ 계측기 상태조사	○ ○ ○ ※
안전성평가	- 구조·지반·수리·수문 해석 - 구조안전성 평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문 - 내진성능 평가 및 사용성 평가 - 임시 고정하중에 대한 안전성평가	○ 구조·지반·수리·수문 해석 ○ 구조안전성 평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문	※ ○
보수·보강 방법	- 내진보강 방안 제시 - 시설물 유지관리 방안 제시	○ 내진보강 방안 제시 ○ 시설물 유지관리 방안 제시	※ ※

4.4 안전점검 및 정밀안전진단 기본과업 재료시험 수량

[표 2.1] 정밀점검의 경우

구 분	세부지침 기준			금회 수량	비고
	토사사면	암반사면	산출수량		
토층두께	○ 최후층 1개소	○ 최후층 1개소			
반발경도	○ 해당사항 없음	○ 구간별 필요수량			
불연속면조사	○ 해당사항 없음	○ 구간별 필요수량			
인장균열	상부자연사면 전구간				

[표 2.2] 정밀안전진단의 경우

구 분	세부지침 기준			금회 수량	비고
	토사사면	암반사면	산출수량		
토층두께	○ 최후층 1개소	○ 최후층 1개소			
반발경도	○ 해당사항 없음	○ 구간별 필요수량			
절리면 전단시험	○ 해당사항 없음	○ 구간별 필요수량			
점하중시험	○ 해당사항 없음	○ 구간별 필요수량			
불연속면조사	○ 해당사항 없음	○ 구간별 필요수량			
인장균열	상부자연사면 전구간				

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

4.5 기타 사항

5. 결론

[정밀점검의 경우 예시]

과업지시서와 용역계약서 검토결과, 정밀점검의 범위, 유지관리자료, 과업범위, 기본과업의 재요시현수량은 모두 지친, 세부지침과 부합됨.

[정밀안전진단의 경우 예시]

과업지시서와 용역계약서 검토결과, 정밀안전진단의 범위, 유지관리자료, 기본과업의 재요시현수량은 지친, 세부지침과 부합됨.

다만, 정밀안전진단 과업범위 중 아래와 같이 일부 항목에 대한 비용이 반영되지 않아 보완이 필요함

◦ 현장조사 및 시험

- 지반조사
- 물리탐사

◦ 안전성평가

- 지반 구조 해석

◦ 보수·보강방법

- 내진보강방안제시
- 시설물 유지관리 방안 제시

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서(절토사면)

발행 한국시설안전공단

2012년 12월 일 초판

* 본 세부지침해설서의 내용에 관한 질의 및 건의 사항은
한국시설안전공단으로 연락하여 주시기 바랍니다.

한국시설안전공단 (http://www.kistec.or.kr)
(우) 411-758 경기도 고양시 일산서구 고양대로 315 대표전화 1599-4114, 031-910-4114

본 세부지침해설서 및 다른 해설서 내용은
공단홈페이지에서 다운로드 받으실 수 있습니다.

공 통 편		2011. 12
시설물편	제 1 장 교 량	2012. 12(개정판)
	제 2 장 터 널	2011. 12
	제 3 장 댐	2011. 12
	제 4 장 항 만	2011. 12
	제 5 장 상 수 도	2011. 12
	제 6 장 하 구 독	2012. 12
	제 7 장 수 문	2012. 12
	제 8 장 제 방	2012. 12
	제 9 장 하수처리장	2012. 12
	제 10 장 건 축 물	2011. 12
	제 11 장 옹 벽	2012. 12
	제 12 장 절 토 사 면	2012. 12