

제 II 편 시설물편

1. 삼덕대절토사면 좌측
2. 당고개절토사면 좌측
3. 당고개절토사면 우측

1. 삼덕대절토사면 좌측

- 1.1 대상 시설물 현황
- 1.2 관련 자료의 분석
- 1.3 현장조사
- 1.4 안전성능평가
- 1.5 내구성능평가
- 1.6 종합평가
- 1.7 유지관리전략 제안
- 1.8 종합결론

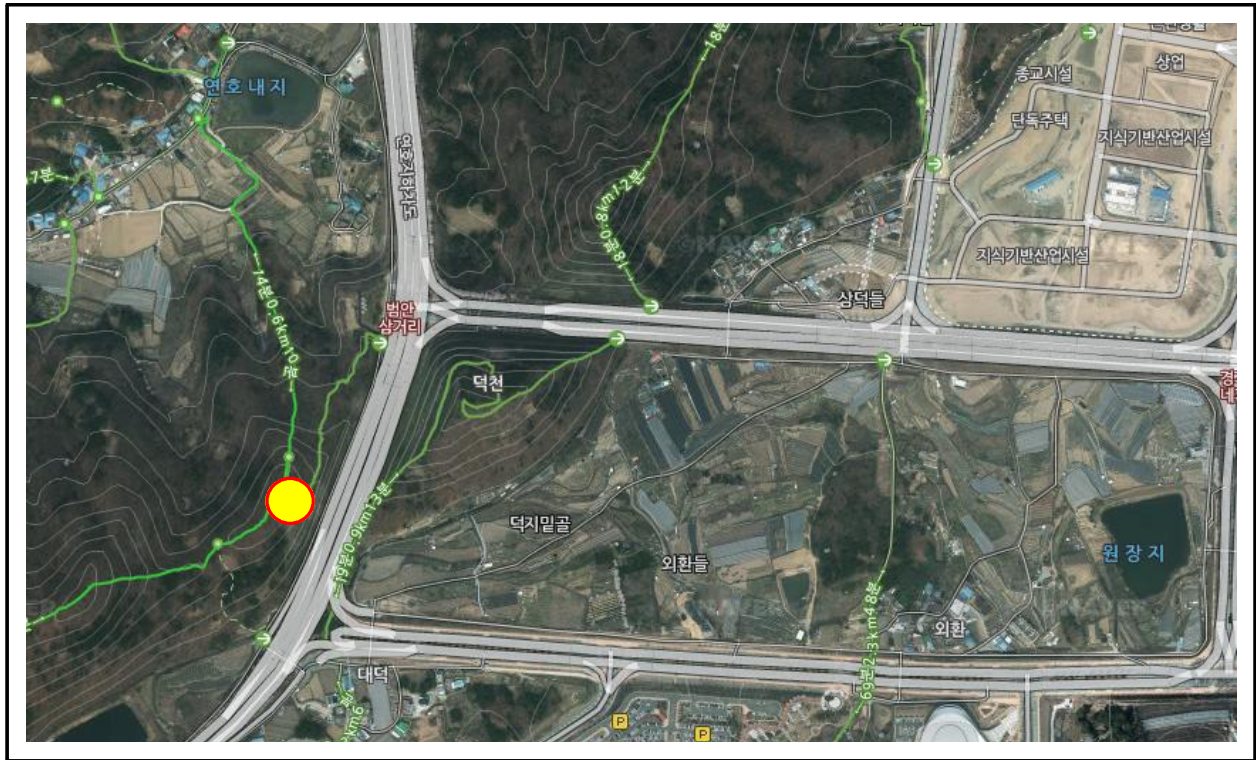
1. 삼덕대절토사면 좌측

1.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 대구광역시 수성구 범안로(삼덕동 산39-1번지선)에 위치한 사면으로서 총 연장 369.0m, 높이 38.5m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 1.1-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2002-0000199		관리번호	-	
시설물명	삼덕대절토사면 좌측		시설물구분	절토사면	
위 치	행정구역	대구광역시 수성구			
	위치좌표	시점 : 35° 49' 49.0" 128° 40' 06.0"			
		종점 : 35° 50' 00.0" 128° 40' 11.0"			
	이 정	STA. 2+263 ~ 2+632			
제 원	연 장	369.0m	높 이	38.5m	
	경사/방향	50/115	노 선	광역시도(범안로)	
관리주체	대구동부순환도로(주)		관리주체구분	민간	
주변환경	인공구조물	연호지하차도			
	주변지형	준산악	상부사면경사	15°	
시공현황	준공년도	2002. 08. 24	시 공 자	코오롱글로벌(주)	
	부대시설	낙석방지망, 낙석방지울타리, 락볼트			
비 고					



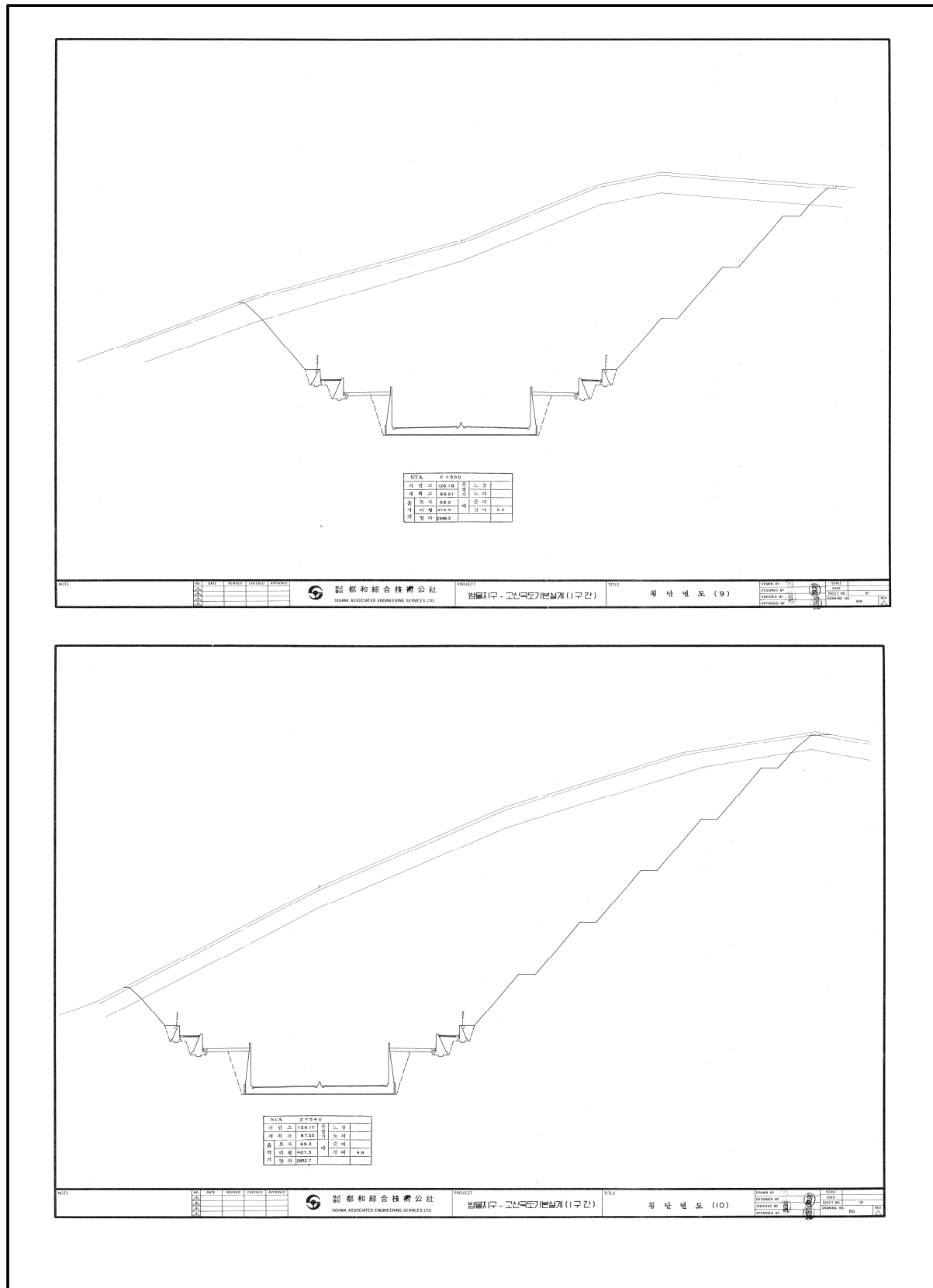
〈그림 1.1-1〉위치도

삼덕대절토사면 좌측



〈그림 1.1-2〉전경사진

	
1소단 배수로 전경	2소단 배수로 전경
	
산마루측구 전경	낙석방지울타리 및 하부 전경
	
앵커 전경	암반강도 측정



〈그림 1.1-4〉표준횡단면도

1.2 관련 자료의 분석

1.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

<표 1.2-1> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	○ 공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	보유	○ 4차순환도로(범물~안심간)건설공사
	○ 설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	○ 4차순환도로(범물~안심간)건설공사
시 설 물 관리대상	○ 기본현황 ○ 상세제원 ○ 유지관리 이력	보유	○ 시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	○ 시공관련자료 ○ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ○ 사고자료	보유	○ 4차순환도로(범물~안심간)건설공사
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	○ 시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		보유	○ 시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2002년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

1.2.2 사면 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 “4차순환도로(범물~안심간)건설공사”의 사면 안전성 검토 및 설계보고서, 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 지표지질

① 표토층 : 모래질 점토와 암편 또는 점토와 모래를 함유한 암편으로 구성되어 있으며, 두께 0.3~0.5m 정도로 분포함.

② 풍화토층 : 사면 좌측부에서만 나타나는 층으로서 지표하 0.3m에서 두께 1.5m 내외의 모래질 실트와 암편으로 구성되어 있다.

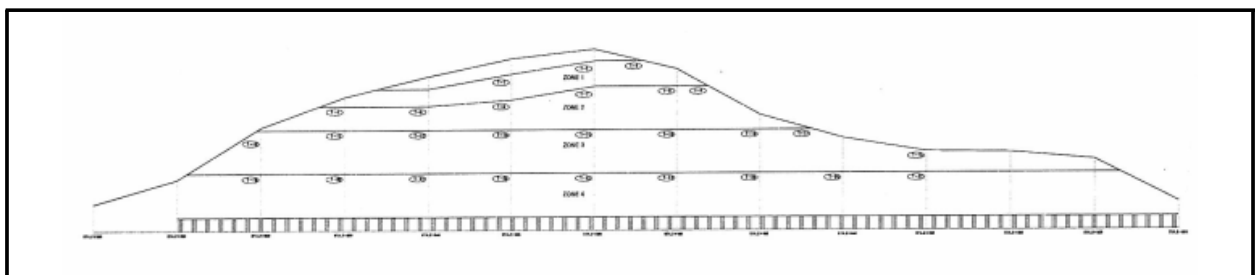
③ 풍화암층 : 기반암인 셰일의 생성과정에서 발생한 층리면이 굴착에 의한 응력 해방으로 심하게 이완되어 있고 절취후 대기 노출로 인한 풍화로 그 표면의 균열이 매우 심하며 암의 강도는 매우약함~약한 상태이다. 지표하 0.5~1.7m 에서 두께 1~4m로 분포하고 있다.

④ 연암층 : 본 층은 기반암인 셰일의 연암 부분으로 심한풍화~보통풍화 정도이며, 암강도는 매우약함~보통강함 정도이다. 사면 우측부분에는 조산운동을 받는 과정에서 암반내의 면들이 휘어지거나 구부러지는 소위 습곡구조도 관찰되었다. 또한 사면 붕괴의 최대 원인인 층리면 사이의 점토충진물이 사면 중반부 이상에 협재되어 있다.

⑤ 경암층 : 본 층은 기반암인 셰일의 경암 부분으로 사암을 협재하고 있는 부분도 관찰되었다. 사면 중반부 이하에 나타나며, 풍화정도는 중간풍화~신선한 상태로, 보통강함~매우강함 정도의 강도를 나타내고 있다. 층리는 밀착되어 있으며 점토 충진물은 관찰되지 않아 사면 상부에 비해 상당히 안정된 구조를 이루고 있다.

2) 사면의 안전검토

정량적인 조사와 정리를 위하여 조사구간을 27개의 SECTION으로 구분하였으며, 4개의 ZONE으로 나누어 사면의 상태를 조사하였다.



① ZONE별 조사결과

(1) ZONE 1 (STA.2+340~STA.2+400, 최상단부 사면)

본 절취면은 118/45의 방향성을 지니며 적색~암회색 세일로 구성되어 있고, 풍화정도는 심한풍화~완전풍화(HW~CW) 상태를 나타내고 있다.

본 구역 전반에 걸쳐 작업 완료후에 발생한 불규칙한 균열이 매우 발달되어 있으며 잔재토의 흘러내림 상태가 매우 심하다.

불연속면의 틈새는 대부분 열려 있는 상태로써 조도는 완만하고, 절토가 다량 충전되어 있으며 국부적으로 절토의 두께가 20mm에 달하는 곳도 관찰되었다.

본 구역의 조사 결과는 <표 2.27>과 같다.

<표 2.27> 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+280~STA.2+460 좌측사면 ZONE 1구역 조사결과

구분	주불연속면	연장성 (m)	불연속면 간격 (cm)	틈새 (mm)	충진상태	거칠기 ①	풍화정도 ②	압축강도 ③ (kg/cm ²)	
								PLT	SCH
T-1	152/25	5~10	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW~CW	192	147 이하
T-2	165/24	5~10	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW~CW	218	147 이하
T-3	165/24 015/63 (단층)	5~10	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW~CW	251	129

① S : 계단형, U : 파동형, P : 평면형, r : 거칠, sm : 완만, si : 매끄러움
 ② CW : 완전풍화, HW : 심한풍화, MW : 보통풍화, SW : 약간풍화, F : 신선함
 ③ PLT : 점하중강도 시험(Point Load Strength Test), SCH : 슈미트해머 시험

(2) ZONE 2 (STA.2+320~STA.2+420, 상단에서 2번째 사면)

본 절취면은 112/51의 방향성을 지니며 적색~암회색 세일로 구성되어 있고, 풍화정도는 심한풍화~완전풍화(HW~CW) 상태를 나타내고 있다.

ZONE 좌측부분에는 열리현상이 매우 심하며, ZONE 전반에 걸쳐 풍화에 따른 잔재토의 흘러내림 상태가 심하다. T-6 및 T-7 Section은 030/62 단층을 경계로 층리의 굴곡이 발생하여 있는 점으로 보아 습곡작용을 받은 것으로 보인다.

불연속면의 틈새는 열려 있는 상태로써 조도는 완만한 상태이며 절토가 다수 충전되어 있다. 본 구역의 조사 결과는 <표 2.28>과 같다.

<표 2.28> 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+280~STA.2+460 좌측사면 ZONE 2구역 조사결과

구분	주불연속면	연장성 (m)	불연속면 간격 (cm)	틈새 (mm)	충진상태	거칠기 ①	풍화정도 ②	압축강도 ③ (kg/cm ²)	
								PLT	SCH
T-4	풍 화 토	-	-	-	-	-	RS	-	-
T-5	160/37	10~20	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW~CW	216	135 이하
T-6	160/37 030/62 (단층)	10~20	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW~CW	327	147 이하
T-7	170/15 180/13	10~20	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW~CW	299	129 이하
T-8	170/15 000/45 (단층)	10~20	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW	248	147 이하
T-9	185/13 022/65 (단층)	10~20	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW	156	129 이하

① S : 계단형, U : 파동형, P : 평면형, r : 거칠, sm : 완만, si : 매끄러움
 ② CW : 완전풍화, HW : 심한풍화, MW : 보통풍화, SW : 약간풍화, F : 신선함
 ③ PLT : 점하중강도 시험(Point Load Strength Test), SCH : 슈미트해머 시험

(3) ZONE 3 (STA.2+280~STA.2+460, 상단에서 3번째 사면)

본 절취면은 112/51의 방향성을 지니며 ZONE 좌측은 적색 세일, 중앙부는 적색~암회색 세일, 우측부는 적색~흑색 세일로 구성되어 있다. 풍화정도는 약간풍화~심한풍화(SW~HW) 상태로써 그 범위가 넓다.

ZONE 우측 T-16 및 T-17 Section에 습곡작용으로 인한 향사구조가 발달하여 있으며, 열리현상이 심하다.

불연속면 틈새의 상태는 절토가 충전되어 있으며, 조도는 비교적 완만한 편이다.

본 구역의 조사 결과는 <표 2.29>과 같다.

<표 2.29> 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+280~STA.2+460 좌측사면 ZONE 3구역 조사결과

구분	주불연속면	연장성 (m)	불연속면 간격 (cm)	틈새 (mm)	충진상태	거칠기 ①	풍화정도 ②	압축강도 ③ (kg/cm ²)	
								PLT	SCH
T-10	177/11	10~20	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW	212	135 이하
T-11	177/11 180/13	10~20	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW	315	159
T-12	177/11 180/13	5~10	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW	489	247
T-13	177/11 160/38	5~10	5~10	0.5~1.0	점토충진	U/sm	HW	524	376
T-14	174/12	10~20	10~20	0.1~밀착	-	U/r	SW~MW	327	294
T-15	170/12	10~20	10~20	0.1~밀착	-	U/r	SW~MW	424	329
T-16	140/18 122/20	5~10	5~10	1.0	점토충진	U/sm	HW	215	135 이하
T-17	170/18	5~10	5~10	1.0	점토충진	U/sm	HW	215	188
T-18	170/18	5~10	5~10	1.0	점토충진	U/sm	HW	425	171

① S : 계단형, U : 파동형, P : 평면형, r : 거칠, sm : 완만, si : 매끄러움
 ② CW : 완전풍화, HW : 심한풍화, MW : 보통풍화, SW : 약간풍화, F : 신선함
 ③ PLT : 점하중강도 시험(Point Load Strength Test), SCH : 슈미트해머 시험

(4) ZONE 4 (STA.2+280~STA.2+460, 상단에서 4번째 사면)

본 절취면은 112/51의 방향성을 지니며 주로 암회색~흑색 세일로 구성되어 있고, 풍화정도는 약간풍화~보통풍화(SW~MW)의 상태를 나타내고 있다.

틈새는 비교적 충출하며, 절토 등의 충전물은 다소 분포하는 것으로 조사되었다.

상부층에 비하여 암석의 강도가 높고, 안정적인 것으로 조사되었으며, 그 결과는 <표 2.30>과 같다.

<표 2.30> 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+280~STA.2+460 좌측사면 ZONE 4구역 조사결과

구분	주불연속면	연장성 (m)	불연속면 간격 (cm)	틈새 (mm)	충진상태	거칠기 ①	풍화정도 ②	압축강도 ③ (kg/cm ²)	
								PLT	SCH
T-19	112/51 180/13	5~10	5~10	1내외	점토충진	U/r	MW	386	188
T-20	112/51 180/13	10~20	5~10	1내외	점토충진	U/r	SW~MW	942	435
T-21	112/51	10~20	5~10	1내외	점토충진	U/r	SW~MW	748	541
T-22	112/51	10~20	5~10	0.1내외	-	U/r	SW~MW	521	412
T-23	112/51	10~20	10~20	0.2~밀착	-	U/r	SW~MW	895	294
T-24	112/51	10~20	10~20	0.2~밀착	-	U/r	SW~MW	928	376
T-25	112/51	10~20	10~20	0.2~밀착	-	U/r	SW~MW	327	294
T-26	112/51	10~20	10~20	0.1~0.2	-	U/r	HW	458	553
T-27	112/51	5~10	10~20	0.1~0.2	-	U/r	SW~MW	712	671

① S : 계단형, U : 파동형, P : 평면형, r : 거칠, sm : 완만, si : 매끄러움
 ② CW : 완전풍화, HW : 심한풍화, MW : 보통풍화, SW : 약간풍화, F : 신선함
 ③ PLT : 점하중강도 시험(Point Load Strength Test), SCH : 슈미트해머 시험

② 사면 파괴후 조사결과

(5) STA.2+260~STA.2+340 구간 사면 파괴후 조사결과

(가) 파괴발생 개요

파괴발생은 STA.2+260~STA.2+335 구간에서 180/13 층리면을 따라서 평면파괴가 발생하였으며 파괴불력의 변형량은 사면의 경사방향으로 10~15cm 정도에 달한다. 파괴발생 직후 즉시 사면 하단에 암실태를 실시하여 더 이상의 파괴진전을 방지한 후 파괴원인 분석을 위한 조사를 실시하였다.

(나) 파괴평면 및 횡단면

파괴는 평면적으로 사면의 하단인 ZONE 3에서 ZONE 4를 가로지르는 180/13 층리면에서 시작하여 사면의 최상단부인 산마루 측구까지를 파괴불력으로 하는 전형적인 평면파괴 형태로 발생하였다.

파괴발생 부위의 평면도 및 횡단면도는 각각 <그림 2.8>~<그림 2.15>와 같다.

파괴구간 길이는 도로노선 방향으로 70m, 사면상단 관열발생 부위에서 파괴면(180/13 층리)까지 길이는 최대 12m, 활동면(층리면)의 연장선 사면 횡단방향으로 20m 내외이다.

(다) 파괴면(180/13 층리) 조사결과

파괴면은 두께 1~5mm의 정도가 충전되어 있으며 그 하부는 암회색 세일이 분포하고 있고 그 상부는 적색 세일이 분포되어 있다.

하부 암회색 세일은 보통종화~심한종화(MW~HW) 상태이며, 상부 적색 세일은 심한종화~완전종화(HW~CW) 상태를 나타내고 있고, 파괴면의 조도는 매끄러운 상태를 나타내고 있다.

파괴 조사결과 요약은 <표 2.30-1>과 같다.

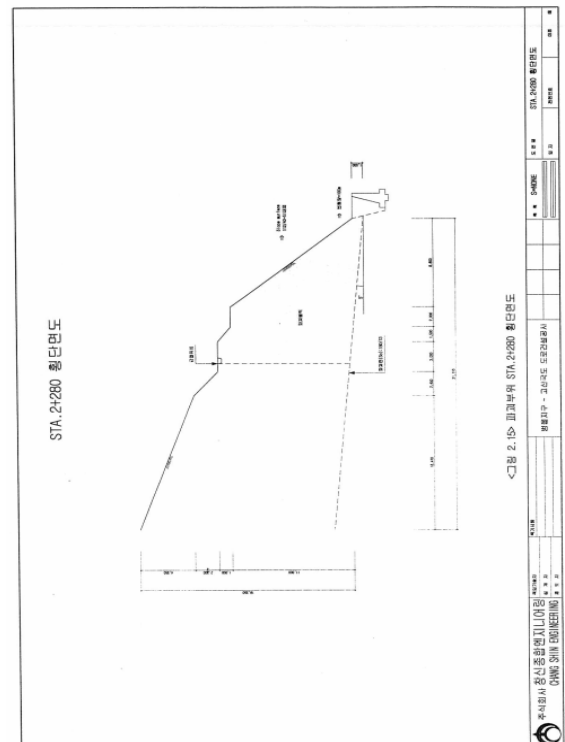
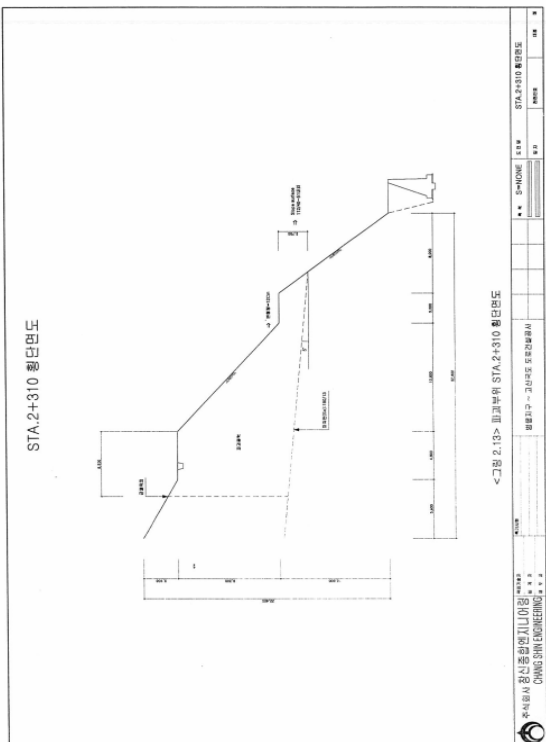
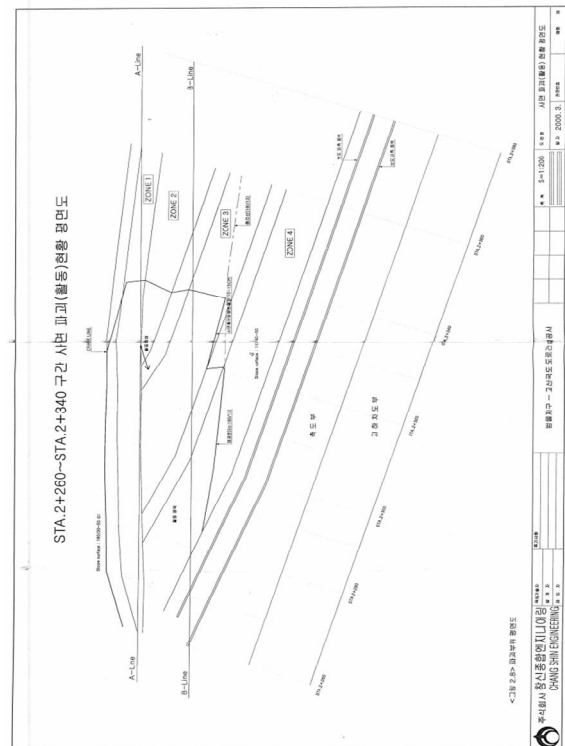
<표 2.30-1> 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+260~STA.2+340 파괴면 조사결과

구분	ZONE	SECTION	주불면속면	연장성 (m)	불면속면 간격 (cm)	층세 (mm)	충진상태	거칠기 ①	통과경도 ②	압축강도 ③	
										PLT	SCH
	2~4	T11~T12 T19~T20	180/13	20이상	10~20	1~5	점토충진	U/si	HW~CW	224	139

① S : 계단형, U : 파동형, P : 평면형, r : 거칠, sm : 환만, si : 매끄러운

② CW : 완전종화, HW : 심한종화, MW : 보통종화, SW : 약간종화, F : 신선함

③ PLT : 점하중강도 시험(Point Load Strength Test), SCH : 슈미트해머 시험



③ 슈미트해머에 의한 일축압축강도 측정결과 및 점하중강도시험

ZONE	SECTION	반발수치		일축압축강도 환산치(kg/cm ²)	비 고	
		반발수치(R)	타격각도		분화도	암석의 종류
1	T-1	13	-90°	147 이하	HW~CW	적색 셰일
	T-2	14	-90°	147 이하	HW~CW	적색 ~ 암회색 셰일
	T-3	22	0°	129	HW~CW	암회색 셰일
2	T-4	-	-	-	RS	풍 화 토
	T-5	18	-45°	135 이하	HW~CW	적색 셰일
	T-6	19	-90°	147 이하	HW~CW	적색 셰일
	T-7	20	0°	129 이하	HW~CW	적색 ~ 암회색 셰일
	T-8	18	-90°	147 이하	HW	암회색 셰일
	T-9	16	0°	129 이하	HW	적색 셰일
	T-10	18	-45°	135 이하	HW	적색 셰일
3	T-11	22	-45°	159	HW	적색 셰일
	T-12	28	-45°	247	HW	적색 셰일
	T-13	35	-90°	376	HW	적색 ~ 암회색 셰일
	T-14	30	-90°	294	SW~MW	흑색 셰일
	T-15	32	-90°	329	SW~MW	흑색 셰일
	T-16	18	-45°	135 이하	HW	적색 셰일
	T-17	23	-90°	188	HW	적색 셰일

ZONE	SECTION	반발수치		일축압축강도 환산치(kg/cm ²)	비 고	
		반발수치(R)	타격각도		분화도	암석의 종류
4	T-18	22	-90°	171	HW	적색 셰일
	T-19	24	-45°	188	MW	암회색 ~ 흑색 셰일
	T-20	41	0°	435	SW~MW	암회색 ~ 흑색 셰일
	T-21	45	-45°	541	SW~MW	암회색 ~ 흑색 셰일
	T-22	37	-90°	412	SW~MW	흑색 셰일
	T-23	30	-90°	294	SW~MW	흑색 셰일
	T-24	35	-90°	376	SW~MW	적색 ~ 흑색 셰일
	T-25	30	-90°	294	SW~MW	적색 ~ 암회색 셰일
	T-26	45	-45°	553	HW	적색 ~ 흑색 셰일
	T-27	52	-45°	671	SW~MW	흑색 셰일

ZONE	SECTION	표준점하중강도 지수 (I ₅₀)	일축압축강도 환산값 (kg/cm ²)	비 고
1	T-1	8.0	192	적색 셰일
	T-2	9.1	218	적색 ~ 암회색 셰일
	T-3	10.5	251	적색 ~ 암회색 셰일
2	T-4	-	-	풍 화 토
	T-5	9.0	216	적색 셰일
	T-6	13.6	327	적색 셰일
	T-7	12.5	299	적색 ~ 암회색 셰일
	T-8	10.3	248	암회색 셰일
	T-9	6.5	156	적색 셰일
3	T-10	8.8	212	적색 셰일
	T-11	13.1	315	적색 셰일
	T-12	20.4	489	적색 셰일
	T-13	21.8	524	적색 ~ 암회색 셰일
	T-14	13.6	327	흑색 셰일
	T-15	17.7	424	흑색 셰일
	T-16	9.0	215	적색 셰일
	T-17	8.9	215	적색 셰일
	T-18	17.7	425	적색 셰일

ZONE	SECTION	표준점하중강도 지수 (I ₅₀)	일축압축강도 환산값 (kg/cm ²)	비 고
4	V-19	16.1	386	암회색 ~ 흑색 셰일
	V-20	39.2	942	암회색 ~ 흑색 셰일
	V-21	31.1	748	암회색 ~ 흑색 셰일
	V-22	21.7	521	암회색 ~ 흑색 셰일
	V-23	37.3	895	암회색 ~ 흑색 셰일
	V-24	38.7	928	적색 ~ 흑색 셰일
	V-25	13.6	327	적색 ~ 암회색 셰일
	V-26	19.1	458	적색 ~ 흑색 셰일
	V-27	29.7	712	흑색 셰일

④ 암반 분류에 의한 평가(RMR, SMR)

ZONE	SECTION	암축강도 (kg/cm ²)		RQD		불연속면 간격		불연속면의 상태						지 하 수	총 점 수	등 급
		q _c	점수	RQD	점수	J _s (mm)	점수	연장성	틈새	조도	충진물	풍화도				
1	T-1	169	2	20	3	75	8	2	4	1	2	1	15	38	IV	
	T-2	182	2	20	3	75	8	2	4	1	2	1	15	38	IV	
	T-3	190	2	20	3	75	8	2	4	1	2	1	15	38	IV	
2	T-4	-	토	사	사	면	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	T-5	181	2	40	8	75	8	1	4	1	2	1	15	42	III	
	T-6	237	2	40	8	75	8	1	4	1	2	1	15	42	III	
	T-7	214	2	40	8	75	8	1	4	1	2	1	15	42	III	
	T-8	197	2	40	8	75	8	1	4	1	2	1	15	42	III	
	T-9	142	2	40	8	75	8	1	4	1	2	1	15	42	III	
3	T-10	173	2	50	8	75	8	1	4	1	2	1	15	42	III	
	T-11	237	2	50	8	75	8	1	4	1	2	1	15	42	III	
	T-12	368	4	50	8	75	8	2	4	1	2	1	15	45	III	
	T-13	450	4	50	8	75	8	2	4	1	2	1	15	45	III	
	T-14	310	4	50	8	150	8	1	5	3	6	5	15	55	III	
	T-15	376	4	50	8	150	8	1	5	3	6	5	15	55	III	
	T-16	175	2	50	8	75	8	2	4	1	2	1	15	43	III	
	T-17	201	2	50	8	75	8	2	4	1	2	1	15	38	IV	
	T-18	298	4	50	8	75	8	2	4	1	2	1	15	45	III	
4	T-19	287	4	60	13	75	8	2	5	3	6	3	15	59	III	
	T-20	688	7	60	13	150	8	1	5	3	6	5	15	63	II	

ZONE	SECTION	암축강도 (kg/cm ²)		RQD		불연속면 간격		불연속면의 상태						지 하 수	총 점 수	등 급
		q _c	점수	RQD	점수	J _s (mm)	점수	연장성	틈새	조도	충진물	풍화도				
4	V-21	644	7	60	13	150	8	1	5	3	6	5	15	63	II	
	V-22	466	4	60	13	150	8	1	5	3	6	5	15	60	III	
	V-23	594	7	60	13	150	8	1	5	3	6	5	15	63	II	
	V-24	652	7	60	13	150	8	1	5	3	6	5	15	63	II	
	V-25	310	4	60	13	150	8	1	5	3	6	5	15	60	III	
	V-26	505	4	60	13	150	8	1	4	3	6	1	15	55	III	
	V-27	691	7	60	13	75	8	2	4	3	6	5	15	63	III	

※ 암축강도 : 슈미트해머 시험치와 점하중강도 시험치의 평균치를 채택함.

※ R Q D : 슈미트해머 시험치와 점하중강도 시험치 및 현장조사 결과를 고려하여 사면 최상단부 (ZONE 1)는 20%, 상단에서 2번째 사면(ZONE 2)은 40%, 상단에서 3번째 사면(ZONE 3)은 50%, 그 이하 사면(ZONE 4)은 60%를 적용함.

위 치	S M R 평 가					비 고
	SMR	등급	암질평가	사면안정성	예상파괴	
ZONE 1	35	IV	불량	불안정	평면파괴	
ZONE 2	39	IV	불량	불안정	평면파괴	
ZONE 3	47	III	보통	부분적안정	일부불연속면 (평면파괴)	
ZONE 4	59	III	보통	부분적안정	-	

⑤ 사면안전성검토

<표 4.3> 각 사면 상단부 토사의 기본성질

위 치	단위체적중량 γ_t (t/m ³)	기 본 성 질			
		비중 (G _s)	LL	PL	PI
삼덕동~시지택지간 도로 STA.0+260 좌측사면	1.70	2.62	23.9	20.9	3
삼덕동~시지택지간 도로 STA.0+200 우측사면	1.75	2.57	28.5	25.7	8
범물지구~고산국도간 도로 STA.2+380 좌측사면	1.80	2.46	37.3	30.4	7
범물지구~고산국도간 도로 STA.2+560 우측사면	1.81	2.51	25.5	23.2	2

<표 4.4> 각 사면 상단부 토사의 강도정수

위 치	점 착 력 c (kg/cm ²)	전단저항각 ϕ (°)	비 고
삼덕동~시지택지간 도로 STA.0+260 좌측사면	0.38	25.5	
삼덕동~시지택지간 도로 STA.0+200 우측사면	0.31	22.6	
범물지구~고산국도간 도로 STA.2+380 좌측사면	0.43	25.0	
범물지구~고산국도간 도로 STA.2+560 우측사면	0.41	24.3	

4.3.2.6 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+280~STA.2+460 좌측 사면의 강도정수

(1) STA.2+380단면 기준

(가) ZONE-1

- ① 불연속면의 상태에 따른 강도정수
- 불연속면상태 : 조도가 매끄러운 상태(JRC=0~2), 두께 0.5~1mm 점토층진, 충전율(f/a)은 약 70~80% 정도임.
 - <그림 4.14>에서 점토의 충전율 70~80%일 때 $\phi=20^\circ$
- ② JRC 및 압축강도에 의한 강도정수
- $\phi_b = 20^\circ$ (표 4.5~표 4.7 참조)
 - JRC = 1
 - $\sigma = 2.3 \times 10 = 23 \text{ t/m}^2$
 - $\sigma_j = 220 \text{ kg/cm}^2$ (슈미트해머 및 점재하 강도시험결과 대표치)
 - $JRC \cdot \log_{10} \frac{\sigma_j}{\sigma} = 1 \times \log_{10} \frac{220}{23} = 2.0^\circ$
 - $\phi = \phi_b + 2.0 = 20 + 2.0 = 22^\circ$

③ 위 두값중 $\phi=20^\circ$ 를 채택

(나) ZONE-2~ZONE-4

- ① 불연속면의 상태에 따른 강도정수
- 불연속면상태 : 조도가 완만한 상태(JRC=4~6)로서 점토 등의 충전물이 없음.
 - <그림 4.15>에서 JRC=4~6의 범위일 때 $\phi=43^\circ$
- ② JRC 및 압축강도에 의한 강도정수
- $\phi_b = 35^\circ$ (표 4.5~표 4.7 참조)
 - JRC = 5
 - $\sigma = 2.3 \times 30 = 69 \text{ t/m}^2$

- $\sigma_j = 600 \text{ kg/cm}^2$ (슈미트해머 및 점재하 강도시험결과 대표치)
- $JRC \cdot \log_{10} \frac{\sigma_j}{\sigma} = 5 \times \log_{10} \frac{600}{69} = 9.7^\circ$
- $\phi = \phi_b + 9.7 = 35 + 9.7 = 44.7^\circ$

③ 위 두값중 $\phi=43^\circ$ 를 채택

(2) STA.2+360단면 기준

(가) ZONE-1

- ① 불연속면의 상태에 따른 강도정수
- 불연속면상태 : 조도가 매끄러운 상태(JRC=2~4), 두께 0.5~1mm 점토층진, 충전율(f/a)은 약 40~60% 정도임.
 - <그림 4.14>에서 점토의 충전율 40~60%일 때 $\phi=25^\circ$

- ② JRC 및 압축강도에 의한 강도정수
- $\phi_b = 20^\circ$ (표 4.5~표 4.7 참조)
 - JRC = 3
 - $\sigma = 2.3 \times 10 = 23 \text{ t/m}^2$
 - $\sigma_j = 220 \text{ kg/cm}^2$ (슈미트해머 및 점재하 강도시험결과 대표치)
 - $JRC \cdot \log_{10} \frac{\sigma_j}{\sigma} = 3 \times \log_{10} \frac{220}{23} = 5.9^\circ$
 - $\phi = \phi_b + 5.9 = 20 + 5.9 = 25.9^\circ$

③ 위 두값중 $\phi=25^\circ$ 를 채택

(나) ZONE-2

- ① 불연속면의 상태에 따른 강도정수
- 불연속면상태 : 조도가 완만한 상태(JRC=4~6), 두께 0.5~1mm 점토층진, 충전율(f/a)은 약 20~40% 정도임.
 - <그림 4.14>에서 점토의 충전율 20~40%일 때 $\phi=32^\circ$

- ② JRC 및 압축강도에 의한 강도정수
- $\phi_b = 30^\circ$ (표 4.5~표 4.7 참조)
 - JRC = 5
 - $\sigma = 2.3 \times 20 = 46 \text{ t/m}^2$
 - $\sigma_j = 250 \text{ kg/cm}^2$ (슈미트해머 및 점재하 강도시험결과 대표치)
 - $JRC \cdot \log_{10} \frac{\sigma_j}{\sigma} = 5 \times \log_{10} \frac{250}{46} = 8.6^\circ$
 - $\phi = \phi_b + 8.6 = 30 + 8.6 = 38.6^\circ$

③ 위 두값중 $\phi=32^\circ$ 를 채택

(다) ZONE-3 및 ZONE-4

- ① 불연속면의 상태에 따른 강도정수
- 불연속면상태 : 조도가 완만한 상태(JRC=4~6)로서 점토 등의 충전물이 없음.
 - <그림 4.15>에서 JRC=4~6의 범위일 때 $\phi=43^\circ$

- ② JRC 및 압축강도에 의한 강도정수
- $\phi_b = 35^\circ$ (표 4.5~표 4.7 참조)
 - JRC = 5
 - $\sigma = 2.3 \times 30 = 69 \text{ t/m}^2$
 - $\sigma_j = 600 \text{ kg/cm}^2$ (슈미트해머 및 점재하 강도시험결과 대표치)
 - $JRC \cdot \log_{10} \frac{\sigma_j}{\sigma} = 5 \times \log_{10} \frac{600}{69} = 9.7^\circ$
 - $\phi = \phi_b + 9.7 = 35 + 9.7 = 44.7^\circ$

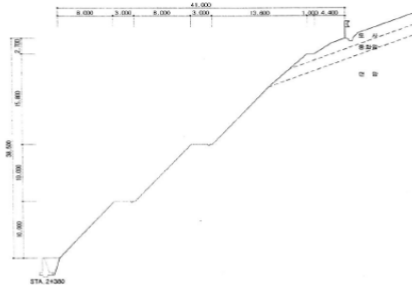
③ 위 두값중 $\phi=43^\circ$ 를 채택

(3) STA.2+280~STA.2+340 파피구간의 강도정수

- 후술하는 "5.4.1" (page 193)에 기재하였음.

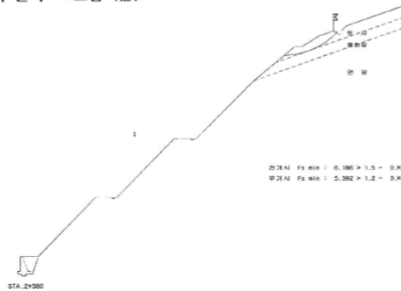
4.4.1.3 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+280~STA.2+460 좌측사면 상단 토사 : 해석결과 - 부록 5

(1) 해석단면 : <그림 4.20>



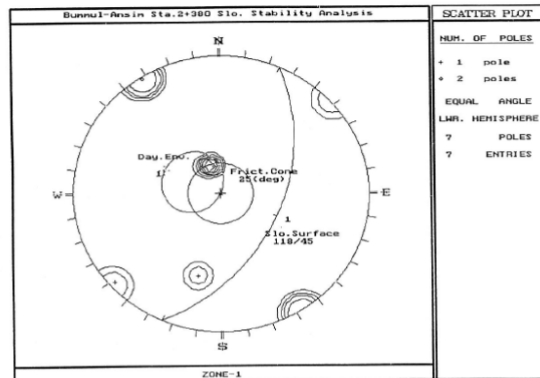
<그림 4.20> 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+380 좌측 토사사면 횡단도

(2) 안정해석 결과 : <그림 4.21>



<그림 4.21> 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+380 좌측 토사사면 안정검토

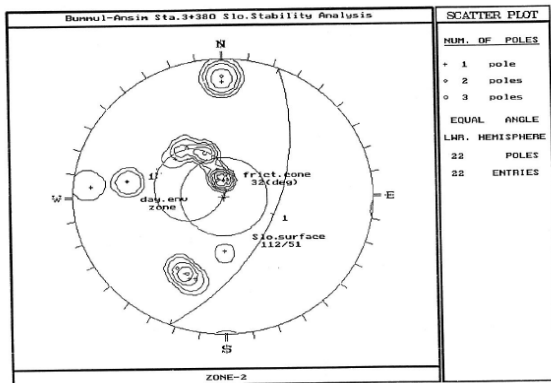
(1) ZONE 1구간(사면 상단에서 구배 1:0.8 변곡점까지) 평사투영해석 결과



<그림 4.36> ZONE 1구간 평사투영해석

- 절취사면의 경사방향/경사 : 118/45
- 주불연속면인 165/24, 152/25의 층리군에서 평면파괴 발생 가능성이 큼.
- 사면의 풍화상태 : 주로 적색 셰일로서 심한풍화~완전풍화(CW~HW) 상태를 나타냄.
- 층리면에는 두께 0.5~1mm의 점토가 충전되어 있어 강우 침투시 전단강도를 현저히 약화시키는 요인으로 존재함.
- 층리의 간격이 10~20cm로서 얇게 부서지는 특징을 지니며, 굴착후 표면 풍화가 많이 진행되어 있음.

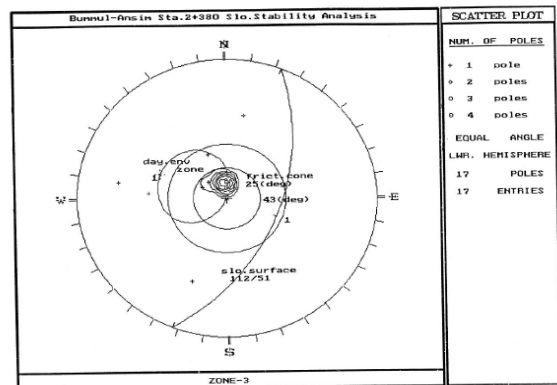
(2) ZONE 2구간(제1소단에서 제2소단까지) 평사투영해석 결과



<그림 4.37> ZONE 2구간 평사투영해석

- 절취사면의 경사방향/경사 : 112/51
- 160/38, 180/13 층리 및 130/47 절리군에서 평면파괴 발생 가능성이 큼.
- 사면의 풍화상태 : 주로 적색~암회색 셰일로서 심한풍화(HW) 상태를 나타내고 있고, 사면좌측 160/38 층리군에는 열리현상이 매우 진행되어 있으며, 특히 STA.2+380~STA.2+420 구간의 130/47 절리군에서는 얇은 두께의 암괴탈락 및 파괴가 진행되고 있음.
- ZONE 1에서부터 연결되는 우측의 022/65 방향성을 지니는 단층에 폭 50mm 정도의 단층점토 및 각력이 충전되어 있어 이들 면에서의 암괴탈락이 예상됨.
- ZONE 1과 마찬가지로 표면 풍화가 많이 진행되어 있음.

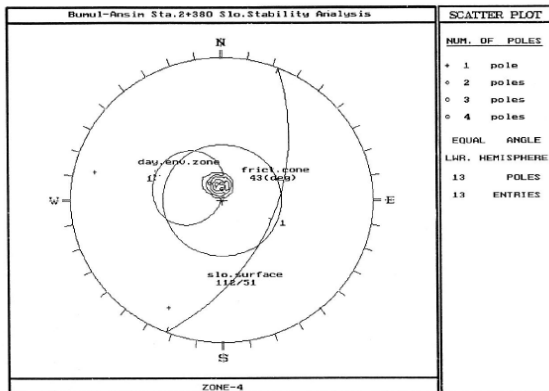
(3) ZONE 3구간(제2소단에서 제3소단까지) 평사투영해석 결과



<그림 4.38> ZONE 3구간 평사투영해석

- 절취사면의 경사방향/경사 : 112/51
- ZONE의 중앙부(STA.2+360~STA.2+400)에서는 비교적 안정한 상태를 나타내나 ZONE 좌측의 160/38 절리군 및 180/13 층리군에서는 ZONE 2와 같이 평면파괴에 대하여 불안정하며 ZONE 우측의 습곡부위의 122/20 층리군에서 평면파괴~암괴탈락의 가능성이 있음.
- 사면의 풍화상태 : ZONE 중앙부는 약간풍화~보통풍화(SW~MW) 상태이나 ZONE 좌측 및 우측부분은 심한풍화(HW) 상태가 대부분임.
- ZONE 중앙부는 흑색 셰일, 좌측 및 우측은 주로 적색~암회색 셰일이 분포하고 있으며, 표면풍화가 진행되어 암석 표면의 강도는 많이 저하되어 있음.

(4) ZONE 4구간(제3소단에서 제4소단까지) 평사투영해석 결과



<그림 4.39> ZONE 4구간 평사투영해석

- 절취사면의 경사방향/경사 : 112/51
- 주불연속면인 170/12, 177/71 등은 모두 friction cone 내에 위치하여 비교적 안정된 상태로 분석되었으나 ZONE 좌측부분의 177/11 및 180/13 등의 층리군은 다소 불안정한 상태를 나타냄.
- 사면의 풍화상태 : ZONE 중앙부는 흑색 셰일로서 약간풍화~보통풍화(SW~MW) 상태를 나타내고 있고, ZONE 좌측 및 우측부분은 암회색~적색 셰일이 분포되어 있으며 표면풍화가 많이 진행되어 암석 표면의 강도는 많이 저하되어 있음.

4.4.2.6 한계평형해석 결과

평사투영법에 의한 안정해석 결과 파괴 가능성이 있는 불연속면 및 ZONE에 대하여 한계평형 해석법으로 안전율을 구하였으며(해석결과 : "부록 6")해석결과 요약은 <표 4.15>와 같다.

<표 4.15> 한계평형해석 결과

구분	해석(대표) 단면 No.	ZONE	방 향 성		한 계 평 형 해 석 결 과				비 고
			사면	주불연속면	건가시 (소요안전율 1.5) 안전 여부	두기시(만수위×1/2) (소요안전율 1.2) 안전 여부	안정 여부	안정 여부	
삼덕동 ~ 시지택지간 도로 STA.0+160 ~ STA.0+320 좌측사면	STA.0+260	1	185/51	165/12	1.270	N.G	1.078	N.G	평면파괴
	STA.0+260	2	185/51	168/12	1.276	N.G	1.099	N.G	평면파괴
	STA.0+260	3	185/51	169/12	1.380	N.G	1.171	N.G	평면파괴
	STA.0+260	4	185/51	190/13	1.642	O.K	1.350	O.K	국부파괴 가능성 잠재
	STA.0+260	5	185/51	178/14	1.633	O.K	1.387	O.K	국부파괴 가능성 잠재
삼덕동 ~ 시지택지간 도로 STA.0+080 ~ STA.0+280 우측사면	STA.0+200	1	010/51	341/36	1.165	N.G	1.020	N.G	평면파괴
	STA.0+200	2	008/51	337/38	1.296	N.G	1.057	N.G	평면파괴
범물지구 ~ 고산국도간 도로 STA.2+280 ~ STA.2+400 좌측사면	STA.2+340	3	112/51	160/38	1.384	N.G	0.999	N.G	평면파괴
	STA.2+360	1	118/45	152/25	1.247	N.G	0.943	N.G	평면파괴
	STA.2+360	2	112/51	160/38	1.384	N.G	1.026	N.G	평면파괴
	STA.2+380	1	118/45	165/24	1.261	N.G	0.905	N.G	평면파괴
	STA.2+380	2	112/51	130/47	0.962	N.G	0.521	N.G	현재파괴 진행중
	STA.2+420	3	112/51	122/20	1.302	N.G	1.086	N.G	평면파괴

4.5 안정성 종합 평가

각 사면별, 각 ZONE별 토성시험, 각중지표 지질조사 및 결과분석, 그리고 평사투영법 해석 및 한계평형 해석 등에 의한 사면의 안정성 평가를 종합적으로 분석하면 다음과 같다.

(1) 삼덕동~시지택지간 도로 STA.0+160~STA.0+320 좌측사면

사면 중간부 이상의 불연속면은 평면파괴를 일으키기 쉬운 전형적인 기하구조를 이루고 있어 이에 대한 신뢰성이 높은 보강대책이 요구되며 사면 중간 이하 하단부는 불연속면을 따라 발생하는 대규모의 파괴 우려는 적으나 국부적으로 취약한 부분에 대한 대책이 요구됨.

(2) 삼덕동~시지택지간 도로 STA.0+080~STA.0+280 우측사면

사면 최상단에서 제2소단까지는 낙석 예방대책이 우선적으로 고려되어야 하며 이와 병행하여 약간의 구조적인 보강대책이 요구된다.

사면 중간부 이하는 비교적 안정된 상태를 나타내고 있어 별도의 보강대책이 필요하지 않으나 사면 우측 단부 상단부분(ZONE 5구간)의 풍화토 사면의 인장균열에 대해서는 별도의 보강대책이 요구된다.

특히 사면 우측 구간에는 용수부위가 많아 이에 대한 대책도 요구됨.

(3) 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+280~STA.2+460 좌측사면

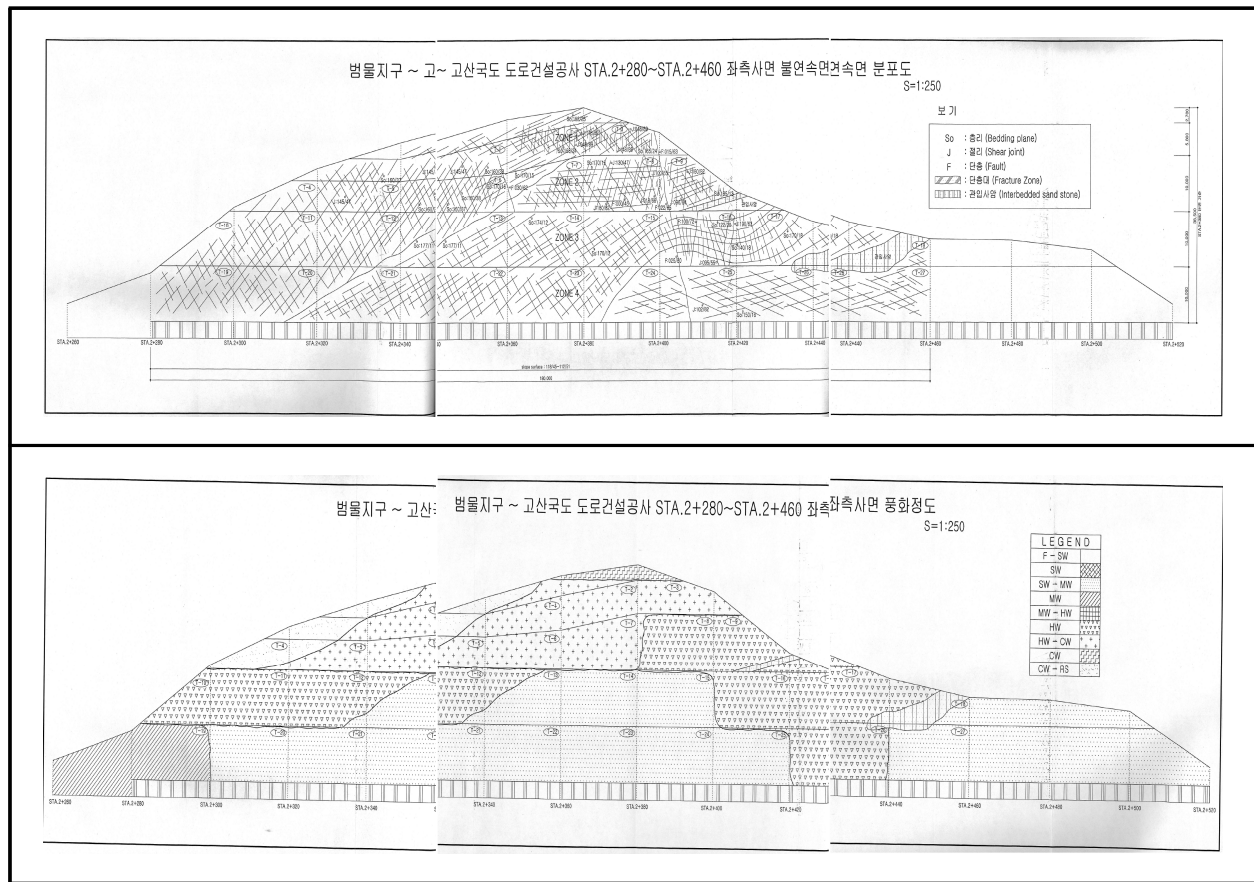
사면 중간부 이상의 불연속면은 평면파괴를 일으키기 쉬운 전형적인 기하구조를 이루고 있어 이에 대한 보강대책이 요구되며, 사면 중간부 이하 하단부는 대규모의 파괴우려는 적으나 사면의 좌측부분을 비롯한 국부적으로 취약한 부분에 대한 대책이 요구됨.

(4) 범물지구~고산국도간 도로 STA.2+400~STA.2+640 우측사면

사면 좌측 곡선구간을 제외한 대부분의 구간은 비교적 안정된 상태로 분석되었으나 사면 상단부 일부 구간은 낙석에 대한 대책이 요구된다.

사면 좌측 곡선 구간은 절취사면과 평행한 불연속면에서 소규모의 파괴 및 급속한 풍화가 현재 진행중에 있으므로 이에 대한 대책이 요구된다.

⑥ 불연속면분포도, 풍화도



1.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로 편입된 후, 기준에 따라 정기 및 정밀안전점검, 성능평가를 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 1.2-2> 점검이력사항

번호	기 간	구 분	주요 점검진단결과	비고
1	2018. 03. 20 ~ 2018. 04. 15	정기 안전점검	삼덕대절토사면(좌측사면)의 주요 손상현황으로는 일부 구간 우수유입에 의한 녹생토 유실 등의 손상이 발생하였다. 사면 전반적으로 양호한 상태로 확인되었고, 기 손상은 주기적인 점검을 통한 손상의 진전여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.	양호
2	2018. 08. 21 ~ 2018. 09. 19	정기 안전점검	삼덕대절토사면(좌측사면)의 주요 손상현황으로는 일부 구간 우수유입에 의한 녹생토 유실 등의 손상이 발생하였다. 사면 전반적으로 양호한 상태로 확인되었고, 금회 점검시 자연사면 수목전도, 소단배수로 균열이 조사되었으며, 손상부는 정비 및 균열보수, 기 손상부는 주기적인 점검을 통한 손상의 진전여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.	양호
3	2019. 04. 22 ~ 2019. 06. 09	정밀 안전점검	사면부 와이어로프 녹발생 및 능형망 노출 배수시설 균열	B
4	2019. 10. 28 ~ 2019. 11. 28	정기 안전점검	삼덕대절토사면 좌측사면은 대부분에 녹생토가 시공되어 있고, 국부적으로 노출된 암의 풍화정도는 보통~심한풍화 정도이다. 해당 사면은 초본 및 관목류가 서식하고 있는 상태이다. 사면에 국부적으로 식생이 불량한 곳이 조사되었으며, 그로인해 와이어로프 녹발생 및 능형망 노출이 확인되었다. 해당 손상은 전차 점검 시 현황과 비교한 결과, 진행성은 미미한 것으로 확인되어 지속적인 주의관찰 후 손상의 진전에 따라 보수여부를 결정하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 배수시설은 배수기능에 문제가 없는 것으로 조사되었고, 균열(1개소)는 진전이 미미한 상태로 주의관찰이 필요하다. 보호·보강시설로 낙석방지망, 낙석방지울타리, 락볼트가 시공되어 있고, 기능발휘에 큰 문제가 없는 상태로 조사되었다.	양호
5	2020. 03. 09 ~ 2020. 04. 15	정기 안전점검	와이어로프 녹발생 및 능형망 노출 → 주의관찰 소단배수로 균열 → 주의관찰 배수시설 집수구 퇴적 → 주의관찰	양호
6	2020. 10. 05 ~ 2020. 10. 31	정기 안전점검	와이어로프 녹발생 및 능형망 노출, 배수시설 집수구 퇴적	양호
7	2021. 04. 19 ~ 2021. 06. 09	정밀 안전점검	사면 표층유실, 사면 능형망노출, 사면 와이어로프부식, 배수로 낙엽, 토사 퇴적	B
8	2021. 04. 19 ~ 2021. 06. 09	성능평가	외관조사 : 표층유실, 능형망노출, 와이어로프부식, 배수로 낙엽, 토사 퇴적	B
9	2021. 09. 27 ~ 2021. 11. 25	정기 안전점검	사면 녹생토 유실, 사면 능형망 노출, 사면 락볼트지압판 부식, 사면 와이어로프 부식, 배수로 낙엽, 토사 퇴적	양호
10	2022. 03. 11 ~ 2022. 04. 03	정기 안전점검	능형망 노출, 로프부식, 표층유실 산마루측구 토사퇴적	양호
11	2022. 10. 11 ~ 2022. 11. 25	정기 안전점검	사면부 - 능형망 노출, 로프부식, 표층유실 배수시설 - 토사퇴적 상부자연사면 - 양호 보강시설 - 양호	양호

1.2.4 전차 성능평가 결과 분석

1) 상태안전성능평가 결과

사면의 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과 선정	비고
369.0m	1구간	200.0m	B(0.160)	B	E=0.160
	2구간	169.0m	A(0.132)		
	구간별 평가 후 최소 등급을 선정 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소 등급으로 선정				

2) 구조안전성능평가 결과

사면의 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종평가결과 선정	비고
369.0m	1구간	200.0m	A(0.140)	A	E=0.140
	2구간	169.0m	A(0.140)		

3) 안전성능평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명	삼덕대절토사면(좌)		비고	근거표번호
평가구분	결함지수	평가결과		
상태안전성능	0.160	B	인장균열 없음	【표 3.4.5】
구조안전성능	0.140	A	파괴없음	【표 3.4.12】
안전성능	0.160	B		
안전성능 결과	· 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소 등급을 선택 · 안전성능 평가 결과 : B 등급			

4) 내구성능평가 결과

평가항목	등급	등급점수(a)	가중치(b)	결함지수(a)×(b)
지반상태	a	0.08	25	0.020
표면보호공	a	0.08	40	0.032
사면보강공	a	0.08	10	0.008
절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	25	0.108
결함도 지수				0.168
등급				B

5) 종합성능평가 결과

시설물 종합평가 결과 산정표					
시설물명	삼덕대절토사면(좌)		분류	일반도로 / 암반사면	
평가구분	성능평가 지수	평가결과	성능간 가중치(W_n)	비 고	
안전성능 평가	$p_s=0.160$	B	0.8	근거 표번호	【표 3.4.13】
내구성능 평가	$p_d=0.168$	B	0.2	근거 표번호	【표 4.2.13】
종합평가 결과	○ 사면의 종합평가 지수(P) $= \sum(\text{성능평가지수}(p_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n))$ $= 0.160 \times 0.8 + 0.168 \times 0.2 = 0.162$ ○ 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전 성능평가 결과를 최종등급으로 산정				
	결합지수	0.162	종합평가등급	B	

6) 보수·보강 방안 및 개략공사비 산정

구분	결함내용	보수·보강(안)	보수물량		단가 (천원)	개략공사비 (천원)	비고
			수량	단위			
사면	표층유실, 능형망노출	주의관찰	25.0	m²	-	-	관찰
	능형망노출, 와이어로프부식	주의관찰	562.5	m²	-	-	관찰
	와이어로프부식	주의관찰	75.0	m²	-	-	관찰
배수로	낙엽·토사 퇴적	청소	3.0	m²	10	30	중,장기
순공사비 합계(천원)						30	
제경비 (천원, 순공사비의 50%)						15	
유지관리		단기		-			
		중,장기		45			
개략 공사비						45	

7) 결론 및 종합평가

- 대상시설물에 대한 안전성능평가 결과 B등급, 내구성능평가 결과 B등급으로서 종합성능평가 결과 점수는 0.162로 나타나 최종 B등급으로 평가되었다. 점검결과 사면의 안정성에 영향을 끼칠만한 심각한 손상 및 중대결함은 발생되지 않은 상태이며, 전반적으로 사면의 상태는 대체로 양호한 수준으로 관리되고 있어 조사된 손상들에 대하여 적절한 보수 후 지속적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 절토사면의 기능 및 사용성에는 문제점은 없을 것으로 판단된다.

1.2.5 보수·보강 이력

<표 1.2-3> 보수·보강 이력

NO	보수위치	내용	기간	공사비(천원)	시공자	비고
1	소단배수로	범안대교 외 5개소 시설물 보수공사 - 균열보수	2020.08.12~ 2020.08.31	100	(주)천수	

1.2.6 내진설계 적용 여부

<표 1.2-4> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약
해당사항 없음	N	-	-
FMS상 내진설계는 미적용 된 것으로 확인되었고, 내진성능평가는 미 실시 된 것으로 확인되었다.			

1.2.7 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가지 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태 변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로 한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

<표 1.2-5> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	○ 준공도서 유지관리중 ○ 위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ○ 원지반 상태 파악 가능	○ 설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ○ 설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	○ 기본현황, 상세제원 확인 가능 ○ 유지관리 이력 파악 ○ 시설물 준공 후 최초의 성능평가	○ 현장조사를 위한 기초자료로 활용 ○ 준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가지 손상 조사 시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	○ 준공후 정기안전점검, 정밀안전점검, 성능평가가 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	○ 사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ○ 필요시 보수보수·보강방안 수립 ○ 시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	—	—
유지관리 전략 제안	—	○ 현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ○ 성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

1.3 현장조사

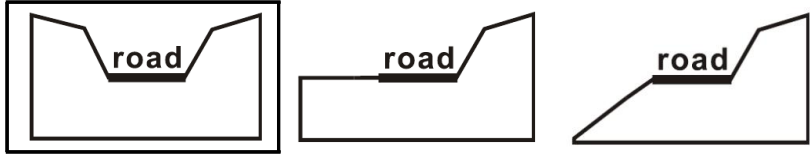
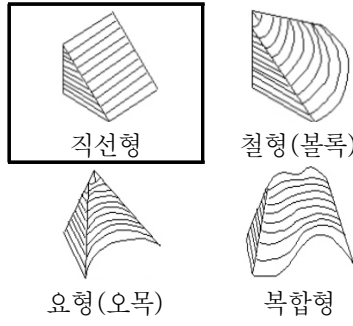
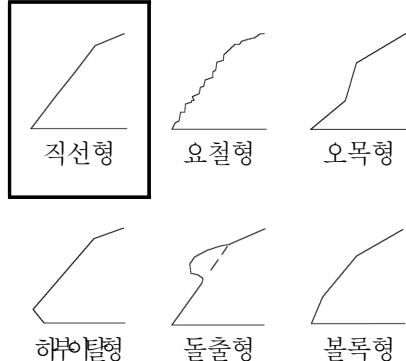
1.3.1 현장조사 체크리스트

관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로 하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 1.3-1> 일반현황

조사일자	2023년 03월 07일	조 사 자	이 상 훈
일 기	맑음	시설물번호	SL2002-0000199
행정구역	대구광역시 수성구		
위 경 도	시점 : 35° 49' 49.0" 128° 40' 06.0"		
	종점 : 35° 50' 00.0" 128° 40' 11.0"		
도 로	거 리 표 : -		
	왕복 10차선(지하차도 왕복6차선+외측도로 왕복4차선)		도 로 폭 : 39m
	교 통 량 : - 대/일		
깎기비탈면	길 이 : 369.0m		높 이 : 38.5m
	경 사/경사방향 : 50/115		
	도로와의 이격거리 : 평균 6.0m		
	구성물질 : 암반		토층심도 : 0.3~0.5m
	소 단 : 4소단		
낙석/뜯돌	낙석 존재유무 : 무		낙석의 양 : -
	낙석 평균크기 : - 낙석 최대크기 : -		
	뜯돌 존재유무 : 무		뜯돌의 양 : -
	뜯돌 평균크기 : -		
깎기비탈면 시공현황	종 류	위 치	상 태
	산마루측구	STA. 2+263~2+632	양호
	소단배수로	1~2소단	균열
	낙석방지울타리	STA. 2+280~2+580	양호
	녹생토, 방지망	STA. 2+263~2+632	양호
	락볼트	STA. 2+263~2+420	양호
	석축	STA. 2+390	양호
붕괴이력	유 형	규 모	위 치
	평면파괴	길이 70m, 깊이 12m, 활동면연장 20m 변형량 경사방향으로 10~15cm	STA.2+260~335
기 타	점검로 : ☐ 유 ☒ 무	-	☐ 보수필요 ☒ 보수불필요

<표 1.3-2> 지형·지질 및 식생

주변지형의 특성	주변 지형		준산악			
	종단면 형상					
	기타 특징		-			
절토사면의 특성	종 횡 단 면			종 단 면 특 성		
상부 자연비탈면	경 사 도		15°			
	인장균열		무			
	포행흔적		무			
	수목의 기울어짐		무			
	인공구조물		자연사면 석축			
	산마루측구		유			
	계곡부		무			
식 생	① 종 류		초 본	관 목	침 엽 수	활 엽 수
	② 밀 도		하	하	하	하
	③ 근계특징		천근성 (O), 심근성 ()			

<표 1.3-3> 기초조사 자료

일반현황	거리표	-		
	위경도	시점 : 35° 49' 49.0" 128° 40' 06.0" 종점 : 35° 50' 00.0" 128° 40' 11.0"		
	차선	왕복 (10) 차선		
	조사일자	2023년 03월 07일		
	조사자	이상훈	조사기관	(주)명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	369.0m	최대높이	38.5m
	경사	50°	상부경사	15°
	이격거리	평균 6.0m	소단	4개소
	종류	☒ 암반 ☐ 혼합 ☐ 토사 ☐ 자연	주변지형	☐ 산악 ☒ 준산악 ☐ 구릉 ☐ 평지
	지하수	☒ C.dry ☐ damp ☐ wet ☐ dripping ☐ flowing	누수위치	☐ 상 ☐ 중 ☐ 하 ☐ 좌 ☐ 중 ☐ 우
	풍화도	☐ F ☒ S ☒ M ☐ H ☐ C ☐ R	불연속면 방향성	☒ 일치 ☐ 평행 ☐ 후방 ☐ 불가
	사면형상	☒ 직선형 ☐ 철형 ☐ 요형 ☐ 파형	측면형상	☒ 직선형 ☐ 요철형 ☐ 탈락형 ☐ 돌출형
	계곡부	무	붕괴이력	☐ 유(영향) ☐ 낙석 ☒ 유(미영향) ☐ 무
	튼돌	☐ 대 ☐ 중 ☐ 소 ☒ 무	낙석	☐ 대 ☐ 중 ☐ 소 ☒ 무
	암종	사암 및 세일	토층심도	0.3~0.5m
	암반형태	☐ massive ☐ tabular ☐ columnar ☐ irregular ☒ blocky ☐ crushed	불연속면	☒ 절리 ☒ 층리 ☐ 엽리 ☐ 균열 ☐ 단층 ☐ 전단대 ☐ 암맥 ☐ 무
	시공현황 (상태)	☒ 식생공(일부불량) ☒ 낙석방지망(보통) ☒ 옹벽(양호) ☒ 낙석방지울타리(양호) ☐ 격자블럭 ☒ 배수로(양호) ☐ 점검로 ☒ 기타(록볼트-점부식)		
조사자 소견	위험도	☐ 상 ☐ 중 ☒ 하	피해도	☐ 상 ☐ 중 ☒ 하
	붕괴 유형	☐ 심층 ☐ 표층 ☒ 무	위험등급	☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E
	위험구간 (붕괴유형)	☐ 상 ☐ 중 ☐ 하 / ☐ 좌 ☐ 중 ☐ 우 () ☐ 상 ☐ 중 ☐ 하 / ☐ 좌 ☐ 중 ☐ 우 () ☐ 상 ☐ 중 ☐ 하 / ☐ 좌 ☐ 중 ☐ 우 ()		
	필요 주공법	-	조치	☐ 응급 ☒ 미응급
	기타			

1.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관 조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수립하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록 자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

1) 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 대구광역시 수성구 삼덕동에 위치하고 있으며, 길이는 240.0m, 높이 58.2m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

2) 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 369.0m로써, 사면의 구간분할 기준인

- ① 사면의 구성재료(토사, 연약암반, 파쇄암반, 절리암반)가 수평으로 변화할 경우
- ② 사면의 경사방향이 40° 이상 변화할 경우
- ③ 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 2구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 1.3-4> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	연 장(m)	높 이(m)	사면분류	비 고
1구간	STA. 2+263~2+463	200.0	38.5	파쇄암반	
2구간	STA. 2+463~2+632	169.0	15.4	파쇄암반	

3) 절토사면의 분류

구간별 불연속면에 대해 조사를 실시하였다. 조사위치는 식생공유실에 의해 절리관측이 가능한 곳 위주로 측정하였고, 측정이 불가능한 곳은 시공자료인 “4차 순환도로 건설공사 사면 안정성 검토 및 보강공사 설계보고서” 및 “기존 정밀안전점검 보고서 및 성능평가 보고서”에 수록되어있는 절리를 사용하였다.

<표 1.3-5> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/cm²)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{0.5}{38.5} = 0.013 \leq 0.4$	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 111.7~112.0MPa > 10MPa	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in\ dex}{Slope\ height} = \frac{0.1}{38.5} = 0.002 \leq 0.01$	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{0.5}{15.4} = 0.032 \leq 0.4$	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 122.5~124.7MPa > 10MPa	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in\ dex}{Slope\ height} = \frac{0.15}{15.4} = 0.009 \leq 0.01$	파쇄암반	

1.3.3 상태안전성능 조사

1) 집수지형

집수지형에 대한 평가는 시·중점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 15° 경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 및 산마루측구 배수 형태이다. 계곡부는 없는 것으로 조사되었다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이다.

<표 1.3-6> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	상부자연사면	EA	—	—	
		시·중점부	EA	—	—	
	내부	집수지형 없음	EA	—	—	

2) 불안정 지질

불안정 지질은 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하여 사면에 작용하는 불안정 요인으로 작용하는 지질 분포규모 및 상태를 평가하는 항목이다.

본 비탈면은 식생공이 전구간 적용되어 육안관찰을 할 수 없는 상태로 불안정지질이 없는 것으로 조사되었다.

<표 1.3-7> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	없 음	—	—	—	

3) 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서의 조사위치는 식생공유실에 의해 절리 관측이 가능한 곳 위주로 측정하였고, 측정이 불가능한 곳은 시공자료인 “4차 순환도로 건설공사 사면 안정성 검토 및 보강공사 설계보고서” 및 “기존 정밀안전점검 보고서 및 기 성능평가 보고서”에 수록되어있는 절리를 사용하였다.

<표 1.3-8> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간	
	Set 1	Set 2
방향성	11/177	12/174
간격(m)	0.05~0.1	0.1~0.2
연장성(m)	3.0~10.0	10.0~20.0
틈새(mm)	0.1~1.0	0.1 미만
거칠기	약간거칠	약간거칠
충진물질	연약한 충전물(<5mm)	단단한 충전물(<5mm)
풍화도	MW	MW

구 분	2구간	
	Set 3	Set 4
방향성	51/113	54/116
간격(m)	0.1~0.2	0.1~0.2
연장성(m)	10.0~20.0	10.0~20.0
틈새(mm)	0.1 미만	0.1~1.0
거칠기	거칠음	거칠음
충진물질	단단한 충전물(<5mm)	단단한 충전물(<5mm)
풍화도	MW	MW

4) 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부를 현황과 같은 지반 자체 변형과 관련된 항목이다. 본 성능평가에서는 전 구간에 걸쳐 외관조사를 시행하고, 관련 자료 및 청문조사를 통한 과거 이력에 대한 조사도 병행하였다. 외관조사 결과, 지반변형으로 인한 급격한 기울기 변화는 조사되지 않았으며, 과거 이력 조사 결과에서도 손상은 없었던 것으로 확인되었다.

<표 1.3-9> 지반 변형 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지반 변형	없 음	-	-	-	

5) 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

비탈면내 누수 여부에 대한 조사 결과, 지하수 용출에 의한 습윤지역 및 누수 현상은 관찰되지 않는 상태이다.

<표 1.3-10> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
지하수	건 조	-	-	-	

6) 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로, 산마루측구가 시공되어 있다.

배수시설은 지반 변형으로 인한 균열 및 변형 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다.

<표 1.3-11> 배수 조건 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	양호	-	-	
	산마루측구	양호	-	-	



1소단배수로



산마루측구

7) 붕괴 이력

공사중에 평면파괴가 발생하였으나, 조치를 취하였고, 현재 영향이 미미한 것으로 조사되었다.

<표 1.3-12> 붕괴 이력 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
붕괴 이력	평면파괴	-	1 -	-	

8) 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생하는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다.

<표 1.3-13> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
낙 석	없 음	-	-	-	현장조사, 청문조사

9) 사면 상부 상태

사면 상부에 존재하는 자연사면에서 유입되는 지표수에 의한 영향을 평가하기 위해서 자연사면의 경사를 측정하여 평가한다. 상부자연사면은 경사 15° 정도로 측정되었다.

<표 1.3-14> 상부상태 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
상부 상태	없 음	-	-	-	-

10) 인장균열

인장균열 조사는 개략적인 붕괴 규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용되는 항목으로 본 비탈면에 대한 외관조사 결과, 사면 내·외부에서 인장균열은 조사되지 않는 상태이다.

<표 1.3-15> 인장균열 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
인장균열	없음	-	-	-	현장조사

1.3.4 내구성능 조사

1) 절토사면의 구분

본 비탈면은 1~2구간에서 토층심도율이 0.4미만으로 암반사면으로 구분되었다.

2) 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 전구간 식생공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 사면보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암중 분류 결과 풍화암~보통암인 것으로 판단된다.

<표 1.3-16> 암반강도시험 결과

시험위치	보정반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	실시 전경
1구간 STA.2+360 2단	51.9	111.7	경암	
1구간 STA.2+400 2단	52.0	112.0	경암	
2구간 STA.2+470 2단	53.9	122.5	경암	
2구간 STA.2+500 1단	54.3	124.7	경암	
검토의견	· 암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 보정반발경도는 51.9~54.3로 측정되었으며, 추정강도 111.7~124.7MPa로 경암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.			

3) 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다. 현장조사 결과, 국부적인 표층유실이 조사되었으나, 손상은 미미한 상태로 양호한 것으로 판정하였다.

<표 1.3-17> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	식생공	양호	-	-	-	

4) 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생 이외에 락볼트가 설치되어있는 것으로 확인되었다. 현장조사 결과 현재 락볼트에는 두부와 지반의 밀착도는 유격 없음, 두부에 국부적인 점부식이 일부 발생한 것으로 조사되었으나, 미미한 상태이다.

<표 1.3-18> 사면보강공 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
사면 보강공	양호	-	-	-	

	
락볼트 점부식	락볼트 점부식

5) 절리상태 및 풍화 진행도

본 비탈면의 암반의 절리상태 및 풍화진행도 조사방법은 “상태안전성능 평가를 위한 조사방법”에서 ‘불연속면 특성’의 조사방법과 동일하게 실시한다.

6) 공중이 이용하는 부위

본 비탈면은 공중이 이용하는 부위(추락방지시설, 도로포장, 신축이음부, 환기구 등의 덮개)가 없는 상태로, 본 평가에서는 제외한다.

1.4 안전성능평가

안전성능평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능평가와 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

1.4.1 상태안전성능 평가

1) 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.4미만으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반 비탈면으로 평가된다.

<표 1.4-1> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/cm²)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{0.5}{38.5} = 0.013 \leq 0.4$	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 111.7~112.0MPa > 10MPa	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in dex}{Slope\ height} = \frac{0.1}{38.5} = 0.002 \leq 0.01$	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{0.5}{15.4} = 0.032 \leq 0.4$	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 122.5~124.7MPa > 10MPa	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in dex}{Slope\ height} = \frac{0.15}{15.4} = 0.009 \leq 0.01$	파쇄암반	

<표 1.4-2> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

2) 1구간 상태안전성능 평가 결과

<표 1.4-3> 집수지형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	없음	a
	b	1개소		
	c	2개소		
	d	3개소		
	e	4개소		

<표 1.4-4> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	전구간 식생으로 육안관찰 불가	a
	b	일부 분포 (견고)		
	c	국지적 분포 (파쇄)		
	d	전반적인 분포 (파쇄)		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)		

<표 1.4-5> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 $= \sum (① \sim ⑥) / 6 =$ $(16+5+10+5+10+16) / 6 = 10.3$
	b	양호	
	c	보통	
	d	불량	
	e	매우 불량	

<표 1.4-6> 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	10~20	d
②틈 새	0	0.1mm미만	0.1mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 6.0mm미만	6.0mm이상	0.1mm미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간거침	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5mm미만)	단단한 충전물 (5mm이상)	연약한 충전물 (5mm미만)	연약한 충전물 (5mm이상)	딱딱함, 5mm미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	MW	c
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.1~0.2	d

<표 1.4-7> 지반변형 평가 결과(1구간)

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

<표 1.4-8> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 1.4-9> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 1.4-10> 붕괴이력 평가 결과(1구간)

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

<표 1.4-11> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0m³미만		
	c	1.0m³이상, 6.0m³미만		
	d	6.0m³이상, 10.0m³미만		
	e	10.0m³이상		

<표 1.4-12> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	a
	b	50kJ미만	
	c	50kJ이상 70kJ미만	
	d	70kJ이상 120kJ미만	
	e	120kJ이상	
		$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □ E_i = 낙석에너지(kJ), □ θ = 사면의 경사, □ u = 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) □ m = 낙석의 중량(t), □ H = 낙석의 높이(m) □ g = 중력가속도(9.8m/sec ²) (u, β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	

<표 1.4-13> 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	c
	b	10° 미만		
	c	10° 이상 20° 미만		
	d	20° 이상 30° 미만		
	e	30° 이상		
		상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가	15°	

3) 1구간 인장균열 평가 결과

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

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

<표 1.4-14> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등 급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결 과	평가 결과
인장균열	a	없음	인장균열 없음	인장균열 없음	a
	d	있음(비진행성)	인장균열이 확인되나 비진행성인 상태		
	e	있음(진행성)	인장균열이 확인되며 진행 중인 상태		

4) 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

〈표 1.4-15〉 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

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

〈표 1.4-16〉 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

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

〈표 1.4-17〉 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명	삼덕대절토사면 좌측			
사면 종류	절토사면	구성재료		암반
평가요소		결합점수	결합점수 선정	결합종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		0	0	a
불연속면 특성		10.3	10.3	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		2	2	b
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			14.3	
결합지수			0.143	
상태안전성능평가 결과			A	

각 평가항목별 평가결과에 따른 1구간 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

5) 2구간 상태안전성능 평가 결과

<표 1.4-18> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	없음	a
	b	1개소		
	c	2개소		
	d	3개소		
	e	4개소		

<표 1.4-19> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
규모 및 상태	a	없음	전구간 식생으로 육안관찰 불가	a
	b	일부 분포 (견고)		
	c	국지적 분포 (파쇄)		
	d	전반적인 분포 (파쇄)		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)		

<표 1.4-20> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	평가결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 $= \sum (① \sim ⑥) / 6 =$ $(16+10+5+5+5+16) / 6 = 9.5$
	b	양호	
	c	보통	
	d	불량	
	e	매우 불량	

<표 1.4-21> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	10~20	d
②틈 새	0	0.1mm미만	0.1mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 6.0mm미만	6.0mm이상	0.1~1.0mm	c
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	거칠음	b
④충전물	없음	단단한 충전물 (5mm미만)	단단한 충전물 (5mm이상)	연약한 충전물 (5mm미만)	연약한 충전물 (5mm이상)	딱딱함, 5mm미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	MW	b
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.1~0.2	d

<표 1.4-22> 지반변형 평가 결과(2구간)

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

<표 1.4-23> 지하수 평가 결과(2구간)

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

<표 1.4-24> 배수시설 평가 결과(2구간)

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

<표 1.4-25> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

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

<표 1.4-26> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	없음	a
	b	1.0m³미만		
	c	1.0m³이상, 6.0m³미만		
	d	6.0m³이상, 10.0m³미만		
	e	10.0m³이상		

<표 1.4-27> 예상 낙석에너지 평가기준 (2구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	a
	b	50kJ미만	
	c	50kJ이상 70kJ미만	
	d	70kJ이상 120kJ미만	
	e	120kJ이상	
		$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □ E_i = 낙석에너지(kJ), □ θ = 사면의 경사, □ u = 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) □ m = 낙석의 중량(t), □ H = 낙석의 높이(m) □ g = 중력가속도(9.8m/sec ²) (u, β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	

<표 1.4-28> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	15°	c
	b	10° 미만		
	c	10° 이상 20° 미만		
	d	20° 이상 30° 미만		
	e	30° 이상		
		상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		

6) 2구간 인장균열 평가 결과

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

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

<표 1.4-29> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	없음	인장균열 없음	인장균열 없음	a
	d	있음(비진행성)	인장균열이 확인되나 비진행성인 상태		
	e	있음(진행성)	인장균열이 확인되며 진행 중인 상태		

7) 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

〈표 1.4-30〉 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

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

〈표 1.4-31〉 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(2구간)

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

〈표 1.4-32〉 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명	삼덕대절토사면 좌측			
사면 종류	절토사면	구성재료		암반
평가요소		결합점수	결합점수 선정	결합종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		0	0	a
불연속면 특성		9.5	9.5	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		2	2	b
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			13.5	
결합지수			0.135	
상태안전성능평가 결과			A	

각 평가항목별 평가결과에 따른 2구간 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

8) 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 1.4-33> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
369.0m	1구간	200.0m	a(0.143)	A	E=0.143
	2구간	169.0m	a(0.135)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

구간분할에 대한 상태안전성능 평가를 실시하고, 평가결과 A등급으로 평가되었다.

1.4.2 구조안전성능 평가

1) 개 요

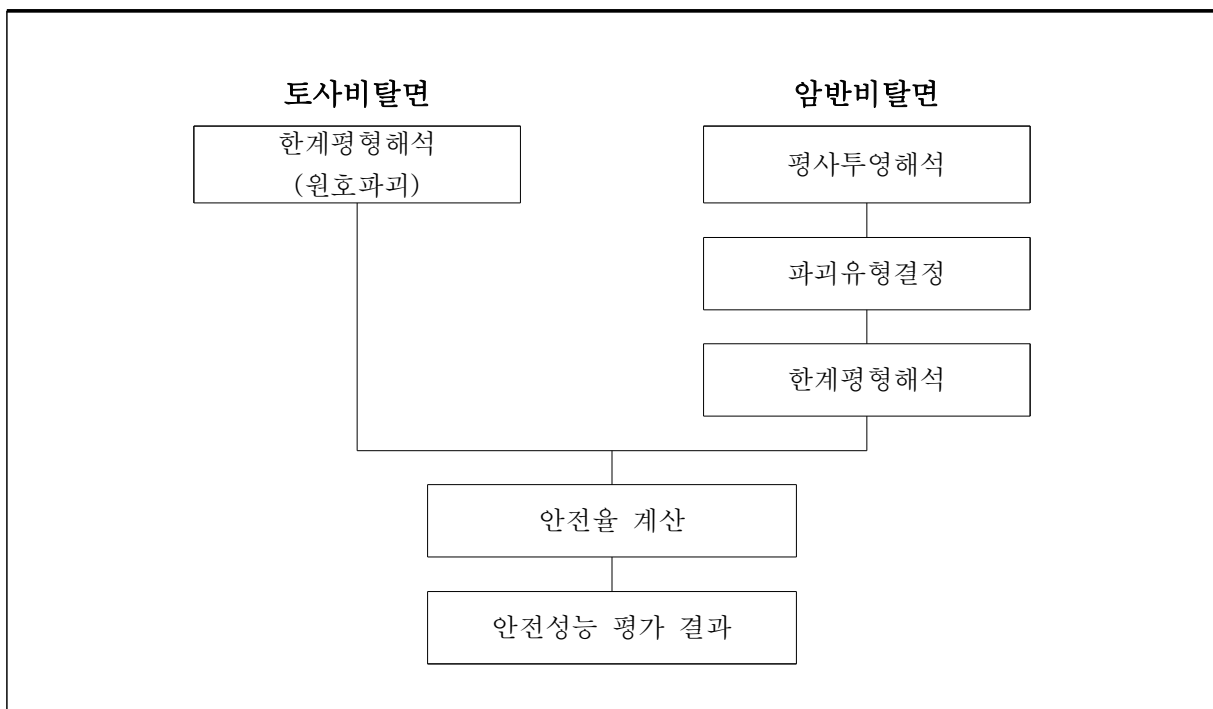
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다.

2) 구조안전평가

① 평가개요

비탈면의 안전성능 평가는 비탈면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사비탈면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반비탈면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다. 또한 암반비탈면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사비탈면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어져야 한다.



<그림 1.4-1> 구조안전성능 평가과정

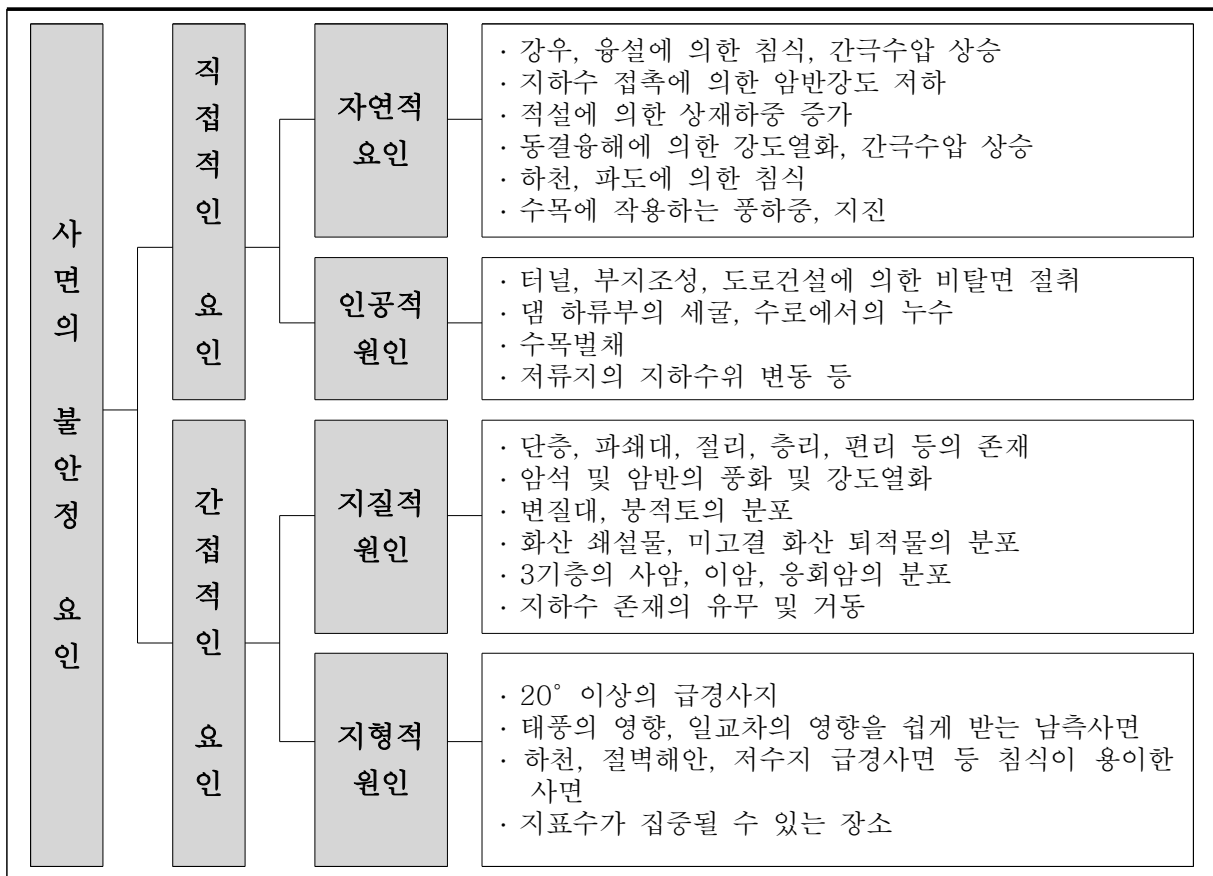
<표 1.4-34> 유형별 안정해석 범위

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

○설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

○설계도면과 현재 제원 비교

② 비탈면의 불안정 요인

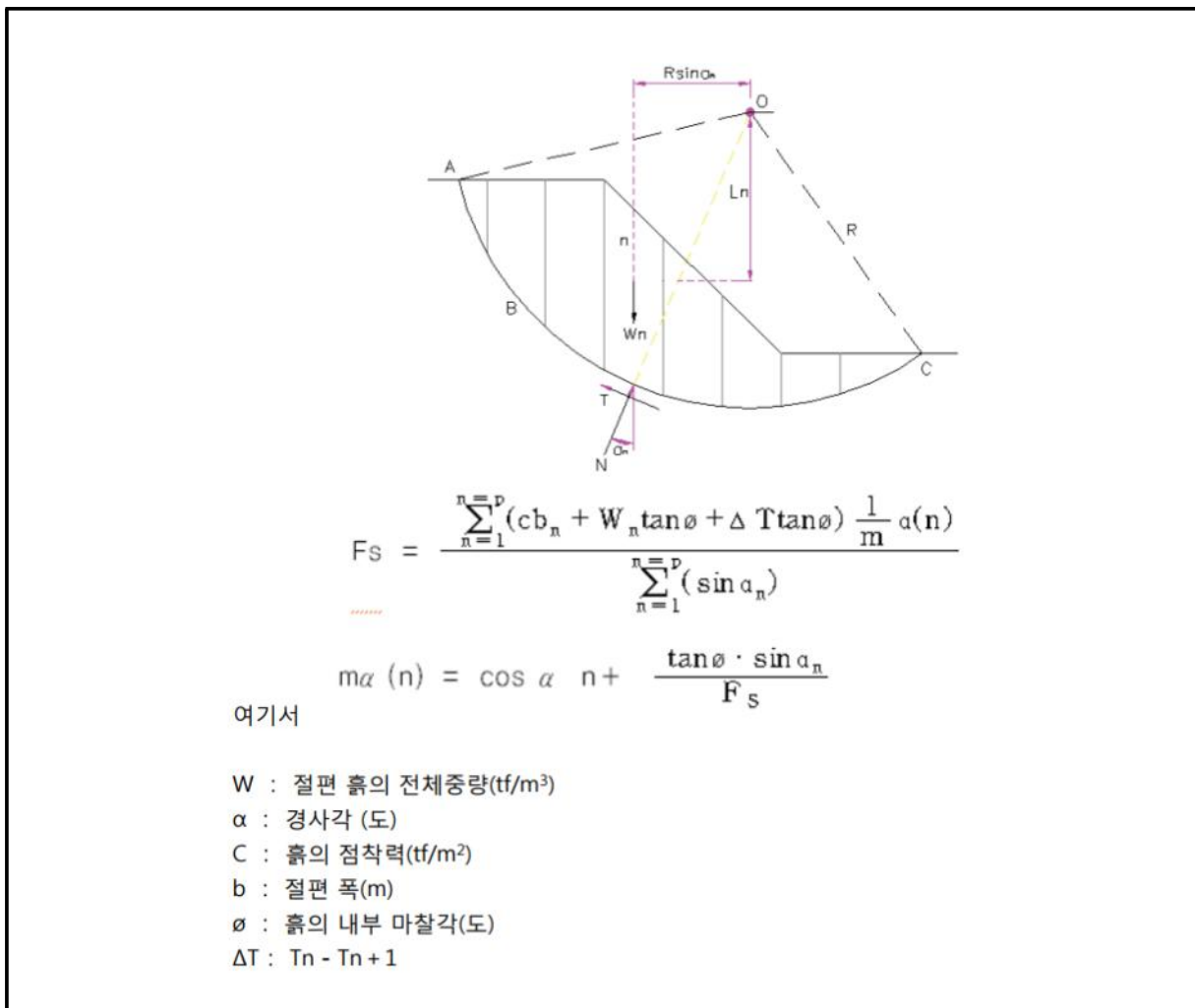


<그림 1.4-2> 구조안전성능 평가과정

③ 비탈면 안정해석 방법

ㄱ. 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 $\phi=0$ 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반 한계평형 방법(GLE) 등이 있다.

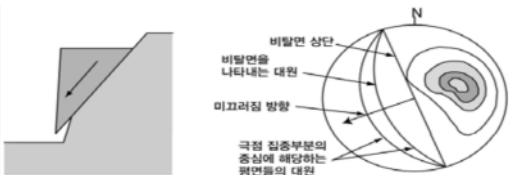
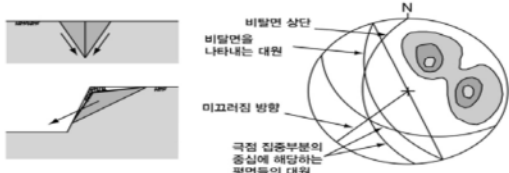
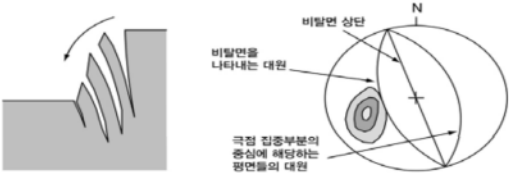


<그림 1.4-3> Bishop의 안전율 계산식

ㄴ. 평사투영해석

평사투영법은 비탈면의 방향과 경사, 불연속면의 주향과 경사, 불연속면의 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 개략적으로 검토하는 방법이다. 암반비탈면에 발달하고 있는 불연속면의 방향에 따라 그 파괴형태가 다르게 나타난다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 켜기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 1.4-35> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		· 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
켜기파괴		· 켜기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴		· 전도파괴의 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

④ 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 1.4-36> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

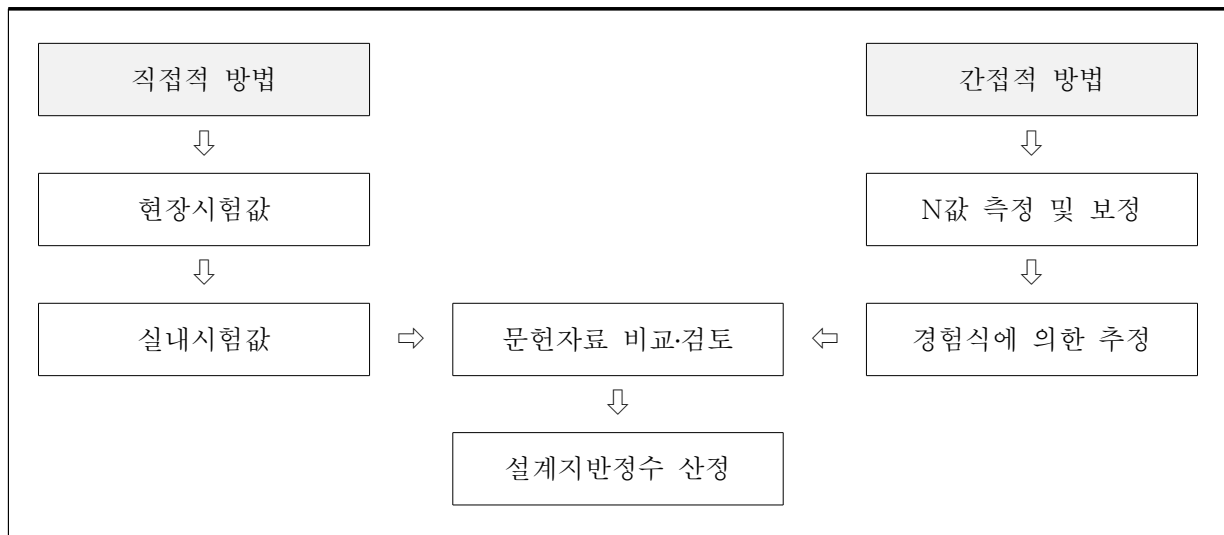
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	· 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	· 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 · 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) · 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술 (FS=1.3적용)
지진시	FS>1.1	· 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 · 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

3) 지반정수 산정

① 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 공사중 사면보고서를 토대로 적용결과를 비교·분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

② 지반정수 산정흐름



③ 지반정수 산정

◦ 문헌자료 검토

<표 1.4-37> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/m ³)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 D(×10 ³ kN/m ²)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 1.4-38> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위 중량 (kN/m ³)	내 부 마찰각 φ (°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙 쌓 기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자 연 지 반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어 감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들 어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어 감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어 감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들 어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어 감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 1.4-39> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr, %	N	γ_{dry} (gf/cm ³)	간극비 e	내부 마찰각(ϕ)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느 슨	25	<15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느 슨	25	<10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느 슨	25	<8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느 슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 1.4-40> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

점착력 산정식		내부마찰력 산정식	
$\phi = 0$	$c = \frac{q_u}{2}$	Dunham	$\phi = \sqrt{12N} + 20$
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	Peck	$\phi = 0.3N + 27$
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{8}$	Ohsaki	$\phi = \sqrt{12N} + 15$
Ohsaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}$	도로교시방서	$\phi = \sqrt{15N} + 15$

◦ 기존 설계자료

<표 1.4-41> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 간	단위중량(kN/m ³)	내부마찰각 ϕ (°)	점착력c(kN/m ²)	비고
전 구간	25.0	30.0	50.0	

④ 기반암의 지반정수 산정

◦ 문헌자료 검토

<표 1.4-42> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/m³)	내부마찰각(°)	점착력(kN/m²)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
건고한 퇴적암 (석회암, 백운암, 사암)	23~28	35~45	10,000~30,000
연약한 퇴적암 (사암, 석탄, 백악, 셰일)	17~23	25~35	1,000~20,000

<표 1.4-43> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	셰일	석회암	응회암
단위중량 (kN/m³)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/m²)	13,500 ~25,000	—	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	—	35~54	18~29	35~50	35~45

<표 1.4-44> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 난 이 척 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)			ϕ (°)	C (kN/m²)
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)			
강한 풍화암으 로서 파쇄가 거의 없는 경 우와 대부분의 연·경암	20~30%	10~25%	발파암반 (연암)	33	130
	40~50%	25~35%	발파암반 (보통암)	35	150
	70% 이상	40~50%	발파암반 (경암)	40	200

◦ 경험식에 의한 방법

<표 1.4-45> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	$-0.051 + 0.008RMR - 3.346 \times 10^{-5}RMR^2$ (MPa)
마찰각(ϕ)	$-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR^2$ (degree)

<표 1.4-46> Trueman (1988)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	$0.25\exp(0.05RMR)$ (Mpa)
마찰각(ϕ)	$0.5RMR + 5$ (degree)

<표 1.4-47> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	$0.02\exp(0.08RMR^*)$ (Mpa)
마찰각(ϕ)	$0.25(RMR^*) + 27.5$ (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

⑤ 지반의 불포화 특성

실제 지반은 포화상태보다는 대부분 일정비율의 공기를 함유하고 있는 불포화상태이기 때문에 현실적인 해석결과를 검토하기 위해서는 불포화 특성이 고려된 비정상류 검토를 실시해야 한다. 다만 시험방법이 복잡하고 널리 알려지지 않아 수행에 다소의 어려움이 있어 현장여건을 최대한 반영하기 위해 관련 문헌자료를 이용하여 산정하였다. 불포화 특성은 지반의 불포화영역에서 음의 간극수압 크기에 따라 투수계수 및 함수비(포화도) 변화를 정의하는 것으로 압력수두(음의간극수압)에 따른 투수함수와 함수비함수를 직접 정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

ㄱ. 개별고려

불포화토 실험자료를 바탕으로 각각 제공되는 함수종류에 따라 Curve Fitting을 통하여 계수를 정의한다.

ㄴ. 동시고려

JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준에 따라 불포화토 특성재료의 자료를 설정 가능하다. 지반종류별 제공된 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수는 다음과 같다.

<표 1.4-48> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

구 분	압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비	
	체적함수율-압력수두	체적함수율-투수계수비
역질토	[G], [G-F], [GF]	[G], [G-F], [GF]
사질토	[S], [S-F], [SF]	[S], [S-F], [SF]
점성토	[M], [C]	[M], [C]

⑥ 수리정수 산정

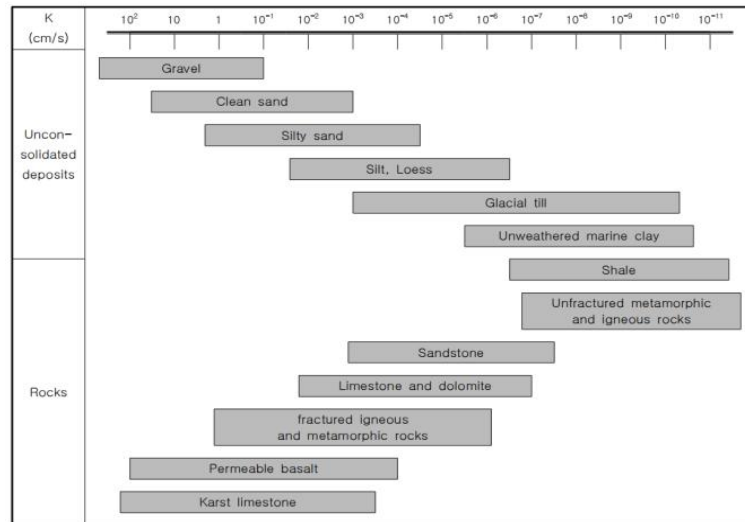
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 1.4-49> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(cm/sec)	Braja M. Das(cm/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	-

<표 1.4-50> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(cm/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



〈그림 1.4-4〉 퇴적물 및 암종별 투수계수 (Freeze & Cherry, 1979)

4) 적용 강우강도

① 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최근접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최근접 관측소의 확률강우량과 비교 후 큰 값을 적용한다.

② 설계강우빈도

ㄱ. 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

국가건설기준에 따른 도로배수시설의 설계빈도는 위험도·경제성 등을 고려하여 정하며, 구조물별 설계빈도의 적용은 다음 표와 같다.

〈표 1.4-51〉 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	· 일반구간 · 도심지, 도시계획구간 · 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흩쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	· 길어깨 및 증분대 등 노면 배수시설 · 흩쌓기부 도수로, 땅깁기흩쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깁기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	· 산마루 측구, 땅깁기부 도수로, 소단 측구 · 흩쌓기 비탈면 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

ㄴ. 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

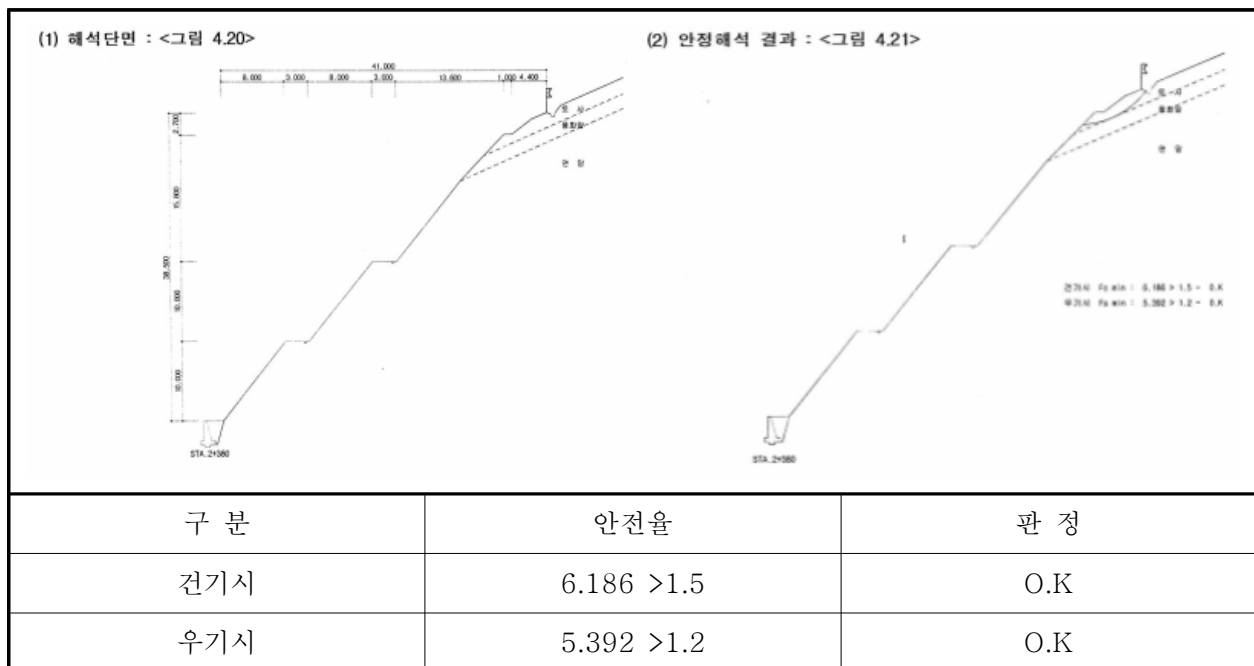
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

ㄷ. 적용 강우빈도

대상 비탈면에 적용할 강우빈도는 적용하기 위해 도로배수시설 및 비탈면배수시설의 설계기준을 참조하였으며 일반적으로 비탈면 배수시설에 적용하는 설계빈도는 20년 내외로 검토되었다. 다만 대상 비탈면의 중요도를 고려하여 적용할 강우 재현기간을 100년으로 선정하였다. 강우지속시간은 24시간을 기준으로 사용하였다.

5) 한계평형해석

본 절토사면의 한계평형해석은 4차순환도로 사면안전성 검토결과로 같음하였다.



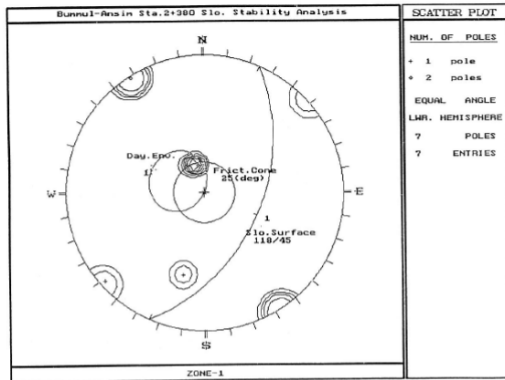
<그림 1.4-5> 한계평형해석

6) 평사투영해석

본 절토사면의 평사투영해석은 4차순환도로 사면안전성 검토결과 및 전차 성능평가로 같음하였다.

① 4차순환도로 사면안전성 검토결과

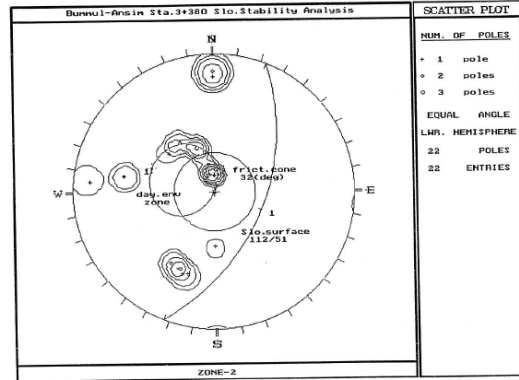
(1) ZONE 1구간(사면 상단에서 구배 10:8 변곡점까지) 평사투영해석 결과



<그림 4.36> ZONE 1구간 평사투영해석

- 절취사면의 경사방향/경사 : 118/45
- 주불연속면인 165/24, 152/25의 충리군에서 평면파괴 발생 가능성이 높.
- 사면의 풍화상태 : 주로 적색 셰일로서 심한풍화~완전풍화(CW~HW) 상태를 나타냄.
- 충리면에는 두께 0.5~1mm의 절토가 충전되어 있어 강우 침투시 전단강도를 현저히 약화시키는 요인으로 존재함.
- 충리의 간격이 10~20cm로서 얇게 부서지는 특징을 지니며, 굴착후 표면 풍화가 많이 진행되어 있음.

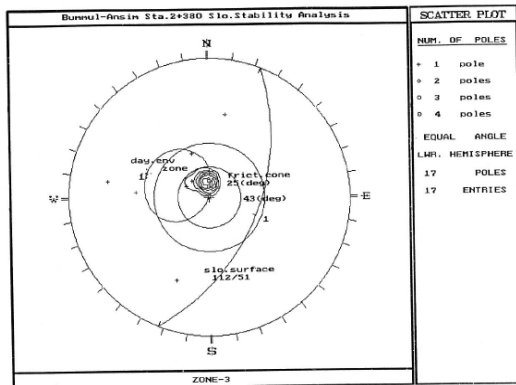
(2) ZONE 2구간(제1소단에서 제2소단까지) 평사투영해석 결과



<그림 4.37> ZONE 2구간 평사투영해석

- 절취사면의 경사방향/경사 : 112/51
- 160/38, 180/13 충리 및 130/47 절리군에서 평면파괴 발생 가능성이 높.
- 사면의 풍화상태 : 주로 적색~암회색 셰일로서 심한풍화(HW) 상태를 나타내고 있고, 사면좌측 160/38 충리군에는 열리현상이 매우 진행되어 있으며, 특히 STA.2+380~STA.2+420 구간의 130/47 절리군에서는 얇은 두께의 암괴탈락 및 파괴가 진행되고 있음.
- ZONE 1에서부터 연결되는 우측의 022/65 방향성을 지니는 단층에 폭 50mm 정도의 단층점토 및 각력이 충전되어 있어 이들 면에서의 암괴탈락이 예상됨.
- ZONE 1과 마찬가지로 표면 풍화가 많이 진행되어 있음.

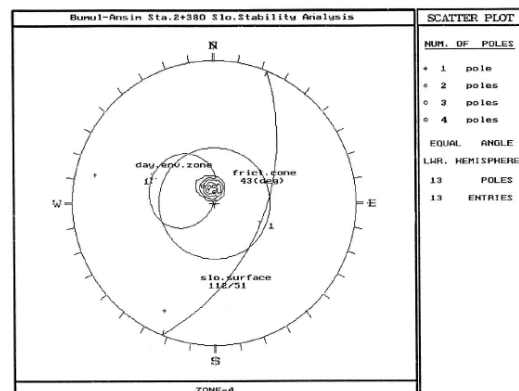
(3) ZONE 3구간(제2소단에서 제3소단까지) 평사투영해석 결과



<그림 4.38> ZONE 3구간 평사투영해석

- 절취사면의 경사방향/경사 : 112/51
- ZONE의 중앙부(STA.2+360~STA.2+400)에서는 비교적 안정한 상태를 나타내나 ZONE 좌측의 160/38 절리군 및 180/13 충리에서는 ZONE 2와 같이 평면파괴에 대하여 불안정하며 ZONE 우측의 습곡부위의 122/20 충리군에서 평면파괴~암괴탈락의 가능성이 있음.
- 사면의 풍화상태 : ZONE 중앙부는 약간풍화~보통풍화(SW~MW) 상태이나 ZONE 좌측 및 우측부분은 심한풍화(HW) 상태가 대부분임.
- ZONE 중앙부는 흑색 셰일, 좌측 및 우측은 주로 적색~암회색 셰일이 분포하고 있으며, 표면풍화가 진행되어 암석 표면의 강도는 많이 저하되어 있음.

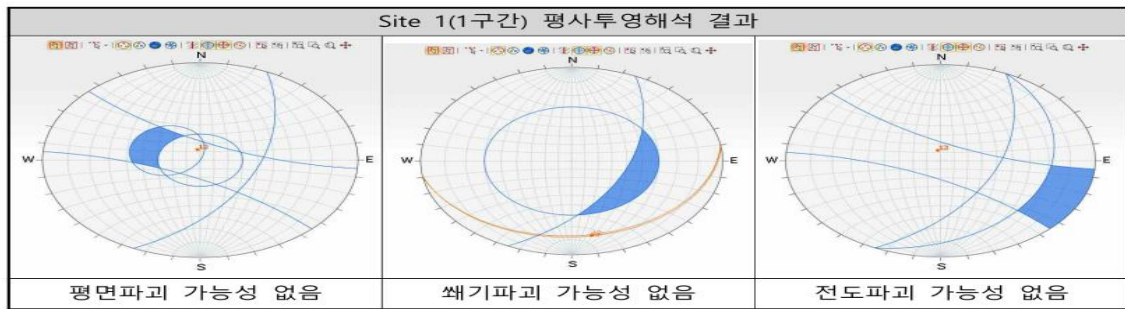
(4) ZONE 4구간(제3소단에서 제4소단까지) 평사투영해석 결과



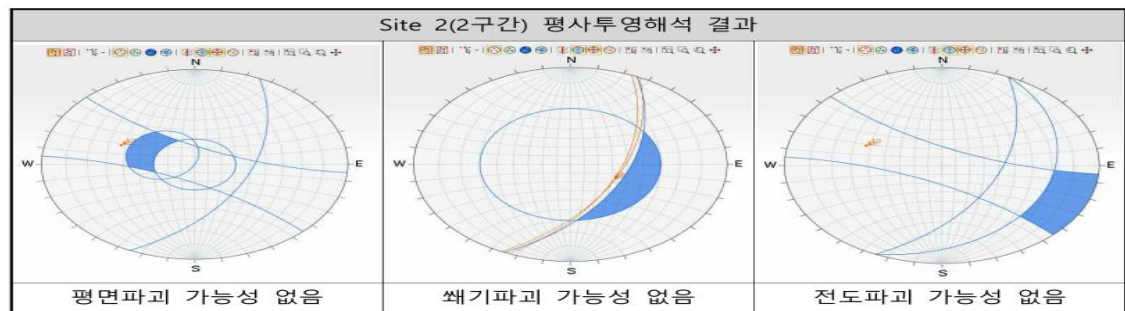
<그림 4.39> ZONE 4구간 평사투영해석

- 절취사면의 경사방향/경사 : 112/51
- 주불연속면인 170/12, 177/71 등은 모두 friction cone 내에 위치하여 비교적 안정된 상태로 분석되었으나 ZONE 좌측부분의 177/11 및 180/13 등의 충리군은 다소 불안정한 상태를 나타냄.
- 사면의 풍화상태 : ZONE 중앙부는 흑색 셰일로서 약간풍화~보통풍화(SW~MW) 상태를 나타내고 있고, ZONE 좌측 및 우측부분은 암회색~적색 셰일이 분포되어 있으며 표면풍화가 많이 진행되어 암석 표면의 강도는 많이 저하되어 있음.

② 전차 성능평가 결과



1구간에 대한 평사투영해석결과, 썩기파괴 및 전도파괴, 평면파괴의 가능성이 없으므로 안정성을 확보한 것으로 평가되었다.



2구간에 대한 평사투영해석결과, 썩기파괴 및 전도파괴, 평면파괴의 가능성이 없으므로 안정성을 확보한 것으로 평가되었다.

7) 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴에 대해 국부적인 불안정으로 평가되어 보강공으로 락볼트를 실시한 것이 확인되었다. 전차 성능평가 결과 안정성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대해 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 1.4-52> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		삼덕대절토사면 좌측		
구성 재료	파괴유형	최소안전율	평가 결과	비 고
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	썩기파괴	안정	a	썩기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	6.186	a	$F_s \geq 1.5 \Rightarrow O.K$
	우기시	5.392	a	$F_s \geq 1.2 \Rightarrow O.K$
구조안전성능평가 결과		A		

1.4.3 안전성능평가 결과

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다.

상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형 등은 양호한 상태인 것으로 확인되었고 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.

<표 1.4-53> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	삼덕대절토사면 좌측		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.143	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.143	A	
안전성능 결과	○ 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ○ 안전성능평가 결과 : A등급		

<표 1.4-54> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

1.5 내구성능 평가

1.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 1.5-1> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		암반사면	
공용기간		21년	2002년 준공
암반구간 설계(초기)강도		100MPa/101MPa	추정/19년 정밀안전점검
면적	전체	7,011m ²	
	토질구간	—	
	암반구간	7,011m ²	
표면보호공	식 생	7,011m ²	
사면보강공	락볼트	영구앵커	

1.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

본 비탈면은 토층심도율을 적용한 결과 암반사면에 해당되며, 지반상태(암반), 표면보호공 및 사면보강공, 절리상태 및 풍화진행도에 대해 평가하기로 한다.

<표 1.5-2> 사면 형식별 내구 성능 지표

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

1.5.3 성능지표별 평가 결과

1) 암반구간의 지표평가

<표 1.5-3> 암반사면의 지반상태 평가 기준

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

<표 1.5-4> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	암판정	초기값 대비강도(%)	비 고
1구간 STA.2+360 2단	111.7	경암	110.6	a(최소)
1구간 STA.2+400 2단	112.0	경암	110.9	a
2구간 STA.2+470 2단	122.5	경암	121.3	a
2구간 STA.2+500 1단	124.7	경암	123.5	a(최대)
평균값			111.1	최대,최소 제외
등급	A등급			

<표 1.5-5> 표면보호공 평가 결과

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

<표 1.5-6> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿔어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	6,986/7,011m ²	99.6%	-	-	
평가	식생 피복율이 90.0% 이상 이므로 “A등급” 으로 평가함.				

<표 1.5-7> 사면보강공 평가 등급 및 기준

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면 보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	-	미세한 균열 및 파손 발생
	c	일부 유격 발생	일부 균열 및 파손이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않은 상태
	d	-	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태
	e	전체적인 유격 발생	균열 및 파손이 심각한 상태
평 가	보강공 두부와 지반에 유격 없음, 점부식으로 “B등급” 으로 평가함		

<표 1.5-8> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

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

<표 1.5-9> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	Set 1	Set 2
길이(m)	3.0~10.0	10.0~20.0
	c	d
틈새(mm)	0.1~1.0	0.1 미만
	c	b
거칠기	약간거침	약간거침
	c	c
충전물	연약한 충전물(<5mm)	단단한 충전물(<5mm)
	d	b
풍화진행도	MW	MW
	c	c
평가결과	c	c
등급점수	0.43	0.43

평가항목	Set 3	Set 4
길이(m)	10.0~20.0	10.0~20.0
	d	d
틈새(mm)	0.1 미만	0.1~1.0
	b	c
거칠기	거칠음	거칠음
	b	b
충전물	단단한 충전물(<5mm)	단단한 충전물(<5mm)
	b	b
풍화진행도	MW	MW
	c	c
평가결과	c	c
등급점수	0.43	0.43

<표 1.5-10> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
1 구간 - Set 1	c	0.43	
1 구간 - Set 2	c	0.43	
2 구간 - Set 3	c	0.43	
2 구간 - Set 4	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		C	

1.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 암반사면으로 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 1.5-11> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치				
		기본	가중치 보정			
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38	—
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	80
	표면보호공	10	—	14	—	20
	사면보강공	25	28	—	—	—

2) 암반구간 내구성능 등급

<표 1.5-12> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a) × (b)
지반상태(암반)	A	0.08	0.25	0.020
절리상태 및 풍화진행도	C	0.43	0.40	0.172
표면보호공	A	0.08	0.10	0.008
사면보강공	A	0.08	0.25	0.020
결합도 지수				0.220
등 급				B

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 1.5-13> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

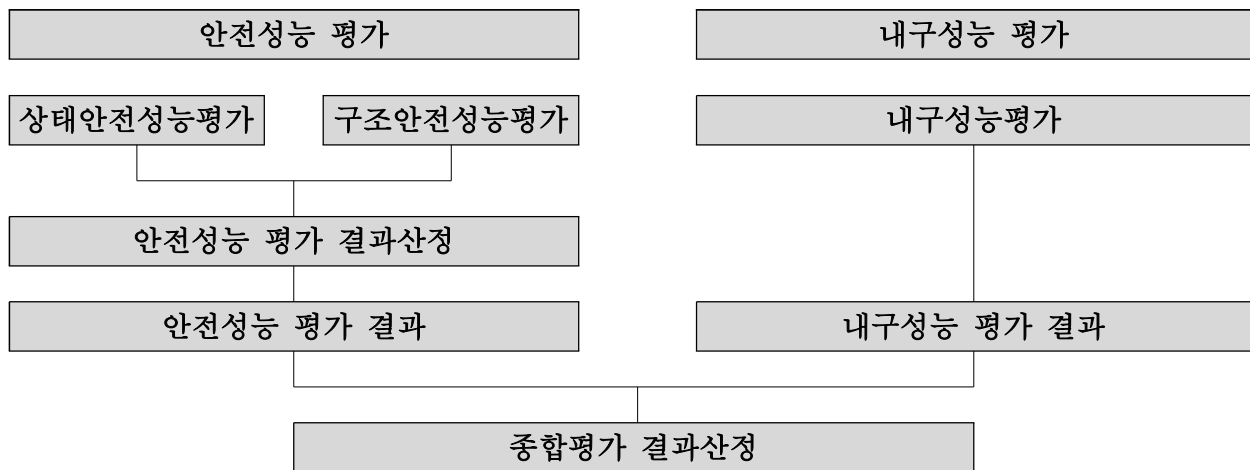
안전등급	평가지수	시설물의 상태	비고
A (우수)	$0.00 \leq (E) < 0.15$	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준	
B (양호)	$0.15 \leq (E) < 0.30$	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준	◎
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준	
D (미흡)	$0.55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

1.6 종합평가

1.6.1 종합평가 개요

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

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



<그림 1.6-1> 종합평가 흐름도

1.6.2 종합평가 결과

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

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

<표 1.6-1> 성능간 가중치 산정 값

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

<표 1.6-2> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	삼덕대결토사면 좌측		분류	일반도로/암반사면
평가 구분	성능평가 지수	평가 결과	성능간가중치(Wn)	비 고
안전성능평가	Ps=0.143	A	0.8	표 1.4-53
내구성능평가	Pd=0.220	B	0.2	표 1.5-12
종합평가 결과	○사면의 종합평가 지수(P) $= \sum(\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$ $= (0.143 \times 0.8) + (0.220 \times 0.2) = 0.158$ ○종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 1.6-3> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

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

1.7 유지관리 전략 제안

시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 한다.

1.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 - 성능평가편(2021.12)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

□시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법□제6조 제9항 및 동법 시행령 제3조 제4항, 제5항에 의거 5년 주기의 “중기 시설물 관리계획”을 수립하여야 한다. 중기 시설물 관리계획에 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준이 설정되어야 하나 아직 계획수립 전에 금회 성능평가가 실시되기 때문에 본 시설물의 성능목표는 관리주체 의견과 관련 법규를 종합적으로 분석하여 “B(0.15≤P<0.30)”으로 설정하였다.

〈표 1.7-1〉 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0.0 \leq P < 0.15$	$0.15 \leq P < 0.30$	$0.30 \leq P < 0.55$	$0.55 \leq P < 0.75$	$0.75 \leq P$
성능목표	B등급 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준				

1.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.158)"으로 평가되었다.

〈표 1.7-2〉 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.143	0.220	0.158
평가결과	A	B	B

1.7.3 유지관리 전략 제안

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

1) 손상별 보수·보강 방안

노후화된 구조물에 대한 보수·보강은 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경 조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표 이상인 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

〈표 1.7-3〉 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분	손상 내용	보수·보강방안	보수·보강 수준
사면부	표층유실	주의관찰	현상유지
사면보강공	록볼트 점부식	주의관찰	현상유지

2) 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능 이상인 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

1.8 종합결론

본 성능평가는 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데 그 목적을 두고 시행하였다.

- 1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되었고, 안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 표층유실, 록볼트 점부식이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
- 2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
- 3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
- 4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급" 이상인 "B등급" 인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.
- 5) 대구동부순환도로는 2026년 8월 대구광역시로 이관될 시설물로서 금회 점검한 삼덕대 절토사면의 경우 현재 발생된 손상에 대한 보수를 실시한다면 시설물의 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.