

제24장 상주절토24

24.1 대상 시설물 현황

24.2 관련 자료의 분석

24.3 현장조사

24.4 안전성능평가

24.5 내구성능평가

24.6 종합평가

24.7 유지관리전략 제안

24.8 종합결론

제24장 상주절토24

24.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 대구광역시 군위군 소보면 서경리(상주영천고속도로 30.413~30.588km)에 위치한 사면으로서 총 연장 175.0m, 높이 45.3m의 절토사면으로 시공되어 있다.

【표 24.1】 사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000049		관리번호	SY SL24
시설물명	상주절토24		시설물구분	절토사면
위 치	행정구역	대구광역시 군위군 소보면 서경리		
	위치좌표	시점 : 36° 23'44.3" 128° 49'73.8"		
		종점 : 36° 23'36.9" 128° 49'93.2"		
	관리이정	30.413~30.588km		
	공구이정	4공구 STA.1+430~1+605		
제 원	연 장	175m	높 이	45.3m
	경사/방향	55/208	노 선	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	산악지형	상부사면경사	20~30°
시공현황	준공년도	2017	시 공 자	대림산업(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 낙석방지망		
비 고				



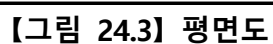
【그림 24.1】 위치도

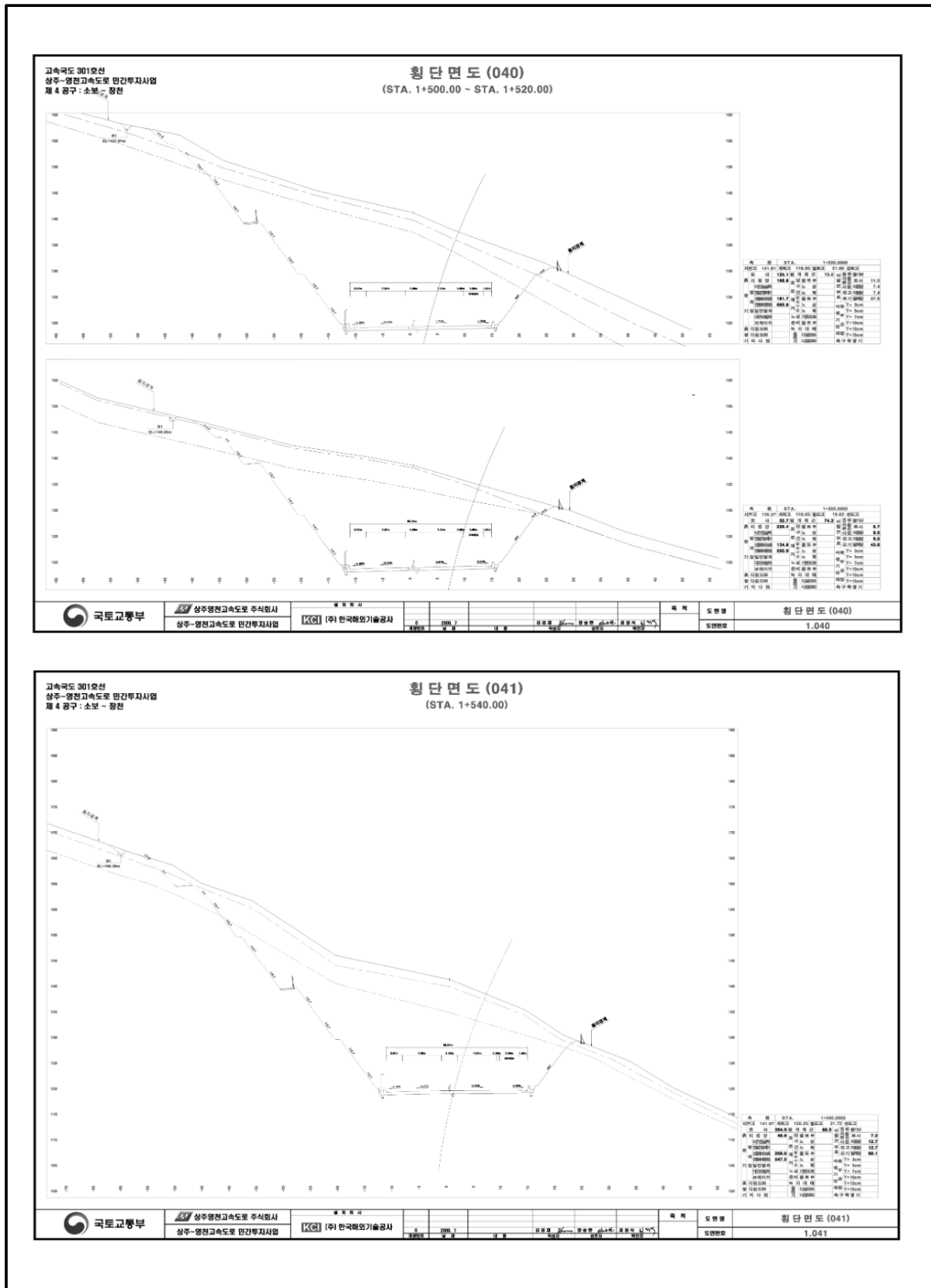
2025년 2종성능평가



【그림 24.2】 전경사진

1소단배수로 전경	자연사면 전경
낙석방지망 전경	산마루측구, 점검계단 전경
하단(이격부) 전경	낙석방지울타리, 야생동물유도울타리 전경





【그림 24.4】 표준횡단면도

24.2 관련 자료의 분석

24.2.1 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 24.2】 유지관리 관련자료 현황

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

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2017년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

24.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 “상주영천고속도로 민간투자 사업 건설공사 4공구”의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

7.4 비탈면 설계기준

비탈면 안정해석을 위한 설계기준은 대체적으로 소단, 비탈면기울기 및 최소안전율을 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기 및 경향

(1) 쌓기 비탈면 기울기 경향에 따른 흐름도

(2) 쌓기 비탈면 기울기경향에 따른 흐름도

다. 깎기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상대 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 음력(이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등)으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 깎기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지질조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 응도 등을 종합적으로 분석 고려하여야 한다.

국내 깎기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 양단층에서 층리나 절리 등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 차이가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 피파형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토질 조건	비탈면 높이(m)	기울기	비고	
모래	-	1:1.5 이상	SW, SP	
사질토	밀실한 것	5 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SP
		5 ~ 10	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않고 입도분포가 나쁨	5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		5 ~ 10	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 얇게 섞인 사질토	밀실하고 입도분포가 좋음	10 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
		10 ~ 15	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않거나 입도분포가 나쁨	10 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		10 ~ 15	1:1.2 ~ 1:1.5	
점성토	0 ~ 10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH	GM, GC
	5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2		
얇게 또는 호박을 섞인 점성토	5 ~ 10	1:1.2 ~ 1:1.5		
통과암	-	1:1.0 ~ 1:1.2	사면이 형성되지 않는 암	

주) 1. 절토는 점성토로 간주, 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 토의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기 범위]

원지반의 토질	방류기 높이	기울기	분류기호 (통일분류)	
불회토	강우시에도 지하수위가 설계고보다 낮은 경우	1:1.2	SW, SP	
	강우시에도 지하수위가 설계고보다 높아질 경우	1:1.5		
	상시 지하수위가 설계고보다 높은 경우	1:1.8~2.0		
모래	밀실하고 입도분포가 나쁜것	-	1:1.5 이상	SW, SP
사질토	밀실한 것	5m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SP
	5 ~ 10m	1:1.0 ~ 1:1.2		
	밀실하지 않고	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
	입도분포가 나쁜것	5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 얇게 섞인 사질토	밀실하고 입도분포 가 좋은것	10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
	10 ~ 15m	1:1.0 ~ 1:1.2		
	밀실하지 않거나	10m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
	입도분포가 나쁜것	10 ~ 15m	1:1.2 ~ 1:1.5	
점성토	0 ~ 10m	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH	GM, GC
	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2		
얇게 또는 호박을 섞인 점성토	5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5		

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2판 표준 및 배수편, 2002년)

[방암비탈면의 절취기준]

암석종류 (강도)	암반 파쇄상태 (N X 시추시) T.C.R	R.Q.D	경 년 이 도	기 중 기	소 단 설 치
중화암 또는 면·경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하	10% 이하	리빙암반	1:1.0 ~ 1:1.2	H=5m 이하 소단 1m 폭 (리빙암과 발파암 사이 에는 소단설치하지 않음)
강한 중화암으로 파쇄가 거의 없는 경 우와 대부분의 면·경암	20~40%	10~25%	발파암반 (면암반)	1:0.8 ~ 1:1.0	H=10m 이하 소단 1~2m 폭
	40~60%	25~50%	발파암반 (보통암반)	1:0.7	H=10m 이하 소단 1~2m 폭
	60% 이상	50% 이상	발파암반 (경암반)	1:0.5	H=20m 이하 소단 3m 폭

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2판 표준 및 배수편, 2002년)

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내의 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내의 기관별, 비탈면의 층수 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음과 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일련의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 이하 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m이다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 침점보수를 통한 토사의 유입관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 이하 1.0m소단과 리빙암 및 토사층에서는 H=5.0m이하 1.0m소단을 설치하여 H=20.0m이하 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 적당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구분	기관 및 규정명	소단적용 기준
국 내	건설공사 비탈면 설계기준 (2006)	· 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치 · 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치
	한국도로공사 도로설계요령 (2002)	· 리빙암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 이하 소단 1m · 발파암 R.Q.D = 10~25% : H = 10m 이하 소단 1~2m R.Q.D = 25~50% : H = 10m 이하 소단 1~2m R.Q.D = 50% 이상 : H = 20m 이하 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 이하 소단 1~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 이하 소단 0.5 ~ 1.5m
	도로공단 설계요령	· H = 7m 이하 소단설치
일 본	국유림도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 이하 소단 설치
	절도설계요령	· H > 10m의 경우 7m이하 소단 1.5m, 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면 안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직 한 것으로 사료된다.

황기구간에서는 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건과 토층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

2) 지형 및 지질

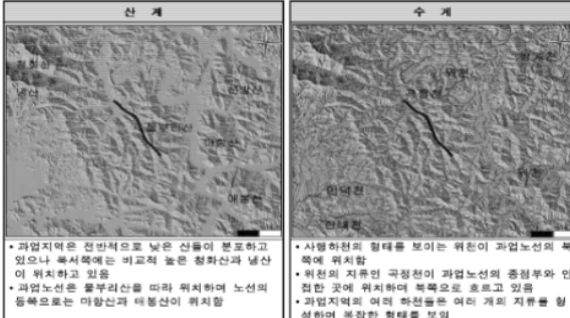
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

- 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
- 본 과업 지역의 지질은 백악기 경상층군의 신동층군의 낙동층(연화동층), 하산동층, 진주층(동명층)이 분포

나. 지형특성



- 과업지역은 전반적으로 낮은 산들이 분포하고 있으나 북서쪽에는 비교적 높은 청화산과 냉산이 위치하고 있음
- 과업노선은 울부리산을 따라 위치하며 노선의 동쪽으로는 마항산과 배동산이 위치함
- 사방하천의 형태를 보이는 위천이 과업노선의 북쪽에 위치함
- 위천의 지류인 국정천이 과업노선의 중점부와 인접한 곳에 위치하여 북쪽으로 흐르고 있음
- 과업지역의 여러 하천들은 여러 개의 지류를 형성하여 복잡한 형태를 보임

다. 분포 암종 특성

구 분	지질 특성
낙동층(연화동층 및 하산동층)	• 낙동층의 하부층에 해당하는 민경상층의 역질사암과 역암은 침마도가 불규칙한 석영과 알칼리장석이 주를 이루며, 탄질물과 변질된 유색광물류 주로 산출됨
낙동층(금당리층 및 세일)	• 암종으로 인한 쏘가짐(fracture)이 발달 • 쏘가짐과 같은 방향으로 방향성이 침전 또는 충전되어 있어 층리방향으로의 이 방향성이 잘 것으로 예상됨
하산동층 사암	• 석영은 1 mm 내외의 것들로 침마도는 불규칙한 것들이 무세 • 하산동층 사암은 근거리에서 이동하여 형성

48

4.3 지층분포 특성을 위한 조사

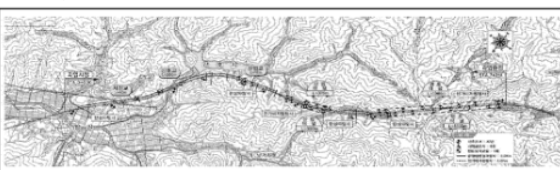
4.3.1 개요

가. 기본 사항

- 터널, 교량 및 비탈면구간의 상세지층, 지질 이상대 파악, 암반 분류시 활용
- 지반의 공학적 성질 분석, 암종 경계 및 지층 분포 특성 파악

나. 조사 위치 및 수량

- 굴절법 탄성파 탐사 6.0km, 전기비저항탐사 4.6km, 시추조사 42구, 시험굴조사 8회, 핸드모노모링 5회, 표준관입시험 94회



(1) 굴절법 탄성파 탐사

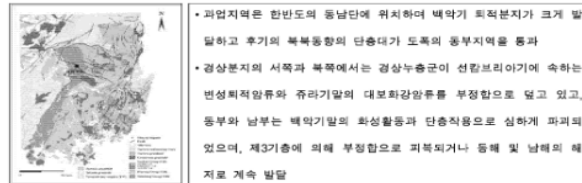
위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 및 교량구간	0+400 ~ 3+560	중	3,160
	4+620 ~ 4+960	중	360
	1+200	횡	75
	1+540	횡	95
	2+360	횡	115
	2+440	횡	205
	2+680	횡	75
	2+860	횡	75
	2+980	횡	85
	3+200	횡	60
	3+340	횡	75
	3+520	횡	75
	3+720	횡	95
	4+760	횡	115
위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 및 교량구간	4+860	횡	115
	5+240	횡	110
	3+950 ~ 4+030	중	80
	3+980 ~ 4+060	중	80
	4+020	횡	100
	4+275 ~ 4+375	중	100
	4+300 ~ 4+380	중	80
	4+340	횡	90
	5+270 ~ 5+370	중	100
	5+320 ~ 5+420	중	100
	5+360	횡	115
	7+050 ~ 7+150	중	100
	7+060 ~ 7+160	중	100
	7+140	횡	115

62

라. 지질 개요도

지질시대	층 명		특 성	비 고	
제4기	충적층(Q ₄)		• 하천 및 산곡 퇴적물	-	
	--- 부정합 ---				
	충성암맥(K _{ca}) 산성암맥(K _{ca})		• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입	
	유선층군	안산암질암(K _{ca})	• 주로 응회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음	
대정층군	--- 관입 및 분출 ---				
	신동층군	낙동층군(ke1)	금당리층원(Ke1-nk)	• 사암과 역질사암, 셰일의 교호 • 주로 역질 사암 무세	• 4공구 전구간

마. 지질구조



4.2.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 목적

- 과업지역의 광역적인 지질 특성 파악 및 선형구조 발달 상태 파악
- 지형 및 지질특성(단층, 절리, 암맥 등의 선구조) 파악
- 과업구간에 대한 지질분포와 단층, 절리 등에 의한 광역적인 선구조 해석

(2) 원리 및 방법

- 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 위성영상을 이용하여 분석 실시
- 선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용
- 식생지수, 습란도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

49

구 분	공 번	STA.	X	Y	표고(EL.m)	시추심도(m)
필터	TBB-17	영천 5+761(우14.3m)	300380.348	156935.046	296.494	125.00
	TBB-18	상주 5+910(좌27.1m)	300302.756	157089.617	282.280	108.10
	TBB-19	영천 6+091(우19.9m)	300129.558	157149.737	244.378	64.00
	TBB-20	상주 6+196(좌16.4m)	300079.965	157269.168	276.214	103.60
	TBB-21	영천 6+366(우10.6m)	299930.424	157338.667	280.371	105.80
	TBB-22	상주 6+495(좌9.5m)	299853.363	157404.232	283.730	122.00
	TBB-23	영천 6+666(우11.8m)	299704.824	157536.842	296.878	135.00
	TBB-24	상주 6+754(좌19.5m)	299666.016	157643.618	273.975	100.00
	TBB-25	영천 6+974(우27.6m)	299463.961	157729.197	193.527	44.00
	TBB-26	상주 7+110(좌12.4m)	299392.301	157871.839	183.937	21.00
	TBB-27	상주 7+129(좌9.6m)	299375.279	157881.714	182.078	21.00
	TBB-28	영천 7+119(우28.1m)	299353.348	157820.901	180.080	31.00
TBB-29	영천 7+142(우20.8m)	299340.218	157840.161	175.463	17.00	

* 교량구간

구 분	공 번	STA.	X	Y	표고(EL.m)	시추심도(m)
산호교	BBB-8	영천 1+931	303,648.633	155,160.401	98.173	9.00
산벌교	BBB-13	영천 3+112	302,729.550	155,825.907	126.45	9.50

* 비탈면구간

구 분	공 번	STA.	X	Y	표고(EL.m)	시추심도(m)
위거구간	CBB-12	영천 2+968(좌26.4m)	302875.5881	155817.758	157.296	15.00
	CBB-13	영천 2+963(좌33.2m)	302837.722	155765.591	166.484	32.00
	CBB-20	영천 3+719(좌32.6m)	302130.296	155921.334	179.089	25.00
	CBB-24	상주 5+214(좌42.2m)	300833.331	156640.240	222.850	30.00
썰기구간	SBB-10	영천 2+876(좌15.3m)	302962.868	155782.233	130.859	2.00
	SBB-13	상주 3+713(좌5.8m)	302147.045	155974.590	153.032	7.70
	SBB-14	상주 3+785(좌9.5m)	302077.795	155995.141	152.648	9.70
	SBB-15	영천 3+799(우17.0m)	302054.023	155961.890	159.657	7.40
	SBB-19	상주 5+035(좌5.0m)	300948.791	156499.590	180.703	7.00
	SBB-20	영천 5+097(우10.7m)	300883.918	156500.897	184.677	7.80
	SBB-21	영천 5+251(좌5.1m)	300775.986	156612.552	199.707	7.00

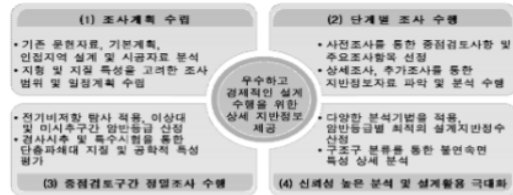
64

3) 지반조사 보고서

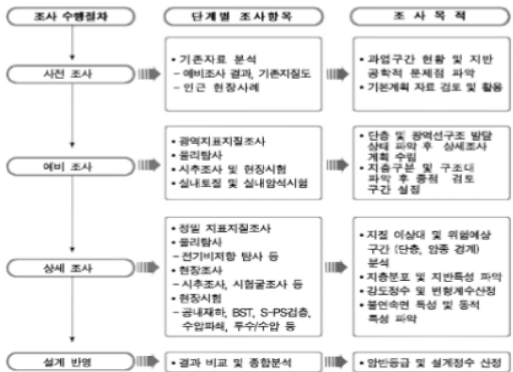
제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

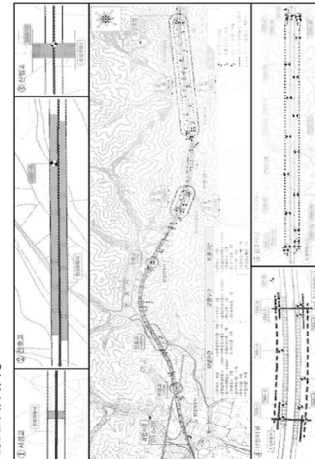
가. 조사 기본방향



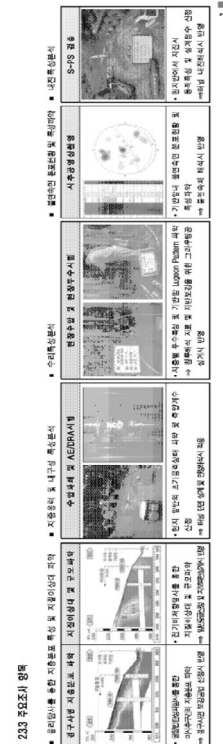
나. 조사 수행 흐름도



3

[illegible]

23.2 조사 위치 및 수량



233 조영진, 안달

3.2 암반의 분류 및 기준

3.2.1 암반분류 방법

방법 분류	한국도공사, 협도원, 한국기술문화학회 및 서울지하철 분류기준에 따라 종화토, 종화암, 연암, 보습암, 및 결빙암 등 12종의 암석구분은 합동도로 표시하며 RGD, RMR 및 Q 분류에 의해 방반을 분류하고 분석을 수행함
기재 방법	암석의 종화상, 불연속면의 기재 : 상도 및 암질정보는 ISRM(국제암석학회)의 분류 조각칭에서 사용된 시추공도 분류식 및 육안 관찰하여 American Institute of Professional Geologists에서 제시한 "굴착 작업 목적을 위한 암석시추의 처리방법 및 시추공상도 작성 방법"에 의거하여 시추공상도를 작성
기술 내용	색, 불연속면의 기재와 상태, 풍화상태, 강도, 암질 및 돌출 기수함 - 색 : 암석의 기조색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 연(연한), 암(진한)의 명암 및 토 색의 시굴물면을 사용함 - 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류 - 시추공상도에 암질, 종류, RGD, 시추절리상, 풍상도, 작업상, 풍상도 절리상, 절리회수 등 불연속면 정보에 관한 내용(굴착면(굴착면)의 풍화상태, 강도, 견결, 거칠기)을 주세하여 기재함

가. RQD에 의한 암반분류(Deere, 1968)

RQD(%)	100 ~ 90	90 ~ 75	75 ~ 50	50 ~ 25	< 25
암 질	매우 양호 (Excellent)	양호 (Good)	보통 (Fair)	불량 (Poor)	매우 불량 (Very Poor)

나. RMR에 따른 암반등급(Bieniawski, 1974)

RMR	100 ~ 81	80 ~ 61	60 ~ 41	40 ~ 21	< 20
종 급	I	II	III	IV	V
만 직	매우 양호 (Excellent)	양호 (Good)	보통 (Fair)	불량 (Poor)	매우 불량 (Very Poor)

다. Q값에 따른 알반등급(Banton, 1974)

Q값	1000 ~ 400	400 ~ 100	100 ~ 40	40 ~ 10	10 ~ 4	4 ~ 1	1 ~ 0.1	0.1 ~ 0.01	0.01 ~ 0.001
해 급	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
양 질	지극히 양호	극히 양호	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량	극히 불량	지극히 불량

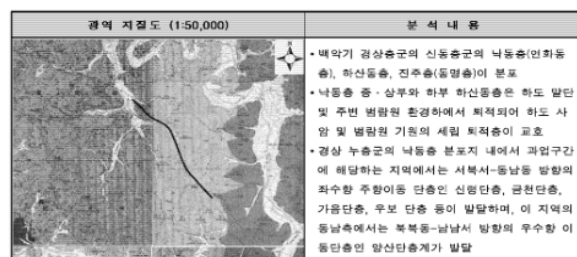
- 타원구간에 분포하는 양분에 대하여 유사한 공학적 특성을 보이는 몇 개의 군으로 분류
- 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시(양식: 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 달(임한)과 알(진한)의 명암 및 혼색에 대한 접두어를 사용

16

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석



4.1.2 기본설계자료 분석

구분	분석내용
터널구간	• 봉직층은 0.4~4.0m, 풍화도는 1.6~4.2m, 풍화암은 0.5~2.5m 두께로 분포 • 연암은 0.0~5.0m, 경암은 1.6~16.5m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/QD (%)=23~75/0~30, 경암 TCR/QD(%)=60~100/12~100로 퇴적암으로 구성
교량구간	• 봉직층은 0.5~0.8m, 풍화도는 0.0m, 풍화암은 2.8~4.0m 두께로 분포 • 연암은 1.4~4.5m, 경암은 2.8~16.1m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/QD(%)=26~93/0~40, 경암 TCR/QD(%)=80~100/1~100로 퇴적암으로 구성
비탈면구간	• 봉직층은 0.5~1.4m, 풍화도는 0.7~1.6m, 풍화암은 1.0~1.9m 두께로 분포 • 연암은 1.5~7.5m, 경암은 3.3~3.6m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/QD (%)=26~60/0~9, 경암 TCR/QD(%)=90~100/67~100로 퇴적암으로 구성

47

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 각기 및 절기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대각기 비탈면과 고절기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 일반상태의 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 일의의 최소안전율을 갖는 활동 저항면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사와 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

7.1.2 검토내용

본 구간의 검토대상 비탈면에 대하여 현장조사 및 실내시험을 통하여 얻은 성과를 토대로 검토한 내용은 다음과 같다.

- 현장조사 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 실내시험 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 합리적인 비탈면 기울기 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

괴입구간에 계획되는 비탈면 중 절기 2구간의 검토구간 선정은 일반적으로 절기 높이가 10m 이상, 각기구간은 절기비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

193

구 분	선정 기준
절 기 부	- 비탈면 높이가 10m를 초과하는 경우 - 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 - 붕괴재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 - 붕괴시 폭구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 영향, 재산상 피해를 주는 경우 - 지질특성으로 인하여 절기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우 - 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 - 절기비탈면의 침지빈이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) - 내진안정해석이 필요한 경우
각 기 부	- 비탈면 높이가 20m 이상인 경우 - 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 - 비탈면 지반이 붕괴토로 이루어진 경우 - 암반의 풍화가 심하고 풍수가 많은 경우 - 붕괴시 폭구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 영향, 재산상 피해를 주는 경우 - 불연속면이 비탈면 방향으로 기울어진 지질조건인 경우 - 내진안정해석이 필요한 경우 - 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건인 경우

7.2.2 비탈면 현황

비탈면 안정검토 대상구간 선정기준에 의한 비탈면 현황은 다음과 같다.

구 분	구 간 (STA.)	연 장 (m)	대 표 단면 (STA.)	최 대 각 기 고 및 붕 기 고	지 중 현 상	조 사 대 상		비 고	
						공 번	조 사 위 치 (STA.)		
절 기 구 간	각기1구간	1+000 ~ 1+200	240	1+200(상주방향)	27.40	조사용 지질탐사 방향성	-	-	비식용 암반의 암사수형
	각기2구간	1+430~ 1+610	180	1+540(상주방향)	45.47	조사용 지질탐사 방향성	-	-	비식용 암반의 암사수형
	각기3구간	2+220~ 2+500	280	2+360(영선방향)	53.24	조사용 지질탐사 방향성	-	-	비식용 암반의 암사수형
	각기4구간	2+560~ 2+750	190	2+640(영선방향)	32.00	조사용 지질탐사 방향성	-	-	비식용 암반의 암사수형
	각기5구간	2+810~ 2+860	50	2+840(영선방향)	14.74	조사용 지질탐사 방향성	-	-	비식용 암반의 암사수형
	각기6구간	2+910~ 2+950	40	2+960(영선방향)	27.72	불적층, 불응 층, 암반, 연 약층	CR3-12 CR3-13	2+960(영선) 2+960(영선)	

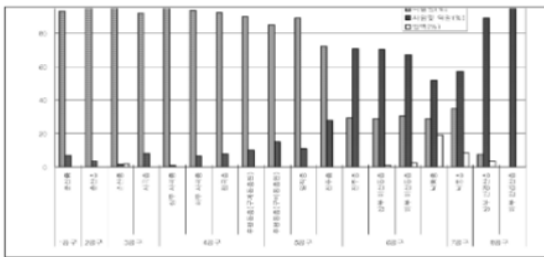
194

7.2.3 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

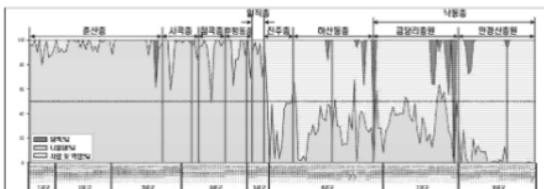
가. 지질 및 암종특성

① 지질특성

- 본 과업노선(상주~영천고속도로 제4공구) 경상분지의 퇴적암 지대에 위치하며 사질암부터 낙동층, 화산층, 전수층의 순서로 분포함.
- 구성암석은 이암과 세립로 구성된 나질암과 사암 및 역암으로 구성되어 나질암은 28.9~30.4%의 구성비율 보유
- 나질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특성을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 빠른 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄



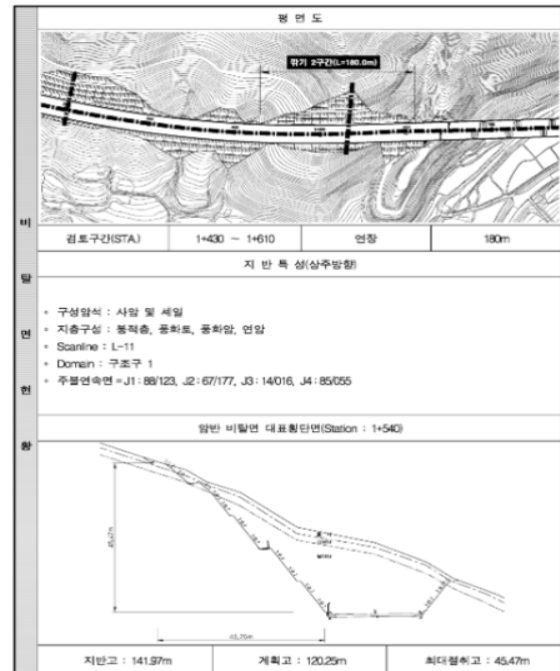
< 상주~영천고속도로 구간별 분포 비율 >



< 상주~영천고속도로 구간별 분포 비율 지질종단도 >

217

(2) 각기 2구간



225

24.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년 6월 준공이후 기준에 따라 17회(정밀안전점검 3회, 정기안전점검 13회, 2중 성능평가 1회)의 점검을 주기적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

【표 24.3】 점검 및 진단 이력

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천 원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
1	정기안전점검 (하반기)	(주)명성 엔지니어 링	300	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.
	2017. 11. 13 2017. 12. 28	인승철	양호	-
2	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어 링	275	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.
	2018. 05. 28 2018. 06. 30	인승철	양호	-
3	정기안전점검 (하반기)	(주)명성 엔지니어 링	275	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.
	2018. 10. 23 2018. 12. 31	인승철	양호	-
4	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어 링	275	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.
	2019. 03. 18 2019. 05. 28	인승철	양호	-

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
5	정밀안전점검	(주)명성 엔지니어 링	245	본 사면에 대한 정밀안전점검 결과, 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태인 "B" 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 사면 식생공, 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강 시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.
	2019. 09. 16 2019. 12. 27	장진원	B	균열보수, 주의관찰
6	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어 링	206	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 배수시설의 경우 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 재균열, 망상균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다.
	2020. 05. 12 2020. 06. 30	인승철	양호	균열보수
7	정기안전점검 (하반기)	(주)명성 엔지니어 링	206	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 배수시설의 경우 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 재균열, 망상균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다.
	2020. 08. 31 2020. 12. 31	인승철	양호	균열보수

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
8	2중 성능평가	(주)명성 엔지니어 링	690	안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였음. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가됨. 일부 구간에서 소단배수로 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태임. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가됨. 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였음. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가됨. 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 A(우수)등급으로 평가됨. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급" 이상인 "A등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단됨.
	2020. 08. 31 2020. 12. 31	인승철	A	균열보수, 주의관찰
9	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어 링	206	상주절토 24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 배수시설의 경우 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 재균열, 망상균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다.
	2021. 03. 08 2021. 06. 07	장진원	양호	균열보수

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
10	정밀안전점검	(주)명성 엔지니어 링	294	-배수시설 균열 일부 발생
	2021. 08. 25 2021. 12. 10	장진원	B	-균열보수, 주의관찰
11	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어 링	350	- 배수시설 균열, 보수부 재균열 및 망상균열
	2022. 05. 16 2022. 06. 24	정지운	양호	균열보수
12	정기안전점검 (하반기)	(주)명성 엔지니어 링	350	- 배수시설 균열, 보수부 재균열 및 망상균열
	2022. 09. 19 2022. 11. 18	이상훈	양호	균열보수
13	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어 링	350	- 배수시설 균열 및 망상균열
	2023. 04. 03 2023. 06. 16	정지운	양호	균열보수
14	정밀안전점검	(주)명성 엔지니어 링	431	- 배수시설 균열, 망상균열, 파손, 재료분리 발생
	2023. 07. 03 2023. 12. 08	이상훈	B	- 균열보수, 단면보수, 주의관찰
15	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어 링	350	- 배수시설 균열, 망상균열, 파손, 재료분리
	2024. 06. 10 2024. 06. 28	정지운	양호	- 주입보수, 단면보수
16	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어 링	350	- 배수시설 균열, 망상균열, 파손, 재료분리
	2024. 09. 23 2024. 12. 03	정지운	양호	- 주입보수, 단면보수
17	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어 링	350	- 배수시설 균열, 망상균열, 파손, 재료분리
	2025. 03. 24 2025. 06. 18	정지운	양호	- 주입보수, 단면보수, 지속관찰

24.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 2017년 06월에 준공되어 현재 FMS(시설물정보종합관리시스템)에 등록된 보수·보강실적은 없으나, 시설물의 하자보수를 실시한 것이 확인되었다.

【표 24.4】 보수·보강이력

번호	공사명	공사구분	보수보강부위	시공자
	공사기간		공사내역	공사비(천원)
1	-	보수	배수로	-
	-		균열보수(하자)	-

24.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

【표 24.5】 내진 설계 적용 여부

적용유무	내진설계											비고			
유	·내진등급 : 내진 I등급 (고속도로)														
	·지진구역계수 : 0.11 (경상북도)														
	·위험도계수 : 1.4 (재현주기 1000년)														
	·가속도계수 : 0.154 (0.11 ×1.4)														
비탈면 안정성 검토	좌기구간 안정성 검토														
	암 반 비 탈 면														
	구 분	상주방향						영천방향							
	평면 및 전도 파괴 분석도														
	좌기 파괴 분석도														
	평사 투영 해석														
	구 분	상주방향					영천방향								
		평면	전도	좌기	평면	전도	좌기								
	1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정								
	1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정								
평가	한 계 평 형 해 석														
	구 분	상주방향				영천방향									
		평면파괴	좌기파괴	평면파괴	좌기파괴	평면파괴	좌기파괴	평면파괴	좌기파괴						
		건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기						
	1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-						
	1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-						
	° 암반비탈면 평사투영해석결과(상주, 영천방향) 평면, 전도 및 좌기파괴 가능성이 없는 것으로 판단됨														
	° 시공시 확인 시추조사 및 Face Mapping 등으로 설계시 적용된 조건과 비교·검토후 결과가 상이할 경우 비탈면에 대한 별도의 안정대책을 수립하여야 함														

구 분	방 향	구 간 (STA)	시추 조사	비탈면 높이 (m)	한계평형	T.C.R.	평사 투영	한계 평형	토사 비탈면	적용기울기	모강 및 사면 높이	보강면적 및 보강공수			
좌기 구간	상주	1+050 ~ 1+290	-	27.40	27.40	1.82	1.04	-	-	-	1:1.2 ~ 1:1.5	1:1.0	1:0.7	포송구배 Soil Nail 455공(8m) 425공(10m)	
	우측	1+430 ~ 1+610	-	45.47	-	-	-	-	안정	-	1:1.2 ~ 1:1.5	1:1.0	1:0.7	-	
좌기 구간	상주	2+220 ~ 2+580	-	53.24	45.01	1.87	1.18	-	안정	-	1:1.0 ~ 1:1.5	1:1.0	1:0.7	기울기상향 734공(8m) 208공(8m) 176공(10m) 117공(12m) 45공(14m) 3,099㎡	
	우측	2+580 ~ 2+750	-	32.00	-	2.22	1.53	-	안정	-	1:1.2 ~ 1:1.5	1:1.0	1:0.7	-	
좌기 구간	상주	2+810 ~ 2+880	-	14.74	-	3.11	2.25	-	좌기	84% 42% 1:1.2 ~ 1:1.5	1:1.0	1:1.0	1:0.7	-	
	우측	2+910 ~ 3+050	C89-12 C89-13	27.72	27.72	-	-	평면 파괴 94.6% 121% 1:1.2 ~ 1:1.5	1:1.2 ~ 1:1.5	1:1.0	1:0.7	1:0.7	1:0.7	759공(8m)	
좌기 구간	상주	3+180 ~ 3+210	-	18.24	18.24	2.19	1.48	-	평면 파괴 25% 20% 1:1.2 ~ 1:1.5	1:1.2 ~ 1:1.5	1:1.0	1:1.0	1:0.7	1:0.7	123공(8m)

(a) 구조계산서

(b) 구조계산서

24.2.6 시설물의 용도변경 여부 확인

본 절토사면은 FMS(시설물정보종합관리시스템) 상에 용도변경 이력은 없는 것으로 확인되었다.

24.2.7 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 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

【표 24.6】 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, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	○ 사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ○ 필요시 보수·보수·보강방안 수립 ○ 시설물 특성을 고려한 적절한 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

24.3 현장조사

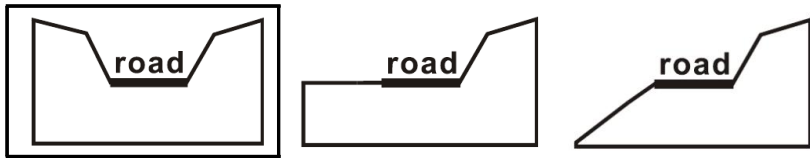
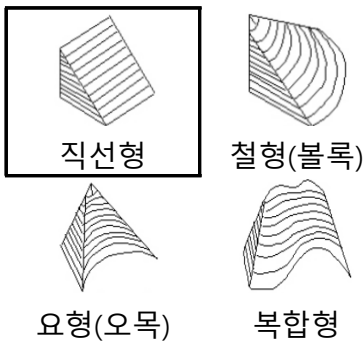
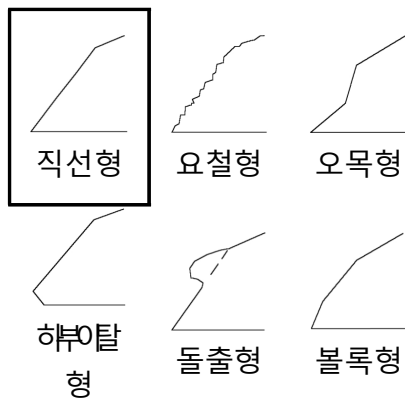
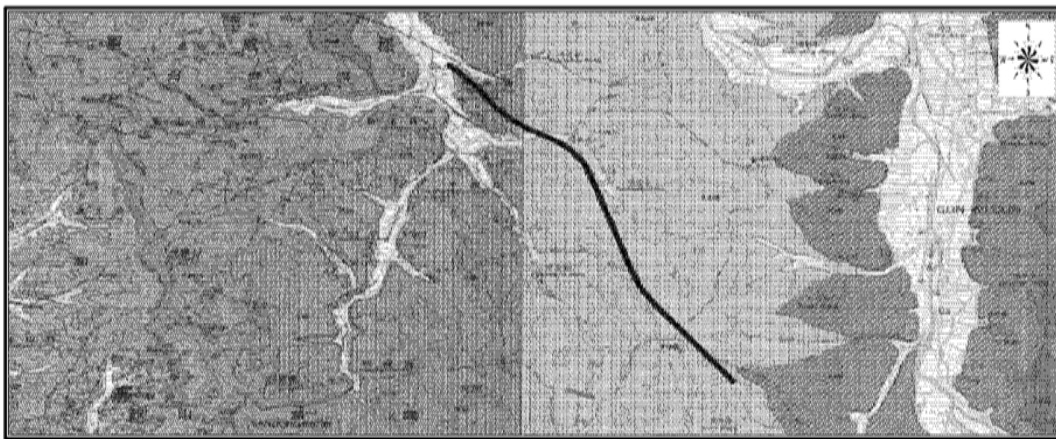
24.3.1 현장조사 체크리스트

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

【표 24.7】 일반현황

조사일자	2025. 10. 15.		조 사 자	정 지 운	
일 기	맑음		준공년도	2017년 06월 27일	
행정구역	대구광역시 군위군 소보면 서경리				
위 치	시점 : 36° 23'44.3" 128° 49'73.8"				
	종점 : 36° 23'36.9" 128° 49'93.2"				
도 로	관리이정 : 30.413 ~ 30.588km				
	왕복 4차선		도로폭 : 24.5m		
	교통량 : 30,787대/일				
절토사면	길 이 : 175.0m		높 이 : 45.3m		
	경 사/경사방향 : 55/208				
	도로와의 이격거리 : 평균 1.0~1.5m				
	구성물질 : 암		토층심도 : 약 1.0~5.0m		
	소 단 : 4				
낙석/뜯돌	낙석 존재유무 : 없음		낙석의 양 : -		
	낙석 평균크기 : -				
	낙석 최대크기 : -				
	뜯돌 존재유무 : 없음		뜯돌의 양 : -		
절토사면 시공현황	뜯돌 평균크기 : -				
	종 류		위 치		상 태
	식생현황		30.413~30.588k		양호
	산마루 측구		30.413~30.588k		양호
	소단배수로		30.453~30.563k		균열
	낙석방지울타리		30.473~30.573k		양호
	야생동물유도울타리		30.413~30.473k, 30.573~30.588k		양호
	점검계단		30.413~30.513k		양호
붕괴이력	낙석방지망		30.473~30.573k		양호
	유 형		규 모		위 치
기 타	·				

【표 24.8】 지형·지질 및 식생

주변지형의 특성	주변 지형		산악지형				
	종단면 형상						
	기타 특징		-				
절토사면의 특성	종 횡 단 면			종 단 면 특 성			
상부 자연비탈면	경 사 도		20~30°				
	인장균열		무				
	포행흔적		무				
	수목의 기울어짐		무				
	인공구조물		무				
	산마루측구		유				
	계곡부		무				
지 질							
	지질각론		백악기 경상층군의 신동층군의 낙동층(연화동층), 하산동층, 진주층(동명층)이 분포, 사암 및 범람원 기원의 퇴적층이 교호				
식 생	① 종 류	초 본	관 목	침 엽 수	활 엽 수		
	② 밀 도	하	10/5m ²	-	-		
	③ 근계특징	천근성 (O), 심근성 ()					

【표 24.9】 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토24		
	위경도	시점 : 36° 23'44.3" 128° 49'73.8" 종점 : 36° 23'36.9" 128° 49'93.2"		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2025년 10월 15일		
	조사자	정 지 운	조사기관	(주)명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	175.0m	최대높이	45.3m
	경사	55°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	7개소
	종류	☒ 암반 ☐ 혼합 ☐ 토사 ☐ 자연	주변지형	☒ 산악 ☐ 준산악 ☐ 구릉 ☐ 평 지
	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	없음	붕괴이력	☐ 유(영향) ☐ 낙석 ☐ 유(미영향) ☒ 무
	튼돌	☐ 대 ☐ 중 ☐ 소 ☒ 무	낙석	☐ 대 ☐ 중 ☐ 소 ☒ 무
	암종	사암 및 세일	토층심도	1.0~5.0m
	암반형태	☐ massive ☐ tabular ☐ columnar ☐ irregular ☒ blocky ☐ crushed	불연속면	☒ 절리 ☒ 층리 ☐ 엇리 ☐ 균열대 ☐ 단층 ☐ 전단대 ☐ 암맥 ☐ 무
	시공현황 (상태)	☒ 식생공(양호) ☒ 낙석방지망(양호) ☐ 옹벽 ☒ 낙석방지울타리(양호) ☐ 격자블럭 ☒ 배수로(보통) ☒ 점검로(양호) ☐ 기타		
조사자 소 건	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			

24.3.2 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 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대 시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 대구광역시 군위군 소보면 서경리(상주영천고속도로 30.413~30.588km)에 위치한 사면으로서 총 연장 175.0m, 높이 45.3m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준 횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록 크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성 조사 시 각 구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

【표 24.10】 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/cm²)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{5.0}{45.3} = 0.11$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 95.1~115.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$I_b = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i}{3} = 0.5$, $\frac{I_b}{H} = \frac{0.5}{45.3} = 0.011$ 로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 175m로서, 사면의 구간분할 기준인

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

현장조사, 재료시험 및 상태평가는 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024. 12, 국토교통부, 국토안전관리원), 지형특성, 절토사면 시공현황, 사면의 유지관리 및 점검시 외 관조사망도 직관성(상주기점 가까운 쪽을 1구간) 등을 종합적으로 고려하여 다음 표와 같이 1개의 구간으로 선정하여 조사 및 시험, 평가를 실시하였다.

사면분류를 실시한 결과는 상태평가의 지반특성에 따른 사면분류 편에 작성하였다.

【표 24.11】 비탈면 구간 분할

구 분	관리이정(k)	연 장(m)	높 이(m)	경사/경사방향	토층심도(m)	구성물질
1구간	30.413~30.588	175.0	45.3	55/208	5.0	암



24.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

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

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 20~30°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

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

【표 24.12】 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시·종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	-	-	
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

나. 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 표면보호공으로 식생공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화상태는 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

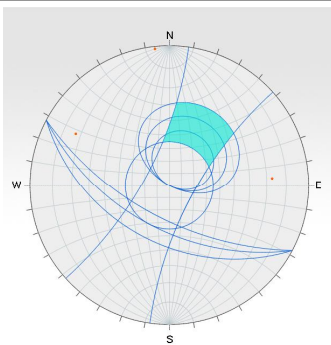
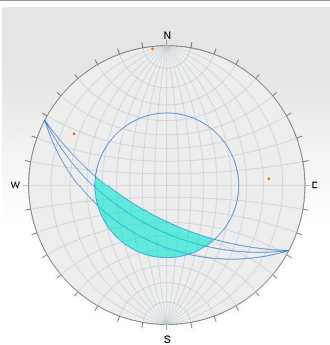
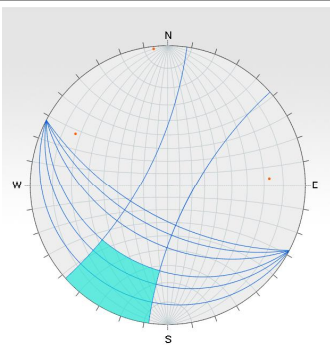
【표 24.13】 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	일부 분포	-	-	-	

다. 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 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

【표 24.14】 불연속면 특성 조사 결과

구 분		J1	J2	J3	절리상태 점수		
					J1	J2	J3
종류		절리	절리	절리	-	-	-
방향성		75/119	81/023	89/174	-	-	-
간격(m)		0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	-	-	-
상세 절리 상태	연장성 (m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0	1	1	1
	틈새(mm)	0.1mm 미만	0.1mm 미만	0.1mm 미만	1	1	1
	거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침	3	3	3
	충진물질	딱딱함, 5mm미만	딱딱함, 5mm미만	딱딱함, 5mm이상	1	1	3
	풍화도	MW	MW	MW	3	3	3
누수상태		완전건조	완전건조	완전건조	1.8	1.8	2.2
암괴크기		-	-	-			
블록형상		불규칙상	불규칙상	불규칙상			
평사투영해석							
평면파괴		썰기파괴		전도파괴			
							
안정		안정		안정			
● 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ● 썰기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ● 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음							

라. 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 24.15】 지반 변형 조사 결과

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

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로 및 산마루측구가 시공되어 있으며, 조사결과 소단배수로 균열, 망상균열, 파손, 산마루측구 균열, 재료분리가 일부 발생한 것으로 조사되었다.

【표 24.16】 배수 조건 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	3EA / 5.0	초기건조수축 우수유입
배수 조건	소단배수로	망상균열	m ²	1EA / 4.0	초기건조수축 우수유입
배수 조건	소단배수로	파손	m ²	1EA / 0.1	초기건조수축 우수유입
배수 조건	산마루측구	균열	m	7EA / 7.0	초기건조수축 우수유입
배수 조건	산마루측구	재료분리	m ²	1EA / 0.09	초기건조수축 우수유입



1소단배수로 균열



산마루측구 균열

바. 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 24.17】 지하수 조사 결과

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

사. 붕괴 이력

초기점검 및 기 점검사항을 토대로 확인한 결과, 붕괴이력은 조사되지 않았다.

【표 24.18】 붕괴 이력 조사 결과

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

아. 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 24.19】 낙석 조사 결과

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

자. 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 24.20】 인장균열 조사 결과

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

차. 공중이 이용하는 부위

본 사면에는 공중이 이용하는 부위 평가결과 추락방지시설은 a등급, 도로포장은 a등급으로 평가되었고, 도로부 신축이음부, 환기구 등의 덮개는 없는 것으로 확인되었다.

【표 24.21】 공중이 이용하는 부위 조사 결과

평가 항목	평가 등급	평가기준
추락 방지 시설	a	○손상 및 결함 등이 없는 최상의 상태
	b	○추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태
	c	○추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
	d	○고정부 및 연결부 파손 등으로 인해 추락방지시설의 전도 및 이탈이 발생 할 수 있어 즉각적인 보수·보강이 필요한 상태
	e	○추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태
도로 포장 파손	a	○포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태
	b	○포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생한 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
	c	○포장 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태
	d	○깊이 8cm이상의 포트홀에 의해 차량에 심각한 손상이 발생할 수 있어 즉각적인 보수가 필요한 상태 ○배수불량으로 인한 주행차로 상시 물고임으로 통행차량의 안전성 저하가 우려되는 상태
	e	○도로포장 결함 및 파손 정도가 심각하고 차량주행이 불가하여 차량통행 제한 및 사용 금지가 필요한 상태
도로 부 신축 이음 부	a	○신축이음부에 손상이 없는 상태
	b	○신축이음 본체의 토사 및 이물질 퇴적, 고무판 노후, 후타재의 미세균열이 발생한 상태로 기능발휘에는 지장이 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
	c	○신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50cm이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
	d	○신축유간 밀착으로 인한 거동불량 또는 신축유간이 넓어 차량통행에 지장을 초래할 수 있어 교체가 필요한 상태 ○신축이음의 파손 상태가 심각하여 차량통행 시 충격이 발생하는 등 긴급한 보수·보강이 필요한 상태
	e	○신축이음부 본체 탈락으로 차량주행 시 파손을 유발하거나, 주행 중 사고의 원인이 될 수 있는 상태
환기 구 등의 덮개	a	○환기구 등의 덮개가 최상의 상태
	b	○덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태 ○기능성에 문제가 없어 결함 및 파손에 대해 지속적 관찰이 필요한 상태
	c	○덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태
	d	○덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능이 상실되어 국부적인 교체 및 보강이 필요한 상태
	e	○결함 및 파손 정도가 심각하거나 덮개 등이 탈락된 상태

24.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간이 발생하였고, 설계값이 없는 상태이며, 초기점검 시 강도측정을 하지 않아, 이전 성능평가 측정값을 기준으로 평가하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

【표 24.22】 암반강도시험 결과

시험위치	상위50% 평균값 (대표값)	일축압축강도 추정(MPa)	암 판정 결과	비고
30.473km	52.6	95.1	경암	
30.493km	56.1	110.2	경암	
30.533km	57.1	115.2	경암	



절리면 경사/경사방향 측정



암반 강도시험

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다.

【표 24.23】 표면보호공 조사 결과

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



라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 보강공은 시공되어 있지 않다.

【표 24.24】 사면보강공 조사 결과

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

24.4 안전성능평가

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

24.4.1 상태안전성능 평가

가. 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 절리암반비탈면으로 평가된다.

【표 24.25】 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/cm²)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{5.0}{45.3} = 0.11$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 95.1~115.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$I_b = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i}{3} = 0.5$, $\frac{I_b}{H} = \frac{0.5}{45.3} = 0.011$ 로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 175m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 J1~3으로 표기하였다.

【표 24.26】 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	30.413~30.588km	175m	암반사면	

【표 24.27】 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	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

【표 24.28】 집수지형 평가 결과(1구간)

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

【표 24.29】 불안정 지질 평가 결과(1구간)

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

【표 24.30】 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 = $\Sigma(① \sim ⑥) / 6 =$ (5+5+10+5+10+10) / 6 = 7.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

【표 24.31】 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 24.0m미만	24.0m이상	1~3	b
②틈 새	0	0.1mm미만	0.1mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 6.0mm미만	6.0mm이상	0.1mm 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	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	0.2~0.6	c

【표 24.32】 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 24.33】 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부		
	c	젖음(wet) 사면상부		
	d	흐름(flow) 사면하부		
	e	흐름(flow) 사면상부		

【표 24.34】 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	보통	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

【표 24.35】 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열		
	c	표층파괴		
	d	심층파괴		
	e	대규모파괴		

【표 24.36】 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 24.37】 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/sec²)
 (u, β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용)

→ 현장조사 결과 뜯돌 및 이완암이 조사되지 않음

【표 24.38】 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	상향 20~30°	d
	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

다. 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.

【표 24.39】인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

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

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

【표 24.40】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 24.41】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
결함지수 = $\Sigma(\text{①} \sim \text{⑧}) / 100$					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 B등급으로 평가되었다.

【표 24.42】 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명	상주절토24			
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
불연속면 특성		7.5	8	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		5	5	c
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			16	
결함지수			0.16	
상태안전성능평가 결과			B	

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

【표 24.43】 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
175.0m	1구간	30.413~30.588km	b(0.16)	B	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

24.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

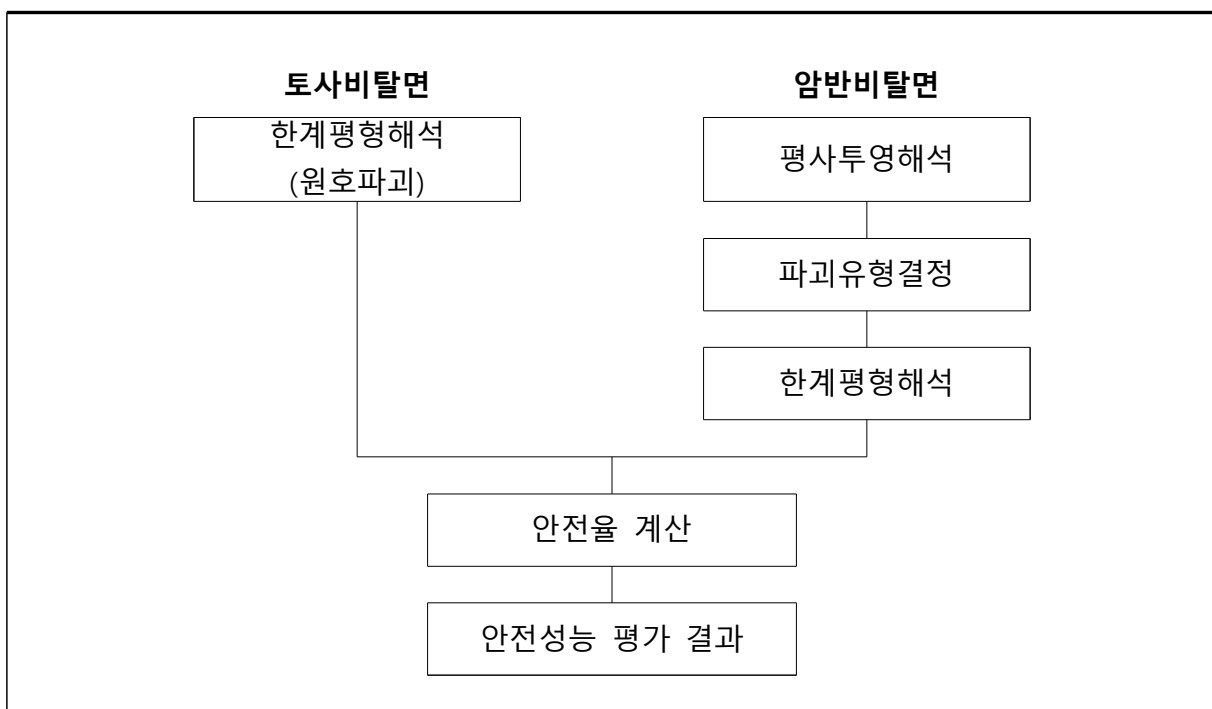
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료, 공용중 보강자료 등의 검토를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다. 또한, 이와 더불어 금회 성능평가 현장조사시 획득된 암반 절리 자료를 이용하여 평사투영해석을 시행하기로 한다.

나. 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 24.5】 구조안전성능 평가과정

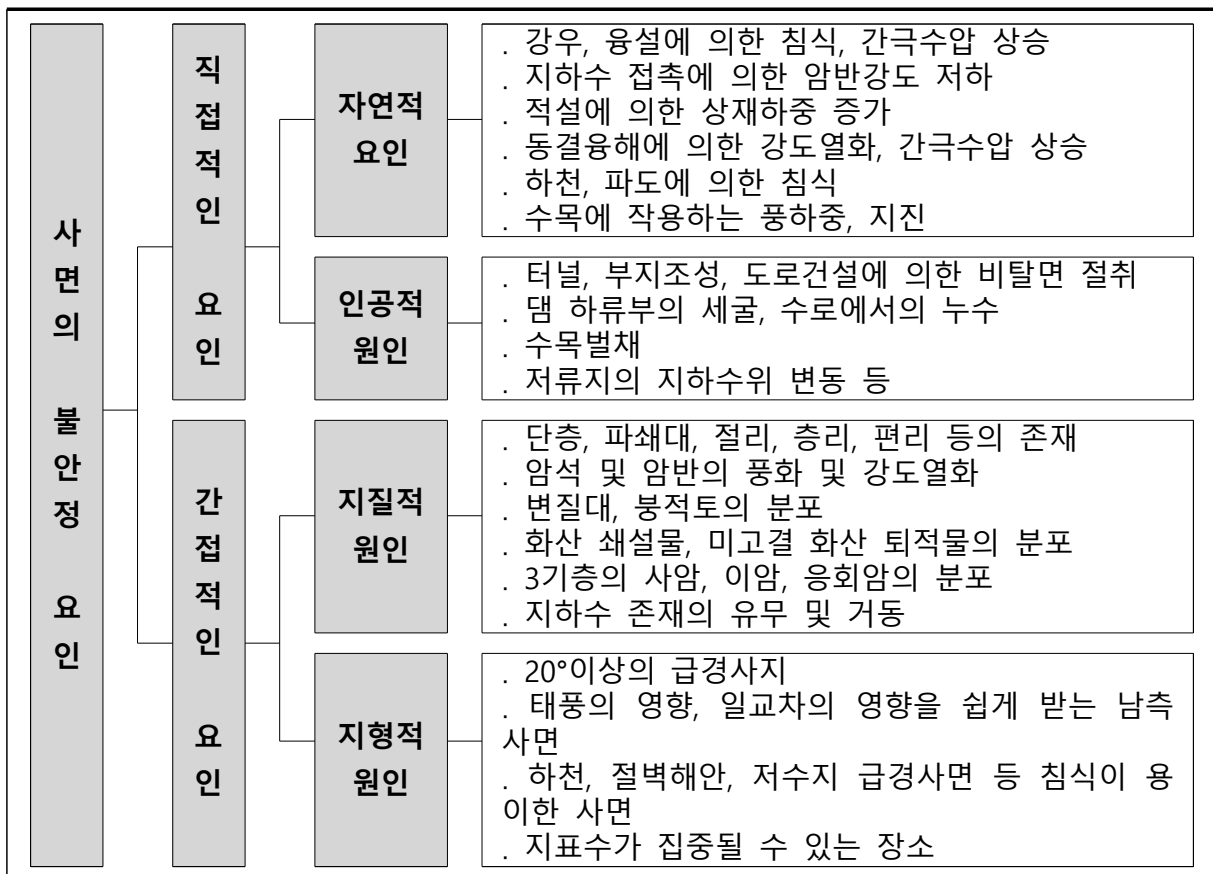
【표 24.44】 유형별 안정해석 범위

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

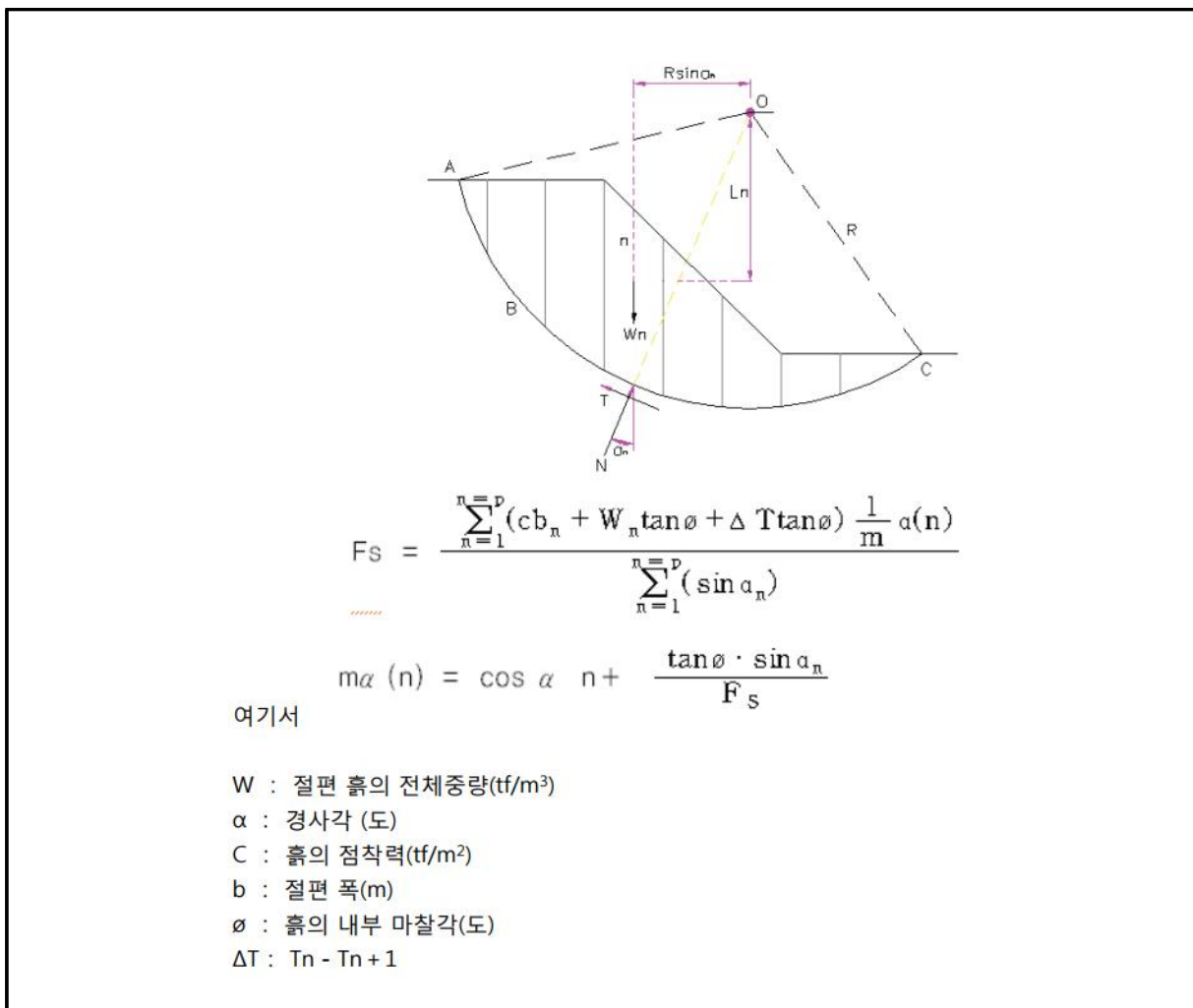


【그림 24.6】 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 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, 일반한계평형 방법 (GLE) 등이 있다.

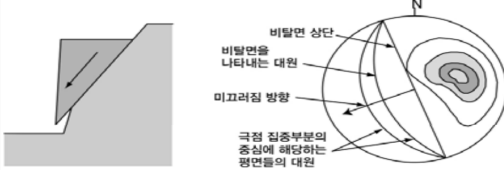
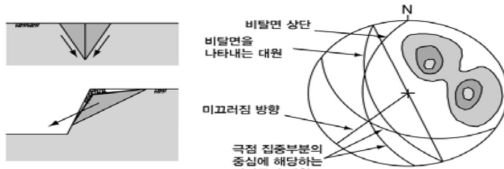
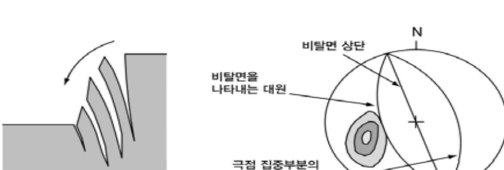


【그림 24.7】 Bishop의 안전율 계산식

② 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), 썰기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

【표 24.45】 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴	 비탈면 상단 비탈면을 나타내는 대원 미끄러짐 방향 극점 집중부분의 중심에 해당하는 평면들의 대원	· 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
썰기파괴	 비탈면 상단 비탈면을 나타내는 대원 미끄러짐 방향 극점 집중부분의 중심에 해당하는 평면들의 대원	· 썰기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴	 비탈면 상단 비탈면을 나타내는 대원 극점 집중부분의 중심에 해당하는 평면들의 대원	· 전도파괴의 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

【표 24.46】 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

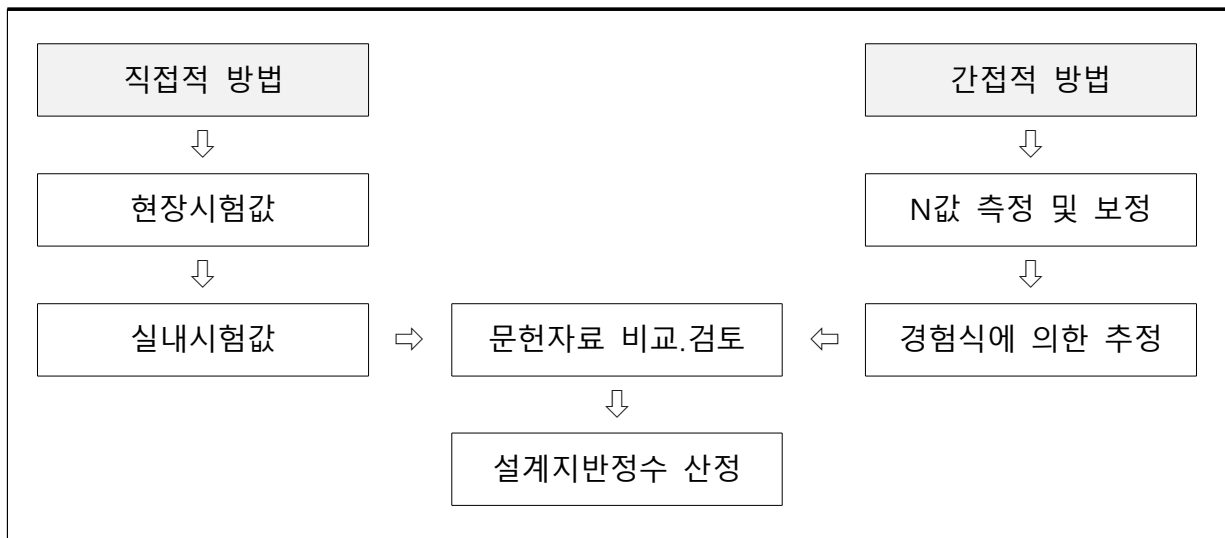
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	· 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	· 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 · 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) · 침투를 고려한 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

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 현장조사결과를 토대로 경험식, 기존 적용사례 결과를 비교.분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 토사/풍화암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

- 문헌자료 검토

【표 24.47】 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 24.48】 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 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

【표 24.49】 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
	느슨	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
	느슨	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
	느슨	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
	느슨	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
	느슨	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
	느슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

【표 24.50】 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 24.51】 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/m ³)	내부마찰각(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (4공구)	풍화(잔적)토	19.5	28	18	
	풍화암	20.0	31	27	
	기반암	25.0	37	260	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

- 문헌자료 검토

【표 24.52】 Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/m ³)	내부마찰각(°)	점착력(kN/m ²)
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 24.53】 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	셰일	석회암	응회암
단위중량 (kN/m ³)	26.1±0.5	26.3~218.7	26.7±0.8	218.3±1.0	218.3±1.0	218.3~25.6
점착력 (kN/m ²)	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

주)시료수 : 화강암(162~2,123), 편마암(117), 사암(494), 셰일(354), 석회암(150), 응회암(33)

【표 24.54】 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 단 이 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)			ϕ (°)	C (kN/m ²)
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)			
강한 풍화암 으로서 파쇄 가 거의 없는 경우와 대부 분의 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 24.55】 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 24.56】 Trueman (1988)

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

【표 24.57】 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	$0.02 \exp(0.08RMR^*)$ (Mpa)
마찰각(ϕ)	$0.25(RMR^*) + 218.5$ (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/m ³	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19.5	28	18	0.3	
풍화암	20.0	31	27	0.3	
기반암	25.0	37	260	0.3	

6) 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 직접정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

① 개별고려

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

② 동시고려

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

【표 24.58】 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]

7) 수리정수 산정

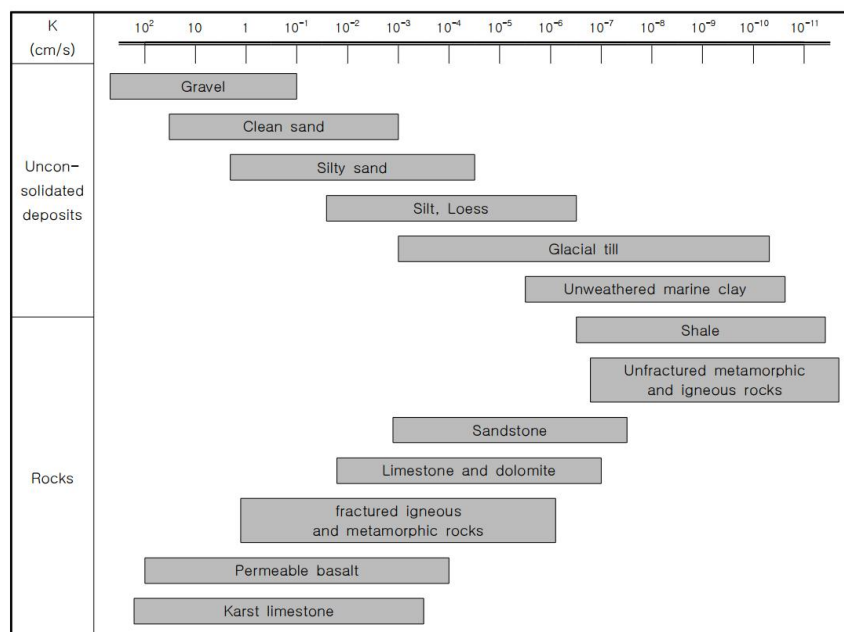
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

【표 24.59】 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 24.60】 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 24.8】 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

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

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

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

【표 24.61】 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 경우 우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	· 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 · 흙쌓기부 도수로, 땅깍기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깍기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	· 산마루 측구, 땅깍기부 도수로, 소단 측 구 · 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

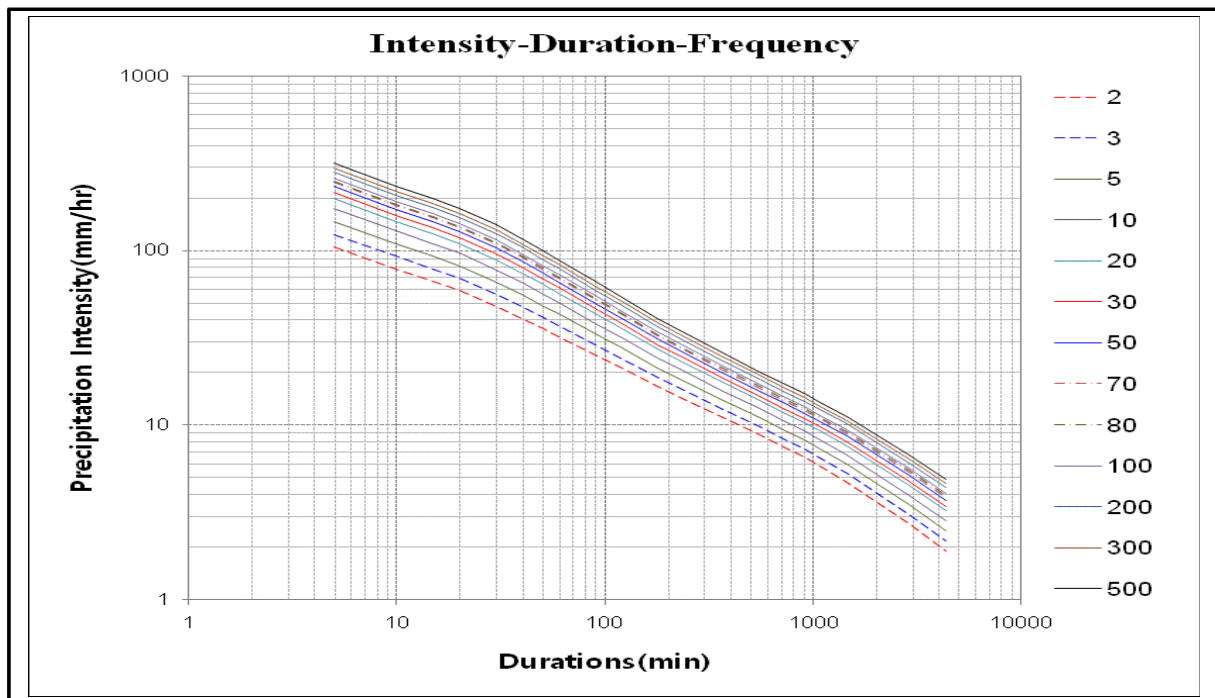
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 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.

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 균위지역



【그림 24.9】 균위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속시간(분)									
	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120
2	104.6	78.5	66.8	58.8	47.9	40.8	35.8	32.1	25.0	21.0
3	123.9	93.0	79.1	69.4	56.3	47.7	41.7	37.2	28.8	24.0
5	145.6	108.8	92.6	81.2	65.7	55.5	48.3	43.0	33.0	27.4
10	173.4	128.6	109.4	96.0	77.4	65.2	56.6	50.2	38.3	31.6
20	199.8	147.5	125.6	110.1	88.7	74.6	64.6	57.2	43.3	35.6
30	214.3	158.6	135.0	118.4	95.2	79.9	69.2	61.2	46.2	37.9
50	233.5	172.2	146.6	128.5	103.3	86.6	74.9	66.1	49.9	40.8
70	245.6	181.1	154.3	135.2	108.7	91.1	78.6	69.4	52.2	42.7
80	250.4	185.0	157.4	137.9	110.8	92.8	80.1	70.7	53.2	43.5
100	258.8	191.0	162.6	142.4	114.4	95.7	82.6	72.9	54.8	44.7
200	283.0	209.1	178.1	156.1	125.2	104.7	90.2	79.5	59.6	48.6
300	298.6	219.9	187.3	164.1	131.6	110.0	94.8	83.5	62.5	50.9
500	316.7	233.6	198.9	174.2	139.7	116.7	100.4	88.4	66.1	53.7

확률강우강도(mm/hr)

【그림 24.10】 균위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 I 등급, II등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지 않는으나 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 미치는 경우에는 주구조물 보다 한등급 아래의 내진등급을 적용한다. 또한 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준(비탈면 설계기준, 2011)으로 이는 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만 이로 인해 주구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다. 따라서 대상시설물은 주구조물이 고속도로인 내진 I 등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진 I 등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진 I 등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진 I 등급	- 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 - 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 - 내진 I 등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진II등급	내진특등급, 내진 I 등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진 I 등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진 I 등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진II등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진 I 등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진II등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진 I 등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진II등급	안벽, 제방 등 I 등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	- 특별한 안전이 요구되는 시설 - 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진 I 등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진II등급	내진특등급, 내진 I 등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진 I 등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	- 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 - 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진 I 등급	내진I등급 구조물과 연계된 터널
	내진II등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진 I 등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진II등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진 I 등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진 I 등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진II등급	내진특등급, 내진 I 등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진 I 등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구급시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진진후로 가동되어야 하는 건축물
	내진II등급	내진특등급, 내진 I 등급에 포함되지 않는 건축물

【그림 24.11】 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구, 1997)

【표 24.62】 설계지반운동 수준

구 분	특등급	I 등급	II등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2400년	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년
	-	해당	-

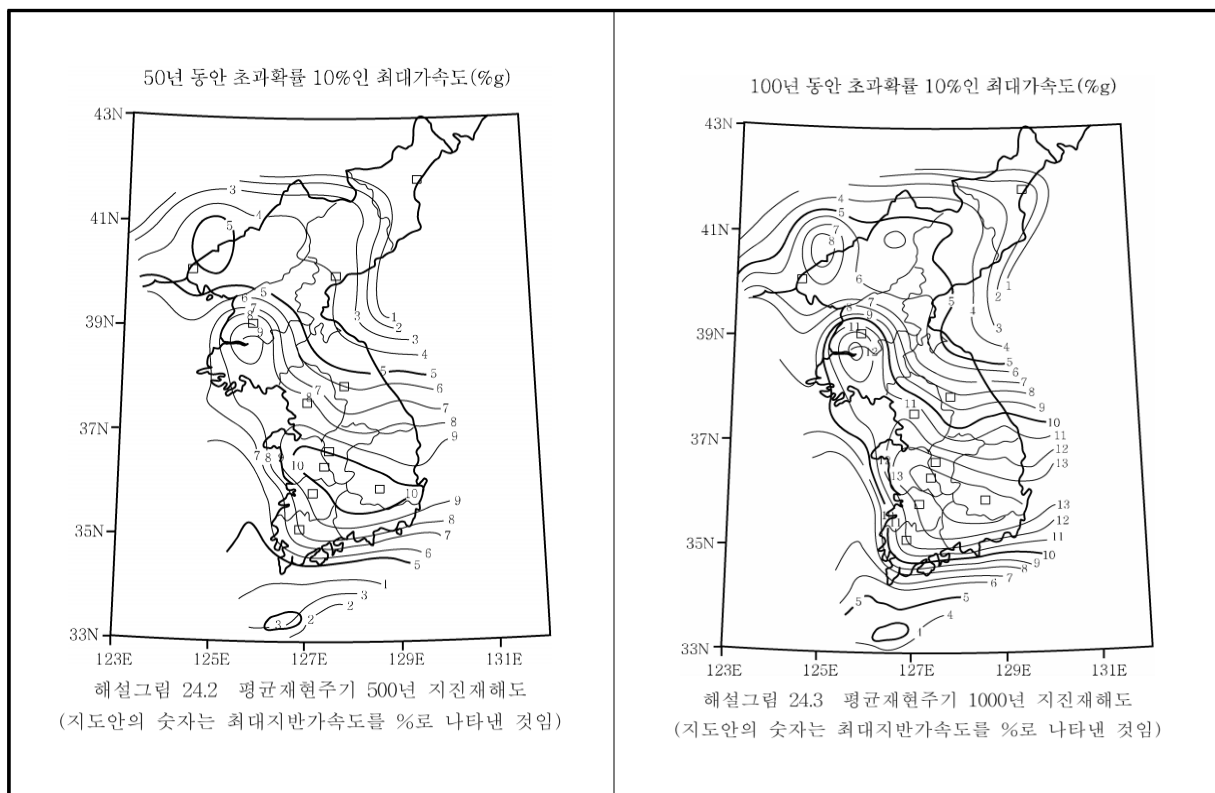
2) 설계지반운동

① 지반가속도계수

지반가속도계수는 지표면 자유장 최대가속도로 해당 지역의 보통암 암반노두를 기준으로 평가하며 지표면에서의 지반가속도계수는 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다. 다만 깎기비탈면의 경우 보통암 상태의 노두가 노출되는 경우는 지진재해도 및 지진구역도에서 제시하는 지반가속도계수를 직접적으로 이용할 수 있다.

② 지진재해도를 이용한 지반가속도계수의 산정

지진의 평균 재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진등급에 따른 지반가속도계수를 산정한다.



【그림 24.12】 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

비탈면이 위치한 지역의 지진구역계수와 내진등급별 재현주기에 따른 위험도계수의 곱으로 지반가속도계수를 산정한다.

【표 24.63】 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진 구역	행정구역		지진구역계수(g)
Ⅰ	시	. 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	. 경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
Ⅱ	도	. 강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

(1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

【표 24.64】 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

지진구역계수는 각 지진구역별로 평균재현주기 1000년을 기준으로 결정되었으므로 위험도 계수를 이용하여 다른 재현주기에서의 구역별 최대 유효지반가속도를 결정한다.

지역별 최대 유효지반 가속도, $g_{값}$ = 지진구역계수 × 위험도 계수

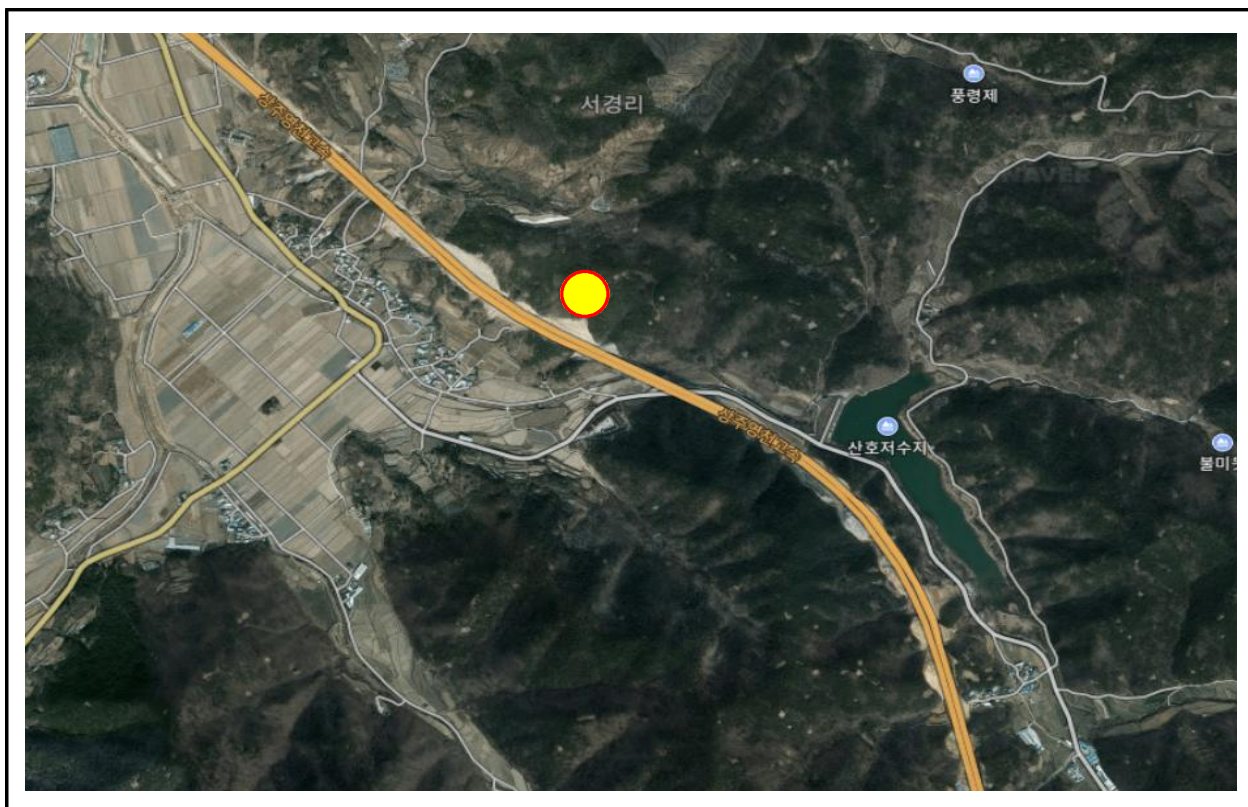
3) 지진가속도계수 선정

대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 Ⅰ구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

【표 24.65】 검토대상 비탈면구간 및 현황

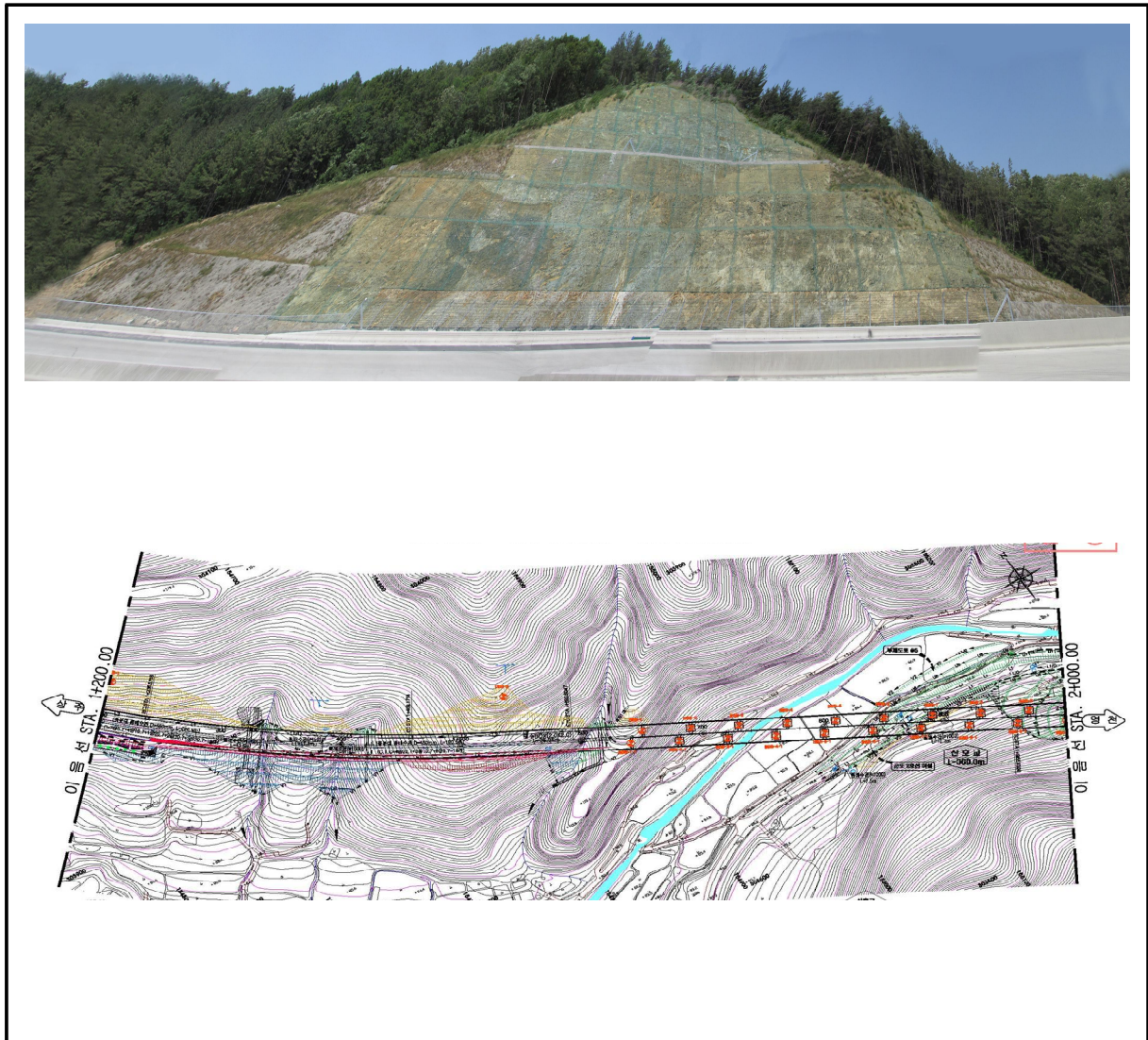
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공 년도	경사/경 사 방향
				높이 (m)	토사/ 풍화암	암반	보강 형식		
상주절토24	대구광역시 군위 군 소보면 서경 리	30.413 ~ 30.588	STA.30+523	45.3	5.0	40.3	-	2017	55/208



【그림 24.13】 상주절토24 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토24 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



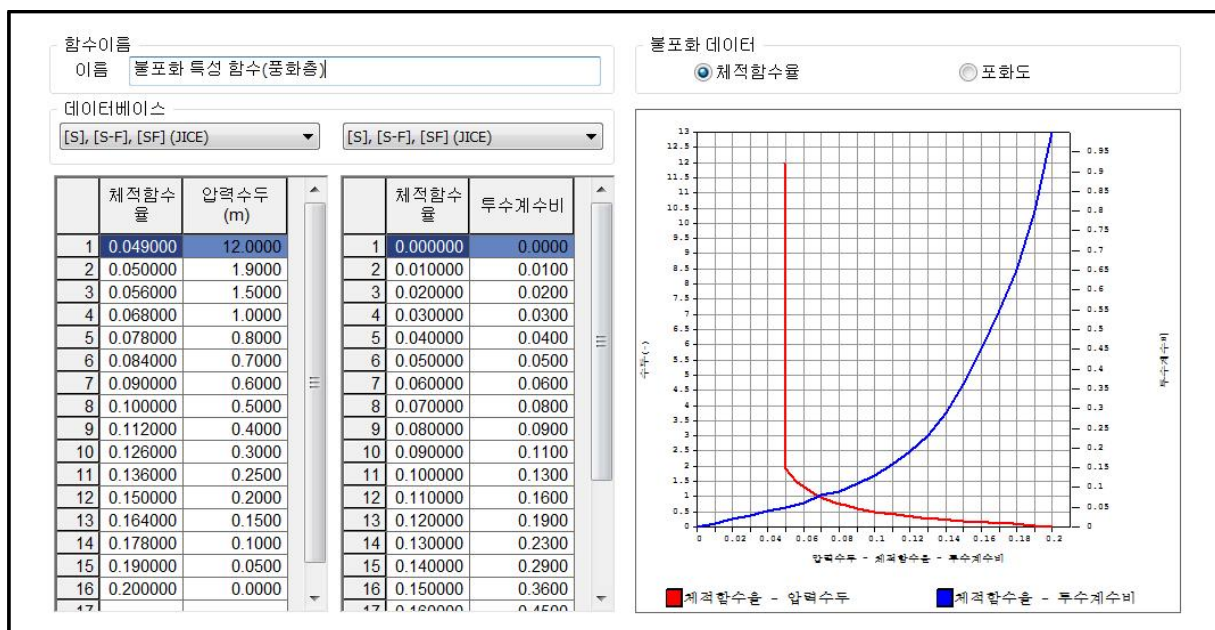
【그림 24.14】 상주절토24 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

지반 정수값은 대상시설물의 실시설계 지반조사보고서 및 주변에서 실시한 지반보고서를 비교, 분석하여 현장 시험값을 기초로 일반적 안전측으로 적용하였다. 투수계수는 문헌자료를 검토하여 일반적인 값을 적용하였다.

지층	단위중량 kN/m ³	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 cm/sec	비 고
풍화토	19.5	28	18	3.7E-04	
풍화암	20.0	31	27	2.0E-05	
기반암	25.0	37	260	3.9E-05	

지반의 불포화토 특성은 JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준을 적용하였으며 대상지역의 풍화토 및 풍화암의 주된 성분이 실트질 모래 또는 모래섞인 실트로 JICE 기준의 사질토로 구분하여 적용하였다.

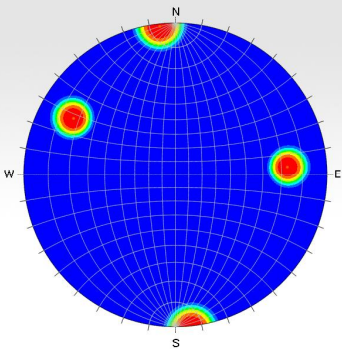


【그림 24.15】 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비 함수

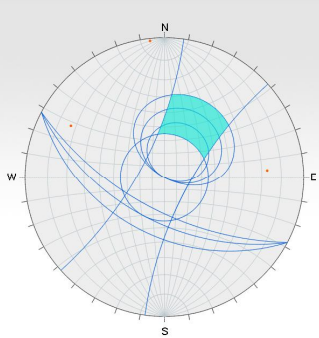
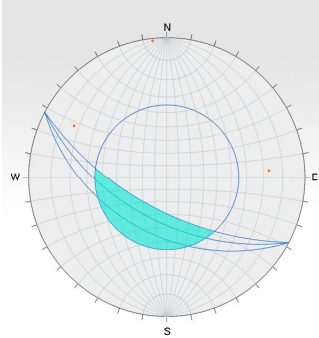
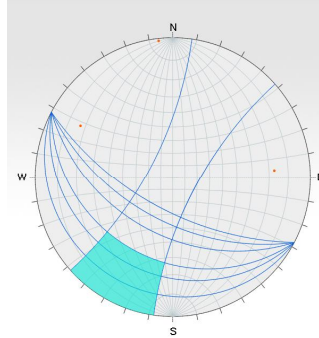
3) 1구간 (STA.30+413 ~ 30+588)

① 암반각기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		75	119
		81	23
		89	174

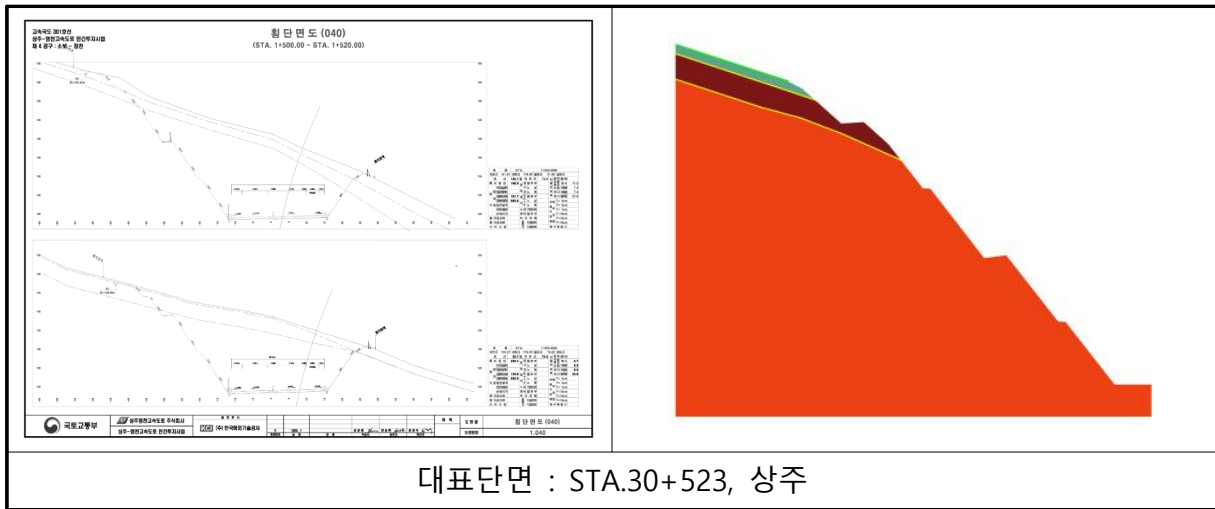
◦ 해석결과

평면파괴	쇄기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쇄기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	● 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ● 쇄기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ● 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사각기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면



◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
2.3067	1.6070	1.3930
안전율 : 2.30	안전율 : 1.60	안전율 : 1.39

③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쌓기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	$F_s \geq 1.5 \Rightarrow O.K$	
	우기시	$F_s \geq 1.2 \Rightarrow O.K$	
	지진시	$F_s \geq 1.1 \Rightarrow O.K$	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 썩기파괴에 대한 가능성이 없는 것으로 분석되었으며, 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대해 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

【표 24.66】 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		상주절토24		
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	2.30	a	$F_s \geq 1.5 \Rightarrow O.K$
	우기시	1.60	a	$F_s \geq 1.2 \Rightarrow O.K$
	지진시	1.39	a	$F_s \geq 1.1 \Rightarrow O.K$
구조안전성능평가 결과		A		

24.4.3 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 B등급으로 평가 되었다.

구조안전성능평가 결과, 안전해석결과가 허용안전율보다 크므로 A등급으로 평가되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

【표 24.67】 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	상주절토24		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.160	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.160	B	
안전성능 결과	○ 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ○ 안전성능평가 결과 : B등급		

【표 24.68】 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 사용제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (E) < 1.00$	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

24.5 내구성능 평가

24.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

【표 24.69】 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	$SR = 5/45.3 = 0.11$
공용기간		8년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 140.0MPa	추정
면적	전체	7,018m ²	
	토사구간	-	
	암반구간	7,018m ²	
표면보호공	식 생	7,018m ²	
	숯크리트	-	
사면보강공	-	-	

24.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

【표 24.70】 사면 형식별 내구 성능 지표

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

24.5.3 성능지표별 평가 결과

1) 암반구간의 지표평가

【표 24.71】 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5이상 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 24.72】 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 (MPa)	추정강도 (MPa)(전차)	대비강도(%)	비 고
30.473km	95.1	114.2	83.3	최소값
30.493km	110.2	111.9	98.5	최대값
30.533km	115.2	119.0	96.8	
평균값	115.2	119.0	96.8	최소/최대 제외
등급	A 경암(95.0~100.0%)			

【표 24.73】 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 24.74】표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿔어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	7,108/7,108㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

【표 24.75】암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

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

【표 24.76】암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	J1	J2	J3
길이(m)	1~3m 미만	1~3m 미만	1~3m 미만
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(mm)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	c(10)	c(10)
풍화진행도	MW	MW	MW
	c(10)	c(10)	c(10)
합 계	35	35	35
평 균	7.0	7.0	7.0
평가 결과	c	c	c

【표 24.77】 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
1구간 - J1	c	0.43	
1구간 - J2	c	0.43	
1구간 - J3	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		c	

24.5.4 내구성능 평가 결과

1) 내구성능 가중치

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

【표 24.78】 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 24.79】 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
사면보강공	-	-	-	-
결함도 지수				0.265
등 급				B

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

【표 24.80】 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

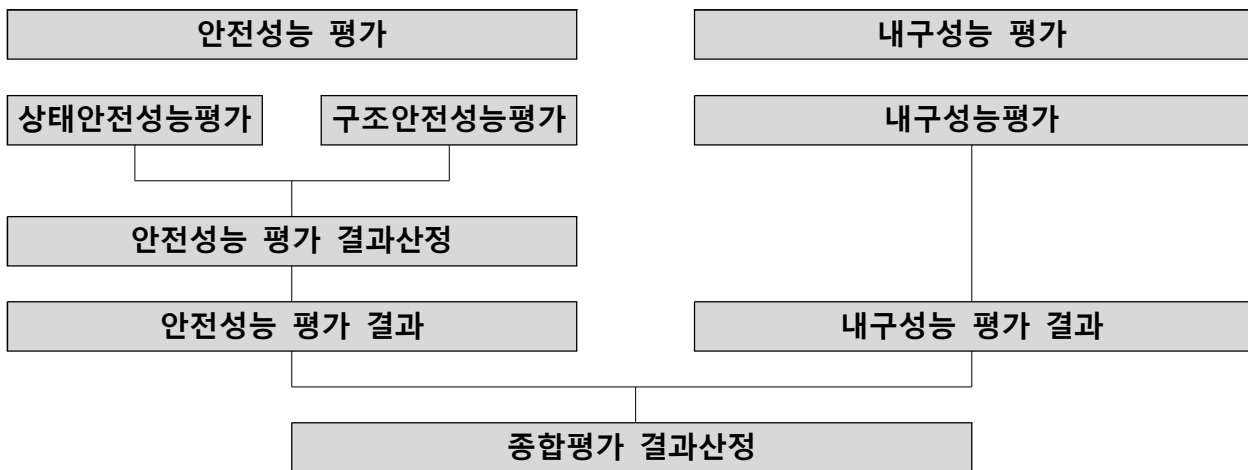
안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (E) < 0.15$	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (E) < 0.30$	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq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

24.6 종합평가

24.6.1 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 24.16】 종합평가 흐름도

24.6.2 종합평가 결과 산정결과

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 24.81】 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 24.82】 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토24		분류	상주-영천 고속도로
평가 구분	성능평가 지수	평가 결과	성능간가중치(Wn)	비 고
안전성능평가	Ps=0.160	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	○ 사면의 종합평가 지수(P) $= \sum(\text{성능평가지수}(p_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n))$ $= (0.160 \times 0.8) + (0.265 \times 0.2) = 0.181$ ○ 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 24.83】 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (P) < 0.15$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성 능 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 조사 되었으며, 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 조사 되 었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전 체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq (P) < 0.75$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수,보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (P) < 1.00$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용 을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

24.7 유지관리 전략 제언

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

24.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2024.12)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

【표 24.84】 성능목표 설정시 고려되어야 할 사항

구분	고려사항					
	사용성 및 기능성	주변 환경			지진 구역계수	공용 연수
		동해 환경	해안 이격거리	강설 일수		
절토사면	-	○	-	-	○	○

【표 24.85】 등급점수 범위 및 대표점수

구분		A	B		C	D	E
			상B	하B			
절토사면	점수	0.08	0.23		0.43	0.65	0.88
			0.18	0.27			
	범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.23$	$0.23 \leq X < 0.30$	$0.30 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

【표 24.86】 평가지표별 가중치 및 성능목표 등급 산정

구분	사용성 및 기능성 (1)	주변 환경			지진 구역계수 (5)	공용 연수 (6)
		동해환경 (2)	해안 이격거리 (3)	강설일수 (4)		
가중치	0.8	0.1			0.08	0.02
절토사면	-	0.5	-	-	0.4	0.1
성능목표 = (2)×0.5 + (5)×0.4 + (6)×0.1						

【표 24.87】 동해환경

구분		기준		평가결과(일)	평가등급
동해 환경	지속적인 수분접촉	$50 \leq X$	A	54.4	A
		$3 \leq X < 50$	B		
		$X < 3$	C		

※ X : 동결융해 반복일수(지난 10년간 동절기(11월1일~3월31일)동안 최저기온이 -2.2°C 보다 작고 일 최고기온이 0°C 보다 높으며 강수량이 0mm이상인 경우를 1회로 지정한 사이클 수

※ 세부자료는 부록에 수록함.

【표 24.88】 지진구역계수 및 공용연수

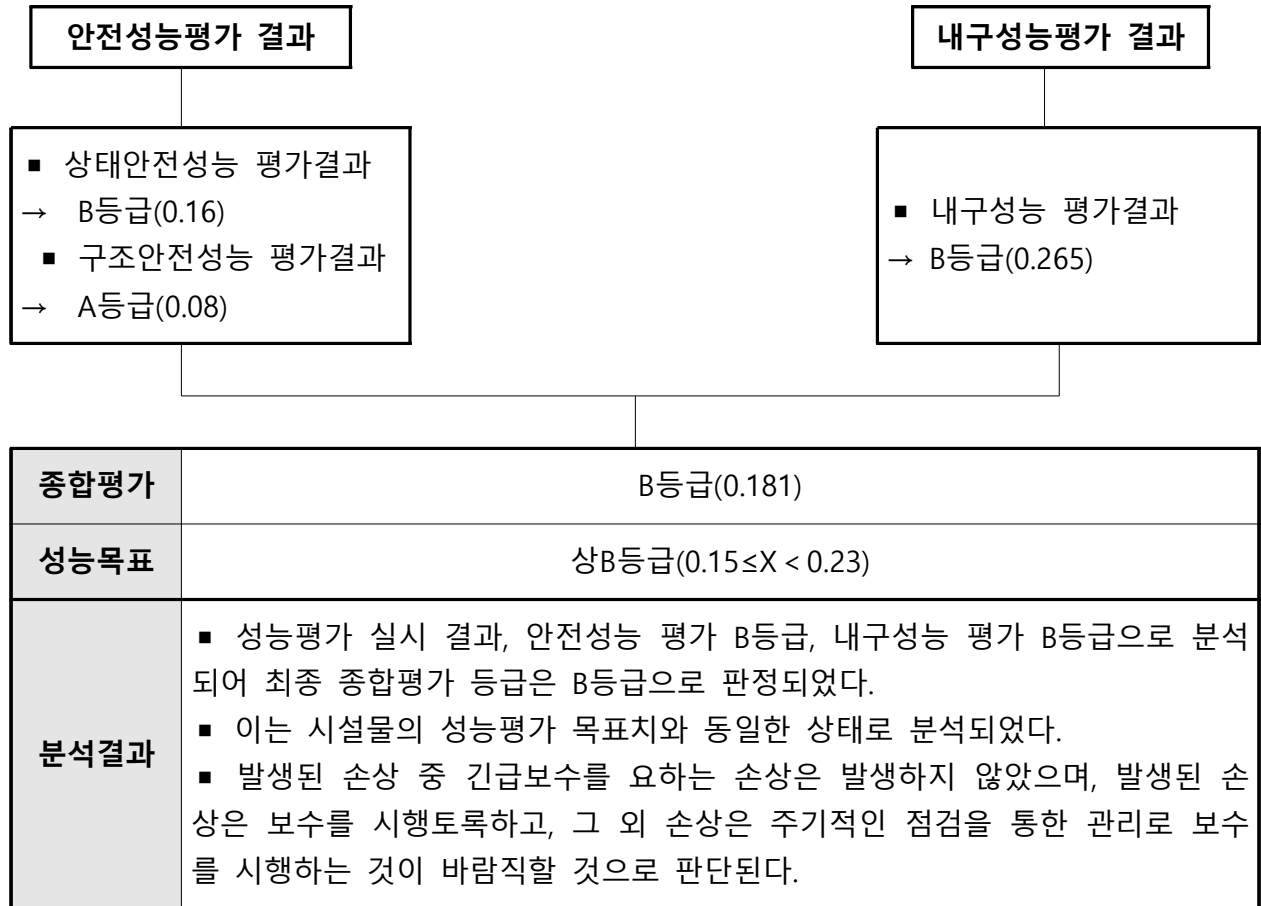
구분	내용	평가등급
지진구역계수	경상북도	A
공용연수	8년	E

【표 24.89】 성능목표 등급 산정표

구분	사용성 및 기능성 (1)	주변 환경			지진 구역계수 (5)	공용 연수 (6)
		동해환경 (2)	해안 이격거리 (3)	강설일수 (4)		
평가등급	-	A	-	-	A	E
평가점수	-	0.08	-	-	0.08	0.88
가중치	-	0.5	-	-	0.4	0.1
성능목표	$= 0.08 \times 0.5 + 0.08 \times 0.4 + 0.88 \times 0.1$ $= \mathbf{0.16(상B)}$					

24.7.2 성능평가 결과 검토·분석

【표 24.90】종합평가 결과 요약



24.7.3 성능목표에 따른 유지관리 전략 제안

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

가. 보수 개략공사비

【표 24.91】 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단 위	단가 (천원)	개략공사비 (천원)	우선 순위
상부자연사면	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
사면부	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
사면하부	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
부대시설	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
배수시설	소단배수로 균열	주입보수	5.00	7.50	m	65	488	1
	소단배수로 망상균열	균열보수	4.00	6.00	m ²	54	324	2
	소단배수로 파손	단면보수	0.10	0.15	m ²	165	25	1
	산마루측구 균열	주입보수	7.00	10.50	m	65	683	1
	산마루측구 재료분리	단면보수	0.09	0.14	m ²	165	23	1
개략공사비 (천원)	구 분	1순위		2순위		3순위		
	순공사비	1,219		324		-		
	재경비 (순공사비의 50%)	610		162		-		
	합계	1,829		486		-		
개략공사비 총계(천원)		2,315						

주1) 보수물량은 손상물량에 50%를 할증하였음.

주2) 0.3mm미만 균열보수는 손상물량(m)×0.25(m)를 하여 면적(m²)으로 산출하였음.

나. 보수·보강 우선순위 지수 산출

【표 24.92】 보수·보강 우선순위 지수 산출

구분	손상 물량 (m³)	보수 물량 (m³)	단가 (천 원)	비용 Cost (천원)	손상정보				가중치				우선 순위 지수 (PI) El/Cost	순 위
					손상내용	부재 위치	성능	등급	손상	부재	성능	등급		
조치1	-	-	-	-	집수지형	사면 부	안전 성능	a	0.06	1.00	0.80	0.05	0.00240	15
조치2	-	-	-	-	불안정지 질	사면 부	안전 성능	b	0.15	1.00	0.80	0.11	0.01320	9
조치3	-	-	-	-	불연속면 의 특성	사면 부	안전 성능	c	0.24	1.00	0.80	0.20	0.03840	2
조치4	-	-	-	-	지반변형	사면 부	안전 성능	a	0.09	1.00	0.80	0.05	0.00360	12
조치5	-	-	-	-	지하수	사면 부	안전 성능	a	0.08	1.00	0.80	0.05	0.00320	13
조치6	5.00	7.50	65	488	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치7	4.00	6.00	54	324	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치8	0.10	0.15	165	25	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치9	7.00	10.50	65	683	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치10	0.09	0.14	165	23	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치11	-	-	-	-	붕괴이력	사면 부	안전 성능	a	0.10	1.00	0.80	0.05	0.00400	11
조치12	-	-	-	-	낙석	사면 부	안전 성능	a	0.17	1.00	0.80	0.05	0.00680	10
조치13	-	-	-	-	구조안전 성능	사면 부	안전 성능	a	1.00	1.00	0.80	0.05	0.04000	1
조치14	-	-	-	-	지반상태 (암반)	사면 부	내구 성능	a	1.00	0.25	0.20	0.05	0.00250	14
조치15	-	-	-	-	절리상태	사면 부	내구 성능	c	1.00	0.40	0.20	0.20	0.01600	8
조치16	-	-	-	-	표면보호 공	사면 부	내구 성능	a	1.00	0.10	0.20	0.05	0.00100	16

다. 우선순위지수에 따른 유지관리전략 제안

【표 24.93】 우선순위지수에 따른 유지관리전략 제안

구분	손상 물량 (m³)	보수 물량 (m³)	단가 (천 원)	비용 Cost (천원)	손상정보				가중치				우선 순위 지수 (PI) El/Cost	순 위
					손상내용	부재 위치	성능	등급	손상	부재	성능	등급		
조치13	-	-	-	-	구조안전 성능	사면 부	안전 성능	a	1	1	0.8	0.05	0.04	1
조치3	-	-	-	-	불연속면 의 특성	사면 부	안전 성능	c	0.24	1	0.8	0.2	0.0384	2
조치6	5.00	7.50	65	488	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치7	4.00	6.00	54	324	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치8	0.10	0.15	165	25	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치9	7.00	10.50	65	683	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치10	0.09	0.14	165	23	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조치15	-	-	-	-	절리상태	사면 부	내구 성능	c	1	0.4	0.2	0.2	0.016	8
조치2	-	-	-	-	불안정지 질	사면 부	안전 성능	b	0.15	1.00	0.80	0.11	0.01320	9
조치12	-	-	-	-	낙석	사면 부	안전 성능	a	0.17	1.00	0.80	0.05	0.00680	10
조치11	-	-	-	-	붕괴이력	사면 부	안전 성능	a	0.10	1.00	0.80	0.05	0.00400	11
조치4	-	-	-	-	지반변형	사면 부	안전 성능	a	0.09	1.00	0.80	0.05	0.00360	12
조치5	-	-	-	-	지하수	사면 부	안전 성능	a	0.08	1.00	0.80	0.05	0.00320	13
조치14	-	-	-	-	지반상태 (암반)	사면 부	내구 성능	a	1.00	0.25	0.20	0.05	0.00250	14
조치1	-	-	-	-	집수지형	사면 부	안전 성능	a	0.06	1	0.8	0.05	0.0024	15
조치16	-	-	-	-	표면보호 공	사면 부	내구 성능	a	1	0.1	0.2	0.05	0.001	16

24.8 종합결론

24.8.1 성능평가 실시결과 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, 상태안전성능평가 결과 B등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 소단배수로 균열, 망상균열, 파손, 산마루측구 균열, 재료분리가 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 구조안전성능평가 결과, 안전해석결과가 허용안전율보다 크므로 A등급으로 평가되었다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 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, 성능목표와 동일한 "B등급" 인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

24.8.2 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

배수시설의 균열, 점검시설의 식생은 주기적인 관찰 및 정비를 통한 유지관리가 필요하다.

24.8.3 기타 필요한 사항

시설물의 안전성 유지는 점검 당시에는 양호한 상태로 존재하여도, 이후의 유지관리 상태 및 예기치 않던 외적요인에 의해 잔존해 있던 위험요소가 일시적으로 노출되어 안전성에 영향을 미칠 수 있으므로 지속적인 점검 등의 유지관리를 통해 기능성과 안전성을 유지하는 것이 바람직하다고 판단된다.