

제2장 상주절토02

- 2.1 대상 시설물 현황
- 2.2 관련 자료의 분석
- 2.3 현장조사
- 2.4 안전성능평가
- 2.5 내구성능평가
- 2.6 종합평가
- 2.7 유지관리전략 제안
- 2.8 종합결론

제2장 상주절토02

2.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 상주시 낙동면 상촌리(상주영천고속도로 2.240~2.510km)에 위치한 사면으로서 총 연장 400.0m, 높이 34.2m의 절토사면으로 시공되어 있다. 또한, 준공 이후 별도의 용도변경 없이 공용중이다.

【표 2.1】 사면 일반사항

시설물번호	SL2016-0000331		관리번호	SY SL2	
시설물명	상주절토02		시설물구분	절토사면	
위 치	행정구역	경상북도 상주시 낙동면 상촌리			
	위치좌표	시점 : 36° 22'20.0" 128° 15'28.0"			
		종점 : 36° 22'24.0" 128° 15'34.0"			
	관리이정	2.240~2.510 km			
	공구이정	1공구 STA.2+240~2+510			
제 원	연 장	270.0m	높 이	38.0m	
	경사/방향	51/153	노 선	고속국도 301호선	
관리주체	상주영천고속도로(주)		관리주체구분	민간	
주변환경	인공구조물	-			
	주변지형	산악지형	상부사면경사	40°	
시공현황	준공년도	2017	시 공 자	대림산업(주)	
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 쏘일네일링			
비 고					

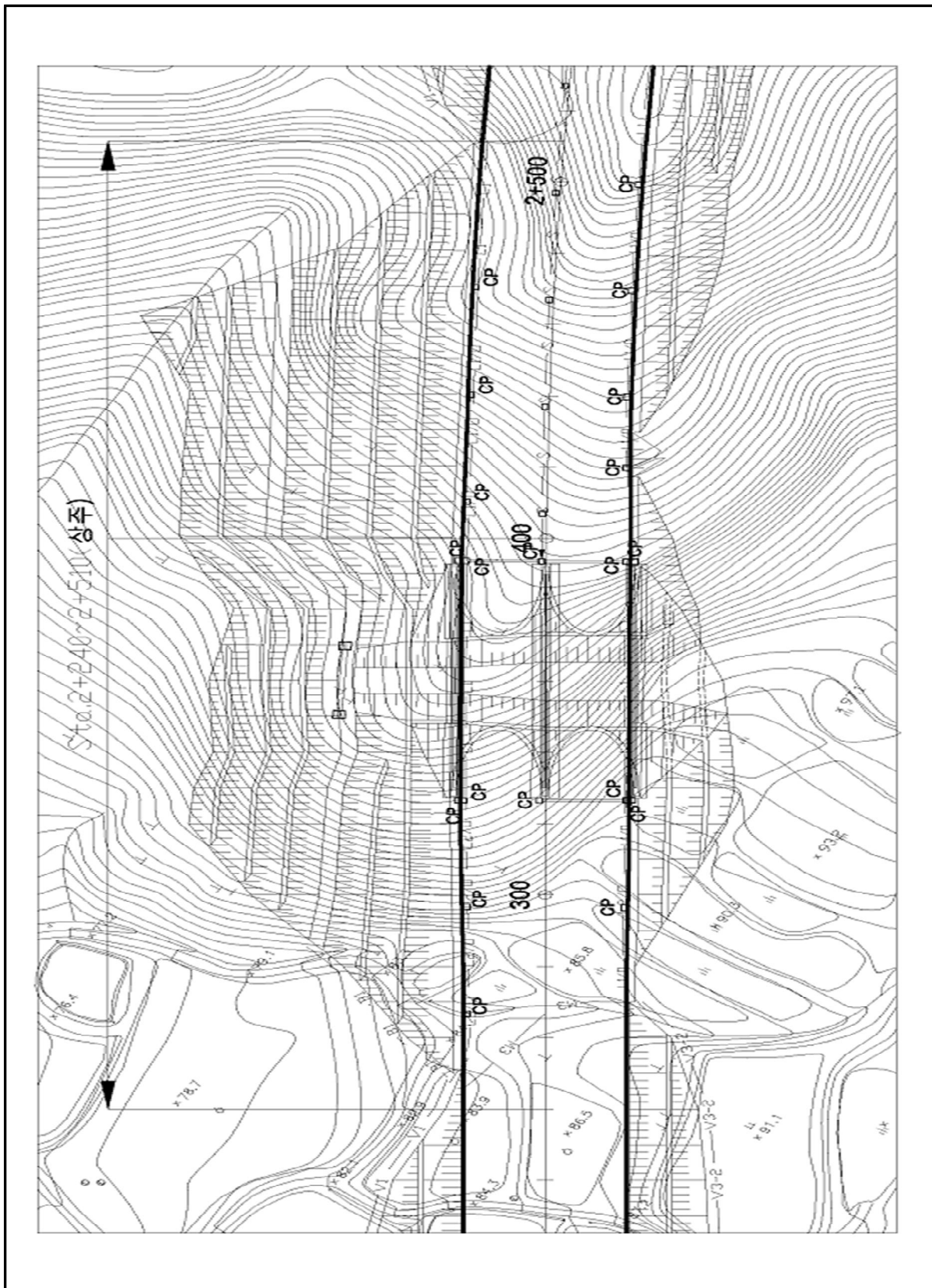


【그림 2.1】 위치도

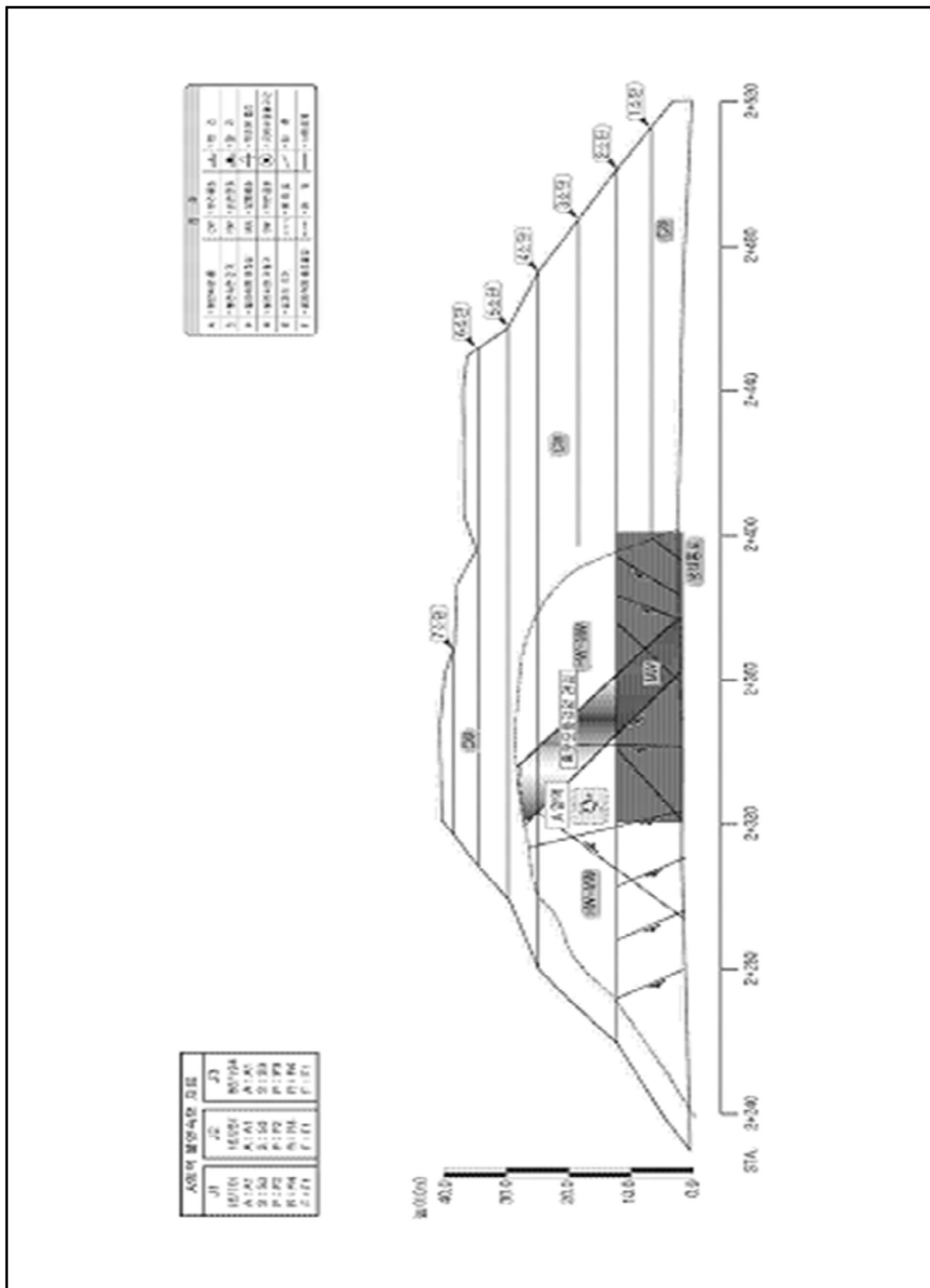


【그림 2.2】 전경사진

	
1소단 배수로 전경	상부자연사면 전경
	
점검계단 전경	점검계단 전경
	
하부 전경	상태육교 상부 전경



【그림 2.3】 평면도



【그림 2.4】 표준형단면도

2.2 관련 자료의 분석

2.2.1 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 2.2】 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	○ 공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	보유	○ 상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 1공구
	○ 설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	○ 상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 1공구
시설물 관리대장	○ 기본현황 ○ 상세제원 ○ 유지관리 이력	보유	○ 시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자료	○ 시공관련자료 ○ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ○ 사고자료	보유	○ 상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 1공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	○ 시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		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.

2) 지형 및 지질

2.1 지형 및 지질

2.1.1 주변지형 특성

본 조사지역의 위치는 행정구역상 경상북도 상주시 낙동면 상촌리를 시점으로 하여 경상북도 의성군 단일면 낙강리를 종점으로 하는 연장 약 7.39km 구간에 해당한다.

과입지역은 천반도의 동서부를 가로지르는 낙동강의 상류지역에 속하여, 태백산맥에서 분기한 일월산맥의 주맥이 도둑의 동북부를 북북서-남남동 방향으로 침투하는 지역이다. 과입지역은 안개령아를 위치하여 비교적 완만한 경사를 가진 지형인 구릉지를 이룬다.

서북부 경지부(420m)과 안개령 봉양동 봉화재는 호상의 산봉이 NE 방향의 중앙선을 중심으로 이곳에서 대칭적으로 배열되어 있는 지형상의 특징을 갖고 있다.

본 조사지역 인근의 수계의 발달은 낙동강을 종류로, 잘 발달된 수지상수계를 이루고 있다. 위천을 비롯한 비교적 큰 계류는 지층의 주향방향에 대략 평행한 유로를 만들고 있는 곳이 많다. 낙동강과 위천은 매우 완만한 사형하며, 하천 폭에 비하여 암석하향의 산고는 낮고, 산사 역시 매우 완만하며, 하각작용보다는 확대 및 퇴적작용이 우세한 단계에 있다. 일월산맥을 중심으로 동쪽 지역은 유수에 의한 침식이 활발히 진행되고 있는 장년기 단계이고, 서쪽 지역은 못에 의한 하각보다는 유로의 확대 및 퇴적이 우세해지는 초기 노년기의 단계에 있다.

2.1.2 지질

본 조사지역은 낙동도폭(1:50,000) 남서측에 위치하여 선캄브리아기에 형성된 흑운모화강암질 편마암을 중생대 쥐라기에 광범한 흑운모화강암이 기반암을 이룬다. 백악기 중생암맥 및 산성암맥이 다수 침입하여 분포하는 양상을 보이며 낙동강변을 중심으로 제4기 충적층이 두껍고 넓게 분포하고 있다. 흑운모 화강암을 산봉산 산체를 구성하며 낙동층군에 의하여 부정합적으로 피복된다. 흑안석으로 녹회색의 세립질암이나 2-3mm 정도의 신선한 장석이 결정을 이룬다. 본 검토지역에서는 풍화대가 매우 두꺼운 층으로 분포한다.

각 지층에 대한 지질기호는 다음과 같다.

(1) 선캄브리아기 변성암류

본 암은 과입지역에 위치하고 있는 낙동도폭의 서남쪽의 백두령, 낙령동, 안호리에 분포한다. 선캄브리아기의 변성암류는 선캄브리아기의 영남계에 속하며, 흑운모화강암질편마암과 반상변질편마암으로 구분되어 있다. 과입지역에 이곳에서 분포되어 지질기반을 이루고 과입지역의 서쪽으로 광범위한 분포를 보이고 있다.

상주-영천간 민자고속도로 1구간 건설공사

5

(2) 흑운모화강암

본 암종은 과입지역에 위치한 상봉산 산체를 구성하고 있으며, 흑운모화강암질편마암 및 반상 변질편마암을 결빙하며, 낙동층에 의하여 부정합적으로 피복된다. 녹회색의 세립질암이나 신선한 장석이 특징을 이룬다. 본 암의 구성광물은 양변의 순위로 사장석, 석영, 미사장석, 화장석, 페르시아이트, 흑운모 및 소량의 백운모이다. 사장석은 누대구조가 뚜렷하고 변질에 심하여 누대구조의 내부는 녹색적으로 변해있다. 석영은 모두 파동소결이 전지하다. 미사장석과 페르시아이트는 신선하며 대결정을 이루고 내부에 석영, 사장석, 흑운모를 포리하는 법구조를 나타내는 것이 많다. 화장석은 고온으로 흑운모로 변질되고 특히 후자의 생성이 현저하다. 화장석 종에는 칼스바트 광물을 이루는 것이 있다. 흑운모는 일부 녹회색, 녹니색, 질광으로 변질되어 있다. 상봉산 북쪽에는 흑운모화강암의 연변상이 비교적 넓은 분포를 보이면서 나타나고 있다. 연변상은 미세한 호상 구조를 나타내는 세립질암이며 화강암질편마암에 유사하다. 경사에서 관찰하면 세립질암 흑운모가 일정한 방향으로 배열하며 광물성분은 흑운모화강암과 동일하다.

(3) 메리암암

본 층은 과입지역의 서부와 서북부에 위치하고 있으며 암석의 조밀한 양상으로 구성되어 있다. 주 구성광물은 각섬석, 사장석, 흑운모이며 최소한 석영을 함유한다.

(4) 낙동층

본 층은 낙동층군의 최하부층으로 과입지역의 북동방향으로 대부분의 지역을 점하고 있다.

본 층은 편마암류 및 화성암류로 된 지반의 침식면상에 부정합적으로 침착되어 있으며, 주로 역암, 사암, 세립 및 역암사암 등으로 구성되어, 하부는 역암이 대체로 우세하고 상부는 사암과 세립이 우세하다. 과입지역 인근의 낙동층은 역암이 우세한 하부의 만경산층으로 구성되어 있다. 만경산층류는 과입지역의 동쪽방향의 만경산과 동북방향의 비룡산을 중심으로 광범하게 분포하고 있으며, 초기지부의 세립 및 역암, 하부의 사암, 사질역암, 역암 및 세립, 중부의 역암과 역암사암으로 구성된다.

(4) 암맥류

암맥류는 불포식화성암류를 관입하고 있으며, 산성암맥과 염기성 암맥으로 나뉘어진다.

산성암맥은 규장암맥과 석영암맥으로 구성되어, 염기성암맥으로는 안산암맥 및 산성암맥 암맥으로 구성된다.

상주-영천간 민자고속도로 1구간 건설공사

6

<조사지역 지질도>



이 지역의 지질도의 지질기호는 아래와 같다.

선캄대 제4기	부정합	충적층
백악기	산성암맥	산성암맥
	관입	관입
	불안정충적	불안정충적
	다인충적	다인충적
시대미상	부정합	부정합
유리기	관입	관입
선캄브리아기	관입	관입

상주-영천간 민자고속도로 1구간 건설공사

7

2.4 적용 설계지반정수

지층	단위중량 (γ_t , KN/m ³)	점착력 (c , kPa)	내부마찰각 (ϕ , °)	투수계수 (cm/s)
면적층	19.0	10.0	29	3.0×10^{-4}
풍화도	18.0	15.0	30	1.5×10^{-3}
통화암	21.0	29.0	30	7.0×10^{-4}
기반암	26.0	200.0	35	4.0×10^{-5}

상주-영천간 민자고속도로 1구간 건설공사

20

3) 지반조사 보고서

1.1 조사목적

본 조사의 목적은 『고속국도 제301호선 상주-영천고속도로 민간투자사업(제1공구)』에 대한 시공중 확인보형 지반조사로서 현장조사 및 현장시공을 거쳐, 지층의 분포상태 및 지반공학적 특성을 파악하여 설계 적용치와 비교 및 시공에 필요한 지반특성 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2 조사구간

구 간 제 1 공구

- 연 장 : 7.394 km
- 시 점 : 경상북도 상주시 낙동면 송곡리 (STA. 0+000)
- 종 점 : 경상북도 의성군 단원면 낙정리 (STA. 7+394)

1.3 조사항목

조사의 목적을 수행하기 위하여 다음과 같은 내용의 현장조사 및 현장시공을 실시하였다.

구 분	대 상	수 량	비 고
현장조사	교량부	95 곳	NX 규격
	쌓기부	6 곳	
	막기부	5 곳	
	수계	106 곳	
현장시행	표준관입시험	시추조사	1식

1.4 조사기간

가. 현장조사 : 2013년 10월 14일 ~ 2015년 06월 05일

나. 성과분석 및 보고서 작성 : 2013년 10월 20일 ~ 2015년 06월 20일

1.5 조사장비

본 조사에 사용된 조사장비는 다음과 같다.

품 목	규 격	수 량	비 고
시 추 기	DP-300 유압기	3대	
표준관입시험기	KSF 2307	3조	
D-30 코어타원	-	3조	
엔진, 양수펌프	15P	3조	
기타부대장비	-	1식	

2.1 조사기준

지반조사는 본 과업에 대한 「과업지시서」 및 한국도로공사의 「교량구조 확인지반조사 설계반영기준 검토(2004. 2)」를 기준으로 시행하였으며 조사기준은 다음과 같다.

< 조 사 기 준 >				
구 분	대 상	설 도	조 사 기 준	비 고
교 량 부	교대 및 교각 타대, 1개소	경향 1m, 연장 3m, 충돌원 2m까지	- 실시결과 시 미 시행한 구간 - 설계시 누락된 구간	
쌓 기 부	시추조사	-	- 필요없이 까지	
막 기 부	시추조사	거소와 1개소 이상 (조사결과별론 조정)	계획하와 2m	

주) 현장조건에 맞춥서 시행

2.2 조사위치현황

조사위치현황은 계획노선에 대하여 축척 1:1,200 현황도의 노선에서 구조물 및 토목제목을 고려하여 과업지시서에 명시된 조사기준에 의거하여 조사지점을 선정하고 관장당사 후 조사항목, 방법, 횡수 등을 합리적으로 계획하여 합주차 앞의 추 최종적인 조사위치를 선정하였다. 조사실무별 조사위치는 다음과 같다.

2.2.1 시추조사 위치

시추조사는 교량부, 쌓기부 및 막기부를 대상으로 실시하였으며, 조사위치를 정리하면 다음 표와 같다.

< 시추조사 위치 (교량부) >							
교량명	위치	공번	위 치 (STA.)	좌 표		지반고 (m)	비 고
송곡교	A1	888-1-1	0+015.9(우 10.0m)	318,639.611	131,204.180	62.35	
	P1	888-2-1	0+045.9(우 3.5m)	318,644.218	131,234.557	57.38	
	P2	888-3-1	0+081.4(좌 5.3m)	318,651.660	131,270.484	57.13	
	A2	888-4-1	0+112.2(우 2.3m)	318,642.106	131,300.882	65.15	
	A1	888-5-1	0+406.2(좌 4.2m)	318,651.795	131,594.593	68.90	
	P1	888-6-1	0+442.7(좌 12.1m)	318,662.011	131,630.423	67.67	
낙동 JCT 교	P2	888-7-1	0+401.3(좌 9.4m)	318,644.479	131,680.580	70.10	
	A2	888-8-1	0+528.4(좌 11.0m)	318,668.216	131,715.571	68.66	
	A1	888-9-1	1+450.7(우 0.4m)	318,649.339	131,838.640	73.67	
상원교	A1	888-10-1	0+645.4(우 5.5m)	318,965.950	131,834.829	73.02	
낙동 JCT R-G 교	A1	888-13-1	0+069.8(우 4.4m)	318,414.709	131,569.331	67.42	

< 시추조사 위치 (교량부) >

교량명	위치	공번	위 치 (STA.)	좌 표		지반고 (m)	비 고
				X	Y		
의성대교	P10	888-83-1	7+130.9(우 5.4m)	318,934.019	135,595.576	39.25	
		888-83-2	7+131.9(좌 5.3m)	318,936.573	135,606.259	39.99	
	P11	888-84-1	7+201.0(좌 5.3m)	318,875.961	136,637.519	43.24	
		888-84-2	7+201.6(우 5.3m)	318,871.253	136,628.127	43.27	
	A2	888-85-1	7+241.0(우 10.7m)	318,833.631	136,641.125	43.29	
송곡교		888-1	5+311.0(좌 42.9m)	318,820.735	135,900.018	51.79	
		888-2	5+323.7(좌 17.4m)	318,586.816	135,901.718	51.74	
		888-3	5+345.1(우 16.0m)	318,595.039	135,876.473	52.00	
		888-4	5+321.8(우 20.0m)	318,576.731	135,870.426	52.76	

< 시추조사 위치 (쌓기부) >

구분	공번	위 치 (STA.)	좌 표		지반고 (m)	비 고
쌓기부	888-1	6+004.0(우 21.8m)	317,942.405	135,088.914	42.55	
	888-1-1	6+019.5(좌 11.0m)	317,942.070	135,123.955	42.36	
	888-2	6+148.0(좌 11.7m)	317,833.728	135,201.917	42.34	
	888-3	6+292.0(좌 11.2m)	317,687.103	135,228.080	43.22	
	888-3-1	6+293.5(우 4.0m)	317,682.694	135,219.570	43.08	
	888-4	7+285.0(우 7.3m)	318,223.880	136,014.455	43.84	

< 시추조사 위치 (막기부) >

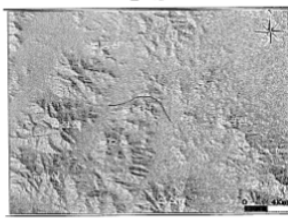
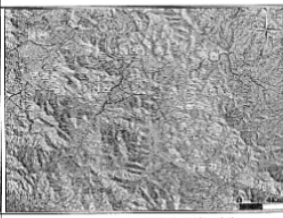
구분	공번	위 치 (STA.)	좌 표		지반고 (m)	비 고
막기부	088-1	1+161.2(우 28.2m)	318,759.185	132,343.880	114.71	
	088-2	1+009.4(우 22.7m)	319,080.952	133,023.851	118.17	
	088-3	2+489.8(좌 56.5m)	319,411.052	133,408.623	140.45	
	088-4	3+854.8(좌 30.0m)	319,572.361	134,836.484	142.96	
	088-5	4+480.1(우 38.2m)	319,219.558	135,361.544	122.87	

2.3 시추조사

본 조사는 지층의 구성상태 및 기본질의 종류, 암질분포 등을 파악하기 위하여 지반조사 위치현황도에 표시된 57개소의 지점에 대하여 시추조사를 실시하였다.

시추조사는 회전수세식(Rotary Wash Type) 시추기를 이용하여 표준관입시험과 병행하는 방법으로 실시하였으며, 시추 후 형성된 시추공은 각종 원위치 시험에 이용하였다. 유전선 NX(φ76mm) 구멍으로 실시하였으며 굴벽 붕괴가 없는 견고한 지층까지 Casing을 삽입하는 방식을 채택하였다.

3.1 지형

산 계	수 계
	
· 과업지역의 서쪽과 남서쪽은 강령산과 수선산 등 비교적 높은 고도의 산계를 형성하고 있으며 북쪽은 주로 낮은 구릉지대로 이루어져 있음	· 시냇하천 형태를 보이는 낙동강이 과업노선의 시공부와 교차하며 남쪽으로 흐르고 있음
· 과업노선상 산맥상의 지지대를 따라서 지나가며 그 남쪽으로는 북쪽산에 위치함	· 과업노선의 종단부는 북동 방향으로 흐르는 강천과 교차하고 있음
	· 경차하천 수계는 수지상의 형태를 보이며 매우 복잡하게 나타남



3.2 지 질

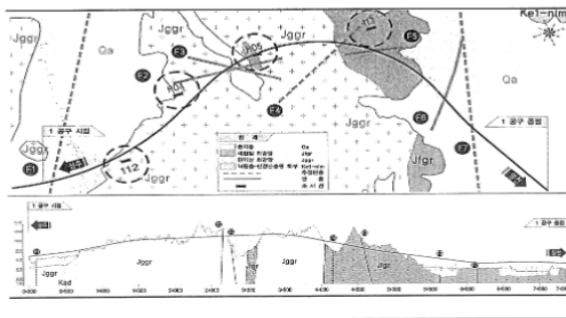
3.2.1 지질개요

과업지역에 분포하고 있는 암종으로는 두산한 권대구조가 발달하는 조립질의 편마암 화강암과 미약한 엽리를 보이며 세립질의 화강암(세립질 화강암)과 중강성특성이 분포하고 있으며, 이를 산성암맥(규장암)과 알기성암맥(각성암)이 관입하고 있는 암상을 보임

3.2.2 지질개요표

지질시대	층 명	특 성
제4기	충적층(Qa)	-하천 및 산곡 퇴적물
		--- 부합암 ---
	충적암맥(Kid), 산성암맥(Kac)	-과산의 지맥
		--- 관입 ---
	화강암(Kgr)	-과산의 지맥
중생대	세립질 화강암(Jgr)	-열려 발달 미약, 세립질, 부분적으로 화강성특성 암상 포함
		암대역
	편마암 화강암(Jgr)	-열려 발달, 조립질

3.2.3 지질총·평면도



③ 풍 화 토

기반암의 상부풍화대인 풍화토층은 전사후공에서 확인하였고, 층두께는 2.5-9.0m로 분포한다. 구성토질은 실트질 모래이며, 표준관입시험 결과 N값은 10/30-50/10의 범위로 보통조일-매우조일한 상태임을 보여준다. 함수 상태는 습한 상태이며, 색조는 갈색, 암갈색을 띤다.

④ 풍 화 암

기반암의 하부풍화대인 풍화암층은 전사후공에서 확인하였고, 층두께는 0.5-9.0m로 분포한다. 풍화암층은 실트질 모래이며, 표준관입시험 결과 N값은 50/10-50/5의 범위로 매우조일한 상태임을 보여준다. 함수 상태는 습한 상태이며, 색조는 갈색, 암갈색, 암갈색을 띤다.

⑤ 연 약 층

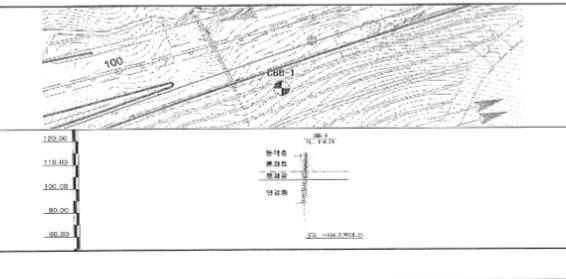
기반암의 화강암의 연약으로 CBB-2를 제외한 시추공에서 확인하였고, 층두께는 8.0-20.0로 분포한다. 풍화암층은 실트질 모래이며, 표준관입시험 결과 N값은 11.0-30.0의 범위로 보통조일-매우조일한 상태임을 보여준다. 함수 상태는 습한 상태이며, 색조는 갈색, 암갈색, 암갈색을 띤다.

⑥ 경 약 층

기반암의 화강암의 연약으로 N값은 11.0-30.0이상이며 7.0-27.0m이상의 층두께로 확인되었다. 풍화암층은 실트질 모래이며, 표준관입시험 결과 N값은 50/10-50/5의 범위로 매우조일한 상태임을 보여준다. 함수 상태는 습한 상태이며, 색조는 갈색, 암갈색, 암갈색을 띤다.

(3) 지층 총평면도

• CBB-1 (STA. 14181.2)



4.1.3 깎기부

깎기부에 대한 시추수량은 총 5개소로 이에 대한 조사결과는 다음과 같다.

(1) 조사 결과

공 번	위 치 (STA.)	지 층	심 도 (B. (-)m)	두께 (m)	구성상태	N 값 (TOR/RD)	지하수위 (B. (-)m)
CBB-1	14181.2 (우 25.2m)	풍화토	0.0-1.4	1.4	자갈석인 실트질 모래	16/30	11.2
		풍화암	1.4-8.0	5.6	실트질 모래	10/30-50/21	
		풍화암	8.0-11.4	3.4	기반암의 풍화암	50/19-50/5	
		연 약	11.4-21.0	9.6	화강암의 연약	(70-100/27-68)	
CBB-2	14909.4 (우 22.7m)	풍화토	0.0-6.5	6.5	실트질 모래	33/30-50/17	7.5
		풍화암	8.5-9.0	2.5	기반암의 풍화암	-	
		연 약	0.0-1.8	1.8	자갈석인 실트질 모래	32/30	
CBB-3	24409.8 (좌 56.5m)	풍화토	1.8-5.5	3.7	실트질 모래	50/30-50/10	22.0
		풍화암	5.5-14.5	9.0	기반암의 풍화암	50/9	
		연 약	14.5-23.0	8.5	화강암의 연약	(30-100/27-79)	
		연 약	0.0-2.5	2.5	실트질 모래	50/15-50/13	
CBB-4	31854.8 (좌 30.0m)	풍화암	2.5-3.0	0.5	기반암의 풍화암	-	17.5
		연 약	3.0-11.0	8.0	화강암의 연약	(100/45-70)	
		연 약	11.0-36.0	27.0	화강암의 연약	(100/68-90)	
		풍화토	0.0-9.0	9.0	실트질 모래	30/30-50/12	
CBB-5	41428.1 (우 38.2m)	풍화암	9.0-10.0	1.0	기반암의 풍화암	50/10	17.0
		연 약	10.0-30.0	20.0	화강암의 연약	(50-100/10-66)	
		연 약	30.0-37.0	7.0	화강암의 연약	(100/82-86)	

(2) 지층개요

① 매 림 층

본 층은 최상부 지층으로 시추공 CBB-3에서 확인되었으며, 층두께는 1.8m로 분포한다. 자갈석인 실트질 모래(SM)로 구성되어 있으며, 표준관입시험 결과 N값은 32/30으로 조일한 상태임을 보여준다. 함수 상태는 습한 상태이고 색조는 갈색을 띤다.

② 풍 화 토

본 층은 시추공 CBB-11에서 확인되었으며, 층두께는 1.4m로 분포한다. 자갈석인 실트질 모래(SM)로 구성되어 있으며, 표준관입시험 결과 N값은 16/30으로 보통조일한 상태임을 보여준다. 함수 상태는 습한 상태이고 색조는 갈색을 띤다.

공 사 명		상주-영천 고속도로 민간투자사업(제1공구) 시공중 확인보림	
CBB-1	작업현경	CBB-1	작업현경
CBB-1	표준관입시험	CBB-1	시료채취
CBB-1	코어채취	CBB-2	작업현경

2.2.3 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 2.3】 점검 및 진단 이력

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
1	정기안전점검 (하반기)	(주)명성 엔지니어링	300	상주절토2 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 배수로 토사 및 이물질 퇴적, 소단배수로 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 정비, 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2017. 11. 13 2017. 12. 28	안승철	양호	균열보수, 정비
2	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어링	275	상주절토2 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 배수로 토사퇴적, 소단배수로 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 정비, 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2018. 05. 28 2018. 06. 30	안승철	양호	-
3	정기안전점검 (하반기)	(주)명성 엔지니어링	275	상주절토2 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 배수로 낙석 및 토사퇴적, 소단배수로 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 정비, 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2018. 10. 23 2018. 12. 31	안승철	양호	균열보수, 정비
4	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어링	275	상주절토2 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 배수로 낙석 및 토사퇴적, 소단배수로 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2019. 03. 18 2019. 05. 28	안승철	양호	균열보수, 정비

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
5	정밀안전점검	(주)명성 엔지니어링	378	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 식생공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 신선함(Fresh)~보통풍화(MW) 정도이다. 사면 중·상단에 관목류가 일부 서식하고 있는 상태이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 소단배수로에 횡방향 균열 및 토사퇴적이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.
	2019. 09. 16 2019. 12. 27	장진원	B	균열보수, 정비, 주의관찰
6	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어링	317	상주절토2 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 배수로 낙석 및 토사퇴적, 소단배수로 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2020. 05. 12 2020. 06. 30	안승철	양호	균열보수, 정비
7	정기안전점검 (하반기)	(주)명성 엔지니어링	317	상주절토2 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 배수로 낙석 및 토사퇴적, 소단배수로 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2020. 08. 31 2020. 12. 31	안승철	양호	균열보수, 정비

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
8	2종 성능평가	(주)명성 엔지니어링	1,64	안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사평가하였음. 상태안전성능평가 결과 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가됨. 일부 구간에서 소단배수로 균열 및 토사토석이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태임. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며, 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 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 경미한 결함이나 내구성 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 엔지니어링	317	상주절토 02 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 배수로 낙석 및 토사퇴적, 소단배수로 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2021. 03. 08 2021. 06. 07	장진원	양호	균열보수, 정비

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
10	정밀안전점검	(주명성 엔지니어링	454	- 배수시설 균열, 토사퇴적 발생
	2021. 08. 25 2021. 12. 10	장진원	B	- 균열보수, 정비, 주의관찰
11	정기안전점검 (상반기)	(주명성 엔지니어링	350	- 배수시설 균열, 토사퇴적 일부 발생
	2022. 05. 16 2022. 06. 24	정지운	양호	- 균열보수, 정비
12	정기안전점검 (하반기)	(주명성 엔지니어링	350	- 배수시설 균열, 토사퇴적 일부 발생
	2022. 09. 19 2022. 11. 18	이상훈	양호	- 균열보수, 정비
13	정기안전점검 (상반기)	(주명성 엔지니어링	350	- 배수시설 균열, 토사퇴적 일부 발생
	2023. 04. 03 2023. 06. 30	정지운	양호	- 균열보수, 정비
14	정밀안전점검	(주명성 엔지니어링	665	- 배수시설 균열, 토사퇴적 일부 발생
	2023. 07. 03 2023. 12. 08	이상훈	B	- 주입보수, 청소
15	정기안전점검 (상반기)	(주명성 엔지니어링	350	- 배수시설 균열, 토사퇴적 일부 발생
	2024. 06. 10 2024. 06. 28	정지운	양호	- 주입보수, 청소
16	정기안전점검 (상반기)	(주명성 엔지니어링	350	- 배수시설 균열, 토사퇴적 일부 발생
	2024. 09. 23 2024. 12. 03	정지운	양호	- 주입보수, 청소
17	정기안전점검 (상반기)	(주명성 엔지니어링	350	- 배수시설 균열, 토사퇴적 일부 발생
	2025. 03. 24 2025. 06. 18	정지운	양호	- 주입보수, 청소

2.2.4 보수·보강이력

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

【표 2.4】 보수·보강이력

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

2.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 fms상 내진설계가 적용 된 것으로 확인되었다.

【표 2.5】 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)							

1) 상주방향 STA. 2+240~2+520

검토단면 STA. 2+340		건기시	
적용구배	해석안전율	기준안전율	판정
1:1.1~1.2	5.18	1.5	0.K

우기시		지진시	
적용구배	해석안전율	기준안전율	판정
1:1.1~1.2	4.54	1.3	0.K

3.3.1 검토결과

구분(STA.)		평시투영해석			한계평형해석			비고	
		평면	쌓기	전도	구분	건기시	우기시		지진시
상주방향	2+240~2+520	토사사면	-	-	원호	5.18	4.54	3.61	안정
	3+560~4+020	토사사면	-	-	원호	1.57	1.31	1.13	안정
		암반사면	안정	안정	안정	평면	-	-	-
	4+320~4+720	토사사면	-	-	원호	1.91	1.38	1.11	안정
암반사면		안정	안정	안정	평면	-	-	-	안정
영현방향	1+000~1+400	토사사면	-	-	원호	1.96	1.45	1.21	안정
		암반사면	안정	불안정	안정	평면	-	-	-
	1+540~1+720	토사사면	-	-	원호	2.35	1.68	1.18	안정
	1+880~1+950	토사사면	-	-	원호	2.05	1.52	1.13	안정
	2+240~2+360	토사사면	-	-	원호	2.39	1.96	1.51	안정
	2+420~2+730	토사사면	-	-	원호	3.15	2.52	1.95	안정
	3+550~3+640	토사사면	-	-	원호	2.41	1.66	1.31	안정
	4+300~5+120	토사사면	-	-	원호	3.12	2.32	1.62	안정
암반사면		안정	안정	안정	평면	-	-	-	안정

(a) 구조계산서

(b) 구조계산서

2.2.6 시설물의 용도변경 여부 확인

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

2.2.7 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 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 2.6】 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 성능평가시 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

2.3 현장조사

2.3.1 현장조사 체크리스트

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

【표 2.7】 일반현황

조사일자	2025. 10. 01.		조 사 자	정 지 운	
일 기	맑음		준공년도	2017년 06월 27일	
행정구역	경상북도 상주시 낙동면 상촌리				
위 치	시점 : 36 ° 22 ' 20 " 128 ° 15 ' 28 "				
	종점 : 36 ° 22 ' 24 " 128 ° 15 ' 34 "				
도 로	관리이정 : 2.240 ~ 2.510 km				
	왕복 6차선		도로폭 : 30.0m		
	교통량 : 50,000대/일				
절토사면	길 이 : 270.0m		높 이 : 38.0m		
	경 사/경사방향 : 51/153				
	도로와의 이격거리 : 평균 3.5m				
	구성물질 : 암		토층심도 : 약 5.0m		
	소 단 : 7				
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		2.240~2.510k		양호
	산마루 측구		2.480~2.510k		양호
	소단배수로		2.280~2.470k		균열
	야생동물유도울타리		2.240~2.510k		양호
	점검용 계단		2.470~2.510k, 2.360k		양호
소일네일링		2.240~2.510k		양호	
붕괴이력	유 형		규 모		위 치
기 타	.				

【표 2.8】 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 자연사면	경 사 도		10°						
	인장균열		무						
	포행흔적		무						
	수목의 기울어짐		무						
	인공구조물		무						
	산마루측구		유						
	계곡부		무						
지 질									
	지질각론	선캠브리아기에 형성된 흑운모화강암질 편마암을 중생대 주라기에 관입한 흑운모화강암이 기반암을 이룬다. 백악기 중성암맥 및 산성암맥이 다수 관입하여 분포하는 양상을 보이며 낙동강변을 중심으로 제4기 충적층이 두텁고 넓게 분포하고 있다.							
식 생	① 종 류	초	본	관	목	침	엽 수	활	엽 수
	② 밀 도	하		하		-		-	
	③ 근계특징	천근성 (O), 심근성 ()							

【표 2.9】 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토02		
	위경도	시점 : 36° 22'20.0" 128° 15'28.0" 종점 : 36° 22'24.0" 128° 15'34.0"		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2025년 10월 01일		
	조사자	정 지 운	조사기관	(주)명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	270.0m	최대높이	38.0m
	경사	51°	상부경사	51°
	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 셰일	토층심도	1.0~2.0m
	암반형태	☐ massive ☐ tabular ☐ columnar ☐ irregular ☒ blocky ☐ crushed	불연속면	☒ 절리 ☒ 층리 ☐ 엽리 ☐ 균열 ☐ 단층 ☐ 전단대 ☐ 암맥 ☐ 무
	시공현황 (상태)	☒ 식생공(양호) ☐ 낙석방지망 ☐ 옹벽 ☒ 낙석방지울타리(양호) ☐ 격자블럭 ☒ 배수로(보통) ☒ 점검로(보통) ☐ 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			

2.3.2 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 과업 대상 시설물은 경상북도 상주시 낙동면 상촌리(상주영천고속도로 2.240~2.510km)에 위치하고 있으며, 길이는 270.0m, 높이 38.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

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 2.10】 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/cm²)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{5.0}{38.0} = 0.131$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 91.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$Ib = \frac{\sum_{i=1}^3 Si}{3} = 0.5$, $\frac{Ib}{H} = \frac{0.5}{38.0} = 0.013$ 로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{5.0}{38.0} = 0.131$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 91.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$Ib = \frac{\sum_{i=1}^3 Si}{3} = 0.5$, $\frac{Ib}{H} = \frac{0.5}{38.0} = 0.013$ 로 0.01초과	절리암반	

※토층심도율이 0.2~0.4일 경우, 혼합사면으로 규정하여 토사사면과 암반사면의 특성을 모두 고려

구분	S ₁	S ₂	S ₃	lb	H	블록크기비(BR)
1구간	0.5	0.4	0.6	0.5	38.0	0.013
2구간	0.5	0.5	0.5	0.5	38.0	0.013

다. 비탈면 구간 분할

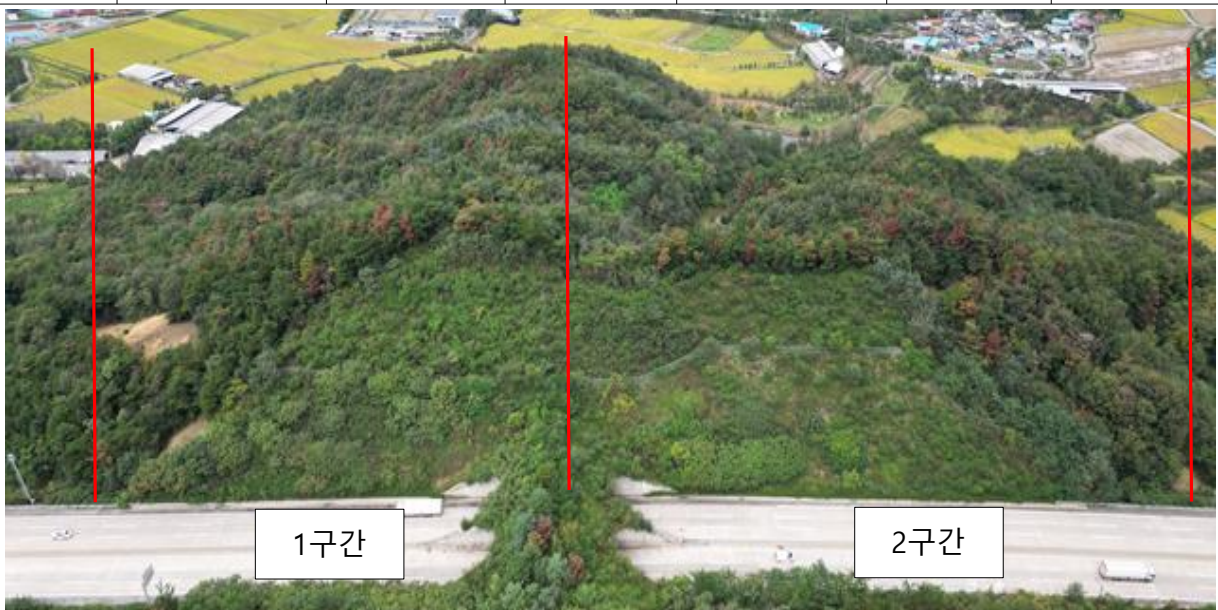
본 사면은 연장이 270m로써, 사면의 구간분할 기준인

- 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 2개의 구간으로 선정하여 조사 및 시험, 평가를 실시하였다.

【표 2.11】 비탈면 구간 분할

구 분	관리이정(k)	연 장(m)	높 이(m)	경사/경사방향	토층심도	구성물질
1구간	2.240~2.360	120.0	38.0	51/153	5.0m	암
2구간	2.360~2.510	150.0	38.0	51/153	5.0m	암



2.3.3 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 -30~-40°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직 도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

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

【표 2.12】 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 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 보통 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

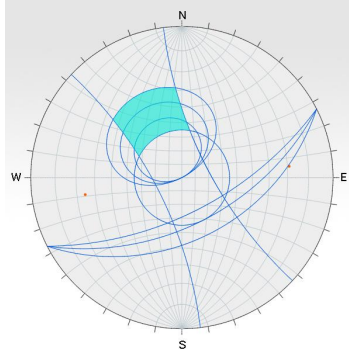
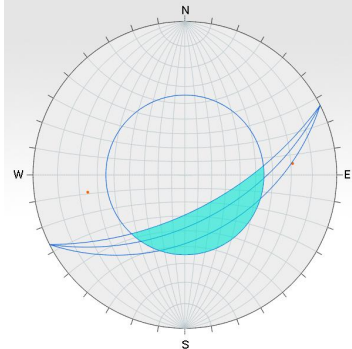
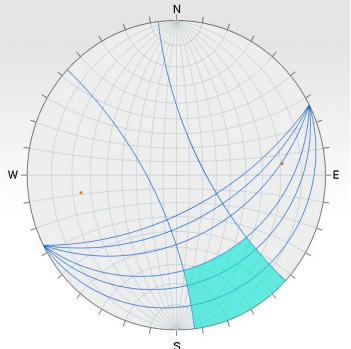
【표 2.13】 불안정 지질 조사 결과

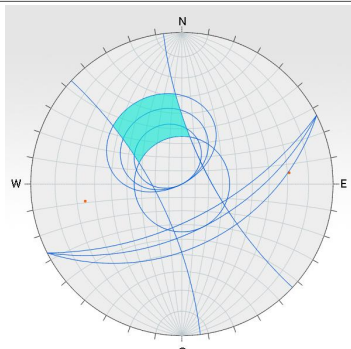
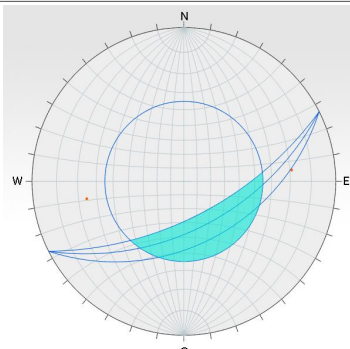
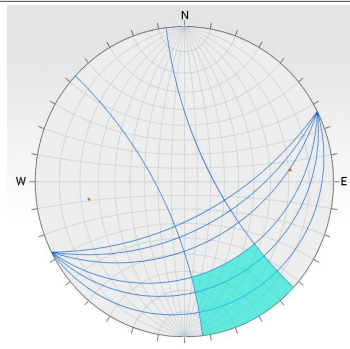
구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	일부 분포	-	-	-	

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 2개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다. 2구간은 전구간 식생공으로 인해 불연속면 조사가 불가피하다.

【표 2.14】 불연속면 특성 조사 결과

구 분		J1	J2	J3	절리상태 점수		
					J1	J2	J3
종류		절리	절리	절리	-	-	-
방향성		66/080	71/264	60/085	-	-	-
간격(m)		0.5~0.6	0.5~0.6	0.5~0.6	-	-	-
상세 절리 상태	연장성 (m)	< 1	< 1	< 1	0	0	0
	틈새(mm)	0.1mm 미만	0.1mm 미만	0.1mm 미만	2	2	2
	거칠기	거칠음	거칠음	거칠음	2	2	2
	충진물질	딱딱함, 5mm이상	딱딱함, 5mm미만	딱딱함, 5mm이상	4	2	4
	풍화도	MW	SW	MW	4	2	4
누수상태		완전건조	완전건조	완전건조	2.4	1.6	2.4
암괴크기		-	-	-			
블록형상		불규칙상	불규칙상	불규칙상			
평사투영해석							
평면파괴		쌓기파괴		전도파괴			
							
안정		안정		안정			
● 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ● 쌓기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ● 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음							

구 분		J4	J5	J6	절리상태 점수		
					J4	J5	J6
종류		절리	절리	절리	-	-	-
방향성		66/265	65/264	66/265	-	-	-
간격(m)		0.5~0.6	0.5~0.6	0.5~0.6	-	-	-
상세 절리 상태	연장성(m)	< 1	< 1	< 1	0	0	0
	틈새(mm)	0.1mm 미만	0.1mm 미만	0.1mm 미만	2	2	2
	거칠기	거칠음	거칠음	거칠음	2	2	2
	충진물질	딱딱함, 5mm이상	딱딱함, 5mm이상	딱딱함, 5mm이상	4	4	4
	풍화도	MW	MW	MW	4	4	4
누수상태		완전건조	완전건조	완전건조	2.4	2.4	2.4
암괴크기		-	-	-			
블록형상		불규칙상	불규칙상	불규칙상			
평사투영해석							
평면파괴		쌓기파괴		전도파괴			
							
안정		안정		안정			
● 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ● 쌓기파괴 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 2.15】 지반 변형 조사 결과

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

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

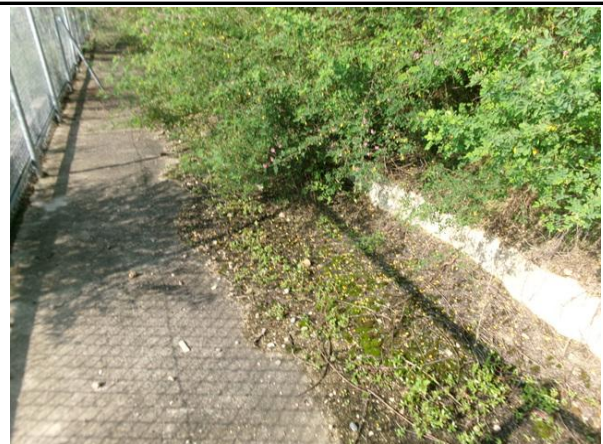
소단배수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다.

【표 2.16】 배수 조건 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	20 / 40.0	초기건조수축, 우수유입
	소단 배수로	토사퇴적	m³	1 / 10.0	우수유입



1소단배수로 균열



1소단배수로 토사퇴적

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 2.17】 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 2.18】 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 2.19】 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 2.20】 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 2.21】 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 불편감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태
	d	○깊이 8cm이상의 포트홀에 의해 차량에 심각한 손상이 발생할 수 있어 즉각적인 보수가 필요한 상태 ○배수불량으로 인한 주행차로 상시 물고임으로 통행차량의 안전성 저하가 우려되는 상태
	e	○도로포장 결함 및 파손 정도가 심각하고 차량주행이 불가하여 차량통행 제한 및 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

1.3.4 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 보통암~경암인 것으로 판단된다.

【표 2.22】 암반강도시험 결과

시험위치	상위50% 평균값 (대표값)	일축압축강도 추정(MPa)	암 판정 결과	비고
2.275km	49.9	84.8	보통암	
2.290km	52.0	92.6	경암	
2.460km	51.6	91.0	경암	
검토의견	암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 49.9~52.0로 측정되었으며, 추정강도 84.8~92.6MPa로 보통암~경암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.			



절리면 경사/경사방향 측정



암반 강도시험

다. 표면보호공

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

【표 2.23】 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경

식생공 전경

라. 사면보강공

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

【표 2.24】 사면보강공 조사 결과

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

2.4 안전성능평가

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

2.4.1 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 세부 분류는 절리암반 비탈면으로 평가된다.

【표 2.25】 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/cm²)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{5.0}{38.0} = 0.131$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 91.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$Ib = \frac{\sum_{i=1}^3 Si}{3} = 0.5, \frac{Ib}{H} = \frac{0.5}{38.0} = 0.013$ 로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{5.0}{38.0} = 0.131$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 91.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$Ib = \frac{\sum_{i=1}^3 Si}{3} = 0.5, \frac{Ib}{H} = \frac{0.5}{38.0} = 0.013$ 로 0.01초과	절리암반	

※토층심도율이 0.2~0.4일 경우, 혼합사면으로 규정하여 토사사면과 암반사면의 특성을 모두 고려

구분	S ₁	S ₂	S ₃	Ib	H	블록크기비(BR)
1구간	0.5	0.4	0.6	0.5	38.0	0.013
2구간	0.5	0.5	0.5	0.5	38.0	0.013

본 사면은 연장 270.0m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시하는 외관조사결과현황도(Face Map)에 J1~2으로 표기하였다.

【표 2.26】 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	2.240~2.360km	120m	암반사면	
2구간	2.360~2.510km	150m	암반사면	

【표 2.27】 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 2.28】 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	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

【표 2.29】 불안정 지질 평가 결과(1구간)

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

【표 2.30】 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 $= \Sigma(① \sim ⑥) / 6 =$ $(0+5+5+5+5+10) / 6 = 4.2$
	b	양호	
	c	보통	
	d	불량	
	e	매우 불량	

【표 2.31】 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 20.0m미만	20.0m이상	1.0m미만	a
②틈 새	0	0.1mm미만	0.1mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 6.0mm미만	6.0mm이상	0.1mm 미 만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	거침	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	SW	b
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

【표 2.32】 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형		
	c	국지적인 변형		
	d	사면 전반에 걸친 변형		
	e	사면 전반에 걸친 변형		

【표 2.33】 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 2.34】 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 2.35】 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 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 2.36】 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 2.37】 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H = 0$ 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 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

【표 2.38】 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	상향 30°	e
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

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 2.39】 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 2.40】 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 2.41】 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 = $\Sigma(①\sim⑧) / 100$					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

【표 2.42】 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명	상주절토02			
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		4.2	4	b
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			12	
결함지수			0.12	
상태안전성능평가 결과			A	

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

【표 2.43】 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
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 2.44】 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국지적 분포	b
	b	일부 분포 (건고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 건고한 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 2-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 = $\Sigma(① \sim ⑥) / 6 =$ $(0+5+5+5+5+10) / 6 = 4.2$	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

【표 2.45】 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	1.0m이상 3.0m미만	a
②틈 새	0	0.1mm미만	0.1mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 6.0mm미만	6.0mm이상	0.1mm 미 만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	거침	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	SW	b
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

【표 2.46】 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 2.47】 지하수 평가 결과(2구간)

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 2.48】 배수시설 평가 결과(2구간)

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 2.49】 붕괴이력 평가 결과(2구간)

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 2.50】 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	없음	a
	b	1.0㎡미만		
	c	1.0㎡이상, 6.0㎡미만		
	d	6.0㎡이상, 10.0㎡미만		
	e	10.0㎡이상		

【표 2.51】 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H = 0$ 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	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

【표 2.52】 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

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

바. 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.

【표 2.53】 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

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.

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

【표 2.54】 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 2.55】 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
결함지수 = $\Sigma(① \sim ⑧) / 100$					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

【표 2.56】 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명	상주절토02			
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		4.2	4	b
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			12	
결함지수		0.12		
상태안전성능평가 결과		A		

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

【표 2.57】 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
270.0m	1구간	2.240~2.360km	a(0.12)	A	인장균열 없음
	2구간	2.360~2.510km	a(0.12)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

1.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

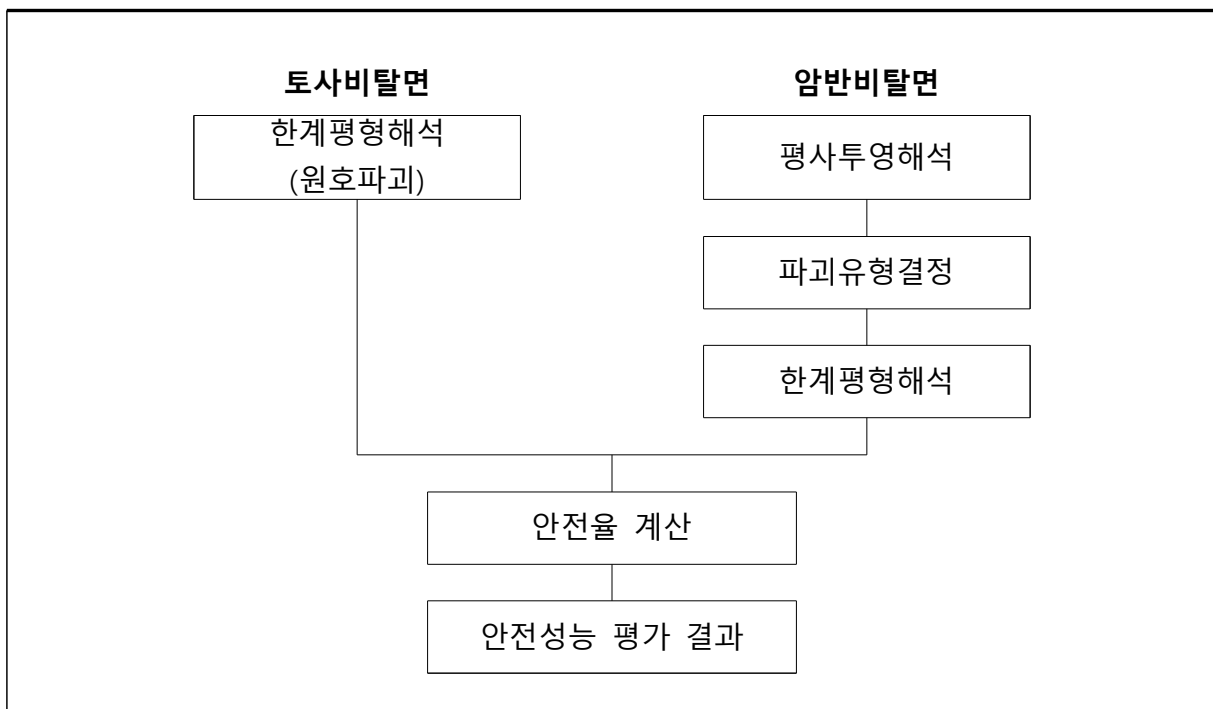
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 2.5】 구조안전성능 평가과정

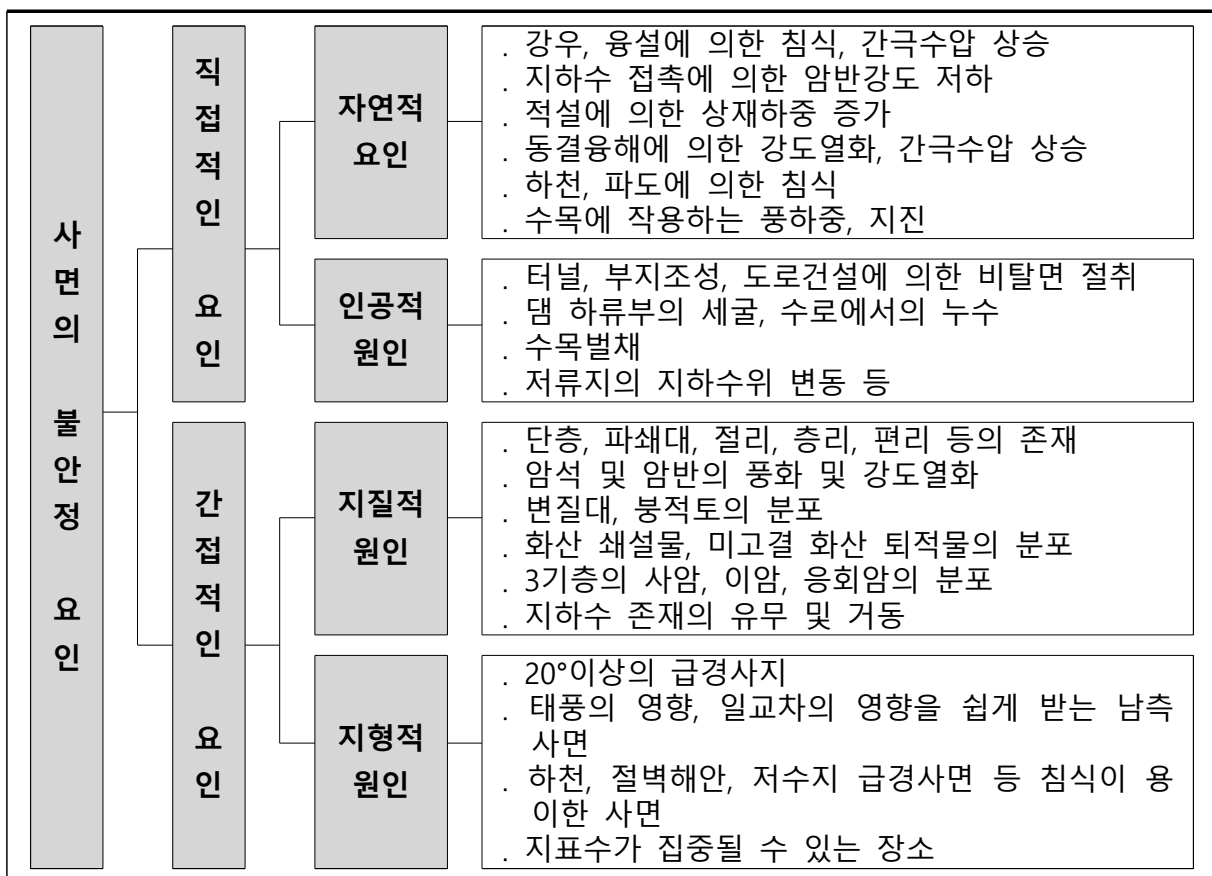
【표 2.58】 유형별 안정해석 범위

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 원호파괴 해석을 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

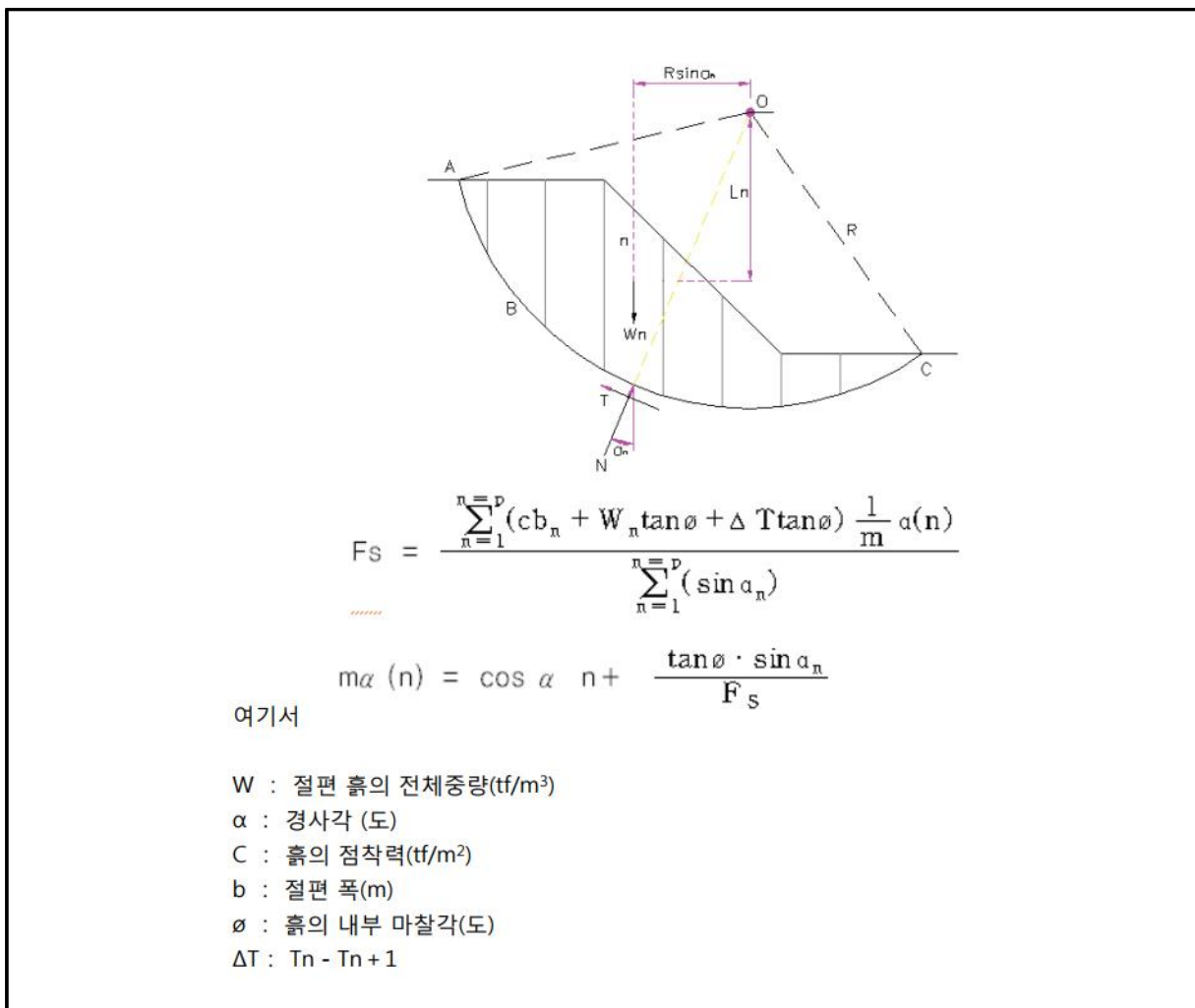


【그림 2.6】 구조안전성능 평가과정

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.

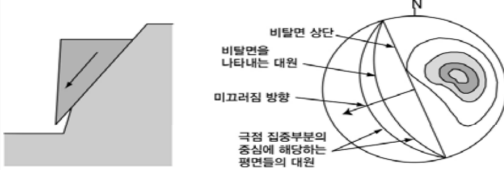
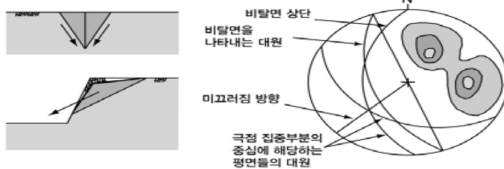
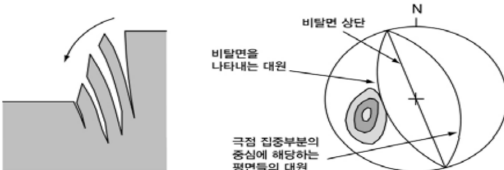


【그림 2.7】 Bishop의 안전율 계산식

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), 쐈기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

【표 2.59】 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
쐈기파괴		쐈기파괴는 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 2.60】 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

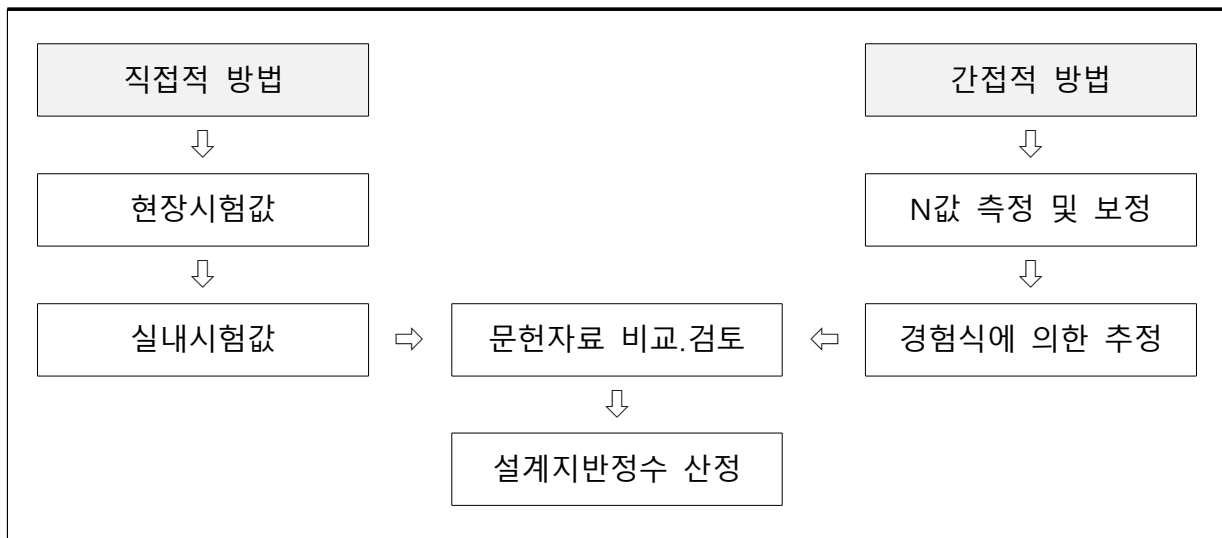
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	- 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 - 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) - 침투를 고려한 안정해석을 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 2.61】 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 2.62】 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 2.63】 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 2.64】 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 2.65】 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/m ³)	내부마찰각(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (1공구)	풍화(잔적)토	18	30	15	
	풍화암	21	30	29	
	경 암	26	35	200	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

【표 2.66】 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 2.67】 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	셰일	석회암	응회암
단위중량 (kN/m ³)	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/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 2.68】 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 2.69】 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 2.70】 Trueman (1988)

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

【표 2.71】 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) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/m ³	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	18	30	15	0.3	
풍화암	21	30	29	0.3	
경 암	26	35	200	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 2.72】 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

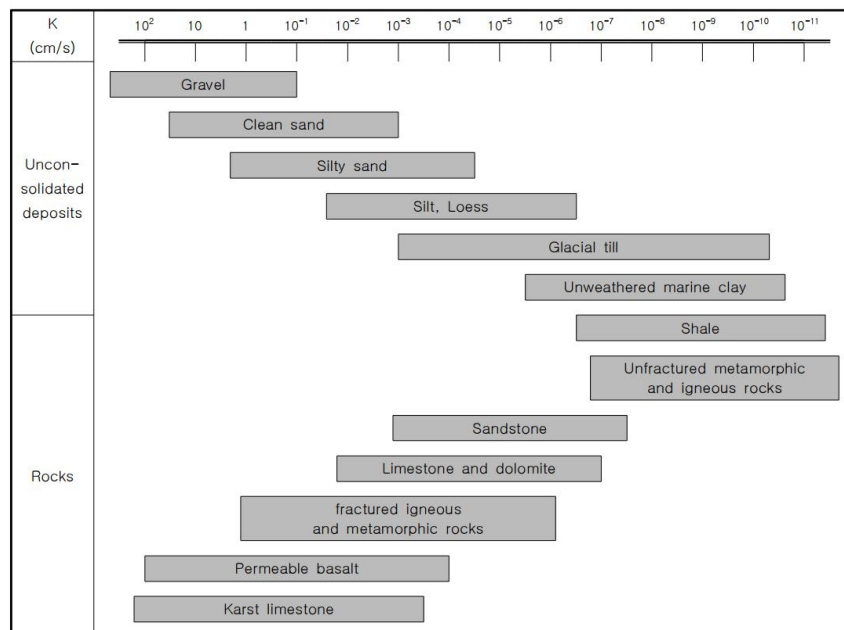
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

【표 2.73】 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 2.74】 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 2.8】 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 2.75】 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 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 측구 · 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

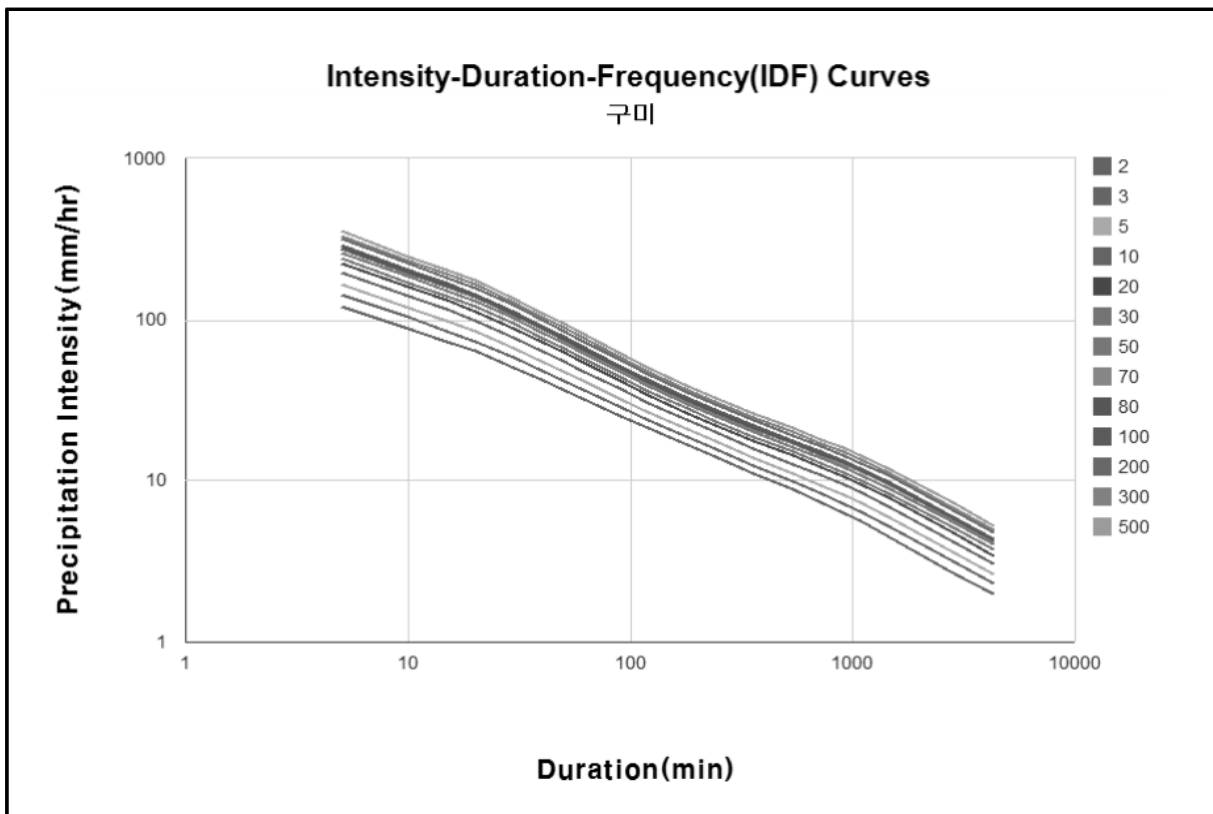
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 구역 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 구미지역



【그림 2.9】 구미지역 IDF곡선

구미(Precipitation Frequency Estimates, IDF)														
Return Period (years)	Duration (min)													
	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120	180	240	360	540
2	118.6	86.5	72.1	62.4	49.7	41.7	36.2	32.2	24.9	20.9	16.4	13.9	11.1	8.7
3	139.2	100.9	83.7	72.2	57.1	47.8	41.4	36.7	28.2	23.5	18.4	15.5	12.3	9.8
5	162.2	117	96.7	83.2	65.6	54.6	47.1	41.7	31.8	26.4	20.6	17.4	13.8	11
10	191.2	136.8	113	97	76.2	63.2	54.4	48	36.4	30.1	23.3	19.7	15.7	12.6
20	219	155.5	128.7	110.4	86.5	71.5	61.3	53.9	40.7	33.6	26	22	17.6	14.1
30	234.9	166.6	137.7	118.1	92.3	76.2	65.2	57.3	43.2	35.6	27.5	23.2	18.6	15
50	254.9	180.2	148.9	127.6	99.6	82.1	70.2	61.7	46.3	38.1	29.5	24.9	19.9	16
70	267.9	189.4	156.3	133.8	104.4	86	73.5	64.5	48.4	39.8	30.7	25.9	20.7	16.7
80	273.1	192.8	159.2	136.3	106.3	87.5	74.8	65.6	49.2	40.4	31.2	26.3	21.1	17
100	281.8	198.6	164	140.5	109.5	90.1	76.9	67.5	50.5	41.5	32	27	21.6	17.5
200	308.7	217	179.2	153.4	119.4	98	83.6	73.2	54.7	44.9	34.6	29.2	23.4	18.9
300	324.3	227.7	188	160.9	125.1	102.7	87.5	76.6	57.1	46.8	36.1	30.5	24.4	19.8

확률강우강도(mm/hr)

【그림 2.10】 구미지역 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 2.11】 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구, 1997)

【표 2.76】 설계지반운동 수준

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

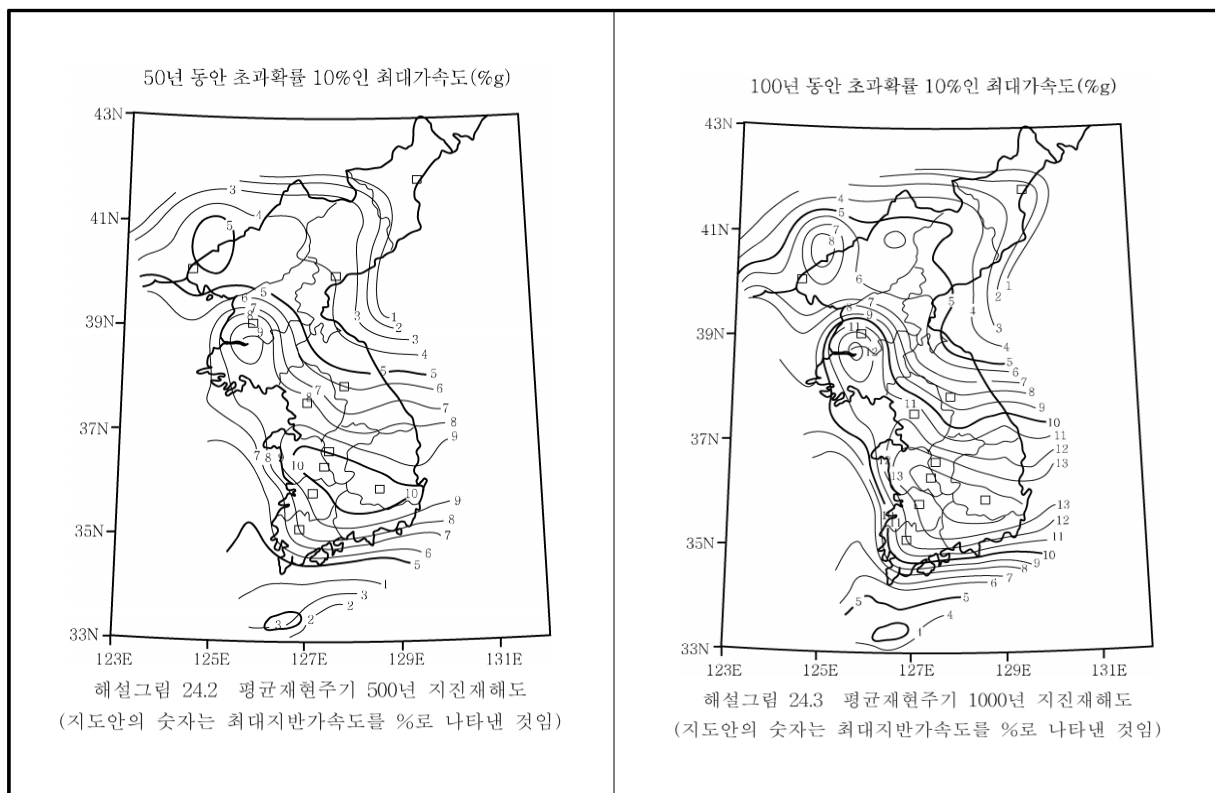
2) 설계지반운동

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 2.12】 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

【표 2.77】 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 2.78】 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

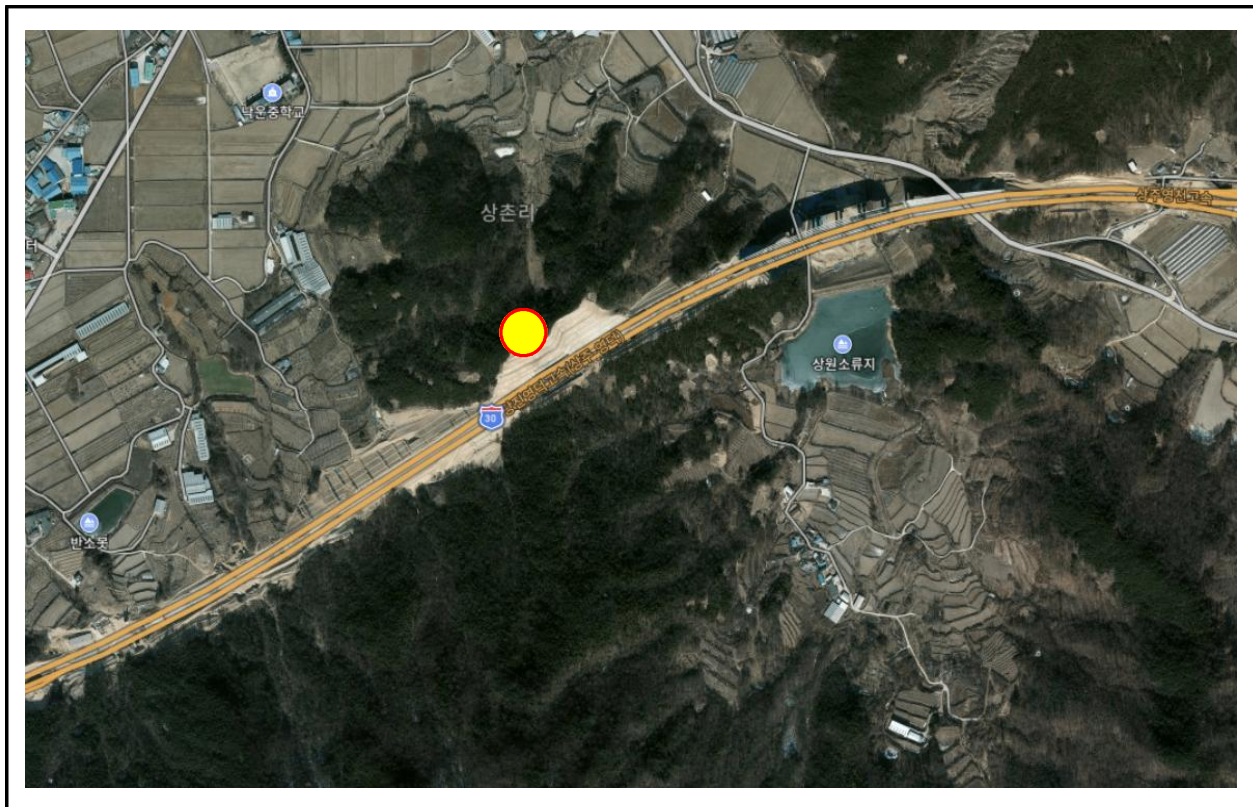
대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

【표 2.79】 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공 년도	경사/경 사 방향
				높이 (m)	토사/ 풍화암	암반	보강 형식		
상주절토02	경상북도 상주시 낙동면 상촌리	2.240 ~ 2.510	STA.2+330	38.0	2.0	36.0	-	2017	51/153
			STA.2+370	38.0	2.0	36.0	-	2017	51/153

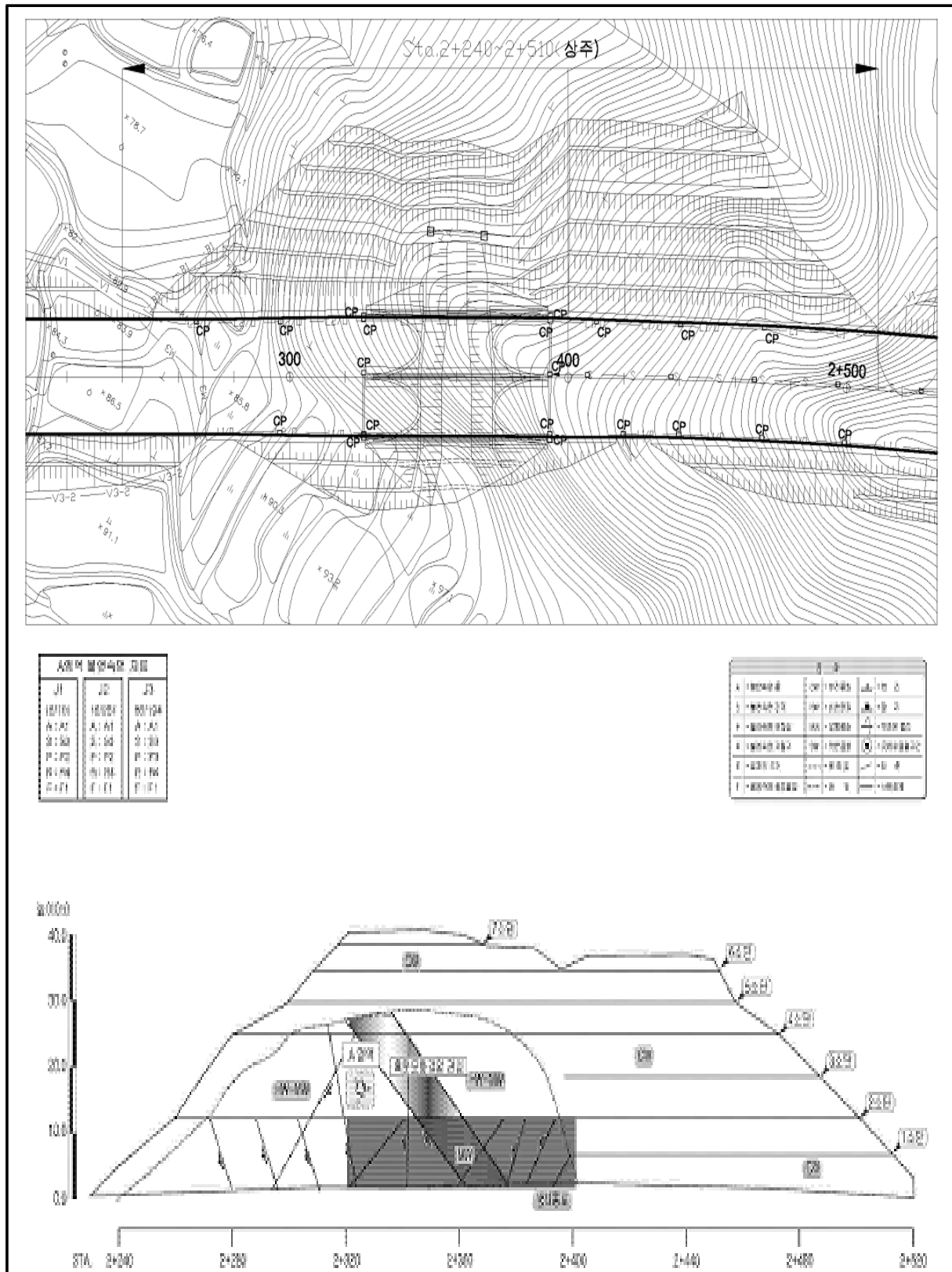
※ 상주기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음



【그림 2.13】 상주절토02 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토02 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



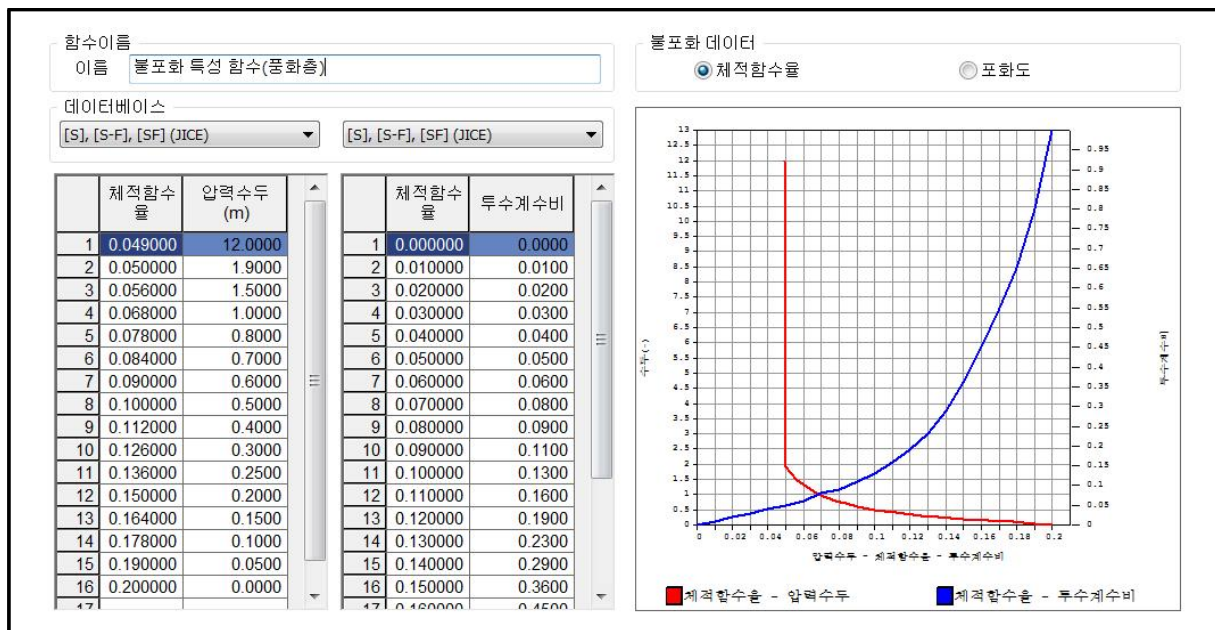
【그림 2.14】 상주절토02 검토대상 비탈면구간

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	18	30	15	1.0E-03	
풍화암	21	30	29	1.0E-04	
연암	26	35	200	1.0E-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.

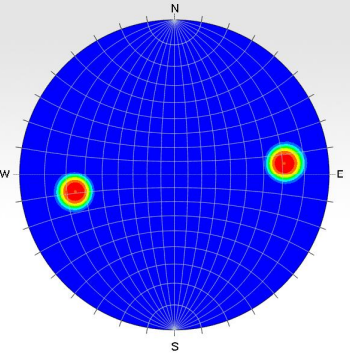


【그림 2.15】 압력수두-체적함수(포화도)-투수계수비 함수

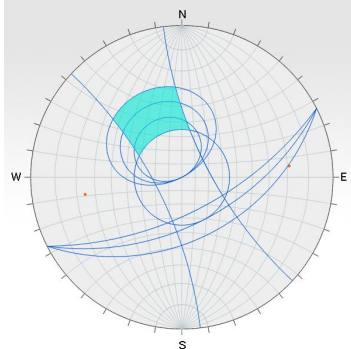
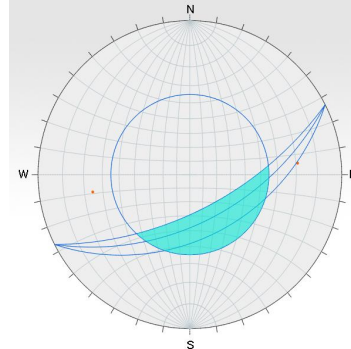
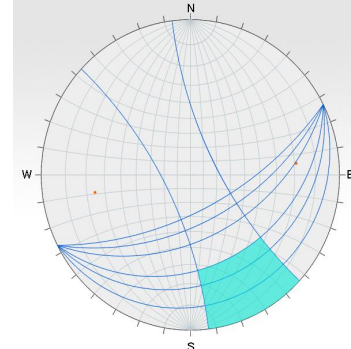
3) 1구간 (STA.2+240 ~ 2+360)

① 암반각기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		71	264
		66	80
		60	85

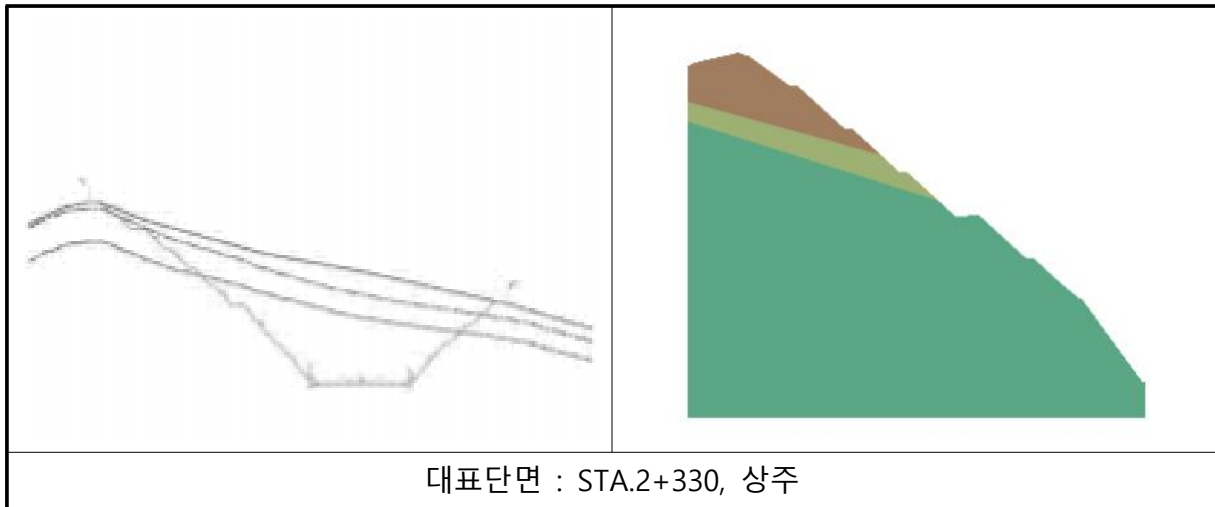
◦ 해석결과

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
안전율 : 1.76	안전율 : 1.57	안전율 : 1.36

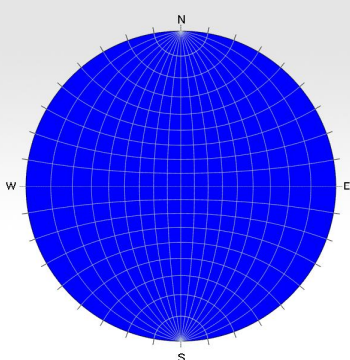
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	$F_s \geq 1.1 \Rightarrow O.K$	

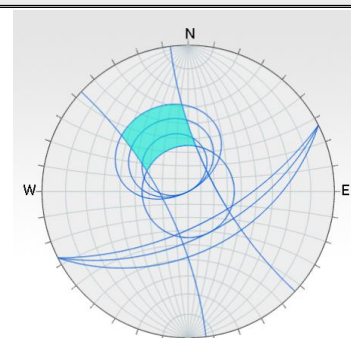
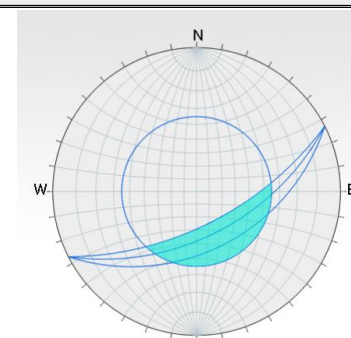
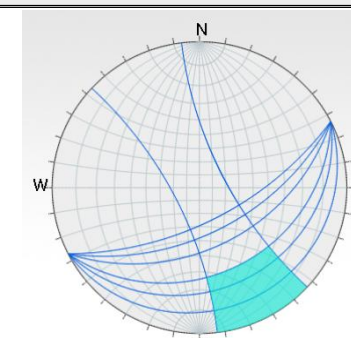
4) 2구간 (STA.2+360 ~ 2+510)

① 암반각기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과	
평사 투영도		dip dip direction 녹화공법 적용으로 노출된 노두없음(측정불가)

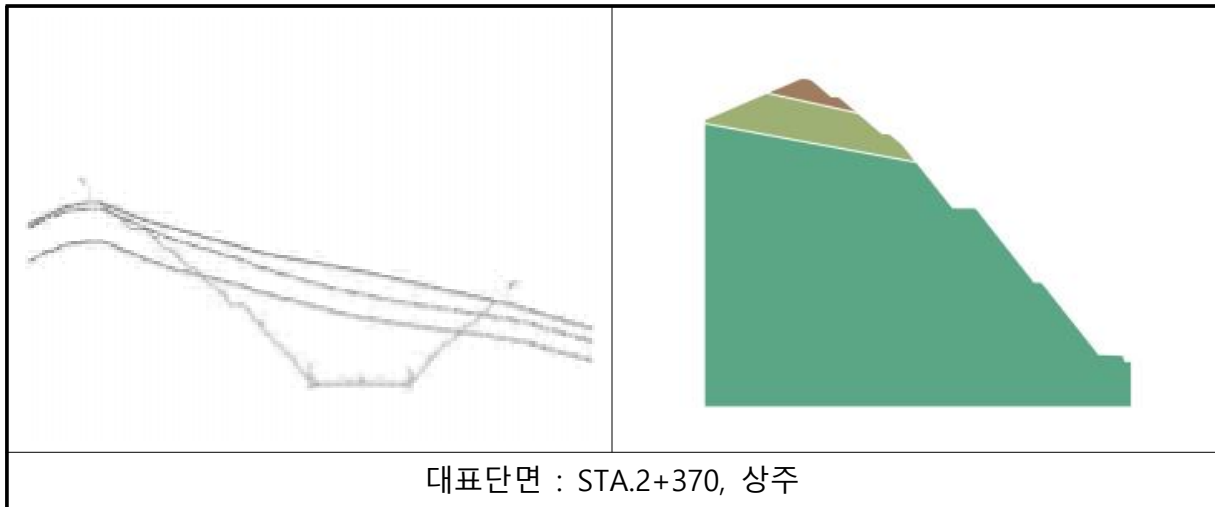
◦ 해석결과

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
2.1142	1.4137	1.2225
안전율 : 2.11	안전율 : 1.41	안전율 : 1.22

③ 2구간 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 전도파괴 가능성이 분석되어 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

【표 2.80】 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		상주절토02		
구성 재료	파괴유형	최소안전율	평가 결과	비 고
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	썰기파괴	안정	a	썰기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	1.76	a	$F_s \geq 1.5 \Rightarrow O.K$
	우기시	1.41	a	$F_s \geq 1.2 \Rightarrow O.K$
	지진시	1.22	a	$F_s \geq 1.1 \Rightarrow O.K$
구조안전성능평가 결과		A		

2.4.3 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.

구조안전성능평가 결과, 안전해석결과가 허용안전율보다 크므로 A등급으로 평가되었다.

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

【표 2.81】 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	상주절토02		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.120	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.120	A	
안전성능 결과	○ 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ○ 안전성능평가 결과 : A등급		

【표 2.82】 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

2.5 내구성능 평가

2.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

【표 2.83】 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 2/38 = 0.053
공용기간		8년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		100MPa	추정
면적	전체	10,769m ²	
	토사구간	-	
	암반구간	10,769m ²	
표면보호공	식 생	9,657m ²	
	숏크리트	-	
사면보강공	낙석방지망	-	

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 2.84】 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

2.5.3 성능지표별 평가 결과

1) 암반구간의 지표평가

【표 2.85】 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 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 2.86】 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 (MPa)	추정강도 (MPa)(전차)	대비강도(%)	비 고
2.275km	84.8	91.4	92.8	최소값
2.290km	92.6	92.1	100.5	최대값
2.460km	91.0	91.9	99.0	
평균값	-	-	99.0	최소/최대 제외
등급	A 보통암~경암(94.0~100.0%, 95.0~100.0%)			

【표 2.87】 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 2.88】표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿔어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	10,769/10,769m ²	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 90.0% 이상 이므로 "a등급"으로 평가함.				

【표 2.89】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 2.90】암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	J1	J2	J3
길이(m)	1m 미만	1m 미만	1m 미만
	a(0)	a(0)	a(0)
틈새(mm)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	거침	거침	거침
	b(5)	b(5)	b(5)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	SW	SW	SW
	b(5)	b(5)	b(5)
합 계	20	20	20
평 균	4.0	0.0	4.0
평가 결과	b	b	b

【표 2.91】 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- J1	b	0.23	최대
Set A- J2	b	0.23	최소
Set A- J3	b	0.23	
Set B- J4	-	-	2구간 식생공
Set B- J5	-	-	2구간 식생공
Set B- J6	-	-	2구간 식생공
평균값	b	0.23	최소 및 최대 제외
등 급		b	

2.5.4 내구성능 평가 결과

1) 내구성능 가중치

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

【표 2.92】 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 2.93】 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	b	0.23	0.53	0.122
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
-	-	-	-	-
결함도 지수				0.159
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 2.94】 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

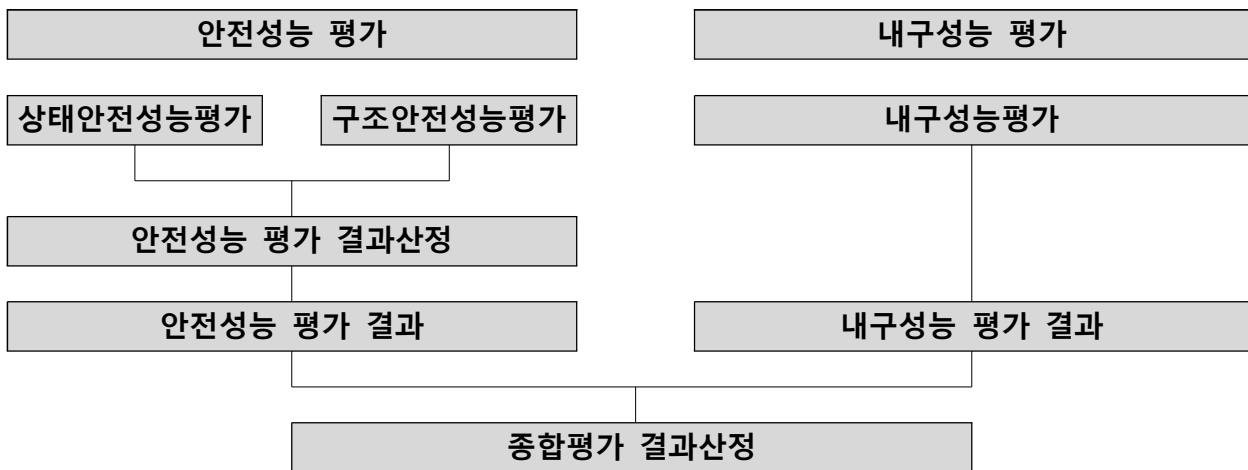
안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (E) < 0.15$	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (E) < 0.30$	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq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

2.6 종합평가

2.6.1 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 2.16】 종합평가 흐름도

2.6.2 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 2.95】 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 2.96】 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토02		분류	상주영천고속도로
평가 구분	성능평가 지수	평가 결과	성능간가중치(Wn)	비 고
안전성능평가	Ps=0.120	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.159	B	0.2	
종합평가 결과	○ 사면의 종합평가 지수(P) $= \sum(\text{성능평가지수}(p_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n))$ $= (0.120 \times 0.8) + (0.159 \times 0.2) = 0.128$ ○ 종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 A등급(우수)인 것으로 평가되었다.

【표 2.97】 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 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (P) < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 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 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq (P) < 0.75$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (P) < 1.00$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

2.7 유지관리 전략 제언

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

2.7.1 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 2.98】 성능목표 설정시 고려되어야 할 사항

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

【표 2.99】 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 2.100】 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 2.101】 동해환경

구분		기준		평가결과(일)	평가등급
동해 환경	지속적인 수분접촉	$50 \leq X$	A	60.2	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 2.102】 지진구역계수 및 공용연수

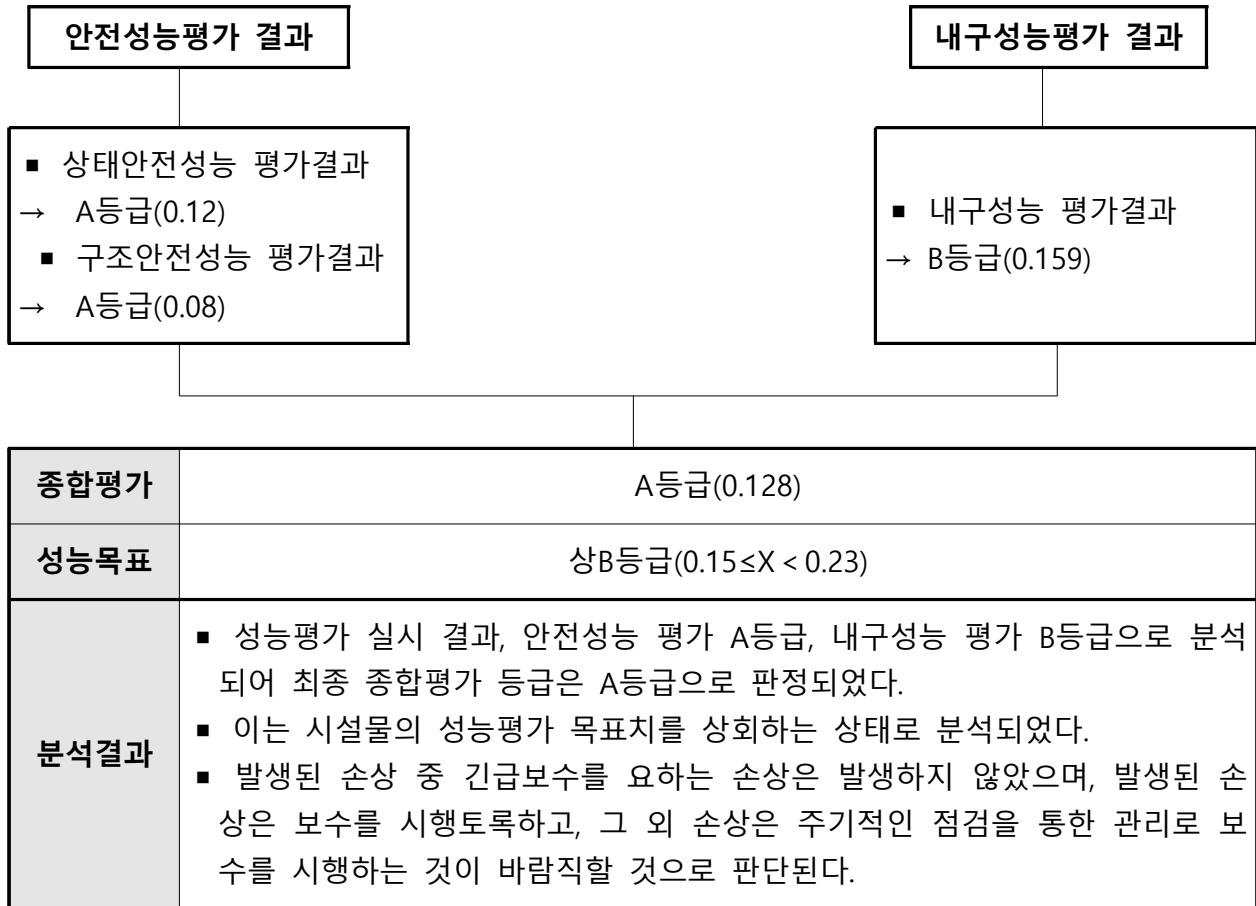
구분	내용	평가등급
지진구역계수	경상북도	A
공용연수	8년	E

【표 2.103】 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	$= 0.08 \times 0.5 + 0.08 \times 0.4 + 0.88 \times 0.1$ $= \mathbf{0.16(상B)}$					

2.7.2 성능평가 결과 검토·분석

【표 2.104】 종합평가 결과 요약



2.7.3 성능목표에 따른 유지관리 전략 제언

유지관리 전략 제언의 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 2.105】 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단 위	단가 (천원)	개략공 사비 (천원)	우선 순위
상부자연 사면	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
사면부	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
사면하부	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
부대시설	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
배수시설	소단배수로 균열	주입보수	40.00	60.00	m	65	3,900	1
	소단배수로 토사퇴적	정비	10.00	15.00	m³	25	375	3
개략공사 비 (천원)	구 분	1순위		2순위		3순위		
	순공사비	3,900		0		375		
	재경비 (순공사비의 50%)	1,950		0		188		
	합계	5,850		0		563		
개략공사비 총계(천원)		6,413						

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 2.106】 보수·보강 우선순위 지수 산출

구분	손상 물량 (m³)	보수 물량 (m³)	단가 (천 원)	비용 Cost (천원)	손상정보				가중치				우선 순위 지수 (PI) EI/Cost	순 위
					손상내용	부재 위치	성능	등급	손상	부재	성능	등급		
조차1	-	-	-	-	집수지형	사면 부	안전 성능	a	0.06	1.00	0.80	0.05	0.00240	12
조차2	-	-	-	-	불안정지질	사면 부	안전 성능	b	0.15	1.00	0.80	0.11	0.01320	5
조차3	-	-	-	-	불연속면의 특성	사면 부	안전 성능	b	0.24	1.00	0.80	0.11	0.02112	2
조차4	-	-	-	-	지반변형	사면 부	안전 성능	a	0.09	1.00	0.80	0.05	0.00360	9
조차5	-	-	-	-	지하수	사면 부	안전 성능	a	0.08	1.00	0.80	0.05	0.00320	10
조차6	40.00	60.00	65	3,900	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조차7	10.00	15.00	25	375	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조차8	-	-	-	-	붕괴이력	사면 부	안전 성능	a	0.10	1.00	0.80	0.05	0.00400	8
조차9	-	-	-	-	낙석	사면 부	안전 성능	a	0.17	1.00	0.80	0.05	0.00680	7
조차10	-	-	-	-	구조안전성 능	사면 부	안전 성능	a	1.00	1.00	0.80	0.05	0.04000	1
조차11	-	-	-	-	지반상태 (암반)	사면 부	내구 성능	a	1.00	0.25	0.20	0.05	0.00250	11
조차12	-	-	-	-	절리상태	사면 부	내구 성능	b	1.00	0.40	0.20	0.11	0.00880	6
조차13	-	-	-	-	표면보호공	사면 부	내구 성능	a	1.00	0.10	0.20	0.05	0.00100	13

다. 우선순위지수에 따른 유지관리전략 제안

【표 2.107】 우선순위지수에 따른 유지관리전략 제안

구분	손상 물량 (m³)	보수 물량 (m³)	단가 (천 원)	비용 Cost (천원)	손상정보				가중치				우선 순위 지수 (PI) EI/Cost	순 위
					손상내용	부재 위치	성능	등급	손상	부재	성능	등급		
조차10	-	-	-	-	구조안전성 능	사면 부	안전 성능	a	1.00	1.00	0.80	0.05	0.04000	1
조차3	-	-	-	-	불연속면의 특성	사면 부	안전 성능	b	0.24	1.00	0.80	0.11	0.02112	2
조차7	10.00	15.00	25	375	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조차6	40.00	60.00	65	3,900	배수조건	배수 시설	안전 성능	c	0.11	1.00	0.80	0.20	0.01760	3
조차2	-	-	-	-	불안정지질	사면 부	안전 성능	b	0.15	1.00	0.80	0.11	0.01320	5
조차12	-	-	-	-	절리상태	사면 부	내구 성능	b	1.00	0.40	0.20	0.11	0.00880	6
조차9	-	-	-	-	낙석	사면 부	안전 성능	a	0.17	1.00	0.80	0.05	0.00680	7
조차8	-	-	-	-	붕괴이력	사면 부	안전 성능	a	0.10	1.00	0.80	0.05	0.00400	8
조차4	-	-	-	-	지반변형	사면 부	안전 성능	a	0.09	1.00	0.80	0.05	0.00360	9
조차5	-	-	-	-	지하수	사면 부	안전 성능	a	0.08	1.00	0.80	0.05	0.00320	10
조차11	-	-	-	-	지반상태 (암반)	사면 부	내구 성능	a	1.00	0.25	0.20	0.05	0.00250	11
조차1	-	-	-	-	집수지형	사면 부	안전 성능	a	0.06	1.00	0.80	0.05	0.00240	12
조차13	-	-	-	-	표면보호공	사면 부	내구 성능	a	1.00	0.10	0.20	0.05	0.00100	13

2.8 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, 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 소단배수로 균열이 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, 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 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 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
- 3) 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 평가되었다.
- 4) 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 판단된다.

