상주영천고속도로 시설물 안전 · 하자점검 및 성능평가 용역

성 능 평 가 보 고 서

5 공 구 : 영천절토31, 영천절토32, 영천절토33, 영천절토34
6 공 구 : 상주절토35, 상주절토36, 상주절토37, 영천절토38, 영천절토39
7 공 구 : 영천절토40, 영천절토41, 상주절토42, 상주절토43
8 공 구 : 상주절토44, 영천절토45

2020. 12

상 주 영 천 고 속 도 로 [주]

[주] 명 성 엔 지 니 어 링

상주영천고속도로 시설물 안전·
하자점검 및 성능평가 용역

성능평가 보고서

(절토사면 Ⅲ편)

'20.12

상주영천고속도로(주)

제31장 영천절토31

31.1 대상 시설물 현황

31.2 관련 자료의 분석

31.3 현장조사

31.4 안전성능평가

31.5 내구성능평가

31.6 종합평가

31.7 유지관리전략 제안

31.8 종합결론

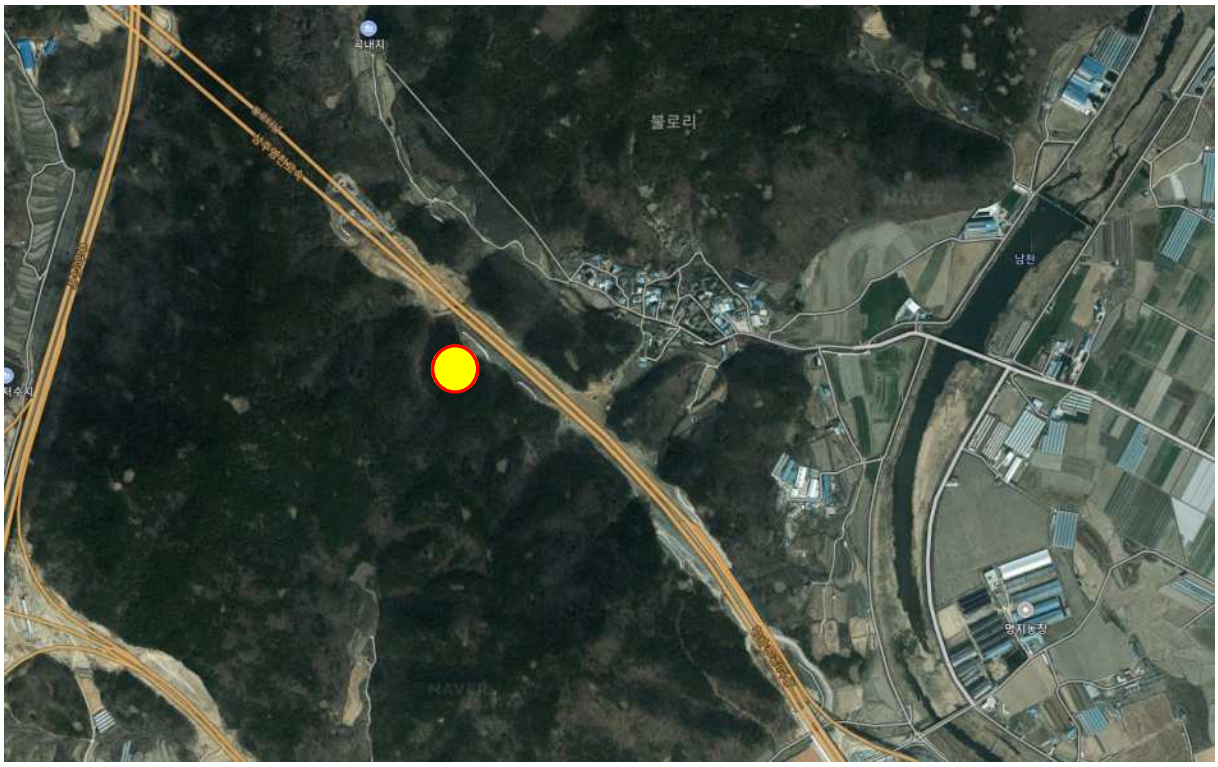
제31장 영천절토31

31.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 효령면 불로리(상주영천고속도로 40.025~40.175km)에 위치한 사면으로서 총 연장 150.0m, 높이 31.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 31-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000042		관리번호	SY SL31
시설물명	영천절토31		시설물구분	절토사면
위 치	행정구역	경상북도 군위군 효령면 불로리		
	위치좌표	시점 : 36° 16′57.9″ 128° 56′08.6″		
		종점 : 36° 16′78.9″ 128° 55′76.7″		
	관리이정	40.025~40.175km		
	공구이정	5공구 STA.3+790~3+940		
제 원	연 장	150m	높 이	31.0m
	경사/방향	55/054	노 선	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	산악지형	상부사면경사	10~20°
시공현황	준공년도	2017	시 공 자	대림산업(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 낙석방지망		
비 고				



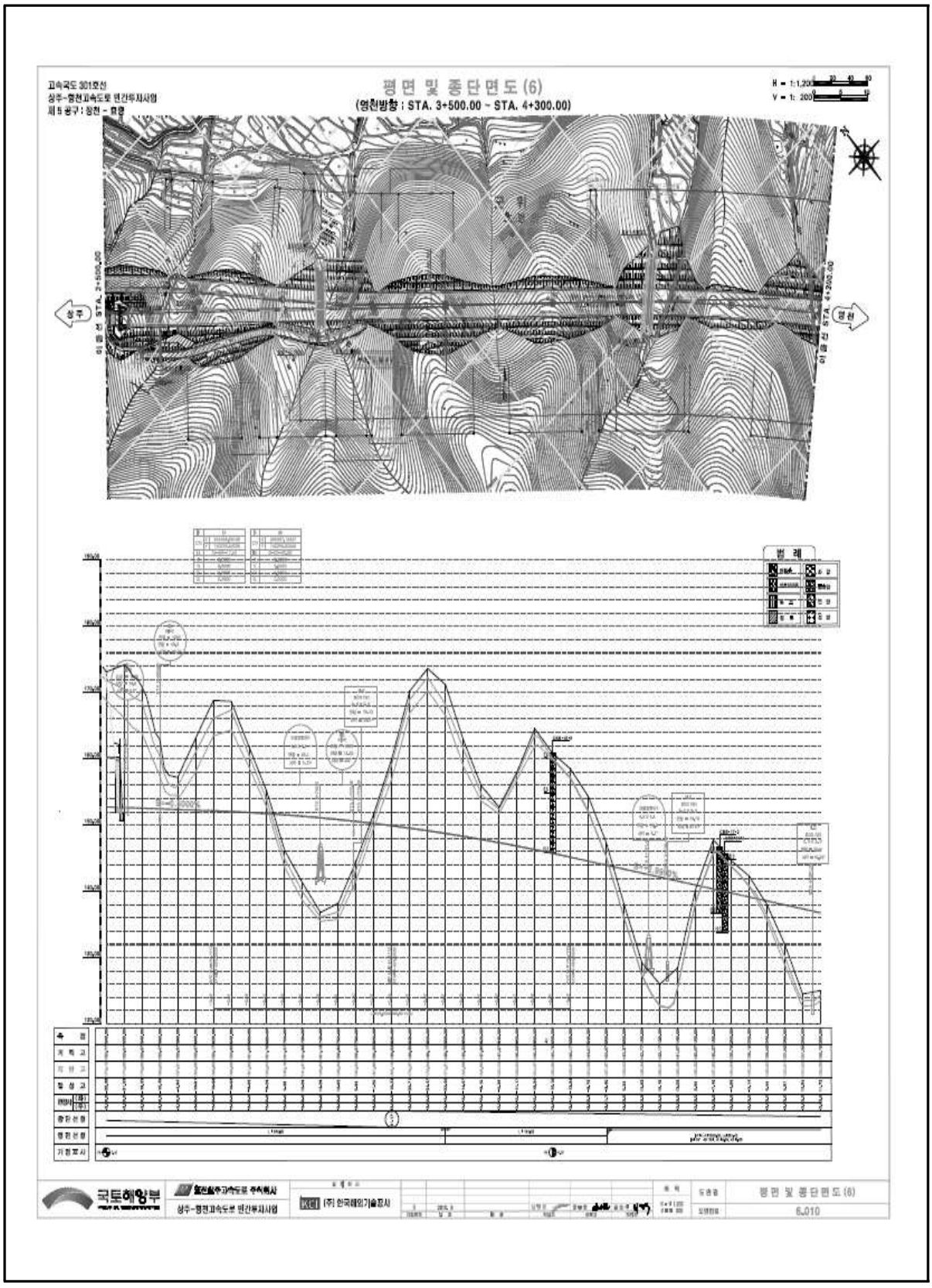
<그림 31-1>위치도



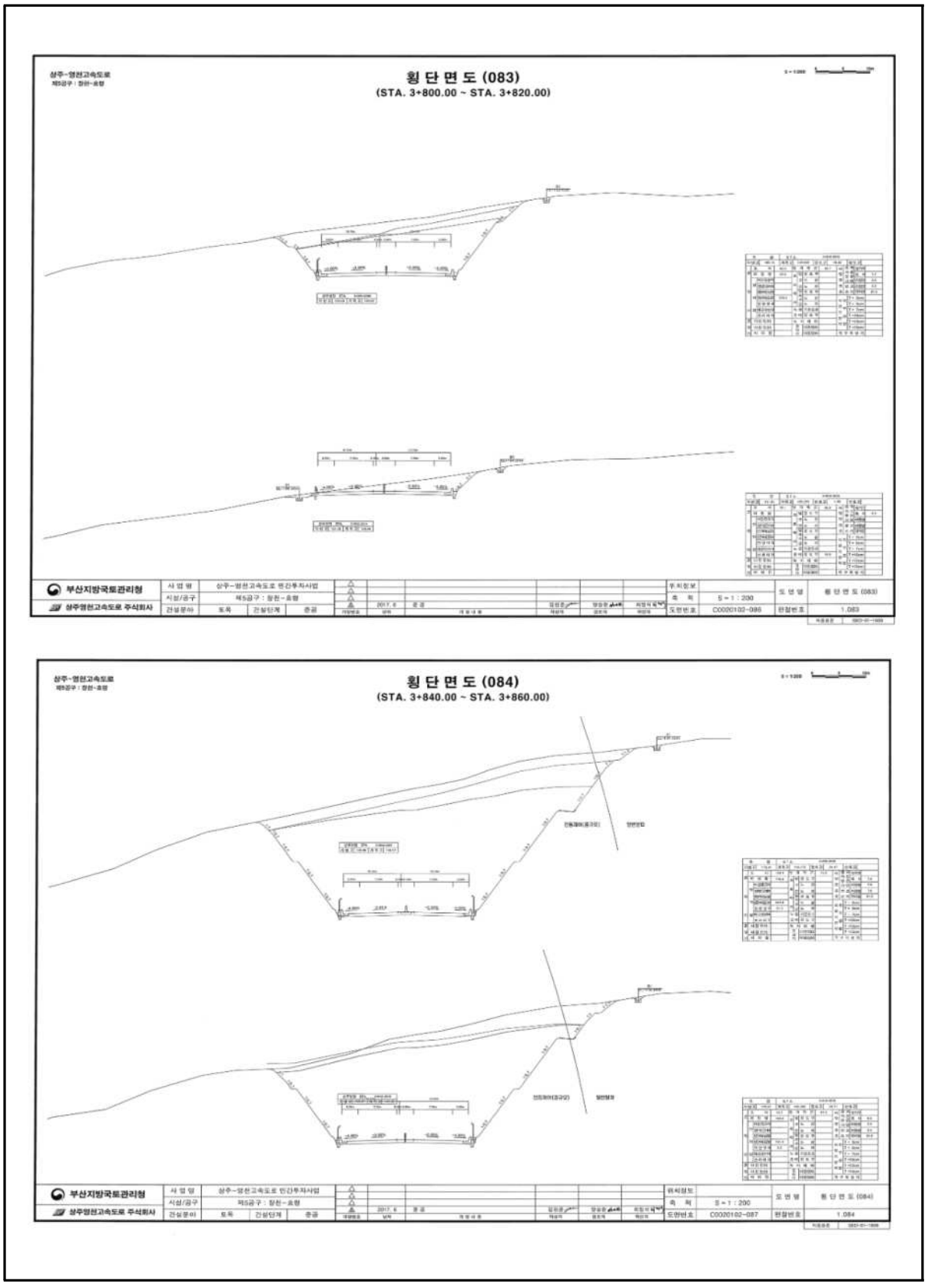
<그림 31-2> 전경사진

	
정면 전경	1소단배수로 전경
	
산마루측구 전경	산마루측구, 점검계단 전경
	
하부 전경	낙석방지 울타리 전경

<그림 31-2> 전경사진(계속)



<그림 31-3> 평면도



<그림 31-4>표준횡단면도

31.2 관련 자료의 분석

31.2.1 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 31-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

31.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

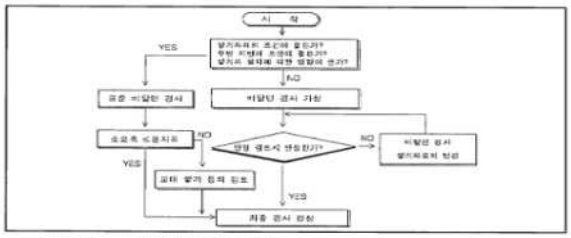
8.4 비탈면 설계기준

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

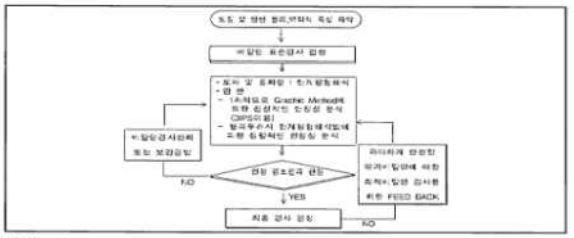
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 쌓기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 깎기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



282

8.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	- 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m - 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	- H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국도지공사	- H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	- H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	- 암석과 점차는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	- H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 기울기3%

8.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

287

다. 깎기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 융락이란, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 자사 불안정하게 된다.

따라서 깎기비탈면 안정을 위한 기울기기준은 경험은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 깎기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 슬리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과한 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 붕괴되지 않는 암

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

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

284

8.4.5 설계기준 선정

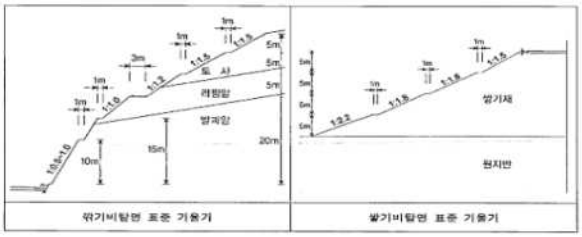
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 8.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

<비탈면 기울기 설계기준>

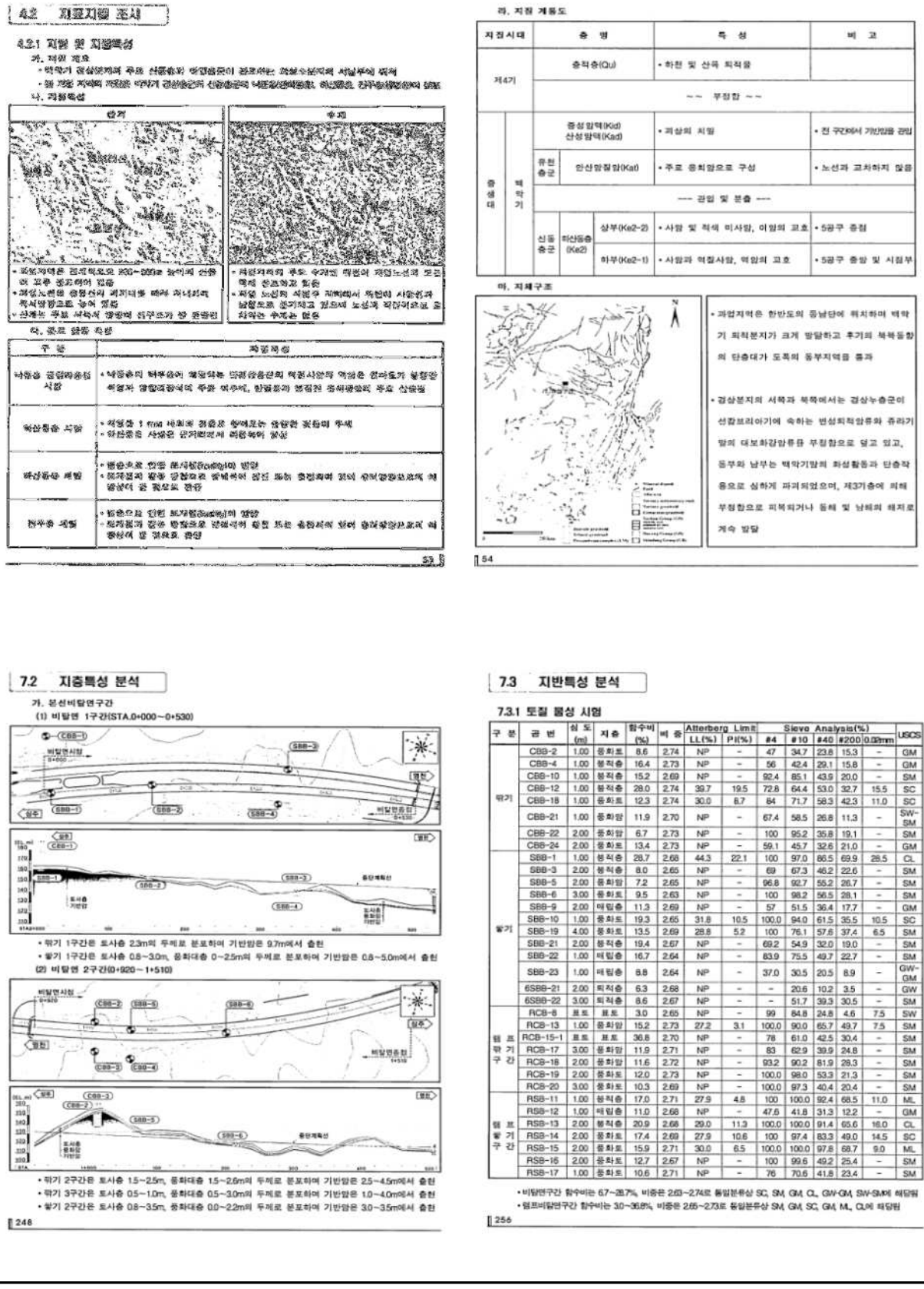
비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
암깎기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 암깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 • 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) • 암깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5~3.2	• 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치



깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

290

2) 지형 및 지질



4.2 지표지형 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지형 개요

• 백악기 경상분지의 주요 산물층의 퇴적환경이 분포하는 지질구조분지의 서남부에 위치

• 본 지역 지역의 지질은 백악기 경상분지의 신동층군의 하부층(Ke2-1)과 안산암질암(Kat)이 분포

나. 지형특성

• 지형지역은 전체적으로 300~500m 높이의 산릉이 고루 발달하여 있음

• 경상노층은 풍화산이 퇴적대를 따라 차별적 침식작용으로 높이 발달

• 산계는 주로 북북서 방향의 선구조가 잘 분포됨

• 계곡지역의 주로 수직적 퇴적에 의한 노년기 모습 형성 분포하고 있음

• 지질 노선의 서남부 지역에서 특히 사암층과 암질으로 분기되고 있으며 노년기 작용이므로 유지는 우려는 없음

다. 주요 암층 특성

구 분	특 성
낙동층 경질퇴적암질 사암	• 낙동층의 하부층에 해당하는 경질퇴적암질의 퇴적사암층 역암은 경사도가 불량암 퇴적과 경질퇴적암석의 주를 이루며, 한편층의 경질한 풍화생성의 주요 산출됨
역암층을 포함	• 직경을 1 mm 내외의 원층로 형성하는 암편의 포함의 주체 • 유산층을 사층은 분기퇴적에 퇴적하여 분포
퇴적층의 퇴적	• 퇴적으로 인한 분기퇴적(sedimentation)의 영향 • 퇴적물의 풍층 방향으로 경사하여 퇴적 또는 층리면이 보여 퇴적방향으로 퇴적분석 및 해석
퇴적층 퇴적	• 퇴적으로 인한 분기퇴적(sedimentation)의 영향 • 퇴적물의 풍층 방향으로 경사하여 퇴적 또는 층리면이 보여 퇴적방향으로 퇴적분석 및 해석

53

라. 지층 계통도

지질시대	층 명			특 성	비 고
제4기	충적층(Qa)			• 하천 및 산곡 퇴적물	
	~~ 부정합 ~~				
중생대	백악기	경상암역(Kid) 산성암역(Kad)		• 괴상의 지형	• 전 구간에서 기반암을 관입
		유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 응회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		~~ 관입 및 분출 ~~			
		신동층군	하산동층(Ke2) 상부(Ke2-2)	• 사암 및 적색 미사암, 이암의 교호	• 5공구 중점
			하부(Ke2-1)	• 사암과 역질사암, 역암의 교호	• 5공구 중앙 및 시점부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 중남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과

• 경상분지의 서북과 북북에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달

54

7.2 지층특성 분석

가. 본선비탈면구간

(1) 비탈면 1구간(STA.0+000~0+530)

• 뭐기 1구간은 토사층 2.3m의 두께로 분포하며 기반암은 9.7m에서 출현

• 할기 1구간은 토사층 0.8~3.0m, 풍화대층 0~2.5m의 두께로 분포하며 기반암은 0.8~5.0m에서 출현

(2) 비탈면 2구간(0+920~1+510)

• 뭐기 2구간은 토사층 1.5~2.5m, 풍화대층 1.5~2.6m의 두께로 분포하며 기반암은 2.5~4.5m에서 출현

• 뭐기 3구간은 토사층 0.5~1.0m, 풍화대층 0.5~3.0m의 두께로 분포하며 기반암은 1.0~4.0m에서 출현

• 할기 2구간은 토사층 0.8~3.5m, 풍화대층 0.0~2.2m의 두께로 분포하며 기반암은 3.0~3.5m에서 출현

248

7.3 지반특성 분석

7.3.1 토질 물성 시험

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit LL(%)	Atterberg Limit PI(%)	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.03mm	USCS
뭐기	CBB-2	1.00	풍화토	8.6	2.74	NP	-	47	34.7	23.8	15.3	-	GM
	CBB-4	1.00	붕적층	16.4	2.73	NP	-	56	42.4	29.1	15.8	-	GM
	CBB-10	1.00	붕적층	15.2	2.69	NP	-	92.4	85.1	43.9	20.0	-	SM
	CBB-12	1.00	붕적층	28.0	2.74	39.7	19.5	72.8	64.4	53.0	32.7	15.5	SC
	CBB-18	1.00	풍화토	12.3	2.74	30.0	8.7	84	71.7	58.3	42.3	11.0	SC
	CBB-21	1.00	풍화암	11.9	2.70	NP	-	67.4	58.5	26.8	11.3	-	SW-SM
	CBB-22	2.00	풍화암	6.7	2.73	NP	-	100	95.2	35.8	19.1	-	SM
	CBB-24	2.00	풍화토	13.4	2.73	NP	-	59.1	45.7	32.6	21.0	-	GM
할기	SBB-1	1.00	붕적층	28.7	2.68	44.3	22.1	100	97.0	86.5	69.9	28.5	CL
	SBB-3	2.00	붕적층	8.0	2.65	NP	-	69	67.3	46.2	22.6	-	SM
	SBB-5	2.00	풍화암	7.2	2.65	NP	-	96.8	92.7	55.2	26.7	-	SM
	SBB-6	3.00	풍화토	9.5	2.63	NP	-	100	98.2	56.5	28.1	-	SM
	SBB-9	2.00	매립층	11.3	2.69	NP	-	57	51.5	36.4	17.7	-	GM
	SBB-10	1.00	풍화토	19.3	2.65	31.8	10.5	100.0	94.0	61.5	35.5	10.5	SC
	SBB-19	4.00	풍화토	13.5	2.69	28.8	5.2	100	76.1	57.6	37.4	6.5	SM
	SBB-21	2.00	붕적층	19.4	2.67	NP	-	69.2	54.9	32.0	19.0	-	SM
	SBB-22	1.00	매립층	16.7	2.64	NP	-	83.9	75.5	49.7	22.7	-	SM
	SBB-23	1.00	매립층	8.8	2.64	NP	-	37.0	30.5	20.5	8.9	-	GW-GM
	6SBB-21	2.00	퇴적층	6.3	2.68	NP	-	-	20.6	10.2	3.5	-	GW
	6SBB-22	3.00	퇴적층	8.6	2.67	NP	-	-	51.7	39.3	30.5	-	SM
램프 뭐기 구간	RCB-6	표토	표토	3.0	2.65	NP	-	99	84.8	24.8	4.6	7.5	SW
	RCB-13	1.00	풍화암	15.2	2.73	27.2	3.1	100.0	90.0	65.7	49.7	7.5	SM
	RCB-15-1	표토	표토	36.8	2.70	NP	-	78	61.0	42.5	30.4	-	SM
	RCB-17	3.00	풍화암	11.9	2.71	NP	-	83	62.9	39.9	24.8	-	SM
	RCB-18	2.00	풍화암	11.6	2.72	NP	-	93.2	90.2	81.9	28.3	-	SM
	RCB-19	2.00	풍화토	12.0	2.73	NP	-	100.0	98.0	53.3	21.3	-	SM
	RCB-20	3.00	풍화토	10.3	2.69	NP	-	100.0	97.3	40.4	20.4	-	SM
램프 할기 구간	RSB-11	1.00	붕적층	17.0	2.71	27.9	4.8	100	100.0	92.4	68.5	11.0	ML
	RSB-12	1.00	매립층	11.0	2.68	NP	-	47.6	41.8	31.3	12.2	-	GM
	RSB-13	2.00	붕적층	20.9	2.68	29.0	11.3	100.0	100.0	91.4	65.6	16.0	CL
	RSB-14	2.00	풍화토	17.4	2.69	27.9	10.6	100	97.4	83.3	49.0	14.5	SC
	RSB-15	2.00	풍화토	15.9	2.71	30.0	6.5	100.0	100.0	97.8	68.7	9.0	ML
	RSB-16	2.00	풍화토	12.7	2.67	NP	-	100	99.6	49.2	25.4	-	SM
	RSB-17	1.00	풍화토	10.6	2.71	NP	-	76	70.6	41.8	23.4	-	SM

• 비탈면구간 함수비는 6.7~28.7%, 비중은 2.63~2.74로 통일분류상 SC, SM, GM, CL, GW-GM, SW-SM에 해당됨

• 램프비탈면구간 함수비는 3.0~36.8%, 비중은 2.65~2.73로 통일분류상 SM, GM, SC, GM, ML, CL에 해당됨

256

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

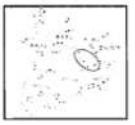
- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 5공구 지반조사

1.2 조사목적

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 5공구를 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조사범위

위 치	• 시점 : (STA. 0+000) (X=299283.5334, Y=157920.5497) • 종점 : (STA. 7+978) (X=293576.3489, Y=163273.3739) • 연장 : 7.98km
특 성	• 국도 중남부 5개 고속도로를 연결하는 제2경부축(상주~영천) 고속도로 건설 • 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 간선로 연계 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모



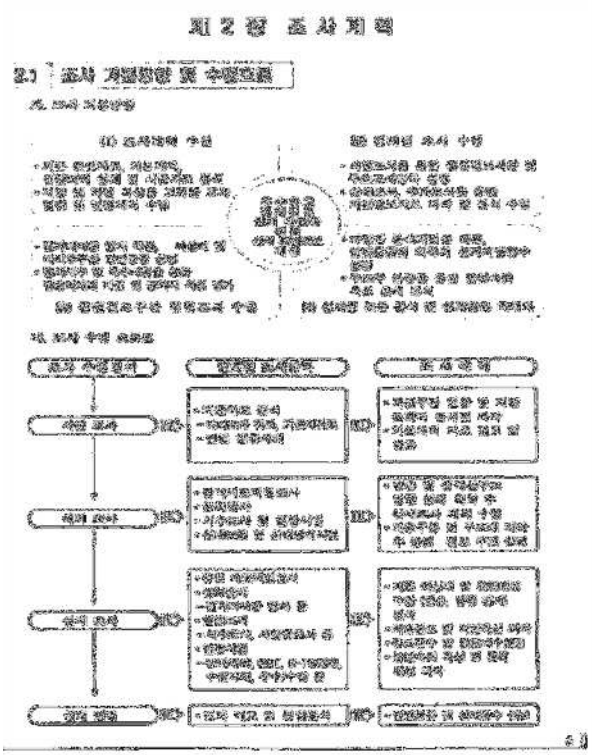
1.4 위치도

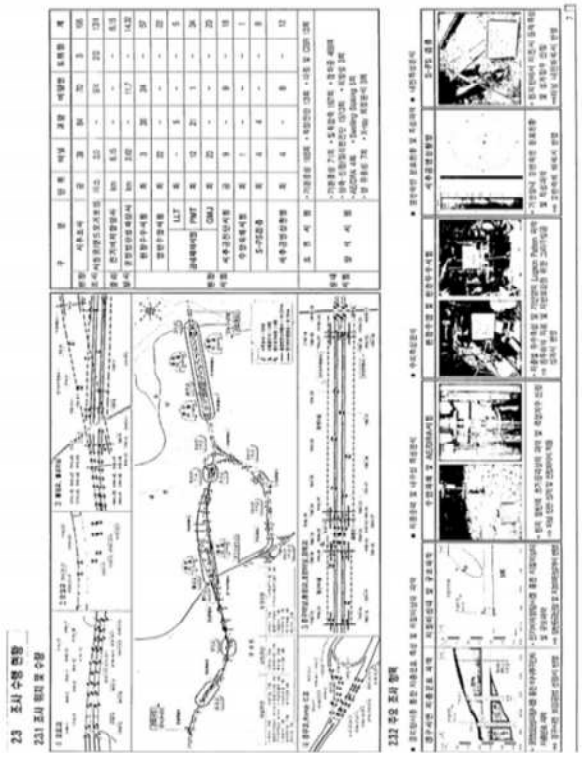


• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간			토공구간
• 봉로터널(490m)	• 오로교(385m)	• 중구교(230m)	• 램프A-1교(35m)	• 깎기구간(16개소)
• 중구터널(385m)	• 오심교(260m)	• 효암교(80m)	• 램프A-2교(17m)	• 쌓기구간(16개소)
• 효암터널(980m)	• 봉당교(240m)	• 강외교(90m)	• 램프A-3교(30m)	• 램프깎기구간(7개소)
	• 봉로교(45m)		• 램프A-4교(50m)	• 램프쌓기구간(11개소)
			• 램프C교(240m)	

제 2 장 조 사 계 획

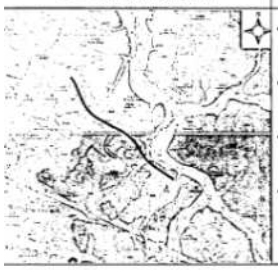




제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:250,000)	분 석 내 용
	• 과업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치 • 낙동층의 상부가 이 지역에 분포, 층후는 약 900m이며, 역질사암, 사암, 이사질 세암 및 역암으로 구성 • 하산동층은 두께 약 700m이며 사암, 세암, 자색세암 또는 이사암, 역질사암 및 역암으로 구성 • 진주층은 두께 약 900m이며 사암(일부 역질), 회색 내지 암회색 세암, 역암 및 석회암(흔히 니회암질)박층 등으로 구성

4.1.2 기본설계 자료 분석

구 분	분 석 내 용
터널구간	• 붕적층은 0.5~7.3m, 풍화토는 1.3~9.3m, 풍화암은 0.3~5.0m 두께로 분포 • 연암은 2.0~10.8m, 보통암은 27.5m, 경암은 3.0~31.5m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=42~100/0~55, 보통암 TCR/RQD(%) =93~100/40~50 경암 TCR/RQD(%)=10~100/0~100로 퇴적암으로 구성
교량구간	• 붕적층은 0.3~5.4m, 풍화토는 0.5~1.1m, 풍화암은 0.3~0.9m 두께로 분포 • 연암은 1.1~6.3m, 경암은 2.9~6.0m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD (%)=25~100/0~64, 경암 TCR/RQD(%)=82~100/45~67로 퇴적암으로 구성
비탈면구간	• 붕적층은 0.3m, 풍화토는 3.7m, 풍화암은 1.5~4.0m 두께로 분포 • 연암은 0.3~24.0m, 경암은 1.5~22.0m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD (%)=62~100/0~41, 경암 TCR/RQD(%)=90~100/62~100로 퇴적암으로 구성

4.3 지중분포 특성을 위한 조사

4.3.1 개 요

가. 기본 방향

- 터널 및 교량구간 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 14.32km, 전기비저항탐사 6.15km, 시추조사 196공, 시험굴조사 13개소, 표준관입시험 480회

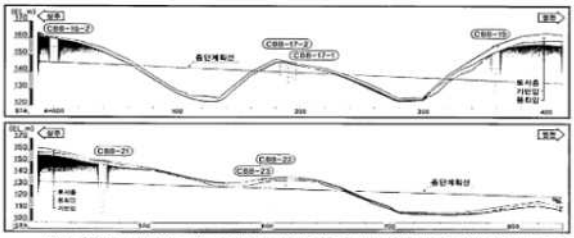


(1) 굴절법 탄성파 탐사

- 본선 구간

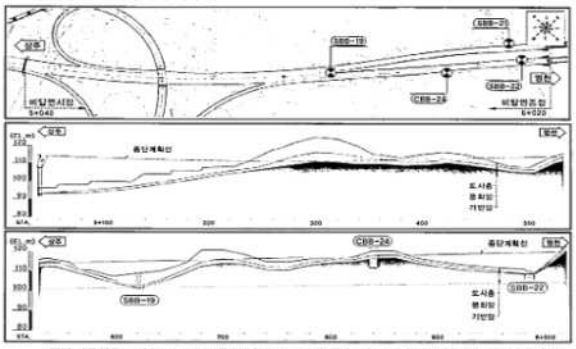
위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 구간	0+000	횡	115
	0+950~1+180	종	230
	1+000	횡	115
	1+080	횡	115
	1+190~1+605	종	415
	1+720~2+675	종	955
필로터널 시점	(영천)3+010~3+125	종	115
	(상주)2+970~3+085	종	115
	3+020	횡	55
	3+100	횡	55
필로터널 종점	(영천)3+410~3+600	종	115
	(상주)3+410~3+525	종	115
	3+540	횡	55
	3+460	횡	55
비탈면 구간	3+600~4+000	종	1,245
	4+360	횡	115
	4+470	횡	115
	4+600	횡	115

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
중구터널 시점	(영천)6+000~6+080	종	80
	(상주)6+600~6+680	종	80
	6+030	횡	100
중구터널 종점	(영천)6+370~6+470	종	100
	(상주)6+370~6+470	종	100
	6+430	횡	100
효령터널 시점	(영천)6+545~6+660	종	115
	(상주)6+545~6+660	종	115
	6+590	횡	100
	6+635	횡	100
효령터널 종점	(영천)7+535~7+650	종	115
	(상주)7+535~7+650	종	115
	7+575	횡	100
	7+600	횡	100



- 위기 12구간은 토사층 0.5~5.7m, 풍화대층 1.8~2.8m의 두께로 분포하며 기반암은 2.7~7.5m에서 출현
- 알기 9, 10구간은 토사층 0.3m의 두께로 분포하며 기반암은 3.2m에서 출현
- 위기 9, 10구간과 알기 7구간은 토사층 0.5m, 풍화대층 1.0~3.0m의 두께로 분포
- 위기 11구간과 알기 8구간은 토사층 0.5m, 풍화대층 2.0~3.0m의 두께로 분포

(5) 비탈면 5구간(5+040~6+040)



- 위기 13구간은 토사층 1.5~4.9m, 풍화대층 0.5~1.9m의 두께로 분포하며 기반암은 2.0~3.7m에서 출현
- 알기 11, 12구간은 토사층 6.7m, 풍화대층 1.1m의 두께로 분포하며 기반암은 7.8m에서 출현
- 알기 13구간은 토사층 1.8~2.5m, 풍화대층 1.1m의 두께로 분포하며 기반암은 1.8~2.5m에서 출현

7.6 설계 지반정수 산정

7.6.1 개 요

가. 기본 방향

- 기존 설계정수 산정의 문제점을 분석하고 대표값 산정시 신뢰도 향상을 위해 통계처리기법(Monte Carlo Simulation)을 적용하여 설계지반정수 산정
- 인근 유사현장의 설계·시공자료와 기존문헌자료를 분석하여 합리적인 설계 정수 산정

7.6.2 산정결과 요약

가. 연속체 해석을 위한 설계 지반정수 산정 결과

구 분	변형계수, E_m(MPa)	단위중량 γ_t(kN/㎥)	점착력, c(kPa)	내부마찰각, ϕ(°)	포아송비, ν
붕 적 층	10.0	18.0	10.0	30.0	0.350
풍 화 토	20.0	19.0	24.0	26.0	0.350
풍 화 암	100.0	20.0	29.0	32.0	0.320
기반암	-	25.0	240.0	36.0	-
파쇄암반(파쇄대)	-	23.0	37.0	28.0	-

나. 수리해석을 위한 설계지반 정수 산정 결과

구 분	붕적층	풍화토	풍화암	기반암	파쇄암반(파쇄대)
투수계수, k(cm/sec)	1.70×10^{-3}	6.00×10^{-4}	5.20×10^{-4}	8.70×10^{-5}	3.00×10^{-3}

다. 불연속체 해석을 위한 설계지반 정수 산정결과

(1) UDEC 및 3-DEC 해석을 위한 절리면 강도정수 산정결과

구조구	심도(m)	절리군	방향(Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_n (MPa)	JRC	JCS (MPa)	ϕ_r (°)	a_i (mm)	V_m (mm)	K_{ni} (MPa/mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)
1	22.3	1	9/134	90.3	0.59	5.0	36.4	29.0	0.40	0.42	3.42	6.81	0.46
		2	81/263		3.71								
		3	90/155		33.22								
		4	75/218		2.24								
2	2-1 42.2	1	09/106	55.2	1.10	11.0	36.2	30.0	0.49	0.42	13.58	19.32	1.17
		2	86/221		15.73								
		3	79/337		5.75								
		4	85/297		12.59								
	2-2 26.0	1	04/088	85.2	0.68	5.0	32.5	27.0	0.42	0.45	3.15	19.32	1.17
		2	83/356		5.55								
		3	73/063		2.31								
3	23.0	1	07/102	88.8	0.60	6.0	27.9	29.0	0.64	0.56	4.22	6.90	0.48
		2	81/358		3.82								
		3	89/295		34.26								
		4	82/036		4.30								
4	29.0	1	15/137	81.2	0.78	8.0	33.9	29.0	0.61	0.50	7.96	14.03	1.13
		2	82/009		5.42								
		3	65/071		1.78								
5	30.5	1	11/121	83.7	0.81	10.0	36.3	32.0	0.72	0.51	11.36	14.76	0.92
		2	84/052		7.59								
		3	85/330		9.10								
		4	82/291		5.70								

7.6.6 불연속체 해석을 위한 설계 지반정수 산정

가. 개 요

- 방향성 및 역학적 특성을 고려하여 구조구별 물성치 산정
- 해석에 사용된 불연속면 자료는 지표지질조사, 시추공영상촬영의 조사성과를 종합분석하여 절리빈도가 높고 연장성이 좋은 절리군을 주 불연속면으로 구분하여 해석에 반영
- 해석에 이용된 입력정수는 현지암반 불연속면 조사결과와 절리면 전단시험 결과로부터 산정
- 지반모사해석시 실제 절리거동 표현 및 입력자료의 취득이 용이하고 각관성 측면에서 Mohr-Coulomb 모델보다 우수한 Barton-Bandis 모델을 적용하고 이에 따른 설계정수 산정

나. Barton-Bandis에 의한 절리면 수치강성 및 전단강성

- 수직강성 $K_n = K_m\left[1-\frac{\sigma_n}{V_m K_{ni}+\sigma_n}\right]^{-2}$
- 전단강성 $K_s = \frac{100}{L}\sigma_n \tan\left[JRC\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+\phi_r\right]$

여기서, $K_m = -7.15 + 1.75\,JRC + 0.02\left(\frac{JCS}{a_i}\right)$ $a_i = \frac{JRC}{5}(0.2\frac{\sigma_c}{JCS} - 0.1)$

$V_m = -0.296 - 0.0056\,JRC + 2.241\left(\frac{JCS}{a_i}\right)^{-1.308}$

구조구	심도(m)	절리군	방향(Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_n (MPa)	JRC	JCS (MPa)	ϕ_r (°)	a_i (mm)	V_m (mm)	K_{ni} (MPa/mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)
1	22.3	1	9/134	90.3	0.59	5.0	36.4	29.0	0.40	0.42	3.42	6.81	0.46
		2	81/263		3.71							43.90	2.50
		3	90/155		33.22							1990.87	18.56
		4	75/218		2.24							22.40	1.57
2	2-1 42.2	1	09/106	55.2	1.10	11.0	36.2	30.0	0.49	0.42	13.58	19.32	1.17
		2	86/221		15.73							191.77	10.60
		3	79/337		5.75							54.76	4.62
		4	85/297		12.59							139.70	8.83
	2-2 26.0	1	04/088	85.2	0.68	5.0	32.5	27.0	0.42	0.45	3.15	6.90	0.48
		2	83/356		5.55							76.11	3.31
		3	73/063		2.31							21.76	1.49
3	23.0	1	07/102	88.8	0.60	6.0	27.9	29.0	0.64	0.56	4.22	6.63	0.49
		2	81/358		3.82							28.89	2.59
		3	89/295		34.26							1013.50	18.57
		4	82/036		4.30							33.55	2.89
4	29.0	1	15/137	81.2	0.78	8.0	33.9	29.0	0.61	0.50	7.96	11.39	0.70
		2	82/009		5.42							44.40	3.85
		3	65/071		1.78							16.67	1.45
5	30.5	1	11/121	83.7	0.81	10.0	36.3	32.0	0.72	0.51	11.36	14.76	0.92
		2	84/052		7.59							60.62	6.10
		3	85/330		9.10							75.07	7.11
		4	82/291		5.70							44.71	4.79

31.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 31-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토31 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 산마루측구 일부구간에서 부분적인 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	영천절토31 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 이완암 및 산마루측구, 소단배수로 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	영천절토31 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 이완암 및 심한풍화, 산마루측구, 소단배수로 균열 및 재균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2031. 03. 18 ~ 2031. 05. 28	정기안전점검	영천절토31 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 이완암 및 심한풍화, 산마루측구, 소단배수로 균열 및 재균열, 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2031. 09. 16 ~ 2031. 12. 27	정밀안전점검	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)~심한풍화(HW) 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 및 산마루측구에 균열이 일부 발생하였으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토31 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 재균열, 토사퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다.	양호

31.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 31-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

31.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 31-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

31.2.6 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 31-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

31.3 현장조사

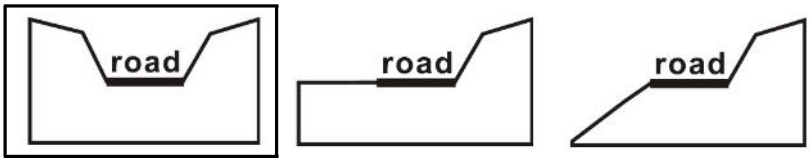
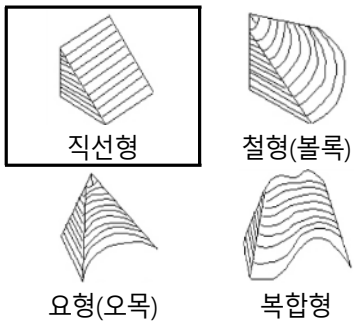
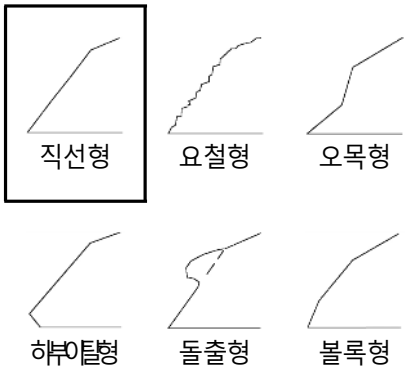
31.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 31-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 효령명 불로리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 16′57.9″ 128° 56′08.6″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 16′78.9″ 128° 55′76.7″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 150m</td><td colspan="2">높 이 : 31.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/054</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~6.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="7">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">40.025~40.175k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">40.065~40.165k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="2">40.175k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">40.065~40.165k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지망</td><td colspan="2">40.025~40.175k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">40.025~40.105k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 31-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 31-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토31		
	위경도	시점 : 36° 16′57.9″ 128° 56′08.6″ 종점 : 36° 16′78.9″ 128° 55′76.7″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 20일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	150.0m	최대높이	31.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	3개소
	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~5.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) □옹벽 □격자블럭 ■점검로(양호)		■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	□A ■B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	-	조치	□응급 ■미응급
	기타			

31.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 효령면 불로리(상주영천고속도로 40.025~40.175km)에 위치한 사면으로서 총 연장 150.0m, 높이 31.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 31-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{31.0}=0.19$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 100.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{31.0}=0.016$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 150m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 1개구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 31-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	40.025~40.175km	150m

31.3.3 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 10~20°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이며, 사면내 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 31-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1 / 1.0	-	
	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, 낙석방지공으로는 낙석방지망과 낙석방지 울타리가 시공되어있다. 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화상태는 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도인 것으로 분석되었으며, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 인한 풍화가 진행될 우려가 있으므로 주기적인 주의관찰이 필요하다.

<표 31-13> 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 31-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	78/320	75/030	82/220
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	HW	HW	HW

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 31-15> 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 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있으며, 조사결과 산마루측구 및 소단배수로 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 31-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	2EA / 22.0	건조수축	
	산마루측구	균열	m	1EA / 0.5	건조수축	

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 31-17> 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 31-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 31-19> 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 31-20> 인장균열 조사 결과

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

31.3.4 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 총 3개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 31-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
40.100km	52.1	102.3	경암	1단
40.125km	51.8	100.9	경암	1단
40.140km	54.3	112.9	경암	1단
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 51.8~54.3로 측정되었으며, 추정강도 100.9~112.9MPa로 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 31-22> 표면보호공 조사 결과

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



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 31-23> 사면보강공 조사 결과

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

31.4 안전성능평가

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

31.4.1 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 0.19로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 파쇄암반, 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 31-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{31.0}=0.19$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 100.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{31.0}=0.016$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 150m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 31-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	40.025~40.175km	150m	암반사면	Set1, Set2, Set3

<표 31-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 31-27> 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	계곡부 1개소	b
	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 31-28> 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 31-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 31-30> 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 31.0m미만	31.0m이상	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 31-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 31-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 31-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 31-34> 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 31-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 31-36> 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/sec^2) (u, β는 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 31-37> 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 10~20°	c
	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 31-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 31-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 31-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 31-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토31		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		8.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			12	
결함지수		0.12		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 31-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
150.0m	1구간	40.025~10.175km	a(0.12)	A	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

31.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

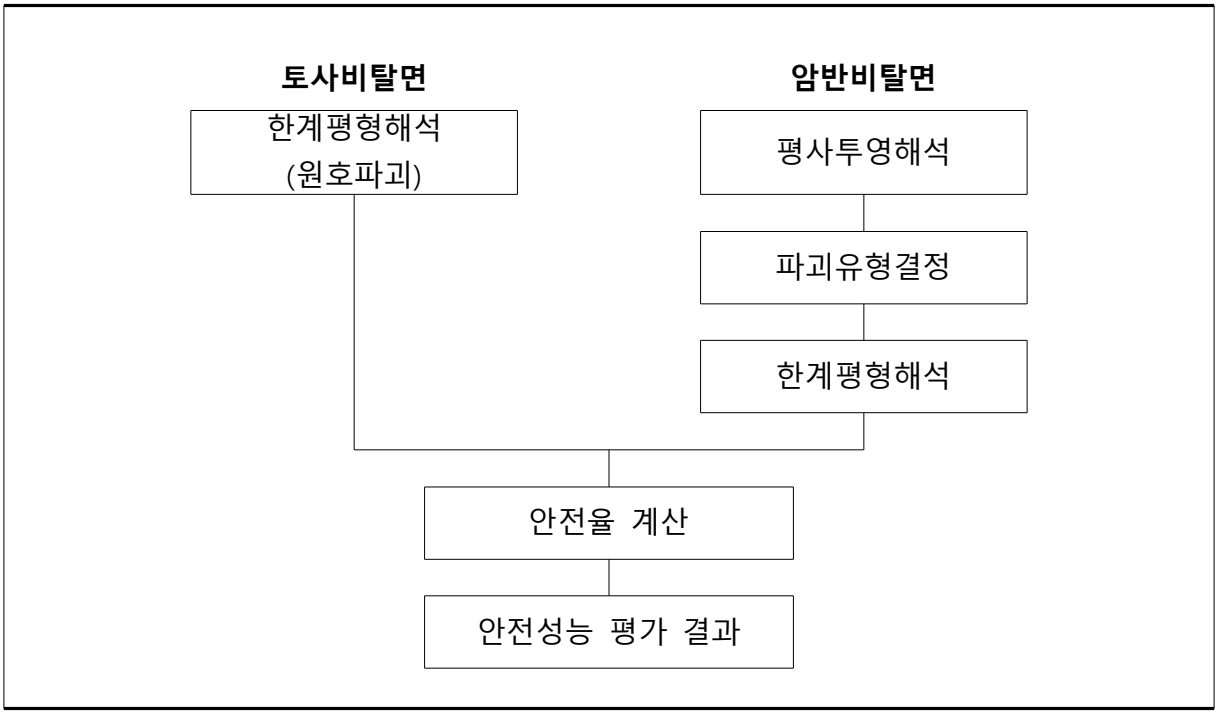
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 31-5> 구조안전성능 평가과정

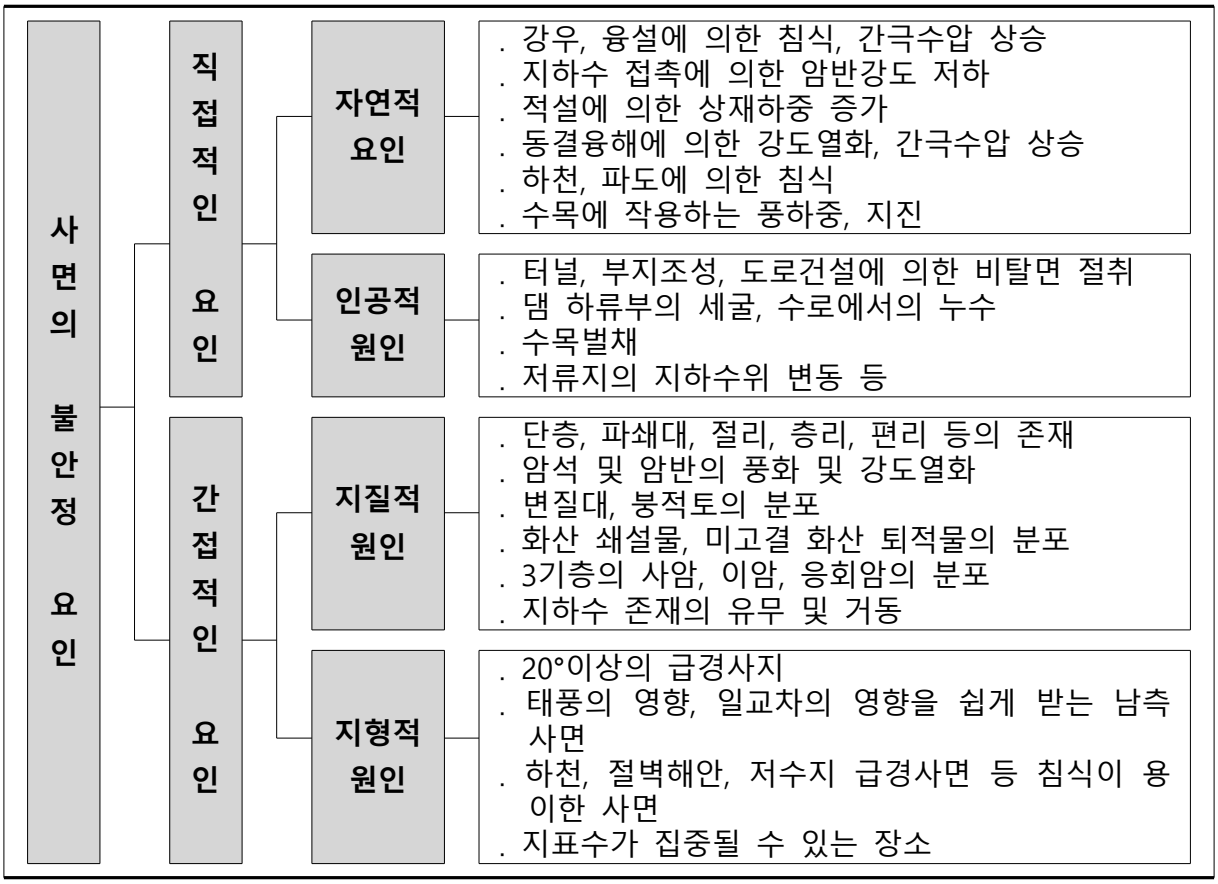
<표 31-43> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

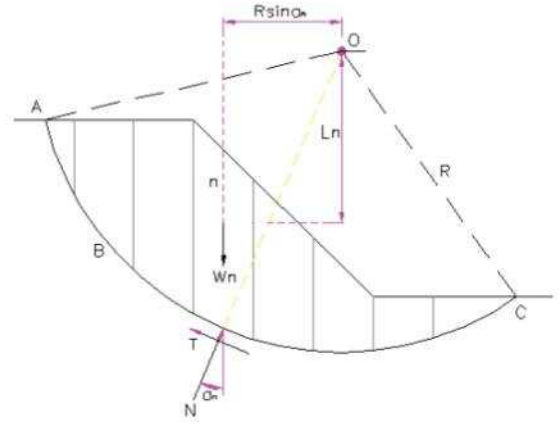


<그림 31-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha\ n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

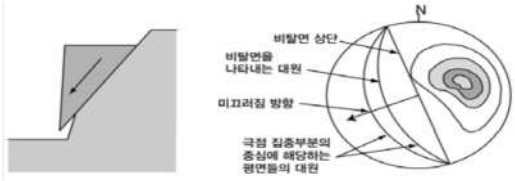
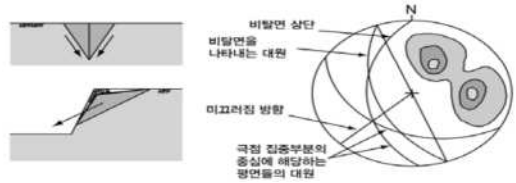
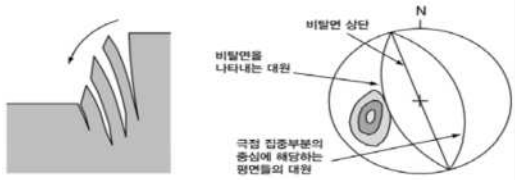
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 31-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 31-44> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 31-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

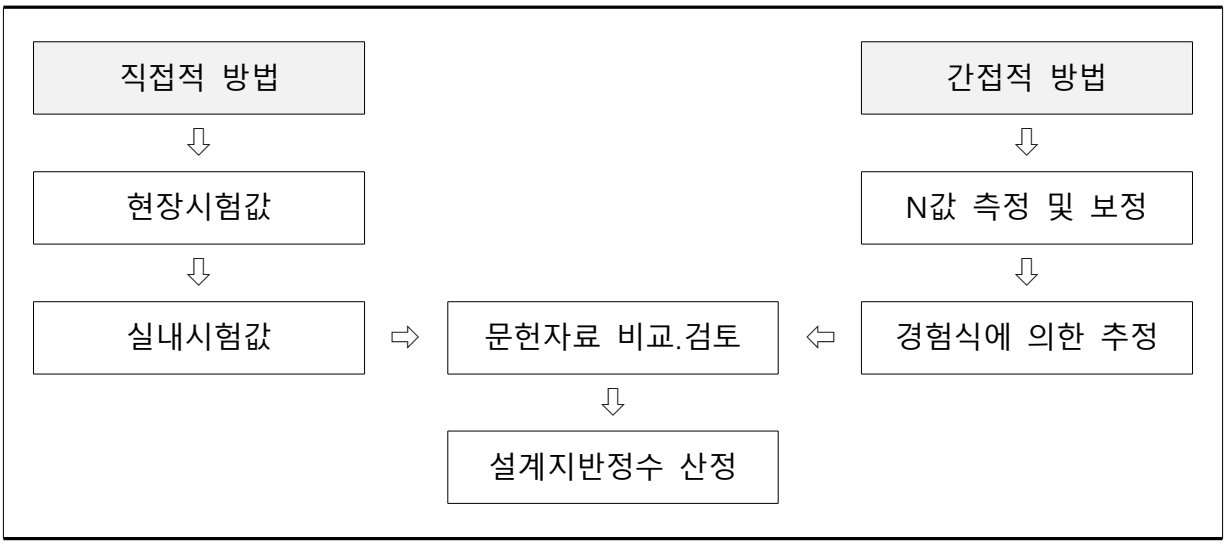
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 31-46> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 31-47> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 31-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 31-49> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 31-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (5공구)	풍화(잔적)토	19.0	26	24	
	풍화암	20.0	32	29	
	기반암	25.0	36	240	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 31-51> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 31-52> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	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/㎡)	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 31-53> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 31-54> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 31-55> Trueman (1988)

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

<표 31-56> 김교원 (1993)

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

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19.0	26	24	0.3	
풍화암	20.0	32	29	0.3	
연 암	25.0	36	240	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 31-57> 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

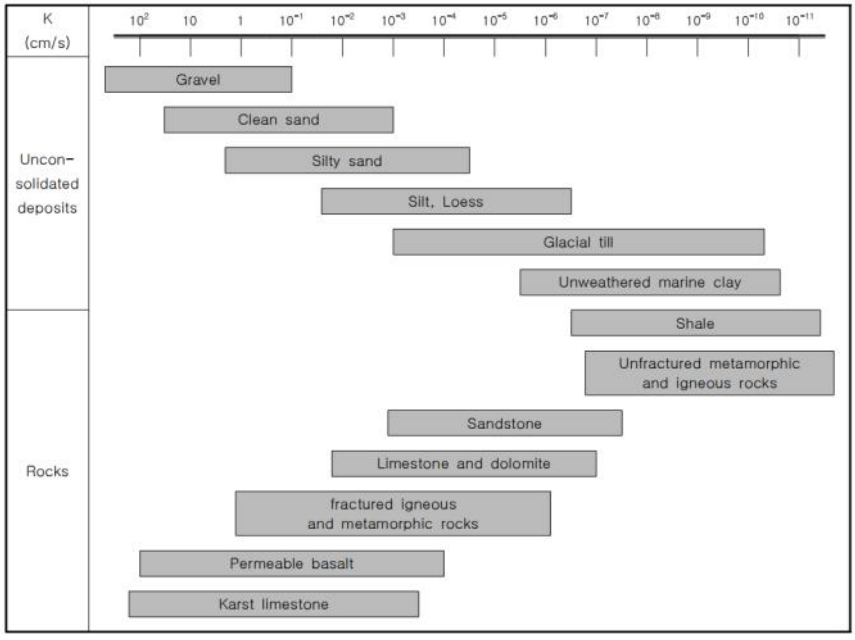
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 31-58> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 31-59> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 31-8> 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 31-60> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

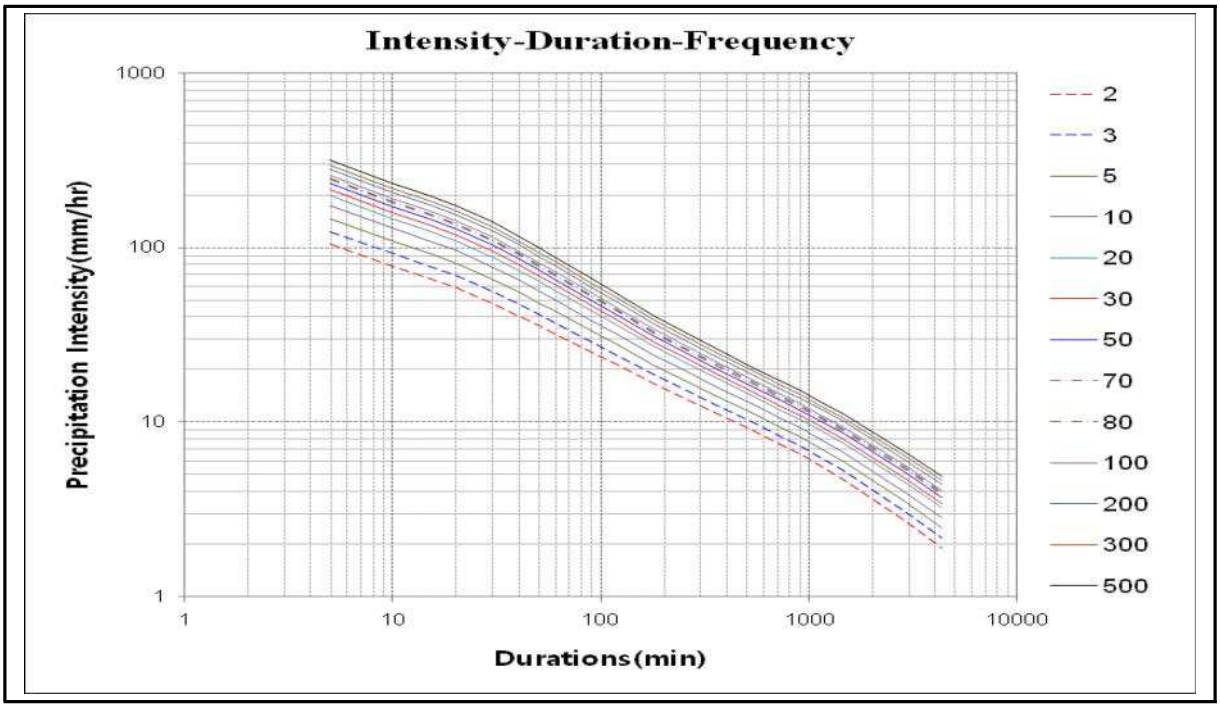
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 31-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 31-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 31-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 31-61> 설계지반운동 수준

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

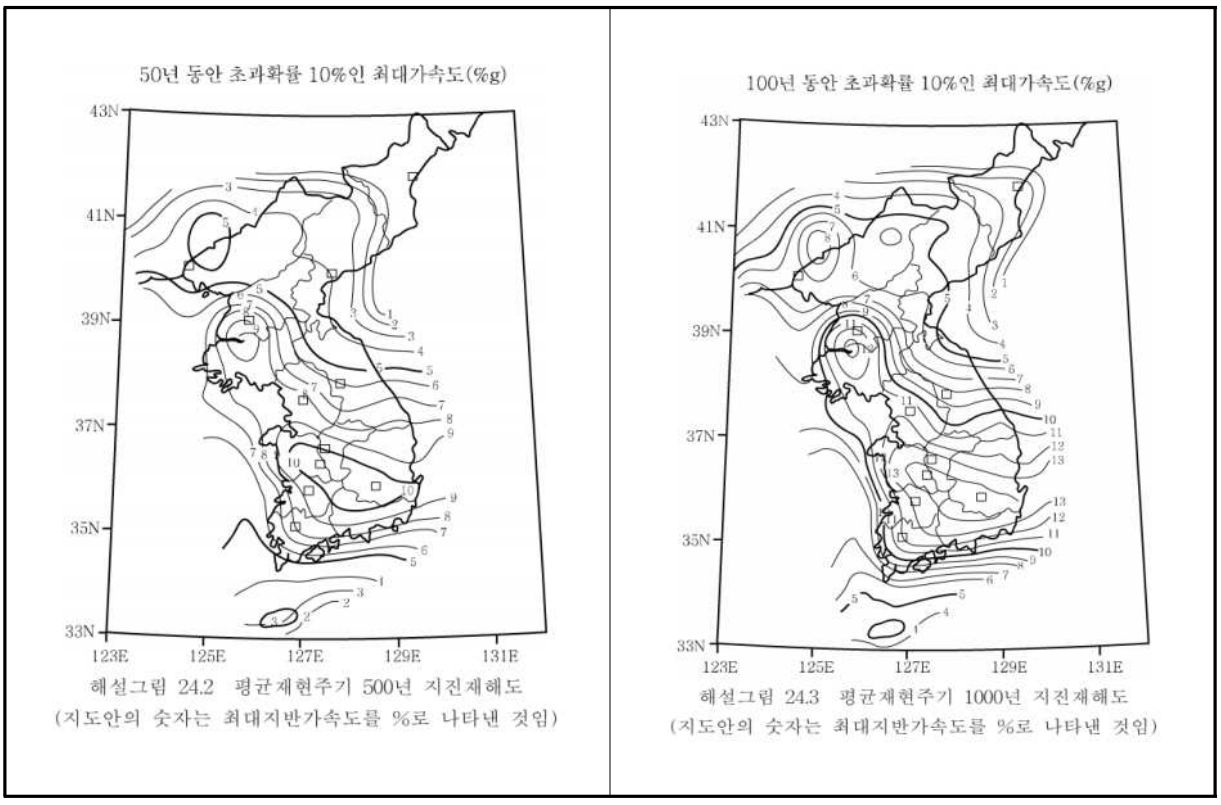
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 31-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 31-62> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 31-63> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

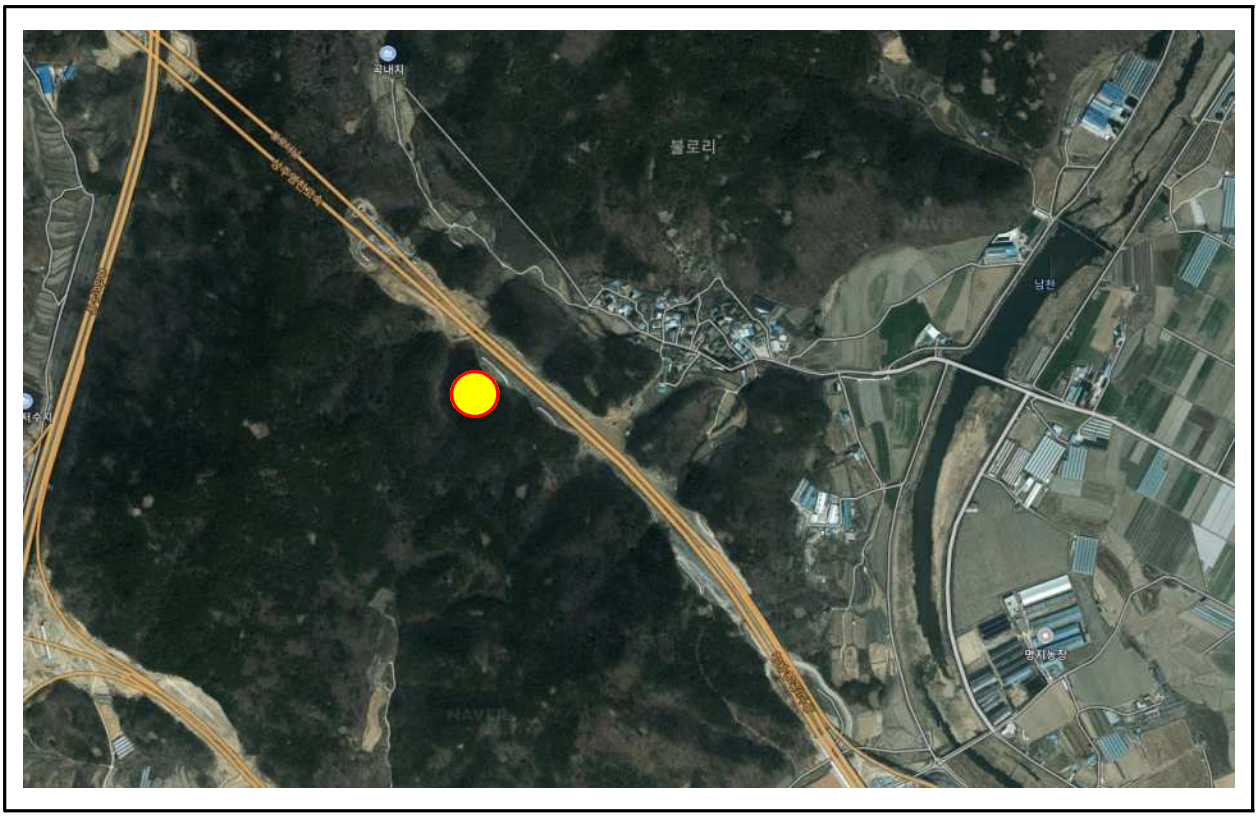
3) 지진가속도계수 선정

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 31-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

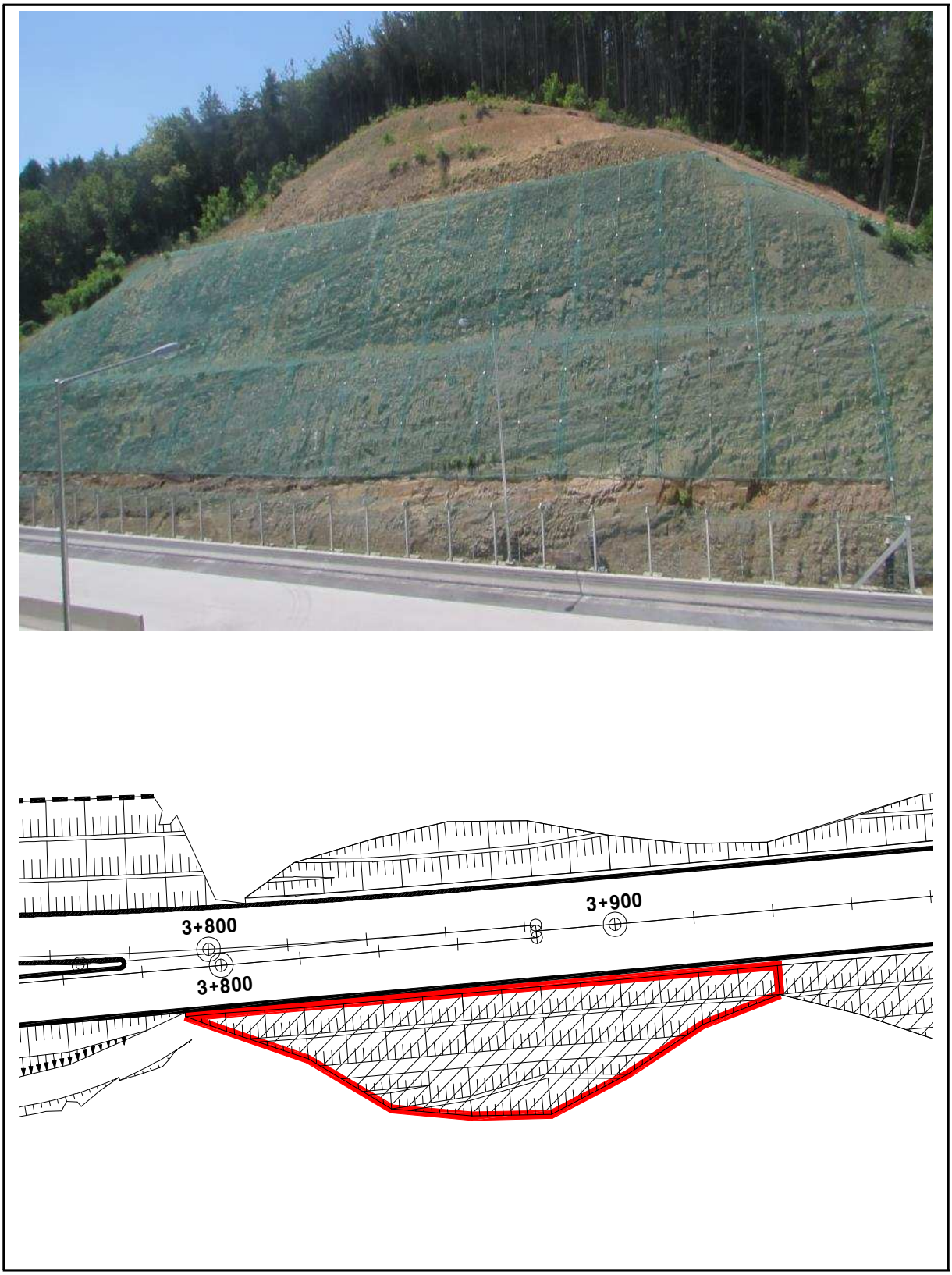
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토31	경상북도 군위군 효령면 불로리	40.025 ~ 40.175	STA.40+140	31.0	6.0	25.0	-	2017	55/054



<그림 31-13> 영천절토31 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토31 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



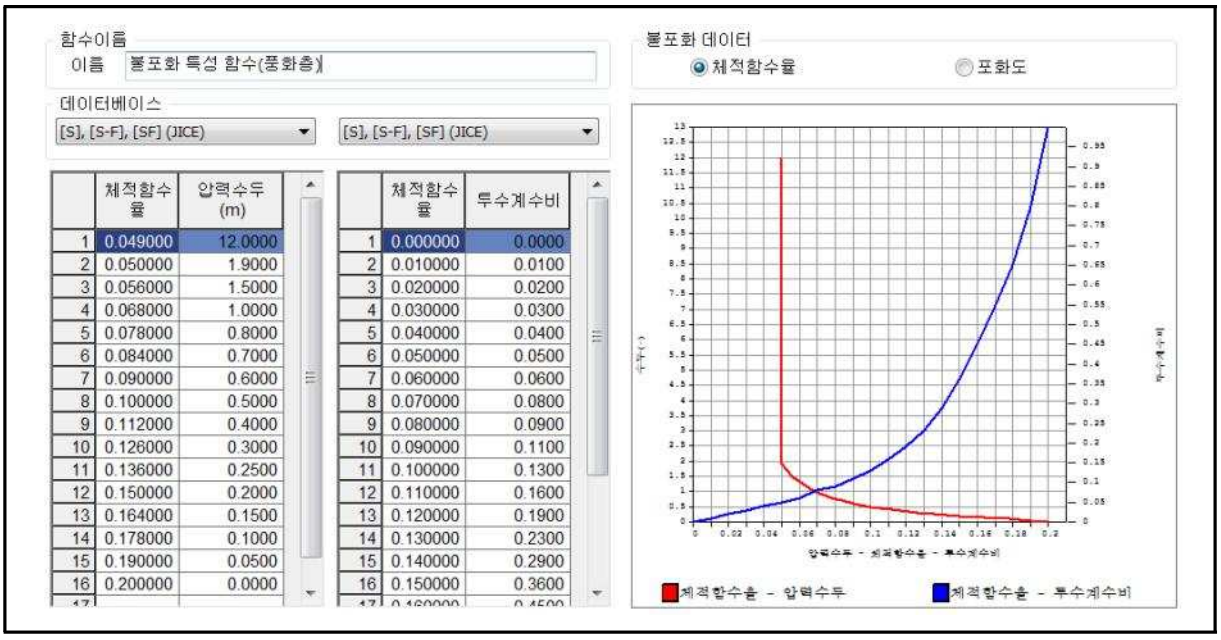
<그림 31-14> 영천절토31 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	19.0	26	24	3.0E-04	
풍화암	20.0	32	29	3.7E-04	
기반암	25.0	36	240	8.7E-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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

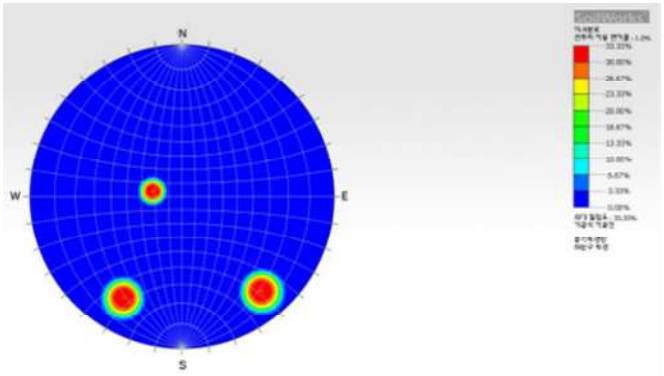
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 31-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

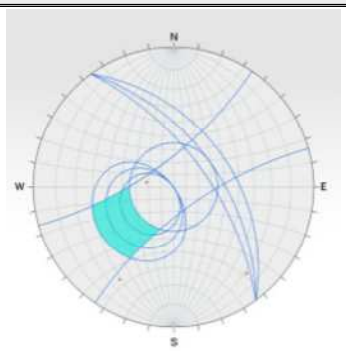
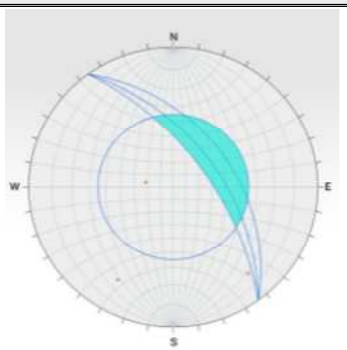
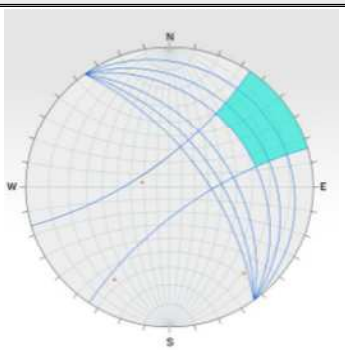
3) 1구간 (STA.40+025 ~ 40+175)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		78	320
		75	30
		82	220

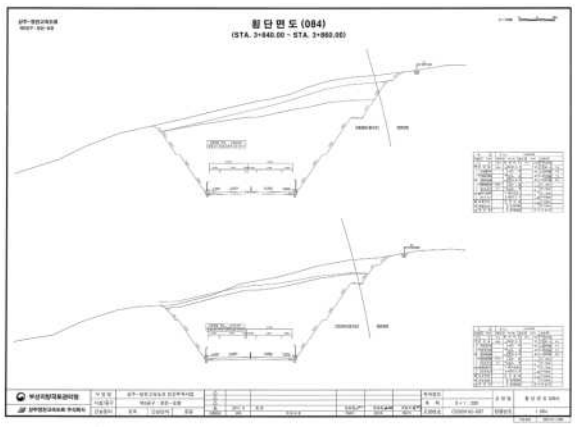
◦ 해석결과

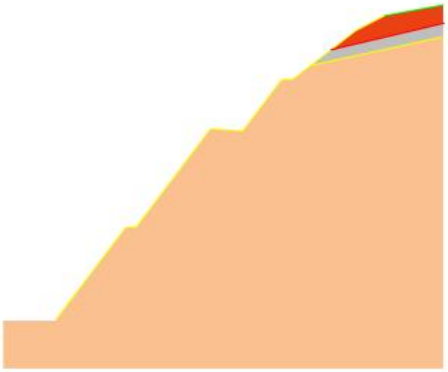
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

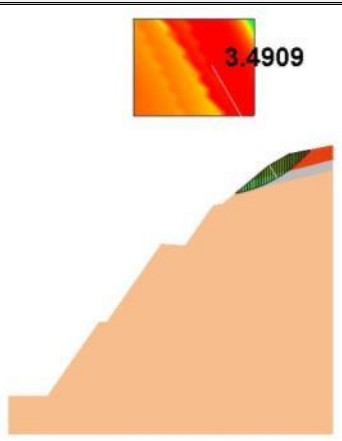
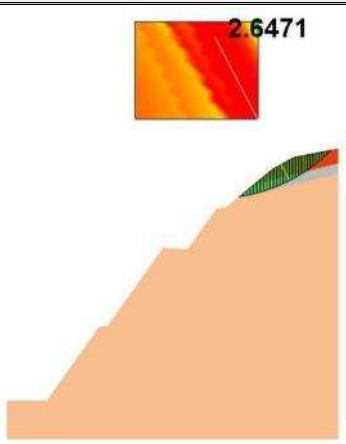
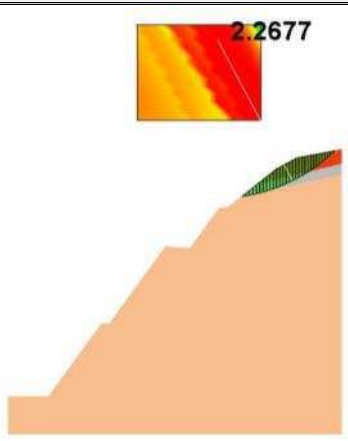
◦ 검토단면





대표단면 : STA.40+140, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.49	안전율 : 2.64	안전율 : 2.26

③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 31-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토31**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	3.49	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.64	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	2.26	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

31.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 31-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토31**		
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	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 31-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

31.5 내구성능 평가

31.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 31-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 6/31 = 0.19
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 105.3MPa	
면적	전체	4,364㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	4,364㎡	
표면보호공	식 생	4,364㎡	
	숏크리트	-	
사면보강공	-	-	

31.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 31-69> 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

31.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 31-70> 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 31-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
40.100km	102.3	97.2	초기 강도값(경암) : 105.3MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
40.125km	100.9	95.8	
40.140km	112.9	107.2	
평균값	105.4	100.1	
등급	**A등급**		

<표 31-72> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 31-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	4,364/4,364㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 31-74> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 31-75> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	41	46	46
평 균	8.2	9.2	9.2
평가 결과	c	c	c

<표 31-76> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

31.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 31-77> 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 31-78> 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	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, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 31-79> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

31.6 종합평가

31.6.1 종합평가 개요

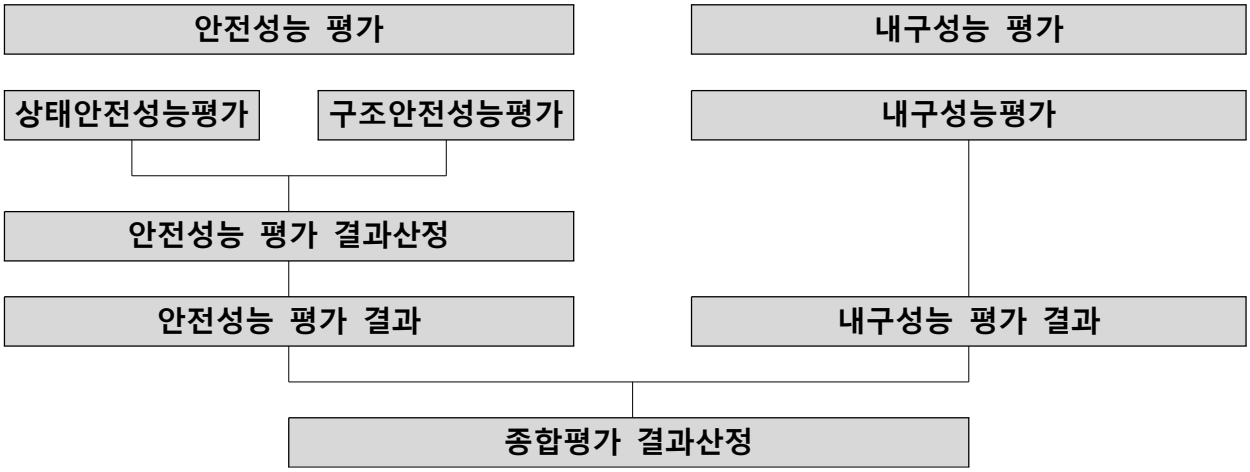
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 31-16> 종합평가 흐름도

31.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 31-80> 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 31-81> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토31		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.120	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.120 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.149 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 31-82> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

31.7 유지관리 전략 제안

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

31.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2031.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 31-83> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

31.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.149)"으로 평가되었다.

<표 31-84> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.265	0.149
평가결과	A	B	A

31.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 31-85> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
	산마루측구	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

31.8 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 및 산마루측구 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제32장 영천절토32

32.1 대상 시설물 현황

32.2 관련 자료의 분석

32.3 현장조사

32.4 안전성능평가

32.5 내구성능평가

32.6 종합평가

32.7 유지관리전략 제안

32.8 종합결론

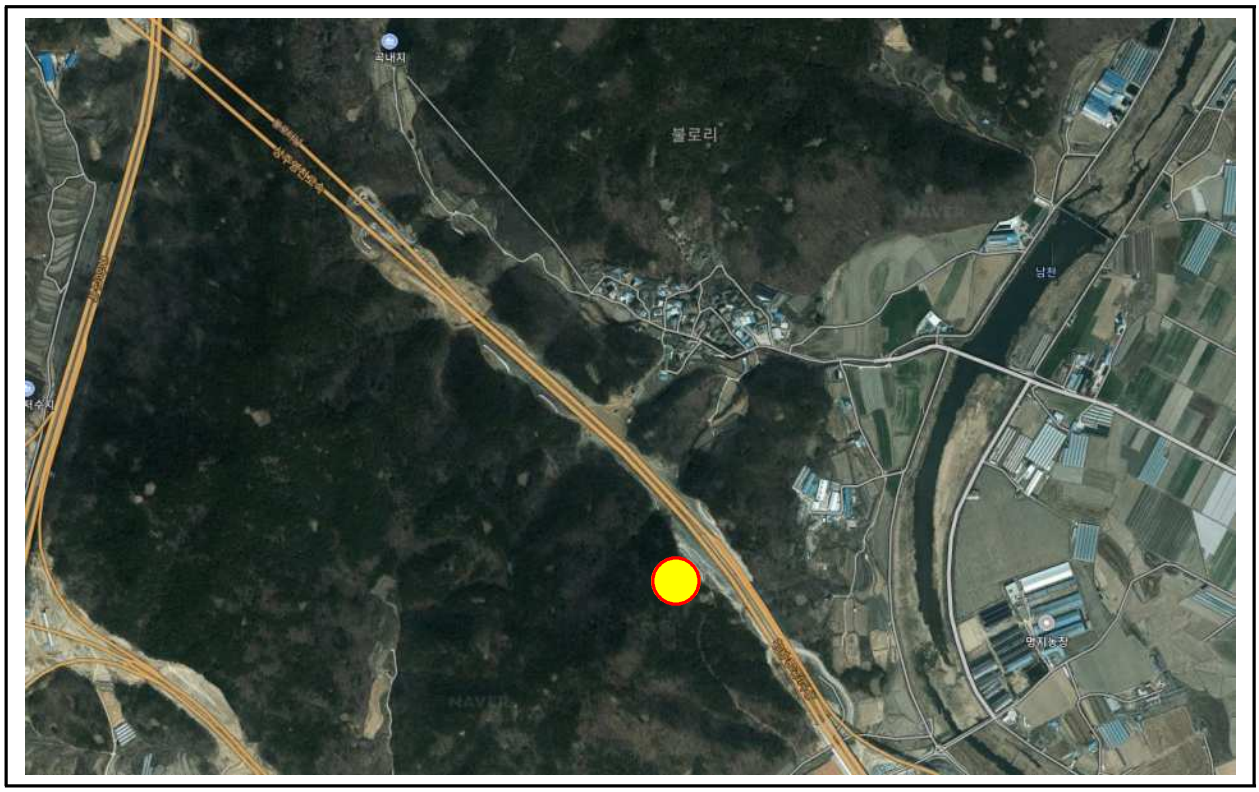
제32장 영천절토32

32.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 효령면 불로리(상주영천고속도로 40.545~40.895km)에 위치한 사면으로서 총 연장 350.0m, 높이 47.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 32-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000044		**관리번호**	SY SL32
시설물명	영천절토32		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 효령면 불로리		
	위치좌표	시점 : 36° 16′17.7″ 128° 56′49.9″		
		종점 : 36° 16′40.4″ 128° 56′28.7″		
	관리이정	40.545~40.895km		
	공구이정	5공구 STA.4+310~4+660		
제 원	**연 장**	350m	**높 이**	47.0m
	경사/방향	55/062	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	10~20°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	대림산업(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 쏘일네일링		
비 고				



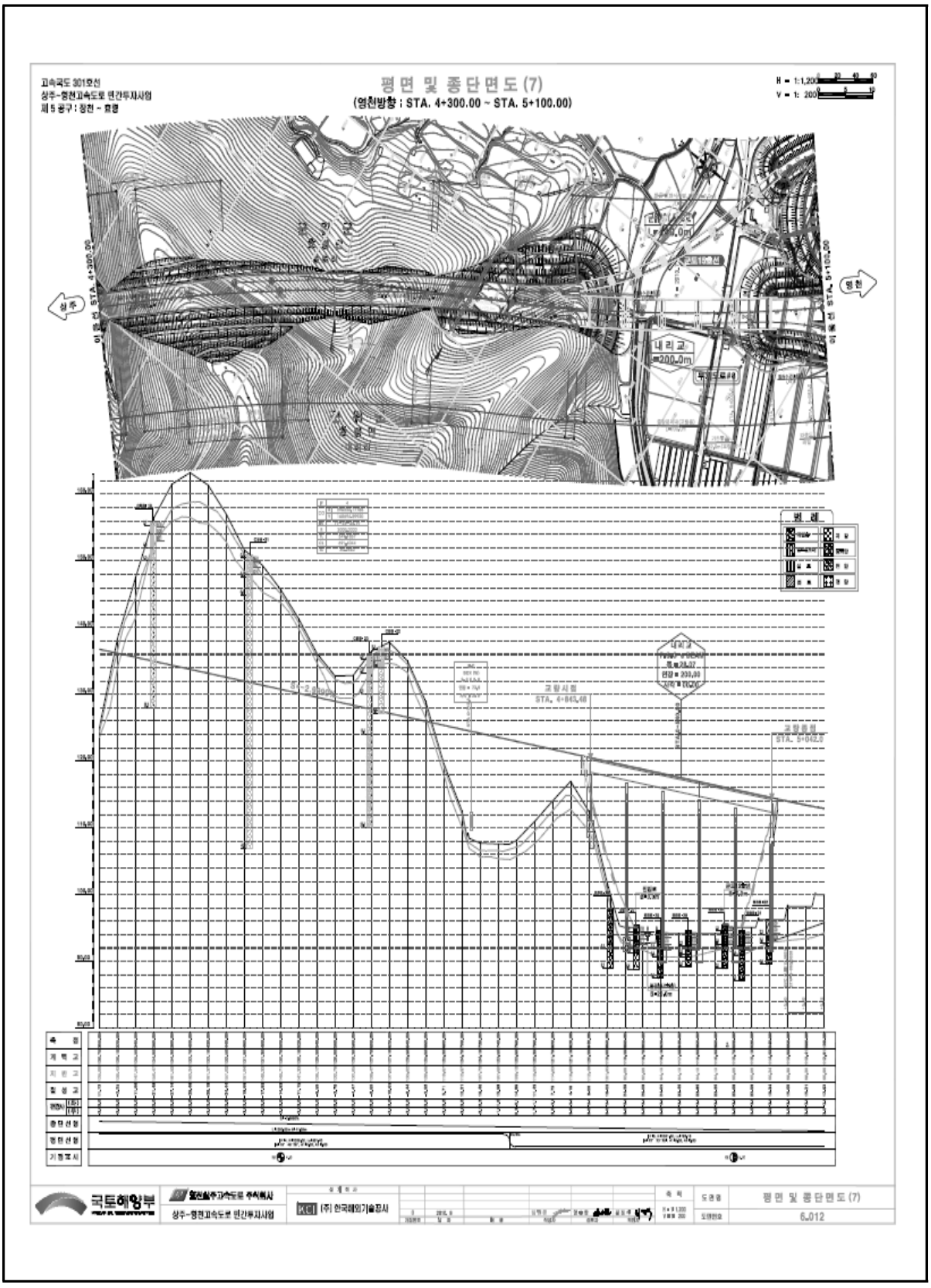
<그림 32-1>위치도



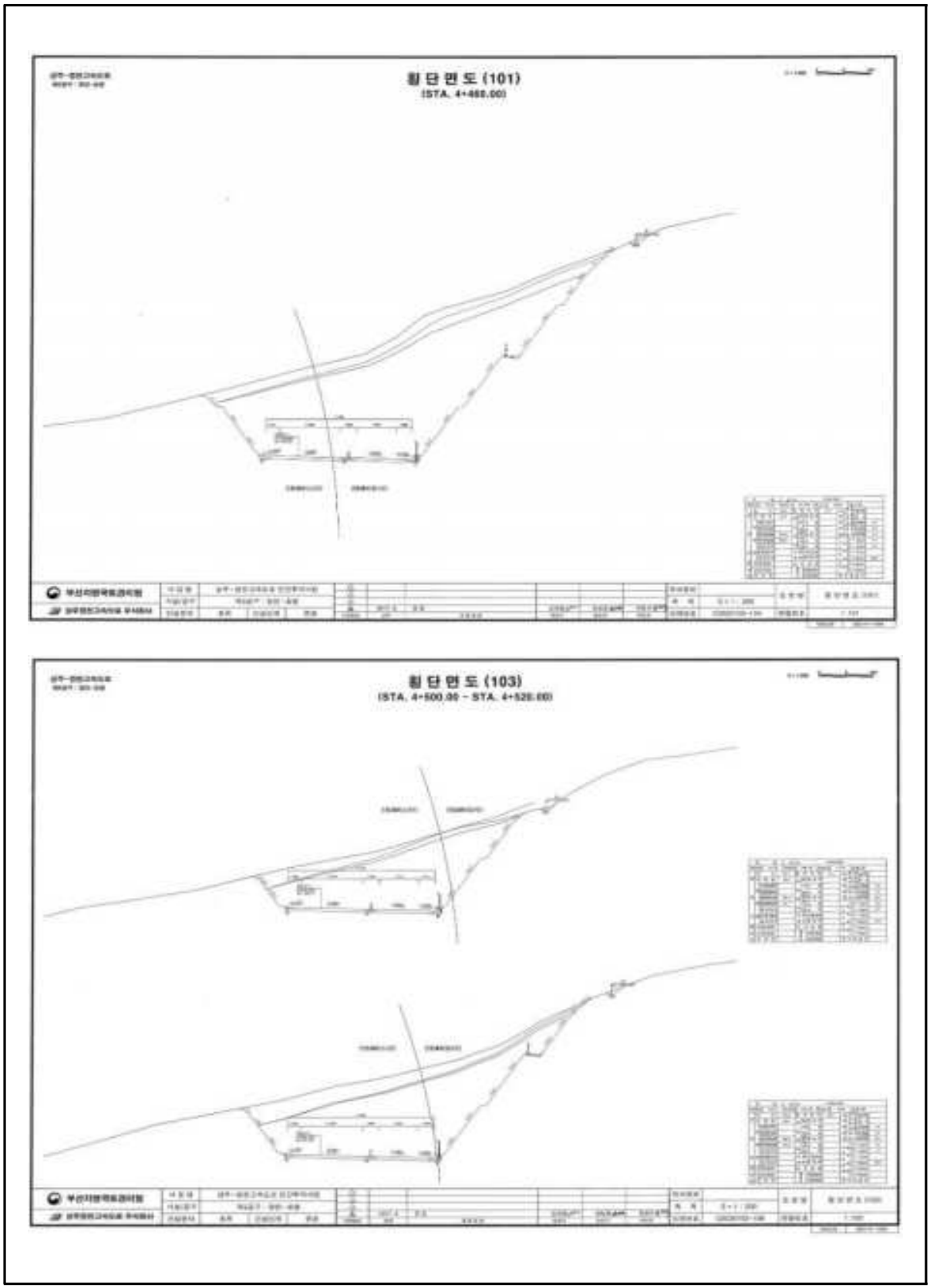
<그림 32-2> 전경사진

	
상단 전경	정면 전경
	
1소단 배수로 전경	산마루측구, 점검계단 전경
	
하부 전경	1소단배수로 낙석방지울타리 전경

<그림 32-2> 전경사진(계속)


평 면 및 종 단 면 도 (7)
(영천방향 : STA. 4+300.00 ~ STA. 5+100.00)
고속국도 301호선
상주-영천고속도로 민간투자사업
제 5 공구 : 청천 ~ 화령
H = 1:1,200
V = 1: 200
상주
영천
내리교
L=200.0m
범 례
국토해양부
상주-영천고속도로 주식회사
(주) 한국해외기술공사
평면 및 종단면도 (7)
6.012

<그림 32-3> 평면도



<그림 32-4>표준횡단면도

32.2 관련 자료의 분석

32.2.1 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 32-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

32.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

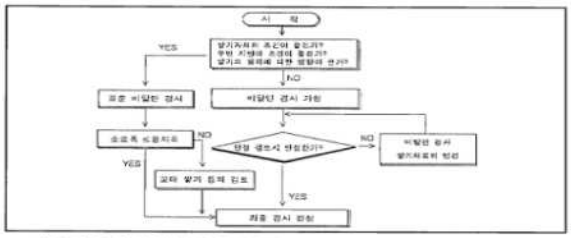
8.4 비탈면 설계기준

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

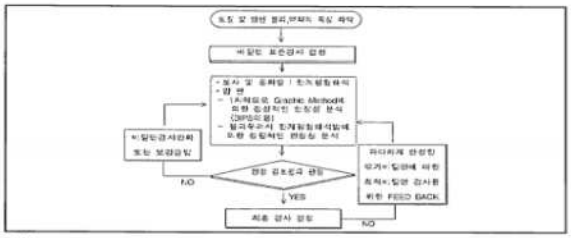
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 쌓기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 뒤채 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



282

8.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국도지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 점착는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 기울기3%

8.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

287

다. 뒤기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 자차 불안정하게 된다.

따라서 뒤기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 뒤기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 송리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

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

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

284

8.4.5 설계기준 선정

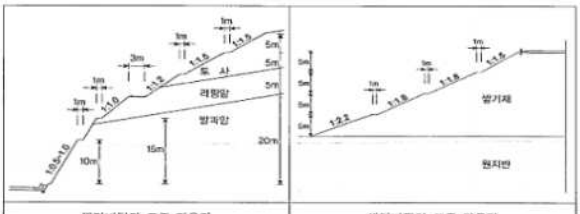
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 8.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

<비탈면 기울기 설계기준>

비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
암뒤기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	· 토사 및 리핑암 - 암뒤기 높이 5m 마다 소단 1m 설치
	리 핑 암	1 : 1.0	· 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시)
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	· 암뒤기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5~3.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치



뒤기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

290

2) 지형 및 지질

4.2 지표지질 조사

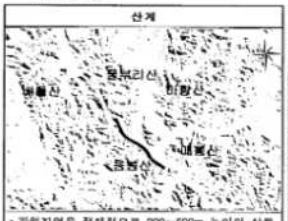
4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

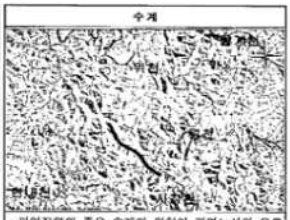
- 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
- 본 과업 지역의 지질은 백악기 경상층군의 신동층(연화동층), 하산동층, 진주층(용덕층)이 분포

나. 지형특성

산계



수계



- 과업지역은 전체적으로 200~500m 높이의 산들이 고루 분포되어 있음
- 과업노선은 용봉산의 지지대를 따라 지나가며 북서방향으로 놓여 있음
- 산계는 주로 서북서 방향의 선구조가 잘 관찰됨
- 과업지역의 주요 수계인 위천이 과업노선의 오른쪽에 분포하고 있음
- 과업 노선의 시점부 지역에서 위천이 사창천과 남천으로 분기되고 있으며 노선과 직접적으로 교차하는 수계는 없음

다. 분포 암종 특성

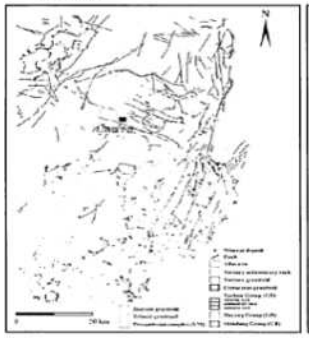
구 분	지질특성
낙동층 금당리층원 사암	• 낙동층의 하부층에 해당하는 안경산층원의 역질사암과 역암은 원마도가 불량한 석영과 암편리장석이 주를 이루며, 탄질물과 변질된 유색광물이 주로 산출됨
하산동층 사암	• 석립은 1 mm 내외의 것들로 원마도는 불량한 것들이 우세 • 하산동층 사암은 근거리에서 이동하여 형성
하산동층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방태석이 침전 또는 충전되어 있어 송리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단
진주층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방태석이 침전 또는 충전되어 있어 송리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단

53

라. 지질 계통도

지질시대		층 명		특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)		• 하천 및 산록 퇴적물	
		~~ 부정합 ~~			
중생대	백악기	중성암맥(Kid) 산성암맥(Kad)		• 괴상의 지형	• 전 구간에서 기반암을 관입
		유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 응회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		~~ 관입 및 분출 ~~			
		신동층군	하산동층(Ka2) 상부(Ka2-2)	• 사암 및 적색 미사암, 이암의 교호	• 5공구 종점
			하부(Ka2-1)	• 사암과 역질사암, 역암의 교호	• 5공구 종암 및 시점부

마. 지체구조



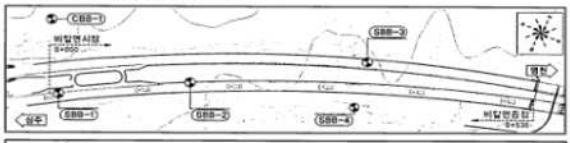
- 과업지역은 한반도의 중남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도곡의 동부지역을 통과
- 경상분지의 서북과 북북에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달

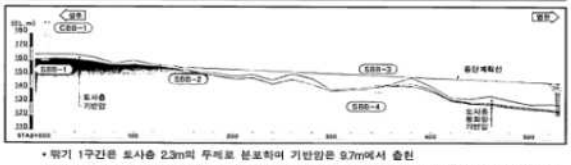
54

7.2 지층특성 분석

가. 본선비탈면구간

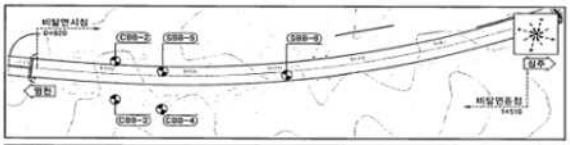
(1) 비탈면 1구간(STA.0+000~0+530)

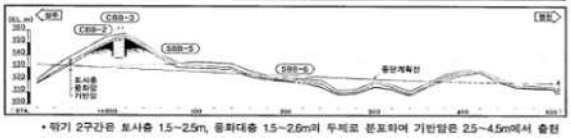




- 뭐기 1구간은 토사층 2.3m의 두께로 분포하며 기반암은 9.7m에서 출현
- 쫗기 1구간은 토사층 0.8~3.0m, 풍화대층 0~2.5m의 두께로 분포하며 기반암은 0.8~5.0m에서 출현

(2) 비탈면 2구간(0+920~1+510)





- 뭐기 2구간은 토사층 1.5~2.5m, 풍화대층 1.5~2.6m의 두께로 분포하며 기반암은 2.5~4.5m에서 출현
- 뭐기 3구간은 토사층 0.5~1.0m, 풍화대층 0.5~3.0m의 두께로 분포하며 기반암은 1.0~4.0m에서 출현
- 쫗기 2구간은 토사층 0.8~3.5m, 풍화대층 0.0~2.2m의 두께로 분포하며 기반암은 3.0~3.5m에서 출현

248

7.3 지반특성 분석

7.3.1 토질 물성 시험

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit LL(%)	Atterberg Limit PI(%)	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.02mm	USCS
뭐기	CBB-2	1.00	풍화토	8.6	2.74	NP	-	47	34.7	23.8	15.3	-	GM
	CBB-4	1.00	퇴적층	16.4	2.73	NP	-	56	42.4	29.1	15.8	-	GM
	CBB-10	1.00	퇴적층	15.2	2.69	NP	-	92.4	85.1	43.9	20.0	-	SM
	CBB-12	1.00	퇴적층	28.0	2.74	39.7	19.5	72.8	64.4	53.0	32.7	15.5	SC
	CBB-18	1.00	풍화토	12.3	2.74	30.0	8.7	84	71.7	58.3	42.3	11.0	SC
	CBB-21	1.00	풍화암	11.9	2.70	NP	-	67.4	58.5	26.8	11.3	-	SW-SM
	CBB-22	2.00	풍화암	6.7	2.73	NP	-	100	95.2	35.8	19.1	-	SM
	CBB-24	2.00	풍화토	13.4	2.73	NP	-	59.1	45.7	32.6	21.0	-	GM
쫗기	SBB-1	1.00	퇴적층	26.7	2.68	44.3	22.1	100	97.0	86.5	69.9	28.5	CL
	SBB-3	2.00	퇴적층	8.0	2.65	NP	-	69	67.3	46.2	22.6	-	SM
	SBB-5	2.00	풍화암	7.2	2.65	NP	-	96.8	92.7	55.2	26.7	-	SM
	SBB-6	3.00	풍화토	9.5	2.63	NP	-	100	99.2	56.5	28.1	-	SM
	SBB-9	2.00	매립층	11.3	2.69	NP	-	57	51.5	36.4	17.7	-	GM
	SBB-10	1.00	풍화토	19.3	2.65	31.8	10.5	100.0	94.0	61.5	35.5	10.5	SC
	SBB-19	4.00	풍화토	13.5	2.69	28.8	5.2	100	76.1	57.6	37.4	6.5	SM
	SBB-21	2.00	퇴적층	19.4	2.67	NP	-	69.2	54.9	32.0	19.0	-	SM
	SBB-22	1.00	매립층	16.7	2.64	NP	-	83.9	75.5	49.7	22.7	-	SM
	SBB-23	1.00	매립층	8.8	2.64	NP	-	37.0	30.5	20.5	8.9	-	GW-GM
	6SBB-21	2.00	퇴적층	5.3	2.68	NP	-	-	20.6	10.2	3.5	-	GW
	6SBB-22	3.00	퇴적층	8.6	2.67	NP	-	-	51.7	39.3	30.5	-	SM
램프 뭐기 구간	RCB-6	표토	표토	3.0	2.65	NP	-	99	84.8	24.8	4.6	7.5	SW
	RCB-13	1.00	풍화암	15.2	2.73	27.2	3.1	100.0	90.0	65.7	49.7	7.5	SM
	RCB-15-1	표토	표토	36.8	2.70	NP	-	78	61.0	42.5	30.4	-	SM
	RCB-17	3.00	풍화암	11.9	2.71	NP	-	83	62.9	39.9	24.8	-	SM
	RCB-18	2.00	풍화암	11.6	2.72	NP	-	93.2	90.2	81.9	28.3	-	SM
	RCB-19	2.00	풍화토	12.0	2.73	NP	-	100.0	98.0	53.3	21.3	-	SM
	RCB-20	3.00	풍화토	10.3	2.69	NP	-	100.0	97.3	40.4	20.4	-	SM
램프 쫗기 구간	RSB-11	1.00	퇴적층	17.0	2.71	27.9	4.8	100	100.0	92.4	68.5	11.0	ML
	RSB-12	1.00	매립층	11.0	2.68	NP	-	47.6	41.8	31.3	12.2	-	GM
	RSB-13	2.00	퇴적층	20.9	2.68	29.0	11.3	100.0	100.0	91.4	65.6	16.0	CL
	RSB-14	2.00	풍화토	17.4	2.69	27.9	10.6	100	97.4	83.3	49.0	14.5	SC
	RSB-15	2.00	풍화토	15.9	2.71	30.0	6.5	100.0	100.0	97.8	68.7	9.0	ML
	RSB-16	2.00	풍화토	12.7	2.67	NP	-	100	99.6	49.2	25.4	-	SM
	RSB-17	1.00	풍화토	10.6	2.71	NP	-	76	70.6	41.8	23.4	-	SM

- 비탈면구간 함수비는 6.7~28.7%, 비중은 2.63~2.74로 통일분류상 SC, SM, GM, CL, GW-GM, SW-SM에 해당됨
- 램프비탈면구간 함수비는 3.0~36.8%, 비중은 2.65~2.73로 통일분류상 SM, GM, SC, GM, ML, CL에 해당됨

256

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 5공구 지반조사

1.2 조사목적

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 5공구를 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조사범위

위 치	• 시점 : (STA. 0+000) (X=299983.5334, Y=157920.5497) • 종점 : (STA. 7+978) (X=293576.3489, Y=163273.3736) • 연장 : 7.98km
특 성	• 국도 5남부 5개 고속도로를 연결하는 제2경부축(상주~경전) 고속도로 건설 • 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도



• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간			토공구간
• 불로터널(490m) • 중구터널(385m) • 효령터널(980m)	• 오로교(385m) • 오심교(260m) • 팔달교(240m) • 불로교(45m)	• 중구고(220m) • 효령고(80m) • 강외고(90m)	• 램프A-1교(35m) • 램프A-2교(17m) • 램프A-3교(30m) • 램프A-4교(50m) • 램프C교(240m)	• 뒤기구간(16개소) • 불기구간(16개소) • 램프뒤기구간(7개소) • 램프W기구간(11개소)

제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

가. 조사 기본방향

(1) 조사계획 수립

- 기존 문헌자료, 기본계획, 인접지역 설계 및 시공자료 분석
- 지형 및 지질 특성을 고려한 조사 범위 및 일정계획 수립

(2) 단계별 조사 수행

- 사전조사를 통한 중점검토사항 및 주요조사항목 선정
- 상세조사, 추가조사를 통한 지반정보자료 파악 및 분석 수행

우수하고 경제적인 설계 수행을 위한 상세 지반정보 제공

- 전기비저항 탐사 적용, 이상대 및 미시추구간 암반등급 산정
- 검사시추 및 특수시험을 통한 단층파쇄대 지질 및 공학적 특성 평가

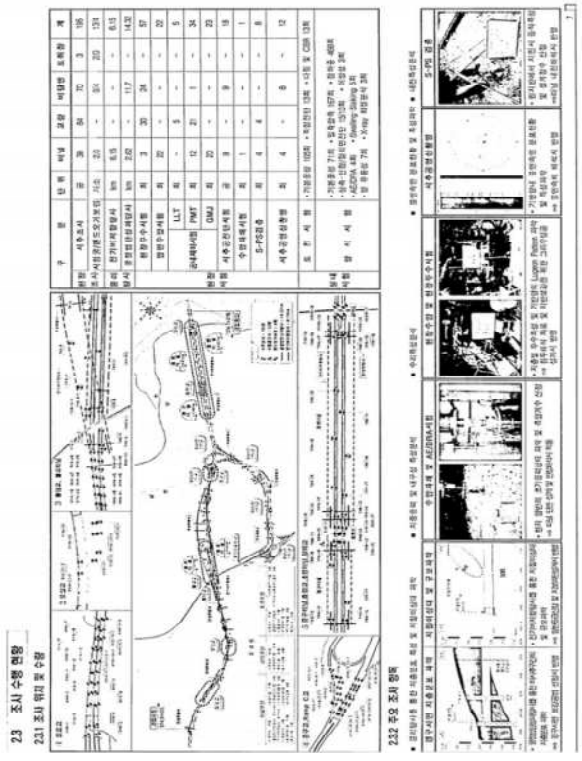
(3) 중점검토구간 정밀조사 수행

- 다양한 분석기법을 적용, 암반등급별 최적의 설계지반정수 산정
- 구조구 분류를 통한 불연속면 특성 상세 분석

(4) 신뢰성 높은 분석 및 설계활용 극대화

나. 조사 수행 흐름도

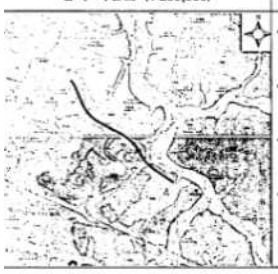
조사 수행절차	단계별 조사항목	조 사 목 적
사전 조사	• 기존자료 분석 - 에비조사 결과, 기존지질도 - 인근 현장사례	• 과업구간 현황 및 지반 공학적 문제점 파악 • 기본계획 자료 검토 및 활용
에비 조사	• 광역지표지질조사 • 물리탐사 • 시추조사 및 현장시험 • 실내토질 및 실내암석시험	• 단층 및 광역선구조 발달 상태 파악 후 상세조사 계획 수립 • 지층구분 및 구조대 파악 후 중점 검토 구간 설정
상세 조사	• 정밀 지표지질조사 • 물리탐사 - 전기비저항 탐사 등 • 현장조사 - 시추조사, 시험굴조사 등 • 현장시험 - 공내재하, BST, S-PS검층, 수압파쇄, 투수/수압 등	• 지질 이상대 및 위험이상 구간 (단층, 암경 경계) 분석 • 지층분포 및 지반특성 파악 • 강도정수 및 변형계수산정 • 불연속면 특성 및 동적 특성 파악
설계 반영	• 결과 비교 및 종합분석	• 암반등급 및 설계정수 산정



제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:250,000)	분 석 내 용
	• 과업구간은 백악기 경상분지의 주로 신등층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치 • 낙동층의 상부가 이 지역에 분포, 층후는 약 900m이며, 역질사암, 사암, 미사질 세암 및 역암으로 구성 • 하산동층은 두께 약 700m이며 사암, 세암, 자색세암 또는 미사암, 역질사암 및 역암으로 구성 • 전주층은 두께 약 900m이며 사암(일부 역질), 회색 내지 암회색 세암, 역암 및 석회암(흔히 니회암질)박층 등으로 구성

4.1.2 기본설계 자료 분석

구 분	분 석 내 용
터널구간	• 풍적층은 0.5~7.3m, 풍화토는 1.3~9.3m, 풍화암은 0.3~5.0m 두께로 분포 • 연암은 2.0~10.8m, 보통암은 27.5m, 경암은 3.0~31.5m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=42~100/0~55, 보통암 TCR/RQD(%) =93~100/40~50 경암 TCR/RQD(%)=10~100/0~100로 피적암으로 구성
교량구간	• 풍적층은 0.3~5.4m, 풍화토는 0.5~1.1m, 풍화암은 0.3~0.9m 두께로 분포 • 연암은 1.1~6.3m, 경암은 2.9~6.0m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD (%)=25~100/0~64, 경암 TCR/RQD(%)=82~100/45~67로 피적암으로 구성
비탈면구간	• 붕적층은 0.3m, 풍화토는 3.7m, 풍화암은 1.5~4.0m 두께로 분포 • 연암은 0.3~24.0m, 경암은 1.5~22.0m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD (%)=62~100/0~41, 경암 TCR/RQD(%)=90~100/62~100로 피적암으로 구성

4.3 지중분포 특성을 위한 조사

4.3.1 개 요

가. 기본 방향

- 터널 및 교량구간 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 14.32km, 전기비저항탐사 6.15km, 시추조사 196공, 시험굴조사 13개소, 표준관입시험 480회

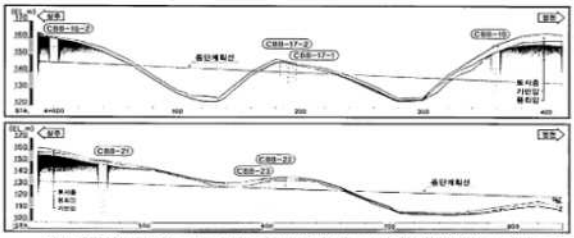


(1) 굴절법 탄성파 탐사

- 본선 구간

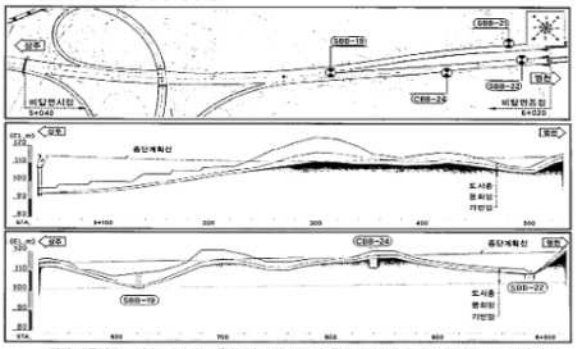
위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 구간	0+000	횡	115
	0+950~1+180	종	230
	1+000	횡	115
	1+080	횡	115
	1+190~1+605	종	415
	1+720~2+675	종	955
필로터널 시점	(영천)3+010~3+125	종	115
	(상주)2+970~3+085	종	115
	3+020	횡	55
	3+100	횡	55
필로터널 종점	(영천)3+410~3+600	종	115
	(상주)3+410~3+525	종	115
	3+540	횡	55
	3+460	횡	55
비탈면 구간	3+600~4+000	종	1,245
	4+360	횡	115
	4+470	횡	115
	4+600	횡	115

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
승구터널 시점	(영천)6+000~6+080	종	80
	(상주)6+600~6+680	종	80
	6+030	횡	100
승구터널 종점	(영천)6+370~6+470	종	100
	(상주)6+370~6+470	종	100
	6+430	횡	100
호명터널 시점	(영천)6+545~6+660	종	115
	(상주)6+545~6+660	종	115
	6+590	횡	100
	6+635	횡	100
호명터널 종점	(영천)7+535~7+650	종	115
	(상주)7+535~7+650	종	115
	7+575	횡	100
	7+600	횡	100



- 우기 12구간은 토사층 0.5~5.7m, 풍화대층 1.8~2.8m의 두께로 분포하며 기반암은 2.7~7.5m에서 출현
- 갈기 9, 10구간은 토사층 0.3m의 두께로 분포하며 기반암은 3.2m에서 출현
- 우기 9, 10구간과 갈기 7구간은 토사층 0.5m, 풍화대층 1.0~3.0m의 두께로 분포
- 우기 11구간과 갈기 8구간은 토사층 0.5m, 풍화대층 2.0~3.0m의 두께로 분포

(5) 비탈면 5구간(5+040~6+040)



- 우기 13구간은 토사층 1.5~4.9m, 풍화대층 0.5~1.9m의 두께로 분포하며 기반암은 2.0~3.7m에서 출현
- 갈기 11, 12구간은 토사층 6.7m, 풍화대층 1.1m의 두께로 분포하며 기반암은 7.8m에서 출현
- 갈기 13구간은 토사층 1.8~2.5m, 풍화대층 1.1m의 두께로 분포하며 기반암은 1.8~2.5m에서 출현

7.6 설계 지반정수 산정

7.6.1 개 요

가. 기본 방향

- 기존 설계정수 산정의 문제점을 분석하고 대표값 산정시 신뢰도 향상을 위해 통계처리기법 (Monte Carlo Simulation)을 적용하여 설계지반정수 산정
- 인근 유사현장의 설계·시공자료와 기존문헌자료를 분석하여 합리적인 설계 정수 산정

7.6.2 산정결과 요약

가. 연속체 해석을 위한 설계 지반정수 산정 결과

구 분	변형계수, E_m(MPa)	단위중량 γ_t(kN/㎥)	점착력, c(kPa)	내부마찰각, φ(°)	포아송비, ν
붕 적 층	10.0	18.0	10.0	30.0	0.350
풍 화 토	20.0	19.0	24.0	26.0	0.350
풍 화 암	100.0	20.0	29.0	32.0	0.320
기반암	-	25.0	240.0	36.0	-
파쇄암반(파쇄대)	-	23.0	37.0	28.0	-

나. 수리해석을 위한 설계지반 정수 산정 결과

구 분	붕적층	풍화토	풍화암	기반암	파쇄암반(파쇄대)
투수계수, k(cm/sec)	1.70×10^{-3}	6.00×10^{-4}	5.20×10^{-4}	8.70×10^{-5}	3.00×10^{-3}

다. 불연속체 해석을 위한 설계지반 정수 산정결과

(1) UDEC 및 3-DEC 해석을 위한 절리면 강도정수 산정결과

구조구	선도(m)	절리군	방향(Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_n (MPa)	JRC	JCS (MPa)	ϕ_r (°)	a_i (mm)	V_m (mm)	K_m (MPa/mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)
1	22.3	1	9/134	90.3	0.59	5.0	36.4	29.0	0.40	0.42	3.42	6.81	0.46
		2	81/283		3.71								
		3	90/155		33.22								
		4	75/218		2.24								
2	2-1 42.2	1	09/106	58.2	1.10	11.0	36.2	30.0	0.49	0.42	13.58	19.32	1.17
		2	86/221		15.73								
		3	79/337		5.75								
		4	85/297		12.59								
	2-2 26.0	1	04/088	85.2	0.68	5.0	32.5	27.0	0.42	0.45	3.15	19.32	1.17
		2	83/358		5.55								
		3	73/063		2.31								
3	23.0	1	07/102	88.8	0.60	6.0	27.9	29.0	0.64	0.56	4.22	6.90	0.48
		2	81/356		3.82								
		3	89/295		34.26								
		4	82/036		4.30								
4	29.0	1	15/137	81.2	0.78	8.0	33.9	29.0	0.61	0.50	7.96	14.03	1.13
		2	82/009		5.42								
		3	65/071		1.78								
5	30.5	1	11/121	83.7	0.81	10.0	36.3	32.0	0.72	0.51	11.36	14.76	0.92
		2	84/052		7.59								
		3	85/330		9.10								
		4	82/291		5.70								

7.6.6 불연속체 해석을 위한 설계 지반정수 산정

가. 개 요

- 방창성 및 역학적 특성을 고려하여 구조구별 물성치 산정
- 해석에 사용된 물연속면 자료는 지표지질조사, 시추공영상촬영의 조사성과를 종합분석하여 절리빈도가 높고 연장성이 좋은 절리군을 주 물연속면으로 구분하여 해석에 반영
- 해석에 이용된 입력정수는 현지암반 물연속면 조사결과와 절리면 전단시험 결과로부터 산정
- 지outh요소해석시 실제 절리거동 표현 및 입력자료의 취득이 용이하고 객관성 측면에서 Mohr-Coulomb 모델보다 우수한 Barton-Bandis 모델을 적용하고 이에 따른 설계정수 산정

나. Barton-Bandis에 의한 절리면 수치강성 및 전단강성

- 수직강성 $K_n = K_{ni}\left[1-\frac{\sigma_n}{V_m K_{ni}+\sigma_n}\right]^{-2}$
- 전단강성 $K_s = \frac{100}{L}\sigma_n \tan\left[JRC\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+\phi_r\right]$

여기서, $K_{ni} = -7.15 + 1.75\,JRC + 0.02\left(\frac{JCS}{a_i}\right)$, $a_i = \frac{JRC}{5}(0.2\frac{\sigma_c}{JCS} - 0.1)$

$V_m = -0.296 - 0.0056\,JRC + 2.241\left(\frac{JCS}{a_i}\right)^{-0.203}$

구조구	선도(m)	절리군	방향(Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_n (MPa)	JRC	JCS (MPa)	ϕ_r (°)	a_i (mm)	V_m (mm)	K_m (MPa/mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)
1	22.3	1	9/134	90.3	0.59	5.0	36.4	29.0	0.40	0.42	3.42	6.81	0.46
		2	81/283		3.71							43.90	2.50
		3	90/155		33.22							1990.87	18.56
		4	75/218		2.24							22.40	1.57
2	2-1 42.2	1	09/106	58.2	1.10	11.0	36.2	30.0	0.49	0.42	13.58	19.32	1.17
		2	86/221		15.73							191.77	10.60
		3	79/337		5.75							54.76	4.62
		4	85/297		12.59							139.70	8.83
	2-2 26.0	1	04/088	85.2	0.68	5.0	32.5	27.0	0.42	0.45	3.15	6.90	0.48
		2	83/358		5.55							76.11	3.31
		3	73/063		2.31							21.76	1.49
3	23.0	1	07/102	88.8	0.60	6.0	27.9	29.0	0.64	0.56	4.22	6.63	0.49
		2	81/356		3.82							28.89	2.59
		3	89/295		34.26							1013.50	18.57
		4	82/036		4.30							33.55	2.69
4	29.0	1	15/137	81.2	0.78	8.0	33.9	29.0	0.61	0.50	7.96	11.39	0.70
		2	82/009		5.42							44.40	3.85
		3	65/071		1.78							16.67	1.45
5	30.5	1	11/121	83.7	0.81	10.0	36.3	32.0	0.72	0.51	11.36	14.76	0.92
		2	84/052		7.59							60.62	6.10
		3	85/330		9.10							75.07	7.11
		4	82/291		5.70							44.71	4.79

32.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 32-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토32 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열 및 보수부 재균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2032. 05. 28 ~ 2032. 06. 30	정기안전점검	영천절토32 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열 및 보수부 재균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2032. 10. 23 ~ 2032. 12. 31	정기안전점검	영천절토32 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 수직도수로 일부구간에서 균열 및 보수부 재균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	영천절토32 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 수직도수로 일부구간에서 균열 및 보수부 재균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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)~심한풍화(HW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해 작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토32 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다.	양호

32.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 32-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

32.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계는 미적용된 것으로 확인되었다.

<표 32-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	미적용	-	-	

32.2.6 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 32-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

32.3 현장조사

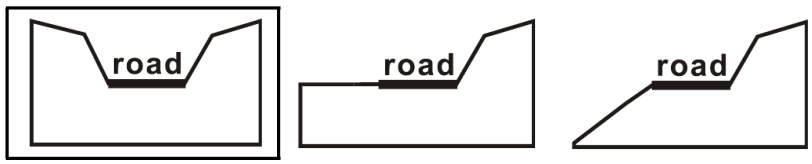
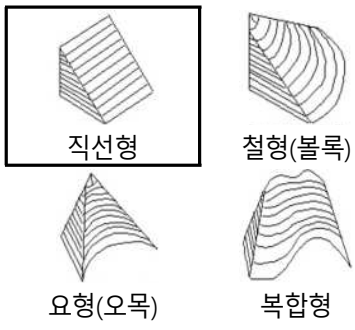
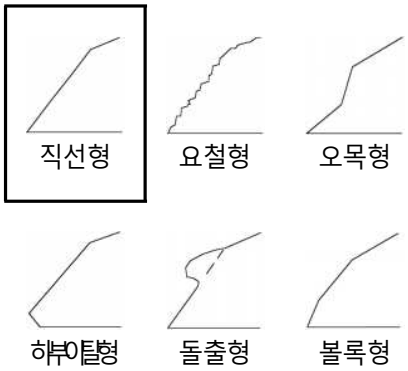
32.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 32-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 18.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 효령면 불로리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 16′17.7″ 128° 56′49.9″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 16′40.4″ 128° 56′28.7″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 350m</td><td colspan="2">높 이 : 47.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/062</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~7.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 5</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="6">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="3">위 치</td><td>상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="3">40.545~40.895k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="3">40.585~40.755k</td><td>균열</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="3">40.805k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="3">40.585~40.765k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="3">40.805k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td>위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 32-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 32-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토32		
	위경도	시점 : 36° 16′17.7″ 128° 56′49.9″ 종점 : 36° 16′40.4″ 128° 56′28.7″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	350.0m	최대높이	47.0m
	경사	55°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	5개소
	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	2.0~5.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) □옹벽 □격자블럭 ■점검로(양호)	■낙석방지망 ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타	
조사자 소견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	□A ■B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	-	조치	□응급 ■미응급
	기타			

32.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 효령면 불로리(상주영천고속도로 40.545~40.895km)에 위치한 사면으로서 총 연장 350.0m, 높이 47.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 32-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{7.0}{48.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.8~140.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{48.0}=0.010$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{20.0}=0.05$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.8~140.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{20.0}=0.025$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 350m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 구성재료가 비슷한 점과, 수직도수로를 기준으로 2개구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 32-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	40.545~40.805km	260m
2구간	40.805~40.895km	90m

32.3.3 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 10~20°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이며, 사면내 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 32-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1 / 1.0	-	
	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)~심한풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 32-13> 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 32-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	80/008	78/285	83/350
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	HW	HW	HW
구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	-
방향성	85/270	76/030	-
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	-
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	-
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	-
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	-
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	-
풍화도	HW	HW	-

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 32-15> 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 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있으며, 조사결과 소단배수로 및 산마루측구에 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 32-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	3EA / 6.0	건조수축	

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 32-17> 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 32-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 32-19> 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 32-20> 인장균열 조사 결과

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

32.3.4 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 총 6개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 32-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
40.565km	59.2	140.2	경암	
40.605km	56.5	124.4	경암	
40.625km	58.6	136.8	경암	
40.685km	57.4	129.4	경암	
40.825km	55.3	117.8	경암	
40.845km	58.0	132.8	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 55.3~59.2로 측정되었으며, 추정강도 117.8~140.2㎫로 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. 표면보호공은 식생공, 낙석방지공으로는 낙석방지망, 낙석방지울타리로 시공되어있다.

<표 32-22> 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경



낙석방지망 전경

라. 사면보강공

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

<표 32-23> 사면보강공 조사 결과

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

32.4 안전성능평가

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

32.4.1 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 0.05~0.15로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 파쇄암반, 절리암반 비탈면으로 평가된다.

<표 32-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{7.0}{48.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.8~140.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{48.0}=0.010$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{20.0}=0.05$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.8~140.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{20.0}=0.025$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 350m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~5으로 표기하였다.

<표 32-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	40.545~40.805km	260m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	40.805~40.895km	90m	암반사면	Set4, Set5

<표 32-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 32-27> 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	계곡부 1개소	b
	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 32-28> 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 32-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 9.2	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 32-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 32-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 32-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 32-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 32-34> 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 32-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 32-36> 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), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 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 32-37> 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 10~20°	c
	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 32-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 32-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 32-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 32-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토32		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		9.2	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
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 32-42> 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 32-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

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 32-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 9.2	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 32-45> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 32-46> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 32-47> 지하수 평가 결과(2구간)

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

<표 32-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

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

<표 32-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

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 32-50> 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 32-51> 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, β는 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 32-52> 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 10~20°	c
	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 32-53> 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 32-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 32-55> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 32-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토32		
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
블연속면 특성		9.2	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			11	
결함지수		0.11		
상태안전성능평가 결과		**A**		

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 32-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
380.0m	1구간	40.545~40.805km	a(0.12)	A	인장균열 없음
	2구간	40.805~40.895km	a(0.11)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

32.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

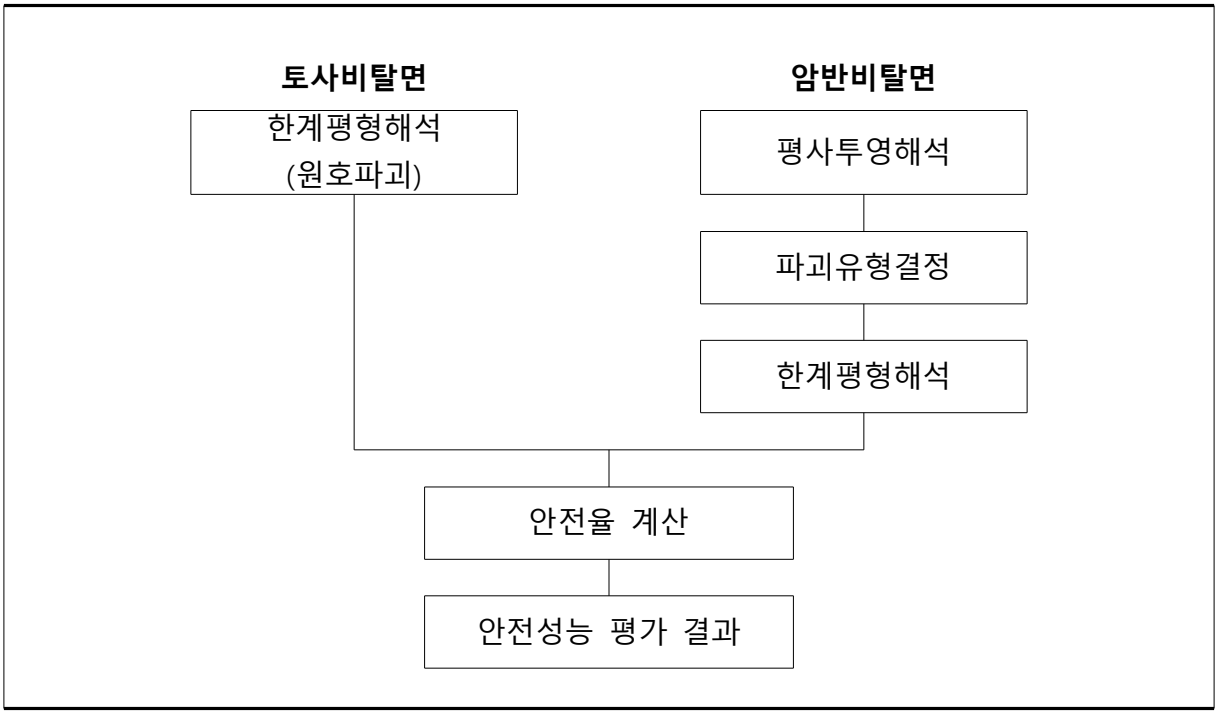
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 32-5> 구조안전성능 평가과정

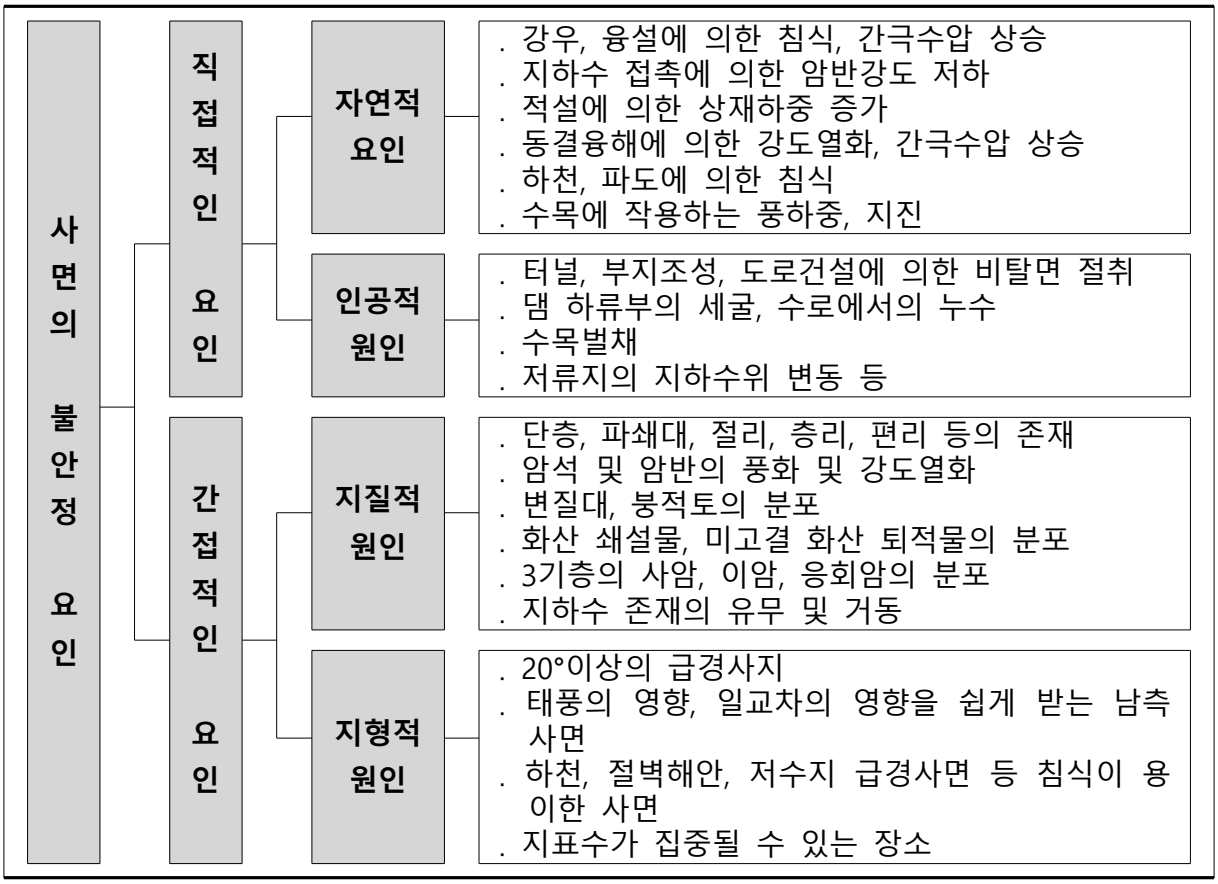
<표 32-58> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

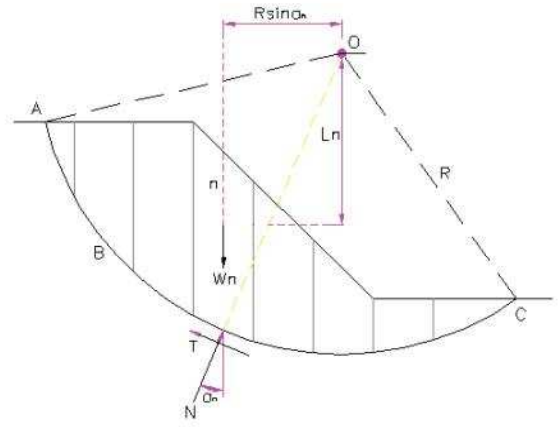


<그림 32-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

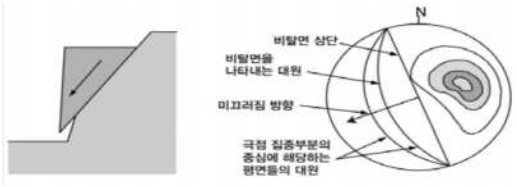
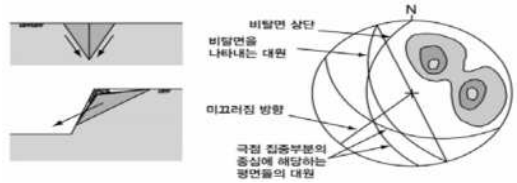
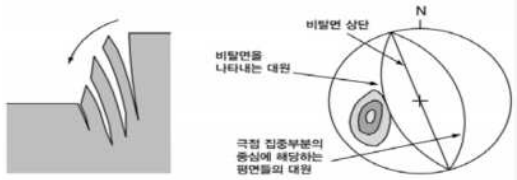
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 32-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 32-59> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 32-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

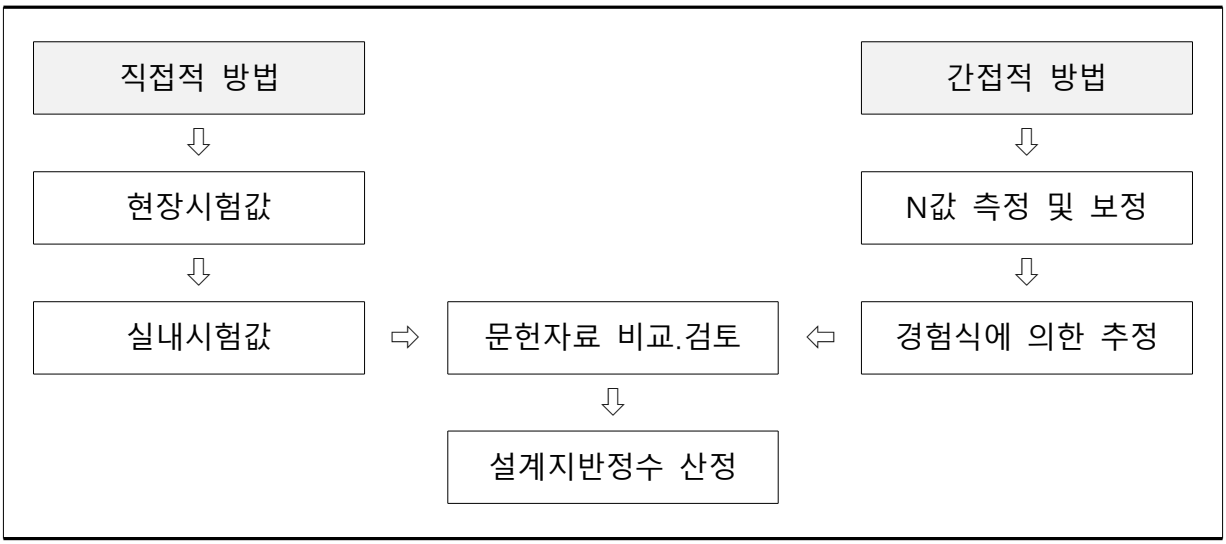
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 32-61> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 32-62> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 32-63> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 32-64> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 32-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (5공구)	풍화(잔적)토	19	26	24	
	풍화암	20	32	29	
	경 암	25	36	240	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 32-66> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 32-67> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~232.7	26.7±0.8	232.3±1.0	232.3±1.0	232.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 32-68> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 32-69> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 32-70> Trueman (1988)

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

<표 32-71> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 232.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19	26	24	0.3	
풍화암	20	32	29	0.3	
경 암	25	36	240	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 32-72> 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

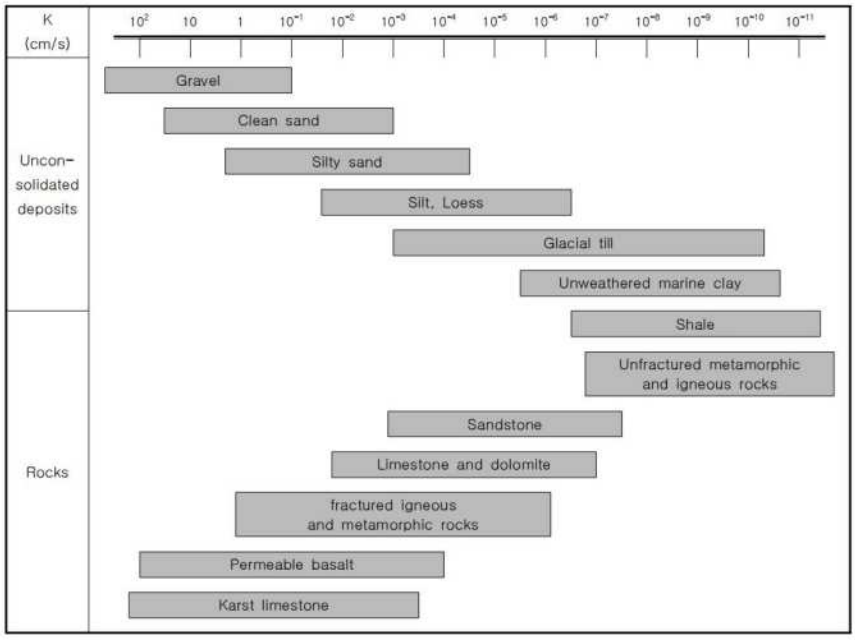
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 32-73> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 32-74> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 32-8> 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 32-75> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

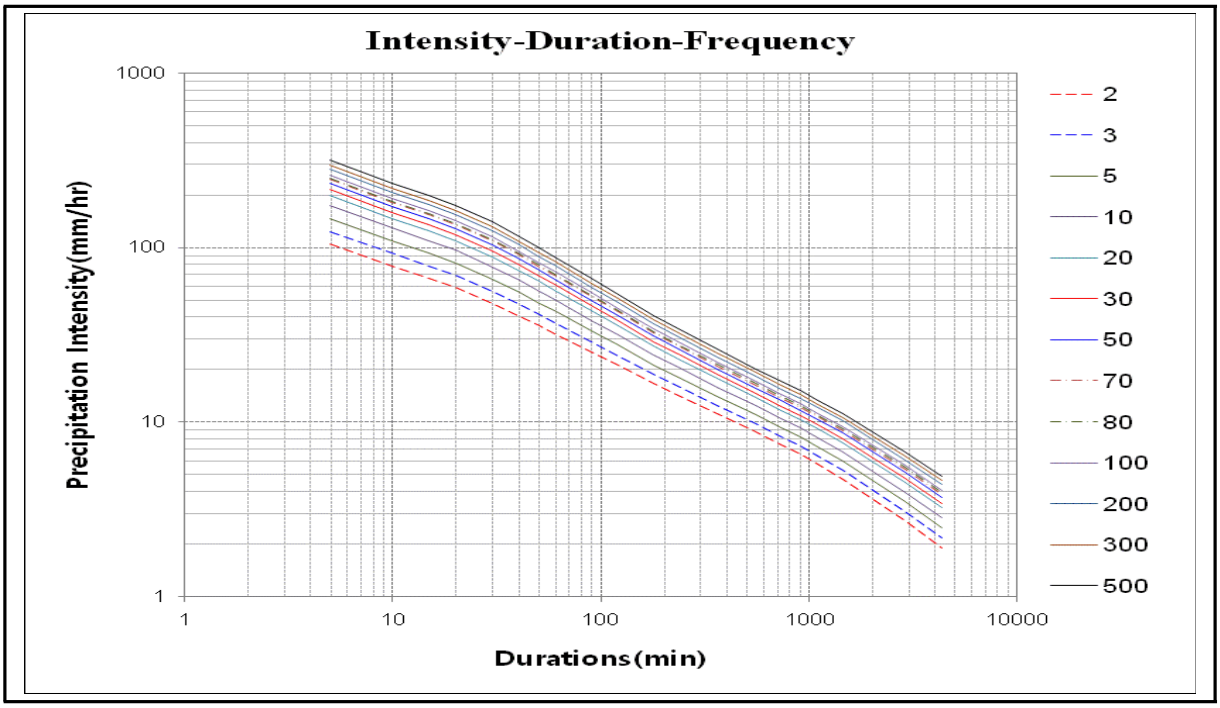
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 32-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 32-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 32-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 32-76> 설계지반운동 수준

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

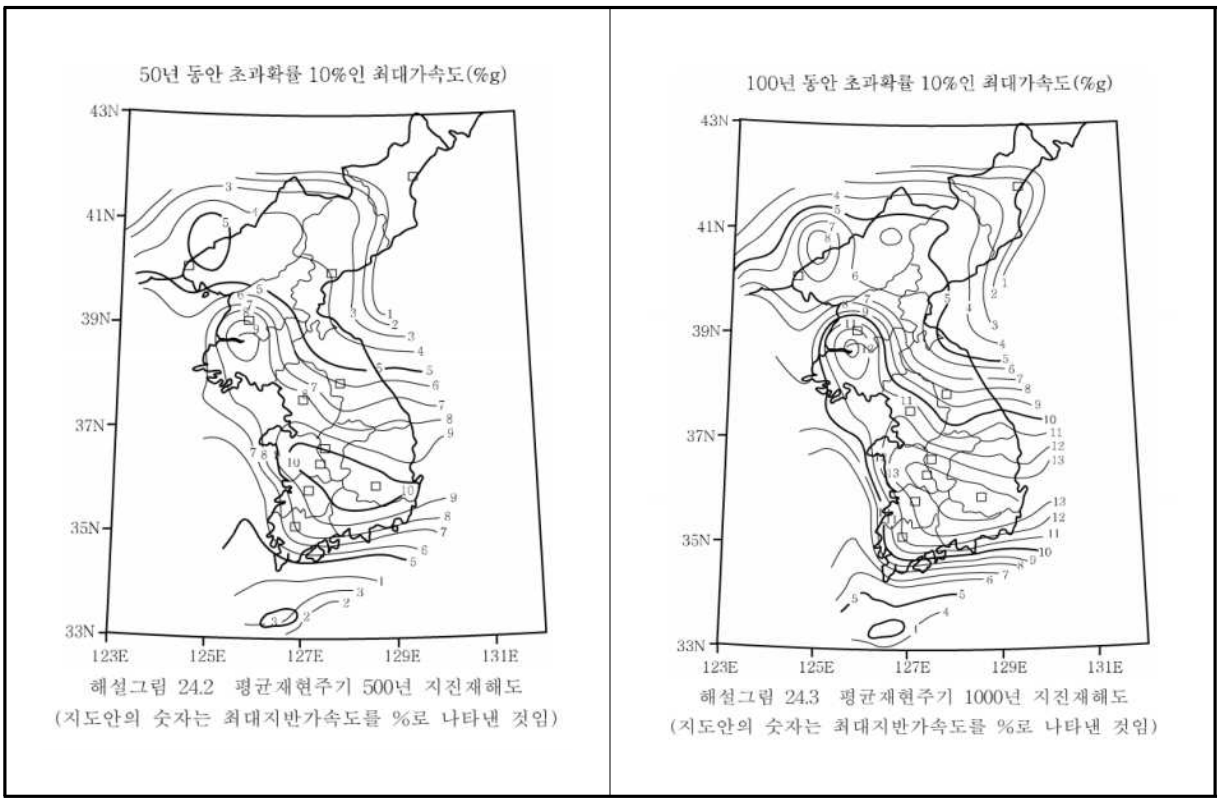
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 32-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 32-77> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 32-78> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

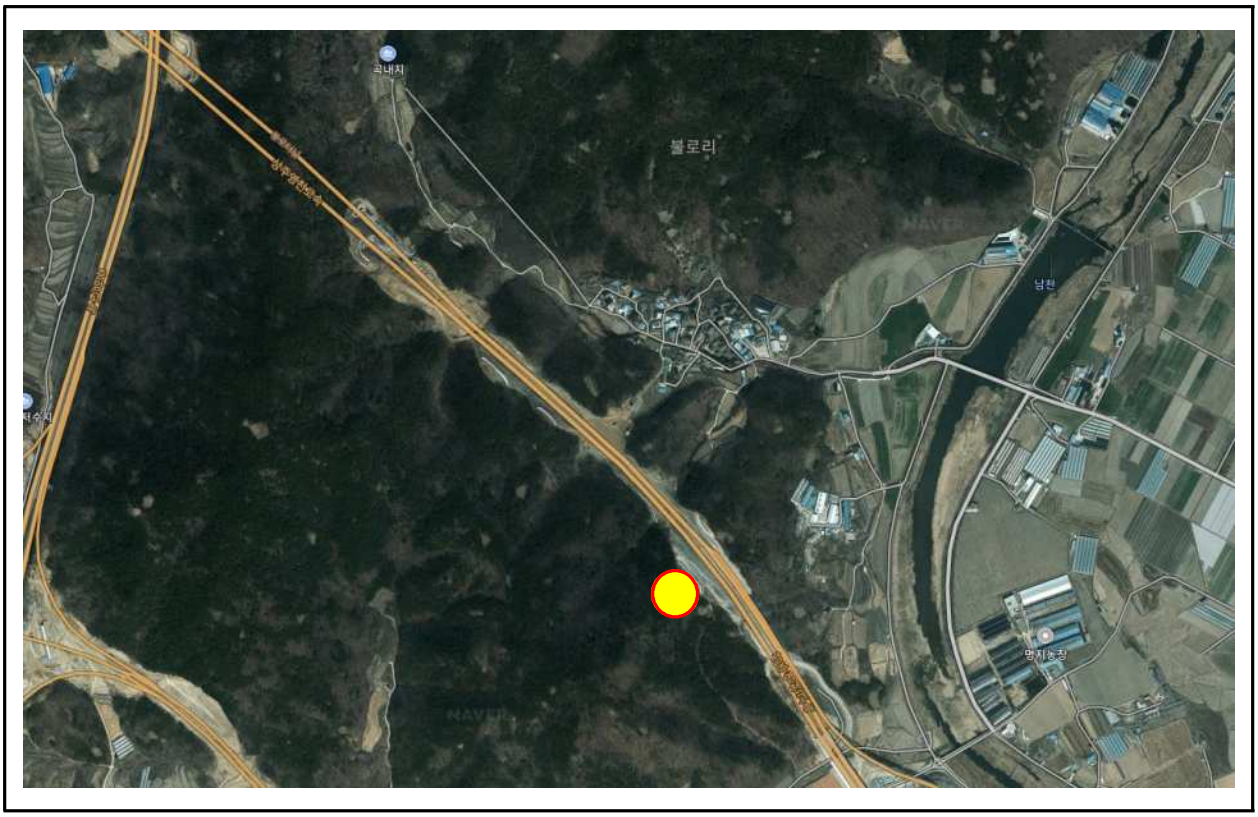
3) 지진가속도계수 선정

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 32-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

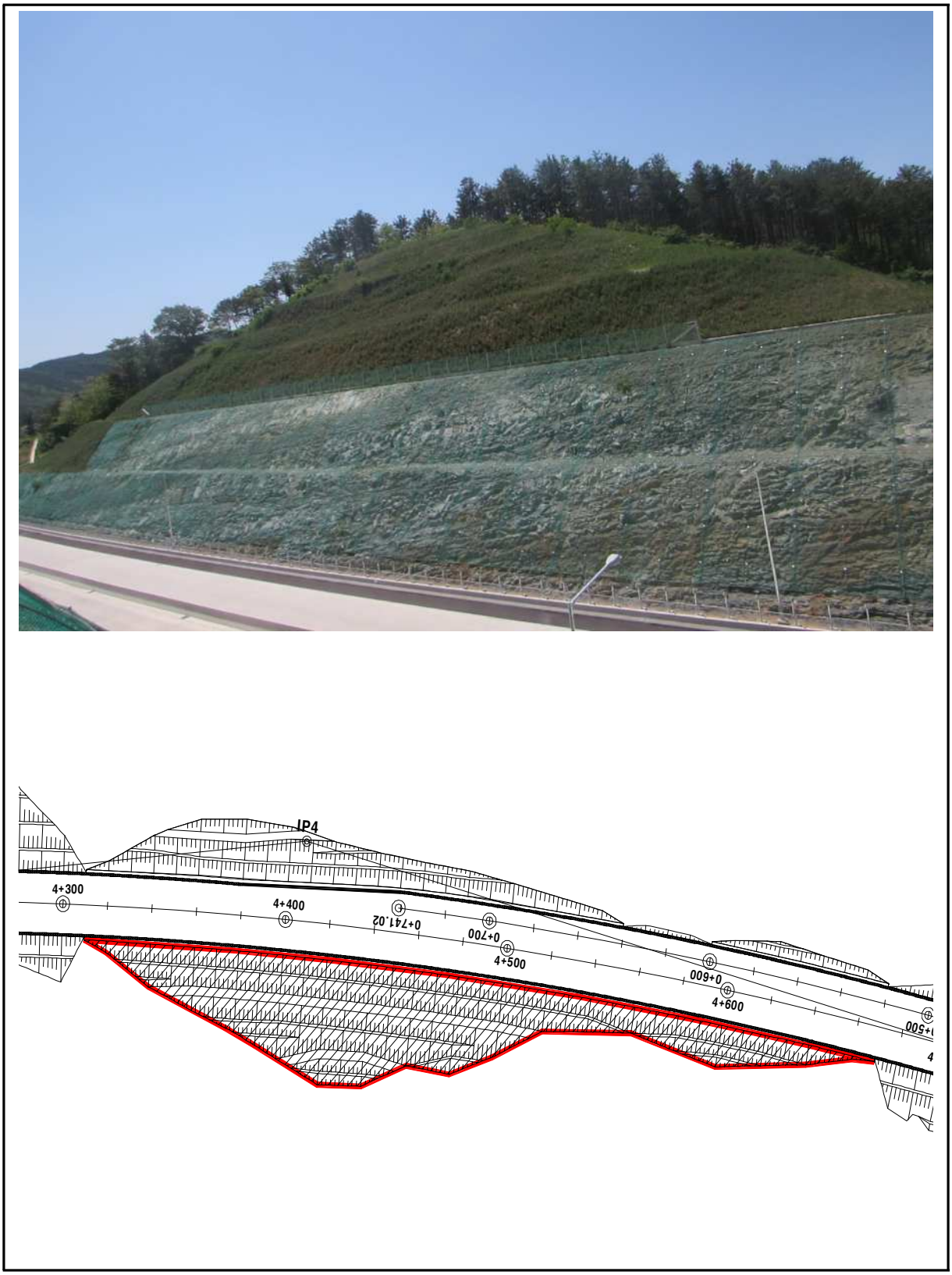
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토32	경상북도 군위군 효령면 불로리	40.545 ~ 40.895	STA.40+655	48.0	7.0	41.0	-	2017	55/062
			STA.40+825	20.0	1.0	19.0	-	2017	55/062



<그림 32-13> 영천절토32 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토32 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



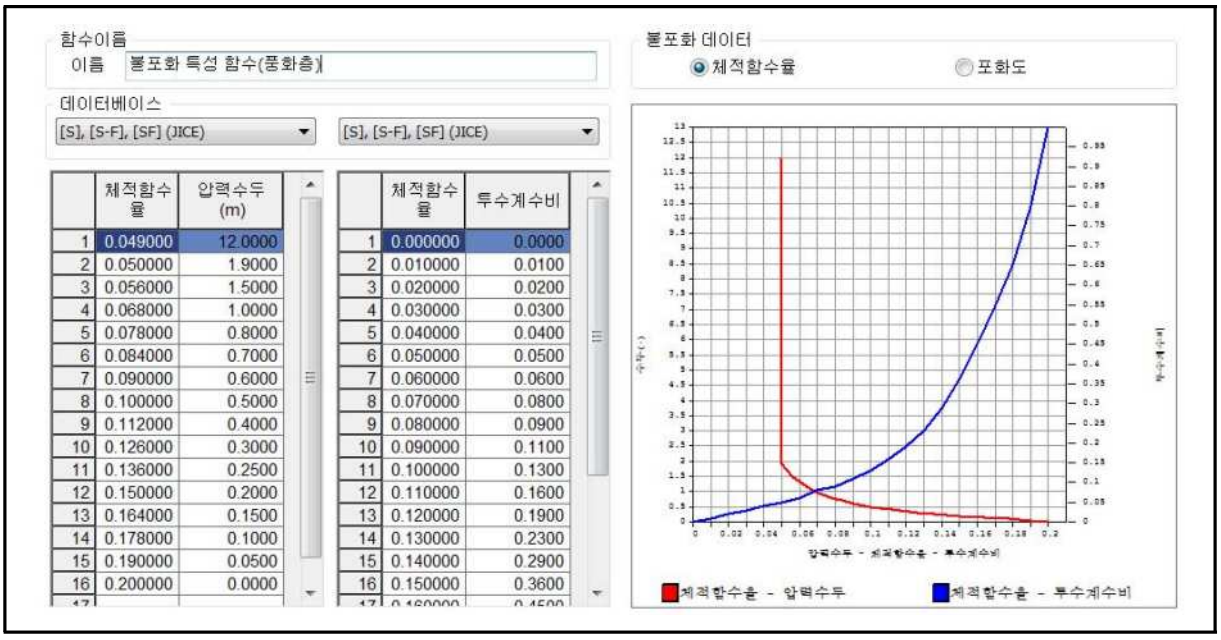
<그림 32-14> 영천절토32 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	19	26	24	3.0E-04	
풍화암	20	32	29	3.7E-04	
경암	25	36	240	8.7E-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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

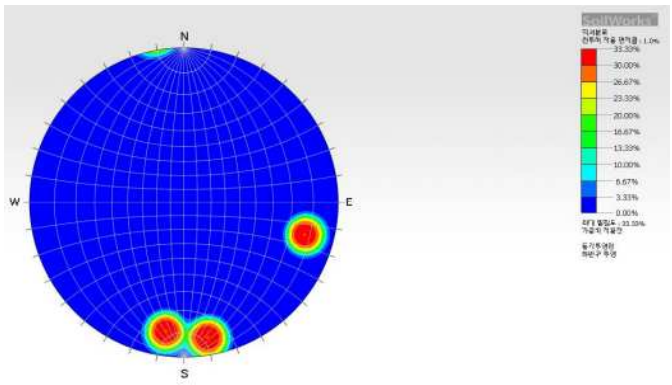
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 32-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

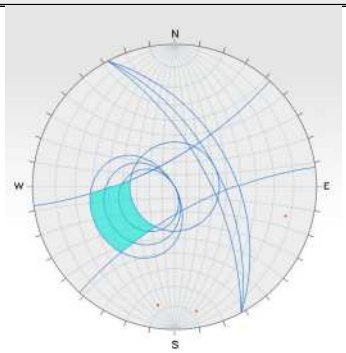
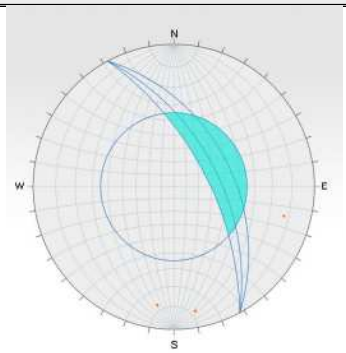
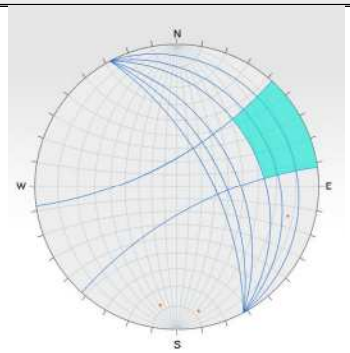
3) 1구간 (STA.40+545 ~ 40+805)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		80	8
		78	285
		83	350

◦ 해석결과

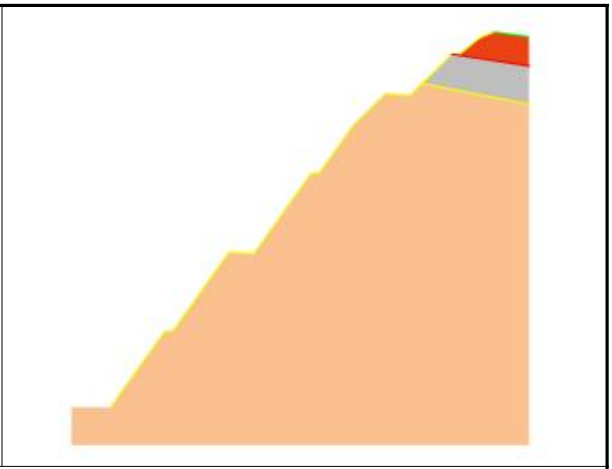
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

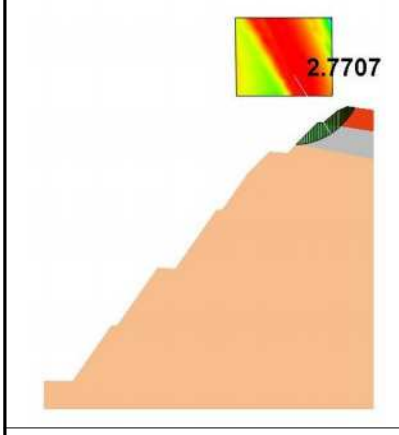
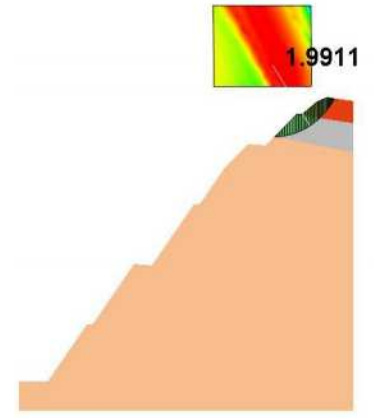
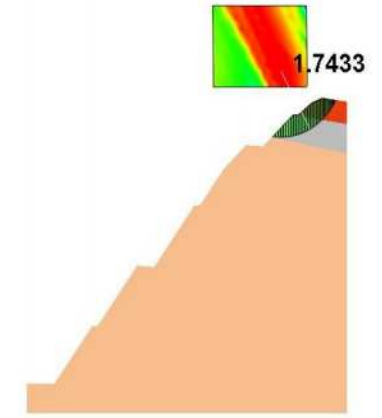
◦ 검토단면





대표단면 : STA.40+655, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.77	안전율 : 1.99	안전율 : 1.74

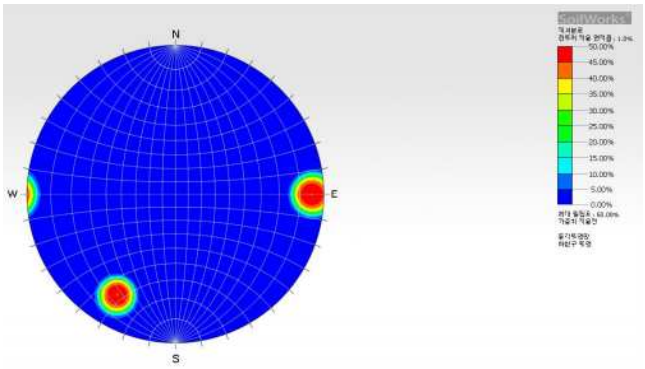
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

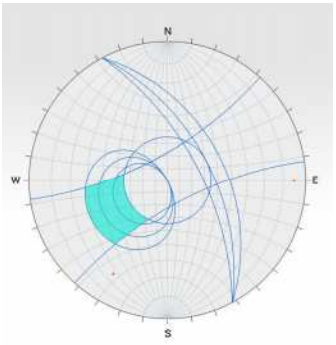
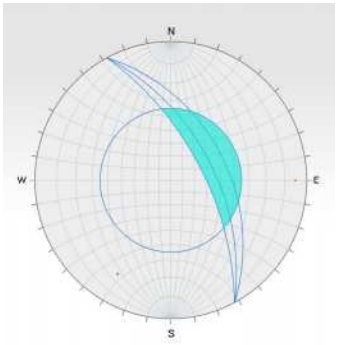
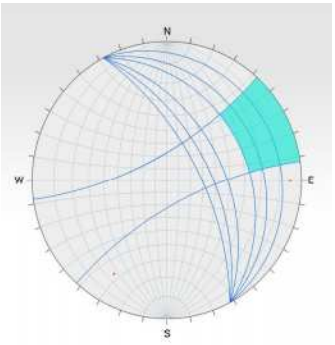
4) 2구간 (STA.40+805 ~ 40+895)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 85 76	dip direction 270 30

◦ 해석결과

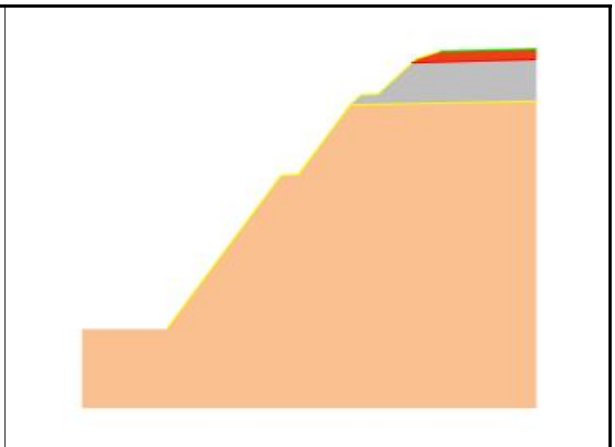
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

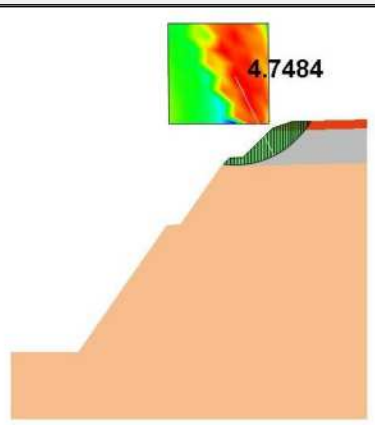
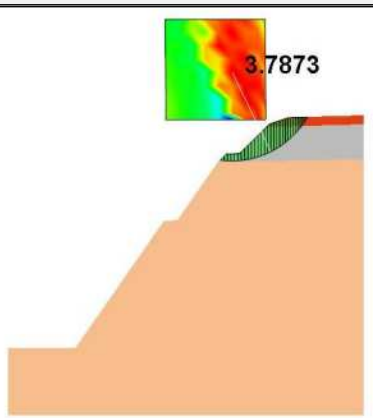
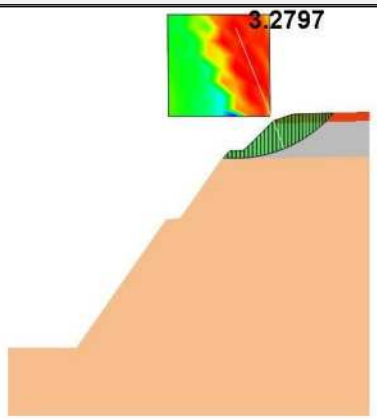
◦ 검토단면





대표단면 : STA.40+825, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 4.74	안전율 : 3.78	안전율 : 3.27

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 32-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토32**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.77	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.99	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.74	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

32.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 32-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토32**		
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	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 32-82> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

32.5 내구성능 평가

32.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 32-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 7/48 = 0.15
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 98.1MPa	
면적	전체	4,064㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	4,064㎡	
표면보호공	식 생	4,064㎡	
사면보강공	-	-	

32.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 32-84> 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

32.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 32-85> 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 32-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
40.565km	140.2	142.9	초기 강도값(경암) : 98.1MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
40.605km	124.4	126.8	
40.625km	136.8	139.4	
40.685km	129.4	131.9	
40.825km	117.8	120.1	
40.845km	132.8	135.4	
평균값	130.2	132.8	
등급	**A등급**		

<표 32-87> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 32-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	4,064/4,064㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 32-89> 사면보강공 평가 등급 및 결과

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면 보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	-	미세한 균열 및 파손 발생
	c	일부 유격 발생	일부 균열 및 파손이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않은 상태
	d	-	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태
	e	전체적인 유격 발생	균열 및 파손이 심각한 상태

<표 32-90> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 32-91> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
풍화진행도	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	41	41	41
평 균	8.2	8.2	8.2
평가 결과	c	c	c

<표 32-91> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(2구간)		
	Set 4	Set 5	-
길이(m)	1~3	1~3	-
	b(5)	b(5)	-
틈새(㎜)	< 0.1	< 0.1	-
	b(5)	b(5)	-
거칠기	약간 거침	약간 거침	-
	c(10)	c(10)	-
충전물	hard	hard	-
	b(5)	b(5)	-
풍화진행도	HW	HW	-
	d(16)	d(16)	-
합 계	41	41	-
평 균	8.2	8.2	-
평가 결과	c	c	-

<표 32-92> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
1구간 - Set 1	c	0.43	
1구간 - Set 2	c	0.43	
1구간 - Set 3	c	0.43	
2구간 - Set 4	c	0.43	
2구간 - Set 5	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

32.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 32-93> 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 32-94> 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	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 32-95> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

32.6 종합평가

32.6.1 종합평가 개요

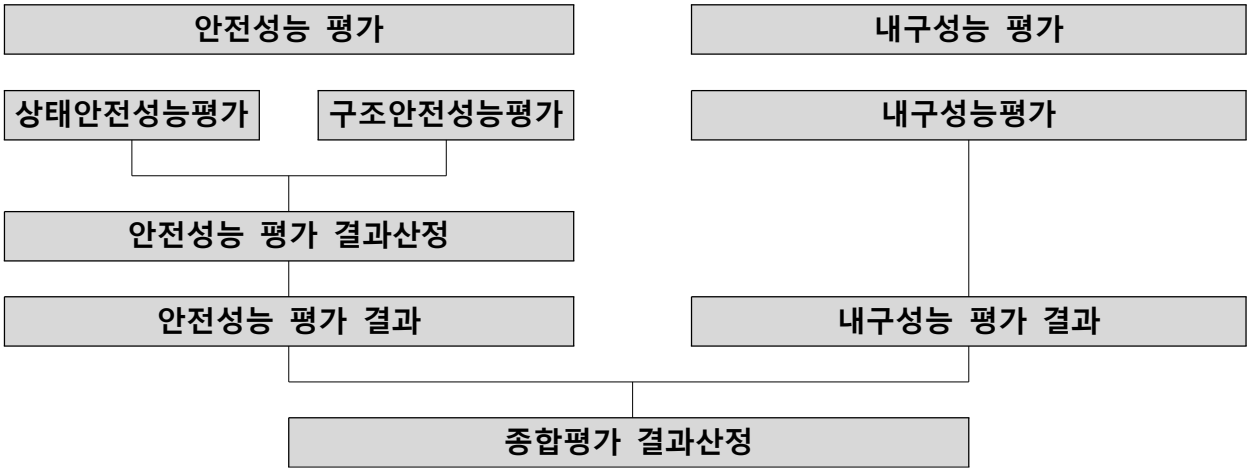
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 32-16> 종합평가 흐름도

32.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 32-96> 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 32-97> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토32		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.120	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.120 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.149 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 32-98> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

32.7 유지관리 전략 제안

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

32.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 32-99> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

32.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.149)"으로 평가되었다.

<표 32-100> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.265	0.149
평가결과	A	B	A

32.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 32-101> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

32.8 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. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제33장 영천절토33

33.1 대상 시설물 현황

33.2 관련 자료의 분석

33.3 현장조사

33.4 안전성능평가

33.5 내구성능평가

33.6 종합평가

33.7 유지관리전략 제안

33.8 종합결론

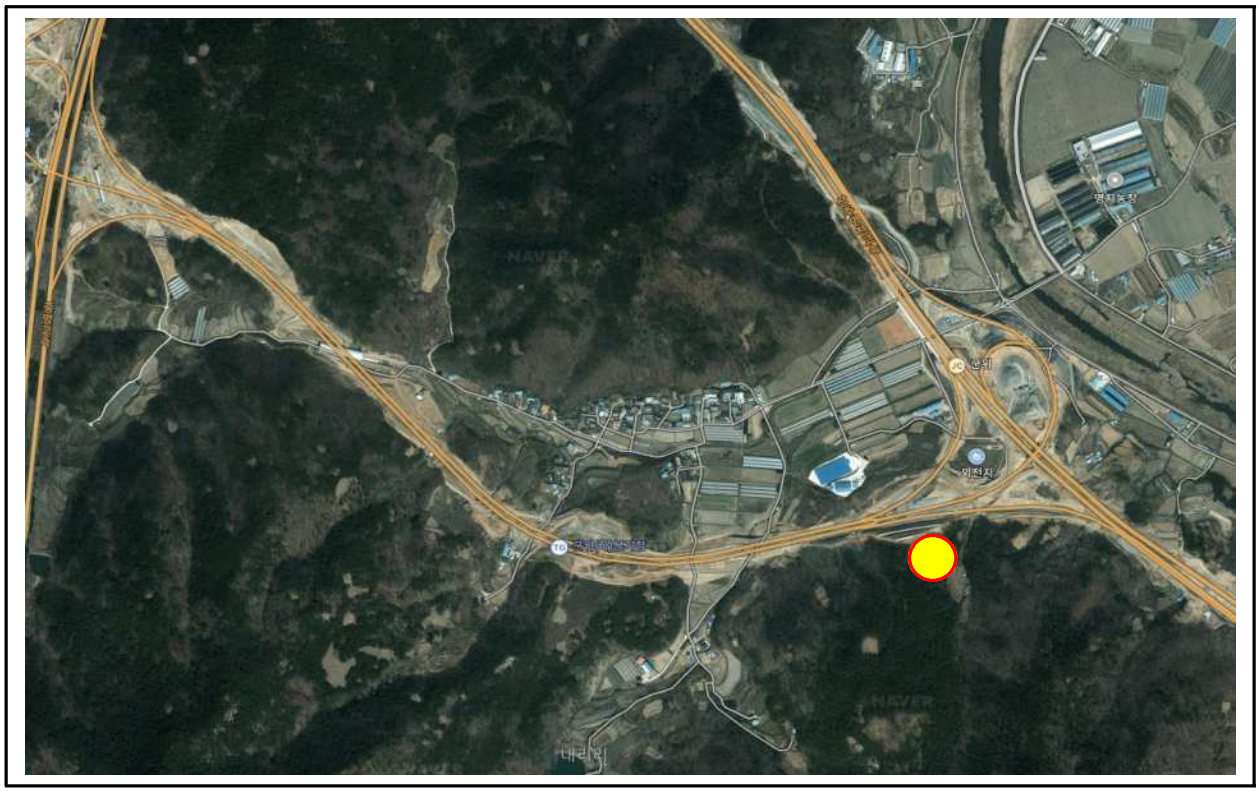
제33장 영천절토33

33.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 효령면 내리리(상주영천고속도로 군위R-A 0+360~0+690)에 위치한 사면으로서 총 연장 330.0m, 높이 42.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 33-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000045		**관리번호**	SY SL33
시설물명	영천절토33		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 효령면 내리리		
	위치좌표	시점 : 36° 15′59.6″ 128° 56′75.7″		
		종점 : 36° 15′56.6″ 128° 56′50.0″		
	관리이정	0.360~0.690km		
	공구이정	5공구 군위R-A(본선)STA.0+360~0+690		
제 원	**연 장**	330m	**높 이**	42.0m
	경사/방향	55/358	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	10~20°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	대림산업(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 숏크리트		
비 고				



<그림 33-1>위치도



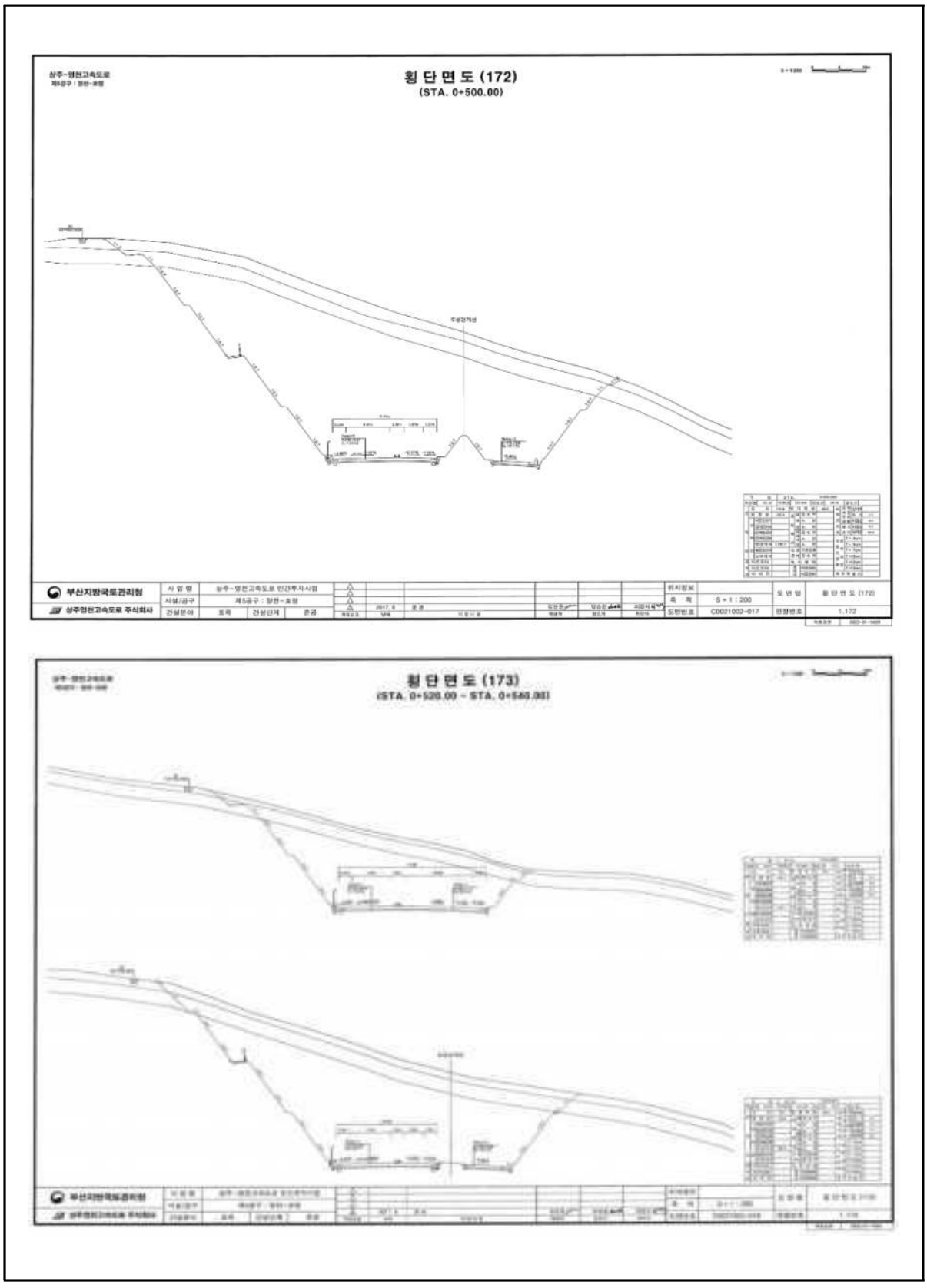
<그림 33-2> 전경사진

	
상단 전경	정면 전경
	
1소단 배수로 전경	산마루측구 전경
	
하부 전경	점검계단 전경

<그림 33-2> 전경사진(계속)



<그림 33-3> 평면도



<그림 33-4>표준횡단면도

33.2 관련 자료의 분석

33.2.1 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 33-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종・횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수・보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

33.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

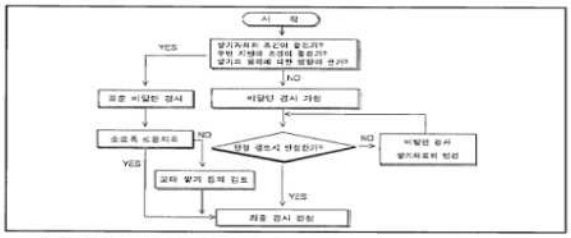
8.4 비탈면 설계기준

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

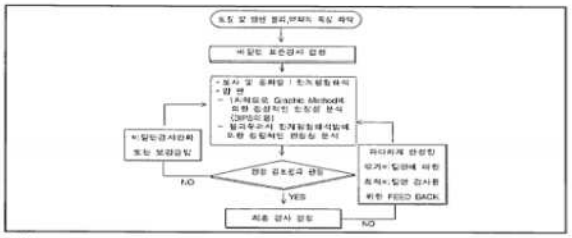
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 쌓기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 뒤채 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



282

8.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국도지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 점착는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 기울기3%

8.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

287

다. 뒤기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 자차 불안정하게 된다.

따라서 뒤기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 뒤기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 송리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

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

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

284

8.4.5 설계기준 선정

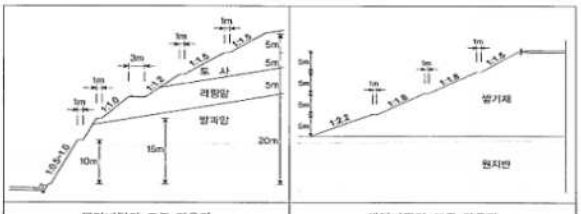
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 8.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

<비탈면 기울기 설계기준>

비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
암뒤기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	· 토사 및 리핑암 - 암뒤기 높이 5m 마다 소단 1m 설치
	리 핑 암	1 : 1.0	· 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시)
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	· 암뒤기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5~3.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치



뒤기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

290

2) 지형 및 지질

4.2 지표지질 조사

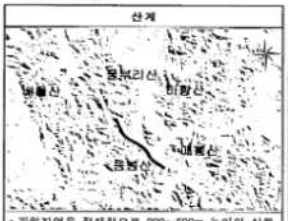
4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

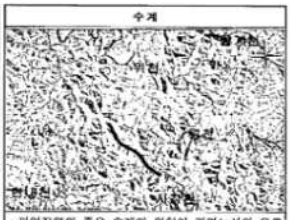
- 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
- 본 과업 지역의 지질은 백악기 경상층군의 신동층(연화동층), 하산동층, 진주층(용덕층)이 분포

나. 지형특성

산계



수계



- 과업지역은 전체적으로 200~500m 높이의 산들이 고루 분포되어 있음
- 과업노선은 용봉산의 지지대를 따라 지나가며 북서방향으로 놓여 있음
- 산계는 주로 서북서 방향의 선구조가 잘 관찰됨

- 과업지역의 주요 수계인 위천이 과업노선의 오른쪽에 분포하고 있음
- 과업 노선의 시점부 지역에서 위천이 사창천과 남천으로 분기되고 있으며 노선과 직접적으로 교차하는 수계는 없음

다. 분포 암종 특성

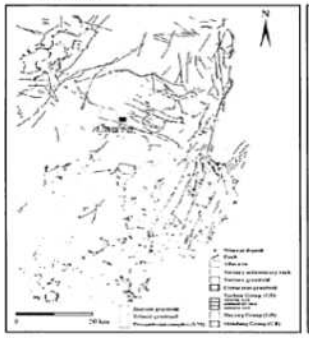
구 분	지질특성
낙동층 금당리층원 사암	• 낙동층의 하부층에 해당하는 안경산층원의 역질사암과 역암은 원마도가 불량한 석영과 암편리장석이 주를 이루며, 탄질물과 변질된 유색광물이 주로 산출됨
하산동층 사암	• 석립은 1 mm 내외의 것들로 원마도는 불량한 것들이 우세 • 하산동층 사암은 근거리에서 이동하여 형성
하산동층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방태석이 침전 또는 충전되어 있어 송리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단
진주층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방태석이 침전 또는 충전되어 있어 송리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단

53

라. 지질 계통도

지질시대		층 명		특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)		• 하천 및 산록 퇴적물	
		~~ 부정합 ~~			
중생대	백악기	중성암맥(Kid) 산성암맥(Kad)		• 과상의 지맥	• 전 구간에서 기반암을 관입
		유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 응회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		~~ 관입 및 분출 ~~			
		신동층군	하산동층(Ka2) 상부(Ka2-2)	• 사암 및 적색 미사암, 이암의 교호	• 5공구 종점
			하부(Ka2-1)	• 사암과 역질사암, 역암의 교호	• 5공구 종암 및 시점부

마. 지체구조



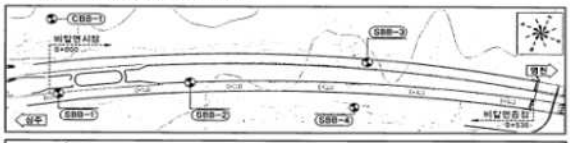
- 과업지역은 한반도의 중남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
- 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달

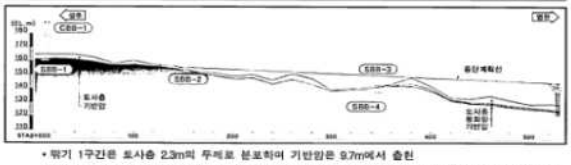
54

7.2 지층특성 분석

가. 본선비탈면구간

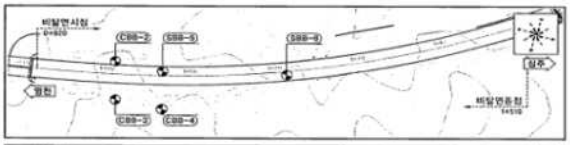
(1) 비탈면 1구간(STA.0+000~0+530)

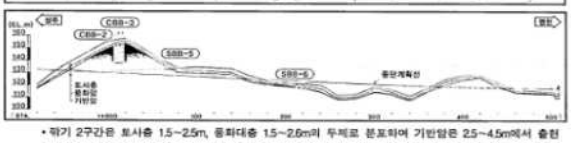




- 땅기 1구간은 토사층 2.3m의 두께로 분포하며 기반암은 9.7m에서 출현
- 짧기 1구간은 토사층 0.8~3.0m, 풍화대층 0~2.5m의 두께로 분포하며 기반암은 0.8~5.0m에서 출현

(2) 비탈면 2구간(0+920~1+510)





- 땅기 2구간은 토사층 1.5~2.5m, 풍화대층 1.5~2.6m의 두께로 분포하며 기반암은 2.5~4.5m에서 출현
- 땅기 3구간은 토사층 0.5~1.0m, 풍화대층 0.5~3.0m의 두께로 분포하며 기반암은 1.0~4.0m에서 출현
- 짧기 2구간은 토사층 0.8~3.5m, 풍화대층 0.0~2.2m의 두께로 분포하며 기반암은 3.0~3.5m에서 출현

248

7.3 지반특성 분석

7.3.1 토질 물성 시험

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit LL(%)	Atterberg Limit PI(%)	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.02mm	USCS
땅기	CBB-2	1.00	풍화토	8.6	2.74	NP	-	47	34.7	23.8	15.3	-	GM
	CBB-4	1.00	퇴적층	16.4	2.73	NP	-	56	42.4	29.1	15.8	-	GM
	CBB-10	1.00	퇴적층	15.2	2.69	NP	-	92.4	85.1	43.9	20.0	-	SM
	CBB-12	1.00	퇴적층	28.0	2.74	39.7	19.5	72.8	64.4	53.0	32.7	15.5	SC
	CBB-18	1.00	풍화토	12.3	2.74	30.0	8.7	84	71.7	58.3	42.3	11.0	SC
	CBB-21	1.00	풍화암	11.9	2.70	NP	-	67.4	58.5	26.8	11.3	-	SW~SM
	CBB-22	2.00	풍화암	6.7	2.73	NP	-	100	95.2	35.8	19.1	-	SM
	CBB-24	2.00	풍화토	13.4	2.73	NP	-	59.1	45.7	32.6	21.0	-	GM
짧기	SBB-1	1.00	퇴적층	26.7	2.68	44.3	22.1	100	97.0	86.5	69.9	28.5	CL
	SBB-3	2.00	퇴적층	8.0	2.65	NP	-	69	67.3	46.2	22.6	-	SM
	SBB-5	2.00	풍화암	7.2	2.65	NP	-	96.8	92.7	55.2	26.7	-	SM
	SBB-6	3.00	풍화토	9.5	2.63	NP	-	100	99.2	56.5	28.1	-	SM
	SBB-9	2.00	매립층	11.3	2.69	NP	-	57	51.5	36.4	17.7	-	GM
	SBB-10	1.00	풍화토	19.3	2.65	31.8	10.5	100.0	94.0	61.5	35.5	10.5	SC
	SBB-19	4.00	풍화토	13.5	2.69	28.8	5.2	100	76.1	57.6	37.4	6.5	SM
	SBB-21	2.00	퇴적층	19.4	2.67	NP	-	69.2	54.9	32.0	19.0	-	SM
	SBB-22	1.00	매립층	16.7	2.64	NP	-	83.9	75.5	49.7	22.7	-	SM
	SBB-23	1.00	매립층	8.8	2.64	NP	-	37.0	30.5	20.5	8.9	-	GW~GM
	6SBB-21	2.00	퇴적층	5.3	2.68	NP	-	-	20.6	10.2	3.5	-	GW
	6SBB-22	3.00	퇴적층	8.6	2.67	NP	-	-	51.7	39.3	30.5	-	SM
램프 땅기 구간	RCB-6	표토	표토	3.0	2.65	NP	-	99	84.8	24.8	4.6	7.5	SW
	RCB-13	1.00	풍화암	15.2	2.73	27.2	3.1	100.0	90.0	65.7	49.7	7.5	SM
	RCB-15-1	표토	표토	36.8	2.70	NP	-	78	61.0	42.5	30.4	-	SM
	RCB-17	3.00	풍화암	11.9	2.71	NP	-	83	62.9	39.9	24.8	-	SM
	RCB-18	2.00	풍화암	11.6	2.72	NP	-	93.2	90.2	81.9	28.3	-	SM
	RCB-19	2.00	풍화토	12.0	2.73	NP	-	100.0	98.0	53.3	21.3	-	SM
	RCB-20	3.00	풍화토	10.3	2.69	NP	-	100.0	97.3	40.4	20.4	-	SM
램프 짧기 구간	RSB-11	1.00	퇴적층	17.0	2.71	27.9	4.8	100	100.0	92.4	68.5	11.0	ML
	RSB-12	1.00	매립층	11.0	2.68	NP	-	47.6	41.8	31.3	12.2	-	GM
	RSB-13	2.00	퇴적층	20.9	2.68	29.0	11.3	100.0	100.0	91.4	65.6	16.0	CL
	RSB-14	2.00	풍화토	17.4	2.69	27.9	10.6	100	97.4	83.3	49.0	14.5	SC
	RSB-15	2.00	풍화토	15.9	2.71	30.0	6.5	100.0	100.0	97.8	68.7	9.0	ML
	RSB-16	2.00	풍화토	12.7	2.67	NP	-	100	99.6	49.2	25.4	-	SM
	RSB-17	1.00	풍화토	10.6	2.71	NP	-	76	70.6	41.8	23.4	-	SM

- 비탈면구간 함수비는 6.7~28.7%, 비중은 2.63~2.74로 통일분류상 SC, SM, GM, CL, GW-GM, SW-SM에 해당됨
- 램프비탈면구간 함수비는 3.0~36.8%, 비중은 2.65~2.73로 통일분류상 SM, GM, SC, GM, ML, CL에 해당됨

256

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 5공구 지반조사

1.2 조사목적

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 5공구를 위한 지반조사
• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조사범위

위 치	• 시점 : (STA. 0+000) (X=299983.5334, Y=157920.5497) • 종점 : (STA. 7+978) (X=293576.3489, Y=163273.3736) • 연장 : 7.98km
특 성	• 국도 5남부 5개 고속도로를 연결하는 제2경부축(상주~경전) 고속도로 건설 • 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도



• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간			토공구간
• 불로터널(490m) • 중구터널(385m) • 효령터널(980m)	• 오로교(385m) • 오심교(260m) • 불당교(240m) • 불로교(45m)	• 중구고(220m) • 효령고(80m) • 강외고(90m)	• 램프A-1교(35m) • 램프A-2교(17m) • 램프A-3교(30m) • 램프A-4교(50m) • 램프C교(240m)	• 뒤기구간(16개소) • 불기구간(16개소) • 램프뒤기구간(7개소) • 램프W기구간(11개소)

1

제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

가. 조사 기본방향

(1) 조사계획 수립

• 기존 문헌자료, 기본계획, 인접지역 설계 및 시공자료 분석
• 지형 및 지질 특성을 고려한 조사 범위 및 일정계획 수립
• 전기비저항 탐사 적용, 이상대 및 미시추구간 암반등급 산정
• 검사시추 및 특수시험을 통한 단층파쇄대 지질 및 공학적 특성 평가

(2) 단계별 조사 수행

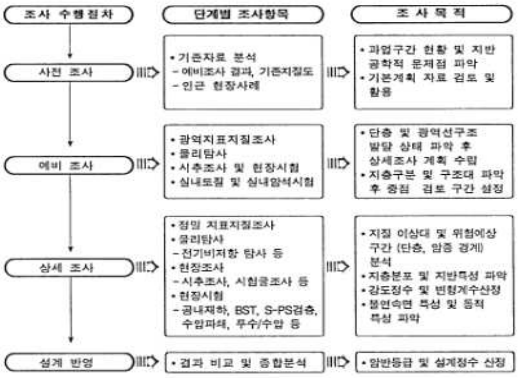
• 사전조사를 통한 중점검토사항 및 주요조사항목 선정
• 상세조사, 추가조사를 통한 지반정보자료 파악 및 분석 수행
• 다양한 분석기법을 적용, 암반등급별 최적의 설계지반정수 산정
• 구조구 분류를 통한 불연속면 특성 상세 분석

우수하고 경제적인 설계 수행을 위한 상세 지반정보 제공

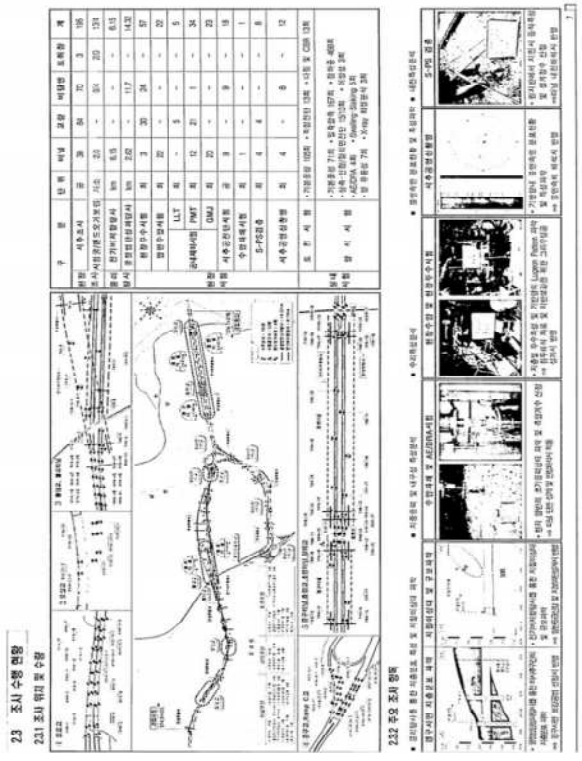
(3) 중점검토구간 정밀조사 수행

(4) 신뢰성 높은 분석 및 설계활용 극대화

나. 조사 수행 흐름도



3

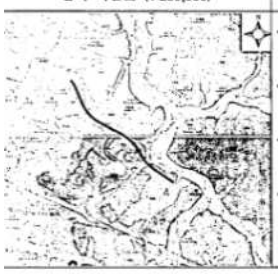


23 조사 수행 현황
231 조사 위치 및 수량
232 주요 조사 항목

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:250,000)	분 석 내 용
	• 과업구간은 백악기 경상분지의 주로 신등층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치 • 낙동층의 상부가 이 지역에 분포, 층후는 약 900m이며, 역질사암, 사암, 미사질 세암 및 역암으로 구성 • 하산동층은 두께 약 700m이며 사암, 세암, 자색세암 또는 미사암, 역질사암 및 역암으로 구성 • 전주층은 두께 약 900m이며 사암(일부 역질), 회색 내지 암회색 세암, 역암 및 석회암(흔히 니회암질)박층 등으로 구성

4.1.2 기본설계 자료 분석

구 분	분 석 내 용
터널구간	• 풍적층은 0.5~7.3m, 풍화토는 1.3~9.3m, 풍화암은 0.3~5.0m 두께로 분포 • 연암은 2.0~10.8m, 보통암은 27.5m, 경암은 3.0~31.5m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=42~100/0~55, 보통암 TCR/RQD(%) =93~100/40~50 경암 TCR/RQD(%)=10~100/0~100로 최적암으로 구성
교량구간	• 풍적층은 0.3~5.4m, 풍화토는 0.5~1.1m, 풍화암은 0.3~0.9m 두께로 분포 • 연암은 1.1~6.3m, 경암은 2.9~6.0m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD (%)=25~100/0~64, 경암 TCR/RQD(%)=82~100/45~67로 최적암으로 구성
비탈면구간	• 붕적층은 0.3m, 풍화토는 3.7m, 풍화암은 1.5~4.0m 두께로 분포 • 연암은 0.3~24.0m, 경암은 1.5~22.0m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD (%)=62~100/0~41, 경암 TCR/RQD(%)=90~100/62~100로 최적암으로 구성

52

4.3 지중분포 특성을 위한 조사

4.3.1 개 요

가. 기본 방향

- 터널 및 교량구간 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 14.32km, 전기비저항탐사 6.15km, 시추조사 196공, 시험굴조사 13개소, 표준관입시험 480회

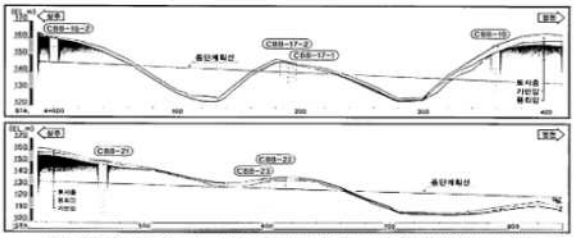


(1) 굴절법 탄성파 탐사

- 본선 구간

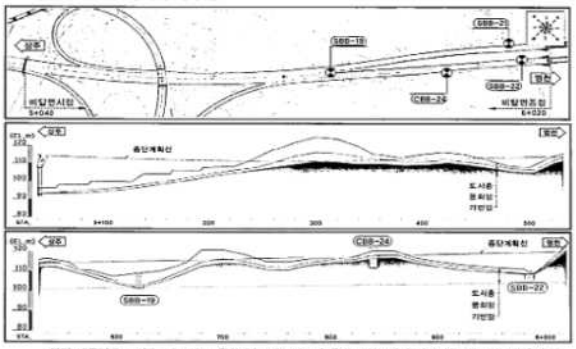
위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 구간	0+000	횡	115
	0+950~1+180	종	230
	1+000	횡	115
	1+080	횡	115
	1+190~1+605	종	415
	1+720~2+675	종	955
필로터널 시점	(영천)3+010~3+125	종	115
	(상주)2+970~3+085	종	115
	3+020	횡	55
	3+100	횡	55
필로터널 종점	(영천)3+410~3+600	종	115
	(상주)3+410~3+525	종	115
	3+540	횡	55
	3+460	횡	55
비탈면 구간	3+600~4+000	종	1,245
	4+360	횡	115
	4+470	횡	115
	4+600	횡	115

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
승구터널 시점	(영천)6+000~6+080	종	80
	(상주)6+600~6+680	종	80
	6+030	횡	100
승구터널 종점	(영천)6+370~6+470	종	100
	(상주)6+370~6+470	종	100
	6+430	횡	100
호명터널 시점	(영천)6+545~6+660	종	115
	(상주)6+545~6+660	종	115
	6+590	횡	100
	6+635	횡	100
호명터널 종점	(영천)7+535~7+650	종	115
	(상주)7+535~7+650	종	115
	7+575	횡	100
	7+600	횡	100



- 위기 12구간은 토사층 0.5~5.7m, 풍화대층 1.8~2.8m의 두께로 분포하며 기반암은 2.7~7.5m에서 출현
- 설기 9, 10구간은 토사층 0.3m의 두께로 분포하며 기반암은 3.2m에서 출현
- 위기 9, 10구간과 설기 7구간은 토사층 0.5m, 풍화대층 1.0~3.0m의 두께로 분포
- 위기 11구간과 설기 8구간은 토사층 0.5m, 풍화대층 2.0~3.0m의 두께로 분포

(5) 비탈면 5구간(5+040~6+040)



- 위기 13구간은 토사층 1.5~4.9m, 풍화대층 0.5~1.9m의 두께로 분포하며 기반암은 2.0~3.7m에서 출현
- 설기 11, 12구간은 토사층 6.7m, 풍화대층 1.1m의 두께로 분포하며 기반암은 7.8m에서 출현
- 설기 13구간은 토사층 1.8~2.5m, 풍화대층 1.1m의 두께로 분포하며 기반암은 1.8~2.5m에서 출현

7.6 설계 지반정수 산정

7.6.1 개 요

가. 기본 방향

- 기존 설계정수 산정의 문제점을 분석하고 대표값 산정시 신뢰도 향상을 위해 통계처리기법 (Monte Carlo Simulation)을 적용하여 설계지반정수 산정
- 인근 유사현장의 설계·시공자료와 기존문헌자료를 분석하여 합리적인 설계 정수 산정

7.6.2 산정결과 요약

가. 연속체 해석을 위한 설계 지반정수 산정 결과

구 분	변형계수, E_m(MPa)	단위중량 γ_t(kN/㎥)	점착력, c(kPa)	내부마찰각, ϕ(°)	포아송비, ν
붕 적 층	10.0	18.0	10.0	30.0	0.350
풍 화 토	20.0	19.0	24.0	26.0	0.350
풍 화 암	100.0	20.0	29.0	32.0	0.320
기반암	-	25.0	240.0	36.0	-
파쇄암반(파쇄대)	-	23.0	37.0	28.0	-

나. 수리해석을 위한 설계지반 정수 산정 결과

구 분	붕적층	풍화토	풍화암	기반암	파쇄암반(파쇄대)
투수계수, k(cm/sec)	1.70×10^{-3}	6.00×10^{-4}	5.20×10^{-4}	8.70×10^{-5}	3.00×10^{-3}

다. 불연속체 해석을 위한 설계지반 정수 산정결과

(1) UDEC 및 3-DEC 해석을 위한 절리면 강도정수 산정결과

구조구	심도 (m)	절리군	방향 (Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_n (MPa)	JRC	JCS (MPa)	ϕ_r (°)	a_i (mm)	V_m (mm)	K_{ni} (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)	K_c (MPa/mm)
1	22.3	1	9/134	90.3	0.59	5.0	36.4	29.0	0.40	0.42	3.42	6.81	0.46
		2	81/263		3.71								
		3	90/155		33.22								
		4	75/218		2.24								
2 2-1	42.2	1	09/106	58.2	1.10	11.0	36.2	30.0	0.49	0.42	13.58	19.32	1.17
		2	86/221		15.73								
		3	79/337		5.75								
		4	85/297		12.59								
2-2	26.0	1	04/088	85.2	0.68	5.0	32.5	27.0	0.42	0.45	3.15	19.32	1.17
		2	83/358		5.55								
		3	73/063		2.31								
3	23.0	1	07/102	88.8	0.60	6.0	27.9	29.0	0.64	0.56	4.22	6.90	0.48
		2	81/356		3.82								
		3	89/295		34.26								
		4	82/036		4.30								
4	29.0	1	15/137	81.2	0.78	8.0	33.9	29.0	0.61	0.50	7.96	14.03	1.13
		2	82/009		5.42								
		3	65/071		1.78								
5	30.5	1	11/121	83.7	0.81	10.0	36.3	32.0	0.72	0.51	11.36	14.76	0.92
		2	84/052		7.59								
		3	85/330		9.10								
		4	82/291		5.70								

7.6.6 불연속체 해석을 위한 설계 지반정수 산정

가. 개 요

- 방향성 및 역학적 특성을 고려하여 구조구별 물성치 산정
- 해석에 사용된 물연속면 자료는 지표지질조사, 시추공영상촬영의 조사성과를 종합분석하여 절리빈도가 높고 연장성이 좋은 절리군을 주 물연속면으로 구분하여 해석에 반영
- 해석에 이용된 입력정수는 현지암반 물연속면 조사결과와 절리면 전단시험 결과로부터 산정
- 저밀요소해석시 실제 절리거동 표현 및 입력자료의 취득이 용이하고 객관성 측면에서 Mohr-Coulomb 모델보다 우수한 Barton-Bandis 모델을 적용하고 이에 따른 설계정수 산정

나. Barton-Bandis에 의한 절리면 수치강성 및 전단강성

- 수직강성 $K_n = K_{ni}\left[1-\frac{\sigma_n}{V_m K_{ni}+\sigma_n}\right]^{-2}$
- 전단강성 $K_s = \frac{100}{L}\sigma_n \tan\left[JRC\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+\phi_r\right]$

여기서, $K_{ni} = -7.15 + 1.75\,JRC + 0.02\left(\frac{JCS}{a_i}\right)$, $a_i = \frac{JRC}{5}(0.2\frac{\sigma_c}{JCS} - 0.1)$

$V_m = -0.296 - 0.0056\,JRC + 2.241\left(\frac{JCS}{a_i}\right)^{-0.348}$

구조구	심도 (m)	절리군	방향 (Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_n (MPa)	JRC	JCS (MPa)	ϕ_r (°)	a_i (mm)	V_m (mm)	K_{ni} (MPa/mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)
1	22.3	1	9/134	90.3	0.59	5.0	36.4	29.0	0.40	0.42	3.42	6.81	0.46
		2	81/263		3.71							43.90	2.50
		3	90/155		33.22							1990.87	18.56
		4	75/218		2.24							22.40	1.57
2 2-1	42.2	1	09/106	58.2	1.10	11.0	36.2	30.0	0.49	0.42	13.58	19.32	1.17
		2	86/221		15.73							191.77	10.60
		3	79/337		5.75							54.76	4.62
		4	85/297		12.59							139.70	8.83
2-2	26.0	1	04/088	85.2	0.68	5.0	32.5	27.0	0.42	0.45	3.15	6.90	0.48
		2	83/358		5.55							76.11	3.31
		3	73/063		2.31							21.76	1.49
3	23.0	1	07/102	88.8	0.60	6.0	27.9	29.0	0.64	0.56	4.22	6.63	0.49
		2	81/356		3.82							28.89	2.59
		3	89/295		34.26							1013.50	18.57
		4	82/036		4.30							33.55	2.69
4	29.0	1	15/137	81.2	0.78	8.0	33.9	29.0	0.61	0.50	7.96	11.39	0.70
		2	82/009		5.42							44.40	3.85
		3	65/071		1.78							16.67	1.45
5	30.5	1	11/121	83.7	0.81	10.0	36.3	32.0	0.72	0.51	11.36	14.76	0.92
		2	84/052		7.59							60.62	6.10
		3	85/330		9.10							75.07	7.11
		4	82/291		5.70							44.71	4.79

33.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 33-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	취부공의 부분적인 식생 미활착, 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 발생하였으며, 4소단 비탈면에서 낙석이 우려되는 암석이 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 안전사고 예방을 위한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2033. 05. 28 ~ 2033. 06. 30	정기안전점검	취부공의 부분적인 식생 미활착, 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 발생하였으며, 4소단 비탈면에서 낙석이 우려되는 암석이 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 안전사고 예방을 위한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2033. 10. 23 ~ 2033. 12. 31	정기안전점검	취부공의 부분적인 식생 미활착, 소단배수로 균열 및 재균열이 일부 발생하였으며, 4소단 비탈면에서 낙석이 우려되는 암석이 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 안전사고 예방을 위한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	취부공의 부분적인 식생 미활착, 1단 사면 충진물 유실, 소단배수로 균열 및 재균열, 토사퇴적이 일부 발생하였으며, 4소단 비탈면에서 낙석이 우려되는 암석이 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 안전사고 예방을 위한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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)~심한풍화(HW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해 작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	1단 사면 충전물 유실, 소단배수로 균열 및 들뜸이 일부 발생하였으며, 숏크리트의 경우 일부구간 들뜸이 발생된 것으로 조사되었다. 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

33.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 33-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

33.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계는 미적용된 것으로 확인되었다.

<표 33-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	미적용	-	-	

33.2.6 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 33-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

33.3 현장조사

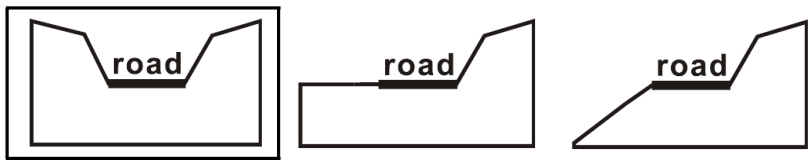
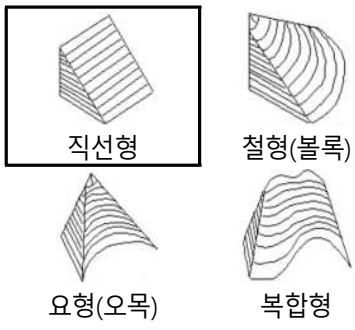
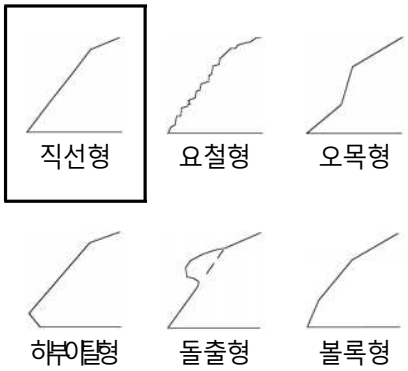
33.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 33-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 18.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 효령면 내리리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 15′59.6″ 128° 56′75.7″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 15′56.6″ 128° 56′50.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 330m</td><td colspan="3">높 이 : 42.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/062</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="3">토층심도 : 약 1.0~6.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">낙석/뜬돌</td><td colspan="2">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="3">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="2">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="3">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="6">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">0+410~0+540</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">0+500~0+620</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">0+500~0+620</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">0+620~0+690</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">0+480~0+620</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 33-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 33-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토33		
	위경도	시점 : 36° 15′59.6″ 128° 56′75.7″ 종점 : 36° 15′56.6″ 128° 56′50.0″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	330.0m	최대높이	42.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~6.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) ■숏크리트공(양호) □격자블럭 ■점검로(양호)		■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소 견	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			

33.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 효령면 내리리(상주영천고속도로 군위R-A 0+360~0+690)에 위치한 사면으로서 총 연장 330.0m, 높이 42.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 33-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{42.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 123.7~125.5MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{42.0}=0.012$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{42.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 123.7~125.5MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{42.0}=0.012$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 330m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 2개구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 33-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	0+360~0+540	180m
2구간	0+540~0+690	150m

33.3.3 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 10~20°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이며, 사면내 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 33-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1 / 1.0	-	
	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 식생공, 숏크리트공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화상태는 약한풍화(SW)~심한풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 33-13> 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 식생공이 없으며 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 33-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	70/324	72/284	75/210
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	HW	HW	HW
구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	68/210	80/188	75/330
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	HW	HW	HW

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 33-15> 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 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있으며, 조사결과 소단배수로 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 33-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	6EA / 16.0	건조수축	

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 33-17> 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 33-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 33-19> 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 33-20> 인장균열 조사 결과

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

33.3.4 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 총 6개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 33-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
0+440	56.3	118.2	경암	
0+480	57.1	127.6	경암	
0+500	56.7	125.5	경암	
0+520	53.5	108.9	경암	
0+600	53.9	111.0	경암	
0+620	56.4	123.7	경암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 53.5~57.1로 측정되었으며, 추정강도 108.9~127.6㎫로 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. 표면보호공은 식생공, 숏크리트공, 낙석방지공으로는 낙석방지망, 낙석방지울타리로 시공되어있다.

<표 33-22> 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경



숏크리트공, 낙석방지망 전경

라. 사면보강공

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

<표 33-23> 사면보강공 조사 결과

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

33.4 안전성능평가

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

33.4.1 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 0.14로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 파쇄암반, 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 33-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{42.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 123.7~125.5MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{42.0}=0.012$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{42.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 123.7~125.5MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{42.0}=0.012$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 330m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~6으로 표기하였다.

<표 33-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	0+360~0+540	180m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	0+540~0+690	150m	암반사면	Set4, Set5, Set6

<표 33-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 33-27> 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	계곡부 1개소	b
	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 33-28> 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 33-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 9.2	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 33-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 33-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 33-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 33-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 33-34> 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 33-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 33-36> 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/sec^2) (u, β는 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 33-37> 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 10~20°	c
	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 33-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 33-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 33-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 33-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토33		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		9.2	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
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 33-42> 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 33-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

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 33-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 9.2	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 33-45> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 33-46> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 33-47> 지하수 평가 결과(2구간)

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

<표 33-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

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

<표 33-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

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 33-50> 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 33-51> 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, β는 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 33-52> 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 10~20°	c
	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 33-53> 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 33-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 33-55> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 33-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토33		
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
블연속면 특성		9.2	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			11	
결함지수		0.11		
상태안전성능평가 결과		**A**		

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 33-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
330.0m	1구간	0+360~0+540	a(0.12)	A	인장균열 없음
	2구간	0+540~0+690	a(0.11)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

33.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

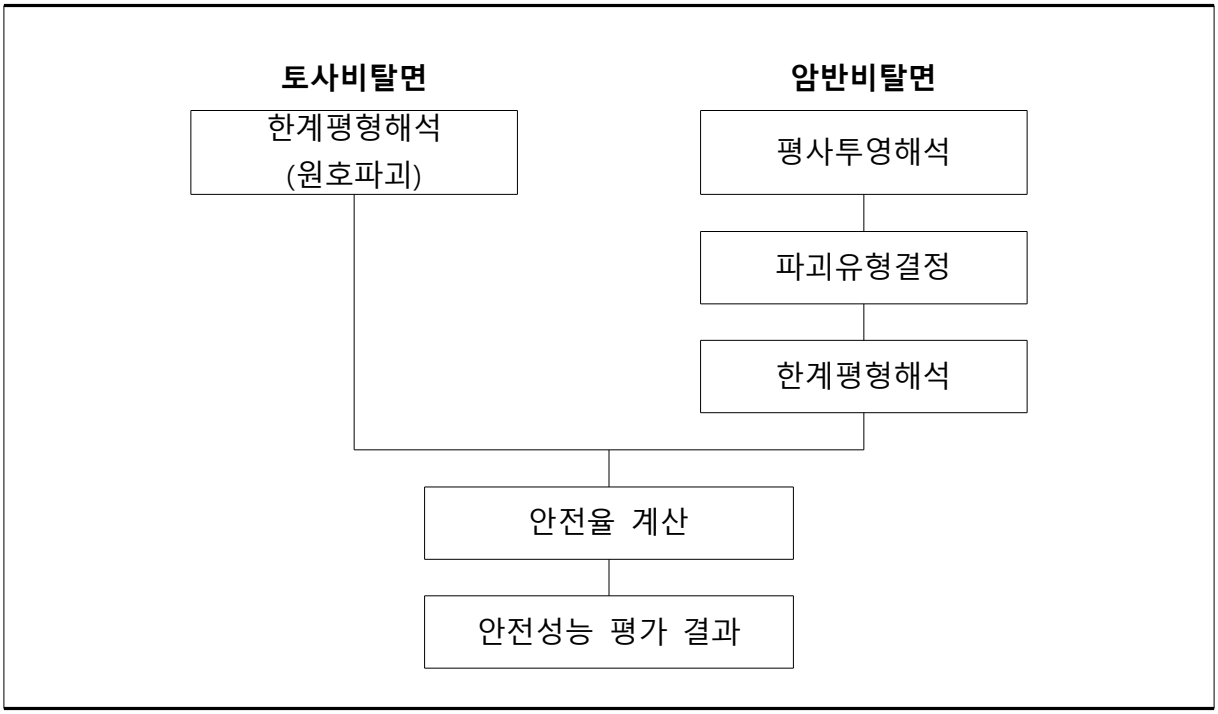
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 33-5> 구조안전성능 평가과정

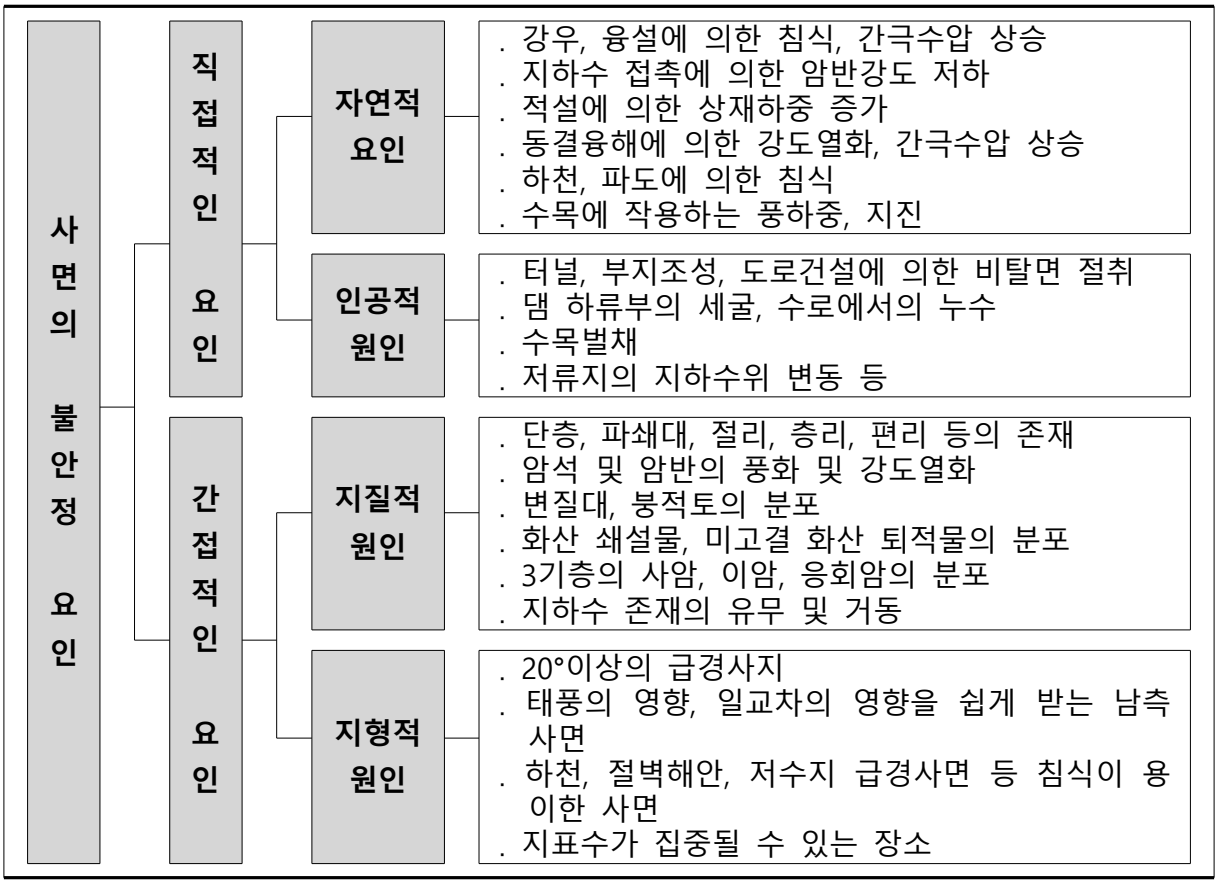
<표 33-58> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

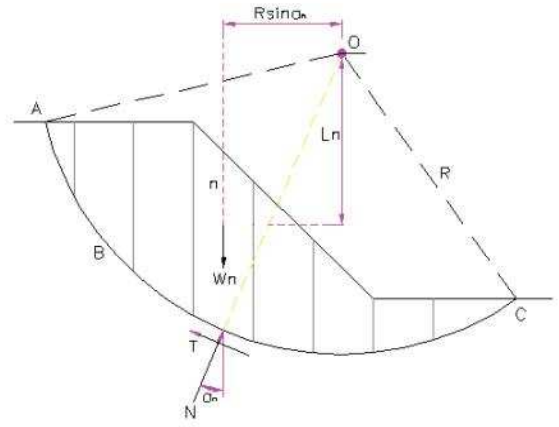


<그림 33-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

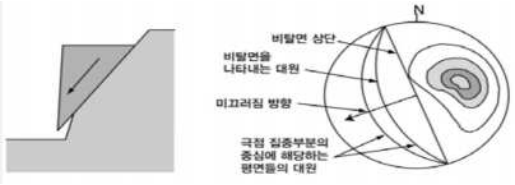
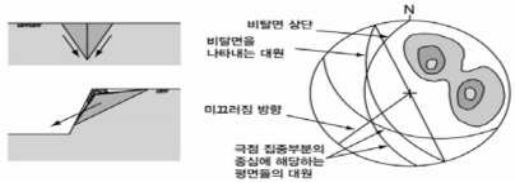
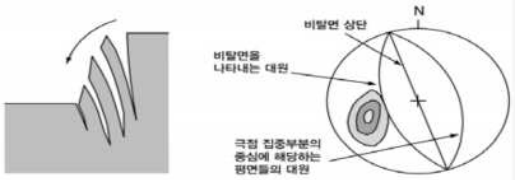
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 33-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 33-59> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 33-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

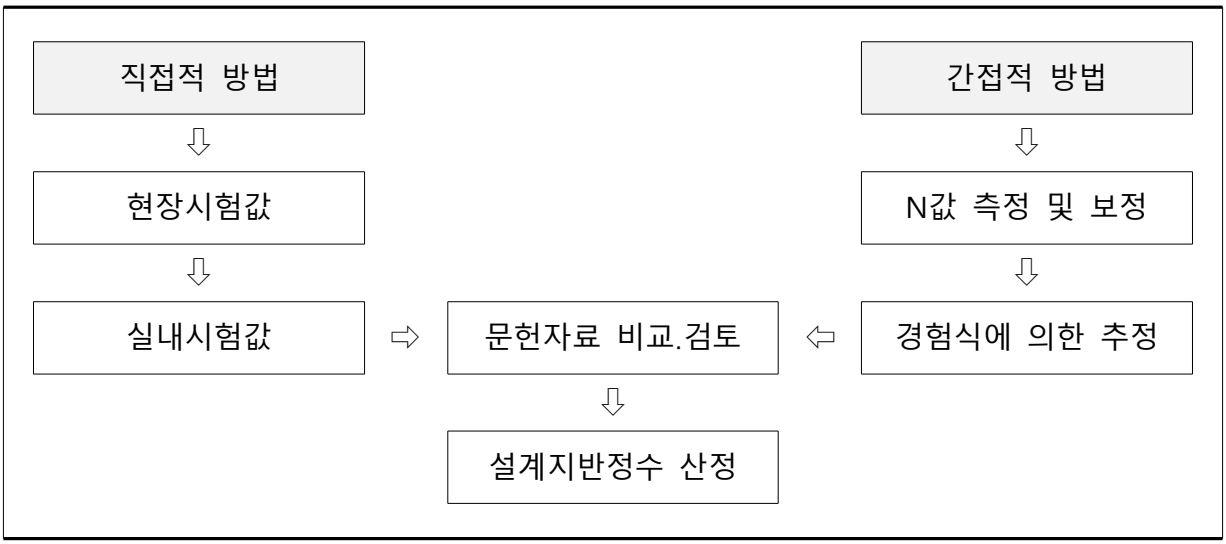
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 33-61> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 33-62> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 33-63> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 33-64> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 33-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (5공구)	풍화(잔적)토	19	26	24	
	풍화암	20	32	29	
	경 암	25	36	240	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 33-66> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 33-67> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~233.7	26.7±0.8	233.3±1.0	233.3±1.0	233.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 33-68> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 33-69> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 33-70> Trueman (1988)

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

<표 33-71> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 233.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19	26	24	0.3	
풍화암	20	32	29	0.3	
경 암	25	36	240	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 33-72> 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

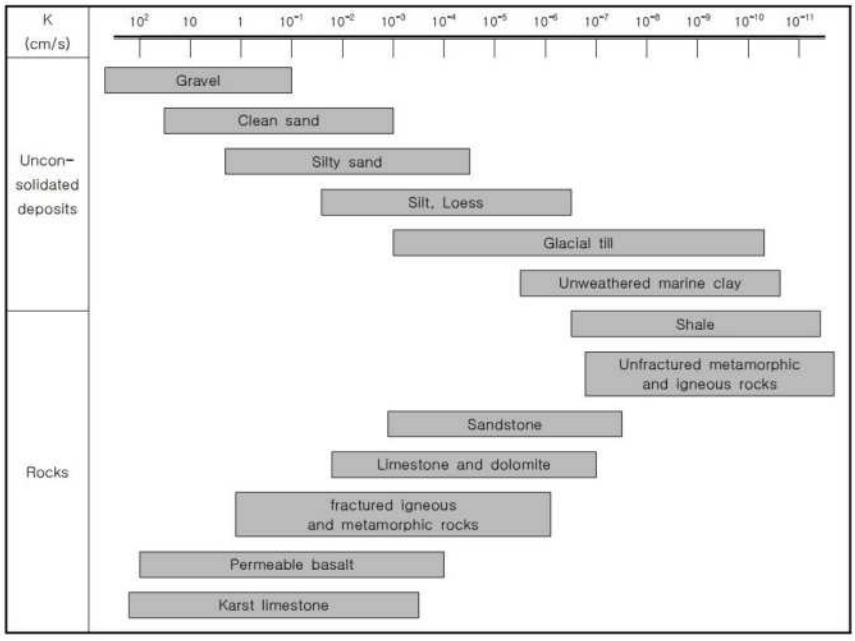
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 33-73> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 33-74> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 33-8> 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 33-75> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

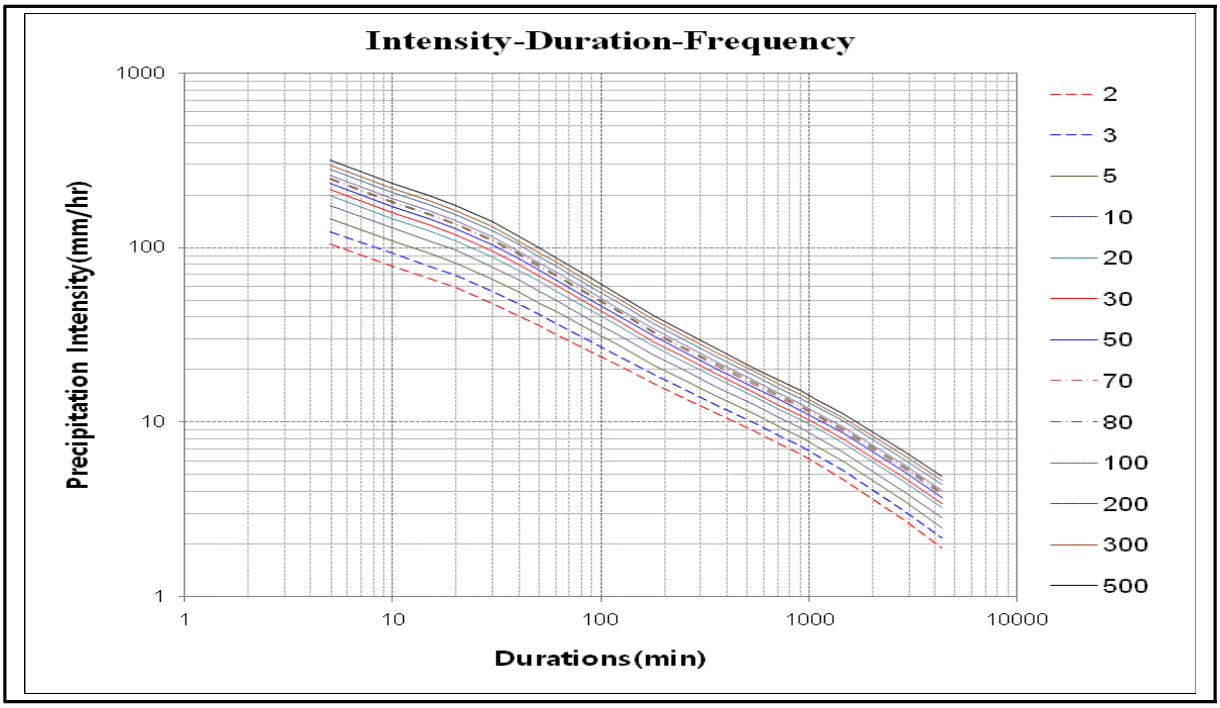
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 33-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 33-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 33-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 33-76> 설계지반운동 수준

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

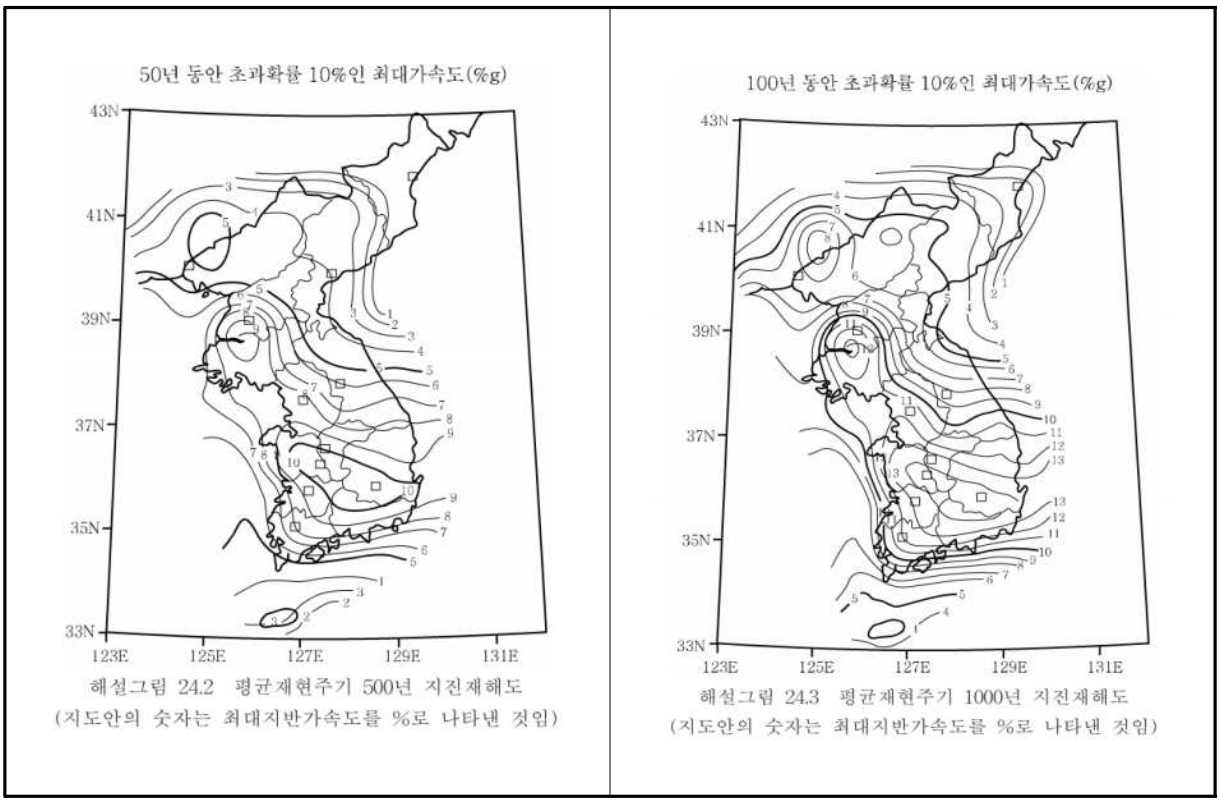
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 33-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 33-77> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 33-78> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

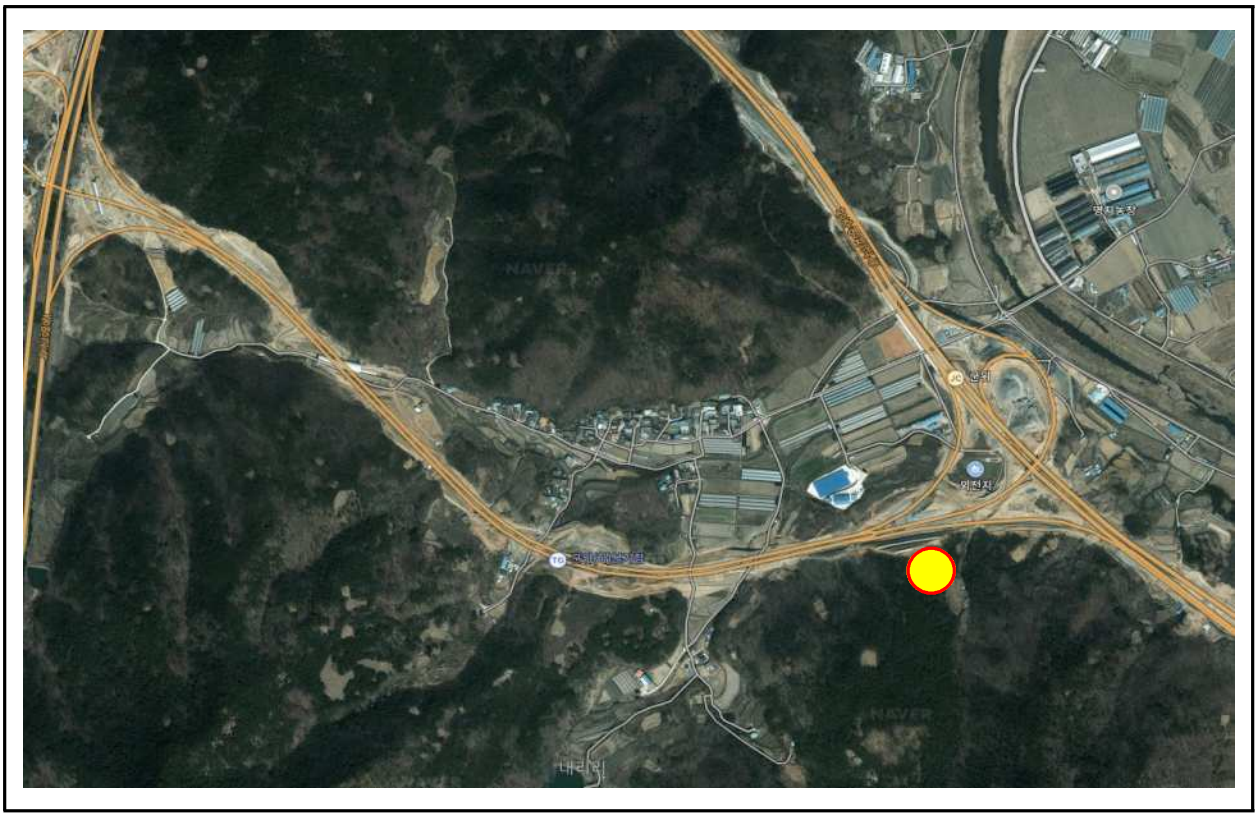
3) 지진가속도계수 선정

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 33-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토33	경상북도 군위군 효령면 내리리	군위 JCT	STA.0+530	42.0	6.0	36.0	-	2017	55/358
			STA.0+540	42.0	6.0	36.0	-	2017	55/358

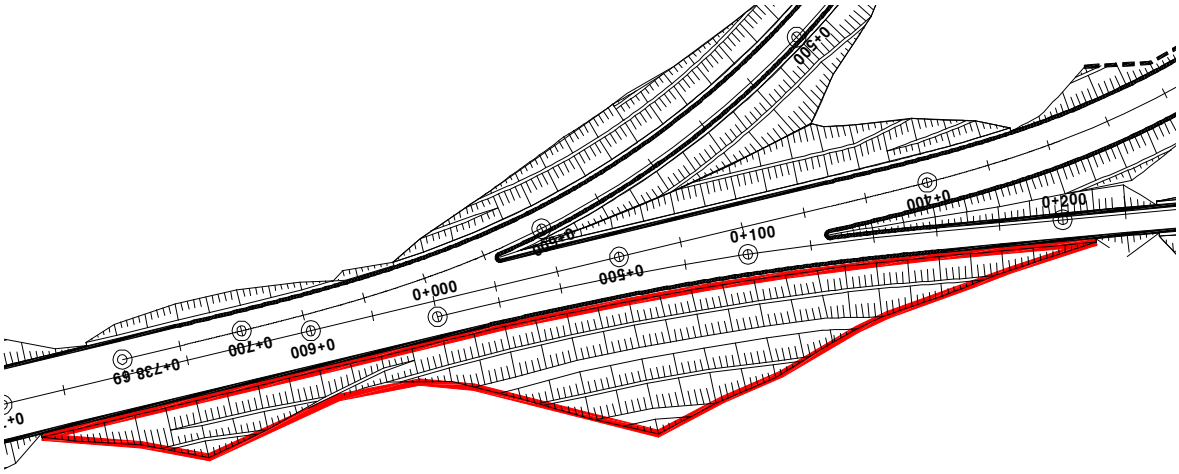


<그림 33-13> 영천절토33 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토33 비탈면 안정성검토

1) 세부위치





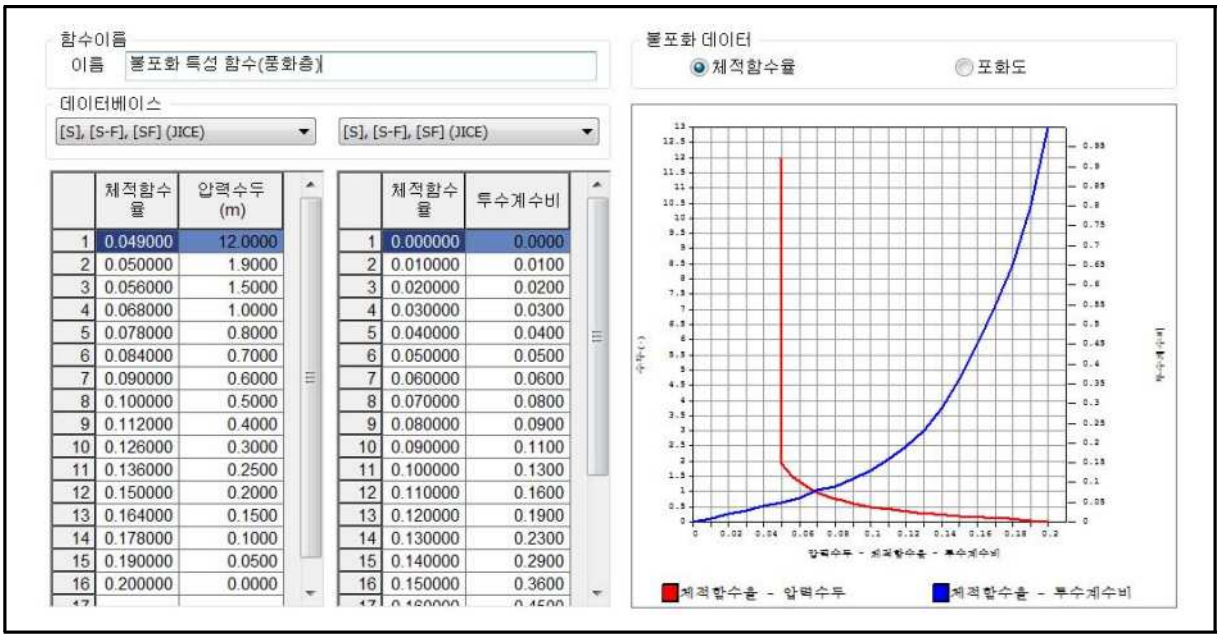
<그림 33-14> 영천절토33 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	19	26	24	3.0E-04	
풍화암	20	32	29	3.7E-04	
경암	25	36	240	8.7E-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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

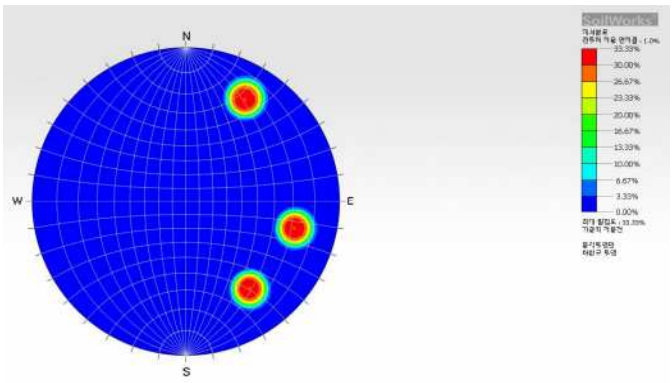
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 33-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

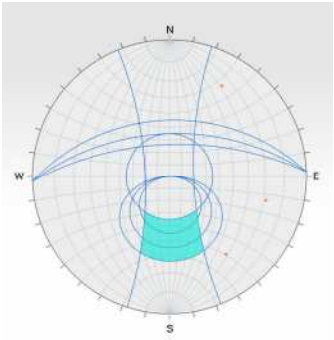
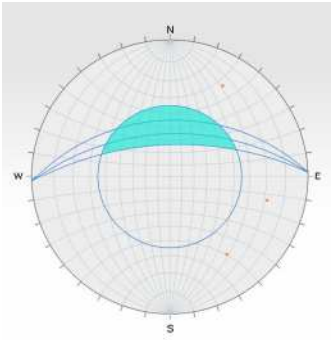
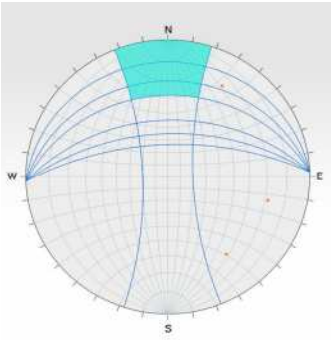
3) 1구간 (STA.0+360 ~ 0+540)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		70	324
		72	284
		75	210

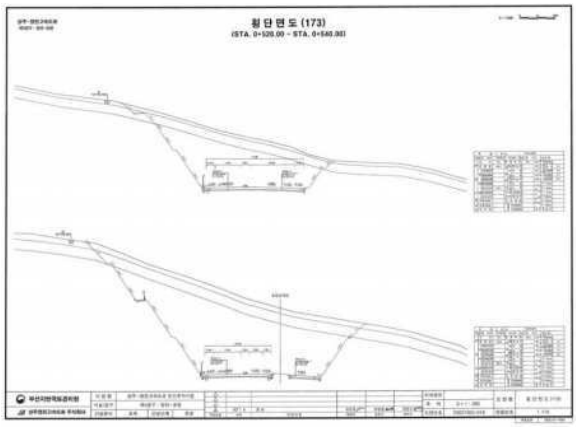
◦ 해석결과

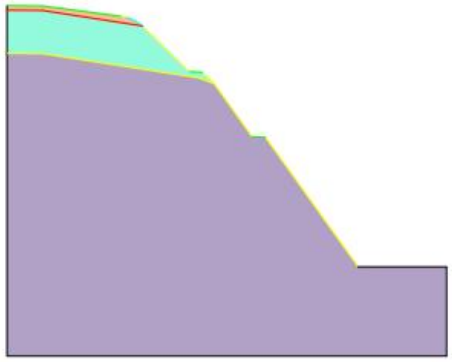
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

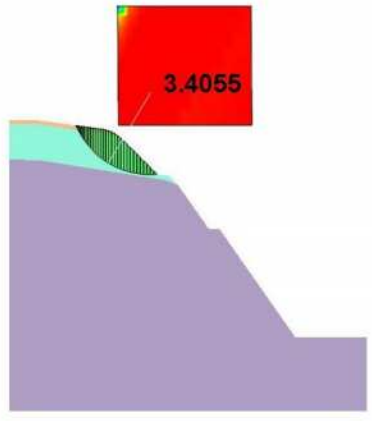
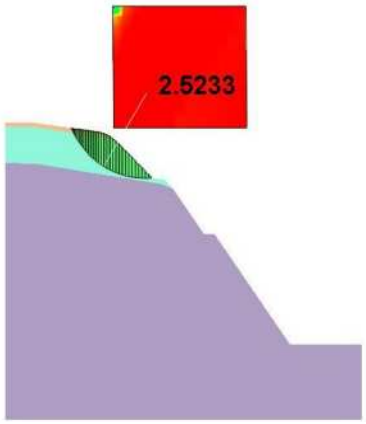
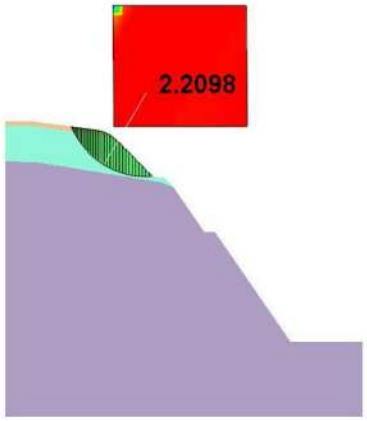
◦ 검토단면





대표단면 : STA.0+530, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.40	안전율 : 2.52	안전율 : 2.20

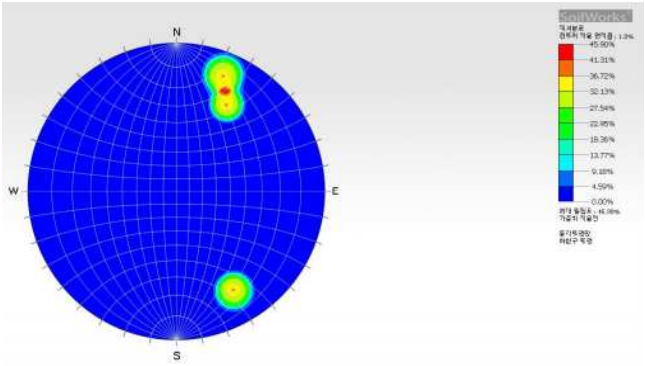
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

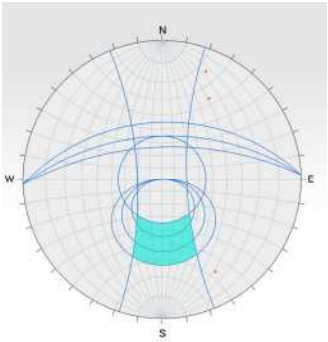
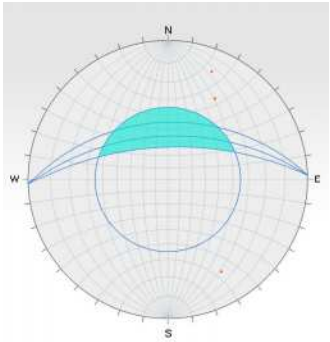
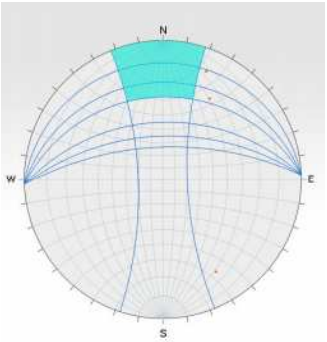
4) 2구간 (STA.0+540 ~ 0+690)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		68	210
		80	188
		75	330

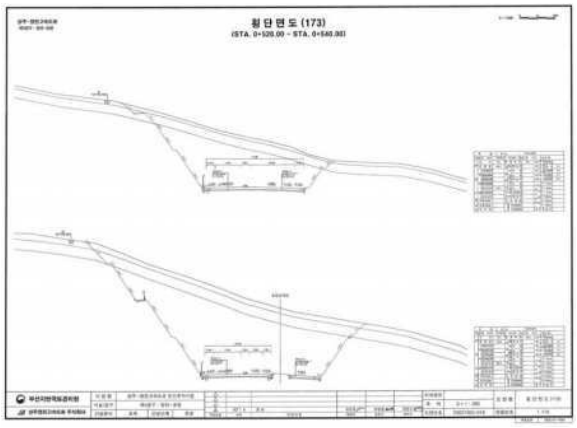
◦ 해석결과

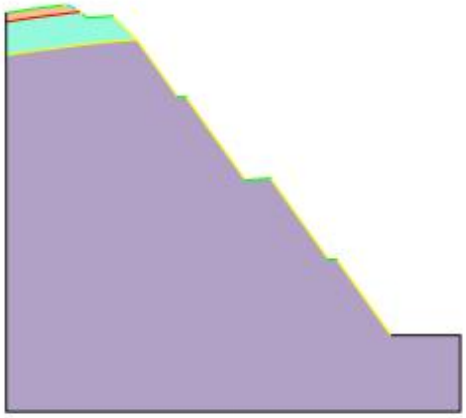
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

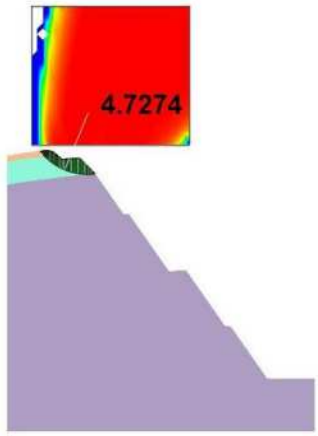
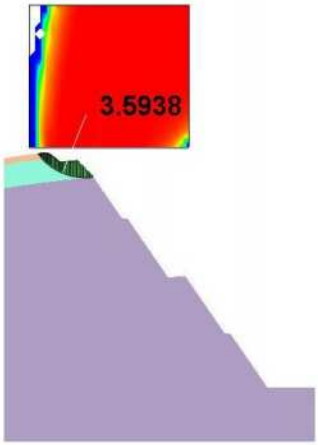
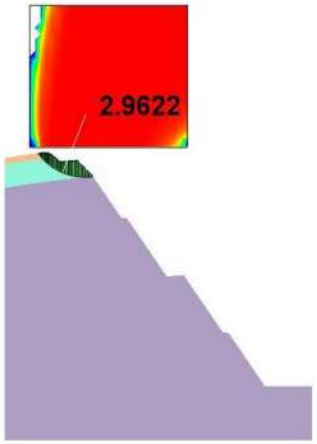
◦ 검토단면





대표단면 : STA.0+540, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 4.72	안전율 : 3.59	안전율 : 2.96

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 33-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토33**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	3.40	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.52	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	2.20	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

33.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 33-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토33**		
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	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 33-82> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

33.5 내구성능 평가

33.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 33-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 6/42 = 0.14
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 105.6MPa	
면적	전체	3,136㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	3,136㎡	
표면보호공	식 생	2,493㎡	
	숏크리트	643㎡	
사면보강공	-	-	

33.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 33-84> 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

33.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 33-85> 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 33-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
0+440	118.2	111.9	초기 강도값(경암) : 105.6MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
0+480	127.6	120.8	
0+500	125.5	118.8	
0+520	108.9	103.1	
0+600	111.0	105.1	
0+620	123.7	117.1	
평균값	119.2	112.8	
등급	**A등급**		

<표 33-87> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 33-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	2,493/2,493㎡	100.0%	0.0/643㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 33-89> 사면보강공 평가 등급 및 결과

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면 보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	-	미세한 균열 및 파손 발생
	c	일부 유격 발생	일부 균열 및 파손이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않은 상태
	d	-	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태
	e	전체적인 유격 발생	균열 및 파손이 심각한 상태

<표 33-90> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 33-91> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
풍화진행도	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	41	41	41
평 균	8.2	8.2	8.2
평가 결과	c	c	c

<표 33-91> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(2구간)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
풍화진행도	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	41	41	41
평 균	8.2	8.2	8.2
평가 결과	c	c	c

<표 33-92> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
1구간 - Set 1	c	0.43	
1구간 - Set 2	c	0.43	
1구간 - Set 3	c	0.43	
2구간 - Set 4	c	0.43	
2구간 - Set 5	c	0.43	
2구간 - Set 6	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

33.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 33-93> 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 33-94> 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	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 33-95> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

33.6 종합평가

33.6.1 종합평가 개요

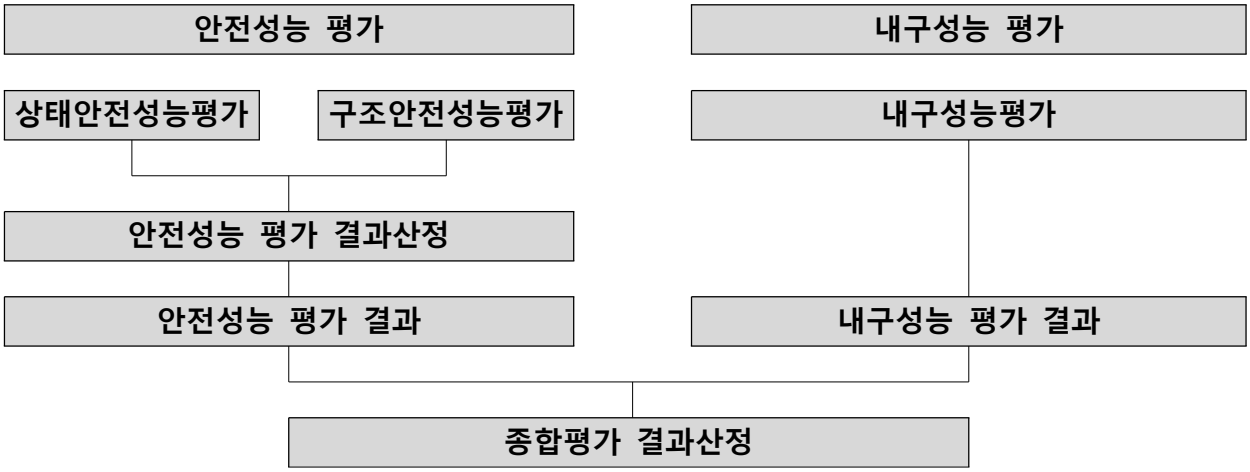
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 33-16> 종합평가 흐름도

33.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 33-96> 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 33-97> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토33		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.120	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.120 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.149 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 33-98> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

33.7 유지관리 전략 제안

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

33.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 33-99> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

33.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.149)"으로 평가되었다.

<표 33-100> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.265	0.149
평가결과	A	B	A

33.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 33-101> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

33.8 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. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제34장 영천절토34

34.1 대상 시설물 현황

34.2 관련 자료의 분석

34.3 현장조사

34.4 안전성능평가

34.5 내구성능평가

34.6 종합평가

34.7 유지관리전략 제안

34.8 종합결론

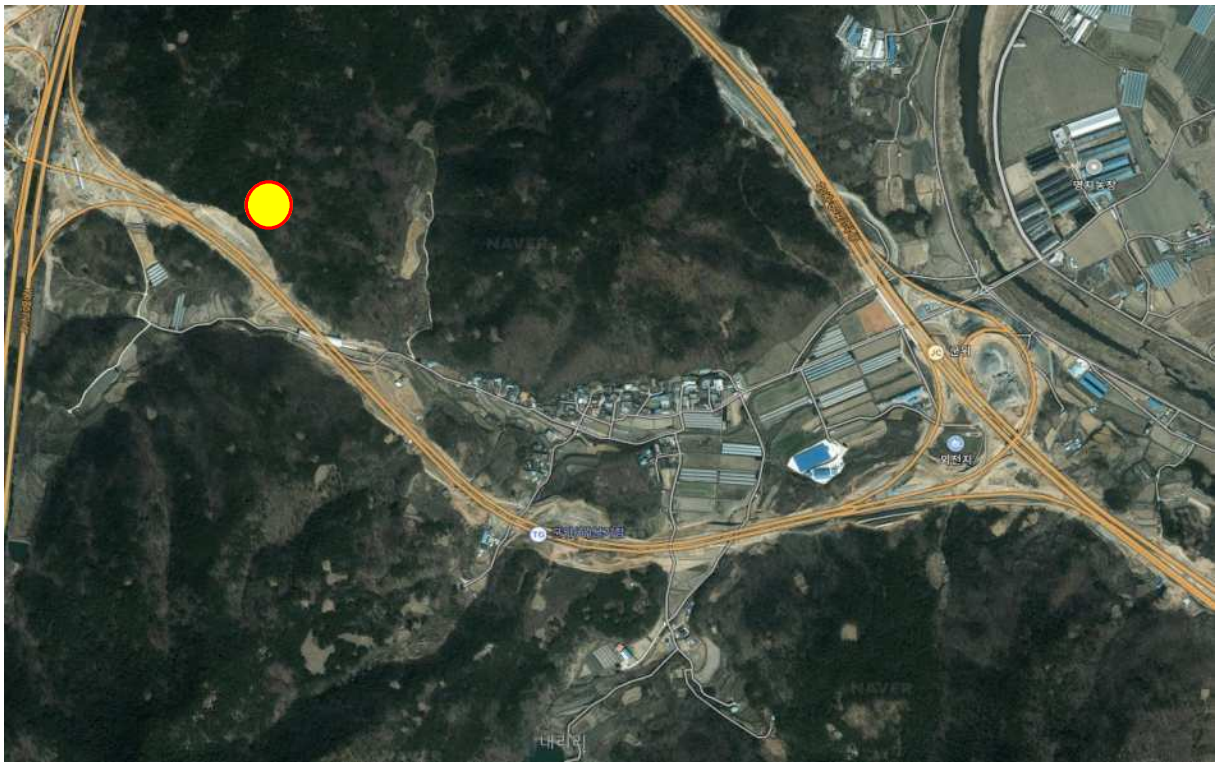
제34장 영천절토34

34.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 효령면 내리리(상주영천고속도로 R-A 1+890~2+150)에 위치한 사면으로서 총 연장 260.0m, 높이 36.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 34-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000047		**관리번호**	SY SL34
시설물명	영천절토34		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 효령면 내리리		
	위치좌표	시점 : 36° 16′14.2″ 128° 55′14.0″		
		종점 : 36° 16′00.0″ 128° 55′34.6″		
	관리이정	1.890~2.150km		
	공구이정	5공구 군위R-A(중앙)STA.1+890~2+150		
제 원	**연 장**	260m	**높 이**	36.0m
	경사/방향	55/232	**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, 숏크리트		
비 고				



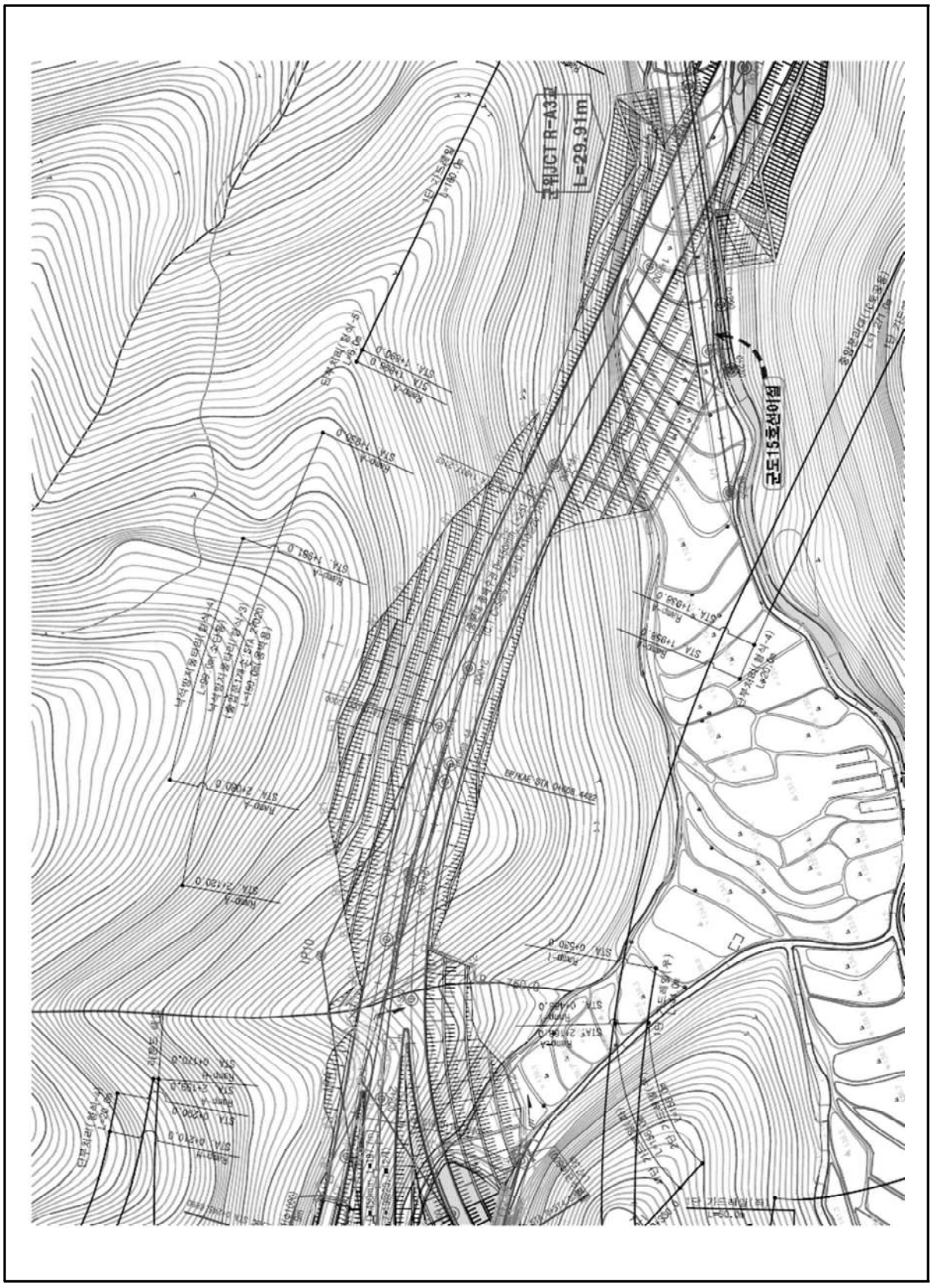
<그림 34-1>위치도



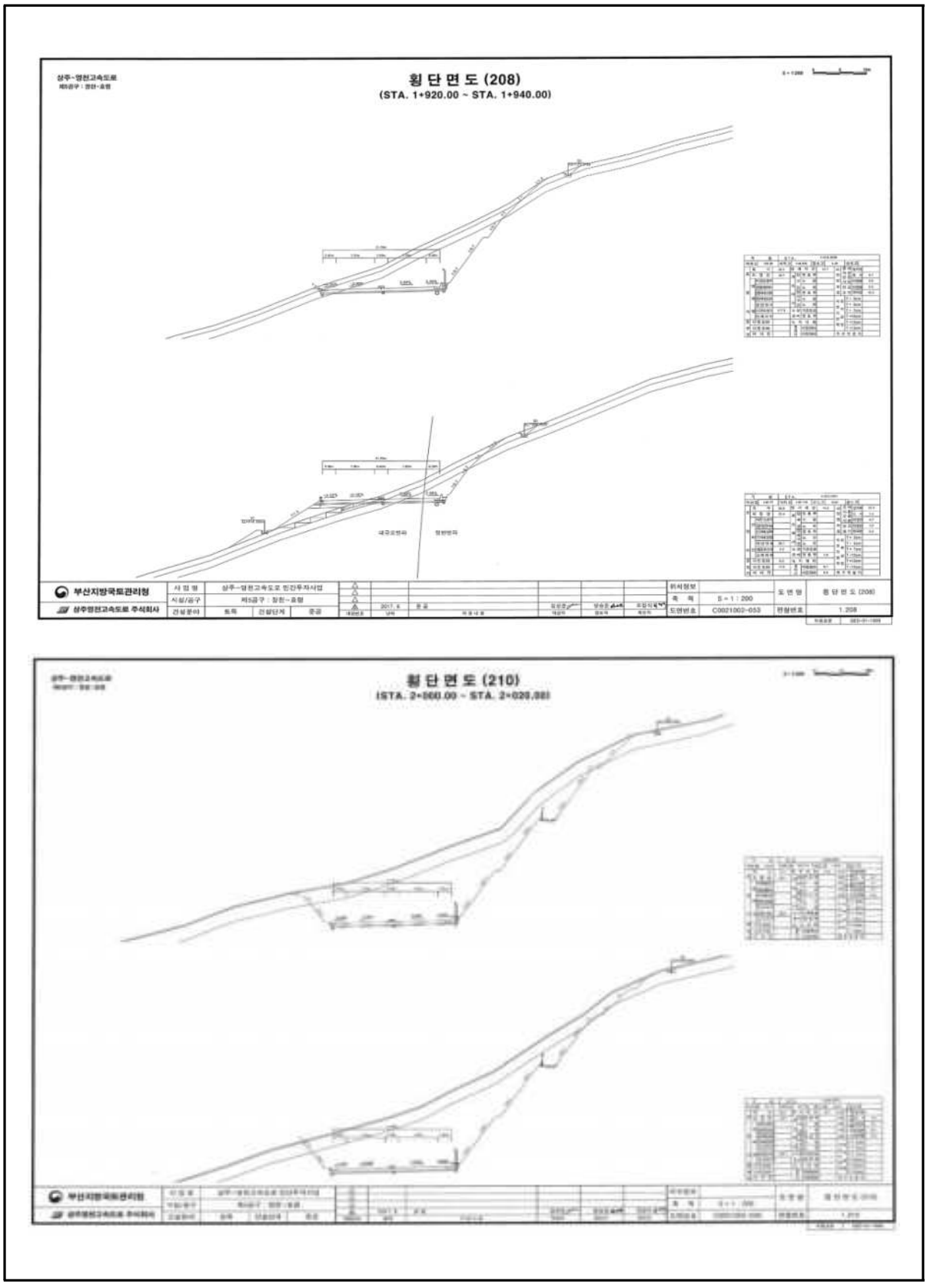
<그림 34-2> 전경사진

	
자연사면 전경	1소단배수로 전경
	
낙석방지망 전경	산마루측구, 점검계단 전경
	
하부 전경	정면 전경

<그림 34-2> 전경사진(계속)



<그림 34-3> 평면도



<그림 34-4>표준횡단면도

34.2 관련 자료의 분석

34.2.1 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 34-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종・횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수・보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

34.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 5공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

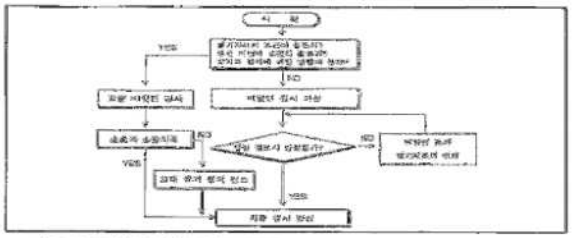
8.4 비탈면 설계기준

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

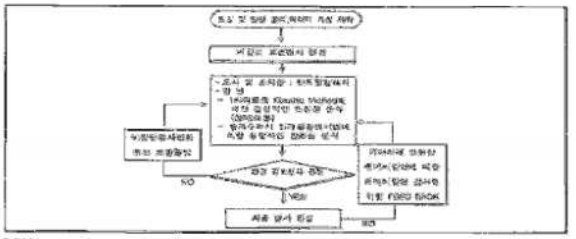
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 암지 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 토지 비탈면의 기울기결정에 따른 흐름도



8.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국도지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 점하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 기울기3%

8.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

287

다. 암기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 자사 불안정하게 된다.

따라서 암기비탈면 안정을 위한 기울기기준 검정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 풍도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 암기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 송리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

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

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

284

8.4.5 설계기준 선정

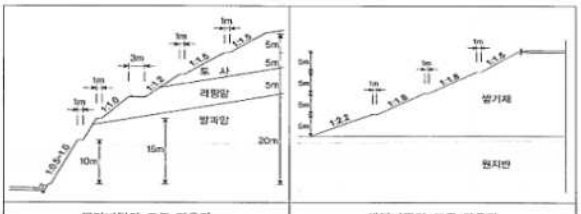
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 8.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

<비탈면 기울기 설계기준>

비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
암쌓기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	· 토사 및 리핑암 - 암쌓기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 · 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) · 암쌓기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5~3.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치



암기비탈면 표준 기울기 쌓기비탈면 표준 기울기

290

2) 지형 및 지질

4.2 지표지질 조사

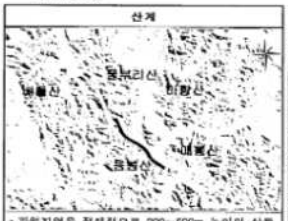
4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

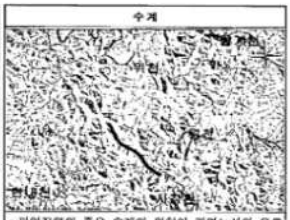
- 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
- 본 과업 지역의 지질은 백악기 경상층군의 신동층(연화동층), 하산동층, 진주층(용덕층)이 분포

나. 지형특성

산계



수계



- 과업지역은 전체적으로 200~500m 높이의 산들이 고루 분포되어 있음
- 과업노선은 용봉산의 지지대를 따라 지나가며 북서방향으로 놓여 있음
- 산계는 주로 서북서 방향의 선구조가 잘 관찰됨
- 과업지역의 주요 수계인 위천이 과업노선의 오른쪽에 분포하고 있음
- 과업 노선의 시점부 지역에서 위천이 사창천과 남천으로 분기되고 있으며 노선과 직접적으로 교차하는 수계는 없음

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
낙동층 금당리층원 사암	• 낙동층의 하부층에 해당하는 안경산층원의 역질사암과 역암은 원마도가 불량한 석영과 암편리장석이 주를 이루며, 탄질물과 변질된 유색광물이 주로 산출됨
하산동층 사암	• 석립은 1 mm 내외의 것들로 원마도는 불량한 것들이 우세 • 하산동층 사암은 근거리에서 이동하여 퇴적
하산동층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방태석이 침전 또는 충전되어 있어 송리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단
진주층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방태석이 침전 또는 충전되어 있어 송리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단

53

라. 지질 계통도

지질시대	층 명		특 성	비 고
제4기	충적층(Qal)		• 하천 및 산록 퇴적물	
	~~ 부정합 ~~			
중생대 백악기	중성암맥(Kid) 산성암맥(Kad)		• 괴상의 시암	• 전 구간에서 기반암을 관입
	유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 응회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
	~~ 관입 및 분출 ~~			
	신동층군	하산동층(Ka2) 상부(Ka2-2)	• 사암 및 적색 미사암, 이암의 교호	• 5공구 중심
		하부(Ka2-1)	• 사암과 역질사암, 역암의 교호	• 5공구 중앙 및 시점부

마. 지체구조



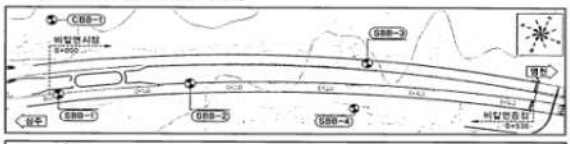
- 과업지역은 한반도의 중남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
- 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달

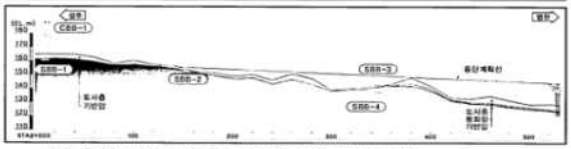
54

7.2 지층특성 분석

가. 본선비탈면구간

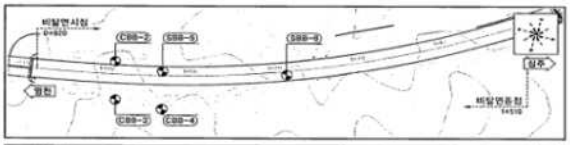
(1) 비탈면 1구간(STA.0+000~0+530)

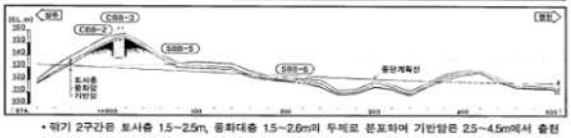




- 뭐기 1구간은 토사층 2.3m의 두께로 분포하며 기반암은 9.7m에서 출현
- 쌓기 1구간은 토사층 0.8~3.0m, 풍화대층 0~2.5m의 두께로 분포하며 기반암은 0.8~5.0m에서 출현

(2) 비탈면 2구간(0+920~1+510)





- 뭐기 2구간은 토사층 1.5~2.5m, 풍화대층 1.5~2.6m의 두께로 분포하며 기반암은 2.5~4.5m에서 출현
- 뭐기 3구간은 토사층 0.5~1.0m, 풍화대층 0.5~3.0m의 두께로 분포하며 기반암은 1.0~4.0m에서 출현
- 쌓기 2구간은 토사층 0.8~3.5m, 풍화대층 0.0~2.2m의 두께로 분포하며 기반암은 3.0~3.5m에서 출현

248

7.3 지반특성 분석

7.3.1 토질 물성 시험

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit LL(%)	Atterberg Limit PI(%)	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.02mm	USCS
뭐기	CBB-2	1.00	풍화토	8.6	2.74	NP	-	47	34.7	23.8	15.3	-	GM
	CBB-4	1.00	퇴적층	16.4	2.73	NP	-	56	42.4	29.1	15.8	-	GM
	CBB-10	1.00	퇴적층	15.2	2.69	NP	-	92.4	85.1	43.9	20.0	-	SM
	CBB-12	1.00	퇴적층	28.0	2.74	39.7	19.5	72.8	64.4	53.0	32.7	15.5	SC
	CBB-18	1.00	풍화토	12.3	2.74	30.0	8.7	84	71.7	58.3	42.3	11.0	SC
	CBB-21	1.00	풍화암	11.9	2.70	NP	-	67.4	58.5	26.8	11.3	-	SW-SM
	CBB-22	2.00	풍화암	6.7	2.73	NP	-	100	95.2	35.8	19.1	-	SM
	CBB-24	2.00	풍화토	13.4	2.73	NP	-	59.1	45.7	32.6	21.0	-	GM
쌓기	SBB-1	1.00	퇴적층	26.7	2.68	44.3	22.1	100	97.0	86.5	69.9	28.5	CL
	SBB-3	2.00	퇴적층	8.0	2.65	NP	-	69	67.3	46.2	22.6	-	SM
	SBB-5	2.00	풍화암	7.2	2.65	NP	-	96.8	92.7	55.2	26.7	-	SM
	SBB-6	3.00	풍화토	9.5	2.63	NP	-	100	99.2	56.5	28.1	-	SM
	SBB-9	2.00	매립층	11.3	2.69	NP	-	57	51.5	36.4	17.7	-	GM
	SBB-10	1.00	풍화토	19.3	2.65	31.8	10.5	100.0	94.0	61.5	35.5	10.5	SC
	SBB-19	4.00	풍화토	13.5	2.69	28.8	5.2	100	76.1	57.6	37.4	6.5	SM
	SBB-21	2.00	퇴적층	19.4	2.67	NP	-	69.2	54.9	32.0	19.0	-	SM
	SBB-22	1.00	매립층	16.7	2.64	NP	-	83.9	75.5	49.7	22.7	-	SM
	SBB-23	1.00	매립층	8.8	2.64	NP	-	37.0	30.5	20.5	8.9	-	GW-GM
	6SBB-21	2.00	퇴적층	5.3	2.68	NP	-	-	20.6	10.2	3.5	-	GW
	6SBB-22	3.00	퇴적층	8.6	2.67	NP	-	-	51.7	39.3	30.5	-	SM
램프 뭐기 구간	RCB-6	표토	표토	3.0	2.65	NP	-	99	84.8	24.8	4.6	7.5	SW
	RCB-13	1.00	풍화암	15.2	2.73	27.2	3.1	100.0	90.0	65.7	49.7	7.5	SM
	RCB-15-1	표토	표토	36.8	2.70	NP	-	78	61.0	42.5	30.4	-	SM
	RCB-17	3.00	풍화암	11.9	2.71	NP	-	83	62.9	39.9	24.8	-	SM
	RCB-18	2.00	풍화암	11.6	2.72	NP	-	93.2	90.2	81.9	28.3	-	SM
	RCB-19	2.00	풍화토	12.0	2.73	NP	-	100.0	98.0	53.3	21.3	-	SM
	RCB-20	3.00	풍화토	10.3	2.69	NP	-	100.0	97.3	40.4	20.4	-	SM
램프 쌓기 구간	RSB-11	1.00	퇴적층	17.0	2.71	27.9	4.8	100	100.0	92.4	68.5	11.0	ML
	RSB-12	1.00	매립층	11.0	2.68	NP	-	47.6	41.8	31.3	12.2	-	GM
	RSB-13	2.00	퇴적층	20.9	2.68	29.0	11.3	100.0	100.0	91.4	65.6	16.0	CL
	RSB-14	2.00	풍화토	17.4	2.69	27.9	10.6	100	97.4	83.3	49.0	14.5	SC
	RSB-15	2.00	풍화토	15.9	2.71	30.0	6.5	100.0	100.0	97.8	68.7	9.0	ML
	RSB-16	2.00	풍화토	12.7	2.67	NP	-	100	99.6	49.2	25.4	-	SM
	RSB-17	1.00	풍화토	10.6	2.71	NP	-	76	70.6	41.8	23.4	-	SM

- 비탈면구간 함수비는 6.7~28.7%, 비중은 2.63~2.74로 통일분류상 SC, SM, GM, CL, GW-GM, SW-SM에 해당됨
- 램프비탈면구간 함수비는 3.0~36.8%, 비중은 2.65~2.73로 통일분류상 SM, GM, SC, GM, ML, CL에 해당됨

256

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 5공구 지반조사

1.2 조사목적

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 5공구를 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조사범위

위 치	• 시점 : (STA. 0+000) (X=299983.5334, Y=157920.5497) • 종점 : (STA. 7+978) (X=293576.3489, Y=163273.3736) • 연장 : 7.98km
특 성	• 국도 5남부 5개 고속도로를 연결하는 제2경부축(상주~경전) 고속도로 건설 • 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모

1.4 위치도



• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간			토공구간
• 불로터널(490m) • 중구터널(385m) • 효령터널(980m)	• 오로교(385m) • 오심교(260m) • 불당교(240m) • 불로교(45m)	• 중구고(220m) • 효령고(80m) • 강외고(90m)	• 램프A-1교(35m) • 램프A-2교(17m) • 램프A-3교(30m) • 램프A-4교(50m) • 램프C교(240m)	• 뒤기구간(16개소) • 불기구간(16개소) • 램프뒤기구간(7개소) • 램프W기구간(11개소)

1

제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

가. 조사 기본방향

(1) 조사계획 수립

- 기존 문헌자료, 기본계획, 인접지역 설계 및 시공자료 분석
- 지형 및 지질 특성을 고려한 조사 범위 및 일정계획 수립
- 전기비저항 탐사 적용, 이상대 및 미시추구간 암반등급 산정
- 검사시추 및 특수시험을 통한 단층파쇄대 지질 및 공학적 특성 평가

(2) 단계별 조사 수행

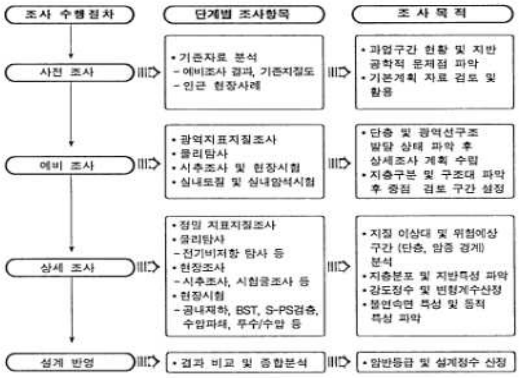
- 사전조사를 통한 중점검토사항 및 주요조사항목 선정
- 상세조사, 추가조사를 통한 지반정보자료 파악 및 분석 수행
- 다양한 분석기법을 적용, 암반등급별 최적의 설계지반정수 산정
- 구조구 분류를 통한 불연속면 특성 상세 분석

우수하고 경제적인 설계 수행을 위한 상세 지반정보 제공

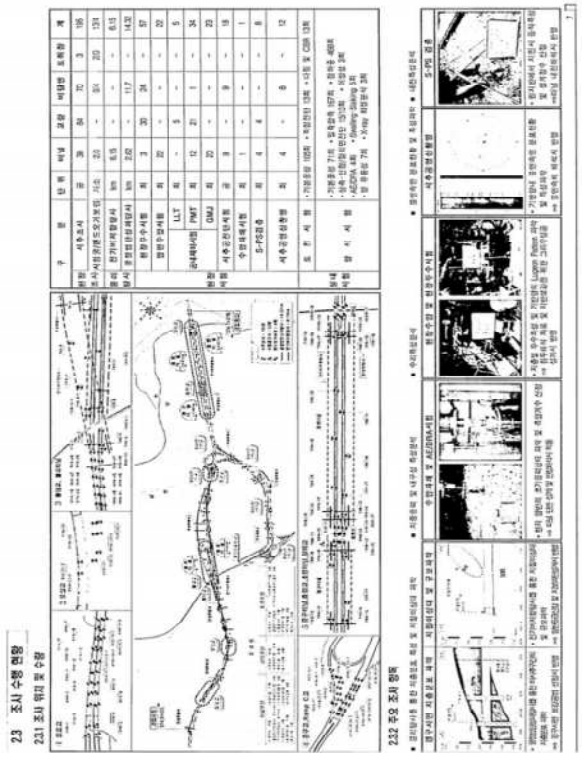
(3) 중점검토구간 정밀조사 수행

(4) 신뢰성 높은 분석 및 설계활용 극대화

나. 조사 수행 흐름도



3



23 조사 수행 현황

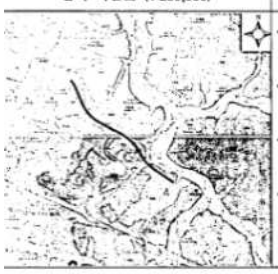
231 조사 위치 및 수량

232 주요 조사 항목

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:250,000)	분 석 내 용
	• 과업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치 • 낙동층의 상부가 이 지역에 분포, 층후는 약 900m이며, 역질사암, 사암, 미사질 세암 및 역암으로 구성 • 하산동층은 두께 약 700m이며 사암, 세암, 자색세암 또는 미사암, 역질사암 및 역암으로 구성 • 전주층은 두께 약 900m이며 사암(일부 역질), 회색 내지 암회색 세암, 역암 및 석회암(흔히 니회암질)박층 등으로 구성

4.1.2 기본설계 자료 분석

구 분	분 석 내 용
터널구간	• 풍적층은 0.5~7.3m, 풍화토는 1.3~9.3m, 풍화암은 0.3~5.0m 두께로 분포 • 연암은 2.0~10.8m, 보통암은 27.5m, 경암은 3.0~31.5m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=42~100/0~55, 보통암 TCR/RQD(%) =93~100/40~50 경암 TCR/RQD(%)=10~100/0~100로 피적암으로 구성
교량구간	• 풍적층은 0.3~5.4m, 풍화토는 0.5~1.1m, 풍화암은 0.3~0.9m 두께로 분포 • 연암은 1.1~6.3m, 경암은 2.9~6.0m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD (%)=25~100/0~64, 경암 TCR/RQD(%)=82~100/45~67로 피적암으로 구성
비탈면구간	• 붕적층은 0.3m, 풍화토는 3.7m, 풍화암은 1.5~4.0m 두께로 분포 • 연암은 0.3~24.0m, 경암은 1.5~22.0m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD (%)=62~100/0~41, 경암 TCR/RQD(%)=90~100/62~100로 피적암으로 구성

52

4.3 지중분포 특성을 위한 조사

4.3.1 개 요

가. 기본 방향

- 터널 및 교량구간 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 14.32km, 전기비저항탐사 6.15km, 시추조사 196공, 시험굴조사 13개소, 표준관입시험 480회

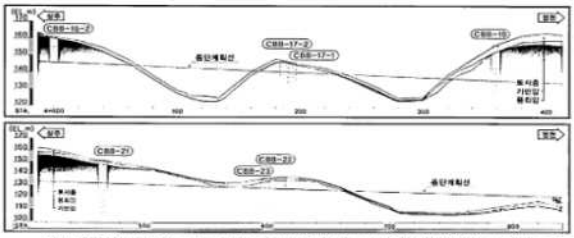


(1) 굴절법 탄성파 탐사

- 본선 구간

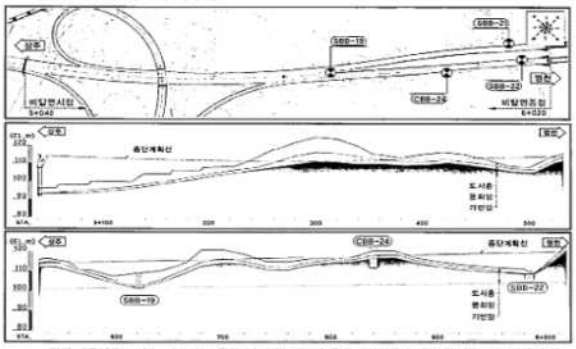
위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 구간	0+000	횡	115
	0+950~1+180	종	230
	1+000	횡	115
	1+080	횡	115
	1+190~1+605	종	415
	1+720~2+675	종	955
필로터널 시점	(영천)3+010~3+125	종	115
	(삼주)2+970~3+085	종	115
	3+020	횡	55
	3+100	횡	55
필로터널 종점	(영천)3+410~3+600	종	115
	(삼주)3+410~3+525	종	115
	3+540	횡	55
	3+460	횡	55
비탈면 구간	3+600~4+000	종	1,245
	4+360	횡	115
	4+470	횡	115
	4+600	횡	115

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
중구터널 시점	(영천)6+000~6+080	종	80
	(삼주)6+600~6+680	종	80
	6+030	횡	100
중구터널 종점	(영천)6+370~6+470	종	100
	(삼주)6+370~6+470	종	100
	6+430	횡	100
호명터널 시점	(영천)6+545~6+660	종	115
	(삼주)6+545~6+660	종	115
	6+590	횡	100
	6+635	횡	100
호명터널 종점	(영천)7+535~7+650	종	115
	(삼주)7+535~7+650	종	115
	7+575	횡	100
	7+600	횡	100



- 위기 12구간은 토사층 0.5~5.7m, 풍화대층 1.8~2.8m의 두께로 분포하며 기반암은 2.7~7.5m에서 출현
- 쌓기 9, 10구간은 토사층 0.3m의 두께로 분포하며 기반암은 3.2m에서 출현
- 위기 9, 10구간과 쌓기 7구간은 토사층 0.5m, 풍화대층 1.0~3.0m의 두께로 분포
- 위기 11구간과 쌓기 8구간은 토사층 0.5m, 풍화대층 2.0~3.0m의 두께로 분포

(5) 비탈면 5구간(5+040~6+040)



- 위기 13구간은 토사층 1.5~4.9m, 풍화대층 0.5~1.9m의 두께로 분포하며 기반암은 2.0~3.7m에서 출현
- 쌓기 11, 12구간은 토사층 6.7m, 풍화대층 1.1m의 두께로 분포하며 기반암은 7.8m에서 출현
- 쌓기 13구간은 토사층 1.8~2.5m, 풍화대층 1.1m의 두께로 분포하며 기반암은 1.8~2.5m에서 출현

7.6 설계 지반정수 산정

7.6.1 개 요

가. 기본 방향

- 기존 설계정수 산정의 문제점을 분석하고 대표값 산정시 신뢰도 향상을 위해 통계처리기법 (Monte Carlo Simulation)을 적용하여 설계지반정수 산정
- 현존 유사현장의 설계·시공자료와 기존물성자료를 분석하여 합리적인 설계 정수 산정

7.6.2 산정결과 요약

가. 연속체 해석을 위한 설계 지반정수 산정 결과

구 분	변형계수, E_m(MPa)	단위중량 γ_t(kN/㎥)	점착력, c(kPa)	내부마찰각, ϕ(°)	포아송비, ν
붕 적 층	10.0	18.0	10.0	30.0	0.350
풍 화 토	20.0	19.0	24.0	26.0	0.350
풍 화 암	100.0	20.0	29.0	32.0	0.320
기반암	-	25.0	240.0	36.0	-
파쇄암반(파쇄대)	-	23.0	37.0	28.0	-

나. 수리해석을 위한 설계지반 정수 산정 결과

구 분	붕적층	풍화토	풍화암	기반암	파쇄암반(파쇄대)
투수계수, k(cm/sec)	1.70×10^{-3}	6.00×10^{-4}	5.20×10^{-4}	8.70×10^{-5}	3.00×10^{-3}

다. 불연속체 해석을 위한 설계지반 정수 산정결과

(1) UDEC 및 3-DEC 해석을 위한 절리면 강도정수 산정결과

구조구	선도 (m)	절리군	방향 (Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	JRC	JCS (MPa)	ϕ_r (°)	a_i (mm)	V_m (mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)	K_c (MPa/mm)
1	22.3	1	9/134	90.3	0.59	5.0	36.4	29.0	0.40	0.42	3.42	6.81	0.46
		2	81/283		3.71								
		3	90/155		33.22								
		4	75/218		2.24								
2	2-1 42.2	1	09/106	55.2	1.10	11.0	36.2	30.0	0.49	0.42	13.58	19.32	1.17
		2	86/221		15.73								
		3	79/337		5.75								
		4	85/297		12.59								
	2-2 26.0	1	04/088	85.2	0.68	5.0	32.5	27.0	0.42	0.45	3.15	19.32	1.17
		2	83/358		5.55								
		3	73/063		2.31								
3	23.0	1	07/102	88.8	0.60	6.0	27.9	29.0	0.64	0.56	4.22	6.90	0.48
		2	81/356		3.82								
		3	89/295		34.26								
		4	82/036		4.30								
4	29.0	1	15/137	81.2	0.78	8.0	33.9	29.0	0.61	0.50	7.96	14.03	1.13
		2	82/009		5.42								
		3	65/071		1.78								
5	30.5	1	11/121	83.7	0.81	10.0	36.3	32.0	0.72	0.51	11.36	14.76	0.92
		2	84/052		7.59								
		3	85/330		9.10								
		4	82/291		5.70								

7.6.6 불연속체 해석을 위한 설계 지반정수 산정

가. 개 요

- 방향성 및 역학적 특성을 고려하여 구조구별 물성치 산정
- 해석에 사용된 물연속면 자료는 지표지질조사, 시추공영상촬영의 조사성과를 종합분석하여 절리빈도가 높고 연장성이 좋은 절리군을 주 물연속면으로 구분하여 해석에 반영
- 해석에 이용된 입력정수는 현지암반 물연속면 조사결과와 절리면 전단시험 결과로부터 산정
- 지outh요소해석시 실제 절리거동 표현 및 입력자료의 취득이 용이하고 객관성 측면에서 Mohr-Coulomb 모델보다 우수한 Barton-Bandis 모델을 적용하고 이에 따른 설계정수 산정

나. Barton-Bandis에 의한 절리면 수치강성 및 전단강성

$$\cdot \text{수직강성}\quad K_n = K_{ni}\left[1-\frac{\sigma_n}{V_m K_{ni}+\sigma_n}\right]^{-2}$$

$$\cdot \text{전단강성}\quad K_s = \frac{100}{L}\sigma_n \tan\left[JRC\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)+\phi_r\right]$$

$$\text{여기서, } K_{ni} = -7.15 + 1.75\,JRC + 0.02\left(\frac{JCS}{a_i}\right),\quad a_i = \frac{JRC}{5}(0.2\,\frac{\sigma_c}{JCS} - 0.1)$$

$$V_m = -0.296 - 0.0056\,JRC + 2.241\left(\frac{JCS}{a_i}\right)^{-0.203}$$

구조구	선도 (m)	절리군	방향 (Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_t (MPa)	JRC	JCS (MPa)	ϕ_r (°)	a_i (mm)	V_m (mm)	K_{ni} (MPa/mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)
1	22.3	1	9/134	90.3	0.59	5.0	36.4	29.0	0.40	0.42	3.42	6.81	0.46
		2	81/283		3.71							43.90	2.50
		3	90/155		33.22							1990.87	18.56
		4	75/218		2.24							22.40	1.57
2	2-1 42.2	1	09/106	55.2	1.10	11.0	36.2	30.0	0.49	0.42	13.58	19.32	1.17
		2	86/221		15.73							191.77	10.60
		3	79/337		5.75							54.76	4.62
		4	85/297		12.59							139.70	8.83
	2-2 26.0	1	04/088	85.2	0.68	5.0	32.5	27.0	0.42	0.45	3.15	6.90	0.48
		2	83/358		5.55							76.11	3.31
		3	73/063		2.31							21.76	1.49
3	23.0	1	07/102	88.8	0.60	6.0	27.9	29.0	0.64	0.56	4.22	6.63	0.49
		2	81/356		3.82							28.89	2.59
		3	89/295		34.26							1013.50	18.57
		4	82/036		4.30							33.55	2.69
4	29.0	1	15/137	81.2	0.78	8.0	33.9	29.0	0.61	0.50	7.96	11.39	0.70
		2	82/009		5.42							44.40	3.85
		3	65/071		1.78							16.67	1.45
5	30.5	1	11/121	83.7	0.81	10.0	36.3	32.0	0.72	0.51	11.36	14.76	0.92
		2	84/052		7.59							60.62	6.10
		3	85/330		9.10							75.07	7.11
		4	82/291		5.70							44.71	4.79

34.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 34-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	숏크리트 상단부 들뜸 및 이격, 토사구간 비탈면 전반적인 식생 불량, 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	숏크리트 상단부 들뜸 및 이격, 토사구간 비탈면 세굴, 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	숏크리트 상단부 들뜸 및 이격, 토사구간 비탈면 세굴, 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2034. 03. 18 ~ 2034. 05. 28	정기안전점검	숏크리트 상단부 들뜸 및 이격, 토사구간 비탈면 세굴, 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2034. 09. 16 ~ 2034. 12. 27	정밀안전점검	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 평가됨 사면 식생공, 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 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 및 산마루측구 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사됨	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 망상균열, 들뜸, 파손 등의 손상이 발생된 것으로 조사되었다. 기 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. 특히, 소단배수로 일부구간 발생된 종방향 균열의 경우 손상의 진전 여부에 대한 주의관찰이 요망된다.	양호

34.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 34-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

34.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 34-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

34.2.6 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 34-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

34.3 현장조사

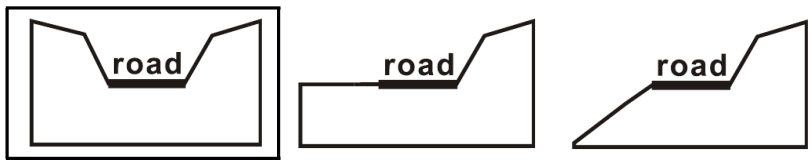
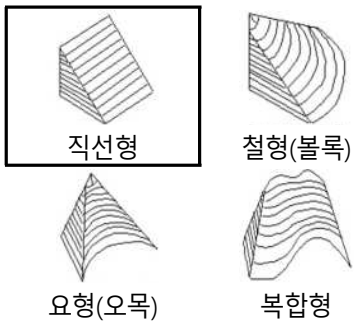
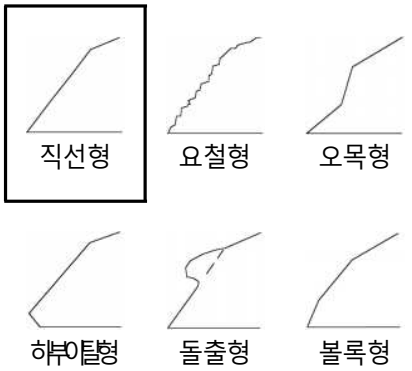
34.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 34-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 25</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 효령면 내리리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 16′14.2″ 128° 55′14.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 16′00.0″ 128° 55′34.6″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 260m</td><td colspan="2">높 이 : 36.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/232</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~2.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="6">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">1+890~2+150</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">1+950~2+100</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">1+910~2+120</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">1+990</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">2+060~2+150</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 34-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 34-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토34		
	위경도	시점 : 36° 16′14.2″ 128° 55′14.0″ 종점 : 36° 16′00.0″ 128° 55′34.6″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 20일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	260.0m	최대높이	36.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□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) □옹벽 □격자블럭 ■점검로(양호)		■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) ■기타(숏크리트)
조사자 소 견	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			

34.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 효령면 내리리(상주영천고속도로 R-A 1+890~2+150)에 위치한 사면으로서 총 연장 260.0m, 높이 36.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 34-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{36.0}=0.05$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 107.5~111.1MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{36.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 260m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 2개구간으로 구분하여야 하나, 남은 사면의 연장이 짧은(60m)것과 구성재료가 전구간 동일한 것으로 인해 1개구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 34-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	1+890~2+150	260m

34.3.3 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 상태이며, 사면내 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 34-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1 / 1.0	-	
	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, 낙석방지공으로는 낙석방지망과 낙석방지 울타리가 시공되어있다. 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화상태는 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도인 것으로 분석되었으며, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 인한 풍화가 진행될 우려가 있으므로 주기적인 주의관찰이 필요하다.

<표 34-13> 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 34-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	76/304	88/355	85/030
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	HW

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 34-15> 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 산마루측구 및 소단배수로 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 34-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	8EA / 16.0	건조수축	
	산마루측구	균열	m	2EA / 3.0	건조수축	

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 34-17> 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 34-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 34-19> 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 34-20> 인장균열 조사 결과

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

34.3.4 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 총 3개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 34-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
1+990	54.0	111.1	경암	
2+050	53.2	107.5	경암	
2+030	55.1	117.1	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 53.2~55.1로 측정되었으며, 추정강도 107.5~117.1MPa로 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 34-22> 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경



숏크리트공 전경

라. 사면보강공

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

<표 34-23> 사면보강공 조사 결과

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

34.4 안전성능평가

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

34.4.1 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 0.19로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 34-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{31.0}=0.19$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 100.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{31.0}=0.016$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 260m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 34-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	1+890~2+150	260m	암반사면	Set1, Set2, Set3

<표 34-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 34-27> 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	계곡부 1개소	b
	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 34-28> 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 34-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 34-30> 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 34.0m미만	34.0m이상	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 34-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 34-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 34-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 34-34> 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 34-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 34-36> 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/sec^2) (u, β는 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 34-37> 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 20~30°	d
	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 34-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 34-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 34-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 34-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토34		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		8.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			12	
결함지수		0.12		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 34-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
260.0m	1구간	1+990~2+050	a(0.12)	A	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

34.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

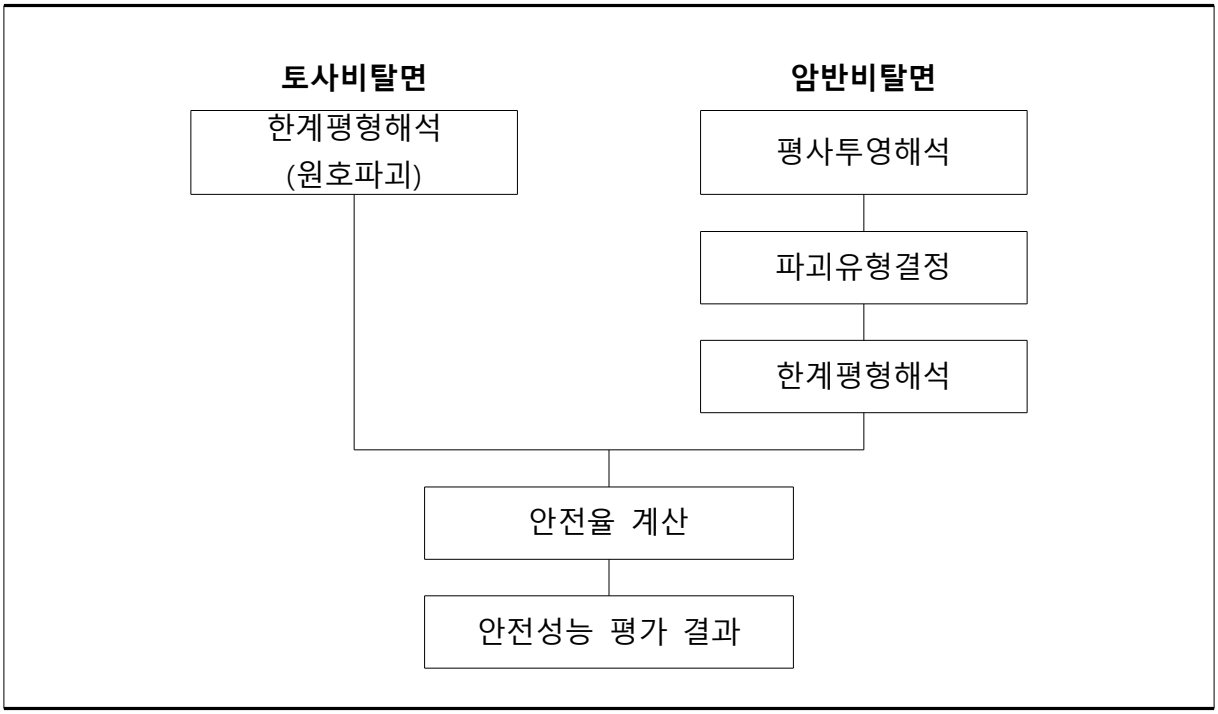
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 34-5> 구조안전성능 평가과정

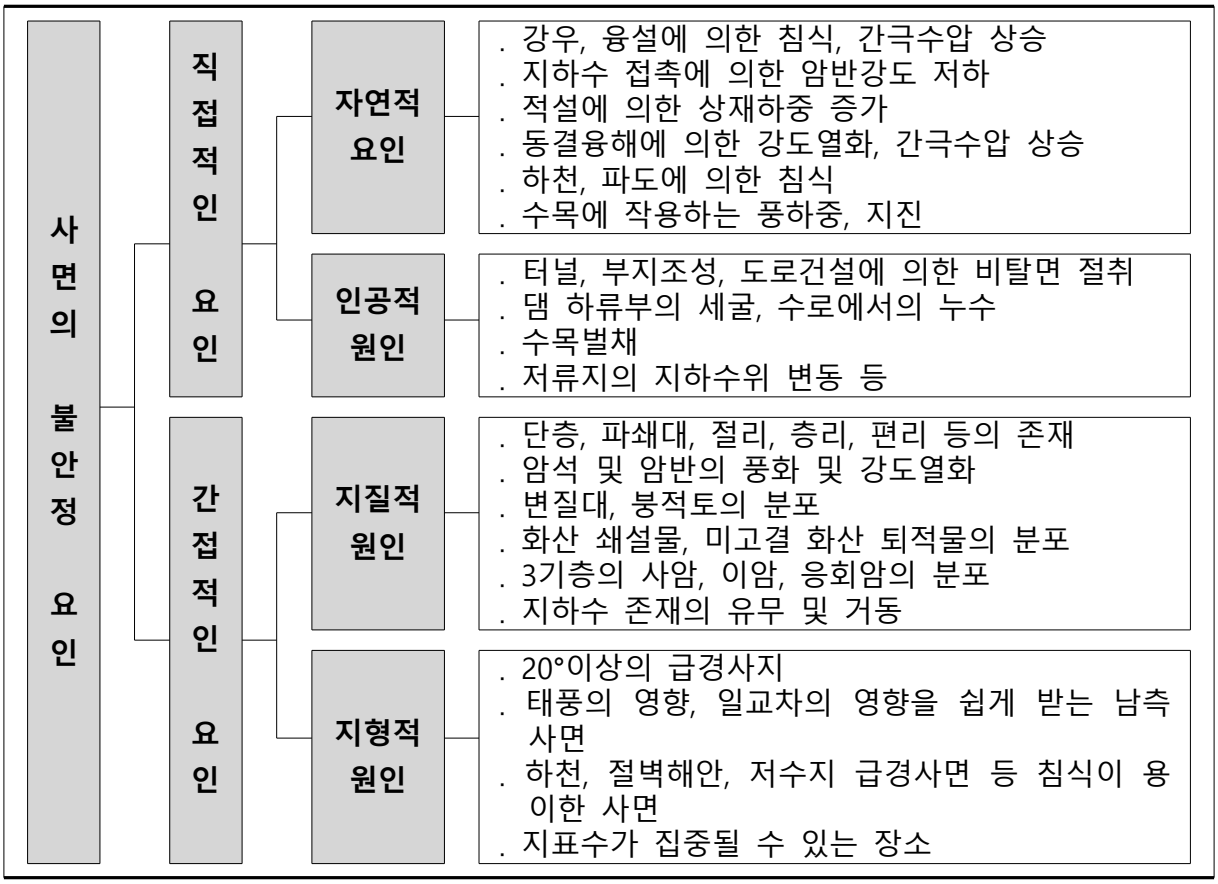
<표 34-43> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

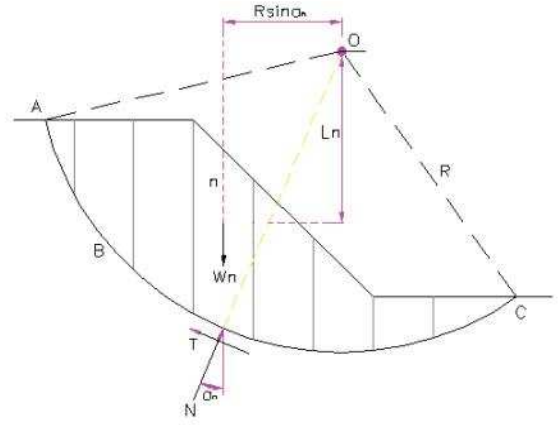


<그림 34-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

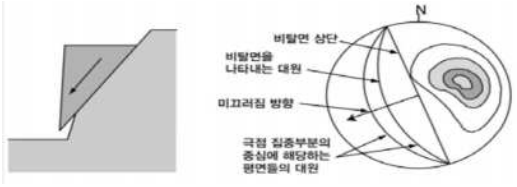
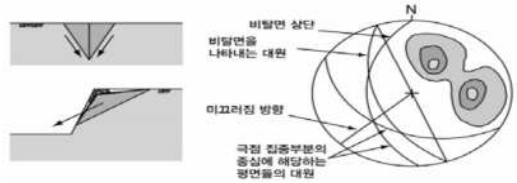
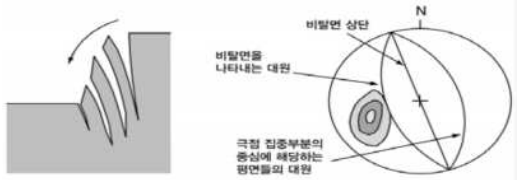
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 34-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 34-44> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 34-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

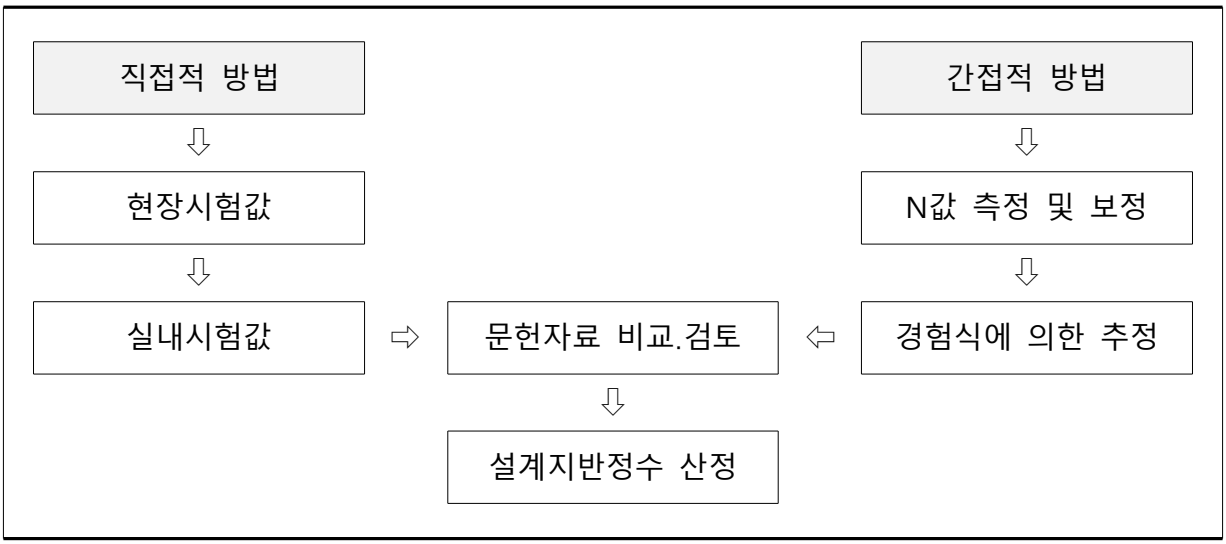
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 34-46> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 34-47> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 34-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 34-49> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 34-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (5공구)	풍화(잔적)토	19	26	24	
	풍화암	20	32	29	
	경 암	25	36	240	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 34-51> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 34-52> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	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/㎡)	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 34-53> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 34-54> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 34-55> Trueman (1988)

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

<표 34-56> 김교원 (1993)

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

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19	26	24	0.3	
풍화암	20	32	29	0.3	
경 암	25	36	240	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 34-57> 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

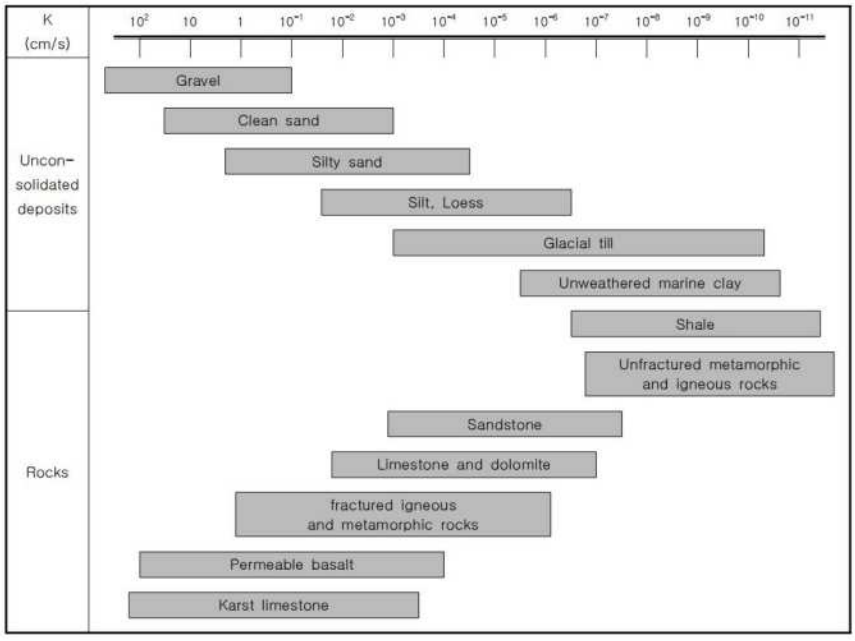
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 34-58> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 34-59> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 34-8> 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 34-60> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

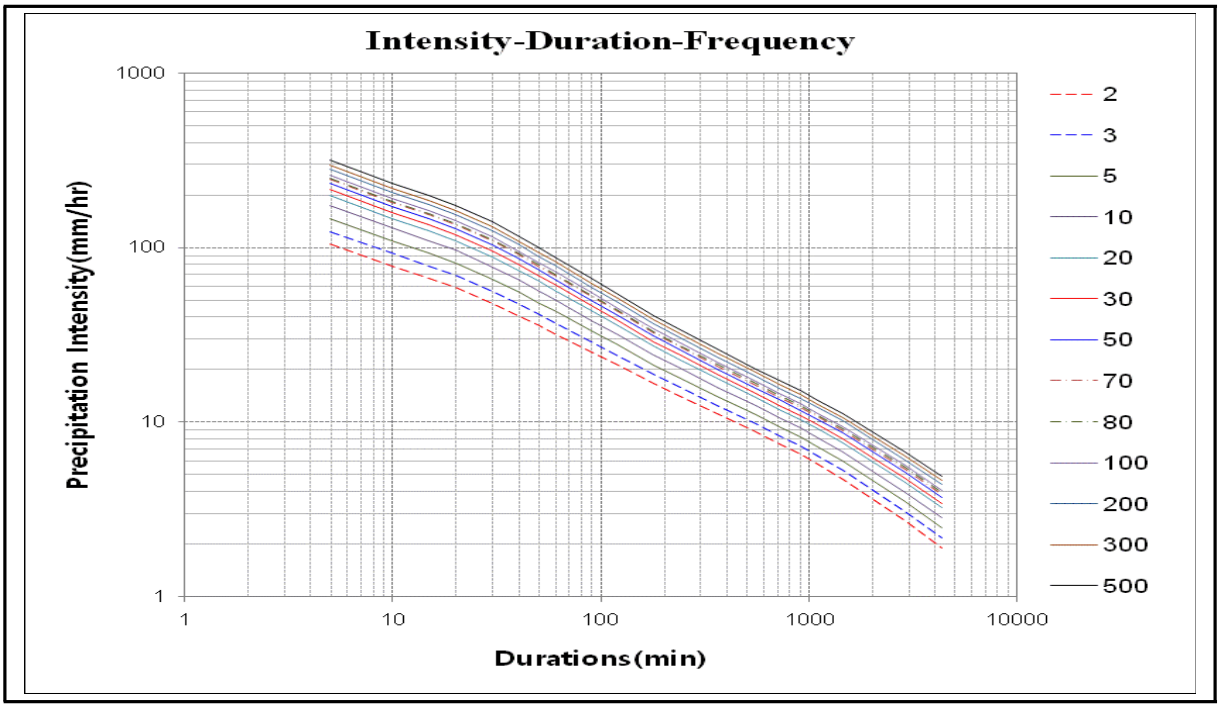
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 34-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 34-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 34-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 34-61> 설계지반운동 수준

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

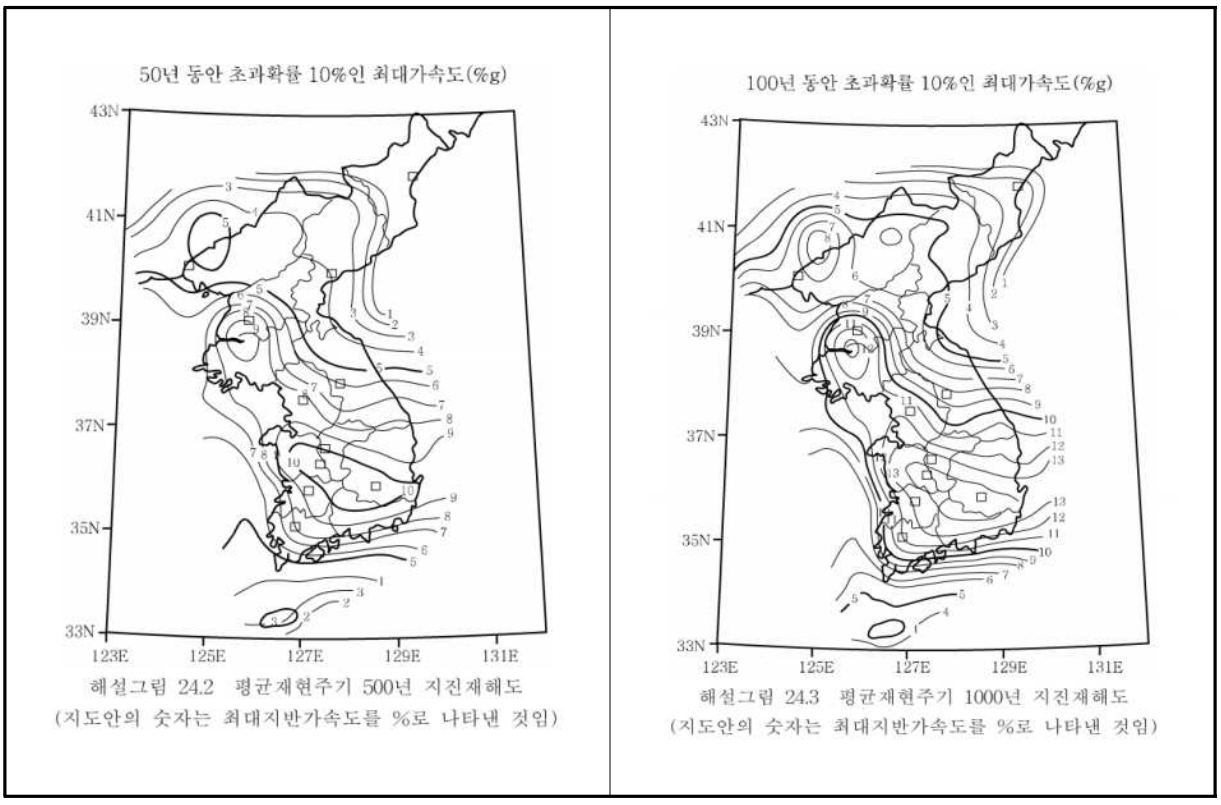
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 34-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 34-62> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 34-63> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

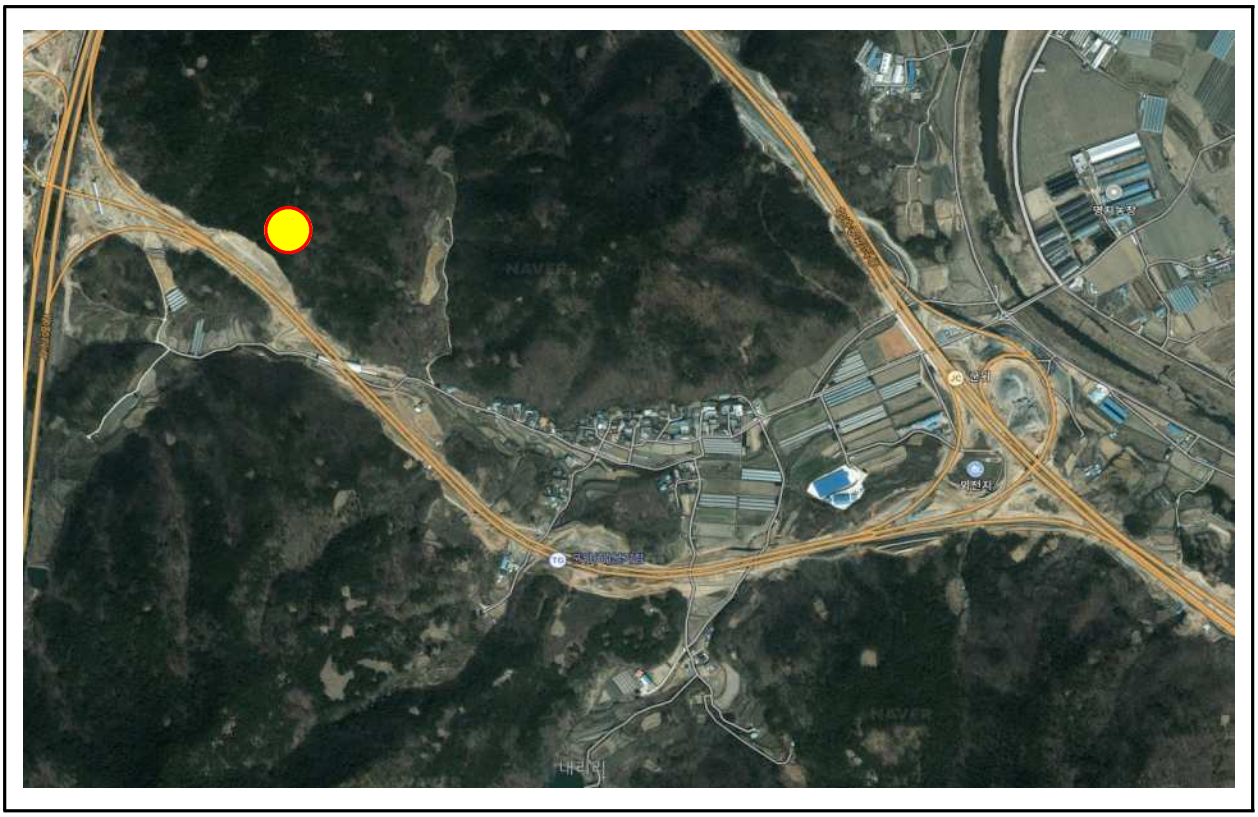
3) 지진가속도계수 선정

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 34-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

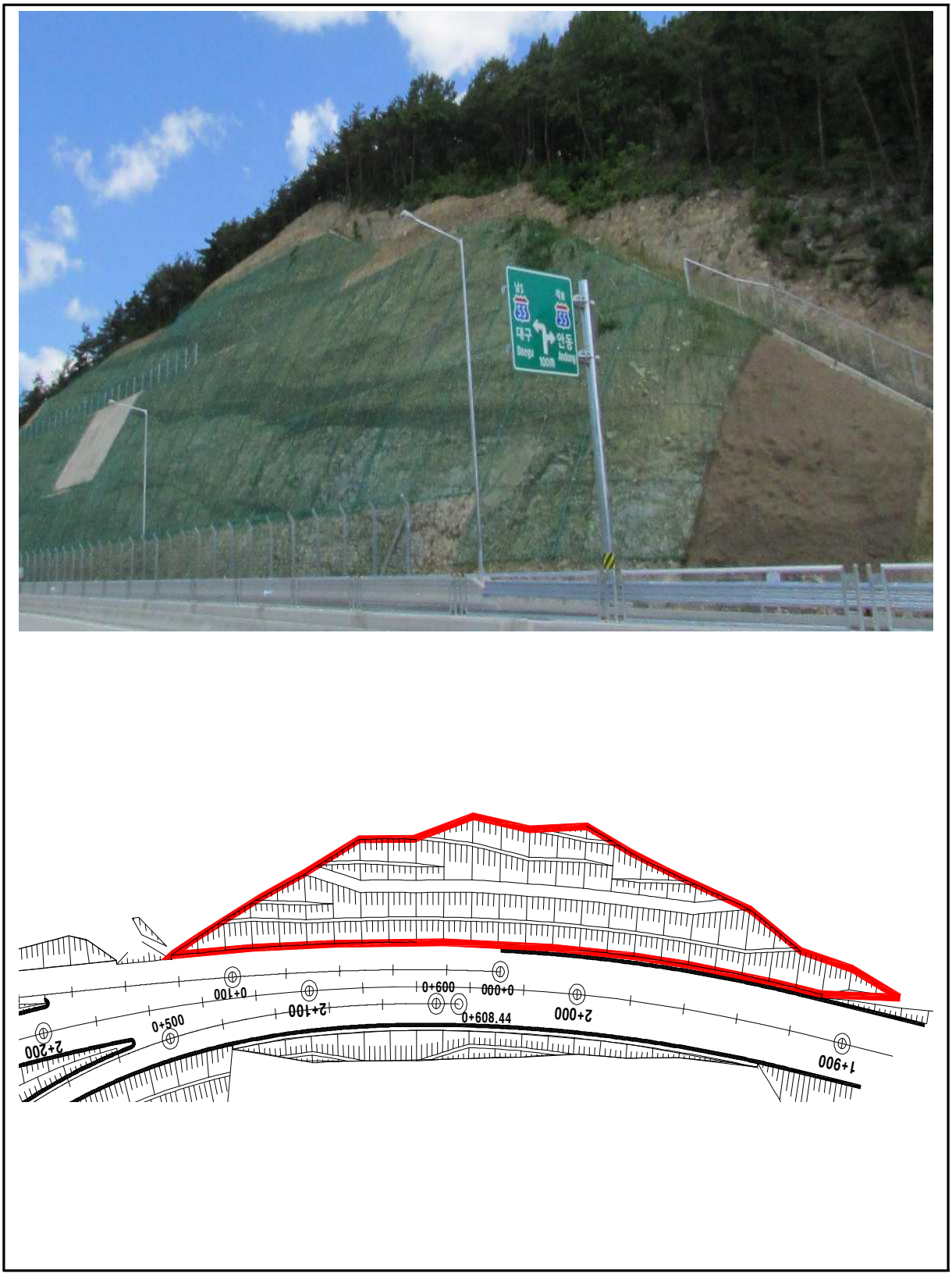
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토34	경상북도 군위군 효령면 내리리	군위 JCT	STA.2+000	36.0	2.0	34.0	-	2017	55/232



<그림 34-13> 영천절토34 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토34 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



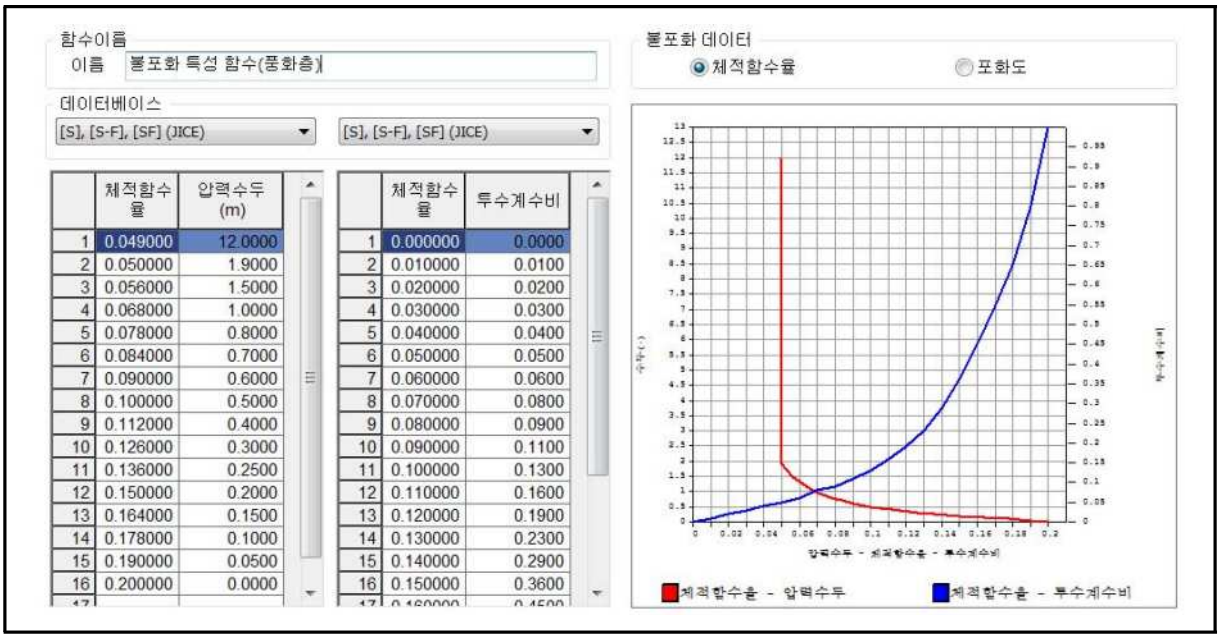
<그림 34-14> 영천절토34 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	19	26	24	3.0E-04	
풍화암	20	32	29	3.7E-04	
경암	25	36	240	8.7E-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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

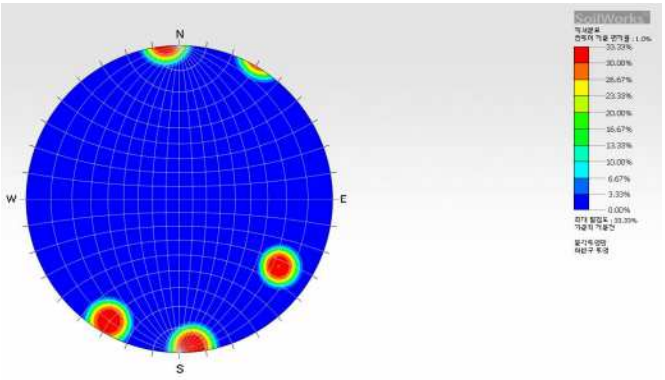
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 34-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

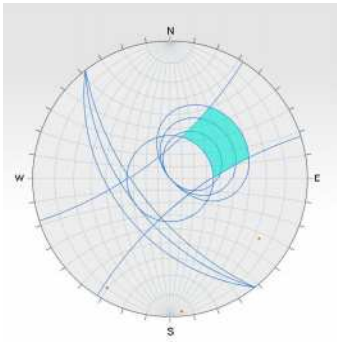
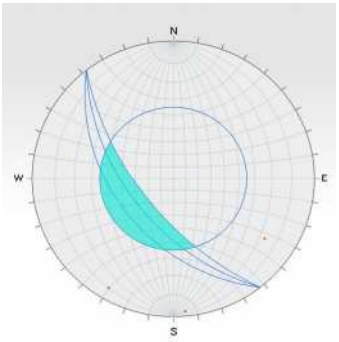
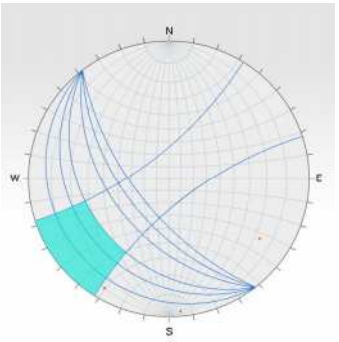
3) 1구간 (STA.1+890 ~ 2+150)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 76 88 85	dip direction 304 355 30

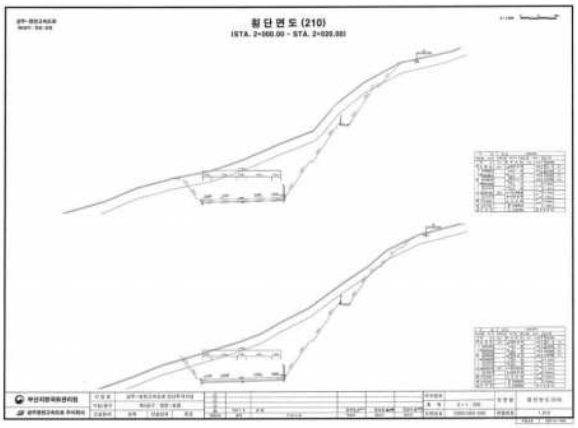
◦ 해석결과

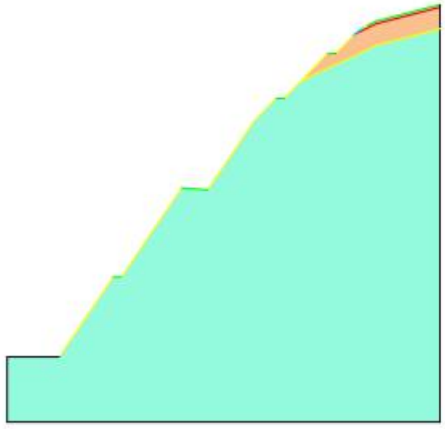
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

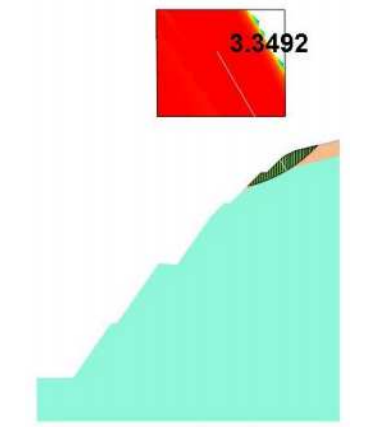
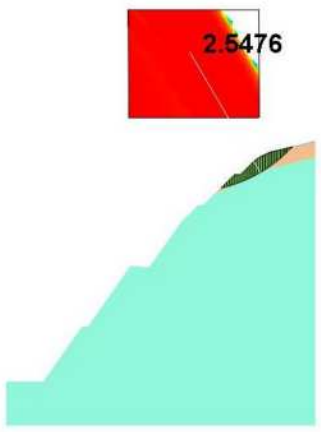
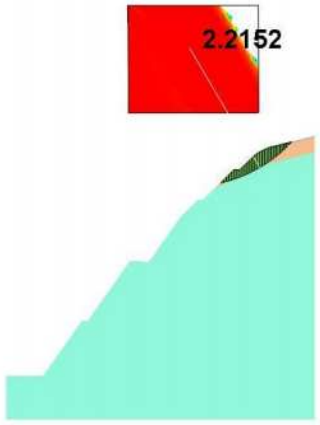
◦ 검토단면





대표단면 : STA.2+000, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.34	안전율 : 2.54	안전율 : 2.21

③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 34-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토34**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	3.34	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.54	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	2.21	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

34.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 34-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토34**		
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	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 34-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

34.5 내구성능 평가

34.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 34-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 6/31 = 0.19
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 110.3MPa	
면적	전체	4,948㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	4,948㎡	
표면보호공	식 생	4,747㎡	
	숏크리트	201㎡	
사면보강공	-	-	

34.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 34-69> 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

34.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 34-70> 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 34-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
1+990	111.1	100.7	초기 강도값(경암) : 110.3MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
2+050	107.5	97.5	
2+030	117.1	106.2	
평균값	111.9	101.5	
등급	A등급		

<표 34-72> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 34-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	4,747/4,747㎡	100.0%	0.0/201㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 34-74> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 34-75> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	c(10)
풍화진행도	MW	MW	HW
	c(10)	c(10)	d(16)
합 계	35	35	46
평 균	7	7	9.2
평가 결과	c	c	c

<표 34-76> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

34.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 34-77> 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 34-78> 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	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, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 34-79> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

34.6 종합평가

34.6.1 종합평가 개요

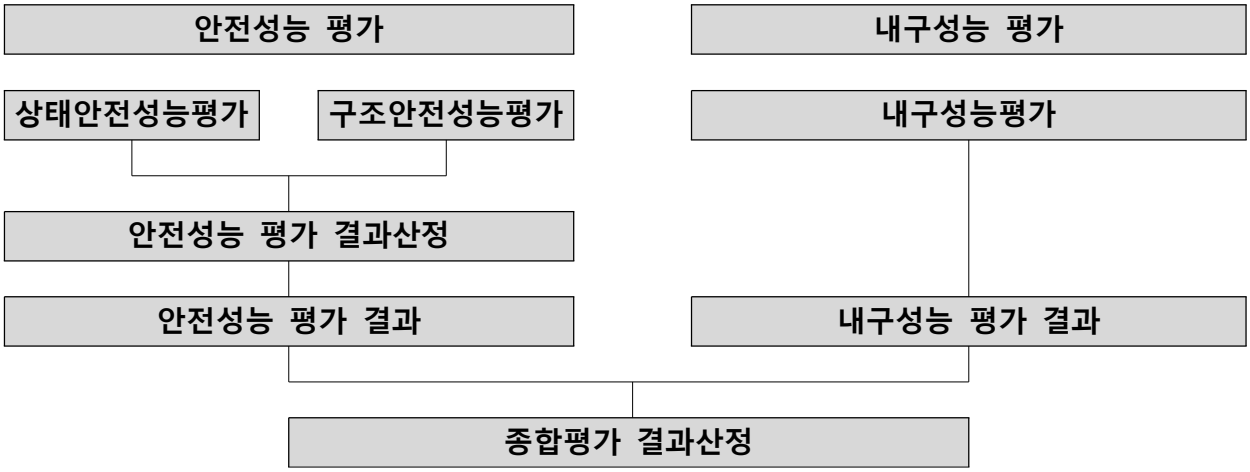
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 34-16> 종합평가 흐름도

34.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 34-80> 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 34-81> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토34		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.120	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.120 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.149 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 34-82> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

34.7 유지관리 전략 제안

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

34.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2034.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 34-83> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

34.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.149)"으로 평가되었다.

<표 34-84> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.265	0.149
평가결과	A	B	A

34.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 34-85> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
	산마루측구	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

34.8 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 및 산마루측구 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제35장 상주절토35

35.1 대상 시설물 현황
35.2 관련 자료의 분석
35.3 현장조사
35.4 안전성능평가
35.5 내구성능평가
35.6 종합평가
35.7 유지관리전략 제안
35.8 종합결론

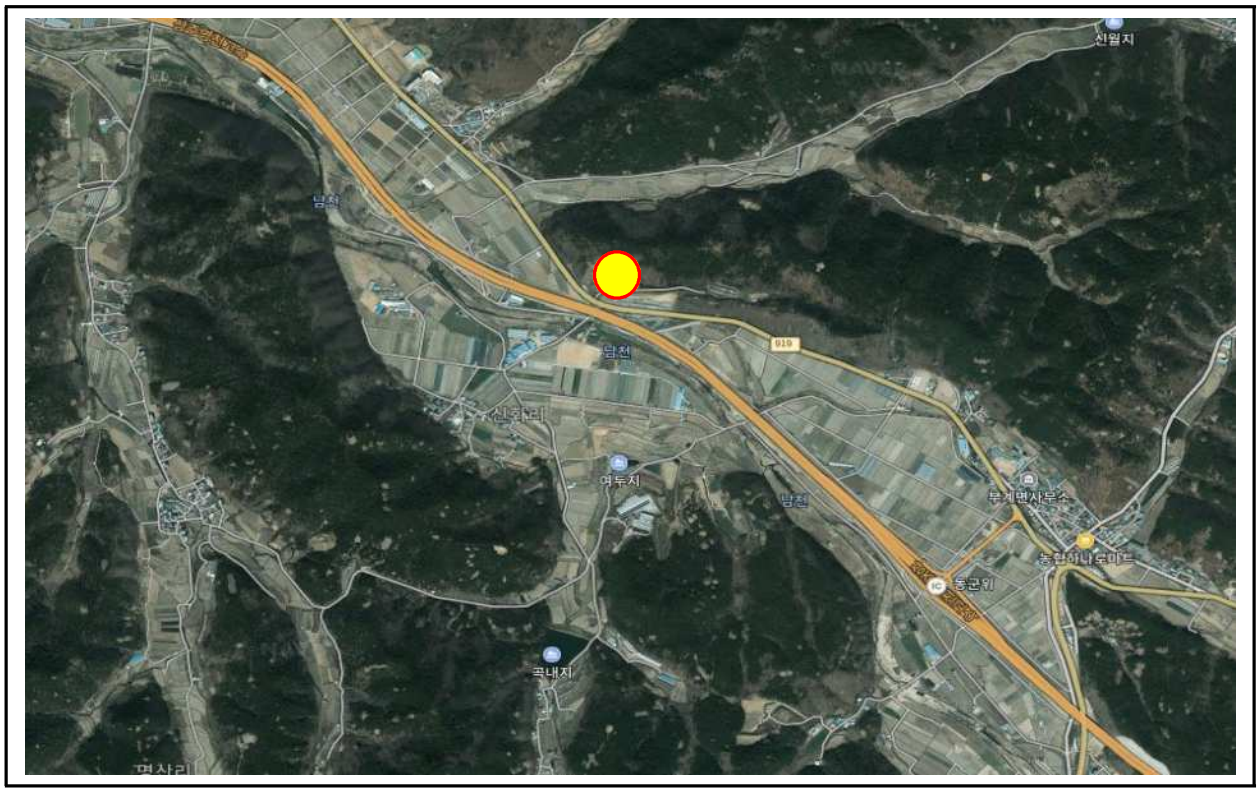
제35장 상주절토35

35.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 신화리(상주영천고속도로 51.000km부근 이설도로#2 STA.0+160~0+420)에 위치한 사면으로서 총 연장 260.0m, 높이 37.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 35-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000014		**관리번호**	SY SL35
시설물명	상주절토35		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 부계면 신화리		
	위치좌표	시점 : 36° 10′62.2″ 128° 64′95.8″		
		종점 : 36° 10′62.7″ 128° 65′20.5″		
	관리이정	51.000km 부근 이설도로		
	공구이정	6공구 STA.0+160~0+420(이설도로#2)		
제 원	**연 장**	260m	**높 이**	37.0m
	경사/방향	55/190	**노 선**	지방도 919호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	10~20°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	지에스건설(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 낙석방지망		
비 고				



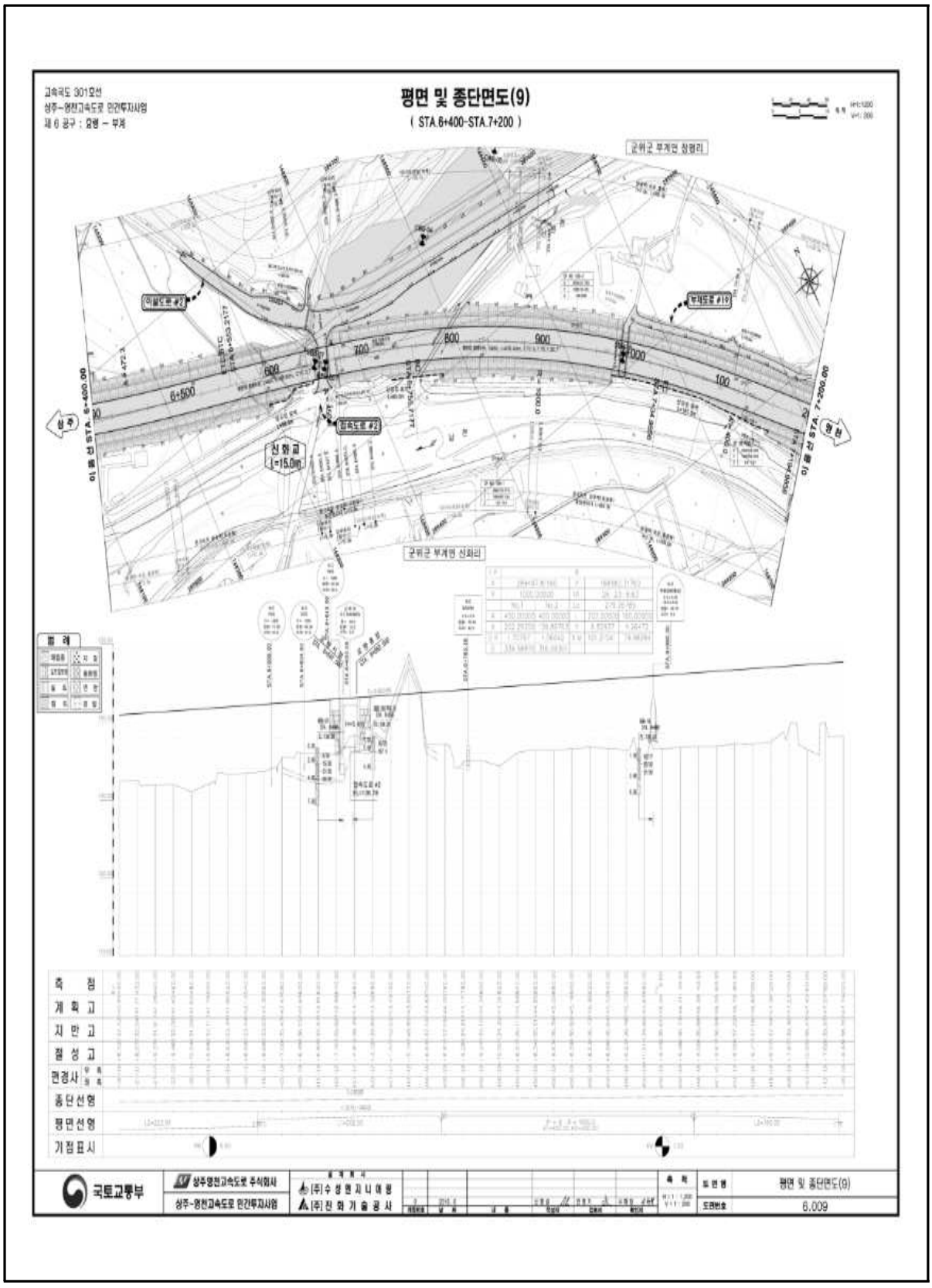
<그림 35-1>위치도



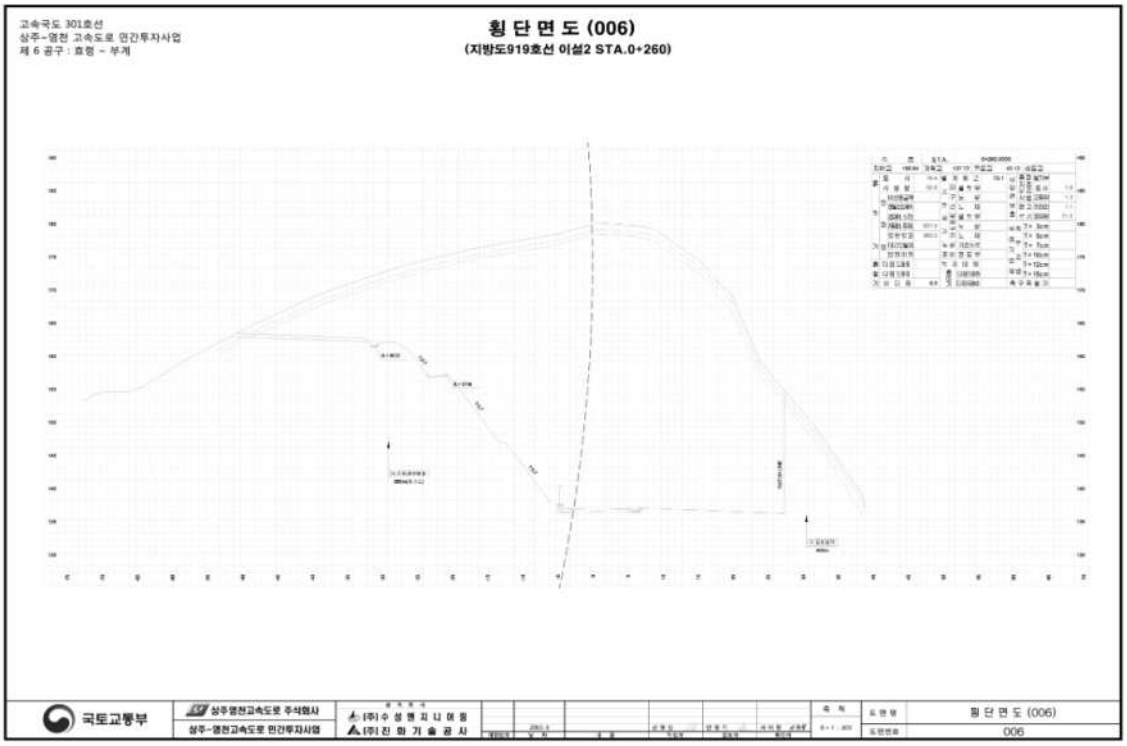
<그림 35-2> 전경사진

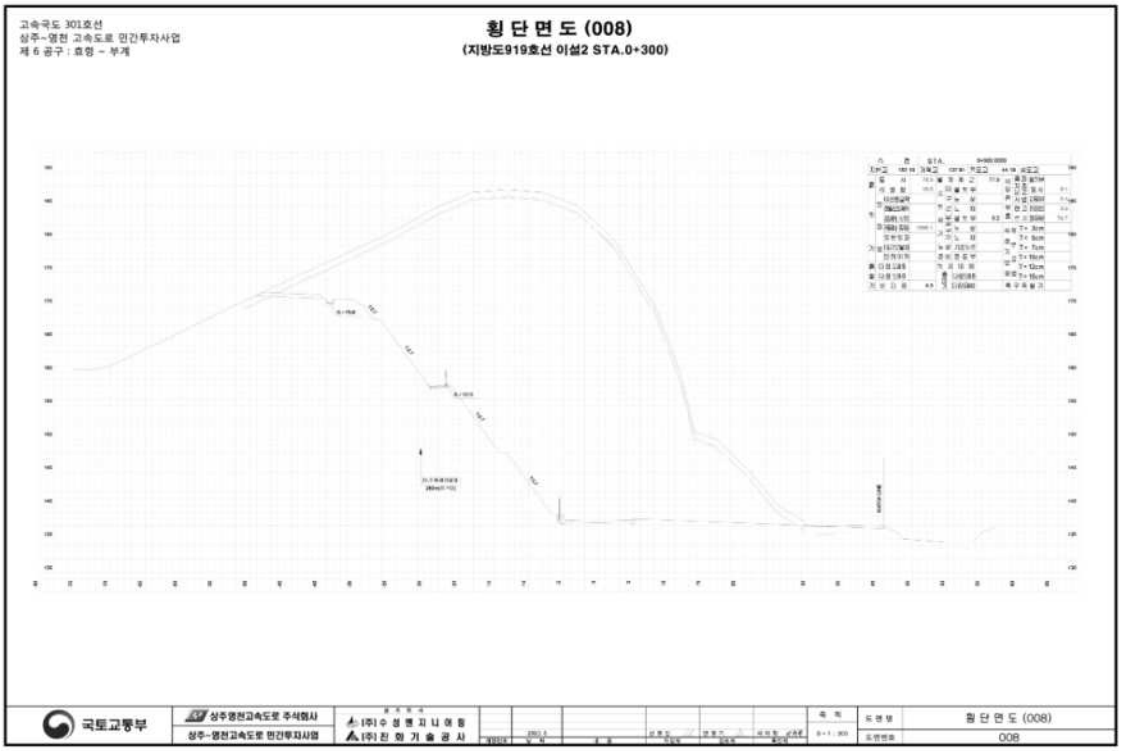
	
자연사면 전경	정면 전경
	
1소단배수로 전경	산마루측구, 점검계단 전경
	
하부 전경	1소단배수로 낙석방지 울타리

<그림 35-2> 전경사진(계속)


평면 및 종단면도(9)
(STA.6+400-STA.7+200)
고속국도 301호선
상주-영천고속도로 민간투자사업
제 6 공구 : 화령 - 부계
군위군 부계면 신령리
군위군 부계면 신화리
신 화 교
L=15.0m
범 례
측 점
계 획 고
지 반 고
절 성 고
편경사
종단선형
평면선형
기점표시
국토교통부
상주영천고속도로 주식회사
상주-영천고속도로 민간투자사업
(주)수 성 엔 지 니 어 링
(주)진 화 기 술 공 사
평면 및 종단면도(9)
6.009

<그림 35-3> 평면도





<그림 35-4>표준횡단면도

35.2 관련 자료의 분석

35.2.1 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 35-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

35.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

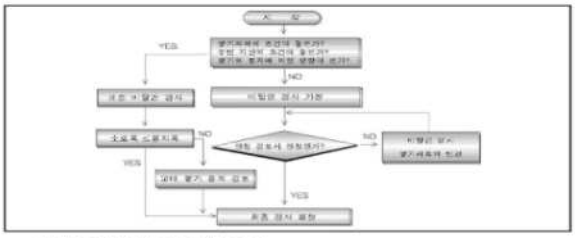
7.4 비탈면 설계기준

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

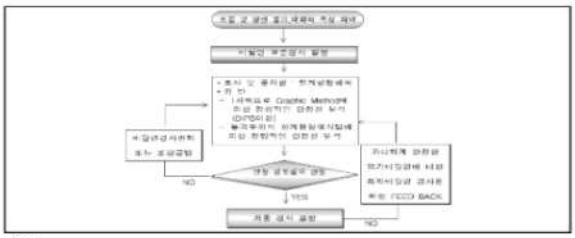
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 풍기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내의 기관별 소단 적용기준

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

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수를 용도 등의 유지관리에 있으므로 암반층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내의 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 오소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

253

다. 위기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 위기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	경 사	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

주) 1. 심도는 점성도로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내의 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 인약지반 분포여부, 설도체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분		최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor)	
건설교통부	건설공사 비탈면 설계기준 (2006년)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
		우기시	Fs ≥ 1.3
		지진시	Fs ≥ 1.1
한 국 도 로 공 사		도로설계요령	Fs ≥ 1.3
삼 안 엔 지		항만시설 기술상의 기준, 동해설	Fs ≥ 1.5

나. 위기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 위기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 위기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분	최 소 안 전 율	
건설공사 비탈면 설계기준(2006)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석)	Fs ≥ 1.2
	지진시	Fs ≥ 1.1
도로설계요령 (2000)	건기시(지하수위 미고려)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지하수위는 지표면에 위치)	Fs > 1.1~1.2
	지진시(미국 D'APPOLNIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준)	Fs > 1.1~1.2
미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975)	심내시험에 의해 강도를 구할 경우	1.5 > Fs > 1.3
	최대지진가속도를 고려함때	1.2 > Fs > 1.0
NAVFAC - DM 7.1-329	하중이 오래 작용할 경우	Fs > 1.5
	구조물 기초인 경우	Fs > 2.0
	일시적인 하중이 작용할 경우 및 시공시	Fs > 1.35 or 1.25
	지진하중이 작용하는 경우	Fs > 1.2 or 1.15

255

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 지표지질 조사

4.1.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

- 이 지역의 지질은 백악기 경상층군의 중 · 하부층인 진주층 상부로부터 최상부의 지인층까지 분포하고 있으며 경상층군 상부에 해당하는 신라아층군에는 유희암층이 협재되어 있음
- 이 층을 불공산화강암을 비롯해서 산성 또는 중성 맥암과 규장암 등이 관입하고 있음

나. 지형특성

군위군계의 팔공산(해발 1193m)을 최고봉으로 동서로 긴 산맥을 이루고, 청송군계의 보현산(해발 1124m)에서 서쪽으로 산맥을 이루며 방각산(해발 750m)에 이르러 북서로 매봉과 북두산 (해발 879m), 목너봉(해발 564m)으로 연결되는 산맥과 남서로 방가산(해발 755m)-화산 (해발 828m)-협암산(해발 556m) 으로 이어지는 산등을 이룸

동부는 노고산-화산, 북서로 조침산(해발637m), 매봉산 (해발 489m) 능선, 마정산(해발 402m), 물부리산(해발 364m), 건지봉(해발 471m) 등이 위치함

서부는 팔공산에서 분리된 시루봉(해발 714m)과 북서로 발달된 긴 능선, 적라산(해발 352m), 남북으로 길게 뻗은 물부리 산등, 북부의 정화산등에서 남동-남-북서로 발달하는 성산(해발 692m) 능과 상봉산(해발 448m) 북동부에서 남남서로 발달되어 북두산 (해발 509m)으로 연결되는 긴 능선과 낮은 구릉들로 이루어짐

보현산 서쪽 산등지에서 발원하는 고현천과 인천, 신녕천과 용호천이 각각 합류하여, 금호강으로 유입되어 낙류하고, 북으로 발원하여 흐르는 위천에 구천이 합류하고, 영천시 북서부 팔공산-우계산 계곡에서 발원 하여 북으로 흐르는 사창천이 남천에 합류되어 호명권에서 위천으로 유입되고, 군위읍 동부에서 서류하는 신만천이 위천에 합류되며, 위천은 사형하면서 북동류하여 상주군 낙동면에서 낙동강으로 유입됨

다. 분포암종 특성

구 분	지질특성	지질도
등영층 (진주층)	· 역암 또는 역질사암을 기저로 하는 암회색 세일로 구성 · 대체로 NNE의 주향과 10°~15°SE의 경사를 이룸	
일직층 (칠곡층)	· 역암, 역질사암, 사암, 실트스톤, 이회암, 이암 및 세일로 구성 · 대체로 N10°~15°E 주향과 10°~15°SE 경사 이룸	
산성 및 중성 암맥	· 주로 산성암맥이며, 안산암질 암맥도 일부 분포 · 지형적으로 저지대를 형성 테일러스 및 충적층에 의해 피복되어있으며 일부는 낮은 구릉의 형태를 보임	

라. 지질 계통도

지질시대		층 명	특 성	비 고
제4기		충적층(Qa)	· 하천 및 산록 퇴적물	
		~~ 부정합 ~~		
중생대	백악기	산성암맥(Kad) 중성암맥(Kid)	· 괴상의 치밀	· 전 구간에서 기반암을 관입
		~~ 관입 ~~		
		유천층군 안산암질암(Kat)	· 주로 응회암으로 구성	· 분포하지 않음
		~~ 관입 및 분출 ~~		
		하양층군 일직층(Ke4)	· 사암, 적색 이사질 세일, 역암 · 주로 사암이 우세	· 4공구 종점부 및 5공구 중점
		신동층군 진주층(Ke3)	· 역질사암, 사암, 세일의 교호 · 하부층에서 이회암 호층 분포	· 5공구 전 구간
		~~ 부정합 ~~		
선캠브리아		화강암질 편마암(Pcggn)	· 엽리가 부분적으로 발달 · 괴상의 치밀	· 10공구 일원 일부 분포

4.1.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

■ 목 적

- 과업지역의 광역적인 지형 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

■ 원리 및 방법

- 30m급 해상도의 Landsat5 TM 위성영상을 이용하여 분석실시
- 선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용
- 식생지수, 습윤도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

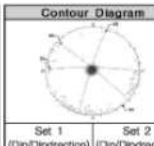
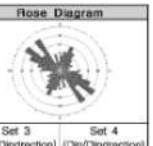
■ 위성영상결과

선형공간필터링분석	공간필터링	위성영상 분석
· 고주파강조 Laplacian 필터를 적용 인공적 선구조 판별 · 농경지와 수로 등 지지대 인공구조물이 잘 관찰됨	· 영상 내의 지형 또는 선구조의 방향성에 관계없이 지형 지물의 에지를 검출 · 선구조 특성 판독에 유용한 자료임	· 68개의 대, 소 선구조 파악 · 우세한 방향은 N80°~90°W로 나타남 · 과업노선과 4개의 선구조 교차

나. 조사결과

■ Scanline-106



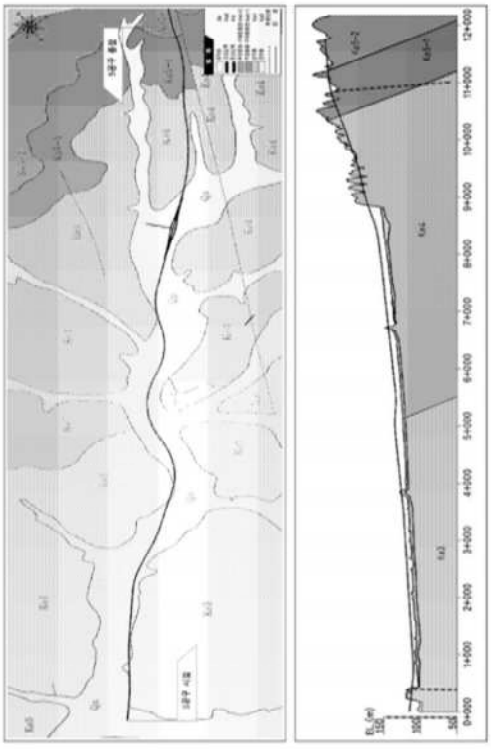
Contour Diagram	Rose Diagram
	

Set 1 (Dip/Dipdirection)	Set 2 (Dip/Dipdirection)	Set 3 (Dip/Dipdirection)	Set 4 (Dip/Dipdirection)
03/139	86/287	83/001	86/041

· 분포암상 : 일직층
· 조사위치 : 168402.360,289559.192

구분	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
간격 (cm)	평균 m = 21.9665, δ = 16.5765	m = 26.3714, δ = 27.2627	m = 65.9231, δ = 106.8647	m = 62.1875, δ = 54.8022
	확률밀도함수			
	지택 대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	함수 m = 15.3733, δ = 0.9252	m = 16.5694, δ = 1.0220	m = 20.3047, δ = 1.6257	m = 40.0803, δ = 1.0038
연장 (m)	평균 m = 24.9574, δ = 4.2424	m = 2.2778, δ = 1.4262	m = 1.5714, δ = 0.8227	m = 2.4706, δ = 1.8508
	확률밀도함수			
	지택 대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	음지수분포
	함수 m = 24.6008, δ = 0.1696	m = 1.9118, δ = 0.5857	m = 1.4558, δ = 0.3887	m = 2.4706, λ = 0.4048
JRC	평균 m = 5.0000, δ = 1.6631	m = 4.8333, δ = 1.4814	m = 5.6429, δ = 0.8950	m = 5.5882, δ = 1.8169
	확률밀도함수			
	지택 대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	정규분포
	함수 m = 4.7068, δ = 0.3607	m = 4.5667, δ = 0.3576	m = 5.5717, δ = 0.1600	m = 5.5882, δ = 1.8169
JCS (kg/cm²)	평균 m = 660.9575, δ = 306.0392	m = 756.8889, δ = 398.3492	m = 676.3571, δ = 300.7509	m = 666.4117, δ = 286.7391
	확률밀도함수			
	지택 대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	함수 m = 631.3926, δ = 0.4186	m = 676.6459, δ = 0.4700	m = 621.9818, δ = 0.3949	m = 600.0007, δ = 0.4171

■ 지질종평면도



3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업 실시설계(8공구)

1.2 조사목적

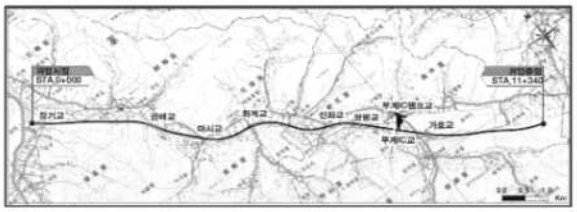
• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조사범위

위 치
·시점 : 경상북도 군위군 군위읍 효령면(STA. 0+000)
(X=293577.5190 , Y=163274.3124)
·종점 : 경상북도 군위군 군위읍 이북면(STA. 11+231)
(X=296819.0783 , Y=171952.6914)
·연장 : 11.231km



1.4 위치도



1

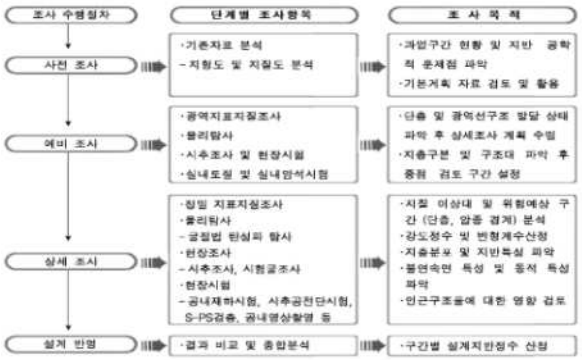
제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행 흐름

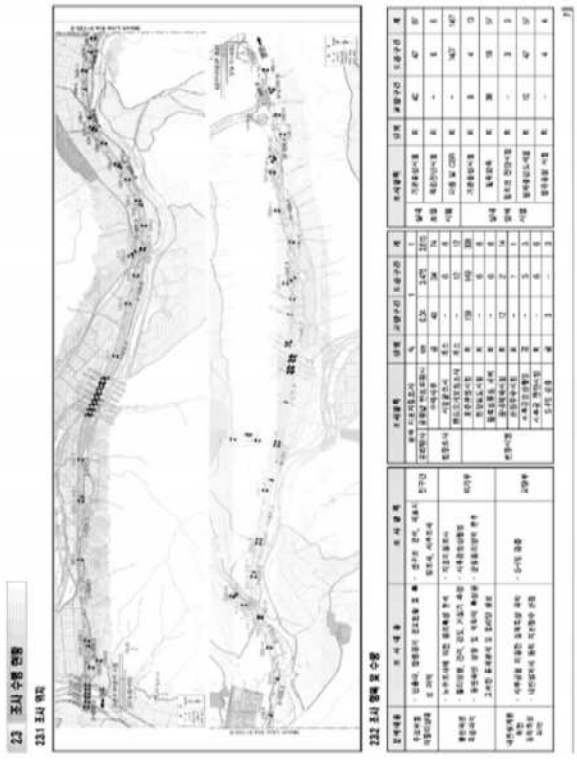
가. 조사 기본방향



나. 조사 수행 흐름도



3



제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대규모 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태의 안정성을 고려한 안정 비탈면경사 결정 및 대책 공법 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 지활면에 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 경사 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

239

구 분	선 정 기 준
붕 기 부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 붕기재료의 암수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지질특성으로 인하여 붕기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 빈번하는 경우 · 흥수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 붕기비탈면의 원지반이 암호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
암 기 부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 불적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 경사진 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)	대표단면 (STA.)	최대 쌓기고	지층현황	조사내용		비 고
							공번	조사위치 (STA.)	
쌓기구간	쌓기1구간	0+340 ~2+430	2,090	0+440(상주방향)	13.9m	충적층 풍화토층 풍화암층	CB9-1 참조	0+357 (우 24.0)	
	쌓기2구간	2+740 ~3+840	1,100	2+960(영천방향)	8.2m	충적층 풍화토층 연암층	SB8-5	2+952 (우 2.0)	
	쌓기3구간	3+856 ~4+896	1,040	4+800(상주방향)	11.5m	충적층 풍화토층 풍화암층	SB6-12	4+774 (우 14.0)	
	쌓기4구간	4+940 ~6+647	1,707	4+980(영천방향)	14.0m	충적층 풍화토층 연암층	SB8-26	4+931 (좌 6.5)	
	쌓기5구간	6+663 ~7+257	594	7+240(상주방향)	10.7m	잔적층 풍화토층 연암층	SB8-29	7+259	
	쌓기6구간	7+296 ~8+086	790	7+460(영천방향)	9.7m	충적층 풍화토층 연암층	SB8-30	7+297	
	쌓기7구간	8+110 ~8+680	900	8+680(영천방향)	14.2m	충적층 풍화토층 풍화암층	SB8-35	8+715 (좌 7.5)	

7.6 비탈면 안정해석 및 검토

7.6.1 개요

가. 쌓기구간

본 지역에서의 쌓기비탈면 안정해석은 쌓기구간 중 쌓기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 평사투영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 쌓기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안정한 비탈면경사의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

- 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 1.5 이상, 우기시 1.2 이상으로 적용하였다.
- 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반 노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.
- 결과를 근거로 암반파쇄 상태에 의한 쌓기 경사는 암석별 쌓기 적정경사를 기준으로 암반비탈면 경사를 결정하였다.
- 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 경사방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.
- 암반비탈면 경사에 따라 상부층의 토사비탈면 안정성 검토는 Talren 97 Program을 이용하여 원호활동 파괴로 검토함을 원칙으로 하였다. RQD = 0~10%의 암석은 연암이라 하더라도 암반이 큰 COBBLE 상태에서 거동하는 것으로 사료되므로 풍화암과 같은 특성으로 고려될 수 있다. 이와 같은 경우 암반은 절리면을 따라 파괴하기 보다는 원호활동 파괴의 경향을 보이므로 풍화암과 토사층을 포함하여 검토하였다.

나. 쌓기구간

본 쌓기구간은 산지지형 말단부의 완측쌓기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쌓기로서 진입도로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 출현 여부를 확인하기 위하여 Hand Auger Boring을 실시하였다. 쌓기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쌓기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쌓기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 쌓기 경사 평가 및 검토를 암석별 쌓기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 쌓기비탈면 경사 검토]

구분 / 구간	검토구간 (STA.)		시추번호	암반 특성에 따른 비탈면 경사					참조 사항
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	
쌓기 1구간	0+220 ~0+450	영천방향	CB8-1	사암 및 니질암	81~100	27~58	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 2구간	지방도919호선 0+040~0+360	상주방향	CB8-3	사암 및 니질암	97	17~39	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 3구간	6+500 ~6+900	상주방향	CB8-5	사암 및 니질암	73~100	8~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쌓기 4구간	8+860 ~9+340	상주방향	CB8-7	사암 및 니질암	46~100	0~90	1:0.5	1:0.5	1:0.5
			CB8-9	사암 및 니질암	100	29~75	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쌓기 5구간	9+340 ~9+750	상주방향	CB8-10	사암 및 니질암	95~100	14~82	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 6구간	9+770 ~10+180	상주방향	CB8-11	사암 및 니질암	54~100	0~63	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 7구간	10+180 ~10+380	상주방향	CB8-12	사암 및 니질암	87~100	10~69	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 8구간	10+380 ~10+580	상주방향	CB8-13	니질암	58~100	0~76	1:0.5	1:1.0	1:1.0
쌓기 9구간	10+380 ~10+700	영천방향	CB8-14	니질암	59~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쌓기 10구간	10+750 ~10+840	영천방향	CB8-15	니질암	48~100	11~100	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 11구간	10+970 ~11+080	영천방향	CB8-16	사암 및 니질암	65~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쌓기 12구간	11+080 ~11+220	영천방향	CB8-17	사암 및 니질암	31~100	0~97	1:0.5	1:0.7	1:0.7

■ 지반조사 위치도

1. 위치도



2. 수량

조사항목		단위	교량구간	토공구간	계
공통 지표지질조사		식	1		1
물리 탄성	굴절법 탄성파탐사	km	0.34	3.475	3.835
현장 조사	수직시추	공	40	38	78
	사운딩조사	회소	-	6	6
	웰드포지점조사	회소	-	8	8
실내 시험	표준관입시험	회	139	149	308
	현장밀도시험	회	-	6	6
	흙의물리적성질 시험	회	-	6	6
	공극수압시험	회	2	4	6
	현장투수시험	회	-	1	1
	시추공암상촬영	공	-	5	5
	시추공 전단시험	회	-	6	6
암석 시험	일축압축강도시험	회	20	37	57
	절리면 전단시험	회	-	3	3
	불연속면조사	회	10	47	57
	암석물리시험	회	-	4	4

조사항목		단위	교량구간	토공구간	계
암석 물리 시험	기준물리시험	회	60	47	87
	직접전단시험	회	-	6	6
	다짐 및 CBR	회	-	14.7	14.7
암석 역학 시험	일축압축강도	회	20.9	35.4	57.13
	절리면 전단시험	회	-	3	3
	불연속면조사	회	10	47	57
	암석물리시험	회	-	4	4

35.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 35-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토35 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	상주절토35 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 2단 사면 심한풍화, 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	상주절토35 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 2단 사면 심한풍화, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2035. 03. 18 ~ 2035. 05. 28	정기안전점검	상주절토35 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 2단 사면 심한풍화, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2035. 09. 16 ~ 2035. 12. 27	정밀안전점검	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)~심한풍화(HW) 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 및 산마루측구 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토35 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 망상균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

35.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 35-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

35.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 35-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

35.2.6 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 35-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

35.3 현장조사

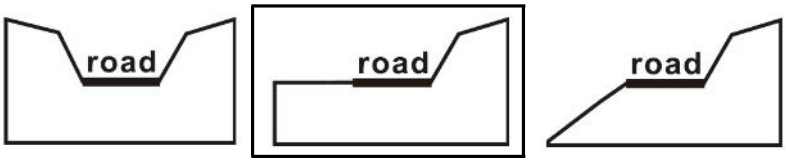
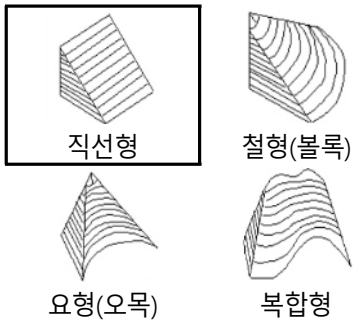
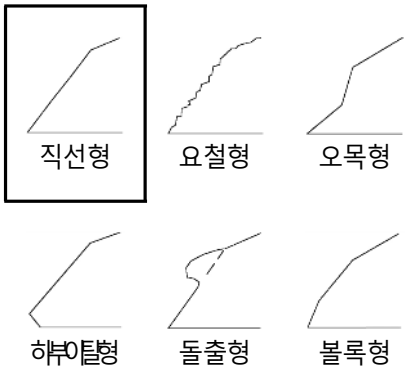
35.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 35-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 부계면 산화리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 10′62.2″ 128° 64′95.8″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 10′62.7″ 128° 65′20.5″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 260m</td><td colspan="2">높 이 : 37.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/190</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~2.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="6">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">0+160~0+260</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">0+260~0+380</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">0+160~0+420</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지망</td><td colspan="2">0+180~0+400</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">0+160~0+260</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 35-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종횡단면</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td></td><td>종단면특성</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 35-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토35		
	위경도	시점 : 36° 16′14.2″ 128° 55′14.0″ 종점 : 36° 16′00.0″ 128° 55′35.6″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 20일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	260.0m	최대높이	36.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	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
	뜬돌	□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) □옹벽 □격자블럭 ■점검로(양호)		■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소 견	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			

35.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 신화리(상주영천고속도로 51.000km부근 이설도로#2 STA.0+160~0+420)에 위치한 사면으로서 총 연장 260.0m, 높이 37.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 35-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{37.0}=0.05$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 102.4~105.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{37.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 260m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 2개구간으로 구분하여야 하나, 남은 사면의 연장이 짧은(60m)것과 구성재료가 전구간 동일한 것으로 인해 1개구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 35-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	0+160~0+420	260m

35.3.3 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 10~20°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 35-12> 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, 낙석방지공으로는 낙석방지망과 낙석방지 울타리가 시공되어있다. 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화상태는 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도인 것으로 분석되었으며, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 인한 풍화가 진행될 우려가 있으므로 주기적인 주의관찰이 필요하다.

<표 35-13> 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 35-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	73/036	80/303	88/315
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	HW

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 35-15> 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 산마루측구 및 소단배수로 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 35-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	2EA / 5.0	건조수축	
	산마루측구	균열	m	1EA / 1.0	건조수축	

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 35-17> 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 35-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 35-19> 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 35-20> 인장균열 조사 결과

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

35.3.4 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 총 3개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 35-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
0+220	52.7	105.2	경암	
0+290	52.1	102.4	경암	
0+320	53.5	109.1	경암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 52.1~53.5로 측정되었으며, 추정강도 102.4~109.1MPa로 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 35-22> 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경



낙석방지망 전경

라. 사면보강공

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

<표 35-23> 사면보강공 조사 결과

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

35.4 안전성능평가

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

35.4.1 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 0.05로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 35-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{37.0}=0.05$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 102.4~105.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{37.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 260m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 35-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	0+160~0+420	260m	암반사면	Set1, Set2, Set3

<표 35-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 35-27> 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 35-28> 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 35-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 35-30> 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 35.0m미만	35.0m이상	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 35-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 35-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 35-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 35-34> 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 35-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 35-36> 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/sec^2) (u, β는 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 35-37> 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 10~20°	c
	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 35-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 35-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 35-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 35-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토35		
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
블연속면 특성		8.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			11	
결함지수		0.11		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 35-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
260.0m	1구간	0+160~0+420	a(0.11)	A	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

35.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

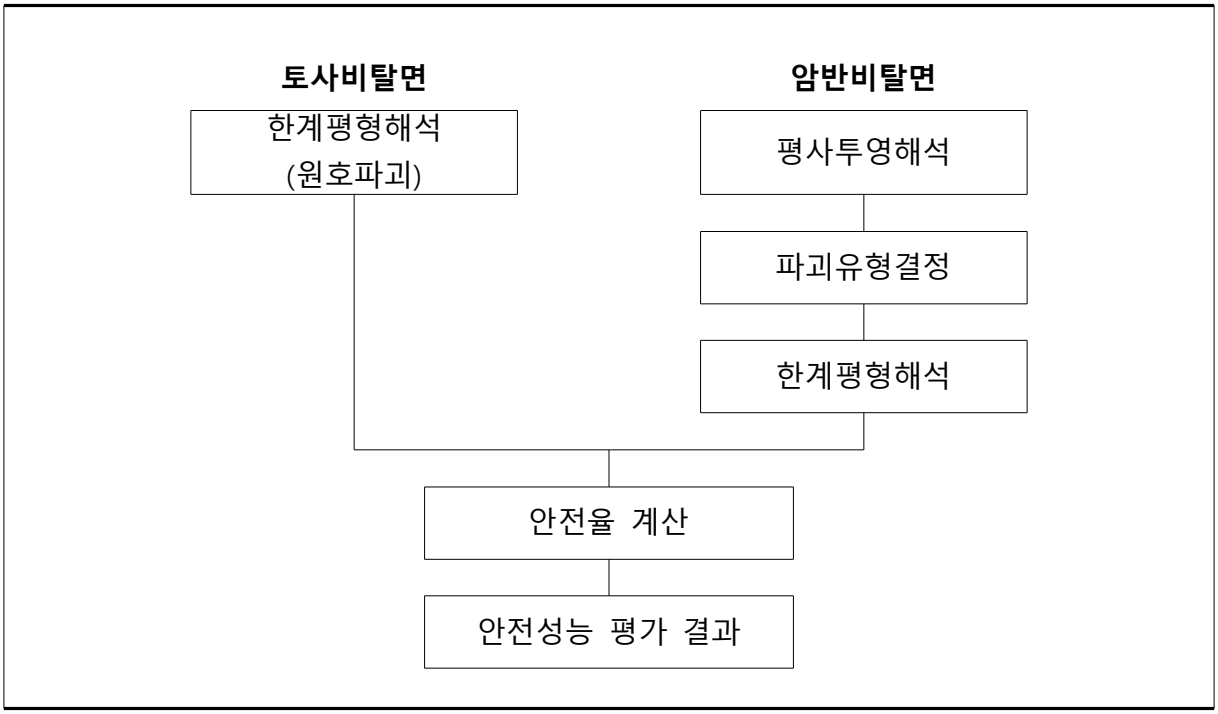
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 35-5> 구조안전성능 평가과정

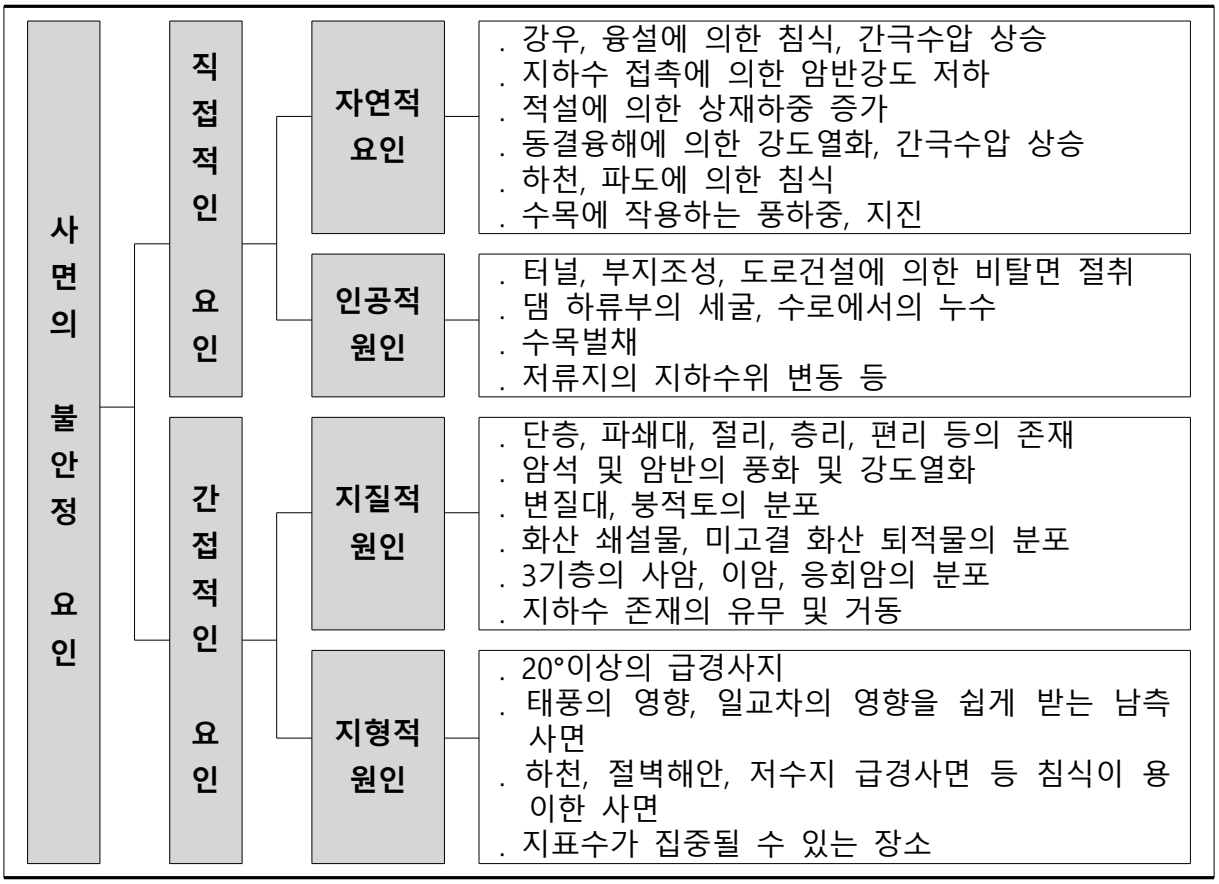
<표 35-43> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

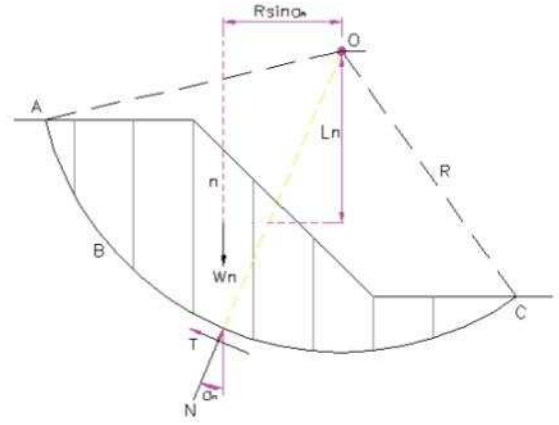


<그림 35-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

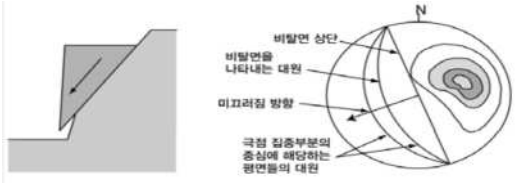
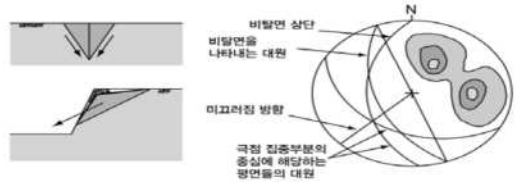
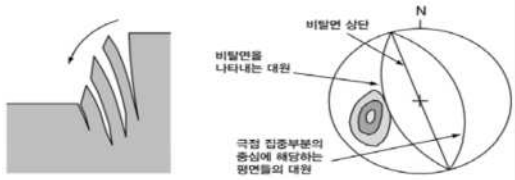
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 35-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 35-44> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 35-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

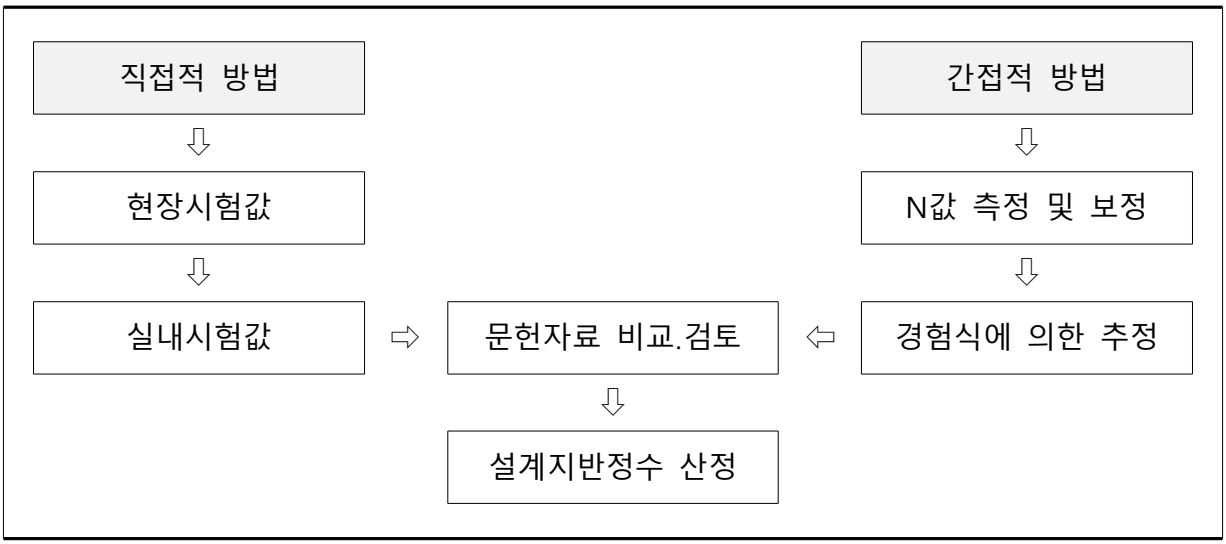
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 35-46> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 35-47> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 35-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 35-49> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 35-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (6공구)	풍화(잔적)토	19	28	20	
	풍화암	20	29	30	
	경 암	24	32	200	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 35-51> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 35-52> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	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/㎡)	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 35-53> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 35-54> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 35-55> Trueman (1988)

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

<표 35-56> 김교원 (1993)

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

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19	28	20	0.3	
풍화암	20	29	30	0.3	
경 암	24	32	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 35-57> 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

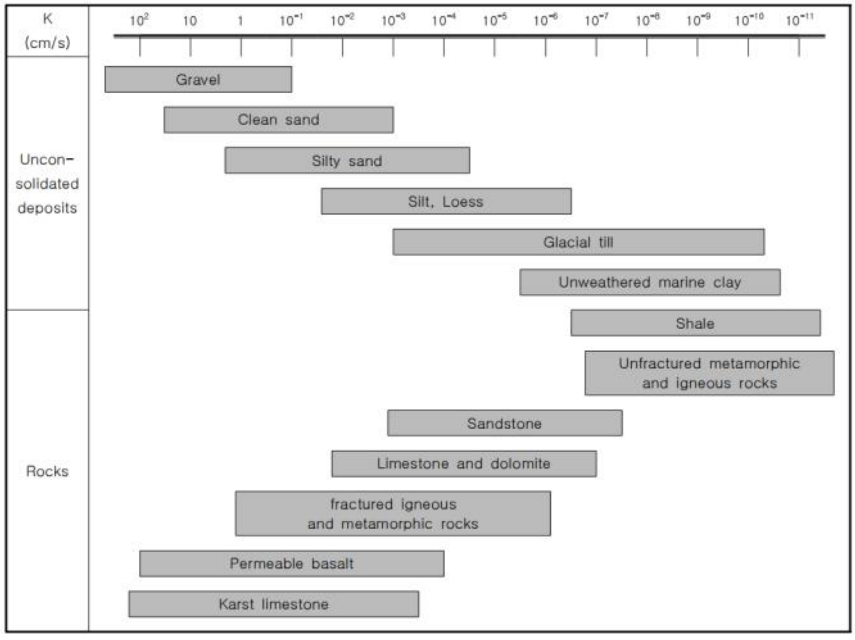
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 35-58> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 35-59> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 35-8> 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 35-60> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

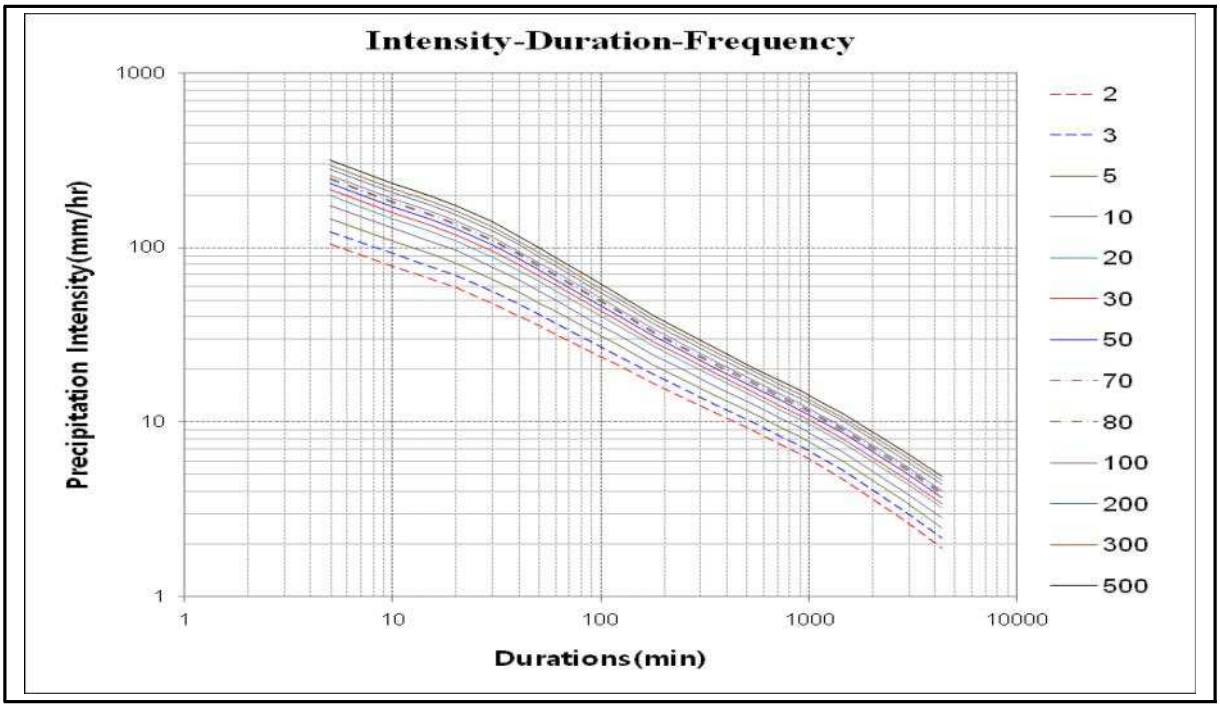
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 35-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 35-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 35-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 35-61> 설계지반운동 수준

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

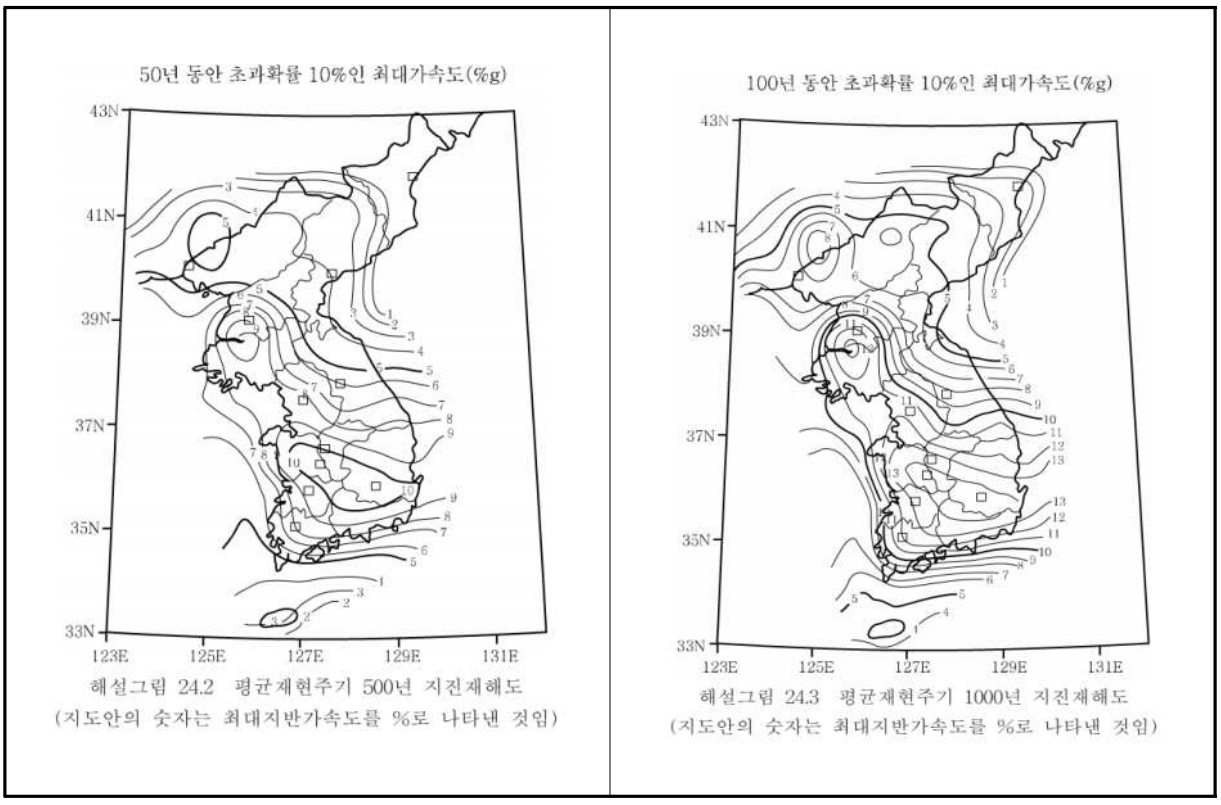
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 35-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 35-62> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 35-63> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

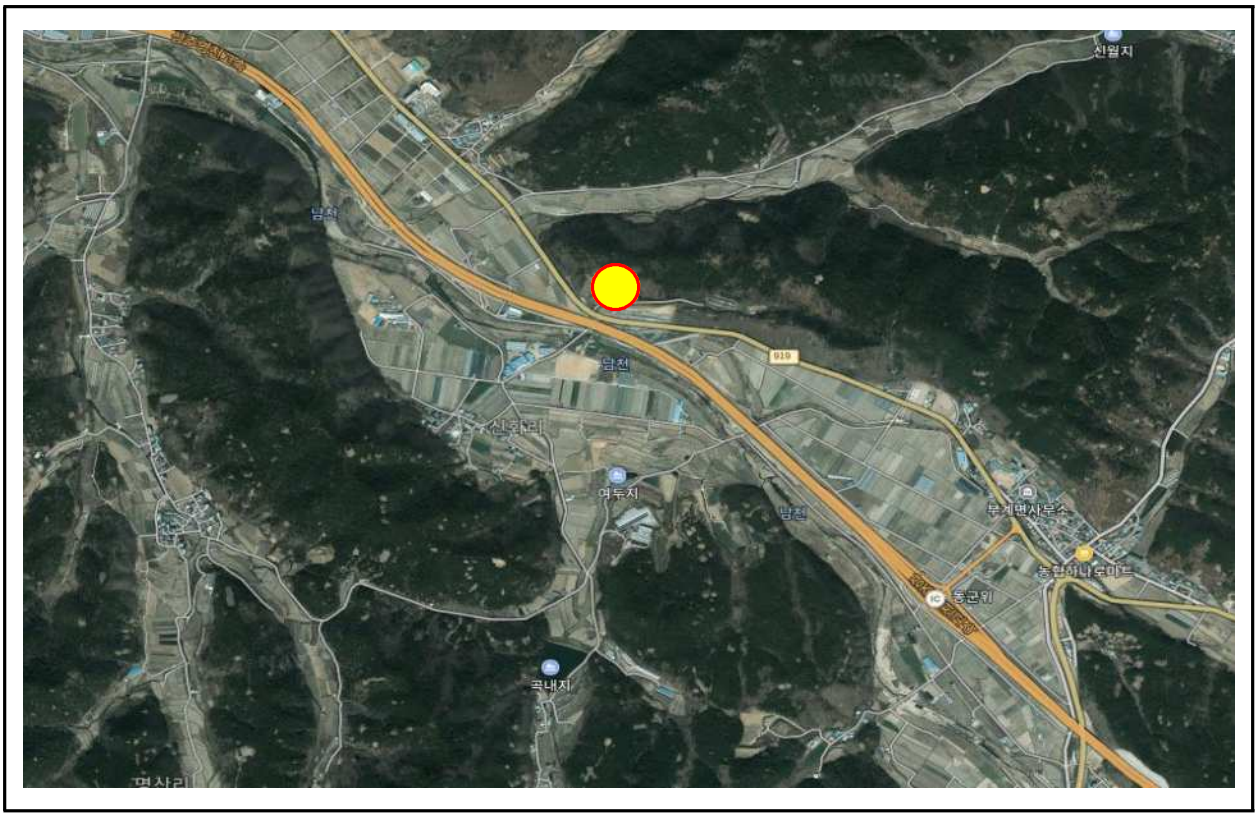
3) 지진가속도계수 선정

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 35-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토35	경상북도 군위군 부계면 신화리	51.000	STA.0+350	37.0	2.0	35.0	-	2017	55/190



<그림 35-13> 상주절토35 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토35 비탈면 안정성검토

1) 세부위치

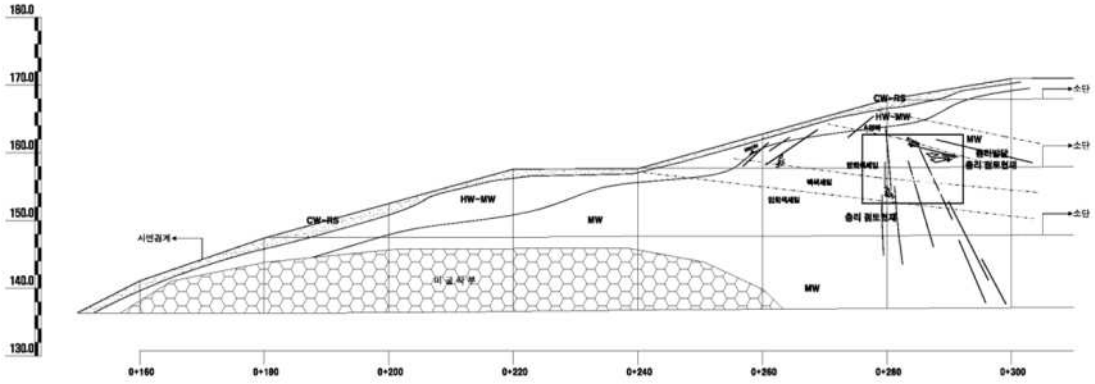


제 2 절토부 현황도 (1)

2. STA. 6+640 ~ 6+910 좌안(상주방향) 비탈면 [지방도 919선 이설2 STA.0+150 ~ 0+420]

연장: 270m
높이: 36.25m
사면방향 : 187~197/55

<A-A' 단면>



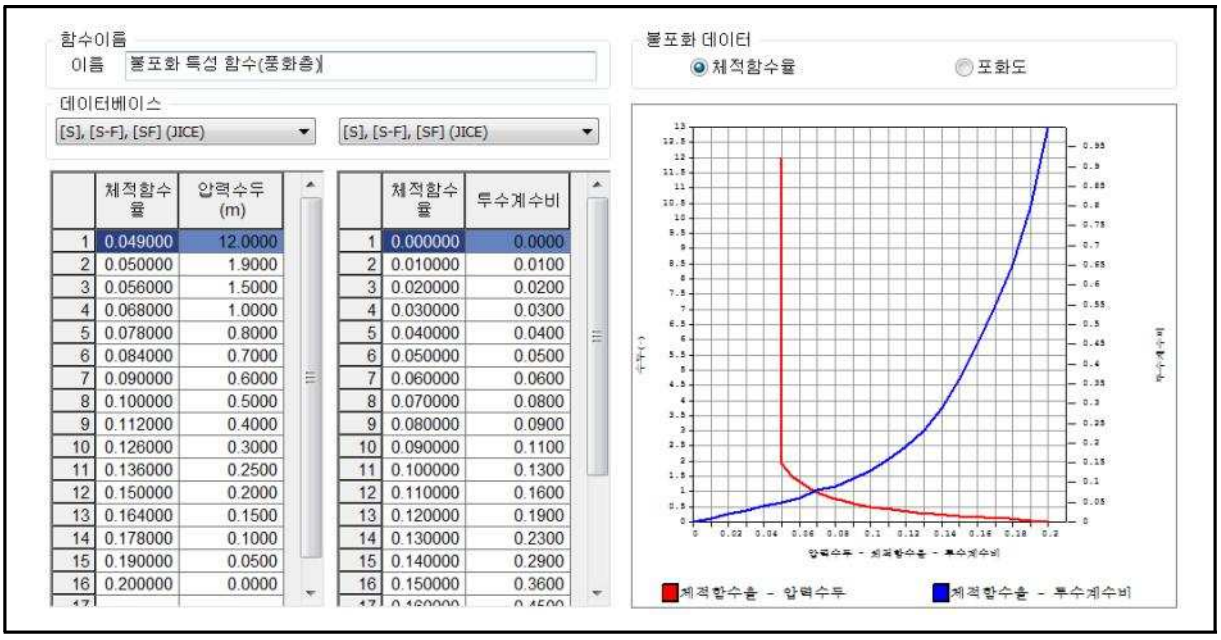
<그림 35-14> 상주절토35 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	19	28	20	1.0E-03	
풍화암	20	29	30	1.0E-04	
경암	24	32	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

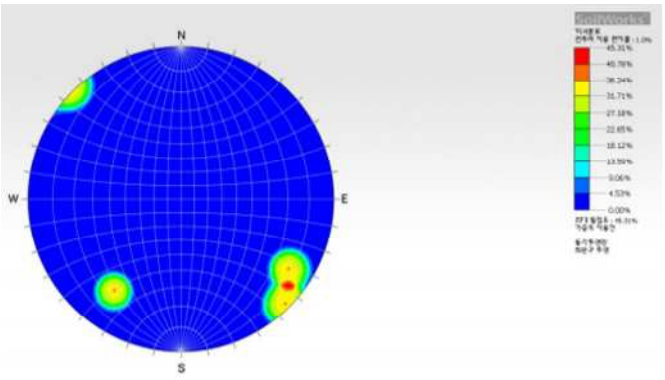
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 35-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

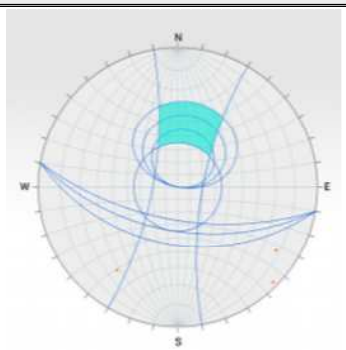
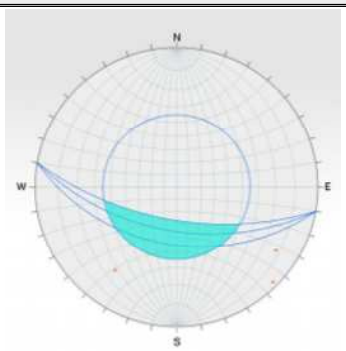
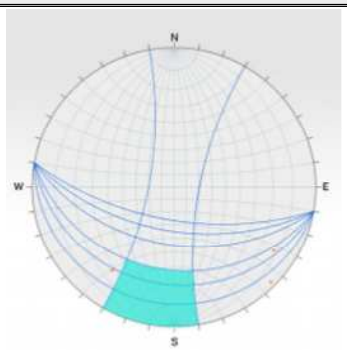
3) 1구간 (STA.0+160 ~ 0+420)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		73	36
		80	303
		88	315

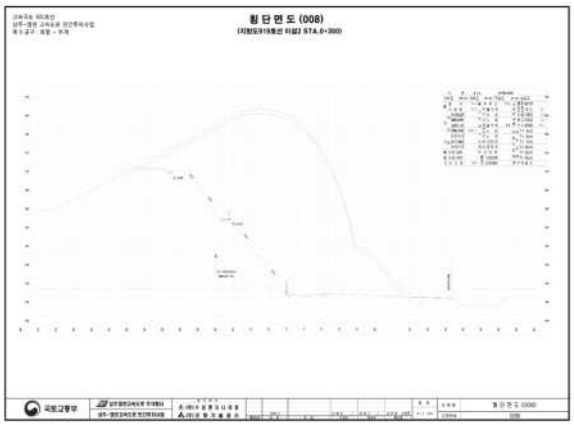
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

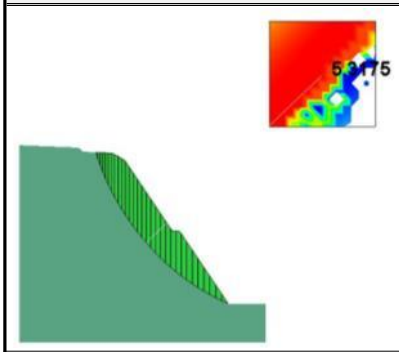
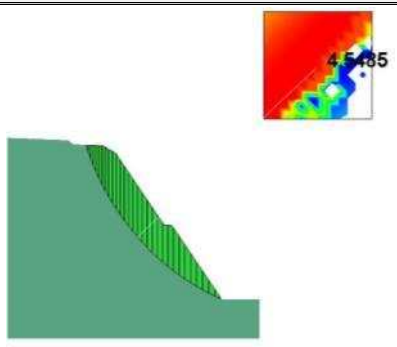
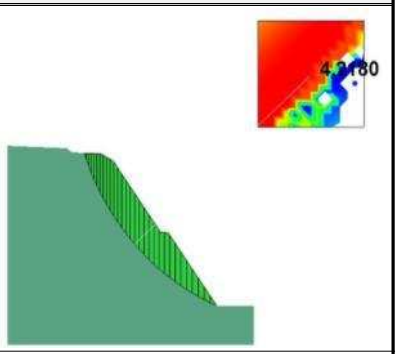
◦ 검토단면





대표단면 : STA.0+350, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 5.31	안전율 : 4.54	안전율 : 4.21

③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 35-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토35**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	5.31	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	4.54	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	4.21	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

35.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 35-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토35**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.110	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.110	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 35-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

35.5 내구성능 평가

35.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 35-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 2/37 = 0.05
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 105.2MPa	
면적	전체	6,659㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	6,659㎡	
표면보호공	식 생	6,659㎡	
사면보강공	-	-	

35.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 35-69> 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

35.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 35-70> 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 35-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
0+220	105.2	100.0	초기 강도값(경암) : 105.2MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
0+290	102.4	97.3	
0+320	109.1	103.7	
평균값	105.6	100.3	
등급	A등급		

<표 35-72> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 35-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	6,659/6,659㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 35-74> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 35-75> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	c(10)
풍화진행도	MW	MW	HW
	c(10)	c(10)	d(16)
합 계	35	35	46
평 균	7	7	9.2
평가 결과	c	c	c

<표 35-76> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

35.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 35-77> 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 35-78> 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	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, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 35-79> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

35.6 종합평가

35.6.1 종합평가 개요

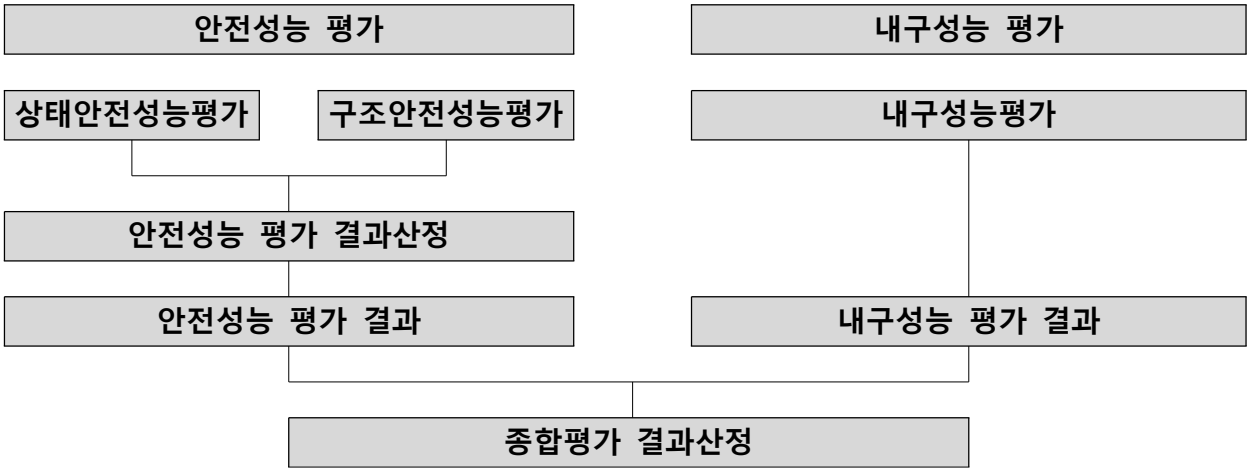
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 35-16> 종합평가 흐름도

35.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 35-80> 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 35-81> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토35		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.110	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.110 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.141 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 35-82> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

35.7 유지관리 전략 제안

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

35.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2035.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 35-83> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

35.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.141)"으로 평가되었다.

<표 35-84> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.110	0.265	0.141
평가결과	A	B	A

35.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 35-85> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
	산마루측구	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

35.8 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 및 산마루측구 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제36장 상주절토36

36.1 대상 시설물 현황

36.2 관련 자료의 분석

36.3 현장조사

36.4 안전성능평가

36.5 내구성능평가

36.6 종합평가

36.7 유지관리전략 제안

36.8 종합결론

제36장 상주절토36

36.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 가호리(상주영천고속도로 53.068~53.448km)에 위치한 사면으로서 총 연장 380.0m, 높이 37.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 36-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000015		**관리번호**	SY SL36
시설물명	상주절토36		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 부계면 가호리		
	위치좌표	시점 : 36° 09′28.5″ 128° 66′70.9″		
		종점 : 36° 09′08.6″ 128° 67′01.5″		
	관리이정	53.068~53.448km		
	공구이정	6공구 STA.8+850~9+230		
제 원	**연 장**	380m	**높 이**	37.0m
	경사/방향	55/220	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	10~20°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	지에스건설(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리		
비 고				



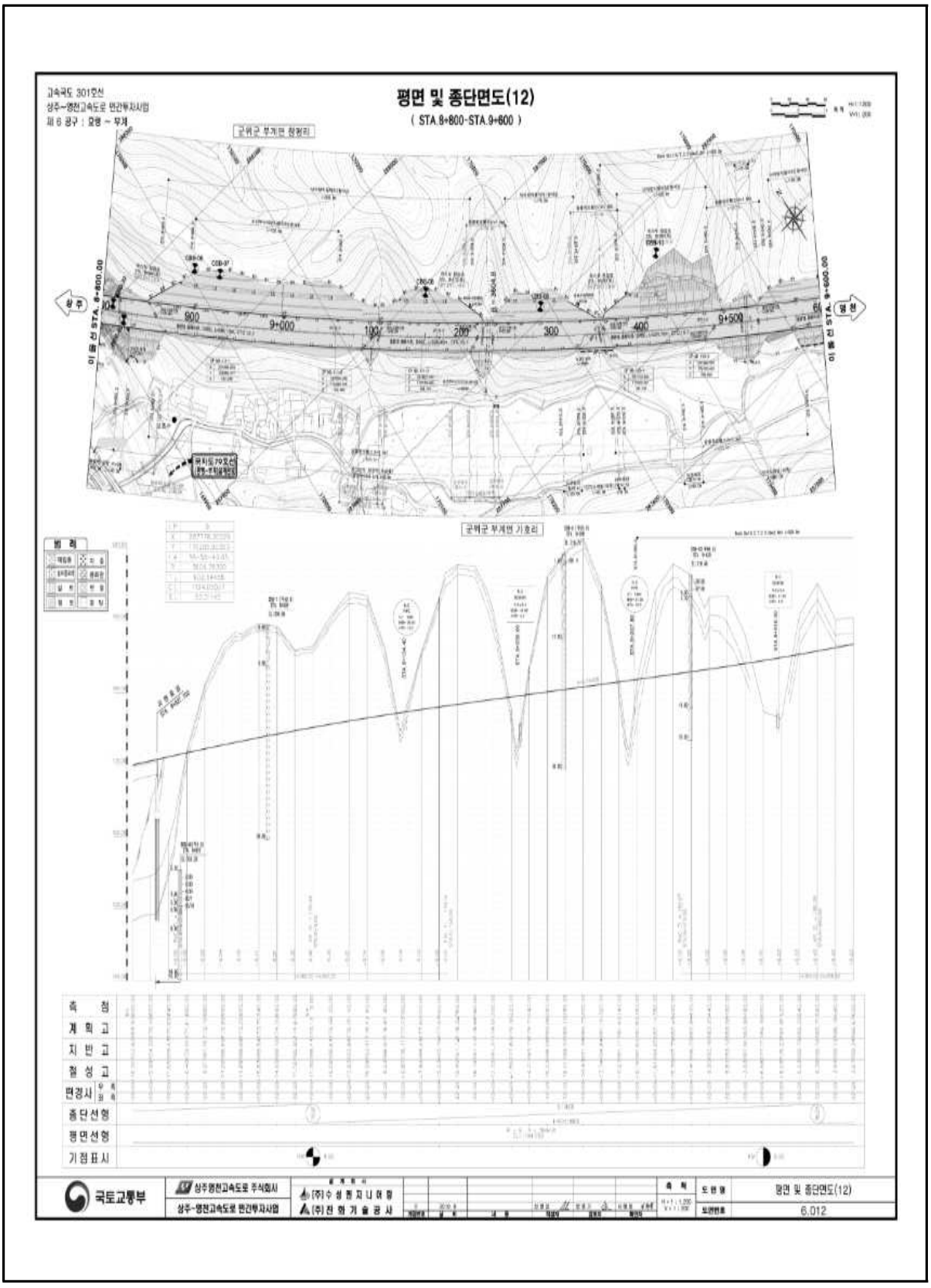
<그림 36-1>위치도



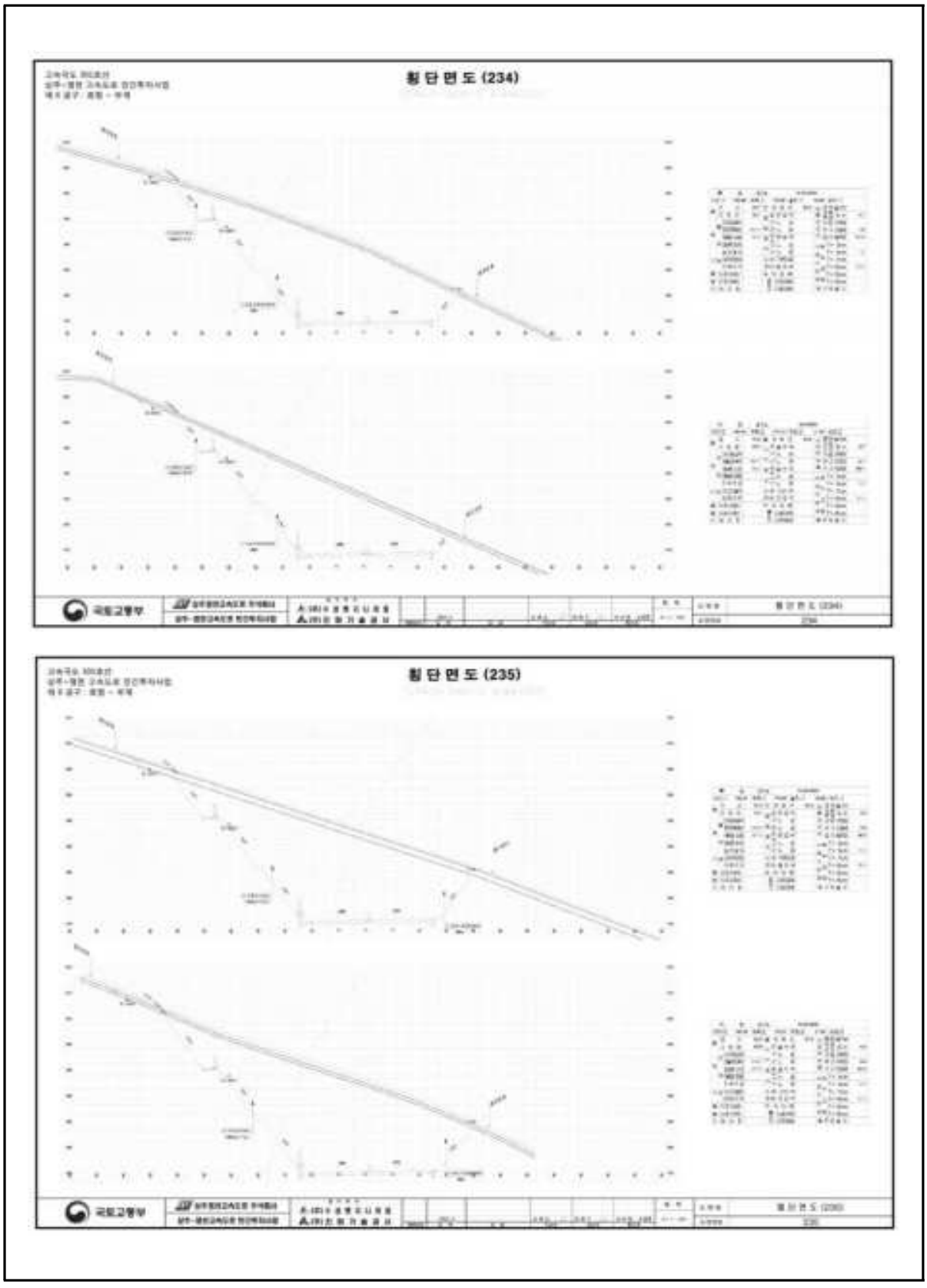
<그림 36-2> 전경사진

	
정면 전경	산마루측구 전경
	
1소단 배수로 전경	수직도수로 전경
	
하부 전경	점검계단 전경

<그림 36-2> 전경사진(계속)


평면 및 종단면도(12)
(STA.8+800-STA.9+600)
고속국도 301호선
상주~영천고속도로 민간투자사업
제 6 공구 : 모동 ~ 무계
군위군 무계면 청계리
군위군 무계면 기호리
범 례
흙 질
계 획 고
지 반 고
절 성 고
편경사
종단선형
평면선형
기점표시
국토교통부
상주영천고속도로 주식회사
상주~영천고속도로 민간투자사업
(주)수 성 엔 지 니 어 링
(주)진 화 기 술 공 사
도면명 평면 및 종단면도(12)
도면번호 6.012

<그림 36-3> 평면도



<그림 36-4>표준횡단면도

36.2 관련 자료의 분석

36.2.1 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 36-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

36.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

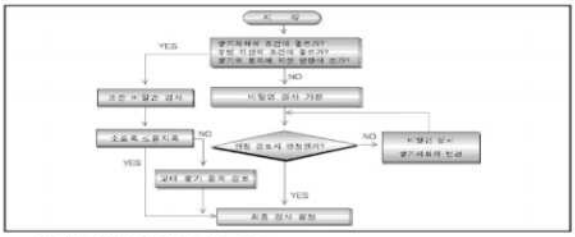
7.4 비탈면 설계기준

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

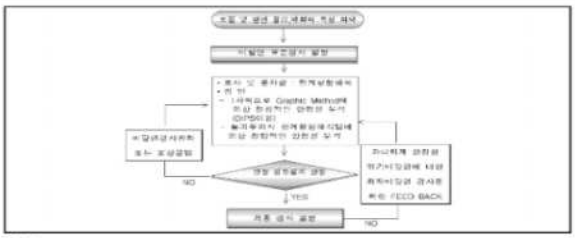
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 풍기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 암파임층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 바람직한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

253

다. 위기 비탈면

지반지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 융해이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 위기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지질조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 일반적으로 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	경 사	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

주) 1. 실트는 점성토로 간주, 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내외 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 연약지반 분포여부, 성토체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분		최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor)	
건설교통부	건설공사 비탈면 설계기준 (2006년)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
		우기시	Fs ≥ 1.3
		지진시	Fs ≥ 1.1
한 국 도 로 공 사		도로설계요령	Fs ≥ 1.3
항 만 협 회		항만시설 기술상의 기준, 동해설	Fs ≥ 1.5

나. 위기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 위기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 위기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분	최 소 안 전 율	
건설공사 비탈면 설계기준(2006)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석)	Fs ≥ 1.2
	지진시	Fs ≥ 1.1
도로설계요령 (2000)	건기시(지하수위 미고려)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지하수위는 지표면에 위치)	Fs > 1.1~1.2
	지진시(미국 D'APPOLONIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준)	Fs > 1.1~1.2
미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975)	실내시험에 의해 강도를 구할 경우	1.5 > Fs > 1.3
	최대지진가속도를 고려함때	1.2 > Fs > 1.0
NAVFAC - DM 7.1-329	하중이 오래 작용할 경우	Fs > 1.5
	구조물 기초인 경우	Fs > 2.0
	일시적인 하중이 적용할 경우 및 시공시	Fs > 1.35 or 1.25
	지진하중이 작용하는 경우	Fs > 1.2 or 1.15

255

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 지표지질 조사

4.1.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

·이 지역의 지질은 백악기 경상층군의 중·하부층인 진주층 상부로부터 최상부의 지연층까지 분포하고 있으며 경상층군 상부에 해당하는 신라아층군에는 유희암층이 협재되어 있음

·이 층을 불공산화강암류 비롯해서 산성 또는 중성 백암과 규장암 등이 관입하고 있음

나. 지형특성

군위군계의 팔공산(해발 1193m)을 최고봉으로 동서로 긴 산맥을 이루고, 접송군계의 보현산(해발 1124m)에서 서쪽으로 산맥을 이루며 방각산(해발 750m)에 이르러 북서로 배봉과 북두산 (해발 879m), 목녀봉(해발 564m)으로 연결되는 산맥과 남서로 방가산(해발 755m)-화산 (해발 828m)-협암산(해발 556m) 으로 이어지는 산등을 이룸

동부는 노고산-화산, 북서로 조림산(해발637m), 매봉산 (해발 489m) 능선, 마정산(해발 402m), 물부리산(해발 354m), 건지봉(해발 471m) 등이 위치함

서부는 팔공산에서 분리된 시루봉(해발 714m)과 북서로 발달된 긴 능선, 적라산(해발 352m), 남북으로 길게 뻗은 물부리 산등, 북부의 청화산등에서 남동-남-북서로 발달하는 성산(해발 692m) 능과 상봉산(해발 448m) 북동부에서 남남서로 발달되어 북부산 (해발 509m)으로 연결되는 긴 능선과 낮은 구릉들로 이루어짐

보현산 서쪽 산등지에서 발원하는 고현천과 안천, 신녕천과 용호천이 각각 합류하여, 금호강으로 유입되어 남류하고, 북으로 발원하여 흐르는 위천에 구천이 합류하고, 영천시 북서부 팔공산-우계산 계곡에서 발원 하여 북으로 흐르는 사장천이 남천에 합류되어 호명면에서 위천으로 유입되고, 군위읍 동부에서 서류하는 신만천이 위천에 합류되며, 위천은 사월하면서 북동류하여 상주군 낙동면에서 낙동강으로 유입됨

다. 분포암종 특성

구 분	지질특성	지질도
돔형층 (진주층)	·역암 또는 역질사암을 기저로 하는 암회색 세암로 구성 ·대체로 NNE의 주향과 10°~15°SE의 경사를 이룸	
일직층 (칠곡층)	·역암, 역질사암, 사암, 실트스톤, 이회암, 이암 및 세암로 구성 ·대체로 N10°~15°E 주향과 10°~15°SE 경사 이룸	
산성 및 중성 암맥	·주로 산성암맥이며, 안산암질 암맥도 일부 분포 ·지질적으로 저지대를 형성 테일러스 및 충적층에 의해 피복되어있으며 일부는 낮은 구릉의 형태를 보임	

39

라. 지질 계통도

지질시대	층 명		특 성	비 고
제4기	충적층(Qa)		·하천 및 산록 퇴적물	
	~~ 부정합 ~~			
중생대 백악기	산성암맥(Kad) 중성암맥(Kd)		·괴상의 치밀	·전 구간에서 기반암을 관입
	── 관입 ──			
	유천층군	안산암질암(Kat)	·주로 응회암으로 구성	·분포하지 않음
	── 관입 및 분출 ──			
	하양층군	일직층(Ke4)	·사암, 적색 이사질 세암, 역암 ·주로 사암이 우세	·4공구 중점부 및 5공구 종점
	신동층군	진주층(Ke3)	·역질사암, 사암, 세암의 교호 ·하부층에서 이회암 호층 분포	·5공구 전 구간
	~~ 부정합 ~~			
선캠브리아	화강암질 편마암(Pcggn)		·엽리가 부분적으로 발달 ·괴상의 치밀	·10공구 일원 일부 분포

4.1.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 면공위성영상 분석

■ 목 적

·과업지역의 광역적인 지형 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

■ 원리 및 방법

·30m급 해상도의 Landsat5 TM 위성영상을 이용하여 분석실시

·선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용

·식생지수, 습윤도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

■ 위성영상결과

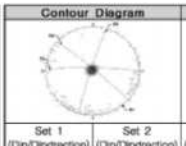
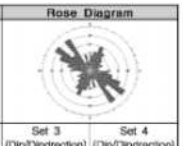
선형공간필터링분석	공간필터링	위성영상 분석
·고주파강조 Laplacian 필터를 적용 인공적 선구조 판별 ·농경지와 수로 등 지지대 인공구조물이 잘 판별됨	·영상 내의 지형 또는 선구조의 방향성에 관계없이 지형 지질의 예지를 검출 ·선구조 특징 판독에 유용한 자료임	·68개의 대, 소 선구조 파악 ·우세한 방향은 N80°~90°W로 나타남 ·과업노선과 4개의 선구조 교차

40

나. 조사결과

■ Scanline-106



Contour Diagram	Rose Diagram
	

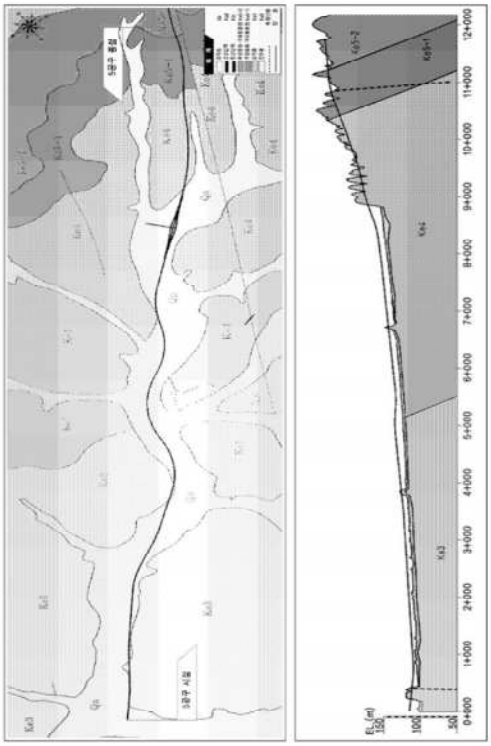
Set 1 (Dip/Dipdirection)	Set 2 (Dip/Dipdirection)	Set 3 (Dip/Dipdirection)	Set 4 (Dip/Dipdirection)
03/139	86/287	83/001	86/041

· 분포암상 : 일직층
· 조사위치 : 166402.360,289559.192

구분	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
간격 (cm)	평균 m = 21.9965, δ = 16.5765	m = 26.3714, δ = 27.2627	m = 65.9231, δ = 105.8647	m = 62.1875, δ = 54.8022
	확률밀도함수			
	지택 함수	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	함수	m = 15.3733, δ = 0.9252	m = 16.5684, δ = 1.0220	m = 20.3047, δ = 1.6257	m = 40.0803, δ = 1.0038
연장 (m)	평균 m = 24.9574, δ = 4.2424	m = 2.2778, δ = 1.4262	m = 1.5714, δ = 0.6227	m = 2.4706, δ = 1.8508
	확률밀도함수			
	지택 함수	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	음지수분포
	함수	m = 24.6009, δ = 0.1696	m = 1.9118, δ = 0.5857	m = 1.4556, δ = 0.3887	m = 2.4706, λ = 0.4048
JRC	평균 m = 5.0000, δ = 1.6631	m = 4.8333, δ = 1.4814	m = 5.6429, δ = 0.8950	m = 5.5882, δ = 1.8169
	확률밀도함수			
	지택 함수	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	정규분포
	함수	m = 4.7068, δ = 0.3607	m = 4.5667, δ = 0.3576	m = 5.5717, δ = 0.1600	m = 5.5682, δ = 1.8169
JCS (kg/cm²)	평균 m = 660.957, δ = 300.032	m = 756.889, δ = 398.342	m = 676.357, δ = 300.759	m = 664.417, δ = 286.758
	확률밀도함수			
	지택 함수	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	함수	m = 631.3926, δ = 0.4186	m = 676.6459, δ = 0.4700	m = 621.9618, δ = 0.3949	m = 600.0007, δ = 0.4171

48

■ 지질종평면도



3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업 실시설계(6공구)

1.2 조사목적

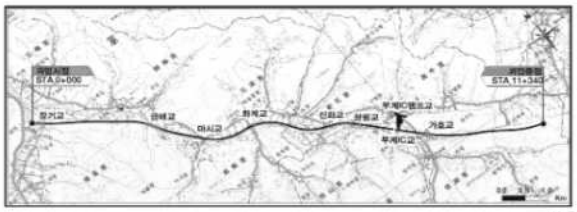
• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조사범위

위 치
·시점 : 경상북도 군위군 군위읍 효령면(STA. 0+000)
(X=293577.5190 , Y=163274.3124)
·종점 : 경상북도 군위군 군위읍 이북면(STA. 11+231)
(X=286819.0783 , Y=171952.6914)
·연장 : 11.231km



1.4 위치도



1

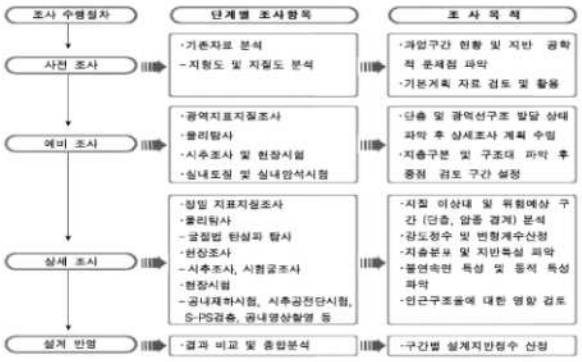
제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행 흐름

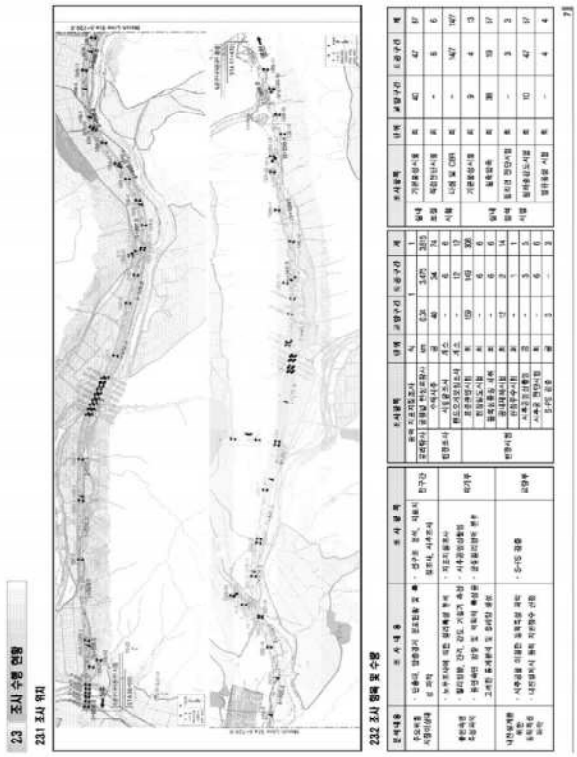
가. 조사 기본방향



나. 조사 수행 흐름도



3



2.3 조사 수행현황
2.3.1 조사 위치
2.3.2 조사 항목 및 수량

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대규기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태의 안정성을 고려한 안정 비탈면경사 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 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 경사 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

239

구 분	선 정 기 준
쐐 기 부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 쐐기재료의 암수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지질특성으로 인하여 쐐기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 빈번하는 경우 · 흥수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 쐐기비탈면의 원지반이 암호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
뒤 기 부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 복적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 풍수가 많은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 경사진 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)	대표단면 (STA.)	최대 쌓기고	지층현황	조사내용 공번	조사내용 조사위치 (STA.)	비 고
쌓기구간	쌓기1구간	0+340 ~2+430	2,090	0+440(상주방향)	13.9m	풍화토 잔류토 연암층	CB9-1 참조	0+357 (우 24.0)	
	쌓기2구간	2+740 ~3+640	1,100	2+960(영천방향)	8.2m	매립층 풍화토층 연암층	SB8-5	2+952 (우 2.2)	
	쌓기3구간	3+880 ~4+960	1,040	4+800(상주방향)	11.5m	매립층 풍화토층 연암층	SB8-12	4+774 (우 14.0)	
	쌓기4구간	4+940 ~5+647	1,707	4+980(영천방향)	14.0m	매립층 풍화토층 연암층	SB8-26	4+931 (좌 6.5)	
	쌓기5구간	6+093 ~7+257	594	7+240(상주방향)	10.7m	잔류층 풍화토층 연암층	SB8-29	7+259	
	쌓기6구간	7+290 ~8+080	790	7+460(영천방향)	9.7m	매립층 풍화토층 연암층	SB8-30	7+297	
	쌓기7구간	8+110 ~8+680	600	8+680(영천방향)	14.2m	매립층 풍화토층 연암층	SB8-35	8+713 (좌 7.5)	

7.6 비탈면 안정해석 및 검토

7.6.1 개요

가. 쐐기구간

본 지역에서의 쐐기비탈면 안정해석은 쐐기구간 중 쐐기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 몬사루영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 쐐기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안정된 비탈면경사의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

- 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 1.5 이상, 우기시 1.2 이상으로 적용하였다.
- 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반 노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.
- 결과를 근거로 암반파쇄 상태에 의한 쐐기 경사는 암석별 쐐기 적정경사를 기준으로 암반비탈면 경사를 결정하였다.
- 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 경사방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.
- 암반비탈면 경사에 따라 상부층의 토사비탈면 안정성 검토는 Talren 97 Program을 이용하여 원호활동 파괴로 검토함을 원칙으로 하였다. RQD = 0~10%의 암석은 연암이라 하더라도 암반이 큰 COBBLE 상태에서 거동하는 것으로 사료되므로 풍화암과 같은 특성으로 고려될 수 있다. 이와 같은 경우 암반은 절리면을 따라 파괴하기 보다는 원호활동 파괴의 경향을 보이므로 풍화암과 토사층을 포함하여 검토하였다.

나. 쐐기구간

본 쐐기구간은 산지지형 말단부의 편측쐐기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쐐기로서 진입도로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 층현 여부를 확인하기 위하여 Hand Auger Boring을 실시하였다. 쐐기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쐐기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쐐기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 쐐기 경사 평가 및 검토를 암석별 쐐기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 쐐기비탈면 경사 검토]

구분 / 구간	검토구간 (STA.)		시추번호	암반 특성에 따른 비탈면 경사 암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	적용 경사
쐐기 1구간	0+220 ~0+450	영천방향	CB8-1	사암 및 니질암	81~100	27~58	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 2구간	지방도919호선 0+040~0+360	상주방향	CB8-3	사암 및 니질암	97	17~39	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 3구간	6+500 ~6+900	상주방향	CB8-5	사암 및 니질암	73~100	8~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쐐기 4구간	8+860 ~9+340	상주방향	CB8-7	사암 및 니질암	46~100	0~90	1:0.5	1:0.5	1:0.5
			CB8-9	사암 및 니질암	100	29~75	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쐐기 5구간	9+340 ~9+750	상주방향	CB8-10	사암 및 니질암	95~100	14~82	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 6구간	9+770 ~10+180	상주방향	CB8-11	사암 및 니질암	54~100	0~63	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 7구간	10+180 ~10+380	상주방향	CB8-12	사암 및 니질암	87~100	10~69	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 8구간	10+380 ~10+580	상주방향	CB8-13	니질암	58~100	0~76	1:0.5	1:1.0	1:1.0
쐐기 9구간	10+380 ~10+700	영천방향	CB8-14	니질암	59~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쐐기 10구간	10+750 ~10+840	영천방향	CB8-15	니질암	48~100	11~100	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 11구간	10+970 ~11+080	영천방향	CB8-16	사암 및 니질암	65~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쐐기 12구간	11+080 ~11+220	영천방향	CB8-17	사암 및 니질암	31~100	0~97	1:0.5	1:0.7	1:0.7

■ 지반조사 위치도

1. 위치도



2. 수량

조사항목		단위	계획구간	토공구간	계
공통	광역 지표지질조사	식	1		1
절토	굴절법 탄성파탐사	km	0.84	1,471	3,815
암상	수직시추	공	40	38	78
조사	시험굴조사	개소	–	6	6
	웰드오거보링조사	개소	–	12	12
암상 시험	표준관입시험	회	155	149	304
	현장밀도시험	회	–	6	6
	풍화율시험 (흡수)	회	–	6	6
	공내재하시험	회	12	2	14
	현장투수시험	회	–	1	1
	시추공상재하	공	–	5	5
	시추공 전단시험	회	–	6	6
	S-PS 검층	공	6	–	6
쌓기 암상 조사	기존절개사면	회	40	–	40
	지질라인사면	회	–	6	6
	다짐 및 CBR	회	–	14/7	14/7
쌓기 암상 시험	입축압축강성	회	38/9	19/4	57/13
	절리면 전단시험	회	–	3	3
	경량콘관입시험	회	10	47	57
	암석슈미 시험	회	–	4	4
토공구간		계			87

36.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 36-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토36 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 상부 부착망 노출, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2036. 05. 28 ~ 2036. 06. 30	정기안전점검	상주절토36 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 상부 부착망 노출, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2036. 10. 23 ~ 2036. 12. 31	정기안전점검	상주절토36 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 상부 부착망 노출 및 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	상주절토36 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 상부 부착망 노출 및 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 2개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토36 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

36.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 36-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

36.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 36-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

36.2.6 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 36-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

36.3 현장조사

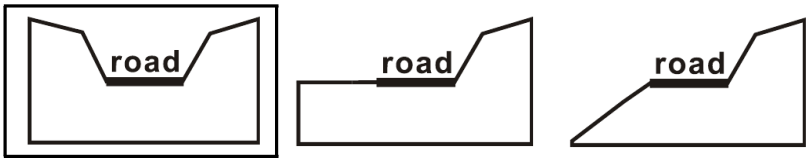
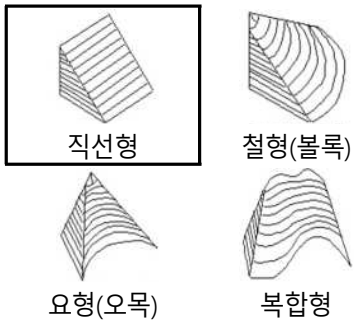
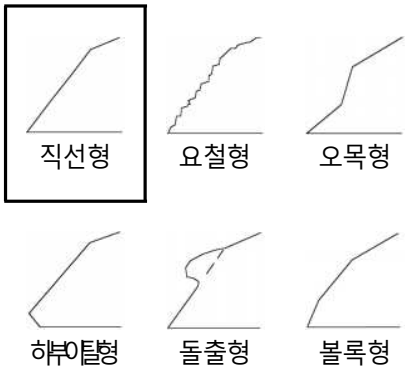
36.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 36-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 18.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 부계면 가호리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 09′28.5″ 128° 66′70.9″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 09′08.6″ 128° 67′01.5″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 380m</td><td colspan="2">높 이 : 37.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/220</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~6.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="7">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>식생공</td><td colspan="2">53.068~53.448k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">53.228~53.448k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">53.098~53.418k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="2">53.228k, 53.318k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">53.108~53.428k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">53.068~53.098k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 36-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">2개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 36-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토36		
	위경도	시점 : 36° 09′28.5″ 128° 66′70.9″ 종점 : 36° 09′08.6″ 128° 67′01.5″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	380.0m	최대높이	37.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	3개소
	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	2개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~6.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) □숏크리트공 □격자블럭 ■점검로(양호)		□낙석방지망 ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소 견	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			

36.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 가호리(상주영천고속도로 53.068~53.448km)에 위치한 사면으로서 총 연장 380.0m, 높이 37.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 36-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{37.0}=0.16$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 102.3~122.8MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{37.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{35.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 102.3~122.8MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{35.0}=0.014$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 380m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 2개구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 36-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	53.068~53.268km	200m
2구간	53.268~53.448km	180m

36.3.3 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 10~20°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이며, 사면내 계곡부의 경우 2개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 36-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	2 / 2.0	-	
	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)~심한풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 36-13> 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 식생공이 없으며 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 36-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	61/351	69/288	15/075
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	HW	HW	HW
구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	63/350	70/187	13/070
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	HW	HW	HW

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 36-15> 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 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있으며, 조사결과 소단배수로 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 36-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	1EA / 2.0	건조수축	

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 36-17> 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 36-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 36-19> 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 36-20> 인장균열 조사 결과

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

36.3.4 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 총 6개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 36-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
53.128km	56.2	122.8	경암	
53.168km	52.8	105.6	경암	
53.208km	52.4	103.9	경암	
53.288km	57.3	128.9	경암	
53.368km	55.6	119.8	경암	
53.388km	52.1	102.3	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 52.1~57.3으로 측정되었으며, 추정강도 102.3~128.9㎫로 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. 표면보호공은 식생공, 낙석방지공으로는 낙석방지울타리로 시공되어있다.

<표 36-22> 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경



낙석방지울타리 전경

라. 사면보강공

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

<표 36-23> 사면보강공 조사 결과

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

36.4 안전성능평가

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

36.4.1 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 0.14로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 36-24> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{37.0}=0.16$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 102.3~122.8㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{37.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{35.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 102.3~122.8㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{35.0}=0.014$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 380m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~6으로 표기하였다.

<표 36-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	53.068~53.268km	200m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	53.268~53.448km	180m	암반사면	Set4, Set5, Set6

<표 36-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 36-27> 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	계곡부 1개소	b
	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 36-28> 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 36-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 9.2	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 36-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 36-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 36-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 36-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 36-34> 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 36-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 36-36> 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/sec^2) (u, β는 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 36-37> 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 10~20°	c
	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 36-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 36-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 36-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 36-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토36		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		9.2	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
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 36-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	계곡부 1개소	b
	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 36-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

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 36-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 9.2	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 36-45> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 36-46> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 36-47> 지하수 평가 결과(2구간)

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

<표 36-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

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

<표 36-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

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 36-50> 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 36-51> 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, β는 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 36-52> 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 10~20°	c
	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 36-53> 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 36-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 36-55> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 36-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		상주절토36		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		9.2	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
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 36-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
330.0m	1구간	53.068~53.268km	a(0.12)	A	인장균열 없음
	2구간	53.268~53.448km	a(0.12)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

36.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

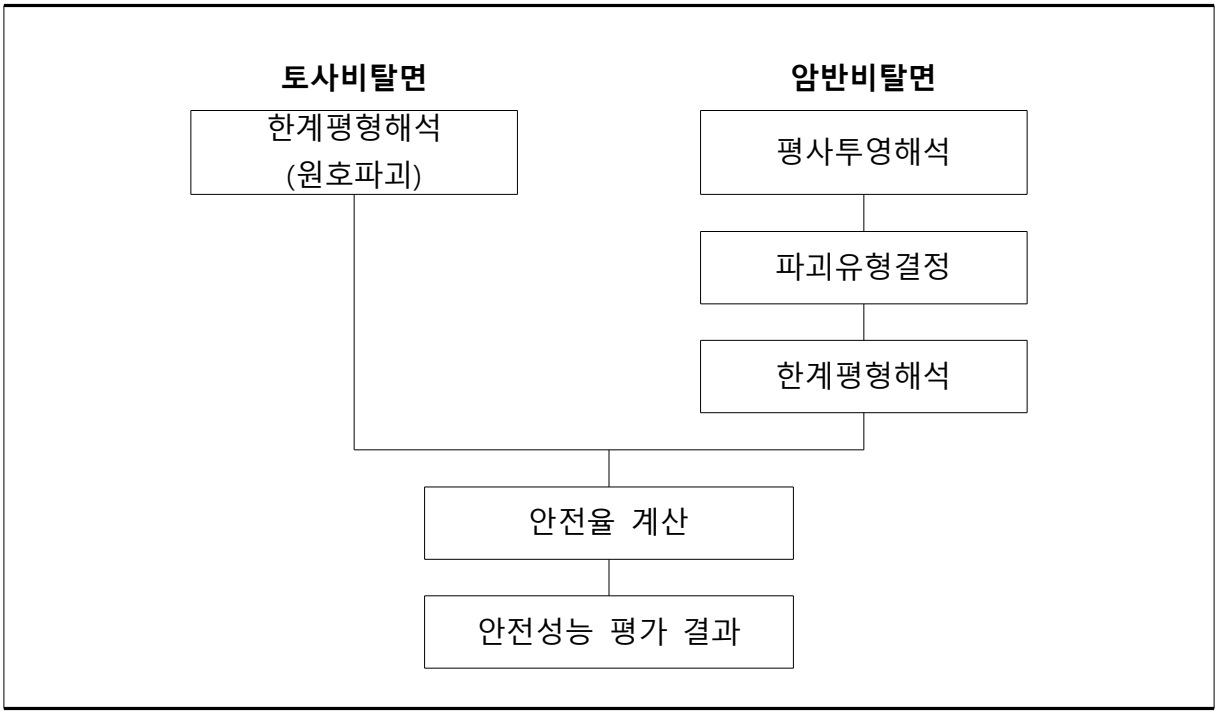
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 36-5> 구조안전성능 평가과정

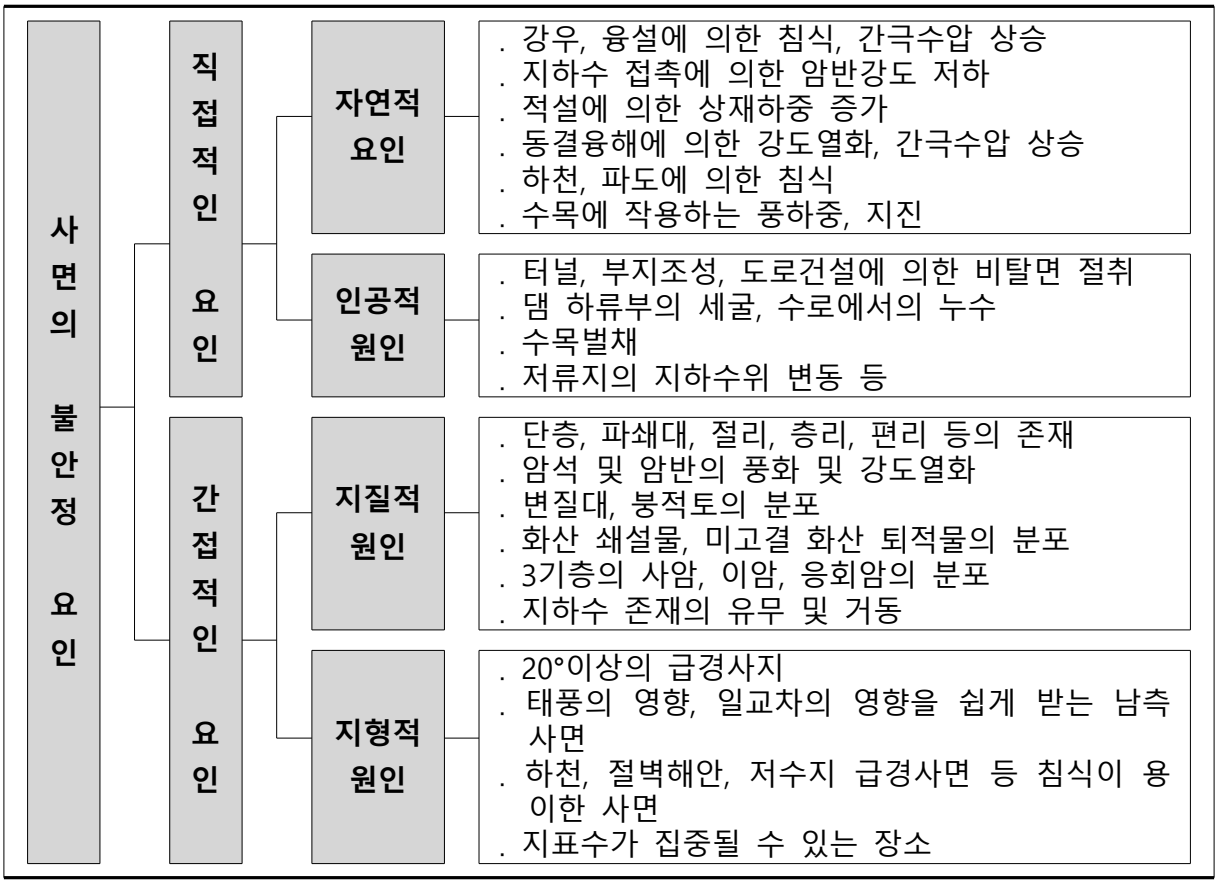
<표 36-58> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

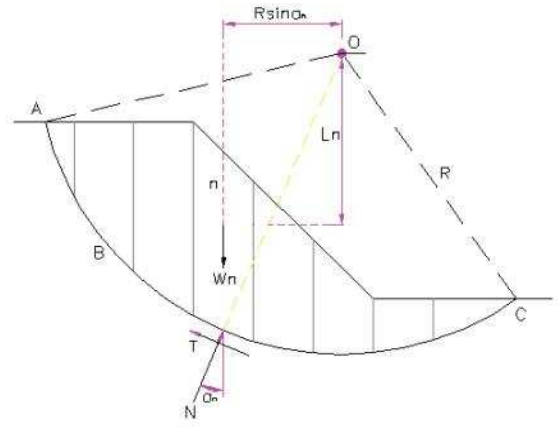


<그림 36-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

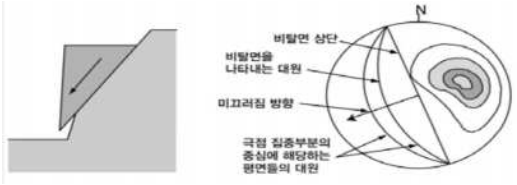
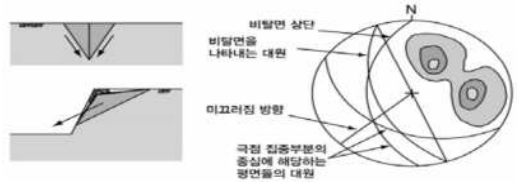
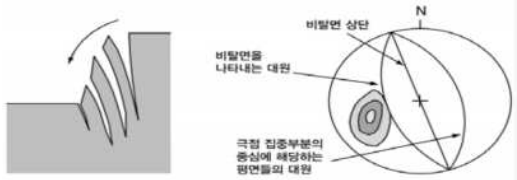
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 36-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 36-59> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 36-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

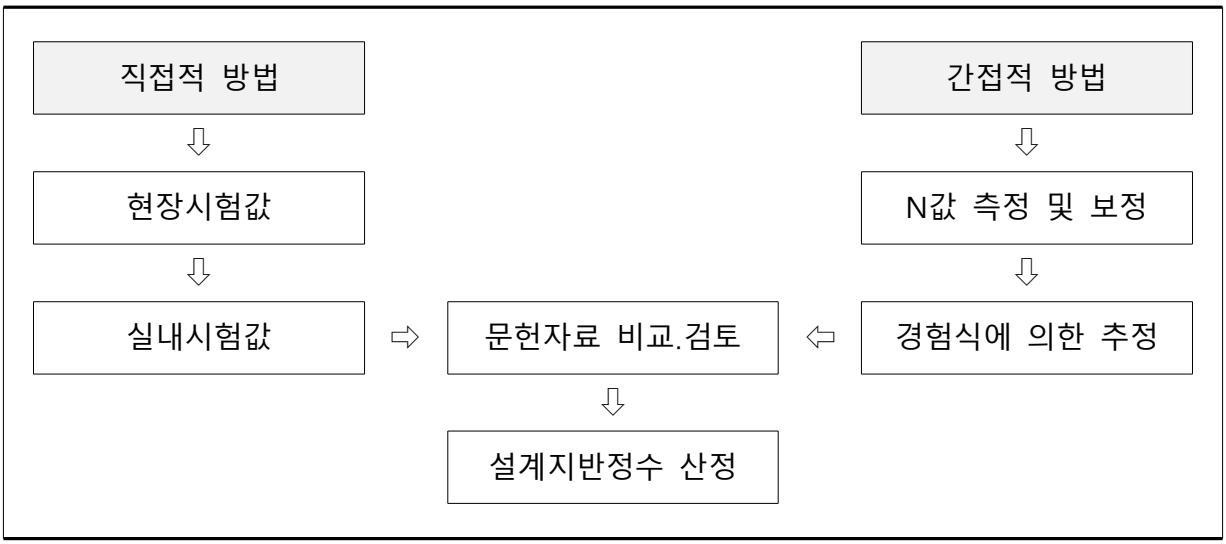
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 36-61> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 36-62> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 36-63> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 36-64> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 36-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (6공구)	풍화(잔적)토	19	28	20	
	풍화암	20	29	30	
	경 암	24	32	200	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 36-66> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 36-67> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~236.7	26.7±0.8	236.3±1.0	236.3±1.0	236.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 36-68> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 36-69> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 36-70> Trueman (1988)

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

<표 36-71> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 236.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19	28	20	0.3	
풍화암	20	29	30	0.3	
경 암	24	32	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 36-72> 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

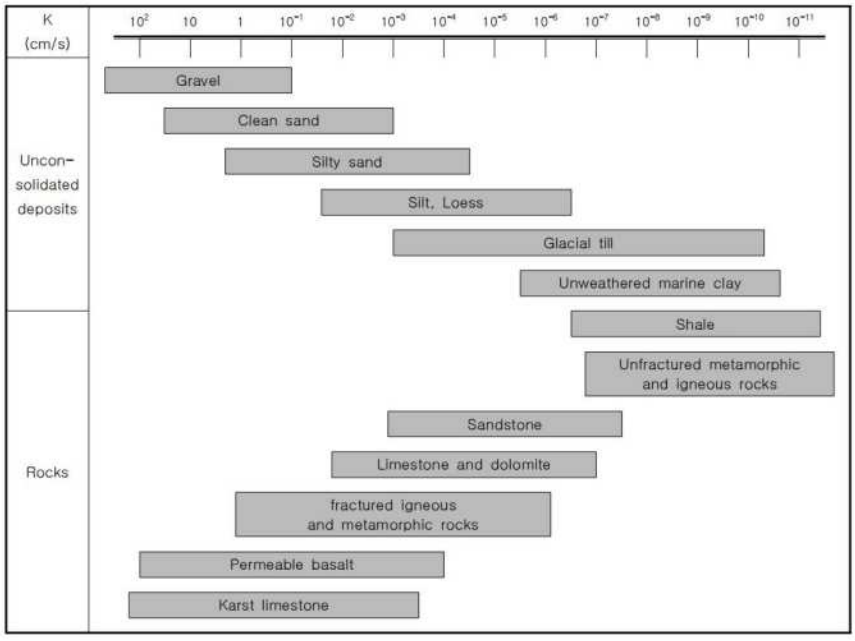
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 36-73> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 36-74> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 36-8> 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 36-75> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

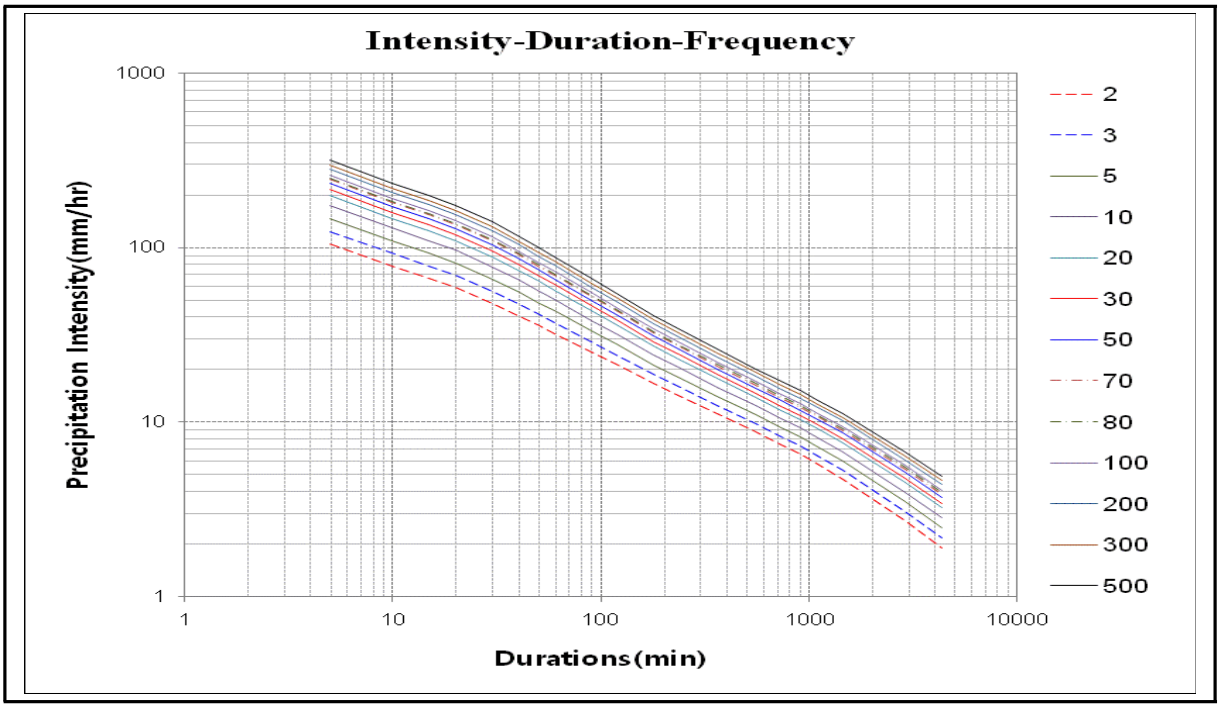
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 36-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 36-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 36-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 36-76> 설계지반운동 수준

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

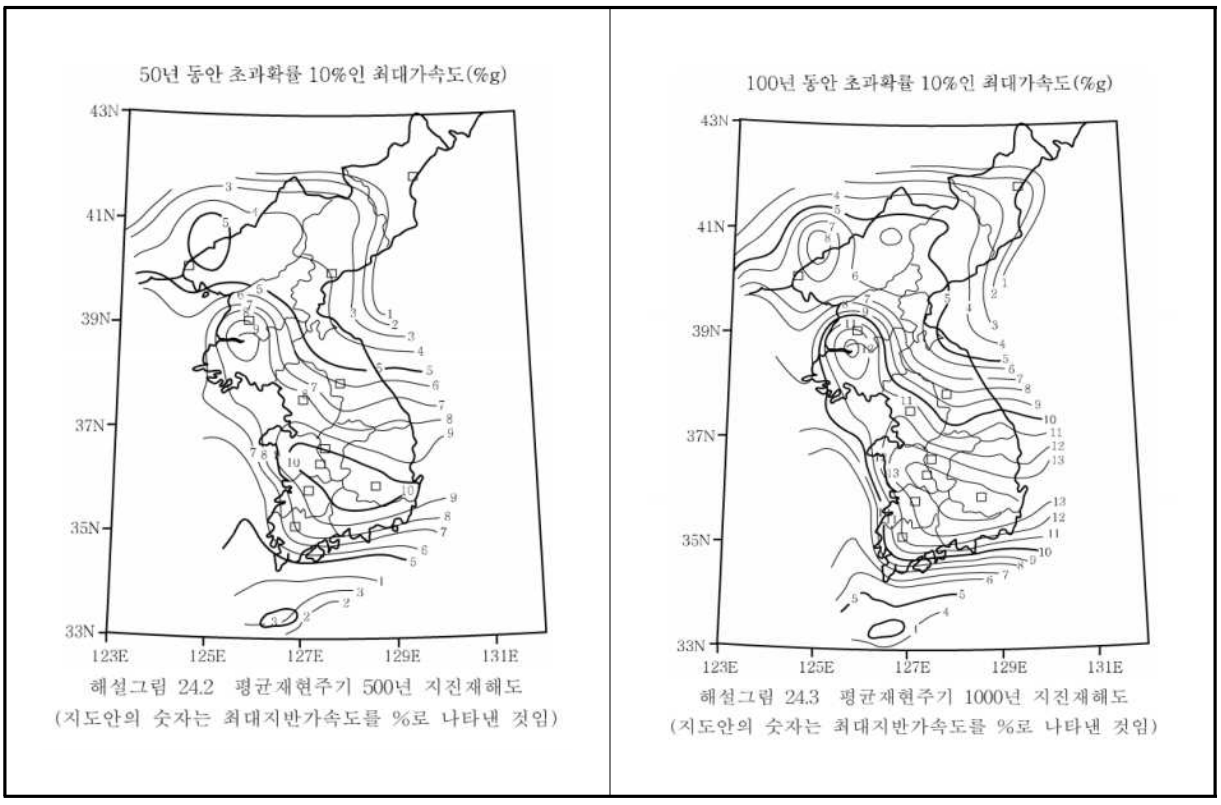
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 36-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 36-77> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 36-78> 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, g값 = 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 36-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

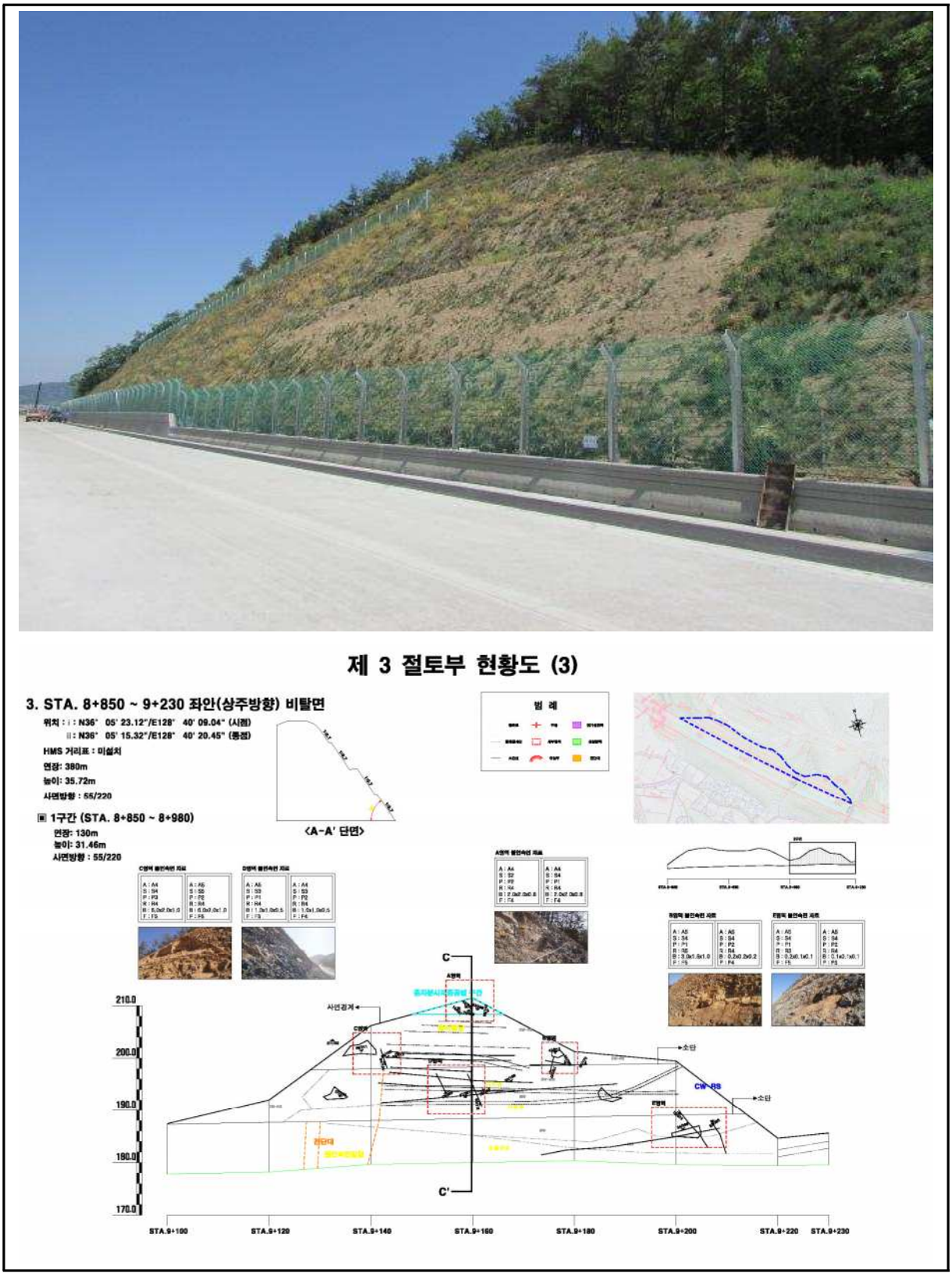
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토36	경상북도 군위군 부계면 가호리	53.068 ~ 53.448	STA.53+168	37.0	6.0	31.0	-	2017	55/220
			STA.53+388	35.0	5.0	30.0	-	2017	55/220



<그림 36-13> 상주절토36 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토36 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



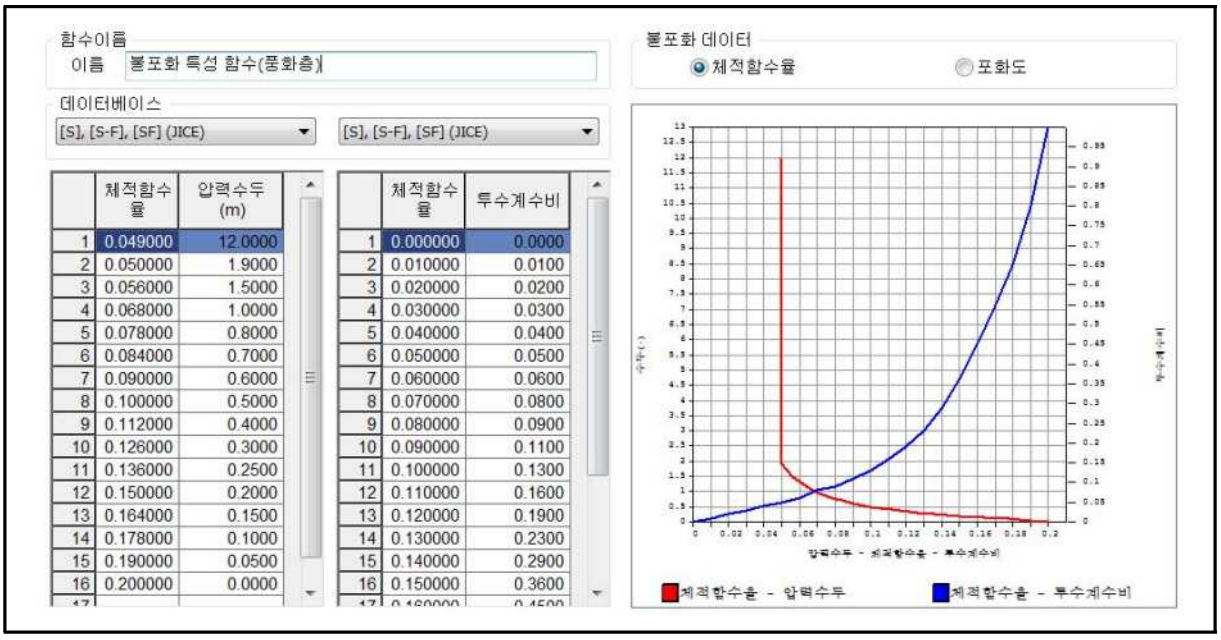
<그림 36-14> 상주절토36 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	28	20	1.0E-03	
풍화암	20	29	30	1.0E-04	
경암	24	32	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

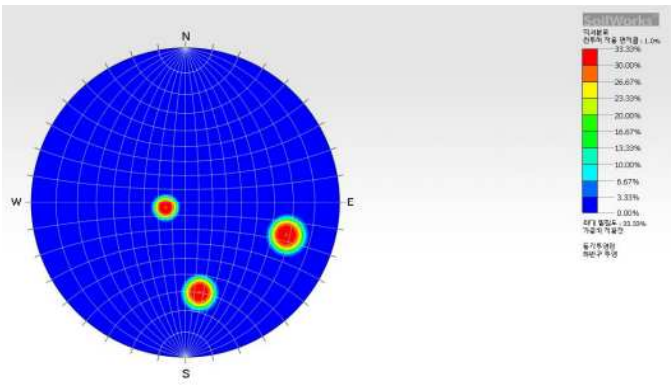
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 36-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

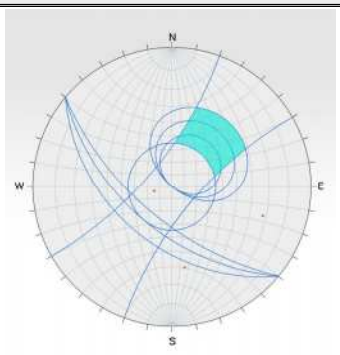
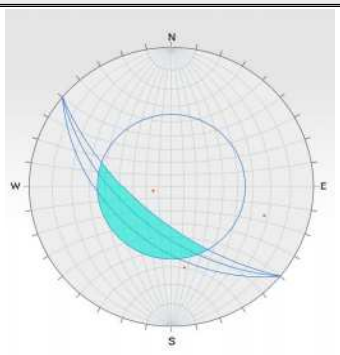
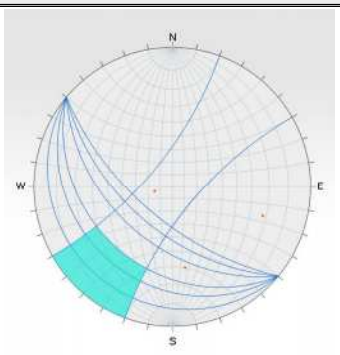
3) 1구간 (STA.53+068 ~ 53+268)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		61	63
		69	288
		15	75

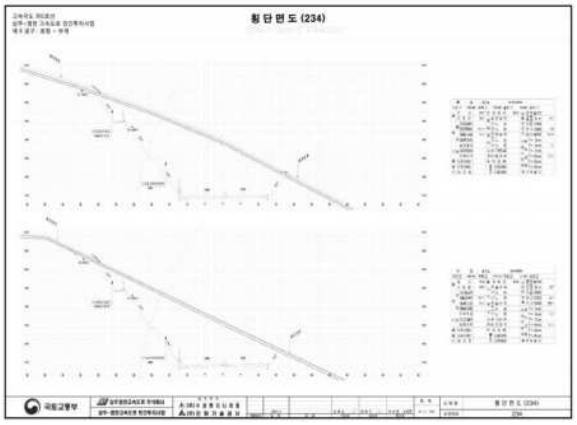
◦ 해석결과

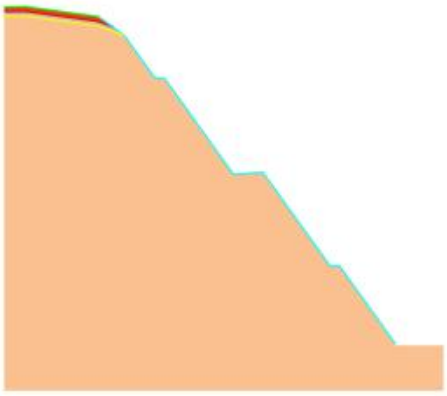
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

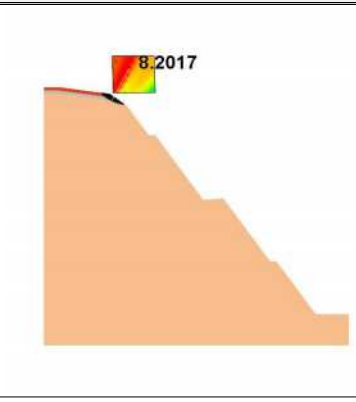
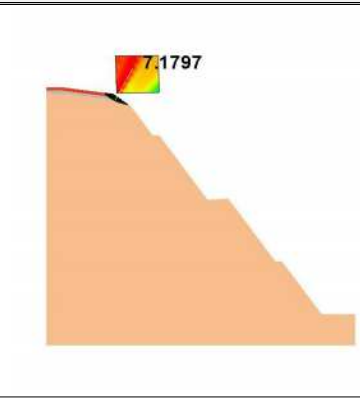
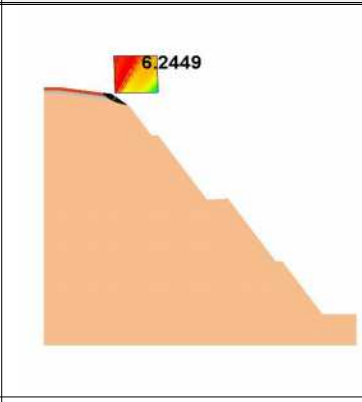
◦ 검토단면





대표단면 : STA.53+168, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 8.20	안전율 : 7.17	안전율 : 6.24

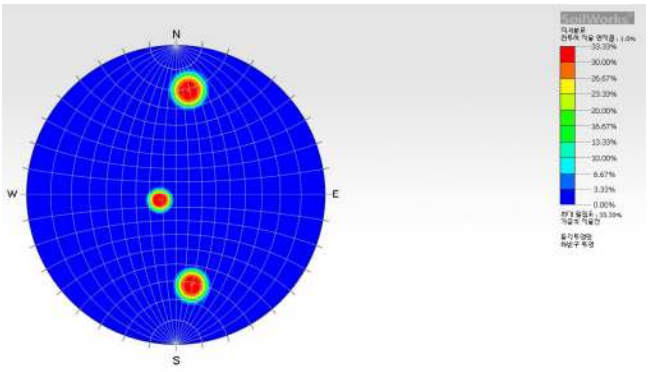
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

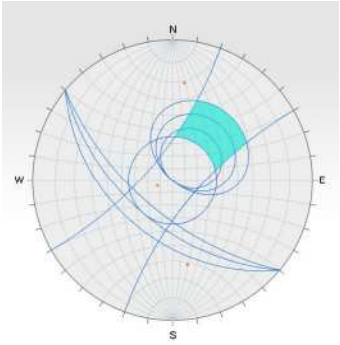
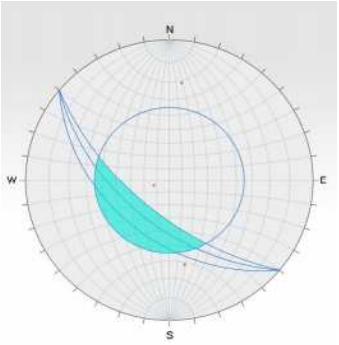
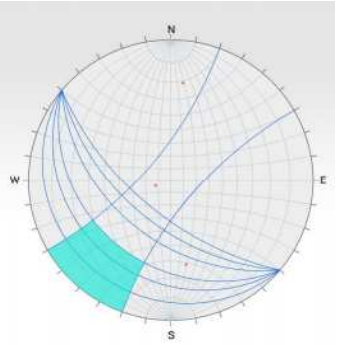
4) 2구간 (STA.53+268 ~ 53+448)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		63	350
		70	187
		13	70

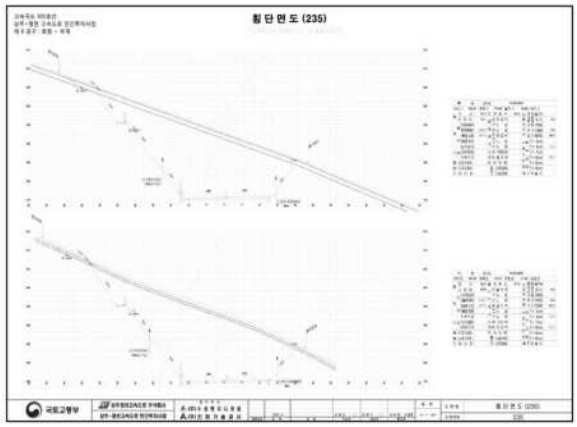
◦ 해석결과

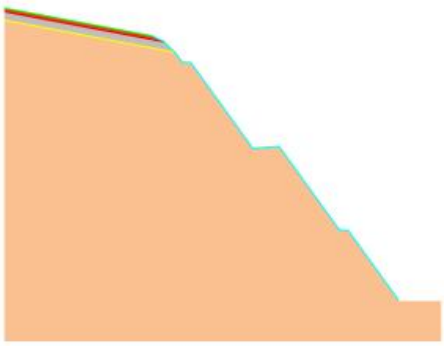
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

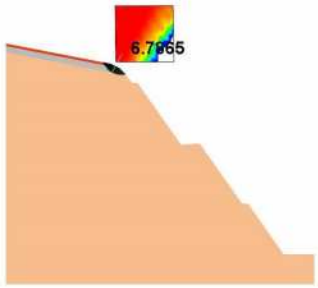
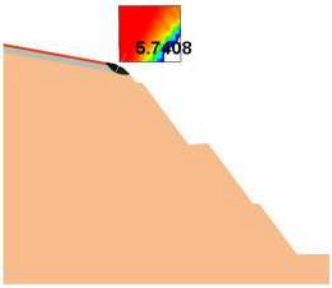
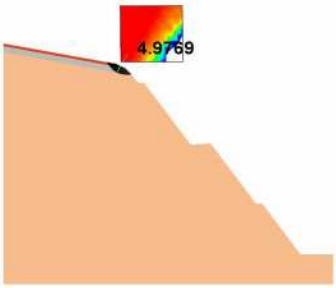
◦ 검토단면





대표단면 : STA.53+388, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 6.78	안전율 : 5.74	안전율 : 4.97

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 36-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토36**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	6.78	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	5.74	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	4.97	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

36.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 36-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토36**		
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	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 36-82> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

36.5 내구성능 평가

36.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 36-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 6/37 = 0.16
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 102.6MPa	
면적	전체	5,242㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	5,242㎡	
표면보호공	식 생	5,242㎡	
사면보강공	-	-	

36.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 36-84> 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

36.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 36-85> 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 36-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
53.128km	122.8	119.7	초기 강도값(경암) : 102.6MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
53.168km	105.6	102.9	
53.208km	103.9	101.3	
53.288km	128.9	125.6	
53.368km	119.8	116.8	
53.388km	102.3	99.7	
평균값	113.9	111.0	
등급	**A등급**		

<표 36-87> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 36-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	5,242/5,242㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 36-89> 사면보강공 평가 등급 및 결과

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면 보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	-	미세한 균열 및 파손 발생
	c	일부 유격 발생	일부 균열 및 파손이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않은 상태
	d	-	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태
	e	전체적인 유격 발생	균열 및 파손이 심각한 상태

<표 36-90> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 36-91> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
풍화진행도	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	41	41	41
평 균	8.2	8.2	8.2
평가 결과	c	c	c

<표 36-91> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(2구간)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
풍화진행도	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	41	41	41
평 균	8.2	8.2	8.2
평가 결과	c	c	c

<표 36-92> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
1구간 - Set 1	c	0.43	
1구간 - Set 2	c	0.43	
1구간 - Set 3	c	0.43	
2구간 - Set 4	c	0.43	
2구간 - Set 5	c	0.43	
2구간 - Set 6	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

36.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 36-93> 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 36-94> 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	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 36-95> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

36.6 종합평가

36.6.1 종합평가 개요

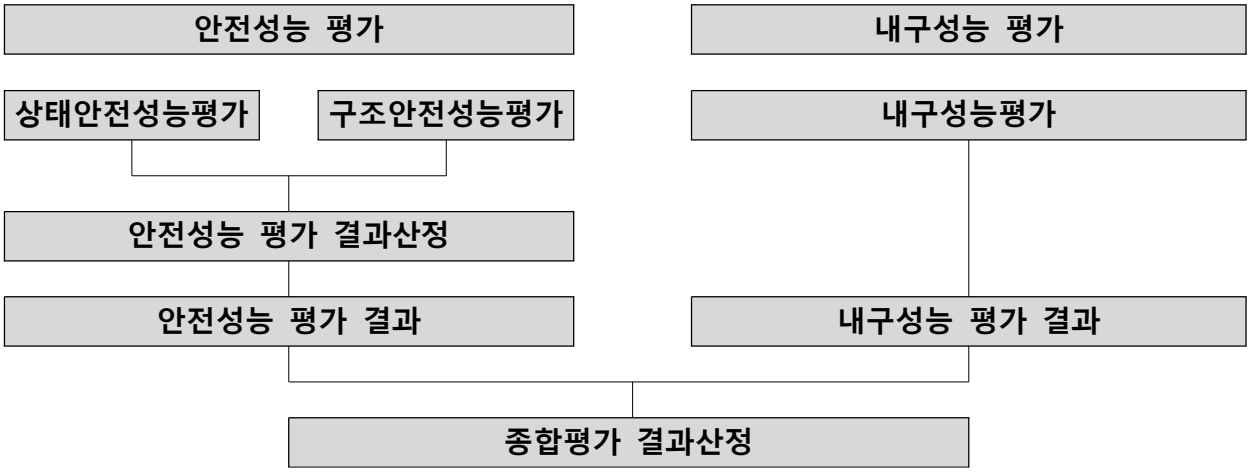
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 36-16> 종합평가 흐름도

36.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 36-96> 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 36-97> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토36		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.120	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.120 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.149 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 36-98> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

36.7 유지관리 전략 제안

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

36.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 36-99> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

36.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.149)"으로 평가되었다.

<표 36-100> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.265	0.149
평가결과	A	B	A

36.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 36-101> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

36.8 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. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제37장 상주절토37

37.1 대상 시설물 현황

37.2 관련 자료의 분석

37.3 현장조사

37.4 안전성능평가

37.5 내구성능평가

37.6 종합평가

37.7 유지관리전략 제안

37.8 종합결론

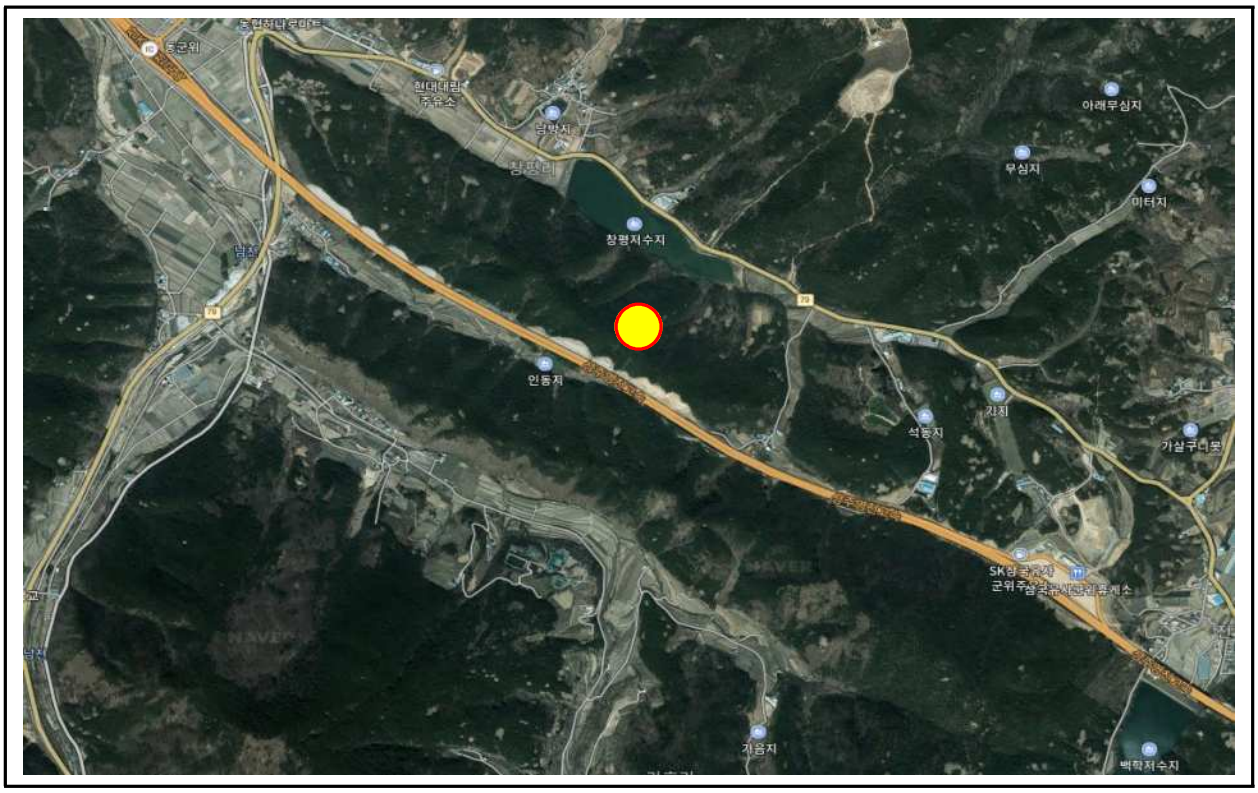
제37장 상주절토37

37.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 54.038~54.798km)에 위치한 사면으로서 총 연장 760.0m, 높이 50.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 37-1>사면 일반사항

<table>
<tr><td>시설물번호</td><td colspan="2">SL2017-0000016</td><td>관리번호</td><td colspan="2">SY SL37</td></tr>
<tr><td>시설물명</td><td colspan="2">상주절토37</td><td>시설물구분</td><td colspan="2">절토사면</td></tr>
<tr><td rowspan="5">위 치</td><td>행정구역</td><td colspan="4">경상북도 군위군 부계면 창평리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위치좌표</td><td colspan="4">시점 : 36° 08′77.1″ 128° 67′57.1″</td></tr>
<tr><td colspan="4">종점 : 36° 08′44.9″ 128° 68′24.6″</td></tr>
<tr><td>관리이정</td><td colspan="4">54.038~54.798km</td></tr>
<tr><td>공구이정</td><td colspan="4">6공구 STA.9+820~10+580</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제 원</td><td>연 장</td><td>760m</td><td>높 이</td><td colspan="2">50.0m</td></tr>
<tr><td>경사/방향</td><td>55/210</td><td>노 선</td><td colspan="2">고속국도 301호선</td></tr>
<tr><td>관리주체</td><td colspan="2">상주영천고속도로(주)</td><td>관리주체구분</td><td colspan="2">민간</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주변환경</td><td>인공구조물</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>주변지형</td><td>산악지형</td><td>상부사면경사</td><td colspan="2">20~30°</td></tr>
<tr><td rowspan="2">시공현황</td><td>준공년도</td><td>2017</td><td>시 공 자</td><td colspan="2">지에스건설(주)</td></tr>
<tr><td>부대시설</td><td colspan="4">점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 숏크리트, 옹벽</td></tr>
<tr><td>비 고</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>



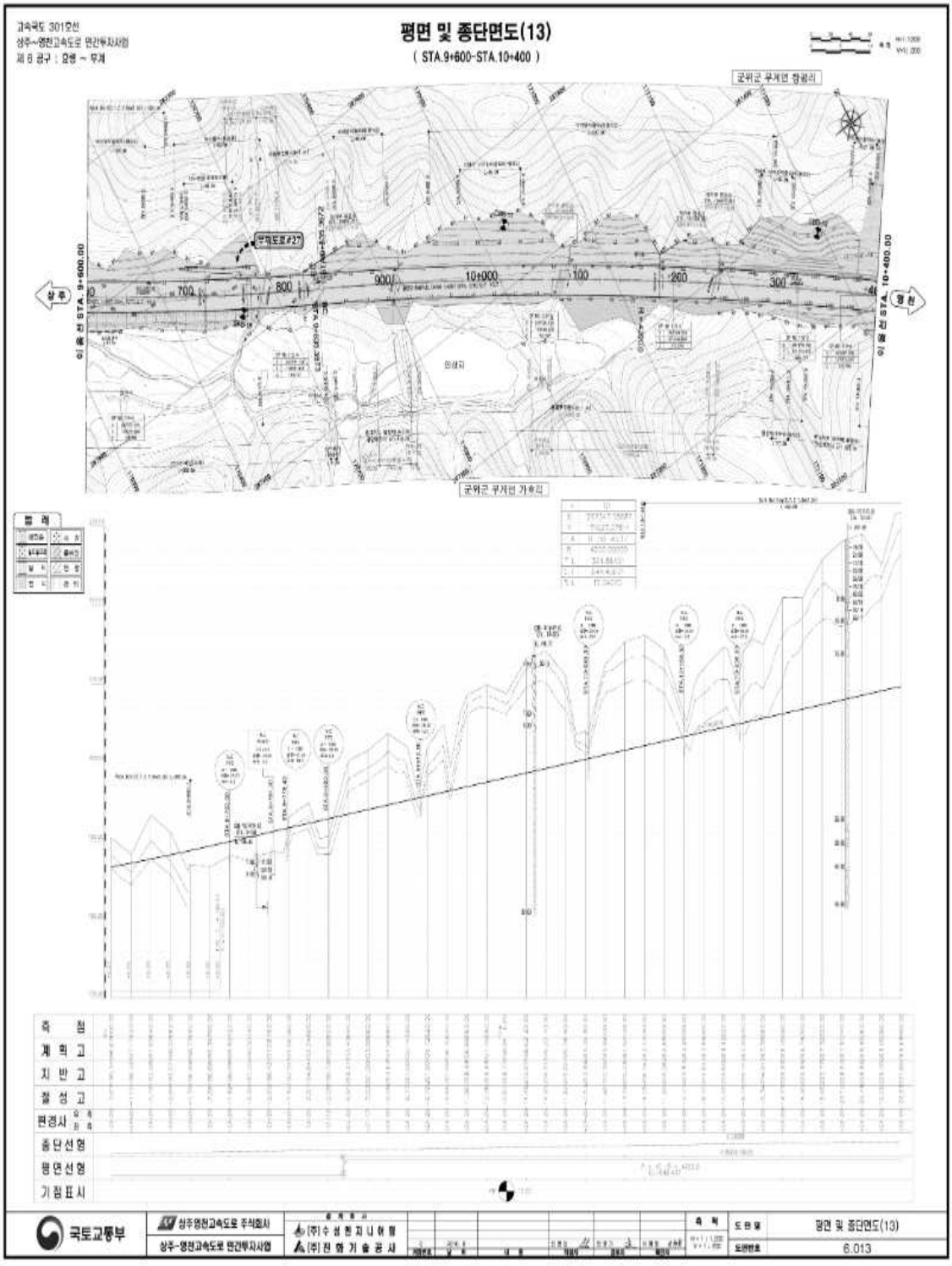
<그림 37-1>위치도



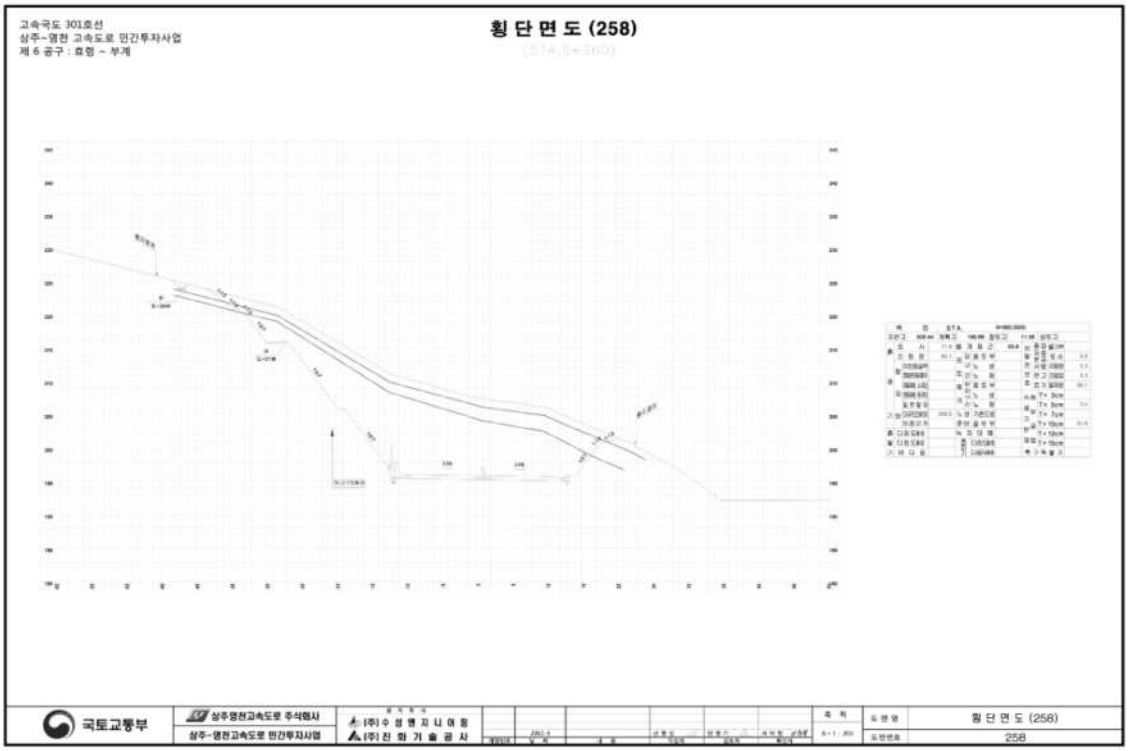
<그림 37-2> 전경사진

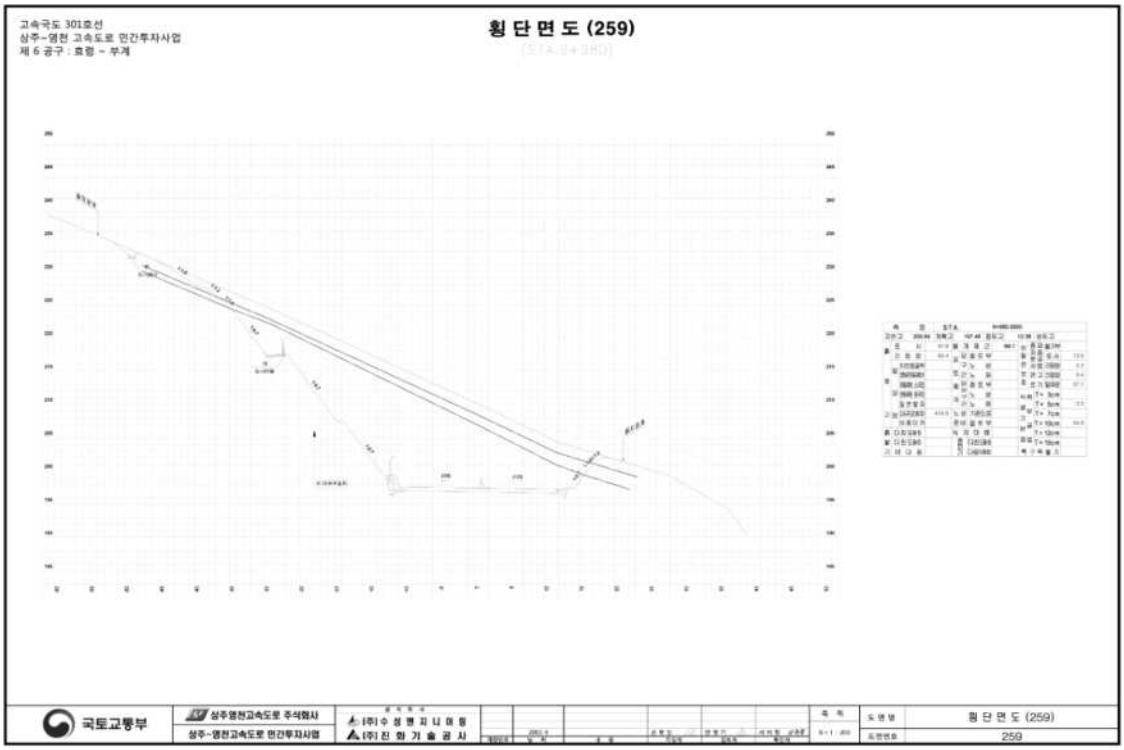
	
정면 전경(옹벽)	정면 전경
	
수직도수로 전경	1소단 배수로 전경
	
하부 전경	점검계단 전경

<그림 37-2> 전경사진(계속)


평면 및 종단면도(13)
(STA.9+600~STA.10+400)
고속국도 301호선
상주~영천고속도로 민간투자사업
제 8 공구 : 모량 ~ 무계
국토교통부
상주영천고속도로 주식회사
상주-영천고속도로 민간투자사업
도면명 평면 및 종단면도(13)
도면번호 6.013

<그림 37-3> 평면도





<그림 37-4>표준횡단면도

37.2 관련 자료의 분석

37.2.1 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 37-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

37.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

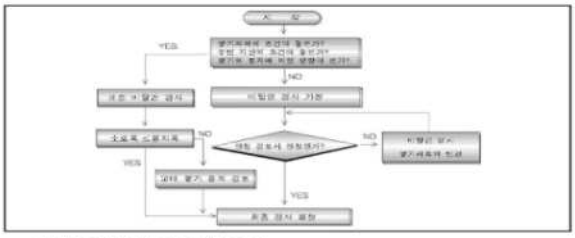
7.4 비탈면 설계기준

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

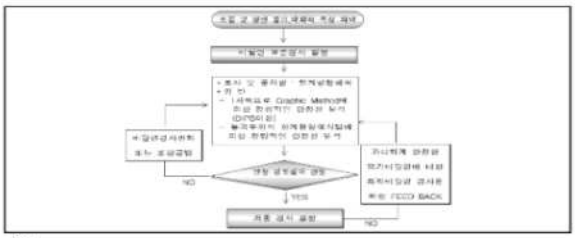
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 풍기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내의 기관별 소단 적용기준

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

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수를 용도 등의 유지관리에 있으므로 암반층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내의 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 오소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

253

다. 위기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 위기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	경 사	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

주) 1. 심도는 점성도로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내의 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 연약지반 분포여부, 성토체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분		최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor)	
건설교통부	건설공사 비탈면 설계기준 (2006년)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
		우기시	Fs ≥ 1.3
		지진시	Fs ≥ 1.1
한 국 도 로 공 사		도로설계요령	Fs ≥ 1.3
일 반 철 도		항만시설 기술상의 기준, 동해설	Fs ≥ 1.5

나. 위기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 위기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 위기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분	최 소 안 전 율	
건설공사 비탈면 설계기준(2006)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석)	Fs ≥ 1.2
	지진시	Fs ≥ 1.1
도로설계요령 (2000)	건기시(지하수위 미고려)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지하수위는 지표면에 위치)	Fs > 1.1~1.2
	지진시(미국 D'APPOLNIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준)	Fs > 1.1~1.2
미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975)	심내시험에 의해 강도를 구할 경우	1.5 > Fs > 1.3
	최대지진가속도를 고려함때	1.2 > Fs > 1.0
NAVFAC - DM 7.1-329	하중이 오래 작용할 경우	Fs > 1.5
	구조물 기초인 경우	Fs > 2.0
	일시적인 하중이 작용할 경우 및 시공시	Fs > 1.35 or 1.25
	지진하중이 작용하는 경우	Fs > 1.2 or 1.15

255

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 지표지질 조사

4.1.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

- 이 지역의 지질은 백악기 경상층군의 중 · 하부층인 진주층 상부로부터 최상부의 지인층까지 분포하고 있으며 경상층군 상부에 해당하는 신라아층군에는 유희암층이 협재되어 있음
- 이 층을 불공산화강암을 비롯해서 산성 또는 중성 맥암과 규장암 등이 관입하고 있음

나. 지형특성

군위군계의 팔공산(해발 1193m)을 최고봉으로 동서로 긴 산맥을 이루고, 청송군계의 보현산(해발 1124m)에서 서쪽으로 산맥을 이루며 방각산(해발 750m)에 이르러 북서로 매봉과 북두산 (해발 879m), 목너봉(해발 564m)으로 연결되는 산맥과 남서로 방가산(해발 755m)-화산 (해발 828m)-협암산(해발 556m) 으로 이어지는 산등을 이룸

동부는 노고산-화산, 북서로 조침산(해발637m), 매봉산 (해발 489m) 능선, 마정산(해발 402m), 물부리산(해발 364m), 건지봉(해발 471m) 등이 위치함

서부는 팔공산에서 분리된 시루봉(해발 714m)과 북서로 발달된 긴 능선, 학라산(해발 352m), 남북으로 길게 뻗은 물부리 산등, 북부의 정화산등에서 남동-남-북서로 발달하는 성산(해발 692m) 능과 상봉산(해발 448m) 북동부에서 남남서로 발달되어 북두산 (해발 509m)으로 연결되는 긴 능선과 낮은 구릉들로 이루어짐

보현산 서쪽 산등지에서 발원하는 고현천과 인천, 신녕천과 용호천이 각각 합류하여, 금호강으로 유입되어 낙류하고, 북으로 발원하여 흐르는 위천에 구천이 합류하고, 영천시 북서부 팔공산-우계산 계곡에서 발원 하여 북으로 흐르는 사창천이 남천에 합류되어 호명권에서 위천으로 유입되고, 군위읍 동부에서 서류하는 신만천이 위천에 합류되며, 위천은 사형하면서 북동류하여 상주군 낙동면에서 낙동강으로 유입됨

다. 분포암종 특성

구 분	지질특성	지질도
등영층 (진주층)	· 역암 또는 역질사암을 기저로 하는 암회색 세립로 구성 · 대체로 NNE의 주향과 10°~15°SE의 경사를 이룸	
일직층 (칠곡층)	· 역암, 역질사암, 사암, 실트스톤, 이회암, 이암 및 세립로 구성 · 대체로 N10°~15°E 주향과 10°~15°SE 경사 이룸	
산성 및 중성 암맥	· 주로 산성암맥이며, 안산암질 암맥도 일부 분포 · 지형적으로 저지대를 형성 데일리스 및 충적층에 의해 피복되어있으며 일부는 낮은 구릉의 형태를 보임	

39

라. 지질 계통도

지질시대	층 명		특 성	비 고
제4기	충적층(Qa)		· 하천 및 산록 퇴적물	
	~~ 부정합 ~~			
중생대 백악기	산성암맥(Kad) 중성암맥(Kid)		· 괴상의 치밀	· 전 구간에서 기반암을 관입
	~~ 관입 ~~			
	유천층군	안산암질암(Kat)	· 주로 응회암으로 구성	· 분포하지 않음
	~~ 관입 및 분출 ~~			
	하양층군	일직층(Ke4)	· 사암, 적색 이사질 세암, 역암 · 주로 사암이 우세	· 4공구 종점부 및 5공구 중점
	신동층군	진주층(Ke3)	· 역질사암, 사암, 세암의 교호 · 하부층에서 이회암 호층 분포	· 5공구 전 구간
	~~ 부정합 ~~			
선캠브리아	화강암질 편마암(Pcggn)		· 엽리가 부분적으로 발달 · 괴상의 치밀	· 10공구 일원 일부 분포

4.1.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

■ 목 적

- 과업지역의 광역적인 지형 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

■ 원리 및 방법

- 30m급 해상도의 Landsat5 TM 위성영상을 이용하여 분석실시
- 선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용
- 식생지수, 습윤도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

■ 위성영상결과

선형공간필터링분석	공간필터링	위성영상 분석
· 고주파강조 Laplacian 필터를 적용 인공적 선구조 판별 · 농경지와 수로 등 지지대 인공구조물이 잘 관찰됨	· 영상 내의 지형 또는 선구조의 방향성에 관계없이 지형 지물의 에지를 검출 · 선구조 특성 판독에 유용한 자료임	· 68개의 대, 소 선구조 파악 · 우세한 방향은 N80°~90°W로 나타남 · 과업노선과 4개의 선구조 교차

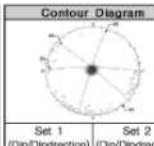
40

나. 조사결과

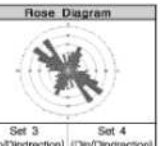
■ Scanline-106



Contour Diagram



Rose Diagram



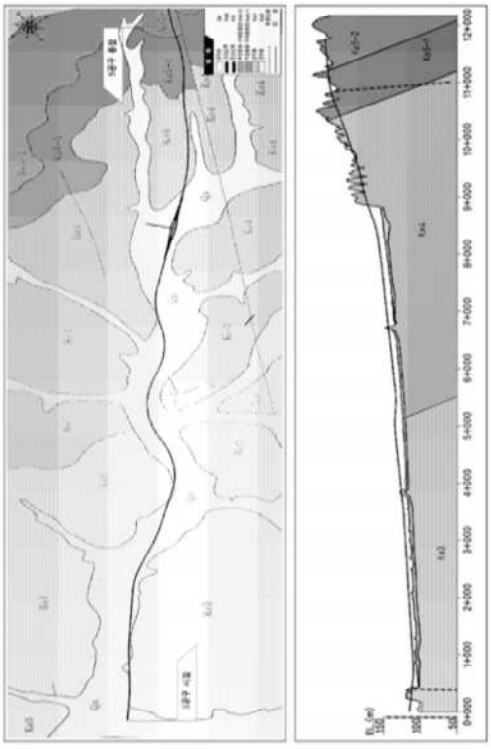
Set 1 (Dip/Dipdirection)	Set 2 (Dip/Dipdirection)	Set 3 (Dip/Dipdirection)	Set 4 (Dip/Dipdirection)
03/139	86/287	83/001	86/041

· 분포암상 : 일직층
· 조사위치 : 168402.360,289559.192

구분	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
간격 (cm)	평균 m = 21.9665, δ = 16.5765	m = 26.3714, δ = 27.2627	m = 65.9231, δ = 106.8647	m = 62.1875, δ = 54.8022
	확률밀도함수			
	지택 대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	함수 m = 15.3733, δ = 0.9252	m = 16.5694, δ = 1.0220	m = 20.3047, δ = 1.6257	m = 40.0803, δ = 1.0038
연장 (m)	평균 m = 24.9574, δ = 4.2424	m = 2.2778, δ = 1.4252	m = 1.5714, δ = 0.8227	m = 2.4706, δ = 1.8508
	확률밀도함수			
	지택 대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	음지수분포
	함수 m = 24.6008, δ = 0.1696	m = 1.9118, δ = 0.5857	m = 1.4558, δ = 0.3887	m = 2.4706, λ = 0.4048
JRC	평균 m = 5.0000, δ = 1.6631	m = 4.8333, δ = 1.4814	m = 5.6429, δ = 0.8950	m = 5.5882, δ = 1.8169
	확률밀도함수			
	지택 대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	정규분포
	함수 m = 4.7068, δ = 0.3607	m = 4.5667, δ = 0.3576	m = 5.5717, δ = 0.1600	m = 5.5882, δ = 1.8169
JCS (kg/cm²)	평균 m = 660.9575, δ = 306.0392	m = 756.8889, δ = 398.3492	m = 676.3571, δ = 300.7509	m = 664.4117, δ = 286.7391
	확률밀도함수			
	지택 대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	함수 m = 631.3926, δ = 0.4186	m = 676.6459, δ = 0.4700	m = 621.9618, δ = 0.3949	m = 600.0007, δ = 0.4171

48

■ 지질종평면도



3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업 실시설계(8공구)

1.2 조사목적

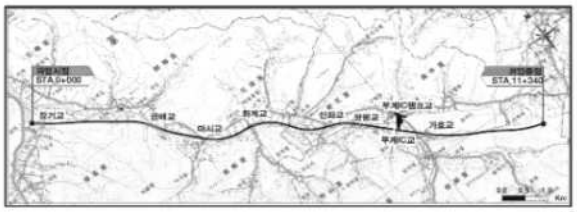
• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조사범위

위 치
·시점 : 경상북도 군위군 군위읍 효령면(STA. 0+000)
(X=293577.5190 , Y=163274.3124)
·종점 : 경상북도 군위군 군위읍 이북면(STA. 11+231)
(X=296819.0783 , Y=171952.6914)
·연장 : 11.231km



1.4 위치도



1

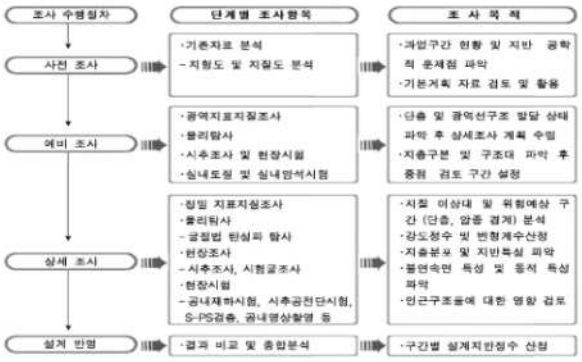
제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행 흐름

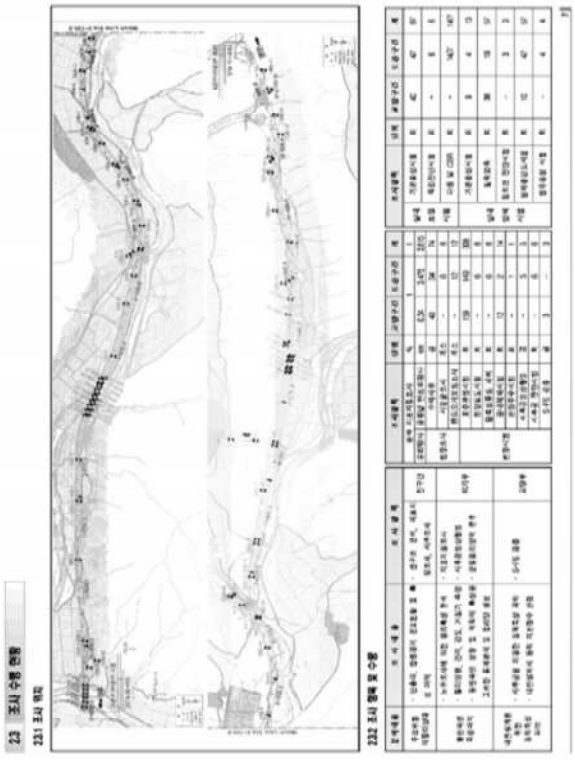
가. 조사 기본방향



나. 조사 수행 흐름도



3



제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대규모 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태의 안정성을 고려한 안정 비탈면경사 결정 및 대책 공법 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 지활면에 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 경사 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

239

구 분	선 정 기 준
붕 기 부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 붕기재료의 암수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지질특성으로 인하여 붕기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 빈번하는 경우 · 흉수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 붕기비탈면의 원지반이 암호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
암 기 부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 불적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 경사진 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)	대표단면 (STA.)	최대 쌓기고	지층현황	조사내용		비 고
							공번	조사위치 (STA.)	
쌓기구간	쌓기1구간	0+340 ~2+430	2,090	0+440(상주방향)	13.9m	충적층 풍화토층 풍화암층	CB9-1 참조	0+357 (우 24.0)	
	쌓기2구간	2+740 ~3+840	1,100	2+960(영천방향)	8.2m	충적층 풍화토층 연암층	SB8-5	2+952 (우 2.0)	
	쌓기3구간	3+856 ~4+896	1,040	4+800(상주방향)	11.5m	충적층 풍화토층 풍화암층	SB6-12	4+774 (우 14.0)	
	쌓기4구간	4+940 ~6+647	1,707	4+980(영천방향)	14.0m	충적층 풍화토층 연암층	BB8-26	4+931 (좌 6.5)	
	쌓기5구간	6+663 ~7+257	594	7+240(상주방향)	10.7m	잔적층 풍화토층 연암층	BB8-29	7+259	
	쌓기6구간	7+296 ~8+086	790	7+460(영천방향)	9.7m	충적층 풍화토층 연암층	BB8-30	7+297	
	쌓기7구간	8+110 ~8+680	900	8+680(영천방향)	14.2m	충적층 풍화토층 연암층	BB8-35	8+715 (좌 7.5)	

7.6 비탈면 안정해석 및 검토

7.6.1 개요

가. 쌓기구간

본 지역에서의 쌓기비탈면 안정해석은 쌓기구간 중 쌓기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 평사투영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 쌓기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안정한 비탈면경사의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

- 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 1.5 이상, 우기시 1.2 이상으로 적용하였다.
- 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반 노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.
- 결과를 근거로 암반파쇄 상태에 의한 쌓기 경사는 암석별 쌓기 적정경사를 기준으로 암반비탈면 경사를 결정하였다.
- 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 경사방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.
- 암반비탈면 경사에 따라 상부층의 토사비탈면 안정성 검토는 Talren 97 Program을 이용하여 원호활동 파괴로 검토함을 원칙으로 하였다. RQD = 0~10%의 암석은 연암이라 하더라도 암반이 큰 COBBLE 상태에서 거동하는 것으로 사료되므로 풍화암과 같은 특성으로 고려될 수 있다. 이와 같은 경우 암반은 절리면을 따라 파괴하기 보다는 원호활동 파괴의 경향을 보이므로 풍화암과 토사층을 포함하여 검토하였다.

나. 쌓기구간

본 쌓기구간은 산지지형 말단부의 완측쌓기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쌓기로서 진입도로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 출현 여부를 확인하기 위하여 Hand Auger Boring을 실시하였다. 쌓기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쌓기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쌓기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 쌓기 경사 평가 및 검토를 암석별 쌓기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 쌓기비탈면 경사 검토]

구분 / 구간	검토구간 (STA.)		시추번호	암반 특성에 따른 비탈면 경사					참조 사항
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	
쌓기 1구간	0+220 ~0+450	영천방향	CB9-1	사암 및 니질암	81~100	27~58	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 2구간	지방도919호선 0+040~0+360	상주방향	CB9-3	사암 및 니질암	97	17~39	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 3구간	6+500 ~6+900	상주방향	CB9-5	사암 및 니질암	73~100	8~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쌓기 4구간	8+660 ~9+340	상주방향	CB9-7	사암 및 니질암	46~100	0~90	1:0.5	1:0.5	1:0.5
			CB9-9	사암 및 니질암	100	29~75	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쌓기 5구간	9+340 ~9+750	상주방향	CB9-10	사암 및 니질암	95~100	14~82	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 6구간	9+770 ~10+180	상주방향	CB9-11	사암 및 니질암	54~100	0~63	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 7구간	10+180 ~10+380	상주방향	CB9-12	사암 및 니질암	87~100	10~69	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 8구간	10+380 ~10+580	상주방향	CB9-13	니질암	58~100	0~76	1:0.5	1:1.0	1:1.0
쌓기 9구간	10+380 ~10+700	영천방향	CB9-14	니질암	59~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쌓기 10구간	10+750 ~10+840	영천방향	CB9-15	니질암	48~100	11~100	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쌓기 11구간	10+970 ~11+080	영천방향	CB9-16	사암 및 니질암	65~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쌓기 12구간	11+080 ~11+220	영천방향	CB9-17	사암 및 니질암	31~100	0~97	1:0.5	1:0.7	1:0.7

■ 지반조사 위치도

1. 위치도



2. 수량

조사항목		단위	교량구간	토공구간	계	조사항목		단위	교량구간	토공구간	계
굴착 지표지질조사		식		1	1	실내 토질 시험	기본물성시험	회	60	47	87
굴착 암선	굴착별 암질분석	km	0.34	3,475	3,835		직접전단시험	회	-	6	6
현장 조사	수직시추	공	40	38	78		다짐 및 CBR	회	-	14.7	14.7
	시험공조사	개소	-	6	6		암석압축강도	회	28.9	28.4	57.13
	탬드리포켓조사	개소	-	13	13		절리면 전단시험	회	-	3	3
	표준관입시험	회	139	149	308		평판재하시험	회	10	47	57
	현장밀도시험	회	-	6	6		암석분석 시험	회	-	4	4
	투수시험	회	-	6	6						
	공내재하시험	회	-	2	2						
	현장투수시험	회	-	1	1						
	사수공압송출	공	-	5	5						
	사수공 전단시험	회	-	6	6						
	3-2차 영송	본		6	6						

37.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 37-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토37 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 숏크리트 들뜸, 균열, 백태, 마감불량, 소단배수로 균열, 산마루측구 퇴적, 파손, 보수부 재파손 등이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요함	양호
2	2037. 05. 28 ~ 2037. 06. 30	정기안전점검	상주절토37 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 숏크리트 들뜸, 균열, 백태, 마감불량, 소단배수로 균열, 산마루측구 퇴적, 파손, 보수부 재파손 등이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요함	양호
3	2037. 10. 23 ~ 2037. 12. 31	정기안전점검	상주절토37 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 숏크리트 들뜸, 균열, 백태, 마감불량, 소단배수로 균열, 산마루측구 퇴적 등이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요함	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	상주절토37 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 숏크리트 들뜸, 균열, 백태, 마감불량, 소단배수로 균열, 산마루측구 퇴적 등이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요함	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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 평가됨 사면 식생공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 4개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 소단배수로에 횡방향 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 숏크리트 보호공에 국부적인 들뜸이 조사되었으나, 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 확인되었다. 본 사면은 계측기가 설치되어 있고, 지속적으로 계측중으로 확인되었으며, 주기적인 계측으로 이상거동시 즉각조치가 필요함	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토37 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 숏크리트 들뜸, 소단배수로 균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전 방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

37.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 37-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

37.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 37-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

37.2.6 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 37-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

37.3 현장조사

37.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 37-7> 일반현황

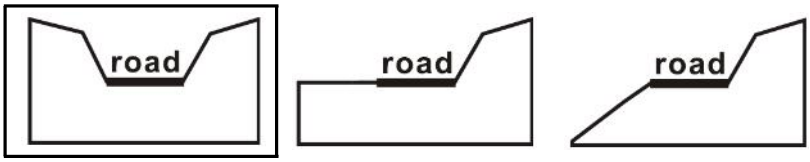
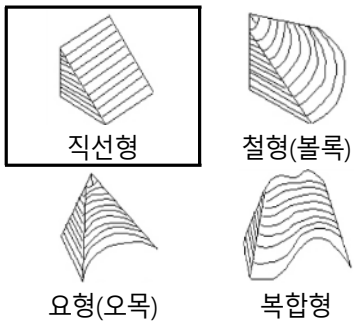
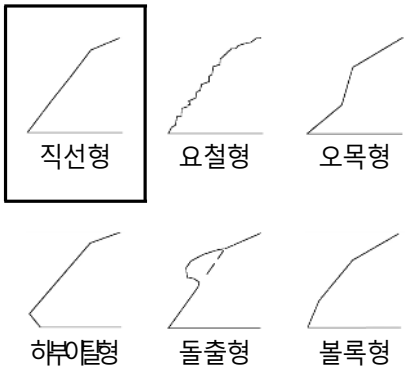
조사일자	2020. 05. 25.	**조 사 자**	장 진 원
일 기	맑음	**준공년도**	2017년 06월 27일
행정구역	경상북도 군위군 부계면 창평리		
위 경 도	시점 : 36° 08′77.1″ 128° 67′57.1″		
	종점 : 36° 08′44.9″ 128° 68′24.6″		
절토사면	길 이 : 760m	높 이 : 50.0m	
	경 사/경사방향 : 55/210		
	구성물질 : 암반	토층심도 : 약 1.0~5.0m	
	소 단 : 8		
낙석/뜬돌	낙석 존재유무 : 없음	낙석의 양 : -	
	낙석 평균크기 : - 낙석 최대크기 : -		
	뜬돌 존재유무 : 없음	뜬돌의 양 : -	
	뜬돌 평균크기 : - 뜬들 최대크기 : -		

절토사면 시공현황	**종 류**	**위 치**	**상 태**
	식생현황	54.038~54.798k	양호
	낙석방지울타리	54.068~54.128k, 54.168~54.498k	양호
	소단배수로	54.158~54.278k, 54.478~54.708k	균열
	수직도수로	54.138k, 54.298k, 54.398k, 54.458k	양호
	숏크리트	54.358~54.708k	들뜸
	사면내 옹벽	54.508~54.708k	양호
	점검용 계단	54.598~54.798k	양호

붕괴이력	**유 형**	**규 모**	**위 치**

기 타	·

<표 37-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">20~30°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">4개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 37-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토37		
	위경도	시점 : 36° 08′77.1″ 128° 67′57.1″ 종점 : 36° 08′44.9″ 128° 68′24.6″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 25일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	760.0m	최대높이	50.0m
	경사	55°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	8개소
	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	4개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~5.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) ■옹벽(양호) ■숏크리트(양호) ■점검로(양호)	□낙석방지망 ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타	
조사자 소 견	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			

37.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 54.038~54.798km)에 위치한 사면으로서 총 연장 760.0m, 높이 50.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 37-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{45.0}=0.06$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 105.6~125.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{45.0}=0.011$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{47.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 105.6~125.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{47.0}=0.010$로 0.01초과	절리암반	

<표 37-10> 절토비탈면 분류(계속)

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{50.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	절리암반	
4구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{20.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 105.6~125.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.4}{20.0}=0.02$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 760m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 수직도수로 및 구성재료 등을 참고하여, 4개구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 37-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	54.038~54.238km	200m
2구간	54.238~54.438km	200m
3구간	54.438~54.638km	200m
4구간	54.638~54.798km	160m

37.3.3 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 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이며, 사면내 계곡부의 경우 4개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 37-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	4 / 4.0	-	
	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 식생공, 숏크리트공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화상태는 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 37-13> 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 식생공이 없고 대기에 노출된 원지반을 대상으로 1, 2, 4구간에 대해서 암반 불연속면 특성을 조사하였으며, 3구간은 옹벽+숏크리트공으로 인해 조사가 불가하였다.

<표 37-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	73/312	80/090	30/184
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	HW	HW	HW
구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	82/013	75/104	02/359
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	MW
구 분	4구간		
	Set 7	Set 8	Set 9
방향성	85/113	87/041	11/096
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	SW	SW	SW

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 37-15> 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 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있다.

조사결과 소단배수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없으나 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 37-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	1EA / 5.0	건조수축	

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 37-17> 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 37-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 37-19> 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 37-20> 인장균열 조사 결과

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

37.3.4 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 총 9개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 37-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
54.188km	56.5	124.4	경암	
54.198km	54.6	114.3	경암	
54.208km	54.9	116.0	경암	
54.268km	56.0	121.8	경암	
54.278km	54.5	114.0	경암	
54.288km	52.8	105.6	경암	
54.738km	55.7	120.1	경암	
54.748km	53.7	109.7	경암	
54.758km	56.6	125.2	경암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 52.8~56.6으로 측정되었으며, 추정강도 105.6~125.2MPa로 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. 조사결과 식생과 숏크리트로 시공되었으며 일부구간 숏크리트 들뜸이 조사되었다.

<표 37-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	식생공	-	-	-	-	
	숏크리트공	들뜸	㎡	1EA / 5.0		



표면보호공(식생/숏크리트) 전경



표면보호공(식생/숏크리트) 전경

라. 사면보강공

본 비탈면에 대한 사면보강공은 옹벽(앵커)으로 시공되었으며 양호한 상태이다.

<표 37-23> 사면보강공 조사 결과

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



사면보강공(옹벽+앵커) 전경



사면보강공(옹벽+앵커) 전경

37.4 안전성능평가

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

37.4.1 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 0.06~0.15로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 파쇄암반, 절리암반 비탈면으로 평가된다.

<표 37-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{45.0}=0.06$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 105.6~125.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{45.0}=0.011$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{47.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 105.6~125.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{47.0}=0.010$로 0.01초과	절리암반	
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{50.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	절리암반	

<표 37-24> 절토비탈면 분류(계속)

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
4구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{20.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 105.6~125.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.4}{20.0}=0.02$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 760m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 4구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~9로 표기하였다.

<표 37-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	54.038~54.238km	200m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	54.238~54.438km	200m	암반사면	Set4, Set5, Set6
3구간	54.438~54.638km	200m	암반사면	-
4구간	54.638~54.798km	180m	암반사면	Set7, Set8, Set9

<표 37-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 37-27> 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	계곡부 1개소	b
	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 37-28> 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 37-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 37-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 37-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 37-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 37-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 37-34> 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 37-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 37-36> 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/sec^2) (u, β는 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 37-37> 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 20~30°	d
	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 37-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 37-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 37-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 37-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토37		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		8.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
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 37-42> 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	계곡부 2개소	c
	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 37-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

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 37-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

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

<표 37-45> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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 37-46> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 37-47> 지하수 평가 결과(2구간)

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

<표 37-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

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

<표 37-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

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 37-50> 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 37-51> 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, β는 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 37-52> 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 20~30°	d
	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 37-53> 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 37-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 37-55> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 37-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		상주절토37		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	3	3	c
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		7.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			14	
결함지수		0.14		
상태안전성능평가 결과		**A**		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

3구간은 표면보호공 및 사면보강공으로 숏크리트와 옹벽으로 시공되어있어 조사가 불가하여 상태안전성능 평가를 실시하지 않음.

아. 4구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 37-57> 집수지형 평가 결과(4구간)

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 37-58> 불안정 지질 평가 결과(4구간)

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 37-59> 불연속면 특성 평가 결과(4구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+5+10) / 6 = 6.7	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 37-60> 불연속면 세부 상태 평가 결과(4구간)

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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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 37-61> 지반변형 평가 결과(4구간)

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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 37-62> 지하수 평가 결과(4구간)

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

<표 37-63> 배수시설 평가 결과(4구간)

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

<표 37-64> 붕괴이력 평가 결과(4구간)

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 37-65> 낙석 발생 규모 평가기준(4구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 37-66> 예상 낙석에너지 평가기준(4구간)

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, β는 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 37-67> 사면의 상부 상태 평가 결과 (4구간)

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

자. 4구간 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 37-68> 인장균열 결함점수 산정 결과(4구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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.

차. 4구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 37-69> 상태안전성능 평가 결과 범위(4구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 37-70> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(4구간)

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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 37-71> 상태안전성능평가 결과(4구간)

시설물명		상주절토37		
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
블연속면 특성		6.7	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			11	
결함지수		0.11		
상태안전성능평가 결과		**A**		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 37-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
450.0m	1구간	54.038~54.238km	a(0.12)	A	인장균열 없음
	2구간	54.238~54.438km	a(0.14)		
	3구간	54.438~54.638km	-		
	4구간	54.638~54.798km	a(0.11)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

37.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

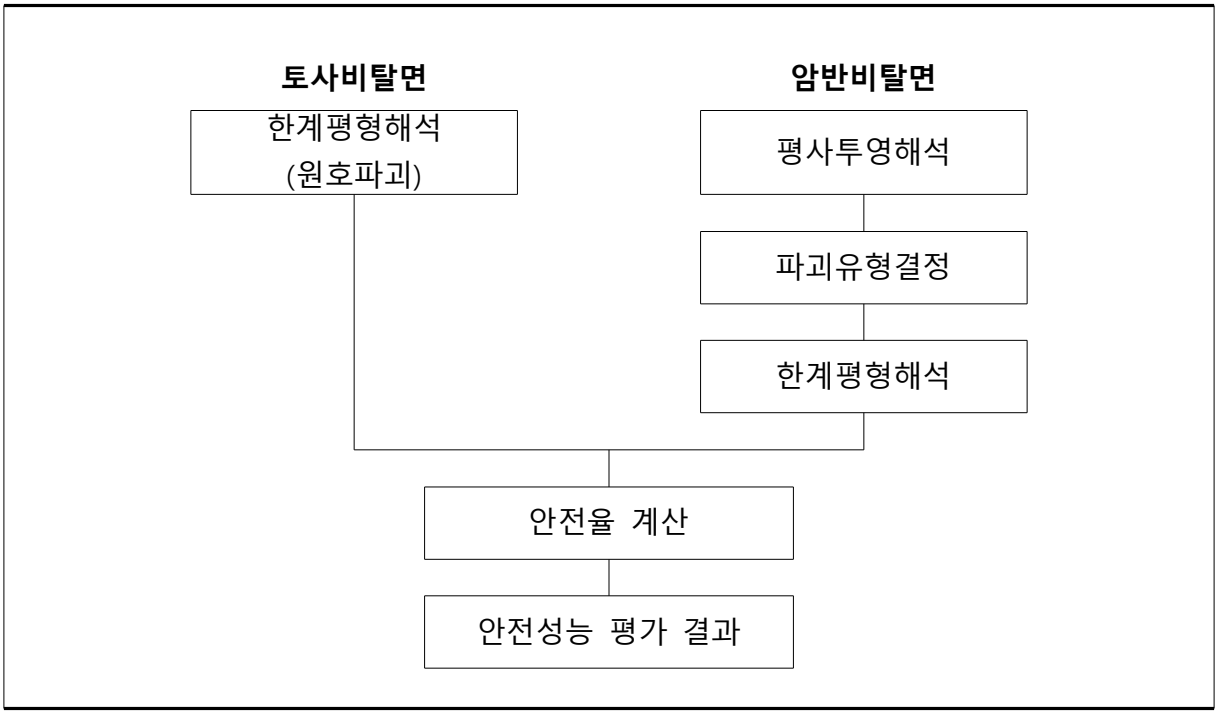
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 37-5> 구조안전성능 평가과정

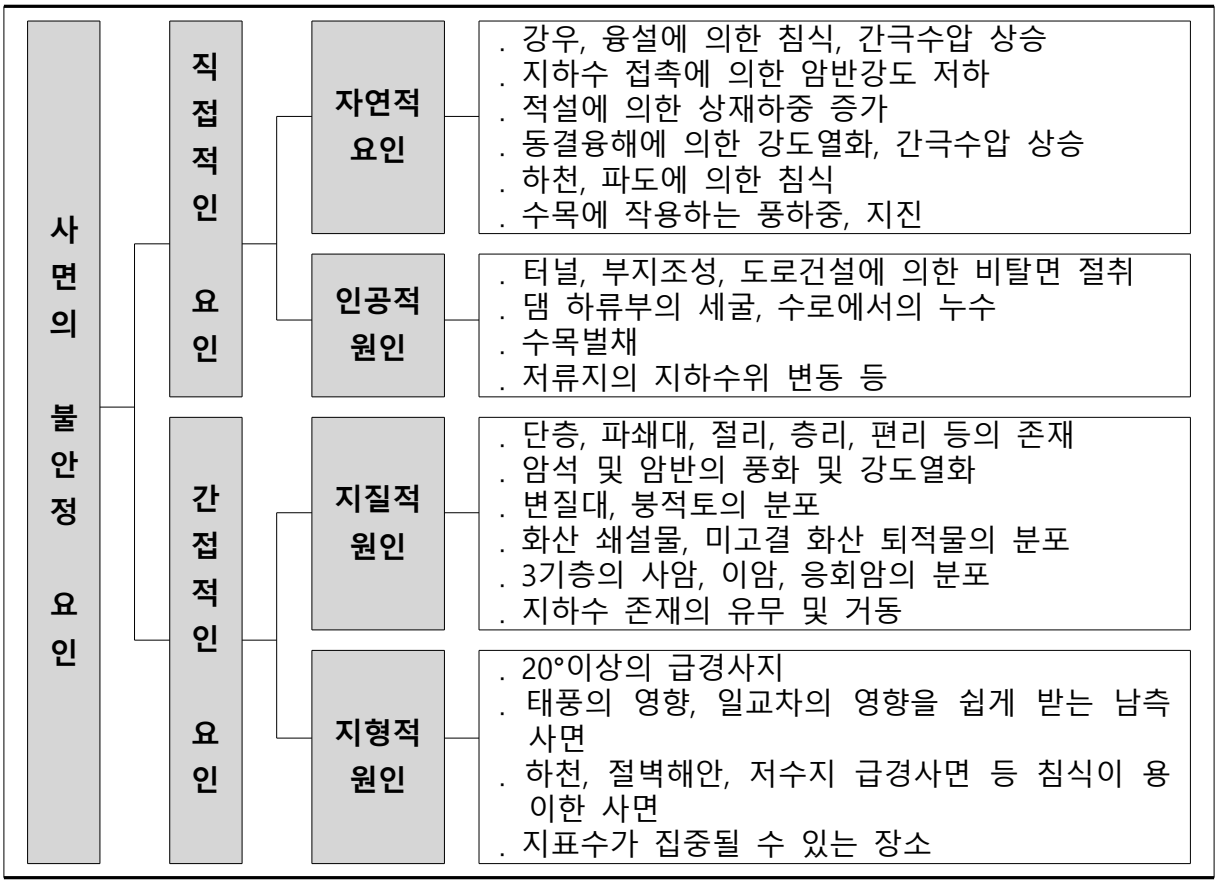
<표 37-73> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

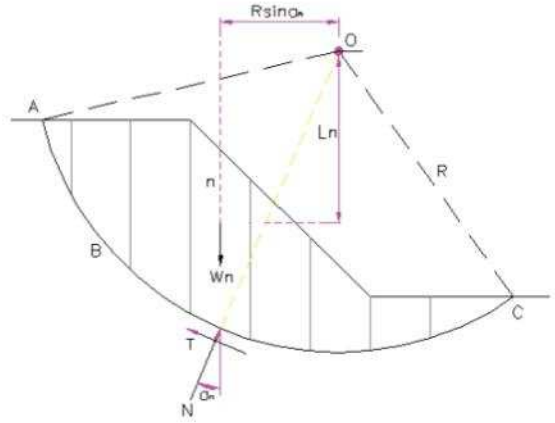


<그림 37-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

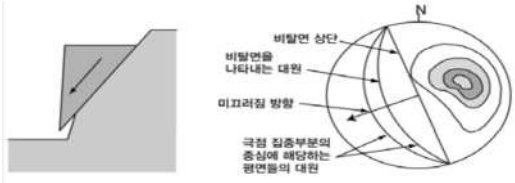
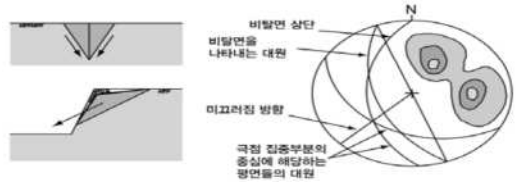
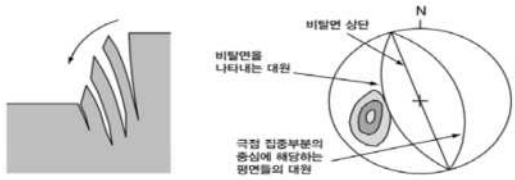
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 37-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 37-74> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 37-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

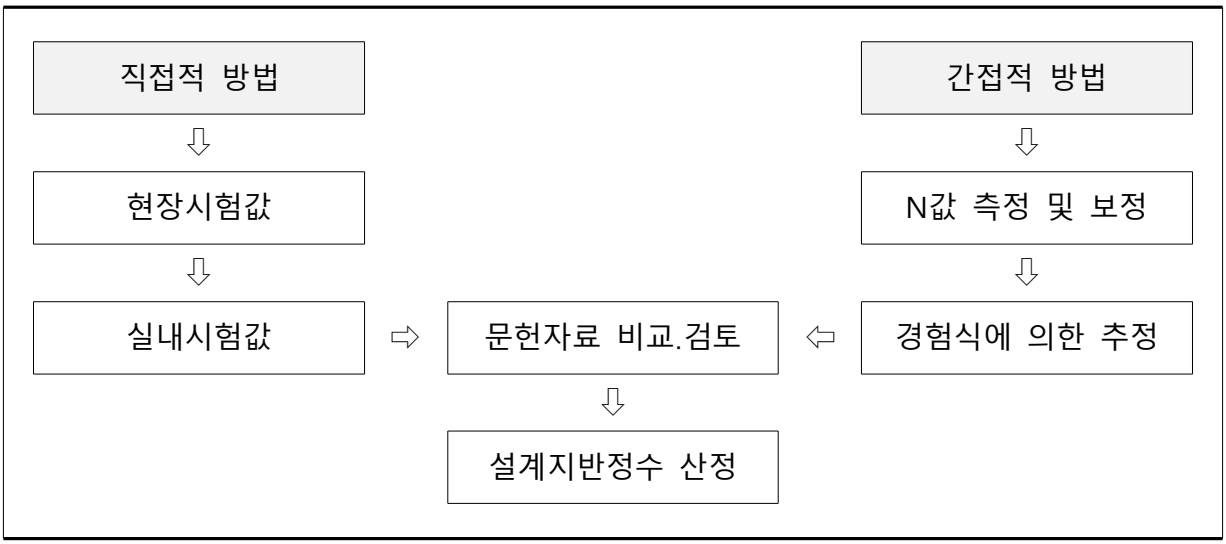
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 37-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 37-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 37-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 37-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 37-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (6공구)	풍화(잔적)토	19	28	20	
	풍화암	20	29	30	
	경 암	24	32	200	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 37-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 37-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~237.7	26.7±0.8	237.3±1.0	237.3±1.0	237.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 37-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 37-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 37-85> Trueman (1988)

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

<표 37-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 237.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19	28	20	0.3	
풍화암	20	29	30	0.3	
경 암	24	32	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 37-87> 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

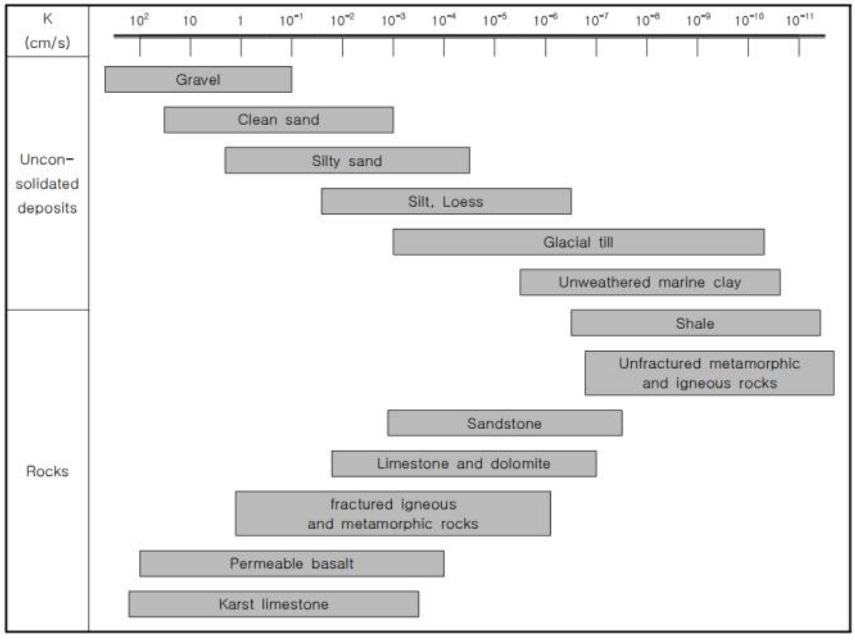
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 37-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 37-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 37-8> 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 37-90> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

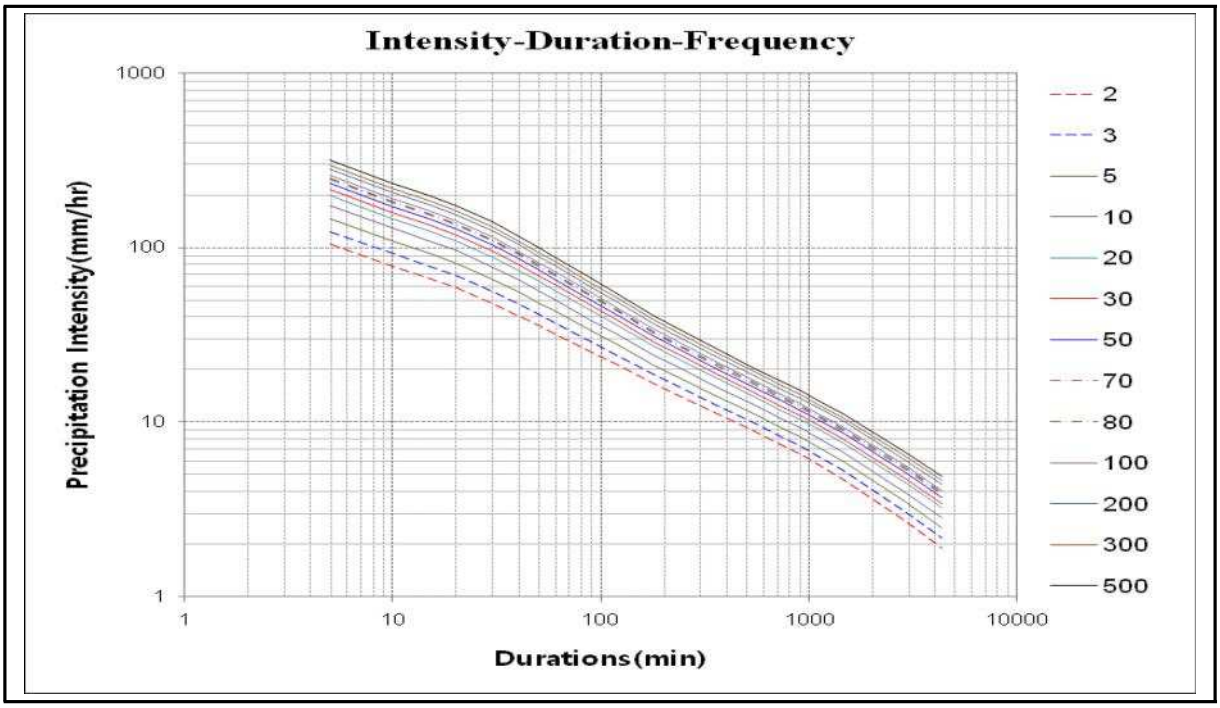
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 37-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 37-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 37-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 37-91> 설계지반운동 수준

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

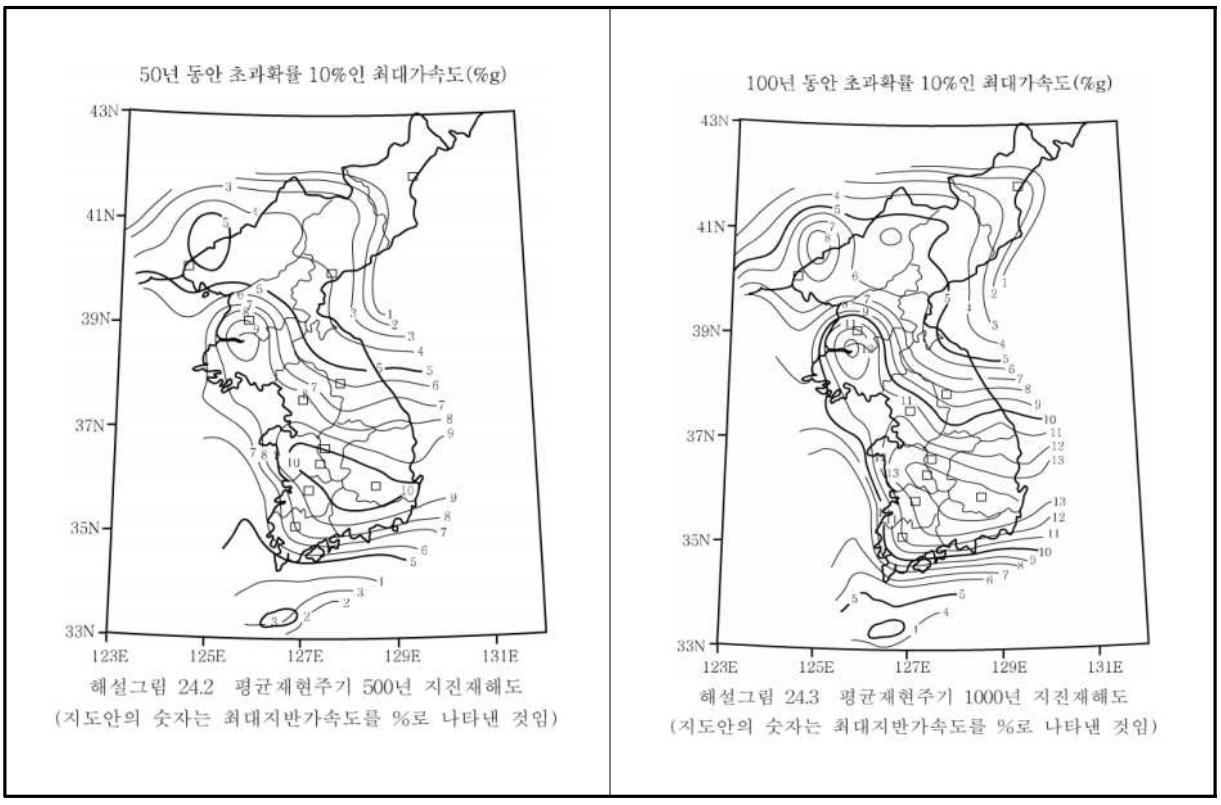
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 37-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 37-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 37-93> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

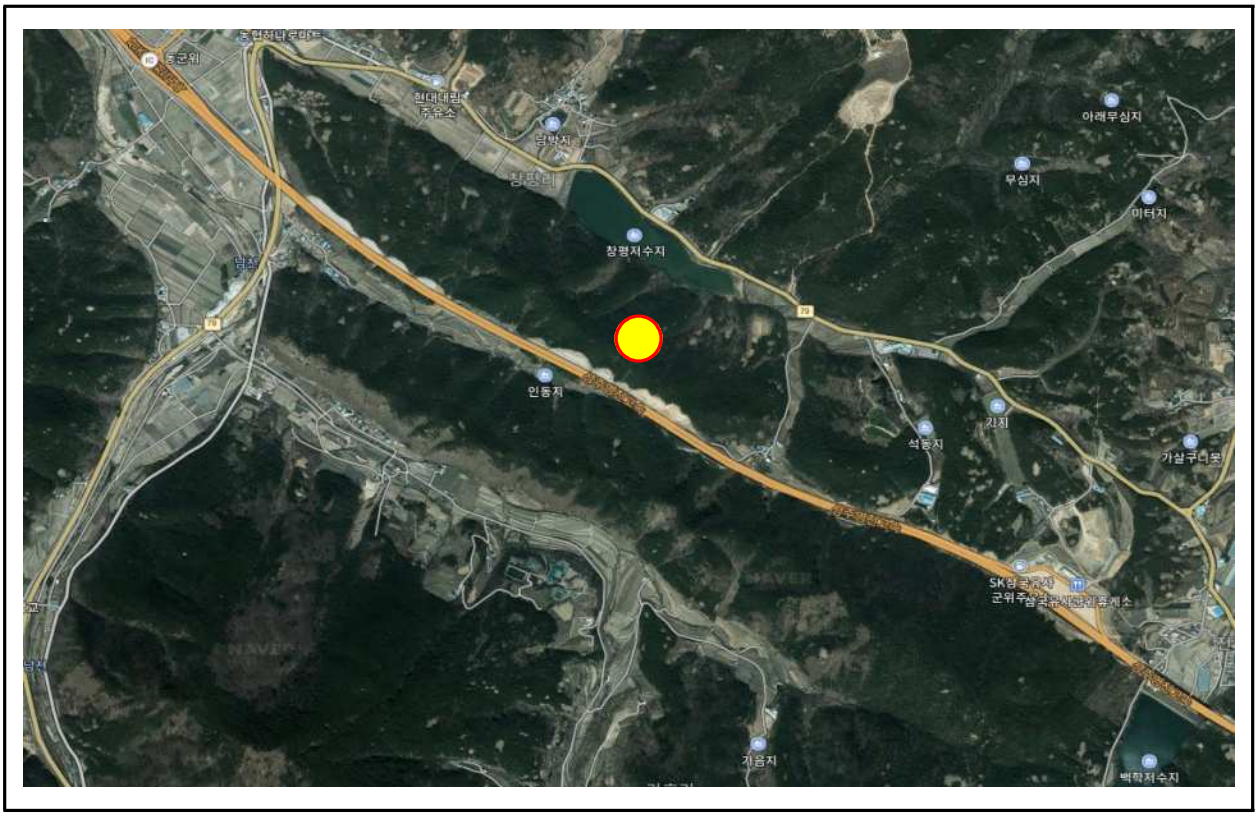
3) 지진가속도계수 선정

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 37-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

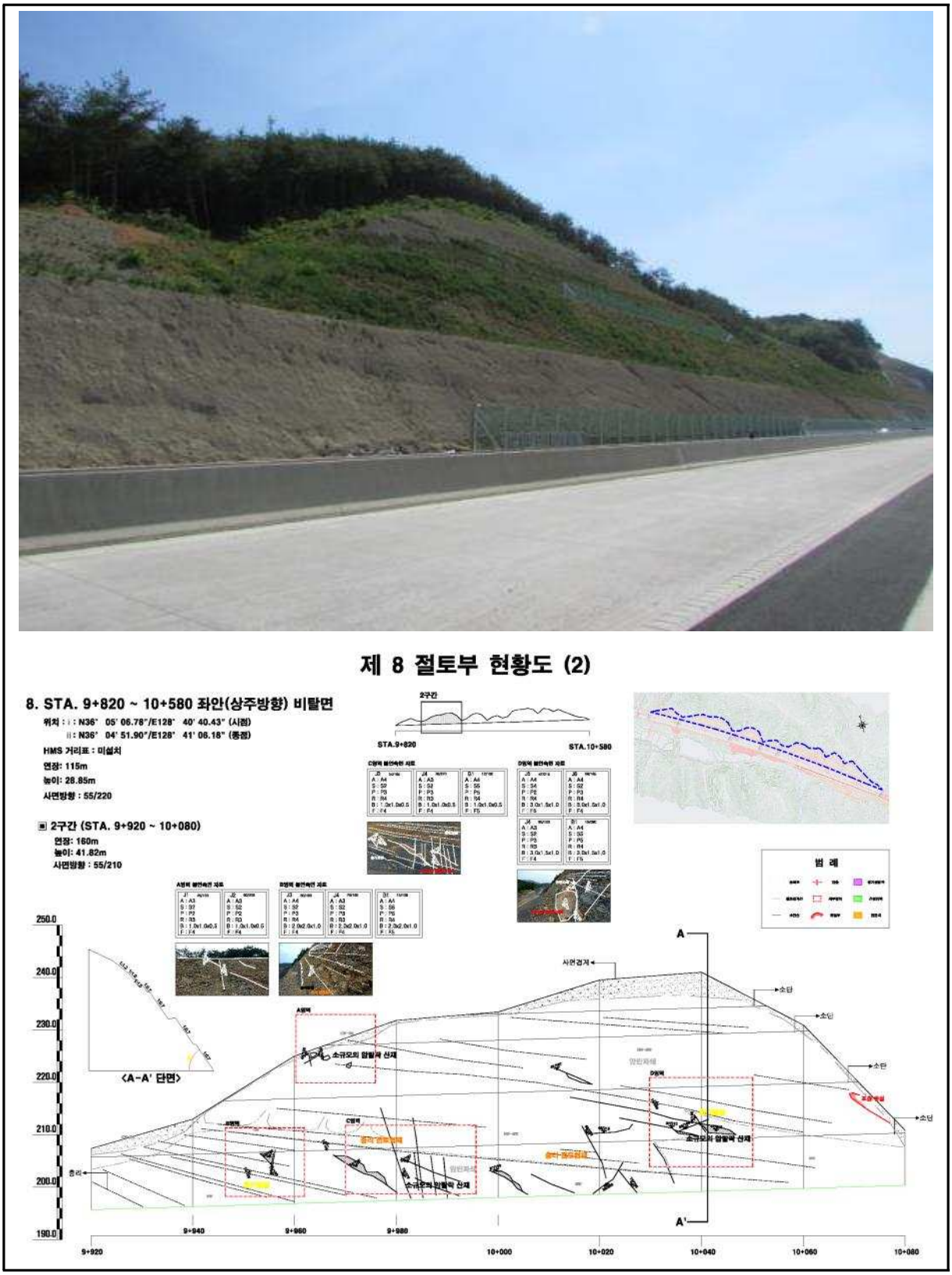
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토37	경상북도 군위군 부계면 창평리	54.038 ~ 54.798	STA.54+240	45.0	3.0	42.0	-	2017	55/210
			STA.54+260	47.0	4.0	43.0	락볼트	2017	55/210
			STA.54+550	50.0	5.0	45.0	네일링	2017	55/210
			STA.54+640	20.0	3.0	17.0	-	2017	55/210



<그림 37-13> 상주절토37 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토37 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



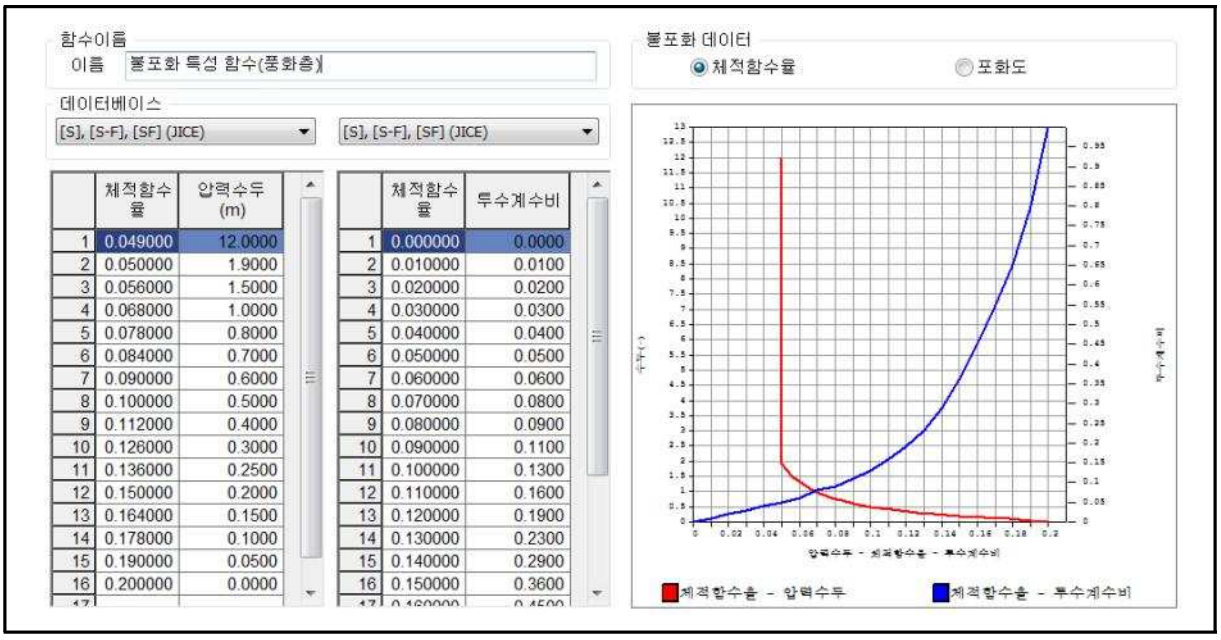
<그림 37-14> 상주절토37 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	19	28	20	1.0E-03	
풍화암	20	29	30	1.0E-04	
경암	24	32	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

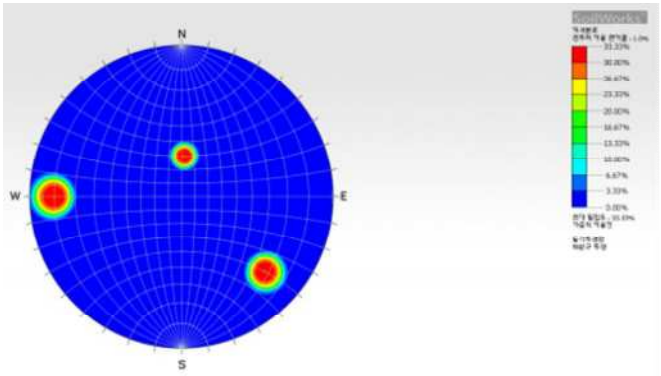
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 37-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

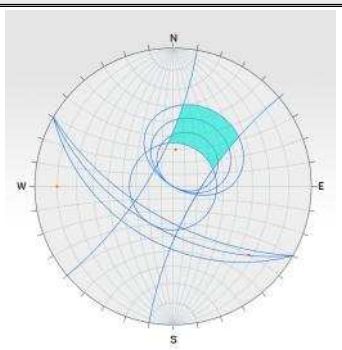
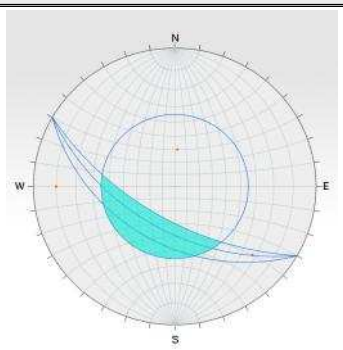
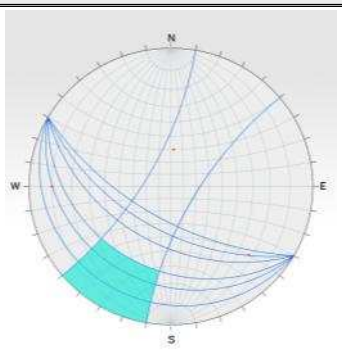
3) 1구간 (STA.54+038 ~ 54+238)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		73	312
		80	90
		30	184

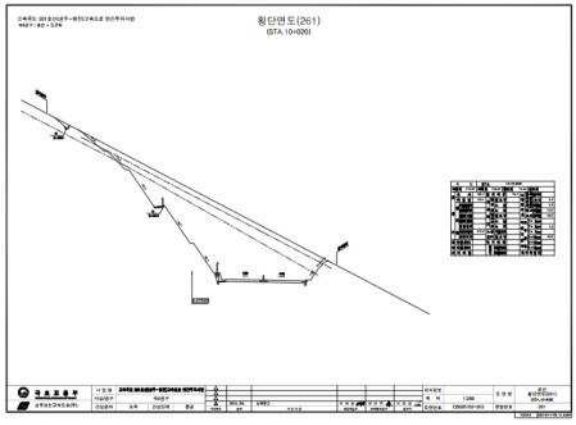
◦ 해석결과

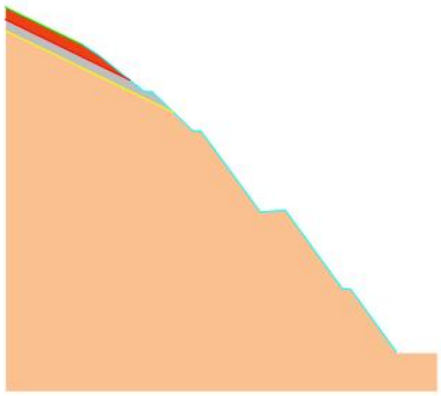
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

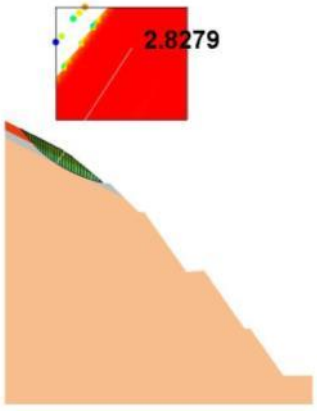
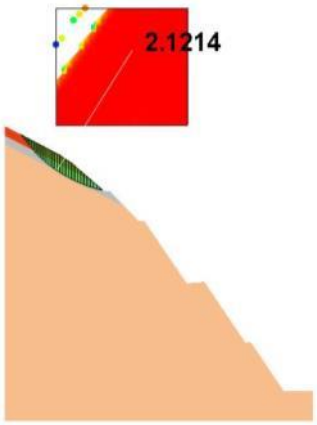
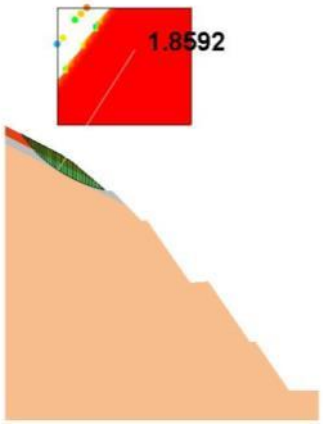
◦ 검토단면





대표단면 : STA.54+240, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.82	안전율 : 2.12	안전율 : 1.85

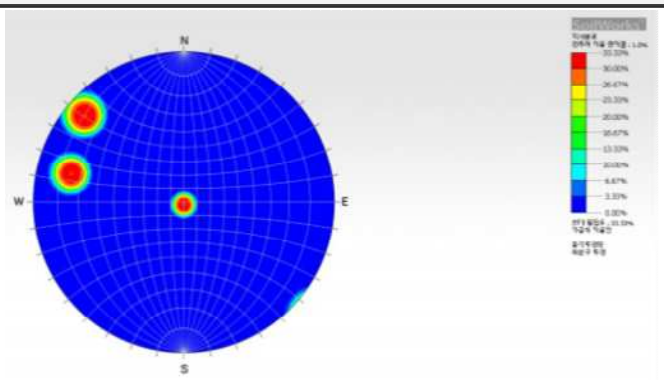
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

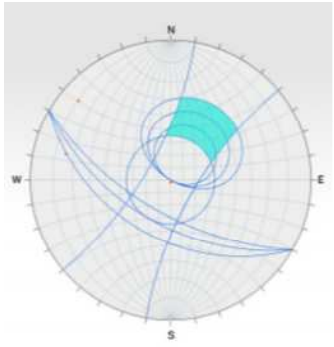
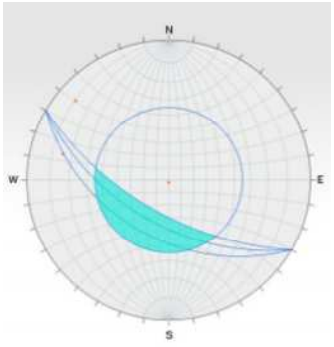
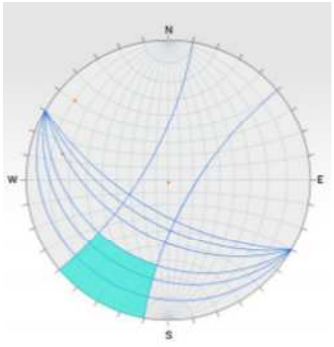
4) 2구간 (STA.54+238 ~ 54+438)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		82	13
		75	104
		2	359

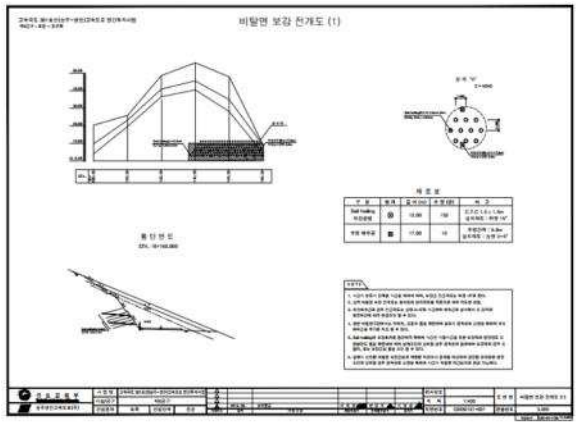
◦ 해석결과

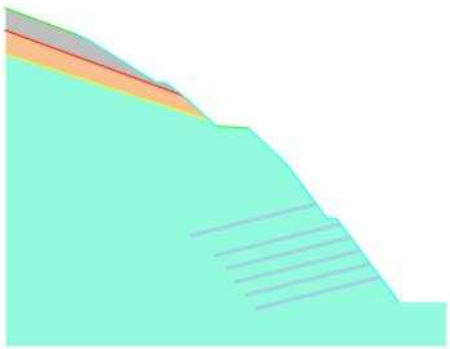
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

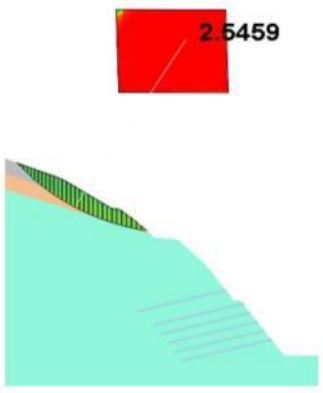
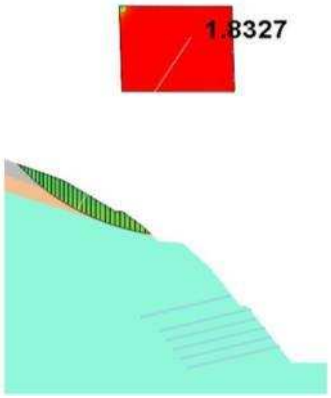
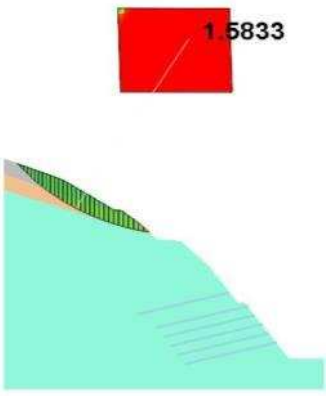
◦ 검토단면





대표단면 : STA.54+260, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.54	안전율 : 1.83	안전율 : 1.58

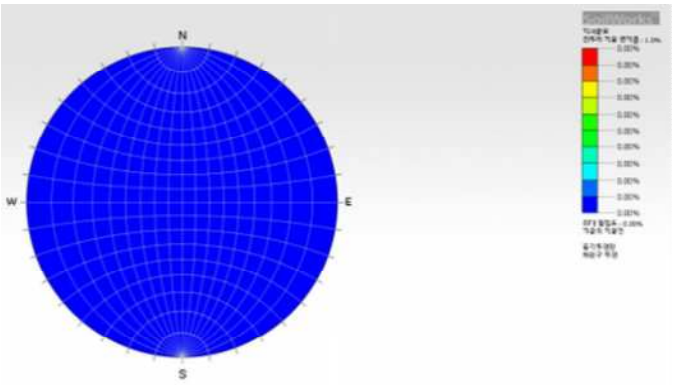
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

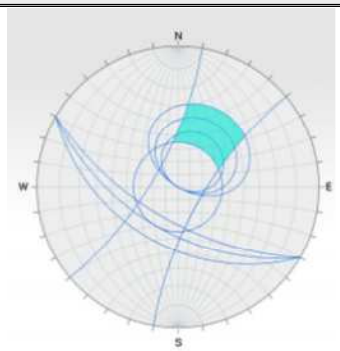
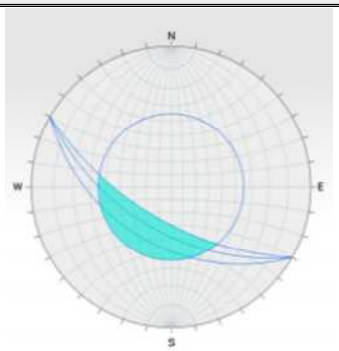
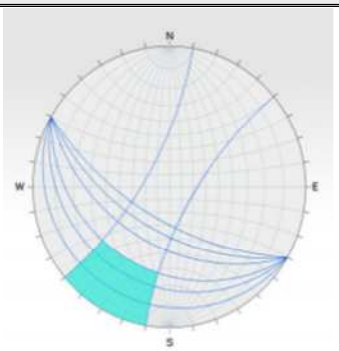
5) 3구간 (STA.54+438 ~ 54+638)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

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

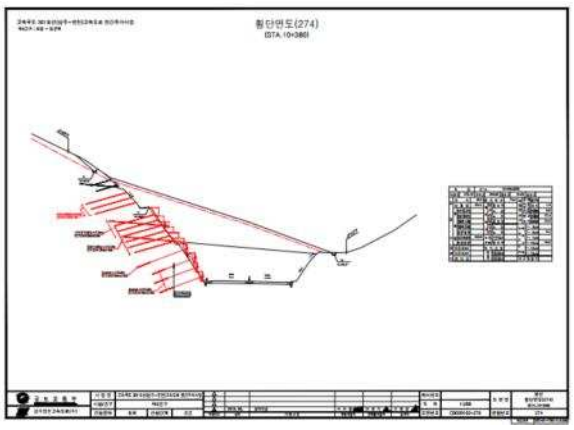
◦ 해석결과

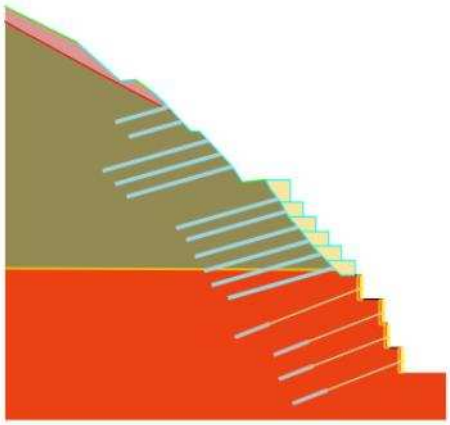
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

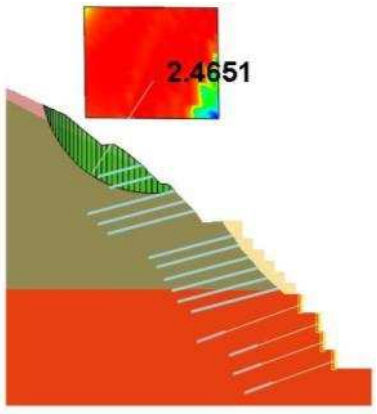
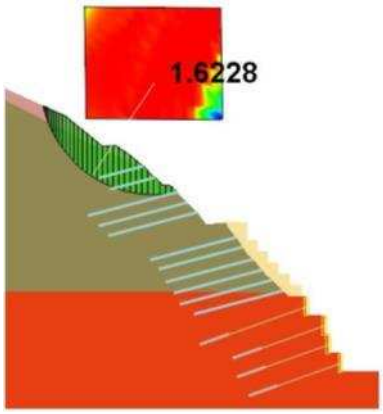
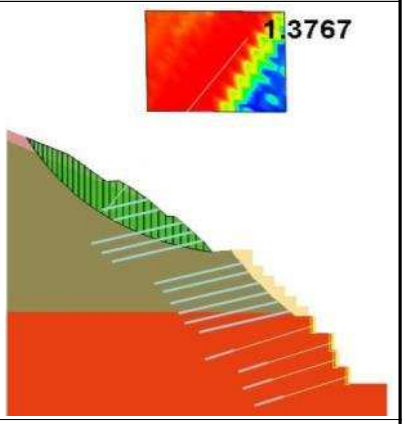
◦ 검토단면





대표단면 : STA.54+550, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.46	안전율 : 1.62	안전율 : 1.37

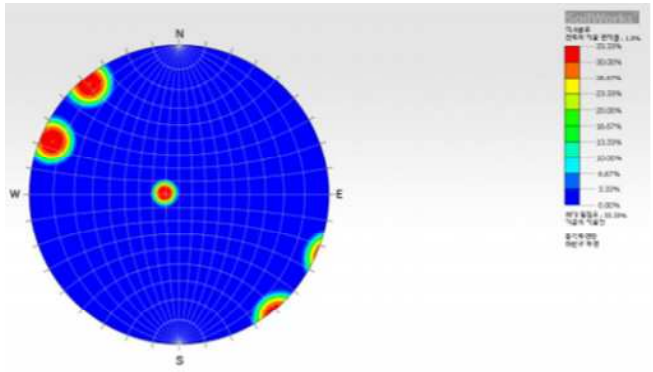
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

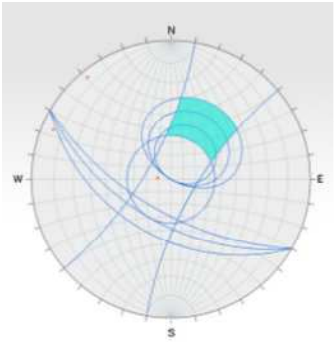
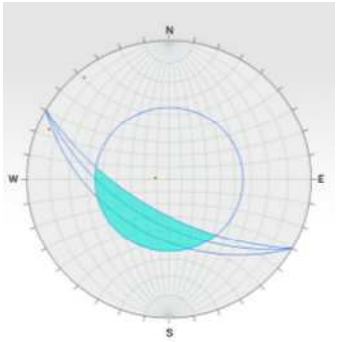
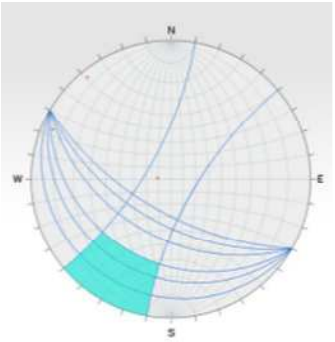
6) 4구간 (STA.54+638 ~ 54+798)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 85 87 11	dip direction 113 41 96

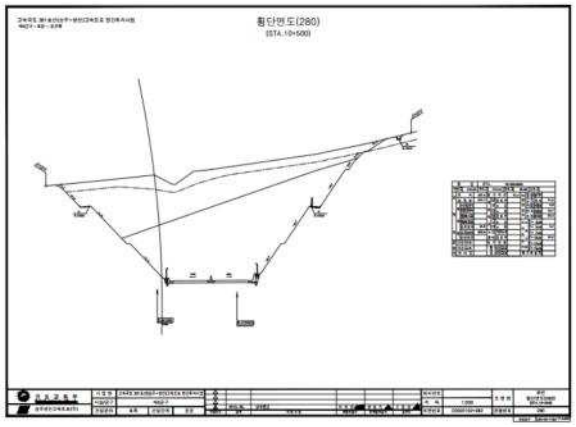
◦ 해석결과

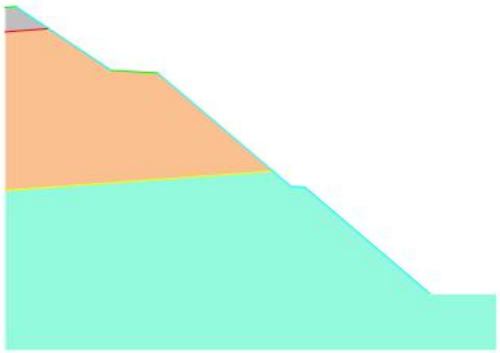
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

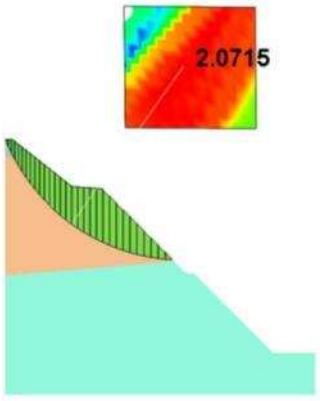
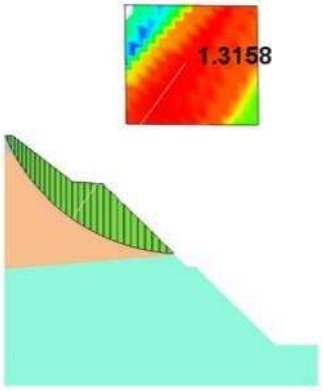
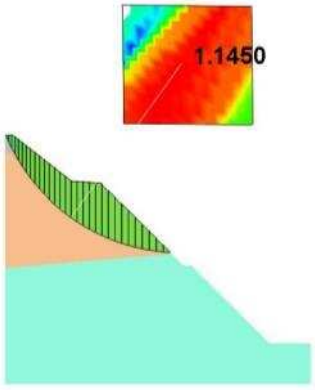
◦ 검토단면





대표단면 : STA.54+640, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.07	안전율 : 1.31	안전율 : 1.14

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 37-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토37**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.07	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.31	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.14	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

37.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 37-96> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토37**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.140	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.140	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 37-97> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

37.5 내구성능 평가

37.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 37-98> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 3/20 = 0.15
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 104.3MPa	
면적	전체	17,549㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	17,549㎡	
표면보호공	식 생	11,506㎡	
	숏크리트	4,112㎡	
사면보강공	옹벽(앵커)	1,931㎡	

37.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 37-99> 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

37.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 37-100> 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 37-101> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
54.188km	124.4	119.3	초기 강도값(경암) : 104.3MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
54.198km	114.3	109.6	
54.208km	116.0	111.2	
54.268km	121.8	116.8	
54.278km	114.0	109.3	
54.288km	105.6	101.2	
54.738km	120.1	115.1	
54.748km	109.7	105.2	
54.758km	125.2	120.0	
평균값	116.8	112.0	
등급	**A등급**		

<표 37-102> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 37-103> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기/석장공		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	11,506/11,506㎡	100.0%	5.0/4,112㎡	0.012%	
평가	식생 피복율 100.0%, 숏크리트 손상 10%미만 이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 37-104> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 37-105> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	**Set 2**	**Set 3**
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
풍화진행도	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	41	41	41
평 균	8.2	8.2	8.2
평가 결과	c	c	c
평가항목	**불연속면(2구간)**		
	Set 4	**Set 5**	**Set 6**
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
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 37-105> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(4구간)		
	Set 7	Set 8	Set 9
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
풍화진행도	SW	SW	SW
	b(5)	b(5)	b(5)
합 계	30	30	30
평 균	6.0	6.0	6.0
평가 결과	c	c	c

<표 37-106> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
1구간 - Set 1	c	0.43	
1구간 - Set 2	c	0.43	
1구간 - Set 3	c	0.43	
2구간 - Set 4	c	0.43	
2구간 - Set 5	c	0.43	
2구간 - Set 6	c	0.43	
4구간 - Set 7	c	0.43	
4구간 - Set 8	c	0.43	
4구간 - Set 9	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

37.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 37-107> 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 37-108> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.25	0.020
절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	0.40	0.172
표면보호공	a	0.08	0.10	0.008
사면보강공	a	0.08	0.25	0.020
결함도 지수				0.220
등 급				**B**

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

<표 37-109> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

37.6 종합평가

37.6.1 종합평가 개요

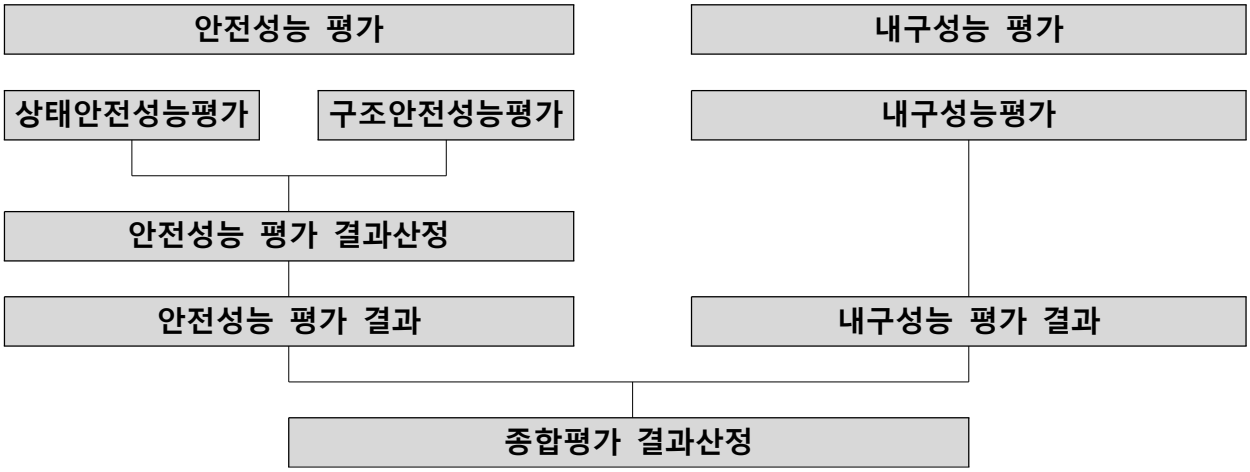
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 37-16> 종합평가 흐름도

37.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 37-110> 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 37-111> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토37		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.140	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.220	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.140 × 0.8) + (0.220 × 0.2) = 0.156 ㅇ종합평가 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 37-112> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

37.7 유지관리 전략 제안

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

37.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 37-113> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

37.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.156)"으로 평가되었다.

<표 37-114> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.140	0.220	0.156
평가결과	A	B	B

37.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 37-115> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	숏크리트	들뜸	단면보수	일부보수
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능과 동일한 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

37.8 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. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 구간 숏크리트 들뜸이 조사되었으나, 사면의 안정성에 영향을 미칠만한 수준은 아닌 것으로 확인되었다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 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.

제38장 영천절토38

38.1 대상 시설물 현황

38.2 관련 자료의 분석

38.3 현장조사

38.4 안전성능평가

38.5 내구성능평가

38.6 종합평가

38.7 유지관리전략 제안

38.8 종합결론

제38장 영천절토38

38.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 54.478~54.928km)에 위치한 사면으로서 총 연장 450.0m, 높이 42.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 38-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000017		**관리번호**	SY SL38
시설물명	영천절토38		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 부계면 창평리		
	위치좌표	시점 : 36° 08′21.3″ 128° 68′64.5″		
		종점 : 36° 08′15.3″ 128° 68′79.1″		
	관리이정	54.478~54.928km		
	공구이정	6공구 STA.10+260~10+710		
제 원	**연 장**	450m	**높 이**	42.0m
	경사/방향	55/035	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	10~20°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	지에스건설(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리		
비 고				



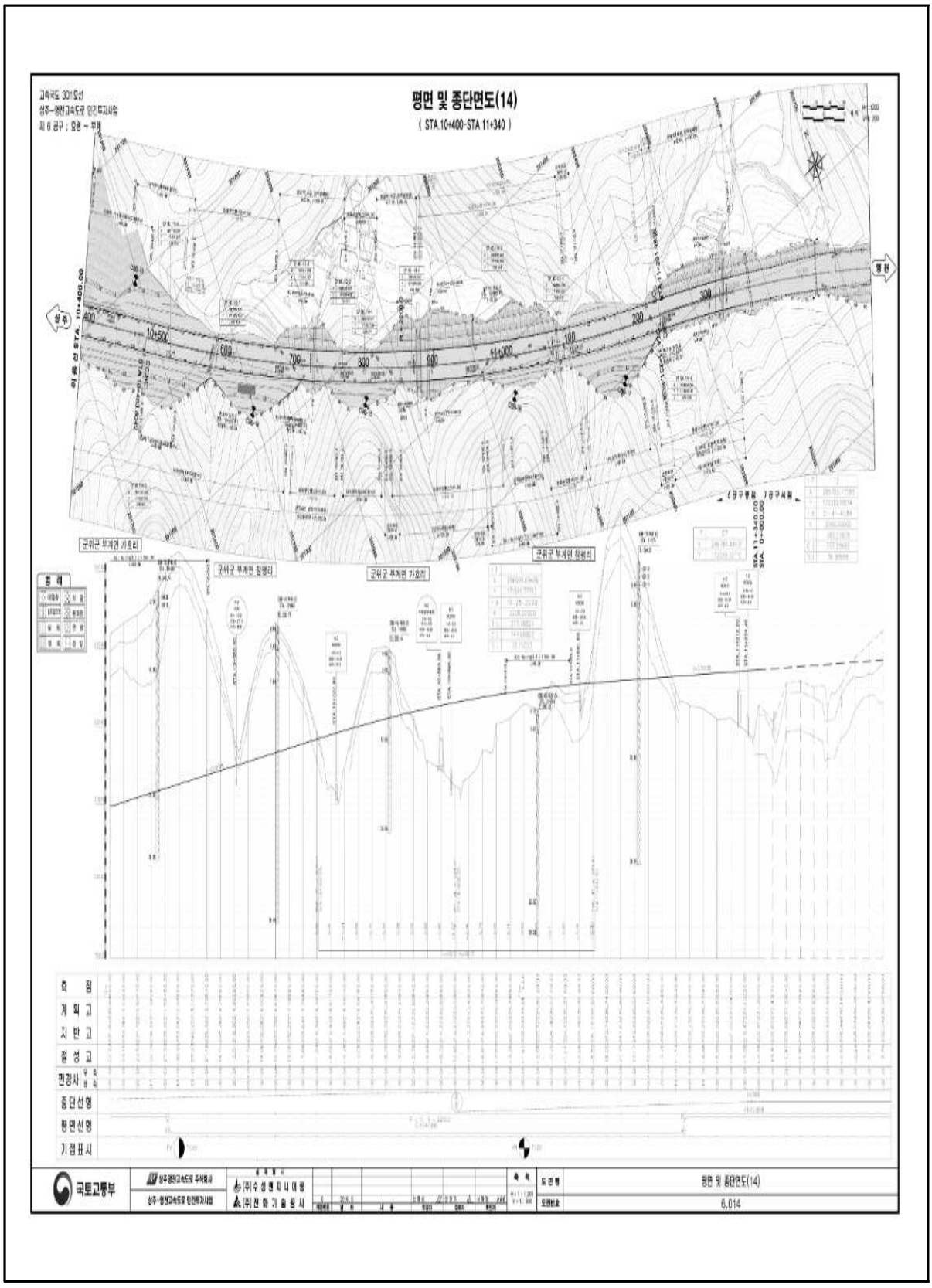
<그림 38-1>위치도



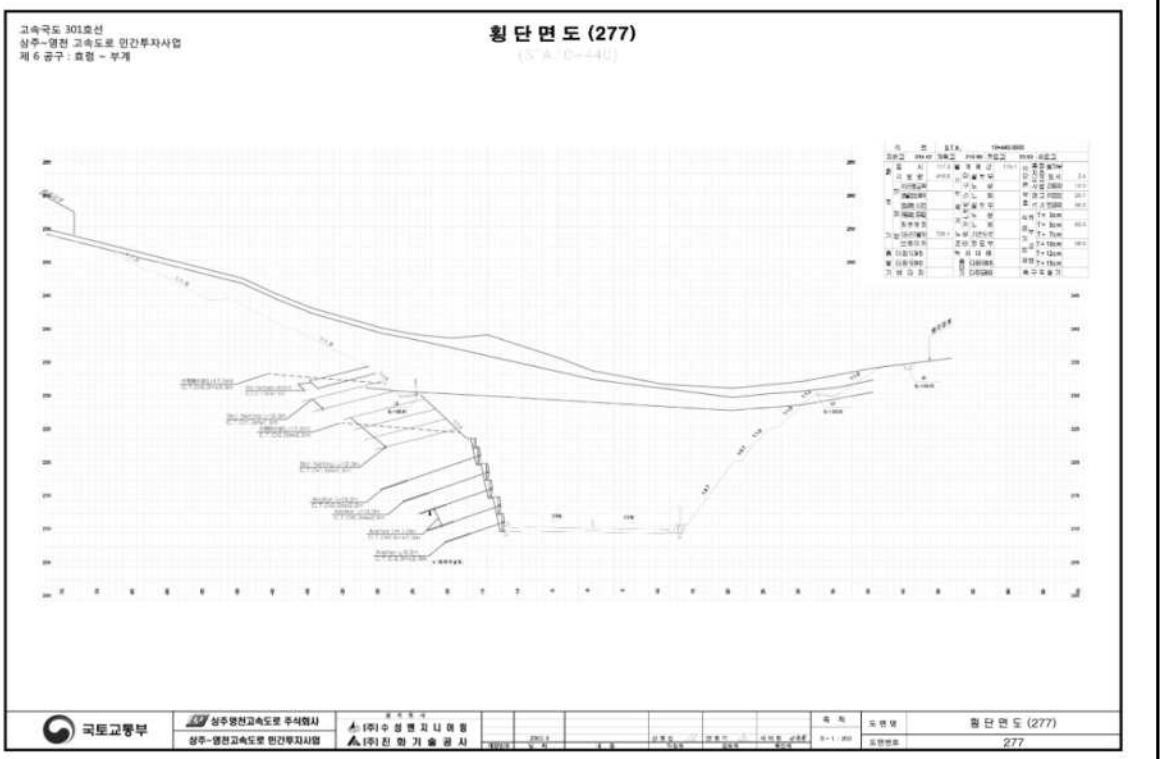
<그림 38-2> 전경사진

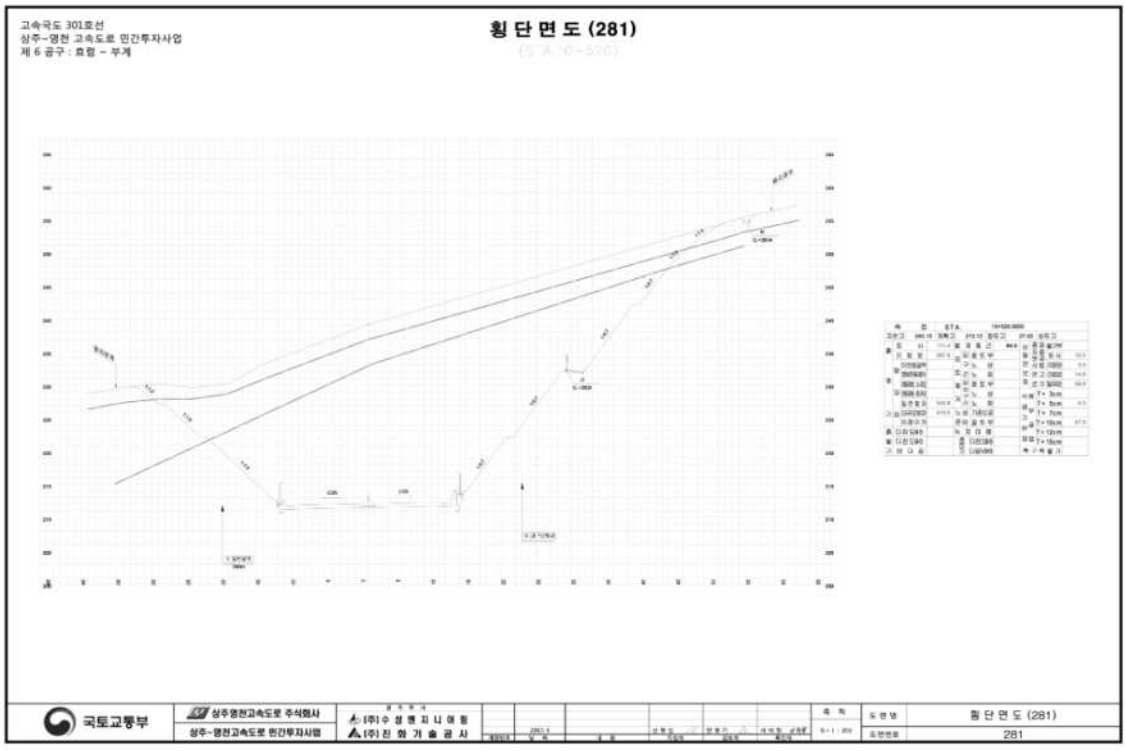
	
정면 전경	정면 전경
	
수직도수로 전경	1소단 배수로 전경
	
하부 전경	산마루측구, 점검계단 전경

<그림 38-2> 전경사진(계속)


평면 및 종단면도(14)
(STA.10+400-STA.11+340)
고속국도 30호선
상주-영천고속도로 안전투자사업
제 6 공구 : 화북 ~ 무계
STA. 10+400.00
STA. 11+340.00
군위군 부계면 가호리
군위군 부계면 창평리
범 례
측 점
계 획 고
지 반 고
절 성 고
편경사
종단선형
평면선형
기점표시
국토교통부
상주-영천고속도로 추시확사
상주-영천고속도로 안전투자사업
(주)수 성 엔 지 니 어 링
(주)산 하 기 술 공 사
도면명
평면 및 종단면도(14)
도면번호
6.014

<그림 38-3> 평면도





<그림 38-4>표준횡단면도

38.2 관련 자료의 분석

38.2.1 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 38-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종・횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수・보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

38.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

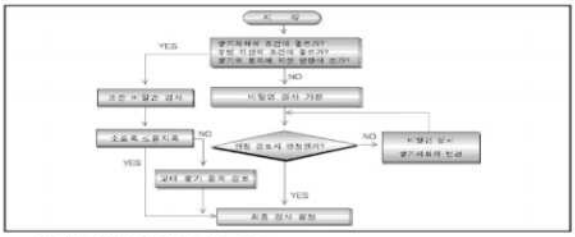
7.4 비탈면 설계기준

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

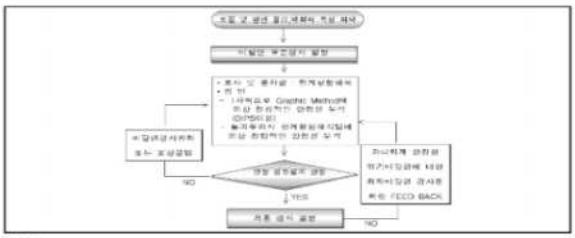
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 풍기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 암파임층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 바람직한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

253

다. 위기 비탈면

지반지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 융해이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 위기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지질조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	경 사	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

주) 1. 실트는 점성토로 간주, 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내외 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 연약지반 분포여부, 성토체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분		최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor)	
건설교통부	건설공사 비탈면 설계기준 (2006년)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
		우기시	Fs ≥ 1.3
		지진시	Fs ≥ 1.1
한 국 도 로 공 사		도로설계요령	Fs ≥ 1.3
항 만 협 회		항만시설 기술상의 기준, 동해설	Fs ≥ 1.5

나. 위기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 위기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 위기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분	최 소 안 전 율	
건설공사 비탈면 설계기준(2006)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석)	Fs ≥ 1.2
	지진시	Fs ≥ 1.1
도로설계요령 (2000)	건기시(지하수위 미고려)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지하수위는 지표면에 위치)	Fs > 1.1~1.2
	지진시(미국 D'APPOLONIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준)	Fs > 1.1~1.2
미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975)	실내시험에 의해 강도를 구할 경우	1.5 > Fs > 1.3
	최대지진가속도를 고려함때	1.2 > Fs > 1.0
NAVFAC - DM 7.1-329	하중이 오래 작용할 경우	Fs > 1.5
	구조물 기초인 경우	Fs > 2.0
	일시적인 하중이 적용할 경우 및 시공시	Fs > 1.35 or 1.25
	지진하중이 작용하는 경우	Fs > 1.2 or 1.15

255

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 지표지질 조사

4.1.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

·이 지역의 지질은 백악기 경상층군의 중·하부층인 진주층 상부로부터 최상부의 지인층까지 분포하고 있으며 경상층군 상부에 해당하는 신라아층군에는 유희암층이 협재되어 있음

·이 층을 불공산화강암류 비롯해서 산성 또는 중성 백암과 규장암 등이 관입하고 있음

나. 지형특성

군위군계의 팔공산(해발 1193m)을 최고봉으로 동서로 긴 산맥을 이루고, 점송군계의 보현산(해발 1124m)에서 서쪽으로 산맥을 이루며 방각산(해발 750m)에 이르러 북서로 배봉과 북두산 (해발 879m), 목녀봉(해발 564m)으로 연결되는 산맥과 남서로 방가산(해발 755m)-화산 (해발 828m)-형암산(해발 556m) 으로 이어지는 산등을 이룸

동부는 노고산-화산, 북서로 조림산(해발637m), 매봉산 (해발 489m) 능선, 마정산(해발 402m), 물부리산(해발 354m), 건지봉(해발 471m) 등이 위치함

서부는 팔공산에서 분리된 시루봉(해발 714m)과 북서로 발달된 긴 능선, 적라산(해발 352m), 남북으로 길게 뻗은 물부리 산등, 북부의 점화산등에서 남동-남-북서로 발달하는 성산(해발 692m) 능과 상봉산(해발 448m) 북동부에서 남남서로 발달되어 북부산 (해발 509m)으로 연결되는 긴 능선과 낮은 구릉들로 이루어짐

보현산 서쪽 산등지에서 발원하는 고현천과 안천, 신녕천과 용호천이 각각 합류하여, 금호강으로 유입되어 남류하고, 북으로 발원하여 흐르는 위천에 구천이 합류하고, 영천시 북서부 팔공산-우계산 계곡에서 발원 하여 북으로 흐르는 사장천이 남천에 합류되어 호령권에서 위천으로 유입되고, 군위읍 동부에서 서류하는 신만천이 위천에 합류되며, 위천은 사월하면서 북동류하여 상주군 낙동면에서 낙동강으로 유입됨

다. 분포암종 특성

구 분	지질특성	지질도
돔형층 (진주층)	·역암 또는 역질사암을 기저로 하는 암회색 세암로 구성 ·대체로 NNE의 주향과 10°~15°SE의 경사를 이룸	
일직층 (칠곡층)	·역암, 역질사암, 사암, 실트스톤, 이회암, 이암 및 세암로 구성 ·대체로 N10°~15°E 주향과 10°~15°SE 경사 이룸	
산성 및 중성 암맥	·주로 산성암맥이며, 인산암질 암맥도 일부 분포 ·지질적으로 저지대를 형성 데일리스 및 충적층에 의해 피복되어있으며 일부는 낮은 구릉의 형태를 보임	

라. 지질 계통도

지질시대		층 명	특 성	비 고
제4기		충적층(Qa)	·하천 및 산록 퇴적물	
		~~ 부정합 ~~		
중생대	백악기	산성암맥(Kad) 중성암맥(Kd)	·괴상의 치밀	·전 구간에서 기반암을 관입
		── 관입 ──		
		유천층군 안산암질암(Kat)	·주로 응회암으로 구성	·분포하지 않음
		── 관입 및 분출 ──		
		하양층군 일직층(Ke4)	·사암, 적색 이사질 세암, 역암 ·주로 사암이 우세	·4공구 종점부 및 5공구 종점
		신동층군 진주층(Ke3)	·역질사암, 사암, 세암의 교호 ·하부층에서 이회암 호층 분포	·5공구 전 구간
		~~ 부정합 ~~		
선캠브리아		화강암질 편마암(Pcggn)	·엄리가 부분적으로 발달 ·괴상의 치밀	·10공구 일원 일부 분포

4.1.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 면공위성영상 분석

■ 목 적

·과업지역의 광역적인 지형 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

■ 원리 및 방법

·30m급 해상도의 Landsat5 TM 위성영상을 이용하여 분석실시

·선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용

·식생지수, 습윤도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

■ 위성영상결과

선형공간필터링분석	공간필터링	위성영상 분석
·고주파강조 Laplacian 필터를 적용 인공적 선구조 판별 ·농경지와 수로 등 지지대 인공구조물이 잘 판별됨	·영상 내의 지형 또는 선구조의 방향성에 관계없이 지형 지질의 에지를 검출 ·선구조 특징 판독에 유용한 자료임	·68개의 대, 소 선구조 파악 ·우세한 방향은 N80°~90°W로 나타남 ·과업노선과 4개의 선구조 교차

나. 조사결과

■ Scanline-106



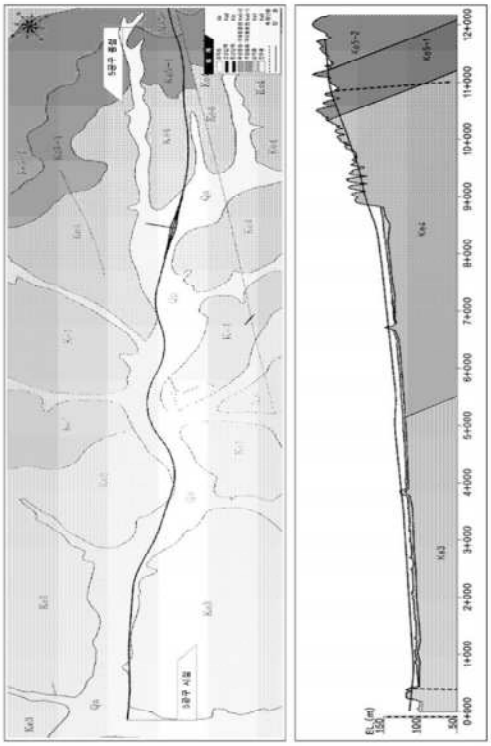
·분포암상 : 일직층
·조사위치 : 168402.360,289559.192

Contour Diagram	Rose Diagram

Set 1 (Dip/Dipdirection)	Set 2 (Dip/Dipdirection)	Set 3 (Dip/Dipdirection)	Set 4 (Dip/Dipdirection)
03/139	86/287	83/001	86/041

구분		Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
간격 (cm)	평균	m = 21.9965, δ = 16.5765	m = 26.3714, δ = 27.2627	m = 65.9231, δ = 105.8647	m = 62.1875, δ = 54.8022
	확률밀도함수				
	지택	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	함수	m = 15.3733, δ = 0.9252	m = 16.5684, δ = 1.0220	m = 20.3047, δ = 1.6257	m = 40.0803, δ = 1.0038
연장 (m)	평균	m = 24.9574, δ = 4.2424	m = 2.2778, δ = 1.4262	m = 1.5714, δ = 0.6227	m = 2.4706, δ = 1.8508
	확률밀도함수				
	지택	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	음지수분포
	함수	m = 24.6009, δ = 0.1696	m = 1.9118, δ = 0.5857	m = 1.4556, δ = 0.3887	m = 2.4706, λ = 0.4048
JRC	평균	m = 5.0000, δ = 1.6631	m = 4.8333, δ = 1.4814	m = 5.6429, δ = 0.8950	m = 5.5882, δ = 1.8169
	확률밀도함수				
	지택	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	정규분포
	함수	m = 4.7068, δ = 0.3607	m = 4.5667, δ = 0.3576	m = 5.5717, δ = 0.1600	m = 5.5882, δ = 1.8169
JCS (kg/cm²)	평균	m = 660.9575, δ = 300.0392	m = 756.8889, δ = 398.3462	m = 676.3571, δ = 300.7509	m = 666.4117, δ = 286.7381
	확률밀도함수				
	지택	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	함수	m = 631.3926, δ = 0.4186	m = 676.6459, δ = 0.4700	m = 621.9618, δ = 0.3949	m = 600.0007, δ = 0.4171

■ 지질종평면도



3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업 실시설계(6공구)

1.2 조사목적

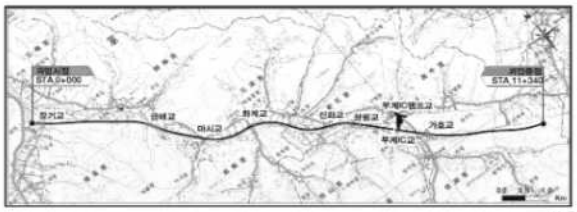
• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조사범위

위치
·시점 : 경상북도 군위군 군위읍 효령면(STA. 0+000)
(X=293577.5190 , Y=163274.3124)
·종점 : 경상북도 군위군 군위읍 이북면(STA. 11+231)
(X=286819.0783 , Y=171952.6914)
·연장 : 11.231km



1.4 위치도



1

제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행 흐름

가. 조사 기본방향

조사계획 수립
·지형 및 지질 특성을 고려한 조사 범위 및 일정계획 수립
·위성영상 분석을 통한 광역적 선구조 분석 및 세부 조사항목 선정

단계별 조사 수행
·선구조 분석 및 물리탐사를 통한 중점검토사항 및 주요조사항목 선정
·상세조사를 통한 지반정보자료 파악 및 분석 수행

우수하고 경제적인 설계 수행을 위한 상세 지반정보 제공

·시추조사 및 각종 현장시험 시행하여 구간별 상세지층 분석
·지반의 공학적 성질 분석으로 교량 기초 설계를 위한 기초 자료 제공
중점검토구간 정밀조사 수행

·지반조사 결과 분석으로 구간별 최적의 설계지반정수 산정
·균질점리영역 분류를 통한 불연속면 특성 상세 분석
신뢰성 높은 분석 및 설계활용 극대화

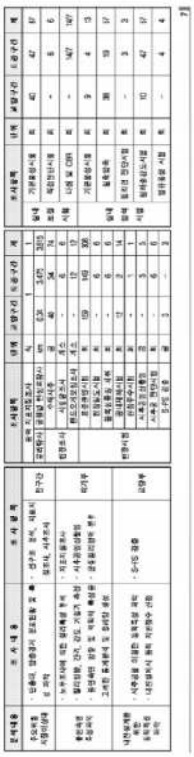
나. 조사 수행 흐름도

조사 수행절차	단계별 조사항목	조 사 목 적
사전 조사	·기존자료 분석 - 지형도 및 지질도 분석	·과업구간 현황 및 지반 공학적 문제점 파악 ·기본계획 자료 검토 및 활용
예비 조사	·광역지표지질조사 ·물리탐사 ·시추조사 및 현장시험 ·실내토질 및 실내암석시험	·단층 및 광역선구조 발달 상태 파악 후 상세조사 계획 수립 ·지층구분 및 구조대 파악 후 중점 검토 구간 설정
상세 조사	·정밀 지표지질조사 ·물리탐사 ·굴절법 탄성파 탐사 ·현장조사 - 시추조사, 시험굴조사 ·현장시험 - 공내재하시험, 시추공전단시험, S-PS검층, 공내영상촬영 등	·지질 이상대 및 위험예상 구간 (단층, 암종 경계) 분석 ·강도정수 및 변형계수산정 ·지층분부 및 지반특성 파악 ·불연속면 특성 및 동적 특성 파악 ·인근구조물에 대한 영향 검토
설계 반영	·결과 비교 및 종합분석	·구간별 설계지반정수 산정

3



2.3 조사 수행현황
2.3.1 조사 위치



2.3.2 조사 항목 및 수량

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대규기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태의 안정성을 고려한 안정 비탈면경사 결정 및 대책 공을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 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 경사 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이기 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

239

구 분	선 정 기 준
쐐기부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 쐐기재료의 암수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지질특성으로 인하여 쐐기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 빈번하는 경우 · 흥수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 쐐기비탈면의 원지반이 암호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
쐐기부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 복적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 풍수가 많은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 경사진 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)	대표단면 (STA.)	최대 쐐기고	지층현황	조사내용 공번	조사내용 조사위치 (STA.)	비 고
쐐기구간	쐐기1구간	0+340 ~2+430	2,090	0+440(상주방향)	13.9m	풍화도 심한암반	CB9-1 참조	0+357 (우 24.0)	
	쐐기2구간	2+740 ~3+840	1,100	2+960(영천방향)	8.2m	매트층 퇴적층 풍화도 심한암반	SB8-5	2+952 (우 2.2)	
	쐐기3구간	3+880 ~4+920	1,040	4+800(상주방향)	11.5m	매트층 퇴적층 풍화암	SB8-12	4+774 (우 14.0)	
	쐐기4구간	4+940 ~5+647	1,707	4+980(영천방향)	14.0m	매트층 퇴적층 풍화암	SB8-26	4+931 (좌 6.5)	
	쐐기5구간	6+093 ~7+257	594	7+240(상주방향)	10.7m	잔류층 퇴적층 풍화암	SB8-29	7+259	
	쐐기6구간	7+290 ~8+080	790	7+460(영천방향)	9.7m	매트층 퇴적층 풍화암	SB8-30	7+297	
	쐐기7구간	8+110 ~8+680	600	8+680(영천방향)	14.2m	매트층 퇴적층 풍화암	SB8-35	8+713 (좌 7.3)	

7.6 비탈면 안정해석 및 검토

7.6.1 개요

가. 쐐기구간

본 지역에서의 쐐기비탈면 안정해석은 쐐기구간 중 쐐기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 몬사루영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 쐐기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안정된 비탈면경사의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

- 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 1.5 이상, 우기시 1.2 이상으로 적용하였다.
- 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반 노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.
- 결과를 근거로 암반파쇄 상태에 의한 쐐기 경사는 암석별 쐐기 적정경사를 기준으로 암반비탈면 경사를 결정하였다.
- 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 경사방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.
- 암반비탈면 경사에 따라 상부층의 토사비탈면 안정성 검토는 Talren 97 Program을 이용하여 원호활동 파괴로 검토함을 원칙으로 하였다. RQD = 0~10%의 암석은 연암이라 하더라도 암반이 큰 COBBLE 상태에서 거동하는 것으로 사료되므로 풍화암과 같은 특성으로 고려될 수 있다. 이와 같은 경우 암반은 절리면을 따라 파괴하기 보다는 원호활동 파괴의 경향을 보이므로 풍화암과 토사층을 포함하여 검토하였다.

나. 쐐기구간

본 쐐기구간은 산지지형 말단부의 편측쐐기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쐐기로서 진입도로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 출현 여부를 확인하기 위하여 Hand Auger Boring을 실시하였다. 쐐기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쐐기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쐐기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 쐐기 경사 평가 및 검토를 암석별 쐐기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 쐐기비탈면 경사 검토]

구분 \ 구간	검토구간 (STA.)		시추번호	암반 특성에 따른 비탈면 경사 암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	적용 경사
쐐기 1구간	0+220 ~0+450	영천방향	CB8-1	사암 및 니질암	81~100	27~58	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 2구간	지방도919호선 0+040~0+360	상주방향	CB8-3	사암 및 니질암	97	17~39	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 3구간	6+500 ~6+900	상주방향	CB8-5	사암 및 니질암	73~100	8~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쐐기 4구간	8+860 ~9+340	상주방향	CB8-7	사암 및 니질암	46~100	0~90	1:0.5	1:0.5	1:0.5
			CB8-9	사암 및 니질암	100	29~75	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쐐기 5구간	9+340 ~9+750	상주방향	CB8-10	사암 및 니질암	95~100	14~82	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 6구간	9+770 ~10+180	상주방향	CB8-11	사암 및 니질암	54~100	0~63	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 7구간	10+180 ~10+380	상주방향	CB8-12	사암 및 니질암	87~100	10~69	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 8구간	10+380 ~10+580	상주방향	CB8-13	니질암	58~100	0~76	1:0.5	1:1.0	1:1.0
쐐기 9구간	10+380 ~10+700	영천방향	CB8-14	니질암	59~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쐐기 10구간	10+750 ~10+840	영천방향	CB8-15	니질암	48~100	11~100	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쐐기 11구간	10+970 ~11+080	영천방향	CB8-16	사암 및 니질암	65~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쐐기 12구간	11+080 ~11+220	영천방향	CB8-17	사암 및 니질암	31~100	0~97	1:0.5	1:0.7	1:0.7

■ 지반조사 위치도

1. 위치도



2. 수량

조사항목		단위	계획구간	토공구간	계
공통	광역 지표지질조사	식	1		1
물리탐사	굴절법 탄성파탐사	km	0.84	1,471	3,815
원위치 시험	수직시추	공	40	38	78
	시험굴조사	개소	–	6	6
	웰드오거보링조사	개소	–	12	12
실내 토질 시험	표준관입시험	회	155	149	304
	휨압밀시험	회	–	6	6
	투수(변수위) 시험	회	–	6	6
	공내재하시험	회	12	2	14
	현장주수시험	회	–	1	1
	시추공간상용층	공	–	5	5
	시추공 전단시험	회	–	6	6
실내 암석 시험	S-파 정층	공	6	–	6
	기본물성시험	회	40	–	40
	직접전단시험	회	–	6	6
	다축 및 CBR	회	–	14/7	14/7
	암축압축/점성	회	38/9	19/4	57/13
	절리면 전단시험	회	–	3	3
	경매중강도시험	회	10	47	57
	암석용사 시험	회	–	4	4
				계	87

38.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 38-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토38 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 균열, 산마루측구 균열, 실란트 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2038. 05. 28 ~ 2038. 06. 30	정기안전점검	영천절토38 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 균열, 산마루측구 균열, 실란트 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2038. 10. 23 ~ 2038. 12. 31	정기안전점검	영천절토38 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 균열, 산마루측구 균열 및 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	영천절토38 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 균열, 산마루측구 균열 및 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토38 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 파손이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

38.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 38-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

38.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 38-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

38.2.6 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 38-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

38.3 현장조사

38.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 38-7> 일반현황

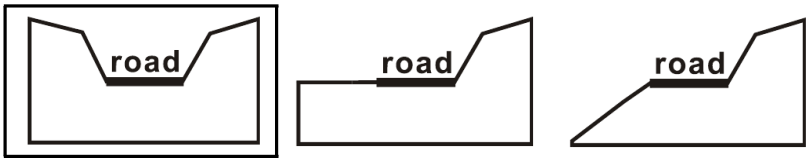
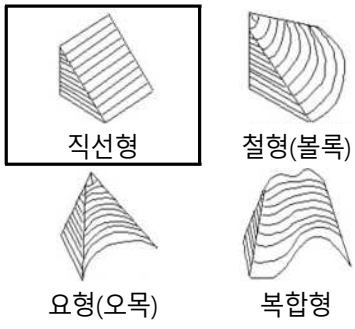
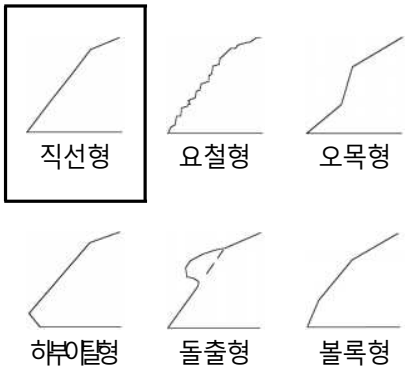
조사일자	2020. 05. 18.	**조 사 자**	장 진 원
일 기	맑음	**준공년도**	2017년 06월 27일
행정구역	경상북도 군위군 부계면 창평리		
위 경 도	시점 : 36° 08′21.3″ 128° 68′64.5″		
	종점 : 36° 08′15.3″ 128° 68′79.1″		
절토사면	길 이 : 450m	높 이 : 42.0m	
	경 사/경사방향 : 55/035		
	구성물질 : 암반	토층심도 : 약 1.0~5.0m	
	소 단 : 6		
낙석/뜬돌	낙석 존재유무 : 없음	낙석의 양 : -	
	낙석 평균크기 : - 낙석 최대크기 : -		
	뜬돌 존재유무 : 없음	뜬돌의 양 : -	
	뜬돌 평균크기 : - 뜬들 최대크기 : -		

절토사면 시공현황	**종 류**	**위 치**	**상 태**
	식생공	54.478~54.928k	양호
	산마루 측구	54.478~54.928k	균열
	소단배수로	54.638~54.768k	균열
	수직도수로	54.798k	양호
	낙석방지울타리	54.608~54.908k	양호
	점검용 계단	54.778~54.818k, 54.898~54.928k	양호

붕괴이력	**유 형**	**규 모**	**위 치**

기 타	·

<표 38-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 38-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토38		
	위경도	시점 : 36° 08′21.3″ 128° 68′64.5″ 종점 : 36° 08′15.3″ 128° 68′79.1″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	450.0m	최대높이	42.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	5개소
	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~5.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) □옹벽 □격자블럭 ■점검로(양호)		□낙석방지망 ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소 견	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			

38.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 54.478~54.928km)에 위치한 사면으로서 총 연장 450.0m, 높이 42.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 38-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{27.0}=0.11$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 113.2~116.9㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.4}{27.0}=0.015$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{35.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 113.2~116.9㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{35.0}=0.014$로 0.01초과	절리암반	

<표 38-10> 절토비탈면 분류(계속)

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{42.0}=0.12$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.2~116.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{42.0}=0.011$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 450m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 수직도수로 및 구성재료 등을 참고하여, 3개구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 38-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	54.478~54.678km	200m
2구간	54.678~54.798km	120m
3구간	54.798~54.928km	130m

38.3.3 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 10~20°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이며, 사면내 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 38-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1 / 1.0	-	
	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)~심한풍화(HW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 38-13> 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 38-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	85/113	87/041	11/096
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	거칠음	거칠음	거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	MW
구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	86/111	88/040	10/095
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	SW	SW	SW
구 분	3구간		
	Set 7	Set 8	Set 9
방향성	80/101	86/060	11/089
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	거칠음	거칠음	거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	HW	HW	HW

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 38-15> 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 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있다.

조사결과 배수시설의 경우 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없으나 종방향 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 38-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	4EA / 8.0	건조수축	
	산마루측구	균열	m	1EA / 1.5	건조수축	

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 38-17> 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 38-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 38-19> 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 38-20> 인장균열 조사 결과

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

38.3.4 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 총 9개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 38-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
54.658km	54.9	115.9	경암	
54.668km	53.9	110.7	경암	
54.678km	54.4	113.2	경암	
54.718km	54.7	114.6	경암	
54.728km	53.4	108.6	경암	
54.738km	53.5	108.8	경암	
54.878km	54.1	111.5	경암	
54.888km	54.7	115.1	경암	
54.898km	55.1	116.9	경암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 53.4~55.1로 측정되었으며, 추정강도 108.6~116.9MPa로 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 38-22> 표면보호공 조사 결과

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



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 38-23> 사면보강공 조사 결과

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

38.4 안전성능평가

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

38.4.1 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 0.11~0.14로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 파쇄암반, 절리암반 비탈면으로 평가된다.

<표 38-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{27.0}=0.11$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.2~116.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.4}{27.0}=0.015$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{35.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.2~116.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{35.0}=0.014$로 0.01초과	절리암반	
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{42.0}=0.12$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.2~116.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{42.0}=0.011$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 450m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 3구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~9로 표기하였다.

<표 38-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	54.478~54.678km	200m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	54.678~54.798km	120m	암반사면	Set4, Set5, Set6
3구간	54.798~54.928km	130m	암반사면	Set7, Set8, Set9

<표 38-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 38-27> 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 38-28> 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 38-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+5+5+10+10) / 6 = 5.7	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 38-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	거칠음	b
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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 38-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 38-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 38-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 38-34> 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 38-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 38-36> 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/sec^2) (u, β는 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 38-37> 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 10~20°	c
	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 38-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 38-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 38-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 38-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토38		
사면 종류	절토사면	구성재료		파쇄암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		5.7	3	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			8	
결함지수		0.08		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 38-42> 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	계곡부 1개소	b
	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 38-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

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 38-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+5+10) / 6 = 5.7	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 38-45> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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 38-46> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 38-47> 지하수 평가 결과(2구간)

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

<표 38-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

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

<표 38-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

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 38-50> 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 38-51> 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, β는 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 38-52> 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 10~20°	c
	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 38-53> 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 38-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 38-55> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 38-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토38		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		5.7	3	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			9	
결함지수		0.09		
상태안전성능평가 결과		**A**		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 38-57> 집수지형 평가 결과(3구간)

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 38-58> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

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 38-59> 불연속면 특성 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+5+5+16+10) / 6 = 7.7	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 38-60> 불연속면 세부 상태 평가 결과(3구간)

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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	거칠음	b
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 38-61> 지반변형 평가 결과(3구간)

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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 38-62> 지하수 평가 결과(3구간)

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

<표 38-63> 배수시설 평가 결과(3구간)

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

<표 38-64> 붕괴이력 평가 결과(3구간)

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 38-65> 낙석 발생 규모 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 38-66> 예상 낙석에너지 평가기준(3구간)

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, β는 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 38-67> 사면의 상부 상태 평가 결과 (3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 10~20°	c
	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			

자. 3구간 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 38-68> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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.

차. 3구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 38-69> 상태안전성능 평가 결과 범위(3구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 38-70> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(3구간)

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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 38-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		영천절토38		
사면 종류	절토사면	구성재료		파쇄암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		7.7	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			11	
결함지수		0.11		
상태안전성능평가 결과		**A**		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 38-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
450.0m	1구간	54.478~54.678km	a(0.08)	A	인장균열 없음
	2구간	54.678~54.798km	a(0.09)		
	3구간	54.798~54.928km	a(0.11)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

38.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

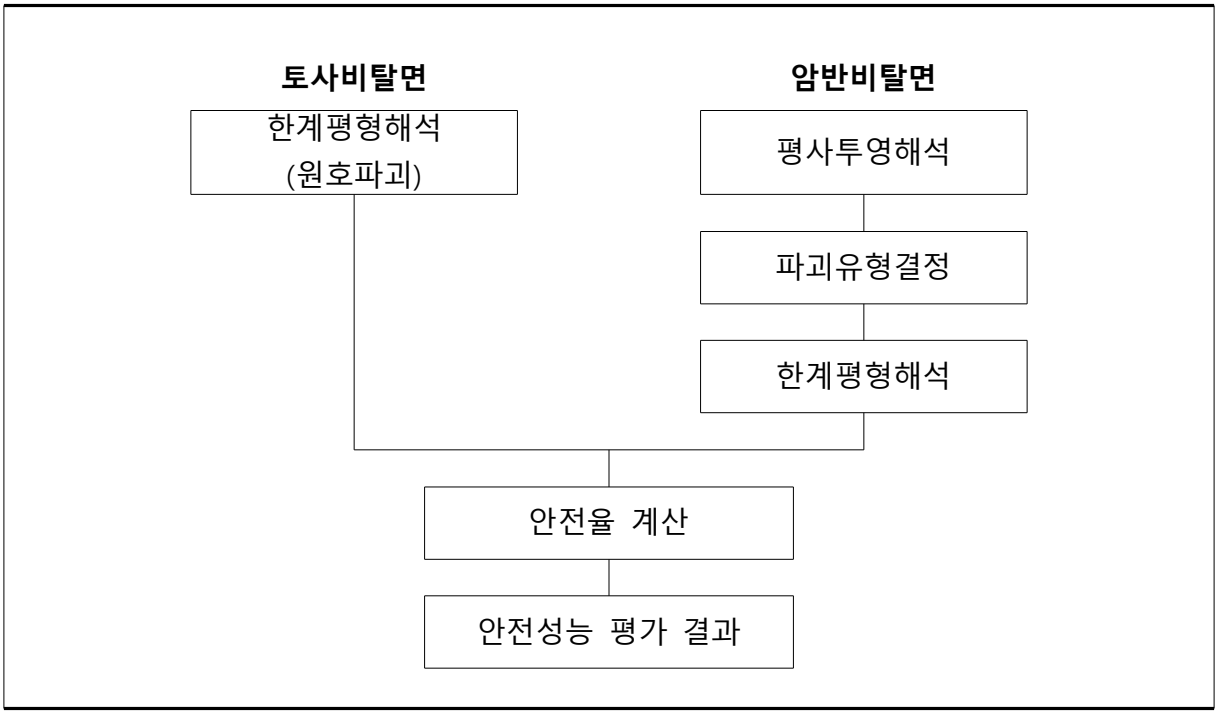
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 38-5> 구조안전성능 평가과정

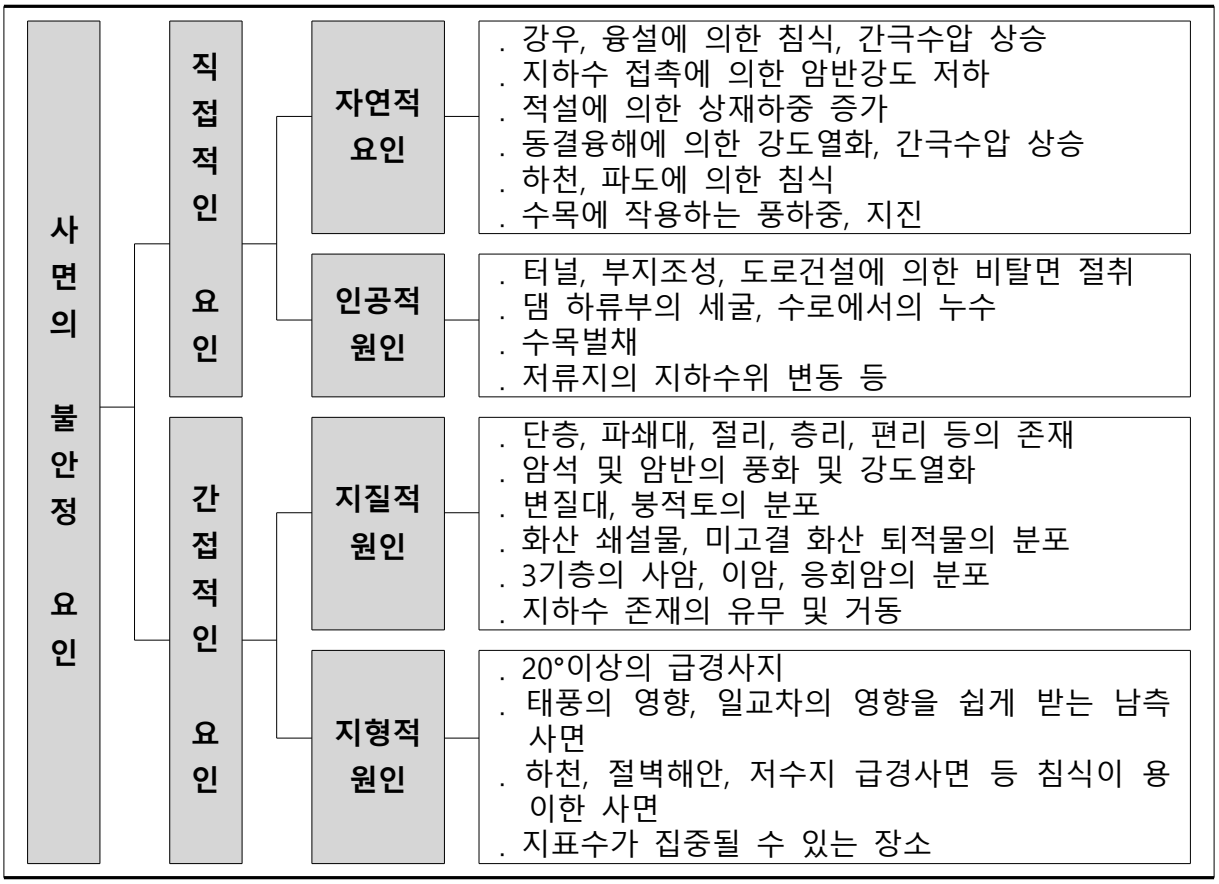
<표 38-73> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

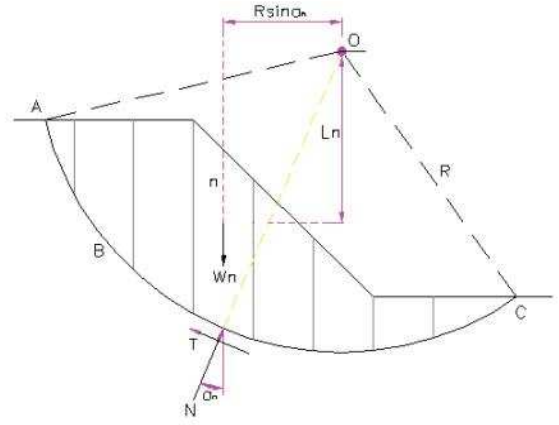


<그림 38-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

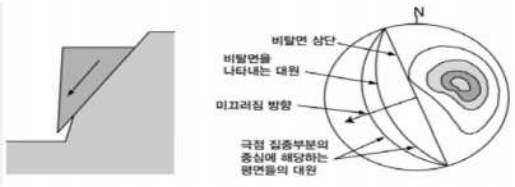
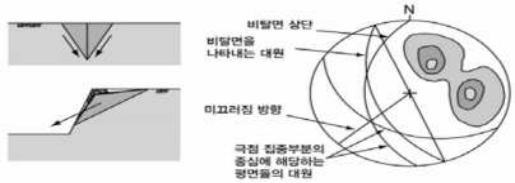
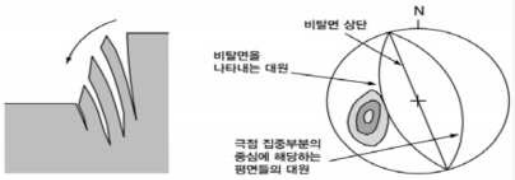
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 38-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 38-74> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 38-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

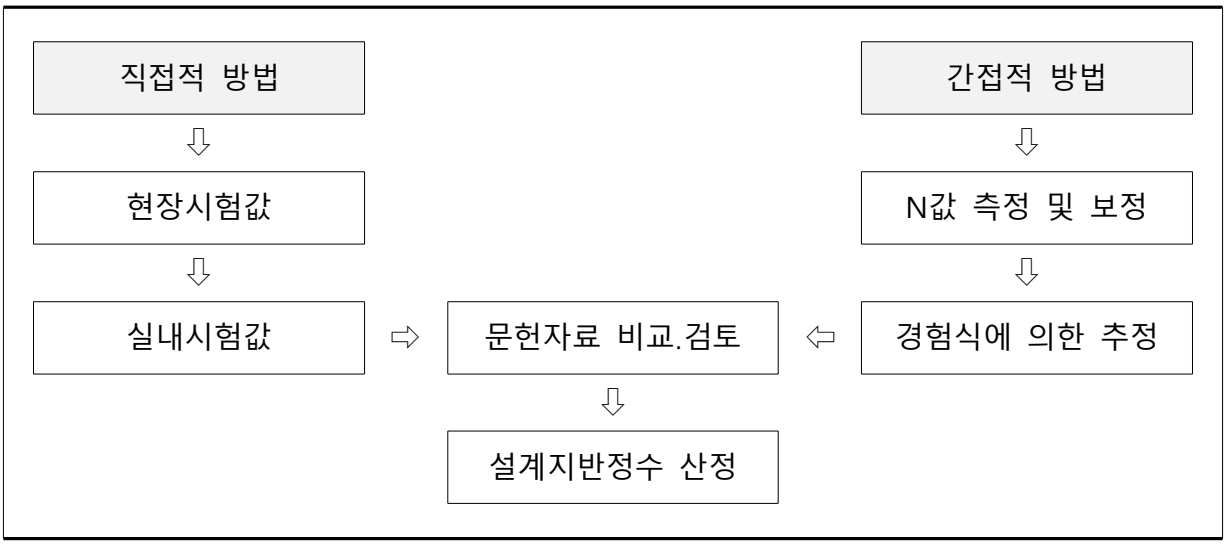
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 38-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 38-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 38-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 38-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 38-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (6공구)	풍화(잔적)토	19	28	20	
	풍화암	20	29	30	
	경 암	24	32	200	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 38-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 38-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~238.7	26.7±0.8	238.3±1.0	238.3±1.0	238.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 38-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 38-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 38-85> Trueman (1988)

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

<표 38-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 238.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19	28	20	0.3	
풍화암	20	29	30	0.3	
경 암	24	32	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 38-87> 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

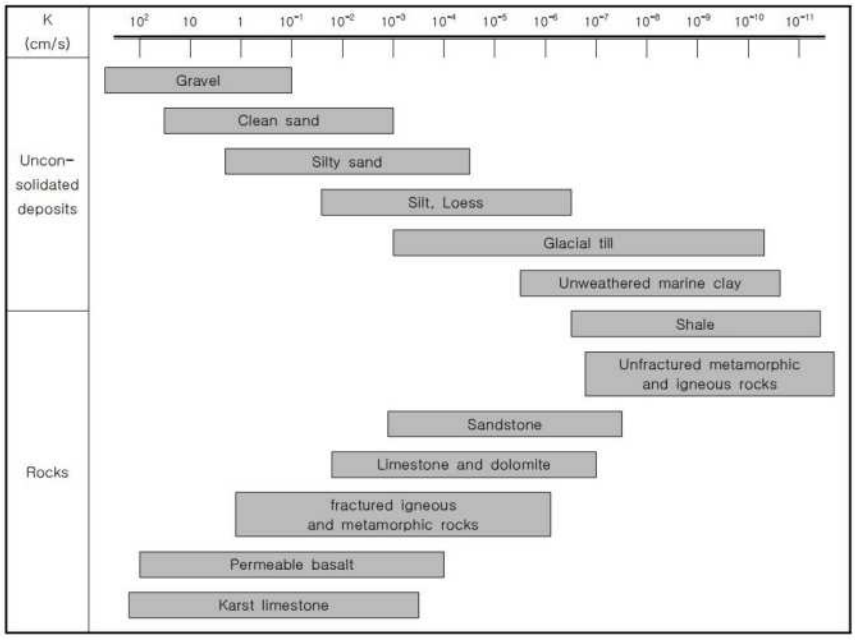
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 38-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 38-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 38-8> 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 38-90> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

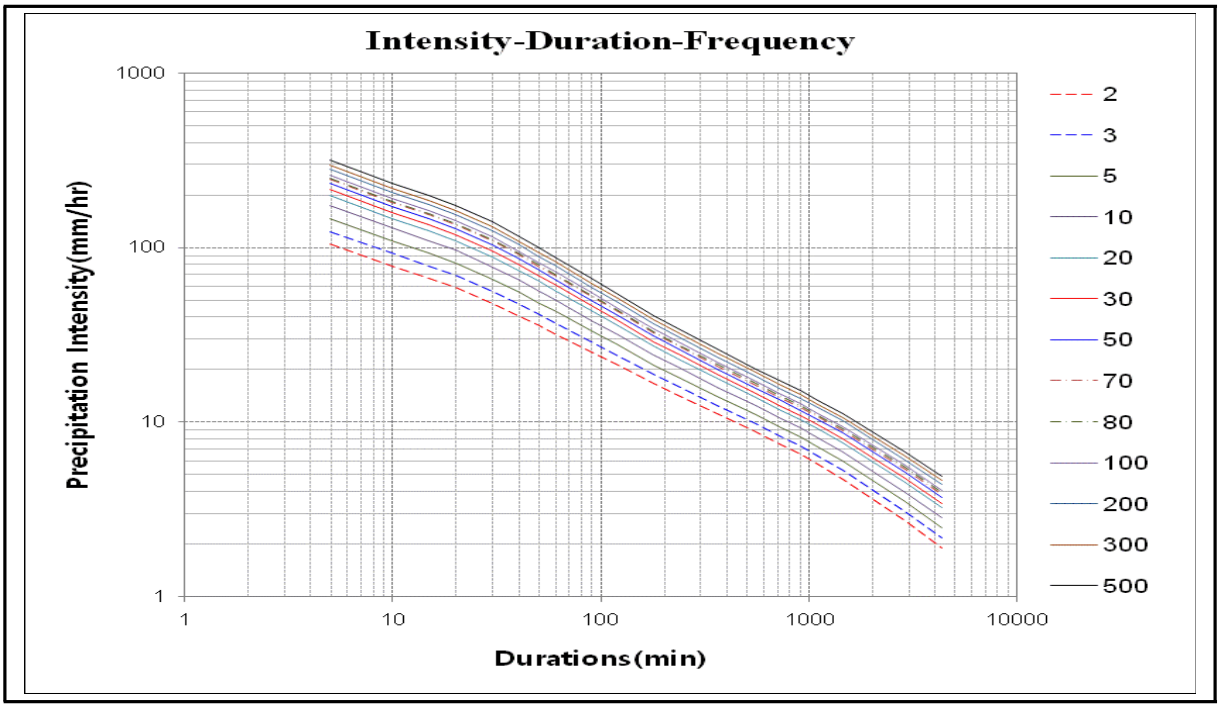
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 38-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 38-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 38-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 38-91> 설계지반운동 수준

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

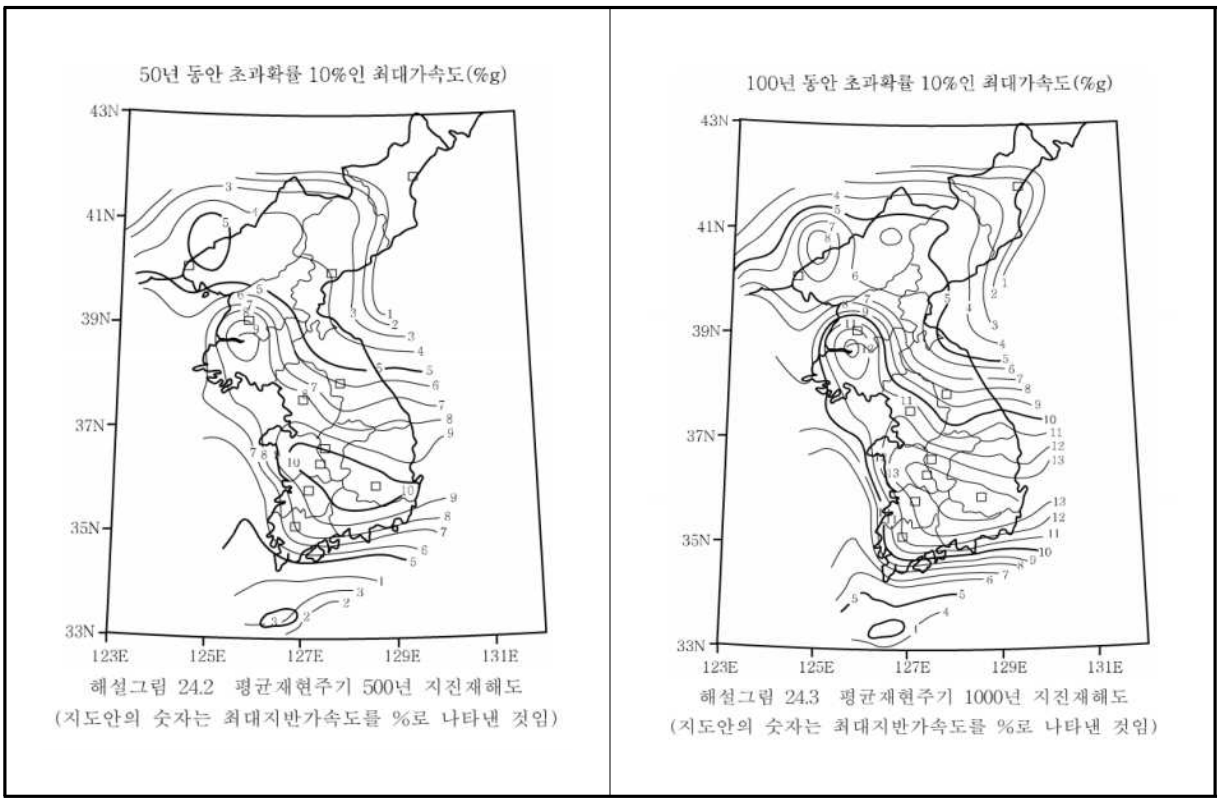
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 38-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 38-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 38-93> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

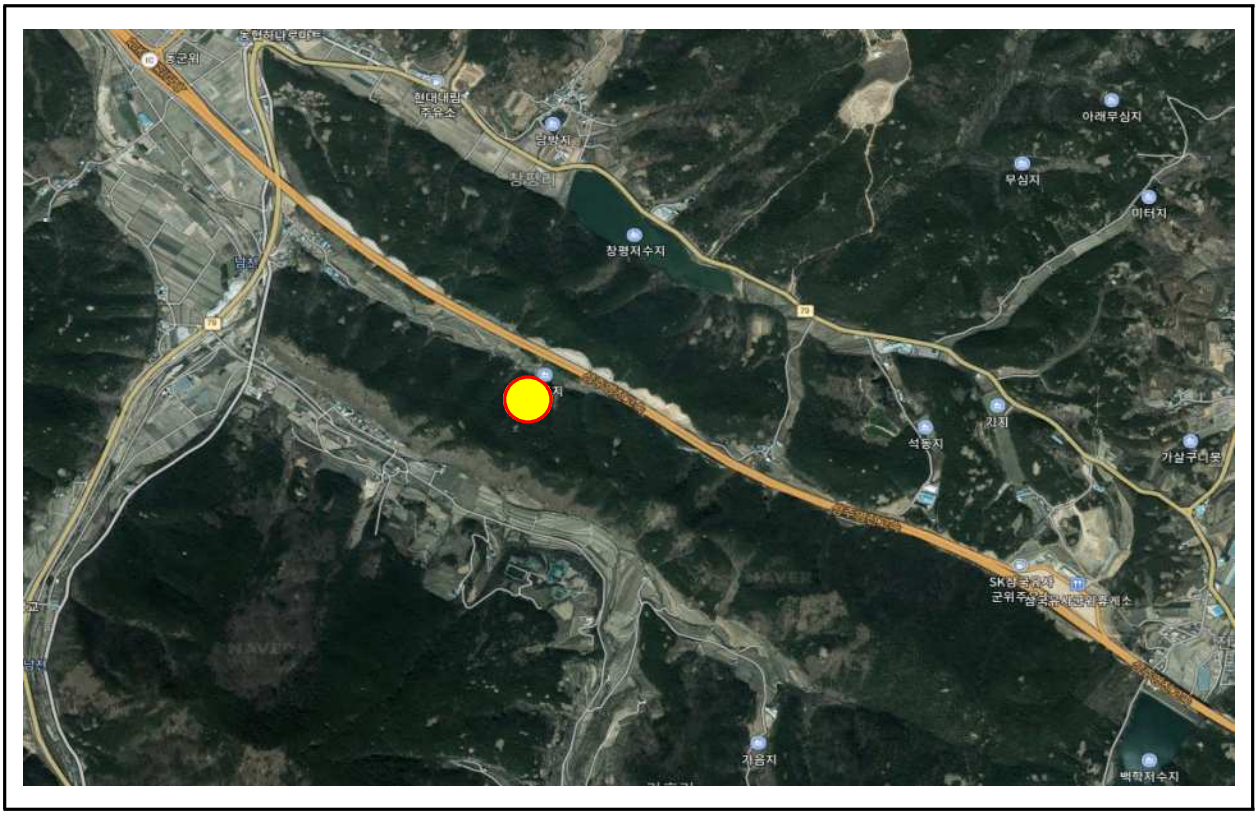
3) 지진가속도계수 선정

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 38-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

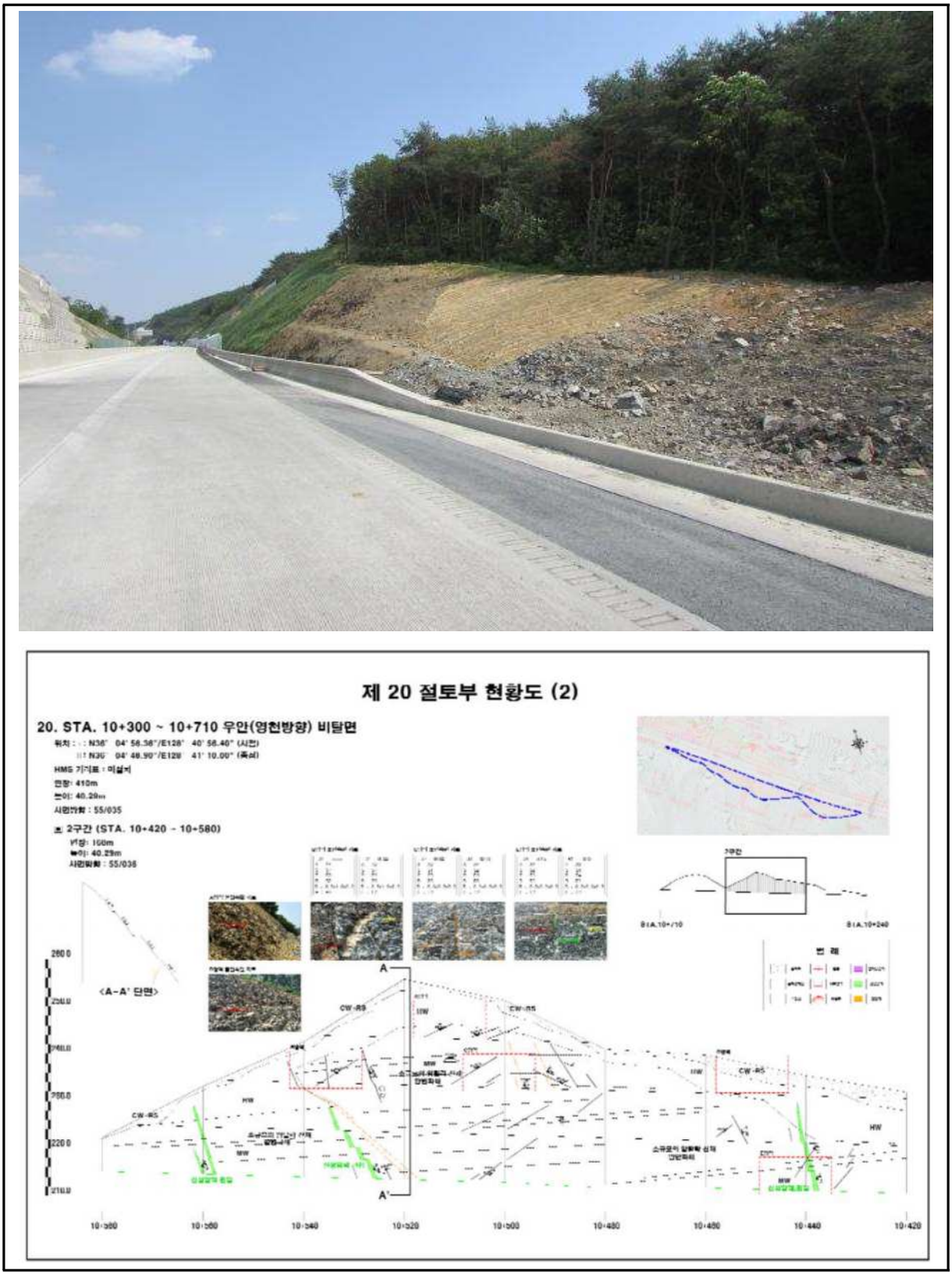
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토38	경상북도 군위군 부계면 창평리	54.478 ~ 54.928	STA.54+678	27.0	3.0	24.0	-	2017	55/035
			STA.54+738	35.0	5.0	30.0	-	2017	55/035
			STA.54+858	42.0	5.0	37.0	락볼트	2017	55/035



<그림 38-13> 영천절토38 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토38 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



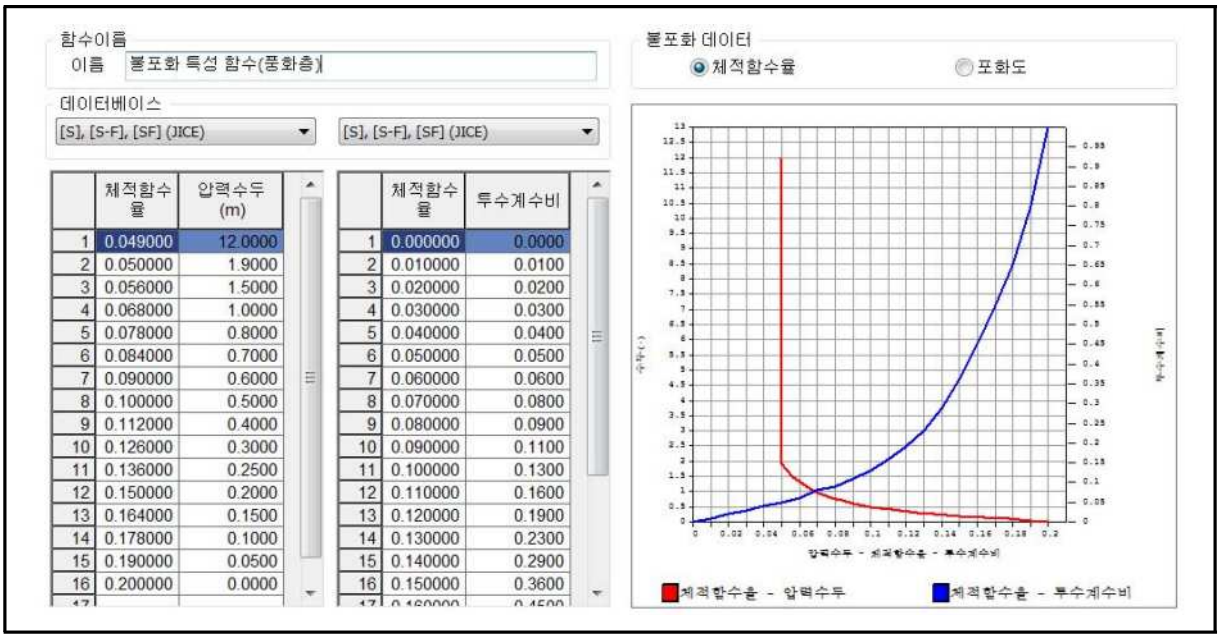
<그림 38-14> 영천절토38 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	19	28	20	1.0E-03	
풍화암	20	29	30	1.0E-04	
경암	24	32	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

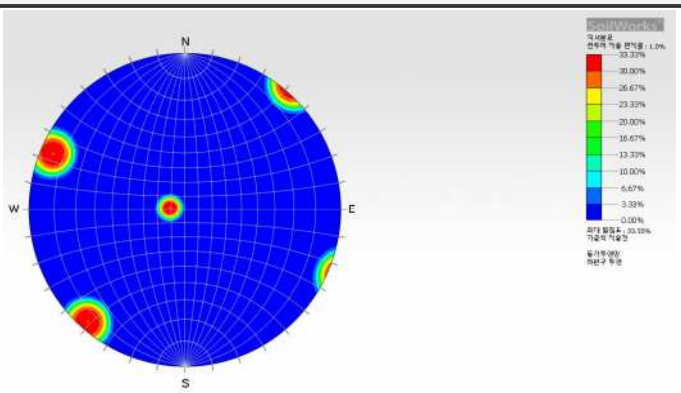
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 38-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

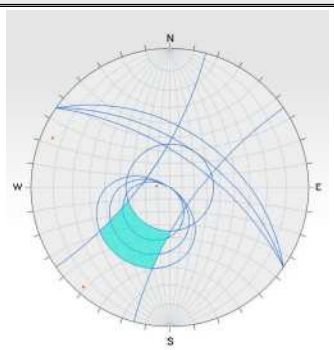
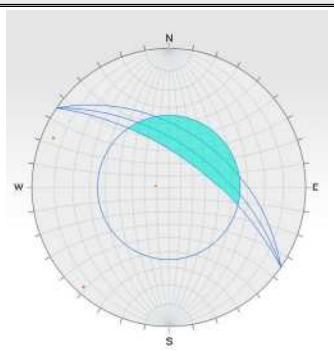
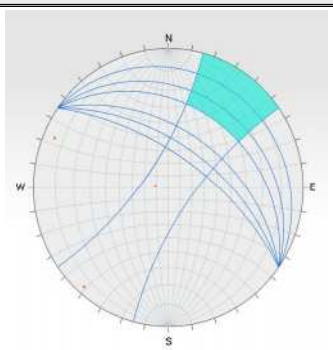
3) 1구간 (STA.54+478 ~ 54+678)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 85 87 11	dip direction 113 41 96

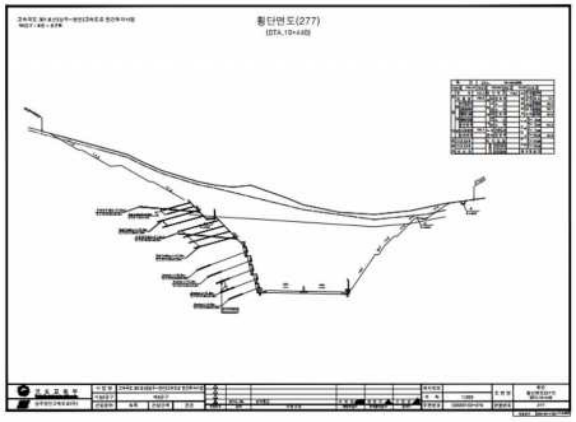
◦ 해석결과

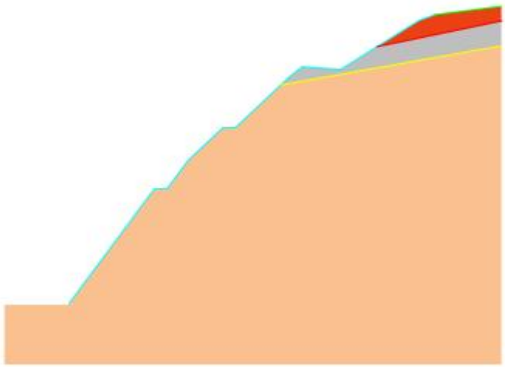
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

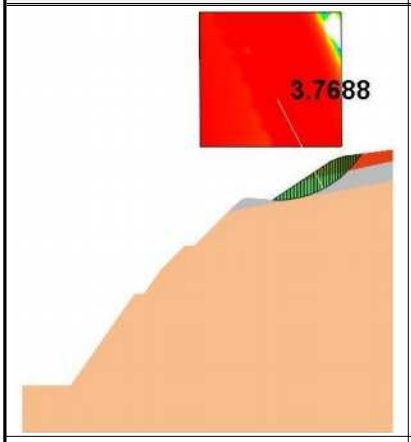
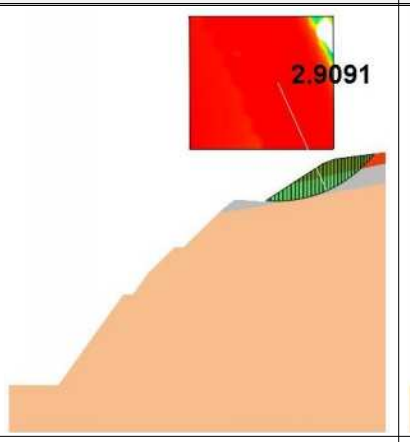
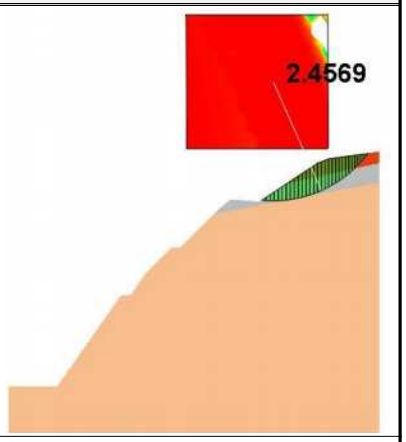
◦ 검토단면





대표단면 : STA.54+678, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.76	안전율 : 2.90	안전율 : 2.45

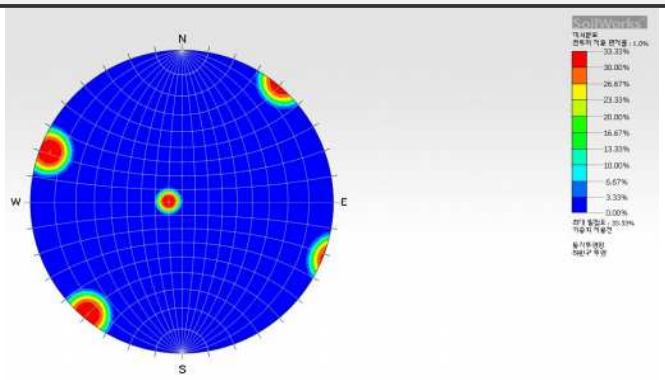
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

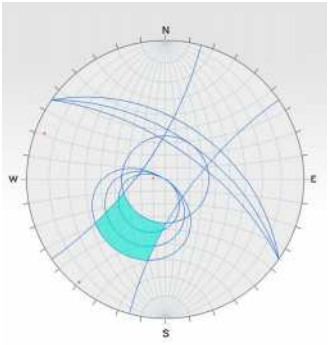
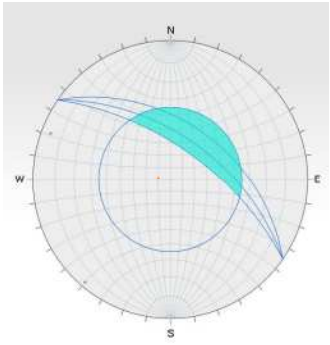
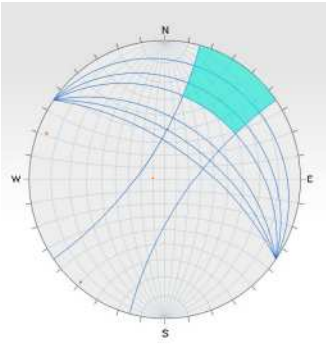
4) 2구간 (STA.54+678 ~ 54+798)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		86	111
		88	40
		10	95

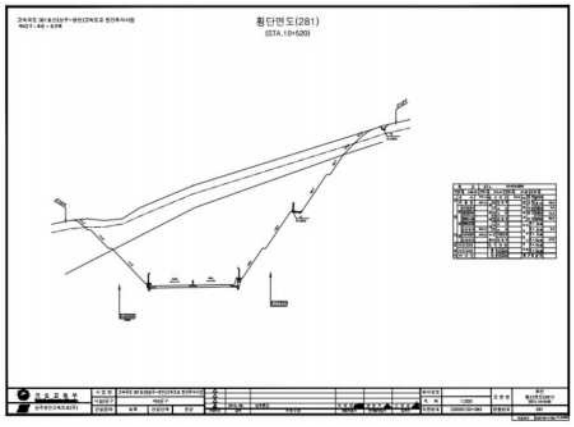
◦ 해석결과

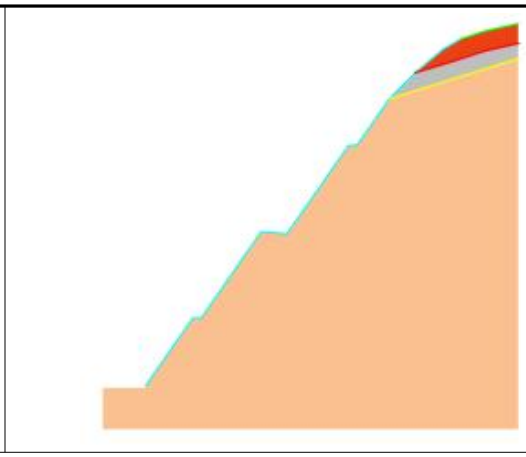
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

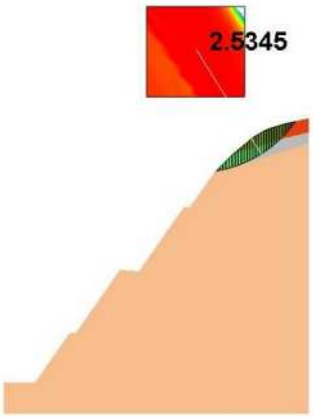
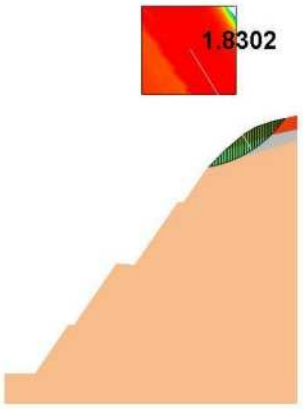
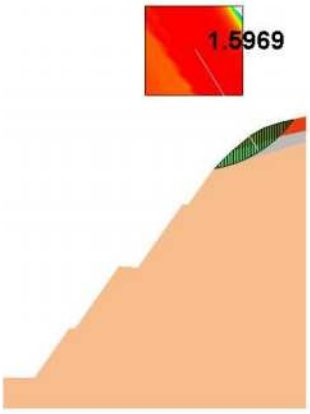
◦ 검토단면





대표단면 : STA.54+738, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.53	안전율 : 1.83	안전율 : 1.59

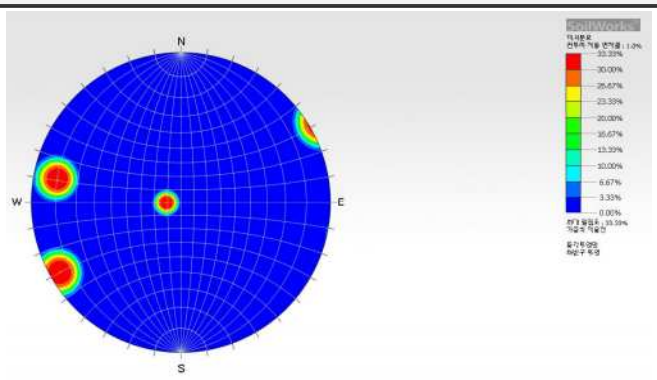
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

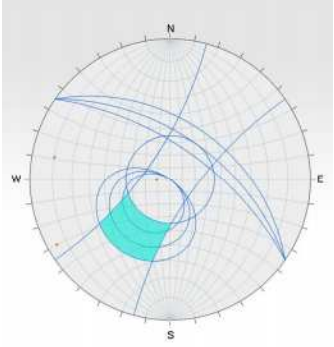
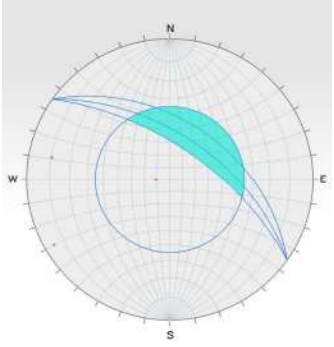
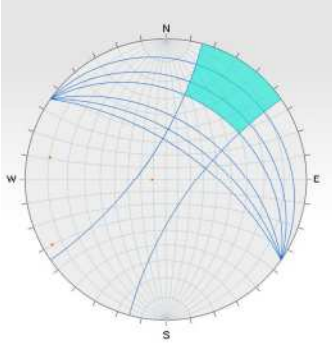
5) 3구간 (STA.54+798 ~ 54+928)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		80	101
		86	60
		11	89

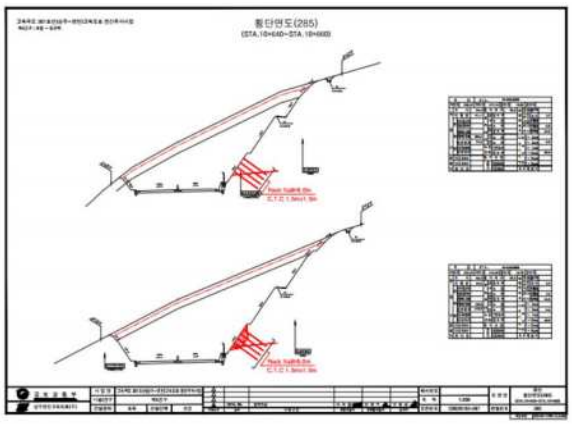
◦ 해석결과

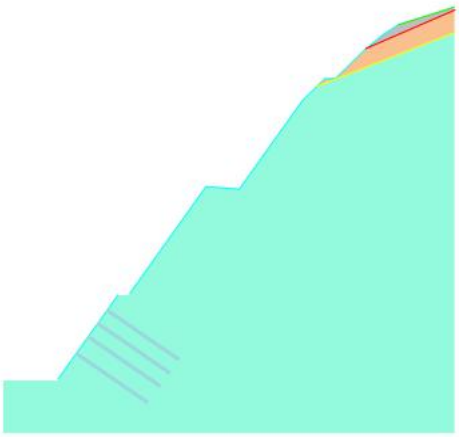
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

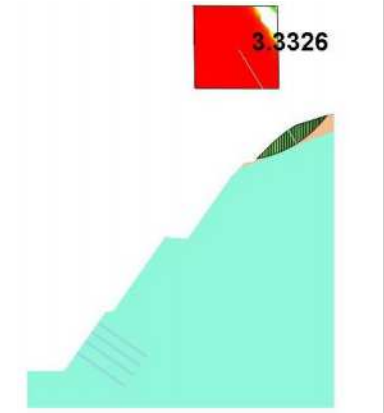
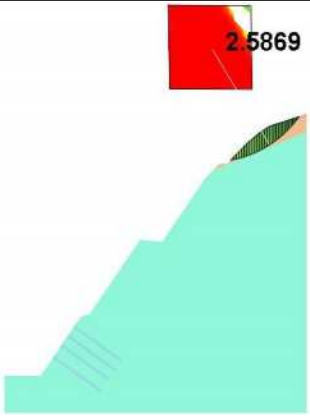
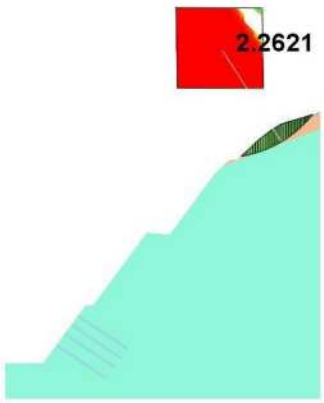
◦ 검토단면





대표단면 : STA.54+858, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.33	안전율 : 2.58	안전율 : 2.26

③ 3구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 38-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토38**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.53	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.83	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.59	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

38.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 38-96> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토38**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.110	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.110	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 38-97> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

38.5 내구성능 평가

38.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 38-98> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 5/35 = 0.14
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 105.7MPa	
면적	전체	3,854㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	3,854㎡	
표면보호공	식 생	3,854㎡	
사면보강공			

38.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 38-99> 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

38.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 38-100> 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 38-101> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
54.658km	115.9	109.6	초기 강도값(경암) : 105.7MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
54.668km	110.7	104.7	
54.678km	113.2	107.1	
54.718km	114.6	108.4	
54.728km	108.6	102.7	
54.738km	108.8	102.9	
54.878km	111.5	105.5	
54.888km	115.1	108.9	
54.898km	116.9	110.6	
평균값	112.8	106.7	
등급	**A등급**		

<표 38-102> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 38-103> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기/석장공		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	3,854/3,854㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 38-104> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 38-105> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	**Set 2**	**Set 3**
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	거칠음	거칠음	거칠음
	b(5)	b(5)	b(5)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	MW	MW	MW
	c(10)	c(10)	c(10)
합 계	30	30	30
평 균	6.0	6.0	6.0
평가 결과	c	c	c
평가항목	**불연속면(2구간)**		
	Set 4	**Set 5**	**Set 6**
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
풍화진행도	SW	SW	SW
	b(5)	b(5)	b(5)
합 계	30	30	30
평 균	6.0	6.0	6.0
평가 결과	c	c	c

<표 38-105> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(3구간)		
	Set 7	Set 8	Set 9
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	거칠음	거칠음	거칠음
	b(5)	b(5)	b(5)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	36	36	36
평 균	7.2	7.2	7.2
평가 결과	c	c	c

<표 38-106> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
1구간 - Set 1	c	0.43	
1구간 - Set 2	c	0.43	
1구간 - Set 3	c	0.43	
2구간 - Set 4	c	0.43	
2구간 - Set 5	c	0.43	
2구간 - Set 6	c	0.43	
3구간 - Set 7	c	0.43	
3구간 - Set 8	c	0.43	
3구간 - Set 9	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

38.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 38-107> 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 38-108> 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	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 38-109> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

38.6 종합평가

38.6.1 종합평가 개요

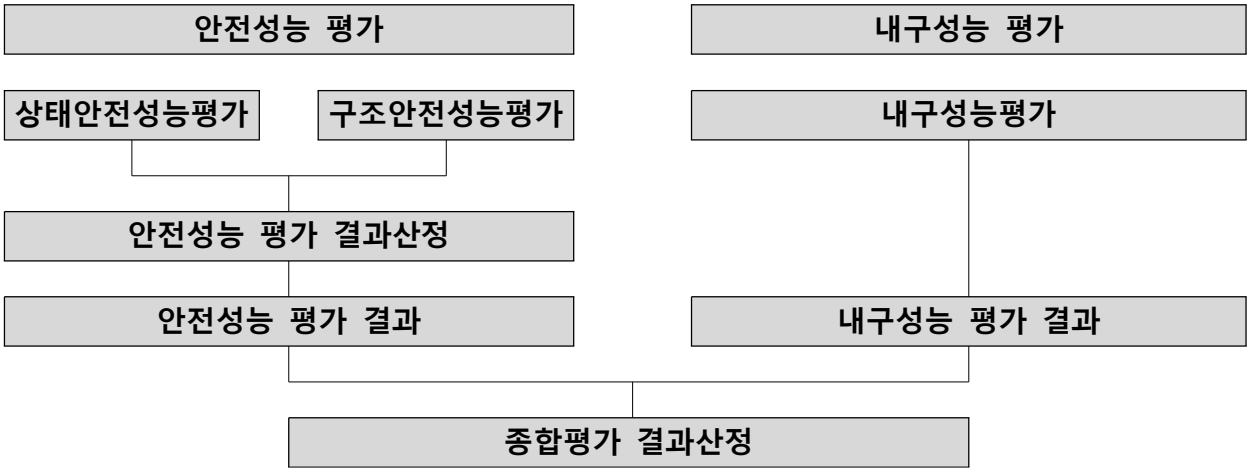
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 38-16> 종합평가 흐름도

38.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 38-110> 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 38-111> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토38		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.110	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.110 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.141 ㅇ종합평가 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 38-112> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

38.7 유지관리 전략 제안

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

38.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 38-113> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

38.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.141)"으로 평가되었다.

<표 38-114> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.110	0.265	0.141
평가결과	A	B	A

38.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 38-115> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	산마루측구	균열	균열보수	일부보수
	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

38.8 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 및 산마루측구 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제39장 영천절토39

39.1 대상 시설물 현황

39.2 관련 자료의 분석

39.3 현장조사

39.4 안전성능평가

39.5 내구성능평가

39.6 종합평가

39.7 유지관리전략 제안

39.8 종합결론

제39장 영천절토39

39.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 55.188~55.448km)에 위치한 사면으로서 총 연장 260.0m, 높이 39.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 39-1>사면 일반사항

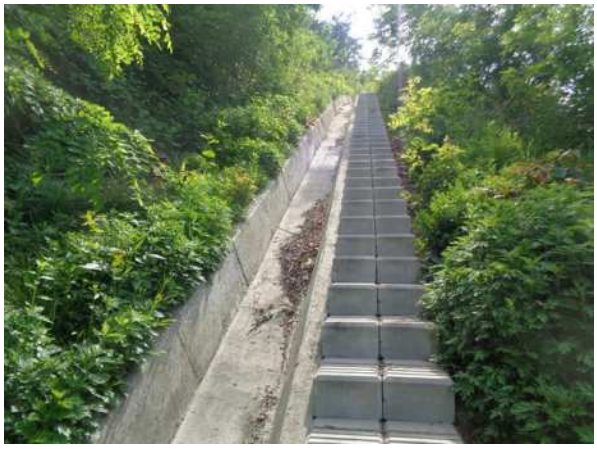
<table>
<tr><td>시설물번호</td><td colspan="3">SL2017-0000018</td><td>관리번호</td><td colspan="2">SY SL39</td></tr>
<tr><td>시설물명</td><td colspan="3">영천절토39</td><td>시설물구분</td><td colspan="2">절토사면</td></tr>
<tr><td rowspan="4">위 치</td><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 부계면 창평리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위치좌표</td><td colspan="5">시점 : 36° 08′15.3″ 128° 68′79.1″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 08′13.1″ 128° 68′91.0″</td></tr>
<tr><td>관리이정</td><td colspan="5">55.188~55.448km</td></tr>
<tr><td>공구이정</td><td colspan="5">6공구 STA.10+970~11+230</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제 원</td><td>연 장</td><td colspan="2">260m</td><td>높 이</td><td colspan="2">39.0m</td></tr>
<tr><td>경사/방향</td><td colspan="2">55/022</td><td>노 선</td><td colspan="2">고속국도 301호선</td></tr>
<tr><td>관리주체</td><td colspan="3">상주영천고속도로(주)</td><td>관리주체구분</td><td colspan="2">민간</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주변환경</td><td>인공구조물</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>주변지형</td><td colspan="2">산악지형</td><td>상부사면경사</td><td colspan="2">10~20°</td></tr>
<tr><td rowspan="2">시공현황</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017</td><td>시 공 자</td><td colspan="2">지에스건설(주)</td></tr>
<tr><td>부대시설</td><td colspan="5">점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리</td></tr>
<tr><td>비 고</td><td colspan="6"></td></tr>
</table>



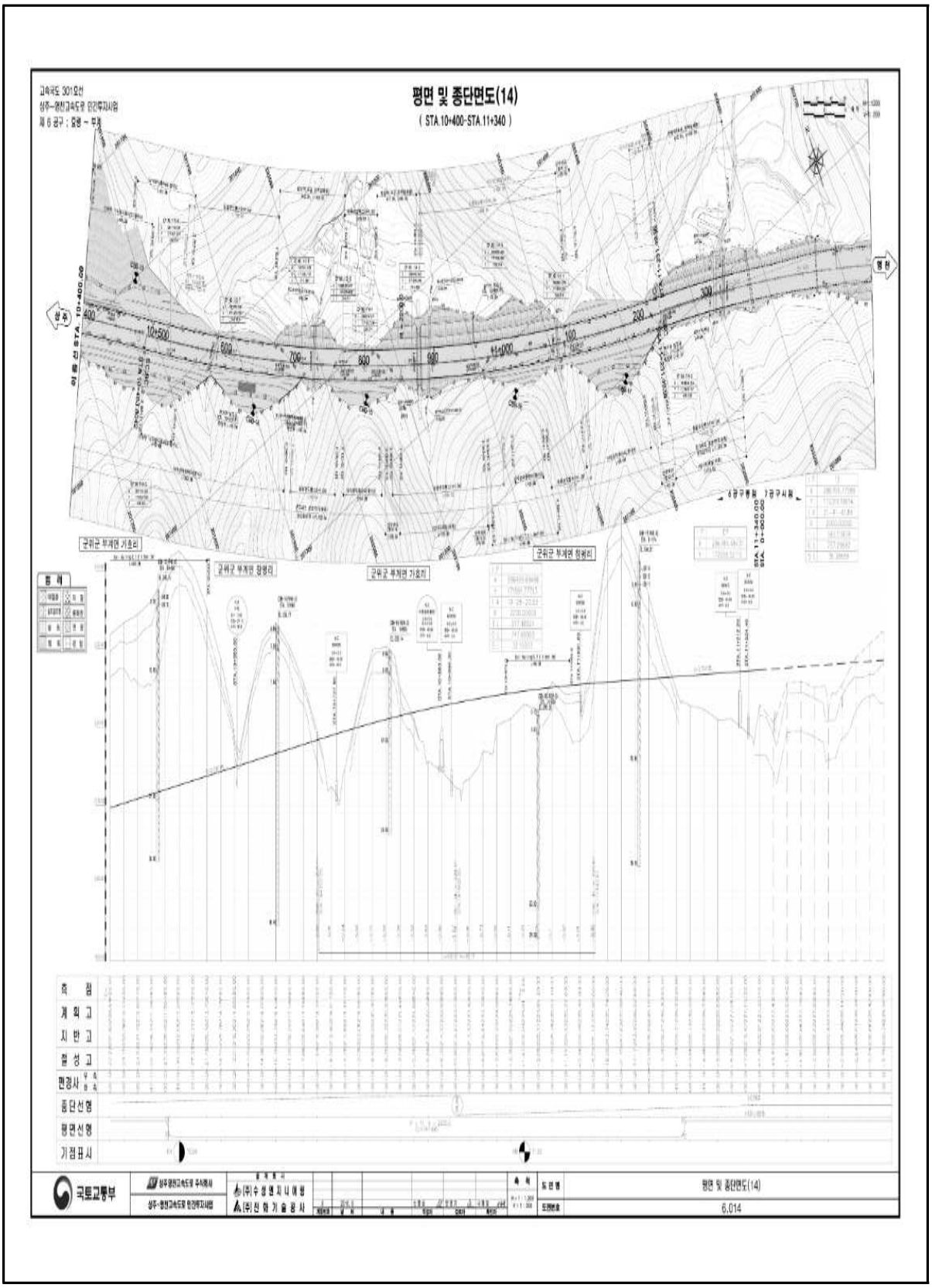
<그림 39-1>위치도



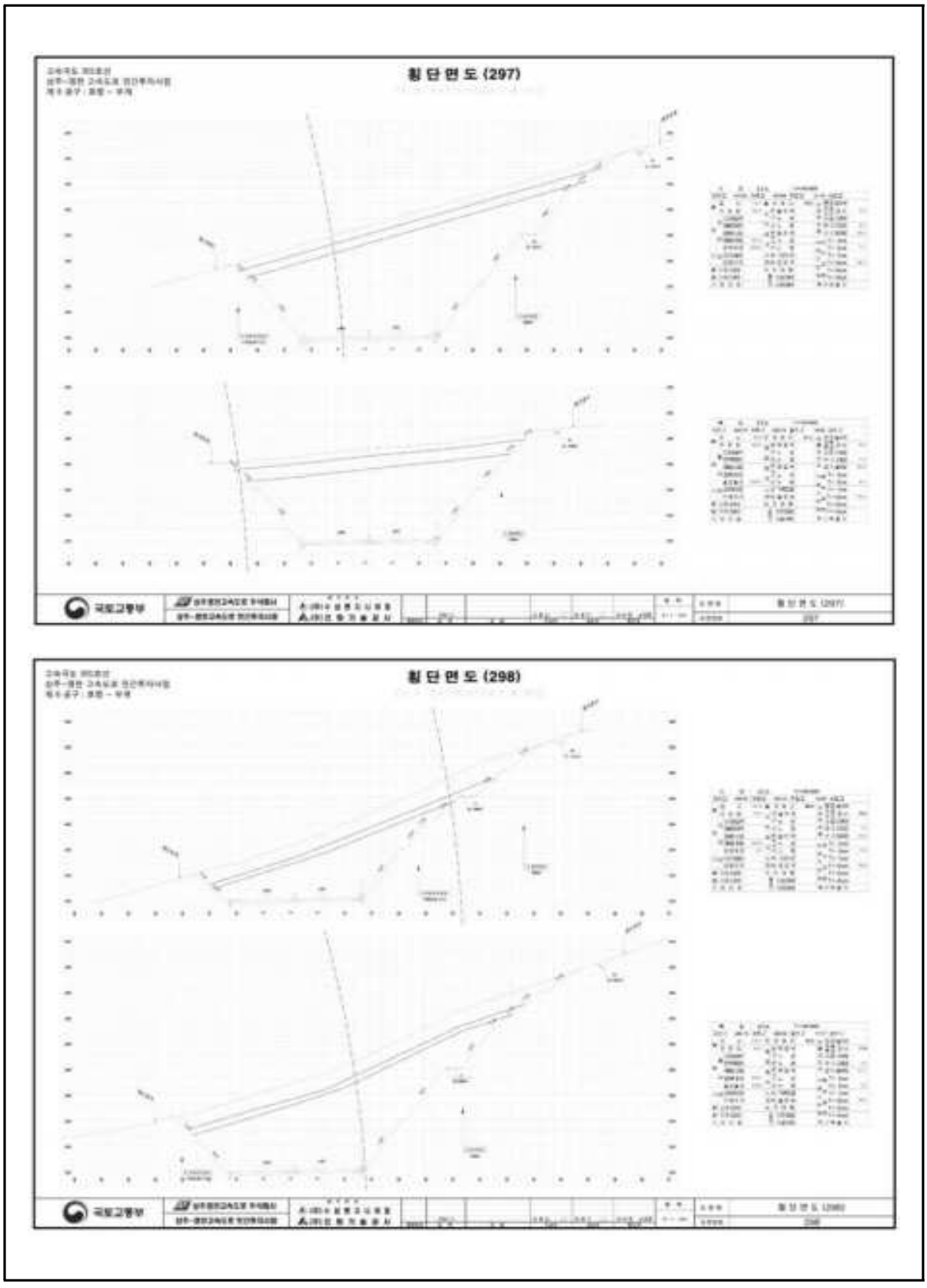
<그림 39-2> 전경사진

	
정면 전경	정면 전경
	
상단 전경	1소단 배수로 전경
	
하부 전경	산마루측구, 점검계단 전경

<그림 39-2> 전경사진(계속)


평면 및 종단면도(14)
(STA.10+400-STA.11+340)
10+500
600
700
800
900
11+000
100
200
300
400
군위군 부계면 기호리
군위군 부계면 장명리
군위군 부계면 기호리
군위군 부계면 장명리
범 례
흙 깊
계 획 고
지 반 고
절 성 고
편경사
종단선형
평면선형
기점표시
국토교통부
(주)수 성 엔 지 니 어 링
(주)진 한 기 술 공 사
도 면 명
평면 및 종단면도(14)
6.014

<그림 39-3> 평면도



<그림 39-4>표준횡단면도

39.2 관련 자료의 분석

39.2.1 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 39-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종・횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수・보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

39.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 6공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

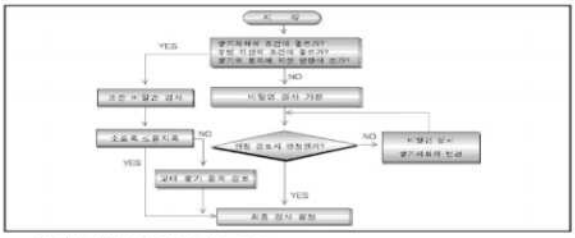
7.4 비탈면 설계기준

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

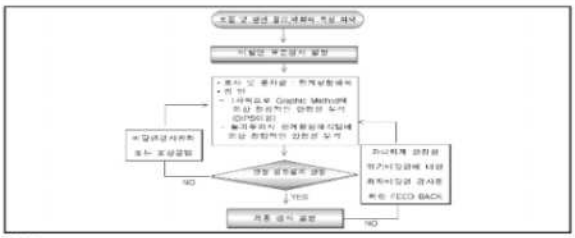
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 평기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 암파임층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

253

다. 위기 비탈면

지반지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 융해이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 위기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지질조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	경 사	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 붕괴되지 않는 암

주) 1. 실트는 점성토로 간주, 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내외 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 연약지반 분포여부, 성토체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분		최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor)	
건설교통부	건설공사 비탈면 설계기준 (2006년)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
		우기시	Fs ≥ 1.3
		지진시	Fs ≥ 1.1
한 국 도 로 공 사		도로설계요령	Fs ≥ 1.3
항 만 협 회		항만시설 기술상의 기준, 동해설	Fs ≥ 1.5

나. 위기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 위기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 위기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분	최 소 안 전 율	
건설공사 비탈면 설계기준(2006)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석)	Fs ≥ 1.2
	지진시	Fs ≥ 1.1
도로설계요령 (2000)	건기시(지하수위 미고려)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지하수위는 지표면에 위치)	Fs > 1.1~1.2
	지진시(미국 D'APPOLONIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준)	Fs > 1.1~1.2
미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975)	실내시험에 의해 강도를 구할 경우	1.5 > Fs > 1.3
	최대지진가속도를 고려함때	1.2 > Fs > 1.0
NAVFAC - DM 7.1-329	하중이 오래 작용할 경우	Fs > 1.5
	구조물 기초인 경우	Fs > 2.0
	일시적인 하중이 적용할 경우 및 시공시	Fs > 1.35 or 1.25
	지진하중이 작용하는 경우	Fs > 1.2 or 1.15

255

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 지표지질 조사

4.1.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

·이 지역의 지질은 백악기 경상층군의 중·하부층인 진주층 상부로부터 최상부의 지인층까지 분포하고 있으며 경상층군 상부에 해당하는 신라아층군에는 유희암층이 협재되어 있음

·이 층을 불공산화강암류 비롯해서 산성 또는 중성 백암과 규장암 등이 관입하고 있음

나. 지형특성

군위군계의 팔공산(해발 1193m)을 최고봉으로 동서로 긴 산맥을 이루고, 청송군계의 보현산(해발 1124m)에서 서쪽으로 산맥을 이루며 방각산(해발 750m)에 이르러 북서로 배봉과 북두산 (해발 879m), 목녀봉(해발 564m)으로 연결되는 산맥과 남서로 방가산(해발 755m)-화산 (해발 828m)-형암산(해발 566m) 으로 이어지는 산등을 이룸

동부는 노고산-화산, 북서로 조림산(해발637m), 매봉산 (해발 489m) 능선, 마정산(해발 402m), 물부리산(해발 354m), 건지봉(해발 471m) 등이 위치함

서부는 팔공산에서 분리된 시루봉(해발 714m)과 북서로 발달된 긴 능선, 적라산(해발 352m), 남북으로 길게 뻗은 물부리 산등, 북부의 청화산등에서 남동-남-북서로 발달하는 성산(해발 692m) 능과 상봉산(해발 448m) 북동부에서 남남서로 발달되어 북부산 (해발 509m)으로 연결되는 긴 능선과 낮은 구릉들로 이루어짐

보현산 서쪽 산등지에서 발원하는 고현천과 안천, 신녕천과 용호천이 각각 합류하여, 금호강으로 유입되어 남류하고, 북으로 발원하여 흐르는 위천에 구천이 합류하고, 영천시 북서부 팔공산-우계산 계곡에서 발원 하여 북으로 흐르는 사장천이 남천에 합류되어 호령권에서 위천으로 유입되고, 군위읍 동부에서 서류하는 신만천이 위천에 합류되며, 위천은 사평하면서 북동류하여 상주군 낙동면에서 낙동강으로 유입됨

다. 분포암종 특성

구 분	지질특성	지질도
돔형층 (진주층)	·역암 또는 역질사암을 기저로 하는 암회색 세암로 구성 ·대체로 NNE의 주향과 10°~15°SE의 경사를 이룸	
일직층 (칠곡층)	·역암, 역질사암, 사암, 실트스톤, 이회암, 이암 및 세암로 구성 ·대체로 N10°~15°E 주향과 10°~15°SE 경사 이룸	
산성 및 중성 암맥	·주로 산성암맥이며, 인산암질 암맥도 일부 분포 ·지질적으로 저지대를 형성 데일리스 및 충적층에 의해 피복되어있으며 일부는 낮은 구릉의 형태를 보임	

39

라. 지질 계통도

지질시대	층 명		특 성	비 고
제4기	충적층(Qa)		·하천 및 산록 퇴적물	
	~~ 부정합 ~~			
중생대 백악기	산성암맥(Kad) 중성암맥(Kd)		·괴상의 치밀	·전 구간에서 기반암을 관입
	── 관입 ──			
	유천층군	안산암질암(Kat)	·주로 응회암으로 구성	·분포하지 않음
	── 관입 및 분출 ──			
	하양층군	일직층(Ke4)	·사암, 적색 이사질 세암, 역암 ·주로 사암이 우세	·4공구 중점부 및 5공구 종점
	신동층군	진주층(Ke3)	·역질사암, 사암, 세암의 교호 ·하부층에서 이회암 호층 분포	·5공구 전 구간
	~~ 부정합 ~~			
선캠브리아	화강암질 편마암(Pcggn)		·엽리가 부분적으로 발달 ·괴상의 치밀	·10공구 일원 일부 분포

4.1.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 면공위성영상 분석

■ 목 적

·과업지역의 광역적인 지형 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

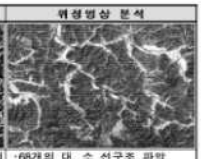
■ 원리 및 방법

·30m급 해상도의 Landsat5 TM 위성영상을 이용하여 분석실시

·선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용

·식생지수, 습윤도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

■ 위성영상결과

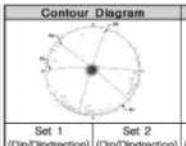
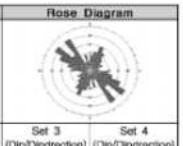
선형공간필터링분석	공간필터링	위성영상 분석
		
·고주파강조 Laplacian 필터를 적용 인공적 선구조 판별 ·농경지와 수로 등 지지대 인공구조물이 잘 판별됨	·영상 내의 지형 또는 선구조의 방향성에 관계없이 지형 지질의 예지를 검출 ·선구조 특징 판독에 유용한 자료임	·68개의 대, 소 선구조 파악 ·우세한 방향은 N80°~90°W로 나타남 ·과업노선과 4개의 선구조 교차

40

나. 조사결과

■ Scanline-106



Contour Diagram	Rose Diagram
	

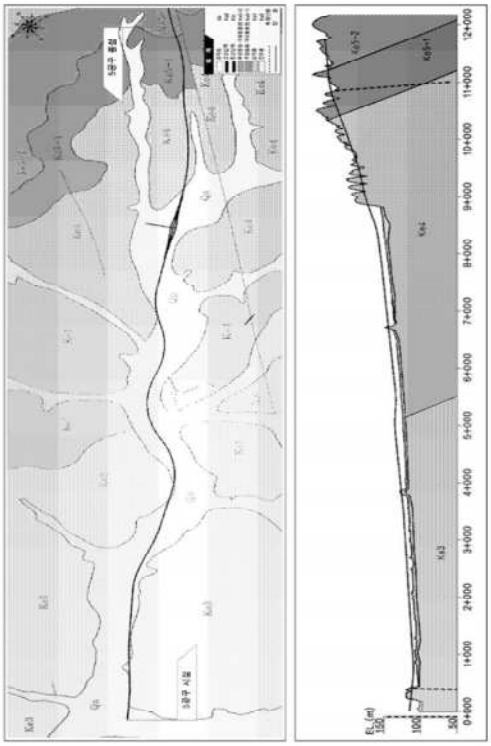
Set 1 (Dip/Dipdirection)	Set 2 (Dip/Dipdirection)	Set 3 (Dip/Dipdirection)	Set 4 (Dip/Dipdirection)
03/139	86/287	83/001	86/041

· 분포암상 : 일직층
· 조사위치 : 166402.360,289559.192

구분	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
간격 (cm)	평균 m = 21.9965, δ = 16.5765	m = 26.3714, δ = 27.2627	m = 65.9231, δ = 105.8647	m = 62.1875, δ = 54.8022
	확률밀도함수			
	지택 함수	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	대수정규분포 m = 15.3733, δ = 0.9252	m = 16.5684, δ = 1.0220	m = 20.3047, δ = 1.6257	m = 40.0803, δ = 1.0038
연장 (m)	평균 m = 24.9574, δ = 4.2424	m = 2.2778, δ = 1.4262	m = 1.5714, δ = 0.6227	m = 2.4706, δ = 1.8508
	확률밀도함수			
	지택 함수	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	대수정규분포 m = 24.6009, δ = 0.1696	m = 1.9118, δ = 0.5857	m = 1.4556, δ = 0.3887	음지수분포 m = 2.4706, λ = 0.4048
JRC	평균 m = 5.0000, δ = 1.6631	m = 4.8333, δ = 1.4814	m = 5.6429, δ = 0.8950	m = 5.5882, δ = 1.8169
	확률밀도함수			
	지택 함수	대수정규분포	대수정규분포	정규분포
	대수정규분포 m = 4.7068, δ = 0.3607	m = 4.5667, δ = 0.3576	m = 5.5717, δ = 0.1600	m = 5.5882, δ = 1.8169
JCS (kg/cm²)	평균 m = 660.957, δ = 300.032	m = 756.889, δ = 398.342	m = 676.357, δ = 302.759	m = 664.417, δ = 286.758
	확률밀도함수			
	지택 함수	대수정규분포	대수정규분포	대수정규분포
	대수정규분포 m = 631.3926, δ = 0.4186	m = 676.6459, δ = 0.4700	m = 621.9618, δ = 0.3949	m = 600.0007, δ = 0.4171

48

■ 지질종평면도



3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업 실시설계(6공구)

1.2 조사목적

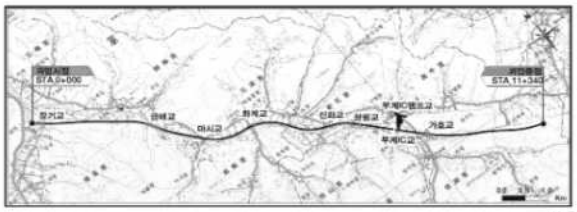
• 상주-영천간 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조사범위

위 치
·시점 : 경상북도 군위군 군위읍 효령면(STA. 0+000)
(X=293577.5190 , Y=163274.3124)
·종점 : 경상북도 군위군 군위읍 이북면(STA. 11+231)
(X=286819.0783 , Y=171952.6914)
·연장 : 11.231km



1.4 위치도



1

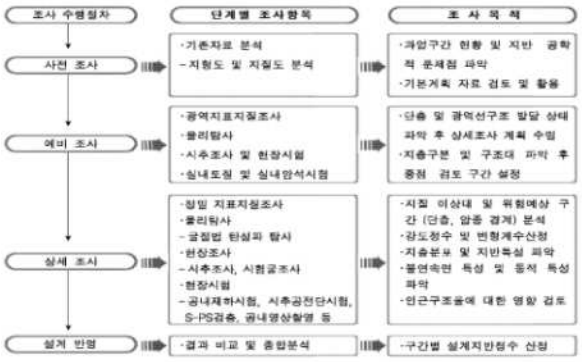
제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행 흐름

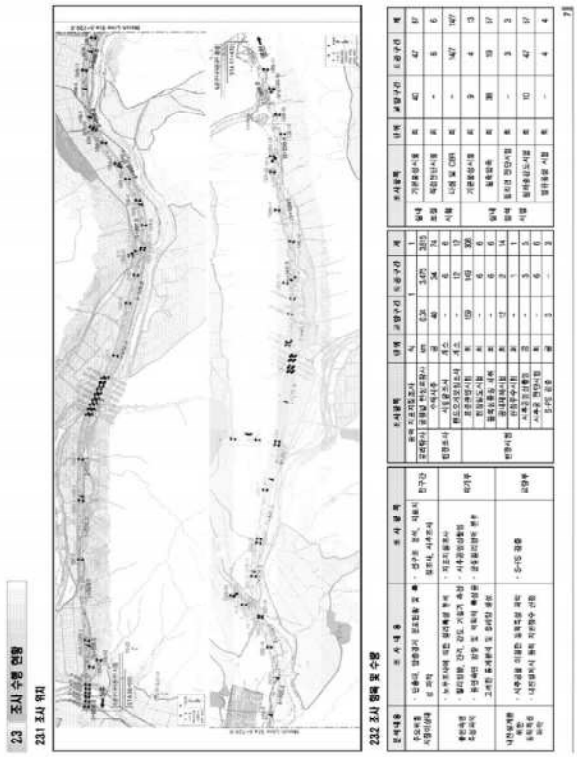
가. 조사 기본방향



나. 조사 수행 흐름도



3



2.3 조사 수행현황
2.3.1 조사 위치
2.3.2 조사 항목 및 수량

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대규기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태의 안정성을 고려한 안정 비탈면경사 결정 및 대책 공을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 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 경사 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이기 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

239

구 분	선 정 기 준
붕 기 부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 붕기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지질특성으로 인하여 붕기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 빈번하는 경우 · 흥수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 붕기비탈면의 암지반이 암호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
암 기 부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 붕적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 풍수가 많은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 경사진 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)	대표단면 (STA.)	최대 쌓기고	지층현황	조 사 내 용		비 고
							공번	조사위치 (STA.)	
쌓기구간	쌓기1구간	0+340 ~2+430	2,090	0+440(상주방향)	13.9m	풍화토 및 잔적층	CBB-1 참조	0+357 (우 24.0)	
	쌓기2구간	2+740 ~3+840	1,100	2+960(영천방향)	8.2m	매립층 풍화토층 잔적층	SBB-5	2+952 (우 2.0)	
	쌓기3구간	3+856 ~4+896	1,040	4+800(상주방향)	11.5m	매립층 풍화토층 잔적층	SBB-12	4+774 (우 14.0)	
	쌓기4구간	4+940 ~5+647	1,707	4+960(영천방향)	14.0m	매립층 풍화토층 잔적층	BBB-26	4+93 (좌 6.0)	
	쌓기5구간	6+693 ~7+257	564	7+240(상주방향)	10.7m	잔적층 풍화토층 암반층	BBB-29	7+259	
	쌓기6구간	7+290 ~8+080	790	7+460(영천방향)	9.7m	매립층 풍화토층 잔적층	BBB-30	7+297	
	쌓기7구간	8+110 ~8+680	600	8+680(영천방향)	14.2m	매립층 풍화토층 잔적층	BBB-35	8+713 (좌 7.0)	

7.6.3 암반파쇄에 따른 비탈면 경사 현황

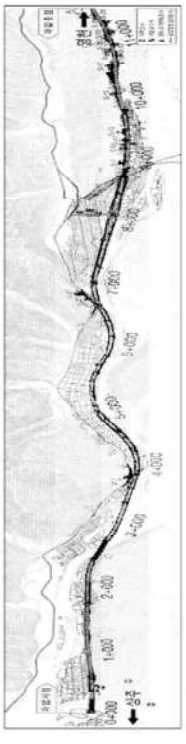
시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 쥐기 경사 평가 및 검토를 암석별 쥐기 적정경사 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 쥐기비탈면 경사 검토]

구분 / 구간	검토구간 (STA.)		시추번호	암반 특성에 따른 비탈면 경사					검토 의견
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 경사	RQD에 의한 경사	
쥐기 1구간	0+220 ~0+450	영천방향	CBB-1	사암 및 니질암	81~100	27~58	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쥐기 2구간	지방도919호선 0+040~0+360	상주방향	CBB-3	사암 및 니질암	97	17~39	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쥐기 3구간	6+500 ~6+900	상주방향	CBB-5	사암 및 니질암	73~100	8~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쥐기 4구간	8+860 ~9+340	상주방향	CBB-7	사암 및 니질암	46~100	0~90	1:0.5	1:0.5	1:0.5
			CBB-9	사암 및 니질암	100	29~75	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쥐기 5구간	9+340 ~9+750	상주방향	CBB-10	사암 및 니질암	95~100	14~82	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쥐기 6구간	9+770 ~10+180	상주방향	CBB-11	사암 및 니질암	54~100	0~63	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쥐기 7구간	10+180 ~10+380	상주방향	CBB-12	사암 및 니질암	87~100	10~69	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쥐기 8구간	10+380 ~10+580	상주방향	CBB-13	니질암	58~100	0~76	1:0.5	1:1.0	1:1.0
쥐기 9구간	10+380 ~10+700	영천방향	CBB-14	니질암	59~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쥐기 10구간	10+750 ~10+840	영천방향	CBB-15	니질암	48~100	11~100	1:0.5	1:0.7	1:0.7
쥐기 11구간	10+970 ~11+080	영천방향	CBB-16	사암 및 니질암	65~100	0~100	1:0.5	1:0.5	1:0.5
쥐기 12구간	11+080 ~11+220	영천방향	CBB-17	사암 및 니질암	31~100	0~97	1:0.5	1:0.7	1:0.7

■ 지반조사 위치도

1. 위치도



2. 수량

조사항목		단위	과업구간	토공구간	계	조사항목		단위	교량구간	토공구간	계
공통 지표지질조사		식	1		1	상세 조사	기존물리시험	회	40	47	87
물리 탐사	굴절법 탄성파탐사	km	0.84	1,471	3,815		직접전단시험	회	-	6	6
현장 조사	수직시추	공	40	38	78		다짐 및 CBR	회	-	14/7	14/7
	시험굴조사	개소	-	6	6		암석압축/점성	회	38/9	19/4	57/13
	웰드포지오염조사	개소	-	12	12		절리면 전단시험	회	-	3	3
현장 시험	표준관입시험	회	155	149	308		경암중도시험	회	10	47	57
	현장밀도시험	회	-	6	6		암유출시 시험	회	-	4	4
	투수시험(굴착)	회	-	6	6						
	공내재하시험	회	12	2	14						
	현장투수시험	회	-	1	1						
	시추공간탄성파	공	-	5	5						
	시추공 전단시험	회	-	6	6						
	S-PS 검층	공	6	-	6						

39.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 39-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토39 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 균열 및 퇴적, 산마루측구 균열 및 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2039. 05. 28 ~ 2039. 06. 30	정기안전점검	영천절토39 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 균열 및 퇴적, 산마루측구 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2039. 10. 23 ~ 2039. 12. 31	정기안전점검	영천절토39 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 균열 및 퇴적, 산마루측구 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	영천절토39 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 균열 및 퇴적, 산마루측구 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토39 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상은 건조수축 등에 의한 비구조적 손상으로 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

39.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 39-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

39.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 39-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

39.2.6 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 39-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

39.3 현장조사

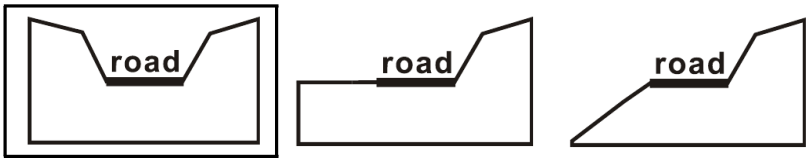
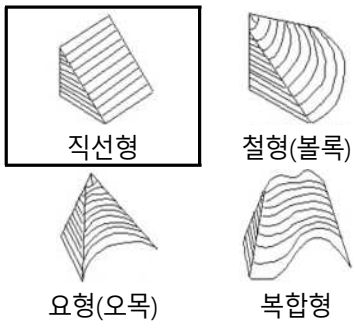
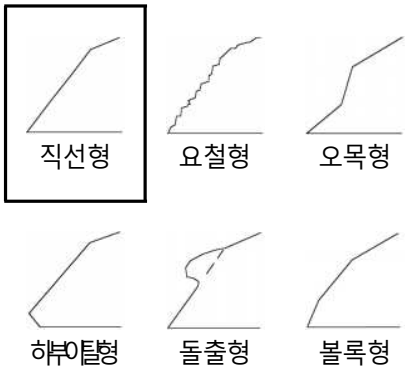
39.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 39-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 18.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 부계면 창평리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 08′15.3″ 128° 68′79.1″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 08′13.1″ 128° 68′91.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 260m</td><td colspan="2">높 이 : 39.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/022</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~5.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="6">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>식생공</td><td colspan="2">55.188~55.448k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">55.188~55.448k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">55.338~55.418k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">55.218~55.268k, 55.338~55.418k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">55.418~55.448k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 39-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 39-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토39		
	위경도	시점 : 36° 08′15.3″ 128° 68′79.1″ 종점 : 36° 08′13.1″ 128° 68′91.0″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	260.0m	최대높이	39.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~5.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) □숏크리트공 □격자블럭 ■점검로(양호)		□낙석방지망 ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	□A ■B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	-	조치	□응급 ■미응급
	기타			

39.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 55.188~55.448km)에 위치한 사면으로서 총 연장 260.0m, 높이 39.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 39-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{20.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 99.9~104.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.4}{20.0}=0.02$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{39.0}=0.13$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 99.9~104.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{39.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 260m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 2개구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 39-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	55.188~55.298km	110m
2구간	55.298~55.448km	150m

39.3.3 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 10~20°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 상태이며, 사면내 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 39-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1 / 1.0	-	
	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)~심한풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 39-13> 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 식생공이 없으며 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 39-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	85/294	87/193	07/116
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	거칠음	거칠음	거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	HW	HW	HW
구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	73/343	45/347	16/137
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	MW

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 39-15> 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 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있으며, 조사결과 소단배수로 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 39-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	5EA / 8.5	건조수축	

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 39-17> 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 39-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 39-19> 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 39-20> 인장균열 조사 결과

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

39.3.4 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 총 6개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 39-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
55.238km	52.8	105.7	경암	
55.248km	51.5	99.9	경암	
55.258km	52.3	103.4	경암	
55.388km	52.6	104.6	경암	
55.408km	52.5	104.4	경암	
55.418km	52.8	105.7	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 51.5~52.8으로 측정되었으며, 추정강도 99.9~105.7㎫로 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. 표면보호공은 식생공, 낙석방지공으로는 낙석방지울타리로 시공되어있다.

<표 39-22> 표면보호공 조사 결과

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



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 39-23> 사면보강공 조사 결과

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

39.4 안전성능평가

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

39.4.1 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 0.14로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 39-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{20.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 99.9~104.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.4}{20.0}=0.02$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{39.0}=0.13$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 99.9~104.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{39.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 260m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~6으로 표기하였다.

<표 39-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	55.188~55.298km	110m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	55.298~55.448km	150m	암반사면	Set4, Set5, Set6

<표 39-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 39-27> 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 39-28> 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 39-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+5+5+16+10) / 6 = 7.7	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 39-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	거칠음	b
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 39-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 39-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 39-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 39-34> 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 39-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 39-36> 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/sec^2) (u, β는 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 39-37> 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 10~20°	c
	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 39-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 39-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 39-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 39-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토39		
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
블연속면 특성		7.7	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			11	
결함지수		0.11		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 39-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	계곡부 1개소	b
	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 39-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

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 39-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

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

<표 39-45> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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 39-46> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 39-47> 지하수 평가 결과(2구간)

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

<표 39-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

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

<표 39-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

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 39-50> 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 39-51> 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, β는 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 39-52> 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 10~20°	c
	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 39-53> 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 39-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 39-55> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 39-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토39		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		7.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
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 39-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
260.0m	1구간	55.188~55.298km	a(0.11)	A	인장균열 없음
	2구간	55.298~55.448km	a(0.12)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

39.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

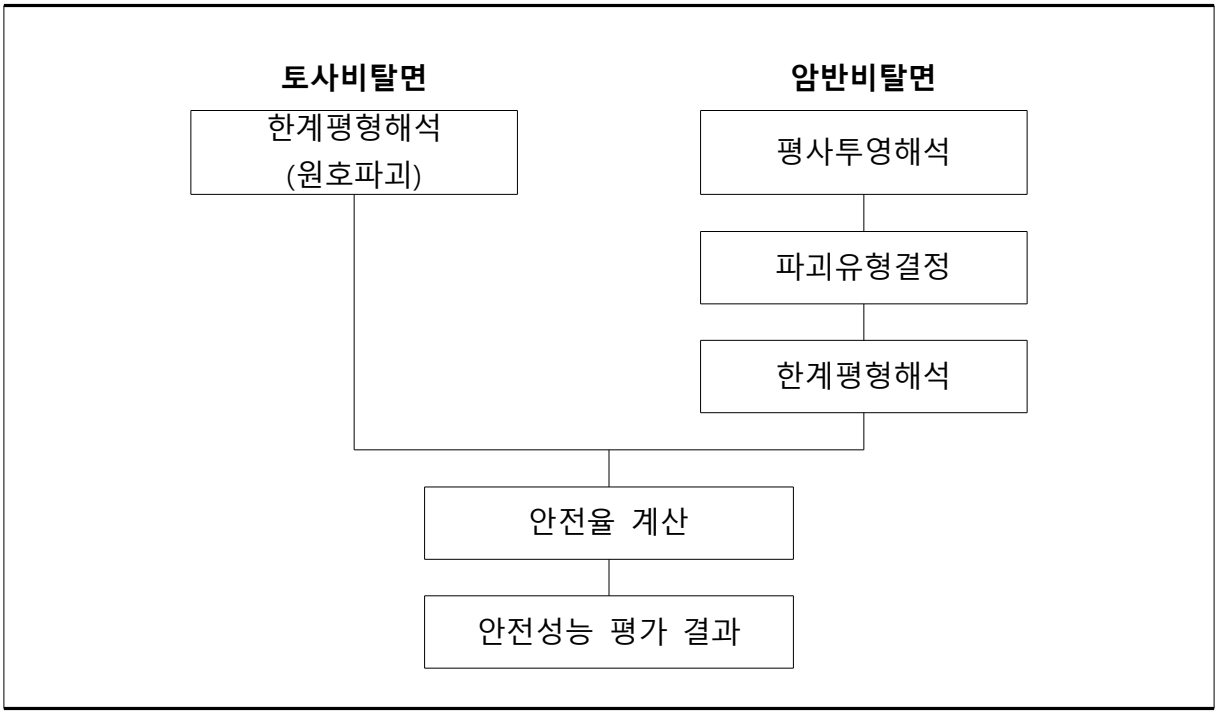
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 39-5> 구조안전성능 평가과정

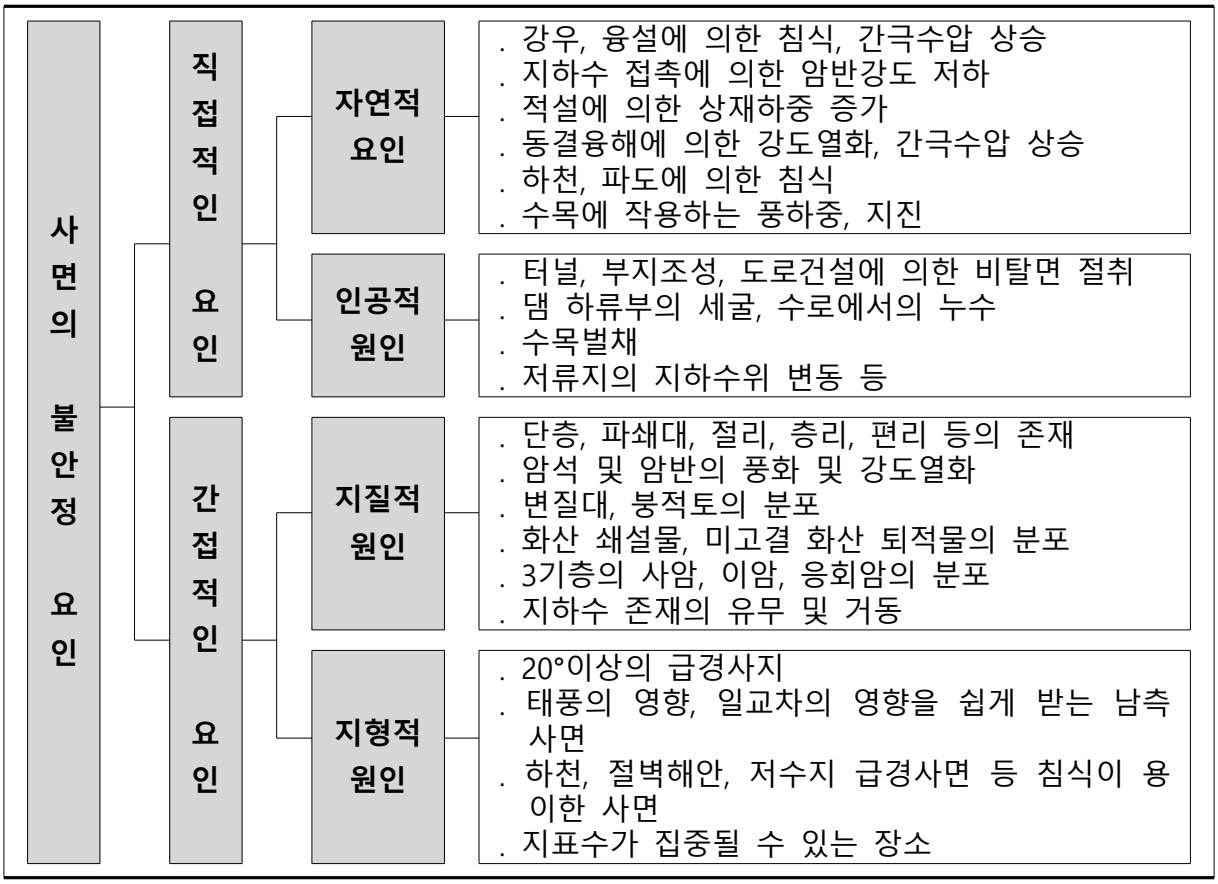
<표 39-58> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

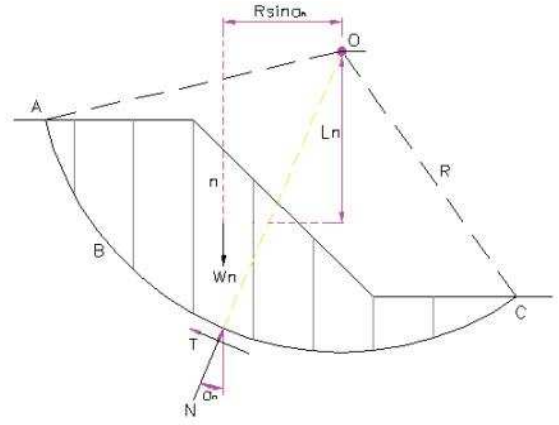


<그림 39-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

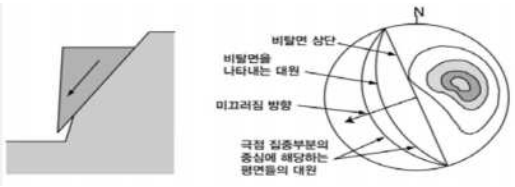
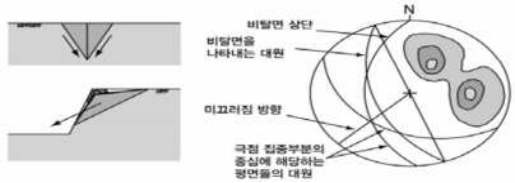
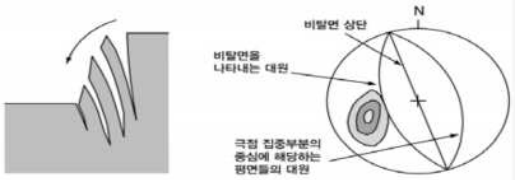
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 39-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 39-59> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 39-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

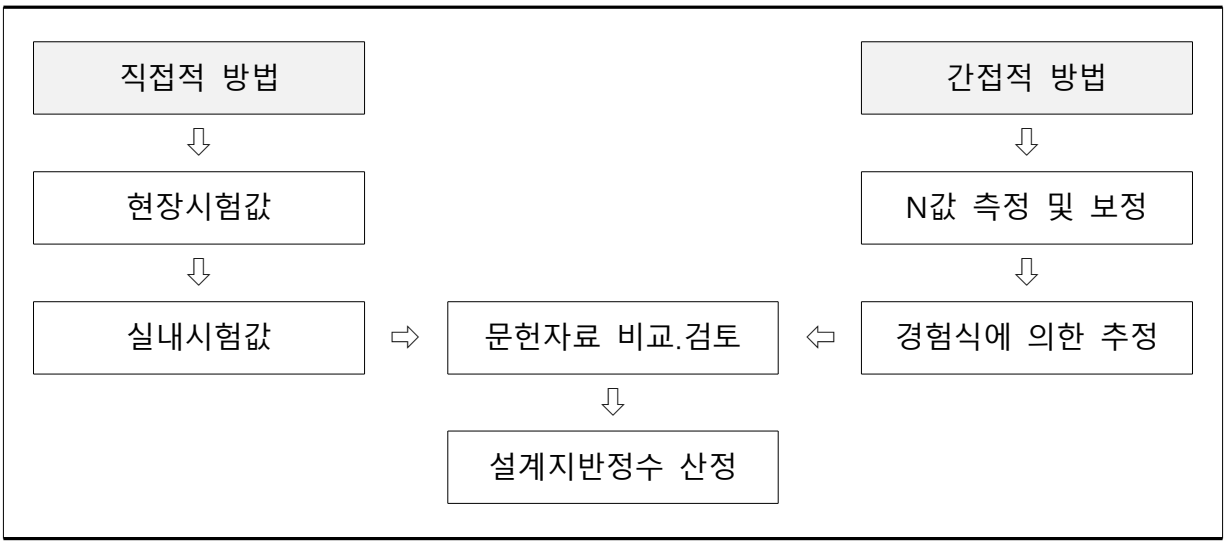
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 39-61> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 39-62> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 39-63> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 39-64> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 39-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (6공구)	풍화(잔적)토	19	28	20	
	풍화암	20	29	30	
	경 암	24	32	200	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 39-66> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 39-67> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~239.7	26.7±0.8	239.3±1.0	239.3±1.0	239.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 39-68> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 39-69> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 39-70> Trueman (1988)

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

<표 39-71> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 239.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19	28	20	0.3	
풍화암	20	29	30	0.3	
경 암	24	32	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 39-72> 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

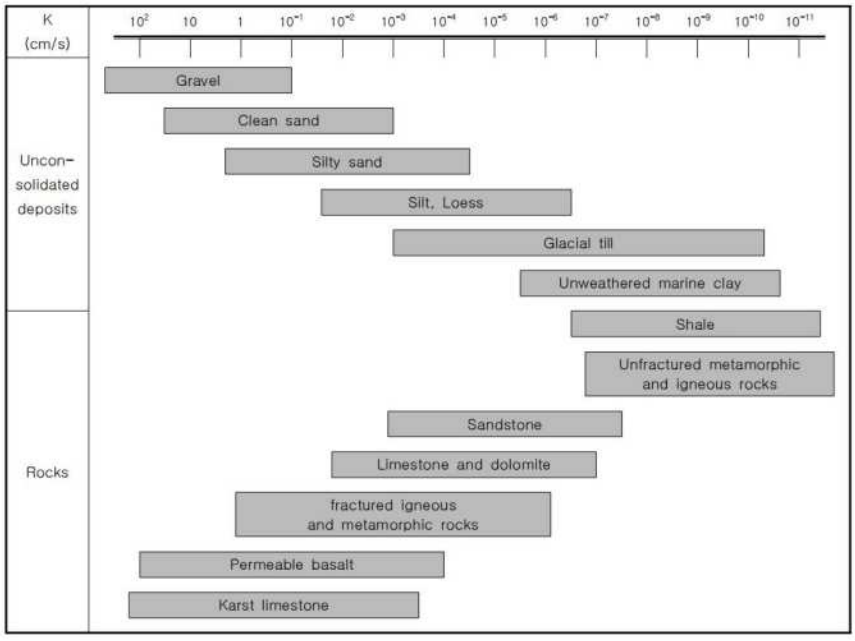
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 39-73> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 39-74> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 39-8> 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 39-75> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

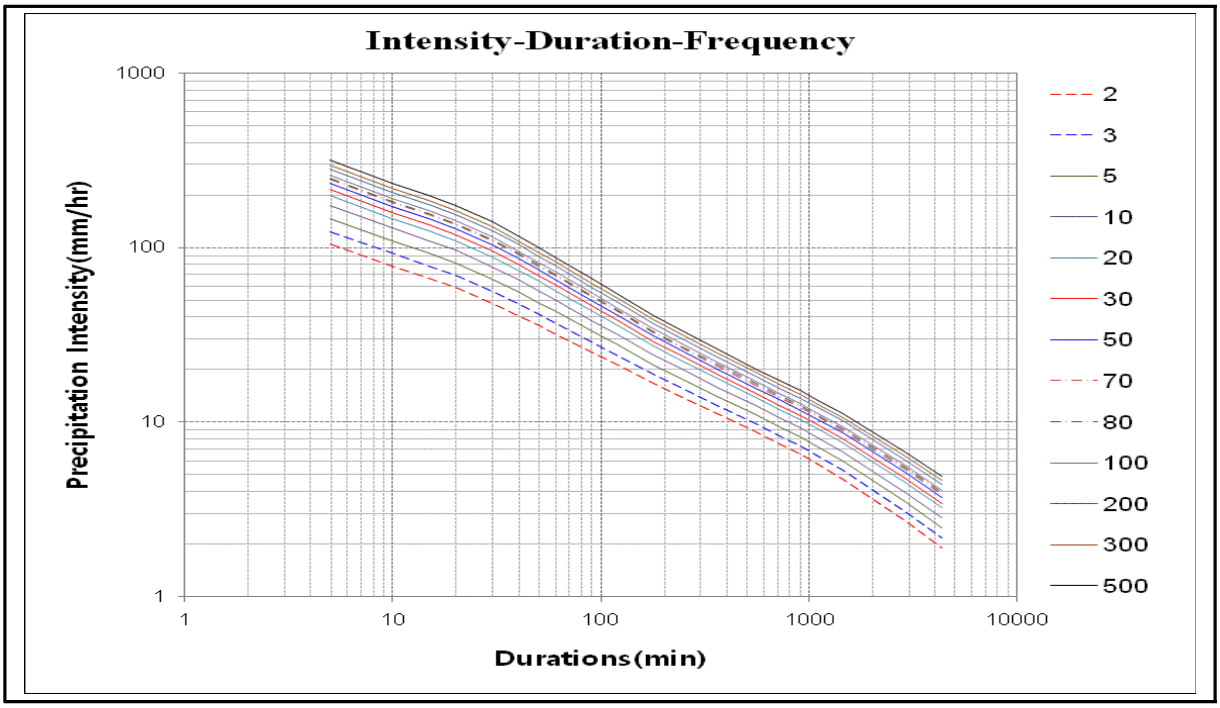
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 39-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 39-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 39-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 39-76> 설계지반운동 수준

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

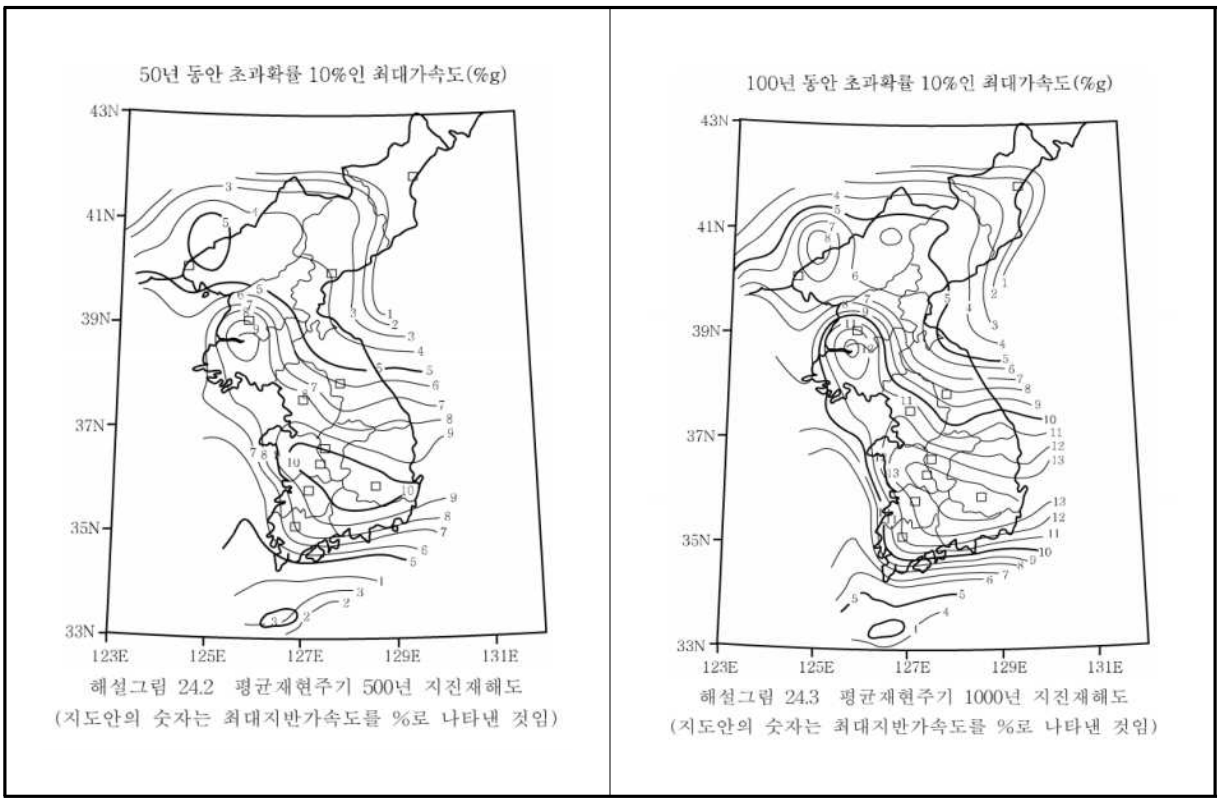
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 39-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 39-77> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 39-78> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

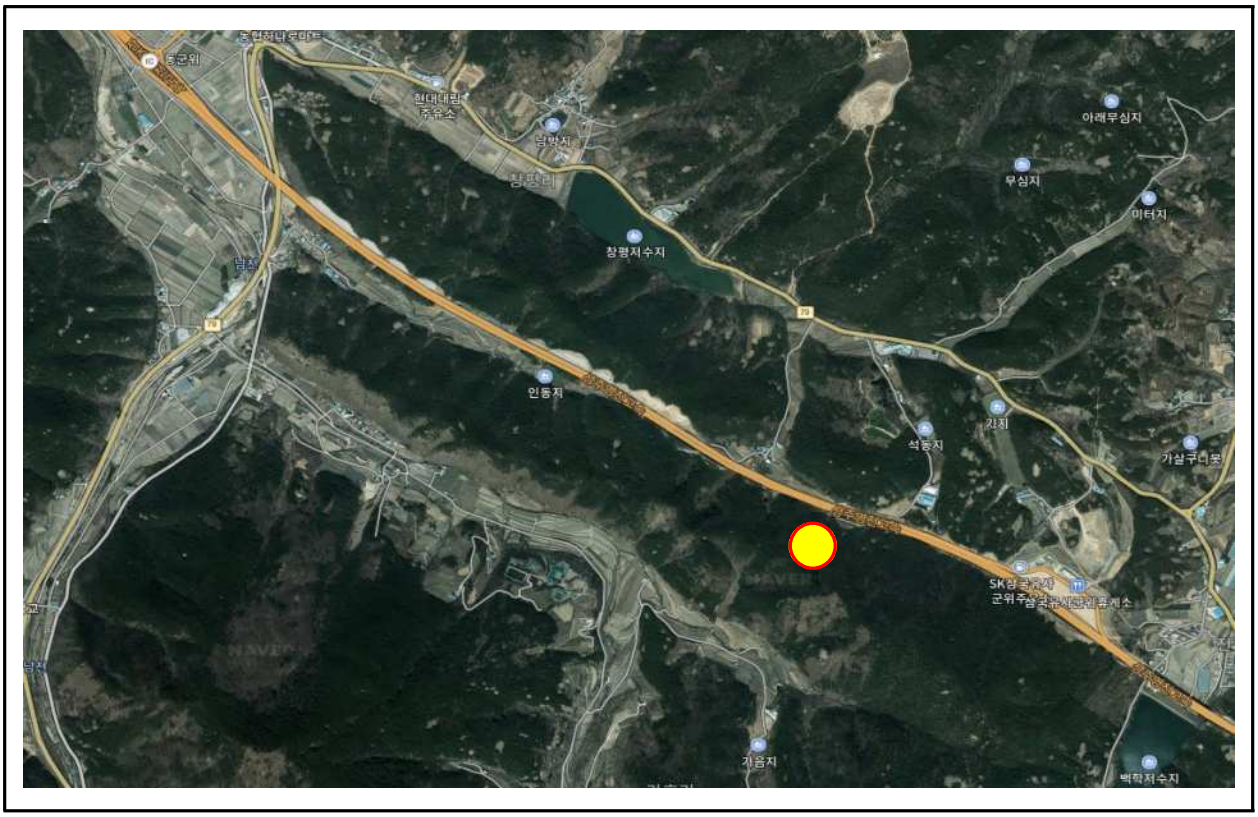
3) 지진가속도계수 선정

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 39-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토39	경상북도 군위군 부계면 창평리	55.188 ~ 55.448	STA.55+378	39.0	5.0	34.0	-	2017	55/022
			STA.55+258	20.0	2.0	18.0	-	2017	55/022



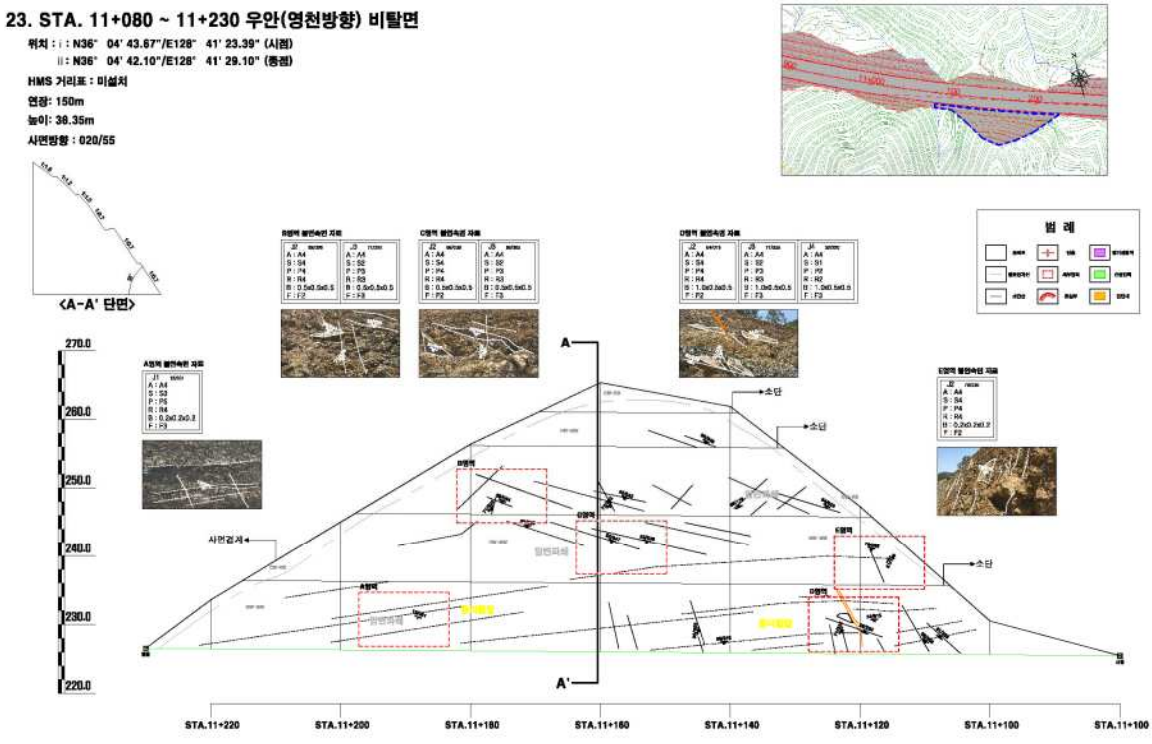
<그림 39-13> 영천절토39 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토39 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



제 23 절토부 현황도



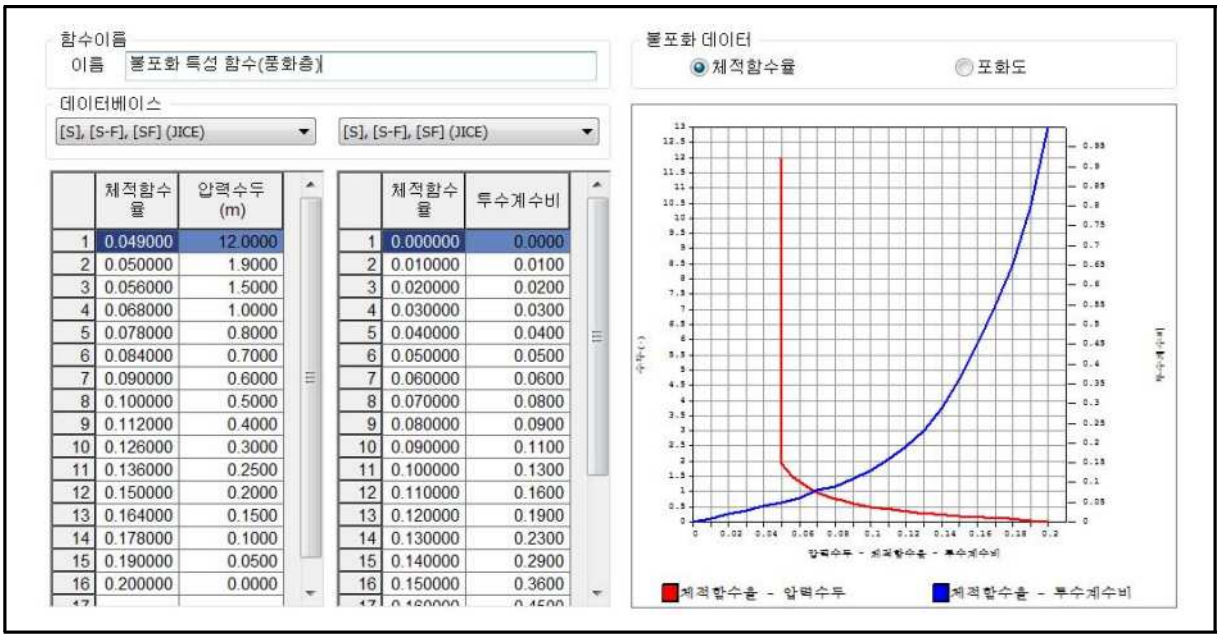
<그림 39-14> 영천절토39 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	19	28	20	1.0E-03	
풍화암	20	29	30	1.0E-04	
경암	24	32	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

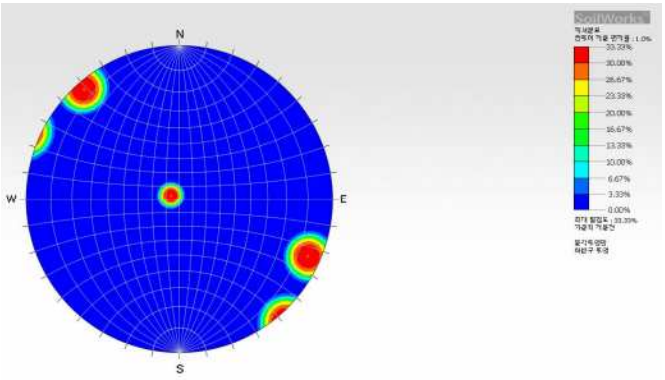
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 39-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

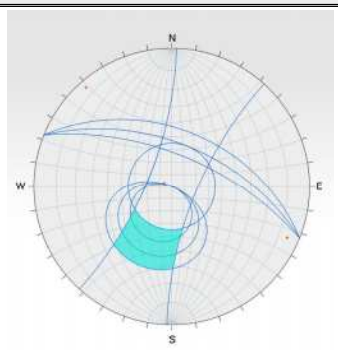
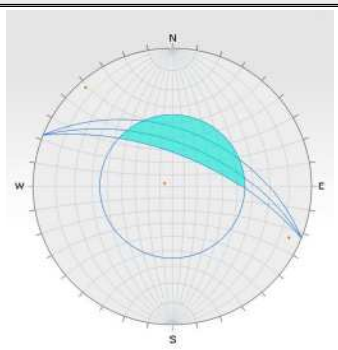
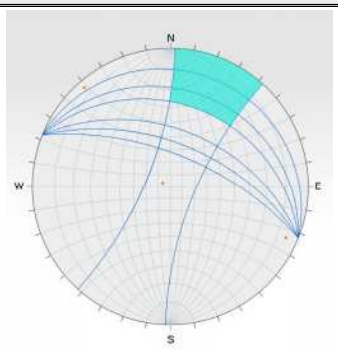
3) 1구간 (STA.55+188 ~ 55+298)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 85 87 7	dip direction 294 193 116

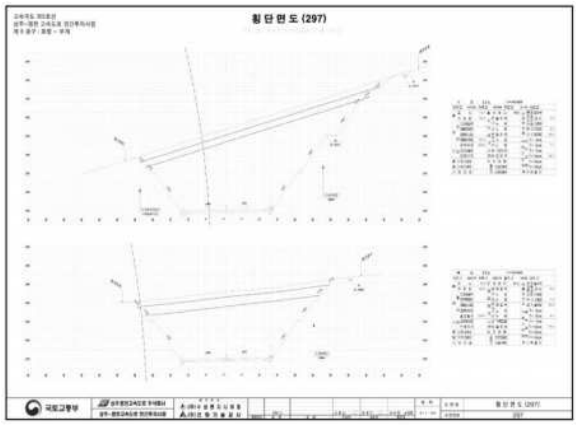
◦ 해석결과

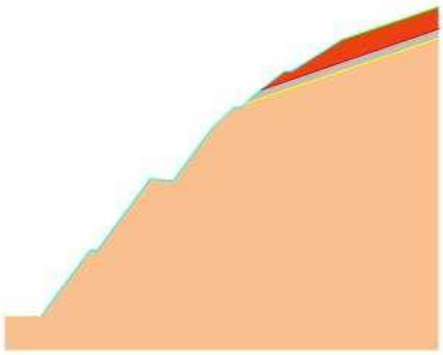
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

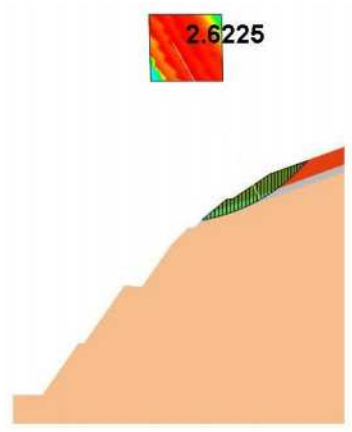
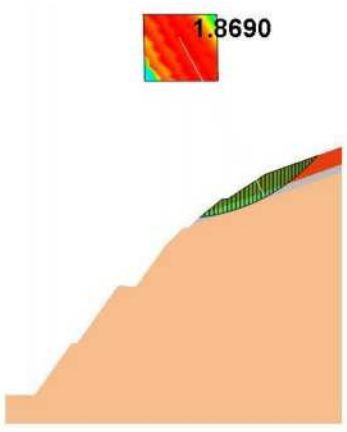
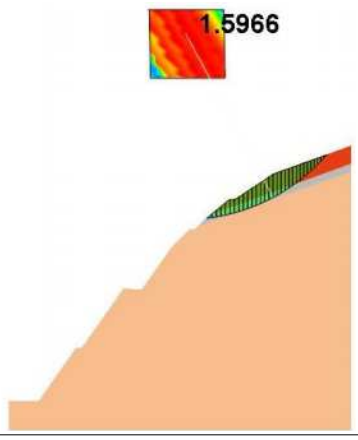
◦ 검토단면





대표단면 : STA.55+258, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.62	안전율 : 1.86	안전율 : 1.59

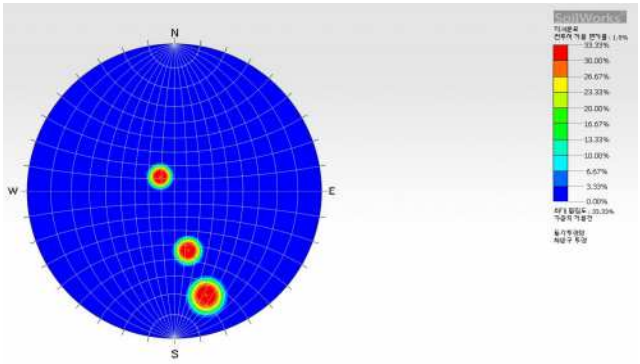
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

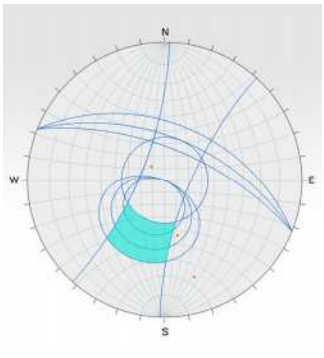
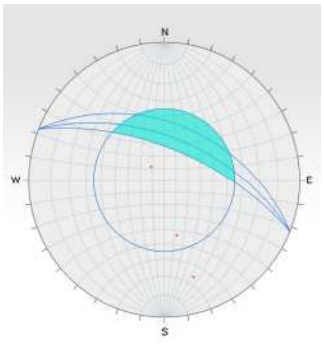
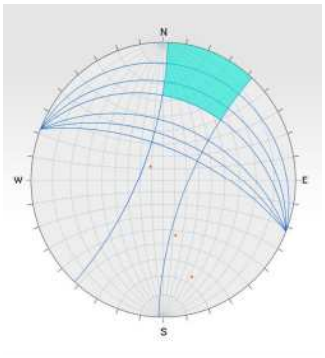
4) 2구간 (STA.55+298 ~ 55+448)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		73	343
		45	347
		16	137

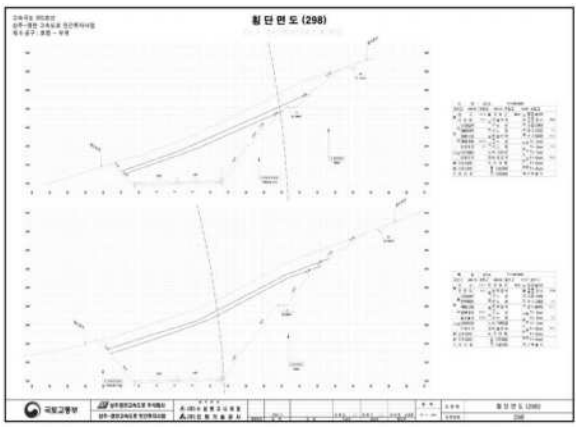
◦ 해석결과

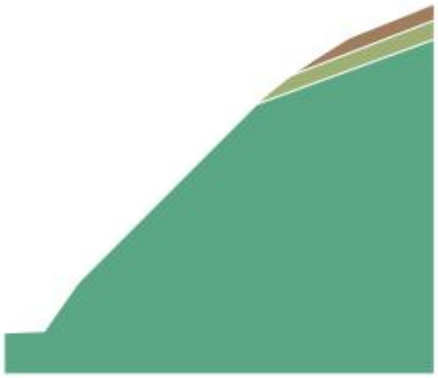
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

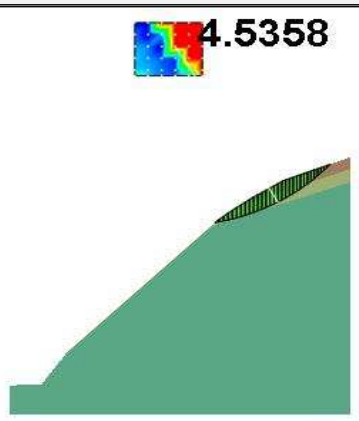
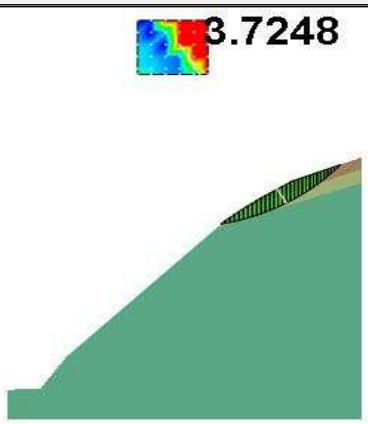
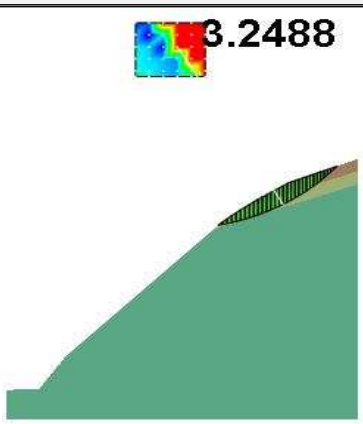
◦ 검토단면





대표단면 : STA.55+378, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 4.53	안전율 : 3.72	안전율 : 3.24

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 39-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토39**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.62	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.86	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.59	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

39.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 39-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토39**		
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	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 39-82> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

39.5 내구성능 평가

39.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 39-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 5/39 = 0.13
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 104.9MPa	
면적	전체	3,402㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	3,402㎡	
표면보호공	식 생	3,402㎡	
사면보강공	-	-	

39.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 39-84> 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

39.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 39-85> 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 39-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
55.238km	105.7	100.8	초기 강도값(경암) : 104.9MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
55.248km	99.9	95.2	
55.258km	103.4	98.6	
55.388km	104.6	99.7	
55.408km	104.4	99.5	
55.418km	105.7	100.8	
평균값	104.0	99.1	
등급	**A등급**		

<표 39-87> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 39-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	3,402/3,402㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 39-89> 사면보강공 평가 등급 및 결과

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면 보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	-	미세한 균열 및 파손 발생
	c	일부 유격 발생	일부 균열 및 파손이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않은 상태
	d	-	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태
	e	전체적인 유격 발생	균열 및 파손이 심각한 상태

<표 39-90> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 39-91> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	36	36	36
평 균	7.2	7.2	7.2
평가 결과	c	c	c

<표 39-91> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(2구간)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
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 39-92> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
1구간 - Set 1	c	0.43	
1구간 - Set 2	c	0.43	
1구간 - Set 3	c	0.43	
2구간 - Set 4	c	0.43	
2구간 - Set 5	c	0.43	
2구간 - Set 6	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

39.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 39-93> 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 39-94> 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	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 39-95> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

39.6 종합평가

39.6.1 종합평가 개요

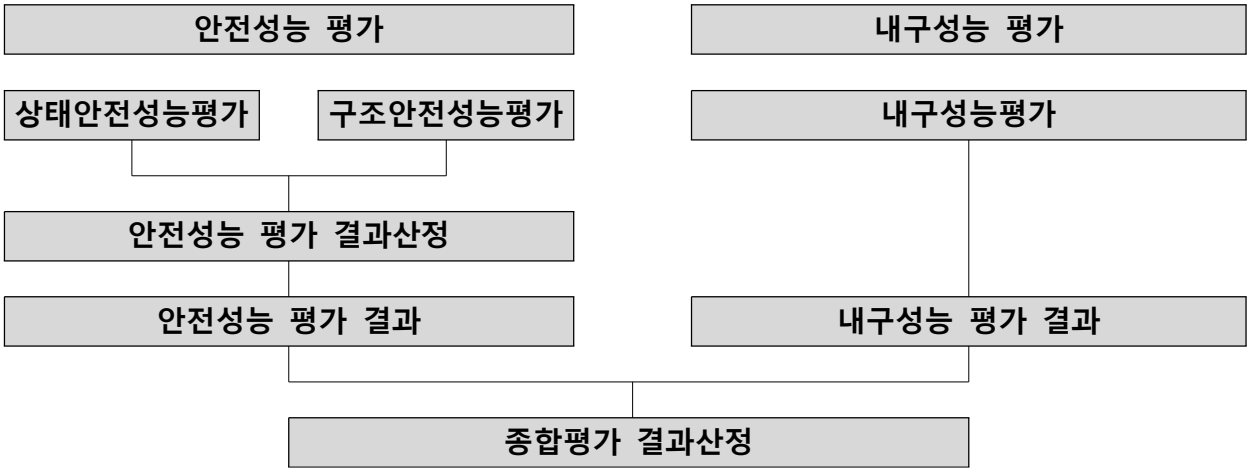
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 39-16> 종합평가 흐름도

39.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 39-96> 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 39-97> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토39		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.120	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.120 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.149 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 39-98> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

39.7 유지관리 전략 제안

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

39.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 39-99> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

39.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.149)"으로 평가되었다.

<표 39-100> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.265	0.149
평가결과	A	B	A

39.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 39-101> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

39.8 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. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제40장 영천절토40

40.1 대상 시설물 현황

40.2 관련 자료의 분석

40.3 현장조사

40.4 안전성능평가

40.5 내구성능평가

40.6 종합평가

40.7 유지관리전략 제안

40.8 종합결론

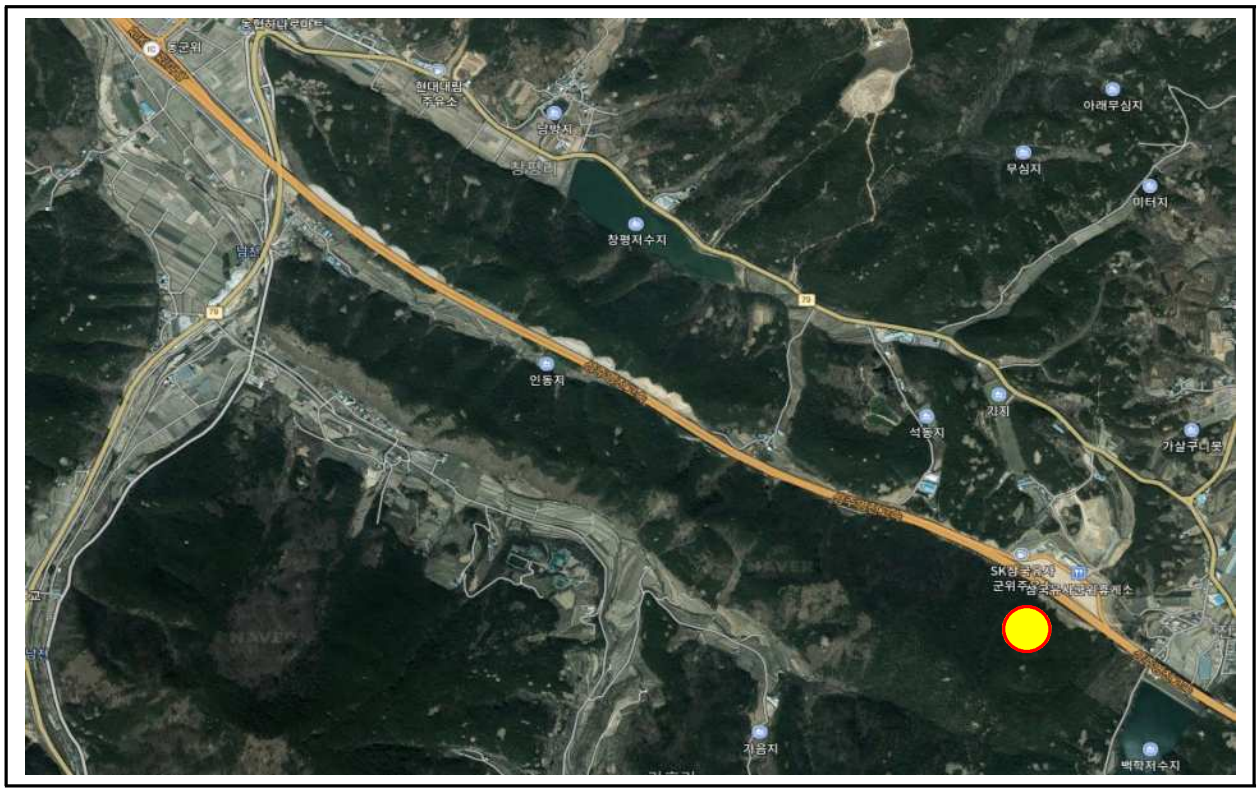
제40장 영천절토40

40.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 56.078~56.398km)에 위치한 사면으로서 총 연장 320.0m, 높이 36.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 40-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000021		**관리번호**	SY SL39
시설물명	영천절토40		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 부계면 창평리		
	위치좌표	시점 : 36° 07′87.4″ 128° 69′54.9″		
		종점 : 36° 07′70.8″ 128° 69′82.5″		
	관리이정	56.078~56.398km		
	공구이정	7공구 STA.0+520~0+840		
제 원	**연 장**	320m	**높 이**	36.0m
	경사/방향	55/048	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	20~30°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	경남기업(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 숏크리트		
비 고				



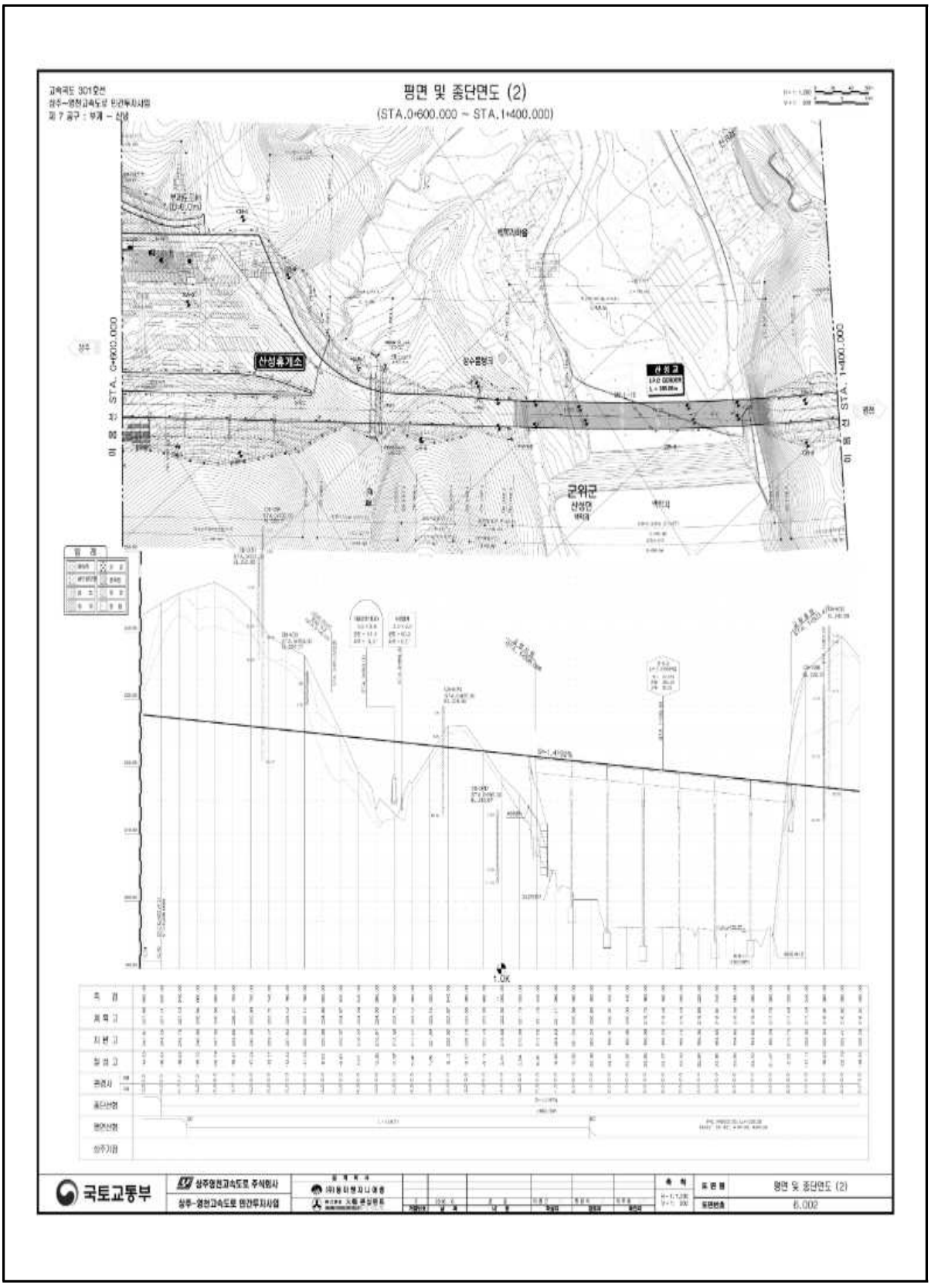
<그림 40-1>위치도



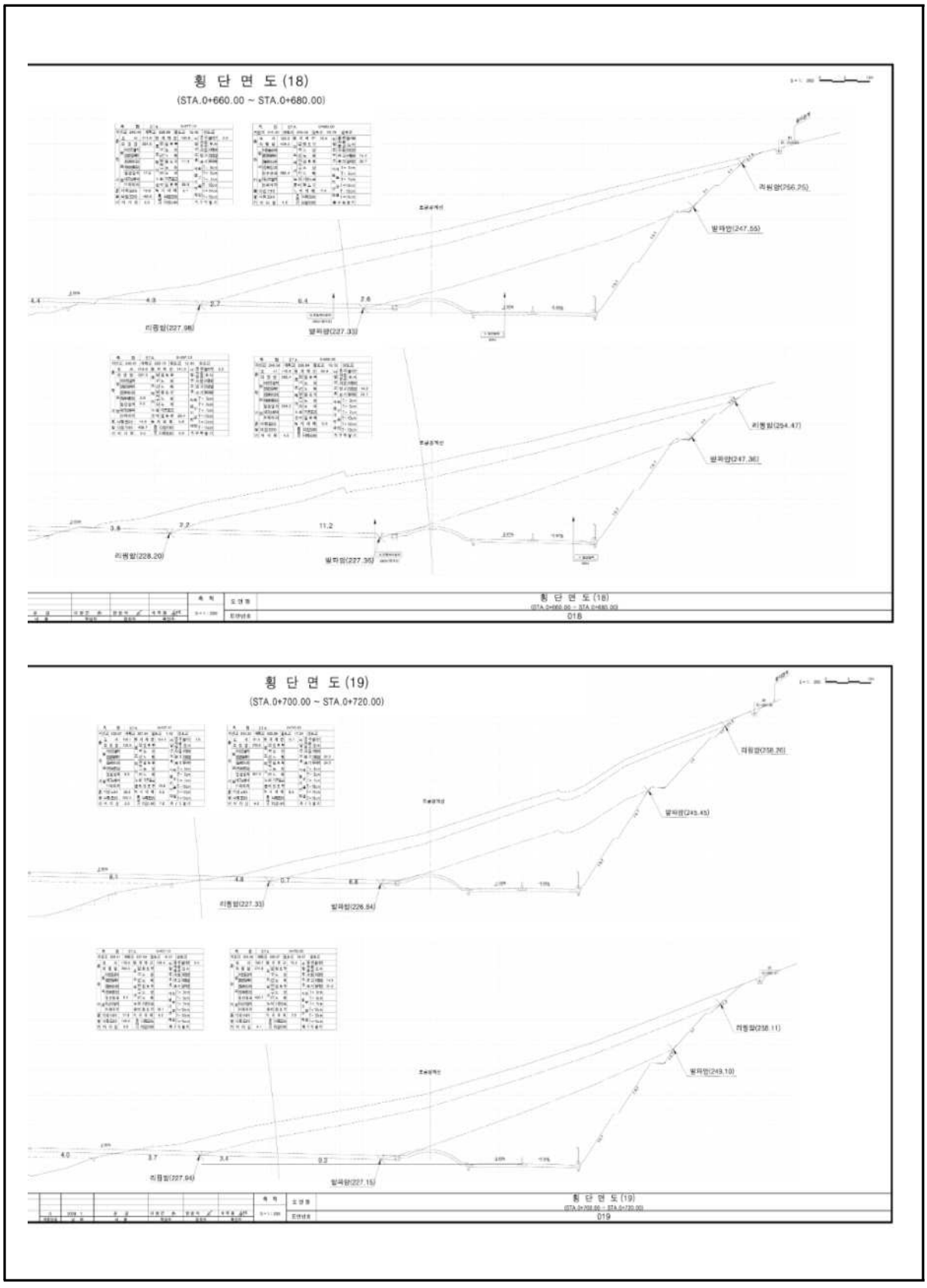
<그림 40-2> 전경사진

	
상단 전경	정면 전경
	
산마루측구, 점검계단 전경	숏크리트 전경
	
하부 전경	1소단배수로 전경

<그림 40-2> 전경사진(계속)


평면 및 종단면도 (2)
(STA.0+600.000 ~ STA.1+400.000)
산성휴게소
군위군
국토교통부
평면 및 종단면도 (2)
6.002

<그림 40-3> 평면도



<그림 40-4>표준횡단면도

40.2 관련 자료의 분석

40.2.1 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 40-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 7공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종・횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 7공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 7공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수・보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

40.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 7공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

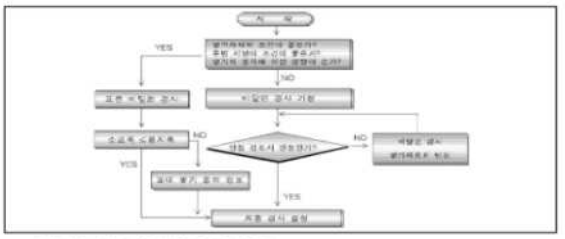
7.4 비탈면 설계기준

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

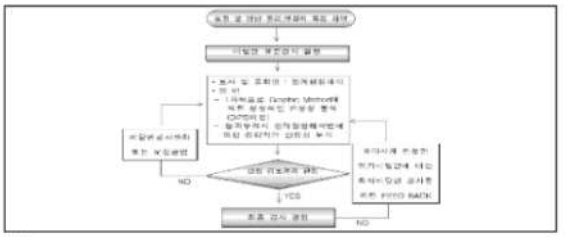
7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 풍기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



188

상주-영천고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 위기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 심층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 위기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 구속있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 대한 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 쉬인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

주) 1. 실트는 점성토로 간주, 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 이 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

190

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내의 기관별 소단 적용기준

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

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수를 통한 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하여 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내의 기관별 소단적용 기준]

구 분	기관 및 규정명	소단적용 기준
국 내	건설공사 비탈면 설계기준 (2009)	- 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치 - 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치
	한국도로공사 도로설계요령 (2002)	- 리핑암 : RQD = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m - 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	- H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	- H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	- H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	- 암석과 점착는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	- H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

쌓기구간에서는 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건의 차층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

193

7.4.5 설계기준 선정

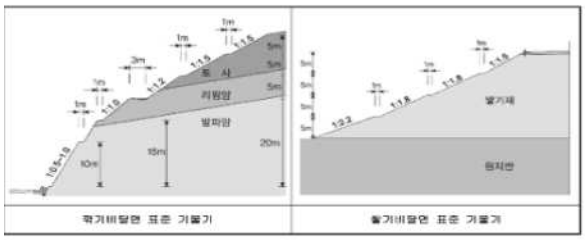
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

[비탈면 기울기 설계기준]

비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
암깎기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2 ~ 1.5	· 토사 및 리핑암 – 암깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 · 발파암 : – 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7 ~ 1:1.0 기울기 적용시) · 암깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5 ~ 1.0	
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5 ~ 2.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치



깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

196

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:250,000)	분 석 내 용
	• 과업구간은 백악기 경상분지의 신동층과 하양군층이 주로 분포하는 의성소분지 남부에 위치 • 본 조사공구는 시점부의 일직층을 시작으로 후평동층, 점곡층, 사곡층이 순차적으로 분포함 • 과업노선은 사암, 이암, 세암 및 Lutite(니암) 암석이 주구성을 이루며 부분적으로 역암이 협재 • 노선과 평행하게 역암등 단층이 발달

4.1.2 인접지역 설계자료 분석

사 업 명	분 석 내 용
남천~청도간 (금티재,노귀재) 국도4차로 확장공사 실시설계 (2002. 3)	• 토사층은 1.0~7.0m로 분포하며, 풍화암은 1.6~6.0m의 두께로 분포 • 토사층은 실트섞인 모래 및 호박돌로 구성 부분적으로 점토 혼재 • 연암은 5.0~10.0m 이하에서 4.5~9.0m 두께로 분포 • 경암은 14.5~17.7m 이하에 분포하며, TCR은 92~100%의 범위를 보이며, RQD 63~70%의 분포 범위를 나타냄

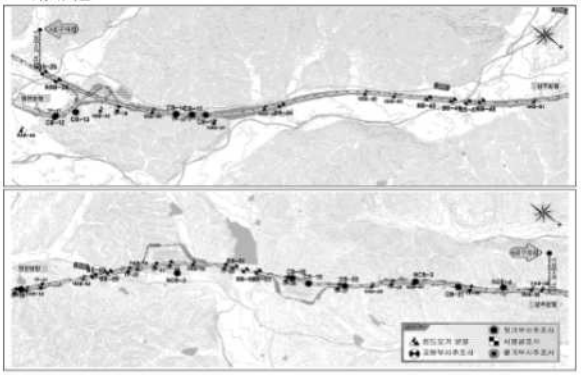
4.1.3 현장답사를 통한 주변현황 분석

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항	노 선 현 황
교량 구간	• 산성교 시점 교대구간 산사태에 따른 비탈면붕괴 확인 • 산성교 중점부 구간 토사 및 풍화대 비교적 깊은 층두로 발달	• 과업구간 교량의 지층분포현황 점검 및 파악 • 산성교구간의 단층교차 예상지점 및 산사태지점 안정성검토	
위기 구간	• 위기2구간 급경사지역 사면붕괴 • 송림휴게소(상주방향) 주변 위기구간 통과대 급경사 분포	• 지질 이상대 예상지역의 비탈면 안정성검토 • 굴절법 탄성파 탐사를 통한 미시추구간 지층분포 정밀 파악	
절기 구간	• 절기구간 대부분 경작지로 활용 • 경작지 현황파악을 통한 시추조사 가능 위치확인	• 충적층 발달구간의 연약지반 발달 가능성 및 조사방안 검토 • 지층분포의 정밀 파악을 위한 미시추구간의 현장조사 검토	

4.2 기존조사자료

4.2.1 기본설계조사 수량 및 위치도

가. 위치도



나. 수량

구 분		단위	교량구간	토공구간	계
지표지질조사		식		1	1
굴리탐사	굴절법탄성파탐사	km	-	1.32	1.32
현장조사	시추조사	공	17	12	29
	시험굴조사	회	-	13	13
현장시험	핸드오거보링	회	-	15	15
	표준관입시험	회	36	47	83
	현장밀도시험	회	-	26	26
실내토질시험	물성시험	회	-	13	13
	다짐 및 CBR시험	회	-	13	13
	직접전단시험	회	-	8	8
실내암석시험	물성시험	회	-	1	1
	일축압축시험	회	-	1	1
	삼축압축시험	회	-	1	1
	원리면전단시험	회	-	1	1

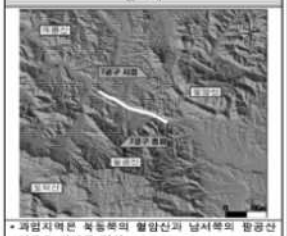
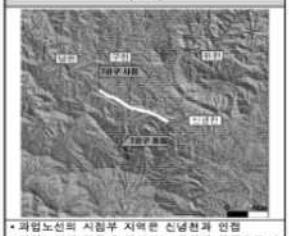
4.3 지표지질조사

4.3.1 지형 및 지질 특성

가. 지질 개요

- 과업지역은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 남부에 위치
- 백악기 경상층군의 최하부층인 연화동층 상부로부터 최상부의 지인층까지 분포하고 있으며 경상층군 상부에 해당하는 신라아층군에는 퇴적암층이 협재됨

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역은 북동북의 혈암산과 남서북의 팔공산 이주요 산계를 형성 • 과업노선은 혈암산과 팔공산 사이의 비교적 낮은 구릉지를 따라 서북서 방향으로 위치	• 과업노선의 시점부 지역은 신녕천과 인접 • 과업노선의 북쪽에 위치하는 구천의 북쪽으로 흐르면서 노선의 종양부와 인접하고 있으며,북서쪽에 위치하는 남천은 북서쪽으로 흐르면서 노선의 종점부와 인접

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성	노 두 사 진
후평동층 구미동층원 사암	• 구미동층원 사암은 과업노선의 시점부에 주로 분포하며 담회색 또는 담황색의 사질이 우세한 이암과의 교호대가 발달 • 주구성광물은 석영, 알칼리장석, 점토광물로 구성되며, 일부층에서 역암이 산출되기도함	
후평동층 구미동층원 세암	• 과업노선 시점부의 일부구간에 분포하며, 사암과 세암의 교호대로 산출되나 대부분지역에서 세암이 우세하게 나타남 • 석영, 알칼리장석, 암편석이 주구성광물을 이룸	

구 분	지질특성	노두사진
점곡층 암회색 세암	• 과업노선의 중앙부에 분포하며, 주로 암회색 내지 흑색 세암로 구성 • 주 구성광물은 아각 내지 각상의 석영, 방해석, 유기물, 운모등 점토광물이고 부성분으로 백운모 흑두멍광물이 나타남	
사곡층 사질 이암	• 과업노선의 중앙부와 종점부에 넓게 분포하며, 주로 사암과 세암로 구성됨 • 석영, 알칼리장석, 점토광물이 주구성광물을 이룸	

라. 지질 계통도

지질시대			층 명	특 성	비 고
제4기			충적층(Qal)	• 하천 및 산록 퇴적물	
			~~ 부정합 ~~		
중생대	백악기		중성암맥(Kid) 산성암맥(Kad)	• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
			~~ 관입 ~~		
			화강암(Kgr)	• 괴상의 치밀	• 분포하지 않음
			~~ 관입 ~~		
		유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 응회암으로 구성	• 분포하지 않음
			~~ 관입 및 분출 ~~		
		하양층군	신암동층(ks9)	• 암회색 이암 및 세암과 사암이 교호대	• 분포하지 않음
			손산층(ks8)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세암 • 하부층에서 석회질 물질 다량 함유	• 분포하지 않음
			사곡층 (Ks7) 상부 (Ks7-ms)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세암 • 석회질 물질 함유	• 분포하지 않음
			사곡층 (Ks7) 하부 (Ks7-ss)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세암과 사암이 교호 • 사질부분은 다량 함유	• 8공구 시점과 7공구 종점
			점곡층(ks6)	• 암회색, 녹회색, 적색 세암 및 이암 • 주로 암회색 세암로 구성	• 7공구 종점부
			후평동층 (Ks5) 구계동층원 (Ks5-2)	• 사암, 미사암 및 미사질 세암 및 이암(니질 우세)	• 7공구 시점부
			후평동층 (Ks5) 구미동층원 (Ks5-1)	• 사암, 적색 미사질 세암, 저색혀브역 및 역암(사질 우세)	• 7공구 시점부
			일직층(Ks4)	• 사암, 적색 미사질 세암, 역암 • 주로 사암이 우세	• 6공구 종점

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주-영천 고속도로 민간투자사업 제 7공구 지반조사

1.2 조사목적

• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사(현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

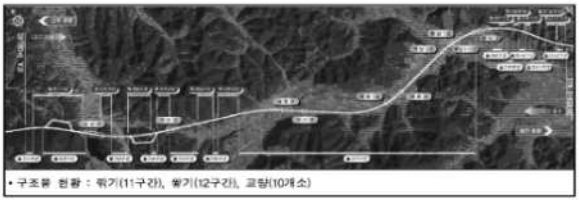
1.3 조사범위

위치
• 시점 : 경상북도 군위군 부계면 창평리(STA. 0+000) (X=287099.61, Y=172291.69)
• 종점 : 경상북도 영천시 신녕면 화성리(STA. 9+800) (X=286866.14, Y=181553.04)
• 연장 : 9.80km

목적
• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제2경부축(상주~영천) 고속도로 건설
• 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산
• 민간의 창의와 효율로 정부재정자원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도



• 구조물 현황 : 위기(11구간), 쌍기(12구간), 교량(10개소)

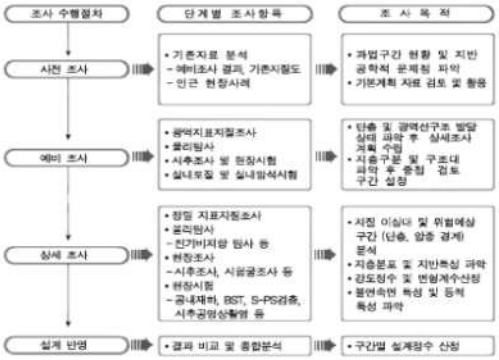
제 2 장 조 사 계 획

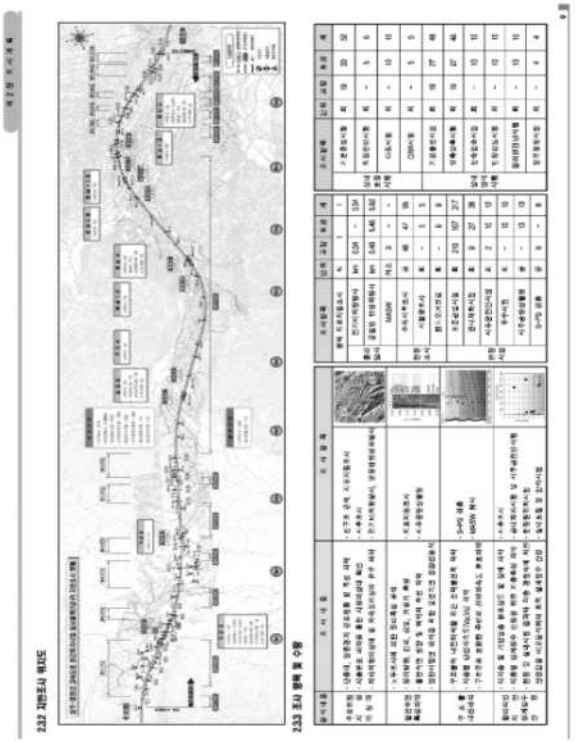
2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

2.1.1 조사 기본방향



2.1.2 조사 수행 흐름도





제 7 장 [redacted]

7.1 [redacted]

7.1.1 [redacted]

[redacted]

7.1.2 [redacted]

[redacted]

- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]

7.2 [redacted]

7.2.1 [redacted]

[redacted]

구 분	선 정 기 준
붕 기 부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 붕기재료의 암수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지형특성으로 인하여 붕기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우 · 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 붕기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
락 기 부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 층적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 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)	대표단면 (STA.)	최대위기고 및 평기고	지층현황	조 사 내 용		비 고
							공번	조사위치 (STA.)	
절토	락기1구간	0+140 ~ 1+000	860	0+280(좌)방향 0+580(좌)방향 0+700(좌)방향	17.3 m 21.5 m 30.6 m	풍화토 및 연암층	CB-1(좌) CB-2(좌) CB-3(좌) CB-4(좌) CB-5(우) CB-6(좌)	0+303 0+399 0+580 0+730 0+731 0+835	
	락기2구간	1+300 ~ 1+480	180	1+380(우)방향 1+380(좌)방향	16.2m 24.7m	풍화토 및 연암층	CB-7(우) CB-8(좌)	1+383 1+383	
	락기3구간	1+760 ~ 2+150	390	1+820(우)방향	15.1 m	풍화토 및 연암층	CB-9(우) CB-10(우) CB-11(좌) CB-12(좌) CB-13(좌)	1+810 1+910 2+040 2+070 2+152	
	락기4구간	2+250 ~ 2+460	210	2+250(우)방향 2+340(좌)방향	34.0 m 15.1 m	풍화토 및 연암층	CB-14(좌)	2+318	
	락기5구간	2+960 ~ 3+230	270	3+140(우)방향 3+140(좌)방향	32.4 m 8.9 m	풍화암 및 연암층	CB-15(우) CB-16(우)	2+990 3+151	
	락기6구간	3+310 ~ 3+670	360	3+380(우)방향 3+480(좌)방향	37.3 m 8.30 m	풍화토 및 연암층	CB-17(우) CB-18(좌) CB-19(좌) CB-20(좌)	3+335 3+429 3+529 3+600	
	락기7구간	8+630 ~ 8+750	120	8+700(우)방향	14.1 m	(표토층) 풍화토 및 연암층	CB-21(우)	8+692	

7.8.4 암반파쇄에 따른 비탈면 기울기 현황

시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 락기 기울기 평가 및 검토를 암석별 락기 적정기울기 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 락기비탈면 기울기 검토]

구분 / 구간		시추번호	심도 (GL.-m)	암반 특성에 따른 비탈면 기울기					적용 기울기
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 기울기	RQD에 의한 기울기	
제1락기부	0+140 ~1+000	경천방향	CB-1	12m이하	세일	73.3	35.3	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-2	4m이하	사암, 세일	59.3	26.3	1:0.7	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-3	12.5m이하	세일	60.0	43.4	1:0.7	1:1.0	1:0.7
		경천방향	CB-4	3.8m이하	세일	89.3	47.0	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		상주방향	CB-5	4.2m이하	사암, 세일	100.0	45.6	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-6	1.0m이하	사암, 세일	95.4	49.4	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제2락기부	1+300 ~1+480	상주방향	CB-7	10.7m이하	세일	96.1	53.6	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-8	2.4m이하	세일	86.7	41.6	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제3락기부	1+760 ~2+150	상주방향	CB-9	1.0m이하	세일	100.0	47.9	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		상주방향	CB-10	1.0m이하	세일	97.1	45.9	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-11	1.0m이하	세일	95.9	71.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-12	1.0m이하	세일	100.0	80.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-13	1.4m이하	세일	98.6	80.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제4락기부	2+250 ~2+460	경천방향	CB-14	1.0m이하	세일	99.2	80.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제5락기부	2+960 ~3+230	상주방향	CB-15	0.9m이하	사암	95.9	68.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-16	1.5m이하	세일	90.6	51.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제6락기부	3+310 ~3+670	상주방향	CB-17	3.9m이하	세일	93.3	74.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-18	0.8m이하	세일	96.9	78.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-19	3.7m이하	세일	86.3	54.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-20	0.0m이하	세일	86.2	61.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제7락기부	8+630 ~8+750	상주방향	CB-21	1.2m이하	사암, 세일	73.3	31.8	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제8락기부	8+870 ~8+950	경천방향	CB-22	1.2m이하	세일	78.8	57.5	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제9락기부	9+070 ~9+170	경천방향	CB-23	1.5m이하	세일	94.0	77.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제10락기부	9+460 ~9+620	경천방향	CB-24	3.0m이하	세일	99.1	85.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-25	1.0m이하	세일	98.4	91.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제11락기부	9+650 ~9+800	상주방향	CB-26	1.0m이하	세일	100.0	85.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-27	1.0m이하	세일	98.6	83.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7

제 1 장 지반조사 위치도

1) 위치도

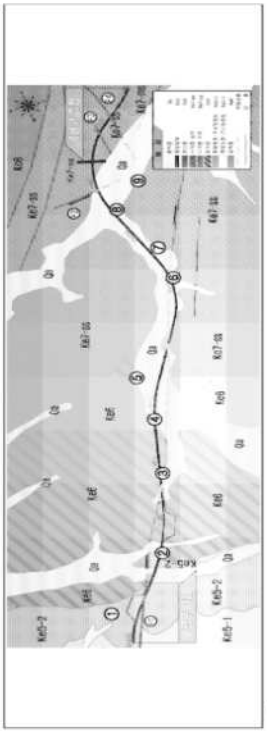


2) 수량

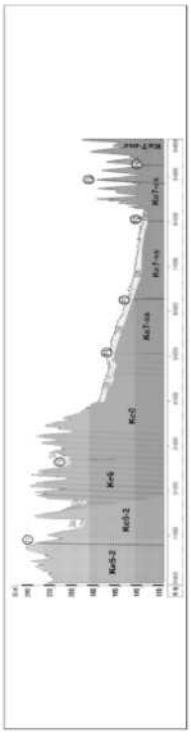
조사항목			단위	규격	수량	비고
원위치 시험	표준관입시험	표준관입시험	회	10	33	33
	동적콘관입시험	동적콘관입시험	회	-	5	5
	베인 전단시험	MAIR	회	-	10	10
		이공시험	회	-	5	5
		CBR시험	회	-	5	5
현장 조사	지표지질조사	지표조사	측선	1	1	1
	시추조사	시추조사	공	40	40	40
	물리탐사	물리탐사	측선	1	1	1
	표준관입시험	표준관입시험	회	10	37	37
	공내재하시험	공내재하시험	회	6	6	6
	공내전단시험	공내전단시험	회	3	3	3
	공내수평재하시험	공내수평재하시험	회	3	3	3
	지하수위	지하수위	회	-	3	3
	시추공영상촬영	시추공영상촬영	공	-	3	3
	공내검층	공내검층	공	-	3	3
실내 시험	물리적 특성시험	기본물성시험	회	10	33	33
		세립분함유시험	회	-	5	5
		아터버그	회	-	10	10
		CBR시험	회	-	5	5
	강도 및 변형특성 시험	기본물성	회	10	37	37
		일축압축시험	회	10	33	33
		삼축압축시험	회	-	10	10
		불연속면전단시험	회	-	10	10
		암반용수 시험	회	-	4	4

제 3 장 지질도

1) 지질평면도



2) 지질단면도



40.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 40-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토40 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 망상균열이 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2040. 05. 28 ~ 2040. 06. 30	정기안전점검	영천절토40 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 망상균열이 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2040. 10. 23 ~ 2040. 12. 31	정기안전점검	영천절토40 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 망상균열이 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	영천절토40 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 망상균열, 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토40 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 건조수축에 의한 균열이 발생된 것으로 확인되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

40.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 40-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

40.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 40-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

40.2.6 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 40-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

40.3 현장조사

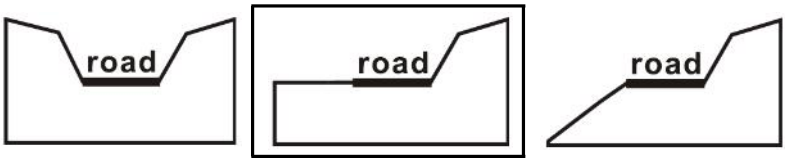
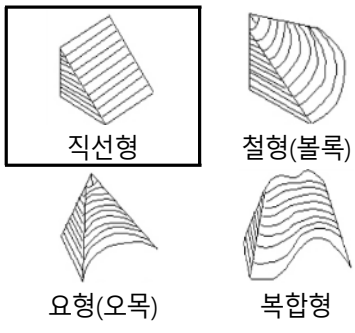
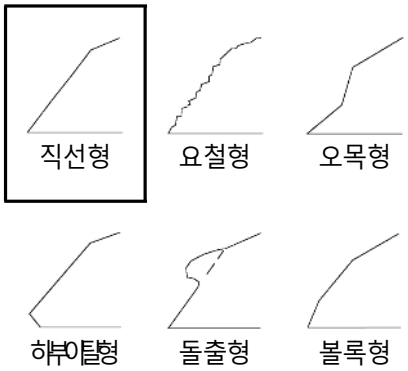
40.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 40-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 18.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 부계면 창평리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 07′87.4″ 128° 69′54.9″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 07′70.8″ 128° 69′82.5″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 320m</td><td colspan="2">높 이 : 36.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/048</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~4.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="7">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>식생공</td><td colspan="2">56.078~56.398k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">56.078~56.398k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">56.138~56.338k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">56.138~56.338k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">56.138~56.378k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">56.338~56.398k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 40-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="3"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">20~30°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 40-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토40		
	위경도	시점 : 36° 07′87.4″ 128° 69′54.9″ 종점 : 36° 07′70.8″ 128° 69′82.5″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	320.0m	최대높이	36.0m
	경사	55°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	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
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~4.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) ■숏크리트공(양호) □격자블럭 ■점검로(양호)		□낙석방지망 ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소 견	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			

40.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 56.078~56.398km)에 위치한 사면으로서 총 연장 320.0m, 높이 36.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 40-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{36.0}=0.11$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 108.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{36.0}=0.014$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{36.0}=0.11$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 320m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 2개구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 40-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	56.078~56.258km	180m
2구간	56.258~56.398km	140m

40.3.3 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 40-12> 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 식생공, 숏크리트공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화상태는 약한풍화(SW)~심한풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 40-13> 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 40-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	80/291	83/060	10/040
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	거칠음	거칠음	거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	MW
구 분	2구간		
	-	-	-
방향성	-	-	-
간격(m)	-	-	-
연장성(m)	-	-	-
틈새(mm)	-	-	-
거칠기	-	-	-
충진물질	-	-	-
풍화도	-	-	-

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 40-15> 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 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 40-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	5EA / 103.0	건조수축	

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 40-17> 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 40-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 40-19> 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 40-20> 인장균열 조사 결과

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

40.3.4 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 총 3개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 40-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
56.178km	53.3	108.0	경암	
56.188km	53.1	107.1	경암	
56.198km	52.2	102.9	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 52.2~53.3으로 측정되었으며, 추정강도 102.9~108.0㎫로 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. 표면보호공은 식생공, 숏크리트공, 낙석방지공으로는 낙석방지울타리로 시공되어있다.

<표 40-22> 표면보호공 조사 결과

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



표면보호공(식생공, 숏크리트공) 전경



표면보호공(식생공, 숏크리트공) 전경

라. 사면보강공

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

<표 40-23> 사면보강공 조사 결과

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

40.4 안전성능평가

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

40.4.1 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 0.11로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 파쇄암반, 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 40-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{36.0}=0.11$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 108.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{36.0}=0.014$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{36.0}=0.11$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	절리암반	

본 사면은 연장 320m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 40-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	56.078~56.258km	180m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	56.258~56.398km	140m	암반사면	보호공으로 인해 조사불가

<표 40-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 40-27> 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 40-28> 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 40-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

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

<표 40-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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 40-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 40-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 40-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 40-34> 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 40-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 40-36> 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/sec^2) (u, β는 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 40-37> 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 20~30°	d
	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 40-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 40-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 40-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 40-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토40		
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
블연속면 특성		7.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			11	
결함지수		0.11		
상태안전성능평가 결과		A		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

표면보호공인 숏크리트가 시공되어있어 조사가 불가하였다.

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 40-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
320.0m	1구간	56.078~56.258km	a(0.11)	A	인장균열 없음
	2구간	56.258~56.398km	-		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

40.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

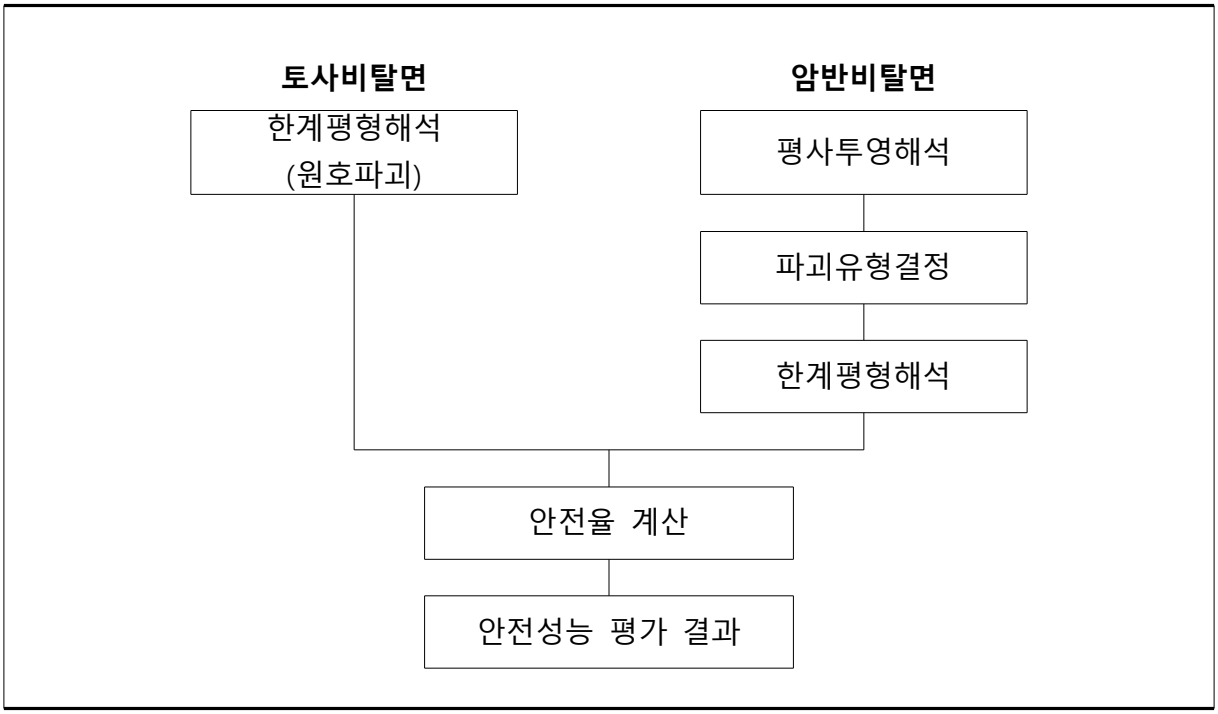
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 40-5> 구조안전성능 평가과정

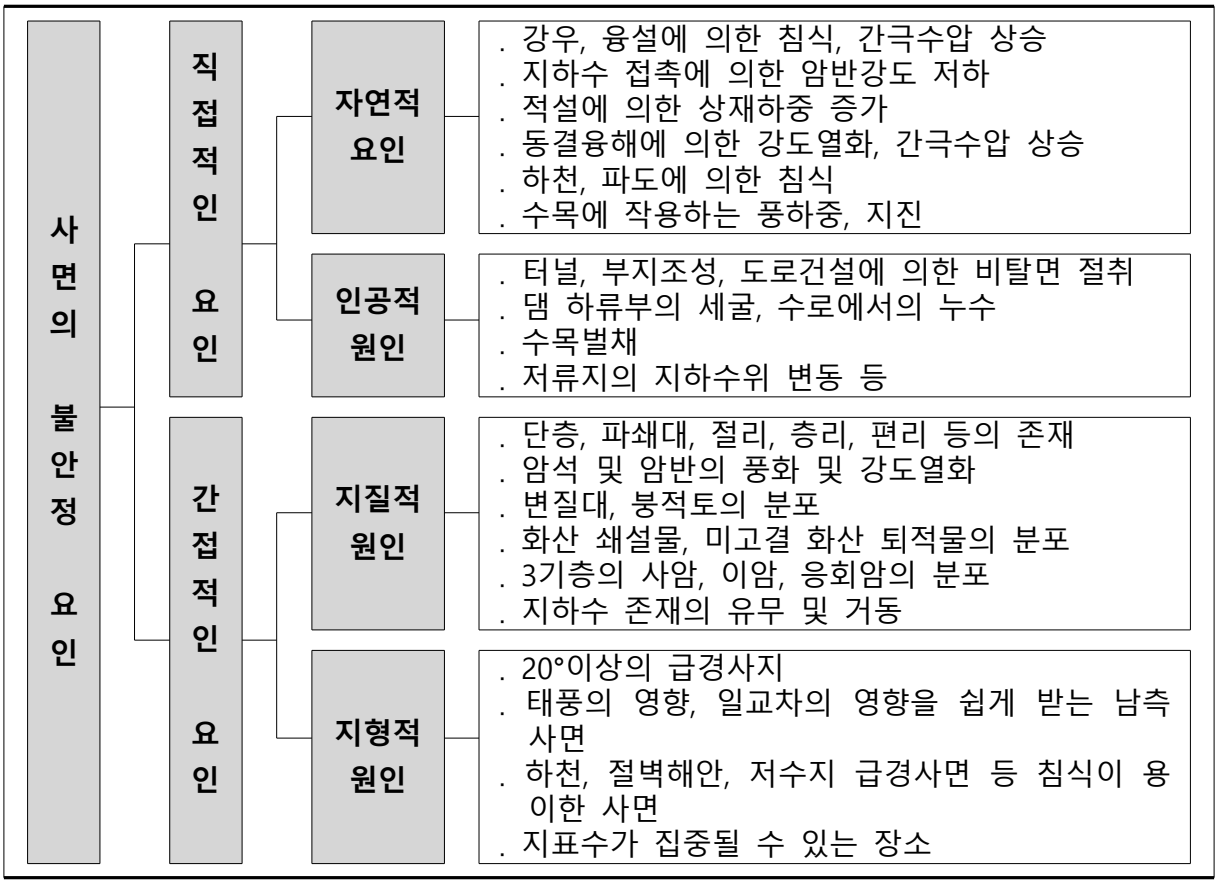
<표 40-43> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

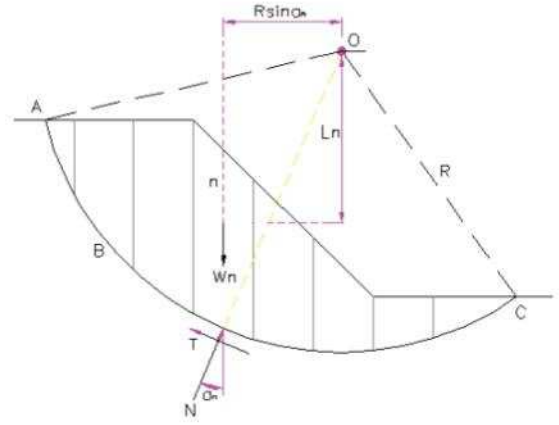


<그림 40-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

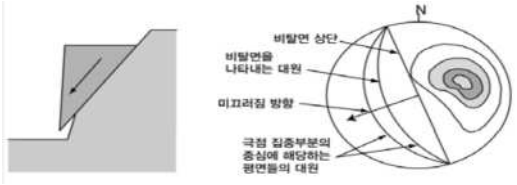
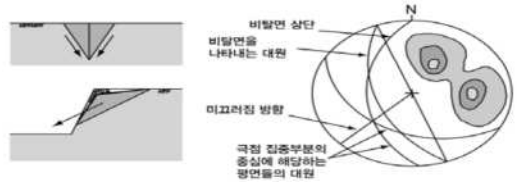
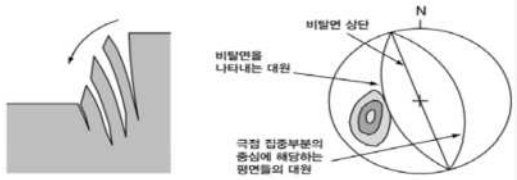
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 40-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 40-44> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 40-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

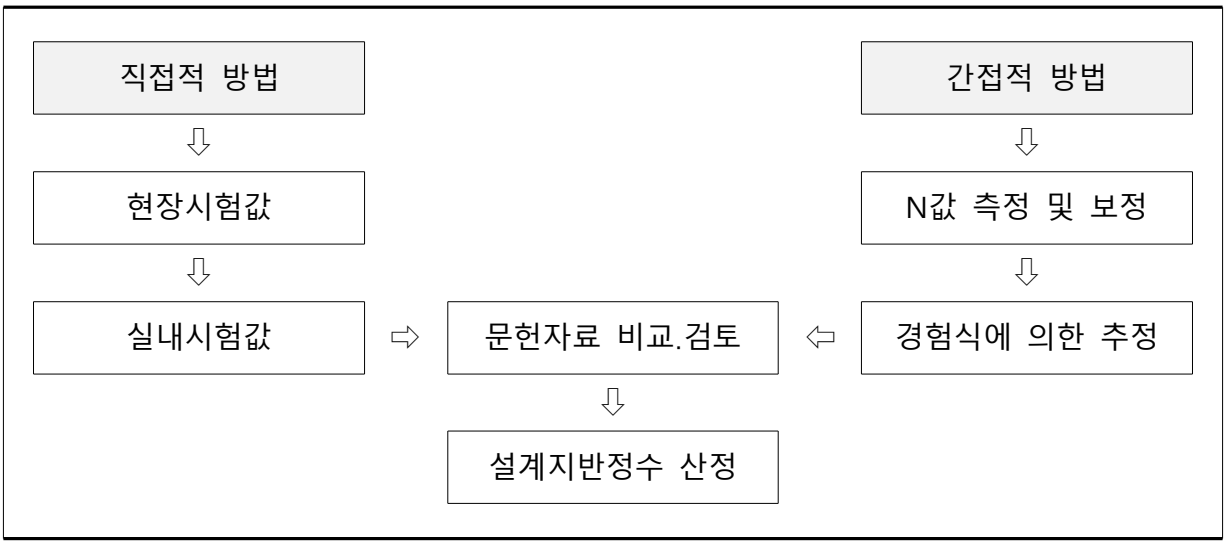
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 40-46> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 40-47> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 40-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 40-49> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 40-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (7공구)	풍화(잔적)토	20	28	20	
	풍화암	22	30	30	
	경 암	26.5	44	500	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 40-51> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 40-52> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~240.7	26.7±0.8	240.3±1.0	240.3±1.0	240.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 40-53> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 40-54> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 40-55> Trueman (1988)

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

<표 40-56> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 240.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	20	28	20	0.3	
풍화암	22	30	30	0.3	
경 암	26.5	44	500	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 40-57> 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

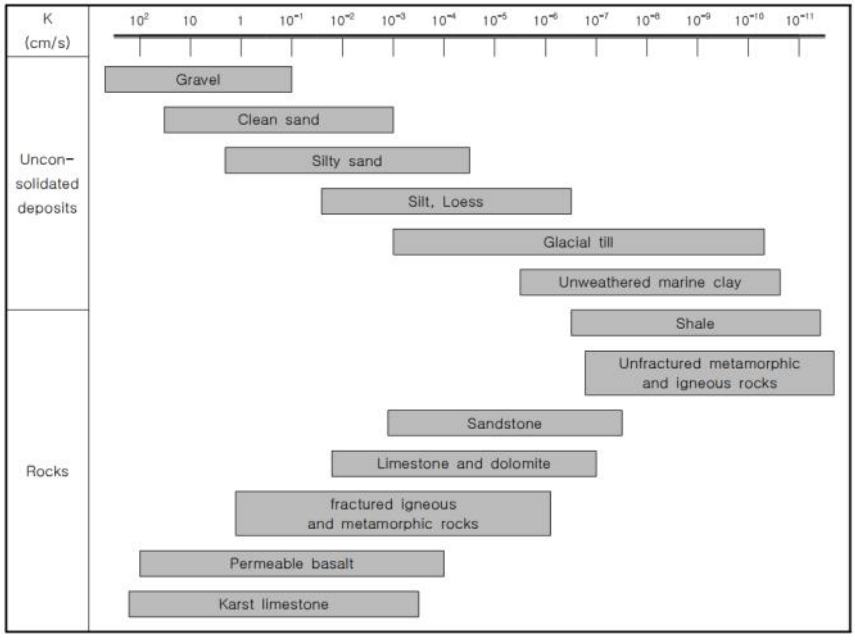
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 40-58> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 40-59> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 40-8> 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 40-60> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

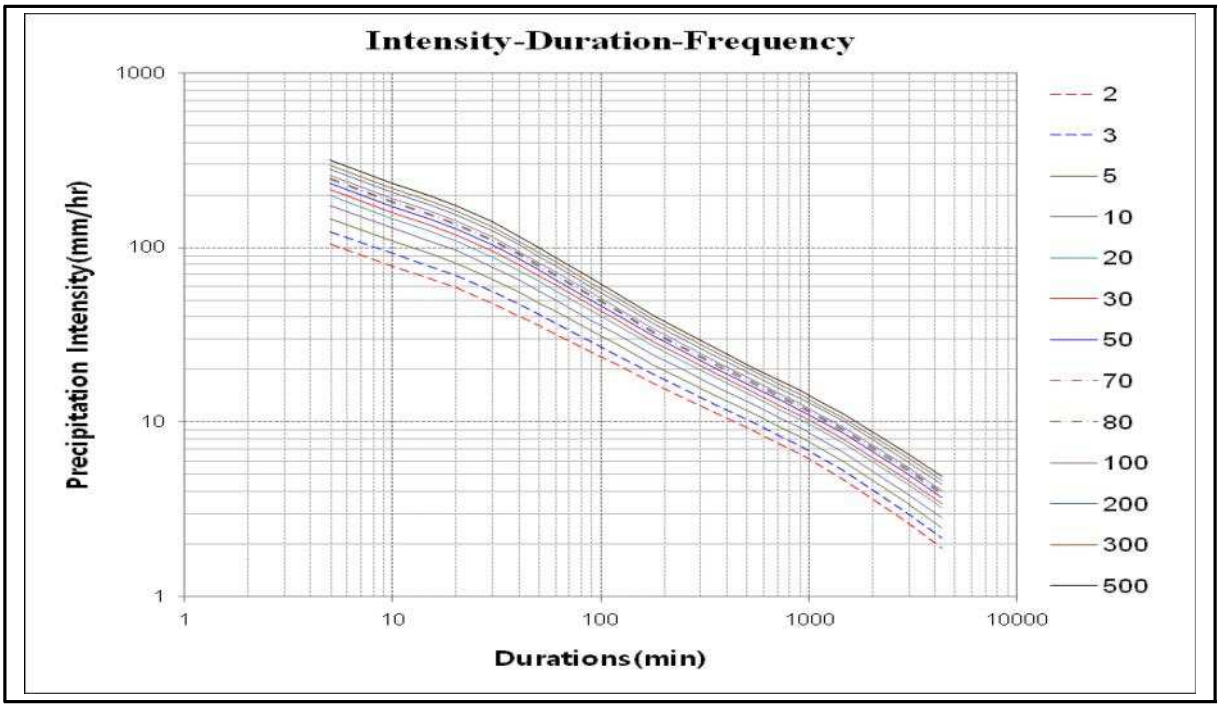
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 40-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 40-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 40-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 40-61> 설계지반운동 수준

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

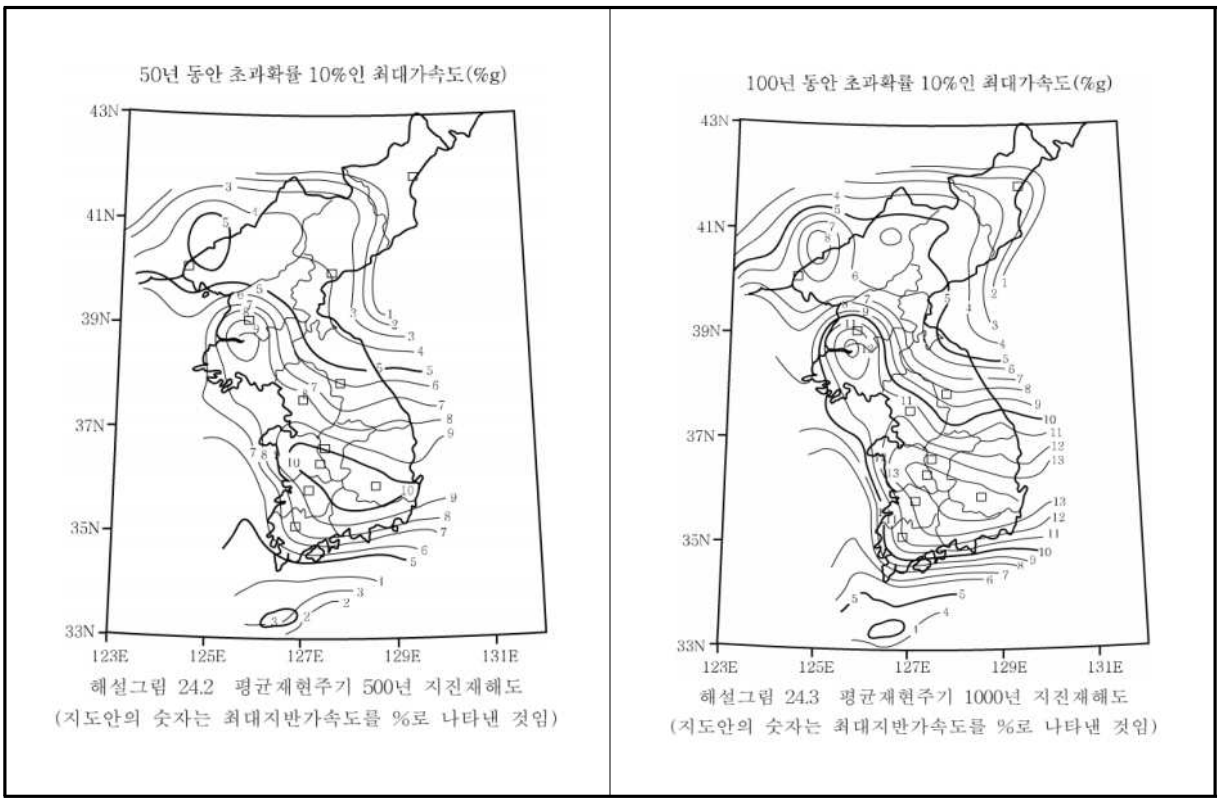
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 40-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 40-62> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 40-63> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

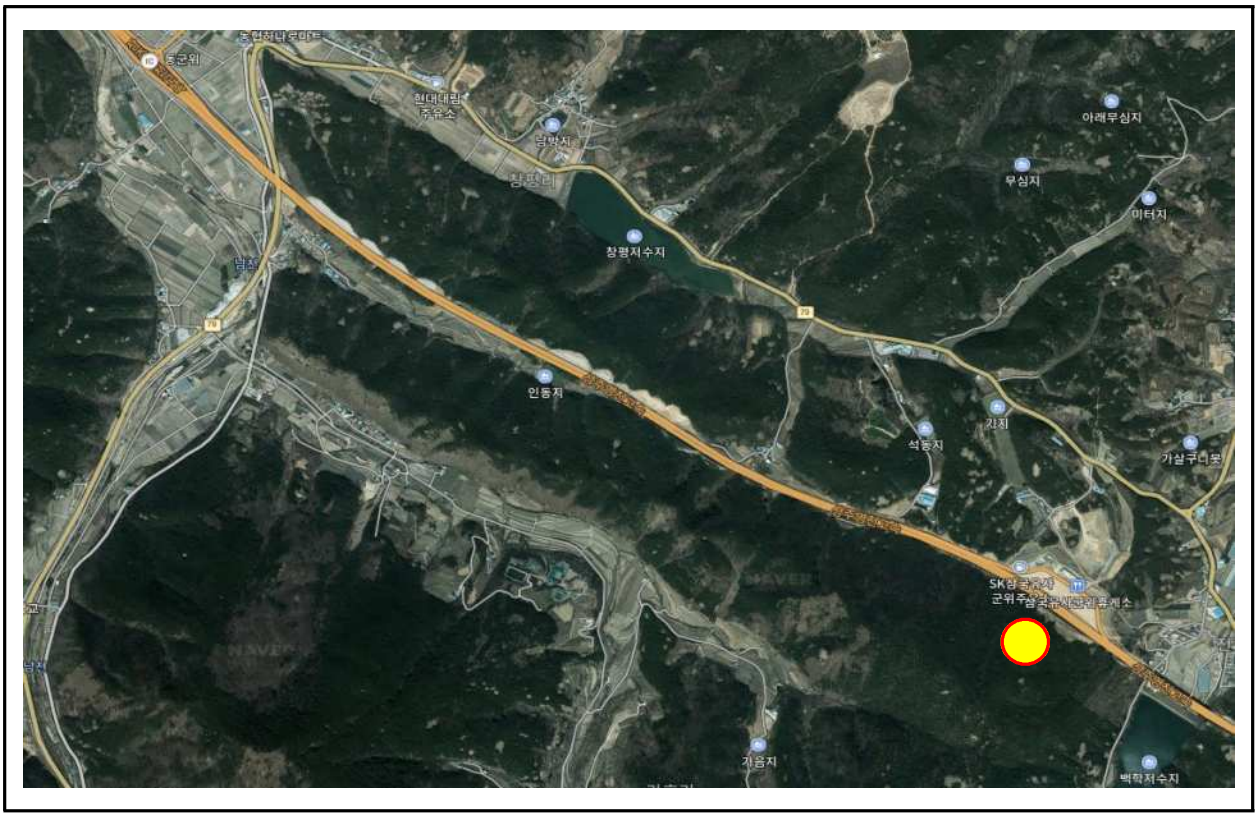
3) 지진가속도계수 선정

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 40-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

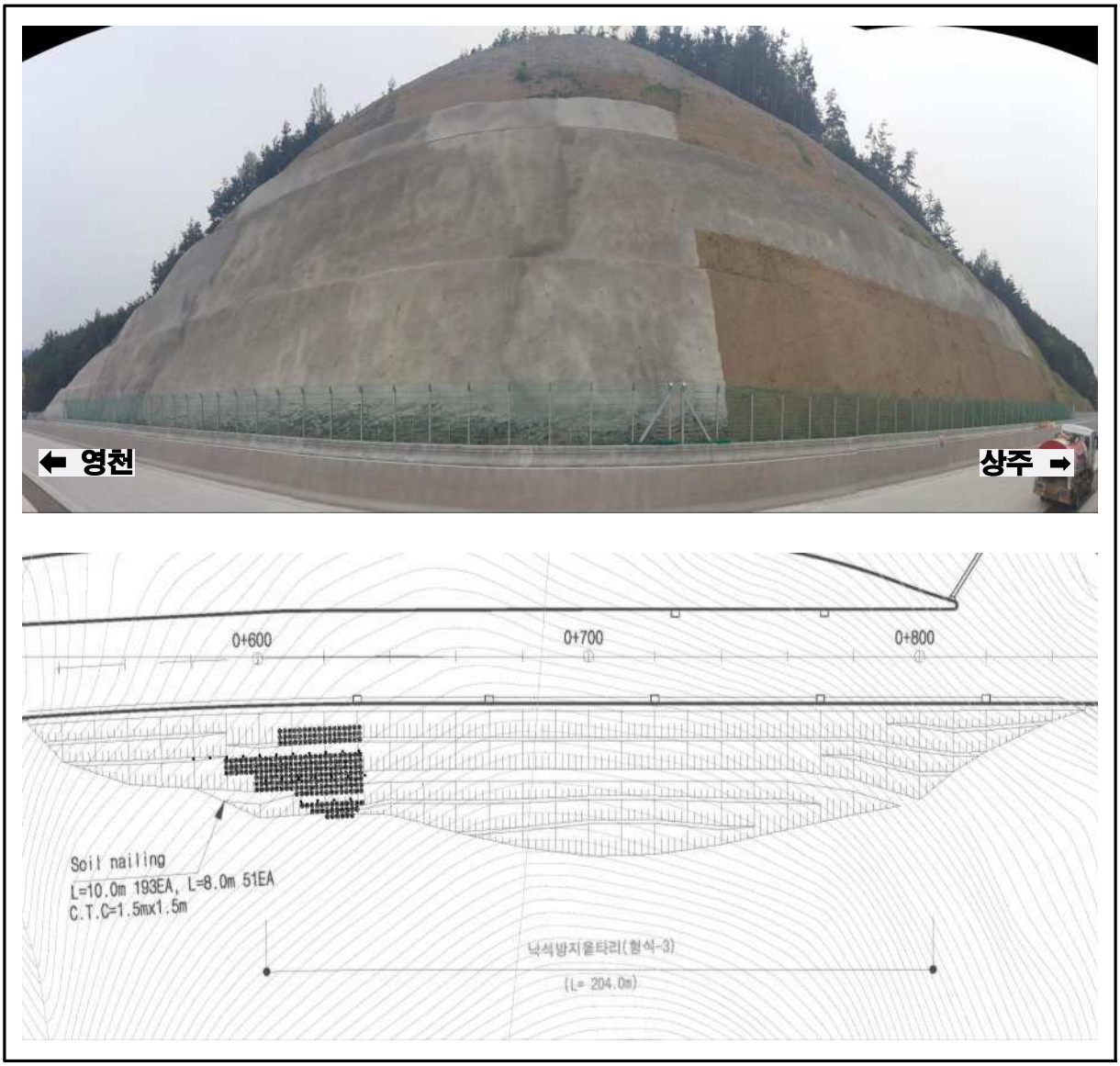
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토40	경상북도 군위군 부계면 창평리	56.078 ~ 56.398	STA.56+248	36.0	4.0	32.0	-	2017	55/048
			STA.56+268	36.0	4.0	32.0	-	2017	55/048



<그림 40-13> 영천절토40 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토40 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



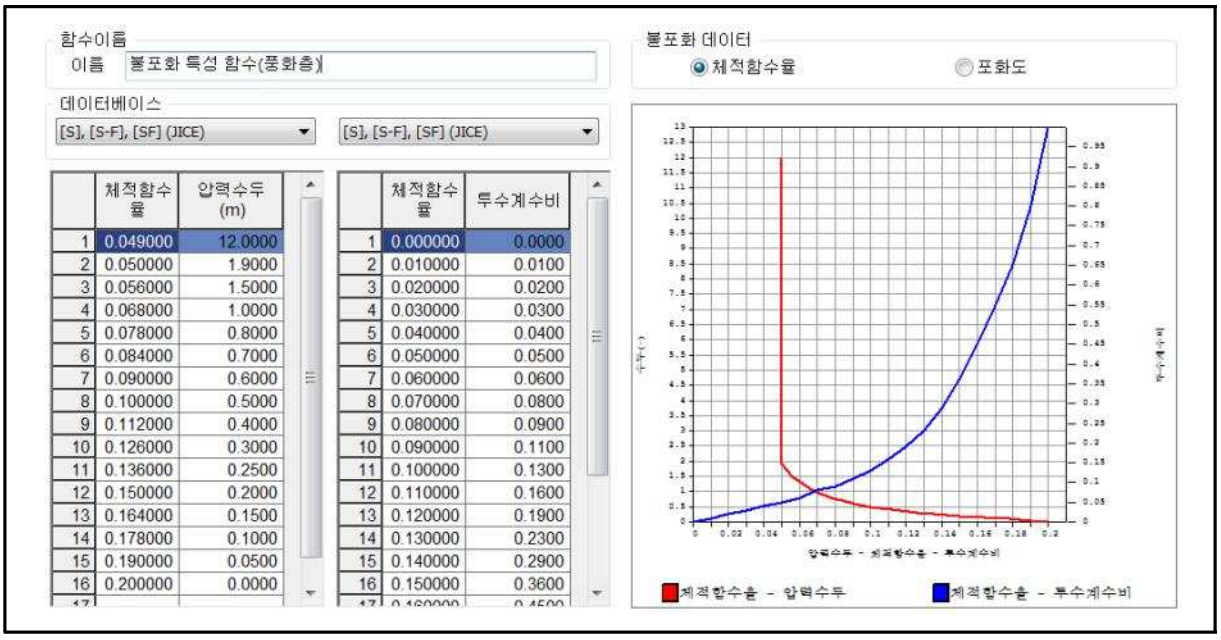
<그림 40-14> 영천절토40 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	20	28	20	1.0E-03	
풍화암	22	30	30	1.0E-04	
경암	26.5	44	500	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

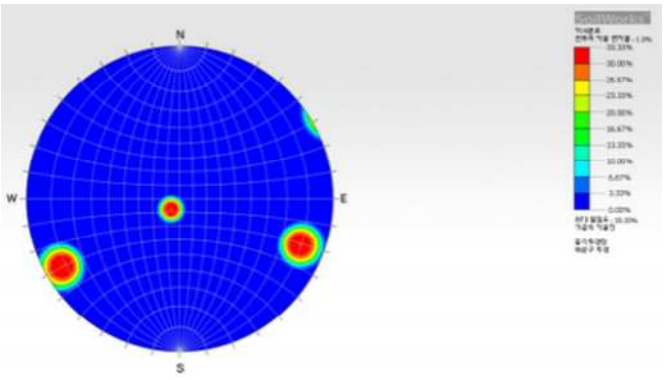
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 40-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

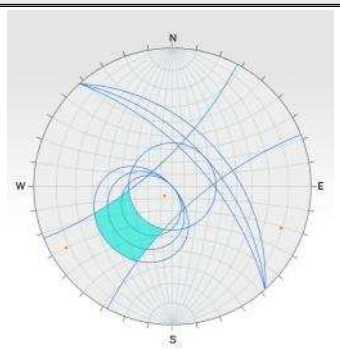
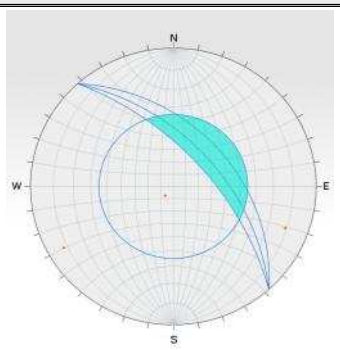
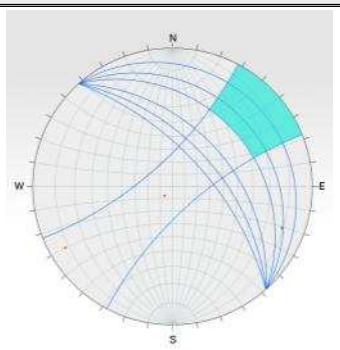
3) 1구간 (STA.56+078 ~ 56+258)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		80	291
		83	60
		10	40

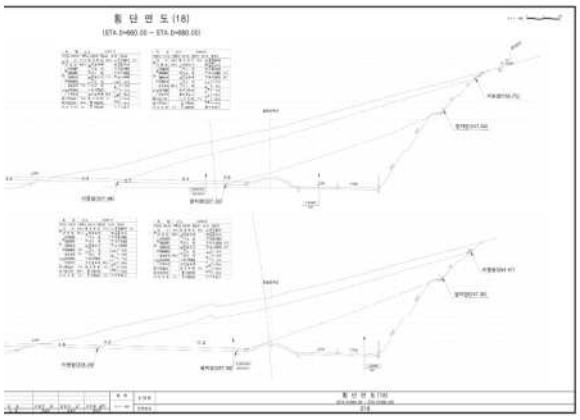
◦ 해석결과

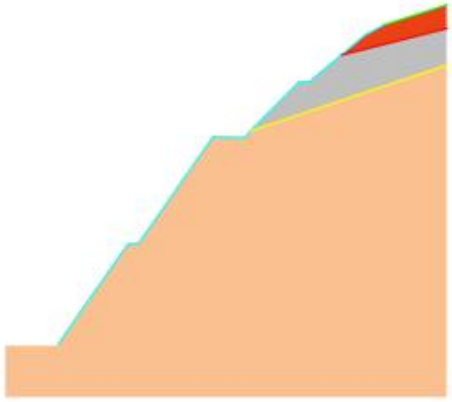
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

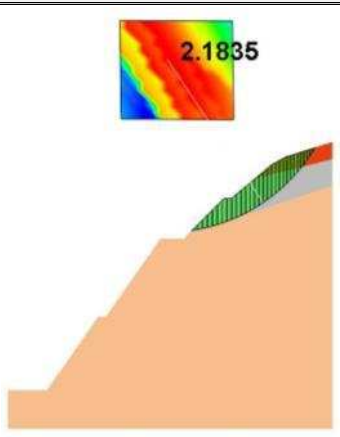
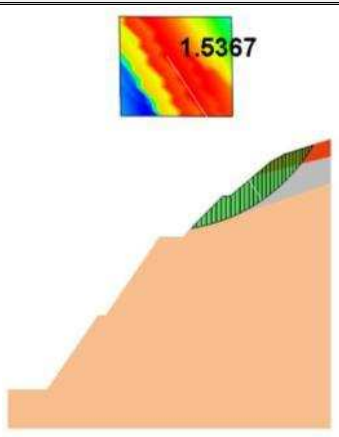
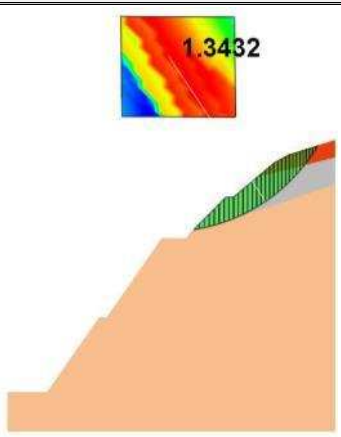
◦ 검토단면





대표단면 : STA.56+248, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.18	안전율 : 1.53	안전율 : 1.34

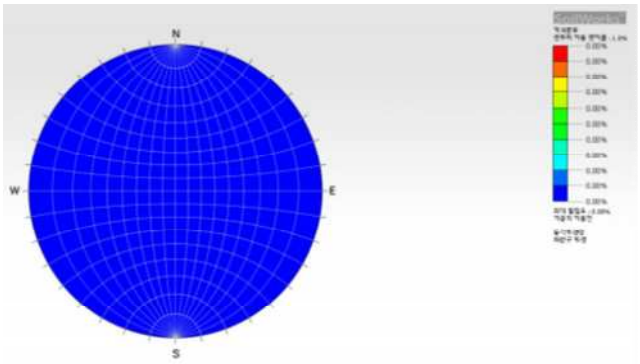
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

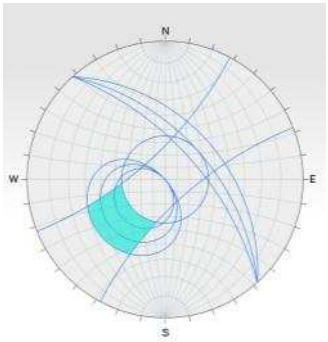
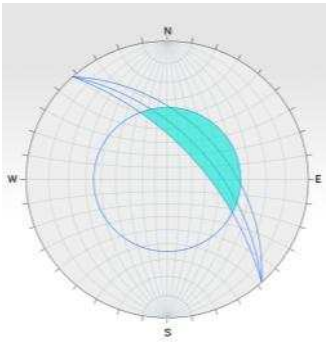
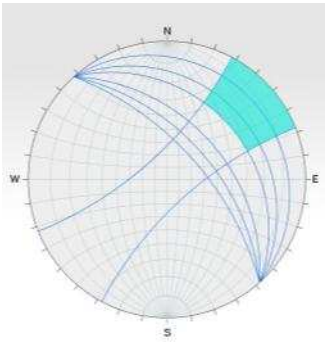
4) 2구간 (STA.56+258 ~ 56+398)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

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

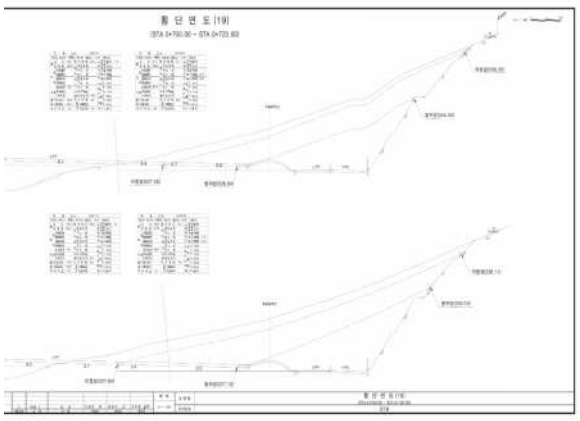
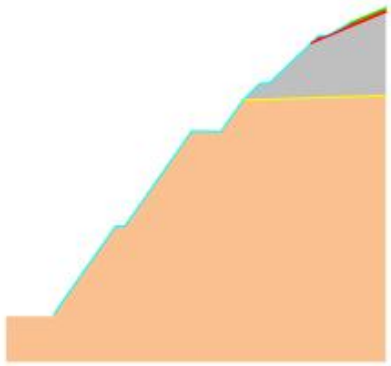
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

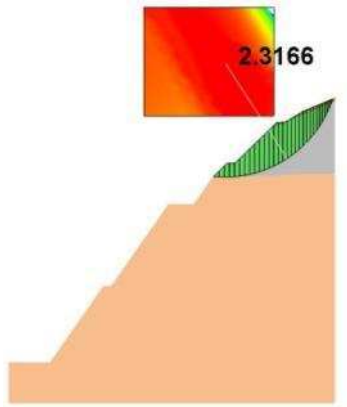
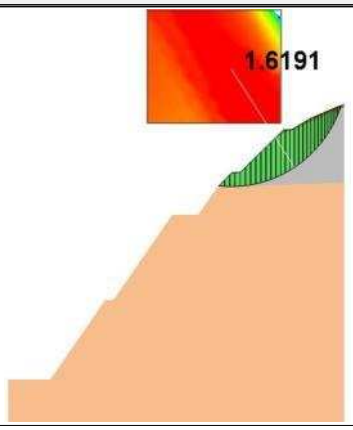
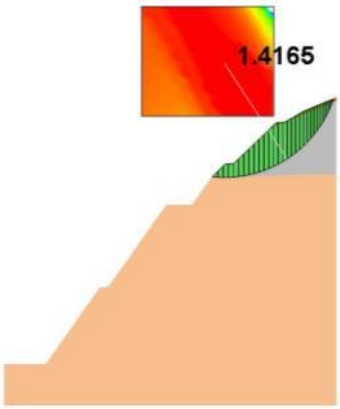
구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면

	
대표단면 : STA.56+268, 영천	

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.31	안전율 : 1.61	안전율 : 1.41

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 40-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토40**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.18	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.53	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.34	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

40.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 40-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토40**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.110	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.110	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 40-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

40.5 내구성능 평가

40.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 40-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 4/36 = 0.11
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 140.0MPa	추정
면적	전체	2,312㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	2,312㎡	
표면보호공	식 생	1,129㎡	
	숏크리트	1,183㎡	
사면보강공	-	-	

40.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 40-69> 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

40.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 40-70> 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 40-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값	비 고
56.178km	108.0	-	초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
56.188km	107.1	-	
56.198km	102.9	-	
평균값	106.0	-	
등급	**A등급**		

<표 40-72> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 40-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	1,129/1,129㎡	100.0%	0.0/1,183㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 40-74> 사면보강공 평가 등급 및 결과

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면 보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	-	미세한 균열 및 파손 발생
	c	일부 유격 발생	일부 균열 및 파손이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않은 상태
	d	-	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태
	e	전체적인 유격 발생	균열 및 파손이 심각한 상태

<표 40-75> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 40-76> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
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 40-76> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(2구간)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	-	-	-
	-	-	-
틈새(㎜)	-	-	-
	-	-	-
거칠기	-	-	-
	-	-	-
충전물	-	-	-
	-	-	-
풍화진행도	-	-	-
	-	-	-
합 계	-	-	-
평 균	-	-	-
평가 결과	-	-	-

<표 40-77> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
1구간 - Set 1	c	0.43	
1구간 - Set 2	c	0.43	
1구간 - Set 3	c	0.43	
2구간 - Set 4	-	-	
2구간 - Set 5	-	-	
2구간 - Set 6	-	-	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

40.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 40-78> 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 40-79> 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	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 40-80> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

40.6 종합평가

40.6.1 종합평가 개요

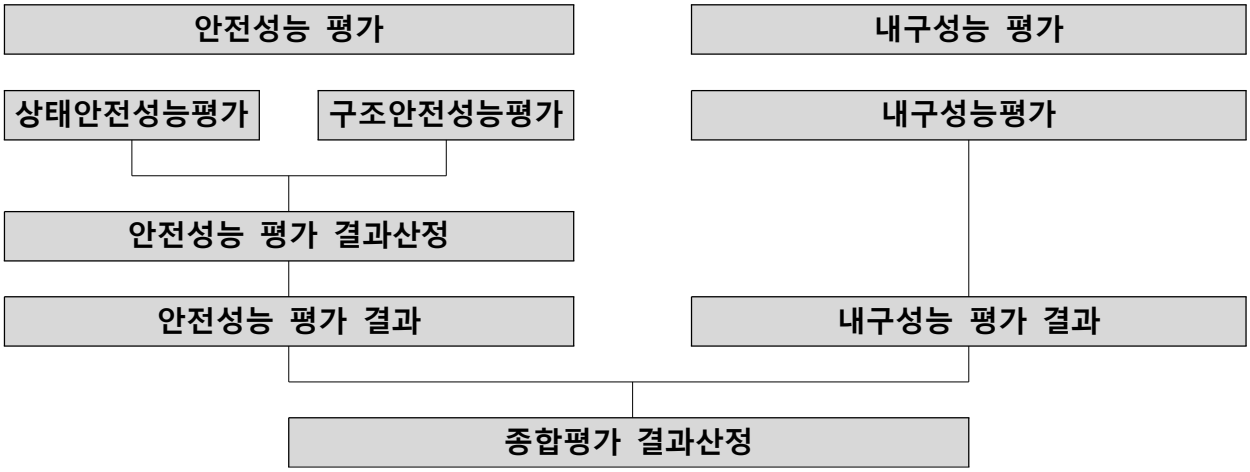
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 40-16> 종합평가 흐름도

40.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 40-81> 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 40-82> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토40		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.110	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.110 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.141 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 40-83> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

40.7 유지관리 전략 제안

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

40.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 40-84> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

40.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.141)"으로 평가되었다.

<표 40-85> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.110	0.265	0.141
평가결과	A	B	A

40.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 40-86> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

40.8 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. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제41장 영천절토41

41.1 대상 시설물 현황

41.2 관련 자료의 분석

41.3 현장조사

41.4 안전성능평가

41.5 내구성능평가

41.6 종합평가

41.7 유지관리전략 제안

41.8 종합결론

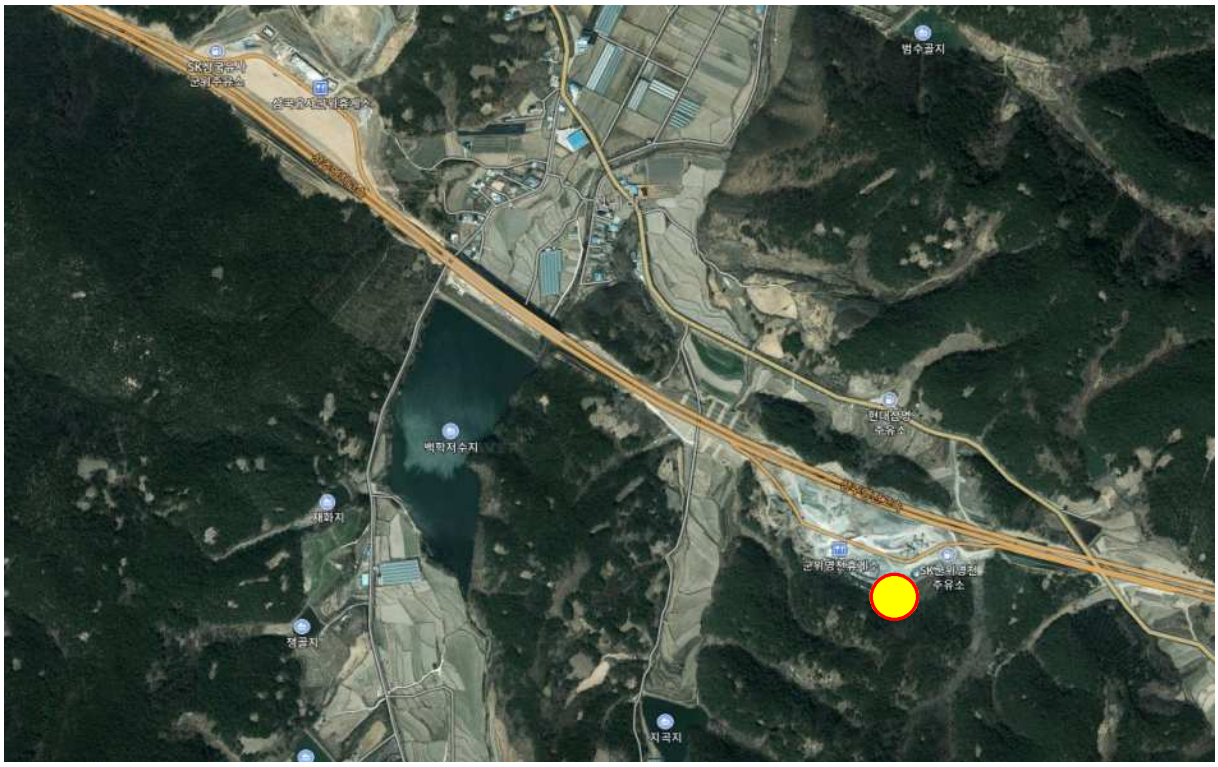
제35장 영천절토41

41.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 57.818~58.014km 부근 군위영천휴게소)에 위치한 사면으로서 총 연장 191.0m, 높이 33.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 41-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000026		**관리번호**	SY SL41
시설물명	영천절토41		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 부계면 창평리		
	위치좌표	시점 : 36° 07′23.5″ 128° 70′76.0″		
		종점 : 36° 07′13.2″ 128° 71′08.3″		
	관리이정	57.818~58.014km		
	공구이정	7공구 STA.0+349~0+540		
제 원	**연 장**	191m	**높 이**	33.0m
	경사/방향	55/020	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	20~30°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	경남기업(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 개비온		
비 고				



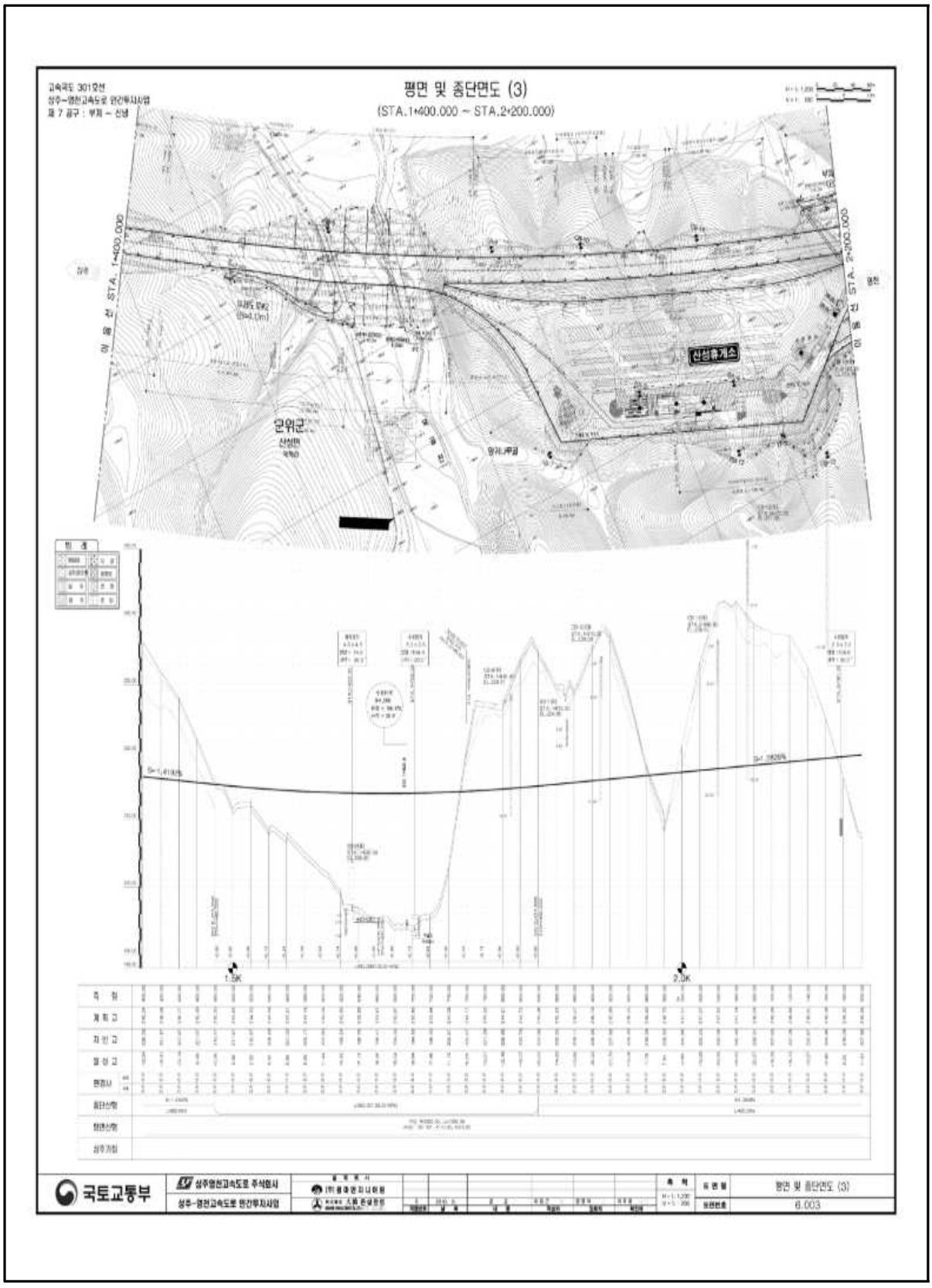
<그림 41-1>위치도



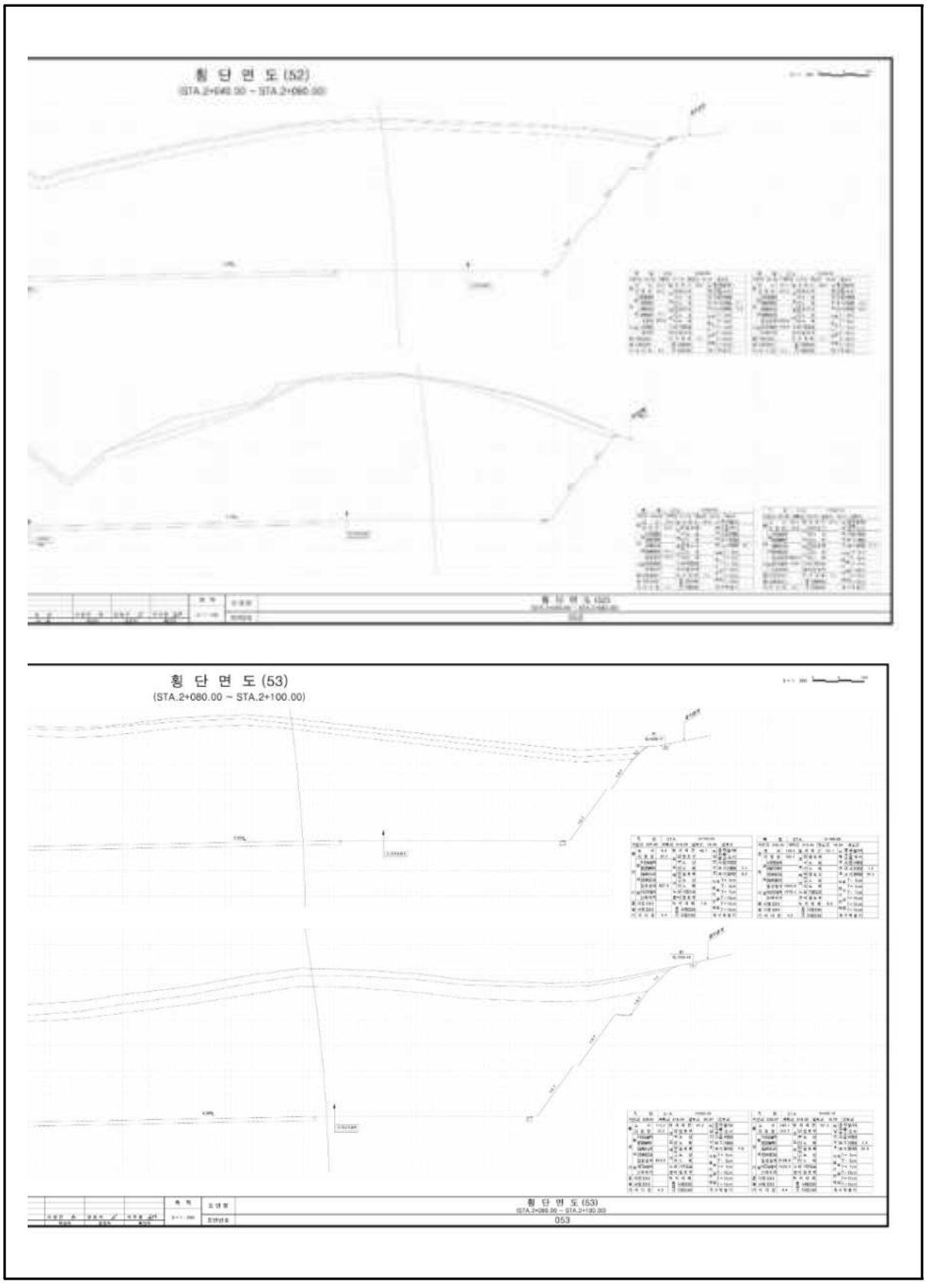
<그림 41-2> 전경사진

	
정면 전경	1소단배수로 전경
	
수직도수로 전경	산마루측구 전경
	
하부 전경	점검사다리 전경

<그림 41-2> 전경사진(계속)


평면 및 종단면도 (3)
(STA.1+400.000 ~ STA.2+200.000)
고속국도 301호선
상주-영천고속도로 민간투자사업
제 7 공구 : 부계 ~ 신녕
STA. 1+400.000
STA. 2+200.000
군위군
신성휴게소
1.5K
2.0K
국토교통부
상주영천고속도로 주식회사
상주-영천고속도로 민간투자사업
평면 및 종단면도 (3)
6.003

<그림 41-3> 평면도



<그림 41-4>표준횡단면도

41.2 관련 자료의 분석

41.2.1 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 41-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 7공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 7공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 7공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

41.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 7공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

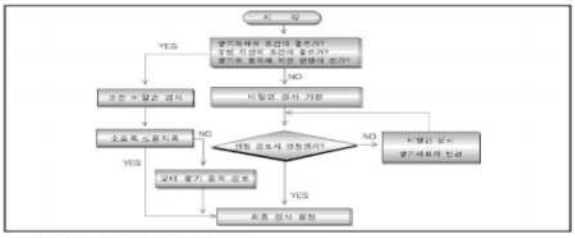
7.4 비탈면 설계기준

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

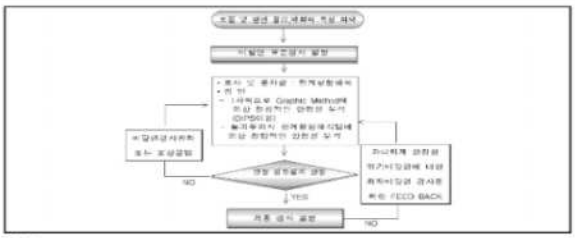
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 평기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도



248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

253

다. 위기 비탈면

지반지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 융해이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 위기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지질조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 일반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	경 사	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

주) 1. 실트는 점성토로 간주, 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.5 설계기준 선정

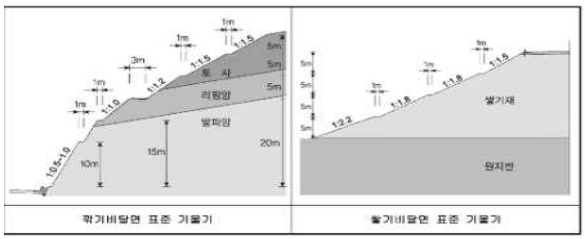
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

[비탈면 기울기 설계기준]

비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
깎기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2 ~ 1.5	· 토사 및 리핑암 – 깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 · 발파암 : – 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7 ~ 1:1.0 기울기 적용시) · 깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5 ~ 1.0	
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5 ~ 2.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치



깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

196

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:250,000)	분 석 내 용
	• 과업구간은 백악기 경상분지의 신동층과 하양군층이 주로 분포하는 의성소분지 남부에 위치 • 본 조사공구는 시점부의 일직층을 시작으로 후평동층, 점곡층, 사곡층이 순차적으로 분포함 • 과업노선은 사암, 이암, 세일 및 Lutite(니질) 암석이 주구성을 이루며 부분적으로 역암이 협재 • 노선과 평행하게 역암등 단층이 발달

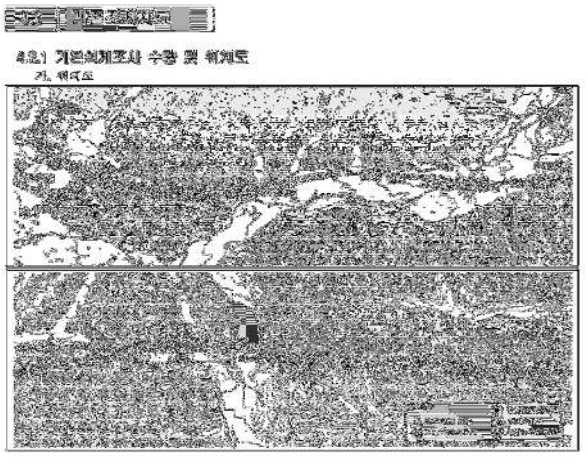
4.1.2 인접지역 설계자료 분석

사 업 명	분 석 내 용
남천~청도간 (곰티재,노귀재) 국도4차로 확장공사 실시설계 (2002. 3)	• 토사층은 1.0~7.0m로 분포하며, 풍화암은 1.5~6.0m의 두께로 분포 • 토사층은 실트섞인 모래 및 호박돌로 구성 부분적으로 점토 혼재 • 연암은 5.0~10.0m 이하에서 4.5~9.0m 두께로 분포 • 경암은 14.5~17.7m 이하에 분포하며, TCR은 92~100%의 범위를 보이며, RQD 63~70%의 분포 범위를 나타냄

4.1.3 현장답사를 통한 주변현황 분석

구 분	조사내용 및 분석결과	종점검토사항	노선 현황
교량 구간	• 산성교 시점 교대구간 산사태에 의한 비탈면붕괴 확인 • 산성교 종점부 구간 토사 및 풍화대 비교적 깊은 층두로 발달	• 과업구간 교량의 지층분포현황 점검 및 파악 • 산성교구간의 단층교차 예상지점 및 산사태시점 안정성검토	
위기 구간	• 위기2구간 급경사지역 사면붕괴 • 송림휴게소(상주방향) 주변 위기구간 풍화대 깊게 분포	• 지질 이상대 예상지역의 비탈면 안정성검토 • 굴절법 탄성파 탐사를 통한 미시추구간 지층분포 정밀 파악	
쌓기 구간	• 쌓기구간 대부분 경작지로 활용 • 경작지 현황파악을 통한 시추조사 가능 위치확인	• 충적층 발달구간의 연약지반 발달 가능성 및 조사방안 검토 • 지층분포의 정밀 파악을 위한 미시추구간의 현장조사 검토	

45



4.2.1 기본설계조사 수량 및 위치도

가. 위치도

구 분		수량	현장조사	실내시험	계
지표지질조사		식			1
물리탐사	탄성파굴절법탐사	m	-	1,500	1,500
현장조사	시추(조사)	공	27	12	39
	시험굴착	조	-	15	15
현장시험	현장투수시험	회	-	18	18
	표준관입시험	회	360	42	402
실내토질시험	입도분석시험	조	-	60	60
	액성시험	조	-	60	60
	체질 및 침전분석시험	조	-	15	15
	박힘강당시험	곡	-	8	8
현장암석시험	암질시험	조	-	1	1
	일축압축시험	조	-	1	1
	절리면전단시험	조	-	1	1
	점하중강도시험	조	-	1	1

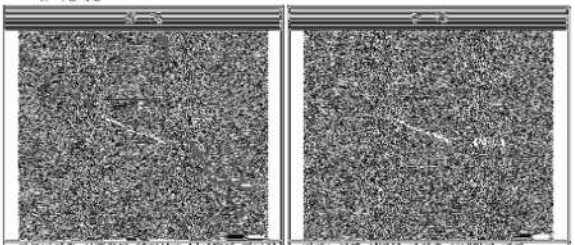
46

4.2.1 지형 및 지질 특성

가. 지형 개요

• 과업지역은 백악기 경상분지의 주요 퇴적층과 역암층군에 분포하는 의성소분지에 남부에 위치
• 백악기 경상층군의 하부에분포한 역암층을 생부로하여 지형부에 주로분포하고 북쪽으로 올라갈수록 상부에 해당하는 신라마을군에는 화산암류의 퇴적층

나. 지형특성



• 과업지역을 관통하는 단층대의 영향으로 단층대의 발달이 주요 특징을 형성
• 과업노선은 역암층과 사암층 이상의 비교적 낮을 구릉지를 따라 서쪽에 방향으로 위치

다. 공학 암질 특성

구 분	지질특성	노두사진
점곡층 암회색 세일	• 과업노선의 중앙부에 분포하며, 주로 암회색 내지 흑색 세일로 구성 • 주 구성광물은 아각 내지 각상의 석영, 방해석, 유기물, 부모질 점토광물이고 부성분으로 비오모 블두멍광물이 나타남	
사곡층 사질 이암	• 과업노선의 중앙부와 종점부에 넓게 분포하며, 주로 사암과 세일로 구성됨 • 석영, 알칼리장석, 점토광물이 주구성광물을 이룸	

라. 지질 계통도

지질시대	층 명		특 성	비 고
제4기	충적층(Qa)		• 하천 및 산록 퇴적물	
	~~ 부정합 ~~			
중생대 백악기	중성암맥(Kid) 산성암맥(Kad)		• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
	── 관입 ──			
	화강암(Kgr)		• 괴상의 치밀	• 분포하지 않음
	── 관입 ──			
	유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 응회암으로 구성	• 분포하지 않음
	── 관입 및 분출 ──			
	하양층군	신암동층(ke9)	• 암회색 이암 및 세일과 사암이 교호대	• 분포하지 않음
		손산층(ke8)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일 • 하부층에서 석회질 물질 다량 함유	• 분포하지 않음
		사곡층 (Ke7) 상부 (Ke7-ms)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일 • 석회질 물질 함유	• 분포하지 않음
		사곡층 (Ke7) 하부 (Ke7-ss)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일과 사암이 교호 • 사질부분은 다량 함유	• 8공구 시점과 7공구 종점
		점곡층(ke6)	• 암회색, 녹회색, 적색 세일 및 이암 • 주로 암회색 세일로 구성	• 7공구 중앙부
		후평등층 (Ke5) 구계등층원 (Ke5-2)	• 사암, 미사암 및 미사질 세일 및 이암(나질 우세)	• 7공구 시점부
		후평등층 (Ke5) 구미등층원 (Ke5-1)	• 사암, 적색 미사질 세일, 저색셔트박 및 역암(사질 우세)	• 7공구 시점부
		일직층(Ke4)	• 사암, 적색 미사질 세일, 역암 • 주로 사암이 우세	• 6공구 종점

51

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주-영천 고속도로 민간투자사업 제 7공구 지반조사

1.2 조사목적

• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사(현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

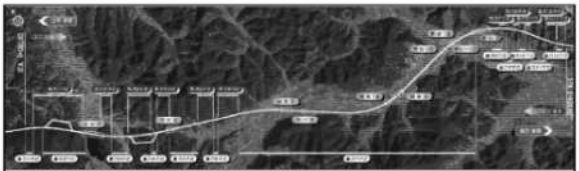
1.3 조사범위

위치
• 시점 : 경상북도 군위군 부계면 창평리(STA. 0+000)
(X=287099.61, Y=172291.69)
• 종점 : 경상북도 영천시 신녕면 화성리(STA. 9+800)
(X=286866.14, Y=181553.04)
• 연장 : 9.80km

범위
• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제2경부축(상주~영천) 고속도로 건설
• 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산
• 민간의 창의와 효율로 정부재정자원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도



• 구조물 현황 : 교기(11구간), 옹기(12구간), 교량(10개소)

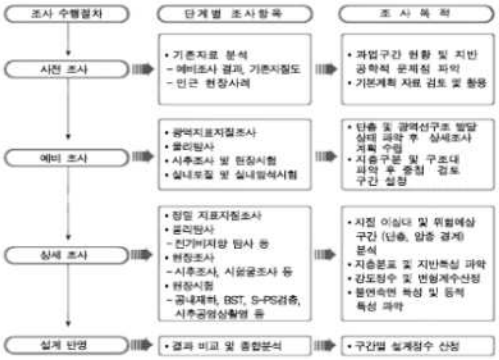
제 2 장 조 사 계 획

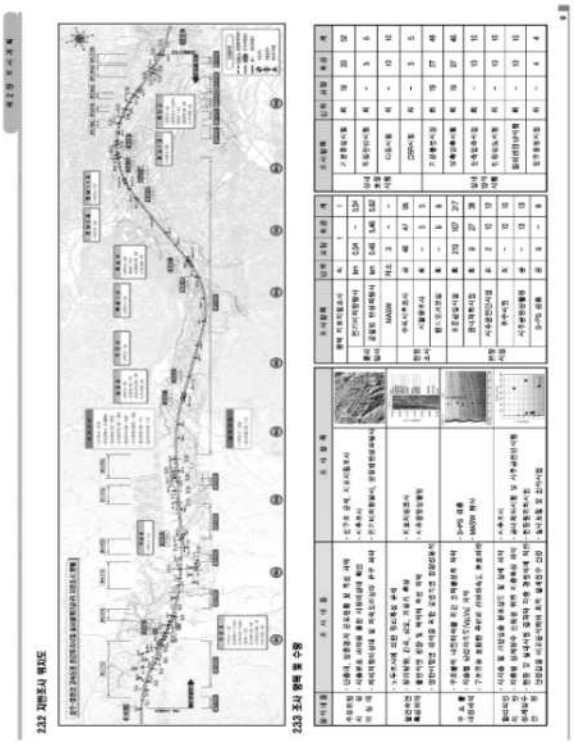
2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

2.1.1 조사 기본방향



2.1.2 조사 수행 흐름도





제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 옹기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대옹기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태와 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 저합면에 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 [redacted]

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 옹기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

구 분	선 정 기 준
붕 기 부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 붕기재료의 암수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 동괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지형특성으로 인하여 붕기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우 · 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 붕기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
락 기 부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 풍적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우 · 동괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 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)	대표단면 (STA.)	최대쌓기고 및 깎기고	지층현황	조 사 내 용 공번	조 사 위 치 (STA.)	비 고
신설	락기1구간	0+140 ~ 1+000	860	0+280(영천방향) 0+580(영천방향) 0+700(영천방향)	17.3 m 21.5 m 30.6 m	풍화토 연암층	CB-1(영천) CB-2(영천) CB-3(영천) CB-4(상주) CB-5(상주) CB-6(영천)	0+360 0+398 0+580 0+730 0+731 0+870	
	락기2구간	1+300 ~ 1+480	180	1+380(상주방향) 1+380(영천방향)	16.2m 24.7m	풍화토 연암층	CB-7(상주) CB-8(영천)	1+383 1+383	
	락기3구간	1+760 ~ 2+150	390	1+820(상주방향)	15.1 m	풍화암 연암층	CB-9(상주) CB-10(상주) CB-11(상주) CB-12(영천) CB-13(영천)	1+810 1+910 2+040 2+070 2+150	
	락기4구간	2+250 ~ 2+480	210	2+260(상주방향) 2+340(영천방향)	34.0 m 15.1 m	풍화토 풍화암 연암층	CB-14(영천)	2+348	
	락기5구간	2+960 ~ 3+230	270	3+140(상주방향) 3+140(영천방향)	32.4 m 8.9 m	풍화암 연암층	CB-15(상주) CB-16(상주)	3+990 3+151	
	락기6구간	3+310 ~ 3+670	360	3+360(상주방향) 3+480(영천방향)	37.3 m 8.30 m	풍화토 풍화암 연암층	CB-17(상주) CB-18(영천) CB-19(영천) CB-20(상주)	3+335 3+429 3+529 3+600	
	락기7구간	8+630 ~ 8+750	120	8+700(상주방향)	14.1 m	(표토층) 풍화토층 연암층	CB-21(상주)	8+692	

7.6.4 암반파쇄에 따른 비탈면 기울기 현황

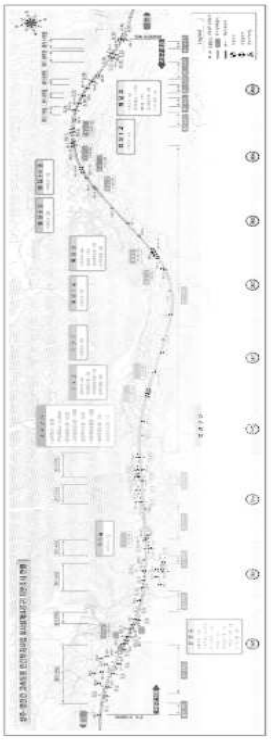
시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 깎기 기울기 평가 및 검토를 암석별 깎기 적정기울기 기준으로 실시하면 다음 표와 같다

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 기울기 검토]

구분 / 구간	시추구간 (STA.)	시추 번호	심 도 (GL.-m)	암반 특성에 따른 비탈면 기울기					적용 기울기
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 기울기	RQD에 의한 기울기	
제1깎기부	0+140 ~ 1+000	경천방향	CB-1	12m이하	세일	73.3	35.3	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-2	4m이하	사암, 세일	59.3	26.3	1:0.7	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-3	12.5m이하	세일	60.0	43.4	1:0.7	1:1.0	1:0.7
		경천방향	CB-4	3.8m이하	세일	89.3	47.0	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		상주방향	CB-5	4.2m이하	사암, 세일	100.0	45.6	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-6	1.0m이하	사암, 세일	95.4	49.4	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제2깎기부	1+300 ~ 1+480	상주방향	CB-7	10.7m이하	세일	96.1	53.6	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-8	2.4m이하	세일	86.7	41.6	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제3깎기부	1+760 ~ 2+150	상주방향	CB-9	1.0m이하	세일	100.0	47.9	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		상주방향	CB-10	1.0m이하	세일	97.1	45.9	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-11	1.0m이하	세일	95.9	71.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-12	1.0m이하	세일	100.0	80.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-13	1.4m이하	세일	98.6	80.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제4깎기부	2+250 ~ 2+480	경천방향	CB-14	1.0m이하	세일	99.2	80.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제5깎기부	2+960 ~ 3+230	상주방향	CB-15	0.9m이하	사암	95.9	68.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-16	1.5m이하	세일	90.6	51.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제6깎기부	3+310 ~ 3+670	상주방향	CB-17	3.9m이하	세일	93.3	74.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-18	0.8m이하	세일	96.9	78.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-19	3.7m이하	세일	86.3	54.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-20	0.0m이하	세일	88.2	61.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제7깎기부	8+630 ~ 8+750	상주방향	CB-21	1.2m이하	사암, 세일	73.3	31.8	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제8깎기부	8+870 ~ 8+950	경천방향	CB-22	1.2m이하	세일	78.8	57.5	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제9깎기부	9+070 ~ 9+170	경천방향	CB-23	1.5m이하	세일	94.0	77.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제10깎기부	9+450 ~ 9+620	경천방향	CB-24	3.0m이하	세일	99.1	85.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-25	1.0m이하	세일	98.4	91.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제11깎기부	9+650 ~ 9+800	상주방향	CB-26	1.0m이하	세일	100.0	85.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-27	1.0m이하	세일	98.6	83.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7

제 1 장 지반조사 위치도

1) 위치도

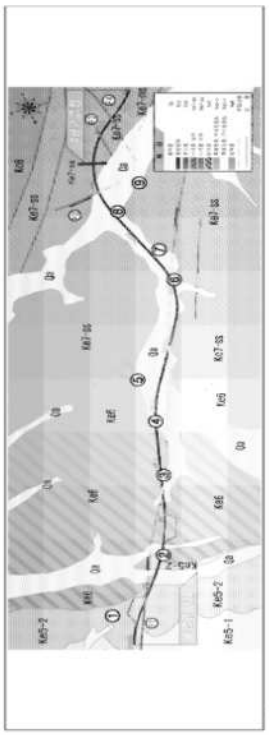


2) 수량

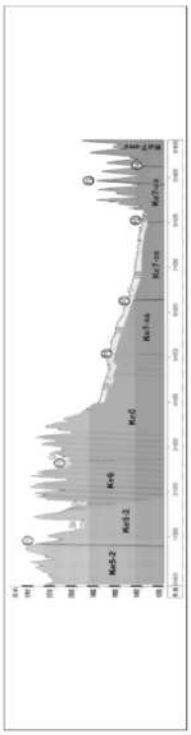
조사항목			단위	규격	수량	비고
원위치 시험	표준관입시험	기반암관입시험	회	19	33	33
		사질토시험	회	-	5	5
	표준관입시험	점성토시험	회	-	10	10
		CBR시험	회	-	5	5
	현장투수시험	기반암	회	19	27	46
		토사층	회	19	27	46
	공내재하시험	암반변형시험	회	-	10	10
		암반전단시험	회	-	10	10
	시추공공내시험	탄성파시험	회	-	10	10
		물리검층시험	회	-	10	10
		암석흡수율 시험	회	-	4	4
원위치 시험	표준관입시험	기반암관입시험	회	1	-	1
	물리탐사	탄성파탐사	km	0.34	-	0.34
		MASW	km	0.48	5.46	5.94
물리 탐사	수직시추조사		개소	3	-	-
	시험굴조사		개소	48	47	95
	횡도조사비		개소	-	3	3
원위치 시험	표준관입시험		회	200	107	307
	공내재하시험		회	9	27	36
	시추공공내시험		회	3	10	13
	수직시험		회	-	10	10
	시추공영상촬영		공	-	13	13
	BP-B		공	2	-	8

제 3 장 지질도

1) 지질평면도



2) 지질단면도



41.2.3 점검 및 진단 이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

<표 41-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토41 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 녹생토 부착망 노출, 소단 배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이, 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	영천절토41 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 녹생토 부착망 노출, 소단 배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이, 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	영천절토41 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 녹생토 부착망 노출, 소단 배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이, 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2041. 03. 18 ~ 2041. 05. 28	정기안전점검	영천절토41 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 녹생토 부착망 노출, 소단 배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이, 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2041. 09. 16 ~ 2041. 12. 27	정밀안전점검	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 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토41 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 수직도수로 일부구간 균열, 시공불량, 파손이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

41.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 41-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

41.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 41-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

41.2.6 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 41-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

41.3 현장조사

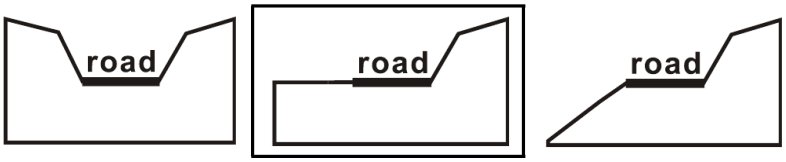
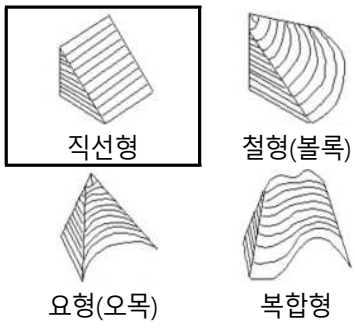
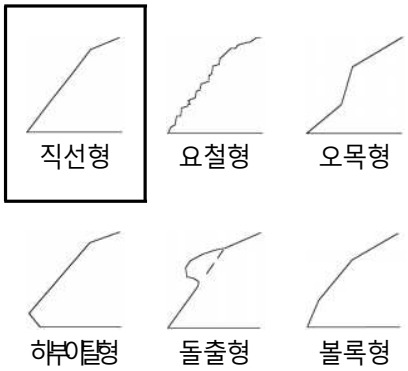
41.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 41-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 20.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 군위군 부계면 창평리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 07′23.5″ 128° 70′76.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 07′13.2″ 128° 71′08.3″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 191m</td><td colspan="2">높 이 : 33.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/020</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~2.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="6">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">57.818~58.014k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">57.858~57.988k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="2">57.918k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">57.818~58.014k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">57.918k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 41-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">20~30°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 41-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토41		
	위경도	시점 : 36° 07′23.5″ 128° 70′76.0″ 종점 : 36° 07′13.2″ 128° 71′08.3″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 20일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	191.0m	최대높이	33.0m
	경사	55°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□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) ■돌망태(양호) □격자블럭 ■점검로(양호)		□낙석방지망 ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소 견	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			

41.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 부계면 창평리(상주영천고속도로 51.818~58.014km 부근 군위영천휴게소)에 위치한 사면으로서 총 연장 191.0m, 높이 33.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 41-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{33.0}=0.06$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 108.1MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{33.0}=0.015$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 191m로서, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 1개구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 41-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	57.818~58.014k	191m

41.3.3 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 상태이며, 사면내 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 41-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1 / 1.0	-	
	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 식생공, 돌망태공이 시공되어 있으며, 낙석방지공으로는 낙석방지 울타리가 시공되어있다. 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화상태는 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도인 것으로 분석되었으며, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해 작용으로 인한 풍화가 진행될 우려가 있으므로 주기적인 주의관찰이 필요하다.

<표 41-13> 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 41-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	75/031	82/313	80/315
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	HW

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 41-15> 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 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있으며, 조사결과 소단배수로 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 41-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	1EA / 3.0	건조수축	

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 41-17> 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 41-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 41-19> 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 41-20> 인장균열 조사 결과

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

41.3.4 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 총 3개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 41-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
57.878km	53.0	106.6	경암	
57.888km	54.3	113.0	경암	
57.898km	53.3	108.1	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 53.0~54.3으로 측정되었으며, 추정강도 106.6~113.0MPa로 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 41-22> 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경



돌망태공 전경

라. 사면보강공

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

<표 41-23> 사면보강공 조사 결과

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

41.4 안전성능평가

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

41.4.1 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 0.05로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 41-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{33.0}=0.06$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 108.1MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{33.0}=0.015$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 191m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 41-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	57.818~58.014k	191m	암반사면	Set1, Set2, Set3

<표 41-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 41-27> 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	계곡부 1개소	b
	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 41-28> 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 41-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+16+10) / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 41-30> 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 41.0m미만	41.0m이상	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 41-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 41-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 41-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 41-34> 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 41-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 41-36> 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/sec^2) (u, β는 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 41-37> 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 20~30°	d
	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			

1

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 41-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 41-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 41-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 41-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토41		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		8.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			12	
결함지수		0.12		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 41-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
191.0m	1구간	57.818~58.014k	a(0.12)	A	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

41.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

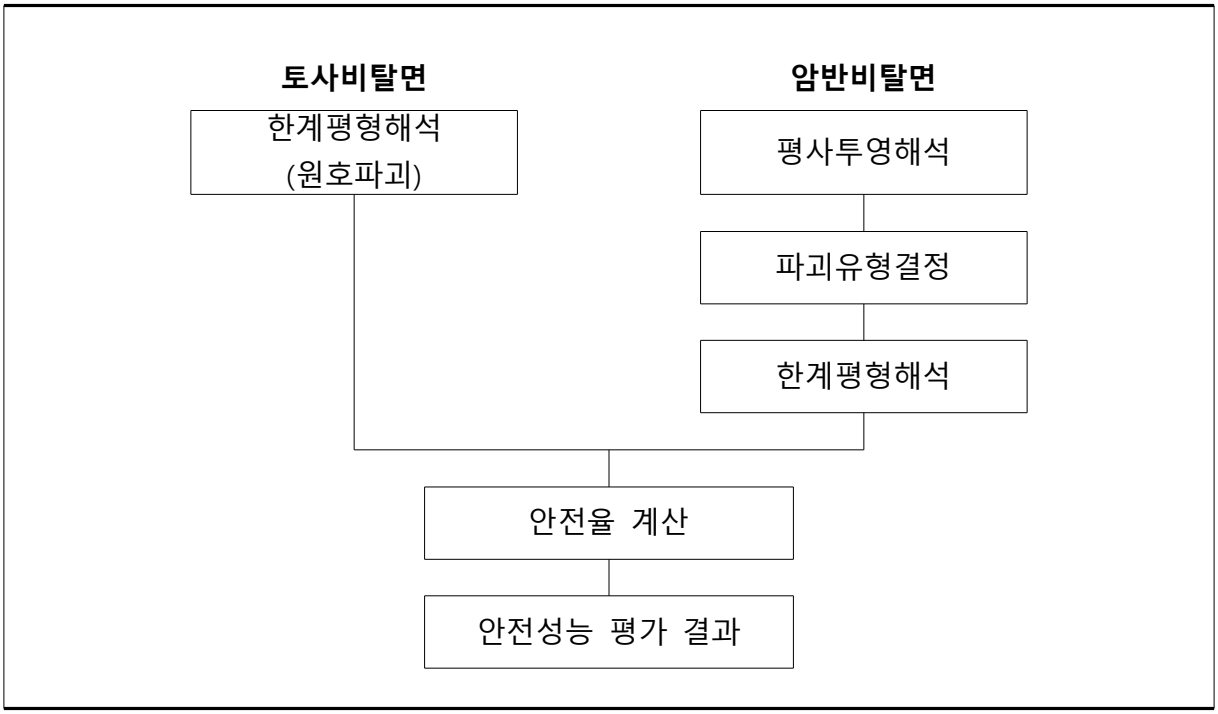
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 41-5> 구조안전성능 평가과정

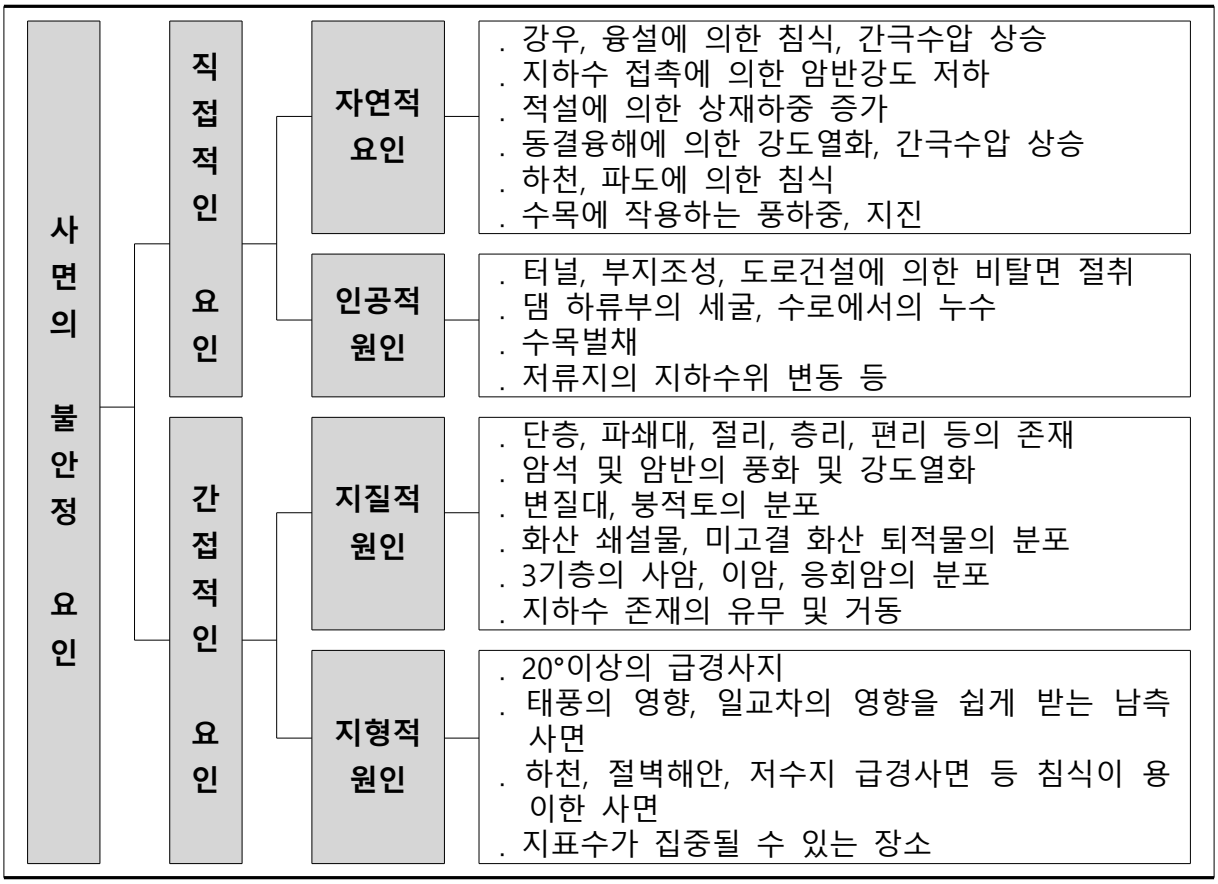
<표 41-43> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

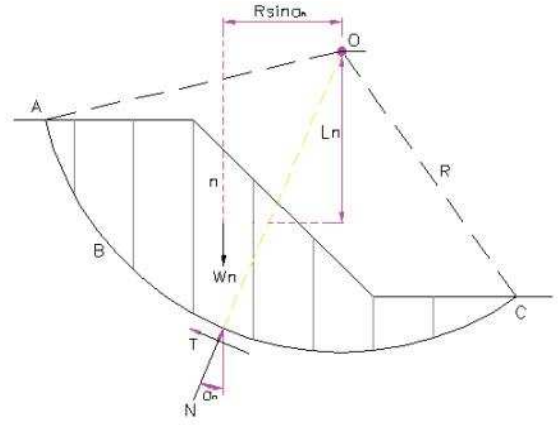


<그림 41-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

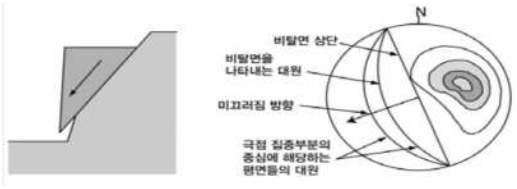
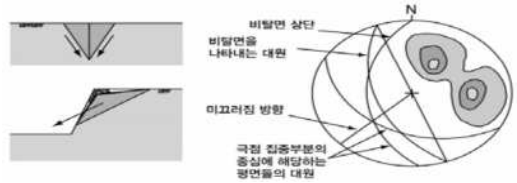
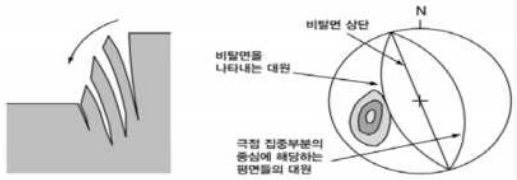
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 41-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 41-44> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 41-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

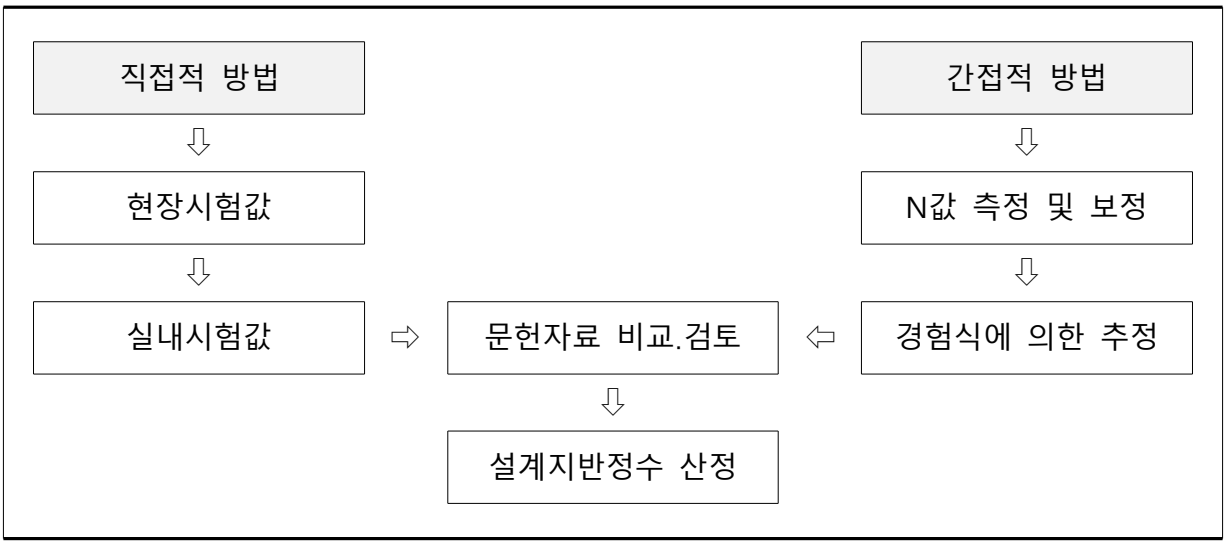
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 41-46> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 41-47> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 41-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 41-49> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 41-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (7공구)	풍화(잔적)토	20	28	20	직접전단시험
	풍화암	22	30	30	
	경 암	26.5	44	500	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 41-51> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 41-52> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	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/㎡)	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 41-53> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 41-54> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 41-55> Trueman (1988)

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

<표 41-56> 김교원 (1993)

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

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	20	28	20	0.3	
풍화암	22	30	30	0.3	
경 암	26.5	44	500	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 41-57> 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

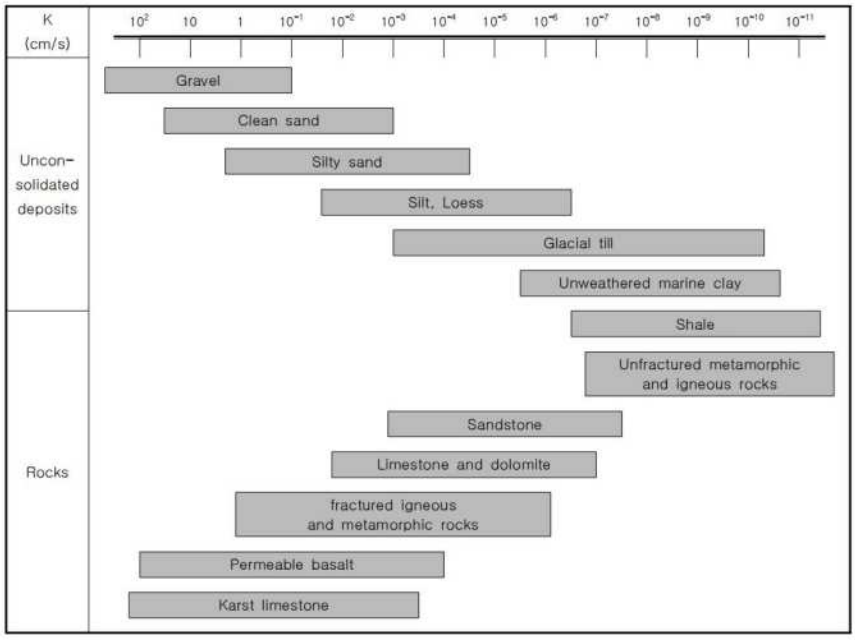
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 41-58> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 41-59> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 41-8> 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 41-60> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

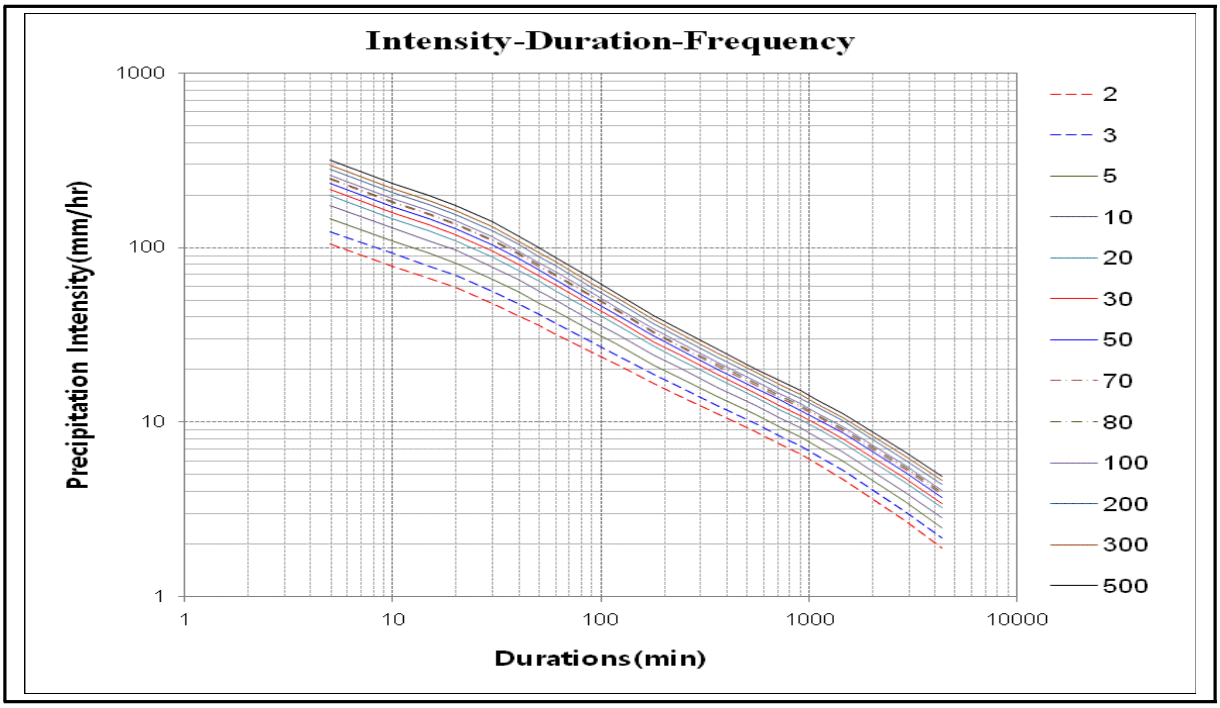
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 군위지역



<그림 41-9> 군위지역 IDF곡선

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 41-10> 군위지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 41-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 41-61> 설계지반운동 수준

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

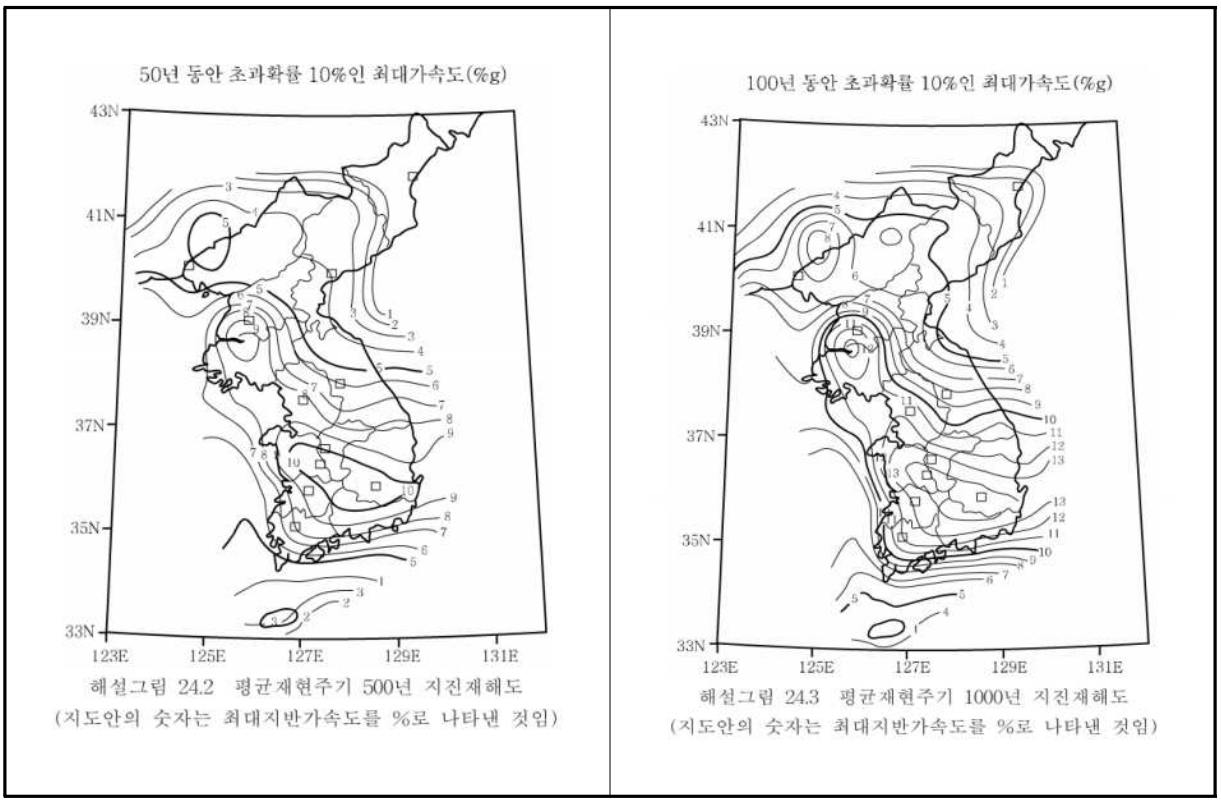
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 41-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 41-62> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 41-63> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

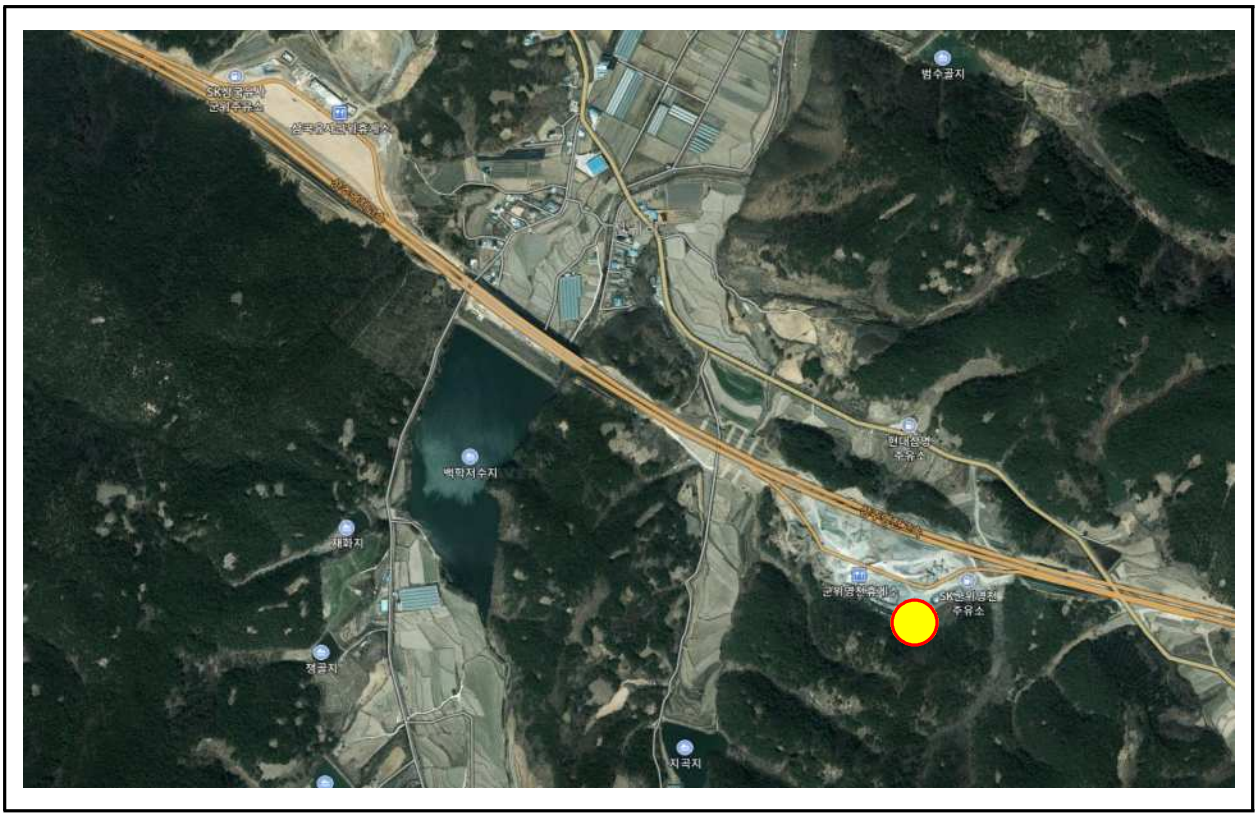
3) 지진가속도계수 선정

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 41-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

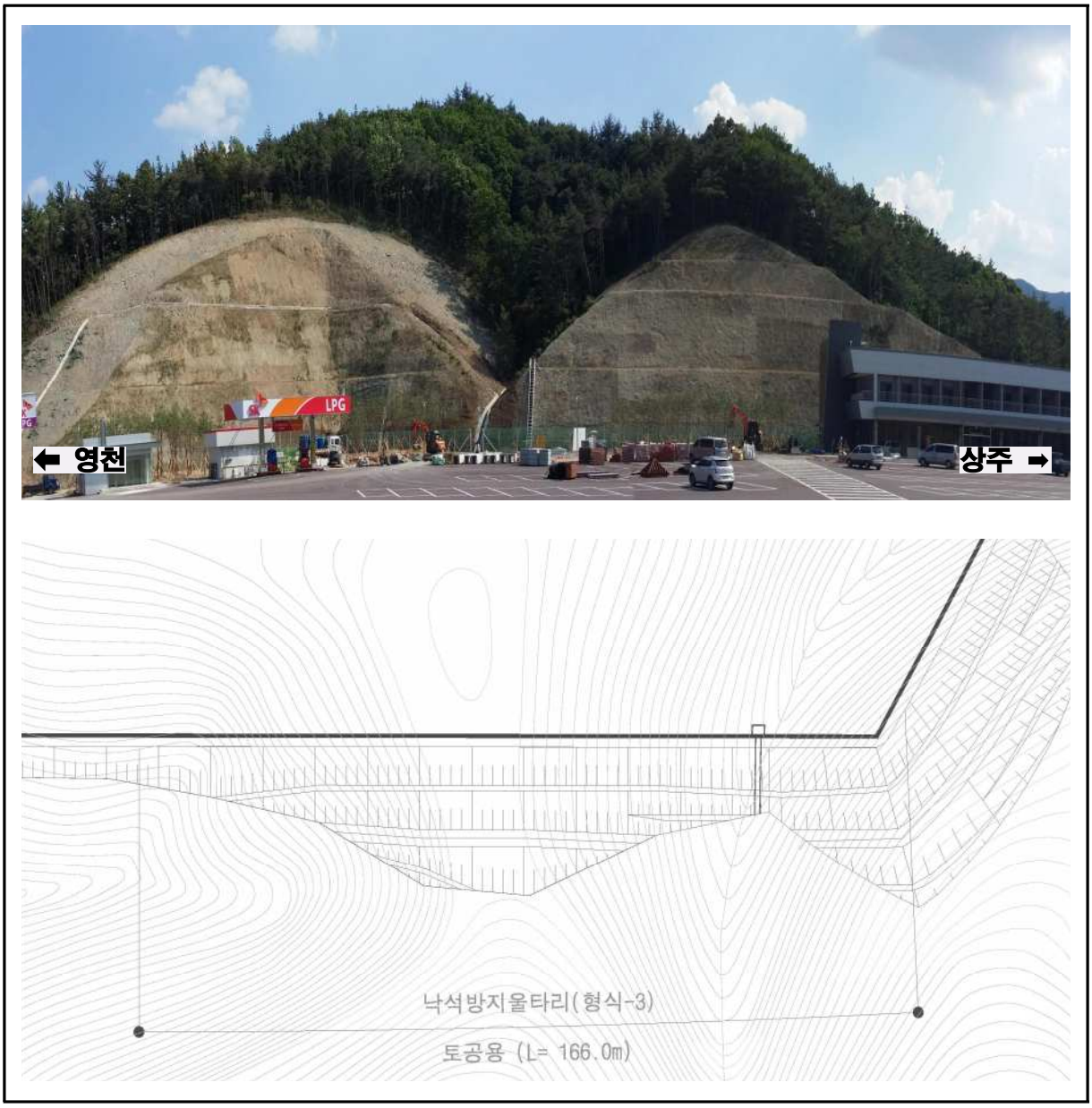
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토41	경상북도 군위군 부계면 창평리	57.818 ~ 58.014	STA.57+898	33.0	2.0	31.0	-	2017	55/020



<그림 41-13> 영천절토41 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토41 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



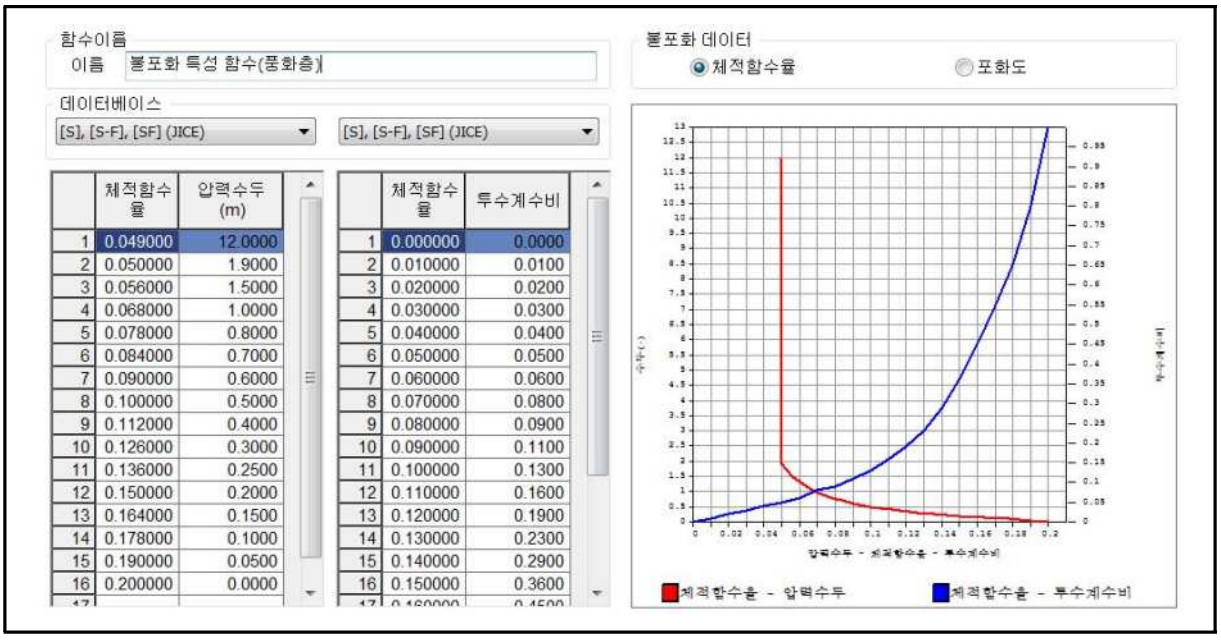
<그림 41-14> 영천절토41 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	20	28	20	1.0E-03	
풍화암	22	30	30	1.0E-04	
경암	26.5	44	500	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

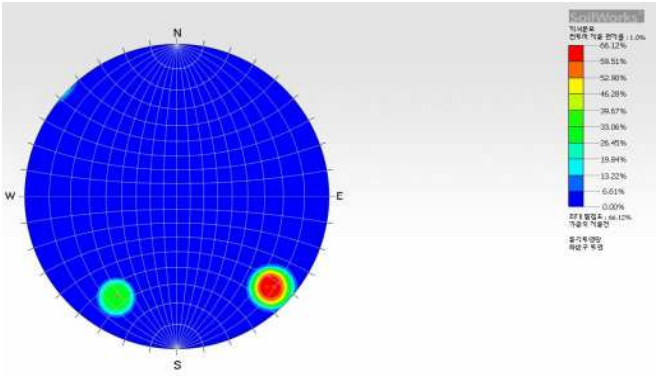
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 41-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

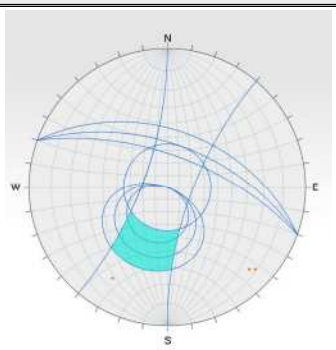
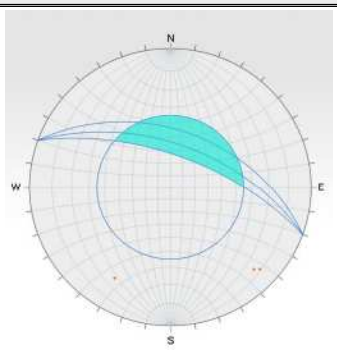
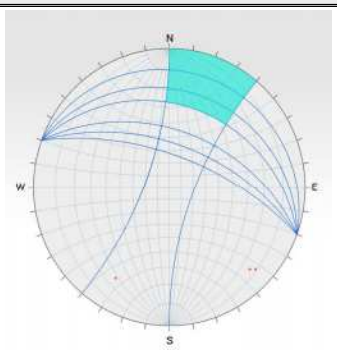
3) 1구간 (STA.57+818 ~ 58+014)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		75	31
		82	313
		80	315

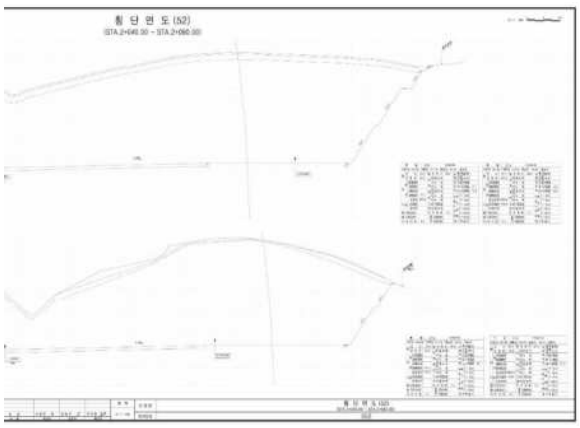
◦ 해석결과

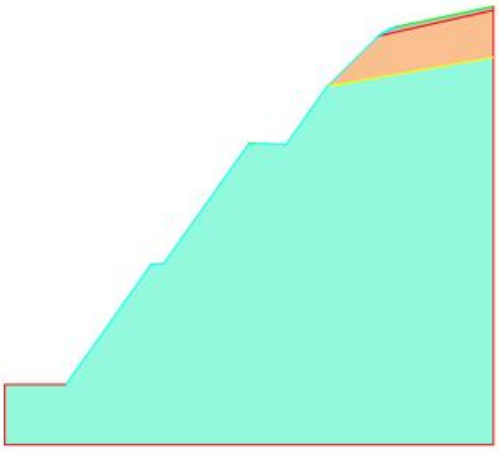
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

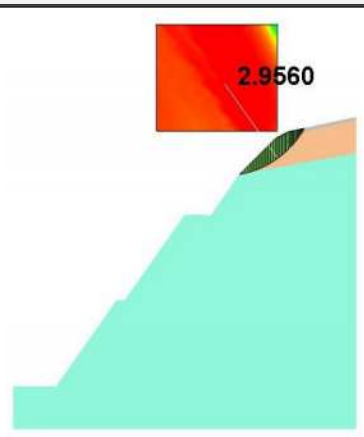
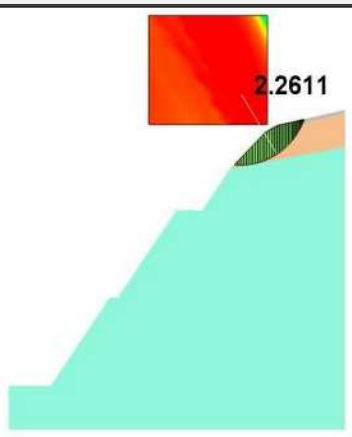
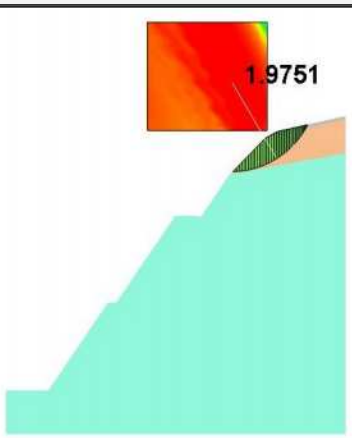
◦ 검토단면





대표단면 : STA.2+480, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.95	안전율 : 2.26	안전율 : 1.97

③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 41-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토41**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.95	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.26	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.97	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

41.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 41-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토41**		
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	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 41-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

41.5 내구성능 평가

41.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 41-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 2/33 = 0.06
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 140.0MPa	추정
면적	전체	3,745㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	3,745㎡	
표면보호공	식 생	3,708㎡	
	돌망태	37㎡	
사면보강공	-	-	

41.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 41-69> 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

41.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 41-70> 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 41-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
57.878㎞	106.6	-	초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
57.888㎞	113.0	-	
57.898㎞	108.1	-	
평균값	109.2	-	
등급	**A등급**		

<표 41-72> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 41-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트뿜어붙이기/석장공		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
표면보호공	3,708/3,708㎡	100.0%	0.0/37.0㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 41-74> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 41-75> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	1~3
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	c(10)
풍화진행도	MW	MW	HW
	c(10)	c(10)	d(16)
합 계	35	35	46
평 균	7	7	9.2
평가 결과	c	c	c

<표 41-76> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

41.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 41-77> 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 41-78> 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	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 41-79> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

41.6 종합평가

41.6.1 종합평가 개요

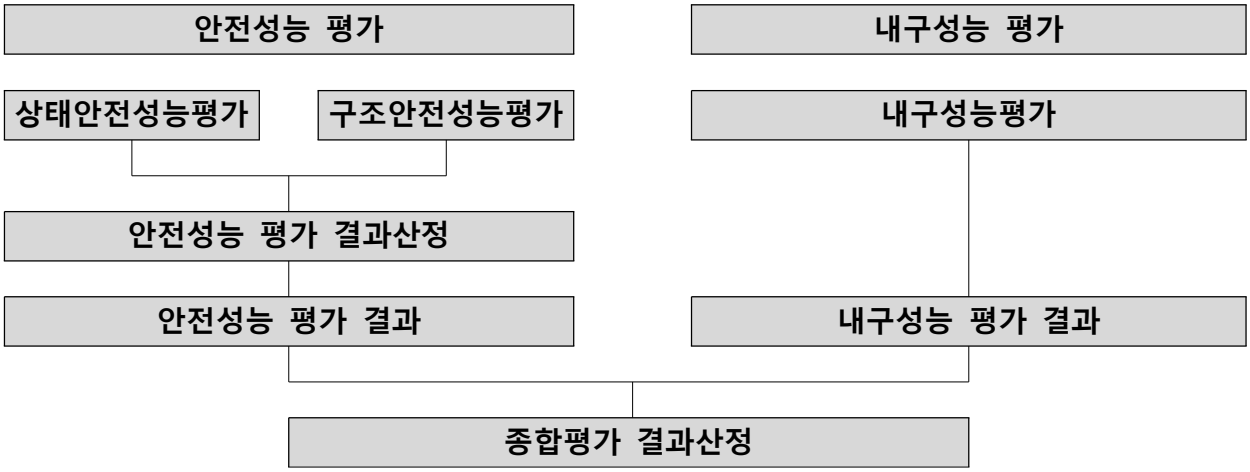
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 41-16> 종합평가 흐름도

41.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 41-80> 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 41-81> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토41		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.120	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.120 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.149 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 41-82> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

41.7 유지관리 전략 제안

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

41.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2041.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 41-83> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

41.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.149)"으로 평가되었다.

<표 41-84> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.265	0.149
평가결과	A	B	A

41.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 41-85> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
	산마루측구	상태양호	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

41.8 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. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 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.

제42장 상주절토42

42.1 대상 시설물 현황

42.2 관련 자료의 분석

42.3 현장조사

42.4 안전성능평가

42.5 내구성능평가

42.6 종합평가

42.7 유지관리전략 제안

42.8 종합결론

제42장 상주절토42

42.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 신녕면 치산리(상주영천고속도로 58.638~58.798㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 160.0m, 높이 37.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 42-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000022		**관리번호**	SY SL42
시설물명	상주절토42		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 영천시 신녕면 치산리		
	위치좌표	시점 : 36° 06′91.5″ 128° 72′06.9″		
		종점 : 36° 06′87.7″ 128° 72′25.1″		
	관리이정	58.638~58.798㎞		
	공구이정	7공구 STA.3+080~3+240		
제 원	**연 장**	160m	**높 이**	37.0m
	경사/방향	55/195	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	10~20°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	경남기업㈜
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 숏크리트, 격자블럭		
비 고				

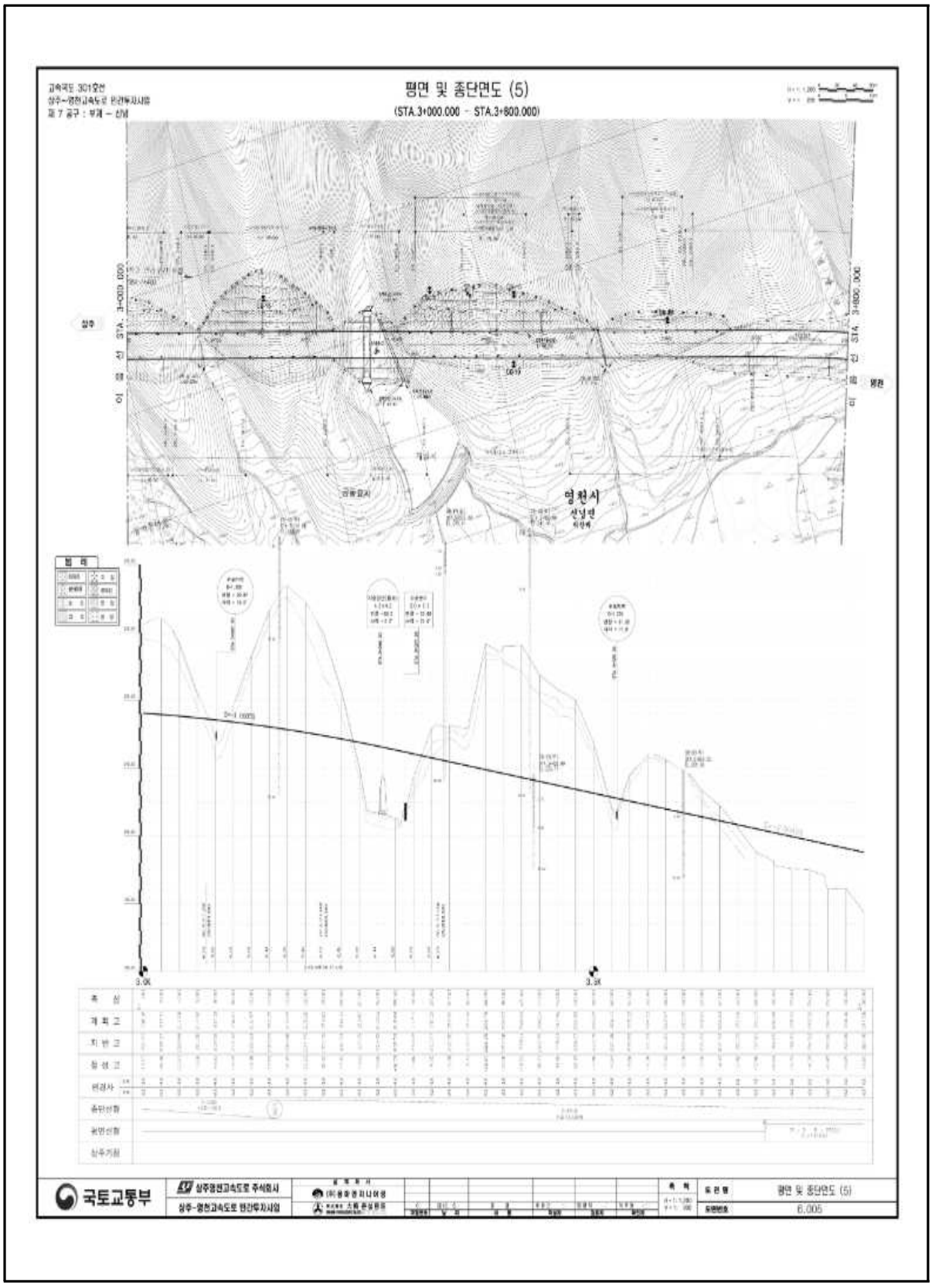


<그림 42-1>위치도

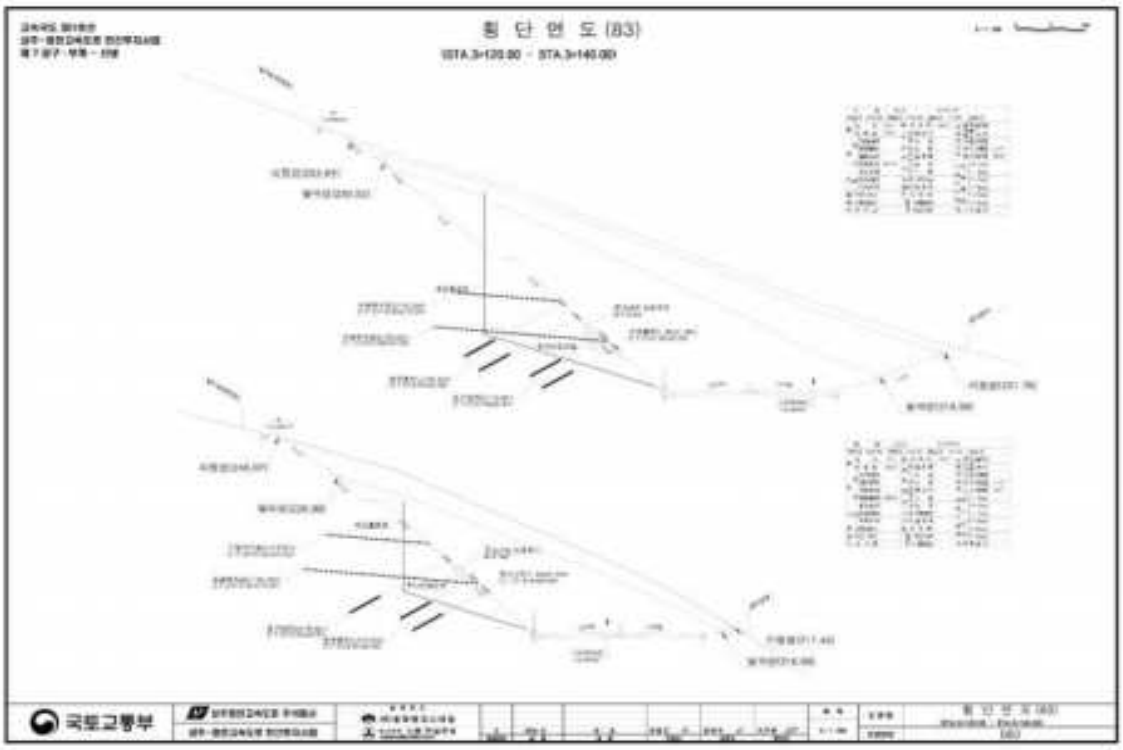
2019년 정밀안전점검

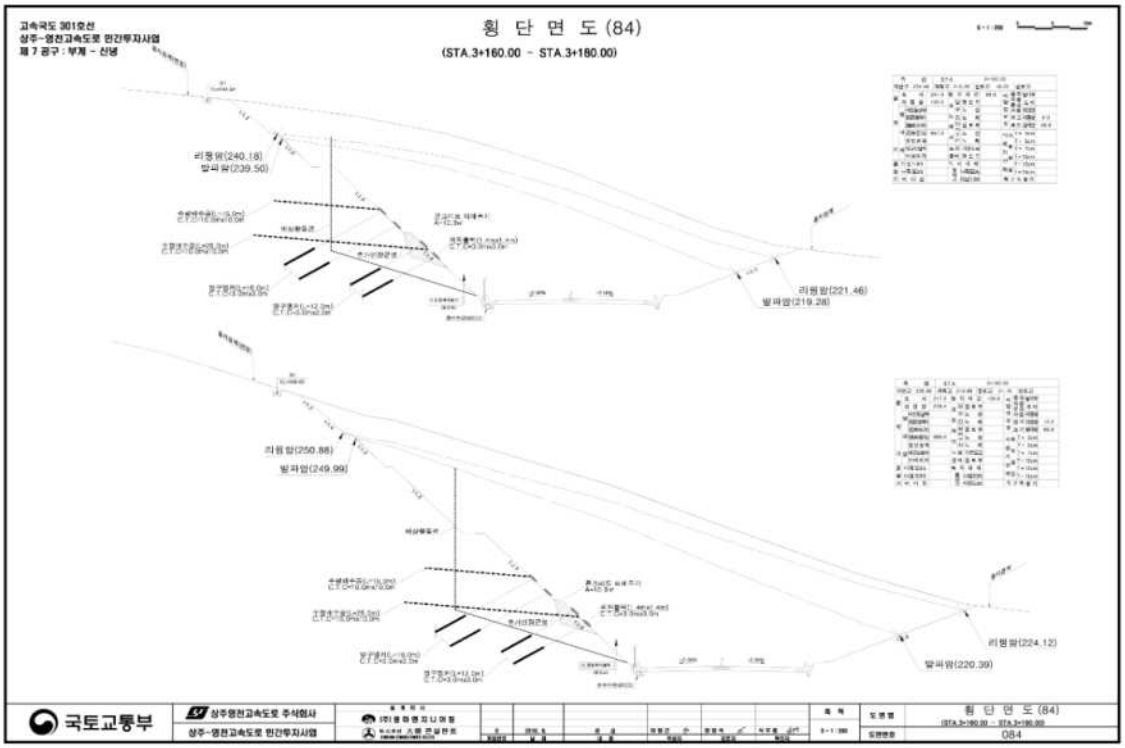

<그림 42-2> 전경사진

	
산마루측구, 점검계단 전경	숏크리트 전경
	
하부 전경	격자블럭 전경



<그림 42-3> 평면도





<그림 42-4>표준횡단면도

42.2 관련 자료의 분석

42.2.1 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 42-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 7공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 7공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 7공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

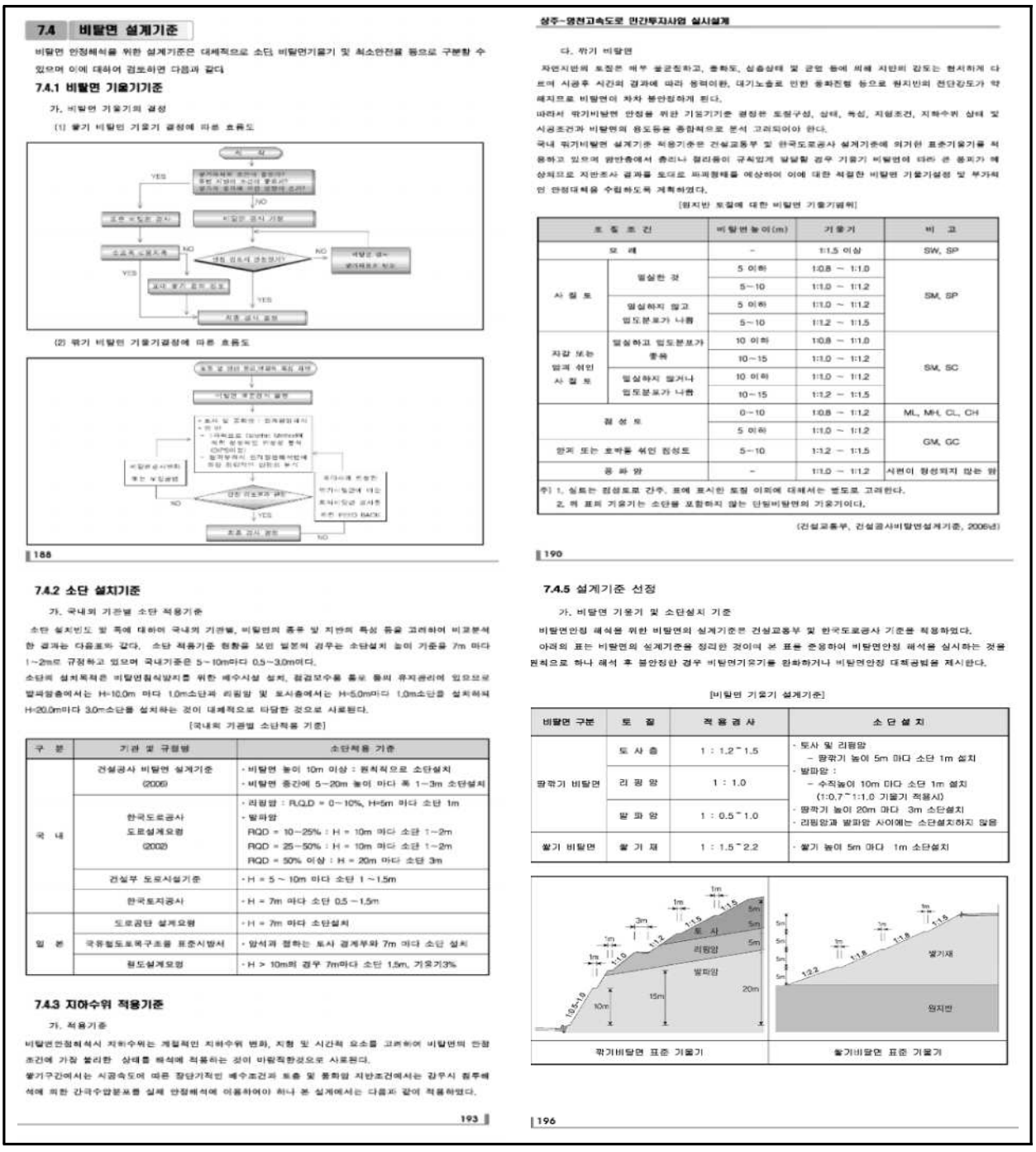
2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

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.

42.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자 산업 건설공사 7공구"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 최소안전율 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 풍기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도

(2) 뭐기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도

188

상주-영천고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 뭐기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 심층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 동적이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 뭐기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 뭐기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙적게 발달할 경우 기울기 비탈면에 대한 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

주) 1. 심토는 점성토로 간주, 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 이 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

190

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기준별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기준별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수를 통한 등의 유지관리에 있으므로 발파점층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기준별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : RQD = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

193

7.4.5 설계기준 선정

가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

[비탈면 기울기 설계기준]

비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
깎기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2 ~ 1.5	· 토사 및 리핑암 – 깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 · 발파암 : – 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7 ~ 1:1.0 기울기 적용시) · 깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5 ~ 1.0	
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5 ~ 2.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치

깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

196

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:250,000)	분 석 내 용
	• 과업구간은 백악기 경상분지의 신동층과 하양군층이 주로 분포하는 의성소분지 남부에 위치 • 본 조사공구는 시점부의 일직층을 시작으로 후평동층, 점곡층, 사곡층이 순차적으로 분포함 • 과업노선은 사암, 이암, 세일 및 Lutite(니질) 암석이 주구성을 이루며 부분적으로 역암이 협재 • 노선과 평행하게 역암등 단층이 발달

4.1.2 인접지역 설계자료 분석

사 업 명	분 석 내 용
남천~청도간 (공터재,노귀재) 국도4차로 확장공사 실시설계 (2002. 3)	• 토사층은 1.0~7.0m로 분포하며, 풍화암은 1.6~6.0m의 두께로 분포 • 토사층은 실트섞인 모래 및 호박돌로 구성 부분적으로 점도 혼재 • 연암은 5.0~10.0m 이하에서 4.5~9.0m 두께로 분포 • 경암은 14.5~17.7m 이하에 분포하며, TCR은 92~100%의 범위를 보이며, RQD 63~70%의 분포 범위를 나타냄

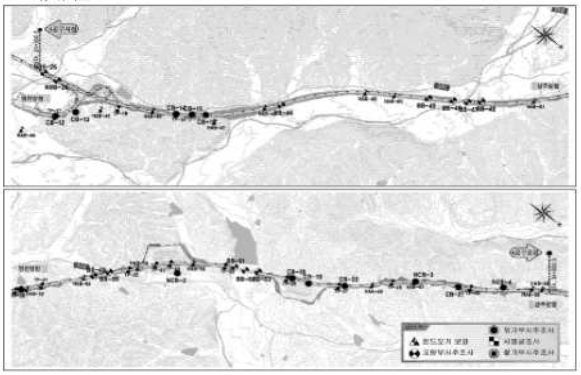
4.1.3 현장답사를 통한 주변현황 분석

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항	노선 현황
교량 구간	• 신설교 시점 교대구간 산사태에 의한 비탈면붕괴 확인 • 신설교 중점부 구간 토사 및 풍화대 비교적 깊은 층두께 발달	• 과업구간 교량의 지층분포현황 점검 및 파악 • 신설교구간의 단층교차 예상지점 및 산사태지점 안정성검토	
터널 구간	• 터널2구간 급경사지역 사면붕괴 • 송림휴게소(상주방향) 주변 터널구간 풍화대 깊게 분포	• 지질 이상대 예상지역의 비탈면 안정성검토 • 굴절법 탄성파 탐사를 통한 미시추구간 지층분포 정밀 파악	
쌓기 구간	• 쌓기구간 대부분 경작지로 활용 • 경작지 현황파악을 통한 시추조사 가능 위치확인	• 충적층 발달구간의 연약지반 발달 가능성 및 조사방안 검토 • 지층분포의 정밀 파악을 위한 미시추구간의 현장조사 검토	

4.2 기존조사자료

4.2.1 기본설계조사 수량 및 위치도

가. 위치도



나. 수량

구 분		단위	교량구간	토공구간	계
지표지질조사		식	1		1
물리탐사	굴절법탄성파탐사	km	-	1.32	1.32
현장조사	시추조사	공	17	12	29
	시험굴조사	회	-	13	13
현장시험	핸드오거보링	회	-	15	15
	표준관입시험	회	36	47	83
	현장밀도시험	회	-	26	26
실내토질시험	물성시험	회	-	13	13
	다짐 및 CBR시험	회	-	13	13
	직접전단시험	회	-	8	8
실내암석시험	물성시험	회	-	1	1
	일축압축시험	회	-	1	1
	삼축압축시험	회	-	1	1
	점리면전단시험	회	-	1	1

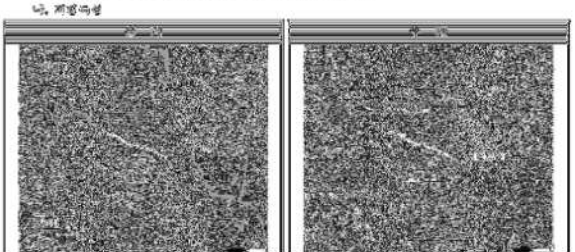
제2장 지형 및 지질현황

2.2.1 지형 및 지질 특성

가. 지질 개요

- 과업지역은 백악기 경상분지의 주요 퇴적층과 유상분군에 분포하는 화강소성체에 남북에 걸쳐
- 백악기 경상층군의 최하부층인 대하층을 상부화하여 의성부터 화산부터 지표면까지 점토층과 함께 상부층은 일부의 지층들을 제외하고 대부분 분포

나. 지형특성



- 노출지역은 도로개설로 인해 절토면과 인접지역의 풍화상태 양호한 편임
- 지형노선을 일괄선과 일부단 세이에 지표적 남북 두줄지층 지하 지층에 분포되어 있음

다. 암질 특성 특성

구 분	지질특성	노두사진
점곡층 암회색 세일	• 과업노선의 중앙부에 분포하며, 주로 암회색 내지 흑색 세일로 구성 • 주 구성광물은 아각 내지 각상의 석영, 방해석, 유기물, 부모질 점토광물이고 부성분으로 비오모 블두멍광물이 나타남	
사곡층 사질 이암	• 과업노선의 중앙부와 종점부에 넓게 분포하며, 주로 사암과 세일로 구성됨 • 석영, 알칼리장석, 점토광물이 주구성광물을 이룸	

라. 지질 계통도

지질시대		층 명		특 성	비 고
제4기		충적층(Qa)		• 하천 및 산록 퇴적물	
		~~ 부정합 ~~			
중생대	백악기	중성암맥(Kid) 산성암맥(Kad)		• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
		── 관입 ──			
		화강암(Kgr)		• 괴상의 치밀	• 분포하지 않음
		── 관입 ──			
		유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 용회암으로 구성	• 분포하지 않음
		── 관입 및 분출 ──			
		하양층군	신암동층(ke9)	• 암회색 이암 및 세일과 사암이 교호대	• 분포하지 않음
			손산층(ke8)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일 • 하부층에서 석회질 물질 다량 함유	• 분포하지 않음
			사곡층 (Ke7) 상부 (Ke7-ms)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일 • 석회질 물질 함유	• 분포하지 않음
			사곡층 (Ke7) 하부 (Ke7-ss)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일과 사암이 교호 • 사질부분은 다량 함유	• 8공구 시점과 7공구 종점
			점곡층(ke6)	• 암회색, 녹회색, 적색 세일 및 이암 • 주로 암회색 세일로 구성	• 7공구 중앙부
			후평동층 (Ke5) 구계등층원 (Ke5-2)	• 사암, 미사암 및 미사질 세일 및 이암(니질 무세)	• 7공구 시점부
			후평동층 (Ke5) 구미동층원 (Ke5-1)	• 사암, 적색 미사질 세일, 저색셔트박 및 역암(사질 무세)	• 7공구 시점부
			일직층(Ke4)	• 사암, 적색 미사질 세일, 역암 • 주로 사암이 우세	• 6공구 종점

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주-영천 고속도로 민간투자사업 제 7공구 지반조사

1.2 조사목적

• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사(현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

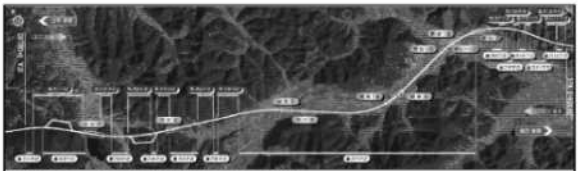
1.3 조사범위

위치
• 시점 : 경상북도 군위군 부계면 창평리(STA. 0+000)
(X=287099.61, Y=172291.69)
• 종점 : 경상북도 영천시 신녕면 화성리(STA. 9+800)
(X=286866.14, Y=181553.04)
• 연장 : 9.80km

선정
• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제2경부축(상주~영천) 고속도로 건설
• 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산
• 민간의 창의와 효율로 정부재정자원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도



• 구조물 현황 : 교기(11구간), 쌓기(12구간), 교량(10개소)

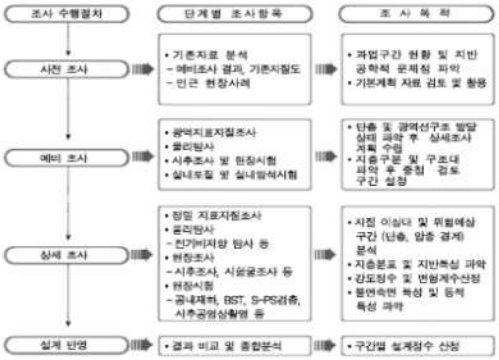
제 2 장 조 사 계 획

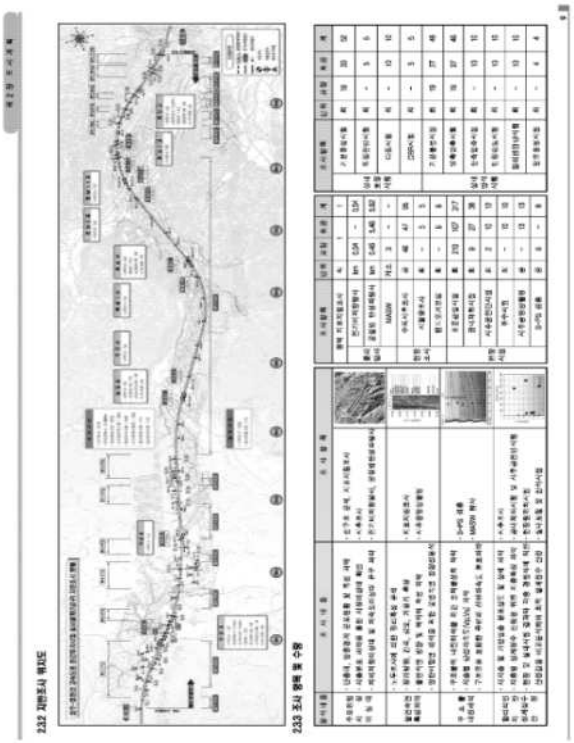
2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

2.1.1 조사 기본방향



2.1.2 조사 수행 흐름도





제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대깎기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태와 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 저합면에 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 [redacted]

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

구 분	선 정 기 준
붕 기 부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 붕기재료의 암수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 동괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지형특성으로 인하여 붕기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우 · 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 붕기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
락 기 부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 풍적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우 · 동괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 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)	대표단면 (STA.)	최대쌓기고 및 깎기고	지층현황	조 사 내 용		비 고
							공번	조사위치 (STA.)	
신설	쌓기1구간	0+140 ~ 1+000	860	0+280(양측방향) 0+580(양측방향) 0+700(양측방향)	17.3 m 21.5 m 30.6 m	풍화토 풍화암 연암	CB-1(양측) CB-2(양측) CB-3(양측) CB-4(양측) CB-5(상주) CB-6(양측)	0+360 0+599 0+880 0+730 0+731 0+870	
	쌓기2구간	1+300 ~ 1+480	180	1+380(상주방향) 1+380(양측방향)	16.2m 24.7m	풍화토 풍화암 보통암	CB-7(상주) CB-8(양측)	1+383 1+383	
	쌓기3구간	1+760 ~ 2+150	390	1+820(상주방향)	15.1 m	풍화암 연암	CB-9(상주) CB-10(상주) CB-11(상주) CB-12(양측) CB-13(양측)	1+810 1+930 2+040 2+070 2+150	
	쌓기4구간	2+250 ~ 2+460	210	2+250(상주방향) 2+340(양측방향)	34.0 m 15.1 m	풍화토 풍화암 연암	CB-14(양측)	2+348	
	쌓기5구간	2+960 ~ 3+230	270	3+140(상주방향) 3+140(양측방향)	32.4 m 8.9 m	풍화암 연암	CB-15(상주) CB-16(상주)	2+990 3+151	
	쌓기6구간	3+310 ~ 3+670	360	3+360(상주방향) 3+480(양측방향)	37.3 m 8.30 m	풍화토 풍화암 연암	CB-17(상주) CB-18(양측) CB-19(양측) CB-20(상주)	3+335 3+429 3+529 3+600	
	쌓기7구간	8+630 ~ 8+750	120	8+700(상주방향)	14.1 m	풍화암 연암	CB-21(상주)	8+692	

7.6.4 암반파쇄에 따른 비탈면 기울기 현황

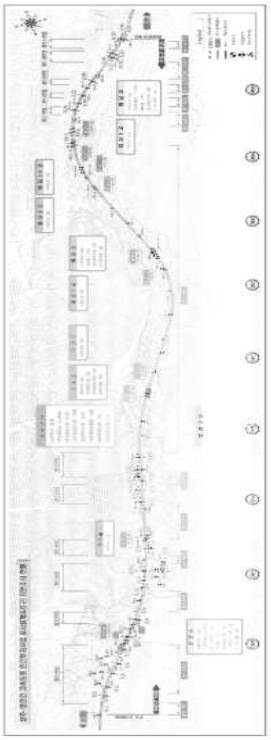
시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 깎기 기울기 평가 및 검토를 암석별 깎기 적정기울기 기준으로 실시하면 다음 표와 같다

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 기울기 검토]

구분 / 구간	쌓토구간 (STA.)	시추 번호	심 도 (GL.-m)	암반 특성에 따른 비탈면 기울기					적용 기울기
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 기울기	RQD에 의한 기울기	
제1깎기부	0+140 ~ 1+000	경선방향	CB-1	12m이하	세일	73.3	35.3	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-2	4m이하	사암, 세일	59.3	26.3	1:0.7	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-3	12.5m이하	세일	60.0	43.4	1:0.7	1:1.0	1:0.7
		경선방향	CB-4	3.8m이하	세일	89.3	47.0	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		상주방향	CB-5	4.2m이하	사암, 세일	100.0	45.6	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경선방향	CB-6	1.0m이하	사암, 세일	95.4	49.4	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제2깎기부	1+300 ~ 1+480	상주방향	CB-7	10.7m이하	세일	96.1	53.6	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-8	2.4m이하	세일	86.7	41.6	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제3깎기부	1+760 ~ 2+150	상주방향	CB-9	1.0m이하	세일	100.0	47.9	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		상주방향	CB-10	1.0m이하	세일	97.1	45.9	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-11	1.0m이하	세일	95.9	71.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-12	1.0m이하	세일	100.0	80.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경선방향	CB-13	1.4m이하	세일	98.6	80.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제4깎기부	2+250 ~ 2+460	경천방향	CB-14	1.0m이하	세일	99.2	80.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제5깎기부	2+960 ~ 3+230	상주방향	CB-15	0.9m이하	사암	95.9	68.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-16	1.5m이하	세일	90.6	51.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제6깎기부	3+310 ~ 3+670	상주방향	CB-17	3.9m이하	세일	93.3	74.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경선방향	CB-18	0.8m이하	세일	96.9	78.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-19	3.7m이하	세일	86.3	54.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-20	0.0m이하	세일	88.2	61.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제7깎기부	8+630 ~ 8+750	상주방향	CB-21	1.2m이하	사암, 세일	73.3	31.8	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제8깎기부	8+570 ~ 8+950	경선방향	CB-22	1.2m이하	세일	78.8	57.5	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제9깎기부	9+070 ~ 9+170	경선방향	CB-23	1.5m이하	세일	94.0	77.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제10깎기부	9+450 ~ 9+620	경천방향	CB-24	3.0m이하	세일	99.1	85.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-25	1.0m이하	세일	98.4	91.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제11깎기부	9+650 ~ 9+800	상주방향	CB-26	1.0m이하	세일	100.0	85.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-27	1.0m이하	세일	98.6	83.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7

제 1 장 지반조사 위치도

1) 위치도

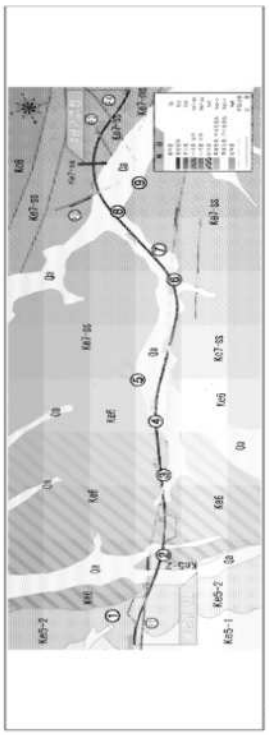


2) 수량

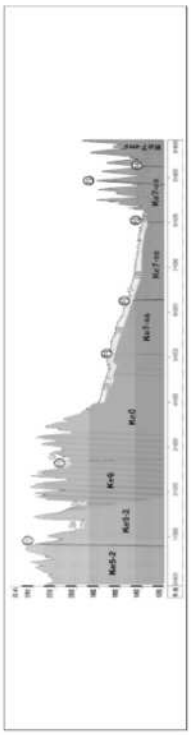
조사항목			단위	교량	옹벽	계
원지반 지지력조사			개	1		1
토목	원지반지형측량		km			0.04
부속	설계 및 감독위탁용역		km	0.46	5.46	6.38
	MASW		측점	3	-	-
원지반 조사	수직시추조사		공	48	47	95
	시험굴조사		측점	-	3	3
	물리탐사		측점	-	8	8
토목 시험	표준관입시험		회	200	107	307
	공내재하시험		회	9	27	36
	시추공공시험		회	3	10	13
	현장시험		회	-	10	10
	시추공영상촬영		공	-	33	33
	원지반 지지력조사		공	2	-	2
원지반 시험	토목 부속	기초암지지력시험	회	19	-	19
		사질토지지력시험	회	-	5	5
		점성토지지력시험	회	-	10	10
		CBR시험	회	-	5	5
	원지반 시험	기본물성	회	19	27	46
		일축압축시험	회	19	27	46
		삼축압축시험	회	-	10	10
		변형특성시험	회	-	10	10
		불연속면전단시험	회	-	10	10
		암석초음파시험	회	-	4	4

제 3 장 지질도

1) 지질평면도



2) 지질단면도



42.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 42-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토42 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 토사퇴적 및 폐자재 적치, 산마루측구 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	상주절토42 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 토사퇴적 및 폐자재 적치, 산마루측구 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	상주절토42 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 토사퇴적 및 폐자재 적치, 산마루측구 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	상주절토42 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 토사퇴적 및 폐자재 적치, 산마루측구 균열 및 파손이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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. 본 사면은 사면 식생공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 산마루측구 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토42 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 1단 숏크리트 파손, 산마루측구 이격 및 균열이 발생된 것으로 조사되었다. 1단 숏크리트 파손의 경우 잔여물의 도로 유입가능성이 낮으므로 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 산마루측구 이격 및 균열의 경우 손상의 진전 방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

42.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 42-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

42.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 42-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

42.2.6 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 42-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

42.3 현장조사

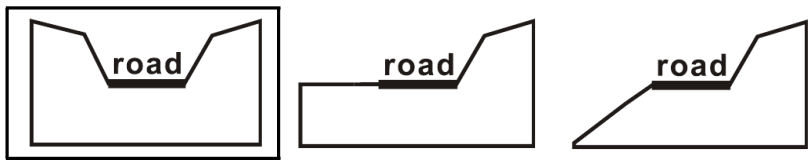
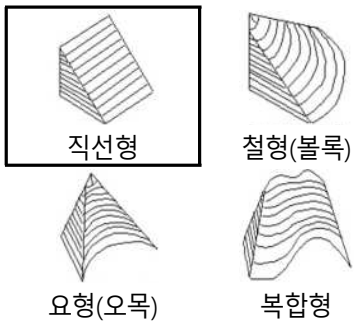
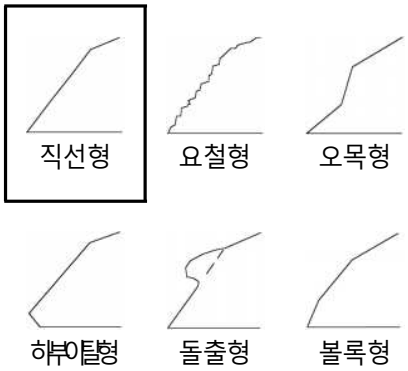
42.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 42-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 영천시 신녕면 치산리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 06′91.5″ 128° 72′06.9″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 06′87.7″ 128° 72′25.1″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 160m</td><td colspan="2">높 이 : 37.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/195</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~2.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="6">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="2">58.638~58.798k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">58.658~58.778k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">58.658~58.768k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>격자블럭</td><td colspan="2">58.678~58.768k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">58.638~58.718k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 42-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="6">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 42-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토42		
	위경도	시점 : 36° 06′91.5″ 128° 72′06.9″ 종점 : 36° 06′87.7″ 128° 72′25.1″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 11월 25일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	160m	최대높이	37.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	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
	뜬돌	□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 □낙석방지망 □옹벽 ■낙석방지울타리(양호) ■격자블럭(양호) ■배수로(보통) ■점검로(양호) □기타		
조사자 소 견	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			

42.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 상주영천고속도로 58.638~58.798㎞에 위치하고 있으며, 길이는 160m, 높이 37.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 42-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{37.0}=0.05$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 84.7~86.2㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{37.0}=0.008$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 160m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 1구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 42-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	58.638~58.798	160m

42.3.3 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 -10~20°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 42-12> 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, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 42-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	국지적 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 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 42-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	10/114	85/298	75/284
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜이상	딱딱함, 5㎜이상	딱딱함, 5㎜이상
풍화도	HW	HW	HW
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 42-15> 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 소단배수로 및 산마루 측구가 시공되어 있다.

소단배수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 산마루 측구의 경우 일부구간 균열이 발생되었으나, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 42-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	-	-	-	-	
	산마루 측구	균열	m	1 / 2.0	건조수축, 온도변화	

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 42-17> 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 42-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 42-19> 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 42-20> 인장균열 조사 결과

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

42.3.4 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 총 3개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 보통암인 것으로 판단된다.

<표 42-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
58.658k	48.1	85.8	보통암	
58.710k	47.8	84.7	보통암	
58.778k	48.2	86.2	보통암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 47.8~48.2로 측정되었으며, 추정강도 84.7~86.2MPa로 보통암으로 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 42-22> 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경



숏크리트 전경

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생, 숏크리트 이외 격자블럭이 시공되어 있으며, 현장조사 결과 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 확인되었다.

<표 42-23> 사면보강공 조사 결과

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



격자블럭 전경



격자블럭 전경

42.4 안전성능평가

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

42.4.1 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 0.05로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 42-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{37.0}=0.05$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 84.7~86.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{37.0}=0.008$로 0.01이하	파쇄암반	

본 사면은 연장 160m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 42-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	58.638~58.798㎞	160m	암반사면	Set1, Set2, Set3

<표 42-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 42-27> 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 42-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	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 42-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+10+16+10) / 6 = 9.3	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 42-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜이상	c
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	HW	d
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 42-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 42-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 42-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 42-34> 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 42-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 42-36> 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/sec^2) (u, β는 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 42-37> 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 10~20°	c
	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 42-38> 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 42-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

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

<표 42-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 42-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토42		
사면 종류	절토사면	구성재료	파쇄암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		9.3	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			14	
결함지수		0.14		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 42-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
160m	1구간	58.638~58.798k	a(0.14)	A	인장균열 없음
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

42.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

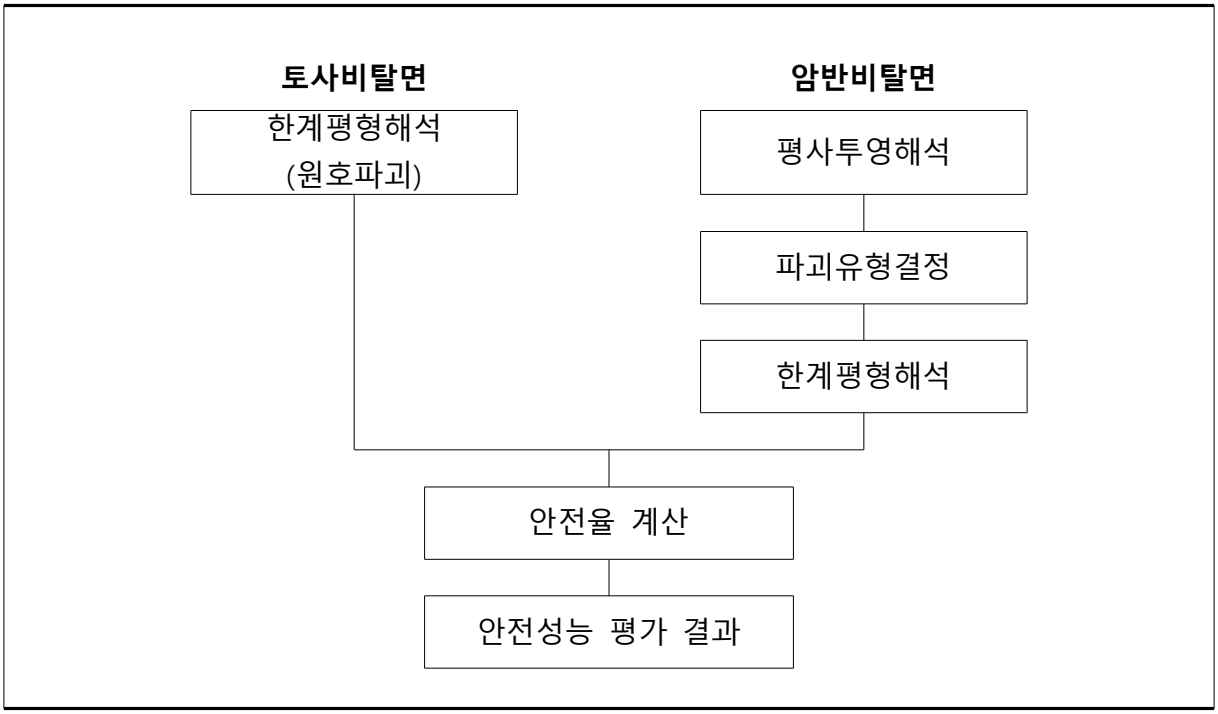
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 42-5> 구조안전성능 평가과정

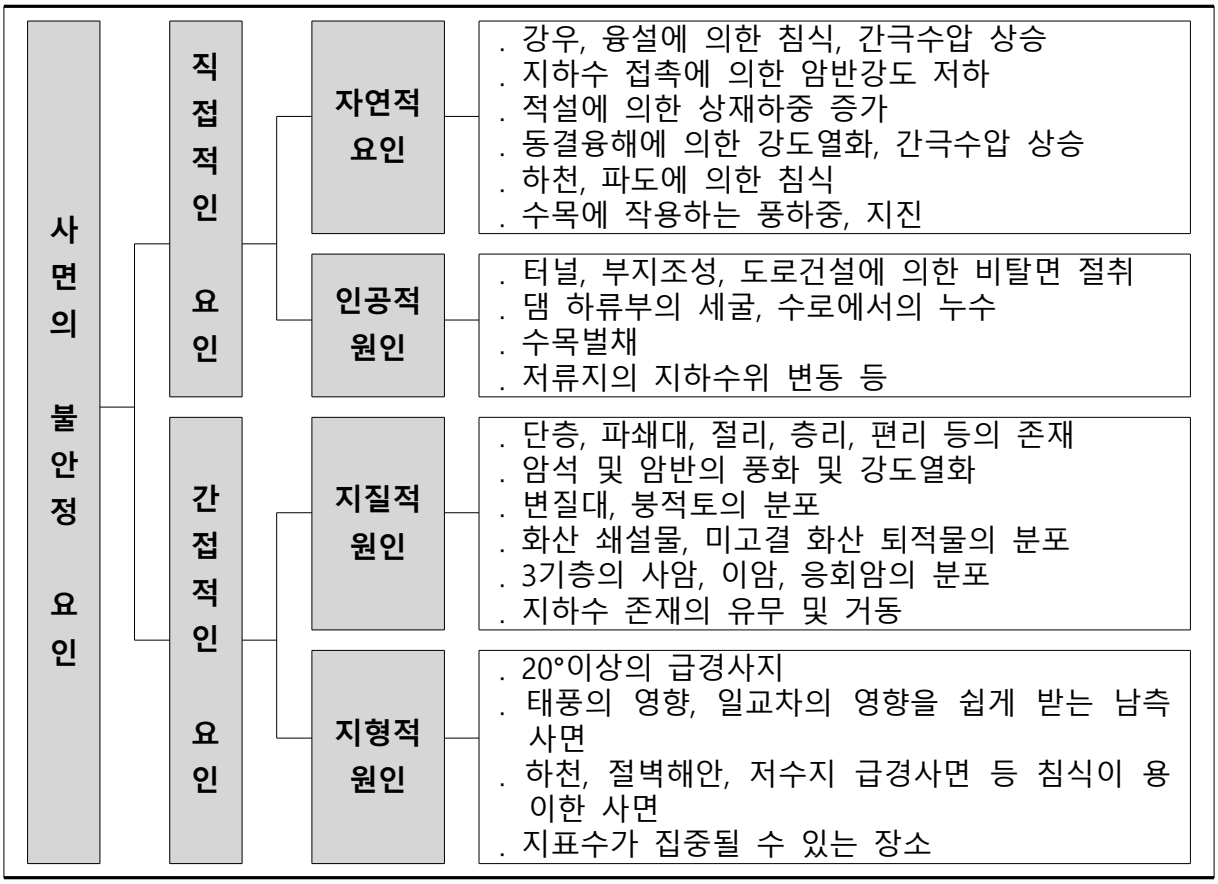
<표 42-43> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

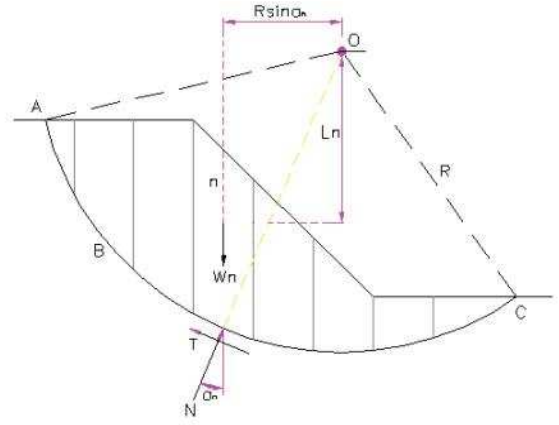


<그림 42-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

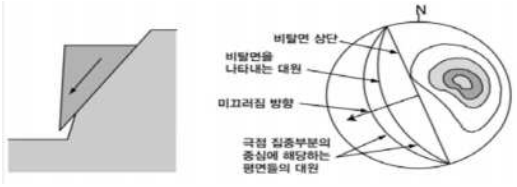
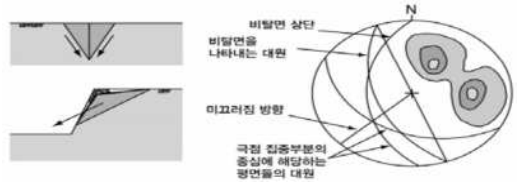
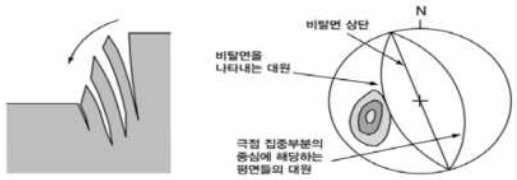
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 42-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 42-44> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 42-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

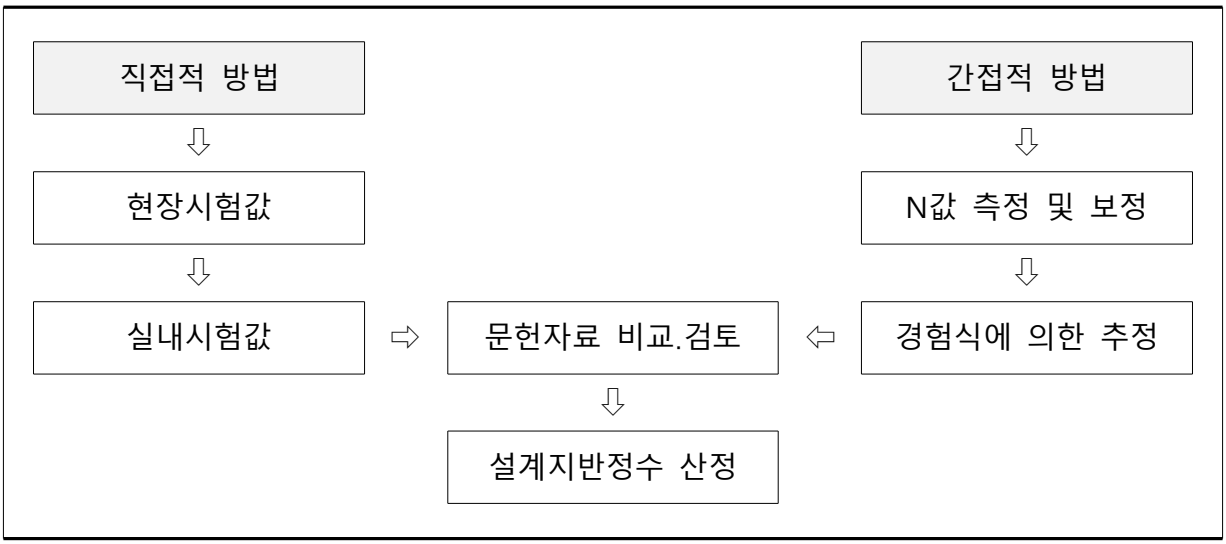
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 42-46> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 42-47> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 42-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 42-49> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 42-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (7공구)	풍화(잔적)토	20	28	20	직접전단시험
	풍화암	22	30	30	
	경 암	26.5	44	500	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 42-51> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 42-52> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	27.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 42-53> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 42-54> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 42-55> Trueman (1988)

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

<표 42-56> 김교원 (1993)

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

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	20	28	20	0.3	
풍화암	22	30	30	0.3	
경 암	26.5	44	500	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 42-57> 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

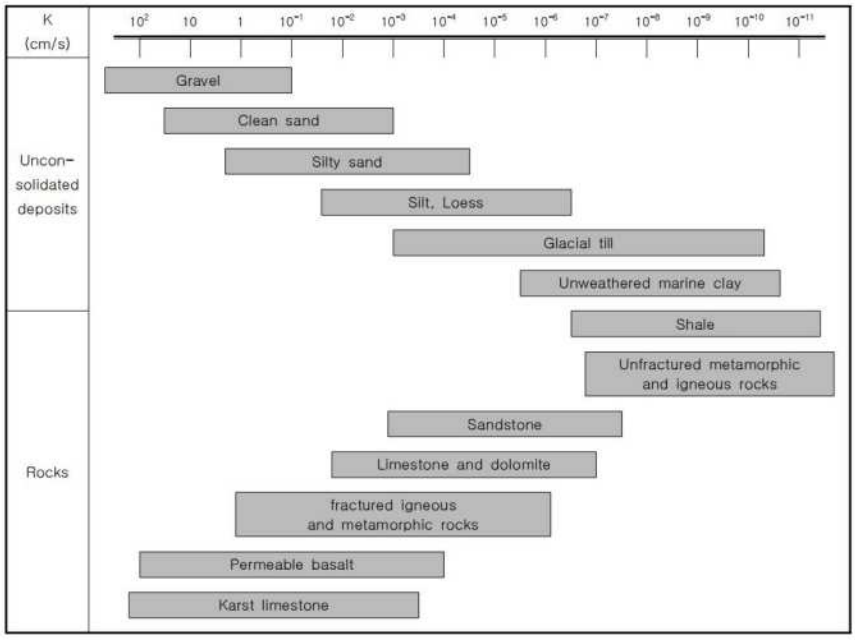
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 42-58> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 42-59> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 42-8> 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 42-60> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

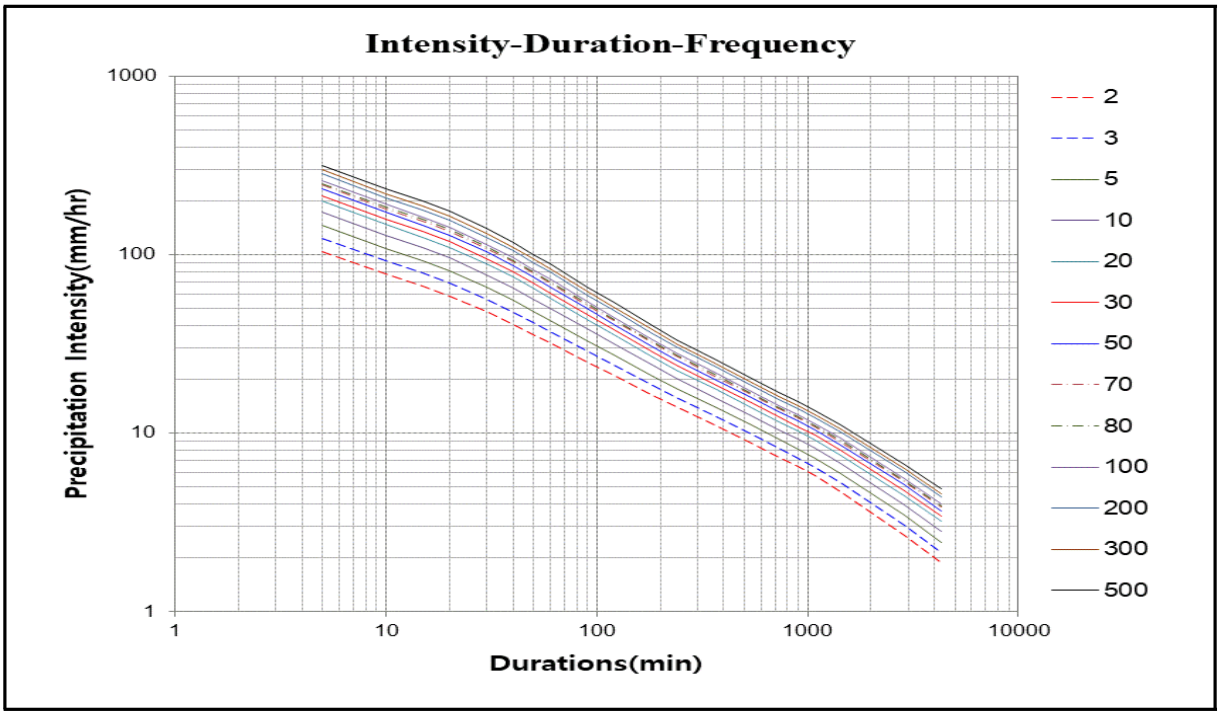
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역



<그림 42-9> 영천지역 IDF곡선

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 42-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 42-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 42-61> 설계지반운동 수준

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

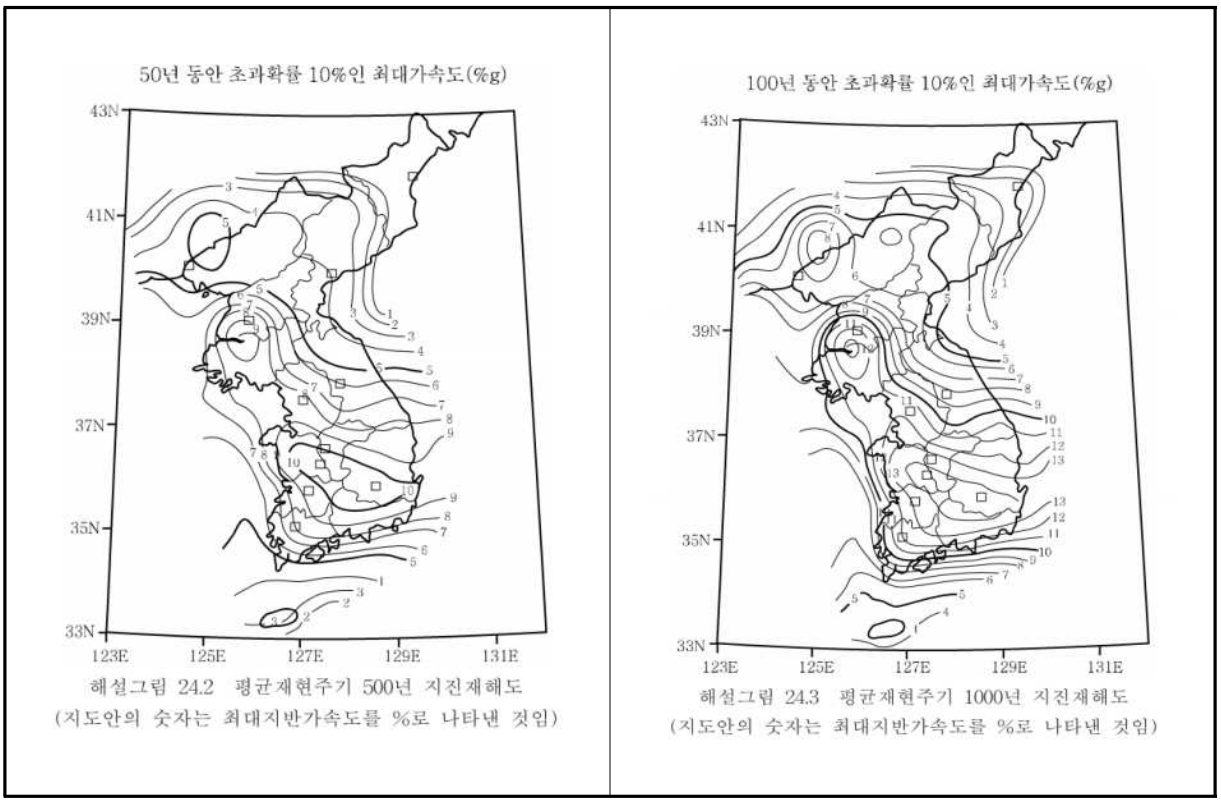
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 42-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 42-62> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 42-63> 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, g값 = 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 42-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

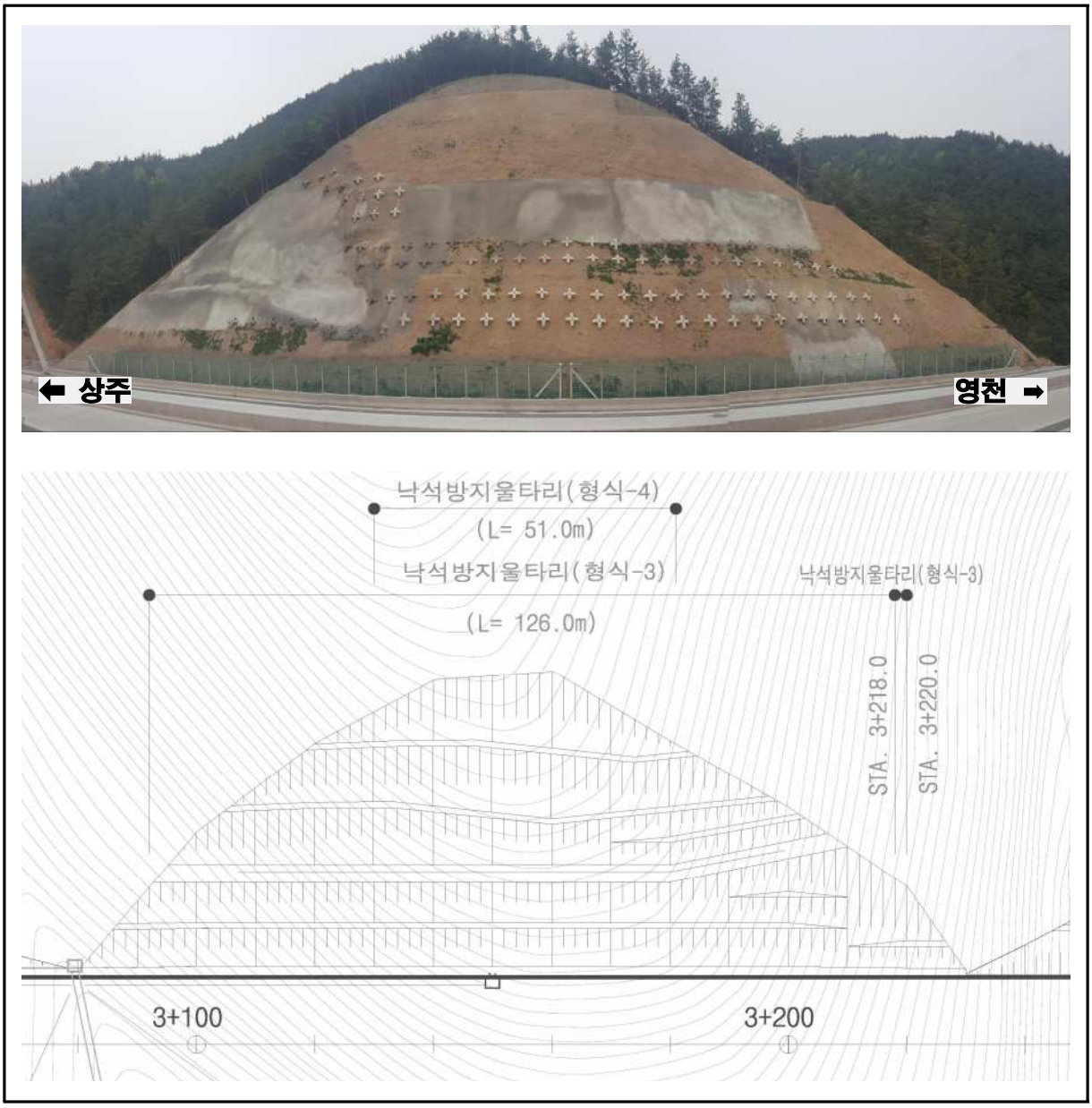
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토42	경상북도 영천시 신녕면 치산리	58.638 ~ 58.798	STA.58+718	37.0	2.0	35.0	격자블럭	2017	55/195



<그림 42-13> 상주절토42 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토42 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



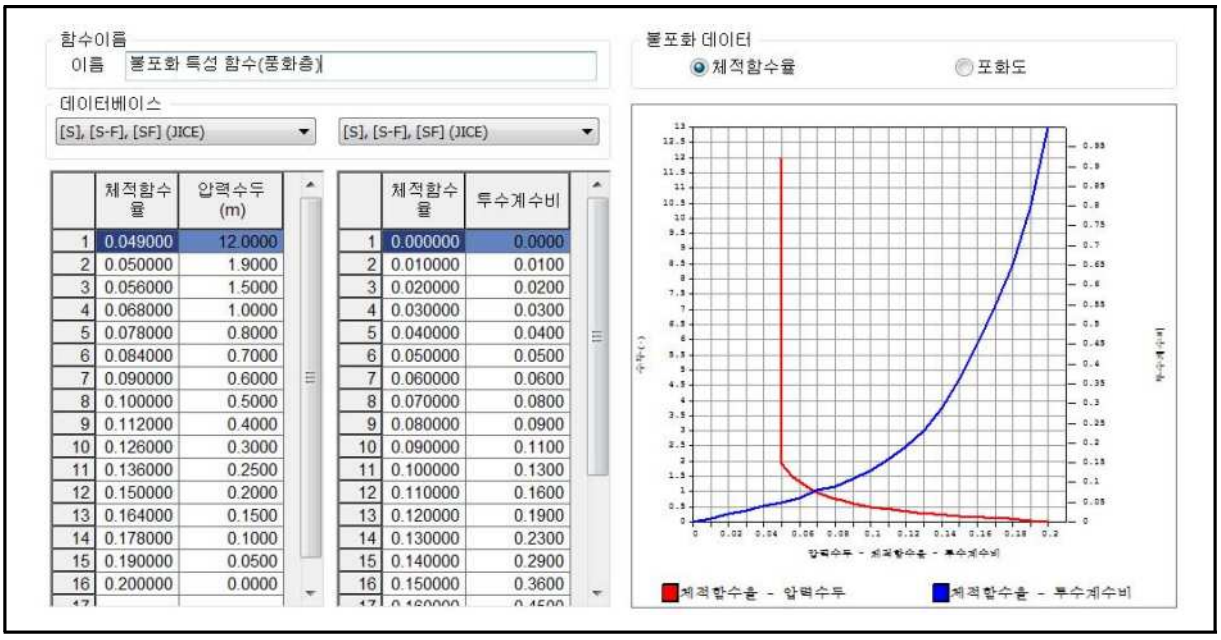
<그림 42-14> 상주절토42 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	20	28	20	1.0E-03	
풍화암	22	30	30	1.0E-04	
경암	26.5	44	500	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

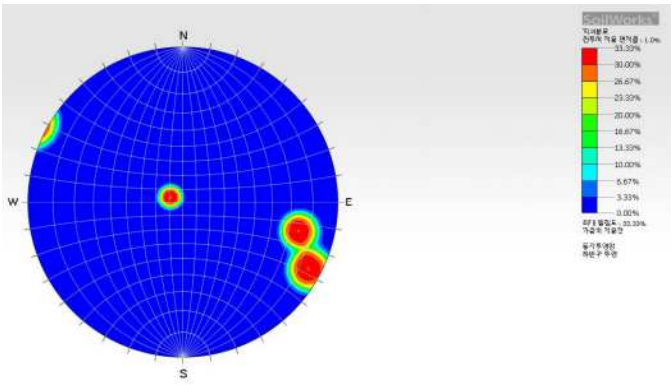
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 42-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

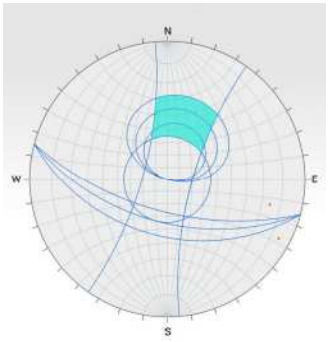
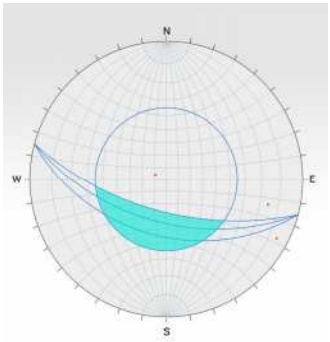
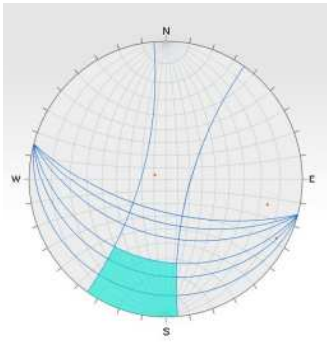
3) 1구간 (STA.58+638 ~ 58+798)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 10 85 75	dip direction 114 298 284

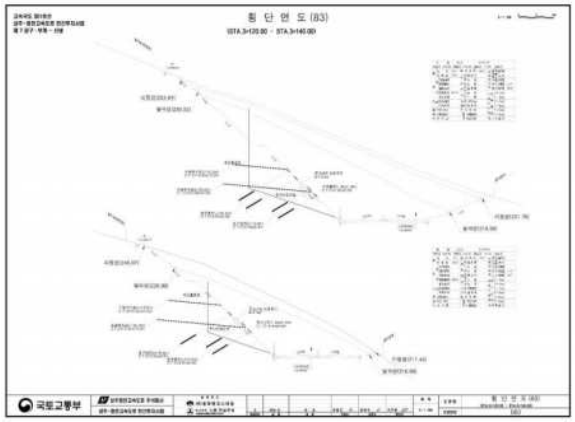
◦ 해석결과

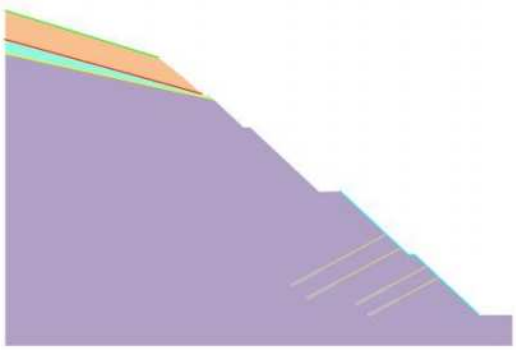
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

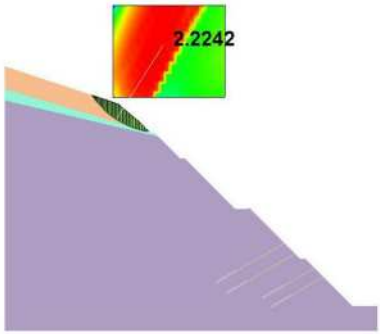
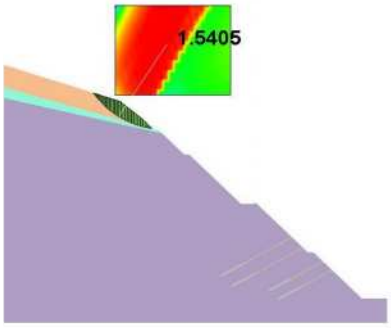
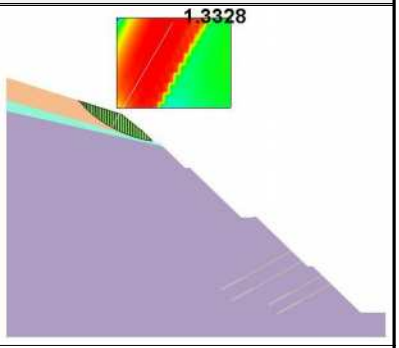
◦ 검토단면





대표단면 : STA.58+718, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.22	안전율 : 1.54	안전율 : 1.33

③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 42-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토42**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.22	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.54	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.33	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

42.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 42-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토42**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.140	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.140	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 42-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

42.5 내구성능 평가

42.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 42-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		파쇄암반사면	SR = 2/37 = 0.05
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		보통암 : 100.0MPa	추정
면적	전체	2,850㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	2,850㎡	
표면보호공	식 생	1,026㎡	
	숏크리트	1,346㎡	
사면보강공	격자블럭	857㎡	

42.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 42-69> 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

42.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 42-70> 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	96.0%이상 100%이하	97.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	96.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 96.0%미만	88.0%이상 97.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 96.0%미만	86.0%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 86.0%미만	76.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	76.0%미만	60.0%미만

<표 42-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
58.658km	85.8	-	초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
58.710km	84.7	-	
58.778km	86.2	-	
평균값	85.6	-	
등급	**A등급**		

<표 42-72> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 42-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	1,026/1,026㎡	100.0%	0/1,346㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%, 숏크리트 손상율이 0.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 42-74> 사면보강공 평가 등급 및 결과

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면 보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	-	미세한 균열 및 파손 발생
	c	일부 유격 발생	일부 균열 및 파손이 발생하였으나 그 정도가 심각하지 않은 상태
	d	-	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태
	e	전체적인 유격 발생	균열 및 파손이 심각한 상태

<표 42-75> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 42-76> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3m 미만	1~3m 미만	1~3m 미만
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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
	c(10)	c(10)	c(10)
풍화진행도	HW	HW	HW
	d(16)	d(16)	d(16)
합 계	46	46	46
평 균	9.2	9.2	9.2
평가 결과	c	c	c

<표 42-77> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

42.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 42-78> 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 42-79> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.25	0.020
절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	0.40	0.172
표면보호공	a	0.08	0.10	0.008
사면보강공	a	0.08	0.25	0.020
결함도 지수				0.220
등 급				**B**

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

<표 42-80> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

42.6 종합평가

42.6.1 종합평가 개요

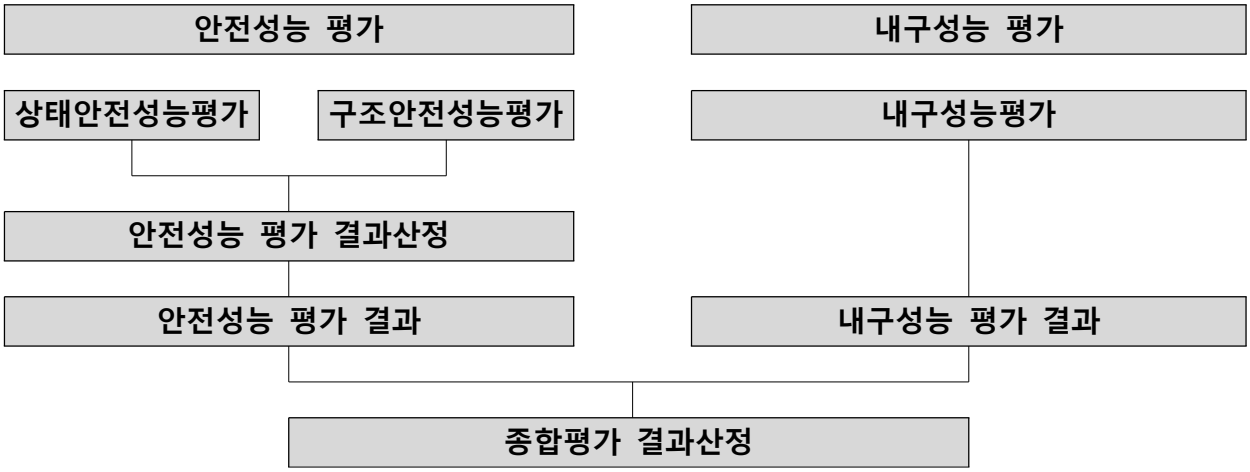
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 42-16> 종합평가 흐름도

42.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 42-81> 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 42-82> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토42		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.140	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.220	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.140 × 0.8) + (0.220 × 0.2) = 0.156 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

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

<표 42-83> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

42.7 유지관리 전략 제안

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

42.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 42-84> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

42.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.156)"으로 평가되었다.

<표 42-85> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.140	0.220	0.156
평가결과	A	B	B

42.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 42-86> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
사면 보강공	격자블럭	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	상태양호	주의관찰	현상유지
	산마루측구	측구 균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

42.8 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 산마루측구 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급" 과 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제43장 상주절토43

43.1 대상 시설물 현황

43.2 관련 자료의 분석

43.3 현장조사

43.4 안전성능평가

43.5 내구성능평가

43.6 종합평가

43.7 유지관리전략 제안

43.8 종합결론

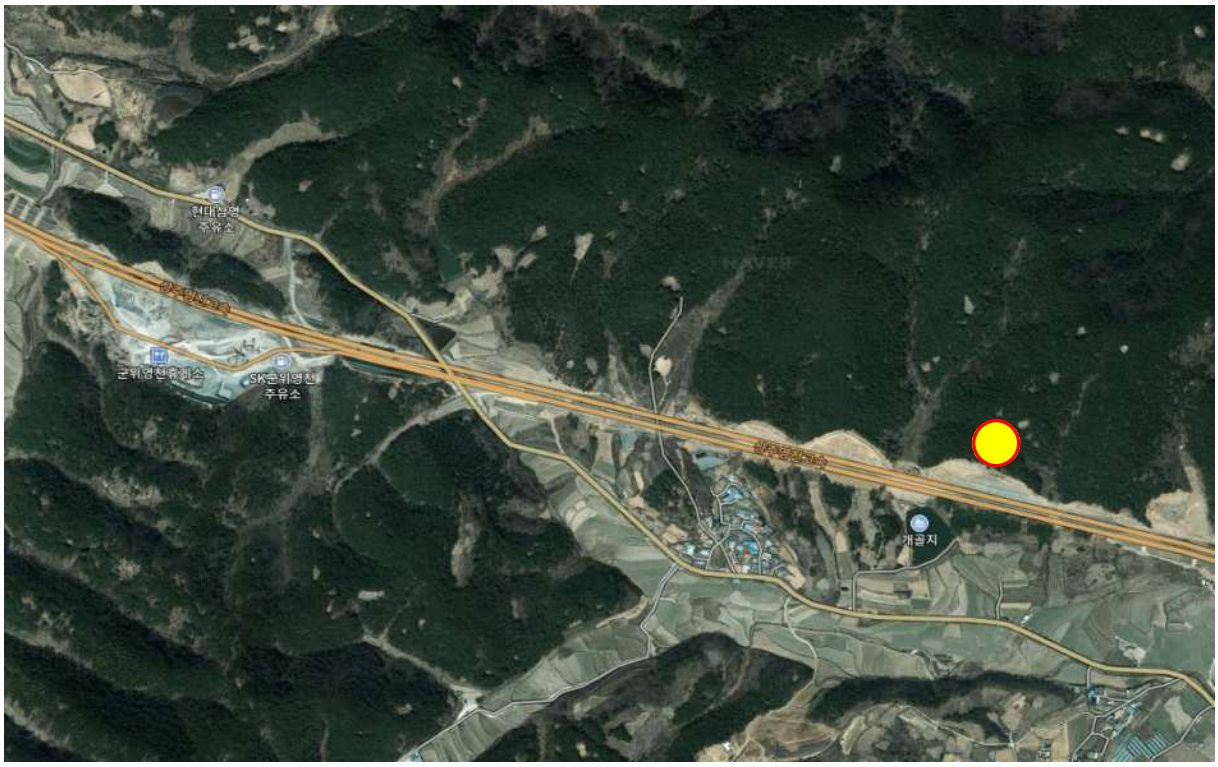
제43장 상주절토43

43.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 신녕면 치산리(상주영천고속도로 58.858~59.078㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 220.0m, 높이 50.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 43-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000023		**관리번호**	SY SL43
시설물명	상주절토43		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 영천시 신녕면 치산리		
	위치좌표	시점 : 36° 06′87.7″ 128° 72′29.7″		
		종점 : 36° 06′82.0″ 128° 72′54.4″		
	관리이정	58.858~59.078㎞		
	공구이정	7공구 STA.3+300~3+520		
제 원	**연 장**	220m	**높 이**	50.0m
	경사/방향	55/212	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	10~20°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	경남기업㈜
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 숏크리트		
비 고				

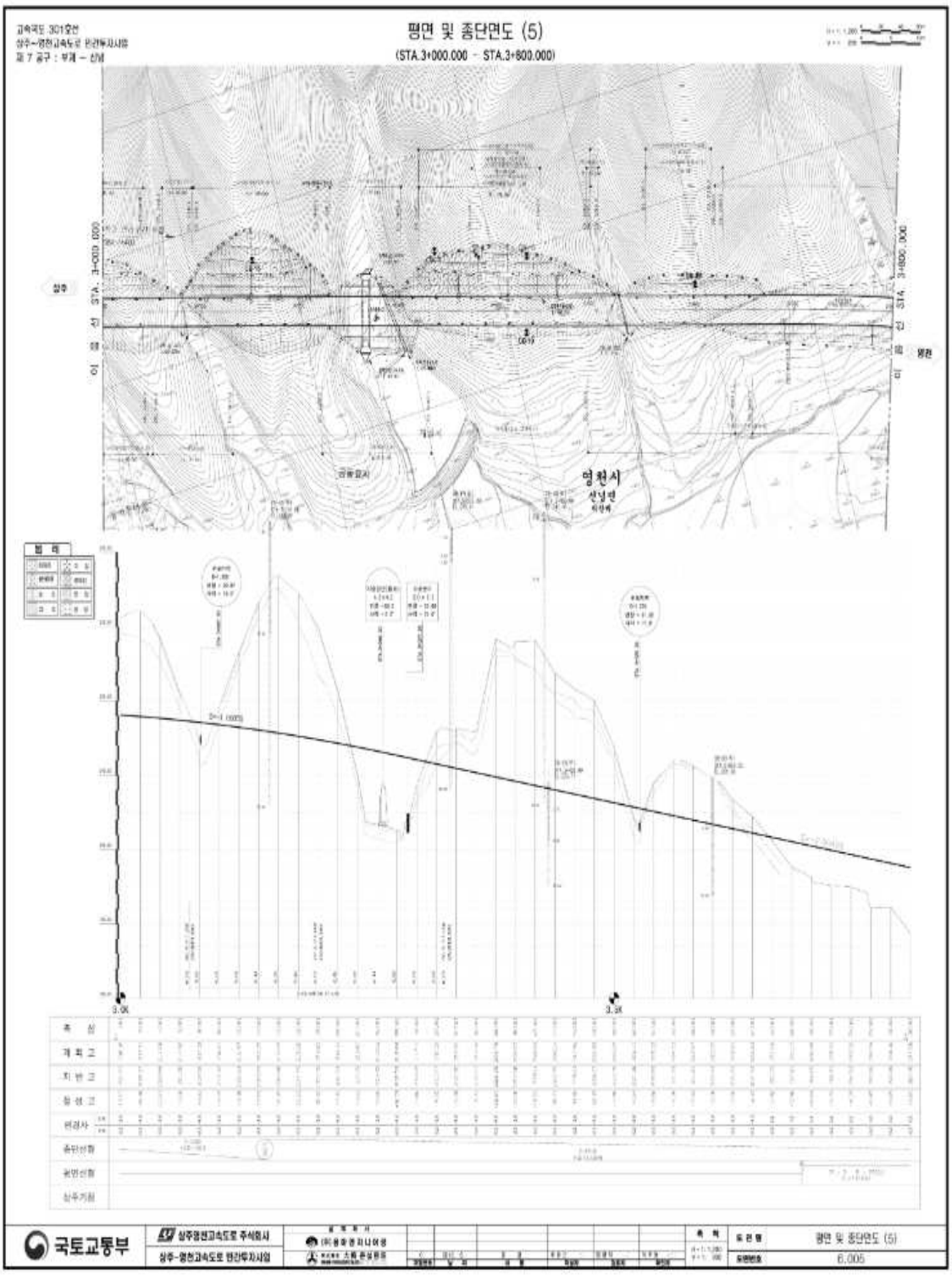


<그림 43-1>위치도

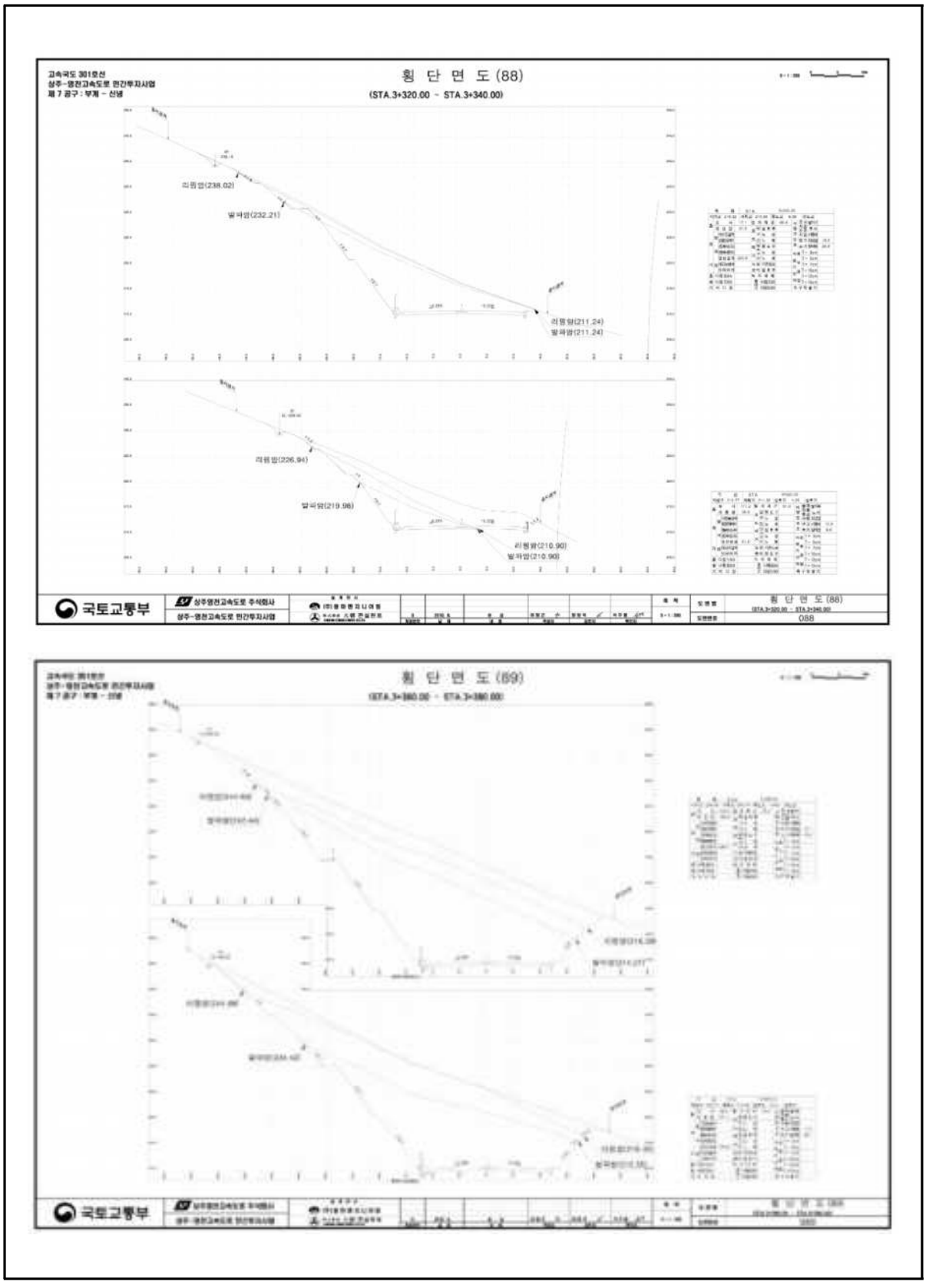
2019년 정밀안전점검


<그림 43-2> 전경사진

	
산마루측구, 점검계단 전경	1소단 배수로 전경
	
하부 전경	숏크리트 전경



<그림 43-3> 평면도



<그림 43-4>표준횡단면도

43.2 관련 자료의 분석

43.2.1 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 43-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 7공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 7공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 7공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

43.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 7공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

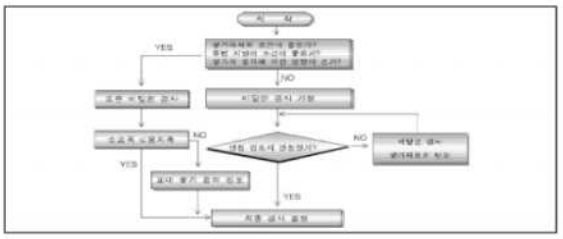
7.4 비탈면 설계기준

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

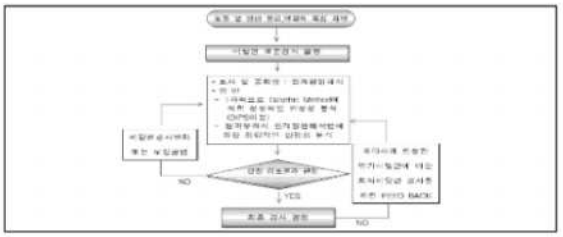
7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 풍기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 뭐기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



188

상주-영천고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 뭐기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 심층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 동적이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 뭐기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 뭐기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙적게 발달할 경우 기울기 비탈면에 대한 큰 붕피가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

주) 1. 심토는 점성토로 간주, 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 이 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

190

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내의 기준별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내의 기준별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수를 통한 등의 유지관리에 있으므로 발파점층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내의 기준별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : RQD = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

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

193

7.4.5 설계기준 선정

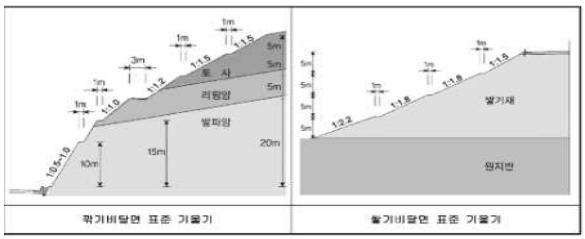
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

[비탈면 기울기 설계기준]

비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
깎기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2 ~ 1.5	· 토사 및 리핑암 – 깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 · 발파암 : – 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7 ~ 1:1.0 기울기 적용시) · 깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5 ~ 1.0	
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5 ~ 2.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치



깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

196

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:250,000)	분 석 내 용
	• 과업구간은 백악기 경상분지의 신동층과 하양군층이 주로 분포하는 의성소분지 남부에 위치 • 본 조사공구는 시점부의 일직층을 시작으로 후평동층, 점곡층, 사곡층이 순차적으로 분포함 • 과업노선은 사암, 이암, 세일 및 Lutite(니질) 암석이 주구성을 이루며 부분적으로 역암이 협재 • 노선과 평행하게 역암등 단층이 발달

4.1.2 인접지역 설계자료 분석

사 업 명	분 석 내 용
남천~청도간 (공터재,노귀재) 국도4차로 확장공사 실시설계 (2002. 3)	• 토사층은 1.0~7.0m로 분포하며, 풍화암은 1.6~6.0m의 두께로 분포 • 토사층은 실트섞인 모래 및 호박돌로 구성 부분적으로 점토 혼재 • 연암은 5.0~10.0m 이하에서 4.5~9.0m 두께로 분포 • 경암은 14.5~17.7m 이하에 분포하며, TCR은 92~100%의 범위를 보이며, RQD 63~70%의 분포 범위를 나타냄

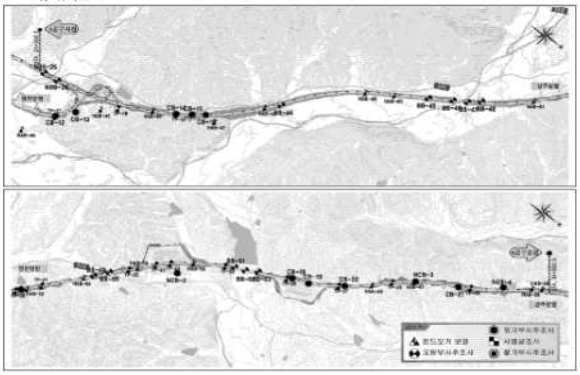
4.1.3 현장답사를 통한 주변현황 분석

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항	노 선 현 황
교량 구간	• 신설교 시점 교대구간 산사태에 의한 비탈면붕괴 확인 • 신설교 중점부 구간 토사 및 풍화대 비교적 깊은 층두로 발달	• 과업구간 교량의 지층분포현황 점검 및 파악 • 신설교구간의 단층교차 예상지점 및 산사태지점 안정성검토	
터기 구간	• 터기2구간 급경사지역 사면붕괴 • 송림휴게소(상주방향) 주변 터기구간 풍화대 깊게 분포	• 지질 이상대 예상지역의 비탈면 안정성검토 • 굴절법 탄성파 탐사를 통한 미시추구간 지층분포 정도 파악	
쌓기 구간	• 쌓기구간 대부분 경작지로 활용 • 경작지 현황파악을 통한 시추조사 가능 위치확인	• 충적층 발달구간의 연약지반 발달 가능성 및 조사방안 검토 • 지층분포의 정밀 파악을 위한 미시추구간의 현장조사 검토	

4.2 기존조사자료

4.2.1 기본설계조사 수량 및 위치도

가. 위치도



나. 수량

구 분		단위	교량구간	토공구간	계
지표지질조사		식	1		1
물리탐사	굴절법탄성파탐사	km	-	1.32	1.32
현장조사	시추조사	공	17	12	29
	시험굴조사	회	-	13	13
현장시험	핸드오거보링	회	-	15	15
	표준관입시험	회	36	47	83
	현장밀도시험	회	-	26	26
실내토질시험	물성시험	회	-	13	13
	다짐 및 CBR시험	회	-	13	13
	직접전단시험	회	-	8	8
실내암석시험	물성시험	회	-	1	1
	일축압축시험	회	-	1	1
	삼축압축시험	회	-	1	1
	점리면전단시험	회	-	1	1

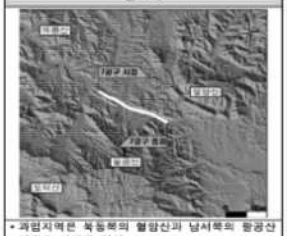
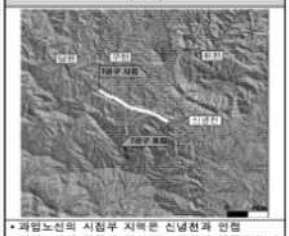
4.3 지표지질조사

4.3.1 지형 및 지질 특성

가. 지질 개요

• 과업지역은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 남부에 위치
• 백악기 경상층군의 최하부층인 연화동층 상부로부터 최상부의 지인층까지 분포하고 있으며 경상층군 상부에 해당하는 신라아층군에는 응회암층이 협재됨

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역은 북동부의 월암산과 남서부의 함공산 이주요 산계를 형성 • 과업노선은 월암산과 함공산 사이의 비교적 낮은 구릉지를 따라 서북서 방향으로 위치	• 과업노선의 시점부 지역은 신녕천과 인접 • 과업노선의 북쪽에 위치하는 구천의 북쪽으로 흐르면서 노선의 종방부와 인접하고 있으며,북서쪽에 위치하는 남천은 북서쪽으로 흐르면서 노선의 종점부와 인접

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성	노두사진
후평동층 구미동층원 사암	• 구미동층원 사암은 과업노선의 시점부에 주로 분포하며 담회색 또는 담황색의 사질이 우세한 이암과의 교호대가 발달 • 주구성광물은 석영, 알칼리장석, 점토광물로 구성되며, 일부층에서 역암이 산출되기도함	
후평동층 구미동층원 세일	• 과업노선 시점부의 일부구간에 분포하며, 사암과 세일의 교호대로 산출되나 대부분지역에서 세일이 우세하게 나타남 • 석영, 알칼리장석, 점해석이 주구성광물을 이룸	

구 분	지질특성	노두사진
점곡층 암회색 세일	• 과업노선의 중앙부에 분포하며, 주로 암회색 내지 흑색 세일로 구성 • 주 구성광물은 아각 내지 각상의 석영, 방해석, 유기물, 부모질 점토광물이고 부성분으로 비운모 불투명광물이 나타남	
사곡층 사질 이암	• 과업노선의 중앙부와 종점부에 넓게 분포하며, 주로 사암과 세일로 구성됨 • 석영, 알칼리장석, 점토광물이 주구성광물을 이룸	

라. 지질 계통도

지질시대	층 명		특 성	비 고
제4기	충적층(Qal)		• 하천 및 산록 퇴적물	
	~~ 부정합 ~~			
중생대 백악기	중성암맥(Kid) 산성암맥(Kad)		• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
	~~ 관입 ~~			
	화강암(Kgr)		• 괴상의 치밀	• 분포하지 않음
	~~ 관입 ~~			
	유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 응회암으로 구성	• 분포하지 않음
	~~ 관입 및 분출 ~~			
	하양층군	신암동층(ke9)	• 암회색 이암 및 세일과 사암이 교호대	• 분포하지 않음
		손산층(ke8)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일 • 하부층에서 석회질 물질 다량 함유	• 분포하지 않음
		사곡층 (Ke7) 상부 (Ke7-ms)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일 • 석회질 물질 함유	• 분포하지 않음
		사곡층 (Ke7) 하부 (Ke7-ss)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일과 사암이 교호 • 사질부분을 다량 함유	• 8공구 시점과 7공구 종점
		점곡층(ke6)	• 암회색, 녹회색, 적색 세일 및 이암 • 주로 암회색 세일로 구성	• 7공구 종점부
		후평동층 (Ke5) 구계동층원 (Ke5-2)	• 사암, 미사암 및 미사질 세일 및 이암(니질 우세)	• 7공구 시점부
		후평동층 (Ke5) 구미동층원 (Ke5-1)	• 사암, 적색 미사질 세일, 저색셔트박 및 역암(사질 우세)	• 7공구 시점부
		일직층(Ke4)	• 사암, 적색 미사질 세일, 역암 • 주로 사암이 우세	• 6공구 종점

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주-영천 고속도로 민간투자사업 제 7공구 지반조사

1.2 조사목적

• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사(현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

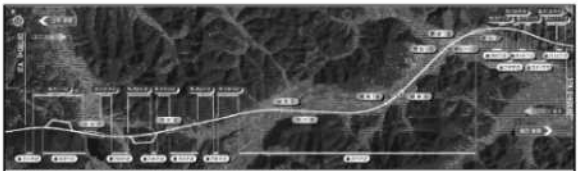
1.3 조사범위

위치
• 시점 : 경상북도 군위군 부계면 창평리(STA. 0+000) (X=287099.61, Y=172291.69)
• 종점 : 경상북도 영천시 신녕면 화성리(STA. 9+800) (X=286866.14, Y=181553.04)
• 연장 : 9.80km

개요
• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제2경부축(상주~영천) 고속도로 건설
• 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산
• 민간의 창의와 효율로 정부재정자원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도



• 구조물 현황 : 교기(11구간), 옹기(12구간), 교량(10개소)

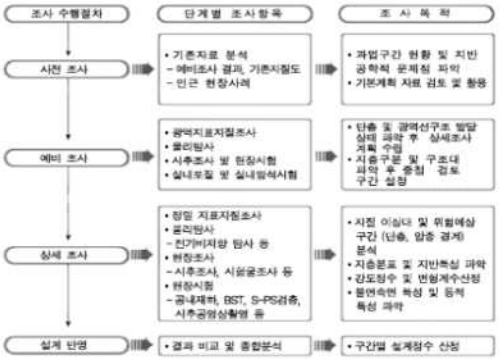
제 2 장 조 사 계 획

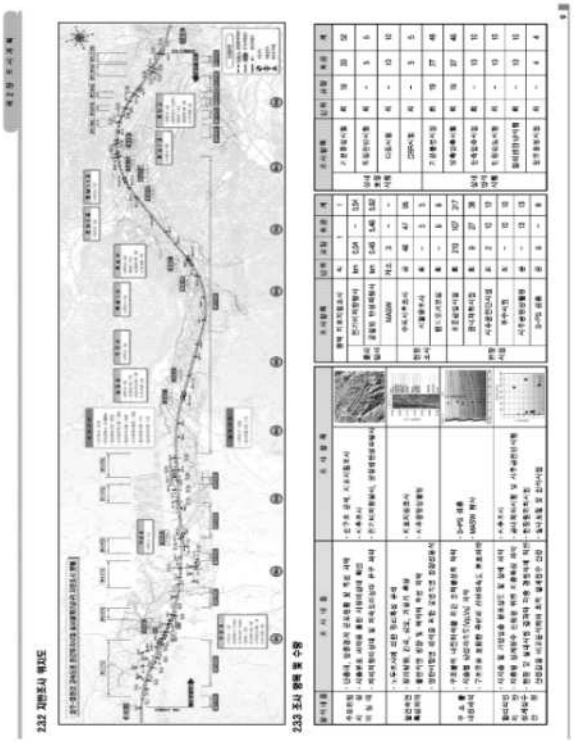
2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

2.1.1 조사 기본방향



2.1.2 조사 수행 흐름도





제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 옹기 및 쌓기 비탈면 중 풍괴가능성을 지닌 대옹기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태와 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 저합면에 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 [redacted]

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 옹기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

구 분	선 정 기 준
붕 기 부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 붕기재료의 암수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 동괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지형특성으로 인하여 붕기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우 · 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 붕기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
락 기 부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 풍적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우 · 동괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 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)	대표단면 (STA.)	최대쌓기고 및 깎기고	지층현황	조 사 내 용		비 고
							공번	조사위치 (STA.)	
신설	쌓기1구간	0+140 ~ 1+000	860	0+280(양측방향) 0+580(양측방향) 0+700(양측방향)	17.3 m 21.5 m 30.6 m	풍화토 풍화암 연암	CB-1(양측) CB-2(양측) CB-3(양측) CB-4(양측) CB-5(상주) CB-6(양측)	0+360 0+599 0+880 0+730 0+731 0+930	
	쌓기2구간	1+300 ~ 1+480	180	1+380(상주방향) 1+380(양측방향)	16.2m 24.7m	풍화토 풍화암 보통암	CB-7(상주) CB-8(양측)	1+383 1+383	
	쌓기3구간	1+760 ~ 2+150	390	1+820(상주방향)	15.1 m	풍화암 연암 경암	CB-9(상주) CB-10(상주) CB-11(상주) CB-12(양측) CB-13(양측)	1+810 1+930 2+040 2+070 2+152	
	쌓기4구간	2+250 ~ 2+460	210	2+250(상주방향) 2+340(양측방향)	34.0 m 15.1 m	풍화토 풍화암 연암	CB-14(양측)	2+348	
	쌓기5구간	2+960 ~ 3+230	270	3+140(상주방향) 3+140(양측방향)	32.4 m 8.9 m	풍화암 연암	CB-15(상주) CB-16(상주)	2+990 3+151	
	쌓기6구간	3+310 ~ 3+670	360	3+360(상주방향) 3+480(양측방향)	37.3 m 8.30 m	풍화토 풍화암 연암 경암	CB-17(상주) CB-18(양측) CB-19(양측) CB-20(상주)	3+335 3+429 3+529 3+600	
	쌓기7구간	8+630 ~ 8+750	120	8+700(상주방향)	14.1 m	(표토층) 풍화토 풍화암 연암	CB-21(상주)	8+692	

7.6.4 암반파쇄에 따른 비탈면 기울기 현황

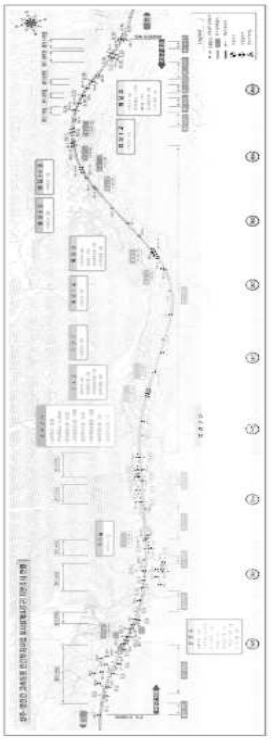
시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 깎기 기울기 평가 및 검토를 암석별 깎기 적정기울기 기준으로 실시하면 다음 표와 같다

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 기울기 검토]

구분 / 구간	관측구간 (STA.)	시추 번호	심 도 (GL.-m)	암반 특성에 따른 비탈면 기울기					적용 기울기
				암종	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 기울기	RQD에 의한 기울기	
제1깎기부	0+140 ~ 1+000	경천방향	CB-1	12m이하	세일	73.3	35.3	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-2	4m이하	사암, 세일	59.3	26.3	1:0.7	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-3	12.5m이하	세일	60.0	43.4	1:0.7	1:1.0	1:0.7
		경천방향	CB-4	3.8m이하	세일	89.3	47.0	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		상주방향	CB-5	4.2m이하	사암, 세일	100.0	45.6	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-6	1.0m이하	사암, 세일	95.4	49.4	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제2깎기부	1+300 ~ 1+480	상주방향	CB-7	10.7m이하	세일	96.1	53.6	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-8	2.4m이하	세일	86.7	41.6	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제3깎기부	1+760 ~ 2+150	상주방향	CB-9	1.0m이하	세일	100.0	47.9	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		상주방향	CB-10	1.0m이하	세일	97.1	45.9	1:0.5	1:0.7	1:0.7
		경천방향	CB-11	1.0m이하	세일	95.9	71.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-12	1.0m이하	세일	100.0	80.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-13	1.4m이하	세일	98.6	80.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제4깎기부	2+250 ~ 2+460	경천방향	CB-14	1.0m이하	세일	99.2	80.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제5깎기부	2+960 ~ 3+230	상주방향	CB-15	0.9m이하	사암	95.9	68.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-16	1.5m이하	세일	90.6	51.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제6깎기부	3+310 ~ 3+670	상주방향	CB-17	3.9m이하	세일	93.3	74.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-18	0.8m이하	세일	96.9	78.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-19	3.7m이하	세일	86.3	54.1	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-20	0.0m이하	세일	88.2	61.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제7깎기부	8+630 ~ 8+750	상주방향	CB-21	1.2m이하	사암, 세일	73.3	31.8	1:0.5	1:0.7	1:0.7
제8깎기부	8+570 ~ 8+950	경천방향	CB-22	1.2m이하	세일	78.8	57.5	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제9깎기부	9+070 ~ 9+170	경천방향	CB-23	1.5m이하	세일	94.0	77.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제10깎기부	9+450 ~ 9+620	경천방향	CB-24	3.0m이하	세일	99.1	85.2	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		상주방향	CB-25	1.0m이하	세일	98.4	91.0	1:0.5	1:0.5	1:0.7
제11깎기부	9+650 ~ 9+800	상주방향	CB-26	1.0m이하	세일	100.0	85.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7
		경천방향	CB-27	1.0m이하	세일	98.6	83.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7

제 1 장 지반조사 위치도

1) 위치도

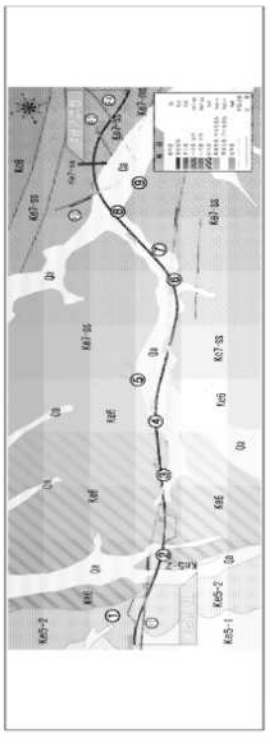


2) 수량

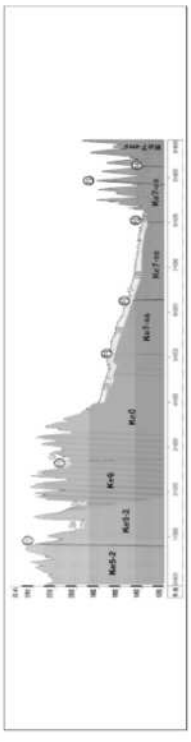
조사항목			단위	규격	수량	비고
원격탐사	원격지적탐사	지적지형탐사	㎢		1	
토목탐사	물리탐사	탄성파탐사	km	0.24	-	0.24
		MASW	측점	0.48	5.46	5.94
항공조사	수치사진조사		장	3	-	-
	사업관조사		측점	48	47	95
	횡단조사측량		측점	-	3	3
항공사진	표준관입시험		회	200	107	307
	공내재하시험		회	9	27	36
	시추공공시험		회	3	10	13
	수직시험		회	-	10	10
	시추공방향측정		공	-	13	13
	공내		공	2	-	2
토목탐사	전기비저항탐사		km	-	-	0.24
	물리탐사	탄성파탐사	km	0.48	5.46	5.94
		MASW	측점	3	-	-
항공조사	수치사진조사		장	48	47	95
	사업관조사		측점	-	3	3
	횡단조사측량		측점	-	3	3
항공사진	표준관입시험		회	200	107	307
	공내재하시험		회	9	27	36
	시추공공시험		회	3	10	13
	수직시험		회	-	10	10
	시추공방향측정		공	-	13	13
	공내		공	2	-	2
원격탐사	원격지적탐사	지적지형탐사	㎢		1	
토목탐사	물리탐사	탄성파탐사	km	0.24	-	0.24
		MASW	측점	3	-	-
항공조사	수치사진조사		장	48	47	95
	사업관조사		측점	-	3	3
	횡단조사측량		측점	-	3	3
항공사진	표준관입시험		회	200	107	307
	공내재하시험		회	9	27	36
	시추공공시험		회	3	10	13
	수직시험		회	-	10	10
	시추공방향측정		공	-	13	13
	공내		공	2	-	2

제 3 장 지질도

1) 지질평면도



2) 지질단면도



43.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 43-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토43 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 및 산마루측구 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다.기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	상주절토43 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 및 산마루측구 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	상주절토43 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 및 산마루측구 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 또한 1단 사면 상부 낙석퇴적이 조사되었으며, 기 손상은 하부도로 유입 방지를 위한 정비가 필요할 것으로 판단된다. 그 외 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	상주절토43 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 및 산마루측구 균열이 일부구간에서 발생한 것으로 조사되었다. 또한 1단 사면 상부 낙석퇴적이 조사되었으며, 기 손상은 하부도로 유입 방지를 위한 정비가 필요할 것으로 판단된다. 그 외 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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. 본 사면은 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토43 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 망상균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 건조수축, 온도변화 등에 의한 비구조적 손상으로 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

43.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 43-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

43.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 43-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	적용	-	-	

43.2.6 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 43-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

43.3 현장조사

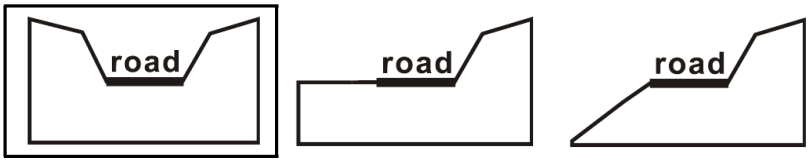
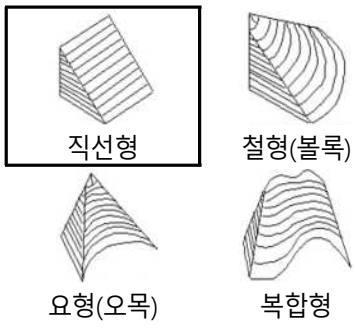
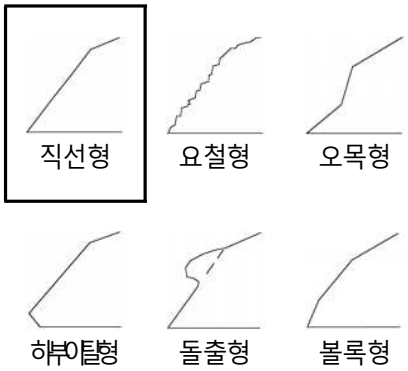
43.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 43-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td>장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td>2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="4">경상북도 영천시 신녕면 치산리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="4">시점 : 36° 06′87.7″ 128° 72′29.7″</td></tr>
<tr><td colspan="4">종점 : 36° 06′82.0″ 128° 72′54.4″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 220m</td><td colspan="2">높 이 : 50.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">경 사/경사방향 : 55/212</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~5.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="2">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="4">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="2">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="4">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="6">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td>상 태</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="2">58.858~59.078k</td><td>균열</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">58.878~59.038k</td><td>균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">58.878~59.028k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">58.858~58.918k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">58.958~59.078k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td>위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="4">·</td></tr>
</table>

<표 43-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="6">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 43-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토43		
	위경도	시점 : 36° 06′87.7″ 128° 72′29.7″ 종점 : 36° 06′82.0″ 128° 72′54.4″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 11월 25일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	220m	최대높이	50.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	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
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~5.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	□식생공 □옹벽 □격자블럭 ■점검로(양호)	■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타	
조사자 소견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	□A ■B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	-	조치	□응급 ■미응급
	기타			

43.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 상주영천고속도로 58.858~59.078㎞에 위치하고 있으며, 길이는 220m, 높이 50.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 43-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{50.0}=0.1$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 97.7~105.8㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.4}{50.0}=0.008$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 220m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 2개 구간으로 구분해야하나, 전반적으로 구성재료가 같은점과 구분시 연장이 짧음(20m)으로 인해, 1개 구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 43-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	58.858~59.078	220m

43.3.3 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 -10~20°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 43-12> 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, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 43-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	국지적 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 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 43-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	14/105	81/081	78/148
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	MW
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 43-15> 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 소단 배수로 및 산마루 측구가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 일부구간 균열이 발생되었으나, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 43-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	9 / 18.0	건조수축, 온도변화	
	산마루 측구	균열	m	1 / 0.5	건조수축, 온도변화	

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 43-17> 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 43-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 43-19> 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 43-20> 인장균열 조사 결과

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

43.3.4 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 총 3개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 43-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
58.958k	51.1	97.9	경암	
58.988k	52.8	105.8	경암	
59.015k	51.9	101.4	경암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 51.1~52.8로 측정되었으며, 추정강도 97.9~105.8MPa로 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 43-22> 표면보호공 조사 결과

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



숏크리트 전경



낙석방지망 전경

라. 사면보강공

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

<표 43-23> 사면보강공 조사 결과

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

43.4 안전성능평가

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

43.4.1 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 0.1로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 43-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{50.0}=0.1$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 97.9~105.8MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size \in dex}{Slope\,height}=\frac{0.4}{50.0}=0.008$로 0.01이하	파쇄암반	

본 사면은 연장 220m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 43-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	58.858~59.078㎞	220m	암반사면	Set1, Set2, Set3

<표 43-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 43-27> 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 43-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	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 43-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

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

<표 43-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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 43-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 43-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 43-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 43-34> 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 43-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 43-36> 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/sec^2) (u, β는 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 43-37> 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 10~20°	c
	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 43-38> 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 43-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

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

<표 43-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 43-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토43		
사면 종류	절토사면	구성재료	파쇄암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		7.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			14	
결함지수		0.14		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 43-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
220m	1구간	58.858~59.078k	a(0.14)	A	인장균열 없음
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

43.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

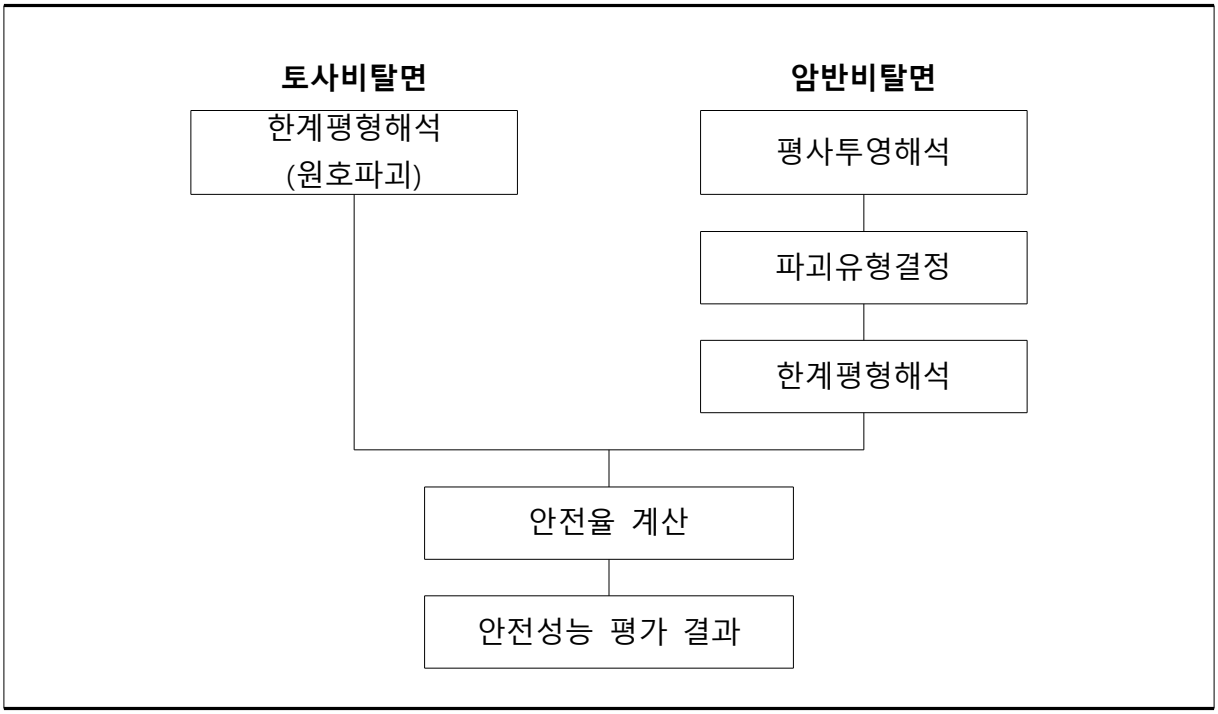
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 43-5> 구조안전성능 평가과정

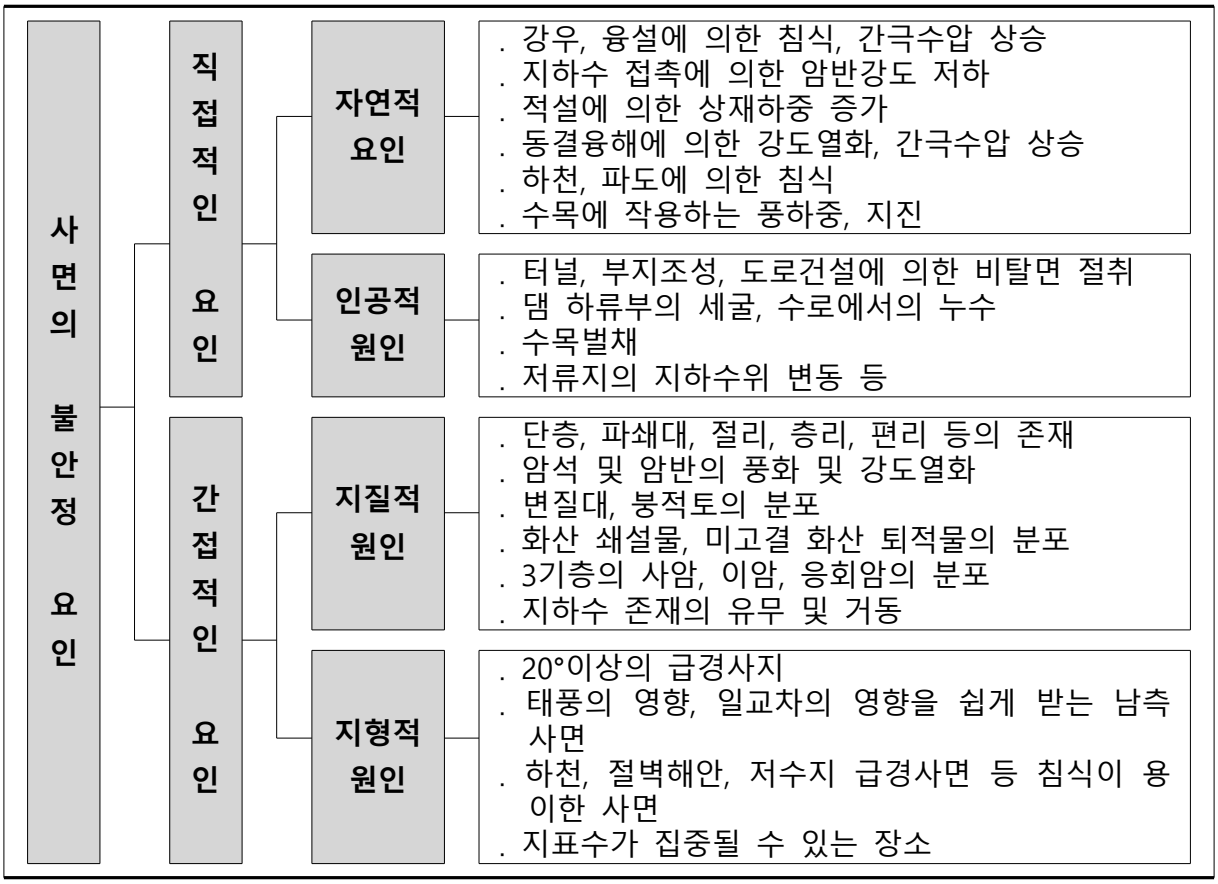
<표 43-43> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

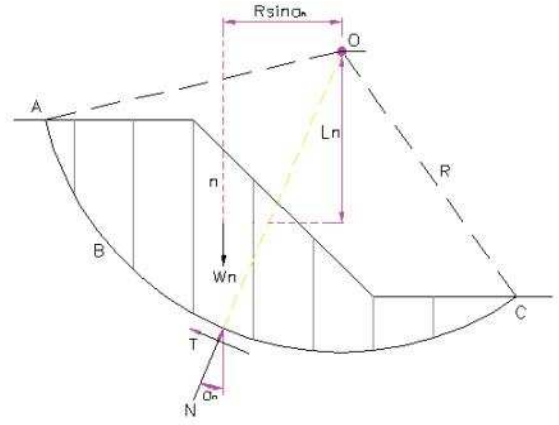


<그림 43-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

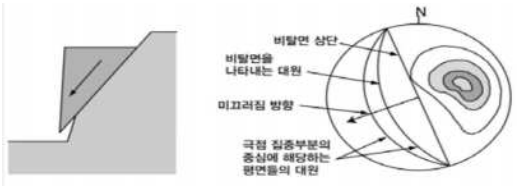
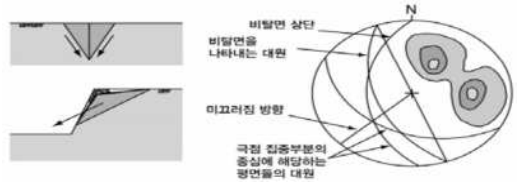
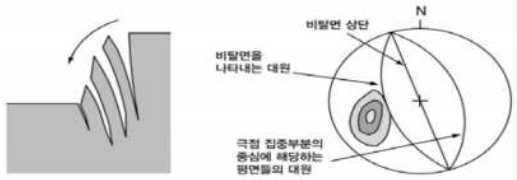
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 43-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 43-44> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 43-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

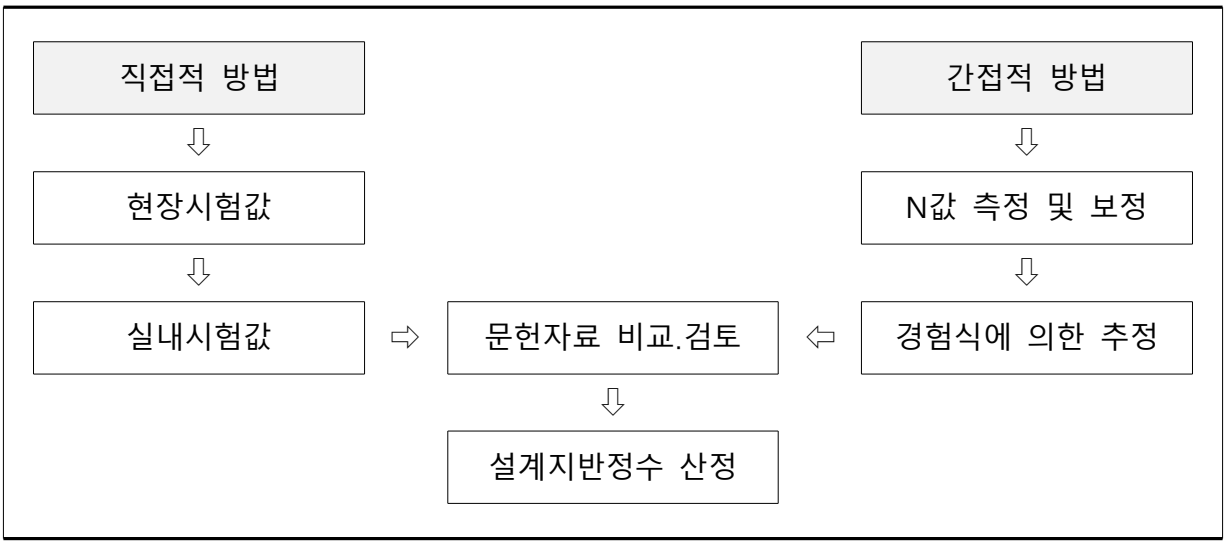
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 43-46> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 43-47> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 43-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 43-49> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 43-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (7공구)	풍화(잔적)토	20	28	20	직접전단시험
	풍화암	22	30	30	
	경 암	26.5	44	500	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 43-51> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 43-52> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	27.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 43-53> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 43-54> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 43-55> Trueman (1988)

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

<표 43-56> 김교원 (1993)

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

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	20	28	20	0.3	
풍화암	22	30	30	0.3	
경 암	26.5	44	500	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 43-57> 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

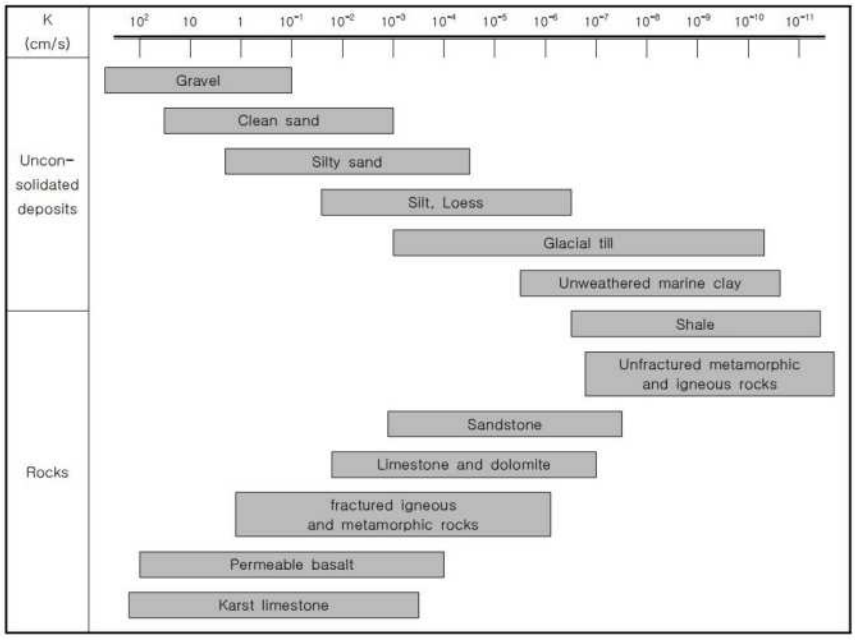
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 43-58> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 43-59> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 43-8> 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 43-60> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

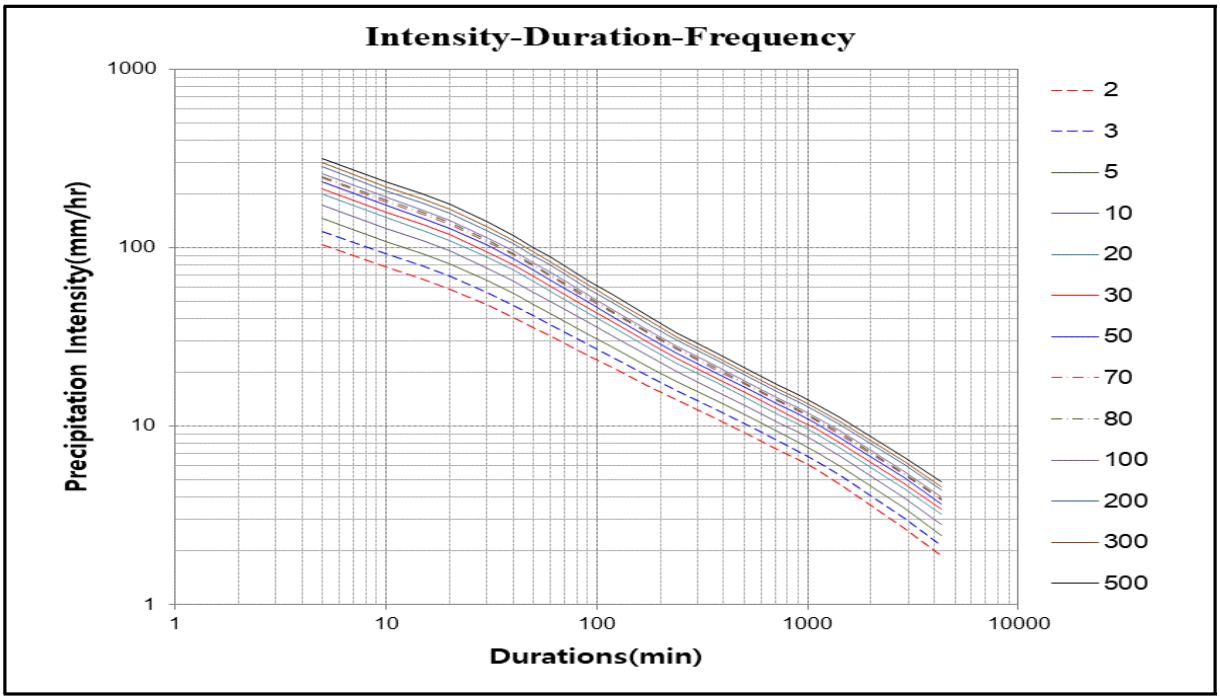
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역



<그림 43-9> 영천지역 IDF곡선

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 43-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 43-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 43-61> 설계지반운동 수준

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

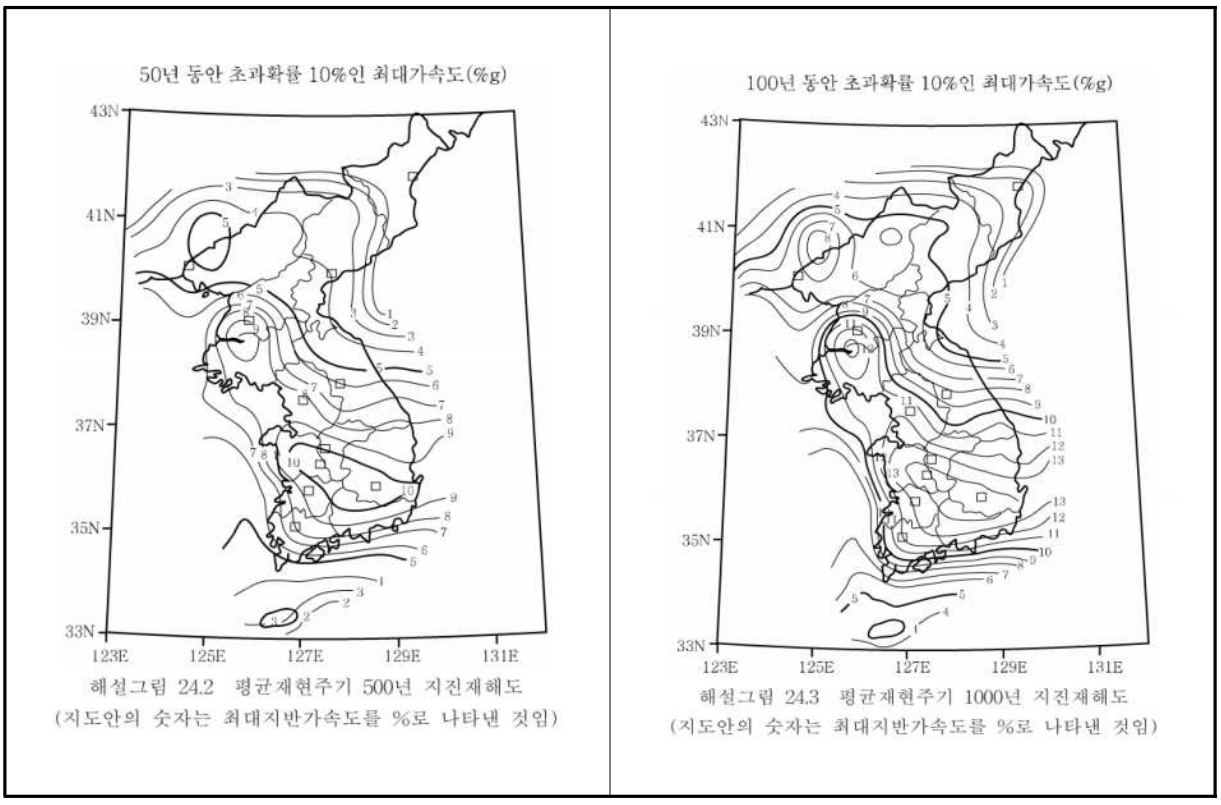
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 43-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 43-62> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 43-63> 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, g값 = 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 43-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

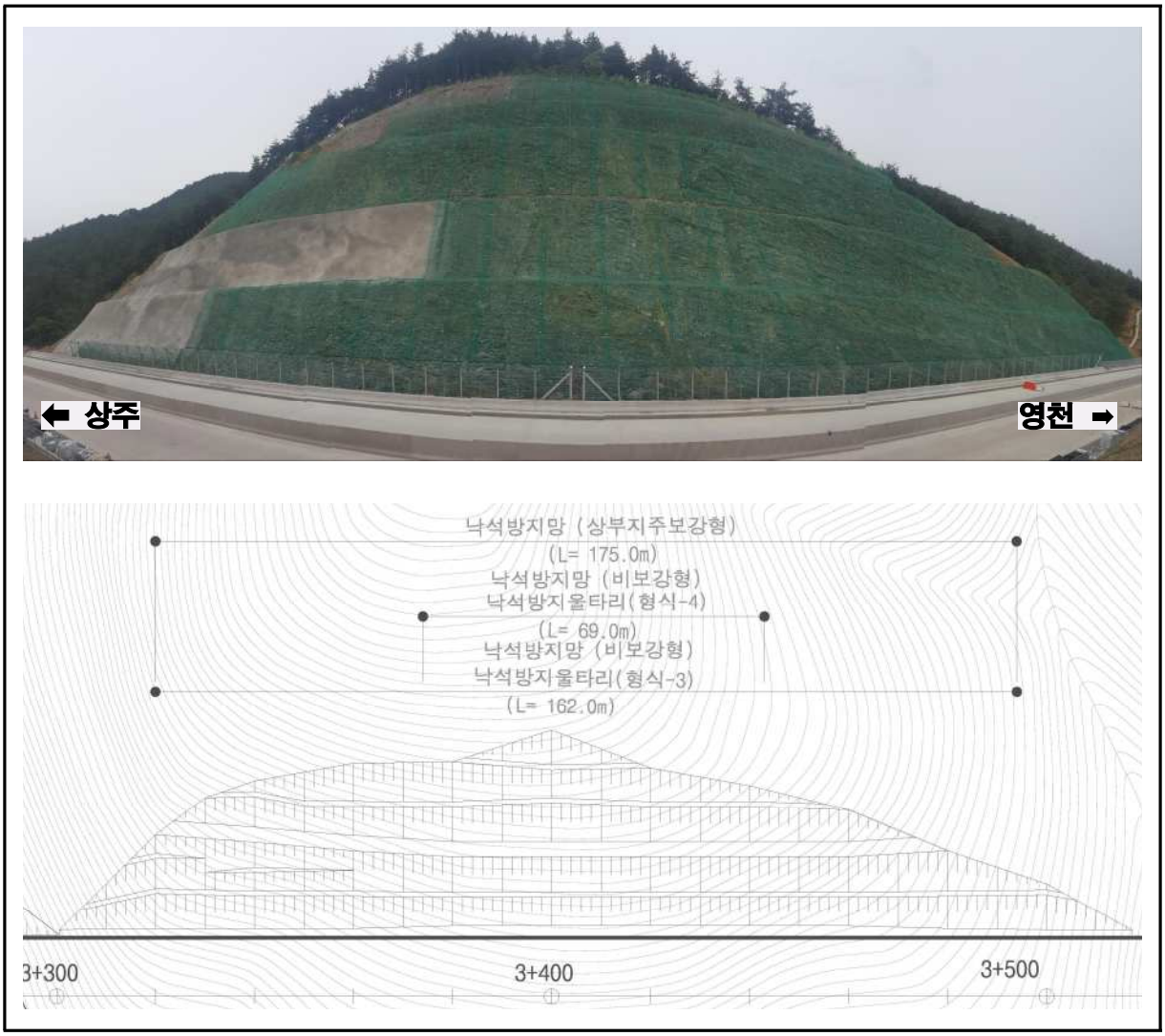
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토07	경상북도 영천시 신녕면 치산리	58.858 ~ 59.078	STA.58+958	50.0	5.0	45.0		2017	55/212



<그림 43-13> 상주절토43 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토43 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



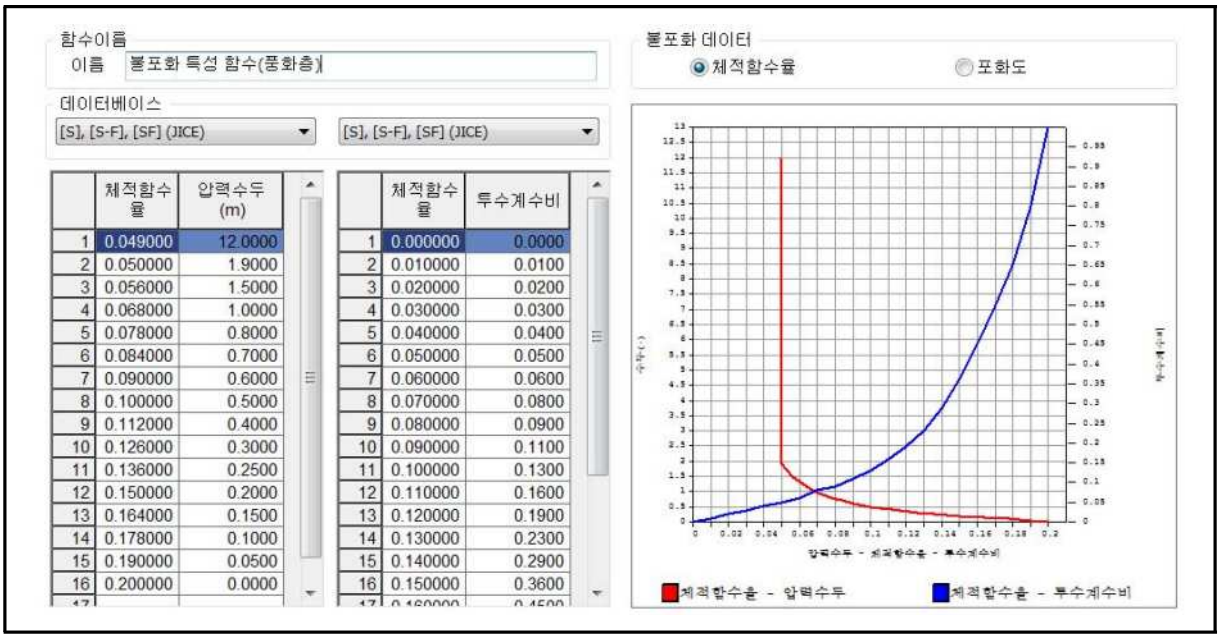
<그림 43-14> 상주절토43 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	20	28	20	1.0E-03	
풍화암	22	30	30	1.0E-04	
경암	26.5	44	500	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

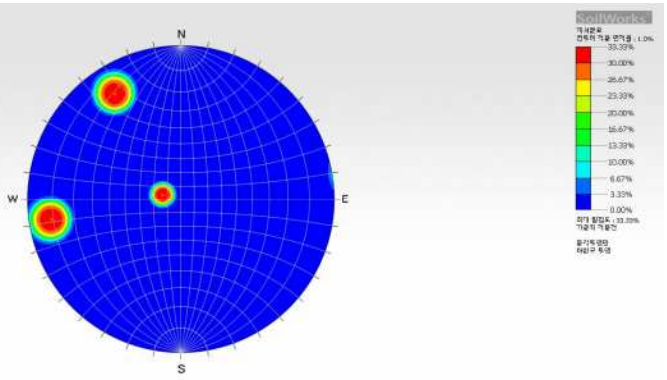
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 43-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

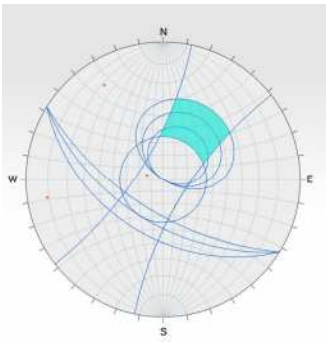
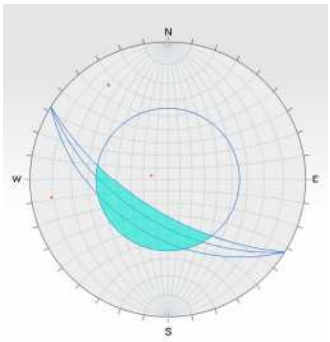
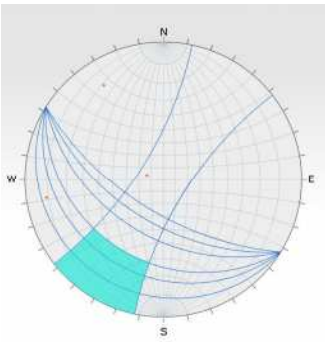
3) 1구간 (STA.58+858 ~ 59+078)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 14 81 78	dip direction 105 81 148

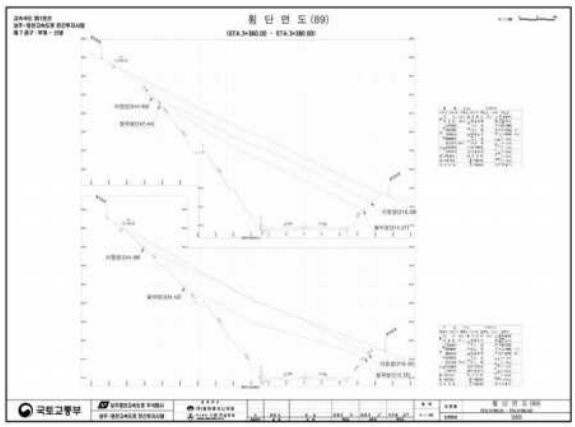
◦ 해석결과

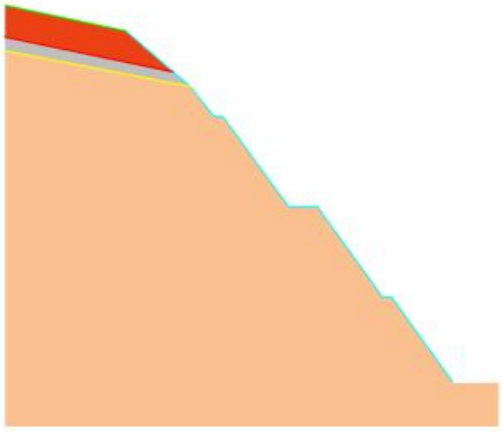
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

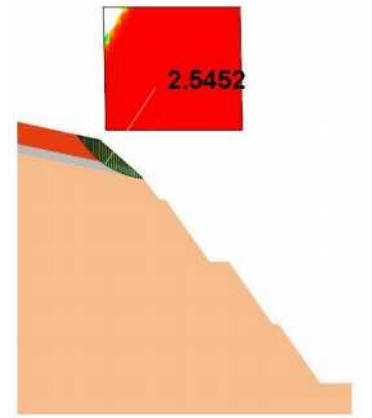
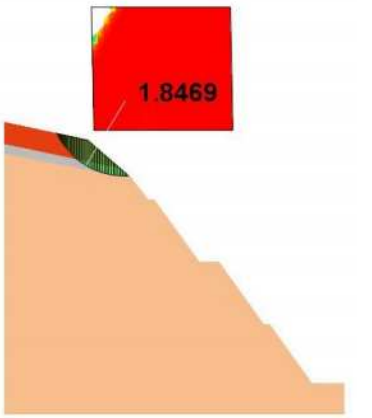
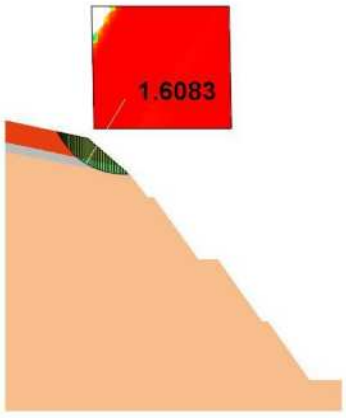
◦ 검토단면





대표단면 : STA.58+958, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.54	안전율 : 1.84	안전율 : 1.60

③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 43-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토43**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.54	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.84	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.60	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

43.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 43-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토43**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.140	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.140	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 43-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

43.5 내구성능 평가

43.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 43-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		파쇄암반사면	SR = 5/50 = 0.1
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 140.0MPa	추정
면적	전체	6,149㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	6,149㎡	
표면보호공	식 생	729㎡	
	숏크리트	856㎡	
	낙석방지망	4,978㎡	
사면보강공	-	-	

43.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 43-69> 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

43.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 43-70> 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	96.0%이상 100%이하	97.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	96.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 96.0%미만	88.0%이상 97.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 96.0%미만	86.0%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 86.0%미만	76.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	76.0%미만	60.0%미만

<표 43-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
58.958km	97.9	-	초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
58.988km	105.8	-	
59.015km	101.4	-	
평균값	101.7	-	
등급	**A등급**		

<표 43-72> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 43-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	729/729㎡	100.0%	0/856㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%, 숏크리트 손상율이 0.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 43-74> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 43-75> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3m 미만	1~3m 미만	1~3m 미만
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
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 43-76> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

43.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 43-77> 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 43-78> 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	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 43-79> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

43.6 종합평가

43.6.1 종합평가 개요

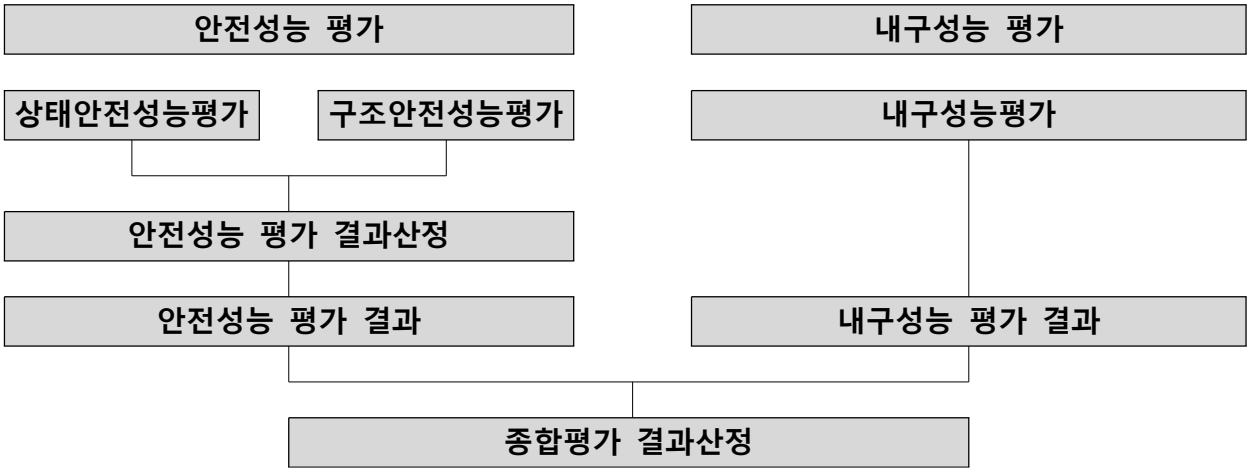
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 43-16> 종합평가 흐름도

43.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 43-80> 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 43-81> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토43		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.140	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.140 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.165 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

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

<표 43-82> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

43.7 유지관리 전략 제안

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

43.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 43-83> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

43.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.165)"으로 평가되었다.

<표 43-84> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.140	0.265	0.165
평가결과	A	B	B

43.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 43-85> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
	산마루측구	측구 균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

43.8 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 및 산마루측구 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급" 과 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제44장 상주절토44

44.1 대상 시설물 현황

44.2 관련 자료의 분석

44.3 현장조사

44.4 안전성능평가

44.5 내구성능평가

44.6 종합평가

44.7 유지관리전략 제안

44.8 종합결론

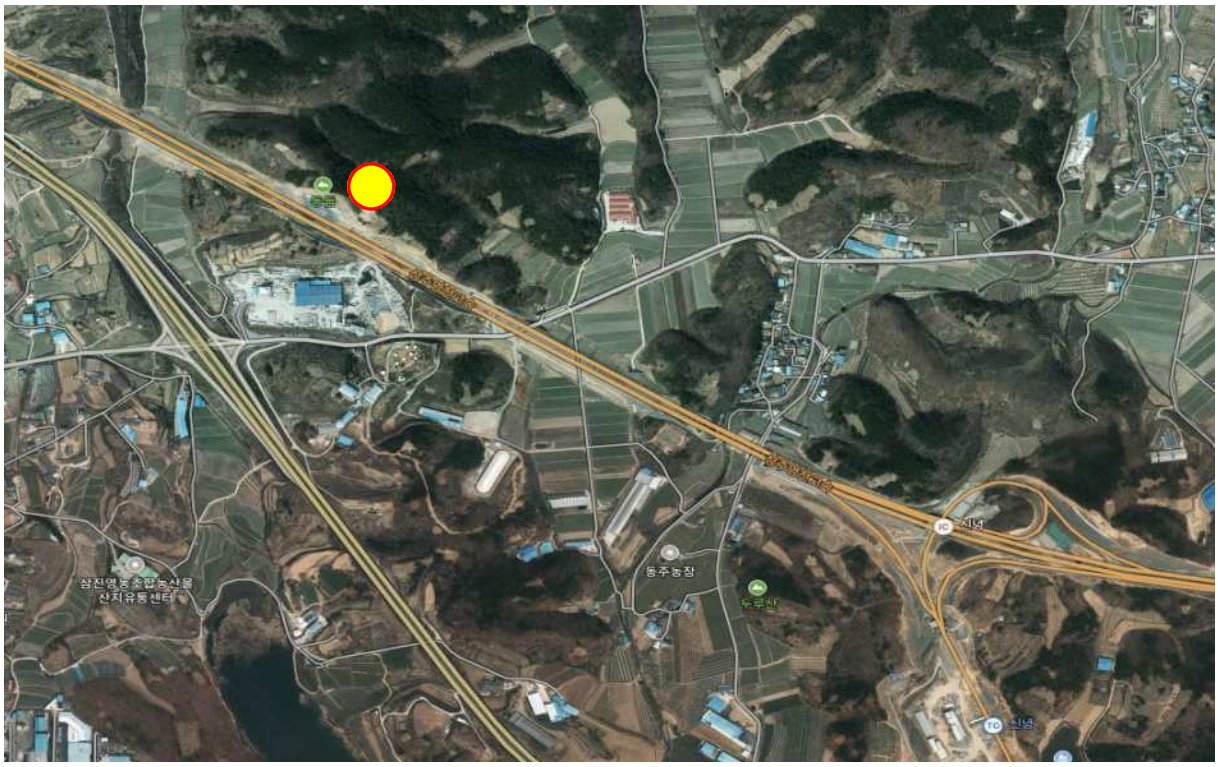
제44장 상주절토44

44.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 신녕면 화성리(상주영천고속도로 66.378~66.678㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 300.0m, 높이 35.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 44-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000053		**관리번호**	SY SL44
시설물명	상주절토44		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 영천시 신녕면 화성리		
	위치좌표	시점 : 36° 02′51.0″ 128° 48′01.0″		
		종점 : 36° 02′56.0″ 128° 47′50.0″		
	관리이정	66.378~66.678㎞		
	공구이정	8공구 STA.1+020~1+320		
제 원	**연 장**	300m	**높 이**	35.0m
	경사/방향	50/212	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	0~10°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	㈜대우건설
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리		
비 고				

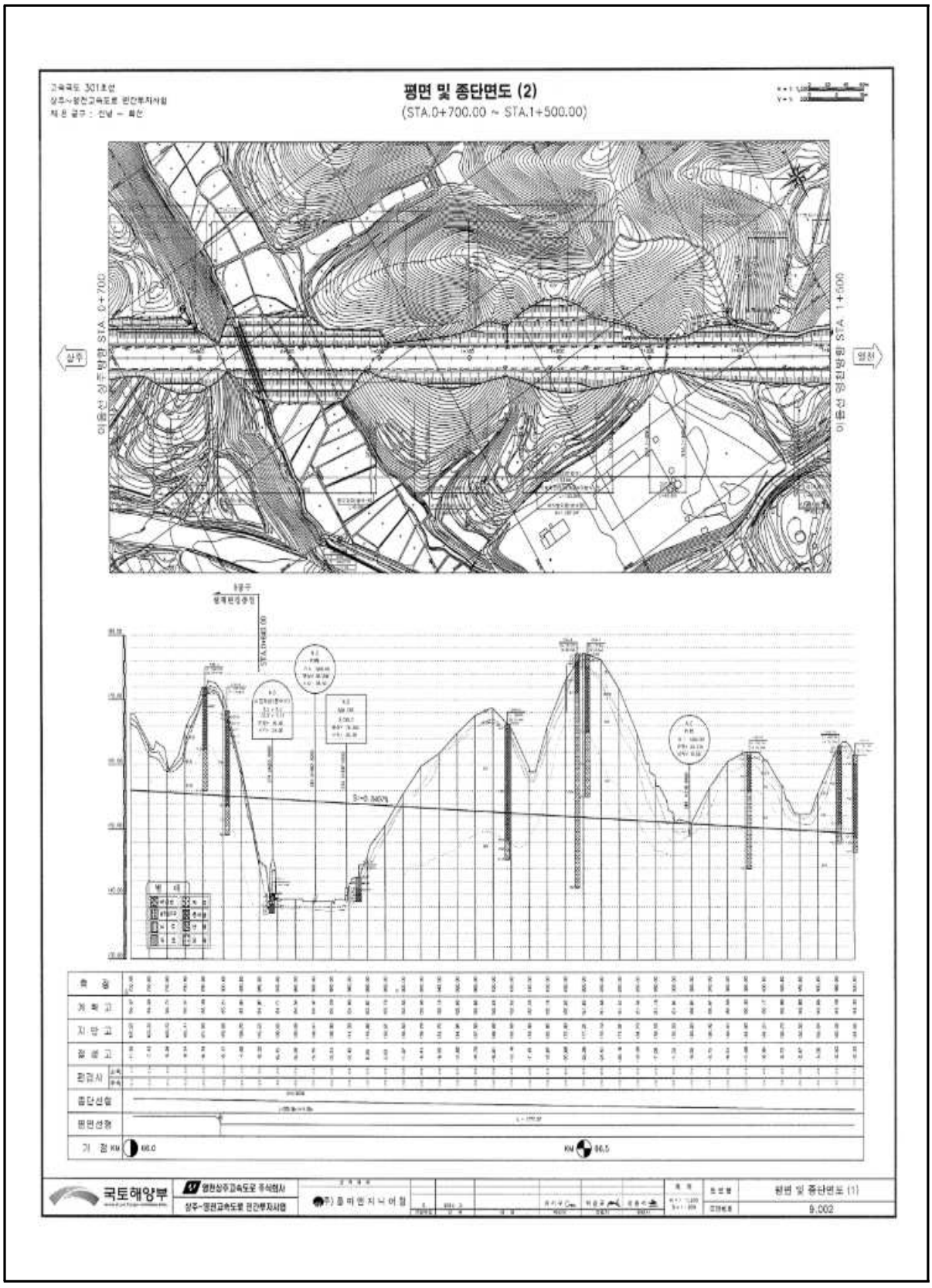


<그림 44-1>위치도

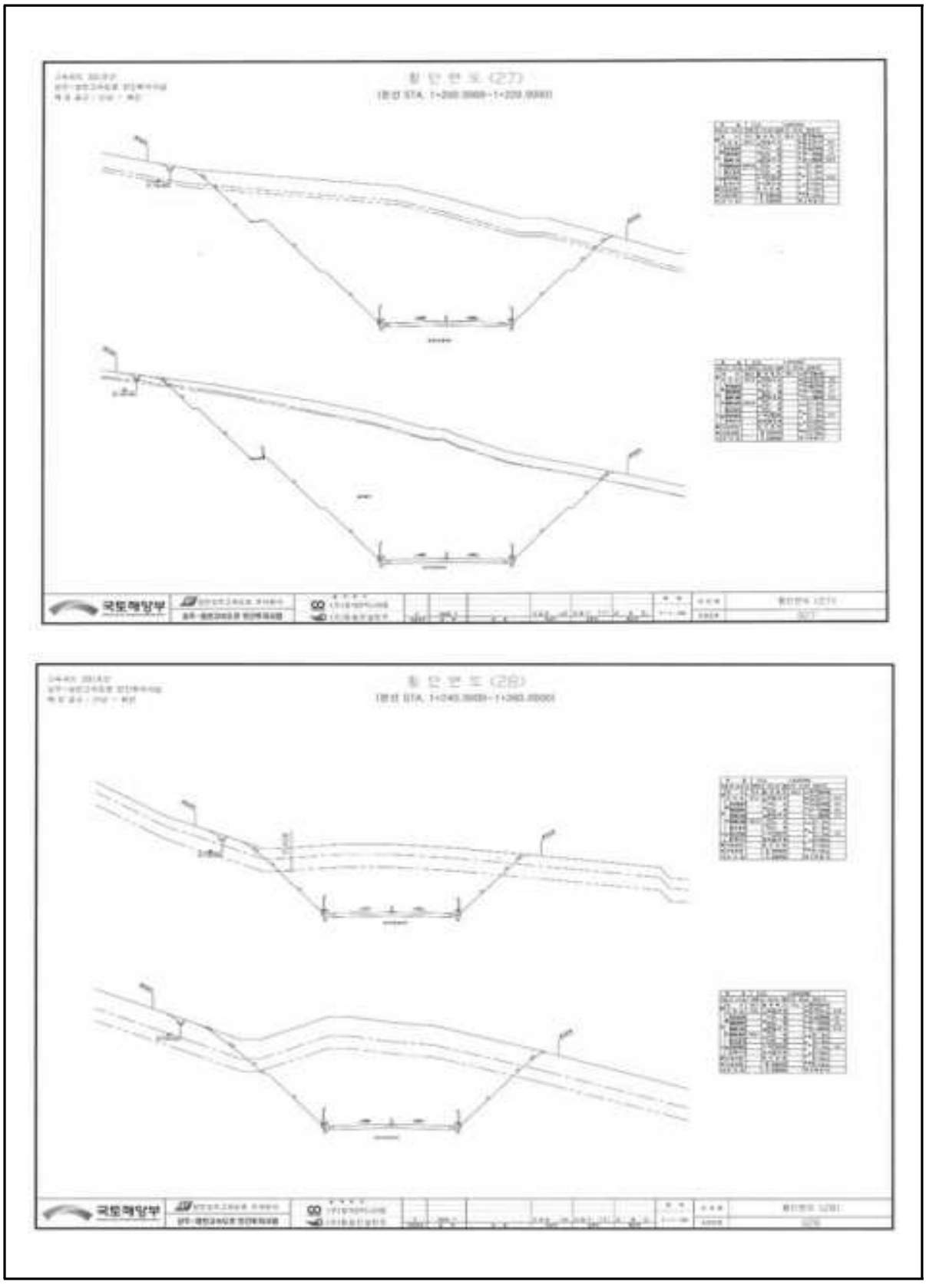
2019년 정밀안전점검


<그림 44-2> 전경사진

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>상단 전경</td><td>1소단 배수로 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>산마루측구, 점검계단 전경</td><td>수직도수로 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>하부 전경</td><td>점검계단 전경</td></tr>
</table>



<그림 44-3> 평면도



<그림 44-4>표준횡단면도

44.2 관련 자료의 분석

44.2.1 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 44-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 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.

44.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

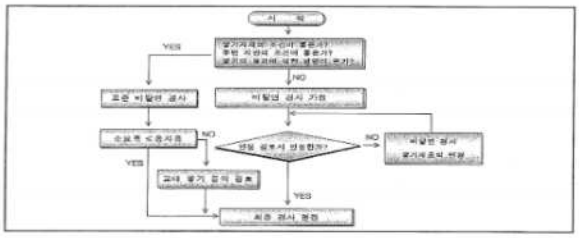
7.4 비탈면 설계기준

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

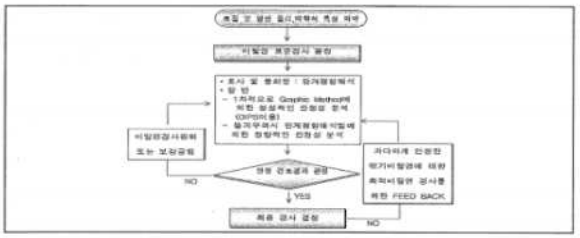
7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 붕기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 암기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



251

다. 암기 비탈면

지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 풍력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 암기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지질조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 암기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따른 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
요 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

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

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 암파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	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)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부의 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

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

256

7.4.5 설계기준 선정

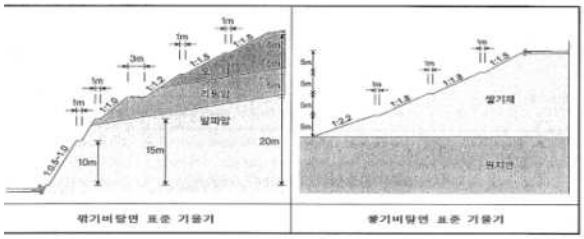
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 7.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

<비탈면 기울기 설계기준>

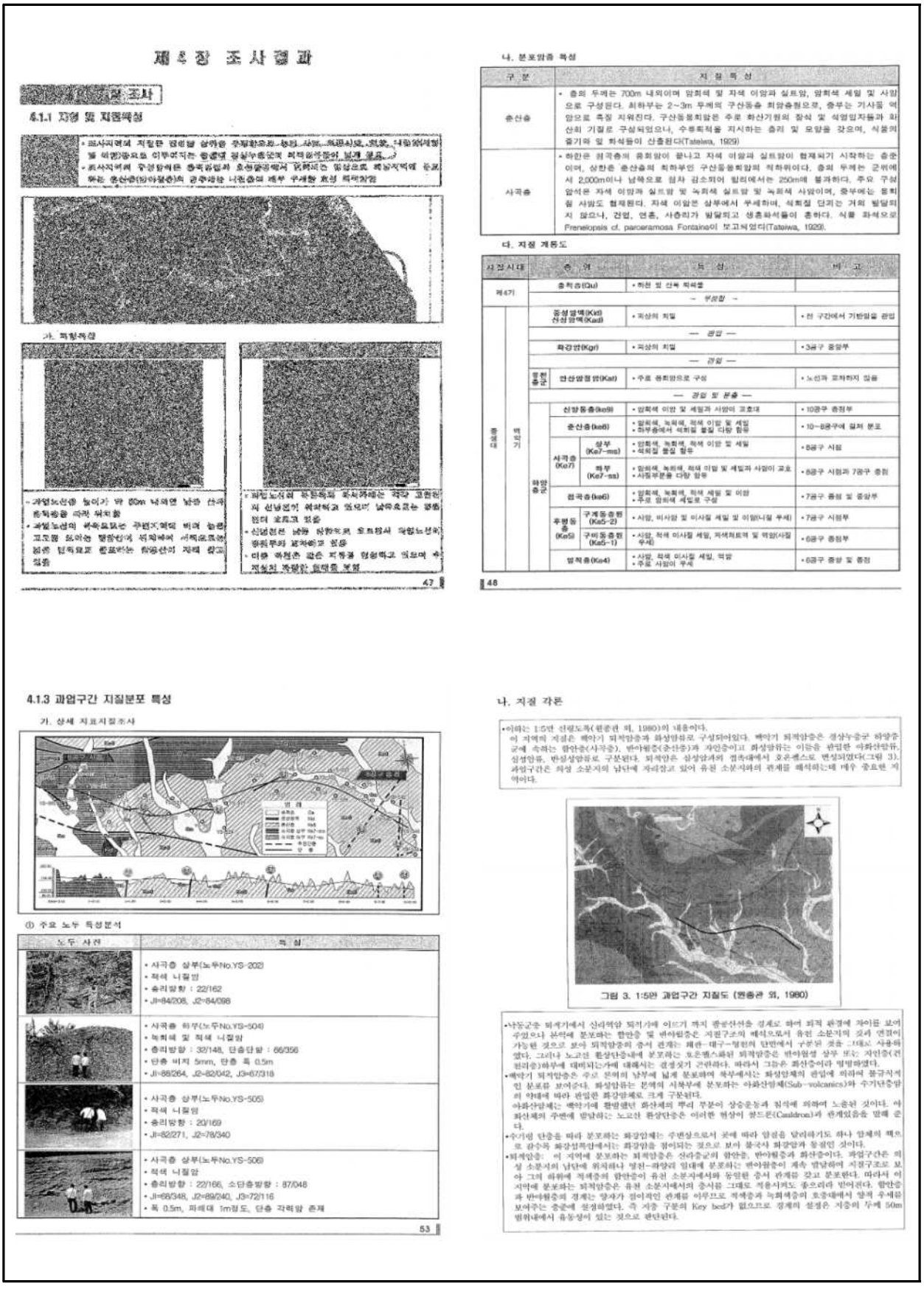
비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
땅깎기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2 ~ 1.5	· 토사 및 리핑암 - 땅깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 · 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 · 땅깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 1.0	
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5 ~ 3.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치



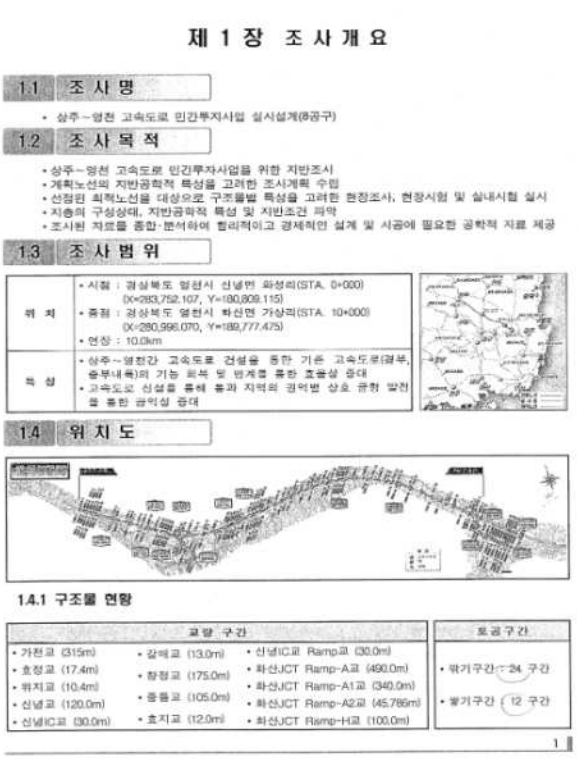
깎기비탈면 표준 기울기 쌓기비탈면 표준 기울기

259

2) 지형 및 지질



3) 지반조사 보고서


제 1 장 조 사 개 요

1.1 조 사 명

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계(8공구)

1.2 조 사 목 적

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
• 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
• 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
• 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
• 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조 사 범 위

위 치	• 시점 : 경상북도 영천시 신녕면 화성리(STA. 0+000) (X=283,752.107, Y=180,809.115) • 종점 : 경상북도 영천시 화산면 가상리(STA. 10+000) (X=280,966.070, Y=189,777.475) • 연장 : 10.0km
특 성	• 상주~영천간 고속도로 건설을 통한 기존 고속도로(경부, 중부내륙)의 기능 분북 및 원계를 통한 효율성 증대 • 고속도로 신설을 통해 동과 지역의 경어별 상호 균형 발전을 통한 균익성 증대

1.4 위 치 도

1.4.1 구조물 현황

교량 구간			토공구간
• 가천교 (315m) • 호정교 (17.4m) • 위지교 (10.4m) • 신녕교 (120.0m) • 신녕IC교 (30.0m)	• 갈매교 (13.0m) • 창정교 (175.0m) • 중동교 (105.0m) • 호지교 (12.0m)	• 신녕IC교 Ramp교 (30.0m) • 화산JCT Ramp-A교 (490.0m) • 화산JCT Ramp-A1교 (340.0m) • 화산JCT Ramp-A2교 (45.786m) • 화산JCT Ramp-H교 (100.0m)	• 우기구간 : 24 구간 • 일기구간 : 12 구간

1

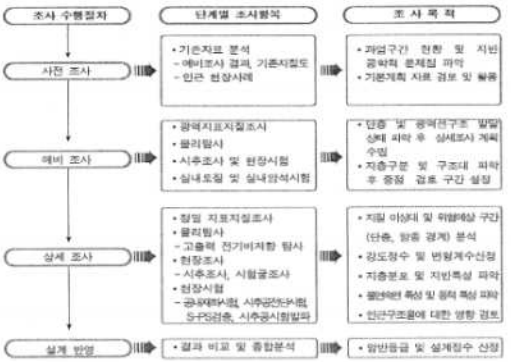
제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

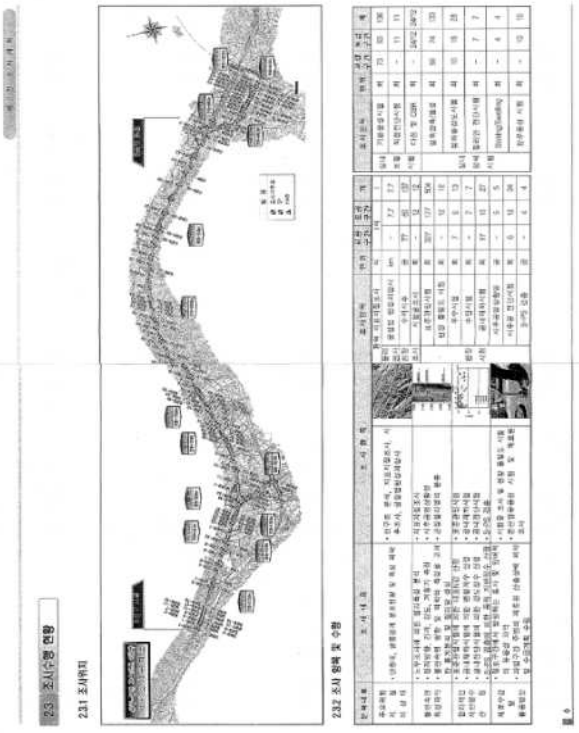
(1) 조사 기본방향



(2) 조사 수행 흐름도



3





10

구 분	공 번	STA	X	Y	선정 이유
본선 구간	CBB-19	4+804.44(우38.95m)	282,644.283	185,218.792	
	CBB-20	4+993.80(좌17.98m)	282,741.003	185,391.258	
	CBB-21	4+982.21(우26.79m)	282,694.169	185,389.806	
	CBB-22	5+219.11(좌9.40m)	282,781.593	185,613.049	
	CBB-23	5+203.41(우31.83m)	282,737.935	185,606.678	
	CBB-24	5+313.56(좌46.03m)	282,837.865	185,697.276	
	CBB-25	5+646.27(우15.14m)	282,842.212	186,035.814	
	CBB-26	5+769.12(좌26.95m)	282,899.268	186,152.708	
	CBB-27	5+771.33(우30.67	282,842.181	186,160.880	
	CBB-28	시추불가			
	CBB-29	6+104.79(우35.30m)	282,853.333	186,490.349	
	CBB-30	6+216.64(좌39.26m)	282,924.901	186,604.192	
	CBB-31	6+190.79(우9.36m)	282,877.374	186,576.252	
	CBB-32	7+177.27(좌25.75m)	282,714.891	187,548.103	
	CBB-33	7+091.30(우38.83m)	282,683.739	187,445.347	
	CBB-34	시추불가			
	CBB-35	시추불가			
	CBB-36	시추불가			
	CBB-37	8+127.91(좌16.17m)	282,230.008	188,368.900	
	CBB-38	8+132.64(우29.82m)	282,191.349	188,343.540	
	CBB-39	8+659.13(좌20.76m)	281,887.303	188,775.450	
	CBB-40	8+677.54(우25.93m)	281,839.962	188,758.848	
	CBB-41	9+033.14(우34.76m)	281,588.008	189,037.588	
	CBB-42	시추불가			
	CBB-43	9+676.09(좌41.10m)	281,238.688	189,558.987	
	CBB-44	9+668.78(우38.64m)	281,183.071	189,501.379	
	CBB-45	시추불가			
	CBB-46	9+926.46(우45.57m)	281,009.572	189,692.027	
램프 구간	RCBB-1	0+246.23(좌20.04m)	282,487.486	183,063.957	
	RCBB-2	0+360.23(우4.61m)	282,373.617	182,825.716	
	RCBB-3	1+642.21(우15.78m)	281,272.049	189,662.934	
	RCBB-4	0+198.41(우31.41m)	281,182.170	189,474.097	
	RCBB-5	1+237.41(우9.68m)	280,867.466	189,603.369	

- 하기부 개소당 2개소 이상 수행
- 하기구간 최대 절토고 선정

11

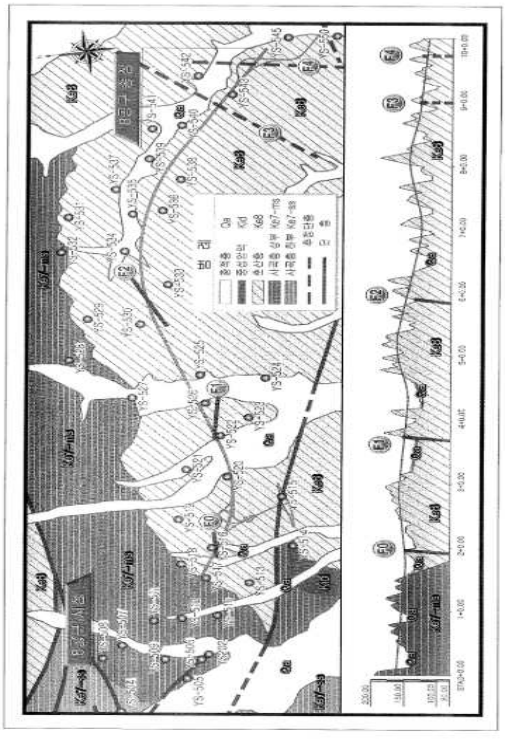
- 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시
- 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 흑색에 대한 접두용어를 사용

일반 분류	• 한국도로공사, 철도청, 한국기술용역협회 및 서울지하철 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류하고 터널구간은 Rock Type으로 표시하되 RMR 및 Q 분류에 의해 암반을 분류하고 분석을 수행함
기재 방법	• 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격 : 강도 및 암질표시는 ISRM(국제암반역학회)의 분류 방법에 의거 분류 • 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법"에 의거하여 시추주상도를 작성
기술 내용	• 색, 불연속면의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등을 기술함 - 색 : 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연한), 암(진한)의 명암 및 흑색의 서술용어를 사용함 • 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류 • 시추주상도에는 암석명, N치, RQD, 시추작업자, 주상도 작업자, 주상도 검토자, 코아회수율 및 불연속면 특성에 관한 중요자료(절리면의 풍화상태, 강도, 간격, 경사, 거칠기 등) 등을 자세하게 기재함

표준단면	암질	특 징	RMR	Q값	탄성파속도 (km/s)	압축압축강도 (MPa)	코아회수율 (%)
I	경암	만질상이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	100~81	60이상	3.4이상	100 이상	90이상
II	보통암	균열 및 절리가 다소 발달되어 있으며 일반으로 절리가 존재하는 층상의 암질	80~61	5.8~60	2.6~3.4	80~100	70~90
III	연암	층리, 절리 및 균리 등이 매우 발달된 상태이며, 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	60~41	0.6~5.8	1.8~2.6	60~80	40~70
IV	풍화암	물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	40~21	0.1~0.6	0.99~1.8	25~60	40이하
V	풍화토	풍화작용이 심하고 일부가 토피화된 상태이며, 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질	20이하	0.1이하	0.99이하	25 이하	-

21

제 3 장 지질도



8.1. 광역 지표지질조사

8.1.1. 지질개요

•파업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 동남부에 위치한다. 경상분지는 처음에는 일본의 북구주지방과 중국, 대만도에 분포하는 퇴적분지를 총괄하여 대비도분지로 불리웠다. 그 후 1961년 원종관은 수차례 조사결과 경상누층군이 구조상으로 분지형을 이루고 있으므로 경상분지라고 명명하였다. 경상분지의 분포는 남북방향인 장축이 200km, 동서단축이 120km, 총면적이 24,000km2에 달한다. 경상분지는 조산운동에 의해 형성된 3개의 소분지로 구성되어 있고, 이들은 다시 여러 개의 단층계에 의해 파괴되어 있다(그림 1).



그림 1. 경상분지와 소분지 분포

•경상분지는 암상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송대 사이에 발달하는 청양소분지, 안동충상단층 및 청송대와 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다(그림 1).
•경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다(그림 2).

44.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 44-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토44 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 폐자재 적재, 산마루측구 토사퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 추가 손상 발생여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	상주절토44 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 폐자재 적재, 산마루측구 토사퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 추가 손상 발생여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	상주절토44 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 폐자재 적재 및 균열, 산마루측구 토사퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 추가 손상 발생여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	상주절토44 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 폐자재 적재 및 균열, 산마루측구 토사퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 추가 손상 발생여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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. 본 사면은 식생공, 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 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. 사면 보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토44 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단 배수로 폐자재 적재 및 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.	양호

44.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 44-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

44.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 44-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	미적용	-	-	

44.2.6 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 44-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

44.3 현장조사

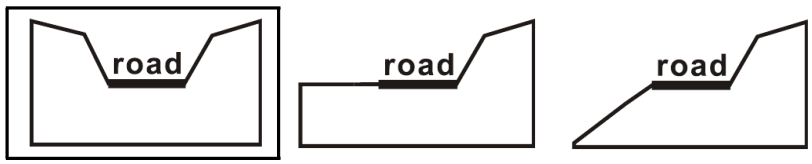
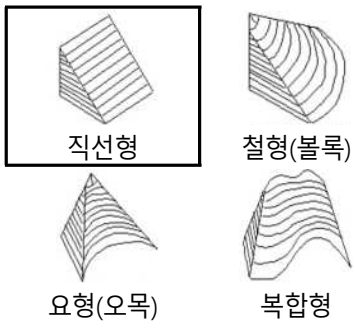
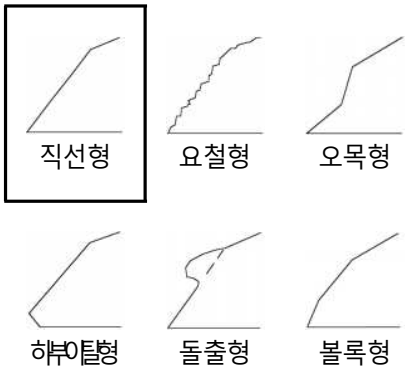
44.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 44-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 영천시 신녕면 화성리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 02′51.0″ 128° 48′01.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 02′56.0″ 128° 47′50.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 300m</td><td colspan="2">높 이 : 35.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 50/212</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~3.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="7">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>식생공</td><td colspan="2">66.378~66.678k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">66.378~66.678k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">66.518~66.598k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="2">66.508k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">66.478~66.598k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">66.598k, 66.578~66.678k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 44-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">0~10°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 44-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토44		
	위경도	시점 : 36° 02′51.0″ 128° 48′01.0″ 종점 : 36° 02′56.0″ 128° 47′50.0″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 11월 25일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	300m	최대높이	35.0m
	경사	50°	상부경사	0~10°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	3개소
	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~3.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) □옹벽 □격자블럭 ■점검로(양호)		■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	□A ■B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	-	조치	□응급 ■미응급
	기타			

44.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 상주영천고속도로 66.378~66.678㎞에 위치하고 있으며, 길이는 300m, 높이 35.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 44-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{12.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 115.9~124.1㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.1}{12.0}=0.008$로 0.01이하	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{35.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 110.2~117.4㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{35.0}=0.006$으로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 300m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 2개 구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 44-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	66.378~66.508	130m
2구간	66.508~66.678	170m

44.3.3 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 -0~10°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이며, 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 44-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1 / 1.0	-	
	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, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 44-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	국지적 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 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 44-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	20/174	85/278	80/020
간격(m)	0.06~0.2	0.06~0.2	0.06~0.2
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	MW
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	85/110	15/186	82/254
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	MW
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 44-15> 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 소단 배수로 및 산마루 측구, 수직도수로가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구, 수직 도수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 일부구간 균열이 발생되었으나, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 44-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	4 / 8.0	건조수축, 온도변화	
	산마루 측구	-	-	-	-	
	수직 도수로	-	-	-	-	

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 44-17> 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 44-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 44-19> 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 44-20> 인장균열 조사 결과

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

44.3.4 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 총 6개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 44-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
66.478k	56.5	124.1	경암	
66.486k	54.9	115.9	경암	
66.492k	55.3	118.0	경암	
66.553k	55.2	117.4	경암	
66.578k	53.8	110.2	경암	
66.598k	54.5	114.0	경암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 53.8~56.5로 측정되었으며, 추정강도 110.2~124.1㎫로 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 44-22> 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경



낙석방지망 전경

라. 사면보강공

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

<표 44-23> 사면보강공 조사 결과

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

44.4 안전성능평가

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

44.4.1 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 0.08로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 44-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{12.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 115.9~124.1MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.1}{12.0}=0.008$로 0.01이하	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{35.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.2~117.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{35.0}=0.006$으로 0.01이하	파쇄암반	

본 사면은 연장 300m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~6으로 표기하였다.

<표 44-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	66.378~66.508㎞	130m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	66.508~66.678㎞	170m	암반사면	Set4, Set5, Set6

<표 44-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 44-27> 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	계곡부 1개소	b
	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 44-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	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 44-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+10+16) / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 44-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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	0.06~0.2	d

<표 44-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 44-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 44-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 44-34> 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 44-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 44-36> 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), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 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 44-37> 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 0~10°	b
	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 44-38> 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 44-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

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

<표 44-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 44-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토44		
사면 종류	절토사면	구성재료	파쇄암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	1	b
	사면 외	1		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		8.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		0	0	a
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			13	
결함지수		0.13		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 44-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

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 44-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	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 44-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

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

<표 44-45> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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 44-46> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 44-47> 지하수 평가 결과(2구간)

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

<표 44-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

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

<표 44-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

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 44-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 44-51> 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, β는 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 44-52> 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 0~10°	b
	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 44-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
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 44-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 44-55> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 44-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		상주절토44		
사면 종류	절토사면	구성재료		파쇄암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		7.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			14	
결함지수		0.14		
상태안전성능평가 결과		**A**		

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 44-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
300m	1구간	66.378~66.508k	a(0.13)	A	인장균열 없음
	2구간	66.508~66.678k	a(0.14)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

44.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

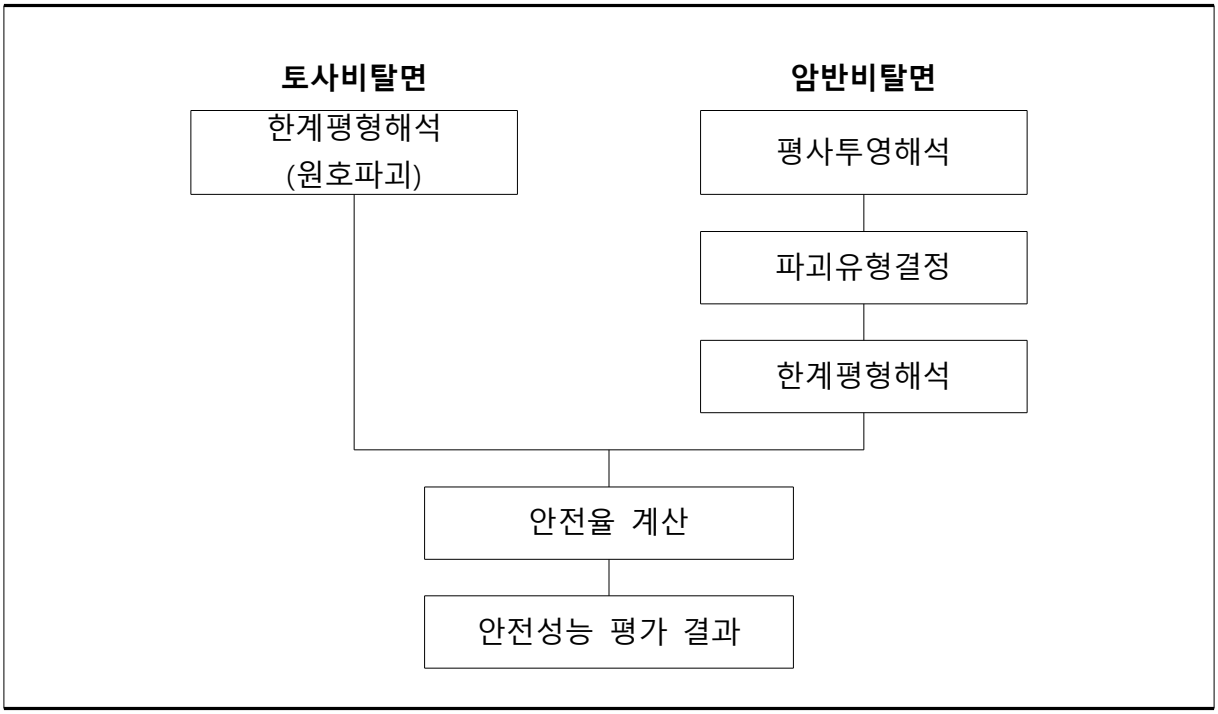
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 44-5> 구조안전성능 평가과정

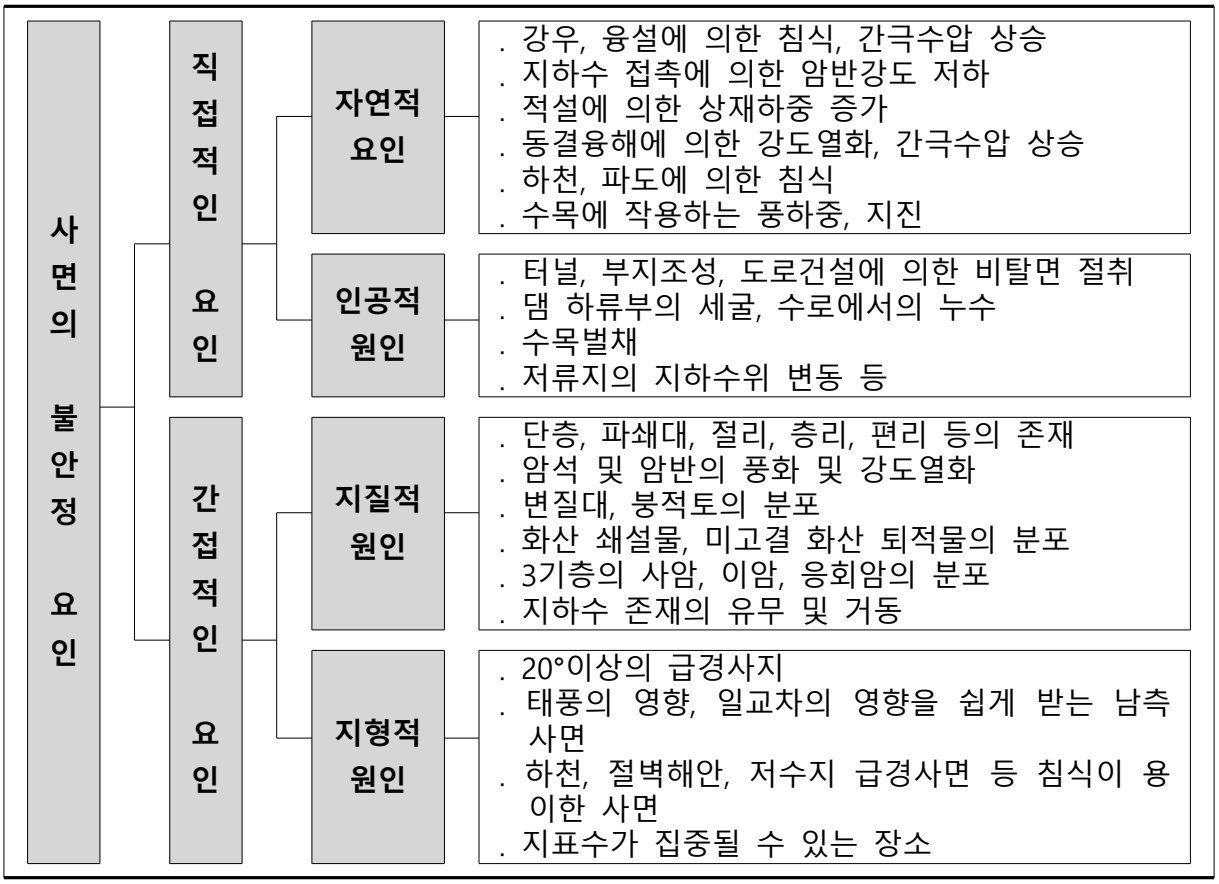
<표 44-58> 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

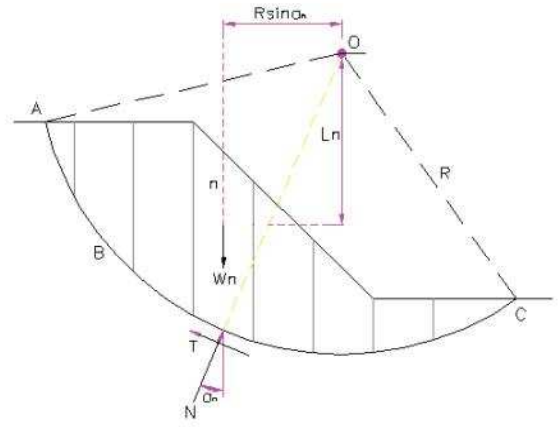


<그림 44-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

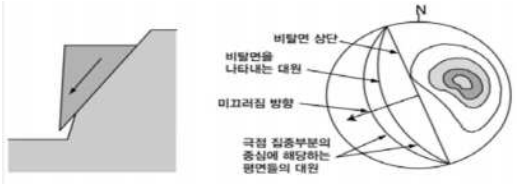
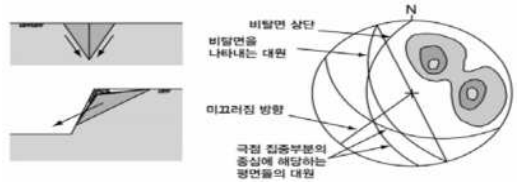
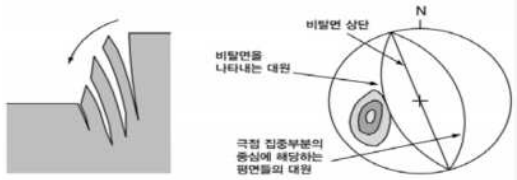
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 44-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 44-59> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 44-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

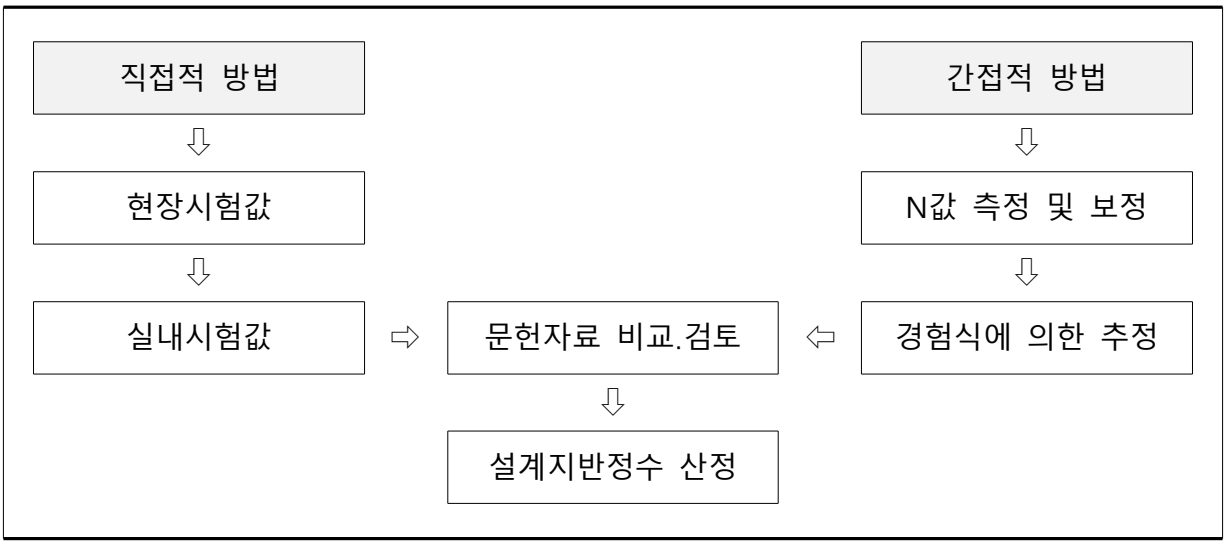
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 44-61> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 44-62> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 44-63> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 44-64> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 44-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (8공구)	풍화(잔적)토	18	29	16	
	풍화암	20	30	30	
	경 암	26	35	1,500	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 44-66> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 44-67> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	27.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 44-68> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 44-69> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 44-70> Trueman (1988)

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

<표 44-71> 김교원 (1993)

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

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	18	29	16	0.3	
풍화암	20	30	30	0.3	
경 암	26	35	1,500	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 44-72> 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

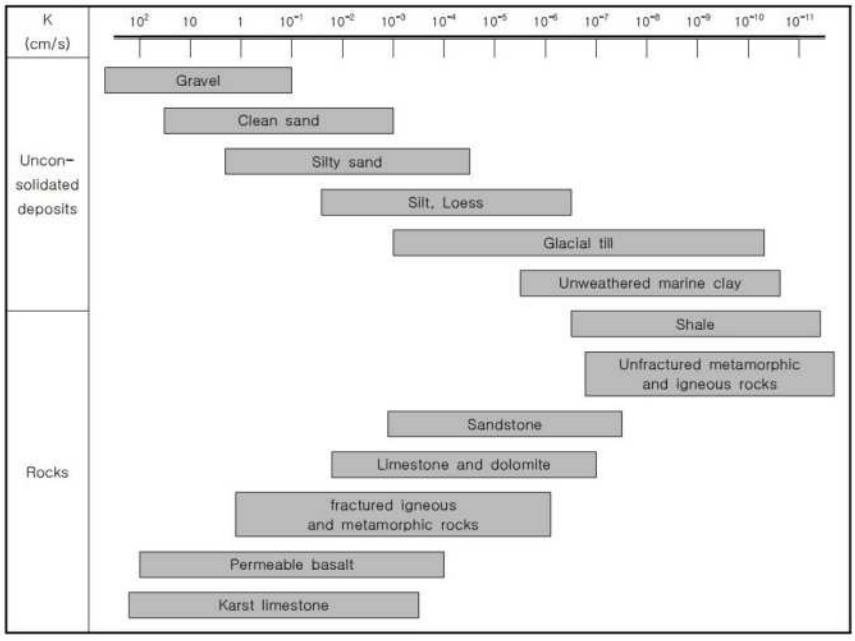
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 44-73> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 44-74> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 44-8> 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 44-75> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

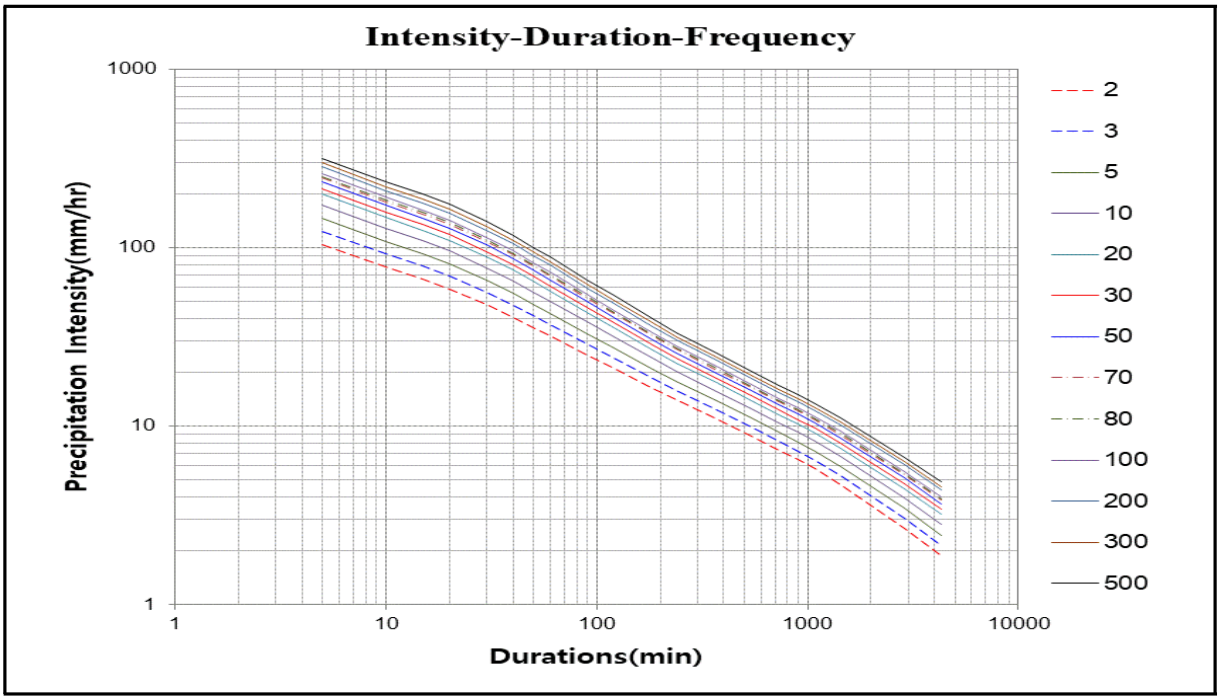
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역



<그림 44-9> 영천지역 IDF곡선

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 44-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 44-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 44-76> 설계지반운동 수준

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

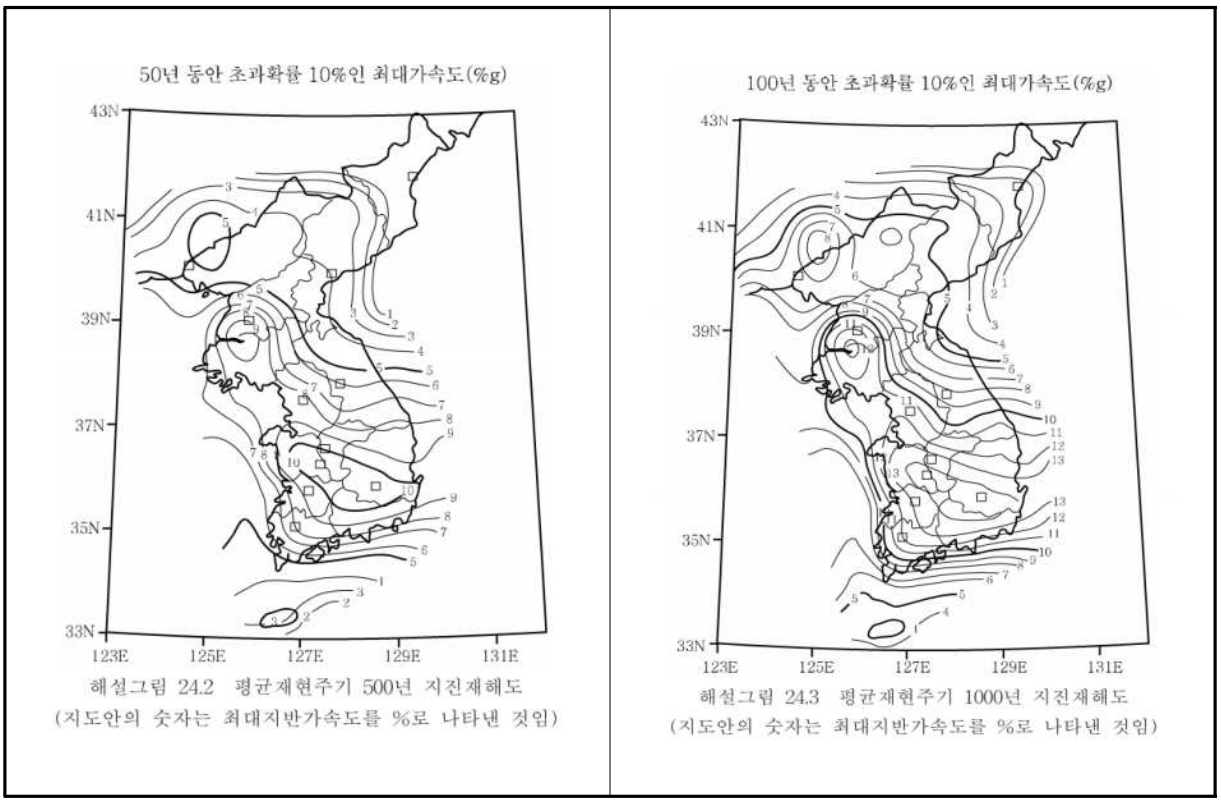
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 44-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 44-77> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 44-78> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

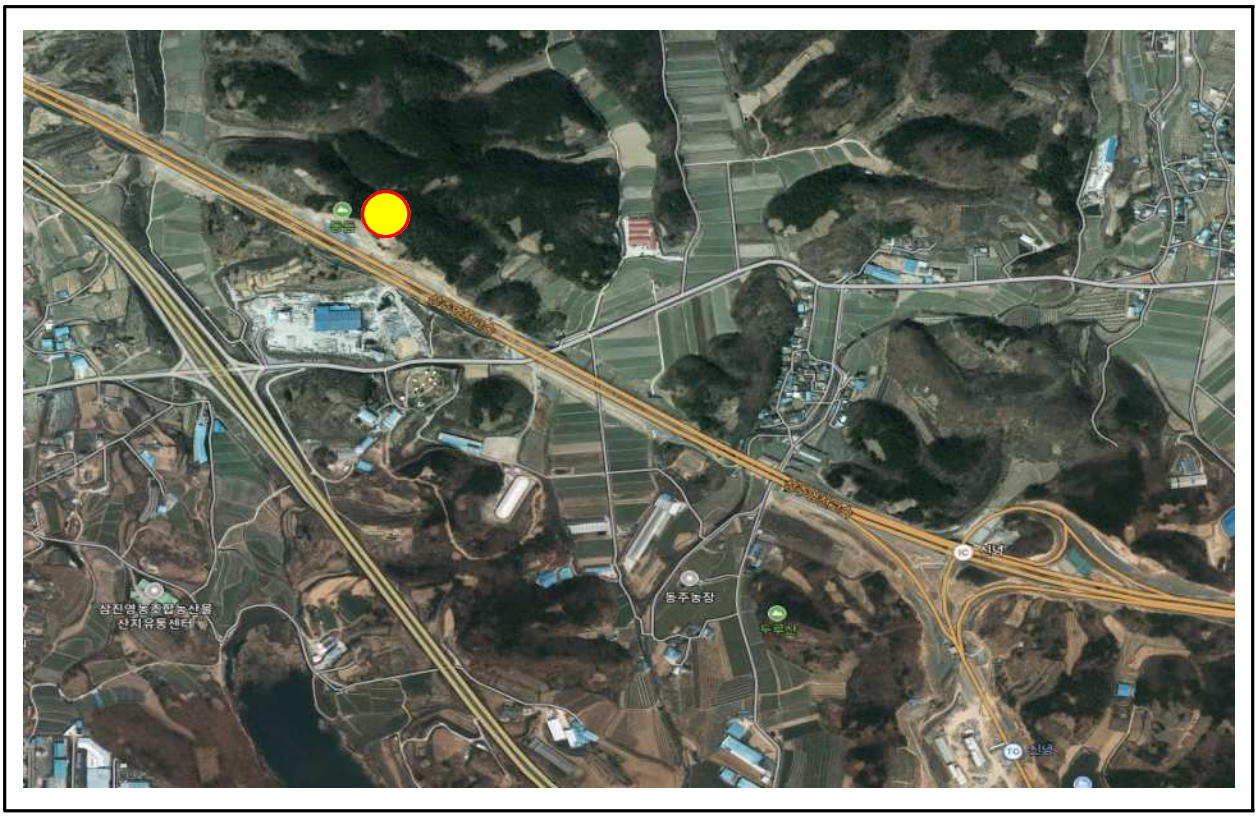
3) 지진가속도계수 선정

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 44-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

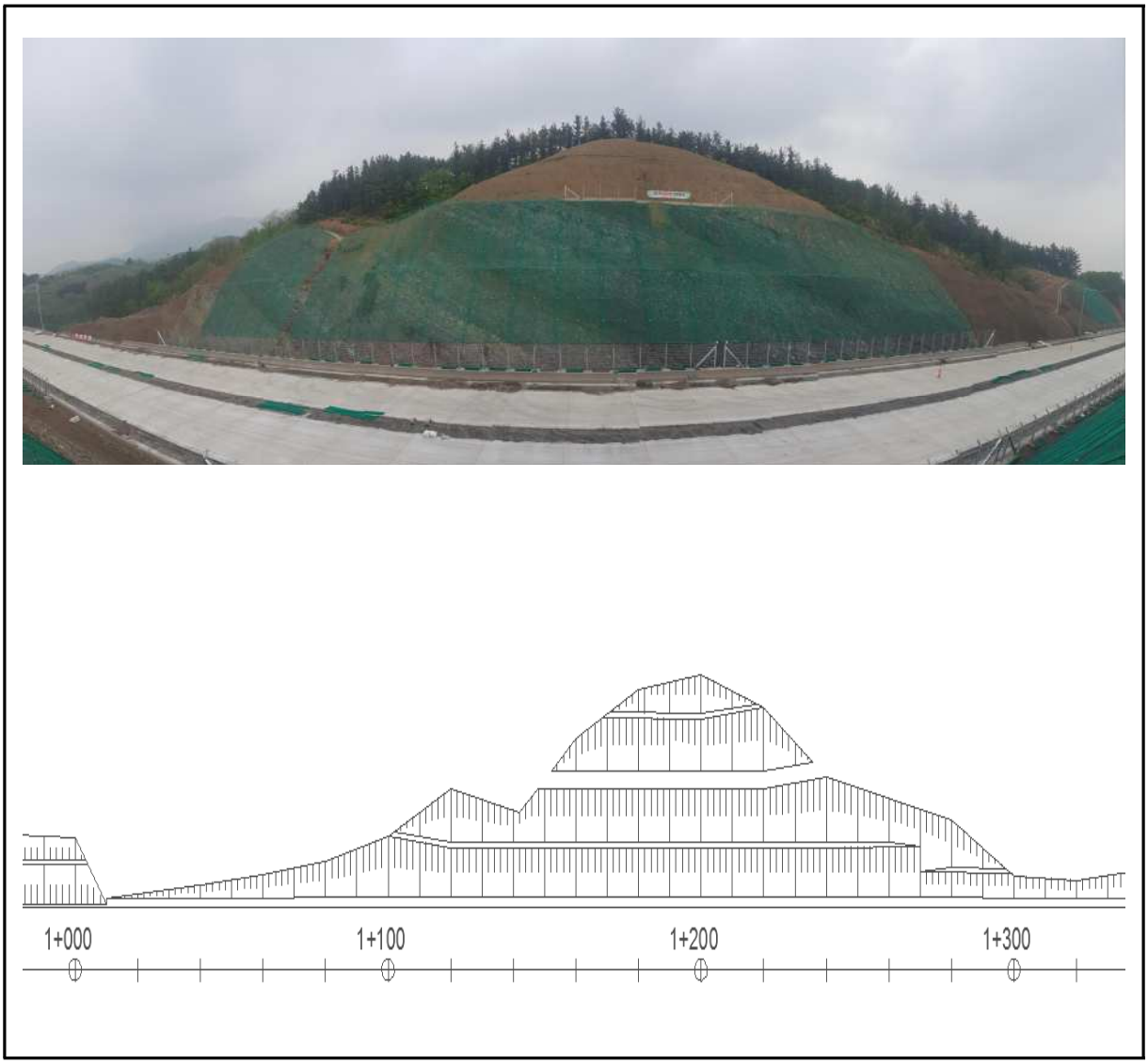
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토44	경상북도 영천시 신녕면 화성리	66.378 ~ 66.678	STA.66+478	12.0	1.0	11.0	-	2017	50/212
			STA.66+568	35.0	3.0	32.0	-	2017	50/212



<그림 44-13> 상주절토44 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토44 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



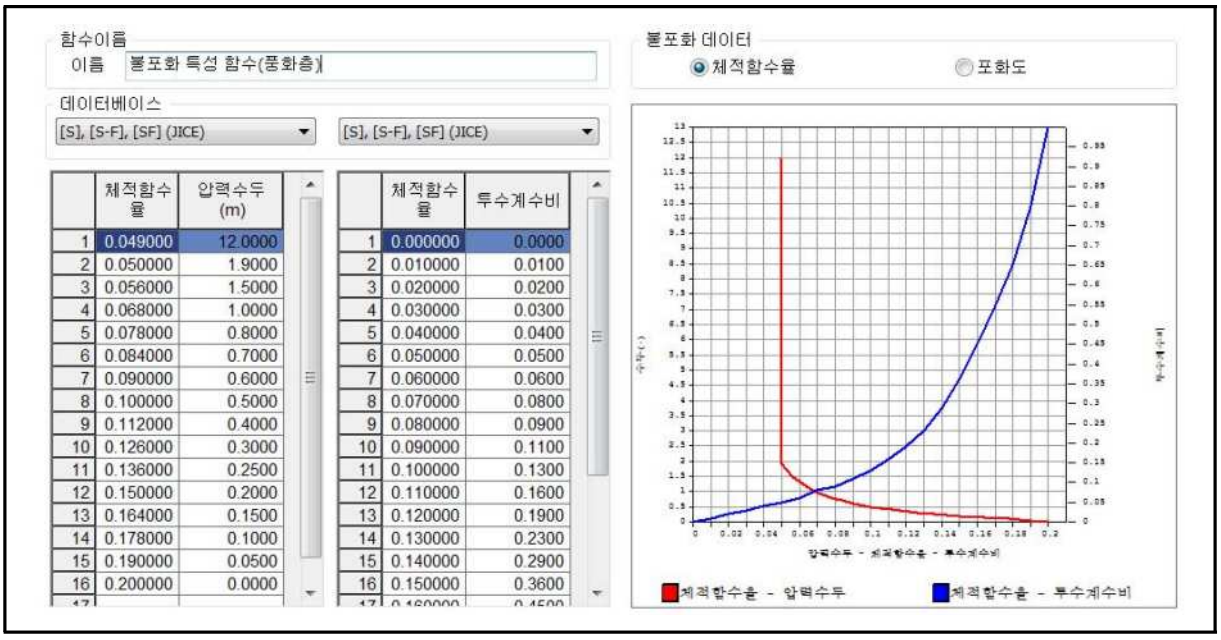
<그림 44-14> 상주절토44 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	29	16	1.0E-03	
풍화암	20	30	30	1.0E-04	
경암	26	35	1,500	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

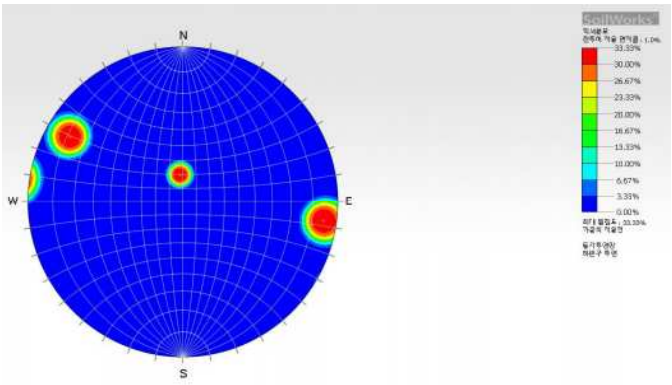
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 44-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

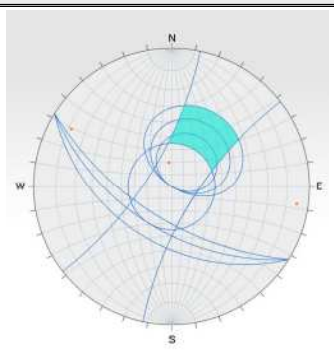
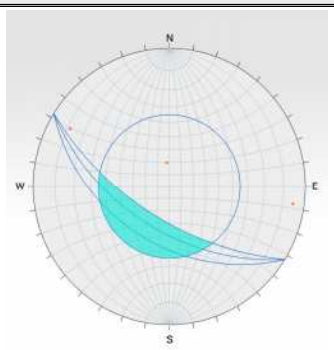
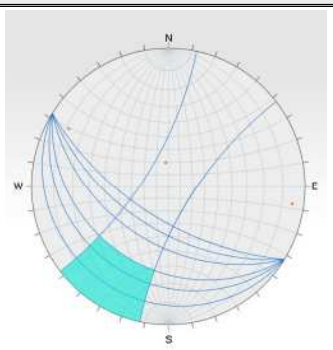
3) 1구간 (STA.66+378 ~ 66+508)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		20	174
		85	278
		80	20

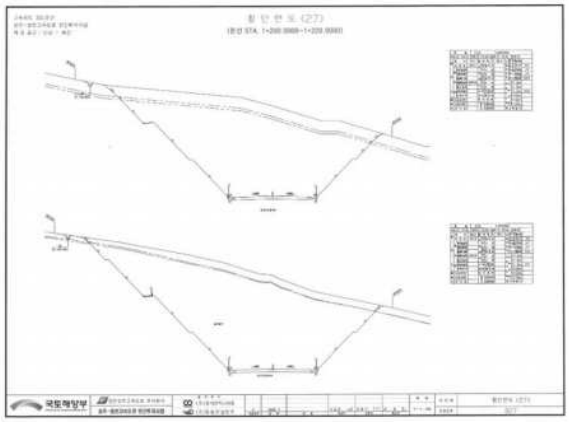
◦ 해석결과

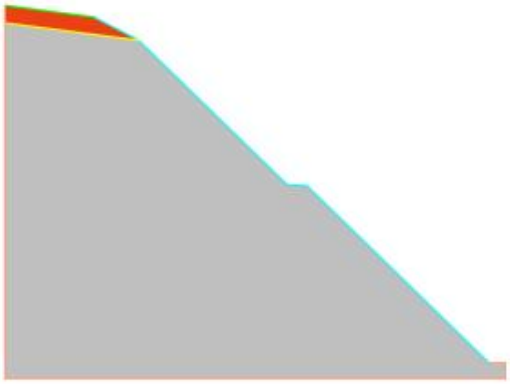
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

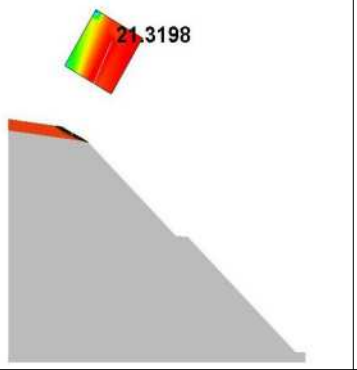
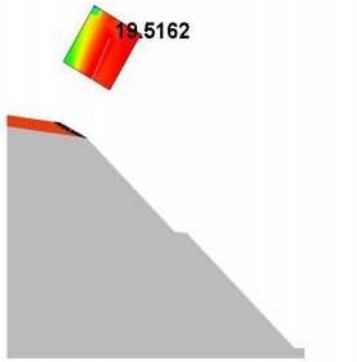
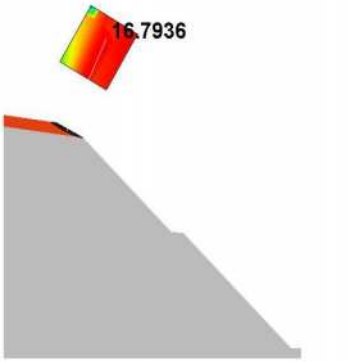
◦ 검토단면





대표단면 : STA.66+478, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 21.32	안전율 : 19.52	안전율 : 5.13

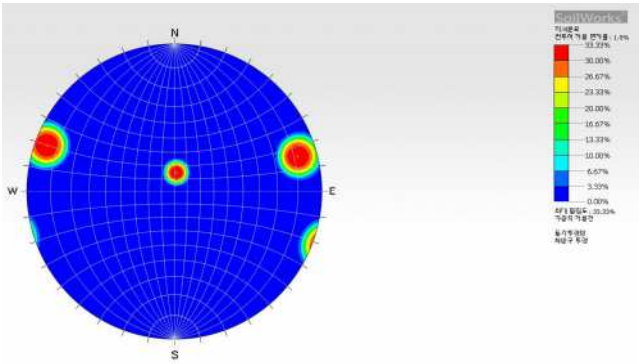
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

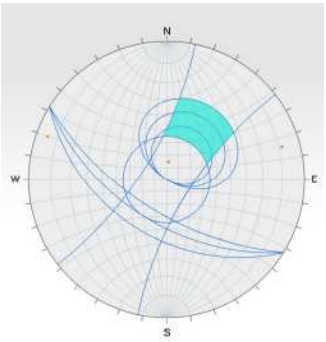
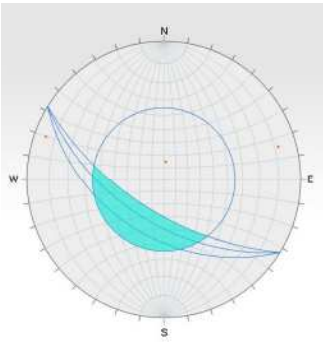
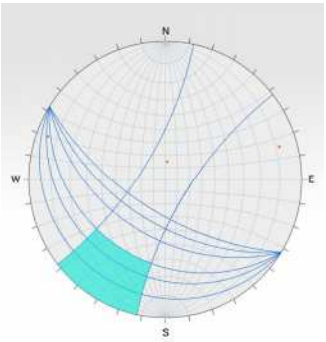
4) 2구간 (STA.66+508 ~ 66+678)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		85	110
		15	186
		82	254

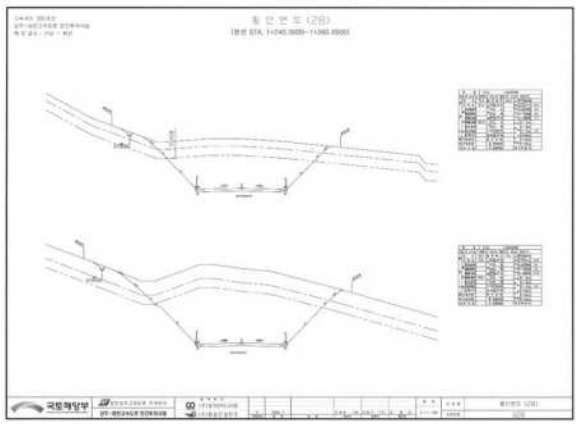
◦ 해석결과

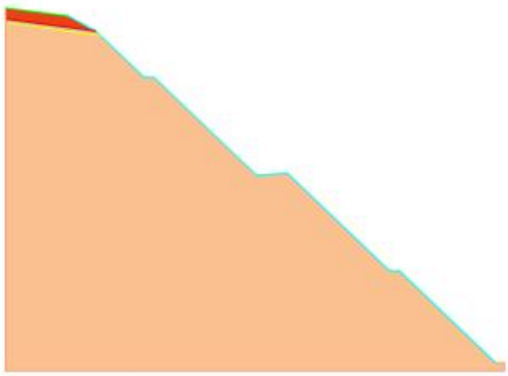
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

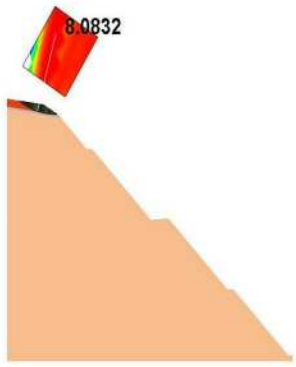
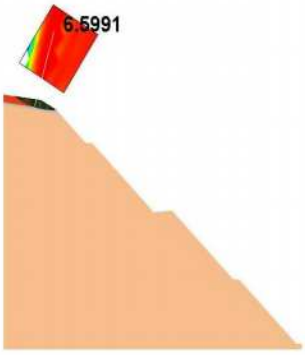
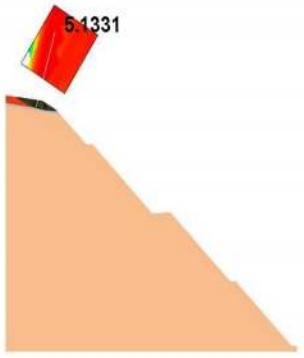
◦ 검토단면





대표단면 : STA.66+568, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 8.08	안전율 : 6.60	안전율 : 5.13

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 44-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토44**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	8.08	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	6.60	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	5.13	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

44.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 44-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토44**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.140	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.140	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 44-82> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

44.5 내구성능 평가

44.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 44-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		파쇄암반사면	SR = 3/35 = 0.08
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 140.0MPa	추정
면적	전체	3,368㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	3,368㎡	
표면보호공	식 생	1,514㎡	
	낙석방지망	1,585㎡	
사면보강공	-	-	

44.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 44-84> 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

44.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 44-85> 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	96.0%이상 100%이하	97.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	96.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 96.0%미만	88.0%이상 97.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 96.0%미만	86.0%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 86.0%미만	76.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	76.0%미만	60.0%미만

<표 44-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
66.478km	124.1	-	초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
66.486km	115.9	-	
66.492km	118.0	-	
66.553km	117.4	-	
66.578km	110.2	-	
66.598km	114.0	-	
평균값	116.6	-	
등급	**A등급**		

<표 44-87> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 44-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	1,514/1,514㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0% 이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 44-89> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 44-90> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3m 미만	1~3m 미만	1~3m 미만
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
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

평가항목	불연속면(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1~3m 미만	1~3m 미만	1~3m 미만
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
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 44-91> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	c	0.43	
Set A- Set 2	c	0.43	
Set A- Set 3	c	0.43	
Set B- Set 4	c	0.43	
Set B- Set 5	c	0.43	
Set B- Set 6	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**c**	

44.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 44-92> 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 44-93> 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	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 44-94> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

44.6 종합평가

44.6.1 종합평가 개요

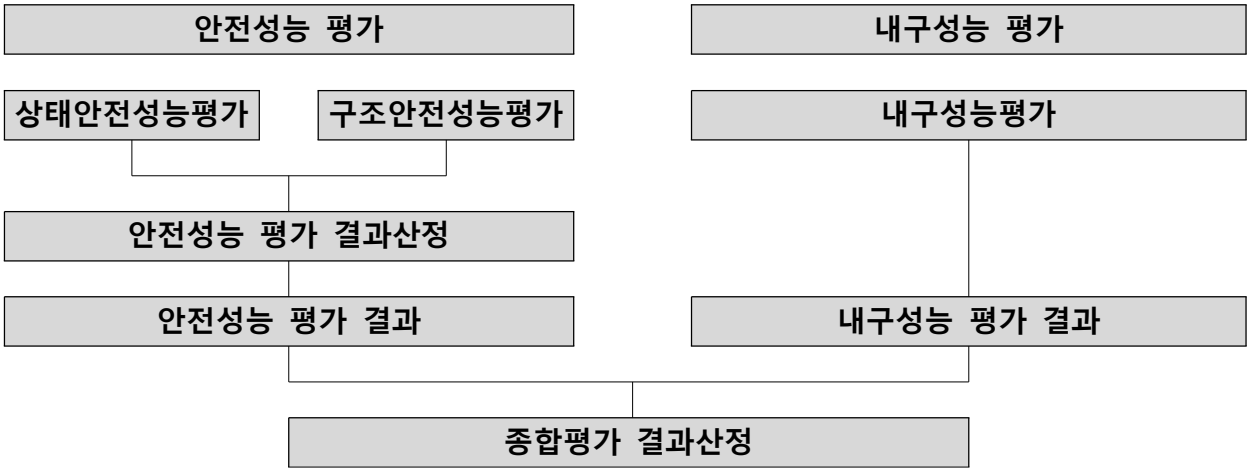
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 44-16> 종합평가 흐름도

44.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 44-95> 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 44-96> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토44		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.140	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.140 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.165 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

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

<표 44-97> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

44.7 유지관리 전략 제안

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

44.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 44-98> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

44.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.165)"으로 평가되었다.

<표 44-99> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.140	0.265	0.165
평가결과	A	B	B

44.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 44-100> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
	산마루측구	상태양호	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

44.8 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 조사되었다. 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급" 과 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제45장 영천절토45

45.1 대상 시설물 현황
45.2 관련 자료의 분석
45.3 현장조사
45.4 안전성능평가
45.5 내구성능평가
45.6 종합평가
45.7 유지관리전략 제안
45.8 종합결론

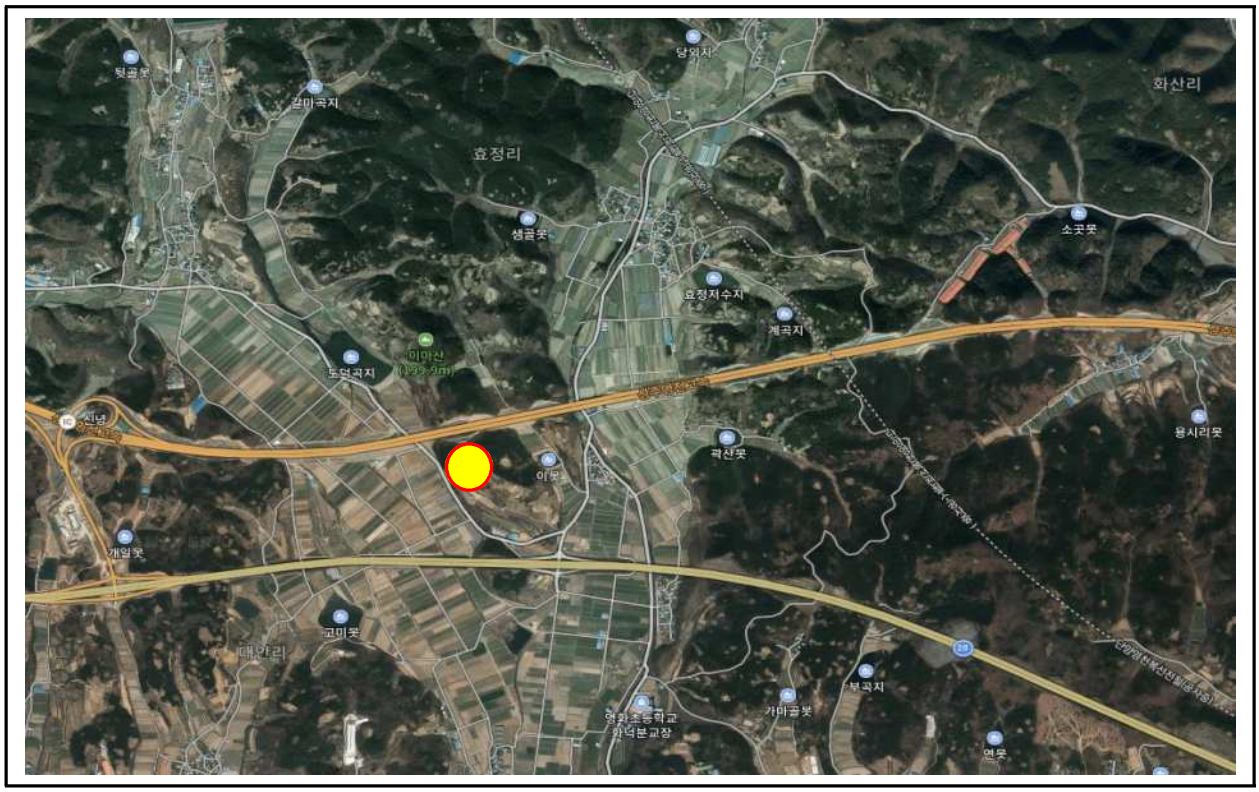
제45장 영천절토45

45.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 화산면 효정리(상주영천고속도로 69.078~69.258㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 180.0m, 높이 32.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 45-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000054		관리번호	SY SL45
시설물명	영천절토45		시설물구분	절토사면
위 치	행정구역	경상북도 영천시 화산면 효정리		
	위치좌표	시점 : 36° 02′17.0″ 128° 49′12.0″		
		종점 : 36° 02′33.0″ 128° 49′36.0″		
	관리이정	69.078~69.258㎞		
	공구이정	8공구 STA.3+720~3+900		
제 원	연 장	180m	높 이	32.0m
	경사/방향	45/356	노 선	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	산악지형	상부사면경사	10~20°
시공현황	준공년도	2017	시 공 자	㈜대우건설
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리		
비 고				

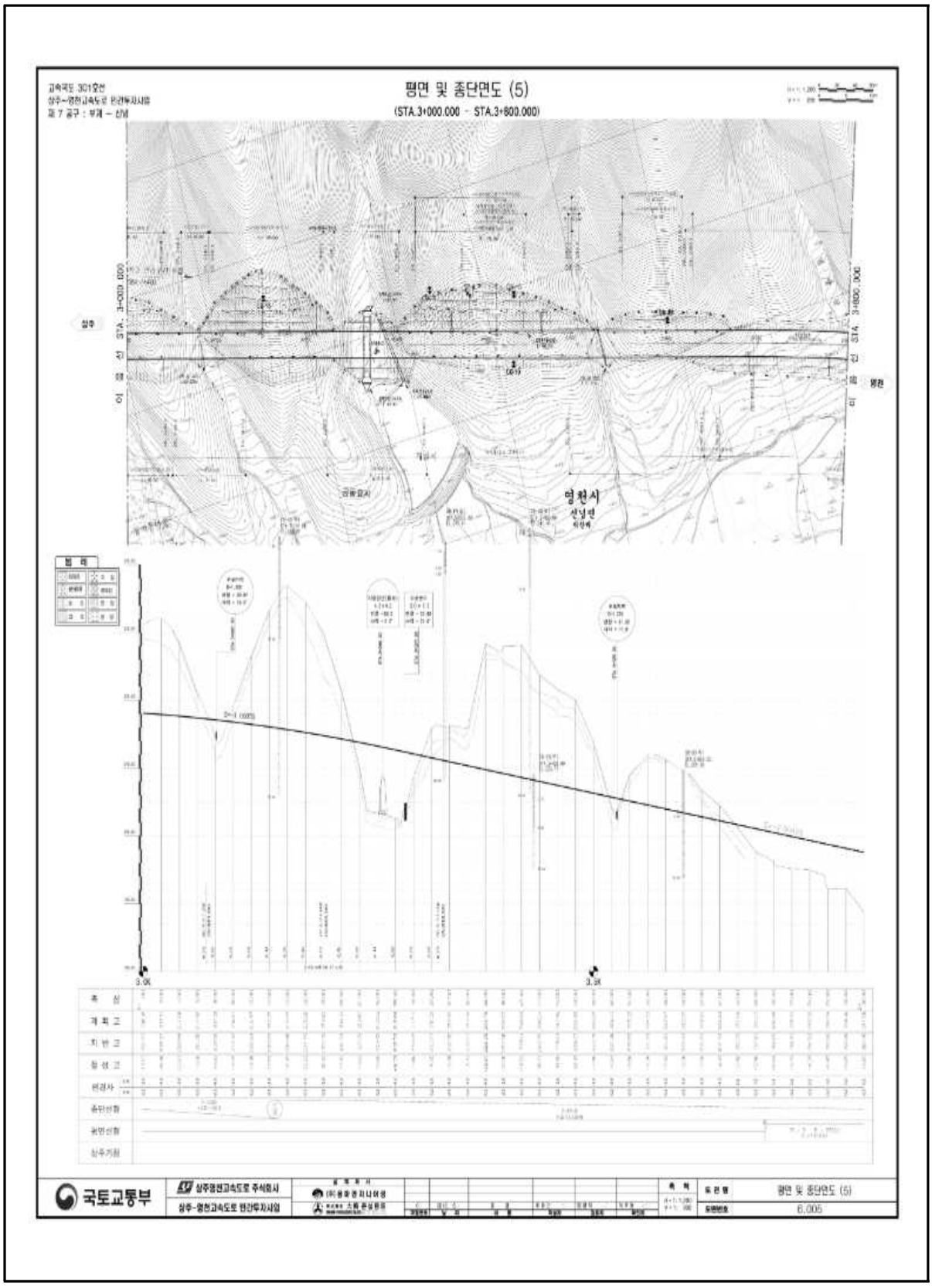


<그림 45-1>위치도

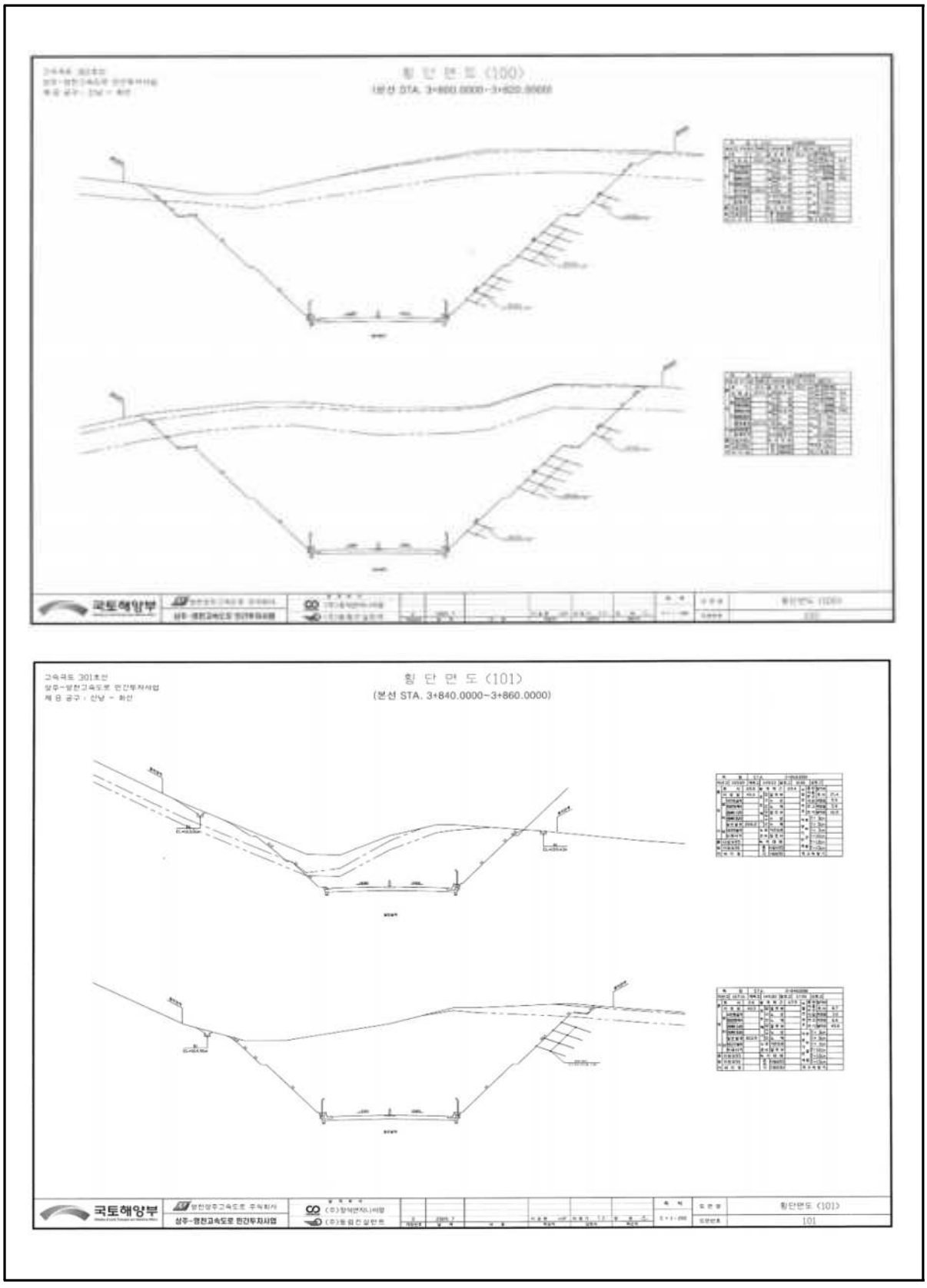
2019년 정밀안전점검


<그림 45-2> 전경사진

	
산마루측구 전경	1소단 배수로 전경
	
하부 전경	점검계단 전경



<그림 45-3> 평면도



<그림 45-4>표준횡단면도

45.2 관련 자료의 분석

45.2.1 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 45-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

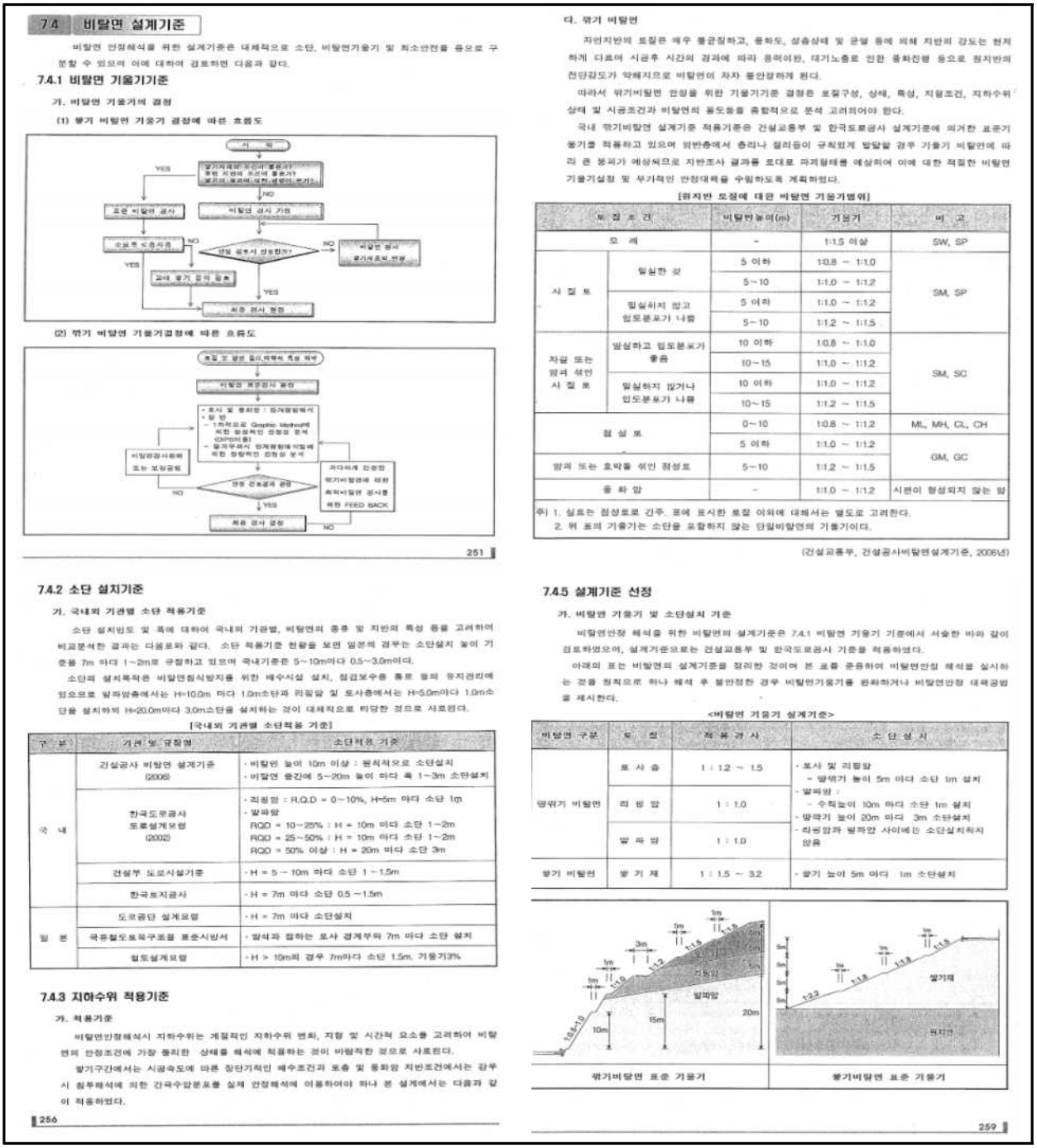
2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

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.

45.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구"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 최소안전율 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 암기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도

(2) 풍기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도

251

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 암파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하며 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	기관 및 규정명	소단적용 기준
국 내	건설공사 비탈면 설계기준 (2008)	· 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치 · 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치
	한국도로공사 도로설계요령 (2002)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부의 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

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

256

다. 암기 비탈면

지반지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 풍력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 암기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지질조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 암기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따른 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	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 암괴 섞인 사 질 토	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	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

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

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

7.4.5 설계기준 선정

가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 7.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

<비탈면 기울기 설계기준>

비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
암쌓기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2 ~ 1.5	· 토사 및 리핑암 - 암쌓기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 · 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 · 암깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 1.0	
풍기 비탈면	풍 기 재	1 : 1.5 ~ 3.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치

깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

259

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 지표 지질 조사

4.1.1 지형 및 지질특성

지질개요	• 조사지역의 지질은 변성암 상위를 부정합으로 놓인 사암, 역질사암, 역암, 니질암(세일 및 이암)등으로 이루어지는 중생대 경상누층군의 퇴적암류들이 넓게 분포. • 조사지역의 구성암석은 층적원형과 호성환경에서 변화되는 양상으로 해당지역에 분포하는 충산층(민아협층)의 경우에는 니질층이 매우 우세한 호성 퇴적암임



가. 지형특성



• 과업노선은 높이가 약 50m 내외인 낮은 산과 충적층을 따라 위치함
• 과업노선의 북쪽으로는 주변지역에 비해 높은 고도를 보이는 월암산이 위치하여 서쪽으로는 넓은 면적으로 분포하는 팔공산이 자리 잡고 있음



• 과업노선의 북동쪽과 북서쪽에는 각각 고현천과 신녕천이 위치하고 있으며 남쪽으로는 청통천이 흐르고 있음
• 신녕천은 남동 방향으로 흐르면서 과업노선의 중점부와 교차하고 있음
• 이들 하천은 많은 지류를 형성하고 있으며 수지상의 복잡한 형태를 보임

나. 분포암층 특성

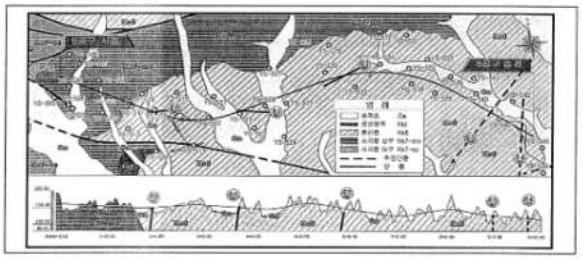
구 분	지 질 특 성
충산층	• 층의 두께는 700m 내외이며 암회색 및 자색 이암과 실트암, 암회색 세립 및 사암으로 구성된다. 최하부는 2~3m 두께의 구산동층 최암층형으로, 층부는 기사들 역암으로 측정 지워진다. 구산동층최암은 주로 화산기원의 장석 및 석영입자들과 화산희 기질로 구성되었으나, 수류퇴적을 지시하는 층리 및 모양을 갖으며, 식물의 줄기와 및 화석들이 산출된다(Tateiwa, 1929)
사곡층	• 하한은 최곡층의 암회암이 끝나고 자색 이암과 실트암이 협재되기 시작하는 층준이며, 상한은 충산층의 최하부인 구산동층최암의 직하위이다. 층의 두께는 군위에서 2,000m이나 남쪽으로 점차 감소되어 월리에서는 250m에 불과하다. 주요 구성암석은 자색 이암과 실트암 및 녹회색 실트암 및 녹회색 사암이며, 중부에는 암회질 사암도 협재된다. 자색 이암은 상부에서 우세하며, 석회질 단괴는 거의 발달되지 않으나, 건열, 연흔, 사층리가 발달되고 생흔화석들이 흔하다. 식물 화석으로 Pterelopsis cf. parceramosa Fontaine이 보고되었다(Tateiwa, 1929).

다. 지질 계통도

시절시대		층 위		특 성	비 고
제4기		충적층(Qa)		• 하천 및 산록 퇴적물	
		— 부정합 —			
중생대	경상계	동성암맥(Kdi) 산성암맥(Kad)		• 국상의 퇴적	• 전 구간에서 기반암을 관입
		— 관입 —			
		화강암(Kgr)		• 국상의 퇴적	• 3공구 중앙부
		— 관입 —			
	불국사	안산암질암(Kat)		• 주로 응회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		— 관입 및 분출 —			
	하양층군	신양동층(ks9)		• 암회색 이암 및 세립과 사암의 교호대	• 10공구 종점부
		충산층(ks8)		• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세립 • 하부층에서 석회질 물질 다량 함유	• 10~8공구에 걸쳐 분포
		사곡층(Ks7)	상부(Ks7-ms)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세립 • 석회질 물질 함유	• 8공구 시점
			하부(Ks7-ss)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세립과 사암이 교호 • 사질부분을 다량 함유	• 8공구 시점과 7공구 중점
		점곡층(ks6)		• 암회색, 녹회색, 적색 세립 및 이암 • 주로 암회색 세립로 구성	• 7공구 종점 및 중앙부
		무평동층(Ks5)	구계동층원(Ks5-2)	• 사암, 미사암 및 이사질 세립 및 이암(니질 우세)	• 7공구 시점부
			구비동층원(Ks5-1)	• 사암, 적색 이사질 세립, 자색최최역 및 역암(사질 우세)	• 6공구 중점부
		암적층(Ks4)		• 사암, 적색 이사질 세립, 역암 • 주로 사암이 우세	• 6공구 중앙 및 종점

4.1.3 과업구간 지질분포 특성

가. 상세 지표지질조사



① 주요 노두 특성분석

노두 사진	특 성
	• 사곡층 상부(노두No.YS-202) • 적색 니질암 • 층리방향 : 22/162 • Ji=84/208, J2=84/098
	• 사곡층 하부(노두No.YS-504) • 녹회색 및 적색 니질암 • 층리방향 : 32/148, 단층단말 : 66/356 • 단층 비지 5mm, 단층 폭 0.5m • Ji=88/264, J2=82/042, J3=67/318
	• 사곡층 상부(노두No.YS-505) • 적색 니질암 • 층리방향 : 20/169 • Ji=82/271, J2=78/340
	• 사곡층 상부(노두No.YS-506) • 적색 니질암 • 층리방향 : 22/166, 소단층방향 : 87/048 • Ji=68/348, J2=89/240, J3=72/116 • 폭 0.5m, 파쇄대 1m정도, 단층 각력암 존재

나. 지질 각론

•이하는 1:5만 신령도폭(원종관 외, 1980)의 내용이다.
이 지역의 지질은 백악기 퇴적암층과 화성암류로 구성되어있다. 백악기 퇴적암층은 경상누층군 하양층군에 속하는 함안층(사곡층), 반야월층(충산층)과 자인층이고 화성암류는 이들을 관입한 아화산암류, 심성암류, 반심성암류로 구분된다. 퇴적암은 심성암과의 접촉대에서 호온헬스로 변질되었다(그림 3). 과업구간은 의성 소분지의 남단에 자리잡고 있어 유천 소분지와의 관계를 해석하는데 매우 중요한 지역이다.



그림 3. 1:5만 과업구간 지질도 (원종관 외, 1980)

•낙동군층 퇴적기에서 신라역암 퇴적기에 이르기 까지 광분산선을 경계로 하여 퇴적 환경에 차이를 보여 주었으나 분석에 분포하는 함안층 및 반야월층은 지질구조의 해석으로서 유천 소분지의 것과 연결이 가능한 것으로 보아 퇴적암층의 층서 관계는 해란-대구-청원의 단면에서 구분된 것을 그대로 사용하였다. 그러나 노고단 환성단층내에 분포하는 호온헬스화된 퇴적암층은 반야월층 상부 또는 자인층(권원리층)하부에 대비되는가에 대해서는 검토되어야 한다. 따라서 그들은 화산층이라 명명하였다.
•백악기 퇴적암층은 주로 분역의 남부에 넓게 분포하며 북부에서는 화성암체의 관입에 의하여 불규칙적인 분포를 보여준다. 화성암류는 분역의 서북부에 분포하는 아화산암체(Sub-volcanics)와 주기단층암의 양태에 따라 관입한 화강암체로 크게 구분된다.
아화산암체는 백악기에 형성된 화산체의 뿌리 부분이 상승운동과 침식에 의하여 노출된 것이다. 아화산체의 주변에 발달하는 노고단 환상단층은 이러한 현상이 칼드론(Cauldron)과 관계있음을 말해 준다.
•주기성 단층을 따라 분포하는 화강암체는 주변암으로서 곳에 따라 암질을 달리하기도 하나 암체의 핵으로 갈수록 화강섬록암에서는 화강암을 점이되는 것으로 보아 물국사 화강암과 동질인 것이다.
•퇴적암층: 이 지역에 분포하는 퇴적암층은 산라층군의 함안층, 반야월층과 화산층이다. 과업구간은 의성 소분지의 남단에 위치하나 형천-파랑리 일대에 분포하는 반야월층이 계속 발달하여 지질구조로 보아 그의 하위에 퇴적층의 함안층이 유천 소분지에서와 동일한 층서 관계를 갖고 분포한다. 따라서 이 지역에 분포하는 퇴적암층은 유천 소분지에서의 층서를 그대로 적용시켜도 좋으리라 믿어진다. 함안층과 반야월층의 경계는 양자가 점이적인 관계를 이루므로 퇴적층과 녹회색층의 호층대에서 암적 우세를 보여주는 층준에 설정하였다. 즉 지층 구분의 Key bed가 없으므로 경계의 설정은 지층의 두께 50m 범위내에서 융통성이 있는 것으로 판단된다.

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조 사 명

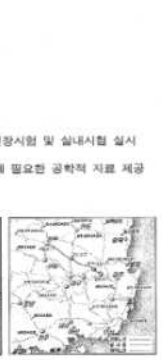
- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계(8공구)

1.2 조 사 목 적

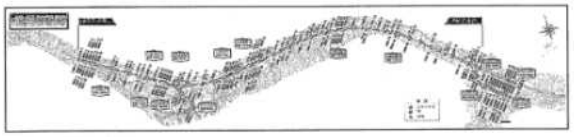
- 상주~영천 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

1.3 조 사 범 위

위 치	• 시점 : 경상북도 영천시 신녕면 화성리(STA. 0+000) (X=283,752.107, Y=180,809.115) • 종점 : 경상북도 영천시 화산면 가상리(STA. 10+000) (X=280,966.070, Y=189,777.475) • 연장 : 10.0km
특 성	• 상주~영천간 고속도로 건설을 통한 기존 고속도로(경부, 중부내륙)의 기능 회복 및 원계획 효율성 증대 • 고속도로 신설을 통해 동과 지역의 균형발 상호 균형 발전을 통한 공익성 증대



1.4 위 치 도



1.4.1 구조물 현황

교량 구간			토공구간
• 가천교 (315m)	• 갈곡교 (13.0m)	• 신녕IC교 Ramp교 (30.0m)	• 우기구간 : 24 구간
• 호정교 (17.4m)	• 창정교 (175.0m)	• 화산JCT Ramp-A교 (490.0m)	• 일기구간 : 12 구간
• 위지교 (10.4m)	• 중동교 (105.0m)	• 화산JCT Ramp-A1교 (340.0m)	
• 신녕교 (120.0m)	• 호지교 (12.0m)	• 화산JCT Ramp-A2교 (45.786m)	
• 신녕IC교 (30.0m)		• 화산JCT Ramp-H교 (100.0m)	

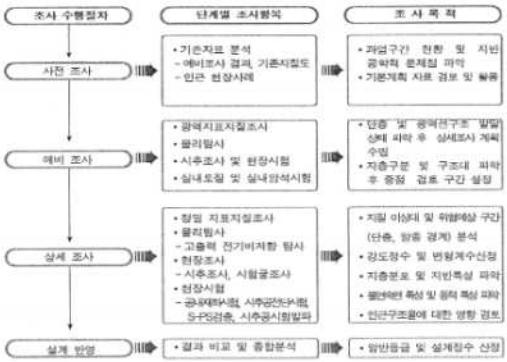
제 2 장 조 사 계 획

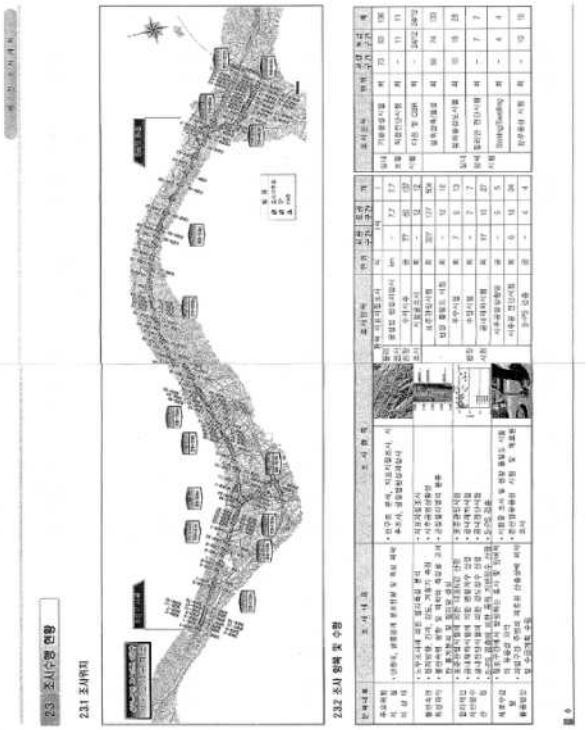
2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

(1) 조사 기본방향



(2) 조사 수행 흐름도





구 분	공 번	STA.	X	Y	선정 이유
화 산 JCT-H교	RBBB-19	0+397.93(우2.34m)	280,277.353	190,048.542	• 교대 및 교각 마다 1개소 • 상,하행선 분리시 모두수행
화 산 JCT-A1교	RBBB-20	시추불가			
	RBBB-21	시추불가			
	RBBB-22	시추불가			
	RBBB-23	0+375.00(우3.25m)	280,223.009	190,077.342	
	RBBB-24	0+372.76(좌2.98m)	280,216.868	190,074.858	
	RBBB-25	0+321.49(우6.57m)	280,189.854	190,119.476	
	RBBB-26	0+329.88(우4.43m)	280,193.843	190,111.790	
화 산 JCT-A교	RBBB-27	0+289.87(우3.78m)	280,166.900	190,140.980	
	RBBB-28	0+289.84(좌4.33m)	280,160.658	190,135.811	
	RBBB-29	0+222.43(우2.66m)	280,123.196	190,192.105	
	RBBB-30	0+221.89(좌3.80m)	280,117.509	190,188.996	

나. 우기구간

구 분	공 번	STA.	X	Y	선정 이유
본 선 구 간	CBB-1	시추불가	283,781.198	180,819.827	• 우기부 개소당 2개소 이상 수행 • 우기구간 최대 절토고 선정
	CBB-2	시추불가	283,737.634	180,798.005	
	CBB-3	0+784.62(좌50.40m)	283,362.819	181,490.200	
	CBB-4	0+807.08(우13.04m)	283,302.251	181,479.016	
	CBB-5	1+115.83(좌23.44m)	283,170.360	181,760.562	
	CBB-6	1+199.13(좌37.56m)	283,138.413	181,838.769	
	CBB-7	1+204.72(우24.16m)	283,083.027	181,810.954	
	CBB-8	1+384.16(좌16.78m)	283,023.140	181,984.995	
	CBB-9	1+500.89(좌26.84m)	282,970.104	182,089.468	
	CBB-10	1+483.82(우16.85m)	282,941.993	182,051.918	
	CBB-11	2+733.48(좌16.54m)	282,425.162	183,178.262	
	CBB-12	2+968.92(좌34.19m)	282,409.331	183,410.737	
	CBB-13	2+946.00(우24.28m)	282,353.235	183,382.640	
	CBB-14	3+804.15(좌34.65m)	282,498.749	184,226.418	
	CBB-15	3+810.88(우38.80m)	282,428.487	184,248.950	
	CBB-16	4+118.75(좌43.83m)	282,576.021	184,531.511	
	CBB-17	4+163.93(우23.70m)	282,519.983	184,590.277	
	CBB-18	4+800.00(좌24.65m)	282,705.398	185,200.638	

구 분	공 번	STA	X	Y	선정 이유
본선 구간	CBB-19	4+804.44(우38.95m)	282,644.283	185,218.792	
	CBB-20	4+993.80(좌17.98m)	282,741.003	185,391.258	
	CBB-21	4+982.21(우26.79m)	282,694.169	185,389.806	
	CBB-22	5+219.11(좌9.40m)	282,781.593	185,613.049	
	CBB-23	5+203.41(우31.83m)	282,737.935	185,606.678	
	CBB-24	5+313.56(좌46.03m)	282,837.865	185,697.276	
	CBB-25	5+646.27(우15.14m)	282,842.212	186,035.814	
	CBB-26	5+769.12(좌26.95m)	282,899.268	186,152.708	
	CBB-27	5+771.33(우30.67	282,842.181	186,160.880	
	CBB-28	시추불가			
	CBB-29	6+104.79(우35.30m)	282,853.333	186,490.349	
	CBB-30	6+216.64(좌39.26m)	282,924.901	186,604.192	
	CBB-31	6+190.79(우9.36m)	282,877.374	186,576.252	
	CBB-32	7+177.27(좌25.75m)	282,714.891	187,548.103	
	CBB-33	7+091.30(우38.83m)	282,683.739	187,445.347	
	CBB-34	시추불가			
	CBB-35	시추불가			
	CBB-36	시추불가			
	CBB-37	8+127.91(좌16.17m)	282,230.008	188,368.900	
	CBB-38	8+132.64(우29.82m)	282,191.349	188,343.540	
	CBB-39	8+659.13(좌20.76m)	281,887.303	188,775.450	
	CBB-40	8+677.54(우25.93m)	281,839.962	188,758.848	
	CBB-41	9+033.14(우34.76m)	281,588.008	189,037.588	
	CBB-42	시추불가			
	CBB-43	9+676.09(좌41.10m)	281,238.688	189,558.987	
	CBB-44	9+668.78(우38.64m)	281,183.071	189,501.379	
	CBB-45	시추불가			
	CBB-46	9+926.46(우45.57m)	281,009.572	189,692.027	
램프 구간	RCBB-1	0+246.23(좌20.04m)	282,487.486	183,063.957	
	RCBB-2	0+360.23(우4.61m)	282,373.617	182,825.716	
	RCBB-3	1+642.21(우15.78m)	281,272.049	189,662.934	
	RCBB-4	0+198.41(우31.41m)	281,182.170	189,474.097	
	RCBB-5	1+237.41(우9.68m)	280,867.466	189,603.369	

• 암기부 개소당 2
개소 이상 수행
• 막기구간 최대
절토고 선정

11

• 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시

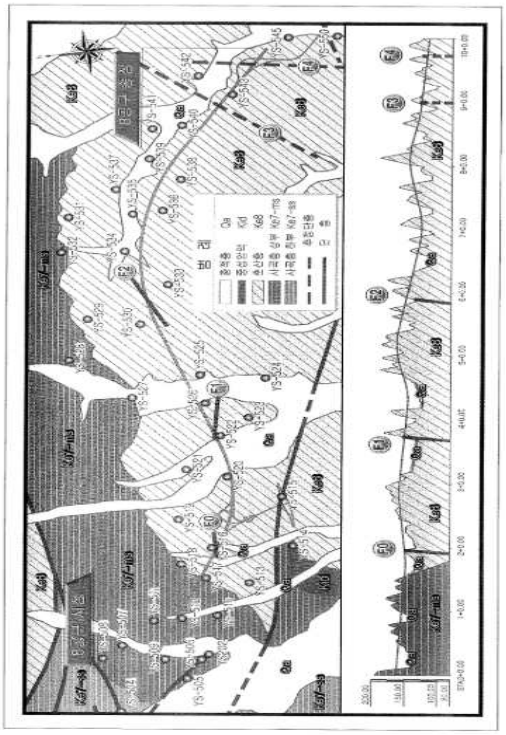
• 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 흔색에 대한 접두음어를 사용

일반 분류	• 한국도로공사, 철도청, 한국기술용역협회 및 서울지하철 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류하고 터널구간은 Rock Type으로 표시하되 RMR 및 Q 분류에 의해 암반을 분류하고 분석을 수행함
기재 방법	• 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격 : 강도 및 암질표시는 ISRM(국제암반역학회)의 분류 방법에 의거 분류 • 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법"에 의거하여 시추주상도를 작성
기술 내용	• 색, 불연속면의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등을 기술함 - 색 : 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연한), 암(진한)의 명암 및 흔 색의 서술용어를 사용함 • 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류 • 시추주상도에는 암석명, N치, RQD, 시추작업자, 주상도 작업자, 주상도 검토자, 코아회수율 및 불연속면 특성에 관한 중요자료(절리면의 풍화상태, 강도, 간격, 경사, 거칠기 등) 등을 자세하게 기재함

표준 단면	암질	특 징	RMR	Q값	탄성파 속 도 (km/s)	압축압축 강 도 (MPa)	코 아 회수율 (%)
I	경암	만질상이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	100~81	60이상	3.4이상	100 이상	90이상
II	보통암	균열 및 절리가 다소 발달되어 있으며 일반으로 절리가 존재하는 층상의 암질	80~61	5.8~60	2.6~3.4	80~100	70~90
III	연암	층리, 절리 및 균리 등이 매우 발달된 상태이며, 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	60~41	0.6~5.8	1.8~2.6	60~80	40~70
IV	풍화암	물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	40~21	0.1~0.6	0.99~1.8	25~60	40이하
V	풍화토	풍화작용이 심하고 일부가 토피화된 상태이며, 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질	20이하	0.1이하	0.99이하	25 이하	-

21

제 3 장 지질도



8.1. 광역 지표지질조사

8.1.1. 지질개요

•과업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 동남부에 위치한다. 경상분지는 처음에는 일본의 북구주지방과 중국, 대만도에 분포하는 퇴적분지를 총괄하여 대륙도분지로 불리웠다. 그 후 1961년 원종관은 수차례 조사결과 경상누층군이 구조상으로 분지형을 이루고 있으므로 경상분지라고 명명하였다. 경상분지의 분포는 남북방향인 장축이 200km, 동서단축이 120km, 총면적이 24,000km2에 달한다. 경상분지는 조산운동에 의해 형성된 3개의 소분지로 구성되어 있고, 이들은 다시 여러 개의 단층계에 의해 파괴되어 있다(그림 1).



그림 1. 경상분지와 소분지 분포

•경상분지는 암상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송랭 사이에 발달하는 청양소분지, 안동충상단층 및 청송랭과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다(그림 1).

•경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다(그림 2).

45.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 45-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	소단 배수로 토사퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 추가 손상 발생여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	소단 배수로 토사퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 추가 손상 발생여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	소단배수로 및 산마루측구 균열, 토사퇴적이 국부적으로 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 추가 손상 발생여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	경미한 표층유실이 조사되었으며, 소단배수로 및 산마루측구 균열, 토사퇴적이 국부적으로 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	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. 본 사면은 식생공, 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 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 및 산마루측구 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면 보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토45 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간 건조수축, 온도변화 등에 의한 균열, 망상균열, 토사퇴적이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 요망된다.	양호

45.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 45-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

45.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 45-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
해당사항 없음	미적용	-	-	

45.2.6 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 45-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

45.3 현장조사

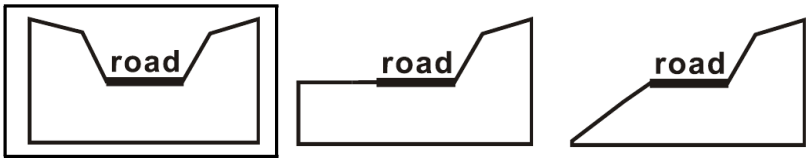
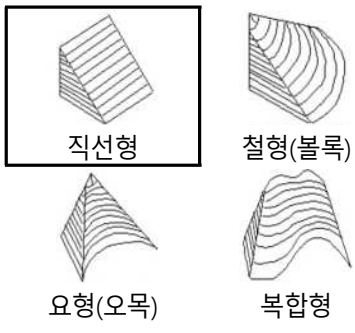
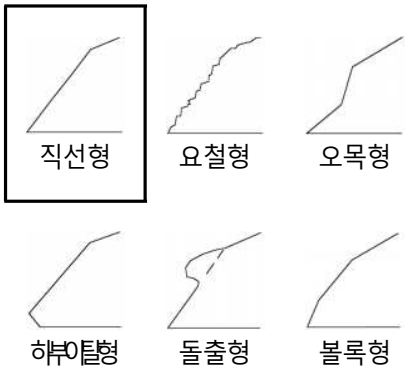
45.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 45-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 영천시 화산면 효정리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 02′17.0″ 128° 49′12.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 02′33.0″ 128° 49′36.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 180m</td><td colspan="2">높 이 : 32.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/356</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~3.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="5">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="2">69.218~69.258k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">69.128~69.218k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">69.118~69.218k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">69.078~69.128k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">·</td></tr>
</table>

<표 45-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="6">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 45-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토45		
	위경도	시점 : 36° 02′17.0″ 128° 49′12.0″ 종점 : 36° 02′33.0″ 128° 49′36.0″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 11월 25일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	180m	최대높이	32.0m
	경사	45°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	3개소
	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
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~3.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	□식생공 □옹벽 □격자블럭 ■점검로(양호)		■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타
조사자 소견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	□A ■B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	-	조치	□응급 ■미응급
	기타			

45.3.2 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 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 상주영천고속도로 69.078~69.258㎞에 위치하고 있으며, 길이는 180m, 높이 32.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 45-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{32.0}=0.09$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 114.3~126.3㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{32.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 180m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우
2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우
3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우
4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우
5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준에 의해, 1개 구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 45-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	69.078~69.258	180m

45.3.3 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 -10~20°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 45-12> 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, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 45-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	국지적 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 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 45-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	88/272	35/358	70/020
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	MW	MW	MW
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 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 45-15> 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 소단 배수로 및 산마루 측구가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 일부구간 균열이 발생되었으나, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 45-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	5 / 10.0	건조수축, 온도변화	
	산마루 측구	균열	m	1 / 1.5	건조수축, 온도변화	

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 45-17> 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 45-18> 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 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 45-19> 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 45-20> 인장균열 조사 결과

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

45.3.4 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 총 3개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 45-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
69.158k	56.8	126.3	경암	
69.167k	55.6	119.4	경암	
69.185k	54.6	114.3	경암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 54.6~56.8로 측정되었으며, 추정강도 114.3~126.3MPa로 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 45-22> 표면보호공 조사 결과

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



식생공 전경



낙석방지망 전경

라. 사면보강공

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

<표 45-23> 사면보강공 조사 결과

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

45.4 안전성능평가

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

45.4.1 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 0.09로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 45-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{32.0}=0.09$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 114.3~126.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{32.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

본 사면은 연장 180m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 45-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	69.078~69.258㎞	180m	암반사면	Set1, Set2, Set3

<표 45-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 45-27> 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 45-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	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 45-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

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

<표 45-30> 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	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	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 45-31> 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 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 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 45-32> 지하수 평가 결과(1구간)

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

<표 45-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

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

<표 45-34> 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 45-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 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 45-36> 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/sec^2) (u, β는 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 45-37> 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 10~20°	c
	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 45-38> 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 45-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

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

<표 45-40> 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 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 45-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토45		
사면 종류	절토사면	구성재료	파쇄암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		7.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			14	
결함지수		0.14		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 45-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
180m	1구간	69.078~69.258k	a(0.14)	A	인장균열 없음
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

45.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

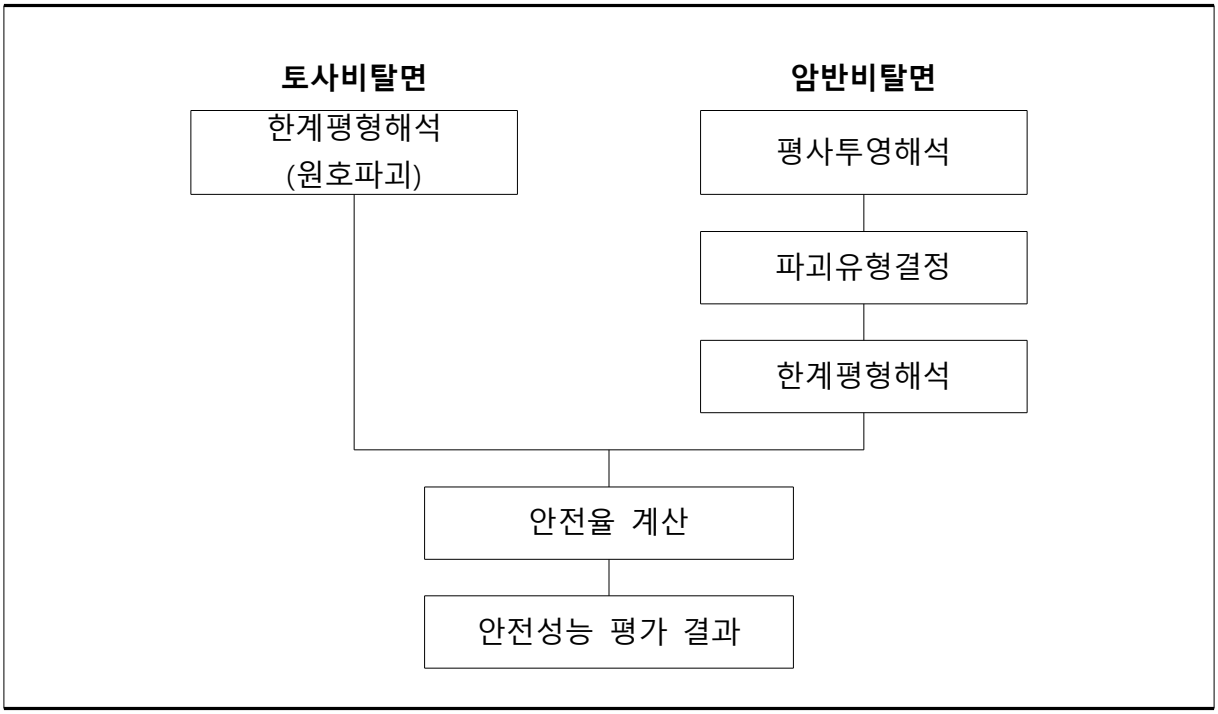
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 45-5> 구조안전성능 평가과정

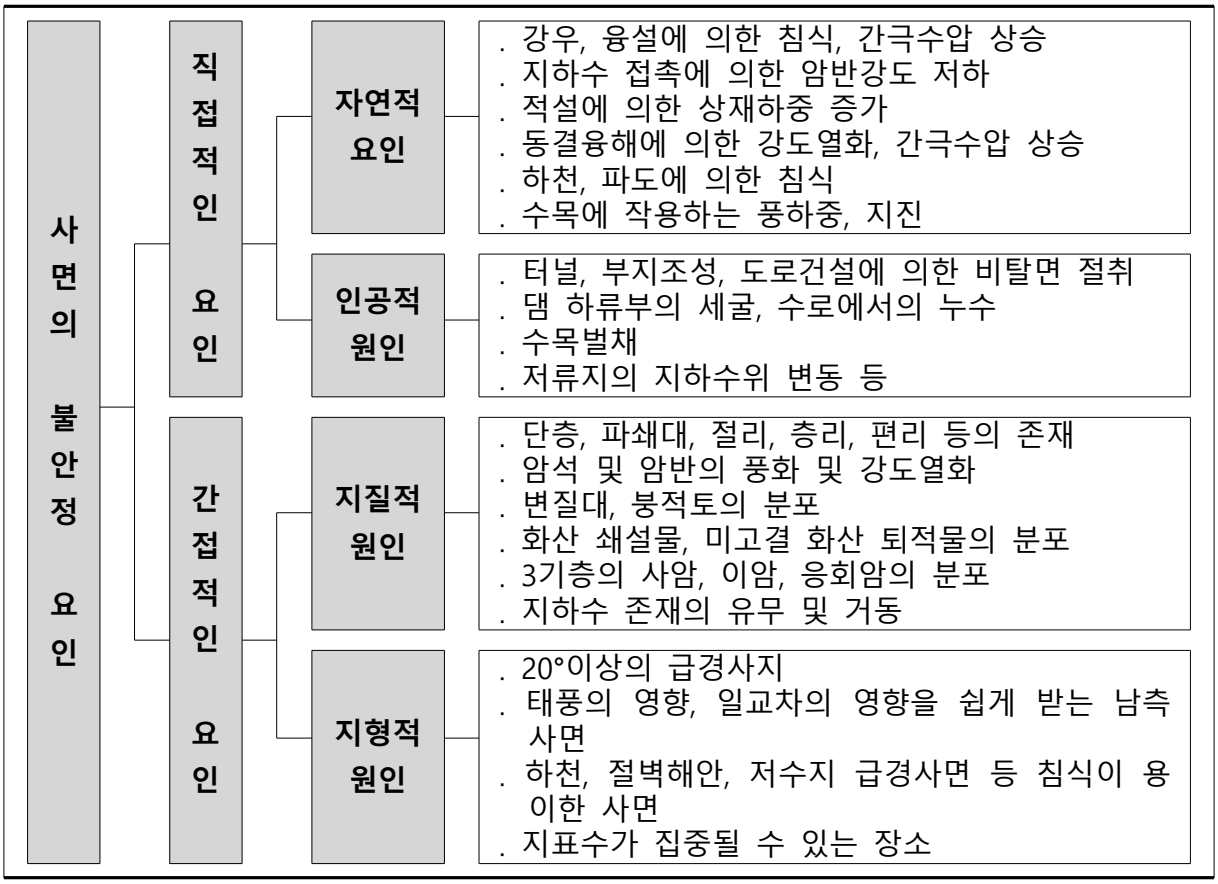
<표 45-43> 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영해석	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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

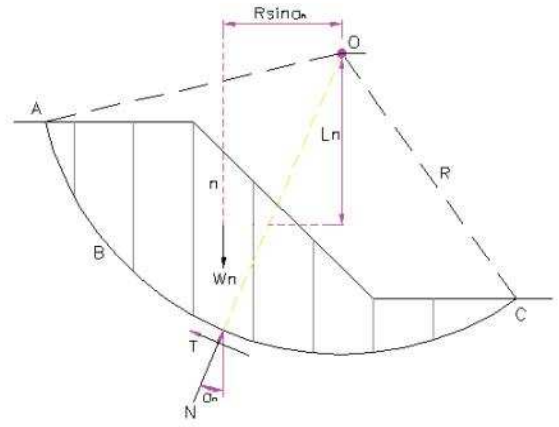


<그림 45-6> 구조안전성능 평가과정

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 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

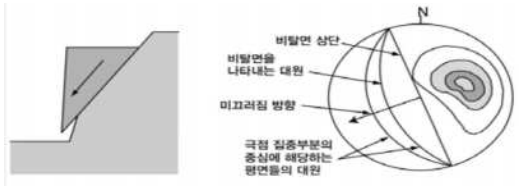
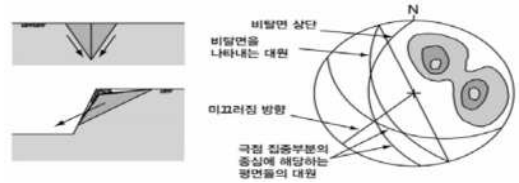
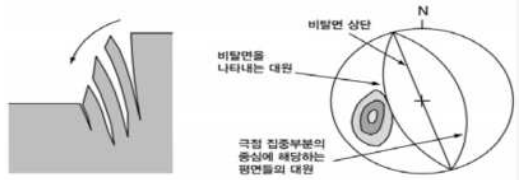
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 45-7> 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), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 45-44> 비탈면 안정성 분석방법

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

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 45-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

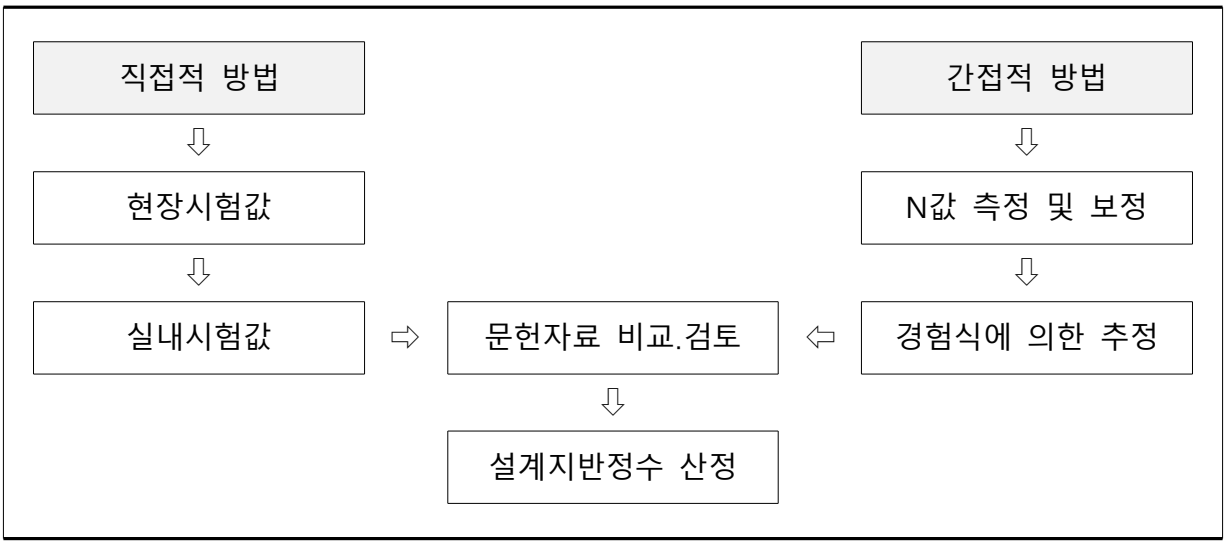
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 45-46> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	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 45-47> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	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
자연지반	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(손가갈으로 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 45-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	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 45-49> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

<표 45-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (8공구)	풍화(잔적)토	18	29	16	
	풍화암	20	30	30	
	경 암	26	35	1,500	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 45-51> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
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
견고한 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 45-52> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	27.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	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 45-53> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

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

◦ 경험식에 의한 방법

<표 45-54> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각($\varnothing$)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 45-55> Trueman (1988)

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

<표 45-56> 김교원 (1993)

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

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	18	29	16	0.3	
풍화암	20	30	30	0.3	
경 암	26	35	1,500	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 45-57> 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

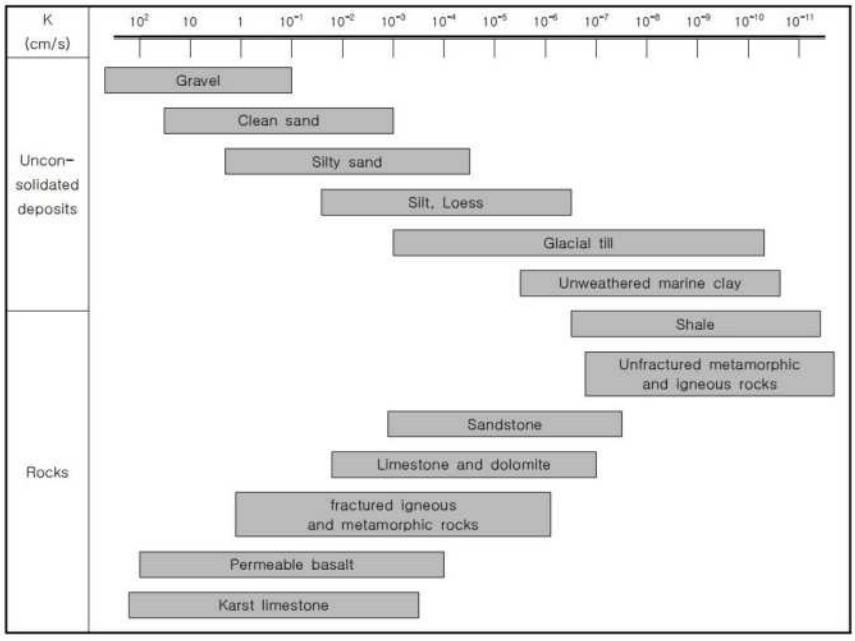
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 45-58> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/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 45-59> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/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 45-8> 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 45-60> 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, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 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

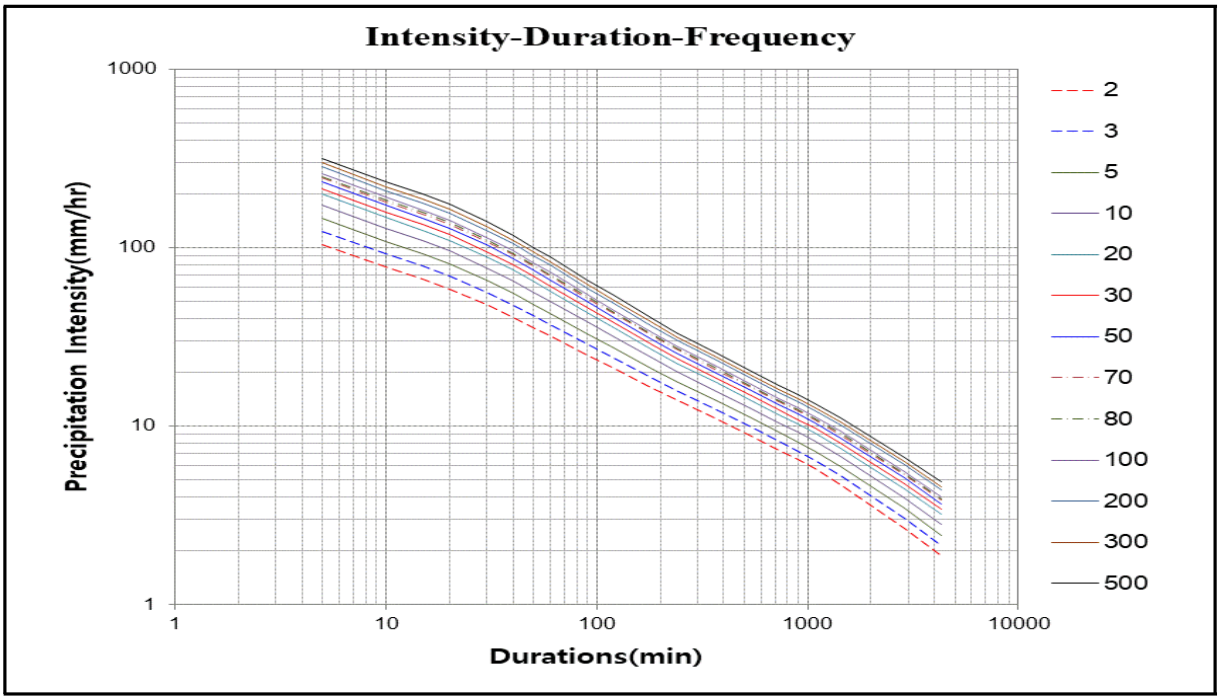
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역



<그림 45-9> 영천지역 IDF곡선

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

재현기간 (년)	지속기간(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(㎜/hr)

<그림 45-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 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 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 45-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 45-61> 설계지반운동 수준

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

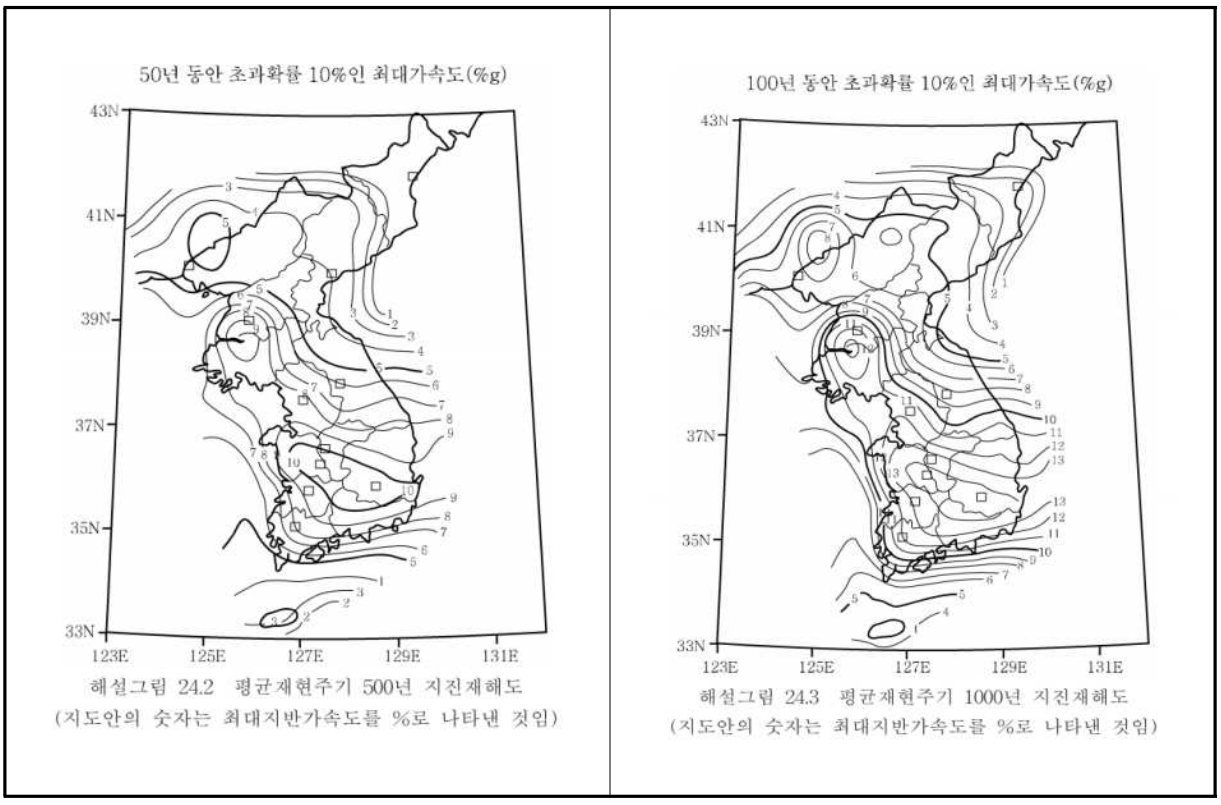
2) 설계지반운동

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 깍기비탈면의 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.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도 (지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 45-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 45-62> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	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 45-63> 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, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

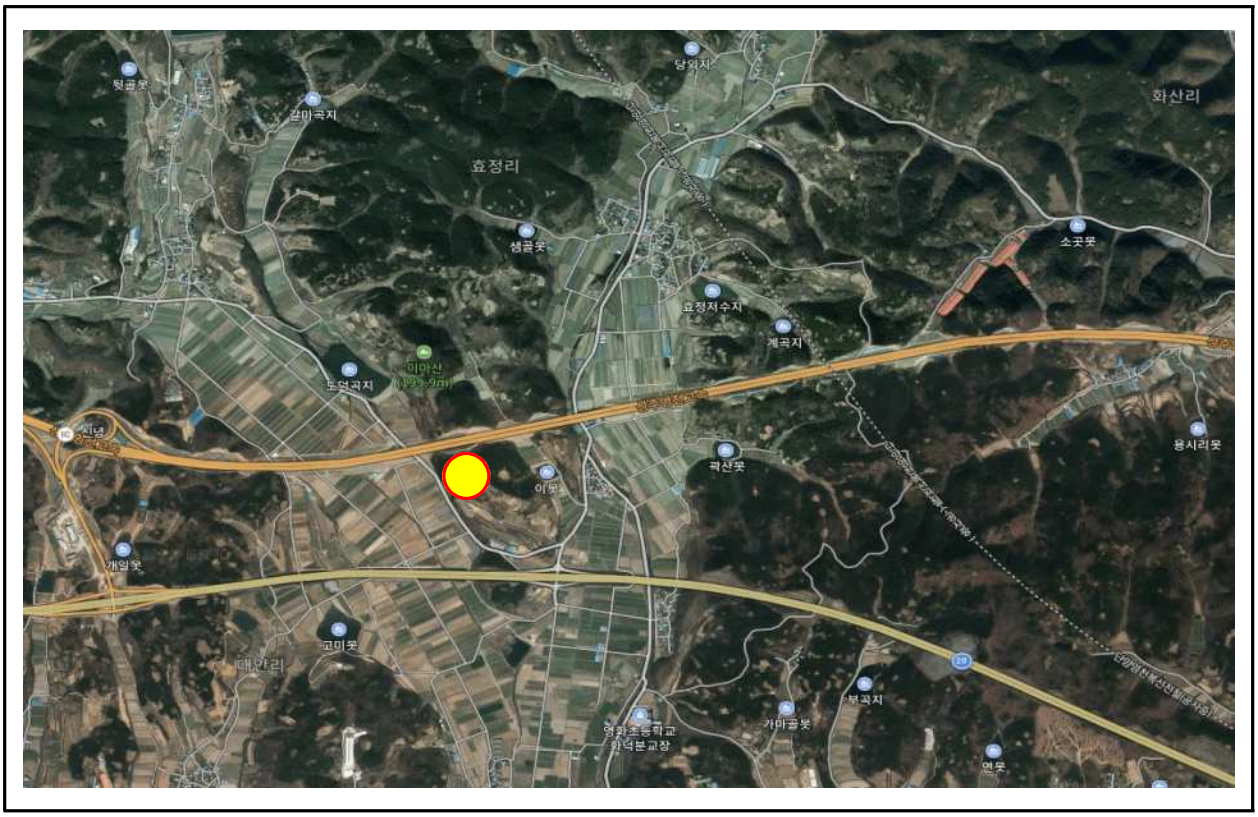
3) 지진가속도계수 선정

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 45-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

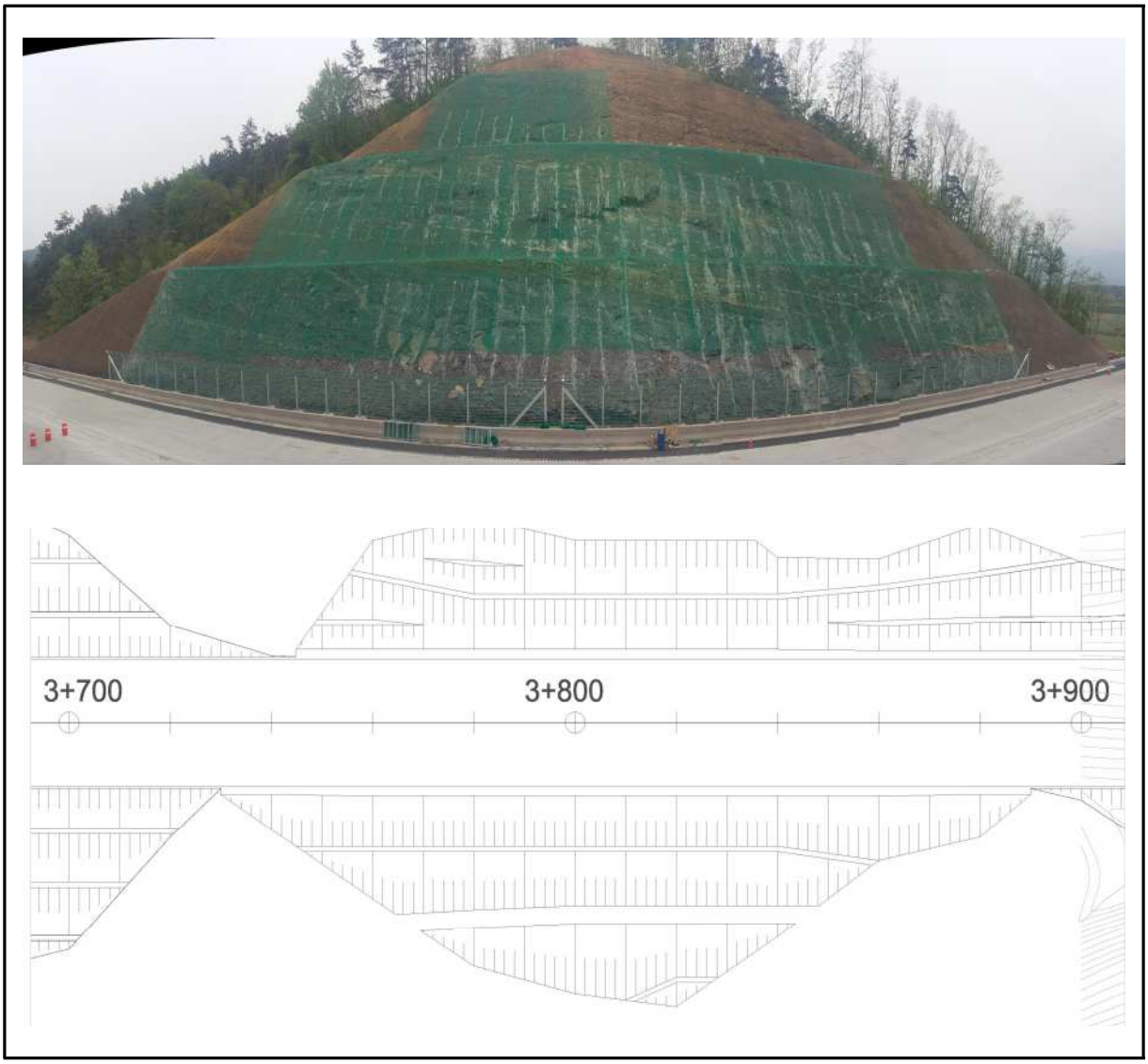
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토45	경상북도 영천시 화산면 효정리	69.078 ~ 69.258	STA.69+158	32.0	3.0	29.0	락볼트	2017	45/356



<그림 45-13> 영천절토45 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토45 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



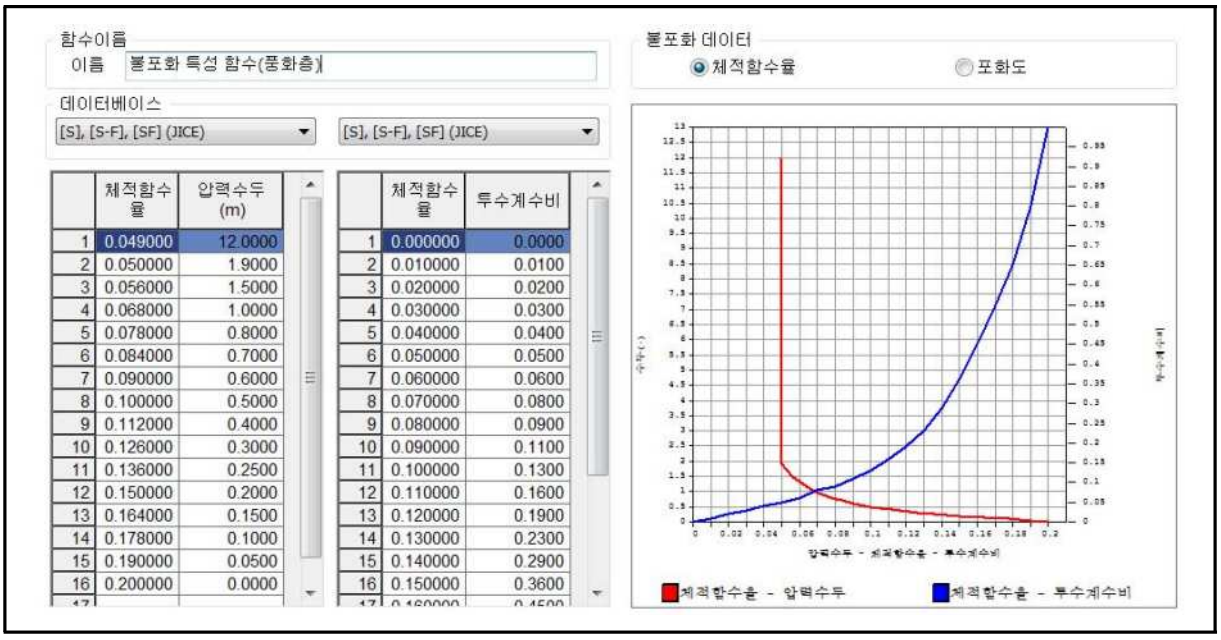
<그림 45-14> 영천절토45 검토대상 비탈면구간

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/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	29	16	1.0E-03	
풍화암	20	30	30	1.0E-04	
경암	26	35	1,500	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.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

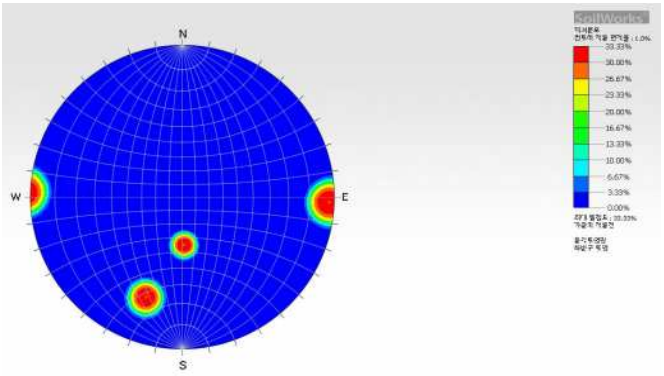
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 45-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

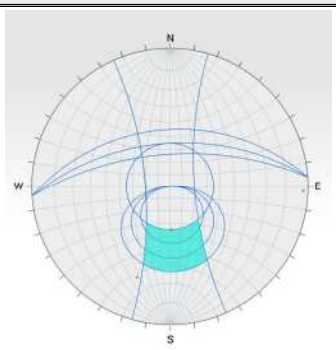
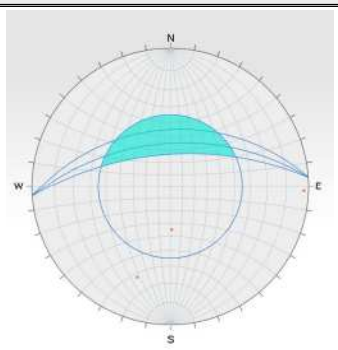
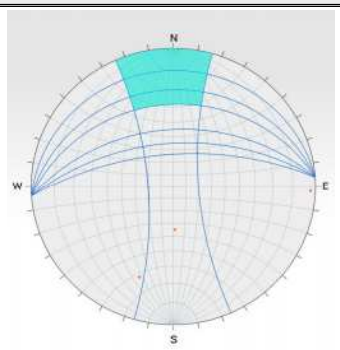
3) 1구간 (STA.69+078 ~ 69+258)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 88 35 70	dip direction 272 358 20

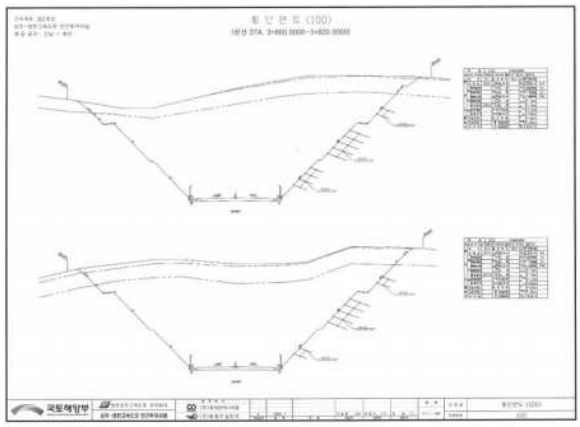
◦ 해석결과

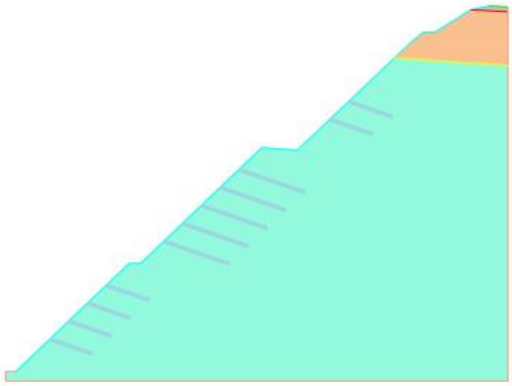
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

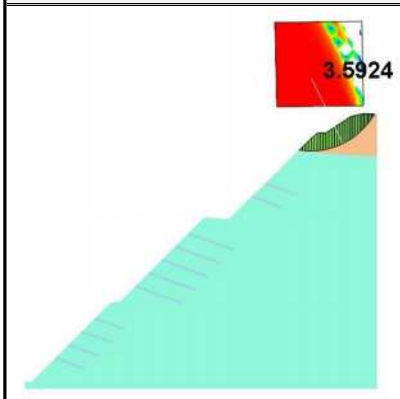
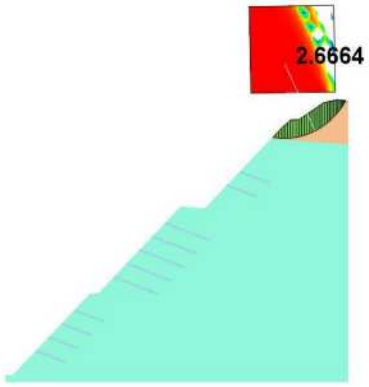
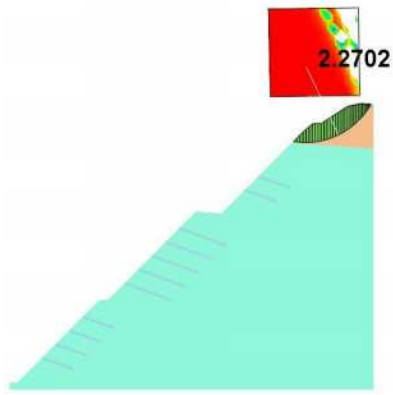
◦ 검토단면





대표단면 : STA.69+158, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.59	안전율 : 2.66	안전율 : 2.27

③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	
	우기시	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 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 45-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토45**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	3.59	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.66	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	2.27	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

45.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 45-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토45**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.140	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.140	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 45-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

45.5 내구성능 평가

45.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 45-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		파쇄암반사면	SR = 3/32 = 0.09
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 140.0MPa	추정
면적	전체	6,118㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	6,118㎡	
표면보호공	식 생	1,641㎡	
	낙석방지망	3,785㎡	
사면보강공	-	-	

45.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 45-69> 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

45.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 45-70> 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	96.0%이상 100%이하	97.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	96.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 96.0%미만	88.0%이상 97.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 96.0%미만	86.0%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 86.0%미만	76.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	76.0%미만	60.0%미만

<표 45-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
69.158km	126.3	-	초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
69.167km	119.4	-	
69.185km	114.3	-	
평균값	120.0	-	
등급	**A등급**		

<표 45-72> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (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 45-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	1,641/1,641㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0% 이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 45-74> 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	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
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 45-75> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3m 미만	1~3m 미만	1~3m 미만
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 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)	b(5)	b(5)
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 45-76> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

45.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 45-77> 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 45-78> 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	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.265
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 45-79> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

45.6 종합평가

45.6.1 종합평가 개요

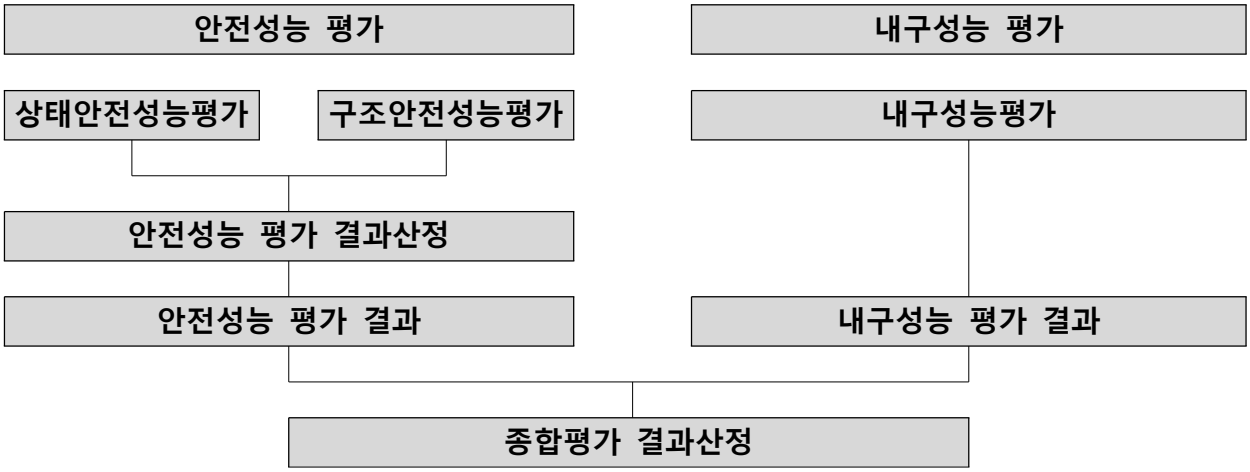
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 45-16> 종합평가 흐름도

45.6.2 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.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 45-80> 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 45-81> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토45		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.140	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.140 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.165 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

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

<표 45-82> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤ (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≤ (P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤ (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≤ (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≤ (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

45.7 유지관리 전략 제안

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

45.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

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

<표 45-83> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

45.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.165)"으로 평가되었다.

<표 45-84> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.140	0.265	0.165
평가결과	A	B	B

45.7.3 유지관리 전략 제안

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

가. 손상별 보수·보강 방안

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

<표 45-85> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
	산마루측구	측구 균열	균열보수	일부보수
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

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

45.8 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 및 산마루측구 균열이 조사되었다. 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급" 과 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.