상주영천고속도로 시설물 안전 · 하자점검 및 성능평가 용역

성 능 평 가 보 고 서

3 공 구 : 상주절토16, 영천절토17, 영천절토18, 영천절토19, 영천절토20, 영천절토21, 영천절토22, 영천절토23
4 공 구 : 상주절토24, 영천절토25, 영천절토26, 영천절토26
5 공 구 : 상주절토27, 영천절토28, 상주절토29, 상주절토30

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 Ⅱ편)

'20.12

상주영천고속도로(주)

제16장 상주절토16

16.1 대상 시설물 현황
16.2 관련 자료의 분석
16.3 현장조사
16.4 안전성능평가
16.5 내구성능평가
16.6 종합평가
16.7 유지관리전략 제안
16.8 종합결론

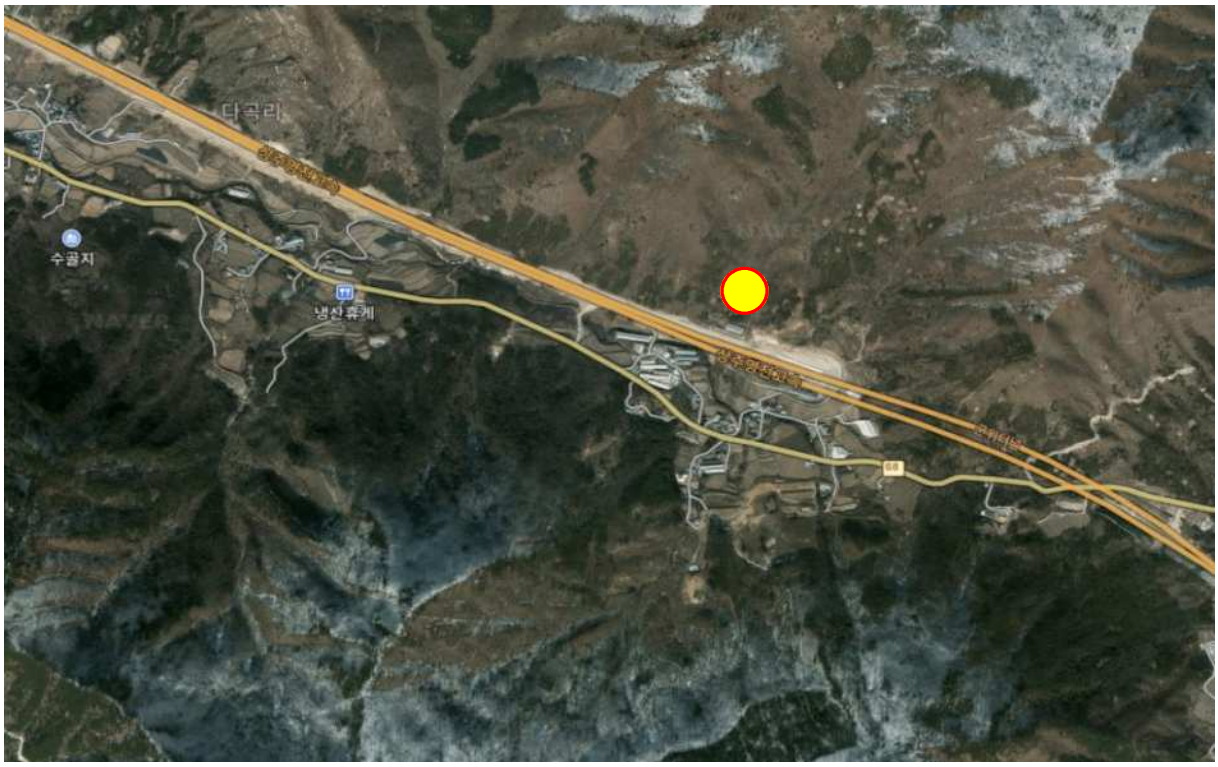
제16장 상주절토16

16.1 대상 시설물 현황

본시설물은 경상북도 구미시 도개면 다곡리(상주영천고속도로 21.194~22.054km)에 위치한 사면으로서 총 연장 860.0m, 높이 43.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 16-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000034		**관리번호**	SY SL16
시설물명	상주절토16		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 구미시 도개면 다곡리		
	위치좌표	시점 : 36° 16′24.7″ 128° 24′32.5″		
		종점 : 36° 16′15.3″ 128° 55′4.7″		
	관리이정	21.194~22.054km		
	공구이정	3공구 STA.5+180~6+040		
제 원	**연 장**	860m	**높 이**	43.0m
	경사/방향	45/200	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	30°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	㈜한화건설, ㈜삼호
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리		
비 고				

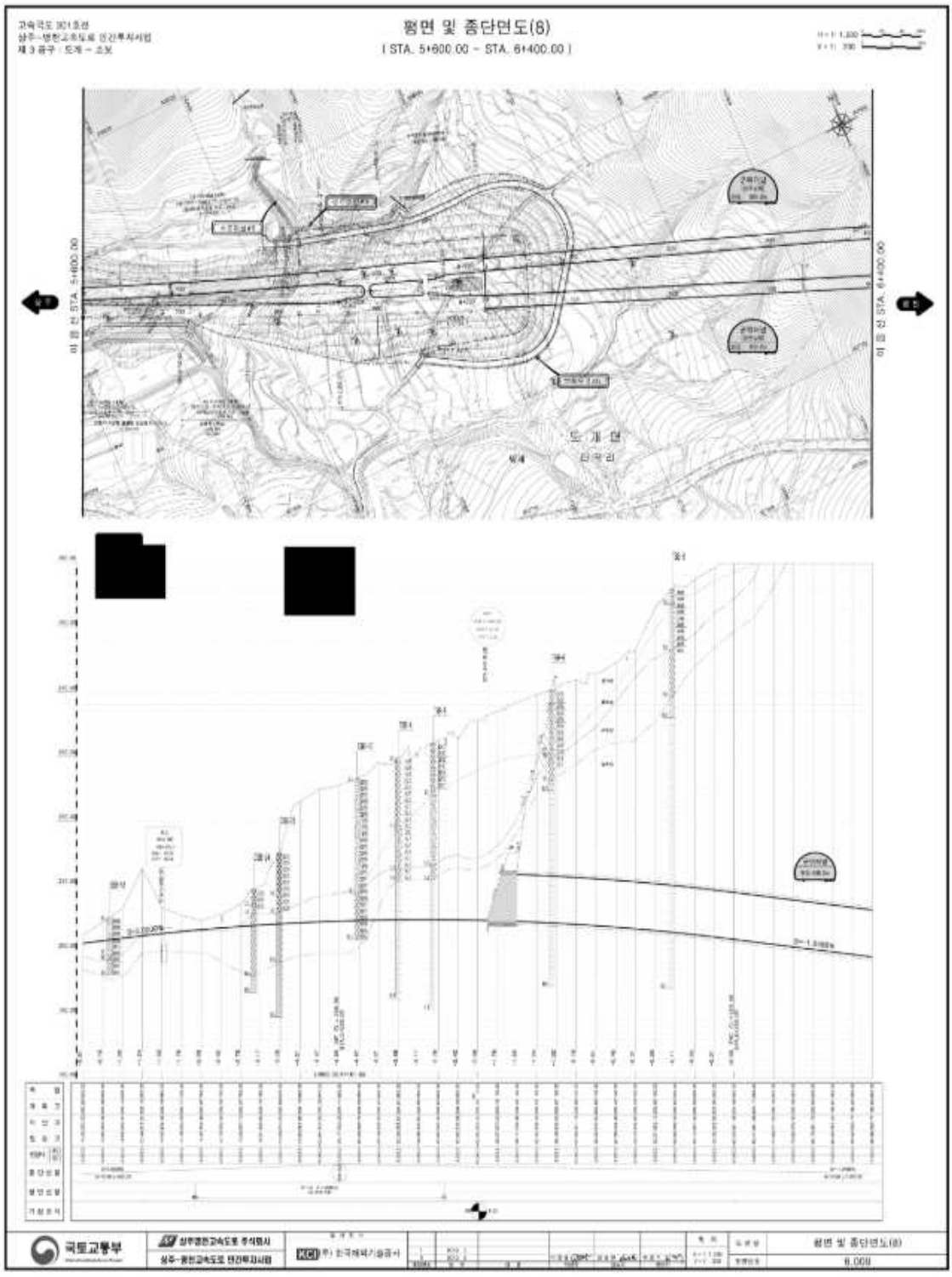


<그림 16-1>위치도

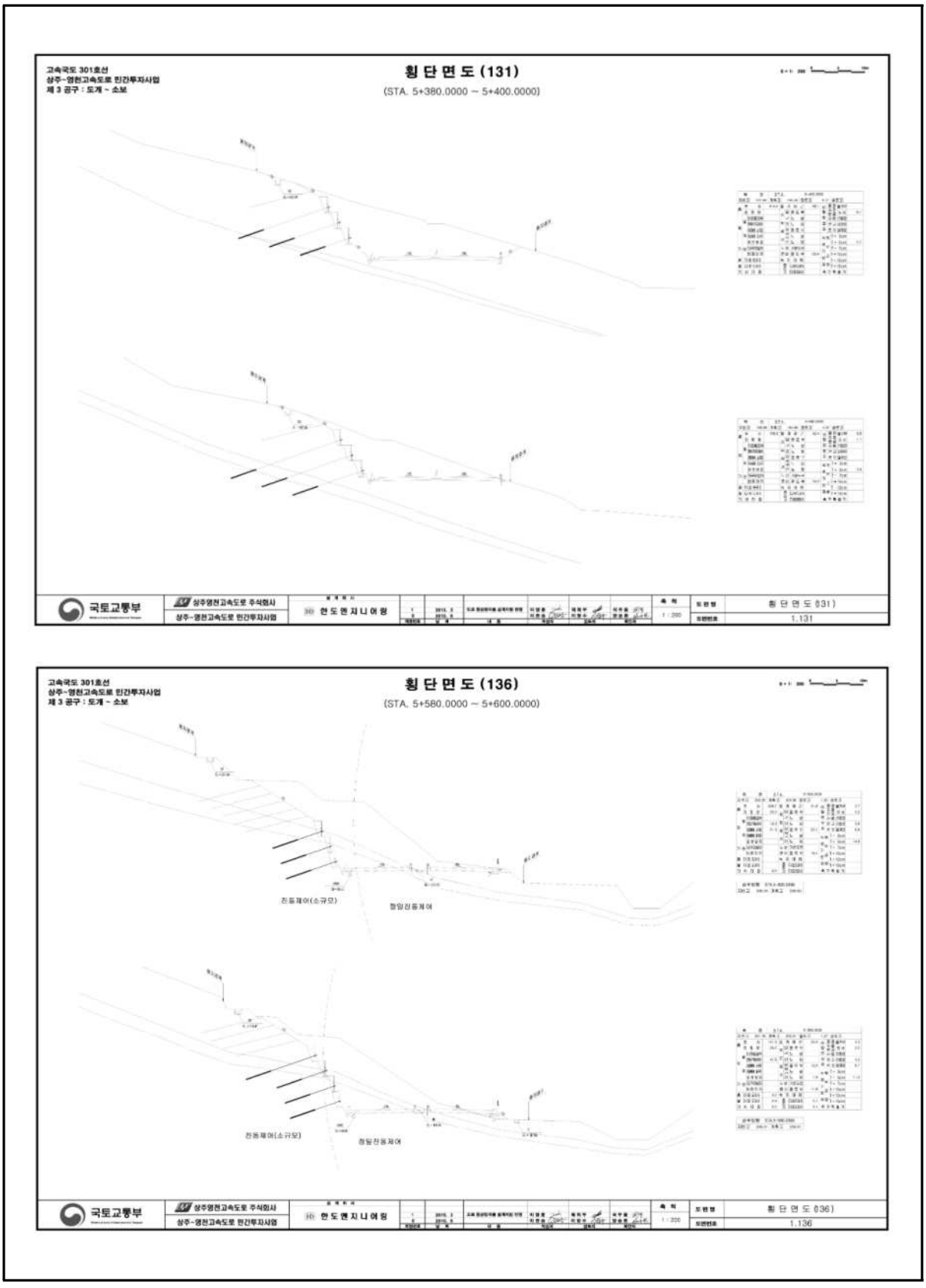
2019년 정밀안전점검

<그림 16-2> 전경사진

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>배후도로 전경</td><td>1소단 배수로 전경</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>점검계단 전경</td><td>점검계단 전경</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>하부 전경</td><td>사면내 옹벽 전경</td></tr>
</table>



<그림 16-3> 평면도



<그림 16-4>표준횡단면도

16.2 관련 자료의 분석

16.2.1 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 16-2> 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 3공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 3공구
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 3공구
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 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

16.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 3공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

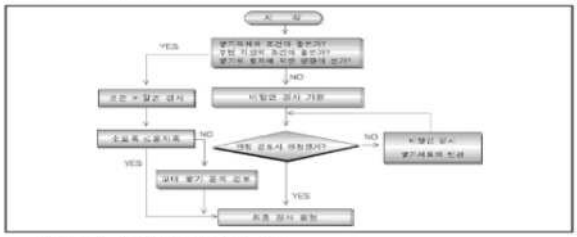
8.4 비탈면 설계기준

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

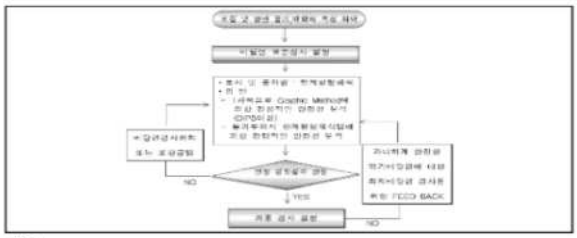
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 평기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 암기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



228

영천-상주 고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 암기 비탈면

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

따라서 암기비탈면 안정을 위한 기본기기준 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 일반층에서 층리나 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. 심도는 점심토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

230

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
	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%

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.

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

233

8.4.5 설계기준 선정

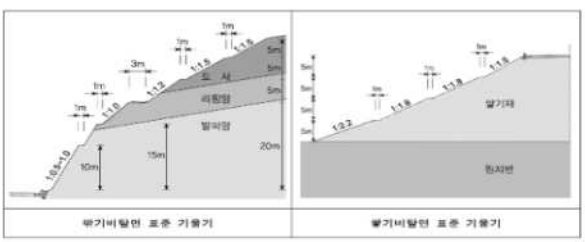
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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
암기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 암기기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 • 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) • 암기기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	
평기 비탈면	평 기 재	1 : 1.5~2.2	• 평기 높이 5m 마다 1m 소단설치



암기비탈면 표준 기울기 | 평기비탈면 표준 기울기

236

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 습곡 내지 조임질, 등림질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 선산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의)의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

51

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	원기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 무보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

52

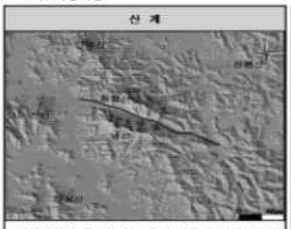
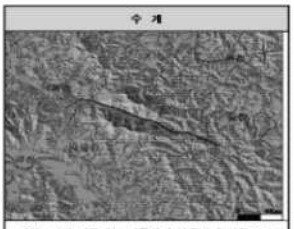
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡창천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
반경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
반경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 본국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 압축으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉽게 또는 층리되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 중립~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

53

상주-영천 고속도로 만간투자사업 실시설계

라. 지질 계통도

지질시대	층 명			특 성	비 고
제4기	충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
	~~ 부정합 ~~				
중생대 백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ad})			• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
	~~ 관입 ~~				
	화강암(K_{gr})			• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
	~~ 관입 ~~				
	유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하며 많음
	~~ 관입 및 분출 ~~				
	신동층군	낙동층 (ke1)	만경산층원 (Ke1-nml) 상부 (Ke1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
			만경산층원 (Ke1-nml) 하부 (Ke1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 탄질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 선암단층, 금천단층, 가음단층, 무보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 무보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

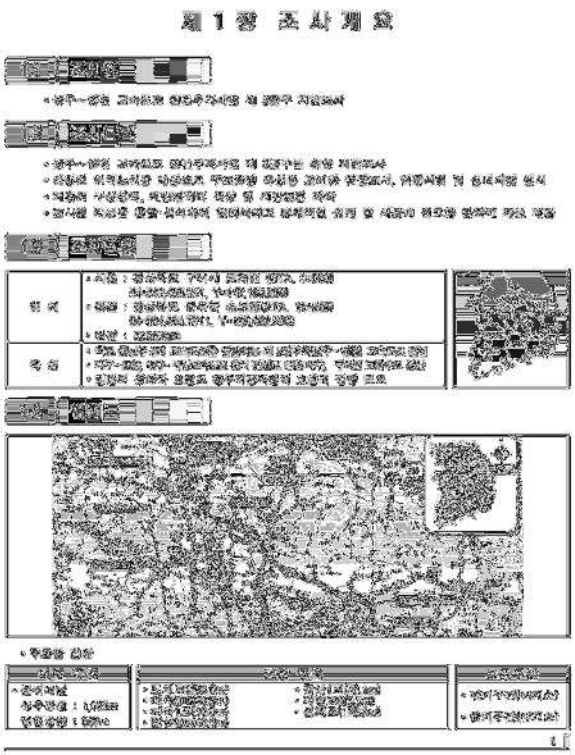
가. 인공위성영상 분석

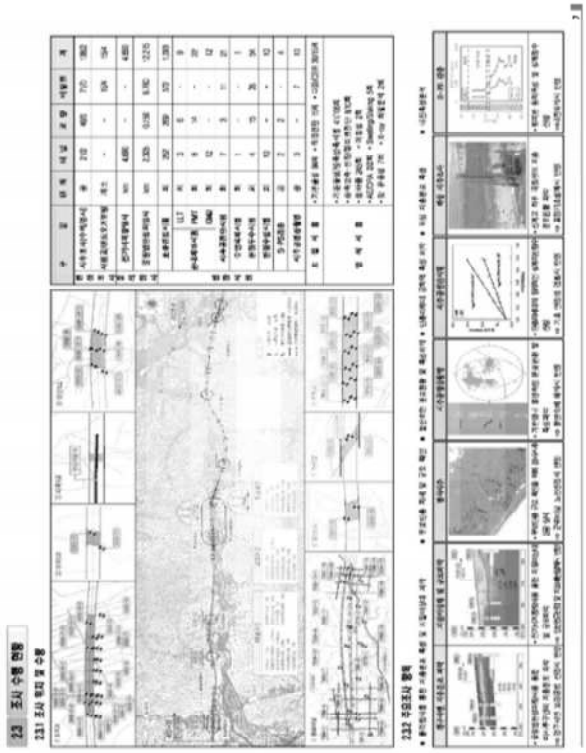
(1) 목 적
• 과업지역의 광역적인 지형 특성 파악 및 선형구조 발달 상태 파악
• 지형 및 지질특성(단층, 절리, 암맥 등의 선구조) 파악
• 과업구간에 대한 지질분포와 단층, 절리 등에 의한 광역적인 선구조 해석

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

54

3) 지반조사 보고서





제 7 장 비탈면구간 지반특성 분석 및 설계적용

7.1 개 요

7.1.1 기본방향

조 사 항 목	조 사 기 본 방 향
지층 현황 및 원지반 공학적 특성 분석	• 쉬기구간 지층분포 상태 및 공학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 비탈면 계획 수립 • 쌓기구간 연약지반 분포 유무 파악 및 토사층의 역학적 특성 파악
불연속면 분포 특성 파악	• 불연속면 특성(간격, 방향, JRC, JCS)을 파악하여 암반 비탈면 안정성 분석 및 보강대책 선정시 반영
쌓기재 특성 분석	• 쉬기 및 터널구간에서 발생되는 토사 및 암버력의 쌓기재 적합 여부 판단시 반영

7.1.2 조사위치 및 수량

조사항목 / 수량 및 조사목적		수 량	조 사 목 적
원 리 탐 사	굴절법탄성파탐사	9.760km	• 지층의 분포 현황 및 두께 파악
현 장 조 사 및 현 장 시 험	시추조사	71공	• 지층분포 및 특성 파악, 암종 및 단층확인
	시험굴조사	15개소	• 쌓기재 적정성 검토, 토공 계획
	웰드오거보링	4개소	• 쌓기구간의 토질상태 및 시료채취
	시추공전단시험	11회	• 풍화대층의 강도정수 파악
	현장투수시험	35회	• 토사층의 투수계수 파악
	시추공영상촬영	7공	• 불연속면 크기 및 방향성, 경사방향 및 경사각, 암반의 변화 및 공학적 특성 파악
실내토질시험		• 기본물성시험 77회, 직접전단시험 15회, 다짐/CBR시험 30/15회	
실내암석시험		• 점하중강도시험 38회, 물성시험/일축압축 12/12회, 절리면 전단시험 8회 Swelling/Slaking 5회, 본선암 유용성시험 5회	

192

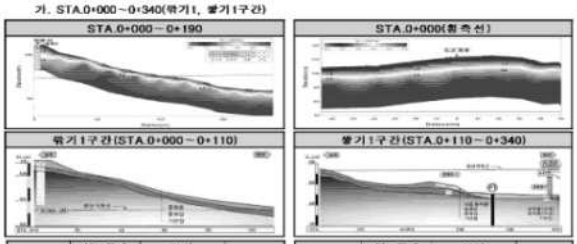
7.2 지층특성 분석

7.2.1 기본방향

• 지표지질조사, 시추조사, 탐사 결과를 각 교량구간에 분포하는 매립 · 풍적층, 퇴적층 및 풍화대층 분포현황 파악

7.2.3 분포 현황 파악

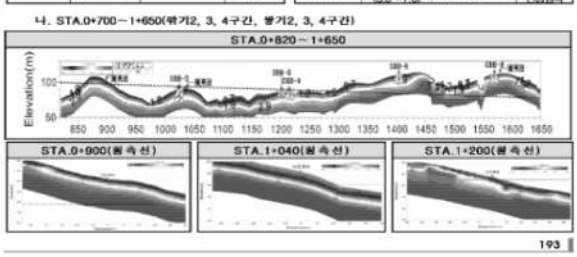
가. STA.0+000~0+340(쉬기1, 쌓기1구간)



지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토성/암종
풍화토	4.0~4.8 (0.0~0.2)	19/30~50/14	SM
풍화암	2.6~3.7 (4.0~5.0)	50/10~50/6	-
기반암	- (6.6~8.7)	146~1000~103	사암, 니질암

지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토성/암종
퇴적층	3.0 (0.0)	45/30~50/8	SM
풍화토	1.0 (3.0)	28/30	SM
풍화암	4.0~5.2 (3.0~4.0)	50/9~50/2	-
기반암	- (3.0~7.0)	69~974~48	사암, 셰일, 신생대역

나. STA.0+700~1+650(쉬기2, 3, 4구간, 쌓기2, 3, 4구간)



193

7.3 지반특성 분석

7.3.1 토질물성시험

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
위기부	CBB-3	1.0	풍화토	8.2	2.68	NP	-	100	93.1	44.8	24.6	-	SM
	CBB-4	2.0	풍화토	7.1	2.70	NP	-	56.4	41.0	28.4	16.4	-	GM
	CBB-5	1.0	풍화토	16.4	2.68	27.6	4.9	100	100	83.6	56.3	12.5	ML
	CBB-6	2.0	풍화토	11.0	2.65	NP	-	97.8	70.7	31.5	13.2	-	SM
	CBB-7	1.0	풍화토	12.0	2.66	NP	-	97.9	65.3	26.4	12.4	-	SM
	CBB-10	2.0	풍화토	11.5	2.65	NP	-	100	92.6	43.3	22.5	-	SM
	CBB-11	1.0	풍화토	9.8	2.68	NP	-	100	75.1	22.4	8.2	-	SW-SM
	CBB-12	2.0	붕적층	15.5	2.67	26.8	4.3	100	97.8	82.2	43.2	8.0	SM
	CBB-15	1.0	풍화토	12.2	2.69	NP	-	100	82.3	24.4	7.5	-	SW-SM
	CBB-16	1.0	풍화토	11.3	2.69	NP	-	98.0	84.2	29.2	10.0	-	SW-SM
	CBB-20	4.0	붕적층	17.6	2.70	32.4	10.4	96.7	96.2	91.1	71.9	17.5	CL
	CBB-21	5.0	붕적층	10.5	2.71	32.6	10.9	84.7	83.4	70.9	47.6	15.0	SC
	CBB-22	1.0	붕적층	14.6	2.69	30.2	9.7	90.2	87.6	79.7	61.9	17.0	CL
	CBB-23	4.0	붕적층	20.6	2.70	28.2	4.8	74.5	64.5	67.8	59.2	7.5	ML
	CBB-26	6.0	풍화토	15.1	2.67	NP	-	100	98.4	60.6	29.9	-	SM
	CBB-28	5.0	붕적층	11.9	2.69	NP	-	81.4	75.1	52.0	28.9	-	SM
	CBB-29	1.0	붕적층	13.0	2.71	NP	-	47.9	42.3	28.6	15.2	-	GM
	CBB-30	8.0	붕적층	13.3	2.69	28.1	5.1	100	96.6	67.2	43.4	8.0	SM
	CBB-31	1.0	붕적층	16.9	2.71	27.3	4.5	100	97.3	82.8	60.9	12.0	ML
	CBB-32	6.0	붕적층	11.3	2.67	NP	-	98.1	92.7	60.8	28.7	-	SM
	CBB-33	3.0	풍화토	10.8	2.69	NP	-	99.9	92.1	59.9	33.8	7.0	SM
	CBB-34	1.0	풍화토	9.6	2.67	NP	-	100	96.2	49.8	23.6	-	SM
	CBB-35	1.0	풍화토	3.7	2.68	NP	-	92.3	83.8	32.8	14.2	-	SM
	CBB-36	1.0	풍화토	12.8	2.68	NP	-	76.3	60.8	31.3	14.4	-	SM
	CBB-43	3.0	풍화토	16.9	2.70	NP	-	100	95.6	60.6	27.7	-	SM
	CBB-44	3.0	풍화토	9.7	2.71	NP	-	100	86.6	34.7	13.2	-	SM
	CBB-45	1.0	풍화토	8.6	2.68	NP	-	91.2	75.1	39.5	18.6	-	SM
	CBB-46	1.0	풍화토	5.6	2.67	NP	-	98.3	90.7	38.5	17.1	-	SM
	CBB-47	1.0	붕적층	13.6	2.71	26.8	4.2	100	98.9	76.1	41.6	7.5	SM
	CBB-49	4.0	풍화토	17.7	2.71	NP	-	100	98.4	58.6	28.6	-	SM
	CBB-50	1.0	붕적층	29.3	2.73	28.2	4.9	100	100	97.8	58.7	9.0	ML
	CBB-50	2.0	붕적층	13.1	2.68	NP	-	67.2	57.2	36.5	14.9	-	SM
상부기부	SBB-2	1.0	풍화토	7.9	2.67	NP	-	95.4	80.6	40.1	15.2	-	SM
	SBB-3	2.0	풍화토	13.3	2.66	NP	-	100	95.6	53.6	33.6	7.5	SM
	SBB-4	2.0	붕적층	19.0	2.68	31.5	9.2	97.0	90.1	69.5	51.8	14.5	CL
	SBB-5	2.0	붕적층	8.3	2.64	NP	-	38.1	28.7	13.5	5.9	-	GW-GM
	SBB-6	1.0	붕적층	10.3	2.68	NP	-	34.3	26.9	14.9	4.9	-	GP
	SBB-7	3.0	풍화토	13.1	2.66	NP	-	90.5	83.3	51.2	26.2	-	SM
	SBB-8	4.0	풍화토	22.0	2.68	NP	-	99.2	95.0	51.7	28.3	-	SM
	SBB-10	1.0	풍화토	16.8	2.65	NP	-	100	89.8	62.7	39.2	7.5	SM
	SBB-11	3.0	퇴적층	14.1	2.64	NP	-	98.0	85.1	47.1	24.4	-	SM
	SBB-12	1.0	붕적층	13.5	2.64	NP	-	98.8	87.2	49.0	23.2	-	SM
	SBB-13	1.0	붕적층	12.3	2.67	27.1	4.9	100	100	87.4	58.8	14.0	ML
	SBB-15	2.0	붕적층	16.9	2.68	28.5	6.0	100	99.0	86.9	62.9	15.0	ML
	SBB-16	1.0	붕적층	5.4	2.67	NP	-	39.1	31.4	19.4	7.6	-	GW-GM

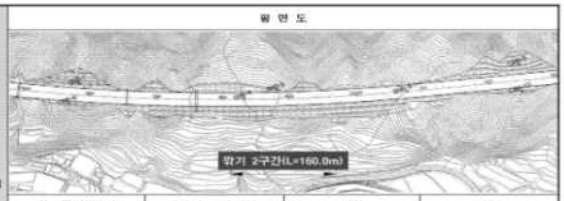
7.5.3 구조구 분류 결과

구 분	구조구 1	구조구 2	구조구 3		구조구 4		구조구 5	
			3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
암 상	Ke1-nlm	Kgr	Ke1-num		Ke1-nlm		Ke1-num	
BIPS	9CBB-18 9CBB-20	CBB-5 CBB-9 CBB-11 CBB-19 (SBB-12)	CBB-21	TBB-3	TBB-15	CBB-36	CBB-43	CBB-52
스테레온	S-13 118	L-13	-	-	-	L-12	HO3	111-1 S-12
STA.	1+319	4+597	5+453	6+430	7+688	8+980	10+140	
비 고	암상	암상	습곡축 및 구조물	암상	습리, 습곡축 및 단열	암상	단층, 습리 및 단열	

(2) 위기 2구간

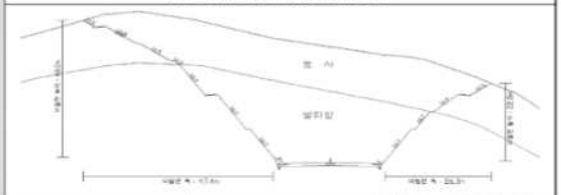
비탈면현황

평 면 도



검토구간(STA.)	0+810 ~ 0+970	연장	160m
지 반 특 성(상주방향)		지 반 특 성(영천방향)	
• 주불연속면 : J1:18/060, J2:75/194, J3:83/135, J4:81/277 • 비탈면 경사/경사방향 : 55° / 206°		• 주불연속면 : J1:18/060, J2:75/194, J3:83/135, J4:81/277 • 비탈면 경사/경사방향 : 55° / 026°	

암반 비탈면 대표횡단면(Station : 0+880)

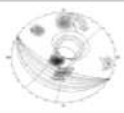
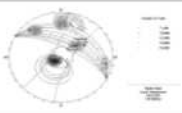
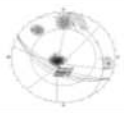
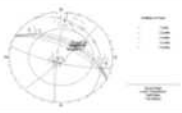


지반고 : 111.63m	계획고 : 77.53m	최대절취고 : 상주방향 : 40.0m 영천방향 : 22.8m

비탈면 안정성 검토

위기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

비고

- 암반층 평사투영 해석결과 영천방향 1:0.5~1:1.0기울기에서 전도파괴 가능성이 있음.
- 영천방향 암반비탈면 불연속면이 Toppling Zone에 위치하여 전도파괴 가능성이 있으므로 녹화공법, 낙석방지그물, 낙석방지옹타리층 적용하여 안정성 확보

16.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검을 5회, 정밀안전점검 1회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 16-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	배수구 균열 및 비탈면 식생기반재 노출, 절토부 옹벽 누수흔적 및 백태가 부분적으로 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	배수구 균열 및 비탈면 식생기반재 노출, 절토부 옹벽 누수흔적 및 백태가 부분적으로 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	소단배수로 균열 및 토사퇴적, 비탈면 식생기반재 노출, 절토부 옹벽 누수흔적 및 백태가 부분적으로 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	소단배수로 균열 및 토사퇴적, 체수, 비탈면 식생기반재 노출, 절토부 옹벽 누수흔적 및 백태가 부분적으로 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	사면 식생공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 2개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 소단배수로에 횡방향 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	소단배수로 일부구간에서 균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 건조수축 등에 의한 비구조적 손상으로 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전방지를 위한 조치가 필요하다. 특히 소단배수로에 발생된 종방향 균열의 경우 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다.	양호

16.2.4 보수·보강이력

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

<표 16-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

16.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 16-5> 내진 설계 적용 여부

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

16.2.6 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 16-6> 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

16.3 현장조사

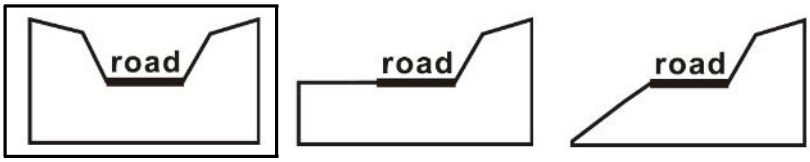
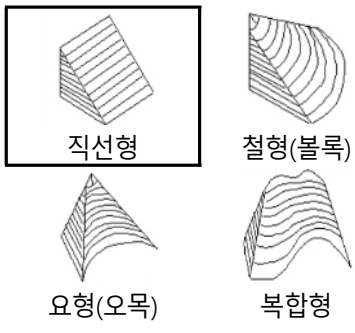
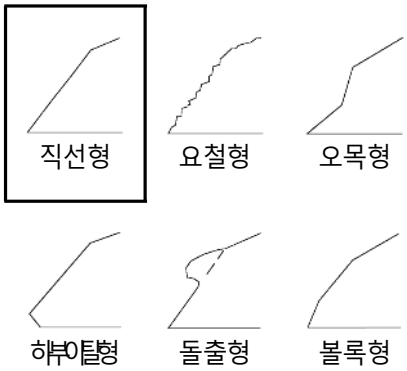
16.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 16-7> 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 구미시 도개면 다곡리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 16′24.7″ 128° 24′32.5″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 16′15.3″ 128° 55′4.7″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 860m</td><td colspan="2">높 이 : 43.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/200</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 : 8</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>식생현황</td><td colspan="2">21.194~22.054k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">21.924~22.054k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">21.194~21.634k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">21.914~22.054k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>사면내 옹벽</td><td colspan="2">21.360~21.750k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">21.974k</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 16-8> 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">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 rowspan="3">식 생</td><td>계곡부</td><td colspan="4">2개소</td></tr>
<tr><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></td><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 16-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토16		
	위경도	시점 : 36° 16′24.7″ 128° 24′32.5″ 종점 : 36° 16′15.3″ 128° 55′04.7″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 11월 25일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	860.0m	최대높이	43.0m
	경사	45°	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	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(일부불량) □낙석방지망 ■옹벽 ■낙석방지울타리(양호) □격자블럭 ■배수로(보통) ■점검로(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			

16.3.2 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 경상북도 구미시 도개면 다곡리(상주영천고속도로 21.194~22.054 km)에 위치하고 있으며, 길이는 860m, 높이 43.0m의 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 16-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{13.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	**파쇄 암반사면**
	압축강도	10㎫	조사불가 – 동일사면(3구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(3구간) 활용	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{13.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	**파쇄 암반사면**
	압축강도	10㎫	조사불가 – 동일사면(3구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(3구간) 활용	파쇄암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{20.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.4~108.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{20.0}=0.010$로 0.01이하	파쇄암반	
4구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{42.0}=0.12$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.4~108.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{42.0}=0.007$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 330m로써, 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, 4구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 16-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	21.194~21.464km	270m
2구간	21.464~21.654km	190m
3구간	21.654~21.834km	180m
4구간	21.834~22.054km	220m

16.3.3 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 2개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 16-12> 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 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

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

<표 16-13> 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 4개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였고, 1,2구간은 전구간 식생공 및 옹벽으로 불연속면 특성조사가 불가한 것으로 확인되었다.

<표 16-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	-	-	-
간격(m)	-	-	-
연장성(m)	-	-	-
틈새(mm)	-	-	-
거칠기	-	-	-
충진물질	-	-	-
풍화도	-	-	-
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

구 분	2구간		
	Set 4	2et 5	Set 6
방향성	-	-	-
간격(m)	-	-	-
연장성(m)	-	-	-
틈새(mm)	-	-	-
거칠기	-	-	-
충진물질	-	-	-
풍화도	-	-	-
비고	옹벽 및 식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

구 분	3구간		
	Set 7	Set 8	Set 9
방향성	23/080	17/045	22/121
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	-		

구 분	4구간		
	Set 10	Set 11	Set 12
방향성	25/090	22/112	21/087
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	-		

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 16-15> 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 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있으며, 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다. 다만, 일부구간 건조수축 및 온도변화에 의한 균열이 발생된 것으로 확인되었다.

<표 16-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	2EA / 4.0	건조수축, 온도변화	

소단배수로 상태양호

소단배수로 상태양호

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 16-17> 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 16-18> 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 16-19> 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 16-20> 인장균열 조사 결과

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

16.3.4 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 보통암인 것으로 판단된다.

<표 16-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
21.640km	49.1	89.7	보통암	
21.650km	53.1	107.1	보통암	
21.660km	52.3	103.4	보통암	
21.830km	50.8	96.8	보통암	
21.990km	49.8	92.4	보통암	
22.040km	53.3	108.2	보통암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 49.8~53.3로 측정되었으며, 추정강도 92.4~108.2㎫로 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 16-22> 표면보호공 조사 결과

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

식생공 전경

옹벽 전경

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과, 2구간에 전구간 옹벽이 확인되었다.

<표 16-23> 사면보강공 조사 결과

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

16.4 안전성능평가

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

16.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

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

<표 16-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{13.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	조사불가 – 동일사면(3구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(3구간) 활용	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{13.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	조사불가 – 동일사면(3구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(3구간) 활용	파쇄암반	
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{20.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.4~108.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{20.0}=0.010$로 0.01이하	파쇄암반	
4구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{42.0}=0.12$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.4~108.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{42.0}=0.007$로 0.01이하	파쇄암반	

본 사면은 연장 830m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 4구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~12으로 표기하였다.

<표 16-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	21.194~21.464km	270m	암반사면	-
2구간	21.464~21.654km	190m	암반사면	-
3구간	21.654~21.834km	180m	암반사면	Set7, Set8, Set9
4구간	21.834~22.054km	220m	암반사면	Set10, Set11, Set12

<표 16-26> 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 16-27> 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 16-28> 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 16-29> 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 = (0+0+0+0+0+0) / 6 = 0	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 16-30> 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	-	-
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	-	-
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	-	-
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	-	-
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	-	-
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	-	-

<표 16-31> 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 16-32> 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 16-33> 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 16-34> 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 16-35> 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 16-36> 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 16-37> 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 30°	e
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

다. 1구간 인장균열 평가 결과

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

<표 16-38> 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 16-39> 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 16-40> 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 16-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토16		
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		0	0	-
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 16-42> 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 16-43> 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 16-44> 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 = (0+0+0+0+0+0) / 6 = 0	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 16-45> 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	-	-
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	-	-
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	-	-
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	-	-
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	-	-
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	-	-

<표 16-46> 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 16-47> 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 16-48> 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 16-49> 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 16-50> 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 16-51> 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), □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 16-52> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

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

바. 2구간 인장균열 평가 결과

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

<표 16-53> 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 16-54> 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 16-54> 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 16-55> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		상주절토16		
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		0	0	-
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**		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 16-56> 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	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 16-57> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

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 16-58> 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+10+5+10+10) / 6 = 7.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 16-59> 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	1.0m이상 3.0m미만	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 16-60> 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 16-61> 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 16-62> 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 16-63> 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 16-64> 낙석 발생 규모 평가기준(3구간)

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 16-65> 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 16-66> 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 30°	e
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

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 16-67> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)

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.

카. 3구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 16-68> 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 16-69> 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 B등급으로 평가되었다.

<표 16-70> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		상주절토16		
사면 종류	절토사면	구성재료		파쇄암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	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			15	
결함지수		0.15		
상태안전성능평가 결과		B		

타. 4구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 16-71> 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	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 16-72> 불안정 지질 평가 결과(4구간)

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 16-73> 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+10+10) / 6 = 7.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 16-74> 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	1.0m이상 3.0m미만	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 16-75> 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 16-76> 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 16-77> 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 16-78> 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 16-79> 낙석 발생 규모 평가기준(4구간)

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 16-80> 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), □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 16-81> 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 30°	e
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

파. 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 16-82> 인장균열 결함점수 산정 결과(4구간)

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.

하. 4구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 16-83> 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 16-84> 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 B등급으로 평가되었다.

<표 16-85> 상태안전성능평가 결과(4구간)

시설물명		상주절토16		
사면 종류	절토사면	구성재료		파쇄암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	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			15	
결함지수		0.15		
상태안전성능평가 결과		**B**		

갸. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 16-86> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
860.0m	1구간	21.194~21.464km	a(0.08)	b	인장균열 없음
	2구간	21.464~21.654km	a(0.08)		
	3구간	21.654~21.834km	b(0.15)		
	4구간	21.834~22.054km	b(0.15)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

16.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

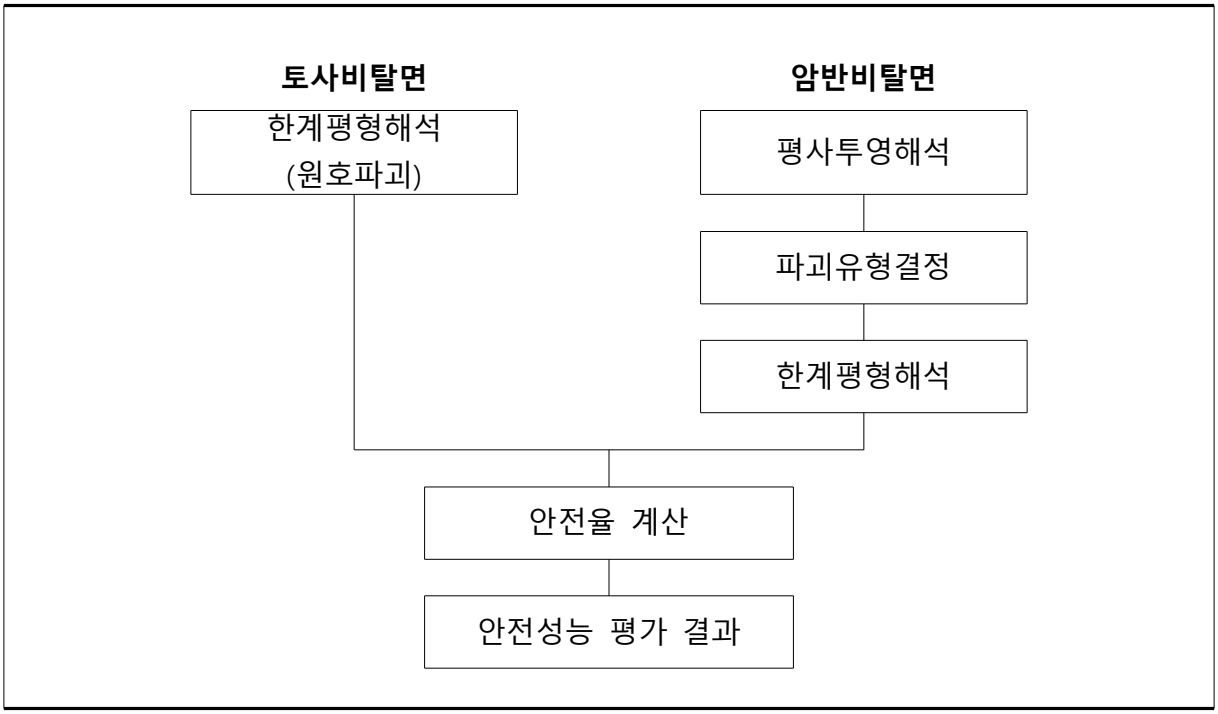
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 16-5> 구조안전성능 평가과정

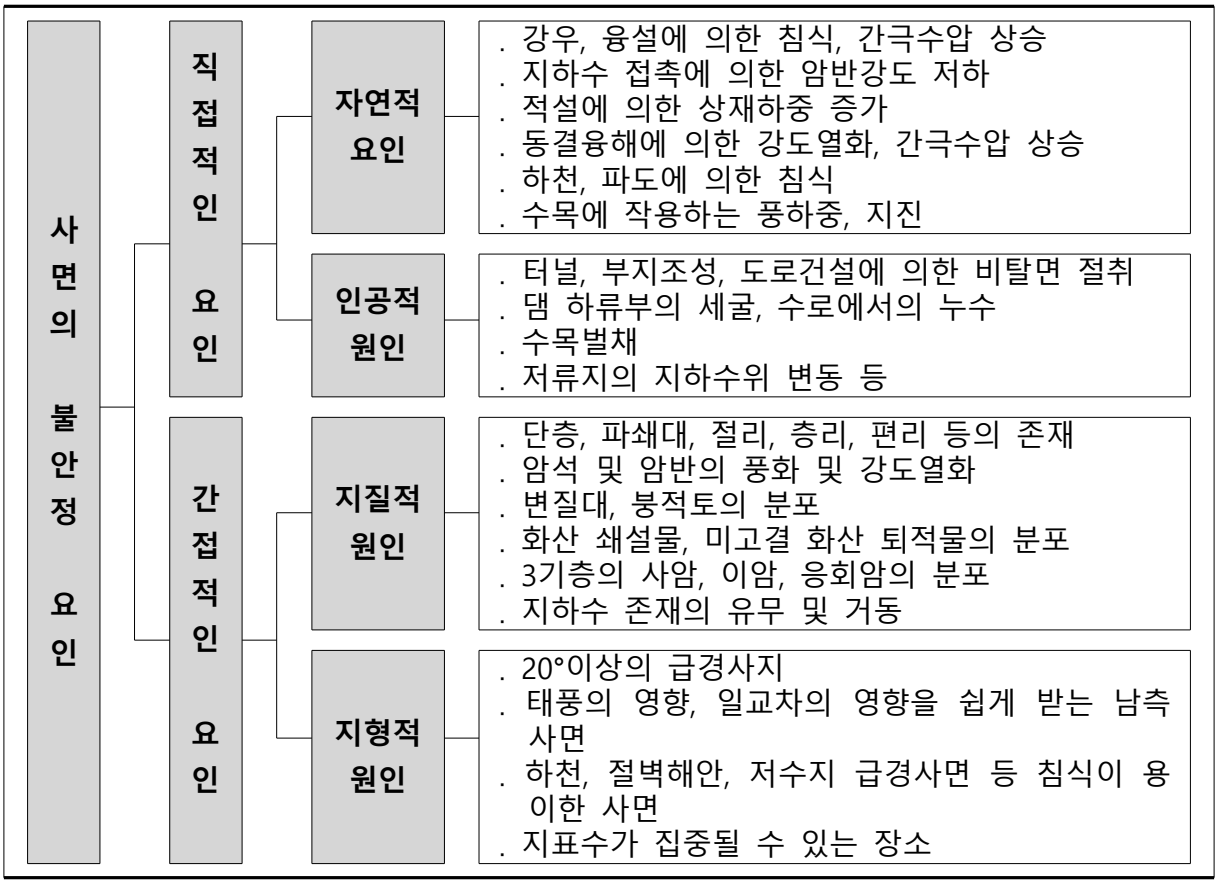
<표 16-87> 유형별 안정해석 범위

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

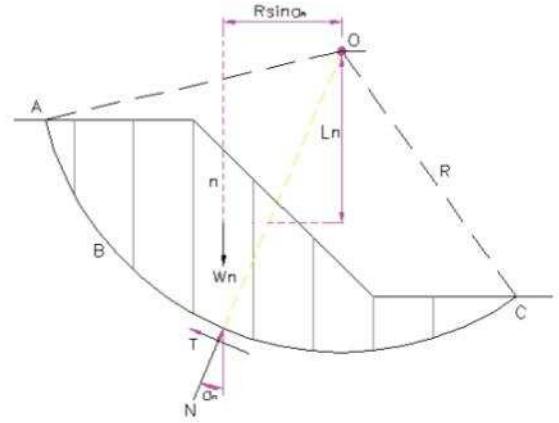


<그림 16-6> 구조안전성능 평가과정

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

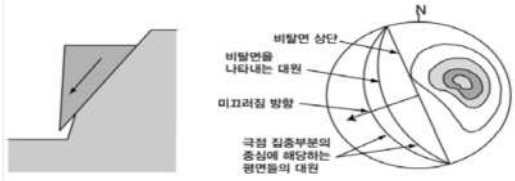
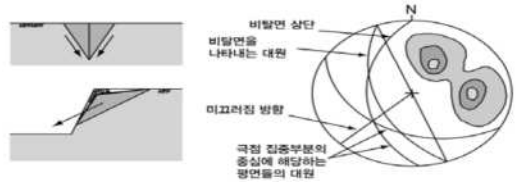
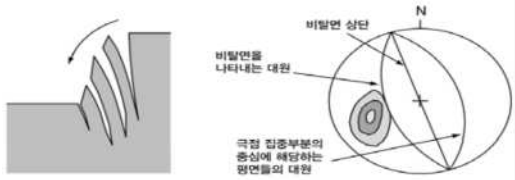
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 16-7> 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 16-88> 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 16-89> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

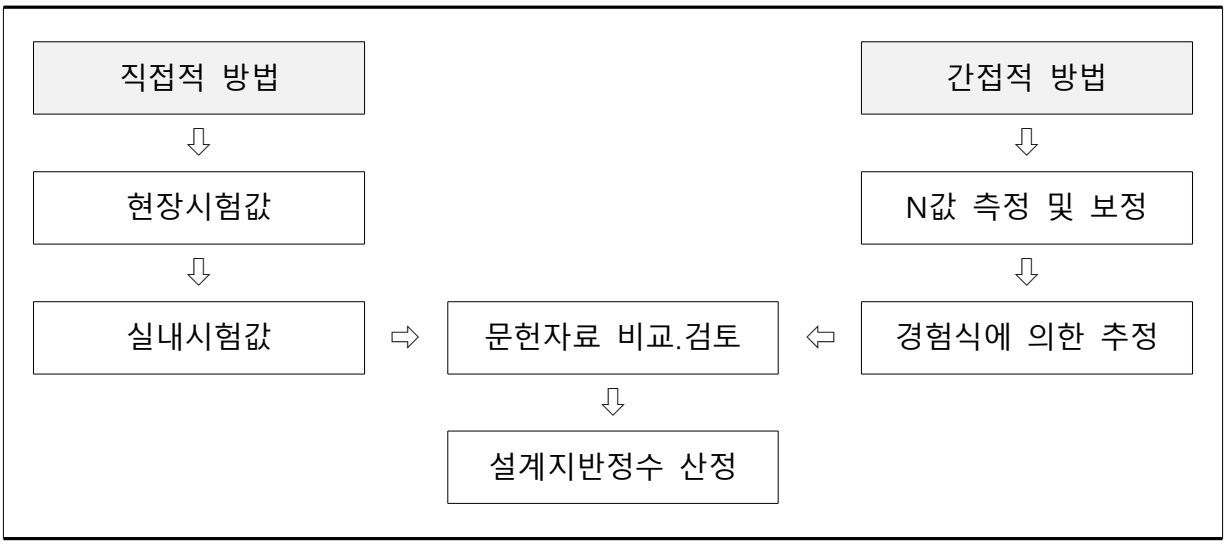
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 16-90> 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 16-91> 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 16-92> 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 16-93> 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 16-94> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (3공구)	풍화(잔적)토	18.5	27	20	
	풍화암	19.5	29	35	
	기반암	25.0	35	230	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 16-95> 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 16-96> 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	24.3~25.6
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 16-97> 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 16-98> 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 16-99> Trueman (1988)

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

<표 16-100> 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	18.5	27	20	0.3	
풍화암	19.5	29	35	0.3	
연 암	25.0	35	230	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 16-101> 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

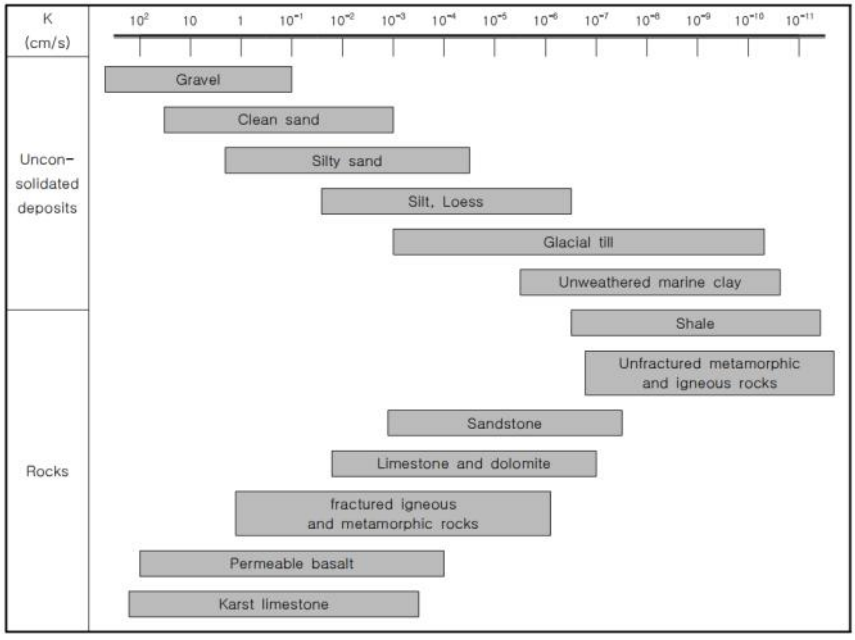
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 16-102> 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 16-103> 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 16-8> 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 16-104> 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

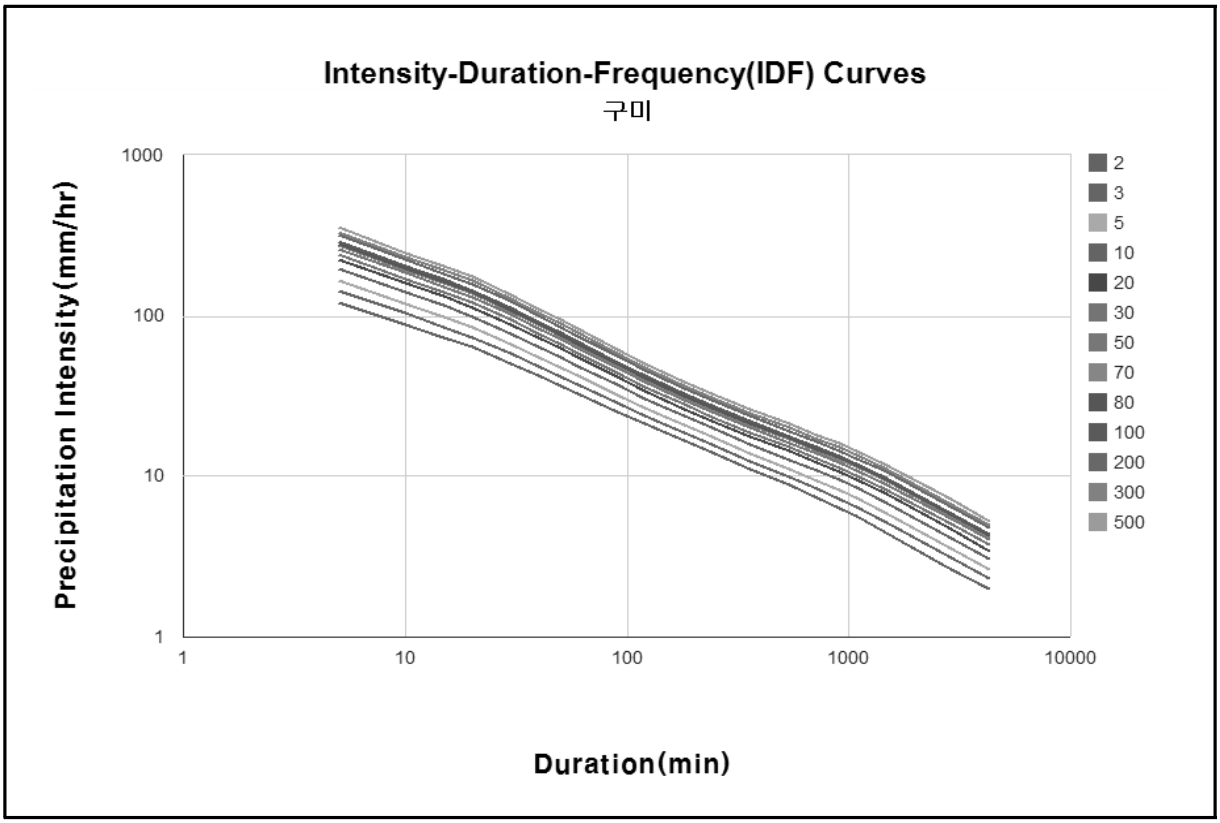
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 구미지역



<그림 16-9> 구미지역 IDF곡선

구미(Precipitation Frequency Estimates, IDF)

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

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 16-10> 구미지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 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 16-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 16-105> 설계지반운동 수준

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

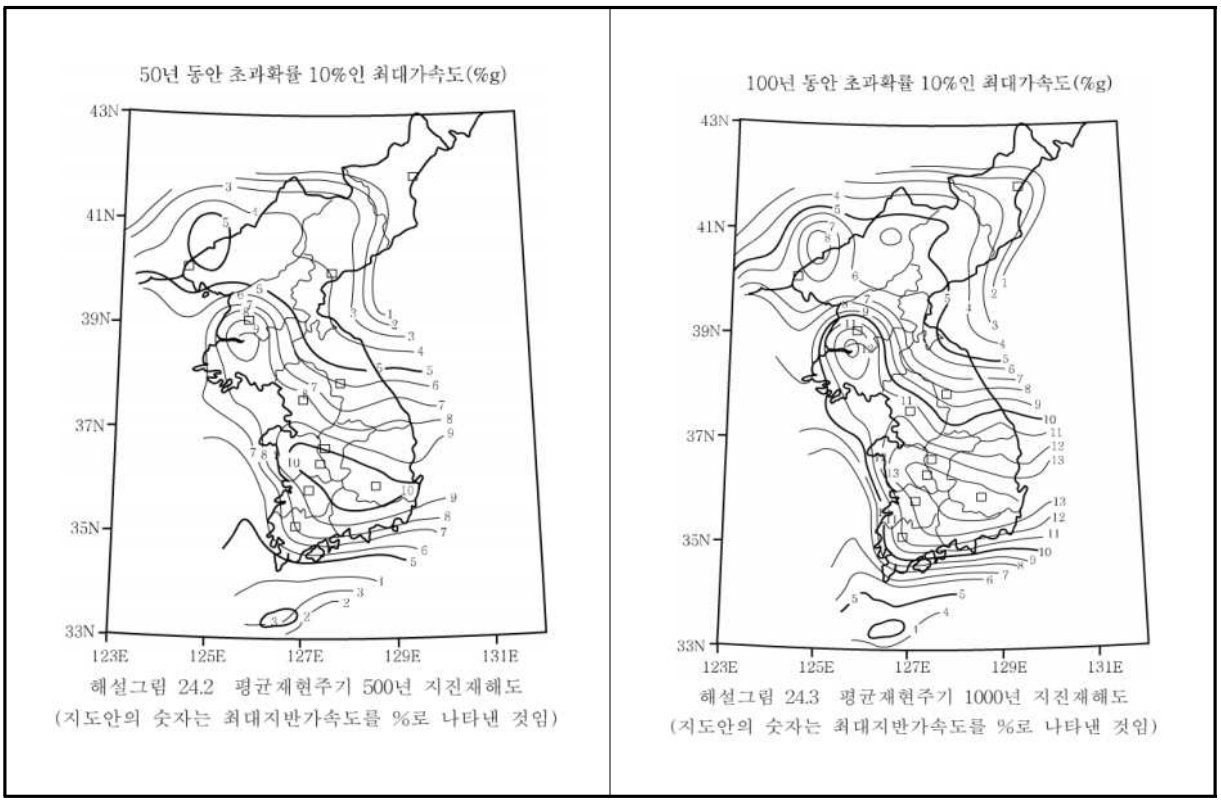
2) 설계지반운동

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 16-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 16-106> 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 16-107> 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

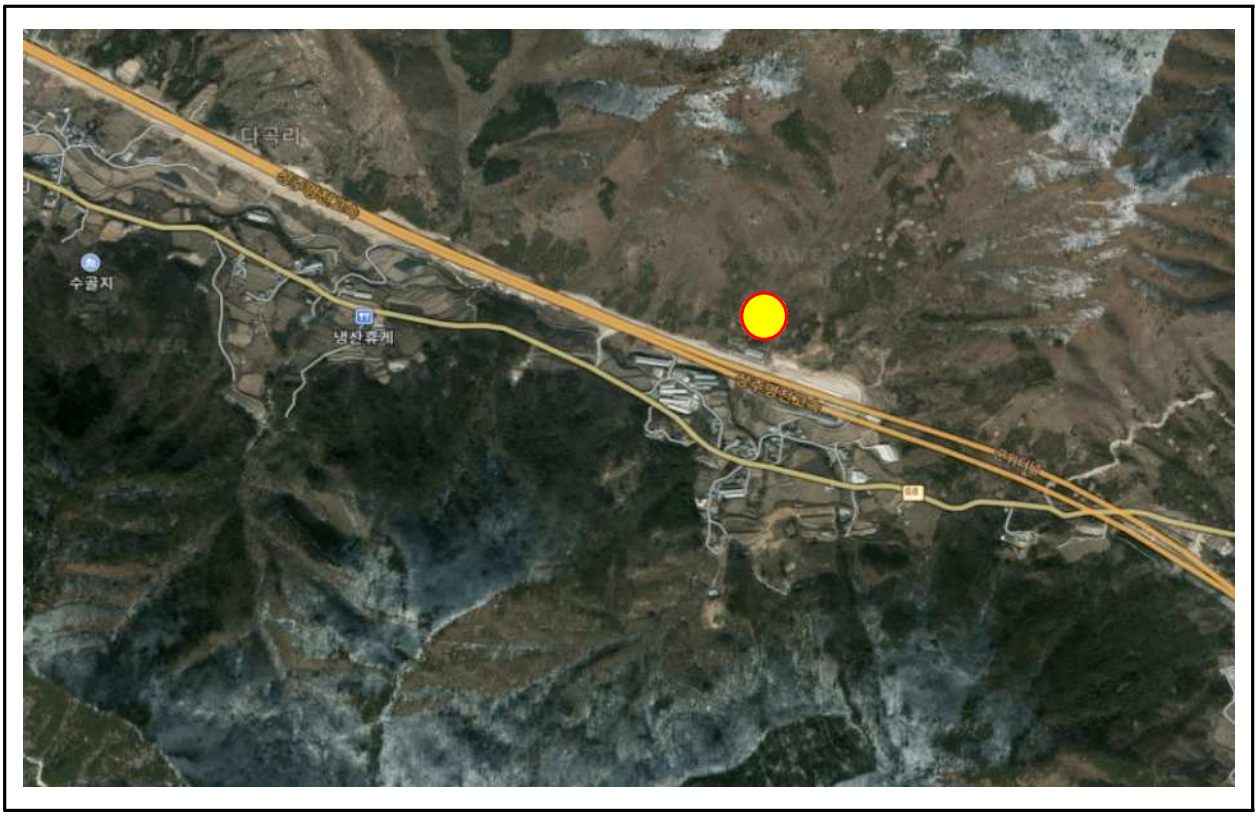
3) 지진가속도계수 선정

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 16-108> 검토대상 비탈면구간 및 현황

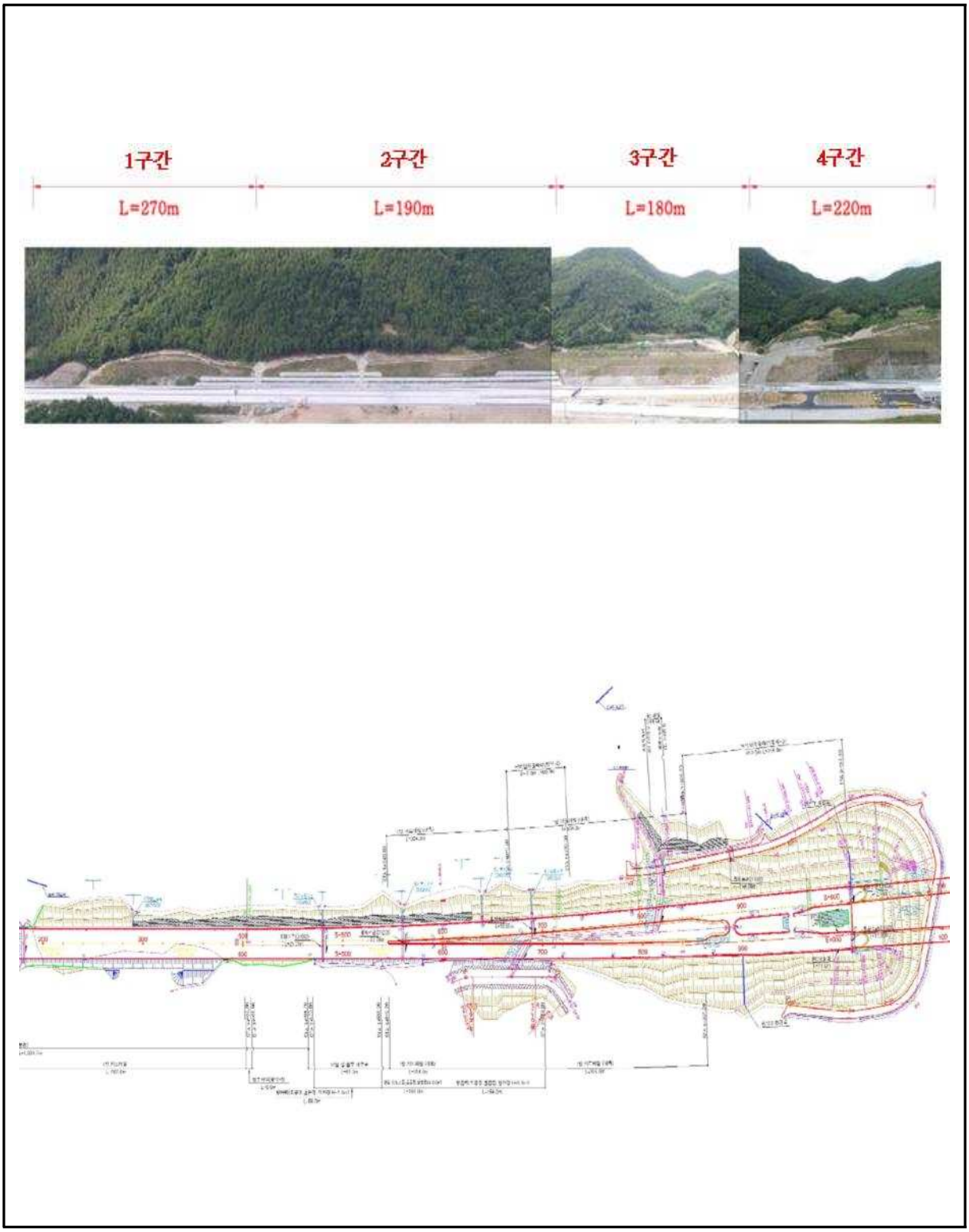
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토16	경상북도 구미시 도개면 다곡리	21.194 ~ 22.054	STA.21+390	13.0	2.0	11.0	락볼트	2017	45/200
			STA.21+610	13.0	2.0	11.0	락볼트	2017	45/200
			STA.21+790	20.0	3.0	17.0	락볼트	2017	45/200
			STA.22+050	42.0	5.0	37.0	락볼트	2017	45/200



<그림 16-13> 상주절토16 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토16 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



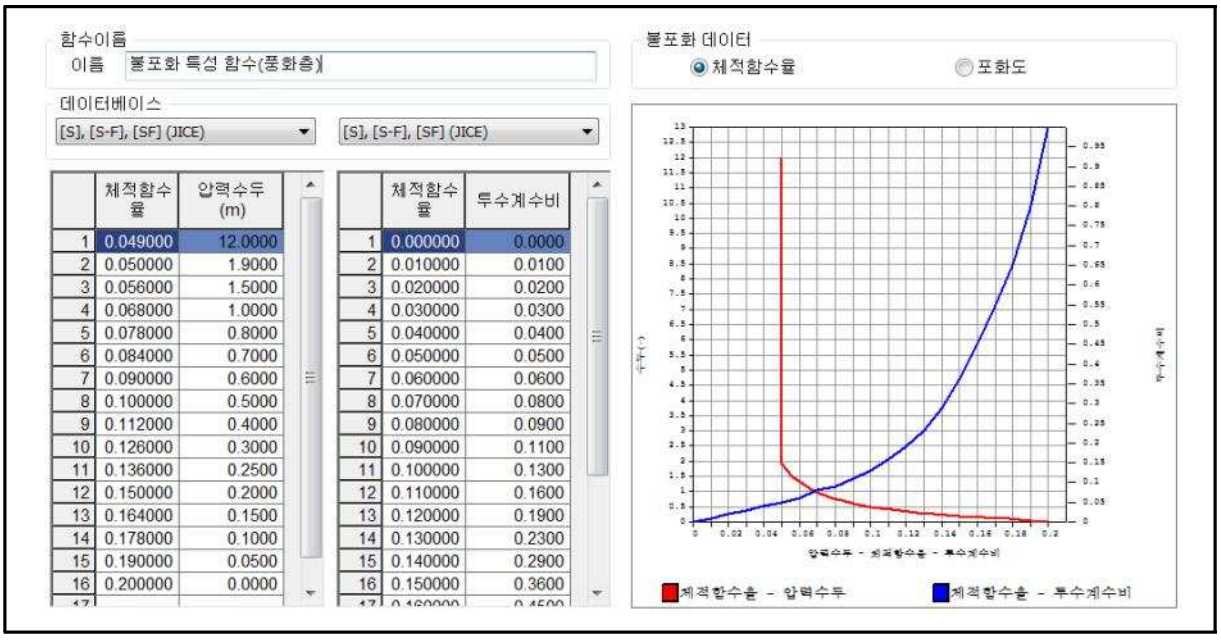
<그림 16-14> 상주절토16 검토대상 비탈면구간

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	18.5	27	20	1.0E-03	
풍화암	19.5	29	35	1.0E-04	
기반암	25.0	35	230	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

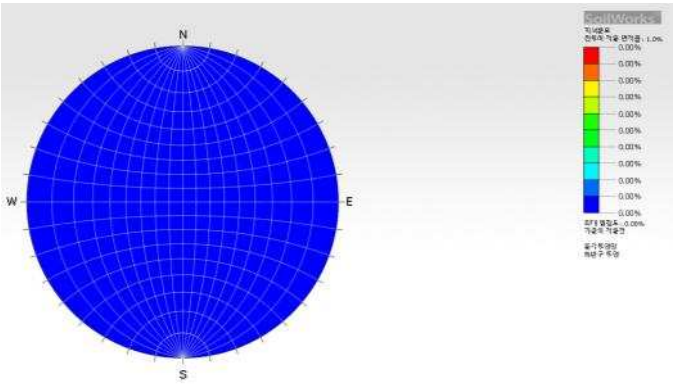
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 18-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

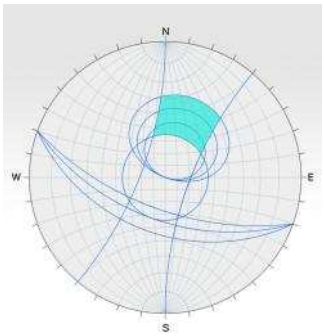
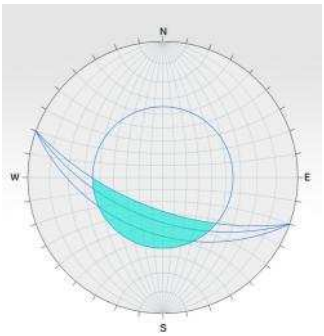
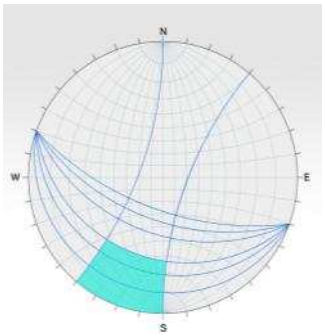
3) 1구간 (STA.21+194 ~ 21+464)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

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

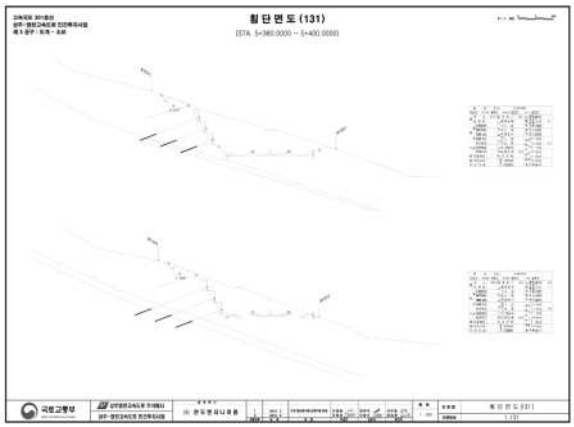
◦ 해석결과

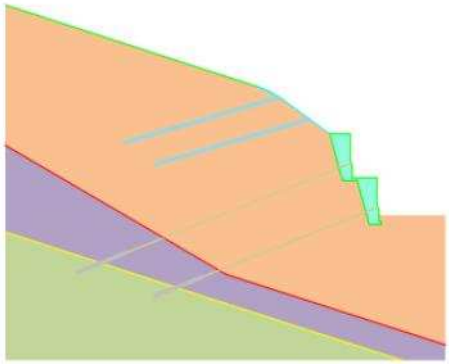
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

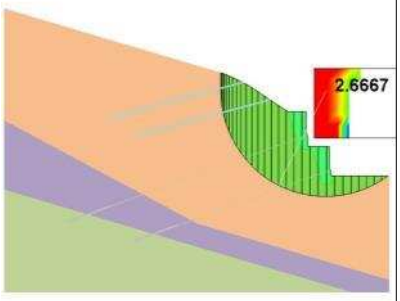
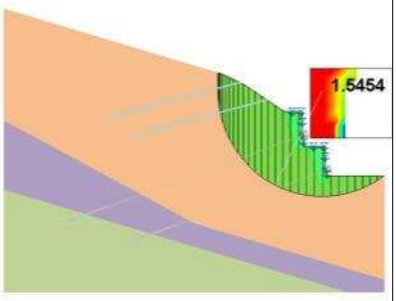
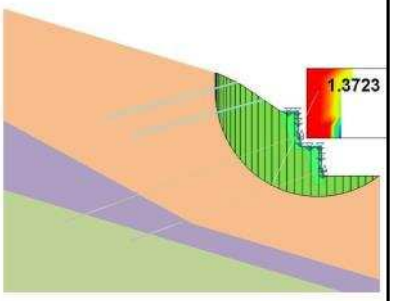
◦ 검토단면





대표단면 : STA.21+390, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.66	안전율 : 1.54	안전율 : 1.37

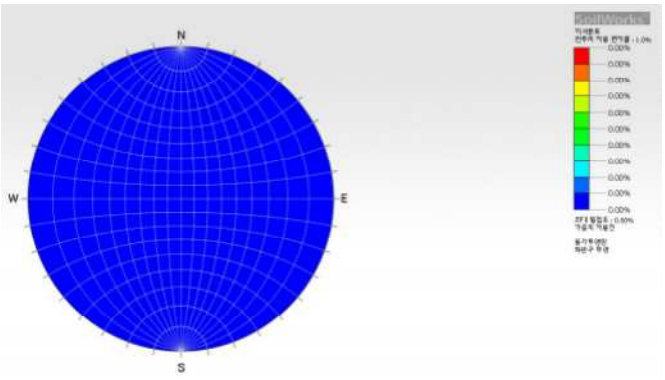
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

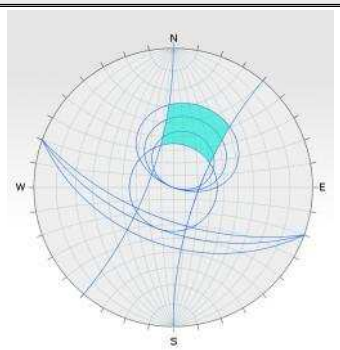
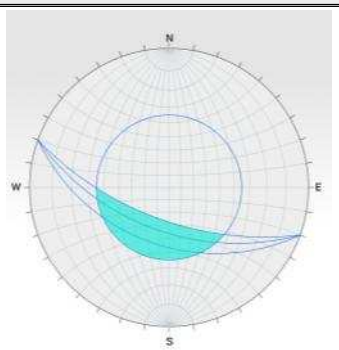
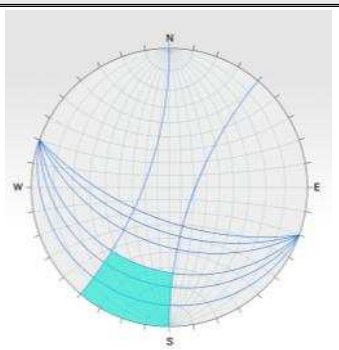
4) 2구간 (STA.21+464 ~ 21+654)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

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

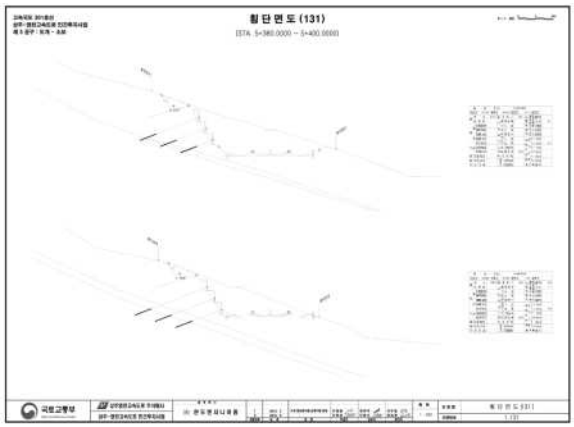
◦ 해석결과

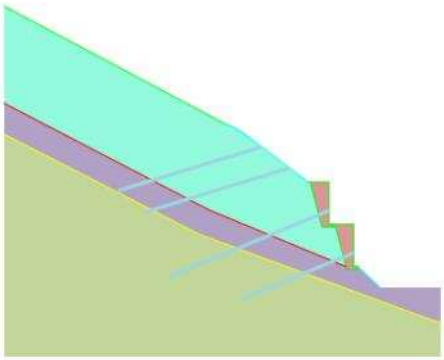
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

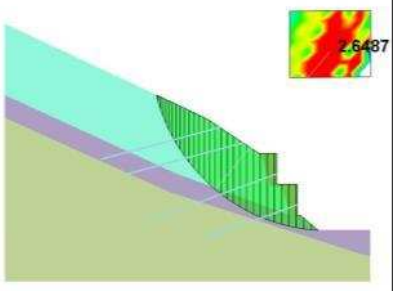
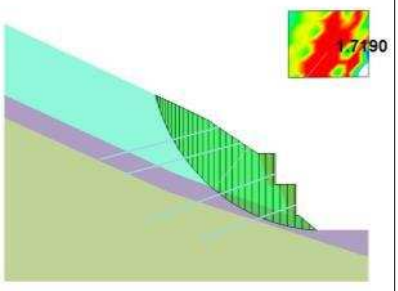
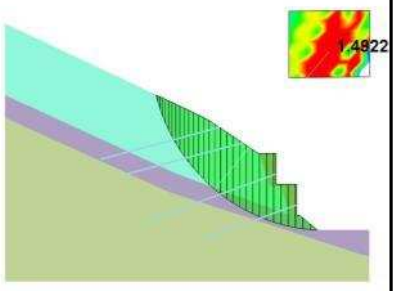
◦ 검토단면





대표단면 : STA.21+610, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.64	안전율 : 1.71	안전율 : 1.49

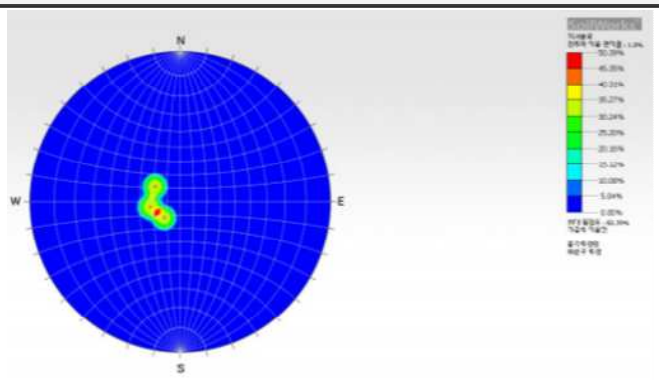
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

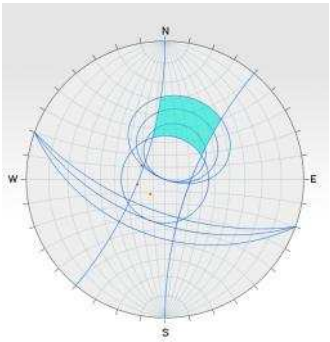
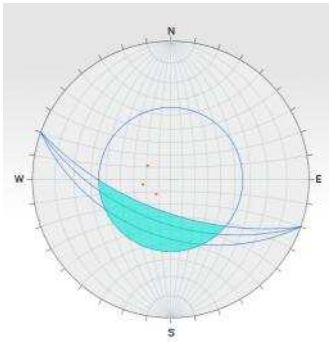
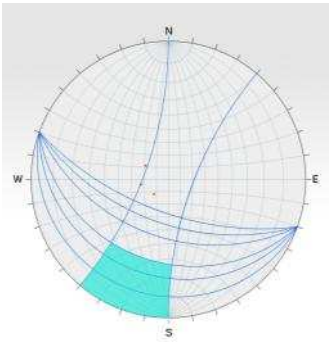
5) 3구간 (STA.21+654 ~ 21+834)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 23 17 22	dip direction 80 45 121

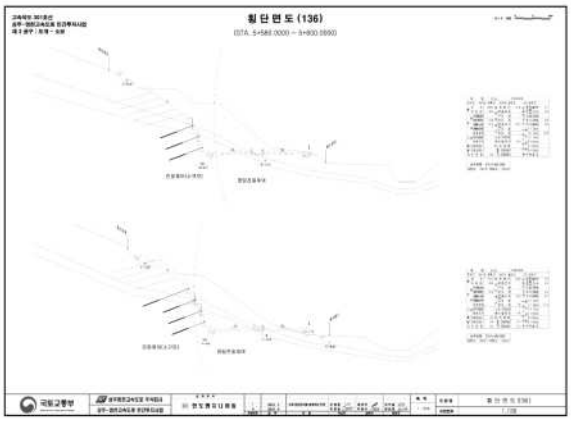
◦ 해석결과

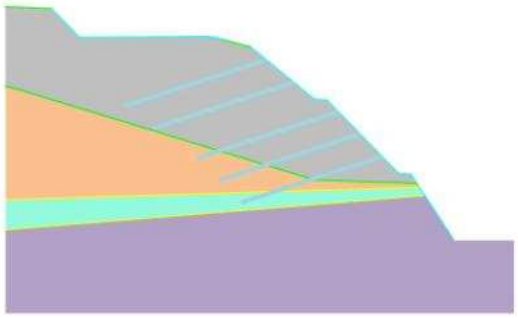
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

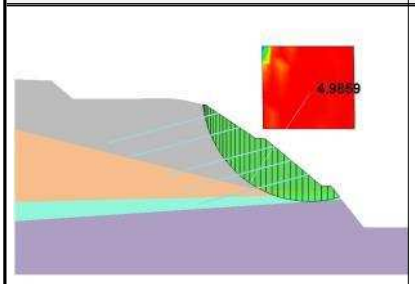
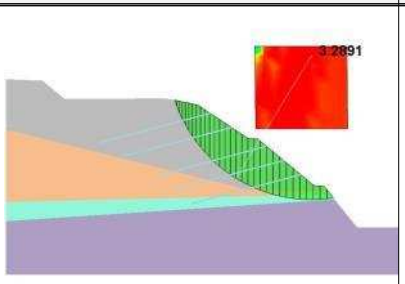
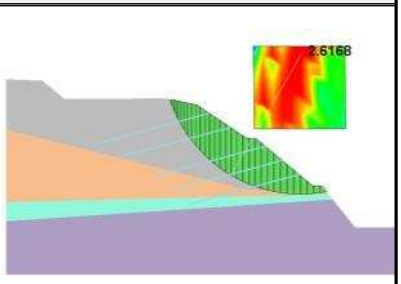
◦ 검토단면





대표단면 : STA.21+790, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 4.98	안전율 : 3.28	안전율 : 2.61

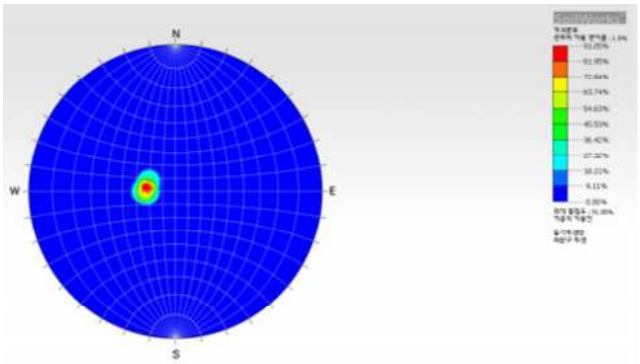
③ 3구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

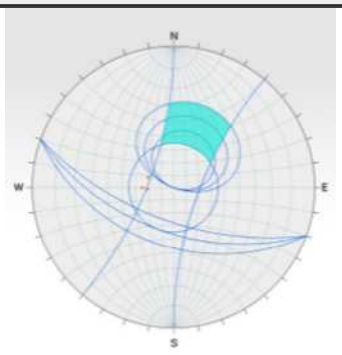
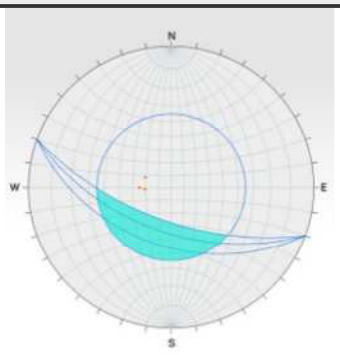
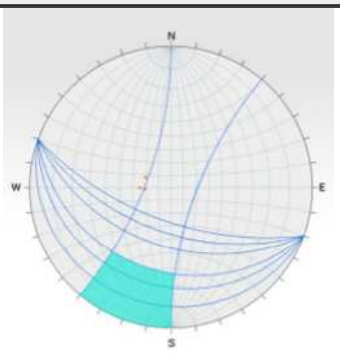
6) 4구간 (STA.21+834 ~ 22+054)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 25 22 21	dip direction 90 112 87

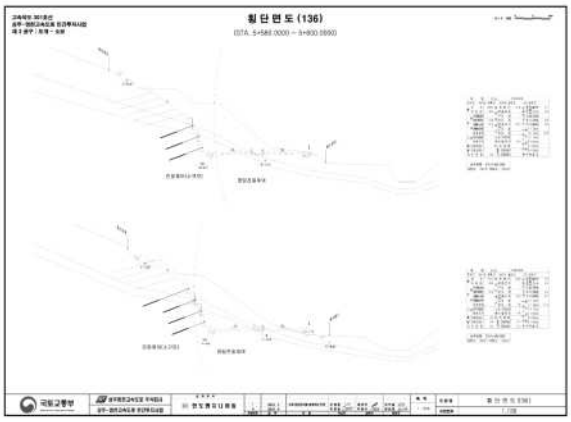
◦ 해석결과

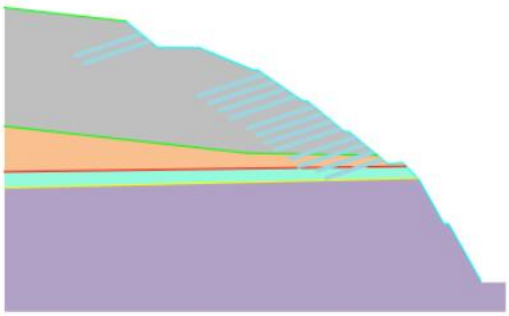
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

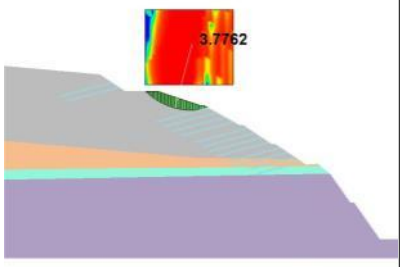
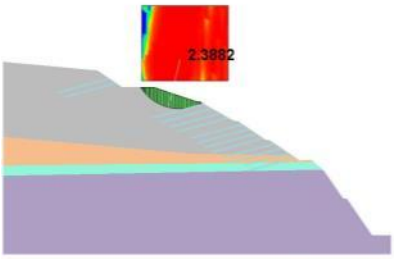
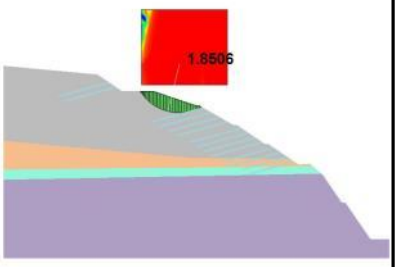
◦ 검토단면





대표단면 : STA.22+050, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.77	안전율 : 2.38	안전율 : 1.85

③ 4구간 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 16-109> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토16**		
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	2.64	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.54	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.37	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

16.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 16-110> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토16**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.150	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.150	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 16-111> 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 진행여부를 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

16.5 내구성능 평가

16.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 16-112> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 5/42 = 0.12
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		-MPa	-
면적	전체	32,172㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	32,172㎡	
표면보호공	식 생	28,472㎡	
	숏크리트	-	
사면보강공	계단식옹벽	3,700㎡	

16.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 16-113> 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

16.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 16-114> 암반사면의 지반상태 평가 기준

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

<표 16-115> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
21.640km	89.7	-	초기값 미측정으로 인한 대비강도 측정불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
21.650km	107.1	-	
21.660km	103.4		
21.830km	96.8		
21.990km	92.4		
22.040km	108.2	-	
평균값	99.1	-	
등급	**A등급**		

<표 16-116> 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 16-117> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	28,472/28,472㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 16-118> 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 16-119> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	-	-	-
	-	-	-
틈새(㎜)	-	-	-
	-	-	-
거칠기	-	-	-
	-	-	-
충전물	-	-	-
	-	-	-
풍화진행도	-	-	-
	-	-	-
합 계	-	-	-
평 균	-	-	-
평가 결과	-	-	-

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	-	-	-
	-	-	-
틈새(㎜)	-	-	-
	-	-	-
거칠기	-	-	-
	-	-	-
충전물	-	-	-
	-	-	-
풍화진행도	-	-	-
	-	-	-
합 계	-	-	-
평 균	-	-	-
평가 결과	-	-	-

평가항목	불연속면(Set C)		
	Set 7	Set 8	Set 9
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 D)		
	Set 10	Set 11	Set 12
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 16-120> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A - Set 1	-	-	
Set A - Set 2	-	-	
Set A - Set 3	-	-	
Set B - Set 4	-	-	
Set B - Set 5	-	-	
Set B - Set 6	-	-	
Set C - Set 7	c	0.43	
Set C - Set 8	c	0.43	
Set C - Set 9	c	0.43	
Set D - Set 10	c	0.43	
Set D - Set 11	c	0.43	
Set D - Set 12	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**c**	

16.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 16-121> 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 16-122> 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 16-123> 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

16.6 종합평가

16.6.1 종합평가 개요

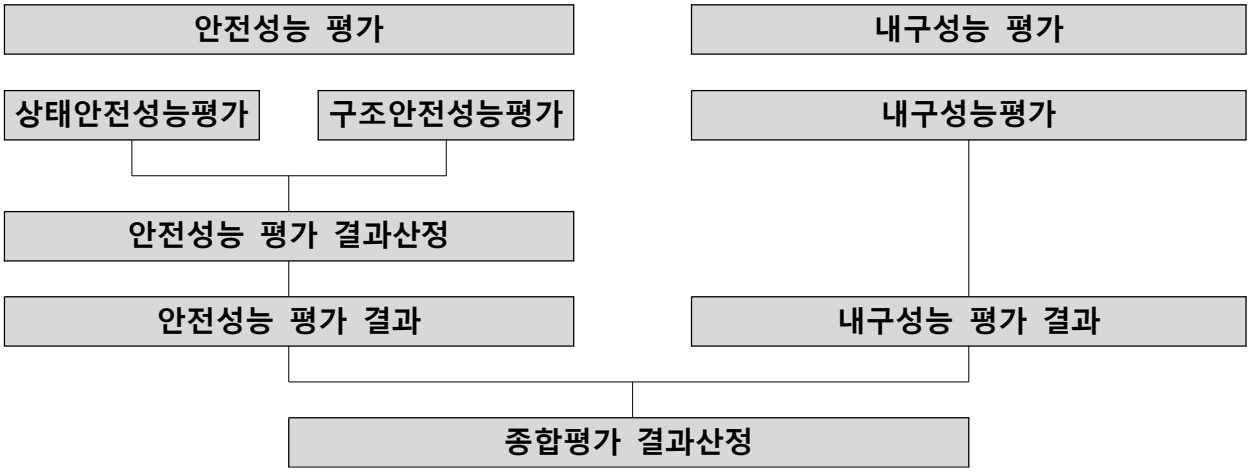
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 16-16> 종합평가 흐름도

16.6.2 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 16-124> 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 16-125> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토16		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.150	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.220	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.150 × 0.8) + (0.220 × 0.2) = 0.164 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 16-126> 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

16.7 유지관리 전략 제안

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

16.7.1 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 16-127> 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				

16.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.164)"으로 평가되었다.

<표 16-128> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.150	0.220	0.164
평가결과	B	B	B

16.7.3 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 16-129> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	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.

16.8 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 B등급으로 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, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표와 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제17장 영천절토17

17.1 대상 시설물 현황

17.2 관련 자료의 분석

17.3 현장조사

17.4 안전성능평가

17.5 내구성능평가

17.6 종합평가

17.7 유지관리전략 제안

17.8 종합결론

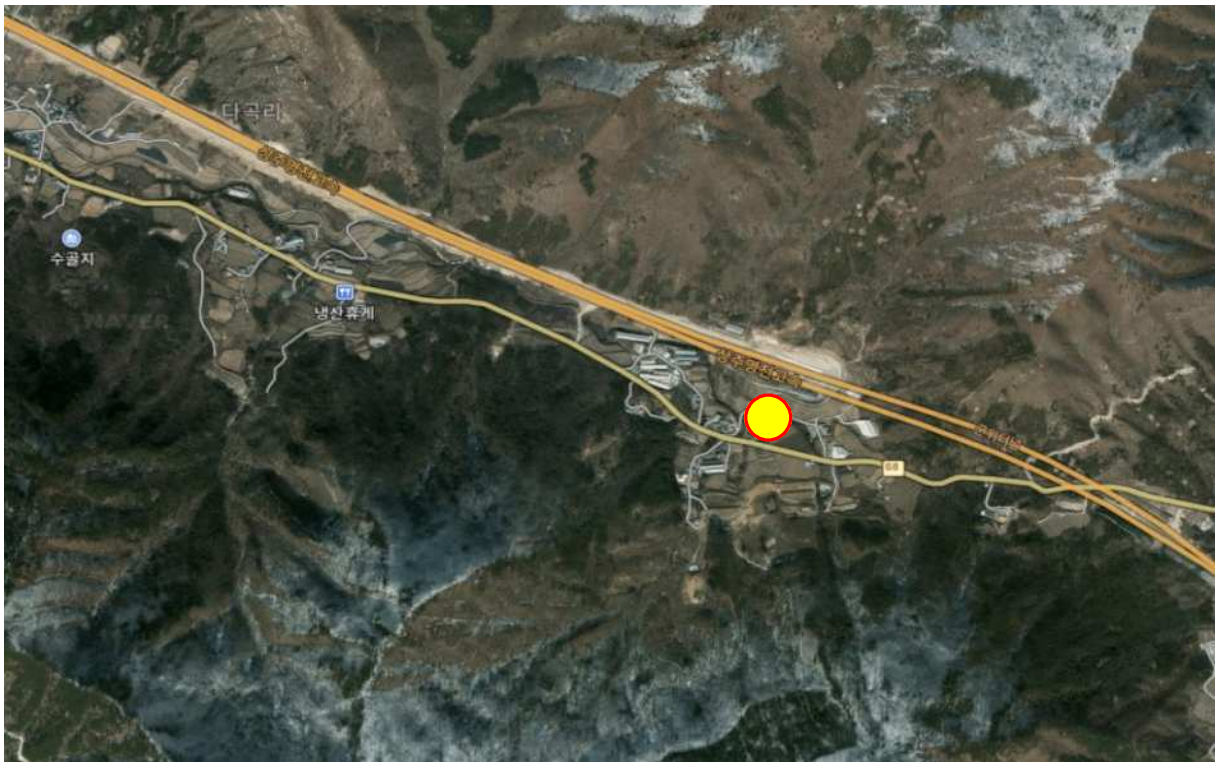
제17장 영천절토17

17.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 구미시 도개면 다곡리(상주영천고속도로 21.724~22.054km)에 위치한 사면으로서 총 연장 330.0m, 높이 33.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 17-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000036		**관리번호**	SY SL17
시설물명	영천절토17		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 구미시 도개면 다곡리		
	위치좌표	시점 : 36° 21′50.0″ 128° 14′50.0″		
		종점 : 36° 21′55.0″ 128° 15′04.0″		
	관리이정	21.724~22.054km		
	공구이정	3공구 STA.5+600~6+040		
제 원	**연 장**	330m	**높 이**	33.0m
	경사/방향	45/022	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	0~5°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	㈜한화건설, ㈜삼호
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구		
비 고				

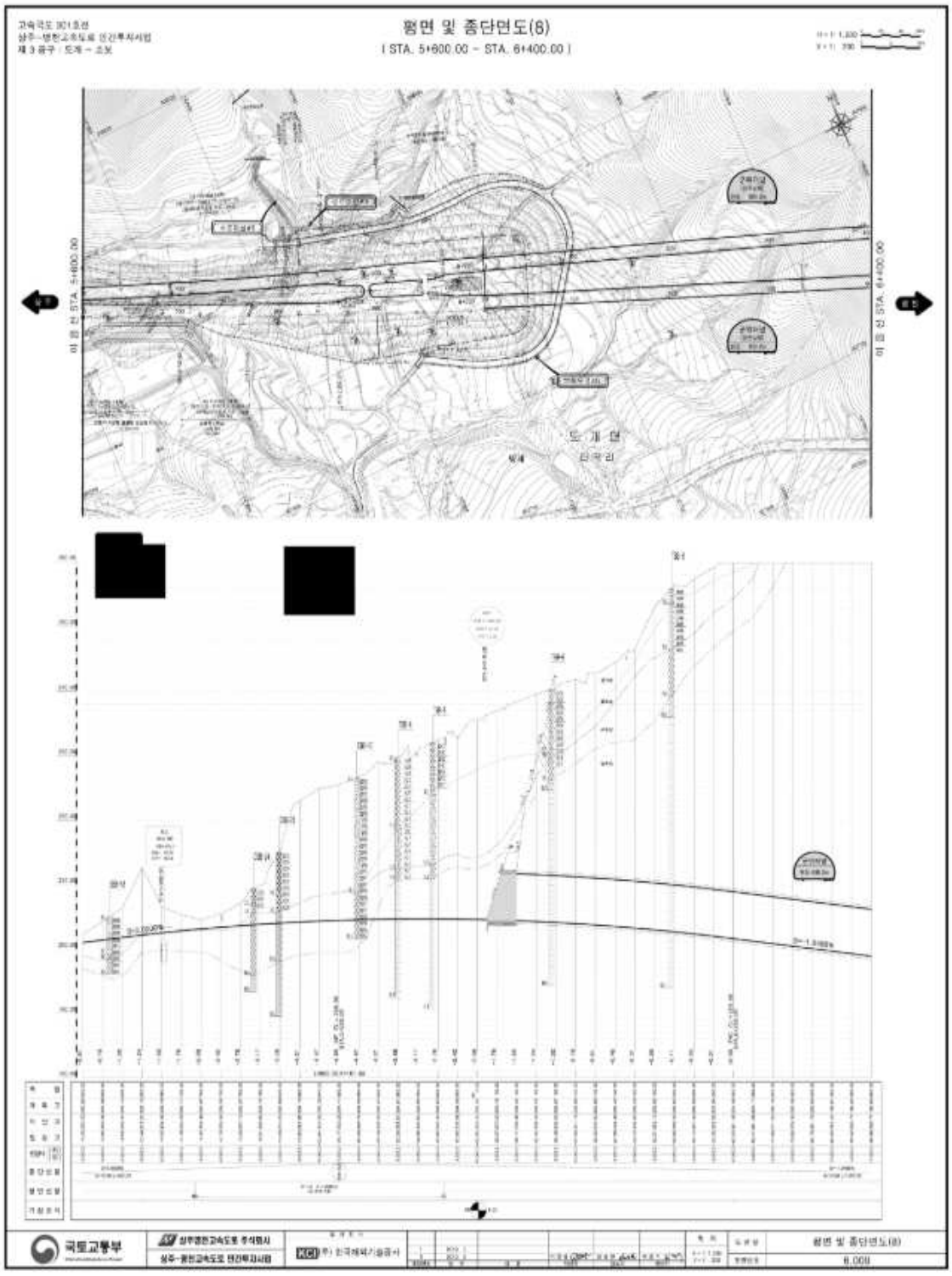


<그림 17-1>위치도

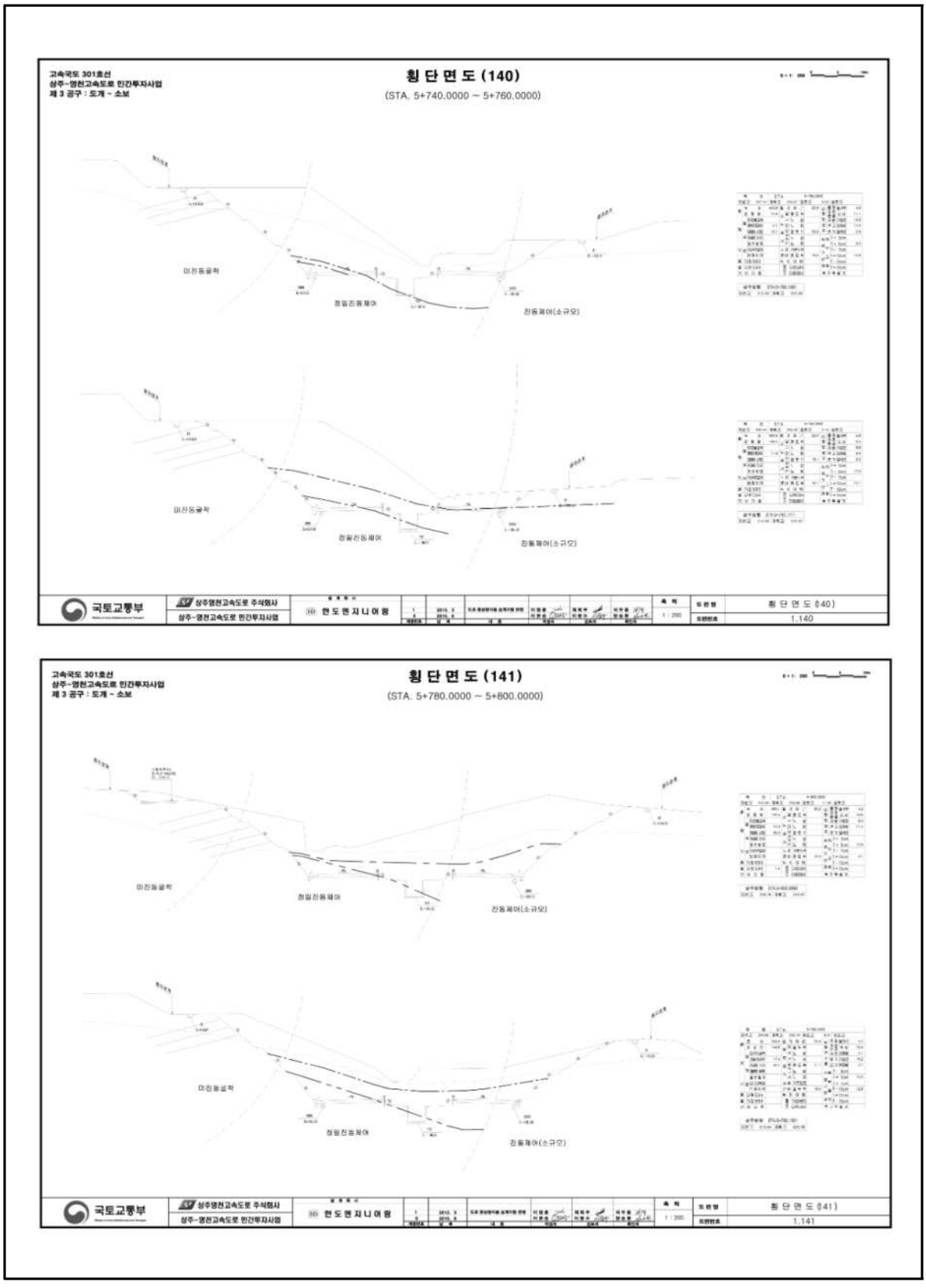
2019년 정밀안전점검

<그림 17-2> 전경사진

상단 전경	1소단 배수로 전경
점검계단 전경	하부 전경



<그림 17-3> 평면도



<그림 17-4>표준횡단면도

17.2 관련 자료의 분석

17.2.1 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 17-2> 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 3공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 3공구
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 3공구
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 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

17.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 3공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

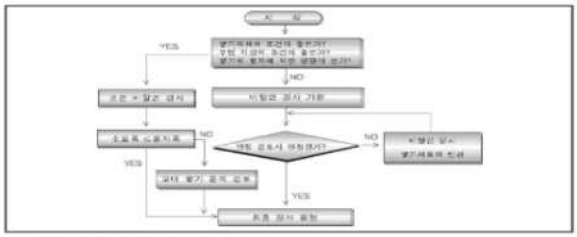
8.4 비탈면 설계기준

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

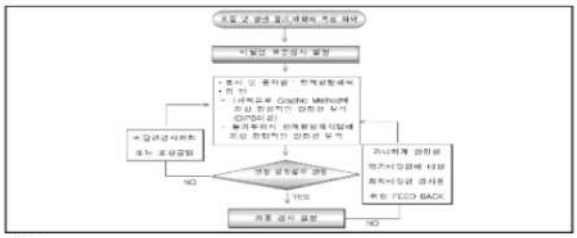
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 평기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 암기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



228

영천-상주 고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 암기 비탈면

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

따라서 암기비탈면 안정을 위한 기본기기준 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 일반층에서 층리나 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. 심도는 절성토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

230

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 접하는 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.

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

233

8.4.5 설계기준 선정

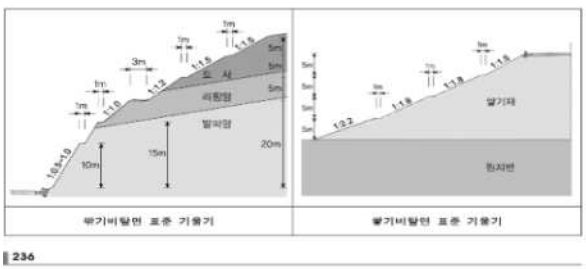
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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
암반기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 암반기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 • 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) • 암반기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	
평기 비탈면	평 기 재	1 : 1.5~2.2	• 평기 높이 5m 마다 1m 소단설치



암기비탈면 표준 기울기 | 평기비탈면 표준 기울기

236

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 층리 내지 조임질, 등립질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 선산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	원기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 우보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 불지층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

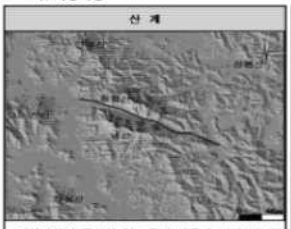
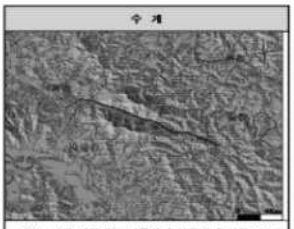
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡창천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
만경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
만경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 불국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 압축으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉽게 또는 층리되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 중립~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명			특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
		── 부정합 ──				
중생대	백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ap})			• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
		── 관입 ──				
		화강암(K_{gr})			• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
		── 관입 ──				
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		── 관입 및 분출 ──				
		신동층군	낙동층 (ke1)	만경산층원 (Ke1-nml)	상부 (Ke1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
					하부 (Ke1-nml)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 반질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 선암단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 우보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구 지반조사

1.2 조사목적

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구를 위한 지반조사
• 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

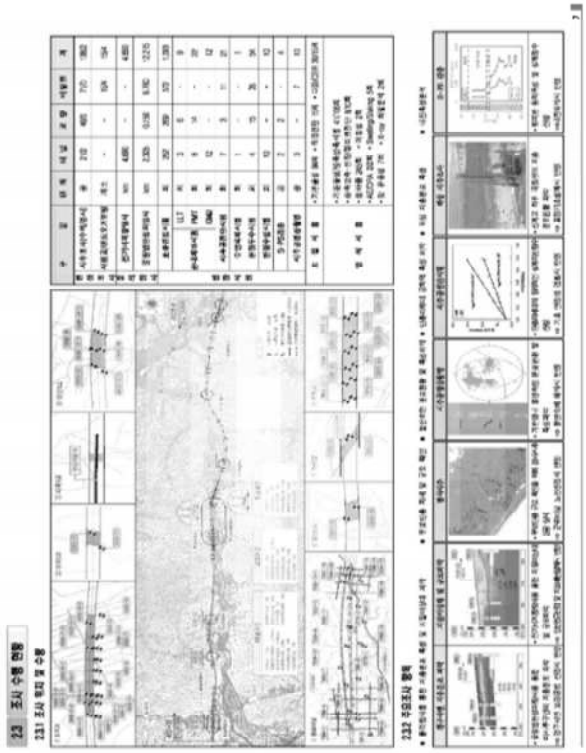
위 치	• 시점 : 경상북도 구미시 도개면 (STA. 0+000) (X=310,453.951, Y=142,180.556) • 종점 : 경상북도 군위군 소보면(STA. 12+935) (X=304,851.7911, Y=153,668.900) • 연장 : 12.935km
특 성	• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제 2경부축상주~영천 고속도로 건설 • 대구~포항 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모

1.4 위치도

• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간	토공구간
• 군위터널 상주방향 : 1,085m 영천방향 : 960m	• 도개교(360.0m) • 다곡2교(30.2m) • 다곡1교(10.0m) • 달산2교(40.5m) • 달산1교(70.1m) • 계량교(25.5m) • 신계교(176.3m)	• 위기구간(14개소) • 쌀기구간(17개소)

1



제 7 장 비탈면구간 지반특성 분석 및 설계적용

7.1 개 요

7.1.1 기본방향

조 사 항 목	조 사 기 본 방 향
지층 현황 및 원지반 공학적 특성 분석	• 위기구간 지층분포 상태 및 공학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 비탈면 계획 수립 • 쌀기구간 연약지반 분포 유무 파악 및 토사층의 역학적 특성 파악
불연속면 분포 특성 파악	• 불연속면 특성(간격, 방향, JRC, JCS)을 파악하여 암반 비탈면 안정성 분석 및 모강대책 선정시 반영
쌀기재 특성 분석	• 쌀기 및 하남구간에서 발생되는 토사 및 암버력의 쌀기재 적합 여부 판단시 반영

7.1.2 조사위치 및 수량

조사항목 \ 수량 및 조사목적		수 량	조 사 목 적
문헌조사	굴절법탄성파탐사	9.760km	• 지층의 분포 현황 및 두께 파악
현장조사 및 현장시험	시추조사	71공	• 지층분포 및 특성 파악, 암종 및 단층확인
	시험굴조사	15개소	• 쌀기재 적정성 검토, 토공 계획
	핸드오거보링	4개소	• 쌀기구간의 토질상태 및 시료채취
	시추공전단시험	11회	• 풍화대층의 강도정수 파악
	현장투수시험	35회	• 토사층의 투수계수 파악
	시추공영상촬영	7공	• 불연속면 크기 및 일달상태, 경사방향 및 경사각, 암반의 변화 및 공학적 특성 파악
실내토질시험		• 기본물성시험 77회, 직접전단시험 15회, 다짐/CBR시험 30/15회	
실내암석시험		• 점하중강도시험 38회, 물성시험/일축압축 12/12회, 절리면 전단시험 8회 Swelling/Slaking 5회, 본선암 유용성시험 5회	

192

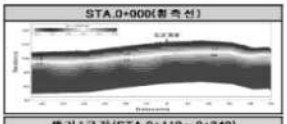
7.2 지층특성 분석

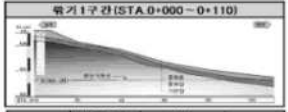
7.2.1 기본방향

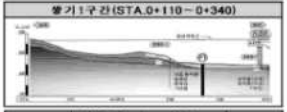
• 지표지질조사, 시추조사, 탐사 결과를 각 교량구간에 분포하는 매립 · 풍적층, 퇴적층 및 풍화대층 분포현황 파악

7.2.3 분포 현황 파악

가. STA.0+000~0+340(위기1, 쌀기1구간)



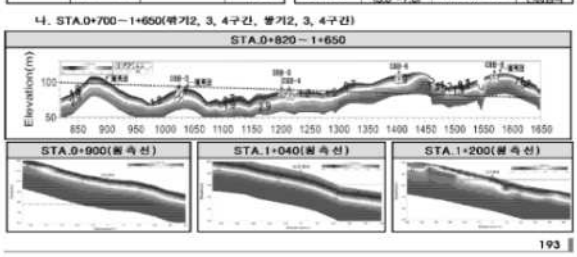


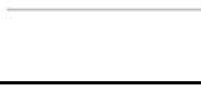


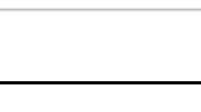
지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
풍화토	4.0~4.8 (0.0~0.2)	19/30~50/14	SM
풍화암	2.6~3.7 (4.0~5.0)	50/10~50/6	-
기반암	- (6.6~8.7)	(46~100)~100	사암, 니질암

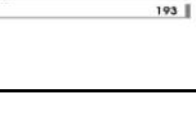
지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
붕적층	3.0 (0.0)	45/30~50/8	SM
풍화토	1.0 (3.0)	28/30	SM
풍화암	4.0~5.2 (3.0~4.0)	50/9~50/2	-
기반암	- (3.0~7.0)	69~97/4~48	사암(~셰일), 신생대역

나. STA.0+700~1+650(위기2, 3, 4구간, 쌀기2, 3, 4구간)









193

7.3 지반특성 분석

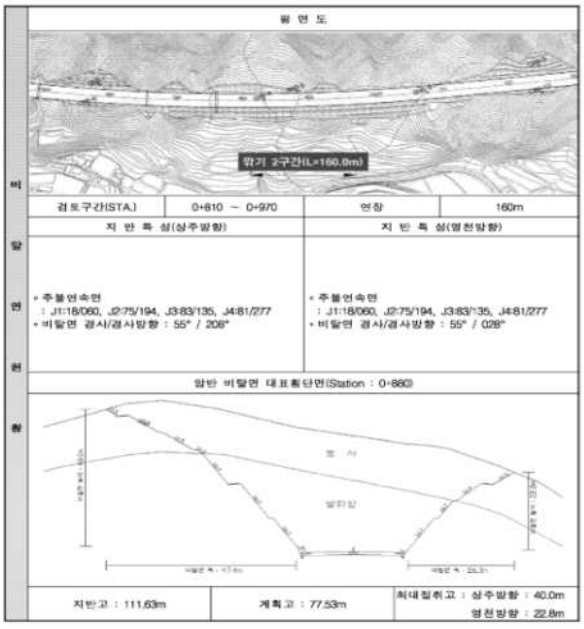
7.3.1 토질물성시험

공 번		심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit LL(%)	PI	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.02mm	USCS
위기부	CBB-3	1.0	풍화토	8.2	2.68	NP	-	100	93.1	44.8	24.6	-	SM
	CBB-4	2.0	풍화토	7.1	2.70	NP	-	56.4	41.0	28.4	16.4	-	SM
	CBB-5	1.0	풍화토	16.4	2.68	27.6	4.9	100	100	83.6	56.3	12.5	ML
	CBB-6	2.0	풍화토	11.0	2.65	NP	-	97.8	70.7	31.5	13.2	-	SM
	CBB-7	1.0	풍화토	12.0	2.66	NP	-	97.9	65.3	26.4	12.4	-	SM
	CBB-10	2.0	풍화토	11.5	2.65	NP	-	100	92.6	43.3	22.5	-	SM
	CBB-11	1.0	풍화토	9.8	2.68	NP	-	100	75.1	22.4	8.2	-	SW-SM
	CBB-12	2.0	붕적층	15.5	2.67	26.8	4.3	100	97.8	82.2	43.2	8.0	SM
	CBB-15	1.0	풍화토	12.2	2.69	NP	-	100	82.3	24.4	7.5	-	SW-SM
	CBB-16	1.0	풍화토	11.3	2.69	NP	-	98.0	84.2	29.2	10.0	-	SW-SM
	CBB-20	4.0	붕적층	17.6	2.70	32.4	10.4	96.7	96.2	91.1	71.9	17.5	CL
	CBB-21	5.0	붕적층	10.5	2.71	32.6	10.9	84.7	83.4	70.9	47.6	15.0	SC
	CBB-22	1.0	붕적층	14.6	2.69	30.2	9.7	90.2	87.6	79.7	61.9	17.0	CL
	CBB-23	4.0	붕적층	20.6	2.70	28.2	4.8	74.5	64.5	67.8	59.2	7.5	ML
	CBB-26	6.0	풍화토	15.1	2.67	NP	-	100	98.4	60.6	29.9	-	SM
	CBB-28	5.0	붕적층	11.9	2.69	NP	-	81.4	75.1	52.0	28.9	-	SM
	CBB-29	1.0	붕적층	13.0	2.71	NP	-	47.9	42.3	28.6	15.2	-	GM
	CBB-30	8.0	붕적층	13.3	2.69	28.1	5.1	100	96.6	67.2	43.4	8.0	SM
	CBB-31	1.0	붕적층	16.9	2.71	27.3	4.5	100	97.3	82.8	60.9	12.0	ML
	CBB-32	6.0	붕적층	11.3	2.67	NP	-	98.1	92.7	60.8	28.7	-	SM
	CBB-33	3.0	풍화토	10.8	2.69	NP	-	96.9	92.1	59.9	33.8	7.0	SM
	CBB-34	1.0	풍화토	9.6	2.67	NP	-	100	96.2	49.8	23.6	-	SM
	CBB-35	1.0	풍화토	3.7	2.68	NP	-	92.3	83.8	32.8	14.2	-	SM
	CBB-36	1.0	풍화토	12.8	2.68	NP	-	76.3	60.8	31.3	14.4	-	SM
	CBB-43	3.0	풍화토	16.9	2.70	NP	-	100	95.6	60.6	27.7	-	SM
	CBB-44	3.0	풍화토	9.7	2.71	NP	-	100	86.6	34.7	13.2	-	SM
	CBB-45	1.0	풍화토	8.6	2.68	NP	-	91.2	75.1	39.5	18.6	-	SM
	CBB-46	1.0	풍화토	5.6	2.67	NP	-	98.3	90.7	38.5	17.1	-	SM
	CBB-47	1.0	붕적층	13.6	2.71	26.8	4.2	100	98.9	76.1	41.6	7.5	SM
	CBB-49	4.0	풍화토	17.7	2.71	NP	-	100	98.4	58.6	28.6	-	SM
	CBB-50	1.0	붕적층	29.3	2.73	28.2	4.9	100	100	97.8	58.7	9.0	ML
	CBB-50	2.0	붕적층	13.1	2.68	NP	-	67.2	57.2	36.5	14.9	-	SM
암기부	SBB-2	1.0	풍화토	7.9	2.67	NP	-	95.4	80.6	40.1	15.2	-	SM
	SBB-3	2.0	풍화토	13.3	2.66	NP	-	100	95.6	53.6	33.6	7.5	SM
	SBB-4	2.0	붕적층	19.0	2.68	31.5	9.2	97.0	90.1	69.5	51.8	14.5	CL
	SBB-5	2.0	붕적층	8.3	2.64	NP	-	38.1	28.7	13.5	5.9	-	GW-GM
	SBB-6	1.0	붕적층	10.3	2.68	NP	-	34.3	26.9	14.9	4.9	-	GP
	SBB-7	3.0	풍화토	13.1	2.66	NP	-	90.5	83.3	51.2	26.2	-	SM
	SBB-8	4.0	풍화토	22.0	2.68	NP	-	99.2	95.0	51.7	28.3	-	SM
	SBB-10	1.0	풍화토	16.8	2.65	NP	-	100	89.8	62.7	39.2	7.5	SM
	SBB-11	3.0	퇴적층	14.1	2.64	NP	-	98.0	85.1	47.1	24.4	-	SM
	SBB-12	1.0	붕적층	13.5	2.64	NP	-	98.8	87.2	49.0	23.2	-	SM
	SBB-13	1.0	붕적층	12.3	2.67	27.1	4.9	100	100	87.4	58.8	14.0	ML
	SBB-15	2.0	붕적층	16.9	2.68	28.5	6.0	100	99.0	86.9	62.9	15.0	ML
	SBB-16	1.0	붕적층	5.4	2.67	NP	-	39.1	31.4	19.4	7.6	-	GW-GM

7.5.3 구조구 분류 결과

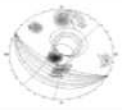
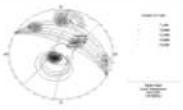
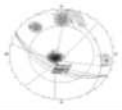
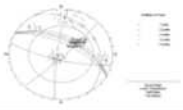
구 분	구조구 1	구조구 2	구조구 3		구조구 4		구조구 5	
			3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
암 상	Ke1-nlm	Kgr	Ke1-num		Ke1-nlm		Ke1-num	
BIPS	9CBB-18 9CBB-20	CBB-5 CBB-9 CBB-11 CBB-19 (SBB-12)	CBB-21	TBB-3	TBB-15	CBB-36	CBB-43	CBB-52
스테레온	S-13 118	L-13	-	-	-	L-12	HO3	111-1 S-12
STA.	1+319	4+597	5+453	6+430	7+688	8+980	10+140	
비 고	암상	암상	습곡축 및 구조물	암상	습리, 습곡축 및 단열	암상	단층, 습리 및 단열	

(2) 위기 2구간



위기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

비고

• 암반층 평사투영 해석결과 영천방향 1:0.5~1:1.0기울기에서 전도파괴 가능성이 있음.
• 영천방향 암반비탈면 불연속면이 Toppling Zone에 위치하여 전도파괴 가능성이 있으므로 녹화공법, 낙석방지그물, 낙석방지옹벽타리를 적용하여 안정성 확보

17.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검을 5회, 정밀안전점검 1회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 17-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토17 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	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	영천절토17 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열 및 보수부 재균열, 폐목적치가 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	영천절토17 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
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	영천절토17 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
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	식생공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 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.	B
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토17 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열 및 망상균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 점검시 조사된 소단배수로 균열 및 종균열의 경우 일부 보수를 실시한 것으로 확인되었으며, 현재 보수부의 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 미 보수된 손상부의 경우 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호

17.2.4 보수·보강이력

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

<표 17-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

17.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 17-5> 내진 설계 적용 여부

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

17.2.6 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 17-6> 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

17.3 현장조사

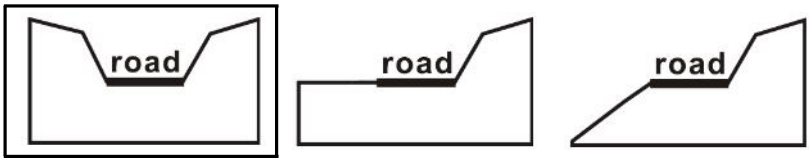
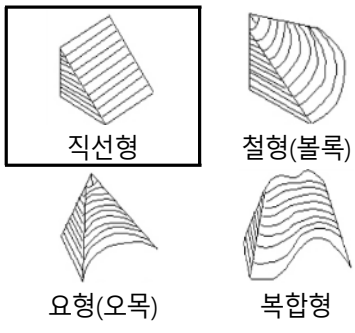
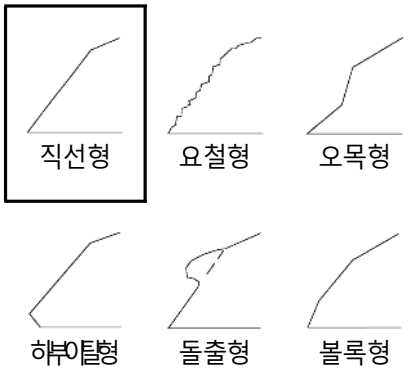
17.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 17-7> 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 구미시 도개면 다곡리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 21′50.0″ 128° 14′50.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 21′55.0″ 128° 15′04.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 330m</td><td colspan="2">높 이 : 33.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/022</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 : 6</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>식생현황</td><td colspan="2">21.724~22.054k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">21.724~21.984k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">21.984~22.054k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">22.054k</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 17-8> 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">0~5°</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 17-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토17		
	위경도	시점 : 36° 21′50.0″ 128° 14′50.0″ 종점 : 36° 21′55.0″ 128° 15′04.0″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 11월 25일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	330.0m	최대높이	33.0m
	경사	45°	상부경사	0~5°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	6개소
	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	1.0~4.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(일부불량) □낙석방지망 □옹벽 ■낙석방지울타리(양호) □격자블럭 ■배수로(보통) ■점검로(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			

17.3.2 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 경상북도 구미시 도개면 다곡리(상주영천고속도로 21.724~22.054 km)에 위치하고 있으며, 길이는 330m, 높이 33.0m의 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 17-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{18.0}=0.05$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{28.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 95.4㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{28.0}=0.007$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 330m로써, 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, 2구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 17-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	21.724~21.884km	160m
2구간	21.884~22.054km	170m

17.3.3 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~-5°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 17-12> 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, 보통 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 17-13> 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 2개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 17-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	-	-	-
간격(m)	-	-	-
연장성(m)	-	-	-
틈새(mm)	-	-	-
거칠기	-	-	-
충진물질	-	-	-
풍화도	-	-	-
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	23/301	20/295	-
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	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 17-15> 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 산마루측구가 시공되어 있으며, 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다. 다만, 일부구간 건조수축 및 온도변화 등에 의한 균열이 발생된 것으로 조사되었다.

<표 17-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	3EA / 11.0	건조수축, 온도변화	

소단배수로 균열

소단배수로 균열

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

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

<표 17-17> 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 17-18> 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 17-19> 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 17-20> 인장균열 조사 결과

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

17.3.4 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 17-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
21.990km	50.5	95.4	보통암	
22.010km	51.6	100.4	보통암	
22.030km	50.8	96.5	보통암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 50.5~51.6로 측정되었으며, 추정강도 95.4~100.4MPa로 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 17-22> 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 17-23> 사면보강공 조사 결과

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

17.4 안전성능평가

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

17.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

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

<표 17-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{18.0}=0.05$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{28.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 95.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{28.0}=0.007$로 0.01이하	파쇄암반	

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 17-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	21.724~21.884km	160m	암반사면	식생공으로 조사불가
2구간	21.884~22.054km	170m	암반사면	Set4, Set5

<표 17-26> 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 17-27> 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 17-28> 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 17-29> 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 = (0+0+0+0+0+0) / 6 = 0	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 17-30> 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	-	-
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	-	-
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	-	-
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	-	-
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	-	-
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	-	-

<표 17-31> 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 17-32> 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 17-33> 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 17-34> 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 17-35> 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 17-36> 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 17-37> 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 30°	e
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

다. 1구간 인장균열 평가 결과

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

<표 17-38> 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 17-39> 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 17-40> 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 17-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토17		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		0	0	-
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 17-42> 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	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 17-43> 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 17-44> 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 17-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	1.0m이상 3.0m미만	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 17-46> 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 17-47> 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 17-48> 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 17-49> 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 17-50> 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 17-51> 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 17-52> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

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

바. 2구간 인장균열 평가 결과

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

<표 17-53> 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 17-54> 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 17-55> 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 17-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토17		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	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			15	
결함지수		0.15		
상태안전성능평가 결과		**B**		

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 17-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
330.0m	1구간	21.724~21.884km	a(0.08)	b	인장균열 없음
	2구간	21.884~22.054km	b(0.15)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

17.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

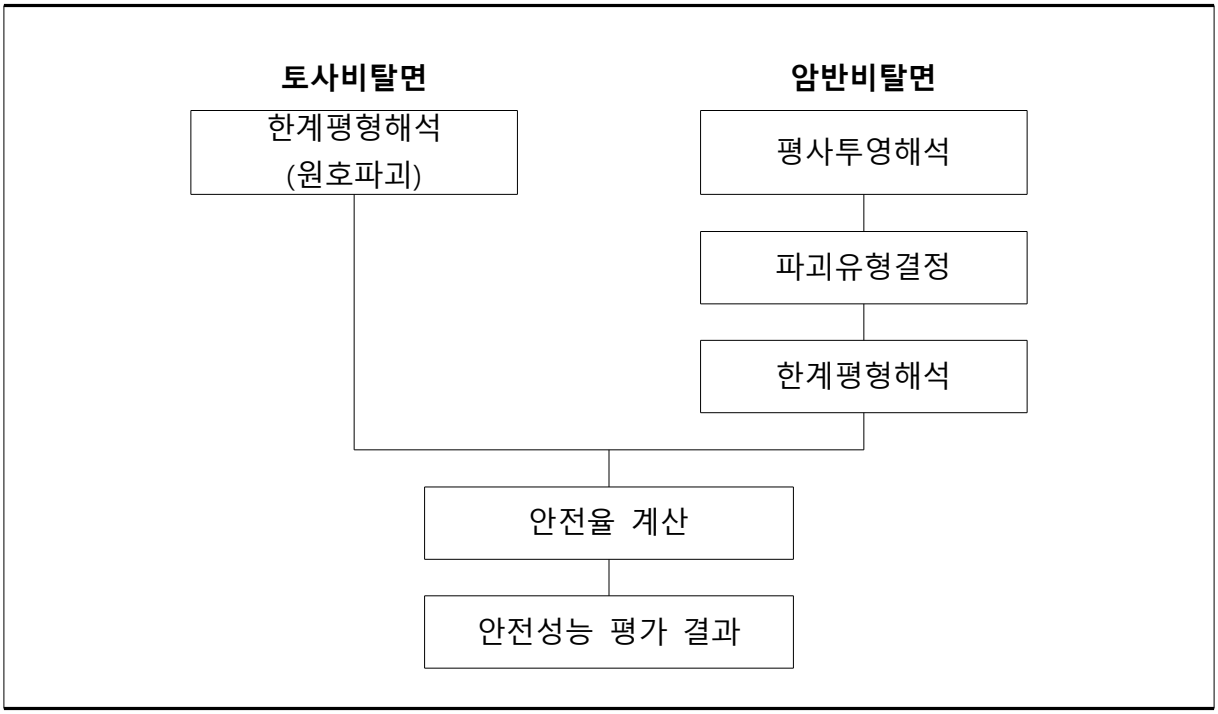
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 17-5> 구조안전성능 평가과정

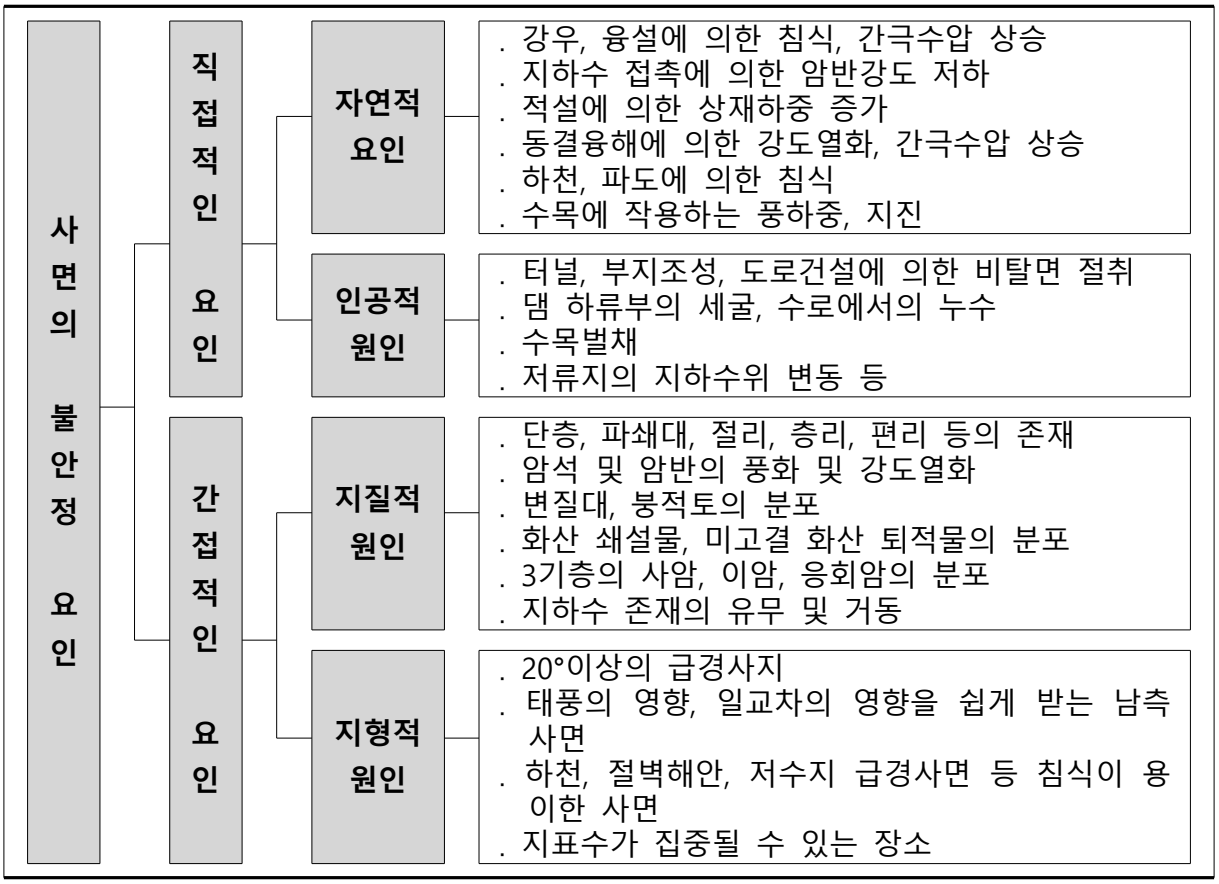
<표 17-58> 유형별 안정해석 범위

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

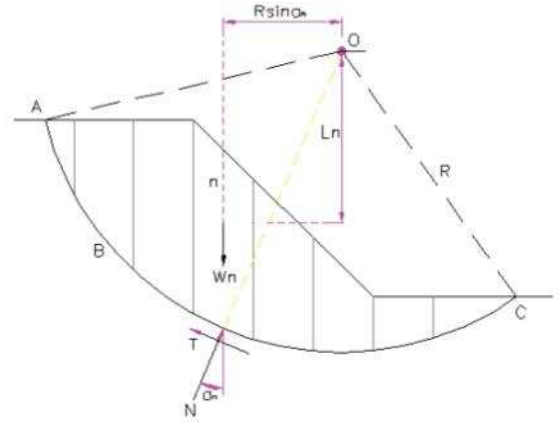


<그림 17-6> 구조안전성능 평가과정

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

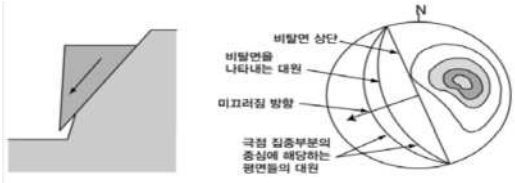
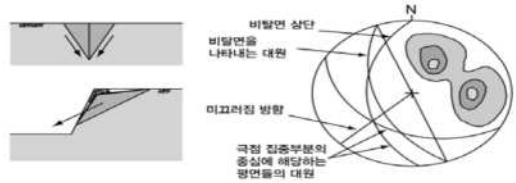
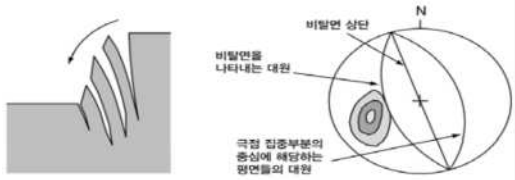
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 17-7> 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 17-59> 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 17-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

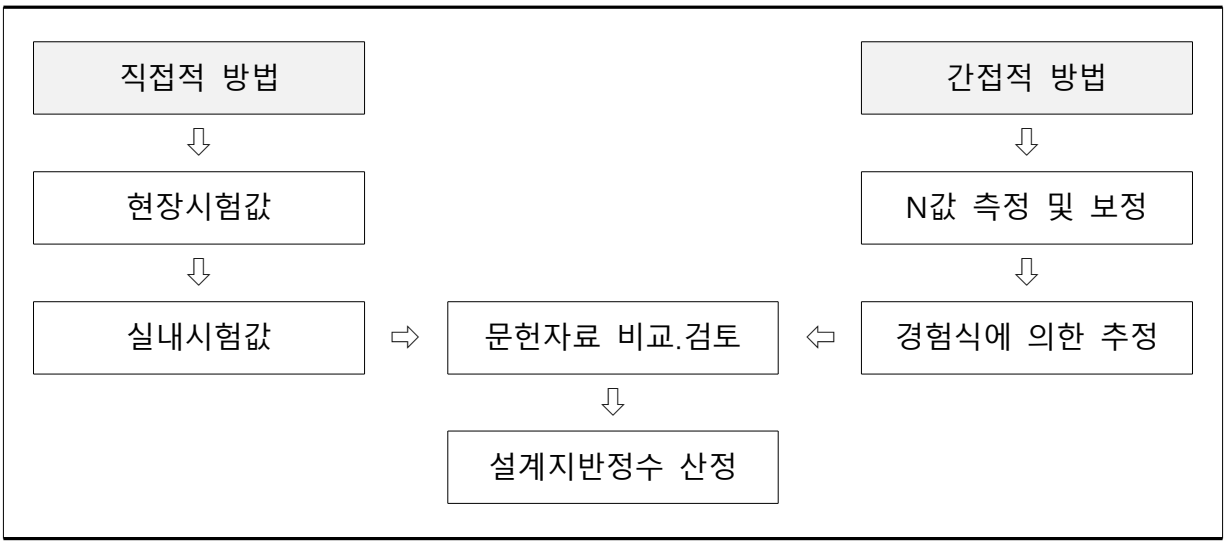
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 17-61> 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 17-62> 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 17-63> 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 17-64> 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 17-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (3공구)	풍화(잔적)토	18.5	27	20	
	풍화암	19.5	29	35	
	기반암	25.0	35	230	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 17-66> 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 17-67> 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	24.3~25.6
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 17-68> 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 17-69> 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 17-70> Trueman (1988)

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

<표 17-71> 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	18.5	27	20	0.3	
풍화암	19.5	29	35	0.3	
기반암	25.0	35	230	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 17-72> 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

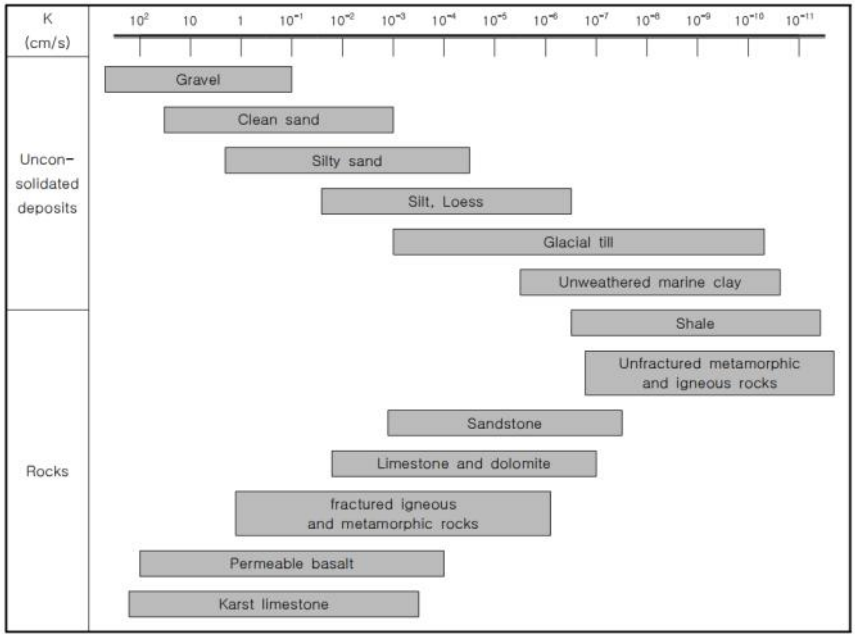
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 17-73> 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 17-74> 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 17-8> 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 17-75> 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

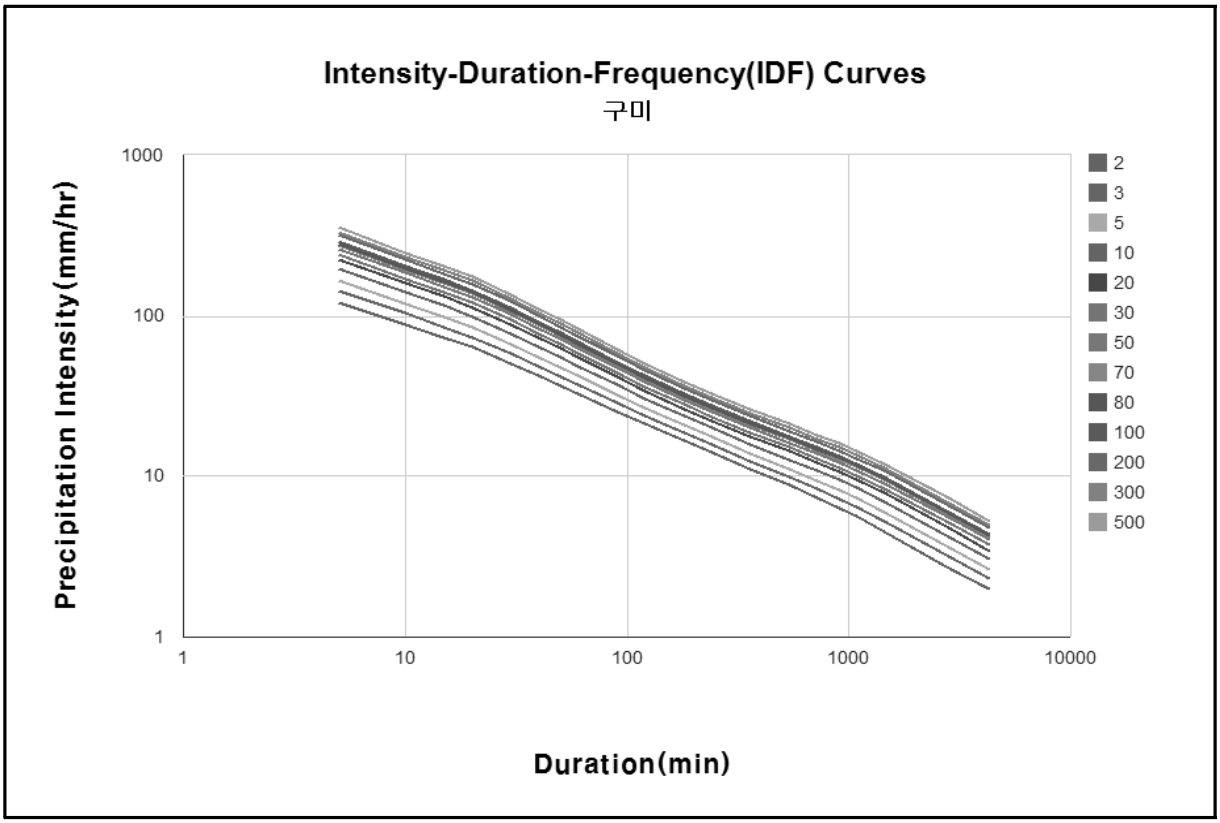
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 구미지역



<그림 17-9> 구미지역 IDF곡선

구미(Precipitation Frequency Estimates, IDF)

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

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 17-10> 구미지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 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 17-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 17-76> 설계지반운동 수준

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

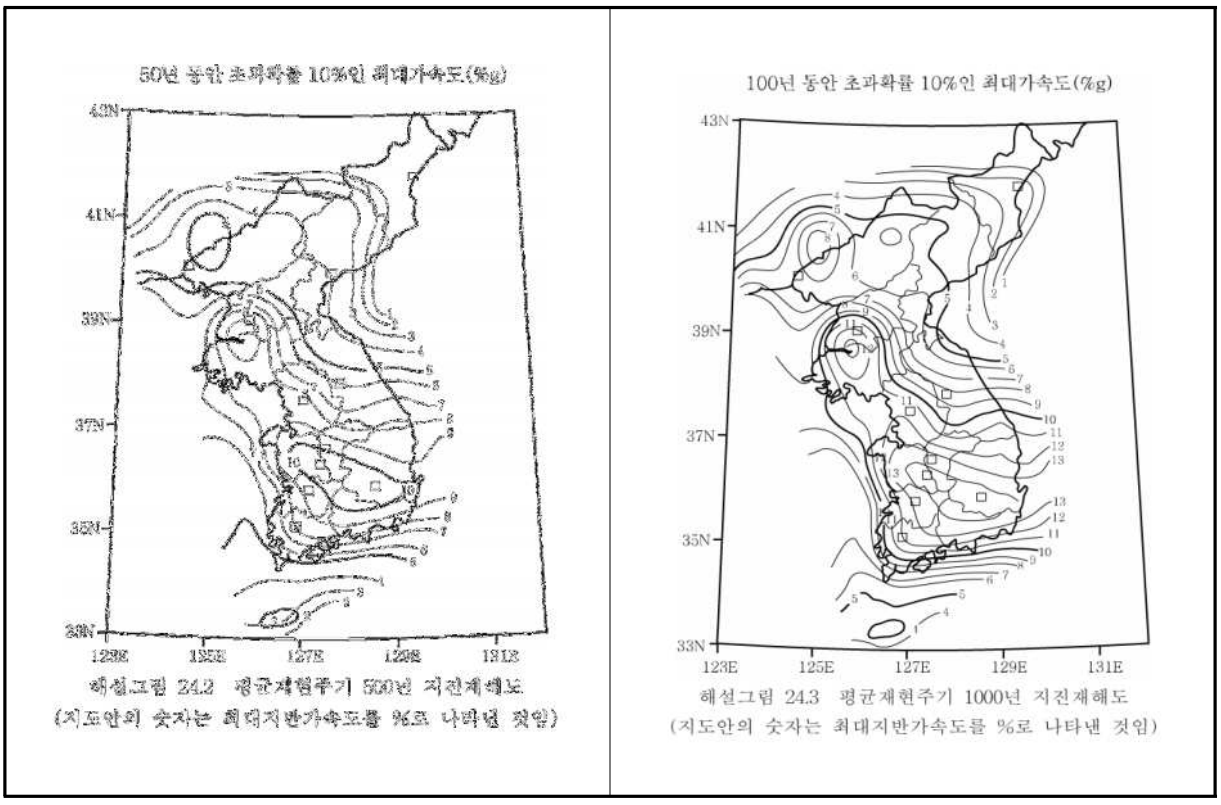
2) 설계지반운동

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 17-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 17-77> 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 17-78> 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

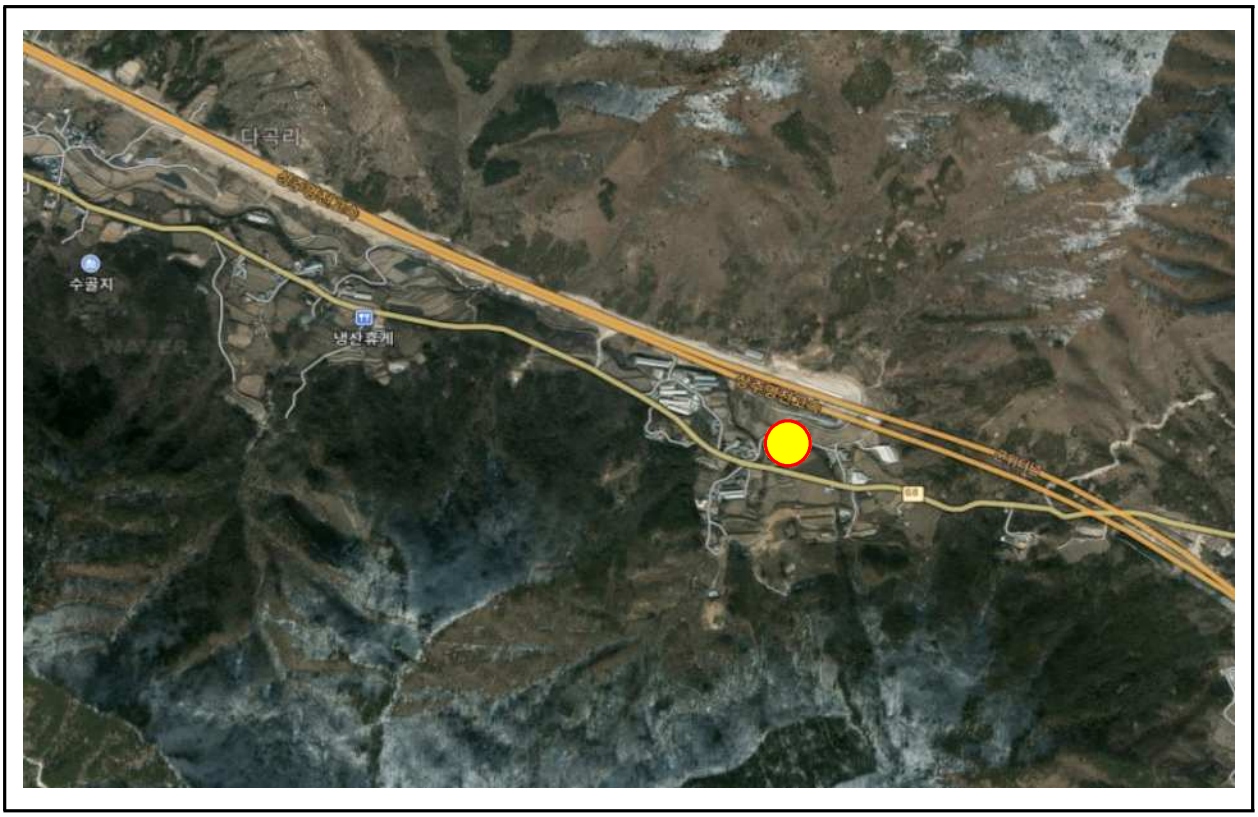
3) 지진가속도계수 선정

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 17-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

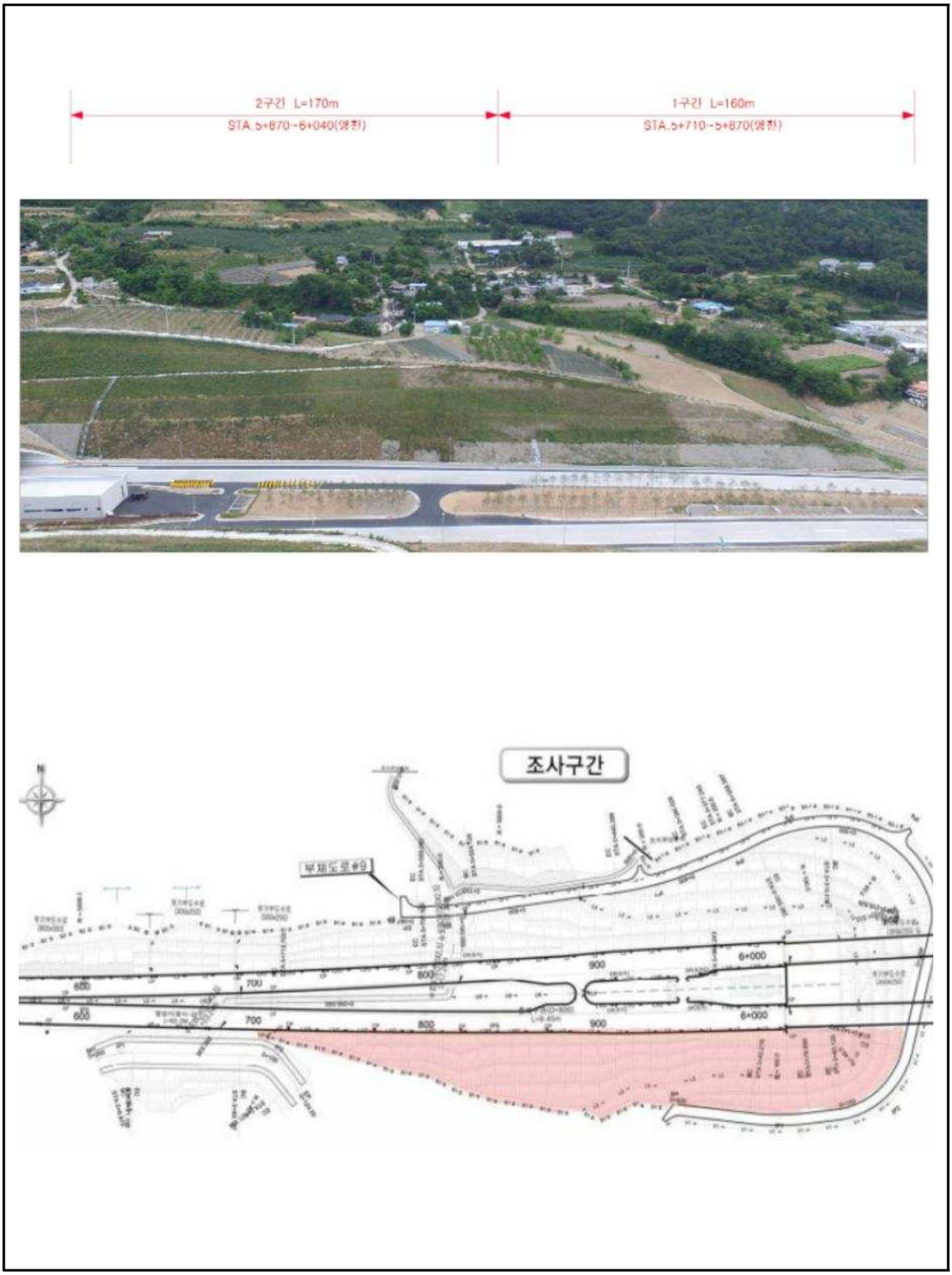
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토17	경상북도 구미시 도개면 다곡리	21.724 ~ 22.054	STA.21+850	18.0	1.0	17.0	-	2017	45/022
			STA.22+030	28.0	4.0	24.0	-	2017	45/022



<그림 17-13> 영천절토17 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토17 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



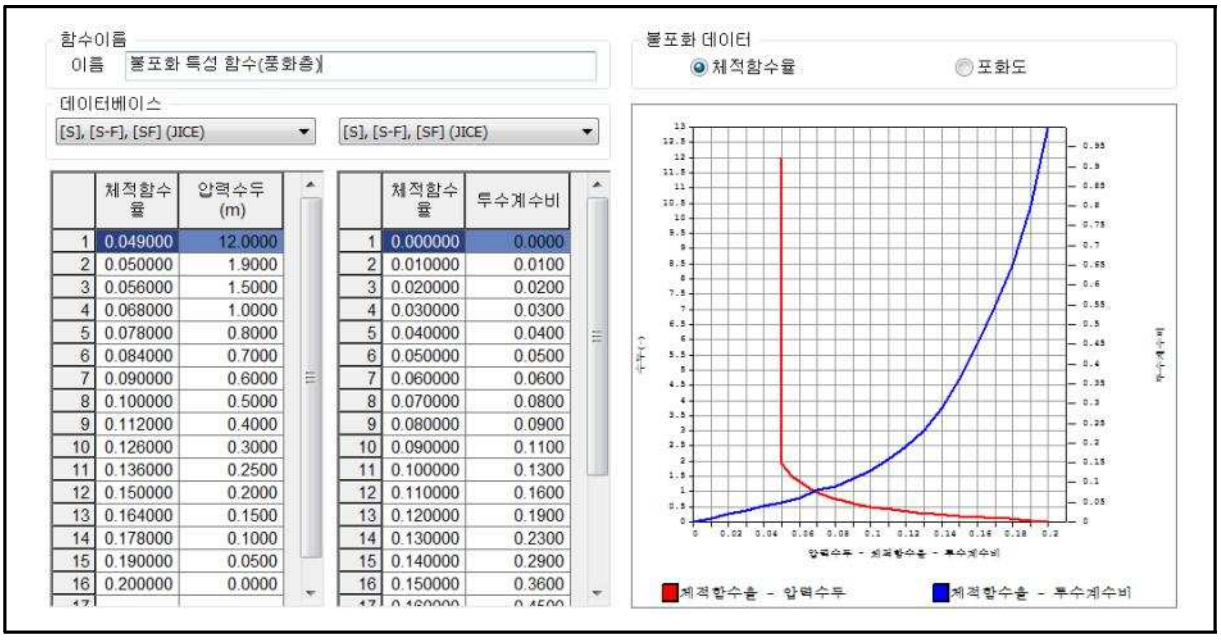
<그림 17-14> 영천절토17 검토대상 비탈면구간

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	18.5	27	20	7.4E-04	
풍화암	19.5	29	35	6.2E-04	
기반암	25.0	35	230	1.5E-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

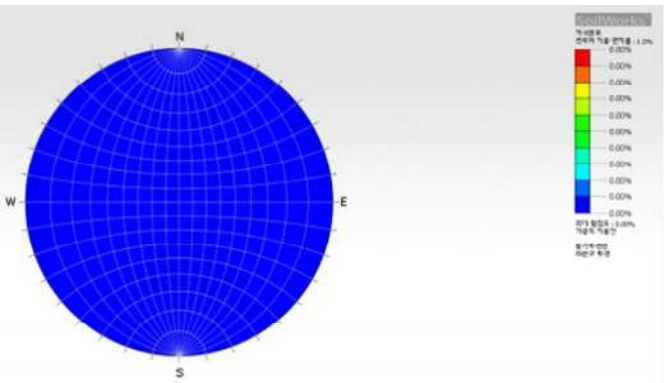
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 17-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

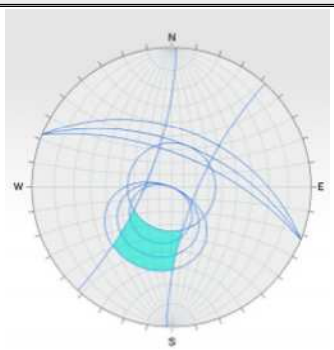
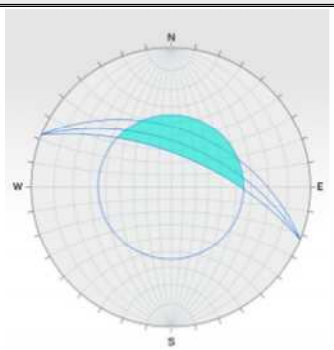
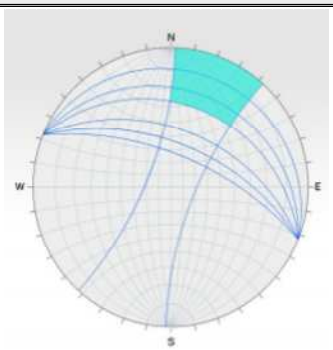
3) 1구간 (STA.21+724 ~ 21+884)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

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

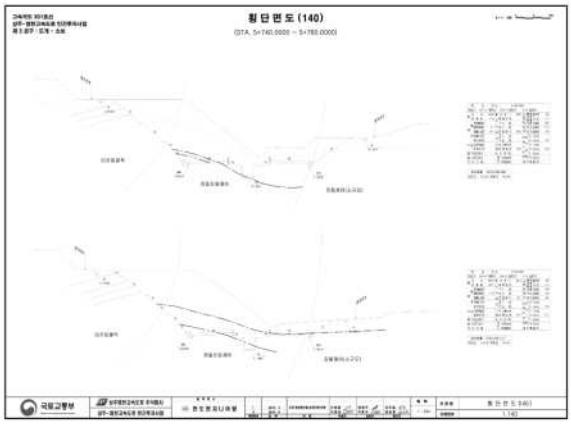
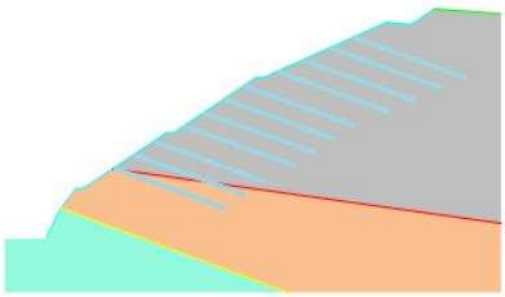
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

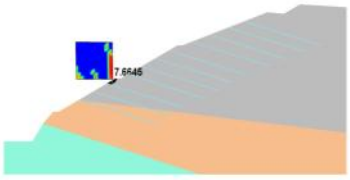
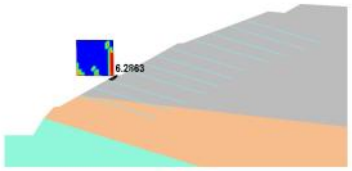
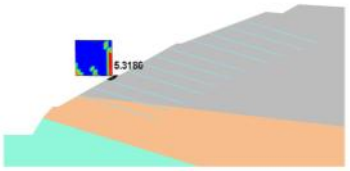
구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">대표단면 : STA.21+850, 영천</td></tr>
</table>

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 7.66	안전율 : 6.28	안전율 : 5.31

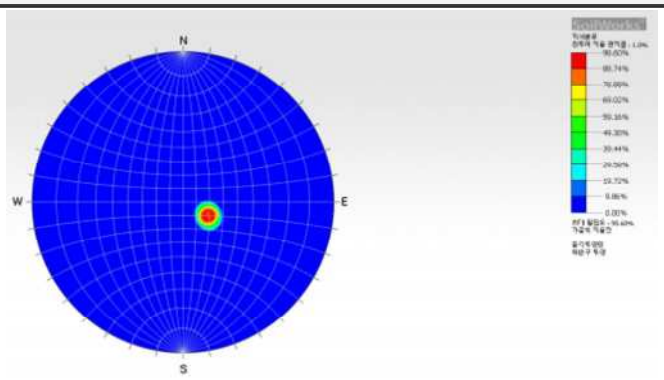
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

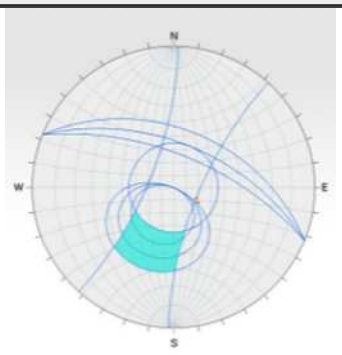
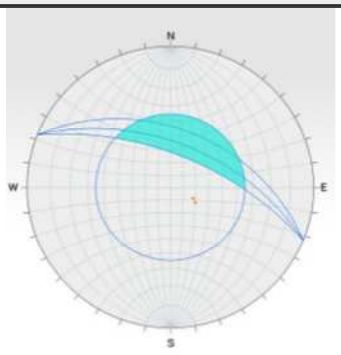
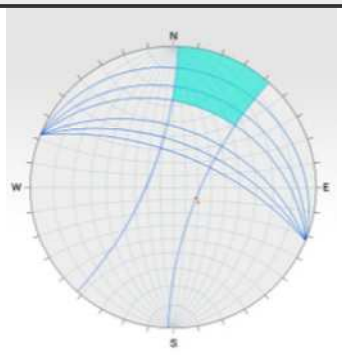
4) 2구간 (STA.21+884 ~ 22+054)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 23 20	dip direction 301 295

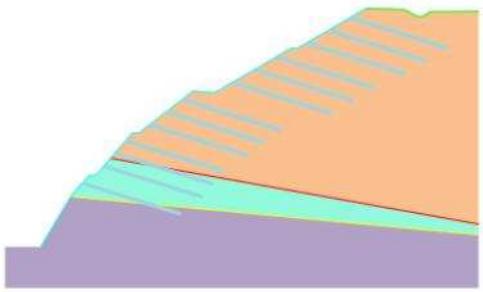
◦ 해석결과

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		

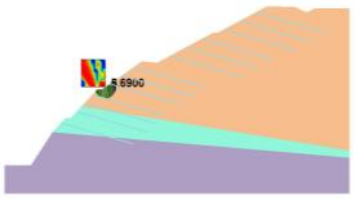
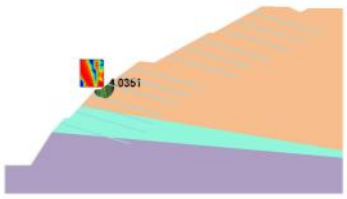
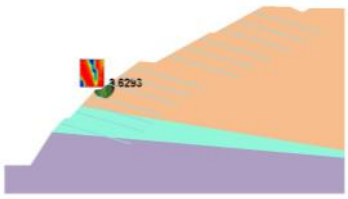
② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면



대표단면 : STA.22+030, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 5.69	안전율 : 4.03	안전율 : 3.62

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 17-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토17**		
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	5.69	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	4.03	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	3.62	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

17.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 17-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토17**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.150	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.150	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 17-82> 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

17.5 내구성능 평가

17.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 17-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 4/28 = 0.14
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		-MPa	-
면적	전체	9,474㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	9,474㎡	
표면보호공	식 생	9,474㎡	
	숏크리트	-	
사면보강공	계단식옹벽	-	

17.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 17-84> 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

17.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 17-85> 암반사면의 지반상태 평가 기준

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

<표 17-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
21.990km	95.4	-	초기값 미측정으로 인한 대비강도 측정불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
22.010km	100.4	-	
22.030km	96.5	-	
평균값	97.43	-	
등급	**A등급**		

<표 17-87> 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 17-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	9,474/9,474㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 17-89> 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 17-90> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	-	-	-
	-	-	-
틈새(㎜)	-	-	-
	-	-	-
거칠기	-	-	-
	-	-	-
충전물	-	-	-
	-	-	-
풍화진행도	-	-	-
	-	-	-
합 계	-	-	-
평 균	-	-	-
평가 결과	-	-	-

평가항목	불연속면(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1~3m 미만	1~3m 미만	-
	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	MW	MW	-
	c(10)	c(10)	-
합 계	35	35	-
평 균	7.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 17-91> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

17.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 17-92> 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 17-93> 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 17-94> 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

17.6 종합평가

17.6.1 종합평가 개요

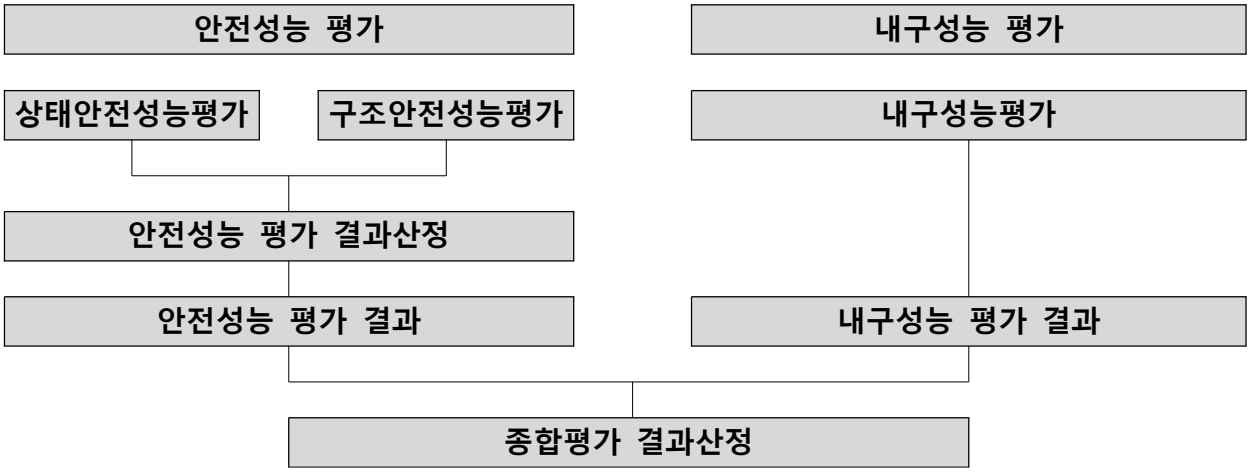
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 17-16> 종합평가 흐름도

17.6.2 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 17-95> 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 17-96> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토17		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.150	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.150 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.173 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 17-97> 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 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

17.7 유지관리 전략 제안

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

17.7.1 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 17-98> 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				

17.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.173)"으로 평가되었다.

<표 17-99> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.150	0.265	0.173
평가결과	B	B	B

17.7.3 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 17-100> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	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.

17.8 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 B등급으로 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, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표와 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제18장 영천절토18

18.1 대상 시설물 현황

18.2 관련 자료의 분석

18.3 현장조사

18.4 안전성능평가

18.5 내구성능평가

18.6 종합평가

18.7 유지관리전략 제안

18.8 종합결론

제18장 영천절토18

18.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 소보면 달산리(상주영천고속도로 22.924~23.494km)에 위치한 사면으로서 총 연장 570.0m, 높이 31.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 18-1>사면 일반사항

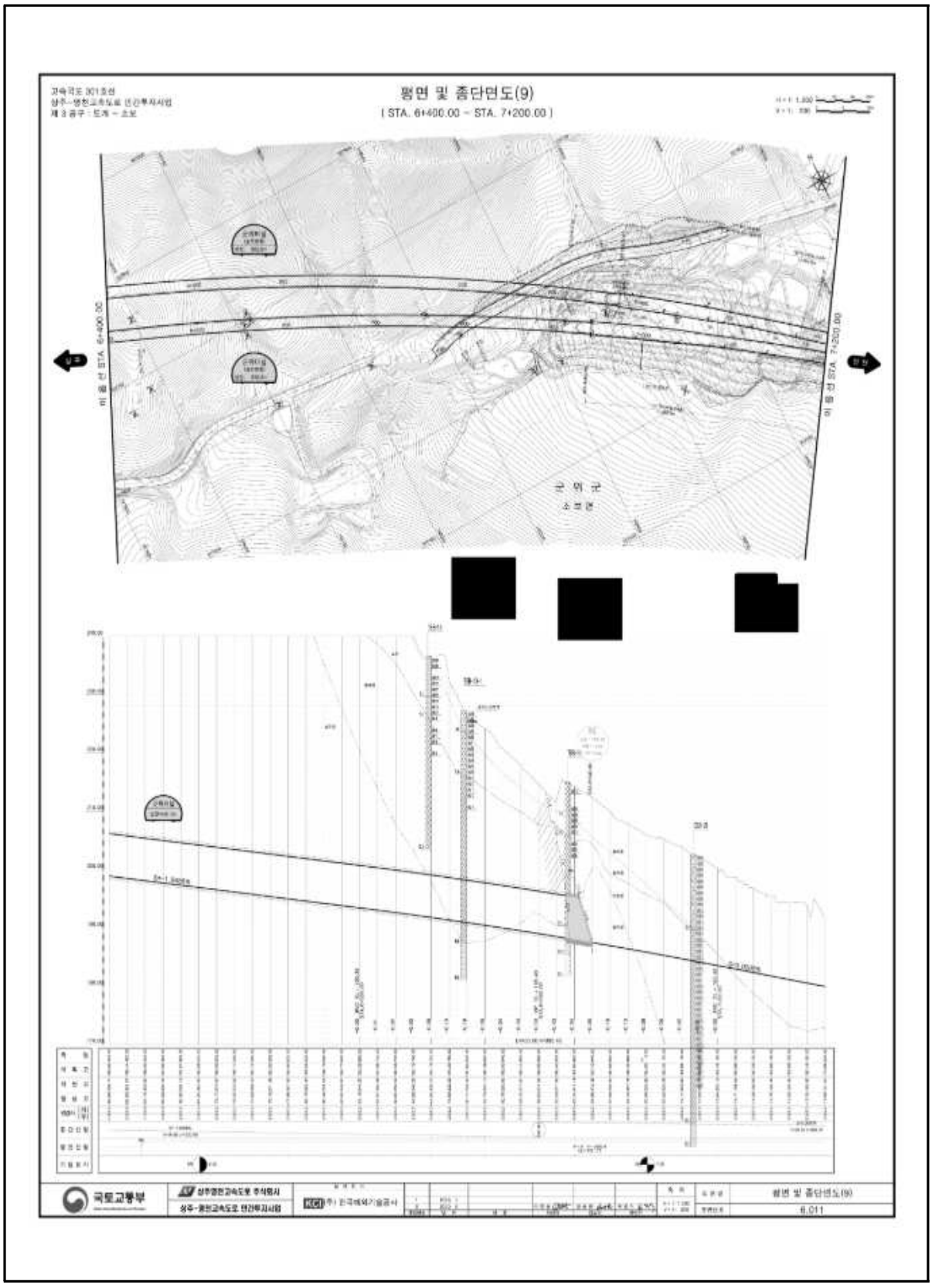
시설물번호	SL2017-0000038		**관리번호**	SY SL18
시설물명	영천절토18		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 소보면 달산리		
	위치좌표	시점 : 36° 16′01″ 128° 25′36″		
		종점 : 36° 15′50″ 128° 25′54″		
	관리이정	22.924~23.494km		
	공구이정	3공구 STA.6+910~7+480		
제 원	**연 장**	570m	**높 이**	31.0m
	경사/방향	45/032	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	20~30°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	㈜한화건설, ㈜삼호
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 사면내 옹벽, 돌망태공		
비 고				

<그림 18-1>위치도

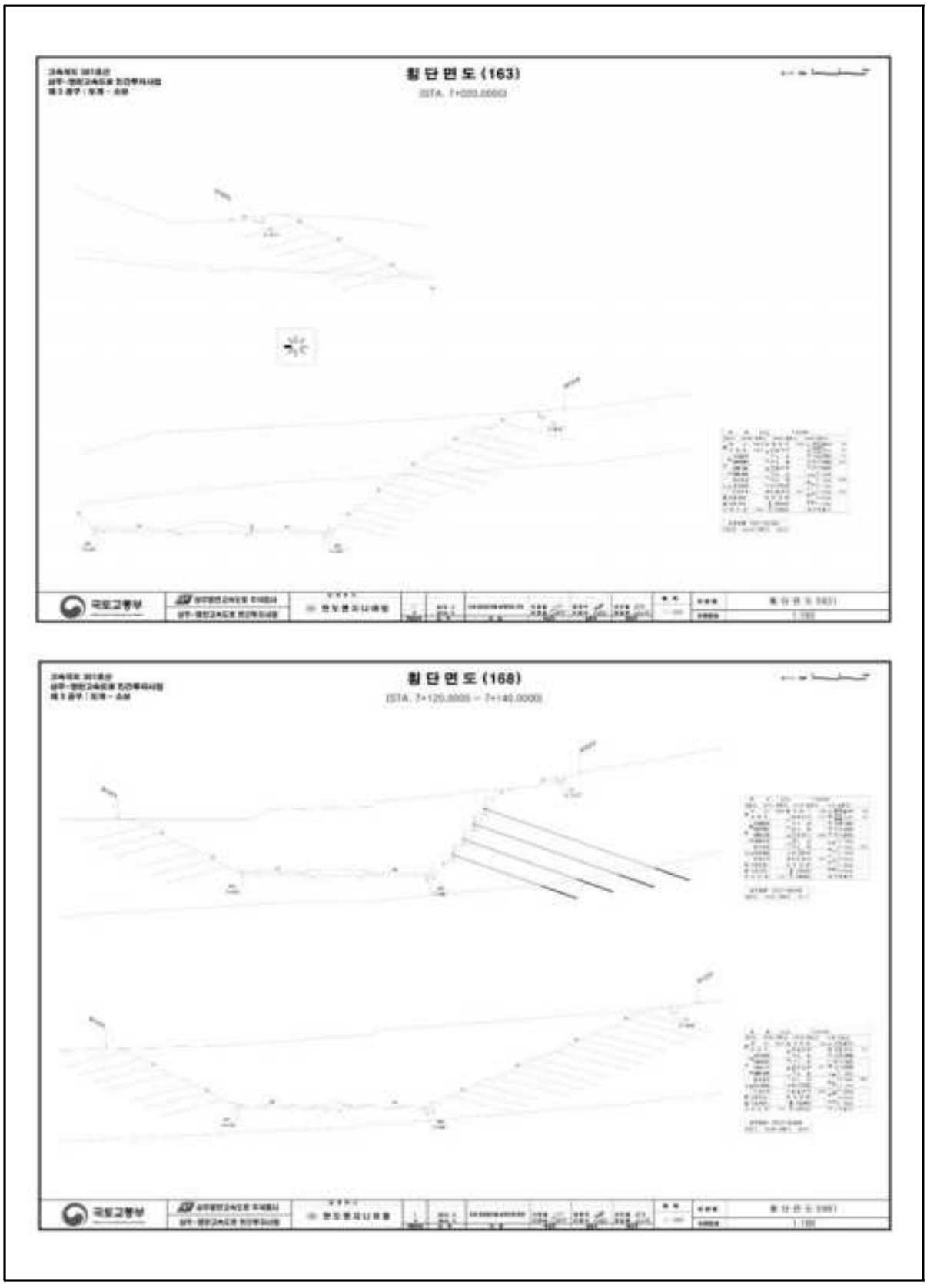
<그림 18-2> 전경사진

정면 전경	정면 전경
정면 전경(돌망태공 현황)	1소단 배수로 전경
하부 전경	수직도수로 전경

<그림 18-2> 전경사진(계속)



<그림 18-3> 평면도



<그림 18-4>표준횡단면도

18.2 관련 자료의 분석

18.2.1 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 18-2> 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 3공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구
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 3공구
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.

18.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

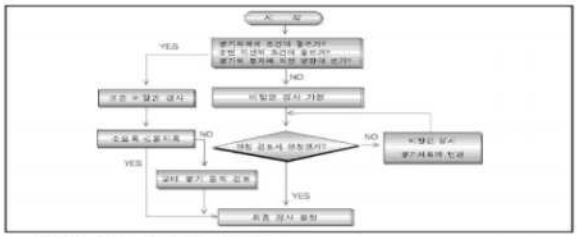
8.4 비탈면 설계기준

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

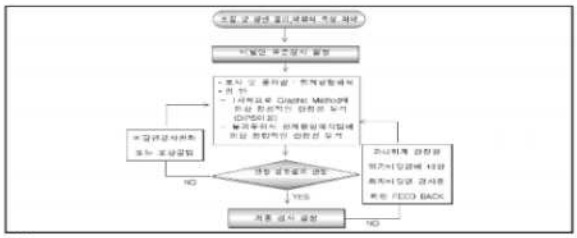
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 평기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 암기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



228

영천-상주 고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 암기 비탈면

자연지반의 모질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 풍력이란, 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 일반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부기적인 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, 2000년)

230

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, 점검보수를 동로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=6.0m마다 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 접하는 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.

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

233

8.4.5 설계기준 선정

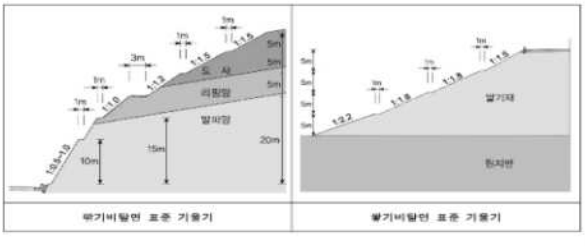
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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
암기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 암기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 • 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) • 암기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	
평기 비탈면	풍 화 암	1 : 1.5~2.2	• 평기 높이 5m 마다 1m 소단설치



암기비탈면 표준 기울기 | 평기비탈면 표준 기울기

236

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 유라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 안경산층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 흔펠스화 • 층리 내지 조립질, 등립질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 선산 구조소분지를 절단. 다곡동(청하산 남서의)의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석정교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개창교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=67%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	쌍기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면안정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 무보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암종 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

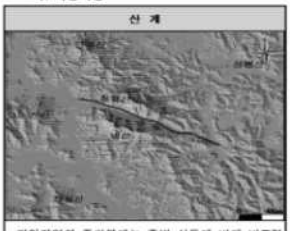
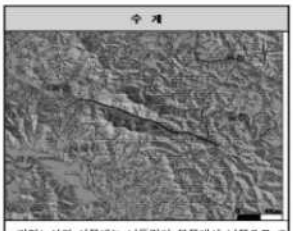
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 안경산층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡점천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기원 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 불국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 업층으로 인한 쏘개점(fissility)이 발달. 또한 이 쏘개점과 같은 방향으로 방해석이 침전 또는 충전되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 중립~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계층도

지질시대		층 명			특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
		-- 부정합 --				
중생대	백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ac})			• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
		-- 관입 --				
		화강암(K_{gr})			• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
		-- 관입 --				
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		-- 관입 및 본출 --				
		신동층군	낙동층 (ke1)	안경산층원 (Ka1-nmi) 상부 (Ka1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
				하부 (Ka1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 반질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 신암단층, 금천단층, 가음단층, 무보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 암산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 무보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 개방습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 잘기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

3) 지반조사 보고서

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 유라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 안경산층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 흔펠스화 • 층리 내지 조립질, 등립질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 선산 구조소분지를 절단. 다곡동(청하산 남서의)의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석정교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=67%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	쌓기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	깎기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면안정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 무보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 봉적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암종 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

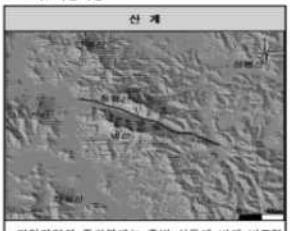
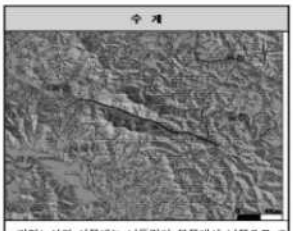
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 안경산층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡점천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기원 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 불국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 압축으로 인한 쏘개점(fissility)이 발달. 또한 이 쏘개점과 같은 방향으로 방해석이 침전 또는 충전되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 층림~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계층도

지질시대		층 명			특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
		-- 부정합 --				
중생대	백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ac})			• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
		-- 관입 --				
		화강암(K_{gr})			• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
		-- 관입 --				
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		-- 관입 및 본출 --				
		신동층군	낙동층(ke1)	안경산층원(Ka1-num)	상부 • 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
					하부 • 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 반질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 褶수향 주향이동 단층인 신암단층, 금천단층, 가음단층, 무보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 암산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 무보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 개방습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 褶수향 방향의 단층에 잘기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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 공역적인 선구조 해석

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

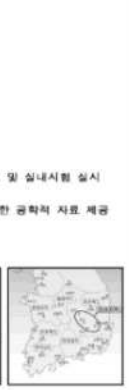
• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구 지반조사

1.2 조사목적

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구를 위한 지반조사
• 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

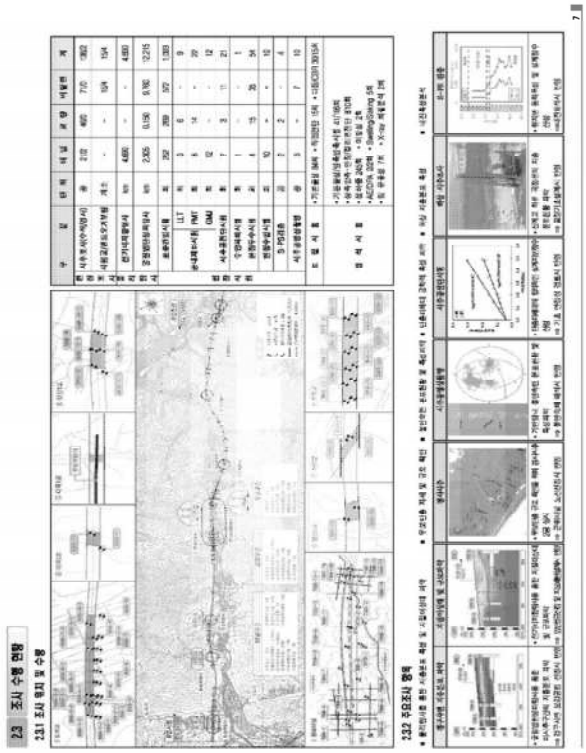
위 치	• 시점 : 경상북도 구미시 도개면 (STA. 0+000) (X=310,453.951, Y=142,180.556) • 종점 : 경상북도 군위군 소보면(STA. 12+935) (X=304,851.7911, Y=153,668.900) • 연장 : 12.935km
특 성	• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제 2경부축(상주~영천 고속도로 건설 • 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도

• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간		토공구간
• 군위터널 상주방향 : 1,085m 영천방향 : 960m	• 도개교(360.0m) • 다곡2교(30.2m) • 다곡1교(10.0m) • 달산2교(40.5m)	• 달산1교(70.1m) • 개향교(25.5m) • 신계교(176.3m)	• 뭐기구간(14개소) • 쌓기구간(17개소)



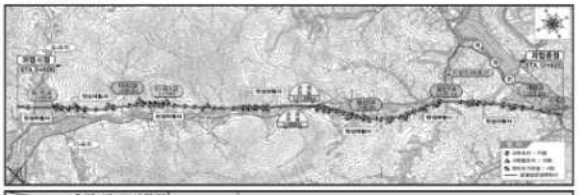
제 7 장 비탈면구간 지반특성 분석 및 설계적용

7.1 개 요

7.1.1 기본방향

조 사 항 목	조 사 기 본 방 향
지층 현황 및 현지반 공학적 특성 분석	• 뭐기구간 지층분포 상태 및 공학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 비탈면 계획 수립 • 쌓기구간 연약지반 분포 유무 파악 및 토사층의 역학적 특성 파악
불연속면 분포 특성 파악	• 불연속면 특성(간격, 방향, JRC, JCS)을 파악하여 암반 비탈면 안정성 분석 및 보강대책 선정시 반영
쌓기재 특성 분석	• 뭐기 및 터널구간에서 발생되는 토사 및 암버력의 쌓기재 적합 여부 판단시 반영

7.1.2 조사위치 및 수량



조사항목 \ 수량 및 조사목적		수 량	조 사 목 적
물리탐사	굴절법탄성파탐사	9.760km	• 지층의 분포 현황 및 두께 파악
현장조사 및 현장시험	시추조사	71공	• 지층분포 및 특성 파악, 암종 및 강층확인
	시험굴조사	15개소	• 쌓기재 적정성 검토, 토공 계획
	핸드오거보링	4개소	• 쌓기구간의 토질상태 및 시료채취
	시추공전단시험	11회	• 동희대층의 강도정수 파악
	현장투수시험	35회	• 토사층의 투수계수 파악
	시추공영상촬영	7공	• 불연속면 크기 및 일달상태, 경사방향 및 경사각, 암반의 변화 및 공학적 특성 파악
실내토질시험		• 기본물성시험 77회, 직접전단시험 15회, 다짐/CBR시험 30/15회	
실내암석시험		• 점하중강도시험 36회, 물성시험/일축압축 12/12회, 정리면 전단시험 8회 Swelling/Slaking 5회, 본선암 유용성시험 5회	

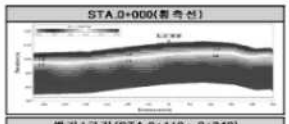
7.2 지층특성 분석

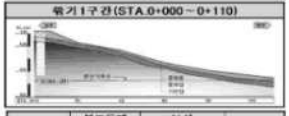
7.2.1 기본방향

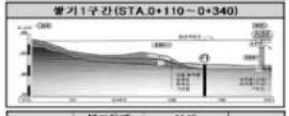
• 지표지질조사, 시추조사, 탐사 결과를 각 교량구간에 분포하는 매립 · 풍화층, 퇴적층 및 풍화대층 분포현황 파악

7.2.3 분포 현황 파악

가. STA.0+000~0+340(뭐기1, 쌓기1구간)



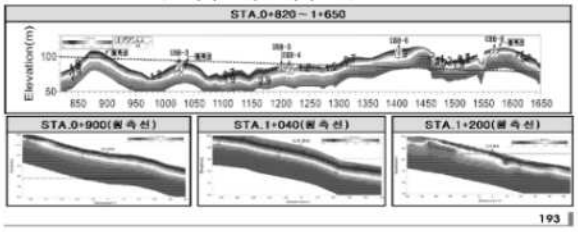




지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
풍화토	4.0~4.8 (0.0~0.2)	19/30~50/14	SM
풍화암	2.6~3.7 (4.0~5.0)	50/10~50/6	–
기반암	(6.6~8.7)	(46~100/0~100)	사암, 니암암

지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
풍적층	3.0 (0.0)	45/30~50/8	SM
풍화토	1.0 (3.0)	28/30	SM
풍화암	4.0~5.2 (3.0~4.0)	50/9~50/2	–
기반암	– (3.0~7.0)	69~97/4~48	사암(~셰일)/ 신생대층

나. STA.0+700~1+650(뭐기2, 3, 4구간, 쌓기2, 3, 4구간)

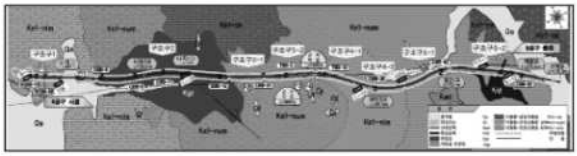


7.3 지반특성 분석

7.3.1 토질물성시험

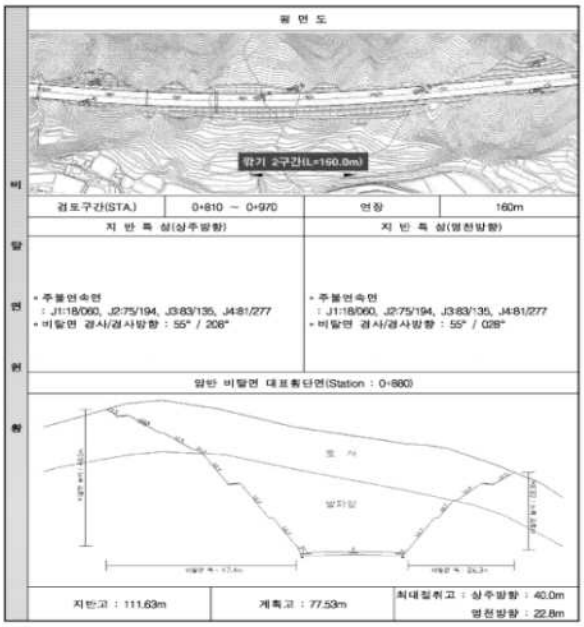
공 번		심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit LL(%)	PI	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.02mm	USCS
풍화기부	CBB-3	1.0	풍화토	8.2	2.68	NP	-	100	93.1	44.8	24.6	-	SM
	CBB-4	2.0	풍화토	7.1	2.70	NP	-	56.4	41.0	28.4	16.4	-	GM
	CBB-5	1.0	풍화토	18.4	2.68	27.6	4.9	100	100	80.6	56.3	12.5	ML
	CBB-6	2.0	풍화토	11.0	2.65	NP	-	97.8	70.7	31.5	13.2	-	SM
	CBB-7	1.0	풍화토	12.0	2.66	NP	-	97.9	65.3	26.4	12.4	-	SM
	CBB-10	2.0	풍화토	11.5	2.65	NP	-	100	92.6	43.3	22.5	-	SM
	CBB-11	1.0	풍화토	9.8	2.68	NP	-	100	75.1	22.4	8.2	-	SW-SM
	CBB-12	2.0	붕적층	15.5	2.67	26.8	4.3	100	97.8	82.2	43.2	8.0	SM
	CBB-15	1.0	풍화토	12.2	2.69	NP	-	100	82.3	24.4	7.5	-	SW-SM
	CBB-16	1.0	풍화토	11.3	2.69	NP	-	98.0	84.2	29.2	10.0	-	SW-SM
	CBB-20	4.0	붕적층	17.6	2.70	32.4	10.4	96.7	96.2	91.1	71.9	17.5	CL
	CBB-21	5.0	붕적층	10.5	2.71	32.6	10.9	84.7	83.4	70.9	47.6	15.0	SC
	CBB-22	1.0	붕적층	14.6	2.69	30.2	9.7	90.2	87.6	79.7	61.9	17.0	CL
	CBB-23	4.0	붕적층	20.6	2.70	28.2	4.8	74.5	64.5	57.8	59.2	7.5	ML
	CBB-26	6.0	풍화토	15.1	2.67	NP	-	100	98.4	60.6	29.9	-	SM
	CBB-28	5.0	붕적층	11.9	2.69	NP	-	81.4	75.1	52.0	28.9	-	SM
	CBB-29	1.0	붕적층	13.0	2.71	NP	-	47.9	42.3	28.6	15.2	-	GM
	CBB-30	8.0	붕적층	13.3	2.69	28.1	5.1	100	96.6	67.2	43.4	8.0	SM
	CBB-31	1.0	붕적층	16.9	2.71	27.3	4.5	100	97.3	82.8	60.9	12.0	ML
	CBB-32	6.0	붕적층	11.3	2.67	NP	-	98.1	92.7	60.8	28.7	-	SM
	CBB-33	3.0	풍화토	10.8	2.69	NP	-	98.9	92.1	59.9	33.8	7.0	SM
	CBB-34	1.0	풍화토	9.6	2.67	NP	-	100	96.2	49.8	23.6	-	SM
	CBB-35	1.0	풍화토	3.7	2.68	NP	-	92.3	83.8	32.8	14.2	-	SM
	CBB-36	1.0	풍화토	12.8	2.68	NP	-	76.3	60.8	31.3	14.4	-	SM
	CBB-43	3.0	풍화토	16.9	2.70	NP	-	100	95.6	60.6	27.7	-	SM
	CBB-44	3.0	풍화토	9.7	2.71	NP	-	100	88.6	34.7	13.2	-	SM
	CBB-45	1.0	풍화토	8.6	2.68	NP	-	91.2	75.1	39.5	18.6	-	SM
	CBB-46	1.0	풍화토	5.6	2.67	NP	-	98.3	90.7	38.5	17.1	-	SM
	CBB-47	1.0	붕적층	13.6	2.71	26.8	4.2	100	98.9	76.1	41.6	7.5	SM
	CBB-49	4.0	풍화토	17.7	2.71	NP	-	100	98.4	58.6	28.6	-	SM
	CBB-50	1.0	붕적층	29.3	2.73	28.2	4.9	100	100	97.8	58.7	9.0	ML
	CBB-50	2.0	붕적층	13.1	2.68	NP	-	67.2	57.2	36.5	14.9	-	SM
쌍기부	SBB-2	1.0	풍화토	7.9	2.67	NP	-	95.4	80.6	40.1	15.2	-	SM
	SBB-3	2.0	풍화토	13.3	2.66	NP	-	100	95.6	53.6	33.6	7.5	SM
	SBB-4	2.0	붕적층	19.0	2.68	31.5	9.2	97.0	90.1	69.5	51.8	14.5	CL
	SBB-5	2.0	붕적층	8.3	2.64	NP	-	38.1	28.7	13.5	5.9	-	GW-GM
	SBB-6	1.0	붕적층	10.3	2.68	NP	-	34.3	26.9	14.9	4.9	-	GP
	SBB-7	3.0	풍화토	13.1	2.66	NP	-	90.5	80.3	51.2	26.2	-	SM
	SBB-8	4.0	풍화토	22.0	2.68	NP	-	99.2	95.0	51.7	28.3	-	SM
	SBB-10	1.0	풍화토	16.8	2.65	NP	-	100	89.8	62.7	39.2	7.5	SM
	SBB-11	3.0	퇴적층	14.1	2.64	NP	-	98.0	85.1	47.1	24.4	-	SM
	SBB-12	1.0	붕적층	13.5	2.64	NP	-	98.8	87.2	49.0	23.2	-	SM
	SBB-13	1.0	붕적층	12.3	2.67	27.1	4.9	100	100	87.4	58.8	14.0	ML
	SBB-15	2.0	붕적층	16.9	2.68	28.5	6.0	100	99.0	86.9	62.9	15.0	ML
	SBB-16	1.0	붕적층	5.4	2.67	NP	-	39.1	31.4	19.4	7.6	-	GW-GM

7.5.3 구조구 분류 결과



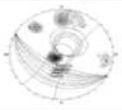
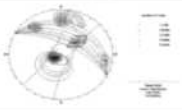
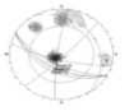
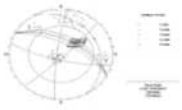
구 분	구조구 1	구조구 2	구조구 3		구조구 4		구조구 5	
			3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
암 상	Kel-nlm	Kgr	Kel-num		Kel-nlm		Kel-num	
BIPS	9CBB-18 9CBB-20	CBB-5 CBB-9 CBB-11 CBB-19 (SBB-12)	CBB-21	TBB-3	TBB-15	CBB-36	CBB-43	CBB-52
스캔라인	S-13 118	L-13	-	-	-	L-12	HO3	111-1 S-12
STA.	1+319	4+597	5+453	6+430	7+688	8+980	10+140	
비 고	암상	암상	습곡축 및 구조물	암상	습곡축 및 단열	암상	단층, 습곡 및 단열	

(2) 쌍기 2구간



쌍기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

비고

- 암반층 평사투영 해석결과 영천방향 1:0.5~1:1.0기울기에서 전도파괴 가능성이 있음.
- 영천방향 암반비탈면 불연속면이 Toppling Zone에 위치하여 전도파괴 가능성이 있으므로 녹화공법, 낙석방지그물, 낙석방지볼타리를 적용하여 안정성 확보

18.2.3 점검 및 진단 이력

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

<표 18-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토18 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 이격 및 보수부 재손상(균열, 파손)이 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	영천절토18 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 보수부 재균열이 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	영천절토18 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 일부구간 표층유실이 조사되었으며, 소단배수로 일부구간에서 보수부 재균열이 발생한 것으로 확인되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	영천절토18 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 일부구간 표층유실이 조사되었으며, 소단배수로 일부구간에서 균열 및 재균열이 발생한 것으로 확인되었다. 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 평가됨 사면 식생공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었으며, 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사됨	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토18 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 확인되었다. 기 점검시 조사된 소단배수로 종균열의 경우 보수를 실시한 것으로 조사되었으며, 보수부의 상태는 양호한 것으로 확인되었다. 미보수된 손상부의 경우 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호

18.2.4 보수·보강이력

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

<표 18-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

18.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 18-5> 내진 설계 적용 여부

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

18.2.6 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 18-6> 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

18.3 현장조사

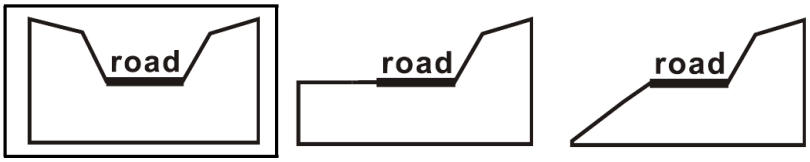
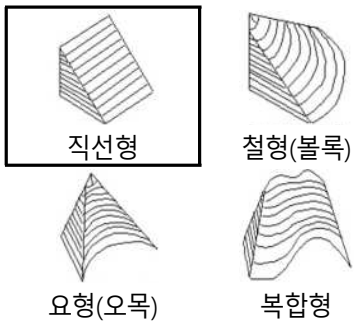
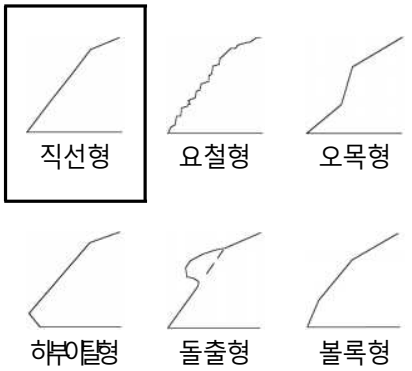
18.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 18-7> 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 소보면 달산리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 16′01″ 128° 25′36″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 15′50″ 128° 25′54″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 570m</td><td colspan="3">높 이 : 31.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/032</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="3">토층심도 : 약 1.0~4.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 5</td></tr>
<tr><td rowspan="4">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="7">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="2">22.924~23.494k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">22.924~23.494k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">22.924~23.074k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>돌망태공</td><td colspan="2">23.314k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>사면내 옹벽</td><td colspan="2">23.164~23.264k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">22.984k</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 18-8> 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 18-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토18		
	위경도	시점 : 36° 16′01″ 128° 25′36″ 종점 : 36° 15′50″ 128° 25′54″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	570.0m	최대높이	31.0m
	경사	45°	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	1.0~4.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) ■옹벽(양호) □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			

18.3.2 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 소보면 달산리(상주영천고속도로 22.924~23.494km)에 위치한 사면으로서 총 연장 570.0m, 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 18-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{31.0}=0.13$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 95.4㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{31.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{23.0}=0.13$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반	
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{8.0}=0.13$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 570m로서, 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 18-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	22.924~23.104km	180m
2구간	23.104~23.274km	170m
3구간	23.274~23.494km	220m

18.3.3 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 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 18-12> 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)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 18-13> 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 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 18-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	15/289	18/303	-
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	-
연장성(m)	1~3	1~3	-
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	-
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	-
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	-
풍화도	MW	MW	-
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		
구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	-	-	-
간격(m)	-	-	-
연장성(m)	-	-	-
틈새(mm)	-	-	-
거칠기	-	-	-
충진물질	-	-	-
풍화도	-	-	-
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		
구 분	3구간		
	Set 7	Set 8	Set 9
방향성	-	-	-
간격(m)	-	-	-
연장성(m)	-	-	-
틈새(mm)	-	-	-
거칠기	-	-	-
충진물질	-	-	-
풍화도	-	-	-
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 18-15> 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 종방향 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 18-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	2EA / 40.0	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 18-17> 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 18-18> 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 18-19> 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 18-20> 인장균열 조사 결과

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

18.3.4 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 보통암인 것으로 판단된다.

<표 18-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
22.960km	47.9	85.1	보통암	5단
22.965km	49.7	92.3	보통암	5단
22.970km	48.3	86.6	보통암	5단
22.975km	48.1	85.8	보통암	1단
22.980km	48.6	87.7	보통암	1단
22.985km	49.5	91.4	보통암	1단
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 47.9~49.7로 측정되었으며, 추정강도 85.1~92.3MPa로 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 18-22> 표면보호공 조사 결과

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

식생공 전경

식생공 전경

돌망태공 전경

판넬옹벽 전경

라. 사면보강공

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

<표 18-23> 사면보강공 조사 결과

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

18.4 안전성능평가

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

18.4.1 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 0.13으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 18-24> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{31.0}=0.13$로 0.4미만	암반사면	**파쇄 암반사면**
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 95.4㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{31.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{23.0}=0.13$로 0.4미만	암반사면	**파쇄 암반사면**
	압축강도	10㎫	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반	
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{8.0}=0.13$로 0.4미만	암반사면	**파쇄 암반사면**
	압축강도	10㎫	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(1구간) 활용	파쇄암반	

본 사면은 연장 570m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 3구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~2으로 표기하였다.

<표 18-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	22.924~23.104km	180m	암반사면	Set1, Set2
2구간	23.104~23.274km	170m	암반사면	
3구간	23.274~23.494km	220m	암반사면	

<표 18-26> 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 18-27> 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 18-28> 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 18-29> 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 18-30> 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 18-31> 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 18-32> 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 18-33> 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 18-34> 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 18-35> 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 18-36> 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 18-37> 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 18-38> 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 18-39> 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 18-40> 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 18-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토18		
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. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 18-42> 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 18-43> 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 18-44> 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 18-45> 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 18-46> 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 18-47> 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 18-48> 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 18-49> 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 18-50> 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 18-51> 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 18-52> 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 18-53> 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 18-54> 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 18-55> 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 B등급으로 평가되었다.

<표 18-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토18		
사면 종류	절토사면	구성재료		파쇄암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	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			15	
결함지수		0.15		
상태안전성능평가 결과		**B**		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 18-57> 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 18-58> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

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 18-59> 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+10+5+10+10) / 6 = 7.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 18-60> 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	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 18-61> 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 18-62> 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 18-63> 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 18-64> 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 18-65> 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 18-66> 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 18-67> 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 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. 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 18-68> 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 18-69> 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 18-70> 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 18-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		영천절토18		
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		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 18-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
570.0m	1구간	22.924~23.104km	a(0.14)	B	인장균열 없음
	2구간	23.104~23.274km	b(0.15)		
	3구간	23.274~23.494km	a(0.14)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

18.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

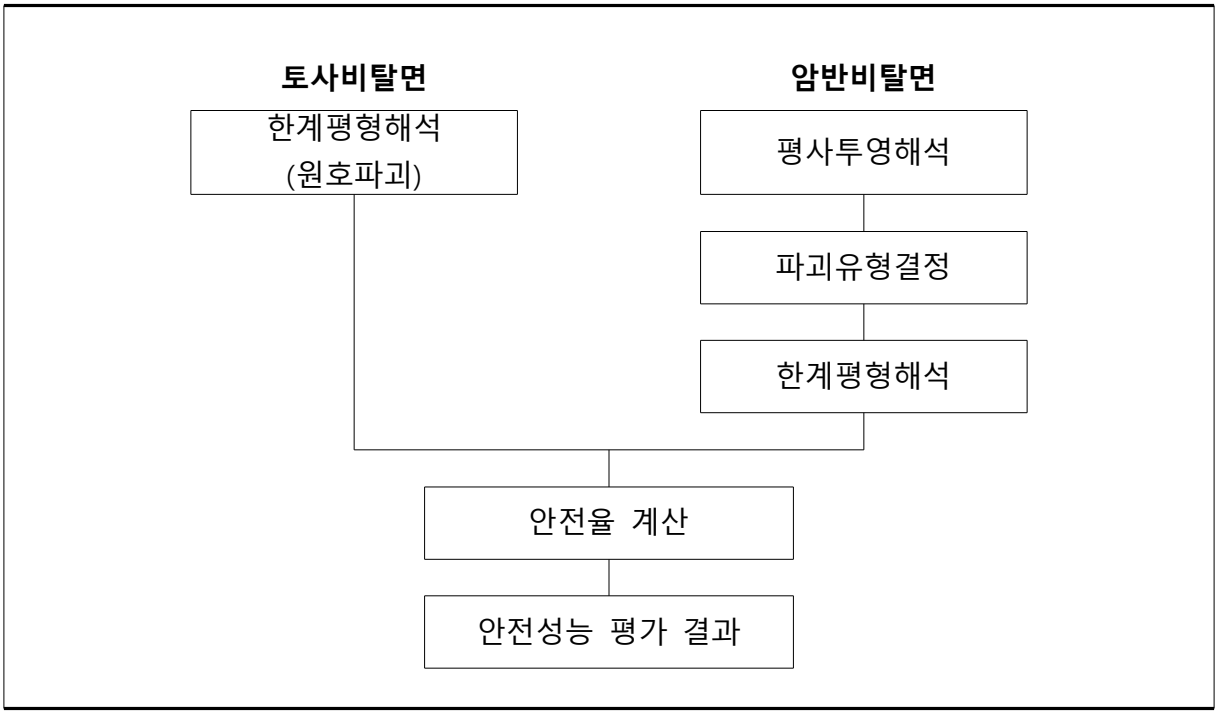
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 18-5> 구조안전성능 평가과정

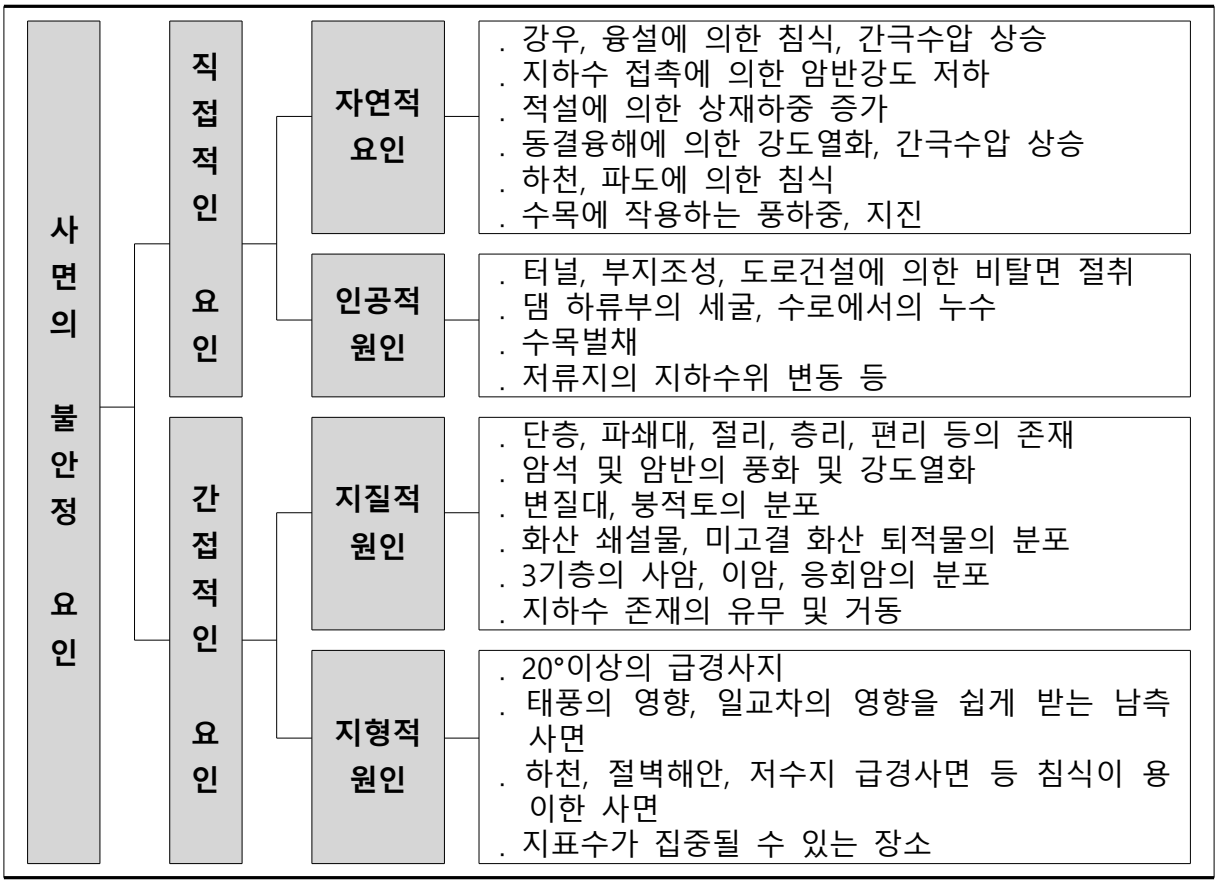
<표 18-73> 유형별 안정해석 범위

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

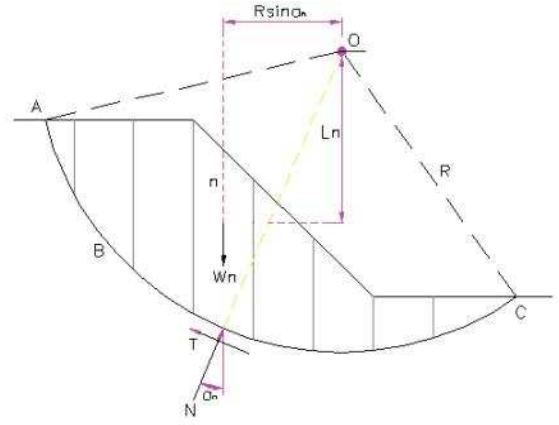


<그림 18-6> 구조안전성능 평가과정

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

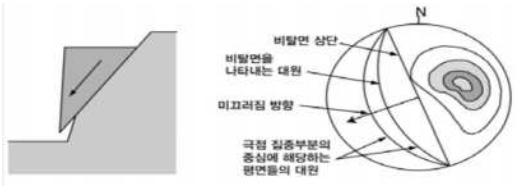
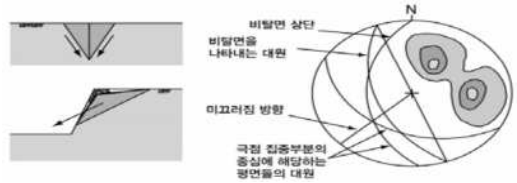
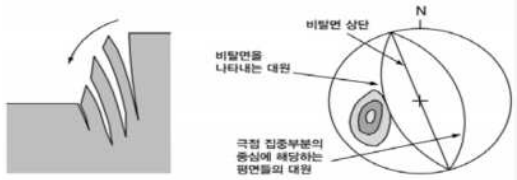
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 18-7> 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 18-74> 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 18-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

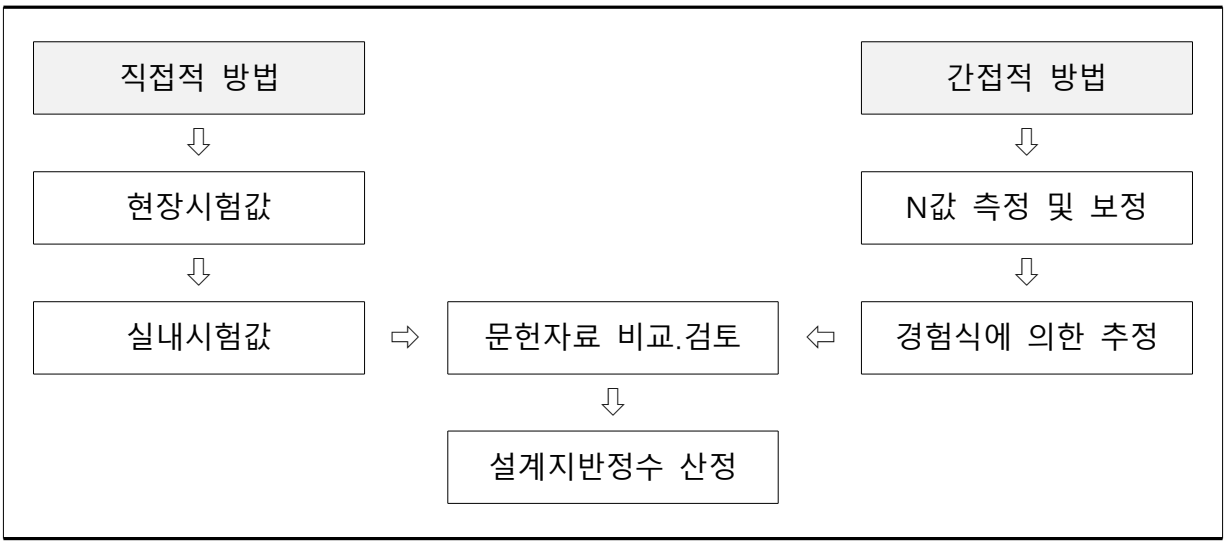
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 18-76> 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 18-77> 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 18-78> 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 18-79> 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 18-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (3공구)	풍화(잔적)토	18.5	27	20	
	풍화암	19.5	29	35	
	기반암	25.0	35	230	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 18-81> 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 18-82> 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 18-83> 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 18-84> 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 18-85> Trueman (1988)

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

<표 18-86> 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	18.5	27	20	0.3	
풍화암	19.5	29	35	0.3	
기반암	25.0	35	230	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 18-87> 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

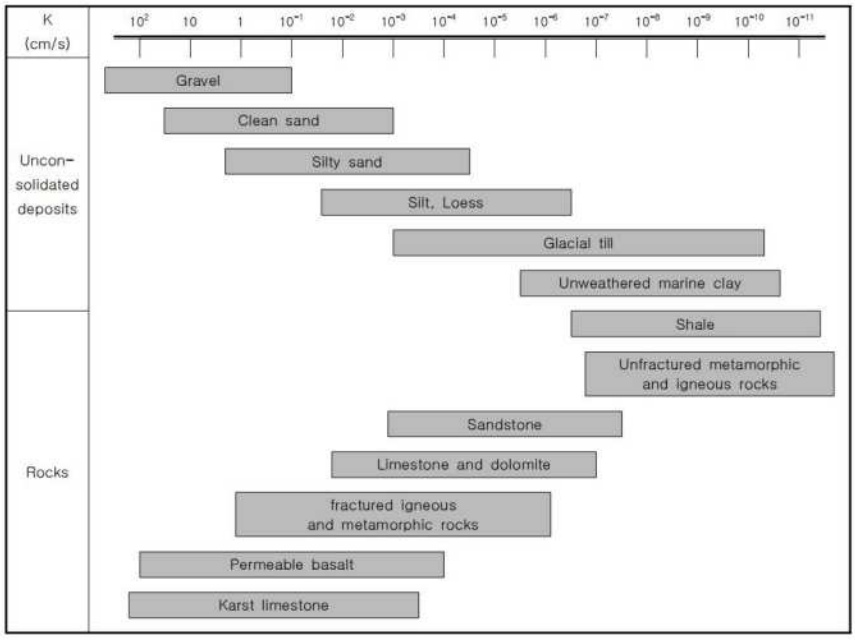
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 18-88> 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 18-89> 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 18-8> 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 18-90> 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

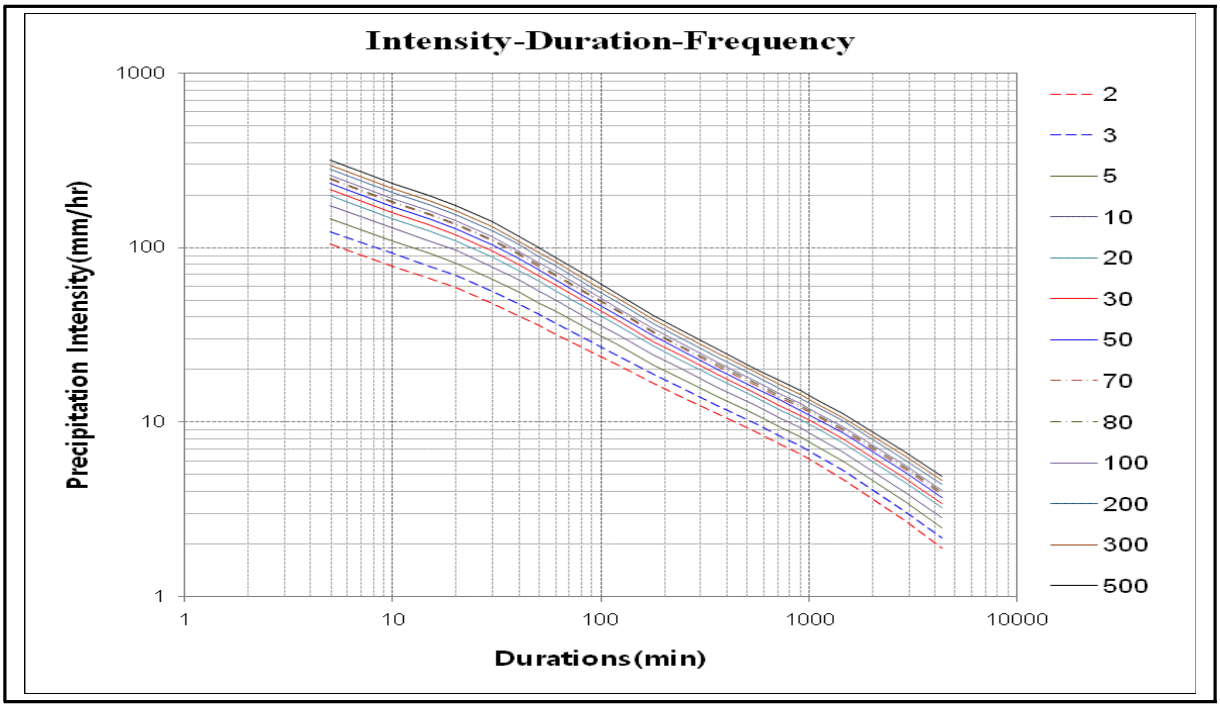
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 18-9> 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 18-10> 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 18-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 18-91> 설계지반운동 수준

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

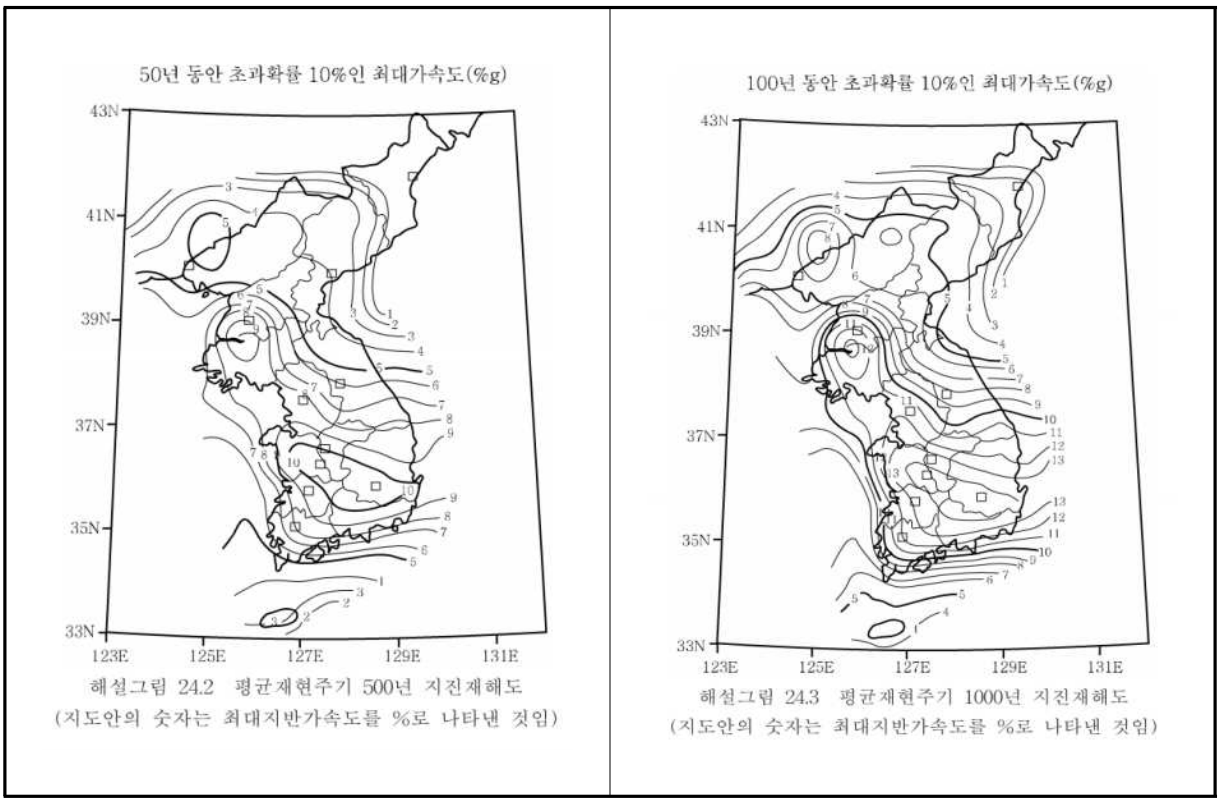
2) 설계지반운동

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 18-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 18-92> 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 18-93> 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 18-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토18	경상북도 군위군 소보면 달산리	22.924 ~ 23.494	STA.22+924	31.0	4.0	27.0	락볼트	2017	45/032
			STA.23+104	23.0	3.0	20.0	락볼트	2017	45/032
			STA.23+274	8.0	1.0	7.0	락볼트	2017	45/032

<그림 18-13> 영천절토18 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토18 비탈면 안정성검토

1) 세부위치

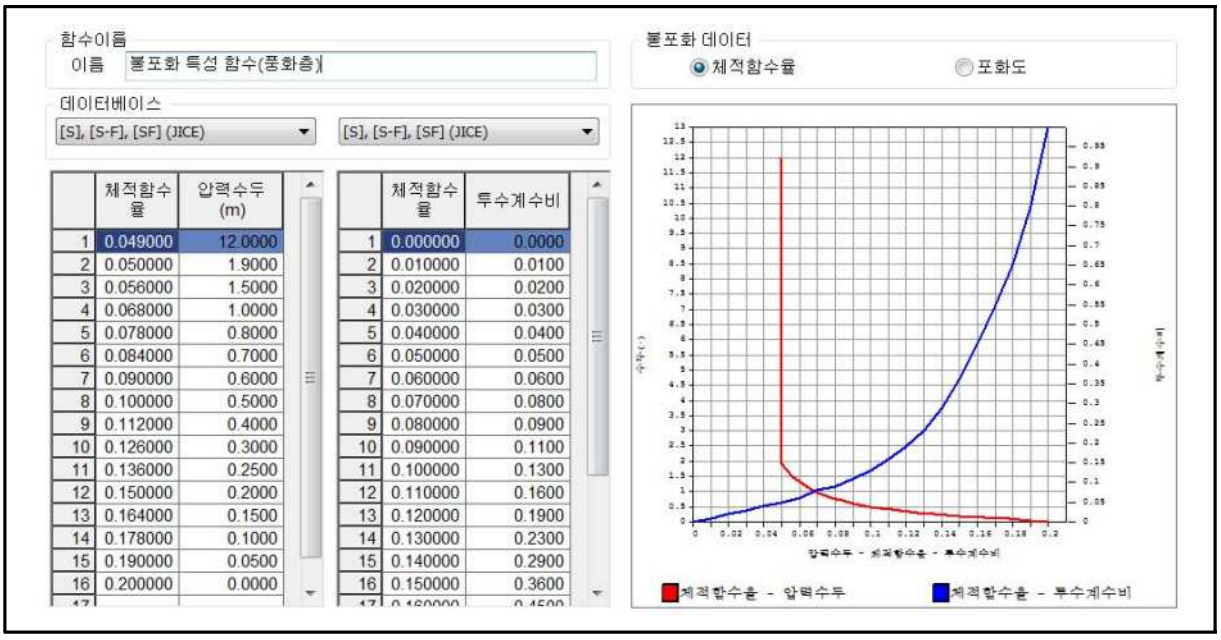
<그림 18-14> 영천절토18 검토대상 비탈면구간

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	18.5	27	20	7.4E-04	
풍화암	19.5	29	35	6.2E-04	
기반암	25.0	35	230	1.5E-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

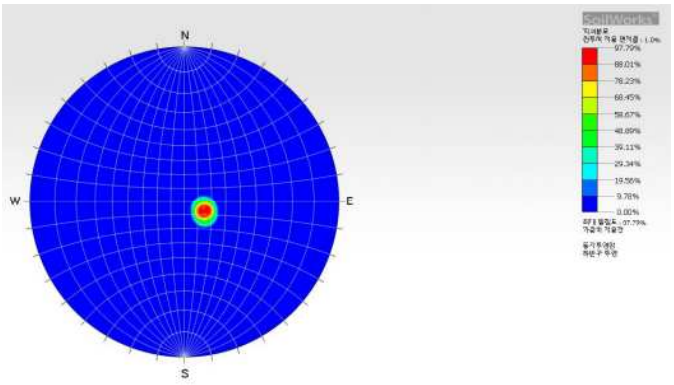
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 18-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

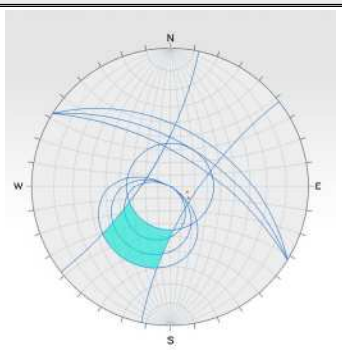
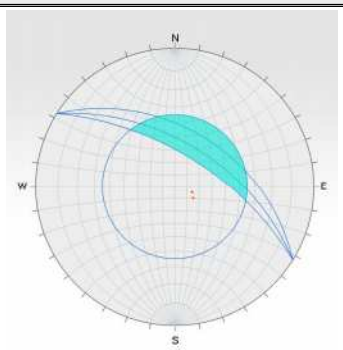
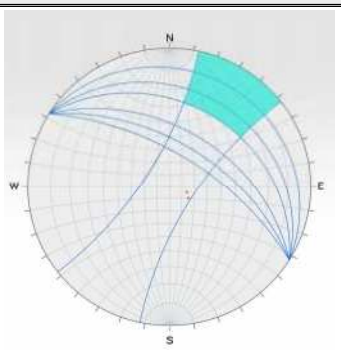
3) 1구간 (STA.22+924 ~ 23+104)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 15 18	dip direction 289 303

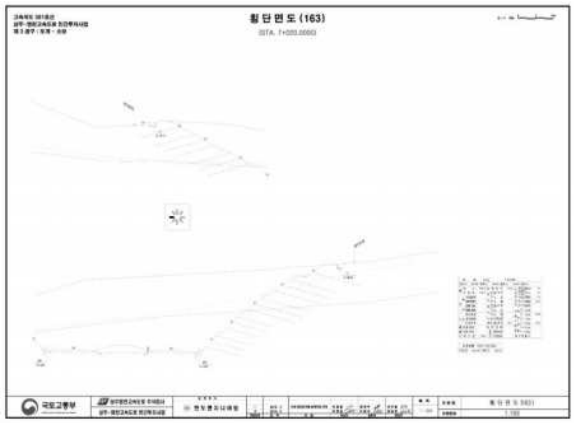
◦ 해석결과

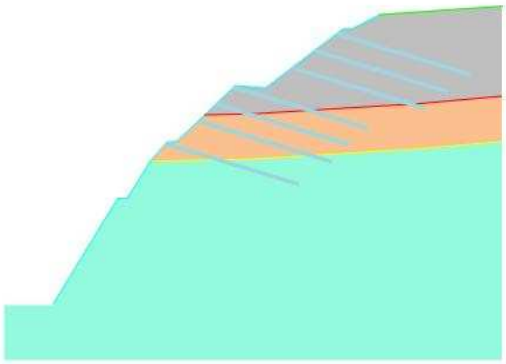
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

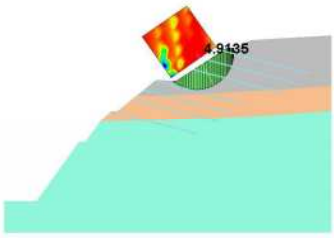
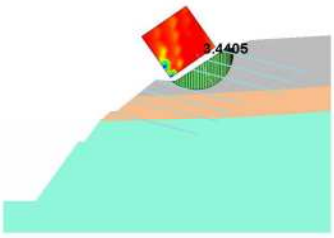
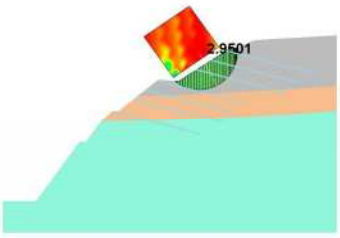
◦ 검토단면





대표단면 : STA.22+924, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 4.91	안전율 : 3.44	안전율 : 2.95

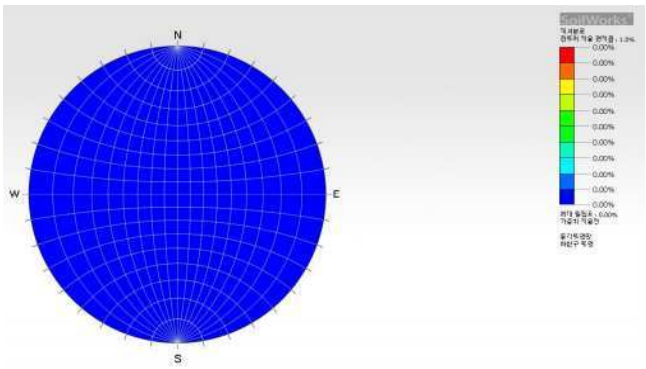
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

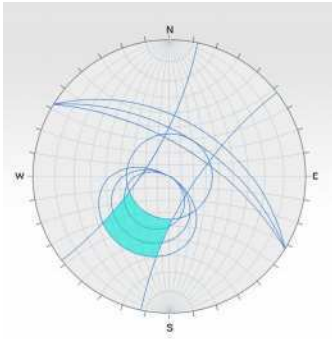
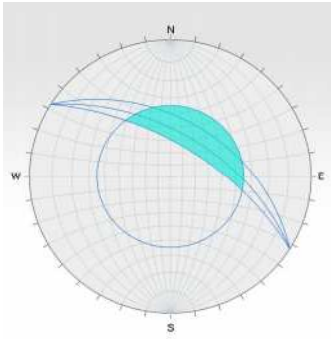
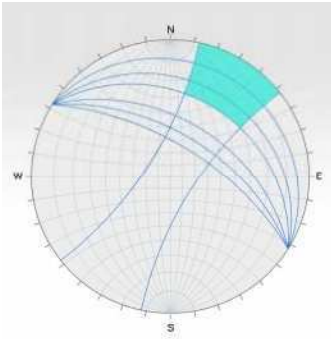
4) 2구간 (STA.23+104 ~ 23+274)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

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

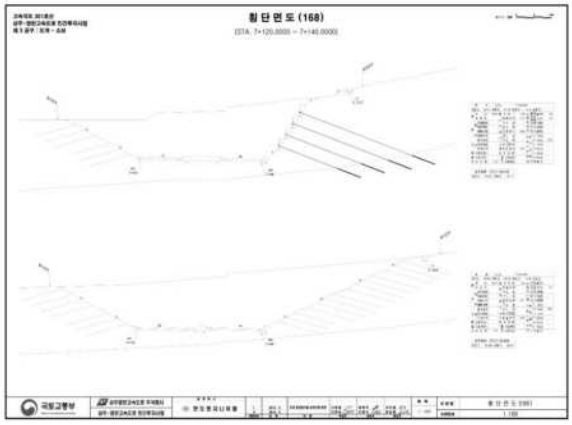
◦ 해석결과

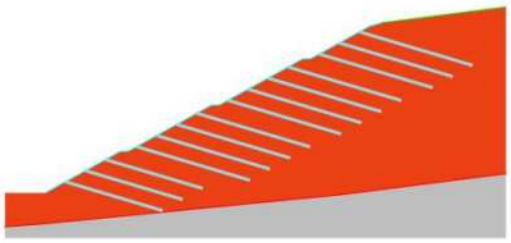
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

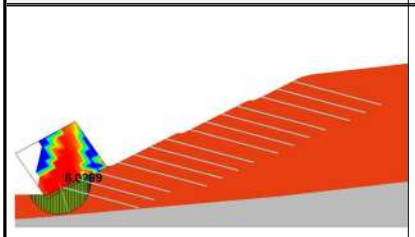
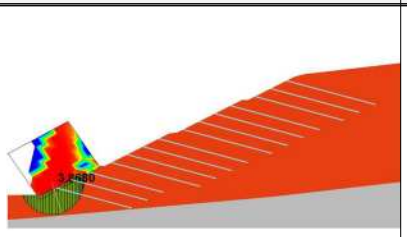
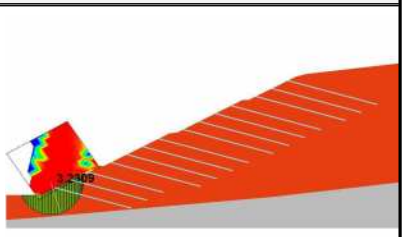
◦ 검토단면





대표단면 : STA.23+104, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 6.02	안전율 : 3.86	안전율 : 3.23

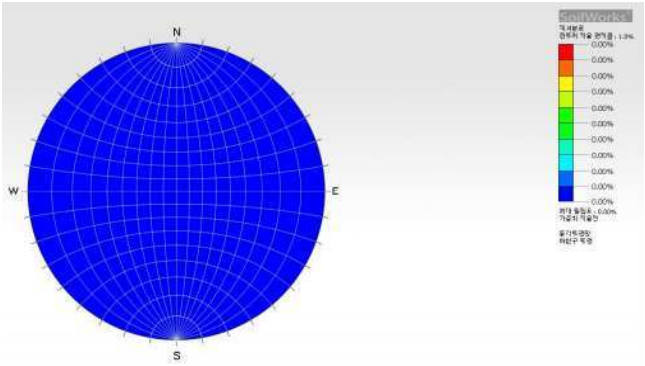
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

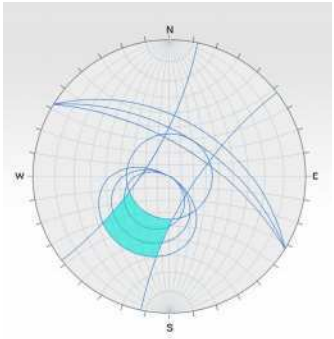
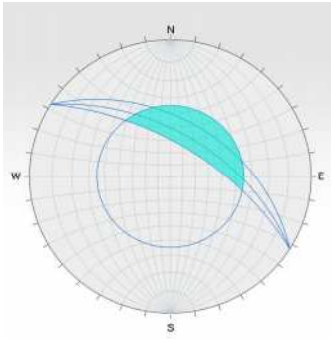
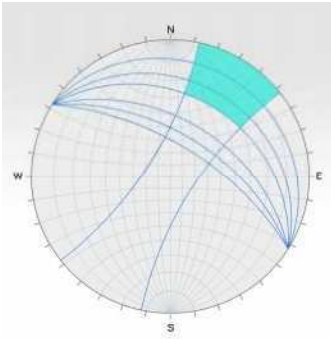
5) 3구간 (STA.23+274 ~ 23+494)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

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

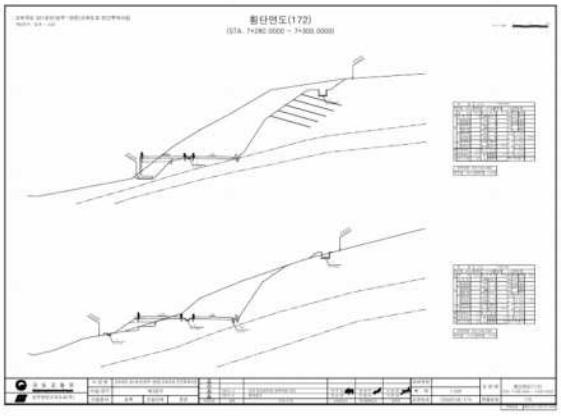
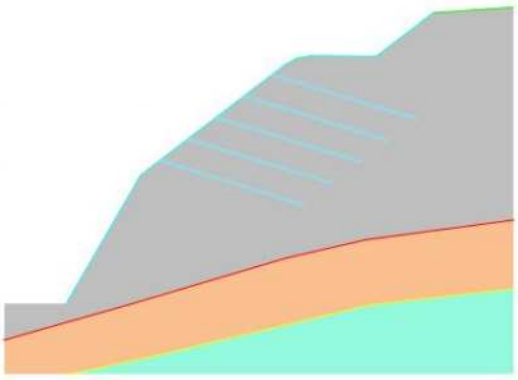
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

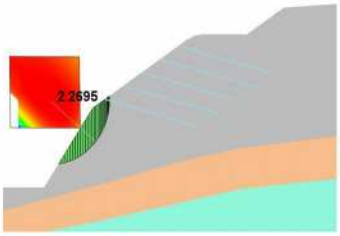
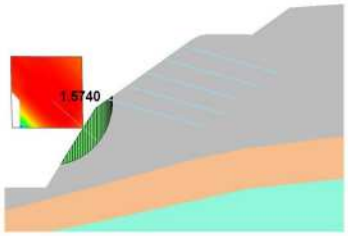
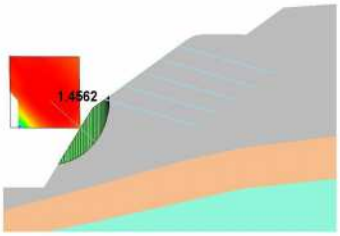
구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면

	
대표단면 : STA.23+274, 영천	

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.26	안전율 : 1.57	안전율 : 1.45

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 18-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토18**		
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	2.26	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.57	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.45	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

18.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 18-96> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토18**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.150	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.150	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 18-97> 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

18.5 내구성능 평가

18.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 18-98> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		파쇄암반사면	SR = 4/31 = 0.13
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		보통암 : 100.0MPa	추정
면적	전체	7,020㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	7,020㎡	
표면보호공	식 생	6,855㎡	
	돌망태	54㎡	
	옹 벽	111㎡	
사면보강공			

18.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 18-99> 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

18.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 18-100> 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 18-101> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
22.960km	85.1	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
22.965km	92.3	-	
22.970km	86.6	-	
22.975km	85.8	-	
22.980km	87.7	-	
22.985km	91.4	-	
평균값	87.3	-	
등급	**A등급**		

<표 18-102> 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 18-103> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기/석장공		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	6,855/6,855㎡	100.0%	0.0/54㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 18-104> 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 18-105> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
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	MW	MW	-
	c(10)	c(10)	-
합 계	35	35	-
평 균	7.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-
평가항목	**불연속면(2구간)**		
	Set 4	**Set 5**	**Set 6**
길이(m)	-	-	
	-	-	
틈새(㎜)	-	-	
	-	-	
거칠기	-	-	
	-	-	
충전물	-	-	
	-	-	
풍화진행도	-	-	
	-	-	
합 계	-	-	
평 균	-	-	
평가 결과	-	-	

<표 18-105> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(3구간)		
	Set 7	Set 8	Set 9
길이(m)	-	-	
	-	-	
틈새(㎜)	-	-	
	-	-	
거칠기	-	-	
	-	-	
충전물	-	-	
	-	-	
풍화진행도	-	-	
	-	-	
합 계	-	-	
평 균	-	-	
평가 결과	-	-	

<표 18-106> 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	-	-	
2구간 - Set 4	-	-	
2구간 - Set 5	-	-	
2구간 - Set 6	-	-	
3구간 - Set 7	-	-	
3구간 - Set 8	-	-	
3구간 - Set 9	-	-	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

18.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 18-107> 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 18-108> 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 18-109> 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

18.6 종합평가

18.6.1 종합평가 개요

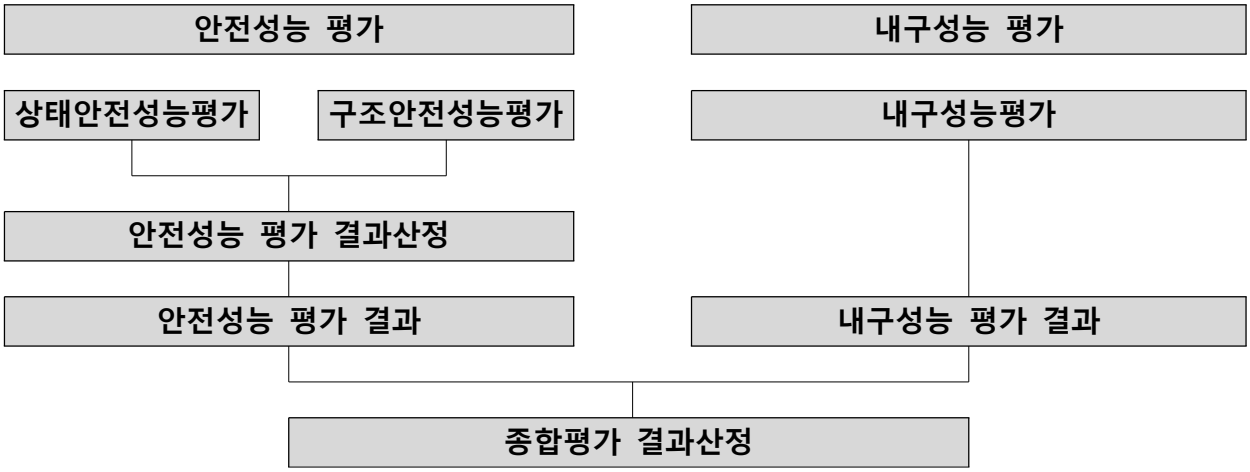
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 18-16> 종합평가 흐름도

18.6.2 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 18-110> 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 18-111> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토18		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.150	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.150 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.173 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 18-112> 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

18.7 유지관리 전략 제안

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

18.7.1 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 18-113> 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				

18.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.173)"으로 평가되었다.

<표 18-114> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.150	0.265	0.173
평가결과	B	B	B

18.7.3 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 18-115> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

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

나. 유지관리 전략 제안

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

18.8 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 B등급으로 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, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제19장 영천절토19

19.1 대상 시설물 현황

19.2 관련 자료의 분석

19.3 현장조사

19.4 안전성능평가

19.5 내구성능평가

19.6 종합평가

19.7 유지관리전략 제안

19.8 종합결론

제19장 영천절토19

19.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 소보면 달산리(상주영천고속도로 24.754~24.974km)에 위치한 사면으로서 총 연장 220.0m, 높이 37.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 19-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000040		**관리번호**	SY SL19
시설물명	영천절토19		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 소보면 달산리		
	위치좌표	시점 : 36° 15′28″ 128° 26′35″		
		종점 : 36° 15′25″ 128° 26′45″		
	관리이정	24.754~24.974km		
	공구이정	3공구 STA.8+740~8+960		
제 원	**연 장**	220m	**높 이**	37.0m
	경사/방향	50/016	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	10~20°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	㈜한화건설, ㈜삼호
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 사면내 옹벽, 격자앵커, 숏크리트		
비 고				

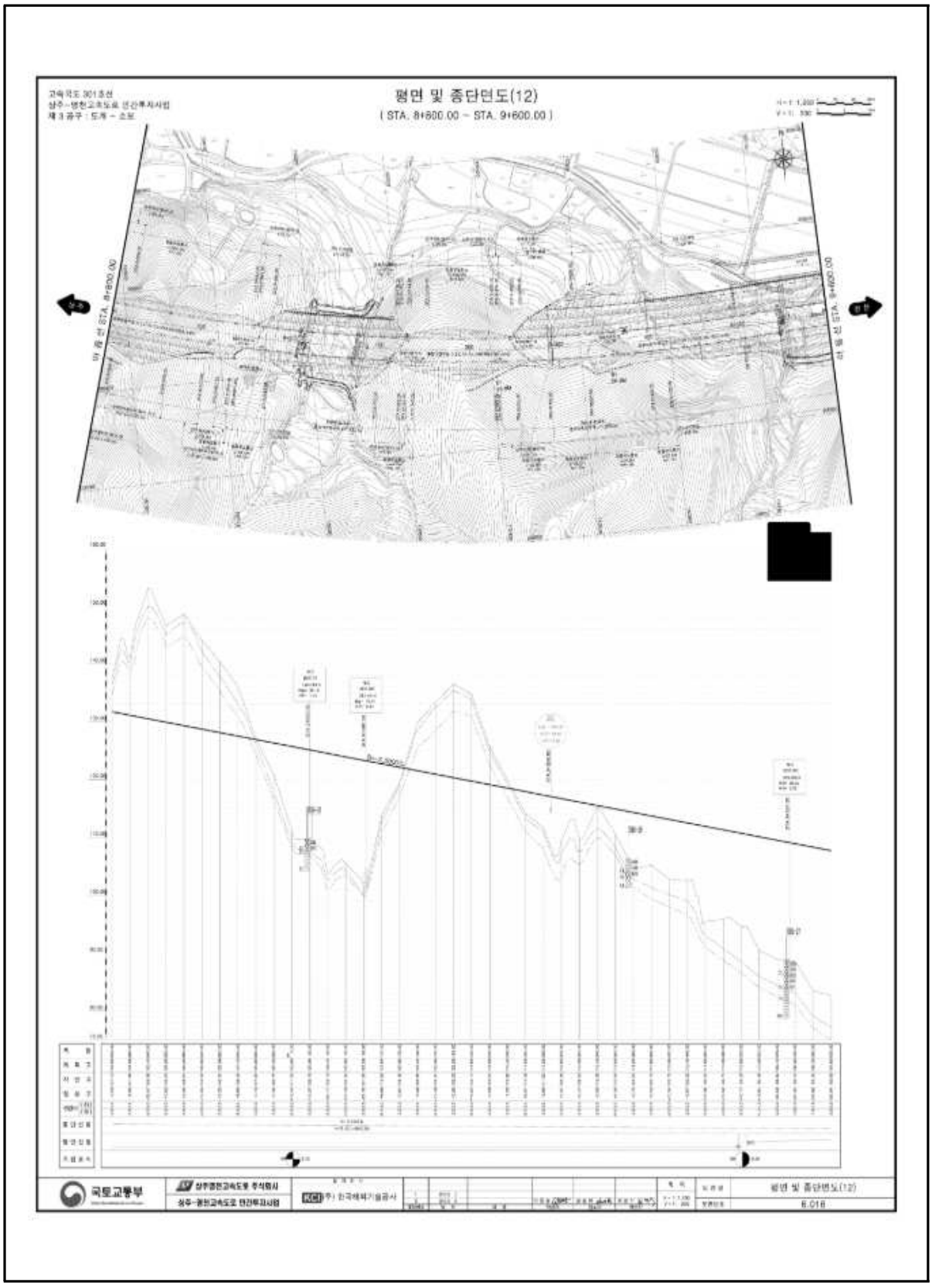
<그림 19-1>위치도

2019년 정밀안전점검

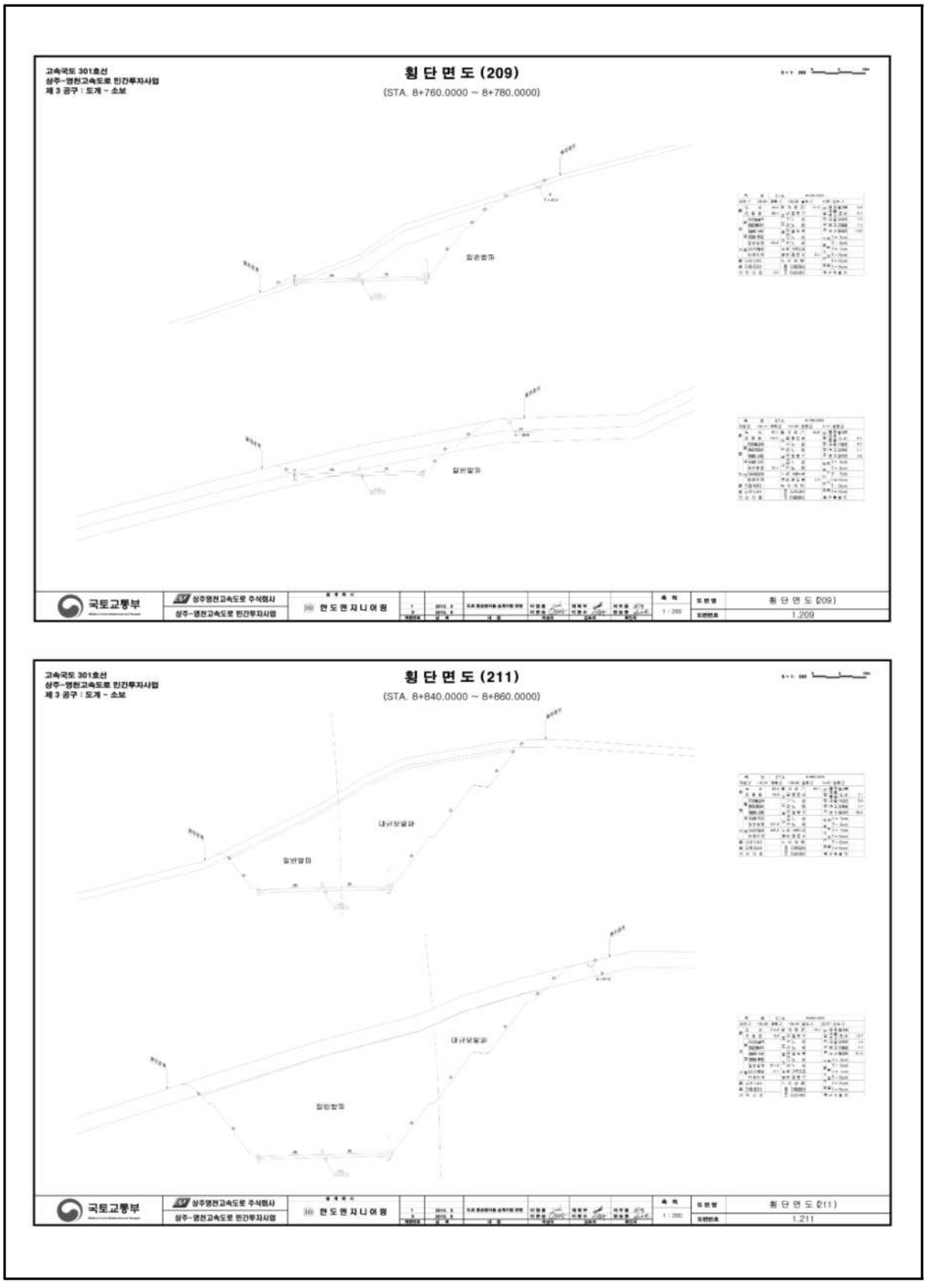
<그림 19-2> 전경사진

숏크리트, 격자앵커 전경	사면내 옹벽 전경
1소단배수로 전경	산마루측구, 점검계단 전경
하부 전경	야생동물유도울타리 전경

<그림 19-2> 전경사진(계속)



<그림 19-3> 평면도



<그림 19-4>표준횡단면도

19.2 관련 자료의 분석

19.2.1 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 19-2> 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 3공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구
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 3공구
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.

19.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

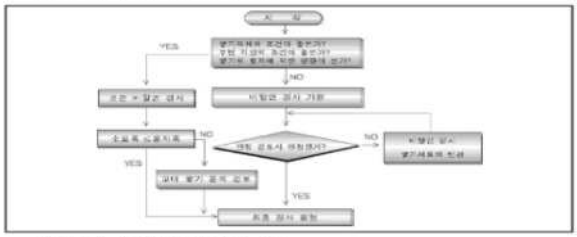
8.4 비탈면 설계기준

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

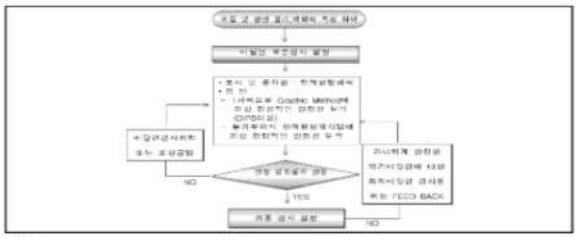
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 평기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



228

영천-상주 고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 위기 비탈면

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

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

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 일반층에서 층리나 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. 심도는 점심으로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

230

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
	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%

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.

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

233

8.4.5 설계기준 선정

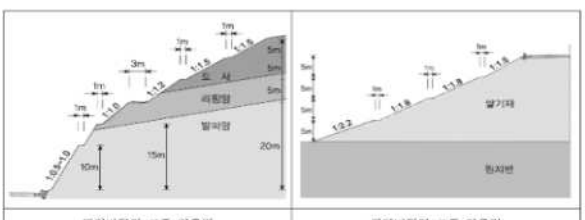
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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
암위기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 암위기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 • 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) • 암위기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	
평기 비탈면	풍 기 재	1 : 1.5~2.2	• 평기 높이 5m 마다 1m 소단설치



암위기비탈면 표준 기울기 | 평기비탈면 표준 기울기

236

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 습곡 내지 조임질, 등림질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 선산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의)의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	원기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 우보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

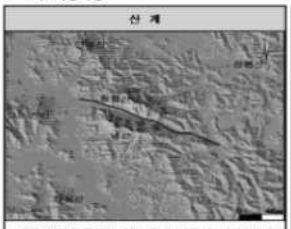
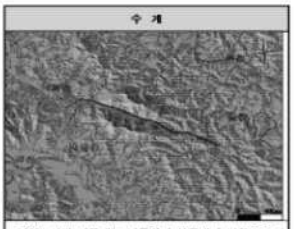
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡창천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 불국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 업층으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉽게 또는 층리되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 중립~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대			층 명		특 성	비 고
제4기			충적층(Qal)		• 하천 및 산록 퇴적물	
			—— 부정합 ——			
중생대	백악기		중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ap})		• 지상의 지맥	• 전 구간에서 기반암을 관입
			—— 관입 ——			
			화강암(K_{gr})		• 지상의 지맥	• 3공구 중앙부
			—— 관입 ——			
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
			—— 관입 및 분출 ——			
		신동층군	낙동층 (ke1)	안경산층원 (Ka1-nml) 상부 (Ka1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
				안경산층원 (Ka1-nml) 하부 (Ka1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 탄질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 선암단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 우보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

3) 지반조사 보고서

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 습곡 내지 조임질, 등림질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 신산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	절기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 주보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

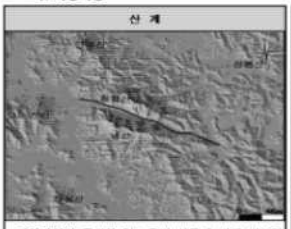
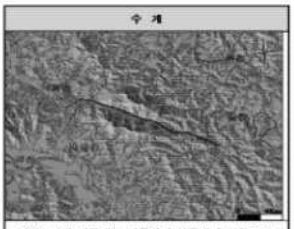
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡창천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 불국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 업층으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉽게 또는 층리되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 층림~조림질을 보이며 등림질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대					층 명	특 성	비 고
제4기					충적층(Qal)	• 하천 및 산록 퇴적물	
					── 부정합 ──		
중생대	백악기				중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ap})	• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
					── 관입 ──		
					화강암(K_{gr})	• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
					── 관입 ──		
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하며 많음	
			── 관입 및 분출 ──				
		신동층군	낙동층 (ke1)	안경산층원 (Ka1-nml)	상부 (Ke1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
					하부 (Ke1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 탄질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 신령단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 우보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

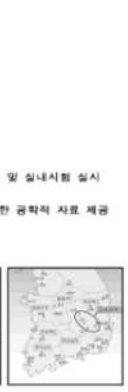
• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구 지반조사

1.2 조사목적

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구를 위한 지반조사
• 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

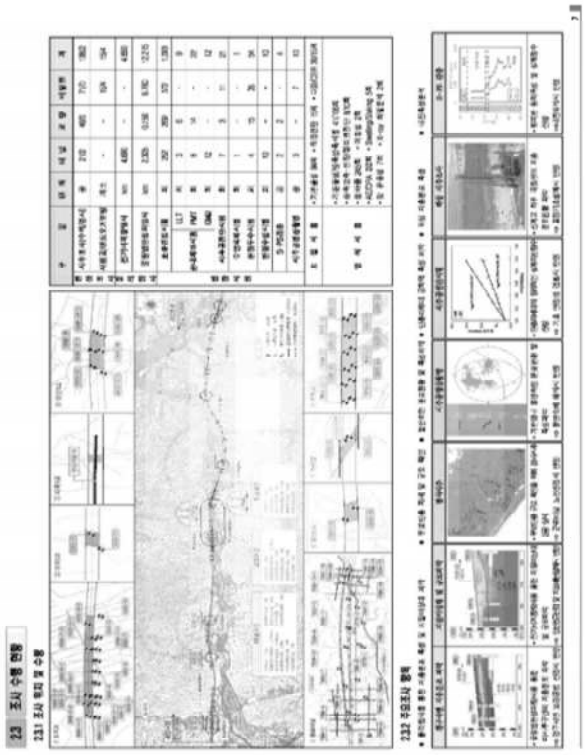
위 치	• 시점 : 경상북도 구미시 도개면 (STA. 0+000) (X=310,453.951, Y=142,180.556) • 종점 : 경상북도 군위군 소보면(STA. 12+935) (X=304,851.7911, Y=153,668.900) • 연장 : 12.935km
특 성	• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제 2경부축(상주~영천 고속도로 건설 • 대구~포항 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도

• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간		토공구간
• 군위터널 상주방향 : 1,085m 영천방향 : 960m	• 도개고(360.0m) • 다곡2교(30.2m) • 다곡1교(10.0m) • 달산2교(40.5m)	• 달산1교(70.1m) • 계탕교(25.5m) • 신계교(176.3m)	• 뒤기구간(14개소) • 쌍기구간(17개소)



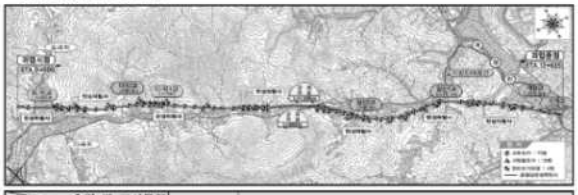
제 7 장 비탈면구간 지반특성 분석 및 설계적용

7.1 개 요

7.1.1 기본방향

조 사 항 목	조 사 기 본 방 향
지층 현황 및 원지반 공학적 특성 분석	• 뒤기구간 지층분포 상태 및 공학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 비탈면 계획 수립 • 쌍기구간 연약지반 분포 유무 파악 및 토사층의 역학적 특성 파악
불연속면 분포 특성 파악	• 불연속면 특성(간격, 방향, JRC, JCS)을 파악하여 암반 비탈면 안정성 분석 및 보강대책 선정시 반영
쌍기재 특성 분석	• 뒤기 및 터널구간에서 발생되는 토사 및 암버력의 쌍기재 적합 여부 판단시 반영

7.1.2 조사위치 및 수량



조사항목 \ 수량 및 조사목적		수 량	조 사 목 적
문헌조사	공정법인심과실사	9.760km	• 지층의 분포 현황 및 두께 파악
현장조사 및 현장시험	시추조사	71공	• 지층분포 및 특성 파악, 암종 및 단층확인
	시험굴조사	15개소	• 쌍기재 적정성 검토, 토공 계획
	핸드오거보링	4개소	• 쌍기구간의 토질상태 및 시료채취
	시추공전단시험	11회	• 풍화대층의 강도정수 파악
	현장투수시험	35회	• 토사층의 투수계수 파악
	시추공영상촬영	7공	• 불연속면 크기 및 발달상태, 경사방향 및 경사각, 암반의 변화 및 공학적 특성 파악
실내토질시험		• 기본물성시험 77회, 직접전단시험 15회, 다짐/CBR시험 30/15회	
실내암석시험		• 점하중강도시험 36회, 물성시험(밀축압축 12/2회, 절리면 전단시험 8회 Swelling/Slaking 5회, 본선암 유용성시험 5회	

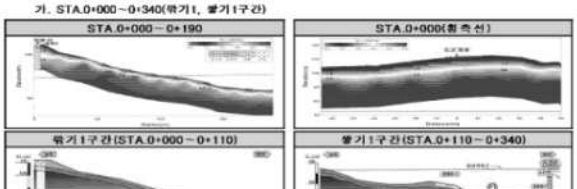
7.2 지층특성 분석

7.2.1 기본방향

• 지표지질조사, 시추조사, 탐사 결과를 각 교량구간에 분포하는 매립 · 풍적층, 퇴적층 및 풍화대층 분포현황 파악

7.2.3 분포 현황 파악

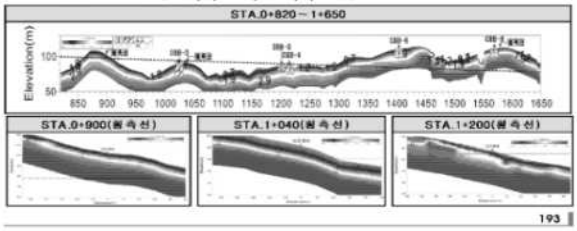
가. STA.0+000~0+340(뒤기1, 쌍기1구간)



지 층	분포두께 (슬현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
풍화토	4.0~4.8 (0.0~0.2)	19/30~50/14	SM
풍화암	2.6~3.7 (4.0~5.0)	50/10~50/6	–
기반암	(6.6~8.7)	(46~100/0~100)	시암, 니암암

지 층	분포두께 (슬현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
붕적층	3.0 (0.0)	45/30~50/8	SM
풍화토	1.0 (3.0)	28/30	SM
풍화암	4.0~5.2 (3.0~4.0)	50/9~50/2	–
기반암	– (3.0~7.0)	60~97/4~48	사암(~셰일암 산남암대

나. STA.0+700~1+650(뒤기2, 3, 4구간, 쌍기2, 3, 4구간)



7.3 지반특성 분석

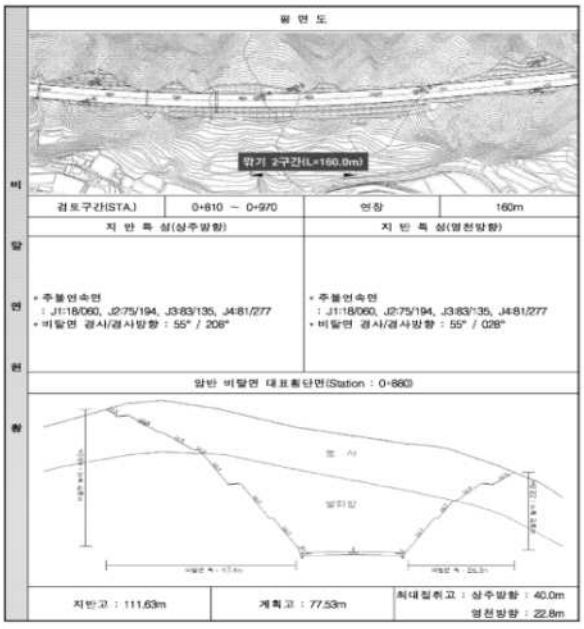
7.3.1 토질물성시험

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
위기부	CBB-3	1.0	풍화토	8.2	2.68	NP	-	100	93.1	44.8	24.6	-	SM
	CBB-4	2.0	풍화토	7.1	2.70	NP	-	56.4	41.0	28.4	16.4	-	GM
	CBB-5	1.0	풍화토	16.4	2.68	27.6	4.9	100	100	83.6	56.3	12.5	ML
	CBB-6	2.0	풍화토	11.0	2.65	NP	-	97.8	70.7	31.5	13.2	-	SM
	CBB-7	1.0	풍화토	12.0	2.66	NP	-	97.9	65.3	26.4	12.4	-	SM
	CBB-10	2.0	풍화토	11.5	2.65	NP	-	100	92.6	43.3	22.5	-	SM
	CBB-11	1.0	풍화토	9.8	2.68	NP	-	100	75.1	22.4	8.2	-	SW-SM
	CBB-12	2.0	붕적층	15.5	2.67	26.8	4.3	100	97.8	82.2	43.2	8.0	SM
	CBB-15	1.0	풍화토	12.2	2.69	NP	-	100	82.3	24.4	7.5	-	SW-SM
	CBB-16	1.0	풍화토	11.3	2.69	NP	-	98.0	84.2	29.2	10.0	-	SW-SM
	CBB-20	4.0	붕적층	17.6	2.70	32.4	10.4	96.7	96.2	91.1	71.9	17.5	CL
	CBB-21	5.0	붕적층	10.5	2.71	32.6	10.9	84.7	83.4	70.9	47.6	15.0	SC
	CBB-22	1.0	붕적층	14.6	2.69	30.2	9.7	90.2	87.6	79.7	61.9	17.0	CL
	CBB-23	4.0	붕적층	20.6	2.70	28.2	4.8	74.5	64.5	67.8	59.2	7.5	ML
	CBB-26	6.0	풍화토	15.1	2.67	NP	-	100	98.4	60.6	29.9	-	SM
	CBB-28	5.0	붕적층	11.9	2.69	NP	-	81.4	75.1	52.0	28.9	-	SM
	CBB-29	1.0	붕적층	13.0	2.71	NP	-	47.9	42.3	28.6	15.2	-	GM
	CBB-30	8.0	붕적층	13.3	2.69	28.1	5.1	100	96.6	67.2	43.4	8.0	SM
	CBB-31	1.0	붕적층	16.9	2.71	27.3	4.5	100	97.3	82.8	60.9	12.0	ML
	CBB-32	6.0	붕적층	11.3	2.67	NP	-	98.1	92.7	60.8	28.7	-	SM
	CBB-33	3.0	풍화토	10.8	2.69	NP	-	96.9	92.1	59.9	33.8	7.0	SM
	CBB-34	1.0	풍화토	9.6	2.67	NP	-	100	96.2	49.8	23.6	-	SM
	CBB-35	1.0	풍화토	3.7	2.68	NP	-	92.3	83.8	32.8	14.2	-	SM
	CBB-36	1.0	풍화토	12.8	2.68	NP	-	76.3	60.8	31.3	14.4	-	SM
	CBB-43	3.0	풍화토	16.9	2.70	NP	-	100	95.6	60.6	27.7	-	SM
	CBB-44	3.0	풍화토	9.7	2.71	NP	-	100	86.6	34.7	13.2	-	SM
	CBB-45	1.0	풍화토	8.6	2.68	NP	-	91.2	75.1	39.5	18.6	-	SM
	CBB-46	1.0	풍화토	5.6	2.67	NP	-	98.3	90.7	36.5	17.1	-	SM
	CBB-47	1.0	붕적층	13.6	2.71	26.8	4.2	100	98.9	76.1	41.6	7.5	SM
	CBB-49	4.0	풍화토	17.7	2.71	NP	-	100	98.4	58.6	26.6	-	SM
	CBB-50	1.0	붕적층	29.3	2.73	28.2	4.9	100	100	97.8	58.7	9.0	ML
	CBB-50	2.0	붕적층	13.1	2.68	NP	-	67.2	57.2	36.5	14.9	-	SM
암기부	SBB-2	1.0	풍화토	7.9	2.67	NP	-	95.4	80.6	40.1	15.2	-	SM
	SBB-3	2.0	풍화토	13.3	2.66	NP	-	100	95.6	53.6	33.6	7.5	SM
	SBB-4	2.0	붕적층	19.0	2.68	31.5	9.2	97.0	90.1	69.5	51.8	14.5	CL
	SBB-5	2.0	붕적층	8.3	2.64	NP	-	38.1	28.7	13.5	5.9	-	GW-GM
	SBB-6	1.0	붕적층	10.3	2.68	NP	-	34.3	26.9	14.9	4.9	-	GP
	SBB-7	3.0	풍화토	13.1	2.66	NP	-	90.5	83.3	51.2	26.2	-	SM
	SBB-8	4.0	풍화토	22.0	2.68	NP	-	99.2	95.0	51.7	28.3	-	SM
	SBB-10	1.0	풍화토	16.8	2.65	NP	-	100	89.8	62.7	39.2	7.5	SM
	SBB-11	3.0	퇴적층	14.1	2.64	NP	-	98.0	85.1	47.1	24.4	-	SM
	SBB-12	1.0	붕적층	13.5	2.64	NP	-	98.8	87.2	49.0	23.2	-	SM
	SBB-13	1.0	붕적층	12.3	2.67	27.1	4.9	100	100	87.4	58.8	14.0	ML
	SBB-15	2.0	붕적층	16.9	2.68	28.5	6.0	100	99.0	86.9	62.9	15.0	ML
	SBB-16	1.0	붕적층	5.4	2.67	NP	-	39.1	31.4	19.4	7.6	-	GW-GM

7.5.3 구조구 분류 결과

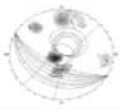
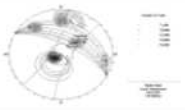
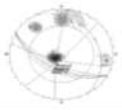
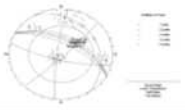
구 분	구조구 1	구조구 2	구조구 3		구조구 4		구조구 5	
			3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
암 상	Ke1-nlm	Kgr	Ke1-num		Ke1-nlm		Ke1-num	
BIPS	9CBB-18 9CBB-20	CBB-5 CBB-9 CBB-11 CBB-19 (SBB-12)	CBB-21	TBB-3	TBB-15	CBB-36	CBB-43	CBB-52
스캔라인	S-13 118	L-13	-	-	-	L-12	HO3	111-1 S-12
STA.	1+319	4+597	5+453	6+430	7+688	8+980	10+140	
비 고	암상	암상	습곡축 및 구조물	암상	습리, 습곡축 및 단열	암상	단층, 습리 및 단열	

(2) 위기 2구간



위기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

비고

• 암반층 평사투영 해석결과 영천방향 1:0.5~1:1.0기울기에서 전도파괴 가능성이 있음.
• 영천방향 암반비탈면 불연속면이 Toppling Zone에 위치하여 전도파괴 가능성이 있으므로 녹화공법, 낙석방지그물, 낙석방지옹벽타리를 적용하여 안정성 확보

19.2.3 점검 및 진단 이력

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

<표 19-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토19 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 소단부 침식이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요함	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	영천절토19 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 파손, 소단부 침식이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요함	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	영천절토19 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 파손, 토사퇴적, 소단부 침식이 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	영천절토19 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 파손, 토사퇴적, 소단부 침식이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 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 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 산마루측구에 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	영천절토19 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 토사퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. 특히, 소단배수로에 발생된 종균열의 경우 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 요망된다.	양호

19.2.4 보수·보강이력

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

<표 19-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

19.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 19-5> 내진 설계 적용 여부

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

19.2.6 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 19-6> 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

19.3 현장조사

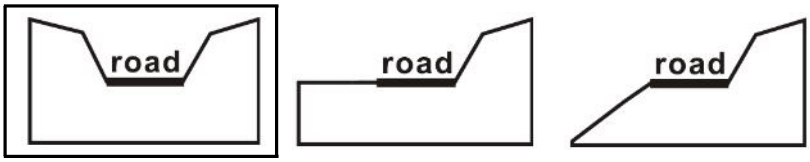
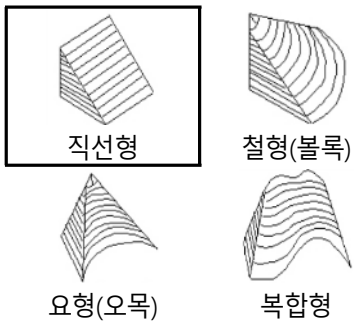
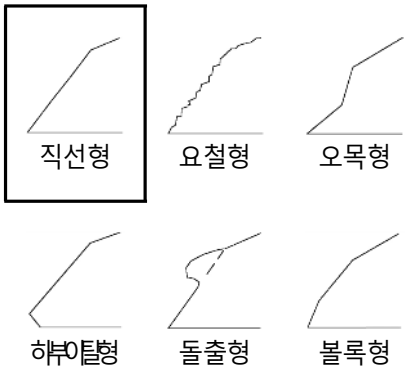
19.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 19-7> 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 소보면 달산리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 15′28″ 128° 26′35″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 15′25″ 128° 26′45″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 220m</td><td colspan="3">높 이 : 37.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 50/016</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="3">토층심도 : 약 1.0~4.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</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="7">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="2">24.754~24.974k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">24.754~24.974k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">24.804~24.894k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>옹벽공</td><td colspan="2">24.814k, 24.924k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>격자앵커, 숏크리트</td><td colspan="2">24.844~24.884k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">24.904k, 24.970k</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 19-8> 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 19-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토19		
	위경도	시점 : 36° 15′28″ 128° 26′35″ 종점 : 36° 15′25″ 128° 26′45″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	220.0m	최대높이	37.0m
	경사	50°	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	1.0~4.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) □낙석방지망 ■옹벽(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■격자블럭(양호) ■배수로(보통) ■점검로(양호) ■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			

19.3.2 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 소보면 달산리(상주영천고속도로 24.754~24.974km)에 위치한 사면으로서 총 연장 220.0m, 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 19-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{36.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 73.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{36.0}=0.008$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 220m로서, 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, 2개소로 구분하여야 하지만, 구성재료가 동일하고 분할시 연장이 짧음(20m)으로 인해 1개구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 19-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	24.754~24.974km	220m

19.3.3 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 19-12> 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)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 19-13> 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 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 19-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	10/189	16/221	
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	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 19-15> 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 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 19-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	산마루측구	균열	m	2EA / 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 19-17> 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 19-18> 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 19-19> 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 19-20> 인장균열 조사 결과

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

19.3.4 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 4개소에서 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 19-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
24.834km	44.6	73.4	보통암	1단
24.840km	45.0	74.7	보통암	1단
24.890km	45.0	74.8	보통암	1단
24.895km	45.4	76.2	보통암	1단
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 44.6~45.4로 측정되었으며, 추정강도 73.4~76.2MPa로 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 19-22> 표면보호공 조사 결과

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

식생공 전경

숏크리트 전경(상단) 및 격자앵커 전경

라. 사면보강공

본 비탈면은 사면보강공으로 옹벽, 격자앵커가 시공되었으며, 기능발휘에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 19-23> 사면보강공 조사 결과

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

옹벽 전경

격자 앵커 전경

19.4 안전성능평가

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

19.4.1 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 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 19-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{36.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 73.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{36.0}=0.008$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 Set1~2으로 표기하였다.

<표 19-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	24.754~24.974km	220m	암반사면	Set1, Set2

<표 19-26> 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 19-27> 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 19-28> 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 19-29> 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 19-30> 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 19-31> 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 19-32> 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 19-33> 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 19-34> 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 19-35> 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 19-36> 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 19-37> 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°	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 19-38> 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 19-39> 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 19-40> 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 B등급으로 평가되었다.

<표 19-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토19		
사면 종류	절토사면	구성재료		파쇄암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	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			15	
결함지수		0.15		
상태안전성능평가 결과		**B**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 19-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
220.0m	1구간	24.754~24.974km	b(0.15)	B	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

19.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

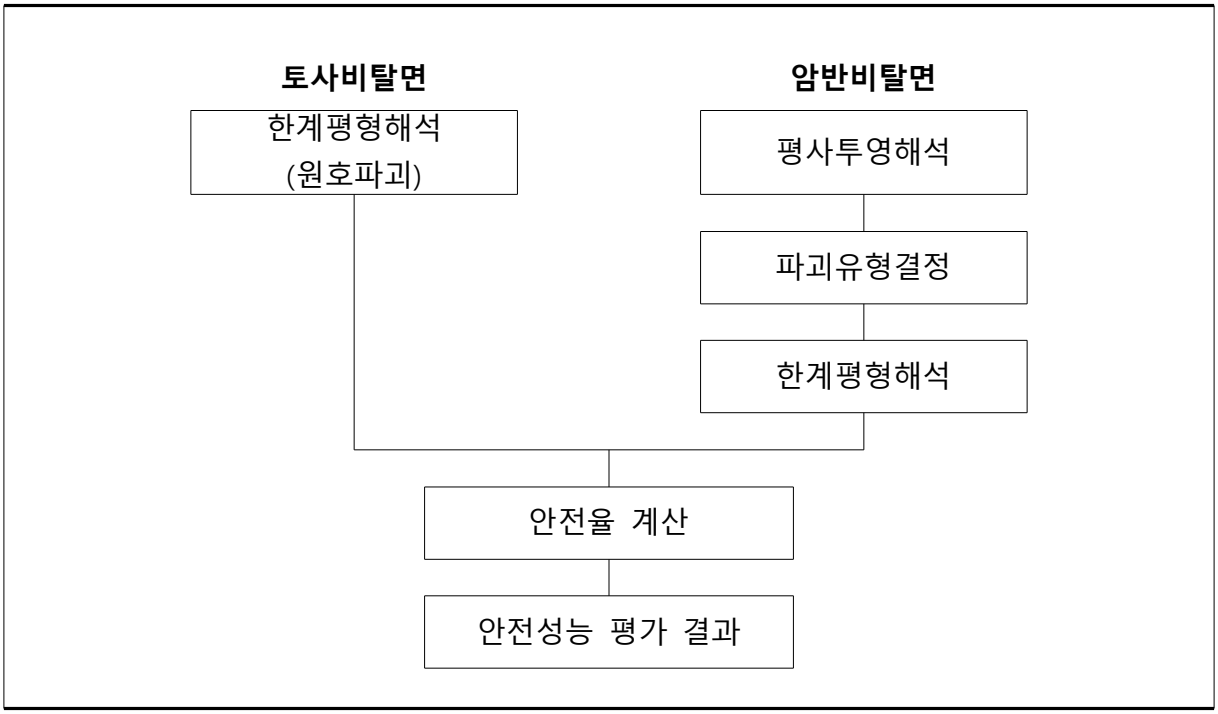
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 19-5> 구조안전성능 평가과정

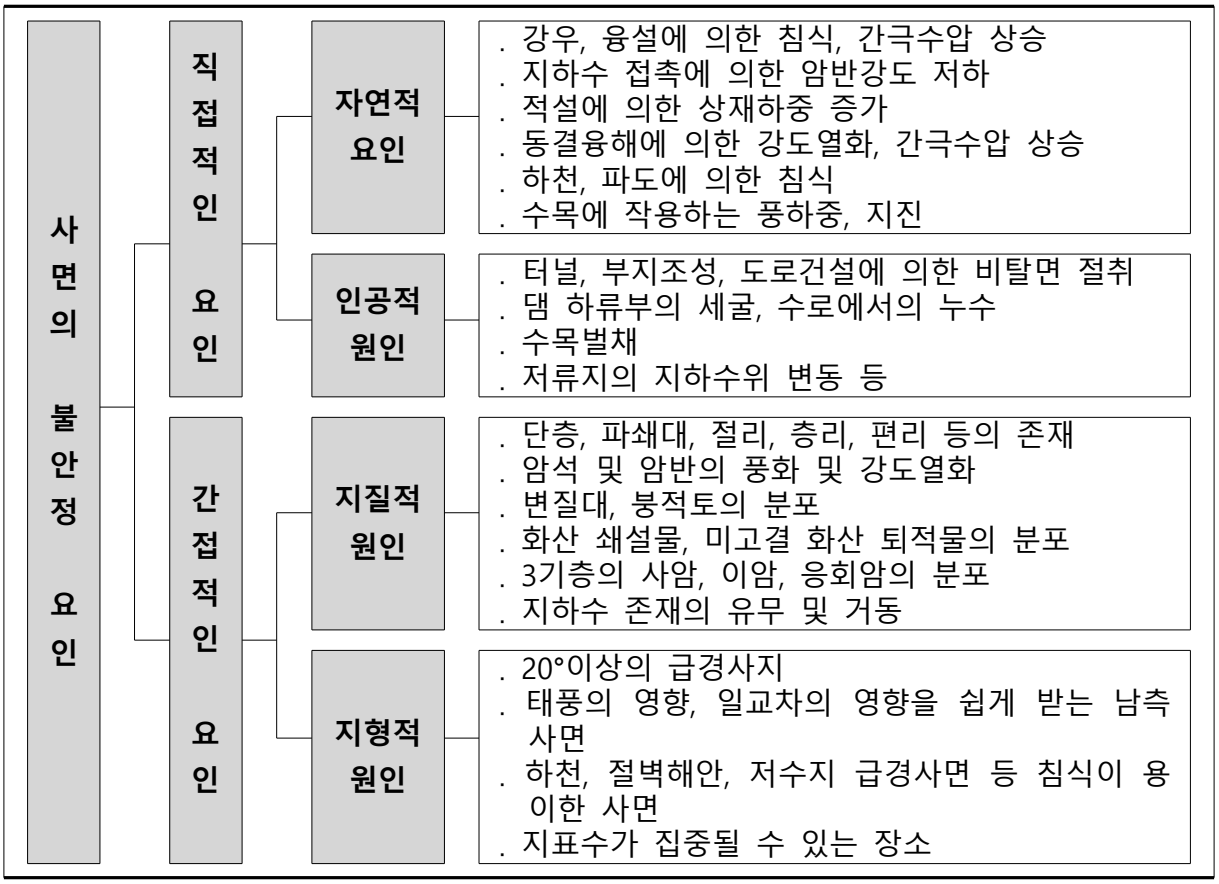
<표 19-43> 유형별 안정해석 범위

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

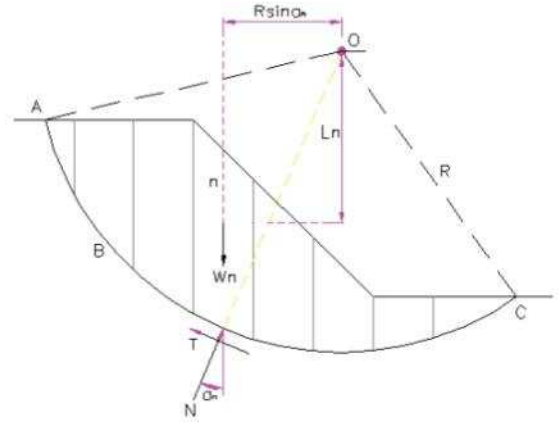


<그림 19-6> 구조안전성능 평가과정

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

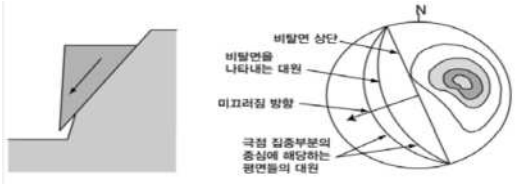
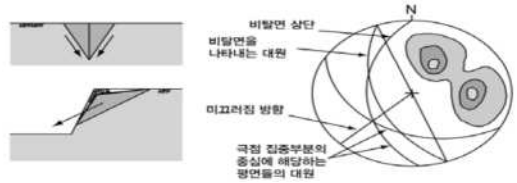
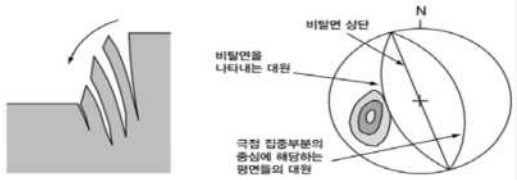
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 19-7> 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 19-44> 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 19-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

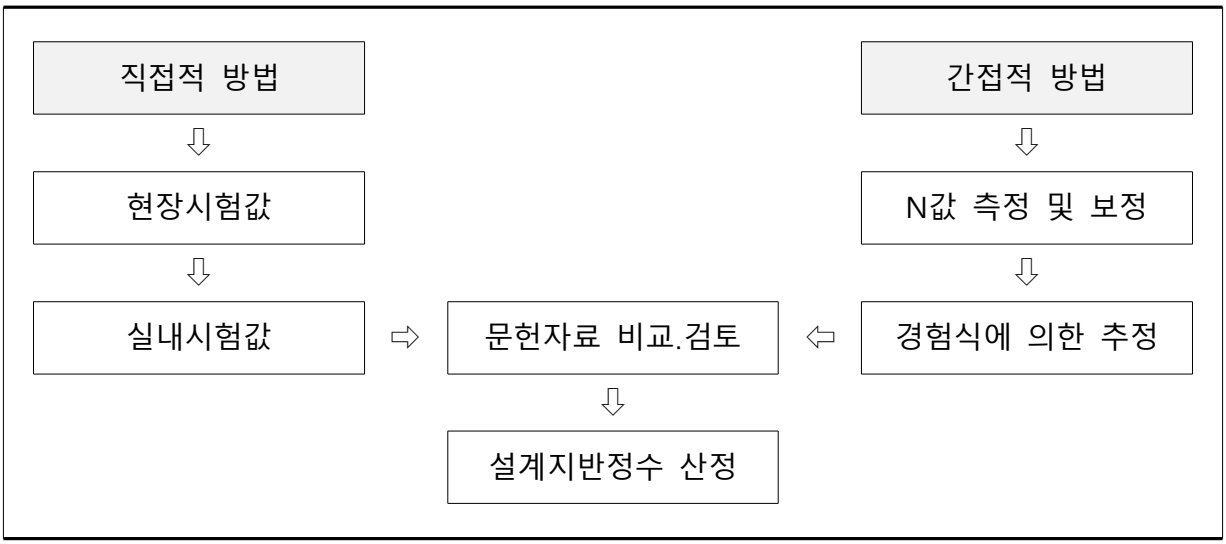
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 19-46> 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 19-47> 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 19-48> 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 19-49> 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 19-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (3공구)	풍화(잔적)토	18.5	27	20	
	풍화암	19.5	29	35	
	기반암	25.0	35	230	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 19-51> 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 19-52> 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 19-53> 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 19-54> 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 19-55> Trueman (1988)

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

<표 19-56> 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	18.5	27	20	0.3	
풍화암	19.5	29	35	0.3	
기반암	25.0	35	230	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 19-57> 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

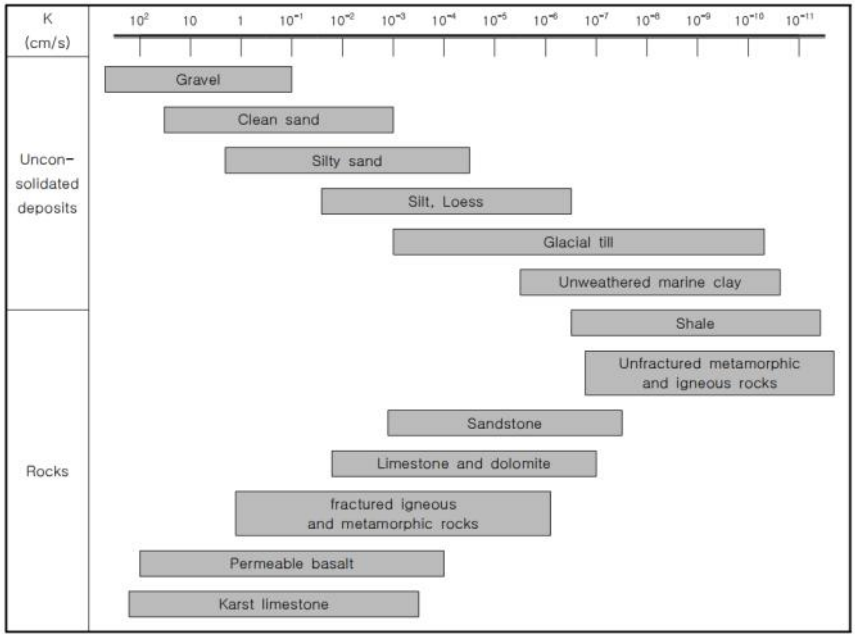
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 19-58> 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 19-59> 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 19-8> 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 19-60> 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

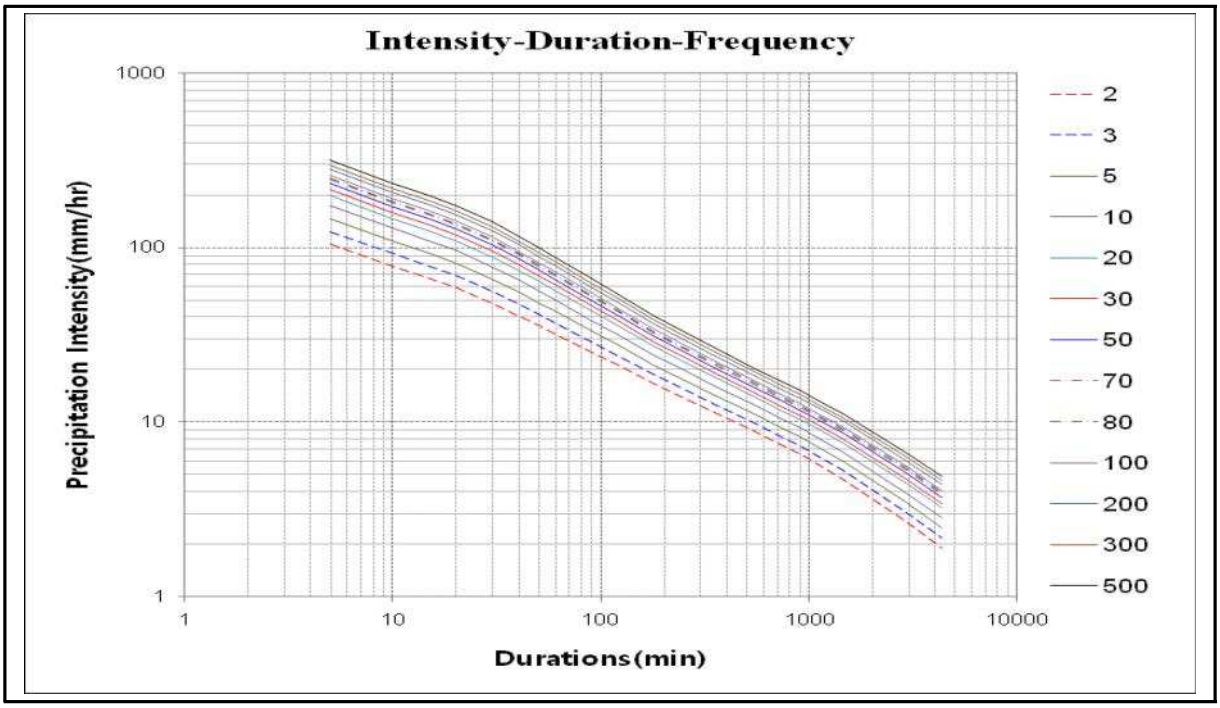
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 19-9> 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 19-10> 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 19-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 19-61> 설계지반운동 수준

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

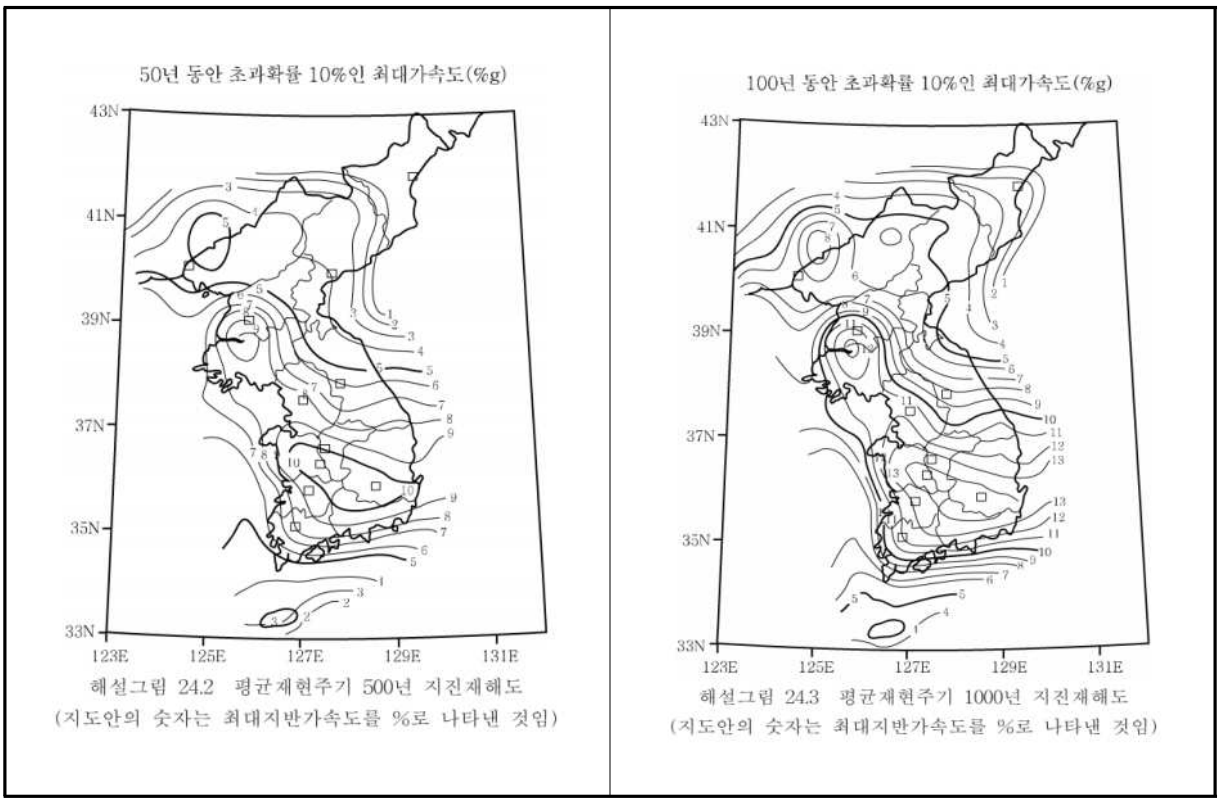
2) 설계지반운동

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 19-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 19-62> 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 19-63> 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 19-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토19	경상북도 군위군 소보면 달산리	24.754 ~ 24.974	STA.24+854	36.0	3.0	33.0	락볼트	2017	50/016

<그림 19-13> 영천절토19 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토19 비탈면 안정성검토

1) 세부위치

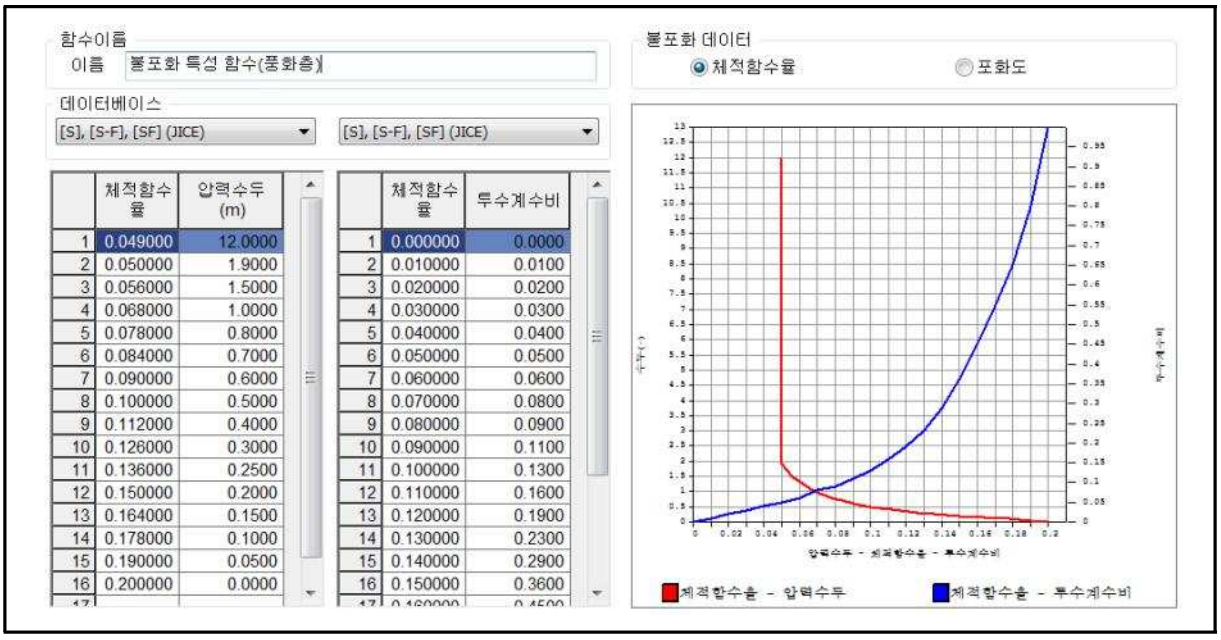
<그림 19-14> 영천절토19 검토대상 비탈면구간

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	18.5	27	20	7.4E-04	
풍화암	19.5	29	35	6.2E-04	
기반암	25.0	35	230	1.5E-04	

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

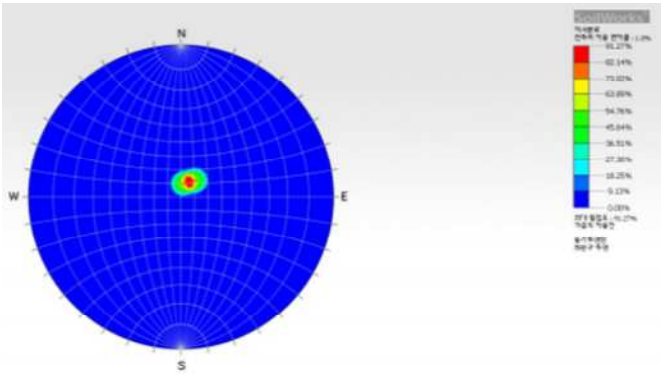
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 19-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

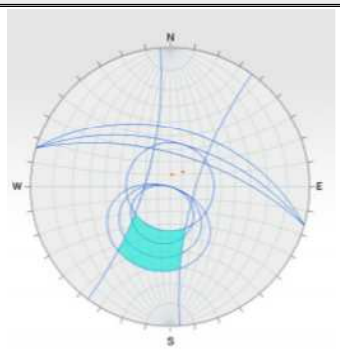
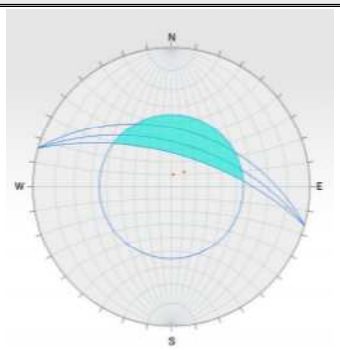
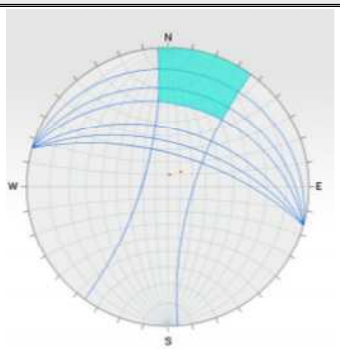
3) 1구간 (STA.24+754 ~ 24+974)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 10 16	dip direction 189 221

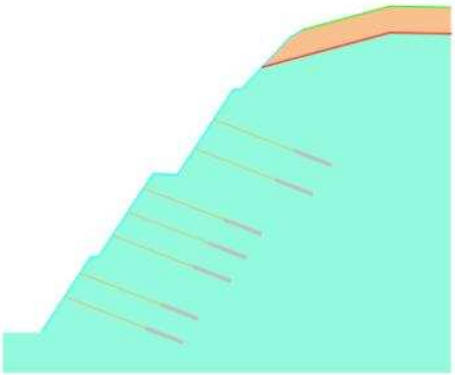
◦ 해석결과

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		

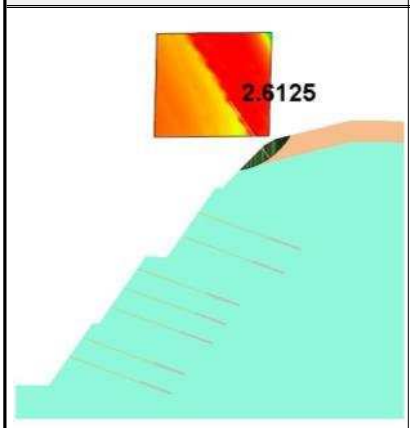
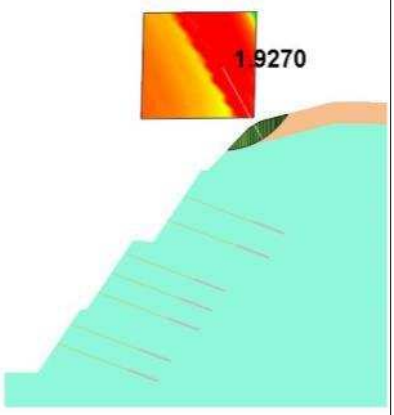
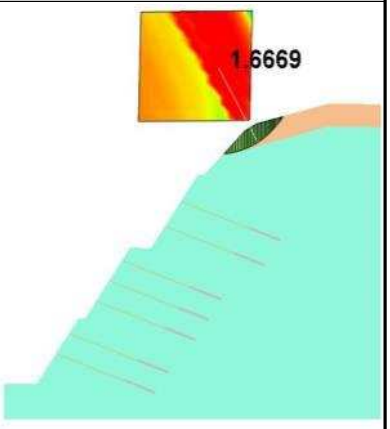
② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면



대표단면 : STA.24+854, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.61	안전율 : 1.92	안전율 : 1.66

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 19-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토19**		
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	2.61	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.92	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.66	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

19.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 19-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토19**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.150	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.150	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 19-67> 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

19.5 내구성능 평가

19.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 19-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		파쇄암반사면	SR = 3/36 = 0.08
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		보통암 : 100.0MPa	추정
면적	전체	5,676㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	5,676㎡	
표면보호공	식 생	3,708㎡	
	숏크리트	558㎡	
사면보강공	옹 벽	744㎡	
	격자 앵커	1,782㎡	

19.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 19-69> 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

19.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 19-70> 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 19-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
24.834km	73.4	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
24.840km	74.7	-	
24.890km	74.8	-	
24.895km	76.2	-	
평균값	74.8	-	
등급	**A등급**		

<표 19-72> 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 19-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	3,708/3,708㎡	100.0%	0/558㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 19-74> 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 19-75> 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 19-76> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
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)	c(10)	-
풍화진행도	MW	MW	-
	c(10)	c(10)	-
합 계	35	35	-
평 균	7.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 19-77> 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	-	-	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**c**	

19.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 19-78> 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 19-79> 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 19-80> 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

19.6 종합평가

19.6.1 종합평가 개요

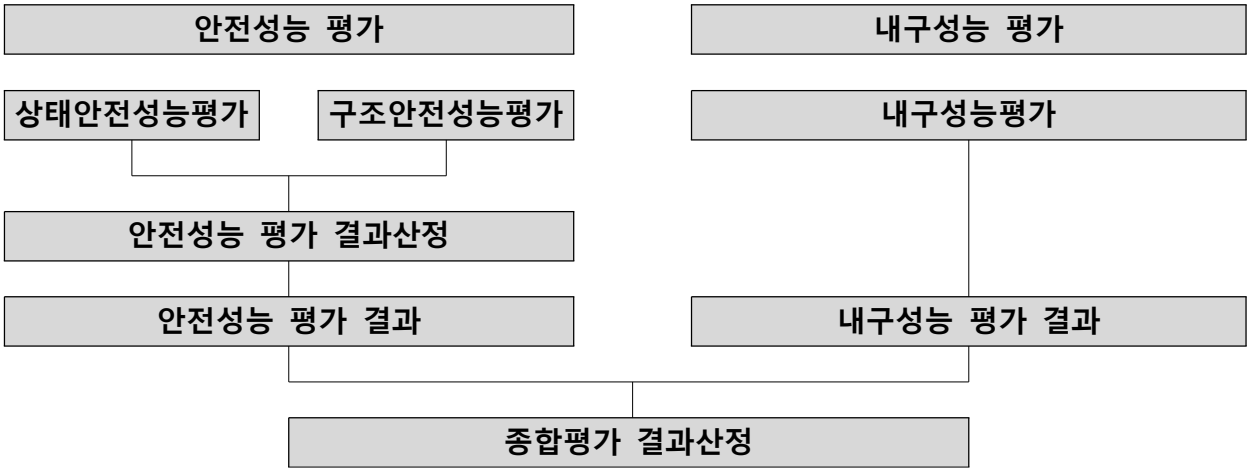
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 19-16> 종합평가 흐름도

19.6.2 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 19-81> 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 19-82> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토19		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.150	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.220	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.150 × 0.8) + (0.220 × 0.2) = 0.164 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 19-83> 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

19.7 유지관리 전략 제안

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

19.7.1 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 19-84> 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				

19.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.164)"으로 평가되었다.

<표 19-85> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.150	0.220	0.164
평가결과	B	B	B

19.7.3 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 19-86> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	산마루측구	산마루측구 균열	균열보수	일부보수
	소단배수로	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 발생여부 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

19.8 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 B등급으로 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, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표와 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제20장 영천절토20

20.1 대상 시설물 현황

20.2 관련 자료의 분석

20.3 현장조사

20.4 안전성능평가

20.5 내구성능평가

20.6 종합평가

20.7 유지관리전략 제안

20.8 종합결론

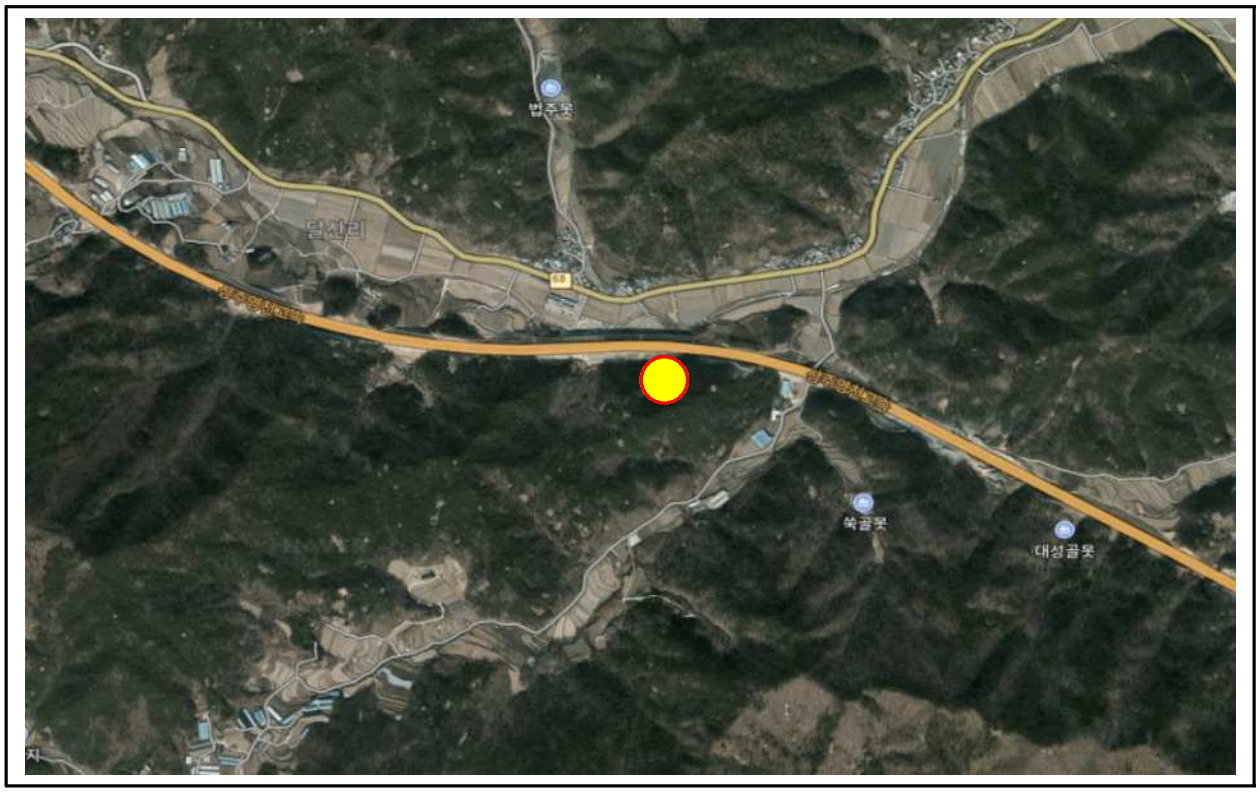
제20장 영천절토20

20.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 소보면 달산리(상주영천고속도로 25.854~26.074km)에 위치한 사면으로서 총 연장 220.0m, 높이 46.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 20-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000041		**관리번호**	SY SL20
시설물명	영천절토20		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 소보면 달산리		
	위치좌표	시점 : 36° 15′25″ 128° 27′19″		
		종점 : 36° 15′23″ 128° 27′28″		
	관리이정	25.854~26.074km		
	공구이정	3공구 STA.9+840~10+060		
제 원	**연 장**	220m	**높 이**	46.0m
	경사/방향	48/010	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	5~10°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	㈜한화건설, ㈜삼호
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 쏘일네일링, 절토부 옹벽		
비 고				

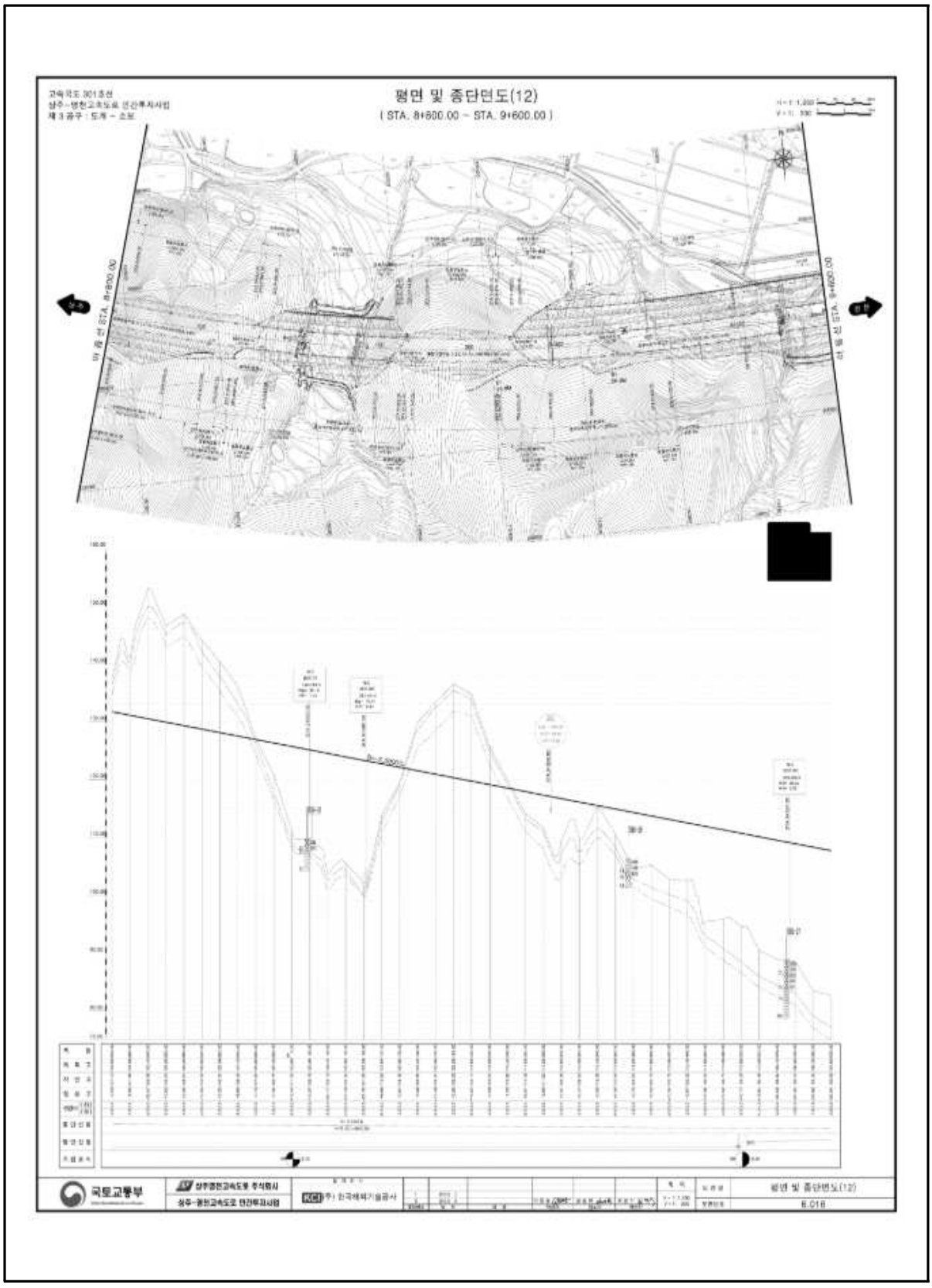


<그림 20-1>위치도

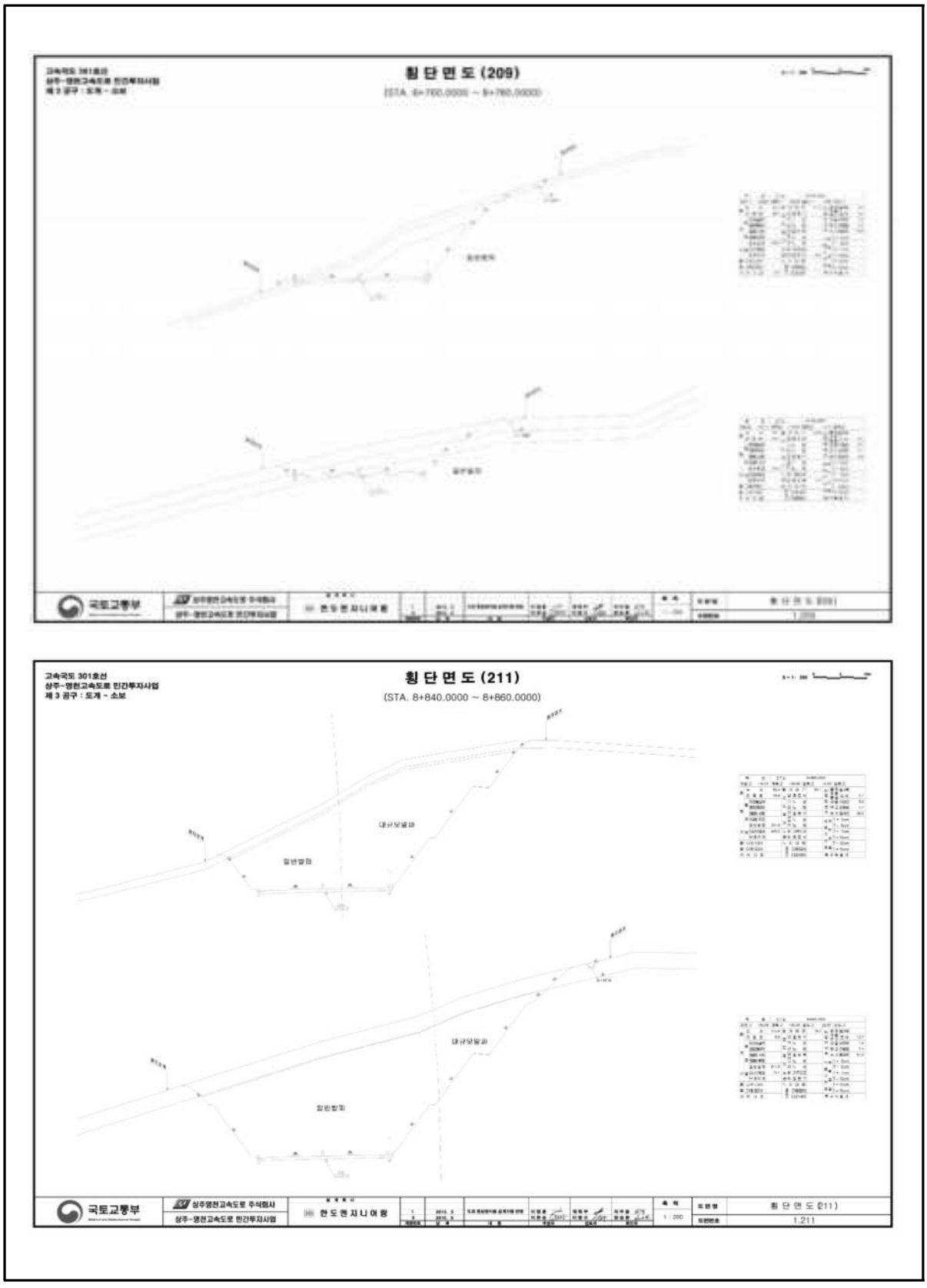
<그림 20-2> 전경사진

상단 전경	사면내 옹벽 전경
1소단배수로 전경	산마루측구, 점검계단 전경
하부 전경	점검사다리 전경

<그림 20-2> 전경사진(계속)



<그림 20-3> 평면도



<그림 20-4>표준횡단면도

20.2 관련 자료의 분석

20.2.1 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 20-2> 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 3공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구
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 3공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

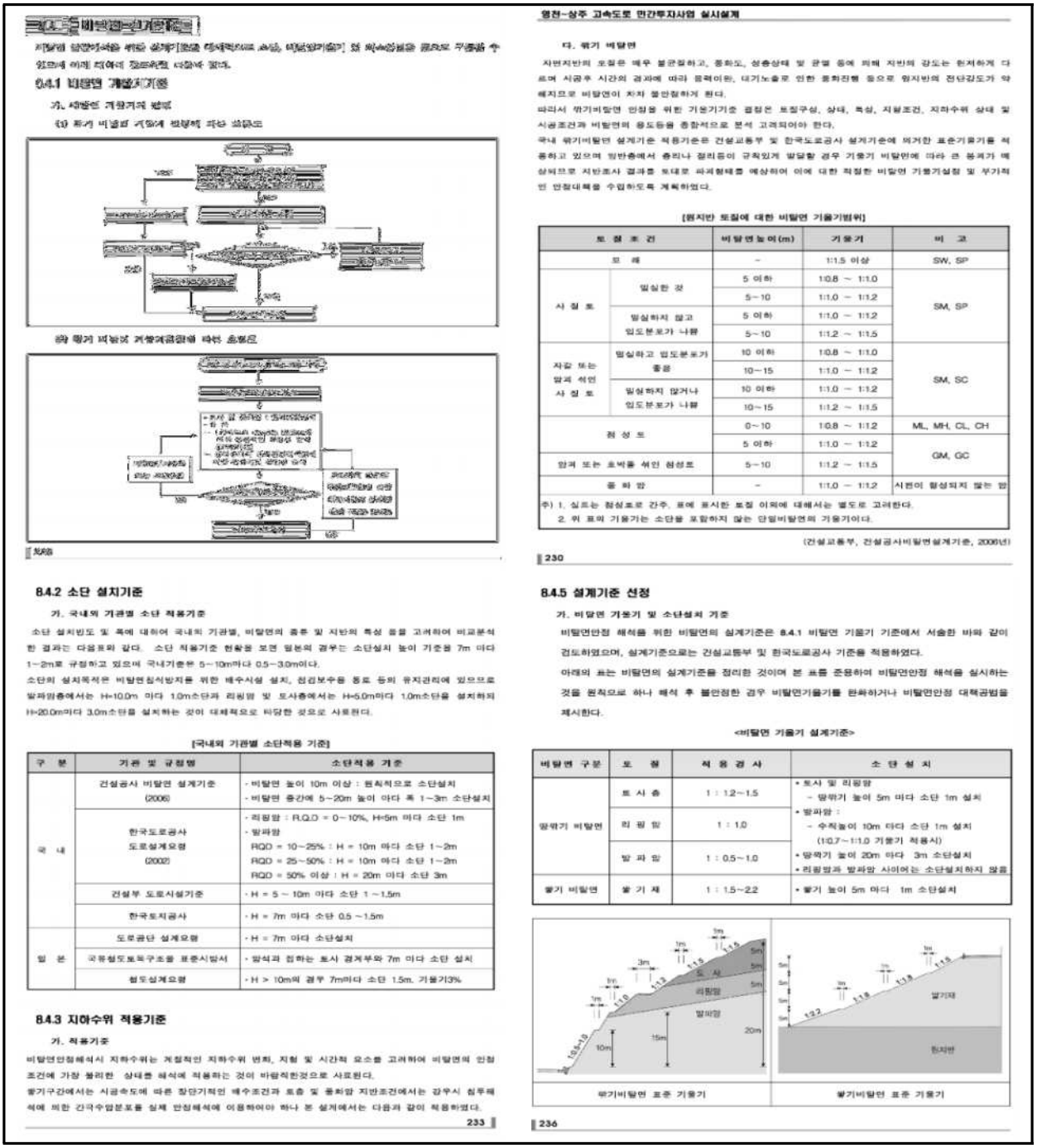
2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

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.

20.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준



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, 점검보수를 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=6.0m마다 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, 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.

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

233

영천-상주 고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 위기 비탈면

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

따라서 위기비탈면 안정을 위한 기본기준은 검토은 토질구성, 상태, 특성, 지질조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 일반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부기적인 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)

230

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	도 질	적 용 경 사	소 단 설 치
암석기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 암석기 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	• 암석기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
풍기 비탈면	풍 기 재	1 : 1.5~2.2	• 풍기 높이 5m 마다 1m 소단설치

암기비탈면 표준 기울기 | 풍기비탈면 표준 기울기

236

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 유라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 안경산층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 흔펠스화 • 층리 내지 조립질, 등립질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 선산 구조소분지를 절단. 다곡동(청하산 남서의)의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석정교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=67%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	쌍기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면안정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 무보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 봉적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암종 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

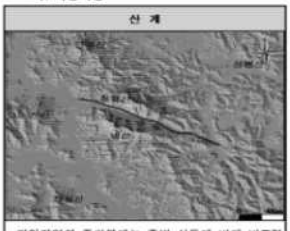
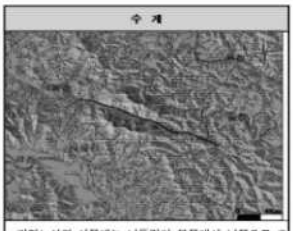
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 안경산층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡점천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기원 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 불국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
규당리층원 세일(Shale)	• 압축으로 인한 쏘개점(fissility)이 발달. 또한 이 쏘개점과 같은 방향으로 방해석이 침전 또는 충전되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 중립~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명			특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
		── 부정합 ──				
중생대	백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ac})			• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
		── 관입 ──				
		화강암(K_{gr})			• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
		── 관입 ──				
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		── 관입 및 본출 ──				
		신동층군	낙동층 (ke1)	단경산층원 (Ka1-nmi) 상부 (Ka1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
				하부 (Ka1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 반질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 褶수향 주향이동 단층인 신암단층, 금천단층, 가음단층, 무보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 무수향 이동단층인 삼산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 무보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 개방습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 褶수향 방향의 단층에 잘기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

3) 지반조사 보고서

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 유라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 안경산층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 흔펠스화 • 층리 내지 조립질, 등립질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 선산 구조소분지를 절단. 다곡동(청하산 남서의)의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석정교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=67%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	쌓기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	깎기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면안정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 무보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암종 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

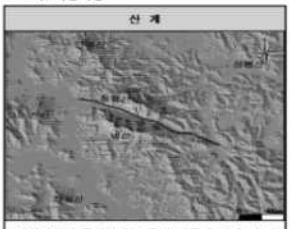
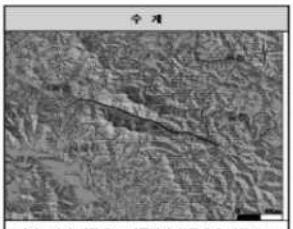
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 안경산층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡점천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기원 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 불국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
규질리층원 세일(Shale)	• 압축으로 인한 쏘개점(fissility)이 발달. 또한 이 쏘개점과 같은 방향으로 당해석이 천전 또는 층전되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 중립~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명			특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
		── 부정합 ──				
중생대	백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ac})			• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
		── 관입 ──				
		화강암(K_{gr})			• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
		── 관입 ──				
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		── 관입 및 본출 ──				
		신동층군	낙동층 (ke1)	단경산층원 (Ka1-nmi) 상부 (Ka1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
				하부 (Ka1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 반질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 褶수향 주향이중 단층인 신암단층, 금천단층, 가음단층, 무보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 무수향 이동단층인 암산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 무보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 개방습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 褶수향 방향의 단층에 절기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

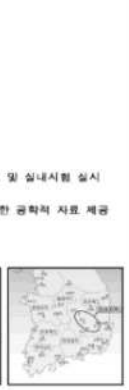
• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구 지반조사

1.2 조사목적

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구를 위한 지반조사
• 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

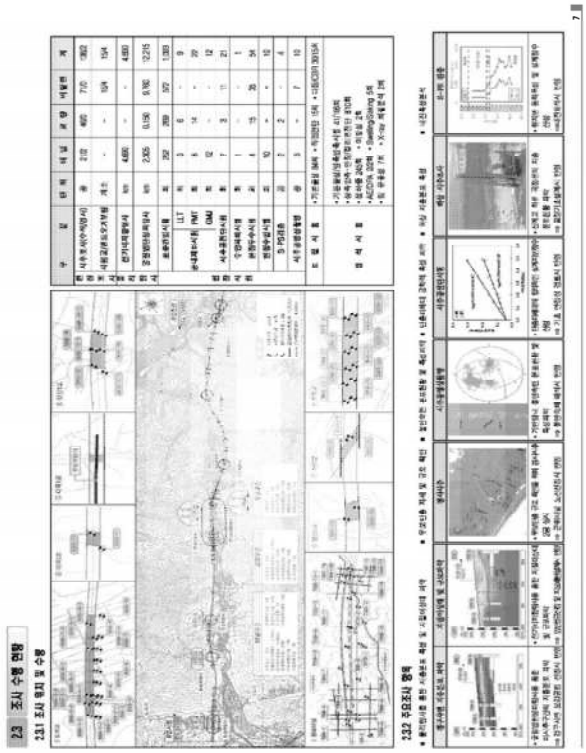
위 치	• 시점 : 경상북도 구미시 도개면 (STA. 0+000) (X=310,453.951, Y=142,180.556) • 종점 : 경상북도 군위군 소보면(STA. 12+935) (X=304,851.7911, Y=153,668.900) • 연장 : 12.935km
특 성	• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제 2경부축(상주~영천 고속도로 건설 • 대구~포항, 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도

• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간		토공구간
• 군위터널 상주방향 : 1,085m 영천방향 : 960m	• 도개교(360.0m) • 다곡2교(30.2m) • 다곡1교(10.0m) • 달산2교(40.5m)	• 달산1교(70.1m) • 개향교(25.5m) • 신계교(176.3m)	• 뒤기구간(14개소) • 쌍기구간(17개소)



제 7 장 비탈면구간 지반특성 분석 및 설계적용

7.1 개 요

7.1.1 기본방향

조 사 항 목	조 사 기 본 방 향
지층 현황 및 현지반 공학적 특성 분석	• 뒤기구간 지층분포 상태 및 공학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 비탈면 계획 수립 • 쌍기구간 연약지반 분포 유무 파악 및 토사층의 역학적 특성 파악
불연속면 분포 특성 파악	• 불연속면 특성(간격, 방향, JRC, JCS)을 파악하여 암반 비탈면 안정성 분석 및 보강대책 선정시 반영
쌍기재 특성 분석	• 뒤기 및 터널구간에서 발생되는 토사 및 암버력의 쌍기재 적합 여부 판단시 반영

7.1.2 조사위치 및 수량

조사항목 \ 수량 및 조사목적		수 량	조 사 목 적
물리탐사	굴절법탄성파탐사	9.760km	• 지층의 분포 현황 및 두께 파악
현장조사 및 현장시험	시추조사	71공	• 지층분포 및 특성 파악, 암종 및 강층확인
	시험굴조사	15개소	• 쌍기재 적정성 검토, 토공 계획
	핸드오거보링	4개소	• 쌍기구간의 토질상태 및 시료채취
	시추공전단시험	11회	• 동특성층의 강도정수 파악
	현장투수시험	35회	• 토사층의 투수계수 파악
	시추공영상촬영	7공	• 불연속면 크기 및 발달상태, 경사방향 및 경사각, 암반의 변화 및 공학적 특성 파악
실내토질시험		• 기본물성시험 77회, 직접전단시험 15회, 다짐/CBR시험 30/15회	
실내암석시험		• 점하중강도시험 36회, 물성시험/일축압축 12/12회, 정리면 전단시험 8회 Swelling/Slaking 5회, 본선암 유용성시험 5회	

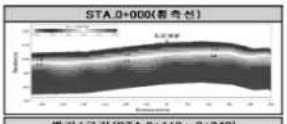
7.2 지층특성 분석

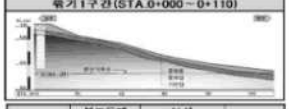
7.2.1 기본방향

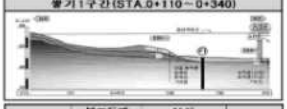
• 지표지질조사, 시추조사, 탐사 결과를 각 교량구간에 분포하는 매립 · 풍화층, 퇴적층 및 풍화대층 분포현황 파악

7.2.3 분포 현황 파악

가. STA.0+000~0+340(뒤기1, 쌍기1구간)



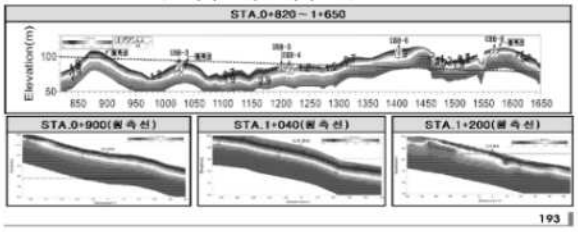


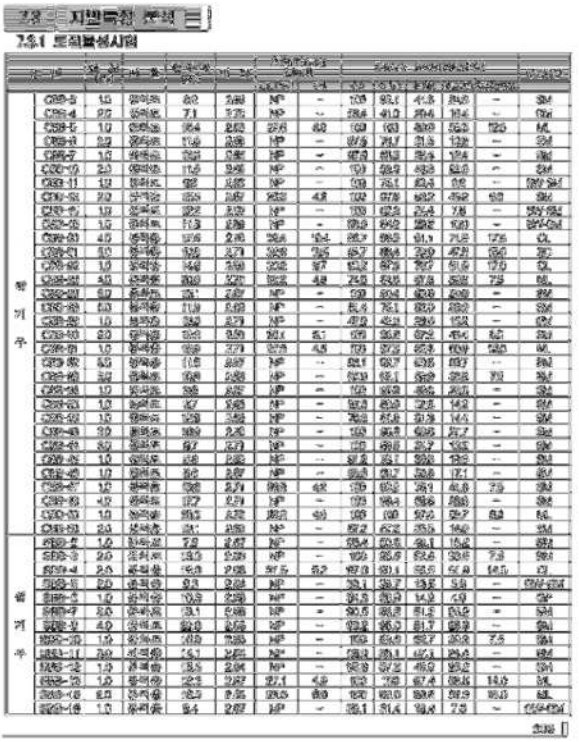


지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
풍화토	4.0~4.8 (0.0~0.2)	19/30~50/14	SM
풍화암	2.6~3.7 (4.0~5.0)	50/10~50/6	-
기반암	(6.6~8.7)	(46~100/0~100)	사암, 니암암

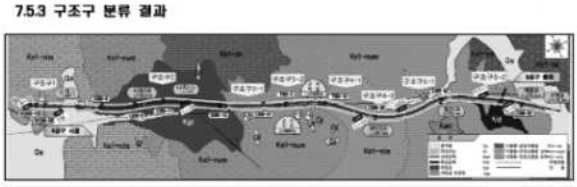
지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
풍적층	3.0 (0.0)	45/30~50/8	SM
풍화토	1.0 (3.0)	28/30	SM
풍화암	4.0~5.2 (3.0~4.0)	50/9~50/2	-
기반암	- (3.0~7.0)	69~97/4~48	사암, 셰일암, 산성암맥

나. STA.0+700~1+650(뒤기2, 3, 4구간, 쌍기2, 3, 4구간)





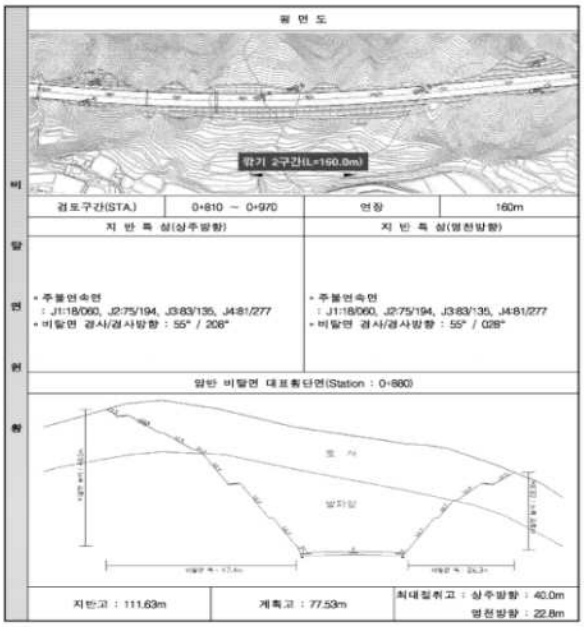
7.5.1 토질분류시험



7.5.3 구조구 분류 결과

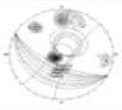
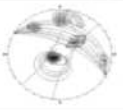
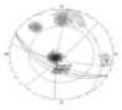
구 분	구조구 1	구조구 2	구조구 3		구조구 4		구조구 5	
			3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
암 상	Kel-nlm	Kgr	Kel-num		Kel-nlm		Kel-num	
BIPS	9CBB-18 9CBB-20	CBB-5 CBB-9 CBB-11 CBB-19 (SBB-12)	CBB-21	TBB-3	TBB-15	CBB-36	CBB-43	CBB-52
스케일면	S-13 118	L-13	-	-	-	L-12	HO3	111-1 S-12
STA.	1+319	4+597	5+453	6+430	7+688	8+980	10+140	
비 고	암상	암상	습곡축 및 구조물	암상	습리, 습곡축 및 단열	암상	단층, 습리 및 단열	

(2) 우기 2구간



우기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

비고

• 암반층 평사투영 해석결과 영천방향 1:0.5~1:1.0기울기에서 전도파괴 가능성이 있음.
• 영천방향 암반비탈면 불연속면이 Toppling Zone에 위치하여 전도파괴 가능성이 있으므로 녹화공법, 낙석방지그물, 낙석방지볼타리를 적용하여 안정성 확보

20.2.3 점검 및 진단 이력

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

<표 20-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토20 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구에서 부분적인 균열 및 계단식 옹벽 상단부에서 균열 및 파손이 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	영천절토20 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구에서 부분적인 균열 및 계단식 옹벽 상단부에서 균열 및 파손이 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	영천절토20 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구에서 부분적인 균열 및 계단식 옹벽 상단부에서 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2020. 03. 18 ~ 2020. 05. 28	정기안전점검	영천절토20 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구에서 부분적인 균열 및 계단식 옹벽 상단부에서 균열이 일부 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2020. 09. 16 ~ 2020. 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)~보통풍화(MW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열 및 파손, 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	영천절토20 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구에서 부분적인 균열 및 망상균열, 절토부 옹벽에서 앵커캡 파손이 일부 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호

20.2.4 보수·보강이력

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

<표 20-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

20.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 20-5> 내진 설계 적용 여부

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

20.2.6 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 20-6> 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

20.3 현장조사

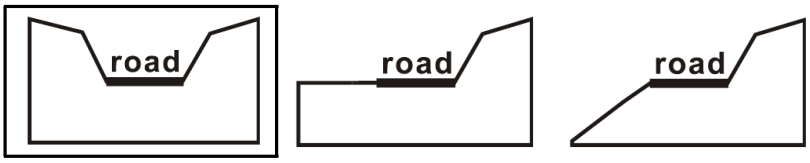
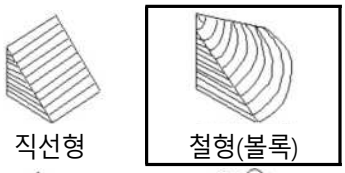
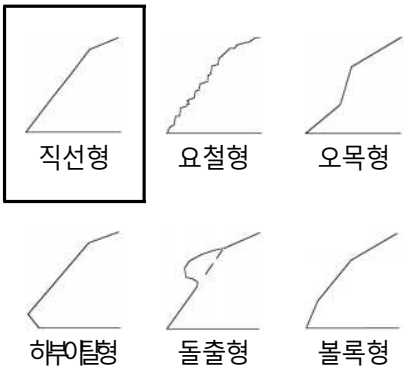
20.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 20-7> 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 소보면 달산리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 15′25″ 128° 27′19″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 15′23″ 128° 27′28″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 220m</td><td colspan="2">높 이 : 46.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 48/010</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 0.0~1.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 8</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>식생현황</td><td colspan="2">25.854~26.074k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">25.854~26.074k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">25.914~26.044k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>옹벽공</td><td colspan="2">25.924~25.984k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">25.854~25.914k, 25.974k</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 20-8> 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">5~10°</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 rowspan="4">식 생</td><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><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 20-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토20		
	위경도	시점 : 36° 15′25″ 128° 27′19″ 종점 : 36° 15′23″ 128° 27′28″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	220.0m	최대높이	41.0m
	경사	48°	상부경사	5~10°
	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	0.0~1.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) ■옹벽(양호) □격자블럭 ■점검로(양호)		■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) ■기타(쏘일네일링)
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			

20.3.2 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 소보면 달산리(상주영천고속도로 25.854~26.074km)에 위치한 사면으로서 총 연장 220.0m, 높이 46.0m의 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 20-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{46.0}=0.02$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 81.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{46.0}=0.011$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 220m로서, 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, 2개소로 구분하여야 하지만, 구성재료가 동일하고 분할시 연장이 짧음(20m)으로 인해 1개구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 20-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	25.854~26.074km	220m

20.3.3 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 5~10°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, 사면내 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 20-12> 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)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 20-13> 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 20-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	79/282	81/290	-
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	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 20-15> 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 균열과 소단배수로 균열 및 국부파손이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 20-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	산마루측구	균열	m	1EA / 1.0	건조수축	
	소단배수로	균열	m	17EA / 34.0	건조수축	
		파손	㎡	1EA / 0.15	시공미흡	

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 20-17> 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 20-18> 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 20-19> 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 20-20> 인장균열 조사 결과

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

20.3.4 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 4개소에서 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 20-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
25.990km	47.4	83.3	보통암	1단
26.000km	47.2	82.5	보통암	1단
26.010km	47.1	81.9	보통암	1단
26.020km	48.9	88.8	보통암	1단
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 47.1~48.9로 측정되었으며, 추정강도 81.9~88.8MPa로 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 20-22> 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 사면보강공으로 옹벽(쏘일네일링)이 시공되었으며, 기능발휘에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 20-23> 사면보강공 조사 결과

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

옹벽 전경

옹벽 전경

20.4 안전성능평가

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

20.4.1 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 0.02로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 파쇄암반, 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 20-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{46.0}=0.02$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 81.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{46.0}=0.011$로 0.01초과	절리암반	

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 Set1~2으로 표기하였다.

<표 20-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	25.854~26.074km	220m	암반사면	Set1, Set2

<표 20-26> 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 20-27> 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 20-28> 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 20-29> 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 20-30> 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 20-31> 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 20-32> 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 20-33> 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 20-34> 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 20-35> 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 20-36> 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 20-37> 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 5~10°	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 20-38> 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 20-39> 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 20-40> 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 20-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토20		
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**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 20-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
220.0m	1구간	25.894~26.074km	a(0.12)	A	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

20.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

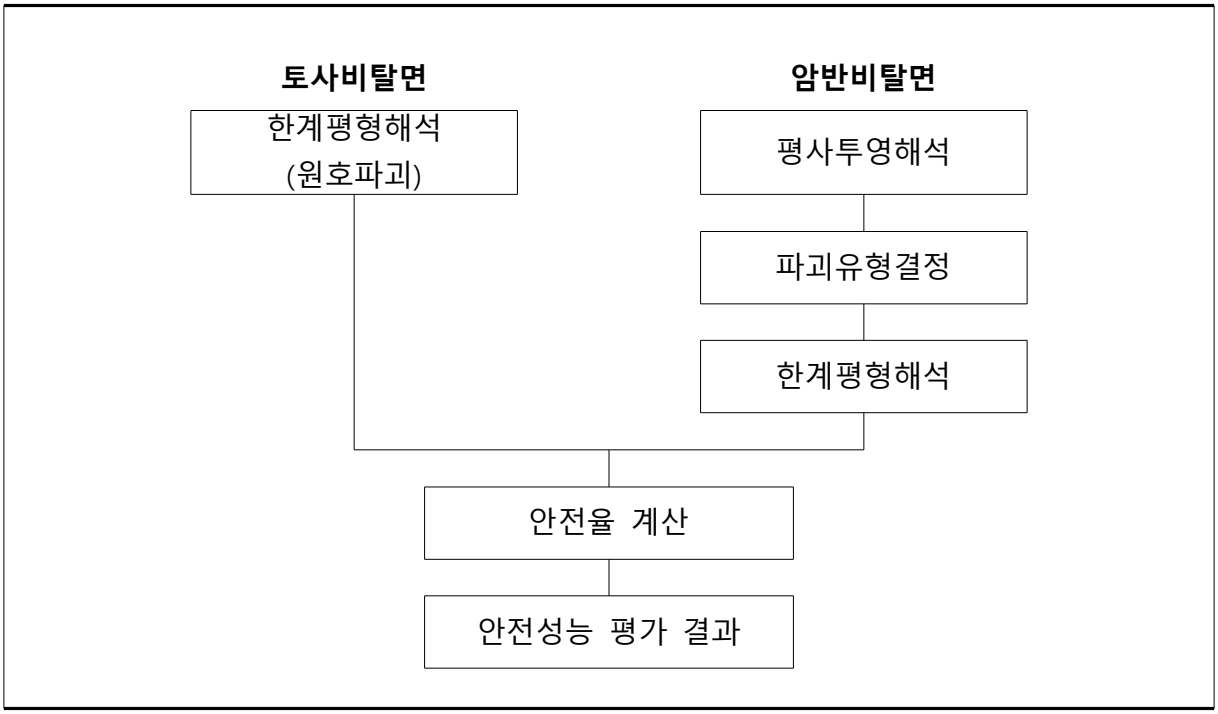
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 20-5> 구조안전성능 평가과정

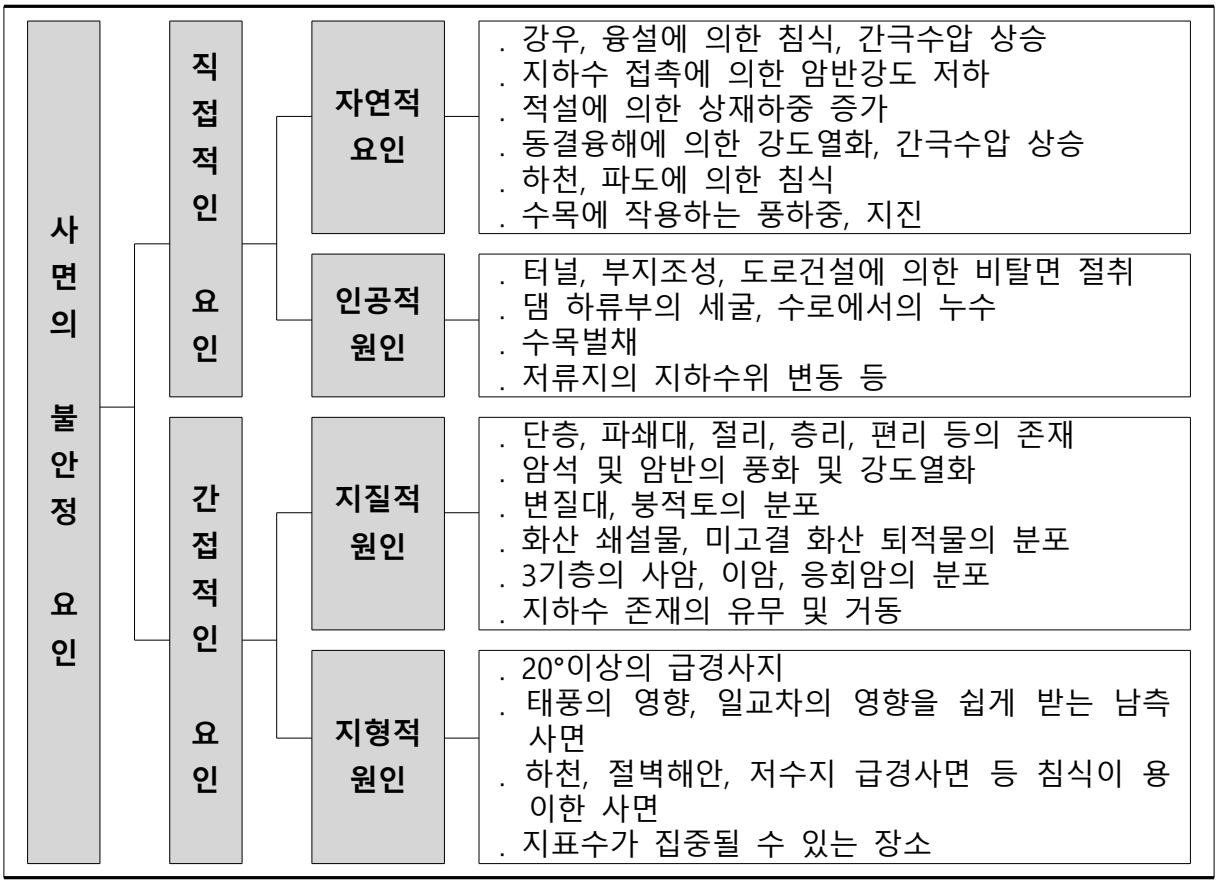
<표 20-43> 유형별 안정해석 범위

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

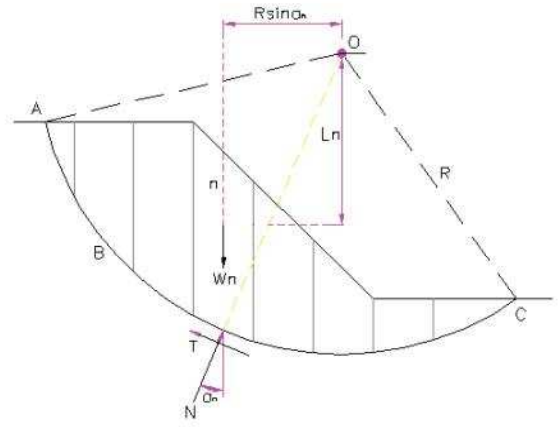


<그림 20-6> 구조안전성능 평가과정

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

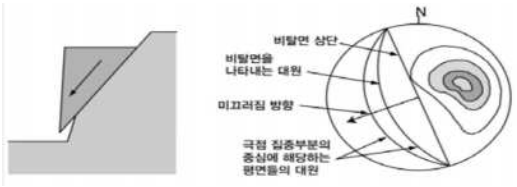
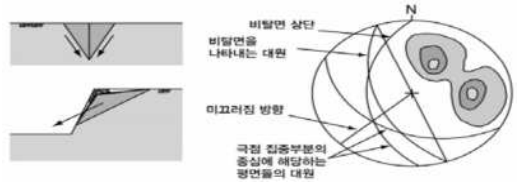
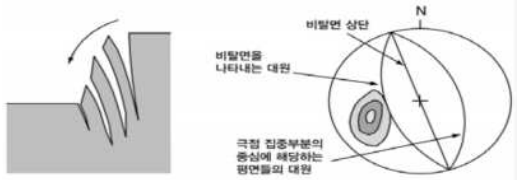
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 20-7> 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 20-44> 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 20-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

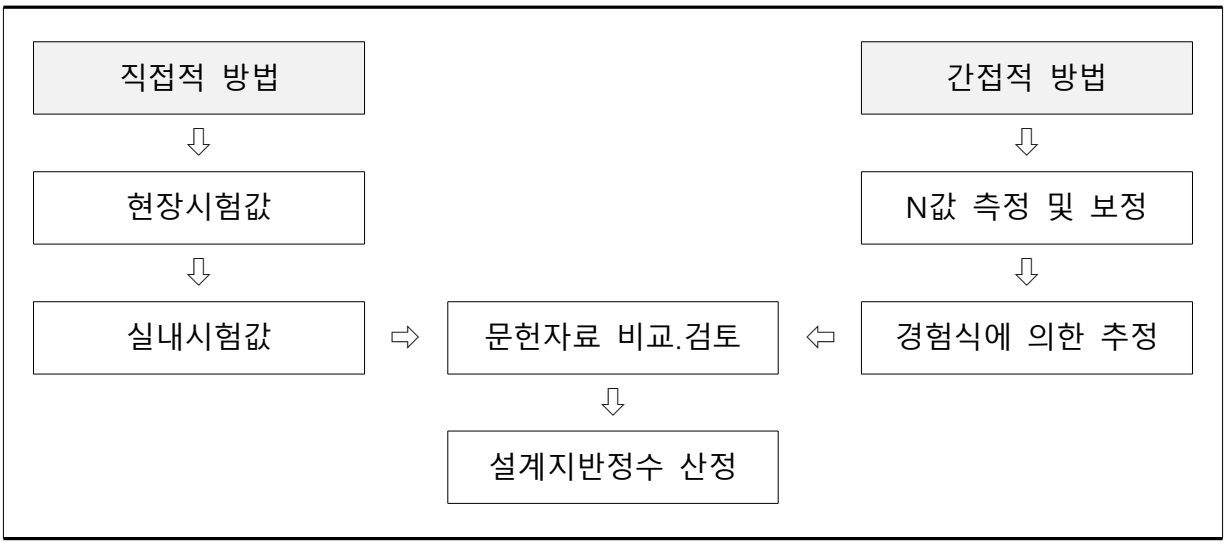
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 20-46> 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 20-47> 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 20-48> 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 20-49> 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 20-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (3공구)	풍화(잔적)토	18.5	27	20	
	풍화암	19.5	29	35	
	기반암	25.0	35	230	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 20-51> 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 20-52> 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 20-53> 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 20-54> 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 20-55> Trueman (1988)

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

<표 20-56> 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	18.5	27	20	0.3	
풍화암	19.5	29	35	0.3	
기반암	25.0	35	230	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 20-57> 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

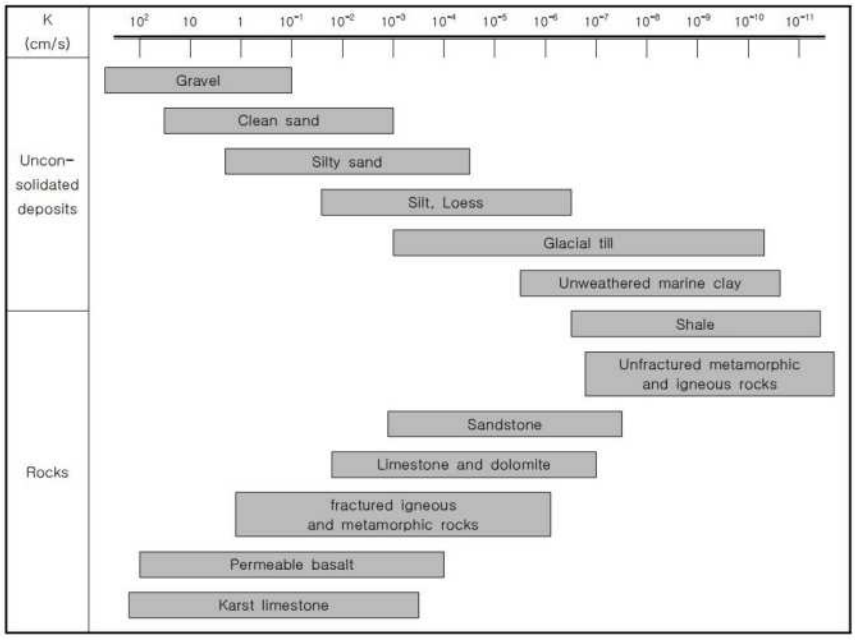
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 20-58> 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 20-59> 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 20-8> 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 20-60> 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

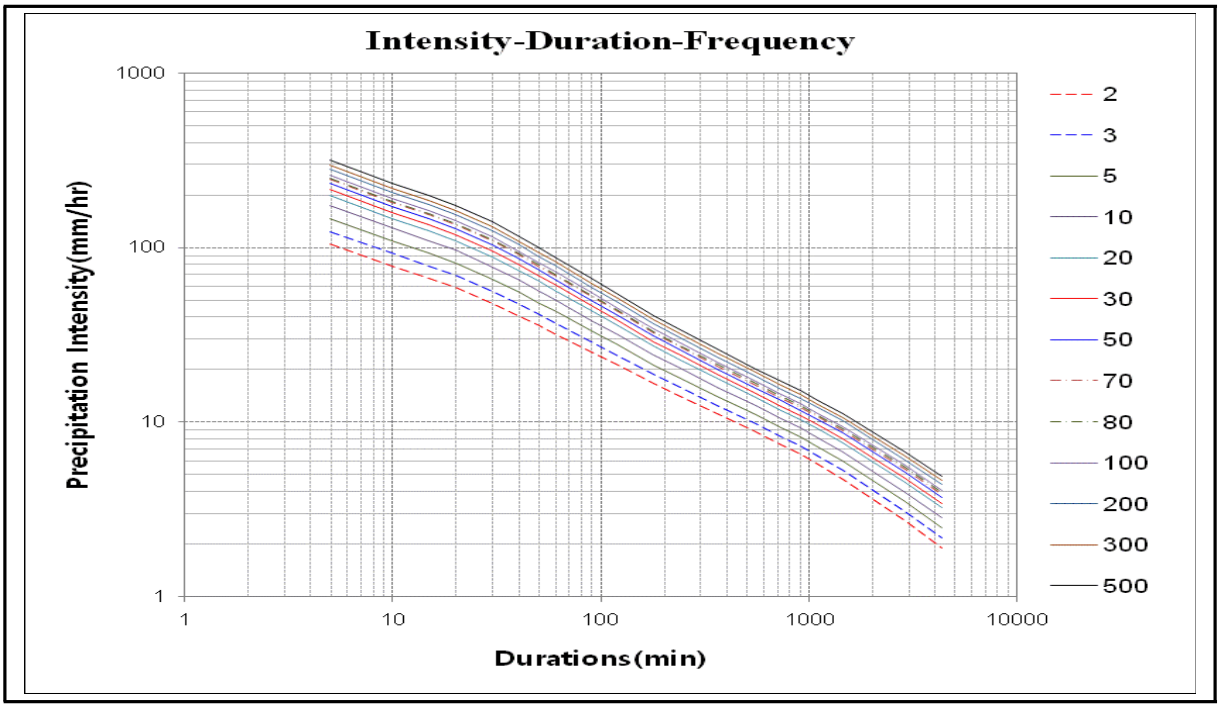
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 20-9> 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 20-10> 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 20-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 20-61> 설계지반운동 수준

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

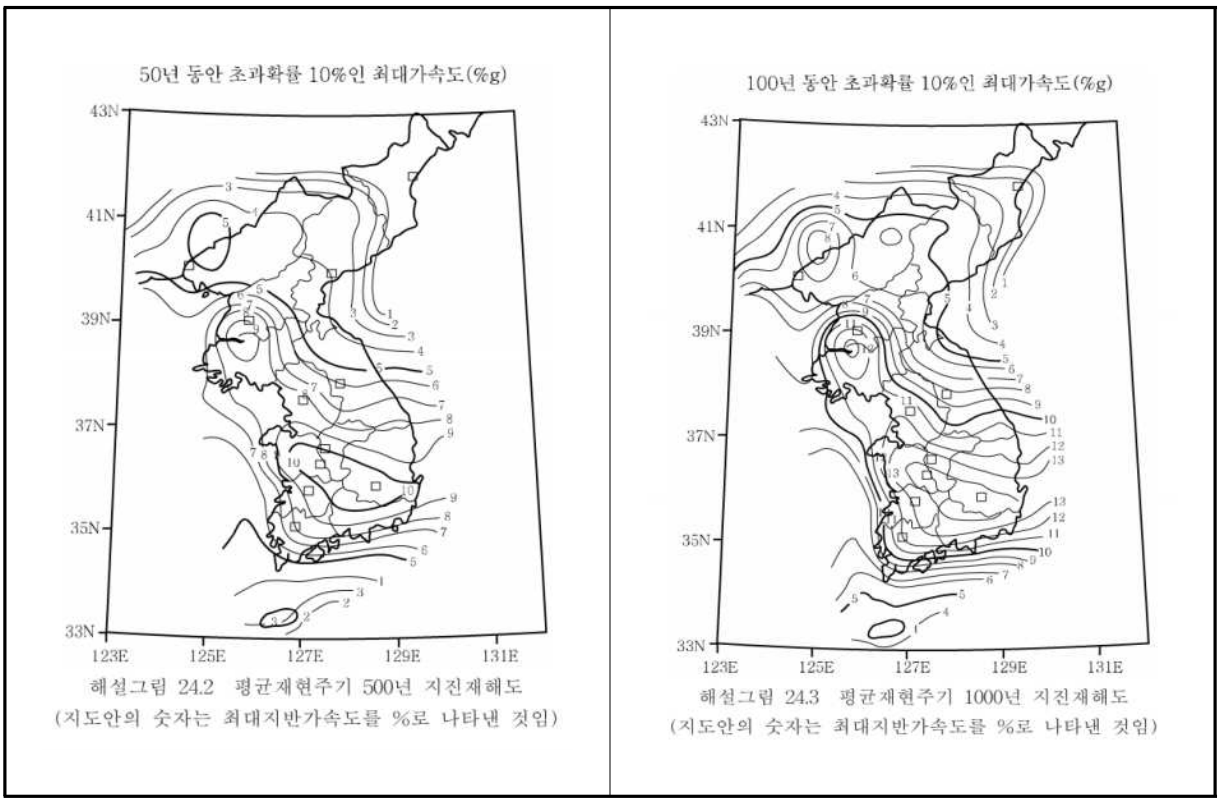
2) 설계지반운동

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 20-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 20-62> 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 20-63> 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

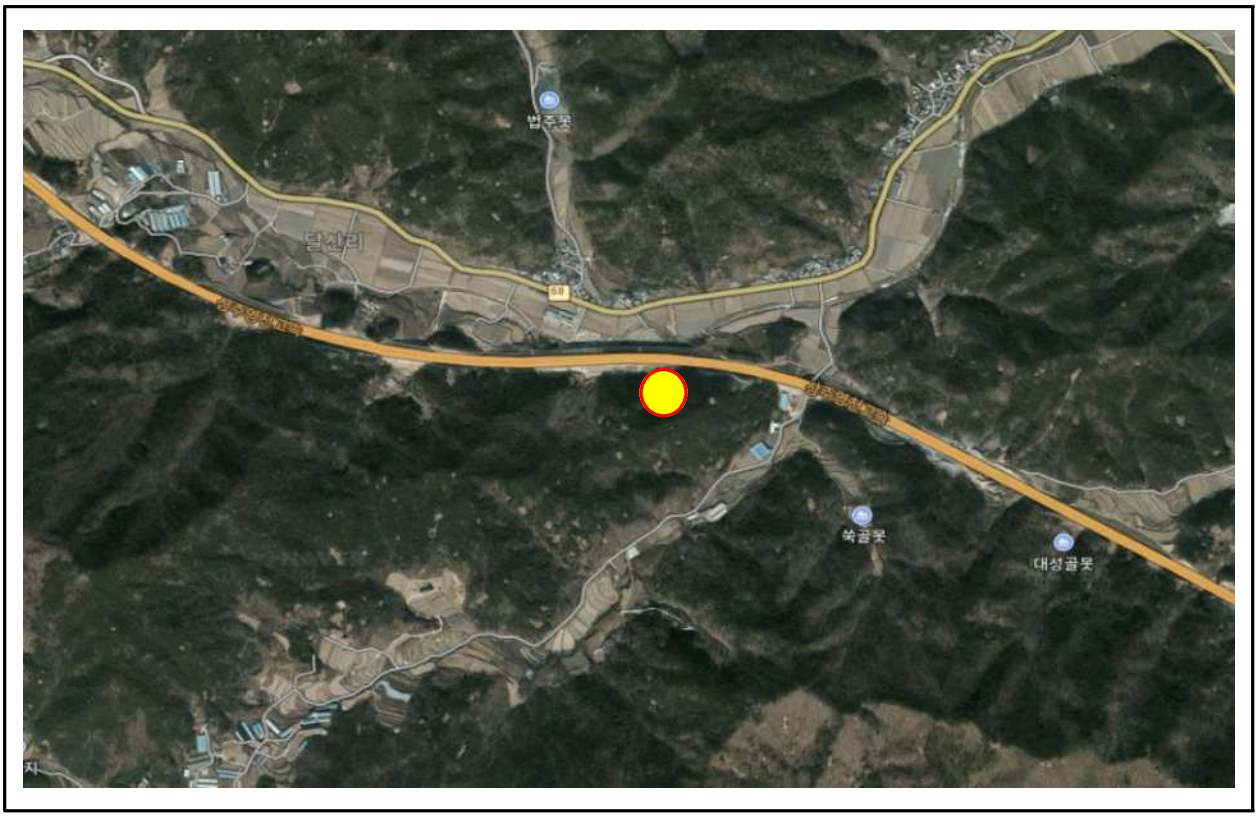
3) 지진가속도계수 선정

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 20-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토20	경상북도 군위군 소보면 달산리	25.854 ~ 26.074	STA.26+014	46.0	1.0	45.0	네일링	2017	48/010



<그림 20-13> 영천절토20 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토20 비탈면 안정성검토

1) 세부위치

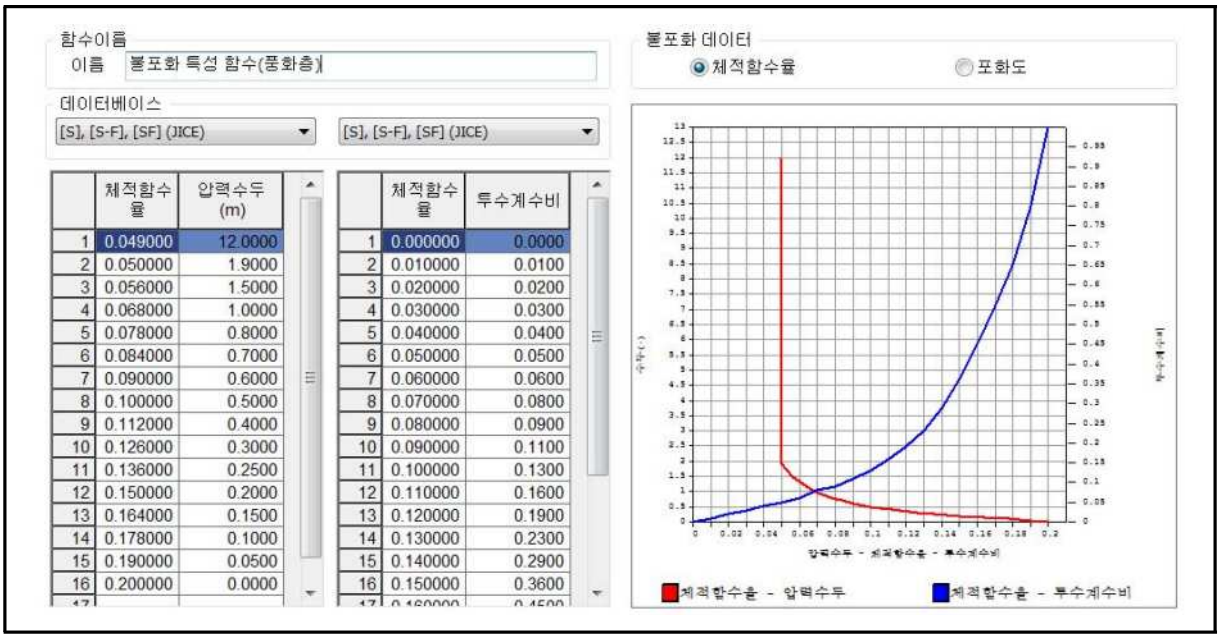
<그림 20-14> 영천절토20 검토대상 비탈면구간

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	18.5	27	20	7.4E-04	
풍화암	19.5	29	35	6.2E-04	
기반암	25.0	35	230	1.5E-04	

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

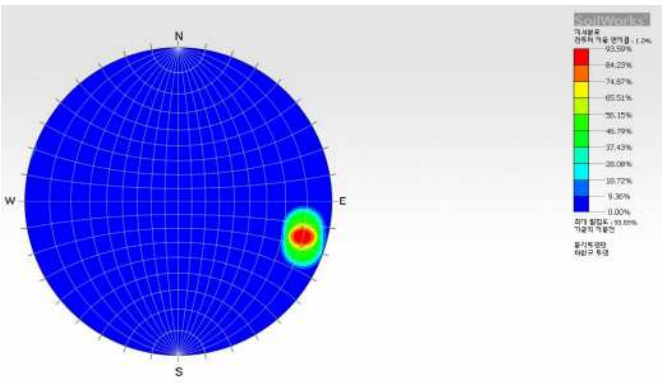
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 20-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

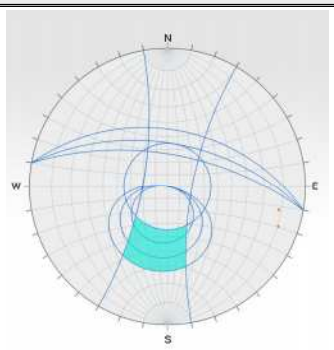
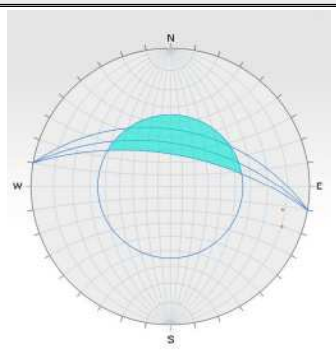
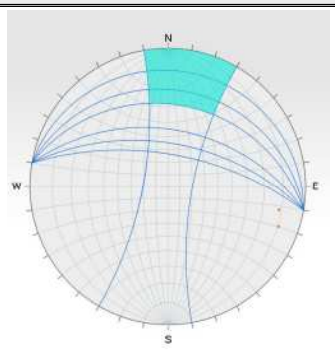
3) 1구간 (STA.25+854 ~ 26+074)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 79 81	dip direction 282 290

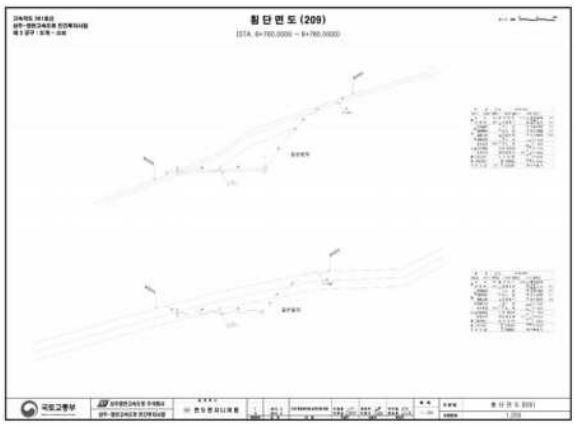
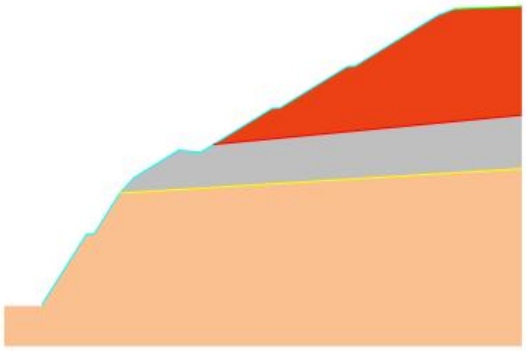
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

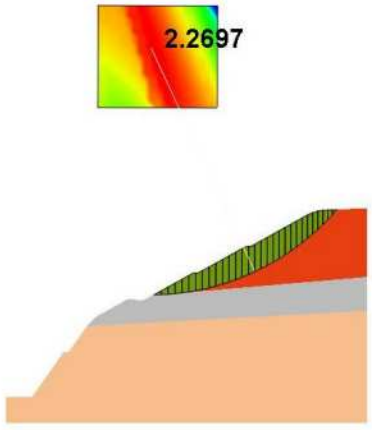
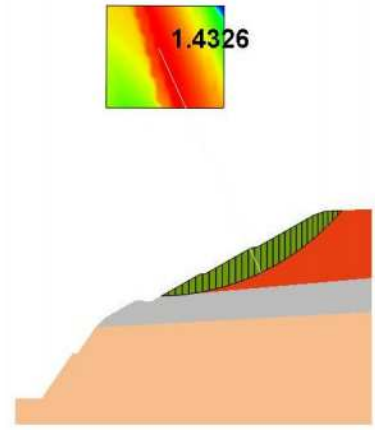
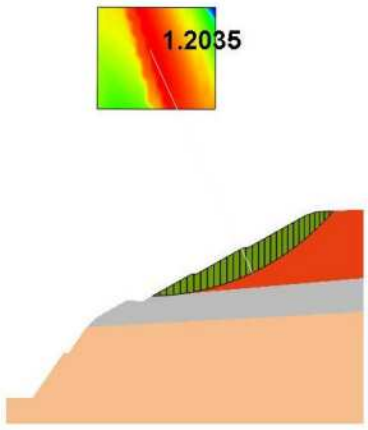
구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">대표단면 : STA.26+014, 영천</td></tr>
</table>

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.26	안전율 : 1.43	안전율 : 1.20

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	

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 20-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토20**		
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	2.26	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.43	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.20	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

20.4.3 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 20-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토20**		
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 20-67> 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

20.5 내구성능 평가

20.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 20-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 1/46 = 0.02
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		보통암 : 100.0MPa	추정
면적	전체	6,750㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	6,750㎡	
표면보호공	식 생	4,734㎡	
사면보강공	옹 벽	2,016㎡	
	쏘일네일링	2,016㎡	

20.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 20-69> 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

20.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 20-70> 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 20-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
25.990km	83.3	-	· 초기값 미측정으로 대비강도 측정불가 · 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
26.000km	82.5	-	
26.010km	81.9	-	
26.020km	88.8	-	
평균값	84.1	-	
등급	**A등급**		

<표 20-72> 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 20-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	4,734/4,734㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 20-74> 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 20-75> 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 20-76> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
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)	c(10)	-
풍화진행도	MW	MW	-
	c(10)	c(10)	-
합 계	35	35	-
평 균	7.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 20-77> 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	-	-	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**c**	

20.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 20-78> 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 20-79> 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 20-80> 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

20.6 종합평가

20.6.1 종합평가 개요

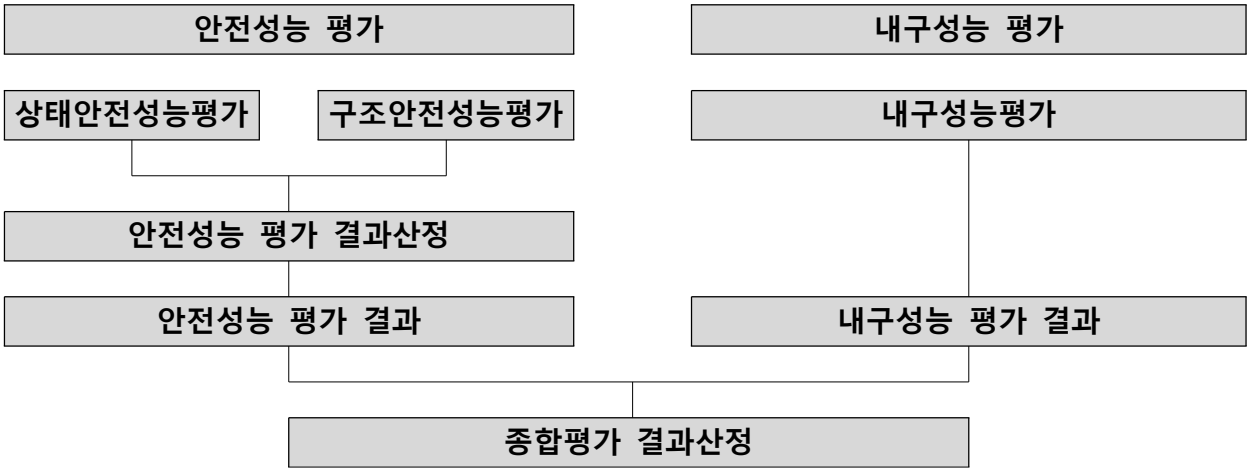
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 20-16> 종합평가 흐름도

20.6.2 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 20-81> 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 20-82> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토20		**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=0.220	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.120 × 0.8) + (0.220 × 0.2) = 0.144 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 20-83> 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

20.7 유지관리 전략 제안

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

20.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2020.01)』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 20-84> 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	**A등급** 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준				

20.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.144)"으로 평가되었다.

<표 20-85> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.220	0.144
평가결과	A	B	A

20.7.3 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 20-86> 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
		파손	단면보수	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.

20.8 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 균열 및 파손, 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.

제21장 영천절토21

21.1 대상 시설물 현황

21.2 관련 자료의 분석

21.3 현장조사

21.4 안전성능평가

21.5 내구성능평가

21.6 종합평가

21.7 유지관리전략 제안

21.8 종합결론

제21장 영천절토21

21.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 소보면 달산리(상주영천고속도로 26.654~27.034km)에 위치한 사면으로서 총 연장 380.0m, 높이 33.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 21-1>사면 일반사항

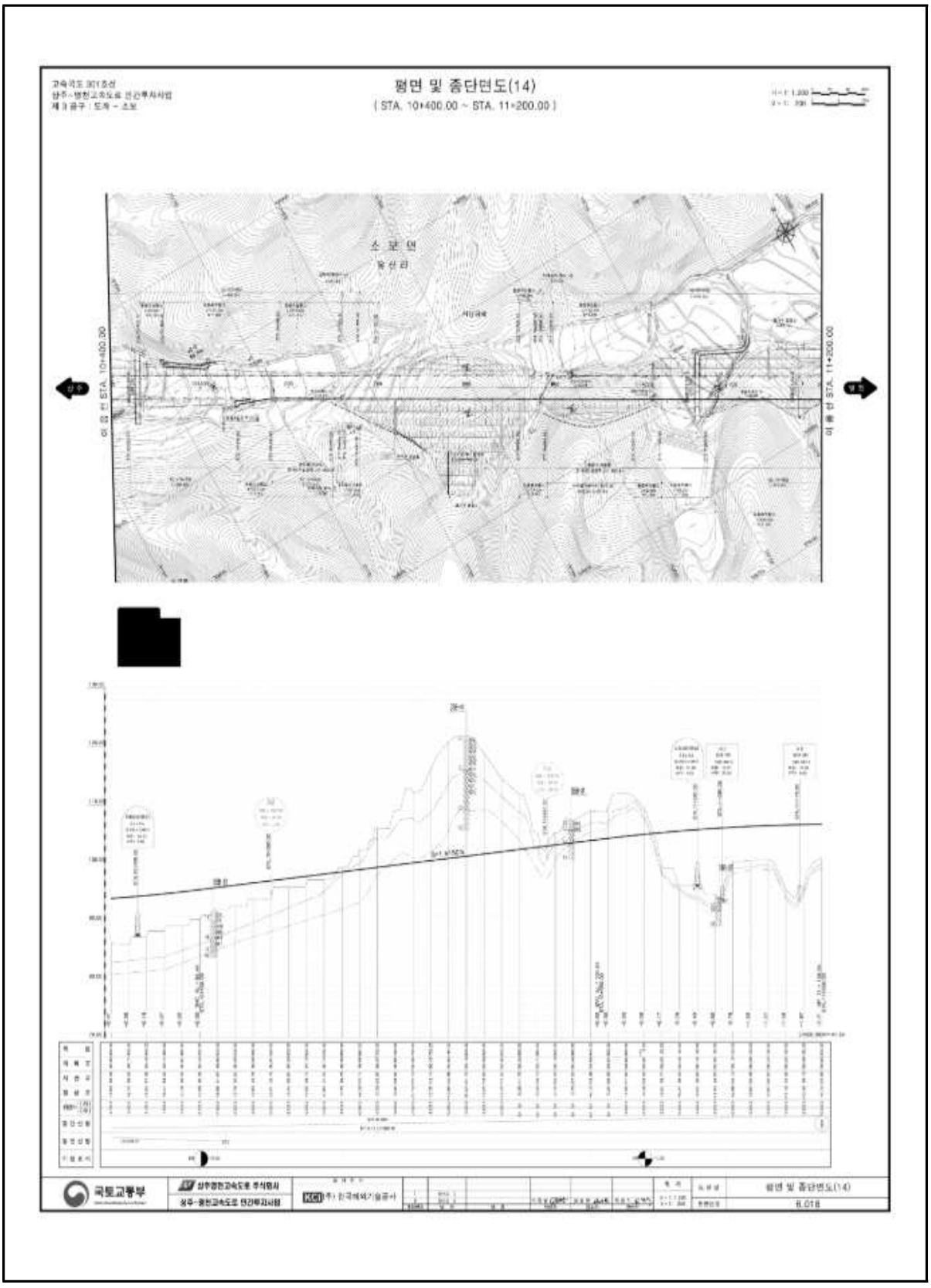
시설물번호	SL2017-0000043		**관리번호**	SY SL21
시설물명	영천절토21		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 소보면 달산리		
	위치좌표	시점 : 36° 15′18″ 128° 27′40″		
		종점 : 36° 15′10″ 128° 28′02″		
	관리이정	26.654~27.034km		
	공구이정	3공구 STA.10+640~11+020		
제 원	**연 장**	380m	**높 이**	33.0m
	경사/방향	44/030	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	20~30°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	㈜한화건설, ㈜삼호
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 쏘일네일링, 격자앵커, 옹벽		
비 고				

<그림 21-1>위치도

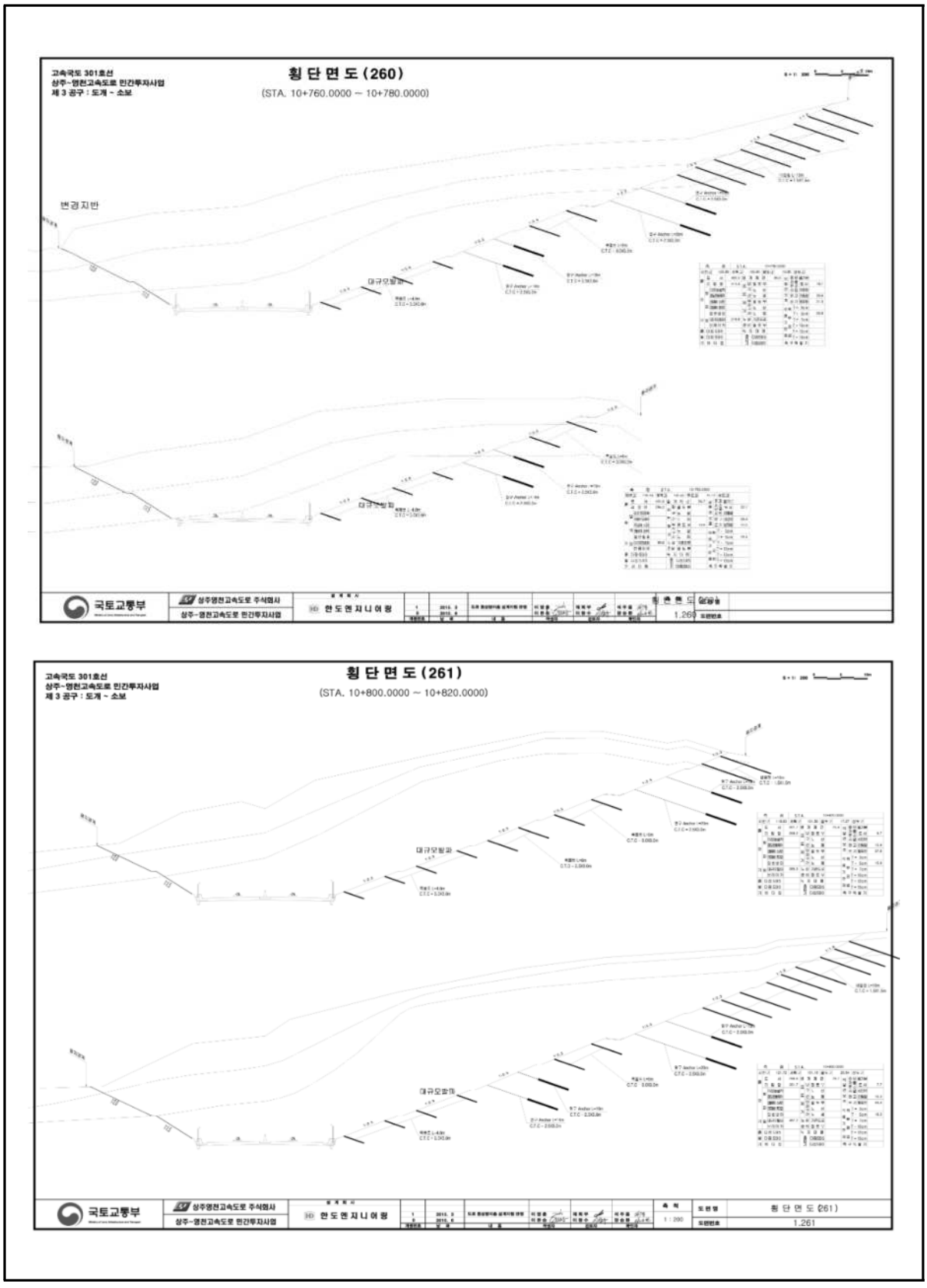
<그림 21-2> 전경사진

정면 전경	1소단 배수로 전경
점검계단 전경	산마루측구, 점검계단 전경
하부 전경	옹벽 전경

<그림 21-2> 전경사진(계속)



<그림 21-3> 평면도



<그림 21-4>표준횡단면도

21.2 관련 자료의 분석

21.2.1 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 21-2> 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 3공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구
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 3공구
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.

21.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

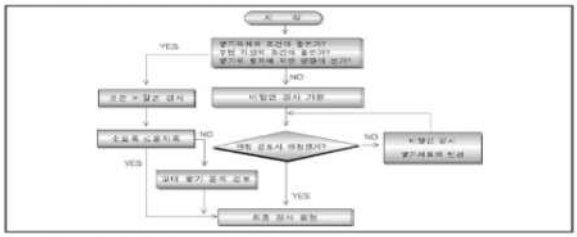
8.4 비탈면 설계기준

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

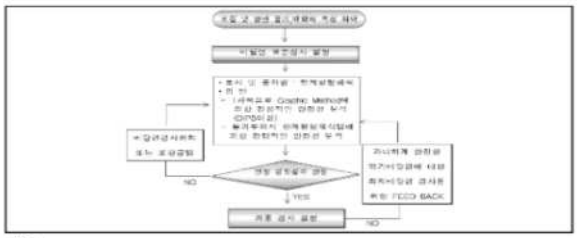
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 평기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



228

영천-상주 고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 위기 비탈면

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

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

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 일반층에서 층리나 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. 심도는 점심토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

230

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 접하는 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.

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

233

8.4.5 설계기준 선정

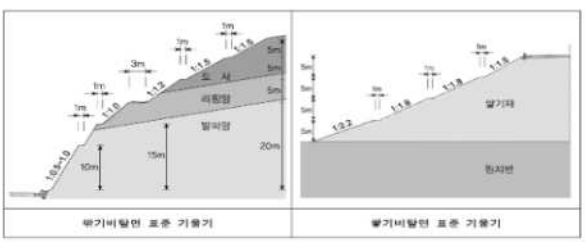
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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
암위기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 암위기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 • 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) • 암위기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	
평기 비탈면	풍 기 재	1 : 1.5~2.2	• 평기 높이 5m 마다 1m 소단설치



암위기비탈면 표준 기울기 | 평기비탈면 표준 기울기

236

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 습곡 내지 조임질, 등림질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 신산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의)의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	절기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 주보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

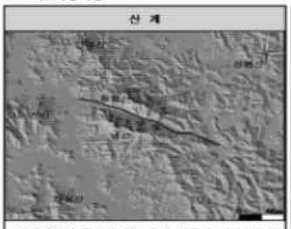
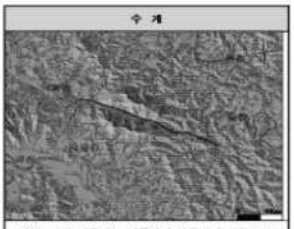
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡창천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도기 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 본국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 업층으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉽게 또는 층리되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 층림~조립질을 보이며 등림질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명			특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
		-- 부정합 --				
중생대	백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ap})			• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
		-- 관입 --				
		화강암(K_{gr})			• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
		-- 관입 --				
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		-- 관입 및 분출 --				
		신동층군	낙동층 (ke1)	안경산층원 (Ke1-nml) 상부 (Ke1-nml)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
				안경산층원 (Ke1-nml) 하부 (Ke1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 탄질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 신령단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 우보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

3) 지반조사 보고서

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 층리 내지 조임질, 등립질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 선산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	원기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 우보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

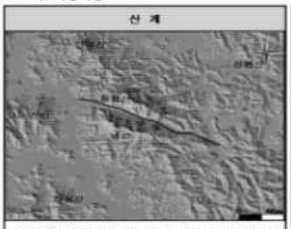
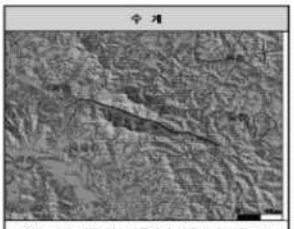
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡정천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 본국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 업층으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉬 전 또는 층전되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 층림~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대					층 명	특 성	비 고
제4기					충적층(Qal)	• 하천 및 산록 퇴적물	
					—— 부정합 ——		
중생대	백악기				중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ap})	• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
					—— 관입 ——		
					화강암(K_{gr})	• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
					—— 관입 ——		
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하며 많음	
			—— 관입 및 분출 ——				
		신동층군	낙동층 (ke1)	안경산층원 (Ka1-nml)	상부 (Ke1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
					하부 (Ke1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 탄질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

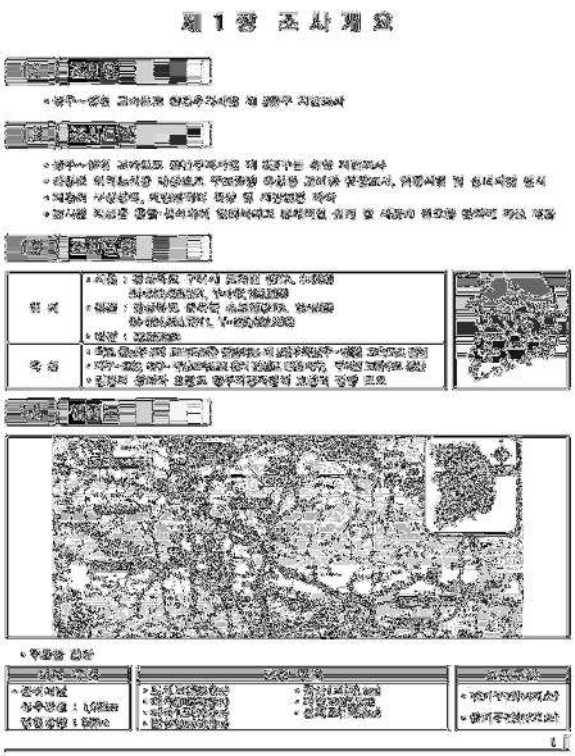
• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 선암단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 우보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

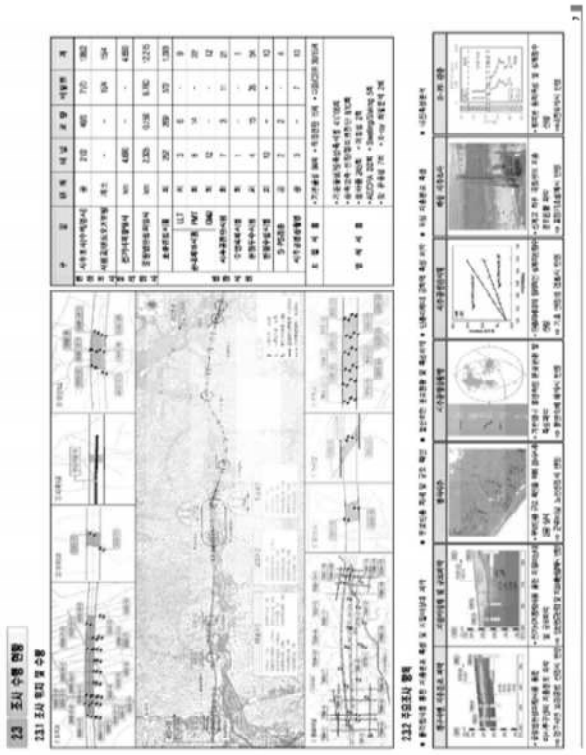
4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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





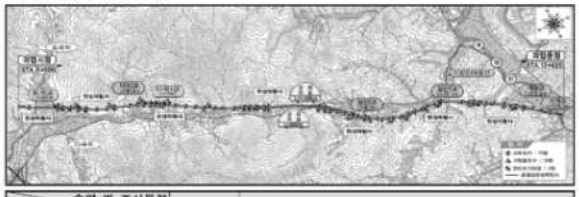
제 7 장 비탈면구간 지반특성 분석 및 설계적용

7.1 개 요

7.1.1 기본방향

조 사 항 목	조 사 기 본 방 향
지층 현황 및 원지반 공학적 특성 분석	• 쉬기구간 지층분포 상태 및 공학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 비탈면 계획 수립 • 붕기구간 연약지반 분포 유무 파악 및 토사층의 역학적 특성 파악
불연속면 분포 특성 파악	• 불연속면 특성(간격, 방향, JRC, JCS)을 파악하여 암반 비탈면 안정성 분석 및 보강대책 선정시 반영
붕기재 특성 분석	• 쉬기 및 터널구간에서 발생되는 토사 및 암버력의 붕기재 적합 여부 판단시 반영

7.1.2 조사위치 및 수량



조사항목 \ 수량 및 조사목적		수 량	조 사 목 적
물리탐사	굴절법탄성파탐사	9.760km	• 지층의 분포 현황 및 두께 파악
현장조사 및 현장시험	시추조사	71공	• 지층분포 및 특성 파악, 암종 및 단층확인
	시험굴조사	15개소	• 붕기재 적정성 검토, 토공 계획
	핸드오거보링	4개소	• 붕기구간의 토질상태 및 시료채취
	시추공전단시험	11회	• 풍화대층의 강도정수 파악
	현장투수시험	35회	• 토사층의 투수계수 파악
	시추공영상촬영	7공	• 불연속면 크기 및 발달상태, 경사방향 및 경사각, 암반의 변화 및 공학적 특성 파악
실내토질시험		• 기본물성시험 77회, 직접전단시험 15회, 다짐/CBR시험 30/15회	
실내암석시험		• 점하중강도시험 36회, 물성시험/일축압축 12/12회, 절리면 전단시험 8회 Swelling/Slaking 5회, 본선암 유용성시험 5회	

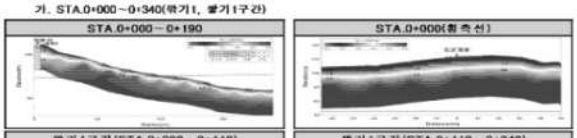
7.2 지층특성 분석

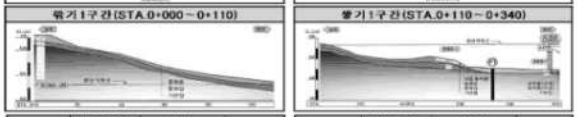
7.2.1 기본방향

• 지표지질조사, 시추조사, 탐사 결과를 각 교량구간에 분포하는 매립 · 풍적층, 퇴적층 및 풍화대층 분포현황 파악

7.2.3 분포 현황 파악

가. STA.0+000~0+340(쉬기1, 붕기1구간)

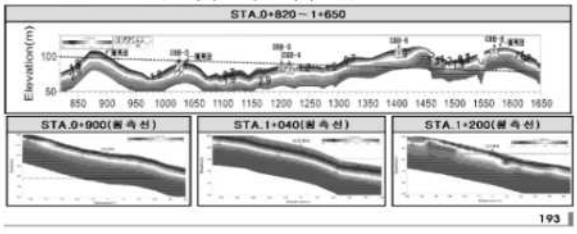




지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
풍화토	4.0~4.8 (0.0~0.2)	19/30~50/14	SM
풍화암	2.6~3.7 (4.0~5.0)	50/10~50/6	–
기반암	– (6.6~8.7)	(46~100/0~100)	시암, 니암암

지 층	분포두께 (출현심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
붕적층	3.0 (0.0)	45/30~50/8	SM
풍화토	1.0 (3.0)	28/30	SM
풍화암	4.0~5.2 (3.0~4.0)	50/9~50/2	–
기반암	– (3.0~7.0)	60~97/4~48	사암(+셰일)층 산재협재

나. STA.0+700~1+650(쉬기2, 3, 4구간, 붕기2, 3, 4구간)



7.3 지반특성 분석

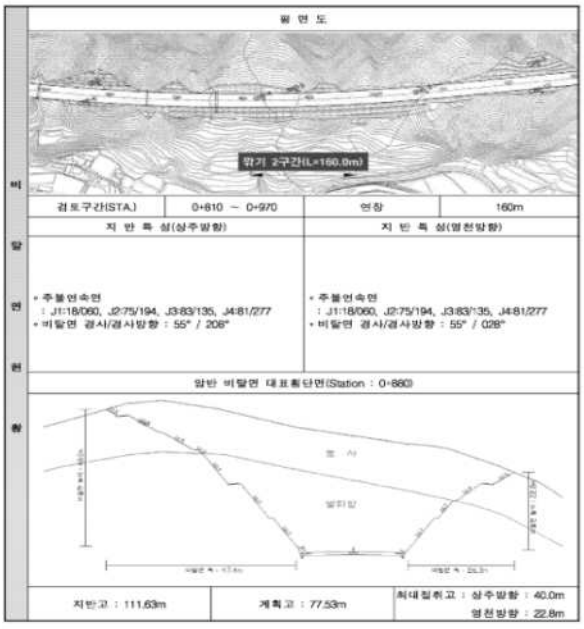
7.3.1 토질물성시험

공 번		심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit LL(%)	PI	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.02mm	USCS
위기부	CBB-3	1.0	풍화토	8.2	2.68	NP	-	100	93.1	44.8	24.6	-	SM
	CBB-4	2.0	풍화토	7.1	2.70	NP	-	56.4	41.0	28.4	16.4	-	GM
	CBB-5	1.0	풍화토	16.4	2.68	27.6	4.9	100	100	83.6	56.3	12.5	ML
	CBB-6	2.0	풍화토	11.0	2.65	NP	-	97.8	70.7	31.5	13.2	-	SM
	CBB-7	1.0	풍화토	12.0	2.66	NP	-	97.9	65.3	26.4	12.4	-	SM
	CBB-10	2.0	풍화토	11.5	2.65	NP	-	100	92.6	43.3	22.5	-	SM
	CBB-11	1.0	풍화토	9.8	2.68	NP	-	100	75.1	22.4	8.2	-	SW-SM
	CBB-12	2.0	붕적층	15.5	2.67	26.8	4.3	100	97.8	82.2	43.2	8.0	SM
	CBB-15	1.0	풍화토	12.2	2.69	NP	-	100	82.3	24.4	7.5	-	SW-SM
	CBB-16	1.0	풍화토	11.3	2.69	NP	-	98.0	84.2	29.2	10.0	-	SW-SM
	CBB-20	4.0	붕적층	17.6	2.70	32.4	10.4	96.7	96.2	91.1	71.9	17.5	CL
	CBB-21	5.0	붕적층	10.5	2.71	32.6	10.9	84.7	83.4	70.9	47.6	15.0	SC
	CBB-22	1.0	붕적층	14.6	2.69	30.2	9.7	90.2	87.6	79.7	61.9	17.0	CL
	CBB-23	4.0	붕적층	20.6	2.70	28.2	4.8	74.5	64.5	67.8	59.2	7.5	ML
	CBB-26	6.0	풍화토	15.1	2.67	NP	-	100	98.4	60.6	29.9	-	SM
	CBB-28	5.0	붕적층	11.9	2.69	NP	-	81.4	75.1	52.0	28.9	-	SM
	CBB-29	1.0	붕적층	13.0	2.71	NP	-	47.9	42.3	28.6	15.2	-	GM
	CBB-30	8.0	붕적층	13.3	2.69	28.1	5.1	100	96.6	67.2	43.4	8.0	SM
	CBB-31	1.0	붕적층	16.9	2.71	27.3	4.5	100	97.3	82.8	60.9	12.0	ML
	CBB-32	6.0	붕적층	11.3	2.67	NP	-	98.1	92.7	60.8	28.7	-	SM
	CBB-33	3.0	풍화토	10.8	2.69	NP	-	99.9	92.1	59.9	33.8	7.0	SM
	CBB-34	1.0	풍화토	9.6	2.67	NP	-	100	96.2	49.8	23.6	-	SM
	CBB-35	1.0	풍화토	3.7	2.68	NP	-	92.3	83.8	32.8	14.2	-	SM
	CBB-36	1.0	풍화토	12.8	2.68	NP	-	76.3	60.8	31.3	14.4	-	SM
	CBB-43	3.0	풍화토	16.9	2.70	NP	-	100	95.6	60.6	27.7	-	SM
	CBB-44	3.0	풍화토	9.7	2.71	NP	-	100	86.6	34.7	13.2	-	SM
	CBB-45	1.0	풍화토	8.6	2.68	NP	-	91.2	75.1	39.5	18.6	-	SM
	CBB-46	1.0	풍화토	5.6	2.67	NP	-	98.3	90.7	36.5	17.1	-	SM
	CBB-47	1.0	붕적층	13.6	2.71	26.8	4.2	100	98.9	76.1	41.6	7.5	SM
	CBB-49	4.0	풍화토	17.7	2.71	NP	-	100	98.4	58.6	26.6	-	SM
	CBB-50	1.0	붕적층	29.3	2.73	28.2	4.9	100	100	97.8	58.7	9.0	ML
	CBB-50	2.0	붕적층	13.1	2.68	NP	-	67.2	57.2	36.5	14.9	-	SM
암기부	SBB-2	1.0	풍화토	7.9	2.67	NP	-	95.4	80.6	40.1	15.2	-	SM
	SBB-3	2.0	풍화토	13.3	2.66	NP	-	100	95.6	53.6	33.6	7.5	SM
	SBB-4	2.0	붕적층	19.0	2.68	31.5	9.2	97.0	90.1	69.5	51.8	14.5	CL
	SBB-5	2.0	붕적층	8.3	2.64	NP	-	38.1	28.7	13.5	5.9	-	GW-GM
	SBB-6	1.0	붕적층	10.3	2.68	NP	-	34.3	26.9	14.9	4.9	-	GP
	SBB-7	3.0	풍화토	13.1	2.66	NP	-	90.5	83.3	51.2	26.2	-	SM
	SBB-8	4.0	풍화토	22.0	2.68	NP	-	99.2	95.0	51.7	28.3	-	SM
	SBB-10	1.0	풍화토	16.8	2.65	NP	-	100	89.8	62.7	39.2	7.5	SM
	SBB-11	3.0	퇴적층	14.1	2.64	NP	-	98.0	85.1	47.1	24.4	-	SM
	SBB-12	1.0	붕적층	13.5	2.64	NP	-	98.8	87.2	49.0	23.2	-	SM
	SBB-13	1.0	붕적층	12.3	2.67	27.1	4.9	100	100	87.4	58.8	14.0	ML
	SBB-15	2.0	붕적층	16.9	2.68	28.5	6.0	100	99.0	86.9	62.9	15.0	ML
	SBB-16	1.0	붕적층	5.4	2.67	NP	-	39.1	31.4	19.4	7.6	-	GW-GM

7.5.3 구조구 분류 결과

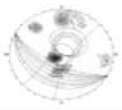
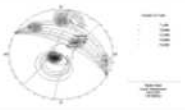
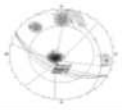
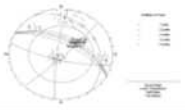
구 분	구조구 1	구조구 2	구조구 3		구조구 4		구조구 5	
			3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
암 상	Ke1-nlm	Kgr	Ke1-num		Ke1-nlm		Ke1-num	
BIPS	9CBB-18 9CBB-20	CBB-5 CBB-9 CBB-11 CBB-19 (SBB-12)	CBB-21	TBB-3	TBB-15	CBB-36	CBB-43	CBB-52
스캔라인	S-13 118	L-13	-	-	-	L-12	HO3	111-1 S-12
STA.	1+319	4+597	5+453	6+430	7+688	8+980	10+140	
비 고	암상	암상	습곡축 및 구조물	암상	습리, 습곡축 및 단열	암상	단층, 습리 및 단열	

(2) 위기 2구간



위기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

비고

- 암반층 평사투영 해석결과 영천방향 1:0.5~1:1.0기울기에서 전도파괴 가능성이 있음.
- 영천방향 암반비탈면 불연속면이 Toppling Zone에 위치하여 전도파괴 가능성이 있으므로 녹화공법, 낙석방지그물, 낙석방지옹벽타리를 적용하여 안정성 확보

21.2.3 점검 및 진단 이력

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

<표 21-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토21 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 산마루측구 일부구간에서 균열 및 낙엽퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 정비 후 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2021. 05. 28 ~ 2021. 06. 30	정기안전점검	영천절토21 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 산마루측구 일부구간에서 균열 및 낙엽퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 정비 후 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2021. 10. 23 ~ 2021. 12. 31	정기안전점검	영천절토21 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 낙엽퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 정비 후 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	영천절토21 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 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)~보통풍화(MW) 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	영천절토21 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 들뜸이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호

21.2.4 보수·보강이력

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

<표 21-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

21.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 21-5> 내진 설계 적용 여부

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

21.2.6 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 21-6> 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

21.3 현장조사

21.3.1 현장조사 체크리스트

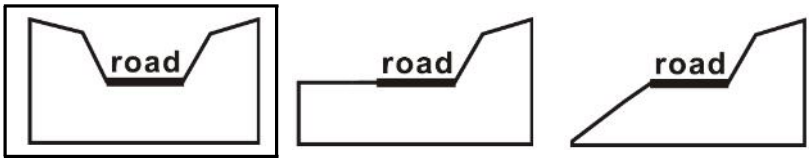
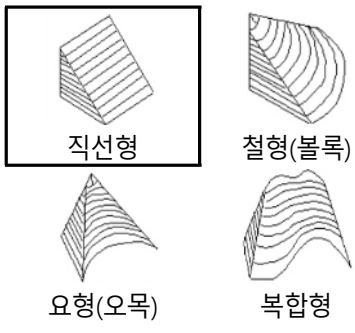
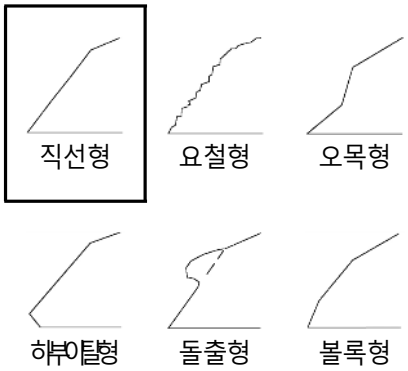
관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로 하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 21-7> 일반현황

조사일자	2020. 05. 18.	**조 사 자**	장 진 원
일 기	맑음	**준공년도**	2017년 06월 27일
행정구역	경상북도 군위군 소보면 달산리		
위 경 도	시점 : 36° 15′18″ 128° 27′40″		
	종점 : 36° 15′10″ 128° 28′02″		
절토사면	길 이 : 380m	높 이 : 33.0m	
	경 사/경사방향 : 44/030		
	구성물질 : 암반	토층심도 : 약 2.0~5.0m	
	소 단 : 7		
낙석/뜬돌	낙석 존재유무 : 없음	낙석의 양 : -	
	낙석 평균크기 : - 낙석 최대크기 : -		
	뜬돌 존재유무 : 없음	뜬돌의 양 : -	
	뜬돌 평균크기 : - 뜬들 최대크기 : -		

	종 류	위 치	상 태
절토사면 시공현황	식생현황	26.654~27.034k	양호
	산마루 측구	26.654~26.754k, 26.914~27.034k	양호
	소단배수로	26.754~26.854k	균열
	격자앵커	26.774~26.844k	양호
	옹벽	26.964k	양호
	낙석방지울타리	26.914~27.024k	양호
	점검용 계단	26.774k, 26.794k	양호
붕괴이력	**유 형**	**규 모**	**위 치**
기 타	·		

<표 21-8> 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 21-9> 기초조사 자료

일반현황	**거리표**	영천절토21		
	위경도	시점 : 36° 15′18″ 128° 27′40″ 종점 : 36° 15′10″ 128° 28′02″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	**조사기관**	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	**길이**	380.0m	**최대높이**	33.0m
	경사	44°	**상부경사**	20~30°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	**소단**	7개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	**주변지형**	■산악 □준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	**누수위치**	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	■F ■S ■M □H □C □R	**불연속면 방향성**	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	■직선형 □철형 □요형 □파형	**측면형상**	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	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) □낙석방지망 ■옹벽(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■격자블럭(양호) ■배수로(보통) ■점검로(양호) ■기타(쏘일네일링)		
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			

21.3.2 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 소보면 달산리(상주영천고속도로 26.654~27.034km)에 위치한 사면으로서 총 연장 380.0m, 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 21-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{33.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 80.7~93.6MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{33.0}=0.015$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{21.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 80.7~93.6MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{21.0}=0.023$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, 수직도수로 및 구성재료 등을 참고하여, 2개구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 21-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	26.654~26.894km	240m
2구간	26.894~27.034km	140m

21.3.3 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 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 21-12> 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)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 21-13> 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 21-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	-
방향성	63/245	75/288	-
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	MW	MW	-

구 분	2구간		
	Set 3	Set 4	-
방향성	60/232	62/253	-
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	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 21-15> 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 21-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	1EA / 0.5	건조수축, 온도변화	
	산마루측구	균열	m	4EA / 12.0	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 21-17> 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 21-18> 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 21-19> 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 21-20> 인장균열 조사 결과

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

21.3.4 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 8개소에서 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 21-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
26.794km	46.7	80.7	보통암	1단
26.800km	49.6	91.5	보통암	1단
26.854km	47.9	85.1	보통암	1단
26.860km	50.4	91.7	보통암	1단
26.934km	50.4	91.8	보통암	1단
26.940km	50.3	91.4	보통암	1단
26.994km	50.1	93.6	보통암	1단
27.000km	50.4	95.0	보통암	1단
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 46.7~50.4로 측정되었으며, 추정강도 80.7~95.0MPa로 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 21-22> 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 비탈면의 사면보강공으로 옹벽, 격자앵커, 쏘일네일링이 시공되었으며, 기능발휘에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 21-23> 사면보강공 조사 결과

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

격자 앵커 전경

옹벽 전경

21.4 안전성능평가

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

21.4.1 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 0.10~0.15으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 21-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{33.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 80.7~93.6MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{33.0}=0.015$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{21.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 80.7~93.6MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{21.0}=0.023$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 Set1~4로 표기하였다.

<표 21-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	26.654~26.894km	240m	암반사면	Set1, Set2
2구간	26.894~27.034km	140m	암반사면	Set3, Set4

<표 21-26> 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 21-27> 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 21-28> 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 21-29> 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 21-30> 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 21-31> 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 21-32> 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 21-33> 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 21-34> 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 21-35> 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 21-36> 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 21-37> 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 21-38> 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 21-39> 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 21-40> 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 21-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토21		
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

1) 성능지표별 평가 결과

<표 21-42> 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 21-43> 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 21-44> 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 21-45> 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 21-46> 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 21-47> 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 21-48> 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 21-49> 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 21-50> 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 21-51> 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 21-52> 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 21-53> 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 21-54> 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 21-55> 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 21-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토21		
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 21-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
380.0m	1구간	26.654~26.894km	a(0.11)	A	인장균열 없음
	2구간	26.894~27.034km	a(0.12)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

21.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

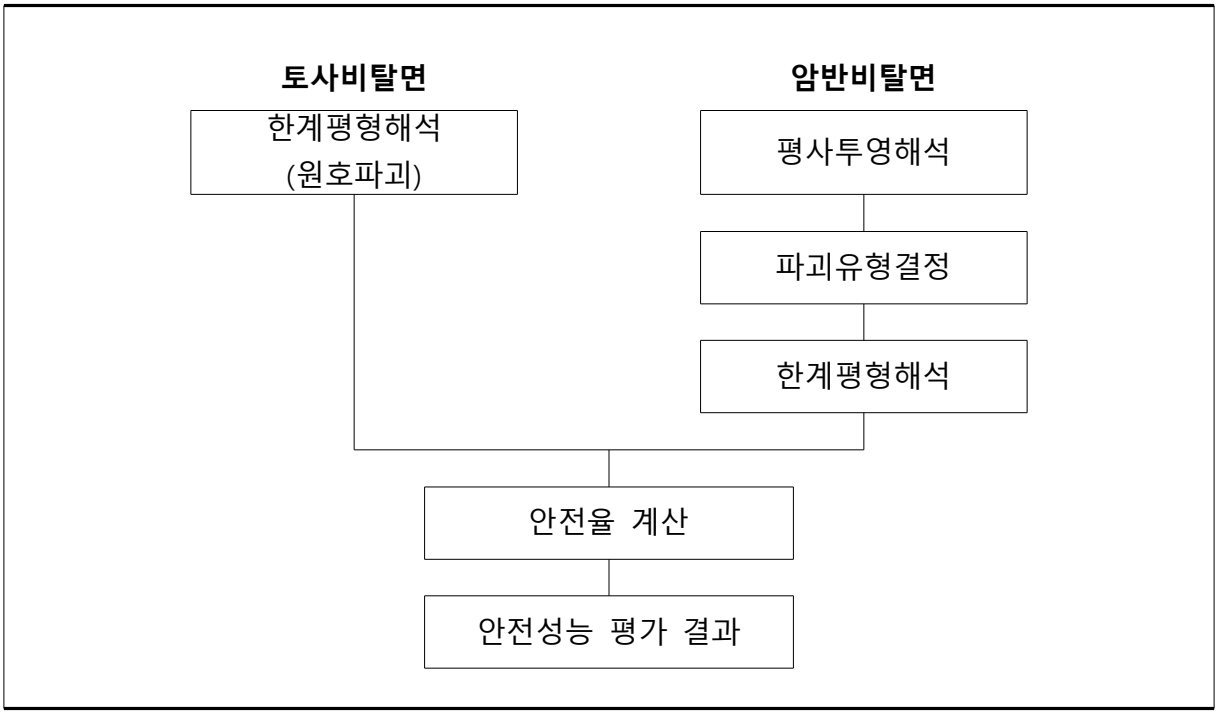
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 21-5> 구조안전성능 평가과정

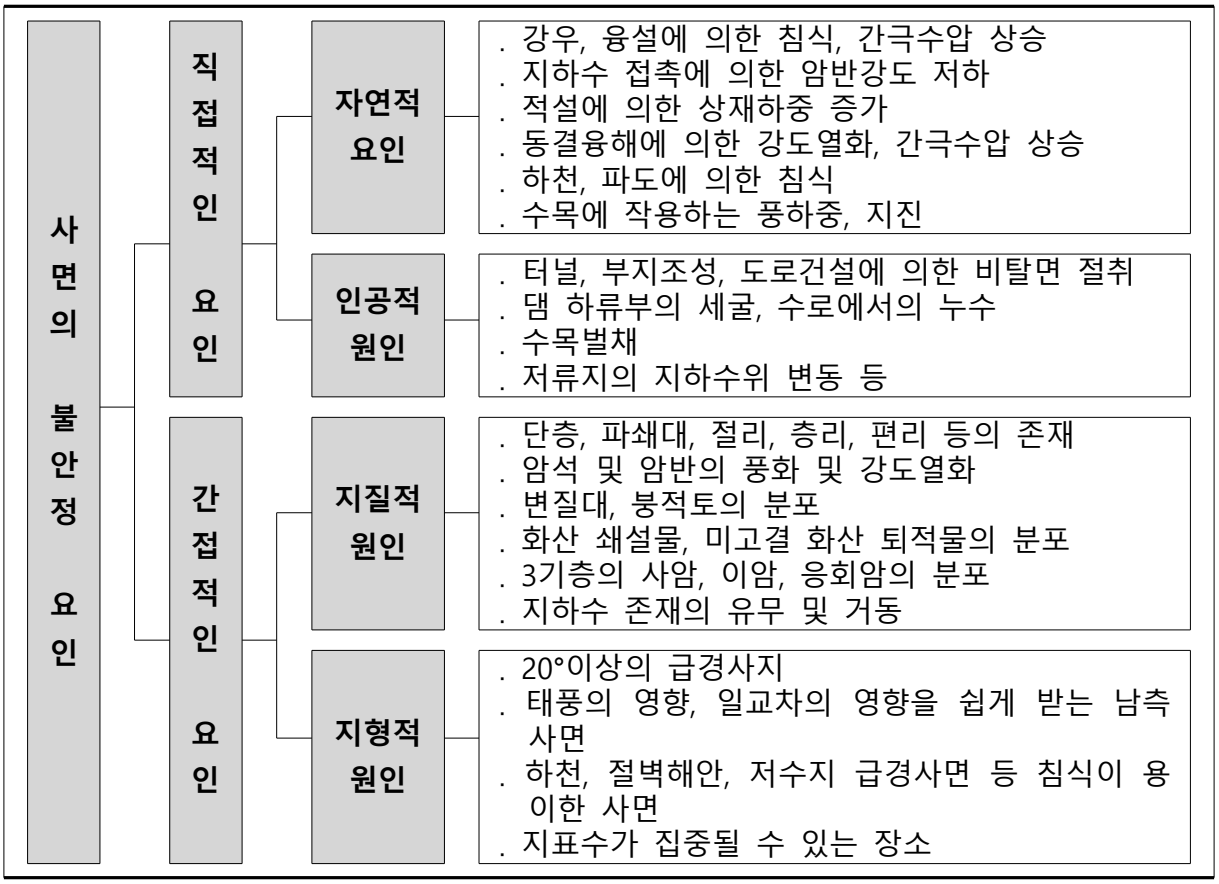
<표 21-58> 유형별 안정해석 범위

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

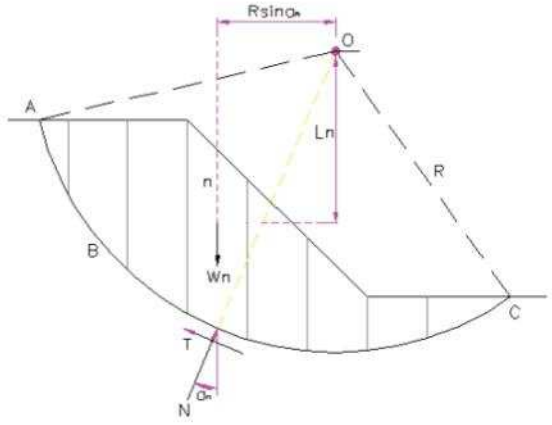


<그림 21-6> 구조안전성능 평가과정

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

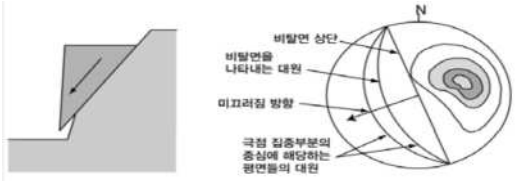
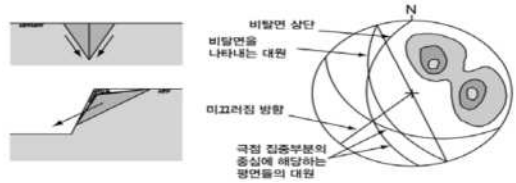
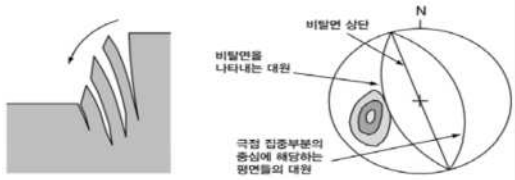
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 21-7> 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 21-59> 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 21-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

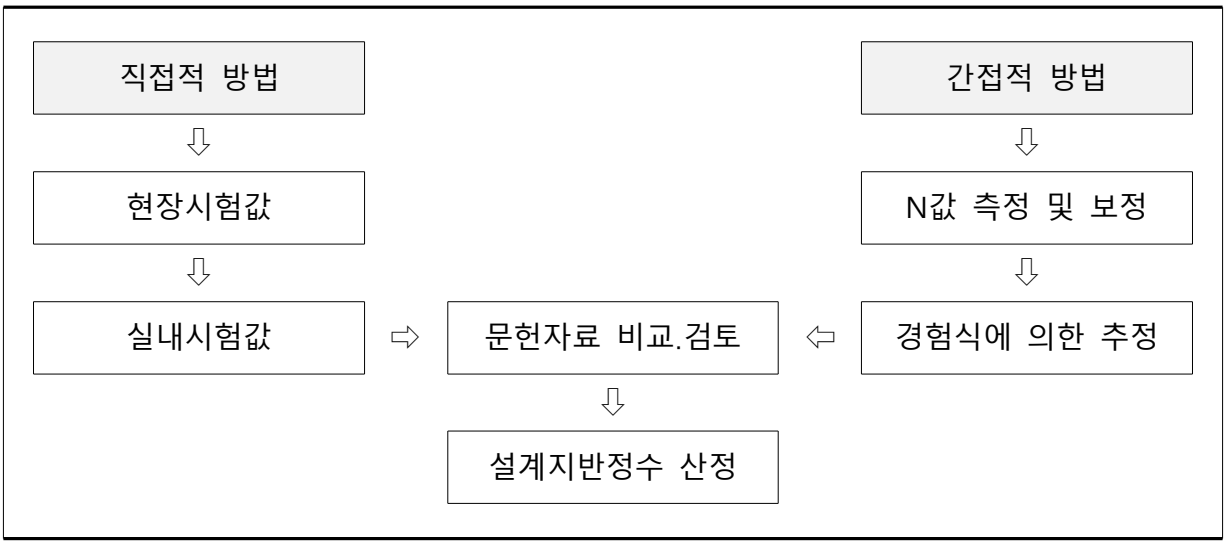
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 21-61> 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 21-62> 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 21-63> 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 21-64> 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 21-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (3공구)	풍화(잔적)토	18.5	27	20	
	풍화암	19.5	29	35	
	기반암	25.0	35	230	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 21-66> 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 21-67> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~221.7	26.7±0.8	221.3±1.0	221.3±1.0	221.3~25.6
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 21-68> 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 21-69> 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 21-70> Trueman (1988)

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

<표 21-71> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 221.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	18.5	27	20	0.3	
풍화암	19.5	29	35	0.3	
기반암	25.0	35	230	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 21-72> 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

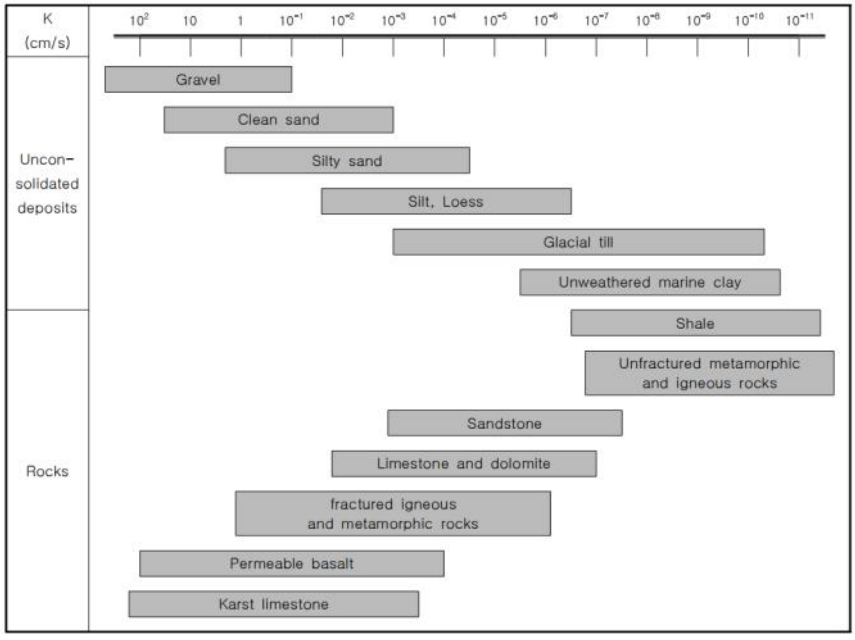
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 21-73> 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 21-74> 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 21-8> 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 21-75> 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

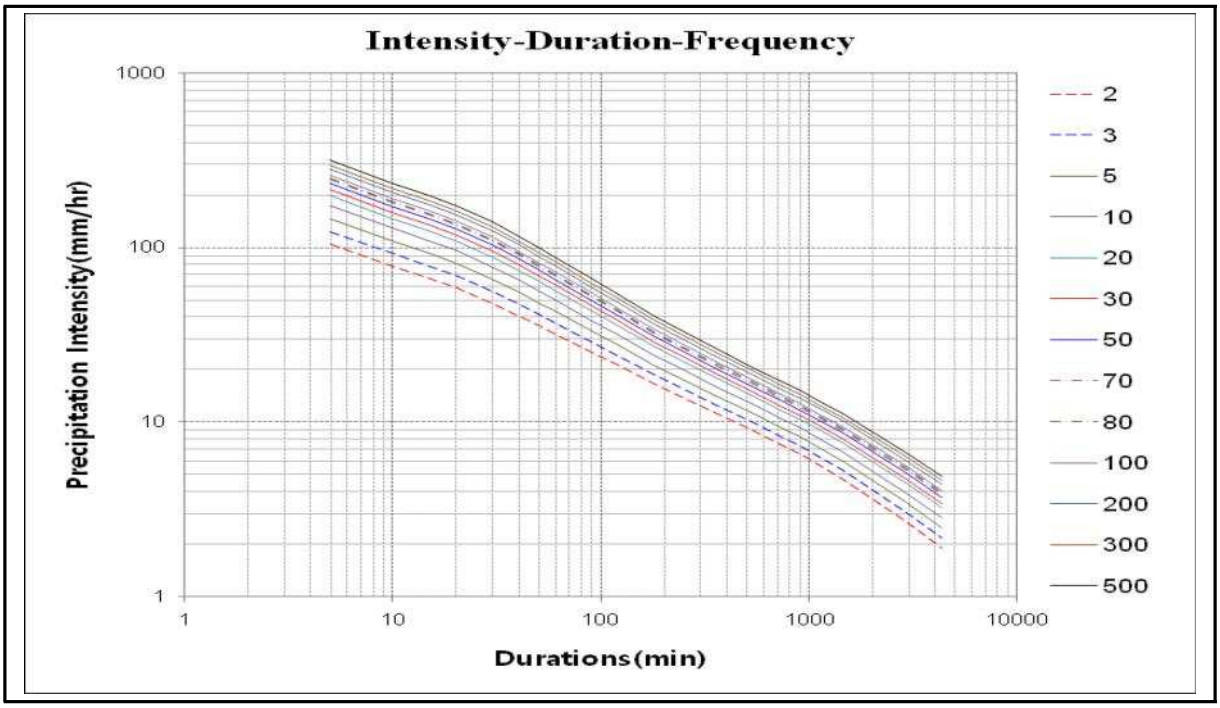
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 21-9> 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 21-10> 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 21-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 21-76> 설계지반운동 수준

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

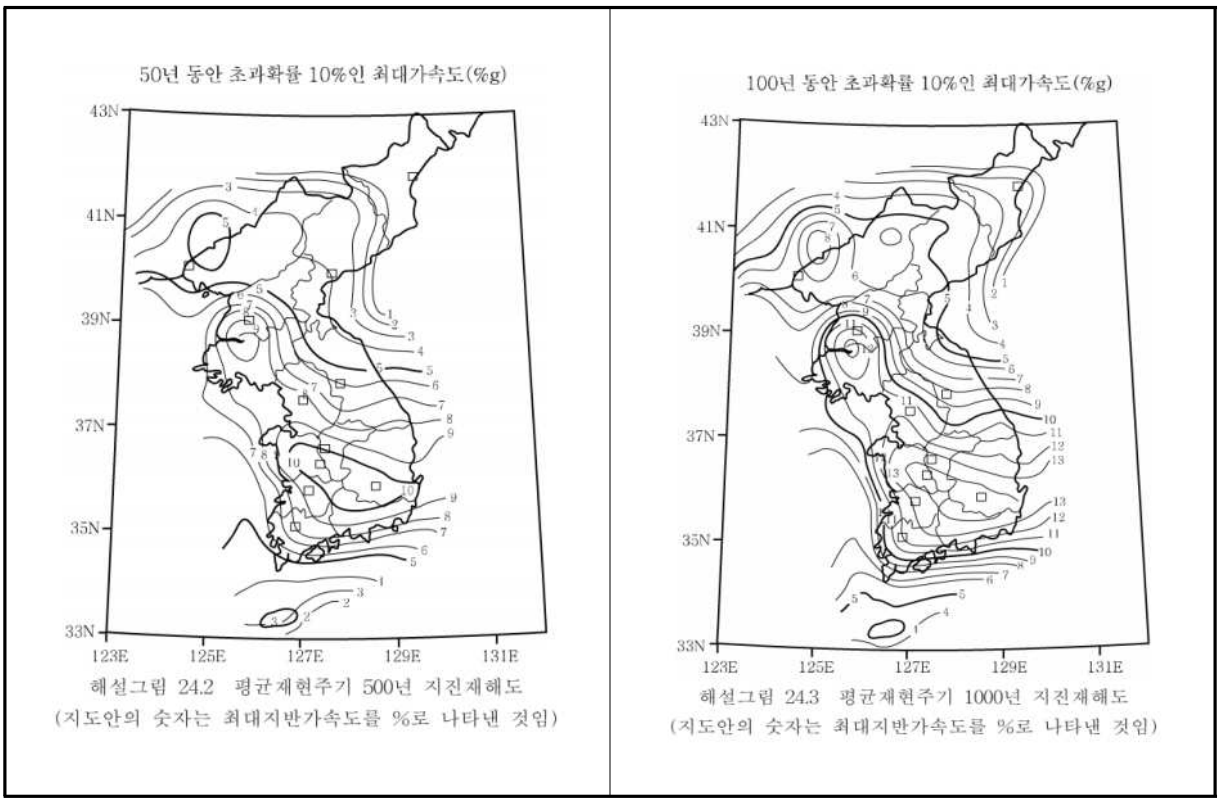
2) 설계지반운동

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 21-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 21-77> 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 21-78> 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

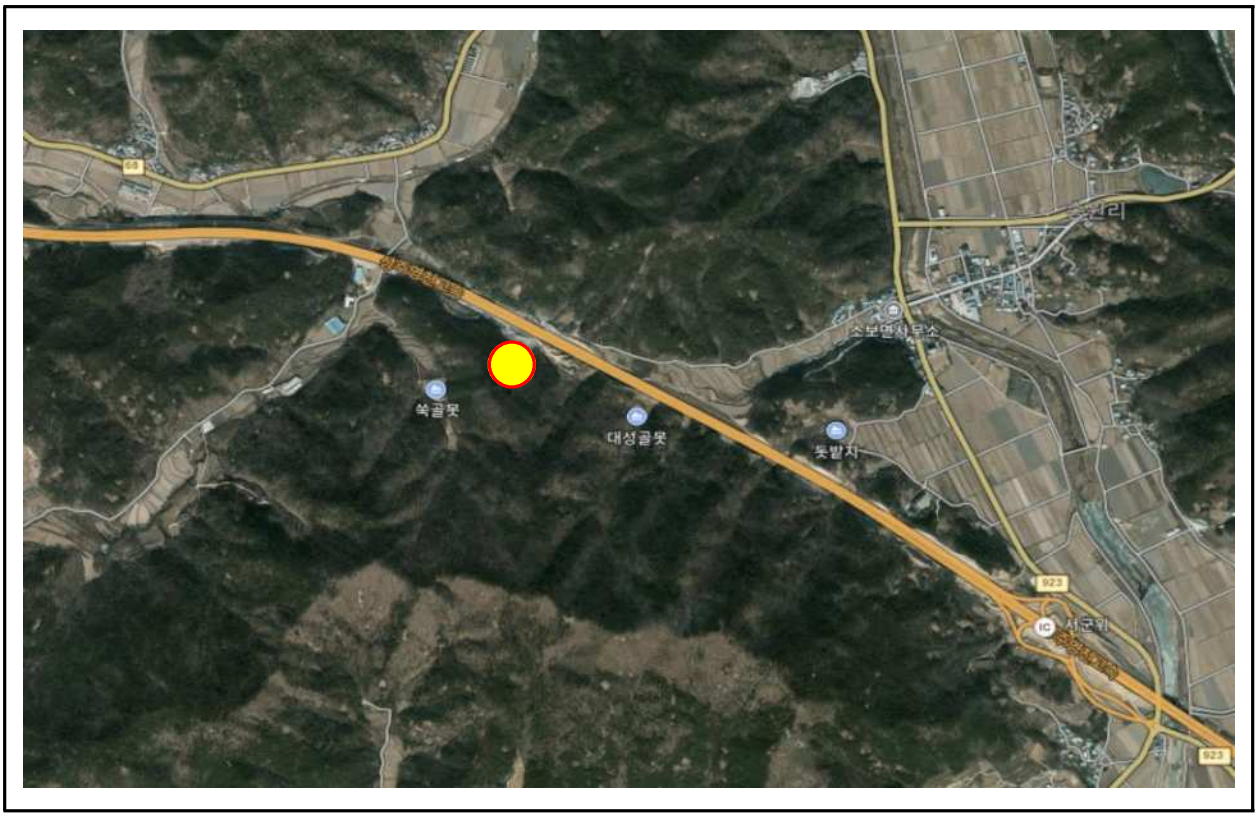
3) 지진가속도계수 선정

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 21-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토21	경상북도 군위군 소보면 달산리	26.654 ~ 27.034	STA.26+814	33.0	5.0	28.0	네일링	2017	44/030
			STA.26+964	21.0	2.0	19.0	-	2017	44/030



<그림 21-13> 영천절토21 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토21 비탈면 안정성검토

1) 세부위치

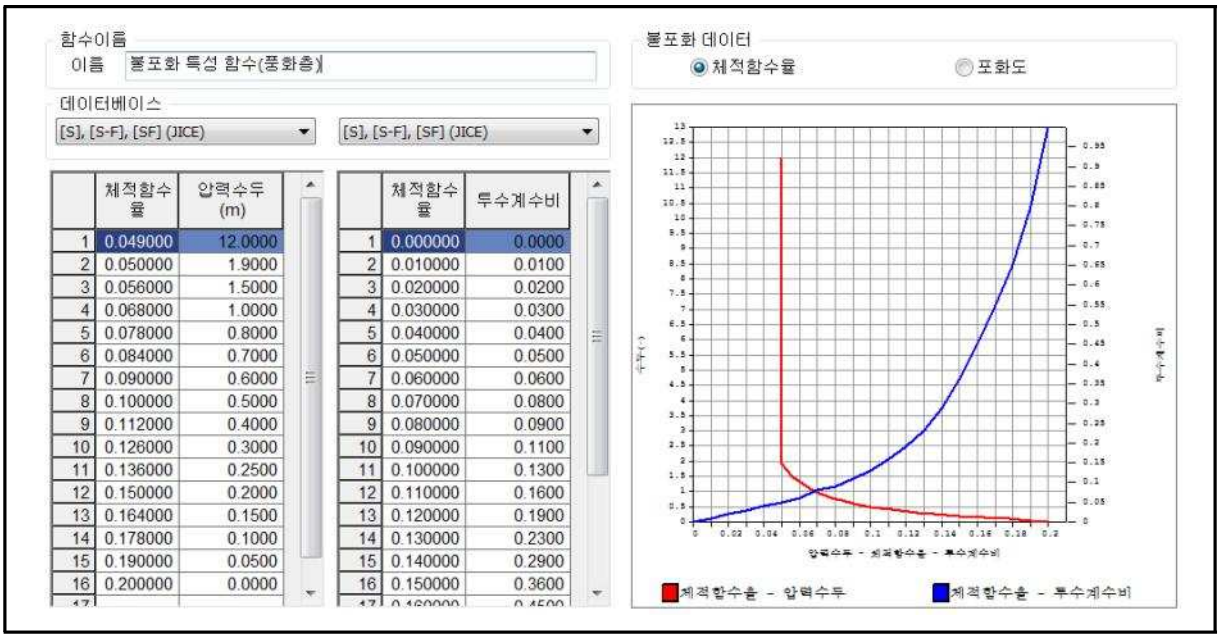
<그림 21-14> 영천절토21 검토대상 비탈면구간

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	18.5	27	20	7.4E-04	
풍화암	19.5	29	35	6.2E-04	
기반암	25.0	35	230	1.5E-04	

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

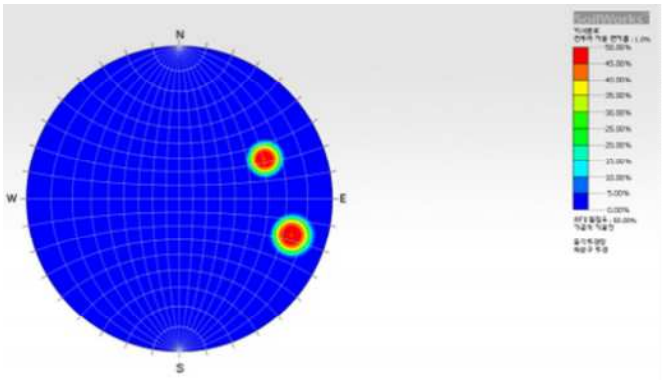
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 21-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

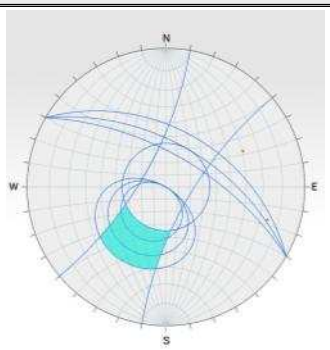
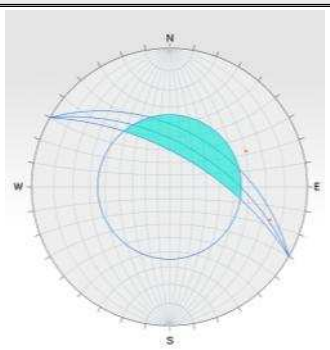
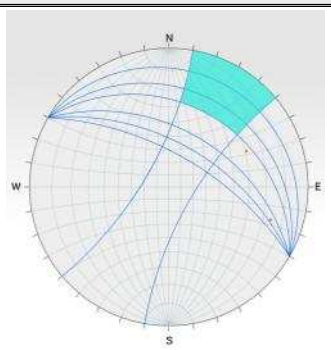
3) 1구간 (STA.26+654 ~ 26+894)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 63 75	dip direction 245 288

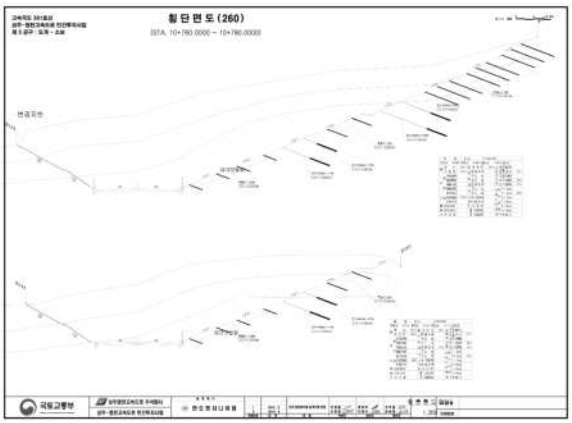
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

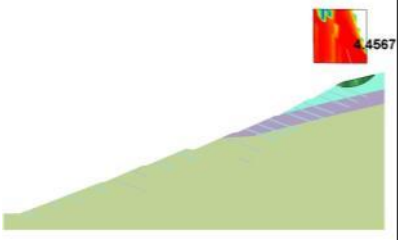
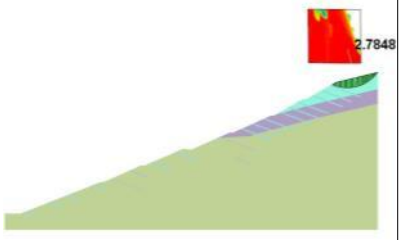
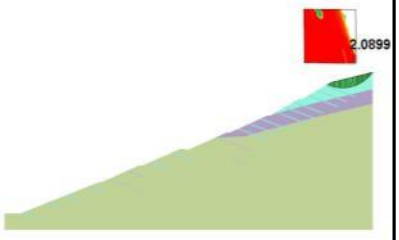
구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면

<table>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">대표단면 : STA.26+814, 영천</td></tr>
</table>

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 4.45	안전율 : 2.78	안전율 : 2.08

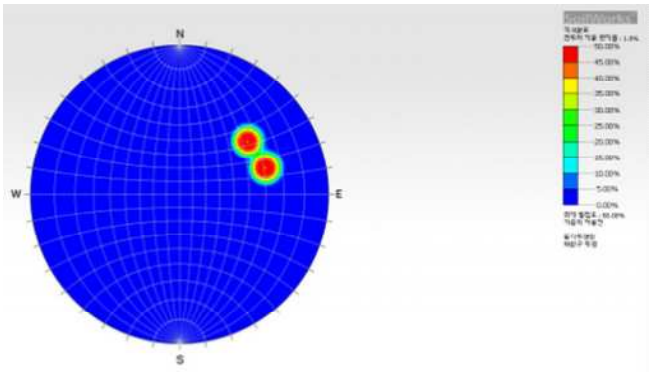
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

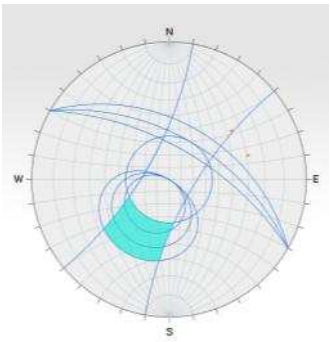
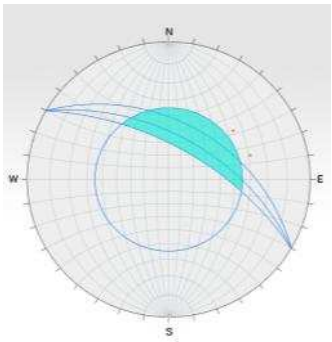
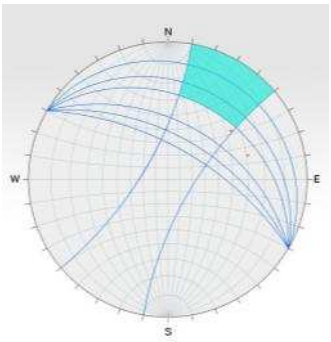
4) 2구간 (STA.26+894 ~ 27+034)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 60 62	dip direction 232 253

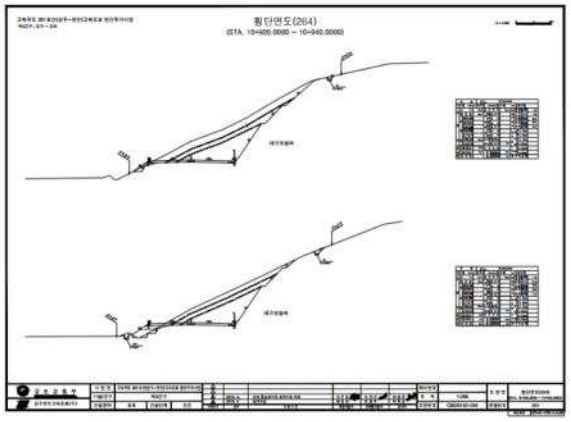
◦ 해석결과

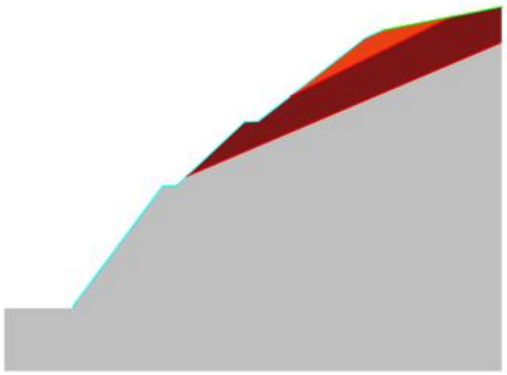
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

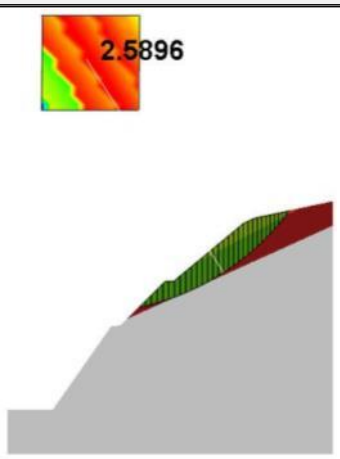
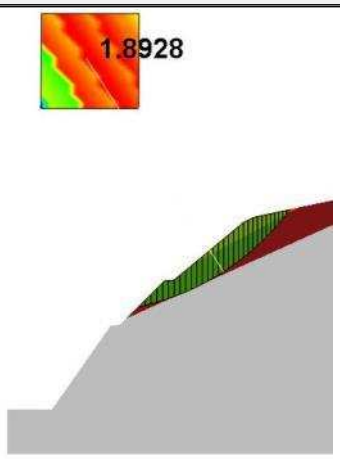
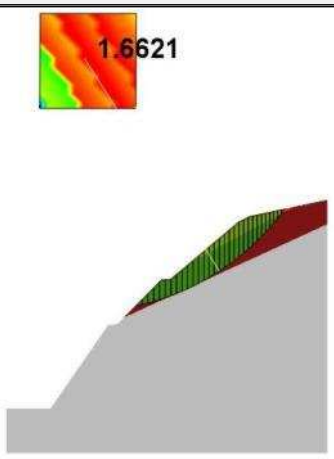
◦ 검토단면





대표단면 : STA.26+964, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.58	안전율 : 1.89	안전율 : 1.66

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	우기시는 침투조건고려
	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 21-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토21**		
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	2.58	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.89	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.66	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

21.4.3 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 21-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토21**		
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 21-82> 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

21.5 내구성능 평가

21.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 21-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 5/33 = 0.15
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		보통암 : 100.0MPa	추정
면적	전체	5,080㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	5,080㎡	
표면보호공	식 생	4,062㎡	
	숏크리트	222㎡	
사면보강공	격자앵커	796㎡	
	옹벽	222㎡	

21.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 21-84> 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

21.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 21-85> 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 21-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
26.794km	80.7	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
26.800km	91.5	-	
26.854km	85.1	-	
26.860km	91.7	-	
26.934km	91.8	-	
26.940km	91.4	-	
26.994km	93.6	-	
27.000km	95.0	-	
평균값	90.1	-	
등급	**A등급**		

<표 21-87> 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 21-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	4,062/4,062㎡	100.0%	0.0/222㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 21-89> 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 21-90> 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 21-91> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	-
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	MW	MW	-
	c(10)	c(10)	-
합 계	35	35	-
평 균	7.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 21-91> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(2구간)		
	Set 3	**Set 4**	**-**
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	MW	MW	-
	c(10)	c(10)	-
합 계	35	35	-
평 균	7.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 21-92> 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	
2구간 - Set 3	c	0.43	
2구간 - Set 4	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

21.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 21-93> 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 21-94> 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 21-95> 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

21.6 종합평가

21.6.1 종합평가 개요

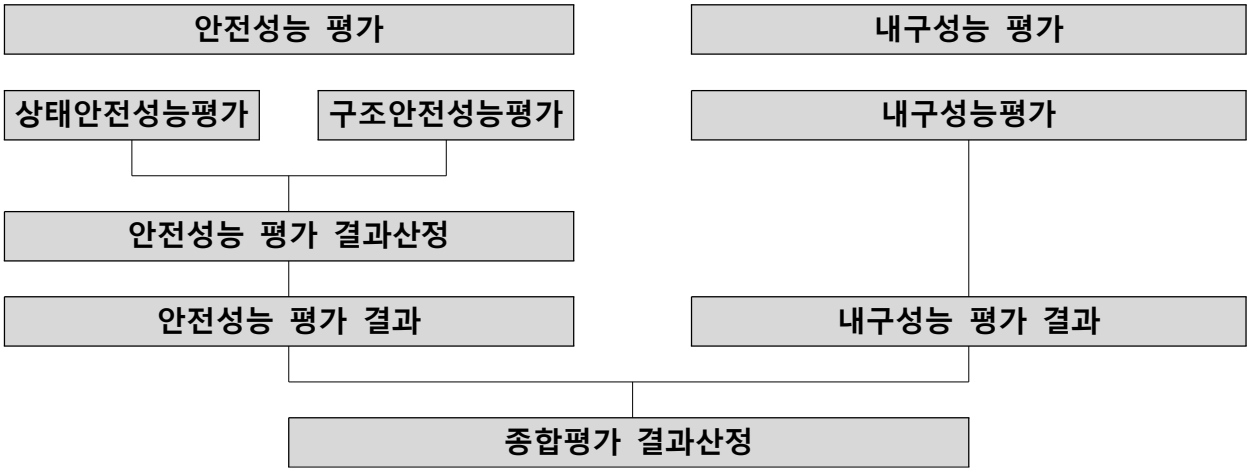
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 21-16> 종합평가 흐름도

21.6.2 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 21-96> 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 21-97> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토21		**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=0.220	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.120 × 0.8) + (0.220 × 0.2) = 0.144 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 21-98> 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

21.7 유지관리 전략 제안

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

21.7.1 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 21-99> 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				

21.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.144)"으로 평가되었다.

<표 21-100> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.220	0.144
평가결과	A	B	A

21.7.3 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 21-101> 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.

21.8 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 균열, 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.

제22장 영천절토22

22.1 대상 시설물 현황

22.2 관련 자료의 분석

22.3 현장조사

22.4 안전성능평가

22.5 내구성능평가

22.6 종합평가

22.7 유지관리전략 제안

22.8 종합결론

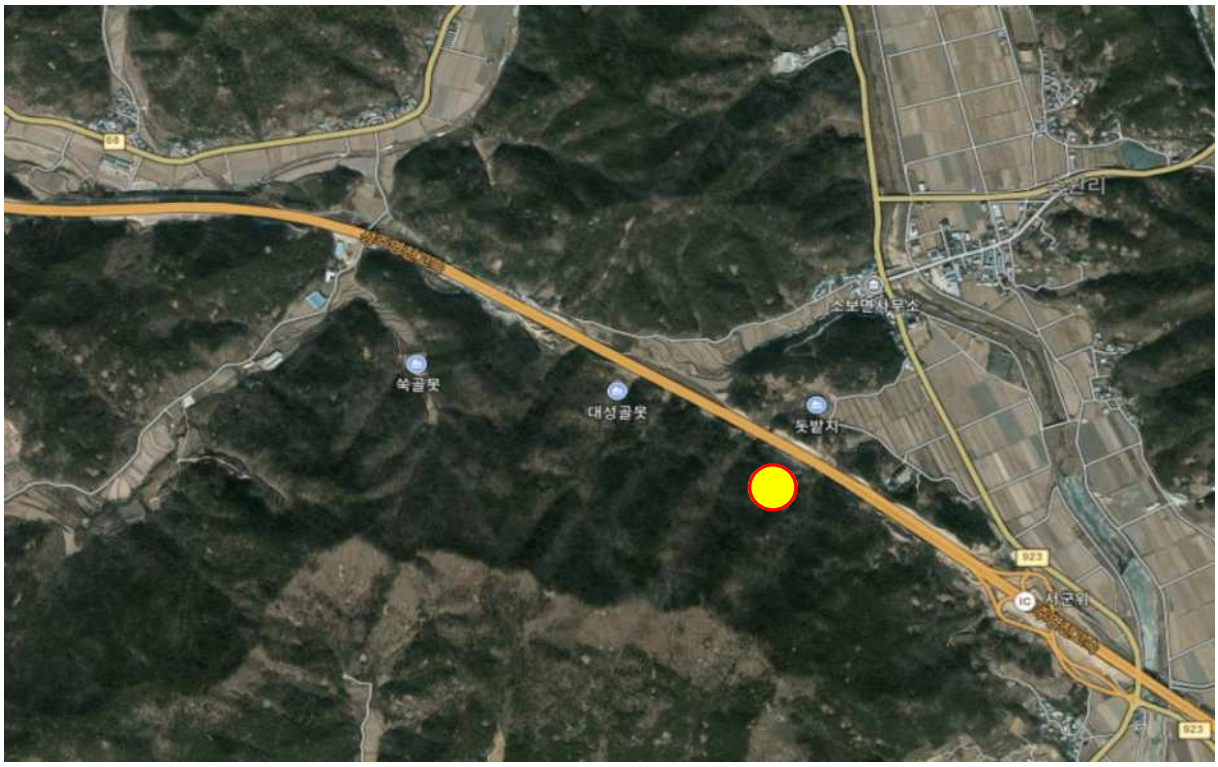
제22장 영천절토22

22.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 소보면 송원리(상주영천고속도로 27.484~27.674km)에 위치한 사면으로서 총 연장 190.0m, 높이 31.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 22-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000046		**관리번호**	SY SL22
시설물명	영천절토22		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 소보면 송원리		
	위치좌표	시점 : 36° 15′02″ 128° 28′17″		
		종점 : 36° 14′59″ 128° 28′24″		
	관리이정	27.484~27.674km		
	공구이정	3공구 STA.11+470~11+660		
제 원	**연 장**	190m	**높 이**	31.0m
	경사/방향	45/030	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	20~30°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	㈜한화건설, ㈜삼호
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 격자블럭, 숏크리트		
비 고				



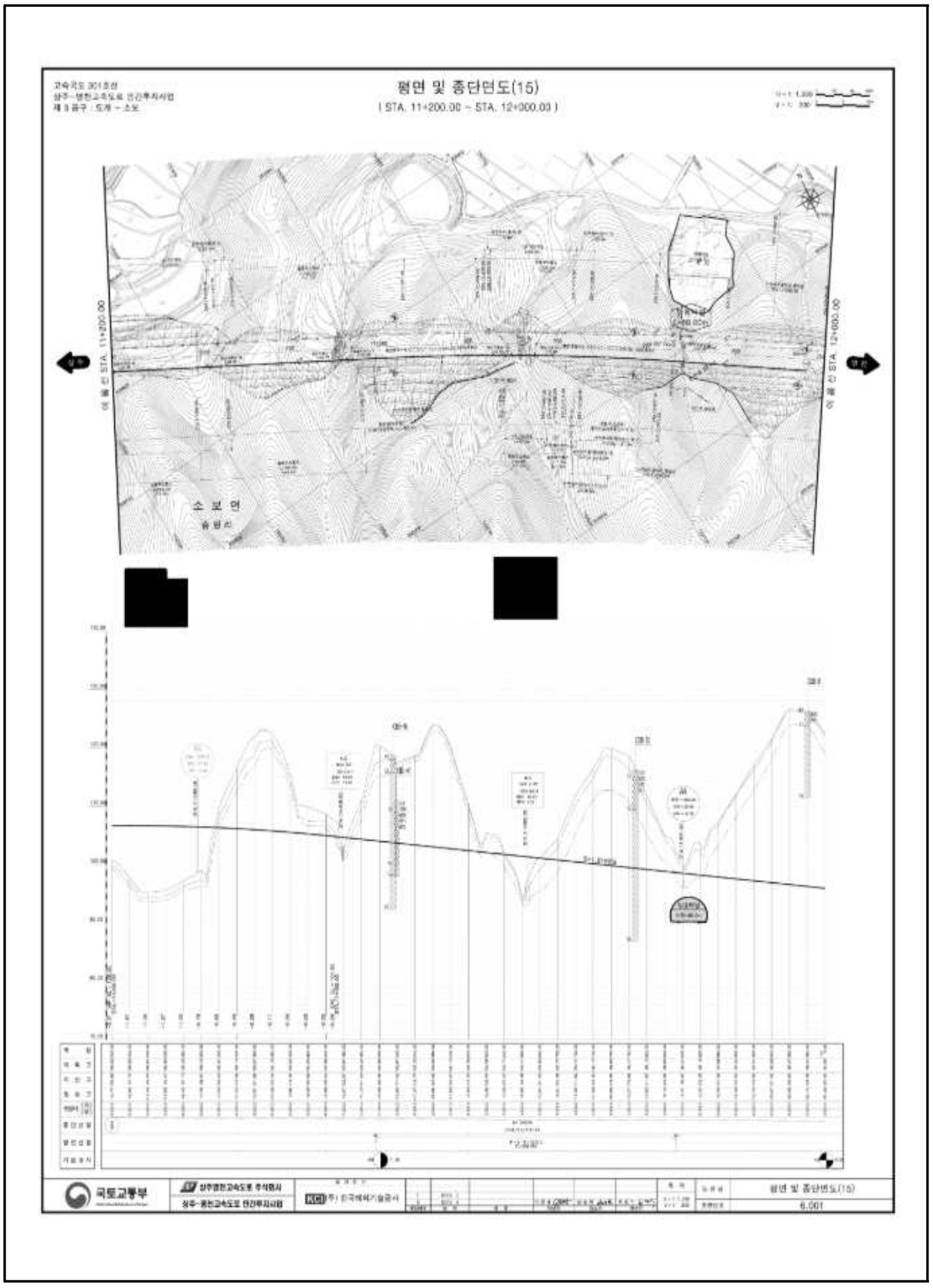
<그림 22-1>위치도

2019년 정밀안전점검

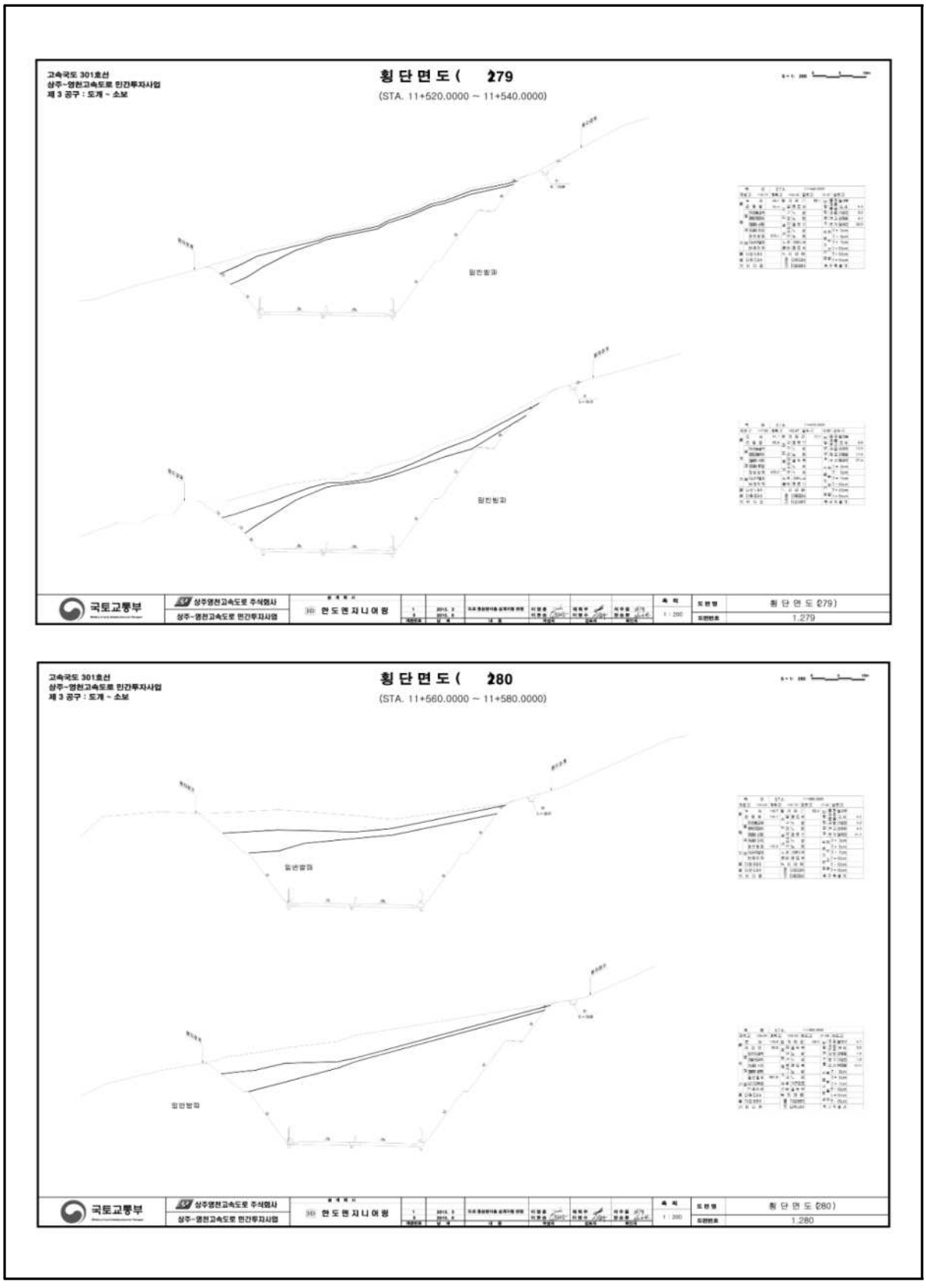
<그림 22-2> 전경사진

숏크리트+격자앵커 전경	숏크리트 전경
1소단배수로 전경	산마루측구, 점검계단 전경
하부 전경	하부 전경

<그림 22-2> 전경사진(계속)



<그림 22-3> 평면도



<그림 22-4>표준횡단면도

22.2 관련 자료의 분석

22.2.1 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 22-2> 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 3공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구
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 3공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

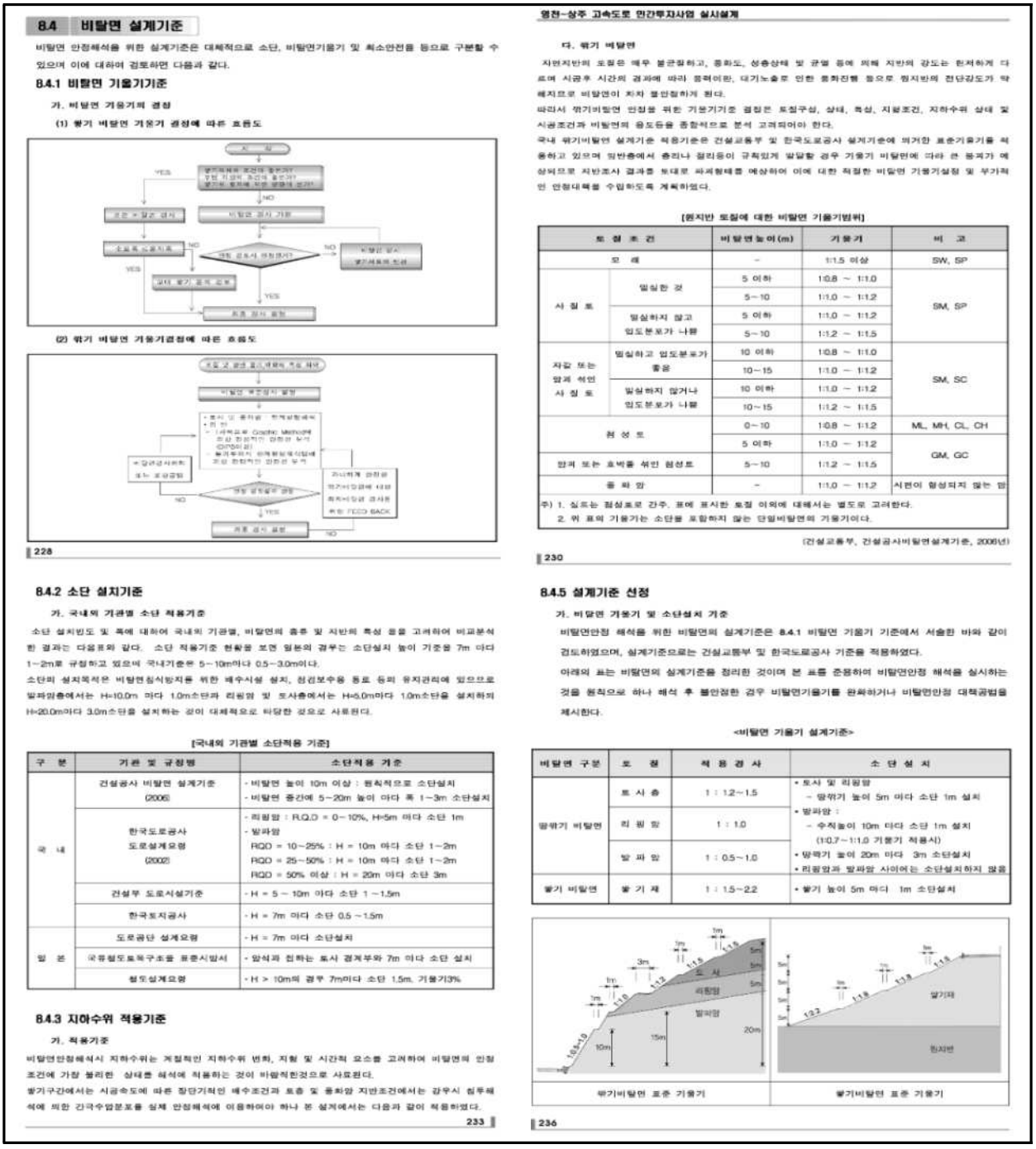
2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

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.

22.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구"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) 평기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도

(2) 위기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도

228

영천-상주 고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 위기 비탈면

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

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

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 일반층에서 층리나 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. 심도는 점심토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

230

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 접하는 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.

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

233

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
암위기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 암위기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 • 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) • 암위기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	
평기 비탈면	풍 기 재	1 : 1.5~2.2	• 평기 높이 5m 마다 1m 소단설치

암위기비탈면 표준 기울기 | 평기비탈면 표준 기울기

236

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 충림 내지 조림질, 등림질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 선산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	절기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 우보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

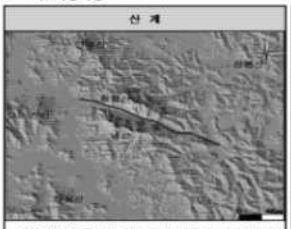
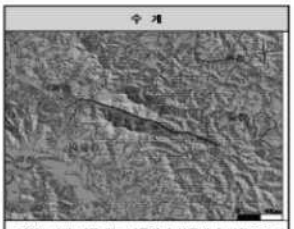
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡정천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 본국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 압축으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉽게 또는 층리되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 충림~조림질을 보이며 등림질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명			특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
		── 부정합 ──				
중생대	백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ap})			• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
		── 관입 ──				
		화강암(K_{gr})			• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
		── 관입 ──				
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		── 관입 및 분출 ──				
		신동층군	낙동층 (ke1)	안경산층원 (Ke1-nml) 상부 (Ke1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
				안경산층원 (Ke1-nml) 하부 (Ke1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 탄질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 선암단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 우보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

3) 지반조사 보고서

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 습곡 내지 조임질, 등림질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 신산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의)의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	원기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 붕락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 주보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

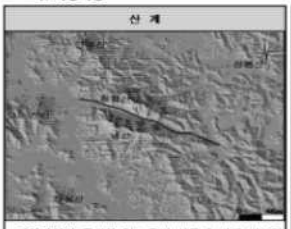
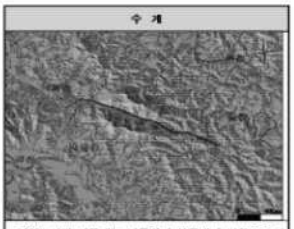
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡창천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 본국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 업층으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉽게 또는 층전되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 층림~조림질을 보이며 등림질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대			층 명		특 성	비 고
제4기			충적층(Qal)		• 하천 및 산록 퇴적물	
			—— 부정합 ——			
중생대	백악기		중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ad})		• 지상의 지맥	• 전 구간에서 기반암을 관입
			—— 관입 ——			
			화강암(K_{gr})		• 지상의 지맥	• 3공구 중앙부
			—— 관입 ——			
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
			—— 관입 및 분출 ——			
		신동층군	낙동층 (ke1)	안경산층원 (Ke1-nml) 상부 (Ke1-nml)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
				안경산층원 (Ke1-nml) 하부 (Ke1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 탄질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 신령단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 우보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

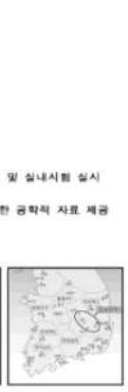
• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구 지반조사

1.2 조사목적

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구를 위한 지반조사
• 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

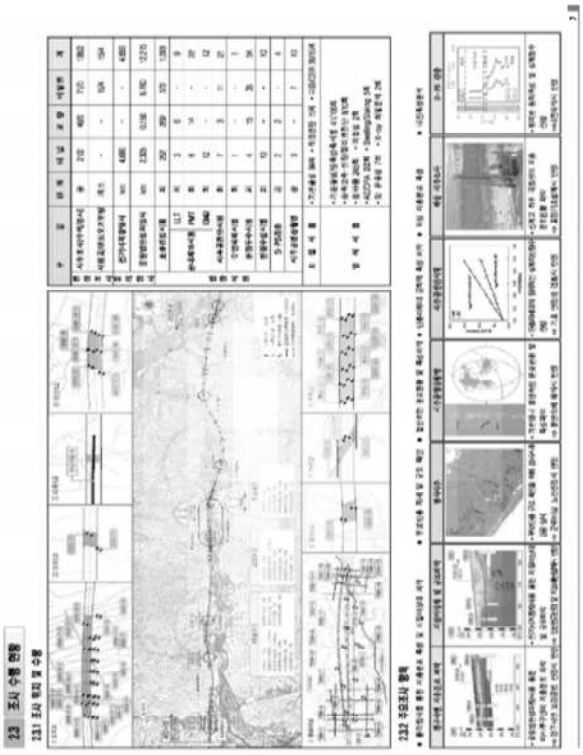
위 치	• 시점 : 경상북도 구미시 도개면 (STA. 0+000) (X=310,453.951, Y=142,180.556) • 종점 : 경상북도 군위군 소보면(STA. 12+935) (X=304,851.7911, Y=153,668.900) • 연장 : 12.935km
특 성	• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제 2경부축(상주~영천 고속도로 건설 • 대구~포항 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도

• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간		토공구간
• 군위터널 상주방향 : 1,085m 영천방향 : 960m	• 도개교(360.0m) • 다곡2교(30.2m) • 다곡1교(10.0m) • 달산2교(40.5m)	• 달산1교(70.1m) • 계탕교(25.5m) • 신계교(176.3m)	• 뒤기구간(14개소) • 쌍기구간(17개소)



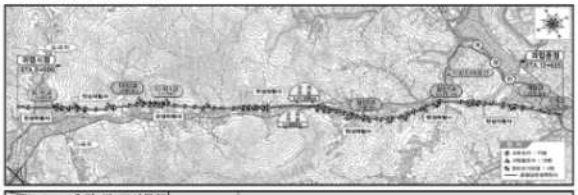
제 7 장 비탈면구간 지반특성 분석 및 설계적용

7.1 개 요

7.1.1 기본방향

조 사 항 목	조 사 기 본 방 향
지층 현황 및 원지반 공학적 특성 분석	• 뒤기구간 지층분포 상태 및 공학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 비탈면 계획 수립 • 쌍기구간 연약지반 분포 유무 파악 및 토사층의 역학적 특성 파악
불연속면 분포 특성 파악	• 불연속면 특성(간격, 방향, JRC, JCS)을 파악하여 암반 비탈면 안정성 분석 및 보강대책 선정시 반영
쌍기재 특성 분석	• 뒤기 및 터널구간에서 발생되는 토사 및 암버력의 쌍기재 적합 여부 판단시 반영

7.1.2 조사위치 및 수량



조사항목 \ 수량 및 조사목적		수 량	조 사 목 적
문헌조사	공정법원성과등사	9.760km	• 지층의 분포 현황 및 두께 파악
현장조사 및 현장시험	시추조사	71공	• 지층분포 및 특성 파악, 암종 및 단층확인
	시험굴조사	15개소	• 쌍기재 적정성 검토, 토공 계획
	핸드오거보링	4개소	• 쌍기구간의 토질상태 및 시료채취
	시추공전단시험	11회	• 풍화대층의 강도정수 파악
	현장투수시험	35회	• 토사층의 투수계수 파악
	시추공영상촬영	7공	• 불연속면 크기 및 발달상태, 경사방향 및 경사각, 암반의 변화 및 공학적 특성 파악
실내토질시험		• 기본물성시험 77회, 직접전단시험 15회, 다짐/CBR시험 30/15회	
실내암석시험		• 점하중강도시험 36회, 물성시험(밀축압축 12/12회, 절리면 전단시험 8회 Swelling/Slaking 5회, 본선암 유용성시험 5회	

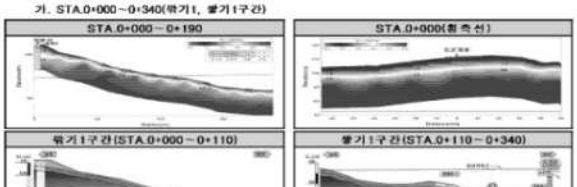
7.2 지층특성 분석

7.2.1 기본방향

• 지표지질조사, 시추조사, 탐사 결과를 각 교량구간에 분포하는 매립 · 풍적층, 퇴적층 및 풍화대층 분포현황 파악

7.2.3 분포 현황 파악

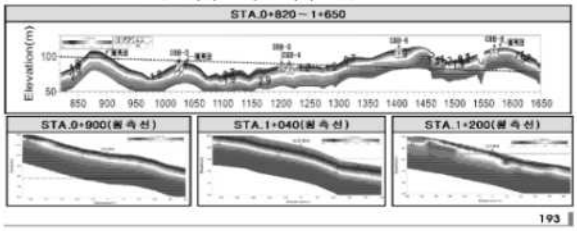
가. STA.0+000~0+340(뒤기1, 쌍기1구간)



지 층	분포두께 (슬련심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
풍화토	4.0~4.8 (0.0~0.2)	19/30~50/14	SM
풍화암	2.6~3.7 (4.0~5.0)	50/10~50/6	–
기반암	(6.6~8.7)	(46~100)~103	사암, 니암암

지 층	분포두께 (슬련심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
붕적층	3.0 (0.0)	45/30~50/8	SM
풍화토	1.0 (3.0)	28/30	SM
풍화암	4.0~5.2 (3.0~4.0)	50/9~50/2	–
기반암	– (3.0~7.0)	83~97/4~48	사암(~셰일암 산남암대)

나. STA.0+700~1+650(뒤기2, 3, 4구간, 쌍기2, 3, 4구간)



7.3 지반특성 분석

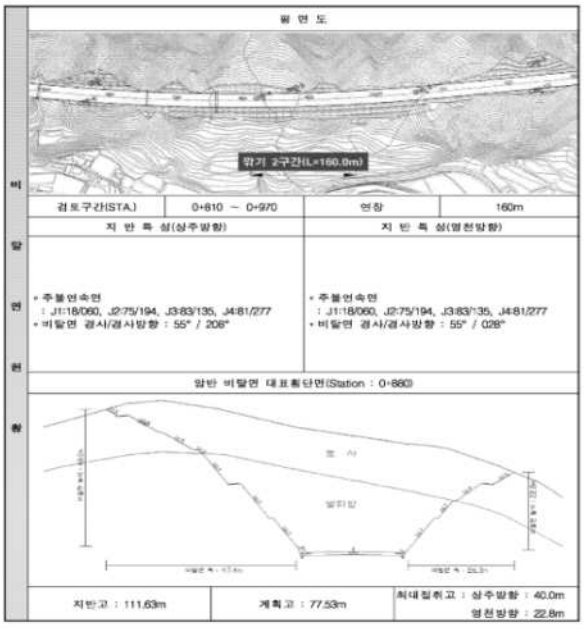
7.3.1 토질물성시험

공 번		심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit LL(%)	PI	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.02mm	USCS
위기부	CBB-3	1.0	풍화토	8.2	2.68	NP	-	100	93.1	44.8	24.6	-	SM
	CBB-4	2.0	풍화토	7.1	2.70	NP	-	56.4	41.0	28.4	16.4	-	GM
	CBB-5	1.0	풍화토	16.4	2.68	27.6	4.9	100	100	83.6	56.3	12.5	ML
	CBB-6	2.0	풍화토	11.0	2.65	NP	-	97.8	70.7	31.5	13.2	-	SM
	CBB-7	1.0	풍화토	12.0	2.66	NP	-	97.9	65.3	26.4	12.4	-	SM
	CBB-10	2.0	풍화토	11.5	2.65	NP	-	100	92.6	43.3	22.5	-	SM
	CBB-11	1.0	풍화토	9.8	2.68	NP	-	100	75.1	22.4	8.2	-	SW-SM
	CBB-12	2.0	붕적층	15.5	2.67	26.8	4.3	100	97.8	82.2	43.2	8.0	SM
	CBB-15	1.0	풍화토	12.2	2.69	NP	-	100	82.3	24.4	7.5	-	SW-SM
	CBB-16	1.0	풍화토	11.3	2.69	NP	-	98.0	84.2	29.2	10.0	-	SW-SM
	CBB-20	4.0	붕적층	17.6	2.70	32.4	10.4	96.7	96.2	91.1	71.9	17.5	CL
	CBB-21	5.0	붕적층	10.5	2.71	32.6	10.9	84.7	83.4	70.9	47.6	15.0	SC
	CBB-22	1.0	붕적층	14.6	2.69	30.2	9.7	90.2	87.6	79.7	61.9	17.0	CL
	CBB-23	4.0	붕적층	20.6	2.70	28.2	4.8	74.5	64.5	67.8	59.2	7.5	ML
	CBB-26	6.0	풍화토	15.1	2.67	NP	-	100	98.4	60.6	29.9	-	SM
	CBB-28	5.0	붕적층	11.9	2.69	NP	-	81.4	75.1	52.0	28.9	-	SM
	CBB-29	1.0	붕적층	13.0	2.71	NP	-	47.9	42.3	28.6	15.2	-	GM
	CBB-30	8.0	붕적층	13.3	2.69	28.1	5.1	100	96.6	67.2	43.4	8.0	SM
	CBB-31	1.0	붕적층	16.9	2.71	27.3	4.5	100	97.3	82.8	60.9	12.0	ML
	CBB-32	6.0	붕적층	11.3	2.67	NP	-	98.1	92.7	60.8	28.7	-	SM
	CBB-33	3.0	풍화토	10.8	2.69	NP	-	96.9	92.1	59.9	33.8	7.0	SM
	CBB-34	1.0	풍화토	9.6	2.67	NP	-	100	96.2	49.8	23.6	-	SM
	CBB-35	1.0	풍화토	3.7	2.68	NP	-	92.3	83.8	32.8	14.2	-	SM
	CBB-36	1.0	풍화토	12.8	2.68	NP	-	76.3	60.8	31.3	14.4	-	SM
	CBB-43	3.0	풍화토	16.9	2.70	NP	-	100	95.6	60.6	27.7	-	SM
	CBB-44	3.0	풍화토	9.7	2.71	NP	-	100	86.6	34.7	13.2	-	SM
	CBB-45	1.0	풍화토	8.6	2.68	NP	-	91.2	75.1	39.5	18.6	-	SM
	CBB-46	1.0	풍화토	5.6	2.67	NP	-	98.3	90.7	38.5	17.1	-	SM
	CBB-47	1.0	붕적층	13.6	2.71	26.8	4.2	100	98.9	76.1	41.6	7.5	SM
	CBB-49	4.0	풍화토	17.7	2.71	NP	-	100	98.4	58.6	28.6	-	SM
	CBB-50	1.0	붕적층	29.3	2.73	28.2	4.9	100	100	97.8	58.7	9.0	ML
	CBB-50	2.0	붕적층	13.1	2.68	NP	-	67.2	57.2	36.5	14.9	-	SM
암기부	SBB-2	1.0	풍화토	7.9	2.67	NP	-	95.4	80.6	40.1	15.2	-	SM
	SBB-3	2.0	풍화토	13.3	2.66	NP	-	100	95.6	53.6	33.6	7.5	SM
	SBB-4	2.0	붕적층	19.0	2.68	31.5	9.2	97.0	90.1	69.5	51.8	14.5	CL
	SBB-5	2.0	붕적층	8.3	2.64	NP	-	38.1	28.7	13.5	5.9	-	GW-GM
	SBB-6	1.0	붕적층	10.3	2.68	NP	-	34.3	26.9	14.9	4.9	-	GP
	SBB-7	3.0	풍화토	13.1	2.66	NP	-	90.5	83.3	51.2	26.2	-	SM
	SBB-8	4.0	풍화토	22.0	2.68	NP	-	99.2	95.0	51.7	28.3	-	SM
	SBB-10	1.0	풍화토	16.8	2.65	NP	-	100	89.8	62.7	39.2	7.5	SM
	SBB-11	3.0	퇴적층	14.1	2.64	NP	-	98.0	85.1	47.1	24.4	-	SM
	SBB-12	1.0	붕적층	13.5	2.64	NP	-	98.8	87.2	49.0	23.2	-	SM
	SBB-13	1.0	붕적층	12.3	2.67	27.1	4.9	100	100	87.4	58.8	14.0	ML
	SBB-15	2.0	붕적층	16.9	2.68	28.5	6.0	100	99.0	86.9	62.9	15.0	ML
	SBB-16	1.0	붕적층	5.4	2.67	NP	-	39.1	31.4	19.4	7.6	-	GW-GM

7.5.3 구조구 분류 결과

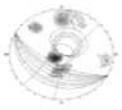
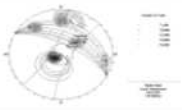
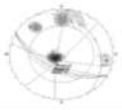
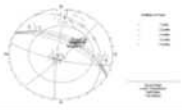
구 분	구조구 1	구조구 2	구조구 3		구조구 4		구조구 5	
			3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
암 상	Ke1-nlm	Kgr	Ke1-num		Ke1-nlm		Ke1-num	
BIPS	9CBB-18 9CBB-20	CBB-5 CBB-9 CBB-11 CBB-19 (SBB-12)	CBB-21	TBB-3	TBB-15	CBB-36	CBB-43	CBB-52
스캔라인	S-13 118	L-13	-	-	-	L-12	HO3	111-1 S-12
STA.	1+319	4+597	5+453	6+430	7+688	8+980	10+140	
비 고	암상	암상	습곡축 및 구조물	암상	습리, 습곡축 및 단열	암상	단층, 습리 및 단열	

(2) 위기 2구간



위기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

비고

- 암반층 평사투영 해석결과 영천방향 1:0.5~1:1.0기울기에서 전도파괴 가능성이 있음.
- 영천방향 암반비탈면 불연속면이 Toppling Zone에 위치하여 전도파괴 가능성이 있으므로 녹화공법, 낙석방지그물, 낙석방지옹벽타리층 적용하여 안정성 확보

22.2.3 점검 및 진단 이력

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

<표 22-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토22 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 국부적으로 사면보호 숏크리트 표면에서 누수흔적 및 백태와 소단배수로에서 일부 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	영천절토22 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 국부적으로 사면보호 숏크리트 표면에서 누수흔적 및 백태와 소단배수로에서 일부 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	영천절토22 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 국부적으로 사면보호 숏크리트 표면에서 누수흔적 및 백태, 들뜸, 소단배수로에서 일부 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2022. 03. 18 ~ 2022. 05. 28	정기안전점검	영천절토22 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 국부적으로 사면보호 숏크리트 표면에서 누수흔적 및 백태, 들뜸, 소단배수로에서 일부 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
5	2022. 09. 16 ~ 2022. 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 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 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	영천절토22 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로에서 일부 균열 및 재균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. 특히, 소단배수로 일부구간 발생된 종균열의 경우 손상의 진전여부 파악을 위한 주의관찰이 요망된다.	양호

22.2.4 보수·보강이력

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

<표 22-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

22.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 22-5> 내진 설계 적용 여부

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

22.2.6 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 22-6> 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

22.3 현장조사

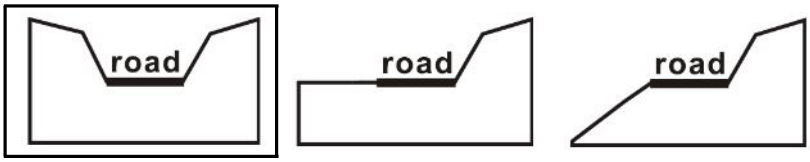
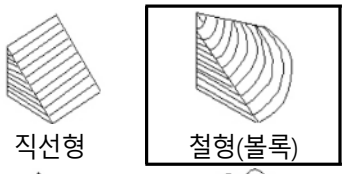
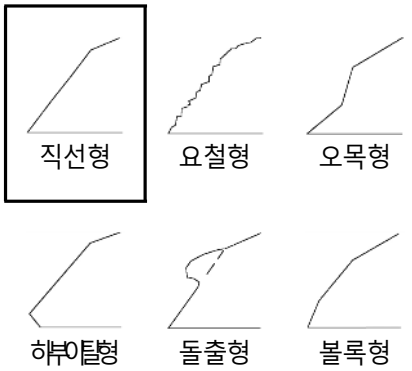
22.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 22-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2022. 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 소보면 송원리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 15′02″ 128° 28′17″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 14′59″ 128° 28′24″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 190m</td><td colspan="3">높 이 : 31.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/030</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="3">토층심도 : 약 1.0~4.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 6</td></tr>
<tr><td rowspan="4">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>식생현황</td><td colspan="2">27.484~27.674k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">27.544~27.674k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">27.504~27.584k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>숏크리트+격자블럭</td><td colspan="2">27.504~27.624k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">27.644~27.674k</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 22-8> 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 22-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토22		
	위경도	시점 : 36° 15′02″ 128° 28′17″ 종점 : 36° 14′59″ 128° 28′24″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	190.0m	최대높이	31.0m
	경사	45°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	6개소
	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	1.0~4.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) □낙석방지망 □옹벽(양호) □낙석방지울타리 ■격자블럭(양호) ■배수로(보통) ■점검로(양호) ■기타(숏크리트)		
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			

22.3.2 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 소보면 송원리(상주영천고속도로 27.484~27.674km)에 위치한 사면으로서 총 연장 190.0m, 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 22-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{31.0}=0.03$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 87.5MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{31.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 190m로서, 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 22-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	27.484~27.674km	190m

22.3.3 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 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 22-12> 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)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 22-13> 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 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 22-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	18/251	15/200	
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	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 22-15> 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 22-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	2EA / 6.5	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 22-17> 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 22-18> 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 22-19> 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 22-20> 인장균열 조사 결과

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

22.3.4 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 4개소에서 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 22-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
27.564km	48.0	85.2	보통암	4단
27.569km	47.8	84.7	보통암	4단
27.644km	48.5	87.5	보통암	1단
27.649km	48.1	85.8	보통암	1단
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 47.8~48.5로 측정되었으며, 추정강도 84.7~87.5MPa로 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 22-22> 표면보호공 조사 결과

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

식생공 전경

숏크리트 전경

라. 사면보강공

본 비탈면은 사면보강공으로 격자앵커가 시공되었으며, 기능발휘에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 22-23> 사면보강공 조사 결과

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

격자 앵커 전경

격자 앵커 전경

22.4 안전성능평가

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

22.4.1 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 0.03으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 22-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{36.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 73.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{36.0}=0.008$로 0.01이하	파쇄암반	

본 사면은 연장 190m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~2으로 표기하였다.

<표 22-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	27.484~27.647km	190m	암반사면	Set1, Set2

<표 22-26> 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 22-27> 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 22-28> 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 22-29> 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 22-30> 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 22.0m미만	22.0m이상	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 22-31> 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 22-32> 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 22-33> 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 22-34> 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 22-35> 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 22-36> 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 22-37> 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 22-38> 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 22-39> 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 22-40> 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 B등급으로 평가되었다.

<표 22-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토22		
사면 종류	절토사면	구성재료		파쇄암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	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			15	
결함지수		0.15		
상태안전성능평가 결과		**B**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 22-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
190.0m	1구간	27.484~27.547km	b(0.15)	B	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

22.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

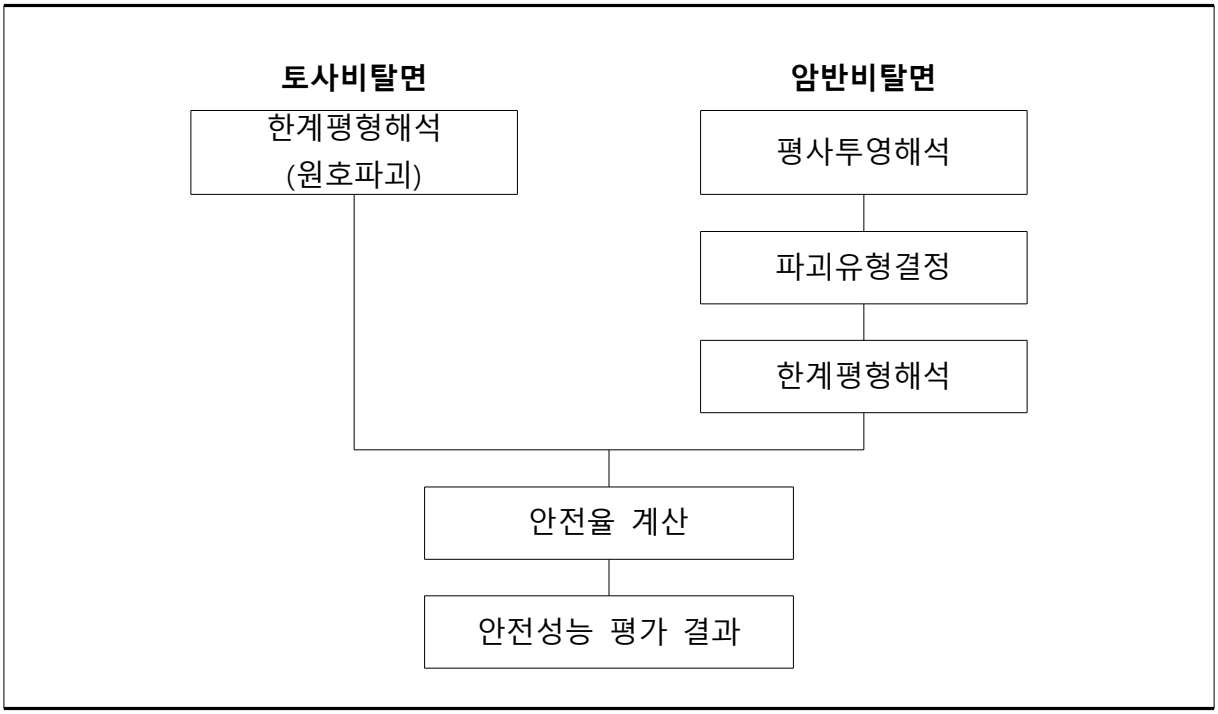
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 22-5> 구조안전성능 평가과정

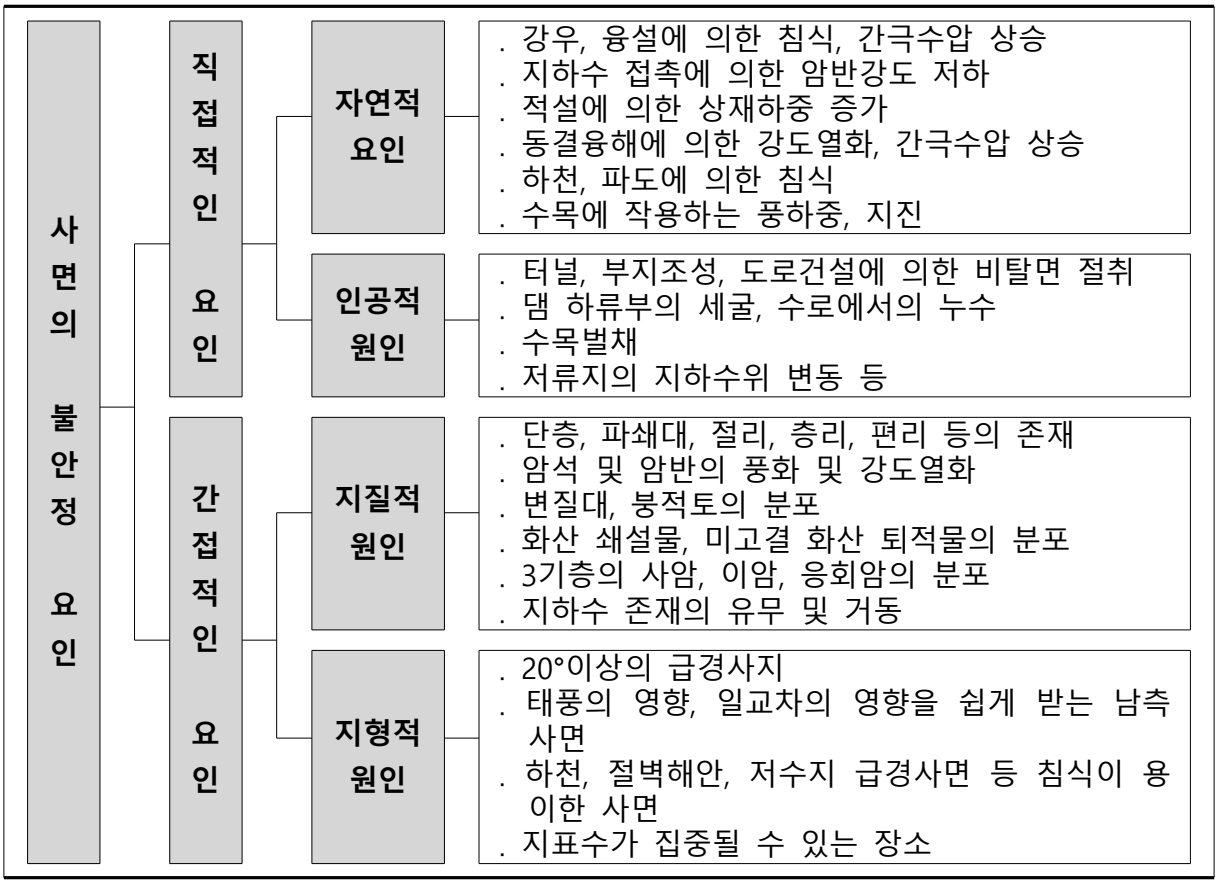
<표 22-43> 유형별 안정해석 범위

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

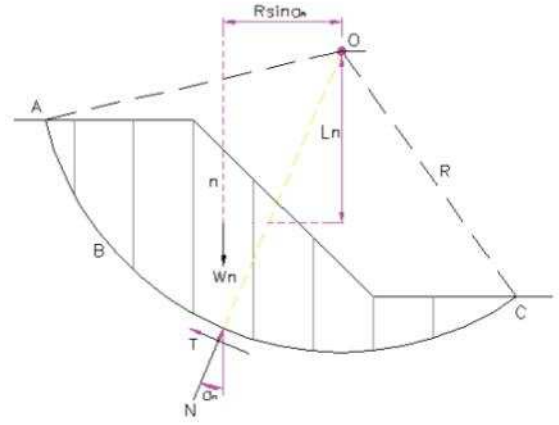


<그림 22-6> 구조안전성능 평가과정

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

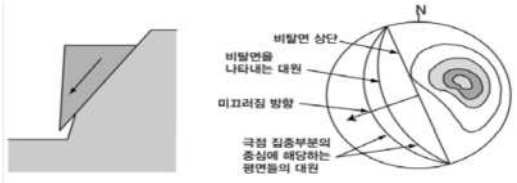
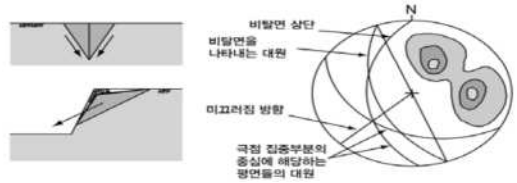
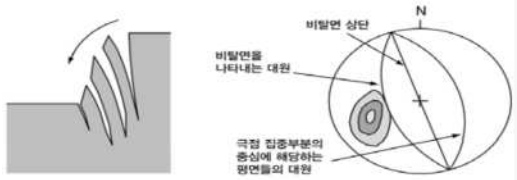
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 22-7> 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 22-44> 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 22-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

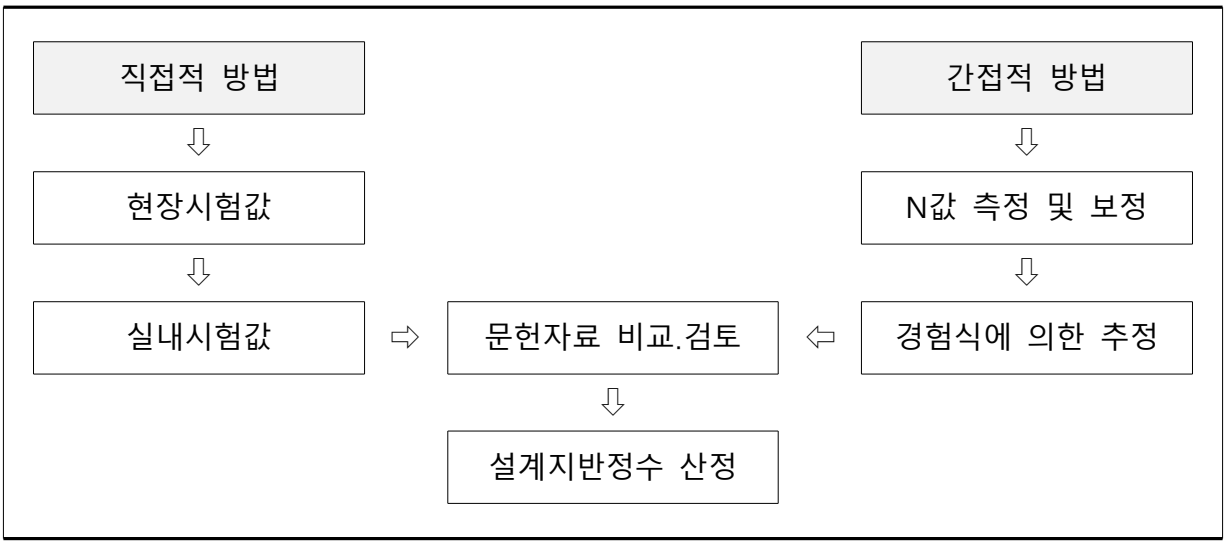
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 22-46> 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 22-47> 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 22-48> 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 22-49> 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 22-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (3공구)	풍화(잔적)토	18.5	27	20	
	풍화암	19.5	29	35	
	기반암	25.0	35	230	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 22-51> 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 22-52> 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 22-53> 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 22-54> 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 22-55> Trueman (1988)

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

<표 22-56> 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	18.5	27	20	0.3	
풍화암	19.5	29	35	0.3	
기반암	25.0	35	230	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 22-57> 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

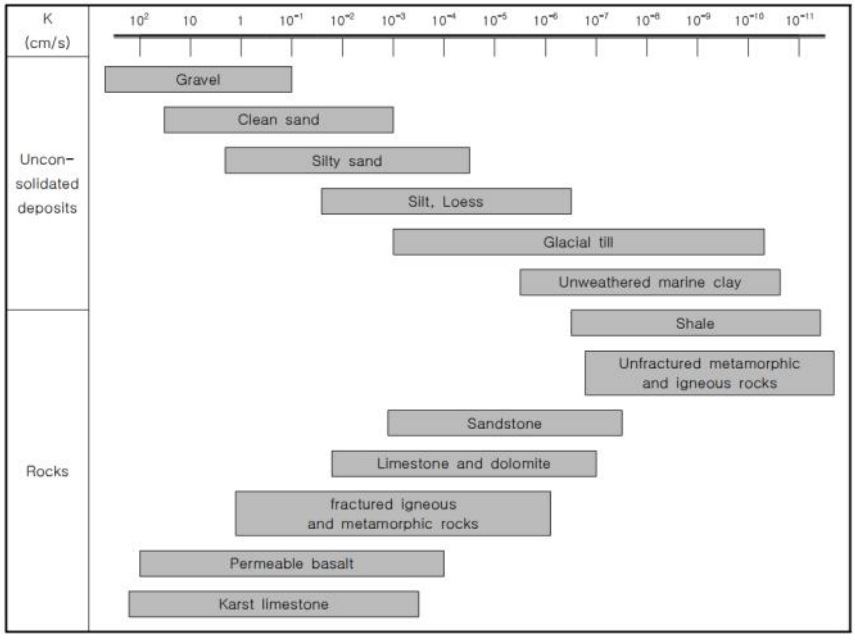
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 22-58> 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 22-59> 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 22-8> 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 22-60> 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

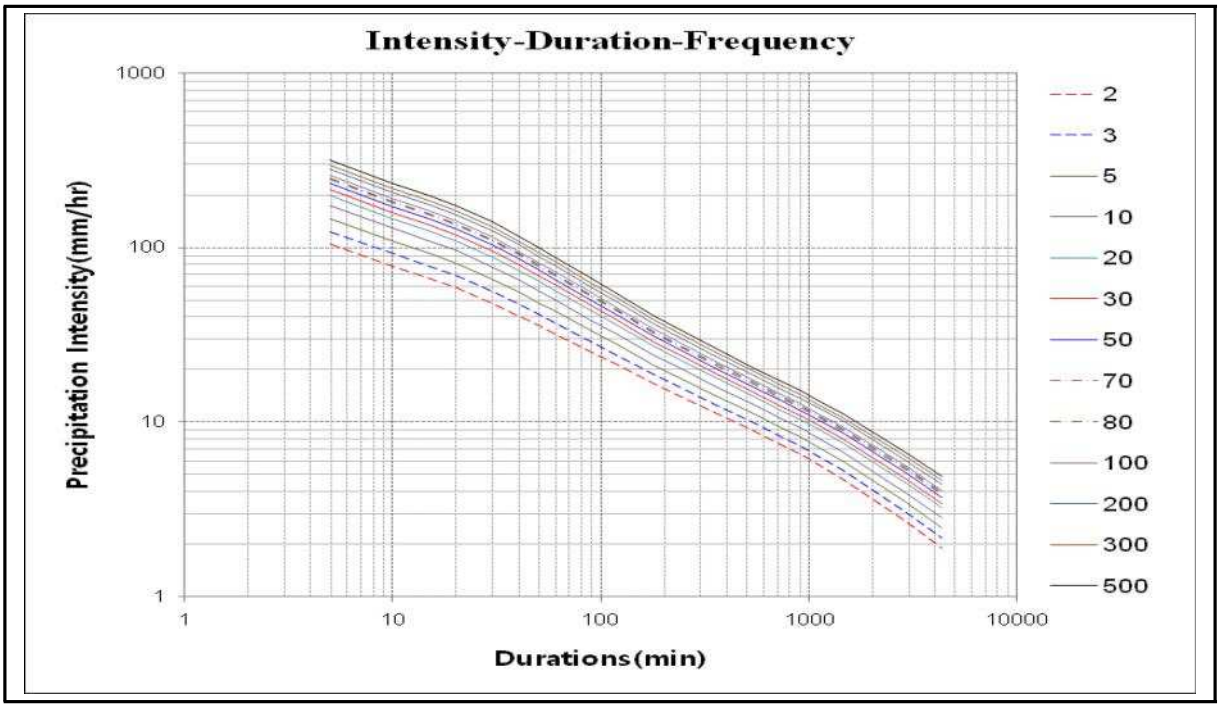
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 22-9> 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 22-10> 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 22-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 22-61> 설계지반운동 수준

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

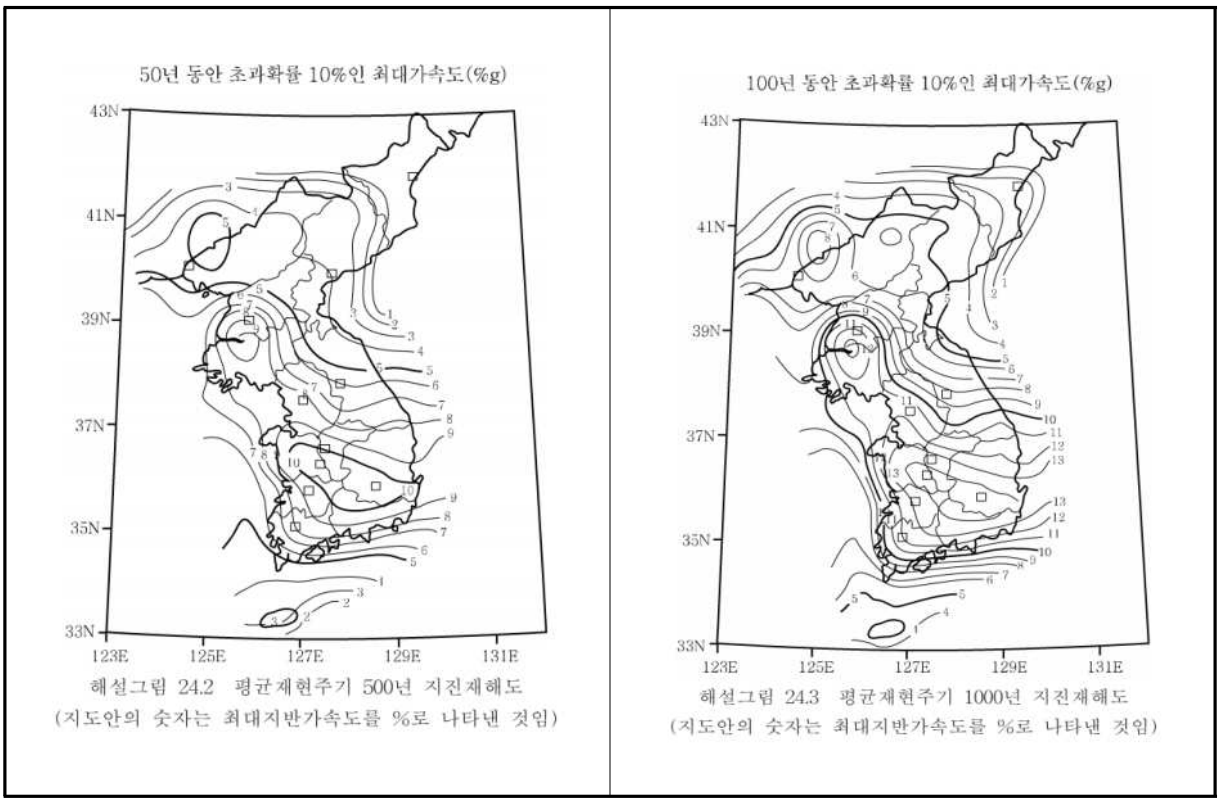
2) 설계지반운동

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 22-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 22-62> 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 22-63> 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

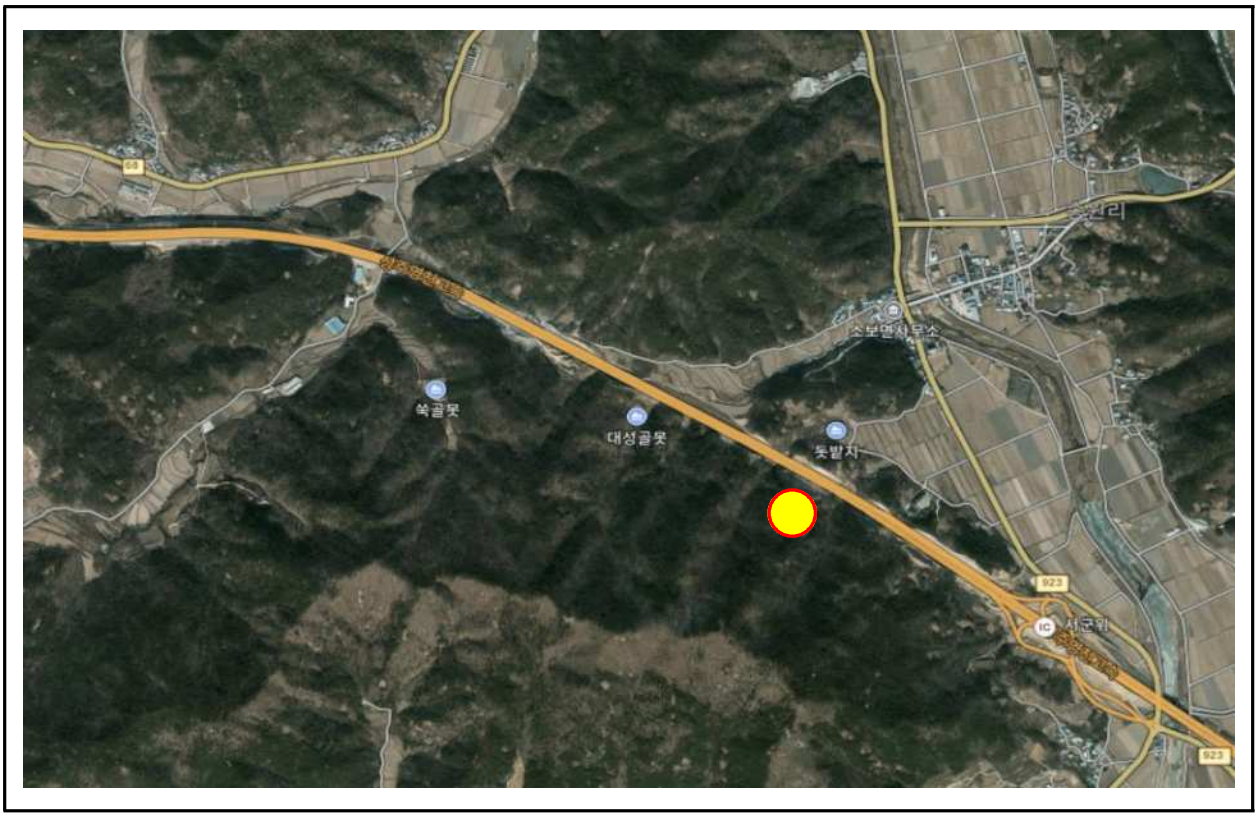
3) 지진가속도계수 선정

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 22-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

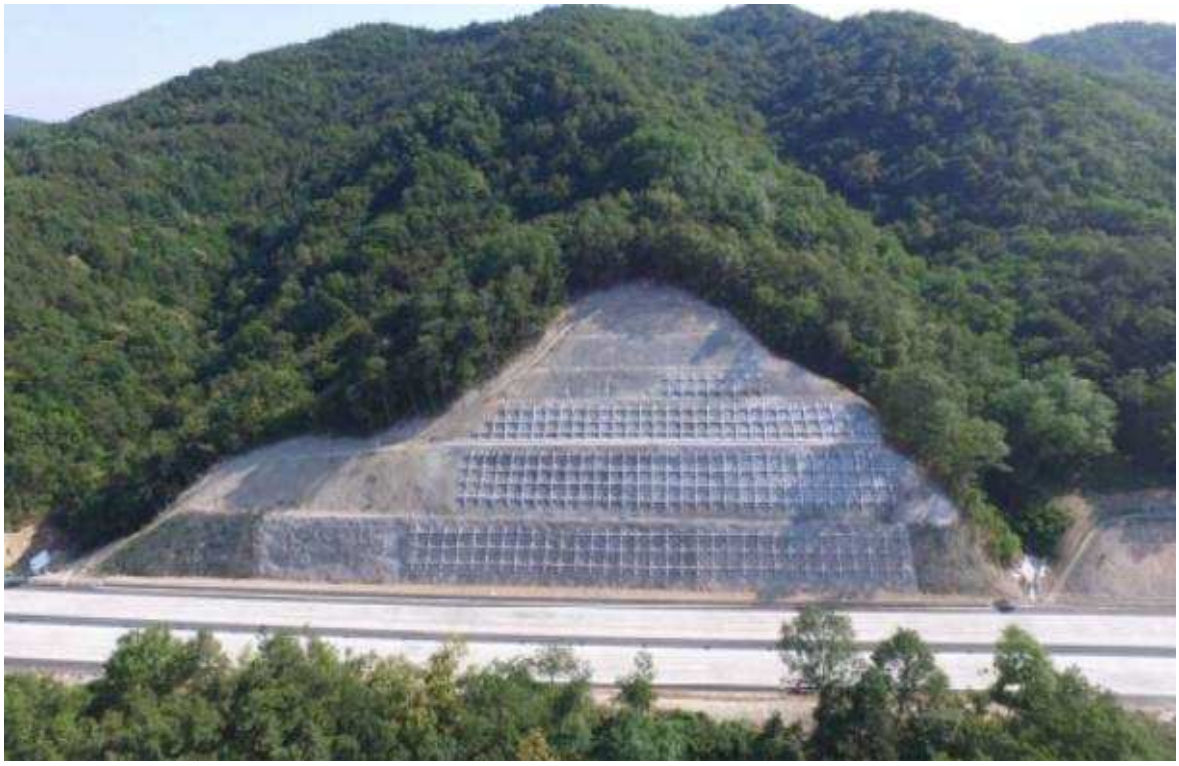
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토22	경상북도 군위군 소보면 송원리	27.484 ~ 27.674	STA.27+544	31.0	1.0	30.0	락볼트	2017	45/030

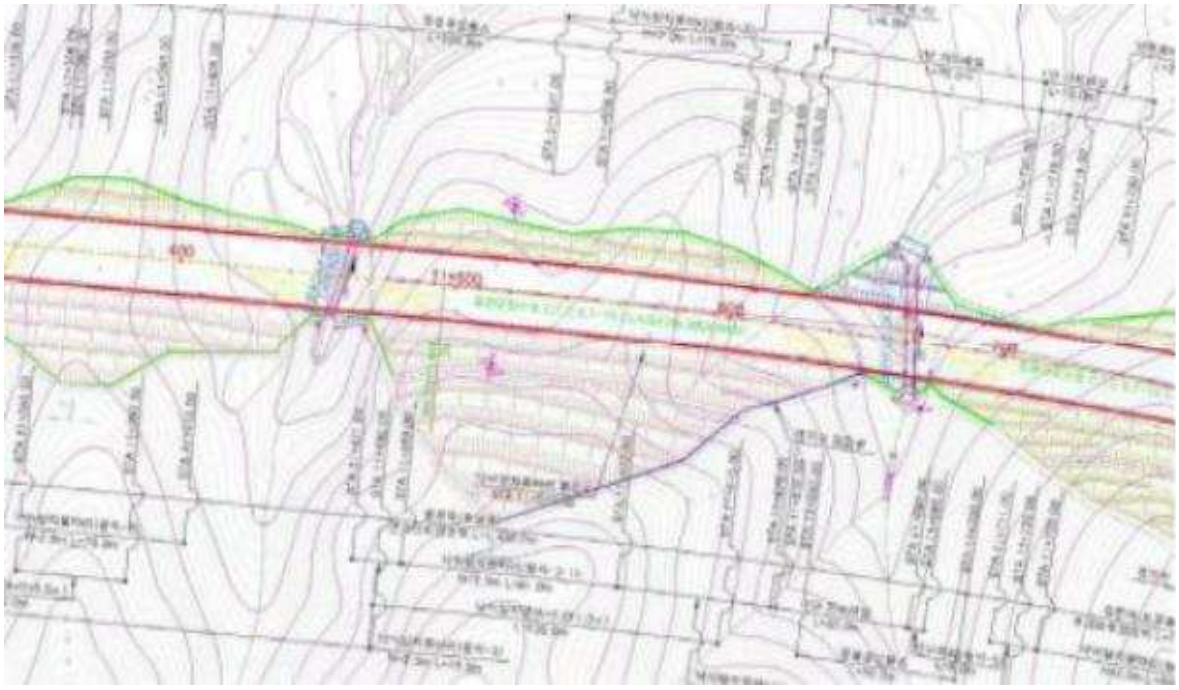


<그림 22-13> 영천절토22 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토22 비탈면 안정성검토

1) 세부위치





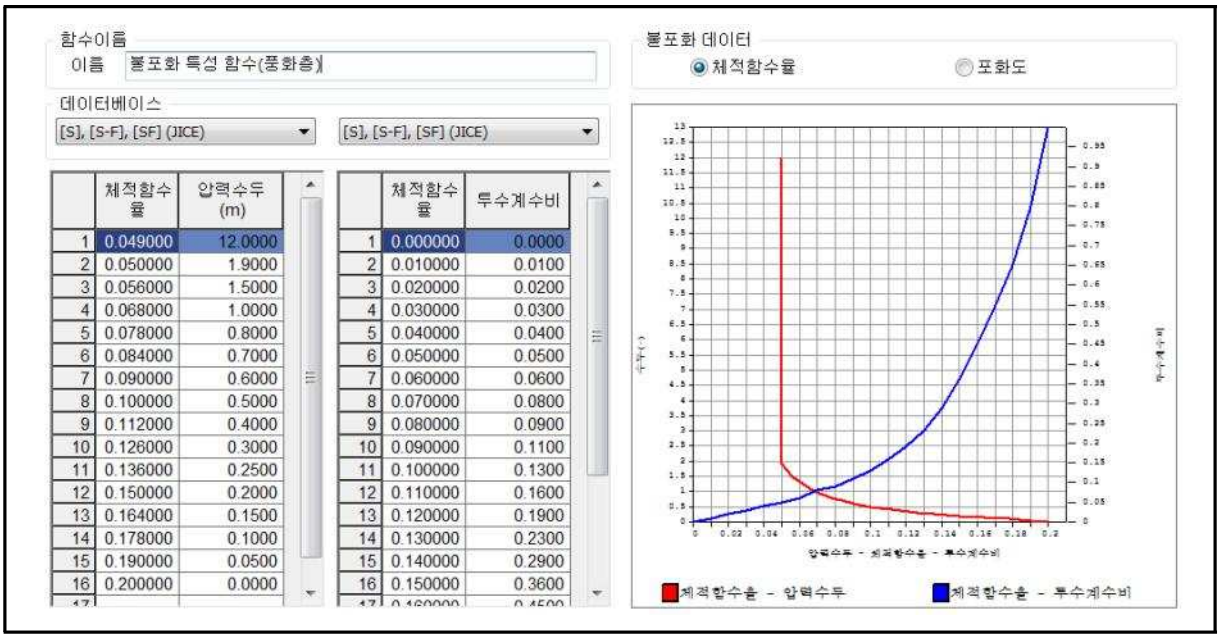
<그림 22-14> 영천절토22 검토대상 비탈면구간

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	18.5	27	20	7.4E-04	
풍화암	19.5	29	35	6.2E-04	
기반암	25.0	35	230	1.5E-04	

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

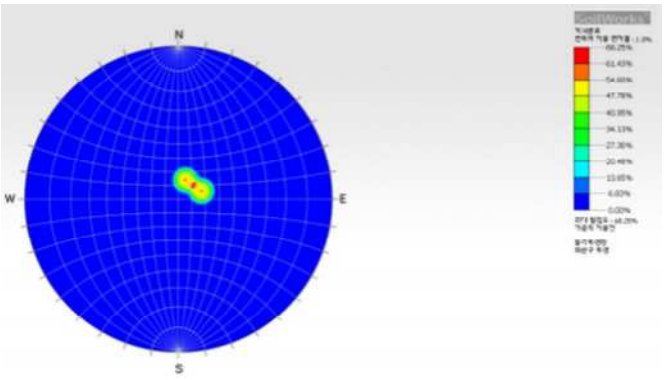
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 22-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

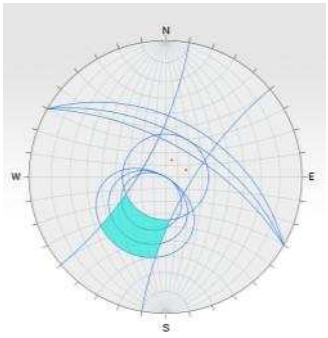
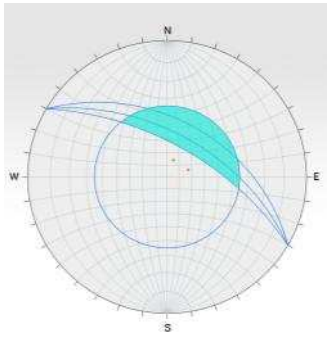
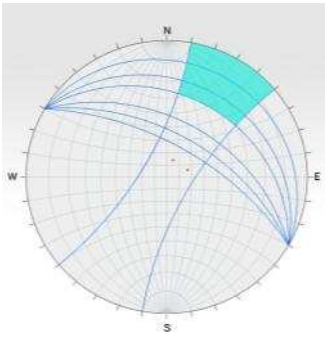
3) 1구간 (STA.27+484 ~ 27+674)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 18 15	dip direction 251 200

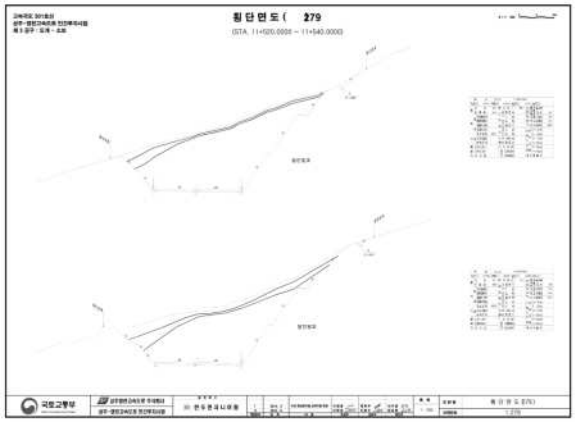
◦ 해석결과

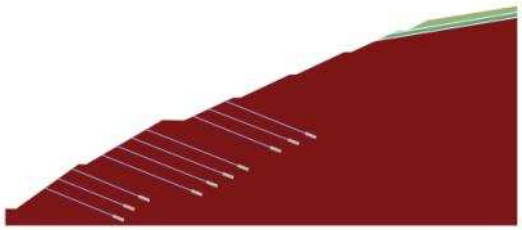
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

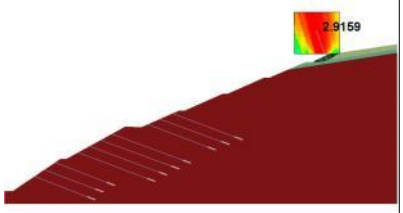
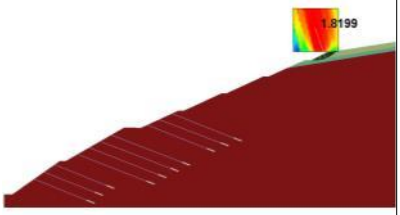
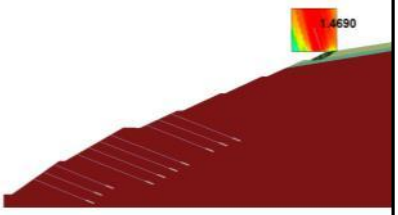
◦ 검토단면





대표단면 : STA.27+544, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.91	안전율 : 1.81	안전율 : 1.46

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 22-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토22**		
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	2.91	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.81	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.46	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

22.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 22-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토22**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.150	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.150	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 22-67> 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

22.5 내구성능 평가

22.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 22-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		파쇄암반사면	SR = 1/31 = 0.03
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		보통암 : 100.0MPa	추정
면적	전체	4,436㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	4,436㎡	
표면보호공	식 생	1,196㎡	
	숏크리트	3,240㎡	
사면보강공	격자 앵커	3,240㎡	

22.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 22-69> 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

22.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 22-70> 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 22-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
27.564km	85.2	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
27.569km	84.7	-	
27.644km	87.5	-	
27.649km	85.8	-	
평균값	85.8	-	
등급	**A등급**		

<표 22-72> 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 22-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	1,196/1,196㎡	100.0%	0/3,240㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 22-74> 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 22-75> 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 22-76> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
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)	c(10)	-
풍화진행도	MW	MW	-
	c(10)	c(10)	-
합 계	35	35	-
평 균	7.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 22-77> 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	-	-	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**c**	

22.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 22-78> 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 22-79> 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 22-80> 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

22.6 종합평가

22.6.1 종합평가 개요

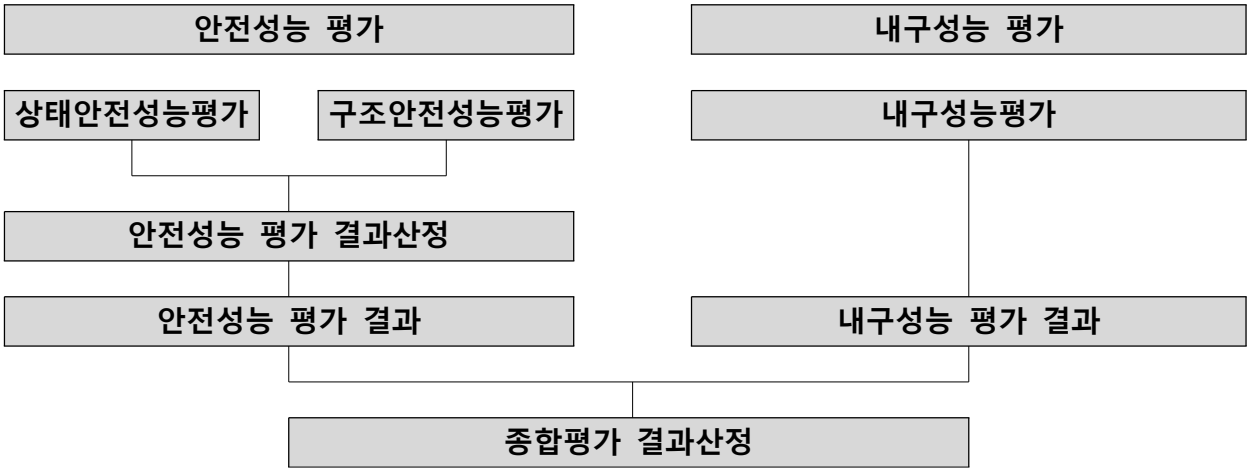
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 22-16> 종합평가 흐름도

22.6.2 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 22-81> 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 22-82> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토22		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.150	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.220	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.150 × 0.8) + (0.220 × 0.2) = 0.164 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 22-83> 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

22.7 유지관리 전략 제안

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

22.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2022.01)』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 22-84> 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				

22.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.164)"으로 평가되었다.

<표 22-85> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.150	0.220	0.164
평가결과	B	B	B

22.7.3 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 22-86> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

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

나. 유지관리 전략 제안

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

22.8 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 B등급으로 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, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표와 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제23장 영천절토23

23.1 대상 시설물 현황

23.2 관련 자료의 분석

23.3 현장조사

23.4 안전성능평가

23.5 내구성능평가

23.6 종합평가

23.7 유지관리전략 제안

23.8 종합결론

제23장 영천절토23

23.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 소보면 신계리(상주영천고속도로 27.674~28.114km)에 위치한 사면으로서 총 연장 440.0m, 높이 40.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 23-1>사면 일반사항

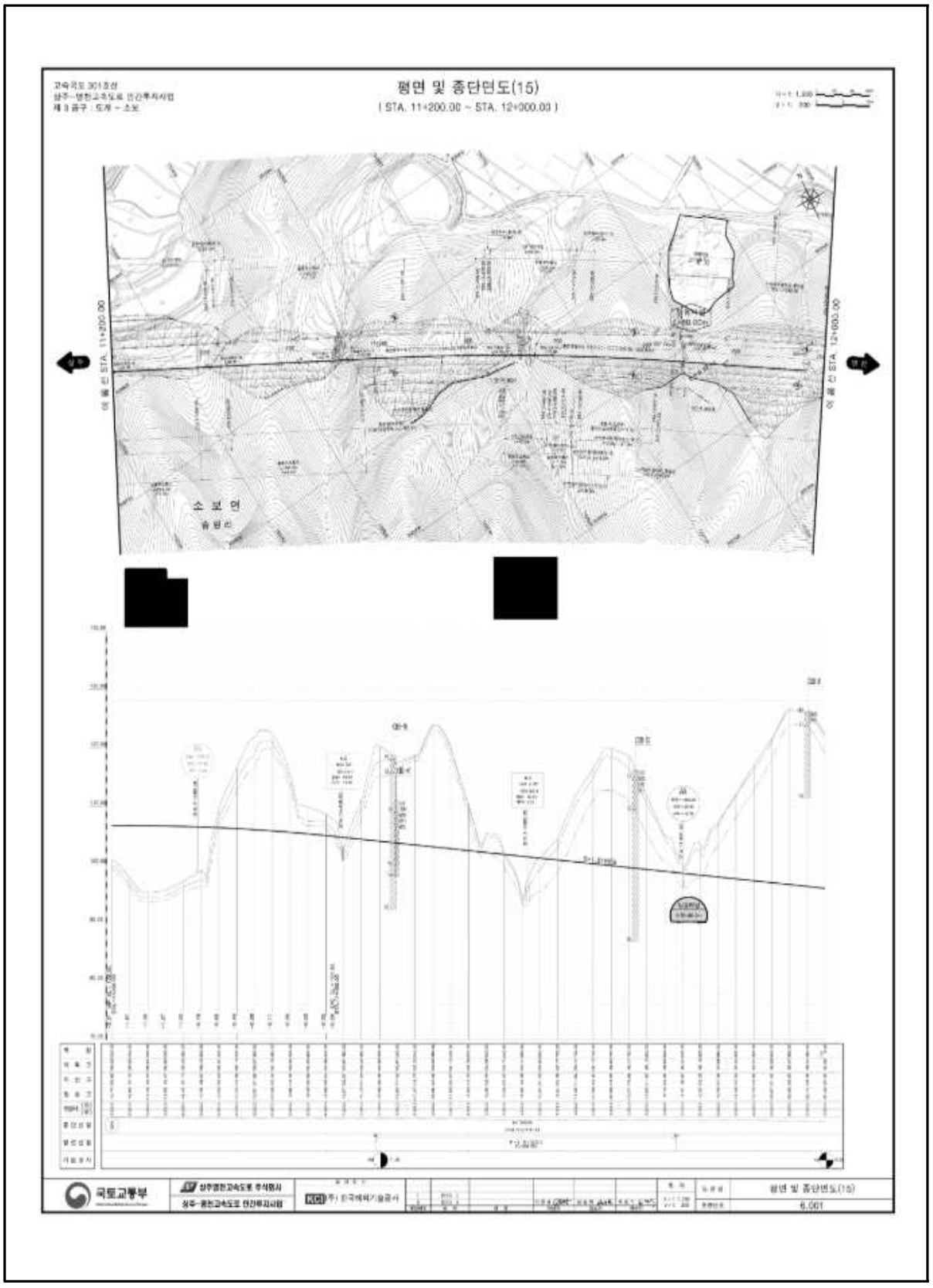
<table>
<tr><td>시설물번호</td><td colspan="2">SL2017-0000048</td><td>관리번호</td><td colspan="2">SY SL23</td></tr>
<tr><td>시설물명</td><td colspan="2">영천절토23</td><td>시설물구분</td><td colspan="2">절토사면</td></tr>
<tr><td rowspan="4">위 치</td><td>행정구역</td><td colspan="4">경상북도 군위군 소보면 신계리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위치좌표</td><td colspan="4">시점 : 36° 14′59″ 128° 28′24″</td></tr>
<tr><td colspan="4">종점 : 36° 14′52″ 128° 28′36″</td></tr>
<tr><td>관리이정</td><td colspan="4">27.674~28.114km</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제 원</td><td>공구이정</td><td colspan="4">3공구 STA.11+660~12+100</td></tr>
<tr><td>연 장</td><td>440m</td><td>높 이</td><td colspan="2">40.0m</td></tr>
<tr><td>경사/방향</td><td>44/035</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">㈜한화건설, ㈜삼호</td></tr>
<tr><td>부대시설</td><td colspan="4">점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 쏘일네일링, 격자블럭, 숏크리트</td></tr>
<tr><td>비 고</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

<그림 23-1>위치도

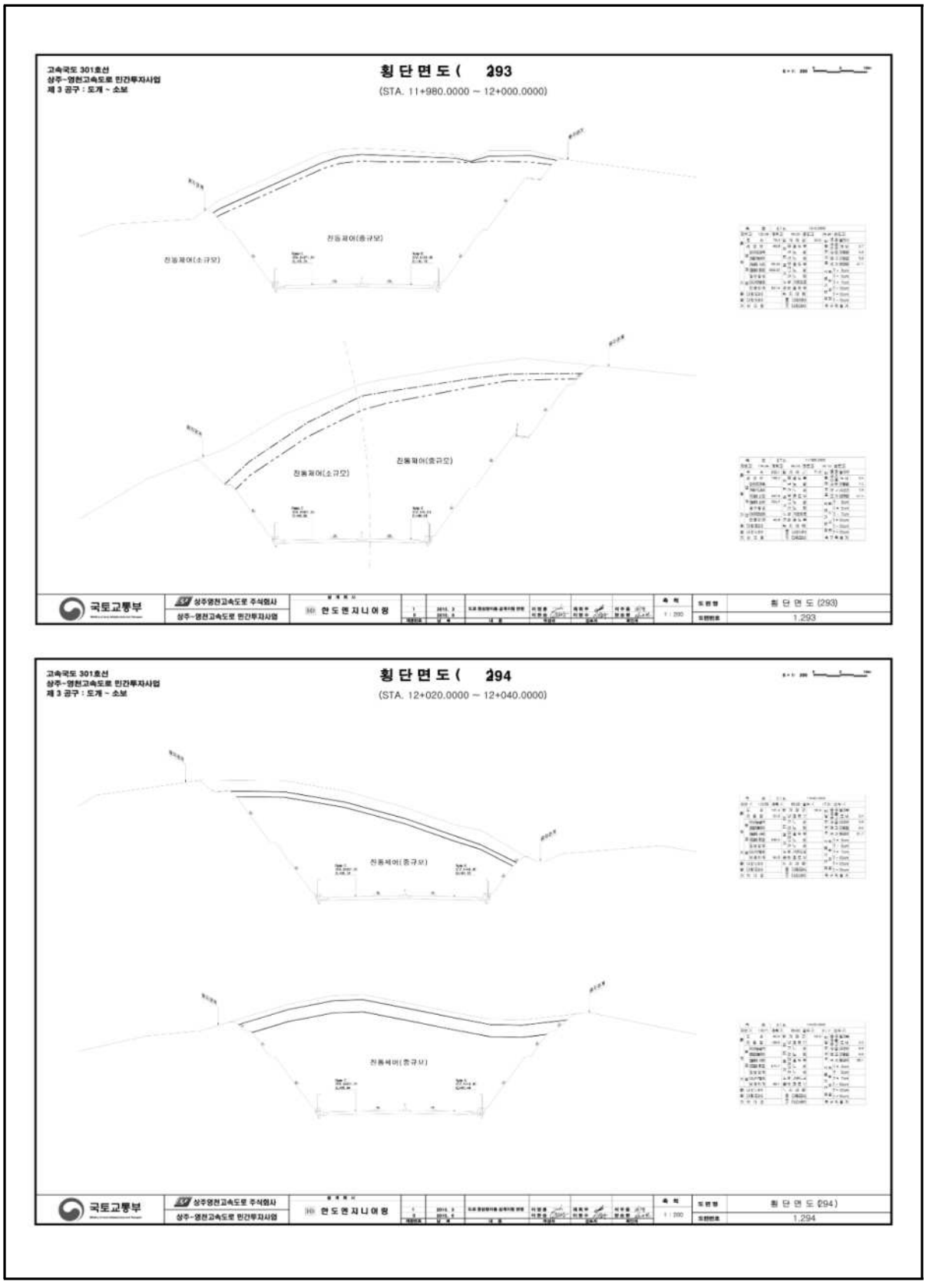
<그림 23-2> 전경사진

낙석방지망 전경	1소단 배수로 전경
점검계단 전경	산마루측구, 야생동물유도울타리 전경
숏크리트+격자블럭 전경	하부 전경

<그림 23-2> 전경사진(계속)



<그림 23-3> 평면도



<그림 23-4>표준횡단면도

23.2 관련 자료의 분석

23.2.1 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 23-2> 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 3공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구
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 3공구
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.

23.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 3공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

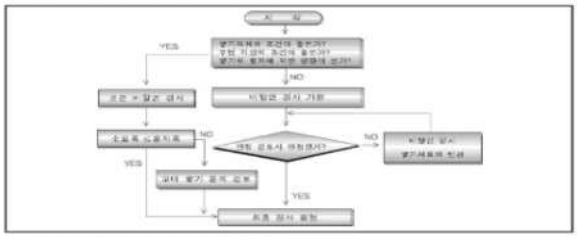
8.4 비탈면 설계기준

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

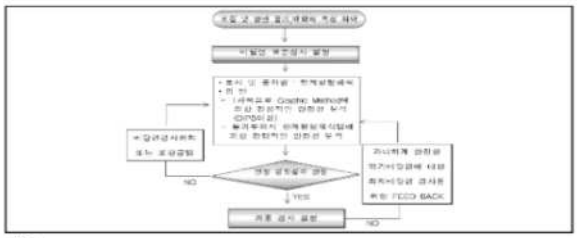
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 평기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 위기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



228

영천-상주 고속도로 민간투자사업 실시설계

다. 위기 비탈면

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

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

국내 위기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 일반층에서 층리나 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. 심도는 점심토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

230

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 접하는 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.

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

233

8.4.5 설계기준 선정

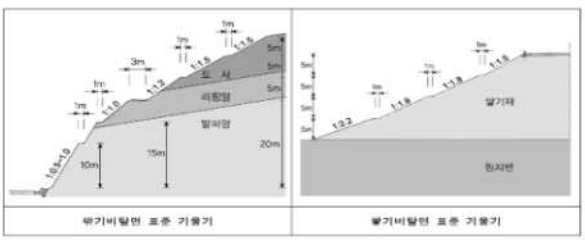
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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
암위기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 암위기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 • 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) • 암위기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 0.5~1.0	
평기 비탈면	풍 기 재	1 : 1.5~2.2	• 평기 높이 5m 마다 1m 소단설치



위기비탈면 표준 기울기 | 평기비탈면 표준 기울기

236

2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 습곡 내지 조임질, 등림질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 신산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	절기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 주보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

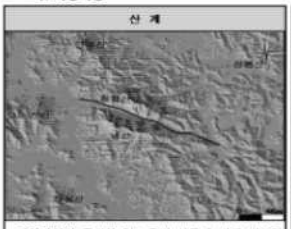
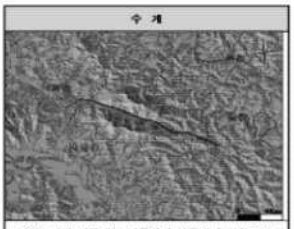
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡창천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
안경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
안경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 불국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
금당리층원 세일(Shale)	• 업층으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉽게 또는 층리되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 중립~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명			특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
		-- 부정합 --				
중생대	백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ap})			• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
		-- 관입 --				
		화강암(K_{gr})			• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
		-- 관입 --				
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		-- 관입 및 분출 --				
		신동층군	낙동층 (ke1)	안경산층원 (Ka1-nml) 상부 (Ke1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
				안경산층원 (Ka1-nml) 하부 (Ke1-nm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 반질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 신령단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 우보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

3) 지반조사 보고서

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:500,000)	분 석 내 용
	• 쥬라기의 관입암류, 백악기 경상층군의 신동층군,낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포 • 화강암 주변부는 높은 지형을 형성하고 있으며, 퇴적암과 경계부는 혼펠스화 • 습곡 내지 조임질, 등림질 조직 우세 • 우보단층 : 이 지역 중동변에서 북서부로 향한 우보단층은 신산 구조소분지를 절단. 다곡동(청화산 남서의)의 화강암체는 이 단층의 영향을 받았을 가능성이 있으며 이 단층의 활동이 있은 후에 화강암이 관입하고 그 후에 다시 이 단층의작용을 받았을 가능성이 높음

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분		분 석 내 용
터널구간	군위터널 (정화터널)	• 분포지층 : 표토층(붕적층), 풍화토, 풍화암, 연암 • 표토층은 비탈면 퇴적층인 붕적층으로 입구부는 지표에서 5.5~12.0m, 출구부는 18.0m 두께, 자갈섞인 실트질 모래, 전석, 매우조밀 • 풍화토는 입구부에서만 지표하 5.5~10.0m에 4.5m 두께, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 10.0~18.0m에서 3.0~6.0m 두께로 분포, 세일, 사암 및 혼펠스 화강암의 풍화대 • 연암은 지표하 13.0~30.0m에서 9.0~12.0m 두께, 세일 및 사암, 심한파쇄, TCR=25~85%, RQD=0~45%
교량구간	신계교 (석성교)	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.8~2.3m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 퇴적층은 지표하 1.8~8.5m에 6.2~6.3m 두께로 분포, 자갈섞인 실트질 모래 및 점토질 실트, 매우느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 8.5~9.5m에 1.0m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.1~12.5m에 3.0m 두께로 분포, 사암, TCR=14~60%, RQD=0%
	개량교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.2m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 습윤 • 퇴적층은 지표하 1.2~4.8m에 3.6m 두께로 분포, 실트섞인 모래질 자갈, 느슨 내지 매우조밀 • 풍화암은 지표하 4.8~6.0m에 1.2m 두께로 분포, 실트질 모래, 매우조밀 • 연암은 지표하 6.0~9.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, TCR=80%, RQD=45%

구 분		분 석 내 용
교량구간	다곡교	• 분포지층 : 매립층, 연암 • 매립층은 지표에서 4.3m 두께로 분포, 모래질 자갈, 매우조밀, 습윤 • 연암은 지표하 4.3~6.3m에 2.0m 두께로 분포, 역질사암, 보통풍화 내지 심한풍화, 약함 내지 보통강함 TCR=87%, RQD=52%
	도계교	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 지표에서 1.5~2.6m 두께로 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 지표하 1.5~12.0m에 4.5~9.4m 두께로 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 지표하 6.0~8.5m에 2.5m 두께로 분포, 역질 사암, 매우조밀 • 연암은 지표하 8.5~12.0m에 3.0m 두께로 분포, 역질 사암, 사암 및 화강암, TCR=40~50%, RQD=0~43%
비탈면구간	원기	• 분포지층 : 매립층, 퇴적층, 풍화암, 연암 • 매립층은 전층에 분포, 모래섞인 전석 및 실트질 모래, 느슨 • 퇴적층은 매립층 하부에 분포, 실트질 모래, 자갈 및 전석, 매우조밀 • 풍화암은 역질 사암, 매우조밀 • 연암 출현심도가 대체로 얕음
	위기	• 표토의 층후는 얇고, 풍화대 역시 수 미터 이내 • 분포암종은 주로 역질 사암, 역암 및 화강암 • 암 강도는 풍화도에 따라 상이하나 보통 강함 내지 강함

4.1.3 현장답사를 통한 중점검토사항 도출

가. 주요 결과

테일러스(Talus) 분포 현황	테일러스 상세 전경

• 3공구 군위터널 중점부 인근 계곡부에 발달
• 사암과 역암이 혼펠스화
• 테일러스 직경은 30cm~200cm 정도, 심도 10m 정도로 추정
• 경구부 지층 정밀 파악 필요 (경구비탈면인정/보강공법선정)

나. 중점검토사항 도출

구 분	조사내용 및 분석결과	중점검토사항
터널 구간	• 터널 굴착시 봉락 등이 예상되는 세일 분포 • 군위터널 구간에 주보단층 출현 • 군위터널 인근에 계곡부 발달	• 지층 형상 및 구조대 심도 파악을 위한 시추조사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사 수행 • 단층 공학적 특성 분석을 위한 상세조사 수행 • 붕적층 분포 파악을 위한 상세 시추 및 물리탐사 수행
교량 및 비탈면 구간	• 장년기~노년기 지형으로 풍화대 발달 • 굴착시 풍화에 민감한 퇴적암 발달 • 암층 변화 및 지형기복에 따른 기초 지지층 변화가 심할 것으로 예상	• 지층분포 파악을 위한 시추조사 및 탄성파탐사 • 사업구간 주변 비탈면 시공 현황 상세 조사 • 지지층 확인을 위한 시추조사와 암반 특성 파악을 위한 암석시험 수행

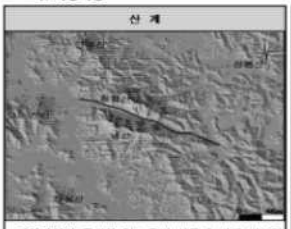
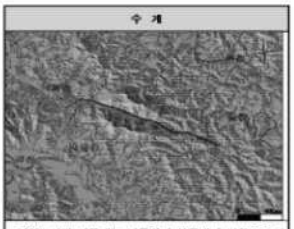
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

• 백악기 경상분지의 신동층과 하양층군이 주로 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
• 백악기 경상층군의 신동층군 낙동층의 반경상층원과 금당리층원, 백악기의 관입암류가 분포

나. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업지역의 중앙부에는 주변 산들에 비해 비교적 높은 고도를 보이는 청화산과 냉산이 위치 • 과업노선은 청화산과 냉산 사이의 저지대를 따라 지나가며 서북서 방향의 선구조 위에 놓임	• 과업노선의 서쪽에는 낙동강이 북쪽에서 남쪽으로 흐르고 있으나 노선과는 교차하지 않음 • 과업노선의 시점부는 북쪽으로 흐르는 위천의 지류인 곡정천과 교차함

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
만경산층원 하부 장석질 역질 사암	• 장석의 함량이 높기 때문에 다른 암석에 비해 풍화가 더 심할 것으로 예상됨 • 풍화심도가 상당히 깊을 것으로 예상됨
만경산층원 상부 역질 사암	• 역의 크기는 수 cm~수십 cm이며 원래는 아원형으로 기질 지질성임
혼펠스 (Hornfels)	• 불국사 화강암의 관입에 의한 열접촉에 의해 치밀한 구조를 보이며 풍화에 상당히 강할 것으로 예상됨
균담리층원 세일(Shale)	• 압축으로 인한 오개점(fissility)이 발달. 또한 이 오개점과 같은 방향으로 암해석이 쉽게 또는 층리되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
화강암	• 당회색의 중립 내지 세립질 암석으로 약간의 염기성광물 집합체를 함유 • 중립~조립질을 보이며 등립질 조직이 우세, 수 cm 크기의 장석반정이 나타남 • 과업구간 주변의 높은 지형을 형성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명			특 성	비 고
제4기		충적층(Qal)			• 하천 및 산록 퇴적물	
		── 부정합 ──				
중생대	백악기	중성암맥(K_{di}) 산성암맥(K_{ap})			• 지상의 지맥	• 전 구간에서 기반암을 관입
		── 관입 ──				
		화강암(K_{gr})			• 지상의 지맥	• 3공구 중앙부
		── 관입 ──				
		유천층군	안산암질암(K_{an})		• 주로 풍화암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		── 관입 및 분출 ──				
		신동층군	낙동층 (ke1)	만경산층원 (Ka1-nml) 상부 (Ka1-num)	• 사암과 역질사암, 역암 교호	•3공구 중앙 및 종점부
				만경산층원 (Ka1-nml) 하부 (Ka1-nlm)	• 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 • 최하부에 탄질층 협재	•3공구 시점 및 중앙부

마. 지체구조

• 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
• 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 좌수향 주향이동 단층인 신령단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 망산단층계가 발달
• 과업구간과는 서북서방향의 우보단층이 가장 중요한 구조선으로 노선을 지배하고 있음
• 경상 누층군의 퇴적암류 내 층리 변화를 보면 동서 방향의 습곡축을 가지고 계빙습곡이 발달하는데, 이들 습곡축들은 서북서 방향의 좌수향 방향의 단층에 끊기고 있음

4.2.2 영상정보를 활용한 선영 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 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

(2) 원리 및 방법
• 15m급 해상도의 Landsat-7 ETM+ 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

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사명

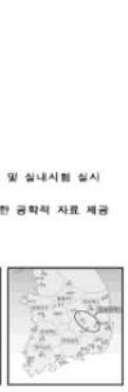
• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구 지반조사

1.2 조사목적

• 상주~영천 고속도로 민간투자사업 제 3공구를 위한 지반조사
• 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

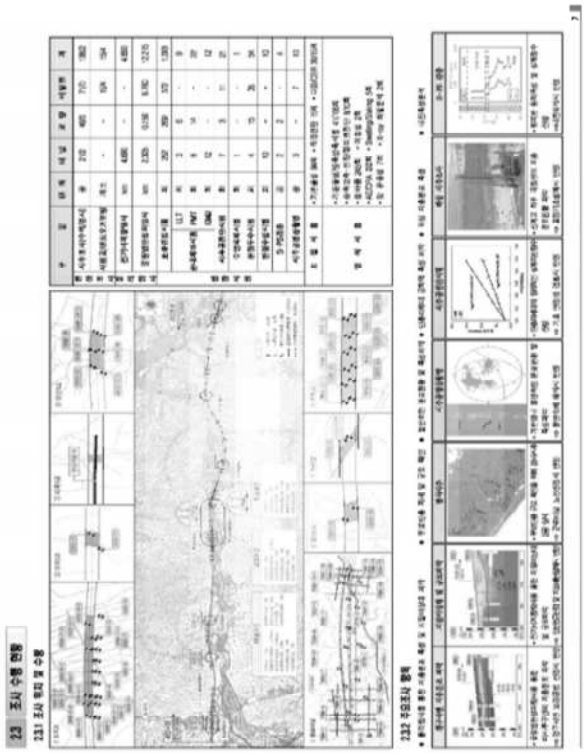
위 치	• 시점 : 경상북도 구미시 도개면 (STA. 0+000) (X=310,453.951, Y=142,180.556) • 종점 : 경상북도 군위군 소보면(STA. 12+935) (X=304,851.7911, Y=153,668.900) • 연장 : 12.935km
특 성	• 국토 동남부 5개 고속도로를 연결하는 제 2순환축(상주~영천 고속도로 건설 • 대구~포항 대구~부산고속도로 등의 건설로 인한 대구, 구미권 교통수요 분산 • 민간의 창의와 효율로 정부재정지원의 효율적 집행 도모



1.4 위치도

• 구조물 현황

터널 구간	교량 구간		토공구간
• 군위터널 상주방향 : 1,085m 영천방향 : 960m	• 도개교(360.0m) • 다곡2교(30.2m) • 다곡1교(10.0m) • 달산2교(40.5m)	• 달산1교(70.1m) • 계탕교(25.5m) • 신계교(176.3m)	• 뒤기구간(14개소) • 뭍기구간(17개소)



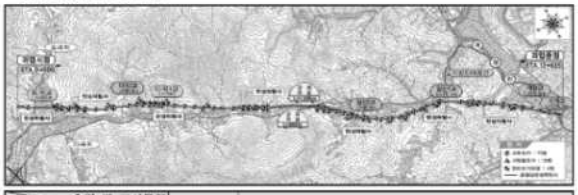
제 7 장 비탈면구간 지반특성 분석 및 설계적용

7.1 개 요

7.1.1 기본방향

조 사 항 목	조 사 기 본 방 향
지층 현황 및 원지반 공학적 특성 분석	• 뒤기구간 지층분포 상태 및 공학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 비탈면 계획 수립 • 뭍기구간 연약지반 분포 유무 파악 및 토사층의 역학적 특성 파악
불연속면 분포 특성 파악	• 불연속면 특성(간격, 방향, JRC, JCS)을 파악하여 암반 비탈면 안정성 분석 및 보강대책 선정시 반영
뭍기재 특성 분석	• 뒤기 및 터널구간에서 발생되는 토사 및 암버력의 뭍기재 적합 여부 판단시 반영

7.1.2 조사위치 및 수량



조사항목 \ 수량 및 조사목적		수 량	조 사 목 적
물리탐사	굴절법탄성파탐사	9.760km	• 지층의 분포 현황 및 두께 파악
현장조사 및 현장시험	시추조사	71공	• 지층분포 및 특성 파악, 암종 및 단층확인
	시험굴조사	15개소	• 뭍기재 적정성 검토, 토공 계획
	핸드오거보링	4개소	• 뭍기구간의 토질상태 및 시료채취
	시추공전단시험	11회	• 풍화대층의 강도정수 파악
	현장투수시험	35회	• 토사층의 투수계수 파악
	시추공영상촬영	7공	• 불연속면 크기 및 발달상태, 경사방향 및 경사각, 암반의 변화 및 공학적 특성 파악
실내토질시험			• 기본물성시험 77회, 직접전단시험 15회, 다짐/CBR시험 30/15회
실내암석시험			• 점하중강도시험 36회, 물성시험(밀도압축 12/12회, 절리면 전단시험 8회 Swelling/Slaking 5회, 본선암 유용성시험 5회

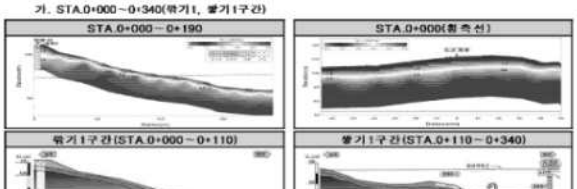
7.2 지층특성 분석

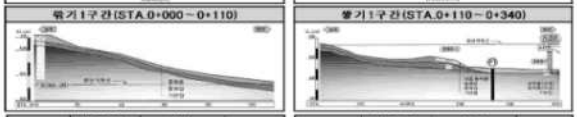
7.2.1 기본방향

• 지표지질조사, 시추조사, 탐사 결과를 각 교량구간에 분포하는 매립 · 풍적층, 퇴적층 및 풍화대층 분포현황 파악

7.2.3 분포 현황 파악

가. STA.0+000~0+340(뒤기1, 뭍기1구간)

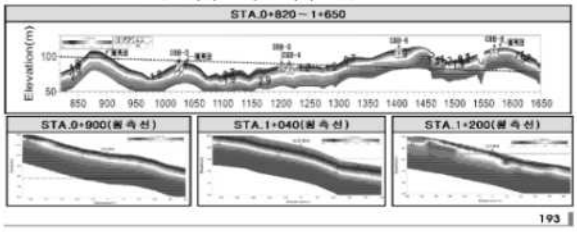




지 층	분포두께 (슬련심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
풍화토	4.0~4.8 (0.0~0.2)	19/30~50/14	SM
풍화암	2.6~3.7 (4.0~5.0)	50/10~50/6	–
기반암	(6.6~8.7)	(46~100/0~100)	시암, 니암암

지 층	분포두께 (슬련심도)(m)	N치 (TCR/RQD)	토질/암종
붕적층	3.0 (0.0)	45/30~50/8	SM
풍화토	1.0 (3.0)	28/30	SM
풍화암	4.0~5.2 (3.0~4.0)	50/9~50/2	–
기반암	– (3.0~7.0)	60~97/4~48	사암(~셰일암 산남암대)

나. STA.0+700~1+650(뒤기2, 3, 4구간, 뭍기2, 3, 4구간)



7.3 지반특성 분석

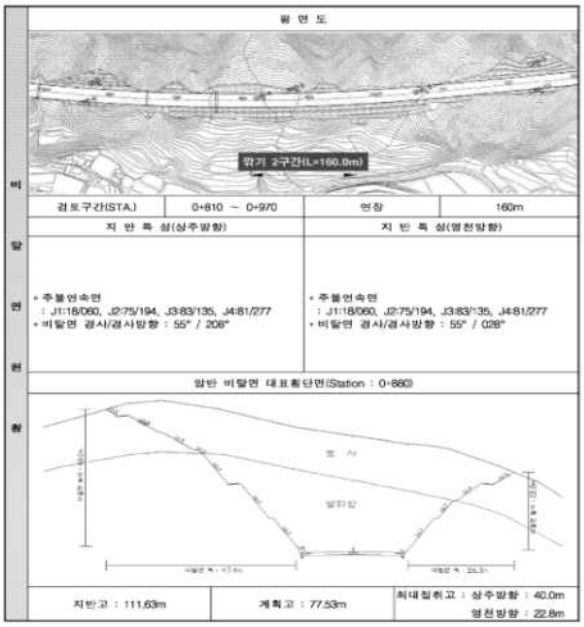
7.3.1 토질물성시험

구분	공번	심도(m)	지층	함수비(%)	비중	Atterberg Limit LL(%)	Atterberg Limit PI	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.02mm	USCS
위기부	CBB-3	1.0	풍화토	8.2	2.68	NP	-	100	93.1	44.8	24.6	-	SM
	CBB-4	2.0	풍화토	7.1	2.70	NP	-	56.4	41.0	28.4	16.4	-	GM
	CBB-5	1.0	풍화토	16.4	2.68	27.6	4.9	100	100	83.6	56.3	12.5	ML
	CBB-6	2.0	풍화토	11.0	2.65	NP	-	97.8	70.7	31.5	13.2	-	SM
	CBB-7	1.0	풍화토	12.0	2.66	NP	-	97.9	65.3	26.4	12.4	-	SM
	CBB-10	2.0	풍화토	11.5	2.65	NP	-	100	92.6	43.3	22.5	-	SM
	CBB-11	1.0	풍화토	9.8	2.68	NP	-	100	75.1	22.4	8.2	-	SW-SM
	CBB-12	2.0	붕적층	15.5	2.67	26.8	4.3	100	97.8	82.2	43.2	8.0	SM
	CBB-15	1.0	풍화토	12.2	2.69	NP	-	100	82.3	24.4	7.5	-	SW-SM
	CBB-16	1.0	풍화토	11.3	2.69	NP	-	98.0	84.2	29.2	10.0	-	SW-SM
	CBB-20	4.0	붕적층	17.6	2.70	32.4	10.4	96.7	96.2	91.1	71.9	17.5	CL
	CBB-21	5.0	붕적층	10.5	2.71	32.6	10.9	84.7	83.4	70.9	47.6	15.0	SC
	CBB-22	1.0	붕적층	14.6	2.69	30.2	9.7	90.2	87.6	79.7	61.9	17.0	CL
	CBB-23	4.0	붕적층	20.6	2.70	28.2	4.8	74.5	64.5	57.8	59.2	7.5	ML
	CBB-26	6.0	풍화토	15.1	2.67	NP	-	100	98.4	60.6	29.9	-	SM
	CBB-28	5.0	붕적층	11.9	2.69	NP	-	81.4	75.1	52.0	28.9	-	SM
	CBB-29	1.0	붕적층	13.0	2.71	NP	-	47.9	42.3	28.6	15.2	-	GM
	CBB-30	8.0	붕적층	13.3	2.69	28.1	5.1	100	96.6	67.2	43.4	8.0	SM
	CBB-31	1.0	붕적층	16.9	2.71	27.3	4.5	100	97.3	82.8	60.9	12.0	ML
	CBB-32	6.0	붕적층	11.3	2.67	NP	-	98.1	92.7	60.8	28.7	-	SM
	CBB-33	3.0	풍화토	10.8	2.69	NP	-	99.9	92.1	59.9	33.8	7.0	SM
	CBB-34	1.0	풍화토	9.6	2.67	NP	-	100	96.2	49.8	23.6	-	SM
	CBB-35	1.0	풍화토	3.7	2.68	NP	-	92.3	83.8	32.8	14.2	-	SM
	CBB-36	1.0	풍화토	12.8	2.68	NP	-	76.3	60.8	31.3	14.4	-	SM
	CBB-43	3.0	풍화토	16.9	2.70	NP	-	100	95.6	60.6	27.7	-	SM
	CBB-44	3.0	풍화토	9.7	2.71	NP	-	100	86.6	34.7	13.2	-	SM
	CBB-45	1.0	풍화토	8.6	2.68	NP	-	91.2	75.1	39.5	18.6	-	SM
	CBB-46	1.0	풍화토	5.6	2.67	NP	-	98.3	90.7	36.5	17.1	-	SM
	CBB-47	1.0	붕적층	13.6	2.71	26.8	4.2	100	98.9	76.1	41.6	7.5	SM
	CBB-49	4.0	풍화토	17.7	2.71	NP	-	100	98.4	58.6	26.6	-	SM
	CBB-50	1.0	붕적층	29.3	2.73	28.2	4.9	100	100	97.8	58.7	9.0	ML
	CBB-50	2.0	붕적층	13.1	2.68	NP	-	67.2	57.2	36.5	14.9	-	SM
암기부	SBB-2	1.0	풍화토	7.9	2.67	NP	-	95.4	80.6	40.1	15.2	-	SM
	SBB-3	2.0	풍화토	13.3	2.66	NP	-	100	95.6	53.6	33.6	7.5	SM
	SBB-4	2.0	붕적층	19.0	2.68	31.5	9.2	97.0	90.1	69.5	51.8	14.5	CL
	SBB-5	2.0	붕적층	8.3	2.64	NP	-	38.1	28.7	13.5	5.9	-	GW-GM
	SBB-6	1.0	붕적층	10.3	2.68	NP	-	34.3	26.9	14.9	4.9	-	GP
	SBB-7	3.0	풍화토	13.1	2.66	NP	-	90.5	83.3	51.2	26.2	-	SM
	SBB-8	4.0	풍화토	22.0	2.68	NP	-	99.2	95.0	51.7	28.3	-	SM
	SBB-10	1.0	풍화토	16.8	2.65	NP	-	100	89.8	62.7	39.2	7.5	SM
	SBB-11	3.0	퇴적층	14.1	2.64	NP	-	98.0	85.1	47.1	24.4	-	SM
	SBB-12	1.0	붕적층	13.5	2.64	NP	-	98.8	87.2	49.0	23.2	-	SM
	SBB-13	1.0	붕적층	12.3	2.67	27.1	4.9	100	100	87.4	58.8	14.0	ML
	SBB-15	2.0	붕적층	16.9	2.68	28.5	6.0	100	99.0	86.9	62.9	15.0	ML
	SBB-16	1.0	붕적층	5.4	2.67	NP	-	39.1	31.4	19.4	7.6	-	GW-GM

7.5.3 구조구 분류 결과

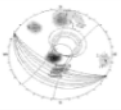
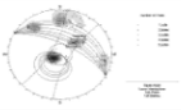
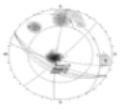
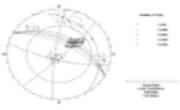
구분	구조구 1	구조구 2	구조구 3		구조구 4		구조구 5	
			3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
암상	Ke1-nlm	Kgr	Ke1-num		Ke1-nlm		Ke1-num	
BIPS	9CBB-18 9CBB-20	CBB-5 CBB-9 CBB-11 CBB-19 (SBB-12)	CBB-21	TBB-3	TBB-15	CBB-36	CBB-43	CBB-52
스캔라인	S-13 118	L-13	-	-	-	L-12	HO3	111-1 S-12
STA.	1+319	4+597	5+453	6+430	7+688	8+980	10+140	
비고	암상	암상	습곡축 및 구조물	암상	습리, 습곡축 및 단열	암상	단층, 습리 및 단열	

(2) 위기 2구간



위기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정

한 계 평 형 해 석

구분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

평가

- 암반층 평사투영 해석결과 영천방향 1:0.5~1:1.0기울기에서 전도파괴 가능성이 있음.
- 영천방향 암반비탈면 불연속면이 Toppling Zone에 위치하여 전도파괴 가능성이 있으므로 녹화공법, 낙석방지그물, 낙석방지울타리를 적용하여 안정성 확보

23.2.3 점검 및 진단 이력

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

<표 23-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	숏크리트 하단부 및 소단부에서 부분적인 마감불량, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요함.	양호
2	2023. 05. 28 ~ 2023. 06. 30	정기안전점검	숏크리트 하단부 및 소단부에서 부분적인 마감불량, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요함	양호
3	2023. 10. 23 ~ 2023. 12. 31	정기안전점검	숏크리트 하단부 및 소단부에서 부분적인 마감불량, 들뜸, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 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	숏크리트 하단부 및 소단부에서 부분적인 마감불량, 들뜸, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 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 평가되었다. 사면 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 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	1단 사면 일부구간 쐐기파괴가 조사되었으며, 기 손상부의 경우 도로 유입 가능성은 낮으나, 추가파괴가 우려되므로 낙석방지망, 숏크리트 등의 조치가 요망된다. 배수시설의 경우 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 재료분리 등이 발생된 것으로 조사되었으며, 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호

23.2.4 보수·보강이력

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

<표 23-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

23.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 23-5> 내진 설계 적용 여부

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

23.2.6 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 23-6> 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

23.3 현장조사

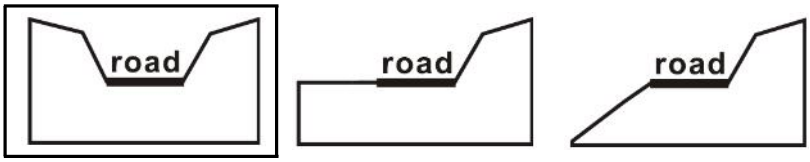
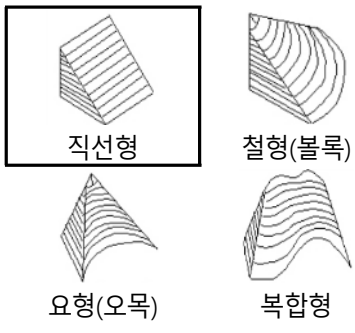
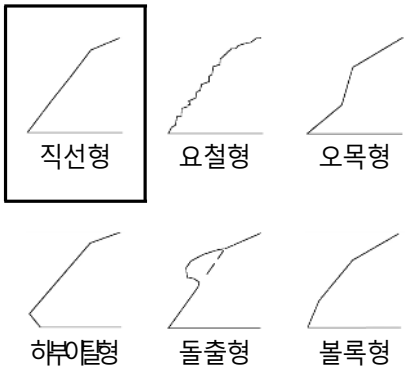
23.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 23-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 18.</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 군위군 소보면 신계리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="4">시점 : 36° 14′59″ 128° 28′24″</td></tr>
<tr><td colspan="4">종점 : 36° 14′52″ 128° 28′36″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 440m</td><td colspan="2">높 이 : 40.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">경 사/경사방향 : 44/035</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 3.0~4.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">소 단 : 8</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="8">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td>상 태</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="2">27.674~28.114k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">28.014~28.114k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">27.734~27.834k, 27.894~28.014k</td><td>균열</td></tr>
<tr><td>숏크리트+격자앵커</td><td colspan="2">27.844~28.054k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">27.694~27.844k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">27.854k</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 23-8> 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">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 rowspan="3">식 생</td><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</td></tr>
<tr><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></td><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 23-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토23		
	위경도	시점 : 36° 14′59″ 128° 28′24″ 종점 : 36° 14′52″ 128° 28′36″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	440.0m	최대높이	40.0m
	경사	44°	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	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	3.0~4.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) ■옹벽(양호) ■격자블럭(양호) ■점검로(양호)	■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) ■기타(쏘일네일링)	
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			

23.3.2 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 소보면 신계리(상주영천고속도로 27.674~28.114km)에 위치한 사면으로서 총 연장 440.0m, 높이 40.0m의 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 23-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{40.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 80.3~88.1MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{40.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{40.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 80.3~88.1MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{40.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 440m로서, 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, 3개구간으로 구분하여야 하나, 사면의 구성재료, 3구간의 연장이 짧음(40m)으로 인해 2개 구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 23-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	27.674~27.854km	180m
2구간	27.854~28.114km	260m

23.3.3 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 1개소가 존재하는 것으로 조사되었다.

<표 23-12> 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)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 23-13> 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 23-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	-
방향성	78/332	75/300	-
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	MW	MW	-

구 분	2구간		
	Set 3	Set 4	-
방향성	84/311	85/321	-
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	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 23-15> 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 23-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	4EA / 8.0	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 23-17> 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 23-18> 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. 조사결과 27.88k 1단 사면에서 낙석이 발생한 것으로 조사되었다. 낙석발생의 주된 원이은 계절적, 환경적 요인에 의해 해빙기와 우기가 반복적으로 작용함으로서 발생한 것으로 판단되며, 추가 발생 여부에 대한 주의관찰이 필요하다.

<표 23-19> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
낙 석	낙석발생	㎡	1EA / 9.0	환경적 요인	해빙기/우기

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>27.880K 1단 낙석 (3.0m×3.0m)</td><td>현 황</td><td>27.880K 1단 낙석 (3.0m×3.0m)</td></tr>
</table>

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 23-20> 인장균열 조사 결과

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

23.3.4 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 보통암인 것으로 판단된다.

<표 23-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
27.734km	50.1	93.7	보통암	1단
27.744km	47.8	84.5	보통암	1단
27.804km	48.0	85.5	보통암	1단
27.814km	48.7	88.1	보통암	1단
28.074km	46.6	80.3	보통암	1단
28.084km	48.4	86.9	보통암	1단
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 46.6~50.1로 측정되었으며, 추정강도 80.3~93.7MPa로 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 23-22> 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 비탈면의 사면보강공으로 격자앵커, 쏘일네일링이 시공되었으며, 기능발휘에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 23-23> 사면보강공 조사 결과

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

격자 앵커 전경

격자 앵커 전경

23.4 안전성능평가

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

23.4.1 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 0.08~0.10으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 23-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{40.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 80.3~88.1MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{40.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{40.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 80.3~88.1MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{40.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 440m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~4로 표기하였다.

<표 23-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	27.674~27.854km	180m	암반사면	Set1, Set2
2구간	27.854~28.114km	260m	암반사면	Set3, Set4

<표 23-26> 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 23-27> 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 23-28> 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 23-29> 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 23-30> 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 23-31> 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 23-32> 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 23-33> 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 23-34> 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 23-35> 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 23-36> 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 23-37> 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 23-38> 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 23-39> 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 23-40> 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 23-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토23		
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**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 23-42> 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 23-43> 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 23-44> 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 23-45> 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 23-46> 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 23-47> 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 23-48> 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 23-49> 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 23-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	1단 9.0㎥	d
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 23-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H$ = 38.2kJ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(1.2t),□H= 낙석 높이(3.5m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 1단 이완암 조사됨	b
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 23-52> 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 23-53> 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 23-54> 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 23-55> 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 B등급으로 평가되었다.

<표 23-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토23		
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	7	7	d
	예상 낙석 에너지	4		
총점			18	
결함지수		0.18		
상태안전성능평가 결과		**B**		

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 23-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
440.0m	1구간	27.674~27.854km	a(0.12)	B	인장균열 없음
	2구간	28.854~28.114km	b(0.18)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

23.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

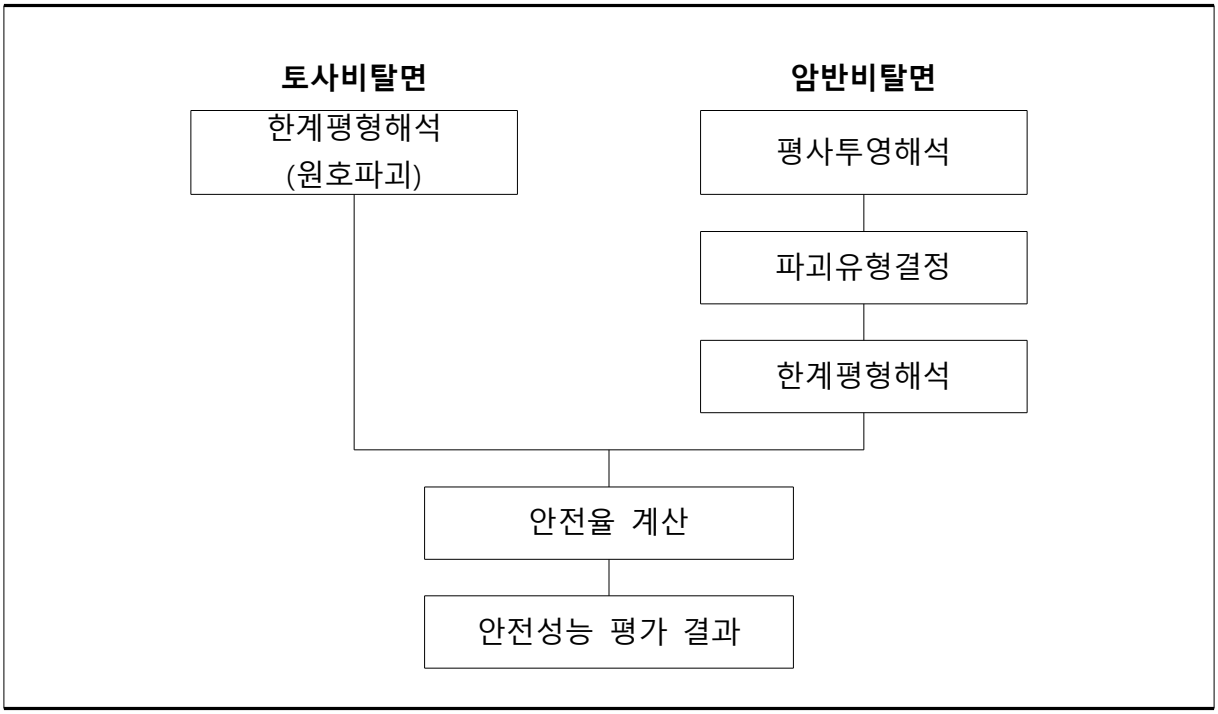
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 23-5> 구조안전성능 평가과정

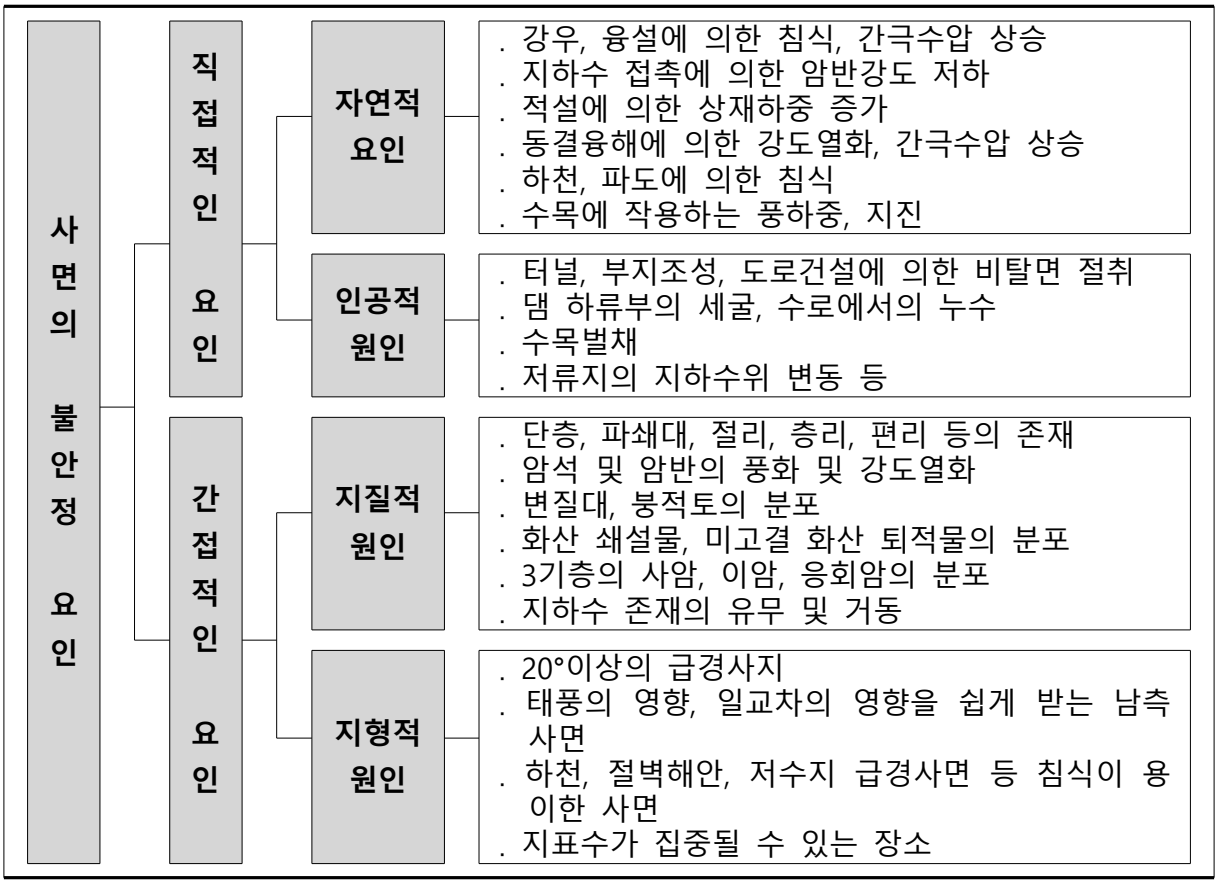
<표 23-58> 유형별 안정해석 범위

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

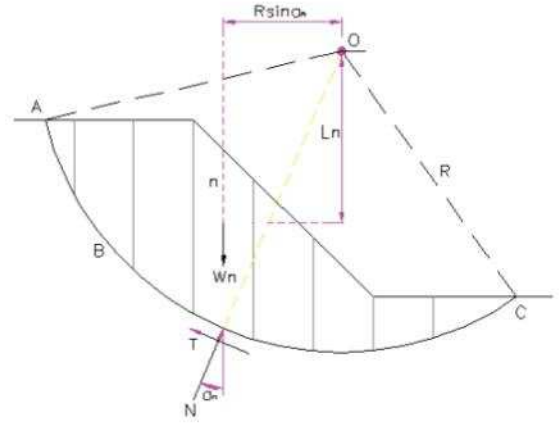


<그림 23-6> 구조안전성능 평가과정

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

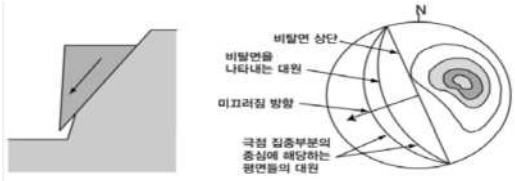
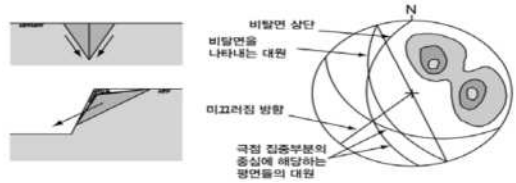
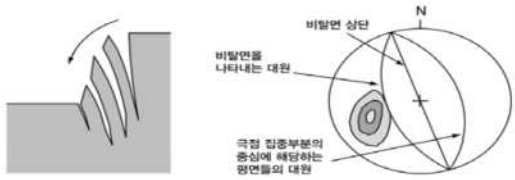
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 23-7> 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 23-59> 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 23-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

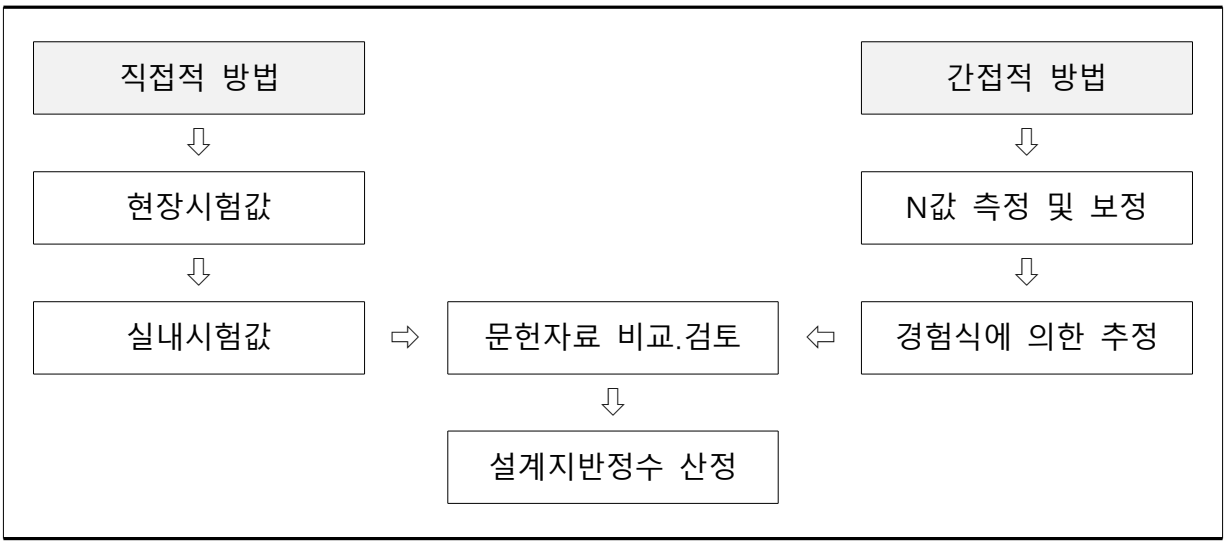
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 23-61> 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 23-62> 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 23-63> 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 23-64> 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 23-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (3공구)	풍화(잔적)토	18.5	27	20	
	풍화암	19.5	29	35	
	기반암	25.0	35	230	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 23-66> 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 23-67> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~223.7	26.7±0.8	223.3±1.0	223.3±1.0	223.3~25.6
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 23-68> 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 23-69> 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 23-70> Trueman (1988)

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

<표 23-71> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 223.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	18.5	27	20	0.3	
풍화암	19.5	29	35	0.3	
기반암	25.0	35	230	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 23-72> 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

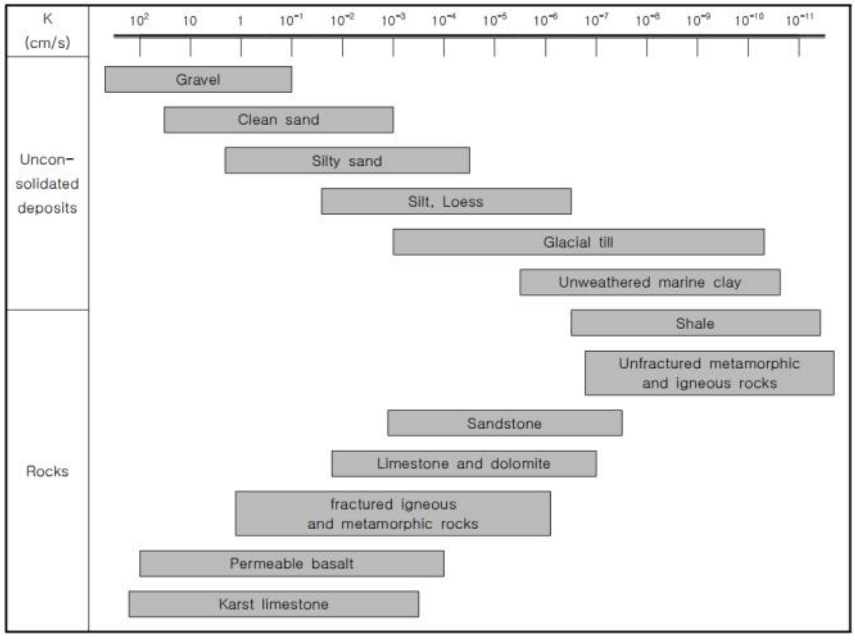
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 23-73> 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 23-74> 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 23-8> 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 23-75> 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

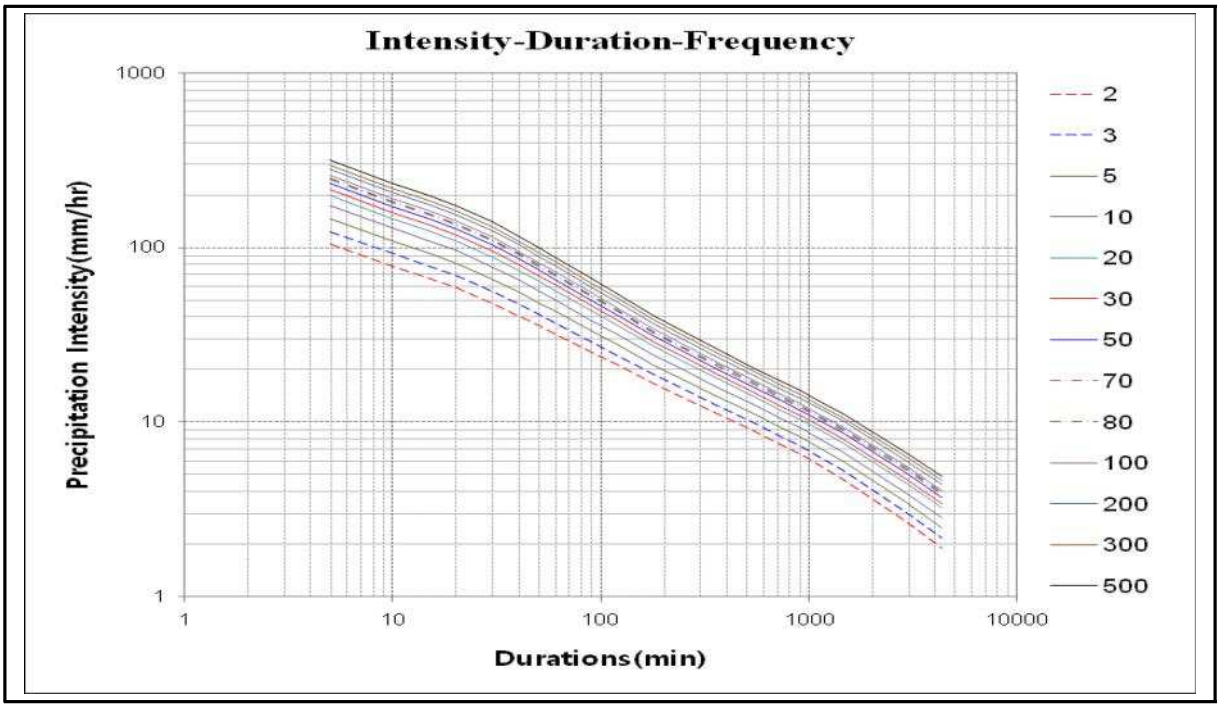
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 23-9> 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 23-10> 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 23-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 23-76> 설계지반운동 수준

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

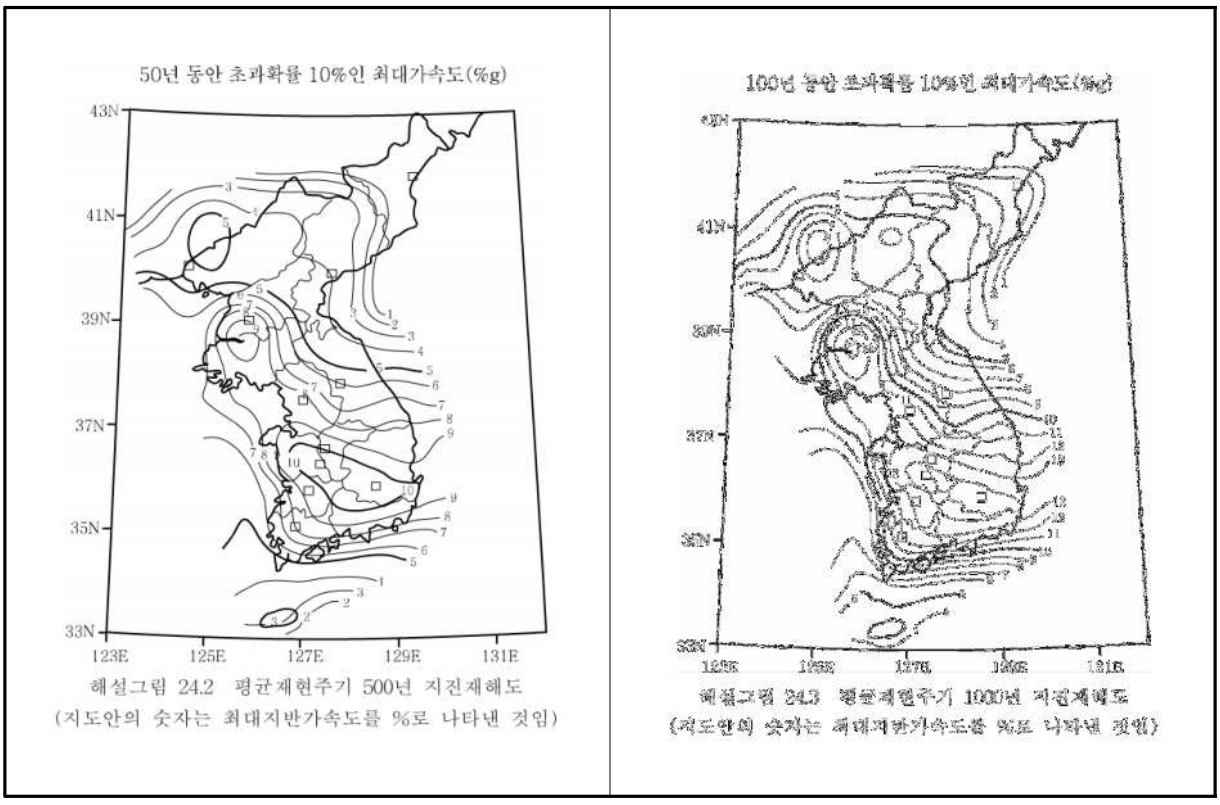
2) 설계지반운동

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.



<그림 23-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 23-77> 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 23-78> 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

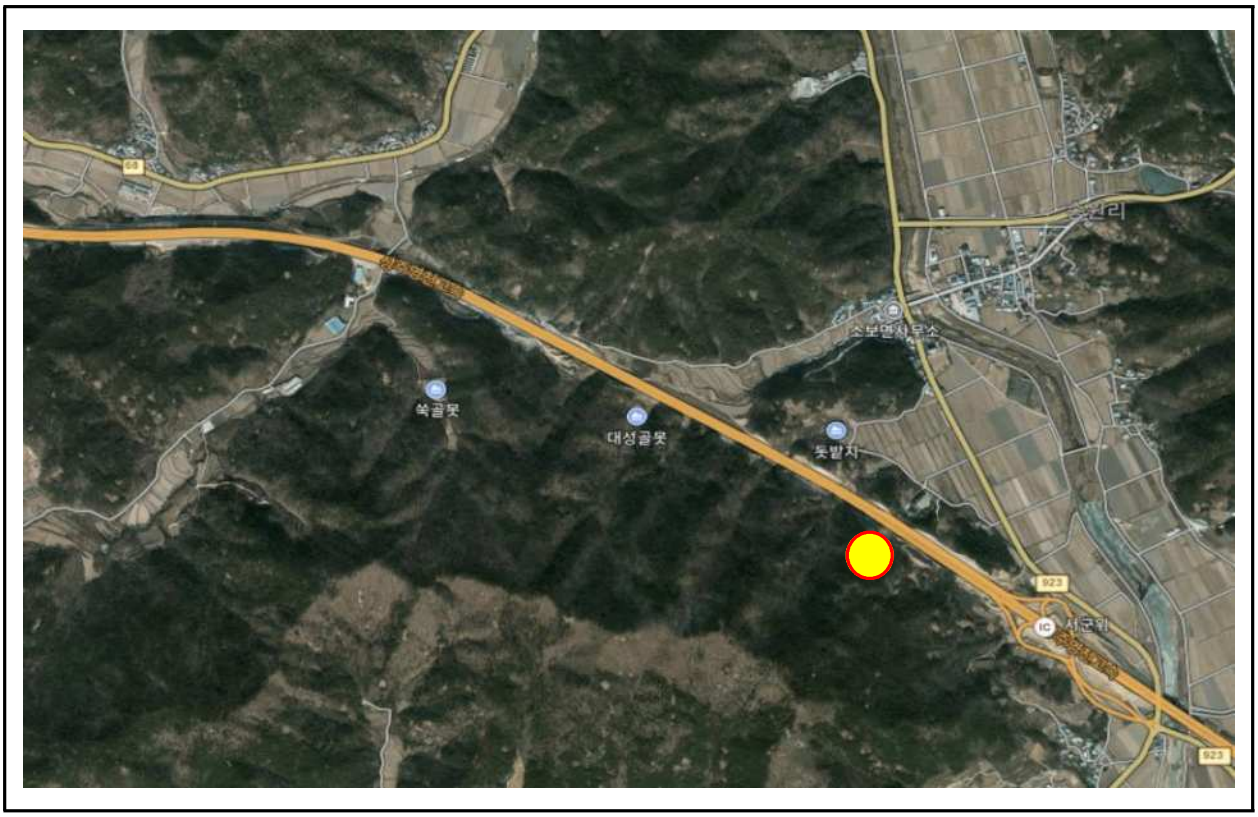
3) 지진가속도계수 선정

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 23-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

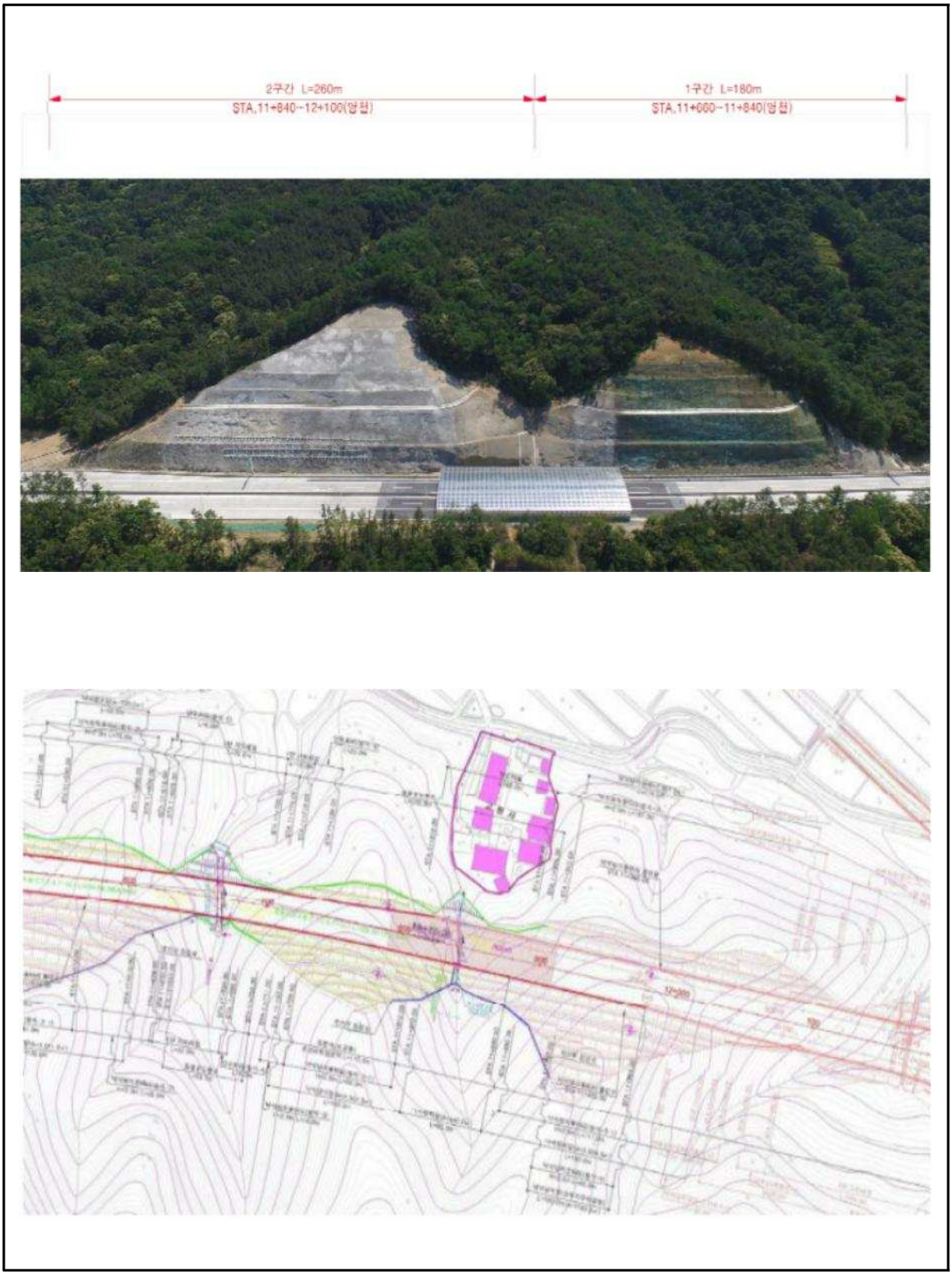
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토23	경상북도 군위군 소보면 신계리	27.674 ~ 28.114	STA.27+784	40.0	4.0	36.0	-	2017	44/035
			STA.27+954	40.0	3.0	37.0	-	2017	44/035



<그림 23-13> 영천절토23 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토23 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



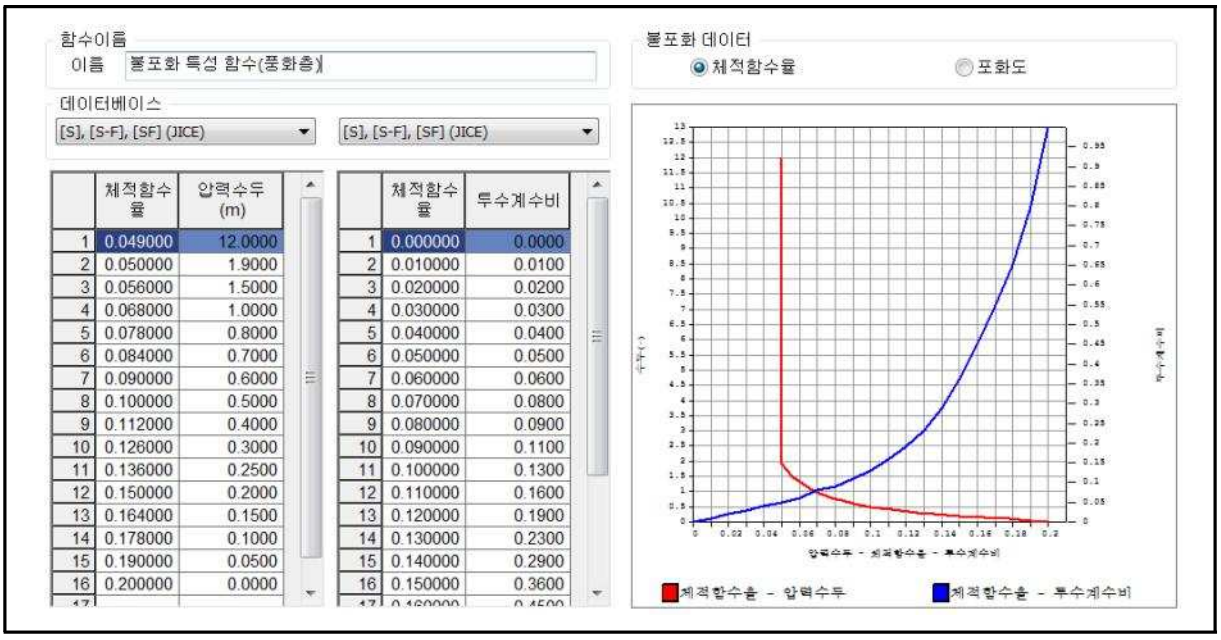
<그림 23-14> 영천절토23 검토대상 비탈면구간

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	18.5	27	20	7.4E-04	
풍화암	19.5	29	35	6.2E-04	
기반암	25.0	35	230	1.5E-04	

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

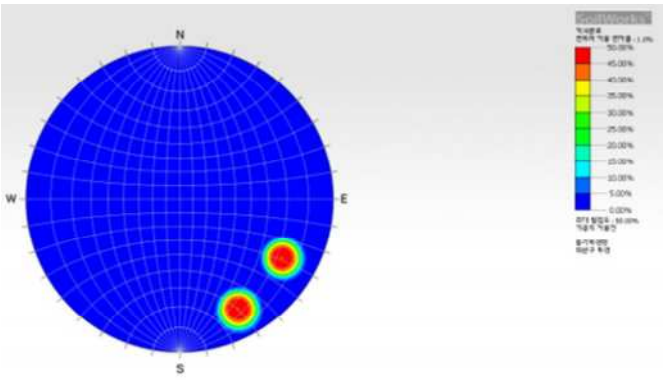
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 23-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

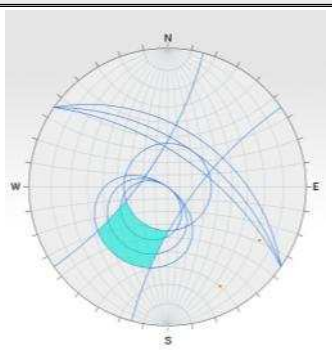
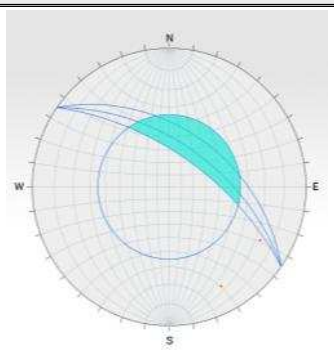
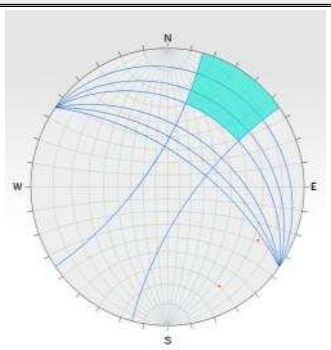
3) 1구간 (STA.27+674 ~ 27.854)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 78 75	dip direction 332 300

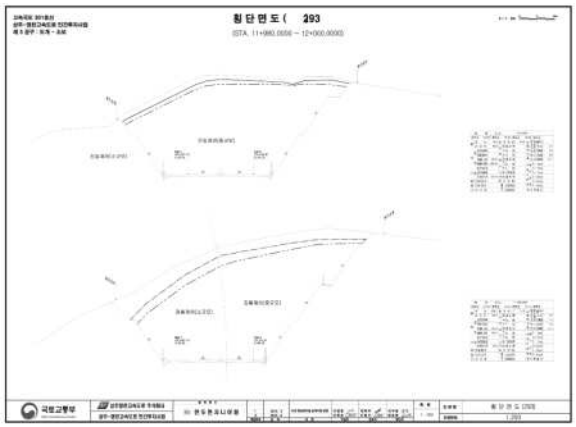
◦ 해석결과

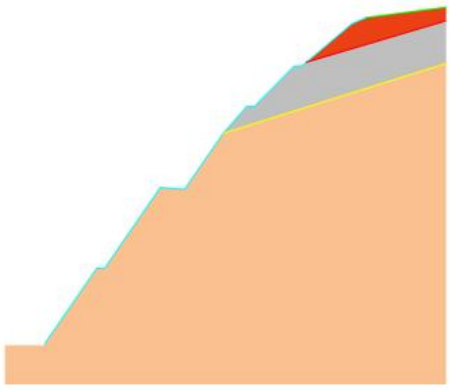
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

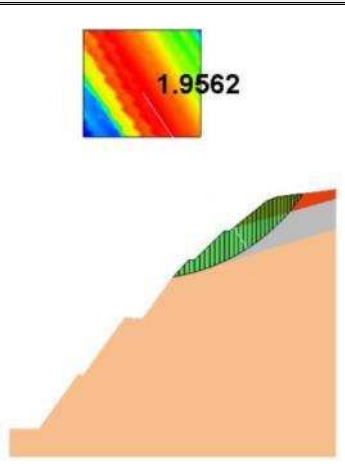
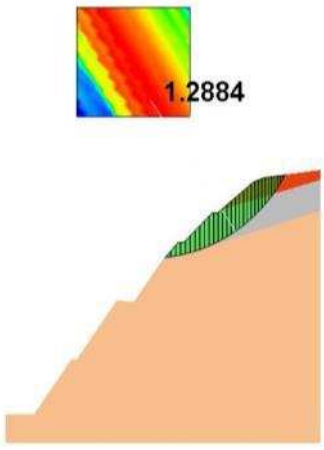
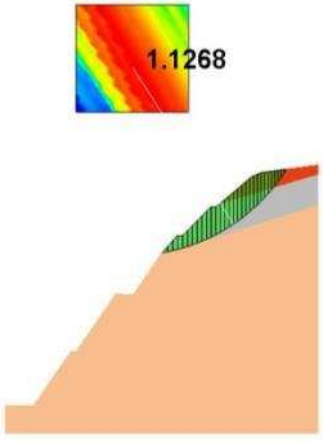
◦ 검토단면





대표단면 : STA.27+784, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.95	안전율 : 1.28	안전율 : 1.12

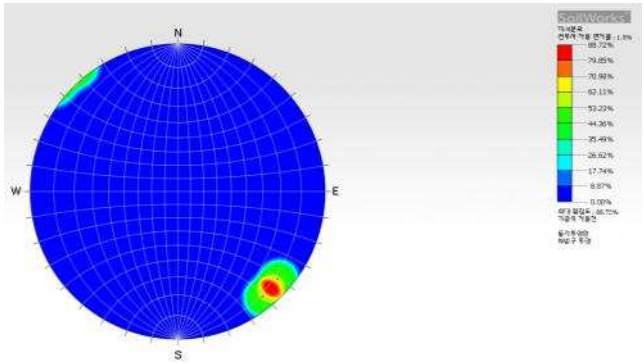
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

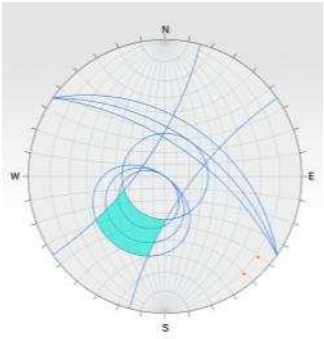
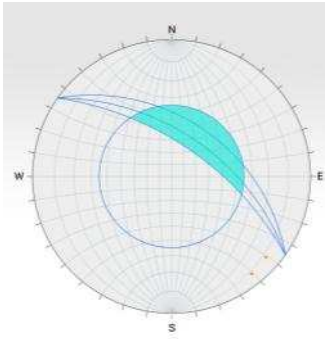
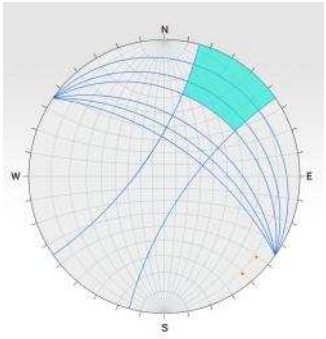
4) 2구간 (STA.27+854 ~ 28+114)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 84 85	dip direction 311 321

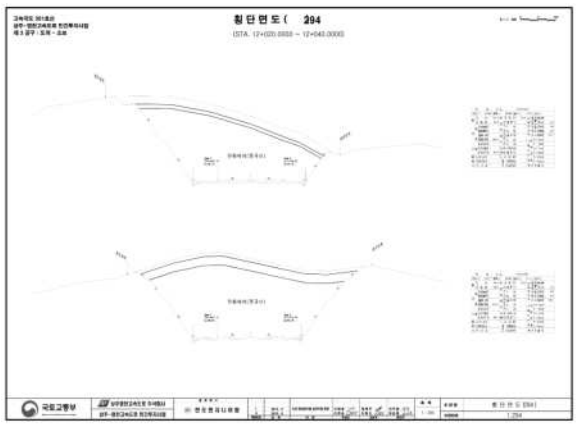
◦ 해석결과

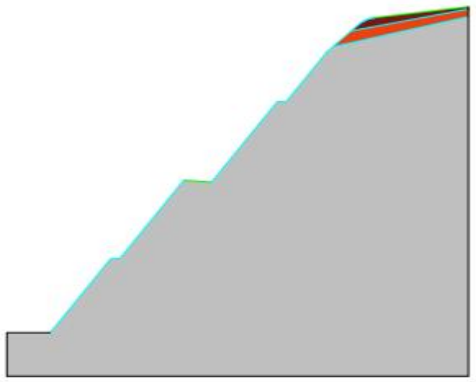
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

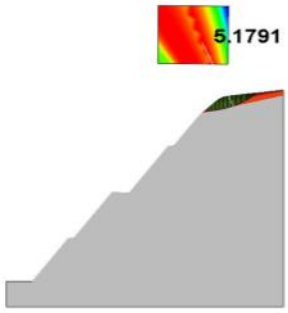
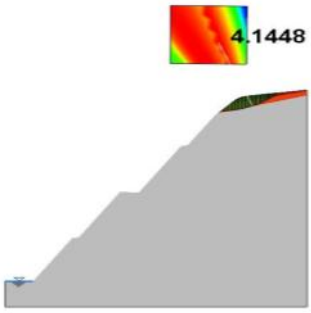
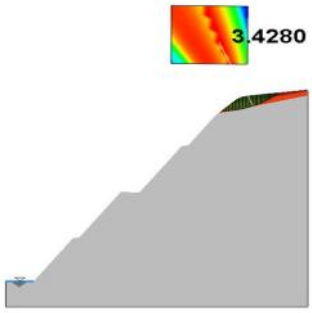
◦ 검토단면





대표단면 : STA.27+954, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 5.17	안전율 : 4.14	안전율 : 3.42

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 23-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토23**		
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	1.95	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.28	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.12	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

23.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 23-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토23**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.180	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.180	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 23-82> 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

23.5 내구성능 평가

23.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 23-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 4/40 = 0.1
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		보통암 : 100.0MPa	추정
면적	전체	4,108㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	8,261㎡	
표면보호공	식 생	1,889㎡	
	숏크리트	2,242㎡	
사면보강공	격자앵커	1,452㎡	

23.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 23-84> 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

23.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 23-85> 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 23-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
27.734km	93.7	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
27.744km	84.5	-	
27.804km	85.5	-	
27.814km	88.1	-	
28.074km	80.3	-	
28.084km	86.9	-	
평균값	86.5	-	
등급	**A등급**		

<표 23-87> 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 23-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	1,889/1,889㎡	100.0%	0.0/2,242㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 23-89> 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 23-90> 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 23-91> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	-
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	MW	MW	-
	c(10)	c(10)	-
합 계	35	35	-
평 균	7.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 23-91> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(2구간)		
	Set 3	Set 4	-
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	MW	MW	-
	c(10)	c(10)	-
합 계	35	35	-
평 균	7.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 23-92> 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	
2구간 - Set 3	c	0.43	
2구간 - Set 4	c	0.43	
평균값	c	0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**C**	

23.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 23-93> 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 23-94> 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 23-95> 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

23.6 종합평가

23.6.1 종합평가 개요

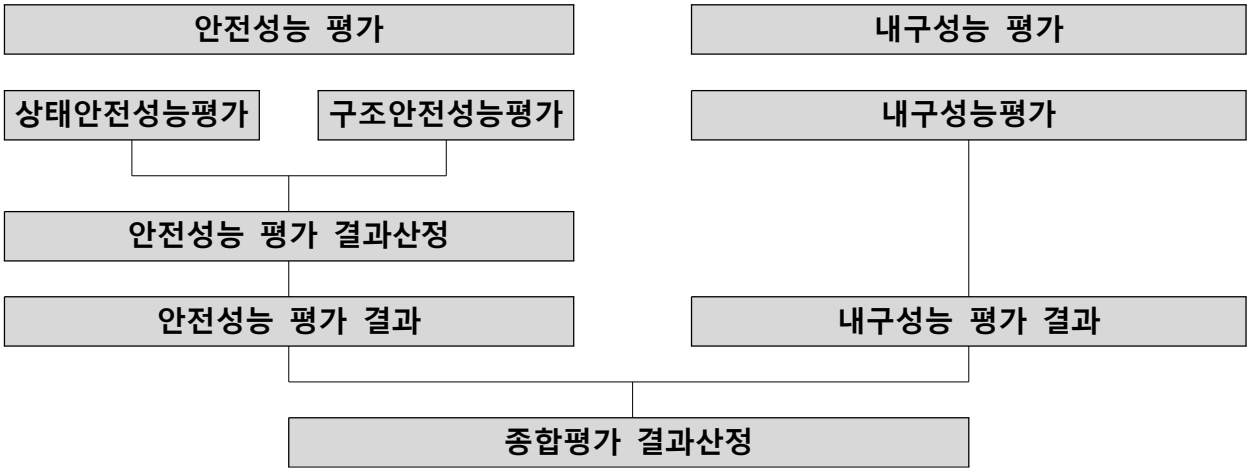
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 23-16> 종합평가 흐름도

23.6.2 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 23-96> 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 23-97> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토23		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.180	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.220	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.180 × 0.8) + (0.220 × 0.2) = 0.188 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 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 23-98> 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

23.7 유지관리 전략 제안

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

23.7.1 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 23-99> 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				

23.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.188)"으로 평가되었다.

<표 23-100> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.180	0.220	0.188
평가결과	B	B	B

23.7.3 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 23-101> 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
낙석		낙석발생	주의관찰	유지관리
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.

23.8 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 B등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 소단배수로 균열, 낙석발생이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표와 동일한 "B등급" 인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제24장 상주절토24

24.1 대상 시설물 현황

24.2 관련 자료의 분석

24.3 현장조사

24.4 안전성능평가

24.5 내구성능평가

24.6 종합평가

24.7 유지관리전략 제안

24.8 종합결론

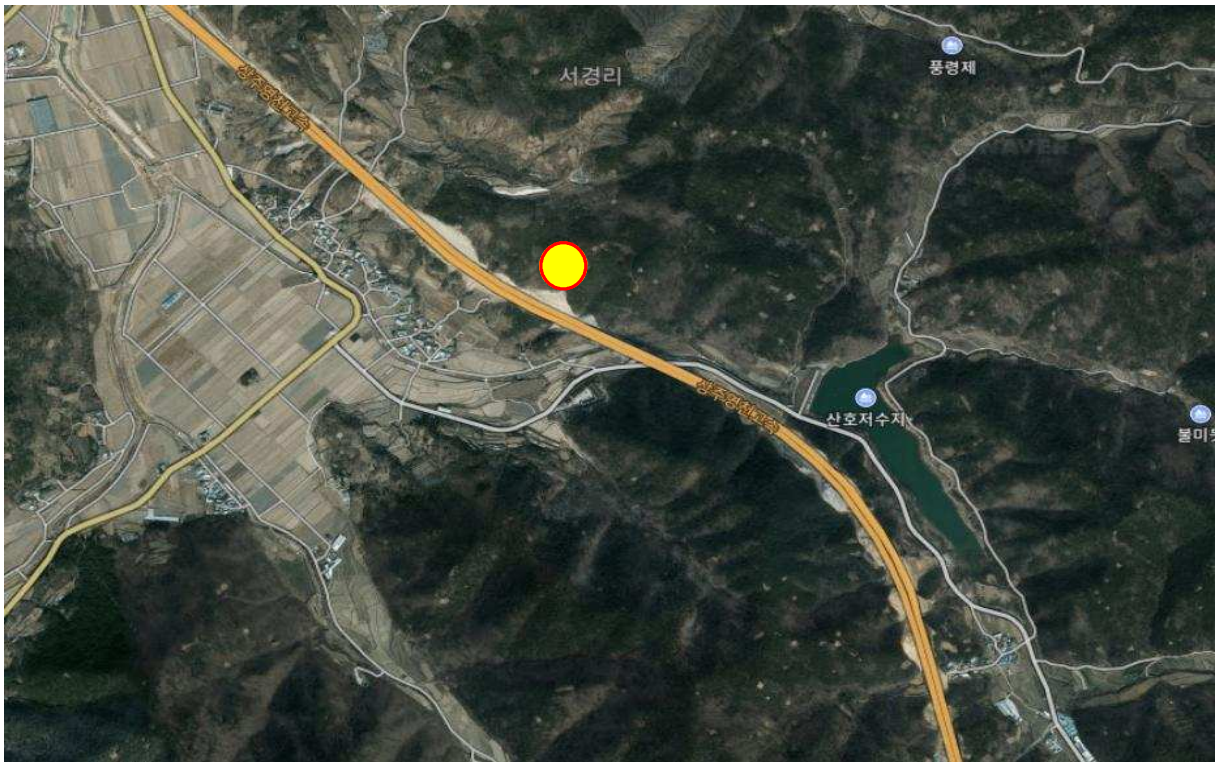
제24장 상주절토24

24.1 대상 시설물 현황

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

<표 24-1>사면 일반사항

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

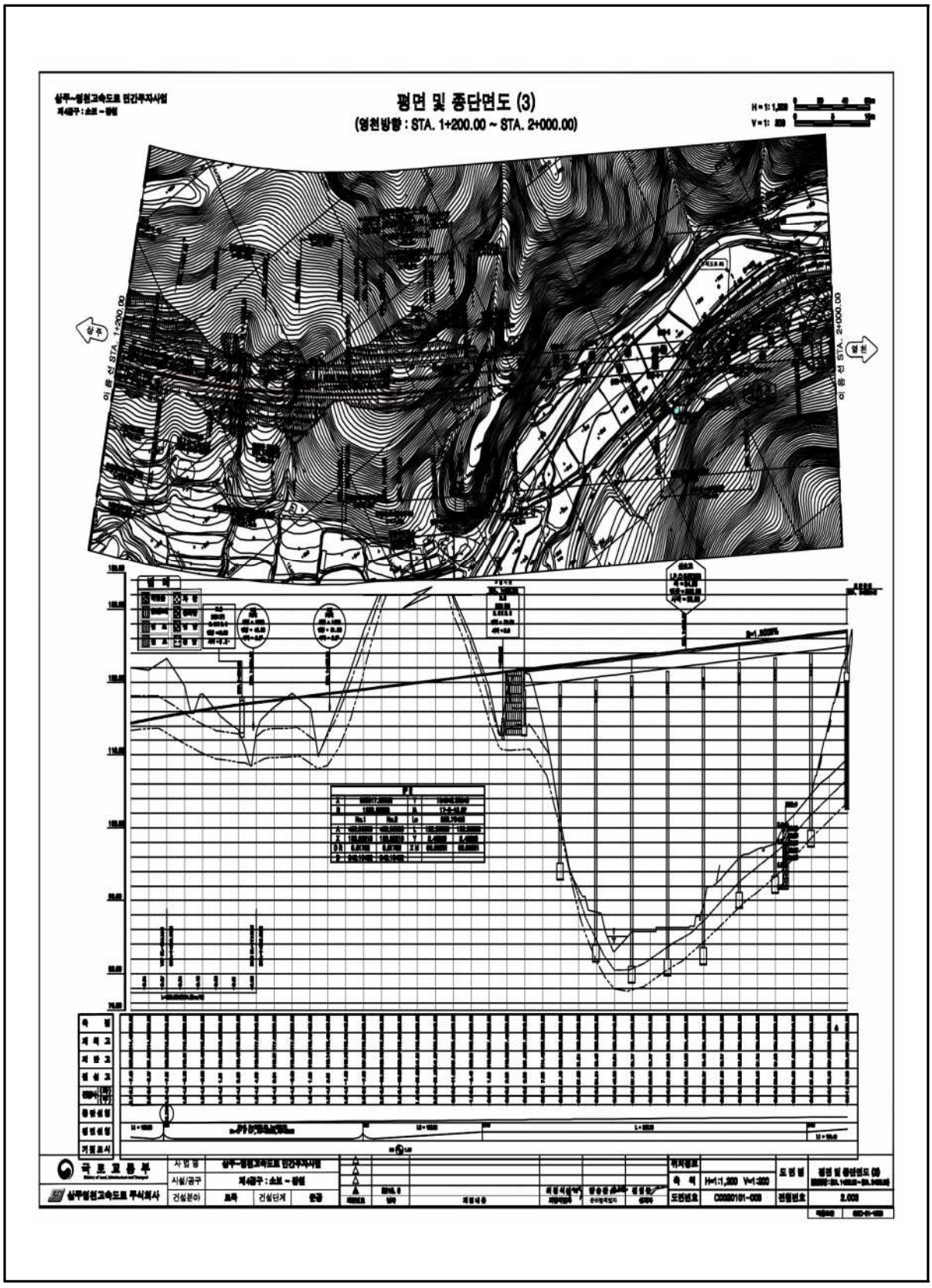


<그림 24-1>위치도

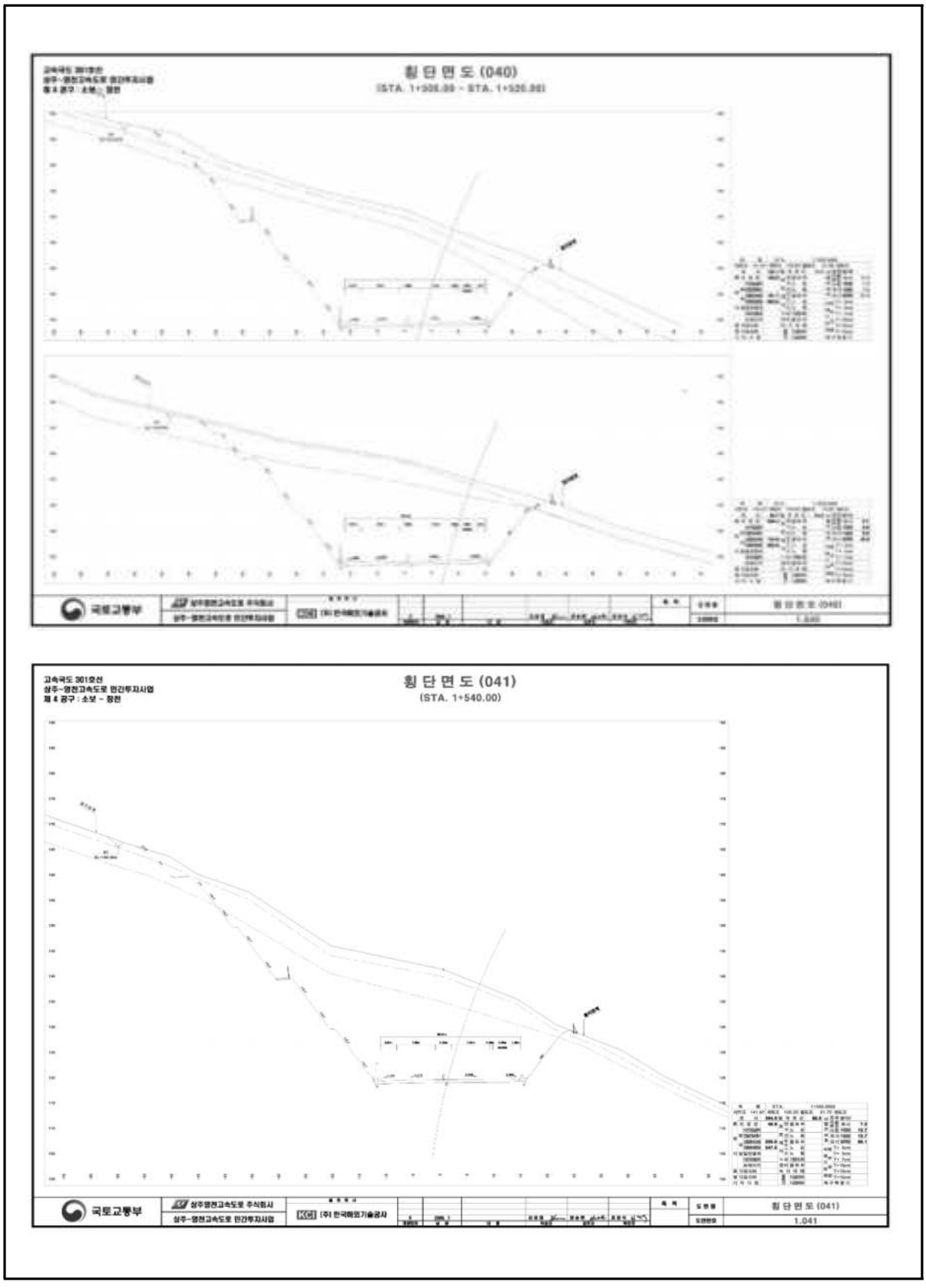
<그림 24-2> 전경사진

상단 전경	정면 전경
1소단배수로 전경	산마루측구, 점검계단 전경
하부 전경	야생동물 울타리 전경

<그림 24-2> 전경사진(계속)


평면 및 종단면도 (3)
(영천방향 : STA. 1+200.00 ~ STA. 2+000.00)
H = 1: 1,000
V = 1: 200
상주
영천
이 용 선 STA. 1+200.00
이 용 선 STA. 2+000.00
국토교통부
상주영천고속도로 주식회사

<그림 24-3> 평면도



<그림 24-4>표준횡단면도

24.2 관련 자료의 분석

24.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

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

<표 24-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 4공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 4공구
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 4공구
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.

24.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 4공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

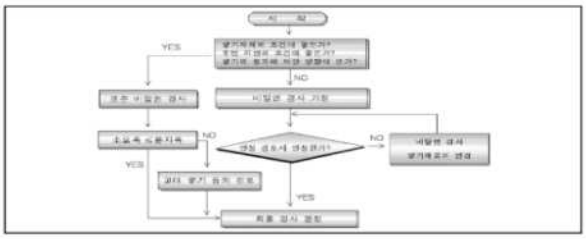
7.4 비탈면 설계기준

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

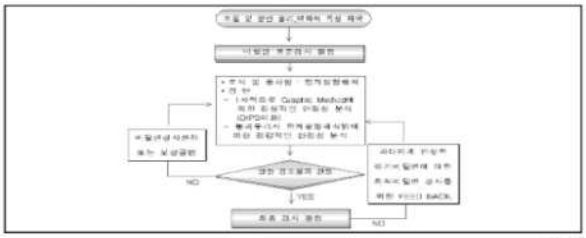
7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 풍기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 암기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



203

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기 범위]

원지반의 토질		암 석 기 능 이	기 울 기	분 류 기 호 (통일분류)
통직토	강우시에도 지하수위가 설계고보다 낮은 경우 강우시에도 지하수위가 설계고보다 높아질 경우 상시 지하수위가 설계고 보다 높은 경우		1 : 1.2 1 : 1.5 1 : 1.8~2.0	
도 해	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	-	1:1.5 이상	SW, SP
사질토	밀실한 것	5m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SP
		5 ~ 10m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 암괴섞인 사질토	밀실하고 입도분포가 좋은것	10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
		10 ~ 15m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않거나 입도분포가 나쁜것	10m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		10 ~ 15m	1:1.2 ~ 1:1.5	
점성토		0 ~ 10m	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5	

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

[암반비탈면의 절취기울기]

암석종류 (강 도)	암반 파쇄상태 (NX 시추시) T.C.R	R.Q.D	굴 착 난 이 도	기울기	소 단 설 치
풍화암 또는 연 · 경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하	10% 이하	리핑암반	1:1.0 ~ 1:1.2	H=5m마다 소단 1m폭 (리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음)
강한 풍화암으로서 피쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연 · 경암	20~40%	10~25%	발파암반 (연암반)	1:0.8 ~ 1:1.0	H= 10m 마다 소단 1~2m 폭
	40~60%	25~50%	발파암반 (보통암반)	1:0.7	H= 10m 마다 소단 1~2m 폭
	60% 이상	50% 이상	발파암반 (경암반)	1:0.5	H= 20m 마다 소단 3m 폭

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

206

다. 암기 비탈면

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

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

국내 암기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리 등이 규칙적 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)

205

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, 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

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

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

208

2) 지형 및 지질

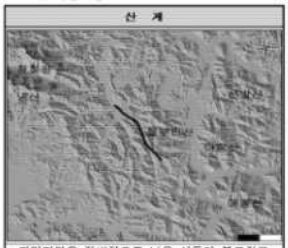
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

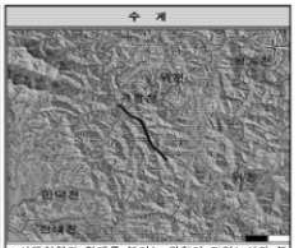
가. 지형 개요

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

나. 지질특성



- 과업지역은 전반적으로 낮은 산들이 분포하고 있으나 북서쪽에는 비교적 높은 청학산과 냉산이 위치하고 있음
- 과업노선은 용무리산을 따라 위치하며 노선의 동쪽으로는 마항산과 대봉산이 위치함



- 사행하천의 형태를 보이는 위천이 과업노선의 북쪽에 위치함
- 위천의 지류인 곡정천이 과업노선의 중점부와 인접한 곳에 위치하며 북쪽으로 흐르고 있음
- 과업지역의 여러 하천들은 여러 개의 지류를 형성하며 복잡한 형태를 보임

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
낙동층(안경산층원역질 사암)	• 낙동층의 하부층에 해당하는 안경산층원의 역질사암과 역암은 원마도가 불량한 식렴과 일관리장석이 주를 이루며, 한점물과 변질된 유색광물의 주로 산출됨
낙동층(관당리층원세일)	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방해석이 침전 또는 충전되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
하산동층 사암	• 석영은 1 mm 내외의 입경로 원마도는 불량한 경향이 우세 • 하산동층 사암은 근거리에서 이동하여 형성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명		특 성	비 고
제4기		충적층(Q_a)		• 하천 및 산록 퇴적물	-
		---- 부정합 ----			
중생대	백악기	충상암맥(K_d) 산성암맥(K_{ad})		• 괴상의 치밀	• 천 구간에서 기반암을 관입
		유천층군	안산암질암(K_{at})	• 주로 용회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		---- 관입 및 분출 ----			
		신동층군	낙동층 (ka1)	금당리층원 (Ke1-nk)	• 사암과 역질사암, 세일의 교호 • 주로 역질 사암 우세

마. 지체구조

- 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하여 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 중부지역을 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

4.2.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 목 적

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

(2) 원리 및 방법

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

4.3 지층분포 특성을 위한 조사

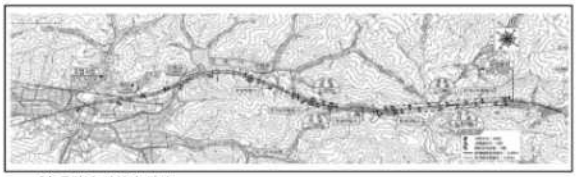
4.3.1 개 요

가. 기본 방향

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

나. 조사 위치 및 수량

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



(1) 굴절법 탄성파 탐사

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 및 교량구간	0+400 ~ 3+560	종	3,160
	4+620 ~ 4+980	종	360
	1+200	횡	75
	1+540	횡	95
	2+380	횡	115
	2+440	횡	205
	2+680	횡	75
	2+860	횡	75
	2+980	횡	85
	3+200	횡	60
	3+340	횡	75
	3+520	횡	75
	3+720	횡	95
	4+760	횡	115

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 및 교량구간	4+880	횡	115
	5+240	횡	110
산법터널 시점	3+950 ~ 4+030	종	80
	3+980 ~ 4+060	종	80
	4+020	횡	100
산법터널 중점	4+275 ~ 4+375	종	100
	4+300 ~4+380	종	80
	4+340	횡	90
평호터널 시점	5+270 ~ 5+370	종	100
	5+320 ~ 5+420	종	100
	5+360	횡	115
평호터널 중점	7+050 ~ 7+150	종	100
	7+060 ~ 7+160	종	100
	7+140	횡	115

구 분	공 번	STA.	X	Y	표고(EL.m)	시추심도(m)
평호터널	TBB-17	영천 5+761(우14.3m)	300380.348	156935.046	296.494	125.00
	TBB-18	상주 5+910(좌27.1m)	300302.758	157089.617	282.280	108.10
	TBB-19	영천 6+091(우19.9m)	300129.558	157149.737	244.378	64.00
	TBB-20	상주 6+196(좌16.4m)	300079.965	157269.168	276.214	103.60
	TBB-21	영천 6+386(우10.6m)	299930.424	157398.667	280.371	105.80
	TBB-22	상주 6+495(좌9.5m)	299863.393	157464.232	283.730	122.00
	TBB-23	영천 6+666(우11.8m)	299704.824	157536.842	296.878	135.00
	TBB-24	상주 6+754(좌19.5m)	299666.016	157643.618	273.975	100.00
	TBB-25	영천 6+974(우27.6m)	299463.961	157729.197	193.527	44.00
	TBB-26	상주 7+110(좌12.4m)	299392.301	157871.839	183.937	21.00
	TBB-27	상주 7+129(좌9.6m)	299375.279	157881.714	182.078	21.00
	TBB-28	영천 7+119(우28.1m)	299353.348	157820.901	180.080	31.00
	TBB-29	영천 7+142(우20.8m)	299340.218	157840.161	175.463	17.00

- 교량구간

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

- 비탈면구간

구 분	공 번	STA.	X	Y	표고(EL.m)	시추심도(m)
우기구간	CBB-12	영천 2+968(좌26.4m)	302875.5881	155817.758	157.296	15.00
	CBB-13	영천 2+993(우33.2m)	302837.722	155765.591	166.484	32.00
	CBB-20	영천 3+719(우32.6m)	302130.296	155921.334	179.089	25.00
	CBB-24	상주 5+214(좌42.2m)	300833.331	156640.140	222.850	30.00
좌기구간	SBB-10	영천 2+876(좌15.3m)	302962.858	155782.233	130.859	2.00
	SBB-13	상주 3+713(좌5.8m)	302147.045	155974.590	153.032	7.70
	SBB-14	상주 3+785(좌9.5m)	302077.795	155995.141	152.648	9.70
	SBB-15	영천 3+799(우17.0m)	302054.023	155951.890	159.657	7.40
	SBB-19	상주 5+035(좌5.0m)	300948.791	156499.590	180.703	7.00
	SBB-20	영천 5+097(우10.7m)	300883.918	156500.897	184.677	7.60
	SBB-21	영천 5+251(좌5.1m)	300775.986	156612.552	199.707	7.00

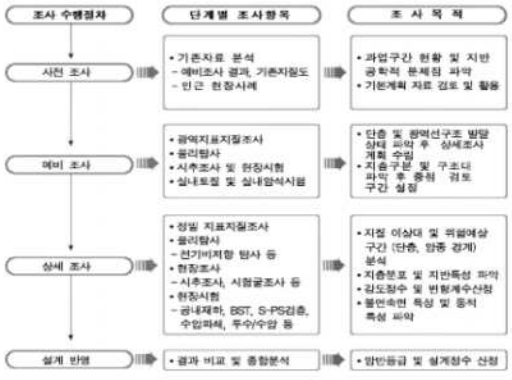
3) 지반조사 보고서

제 2 장 조 사 계 획

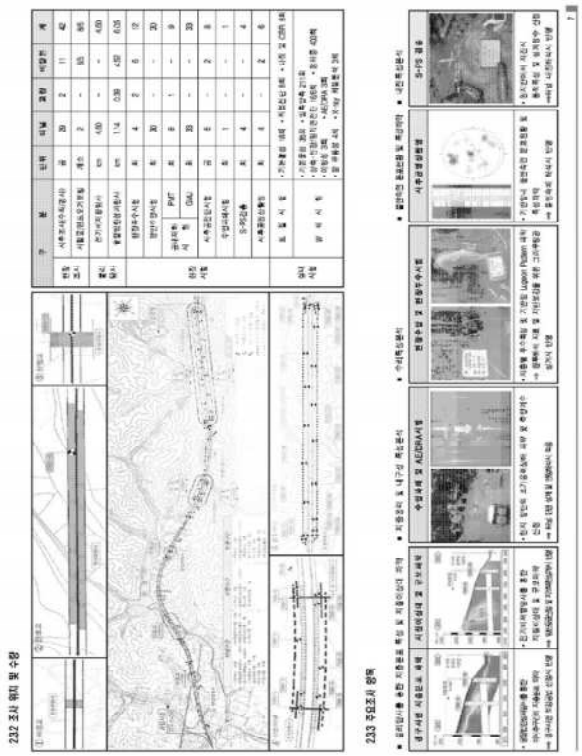
2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

가. 조사 기본방향

나. 조사 수행 흐름도



3



3.2 암반의 분류 및 기준

3.2.1 암반분류 방법

암반 분류	• 한국도로공사, 철도청, 한국기술용역협회 및 서울지하철 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류하고 더넓구간은 암종으로 표시하여 RQD, RMR 및 Q 분류에 의해 암반을 분류하고 분석을 수행함
기계 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 작성 방법"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 흔색의 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, 거칠기등) 등을 자세하게 기재함

가. RQD에 의한 암반분류(Deere, 1968)

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

나. RMR에 따른 암반등급(Bieniawski, 1974)

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

다. Q값에 따른 암반등급(Banton, 1974)

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

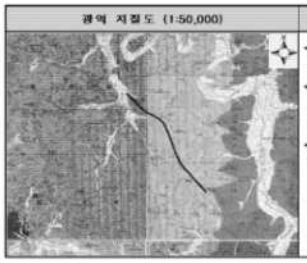
• 터널구간에 분포하는 암반에 대하여 유사한 공학적 특성을 보이는 몇 개의 군으로 분류
• 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 흔색에 대한 접두용어를 사용

16

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:50,000)	분 석 내 용
	• 백악기 경상층군의 신동층군의 낙동층(언화동층), 하산동층, 진주층(동명층)이 분포 • 낙동층 중·상부와 하부 하산동층은 하도 말단 및 주변 범람원 환경하에서 퇴적되어 하도 사암 및 범람원 기원의 세립 퇴적층이 교호 • 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 파수향 주향이동 단층인 신원단층, 관천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 암산단층계가 발달

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분	분 석 내 용
터널구간	• 붕적층은 0.4~4.0m, 풍화토는 1.6~4.2m, 풍화암은 0.5~2.5m 두께로 분포 • 연암은 0.0~5.0m, 경암은 1.6~16.5m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=23~76/0~30, 경암 TCR/RQD(%)=60~100/12~100로 퇴적암으로 구성
교량구간	• 붕적층은 0.5~0.8m, 풍화토는 0.6m, 풍화암은 2.8~4.0m 두께로 분포 • 연암은 1.4~4.5m, 경암은 2.8~16.1m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=26~93/0~40, 경암 TCR/RQD(%)=60~100/71~100로 퇴적암으로 구성
비탈면구간	• 붕적층은 0.5~1.4m, 풍화토는 0.7~1.6m, 풍화암은 1.0~1.9m 두께로 분포 • 연암은 1.5~7.5m, 경암은 3.3~3.6m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=26~60/0~9, 경암 TCR/RQD(%)=90~100/67~100로 퇴적암으로 구성

47

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 쌓기 및 깎기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대쌓기 비탈면과 고깎기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태의 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 저항면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사의 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

7.1.2 검토내용

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

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

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m 이상, 쌓기구간은 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
깎 기 부	- 비탈면 높이가 10m를 초과하는 경우 - 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 - 쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 - 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 - 지질특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 빈번하다 경우 - 흉수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 - 쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) - 내진안정해석이 필요한 경우
쌓 기 부	- 비탈면 높이가 20m 이상인 경우 - 비탈면기울기가 표준기울기보다 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 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.

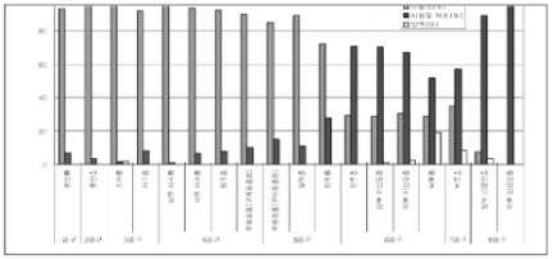
구 분		구 간 (STA.)	연 장 (m)	대표단면 (STA.)	최대쌓기고 및 깎기고	지층현황	조사내용 공번	조사내용 조사위치 (STA.)	비 고
쌓기구간	쌓기1구간	1+090 ~ 1+260	240	1+200(상주방향)	27.40	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 탐사수행
	쌓기2구간	1+430 ~ 1+610	180	1+540(상주방향)	45.47	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 탐사수행
	쌓기3구간	2+220 ~ 2+560	340	2+300(영천방향)	53.24	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 탐사수행
	쌓기4구간	2+560 ~ 2+750	190	2+640(영천방향)	32.00	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 탐사수행
	쌓기5구간	2+810 ~ 2+860	50	2+840(영천방향)	14.74	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 탐사수행
	쌓기6구간	2+910 ~ 3+050	140	2+980(영천방향)	27.72	풍적층,풍화토 풍화암,연 암	CB3-12 CB3-13	2+998(영천) 2+968(영천)	

7.6.3 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

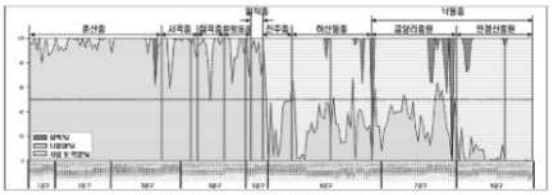
가. 지질 및 암종특성

① 지질특성

- 본 과업노선(상주~영천고속도로 제4공구) 경상분지의 희적암 지역에 위치하여 시질부터 낙동층, 하산동층, 진주층의 순서로 분포함.
- 구성암석은 이암과 세일로 구성된 니질암과 사암 및 역암으로 구성되며 니질암은 28.9~30.4%의 구성비를 보임
- 니질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특징을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 짧은 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄

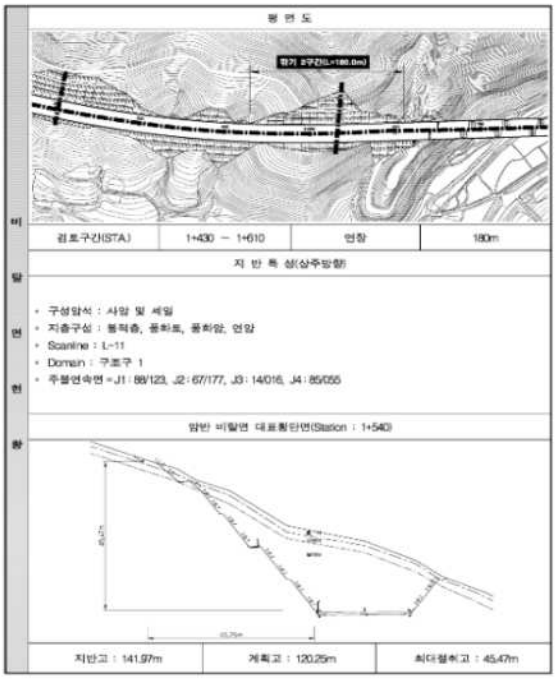


< 상주~영천고속도로 구간별 분포 층군 >



< 상주~영천고속도로 구간별 분포 층군 지질종단도>

(2) 쌓기 2구간



24.2.3 점검 및 진단 이력

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

<표 24-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.	양호
4	2024. 03. 18 ~ 2024. 05. 28	정기안전점검	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.	양호
5	2024. 09. 16 ~ 2024. 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)~보통풍화(MW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토24 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 배수시설의 경우 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 재균열, 망상균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다.	양호

24.2.4 보수·보강이력

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

<표 24-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

24.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 24-5> 내진 설계 적용 여부

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

24.2.6 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 24-6> 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

24.3 현장조사

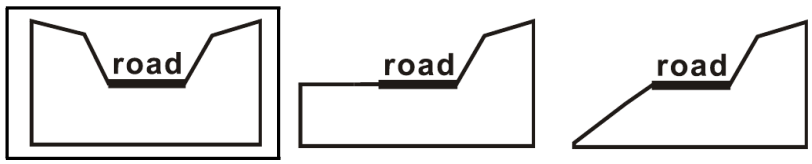
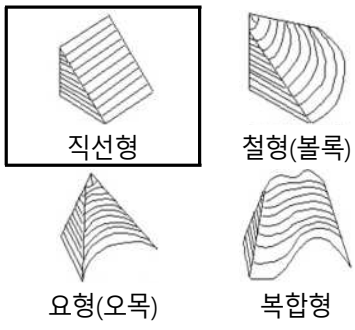
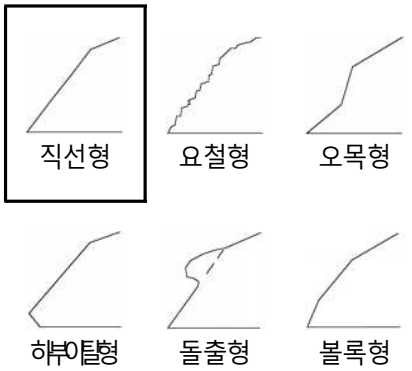
24.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 24-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 28.</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 소보면 서경리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 23′44.3″ 128° 49′73.8″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 23′36.9″ 128° 49′93.2″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 175m</td><td colspan="2">높 이 : 45.3m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/208</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 : 7</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>식생현황</td><td colspan="2">30.413~30.588k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">30.413~30.588k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">30.453~30.563k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">30.473~30.573k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지망</td><td colspan="2">30.473~30.573k</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 24-8> 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">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 24-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토24		
	위경도	시점 : 36° 23′44.3″ 128° 49′73.8″ 종점 : 36° 23′36.9″ 128° 49′93.2″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	175.0m	최대높이	45.3m
	경사	55°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	7개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	주변지형	■산악 □준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	누수위치	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	■F ■S ■M □H □C □R	불연속면 방향성	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	■직선형 □철형 □요형 □파형	측면형상	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	없음	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	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 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			

24.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 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 소보면 서경리(상주영천고속도로 30.413~30.588km)에 위치한 사면으로서 총 연장 175.0m, 높이 45.3m의 절토사면으로 시공되어 있다.

나. 절토사면의 분류

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

<표 24-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{45.3}=0.11$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 111.9~119.0㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{46.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 175m로서, 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 24-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	30.413~30.588km	175m

24.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

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

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

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

<표 24-12> 집수 지형 조사 결과

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

나. 불안정 지질

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

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

<표 24-13> 불안정 지질 조사 결과

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

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 24-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	75/119	81/023	89/174
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 24-15> 지반 변형 조사 결과

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

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로 및 산마루측구가 시공되어 있으며, 조사결과 산마루측구 균열과 소단배수로 균열 및 국부파손이 일부 발생한 것으로 조사되었다.

<표 24-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	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 24-17> 지하수 조사 결과

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

사. 붕괴 이력

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

<표 24-18> 붕괴 이력 조사 결과

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

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 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 24-19> 낙석 조사 결과

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

자. 인장균열

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

<표 24-20> 인장균열 조사 결과

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

24.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

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

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 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 24-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
30.473km	55.4	114.2	경암	1단
30.493km	54.1	111.9	경암	1단
30.533km	55.5	119.0	경암	5단
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 54.1~55.5로 측정되었으며, 추정강도 111.9~119.0MPa로 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 24-22> 표면보호공 조사 결과

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

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 24-23> 사면보강공 조사 결과

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

24.4 안전성능평가

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

24.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.11로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 24-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{45.3}=0.11$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 111.9~119.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{46.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 175m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 24-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	30.413~30.5884km	175m	암반사면	Set1, Set2,

<표 24-26> 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 24-27> 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 24-28> 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 24-29> 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 24-30> 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 24.0m미만	24.0m이상	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 24-31> 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 24-32> 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 24-33> 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 24-34> 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 24-35> 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 24-36> 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 24-37> 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 24-38> 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 24-39> 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 24-40> 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 24-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토24		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
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. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 24-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
175.0m	1구간	30.413~30.588km	a(0.11)	A	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

24.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

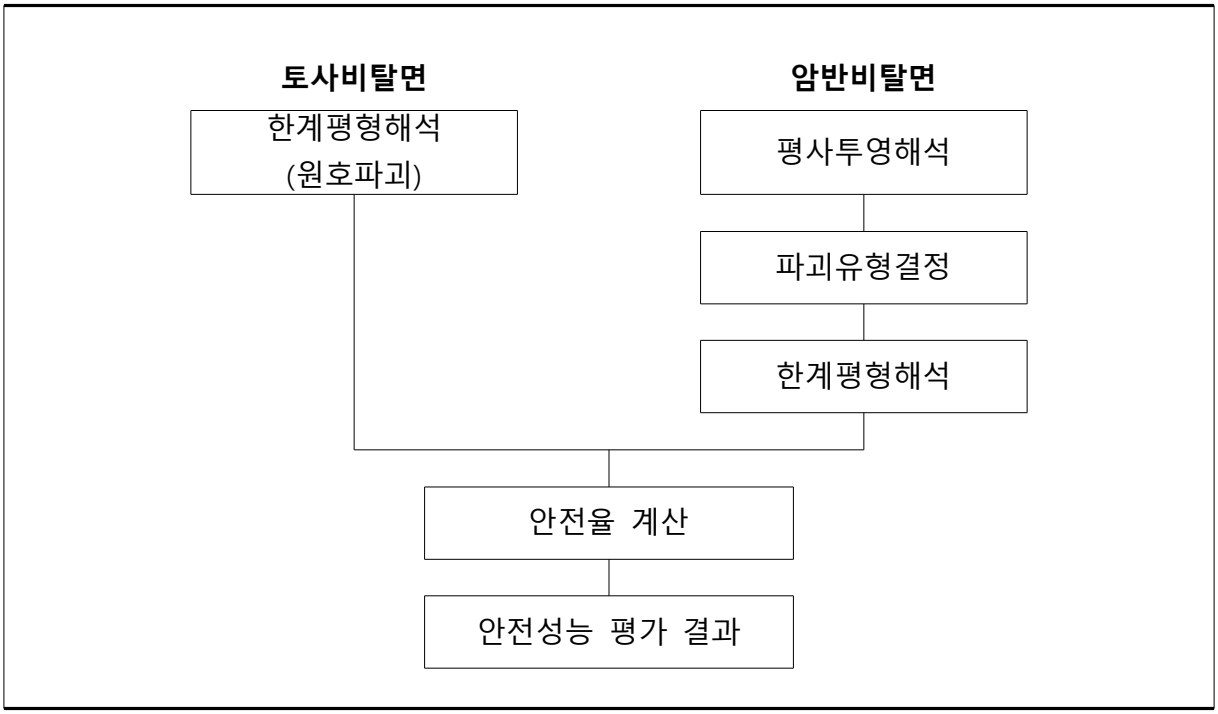
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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

나. 구조안전평가

1) 평가개요

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



<그림 24-5> 구조안전성능 평가과정

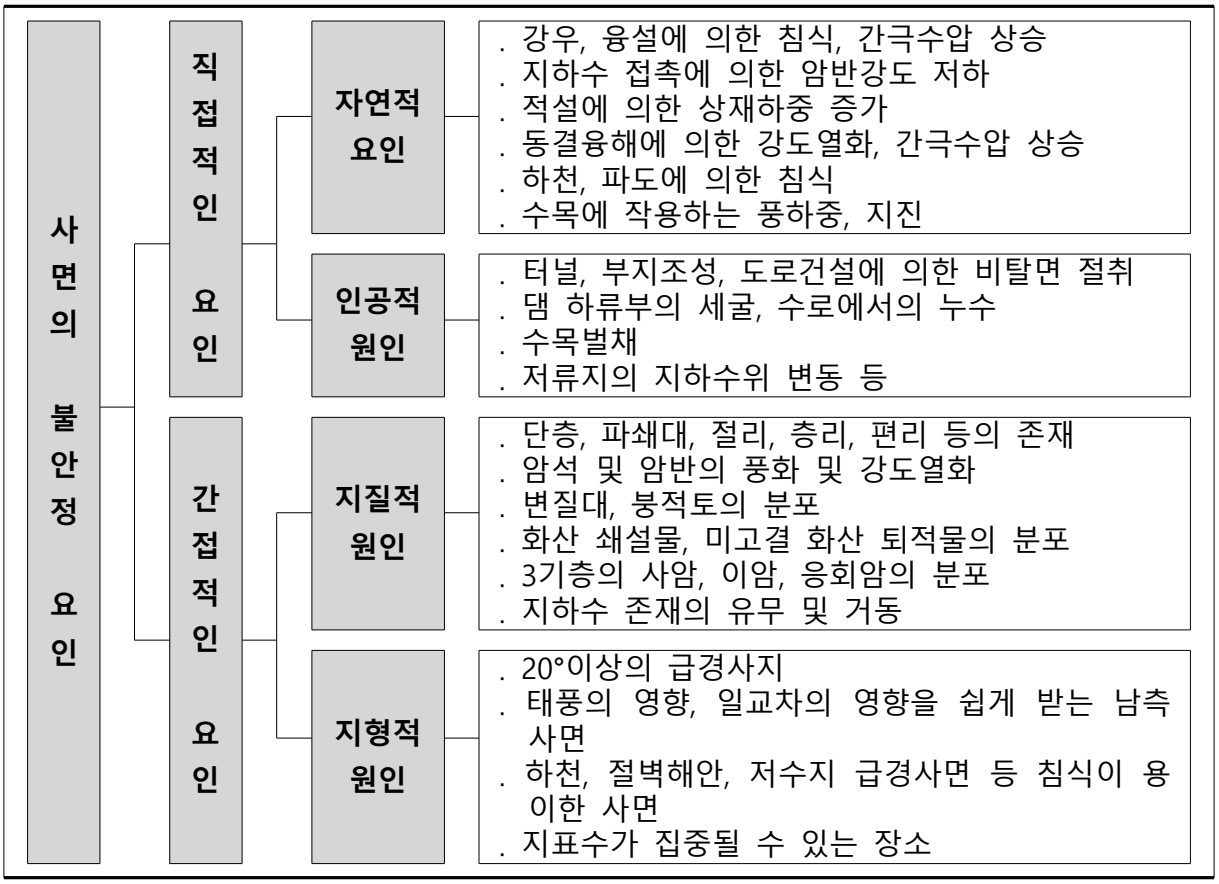
<표 24-43> 유형별 안정해석 범위

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

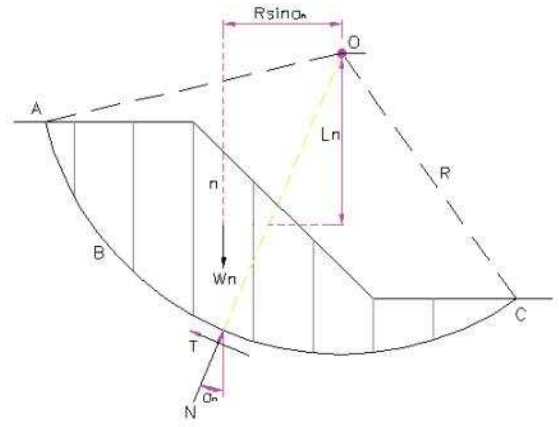


<그림 24-6> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 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

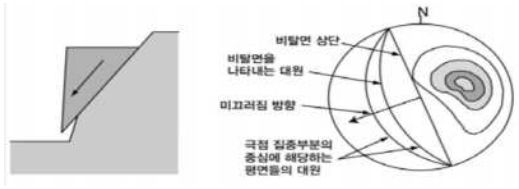
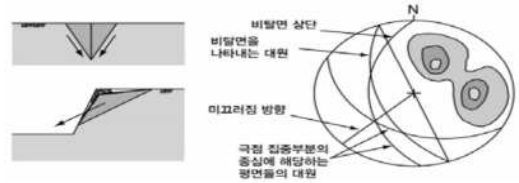
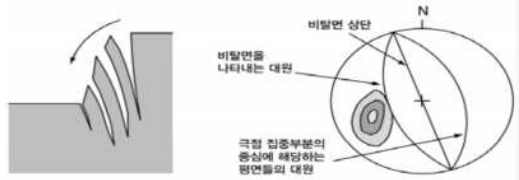
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 24-7> Bishop의 안전율 계산식

② 평사투영해석

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

<표 24-44> 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 24-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

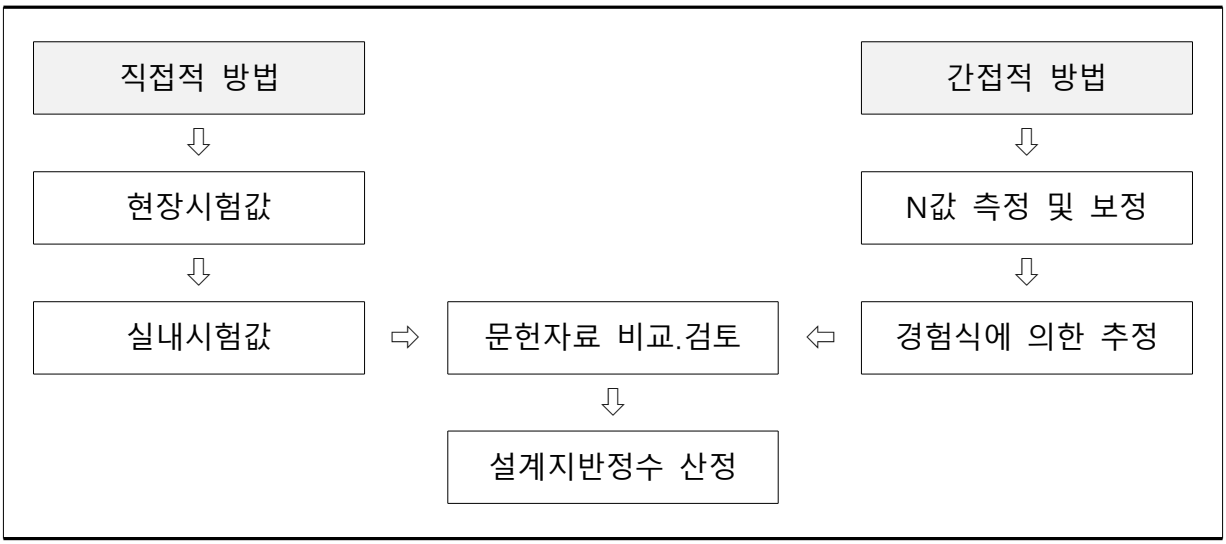
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 24-46> 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 24-47> 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 24-48> 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 24-49> 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 24-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (4공구)	풍화(잔적)토	19.5	28	18	
	풍화암	20.0	31	27	
	기반암	25.0	37	260	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 24-51> 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 24-52> 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 24-53> 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 24-54> 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 24-55> Trueman (1988)

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

<표 24-56> 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	19.5	28	18	0.3	
풍화암	20.0	31	27	0.3	
기반암	25.0	37	260	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

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

① 개별고려

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

② 동시고려

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

<표 24-57> 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

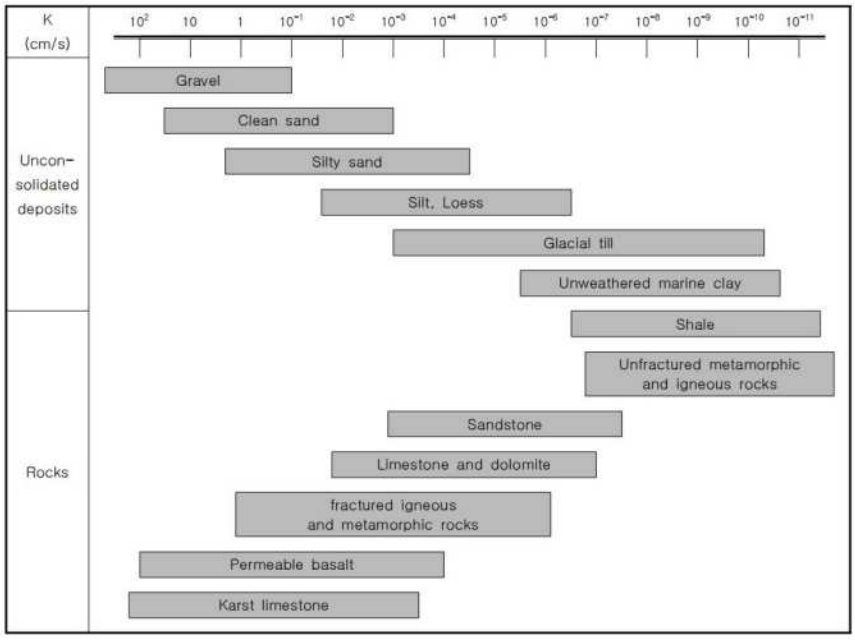
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 24-58> 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 24-59> 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 24-8> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

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

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

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

<표 24-60> 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

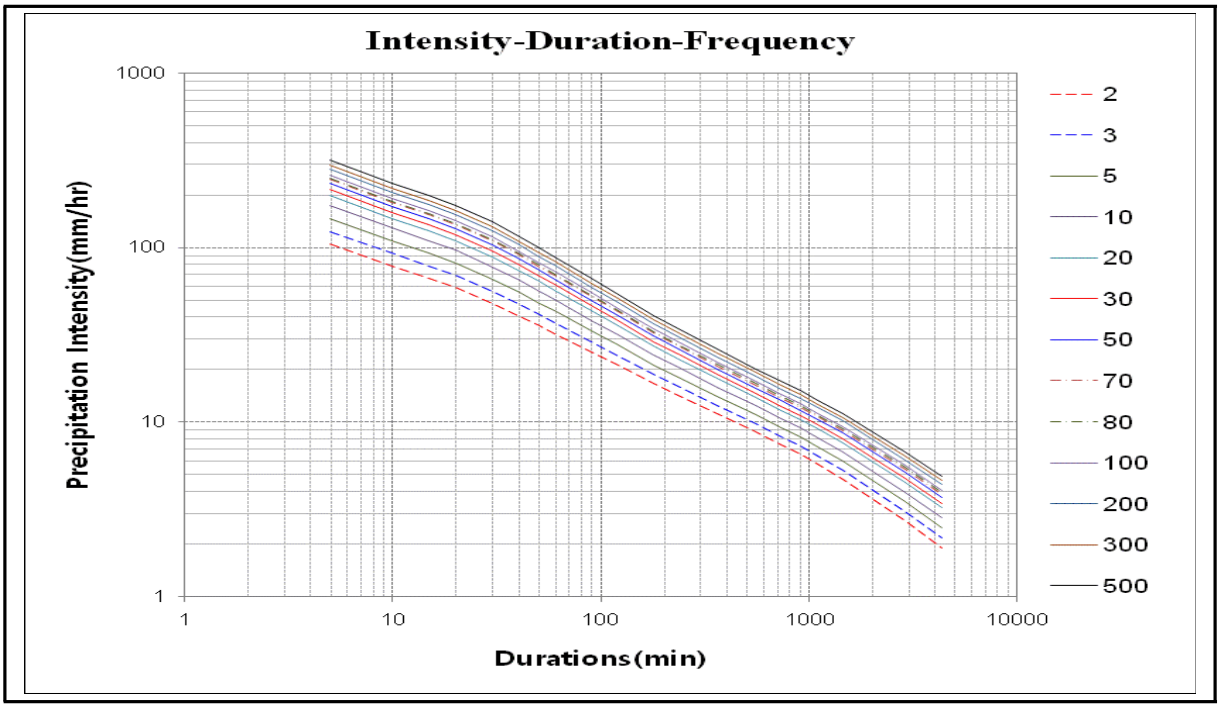
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 24-9> 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 24-10> 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 24-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 24-61> 설계지반운동 수준

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

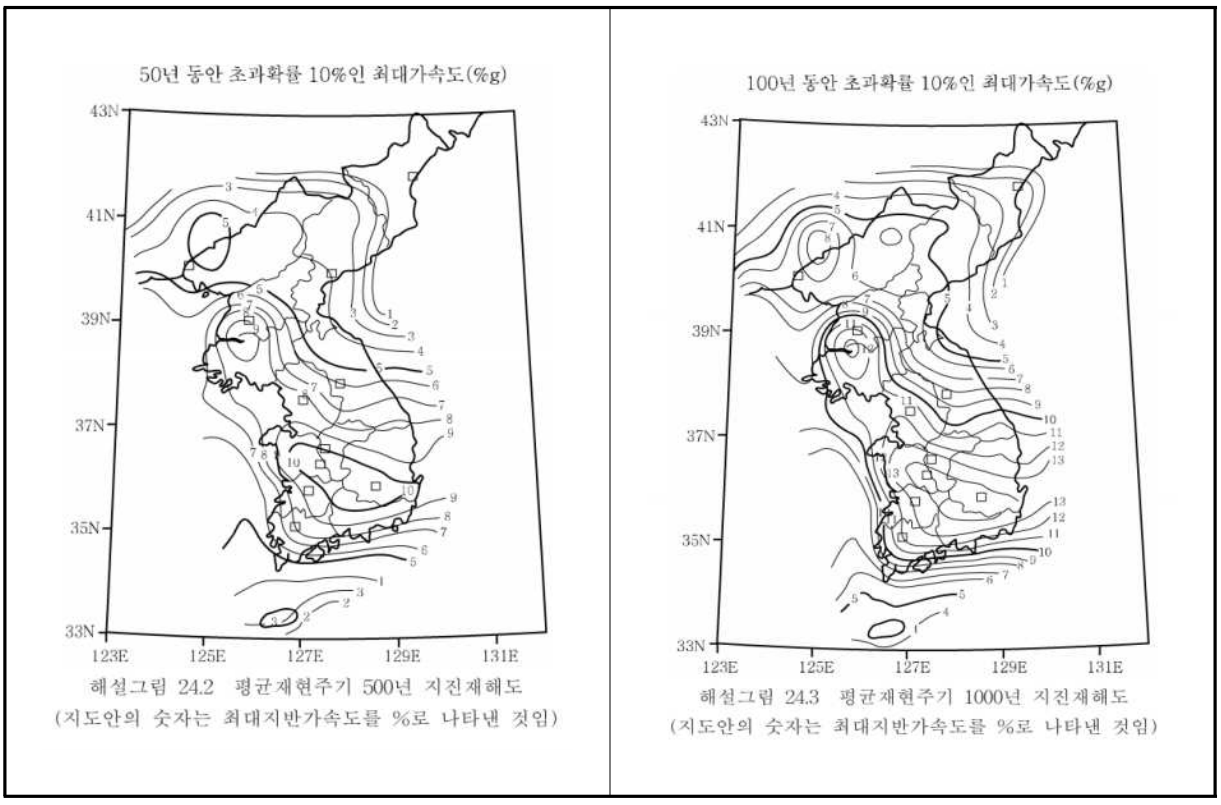
2) 설계지반운동

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 24-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 24-62> 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 24-63> 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

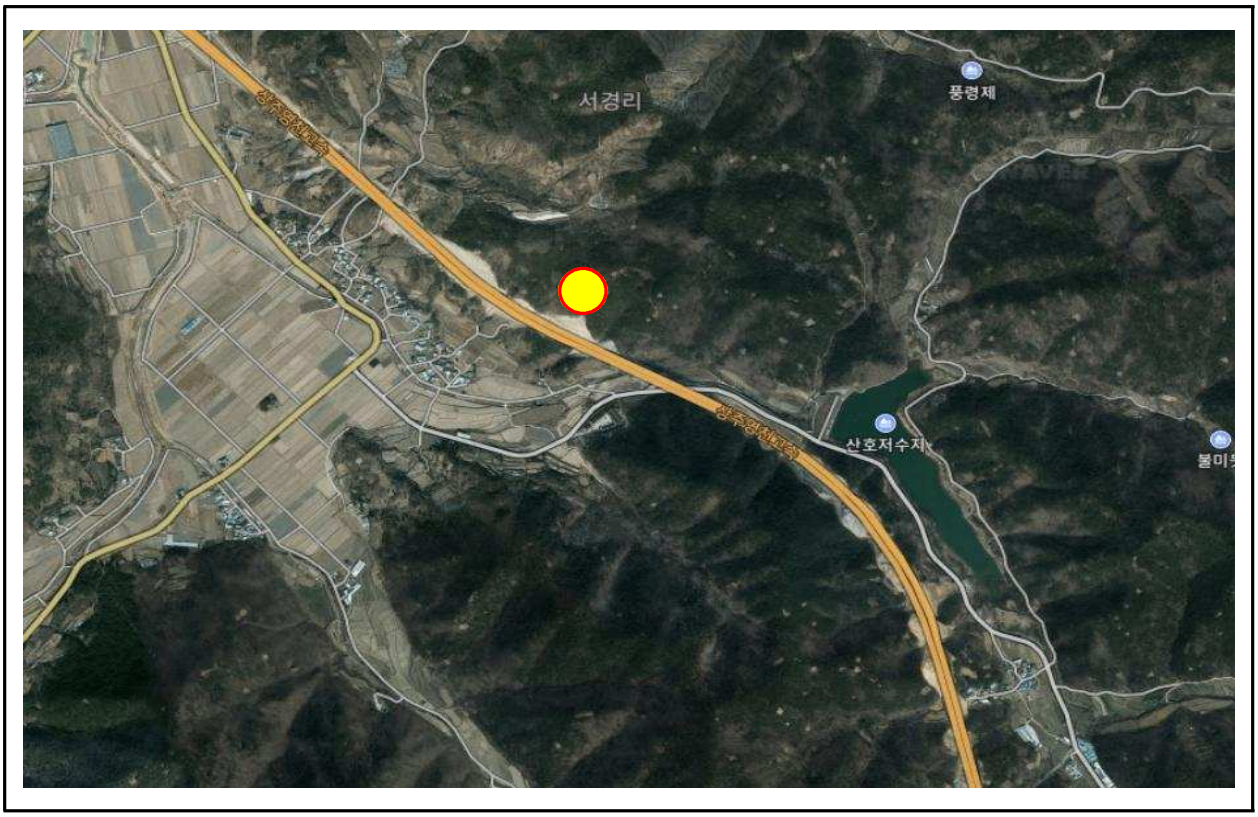
3) 지진가속도계수 선정

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 24-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토24	경상북도 군위군 소보면 서경리	30.413 ~ 30.588	STA.30+523	45.3	5.0	40.3	-	2017	55/208



<그림 24-13> 상주절토24 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토24 비탈면 안정성검토

1) 세부위치

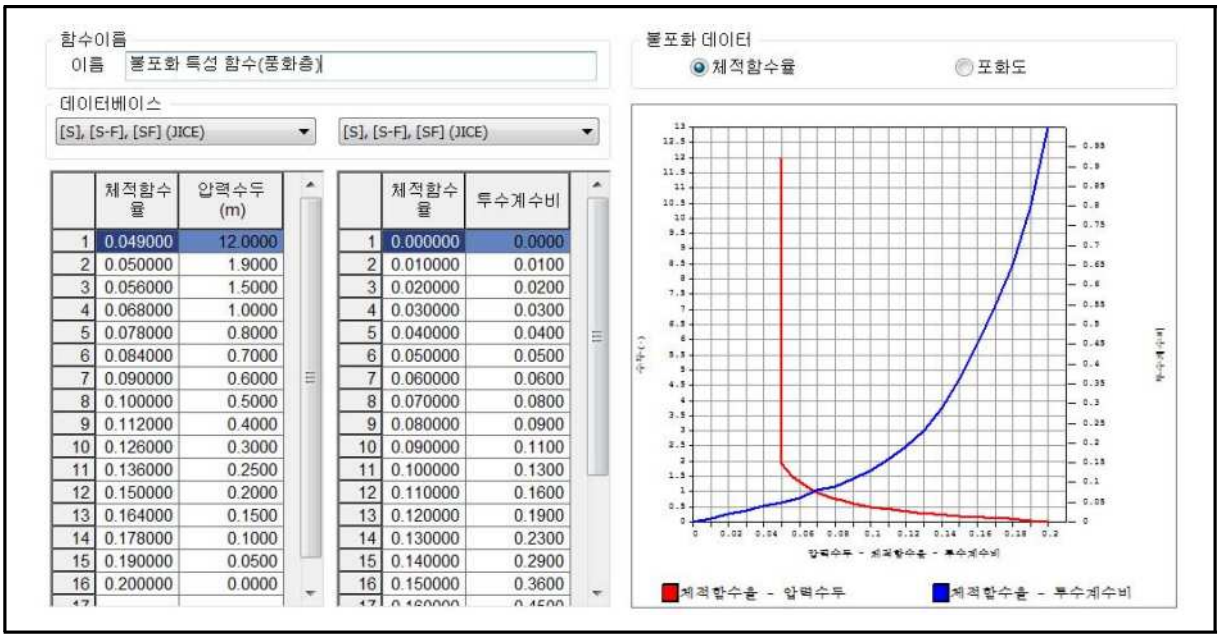
<그림 24-14> 상주절토24 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

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

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	19.5	28	18	3.7E-04	
풍화암	20.0	31	27	2.0E-05	
기반암	25.0	37	260	3.9E-05	

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



	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

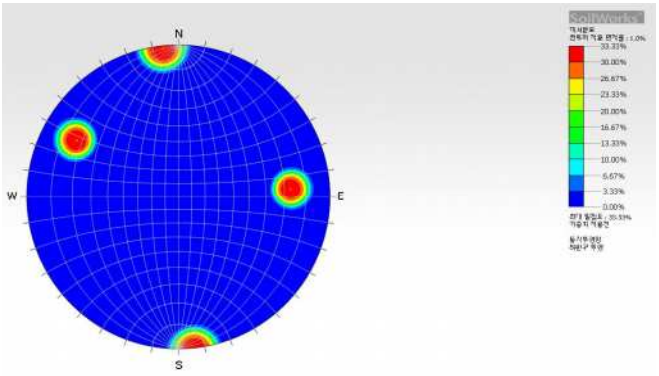
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 24-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

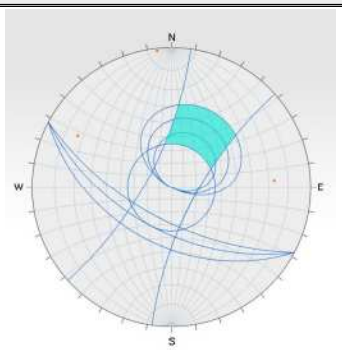
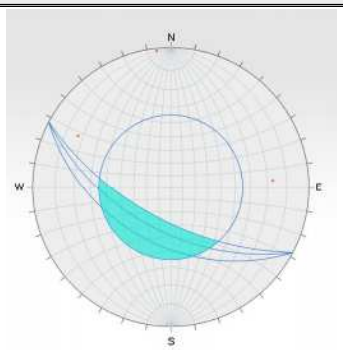
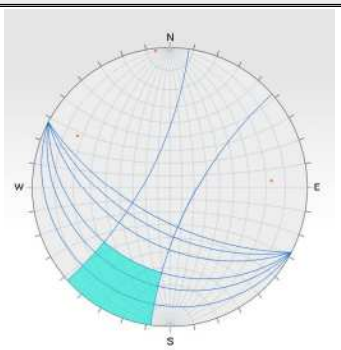
3) 1구간 (STA.30+413 ~ 30+588)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

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

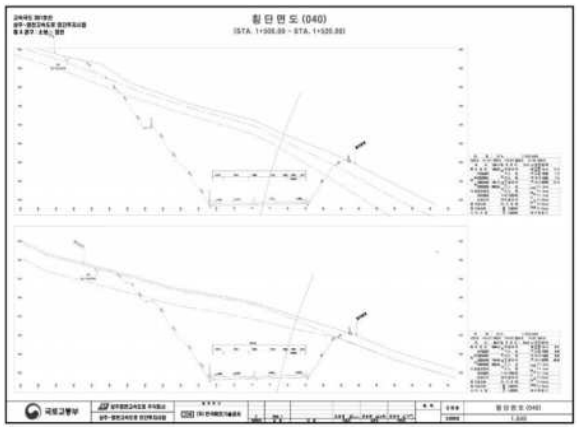
◦ 해석결과

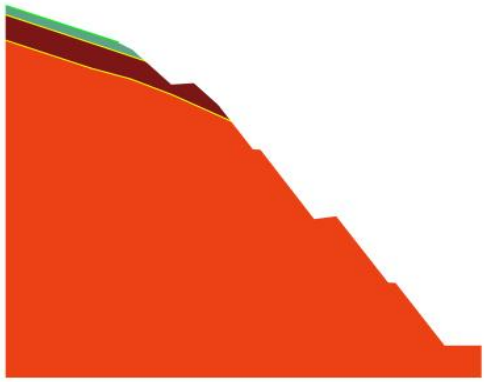
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

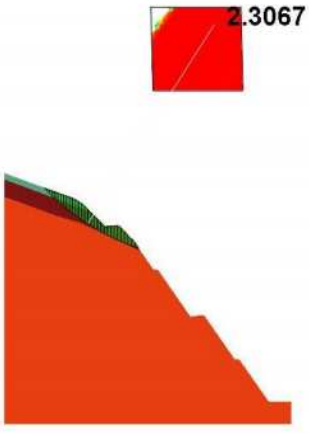
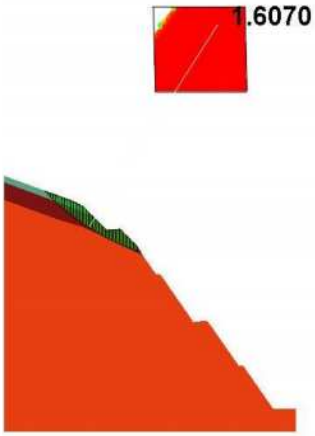
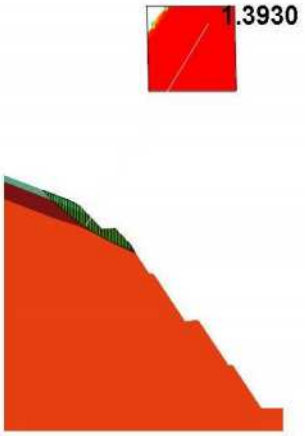
◦ 검토단면





대표단면 : STA.30+523, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.30	안전율 : 1.60	안전율 : 1.39

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 24-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토24**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.30	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.60	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.39	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

24.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 24-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토24**		
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 24-67> 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

24.5 내구성능 평가

24.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 24-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 5/45.3 = 0.11
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 140.0MPa	추정
면적	전체	7,018㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	7,018㎡	
표면보호공	식 생	7,018㎡	
	숏크리트	-	
사면보강공	-	-	

24.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 24-69> 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

24.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 24-70> 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 24-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
30.473km	114.2	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
30.493km	111.9	-	
30.533km	119.0	-	
평균값	115.0	-	
등급	**A등급**		

<표 24-72> 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 24-73> 표면보호공 피복 면적

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

<표 24-74> 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 24-75> 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	MW	MW	MW
	c(10)	c(10)	c(10)
합 계	35	35	35
평 균	7.0	7.0	7.0
평가 결과	c	c	c

<표 24-76> 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**	

24.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 24-77> 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 24-78> 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 24-79> 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

24.6 종합평가

24.6.1 종합평가 개요

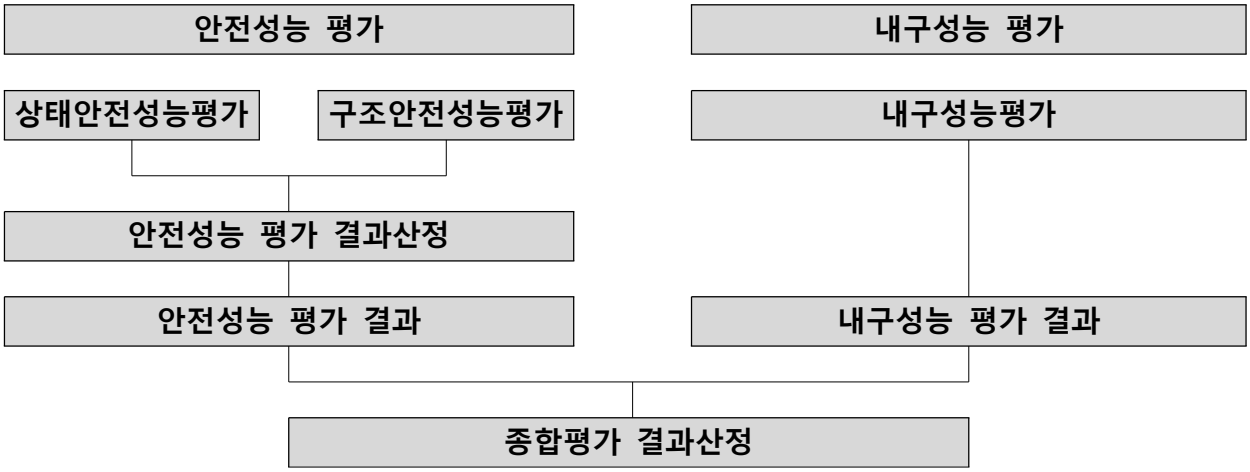
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 24-16> 종합평가 흐름도

24.6.2 종합평가 결과 산정결과

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

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

<표 24-80> 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 24-81> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토24		**분류**	상주-영천 고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.110	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 24-82> 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

24.7 유지관리 전략 제안

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

24.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2024.01)』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 24-83> 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				

24.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.141)"으로 평가되었다.

<표 24-84> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.110	0.265	0.141
평가결과	A	B	A

24.7.3 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 24-85> 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
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.

24.8 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, 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.

제25장 영천절토25

25.1 대상 시설물 현황

25.2 관련 자료의 분석

25.3 현장조사

25.4 안전성능평가

25.5 내구성능평가

25.6 종합평가

25.7 유지관리전략 제안

25.8 종합결론

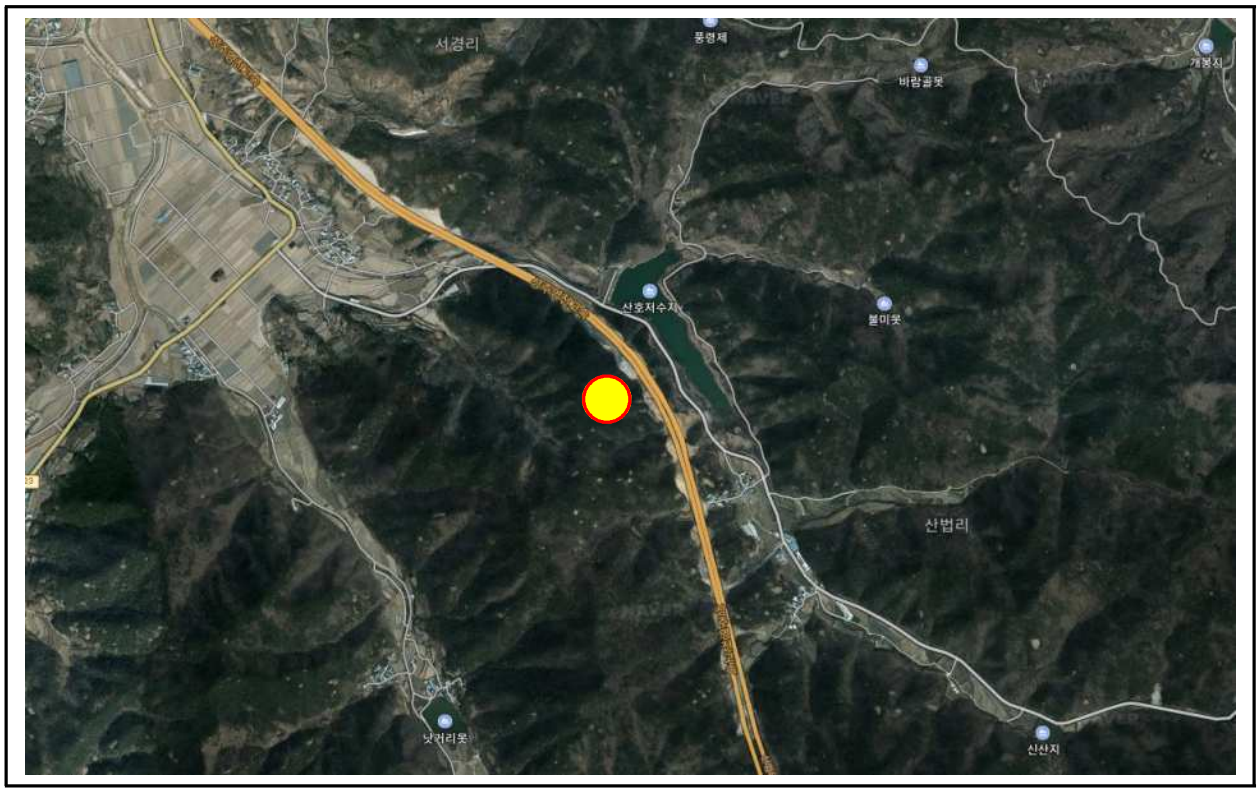
제25장 영천절토25

25.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 소보면 산법리(상주영천고속도로 31.213~31.733km)에 위치한 사면으로서 총 연장 520.0m, 높이 96.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 25-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000050		**관리번호**	SY SL25
시설물명	영천절토25		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 소보면 산법리		
	위치좌표	시점 : 36° 22′59.6″ 128° 50′85.3″		
		종점 : 36° 23′08.0″ 128° 50′47.5″		
	관리이정	31.213~31.733km		
	공구이정	4공구 STA.2+230~2+750		
제 원	**연 장**	520m	**높 이**	96.0m
	경사/방향	55/050	**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, 사면내 옹벽, 격자블럭, 숏크리트, 낙석방지울타리, 락볼트		
비 고				

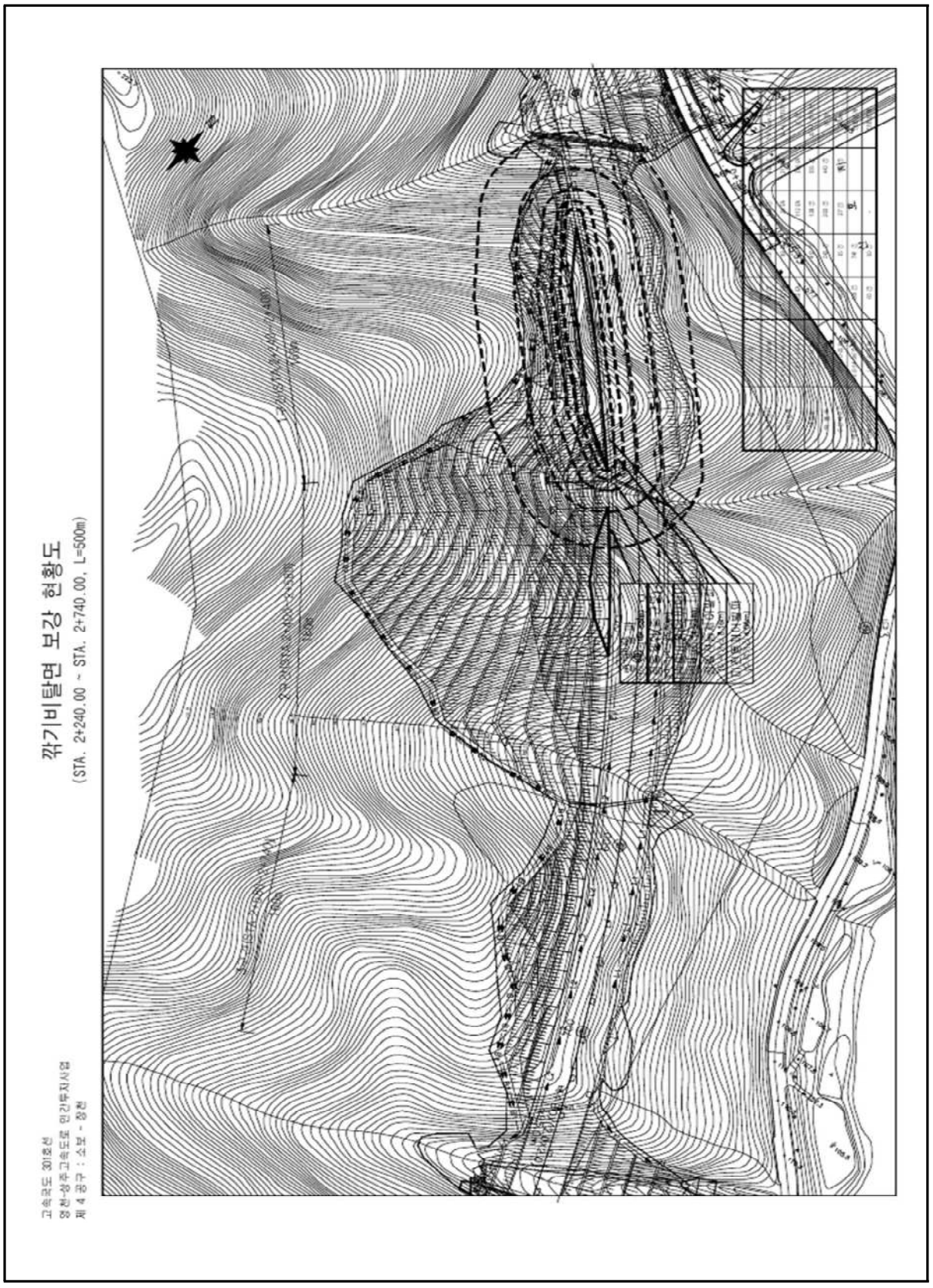


<그림 25-1>위치도

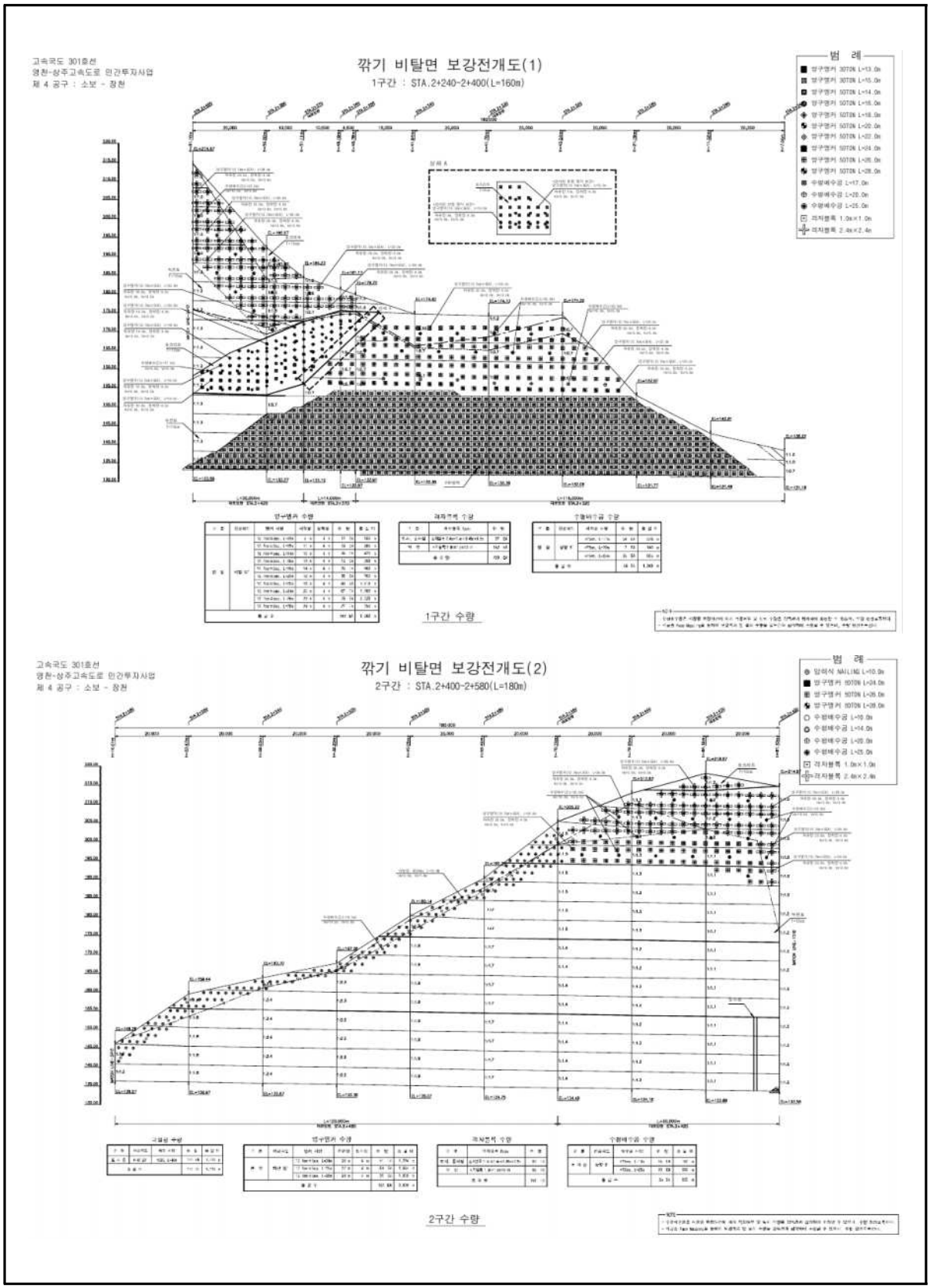
<그림 25-2> 전경사진

상단 전경	옹벽 전경
2소단배수로 전경	점검계단, 산마루측구 전경
하부 전경	숏크리트 및 사면보강 전경

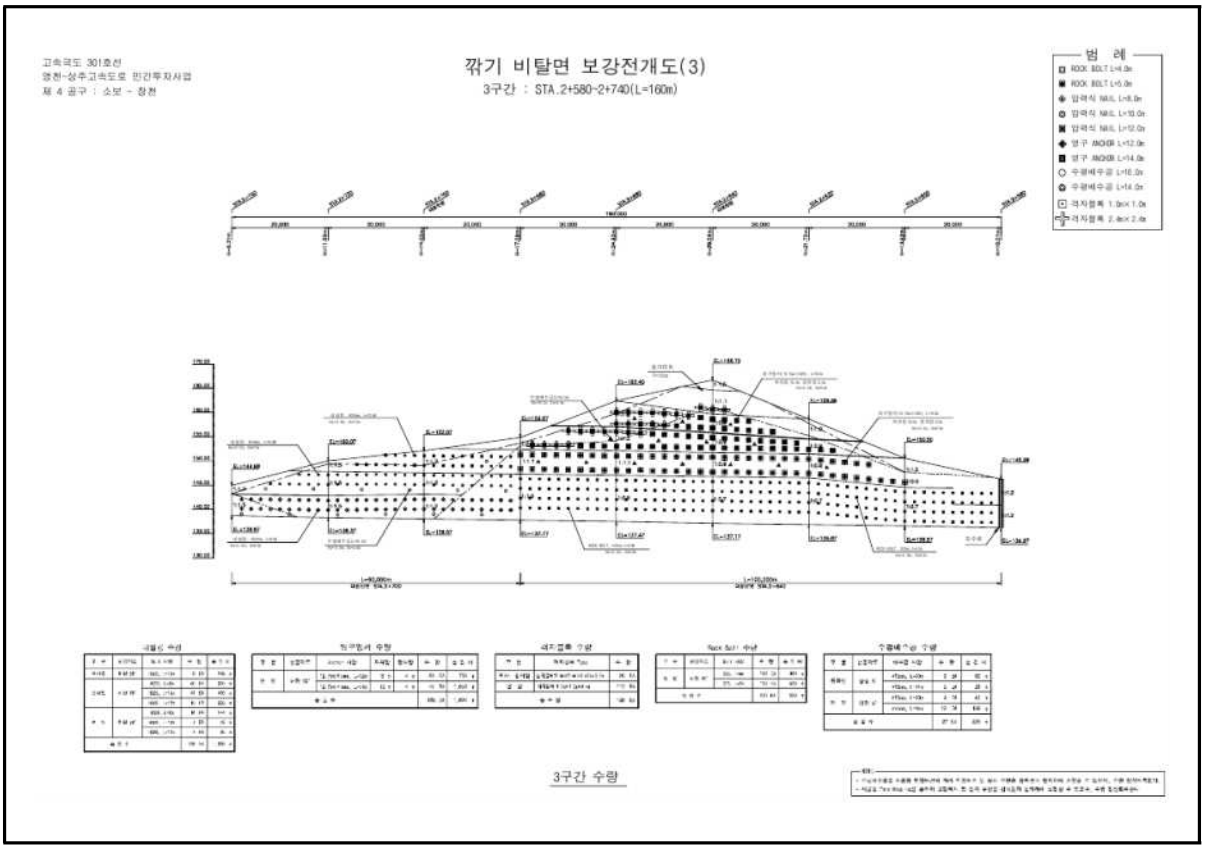
<그림 25-2> 전경사진(계속)


까기비탈면 보강 현황도
(STA. 2+240.00 ~ STA. 2+740.00, L=500m)
고속국도 30호선
영천-상주고속도로 민간투자사업
제 4 공구 : 소보 - 창천

<그림 25-3> 평면도


고속국도 301호선
영천-상주고속도로 민간투자사업
제 4 공구 : 소보 - 경천
깎기 비탈면 보강전개도(1)
1구간 : STA.2+240-2+400(L=160m)
범 례
1구간 수량
고속국도 301호선
영천-상주고속도로 민간투자사업
제 4 공구 : 소보 - 경천
깎기 비탈면 보강전개도(2)
2구간 : STA.2+400-2+580(L=180m)
범 례
2구간 수량

<그림 25-4>보강전개도



<그림 25-4>보강전개도(계속)

25.2 관련 자료의 분석

25.2.1 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 25-2> 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 4공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 4공구
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 4공구
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.

25.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 4공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

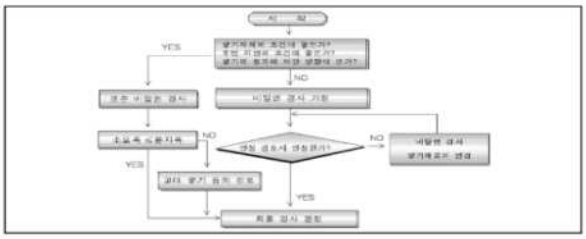
7.4 비탈면 설계기준

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

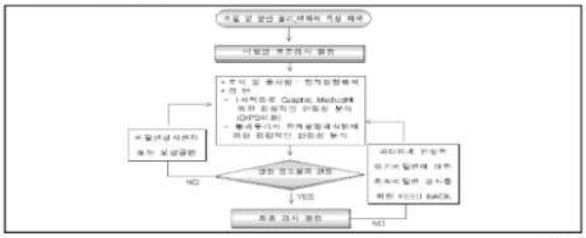
7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 풍기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 암기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



203

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기 범위]

원지반의 토질		암 석 기 능 도	기 울 기	분 류 기 호 (통일분류)
통직토	강우시에도 지하수위가 설계고보다 낮은 경우 강우시에도 지하수위가 설계고보다 높아질 경우 상시 지하수위가 설계고 보다 높은 경우		1 : 1.2 1 : 1.5 1 : 1.8~2.0	
모 래	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	-	1:1.5 이상	SW, SP
사질토	밀실한 것	5m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SP
		5 ~ 10m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 암괴섞인 사질토	밀실하고 입도분포가 좋은것	10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
		10 ~ 15m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않거나 입도분포가 나쁜것	10m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		10 ~ 15m	1:1.2 ~ 1:1.5	
점성토		0 ~ 10m	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5	

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

[암반비탈면의 절취기울기]

암석종류 (강 도)	암반 파쇄상태 (NX 시추시) T.C.R	R.Q.D	굴 착 난 이 도	기울기	소 단 설 치
풍화암 또는 연 · 경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하	10% 이하	리핑암반	1:1.0 ~ 1:1.2	H=5m마다 소단 1m폭 (리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연 · 경암	20~40%	10~25%	발파암반 (연암반)	1:0.8 ~ 1:1.0	H= 10m 마다 소단 1~2m 폭
	40~60%	25~50%	발파암반 (보통암반)	1:0.7	H= 10m 마다 소단 1~2m 폭
	60% 이상	50% 이상	발파암반 (경암반)	1:0.5	H= 20m 마다 소단 3m 폭

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

206

다. 암기 비탈면

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

따라서 암기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 중요 중을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 암기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리 등이 규칙적 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)

205

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, 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

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

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

208

2) 지형 및 지질

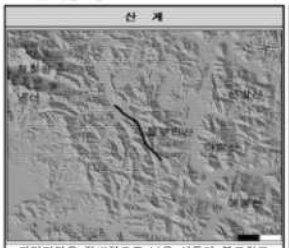
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

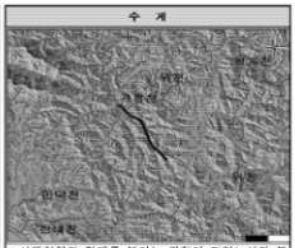
가. 지형 개요

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

나. 지질특성



- 과업지역은 전반적으로 낮은 산들이 분포하고 있으나 북서쪽에는 비교적 높은 청학산과 냉산이 위치하고 있음
- 과업노선은 용무리산을 따라 위치하며 노선의 동쪽으로는 마랑산과 대봉산이 위치함



- 사행하천의 형태를 보이는 위천이 과업노선의 북쪽에 위치함
- 위천의 지류인 곡정천이 과업노선의 중점부와 인접한 곳에 위치하며 북쪽으로 흐르고 있음
- 과업지역의 여러 하천들은 여러 개의 지류를 형성하며 복잡한 형태를 보임

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
낙동층(안경산층원역질 사암)	• 낙동층의 하부층에 해당하는 안경산층원의 역질사암과 역암은 원마도가 불량한 석영과 알칼리장석이 주를 이루며, 한점물과 변질된 유색광물의 주로 산출됨
낙동층(균입리층원세일)	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방해석이 침전 또는 충전되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
하산동층 사암	• 석영은 1 mm 내외의 입경으로 원마도는 불량한 경향이 우세 • 하산동층 사암은 근거리에서 이동하여 원성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명		특 성	비 고
제4기		충적층(Q_a)		• 하천 및 산록 퇴적물	-
		---- 부정합 ----			
중생대	백악기	송심암맥(K_d) 산성암맥(K_{ad})		• 괴상의 치밀	• 천 구간에서 기반암을 관입
		유천층군	안산암질암(K_{at})	• 주로 용회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		---- 관입 및 분출 ----			
		신동층군	낙동층 (ka1)	금당리층원 (Ke1-nk)	• 사암과 역질사암, 세일의 교호 • 주로 역질 사암 우세	• 4공구 전구간

마. 지체구조

- 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하여 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 중부지역을 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

4.2.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 목 적

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

(2) 원리 및 방법

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

4.3 지층분포 특성을 위한 조사

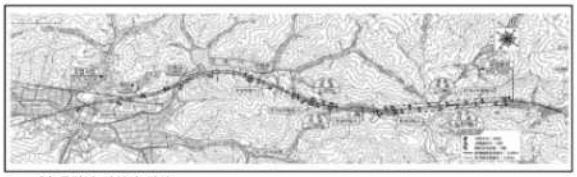
4.3.1 개 요

가. 기본 방향

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

나. 조사 위치 및 수량

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



(1) 굴절법 탄성파 탐사

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 및 교량구간	0+400 ~ 3+560	종	3,160
	4+620 ~ 4+980	종	360
	1+200	횡	75
	1+540	횡	95
	2+380	횡	115
	2+440	횡	205
	2+680	횡	75
	2+860	횡	75
	2+980	횡	85
	3+200	횡	60
	3+340	횡	75
	3+520	횡	75
	3+720	횡	95
	4+760	횡	115

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 및 교량구간	4+880	횡	115
	5+240	횡	110
산업터널 시점	3+950 ~ 4+030	종	80
	3+980 ~ 4+060	종	80
	4+020	횡	100
산업터널 종점	4+275 ~ 4+375	종	100
	4+300 ~4+380	종	80
	4+340	횡	90
평호터널 시점	5+270 ~ 5+370	종	100
	5+320 ~ 5+420	종	100
	5+360	횡	115
평호터널 종점	7+050 ~ 7+150	종	100
	7+060 ~ 7+160	종	100
	7+140	횡	115

구 분	공 번	STA.	X	Y	표고(EL.m)	시추심도(m)
평호터널	TBB-17	영천 5+761(우14.3m)	300380.348	156935.046	296.494	125.00
	TBB-18	상주 5+910(좌27.1m)	300302.758	157089.617	282.280	108.10
	TBB-19	영천 6+091(우19.9m)	300129.558	157149.737	244.378	64.00
	TBB-20	상주 6+196(좌16.4m)	300079.965	157269.168	276.214	103.60
	TBB-21	영천 6+386(우10.6m)	299930.424	157338.667	280.371	105.80
	TBB-22	상주 6+495(좌9.5m)	299863.393	157464.232	283.730	122.00
	TBB-23	영천 6+666(우11.8m)	299704.824	157536.842	296.878	135.00
	TBB-24	상주 6+754(좌19.5m)	299666.016	157643.618	273.975	100.00
	TBB-25	영천 6+974(우27.6m)	299463.961	157729.197	193.527	44.00
	TBB-26	상주 7+110(좌12.4m)	299392.301	157871.839	183.937	21.00
	TBB-27	상주 7+129(좌9.6m)	299375.279	157881.714	182.078	21.00
	TBB-28	영천 7+119(우28.1m)	299353.348	157820.901	180.080	31.00
	TBB-29	영천 7+142(우20.8m)	299340.218	157840.161	175.463	17.00

- 교량구간

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

- 비탈면구간

구 분	공 번	STA.	X	Y	표고(EL.m)	시추심도(m)
유가구간	CBB-12	영천 2+968(좌26.4m)	302875.5881	155817.758	157.296	15.00
	CBB-13	영천 2+993(우33.2m)	302837.722	155765.591	166.484	32.00
	CBB-20	영천 3+719(우32.6m)	302130.296	155921.334	179.089	25.00
	CBB-24	상주 5+214(좌42.2m)	300833.331	156640.140	222.850	30.00
물기구간	SBB-10	영천 2+876(좌15.3m)	302962.858	155782.233	130.859	2.00
	SBB-13	상주 3+713(좌5.8m)	302147.045	155974.590	153.032	7.70
	SBB-14	상주 3+785(좌9.5m)	302077.795	155995.141	152.648	9.70
	SBB-15	영천 3+799(우17.0m)	302054.023	155951.890	159.657	7.40
	SBB-19	상주 5+035(좌5.0m)	300948.791	156499.590	180.703	7.00
	SBB-20	영천 5+097(우10.7m)	300883.918	156500.897	184.677	7.60
	SBB-21	영천 5+251(좌5.1m)	300775.986	156612.552	199.707	7.00

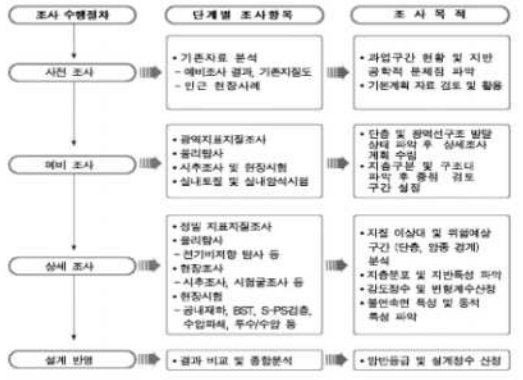
3) 지반조사 보고서

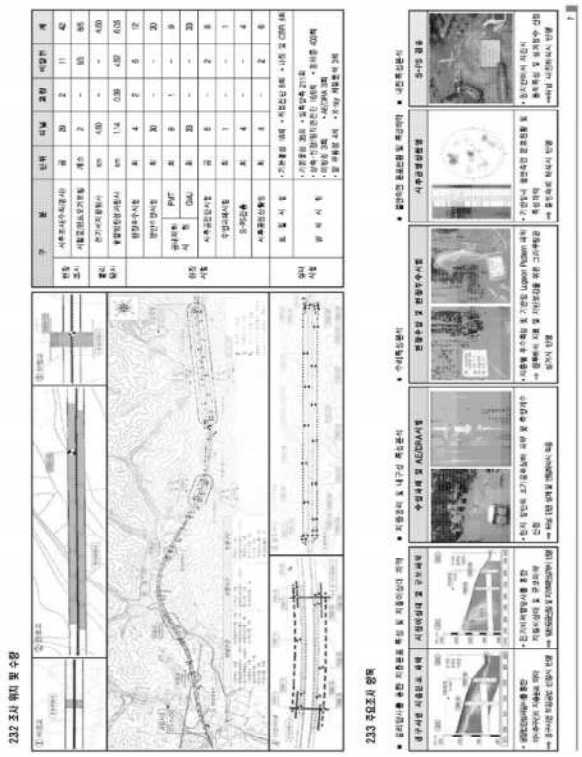
제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

가. 조사 기본방향

나. 조사 수행 흐름도





3.2 암반의 분류 및 기준

3.2.1 암반분류 방법

암반 분류	• 한국도로공사, 철도청, 한국기술용역협회 및 서울지하철 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류하고 더넓구간은 암종으로 표시하여 RQD, RMR 및 Q 분류에 의해 암반을 분류하고 분석을 수행함
기계 방법	• 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격 : 강도 및 암질표시는 ISRM(국제암반역학회)의 분류방법에 의거 분류 • 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성 방법"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 흔색의 서술용어를 사용함 • 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류 • 시추주상도에는 암석명, N치, RQD, 시추작업지, 주상도 작업지, 주상도 검토자, 코아회수율 및 불연속면 특성에 관한 중요자료(절리면의 풍화상태, 강도, 간격, 경사, 거칠기등) 등을 자세하게 기재함

가. RQD에 의한 암반분류(Deere, 1968)

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

나. RMR에 따른 암반등급(Bieniawski, 1974)

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

다. Q값에 따른 암반등급(Banton, 1974)

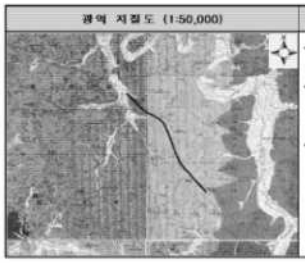
Q값	1000 ~ 400	400 ~ 100	100 ~ 40	40 ~ 10	10 ~ 4	4 ~ 1	1 ~ 0.1	0.1 ~ 0.01	0.01 ~ 0.001
등 급	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
암 질	지극히 양호	극히 양호	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량	극히 불량	지극히 불량

• 터널구간에 분포하는 암반에 대하여 유사한 공학적 특성을 보이는 몇 개의 군으로 분류
• 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 흔색에 대한 접두용어를 사용

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:50,000)	분 석 내 용
	• 백악기 경상층군의 신동층군의 낙동층(언화동층), 하산동층, 진주층(동명층)이 분포 • 낙동층 중·상부와 하부 하산동층은 하도 말단 및 주변 범람원 환경하에서 퇴적되어 하도 사암 및 범람원 기원의 세립 퇴적층이 교호 • 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 파수향 주향이동 단층인 신원단층, 관천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 암산단층계가 발달

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분	분 석 내 용
터널구간	• 붕적층은 0.4~4.0m, 풍화토는 1.6~4.2m, 풍화암은 0.5~2.5m 두께로 분포 • 연암은 0.0~5.0m, 경암은 1.6~16.5m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=23~76/0~30, 경암 TCR/RQD(%)=60~100/12~100로 퇴적암으로 구성
교량구간	• 붕적층은 0.5~0.8m, 풍화토는 0.6m, 풍화암은 2.8~4.0m 두께로 분포 • 연암은 1.4~4.5m, 경암은 2.8~16.1m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=26~93/0~40, 경암 TCR/RQD(%)=60~100/71~100로 퇴적암으로 구성
비탈면구간	• 붕적층은 0.5~1.4m, 풍화토는 0.7~1.6m, 풍화암은 1.0~1.9m 두께로 분포 • 연암은 1.5~7.5m, 경암은 3.3~3.6m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=26~60/0~9, 경암 TCR/RQD(%)=90~100/67~100로 퇴적암으로 구성

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 쌓기 및 깎기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대쌓기 비탈면과 고깎기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태의 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 저항면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사의 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

7.1.2 검토내용

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

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

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m 이상, 쌓기구간은 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
깎 기 부	· 비탈면 높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지질특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 빈번하게 발생하는 경우 · 흉수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
쌓 기 부	· 비탈면 높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 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 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.

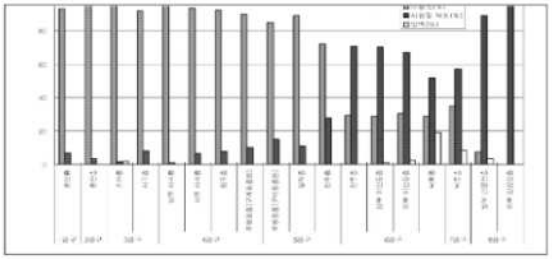
구 분		구 간 (STA.)	연 장 (m)	대표단면 (STA.)	최대쌓기고 및 깎기고	지층현황	조사내용 공번	조사내용 조사위치 (STA.)	비 고
쌓기구간	쌓기1구간	1+090 ~ 1+260	240	1+200(상주방향)	27.40	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기2구간	1+430 ~ 1+610	180	1+540(상주방향)	45.47	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기3구간	2+220 ~ 2+560	340	2+300(영천방향)	53.24	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기4구간	2+560 ~ 2+750	190	2+640(영천방향)	32.00	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기5구간	2+810 ~ 2+860	50	2+840(영천방향)	14.74	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기6구간	2+910 ~ 3+050	140	2+980(영천방향)	27.72	풍적층,풍화토 풍화암,연 암	CB3-12 CB3-13	2+998(영천) 2+968(영천)	

7.6.3 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

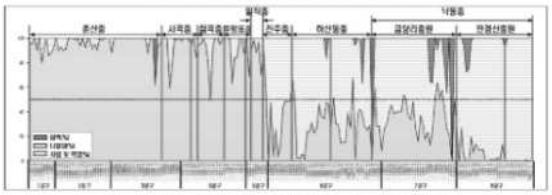
가. 지질 및 암종특성

① 지질특성

- 본 과업노선(상주~영천고속도로 제4공구) 경상분지의 최북암 지역에 위치하며 시질부터 낙동층, 하산동층, 진주층의 순서로 분포함.
- 구성암석은 이암과 세일로 구성된 니질암과 사암 및 역암으로 구성되며 니질암은 28.9~30.4%의 구성비를 보임
- 니질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특징을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 짧은 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄

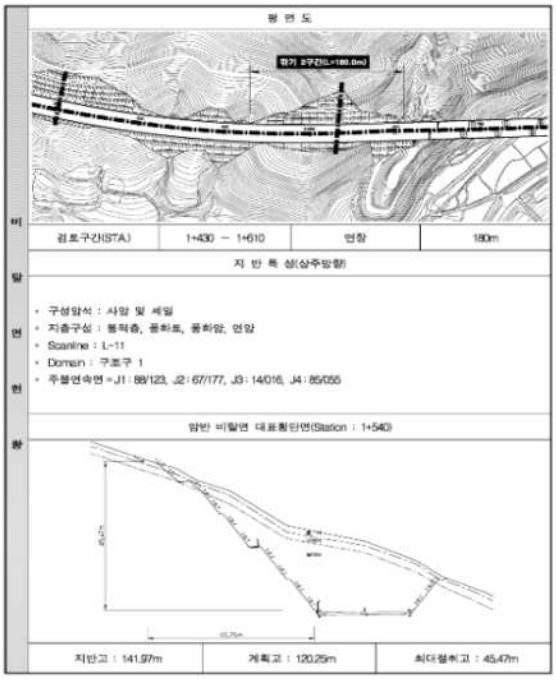


< 상주~영천고속도로 구간별 분포 층군 >



< 상주~영천고속도로 구간별 분포 층군 지질종단도>

(2) 쌓기 2구간

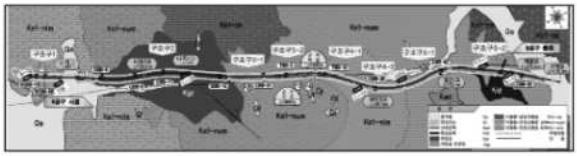


7.3 지반특성 분석

7.3.1 토질물성시험

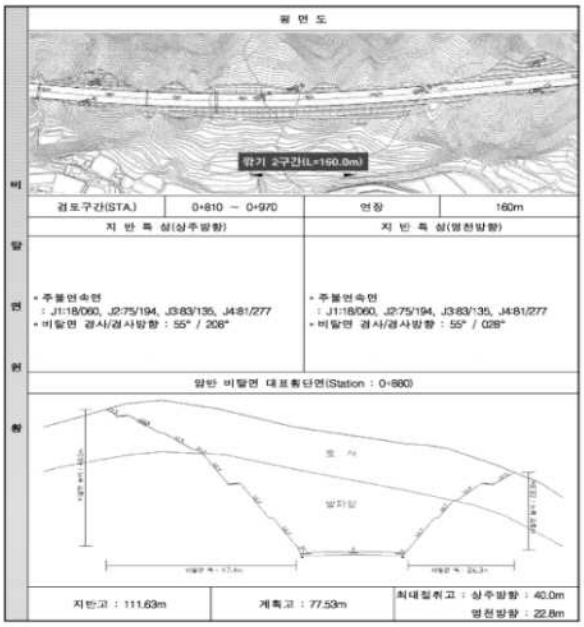
공 번		심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit LL(%)	PI	Sieve Analysis(%) #4	#10	#40	#200	0.02mm	USCS
풍화기부	CBB-3	1.0	풍화토	8.2	2.68	NP	-	100	93.1	44.8	24.6	-	SM
	CBB-4	2.0	풍화토	7.1	2.70	NP	-	56.4	41.0	28.4	16.4	-	GM
	CBB-5	1.0	풍화토	18.4	2.68	27.6	4.9	100	100	80.6	56.3	12.5	ML
	CBB-6	2.0	풍화토	11.0	2.65	NP	-	97.8	70.7	31.5	13.2	-	SM
	CBB-7	1.0	풍화토	12.0	2.66	NP	-	97.9	65.3	26.4	12.4	-	SM
	CBB-10	2.0	풍화토	11.5	2.65	NP	-	100	92.6	43.3	22.5	-	SM
	CBB-11	1.0	풍화토	9.8	2.68	NP	-	100	75.1	22.4	8.2	-	SW-SM
	CBB-12	2.0	붕적층	15.5	2.67	26.8	4.3	100	97.8	82.2	43.2	8.0	SM
	CBB-15	1.0	풍화토	12.2	2.69	NP	-	100	82.3	24.4	7.5	-	SW-SM
	CBB-16	1.0	풍화토	11.3	2.69	NP	-	98.0	84.2	29.2	10.0	-	SW-SM
	CBB-20	4.0	붕적층	17.6	2.70	32.4	10.4	96.7	96.2	91.1	71.9	17.5	CL
	CBB-21	5.0	붕적층	10.5	2.71	32.6	10.9	84.7	83.4	70.9	47.6	15.0	SC
	CBB-22	1.0	붕적층	14.6	2.69	30.2	9.7	90.2	87.6	79.7	61.9	17.0	CL
	CBB-23	4.0	붕적층	20.6	2.70	28.2	4.8	74.5	64.5	57.8	59.2	7.5	ML
	CBB-26	6.0	풍화토	15.1	2.67	NP	-	100	98.4	60.6	29.9	-	SM
	CBB-28	5.0	붕적층	11.9	2.69	NP	-	81.4	75.1	52.0	28.9	-	SM
	CBB-29	1.0	붕적층	13.0	2.71	NP	-	47.9	42.3	28.6	15.2	-	GM
	CBB-30	8.0	붕적층	13.3	2.69	28.1	5.1	100	96.6	67.2	43.4	8.0	SM
	CBB-31	1.0	붕적층	16.9	2.71	27.3	4.5	100	97.3	82.8	60.9	12.0	ML
	CBB-32	6.0	붕적층	11.3	2.67	NP	-	98.1	92.7	60.8	28.7	-	SM
	CBB-33	3.0	풍화토	10.8	2.69	NP	-	98.9	92.1	59.9	33.8	7.0	SM
	CBB-34	1.0	풍화토	9.6	2.67	NP	-	100	96.2	49.8	23.6	-	SM
	CBB-35	1.0	풍화토	3.7	2.68	NP	-	92.3	83.8	32.8	14.2	-	SM
	CBB-36	1.0	풍화토	12.8	2.68	NP	-	76.3	60.8	31.3	14.4	-	SM
	CBB-43	3.0	풍화토	16.9	2.70	NP	-	100	95.6	60.6	27.7	-	SM
	CBB-44	3.0	풍화토	9.7	2.71	NP	-	100	88.6	34.7	13.2	-	SM
	CBB-45	1.0	풍화토	8.6	2.68	NP	-	91.2	75.1	39.5	18.6	-	SM
	CBB-46	1.0	풍화토	5.6	2.67	NP	-	98.3	90.7	38.5	17.1	-	SM
	CBB-47	1.0	붕적층	13.6	2.71	26.8	4.2	100	98.9	76.1	41.6	7.5	SM
	CBB-49	4.0	풍화토	17.7	2.71	NP	-	100	98.4	58.6	28.6	-	SM
	CBB-50	1.0	붕적층	29.3	2.73	28.2	4.9	100	100	97.8	58.7	9.0	ML
	CBB-50	2.0	붕적층	13.1	2.68	NP	-	67.2	57.2	36.5	14.9	-	SM
쌍기부	SBB-2	1.0	풍화토	7.9	2.67	NP	-	95.4	80.6	40.1	15.2	-	SM
	SBB-3	2.0	풍화토	13.3	2.66	NP	-	100	95.6	53.6	33.6	7.5	SM
	SBB-4	2.0	붕적층	19.0	2.68	31.5	9.2	97.0	90.1	69.5	51.8	14.5	CL
	SBB-5	2.0	붕적층	8.3	2.64	NP	-	38.1	28.7	13.5	5.9	-	GW-GM
	SBB-6	1.0	붕적층	10.3	2.68	NP	-	34.3	26.9	14.9	4.9	-	GP
	SBB-7	3.0	풍화토	13.1	2.66	NP	-	90.5	80.3	51.2	26.2	-	SM
	SBB-8	4.0	풍화토	22.0	2.68	NP	-	99.2	95.0	51.7	28.3	-	SM
	SBB-10	1.0	풍화토	16.8	2.65	NP	-	100	89.8	62.7	39.2	7.5	SM
	SBB-11	3.0	퇴적층	14.1	2.64	NP	-	98.0	85.1	47.1	24.4	-	SM
	SBB-12	1.0	붕적층	13.5	2.64	NP	-	98.8	87.2	49.0	23.2	-	SM
	SBB-13	1.0	붕적층	12.3	2.67	27.1	4.9	100	100	87.4	58.8	14.0	ML
	SBB-15	2.0	붕적층	16.9	2.68	28.5	6.0	100	99.0	86.9	62.9	15.0	ML
	SBB-16	1.0	붕적층	5.4	2.67	NP	-	39.1	31.4	19.4	7.6	-	GW-GM

7.5.3 구조구 분류 결과



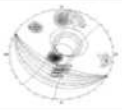
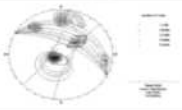
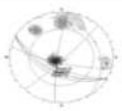
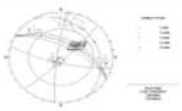
구 분	구조구 1	구조구 2	구조구 3		구조구 4		구조구 5	
			3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
암 상	Kel-nim	Kgr	Kel-num		Kel-nim		Kel-num	
BIPS	9CBB-18 9CBB-20	CBB-5 CBB-9 CBB-11 CBB-19 (SBB-12)	CBB-21	TBB-3	TBB-15	CBB-36	CBB-43	CBB-52
스캔라인	S-13 118	L-13	-	-	-	L-12	HO3	111-1 S-12
STA.	1+319	4+597	5+453	6+430	7+688	8+980	10+140	
비 고	암상	암상	습곡축 및 구조물	암상	습곡, 습곡축 및 단열	암상	단층, 습곡 및 단열	

(2) 쌍기 2구간



쌍기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	불안정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

비고

- 암반층 평사투영 해석결과 영천방향 1:0.5~1:1.0기울기에서 전도파괴 가능성이 있음.
- 영천방향 암반비탈면 불연속면이 Toppling Zone에 위치하여 전도파괴 가능성이 있으므로 녹화공법, 낙석방지그물, 낙석방지볼타리를 적용하여 안정성 확보

25.2.3 점검 및 진단 이력

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

<표 25-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	소단배수로 및 산마루측구 일부구간의 균열 및 산마루측구에서 부분적인 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2025. 05. 28 ~ 2025. 06. 30	정기안전점검	소단배수로 및 산마루측구 일부구간의 균열 및 산마루측구에서 부분적인 파손이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2025. 10. 23 ~ 2025. 12. 31	정기안전점검	소단배수로 일부구간 균열 및 숏크리트에서 부분적인 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	소단배수로 일부구간 균열 및 숏크리트에서 부분적인 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 식생공, 숏크리트, 앵커, 옹벽이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 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 조사되었으나, 숏크리트 균열은 우수유입에 의한 손상이 증가할수 있으므로, 주입보수가 필요하며, 들뜸부는 주의관찰 후 손상이 증가시 보수를 실시하는 유지관리가 효과적이다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	소단배수로 일부구간 균열 및 숏크리트에서 부분적인 균열 및 들뜸이 발생한 것으로 조사되었다. 또한 2소단배수로 낙석방지울타리의 경우 일부구간 파손이 발생된 것으로 확인되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전방지를 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다.	양호

25.2.4 보수·보강이력

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

<표 25-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

25.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

<표 25-5> 내진 설계 적용 여부

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

25.2.6 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 25-6> 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

25.3 현장조사

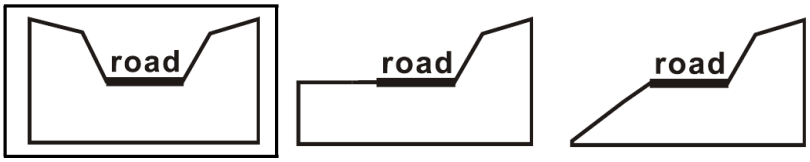
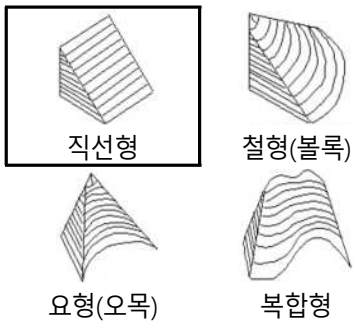
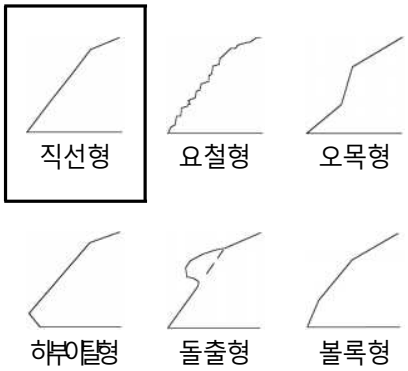
25.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 25-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 18.</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 군위군 소보면 산법리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="4">시점 : 36° 22′59.6″ 128° 50′85.3″</td></tr>
<tr><td colspan="4">종점 : 36° 23′08.0″ 128° 50′47.5″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 520m</td><td colspan="2">높 이 : 96.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">경 사/경사방향 : 55/050</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 5.0~15.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">소 단 : 18</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="7">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td>상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">31.213~31.733k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">31.263~31.653k</td><td>균열</td></tr>
<tr><td>사면내 옹벽</td><td colspan="2">31.213~31.353k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">31.353~31.483k</td><td>들뜸</td></tr>
<tr><td>앵커공</td><td colspan="2">31.213~31.483k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">31.483k, 31.563k, 31.723k</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 25-8> 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">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 rowspan="3">식 생</td><td>계곡부</td><td colspan="4">2개소</td></tr>
<tr><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></td><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 25-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토25		
	위경도	시점 : 36° 22′59.6″ 128° 50′85.3″ 종점 : 36° 23′08.0″ 128° 50′47.5″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	520.0m	최대높이	96.0m
	경사	55°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	18개소
	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	5.0~15.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) ■옹벽(양호) ■격자블럭(양호) ■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			

25.3.2 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 소보면 산법리(상주영천고속도로 31.213~31.733km)에 위치한 사면으로서 총 연장 520.0m, 높이 96.0m의 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 25-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{43.0}=0.12$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.9~130.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size \in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{43.0}=0.012$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{15.0}{95.0}=0.16$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.9~130.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size \in dex}{Slope\,height}=\frac{1.0}{95.0}=0.011$로 0.01초과	절리암반	

<표 25-10> 절토비탈면 분류(계속)

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{30.0}=0.17$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.9~130.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{30.0}=0.02$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 520m로서, 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 25-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	31.213~31.343km	130m
2구간	31.343~31.563km	220m
3구간	31.563~31.733km	170m

25.3.3 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 2개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 25-12> 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)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 25-13> 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 25-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	76/201	74/304	50/088
간격(m)	0.06~0.2	0.06~0.2	0.06~0.2
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	3.0~10.0
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	MW	MW	MW
구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	61/268	66/028	28/130
간격(m)	0.06~0.2	0.06~0.2	0.06~0.2
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	3.0~10.0
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	SW	SW	SW
구 분	3구간		
	Set 7	Set 8	Set 9
방향성	65/009	72/234	32/112
간격(m)	0.06~0.2	0.06~0.2	0.06~0.2
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	3.0~10.0
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	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 25-15> 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 25-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단배수로	균열	m	4EA / 8.0	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 25-17> 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 25-18> 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. 조사결과 27.88k 1단 사면에서 낙석이 발생한 것으로 조사되었다. 낙석발생의 주된 원이은 계절적, 환경적 요인에 의해 해빙기와 우기가 반복적으로 작용함으로서 발생한 것으로 판단되며, 추가 발생 여부에 대한 주의관찰이 필요하다.

<표 25-19> 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 25-20> 인장균열 조사 결과

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

25.3.4 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, 숏크리트 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 25-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
31.333km	53.9	110.9	경암	3단
31.343km	55.9	121.0	경암	3단
31.573km	57.6	130.4	경암	1단
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 53.9~57.6로 측정되었으며, 추정강도 110.9~130.4MPa로 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 25-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	식생공	-	-	-	-	
	숏크리트공	균열	m	1EA / 8.0	건조수축	
		들뜸	㎡	1EA / 11.0	동결융해	

식생공 전경

숏크리트 균열 및 들뜸

라. 사면보강공

본 비탈면의 사면보강공으로 격자블럭, 옹벽이 시공되었으며, 기능발휘에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 25-23> 사면보강공 조사 결과

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

격자 블럭 전경

옹벽 및 격자 블럭 전경

25.4 안전성능평가

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

25.4.1 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 0.12~0.17로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 25-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{43.0}=0.12$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.9~130.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{43.0}=0.012$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{15.0}{95.0}=0.16$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.9~130.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.0}{95.0}=0.011$로 0.01초과	절리암반	
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{30.0}=0.17$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.9~130.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{30.0}=0.02$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 520m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 3구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~9으로 표기하였다.

<표 25-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	31.213~31.343km	130m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	31.343~31.563km	220m	암반사면	Set4, Set5, Set6
3구간	31.563~31.733km	170m	암반사면	Set7, Set8, Set9

<표 25-26> 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 25-27> 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 25-28> 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 25-29> 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 = (10+5+10+5+10+16) / 6 = 9.3	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 25-30> 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	3~10	c
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 25-31> 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 25-32> 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 25-33> 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 25-34> 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 25-35> 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 25-36> 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 25-37> 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 25-38> 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 25-39> 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 25-40> 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 25-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토25		
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		9.3	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			11	
결함지수		0.11		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 25-42> 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 25-43> 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 25-44> 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 = (10+5+10+5+5+16) / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 25-45> 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	3~10	c
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	d

<표 25-46> 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 25-47> 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 25-48> 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 25-49> 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 25-50> 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 25-51> 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(1.2t),□H= 낙석 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 25-52> 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 25-53> 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 25-54> 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 25-55> 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 25-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토25		
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		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			14	
결함지수		0.14		
상태안전성능평가 결과		**A**		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 25-57> 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 25-58> 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 25-59> 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 = (10+5+10+5+5+16) / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 25-60> 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	3~10	c
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	0.06~0.2	d

<표 25-61> 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 25-62> 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 25-63> 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 25-64> 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 25-65> 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 25-66> 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 25-67> 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 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. 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 25-68> 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 25-69> 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 25-70> 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 25-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		영천절토25		
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**		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 25-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
520.0m	1구간	31.213~31.343km	a(0.11)	A	인장균열 없음
	2구간	31.343~31.563km	a(0.14)		
	3구간	31.563~31.733km	a(0.11)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

25.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

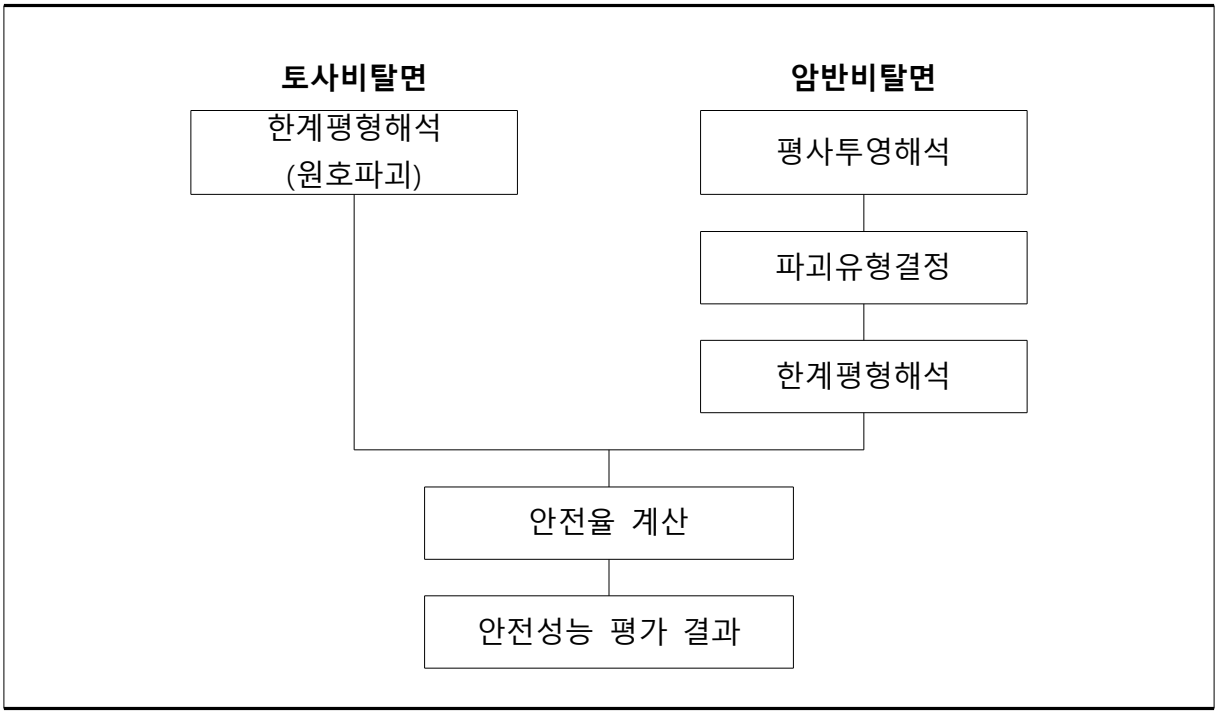
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 25-5> 구조안전성능 평가과정

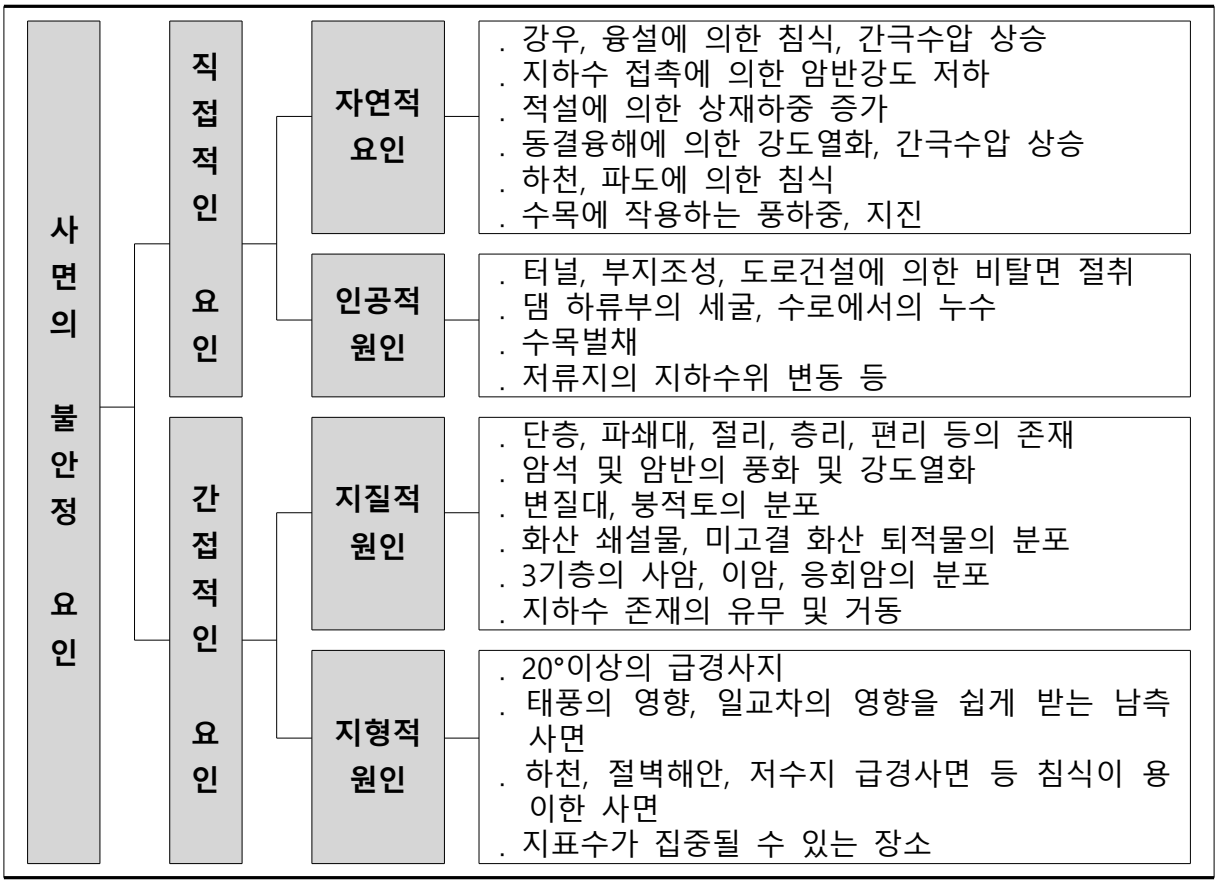
<표 25-73> 유형별 안정해석 범위

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

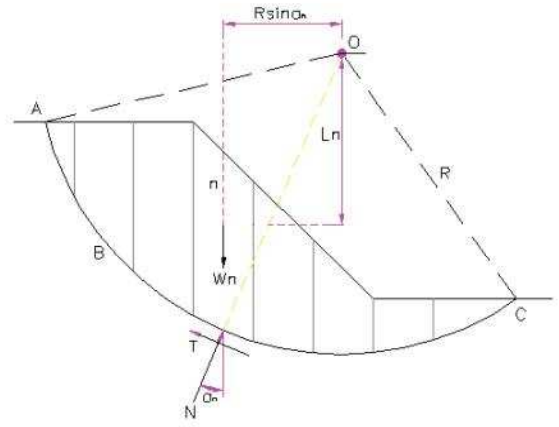


<그림 25-6> 구조안전성능 평가과정

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

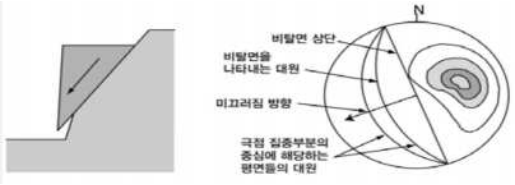
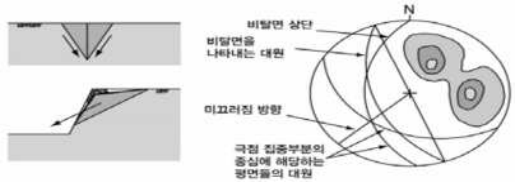
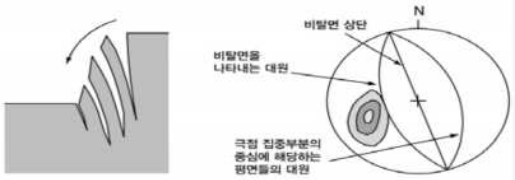
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 25-7> 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 25-74> 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 25-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

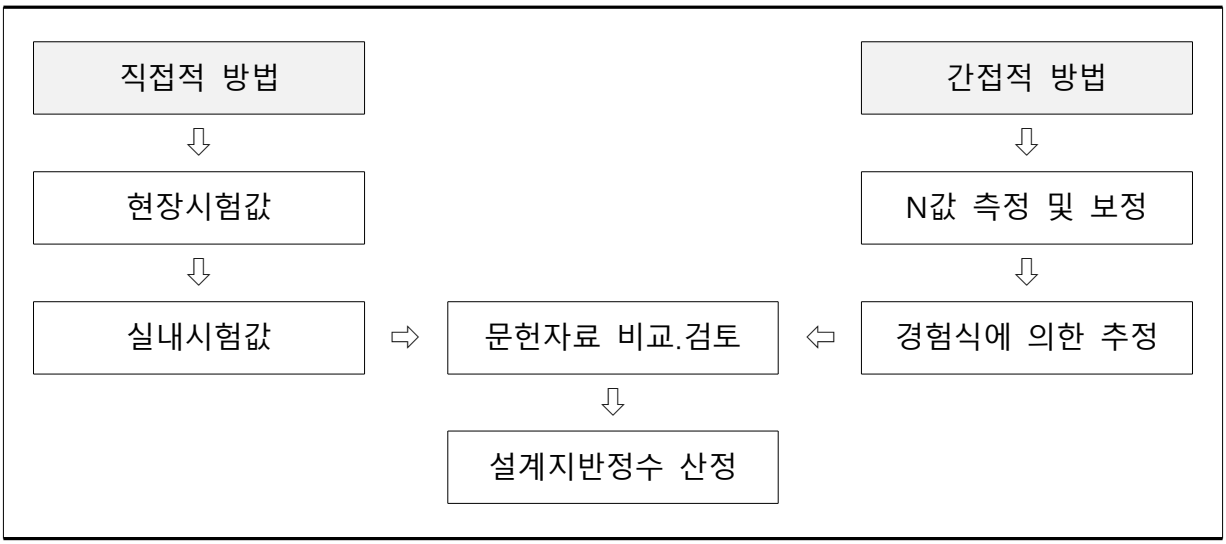
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 25-76> 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 25-77> 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 25-78> 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 25-79> 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 25-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(MPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (4공구)	풍화(잔적)토	19.5	28	18	
	풍화암	20.0	31	27	
	기반암	25.0	37	260	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 25-81> 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 25-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~225.7	26.7±0.8	225.3±1.0	225.3±1.0	225.3~25.6
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 25-83> 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 25-84> 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 25-85> Trueman (1988)

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

<표 25-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 225.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19.5	28	18	0.3	
풍화암	20.0	31	27	0.3	
기반암	25.0	37	260	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

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

① 개별고려

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

② 동시고려

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

<표 25-87> 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

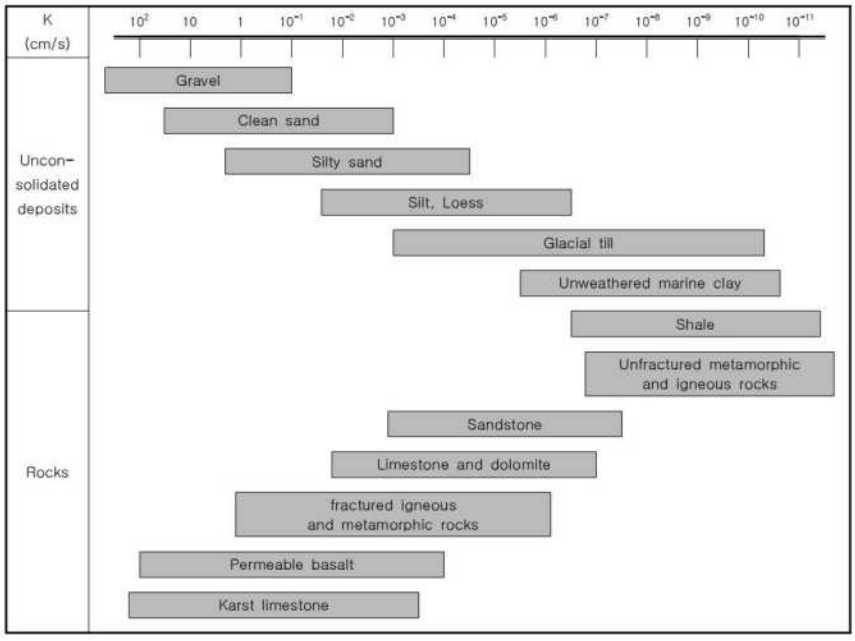
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 25-88> 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 25-89> 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 25-8> 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 25-90> 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

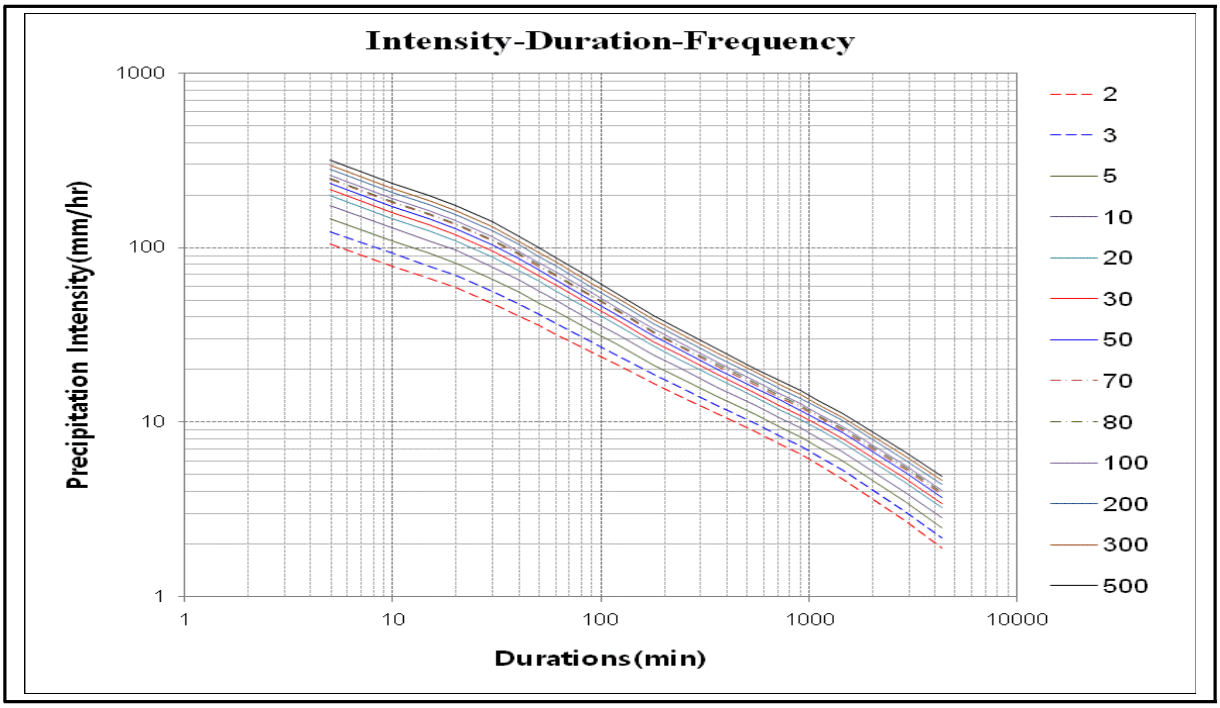
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 25-9> 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 25-10> 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 25-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 25-91> 설계지반운동 수준

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

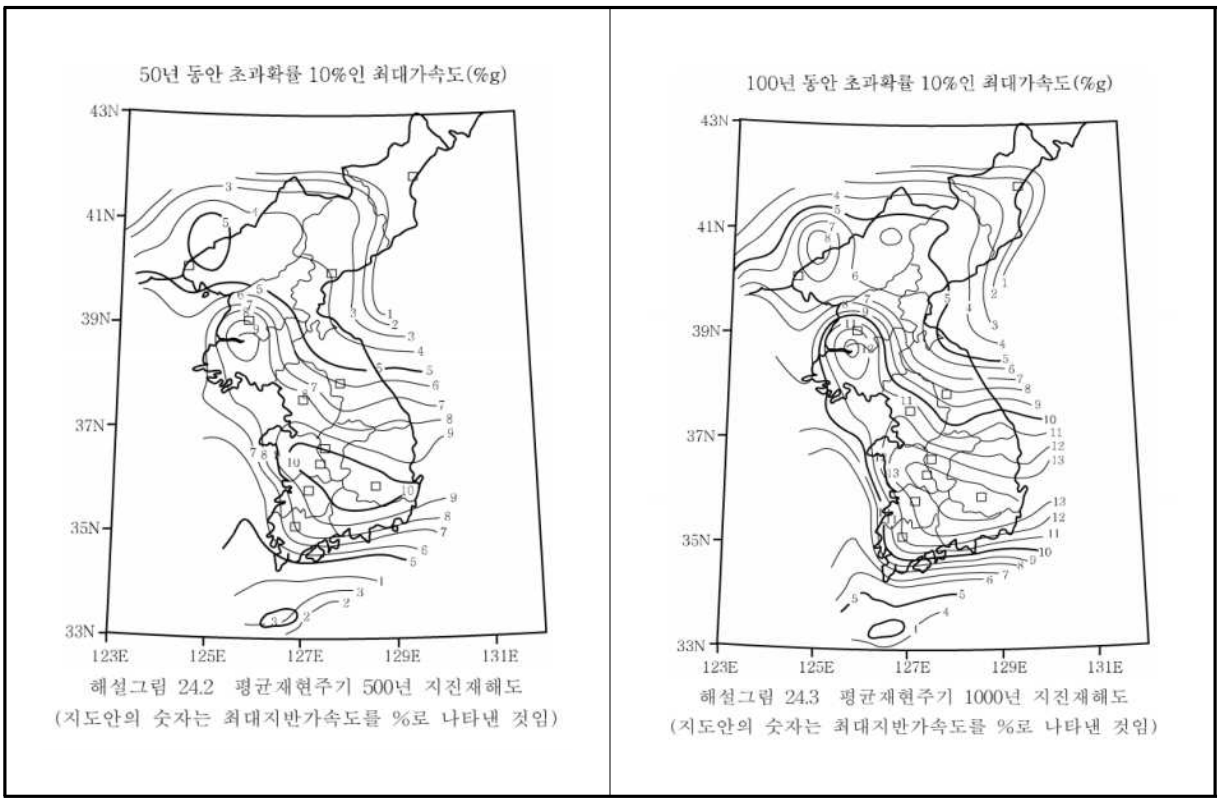
2) 설계지반운동

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 25-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 25-92> 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 25-93> 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

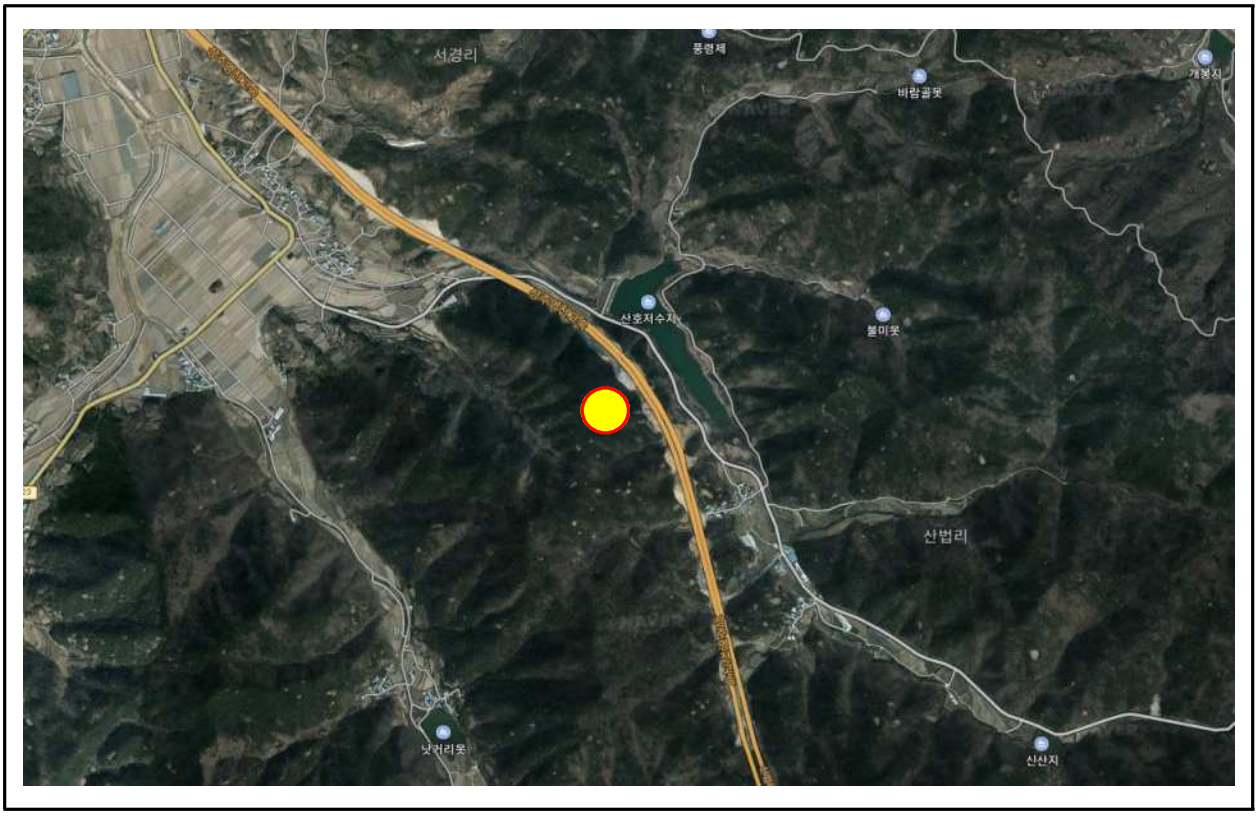
3) 지진가속도계수 선정

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 25-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

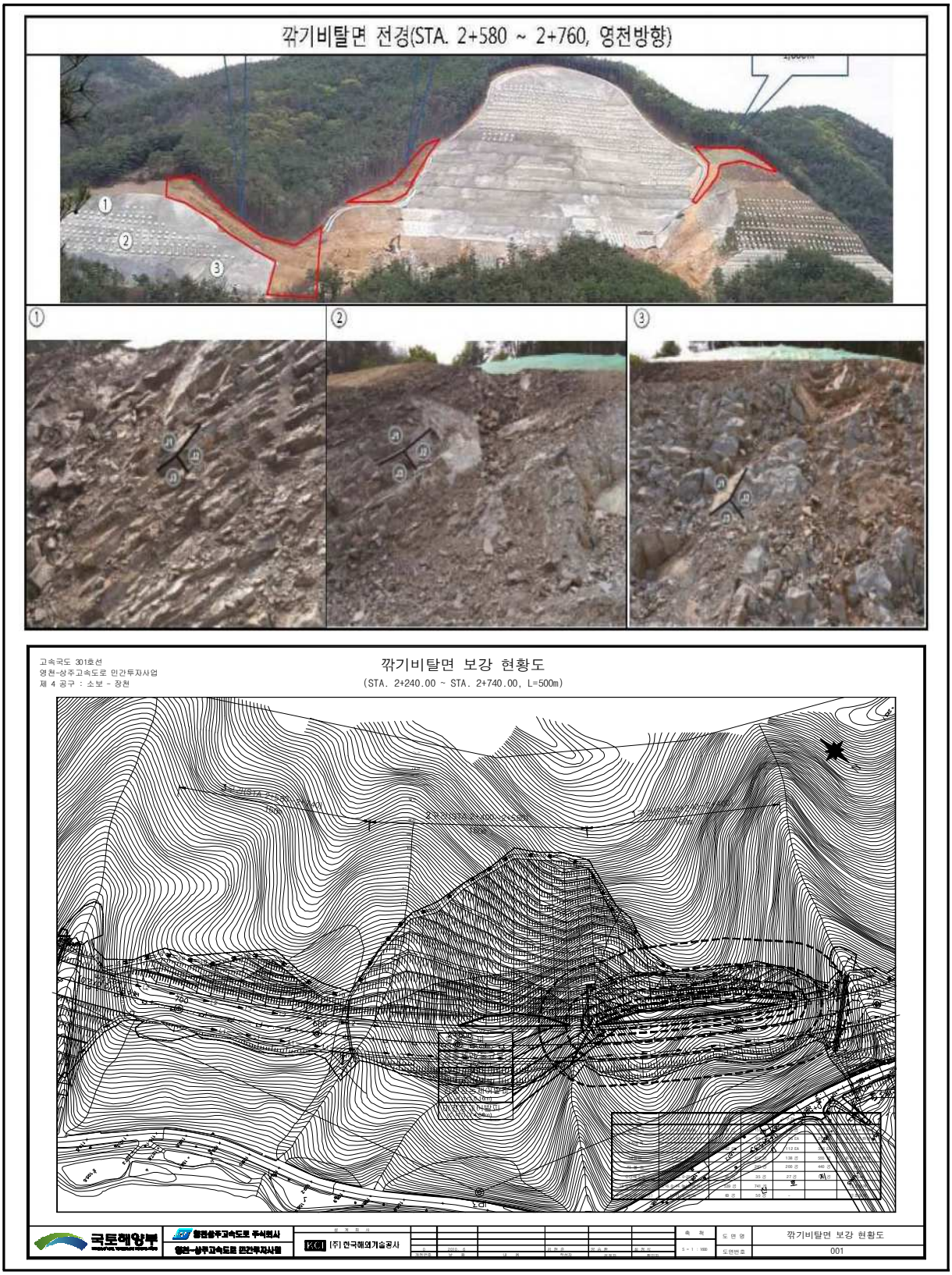
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토25	경상북도 군위군 소보면 산법리	31.213 ~ 31.733	STA.31+293	43.0	5.0	38.0	락볼트	2017	55/050
			STA.31+413	95.0	15.0	80.0	-	2017	55/050
			STA.31+623	30.0	5.0	25.0	락볼트	2017	55/050



<그림 25-13> 영천절토25 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토25 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



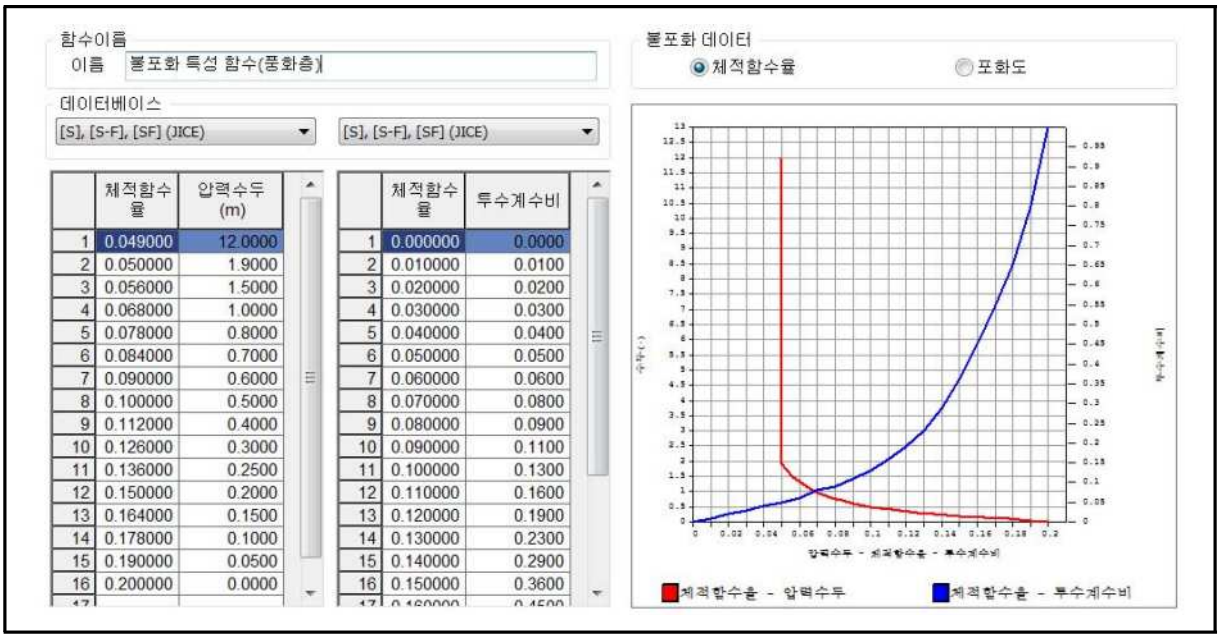
<그림 25-14> 영천절토25 검토대상 비탈면구간

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	19.5	28	18	3.7E-04	
풍화암	20.0	31	27	2.0E-05	
연암	25.0	37	260	3.9E-05	

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



	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

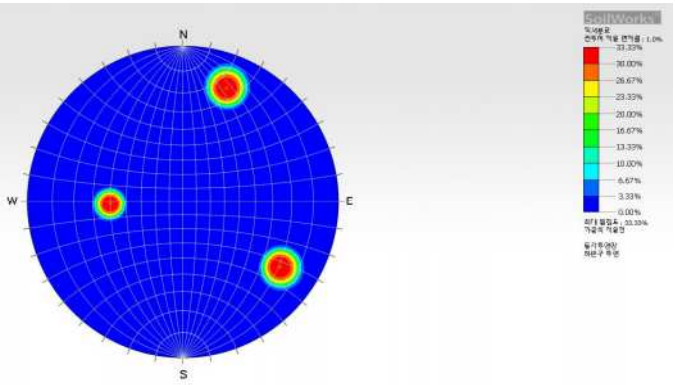
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 25-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

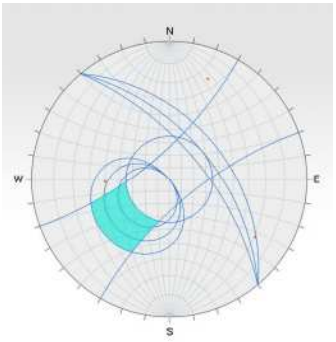
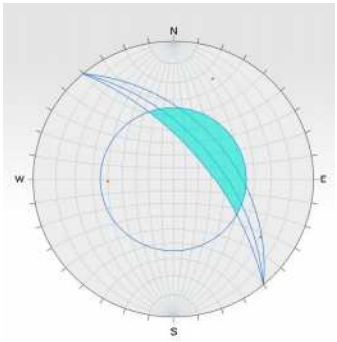
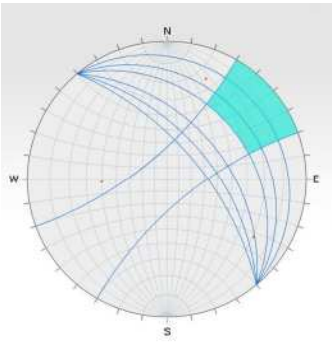
3) 1구간 (STA.31+213 ~ 31+343)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		76	201
		74	304
		50	88

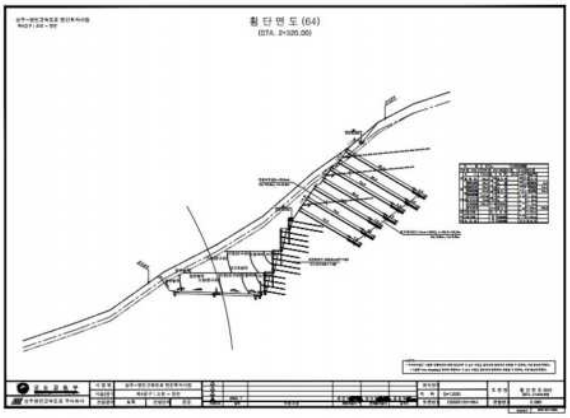
◦ 해석결과

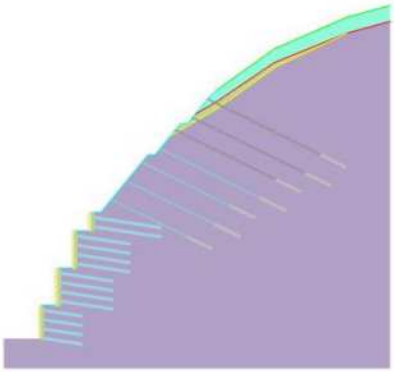
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

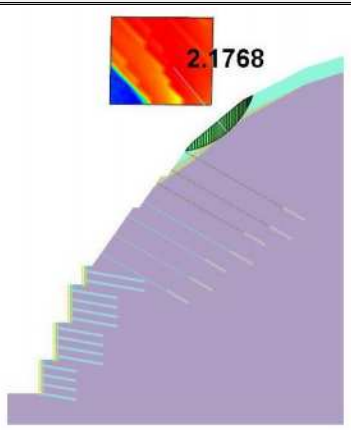
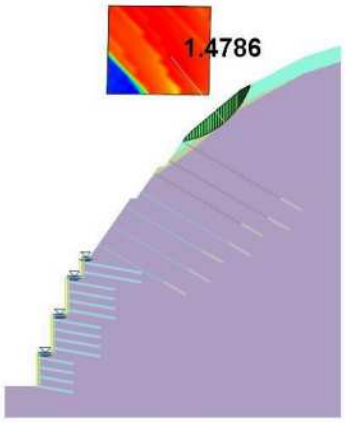
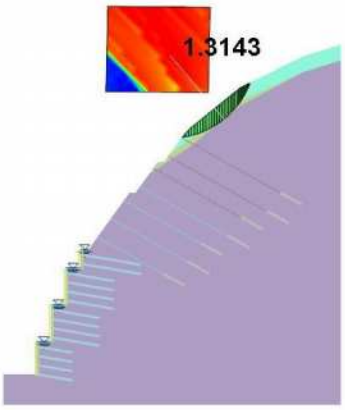
◦ 검토단면





대표단면 : STA.31+293, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.17	안전율 : 1.47	안전율 : 1.31

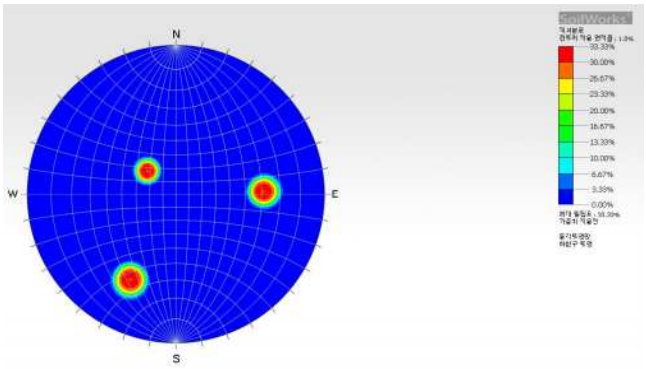
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

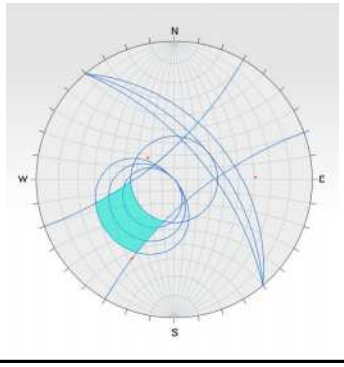
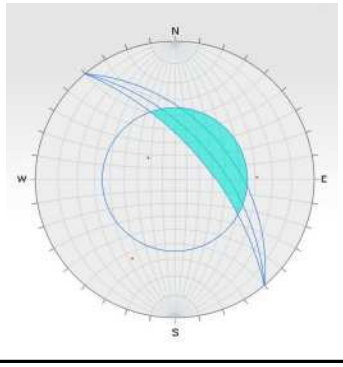
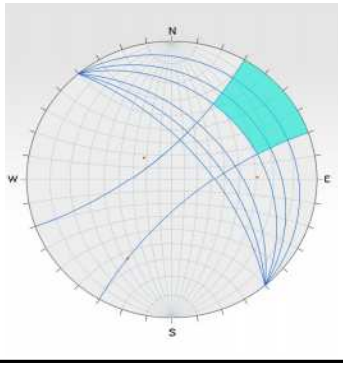
4) 2구간 (STA.31+343 ~ 31+563)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		61	268
		66	28
		28	130

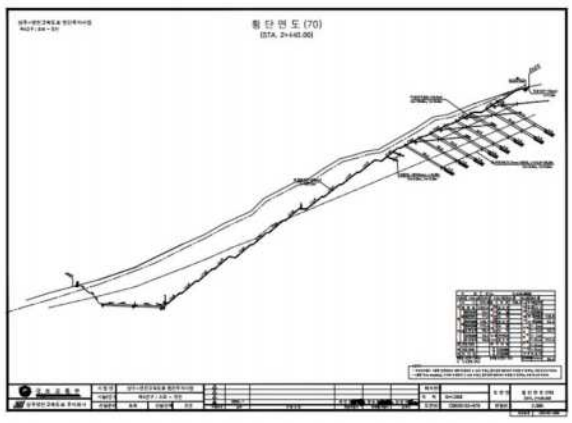
◦ 해석결과

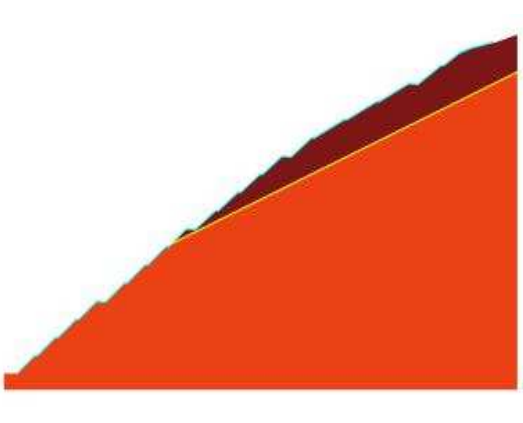
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

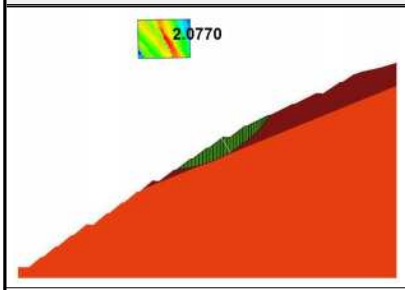
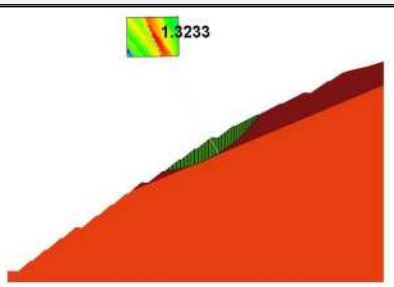
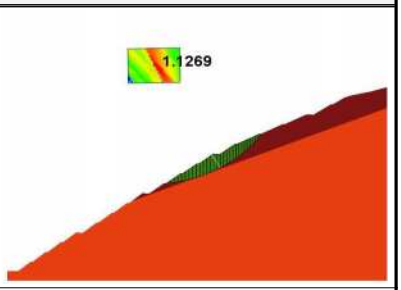
◦ 검토단면





대표단면 : STA.31+413, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.07	안전율 : 1.32	안전율 : 1.12

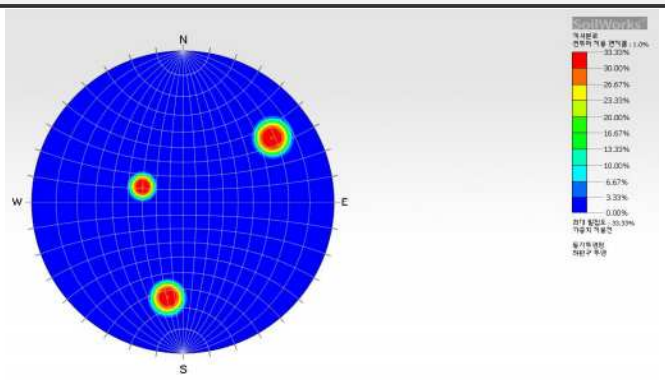
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

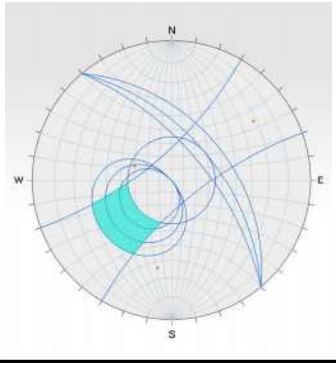
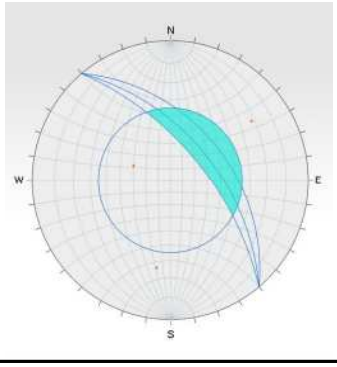
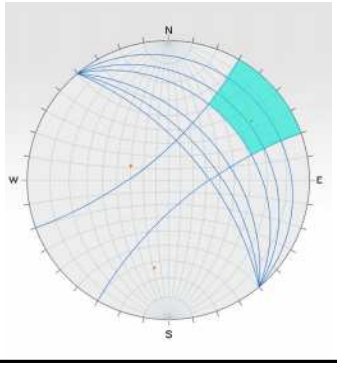
5) 3구간 (STA.31+563 ~ 31+733)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		65	9
		72	234
		32	112

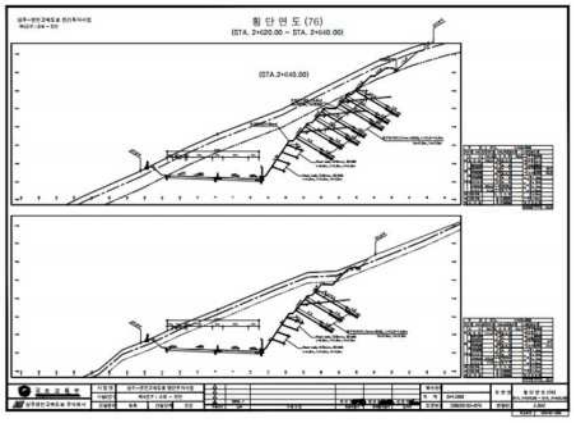
◦ 해석결과

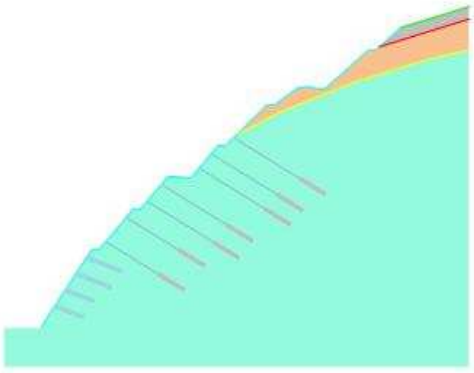
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

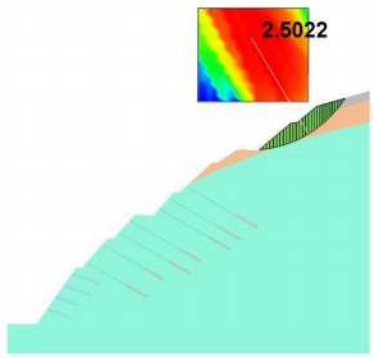
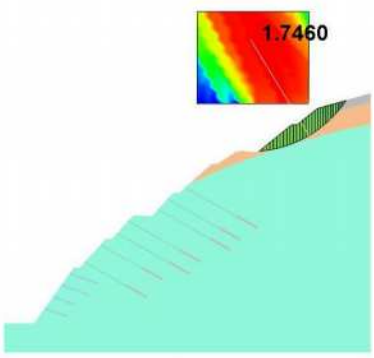
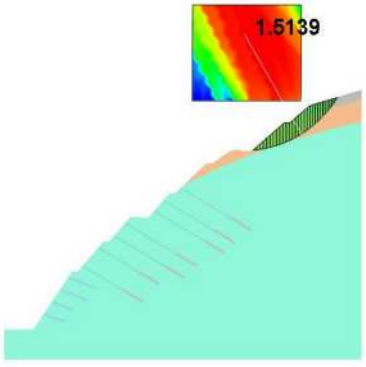
◦ 검토단면





대표단면 : STA.31+623, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.50	안전율 : 1.74	안전율 : 1.51

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 25-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토25**		
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	1.32	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.12	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

25.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 25-96> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토25**		
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 25-97> 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

25.5 내구성능 평가

25.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 25-98> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 5/30 = 0.17
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 140.0MPa	추정
면적	전체	5,027㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	5,027㎡	
표면보호공	식 생	294㎡	
	숏크리트	3,736㎡	
사면보강공	격자블럭	1,891㎡	
	옹벽(앵커)	605㎡	

25.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 25-99> 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

25.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 25-100> 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 25-101> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
31.333km	110.9	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
31.343km	121.0	-	
31.573km	130.4	-	
평균값	120.8	-	
등급	**A등급**		

<표 25-102> 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 25-103> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	294/294㎡	100.0%	13.0/3,736㎡	0.34%	
평가	식생피복률 100%, 숏크리트 손상율 10%미만이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 25-104> 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 25-105> 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 25-106> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	1~3	3~10
	b(5)	b(5)	c(10)
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	40
평 균	7.0	7.0	8.0
평가 결과	c	c	c

<표 25-106> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(2구간)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1~3	1~3	3~10
	b(5)	b(5)	c(10)
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	MW
	b(5)	b(5)	c(10)
합 계	30	30	40
평 균	6.0	6.0	8.0
평가 결과	c	c	c

<표 25-106> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(3구간)		
	Set 7	Set 8	Set 9
길이(m)	1~3	1~3	3~10
	b(5)	b(5)	c(10)
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	MW
	b(5)	b(5)	c(10)
합 계	30	30	40
평 균	6.0	6.0	8.0
평가 결과	c	c	c

<표 25-107> 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**	

25.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 25-108> 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	25	-	-	-

2) 암반구간 내구성능 등급

<표 25-109> 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 25-110> 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

25.6 종합평가

25.6.1 종합평가 개요

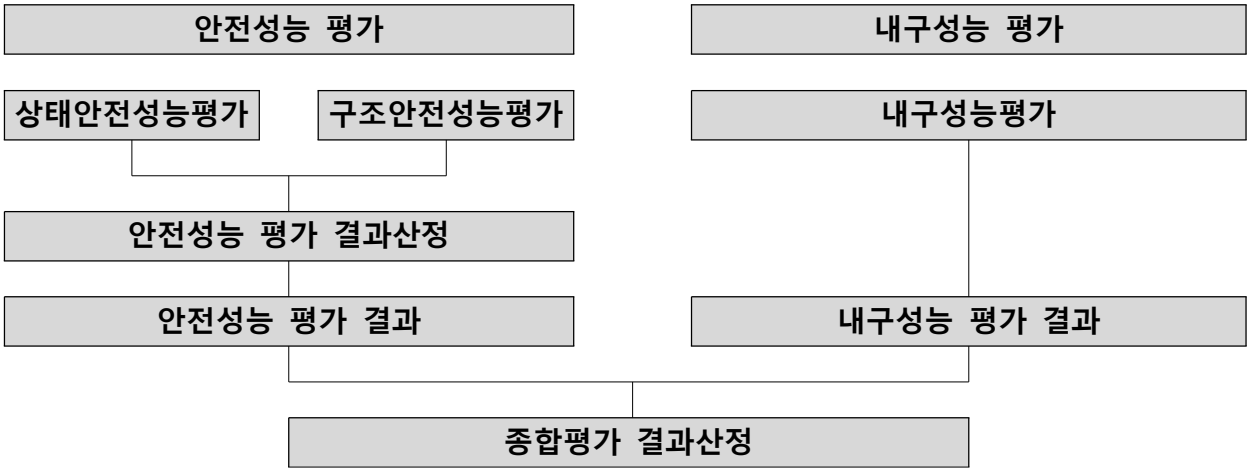
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 25-16> 종합평가 흐름도

25.6.2 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 25-111> 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 25-112> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토25		**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, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 25-113> 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

25.7 유지관리 전략 제안

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

25.7.1 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 25-114> 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				

25.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.156)"으로 평가되었다.

<표 25-115> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.140	0.220	0.156
평가결과	A	B	B

25.7.3 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 25-116> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	숏크리트공	균열	균열보수	일부보수
		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.

25.8 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. 조사결과 일부 구간에서 숏크리트 균열 및 들뜸 손상이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 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.

제26장 영천절토26

26.1 대상 시설물 현황

26.2 관련 자료의 분석

26.3 현장조사

26.4 안전성능평가

26.5 내구성능평가

26.6 종합평가

26.7 유지관리전략 제안

26.8 종합결론

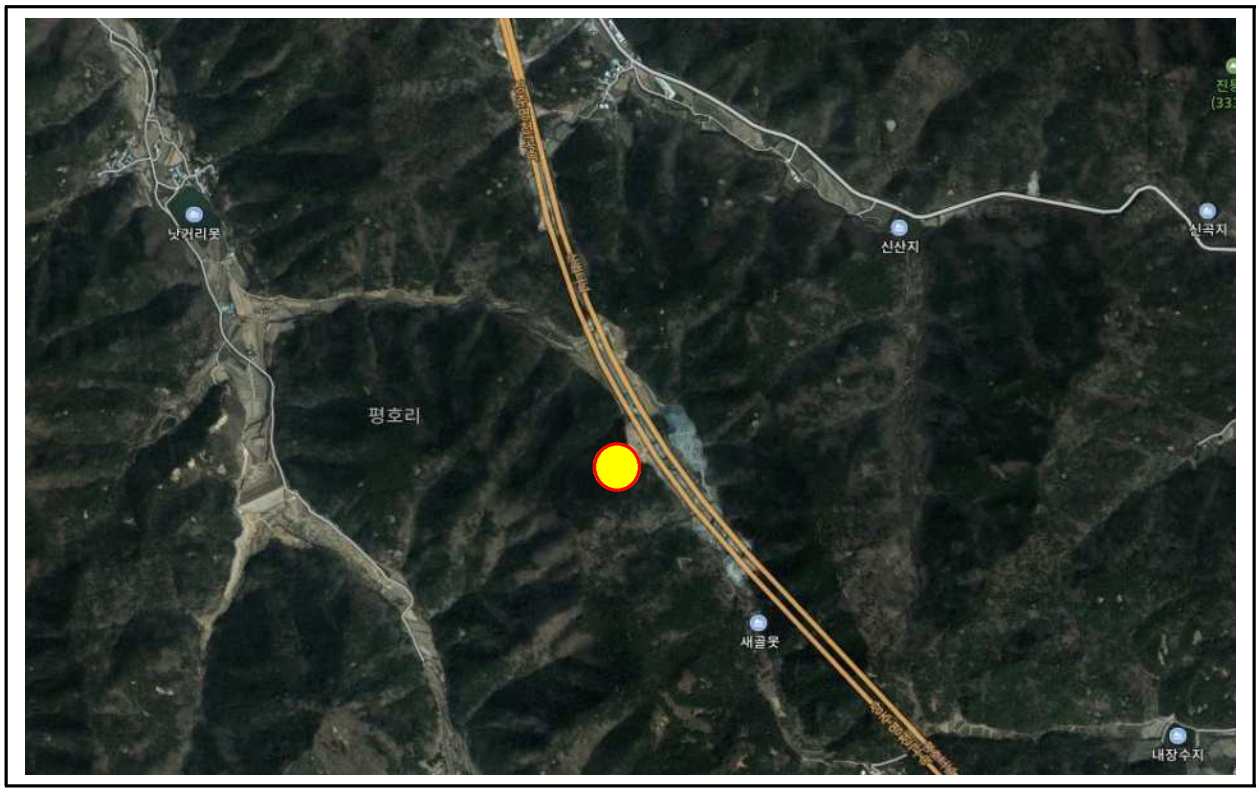
제26장 영천절토26

26.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 군위군 소보면 평호리(상주영천고속도로 33.628~33.933km)에 위치한 사면으로서 총 연장 305.0m, 높이 47.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 26-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000051		**관리번호**	SY SL26
시설물명	영천절토26		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 군위군 소보면 평호리		
	위치좌표	시점 : 36° 20′90.2″ 128° 51′55.3″		
		종점 : 36° 21′08.8″ 128° 51′40.8″		
	관리이정	33.628~33.933km		
	공구이정	4공구 STA.4+645~4+950		
제 원	**연 장**	305m	**높 이**	47.0m
	경사/방향	55/059	**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, 쏘일네일링		
비 고				

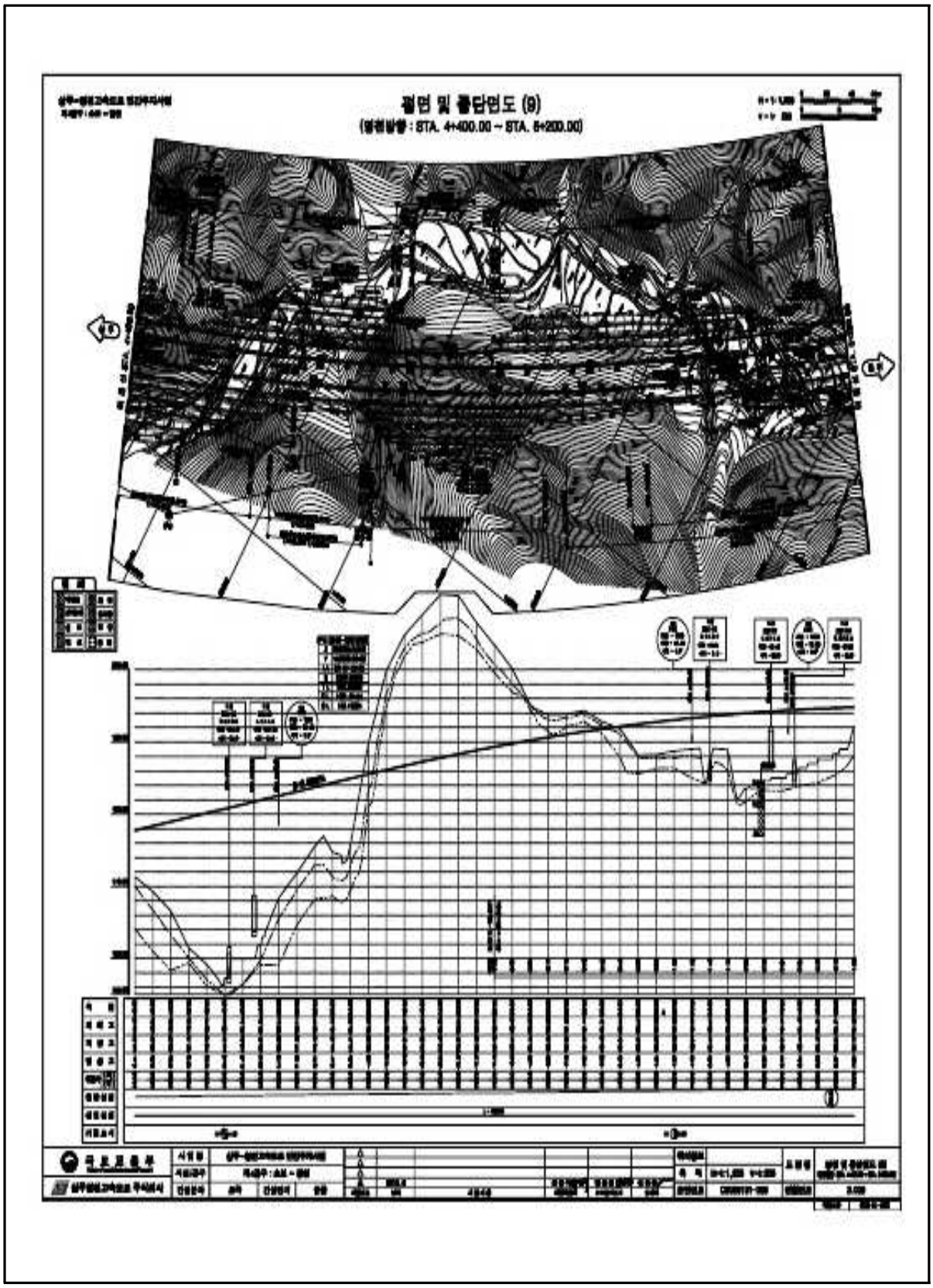


<그림 26-1>위치도

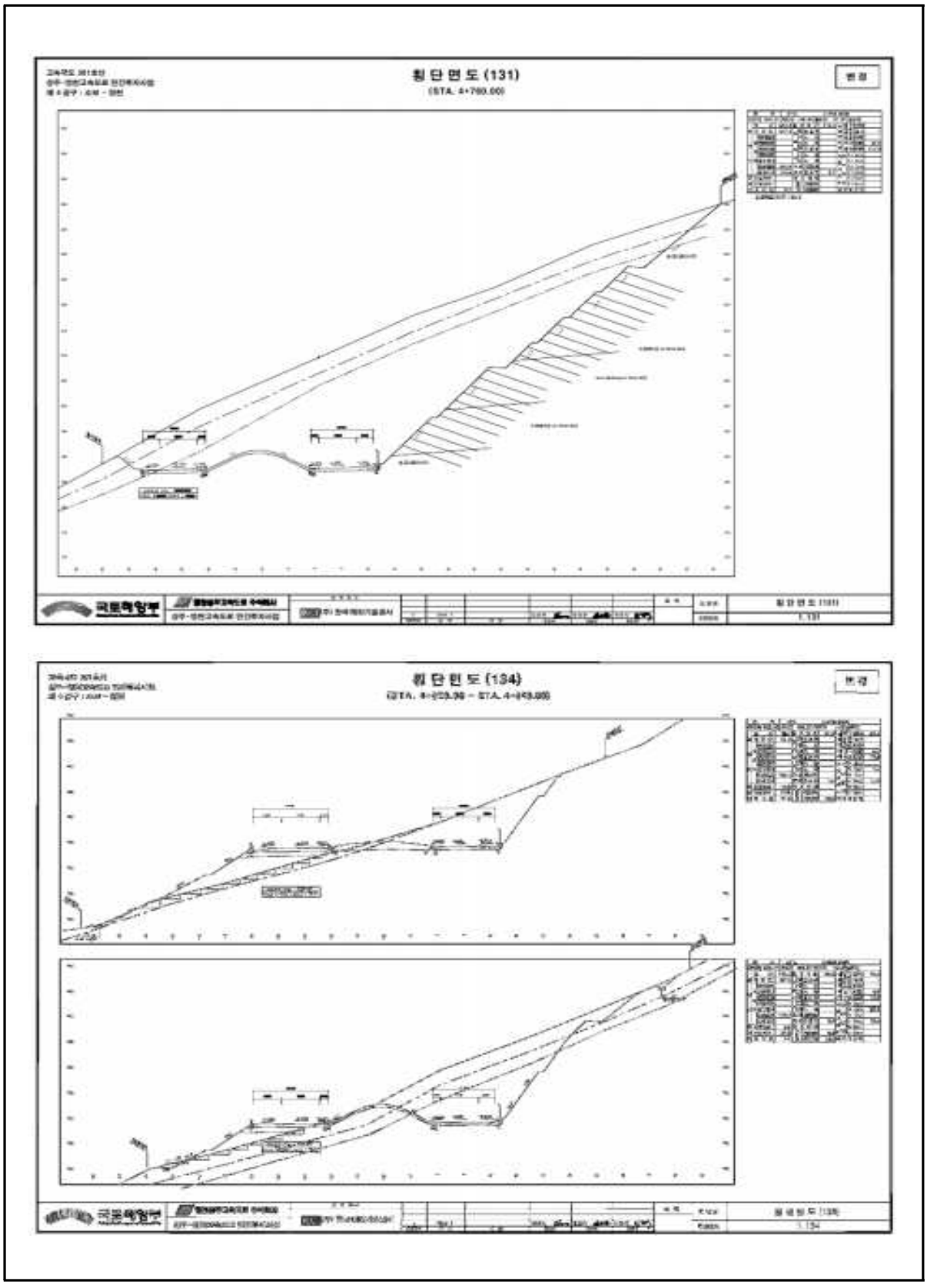
<그림 26-2> 전경사진

정면(숏크리트) 전경	정면 전경
1소단배수로 전경	2소단배수로 전경
하부 전경	산마루측구, 점검계단 전경

<그림 26-2> 전경사진(계속)



<그림 26-3> 평면도



<그림 26-4>표준횡단면도

26.2 관련 자료의 분석

26.2.1 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 26-2> 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 4공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 4공구
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 4공구
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.

26.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자사업 건설공사 4공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

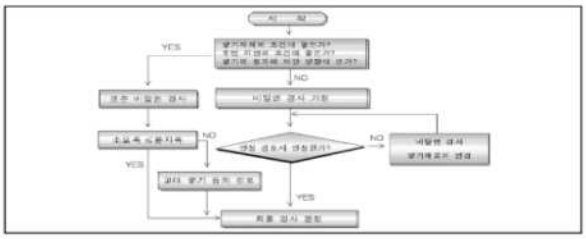
7.4 비탈면 설계기준

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

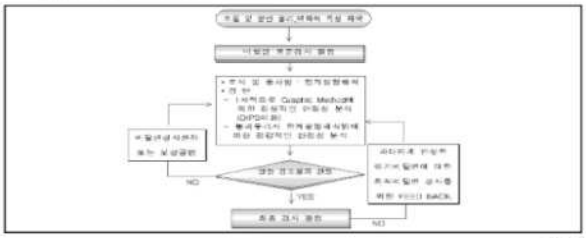
7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 풍기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 암기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



203

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기 범위]

원지반의 토질		암 석 기 능 도	기 울 기	분 류 기 호 (통일분류)
통직토	강우시에도 지하수위가 설계고보다 낮은 경우 강우시에도 지하수위가 설계고보다 높아질 경우 상시 지하수위가 설계고 보다 높은 경우		1 : 1.2 1 : 1.5 1 : 1.8~2.0	
도 해	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	-	1:1.5 이상	SW, SP
사질토	밀실한 것	5m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SP
		5 ~ 10m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 암괴섞인 사질토	밀실하고 입도분포가 좋은것	10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
		10 ~ 15m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않거나 입도분포가 나쁜것	10m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		10 ~ 15m	1:1.2 ~ 1:1.5	
점성토		0 ~ 10m	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5	

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

[암반비탈면의 절취기울기]

암석종류 (강 도)	암반 파쇄상태 (NX 시추시) T.C.R	R.Q.D	굴 착 난 이 도	기울기	소 단 설 치
풍화암 또는 연 · 경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하	10% 이하	리핑암만	1:1.0 ~ 1:1.2	H=5m마다 소단 1m폭 (리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연 · 경암	20~40%	10~25%	발파암만 (연암반)	1:0.8 ~ 1:1.0	H= 10m 마다 소단 1~2m 폭
	40~60%	25~50%	발파암만 (보통암반)	1:0.7	H= 10m 마다 소단 1~2m 폭
	60% 이상	50% 이상	발파암만 (경암반)	1:0.5	H= 20m 마다 소단 3m 폭

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

206

다. 암기 비탈면

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

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

국내 암기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리 등이 규칙적 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)

205

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, 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

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

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

208

2) 지형 및 지질

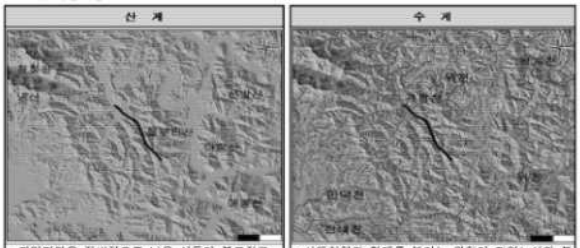
4.2 지표지질 조사

4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지형 개요

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

나. 지질특성



- 과업지역은 전반적으로 낮은 산들이 분포하고 있으나 북서쪽에는 비교적 높은 청학산과 냉산이 위치하고 있음
- 과업노선은 용무리산을 따라 위치하며 노선의 동쪽으로는 마람산과 대봉산이 위치함
- 사행하천의 형태를 보이는 위천이 과업노선의 북쪽에 위치함
- 위천의 지류인 곡정천이 과업노선의 중점부와 인접한 곳에 위치하며 북쪽으로 흐르고 있음
- 과업지역의 여러 하천들은 여러 개의 지류를 형성하며 복잡한 형태를 보임

다. 분포 암종 특성

구 분	지질특성
낙동층(안경산층원역질 사암)	• 낙동층의 하부층에 해당하는 안경산층원의 역질사암과 역암은 원마도가 불량한 석영과 일칼리장석이 주를 이루며, 한질물과 변질된 유색광물의 주로 산출됨
낙동층(균입리층원세일)	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방해석이 침전 또는 충전되어 있어 층리방향으로의 이방성이 클 것으로 예상됨
하산동층 사암	• 석영은 1 mm 내외의 입경으로 원마도는 불량한 경향이 우세 • 하산동층 사암은 근거리에서 이동하여 원성

라. 지질 계통도

지질시대		층 명		특 성	비 고
제4기		충적층(Q_a)		• 하천 및 산록 퇴적물	-
		---- 부정합 ----			
중생대	백악기	충상암맥(K_d) 산성암맥(K_{ad})		• 괴상의 치밀	• 천 구간에서 기반암을 관입
		유천층군	안산암질암(K_{at})	• 주로 용회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
		---- 관입 및 분출 ----			
		신동층군	낙동층 (ka1)	금당리층원 (Ke1-nk)	• 사암과 역질사암, 세일의 교호 • 주로 역질 사암 우세	• 4공구 전구간

마. 지체구조

- 과업지역은 한반도의 동남단에 위치하여 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 중부지역을 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

4.2.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

(1) 목 적

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

(2) 원리 및 방법

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

4.3 지층분포 특성을 위한 조사

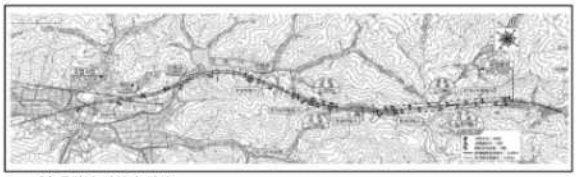
4.3.1 개 요

가. 기본 방향

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

나. 조사 위치 및 수량

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



(1) 굴절법 탄성파 탐사

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 및 교량구간	0+400 ~ 3+560	종	3,160
	4+620 ~ 4+980	종	360
	1+200	횡	75
	1+540	횡	95
	2+380	횡	115
	2+440	횡	205
	2+680	횡	75
	2+860	횡	75
	2+980	횡	85
	3+200	횡	60
	3+340	횡	75
	3+520	횡	75
	3+720	횡	95
	4+760	횡	115

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 및 교량구간	4+880	횡	115
	5+240	횡	110
산업터널 시점	3+950 ~ 4+030	종	80
	3+980 ~ 4+060	종	80
	4+020	횡	100
산업터널 종점	4+275 ~ 4+375	종	100
	4+300 ~4+380	종	80
	4+340	횡	90
평호터널 시점	5+270 ~ 5+370	종	100
	5+320 ~ 5+420	종	100
	5+360	횡	115
평호터널 종점	7+050 ~ 7+150	종	100
	7+060 ~ 7+160	종	100
	7+140	횡	115

구 분	공 번	STA.	X	Y	표고(EL.m)	시추심도(m)
평호터널	TBB-17	영천 5+761(우14.3m)	300380.348	156935.046	296.494	125.00
	TBB-18	상주 5+910(좌27.1m)	300302.758	157089.617	282.280	108.10
	TBB-19	영천 6+091(우19.9m)	300129.558	157149.737	244.378	64.00
	TBB-20	상주 6+196(좌16.4m)	300079.965	157269.168	276.214	103.60
	TBB-21	영천 6+386(우10.6m)	299930.424	157398.667	280.371	105.80
	TBB-22	상주 6+495(좌9.5m)	299863.393	157464.232	283.730	122.00
	TBB-23	영천 6+666(우11.8m)	299704.824	157536.842	296.878	135.00
	TBB-24	상주 6+754(좌19.5m)	299666.016	157643.618	273.975	100.00
	TBB-25	영천 6+974(우27.6m)	299463.961	157729.197	193.527	44.00
	TBB-26	상주 7+110(좌12.4m)	299392.301	157871.839	183.937	21.00
	TBB-27	상주 7+129(좌9.6m)	299375.279	157881.714	182.078	21.00
	TBB-28	영천 7+119(우28.1m)	299353.348	157820.901	180.080	31.00
	TBB-29	영천 7+142(우20.8m)	299340.218	157840.161	175.463	17.00

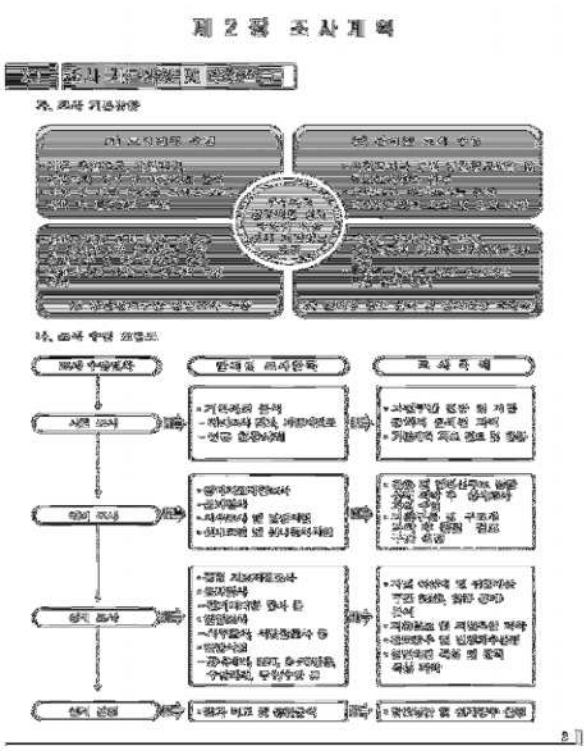
• 교량구간

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

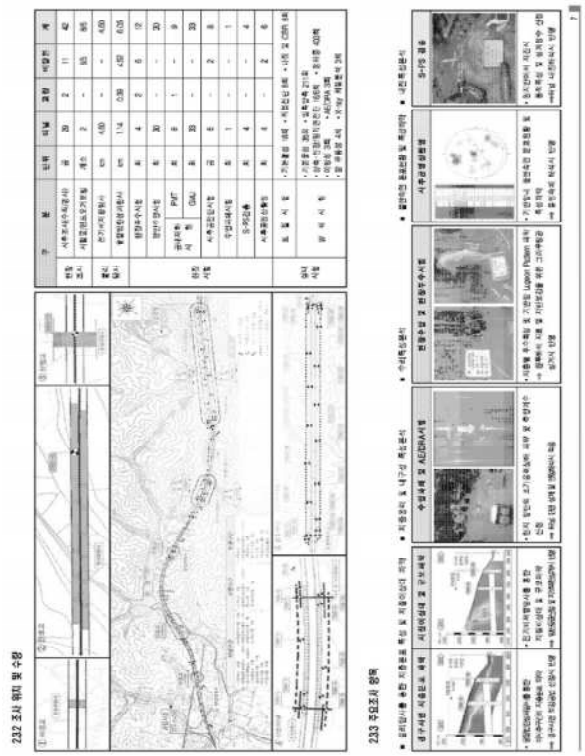
• 비탈면구간

구 분	공 번	STA.	X	Y	표고(EL.m)	시추심도(m)
유기구간	CBB-12	영천 2+968(좌26.4m)	302875.5881	155817.758	157.296	15.00
	CBB-13	영천 2+993(우33.2m)	302837.722	155765.591	166.484	32.00
	CBB-20	영천 3+719(우32.6m)	302130.296	155921.334	179.089	25.00
	CBB-24	상주 5+214(좌42.2m)	300833.331	156640.140	222.850	30.00
풍기구간	SBB-10	영천 2+876(좌15.3m)	302962.858	155782.233	130.859	2.00
	SBB-13	상주 3+713(좌5.8m)	302147.045	155974.590	153.032	7.70
	SBB-14	상주 3+785(좌9.5m)	302077.795	155995.141	152.648	9.70
	SBB-15	영천 3+799(우17.0m)	302054.023	155951.890	159.657	7.40
	SBB-19	상주 5+035(좌5.0m)	300948.791	156499.590	180.703	7.00
	SBB-20	영천 5+097(우10.7m)	300883.918	156500.897	184.677	7.60
	SBB-21	영천 5+251(좌5.1m)	300775.986	156612.552	199.707	7.00

3) 지반조사 보고서



제 2 절 조사계획



3.2 암반의 분류 및 기준

3.2.1 암반분류 방법

암반 분류	• 한국도로공사, 철도청, 한국기술용역협회 및 서울지하철 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류하고 더넘구간은 암종으로 표시하며 RQD, 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 작성 방법"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 흔색의 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, 거칠기등) 등을 자세하게 기재함

가. RQD에 의한 암반분류(Deere, 1968)

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

나. RMR에 따른 암반등급(Bieniawski, 1974)

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

다. Q값에 따른 암반등급(Banton, 1974)

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

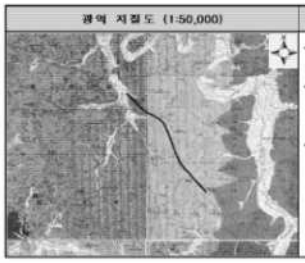
• 터널구간에 분포하는 암반에 대하여 유사한 공학적 특성을 보이는 몇 개의 군으로 분류
• 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 흔색에 대한 접두용어를 사용

16

제 4 장 조 사 결 과

4.1 사전조사

4.1.1 광역지질도 분석

광역 지질도 (1:50,000)	분 석 내 용
	• 백악기 경상층군의 신동층군의 낙동층(언화동층), 하산동층, 진주층(동명층)이 분포 • 낙동층 중 · 상부와 하부 하산동층은 하도 말단 및 주변 범람원 환경하에서 퇴적되어 하도 사암 및 범람원 기원의 세립 퇴적층이 교호 • 경상 누층군의 낙동층 분포지 내에서 과업구간에 해당하는 지역에서는 서북서-동남동 방향의 하수향 주향이동 단층인 신원단층, 금천단층, 가음단층, 우보 단층 등이 발달하며, 이 지역의 동남측에서는 북북동-남남서 방향의 우수향 이동단층인 암산단층계가 발달

4.1.2 기본설계자료 분석

구 분	분 석 내 용
터널구간	• 붕적층은 0.4~4.0m, 풍화토는 1.6~4.2m, 풍화암은 0.5~2.5m 두께로 분포 • 연암은 0.0~5.0m, 경암은 1.6~16.5m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=23~76/0~30, 경암 TCR/RQD(%)=60~100/12~100로 퇴적암으로 구성
교량구간	• 붕적층은 0.5~0.8m, 풍화토는 0.6m, 풍화암은 2.8~4.0m 두께로 분포 • 연암은 1.4~4.5m, 경암은 2.8~16.1m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=26~93/0~40, 경암 TCR/RQD(%)=60~100/71~100로 퇴적암으로 구성
비탈면구간	• 붕적층은 0.5~1.4m, 풍화토는 0.7~1.6m, 풍화암은 1.0~1.9m 두께로 분포 • 연암은 1.5~7.5m, 경암은 3.3~3.6m 심도에서 출현하며, 연암 TCR/RQD(%)=26~60/0~9, 경암 TCR/RQD(%)=90~100/67~100로 퇴적암으로 구성

47

제 7 장 비탈면 안정성 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 쌓기 및 깎기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대쌓기 비탈면과 고깎기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태의 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 저항면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사의 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

7.1.2 검토내용

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

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

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m 이상, 쌓기구간은 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
깎 기 부	- 비탈면 높이가 10m를 초과하는 경우 - 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 - 쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 - 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 - 지질특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 빈번하다 판단되는 경우 - 흉수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 - 쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) - 내진안정해석이 필요한 경우
쌓 기 부	- 비탈면 높이가 20m 이상인 경우 - 비탈면기울기가 표준기울기보다 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 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.

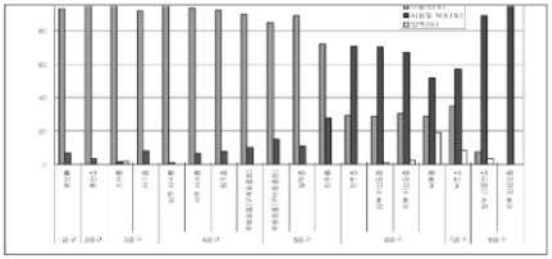
구 분		구 간 (STA.)	연 장 (m)	대표단면 (STA.)	최대쌓기고 및 깎기고	지층현황	조사내용 공번	조사내용 조사위치 (STA.)	비 고
쌓기구간	쌓기1구간	1+090 ~ 1+260	240	1+200(상주방향)	27.40	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기2구간	1+430 ~ 1+610	180	1+540(상주방향)	45.47	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기3구간	2+220 ~ 2+560	340	2+300(영천방향)	53.24	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기4구간	2+560 ~ 2+750	190	2+640(영천방향)	32.00	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기5구간	2+810 ~ 2+860	50	2+840(영천방향)	14.74	토사층 리핑암 발파암	-	-	미시추 한성과 협시수행
	쌓기6구간	2+910 ~ 3+050	140	2+980(영천방향)	27.72	풍적층,풍화토 풍화암,연 암	CB3-12 CB3-13	2+998(영천) 2+968(영천)	

7.6.3 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

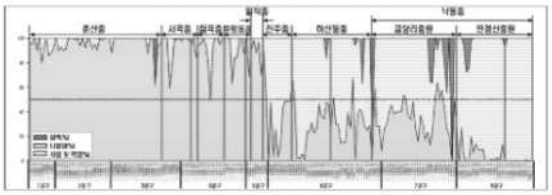
가. 지질 및 암종특성

① 지질특성

- 본 과업노선(상주~영천고속도로 제4공구) 경상분지의 최북암 지역에 위치하며 시질부터 낙동층, 하산동층, 진주층의 순서로 분포함.
- 구성암석은 이암과 세일로 구성된 니질암과 사암 및 역암으로 구성되며 니질암은 28.9~30.4% 의 구성비를 보임
- 니질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특징을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 짧은 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄

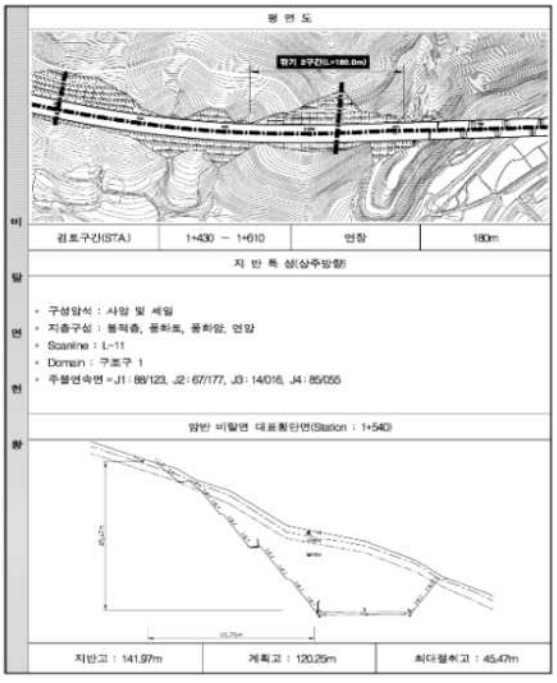


< 상주~영천고속도로 구간별 분포 층군 >



< 상주~영천고속도로 구간별 분포 층군 지질종단도>

(2) 쌓기 2구간



26.2.3 점검 및 진단 이력

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

<표 26-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토26 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 국부적인 수평배수공 막힘이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 정비 후 주의관찰이 필요하다.	양호
2	2026. 05. 28 ~ 2026. 06. 30	정기안전점검	영천절토26 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 국부적인 수평배수공 막힘, 수목전도가 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 정비 후 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2026. 10. 23 ~ 2026. 12. 31	정기안전점검	영천절토26 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 국부적인 수평배수공 막힘, 수목전도가 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 정비 후 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	영천절토26 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 국부적인 수평배수공 막힘, 수목전도가 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)~보통풍화(MW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B등급
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	영천절토26 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생된 것으로 확인되었다. 또한, 1단 사면부의 경우 표층유실이 발생되었으며, 점검일 현재 임시보수를 실시한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. 특히, 1단 사면 임시보수부의 경우 손상의 진전여부 확인을 위한 주의관찰이 요망된다.	양호

26.2.4 보수·보강이력

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

<표 26-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

26.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계는 미적용된 것으로 확인되었다.

<표 26-5> 내진 설계 적용 여부

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

26.2.6 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 26-6> 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

26.3 현장조사

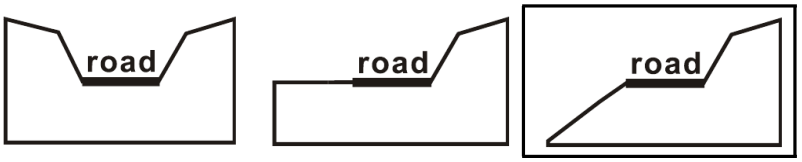
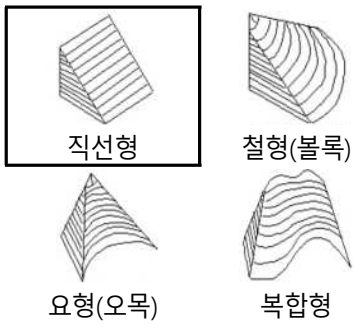
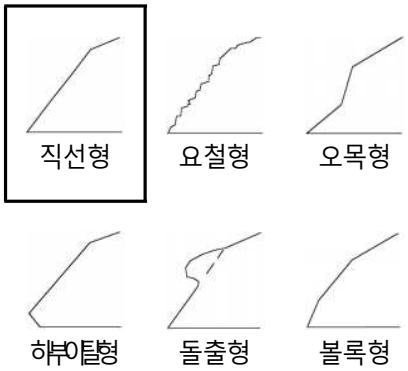
26.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 26-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2020. 05. 18.</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 군위군 소보면 평호리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="4">시점 : 36° 20′90.2″ 128° 51′55.3″</td></tr>
<tr><td colspan="4">종점 : 36° 21′08.8″ 128° 51′40.8″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 305m</td><td colspan="2">높 이 : 47.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">경 사/경사방향 : 55/059</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 : 7</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>식생현황</td><td colspan="2">33.810~33.933k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">33.748~33.933k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">33.678~33.798k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">33.628~33.798k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">33.828k</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 26-8> 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">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 26-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토26		
	위경도	시점 : 36° 20′90.2″ 128° 51′55.3″ 종점 : 36° 21′08.8″ 128° 51′40.8″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2020년 5월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	305.0m	최대높이	47.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	7개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	주변지형	■산악 □준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	누수위치	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	■F ■S ■M □H □C □R	불연속면 방향성	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	■직선형 □철형 □요형 □파형	측면형상	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	없음	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	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) □숏크리트(양호) □격자블럭(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			

26.3.2 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 소보면 평호리(상주영천고속도로 33.628~33.933km)에 위치한 사면으로서 총 연장 305.0m, 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 26-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{47.0}=0.11$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{20.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 96.5MPa으로 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 305m로서, 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 26-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	33.628~33.798km	170m
2구간	33.798~33.933km	135m

26.3.3 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 상태이다.

<표 26-12> 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, 숏트리공이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화상태는 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 정도인 것으로 분석되었다.

<표 26-13> 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 26-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	-	-	-
방향성	-	-	-
간격(m)	-	-	-
연장성(m)	-	-	-
틈새(mm)	-	-	-
거칠기	-	-	-
충진물질	-	-	-
풍화도	-	-	-
구 분	2구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	81/233	80/352	-
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	SW	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 26-15> 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, 양호한 상태이다.

<표 26-16> 배수 조건 조사 결과

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

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 26-17> 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 26-18> 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 26-19> 낙석 조사 결과

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

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 26-20> 인장균열 조사 결과

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

26.3.4 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 26-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
33.828km	50.8	96.5	보통암	1단
33.838km	50.9	97.1	보통암	1단
33.848km	50.4	95.0	보통암	1단
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 50.4~50.9으로 측정되었으며, 추정강도 95.0~97.1㎫로 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. 조사결과 식생공과 숏크리트공이며 양호한 상태이다.

<표 26-22> 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 비탈면의 사면보강공으로 쏘일네일링이 시공되었으며, 기능발휘에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.

<표 26-23> 사면보강공 조사 결과

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

26.4 안전성능평가

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

26.4.1 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 0.10~0.11로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 파쇄암반, 절리암반 비탈면으로 평가된다.

<표 26-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{47.0}=0.11$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	조사불가 – 동일사면(2구간) 활용	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{20.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 96.5MPa으로 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 305m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~2으로 표기하였다.

<표 26-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	33.628~33.798km	170m	암반사면	숏크리트 보호공으로 조사불가
2구간	33.798~33.933km	135m	암반사면	Set1, Set2

<표 26-26> 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

1구간은 표면보호공으로 숏크리트로 시공되어있어 조사가 불가하여 상태안전성능 평가를 실시하지 않음.

다. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 26-27> 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 26-28> 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 26-29> 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 26-30> 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 26-31> 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 26-32> 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 26-33> 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 26-34> 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 26-35> 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 26-36> 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 26-37> 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			

라. 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 26-38> 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.

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 26-39> 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 26-40> 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 26-41> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토26		
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		

바. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 26-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
305.0m	1구간	33.628~33.798km	-	A	인장균열 없음
	2구간	33.798~33.933km	a(0.11)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

26.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

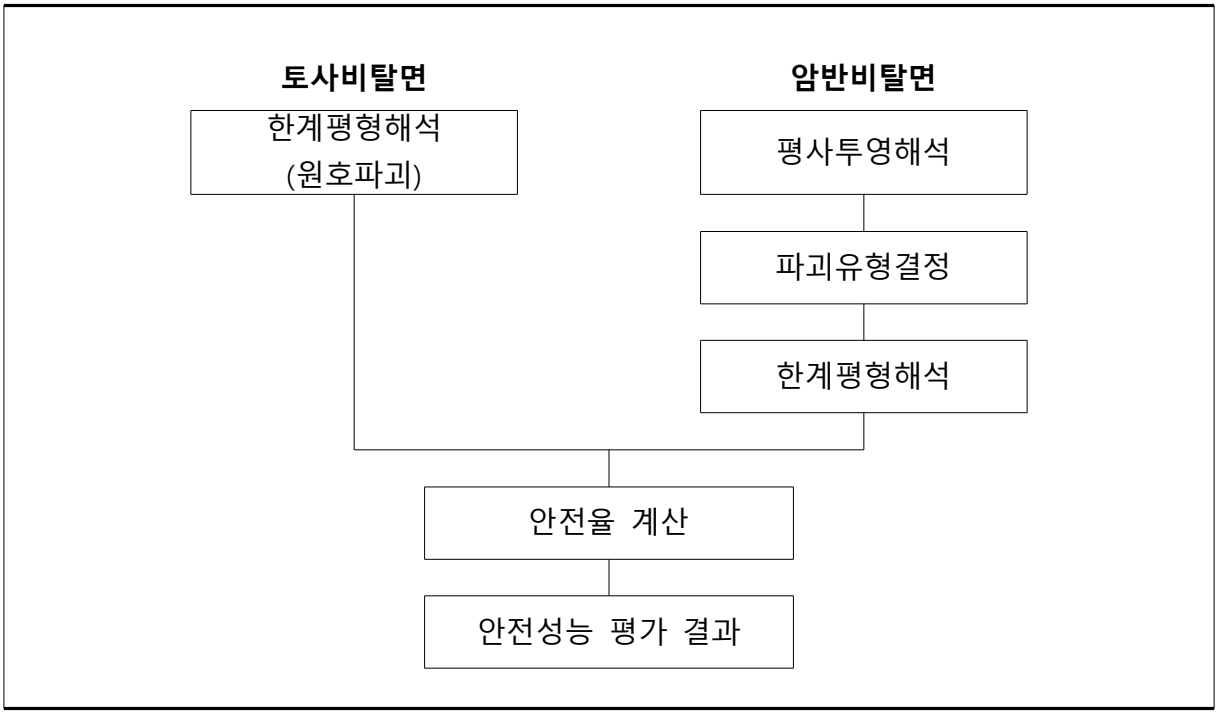
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 26-5> 구조안전성능 평가과정

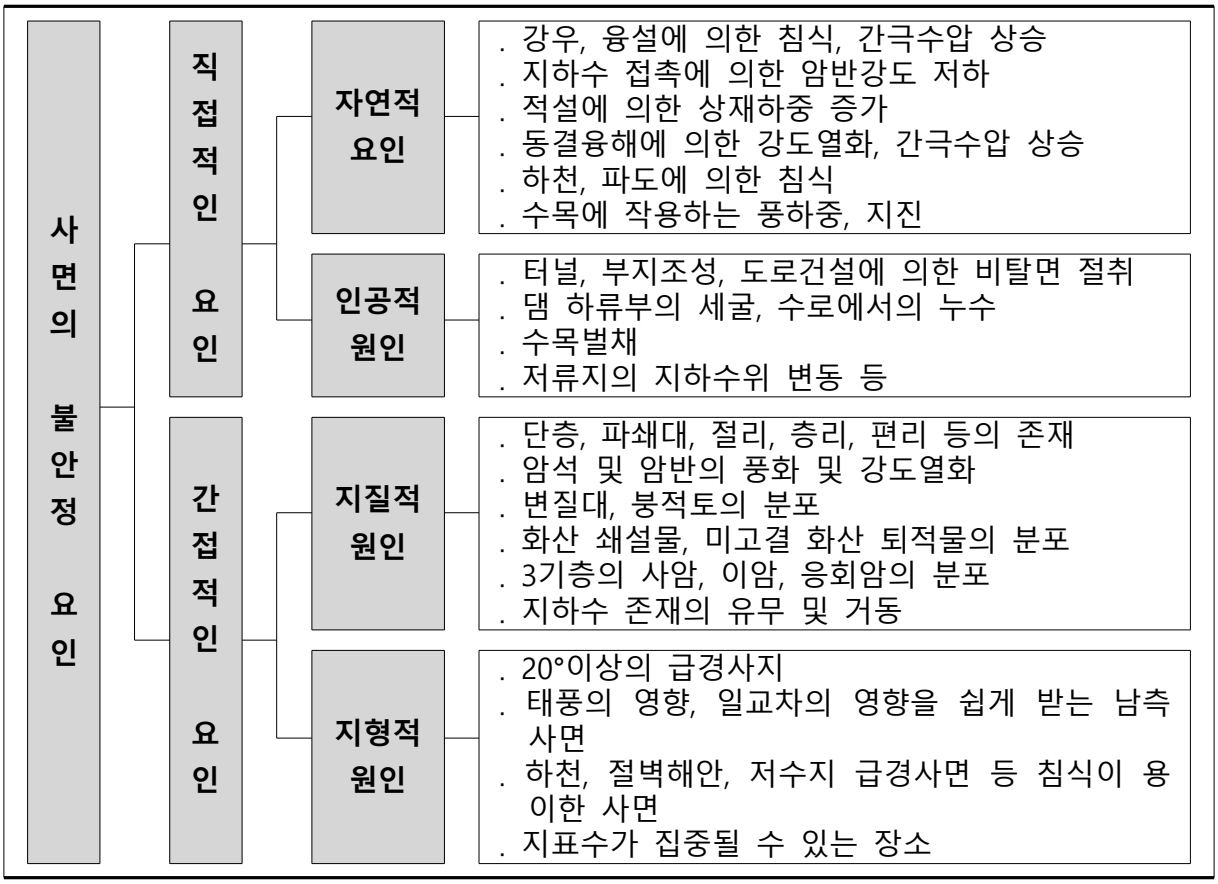
<표 26-43> 유형별 안정해석 범위

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

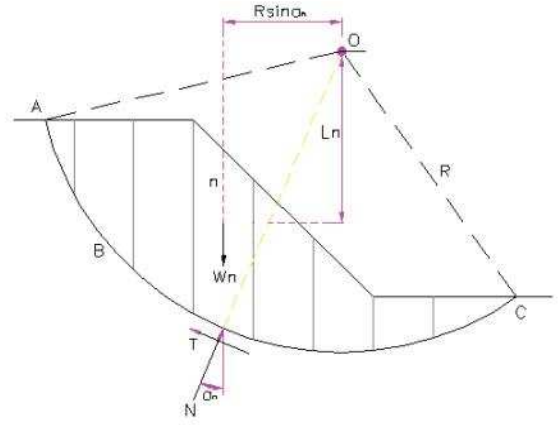


<그림 26-6> 구조안전성능 평가과정

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

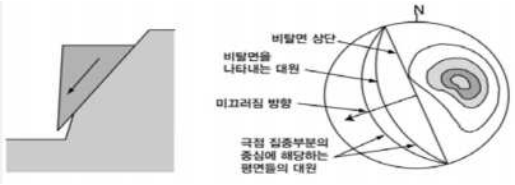
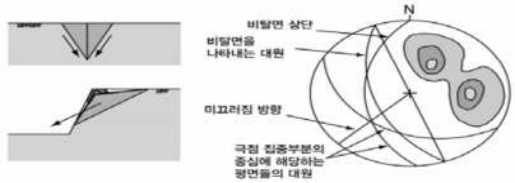
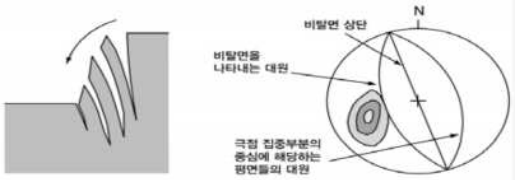
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 26-7> 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 26-44> 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 26-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

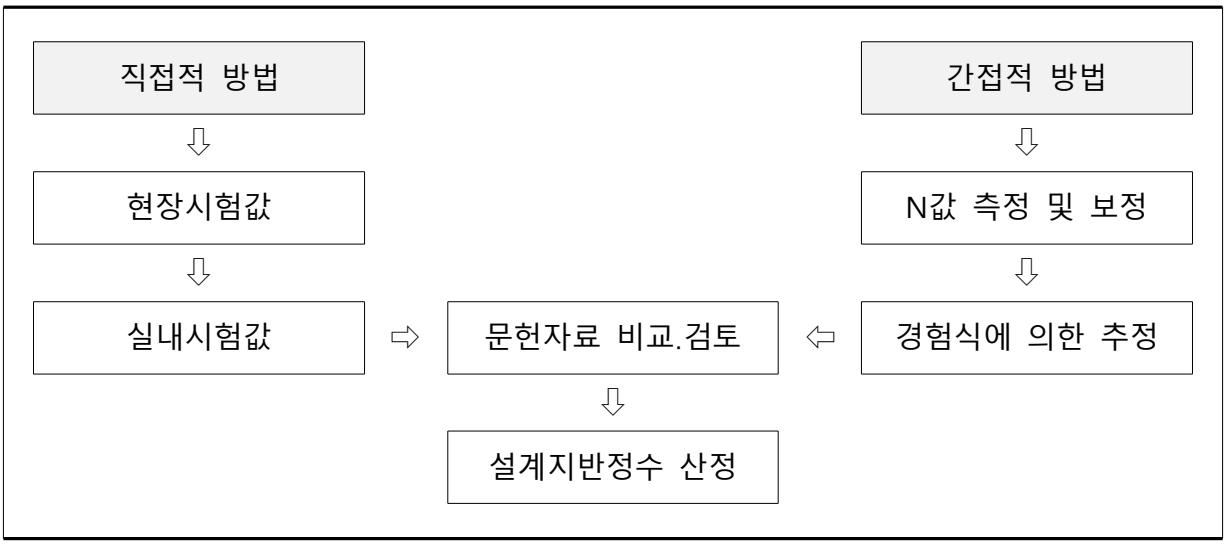
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 26-46> 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 26-47> 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 26-48> 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 26-49> 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 26-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주영천 고속도로 건설공사 (4공구)	풍화(잔적)토	19.5	28	18	
	풍화암	20.0	31	27	
	기반암	25.0	37	260	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 26-51> 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 26-52> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~226.7	26.7±0.8	226.3±1.0	226.3±1.0	226.3~25.6
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 26-53> 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 26-54> 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 26-55> Trueman (1988)

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

<표 26-56> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각($\varnothing$)	0.25(RMR*) + 226.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	19.5	28	18	0.3	
풍화암	20.0	31	27	0.3	
기반암	25.0	37	260	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

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

① 개별고려

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

② 동시고려

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

<표 26-57> 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

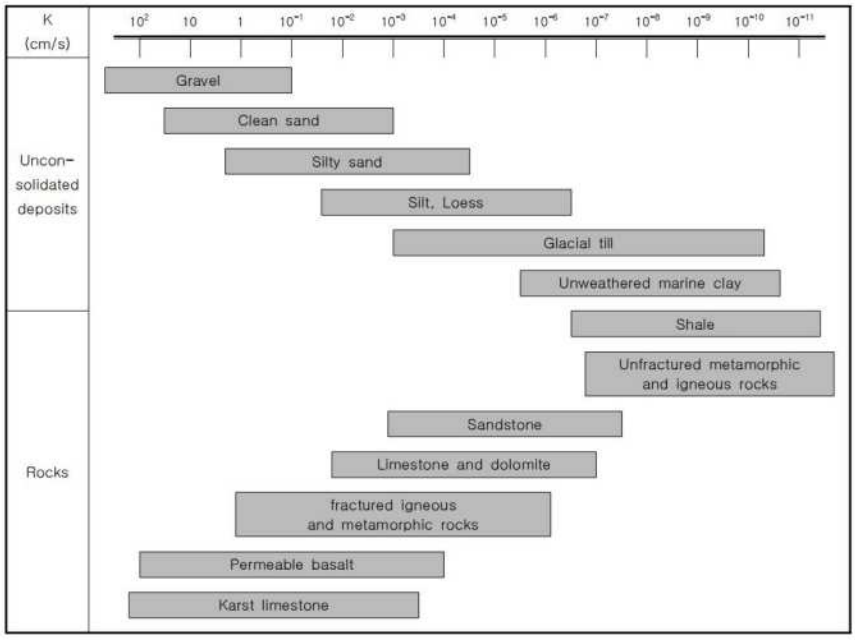
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 26-58> 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 26-59> 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 26-8> 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 26-60> 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

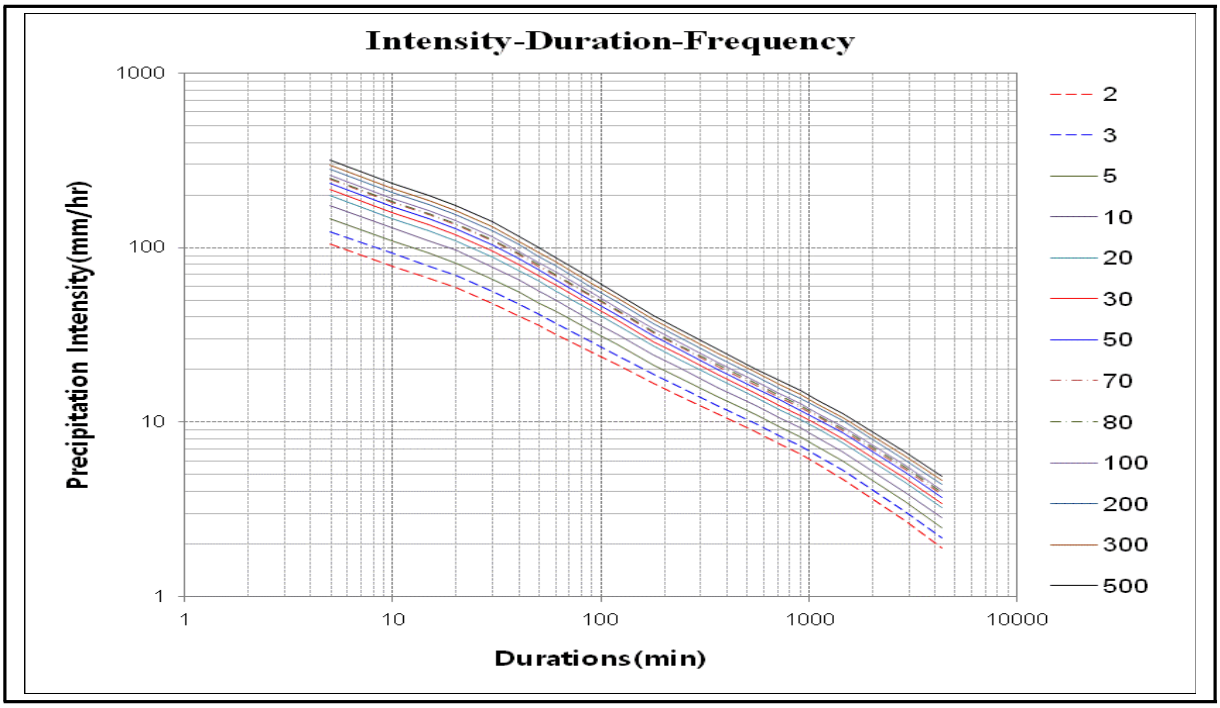
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 26-9> 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 26-10> 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 26-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 26-61> 설계지반운동 수준

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

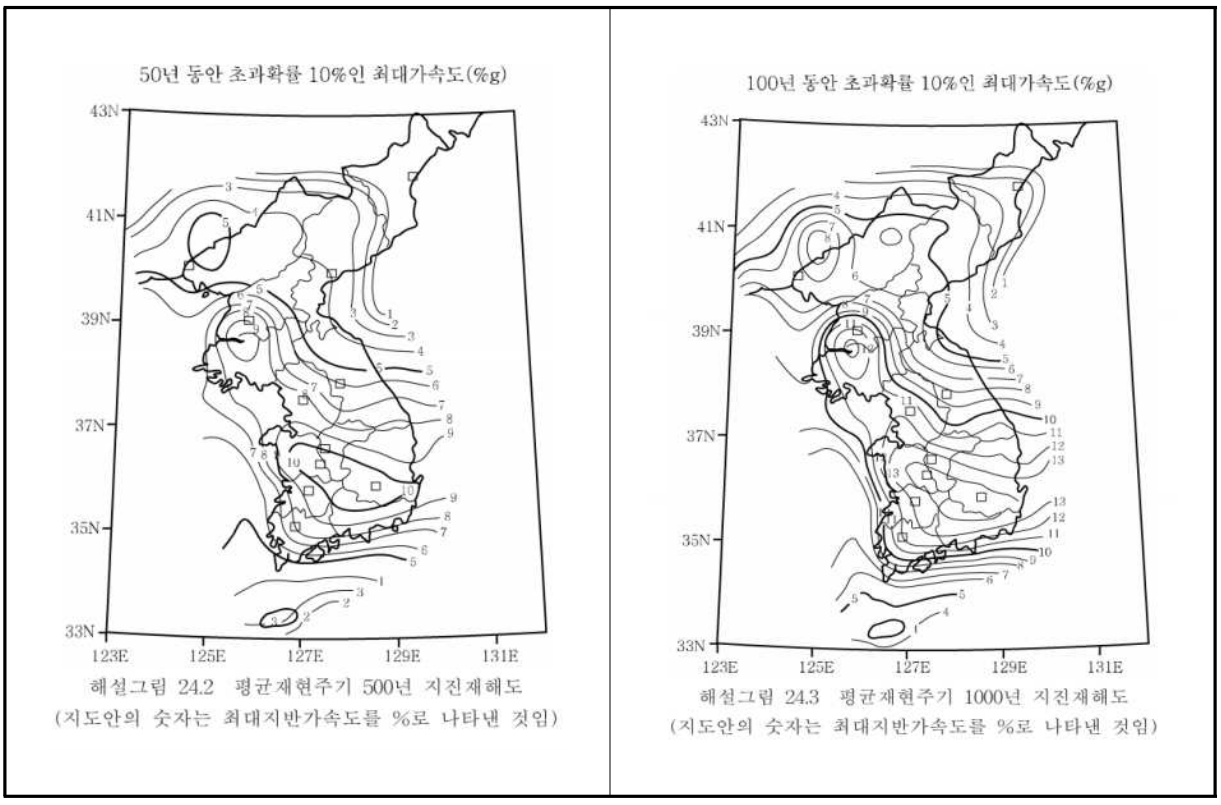
2) 설계지반운동

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 26-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 26-62> 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 26-63> 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

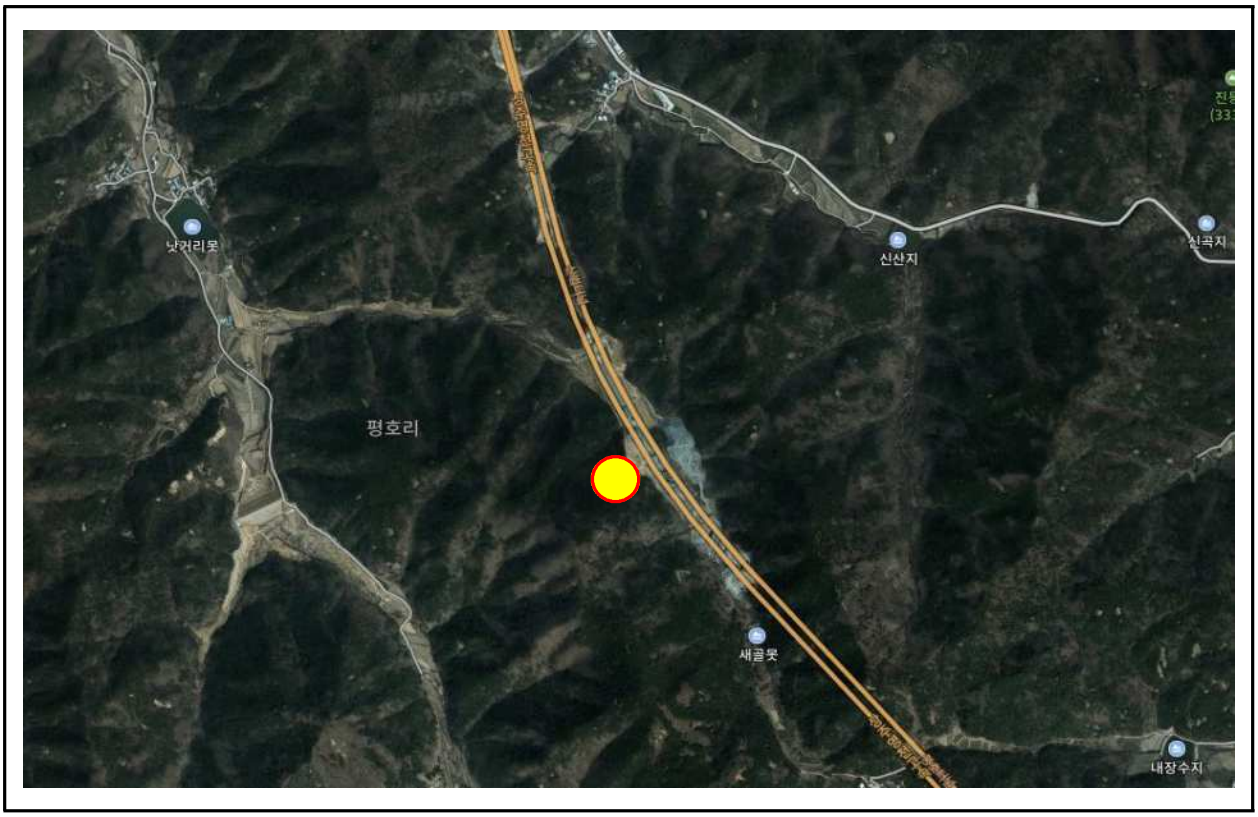
3) 지진가속도계수 선정

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 26-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

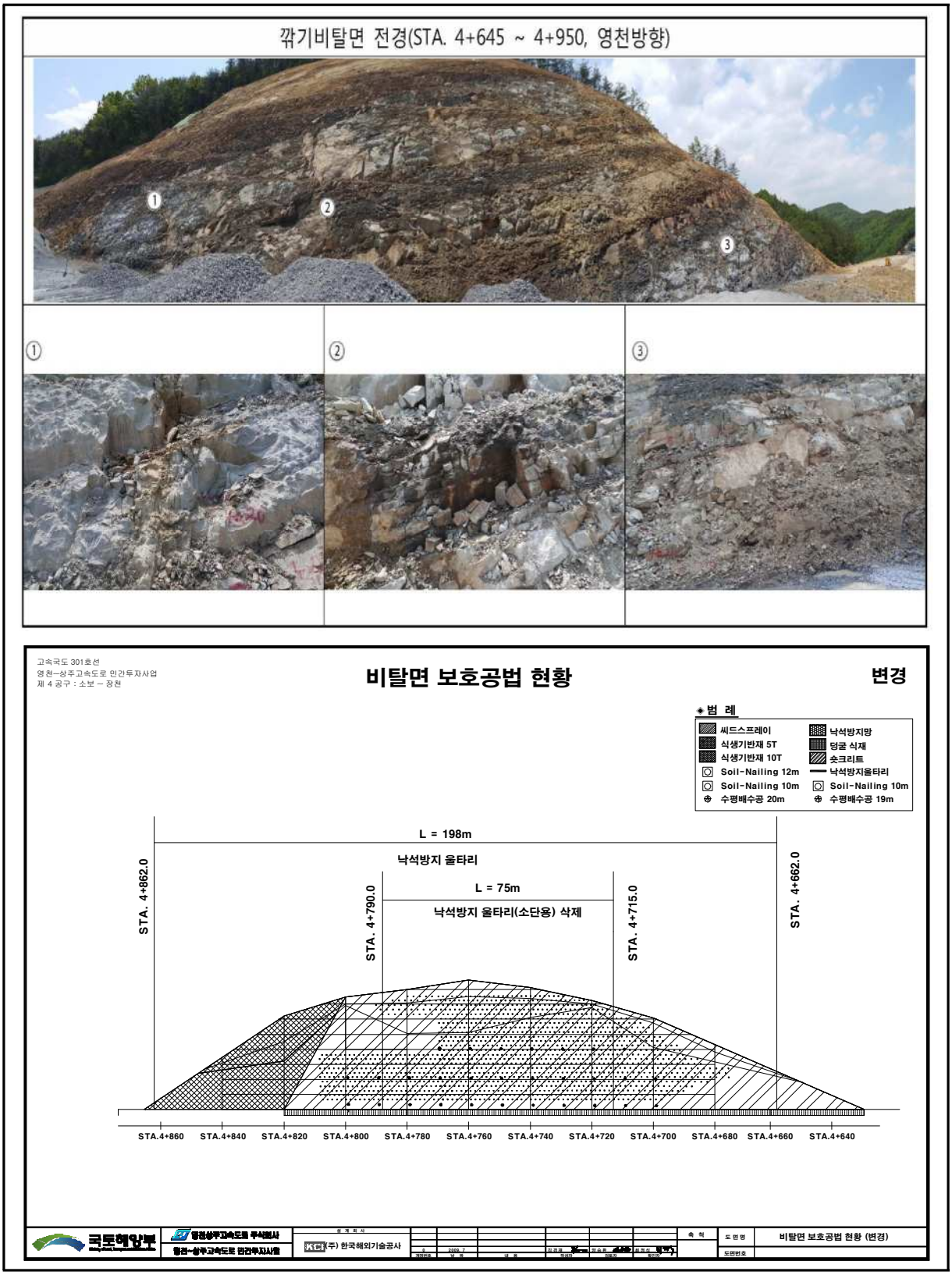
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토26	경상북도 군위군 소보면 평호리	33.628 ~ 33.933	STA.33+738	47.0	5.0	42.0	네일링	2017	55/059
			STA.33+808	20.0	2.0	18.0	-	2017	55/059



<그림 26-13> 영천절토26 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토26 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



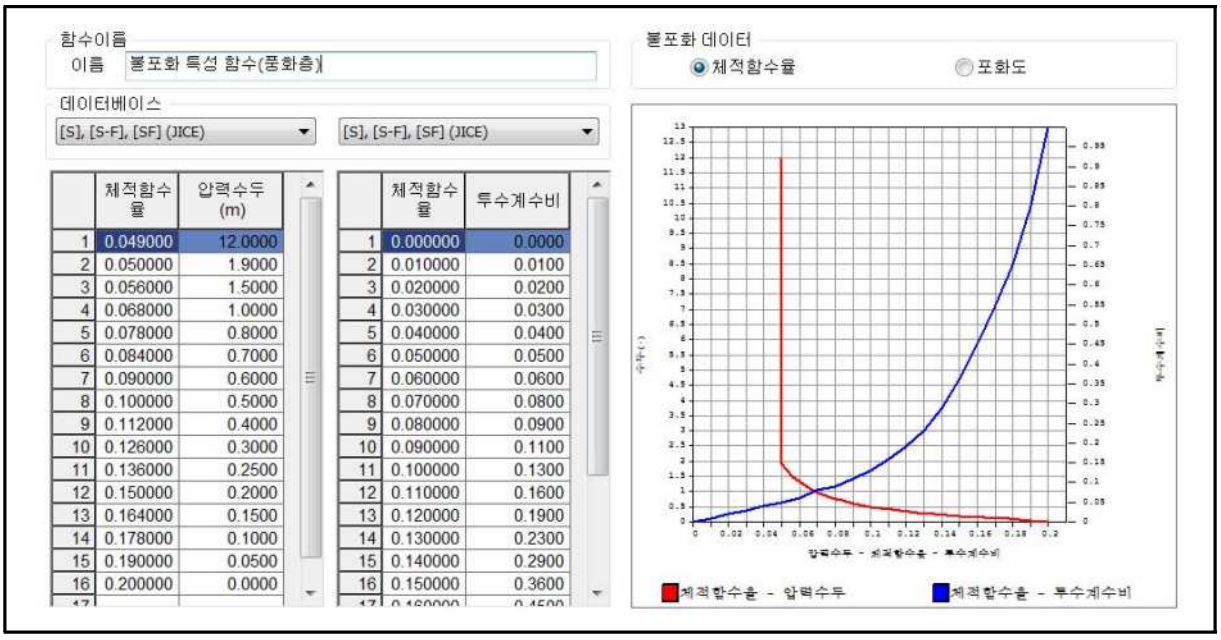
<그림 26-14> 영천절토26 검토대상 비탈면구간

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	19.5	28	18	3.7E-04	
풍화암	20.0	31	27	2.0E-05	
기반암	25.0	37	260	3.9E-05	

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



	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

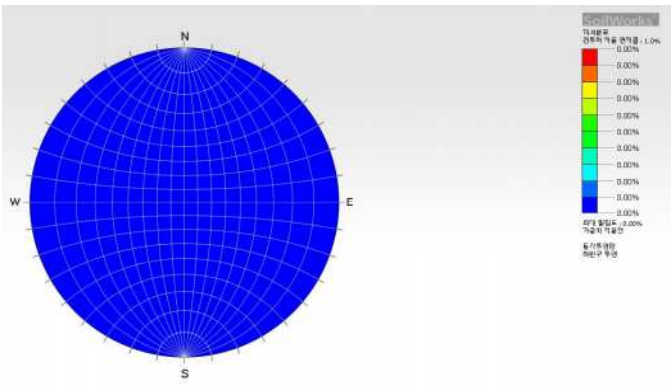
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 26-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

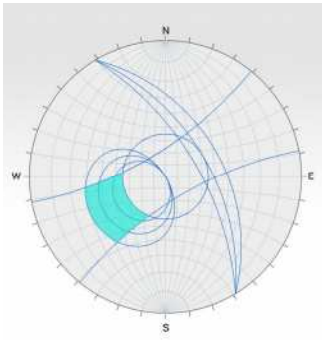
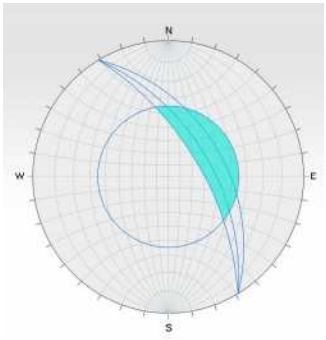
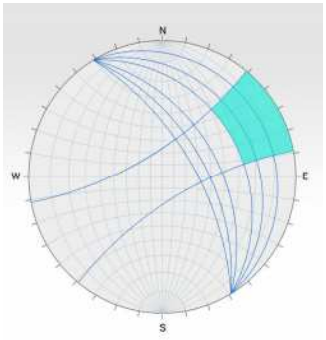
3) 1구간 (STA.33+628 ~ 33+798)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

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

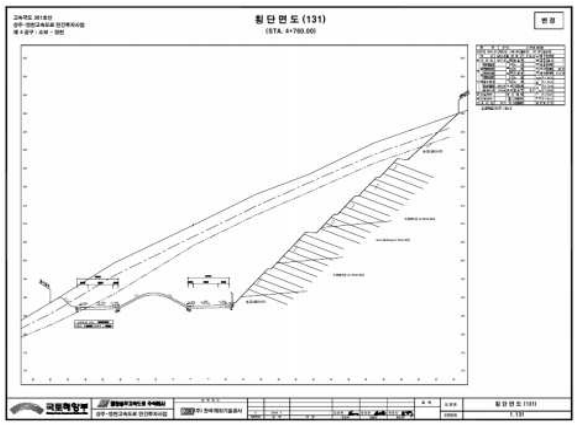
◦ 해석결과

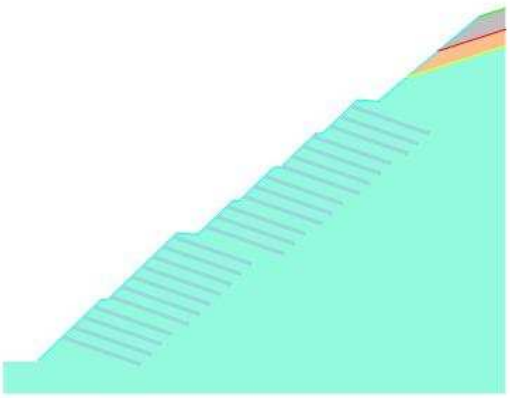
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

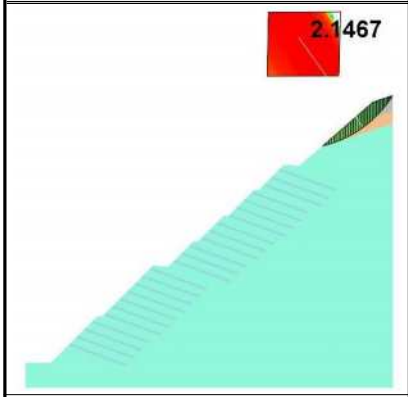
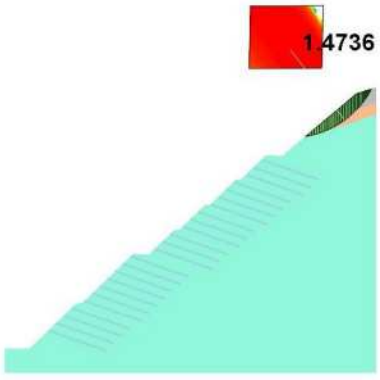
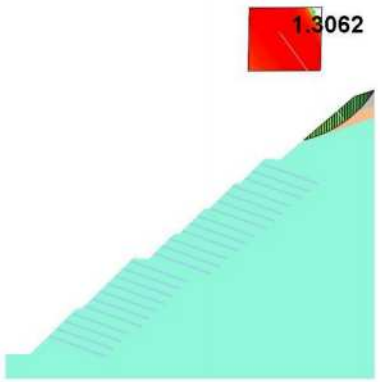
◦ 검토단면





대표단면 : STA.33+738, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.14	안전율 : 1.47	안전율 : 1.30

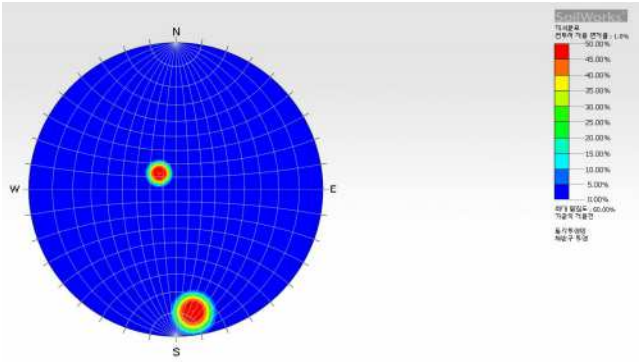
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

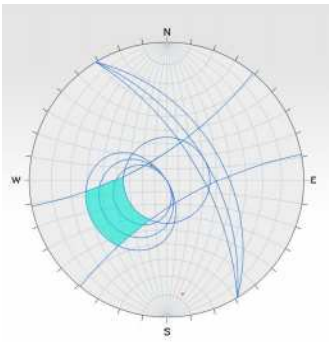
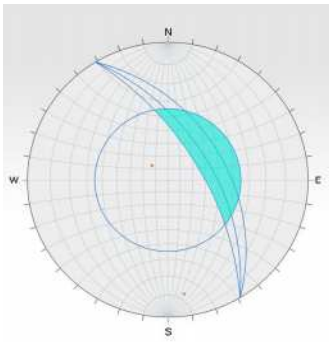
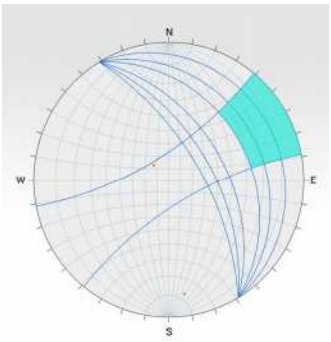
4) 2구간 (STA.33+798 ~ 33+933)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		81	233
		80	352

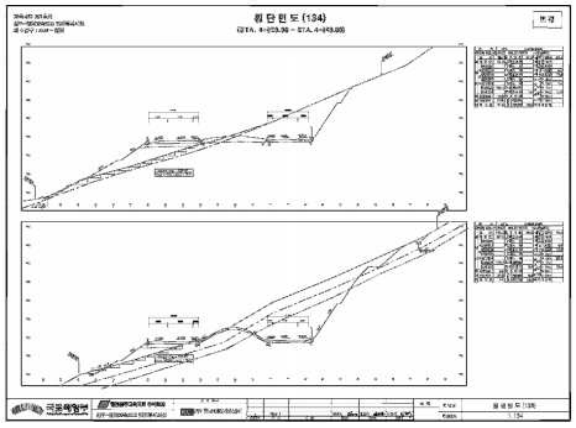
◦ 해석결과

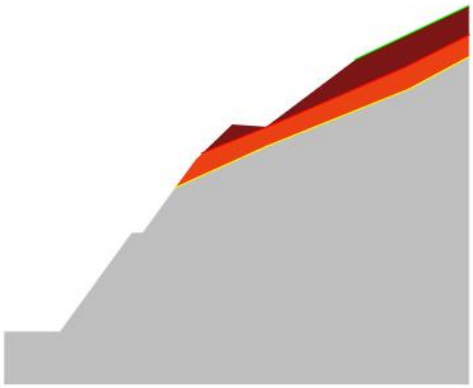
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

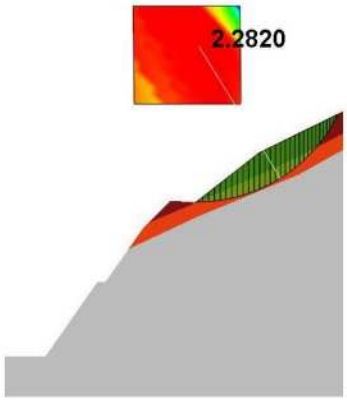
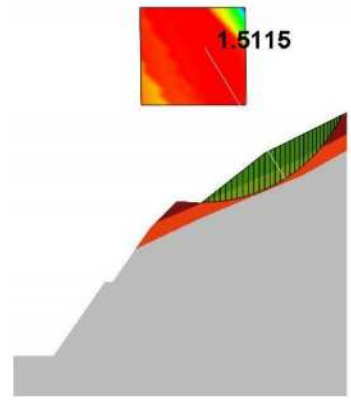
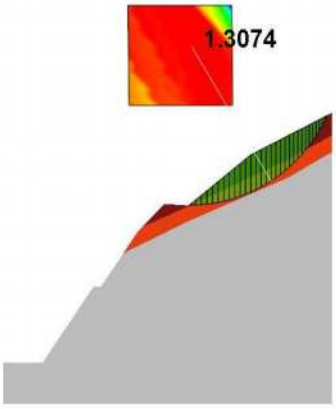
◦ 검토단면





대표단면 : STA.33+808, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.28	안전율 : 1.51	안전율 : 1.30

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 26-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토26**		
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	2.14	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.47	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.30	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

26.4.3 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 26-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토26**		
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 26-67> 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

26.5 내구성능 평가

26.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 26-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 5/47 = 0.11
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		보통암 : 100.0MPa	추정
면적	전체	4,6781㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	4,678㎡	
표면보호공	식 생	1,977㎡	
	숏크리트	2,701㎡	
사면보강공	쏘일네일	2,701㎡	

26.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 26-69> 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

26.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 26-70> 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 26-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
33.828km	96.5	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
33.838km	97.1	-	
33.848km	95.0	-	
평균값	96.2	-	
등급	**A등급**		

<표 26-72> 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 26-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	1,977/1,977㎡	100.0%	0.0/2,701㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 26-74> 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 26-75> 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 26-76> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	-	-	-
길이(m)	-	-	-
	-	-	-
틈새(㎜)	-	-	-
	-	-	-
거칠기	-	-	-
	-	-	-
충전물	-	-	-
	-	-	-
풍화진행도	-	-	-
	-	-	-
합 계	-	-	-
평 균	-	-	-
평가 결과	-	-	-

<표 26-76> 암반의 풍화도 평가 결과(계속)

평가항목	불연속면(2구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
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	SW	MW	-
	b(5)	c(10)	-
합 계	30	35	-
평 균	6.0	7.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 26-77> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

26.5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 26-78> 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	-	-	-	-

2) 암반구간 내구성능 등급

<표 26-79> 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 26-80> 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

26.6 종합평가

26.6.1 종합평가 개요

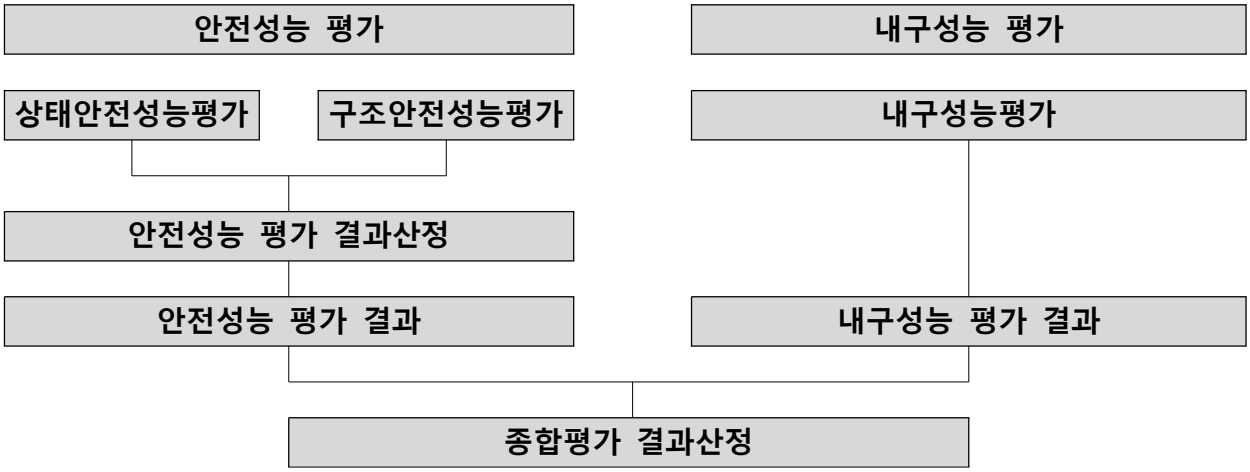
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 26-16> 종합평가 흐름도

26.6.2 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 26-81> 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 26-82> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토26		**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=0.220	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.110 × 0.8) + (0.220 × 0.2) = 0.132 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 26-83> 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

26.7 유지관리 전략 제안

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

26.7.1 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 26-84> 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				

26.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.132)"으로 평가되었다.

<표 26-85> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.110	0.220	0.132
평가결과	A	B	A

26.7.3 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 26-86> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건		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.

26.8 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. 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.

제27장 상주절토27

27.1 대상 시설물 현황

27.2 관련 자료의 분석

27.3 현장조사

27.4 안전성능평가

27.5 내구성능평가

27.6 종합평가

27.7 유지관리전략 제안

27.8 종합결론

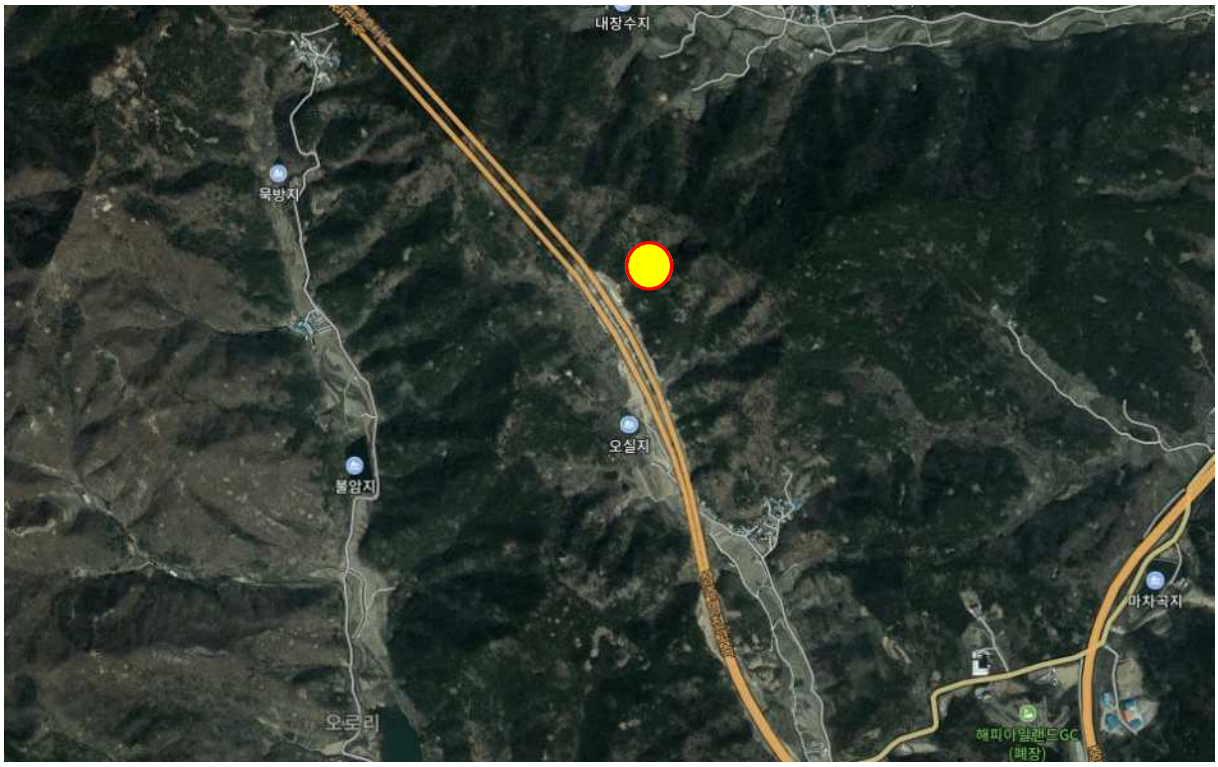
제27장 상주절토27

27.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 구미시 장천면 오로리(상주영천고속도로 36.235~36.375km)에 위치한 사면으로서 총 연장 140.0m, 높이 36.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 27-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000031		**관리번호**	SY SL27
시설물명	상주절토27		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 구미시 장천면 오로리		
	위치좌표	시점 : 36° 19′36.7″ 128° 53′28.7″		
		종점 : 36° 19′29.1″ 128° 53′35.2″		
	관리이정	36.235~36.375 km		
	공구이정	5공구 STA.0+000~0+140		
제 원	**연 장**	140m	**높 이**	36.0m
	경사/방향	50/290	**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, 록볼트		
비 고				



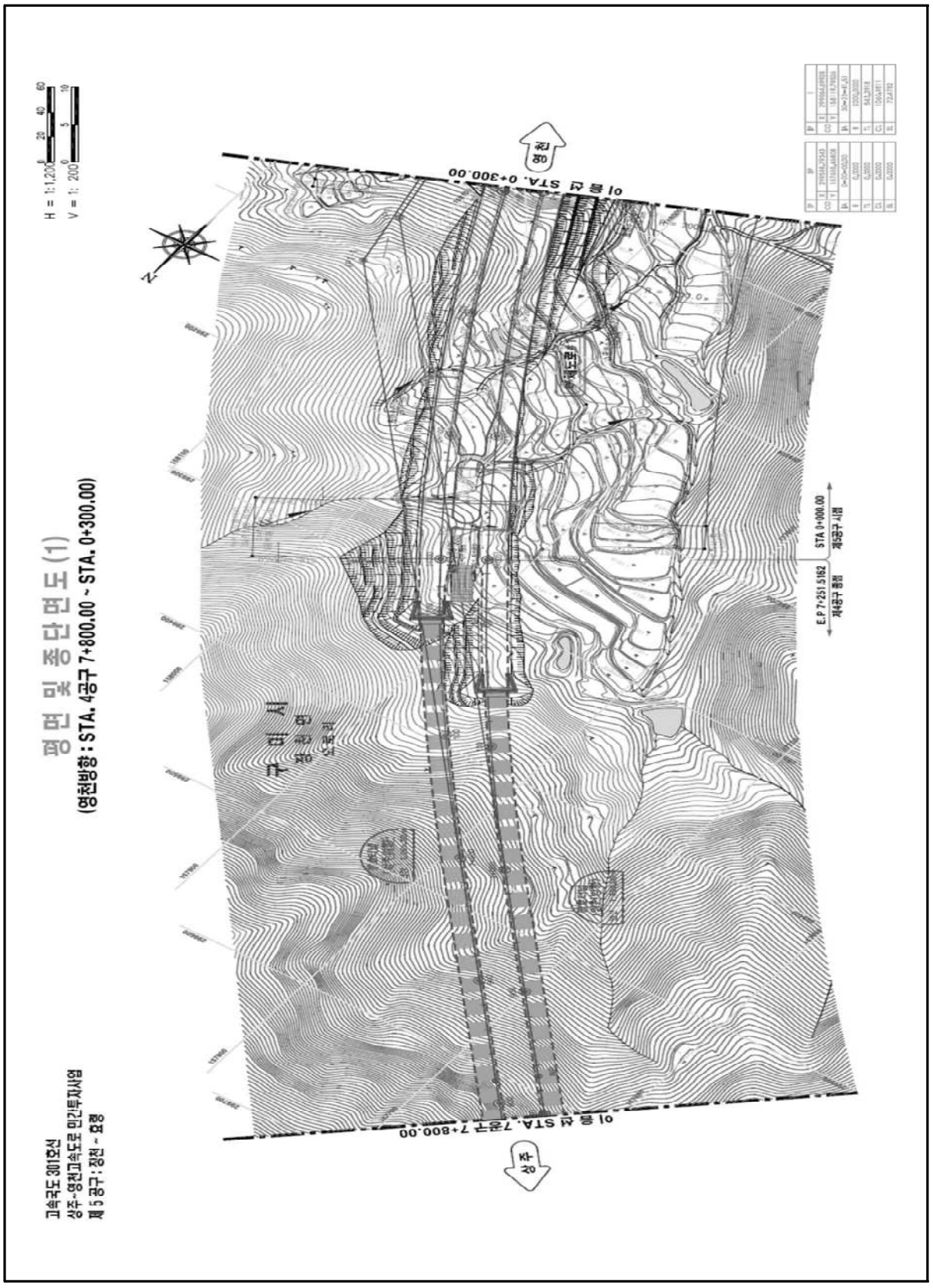
<그림 27-1>위치도

2019년 정밀안전점검

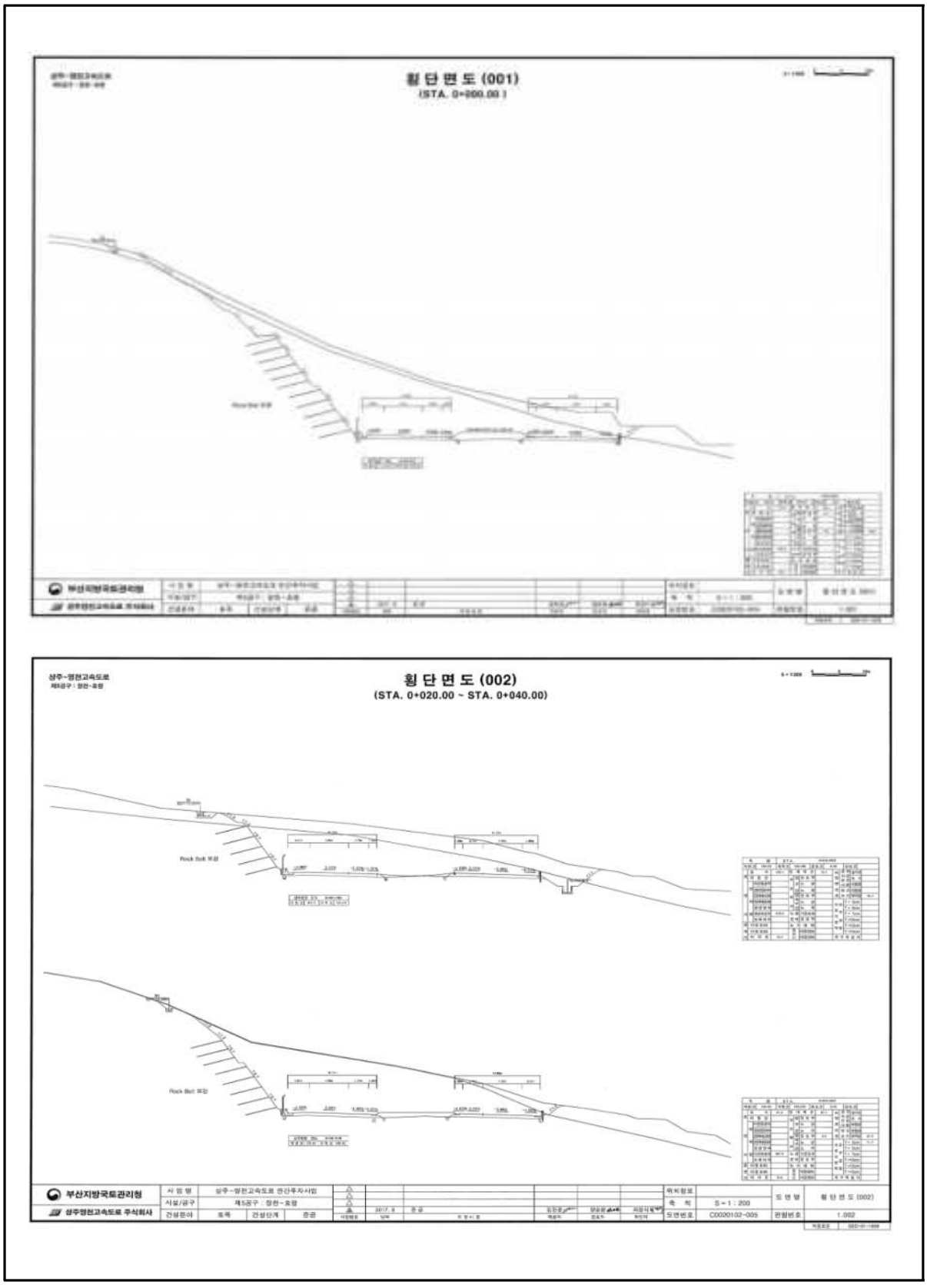
<그림 27-2> 전경사진

상부 전경	점검계단 전경
하부 전경	수직도수로 전경

<그림 27-3> 전경 사진


평면 및 종단면도 (1)
(영천방향 : STA. 4공구 7+800.00 ~ STA. 0+300.00)
고속국도 301호선
상주-영천고속도로 민간투자사업
제 5 공구 : 장천 ~ 요항
H = 1:1,200
V = 1: 200
STA. 0+300.00
STA. 공구 7+800.00
STA 0+000.00
E.P 71+251.5162
제4공구 종점
제5공구 시점
주 대 교
장천
상주

<그림 27-4> 평면도



<그림 27-4>표준횡단면도

27.2 관련 자료의 분석

27.2.1 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 27-2> 유지관리 관련자료 현황

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

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

27.2.2 지반조사 보고서 분석

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

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

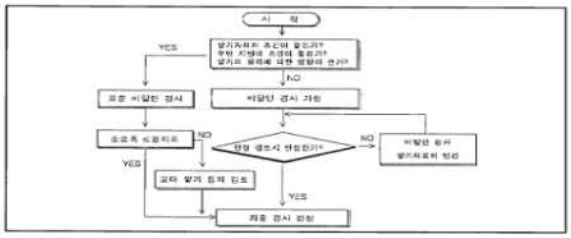
8.4 비탈면 설계기준

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

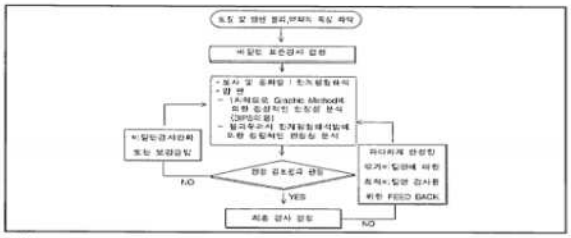
8.4.1 비탈면 기울기기준

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 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. 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 악해지므로 비탈면이 자사 불안정하게 된다.

따라서 암기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 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

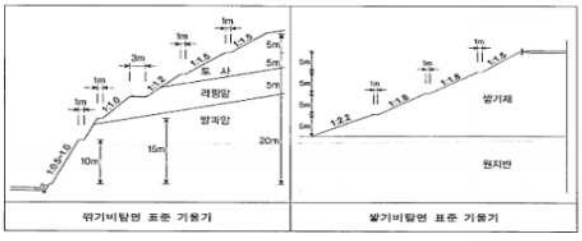
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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
암깎기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	· 토사 및 리핑암 - 암깎기 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	· 암깎기 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



암깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

290

2) 지형 및 지질

4.2 지표지질 조사

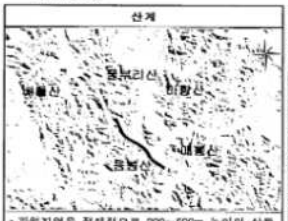
4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

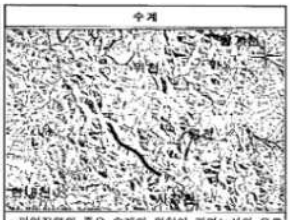
- 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
- 본 과업 지역의 지질은 백악기 경상층군의 신동층(면화동층), 하산동층, 진주층(봉양층)이 분포

나. 지형특성

산계



수계



- 과업지역은 전체적으로 200~500m 높이의 산들이 고루 분포되어 있음
- 과업노선은 옥봉산의 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

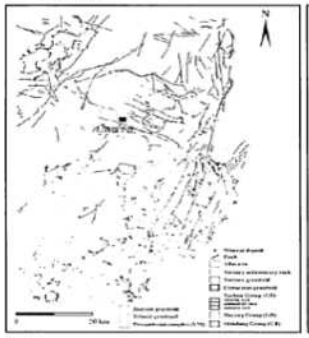
구 분	지질특성
낙동층 금당리층원 사암	• 낙동층의 하부층에 해당하는 안경산층원의 역질사암과 역암은 원마도가 불량한 석영과 암편리장석이 주를 이루며, 탄질물과 변질된 유색광물이 주로 산출됨
하산동층 사암	• 석립은 1 mm 내외의 것들로 원마도는 불량한 것들이 우세 • 하산동층 사암은 근거리에서 이동하여 형성
하산동층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방태석이 침전 또는 충전되어 있어 송리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단
진주층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 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 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 중점
			하부(Ka2-1)	• 사암과 역질사암, 역암의 교호	• 5공구 중앙 및 시점부

마. 지체구조



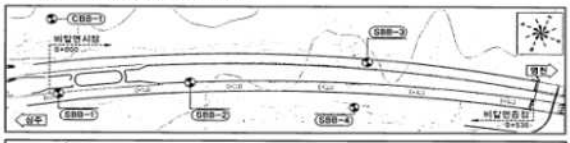
- 과업지역은 한반도의 중남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
- 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달

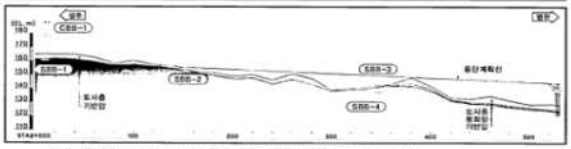
54

7.2 지층특성 분석

가. 본선비탈면구간

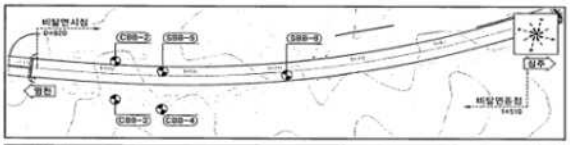
(1) 비탈면 1구간(STA.0+000~0+530)

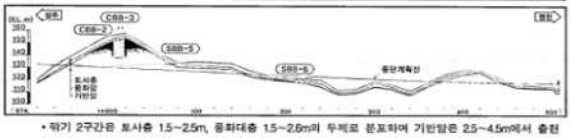




- 쥐기 1구간은 토사층 2.3m의 두께로 분포하며 기반암은 9.7m에서 출현
- 짧기 1구간은 토사층 0.8~3.0m, 풍화대층 0~2.5m의 두께로 분포하며 기반암은 0.8~5.0m에서 출현

(2) 비탈면 2구간(0+920~1+510)





- 쥐기 2구간은 토사층 1.5~2.5m, 풍화대층 1.5~2.6m의 두께로 분포하며 기반암은 2.5~4.5m에서 출현
- 쥐기 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	0.005mm	USCS
쥐기	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 쥐기 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 내 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

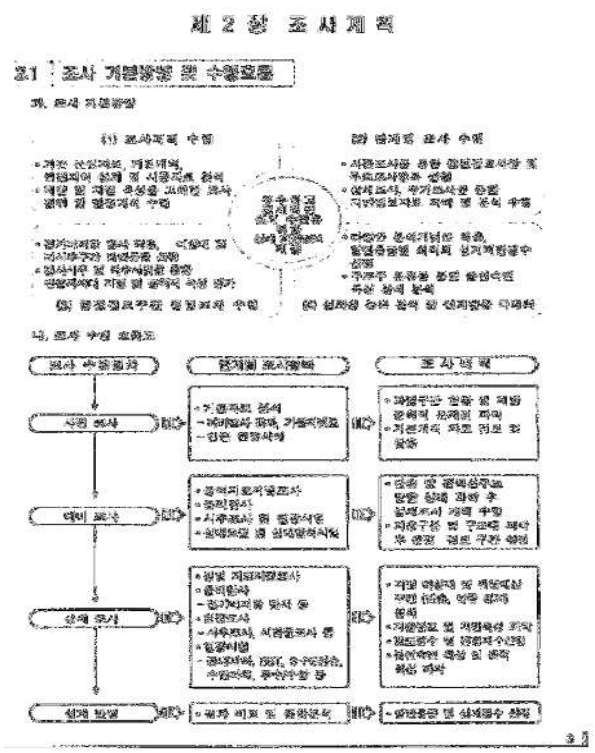
1.3 조사범위

위 치	• 시점 : (STA. 0+000) (X=299983.5334, Y=157920.5497) • 종점 : (STA. 7+978) (X=293576.3489, Y=163273.3736) • 연장 : 7.99km
특 성	• 국도 59남부 5개 고속도로를 연결하는 제2경부축(상주~경천 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
• 봉로터널(490m) • 중구터널(385m) • 효림터널(980m)	• 오로교(385m) • 오심교(260m) • 봉당교(240m) • 봉로교(45m) • 중구고(220m) • 효령고(80m) • 강외고(90m) • 램프A-1교(35m) • 램프A-2교(17m) • 램프A-3교(30m) • 램프A-4교(50m) • 램프C교(240m)	• 뒤기구간(16개소) • 봉기구간(16개소) • 램프뒤기구간(7개소) • 램프봉기구간(11개소)



제 2 장 조 사 계 획

2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

가. 조사 기본방향

(1) 조사목적 수립

• 계획 선정제원, 기본개념, 변화폭에 따른 시공기준 검토
• 예상 및 계획 추정을 고려한 조사 범위 및 항목계획 수립

(2) 현재의 조사 수행

• 사전조사를 통한 정밀현장조사항 및 부족조사항목 선정
• 설계조건, 위기조사를 통한 지반정보자료 지역 별 분석 수행

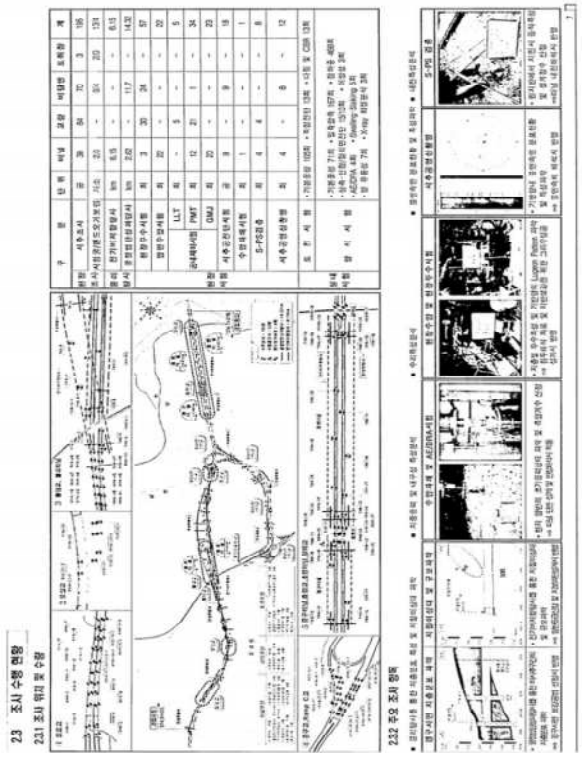
• 현지여건에 맞는 적용, 수정이 및 대처방안을 마련
• 조사시기 및 특수지반의 특성 반영

• 지반정보 분석기법의 적용, 합리적용방법 제시와 설계적용방안 선정
• 구조물 특성을 통한 설계수준 적정성 분석

(3) 조사항목 결정 및 조사계획 수립

(4) 현장조사 수행 및 설계반영 다지화

나. 조사 수행 흐름도



23 조사 수행 현황

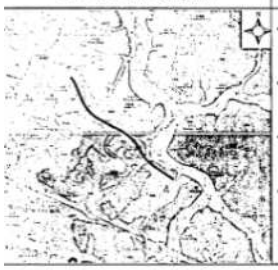
231 조사 위치 및 수량

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, 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(%)=10~100/0~100으로 피적암으로 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 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 지층분포 특성을 위한 조사

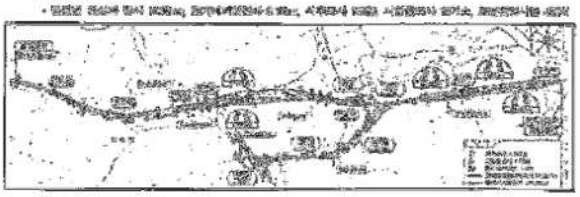
4.3.1 개 요

가. 기본 방향

- 적정 한 표준구간 설정방법, 지질 이상의 특성, 암질 분류적 특성
- 지반의 공학적 성질 분석, 탐사 천공 및 시험 종료 특성 제작

나. 조사 개의 및 수량

- 일반적 현상에 따라 [illegible] 시험대상 [illegible] 시험종료와 같이 [illegible]

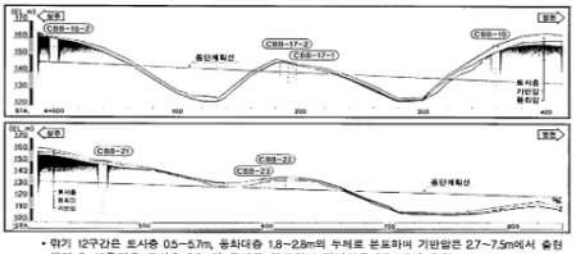


(3) 유전율 탄성파 탐사

- 본선 구간

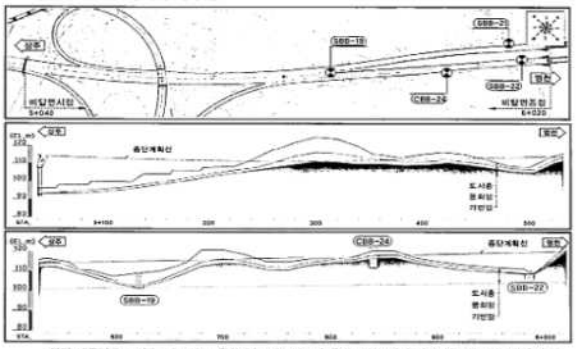
위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	탐사길이
비탈면 주변	0+650	좌	115
	0+957~1+382	좌	353
	1+100	좌	115
	1+330	좌	115
	(1+552)~1+670	좌	415
	1+782~2+235	좌	440
평보처넘 계획	(2+[illegible])~3+105	좌	115
	(2+[illegible])~3+105	좌	115
	3+220	좌	220
	3+220	좌	220
도로예상 평면	(3+[illegible])~3+330	좌	115
	(3+[illegible])~(3+[illegible])	좌	130
	3+340	좌	120
	3+360	좌	220
비탈면 우측	3+600~4+000	좌	1,000
	4+[illegible]	좌	115
	4+[illegible]	좌	115
	4+[illegible]	좌	115

위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	탐사길이
횡구차량 석별	(4+[illegible])~4+[illegible]	우	60
	(4+[illegible])~(4+[illegible])	좌	60
	4+[illegible]	좌	200
종부적넘 측정	(4+[illegible])~(4+[illegible])	좌	200
	(4+[illegible])~(4+[illegible])	좌	500
	4+[illegible]	좌	150
조점석넘 석별	(4+[illegible])~4+[illegible]	좌	140
	(4+[illegible])~(4+[illegible])	좌	140
	4+[illegible]	좌	150
	4+[illegible]	좌	150
조점석넘 측정	(4+[illegible])~(4+[illegible])	좌	165
	4+[illegible]~4+[illegible]	좌	165
	4+[illegible]	좌	100
	4+[illegible]	좌	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 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	선 도 (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
- 지반요소해석시 선형 절리거동 조건 및 입력자료의 취득이 용이하고 각공성 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, $K_{ni} = -7.15 + 1.75\,JRC + 0.02\left(\frac{JCS}{a_i}\right)$, $a_i = \frac{JRC}{5}(0.2\frac{\sigma_c}{JCS} - 0.1)$

$V_m = -0.296 - 0.0056\,JRC + 2.241\left(\frac{JCS}{a_i}\right)^{-0.235}$

구조구	선 도 (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	81/283		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

27.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검을 5회, 정밀안전점검 1회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 27-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토27 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	상주절토27 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 소단배수로에 토사퇴적이 조사되었으나, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	상주절토27 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 소단배수로에 토사퇴적이 조사되었으나, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	상주절토27 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 소단배수로에 토사퇴적이 조사되었으나, 전반적인 외관 상태는 양호한 것으로 조사되었다.	양호
5	2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27	정밀안전점검	사면 식생공, 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~보통풍화(MW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면 보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토27 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으며, 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.	양호

27.2.4 보수·보강이력

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

<표 27-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

27.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 27-5> 내진 설계 적용 여부

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

27.2.6 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 27-6> 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

27.3 현장조사

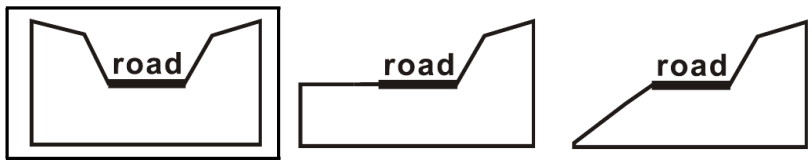
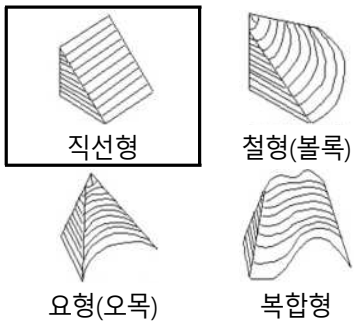
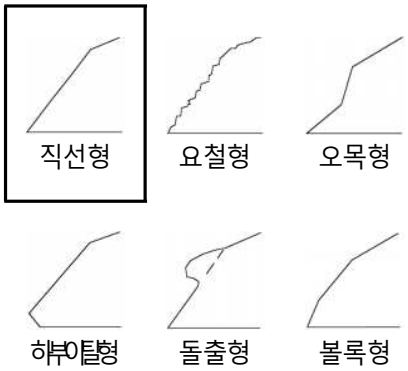
27.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 27-7> 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 구미시 장천면 오로리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36 ° 19 ' 36.7 " 128 ° 53 ' 28.7 "</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36 ° 19 ' 29.1 " 128 ° 53 ' 35.2 "</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 140m</td><td colspan="3">높 이 : 36.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 50/290</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="3">토층심도 : 약 1.0~3.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">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="7">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="2">36.315~36.375k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="2">36.235~36.375k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">36.235~36.315k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">36.235~36.315k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지망</td><td colspan="2">36.235~36.315k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">36.320k</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 27-8> 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">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 27-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토27		
	위경도	시점 : 36° 19′36.7″ 128° 53′28.7″ 종점 : 36° 19′29.1″ 128° 53′35.2″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 9월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	140.0m	최대높이	36.0m
	경사	50°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~3.0m	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) ■낙석방지망(양호) □옹벽 ■낙석방지울타리(양호) □격자블럭 ■배수로(보통) ■점검로(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			

27.3.2 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 경상북도 구미시 장천면 오로리(상주영천고속도로 36.235~36.375 km)에 위치하고 있으며, 길이는 140m, 높이 36.0m의 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 27-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{36.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.1~114.4MPa으로 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 140m로써, 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, 2구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 27-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	36.235~36.375km	140m

27.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

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

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 –30~-40°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 외부 3.660k에 계곡부 1개소가 조사되었고, 하절기 강우 시 주의관찰이 필요하다.

<표 27-12> 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	-	주의관찰
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

자연사면 계곡부

자연사면 전경

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 식생 및 낙석방지망 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

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

<표 27-13> 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 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 27-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	68/096	80/270	80/270
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
비고	-		

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 27-15> 지반 변형 조사 결과

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

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

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

<표 27-16> 배수 조건 조사 결과

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

소단배수로 상태양호

수직도수로 상태양호

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 27-17> 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 27-18> 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 27-19> 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 27-20> 인장균열 조사 결과

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

27.3.4 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 27-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
36.255km	54.6	114.4	경암	
36.275km	53.8	110.6	경암	
36.295km	53.7	110.1	경암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 53.7~54.6로 측정되었으며, 추정강도 110.1~114.4MPa로 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 27-22> 표면보호공 조사 결과

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

식생공 전경

낙석방지망

라. 사면보강공

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

<표 27-23> 사면보강공 조사 결과

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

27.4 안전성능평가

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

27.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

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

<표 27-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{36.0}=0.08$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.1~114.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{36.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 140m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시하는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 27-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	36.235~36.375km	140m	암반사면	Set1, Set2, Set3

<표 27-26> 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 27-27> 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	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		

<표27-28>불안정지질평가결과(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 27-29> 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+5+5) / 6 = 5.83	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 27-30> 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	1.0m이상 3.0m미만	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 거침	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	0.6m이상 2.0m미만	b

<표 27-31> 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 27-32> 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 27-33> 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 27-34> 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 27-35> 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 27-36> 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 27-37> 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	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 27-38> 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 27-39> 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 27 -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 27-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토27		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	1	b
	사면 외	1		
불안정 지질		3	3	b
불연속면 특성		5.8	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 27-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
140.0m	1구간	36.235~36.375km	a(0.12)	A	인장균열 없음
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

27.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

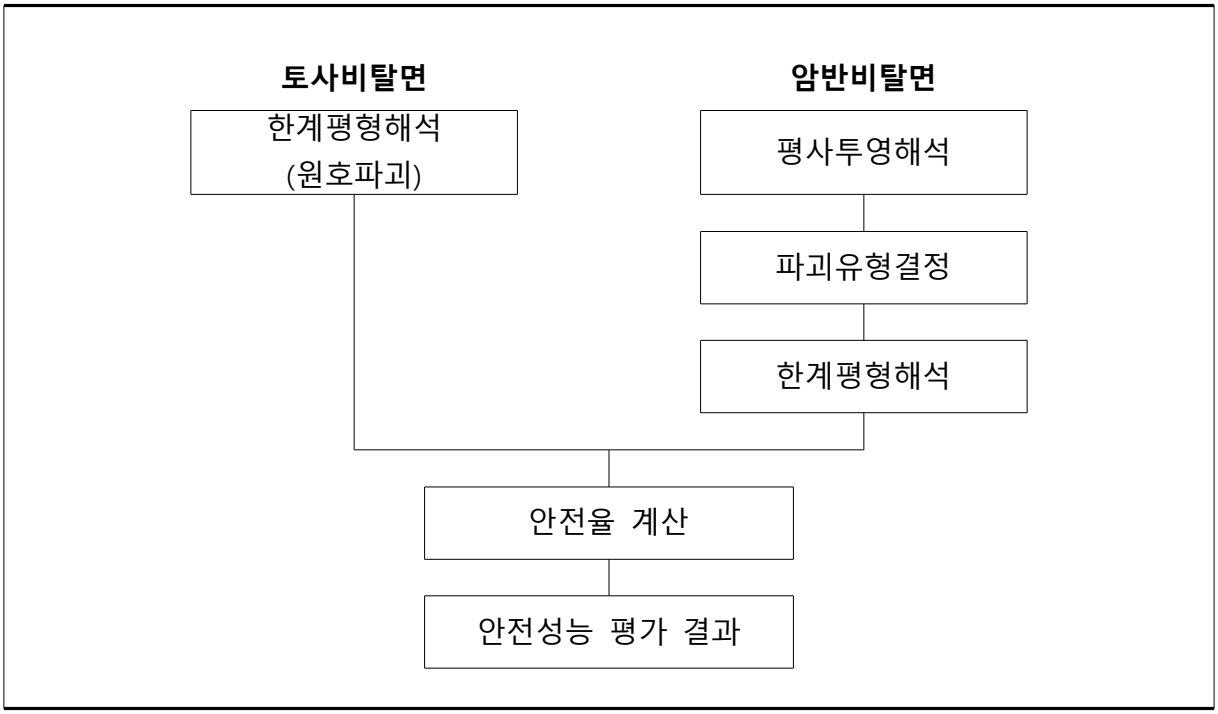
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 27-5> 구조안전성능 평가과정

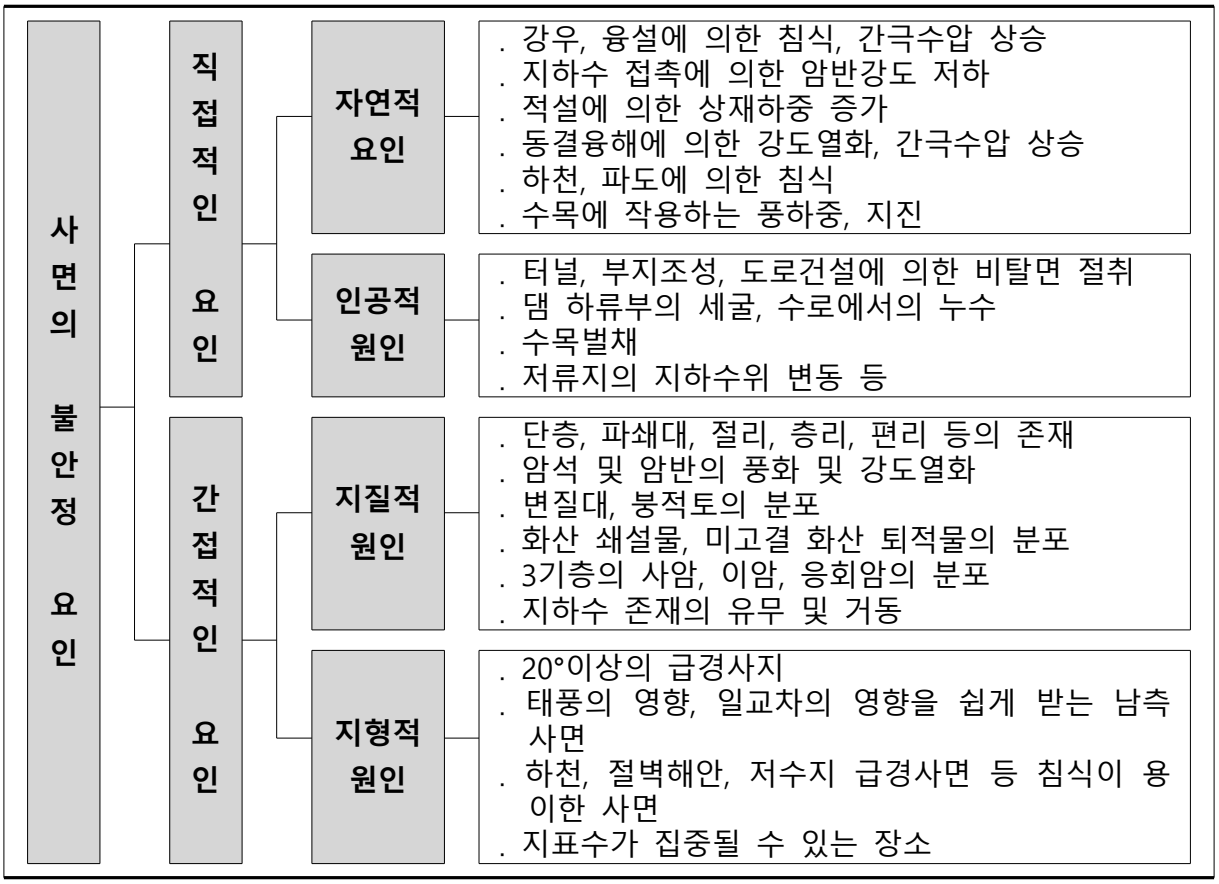
<표 27-43> 유형별 안정해석 범위

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

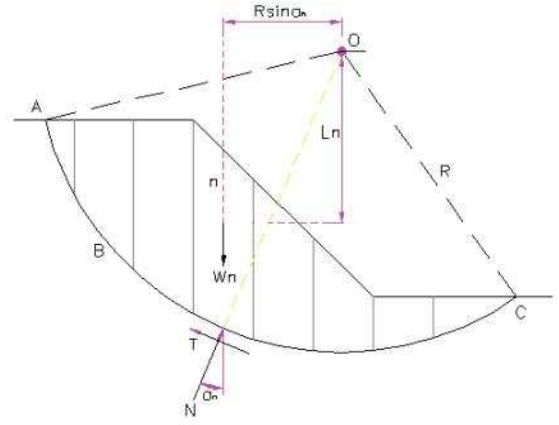


<그림 27-6> 구조안전성능 평가과정

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

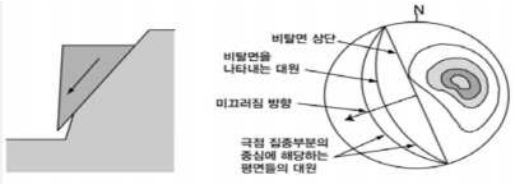
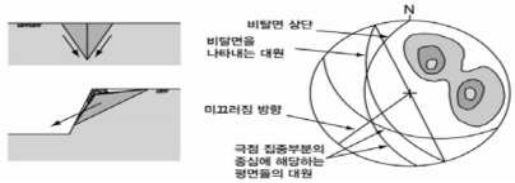
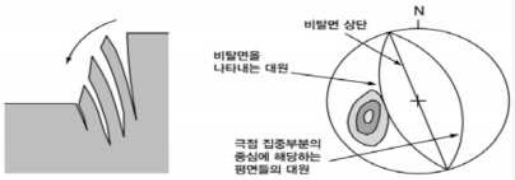
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 27-7> 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 27-44> 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 27-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

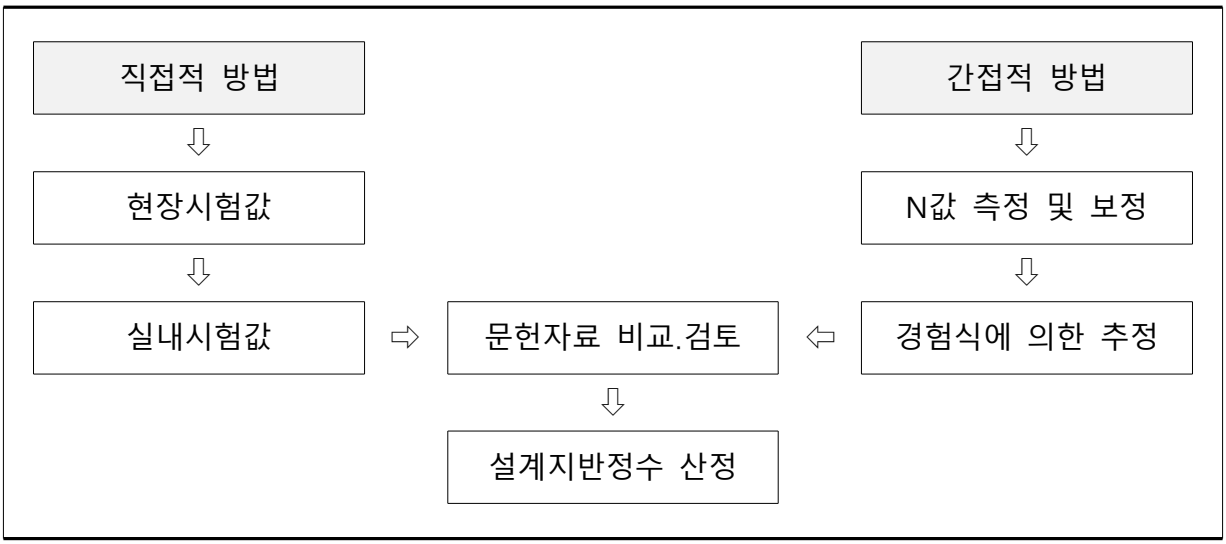
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 27-46> 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 27-47> 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 27-48> 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 27-49> 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 27-50> 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	26	24	
	풍화암	20	32	29	
	경 암	25	36	240	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 27-51> 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 27-52> 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	24.3~25.6
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 27-53> 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 27-54> 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 27-55> Trueman (1988)

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

<표 27-56> 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	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 27-57> 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

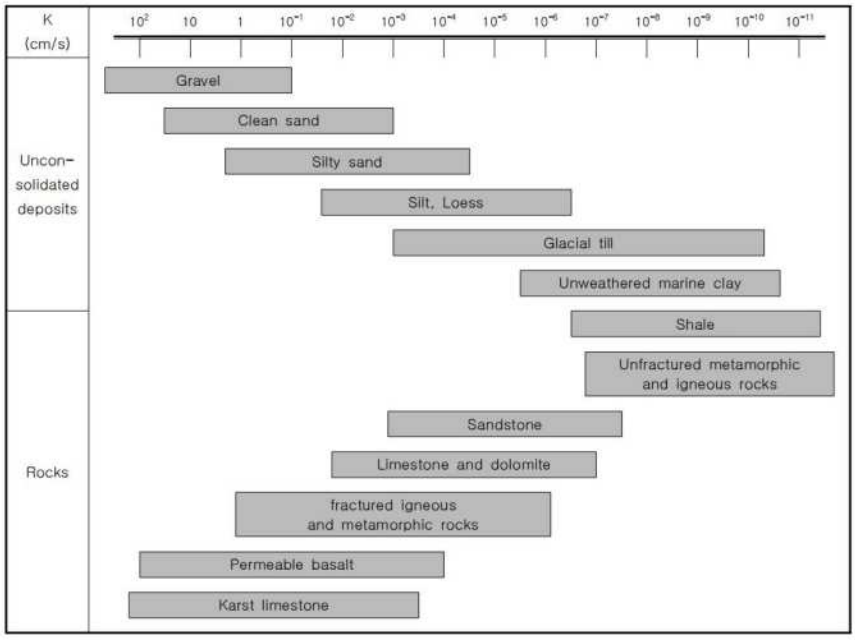
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 27-58> 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 27-59> 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 27-8> 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 27-60> 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

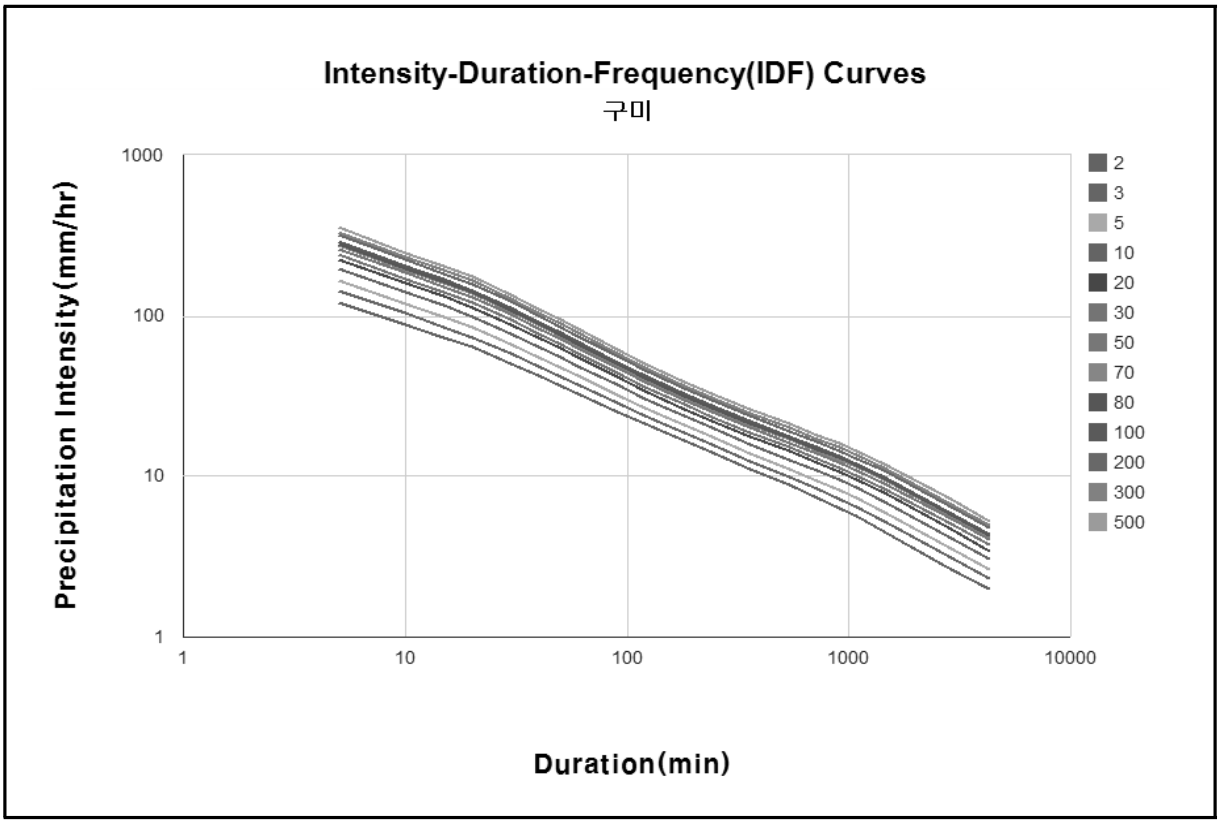
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 구미지역



<그림 27-9> 구미지역 IDF곡선

구미(Precipitation Frequency Estimates, IDF)

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

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 27-10> 구미지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 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 27-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 27-61> 설계지반운동 수준

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

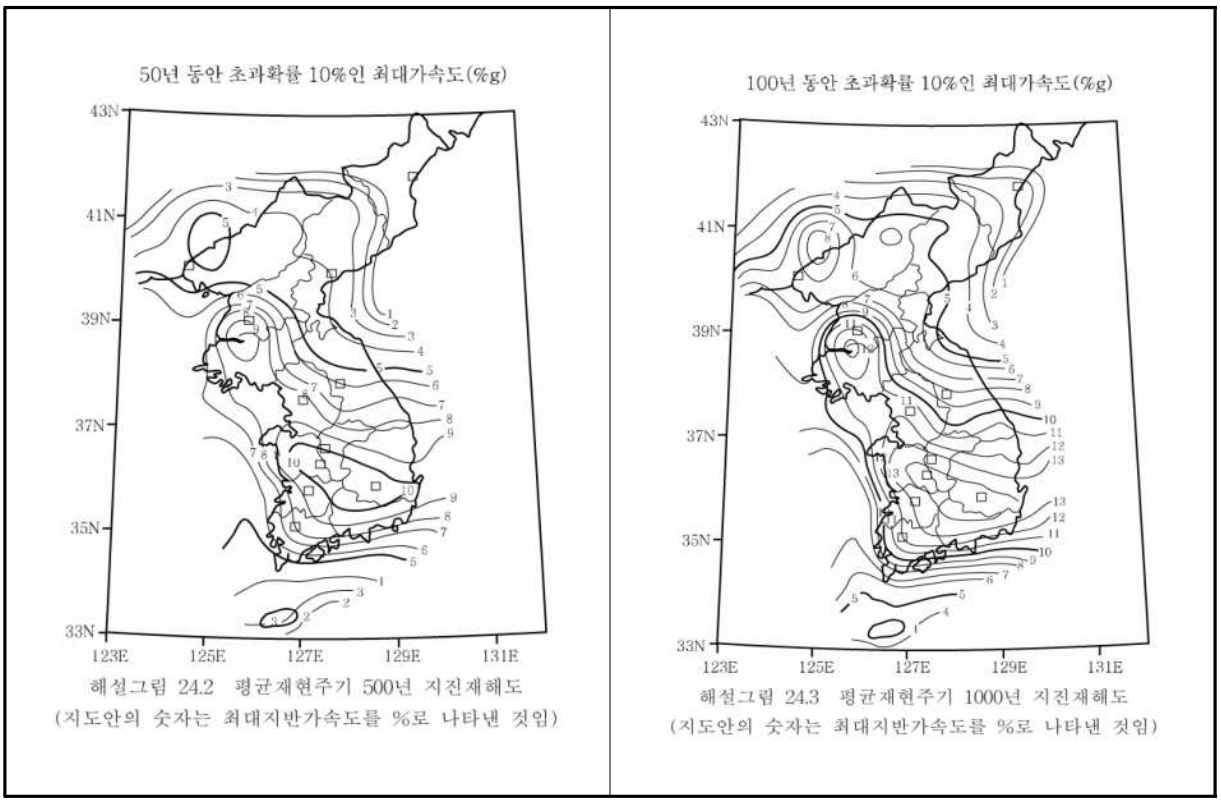
2) 설계지반운동

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 27-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 27-62> 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 27-63> 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

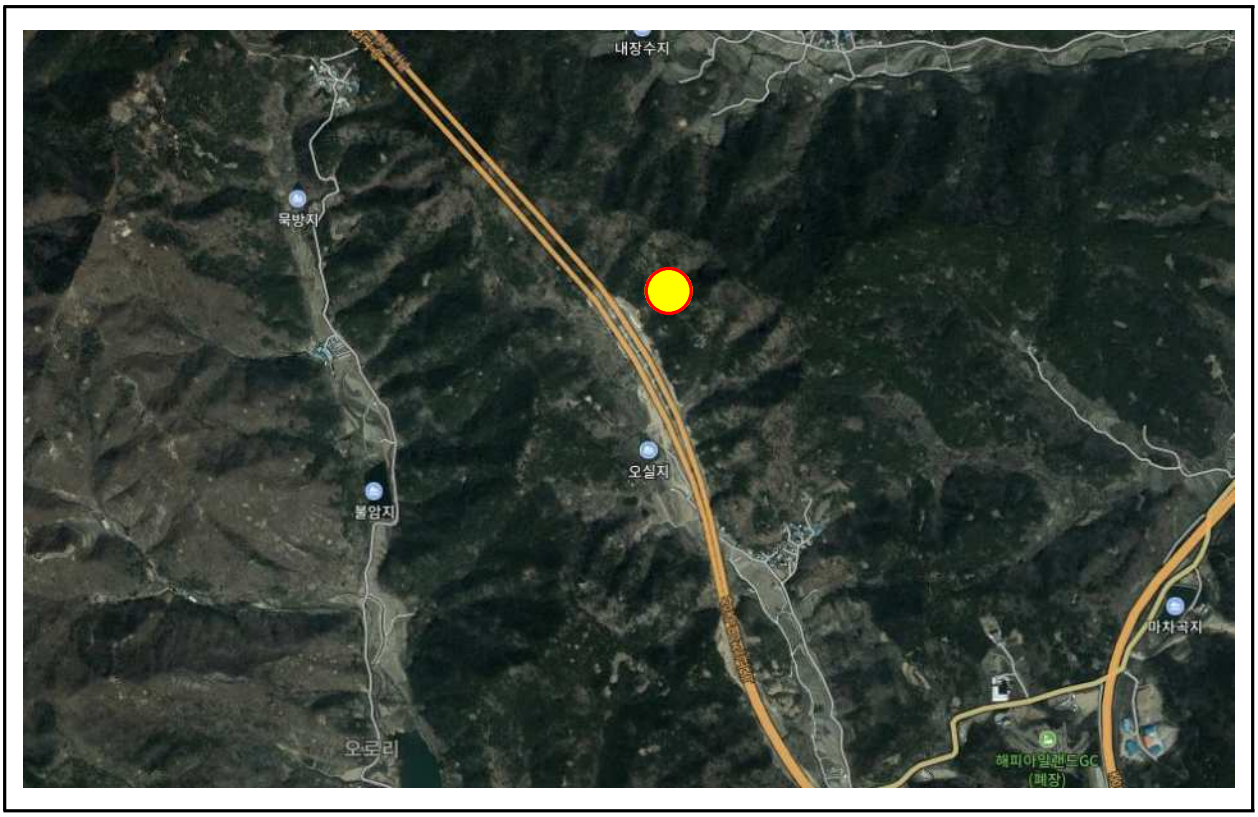
대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 27-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토27	경상북도 구미시 장천면 오로리	36.235 ~ 36.375	STA.36.270	36.0	3.0	33.0	락볼트	2017	50/290

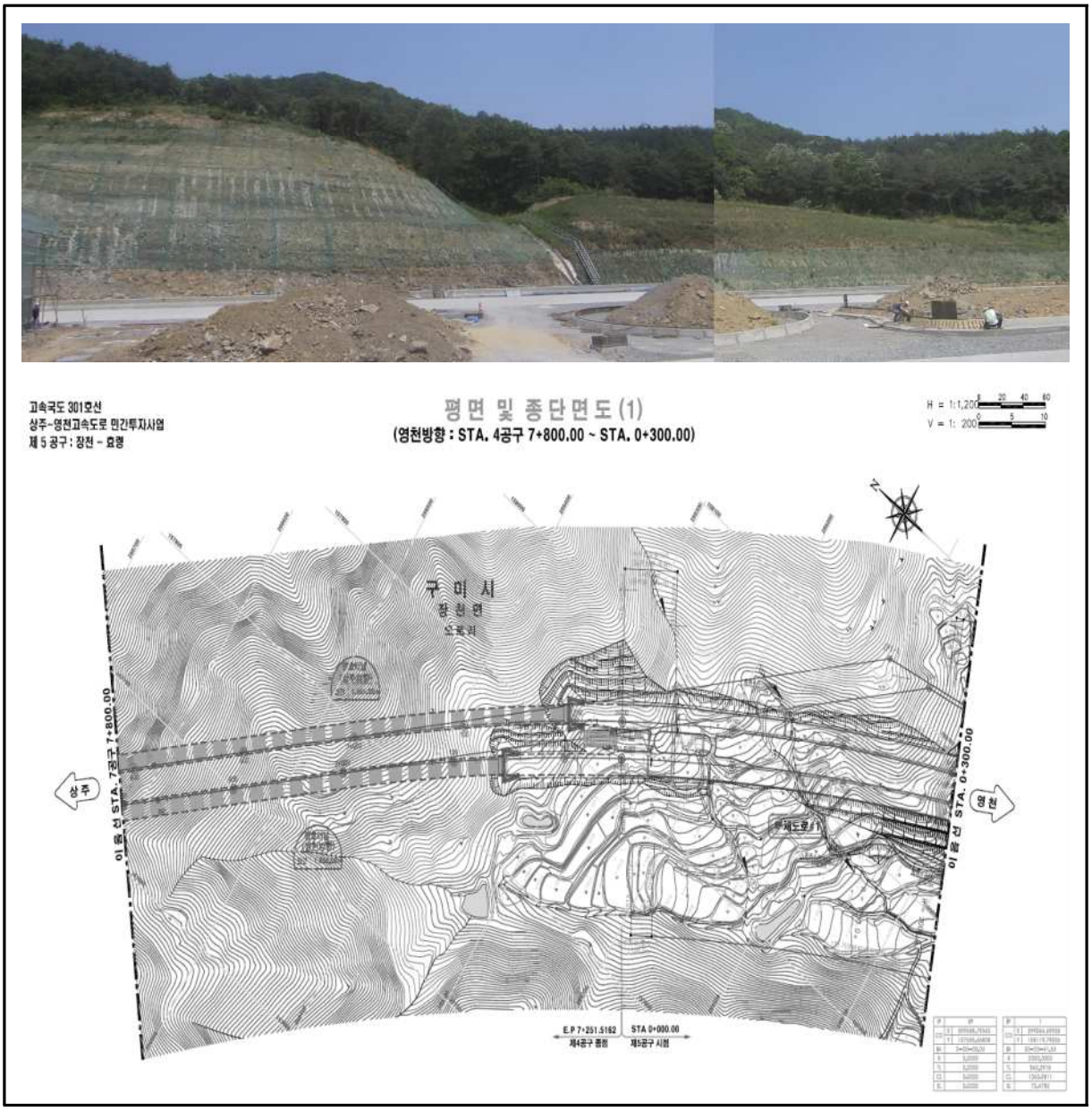
※ 상주기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음



<그림 27-13> 상주절토27 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토27 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



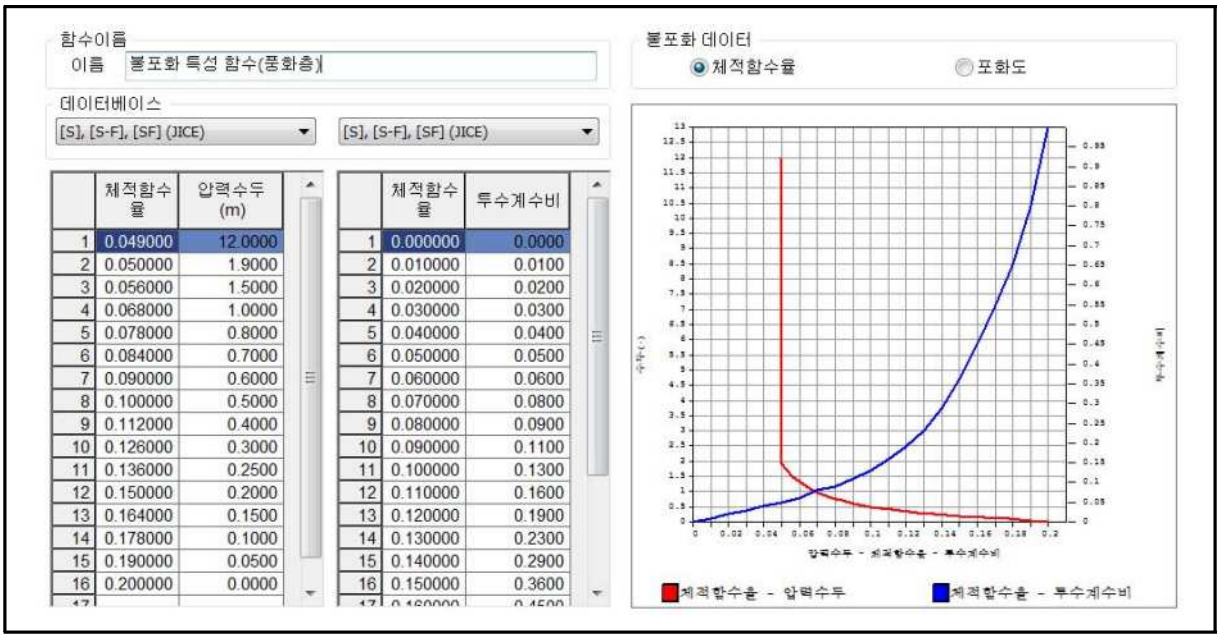
<그림 27-14> 상주절토27 검토대상 비탈면구간

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

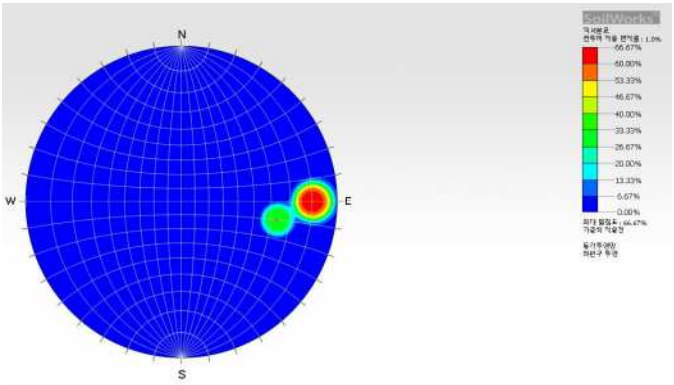
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 27-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

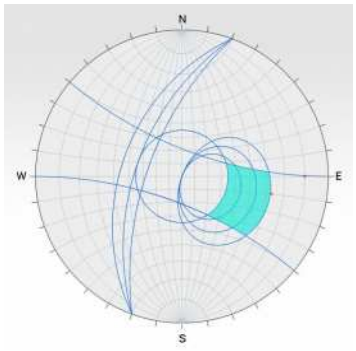
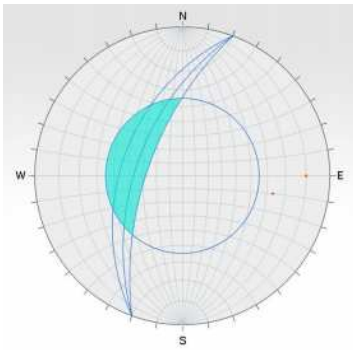
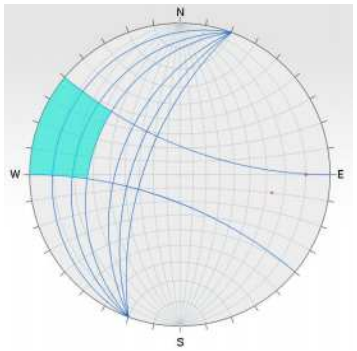
3) 1구간 (STA.36+235 ~ 36+375)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		68	96
		80	270
		80	270

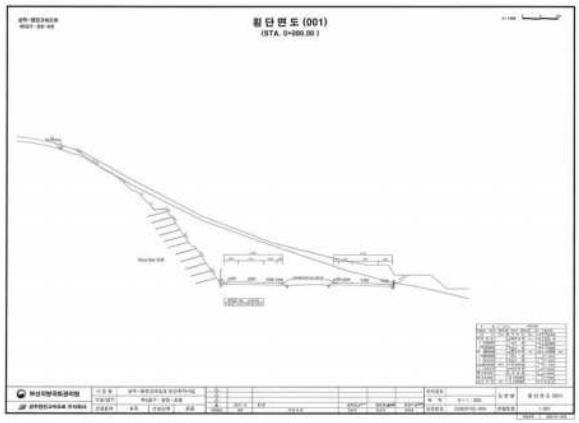
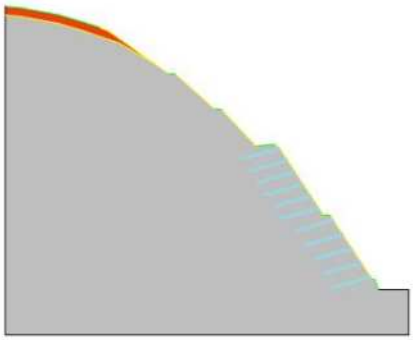
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

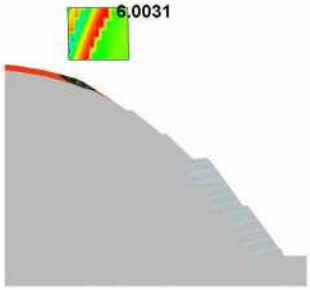
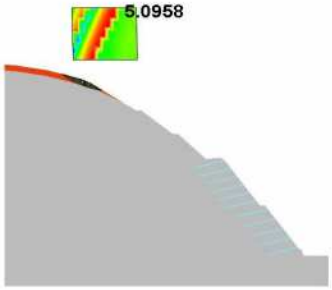
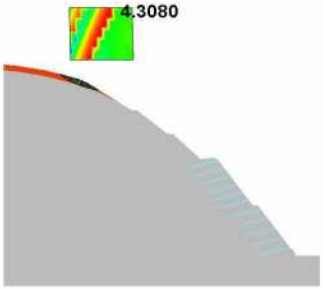
구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">대표단면 : STA.36+270, 상주</td></tr>
</table>

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 6.00	안전율 : 5.09	안전율 : 4.30

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 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 27-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토27**		
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	6.00	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	5.09	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	4.30	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

27.4.3 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 27-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토27**		
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 27-67> 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

27.5 내구성능 평가

27.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 27-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 3/36 = 0.08
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		140MPa	추정
면적	전체	6,525㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	6,525㎡	
표면보호공	식 생	3,116㎡	
	낙석방지망	3,409㎡	
사면보강공		-	

27.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 27-69> 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

27.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 27-70> 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	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 27-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
36.255km	114.4	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
36.275km	110.6	-	
36.295km	110.1	-	
평균값	111.7	-	
등급	**A등급**		

<표 27-72> 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 27-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	3,116/3,116㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 90.0% 이상 이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 27-74> 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 27-75> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1.0m이상~3.0m미만	1.0m이상~3.0m미만	1.0m이상~3.0m미만
	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 27-76> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	c	0.23	
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**	

27.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 27-77> 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 27-78> 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 27-79> 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

27.6 종합평가

27.6.1 종합평가 개요

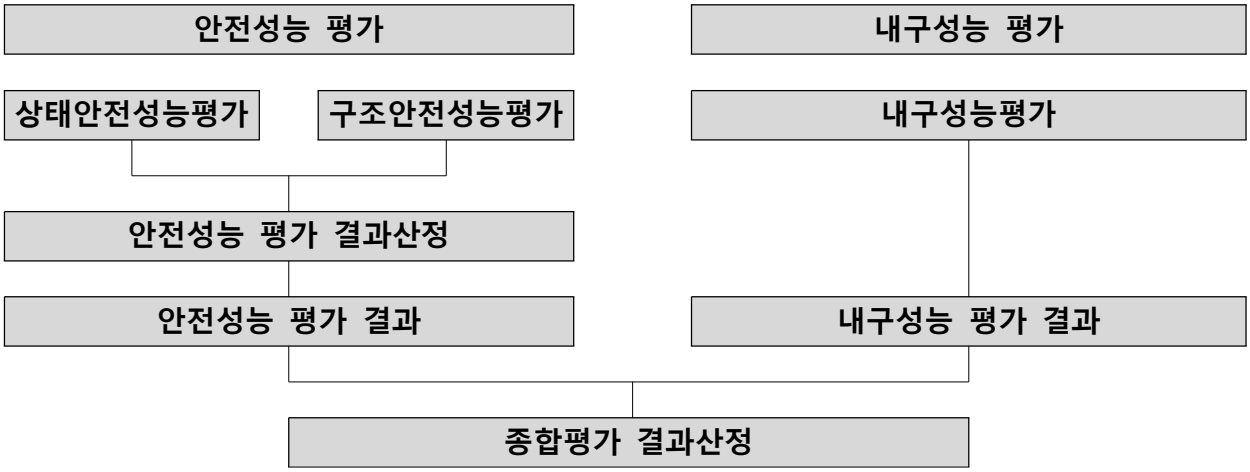
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 27-16> 종합평가 흐름도

27.6.2 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 27-80> 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 27-81> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토27		**분류**	상주영천고속도로
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 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 27-82> 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

27.7 유지관리 전략 제안

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

27.8.1 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 27-83> 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				

27.8.2 성능평가 결과 검토·분석

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

<표 27-84> 종합평가 결과 요약

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

27.8.3 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 27-85> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	상태양호	주의관찰	현상유지
	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 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

27.8 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, 배수시설 등은 양호한 것으로 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다. 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.

제28장 영천절토28

28.1 대상 시설물 현황

28.2 관련 자료의 분석

28.3 현장조사

28.4 안전성능평가

28.5 내구성능평가

28.6 종합평가

28.7 유지관리전략 제안

28.8 종합결론

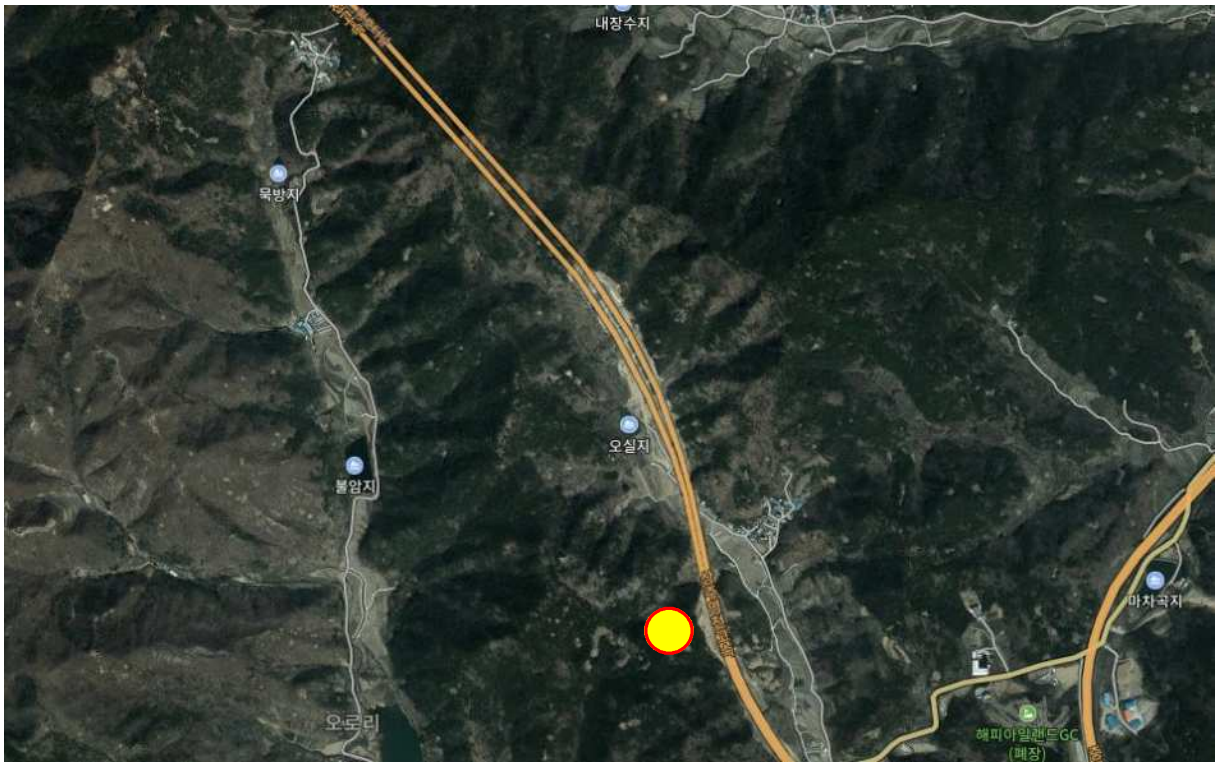
제28장 영천절토28

28.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 구미시 장천면 오로리(상주영천고속도로 37.175~37.415km)에 위치한 사면으로서 총 연장 240.0m, 높이 41.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 28-1>사면 일반사항

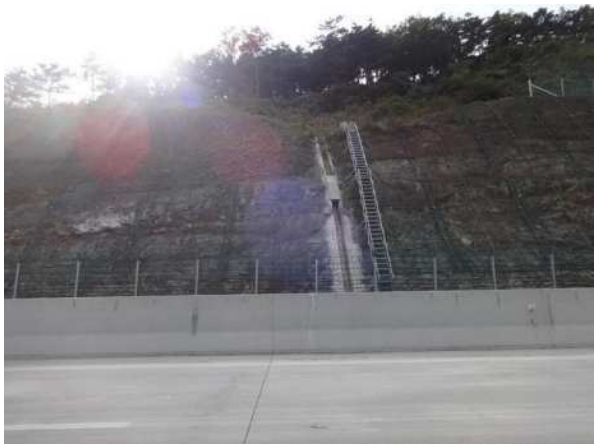
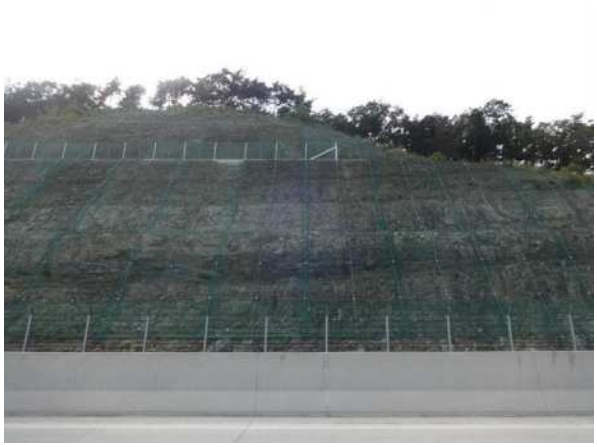
시설물번호	SL2017-0000035		**관리번호**	SY SL28
시설물명	영천절토28		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 구미시 장천면 오로리		
	위치좌표	시점 : 36° 18′30.7″ 128° 53′71.9″		
		종점 : 36° 18′53.6″ 128° 53′64.2″		
	관리이정	37.175~37.415 km		
	공구이정	5공구 STA.0+940~1+180		
제 원	**연 장**	240m	**높 이**	41.0m
	경사/방향	55/088	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**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				



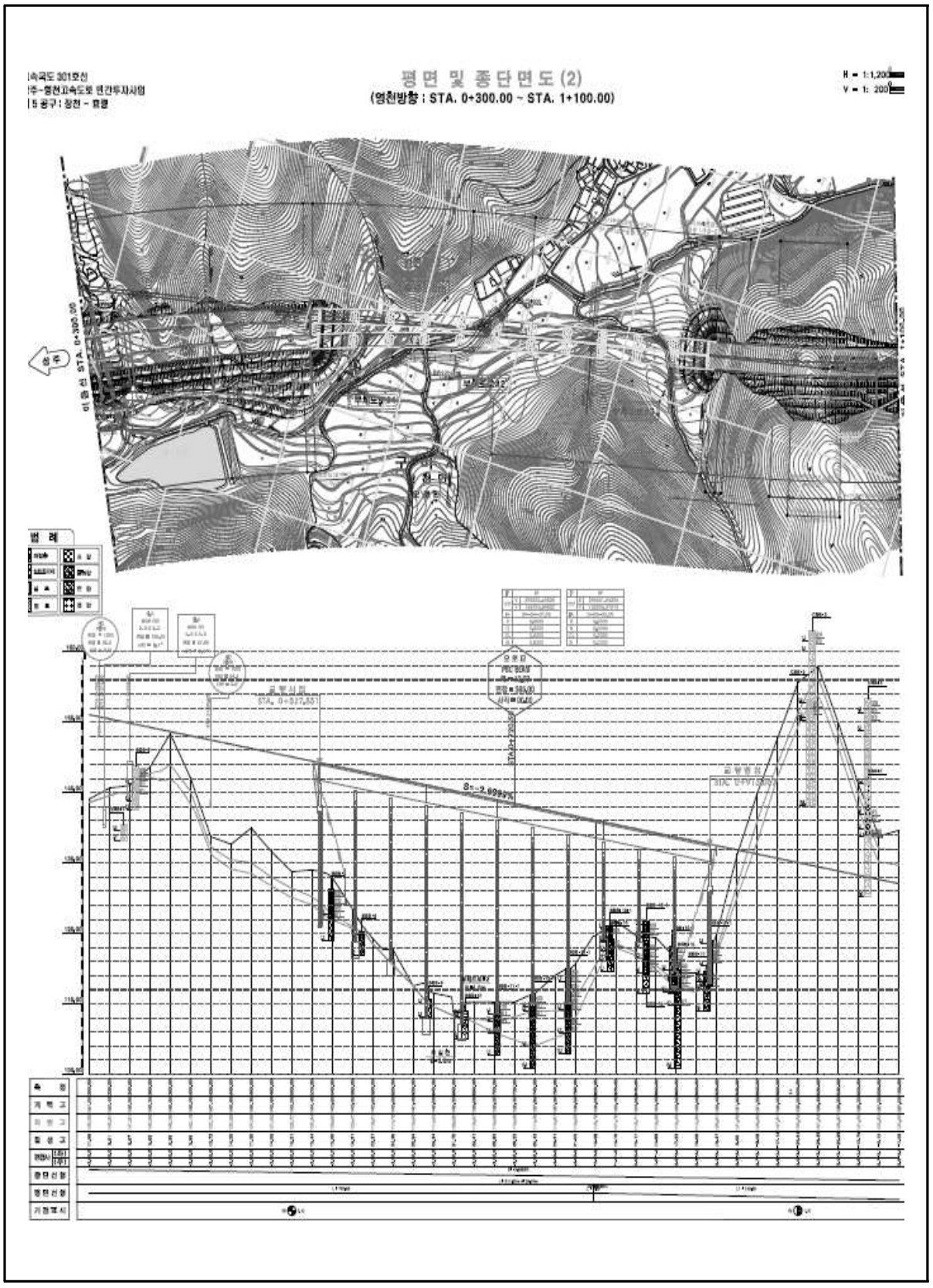
<그림 28-1>위치도

2019년 정밀안전점검

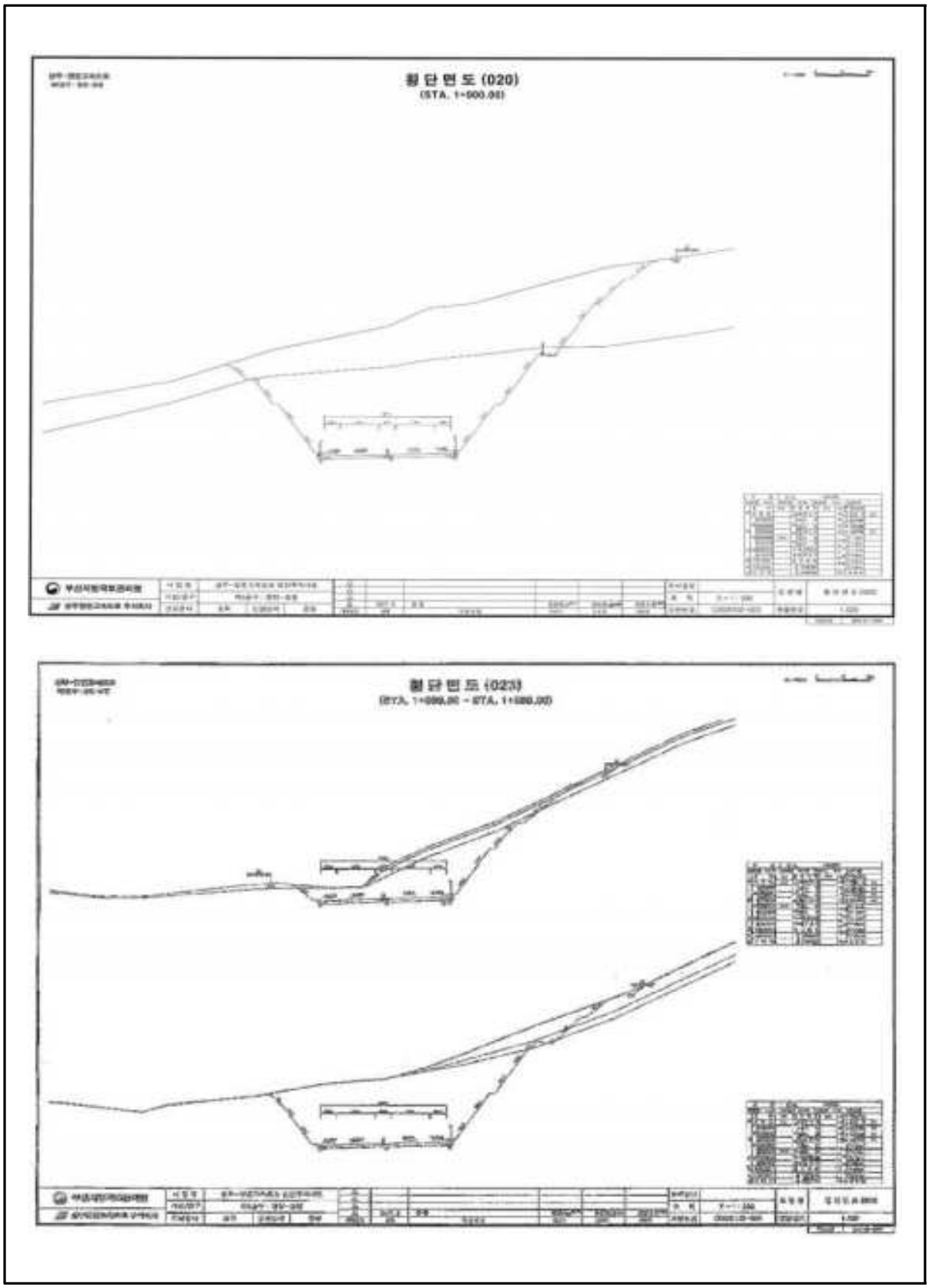
<그림 28-2> 전경사진

<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, 점검계단 전경</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>하부 전경</td><td>낙삭방지망, 낙석방지울타리 전경</td></tr>
</table>

<그림 28-3> 부재별 현황



<그림 28-4> 평면도



<그림 28-5> 표준횡단면도

28.2 관련 자료의 분석

28.2.1 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 28-2> 유지관리 관련자료 현황

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

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

28.2.2 지반조사 보고서 분석

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

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

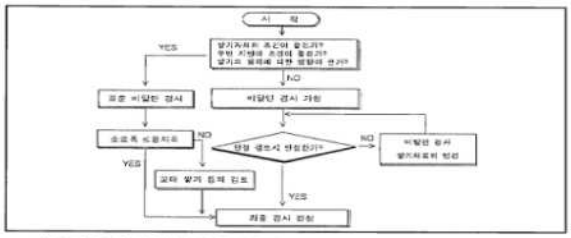
8.4 비탈면 설계기준

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

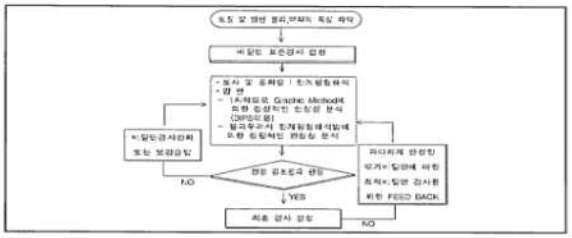
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 쌓기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 뒤기 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

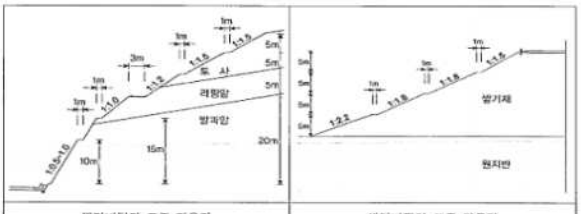
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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

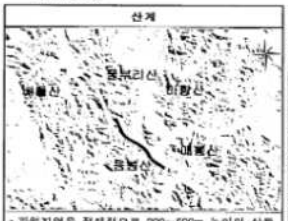
4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

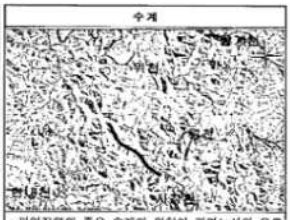
- 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
- 본 과업 지역의 지질은 백악기 경상층군의 신동층(면착동층), 하산동층, 진주층(봉양층)이 분포

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 중점
			하부(Ka2-1)	• 사암과 역질사암, 역암의 교호	• 5공구 중앙 및 시점부

마. 지체구조

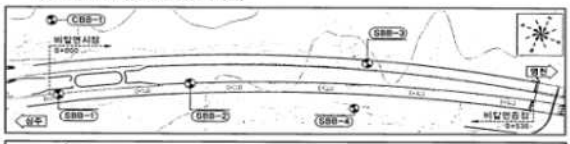
- 과업지역은 한반도의 중남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
- 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달

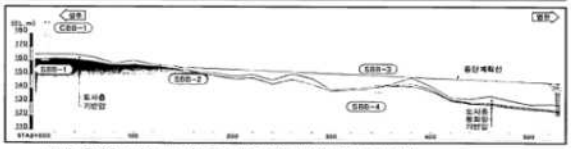
54

7.2 지층특성 분석

가. 본선비탈면구간

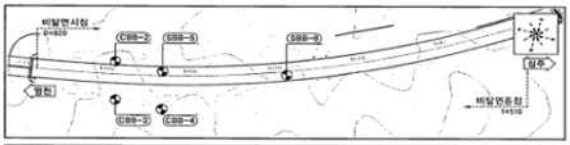
(1) 비탈면 1구간(STA.0+000~0+530)

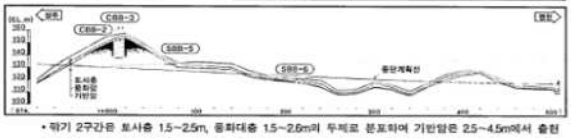




- 쥐기 1구간은 토사층 2.3m의 두께로 분포하며 기반암은 9.7m에서 출현
- 쥘기 1구간은 토사층 0.8~3.0m, 풍화대층 0~2.5m의 두께로 분포하며 기반암은 0.8~5.0m에서 출현

(2) 비탈면 2구간(0+920~1+510)





- 쥐기 2구간은 토사층 1.5~2.5m, 풍화대층 1.5~2.6m의 두께로 분포하며 기반암은 2.5~4.5m에서 출현
- 쥐기 3구간은 토사층 0.5~1.0m, 풍화대층 0.5~3.0m의 두께로 분포하며 기반암은 1.0~4.0m에서 출현
- 쥘기 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
쥐기	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
쥘기	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	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 쥐기 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 쥘기 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 59남부 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

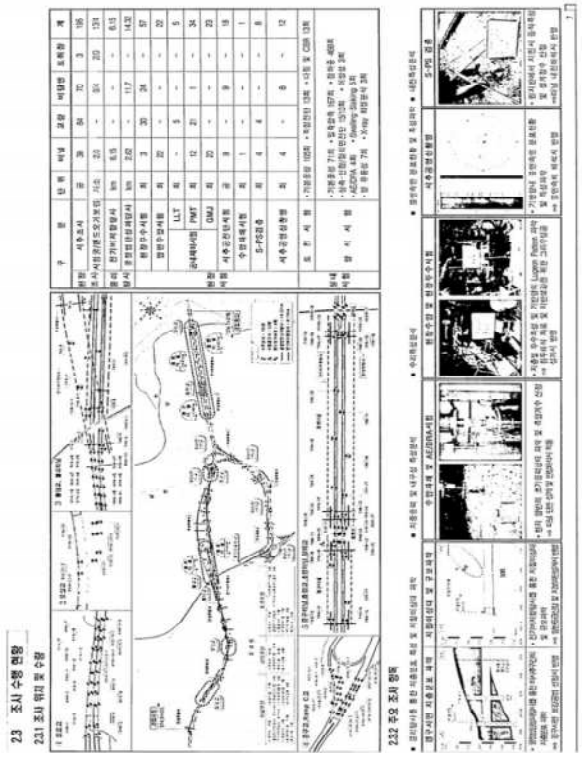
(3) 중점검토구간 정밀조사 수행

(4) 신뢰성 높은 분석 및 설계활용 극대화

나. 조사 수행 흐름도

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

3



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

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

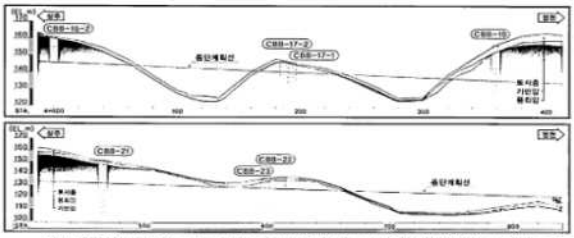
- 굴절법 탄성파 탐사 14.32km, 전기비저항탐사 6.15km, 시추조사 196공, 시험굴조사 13개소, 표준관입시험 480회

(1) 굴절법 탄성파 탐사

- 본선 구간

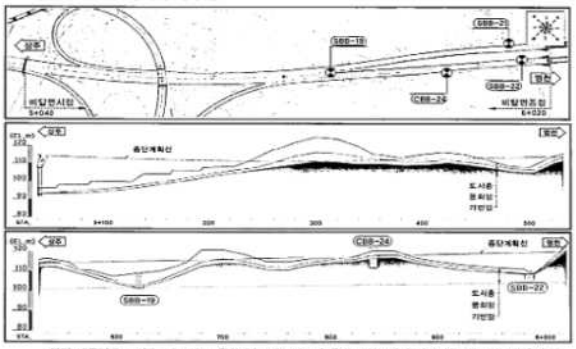
위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 구간	0+000	횡	115
	0+950~1+180	종	230
	1+000	횡	115
	1+080	횡	115
	1+190~1+605	종	415
	1+720~2+675	종	955
필로터널 시점	(영천)3+010~3+125	종	115
	(상주)2+970~3+085	종	115
	3+020	횡	55
	3+100	횡	55
필로터널 종점	(영천)3+410~3+600	종	115
	(상주)3+410~3+525	종	115
	3+540	횡	55
	3+460	횡	55
비탈면 구간	3+600~4+000	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
- 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
- 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	터널높이(m)	절리군	방향 (Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_{ci} (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								
		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
- 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

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

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

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

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

구조구	터널높이(m)	절리군	방향 (Dip/Dir)	σ_c (MPa)	σ_{ci} (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	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

28.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검을 5회, 정밀안전점검 1회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 28-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	영천절토28 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 파손, 산마루측구 낙엽퇴적, 취부공 식생 미활착이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 정비, 주의관찰을 통한 유지관리가 필요하다.	양호
2	2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30	정기안전점검	영천절토28 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 파손, 산마루측구 낙엽퇴적, 취부공 식생 미활착이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 정비, 주의관찰을 통한 유지관리가 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	영천절토28 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 일부구간 표층유실 및 세굴, 소단배수로 및 산마루측구에서 균열 및 파손, 토사퇴적, 취부공 식생 미활착이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 정비, 주의관찰을 통한 유지관리가 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	영천절토28 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 일부구간 표층유실 및 세굴, 소단배수로 및 산마루측구에서 균열 및 파손, 토사퇴적, 취부공 식생 미활착이 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	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. 산마루측구 파손이 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	영천절토28 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 2단 사면 일부구간 세굴, 소단배수로 및 산마루측구에서 균열 및 파손, 토사퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다.	양호

28.2.4 보수·보강이력

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

<표 28-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

28.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 28-5> 내진 설계 적용 여부

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

28.2.6 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 28-6> 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

28.3 현장조사

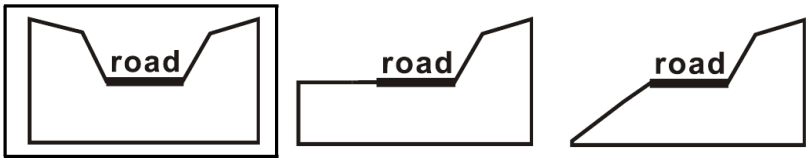
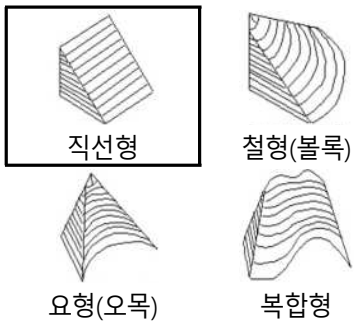
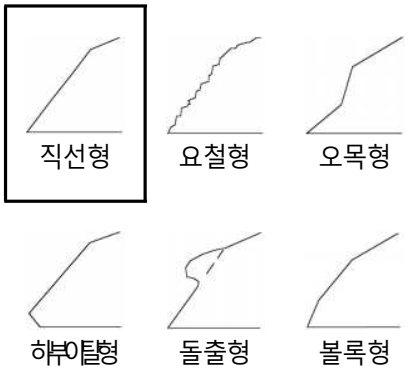
28.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 28-7> 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 구미시 장천면 오로리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36 ° 18 ' 30.7 " 128 ° 53 ' 71.9 "</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36 ° 18 ' 53.6 " 128 ° 53 ' 64.2 "</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 240m</td><td colspan="3">높 이 : 41.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 55/088</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 : 3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">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">37.175~37.415k</td><td colspan="2">파손</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">37.215~37.365k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="2">37.275k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">37.195~37.385k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">37.275k</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 28-8> 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 28-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토28		
	위경도	시점 : 36° 18′30.7″ 128° 53′71.9″ 종점 : 36° 18′53.6″ 128° 53′64.2″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 9월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	240.0m	최대높이	41.0m
	경사	55°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~3.0m	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	1.0~2.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) ■낙석방지망 □옹벽 ■낙석방지울타리(양호) □격자블럭 ■배수로(보통) ■점검로(양호) □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			

28.3.2 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 경상북도 구미시 장천면 오로리(상주영천고속도로 37.175~37.415 km)에 위치하고 있으며, 길이는 240m, 높이 41.0m의 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 28-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{27.0}=0.07$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.5~143.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{27.0}=0.007$로 0.01이하	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{40.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.5~143.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{40.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 240m로써, 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, 2구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 28-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	37.175~37.275km	100m
2구간	37.275~37.415km	140m

28.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

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

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 –30~-40°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 외부 37.275k에 계곡부 1개소가 조사되었고, 하절기 강우 시 주의관찰이 필요하다.

<표 28-12> 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	-	주의관찰
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

자연사면 계곡부 전경

자연사면 전경

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, 심한 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 28-13> 불안정 지질 조사 결과

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

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 2개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 28-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	88/060	15/130	82/168
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
비고	-		

구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	80/225	80/308	85/225
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
비고	-		

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 28-15> 지반 변형 조사 결과

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

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

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

<표 28-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	산마루측구	파손	㎡	1 / 0.05	거푸집제거시 충격, 우수유입, 열화	

산마루측구 파손

소단배수로 전경

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 28-17> 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 28-18> 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 28-19> 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 28-20> 인장균열 조사 결과

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

28.3.4 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 28-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
37.215km	57.5	130.2	경암	
37.235km	58.7	136.8	경암	
37.255km	57.9	132.5	경암	
37.315km	58.6	136.3	경암	
37.325km	59.4	141.3	경암	
37.335km	59.7	143.0	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 57.9~59.7로 측정되었으며, 추정강도 130.2~143.0MPa로 경암암으로 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 28-22> 표면보호공 조사 결과

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

낙석방지망 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 28-23> 사면보강공 조사 결과

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

28.4 안전성능평가

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

28.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

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

<표 28-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{27.0}=0.07$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.5~143.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{27.0}=0.007$로 0.01이하	파쇄암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{6.0}{40.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.5~143.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{40.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 240m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시하는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~6으로 표기하였다.

<표 28-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	37.175~37.275km	100m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	37.275~37.415km	140m	암반사면	Set4, Set5, Set6

<표 3-26> 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 28-27> 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	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		

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 28-29> 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 28-30> 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	1.0m이상 3.0m미만	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 거침	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	0.2m이상 0.6m미만	c

<표 28-31> 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 28-32> 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 28-33> 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 28-34> 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 28-35> 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 28-36> 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 28-37> 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	10°이상 20°미만	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 28-38> 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 28-39> 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 28 -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 28-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토28		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	1	b
	사면 외	1		
불안정 지질		6	6	c
불연속면 특성		8.6	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			15	
결함지수		0.15		
상태안전성능평가 결과		**B**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 28-42> 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 28-43> 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 28-44> 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 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 28-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	1.0m이상 3.0m미만	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 거침	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	0.2m이상 0.6m미만	c

<표 28-46> 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 28-47> 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 28-48> 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 28-49> 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 28-50> 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 28-51> 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 28-52> 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	10°이상 20°미만	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 28-53> 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 28-54> 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 28-55> 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 28-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		영천절토28		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
불연속면 특성		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		

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
240.0m	1구간	37.175~37.275km	b(0.15)	B	인장균열 없음
	2구간	37.275~37.415km	a(0.11)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

28.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

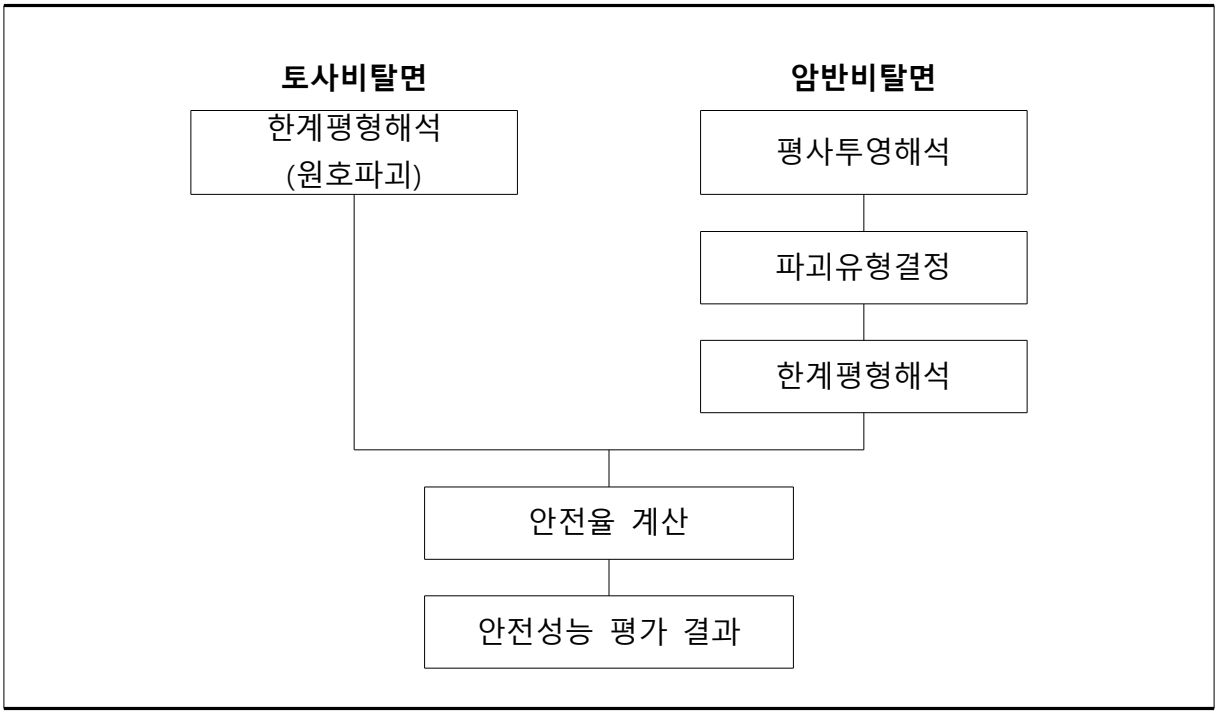
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 28-5> 구조안전성능 평가과정

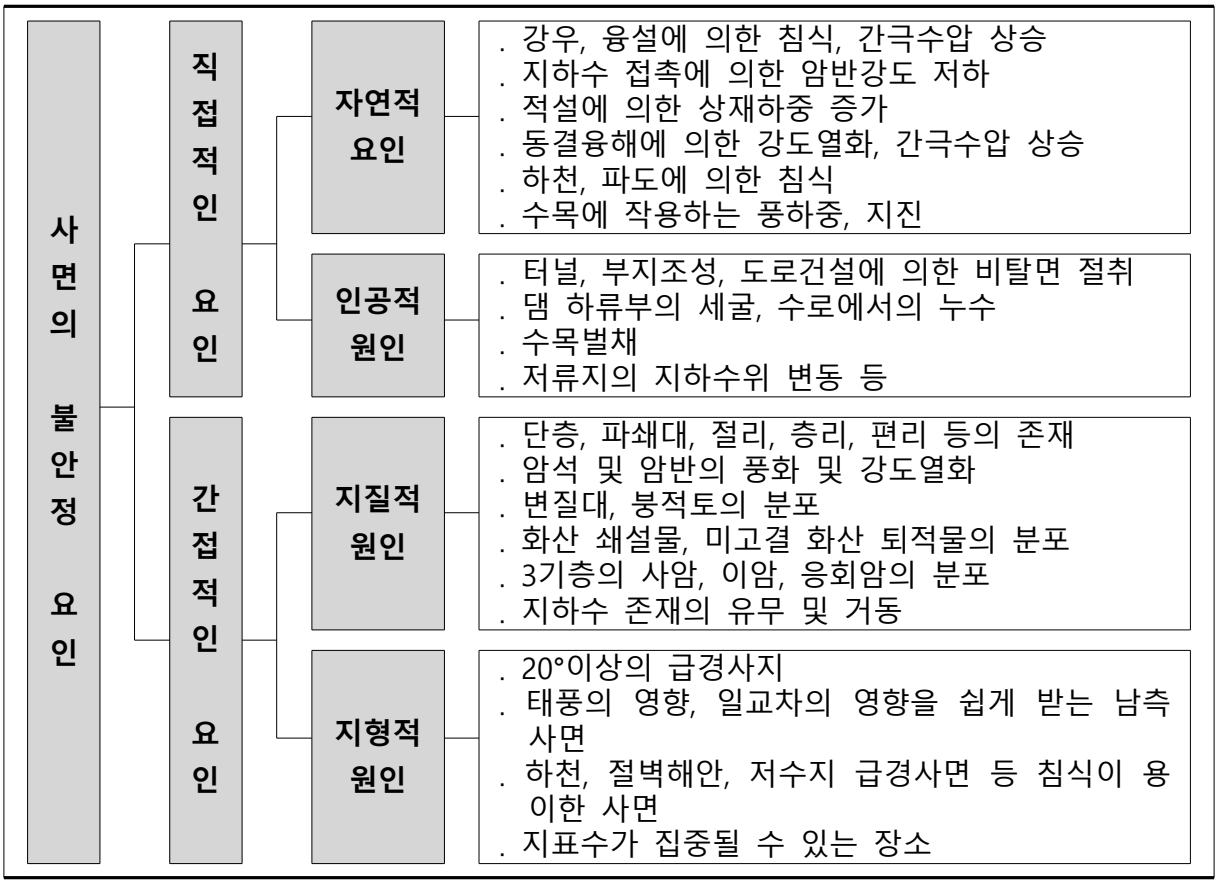
<표 28-58> 유형별 안정해석 범위

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

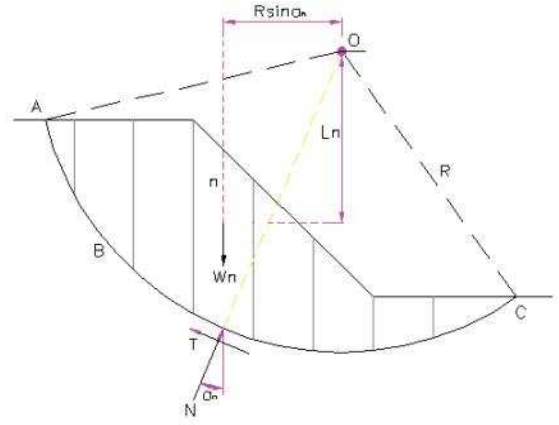


<그림 28-6> 구조안전성능 평가과정

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

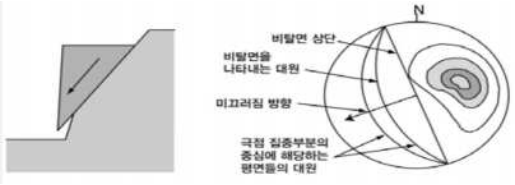
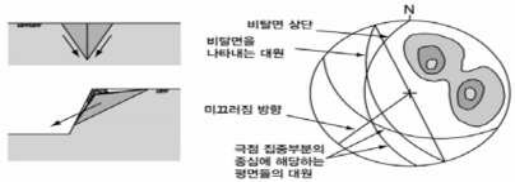
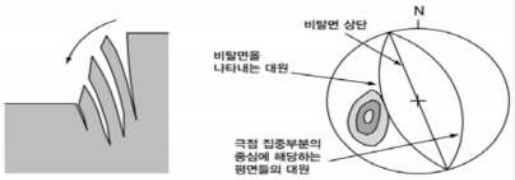
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 28-7> 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 28-59> 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 28-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

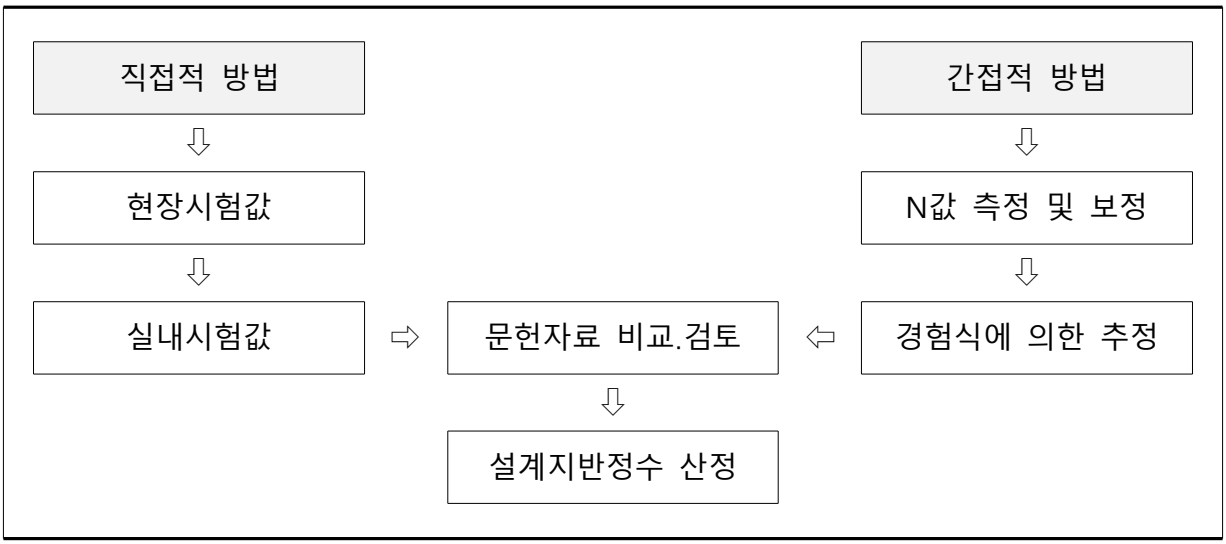
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 28-61> 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 28-62> 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 28-63> 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 28-64> 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 28-65> 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	26	24	
	풍화암	20	32	29	
	경 암	25	36	240	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 28-66> 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 28-67> 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	24.3~25.6
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 28-68> 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 28-69> 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 28-70> Trueman (1988)

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

<표 28-71> 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	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 28-72> 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

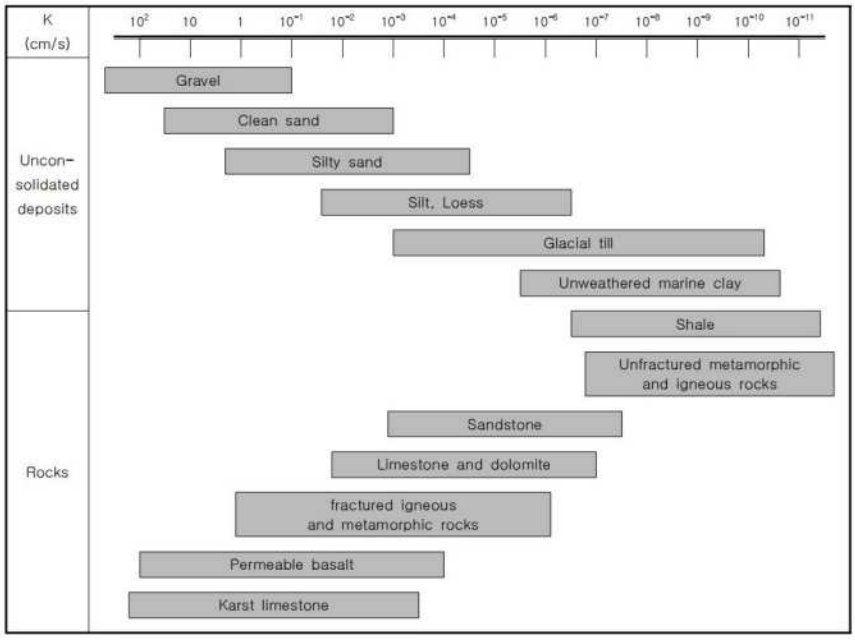
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 28-73> 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 28-74> 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 28-8> 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 28-75> 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

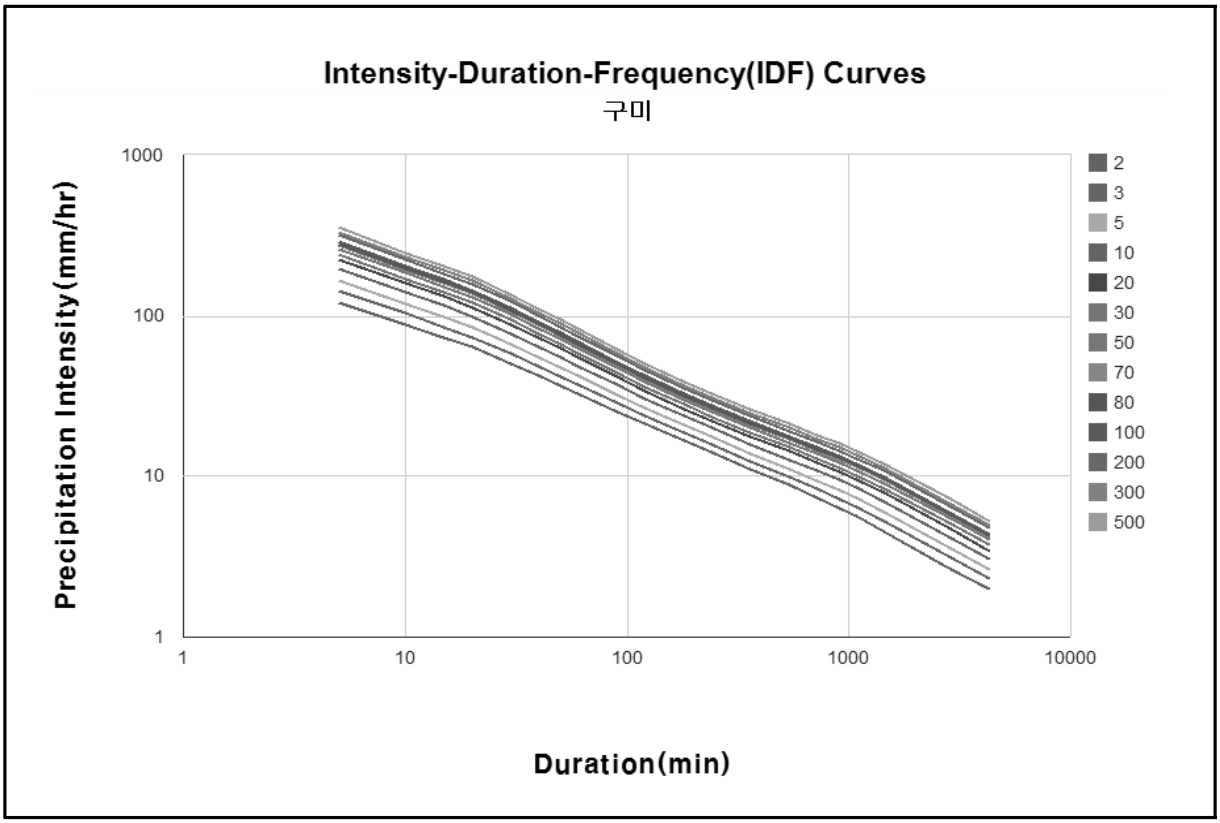
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 구미지역



<그림 28-9> 구미지역 IDF곡선

구미(Precipitation Frequency Estimates, IDF)

Duration(min)

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

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 28-10> 구미지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 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 28-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 28-76> 설계지반운동 수준

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

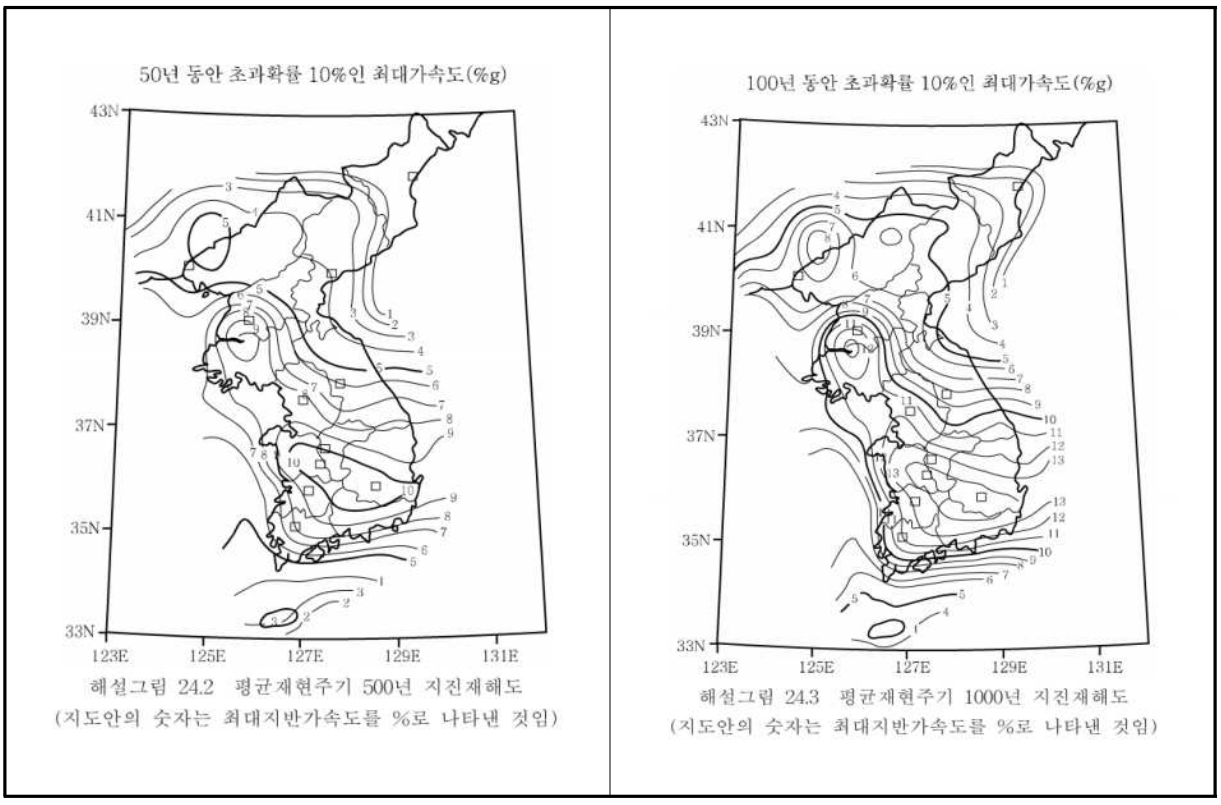
2) 설계지반운동

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 28-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 28-77> 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 28-78> 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

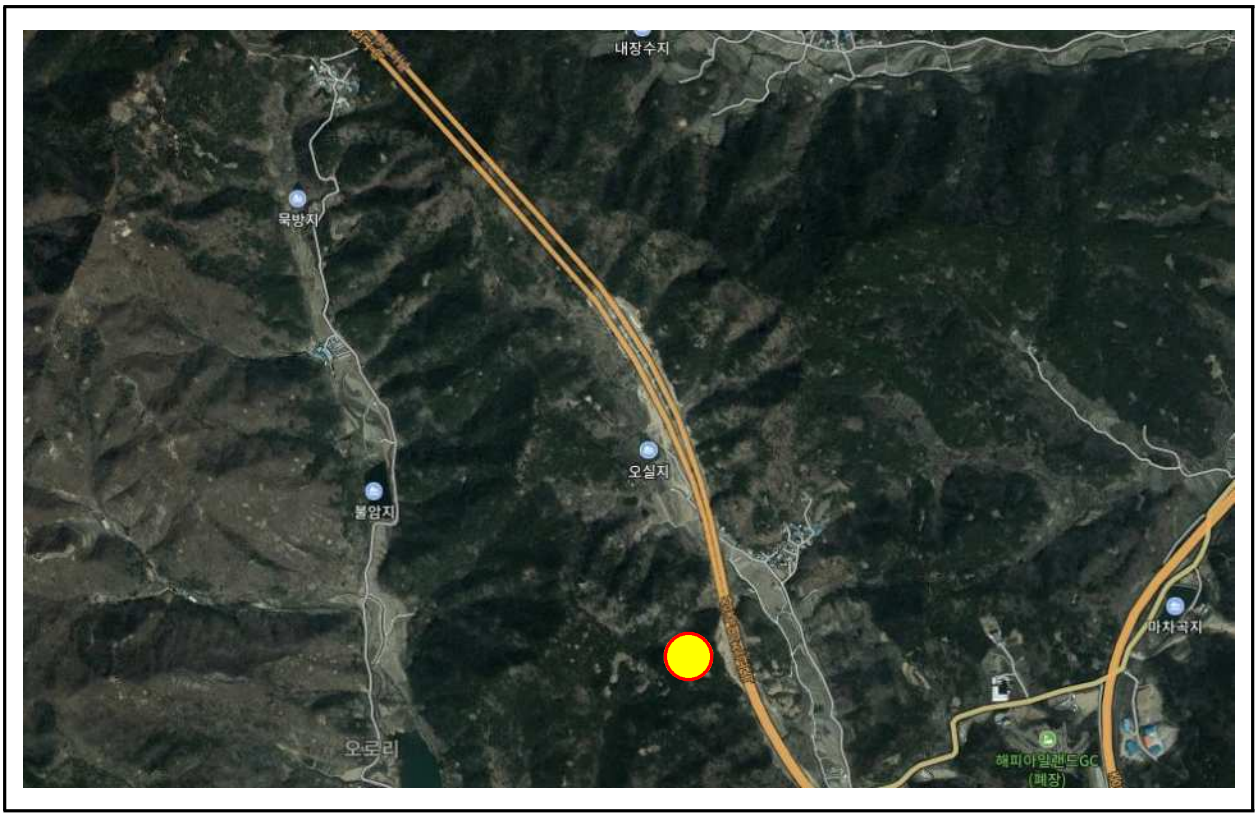
대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 28-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
영천절토28	경상북도 구미시 장천면 오로리	37.175 ~ 37.415	STA.37+255	27.0	2.0	25.0	-	2017	55/088
			STA.37+315	40.0	6.0	34.0	-	2017	55/088

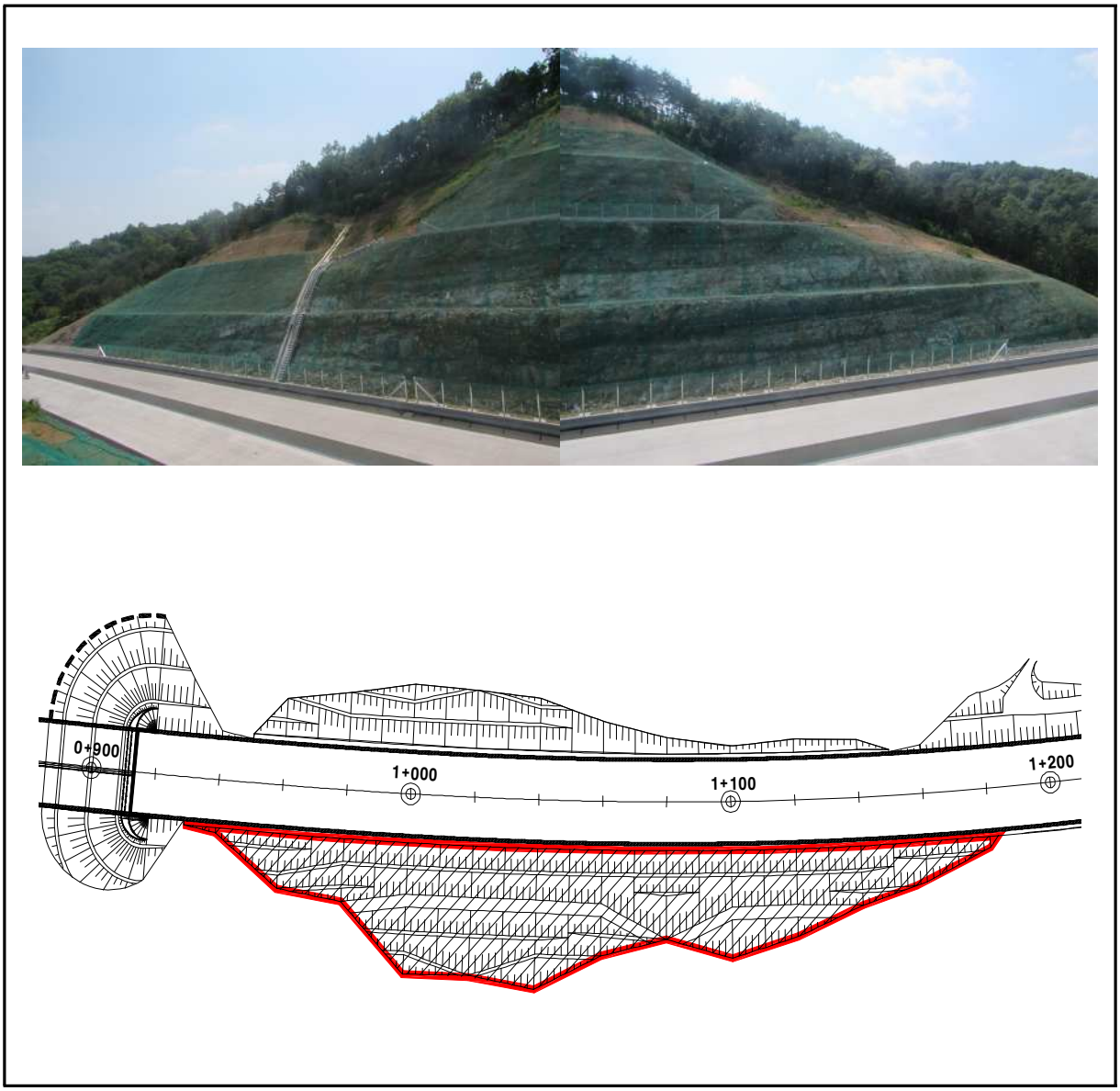
※ 상주기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음



<그림 28-13> 영천절토28 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토28 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



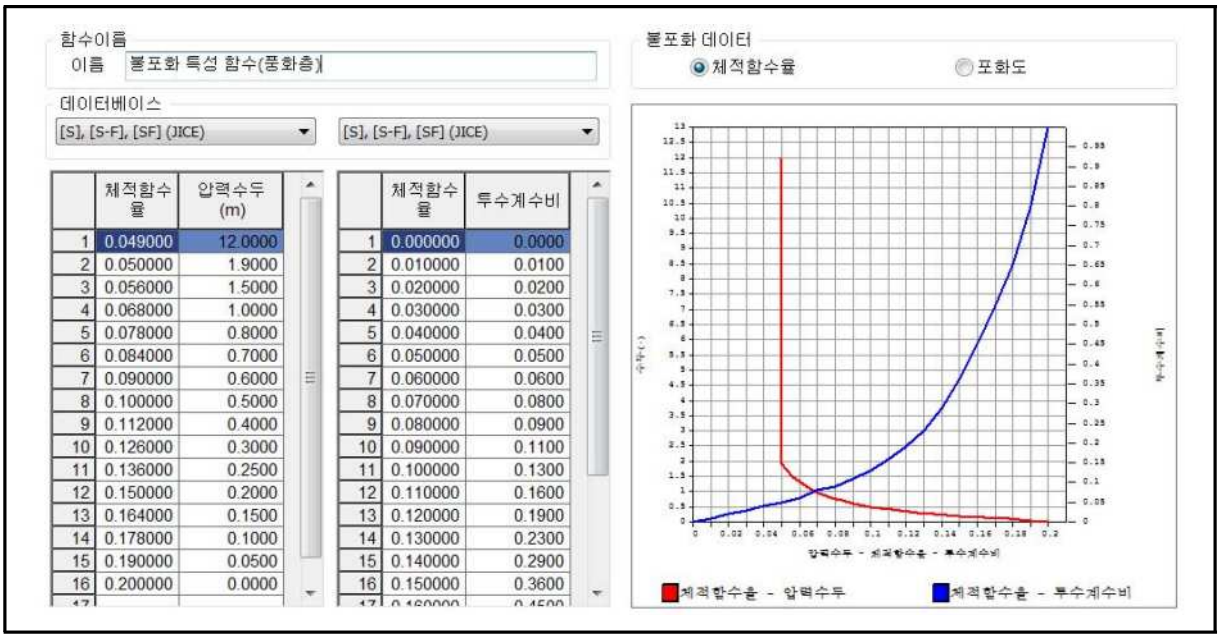
<그림 2-14> 영천절토28 검토대상 비탈면구간

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	
연암	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

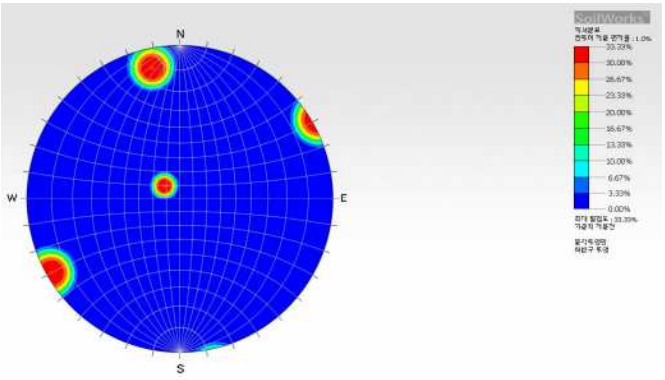
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 28-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

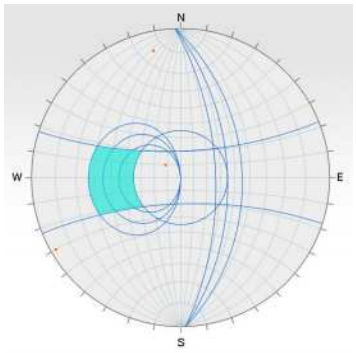
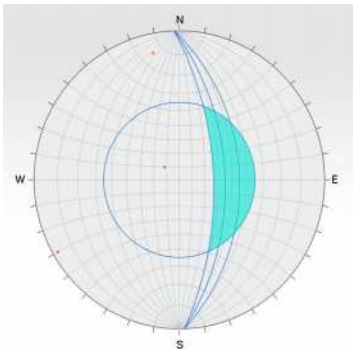
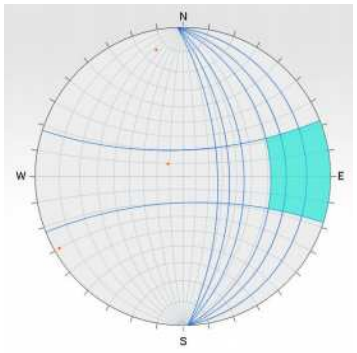
3) 1구간 (STA.37+175 ~ 37+275)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 88 15 82	dip direction 60 130 168

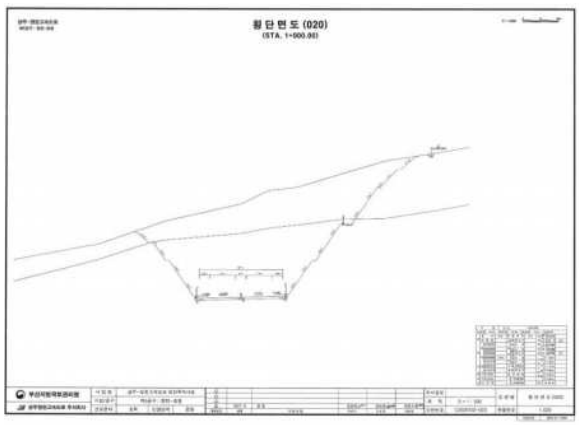
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

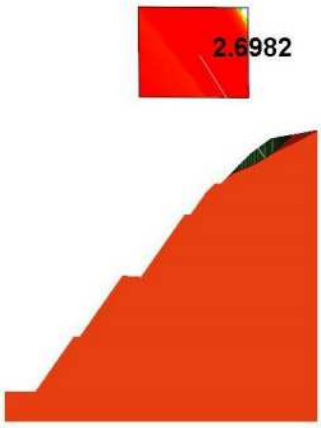
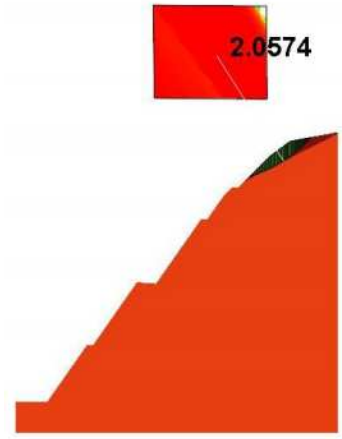
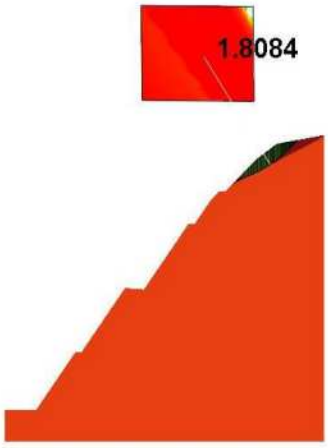
구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면

<table>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">대표단면 : STA.37+255, 영천</td></tr>
</table>

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.69	안전율 : 2.05	안전율 : 1.80

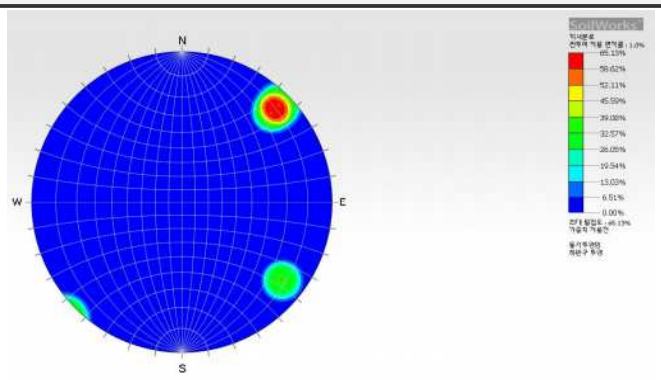
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

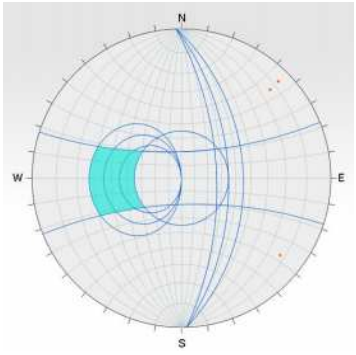
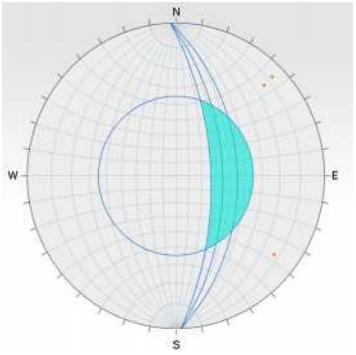
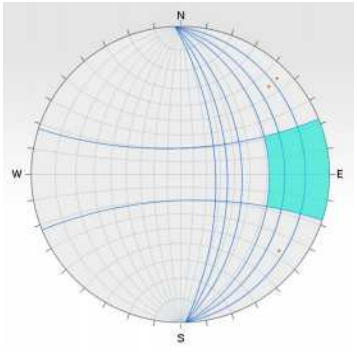
4) 2구간 (STA.37+275 ~ 37+415)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		80	225
		80	308
		85	225

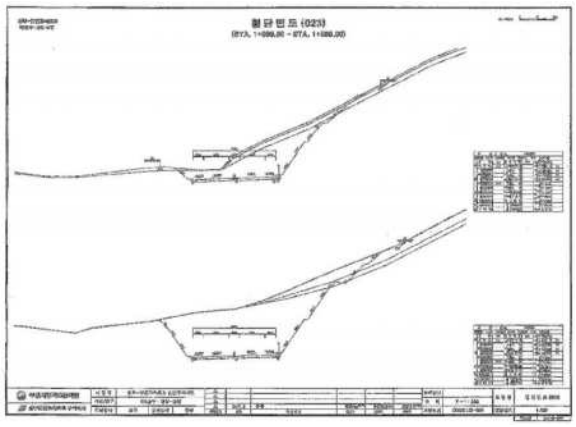
◦ 해석결과

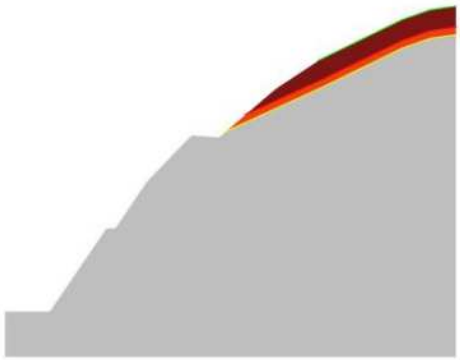
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

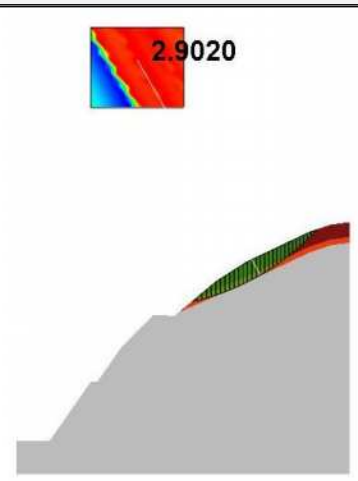
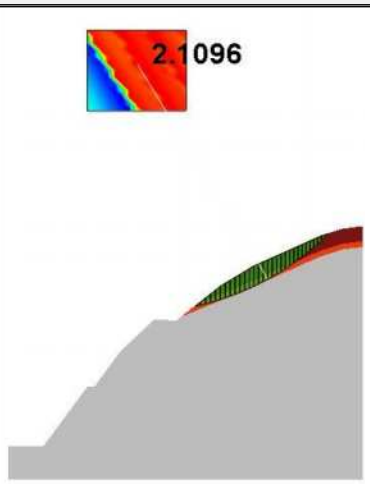
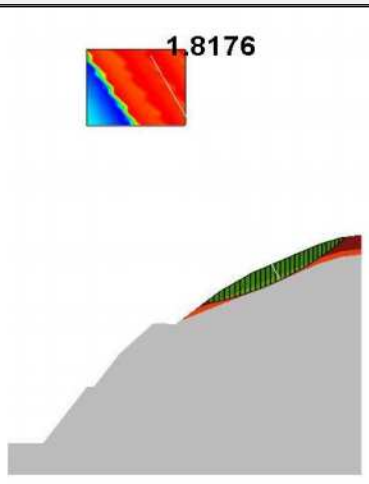
◦ 검토단면





대표단면 : STA.37+315, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.90	안전율 : 2.10	안전율 : 1.81

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 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 28-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**영천절토28**		
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	2.69	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.05	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.80	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

28.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 28-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토28**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.150	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.150	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 28-82> 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

28.5 내구성능 평가

28.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 28-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 6/40 = 0.15
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		140MPa	추정
면적	전체	5,808㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	5,808㎡	
표면보호공	식 생	1,832㎡	
	낙석방지망	5,570㎡	
사면보강공		-	

28.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 28-84> 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

28.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 28-85> 암반사면의 지반상태 평가 기준

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

<표 28-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
37.215km	130.2	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
37.235km	136.8	-	
37.255km	132.5	-	
37.315km	136.3	-	
37.325km	141.3	-	
37.335km	143.0	-	
평균값	136.7	-	
등급	**A등급**		

<표 28-87> 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 28-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	1,832/1,832㎡	100%	-	-	
평가	식생 피복율이 90.0% 이상 이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 28-89> 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 28-90> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1.0m~3.0m	1.0m~3.0m	1.0m~3.0m
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 0.1	< 0.1	0.1~1㎜미만
	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(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1.0m~3.0m	1.0m~3.0m	1.0m~3.0m
	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 28-91> 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**	

28.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 28-92> 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 28-93> 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 28-94> 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

28.6 종합평가

28.6.1 종합평가 개요

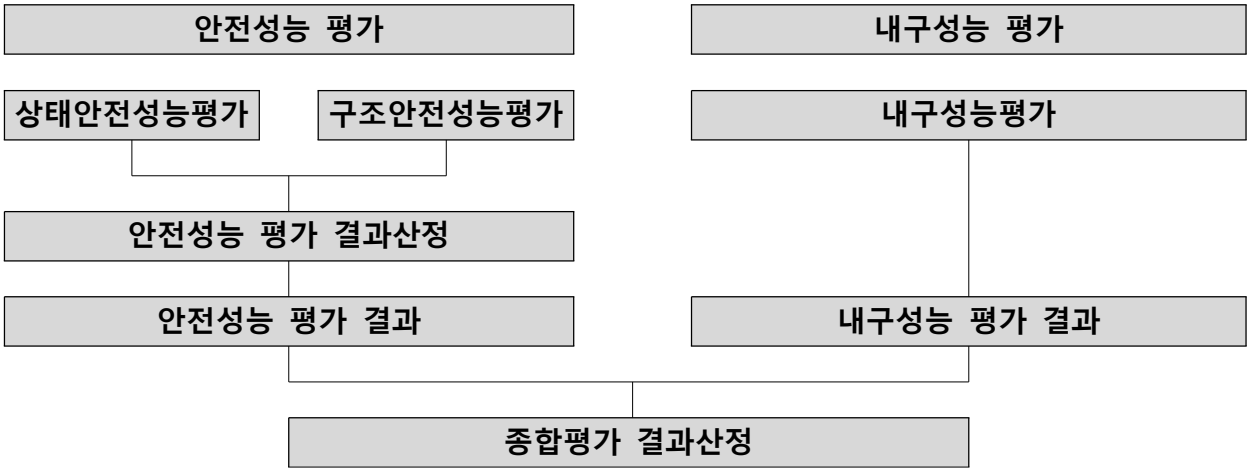
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 28-16> 종합평가 흐름도

28.6.2 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 28-95> 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 28-96> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토28		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.150	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.150 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.173 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

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 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 28-97> 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 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

28.7 유지관리 전략 제안

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

28.7.1 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 28-98> 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				

28.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.173)"으로 평가되었다.

<표 28-99> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.150	0.265	0.173
평가결과	B	B	B

28.7.3 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 28-100> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	상태양호	주의관찰	현상유지
	수직도수로	파손	단면보수	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.

28.8 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 B등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 수직도수로 파손이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 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.

제29장 상주절토29

29.1 대상 시설물 현황

29.2 관련 자료의 분석

29.3 현장조사

29.4 안전성능평가

29.5 내구성능평가

29.6 종합평가

29.7 유지관리전략 제안

29.8 종합결론

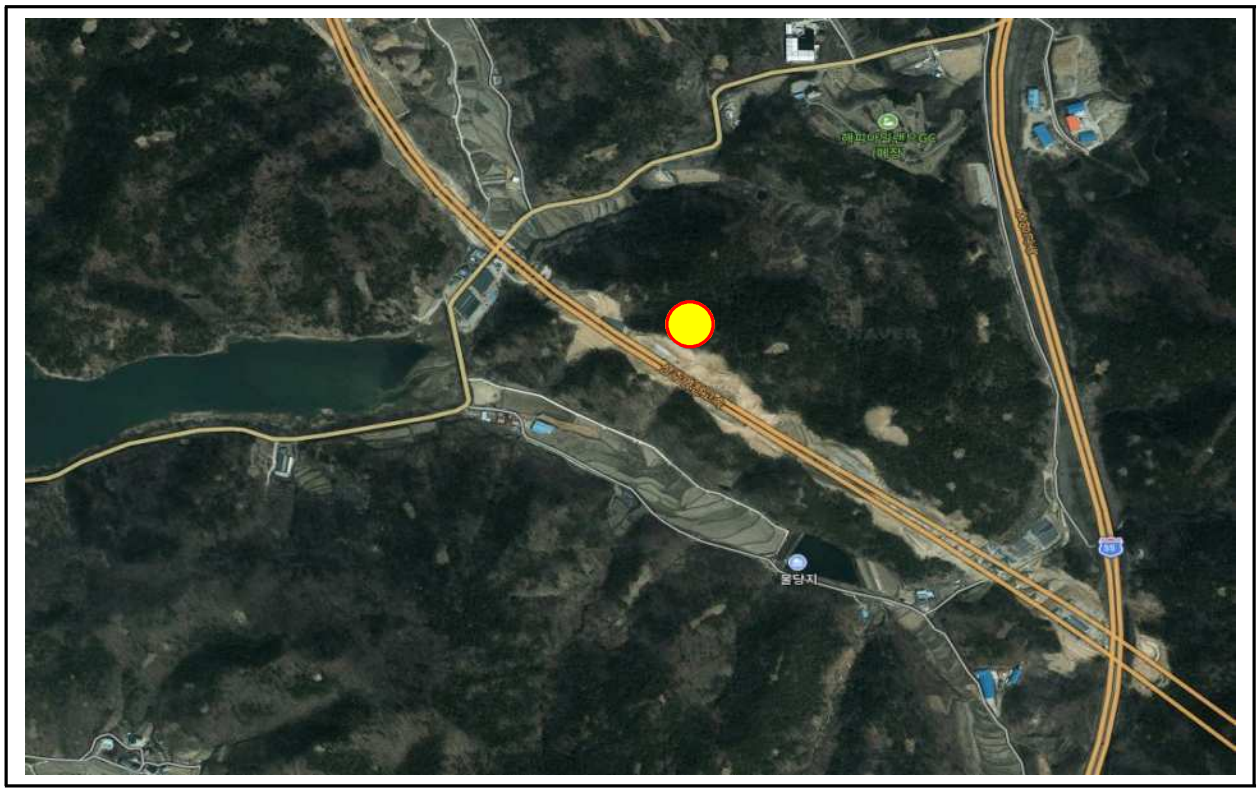
제29장 상주절토29

29.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 구미시 장천면 오로리(상주영천고속도로 38.165~38.455km)에 위치한 사면으로서 총 연장 240.0m, 높이 39.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 29-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000037		**관리번호**	SY SL29
시설물명	상주절토29		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 구미시 장천면 오로리		
	위치좌표	시점 : 36° 17′80.4″ 128° 54′25.5″		
		종점 : 36° 17′65.5″ 128° 54′51.2″		
	관리이정	38.165~38.455 km		
	공구이정	5공구 STA.1+930~2+220		
제 원	**연 장**	290m	**높 이**	39.0m
	경사/방향	50/230	**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, 낙성방지울타리. 쏘일네일링. 숏크리트		
비 고				



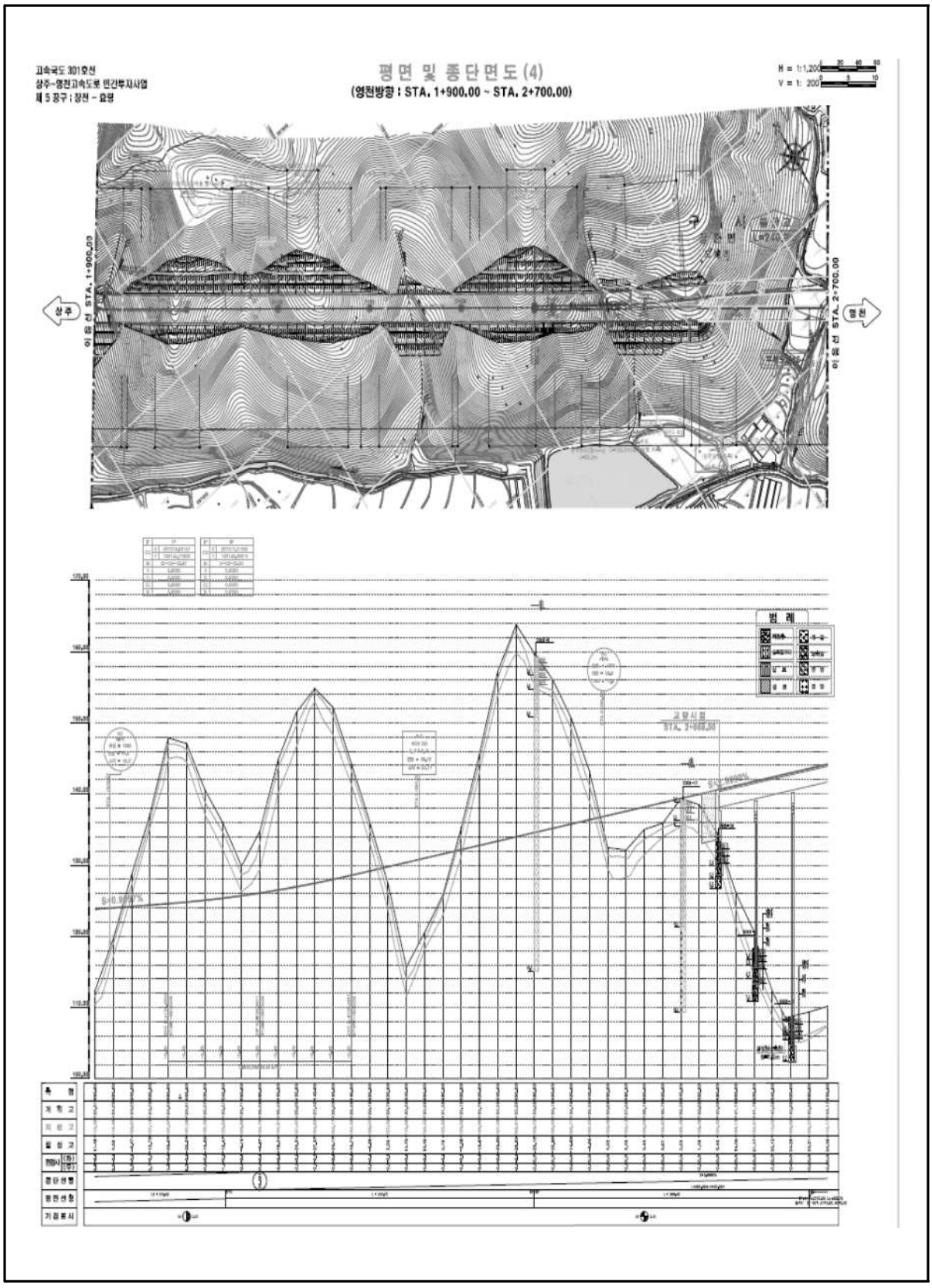
<그림 29-1>위치도

2019년 정밀안전점검

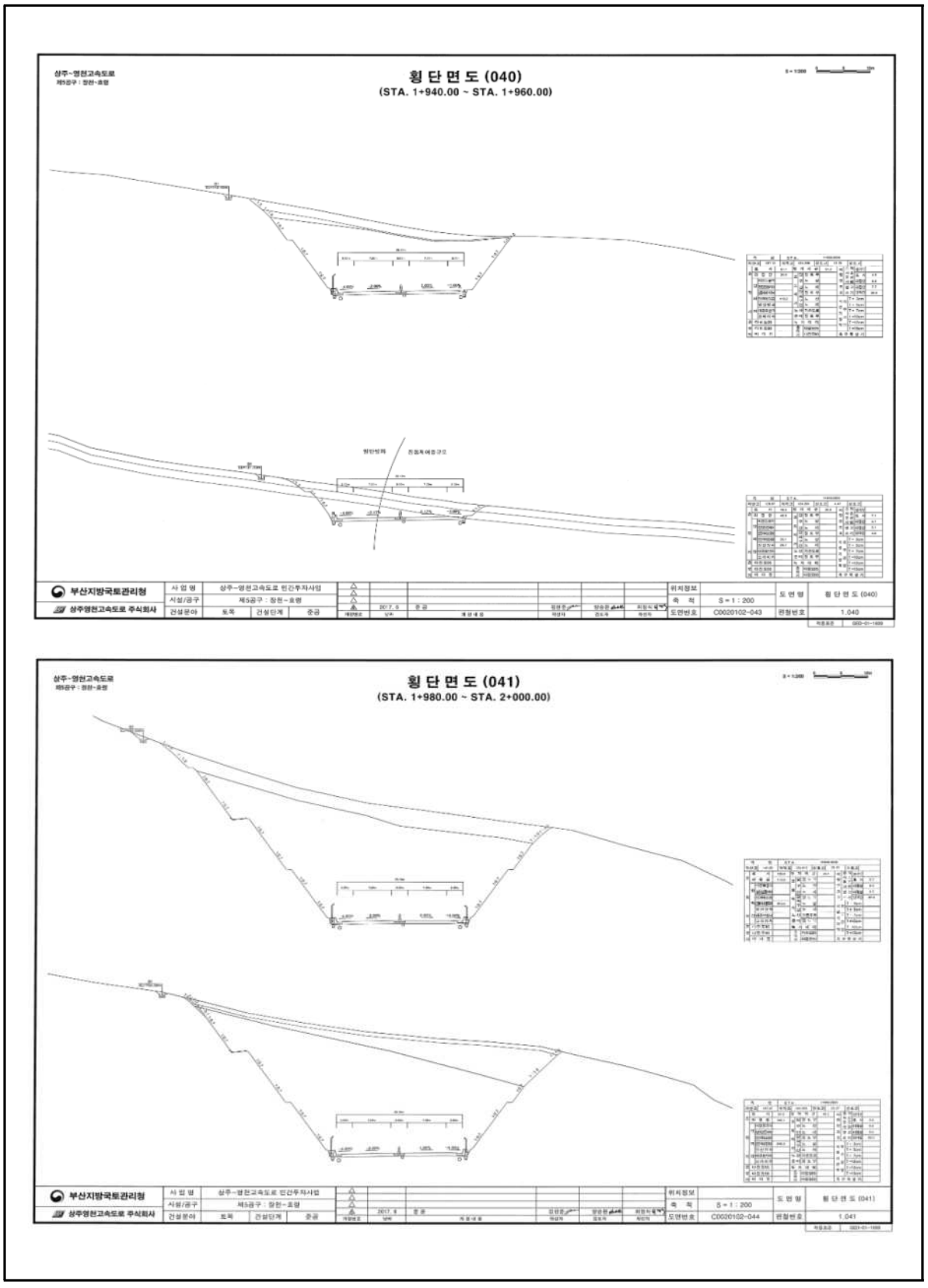
<그림 29-2> 전경사진

야생동물유도울타리 전경	1소단 배수로 전경
산마루측구, 점검계단 전경	수직도수로 전경
하부 전경	숏크리트 전경

<그림 29-3> 부재별 현황


고속국도 301호선
상주~영천고속도로 민간투자사업
제 5 공구 : 장천 ~ 효령
평면 및 종단면도(4)
(영천방향 : STA. 1+900.00 ~ STA. 2+700.00)
H = 1:1,200
V = 1: 200
이 음 선 STA. 1+900.00
이 음 선 STA. 2+700.00
상주
영천
범 례

<그림 29-4> 평면도



<그림 29-5>표준횡단면도

29.2 관련 자료의 분석

29.2.1 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 29-2> 유지관리 관련자료 현황

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

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

29.2.2 지반조사 보고서 분석

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

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

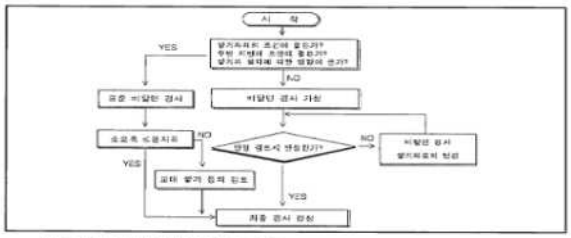
8.4 비탈면 설계기준

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

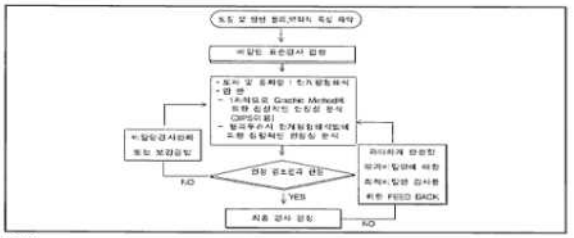
8.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 쌓기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 깎기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



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 호층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

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 경질은 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)

8.4.5 설계기준 선정

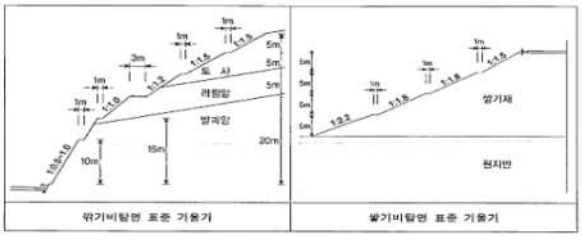
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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
	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	• 암깎기 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



깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

2) 지형 및 지질

4.2 지표지질 조사

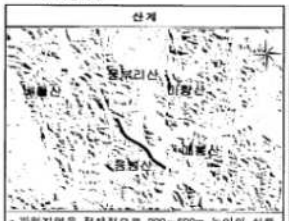
4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

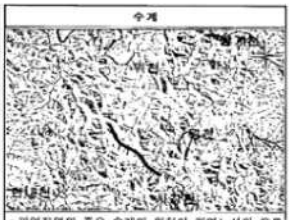
- 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
- 본 과업 지역의 지질은 백악기 경상층군의 신동층군의 낙동층(연화동층), 하산동층, 진주층(봉암층)이 분포

나. 지형특성

산계



수계



- 과업지역은 전체적으로 200~500m 높이의 산들이 고루 분포되어 있음
- 과업노선은 용봉산의 지지대분 따라 치나가며 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 암층 특성

구 분	지질특성
낙동층 금당리층원사암	• 낙동층의 하부층에 해당하는 만경상층원의 역질사암과 역암은 원마도가 불량한 석영과 알칼리장석이 주를 이루며, 탄질물과 변질된 유색광물이 주로 산출됨
하산등층 사암	• 석입은 1 mm 내외의 것들로 원마도는 불량한 것들이 우세 • 하산등층 사암은 근거리에서 이동하여 형성
하산등층 세일	• 엽층으로 인한 뚜개짐(fissility)이 발달 • 뚜개짐과 같은 방향으로 방해석이 침전 또는 충전되어 있어 슬리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단
진주층 세일	• 엽층으로 인한 뚜개짐(fissility)이 발달 • 뚜개짐과 같은 방향으로 방해석이 침전 또는 충전되어 있어 슬리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단

53

라. 지질 계통도

지질시대	층 명		특 성	비 고
제4기	충적층(Qa)		• 하천 및 산곡 퇴적물	
	~~ 부정합 ~~			
중생대 백악기	경상암맥(Kid) 산성암맥(Kad)		• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
	유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 응회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
	~~ 관입 및 분출 ~~			
	신동층군	하산등층(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

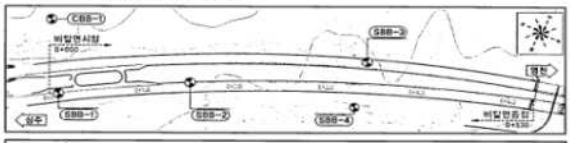
- 과업지역은 한반도의 중남단에 위치하며 백악기 퇴적분지가 크게 발달하고 후기의 북북동향의 단층대가 도폭의 동부지역을 통과
- 경상분지의 서북과 북북에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달

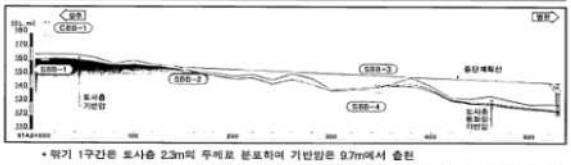
54

7.2 지층특성 분석

가. 본선비탈면구간

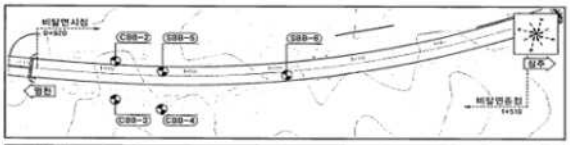
(1) 비탈면 1구간(STA.0+000~0+530)

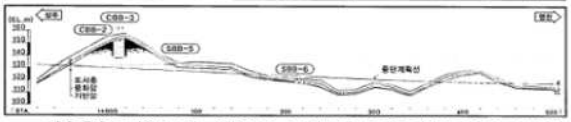




- 뭐기 1구간은 토사층 2.3m의 두께로 분포하며 기반암은 0.7m에서 출현
- 뭐기 1구간은 토사층 0.8~3.0m, 풍화대층 0~2.5m의 두께로 분포하며 기반암은 0.8~5.0m에서 출현

(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
- 뭘기 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
뭘기	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 뭘기 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) • 중구터널(385m) • 효림터널(980m)	• 오로교(385m) • 오성교(280m) • 봉당교(240m) • 봉보교(45m)	• 중구고(230m) • 효명고(80m) • 강외고(90m)	• 램프A-1교(35m) • 램프A-2교(17m) • 램프A-3교(30m) • 램프A-4교(50m) • 램프C교(240m)	• 깎기구간(16개소) • 쌓기구간(16개소) • 램프깎기구간(7개소) • 램프쌓기구간(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
- 전기비저항 탐사 적용, 이상대 및 이시추구간 암반등급 산정
- 감사시추 및 특수시험을 통한 단층파쇄대 지정 및 공학적 특성 평가

(2) 단계별 조사 수행

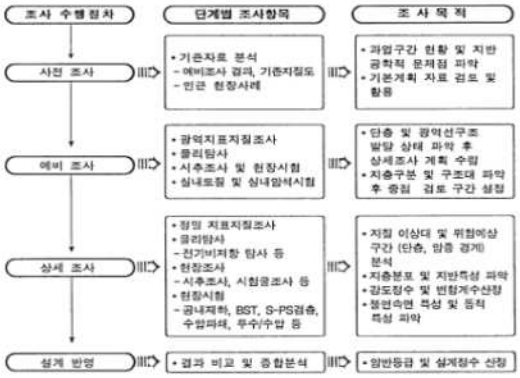
- 사전조사를 통한 중점검토사항 및 주요조사항목 선정
- 상세조사, 추가조사를 통한 지반정보자료 파악 및 분석 수행
- 다양한 분석기법을 적용, 암반등급별 최적의 설계지반정수 산정
- 구조물 분류를 통한 불연속면 특성 상세 분석

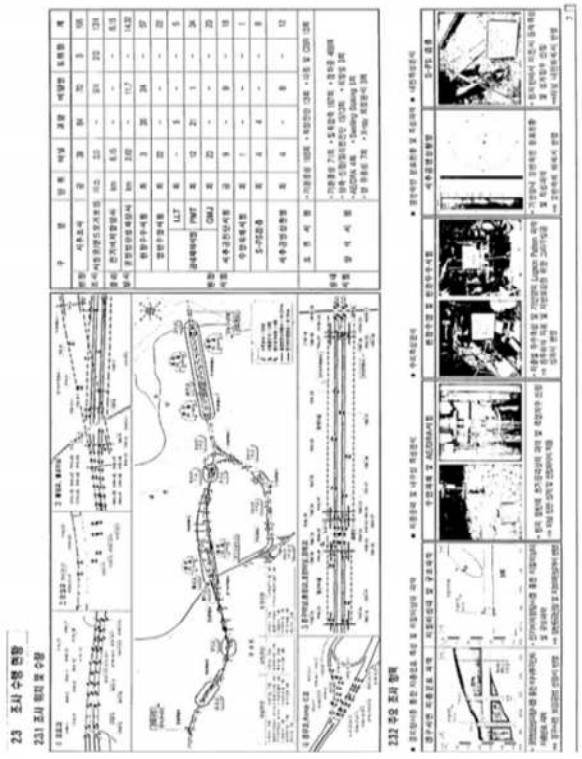
우수하고 경제적인 설계 수행을 위한 상세 지반정보 제공

(3) 중점검토구간 정밀조사 수행

(4) 신뢰성 높은 분석 및 설계활용 극대화

나. 조사 수행 흐름도

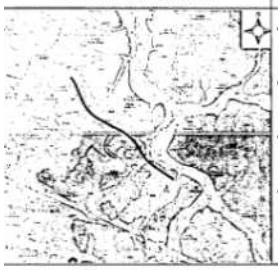




제 4 장 조 사 결 과

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 • 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	• 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

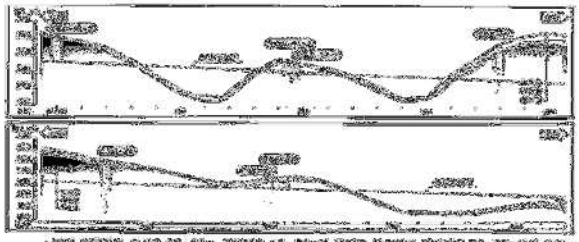
(1) 굴절법 탄성파 탐사

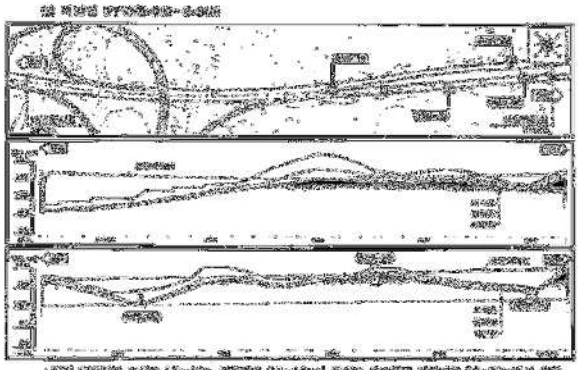
- 본선 구간

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 중점	(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 중점	(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 중점	(영천)7+535~7+650	종	115
	(상주)7+535~7+650	종	115
	7+575	횡	100
	7+600	횡	100

77





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								

262

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

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

$V_m = -0.296 - 0.0056\,JRC + 2.241\left(\frac{JCS}{a_j}\right)^{-0.235}$

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

265

29.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검을 5회, 정밀안전점검 1회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 29-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토29 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 산마루측구 일부 균열 및 사면 숏크리트에서 부분적인 표면 백태가 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	상주절토29 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 산마루측구 일부 균열 및 사면 숏크리트에서 부분적인 표면 백태가 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	상주절토29 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 산마루측구 일부 균열, 파손 및 사면 숏크리트에서 부분적인 표면 백태가 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	상주절토29 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 산마루측구 일부 균열, 파손, 소단배수로 토사퇴적 및 사면 숏크리트에서 부분적인 표면 백태 및 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	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. 사면부 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.	B
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토29 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 균열, 사면 숏크리트에서 부분적인 표면 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호

29.2.4 보수·보강이력

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

<표 29-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

29.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 29-5> 내진 설계 적용 여부

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

29.2.6 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 29-6> 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

29.3 현장조사

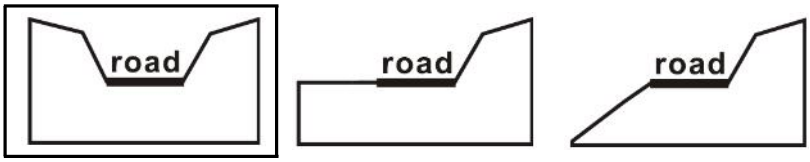
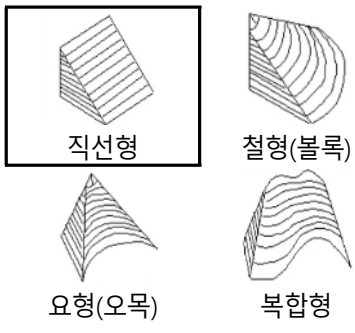
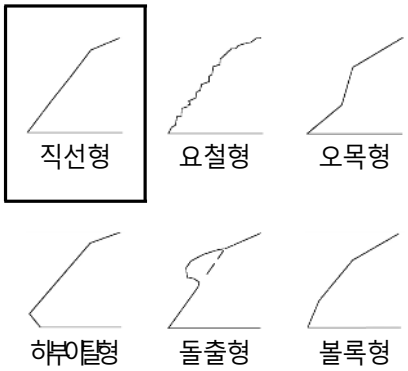
29.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 29-7> 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 구미시 장천면 오로리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36 ° 17 ' 80.4 " 128 ° 54 ' 25.5 "</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36 ° 17 ' 65.6 " 128 ° 54 ' 51.2 "</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 290m</td><td colspan="3">높 이 : 39.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 50/230</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="3">토층심도 : 약 1.0~7.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">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">38.165~38.455k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">38.195~38.415k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="2">38.305k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">38.195~38.435k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">38.285k, 38.345~38.395k</td><td colspan="2">백태</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 29-8> 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">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 29-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토29		
	위경도	시점 : 36° 17′80.4″ 128° 54′25.5″ 종점 : 36° 17′65.6″ 128° 54′51.2″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 9월 18일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특성	길이	290.0m	최대높이	39.0m
	경사	50°	상부경사	20~30°
	이격거리	평균 1.0~3.0m	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 ■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			

29.3.2 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 경상북도 구미시 장천면 오로리(상주영천고속도로 37.175~37.415 km)에 위치하고 있으며, 길이는 240m, 높이 41.0m의 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 29-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{35.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 102.9~117.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{35.0}=0.017$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{7.0}{40.0}=0.17$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 102.9~117.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{40.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 290m로써, 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, 2구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 29-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	38.165~38.305km	140m
2구간	38.305~38.455km	150m

29.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

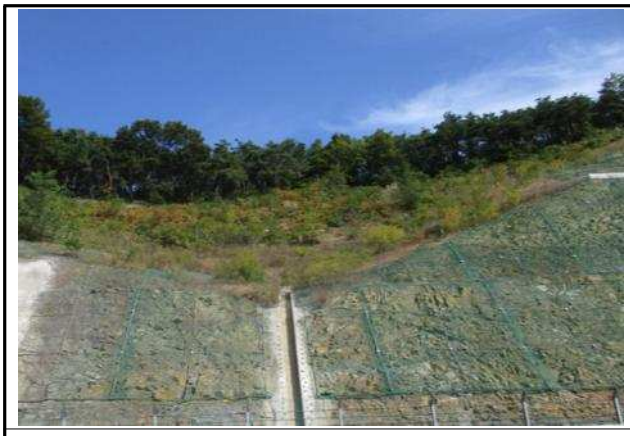
집수지형에 대한 평가는 시·종점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

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 외부 37.275k에 계곡부 1개소가 조사되었고, 하절기 강우 시 주의관찰이 필요하다.

<표 29-12> 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	-	주의관찰
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	



자연사면 계곡부 전경

자연사면 전경

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, 심한 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 29-13> 불안정 지질 조사 결과

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

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 2개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 29-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	80/266	88/008	75/168
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
비고	-		

구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	80/250	88/160	75/250
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
비고	-		

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 29-15> 지반 변형 조사 결과

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

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

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

<표 29-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	산마루측구	균열	m	2 / 2.5	건조수축, 우수유입	
배수 조건	소단배수로	균열	m	2 / 4.0	건조수축, 우수유입	

산마루측구 균열

소단배수로 균열

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

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

<표 29-17> 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 29-18> 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 29-19> 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 29-20> 인장균열 조사 결과

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

29.3.4 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 29-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
38.205km	52.2	102.9	경암	
38.225km	54.2	112.4	경암	
38.245km	52.7	105.2	경암	
38.315km	55.2	117.4	경암	
38.365km	53.0	106.5	경암	
38.385km	53.5	109.1	경암	
검토의견	・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 52.2~55.2로 측정되었으며, 추정강도 102.9~117.4MPa로 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.

현장조사 결과 식생공, 낙석방지망 및 숏크리트가 설치된 것으로 조사되었다.

<표 29-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	숏크리트	백태	㎡	5 / 0.05	건조수축, 우수유입	

낙석방지망 전경

숏크리트 백태

라. 사면보강공

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

<표 29-23> 사면보강공 조사 결과

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

29.4 안전성능평가

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

29.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

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

<표 29-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{35.0}=0.14$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 102.9~117.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{35.0}=0.017$로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{7.0}{40.0}=0.17$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 102.9~117.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{40.0}=0.013$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 290m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시하는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~6으로 표기하였다.

<표 29-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	38.165~38.305km	140m	암반사면	Set1, Set2, Set3
2구간	38.305~38.455km	150m	암반사면	Set4, Set5, Set6

<표 29-26> 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 29-27> 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 29-28> 불연속면 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 29-29> 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 29-30> 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	1.0m이상 3.0m미만	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 거침	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	0.2m이상 0.6m미만	c

<표 29-31> 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 29-32> 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 29-33> 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	보통	c
	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 29-34> 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 29-35> 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 29-36> 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 29-37> 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	20°이상 30°미만	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 29-38> 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 28-39> 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 29 -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 29-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토29		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
불연속면 특성		8.6	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		5	5	c
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			14	
결함지수		0.14		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 29-42> 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	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 29-43> 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 28-44> 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 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 28-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	1.0m이상 3.0m미만	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 거침	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	0.2m이상 0.6m미만	c

<표 29-46> 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 29-47> 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 29-48> 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	보통	c
	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 29-49> 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 29-50> 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 29-51> 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 29-52> 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	10°이상 20°미만	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 29-53> 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 29-54> 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 29-55> 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 29-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		상주절토29		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	1	b
	사면 외	1		
불안정 지질		3	3	b
불연속면 특성		8.5	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		5	5	c
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			15	
결함지수		0.15		
상태안전성능평가 결과		**B**		

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 29-57> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
290.0m	1구간	38.165~38.305km	a(0.14)	B	인장균열 없음
	2구간	38.305~38.455km	b(0.15)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

29.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

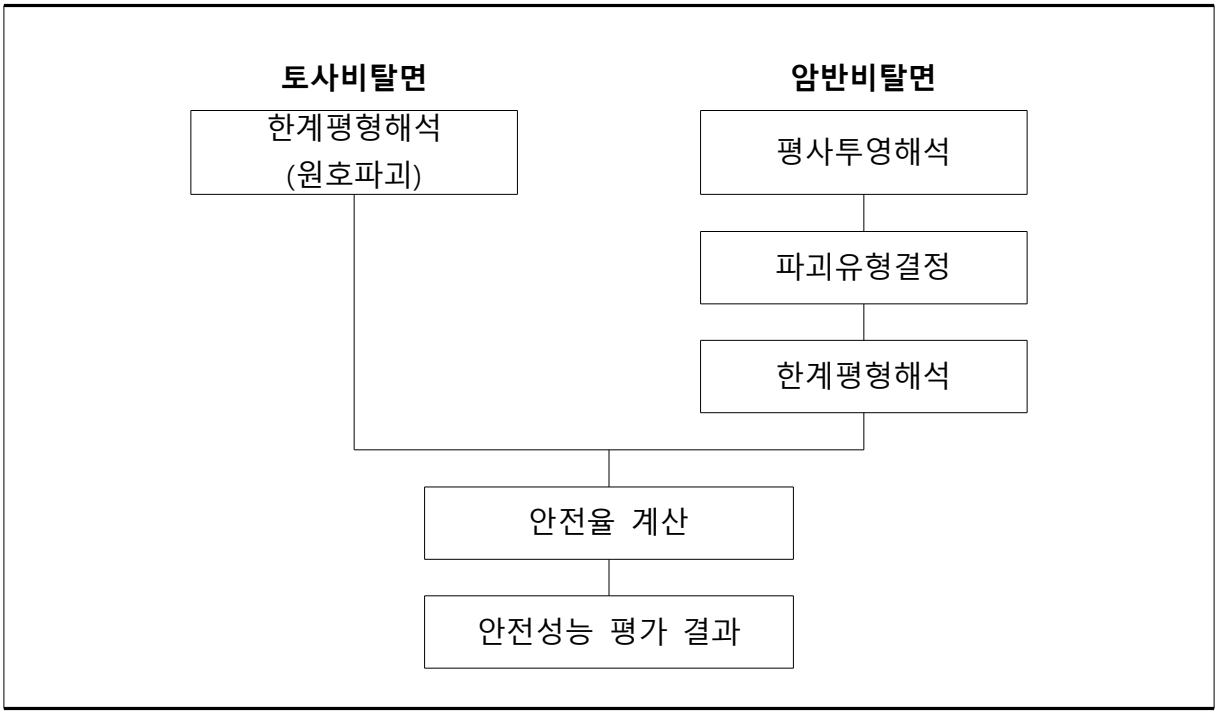
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 29-5> 구조안전성능 평가과정

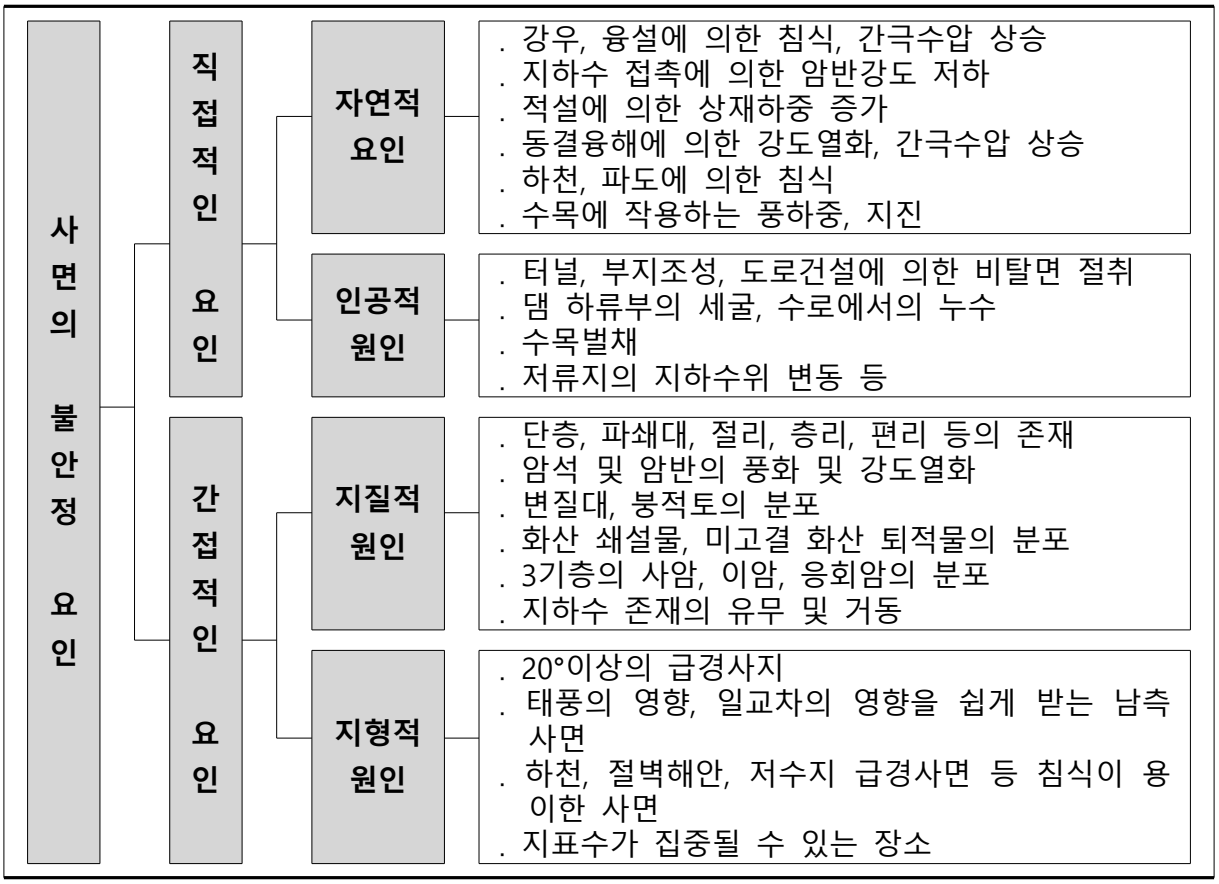
<표 29-58> 유형별 안정해석 범위

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

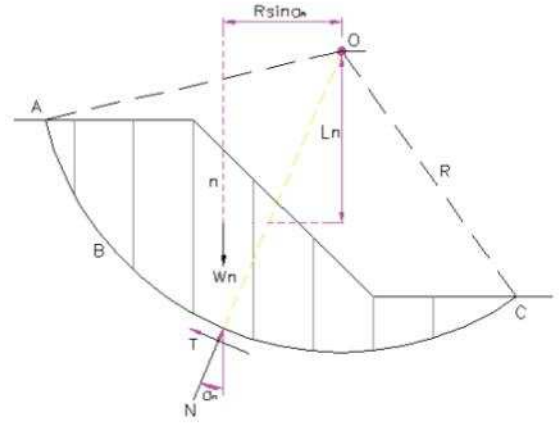


<그림 29-6> 구조안전성능 평가과정

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

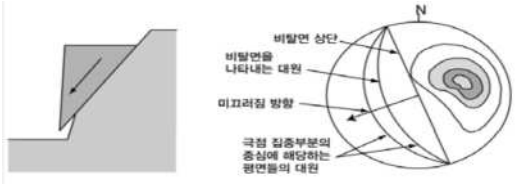
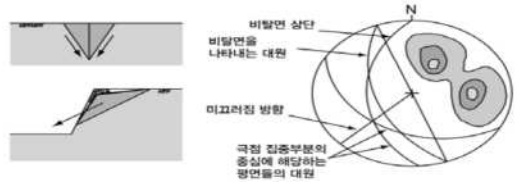
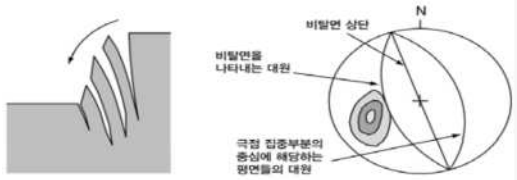
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 29-7> 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 29-59> 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		. 전도파괴의 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 29-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

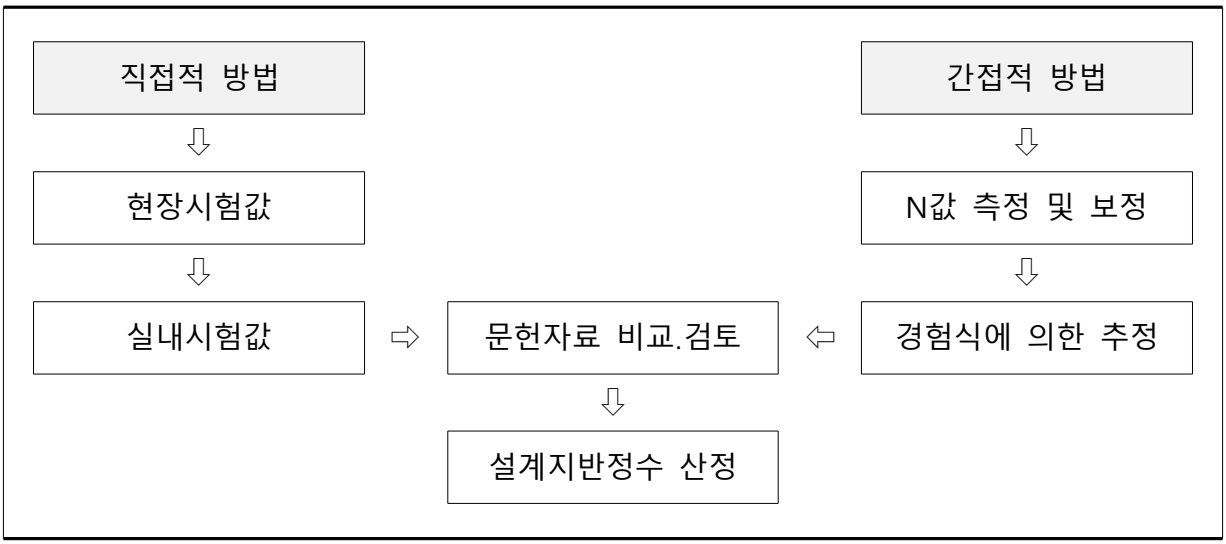
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 29-61> 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 29-62> 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 29-63> 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 29-64> 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 29-65> 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	26	24	
	풍화암	20	32	29	
	경 암	25	36	240	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 29-66> 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 29-67> 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	24.3~25.6
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 29-68> 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 29-69> 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 29-70> Trueman (1988)

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

<표 29-71> 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	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 29-72> 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

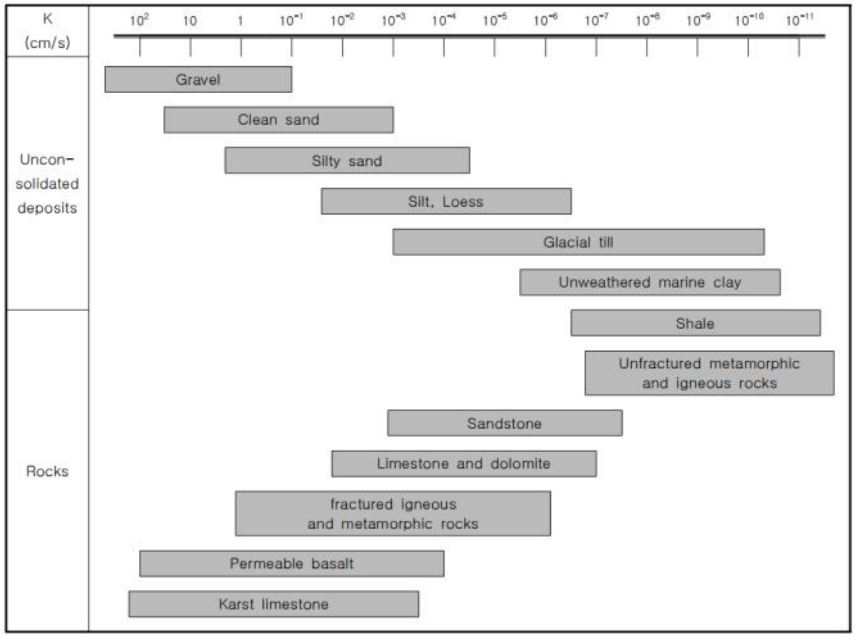
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 29-73> 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 29-74> 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 29-8> 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 29-75> 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

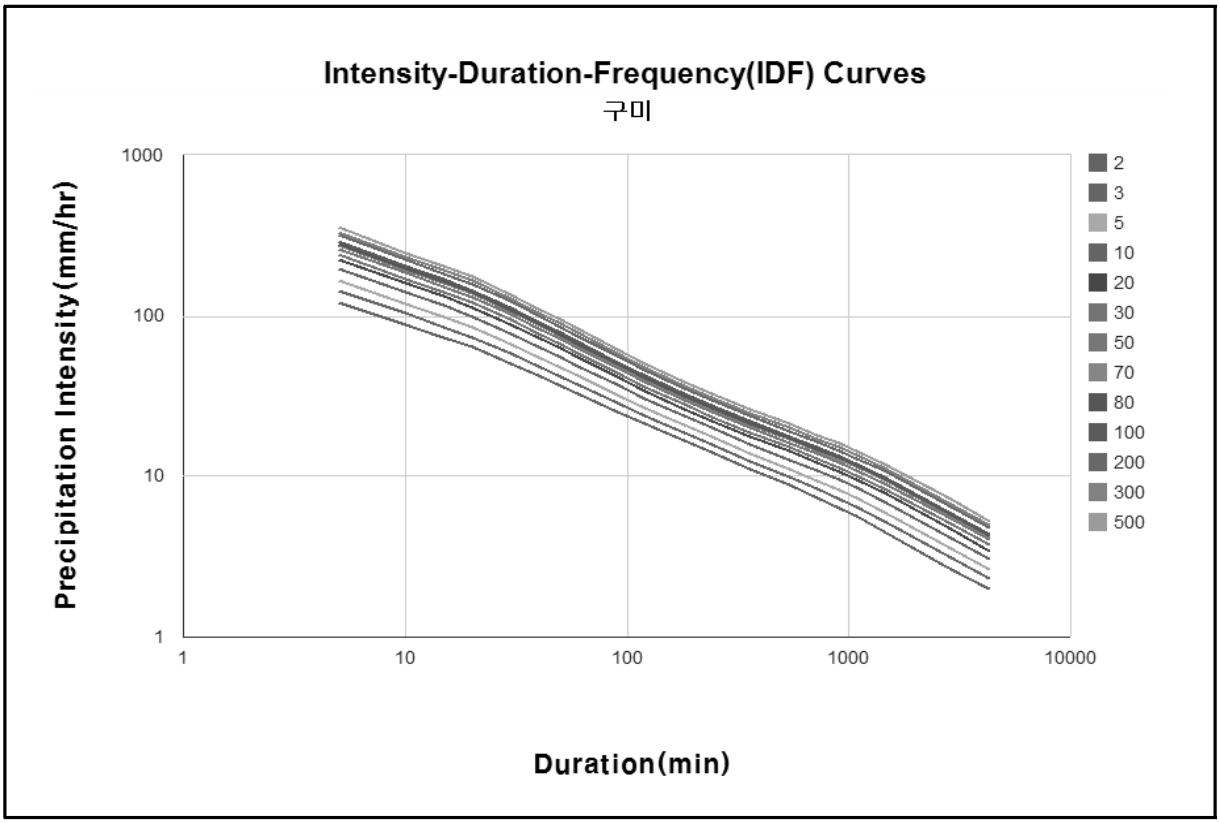
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 구미지역



<그림 29-9> 구미지역 IDF곡선

구미(Precipitation Frequency Estimates, IDF)

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

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 29-10> 구미지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 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 29-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 29-76> 설계지반운동 수준

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

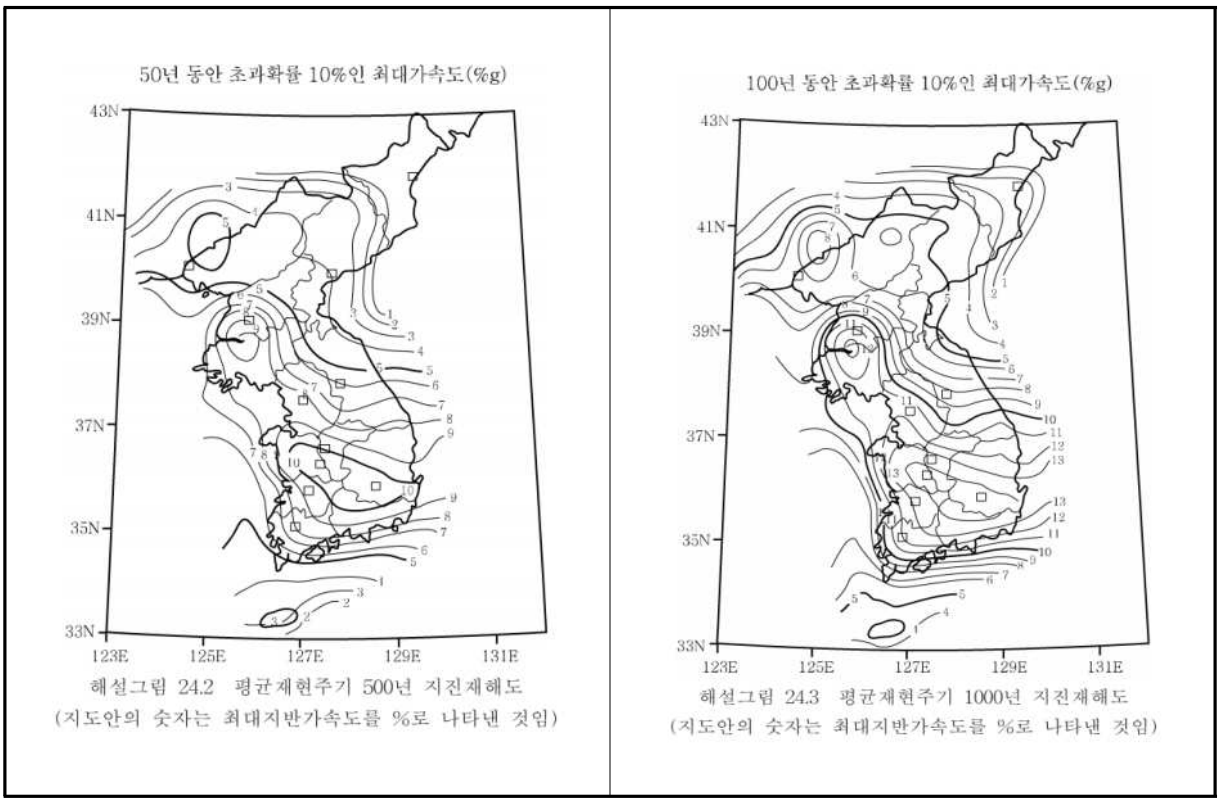
2) 설계지반운동

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 29-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 29-77> 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 29-78> 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

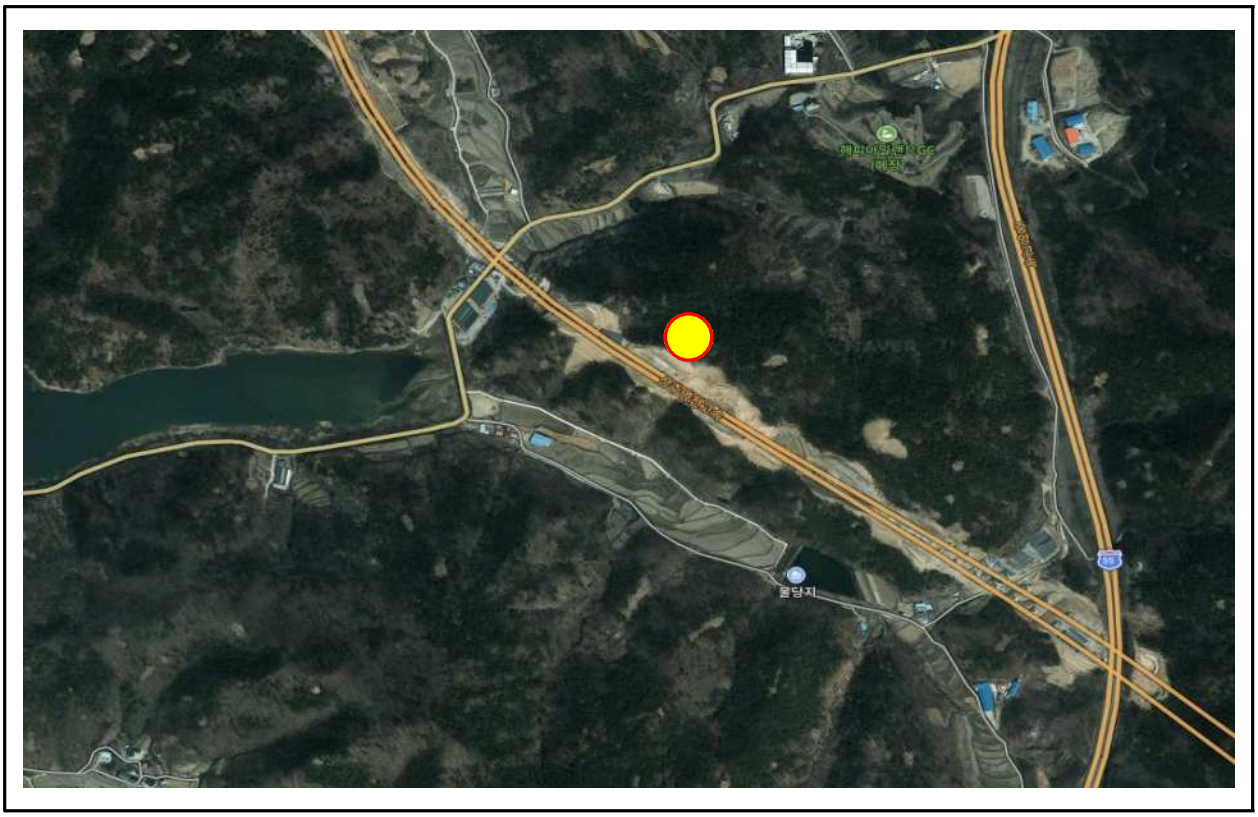
대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 29-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토29	경상북도 구미시 장천면 오로리	38.165 ~ 38.455	STA.38+235	35.0	5.0	30.0	-	2017	50/230
			STA.38+355	40.0	7.0	33.0	-	2017	50/230

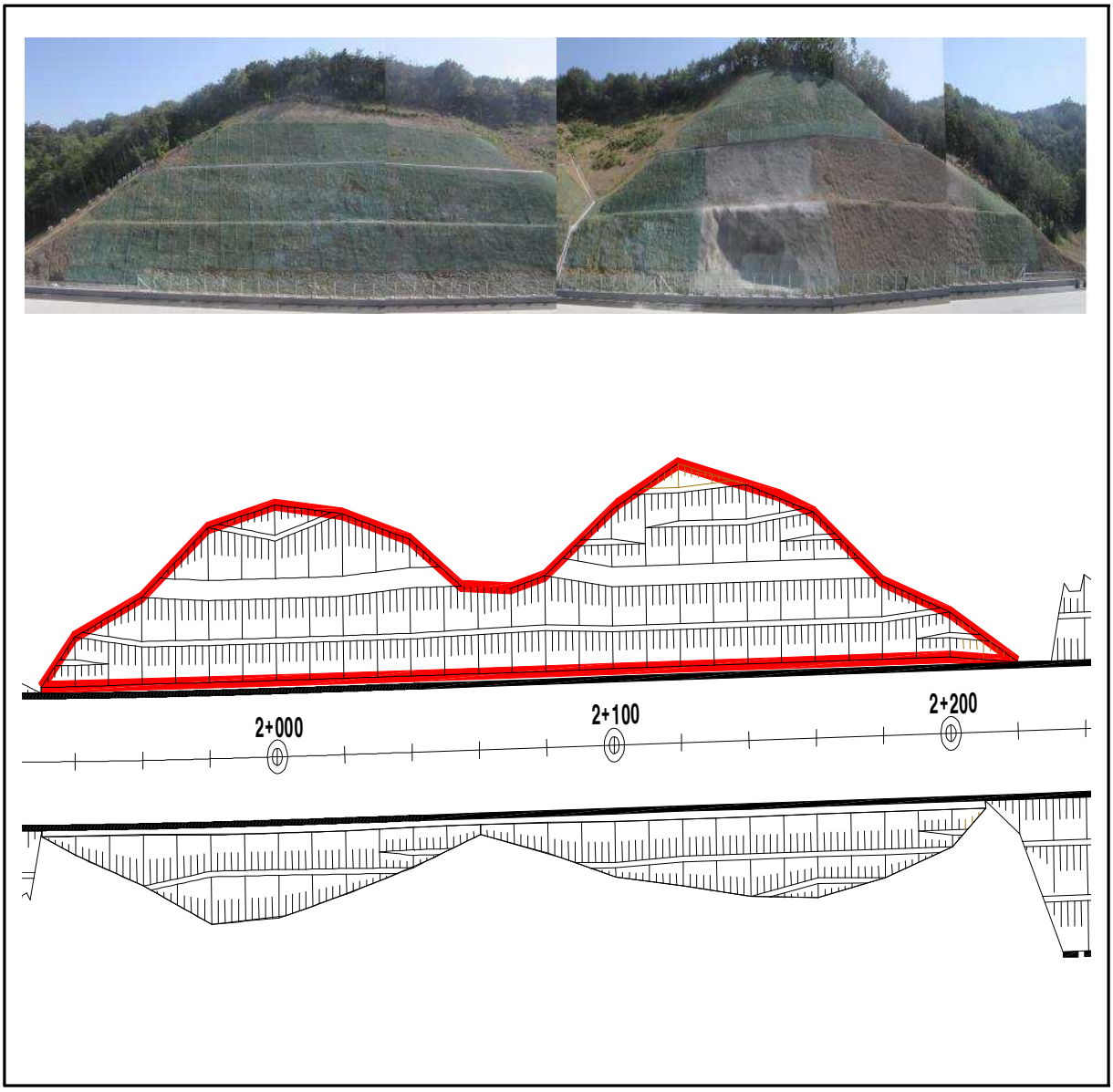
※ 상주기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음



<그림 29-13> 상주절토29 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토29 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



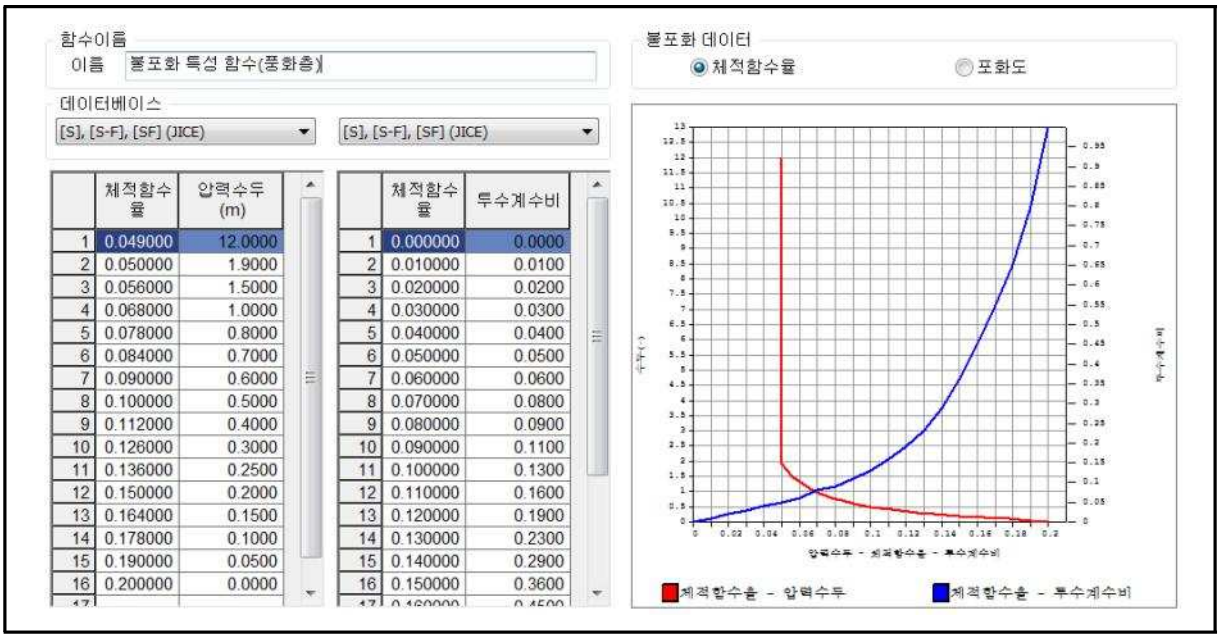
<그림 29-14> 상주절토29 검토대상 비탈면구간

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

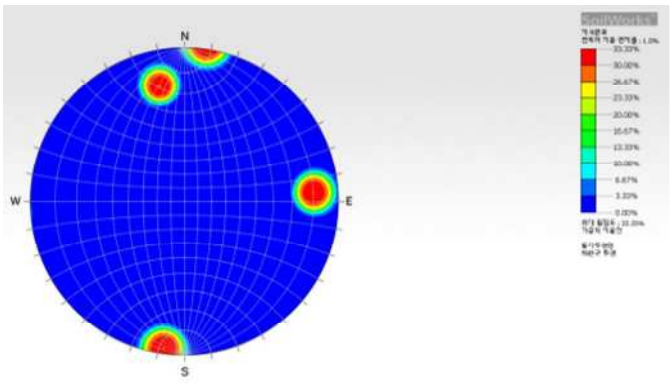
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 29-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

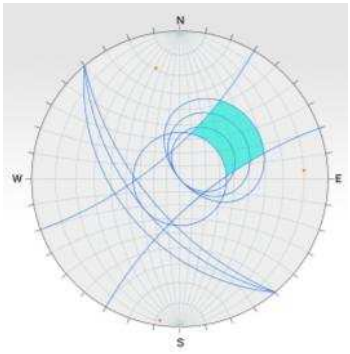
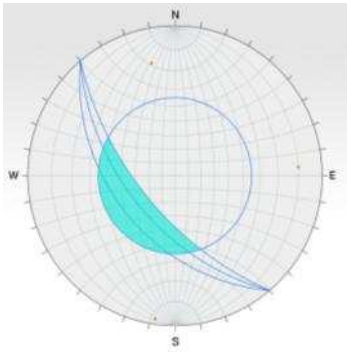
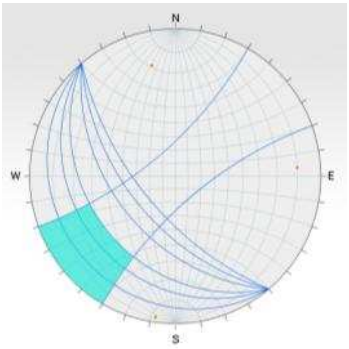
3) 1구간 (STA.38+165 ~ 38+305)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		80	266
		88	8
		75	168

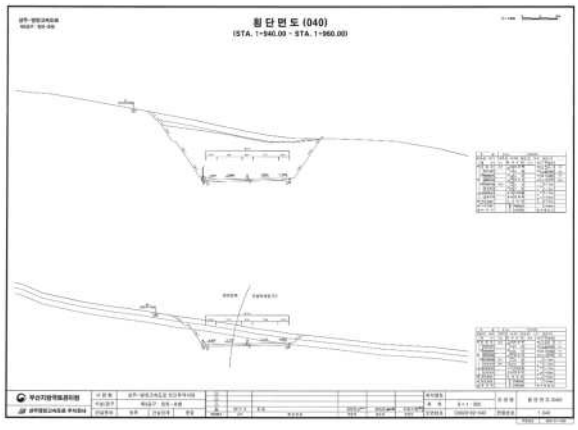
◦ 해석결과

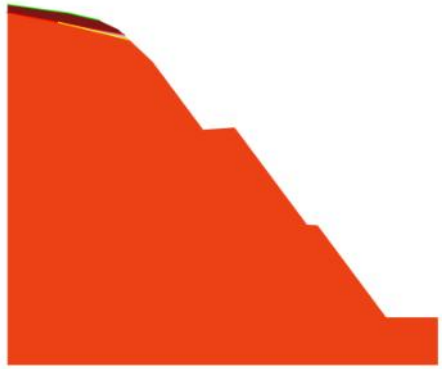
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

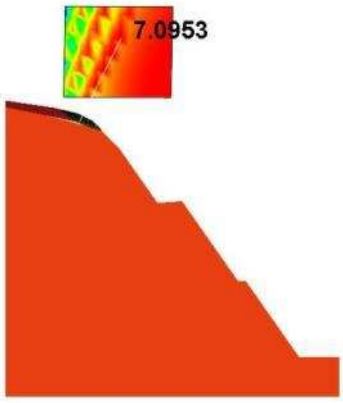
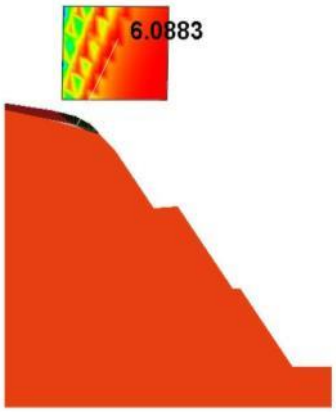
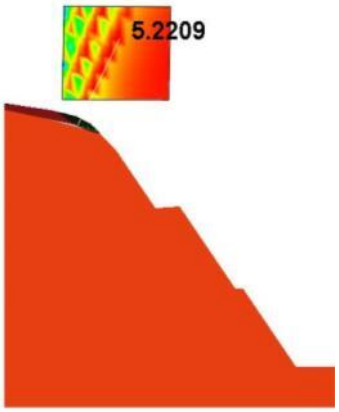
◦ 검토단면





대표단면 : STA.38+235, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 7.09	안전율 : 6.08	안전율 : 5.22

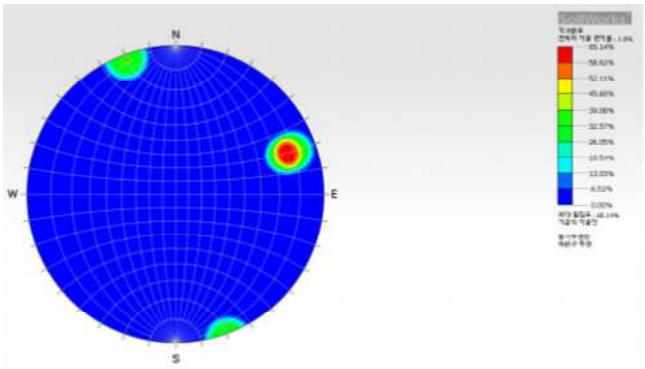
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

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	

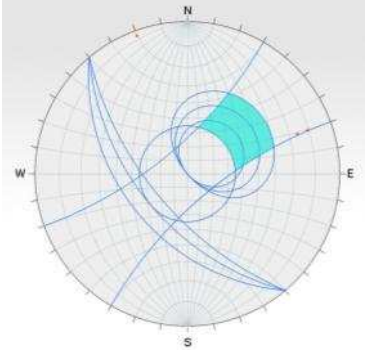
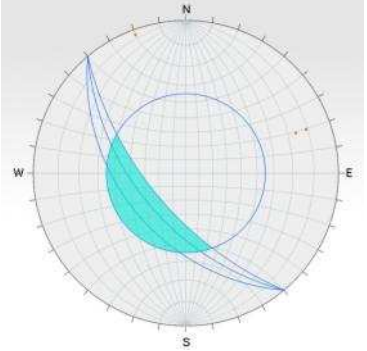
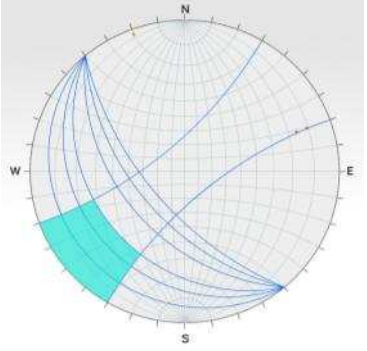
4) 2구간 (STA.38+305 ~ 38+455)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		80	250
		88	160
		75	250

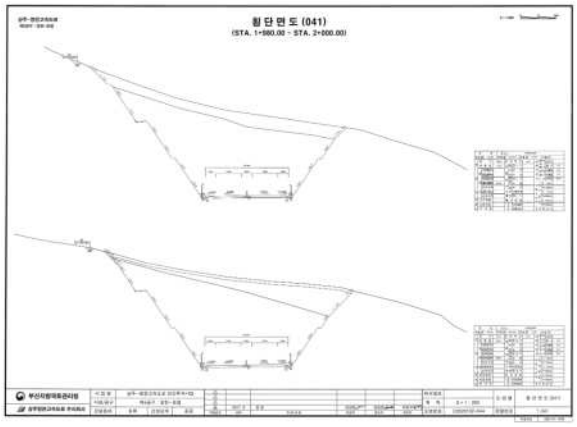
◦ 해석결과

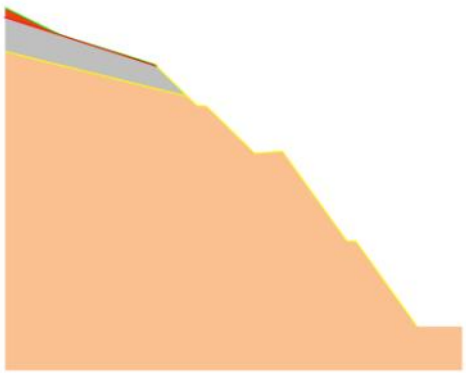
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

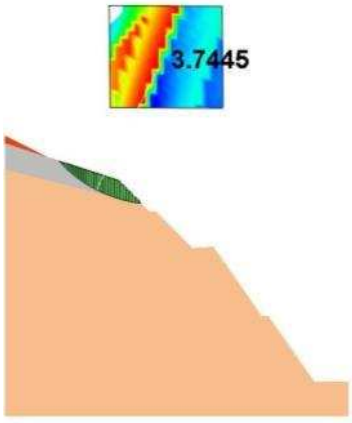
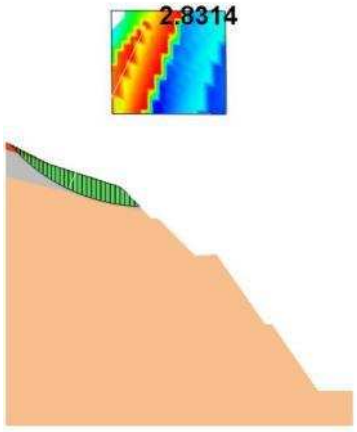
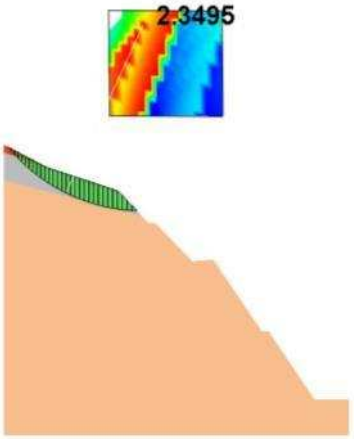
◦ 검토단면





대표단면 : STA.38+355, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.74	안전율 : 2.83	안전율 : 2.34

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 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 29-80> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토29**		
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	3.74	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.83	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	2.34	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

29.4.3 안전성능평가 결과

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

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

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

<표 29-81> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토29**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.150	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.150	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 29-82> 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

29.5 내구성능 평가

29.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 29-83> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 7/40 = 0.17
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		140MPa	추정
면적	전체	4,775㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	4,775㎡	
표면보호공	식 생	1,331㎡	
	낙석방지망	2,783㎡	
	숏크리트	661㎡	
사면보강공			

29.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 29-84> 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

29.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 29-85> 암반사면의 지반상태 평가 기준

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

<표 29-86> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
38.205km	102.9	-	초기값 미측정으로 초기강도 대비 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
38.225km	112.4	-	
38.245km	105.2	-	
38.315km	117.4	-	
38.365km	106.5	-	
38.385km	109.1	-	
평균값	108.9	-	
등급	**A등급**		

<표 29-87> 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 29-88> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	1,331/1,331㎡	100.0%	0.05/661㎡	0.008	
평가	식생 피복율이 90.0% 이상, 콘크리트뿜어붙이기 손상율이 10% 미만 이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 29-89> 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 29-90> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1.0m~3.0m	1.0m~3.0m	1.0m~3.0m
	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(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1.0m~3.0m	1.0m~3.0m	1.0m~3.0m
	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 29-91> 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**	

29.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 28-92> 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 29-93> 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 29-94> 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

29.6 종합평가

29.6.1 종합평가 개요

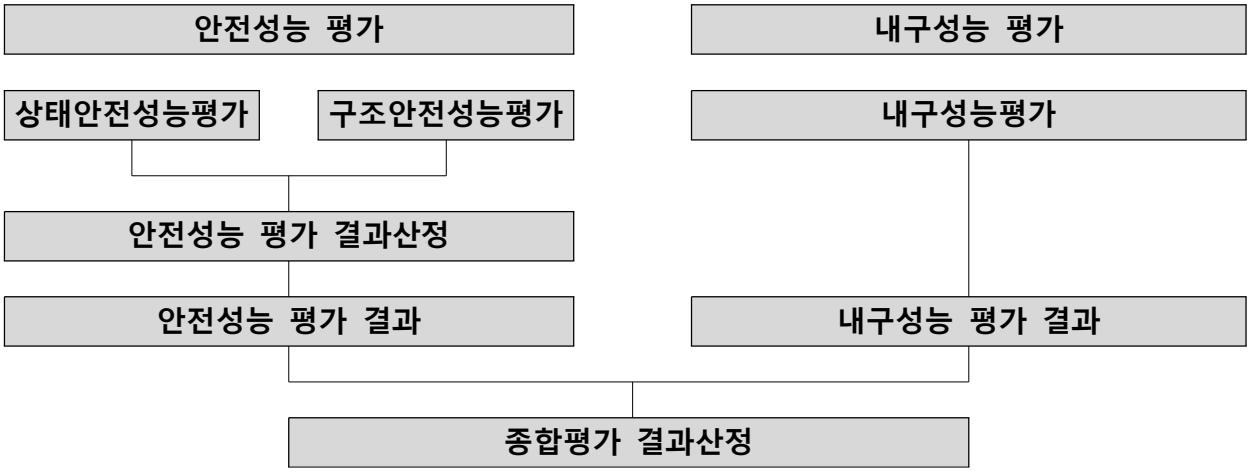
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 29-16> 종합평가 흐름도

29.6.2 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 29-95> 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 29-96> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토29		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.150	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.150 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.173 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

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 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 29-97> 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 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

29.7 유지관리 전략 제안

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

29.7.1 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 29-98> 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				

29.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.173)"으로 평가되었다.

<표 29-99> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.150	0.265	0.173
평가결과	B	B	B

29.7.3 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 29-100> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	숏크리트 백태	백태보수	일부보수
배수 조건	소단배수로	균열	균열보수	일부보수
	산마루측구	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.

29.8 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 B등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 소단배수로 균열, 산마루측구 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 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.

제30장 상주절토30

30.1 대상 시설물 현황

30.2 관련 자료의 분석

30.3 현장조사

30.4 안전성능평가

30.5 내구성능평가

30.6 종합평가

30.7 유지관리전략 제안

30.8 종합결론

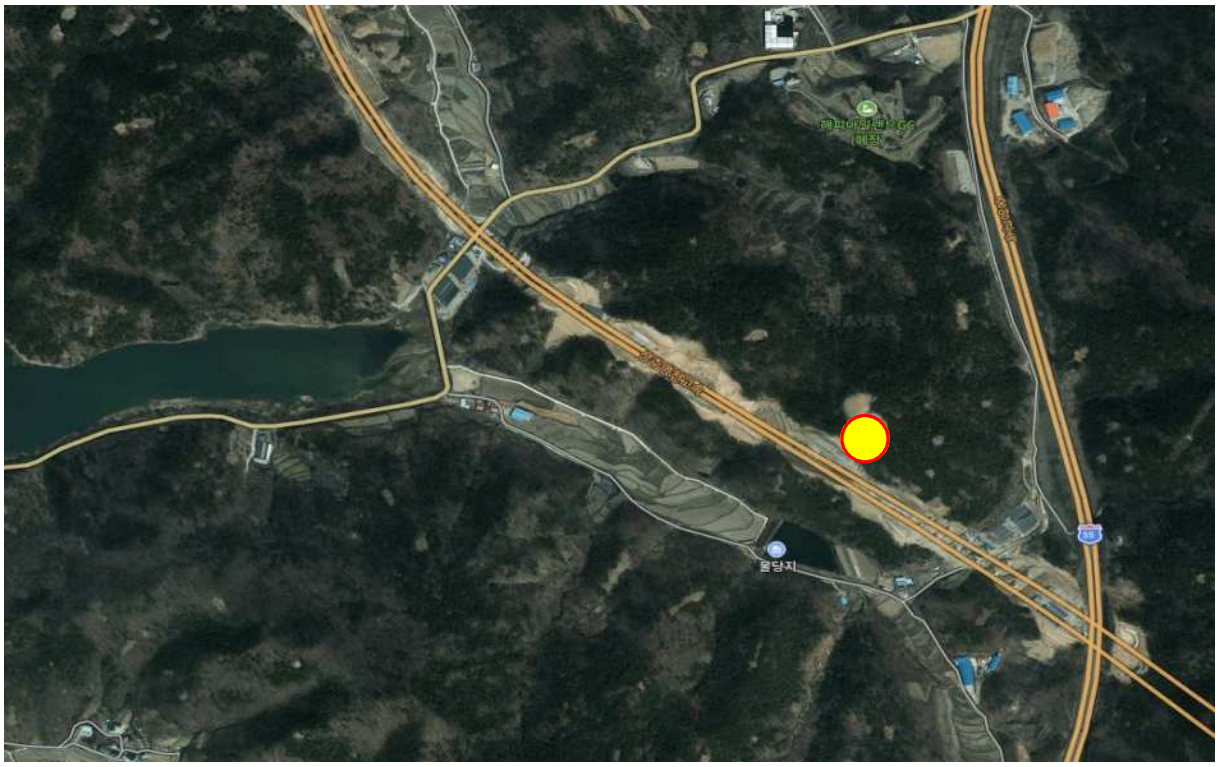
제30장 상주절토30

30.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 구미시 장천면 오로리(상주영천고속도로 38.525~38.685km)에 위치한 사면으로서 총 연장 160.0m, 높이 41.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

<표 30-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2017-0000039		**관리번호**	SY SL30
시설물명	상주절토30		**시설물구분**	절토사면
위 치	**행정구역**	경상북도 구미시 장천면 오로리		
	위치좌표	시점 : 36° 17′64.6″ 128° 54′52.9″		
		종점 : 36° 17′52.7″ 128° 54′73.0″		
	관리이정	38.525~38.685km		
	공구이정	5공구 STA.2+290~2+450		
제 원	**연 장**	160m	**높 이**	41.0m
	경사/방향	54/226	**노 선**	고속국도 301호선
관리주체	상주영천고속도로(주)		**관리주체구분**	민간
주변환경	**인공구조물**	-		
	주변지형	산악지형	**상부사면경사**	20~30°
시공현황	**준공년도**	2017	**시 공 자**	대림산업(주)
	부대시설	점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 낙석방지망		
비 고				

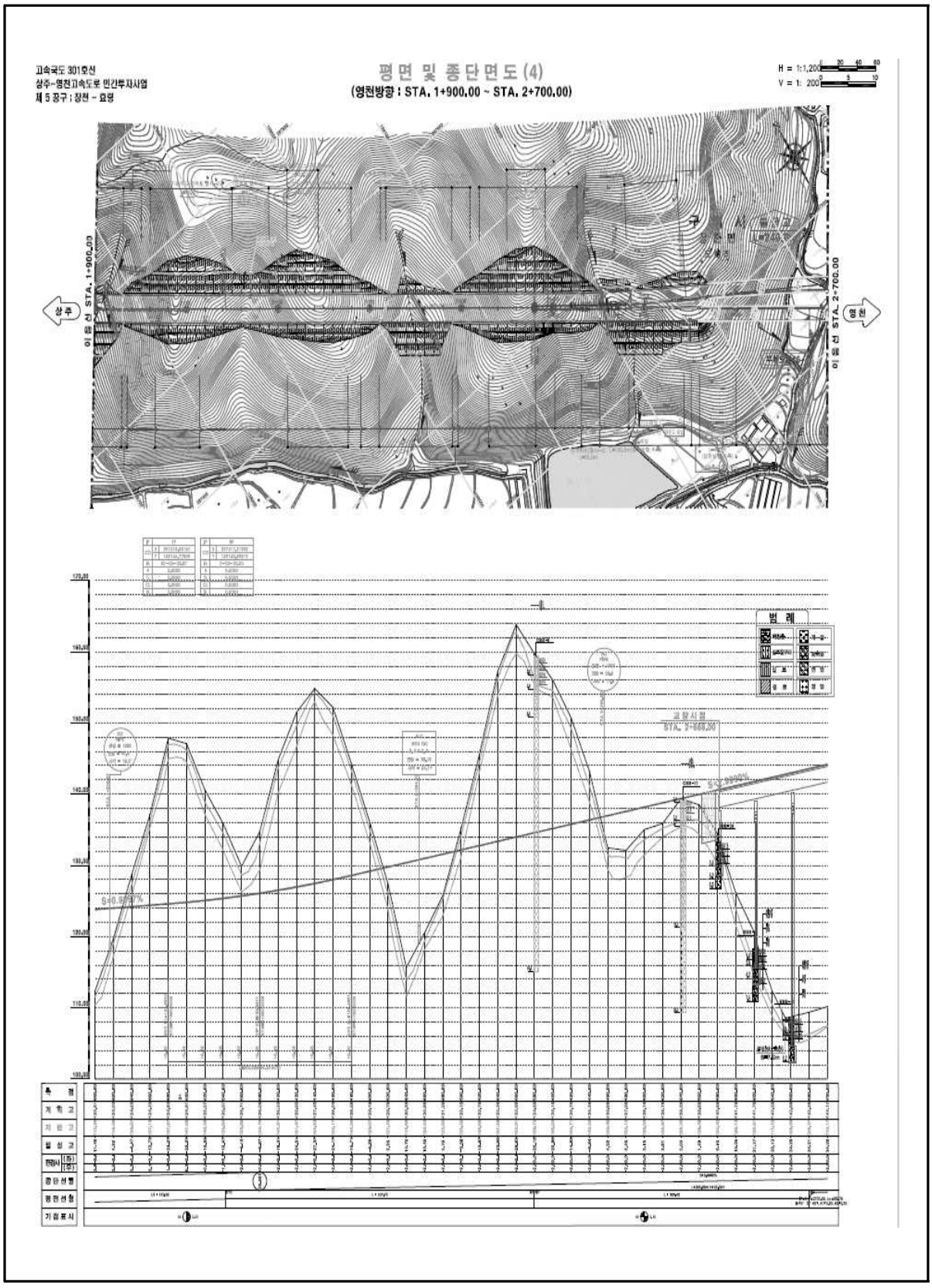


<그림 30-1>위치도

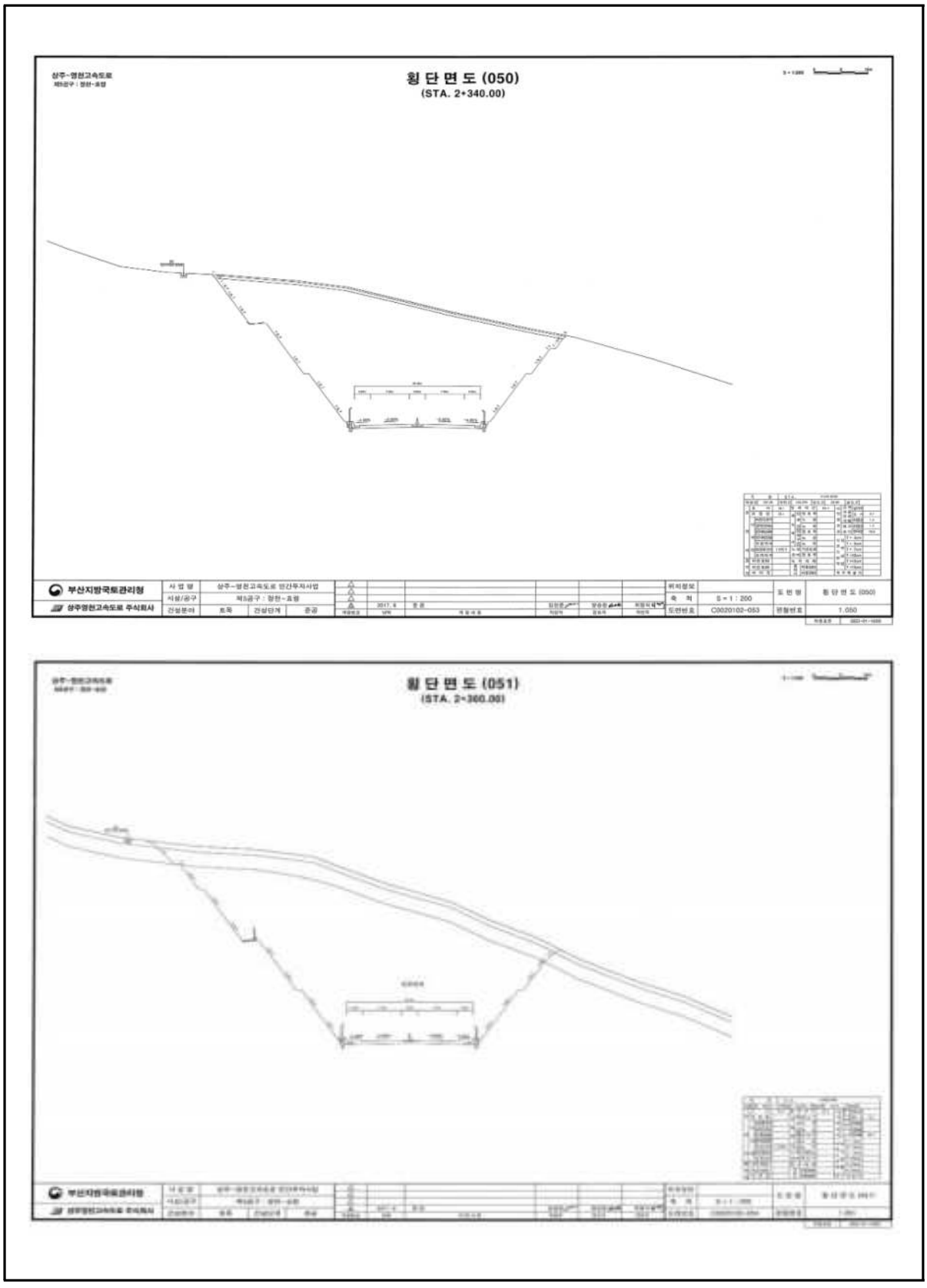
2019년 정밀안전점검

<그림 30-2> 전경사진

1소단배수로 전경	점검계단, 산마루측구 전경
하부 전경	정면 전경


고속국도 301호선
상주~영천고속도로 민간투자사업
제 5 공구 : 장천 ~ 효령
평 면 및 종 단 면 도 (4)
(영천방향 : STA. 1+900.00 ~ STA. 2+700.00)
H = 1:1,200
V = 1: 200
상주
영천
범 례

<그림 30-3> 평면도



<그림 30-4>표준횡단면도

30.2 관련 자료의 분석

30.2.1 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 30-2> 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 5공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 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 민간투자산업 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.

30.2.2 지반조사 보고서 분석

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

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

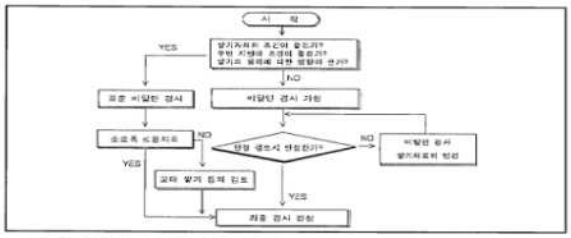
8.4 비탈면 설계기준

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

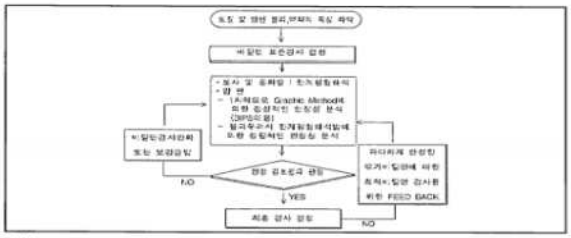
8.4.1 비탈면 기울기기준

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 지질적인 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

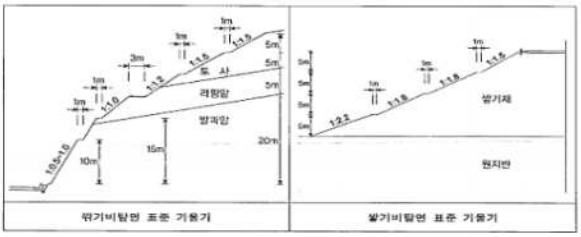
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

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 · 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) · 암뒤기 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



뒤기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

290

2) 지형 및 지질

4.2 지표지질 조사

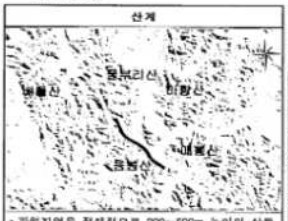
4.2.1 지형 및 지질특성

가. 지질 개요

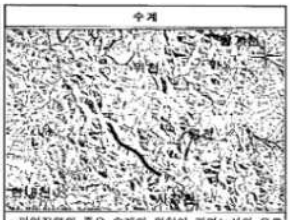
- 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 서남부에 위치
- 본 과업 지역의 지질은 백악기 경상층군의 신동층(면화동층), 하산동층, 진주층(봉양층)이 분포

나. 지형특성

산계



수계



- 과업지역은 전체적으로 200~500m 높이의 산들이 고루 분포되어 있음
- 과업노선은 음봉산의 지치대륜 따라 치나가며 북서방향으로 놓여 있음
- 산계는 주로 서북서 남향의 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

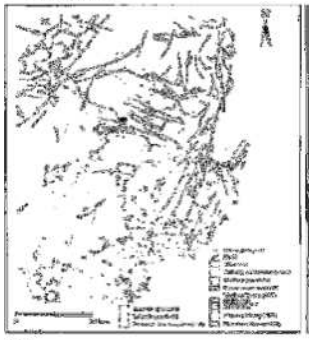
구 분	지질특성
낙동층 금당리층원 사암	• 낙동층의 하부층에 해당하는 안경산층원의 역질사암과 역암은 원마도가 불량한 석영과 암편리장석이 주를 이루며, 탄질물과 변질된 유색광물이 주로 산출됨
하산동층 사암	• 석립은 1 mm 내외의 것들로 원마도는 불량한 것들이 우세 • 하산동층 사암은 근거리에서 이동하여 퇴적
하산동층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달 • 쪼개짐과 같은 방향으로 방태석이 침전 또는 충전되어 있어 습리방향으로의 이방성이 클 것으로 판단
진주층 세일	• 엽층으로 인한 쪼개짐(fissility)이 발달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

53

나. 지질 개요

지질시대	층 명	특 성	비 고
신생대	충적층(Qal)	• 하천 및 상곡 퇴적물	
	[illegible]	[illegible]	
중생대 백악기	경상계 하양층군	• 역암층 위주	• 경주 부근에서 가장 넓게 분포
	유천층군 안산암질암류(Kya)	• 주로 안산암으로 구성	• 노출과 교차하며 분포
	[illegible]		
	신동층군 면화동층(Kmh)	• 사암 및 역암 위주로, 셰일의 협재	• 경주 북부 일대
	하산동층(Kh)	• 사암과 셰일사암, 셰일의 교호	• 경주 북부 일대

다. 퇴적구조



• [illegible]

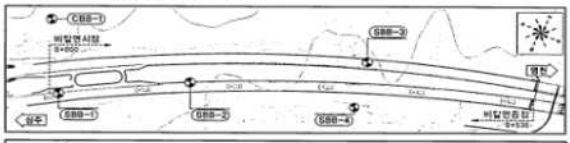
• [illegible]

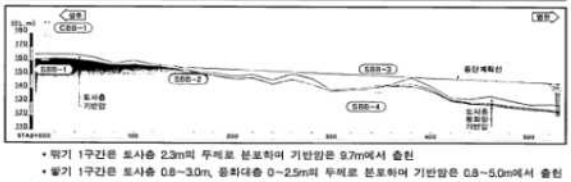
54

7.2 지층특성 분석

가. 본선비탈면구간

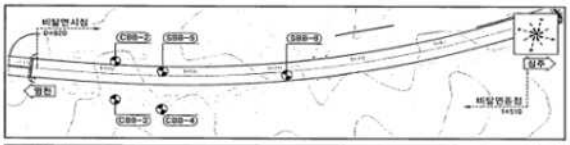
(1) 비탈면 1구간(STA.0+000~0+530)

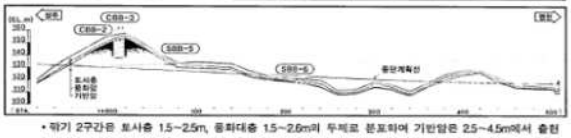




- 묽기 1구간은 토사층 2.3m의 두께로 분포하며 기반암은 9.7m에서 출현
- 묽기 1구간은 토사층 0.8~3.0m, 풍화대층 0~2.5m의 두께로 분포하며 기반암은 0.8~5.0m에서 출현

(2) 비탈면 2구간(0+920~1+510)





- 묽기 2구간은 토사층 1.5~2.5m, 풍화대층 1.5~2.6m의 두께로 분포하며 기반암은 2.5~4.5m에서 출현
- 묽기 3구간은 토사층 0.5~1.0m, 풍화대층 0.5~3.0m의 두께로 분포하며 기반암은 1.0~4.0m에서 출현
- 묽기 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	0.07mm	USCS
묽기	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
묽기	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 묽기 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 묽기 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 풍일분류상 SC, SM, GM, CL, GW-GM, SW-SM에 해당됨
- 램프비탈면구간 함수비는 3.0~36.8%, 비중은 2.65~2.73로 풍일분류상 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) • 오성교(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)	• 유기구간(16개소) • 불기구간(16개소) • 램프유기구간(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
(3) 중점검토구간 정밀조사 수행

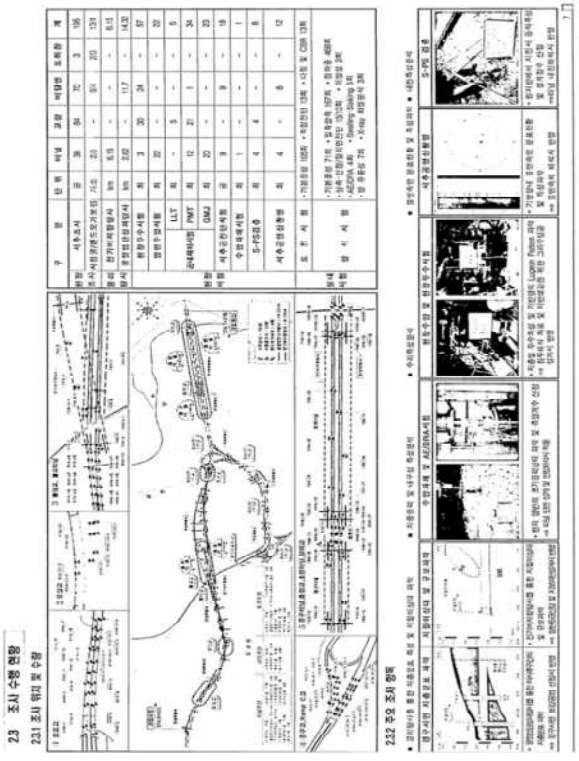
(2) 단계별 조사 수행
• 사전조사를 통한 중점검토사항 및 주요조사항목 선정
• 상세조사, 추가조사를 통한 지반정보자료 파악 및 분석 수행
• 다양한 분석기법을 적용, 암반등급별 최적의 설계지반정수 산정
• 구조구 분류를 통한 불연속면 특성 상세 분석
(4) 신뢰성 높은 분석 및 설계활용 극대화

우수하고 경제적인 설계 수행을 위한 상세 지반정보 제공

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, 암종 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

3

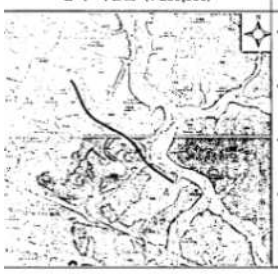


23 조사 수행 현황
231 조사 위치 및 수량
232 주요 조사 항목

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 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

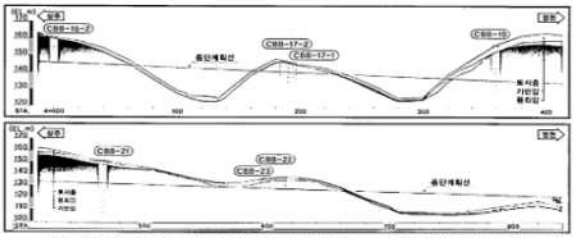
- 굴절법 탄성파 탐사 14.32km, 전기비저항탐사 6.15km, 시추조사 196공, 시험굴조사 13개소, 표준관입시험 480회

(1) 굴절법 탄성파 탐사

- 본선 구간

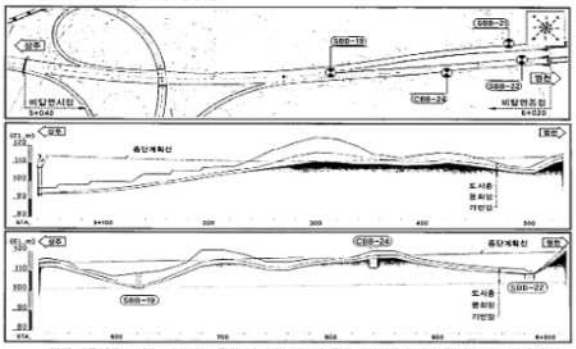
위 치	탐사구간(STA.)	측선방향	연장(m)
비탈면 구간	0+000	횡	115
	0+950~1+180	종	230
	1+000	횡	115
	1+080	횡	115
	1+190~1+605	종	415
	1+720~2+675	종	955
필로터널 시점	(영천)3+010~3+125	종	115
	(상주)2+970~3+085	종	115
	3+020	횡	55
	3+100	횡	55
필로터널 종점	(영천)3+410~3+600	종	115
	(상주)3+410~3+525	종	115
	3+540	횡	55
	3+460	횡	55
비탈면 구간	3+600~4+000	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
호암터널 시점	(영천)6+545~6+660	종	115
	(상주)6+545~6+660	종	115
	6+590	횡	100
	6+635	횡	100
호암터널 종점	(영천)7+535~7+650	종	115
	(상주)7+535~7+650	종	115
	7+575	횡	100
	7+600	횡	100



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

(5) 비탈면 5구간(5+040~6+040)



- 뒤기 13구간은 토사층 1.5~4.9m, 풍화대층 0.5~1.9m의 두께로 분포하며 기반암은 2.0~3.7m에서 출현
- 앞기 11, 12구간은 토사층 6.7m, 풍화대층 1.1m의 두께로 분포하며 기반암은 7.8m에서 출현
- 앞기 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_s (MPa/mm)	K_n (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

- 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

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

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

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

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

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

30.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검을 5회, 정밀안전점검 1회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 30-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28	정기안전점검	상주절토30 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 균열, 산마루측구 이격 및 파손이 일부 발생되었으며, 상부소단에서 시공초기에 발생한 것으로 추정되는 낙석암이 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	상주절토30 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 2단 사면 심한풍화, 소단배수로 균열, 산마루측구 이격 및 파손이 일부 발생되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
3	2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31	정기안전점검	상주절토30 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 2단 사면 심한풍화, 소단배수로 균열, 산마루측구 이격 및 파손이 일부 발생되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.	양호
4	2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28	정기안전점검	상주절토30 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 2단 사면 심한풍화, 소단배수로 균열, 산마루측구 이격 및 파손이 일부 발생되었다. 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. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로에 균열이 일부 발생하였으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.	B
6	2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30	정기안전점검	상주절토30 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 재료분리가 일부 발생되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다.	양호

30.2.4 보수·보강이력

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

<표 30-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

30.2.5 내진설계 적용 여부

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

<표 30-5> 내진 설계 적용 여부

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

30.2.6 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 30-6> 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

30.3 현장조사

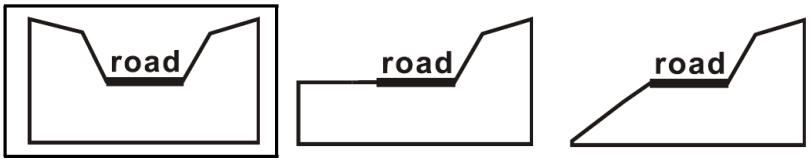
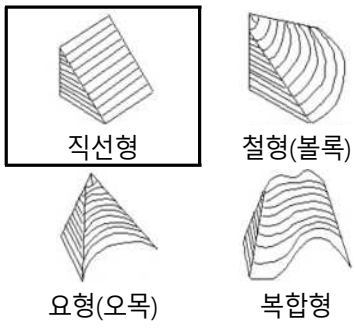
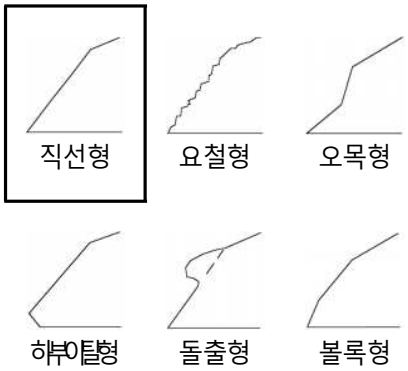
30.3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 30-7> 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 구미시 장천면 오로리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 17′64.6″ 128° 54′52.9″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 17′52.7″ 128° 54′73.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 160m</td><td colspan="2">높 이 : 41.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 54/226</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 : 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">38.525~38.685k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">38.555~38.655k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">38.575~38.635k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지망</td><td colspan="2">38.545~38.665k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">38.625~38.685k</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 30-8> 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 colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="6">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 rowspan="3">식 생</td><td>계곡부</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><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></td><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 30-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	상주절토30		
	위경도	시점 : 36° 17′64.6″ 128° 54′52.9″ 종점 : 36° 17′52.7″ 128° 54′73.0″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 11월 25일		
	조사자	장진원	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	160.0m	최대높이	41.0m
	경사	54°	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	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(일부불량) □낙석방지망 ■옹벽 ■낙석방지울타리(양호) □격자블럭 ■배수로(보통) ■점검로(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			

30.3.2 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 경상북도 구미시 장천면 오로리(상주영천고속도로 38.525~38.685 km)에 위치하고 있으며, 길이는 160m, 높이 41.0m의 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 30-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{41.0}=0.10$으로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 110.9~115.7㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{41.0}=0.015$로 0.01초과	절리암반	

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 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 30-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	38.525~38.685km	160m

30.3.3 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 30-12> 집수 지형 조사 결과

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

나. 불안정 지질

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

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

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

<표 30-13> 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 1개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 30-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	86/358	80/191	75/070
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
비고	-		

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 30-15> 지반 변형 조사 결과

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

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

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

<표 30-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	1 / 2.0	건조수축, 우수유입	

소단배수로 균열(L=2.0m)

소단배수로 균열(L=2.0m)

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 30-17> 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 30-18> 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 30-19> 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 30-20> 인장균열 조사 결과

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

30.3.4 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 30-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
38.595km	54.1	111.7	경암	
38.600km	53.9	110.9	경암	
38.610km	54.9	115.7	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 53.9~54.9로 측정되었으며, 추정강도 110.9~115.7㎫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.

<표 30-22> 표면보호공 조사 결과

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

식생공 전경

옹벽 전경

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과, 별도의 사면보강구간은 없는 것으로 확인되었다.

<표 30-23> 사면보강공 조사 결과

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

30.4 안전성능평가

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

30.4.1 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 0.4이상으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반 비탈면으로 평가된다.

<표 30-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{41.0}=0.10$로 0.4미만	암반사면	**절리 암반사면**
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.9~115.7MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{41.0}=0.015$로 0.01초과	절리암반	

본 사면은 연장 160m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

<표 30-25> 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	21.194~21.464km	160m	암반사면	Set1, Set2, Set3

<표 30-26> 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 30-27> 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 30-28> 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 30-29> 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	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 30-30> 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	0.1미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간거침	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	단단한 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 30-31> 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 30-32> 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 30-33> 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 30-34> 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 30-35> 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 30-36> 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 30-37> 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 30-38> 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 30-39> 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 30-40> 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 30-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		상주절토30		
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	8	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			13	
결함지수		0.13		
상태안전성능평가 결과		**A**		

갸. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 30-42> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
160.0m	1구간	38.252~38.685km	a(0.13)	a	인장균열 없음
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

30.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

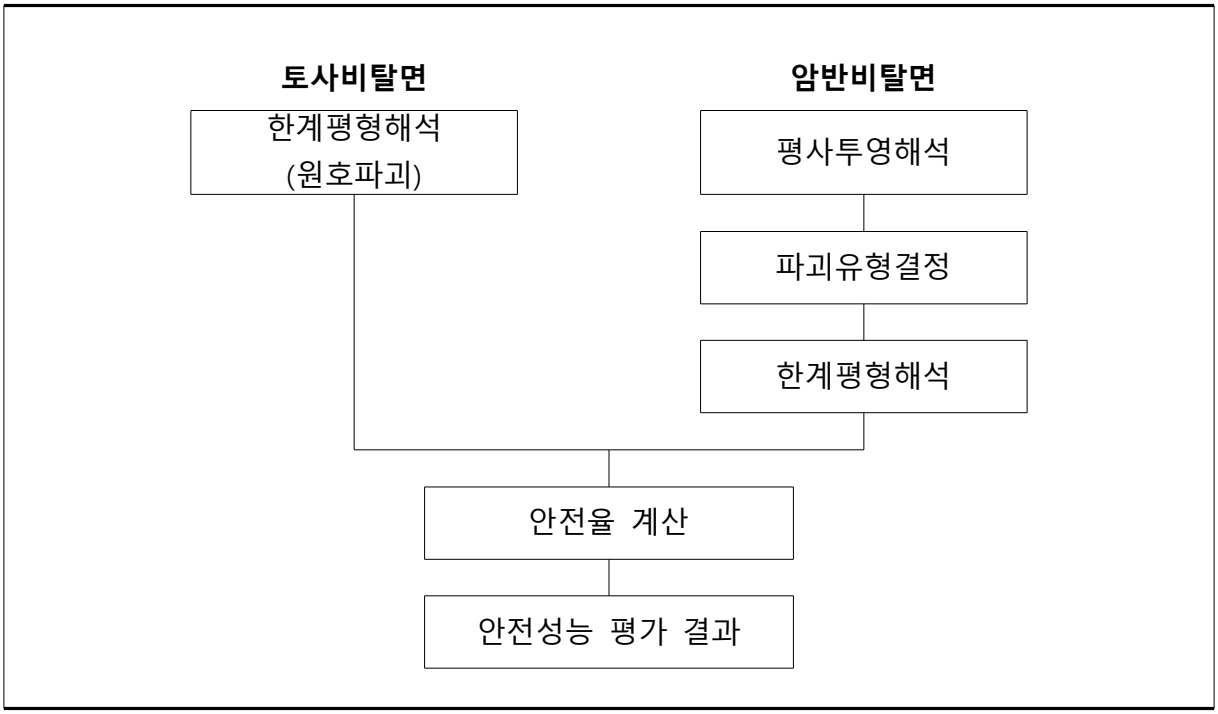
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 30-5> 구조안전성능 평가과정

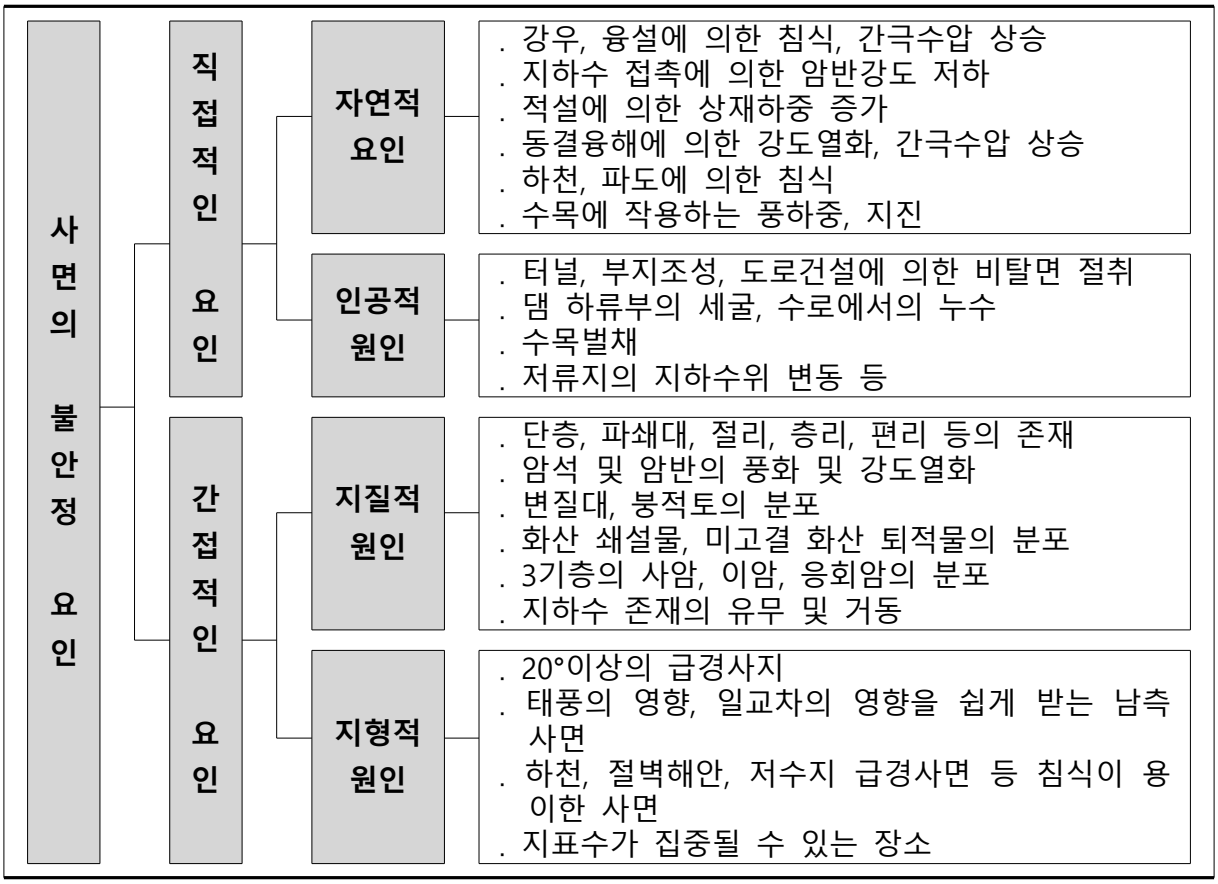
<표 30-43> 유형별 안정해석 범위

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

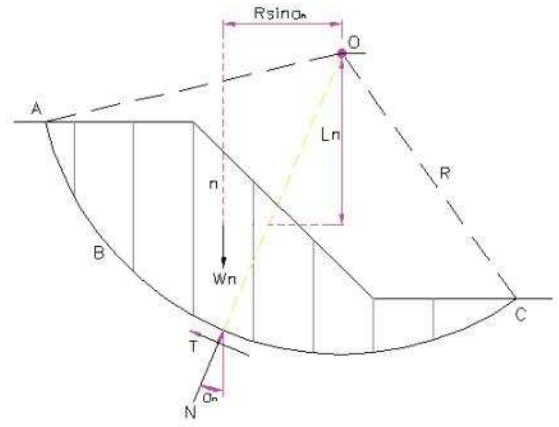


<그림 30-6> 구조안전성능 평가과정

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

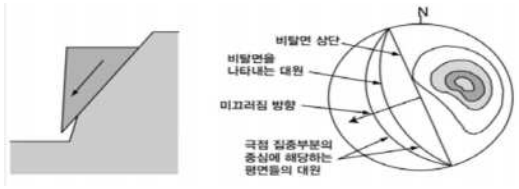
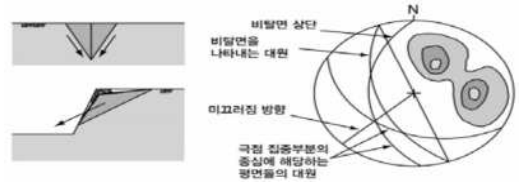
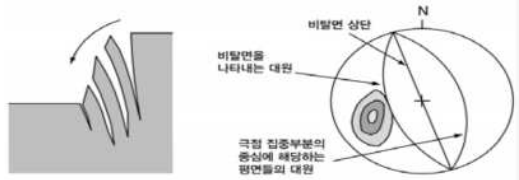
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 30-7> 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 30-44> 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 30-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

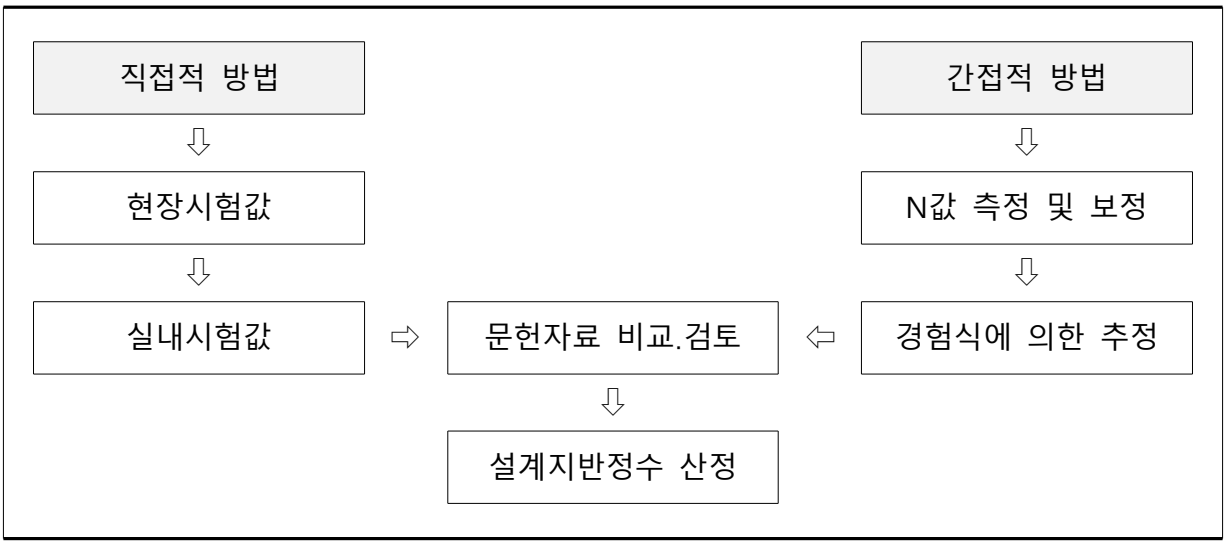
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 30-46> 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 30-47> 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 30-48> 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 30-49> 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 30-50> 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 30-51> 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 30-52> 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	24.3~25.6
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 30-53> 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 30-54> 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 30-55> Trueman (1988)

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

<표 30-56> 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	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 30-57> 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

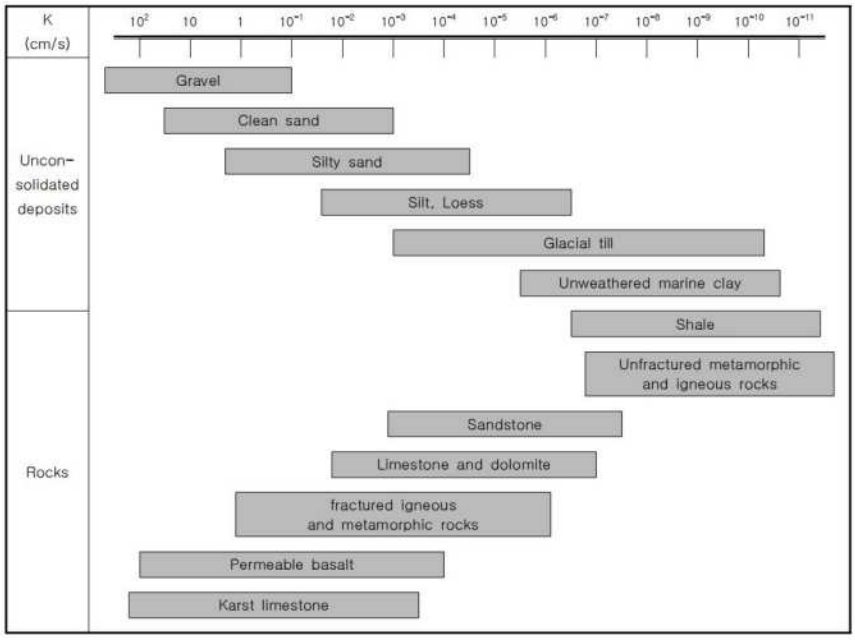
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 30-58> 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 30-59> 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 30-8> 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 30-60> 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

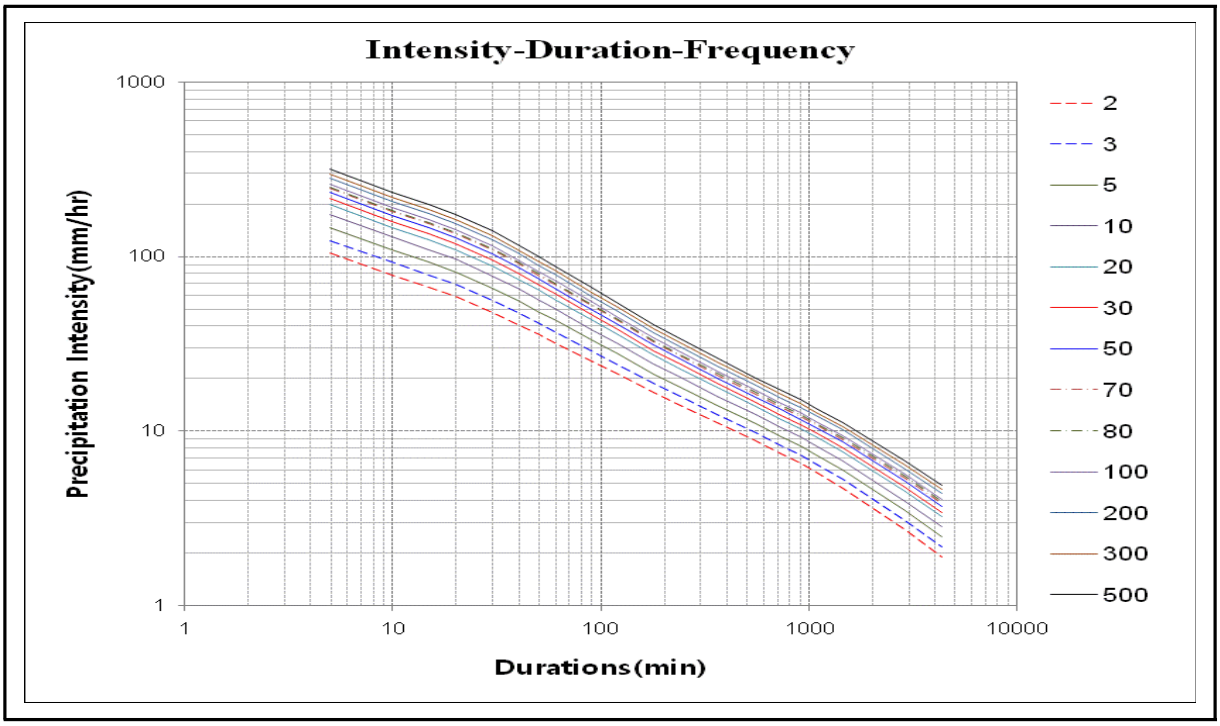
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 30-9> 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 30-10> 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 30-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 30-61> 설계지반운동 수준

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

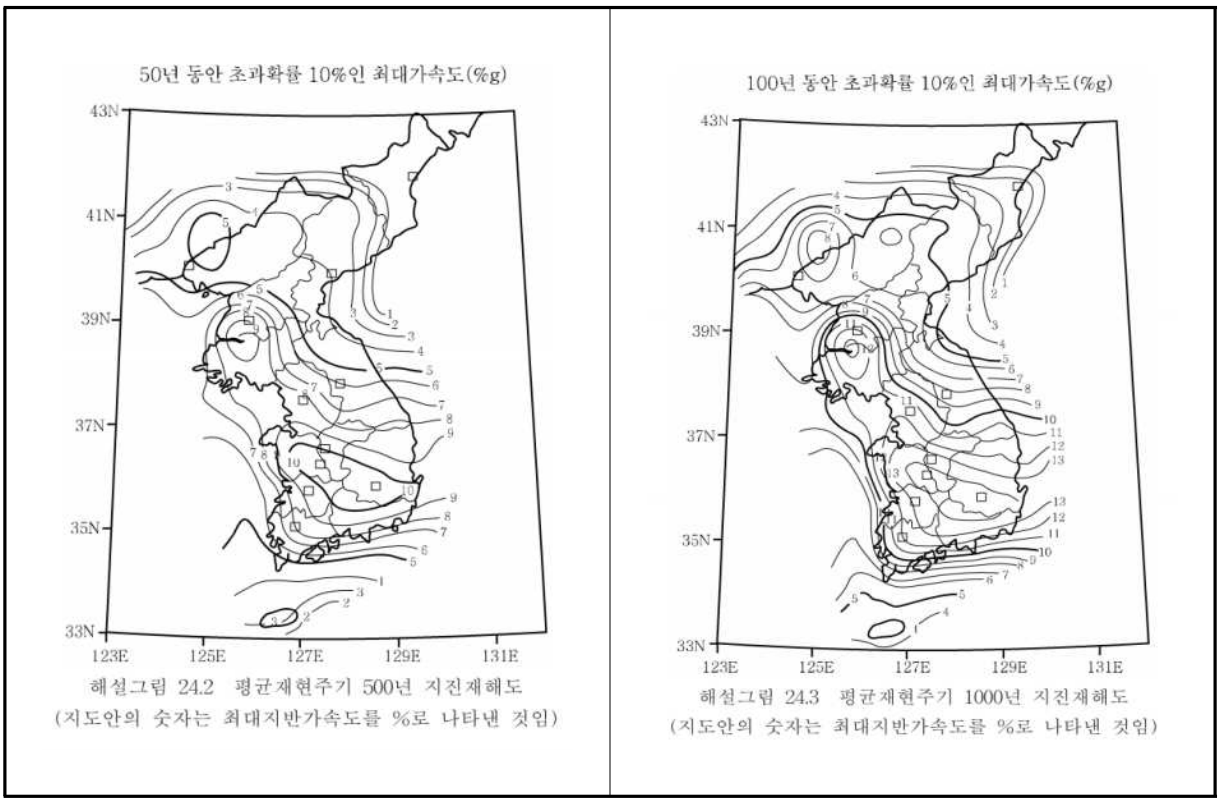
2) 설계지반운동

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 30-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

<표 30-62> 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 30-63> 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

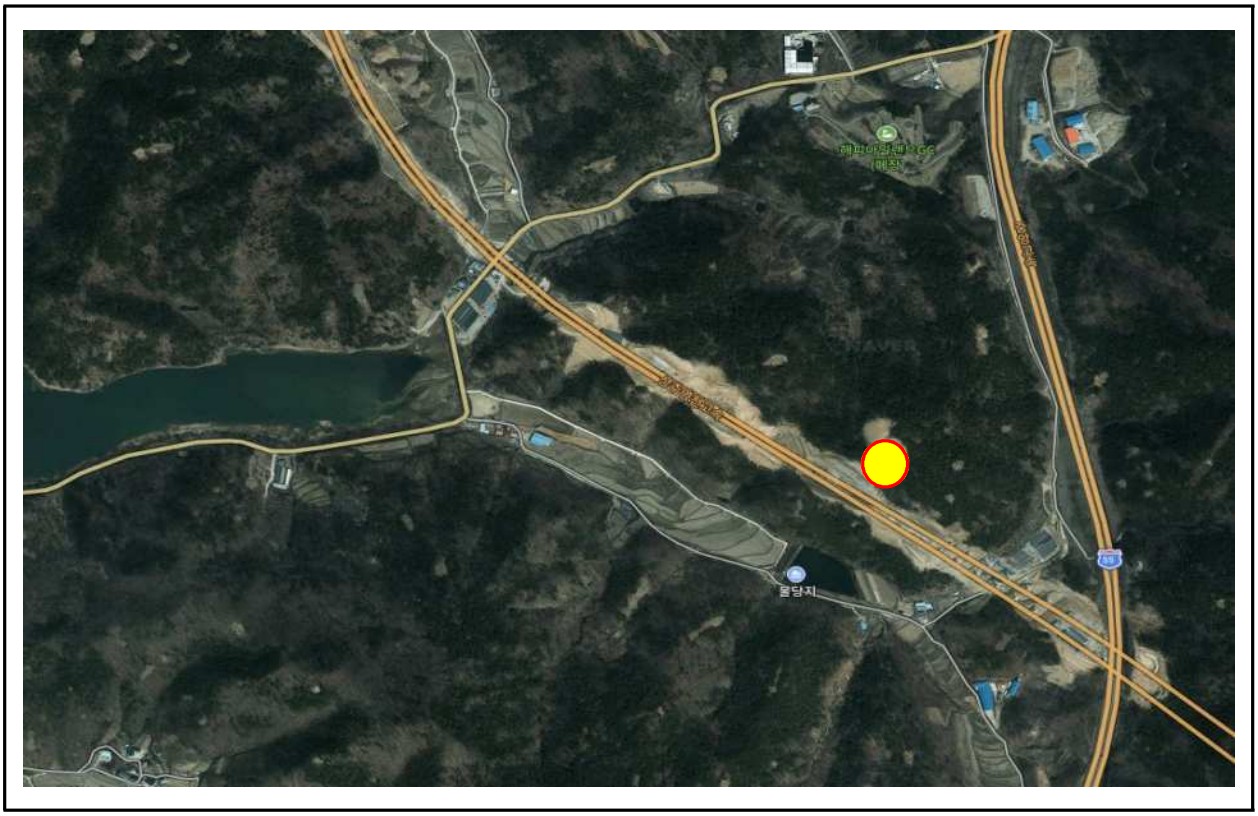
대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 30-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
상주절토30	경상북도 구미시 장천면 오로리	38.525 ~ 38.685	STA.38+615	41.0	4.0	37.0	-	2017	54/226

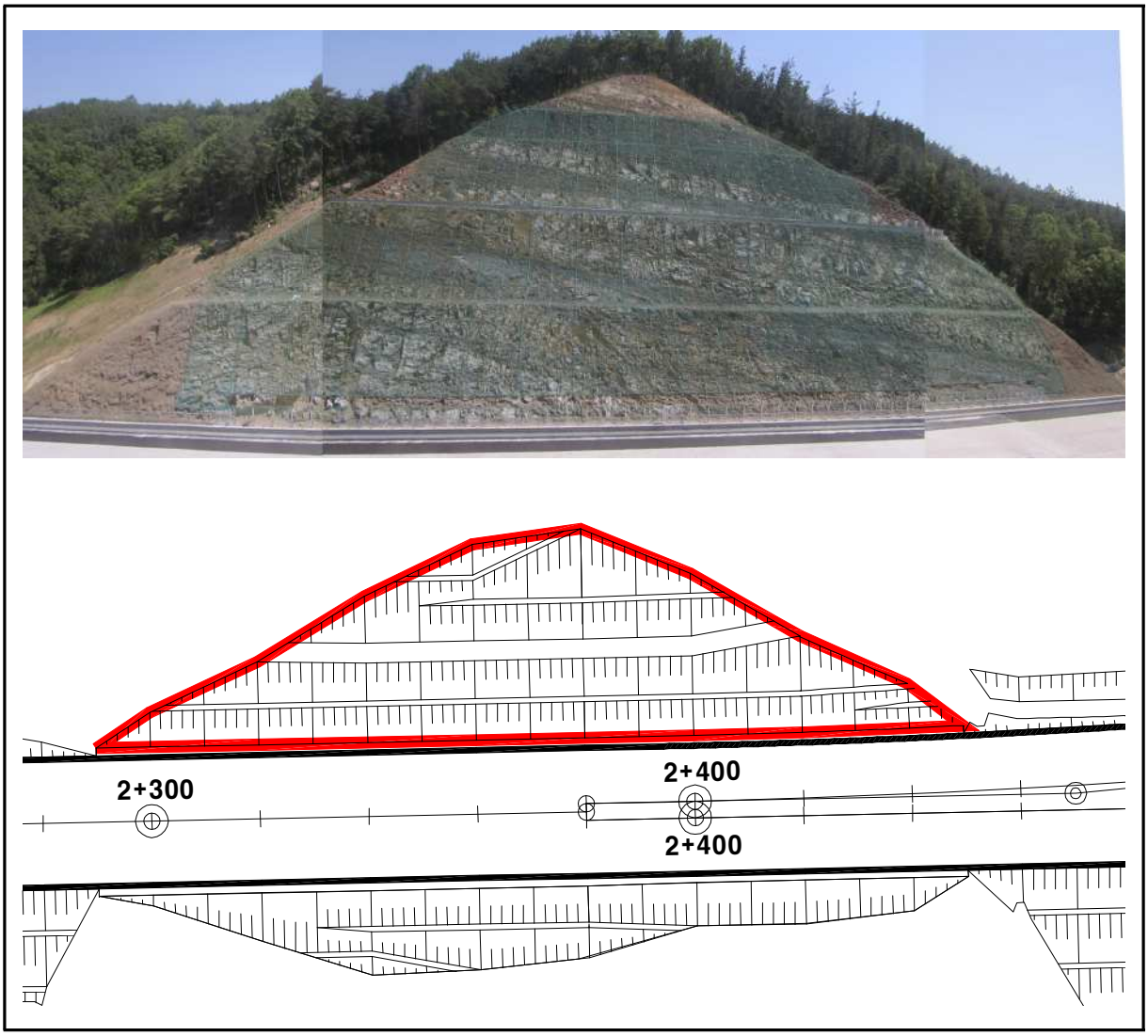
※ 상주기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음



<그림 30-13> 상주절토30 검토대상 비탈면구간

사. 상주절토30 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



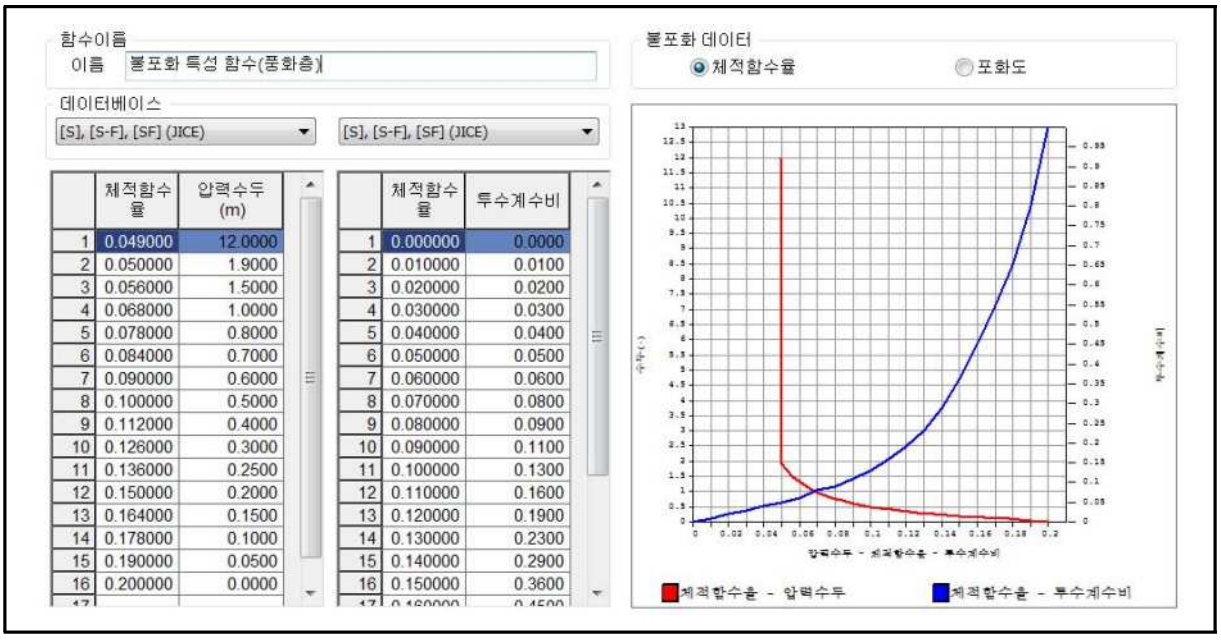
<그림 30-14> 상주절토30 검토대상 비탈면구간

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

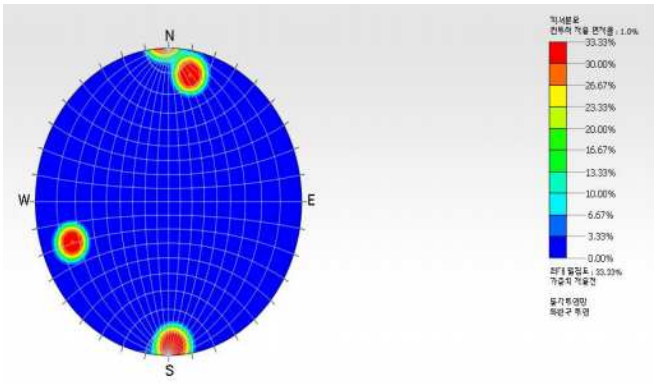
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 30-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

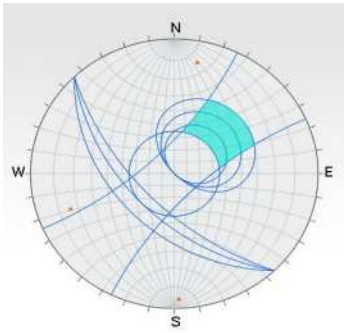
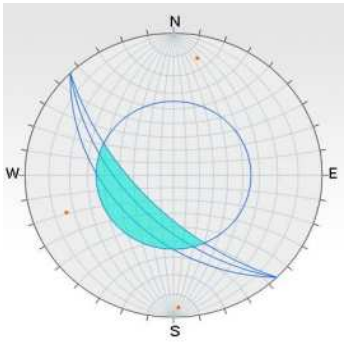
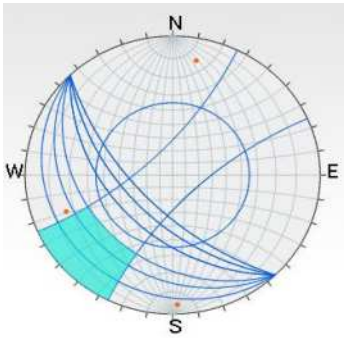
3) 1구간 (STA.38+525 ~ 38+685)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		86	358
		80	191
		75	070

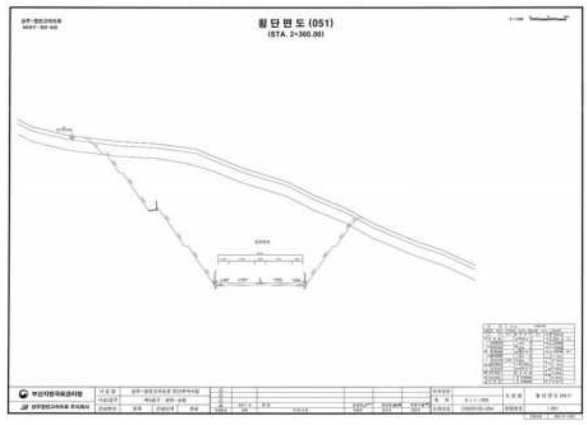
◦ 해석결과

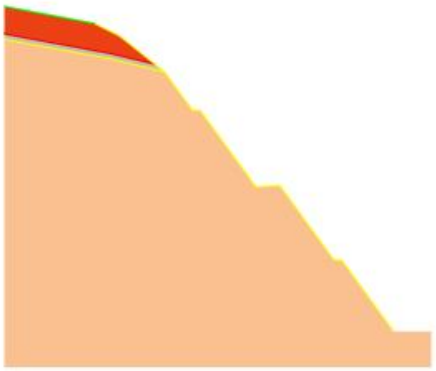
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

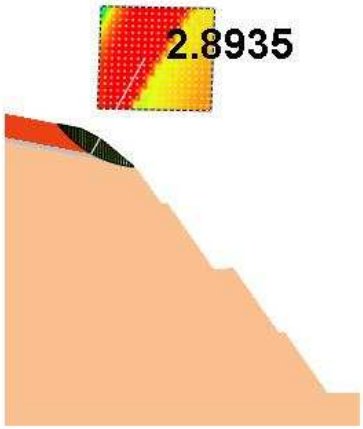
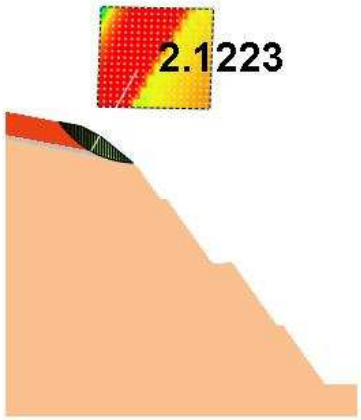
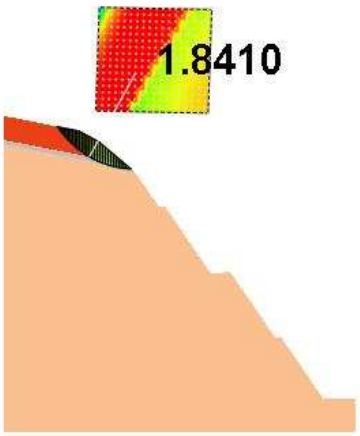
◦ 검토단면





대표단면 : STA.38+615, 상주

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.89	안전율 : 2.12	안전율 : 1.84

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

<표 30-65> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**상주절토16**		
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	2.89	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.12	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	1.84	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

30.4.3 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 30-66> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**상주절토30**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.130	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.130	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 30-67> 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

30.5 내구성능 평가

30.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 30-68> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 4/41 = 0.10
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 98.9MPa	
면적	전체	3,280㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	3,130㎡	
표면보호공	식 생	150㎡	
	숏크리트	-	
사면보강공	계단식옹벽	-	

30.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

<표 30-69> 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

30.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 30-70> 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	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 30-71> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
38.595km	111.7	112.9	초기 강도값(경암) : 98.9MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
38.600km	110.9	112.1	
38.610km	115.7	117.0	
평균값	112.8	114.1	
등급	**A등급**		

<표 30-72> 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 30-73> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	150/150㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 30-74> 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 30-75> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
	b	b	b
틈새(㎜)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
	b	b	b
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
	c	c	c
충전물	딱딱함, 5㎜ 미만	딱딱함, 5㎜ 미만	딱딱함, 5㎜ 미만
	b	b	b
풍화진행도	HW	HW	HW
	d	d	d
합 계	41	41	41
평 균	8.2	8.2	8.2
평가 결과	c	c	c

<표 30-76> 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	**0.43**	

30.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 30-77> 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 30-78> 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 30-79> 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

30.6 종합평가

30.6.1 종합평가 개요

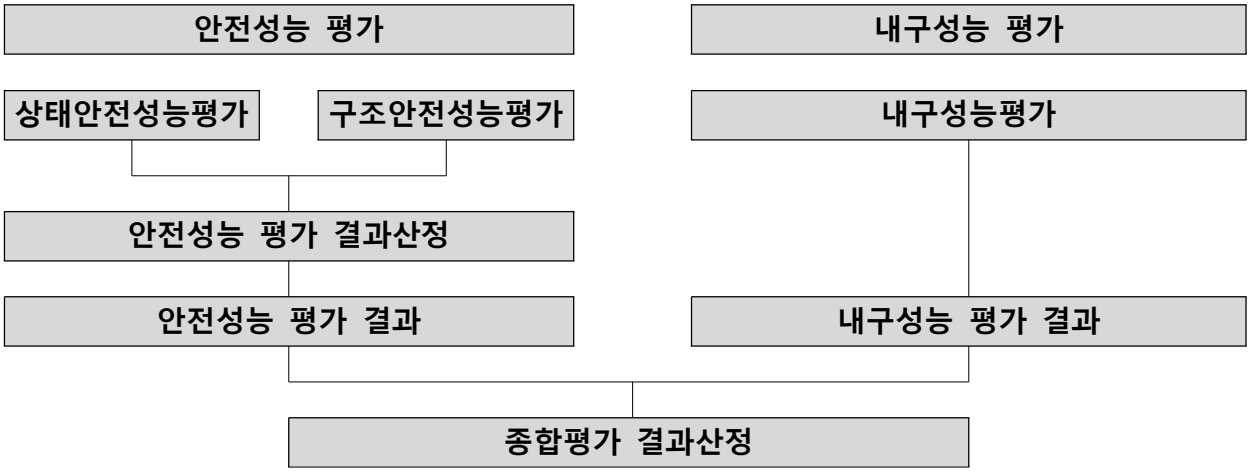
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 30-16> 종합평가 흐름도

30.6.2 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 30-80> 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 30-81> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	상주절토30		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.130	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.265	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.130 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.157 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 30-82> 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

30.7 유지관리 전략 제안

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

30.7.1 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 30-83> 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				

30.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.157)"으로 평가되었다.

<표 30-84> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.130	0.265	0.157
평가결과	A	B	B

30.7.3 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 30-85> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	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 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

30.8 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, 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.