제52장 영천절토52

52.1 대상 시설물 현황

52.2 관련 자료의 분석

52.3 현장조사

52.4 안전성능평가

52.5 내구성능평가

52.6 종합평가

52.7 유지관리전략 제안

52.8 종합결론

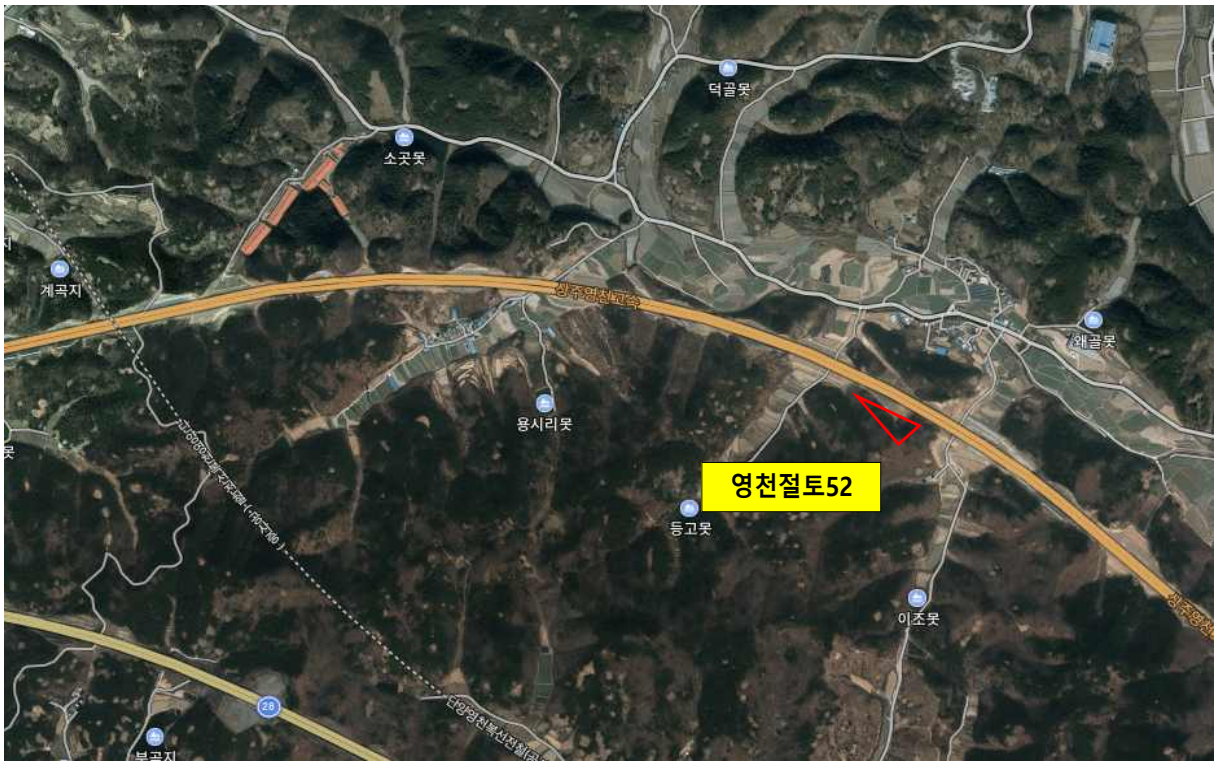
제52장 영천절토52

52.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 화산면 화산리(상주영천고속도로 72.798~72.938㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 140.0m, 높이 45.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

【표 52.1】 사면 일반사항

<table>
<tr><td>시설물번호</td><td colspan="2">SL2017-0000061</td><td>관리번호</td><td>SY SL52</td></tr>
<tr><td>시설물명</td><td colspan="2">영천절토52</td><td>시설물구분</td><td>절토사면</td></tr>
<tr><td rowspan="5">위 치</td><td>행정구역</td><td colspan="3">경상북도 영천시 화산면 화산리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위치좌표</td><td colspan="3">시점 : 36° 02′37.0″ 128° 51′53.0″</td></tr>
<tr><td colspan="3">종점 : 36° 02′35.0″ 128° 51′59.0″</td></tr>
<tr><td>관리이정</td><td colspan="3">72.798~72.938㎞</td></tr>
<tr><td>공구이정</td><td colspan="3">8공구 STA.7+440~7+580</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제 원</td><td>연 장</td><td>140m</td><td>높 이</td><td>45.0m</td></tr>
<tr><td>경사/방향</td><td>45/028</td><td>노 선</td><td>고속국도 301호선</td></tr>
<tr><td>관리주체</td><td colspan="2">상주영천고속도로(주)</td><td>관리주체구분</td><td>민간</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주변환경</td><td>인공구조물</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td>주변지형</td><td>산악지형</td><td>상부사면경사</td><td>10~20°</td></tr>
<tr><td rowspan="2">시공현황</td><td>준공년도</td><td>2017</td><td>시 공 자</td><td>㈜대우건설</td></tr>
<tr><td>부대시설</td><td colspan="3">점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 숏크리트</td></tr>
<tr><td>비 고</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

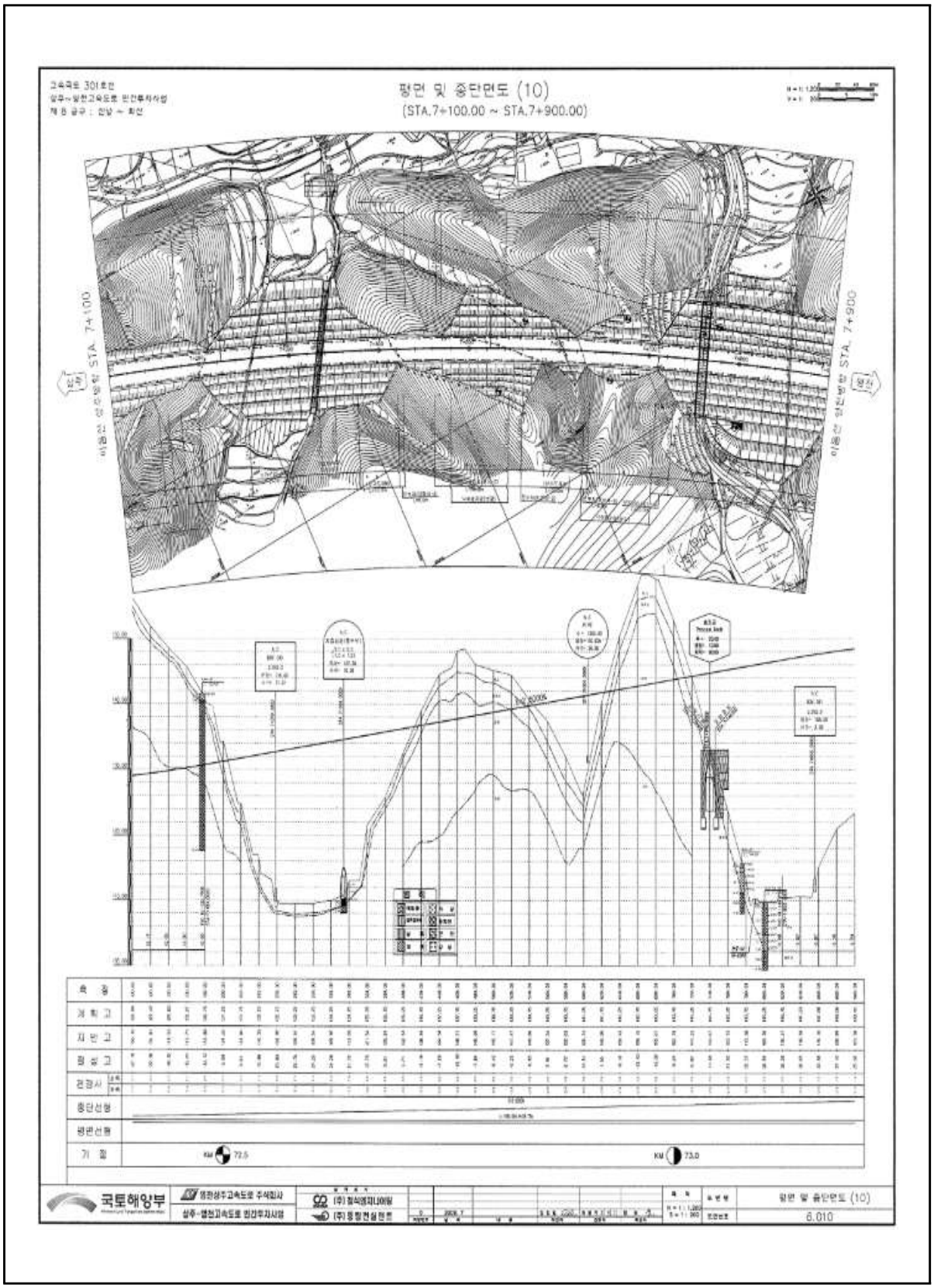


【그림 52.1】 위치도

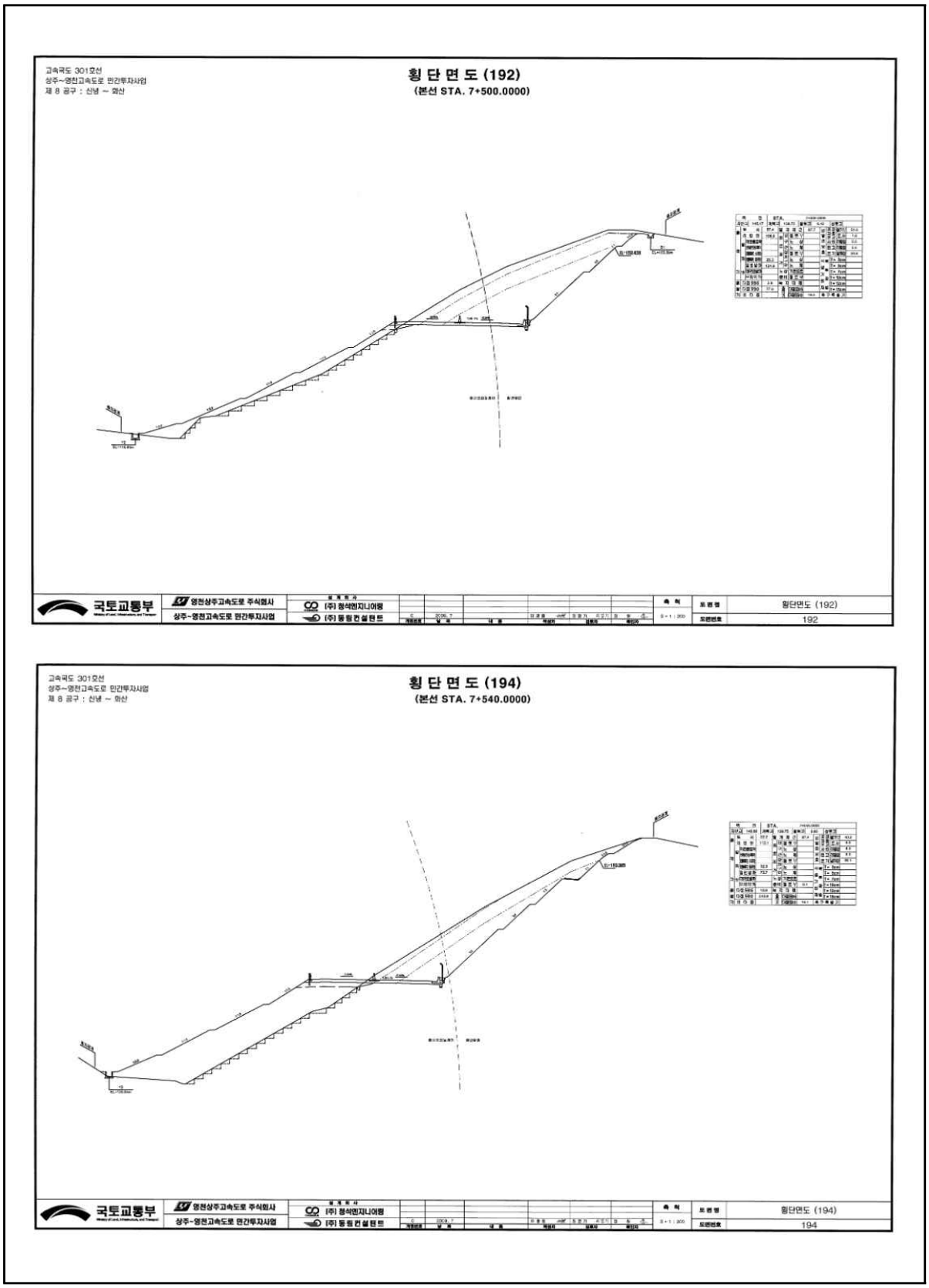
2025년 정밀안전점검(금회)

【그림 52.2】 전경사진

산마루측구 전경	소단배수로 전경
하단(이격부) 전경	점검계단 전경
야생동물유도울타리 전경	상부 자연사면 전경


평면 및 종단면도 (10)
(STA.7+100.00 ~ STA.7+900.00)
STA. 7+100
STA. 7+900
국토해양부
영천상주고속도로 주식회사
상주-영천고속도로 민간투자사업
(주)정림건설연구원
평면 및 종단면도 (10)
6.010

【그림 52.3】 평면도



【그림 52.4】 표준횡단면도

52.2 관련 자료의 분석

52.2.1 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 52.2】 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종・횡단면도 등	보유	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수・보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

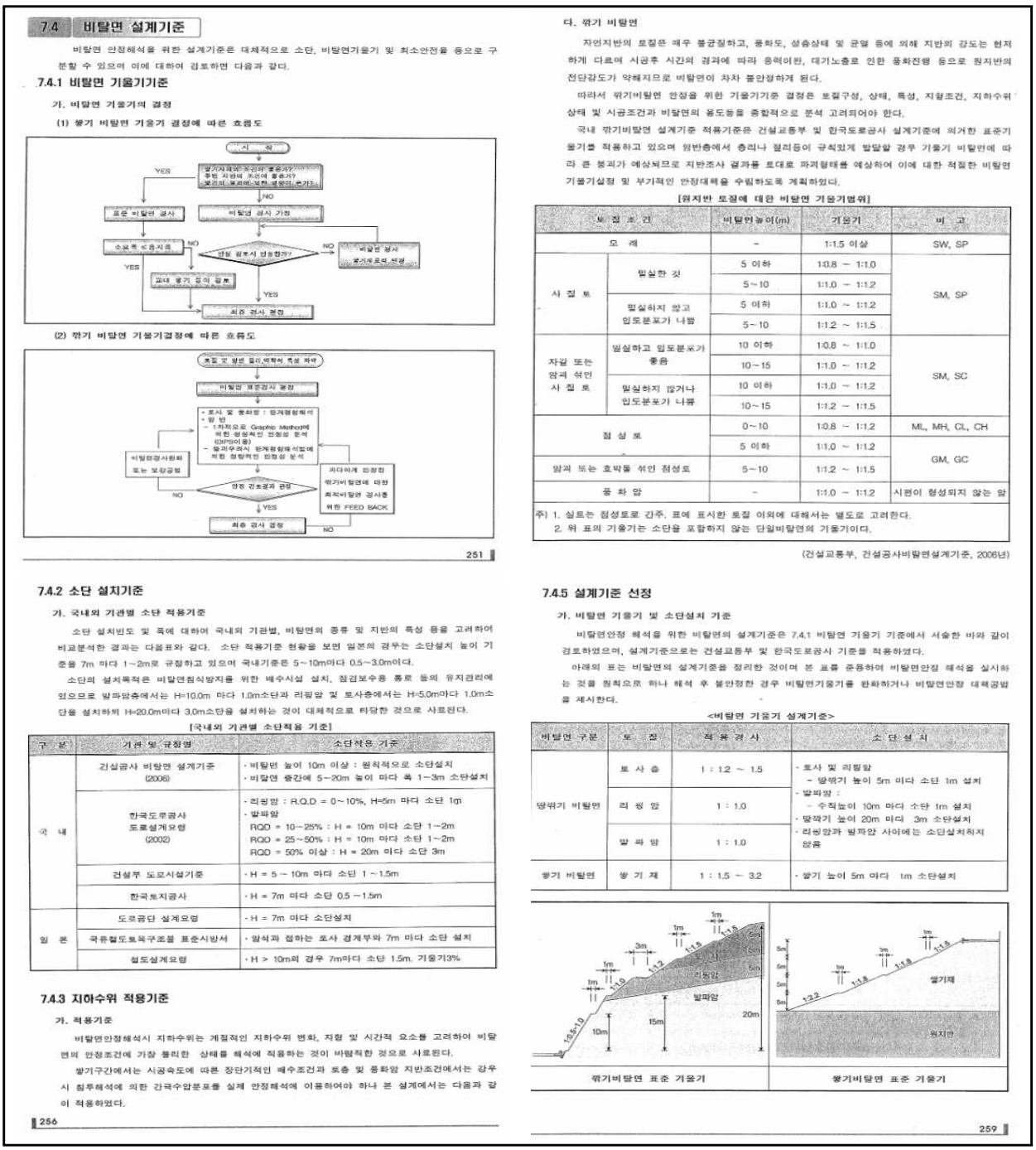
2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

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

52.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자 산업 건설공사 8공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준



7.4 비탈면 설계기준

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

7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 쌓기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도

(2) 깎기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도

251

다. 깎기 비탈면

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

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

국내 깎기비탈면 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)

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 설치하며 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	기관 및 규정명	소단적용 기준
국 내	건설공사 비탈면 설계기준 (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

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

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

256

7.4.5 설계기준 선정

가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 7.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

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

<비탈면 기울기 설계기준>

비탈면 구분	토 질	적용경사	소 단 설 치
땅깎기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2 ~ 1.5	· 토사 및 리핑암 - 땅깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치
	리 핑 암	1 : 1.0	· 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 · 땅깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치 · 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	발 파 암	1 : 1.0	
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5 ~ 3.2	· 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치

깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

259

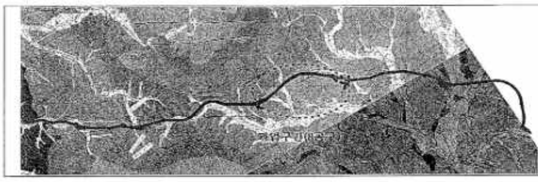
2) 지형 및 지질

제 4 장 조 사 결 과

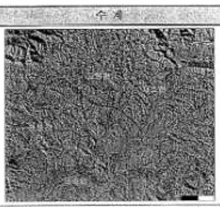
4.1 지표 지질 조사

4.1.1 지형 및 지질특성

지질개요	• 조사지역의 지질은 변성암 상위를 부정합으로 놓인 사암, 역질사암, 역암, 니질암(셰일 및 이암)등으로 이루어지는 중생대 경상누층군의 퇴적암류들이 넓게 분포 • 조사지역의 구성암석은 충적평원과 호성환경에서 변화되는 양상으로 해당지역에 분포하는 춘산층(반야월층)의 경우에는 니질층이 매우 우세한 호성 퇴적암임



가. 지형특성

산 계	수 계
	
• 과업노선은 높이가 약 50m 내외인 낮은 산과 충적층을 따라 위치함 • 과업노선의 북쪽으로는 주변지역에 비해 높은 고도를 보이는 팔암산이 위치하며 서쪽으로는 넓은 면적으로 분포하는 팔공산이 자리 잡고 있음	• 과업노선의 북동쪽과 북서쪽에는 각각 고현천과 신녕천이 위치하고 있으며 남쪽으로는 정통천이 흐르고 있음 • 신녕천은 남동 방향으로 흐르면서 과업노선의 종점부와 교차하고 있음 • 이들 하천은 많은 지류를 형성하고 있으며 수지상의 복잡한 형태를 보임

47

나. 분포암층 특성

구 분	지 질 특 성
춘산층	• 층의 두께는 700m 내외이며 암회색 및 자색 이암과 실트암, 암회색 셰일 및 사암으로 구성된다. 최하부는 2~3m 두께의 구산동층 회암층원으로, 중부는 기사등 역암으로 특징 지워진다. 구산동응회암은 주로 화산기원의 장석 및 석영입자들과 화산회 기질로 구성되었으나, 수류퇴적을 지시하는 층리 및 모양을 갖으며, 식물의 줄기와 잎 화석들이 산출된다(Tateiwa, 1929)
사곡층	• 하한은 점곡층의 응회암이 끝나고 자색 이암과 실트암이 협재되기 시작하는 층준이며, 상한은 춘산층의 최하부인 구산동응회암의 직하위이다. 층의 두께는 군위에서 2,000m이나 남쪽으로 점차 감소되어 팔리에서는 250m에 불과하다. 주요 구성암석은 자색 이암과 실트암 및 녹회색 실트암 및 녹회색 사암이며, 중부에는 응회질 사암도 협재된다. 자색 이암은 상부에서 우세하며, 석회질 단괴는 거의 발달되지 않으나, 건열, 연흔, 사층리가 발달되고 생흔화석들이 흔하다. 식물 화석으로 Frenelopsis cf. paroeramosa Fontaine이 보고되었다(Tateiwa, 1929).

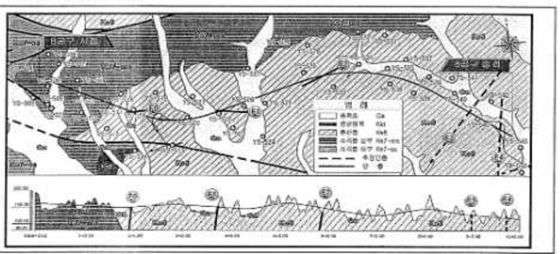
다. 지질 계통도

지질시대	층 명	특 성	비 고
제4기	충적층(Qu)	• 하천 및 산록 퇴적물	
	— 부정합 —		
중생대 백악기	중성맥암(Kid) 산성맥암(Kad)	• 괴상의 치밀	• 전 구간에서 기반암을 관입
	— 관입 —		
중생대 백악기	화강암(Kgr)	• 괴상의 치밀	• 3공구 중앙부
	— 관입 —		
중생대 백악기 유천층군	안산암질암(Kat)	• 주로 응회암으로 구성	• 노선과 교차하지 않음
	— 관입 및 분출 —		
중생대 백악기 하양층군	신양동층(ke9)	• 암회색 이암 및 셰일과 사암이 교호대	• 10공구 종점부
중생대 백악기 하양층군	춘산층(ke8)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 셰일 • 하부층에서 석회질 결질 다량 함유	• 10~8공구에 걸쳐 분포
중생대 백악기 하양층군	사곡층(Ke7) 상부(Ke7-ms)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 셰일 • 석회질 결질 함유	• 8공구 시점
중생대 백악기 하양층군	사곡층(Ke7) 하부(Ke7-ss)	• 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 셰일과 사암이 교호 • 사암부분을 다량 함유	• 8공구 시점과 7공구 종점
중생대 백악기 하양층군	점곡층(ke6)	• 암회색, 녹회색, 적색 셰일 및 이암 • 주로 암회색 셰일로 구성	• 7공구 종점 및 중앙부
중생대 백악기 하양층군	후평동층(Ke5) 구계동층원(Ke5-2)	• 사암, 이사암 및 이사질 셰일 및 이암(니질 우세)	• 7공구 시점부
중생대 백악기 하양층군	후평동층(Ke5) 구미동층원(Ke5-1)	• 사암, 적색 이사질 셰일, 회색처트역 및 역암(사질 우세)	• 6공구 종점부
중생대 백악기 하양층군	일직층(Ke4)	• 사암, 적색 이사질 셰일, 역암 • 주로 사암이 우세	• 6공구 중앙 및 종점

48

4.1.3 과업구간 지질분포 특성

가. 상세 지표지질조사



① 주요 노두 특성분석

노두 사진	특 성
	• 사곡층 상부(노두No.YS-202) • 적색 니질암 • 층리방향 : 22/162 • JI=84/208, J2=84/098
	• 사곡층 하부(노두No.YS-504) • 녹회색 및 적색 니질암 • 층리방향 : 32/148, 단층단향 : 66/356 • 단층 비지 5mm, 단층 폭 0.5m • JI=88/264, J2=82/042, J3=67/318
	• 사곡층 상부(노두No.YS-505) • 적색 니질암 • 층리방향 : 20/169 • JI=82/271, J2=78/340
	• 사곡층 상부(노두No.YS-506) • 적색 니질암 • 층리방향 : 22/166, 소단층방향 : 87/048 • JI=68/348, J2=89/240, J3=72/116 • 폭 0.5m, 파쇄대 1m정도, 단층 각력암 존재

53

나. 지질 각론

•이하는 1:5만 신령도폭(원종관 외, 1980)의 내용이다.
이 지역의 지질은 백악기 퇴적암층과 화성암류로 구성되어있다. 백악기 퇴적암층은 경상누층군 하양층군에 속하는 함안층(사곡층), 반야월층(춘산층)과 자인층이고 화성암류는 이들을 관입한 아화산암류, 심성암류, 반심성암류로 구분된다. 퇴적암은 심성암과의 접촉대에서 호온펠스로 변성되었다(그림 3). 과업구간은 의성 소분지의 남단에 자리잡고 있어 유천 소분지와의 관계를 해석하는데 매우 중요한 지역이다.

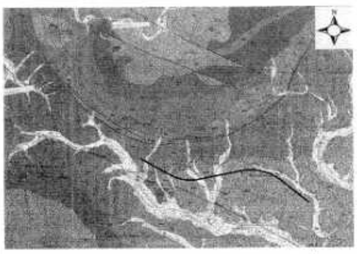


그림 3. 1:5만 과업구간 지질도 (원종관 외, 1980)

•낙동군층 퇴적기에서 신라역암 퇴적기에 이르기 까지 팔공산선을 경계로 하여 퇴적 환경에 차이를 보여주었으나 본역에 분포하는 함안층 및 반야월층은 지질구조의 해석으로서 유천 소분지의 것과 연결이 가능한 것으로 보아 퇴적암층의 층서 관계는 왜관-대구-영천의 단면에서 구분된 것을 그대로 사용하였다. 그러나 노고산 환상단층내에 분포하는 호온펠스화된 퇴적암층은 반야월성 상부 또는 자인층(건천리층)하부에 대비되는가에 대해서는 결정짓기 곤란하다. 따라서 그들은 화산층이라 명명하였다.
•백악기 퇴적암층은 주로 본역의 남부에 넓게 분포하며 북부에서는 화성암체의 관입에 의하여 불규칙적인 분포를 보여준다. 화성암류는 본역의 서북부에 분포하는 아화산암체(Sub-volcanics)와 수기단층암의 약대에 따라 관입한 화강암체로 크게 구분된다.
아화산암체는 백악기에 활발했던 화산체의 뿌리 부분이 상승운동과 침식에 의하여 노출된 것이다. 아화산체의 주변에 발달하는 노고산 환상단층은 이러한 현상이 칼드론(Cauldron)과 관계있음을 말해 준다.
•수기령 단층을 따라 분포하는 화강암체는 주변상으로서 곳에 따라 암질을 달리하기도 하나 암체의 핵으로 갈수록 화강섬록암에서는 화강암을 점이되는 것으로 보아 불국사 화강암과 동질인 것이다.
•퇴적암층: 이 지역에 분포하는 퇴적암층은 신라층군의 함안층, 반야월층과 화산층이다. 과업구간은 의성 소분지의 남단에 위치하나 영천-하양리 일대에 분포하는 반야월층이 계속 발달하며 지질구조로 보아 그의 하위에 적색층의 함안층이 유천 소분지에서와 동일한 층서 관계를 갖고 분포한다. 따라서 이 지역에 분포하는 퇴적암층은 유천 소분지에서의 층서를 그대로 적용시켜도 좋으리라 믿어진다. 함안층과 반야월층의 경계는 양자가 점이적인 관계를 이루므로 적색층과 녹회색층의 호층대에서 양적 우세를 보여주는 층준에 설정하였다. 즉 지층 구분의 Key bed가 없으므로 경계의 설정은 지층의 두께 50m 범위내에서 유동성이 있는 것으로 판단된다.

3) 지반조사 보고서

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조 사 명

- 상주－영천 고속도로 민간투자사업 실시설계(B공구)

1.2 조 사 목 적

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

1.3 조 사 범 위

위 치	• 시점 : 경상북도 영천시 신녕면 화성리(STA. 0+000) (X=283,752.107, Y=180,809.115) • 종점 : 경상북도 영천시 화산면 가상리(STA. 10+000) (X=280,996.070, Y=189,777.475) • 연장 : 10.0km
특 성	• 상주~영천간 고속도로 건설을 통한 기존 고속도로(경부, 중부내륙)의 기능 회복 및 연계를 통한 효율성 증대 • 고속도로 신설을 통해 동과 지역의 균형발 상호 균형 발전 및 통한 공익성 증대

1.4 위 치 도

1.4.1 구조물 현황

교량 구간			토공구간
• 가천교 (315m) • 호정교 (17.4m) • 위지교 (10.4m) • 신녕교 (120.0m) • 신녕IC교 (30.0m)	• 갈매교 (13.0m) • 창정교 (175.0m) • 중들교 (105.0m) • 호지교 (12.0m)	• 신녕IC교 Ramp교 (30.0m) • 화산JCT Ramp-A교 (490.0m) • 화산JCT Ramp-A1교 (340.0m) • 화산JCT Ramp-A2교 (45.786m) • 화산JCT Ramp-H교 (100.0m)	• 짝기구간 : 24 구간 • 쌍기구간 : 12 구간

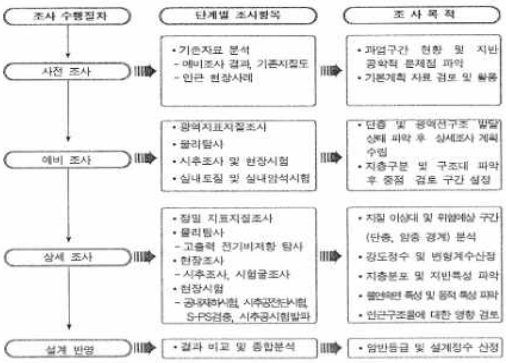
1

제 2 장 조 사 계 획

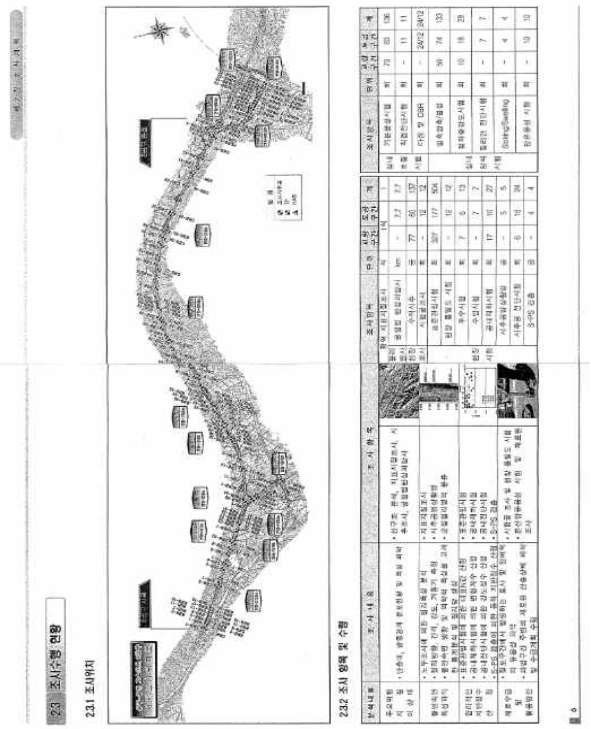
2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

(1) 조사 기본방향

(2) 조사 수행 흐름도



3



구 분	공 번	STA.	X	Y	선정 이유
화 산 JCT-H교	RBBB-19	0+397.93(우2.34m)	280,277.353	190,048.542	• 교대 및 교각 마다 1개소 • 상,하행선 분리시 모두수행
화 산 JCT-A1교	RBBB-20	시추불가			
	RBBB-21	시추불가			
	RBBB-22	시추불가			
	RBBB-23	0+375.00(우3.25m)	280,223.009	190,077.342	
	RBBB-24	0+372.76(좌2.98m)	280,216.868	190,074.858	
	RBBB-25	0+321.49(우6.57m)	280,189.854	190,119.476	
	RBBB-26	0+329.88(우4.43m)	280,193.843	190,111.790	
화 산 JCT-A교	RBBB-27	0+289.87(우3.78m)	280,166.900	190,140.980	
	RBBB-28	0+289.84(좌4.33m)	280,160.658	190,135.811	
	RBBB-29	0+222.43(우2.66m)	280,123.196	190,192.105	
	RBBB-30	0+221.89(좌3.80m)	280,117.509	190,188.996	

나. 짝기구간

구 분	공 번	STA.	X	Y	선정 이유
본 선 구 간	CBB-1	시추불가	283,781.198	180,819.827	• 짝기부 개소당 2개소 이상 수행 • 짝기구간 최대 절토고 선정
	CBB-2	시추불가	283,737.634	180,798.005	
	CBB-3	0+784.62(좌50.40m)	283,362.819	181,490.200	
	CBB-4	0+807.08(우13.04m)	283,302.251	181,479.016	
	CBB-5	1+115.83(좌23.44m)	283,170.360	181,760.562	
	CBB-6	1+199.13(좌37.56m)	283,138.413	181,838.769	
	CBB-7	1+204.72(우24.16m)	283,083.027	181,810.954	
	CBB-8	1+384.16(좌16.78m)	283,023.140	181,984.995	
	CBB-9	1+500.89(좌26.84m)	282,970.104	182,089.468	
	CBB-10	1+483.82(우16.85m)	282,941.993	182,051.918	
	CBB-11	2+733.48(좌16.34m)	282,425.162	183,178.262	
	CBB-12	2+968.92(좌34.19m)	282,409.331	183,410.737	
	CBB-13	2+946.00(우24.28m)	282,353.235	183,382.640	
	CBB-14	3+804.15(좌34.65m)	282,498.749	184,226.418	
	CBB-15	3+810.88(우38.80m)	282,428.487	184,248.950	
	CBB-16	4+118.75(좌43.83m)	282,576.021	184,531.511	
	CBB-17	4+163.93(우23.70m)	282,519.983	184,590.277	
	CBB-18	4+800.00(좌24.65m)	282,705.398	185,200.638	

10

구 분	공 번	STA	X	Y	선정 이유
본선 구간	CBB-19	4+804.44(우38.95m)	282,644.283	185,218.792	• 약기부 개소당 2개소 이상 수행 • 약기구간 최대 절토고 선정
	CBB-20	4+993.80(좌17.98m)	282,741.003	185,391.258	
	CBB-21	4+982.21(우26.79m)	282,694.169	185,389.806	
	CBB-22	5+219.11(좌9.40m)	282,781.593	185,613.049	
	CBB-23	5+203.41(우31.83m)	282,737.935	185,606.678	
	CBB-24	5+313.56(좌46.03m)	282,837.865	185,697.276	
	CBB-25	5+646.27(우15.14m)	282,842.212	186,035.814	
	CBB-26	5+769.12(좌26.95m)	282,899.268	186,152.708	
	CBB-27	5+771.33(우30.67	282,842.181	186,160.880	
	CBB-28	시추불가			
	CBB-29	6+104.79(우35.30m)	282,853.333	186,490.349	
	CBB-30	6+216.64(좌39.26m)	282,924.901	186,604.102	
	CBB-31	6+190.79(우9.36m)	282,877.374	186,576.252	
	CBB-32	7+177.27(좌25.75m)	282,714.891	187,548.103	
	CBB-33	7+091.30(우38.83m)	282,683.739	187,445.347	
	CBB-34	시추불가			
	CBB-35	시추불가			
	CBB-36	시추불가			
	CBB-37	8+127.91(좌16.17m)	282,230.008	188,368.900	
	CBB-38	8+132.64(우29.82m)	282,191.349	188,343.540	
	CBB-39	8+659.13(좌20.76m)	281,887.303	188,775.450	
	CBB-40	8+677.54(우25.93m)	281,839.962	188,758.848	
	CBB-41	9+033.14(우34.76m)	281,588.008	189,037.588	
	CBB-42	시추불가			
	CBB-43	9+676.09(좌41.10m)	281,238.688	189,558.987	
	CBB-44	9+668.78(우38.64m)	281,183.071	189,501.379	
	CBB-45	시추불가			
	CBB-46	9+926.46(우45.57m)	281,009.572	189,692.027	
램프 구간	RCBB-1	0+246.23(좌20.04m)	282,487.486	183,063.957	
	RCBB-2	0+360.23(우4.61m)	282,373.617	182,825.716	
	RCBB-3	1+642.21(우15.78m)	281,272.049	189,662.934	
	RCBB-4	0+198.41(우31.41m)	281,182.170	189,474.097	
	RCBB-5	1+237.41(우9.68m)	280,867.466	189,603.369	

11

• 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시

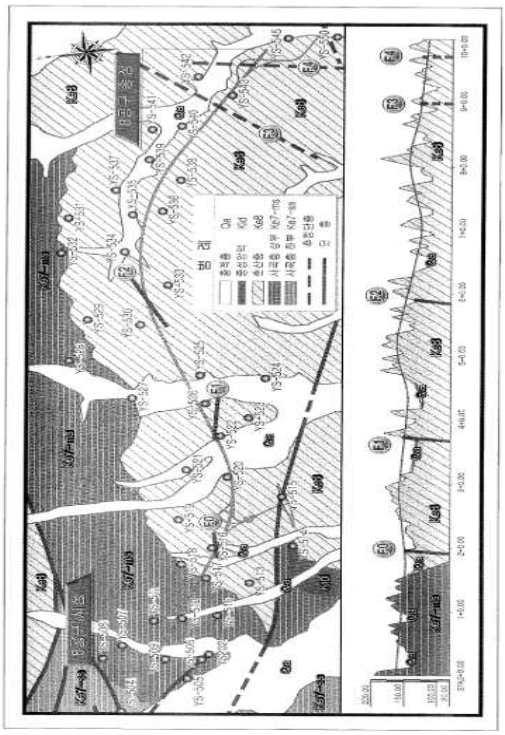
• 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 흰색에 대한 접두용어를 사용

암반 분류	• 한국도로공사, 철도청, 한국기술용역협회 및 서울지하철 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류하고 터널구간은 Rock Type으로 표시하되 RMR 및 Q 분류에 의해 암반을 분류하고 분석을 수행함
기재 방법	• 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격 : 강도 및 암질표시는 ISRM(국제암반역학회)의 분류방법에 의거 분류 • 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법"에 의거하여 시추주상도를 작성
기술 내용	• 색, 불연속면의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등을 기술함 - 색 : 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연한), 암(진한)의 명암 및 흰 색의 서술용어를 사용함 • 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류 • 시추주상도에는 암석명, N치, RQD, 시추작업자, 주상도 작업자, 주상도 검토자, 코어회수율 및 불연속면 특성에 관한 중요지표(절리면의 풍화상태, 강도, 간격, 경사, 거칠기 등) 등을 자세하게 기재함

표준단면	암질	특 징	RMR	Q값	탄성파속도 (km/s)	일축압축강도 (MPa)	코어회수율 (%)
I	경암	암질상이 없고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	100~81	60이상	3.4이상	100 이상	90이상
II	보통암	균열 및 절리가 다소 발달되어 있으며 일반으로 절리가 존재하는 층상의 암질	80~61	5.8~60	2.6~3.4	80~100	70~90
III	연암	층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며, 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	60~41	0.6~5.8	1.8~2.6	60~80	40~70
IV	풍화암	물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	40~21	0.1~0.6	0.99~1.8	25~60	40이하
V	풍화토	풍화작용이 심하고 일부가 토괴화된 상태이며, 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질	20이하	0.1이하	0.99이하	25 이하	-

21

제 3 장 지질도



8.1. 광역 지표지질조사

8.1.1. 지질개요

• 파업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 동남부에 위치한다. 경상분지는 처음에는 일본의 북구주지방과 중국, 대마도에 분포하는 퇴적분지를 총괄하여 대마도분지로 불려왔다. 그 후 1961년 원종관은 수차례 조사결과 경상누층군이 구조상으로 분지형을 이루고 있으므로 경상분지라고 명명하였다. 경상분지의 분포는 남북방향인 장축이 200km, 동서단축이 120km, 총면적이 24,000km2에 달한다. 경상분지는 조선운동에 의해 형성된 3개의 소분지로 구성되어 있고, 이들은 다시 여러 개의 단층계에 의해 파괴되어 있다(그림 1).

그림 1. 경상분지와 소분지 분포

• 경상분지는 암상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동충상단층 및 청송령과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도제)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다(그림 1).

• 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다(그림 2).

52.2.3 점검 및 진단 이력

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

【표 52.3】 점검 및 진단 이력

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
1	정기안전점검 (하반기)	㈜명성 엔지니어링	300	영천절토52 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2017. 11. 13 2017. 12. 28	인승철	양호	균열보수
2	정기안전점검 (상반기)	㈜명성 엔지니어링	275	영천절토52 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2018. 05. 28 2018. 06. 30	인승철	양호	-
3	정기안전점검 (하반기)	㈜명성 엔지니어링	275	영천절토52 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 망상균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2018. 10. 23 2018. 12. 31	인승철	양호	균열보수
4	정기안전점검 (상반기)	㈜명성 엔지니어링	275	영천절토52 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열, 망상균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다.
	2019. 03. 18 2019. 05. 28	인승철	양호	균열보수

번호	점검구분 점검기간	점검 기관명 책임 기술자	비용 (천원) 안전 등급	주요 점검결과 주요 보수보강(안)
5	정밀안전점검	㈜명성 엔지니어 링	196	본 사면에 대한 정밀안전점검 결과, 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태인 "B" 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 사면 식생공, 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화(SW)~심한풍화(HW) 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.
	2019. 09. 16 2019. 12. 27	장진원	B	균열보수, 주의관찰
6	정기안전점검 (상반기)	㈜명성 엔지니어 링	165	영천절토52 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 건조수축 및 온도변화 등에 의한 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.
	2020. 05. 12 2020. 06. 30	인승철	양호	균열보수
7	정기안전점검 (하반기)	㈜명성 엔지니어 링	165	영천절토52 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 건조수축 및 온도변화 등에 의한 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.
	2020. 08. 31 2020. 12. 31	인승철	양호	균열보수

번호	점검구분 점검기간	점검 기관명 책임 기술자	비용 (천원) 안전 등급	주요 점검결과 주요 보수보강(안)
8	2종 성능평가	㈜명성 엔지니어 링	552	안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였음. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가됨. 일부 구간에서 소단배수로 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태임. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가됨. 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였음. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가됨. 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가됨. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"과 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단됨.
	2020. 08. 31 2020. 12. 31	인승철	B	균열보수, 주의관찰
9	정기안전점검 (상반기)	㈜명성 엔지니어 링	165	영천절토 52 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 건조수축 및 온도변화 등에 의한 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된
	2021. 03. 08 2021. 06. 07	장진원	양호	균열보수

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
10	정밀안전점검	㈜명성 엔지니어링	235	심한풍화 배수시설 균열
	2021. 08. 25 2021. 12. 10	장진원	B	균열보수, 주의관찰
11	정기안전점검 (상반기)	㈜명성 엔지니어링	350	배수시설 균열
	2022. 05. 16 2022. 06. 24	정지운	양호	균열보수
12	정기안전점검 (하반기)	㈜명성 엔지니어링	350	배수시설 균열
	2022. 09. 19 2022. 11. 18	이상훈	양호	균열보수
13	정기안전점검 (상반기)	㈜명성 엔지니어링	350	배수시설 균열
	2023. 04. 03 2023. 06. 16	정지운	양호	균열보수
14	정밀안전점검	㈜명성 엔지니어링	345	심한풍화 배수시설균열, 토사퇴적
	2023. 07. 03 2023. 12. 08	이상훈	B	균열보수, 정비, 주의관찰
15	정기안전점검 (상반기)	㈜명성 엔지니어링	350	심한풍화 배수시설 균열, 토사퇴적
	2024. 06. 10 2024. 06. 28	정지운	양호	균열보수, 정비, 지속관찰
16	정기안전점검 (상반기)	㈜명성 엔지니어링	350	심한풍화 배수시설 균열, 토사퇴적
	2024. 09. 23 2024. 12. 03	정지운	양호	균열보수, 정비, 지속관찰
17	정기안전점검 (상반기)	㈜명성 엔지니어링	350	심한풍화 배수시설 균열, 토사퇴적
	2025. 03. 24 2025. 06. 18	정지운	양호	균열보수, 정비, 지속관찰

52.2.4 보수 · 보강이력

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

【표 52.4】 보수·보강이력

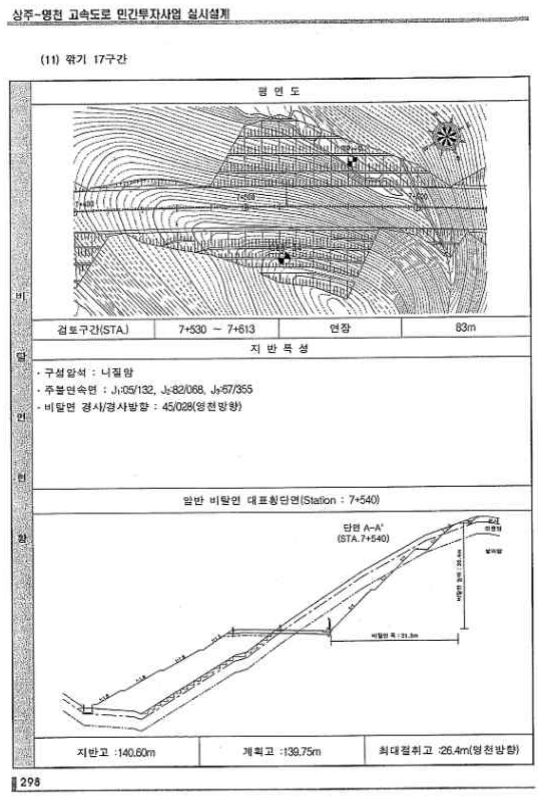
번호	공사명	공사구분	보수보강부위	시공자
	공사기간		공사내역	공사비(천원)
1	일상보수	보수	배수로	-
	-		균열보수(하자)	-

52.2.5 내진설계 적용 여부

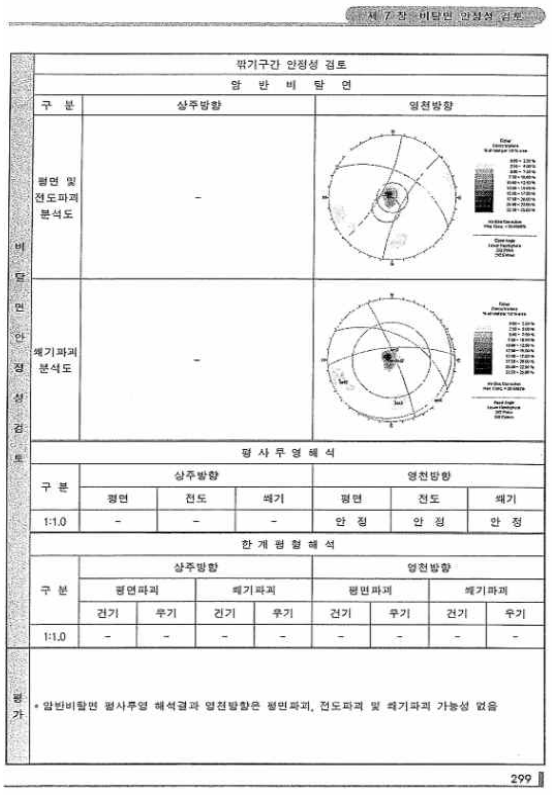
본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석결과 fms상 내진설계가 적용 된 것으로 확인되었다.

【표 52.5】 내진 설계 적용 여부

적용유무	내진설계	비고
유	·내진등급 : 내진 I등급 (고속도로) ·지진구역계수 : 0.11 (경상북도) ·위험도계수 : 1.4 (재현주기 1000년) ·가속도계수 : 0.154 (0.11 ×1.4)	



(a) 구조계산서



(b) 구조계산서

52.2.6 시설물의 용도변경 여부 확인

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

52.2.7 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

【표 52.6】 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

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

52.3 현장조사

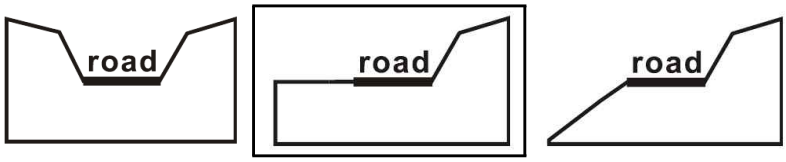
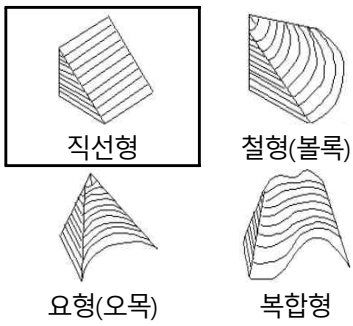
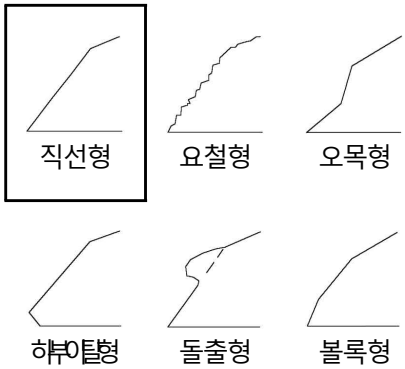
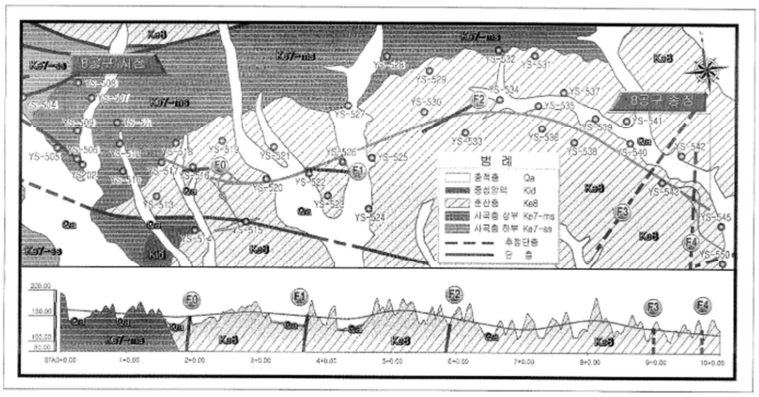
52.3.1 현장조사 체크리스트

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

【표 52.7】 일반현황

조사일자	2025. 10. 01	**조 사 자**	정 지 운
일 기	맑음	**준공년도**	2017년 06월 27일
행정구역	경상북도 영천시 화산면 화산리		
위 치	시점 : 36° 02′37.0″ 128° 51′53.0″		
	종점 : 36° 02′35.0″ 128° 51′59.0″		
도 로	관리이정 : 72.790~72.930km		
	왕복 4차선	도로폭 : 20.0m	
	교통량 : 대/일		
절토사면	길 이 : 140.0m	높 이 : 45.0m	
	경 사/경사방향 : 45/028		
	도로와의 이격거리 : 0.5~1.0m		
	구성물질 : 암반	토층심도 : 약 1.0~2.0m	
	소 단 : 4		
낙석/뜬돌	낙석 존재유무 : 없음	낙석의 양 : -	
	낙석 평균크기 : - 낙석 최대크기 : -		
	뜬돌 존재유무 : 없음	뜬돌의 양 : -	
	뜬돌 평균크기 : -		
절토사면 시공현황	**종 류**	**위 치**	**상 태**
	산마루 측구	72.790~72.870k	균열
	소단배수로	72.840~72.920k	균열
	낙석방지울타리	72.830~72.910k	양호
	야생동물유도울타리	72.790~72.830k, 72.910~72.930k	양호
	숏크리트	72.790~72.830k	양호
	점검계단	72.920k	양호
붕괴이력	**유 형**	**규 모**	**위 치**
기 타	·		

【표 52.8】 지형·지질 및 식생

주변지형의 특성	주변 지형	산악지형			
	종단면 형상				
	기타 특징	-			
절토사면의 특성	종횡단면		종단면특성		
상부 자연사면	경 사 도	10~20°			
	인장균열	무			
	포행흔적	무			
	수목의 기울어짐	무			
	인공구조물	무			
	산마루측구	유			
	계곡부	무			
지 질					
	지질각론	과업구간은 백악기 경상분자의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의동남부에 위치한다, 경상분지는 처음에는 일본의 북구주지방과 중국, 대마도에 분포하는 퇴적분지를 총괄하여 대마도분지로 불려왔다, 그 후 1961년 원정관은 수차례 조사결과 경상누층군이 구조상으로 분지형을 이루고 있으므로 경상분지라고 명명하였다. 경상분지의 분포는 남북방향인 장축이 200km, 동서단축이 120km, 총 면적이 24,000km2에 달한다, 경상부지는 조산운동에 의해 형성된 3개의 소분지로 구성되어 있고, 이들은 다시 여러개의 단층계에 의해 파괴되어 있다.				
식 생	① 종 류	초 본	관 목	침 엽 수	활 엽 수
	② 밀 도	하	-	-	-
	③ 근계특징	천근성 (O), 심근성 ( )			

【표 52.9】 기초조사 자료

일반현황	거리표	영천절토52		
	위경도	시점 : 36° 02′37.0″ 128° 51′53.0″ 종점 : 36° 02′35.0″ 128° 51′59.0″		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2025년 10월 01일		
	조사자	정 지 운	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	140m	최대높이	45.0m
	경사	45°	상부경사	10~20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	주변지형	■산악 □준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	누수위치	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	□F ■S ■M □H □C □R	불연속면 방향성	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	■직선형 □철형 □요형 □파형	측면형상	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	없음	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	1.0~3.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(양호) □옹벽 □격자블럭 ■점검로(양호) ■낙석방지망(양호) ■낙석방지울타리(양호) ■배수로(보통) □기타		
조사자 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			

52.3.2 사면분류 및 구간분할

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

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 상주영천고속도로 72.798~72.938㎞에 위치하고 있으며, 길이는 140m, 높이 45.0m의 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 52.10】 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{45.0}=0.04$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 80.3~81.4㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\mathrm{Ib}=\frac{\sum_{i=1}^{3}\mathrm{Si}}{3}=0.2,\ \frac{\mathrm{Ib}}{\mathrm{H}}=\frac{0.2}{45.0}=0.004$ 로 0.01이하	파쇄암반	

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

구분	S_1	S_2	S_3	Ib	H	블록크기비(BR)
1구간	0.21	0.20	0.20	0.20	45.0	0.004

다. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 140m로써, 사면의 구간분할 기준인

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

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

【표 52.11】 비탈면 구간 분할

구 분	관리이정(k)	연 장(m)	높 이(m)	경사/경사방향	토층심도	구성물질
1구간	72.790~72.930	140.0	45.0	45/028	1.0~2.0m	암

52.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

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

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 -10~20°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

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

【표 52.12】 집수 지형 조사 결과

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

나. 불안정 지질

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

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

【표 52.13】 불안정 지질 조사 결과

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

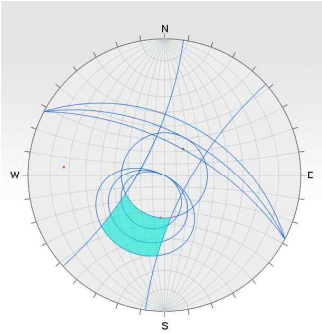
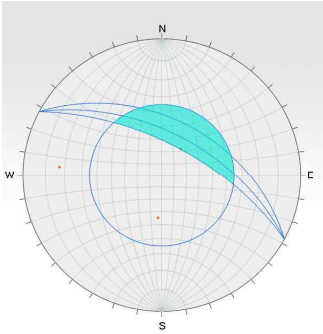
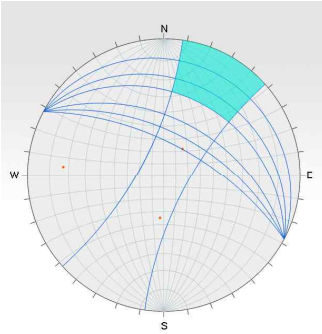
다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

【표 52.14】 불연속면 특성 조사 결과

구 분		J1	J2	J3	절리상태 점수		
					J1	J2	J3
종류		절리	절리	절리	-	-	-
방향성		27/215	35/005	73/095	-	-	-
간격(m)		0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6	-	-	-
상세 절리 상태	연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0	2	2	2
	틈새(㎜)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	2	2	2
	거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음	4	4	4
	충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	4	4	4
	풍화도	HW	HW	HW	6	6	6
누수상태		완전건조	완전건조	완전건조	3.6	3.6	3.6
암괴크기		-	-	-			
블록형상		불규칙상	불규칙상	불규칙상			

평사투영해석

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		
안정	안정	안정

- 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음
- 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음
- 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음

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 52.15】 지반 변형 조사 결과

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

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단 배수로 및 산마루 측구가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 일부구간 균열이 발생되었으나, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

【표 52.16】 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	20 / 60.0	건조수축, 온도변화	
		토사퇴적	㎡	2 / 10.0	공용중 열화	
	산마루 측구	균열	m	3 / 4.5	건조수축, 온도변화	

현 황	72.870k 소단배수로 균열(0.3/3.0*20ea)	현 황	72.840k 소단배수로 토사퇴적(10.0*1.0)
원 인	다짐미흡, 배수로 자중, 지표수 유입	원 인	지표수에 의한 침식
대 책	주입보수	대 책	정비

현 황	72.795k 산마루측구 균열(0.3/1.5)	현 황	72.835k 산마루측구 균열(0.3/1.5)
원 인	다짐미흡, 배수로 자중, 지표수 유입	원 인	다짐미흡, 배수로 자중, 지표수 유입
대 책	주입보수	대 책	주입보수

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 52.17】 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 52.18】 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 52.19】 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 52.20】 인장균열 조사 결과

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

차. 공중이 이용하는 부위

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

【표 52.21】 공중이 이용하는 부위 조사 결과

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

52.3.4 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 52.22】 암반강도시험 결과

시험위치	상위50% 평균값 (대표값)	일축압축강도 추정(MPa)	암 판정 결과	비고
72.873k	48.7	80.7	보통암	
72.885k	49.0	81.4	보통암	
72.900k	48.6	80.3	보통암	

절리면 경사/경사방향 측정

암반 강도시험

다. 표면보호공

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

【표 52.23】 표면보호공 조사 결과

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

낙석방지망 전경

숏크리트 전경

라. 사면보강공

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

【표 52.24】 사면보강공 조사 결과

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

52.4 안전성능평가

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

52.4.1 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 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

【표 52.25】 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{2.0}{45.0}=0.04$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 80.3~81.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\mathrm{Ib}=\frac{\sum_{i=1}^{3}\mathrm{Si}}{3}=0.2,\ \frac{\mathrm{Ib}}{\mathrm{H}}=\frac{0.2}{45.0}=0.004$ 로 0.01이하	파쇄암반	

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

구분	S_1	S_2	S_3	Ib	H	블록크기비(BR)
1구간	0.21	0.20	0.20	0.20	45.0	0.004

본 사면은 연장 140m의 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 52.26】 비탈면 구간 분할

구분	측점	연장	사면상태	비고
1구간	72.798~72.938㎞	140m	암반사면	

【표 52.27】 사면 형식별 상태안전성능지표

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

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

【표 52.28】 집수지형 평가 결과(1구간)

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

【표 52.29】 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 52.30】 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 52.31】 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

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

【표 52.32】 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 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 52.33】 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 52.34】 배수시설 평가 결과(1구간)

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

【표 52.35】 붕괴이력 평가 결과(1구간)

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

【표 52.36】 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 52.37】 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H$ = 0 여기서, E_i = 낙석에너지(kJ), Θ= 사면의 경사, u = 낙석의 등가마찰계수(0.15) β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/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 52.38】 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

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

다. 1구간 인장균열 평가 결과

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

【표 52.39】 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

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

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

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

【표 52.40】 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 52.41】 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

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

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 B등급으로 평가되었다.

【표 52.42】 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		영천절토52		
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		8.5	8.5	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			16.5	
결함지수		0.165		
상태안전성능평가 결과		**B**		

마. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

【표 52.43】 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
140m	1구간	72.798~72.938k	b(0.165)	B	인장균열 없음
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

52.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

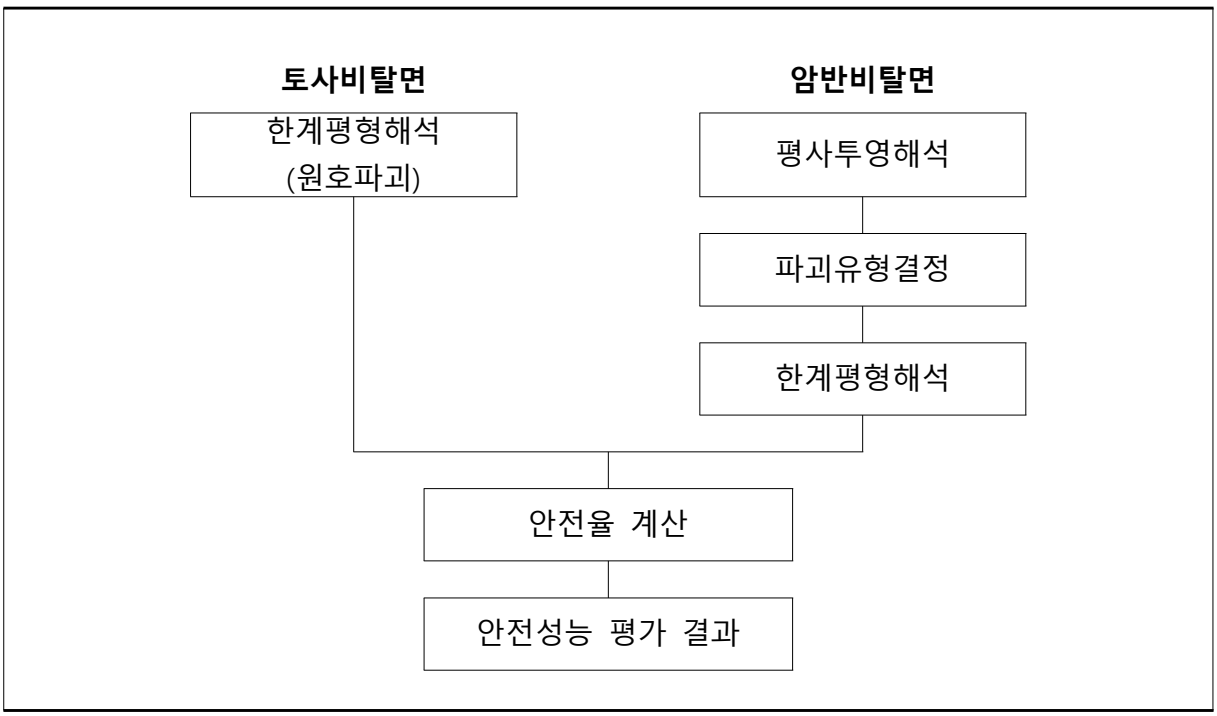
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 52.5】 구조안전성능 평가과정

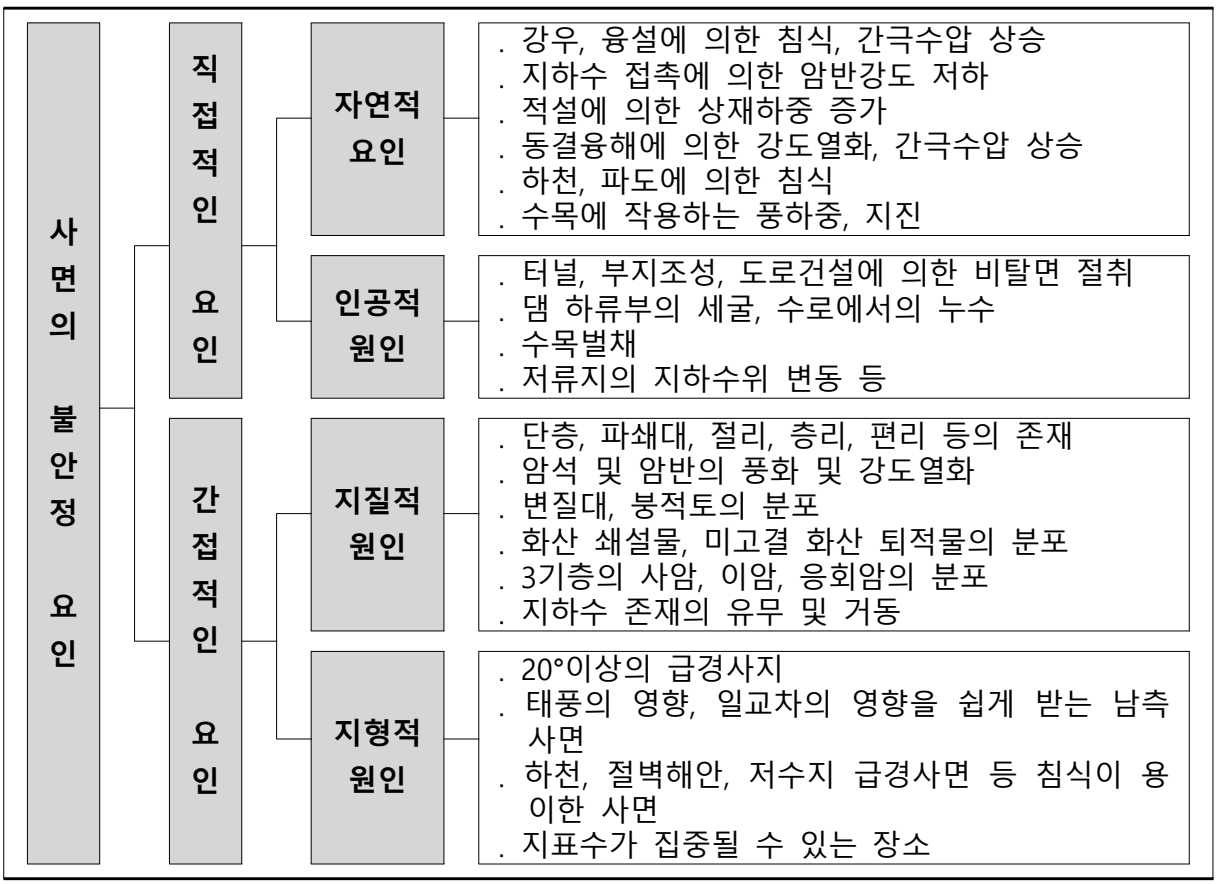
【표 52.44】 유형별 안정해석 범위

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

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

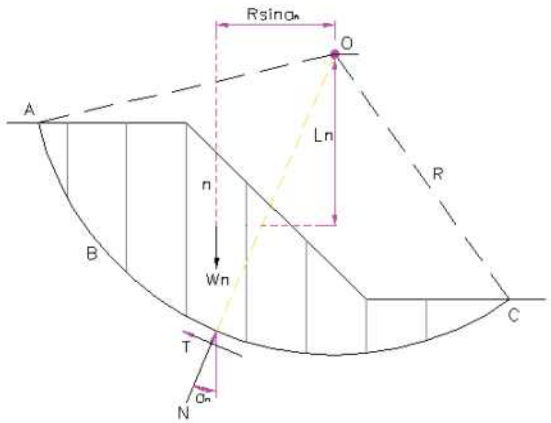


【그림 52.6】 구조안전성능 평가과정

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

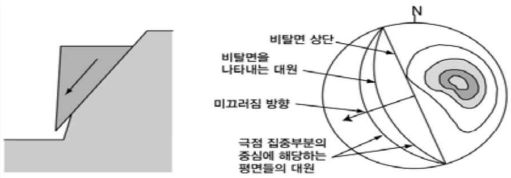
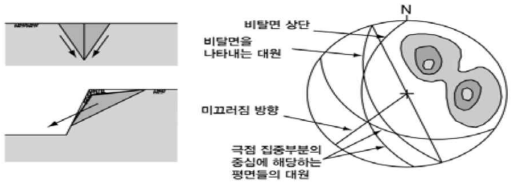
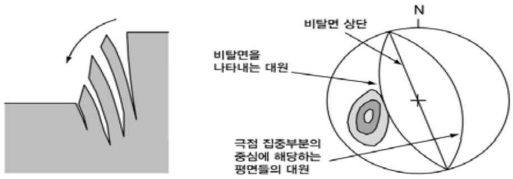
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn + 1

【그림 52.7】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 52.45】 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 52.46】 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

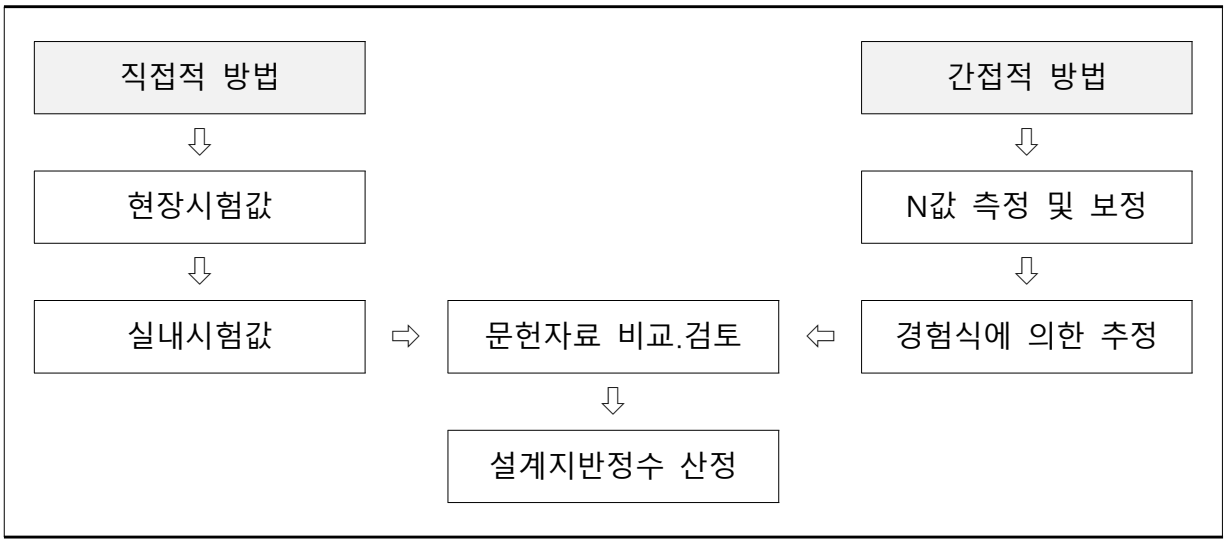
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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 52.47】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 52.48】 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 52.49】 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 52.50】 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

◦ 기존 설계자료

【표 52.51】 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(kPa)	비고
상주~영천간 고속도로 건설공사 (8공구)	풍화(잔적)토	18	29	16	직접전단시험
	풍화암	20	30	30	
	경 암	26	35	1,500	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

【표 52.52】 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 52.53】 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

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

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

【표 52.54】 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태 NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)		굴 착 단 이 도	암반의전단강도지수	
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)		φ (°)	C (kN/m²)
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 52.55】 Bieniawski(1989)

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

【표 52.56】 Trueman (1988)

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

【표 52.57】 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각(∅)	0.25(RMR*) + 27.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	프와송비	비 고
풍화토	18	29	16	0.3	
풍화암	20	30	30	0.3	
경 암	26	35	1,500	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

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

① 개별고려

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

② 동시고려

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

【표 52.58】 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

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

7) 수리정수 산정

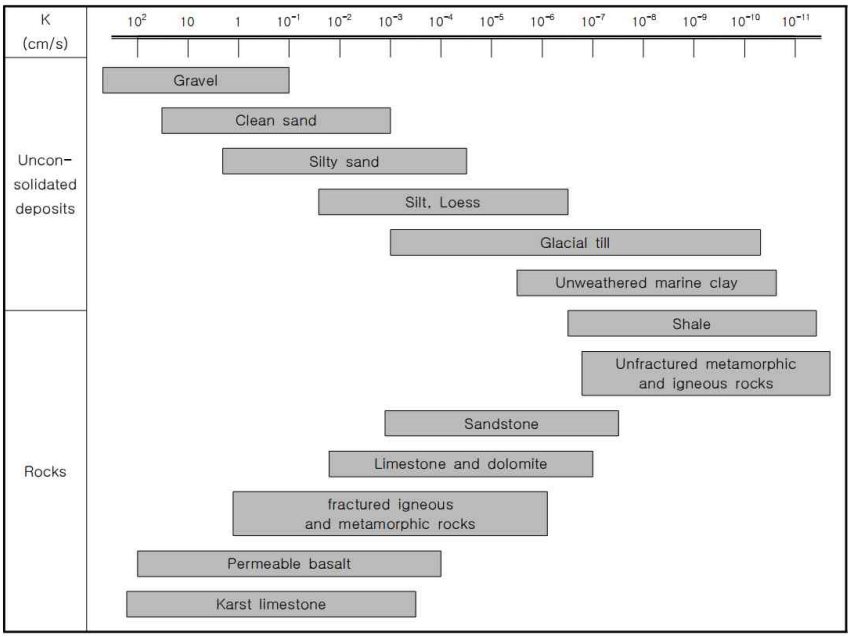
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

【표 52.59】 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 52.60】 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 52.8】 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 52.61】 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	. 일반구간 . 도심지, 도시계획구간 . 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 . 흙쌓기부 도수로, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 도수로, 소단 측구 . 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

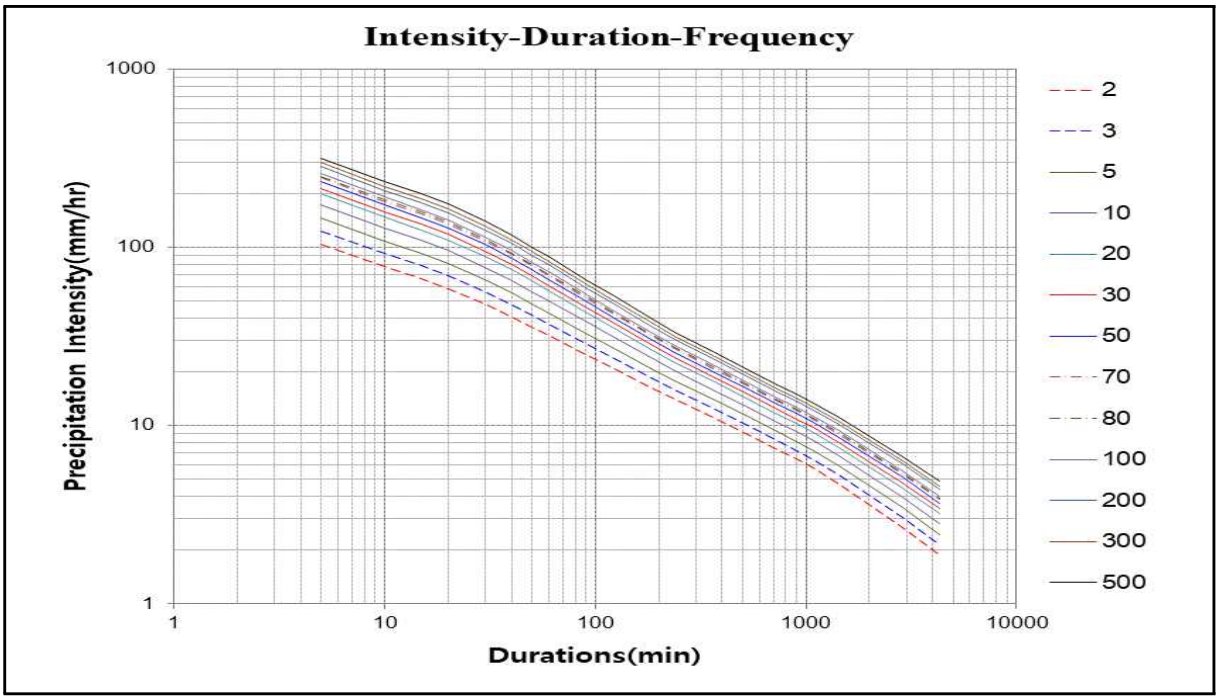
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 적용 강우빈도

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

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 영천지역



【그림 52.9】 영천지역 IDF곡선

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

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

확률강우강도(㎜/hr)

【그림 52.10】 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

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

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

【그림 52.11】 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

【표 52.62】 설계지반운동 수준

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

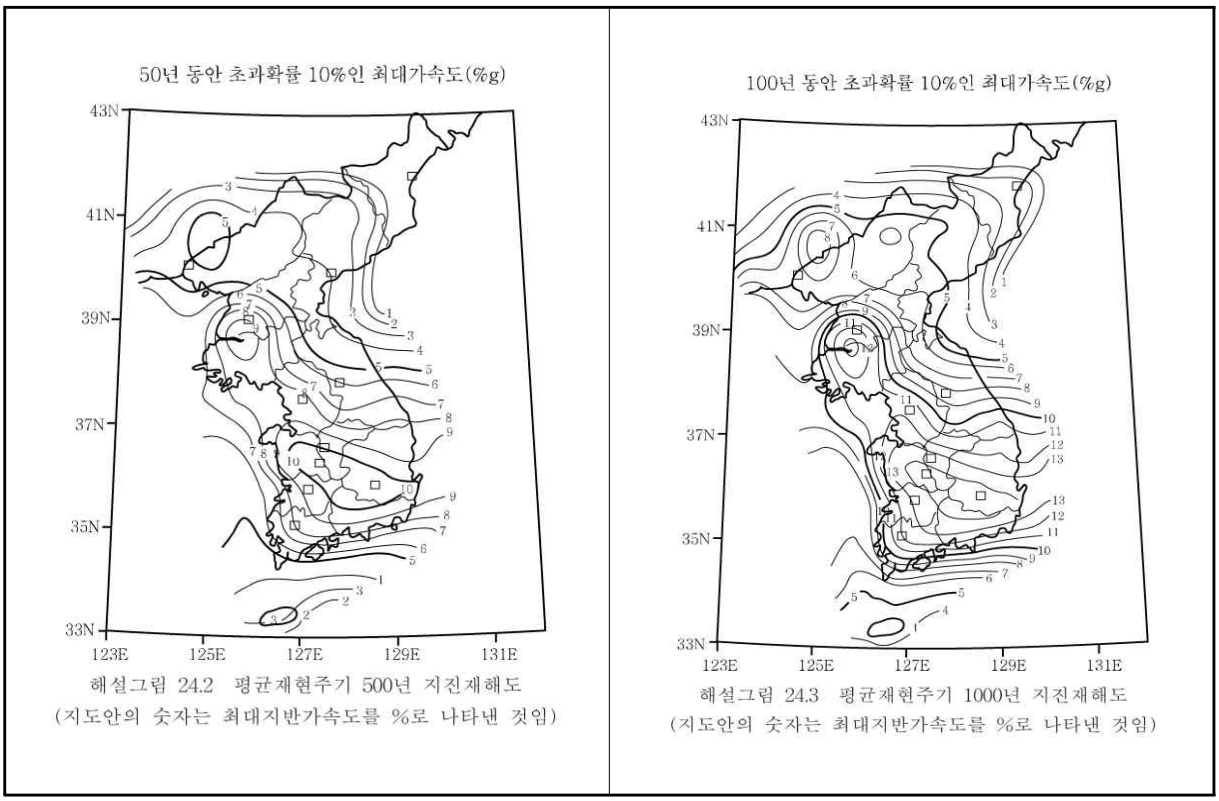
2) 설계지반운동

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 52.12】 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

【표 52.63】 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 52.64】 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

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

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

지역별 최대 유효지반 가속도, 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

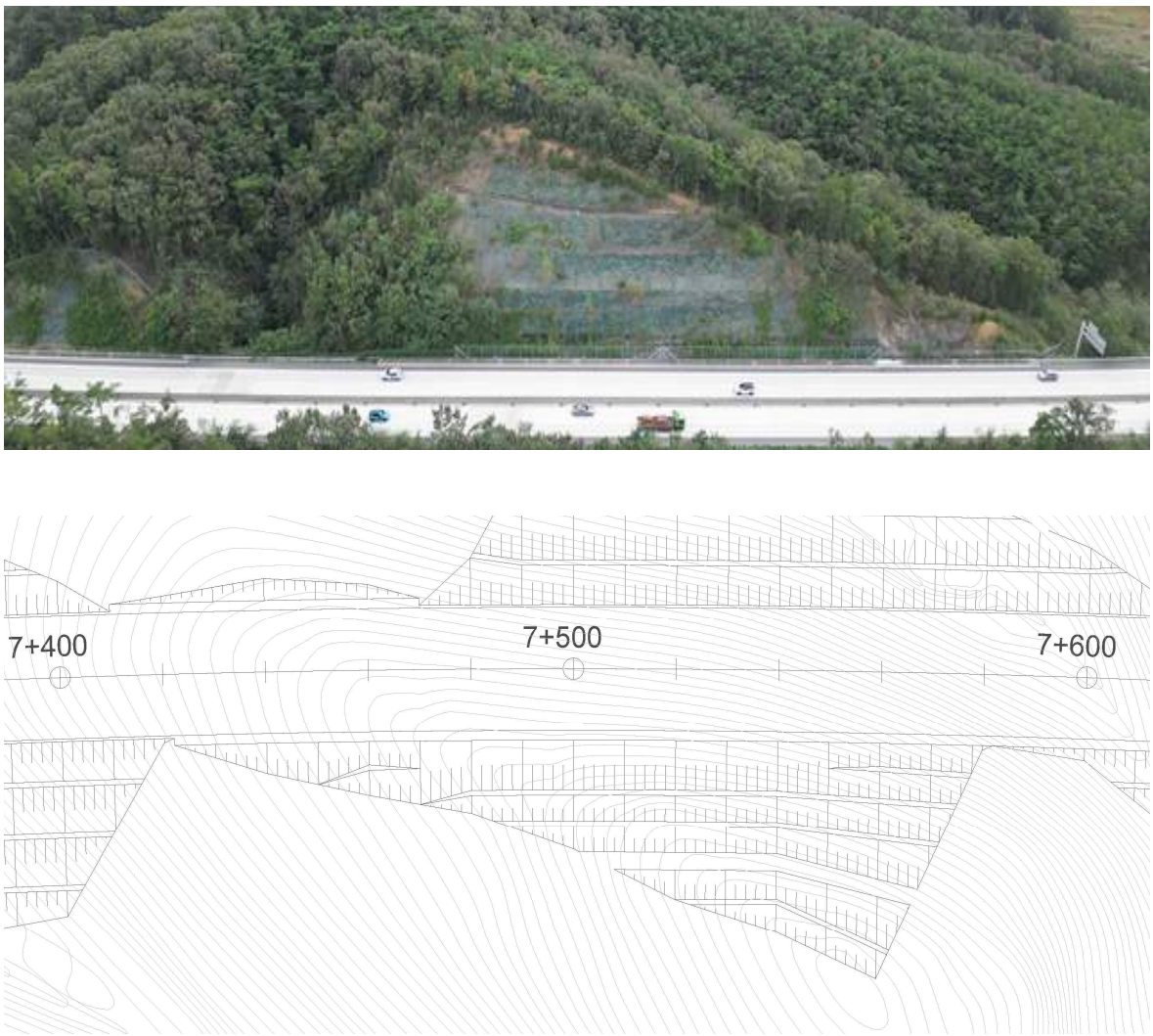
【표 52.65】 검토대상 비탈면구간 및 현황

구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공 년도	경사/경사 방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강 형식		
영천절토52	경상북도 영천시 화산면 화산리	72.798 ~ 72.938	STA.72+870	45.0	3.0	42.0	-	2017	45/028

【그림 52.13】 영천절토52 검토대상 비탈면구간

사. 영천절토52 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



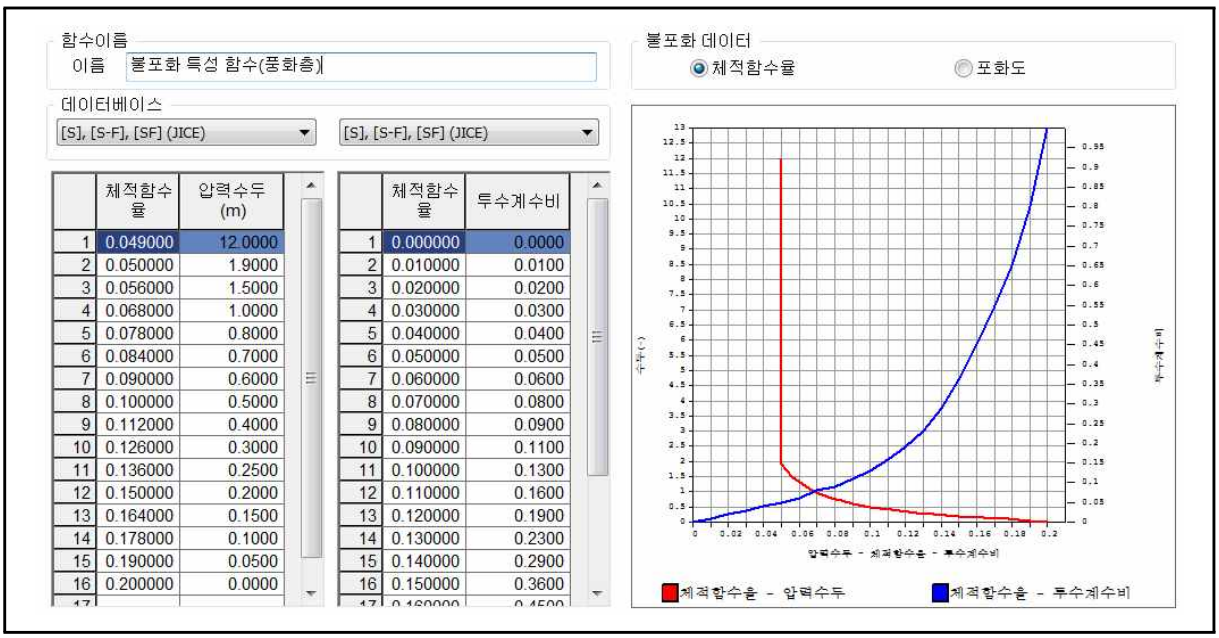
【그림 52.14】 영천절토52 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

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

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 kPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	29	16	1.0E-03	
풍화암	20	30	30	1.0E-04	
경암	26	35	1,500	1.0E-05	

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



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

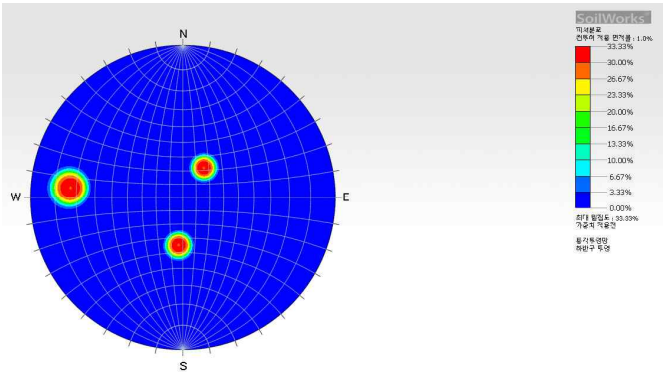
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

【그림 52.15】 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

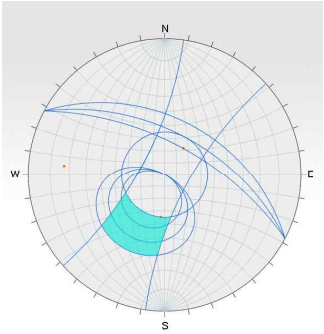
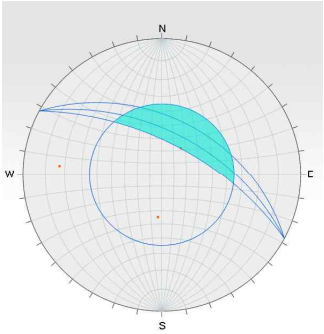
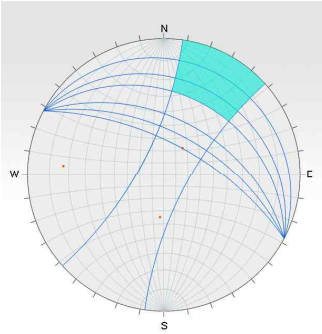
3) 1구간 (STA.72+798 ~ 72+938)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 27 35 73	dip direction 215 5 95

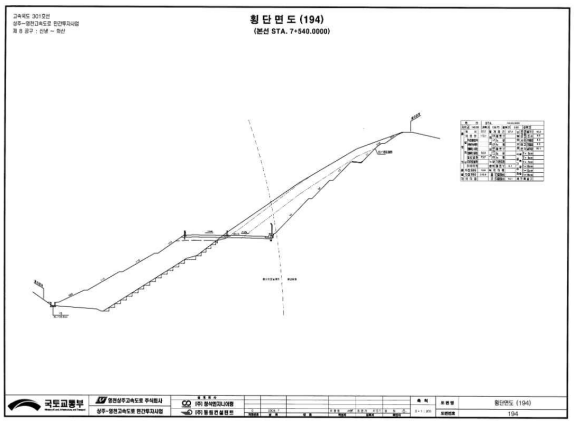
◦ 해석결과

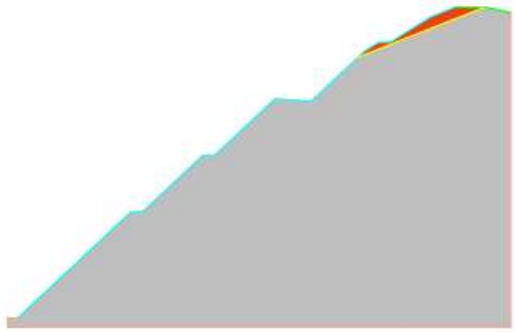
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

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

② 토사깍기비탈면 안정성검토

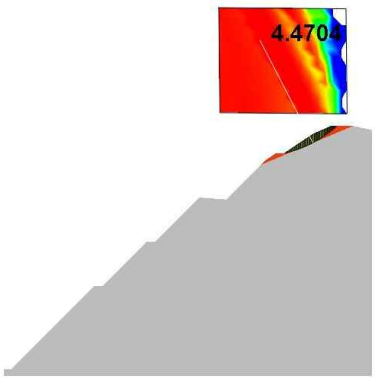
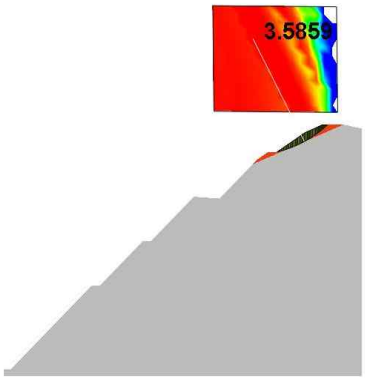
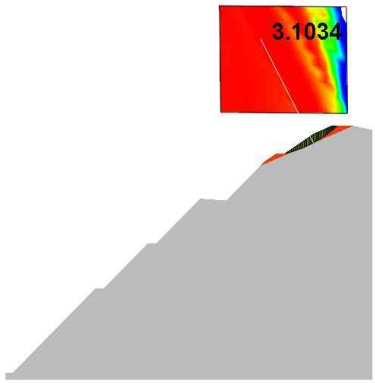
◦ 검토단면





대표단면 : STA.72+870, 영천

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 4.47	안전율 : 3.58	안전율 : 3.10

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 52.66】 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		영천절토52		
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	4.47	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	3.58	a	Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K
	지진시	3.10	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		A		

52.4.3 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 전반적으로 양호한 상태인 것으로 확인되었고 상태안전성능평가 결과 B등급으로 평가 되었다.

구조안전성능평가 결과, 안전해석결과가 허용안전율보다 크므로 A등급으로 평가되었다.

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

【표 52.67】 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**영천절토52**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.165	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.165	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. **ㅇ안전성능평가 결과 : B등급**		

【표 52.68】 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

52.5 내구성능 평가

52.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

【표 52.69】 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		파쇄암반사면	SR = 3/45 = 0.07
공용기간		3년	2017년 준공
암반구간 설계(초기)강도		보통 : 100.0MPa	추정
면적	전체	5,913㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	5,913㎡	
표면보호공	식생공	2,111㎡	
	낙석방지망	3,054㎡	
	숏크리트	576㎡	
사면보강공	-	-	

52.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

【표 52.70】 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

52.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

【표 52.71】 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 52.72】 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 (MPa)	추정강도 (MPa)(전차)	대비강도(%)	비 고
72.873k	80.7	86.2	93.6	
72.885k	81.4	87.3	93.2	최소값
72.900k	80.3	85.3	94.1	최대값
평균값	-	-	93.6	최소/최대 제외
등급	**B 보통암(88.0~94.0%)**			

【표 52.73】 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 52.74】 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	2,111/2,111㎡	100.0%	0/576㎡	0.0%	
평가	식생 피복율이 100.0%, 숏크리트 손상율이 0.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

【표 52.75】 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 52.76】 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3m 미만	1~3m 미만	1~3m 미만
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	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 52.77】 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

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

52.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

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

【표 52.78】 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 52.79】 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	b	0.23	0.33	0.076
절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.315
등 급				**C**

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준인 C등급으로 평가되었다.

【표 52.80】 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

52.6 종합평가

52.6.1 종합평가 개요

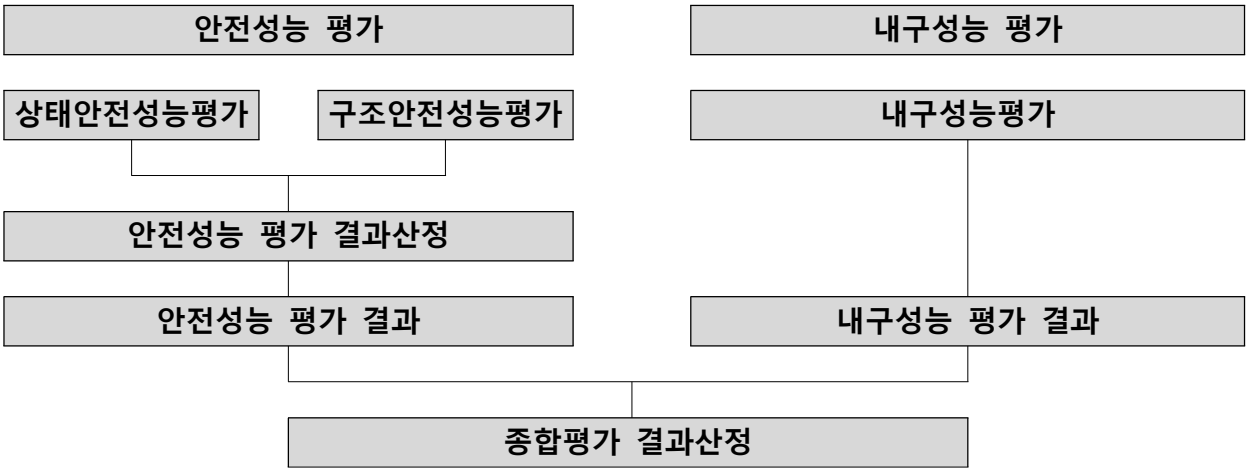
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 52.16】 종합평가 흐름도

52.6.2 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 52.81】 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 52.82】 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	영천절토52		**분류**	상주영천고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.165	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.315	C	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.165 × 0.8) + (0.315 × 0.2) = 0.195 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 52.83】 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

52.7 유지관리 전략 제안

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

52.7.1 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.

【표 52.84】 성능목표 설정시 고려되어야 할 사항

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

【표 52.85】 등급점수 범위 및 대표점수

구분		A	B		C	D	E
			상B	하B			
절토 사면	점수	0.08	0.23		0.43	0.65	0.88
			0.18	0.27			
	범위	0≤X < 0.15	0.15≤X <0.23	0.23≤X <0.30	0.30≤X <0.55	0.55≤X <0.75	0.75 ≤X

【표 52.86】 평가지표별 가중치 및 성능목표 등급 산정

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

【표 52.87】 동해환경

구분		기준		평가결과(일)	평가등급
동해 환경	지속적인 수분접촉	50 ≤ X	A	67.1	A
		3 ≤ X < 50	B		
		X < 3	C		

※ X : 동결융해 반복일수(지난 10년간 동절기(11월1일~3월31일)동안 최저기온이 -2.2℃보다 작고 일 최고기온이 0℃보다 높으며 강수량이 0mm이상인 경우를 1회로 지정한 싸이클 수
※ 세부자료는 부록에 수록함.

【표 52.88】 지진구역계수 및 공용연수

구분	내용	평가등급
지진구역계수	경상북도	A
공용연수	8년	E

【표 52.89】 성능목표 등급 산정표

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

52.7.2 성능평가 결과 검토·분석

【표 52.90】 종합평가 결과 요약

안전성능평가 결과	내구성능평가 결과
▪ 상태안전성능 평가결과 → B등급(0.165) ▪ 구조안전성능 평가결과 → A등급(0.08)	▪ 내구성능 평가결과 → C등급(0.315)

종합평가	B등급(0.195)
성능목표	상B등급(0.15≤X < 0.23)
분석결과	▪ 성능평가 실시 결과, 안전성능 평가 B등급, 내구성능 평가 C등급으로 분석되어 최종 종합평가 등급은 B등급으로 판정되었다. ▪ 이는 시설물의 성능평가 목표치와 동일한 상태로 분석되었다. ▪ 발생된 손상 중 긴급보수를 요하는 손상은 발생하지 않았으며, 발생된 손상은 보수를 시행토록하고, 그 외 손상은 주기적인 점검을 통한 관리로 보수를 시행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

52.7.3 성능목표에 따른 유지관리 전략 제안

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

가. 보수 개략공사비

【표 52.91】 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구분	손상내용	보수방안	손상물량	보수물량	단위	단가(천원)	개략공사비(천원)	우선순위
상부자연사면	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
사면부	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
사면하부	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
부대시설	상태양호	-	-	-	-	-	-	-
배수시설	소단배수로 균열	주입보수	60.00	90.00	m	65	5,850	1
	소단배수로 토사퇴적	정비	10.00	15.00	㎡	25	375	3
	산마루측구 균열	주입보수	4.50	6.75	m	65	439	1
개략공사비(천원)	구 분	1순위		2순위			3순위	
	순공사비	6,289		0			375	
	재경비(순공사비의 50%)	1,753		0			188	
	합계	8,042		0			563	
개략공사비 총계(천원)		**8,605**						

주1) 보수물량은 손상물량에 50%를 할증하였음.
주2) 0.3mm미만 균열보수는 손상물량(m)×0.25(m)를 하여 면적(㎡)으로 산출하였음.

나. 보수·보강 우선순위 지수 산출

【표 52.92】 보수·보강 우선순위 지수 산출

구분	손상물량(㎡)	보수물량(㎡)	단가(천원)	비용 Cost (천원)	손상정보				가중치				우선순위지수 (PI) EI/Cost	순위
					손상내용	부재위치	성능	등급	손상	부재	성능	등급		
조치1	-	-	-	-	잡수지형	사면부	안전성능	a	0.06	1.00	0.80	0.05	0.00240	14
조치2	-	-	-	-	불안정지질	사면부	안전성능	c	0.15	1.00	0.80	0.20	0.02400	3
조치3	-	-	-	-	불연속면의 특성	사면부	안전성능	c	0.24	1.00	0.80	0.20	0.03840	2
조치4	-	-	-	-	지반변형	사면부	안전성능	a	0.09	1.00	0.80	0.05	0.00360	11
조치5	-	-	-	-	지하수	사면부	안전성능	a	0.08	1.00	0.80	0.05	0.00320	12
조치6	60	90	65	5,850	배수조건	배수시설	안전성능	b	0.11	1.00	0.80	0.11	0.00968	6
조치7	10	15	25	375	배수조건	배수시설	안전성능	b	0.11	1.00	0.80	0.11	0.00968	6
조치8	4.5	6.75	65	439	배수조건	배수시설	안전성능	b	0.11	1.00	0.80	0.11	0.00968	6
조치9	-	-	-	-	붕괴이력	사면부	안전성능	a	0.10	1.00	0.80	0.05	0.00400	10
조치10	-	-	-	-	낙석	사면부	안전성능	a	0.17	1.00	0.80	0.05	0.00680	9
조치11	-	-	-	-	구조안전성능	사면부	안전성능	a	1.00	1.00	0.80	0.05	0.04000	1
조치12	-	-	-	-	지반상태(암반)	사면부	내구성능	b	1.00	1.00	0.20	0.11	0.02200	4
조치13	-	-	-	-	절리상태	사면부	내구성능	c	1.00	0.40	0.20	0.20	0.01600	5
조치14	-	-	-	-	표면보호공	사면부	내구성능	a	1.00	0.10	0.20	0.05	0.00100	15
조치15	-	-	-	-	사면보강공	사면부	내구성능	a	1.00	0.25	0.20	0.05	0.00250	13

다. 우선순위지수에 따른 유지관리전략 제안

【표 52.93】 우선순위지수에 따른 유지관리전략 제안

구분	손상물량 (㎡)	보수물량 (㎡)	단가 (천원)	비용 Cost (천원)	손상정보				가중치				우선순위지수 (PI) EI/Cost	순위
					손상내용	부재위치	성능	등급	손상	부재	성능	등급		
조치11	-	-	-	-	구조안전성능	사면부	안전성능	a	1.00	1.00	0.80	0.05	0.04000	1
조치3	-	-	-	-	불연속면의 특성	사면부	안전성능	c	0.24	1.00	0.80	0.20	0.03840	2
조치2	-	-	-	-	불안정지질	사면부	안전성능	c	0.15	1.00	0.80	0.20	0.02400	3
조치12	-	-	-	-	지반상태 (암반)	사면부	내구성능	b	1	1	0.2	0.11	0.022	4
조치13	-	-	-	-	절리상태	사면부	내구성능	c	1.00	0.40	0.20	0.20	0.01600	5
조치6	60.00	90.00	65	5,850	배수조건	배수시설	안전성능	b	0.11	1.00	0.80	0.11	0.00968	6
조치7	10	15	25	375	배수조건	배수시설	안전성능	b	0.11	1.00	0.80	0.11	0.00968	6
조치8	4.50	6.75	65	439	배수조건	배수시설	안전성능	b	0.11	1.00	0.80	0.11	0.00968	6
조치10	-	-	-	-	낙석	사면부	안전성능	a	0.17	1.00	0.80	0.05	0.00680	9
조치9	-	-	-	-	붕괴이력	사면부	안전성능	a	0.10	1.00	0.80	0.05	0.00400	10
조치4	-	-	-	-	지반변형	사면부	안전성능	a	0.09	1.00	0.80	0.05	0.00360	11
조치5	-	-	-	-	지하수	사면부	안전성능	a	0.08	1.00	0.80	0.05	0.00320	12
조치15	-	-	-	-	사면보강공	사면부	내구성능	a	1.00	0.25	0.20	0.05	0.00250	13
조치1	-	-	-	-	집수지형	사면부	안전성능	a	0.06	1	0.8	0.05	0.0024	14
조치14	-	-	-	-	표면보호공	사면부	내구성능	a	1.00	0.10	0.20	0.05	0.00100	15

52.8 종합결론

52.8.1 성능평가 실시결과 종합결론

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

1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 전반적으로 양호한 것으로 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 B등급으로 평가 되었다. 일부구간 소단배수로 및 산마루측구 균열이 발생된 것으로 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 구조안전성능평가 결과, 안전해석결과가 허용안전율보다 크므로 A등급으로 평가되었다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 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 광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준인 C등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급" 과 동일한 “B등급”인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

52.8.2 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

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

52.8.3 기타 필요한 사항

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