

3장 절토사면(STA.31+100~31+600(좌))

1. 대상 시설물 현황
2. 관련 자료의 분석
3. 현장조사
4. 안전성능평가
5. 내구성능평가
6. 종합평가
7. 유지관리전략 제안
8. 종합결론

3장 절토사면(STA.31+100~31+600(좌))

1. 대상 시설물 현황

절토사면(STA.31+100~31+600(좌))은 경기도 파주시 문산읍 내포리(고속국도 17호선 28.720~29.280km, 본선 좌측)에 위치하며, 총 연장 560.0m, 높이 35.5m로 2020년 11월 준공된 2중 절토사면이다.

<표 1-1>사면 일반사항

시설물번호	SL2020-0000041		관리번호	-	
시설물명	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))		시설물구분	절토사면	
위 치	행정구역	경기도 파주시 문산읍 내포리 산 24-33			
	위치좌표	시점 : 37° 50' 07.0" 126° 46' 10.0"			
		종점 : 37° 50' 24.0" 126° 46' 09.0"			
	관리이정	본선구간 28.720~29.280km(좌)			
제 원	연 장	560.0m	높 이	35.5m	
	경사/방향	69/089	노 선	고속국도 17호선	
관리주체	서울문산고속도로(주)		관리주체구분	민간	
주변환경	인공구조물	-			
	주변지형	준산악지형	상부사면경사	29 °	
시공현황	준공년도	2020.11	시 공 자	(주)대우건설	
	설 계 자	(주)신성엔지니어링	감 리 자	(주)신성엔지니어링	
	부대시설	식생공, 록볼트, 숏크리트, 낙석방지울타리, 옹벽-L형, 점검계단			
비 고	-				



〈그림 1-1〉위치도

2022년 하반기 성능평가



〈그림 1-2〉전경사진



1소단 배수로 전경



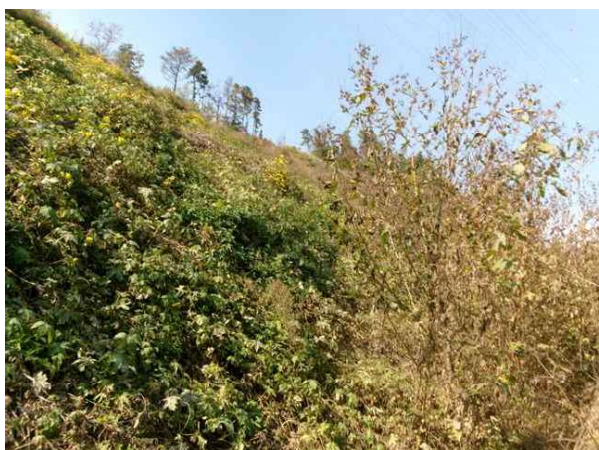
점검계단 전경



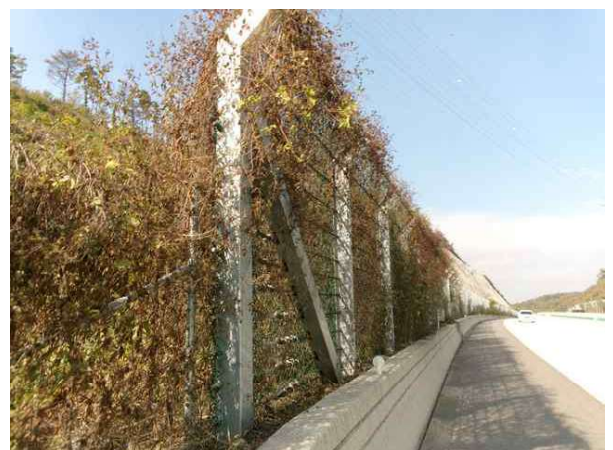
산마루측구 전경



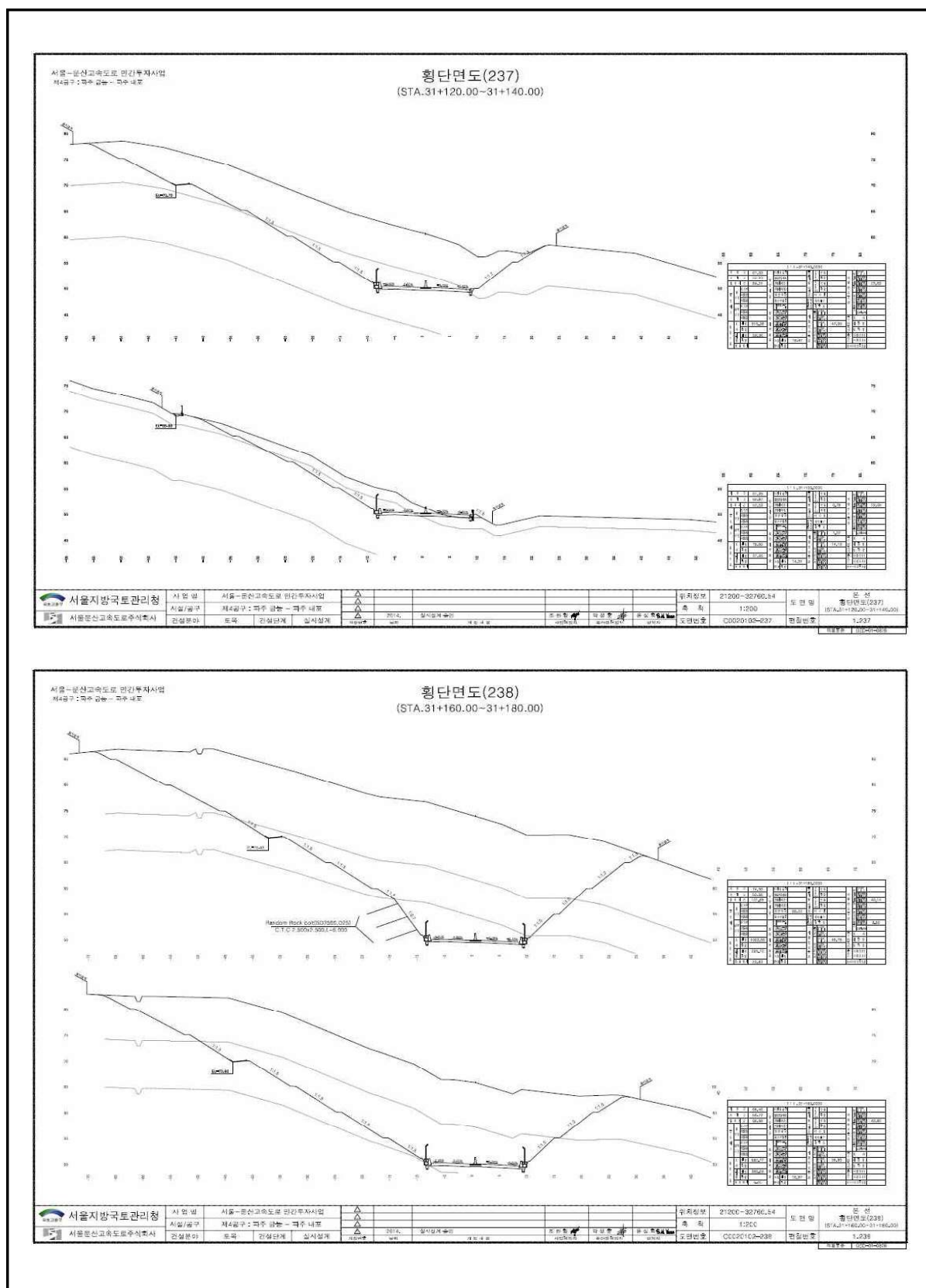
상부자연사면 전경



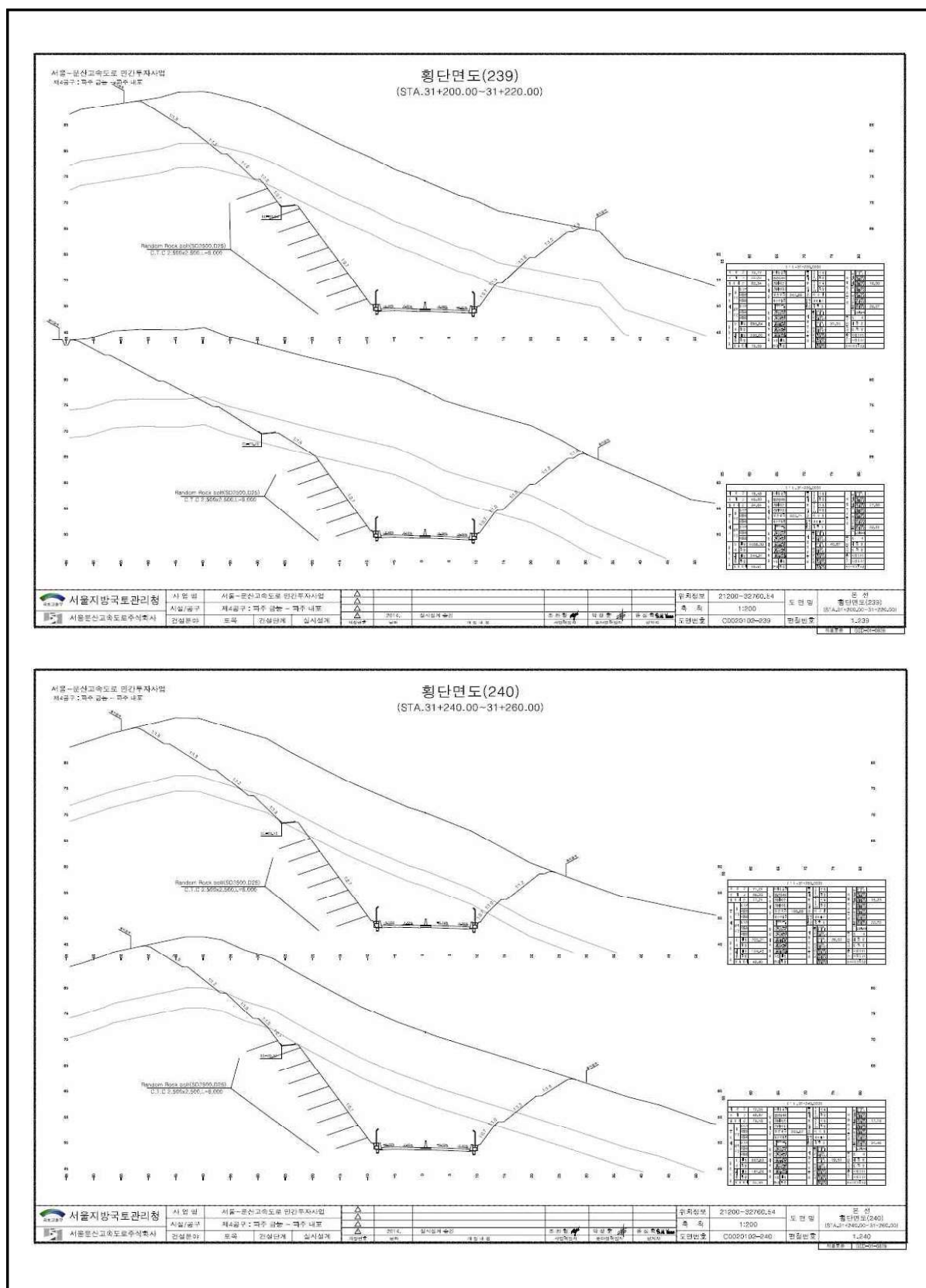
하부 전경



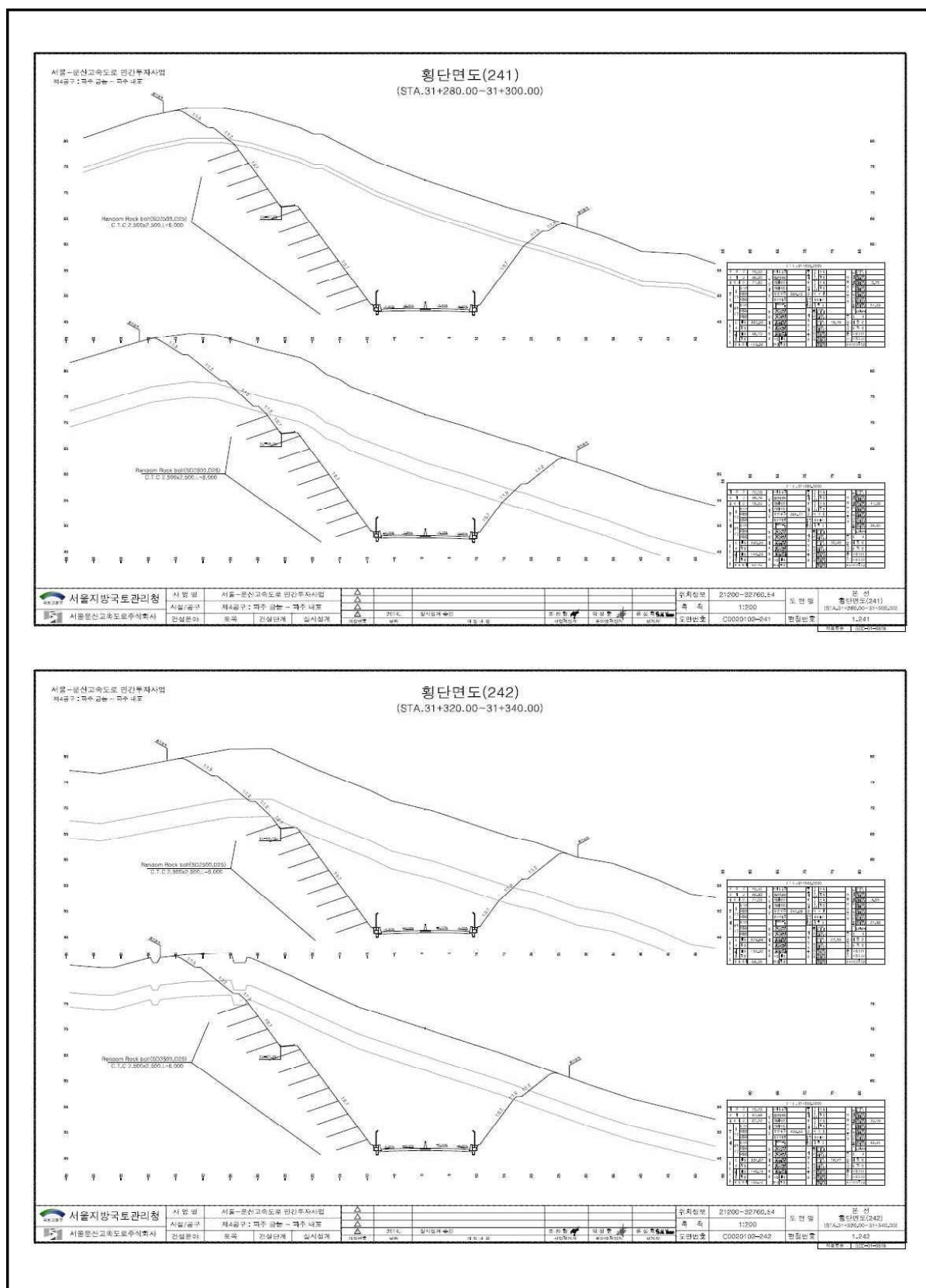
낙석방지울타리 전경



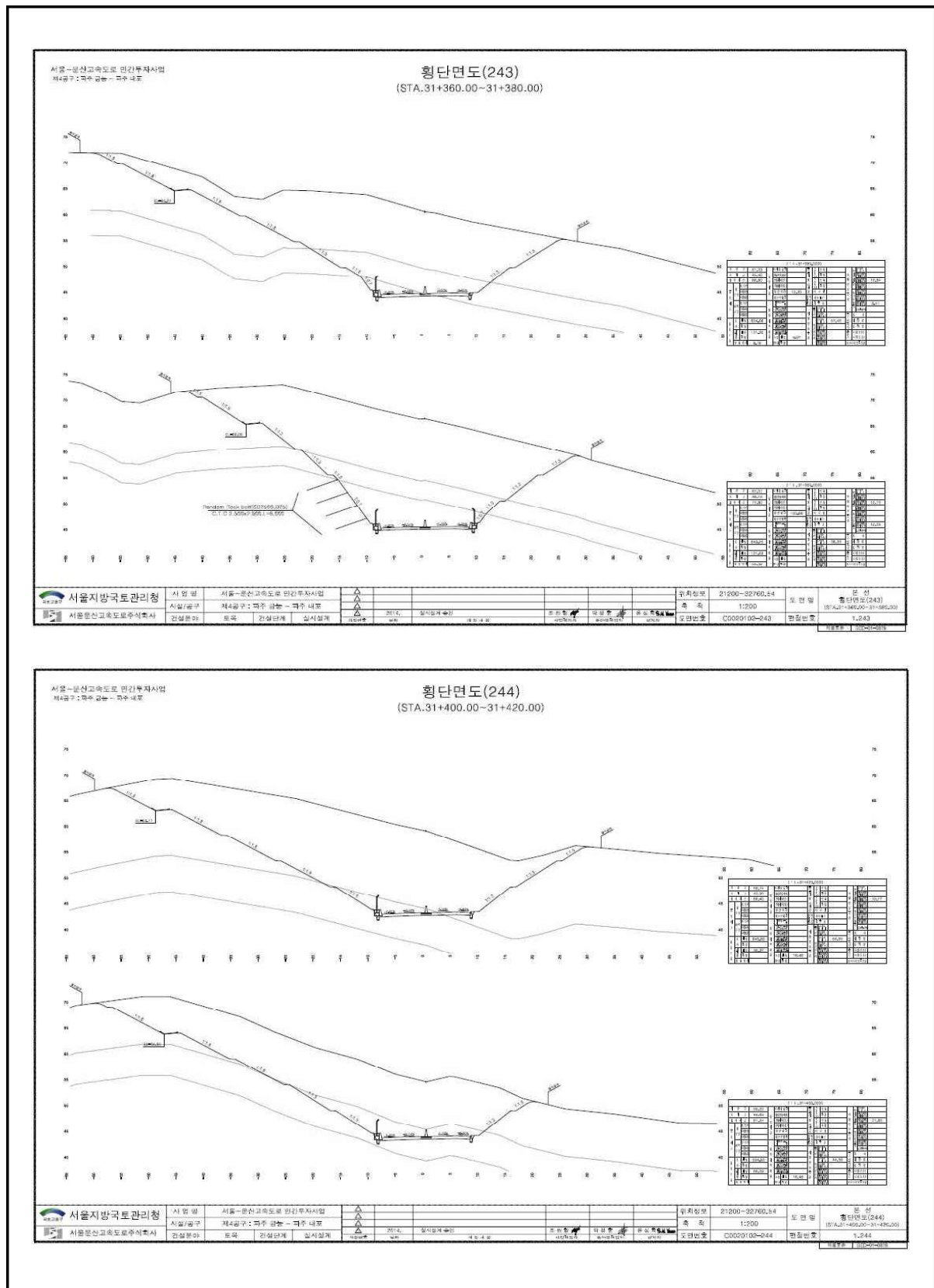
〈그림 1-4〉표준형단면도



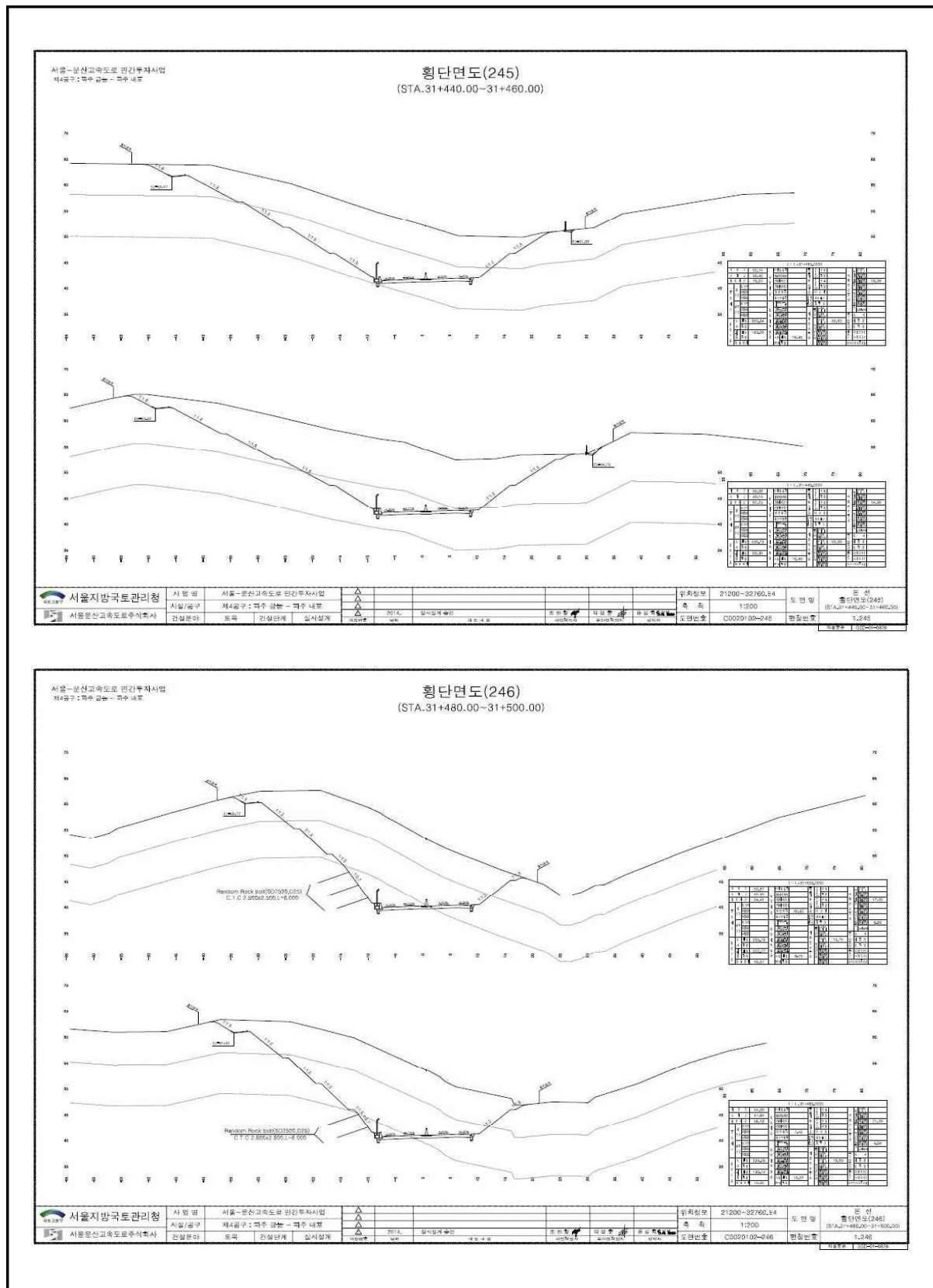
<그림 1-4>표준횡단면도(계속)



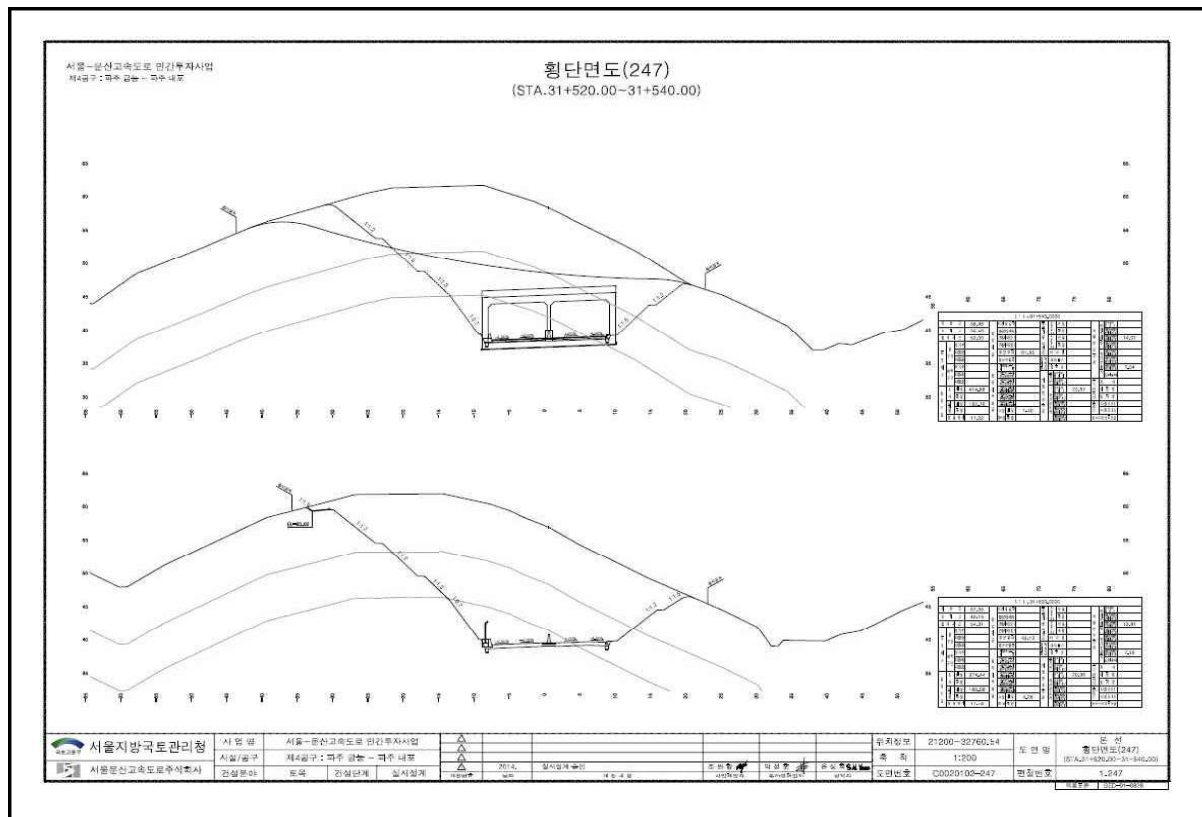
<그림 1-4>표준횡단면도(계속)



<그림 1-4>표준횡단면도(계속)



<그림 1-4>표준횡단면도(계속)



〈그림 1-4〉표준형단면도(계속)

2. 관련 자료의 분석

2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

〈표 2-1〉 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	○공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별지방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	보유	○서울~문산고속도로 민간투자사업(제4공구)
	○설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	○서울~문산고속도로 민간투자사업(제4공구)
시 설 물 관리대장	○기본현황 ○상세제원 ○유지관리 이력	보유	○시설물정보관리 종합시스템(FMS)
시공관련 자 료	○시공관련자료 ○품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ○사고자료	보유	○서울~문산고속도로 민간투자사업(제4공구)
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	○시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		보유	○시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2020년 11월에 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

2.2 사면 보고서 분석

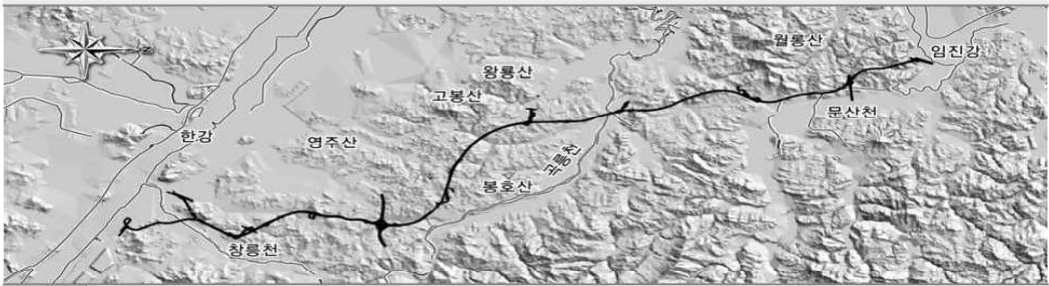
본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 “서울~문산고속도로 민간투자사업(제4공구)”의 사면 안전성 검토 및 설계보고서, 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 지표지질

■ 지층상태					
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층/전답층		0.0	0.3	실트질 모래, 실트질 점토	3/30
퇴적층	점토	3.5	2.5	점토질 실트	2/30~3/30
	모래	0.3	7.2~8.7	실트질 모래, 점토질 모래	2/30~50/16
풍화토		9.0	2.0	실트질 모래	50/16
풍화암		10.0~11.5	0.6~1.5	실트질 모래	50/10~50/2
연 암		11.5~11.7	3.2~3.3	편마암	70~81%/6~30%

구 분		지 층 개 요			
매립층/전답층		- 최상부층으로 지표하 0.3m 층후로 분포 - 실트질 모래, 실트질 점토로 구성			
퇴적층	점토	- BH-285-2에서 지표하 3.5m에서 2.5m 층후로 분포하며 점토질 실트로 구성 - 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우연약한 연경도			
	모래	- 지표하 0.3m에서 7.2~8.7m 층후로 분포 - 암회색~황갈색, 암갈색의 실트질 모래~점토질 모래로 구성 - 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우느슨~매우조밀한 상대밀도			
풍화토		- 기반암의 상부풍화대로 지표하 9.0m에서 2.0m 층후로 분포 - 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도			
풍화암		- 지표하 10.0~11.5m에서 0.6~1.5m 층후로 분포 - 굴진시 암편취인 실트질 모래로 분해			
연 암		- 지표하 11.5~11.7m에서 3.2~3.3m 이상이 층후로 분포하며 편마암으로 구성 - RQD=6~30%로 매우불량~불량한 암질상태			

2) 지형특성

산 계 및 수 계 분석	
	
산 계	- 과업노선이 통과하는 지역은 영주산-고봉산-왕룡산-월룡산을 잇는 북북서방향의 산능 발달 - 공룡천을 경계로 남측은 구룡지성 저산능이 발달하고, 북측은 월룡산등 비교적 고산능 발달
수 계	- 과업 시점부의 한강과 과업 종점부의 임진강이 있으며, 1차 지류로는 창룡천, 공룡천, 문산천이 분포 - 창룡천과 공룡천은 직선상의 유로를 형성하여 한강에 유입되고, 문산천은 직선~곡류형 유로를 형성하여 임진강에 유입 - 과업구간이 통과하는 구간은 대부분 저산능 지역으로 수지상 수계로, 공룡천과 문산천에 유입

3) 사면의 안전검토

① 깎기비탈면 기본현황

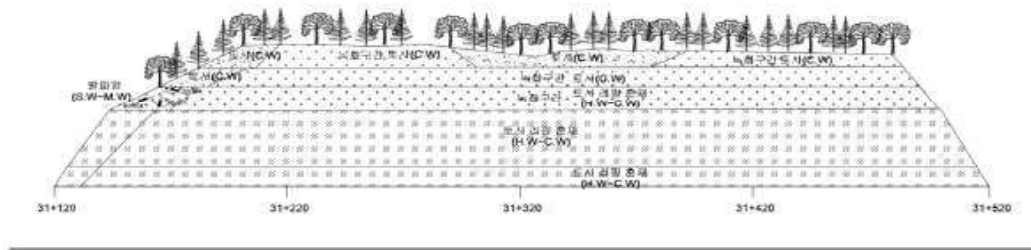
3.1 깎기비탈면 기본현황

- 본 비탈면은 「서울~문산 고속도로 민간투자사업(제4공구)」 내에 조성되고 있는 깎기비탈면이다.
- 과업구간의 깎기비탈면은 "서울~문산 고속도로 민간투자사업(제4공구)"의 「내포리구간 (좌안):내포육교 전 STA.31+120~31+520」 배면 좌측비탈면으로 총연장 380m, 최대높이 40.6m로 조성된 깎기비탈면이다.
- 비탈면의 경사도는 토사구간 1:1.2~1:1.8, 암반구간 1:0.7~1:1.5로 시공되었으며, 폭 1m의 소단 1개소가 형성되어있다.
- 토사층은 약 11.0m 내외의 범위로 분포하고, 비탈면 내 암질의 풍화정도는 보통풍화~약간풍화 정도를 보인다.
- 절리 특성 및 풍화정도를 조사하였으며, 기타 자세한 사항은 현황도에 도시화 하여 나타내었다.

<표 11.> 구간별 깎기비탈면 기본 현황

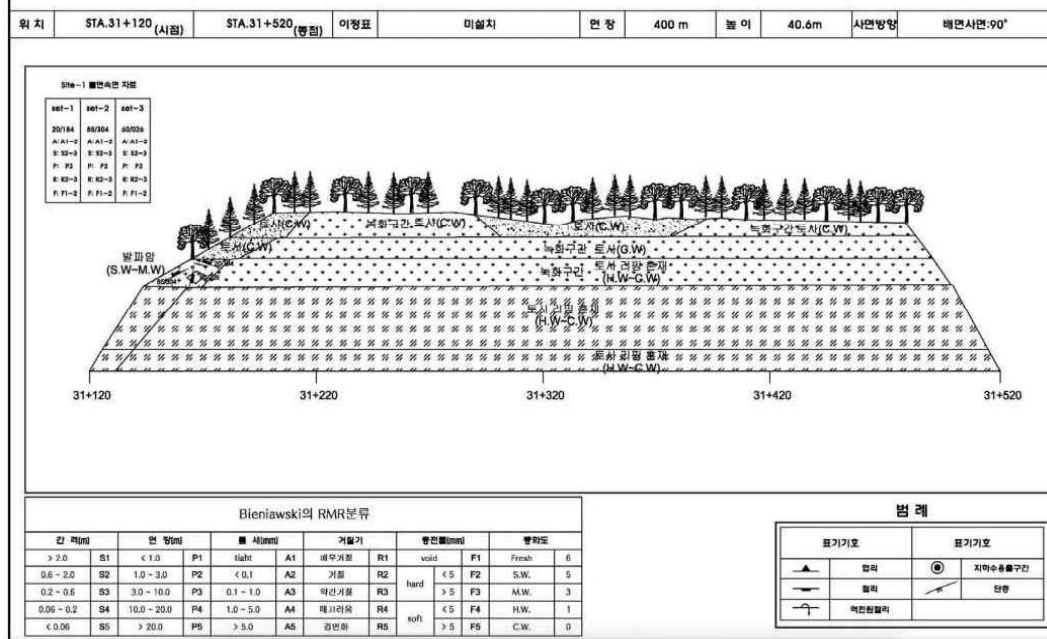
구 분	소 단	구 간	구 배	풍화도	암 종	비 고
내포리구간 (좌안)	-	STA.31+120~31+520	1:0.7~1:1.2	S.W~C.W	편마암	-

3.2 조사영역 및 현황사진



② 현황도

깎기비탈면 현황도(내포리구간(좌안) : 내포육교 전 STA.31+120~31+520)



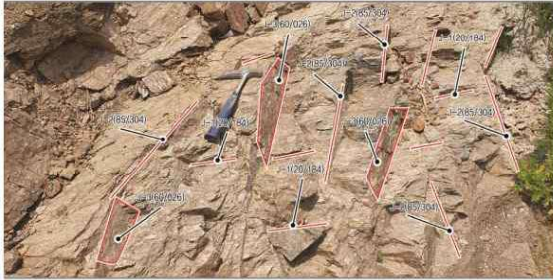
③ 절리현황

5.1 개요

- 비탈면현황은 단열벽기비탈면으로 토사 및 암반으로 이루어진 혼합비탈면이며, 도로 횡단형상 및 종단형상은 직선형의 형태를 띠고 있다.
- 내포리구간 (좌안)내포육교 전 STA.31+120~31+520의 현상 380m 구간으로 상부에는 토사 및 기반암이 분포한다. 기반암은 편마암이고 STA.31+120~31+220 구간에 소량 분포하며 보통풍화~약간풍화 상태이다.
- 기반암 구간 비탈면은 1:0.7의 구배로 조성되어 있으며, 상부의 토사 및 풍화암 구간의 경우 1:1.0~1:1.8의 구배로 조성되어 있다.

5.2 세부설명

5.2.1 Site-1

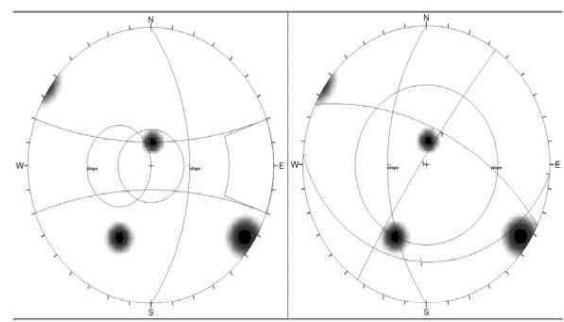


〈그림 14〉 Site-1 비탈면 절리 현황

- 본 영역은 3개소의 절리면이 발달하고 있으며, 연상성이 긴 사산암상 절리가 주로 발달해 있고 그 외 다수의 절리가 불규칙하고 비교적 복잡하게 발달한 상태이다.

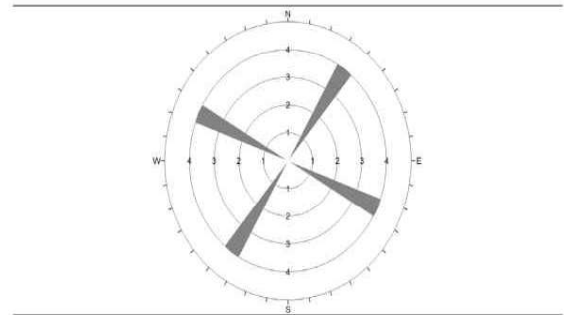
〈표 12〉 Site-1 불연속면 조사 결과

구 분		경사 (°)	경사방향 (°)	암세	간격	연상	충진물	거칠기	풍화도	비 고
주절리	J-1	20	184	A1~2	S2~3	P3	F1~2	R2~3	S.W-M.W	-
	J-2	60	026	A1~2	S2~3	P3	F1~2	R2~3	S.W-M.W	-
	J-3	85	304	A1~2	S2~3	P3	F1~2	R2~3	S.W-M.W	-



〈그림 15〉 Site-1 편사투영 해석결과

- 본 영역의 편사투영 해석 결과 평면 및 선도파괴, 쉐기파괴 발생 가능성은 없는 것으로 검토되었다.



〈그림 16〉 Site-1 절리분포 현황

④ 비탈면 안전성 검토

제 2 장 비탈면 안정성 검토

2.1 설계개요

- 설계 비탈면 중 설계고가 10.0m인 구간에 대하여 안정성 검토
- 깎기 비탈면 중 토사층이 깊고 지층변화가 심한 구간에 대하여 대표단면 선정
- 비탈면 한계평형해석 검토 후 확보율 및 수치해석을 수행하여 해석의 신뢰도 검증

2.1.1 토사 및 풍화암 비탈면 안정성

- 한계평형해석 및 수치해석 그리고 통계기법을 이용한 토사비탈면 안정성 해석 수행
- 토사비탈면 상세해석을 위한 응력-변형해석 병행
- 해석결과 비교 검토 및 비탈면의 전체적인 안정성 확인

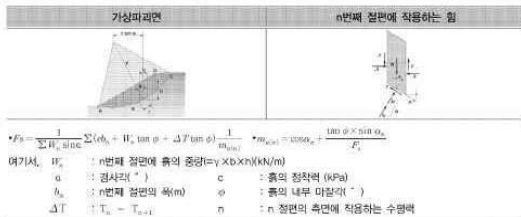
○개요

- 일반적으로 적용되는 한계평형해석 및 지하수 모델의 불합리성을 극복하기 위해 한계평형해석과 유한요소해석간의 연계해석을 수행
- 강도감소법을 이용하여 지반내 응력 상태를 재현, 보다 실제에 가까운 파괴 활동 및 지반내 응력변화, 비탈면에서의 전단파괴 영역 및 손상범위를 확인
- 지반의 불확실성을 고려하기 위한 통계적 기법을 이용한 분석

○한계평형 해석 (Limit Equilibrium Analysis)

■ 이론적 배경

- 비탈면의 안정성 해석시 널리 사용되는 해석방법들은 한계평형 이론을 적용하고 있으며, 신중한 안전율이 허용안전을 이상인 비탈면에 파괴에 대해 안정한 것으로 판단
- 한계평형이론에 의한 비탈면안정성 해석방법은 여러 가지가 있으며 그 정확성은 강도정수의 결정과 지반의 파괴형태를 의미하는 파괴모드의 가정방식에 의해 좌우됨
- 파괴모드는 토사비탈면의 경우 지층구성에 의해 원호, 평면 혹은 복합활동파괴 등으로 구분
- 토사비탈면의 파괴모드는 곡면형태의 함수(원호 혹은 대수곡선 등)로 가정하여 해석을 수행



1.2.2 깎기비탈면 지반특성 및 현황

○ 깎기비탈면 지반특성

- 깎기비탈면 토사층은 시추조사결과 풍화암(SM), 풍화암으로 구성되어 있고, 대체적으로 풍화도가 두껍게 분포하며, 기반암의 암종은 흑운모편마암이 주로 분포함
- 깎기고 20m 이상인 구간과 토사층이 깊은 구간에 대하여 대표단면을 선정하여 안정성 검토를 수행함

■ 본선 깎기비탈면 현황

구 분	측점 (STA.)	비탈면 유형	최대높이 (m)	대표단면 (STA.)	비고
4 구간 본선	깎기 1구간	토사 좌측	16.7	21+940	-
		토사 우측	8.7	22+040	-
	깎기 2구간	토사 좌측	19.3	23+760	-
		토사 우측	19.2	23+820	-
	깎기 3구간	토사 좌측	16.3	23+860	-
		토사 우측	12.5	24+240	-
	깎기 4구간	토사 좌측	11.3	25+980	-
		토사 우측	11.9	25+900	단기 터파기
	깎기 5구간	토사 좌측	25.4	28+340	-
		토사 우측	32.1	28+360	-
	깎기 6구간	토사 좌측	27.8	28+480	-
		토사 우측	33.9	28+800	-
	깎기 7구간	토사 좌측	15.3	28+920	-
		토사 우측	25.0	29+380	-
	깎기 8구간	토사 좌측	22.9	29+400	-
		토사 우측	21.5	29+980	-
	깎기 9구간	토사 좌측	23.9	30+020	-
		토사 우측	36.1	30+020	-
	깎기 10구간	토사 좌측	23.2	30+780	-
		토사 우측	26.4	30+840	-
	깎기 11구간	토사 좌측	22.3	30+880	-
		토사 우측	24.6	30+880	-
	깎기 12구간	토사 좌측	25.2	30+900	-
		토사 우측	25.2	30+920	-
	깎기 13구간	토사 좌측	35.6	31+180	-
		토사 우측	39.2	31+220	-
	깎기 14구간	토사 좌측	38.8	31+300	-
		토사 우측	28.0	31+420	-
	깎기 15구간	토사 좌측	14.2	31+860	-
		토사 우측	11.9	0+360	-
활종IC	Ramp-A	토사 좌측	15.8	0+220	-
	Ramp-B	토사 좌측	15.8	0+220	-
	Ramp-C	토사 좌측	28.3	0+920	-

④ 비탈면 안전성 검토(계속)

■ 4공구 깎기 6구간 STA. 31+220 비탈면

구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	불면속면 방향성(Dip/Dipdir)			마찰각 (°)
			J1	J2	J3	
좌측비탈면	31+220	089	13/165	69/287	69/334	30

평면 및 전도파괴	췌기파괴	기울기	평면파괴	전도파괴	췌기파괴
		1:0.7	안정	불안정	안정
*1:0.7 경사에 대해 평면파괴 및 췌기파괴에 대해 안정 전도파괴에 대해 불안정					

■ 4공구 깎기 6구간 STA. 31+300 비탈면

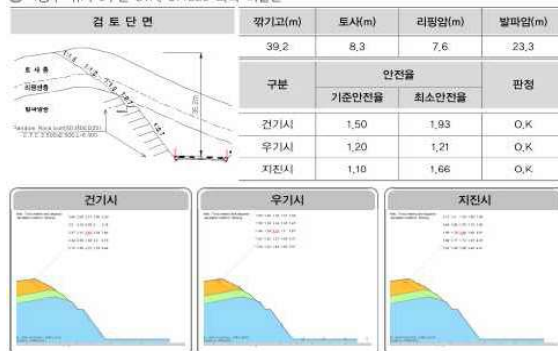
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	불면속면 방향성(Dip/Dipdir)			마찰각 (°)
			J1	J2	J3	
좌측비탈면	31+300	088	13/165	69/287	69/334	30

평면 및 전도파괴	췌기파괴	기울기	평면파괴	전도파괴	췌기파괴
		1:0.7	안정	불안정	안정
*1:0.7 경사에 대해 평면파괴 및 췌기파괴에 대해 안정 전도파괴에 대해 불안정					

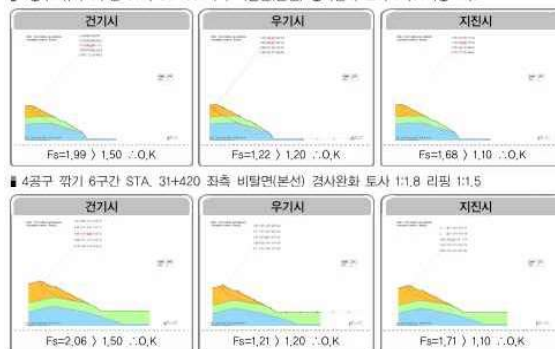
○ 본선구간 암반 비탈면 안정검토 결과

구분	측점 (STA.)	검토단면	평사투영해석		한계평형해석		비고
			평면	전도	췌기	췌기	
4공구	깎기 2구간	23+730 ~ 24+440	우	○	○	○	-
		28+340	좌	○	○	○	-
	깎기 4구간	28+210 ~ 29+080	좌	○	○	○	-
		28+800	좌	○	○	○	-

○ 4공구 깎기 6구간 STA. 31+220 좌측 비탈면



■ 4공구 깎기 6구간 STA. 31+180 좌측 비탈면(본선) 경사완화 토사 1:1.8 리핑 1:1.5



2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2021년부터 정기안전점검을 3회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 2-2> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
1	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어링	394	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))사면은 록볼트 및 식생공이 시공되어있고, 하부 낙석방지울타리 및 옹형-L형이 설치되어 있다. 보호·보강공의 상태는 양호한 상태이다. 현재, 지반변형 등의 파괴징후는 1단 사면 슛크리트 백태, 누수흔적 및 백태, 소단배수로 균열(0.3mm이상), 망상균열, 토사퇴적, 파손 등 일부가 조사되었다. 해당 손상에 의한 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 강우시 손상이 진전될 수 있으므로, 보수실시여부 및 진전여부에 대한 지속적인 주의관찰이 필요하다.
	2021. 03. 22 2021. 06. 30	이상훈	양호	정비, 표면처리, 주입보수, 단면보수
2	정기안전점검 (하반기)	(주)명성 엔지니어링	394	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))사면은 록볼트 및 식생공이 시공되어있고, 하부 낙석방지울타리 및 옹형-L형이 설치되어 있다. 보호·보강공의 상태는 양호한 상태이다. 현재, 지반변형 등의 파괴징후는 1단 사면 슛크리트 백태, 누수흔적 및 백태, 소단배수로 균열(0.3mm이상), 망상균열, 토사퇴적, 파손 등 일부가 조사되었다. 해당 손상에 의한 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 강우시 손상이 진전될 수 있으므로, 보수실시여부 및 진전여부에 대한 지속적인 주의관찰이 필요하다.
	2021. 08. 23 2021. 11. 24	이상훈	양호	정비, 표면처리, 주입보수, 단면보수
3	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어링	394	- 1단 사면 슛크리트 백태, 누수흔적 및 백태, 상부 종균열 - 소단배수로 망상균열, 토사퇴적, 파손, 균열(폭 0.3mm이상)
	2022. 03. 02 2022. 06. 15	손기영	양호	정비, 표면처리, 주입보수, 단면보수 등

2.4 보수·보강 이력

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

〈표 2-3〉 보수·보강 이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
-	-	특이사항 없음	-	-

2.5 내진설계 적용 여부

유지관리 기초자료 분석 결과, FMS(시설물정보종합관리시스템)상 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

〈표 2-4〉 내진 설계 적용 여부

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

2.6 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가지 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 2-5〉 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	○준공도서 유지관리중 ○위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ○원지반 상태 파악 가능	○설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ○설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	○기본현황, 상세제원 확인 가능 ○유지관리 이력 파악 ○시설물 준공 후 최초의 성능평가	○현장조사를 위한 기초자료로 활용 ○준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가지 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	○준공후 정기안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	○사면파괴정후에 대한 면밀한 조사 ○필요시 보수보수·보강방안 수립 ○시설물 특성을 고려한 적절한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	-	-
유지관리 전략 제안	-	○현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ○성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

3. 현장조사

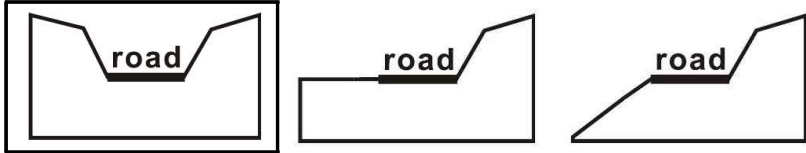
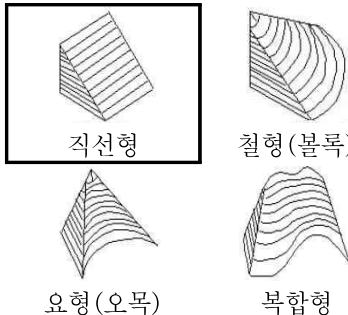
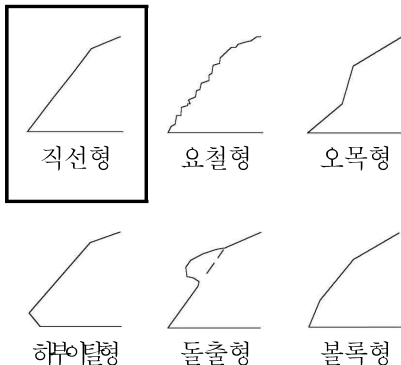
3.1 현장조사 체크리스트

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

<표 3-1> 일반현황

조사일자	2022. 10. 21.	조 사 자	정 지 운
일 기	맑음	준공년도	2020년 11월 06일
행정구역	경기도 파주시 문산읍 내포리 산 24-33		
위 치	시점 : 37° 50' 07.0" 126° 46' 10.0"		
	종점 : 37° 50' 24.0" 126° 46' 09.0"		
	관리이정 : 28.720 ~ 29.280 km		
절토사면	길 이 : 560.0m	높 이 : 35.5m	
	경 사/경사방향 : 69/089(평균경사 54°)		
	구성물질 : 발파암, 리핑암, 토사	토층심도 : 약 2.0m	
	소 단 : 4개(폭 1.0m소단 3개, 폭 3.0m소단 1개)		
낙석/뜯돌	낙석 존재유무 : 없음	낙석의 양 : -	
	낙석 평균크기 : - 낙석 최대크기 : -		
	뜯돌 존재유무 : 없음	뜯돌의 양 : -	
	뜯돌 평균크기 : - 뜯돌 최대크기 : -		
절토사면 시공현황	종 류	위 치	상 태
	식생현황	28.720~28.880k	양호
	낙석방지울타리	28.740~28.840k	양호
	낙석방지망	28.740~28.840k	양호
	소단배수로	28.760~28.855k	파손, 토사퇴적 등
	록볼트	28.800~29.100k	양호
	쏫크리트	28.860~29.100k	양호
	점검용 계단	28.720~28.740k, 28.790k, 28.8500k, 28.900k	양호
붕괴이력	유 형	규 모	위 치
기 타	점검로 : ☒ 유 ☐ 무	양호	☐ 보수필요 ☒ 보수불필요

<표 3-2> 지형·지질 및 식생

주변지형의 특성	주변 지형		산악지형			
	종단면 형상					
	기타 특징		-			
절토사면의 특성	종 횡 단 면			중 단 면 특 성		
상부 자연비탈면	경 사 도		29°			
	인장균열		무			
	포행흔적		무			
	수목의 기울어짐		무			
	인공구조물		무			
	산마루측구		유			
	계곡부		유			
식 생	① 종 류		초 본	관 목	침 엽 수	활 엽 수
	② 밀 도		하	하	-	-
	③ 근계특징		천근성 (O), 심근성 ()			

<표 3-3> 기초조사 자료

일반현황	거리표	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))		
	위경도	시점 : 37° 50' 07.0" 126° 46' 10.0" 종점 : 37° 50' 24.0" 126° 46' 09.0"		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2022년 10월 21일		
	조사자	정 지 운	조사기관	(주)명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	560.0m	최대높이	35.5m
	경사	69° (평균경사 54°)	상부경사	29°
	이격거리	평균 1.0m	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 ☐ 절형 ☐ 요형 ☐ 파형	측면형상	☒ 직선형 ☐ 요절형 ☐ 탈락형 ☐ 돌출형
	계곡부	유	붕괴이력	☐ 유(영향) ☐ 낙석 ☐ 유(미영향) ☒ 무
	튼돌	☐ 대 ☐ 중 ☐ 소 ☒ 무	낙석	☐ 대 ☐ 중 ☐ 소 ☒ 무
	암종	흑운모 편마암	토층심도	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(양호) ☐ 기타		
조사자 소 견	위험도	☐ 상 ☐ 중 ☒ 하	피해도	☐ 상 ☐ 중 ☒ 하
	붕괴 유형	☐ 심층 ☐ 표층 ☒ 무	위험등급	☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E
	위험구간 (붕괴유형)	☐ 상 ☐ 중 ☐ 하 / ☐ 좌 ☐ 중 ☐ 우 () ☐ 상 ☐ 중 ☐ 하 / ☐ 좌 ☐ 중 ☐ 우 () ☐ 상 ☐ 중 ☐ 하 / ☐ 좌 ☐ 중 ☐ 우 ()		
	필요 주공법	—	조치	☐ 응급 ☒ 미응급
	기타			

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 수립하였다. 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 고속국도 17호선의 관리이정 28.720~29.280k에 위치하며, 연장 560.0m, 높이 35.5m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

나. 비탈면 구간 분할

본 사면은 연장이 560.0m로써, 사면의 구간분할 기준인

- 1) 사면의 구성재료가 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(2021. 12, 국토교통부, 국토안전관리원), 지형특성, 절토사면 시공현황, 사면의 유지관리 및 점검시 외관조사망도 직 관성(서울기점 가까운 쪽을 1구간) 등을 종합적으로 고려하여 다음 표와 같이 3개의 구간으로 선정하여 조사 및 시험, 평가를 실시하였다.

<표 1-11> 비탈면 구간 분할

구 분	관리이정(k)	연 장(m)	높 이(m)	사면분류	비 고
1구간	28.720~28.900	180.0	35.5	절리암반사면	
2구간	28.900~29.100	200.0	32.0	절리암반사면	
3구간	29.100~29.280	180.0	27.1	절리암반사면	

다. 절토사면의 분류

대상 시설물의 조사결과 및 현황을 토대로 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-절토사면 (2021.12, 국토안전관리원)”의 기준에 따라 분류한 결과를 다음 [표 3-4]에 수록하였다.

토층심도 및 암반 블록크기 비는 준공도서, 초기점검보고서, 현장조사를 종합적으로 고려하여 작성하였다.

<표 3-4> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/cm²)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{2.0}{35.5} = 0.056$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	—	—	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in dex}{Slope\ height} = \frac{1.696}{35.5} = 0.048$ 로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{2.0}{32.0} = 0.063$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	—	—	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in dex}{Slope\ height} = \frac{1.696}{32.0} = 0.053$ 로 0.01초과	절리암반	
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{2.0}{27.1} = 0.074$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	—	—	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in dex}{Slope\ height} = \frac{1.696}{27.1} = 0.063$ 로 0.01초과	절리암반	

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

3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

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

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 29°의 경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로, 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 계곡부는 1개소가 조사되었다.

<표 3-5> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	상부자연사면	EA	1	—	
		시·중점부	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 표면보호공이 전구간 적용되어 육안관찰을 할 수 없는 사태로 불안정지질이 없는 것으로 조사되었다.

<표 3-6> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	없 음	—	—	—	

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 전구간 표면보호공으로 인해 건설공사 시 작성된 사면보고서를 참고하여 평가를 실시하였다. 1, 2, 3구간은 현장조사가 불가하고, 시공 중 조사한 자료가 1구간만 있는 상태로 1구간에 대한 불연속면 특성을 기입하였다.

<표 3-7> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	20/184	85/304	60/026
간격(m)	0.2~2.0	0.2~2.0	0.2~2.0
연장성(m)	3.0~10.0	3.0~10.0	3.0~10.0
틈새(mm)	0.1mm 미만	0.1mm 미만	0.1mm 미만
거칠기	거칠~약간거칠	거칠~약간거칠	거칠~약간거칠
충진물질	딱딱함, 5mm미만	딱딱함, 5mm미만	딱딱함, 5mm미만
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 3-8> 지반 변형 조사 결과

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

마. 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 3-9> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지하수	건 조	-	-	-	

바. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로, 산마루측구, 수직도수로가 시공되어 있다.

배수시설은 지반 변형으로 인한 균열 및 변형 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다.

<표 3-10> 배수 조건 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	균열	m	36.8 / 11	건조수축, 양생미흡

	
1소단배수로 균열	1소단배수로 균열

사. 붕괴 이력

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

<표 3-11> 붕괴 이력 조사 결과

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

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생하는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜯돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 3-12> 낙석 조사 결과

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

자. 사면 상부 상태

사면 상부에 존재하는 자연사면에서 유입되는 지표수에 의한 영향을 평가하기 위해서 자연사면의 경사를 측정하여 평가한다. 상부자연사면은 29° 정도로 측정되었다.

<표 3-13> 상부상태 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
상부 상태	양 호	-	-	-	-

차. 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 3-14> 인장균열 조사 결과

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

카. 공중이 이용하는 부위

본 비탈면은 공중이 이용하는 부위(추락방지시설, 도로포장, 신축이음부, 환기구 등의 덮개)가 없는 상태로, 본 평가에서는 제외한다.

3.4 내구성능 조사

가. 절토사면의 구분

본 비탈면은 1~3구간에서 토층심도율이 0.4미만으로 암반사면으로 구분되었다.

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 전구간 사면보호공(Seed Spray, 쏫크리트)으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못하는 상태로 공사중 사면보고서를 참고하였다. 사면의 횡단면도를 확인한 결과, 경사도는 1:0.7~1:1.0로 연암~풍화암으로 판단된다.

〈표 3-15〉 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
공사중 사면보고서	—	30.0~100.0	연암~풍화암	
검토의견	· 사면보고서 참조 결과, 추정강도 30.0~100.0MPa로 연암~풍화암으로 판단된다.			

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다. 현장조사 결과, 쏫크리트 균열 및 백태가 조사되었고, 보수 및 주의관찰을 실시하는 유지관리가 필요하다.

〈표 3-16〉 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면보호공	쏫크리트	균 열	m	135.0 - 1	시공미흡, 부착력저하	
	쏫크리트	백 태	m ²	200.1 - 3	시공미흡, 습윤침투	

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 록볼트가 시공되어 있고 손상은 없는 것으로 확인되었다.

〈표 3-17〉 사면보강공 조사 결과

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

마. 절리상태 및 풍화 진행도

본 비탈면의 암반의 절리상태 및 풍화진행도 조사방법은 “상태안전성능 평가를 위한 조사방법”에서 ‘불연속면 특성’의 조사방법과 동일하게 실시한다.

4. 안전성능평가

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

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 4-1> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/cm²)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{2.0}{35.5} = 0.056$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	—	—	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in dex}{Slope\ height} = \frac{1.696}{35.5} = 0.048$ 로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{2.0}{32.0} = 0.063$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	—	—	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in dex}{Slope\ height} = \frac{1.696}{32.0} = 0.053$ 로 0.01초과	절리암반	
3구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\ depth}{Slope\ height} = \frac{2.0}{27.1} = 0.074$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	—	—	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\ size\ \in dex}{Slope\ height} = \frac{1.696}{27.1} = 0.063$ 로 0.01초과	절리암반	

<표 4-2> 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 4-3> 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 4-4> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	전구간 표면보호공으로 육안관찰 불가	a
	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 4-5> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 = $\sum (① \sim ⑥) / 6 =$ (10+5+10+5+10+10) / 6 = 8.3	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 4-6> 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	3.0~10.0	c
②틈 새	0	0.1mm미만	0.1mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 6.0mm미만	6.0mm이상	0.1mm미만	b
③거칠기	매우 거칠	거칠	약간 거칠	평탄	매우 평탄	약간 거칠	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5mm미만)	단단한 충전물 (5mm이상)	연약한 충전물 (5mm미만)	연약한 충전물 (5mm이상)	단단한 충전물 (5mm미만)	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	보통 풍화	c
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2m이상 0.6m미만	c

<표 4-7> 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
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성에는 영향이 없는 상태	
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성에는 영향이 없는 상태	
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태	
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태	

<표 4-8> 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결 과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태
	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 4-9> 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
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 4-10> 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
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 표층파괴 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 구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 4-11> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가결과
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 4-12> 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, β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 4-13> 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	29°	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.

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

<표 4-14> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	없음	인장균열 없음	인장균열 없음	a
	d	있음(비진행성)	인장균열이 확인되나 비진행성인 상태		
	e	있음(진행성)	인장균열이 확인되며 진행 중인 상태		

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 4-15> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$

<표 4-16> 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
결합지수 = Σ (①~⑧) / 100					

<표 4-17> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))			
사면 종류	절토사면	구성재료	암반	
평가요소		결합점수	결합점수 선정	결합종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	1	b
	사면 외	1		
불안정 지질		0	0	a
불연속면 특성		8.3	8.3	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			14.3	
결합지수			0.143	
상태안전성능평가 결과			A	

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 4-18> 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 4-19> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	전구간 표면보호공으로 육안관찰 불가	a
	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 4-20> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 확인불가	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 4-21> 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	0.1mm미만	0.1mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 6.0mm미만	6.0mm이상	—	—
③거칠기	매우 거칠	거칠	약간 거칠	평탄	매우 평탄	—	—
④충전물	없음	단단한 충전물 (5mm미만)	단단한 충전물 (5mm이상)	연약한 충전물 (5mm미만)	연약한 충전물 (5mm이상)	—	—
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 4-22> 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
	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 4-23> 지하수 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결 과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태
	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 4-24> 배수시설 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
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 4-25> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
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 표층파괴 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 4-26> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가결과
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 4-27> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, E_i = 낙석에너지(kJ), θ = 사면의 경사, u = 낙석의 등가마찰계수(0.15) β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), H = 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec ²) (u , β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 4-28> 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	29°	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.

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

<표 4-29> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	없음	인장균열 없음	인장균열 없음	a
	d	있음(비진행성)	인장균열이 확인되나 비진행성인 상태		
	e	있음(진행성)	인장균열이 확인되며 진행 중인 상태		

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

〈표 4-30〉 상태안전성능 평가 결과 범위 (2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$

〈표 4-31〉 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
결합지수 = Σ (①~⑧) / 100					

〈표 4-32〉 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))			
사면 종류	절토사면	구성재료	암반	
평가요소		결합점수	결합점수 선정	결합종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		0	0	a
불연속면 특성		—	—	—
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			5	
결합지수			0.005	
상태안전성능평가 결과			A	

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 4-33> 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 4-34> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	전구간 표면보호공 으로 육안관찰 불가	a
	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 4-35> 불연속면 특성 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 확인불가	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 4-36> 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	—	—
②틈 새	0	0.1mm미만	0.1mm이상 1.0mm미만	1.0mm이상 6.0mm미만	6.0mm이상	—	—
③거칠기	매우 거칠	거칠	약간 거칠	평탄	매우 평탄	—	—
④충전물	없음	단단한 충전물 (5mm미만)	단단한 충전물 (5mm이상)	연약한 충전물 (5mm미만)	연약한 충전물 (5mm이상)	—	—
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 4-37> 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
	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 4-38> 지하수 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결 과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태
	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 4-39> 배수시설 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
배수조건	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 4-40> 붕괴이력 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
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 표층파괴 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 4-41> 낙석 발생 규모 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가결과
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 4-42> 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, β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 4-43> 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	29°	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.

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

<표 4-44> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)

구 분	평가 등급	평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	없음	인장균열 없음	인장균열 없음	a
	d	있음(비진행성)	인장균열이 확인되나 비진행성인 상태		
	e	있음(진행성)	인장균열이 확인되며 진행 중인 상태		

차. 3구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 4-45> 상태안전성능 평가 결과 범위 (3구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$

<표 4-46> 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
결합지수 = Σ (①~⑧) / 100					

<표 4-47> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))			
사면 종류	절토사면	구성재료	암반	
평가요소		결합점수	결합점수 선정	결합종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		0	0	a
불연속면 특성		—	—	—
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			5	
결합지수			0.005	
상태안전성능평가 결과			A	

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 4-48> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
560.0m	1구간	180.0m	a(0.143)	A	인장균열 없음
	2구간	200.0m	a(0.005)		인장균열 없음
	3구간	180.0m	a(0.005)		인장균열 없음
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

구간분할에 대한 상태평가를 실시하고, 최종 평가결과 A 등급으로 평가되었다.

4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

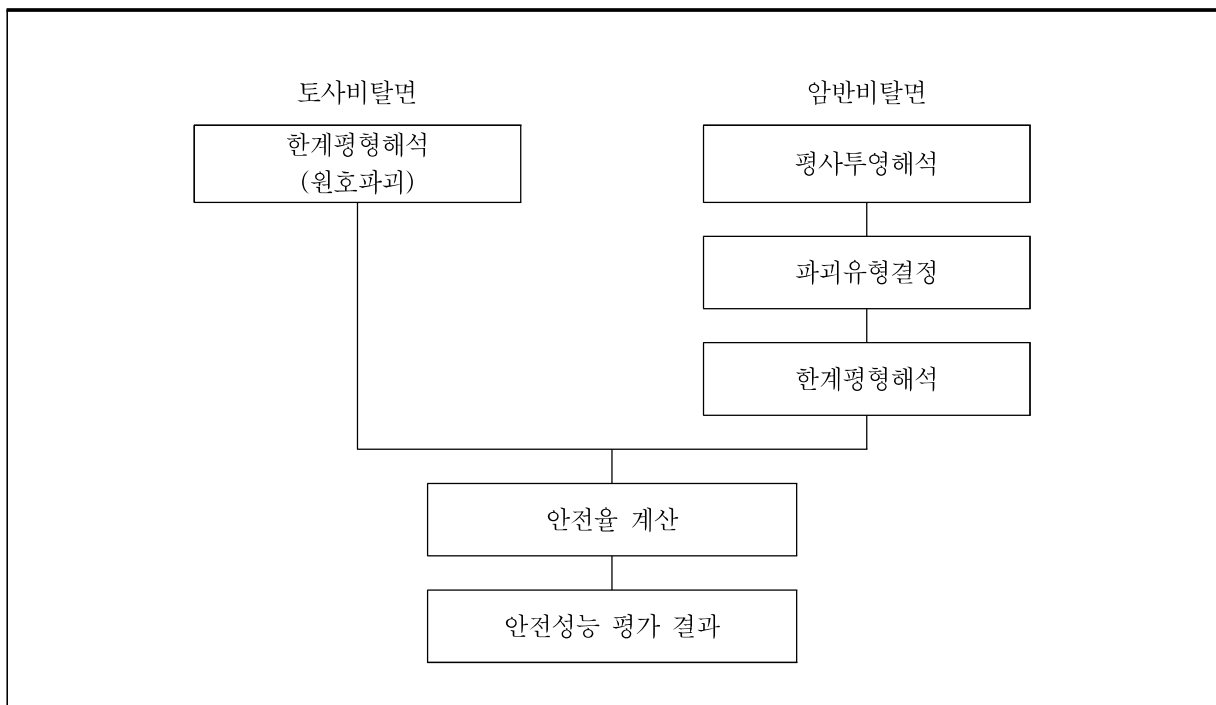
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 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 4-1> 구조안전성능 평가과정

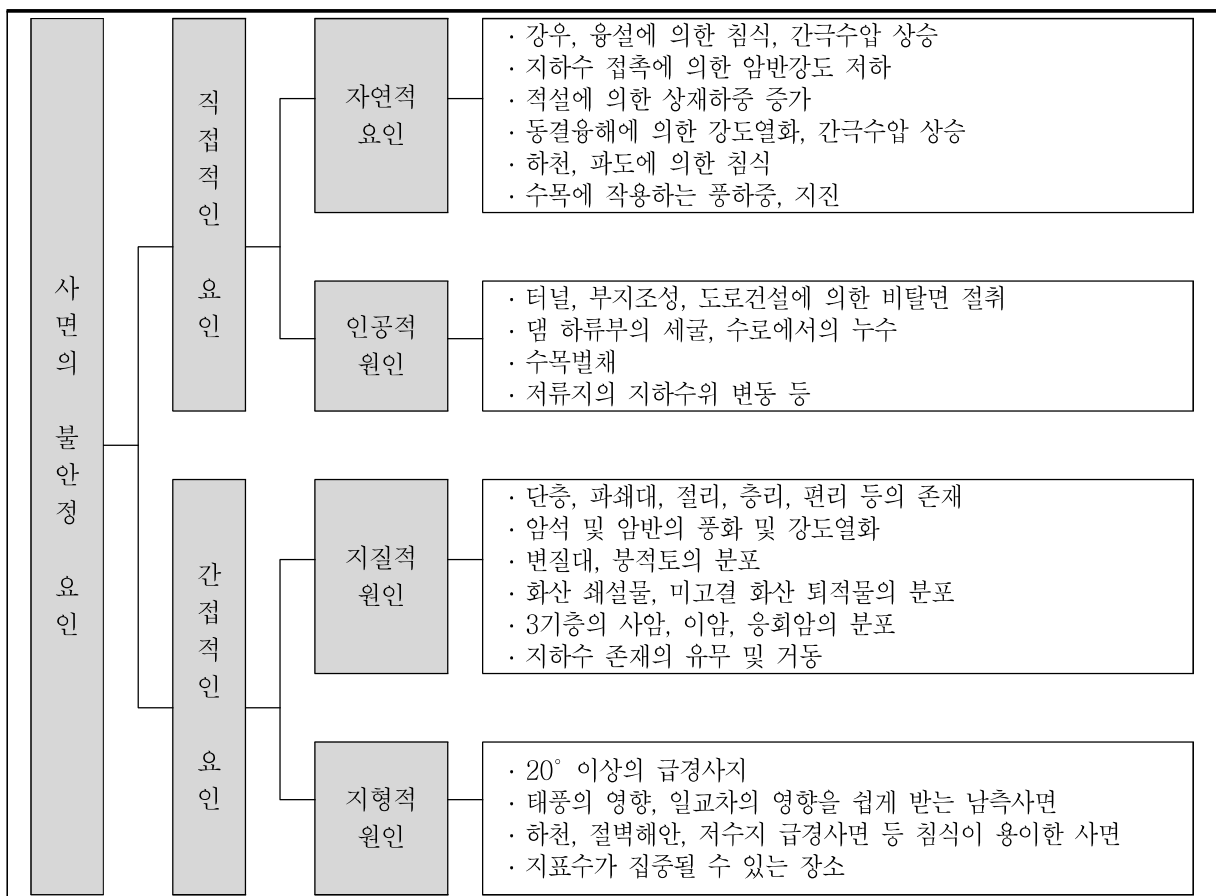
<표 4-49> 유형별 안정해석 범위

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

○설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

○설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

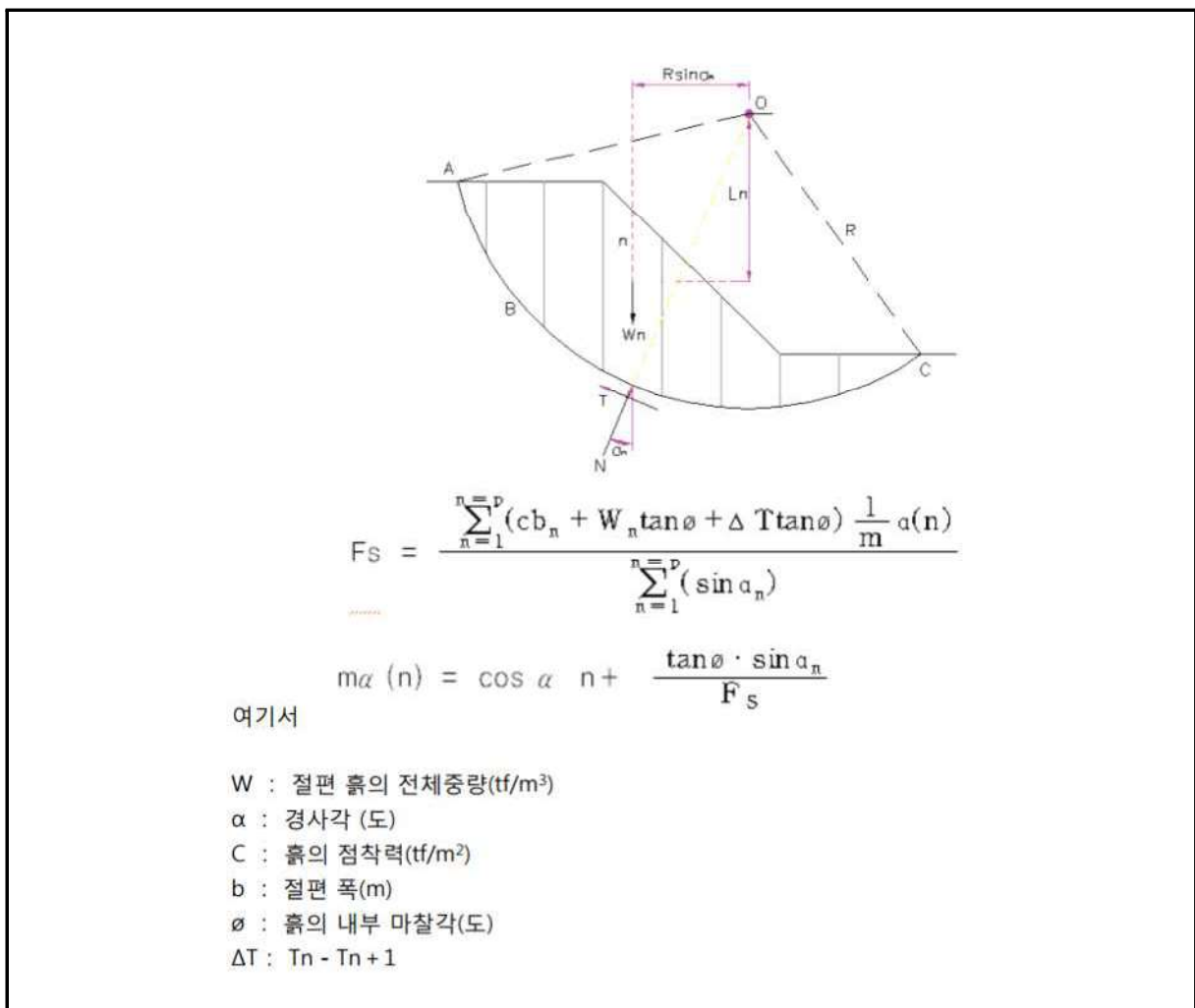


<그림 4-2> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 $\phi=0$ 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.

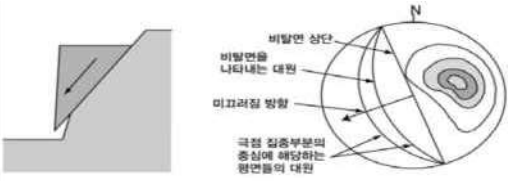
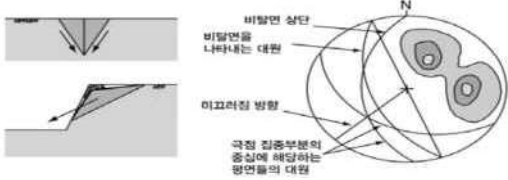
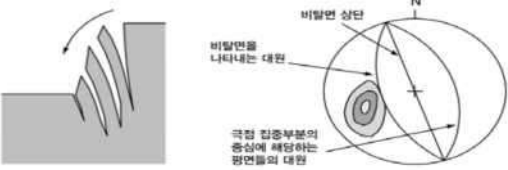


<그림 4-3> Bishop의 안전율 계산식

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

<표 4-50> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		· 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
켜기파괴		· 켜기파괴는 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 4-51> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

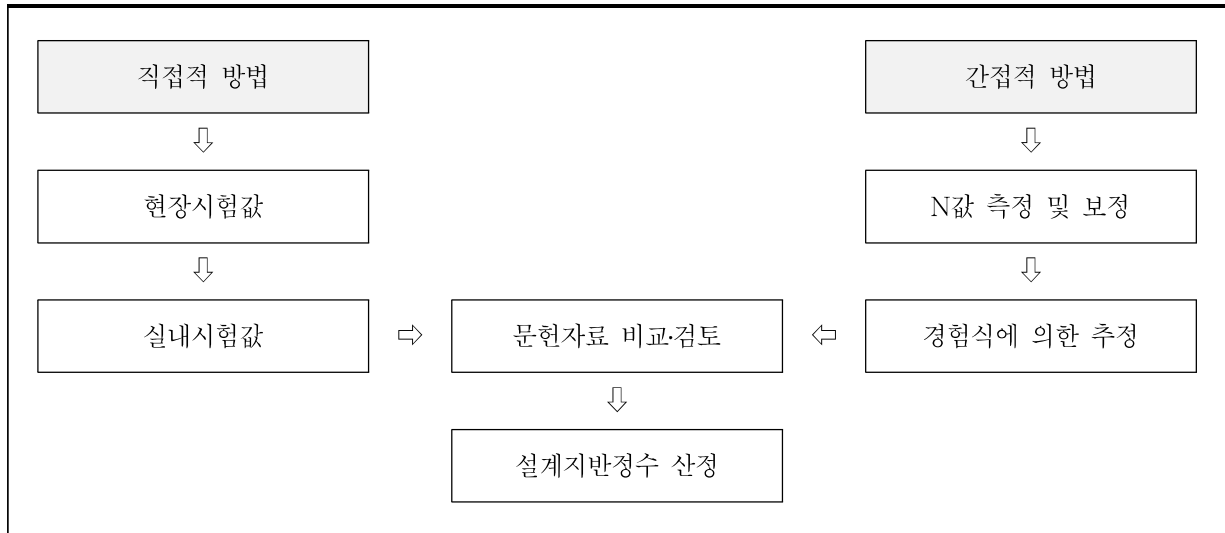
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	· 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	· 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 · 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) · 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술 (FS=1.3적용)
지진시	FS>1.1	· 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 · 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 공사중 사면보고서를 토대로 적용결과를 비교·분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 4-52> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/m ³)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 D(×10 ³ kN/m ²)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 4-53> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위 중량 (kN/m ³)	내 부 마찰각 ϕ (°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙 쌓기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자 연 지 반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 4-54> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/cm ³)	간극비 e	내부 마찰각(ϕ)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	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
	느 슨	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
	느 슨	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
	느 슨	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
	느 슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 4-55> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

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

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 4-56> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/m ³)	내부마찰각(°)	점착력(kN/m ²)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
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 4-57> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	셰일	석회암	응회암
단위중량 (kN/m ³)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/m ²)	13,500 ~25,000	—	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	—	35~54	18~29	35~50	35~45

<표 4-58> 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)			ϕ ($^{\circ}$)	C (kN/m ²)
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)			
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 4-59> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	$-0.051 + 0.008RMR - 3.346 \times 10^{-5}RMR^2$ (MPa)
마찰각(ϕ)	$-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR^2$ (degree)

<표 4-60> Trueman (1988)

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

<표 4-61> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	$0.02\exp(0.08RMR^*)$ (Mpa)
마찰각(ϕ)	$0.25(RMR^*) + 27.5$ (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 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 4-62> 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]

6) 수리정수 산정

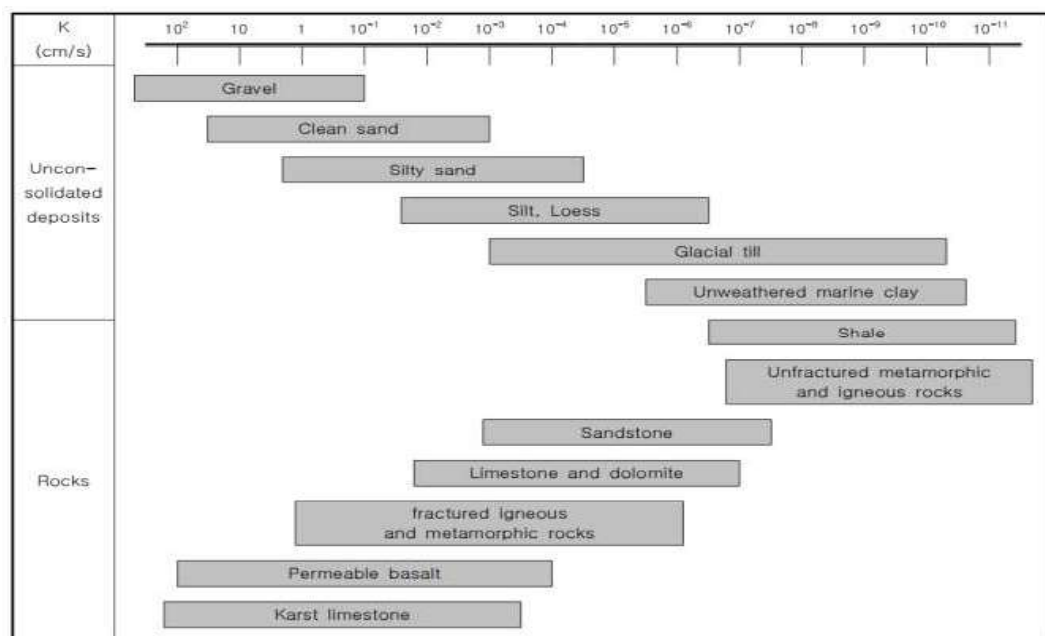
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 4-63> 대표적 투수계수

구 분		검 상 규(cm/sec)	Braja M. Das(cm/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	—

<표 4-64> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(cm/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



<그림 4-4> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

7) 공사중 지반조사보고서 내 설계지반정수

구 분	지층	토성별	r_f (kN/m ³)	c(kPa)	ϕ	E(MPa)	ν	V_s (m/s)	G_d (MPa)	K(cm/s)
4공구 깎기 구 간	붕적층	모래	18	5	28	6	0.35	180	50	6.9×10^{-4}
		풍화도	19	18	29	60	0.33	330	200	6.2×10^{-4}
		풍화암	21	30	32	260	0.30	480	480	7.4×10^{-5}
		연 암	25	800	33	800	0.26	770	1,360	5.5×10^{-5}
		보통암	26	2,800	37	5,000	0.24	1,300	4,050	1.7×10^{-5}
		경 암	28	3,200	42	15,000	0.22	1,500	5,850	2.6×10^{-6}

<그림 4-5> 공사중 지반조사보고서 4공구 설계지반정수

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최근접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최근접 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 4-65> 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

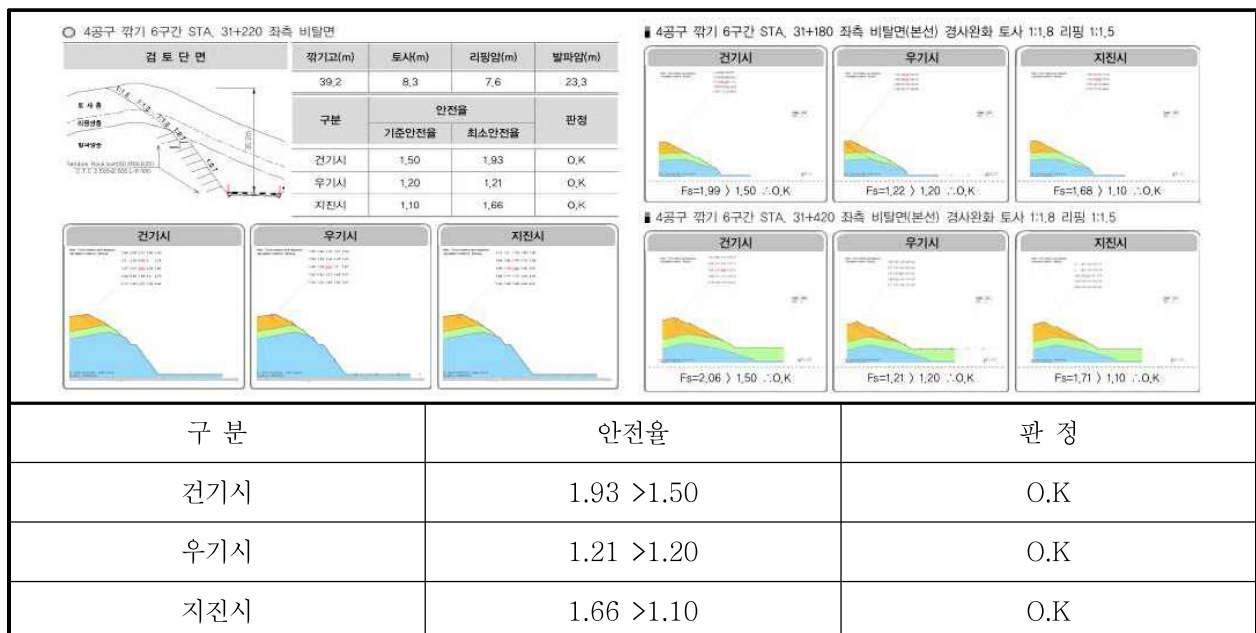
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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.

마. 상단 토사사면 안전성검토

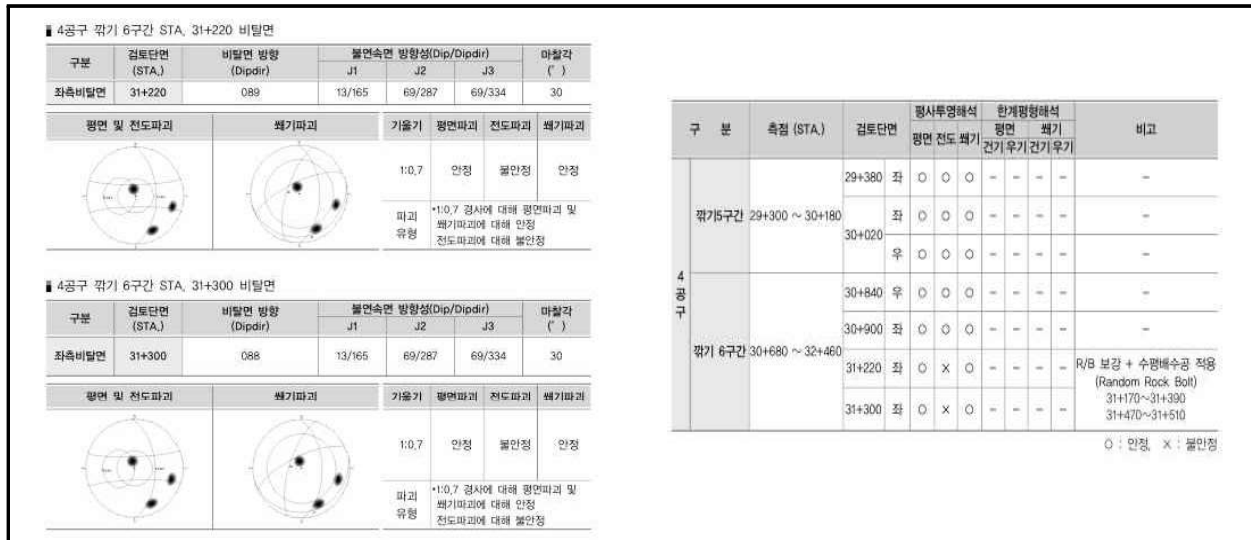
본 절토사면의 상단 토사사면의 한계평형해석은 지반조사보고서 내 사면안전성 검토결과로 같음하였다.



<그림 4-6> 상단 토사사면 해석결과

바. 암반사면 안전성검토

본 절토사면의 암반사면의 평사투영해석은 공사중 사면보고서 검토결과로 같음하였다.



사. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 안정인 것으로 분석되었으며, 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기, 지진시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대해 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 4-66> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		절토사면(STA.31+100~31+600(좌))		
구성 재료	파괴유형	최소안전율	평가 결과	비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	췌기파괴	안정	a	췌기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형해석)	건기시	1.93	a	$F_s \geq 1.50 \Rightarrow O.K$
	우기시	1.21	a	$F_s \geq 1.20 \Rightarrow O.K$
	지진시	1.66	a	$F_s \geq 1.10 \Rightarrow O.K$
구조안전성능평가 결과		A		

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 4-67> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.143	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.143	A	
안전성능 결과	○상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ○안전성능평가 결과 : A등급		

<표 4-68> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

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

5. 내구성능 평가

5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 5-1> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		암반사면	
공용기간		2년	2020년 준공
암반구간 설계(초기)강도		30.0~100.0MPa	
면적	전체	13,315m ²	
	토질구간	—	
	암반구간	13,315m ²	
표면보호공	식 생	7,815m ²	
	쑛크리트	5,500m ²	
사면보강공	락볼트	465공	

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 5-2> 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

5.3 성능지표별 평가 결과

1) 암반구간의 지표평가

<표 5-3> 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 5-4> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	암판정	초기값 대비강도(%)	비 고
공사중 사면보고서	30.0~100.0	풍화암	—	a
등급	A등급			

<표 5-5> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿔어붙이기 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호(90% 이상)	균열 및 박락 없음(0~10% 미만)
	b	양호(70%이상~90%미만)	일부 균열 발생(10%이상~30%미만)
	c	보통(50%이상~70%미만)	균열 및 일부 박락 발생(30%이상~50%미만)
	d	불량(30%이상~50%미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생(50%이상~70%미만)
	e	매우 불량(0%~30%미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생(70%이상)

<표 5-6> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿔어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	7,725/7,725m ²	100.0%	33.75/5,500m ²	0.61%	
평가	식생 피복율이 90.0% 이상, 손상율이 10.0% 미만이므로 “A등급” 으로 평가함.				

<표 5-7> 사면보강공 평가 등급 및 기준

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
평 가	보강공 두부와 지반에 유격 없음으로 “A등급” 으로 평가함		

<표 5-8> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

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

<표 5-9> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(1구간)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	3.0~10.0m 미만	3.0~10.0m 미만	3.0~10.0m 미만
	c	c	c
틈새(mm)	< 0.1mm	< 0.1mm	< 0.1mm
	b	b	b
거칠기	약간거칠	약간거칠	약간거칠
	c	c	c
충전물	딱딱함, 5mm미만	딱딱함, 5mm미만	딱딱함, 5mm미만
	b	b	b
풍화진행도	MW	MW	MW
	c	c	c
평가결과	c	c	c
등급점수	0.43	0.43	0.43

<표 5-10> 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	

5.4 내구성능 평가 결과

1) 암반사면 내구성능 가중치

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

<표 5-11> 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 5-12> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (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
결합도 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 5-13> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

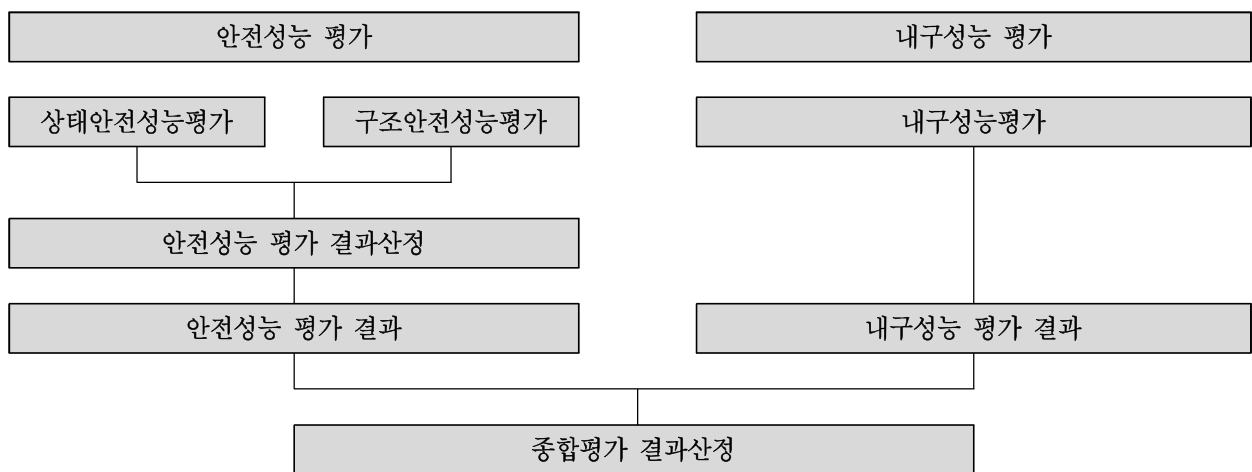
안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (E) < 0.15$	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (E) < 0.30$	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq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

6. 종합평가

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 6-1> 종합평가 흐름도

6.2 종합평가 결과

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

$$\text{사면의 종합평가 지수}(P) = \sum(\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$$

<표 6-1> 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 6-2> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	절토사면(STA.31+100~31+600(좌))		분류	고속도로/암반사면
평가 구분	성능평가 지수	평가 결과	성능간가중치(Wn)	비 고
안전성능평가	Ps=0.143	A	0.8	표 4-67
내구성능평가	Pd=0.220	B	0.2	표 5-12
종합평가 결과	○사면의 종합평가 지수(P) $= \sum(\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$ $= (0.143 \times 0.8) + (0.220 \times 0.2) = 0.158$ ○종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 6-3> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (P) < 0.15$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq (P) < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (P) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq (P) < 0.75$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (P) < 1.00$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위협이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

7. 유지관리 전략 제안

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

7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 - 성능평가편(2021.12)』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($0.15 \leq P < 0.30$)”으로 설정하였다.

〈표 7-1〉 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

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

7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.158)"으로 평가되었다.

〈표 7-2〉 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.143	0.220	0.158
평가결과	A	B	B

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, 사용환경 조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표 이상인 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제 등을 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

<표 7-3> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분	손상 내용	보수·보강방안	보수·보강 수준
배수시설	소단배수로 균열	균열보수	중기 보수

나. 유지관리 전략 제안

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

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 배수시설 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
- 2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
- 3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.
- 4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급" 이상인 "B등급" 인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.