

2. 절토사면

(STA.29+700 ~30+200(우))

2.1 시설물 개요

2.2 자료수집 및 분석

2.3 현장조사 및 시험

2.4 상태평가

2.5 종합평가 및 안전등급 지정

2.6 보수·보강 및 유지관리 방안

2.7 종합결론

2. 절토사면(STA.29+700~30+200(우))

2.1 시설물의 개요

절토사면(STA.29+700~30+200(우))은 경기도 파주시 월롱면 능산리(고속국도 17호선 27.400~27.900km, 본선 우측)에 위치하며, 총 연장 500.0m, 높이 30.9m로 2020년 11월 준공된 2종 절토사면이다.

2.1.1 일반사항

【표 2.1.1】 사면 일반사항

시설물번호	SL2020-0000040		관리번호	-	
시설물명	절토사면(STA.29+700~30+200(우))		시설물구분	절토사면	
위 치	행정구역	경기도 파주시 월롱면 능산리 326-29			
	위치좌표	시점 : 37° 46' 32.0" 126° 46' 45.0"			
		종점 : 37° 49' 43.0" 126° 46' 31.0"			
	관리이정	본선구간 27.400~27.900km(우)			
제 원	연 장	500.0m	높 이	30.9m	
	경사/방향	55/231	노 선	고속국도 17호선	
관리주체	서울문산고속도로(주)		관리주체구분	민간	
주변환경	인공구조물	-			
	주변지형	준산악지형	상부사면경사	24 °	
시공현황	준공년도	2020.11	시 공 자	(주)대우건설	
	설 계 자	(주)신성엔지니어링	감 리 자	(주)신성엔지니어링	
	부대시설	식생공, 낙석방지울타리, 옹벽-L형			
비 고	-				

2.1.2 위치도 및 전경사진



【그림 2.1.1】 위치도



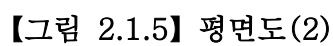
【그림 2.1.2】 전경사진

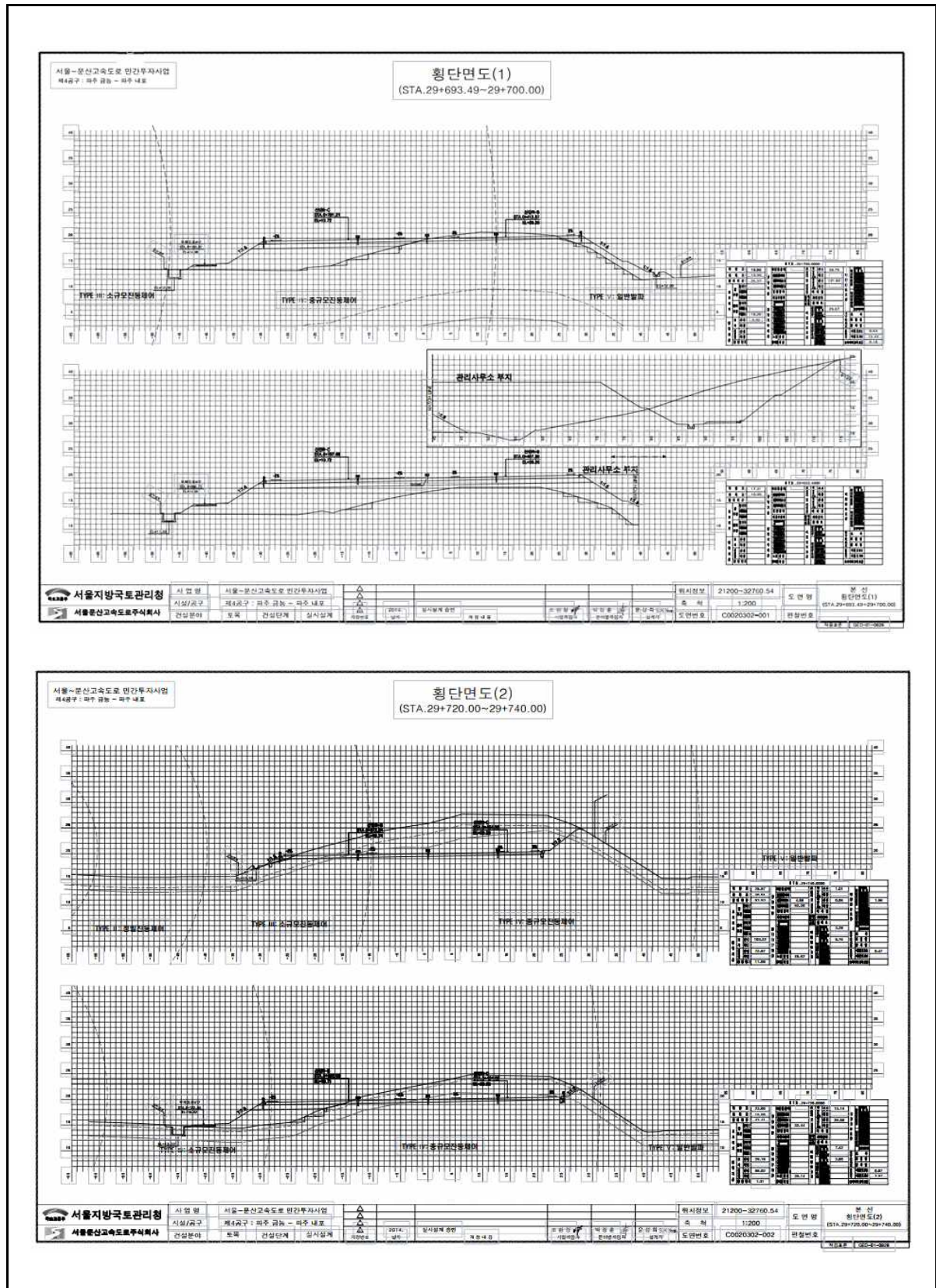
	
1소단 배수로 전경	하부 전경
	
산마루측구 전경	상부자연사면 전경
	
야생동물울타리 전경	낙석방지울타리 전경

【그림 2.1.3】 부재별 현황

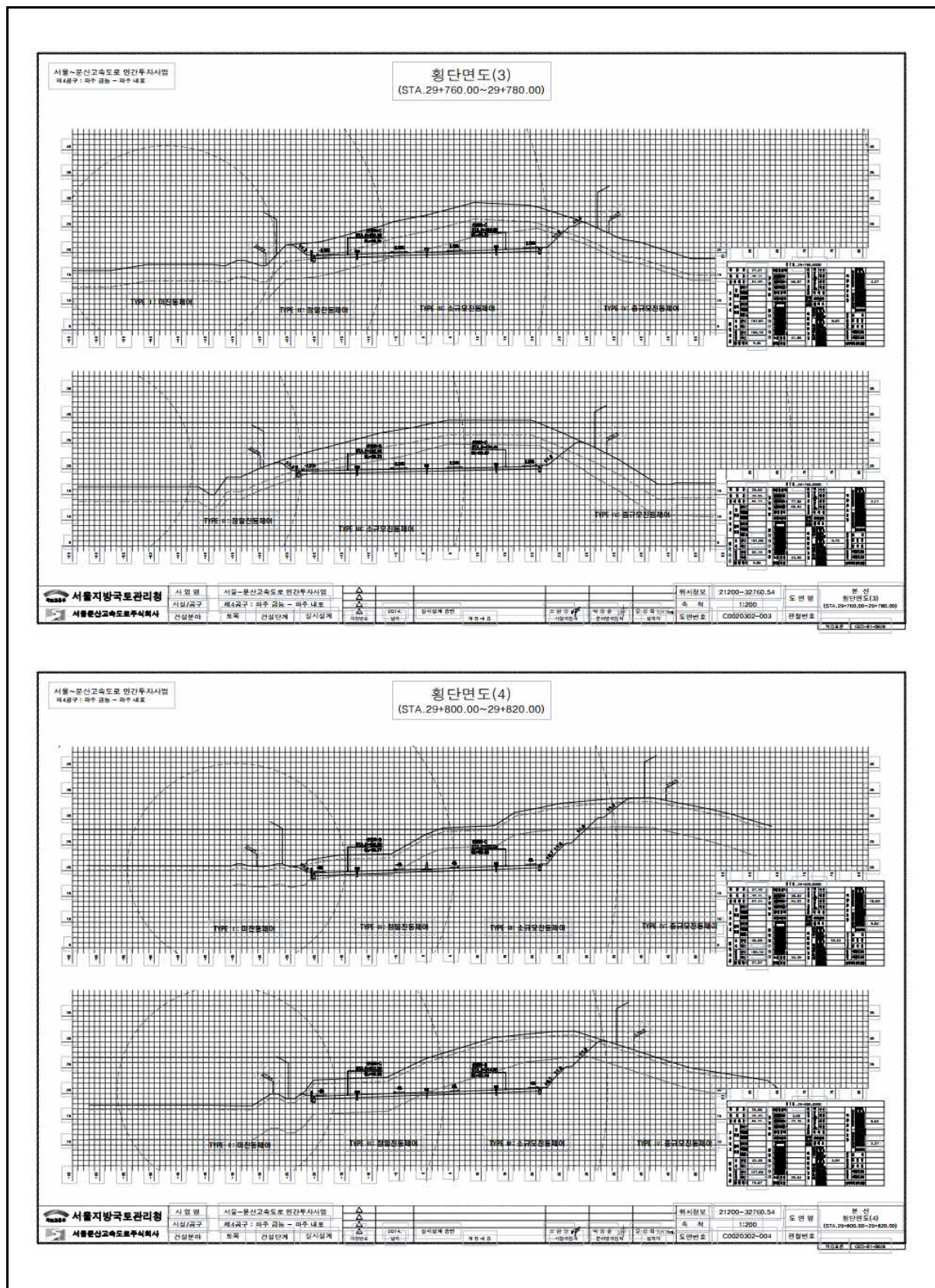
[illegible]

【그림 2.1.4】 평면도(1)

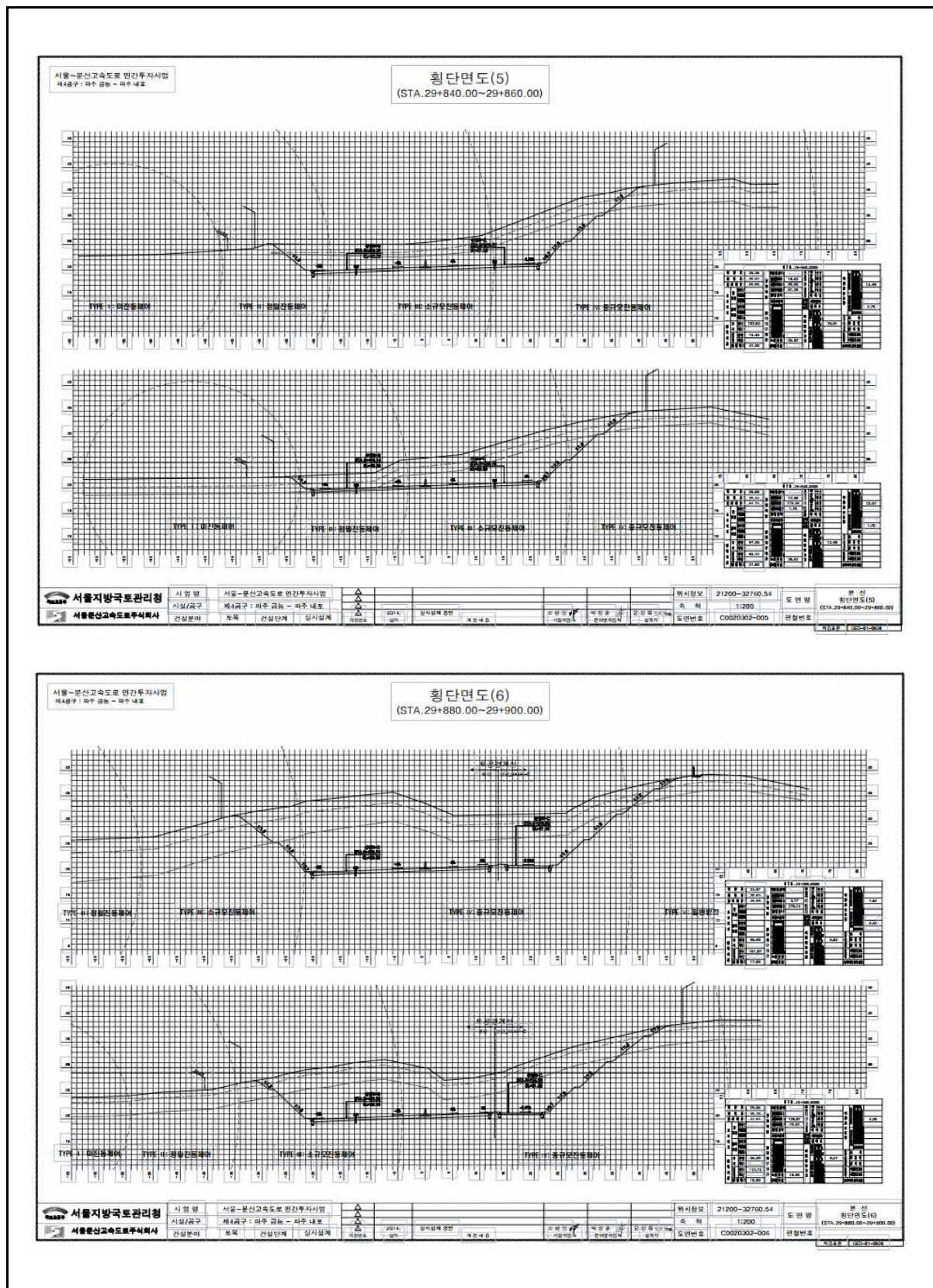




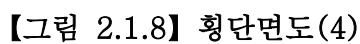
【그림 2.1.5】 횡단면도(1)

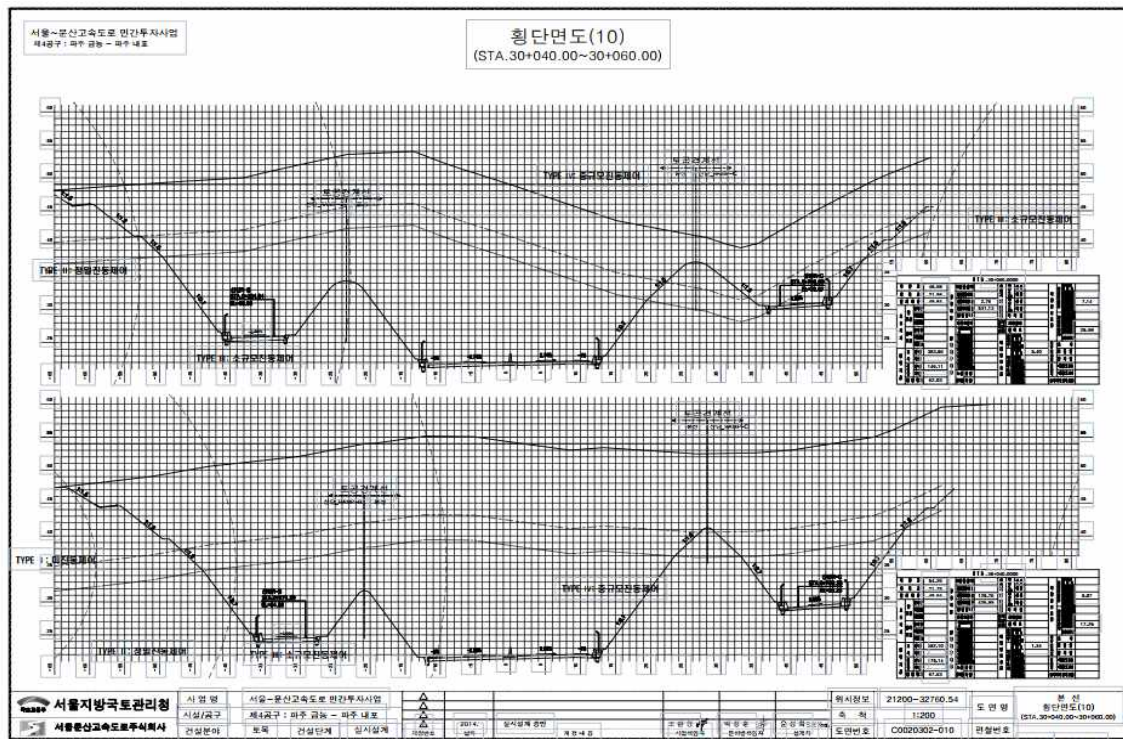


【그림 2.1.6】 횡단면도(2)

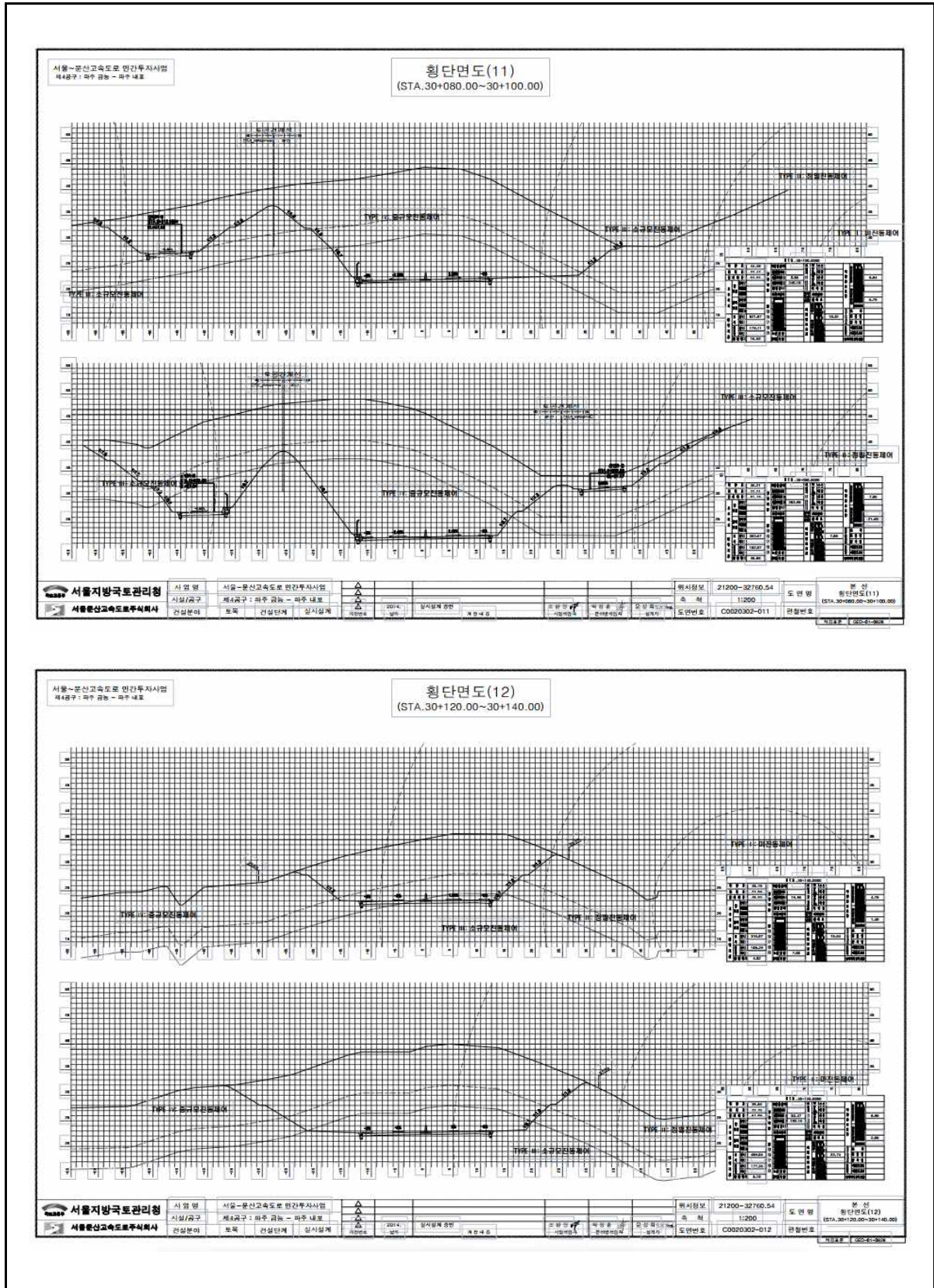


【그림 2.1.7】 횡단면도(3)

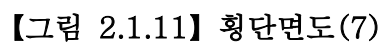




【그림 2.1.9】 횡단면도(5)



【그림 2.1.10】 횡단면도(6)



2.2 자료수집 및 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요현황을 파악하기 위해 [서울~문산고속도로 민간투자사업 (제4공구)]의 설계 및 준공도서, 기존점검자료 등을 검토하여 주요현황을 요약하여 수록하였다.

2.2.1 설계자료 검토

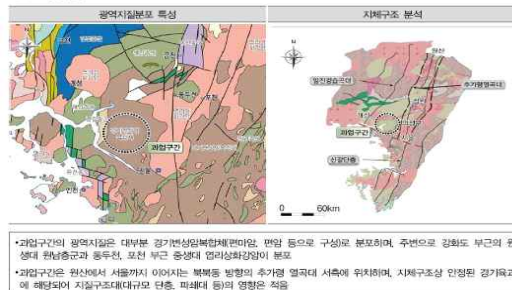
가. 지형 및 지질특성, 현장조사

2.2 지형 및 지질특성

2.2.1 지형특성



2.2.2 지질특성



2.2.3 지질각본



2.3 현장조사

2.3.1 지표지질 조사

(1) 조사기준

지표지질조사는 도로설계요령에서 제시한 방법으로 수행하였으며 조사기준은 다음과 같다.

구 분	조 사 항 목	조 사 기 준
비밀면조사	지표지질조사	*노출암을 대상으로 주형, 경사 측정 불연속면 특성 파악 (도로설계요령, 제2판 도공 및 해수)

② 조사내용
직접 접근이 가능한 위치에 대해서 철저 비밀면에 존재하는 노출암(노두)을 대상으로 암반의 불연속면에 대한 지표지질조사를 수행하였다. 주로 절리의 방향(Orientation), 간격(Spacing), 틈새(Joint Aperture), 거칠기(Joint Surface Roughness), 잔존성(Persistence), 풍화상태, 지하수 유출상태 등을 종합적으로 조사하여 평가 분석한 후 각 비밀면 안정성 검토에 이용하였다.
면적 기준사면인 1:50,000 축척의 지형도와 지질도를 통해 지형 및 지질상태를 파악하였다. 현장 조사에는 절리 및 풍화정도를 조사기준에 따라 차례로 수행하고 지하수의 존재 여부 및 파쇄대(Fracture Zone)를 관찰하였다. 암반 내에 분포하는 불연속면의 주형과 경사를 측정하기 위해서 Clinometer를 사용하였으며, 암각의 크기를 측정하기 위해 줄자를 사용하였다. 암석의 일축압축강도를 파악하기 위해 Geologic Hammer 및 Schmidt Hammer에 의한 강도시험을 실시하였다. 이러한 조사결과를 토대로 지질구조적 분석을 통하여 파괴형태를 추정하고 풍사무위험을 이용하여 위험암반의 안정성 분석을 수행하였다.

(3) 조사방법

암반조사와 절리조사 및 이와 연계된 비밀면상태 조사방법은 다음과 같다.

- ① 풍화정도
풍화지도를 물리적(Mechanical) 풍화와 화학적(Chemical) 풍화로 대별하는데, 물리적 풍화는 암석의 화학적 조성이나 광물학적 조성의 변화 없이 자계 파쇄(Disintegration)되는 것을 의미한다. 일반적으로 물리적 풍화와 화학적 풍화는 동시에 발생하므로 두 가지 풍화지도의 상호영향을 분리하여 고려하기는 어렵다.
물리적 풍화의 주요 원인은 상하 하중의 제거에 따른 암석의 건조, 물의 동결, 온도변화, 식물의 작용 등을 들 수 있다. 화학적 풍화는 물과 암석 중의 원소들이 작용하여 용해, 산화, 탄산화, 가수분해, 수소화, 이온교환 등을 통해 암석이 풍화되는 것을 의미한다.
암석이 물리적 및 화학적 풍화의 생물의 작용을 받아 작은 입자들로 변하여 대대로 그 자라나 가까운 곳에 위치하여 유출물을 포함한 것을 토층(Soil)이라 한다. 암석의 분해 정도는 암석의 입자 크기에 따라 다르다. 암석의 입자 크기에 따라 암석의 풍화 정도를 다음과 같은 6단계, 즉 F(Fresh), S(Slightly Weathered Rock), M(Moderately Weathered Rock), H(Highly Weathered Rock), C(Completely Weathered Soil), R(Residual Soil)로 구분한다.
일반적으로 C와 R은 토층, H와 S는 암과 토층의 경계질로 풍화암, M은 연암, S는 경암, F는 국경암에 해당한다.
- ② 지반특성
지반의 특성은 하부에서 상부로 올라 갈수록 점진적으로 풍화정도가 심하게 된다. 그러나 곳에 따라서는 지하의 열수-염수에 의한 풍화작용을 받게 되면, 풍화가 하부에서 상당히 진전되는 경우도 있다. 일반적으로 변성암에서는 단층 및 절리 등의 복잡한 지질구조로 인한 불규칙한 풍화양상을 보인다.

(2) 암석의 구조

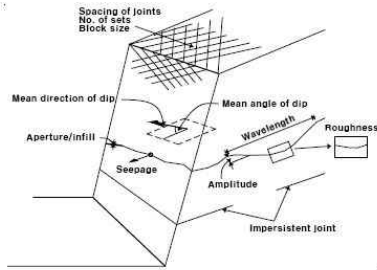
- ① 암석의 층리(Bedding Plane), 절리(Foliation), 박개면(Cleavage)과 같은 어느 일정한 방향성 구조를 보이는데 이는 암석의 공학적 성질에 영향을 줄 수 있다. 그러므로 구조의 발달상태와 정도를 정량적으로 기술한다.
- ② 암석의 색깔
암석의 색깔은 암석의 층리 구분, 암종 구분, 풍화정도 구분에 유용하게 사용되는데, 암석색깔은 혼돈을 방지하기 위하여 가능한 색도표를 사용하여 용어의 선택을 통일한다.
- ③ 입자크기
암석의 크기는 암석의 공학적 성질에 영향을 주는 중요한 요소이다. 같은 종류의 암석이라도 구성입자 크기의 차이에 따라 암석의 공학적 성질은 달라진다.
- ④ 암석의 강도
암석의 강도는 가장 기본적으로 사용하는 공학적 성질인데, 정밀한 일축압축강도는 토양을 손으로 누르거나 암석을 발로 밟거나 망치로 타격하여 추정한다. 정밀한 일축압축강도는 토양에서는 Hand Penetrometer, 암석에서는 Schmidt Hammer 및 Point Load Tester 등으로 판단한다.

(표 2) 강도에 의한 분류(USRA)

용 어	상 태	일축압축강도 (kg/cm ²)
극히 강함 (extremely strong)	*여러번의 타격으로도 잘 깨지지 않음	2,500 이상
매우 강함 (very strong)	*여러번의 타격으로 깨어짐	1,000~2,500
강함 (strong)	*1회 이상의 타격으로 깨어짐	500~1,000
보통 강함 (moderately strong)	*해머의 1회 타격으로 깨어지는 정도	250~500
약함 (weak)	*흔들음 할로 굴이지지 않음	50~250
매우 약함 (very weak)	*해머의 끝으로 타격해 자국이 남는 정도	10~50
극히 약함 (extremely weak)	*흔들음 할로 쉽게 굴러짐	2.5~10

(3) 암석의 종류

- ① 암석의 이름은 암석의 풍화 정도, 구조 등을 나타내며, 암석종류마다 각기 공학적인 특성을 다르므로 암석의 종류를 언급하는 것은 중요하다. 그러나 자세한 지질학적 용어를 사용하였다면 암석에서 토목기술자들이 손쉽게 암석의 종류를 구별하는 것이 바람직하다.
- ② 절리면의 공학적인 특성조사
암석의 절리면은 단층면, 절리면, 거칠기, 강도, 틈새, 충전물질, 지하수 유출상태, 절리의 방향, 암각의 크기 등의 특성을 파악하였다. 비밀면에 영향을 미치는 지질구조(단층, 습곡, 연암, 지하수분포 등)를 조사 한 후, 비밀면에 관한 취약부를 확인한 다음에 지질조사를 수행하였으며, 선구조분석 등의 기존 조사결과와 비밀면간의 Face mapping을 비교 분석하여 종합적인 지질특성을 분석하여 비밀면의 안정성 검토에 반영하였다.



(그림 8) 불연속면의 공학적 조사방법

•절리 방향성(Orientation)

- 불연속면의 기울어진 형태는 주향과 경사가 표시된다. 주향은 불연속면과 수평면의 교선 방향을 의미하며, 북쪽을 기준으로 나타낸다. 경사는 불연속면이 주향선과 직각을 이루며, 수평면과 이루는 각이 최대인 각을 나타낸다. 이 경사가 가리키는 방향을 경사방향이라 한다. 본 보고서에서는 주향/경사가 아닌 경사방향(3자리 숫자)/경사(2자리 숫자)의 형태로 표기하였다(예 035/70, 290/20).
- 주향과 경사를 측정하기 위해서 Clino-Compass를 사용하였으며, 지복에 대해 6°를 보정하여 진폭의 값을 구해 적을시켰다. 불연속면의 표현법은 다음과 같다.

구 분	기 호	설 명
주향 / 경사	↖ : 45°	경사와 방향의 주향을 가진 불연속면
기 호	↘ : 135°	방향의 주향을 가진 수직 불연속면
불연속면 종류	↖ : 절리(Joint), ↘ : 층리(Bedding), ↗ : 열리(Foliation), ↘ : 단층(Fault)	
	— : 연속적인 불연속면(확인 단층)	
	— : 연속성이 보이지 않는 불연속면(추정 단층)	

•절리 간격(Spacing)

- 일정한 불연속면 간의 직선거리를 나타낸다. 일반적으로 같은 군에 속하는 불연속면의 평균거리로 표시된다. 국지 간격이 좁은 불연속면군들을 가진 암반은 낮은 절리밀도를 가지며, 특별한 경우에는 암반의 파괴형태가 평면파괴에서 원형 파괴나 토석류(flow)의 형태로 진행되기도 한다. 불연속면 방향에서와 마찬가지로 미로같이 길어질 수 있는 충분한 수의 불연속면이나 불연속면군, 낮은 절단강도와 같이 방향에 대해 다른 조건들이 나타날 때에는 불연속면 간격의 중요성이 증가된다. ISRM에 의해 정의된 불연속면 간격의 등급은 다음과 같다.

•불연속면의 간극(Aperture)

- 하나의 불연속면에서 서로 인접한 암석에 분리되어 있는 수직거리를 나타내며, 그 간극의 공간은 물이나 공기, 점토 등으로 채워져 있다. 따라서 간극은 충전된 불연속면의 폭과는 구분된다. 큰 간극은 인지할 수 있는 암석이나 기질기를 갖는 불연속면의 전단변형, 충전물(점토)의 용해, 응축, 응고, 인장열극 등에 의해 생긴 것이다. 계곡의 침식이나 빙하의 후퇴 등의 결과로 암석에 의해 개방된 수직이나 급경사의 불연속면들은 매우 큰 간극을 가질 수 있다. 간극의 변화는 불연속면의 전단응력에 영향을 주며, 더 중요한 것은 암반과 불연속면의 투수성과 물의 전도도에 영향을 주는 것이다. 본 과업에서는 불연속면에서 암반 최상~최대 두께를 기록하였으며, 불연속면의 방향과 위치도 함께 기록하였다. 간극의 표현방법은 다음과 같다.

(표 7) 불연속면 간극의 표현방법

간 격	표 현	간 격	표 현
< 0.1mm	Very Tight	1~10cm	Very Wide
0.1~0.25mm	Tight		
0.25~0.5mm	Partly Open	10~100cm	Extremely Wide
0.5~2.5mm	Open	> 1m	Cavernous
2.5~10mm	Moderately Wide		
> 10mm	Wide		

•절리강도 (Wall Strength)

- 불연속면의 벽면을 구성하는 암석의 압축강도는 특히 벽면이 충전되지 않아 직접 암석과의 접촉이 있는 경우 전단강도와 변형도에 매우 중요한 요소이다. 암체는 표면 가까이에서 자주 강화되기도 또는 열수과정에서 변형되기도 한다. 종래에는 변형이 일반적으로 암체의 내부보다는 불연속면의 벽면에 영향을 준다. 전단강도와 변형도에 영향을 주는 상대적으로 낮은 압축벽면은 간단한 Index시험을 통해 이루어진다. 대표적인 압축강도측정 방법은 Schmidt Hammer 시험이나 쿼트 그리고 Geologic Hammer 시험 등으로 추정할 수 있다.
- Schmidt Hammer는 미리 압축된 스프링의 힘을 해방시켜 Hammer가 암반의 표면에 부딪힐 때 반발력을 측정함으로써 암석의 강도를 측정하는 장비이다. 본 과업에서는 Schmidt Hammer의 평균 반발치를 이용해 절리면의 압축강도(JCS: Joint wall Compressive Strength)를 추정하였다.

(표 8) Manual Index 시험

등 급	설 명	특 징	압축강도 (kgf/cm ²)
R0	Extremely Weak	손톱에 의해 파짐	2.5 ~ 10
R1	Very Weak	행머 타격에 의해 부서짐	10 ~ 50
R2	Weak	행머 타격에 의해 움푹 파짐	50 ~ 250
R3	Medium Strong	행머 1회 타격으로 깨짐	250 ~ 500
R4	Strong	행머 1회 이상의 타격에 의해 깨짐	500 ~ 1,000
R5	Very Strong	행머의 다수타격에 의해 깨짐	1,000 ~ 2,500
R6	Extremely Strong	행머타격에 의해 약간 깨짐	> 2,500

(표 4) 불연속면 간격의 등급 (ISRM, 1981)

절리간격의 설명		간 격 (mm)	절리간격의 설명		간 격 (mm)	
극도로 좁음	Extremely Close	< 20	넓 음	Wide	600~2,000	
매우 좁음	Very Close	20~60		매우 넓음	Very Wide	2,000~6,000
좁 음	Close	60~200			극도로 넓음	Extremely Wide
보 통	Moderate	200~600				

•절리의 연속성(Persistence)

- 한 평면내에서의 불연속면 크기나 면적의 정도를 의미한다. 이것은 노두에서 나타나는 불연속면의 길이로 표시된다. 이 요소는 대략적으로 노출된 표면에서 불연속면의 길이를 관찰함으로써 정량화될 수 있다. 이는 암반의 공학적 성질을 결정하는 가장 중요한 요소 중 하나이지만, 현장에서 노두의 크기에 제한을 받기 때문에 가장 결정하기 힘든 요소 중의 하나이다. ISRM(1981)에 의해 제안된 연속성은 노두에서 측정된 가장 대표적인 길이를 사용하며, 그 등급은 다음과 같다.

(표 5) 불연속면 연속성의 등급 (ISRM, 1981)

절리 연속성의 설명		간 격	절리 연속성의 설명		간 격
매우 낮음	Very Low	< 1m	높 음	High	10 ~ 20m
낮 음	Low	1 ~ 3m		매우 높음	Very High
보 통	Medium	3 ~ 10m			

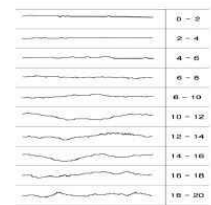
•절리의 거칠기 (Roughness)

- 불연속면의 거칠기는 평균 평면에 대한 불연속면에 나타나는 작은 규모의 요철(unevenness)이나 큰 규모의 만곡(waviness)으로 정의된다. 실제로 있어서 만곡은 전단변형의 초기방향에 영향을 주는 반면 요철은 일반적으로 중간 규모의 한장 직접전단강도시험이나 실험실 시험에서 구해진 전단강도에 영향을 준다. 본 과업에서는 Profile Gauge를 이용하여 암반의 상태를 본 후 종이에 본 형태를 기록하였으며, 본도 그림과 거칠기 표준등급을 Digitizing 후 각각의 거칠기를 표준등급과 비교하여 등급을 나누었다. ISRM(1981)에 의한 제안등급과 거칠기 정도를 표현한 거칠기 중단면도는 다음과 같다.

(표 6) 불연속면의 거칠기 등급

(그림 9) 거칠기 중단면과 JRC

구 분	설 명	상 태
I	Rough	거칠, 계단면
II	Smooth	부드러움, 계단면
III	Slickensided	경면, 계단면
IV	Rough	거칠, 파상면
V	Smooth	부드러움, 파상면
VI	Slickensided	경면, 파상면
VII	Rough	거칠, 평면
VIII	Smooth	부드러움, 평면
IX	Slickensided	경면, 평면



•충진물(Filling)

- 한 불연속면에 서로 인접한 암석의 벽면 사이를 충전하고 있는 물질을 일컫며, 모암 보다도 일반적으로 강도가 약한 경우가 많다. 일반적으로 충전물질은 모래, 점토, 녹니석, 실트 등이며 충적토, 입재암, 단층암, 단층암 등이나 벽면을 덮게 파복하는 광물 등도 포함된다.
- 단단한 광맥(방해석, 석영, 황철광 등)으로 충전된 경우를 제외하고는 일반적으로 깨끗한 면의 불연속면보다는 전단강도가 낮다. 그리고 충전된 불연속면의 거동은 간극에 대입하여 충전된 불연속면의 폭으로 표시한다.
- 형태 : 폭(Width), 벽면 거칠기(Wall Roughness), 한장성까지
- 충전물 종류 : 광물조각, 입자크기, 용해등급
- 충전물의 공학적 성질은 종류에 따라 다양한 성질을 나타냄

•용수(Seepage)

- 대체적으로 암반이나 불연속면에서의 물의 흐름이나 가시적인 습기를 의미한다. 암반을 통한 투수는 불연속면을 통하여 이루어지지만(2차 투수율), 어떤 퇴적암의 경우는 암석 구성물질의 1차 투수율이 공극을 통해 일어나는 전체 투수에 상당히 중요한 역할을 한다. 투수율은 그 지역의 지하수와 그리고 관련된 방향성의 투수율에 대략 비례한다. 지하수위, 투수의 종류, 수압 등은 암반의 유로영역을 감소시켜 암반의 안정성을 감소시킬 수 있다.

(표 9) 용수 표현방법

등 급	벽면에서 용수에 의한 표현
I	• 건조한 벽면과 찬한, 용수는 관찰되지 않음
II	• 약간의 용수, 불연속면에서 물이 떨어짐
III	• 중간 정도의 용수, 불연속면에서 계속적인 용수
IV	• 높은 용수, 불연속면에서 강한 용수
V	• 매우 높은 용수

•절리군의 수(Number of Sets)

- 암반에 교차되어 나타나는 불연속면군의 수는 암반의 외관이나 역학적 거동에 상당한 영향을 준다. 매우 조밀한 간격을 갖는 많은 수의 불연속면군이 나타나는 비활성의 파괴형태는 평면파괴나 전도형 파괴에서 최전향이나 원형파괴로 변화될 수 있다.

(표 10) 절리군의 표현방법

구 분	설 명	구 분	설 명
I	• 과상(Massive), 가끔 불규칙한 절리	VI	• 3개의 절리군
II	• 1개의 절리군	VII	• 3개의 절리군에 불규칙한 절리
III	• 1개의 절리군에 불규칙한 절리	VIII	• 3개 이상의 절리군
IV	• 2개의 절리군	IX	• 파쇄암, 토사상태
V	• 2개의 절리군에 불규칙한 절리		

1.2 암반의 분류 및 기재방법

- 일반적으로 연암, 보통암, 강암으로 구분
- 암석의 풍화상태, 불연속면 절리나 파쇄대의 간격, 강도 및 암질 표기 (국제암반역학학회, ISRM의 분류법에 의거 분류)
- 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안으로 관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시험의 채취방법 및 시추주상도 작성방법"에 의거 시추주상도 작성
- 색, 불연속면(Discontinuity)의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석경 등
- 색은 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연함), 양(잔한)의 명암 및 혼색의 서술용어를 사용
- 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류

1.2.1 암반의 분류방법

- 지반조사시 암반의 분류는 TCR, RQD, 시추 굴진상태 및 시추 굴진속도, 풍화상태를 관찰하여 시추주상도에 기재하고, 한국도로공사의 분류기준을 참고로 하여 풍화암, 연암, 보통암, 강암으로 구분
- 토공의 작업성(리퍼빌리티)에 의거한 분류는 토사, 리퍼암, 발파암으로 구분

○ 토공작업 리퍼빌리티에 따른 암반의 분류(도로설계편람, 2012)

구 분	토 공 작 업		
	토 사 (도저)	리 퍼 암	발 파 암
표준관입시험 (N값)	50/10 미만	50/10 이상	—
불연속면의 발달 정도	8X 크기	—	TCR=5% 이하이고 RQD=0% 정도
	NX 크기	—	TCR=5~10% 이상이고 RQD=0~5% 이상
탄성파속도	A그룹 임종	700m/sec 미만	700~1,200m/sec 미만
	B그룹 임종	1,000m/sec 미만	1,000~1,800m/sec 미만

주) · A그룹 암종 : 편마암, 사질편암, 석회암, 사암, 응회암, 역암, 화강암, 안산암 · B그룹 암종 : 흑색편암, 녹색편암

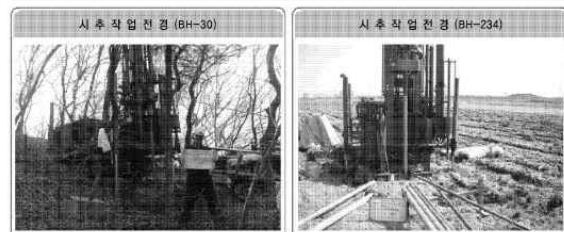
2.3 현장조사

2.3.1 시추조사

- 지반의 성상을 조사하고 시료의 채취 및 각종 원위치 공내시험을 시행하여 설계에 필요한 제반 자료 제공
- 지반의 수직적 분포상태, 파쇄대 및 단층대 확인, 지반 공학적 특성 파악 및 시료 채취
- 암질상태, 균열상태, 파쇄구간의 분포 및 암석의 강도정수를 구할 수 있는 시료 확보

○ 방법

- 시추작업과 병행하여 지층의 상대밀도와 구성성분을 파악하기 위하여 표준관입시험 병행 실시
- 코어화수율을 높여 정확한 암질상태를 파악하기 위하여 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit 사용
- 채취된 암석 Core는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 절리와 절리면의 종전등 등을 파악하고, 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추주상도에 기재
- 지하수위의 측정은 지하수계(Ground Water Body) 상면의 위치 또는 시추공에 나타나는 정수면의 위치를 지표면과 일정한 기준면으로부터의 수직거리로 구함(시추총로 24시간 경과 후)



○ 적용현황

- 터널구간은 설계에 필요한 지반상태 파악을 위해 계획하 0.50까지 시추
- 교량구간은 기초의 침하에 영향을 주지 않는 심도인 풍화암 7.0m, 연암 3.0m, 경암 1.0m 이상 시추
- 약기구간은 계획하 2.0m 까지 시추
- 절기구간은 침하에 영향을 주지 않는 30/30이상 3회 또는 풍화암 3.0m 시추

- 지층상태 및 지층을 확인, 암반분류, 현장시험 및 채취된 시료를 이용하여 설계 토질 및 암석시험 실시
- 주상도 작성으로 암반분류 및 지보대책 설계에 활용
- 단면도 작성으로 비탈면 설계에 활용

1.3 암반의 공학적분류

- 암반분류는 터널이나 비탈면 설계시 지반에 대한 평가를 수행하고 동시에 굴착과 보강 설계에 대한 기준을 제시하는데 이용
- 설계와 수치해석의 입력 물성값 결정을 위한 정량적인 자료와 Guideline 제공

1.3.1 국내의 암반분류 방법

- 각 기관별로 설계에 이용된 암반분류 기준들이 아직까지 일관성과 통일성이 없는 기준들이 제시되고 있으며, 시공사의 막장을 관찰하여 결정한 암반등급과 보강제안과의 관계를 통계를적으로 도출된 RMR과 Q-System을 이용하여 암반분류 수행

○ 국내의 암반분류 기준

구 분	분류목적	분류요소	주 요 내 용	비 고
도로설계편람	토 공	• 탄성파속도 (자연암석) • 내압강도 • 암석종류	• 암석의 켤기 난이도를 기준으로 분류 • 암속입축강도에 의한 암종류 특성치 범위 규정	국토교통부 (2012)
용역협회기준	시 추 암석분류	• 탄성파속도 • 암속입축강도	• 시추주상도상의 암석종류 기재시 탄성파속도 및 암속입축강도에 의한 분류	한국엔지니어링 진흥협회 (2004)
서울시	토목공사	• TCR, RQD • 암속입축강도 • 절리면 간격	• TCR, RQD에 의한 암반분류 • 암종류 암속입축강도 및 절리면 간격 등을 고려한 분류내용 기재	서울시 지반조사편람 (2006)
서울지하철	터 널	• TCR, RQD • 암속입축강도 • 절리면 간격 • RMR과 연계	• 서울지하철 분류기준에 의하여 TCR, RQD에 의한 암반분류 • 암종류 암속입축강도 및 절리면 간격 등을 고려한 분류내용 기재	서울지하철 9호선 설계기준(안) (1997)
고속철도	터 널	• 암속입축강도 • 탄성파속도 • 변형계수 • 지반강도비 • TCR, RQD • 현장 육안관찰	• RQD 및 암속입축강도 등 개별요소에 의해 암반등급 결정 가능성 제시 • 변형계수 및 지반강도의 범위 제시	고속철도 전문시방서 지반분류 (2006)
한국도로공사	터 널	• RQD, TCR • RMR • Q-System • 탄성파속도 • 암속입축강도	• 기존 암반분류 기준으로 적용, RQD 및 암속입축강도 등 개별요소에 의해 암반등급결정 범위 제시	한국도로공사 암반분류기준 (2005)

2.3.2 시험굴조사 및 현장밀도시험

○ 시험굴조사

- 비탈면 및 터널 입·출구부의 지층 구성 상태 파악, 쌓기재료의 다짐특성 파악
- 노반재료로서 적합성 여부 판단 및 토공량 산출을 위한 토량 환산계수 산정

시험 방법	시험현경(원지반 상태)
• 시험점 표준사 단위중량을 측정 • 시험점의 지표면을 정리 후 준비된 굴착도로로 흙을 채취 후 '시험가도' 무게를 측정, 시험기를 밀린 뒤에 밀착시킨 후 밸브를 열어 모래를 자유낙하 시킨 • 모래의 흐름이 멈추면 밸브를 닫고 시험기를 들어내고, 밀린 위의 모래를 쏟아내어 시험기에 담음 • 채취된 슬럼프 무게와 '시험가도' 무게 측정 • 금속 칸조기로 매년 흙의 함수비를 측정	

- 현장조사 및 실내시험에 의한 토사층의 품질, 다짐특성, 노상지력비 산정
- 쌓기재료로서의 적합성 판정 및 경제성을 고려한 쌓기재 및 노반재료로서의 유용가능성 파악
- 자연상태의 현장단위중량을 구하여 비탈면 해석시 적용

○ 현장밀도시험

- 토사층을 대상으로 지반상태 및 호트러진 상태의 단위중량 측정
- 한국공업규격에 의거 현장밀도시험(KS F 2311) 실시

■ 시험 방법(모래치환법)

- 시험 점소의 지표면을 수평으로 고름
- 지표면에 밀판을 밀착 후 내측의 흙을 받
- 마넌 흙의 전체중량을 측정함
- 밀판 구멍에 갈대기를 맞추어 측정기를 세움
- 밸브를 열고 병 속의 표준사 이동이 없는 것을 확인한 후 밸브를 잠금
- 측정기와 남은 모래의 중량을 재고 시험 구멍 및 갈대기를 채우는데 필요한 모래의 중량을 구함
- 갈대기를 채우는 데 필요한 모래의 중량을 구하고 시험 구멍의 체적을 구함

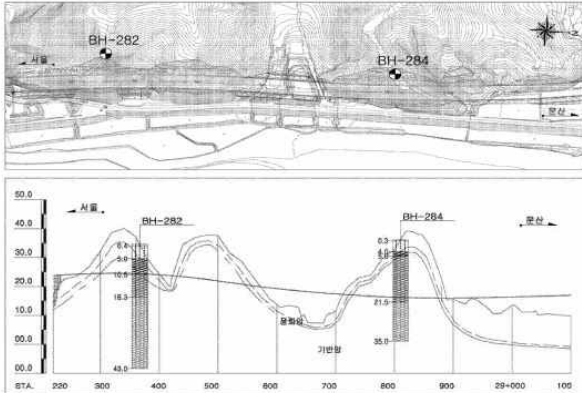
○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	약 기 구 간	발 기 구 간	합 계
수 량(회)	-	-	3	-	3

- 다짐특성 파악을 통한 시공단계에서 흙쌓기 다짐관리
- 풍화대의 단위중량 파악
- 토량 환산계수 산정

○ 본선 구간 4-4구간(STA.29+210~29+080) : BH-282, 284

■ 조사위치 및 지층단면도



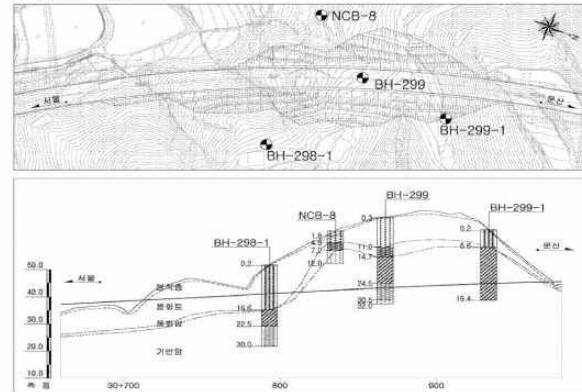
■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 두(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
표토층	0.0	0.3~0.4	실트질 모래	-
풍화토	0.3~0.4	3.7~4.6	실트질 모래	32/30~50/15
풍화암	4.0~5.0	1.6~5.5	실트질 모래	50/10~50/7
연 암	5.6~10.5	7.8~15.9	편마암	50~100/0~37
보통암	18.3~21.5	13.5~24.7	편마암	55~100/10~70

구 분	지 층 개 요
표토층	· 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3~0.4m 층후로 분포하여 실트질 모래로 구성
풍화토	· 기반암의 상부풍화대로 지표하 0.3~0.4m에서 3.7~4.6m 층후로 분포 · 갈색의 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 조밀~매우조밀한 상태임
풍화암	· 지표하 4.0~5.0m에서 1.6~5.5m 층후로 분포하며 굴진시 암편석인 실트질 모래로 분해 · BH-282반공에서 암반상 코어 화수(9.4~10.5m)
연 암	· 지표하 5.6~10.5m에서 7.8~15.9m 층후로 분포하며 갈색~암화색의 편마암으로 구성 · RQD=0~37%로 매우불량~보통양호한 암질상태
보통암	· 지표하 18.3~21.5m에서 13.5~24.7m 이상 층후로 분포하며 갈색~암화색의 편마암으로 구성 · RQD=10~70%로 매우불량~양호한 암질상태

○ 본선 구간 4-6-1구간(STA.30+680~30+960) : BH-298-1, 299, 299-1, 보완설계 : NCB-8

■ 조사위치 및 지층단면도



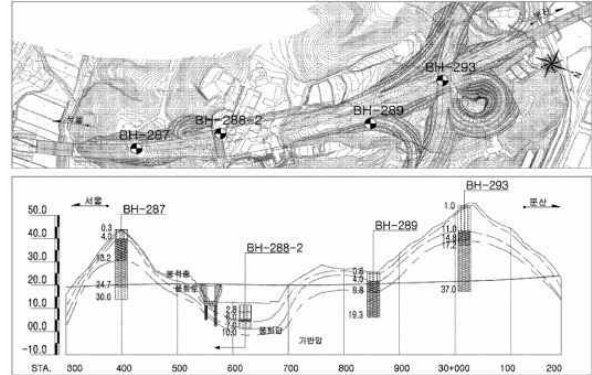
■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 두(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
표토층	0.0	0.3~4.3	실트질 모래	18/30~27/30
풍화토	0.0~0.3	6.6~16.6	실트질 모래	9/30~50/14
풍화암	4.3~11.0	2.9~3.7	실트질 모래	50/10~50/3
연 암	6.6~16.6	5.9~19.4	편마암	40~100/0~39%
보통암	24.5	6.0	편마암	100%/20~75%
경 암	7.2~30.5	1.5~7.5	편마암	90~100%/60~81%

구 분	지 층 개 요
표토층	· 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3~4.3m 층후로 분포하여 실트질 모래로 구성 · 습윤하며 표준관입시험 결과 보통조밀한 상태임
풍화토	· 지표하 0.0~0.3m에서 6.6~16.6m 층후로 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상태임
풍화암	· 지표하 4.3~11.0m에서 2.9~3.7m 층후로 굴진시 암편석인 실트질 모래로 분해
연 암	· 지표하 6.6~16.6m에서 5.9~19.4m 층후로 분포, RQD=0~39%로 매우불량~보통양호한 암질상태
보통암	· 지표하 24.5m에서 6.0m 층후로 분포, RQD=20~75%로 매우불량~양호한 암질상태
경 암	· 지표하 7.2~30.5m에서 1.5~7.5m 이상 층후로 분포, RQD=60~81%로 보통양호~매우양호한 암질상태

○ 본선 구간 4-5구간(STA.29+300~30+180) : BH-287, 289, 293

■ 조사위치 및 지층단면도



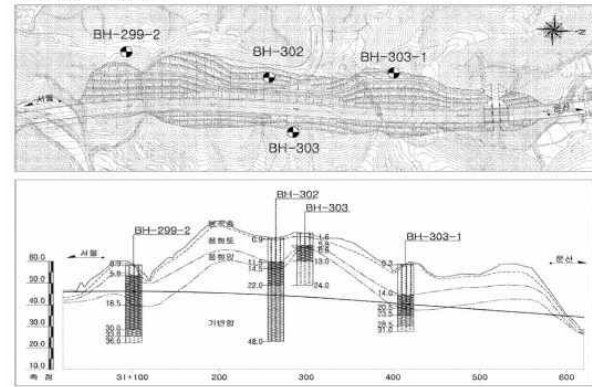
■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 두(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
표토층/매립층	0.0	0.3~2.8	실트질 모래	4/30~7/30
풍화토	0.3~2.8	1.0~10.0	실트질 모래	15/30~50/12
풍화암	3.8~11.0	3.2~9.2	실트질 모래	50/10~50/1
연 암	8.8~14.8	2.4~10.5	편마암	54~100/10~46
보통암	13.2~17.2	11.5~19.8	편마암	49~100/0~70%
경 암	7.0~24.7	3.0~5.3	편마암	100%/63~92%

구 분	지 층 개 요
표토층/매립층	· 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3~2.8m 층후로 분포 · 단갈색~황갈색의 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 느슨한 상태임
풍화토	· 기반암의 상부풍화대로 지표하 0.3~2.8m에서 1.0~10.0m 층후로 분포 · 습윤하며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상태임
풍화암	· 지표하 3.8~11.0m에서 3.2~9.2m 층후로 분포하며 굴진시 암편석인 실트질 모래로 분해
연 암	· 지표하 8.8~14.8m에서 2.4~10.5m 층후로 분포하며 편마암으로 구성 · RQD=54~100%로 보통양호~매우양호한 암질상태
보통암	· 지표하 13.2~17.2m에서 11.5~19.8m 층후로 분포하며 편마암으로 구성 · RQD=49~100%로 매우불량~양호한 암질상태
경 암	· 지표하 7.0~24.7m에서 3.0~5.3m 이상 층후로 분포하며, 유백색의 편마암으로 구성 · RQD=63~92%로 양호~매우양호한 암질상태

○ 본선 구간 4-6-2구간(STA.31+040~31+600) : BH-299-2, 302, 303, 303-1

■ 조사위치 및 지층단면도



■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 두(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
표토층	0.0	0.3~1.6	실트질 모래	6/30
풍화토	0.3~1.6	4.2~13.7	실트질 모래	8/30~50/10
풍화암	5.0~14.0	0.8~13.5	실트질 모래	50/10~50/2
연 암	6.6~20.5	3.0~14.6	편 마 암	48~100/0~46%
보통암	22.0~30.0	3.0~26.0	편 마 암	98~100%/44~76%
경 암	13.0~33.0	2.5~11.0	편 마 암	96~100%/68~83%

구 분	지 층 개 요
표토층	· 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3~1.6m 층후로 분포하여 실트질 모래로 구성됨
풍화토	· 지표하 0.3~1.6m에서 4.2~13.7m 층후로 분포 · 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀로 심도에 따라 편차가 크게 나타남
풍화암	· 지표하 5.0~14.0m에서 0.8~13.5m 층후로 분포하여 굴진시 실트질 모래로 분해
연 암	· 지표하 6.6~20.5m에서 3.0~14.6m 이상 층후로 분포하며 편마암으로 구성 · TCR/RQD는 48~100%/0~46%로 매우불량~보통양호한 암질상태
보통암	· 지표하 22.0~30.0m에서 3.0~26.0m 이상 층후로 분포하며, 편마암으로 구성 · TCR/RQD는 98~100%/44~76%로 보통양호~양호한 암질상태
경 암	· 지표하 13.0~33.0m에서 2.5~11.0m 이상 층후로 분포하며, 편마암으로 구성 · TCR/RQD는 96~100%/68~83%로 양호~매우양호한 암질상태

제 1 장 비탈면 설계개요

1.1 설계개요

- 기본방향**
- 주변 환경을 고려하여 합리적, 경제적, 환경친화적 비탈면 설계
 - 현상조건을 반영한 여러 분석기법(한계평형, 수치해석, 파괴확률 등)의 비교를 통한 최적 설계
 - 비탈면 보호공법 및 유지관리 계획으로 시공 중·후 및 장기적인 비탈면의 안정성 확보

1.1.1 기본방향



1.1.2 주요 검토사항

예비 및 상세조사	• 인접 비탈면 설계 조사 분석 • 현장조사, 지표지질조사분석을 통한 설계 자료 활용 • 시추조사, 물리탐사, 각종 실내시험으로 해석에 필요한 기초자료 제공
지반장수 선정	• 지반조사 결과분석 및 상관성 분석에 의한 설계 지반장수 도출 • 연속체, 불연속체 지반장수의 체계적인 분석 및 결정
비탈면 안정성 검토	• 다양한 분석기법의 도입으로 인한 해석결과와 비교, 분석으로 적정성 검증 • 시공구간의 지질특성을 반영한 확률론적 구성 및 불연속체 정밀해석 수행 • 불안정 비탈면에 대하여 여러 공법의 비교분석을 통한 최적의 보강·보호공 선정
비탈면 내진설계	• 유사정적해석 : 지진파별 지진응답해석을 통해 얻어진 지표면 최대가속도 적용
낙석, 낙반 분석	• 낙석의 운동 역학적 에너지 개념도입으로 인한 낙석·낙반 분석 • 낙석 이송거리 및 충격 에너지검토를 통한 낙석방지시설의 설치여부 검토
비탈면 유지관리계획	• 계측계획 수립, 시공 중 및 시공 후 유지관리 계획 제시

제 2 장 비탈면 안정성 검토

2.1 설계개요

- 기본방향**
- 절기 비탈면 중 절기고 10.0m 이상인 구간에 대하여 안정성 검토
 - 절기 비탈면 중 토사층이 깊고 지층변화가 심한 구간에 대하여 대단면 선정
 - 비탈면 한계평형해석 검토 후 확률론적 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-변형률 해석 수행
- 해석결과 비교 검토 및 비탈면의 전체적인 안정성 확인

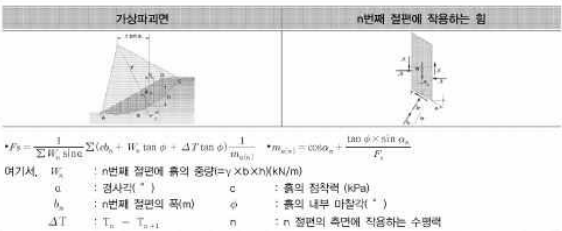
○ 개요

- 일반적으로 적용되는 한계평형해석 및 지하수 모델의 불연속성을 극복하기 위해 한계평형해석과 유한요소해석간의 연계해석을 수행
- 강도감소법을 이용하여 지반내 응력 상태를 재현, 보다 실제에 가까운 파괴 활동 및 지반내 응력변화, 비탈면에서의 전단파괴 영역 및 소성변위를 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, 산정한 안전율이 허용안전율 이상이 되면 비탈면은 파괴에 대해 안정한 것으로 판단
- 한계평형이론에 의한 비탈면안정 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 두텁게 분포하며, 기반암의 암종은 흑운모편마암이 주로 분포함
- 깎고 20m 이상인 구간과 토사층이 깊은 구간에 대하여 대단면면을 선정하여 안정성 검토를 수행함

■ 본선 깎기비탈면 현황

구분	측점 (STA.)	비탈면 유형	최대높이 (m)	대단면 (STA.)	비고
4공구	깎기 1구간	토사 좌측	16.7	21+940	-
		토사 우측	8.7	22+040	-
		토사 좌측	19.3	23+760	-
	깎기 2구간	암반 우측	19.2	23+820	-
		토사 좌측	16.3	23+860	-
		토사 좌측	12.5	24+240	-
	깎기 3구간	토사 좌측	11.3	25+880	-
		토사 좌측	11.9	25+900	단기 터파기
		토사/암반 좌측	25.4	28+340	-
	깎기 4구간	토사 좌측	32.1	28+360	-
		암반 좌측	27.8	28+480	-
		암반 좌측	33.9	28+900	-
		토사 좌측	15.3	28+920	-
		암반 좌측	25.0	29+380	-
		토사 좌측	22.9	29+400	-
	깎기 5구간	토사 우측	21.5	29+980	-
		암반 좌측	23.9	30+020	-
		암반 우측	36.1	30+020	-
		토사 우측	23.2	30+780	-
		암반 우측	26.4	30+840	-
		토사 좌측	22.3	30+880	-
	깎기 6구간	토사 우측	24.6	30+880	-
		암반 좌측	25.2	30+900	-
		암반 우측	25.2	30+920	-
		토사 좌측	35.6	31+180	-
		토사/암반 좌측	39.2	31+220	-
		암반 좌측	38.8	31+300	-
합계	Ramp-A	토사 우측	11.9	0+360	-
	Ramp-A	토사 좌측	15.8	0+220	-
	Ramp-B	토사/암반 좌측	28.3	0+920	-
	Ramp-B	토사/암반 좌측	28.3	0+920	-

2.1.2 암반 비탈면 안정성

- 현장조사결과를 반영한 평사면형해석, SM평가 등을 통하여 암반비탈면 안정성 예비평가
- 잠재적인 파괴가능성을 내포한 비탈면에 대해 한계평형해석 및 수치해석 수행
- 암반 절리특성의 불확실성을 고려한 암반비탈면의 파괴확률 선정

○ 개요

- 현장 지질조사를 통하여 조사된 불연속면의 절리방향과 내부마찰각을 평사면형하여 암반 비탈면 불연속면 안정성 평가(DIPS)
- 절리면을 따라 암괴에 미치는 응력분포와 절리면의 전단방향특성, 지하수 조건 등을 고려한 한계평형해석을 적용하여 비탈면 안정성 해석 수행(SWEDGE, ROCPLANE)

○ 평사면형해석 (Stereographic Projection Method)

- 평사면형해석은 대원(Great Circle, 절리파괴의 가능성 예측)과 극점(Pole, 평면 및 전도파괴의 가능성 예측)으로 해석하는 두 가지 방법으로 대별
- 불연속면의 긴 연장선 외에 중점을 접제, 지하수 유동 등 위험요소를 내포한 절리와 단층과 같은 불연속면은 평사면형 해석시 방향성이 상세하게 나타나지 않아도 중요 위험불연속면으로 고려하여 해석

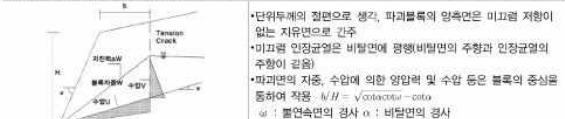
■ 검토 방법



○ 한계평형해석 (Limit Equilibrium Analysis)

- 한계평형해석은 암반불록의 자중, 절리면의 마찰각 및 점착력, 암반간극수압 등을 고려하여 암반불록에 대한 비탈면 안정계수(Safety Factor)로 나타내는 방법

■ 평면파괴해석 (Plane Failure)



2.2.2 시설물 점검이력

대상시설물은 2종 시설물로서 2020년 11월 준공이후 기준에 따라 3회(정기안전점검 3회)의 점검을 주기적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

【표 2.2.1】 점검이력사항

번호	점검구분	점검 기관명	비용 (천원)	주요 점검결과
	점검기간	책임 기술자	안전 등급	주요 보수보강(안)
1	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어링	1,402	절토사면(STA.29+700~30+200(우))사면은 식생공이 시공되어있고, 하부 낙석방지울타리 및 옹벽-L형이 설치되어 있다. 보호·보강공의 상태는 양호한 상태이다. 현재, 지반변형 등의 파괴징후는 1단사면 암괴이완, 소단배수로 균열, 산마루측구 폐기물퇴적, 토사퇴적 등 일부가 조사되었다. 해당 손상에 의한 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 강우시 손상이 진전될 수 있으므로, 보수설시여부 및 진전여부에 대한 지속적인 주의관찰이 필요하다.
	2021. 03. 22 2021. 06. 30	이상훈	양호	정비, 주입보수, 주의관찰
2	정기안전점검 (하반기)	(주)명성 엔지니어링	1,402	절토사면(STA.29+700~30+200(우))사면은 식생공이 시공되어있고, 하부 낙석방지울타리 및 옹벽-L형이 설치되어 있다. 보호·보강공의 상태는 양호한 상태이다. 현재, 지반변형 등의 파괴징후는 1단사면 암괴이완, 소단배수로 균열, 산마루측구 폐기물퇴적, 토사퇴적 등 일부가 조사되었다. 해당 손상에 의한 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 강우시 손상이 진전될 수 있으므로, 보수설시여부 및 진전여부에 대한 지속적인 주의관찰이 필요하다.
	2021. 08. 23 2021. 11. 24	이상훈	양호	정비, 주입보수, 주의관찰
3	정기안전점검 (상반기)	(주)명성 엔지니어링	1,402	- 1단 사면 암괴이완 - 소단배수로 균열(cw=0.3mm이상) - 산마루측구 폐기물퇴적, 토사퇴적
	2022. 03. 02 2022. 06. 15	손기영	양호	정비, 주입보수, 주의관찰 등

2.2.3 수집자료 검토결과 및 점검방향 설정

【표 2.2.2】 수집자료 검토결과 및 점검방향

구 분	내 용	비 고
설계도서	○ 현장조사 시 준공도면과 비교·검토 후 상이할 경우 외관조사망도를 실측치와 동일하게 작성 하고, 과업을 진행토록 함	
시설물관리대장	○ 관리대장의 내용과 설계도서를 비교 검토한 결과, 상이한 내용은 없으며, 정밀한 현장조사를 실시하여 향후 유지관리를 위한 사항들을 관리대장에 수록함	
시공관련자료	○ 안전, 품질, 공정 및 변경 등에 관한 검토를 통해 합당한 공사가 시행 된 것으로 확인되었고, 안전점검 기록 및 현장시험을 통해 품질의 현 상태를 분석하고 확인함	
안전점검 및 정밀안전점검자료	○ 점검이력을 검토한 결과, 시설물의 손상 및 상태가 확인되었고, 기존점검 결과를 비교·검토하여 손상 확인, 보수여부 확인 후 대책방안을 검토함	
보수·보강자료	○ 준공이후 조사된 손상에 대해서 보수가 실시되지 않은 상태이며, 하자보수를 위해 주요 부재에 손상발생여부를 확인함	
중 점 관리사항	○ 기존점검 중점유지관리사항을 확인하였으며, 금회 점검시 세심한 점검을 실시함	
시설물 특이사항	○ 중대결함 : 없음 ○ 구조가 변경된 경우 : 없음	
점검주기	○ 점검일 기준 정기점검 총 3회를 실시하였으며, 전반적으로 점검 시기는 적절하게 이루어지고 있는 것으로 조사됨.	

2.2.4 시설물 보수 이력

2020년 11월에 준공되어 현재 FMS(시설물정보종합관리시스템)에 등록된 보수·보강실적은 없는 것으로 확인되었다.

【표 2.2.3】 보수이력사항

NO	보수위치	내용	기간	공사비	시공자	비고
1	—	—	—	—	—	

2.2.5 시설물의 내진설계 여부 확인

설계도서 및 FMS(시설물정보종합관리시스템) 확인결과, 내진설계가 적용된 것으로 확인되었다.

【표 2.2.4】 내진설계 여부 확인

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약
해당사항 없음	적용	—	—

2.3 현장조사 및 시험

2.3.1 현황 및 특성

대상시설물은 고속국도 17호선(서울문산고속도로) 상에 위치한 절토사면으로, 자료수집 및 현장조사결과를 통해 확인된 일반현황, 사면특성, 구간분할, 외관조사 및 재료시험 결과는 다음과 같다.

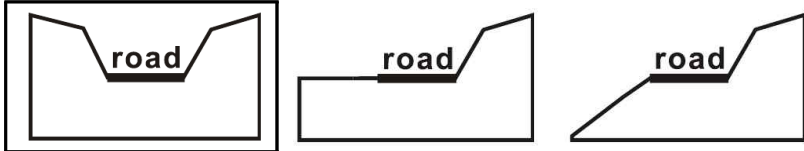
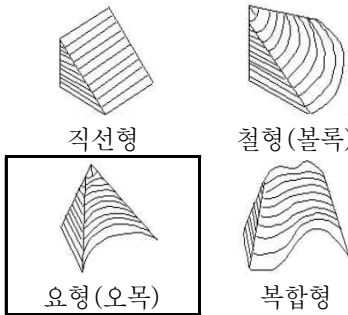
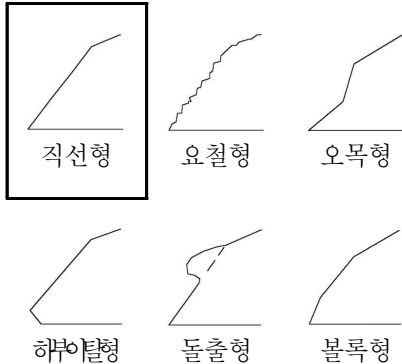
가. 일반현황 조사결과

【표 2.3.1】 일반현황 조사결과

조사일자	2022. 10. 21.	조 사 자	정 지 운
일 기	맑음	준공년도	2020년 11월 06일
행정구역	경기도 파주시 월롱면 능산리 326-29		
위 치	시점 : 37° 49' 32.0" 126° 46' 45.0"		
	종점 : 37° 49' 43.0" 126° 46' 31.0"		
	본선구간 27.400~28.900km(우)		
절토사면	길 이 : 500.0m	높 이 : 30.9m	
	경 사/경사방향 : 55/231(평균경사 45°)		
	구성물질 : 발파암, 리핑암, 토사	토층심도 : 약 3.9m	
	소 단 : 5개(폭 1.0m소단 4개, 폭 3.0m소단 1개)		
낙석/튼돌	낙석 존재유무 : 없음	낙석의 양 : -	
	낙석 평균크기 : -		
	낙석 최대크기 : -		
	튼돌 존재유무 : 없음	튼돌의 양 : -	
절토사면 시공현황	종 류	위 치	상 태
	식생현황	27.400~27.900k	양호
	낙석방지울타리	27.700~27.900k	양호
	낙석방지망	27.400~27.900k	양호
	소단배수로	27.590~27.780k	균열, 토사퇴적 등
붕괴이력	유 형	규 모	위 치
기 타	점검로 : ☒ 유 ☐ 무	양호	☐ 보수필요 ☒ 보수불필요

나. 사면특성 조사결과

【표 2.3.2】 사면특성 조사결과

주변지형의 특성	주변 지형	산악지형							
	종단면 형상								
	기타 특징	-							
절토사면의 특성	중 횡 단 면			중 단 면 특 성					
		직선형	곡형(불록)		요형(오목)	복합형	직선형	요철형	오목형
상부 자연비탈면	경 사 도	24°							
	인장균열	무							
	포행흔적	무							
	수목의 기울어짐	무							
	인공구조물	무							
	산마루측구	유							
	계곡부	무							
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 ()							

다. 사면 구간분할 결과

사면의 구간분할 기준

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

사면분류를 실시한 결과는 상태평가의 지반특성에 따른 사면분류 편에 작성하였다.

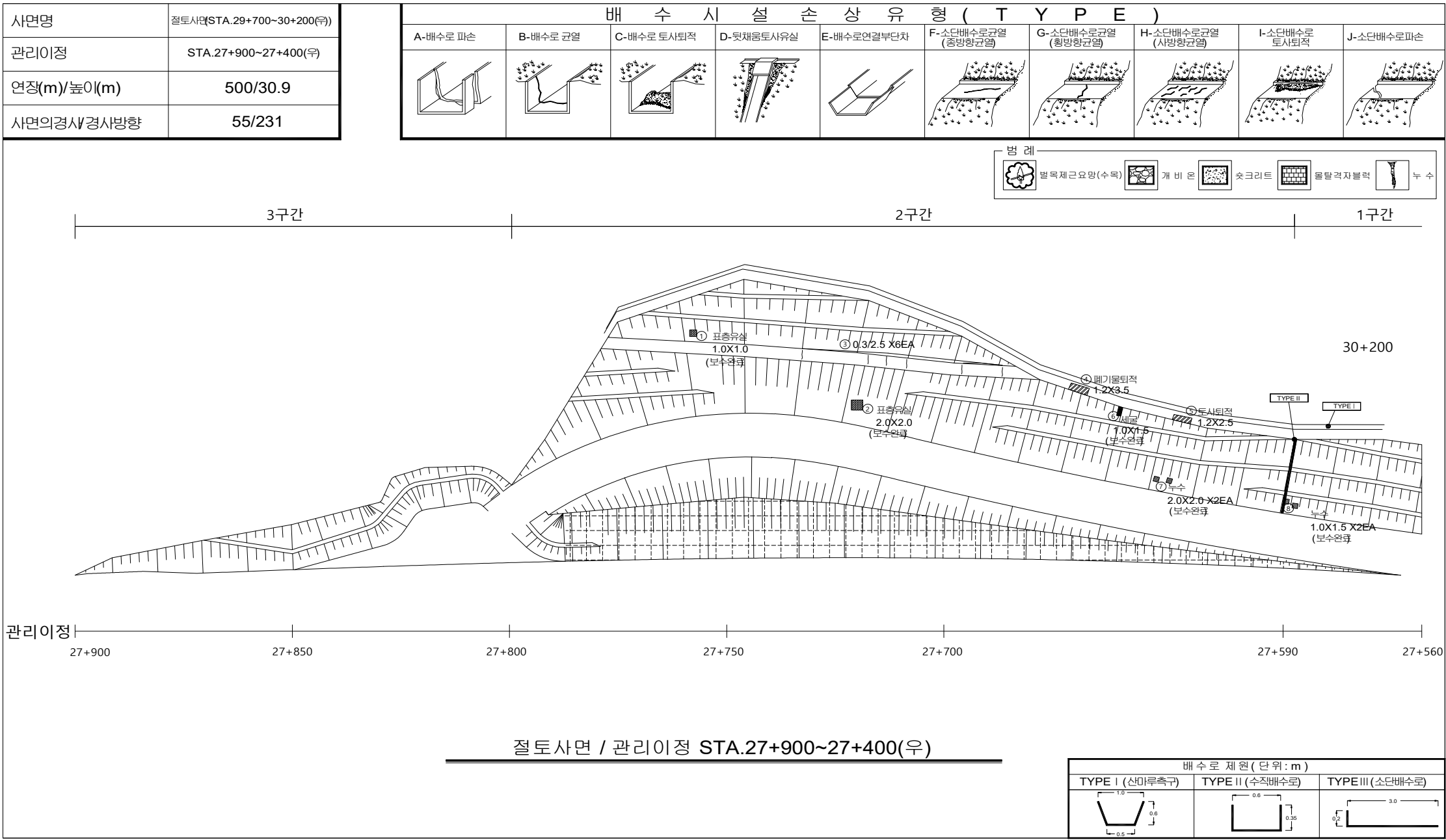
【표 2.3.3】 구간분할 결과

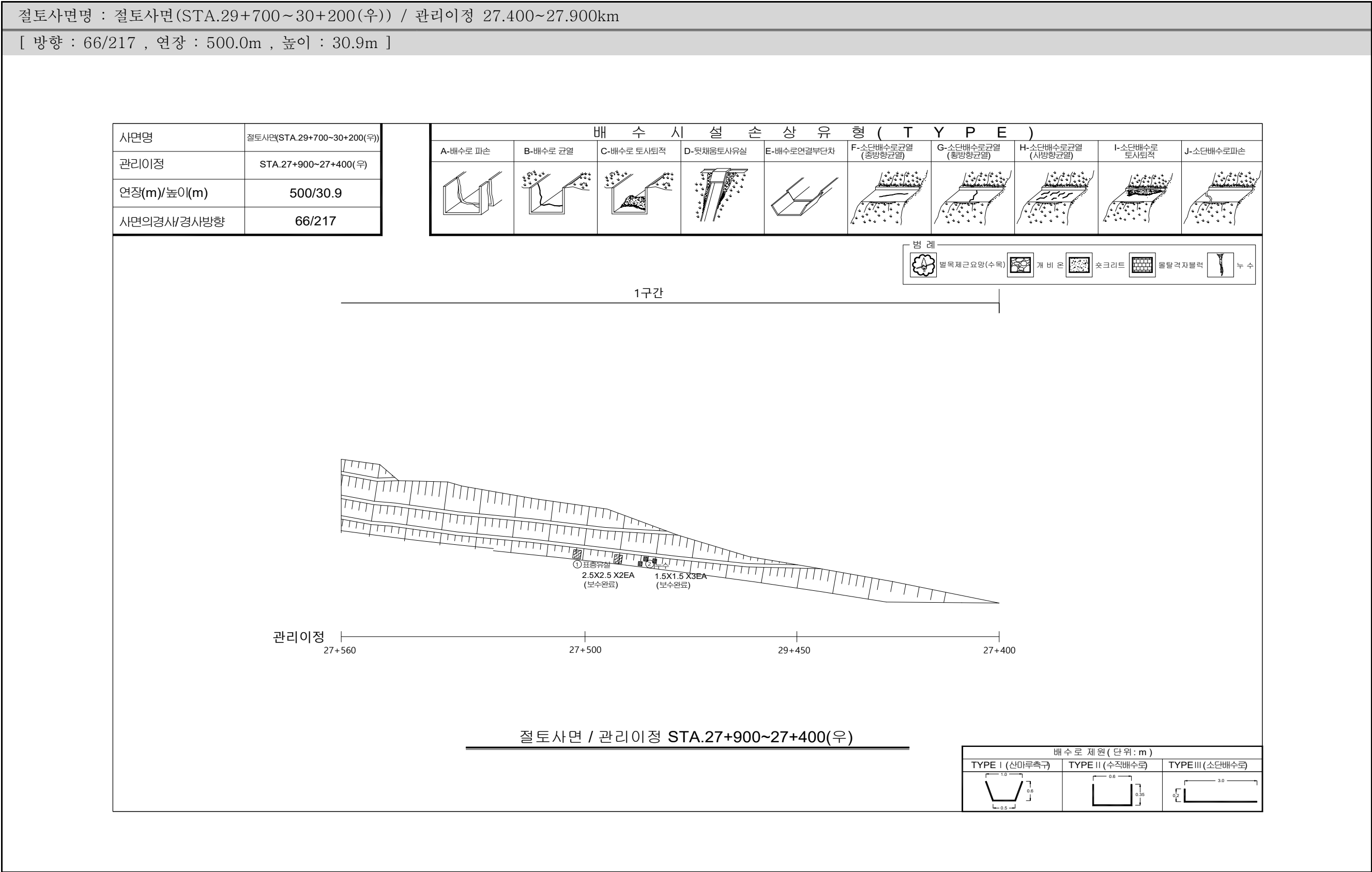
구 분	관리이정(k)	연 장(m)	높 이(m)	사면분류	비 고
1구간	27.400~27.590	190.0	20.0	절리암반사면	
2구간	27.590~27.800	210.0	30.9	절리암반사면	
3구간	27.800~27.900	100.0	7.5	절리암반사면	

2.3.2 외관조사 결과 현황도(Face Map)

절토사면명 : 절토사면(STA.29+700~30+200(우)) / 관리이정 27.400~27.900km

[방향 : 66/217 , 연장 : 500.0m , 높이 : 30.9m]





2.3.3 외관조사 결과

가. 1구간(관리이정 27.400~27.590k)

본 절토사면(STA.29+700~30+200(우)) 의 1구간은 관리이정 27.400~27.590k에 위치하며, 연장 190.0m, 높이 19.2m로 구성물질은 암반사면으로 사면전반에 걸쳐 식생공, 배수시설이 시공되어 있는 상태이다.

1) 상부자연사면

- 상부자연사면은 인장균열 및 이완암괴, 지반의 변형 등의 파괴징후가 없는 양호한 상태로 확인되었으며, 향후 외부 요인 및 환경적 요인으로 인한 손상 발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 필요하다.

2) 사면

- 사면전반에 걸쳐 식생공이 시공되어 있으며, 식생의 상태는 양호한 것으로 확인되었으며, 향후 외부 요인 및 환경적 요인으로 인한 손상 발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 필요하다.
- 암반구간은 사면보호공법(seed spray) 등으로 인해 노출암의 확인이 어려운 상태이나, 1구간의 일부 오픈구간 및 공사중 사면보고서, 초기점검보고서를 확인한 결과 신선(F)~심한풍화(HW)상태인 것으로 확인되었다.

3) 사면하부

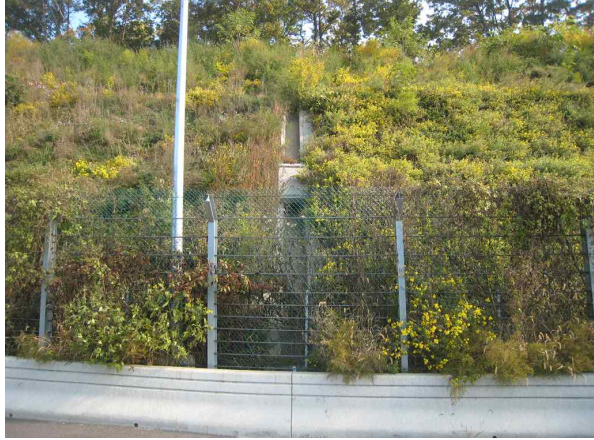
- 사면하부는 과거 이력으로 누수가 있었고 보수를 실시한 것이 확인되었다. 점검당시 누수와 관련된 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다.

4) 부대시설(보호시설, 유지관리시설, 이격거리내 시설)

- 부대시설로는 낙석방지울타리, 낙석방지망, 야생동물유도울타리 등이 설치되어 있으며, 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 이격거리는 0.5~1.0m정도의 거리를 유지하고 있다.
- 사면하부의 이격거리내에 낙석 및 토사퇴적은 없는 상태로, 낙석 및 토사유실 발생여부 확인을 위해 주기적인 관찰이 요구된다.

5) 배수시설

- 배수시설은 산마루측구, 수직 도수로가 시공되어 있는 것으로 확인되었다.
- 배수시설은 현재 토사 및 폐기물 적치로 인한 체수 및 배수불량 등의 손상은 관찰되지 않았으나, 주기적인 점검을 실시하는 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

			
현 황	1구간 상부자연사면 전경	현 황	1구간 시점부 전경
원 인	상태양호	원 인	상태양호
대 책	—	대 책	—
			
현 황	1구간 하부 전경	현 황	1~2구간 수직도수로 전경
원 인	상태양호	원 인	상태양호
대 책	—	대 책	—

【사진 2.3.1】 외관조사 결과 주요현황(1구간)

【표 2.3.4】 손상내용 총괄표(1구간)

구 분	손상 내용	단위	물량	개소	보수방안	비고
상부자연사면	상태양호	—	—	—	지속관찰	
사면부	상태양호	—	—	—	지속관찰	
사면하부	상태양호	—	—	—	지속관찰	
부대시설	상태양호	—	—	—	지속관찰	
배수시설	상태양호	—	—	—	지속관찰	

나. 2구간(27.590~27.800k)

본 절토사면(STA.29+700~30+200(우)) 의 2구간은 관리이정 27.590~27.800k에 위치하며, 연장 210.0m, 높이 30.9m로 구성물질은 암반사면으로 사면전반에 걸쳐 식생공, 배수시설이 시공되어 있는 상태이다.

1) 상부자연사면

- 상부자연사면은 인장균열 및 이완암괴, 지반의 변형 등의 파괴징후가 없는 양호한 상태로 확인되었으며, 향후 외부 요인 및 환경적 요인으로 인한 손상 발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 필요하다.

2) 사면

- 사면전반에 걸쳐 식생공이 시공되어 있으며, 식생의 상태는 양호한 것으로 확인되었으며, 향후 외부 요인 및 환경적 요인으로 인한 손상 발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 필요하다.
- 암반구간은 사면보호공법(seed spray) 등으로 인해 노출암의 확인이 어려운 상태이나, 1구간의 암상태 및 공사중 사면보고서, 초기점검보고서를 확인한 결과 신선(F)~심한풍화(HW) 상태일 것으로 판단된다.

3) 사면하부

- 사면하부는 과거 이력으로 누수가 있었고 보수를 실시한 것이 확인되었다. 점검당시 누수와 관련된 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다.

4) 부대시설(보호시설, 유지관리시설, 이격거리내 시설)

- 부대시설로는 낙석방지울타리, 낙석방지망 등이 설치되어 있으며, 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 이격거리는 0.5~1.0m정도의 거리를 유지하고 있다.
- 사면하부의 이격거리내에 낙석 및 토사퇴적은 없는 상태로, 낙석 및 토사유실 발생여부 확인을 위해 주기적인 관찰이 요구된다.

5) 배수시설

- 배수시설은 산마루측구, 수직 도수로가 시공되어 있는 것으로 확인되었다.
- 소단배수로 및 산마루측구는 배수로 내에 토사 및 폐기물이 적치된 상태이며, 일부 구간에서 균열이 조사되었다. 현재 토사 및 폐기물 적치로 인한 체수 및 배수불량 등의 손상은 관찰되지 않았으나, 우수의 원활한 배수 및 유지관리를 위해 정비가 필요하며, 그 외 손상에 대해서는 손상 진전 방지를 위한 조치가 필요한 것으로 판단된다.

			
현 황	2구간 시점부 전경	현 황	2구간 종점부 전경
원 인	상태양호	원 인	상태양호
대 책	-	대 책	-
			
현 황	2구간 상부자연사면 전경	현 황	2구간 상부자연사면 전경
원 인	상태양호	원 인	상태양호
대 책	-	대 책	-
			
현 황	2구간 소단배수로 전경	현 황	2구간 도로, 낙석방지울타리 전경
원 인	상태양호	원 인	상태양호
대 책	-	대 책	-

【사진 2.3.2】 외관조사 결과 주요현황(2구간)

			
현 황	2구간 산마루측구 전경	현 황	27.620k 소단배수로 토사퇴적
원 인	상태양호	원 인	강우시 토사유입
대 책	-	대 책	정비
			
현 황	27.660k 폐기물 적치	현 황	27.700k 소단배수로 균열(0.3/2.5)
원 인	폐기물 처리 미흡	원 인	시공초기 건조수축
대 책	정비	대 책	주입보수

【사진 2.3.2】 외관조사 결과 주요현황(2구간) (계속)

【표 2.3.5】 손상내용 총괄표(2구간)

구 분	손상 내용	단위	물량	개소	보수방안	비고
상부자연사면	상태양호	-	-	-	지속관찰	
사면부	상태양호	-	-	-	지속관찰	
사면하부	상태양호	-	-	-	지속관찰	
부대시설	상태양호	-	-	-	지속관찰	
배수시설	폐기물적치	m²	4.20	1	정비	
	토사퇴적	m²	3.00	1	정비	
	소단배수로 균열	m	15.00	6	주입보수	

다. 3구간(27.800~27.900k)

본 절토사면(STA.29+700~30+200(우)) 의 3구간은 관리이정 27.800~27.900k에 위치하며, 연장 100.0m, 높이 7.5m로 구성물질은 암반사면으로 사면전반에 걸쳐 식생공이 시공되어 있는 상태이다.

1) 상부자연사면

- 상부자연사면은 인장균열 및 이완암괴, 지반의 변형 등의 파괴징후가 없는 양호한 상태로 확인되었으며, 향후 외부 요인 및 환경적 요인으로 인한 손상 발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 필요하다.

2) 사면

- 사면전반에 걸쳐 식생공이 시공되어 있으며, 식생의 상태는 양호한 것으로 확인되었으며, 향후 외부 요인 및 환경적 요인으로 인한 손상 발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 필요하다.
- 암반구간은 사면보호공법(seed spray) 등으로 인해 노출암의 확인이 어려운 상태이나, 1구간의 일부 오픈구간 및 공사중 사면보고서, 초기점검보고서를 확인한 결과 신선(F)~심한풍화(HW)상태일 것으로 판단된다.

3) 사면하부

- 사면하부는 야생동물유도울타리 등이 설치되어있으며, 구조물의 변형 및 파손 등의 손상이 없는 전반적으로 양호한 상태이다.

4) 부대시설(보호시설, 유지관리시설, 이격거리내 시설)

- 부대시설로는 야생동물유도울타리, 낙석방지망 등이 설치되어 있으며, 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 이격거리는 0.5~1.0m정도의 거리를 유지하고 있다.
- 사면하부의 이격거리내에 낙석 및 토사퇴적은 없는 상태로, 낙석 및 토사유실 발생여부 확인을 위해 주기적인 관찰이 요구된다.

5) 배수시설

- 배수시설은 없는 것으로 확인되었다.

			
현 황	3구간 중점부 전경	현 황	3구간 상부자연사면 전경
원 인	상태양호	원 인	상태양호
대 책	—	대 책	—

【사진 2.3.3】 외관조사 결과 주요현황(3구간)

【표 2.3.6】 손상내용 총괄표(3구간)

구 분	손상 내용	단위	물량	개소	보수방안	비고
상부자연사면	상태양호	—	—	—	지속관찰	
사면부	상태양호	—	—	—	지속관찰	
사면하부	상태양호	—	—	—	지속관찰	
부대시설	상태양호	—	—	—	지속관찰	
배수시설	없음	—	—	—	—	

2.3.4 현장조사 결과 요약

가. 결과요약

【표 2.3.7】외관조사 결과 요약

구 분	점검 결과	보수·보강 방안
상부 자연사면	상태양호	—
사면부	상태양호	—
사면하부	상태양호	—
배수시설	소단배수로 균열 토사퇴적, 폐기물 적치	주입보수 정비
부대시설	상태양호	—
결과요약	사면 전반에 걸쳐 식생공, 배수시설, 보호시설이 설치되어 있으며, 일부노출암 및 시공시 사면 보고서, 초기점검보고서를 확인한 결과 암상태는 신선(F)~심한풍화(HW)인 상태로 확인되었다. 사면 상단에 관목류가 발달되어 있는 상태이며, 사면부 식생상태가 양호한 상태로 인장균열, 지반변형 등의 파괴징후는 관찰되지 않은 양호한 상태이다. 다만, 소단배수로에 발생한 토사퇴적 및 폐기물 적치 등의 손상은 강우시 원활한 배수를 위하여 조치가 필요한 것으로 판단된다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 문제가 없는 양호한 상태로 조사되었다.	

【표 2.3.8】손상내용 총괄표

구 분	손상 내용	단위	물량	개소	보수방안	비고
배수시설	폐기물적치	m ²	4.20	1	정비	
	토사퇴적	m ²	3.00	1	정비	
	소단배수로 균열	m	15.00	6	주입보수	

나. 전회차 손상물량 비교

- 금회 정밀안전점검이 최초의 정밀안전점검이다.

2.3.5 재료시험

절토사면(STA.29+700~30+200(우))은 비탈면 분류결과, 절리암반사면으로 판정되었고, 재료시험 및 불연속면 특성조사 등을 실시하여, 다음에 수록하였다.

가. 반발경도시험

1) 반발경도시험 위치 및 결과

반발경도시험을 통한 암반 판정은 현장조사를 실시한 결과, 사면보호공(Seed Spray, 식생기반 취부공법)으로 인해 일부구간(3구간)에서 국부적인 노출된 암에서 반발경도시험을 실시한 결과, 보통암으로 판정되었다.

그 외의 사면 횡단면도를 확인한 결과, 경사도는 1:0.7~1:1.0로 연암~풍화암으로, 초기점검보고서를 확인한 결과 보통암으로 확인되었다.

【표 2.3.9】 반발경도시험 결과

시험위치	보정반발경도	추정강도(MPa)	암 판정 결과	실시 전경
3구간 27.820km	49.5	100.1	보통암	
—	—	—	—	
—	—	—	—	
검토의견	· 암반용 슈미트해머에 의한 암반강도 측정결과, 보정반발경도는 49.5로 측정되었으며, 추정강도 100.1MPa로 보통암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.			

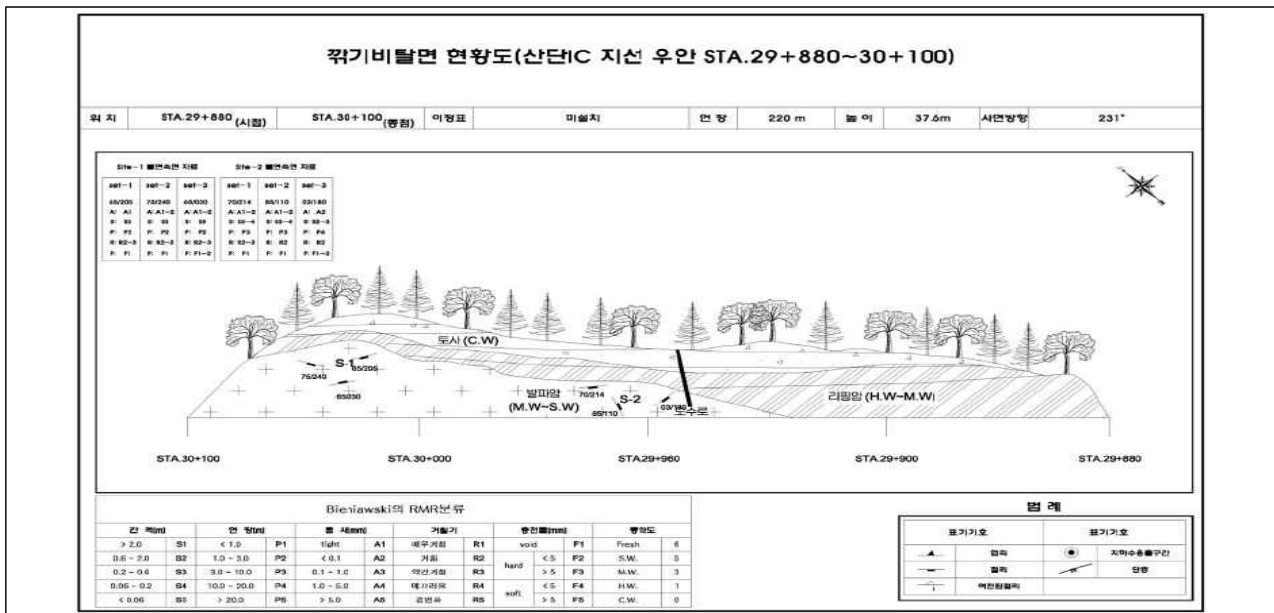
2) 이전 정밀안전점검과의 비교

- 금회 정밀안전점검이 최초의 정밀안전점검이다.

나. 불연속면 조사

불연속면 조사는 현장조사를 실시한 결과, 사면보호공법으로 인해 노출된 암을 확인할 수 없는 상태로 조사되어, 시공 중 실시한 깎기비탈면 현황 사면보고서에서 확인된 불연속면을 수록하였다.

1) 불연속면 조사 위치



2) 불연속면 조사 결과

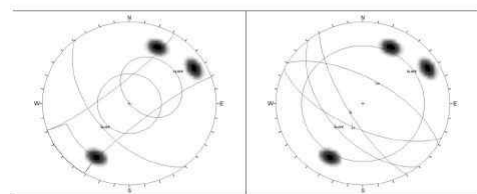


〈그림 14〉 Sre-1 비탈면 절리 현황

- 본 영역은 3개조의 절리면이 발달하고 있으며 연장성이 긴 사선방향 절리가 주로 발달해 있고 그 외 다수의 절리가 불규칙하고 비교적 복잡하게 발달한 상태이다.

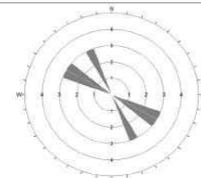
〈표 12〉 Site-1 불연속면 조사 결과

구 분		경사 (°)	경사방향 (°)	층세	간격	연장	층진폭	거침기	층화도	비 고
주질리	J-1	65	205	A1	S3	P2	F1	R2-3	M.W-S.W	-
	J-2	75	240	A1~2	S3	P2	F1	R2-3	M.W-S.W	-
	J-3	65	030	A1~2	S3	P2	F1~2	R2-3	M.W-S.W	-



〈그림 15〉 Sae-1 당사투영 해석결과

- 본 임역의 경시투영 해석 결과 평면파라, 전도파라 및 자기파라 발생 가능성은 없음 것으로 검토되었다.



〈그림 16〉 Ste-1 정리분포 현황

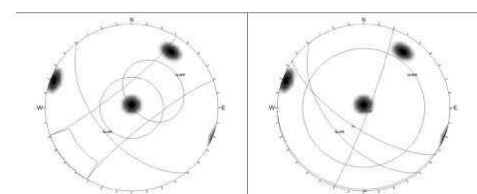


〈그림 17〉 Sae-2 비탈면 절리 현황

- * 본 영역은 3개조의 절리면이 발달하고 있으며 연장성이 긴 사선방향 절리가 주로 발달해 있고 그 외 다수의 절리가 불규칙하고 비교적 복잡하게 발달한 상태이다.

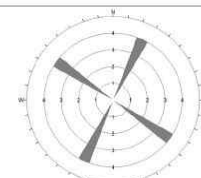
〈표 13〉 Site-2 불연속면 조사 결과

표 13. SH-2 출구면의 3차 설계										
구 분		경사 (°)	경사면적 (㎡)	흙채	간격	연장	총지름	가설기	통화도	비 고
주철리	J-1	70	214	A1-2	S3-4	P3	F1	R2-3	MW-SW	-
	J-2	85	110	A1-2	S3-4	P3	F1	R2	MW-SW	-
	J-3	03	180	A2	S2-3	P4	F1-2	R2	MW-SW	-



〈그림 18〉 Sre-2 풍사투영 해석결과

- * 본 영역의 풍사투영 해석 결과 평면파와, 전도파와 및 썩기파와 발생 가능성이 없는 것으로 검토되었다.



〈그림 19〉 Site-2 절리분포 현황

다. 토양경도시험

토사 비탈면의 지반상태를 평가하기 위하여 토양경도계(산중식 경도계)를 사용하여 구간별로 20m 마다 총 10개소에 대해 각 10회씩 측정하여 평균하고 토양경도지수를 mm 단위로 나타내었다.

대상 비탈면의 토성은 모래질 실트로 확인되었으며, 최소 15.4, 최대 17.8, 평균 16.2로 조사되어 조밀한 상태로 측정되었다.

【표 2.3.10】 1구간 토양경도시험 측정결과

구분	측정위치	측정치(mm)										평균 mm	지반 분류
1	27.420k	14.6	17.5	16.2	16.5	16.6	15.4	15.6	15.8	15.6	14.4	15.8	모래질 실트
2	27.440k	15.5	15.6	15.9	16.7	15.9	17.4	15.6	14	15	16.9	15.9	모래질 실트
3	27.460k	17.9	18.5	18.6	17.4	17.6	18.8	17.6	16.7	18.1	17	17.8	모래질 실트
4	27.480k	17.5	17.6	15.8	17.5	17.1	16.6	16.8	15.6	15.8	17.5	16.8	모래질 실트

【표 2.3.11】 2구간 토양경도시험 측정결과

구분	측정위치	측정치(mm)										평균 mm	지반 분류
1	27.600k	15.9	15.1	15.5	15.6	16.5	16.6	17.5	14.5	16.5	15.6	15.9	모래질 실트
2	27.620k	16.8	16	17.6	17.5	16	15.9	15.1	15.6	15.5	15.5	16.2	모래질 실트
3	27.640k	15.7	15.8	15.6	15.5	15.1	16.5	18.5	15.5	15.3	15.5	15.9	모래질 실트
4	27.660k	15.8	15.6	16.5	16.5	16.6	16.1	16.2	16.5	16.2	16.5	16.3	모래질 실트

【표 2.3.12】 3구간 토양경도시험 측정결과

구분	측정위치	측정치(mm)										평균 mm	지반 분류
1	27.820k	15.1	15.4	13.5	15.5	15.5	15.1	15.6	15.5	16.5	15.9	15.4	모래질 실트
2	27.840k	16.6	15.5	15.1	15.6	15.7	15.6	17.5	16.7	15.5	15.1	15.9	모래질 실트

라. 토층심도 조사

본 사면의 준공도면을 통한 조사결과 토층심도는 약 4.0m 정도인 것으로 확인되었다.

2.4 상태평가

2.4.1 사면분류 및 구간분할

가. 구간분할

본 사면은 연장 500m의 사면으로서, 지반특성에 따른 사면분류를 실시하였고 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 3구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다.

【표 2.4.1】 사면분할 현황

구 분	관리이정(k)	연 장(m)	높 이(m)	사면분류	비 고
1구간	27.400~27.590	190.0	20.0	절리암반사면	
2구간	27.590~27.800	210.0	30.9	절리암반사면	
3구간	27.800~27.900	100.0	7.5	절리암반사면	

나. 지반특성에 따른 사면분류

대상 시설물의 조사결과 및 현황을 토대로 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-절토사면 (2021.12, 국토안전관리원)”의 기준에 따라 분류한 결과를 다음 [표 2.4.3]에 수록하였다.

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

【표 2.4.2】 비탈면 분류기준

구 분		토층심도율	압축강도	블록크기비	주요 파괴유형	비고
토사사면		> 0.4	—	—	원호, 표층	
암반 사면	연약암반사면	≤ 0.4	≤10 MPa	—	표면, 원호 평면, 썩기	제3기층 등
	파쇄암반사면		>10 MPa	≤ 0.01	썩기, 평면 원호, 전도	단층파쇄대 등
				> 0.01	썩기, 평면 전도, 낙석	일반암반사면
- 토층심도율이 0.2 ~ 0.4일 경우, 혼합 사면으로 규정하여 토사 사면과 암반 사면의 특성을 모두 고려할 필요가 있음						

- 토층심도율 (SR)

$$SR = \frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}}$$

여기서, Soil depth(토사층의 두께), Slope height(사면의 연직 최고높이)

- 암반의 블록크기 비 (BR)

$$BR = \frac{\text{Block size index (Ib)}}{\text{Slope height (H)}}, \quad Ib = \frac{\sum_{i=1}^3 Si}{3}$$

여기서, Si(절리군의 간격) : 현장조사시 측정된 절리군의 간격적용

Ib(블록크기 지수) : Si의 산술평균

Slope height(사면의 연직 최고높이)

- 시공 중 사면보고서 내 암반 블록크기

$$Ib_1 = 0.4, Ib_2 = 0.4, Ib_3 = 0.4$$

$$Ib = \frac{\sum_{i=1}^3}{3} = \frac{Ib_1 + Ib_2 + Ib_3}{3} = 0.400$$

- 초기점검보고서 내 암반 블록크기

$$Ib_1 = 1.27, Ib_2 = 0.666, Ib_3 = 1.106$$

$$Ib = \frac{\sum_{i=1}^3}{3} = \frac{Ib_1 + Ib_2 + Ib_3}{3} = 1.107$$

【표 2.4.3】 비탈면 분류결과

(MPa=10.2kg/cm²)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}} = \frac{3.9}{20.0} = 0.195$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	3구간 평가결과를 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{\text{Block size} \in dex}{\text{Slope height}} = \frac{0.4}{20.0} = 0.02$ 로 0.01초과	절리암반	
2구간	토층심도율	0.4	$\frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}} = \frac{3.9}{30.9} = 0.126$ 로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	3구간 평가결과를 활용	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{\text{Block size} \in dex}{\text{Slope height}} = \frac{0.4}{30.9} = 0.012$ 로 0.01초과	절리암반	
3구간	토층심도율	0.4	사면높이 7.5m로 2구간의 평가결과를 활용	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 100.1MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{\text{Block size} \in dex}{\text{Slope height}} = \frac{0.4}{7.5} = 0.053$ 로 0.01초과	절리암반	

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

2.4.2 상태평가 결과

절리암반사면의 상태평가를 위한 절리방향, 절리경사, 절리상태는 시공 중 실시한 깎기비탈면 현황 사면보고서 내 Site-1의 주절리 set-1에 대하여 평가하였다.

가. 상태평가 조사결과표

【표 2.4.4】 1구간 사면 손상상태 조사결과표

시설물명	절토사면(STA.29+700~30+200(우))		표번호	[표 2.4.4]	
조사영역번호	1구간		조사영역 위치	27.400~27.590km	
1. 파괴징후					
일련번호	징후종류	상 태		상태 점수	비고
		위치	상태 및 규모		
1-1	인장균열	—	없음	0	
1-2	지반변형	—	없음	0	
1-3	구조물변형	—	없음	0	
2. 파괴현황					
일련번호	파괴유형	상 태		상태 점수	비고
		위치	규모		
1-4	—	—	—	0	
조사일시	2022. 10. 21		조사자	정 지 운	

【표 2.4.5】 1구간 사면 파괴요인 조사결과표

시설물명	절토사면(STA.29+700~30+200(우))		표번호	[표 2.4.5]		
조사영역 번호	1구간		조사영역 위치	27.400~27.590km		
1. 지반상태						
일련번호	구 분		상 태	상태점수	비고	
1-5	절리암반	절리방향-사면방향	—	—		
1-6		절리경사-사면경사	—	—		
1-7		절리상태	—	—		
2. 사면형상						
1-8	절리암반	사면의 경사	45°	1		
3. 자연적 외부요인						
1-9	강우 및 지하수	1일 강우량	199mm(파주, 22년6월30일)	4	4	
		지하수위	사면 높이의 1/3	1		
4. 인위적 외부요인						
1-10	절리암반	절취상태	매우 좋음	0		
1-11	배수조건		양호	1		
1-12	보호/보강상태		양호함	1		
조사일시	2022. 10. 21		조사자	정 지 운		

【표 2.4.6】 2구간 사면 손상상태 조사결과표

시설물명	절토사면(STA.29+700~30+200(우))	표번호	[표 2.4.6]		
조사영역번호	2구간		조사영역 위치	27.590~27.800km	
1. 파괴징후					
일련번호	징후종류	상 태		상태 점수	비고
		위치	상태 및 규모		
1-1	인장균열	-	없음	0	
1-2	지반변형	-	없음	0	
1-3	구조물변형	-	없음	0	
2. 파괴현황					
일련번호	파괴유형	상 태		상태 점수	비고
		위치	규모		
1-4	-	-	-	0	
조사일시	2022. 10. 21		조사자	정 지 운	

【표 2.4.7】 2구간 사면 파괴요인 조사결과표

시설물명	절토사면(STA.29+700~30+200(우))		표번호	[표 2.4.7]		
조사영역 번호	2구간		조사영역 위치	27.590~27.800km		
1. 지반상태						
일련번호	구 분		상 태	상태점수	비고	
1-5	절리암반	절리방향-사면방향	205° - 231° = -26°	3		
1-6		절리경사-사면경사	65° - 55° = 10°	0		
1-7		절리상태	유리(절리상태 점수 1.4점)	1		
2. 사면형상						
1-8	절리암반	사면의 경사	45°	1		
3. 자연적 외부요인						
1-9	강우 및 지하수	1일 강우량	199mm(파주, 22년6월30일)	4	4	
		지하수위	사면 높이의 1/3	1		
4. 인위적 외부요인						
1-10	절리암반	절취상태	매우 좋음	0		
1-11	배수조건		양호	1		
1-12	보호/보강상태		양호함	1		
조사일시	2022. 10. 21		조사자	정 지 운		

【표 2.4.8】 3구간 사면 손상상태 조사결과표

시설물명	절토사면(STA.29+700~30+200(우))	표번호	[표 2.4.8]		
조사영역번호	3구간		조사영역 위치	27.800~27.900km	
1. 파괴징후					
일련번호	징후종류	상 태		상태 점수	비고
		위치	상태 및 규모		
1-1	인장균열	-	없음	0	
1-2	지반변형	-	없음	0	
1-3	구조물변형	-	없음	0	
2. 파괴현황					
일련번호	파괴유형	상 태		상태 점수	비고
		위치	규모		
1-4	-	-	-	0	
조사일시	2022. 10. 21		조사자	정 지 운	

【표 2.4.9】 3구간 사면 파괴요인 조사결과표

시설물명	절토사면(STA.29+700~30+200(우))		표번호	[표 2.4.9]		
조사영역 번호	3구간		조사영역 위치	27.800~27.900km		
1. 지반상태						
일련번호	구 분		상 태	상태점수	비고	
1-5	절리암반	절리방향-사면방향	-	-		
1-6		절리경사-사면경사	-	-		
1-7		절리상태	-	-		
2. 사면형상						
1-8	절리암반	사면의 경사	45°	1		
3. 자연적 외부요인						
1-9	강우 및 지하수	1일 강우량	199mm(파주, 22년6월30일)	4	4	
		지하수위	사면 높이의 1/3	1		
4. 인위적 외부요인						
1-10	절리암반	절취상태	매우 좋음	0		
1-11	배수조건		양호	1		
1-12	보호/보강상태		양호함	1		
조사일시	2022. 10. 21		조사자	정 지 운		

나. 상태평가결과 산정표

대상 사면은 절리암반사면으로 판정되었으며, 평가기준에 따른 결합지수는 0.14로서 평가결과는 “A” 로 산정되었다. 평가결과에 가장 주된 인자는 1일 강우량로 해당사항에 대해서는 중점 관리가 필요할 것으로 판단된다.

【표 2.4.10】 1구간 상태평가결과 산정표

시설물명			절토사면 (STA.29+700~30+200(우))				표번호
근거표번호			[표 2.4.4], [표 2.4.5]				[표 2.4.10]
평가요소			결합점수	결합종류별 평가결과	총점	결합지수	상태등급
손상 상태	파괴징후	① 인장균열	0	a	0	f1=0.00	a
		② 지반변형	0	a			
		③ 구조물변형	0	a			
	④ 파괴현황		0	a			
파괴 요인	지반상태	⑤ 절리방향-사면방향	0	a	7	f2=0.13	a
		⑥ 절리경사-사면경사	0	a			
		⑦ 절리상태	0	a			
	사면형상	⑧ 사면의 경사	1	b			
	자연요인	⑨ 강우 및 지하수	4	e			
	인위요인	⑩ 절취상태	0	a			
		⑪ 배수조건	1	b			
		⑫ 보호/보강 상태	1	a			
합계(Σ)					7	F=0.09	A
상태평가결과		○손상상태지수(f1) : 0 / 24 = 0.00 ○파괴요인지수(f2) : 7 / 52 = 0.13 ○상태평가등급(F) : 7 / 76 = 0.09					

【표 2.4.11】 2구간 상태평가결과 산정표

시설물명			절토사면(STA.29+700~30+200(우))				표번호
근거표번호			[표 2.4.6], [표 2.4.7]				[표 2.4.11]
평가요소			결합점수	결합종류별 평가결과	총점	결합지수	상태등급
손상 상태	파괴징후	① 인장균열	0	a	0	f1=0.00	a
		② 지반변형	0	a			
		③ 구조물변형	0	a			
	④ 파괴현황		0	a			
파괴 요인	지반상태	⑤ 절리방향-사면방향	3	c	11	f2=0.21	b
		⑥ 절리경사-사면경사	0	a			
		⑦ 절리상태	1	b			
	사면형상	⑧ 사면의 경사	1	b			
	자연요인	⑨ 강우 및 지하수	4	e			
	인위요인	⑩ 절취상태	0	a			
		⑪ 배수조건	1	b			
		⑫ 보호/보강 상태	1	a			
합계(Σ)					11	F=0.14	A
상태평가결과		○ 손상상태지수(f1) : 0 / 24 = 0.00 ○ 파괴요인지수(f2) : 11 / 52 = 0.21 ○ 상태평가등급(F) : 11 / 76 = 0.14					

【표 2.4.12】 3구간 상태평가결과 산정표

시설물명			절토사면 (STA.29+700~30+200(우))			표번호	
근거표번호			[표 2.4.8], [표 2.4.9]				[표 2.4.12]
평가요소			결합점수	결합종류별 평가결과	총점	결합지수	상태등급
손상 상태	파괴징후	① 인장균열	0	a	0	f1=0.00	a
		② 지반변형	0	a			
		③ 구조물변형	0	a			
	④ 파괴현황		0	a			
파괴 요인	지반상태	⑤ 절리방향-사면방향	0	a	7	f2=0.13	a
		⑥ 절리경사-사면경사	0	a			
		⑦ 절리상태	0	a			
	사면형상	⑧ 사면의 경사	1	b			
	자연요인	⑨ 강우 및 지하수	4	e			
	인위요인	⑩ 절취상태	0	a			
		⑪ 배수조건	1	b			
		⑫ 보호/보강 상태	1	a			
합계(Σ)					7	F=0.09	A
상태평가결과		○ 손상상태지수(f1) : 0 / 24 = 0.00 ○ 파괴요인지수(f2) : 7 / 52 = 0.13 ○ 상태평가등급(F) : 7 / 76 = 0.09					

【표 2.4.13】 상태평가결과

구 분	1구간		2구간		3구간		구간별평가결과(Min)	
	결합지수	등급	결합지수	등급	결합지수	등급	결합지수	등급
절토사면(ST A.29+700~ 30+200(우))	0.09	A	0.14	A	0.09	A	0.14	A

다. 공중이 이용하는 부위

본 사면에는 공중이 이용하는 부위인 [추락방지시설, 도로포장, 도로부 신축이음부, 환기구 등의 덮개]가 없는 것으로 확인되었다.

2.5 종합평가 및 안전등급 지정

2.5.1 종합평가 결과

본 과업은 정밀안전점검 과업으로서 안전성평가를 실시하지 않은 관계로 상태평가 결과를 종합평가 결과로 같음하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

【표 2.5.1】 절토사면의 종합평가 결과

절토사면 종합평가 결과 산정표				
시설물명	절토사면(STA.29+700~30+200(우))		표 번 호	【표 2.5.1】
평가구분	결함지수	평가결과	비 고	
1구간	0.09	A	근거표번호	【표 2.4.10】
2구간	0.14	A	근거표번호	【표 2.4.11】
3구간	0.09	A	근거표번호	【표 2.4.12】
안전성평가	해당없음			
종합평가	0.14	A	최저등급 적용	
종합평가결과	절토사면의 종합평가 결과 : A			

2.5.2 안전등급 지정

종합평가 결과에 따른 본 절토사면의 안전등급은 『문제점이 없는 최상의 상태』인 “A등급”으로 지정하였다.

【표 2.5.2】 안전등급 기준

안전등급	시설물의 상태	비고
A (우수)	· 문제점이 없는 최상의 상태	◎
B (양호)	· 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태	
C (보통)	· 보통의 손상, 결함이 발생하였으나 안전성에 지장이 없으며, 내구성, 기능성 저하방지를 위한 보수가 필요하거나 간단한 보강이 필요한 상태	
D (미흡)	· 손상, 결함이 진전되고, 파괴 잠재성이 존재하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정하여야 하는 상태	
E (불량)	· 심각한 손상, 결함 및 파괴 잠재성에 의하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태	

2.6 보수·보강 및 유지관리방안

2.6.1 보수·보강 방안

대상 시설물의 손상별 보수방안, 개략공사비는 다음과 같다.

【표 2.6.1】 손상별 보수·보강 방안 및 개략공사비

구분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략공사비 (천원)	우선 순위
배수시설	소단배수로 균열	주입보수	15.00	22.50	m	－	－	하자
개략공사비 (천원)	구 분	1순위	2순위			3순위		
	순공사비	－	－			－		
	재경비 (순공사비의 50%)	－	－			－		
	합계	－	－			－		
개략공사비 총계(천원)		－						

주1) 보수물량은 손상물량에 50%를 할증하였음.

주2) 0.3mm미만 균열보수는 손상물량(m)×0.25(m)를 하여 면적(m²)으로 산출하였음.

2.6.2 유지관리방안

본 시설물에 대한 정밀안전점검 결과에 따라, 향후 유지관리 시 사면의 안전성, 사용성 및 내구성 차원에서 중점적으로 관찰하고 유의하여야 할 중점유지관리 항목을 설정하여 다음 표와 같이 제시하였다.

【표 2.6.2】 사면 중점유지관리 항목

구 분	중점유지관리 사항	현황 사진
배수 시설	배수로 균열 구간 → 균열부에 대한 보수가 필요하며, 보수후에도 재손상 발생에 대한 주기적인 점검을 실시하는 유지관리가 필요	
	토사퇴적 및 폐기물 적치 구간 → 강우시 원활한 배수를 위하여 손상부에 대한 정비가 필요하며, 주기적인 점검을 통한 손상 발생 방지를 위한 유지관리가 필요	

2.7 종합결론

2.7.1 정밀안전점검 결과 요약

- 대상 시설물은 고속국도 17호선 상에 위치한 2중 절토사면으로서 금회 현장조사를 통한 사면의 상태를 종합적으로 평가한 결과는 다음과 같다.
- 외관조사 결과, 사면 전면에 걸쳐 식생공, 배수시설, 보호시설이 설치되어 있으며, 일부노출암 및 시공시 사면보고서, 초기점검보고서를 확인한 결과 암상태는 신선(F)~심한풍화(HW)인 상태로 확인되었다. 사면 상단에 관목류가 발달되어 있는 상태이며, 사면부 식생상태가 양호한 상태로 인장균열, 지반변형 등의 파괴징후는 관찰되지 않은 양호한 상태이다. 다만, 소단배수로에 발생한 토사퇴적 및 폐기물 적치 등의 손상은 강우시 원활한 배수를 위하여 조치가 필요한 것으로 판단된다. 사면보호/보강시설은 기능발휘에 문제가 없는 양호한 상태로 조사되었다.
- 반발경도시험 결과, 보정반발경도는 49.5로 측정되었으며, 추정강도 100.1MPa로 보통암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.
- 토양경도시험 결과, 지반분류는 모래질 실트로 확인되었으며, 최소 15.4, 최대 17.8, 평균 16.2mm로 조사되어 조밀한 상태로 측정되었다.
- 대상 사면은 절리암반사면으로 판정되었으며, 평가기준에 따른 결함지수는 0.14로서 평가결과는 “A등급”으로 산정되었다. 평가결과에 가장 주된 인자는 사면 일강우량으로 해당사항에 대해서는 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- 종합평가 결과, 대상시설물의 안전등급은 “A등급”으로 지정하였다.

2.7.2 종합결론, 정밀안전진단 및 사용제한의 필요성 여부

- 대상 시설물에 대한 정밀안전점검 결과, 국부적으로 손상이 발생하였으나 시설물의 전반적인 안전성 및 기능성에는 특별한 문제가 없는 상태로서 주기적인 점검을 통한 관리를 시행한다면 대상시설물의 사용성은 확보될 수 있을 것으로 판단된다.
- 대상 시설물은 금회 점검결과, 정밀안전진단 및 사용제한이 필요치 않다.

2.7.3 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

- 손상부에 대한 일부 조치 및 주기적인 점검을 통해 손상진전 및 현황관리가 필요하다.
- 점검계단 식생에 대해서는 정비를 실시하는 유지관리가 필요하다.

2.7.4 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 바람직할 것으로 판단된다.