

마창대교 및 절토사면(2개소)
안전점검(성능평가포함) 용역

성 능 평 가 보 고 서

2019. 06



(주) 마창대교

마창대교 및 절토사면(2개소) 안전점검(성능평가포함)용역

성 능 평 가 보 고 서

[마창절토사면, 마창절토사면(영업소뒤)]

2019. 06.



[주] 마 창 대 교



[주] 아 워 브 레 인

제 출 문

(주)마창대교 귀하

귀사와 2019년 3월 26일자로 계약 체결한 『마창대교 및 절토사면(2개소) 안전 점검(성능평가 포함) 용역』에 대한 과업을 성실히 수행하고 그 결과를 본 보고서에 수록하여 제출합니다.

2019년 06월

(주) 아 위 브 레 인

대표이사 김정호(인)



마창절토사면 성능평가 결과표

가. 일반현황							
용역명	마창대교 및 절토사면(2개소) 안전점검(성능평가포함) 용역		성능평가기간	2019.04.08. ~ 2019.06.26.			
관리주체명	(주)마창대교		대표자	원범식	종별	2중	
공동수급	독자수행 100%		계약방법	제한경쟁	수행방법	단독	포함 활용
시설물 구분	절토사면		종류	도로사면	목표성능	2중	
준공일	2008년 7월	성능평가금액 (천원)	-	종합성능등급		B	
				안전	내구	B	C
시설물 위치	경상남도 창원시 성산구 귀산동		시설물 규모	연장 258.0m, 높이 64.7m			
나. 점검 실시결과 현황							
중대결합	-						
성능평가 주요결과	•절토사면내 이완암 및 과대굴착, 뜬돌 발생 •1소단 콘크리트소단 체수혼적 •2단 암구간 국부적인 이완암 •중단부 절토사면으로 녹물혼적 발생 •소단배수로 및 산마루배수로 균열보수 완료						
주요 보수·보강	- 주의관찰						
다. 책임(참여)기술자 현황							
구분	성명	과업 참여기간			기술등급		
사업 책임기술자	유근무	2019.04.08. ~ 2019.06.26.			특급		
분야별 책임기술자 (시험분석)	김정호	2019.04.08. ~ 2019.06.26.			특급		
분야별 책임기술자 (조사)	서영노	2019.04.08. ~ 2019.06.26.			고급		
라. 참고사항							
- 차기 성능평가지 중점 점검부위 : 암사면 내 뜬돌 및 이완암 등 손상의 진전유무 확인 - 제1종성능평가 실시여부 : 금회 성능평가 결과, 현 상태에서 제1종성능평가 실시에 대한 필요성은 없는 것으로 판단됨							

마창절토사면 성능평가 요약표

책임기술자 종합의견	종합성능등급		B	
	안전성능	내구성능	B	C
• 안전성능평가 결과 ‘B’, 내구성능평가 결과 ‘C’ 등급으로서, 성능간 가중치를 고려한 종합평가 결과 ‘B’ 등급인 상태임 • 전반적인 표층상태는 양호하게 조사되었으며, 덩굴식재에 따른 사면 표면보호가 잘 되고 있는 상태임. 사면 중단부에서 이완암, 뜯돌이 일부구간 조사되었으나 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 도로피해는 없을 것으로 판단되며 주의관찰이 필요함 • 기 점검시 기반암에 포함되어 있는 철 성분이 화학적 풍화 작용으로 산화되어 생긴 녹물에 의한 변색이 조사된 것으로 확인되었으나, 비탈면의 안정성에는 큰 영향은 미치지 않는 것으로 판단됨. • 사면 보강시설인 Rock Bolt 및 Soil Nailing은 특별한 손상이 없는 상태이나, 손상의 발생에 대한 주의관찰이 필요함 • 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가편)』에 근거한 절토사면의 종합성능등급은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준”인 『B 등급』으로 평가됨				
책임기술자 : 유 근 무 (서명)				

가. 외관조사 결과 기본사항

상태안전성능 평가 결과 및 보수·보강				상태안전성능 평가 결과 : B
결함발생 부재		상태안전성능 평가결과	결함종류	보수·보강(안)
암반 사면	(1)집수지형	a	없음	-
	(2)불안정 지질	b	일부 분포	-
	(3)불연속면의 특성	c	보통	-
	(4)지반변형	a	없음	-
	(5)지하수	a	건조함	-
	(6)배수조건	b	양호	-
	(7)붕괴이력	a	없음	-
	(8)낙석	c	59.5kJ	-
	(9)인장균열	a	없음	-

나. 구조안전성능 평가 결과

구조안전성능 평가 수행 부재	해석방법	구조안전성능 평가 결과 요약	안전율		구조안전성능 평가 결과
			전기시	우기시	
토사	한계평형해석	1구간	2.292	1.254	A
암반	평사투영해석 한계평형해석	평면파괴 안정	-	-	A
		썰기파괴 안정	-	-	
		전도파괴 안정	-	-	

다. 내구성능평가 결과

내구성능 평가 결과 및 보수·보강				내구성능 평가 결과 : C
결함발생 부재		내구성능 평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
암반 사면	(1)지반상태	d	보통암 75~82%	주의관찰
	(2)표면보호공	e	식생피복율 22.73%	주의관찰
	(3)사면보강공	a	균열 및 파손없음	주의관찰
	(4)절리상태 및 풍화진행도	c	0.48	주의관찰

라. 현장시험

시험명	시험부위	시험 결과	책임기술자 의견
반발경도시험	1단사면 (SAT.4+780)	74.3 MPa	•32.9~127.7MPa (평균 78.32MPa) •안산암으로 구성된 암반비탈면으로 보통풍화~약간풍화 상태임. •암반강도는 보통암 이상의 강도로 초기강도대비 76.54% 정도임
	1단사면 (SAT.4+800)	60.2 MPa	
	1단사면 (SAT.4+840)	68.0 MPa	
	1단사면 (SAT.4+880)	101.0 MPa	
	1단사면 (SAT.4+920)	56.8 MPa	
	1단사면 (SAT.4+940)	65.7 MPa	

시험명	시험부위	시험 결과	책임기술자 의견
반발경도시험	1단사면 (SAT.4+980)	102.0 MPa	•32.9~127.7MPa (평균 78.32MPa) •안산암으로 구성된 암반비탈면으로 보통풍화~약간풍화 상태임. •암반강도는 보통암 이상의 강도로 초기강도대비 76.54% 정도임
	2단사면 (SAT.4+840)	96.6 MPa	
	2단사면 (SAT.4+860)	32.9 MPa	
	2단사면 (SAT.4+920)	127.7 MPa	
	2단사면 (SAT.4+980)	81.5 MPa	
	3단사면 (SAT.4+910)	68.0 MPa	
	3단사면 (SAT.4+935)	83.5 MPa	

마. 종합성능평가 결과

시설물명		마창절토사면		분류		일반도로/암반사면
구간	평가구분	성능평가 지수	평가 결과	성능간 가중치(Wn)	종합 평가	비고
1구간 암반	안전성능	ps=0.218	B	0.8	0.263	
	내구성능	pd=0.443	C	0.2		
종합평가 결과		· 사면의 종합평가 지수(P) = $\sum(\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$				
		· 안전성능 평가 결과가 최하위 등급일 경우 가중치와 상관없이 안전성능 평가 결과를 최종등급으로 산정				
		결합지수	0.263		종합평가등급	B

마창절토사면 시설물 현황표

작성일 : 2019년 06월 15일

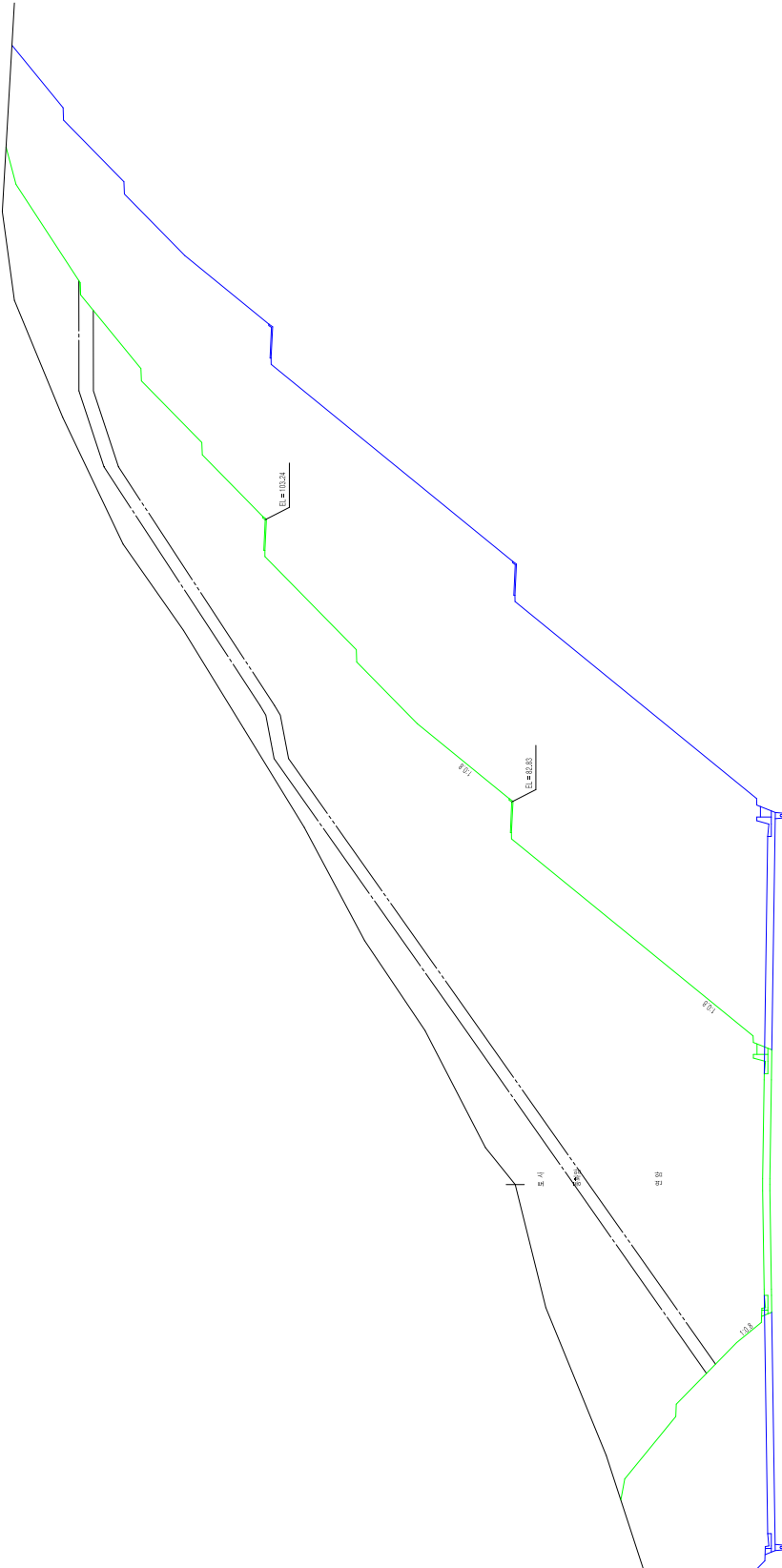
시설물 번호	SL2008-0000042		관리번호	MCS01
시설물명	마창절토사면		시설물구분	절토사면
위 치	행정구역	경상남도 창원시 성산구 남해안대로 6687 (귀산동)		
	위치좌표	시 점 : N(34° 15' 43''), E(128° 36' 49'')		
		종 점 : N(34° 15' 45''), E(128° 36' 54'')		
제 원	연 장	258.0m	높 이	64.7m
	경사/방향	52/305	노 선	일반국도2호선
관리주체	(주)마창대교		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	준산악	자연사면경사	(+)0°
시공현황	준공년도	2008년 7월	시 공 자	현대건설(주) 외
	부대시설	소단배수로, 콘크리트 옹벽, Soil nailing, 록볼트		
비 고				

마창절토사면 전경사진

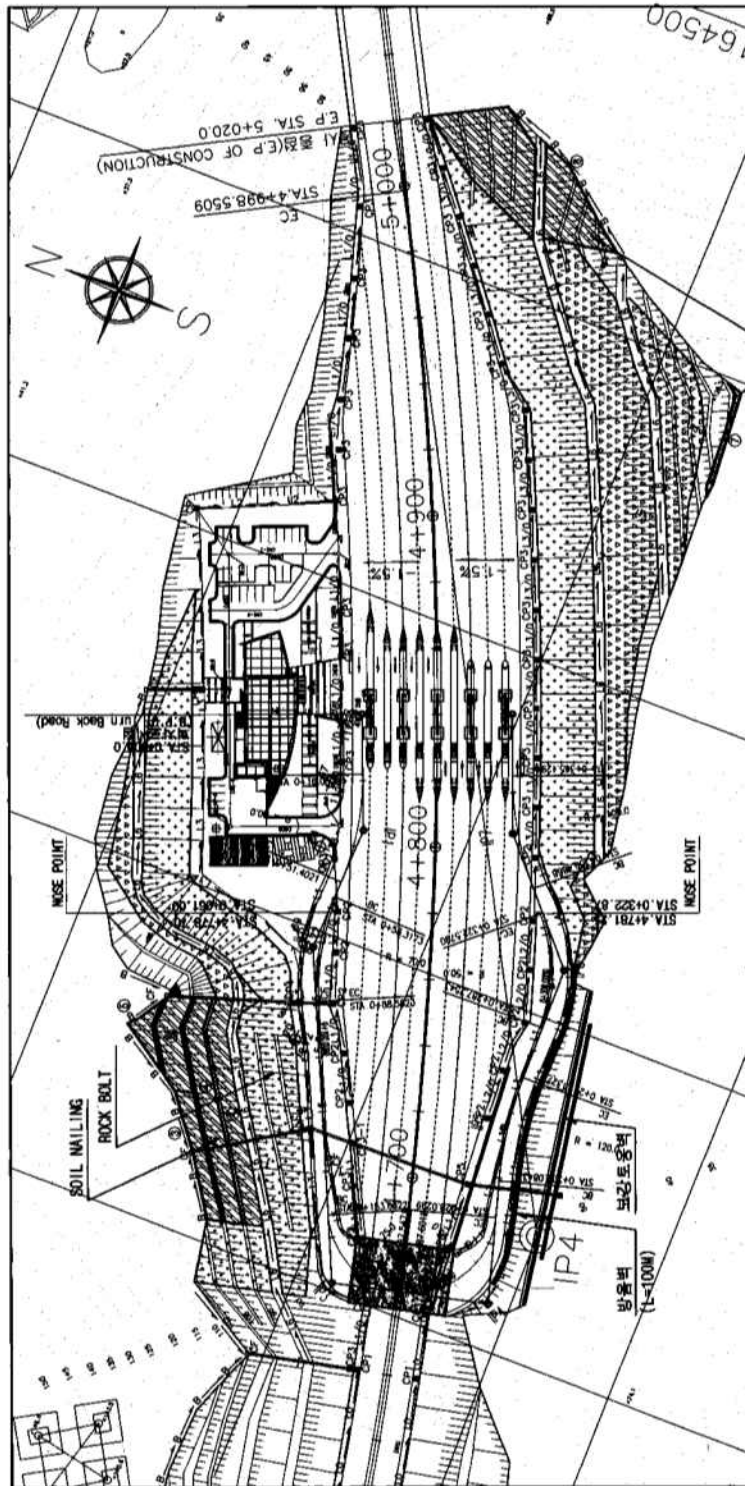


마창절토사면 횡단면도

0411년 17월 17일



4	852,54	111,7	82,020,0000	852,54	111,7	82,020,0000
5	3580,35	44	3	3580,35	44	3
6	1,05,23	4	3	1,05,23	4	3
7	1031,48	3	3	1031,48	3	3
8	1,12	3	3	1,12	3	3
9	2,24	3	3	2,24	3	3
10	2,24	3	3	2,24	3	3
11	2,24	3	3	2,24	3	3
12	2,24	3	3	2,24	3	3
13	2,24	3	3	2,24	3	3
14	2,24	3	3	2,24	3	3
15	2,24	3	3	2,24	3	3
16	2,24	3	3	2,24	3	3
17	2,24	3	3	2,24	3	3
18	2,24	3	3	2,24	3	3
19	2,24	3	3	2,24	3	3
20	2,24	3	3	2,24	3	3
21	2,24	3	3	2,24	3	3
22	2,24	3	3	2,24	3	3
23	2,24	3	3	2,24	3	3
24	2,24	3	3	2,24	3	3
25	2,24	3	3	2,24	3	3
26	2,24	3	3	2,24	3	3
27	2,24	3	3	2,24	3	3
28	2,24	3	3	2,24	3	3
29	2,24	3	3	2,24	3	3
30	2,24	3	3	2,24	3	3
31	2,24	3	3	2,24	3	3
32	2,24	3	3	2,24	3	3
33	2,24	3	3	2,24	3	3
34	2,24	3	3	2,24	3	3
35	2,24	3	3	2,24	3	3
36	2,24	3	3	2,24	3	3
37	2,24	3	3	2,24	3	3
38	2,24	3	3	2,24	3	3
39	2,24	3	3	2,24	3	3
40	2,24	3	3	2,24	3	3
41	2,24	3	3	2,24	3	3
42	2,24	3	3	2,24	3	3
43	2,24	3	3	2,24	3	3
44	2,24	3	3	2,24	3	3
45	2,24	3	3	2,24	3	3
46	2,24	3	3	2,24	3	3
47	2,24	3	3	2,24	3	3
48	2,24	3	3	2,24	3	3
49	2,24	3	3	2,24	3	3
50	2,24	3	3	2,24	3	3
51	2,24	3	3	2,24	3	3
52	2,24	3	3	2,24	3	3
53	2,24	3	3	2,24	3	3
54	2,24	3	3	2,24	3	3
55	2,24	3	3	2,24	3	3
56	2,24	3	3	2,24	3	3
57	2,24	3	3	2,24	3	3
58	2,24	3	3	2,24	3	3
59	2,24	3	3	2,24	3	3
60	2,24	3	3	2,24	3	3
61	2,24	3	3	2,24	3	3
62	2,24	3	3	2,24	3	3
63	2,24	3	3	2,24	3	3
64	2,24	3	3	2,24	3	3
65	2,24	3	3	2,24	3	3
66	2,24	3	3	2,24	3	3
67	2,24	3	3	2,24	3	3



모바일대사본

 $L = 258.0 \text{ m}$ [illegible]

- ① 1.5X1.0M, L=6.0M, 4# ② 1.5X1.0M, L=12.0M, 5#
③ 1.5X1.0M, L=8.0M, 4# ④ 1.5X1.5M, L=8.0M, 2#
⑤ 1.5X1.5M, L=12.0M, 3# ⑥ REFER TO AB-RD-PIN-027.028
⑦ 1.5X1.5M, L=10.0M, 5#
⑧ 1.5X1.8M, L=12.0M, 4#

- | | |
|---|---------------------------------|
|  | SOIL NAILING |
|  | ROCK BOLT
RANSOM, L=0.3M |
|  | ROCK BOLT
2.0 x 2.0M, L=0.5M |

마창절토사면(영업소 뒤) 성능평가 결과표

가. 일반현황								
용역명	마창대교 및 절토사면(2개소) 안전점검(성능평가포함) 용역		성능 평가기간	2019.04.08. ~ 2019.06.26.				
관리주체명	(주)마창대교		대표자	원범식	종별	2종		
공동수급	독자수행 100%		계약방법	제한경쟁	수행방법	단독	포함 활용	
시설물 구분	절토사면		종류	도로사면	목표성능	2종		
준공일	2008년 7월		성능평가금액 (천원)	-	종합성능등급		B	
					안전	내구	B	B
시설물 위치	경상남도 창원시 성산구 귀산동		시설물 규모	연장 248.0m, 높이 39.0m				
나. 점검 실시결과 현황								
중대결함	-							
성능평가 주요결과	•암사면 1단 일부 이완암, 식생불량 발생 •4단 암사면에 녹물흔적 발생 •소단배수로 일부 구간 토사퇴적 •소단배수로 및 산마루배수로 균열보수 완료							
주요 보수·보강	- 주의관찰							
다. 책임(참여)기술자 현황								
구분	성명	과업 참여기간			기술등급			
사업 책임기술자	유근무	2019.04.08. ~ 2019.06.26.			특급			
분야별 책임기술자 (시험분석)	김정호	2019.04.08. ~ 2019.06.26.			특급			
분야별 책임기술자 (조사)	서영노	2019.04.08. ~ 2019.06.26.			고급			
라. 참고사항								
- 차기 성능평가지 중점 점검부위 : 암사면 내 이완암 등 손상의 진전유무 확인 - 제1종성능평가 실시여부 : 금회 성능평가 결과, 현 상태에서 제1종성능평가 실시에 대한 필요성은 없는 것으로 판단됨								

마창절토사면(영업소 뒤) 성능평가 요약표

책임기술자 종합의견	종합성능등급		B	
	안전성능	내구성능	B	B
• 안전성능평가 결과 ‘B’, 내구성능평가 결과 ‘B’ 등급으로서, 성능간 가중치를 고려한 종합평가 결과 ‘B’ 등급인 상태임 • 전반적인 표층상태는 양호하게 조사되었으며, 암사면 구간의 이완암은 일부 관찰되었으나 낙석 방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 도로 피해는 없을 것으로 판단됨 • 사면 보강시설인 Rock Bolt 및 Soil Nailing은 특별한 손상이 없는 상태이나, 손상의 발생에 대한 주의관찰이 필요함 • 기 점검시 기반암에 포함되어 있는 철 성분이 화학적 풍화 작용으로 산화되어 생긴 녹물에 의한 변색이 조사된 것으로 확인되었으나, 비탈면의 안정성에는 큰 영향은 미치지 않는 것으로 판단됨. • 기 점검시 도수로 구간에서 누수 흔적이 조사되었으나, 금회 조사시는 누수가 발생하지 않은 건조된 상태로 조사됨 • 소단 배수로 및 산마루측구의 균열부에 대하여 보수가 완료되어 배수 시설물은 양호한 것으로 조사됨 • 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가편)』에 근거한 절토사면의 종합성능등급은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준” 인 『B 등급』으로 평가됨				
책임기술자 : 유 근 무 (서명)				

가. 외관조사 결과 기본사항

상태안전성능 평가 결과 및 보수·보강						평가 결과 : A
결함발생 부재		상태안전성능 평가결과			결함종류	보수·보강(안)
		1구간	2구간	3구간		
토사 사면	(1)집수지형	-	a	a	없음	-
	(2)지반변형	-	a	a	없음	-
	(3)지하수	-	a	a	보통	-
	(4)배수조건	-	a	a	건조함	-
	(5)사면상부상태	-	e	e	30° 이상	-
	(6)붕괴이력	-	a	a	없음	-
	(7)인장균열	-	a	a	없음	-

상태안전성능 평가 결과 및 보수·보강						평가 결과 : B
결함발생 부재		상태안전성능 평가결과			결함종류	보수·보강(안)
		1구간	2구간	3구간		
암반 사면	(1)집수지형	a	a	a	없음	-
	(2)불안정 지질	b	b	b	일부 분포	-
	(3)불연속면의 특성	d	d	d	불량	-
	(4)지반변형	a	a	a	없음	-
	(5)지하수	a	a	a	건조함	-
	(6)배수조건	a	a	a	불량	-
	(7)붕괴이력	a	a	a	없음	-
	(8)낙석	d	a	a	79.5kJ	-
	(9)인장균열	a	a	a	없음	-

나. 구조안전성능 평가 결과

구조안전성능 평가 수행 부재	해석방법	구조안전성능 평가 결과 요약	안전율		구조안전성능 평가 결과
			전기시	우기시	
토사	한계평형해석 원호활동	1구간	-	-	A
		2구간	2.519	1.710	
		3구간	2.436	1.698	
암반	평사투영해석 한계평형해석	평면파괴 안정	-	-	A
		썩기파괴 안정	-	-	
		전도파괴 안정	-	-	

다. 내구성능평가 결과

(1) 토사사면

2구간 내구성능 평가 결과 및 보수·보강				내구성능 평가 결과 : A
결함발생 부재		내구성능 평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
토사 사면	(1)지반상태	b	모래질 실트 $14.9 \leq X \leq 18.9$ (조밀)	주의관찰
	(2)표면보호공	a	식생피복율 90%이상	주의관찰
	(3)사면보강공	-	-	-

3구간 내구성능 평가 결과 및 보수·보강				내구성능 평가 결과 : A
결함발생 부재		내구성능 평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
토사 사면	(1)지반상태	b	모래질 실트 $14.9 \leq X \leq 18.9$ (조밀)	주의관찰
	(2)표면보호공	a	식생피복율 90%이상	주의관찰
	(3)사면보강공	-	-	-

(2) 암반사면

1구간 내구성능 평가 결과 및 보수·보강				내구성능 평가 결과 : B
결함발생 부재		내구성능 평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
암반 사면	(1)지반상태	a	경암 95~100%	주의관찰
	(2)표면보호공	e	식생피복율 12.92%	주의관찰
	(3)사면보강공	a	균열 및 파손없음	-
	(4)절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	주의관찰

2구간 내구성능 평가 결과 및 보수·보강				내구성능 평가 결과 : B
결함발생 부재		내구성능 평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
암반 사면	(1)지반상태	a	경암 95~100%	주의관찰
	(2)표면보호공	e	식생피복율 8.56%	주의관찰
	(3)사면보강공	a	균열 및 파손없음	-
	(4)절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	주의관찰

3구간 내구성능 평가 결과 및 보수·보강				내구성능 평가 결과 : B
결함발생 부재		내구성능 평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
암반 사면	(1)지반상태	a	경암 95~100%	주의관찰
	(2)표면보호공	e	식생피복율 45.46%	주의관찰
	(3)사면보강공	a	균열 및 파손없음	-
	(4)절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	주의관찰

라. 현장시험

(1) 토사 사면

시험명		시험부위	시험 결과	책임기술자 의견
토양경도계 시험	2구간	4+780	16.7mm	• 모래질 실트로 이루어져 있는 상태임. • 토양 경도 측정결과 15.2mm~17.1mm로서 $14.9 \leq X \leq 18.9$의 구간에 해당되며 조밀한 상태를 나타내고 있음.
		4+760	16.6mm	
	3구간	4+660	17.1mm	
		4+680	16.6mm	
		4+700	15.6mm	
		4+720	15.2mm	
		4+740	15.3mm	

(2) 암반 사면

시험명		시험부위	시험 결과	책임기술자 의견
반발경도 시험	1구간	1단사면 (SAT.4+800)	168.6	• 122.2~174.5MPa (평균 155.19MPa)로 나타나고 있음. • 안산암으로 구성된 암반비탈면으로 보통풍화~약간풍화 상태임. • 암반강도는 경암 이상의 강도로 초기강도대비 115.7% 정도임
		1단사면 (SAT.4+820)	164.5	
		1단사면 (SAT.4+830)	174.5	
		2단사면 (SAT.4+795)	122.2	
		2단사면 (SAT.4+800)	125.8	
		2단사면 (SAT.4+805)	167.0	
		2단사면 (SAT.4+810)	163.7	
	2구간	1단사면 (SAT.4+750)	136.7	• 136.7~181.4MPa (평균 158.45MPa)로 나타나고 있음. • 안산암으로 구성된 암반비탈면으로 보통풍화~약간풍화 상태임. • 암반강도는 경암 이상의 강도로 초기강도대비 118.1% 정도임
		1단사면 (SAT.4+760)	168.6	
		2단사면 (SAT.4+765)	142.8	
		2단사면 (SAT.4+770)	164.5	
		2단사면 (SAT.4+775)	156.7	
		1단사면 (SAT.4+780)	181.4	

시험명		시험부위	시험 결과	책임기술자 의견
반발경도 시험	3구간	2단사면 (SAT.4+655)	92.0	• 87.7~174.5MPa (평균 129.8MPa)로 나타나고 있음. • 안산암으로 구성된 암반비탈면으로 보통풍화~약간풍화 상태임. • 암반강도는 경암 이상의 강도로 초기강도대비 96.8% 정도임
		2단사면 (SAT.4+660)	87.7	
		1단사면 (SAT.4+670)	174.5	
		1단사면 (SAT.4+680)	132.1	
		1단사면 (SAT.4+690)	124.0	
		1단사면 (SAT.4+700)	131.4	
		1단사면 (SAT.4+710)	135.4	
		1단사면 (SAT.4+720)	152.2	
		1단사면 (SAT.4+730)	139.4	

마. 종합성능평가 결과

시설물명		마창절토사면(영업소뒤)		분류		일반도로/암반사면
구간	평가구분	성능평가 지수	평가 결과	성능간 가중치(Wn)	종합 평가	비고
1구간 암반	안전성능	ps=0.255	B	0.8	0.264	
	내구성능	pd=0.300	B	0.2		
2구간 토사	안전성능	ps=0.140	A	0.8	0.140	
	내구성능	pd=0.140	A	0.2		
2구간 암반	안전성능	ps=0.145	A	0.8	0.176	
	내구성능	pd=0.300	B	0.2		
3구간 토사	안전성능	ps=0.140	A	0.8	0.140	
	내구성능	pd=0.140	A	0.2		
3구간 암반	안전성능	ps=0.145	A	0.8	0.171	
	내구성능	pd=0.277	B	0.2		
종합평가 결과		· 사면의 종합평가 지수(P) = $\sum(\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$ · 안전성능 평가 결과가 최하위 등급일 경우 가중치와 상관없이 안전성능 평가 결과를 최종등급으로 산정				
		결합지수	0.264		종합평가등급	B

마창절토사면(영업소 뒤) 시설물 현황표

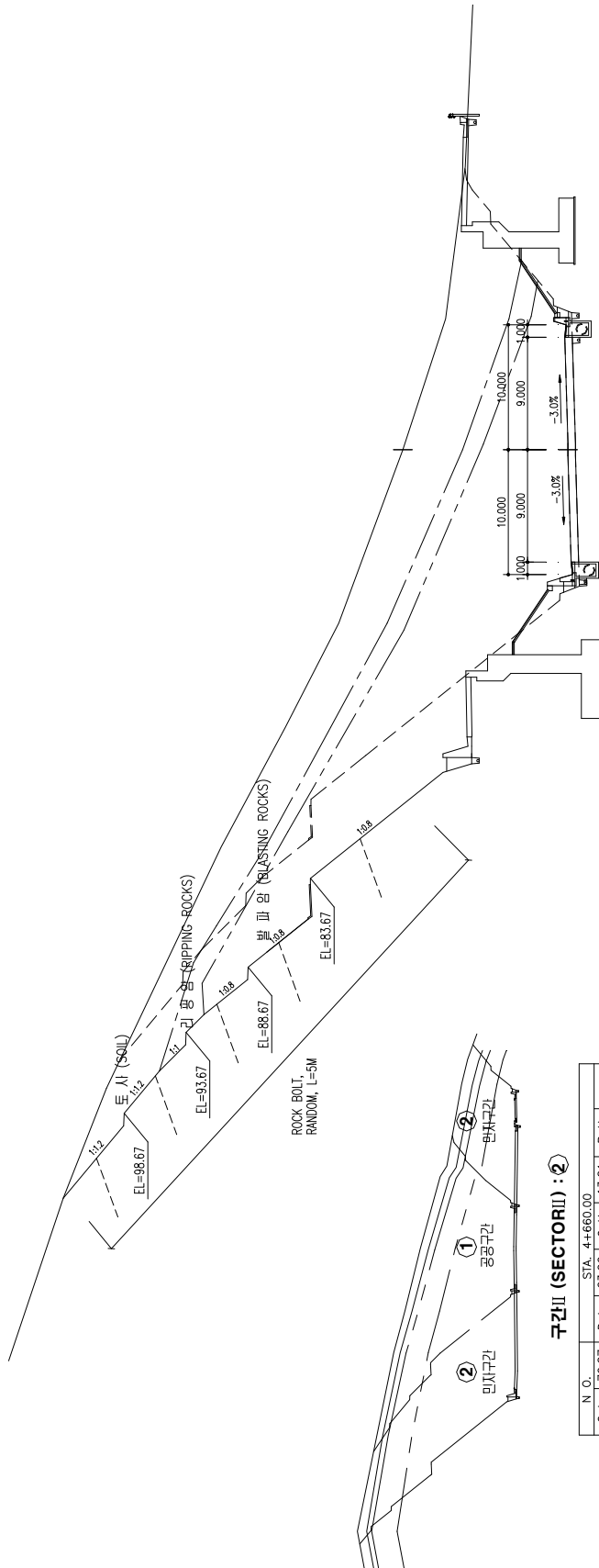
작성일 : 2019년 06월 15일

시설물 번호	SL2008-0000055		관리번호	mcs2
시설물명	마창절토사면(영업소뒤)		시설물구분	절토사면
위 치	행정구역	경상남도 창원시 성산구 남해안대로 6687 (귀산동)		
	위치좌표	시 점 : N(35° 10' 1''), E(128° 36' 23'')		
		중 점 : N(35° 10' 5''), E(128° 36' 32'')		
제 원	연 장	248.0m	높 이	39.0m
	경사/방향	1구간 : 50/140 2구간 : 48/095 3구간 : 51/154	노 선	일반국도2호선
관리주체	(주)마창대교		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	철탑, 영업소, 회차로		
	주변지형	준산악	자연사면경사	(+)39°
시공현황	준공년도	2008년 7월	시 공 자	현대건설(주) 외
	부대시설	산마루측구, Soil nailing, 록볼트		
비 고				

마창절토사면(영업소 뒤) 전경사진



마창절토사면(영업소뒤) 횡단면도



구간Ⅱ (SECTORⅡ) : 2

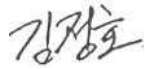
N O.		STA. 4+660.00				
GL	76.27	DL	63.06	CH	13.21	BH
교면	35.17	확대면			면적	교면
교면	16.80	면	노상			5.98
교면	128.84		면		상면	28.95
교면			확대면		면적	
교면		표 노상	노상			
교면		면	노상			
교면		면	확대면		면적	27.57
교면		면	노상		면적	13.56
교면		면	노상		면적	11.47

구	분	비밀린 보양증		비밀린 보양증	
		토	토	개별기 + SEED	개별기 + SEED
정 토 면	면 적	SOIL MAPPING (1=4.6, 6.10, 12m) SOIL MAPPING (1=4.6, 6.10, 12m) RANDOM ROCK BOLT (1=5.0m)		CORR MESH	복 색 도
	면 적	SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m) SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m)		ASQA(100, 1=50MM)	복 색 도
정 토 면	면 적	SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m) SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m)		복 색도인자+영양제	복 색도인자+영양제
	면 적	SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m) SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m)		복 색도인자+영양제	복 색도인자+영양제
정 토 면	면 적	SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m) SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m)		복 색도인자+영양제	복 색도인자+영양제
	면 적	SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m) SYSTEM ROCK BOLT (1=5.0m)		복 색도인자+영양제	복 색도인자+영양제

SOIL NAILING

- ① 1.5X1.0M, L= 6.0M, 4# ② 1.5X1.0M, L=12.0M, 5#
- ③ 1.5X1.0M, L= 8.0M, 4# ④ 1.5X1.5M, L= 8.0M, 2#
- ⑤ 1.5X1.5M, L=12.0M, 3# ⑥ REFER TO AB-RD-PIN-027.028
- ⑦ 1.5X1.5M, L=10.0M, 5#
- ⑧ 1.5X1.8M, L=12.0M, 4#

참여기술자 명단

구 분	성 명	직 위	참여기간	자격사항	기술등급	날 인
사업 책임기술자	유 근 무	부사장	2019.04.08.~2019.06.26.	토목구조기술사	특 급	
분야별 책임기술자 (시험분석)	김 정 호	대표 이사	2019.04.08.~2019.06.26.	건설안전기술사	특 급	
분야별 책임기술자 (현장조사)	서 영 노	부 장	2019.04.08.~2019.06.26.	토목기사	고 급	
참여기술자	이 현 용	부 장	2019.04.08.~2019.06.26.	공 학 사	중 급	
	황 상 윤	과 장	2019.04.08.~2019.06.26.	토목기사	고 급	
	정 민 귀	대 리	2019.04.08.~2019.06.26.	토목기사	중 급	

시설물의 위치도

● 시설물 위치 : 경상남도 창원시 성산구 귀산동



시설물의 전경사진 (1/17)

마창절토사면 전경사진



마창절토사면 록볼트 시공상태



시설물의 전경사진 (2/17)

마창절토사면 산마루측구 전경



마창절토사면 상부 자연사면 전경



시설물의 전경사진 (3/17)

마창절토사면 소단배수로 전경



마창절토사면 비탈면 보강재 설치 전경



시설물의 전경사진 (4/17)

4+930 지점 : 4소단상부 식생상태 양호



4+930 지점 : 점검로 상태 보통(체결부 부식)



시설물의 전경사진 (5/17)

4+960 지점 : 2소단 배수로 균열 보수 완료



4+970 지점 : 2단 산마루측구 보수 완료



시설물의 전경사진 [6/17]

4+980 지점 : 2소단 이완암 - 낙석방지망 내 포획



4+910 지점 : 3단 뜯돌(2.0m×2.0m) - 낙석방지망 내 포획



시설물의 전경사진 (7/17)

5+020~930 지점 : 점검로 계단 전경



고소작업차를 이용한 조사 전경



시설물의 전경사진 (8/17)

마창 절토사면(영업소 뒤) 전경



1구간 전경



시설물의 전경사진 [9/17]

2구간 전경



3구간 전경



시설물의 전경사진 (10/17)

4+840~900지점 : 1단 점검계단 상태 양호



4+800~900 지점 : 1소단 소단배수로 상태양호(안전 울타리 상태 양호)



시설물의 전경사진 [11/17]

4+800~900 지점 : 1단 절취면 상태양호



4+800~900 지점 : 2단 절취면 상태양호



시설물의 전경사진 (12/17)

4+740 지점 : 2~5단 점검로 상태 양호



4+900 지점 : 1~2단 점검계단 상태 양호



시설물의 전경사진 (13/17)

토양 경도계 작업 전경



4+720~760 지점 : 산마루측구 상태 양호



시설물의 전경사진 (14/17)

4+760 지점 : 배수로 균열 보수 완료



4+770 지점 : 배수로 균열 보수 완료



시설물의 전경사진 (15/17)

4+770~800 지점 : 1소단 토사 퇴적(L=30.0m)



4+740~800 지점 : 2소단 락볼트 상태양호



시설물의 전경사진 (16/17)

4+800~900 지점 : 하단부 이격거리 전경



1구간 고소차 작업 전경



시설물의 전경사진 (17/17)

4+720 지점 : 2소단 수직도수로 상태 보통



4+640~710 지점 : 1소단 낙석방지울타리 상태 양호



성능평가 결과 요약문

1. 마창절토사면

● 외관조사 결과

외관조사 결과 전반적인 표층상태는 양호하게 조사되었으며, 암사면 구간의 뜯돌 및 이완암이 일부 관찰되었으나 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 도로피해는 없을 것으로 판단된다.

구 분	외관조사 결과
사면부	• 암종은 안산암으로 구성되어 있으며, 상부에 토사사면이 혼재된 혼합사면으로 토층심도율은 10% 미만이며 암사면 구간은 Rock Bolt 및 낙석방지망이 시공되어있으며, 토사구간에는 Soil Nailing, 녹생토, 코어넷 등으로 보강되어 있다. • 암사면은 하단부에서 상단부로 갈수록 풍화가 진행된 상태로 조사되었으며 하단부는 약간풍화~보통풍화, 상단부는 심한풍화 상태로 조사되었다. • 기점검시 기반암에 포함되어 있는 철 성분이 화학적 풍화 작용으로 산화되어 생긴 녹물에 의한 변색으로 조사되었으나 비탈면의 안정성에는 큰 영향은 미치지 않는 것으로 조사되었다. • 일부구간에서 뜯돌 및 이완암이 발생하였으나 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 도로피해는 없을 것으로 판단된다. • 1소단부에 설치된 콘크리트소단은 일부구간 경사도 조정불량으로 인한 체수 흔적이 조사되었으나 금회 조사시 체수 및 누수흔적은 관찰되지 않았다. • 기점검시 사면부에서 누수 흔적이 조사되었다. 시공당시 절리부에 발생한 누수를 다발관을 통해 우수를 배제했던 곳으로 판단된다. 금회 조사시는 누수가 발생하지 않은 건조된 상태로 조사되었다. • 사면에 보강된 Rock bolt 및 Soil nailing은 특별한 손상이 없는 상태이다. • 점검로는 종점에서 사면 최상부까지 철제계단 9단으로 설치되어 있으며, 양호한 상태로 조사되었다. • 상단부 자연사면에는 목본류가 자생하고 있으며 인장균열 및 지반변형 등 사면 안전성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 없는 것으로 판단된다.
식생상태	• 암사면 하단부는 덩굴식재 및 초본류가 식생 되어 있는 상태이며 상단부는 관목+목본류가 발달되어있다.
배수시설	• 산마루배수로는 사면 중단까지 설치되어 있으며, 균열 등 손상이 없는 양호한 상태로 배수기능은 양호한 것으로 조사되었다.

● 종합 평가

시설물 종합평가 결과 산정표					
평가구분	성능평가지수		평가결과	결합지수	비 고
안전성능 평가	ps=0.218		B	B	
내구성능 평가	pd=0.443		C		
종합평가 결과	· 사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = 0.218 × 0.8 + 0.443 × 0.2 = 0.263				
	결합지수	0.263	종합평가등급	B	

● 주요 보수·보강 방안

구분	구 간	보수·보강 방안	보강사유	수량	비고
①	이완암	주의관찰	-	28.74m ²	
②	과대굴착	주의관찰	-	33.0m ²	
③	녹물오염	주의관찰	-	45.5m ²	
④	누수(흔적)	주의관찰	-	7.0m	
⑤	뜯돌	주의관찰	-	4.0m ²	

2. 마창절토사면(영업소 뒤)

● 외관조사 결과

외관조사 결과 전반적인 표층상태는 양호하게 조사되었으며, 암사면 구간의 이완암은 일부 관찰되었으나 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 도로피해는 없을 것으로 판단된다.

구 분	외관조사 결과
사면부	• 암종은 안산암으로 구성되어 있으며, 상부에 토사사면이 혼재된 혼합사면으로 토층심도율은 30% 정도로 암사면 구간은 Rock Bolt 및 낙석방지망이 시공되어있으며, 토사구간에는 Soil Nailing, 녹생토, ASNA 등으로 보강되어 있다. • 암사면은 전체적으로 약간풍화로 풍화상태가 양호하였으며 Sta.4+840~900m 구간은 심한풍화 상태로 조사되었다. • Sta.4+840m 구간에서 이완암이 1개소 조사되었으나 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 피해는 없을 것으로 판단된다. • 기 점검결과 사면 중단부에 녹물변색이 2개소(18m²) 조사되었으며 이는 기반암에 포함되어 있는 철 성분이 화학적 풍화 작용으로 산화되어 생긴 것으로 조사되었으나, 비탈면의 안정성에는 큰 영향은 미치지 않는 것으로 조사되었다. • 사면의 콘크리트소단의 균열과 산마루배수로의 균열부에 대하여 보수완료된 상태로 내구성이 확보된 것으로 조사되었다. • 기 점검시 도수로에서 누수가 조사되었으나, 금회 조사시 누수 관찰은 되지 않았다. • 사면에 보강된 Rock bolt 및 Soil nailing은 특별한 손상이 없는 상태이다. • 점검로는 콘크리트 계단 및 철제계단으로 설치되어 있으며 양호한 상태로 조사되었다. • 사면 하단부 및 중단부는 초본류가 우세하며 상단부 및 자연사면에는 목본류가 자생하고 있다. 인장균열 및 지반변형 등 사면 안전성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 없는 것으로 판단된다.
식생상태	• 암사면 하단부는 초본류가 식생 되어 있는 상태이며 상단부는 관목+목본류가 발달되어있으며, 종점부 녹생토유실 구간(8m×15m)이 관찰되었으며 주의관찰이 필요한 상태이다.
배수시설	• 산마루배수로는 Sta.4+680~770m에 설치되어 있으며 균열에 대하여 보수가 완료되어 내구성이 확보되었으며 배수 기능은 양호한 것으로 조사되었다.

● 종합 평가

시설물 종합평가 결과 산정표							
평가구분			성능평가지수		평가결과	결합지수	비 고
1 구 간	암반	안전성능 평가	ps=0.255		B	0.264	
		내구성능 평가	pd=0.300		B		
2 구 간	토사	안전성능 평가	ps=0.080		A	0.092	
		내구성능 평가	pd=0.140		A		
	암반	안전성능 평가	ps=0.255		B	0.264	
		내구성능 평가	pd=0.300		B		
3 구 간	토사	안전성능 평가	ps=0.080		A	0.092	
		내구성능 평가	pd=0.140		A		
	암반	안전성능 평가	ps=0.255		B	0.259	
		내구성능 평가	pd=0.277		B		
종합평가 결과			· 사면의 종합평가 지수(P) = $\sum$ (성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = 0.255 × 0.8 + 0.300 × 0.2 = 0.264				
			결합지수	0.264	종합평가등급		B

● 주요 보수·보강 방안

구분	구 간	보수·보강 방안	보강사유	수량	비고
①	소단배수로 토사퇴적	주의관찰	-	L=60.0m	
②	이완암	주의관찰	-	12.0m ²	
③	식생불량	주의관찰	-	4.0m ²	

3. 성능평가 결론

- ※ (주) 마창대교에서 발주한 “마창대교 및 절토사면(2개소) 안전점검(성능평가포함) 용역”의 상반기 절토사면(2개소) 성능평가에 대하여 실시한 결론은 다음과 같음.

3.1 마창절토사면 성능평가 결과

- ※ 시설물정보관리종합시스템(fms)을 통해 설계도서 및 준공도서, 유지관리 이력 등 기초 자료 분석하여 성능평가를 실시하였다.
- ※ 사면의 구성 암종은 안산암으로 구성되어 있으며, 1단의 암의 풍화상태는 약한풍화 상태이나, 2,3단의 상부의 암 상태는 보통~심한 풍화의 상태로 관찰되었다. 기 실시된 점검 이후 인장균열 등의 파괴징후는 없는 것으로 조사되었으나, 2단에 발생한 기반암의 철 성분에 의한 화학적 풍화작용으로 녹물오염이 조사되었으며, 이전 점검과 비교시 손상의 진전은 미미한 상태이다.
- ※ 사면 전반에 걸쳐 소규모의 이완암, 과대굴착 등이 일부 조사되었으나, 방지망 내에 포획되어 있어, 낙석의 위험은 없는 상태이며, 이완암의 손상확대에 대한 주기적인 관찰이 필요한 것으로 판단된다.
- ※ 산마루측구 및 소단배수로에 발생한 균열은 전 구간에서 균열 보수가 완료된 상태이며, 보수부의 상태도 양호한 것으로 관찰되었다.
- ※ 사면의 보강시설로 설치된 Rock bolt 및 nailing은 특별한 손상이 없는 상태로, 손상의 신규 발생에 대한 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.
- ※ 상부자연사면 점검결과, 인장균열, 지반변형 등의 사면 안전성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 관찰되지 않은 상태이다.
- ※ 안전성능평가 결과 ‘B’, 내구성능평가 결과 ‘C’ 등급으로서, 성능간 가중치를 고려한 종합평가 결과 ‘B’ 등급인 상태임
- ※ 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침』에 근거한 절토사면의 종합성능등급은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준”인 『B등급』으로 평가되었다.

3.2 마창절토사면(영업소 뒤) 성능평가 결과

- ※ 마창절토사면(영업소 뒤)는 2016년 시특법 개정으로인해 2종시설물로 편입되었으며, 시설물정보관리종합시스템(fms)을 통해 설계도서 및 준공도서, 유지관리 이력 등 기초 자료 분석하여 성능평가를 실시하였다
- ※ 사면의 구성 암종은 안산암으로 구성되어 있으며, 1단의 암의 풍화상태는 신선~심한풍화 상태이며, 4단의 상부의 암 상태는 약간~풍화잔류토의 상태로 관찰되었다. 기 실시된 점검이후 인장균열 등의 파괴징후는 없는 것으로 조사되었으며, 1구간의 4단에 발생한 녹물오염이 조사되었으나, 이전 점검과 비교시 손상의 진전은 미미한 상태이다.
- ※ 토사사면은 표층붕괴 및 유실 등의 손상이 없는 대체로 양호한 상태이며, 식생상태도 양호한 것으로 조사되었다.
- ※ 이완암 등의 손상이 조사되었으나 이는 사면 시공시 발생한 손상으로 현재 낙석방지망 내에 포획되어 있어 대규모 암이탈에 따른 도로 피해는 없을 것으로 판단된다.
- ※ 산마루 배수로 및 소단부 균열에 대하여 보수가 완료된 상태로서 구조물의 내구성은 확보되는 것으로 판단되며, 배수기능 또한 원활히 이루어질 것으로 판단된다.
- ※ 금회 점검시 누수 및 체수흔적은 관찰되지 않았다.
- ※ 사면의 보강시설로 설치된 Rock bolt 및 Soil-nailing은 특별한 손상이 없는 상태로, 손상의 신규 발생에 대한 주의관찰이 필요하다.
- ※ 상부자연사면의 점검결과, 인장균열, 지반변형 등의 사면 안전성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 관찰되지 않은 상태이다.
- ※ 안전성능평가 결과 ‘B’ , 내구성능평가 결과 ‘B’ 등급으로서, 성능간 가중치를 고려한 종합평가 결과 ‘B’ 등급인 상태임
- ※ 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침』에 근거한 절토사면의 종합성능등급은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준”인 『B등급』으로 평가되었다.

3.3 보수 및 보강

● 마창절토사면

- ※ 일부구간 뜬돌 및 이완암 등의 손상이 발견되었으나, 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 피해는 없을 것으로 판단된다.
- ※ 토사사면의 표층유실 등은 없는 것으로 조사되었고 암사면 구간의 녹물오염 등이 조사되었으나 이는 절토사면 조성시 외기노출에 의한 풍화작용에 의한 손상으로 비탈면 안전성을 우려할 정도는 아닌 것으로 판단된다.
- ※ 산마루 배수로 균열 및 소단부 균열에 대하여 전 구간에서 균열 보수가 완료된 상태로서 주기적인 점검을 통하여 균열의 재발생 등을 파악하여야 할 것으로 판단된다.
- ※ 사면의 보강시설인 Rock bolt 및 Soil nailing에 대해서는 손상이 없는 양호한 상태이나, 손상의 진전에 대한 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

● 마창절토사면(영업소뒤)

- ※ 일부구간 이완암 등의 손상이 발견되었으나, 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 피해는 없을 것으로 판단된다.
- ※ 암사면의 1단 일부 구간에서 표면식생의 경미한 표층유실이 조사되었고, 4단 일부에서 녹물오염 등이 조사되었다. 이는 환경적인 요인 및 절토사면 조성시 외기노출에 의한 풍화작용에 의한 손상으로 비탈면 안전성을 우려할 정도는 아닌 것으로 판단된다.
- ※ 산마루 배수로 균열 및 소단부 균열에 대하여 전 구간에서 균열 보수가 완료된 상태로서 주기적인 점검을 통하여 균열의 재발생 등을 파악하여야 할 것으로 판단된다. 또한 소단 배수로 일부 구간에서 토사퇴적이 조사되었으나, 현재 체수 등의 손상은 관찰되지 않은 상태로, 조치 보다는 손상발생에 대한 주의관찰을 실시한다.
- ※ 사면의 보강시설인 Rock bolt 및 Soil nailing에 대해서는 손상이 없는 양호한 상태이나, 손상의 진전에 대한 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

3.4 유지관리방안

● 마창절토사면

- ※ 1단 및 2단 암사면에 산재해 있는 과대굴착, 이완암은 암석의 풍화정도에 따라 낙석의 가능성이 있으므로 주기적인 점검이 필요하다.
- ※ 기반암의 화학적 풍화작용에 의해 산화되어 발생한 녹물은 Rock Bolt 지압판의 부식을 유발할 수 있으므로 주의관찰 필요하다.
- ※ 산마루 측구의 원활한 배수기능 확보를 위해 콘크리트 균열 및 이물질 퇴적에 대한 주기적인 점검이 필요하다.
- ※ 점검결과, 비교적 양호한 ‘B’ 등급 이라도 우리나라 기후특성상 여름철 집중호우로 인하여 사면붕괴 및 산사태 위험성을 내포하고 있으므로 주기적인 관찰 및 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

● 마창절토사면(영업소뒤)

- ※ 1단 암사면에 산재해 있는 이완암은 암석의 풍화정도에 따라 낙석의 가능성이 있으므로 주기적인 점검이 필요하다.
- ※ 기반암의 화학적 풍화작용에 의해 산화되어 발생한 녹물은 Rock Bolt 지압판의 부식을 유발할 수 있으므로 주의관찰 필요하다.
- ※ 콘크리트 소단부 토사퇴적은 손상의 규모가 작고, 체수 등의 추가 손상이 없는 것으로 확인되어 조치보다는 손상의 진전에 대한 주의관찰을 실시한다.
- ※ 산마루 측구의 원활한 배수기능 확보를 위해 콘크리트 균열 및 이물질 퇴적에 대한 주기적인 점검이 필요하다.
- ※ 점검결과, 비교적 양호한 ‘B’ 등급 이라도 우리나라 기후특성상 여름철 집중호우로 인하여 사면붕괴 및 산사태 위험성을 내포하고 있으므로 주기적인 관찰 및 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

목 차

◆ 1편 공통편

제1장 개 요	I -3
1.1 성능평가의 개요	I -5
1.2 대상시설물	I -6
1.3 과업의 범위 및 내용	I -9
1.4 과업 수행 흐름도	I -10
1.5 과업 수행 일정	I -11
1.6 사용 장비	I -12
제2장 성능평가 기준 및 방법	I -13
2.1 개 요	I -15
2.2 성능평가 내용	I -15
2.3 성능평가 현장조사	I -17
2.4 재료시험 항목 및 수량	I -52
2.5 안전성능평가 기준 및 방법	I -56
2.6 내구성능평가 기준 및 방법	I -71
2.7 종합평가 기준 및 방법	I -83

◆ 2편 성능평가편

제1장 마창절토사면	II -3
1.1 현황조사	II -5
1.2 외관조사 결과	II -16
1.3 내구성 조사	II -27
1.4 시설물의 안전성능 평가	II -29
1.5 시설물의 내구성능 평가	II -37
1.6 종합평가	II -41
1.7 시설물의 유지관리 전략제안	II -42
1.8 종합결론 및 건의사항	II -47

제2장 마창절토사면(영업소뒤)	II -49
2.1 현황조사	II -51
2.2 외관조사 결과	II -59
2.3 내구성 조사	II -73
2.4 시설물의 안전성능 평가	II -77
2.5 시설물의 내구성능 평가	II -95
2.6 종합평가	II -107
2.7 시설물의 유지관리 전략제안	II -109
2.8 종합결론 및 건의사항	II -114

표 목 차

◆ 1편 공통편

제1장 개 요	I -3
<표 1.2-1> 토층심도에 따른 절토사면 구분	I -7
<표 1.2-2> 토사사면의 세부 평가범위	I -7
<표 1.2-3> 암반사면의 세부 평가범위	I -7
<표 1.2-4> 대상시설물	I -8
<표 1.3-1> 과업의 범위 및 내용	I -9
<표 1.5-1> 과업 수행 일정	I -11
<표 1.6-1> 조사항목 및 사용장비	I -12

제2장 성능평가 기준 및 방법	I -13
<표 2.3-1> 토사사면의 조사항목	I -17
<표 2.3-2> 암반사면의 조사항목	I -18
<표 2.3-3> 혼합사면의 조사항목	I -19
<표 2.3-4> 성능평가 과업 내용	I -20
<표 2.3-5> 사전조사 내용	I -21
<표 2.3-6> 절리간격 분류 기준	I -27
<표 2.3-7> 연장성 분류 기준	I -27
<표 2.3-8> 불연속면 거칠기 등급	I -28
<표 2.3-9> 틈새(간극)분류 기준	I -29
<표 2.3-10> 충전물 분류 기준	I -30
<표 2.3-11> 누수상태 분류 기준	I -30
<표 2.3-12> 블록형상 분류 기준	I -31
<표 2.3-13> 암석의 실내시험 종류	I -36
<표 2.3-14> 토사사면 전단강도식	I -37
<표 2.3-15> 절토사면의 유형별 안정해석 범위	I -43
<표 2.3-16> 사면의 안정해석 프로그램 예시	I -44
<표 2.3-17> 타격방향에 따른 반발값 보정표	I -50

〈표 2.4-1〉 제2종 성능평가 재료시험 항목	I -52
〈표 2.4-2〉 제1종 성능평가 재료시험 항목	I -53
〈표 2.4-3〉 제2종 성능평가 기본과업 재료시험 기준수량	I -54
〈표 2.4-4〉 제2종 성능평가 선택과업 재료시험 기준수량	I -54
〈표 2.4-5〉 제1종 성능평가 기본과업 재료시험 기준수량	I -55
〈표 2.4-6〉 제1종 성능평가 선택과업 재료시험 기준수량	I -55
〈표 2.5-1〉 사면 형식별 성능지표	I -56
〈표 2.5-2〉 집수지형 평가기준	I -57
〈표 2.5-3〉 불안정지질 평가기준	I -57
〈표 2.5-4〉 불연속면 특성 평가기준	I -58
〈표 2.5-5〉 불연속면 세부상태 평가기준	I -58
〈표 2.5-6〉 지반변형 평가기준	I -59
〈표 2.5-7〉 지하수 평가기준	I -59
〈표 2.5-8〉 배수조건 평가기준	I -60
〈표 2.5-9〉 붕괴이력 평가기준	I -60
〈표 2.5-10〉 발생규모 평가기준	I -61
〈표 2.5-11〉 예상 낙석에너지 평가기준	I -61
〈표 2.5-12〉 사면의 상부 상태 평가기준	I -62
〈표 2.5-13〉 인장균열 평가기준	I -62
〈표 2.5-14〉 토사사면의 평가항목별 등급에 따른 점수	I -63
〈표 2.5-15〉 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수	I -63
〈표 2.5-16〉 혼합사면의 평가항목별 등급에 따른 점수	I -64
〈표 2.5-17〉 인장균열 결합점수 산정	I -65
〈표 2.5-18〉 상태안전성능평가 결과 산정기준	I -65
〈표 2.5-19〉 구간별 상태안전성능평가 결과 산정 예	I -66
〈표 2.5-20〉 상태안전성능평가 결과 산정 예	I -66
〈표 2.5-21〉 구조안전성능 평가 기준	I -67
〈표 2.5-22〉 안정해석 조건에 따른 기준안전율	I -68
〈표 2.5-23〉 구조안전성능 평가 결과 산정 예	I -68
〈표 2.5-24〉 안전성능 평가 결과 산정 예	I -69
〈표 2.5-25〉 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의	I -70
〈표 2.6-1〉 사면형식별 내구성능 평가지표	I -72
〈표 2.6-2〉 토사비탈면의 지반상태 등급 및 기준	I -72

<표 2.6-3> 토양경도계 측정에 따른 등급	I -73
<표 2.6-4> 암반사면의 지반상태 등급 및 기준	I -73
<표 2.6-5> 암종별 암편 내압강도	I -74
<표 2.6-6> 표면보호공 평가 등급 및 기준	I -75
<표 2.6-7> 사면보강공 평가 등급 및 기준	I -75
<표 2.6-8> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준	I -76
<표 2.6-9> 등급별 결합도 지수 및 범위	I -77
<표 2.6-10> 비탈면 형식에 따른 지표별 가중치	I -77
<표 2.6-11> 단계별 결과산정절차	I -78
<표 2.6-12> 토사사면의 조사 방법 및 수량	I -78
<표 2.6-13> 암반사면의 조사 방법 및 수량	I -78
<표 2.6-14> 평가대상 사면 개요	I -79
<표 2.6-15> 지반상태(토사)	I -79
<표 2.6-16> 표면보호공 피복 면적	I -80
<표 2.6-17> 표면보호공 손상 면적	I -80
<표 2.6-18> 지반상태(암반)	I -80
<표 2.6-19> 사면보강공	I -81
<표 2.6-20> 절리상태 및 풍화진행도	I -81
<표 2.6-21> 토사구간의 내구성능 등급 산정	I -81
<표 2.6-22> 암반구간의 내구성능 등급 산정	I -82
<표 2.6-23> 혼합사면 내구성능 평가 최종 등급 산정	I -82
<표 2.6-24> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의	I -82
<표 2.7-1> 성능간 가중치 산정값	I -83
<표 2.7-2> 절토사면의 종합평가 산정 예	I -85
<표 2.7-3> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준	I -85

◆ 2편 성능평가편

제1장 마창절토사면	II -4
<표 1.1-1> 절토비탈면 일반현황	II -6
<표 1.1-2> 절토비탈면 지형 및 식생	II -7
<표 1.1-3> 유지관리자료 보유 현황	II -10

<표 1.1-4> 점검 및 진단 이력	II-11
<표 1.1-5> 보수·보강 이력	II-13
<표 1.1-6> 2015년 정밀안전점검 실시 결과	II-14
<표 1.1-7> 2017년 정밀안전점검 실시 결과	II-14
<표 1.1-8> 자료수집 분석 결과	II-15
<표 1.2-1> 절토비탈면 조사 분할구간	II-16
<표 1.2-2> 손상물량 집계표	II-23
<표 1.2-3> 외관조사 결과	II-24
<표 1.2-4> 불연속면의 세부상태 평가	II-25
<표 1.2-5> 1구간 예상 낙석에너지	II-26
<표 1.3-1> 암반 강도시험 평가결과	II-27
<표 1.4-1> 사면의 분류	II-29
<표 1.4-2> 사면 형식별 성능지표	II-29
<표 1.4-3> 1구간 암반사면의 지표등급별 점수	II-30
<표 1.4-4> 1구간 인장균열의 결함점수 산정	II-30
<표 1.4-5> 구간별 상태안전성능평가 결과	II-31
<표 1.4-6> 상태안전성능평가 결과	II-31
<표 1.4-7> 불연속면의 절리값	II-33
<표 1.4-8> 평사투영해석결과	II-33
<표 1.4-9> 한계평형해석결과	II-34
<표 1.4-10> 구조안전성능 평가 결과	II-35
<표 1.4-11> 구간별 구조안전성능 평가 결과	II-35
<표 1.4-12> 안전성능평가 결과	II-36
<표 1.4-13> 안전성능 평가결과에 따른 시설물 상태 정의	II-36
<표 1.5-1> 비탈면 개요	II-37
<표 1.5-2> 등급별 결함도 지수 및 범위	II-37
<표 1.5-3> 지표별 가중치	II-37
<표 1.5-4> 지반상태	II-38
<표 1.5-5> 표면보호공	II-39
<표 1.5-6> 사면보강공	II-39
<표 1.5-7> 절리상태 및 풍화진행도	II-39
<표 1.5-8> 지표별 가중치 결과표	II-40
<표 1.5-9> 내구성능평가 결과표	II-40

〈표 1.5-10〉 내구성능 평가 최종등급 산정	II -40
〈표 1.6-1〉 종합평가 결과 산정표	II -41
〈표 1.6-2〉 안전등급 지정	II -41
〈표 1.7-1〉 비탈면 보수 · 보강비	II -42
〈표 1.7-2〉 안전성능 가중치	II -43
〈표 1.7-3〉 내구성능 가중치	II -43
〈표 1.7-4〉 성능간 가중치	II -43
〈표 1.7-5〉 공법별 가중치 산정	II -44
〈표 1.7-6〉 종합성능평가에서의 결함도 범위	II -45
〈표 1.7-7〉 중점유지관리 항목	II -46

제2장 마창절토사면(영업소뒤) II -49

〈표 2.1-1〉 절토비탈면 일반현황	II -52
〈표 2.1-2〉 절토비탈면 지형 및 식생	II -53
〈표 2.1-3〉 유지관리자료 보유 현황	II -56
〈표 2.1-4〉 점검 및 진단 이력	II -57
〈표 2.1-5〉 보수 · 보강 이력	II -57
〈표 2.1-6〉 2017년 정밀안전점검 실시결과	II -58
〈표 2.1-7〉 자료수집 분석결과	II -58
〈표 2.2-1〉 절토비탈면 조사 분할구간	II -59
〈표 2.2-2〉 손상물량 집계표	II -69
〈표 2.2-3〉 외관조사 결과	II -70
〈표 2.2-4〉 불연속면의 세부상태 평가	II -71
〈표 2.2-5〉 1구간 예상 낙석에너지	II -72
〈표 2.3-1〉 토양경도시험 평가결과	II -73
〈표 2.3-2〉 암반 강도시험 평가결과	II -74
〈표 2.4-1〉 사면의 분류	II -77
〈표 2.4-2〉 사면 형식별 성능지표	II -77
〈표 2.4-3〉 1구간 암반사면의 지표등급별 점수	II -78
〈표 2.4-4〉 1구간 인장균열의 결함점수 산정	II -78
〈표 2.4-5〉 2구간 토사사면의 지표등급별 점수	II -79
〈표 2.4-6〉 2구간 인장균열의 결함점수 산정	II -79
〈표 2.4-7〉 2구간 암반사면의 지표등급별 점수	II -80

<표 2.4-8> 2구간 인장균열의 결함점수 산정	II -80
<표 2.4-9> 3구간 토사사면의 지표등급별 점수	II -81
<표 2.4-10> 3구간 인장균열의 결함점수 산정	II -81
<표 2.4-11> 3구간 암반사면의 지표등급별 점수	II -82
<표 2.4-12> 3구간 인장균열의 결함점수 산정	II -82
<표 2.4-13> 구간별 상태안전성능평가 결과	II -83
<표 2.4-14> 상태안전성능평가 결과(토사)	II -83
<표 2.4-15> 상태안전성능평가 결과(암반)	II -84
<표 2.4-16> 연속체 해석을 위한 강도정수 산정결과	II -86
<표 2.4-17> 불연속체 해석을 위한 강도정수 산정결과	II -86
<표 2.4-18> 불연속면의 절리값	II -87
<표 2.4-19> 평사투영해석결과	II -87
<표 2.4-20> 불연속면의 절리값	II -88
<표 2.4-21> 평사투영해석결과	II -88
<표 2.4-22> 토사구간 한계평형해석결과	II -89
<표 2.4-23> 불연속면의 절리값	II -90
<표 2.4-24> 평사투영해석결과	II -90
<표 2.4-25> 토사구간 한계평형해석결과	II -91
<표 2.4-26> 1구간 구조안전성능 평가 결과	II -92
<표 2.4-27> 2구간 구조안전성능 평가 결과	II -92
<표 2.4-28> 3구간 구조안전성능 평가 결과	II -93
<표 2.4-29> 구간별 구조안전성능 평가 결과	II -93
<표 2.4-30> 안전성능평가 결과표	II -94
<표 2.4-31> 안전성능 평가결과에 따른 시설물 상태 정의	II -94
<표 2.5-1> 시설물의 내구성능평가	II -95
<표 2.5-2> 등급별 결함도 지수 및 범위	II -95
<표 2.5-3> 지표별 가중치	II -95
<표 2.5-4> 지반상태	II -96
<표 2.5-5> 표면보호공	II -96
<표 2.5-6> 사면보강공	II -97
<표 2.5-7> 절리상태 및 풍화진행도	II -97
<표 2.5-8> 토양경도시험 평가결과	II -98
<표 2.5-9> 표면보호공 면적	II -98

<표 2.5-10> 사면보강공	II -98
<표 2.5-11> 지반상태	II -99
<표 2.5-12> 표면보호공	II -99
<표 2.5-13> 사면보강공	II -100
<표 2.5-14> 절리상태 및 풍화진행도	II -100
<표 2.5-15> 토양경도시험 평가결과	II -101
<표 2.5-16> 표면보호공 면적	II -101
<표 2.5-17> 사면보강공	II -101
<표 2.5-18> 지반상태	II -102
<표 2.5-19> 표면보호공	II -102
<표 2.5-20> 사면보강공	II -103
<표 2.5-21> 절리상태 및 풍화진행도	II -103
<표 2.5-22> 지표별 가중치 결과표	II -104
<표 2.5-23> 내구성능평가 결과표	II -104
<표 2.5-24> 내구성능평가 결과표	II -105
<표 2.5-25> 내구성능평가 결과표	II -105
<표 2.5-26> 내구성능평가 결과표	II -105
<표 2.5-27> 내구성능평가 결과표	II -106
<표 2.5-28> 내구성능평가 최종등급 산정	II -106
<표 2.6-1> 종합평가 결과 산정표	II -107
<표 2.6-2> 안전등급 지정	II -108
<표 2.7-1> 비탈면 보수 · 보강비	II -109
<표 2.7-2> 안전성능 가중치	II -110
<표 2.7-3> 내구성능 가중치	II -110
<표 2.7-4> 성능간 가중치	II -110
<표 2.7-5> 공법별 가중치 산정	II -111
<표 2.7-6> 종합성능평가에서의 결함도 범위	II -112
<표 2.7-7> 중점유지관리 항목	II -113

그림 목 차

◆ 1편 공통편

제1장 개 요	I -3
<그림 1.2-1> 대상시설물의 범위	I -6
<그림 1.2-2> 절토사면의 분류	I -6
<그림 1.2-3> 지역별 위치도	I -8
<그림 1.4-1> 제2종성능평가 흐름도	I -10
 제2장 성능평가 기준 및 방법	I -13
<그림 2.2-1> 성능평가 업무 흐름도	I -16
<그림 2.3-1> 절토사면의 분할기준	I -22
<그림 2.3-2> 집수지형 구분 모식도	I -23
<그림 2.3-3> 불연속면의 표시방법	I -26
<그림 2.3-4> 노두 관찰을 통한 불연속면 간격 측정방법	I -26
<그림 2.3-5> 암반 블록의 형상	I -31
<그림 2.3-6> 내진성능평가 흐름도	I -37
<그림 2.3-7> 암반사면의 파괴 유형별 평사투영해석 예시	I -39
<그림 2.3-8> 인장균열을 가진 사면의 기하학적 조건	I -40
<그림 2.3-9> 켄터파괴 활동면 및 사잇각 산출방법	I -42
<그림 2.3-10> 구조안전성능 평가결과 산정 과정	I -43
<그림 2.3-11> 동적콘관입시험기의 외형	I -46
<그림 2.3-12> 산중식 토양경도계 구조	I -48
<그림 2.3-13> 슈미트해머 반발지수를 이용한 일축압축강도 변화 차트	I -50
<그림 2.5-1> 인장균열 유/무에 따른 상태안전성능평가 결과 예	I -65

〈그림 2.5-2〉 안전성능 평가 결과 산정 과정	I -69
〈그림 2.7-1〉 절토사면의 종합평가 결과 산정 절차	I -84

◆ 2편 성능평가편

제1장 마창절토사면 II -3

〈그림 1.1-1〉 조사지역의 위치도	II -5
〈그림 1.1-2〉 대상비탈면 전경	II -5
〈그림 1.1-3〉 절토비탈면 보강도	II -8
〈그림 1.1-4〉 절토비탈면 보강 횡단면도	II -9
〈그림 1.2-1〉 조사지역의 위치도	II -16

제2장 마창절토사면(영업소뒤) II -49

〈그림 2.1-1〉 조사지역의 위치도	II -51
〈그림 2.1-2〉 대상비탈면 전경	II -51
〈그림 2.1-3〉 절토비탈면 보강도	II -54
〈그림 2.1-4〉 절토비탈면 보강 횡단면도	II -55
〈그림 2.2-1〉 조사지역의 위치도	II -59

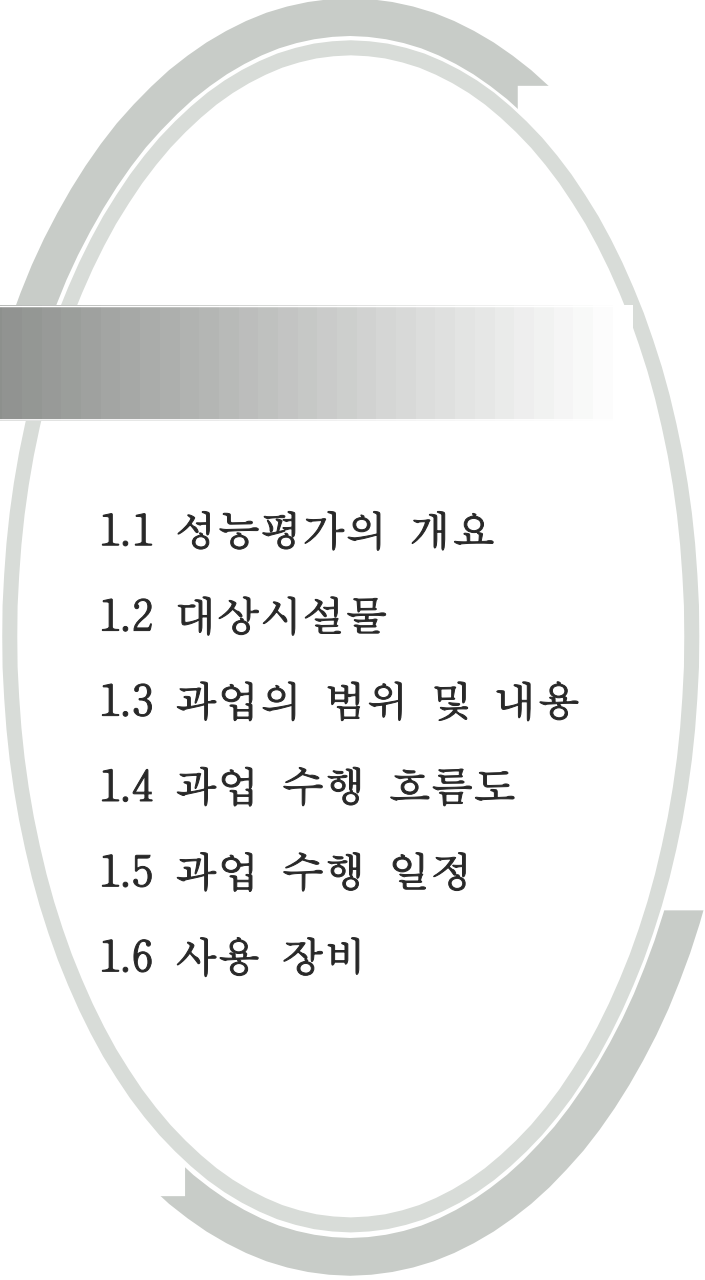
부 록

1. 과업지시서
2. 외관조사망도
3. 측정, 시험, 계측 성과표
4. 해석모델링 및 수치해석자료
5. 성능평가 결과자료
6. 시설물관리대장 사본
7. 사용장비 및 기기의 사진
8. 사전조사자료
9. 기타참고자료

1 편 | 공 통 편

제 1 장 개 요

제 2 장 성능평가 기준 및 방법



제1장

개 요

- 1.1 성능평가의 개요
- 1.2 대상시설물
- 1.3 과업의 범위 및 내용
- 1.4 과업 수행 흐름도
- 1.5 과업 수행 일정
- 1.6 사용 장비

제1장 개 요

1.1 성능평가의 개요

1) 과업명

- 마창대교 및 절토사면(2개소) 안전점검(성능평가 포함) 용역

2) 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법” (이하“시설물안전법 “이라한다.) 제 40조의 규정에 의한 과업으로서 시설물의 노후상태 및 성능저하 현상을 파악하여 도로의 확충 및 교통량과 교통하중의 증가에 따른 시설물의 점진적 손상을 방지하고 잔여 공용기간 동안 유지관리의 효율성을 재고시키는데 목적이 있으며 이를 위하여 대상 시설물의 외관손상 및 결함조사 성능저하 현상 조사 및 성능저하도 평가를 실시함으로써 대상 시설물의 구조성능, 안전성 및 사용성을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능변화를 파악·예측하고 이를 통하여 관리주체가 보수·개량·교체 등에 대한 최적시기 결정등 합리적인 유지관리전략을 마련하는데 있다.

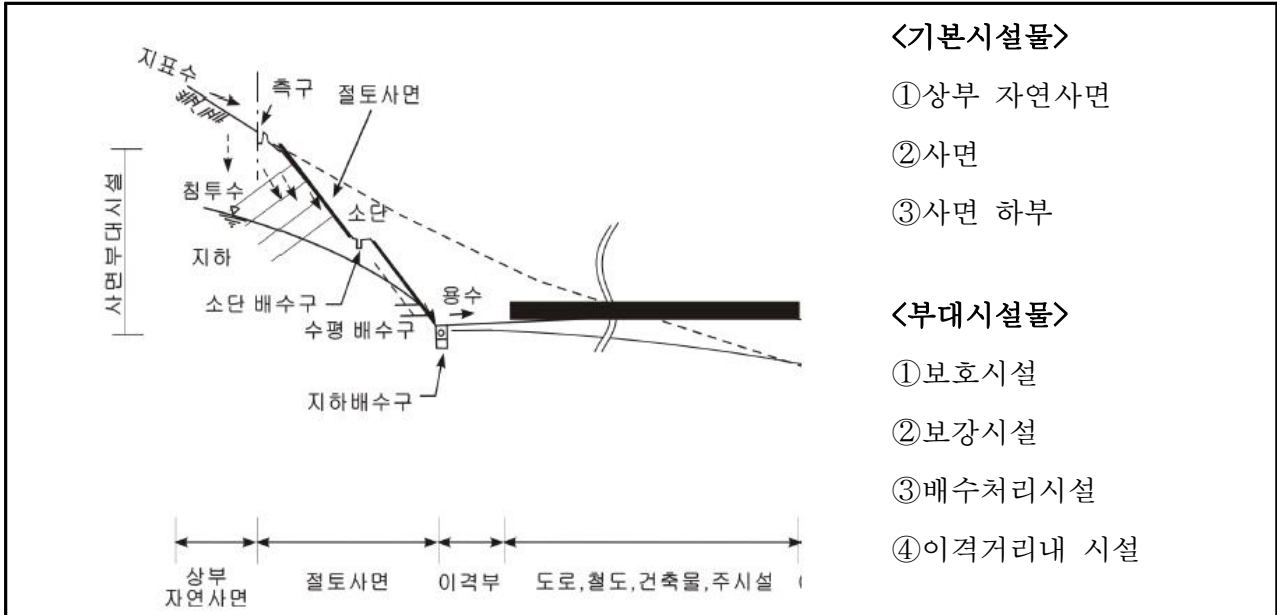
3) 과업기간

- 과업기간 : 2019. 04. 08. ~ 2019. 06. 26. (착수일로부터 80일간)

1.2 대상시설물

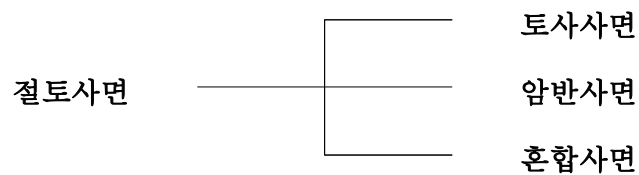
1.2.1 성능평가 대상 시설

- 절토사면(2개소)



<그림 1.2-1> 대상시설물의 범위

•절토사면의 대상범위는 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에 따른 제2종시설물로서 지반의 구성 재료에 따라 토사사면과 암반사면 그리고 토사와 암반이 혼합되어 있는 경우는 혼합사면으로 구분한다



<그림1.2-2> 절토사면의 분류

•토층심도율(Soil depth ratio: SR)은 토사사면과 암반사면을 구분할 수 있는 지표로서 다 음식과 같이 사면높이에 대한 토층두께의 비로 정의된다.

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

〈표 1.2-1〉 토층심도에 따른 절토사면 구분

구분	토층심도율	비고
토사사면	> 0.4	
암반사면	≤ 0.4	
토층심도율이 0.2 ~ 0.4일 경우, 혼합사면으로 구분하여 토사와 암반을 모두 고려하여 평가함		

가. 토사사면

●주요 구성물질이 토사로 이루어져 토사지반의 거동을 보이는 사면을 지칭하며, 지반 포화시와 불포화시의 단위중량 변화량이 암반사면에 비해 큰 특징을 가진다. 대표적인 붕괴유형으로는 세굴, 표층유실, 표층붕괴, 활동파괴 등이 있다.

〈표 1.2-2〉 토사사면의 세부 평가범위

구분	평가범위	세부 평가범위
기본시설물	상부자연사면 및 시설물	상부자연사면 경사, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 구조물 변형, 인장균열 등
	절토부	지반상태, 지하수, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 인장균열 등
	사면하부	붕괴이력, 배수상태 등
부대시설물	보호시설	사면에 적용된 보호공법의 상태
	보강시설	사면에 적용된 보강공법의 상태
	배수처리시설	사면 및 구조물에 적용된 지표 및 지하배수시설의 상태
	이격거리 내 시설	예상 피해구조물 규모 등

나. 암반사면

●암반사면은 주요 구성 물질이 암반으로 구성된 사면을 지칭하며 주로 불연속면에 의한 거동이 우세하게 나타난다. 대표적인 붕괴유형으로는 낙석, 켜기파괴, 평면파괴, 전도파괴 등이 있다.

〈표1.2-3〉 암반사면의 세부 평가범위

구분	평가범위	세부 평가범위
기본시설물	상부자연사면 및 시설물	집수지형, 배수상태, 지반변형, 구조물 변형, 인장균열 등
	절토부	암반상태, 지하수, 집수지형, 배수상태, 지반변형, 인장균열, 구성지질, 불연속면, 낙석 등
	사면하부	붕괴이력, 배수상태, 낙석 등
부대시설물	보호시설	사면에 적용된 보호공법의 상태
	보강시설	사면에 적용된 보강공법의 상태
	배수처리시설	사면 및 구조물에 적용된 지표 및 지하배수시설의 상태
	이격거리 내 시설	예상 피해구조물 규모 등

1.2.2 대상시설물 현황



<그림 1.2-3> 지역별 위치도

<표 1.2-4> 대상시설물

시설물명	위치	제원	시설물 구분
마창절토사면	경상남도 창원시 성산구 귀산동	연장 : 258.0m, 높이 : 64.7m(소단수 : 5)	2중시설물
마창절토사면 (영업소뒤)		연장 : 248.0m, 높이 : 39.0m(소단수 : 6)	2중시설물

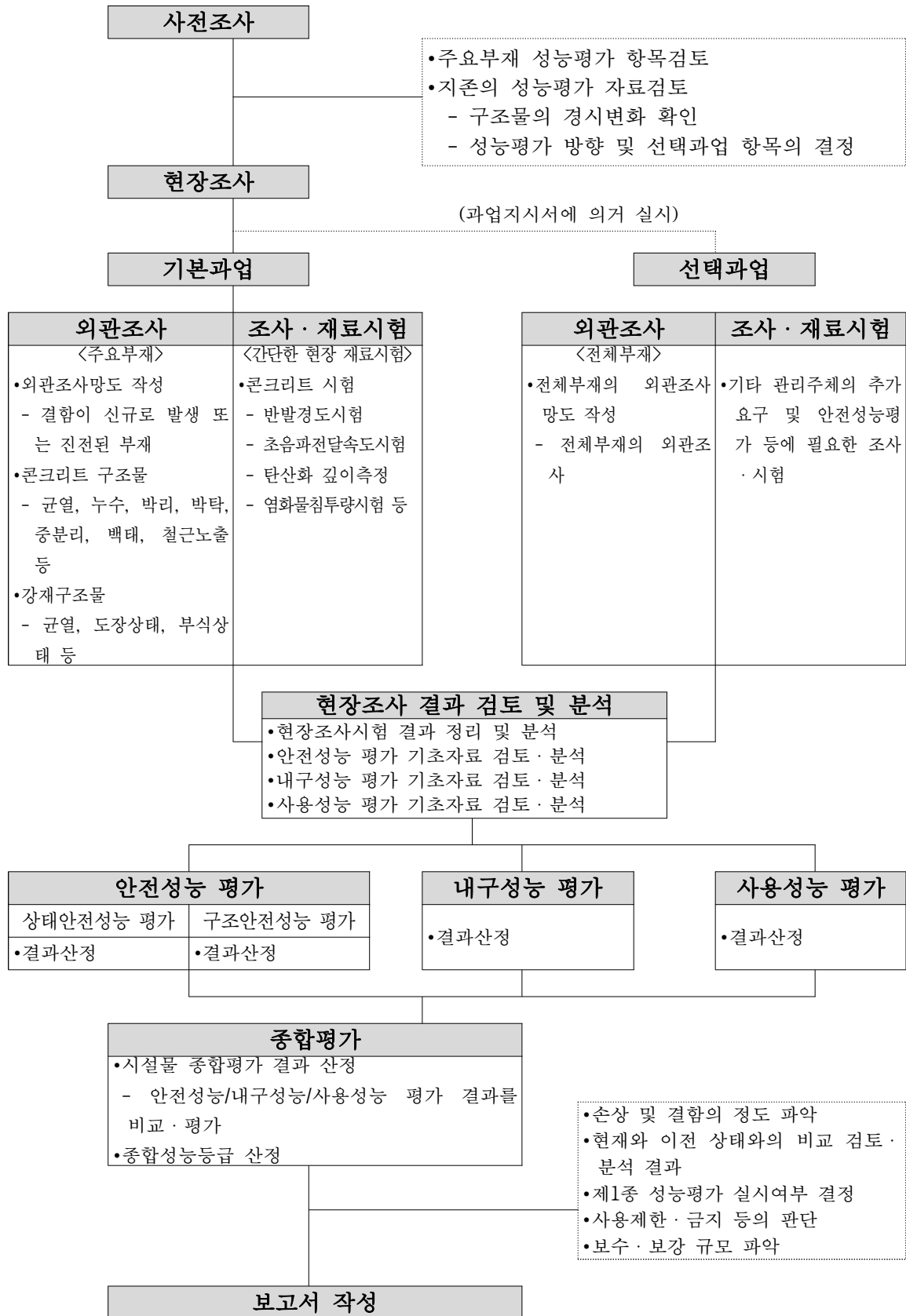
구 분		시설물의 범위	비고
사면	기본시설물	- 상부자연 사면 - 사면 - 사면 하부	
	부대시설물	- 보호시설 - 보강시설 - 배수처리시설 - 이격거리내 시설	

1.3 과업의 범위 및 내용

〈표1.3-1〉 과업의 범위 및 내용

구 분		평 가 지 표	조 사 항 목
안전 성능	상태안전성능	집수지형	비탈면 내·외 집수지형 개수
		불안정지질	단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포규모 및 상태
		불연속면특성	연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격
		지반변형	포행, 단차, 배부름 등
		지하수	누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		붕괴이력	세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		낙석	발생규모, 예상 낙석에너지
		비탈면상부상태	상부자연비탈면의 경사
		인장균열	인장균열 유무(진행성)
	구조안전성능	평사투영해석	췌기파괴
			평면파괴
			전도파괴
		한계평형해석	건기시 안전율
			우기시 안전율
			지진시 안전율
내구성능	지반상태	동적콘관입시험(DCPT) Nd치	
		토양경도(정밀안전점검시 대체 시험법)	
		설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도추정값의 비율	
	표면보호공	식생 피복율	
		손상 면적율	
	비탈면보호공	보강공 두부와 지반의 밀착도	
		보강공 두부의 균열 및 파손	
절리상태 및 풍화진행도	절리상태 및 풍화진행도		

1.4 과업 수행 흐름도



<그림 1.4-1> 제2종성능평가 흐름도

1.5 과업 수행 일정

□ 과업 기간 : 2019. 04. 08. ~ 2019. 06. 26. (착수일로부터 80일간)

〈표 1.5-1〉 과업 수행 일정

공 종	착수일로부터 80일												비 고
	2019년												
	4월				5월				6월				
	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	26	
1. 사전조사 · 착수 및 예비답사 · 관련자료 수집 및 분석 · 현장조사 계획수립													4/8 착수
2. 현장조사, 자료평가 · 현장조사 상세계획수립 · 비파괴 조사 · 추가조사 및 자료정리													
3. 등급지정, 종합평가 · 상태성능평가 · 구조성능평가 · 안전성능평가 · 내구성능평가 · 등급지정													
4. 유지관리 방안 제시 · 보수·보강방안 제시 · 유지관리방안 제시 · 관리주체 협의													
5 보고서 작성 등 · 납품예정 성과품 검수 · 최종성과품 작성 · 준공													6/26 준공

1.6 사용 장비

〈표 1.6-1〉 조사항목 및 사용장비

NO.	장비명	Model 및 규격	용도	비고
1	줄자	50 m	제원조사	
2	Steel자	5 m		
3	카메라	-	사진촬영	
4	워킹미터	-	연장 분할	
5	Rock Hammer	E3-22P	지표지질조사	
6	Clinometer	-	주향 · 경사 측정	
7	프로 파일게이지	-	암반 거칠기 측정	
8	슈미트 해머	암반용	암반 강도 측정	
9	고소점검차	붐길이 : 65m	사면 외관 조사	

제2장

성능평가 기준 및 방법

2.1 개 요

2.2 성능평가 내용

2.3 성능평가 현장조사

2.4 재료시험 항목 및 수량

2.5 안전성능평가 기준 및 방법

2.6 내구성능평가 기준 및 방법

2.7 종합평가 기준 및 방법

제2장 성능평가 기준 및 방법

2.1 개요

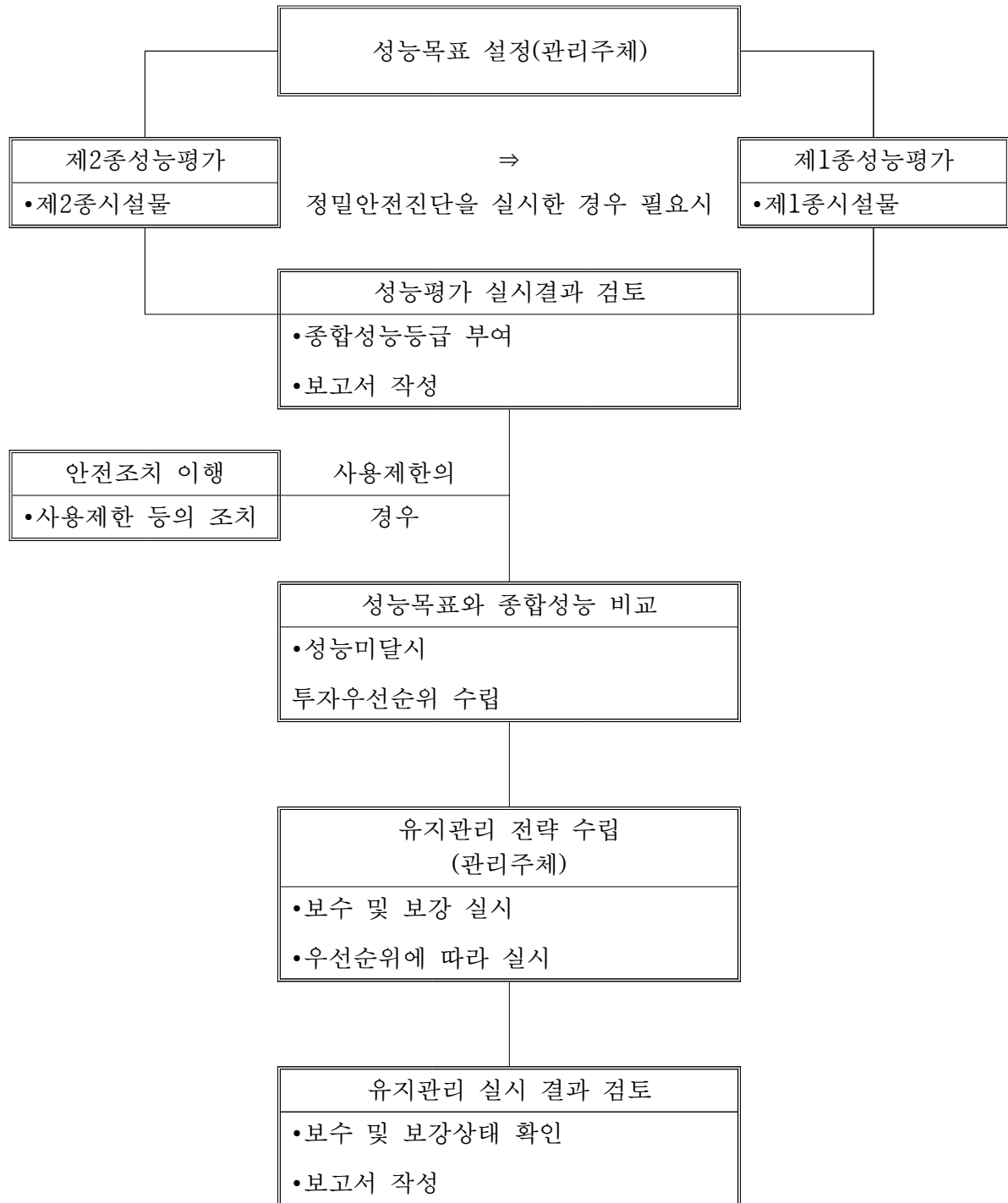
성능평가는 시설물의 노후상태 및 성능저하 현상을 파악하여 도로의 확충 및 교통량과 교통하중의 증가에 따른 시설물의 점진적 손상을 방지하고 잔여공용기간 동안 유지관리의 효율성을 제고시키는데 목적이 있으며 이를 위하여 대상 시설물의 외관손상 및 결함조사 성능저하 현상 조사 및 성능저하도 평가를 실시함으로써 대상 시설물의 구조성능, 안전성 및 사용성을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능변화를 파악·예측하고 이를 통하여 관리주체가 보수·개량·교체 등에 대한 최적시기 결정등 합리적인 유지관리전략을 마련하는데 있다.

2.2 성능평가 내용

제2종 성능평가는 시설물의 현 상태를 정확히 판단하고 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터의 변화를 확인하며 구조물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 면밀한 외관조사와 간단한 측정·시험장비로 필요한 측정 및 시험을 실시한다.

외관조사 및 측정·시험 결과와 이전의 성능평가 실시결과에서 발견된 결함의 진전 및 신규발생을 파악하여 시설물의 주요 부재별 상태를 평가하고 이전의 성능평가 실시결과와 비교·검토하여 시설물 전체에 대한 안전성능 및 내구성능, 사용성능 평가 결과를 결정하여야 하며, 결함부위 등 주요 부위에 대한 외관조사망도 작성 등 조사결과를 도면으로 기록하여야 한다.

제2종성능평가 실시결과 결함이 광범위하게 발생하는 등 제1종성능평가가 필요하다고 판단된 경우에는 점검자는 관리주체에게 즉시 보고하여야 하며, 관리주체는 제1종 성능평가를 실시하여야 한다.



<그림 2.2-1> 성능평가 업무 흐름도

2.3 성능평가 현장조사

•성능평가의 기본과업은 시설물의 구분 없이 기본적으로 실시하고, 정밀안전점검을 포함 및 결과를 활용하여 성능평가를 실시할 수 있는 과업을 말한다. 기본과업의 현장조사 및 시험 항목은 최소필요 조건으로 특별한 사유가 있는 경우에는 이를 고려하여 추가 또는 축소할 수 있다.

•선택과업은 시설물의 여건에 따라 실시하여야 하는 과업으로서 제2종성능평가의 목적을 달성하기 위하여 대상시설물의 특성 및 현지여건 등을 감안하여 실시하여야 한다.

2.3.1 시설물의 성능항목별 조사항목

가. 평가지표별 조사항목

〈표2.3-1〉 토사사면의 조사항목

구분		평가지표	평가지표
안전성능	상태안전성능 ¹⁾	집수지형	•사면 내 · 외 집수지형 개수
		지반변형	•포행, 단차, 배부름 등
		지하수	•누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	•산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		사면상부 상태	•상부자연사면의 경사
		붕괴이력	•세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		인장균열	•인장균열 유무(진행성)
	구조안전성능	한계평형해석	•건기시 안전율
			•우기시 안전율
			•지진시 안전율
내구성능	지반상태	•동적콘관입시험(DCPT) Nd치	
		•토양경도(정밀점검시 대체 시험법)	
	표면보호공	•식생 피복율	
		•손상 면적율	
	사면보강공	•보강공 두부와 지반의 밀착도	
		•보강공 두부의 균열 및 파손	

주1) 상태안전성능 조사시, 조사대상 사면에 점검로가 설치되어 있는 경우에는 연결부 체결상태, 지반인접부의 세굴상태 등 점검로의 상태에 대해 전반적으로 육안점검을 실시하며, Ningulshik 등 의 피복에 따른 점검로의 사용성 저하여부도 파악하도록 함.

〈표2.3-2〉 암반사면의 조사항목

구분		평가지표	평가지표
안전성능	상태안전성능 ¹⁾	집수지형	•사면 내 · 외 집수지형 개수
		불안정지질	•단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태
		불연속면특성	•연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격
		지반변형	•포행, 단차, 배부름 등
		지하수	•누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	•산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구 등
		붕괴이력	•세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		낙석	•발생규모, 예상 낙석에너지
		인장균열	•인장균열 유무(진행성)
	구조안전성능	평사투영해석	•썰기파괴
			•평면파괴
			•전도파괴
		한계평형해석	•건기시 안전율
			•우기시 안전율
			•지진시 안전율
내구성능	지반상태		•동적콘관입시험(DCPT) Nd치
			•토양경도(정밀점검시 대체 시험법)
			•설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도 추정값의 비율
	표면보호공		•식생 피복율
			•손상 면적율
	사면보강공		•보강공 두부와 지반의 밀착도
			•보강공 두부의 균열 및 파손
	절리상태 및 풍화진행도		•절리상태 및 풍화진행도

주1) 상태안전성능 조사시, 조사대상 사면에 점검로가 설치되어 있는 경우에는 연결부 체결상태, 지반인접부의 세굴상태 등 점검로의 상태에 대해 전반적으로 육안점검을 실시하며, 냉쿨식물 등의 피복에 따른 점검로의 사용성 저하여부도 파악하도록 함.

〈표2.3-3〉 혼합사면의 조사항목

구분		평가지표	평가지표
안전성능	상태안전성능 ¹⁾	집수지형	•사면 내 · 외 집수지형 개수
		불안정지질	•단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태
		불연속면특성	•연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격
		지반변형	•포행, 단차, 배부름 등
		지하수	•누수 발생 위치 및 유출량
		배수조건	•산마루배수구, 소단배수구, 종배수구, 탈끝배수구 등
		붕괴이력	•세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴 등
		낙석	•발생규모, 예상 낙석에너지
		사면상부 상태	•상부자연사면의 경사
		인장균열	•인장균열 유무(진행성)
	구조안전성능	평사투영해석	•썰기파괴
			•평면파괴
			•전도파괴
		한계평형해석	•건기시 안전율
			•우기시 안전율
			•지진시 안전율
내구성능	지반상태		•동적콘관입시험(DCPT) Nd치
			•토양경도(정밀점검시 대체 시험법)
			•설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도 추정값의 비율
	표면보호공		•식생 피복율
			•손상 면적율
	사면보강공		•보강공 두부와 지반의 밀착도
			•보강공 두부의 균열 및 파손
	절리상태 및 풍화진행도		•절리상태 및 풍화진행도

주1) 상태안전성능 조사시, 조사대상 사면에 점검로가 설치되어 있는 경우에는 연결부 체결상태, 지반인접부의 세굴상태 등 점검로의 상태에 대해 전반적으로 육안점검을 실시하며, 넝쿨식물 등의 피복에 따른 점검로의 사용성 저하여부도 파악하도록 함.

나. 조사항목 및 기준수량

〈표2.3-4〉 성능평가 과업 내용

성능	평가지표	조사항목	기준수량
안전성능	집수지형	•비탈면 내 집수지형 개수 •비탈면 외 집수지형 개수	•100m 간격의 구간을 분할하여 측정 •시·종점부, 계곡부에 따라 50~150m 간격으로 책임기술자 조정 가능
	불안정지질	•단층 및 전단대, 습곡, 암맥 등의 분포 규모 및 상태	
	불연속면특성	•연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 간격	•100m 간격으로 구간을 분할하여 측 정(3Set이상) •방향에 따라 필요수량 추가
	지반변형	•Creep, 단차, 배부름 등	•100m 간격으로 구간을 분할하여 측 정 •시·종점부, 계곡부에 따라 50~150m 간격으로 책임기술자 조정 가능
	지하수	•누수 발생 위치 및 유량	
	배수조건	•산마루배수구, 소단배수구, 종 배수구, 비탈끝배수구 등	
	붕괴이력	•세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심 층파괴 등	
	낙석	•발생규모, 예상 낙석에너지	
	비탈면상부상태	•상부자연비탈면의 경사	
	인장균열	•유/무 진행성 여부 등 •폭, 깊이, 길이, 위치 등	
	안전율	•평사투영해석(암반) •한계평형해석(토사, 암반)	•100m 간격으로 구간을 분할하여 1개 단면 이상 해석
내구성능	지반상태	•동적콘관입시험(DCPT) Nd치	•20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 •1개소당 일정간격을 두고 3회측정
		•토양경도(정밀점검시 대체 시 험법)	•20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 •1개소당 상부/중부/하부 각 10회
		•설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도 추정값의 비율	•20m 구간별 1개소, 최소 10개소
	표면보호공	•식생피복율	•계획 및 시공 피목사면면적에 대한 점검시 식생피복면적의 비 측정
		•손상면적율	•숏크리트/석장공 시공면적에 대한 손 상면적의 비 측정
	사면보강공	•보강공 두부와 지반의 밀착도 •보강공 두부의 균열 및 파손	•전체 보강공의 25% 이상
	암반의 절리상 태 및 풍화도	•풍화진행도	•20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상

2.3.2 사전조사

- 대상시설물에 대한 자료수집과 현장예비조사를 통해 과업대상 시설물의 중점조사내용, 현장조사 및 시험의 방향설정과 조사방법 및 공기계획 등을 수립하도록 계획하였다.
- 또한, 상기 조사내용을 토대로 현장조사 요원에게 사전교육을 실시하여 중점조사내용 및 현장시험 등을 숙지시켜 정확한 조사가 시행되도록 한다.

〈표2.3-5〉 사전조사 내용

구 분	내 용
자료수집 및 분석	① 설계도서 : 시설물의 준공도서로서 종·평면도, 단면도, 시공 상세도 공사시방서 등 시설물의 유지관리에 필요한 도서 ② 시설물관리대장 ③ 시공관련 자료 ④ 안전점검 및 정밀안전진단 자료, 기술자문 자료 ⑤ 보수·보강공사 자료 등 기타 정밀점검에 필요하다고 판단되는 자료
시설관리자 방문조사	① 시설관리자 의견청취 ② 중요구간 비탈면 현황 관리 조사
현장답사	① 대상 시설물에 대한 개괄적 현황 파악, 시설물 이용 현황, 입지환경 조성 및 외형형상 조사 ② 현장조사에 필요한 장비, 차량, 투입인력 등 사전계획 수립 ③ 현장여건 및 문제점 파악

2.3.3 현장조사

- 현장조사는 사전에 기존자료를 검토하여 예상되는 각종 손상에 대하여 충분히 이해한 후 현장조사에 임한다.
- 현장조사는 ‘시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가 편)’에 의해 실시하며, 평가대상 시설물에 대한 안전성능평가 항목과 내구성능평가 항목에 대한 조사를 실시하여 성능평가에 활용한다.
- 상세 현장조사 시 주요결함이 발견되거나 안정성 검토가 필요한 경우 관련자와 협의 후 즉시 시행한다.

가. 조사영역 및 사면의 분할

1) 측점분할

(가) 일반사항

- 측점 분할 작업은 현장조사에서 최초로 실시하는 작업으로서 사면에 인접한 도로및 철도의 진행 방향으로 위치 및 길이를 표시하는 작업을 말한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 측점 분할 간격은 현장 조사 시 좌우로 확인 가능한 10m 간격으로 시점부에서 종점부 까지 표시하며 면밀한 조사가 필요한 구간에 대해서는 별도로 세분화 하여 표시한다.
- 국부적인 표면 오염이나 습기 등이 있는 경우 이를 제거하고 스프레이 락카 등으로 측구나 옹벽, 또는 사면의 표면에 표시한다.
- 추가 점검 시 확인이 가능하도록 시점부와 종점부에는 현장구분을 위한 현장명을 표시한다.

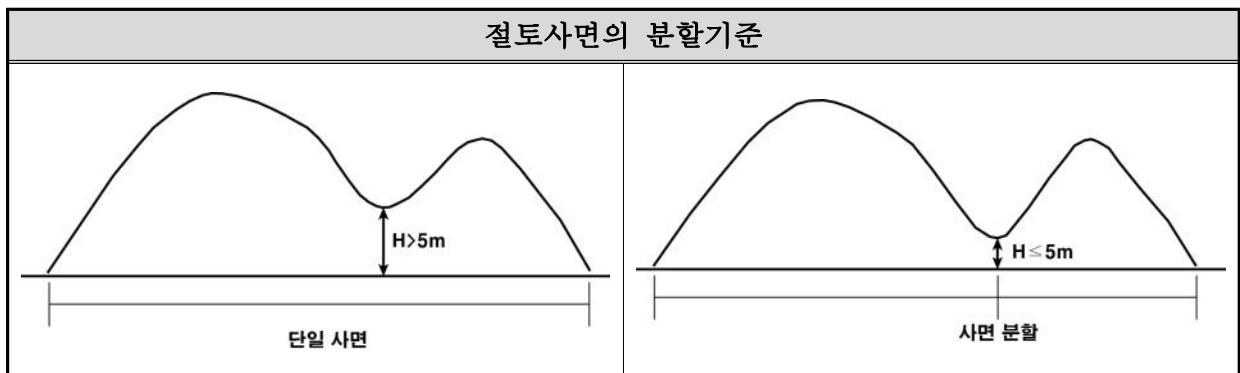
2) 사면분할

(가) 일반사항

- 사면의 분할은 현장조사에서 규모와 영역을 결정하는 작업을 의미한다. 현장에서 접하게 되는 절토사면은 대개 지형적인 특성에 의해 여러 사면이 연속하여 연결 되어 있어 이를 구분하기 위한 명확한 기준이 필요하다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 사면을 바라보며 우측을 시점, 좌측을 종점으로 하여 절토사면의 수직고가 5m이하로 낮아지는 지점에서 분할한다.



<그림 2.3-1> 절토사면의 분할기준

3) 평가대상 구간의 분할

(가) 일반사항

- 사면의 경사, 지반(토사 및 암반)상태 등 구성 물질의 변화에 따라 안정성에 미치는 영향범위가 달라질 수 있다. 따라서 사면 성능에 따른 보수/보강 등 효율적이고 경제적인 안정성 대책마련을 위해 상황에 따라 평가대상 구간을 분할하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 안전성능 및 내구성능 평가를 위한 구간분할의 경우, 동일 사면 내에서 다음의 경우에 구간분할을 실시한다.
 - 사면의 구성재료(토사, 암반, 혼합)가 변화할 경우
 - 사면의 경사방향이 40° 이상 변화할 경우
 - 기준규모의 연장이 200m 이상일 경우

나. 상태안전성능 평가를 위한 조사방법

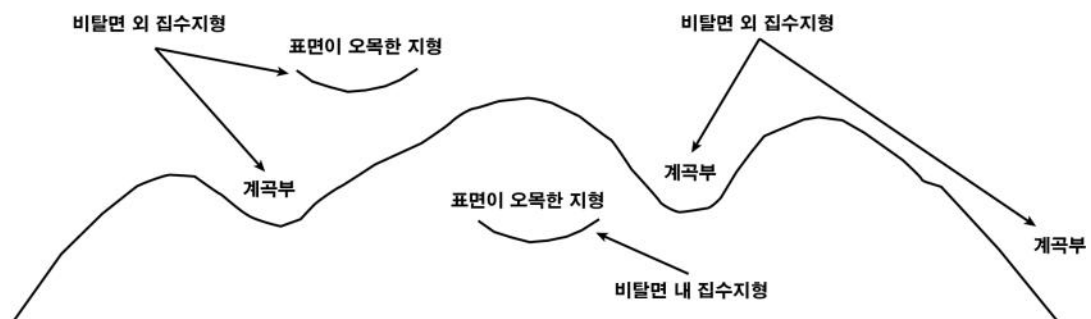
1) 집수지형

(가) 일반사항

- 절토사면의 시·종점부와 상부 계곡부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 절토사면에 유입되는 지형을 분할한 구간별로 사면 내·외로 구분하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 절토사면 내에 요철지형으로 형성되어 지표수가 한곳으로 모여 물이 고이는 지형의 개수를 1개소~4개소 이상으로 평가한다.
- 절토사면 외에 상부자연사면, 시·종점부의 계곡부 및 집수지형 등의 개수를 1개소~4개소 이상으로 평가한다.



〈그림 2.3-2〉 집수지형 구분 모식도

2) 불안정 지질

(가) 일반사항

- 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하고 있어 사면에 불안정 요인으로 작용하는 지질의 분포규모 및 상태를 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 평가대상 구간에 대해 각각 실시하여 일부 분포, 국지적 분포, 사면 전영역에 걸친 분포로 나누어 분포도를 평가하며, 불안정 지질의 퇴적암 분포 유무, 파쇄정도, 누수 및 유실물 발생 유무 등의 상태를 육안 관찰하여 평가한다.
- 일부 분포 : 불안정지질에 의해 변형, 강도저하 등의 결함이 발생할 수 있으나 그 영향이 매우 한정되어 있으며, 평가하고자 하는 사면에 대한 영향이 극히 일부인 경우 또는 불안정 지질은 분포하고 있으나 사면에 영향이 없다고 판단되는 경우
- 국지적 분포 : 불안정 지질에 의한 결함이 사면 일부에 발생할 수 있으며, 이로 인한 보호 조치가 요구되는 경우
- 전영역에 걸친 분포 : 불안정 지질에 의한 결함의 규모가 매우 커서 보강조치가 요구되는 경우
- 표면보호공(사면녹화 또는 콘크리트뿔어붙이기 등)이 적용된 경우, 건설공사 시 작성된 '현황도 작성 보고서'와 주변 지형 및 지반특성을 참고하여 평가를 실시한다.

3) 불연속면 조사

(가) 조사방법

- 불연속면은 암반에서 나타나는 모든 연약면을 총괄적으로 나타내며, 작은 단열구조로부터 큰 단층까지 다양한 규모를 가진다. 불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없다. 따라서 암반으로 구성된 깎기 비탈면의 경우 불연속면의 존재는 비탈면의 안전성에 절대적인 영향을 미치며 대부분의 경우 불연속면을 따라 붕괴가 발생한다. 불연속면 특성 조사의 경우 정밀점검 수준에서는 육안관찰에 의한 대표적인 방향에 대해 실시하고 정밀안전진단의 경우 10m 이상의 측선을 이용한 선조사법(scanline method)을 실시하거나 조사창측정법(window method)을 실시한다. 선조사법으로 조사를 할 경우 지반의 구조적인 변화를 고려해 3회 이상 실시할 것을 권장하며, 횟수는 절개면의 연장에 따라 조정될 수 있다.

- 선조사법과 조사창측정법은 불연속면의 통계분석을 위하여 설정된 측선이나 구획내에 존재하는 불연속면에 대하여 연번을 부여한 후 각 불연속면의 교차거리, 방향성, 길이(연장), 틈새(간격), 거칠기, 불연속면의 종류 등을 획득하는 방법이다.
- 불연속면 특성 조사 항목에는 (1) 불연속면의 방향성, (2) 간격, (3) 연장성, (4) 거칠기, (5) 틈새(간극), (6) 충전물, (7) 누수, (8) 블록형상 등이 있다.

(나) 불연속면의 방향성

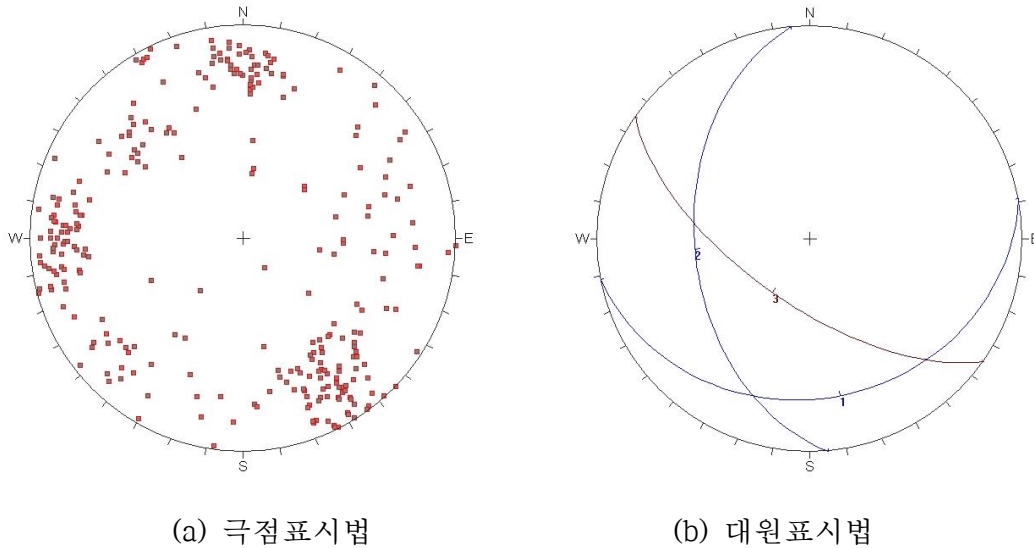
- 불연속면의 방향성은 비탈면의 방향성과 연관되어 안전성에 영향을 미치는 가장 중요한 인자중의 하나로 공간에서 불연속면의 분포경향을 나타낸다.

(1) 조사 방법 및 수량

- 방향의 측정은 클리노컴퍼스나 클리노메타를 이용하여 측정한다. 대개 불연속면의 방향성은 주향(strike)과 경사(dip)로 표시하거나 경사방향(dip direction)과 경사(dip)로 표시하며 공학적인 문제에서는 '경사(dip)/경사방향(dip direction)'의 표시방법을 많이 사용한다. 이때 경사는 2자리로, 경사방향은 3자리로 표기한다. 정밀점검의 경우 전문가의 판단에 따라 깎기비탈면에서 관찰되는 불연속면군을 육안으로 판단하여 대표적인 방향성이라고 판단되는 방향을 각 불연속면군당 2-3개씩 측정하여 기록한다. 정밀안전진단의 경우 불연속면군을 결정하기 위해 노두면에서 선조사법이나 조사창측정법을 이용하여 충분한 양의 불연속면에 자료를 획득하여야 한다. 그러나 노두면이 관찰되지 않을 경우 시추작업 후 공내 조사기법(bore hole TV, camera, televiewer, Bips 등)을 이용하여 약 80~300개 정도의 측정자료를 수집해야 하며 150개 정도가 적정한 수준이다. 불연속면의 방향성은 비탈면의 방향성과 연관되어 안전성에 영향을 미치는 가장 중요한 인자중의 하나로 공간에서 불연속면의 분포경향을 나타낸다.

(2) 결과분석

- 측정된 불연속면은 평사투영법을 이용하여 도시하며, 목적에 따라 대원표시법이나 극점표시법으로 나타낸다(그림 2.3-3).



〈그림 2.3-3〉 불연속면의 표시방법

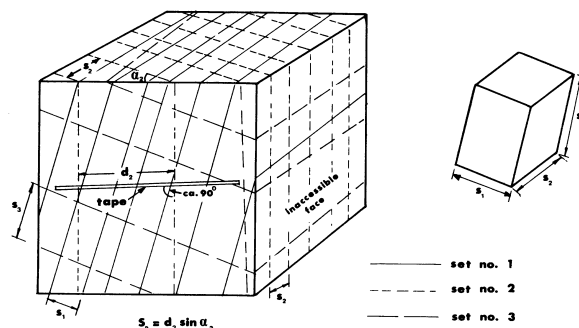
(다) 간격

- 불연속면의 간격은 인접 불연속면 사이의 수직거리로서, 비탈면내에서 암반블록의 크기를 결정할 뿐만 아니라 수리전도도나 용수특성에도 영향을 미치게 된다.

(1) 조사 방법 및 수량

- 측정용 줄자를 이용하여 대상 불연속면이 다른 불연속면 군에 직각인 노두에서 누락 없이 측정하여야 한다. 이때 다른 불연속면 군에 직각인 노두에서 측정할 수 없을 경우, 줄자와 불연속면 사이의 예각(α)을 컴파스로 측정하여(그림 2.3-4) 다음 식으로부터 사거리에 대한 보정을 실시한다.

$$S = d_m \sin \alpha$$



〈그림 2.3-4〉 노두 관찰을 통한 불연속면 간격 측정방법

(2) 결과분석

- 각 불연속면군의 최소간격, 최대간격, 최빈간격을 기록하여야 하고, 히스토그램으로

불연속면 간격의 분포특성을 알 수 있다. 일반적으로 불연속면 간격에 대한 용어는 <표 2.3-6>과 같이 나타낸다.

<표 2.3-6> 절리간격 분류 기준

등 급	간 격 [m]
매우 조밀 (very close spacing)	0.06 미만
조밀 (close spacing)	0.06 ~ 0.2
보통 (moderate spacing)	0.2 ~ 0.6
넓음 (wide spacing)	0.6 ~ 2.0
매우 넓음 (very wide spacing)	2.0 이상

(라) 연장성

- 연장성은 불연속면의 넓이나 길이의 의미를 담고 있다. 특히, 비탈면에서는 불연속면의 연장성에 따라 파괴 가능한 블록을 형성시킬 수 있을 뿐만 아니라, 연장성이 매우 큰 불연속면은 때에 따라 인장균열로 진전될 수도 있다. 그러나 연장성은 불연속면의 특성 중에서 정량화하기 가장 어려운 요소 중 하나이다.

(1) 조사 방법 및 수량

- 불연속면의 길이를 10m 이상의 줄자를 사용하여 측정하여 숫자로 기록한다.

(2) 결과분석

- 불연속면의 연장성을 표현하는 방법은 <표 2.3-7>과 같다.

<표 2.3-7> 연장성 분류 기준

등 급	연장성 [m]
매우 낮은 연속성 (very low persistence)	< 1.0
낮은 연속성 (low persistence)	1.0 ~ 3.0
보통 연속성 (medium persistence)	3.0 ~ 10.0
높은 연속성 (high persistence)	10.0 ~ 20.0
매우 높은 연속성 (very high persistence)	> 20.0

(마) 거칠기

- 불연속면의 거친 정도는 불연속면의 거동시 전단강도에 큰 영향을 미치므로 불연속면으로 구성된 암반비탈면의 안전성을 평가하는데 중요한 요소이다. 불연속면의 거칠기는 수 m 정도의 대규모 거칠기(만곡, waviness)와 수 cm 정도의 소규모 거칠기(요철, unevenness)로 나눌 수 있는데, 대규모 거칠기는 요철 부분이 전단활동시 닳아 없어지지 않는 반면 작은 규모 거칠기는 전단활동시 마모되기 쉽고 거칠기가 클수록 불연속면의 유효마찰각은 커진다.

(1) 조사 방법 및 수량

- 전문가의 육안관찰로 암반블록 활동이 예측되는 방향의 거칠기를 관찰하여 거칠기의 등급을 결정한다.

(2) 결과분석

- 불연속면의 거칠기 측정 결과는 <표 2.3-8>과 같이 기재한다.

<표 2.3-8> 불연속면 거칠기 등급

등 급	설 명
매우 거칠음 (very rough)	• 불연속면의 표면에 거의 수직적인 계단 형태의 요철이 존재한다. 불연속면 표면을 만질 때 매우 거친 느낌이 든다.
거칠음 (rough)	• 경사진 계단 형태의 요철이 확실하게 나타난다. 표면요철이 확실하게 식별되며, 불연속면 표면을 만질 때 거친 느낌이 든다.
약간 거칠음 (slightly rough)	• 불연속면의 표면요철이 식별가능하며, 손으로 느낄 수 있다.
매끄러움 (smooth)	• 육안으로는 표면 요철의 식별이 어려우나, 손으로 느낄 수 있다.
경면화 (slickensided)	• 불연속면의 미끄러진 표면에 광택이 나는 부분이 관찰된다.

(바) 틈새

- 틈새는 분리된 인접 불연속면간의 수직거리를 의미하며 주로 물, 점토광물, 석영, 방해석 등으로 채워져 있고 비워져 있는 경우도 있다. 틈새의 충전물 중 모암과의

결합력이 매우 양호하여 암반분리의 의미가 없는 경우 즉, 치밀한 석영맥, 기타 암맥류 등으로 견고하게 충전된 것은 제외된다. 틈새는 불연속면의 이완정도나 비탈면내의 수압, 투수량 등에 영향을 미칠 수 있다.

(1) 조사 방법 및 수량

- mm 단위를 측정할 수 있는 줄자를 사용하여 불연속면의 틈새를 측정한다. 틈새가 좁을 경우 틈새 게이지(feeler gauge)를 이용하여 측정하여 기록한다.

(2) 결과분석

- 측정한 틈새 폭에 따라 <표 2.3-9>과 같이 분류한다.

<표 2.3-9> 틈새(간극) 분류 기준

구 분	간극폭
밀착됨 (tight)	간극을 쥔 수 없을 정도로 아주 좁고 밀착됨
약간 벌어짐 (partly open)	간극이 0.1mm 미만
벌어짐 (open)	0.1 ~ 1.0 mm
약간 넓음 (moderately wide)	1 ~ 5 mm
넓음 (wide)	5mm 이상

(사) 충전물

- 충전물은 불연속면의 인접 벽면간을 채우고 있는 물질에 대한 용어로서 그 성분은 주로 석영(quartz), 녹니석(chlorite), 방해석(calcite), 점토(clay), 이질물(siltmaterial), 단층점토(fault clay), 단층각력(fault breccia) 등이다. 충전물은 그 발생기원의 다양성으로 인하여 전단강도, 투수도 등과 같은 암반의 물리적 거동에 복잡하게 작용하며 이러한 물리적 거동은 충전물의 광물학적 특성, 충전물의 입도, 함수율과 투수성, 기존의 전단변위 등에 기인한다. 충전물의 함수율과 투수도 및 전단변위 등에 영향을 미칠 수 있다.

(1) 조사 방법 및 수량

- mm 단위를 측정할 수 있는 자를 이용하여 불연속면의 간극 내에 채워져 있는 물질의 두께를 측정하고 재료를 기입한다.

(2) 결과분석

- 충전물 재료와 두께에 따라서 <표 2.3-10>과 같이 분류하여 기록한다.

<표 2.3-10> 충전물 분류 기준

충전물 재료	충전물 두께
없음	-
딱딱함	5mm 미만
	5mm 이상
부드러움	5mm 미만
	5mm 이상

(아) 누수

- 암반 불연속면을 따르는 투수 문제는 암반의 공학적, 역학적 특성에 지대한 영향을 미치는데 충전물의 함수비 변화에 따른 충전물 강도 변화, 간극수압 증대에 따른 전단강도 및 지반 지지력 약화 등으로 대표될 수 있다.

(1) 조사 방법 및 수량

- 비탈면의 불연속면에서 누수 개소를 조사하여 각 누수상태를 평가한다.

(2) 결과 분석

- 불연속면을 따른 누수 상태는 <표 2.3-11>에 따른다.

<표 2.3-11> 누수상태 분류 기준

누수상태	설 명
완전건조(completely dry)	•누수 흔적을 찾아볼 수 없다.
습함(damp)	•손에 물이 묻지 않으나, 불연속면이 약간 축축한 상태이다.
젖어있음(wet)	•불연속면이 물기로 젖어있고, 손에 물이 묻는다.
떨어짐(dropping)	•불연속면 사이로 물방울이 떨어진다.
흐름(flowing)	•불연속면 사이로 물방울이 단속적으로 떨어지지 않고 계속 흘러 나온다.

(자) 블록형상

- 암반은 절리의 간격 및 방향에 따라 특징적인 형태를 갖고 있다. 절리의 방향이 직각이고 등간격이면 정육면체의 형태를 가지고, 두 방향의 절리 간격은 넓고 한 방향이 좁으면 판상의 형태를 보인다. 절리가 세 방향 이상으로 발달하면, 절리의 방향은 일반적으로 직각이 아니며 이러한 경우에는 썰기형 또는 다면체의 형태를 보인다.

(1) 조사 방법 및 수량

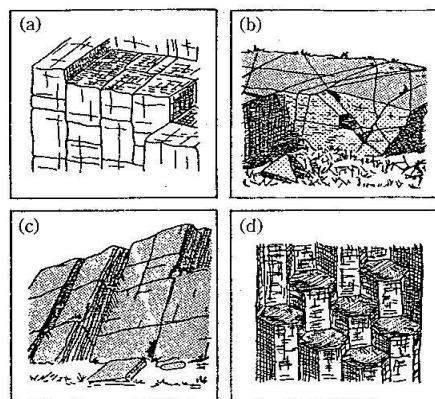
- 육안조사로 비탈면을 구성하고 있는 암반의 개략적인 블록 형상을 기록한다.

(2) 결과 분석

- 블록의 형상은 <표 2.3-12>에 따라 분류하여 기재한다(그림 2.3-5 참조).

<표 2.3-12> 블록형상 분류 기준

블록형상	설 명
괴상(massive)	•불연속면이 거의 없고, 절리간격이 매우 넓음
판상(tabular)	•다른 두 방향의 치수보다 한 쪽 방향의 치수가 상당히 작음
각주상(columnar)	•다른 두 방향의 치수보다 한 쪽 방향의 치수가 상당히 큼
불규칙상(irregular)	•블록의 크기와 형상의 변화가 심함
블록상(blocky)	•거의 정육면체형의 사각형
파쇄상(crushed)	•불연속면이 매우 조밀하게 발달하여 각설탕 같은 모양



(a) 블록상 (b) 불규칙상 (c) 판상 (d) 각주상

<그림 2.3-5> 암반 블록의 형상

4) 지반변형

(가) 일반사항

- 지반변형은 사면의 상하부와 절토사면 내의 모든 변형을 모두 포함한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 절토사면의 경우 자연 상태의 응력준위를 인위적으로 변화시킴에 따른 응력이완과 해방의 원인으로 지반변형이 유발될 수 있다. 조사대상 구간의 전반에 걸쳐 이에 대한 조사를 실시하여야 하며, 사면 상하부의 경우는 지반 함몰이나 융기 등의 현상을 관찰하고, 사면 내에서는 사면경사 불량 여부를 파악한다.

5) 지하수

(가) 일반사항

- 사면 내 지하수량을 간접적으로 평가하기 위한 방법으로써 사면에서 관찰되는 물의 흐름을 2가지로 구분하고 그 위치를 조사하여 평가한다.
- 불연속면을 따르는 투수 문제는 암반의 공학적, 역학적 특성에 지대한 영향을 미치는 데 충전물의 함수비 변화에 따른 충전물 강도 변화, 간극수압 증대에 따른 전단강도 및 지반 지지력 약화 등으로 대표될 수 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간별로 사면의 표면에서 관찰되는 누수 흔적으로 관찰하며, 누수 흔적이 없는 경우 '건조', 축축하게 젖어 있는 정도를 '젖음', 물의 흐름이 보이는 정도를 '흐름'으로 분류하여 평가한다.
- 또한, '젖음'상태에서 사면 상부와 하부를 분류하여 누수 위치를 평가하며, '흐름' 상태에서도 누수위치에 대한 조사는 동일하다.
- 동일한 구간 내에서 다수의 누수 흔적이 관찰되는 경우 가장 불리한 조건으로 평가한다.

6) 배수조건

(가) 일반사항

- 배수조건은 측구 및 배수공 등 배수구의 설치와 관리 상태를 평가한다.
- 사면에 흐르는 지표 및 지하용수는 사면의 불안정성을 증대시키는 역할을 할 수 있

다. 용수를 적게하는 방법으로는 소단배수공, 집수정이나 보링을 통한 집수를 배수처리 하는 배수공 등이 있으며, 용수를 처리하는 방법은 도랑굴착, 호스, 집수매트, 돌망태(개비온) 등을 통한 배수방법이 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 판단기준은 배수가 양호하여 건조상태와 같이 간극수압이 발생하지 않을 경우에 해당되는 항목을 '완전배수' 상태로 하여 5단계로 육안조사를 통해 평가하며 평가대상 구간의 지표수 및 지하수에 따른 배수시설의 상태를 평가한다.
- 완전배수 : 지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태
- 양호 : 배수시설이 노후되었으나 배수기능이 원활한 상태
- 보통 : 배수시설이 노후되고 일부 균열이 관찰되나 배수기능이 원활한 상태
- 불량 : 배수시설이 노후되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태
- 매우불량 : 지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태

7) 붕괴이력

(가) 일반사항

- 이미 발생한 붕괴 규모에 대한 평가로서 세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴로 4단계의 등급을 분류하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간별로 붕괴이력을 조사하여 평가하며, 사면의 표면 세굴 및 소규모유실 등의 발생이력, 표층유실 및 낙석, 암탈락 등 표층파괴 발생이력, 사면의 안정성에 영향을 미치며 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력, 그리고 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠수 있는 상태로 분류하여 평가한다.

8) 낙석

(가) 일반사항

- 낙석은 암반사면에서 빈번히 발생하는 붕괴유형으로서, 절토사면에서 관찰되는 뜬돌 및 이완암의 규모와 높이, 경사 등을 고려하여 낙석에너지를 추정하고, 추정된 에너지 규모에 따라 등급을 구분하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간에 대해 이미 발생하여 적치된 낙석의 양으로 발생규모를 평가하고, 사면에 존재하는 뜬돌 및 이완암 등 낙석 발생 가능성이 있는 암괴의 규모로 예상 낙석 에너지를 평가한다.

9) 사면 상부 상태

(가) 일반사항

- 사면 상부에 존재하는 자연사면에서 유입되는 지표수에 의한 영향을 평가하기 위해서 자연사면의 경사를 측정하여 평가한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 분할된 구간의 상부자연사면 대표 경사를 평지 또는 역경사에서 30°이상까지의 범위에서 5단계 등급으로 분류하여 평가한다.

10) 인장균열

(가) 일반사항

- 인장균열이 사면의 안전을 계산에 미치는 영향은 미소하지만 인장균열 내에 물이 채워질 경우 지반의 전단강도가 약화될 수 있으며, 인장균열이 진행성인 경우 사면파괴에 대한 중요한 증거가 되므로 조사에 신중을 기하여야 한다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 인장균열의 발생 여부를 파악하기 위해서는 조사대상 사면의 상부로부터 가상의 원호활동원에 포함되는 위치까지 조사하는 것이 원칙이나 보다 신뢰성 있는 조사를 위해서는 사면 상부 전반에 대하여 조사할 것을 권장한다.
- 평가대상 구간 내에 인장균열의 유무를 파악하고 인장균열이 확인되는 경우 폭, 깊이, 길이, 진행성 여부 등을 파악하여야 한다.
- 인장균열의 진행성(또는 확장) 여부는 최근 점검 자료와 비교 계측 등을 통하여 판단

하며, 인장균열이 확인될 경우 상태안전성능 평가 결과를 하향하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다.

다. 구조안전성능 평가를 위한 조사방법

1) 강도정수 산정

- 사면의 안정해석법은 여러 가지가 있으나 그 정확성은 강도정수와 사면의 기하학적조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우되며, 대부분의 경우에 있어서는 토질 특성과 기하학적 조건이 각 해석방법의 차이보다 결과에 더 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 안정해석에 있어서 강도정수를 정확히 결정하는 것이 가장 중요한 사항이 된다.

(가) 기존 문헌자료 검토

- 사면 점검시 안정해석을 수행하기 위해서는 현장상황과 가장 가까운 강도정수의 적용이 매우 중요하다. 그러나 지반정수 값을 구하기 위한 시험은 선택사항이며, 대부분의 사면에서 정확한 지반정수 값을 구하기에는 어려움이 있다.
- 사면 안정해석을 수행하기 전에 해당 현장에 대한 물성시험 값이 없다면 인근 사면의 자료를 검토하여 유사한 지반에 대한 강도정수 값을 이용하거나 기존 문헌자료를 충분히 검토하여 평가 대상 사면과 가까운 지반상태의 강도정수 값을 이용하여 안정해석을 수행하여야 한다.

(나) 토사사면의 시험

- 토사사면의 안전성능을 검토하기 위한 실내시험 항목은 아래와 같으며, 각 항목별로 안정해석 시 필요한 조건을 반영하여 KS규정에 의한 시험을 실시하되 각 항목별로 최소 3개 이상의 시험 결과를 취득하여 반영토록 한다.
- 토질분류 : 함수비, 애터버그 한계, 비중, 입도시험, 단위중량(습윤, 건조)
- 전단강도시험 : 직접전단시험, 삼축압축시험 ⇒ 점착력, 내부마찰각

(다) 암반사면의 시험

- 일반적으로 암반은, 무결한 상태(intact)의 비교적 균질한 무결암과 단층과 절리 등과 같은 역학적 결함을 가진 불연속면으로 구성된다. 따라서 암반은 본질적으로 구조적인 불연속성, 불균질성, 이방성을 보이며, 이러한 특징들이 암반의 공학적인 특성을

좌우한다. 무수한 연속면이 존재하는 암반의 강도를 대표하는 값을 측정하는 것은 어려울 뿐만 아니라, 사면의 안전성능은 불연속면의 특성에 의해 더 크게 좌우된다. 암석의 강도나 불연속면의 전단시험 결과는 암반 분류 및 안정해석에서 주로 이용된다.

〈표 2.3-13〉 암석의 실내시험 종류

시험구분	시험명	시험방법
물리특성	공극률 및 밀도	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM C 97
	흡수율 및 비중	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM C 97
역학특성	일축압축시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 2938
	삼축압축시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 7012
	압열인장시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 3967
	절리면 전단시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 5067
	슬레이킹시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 4644
	스웰링시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법
	점하중강도시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 5731
	탄성계수시험	한국암반공학회 표준암석시험법, ISRM 제안방법, ASTM D 7012

2) 내진성능 평가

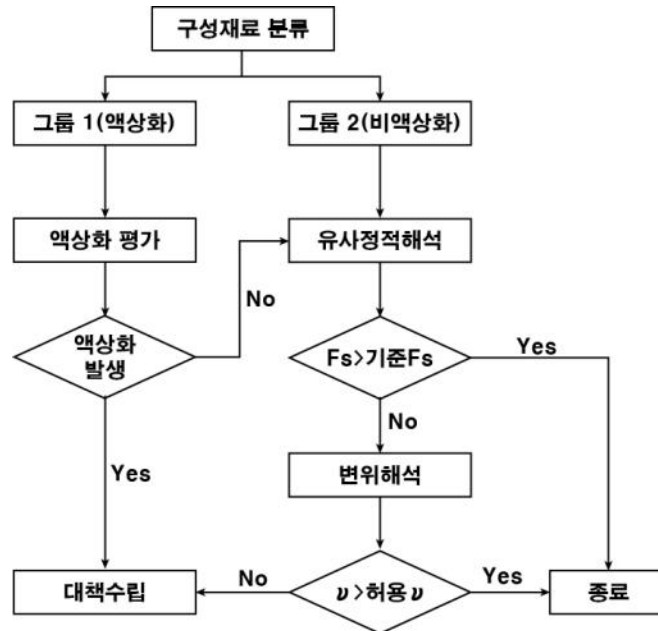
(가) 일반사항

- 내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과¹⁾에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 절토사면의 내진성능 평가는 ‘건설기준코드(구 건설공사 비탈면 설계기준)’을 참고하며, 관리주체와 협의하여 실시 할 수 있다.
- 토사사면의 내진성능 평가는 액상화 발생가능성 검토, 안정해석, 변위해석으로 이루어진다. 우선 사면의 구성 재료를 액상화 발생 가능성의 유무에 따라 구분하여 액상화 지반에 대해서는 액상화 검토를 수행하여 액상화가 발생할 것으로 예상되는 경우 재설계를 실시하고 그렇지 않을 경우에는 비액상화지반으로 간주하여 사면안정해석

을 수행한 후 기준안전을 이하로 산정되면 변위해석을 수행 하여 안전성능을 검토한다. 사면의 내진성능 평가 흐름도는 <그림 2.3-6>와 같다.



<그림 2.3-6> 내진성능평가 흐름도

3) 토사사면의 안정해석

(가) 일반사항

- 토사사면의 안정해석은 원호파괴에 대한 해석이 주를 이루며, 암반사면의 경우에도 풍화가 심하고 불연속면이 매우 조밀하게 발달했을 경우 원호파괴에 대한 안정해석을 실시할 수 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 사면안정해석 시 강도정수 적용을 다음과 같이 분류하였으며, <표 2.3-14>은 유효응력과 전응력 해석시의 전단강도식을 나타낸 것이다.

<표 2.3-14> 토사사면 전단강도식

해석조건	유효응력 해석	전응력 해석
전단강도식	$S = C' + \sigma \tan \phi'$ S: 활동면에서의 전단강도 σ: 유효응력 C', ϕ': 유효응력에 대한 점착력 및 전단저항각	$S = Cu + \sigma \tan \phi u$ S: 활동면에서의 전단강도 σ: 전응력 $Cu, \phi u$: 전응력에 대한 점착력 및 전단저항각

① 각기 직후의 안정

- 모래, 자갈 토질인 경우 유효응력해석을 하며, 강도정수는 압밀배수(CD)삼축시험 또는 직접전단시험 결과를 사용한다. 단, 입자크기, 시료성형, 시료채취가 곤란한 경우는 상대밀도와 입도를 고려하여 추정 사용할 수 있다.
- 점성토인 경우 전응력 해석을 적용하며, 강도정수는 현장상태와 동일한 밀도와 함수비 조건에 대해 비압밀비배수(UU)삼축시험을 한다.

② 장기안정 상태

- 간극수압을 고려한 유효응력 해석을 적용하며, 강도정수는 압밀배수(CD)삼축시험, 직접전단시험, 압밀비배수(CU)삼축시험에서 구하여 적용한다.

③ 수위급강하 상태

- 압밀된 후 하중조건이 급변하여 배수가 될 시간이 없으므로 전응력해석을 적용하며, 강도정수는 현장밀도와 함수비조건으로 압밀비배수(CU)삼축시험으로 하며, 압밀압력은 각 시료에 동일하게 적용하고 파괴시 축압만 변화시킴에 유의한다.

④ 기타 반영 사항

- 상용화된 해석프로그램의 경우 각각 사용하는 해석방법이 조금씩 다를 수 있으나 대부분 타당하고 유효한 해석법을 사용하고 있으므로 해석결과의 차이는 크지 않다. 따라서 사면 안정 검토에 있어서는 해석방법의 차이보다는 강도정수와 사면의 기하학적 조건이 가장 중요한 사항이다. 한편, 사면 안정해석시 대상 사면에서의 다음과 같은 기타조건도 반영하여야 한다.
- 국부적인 파괴나 활동으로 교란된 이력이 있는 대상사면에 대한 시험은 시료를 충분히 변위시킬 수 있는 링 전단시험 또는 직접 전단시험을 실시하여 잔류강도의 강도정수를 해석에 반영한다.
- 인장균열 깊이와 인장균열에 수압이 작용하는 경우 등도 반영하여야 한다.
- 보강된 경우의 사면 안정 검토는 외적 안정 검토 시 복합보강지반을 중력식 구조물과 같이 보고 실시하며, 내적 안정 검토시는 보강구조체에 붕괴면을 가정하고 힘의 균형으로 안정을 검토한다.

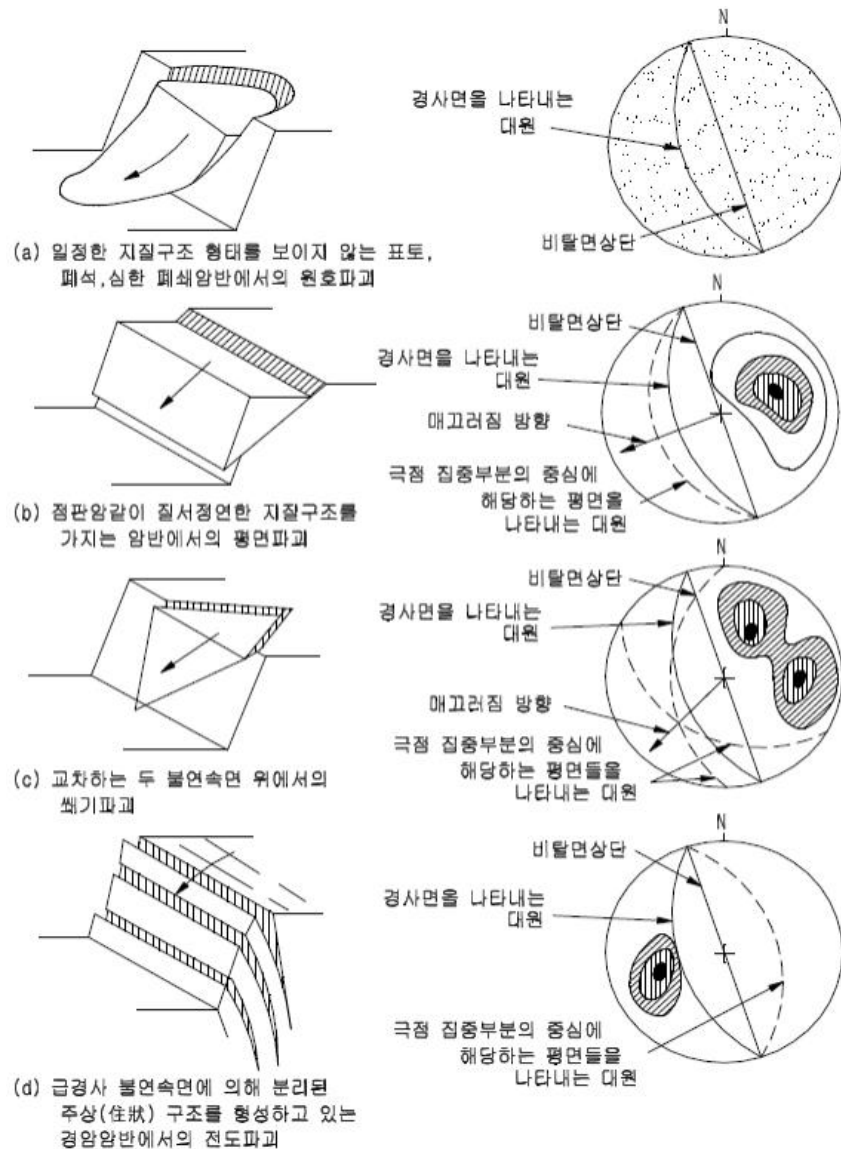
4) 암반사면 안정 해석

(가) 평사투영해석

- 평사투영해석은 절리, 단층, 층리 등의 지질구조와 사면의 방향을 평사투영도에 2차원으로 도시하고 파괴면의 전단강도를 고려하여 사면에서 발생할 수 있는 파괴유형을 기하학적으로 분석하는 방법이다. 평사투영해석을 통해 분석할 수 있는 절토사면

의 파괴유형을 [그림 2.3-7]에 나타내었다.

- <그림 2.3-7(a)> 불연속면 및 지질구조가 뚜렷한 방향성을 보이지 않고 불연속면 빈도가 매우 높은 암반 사면의 경우 발생할 수 있는 파괴 형태이다.
- <그림 2.3-7(b)> daylight envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 평면파괴의 가능성을 지시한다.
- <그림 2.3-7(c)> 두 개 이상의 대표 절리군의 대원이 교차한 점이 기준 영역에 도시될 경우 썩기 파괴의 가능성을 지시한다.
- <그림 2.3-7(d)> Toppling envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 전도파괴의 가능성을 지시한다.
- 평사투영해석을 통해 결정된 파괴 유형이 결정되면 각 유형에 맞는 한계평형해석 방법으로 안전성능을 해석한다.



<그림 2.3-7> 암반사면의 파괴 유형별 평사투영해석 예시

(나) 한계평형해석

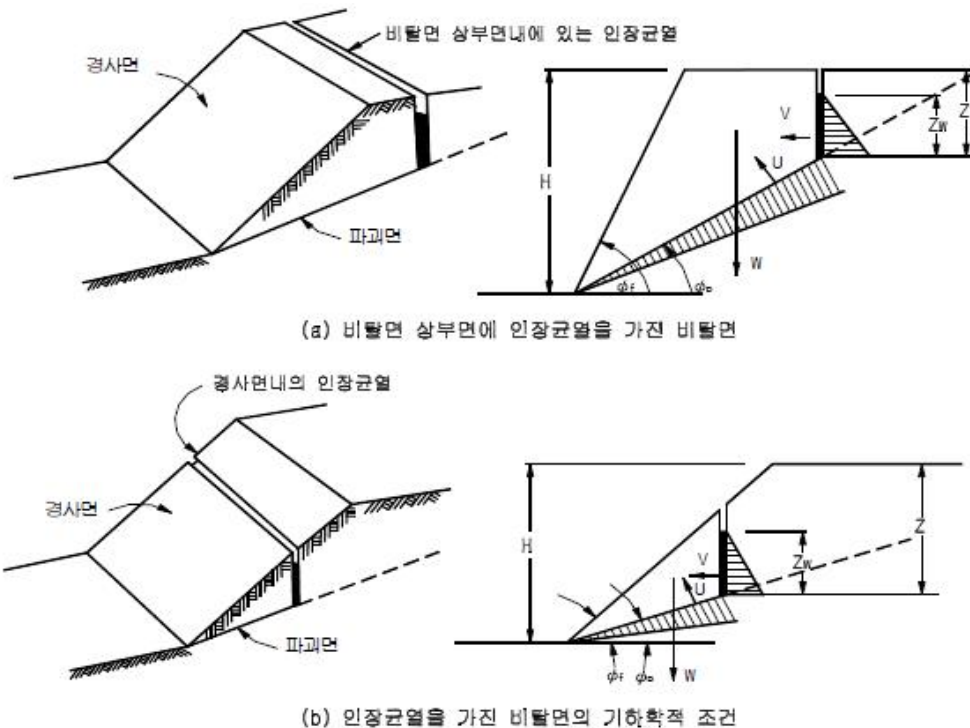
(1) 원호파괴

- 원호파괴는 토사사면뿐만 아니라 연약암반 및 파쇄암반 사면에서도 발생할 수 있다. 흙의 경우, 어떤 우세한 지질구조가 존재하지 않을 때 파괴면은 최소저항선을 따라 사면 전체를 통해 자유롭게 나타날 수 있다. 균열과 풍화가 심하게 발달된 암반으로 구성된 사면 역시 토사사면과 유사한 거동을 보이며 파괴면도 원형을 이루고 있다.
- 따라서 이러한 사면의 안정해석은 토질역학적 접근방식으로 해석이 가능하다. 사면의 안전율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F = \frac{\text{활동에 저항하는 유효전단강도}}{\text{파괴면을 따라 작용하는 전단응력}}$$

(2) 평면파괴

- 평면파괴는 층리면과 같은 지질학적 불연속면이 경사면과 동일한 방향이고 마찰각보다 더 큰 각도로 경사져 있을 때 발생한다.
- 평면파괴가 발생하기 위해서는 예외가 있을 수 있지만 파괴가 발생할 불연속면의 경사방향과 사면의 경사방향의 차이가 $\pm 20^\circ$ 이내에 존재해야 하며 불연속면의 경사각이 사면의 경사각보다는 작고 마찰각보다는 더 커야 한다.



<그림 2.3-8> 인장균열을 가진 사면의 기하학적 조건

- <그림 2.3-8>은 한계평형해석에서 고려되는 평면파괴의 일반적인 기하학적 조건이다. 여기서 사면의 안정성 해석은 인장균열의 위치에 따라, 인장균열이 사면의 상부면에 존재하는 경우와 사면의 경사면내에 존재하는 경우로 구분하여 실시한다.
- 사면의 안전율은 활동을 유발시키는 힘의 총합에 대한 활동에 저항하는 힘의 총합의 비로 계산된다.

$$F = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p}$$

여기서, c: 절리면의 점착력

A: 활동면의 면적($(H-z) \operatorname{cosec} \psi_p$)

W: 암괴의 자중

ψ_p : 활동면의 경사각

ψ_f : 사면의 경사각

U: 파괴면에 작용하는 수압

V: 인장균열에 작용하는 수압

ϕ : 활동면의 마찰각

한편, 수압에 의한 작용력 U와 V는 다음과 같다.

$$U = \frac{1}{2} \nu_w z_w (H-z) \operatorname{cosec} \psi_p$$

$$V = \frac{1}{2} \nu_w z_w^2$$

여기서, ν_w : 물의 단위중량(t/m^3)

z_w : 인장균열 H의 물의 높이(m)

H: 사면의 높이(m)

ψ_p : 활동면의 마찰각($^\circ$)

(3) 켜기파괴

- 켜기파괴는 두 불연속면 위에 놓여있는 켜기형 암반이 두 불연속면과 만나서 이루는 교선을 따라 아래로 미끄러져 내리는 파괴 형태를 말한다.
- 켜기파괴는 켜기를 이루는 두 불연속면에 작용하는 수직력 뿐만 아니라 두 파괴면의 밀면적이 고려된 마찰력과 점착력, 그리고 수압과 기타 외력의 영향에 의존하므로 매우 복잡한 양상을 띤다. 미끄러짐이 가능하려면 교선의 경사각이 사면의 경사각보다 작고 마찰각보다 커야 한다.
- 켜기를 형성시키는 두 불연속면의 마찰각이 같다고 가정하면 [그림 4.8]에서 도시된

썰기의 안전율은 다음 식과 같이 정의된다.

$$F = \frac{(R_A + R_B) \tan \phi}{W \sin \psi_i}$$

여기서, R_A , R_B : A, B면상의 수직반력

W : 썰기를 이루는 암반의 중량

ϕ : 사면의 마찰각

ψ_i : 교선의 경사각

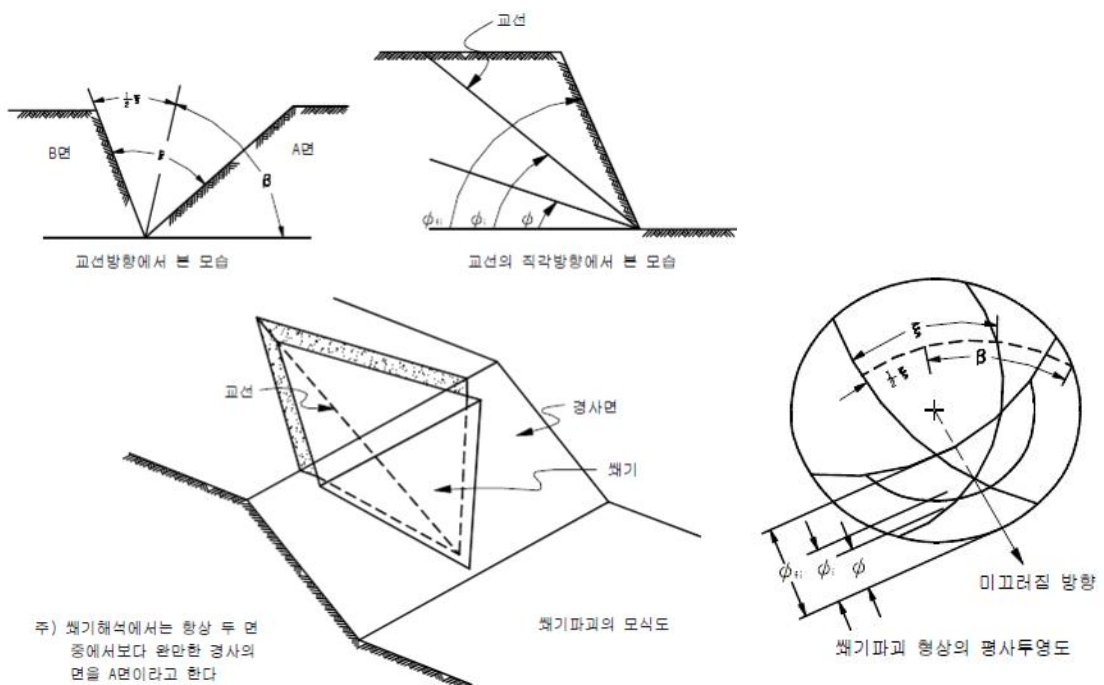
- R_A , R_B 를 구하기 위해 교선에 대한 수평 및 수직방향의 성분으로 나누어 표시한 후 R_A , R_B 를 더하고 이를 위 식에 대입하면 다음식과 같이 사면의 안전율을 구할 수 있다.

$$F = \frac{\sin \beta}{\sin \frac{1}{2} \xi} \frac{\tan \phi}{\tan \psi_i}$$

여기서, β : 수평면에서 썰기 이등분선까지의 각

ξ : 썰기의 사이각

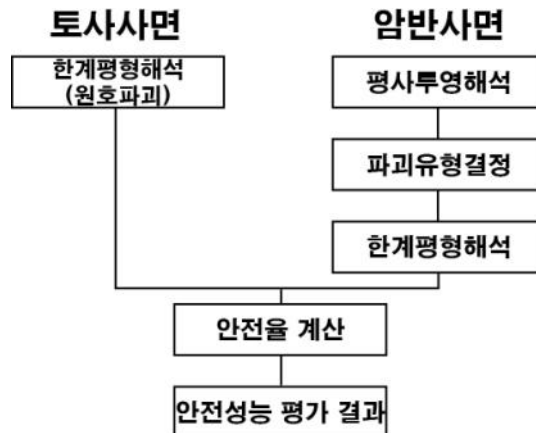
- β 와 ξ 는 <그림 2.3-9>과 같이 평사투영망을 이용하여 구할 수 있다.



<그림 2.3-9> 썰기파괴 활동면 및 사이각 산출방법

5) 구조안전성능 해석결과

- 사면의 안전성능 평가는 사면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다.
- 토사사면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다.
- 또한 암반사면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사사면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어 져야 한다. [그림 2.3-10]은 구조안전성능 평가 과정을 나타낸 흐름도이며, [표 2.3-15]은 사면의 종류에 따른 개략적인 해석범위를 기술한 것이다. 이러한 과정을 거쳐 최종 안정성 해석 결과가 도출된다면 안전성능 평가 기준을 근거로 각 절토사면의 안전성능 평가 결과를 산정한다.



〈그림 2.3-10〉 구조안전성능 평가결과 산정 과정

〈표 2.3-15〉 절토사면의 유형별 안정해석 범위

구분	평사투영 해석	한계평형해석		비고
		토사	암반	
토사사면	-	○	-	• 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반사면	○	△	○	• 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 • 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴해석을 실시
혼합사면	○	○	○	• 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 • 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

〈표 2.3-16〉 사면의 안정해석 프로그램 예시

구분		사용되는 강도정수	프로그램
한계평형 해석	원호파괴	지반의 단위중량(건조/습윤), 점착력, 내부마찰각	SoilWorks MIDAS/GTS PC STABL5M, PCSTABL6, TALREN, SLOPE/W, UTEXAS, MALE, PC-SLOPE, STABRD, STABL 등
	평면파괴	암반의 단위중량, 절리면의 점착력, 절리면의 마찰각, 사면 및 절리의 경사/경사방향	ROCPLAN, ROCKPACK 등
	썩기파괴	암반의 단위중량, 절리면의 점착력, 절리면의 마찰각 사면 및 절리의 경사/경사방향	SWEDGE, ROCKPACK 등
평사투영해석		사면 및 절리의 경사/경사방향, 절리면의 마찰각	DIPS, FLAC MAN 등

6) 구조안전성능 평가를 위한 고려사항

- 사면의 구조안전성능 평가는 사면 자체의 안전성능 확보 여부에 대한 평가로 현장에서 대상 사면의 현황과 상태 등 제반 특성들을 정확히 도출하고 이에 근거하여 평가를 수행하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 기존 자료의 충실한 검토, 시공 방법과 기간의 보수·보강이력 검토, 각종 계측, 조사, 시험을 통해 충분히 기초자료를 확보하는 것이 필수적이다.
- 일반적으로 절토사면의 안전성능 검토를 위해 고려되어야 할 주요 사항은 다음과 같으며, 보고서에는 평가에 사용된 해석 방법의 종류 및 해석결과에 대한 설명과 계산

기록을 포함하여야 한다.

- 지반 구성재료에 대한 기본 물성시험 결과
- 기본 물성시험 결과가 없는 경우 인근 사면의 자료나 문헌자료를 확보하여 검토
- 불연속면 특성 및 정량적 조사 결과
- 사면의 변형/변위 및 거동 등의 특성 분석 결과
- 기초자료를 검토하여 육안관찰 시 인지하기 어려운 지층구조 및 연약지질 파악
- 상부자연사면 등 주변지역에 대한 지형정보

라. 내구성능 평가를 위한 조사방법

1) 토사사면의 지반상태

(가) 동적콘관입시험

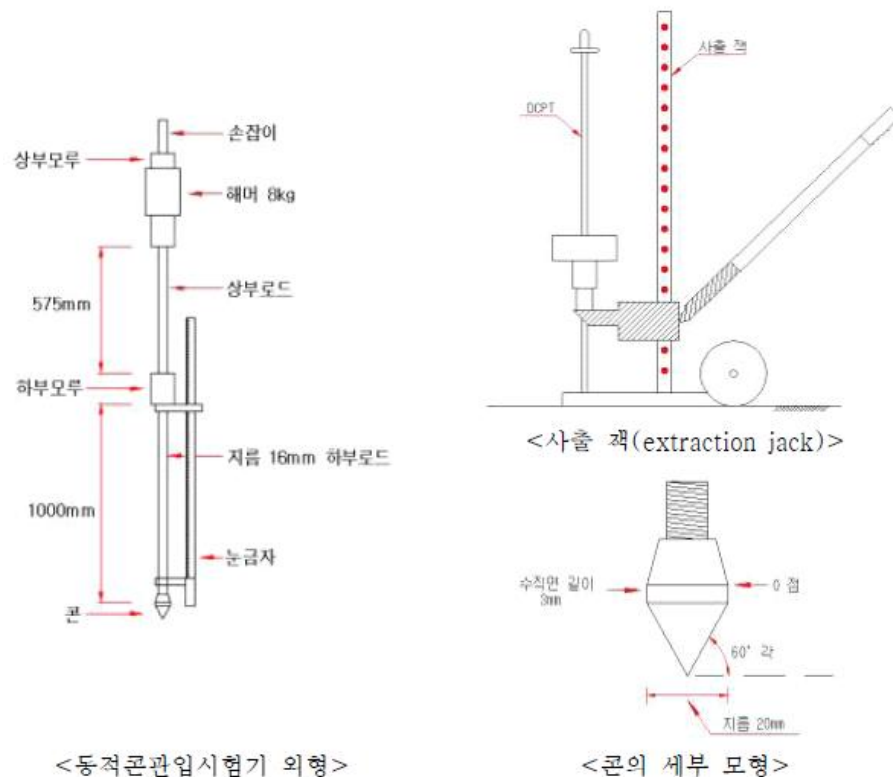
(1) 일반사항

- 동적 콘 관입시험법(이하 DCPT)은 8kg의 해머의 충격 하중이 지반층을 뚫고 들어가는 충격횟수 당 관입량(이하 PR : mm/blow)을 측정하는 방법이다.

(2) 장비외형

- 동적 콘 관입시험기를 DCPT라 부르며, 이 장비는 지반의 다짐 강도를 측정하는데 사용한다. DCPT는 <그림 2.3-11>과 같이 크게 상부부분과 하부부분 그리고 눈금자 이렇게 세 부분으로 나눌 수 있다.
- 상부부분은 장비를 수직으로 유지시켜주기 위해 잡는 핸들과 그 밑에 상부모루 그리고 상부모루에서 하부모루까지 움직이는 8kg의 해머, 해머의 자유낙하 운동을 이끄는 지름 16mm, 길이 575mm의 상부로드, 이렇게 다섯 부분으로 이루어져 있다.
- 하부 부분은 하부모루에서 전해져 오는 충격량을 콘까지 보내주는 지름 16mm, 길이 1000mm의 하부로드와 그 밑에 지반을 관입하는 콘으로 나누어져 있다. 콘은 <그림 2.3-11>과 같이 지름 20mm에 60° 형태로 되어 있다.
- 눈금자는 하부로드 1000mm 보다는 긴 막대 형태로 되어 있으며, 하부로드 옆에 조립하여 붙여 사용하며 1mm 단위로 눈금이 그려져 있다.
- 기타 동적 콘 관입시험에 필요한 장비는 다음과 같다.
 - DCPT 조립 도구
 - DCPT 윤활오일
 - DCPT 사출재

- DATA 기록지
- 주요 부분별 오차 한계는 다음과 같다.
- 8kg 해머의 무게 오차 한계는 0.01kg 임
- 해머의 자유낙하를 지지하는 상부 로드의 길이 오차 한계는 1mm임
- 관입 콘의 콘 각도 60°의 오차 한계는 1°임
- 콘 최대 직경의 200mm의 오차 한계는 0.25mm임



<그림 2.3-11> 동적콘관입시험기의 외형

(3) 시험방법 및 순서

- 장비의 핸들을 잡고 수직 상태를 유지한 후 해머를 상부모루까지 들어 올린 후 가만히 놓아 하부모루까지 떨어지는 해머의 자유낙하 에너지가 충격량으로 바뀌어 하부 로드를 타고 콘이 지반을 뚫으며 이때 관입되는 량을 눈금자로 읽어가면서 측정한다.
- 측정된 전체 관입량을 충격 횟수로 나누어 평균값을 내면 PR 값이 되고, 이를 통해 지반의 강도 측정을 모사할 수 있다.
- 위치 고정 : 측정하고자 하는 위치에 장비를 고정시킨 후 콘의 제로 점까지 관입을 한 후 눈금자가 가리키는 숫자를 기준으로 영점을 정한다.

- 해머의 자유낙하 : 핸들을 붙잡고 DCPT를 수직상태로 유지한 후 해머를 상부모루 까지 들어올린다. 이 때 해머가 상부로드 하단을 가격하여 DCPT가 들리는 일이 없도록 조심히 들어 올리며 상부로드 하단에 해머가 닿는 순간에 받쳐 들던 손을 놓아 해머를 떨어뜨린다. 충격에 따른 눈금자 위치를 읽은 후 기록지에 해머충격 횟수에 따른 관입량을 기입한다.
- 관입량 기록 : 관입량은 지반 두께 200mm 이상 총 지반 두께 1000mm를 가늠할 수 있는 900mm이하까지 기록하며, 관입량이 900mm를 넘는 경우 지반에서 DCPT 제거 시 DCPT 장비에 손상을 가져올 수 있으므로 주의한다.
- 기록의 오류(취사선택) : 연속된 충격 횟수 5회 이상 관입량 PR값이 2mm/blow인 경우 혹은 시험도중 DCPT가 옆으로 기울어져 관입지점에서 핸들부분까지 수평변위량이 75mm이상이 발생하는 경우에는 시험을 멈추고 원 관입지점 300mm이내에서 시험을 다시 수행한다.
- DCPT 사출 : DCPT 시험이 모두 끝나고 나면 맨손으로 억지로 뽑아 내지 말고 사출 잭(extraction jack)을 이용하여 DCPT를 뽑아낸다. 만일 맨 손으로 뽑아내는 경우 로드가 휘어질 우려가 있다.
- 데이터 기록 : 충격회수에 따른 매회 기록과 데이터를 기록할 수 있으며, 함수비를 측정할 수 있을 경우에는 함수비 란에 기입하도록 한다. 눈금자의 눈금을 읽는 방법은 근사치 값을 읽어 1mm 단위로 기입한다.

(4) 장비체크

- 시험 시작 전에 동적 콘 관입시험도구의 상태 및 노후도를 확인한 후 상부, 하부로드 및 구성부품에 따른 보수나 교체를 실시해 준다.
- 상부, 하부 로드와 콘의 경우 휘어진 부분은 없는지 반드시 체크하며, 콘 팁 역시 코가 휘어지거나 마모가 심하지는 않는지 확인한다. 장비 체크가 끝난 후에는 모든 결속부분을 단단하게 고정시켜 준다.

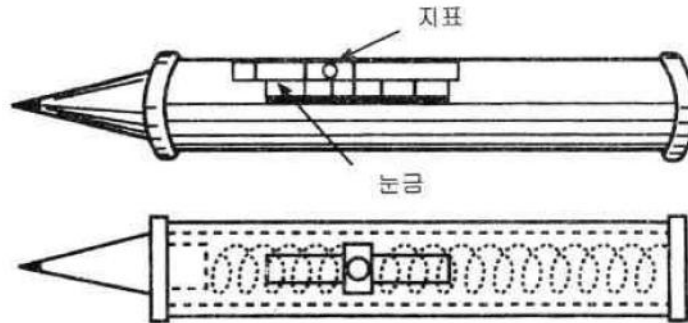
(나) 토양경도시험

(1) 일반사항

- 토양경도는 토양의 치밀도 또는 견밀도라고도 하며, 토양경도계(산중식 경도계)를 이용하여 사면 상부, 중부, 하부를 각 10회씩 측정하여 평균하고 토양경도지수를 mm 단위로 나타낸다.
- 외부 관입 물체에 대해서 저항하는 토양의 힘을 경도(Hardness), 저항(Resistance) 또는 강도(Strength)라 하며, 관입시키는 원추의 각도와 단면적, 기록장치에 따라 다

양한 경도계가 있다.

- 일반적으로 토양경도계라 하면 산중식 경도계와 끝이 원추형인 봉을 토양깊이 60~80cm 까지 관입하여 깊이별 원추의 관입저항을 측정하는 관입식 토양경도계를 의미하며, 여기서는 산중식 경도계에 대한 점검방법을 기술한다.
- 산중식 경도계는 토양 표면의 경도를 손으로 밀어 측정하는 휴대용 기기(Hand-Push형)로 반경 0.9cm, 높이 4cm의 금속 원추에, 4cm 수축에 8kg의 힘이 필요한 용수철이 연결되어 있으며 토양에 직각으로 눌렀을 때, 관입이 정지될 때의 원추가 후진한 길이(mm)를 재고, 그때의 용수철의 수축에 해당하는 무게를 토양에 접한 원추의 단면적(cm^2)으로 나누어 경도(kg/cm^2)를 계산한다. 일반적으로 원추의 관입깊이(mm)를 토양경도로 표시한다.



〈그림 2.3-12〉 산중식 토양경도계 구조

(2) 조사수량 및 측정방법

- 경도를 측정하고자 하는 부위의 토양을 수평이나 수직으로 표면을 평평하게 다듬는다.
- 경도계를 손에 단단히 잡고 유동지표를 0에 맞추고 토양에 직각으로 관입시킨다.
- 유동지표가 가리키는 눈금(mm)을 정확히 읽고 mm로 표시한다.
- 관입 깊이 $w(\text{mm})$ 는 다음과 같은 계산식에 의해 경도($R, \text{kg}/\text{cm}^2$)로 환산할 수 있다.

$$R = \frac{100w}{0.795 \times (40 - w)^2}$$

2) 암반사면의 지반상태

(가) 슈미트해머 측정

(1) 일반사항

- 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법은 경화 암반면에 슈미트해머로 타격에너지를 가

하여 암반면의 정도에 따라 반발경도를 측정하고, 이 반발경도(R_o)와 암반압축강도(f_c) 사이에는 특정한 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 하여 암반 압축강도를 추정할 수 있다.

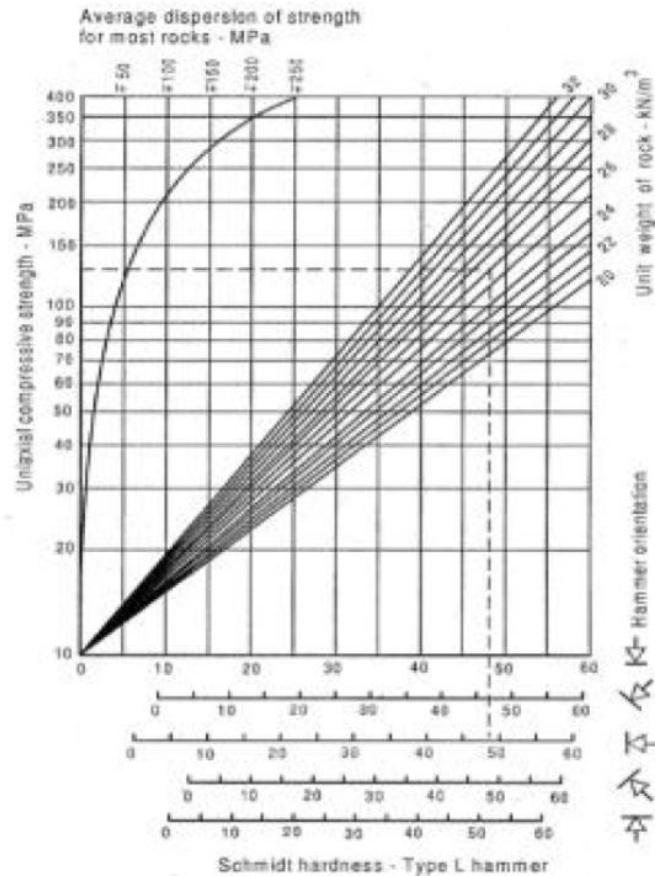
- 슈미트해머는 콘크리트용인 N, NR형 등이 있으나, 암반 사면조사 시에는 암석용인 L형을 사용하여야 한다.

(2) 조사수량 및 측정방법

- 타격면을 선정할 때는 충전물이나 분해된 암석 입자가 없는 편평한 면을 선택하여 그 면에 수직하게 타격한다. 동일한 곳을 계속 가격하지 않고 이전에 타격한 곳에서 최소한 플런저 직경만큼 떨어진 곳을 타격한다.
- 슈미트 해머의 원리는 암반 타격 시 반발치(R)와 암반의 압축강도 (F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.
- 타격시 해머 내의 중추 반동량을 반발치(R)로 표시하며, 이 반발치(R)의 크기에 따라 암반의 압축강도를 추정한다. 일반적으로 타격 시 반발치(R)는 타격에너지 및 피 타격체의 형상, 크기, 재료의 물리적 특성에 따라 다르다.
- 단, 슈미트 해머법이 재료의 강도와 일률적인 관계가 있는 것만은 아니다. 특히 암반과 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 해머로 표면에서 국부적 타격을 하는 경우 반발치(R)는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 암반의 채령 등에 차이가 난다. 하지만 간편하고 짧은 시간에 강도 추정이 가능한 우수한 사용성과 암반 전체에 대해 강도 측정이 가능하다는 점에는 유효한 시험법이라 할 수 있다.

(3) 결과분석

- 슈미트해머를 이용하여 강도를 추정할 경우, <그림 2.3-17>을 이용하여 타격방향에 따른 보정절차를 거친 후, 20개의 타격점에 대한 반발값 중 하위 50%의 값을 버리고, 상위 50%만을 취하여 그 평균값을 대표값으로 한다.
- 일축압축강도는 슈미트해머 반발지수에 대한 일축압축강도 변화차트 <그림 2.3-13>를 이용하여 추정한다.



〈그림 2.3-13〉 슈미트해머 반발지수를 이용한 일축압축강도 변화 차트

〈표 2.3-17〉 타격방향에 따른 반발값 보정표

반발값	아래쪽		위쪽		수평
	a= -90°	a= -45°	a= +90°	a= +45°	a= 0°
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-4.0	-3.3	-1.7

3) 표면보호공

(가) 식생피복율

- 사면 전체 면적 대비 피복 면적의 비로서 현장 육안조사를 통하여 면적율을 측정한다. 현장상황 및 여건에 맞게 간단한 도구를 사용한다.
- 필요 측정 기구 : 줄자, 필기도구, 디지털카메라 등
- 식생피복율(%) = 식생피복면적(m²)/사면면적(m²) × 100

(나) 콘크리트 뽑어붙이기/석장공

- 주요 손상유형을 균열, 박락, 누수로 한정하고 현장 근접 육안조사를 통하여 손상 면적을 측정한다. 현장상황 및 여건에 맞게 간단한 도구를 사용한다.
- 필요 측정 기구 : 줄자, 필기도구, 디지털카메라, 필요시 균열자 및 균열경, 반발경도 측정기 등
- 손상면적율(%) = 손상발생면적(m²)/조사면적(m²) x 100

4) 사면보강공

- 사면보강공의 근접 육안관찰로 보강공의 두부와 지반의 밀착도 및 두부의 균열과 파손 정도를 관찰하여 표면보강공의 등급을 결정한다.

5) 암반의 절리상태 및 풍화진행도

- 암반의 절리상태 및 풍화진행도 조사방법은 “상태안전성능 평가를 위한 조사방법”에서 ‘불연속면 특성’의 조사방법과 동일하게 실시한다.
- 세부 평가지표 및 평가결과는 내구성능 평가 기준에서 제시하는 사항을 따른다.

2.4 재료시험 항목 및 수량

2.4.1 재료시험 항목

가. 제2종 성능평가

〈표 2.4-1〉 제2종 성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전 성능	공통	-	•시추조사 - 시추코아 채취 - 시추공내 절리방향성 분석 - 지하수위측정 •물리탐사 - 전기비저항탐사, 탄성파탐사, GPR탐사 중 1가지 이상 •기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사·시험
	토사	-	•직접전단시험 •삼축압축시험
	암반	-	•물성시험 - 밀도, 비중, 단위중량, 흡수율, 공극률, 흡수팽창 시험, 슬레이킹시험, 투수시험, 탄성파 속도 •절리면 전단시험
내구 성능	공통	-	•기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사·시험
	토사	토양경도	•물성시험 - 함수비, 비중, 입도분석, 액성한계시험, 소성한계시험, 체분석 •동적콘관입시험 - 필요시 표준관입시험
	암반	암반비파괴강도(반발경도시험)	•일축압축시험 - 코어채취 불가시 점하중시험

나. 제1종 성능평가

〈표 2.4-2〉 제1종 성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전 성능	공통	•시추조사 - 시추코아 채취 - 시추공내 절리방향성 분석 - 지하수위측정 •물리탐사 - 전기비저항탐사, 탄성파탐사, GPR탐사 중 1가지 이상	•기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사 • 시험
	토사	•직접전단시험 - 강도정수 - 필요시 삼축압축시험	-
	암반	•물성시험 - 밀도, 비중, 단위중량, 흡수율, 공극률, 흡수팽창 시험, 슬레이킹시험, 투수시험, 탄성파 속도 •절리면 전단시험	-
내구 성능	공통	-	•기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성능 평가 등에 필요한 조사 • 시험
	토사	•동적콘관입시험 •물성시험 - 함수비, 비중, 입도분석, 액성한계시험, 소성한계시험, 체분석	•표준관입시험(동적콘관입시험)
	암반	•암반 비파괴강도(반발경도시험) •일축압축시험 - 코어채취 불가시 점하중시험	-

2.4.2 재료시험 기준수량

가. 제2종 성능평가 재료시험 기준수량

〈표 2.4-3〉 제2종 성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
토양경도	•20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 - 1개소당 상부/중부/하부 각 10회	토양경도계
암반 비파괴시험 (반발경도시험)	•20m 구간별 1개소, 최소 10개소	슈미트해머

〈표 2.4-4〉 제2종 성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
시추조사	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
물리탐사	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
토사물성시험	•평가대상 구간별 3회	
직접전단시험	•평가대상 구간별 1회	
삼축압축시험	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
일축압축시험	•평가대상 구간별 3회	
점하중시험	•평가대상 구간별 3회 - 알축압축 시험시 생략	
절리면 전단시험	•평가대상 구간별 1회	
암반물성시험	•평가대상 구간별 3회	
동적콘관입시험	•20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 - 1개소당 상부/중부/하부 각 10회	

나. 제1종 성능평가 재료시험 기준수량

〈표 2.4-5〉 제1종 성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
암반비파괴강도 (반발경도시험)	•20m 구간별 1개소, 최소 10개소	
시추조사	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
물리탐사	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
토질물성시험	•평가대상 구간별 3회	
직접전단시험	•평가대상 구간별 1회	
삼축압축시험	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
일축압축시험	•평가대상 구간별 3회	
점하중시험	•평가대상 구간별 3회 - 일축압축 시험 시 생략	
절리면전단시험	•평가대상 구간별 1회	
암반물성시험	•평가대상 구간별 3회	
동적콘관입시험	•20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 - 1개소당 상부/중부/하부 각 10회	

〈표 2.4-6〉 제1종 성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
표준관입시험	•20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 - 1개소당 상부/중부/하부 각 10회	

2.5 안전성능 평가 기준 및 방법

2.5.1 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 상태안전성능평가 기준 및 방법

1) 일반

- 안전성능은 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능과 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.
- 상태안전성능은 사면의 내적상태와 외적상태의 관찰을 통해 평가
 - 사면 내적상태 : 사면을 구성하는 재료의 특성(토층·암반 등) 및 형상에서 관찰되는 특징을 의미하며 육안관찰, 실내실험, 현장실험 등으로 평가한다.
 - 사면 외적상태 : 사면에서 관찰되는 외부요인(지하수, 식생, 시설물 등)의 특징을 의미하며 주로 육안관찰을 통해 평가한다.
- 구조안전성능은 공학적인 관점에서 평가할 수 있는 안전 수준

2) 평가범위

- 절토사면의 상태안전성능 평가 적용범위는 도로 및 철도의 부대시설로 「시설물안전법」상 연직높이 30m 이상(옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이)을 포함한 절토부로서 단일 수평연장 100m이상인 절토사면에 적용한다.

3) 상태안전성능평가 성능지표 및 기준

- 절토사면의 상태안전성능평가 시 형식별 고려해야할 주요 성능지표는 다음과 같다.

〈표 2.5-1〉 사면 형식별 성능지표

구분	성능지표		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	집수지형 지반변형 지하수 배수조건 사면상부 상태 붕괴이력	집수지형 불안정지질 불연속면 특성 지반변형 지하수 배수조건 붕괴이력 낙석	집수지형 불안정지질 불연속면 특성 지반변형 지하수 배수조건 붕괴이력 낙석 사면상부 상태

(가) 집수지형

- 사면의 시·종점부와 상부 계곡부, 사면 내 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 사면에 유입되는 지형의 개수로 평가하며 사면 내 점수와 사면 외 점수 중 낮게 평가되는 항목으로 등급을 산정하여 평가한다.
- 절토사면 내 : 사면 내 요철지형으로 지표수가 한곳으로 모여 고이는 지형
- 절토사면 외 : 상부자연사면, 시·종점부의 계곡부 및 집수지형

〈표 2.5-2〉 집수지형 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
사면 내·외 집수지형 개소수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소
	e	4개소 이상	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상

(나) 불안정지질

- 사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하고 있어 사면에 불안정 요인으로 작용하는 지질의 분포규모 및 상태를 평가한다.

〈표 2.5-3〉 불안정지질 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
규모 및 상태	a	없음	없음
	b	일부 분포(건고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 건고한 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 심한 상태
	e	전반적인 분포(파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태

- 일부분포 : 불안정지질에 의해 변형, 강도저하 등의 결함이 발생할 수 있으나(혹은 발

생했으나) 그 영향이 매우 한정되어 있으며, 평가하고자 하는 사면에 대한 영향이 극히 일부인 경우(혹은 불안정지질은 관찰되나 사면에 영향이 없다고 판단되는 경우).

- 국지적 분포 : 불안정지질에 의한 결함이 사면 일부에 발생할 수 있으며, 이로 인한 보호 조치가 요구되는 경우
- 전반적인 분포 : 불안정지질에 의한 결함의 규모가 매우 커 보강(보호 공법과 병행) 조치가 요구되는 경우

(다) 불연속면 특성

〈표 2.5-4〉 불연속면 특성 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
불연속면의 상태	a	매우 양호	불연속면의 세부(연장, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격)상태를 평가하여 산술평균값으로 평가 불연속면 상태 점수 $\Sigma(① \sim ⑥)/6$
	b	양호	
	c	보통	
	d	불량	
	e	매우 불량	

〈표 2.5-5〉 불연속면 세부상태 평가기준

평가항목		등급				
		a	b	c	d	e
점수	암반	0	5	10	16	24
	혼합	0	1	3	5	8
① 연장성	1m 미만	1m 이상 3m 미만	3m 이상 10m 미만	10m 이상 20m 미만	20m 이상	
② 틈 새	0	0.1mm 미만	0.1mm 이상 1mm 미만	1mm 이상 5mm 미만	5mm 이상	
③ 거칠기	매우 거칠	거칠	약간 거칠	평탄	매우 평탄	
④ 충전물	없음	단단한 충전물 (5mm 미만)	단단한 충전물 (5mm 이상)	연약한 충전물 (5mm 미만)	연약한 충전물 (5mm 이상)	
⑤ 풍화도	신선	약한풍화	보통풍화	심한풍화	완전풍화	
⑥ 절리간격	2m 이상	0.6m 이상 2m 미만	0.2m 이상 0.6m 미만	0.06m 이상 0.2m 미만	0.06m 미만	

(라) 지반변형

- 지반 변형은 사면의 배부름 현상(bulging)과 같이 지반 자체의 변형과 관련된 것으로 현재 변형의 증거가 관찰되지 않으면 “없음”으로 하고 변형의 증거가 있을 때에는 위험도 및 피해도에 따라 등급을 결정한다.

〈표 2.5-6〉 지반변형 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태
	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 걸쳐 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태
	e	사면 전반에 걸쳐 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태

(마) 지하수

- 사면 내 지하수량을 간접적으로 평가하기 위한 방법으로써 사면에서 관찰되는 물의 흐름을 2가지로 구분하고 그 위치를 조사하여 평가한다.

〈표 2.5-7〉 지하수 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
누수상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 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

(바) 배수조건

- 사면에 설치된 배수시설의 상태를 평가한다.
- 배수시설의 결함 : 균열, 변형, 세굴, 파손 등으로 물의 흐름을 방해하는 손상

〈표 2.5-8〉 배수조건 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
배수조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태
	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	매우불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태

(사) 붕괴이력

- 이미 발생한 붕괴 규모에 대한 평가로서 세굴 및 표층균열, 표층파괴, 심층파괴로 등급을 분류하여 평가한다.

〈표 2.5-9〉 붕괴이력 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
붕괴이력	a	없음	없음
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면의 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

(아) 낙석

- 낙석은 암반사면에서 빈번히 발생하는 붕괴유형으로서, 사면에서 관찰되는 뜬돌 및 이완암의 규모와 높이, 사면의 경사 등을 고려하여 낙석에너지를 추정하고, 추정된 에너지 규모에 따라 등급을 구분하여 평가한다.
- 낙석의 평가는 발생규모와 예상낙석에너지 중 낮은 등급의 점수로 산정하여 평가한다.

<표 2.5-10> 발생규모 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
발생규모	a	없음	기 발생하여 적치된 낙석의 양으로 평가하며 평가구간 내에 발생한 낙석의 규모를 모두 합하여 평가
	b	1m ³ 미만	
	c	1m ³ 이상 5m ³ 미만	
	d	5m ³ 이상 10m ³ 미만	
	e	10m ³ 이상	

<표 2.5-11> 예상 낙석에너지 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
예상 낙석에너지	a	없음	사면에 존재하는 뜬돌 및 이완암 등 낙석발생 가능성이 있는 암괴의 규모 및 위치 등을 적용하여 낙석에너지 산정 $E_i = (1 - \frac{\mu}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H$ ※예상낙석에너지(일본도로협회, 2000)
	b	50kJ 미만	
	c	50kJ 이상 70kJ 미만	
	d	70kJ 이상 120kJ 미만	
	e	120kJ 이상	

여기서, E_i : 낙석에너지(kJ)

θ : 사면의 경사

μ : 낙석의 등가마찰계수(0.15)

β : 회전에너지계수(0.1)

m : 낙석의 중량(t)

H : 낙석의 높이(m)

g : 중력가속도(9.8m/sec²), (μ , β 는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용)

(자) 사면의 상부상태

〈표 2.5-12〉 사면의 상부 상태 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
상부 자연사면 경사	a	없음	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가
	b	10° 미만	
	c	10° 이상 20° 미만	
	d	20° 이상 30° 미만	
	e	30° 이상	

(차) 인장균열

- 인장균열은 유무 확인, 진행성 여부를 근거로 평가하며, 단층이나 습곡의 존재 여부, 암종이나 풍화 지반의 분포, 엽리나 기타 불연속면의 분포, 차별풍화 여부, 균열의 규모, 위치나 깊이 방향 등의 조사 자료는 개략적인 붕괴규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용한다.

〈표 2.5-13〉 인장균열 평가기준

평가항목 및 등급		평가기준	평가내용
인장균열 유무 및 진행성	a	없음	인장균열 없음
	b	-	
	c	-	
	d	있음(비진행성)	인장균열이 확인되나 비진행성인 상태
	e	있음(진행성)	인장균열이 확인되며 진행중인 상태

나. 구성 재료에 따른 지표등급 점수

1) 토사사면

〈표 2.5-14〉 토사사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	3	5	8	12
② 지반변형	0	5	10	16	24
③ 지하수	0	4	8	12	18
④ 배수조건	0	2	4	7	10
⑤ 사면상부상태	0	3	6	9	14
⑥ 붕괴이력	0	5	9	14	22
결합지수 = $\Sigma(① \sim ⑥)/100$					

2) 암반사면

〈표 2.5-15〉 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

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 사면상부상태	0	2	4	7	10
⑧ 붕괴이력	0	4	7	11	17
결합지수 = $\Sigma(① \sim ⑧)/100$					

2) 혼합사면

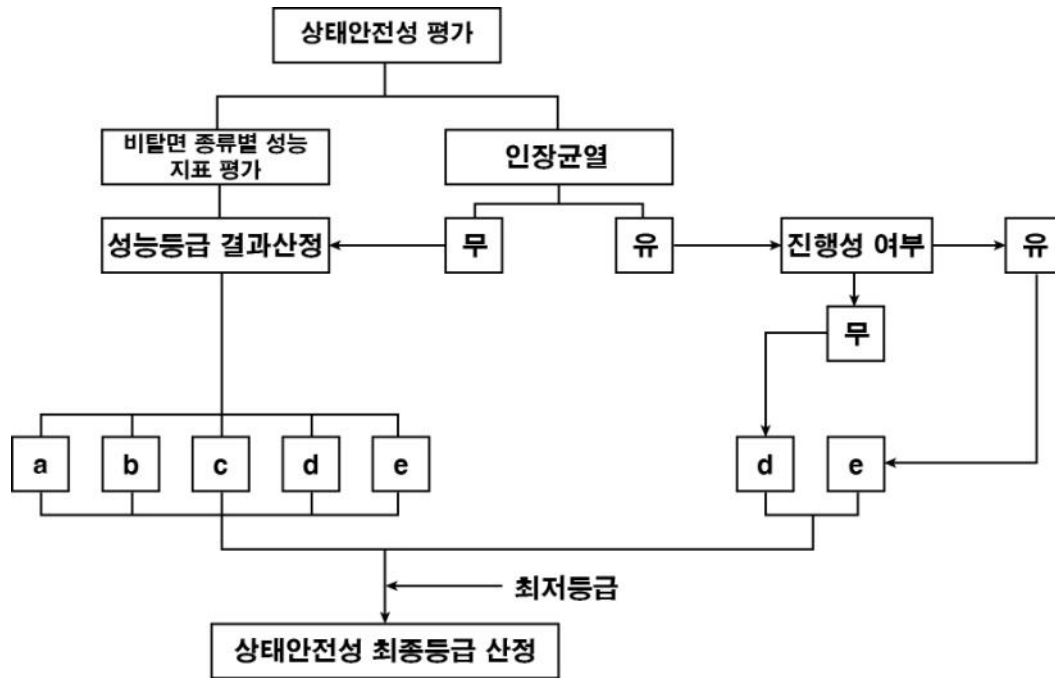
〈표 2.5-16〉 혼합사면의 평가항목별 등급에 따른 점수

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	2	3	5	7
② 불안정 지질	0	3	6	9	14
③ 불연속면의 특성	0	1	2 ~ 3	4 ~ 5	6 ~ 8
④ 지반변형	0	2	5	7	11
⑤ 지하수	0	3	5	8	12
⑥ 배수조건	0	2	4	7	10
⑦ 붕괴이력	0	2	5	7	11
⑧ 낙석	0	3	5	8	12
⑨ 사면상부상태	0	3	6	10	15
결합지수 = $\Sigma(① \sim ⑨)/100$					

다. 상태안전성능평가 결과 산정

1) 개요

- 상태안전성능 등급의 결과 산정방법은 평가된 항목별 점수를 모두 합산하여 100으로 나눈 값으로 산정한다. 집수지형 및 낙석의 경우 두 개의 평가항목 중 등급이 낮은 항목을 선정한다. 또한 불연속면의 특성(연장성, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도, 절리간격)은 각 항목별 평가된 점수의 산술평균값으로 평가한다.
- 다만, 인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결합점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.



〈그림 2.5-1〉 인장균열 유/무에 따른 상태안전성능평가 결과 예

〈표 2.5-17〉 인장균열 결함점수 산정

구분	평가등급	결함점수	결함지수
인장균열	a	8	0.08
	d	65	0.65
	e	88	0.88

2) 결과산정

- 상태안전성능 평가는 토층심도율(SR)에 따라 다시 토사사면과 암반사면, 그리고 혼합사면으로 나누어 평가한다.
- 상태안전성능의 평가 결과는 인장균열 유무 및 진행성여부를 고려하여 분할 평가한 구간 중 최소 등급으로 산정된 값을 적용한다.

〈표 2.5-18〉 상태안전성능평가 결과 산정기준

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 2.5-19〉 구간별 상태안전성능평가 결과 산정 예

사면의 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과 선정	비고
320m	구간 A	100m	a	C	
	구간 B	90m	c		
	구간 C	130m	b		
	구간별 평가후 최소 등급을 선정 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소 등급으로 선정				

〈표 2.5-20〉 상태안전성능평가 결과 산정 예

시설물명	OO사면	근거표번호		
사면종류	절토사면	구성재료		혼합
평가요소		결합점수	결합점수 선정	결합종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
(1) 집수지형	사면 내	2	3	c
	사면 외	3		
(2) 불안정 지질		3	3	b
(3) 불연속면의 특성		3	3	c
(4) 지반변형		2	2	b
(5) 지하수		3	3	b
(6) 배수조건		2	2	b
(7) 붕괴이력		5	5	c
(8) 낙석	규모	8	8	d
	예상낙석에너지	3		
(9) 사면의 상부 상태		10	10	d
총점		44	39	-
결합지수		0.39		
상태안전성능 평가 결과		C		

2.5.2 구조안전성능 평가 기준 및 방법

가. 구조안전성능평가 기준

●사면은 자연지반이 주 구성 물질이므로 안정해석을 실시함에 있어 타 시설물에 비해 불확실성이 높은 요소들이 많이 존재한다. 따라서 구조안전성능 평가 기준은 인공구조물로 이루어진 타 시설물에 비해 높은 수준의 평가기준을 적용하는 것이 바람직하므로 국내에서 표준으로 사용되는 ‘건설기준코드(구 건설공사 비탈면 설계기준)’의 깎기비탈면 설계 시 허용안전율을 평가기준에 적용한다. 또한 기준산정에 있어 안정해석 결과가 허용안전율 보다 클 경우에는 설계기준에 적합한 상태이므로 B, C가 아닌 A로 산정하며, 허용안전율 보다 작을 경우에는 보강 및 사용제한 등의 조치가 필요한 D, E로 산정한다.

〈표 2.5-21〉 구조안전성능 평가 기준

평가기준		상태	
등급	결합지수	건기	우기(침투해석)/지질
a	0.08	안전율 1.5 이상	안전율 1.2(1.3) 이상/1.1 이상
b	-	-	-
c	-	-	-
d	0.65	안전율 1.0 이상, 1.5 미만	안전율 1.0 이상, 1.2(1.3) 미만/안전율 1.0 이상, 1.1 미만
e	0.88	안전율 1.0 미만	안전율 1.0 미만
•암반사면 - 건기시 : 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음. - 우기시 : 인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 $HW=1/2H$로 가정하여 적용 •토사사면 - 건기시 : 지하수위 미고려 - 우기시 : 1) 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) 2) 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속 시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석 방법을 명확히 기술 (FS=1.3적용) •두 가지 이상의 파괴유형에 대하여 안정해석을 실시하였을 경우 가장 작은 안전율 값을 구조안전성능 평가에 적용			

나. 구조안전성능 평가결과 산정

•구조안전성능 평가 시 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형 해석을 실시한다.

•또한, 암반사면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사사면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴가능성에 대한 검토가 이루어 져야 한다.

•내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

〈표 2.5-22〉 안정해석 조건에 따른 기준안전율

구분		전기	우기(침투해석)	지진시
절토사면	일반	FS > 1.5	FS > 1.2(1.3)	FS > 1.1

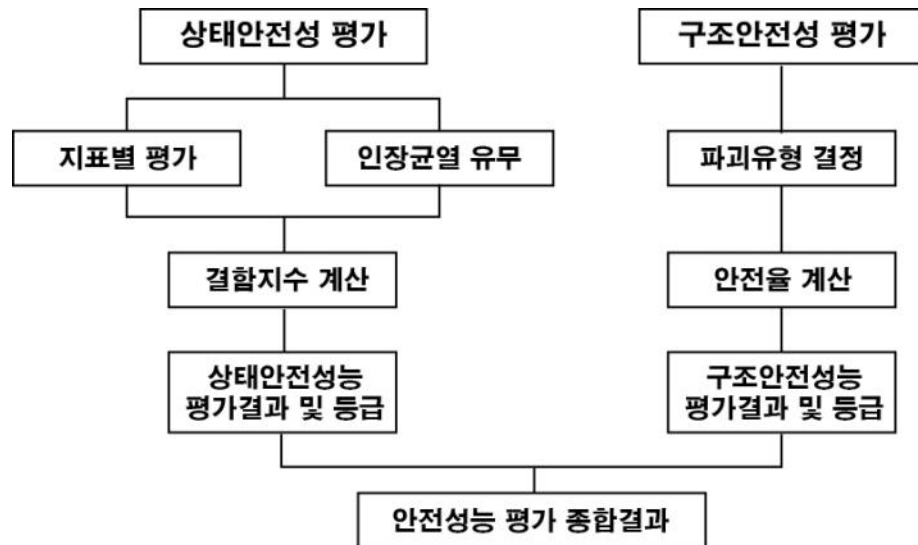
〈표 2.5-23〉 구조안전성능 평가 결과 산정 예

구조안전성능 평가결과 산정표					
시설물명		OO절토사면		근거표번호	
구성재료	파괴유형	기준안전율		평가 결과	비고
암반	평면파괴	건기시	1.52	a	완전 건조시
		우기시	1.20		HW=1/2H
	췌기파괴	건기시	-	a	췌기파괴 가능성 없음
		우기시	-		
	전도파괴	건기시	-	a	전도파괴 가능성 없음
		우기시	-		
토사	원호파괴	건기시	1.62	a	침투해석 조건
		우기시	1.36		
지진시		-		-	필요시
구조안전성능 평가결과		A			

2.5.3 안전성능 평가 결과산정 방법

가. 일반

●안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종 등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다. 따라서 a, d, e 3등급으로 분류하여 평가되는 구조안전성능 평가는 매우 중요하다. 상태안전성능 결과에서 c등급이상의 결과를 얻었다 할지라도 구조안전성능 평가에서 안전율이 1.0미만으로 해석된다면 e등급으로 해당 사면은 매우 불안정한 것으로 판단되기 때문에 안정성 확보를 위한 보강공법이 시급하다.



〈그림 2.5-2〉 안전성능 평가 결과 산정 과정

나. 안전성능 평가 결과산정 예

〈표 2.5-24〉 안전성능 평가 결과 산정 예

안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명	OO사면		비고	근거표번호
평가구분	결합지수	평가결과		
상태안전성능	0.39	C	인장균열 없음	
구조안전성능	0.08	A	평면파괴	안전율=1.20(우기시)
안전성능	0.39	C		
안전성능 결과	•상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소 등급을 선택 •안전성능 평가 결과 : C 등급			

〈표 2.5-25〉 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 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.50 \leq (E) < 0.75$	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 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

2.6 내구성능 평가 기준 및 방법

2.6.1 일반

- 절토사면에 대한 내구성능 정의로는 ‘외부환경 및 하중에 대해 원래의 사면상태가 시간에 따라 변형되거나 변질되지 않고 안전성능을 저하시키지 않도록 유지하는 성질’과 같다. 이와 같은 정의에 따라 사면 고유의 성질 및 고유의 성질을 유지하도록 하는 지표 중에서 시간에 따라 변화하여 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대해 내구성능 평가를 수행한다. 선정된 지표에 대해 평가기준에 따라 등급산정을 하고, 각 등급산정 결과에 사면형식별 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 절토사면의 시설물에 대한내구성능등급을 결정한다.

2.6.2 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 개요

- 절토사면은 형식별로 토사사면, 암반사면, 혼합사면으로 구분할 수 있으며, 형식 구분에 대한 기준은 토층심도율이 적용된다. 토사사면에 대해서는 ‘지반상태(토질)’, ‘표면보호공’ 및 ‘사면보강공’에 대해 평가하고, 암반사면에 대해서는 ‘지반상태(암반)’, ‘절리상태 및 풍화도’, ‘표면보호공’ 및 ‘사면보강공’에 대해 평가한다. 토층심도율이 0.2~0.4인 혼합사면에 대해서는 토질 및 암반 각각에 해당하는 지표에 대해 평가하고, 이 중 낮은 등급을 최종등급으로 정한다.

- 각 평가지표에 대한 등급분류 기준은 다음과 같은 사항이 고려되었다. 공용중인 절토사면에 대해서 관련 평가지표가 실제로 점검이 가능한 조사방법에 의해 측정 및 평가될 수 있는지를 고려한 것이다. 예를 들어, 토사사면의 지반상태를 평가하기 위해 표준관입시험이 적용될 수 있겠으나, 공용중인 사면에 대해서 장비의 진입 및 설치가 용이하지 않다. 따라서 이러한 경우 휴대가 용이한 동적콘관입시험기를 사용하여 조사하며(제2종성능평가 수준 시 토양경도계 사용 가능), 등급분류 기준은 해당 시험법으로부터 얻을 수 있는 측정값을 고려하여 결정하였다.

나. 사면형식별 평가지표

- 절토사면 내구성능 평가지표를 형식별로 구분하여 나타내면 <표 2.6-1>과 같다.

〈표 2.6-1〉 사면형식별 내구성능 평가지표

구분	재료시험 기준수량
토사사면	•지반상태 •표면보호공 •사면보강공
암반사면	•지반상태(암반) •표면보호공 •사면보강공 •절리상태 및 풍화진행도
혼합사면	•토사사면과 암반사면의 지표를 모두 고려

다. 내구성능 평가 성능지표 및 기준

1) 토사사면의 지반상태

- 표준관입시험은 대형의 장비를 사용해야 하는 관계로 공용 중의 사면에 활용하는 것은 적합하지 않다. 소형의 장비(휴대용 콘관입시험기)를 사용하는 동적콘관입시험은 표준관입시험과 동일한 원리를 적용하고 있으며, 표준관입시험의 N치와 동적콘관입시험의 Nd치는 $N_d=1.15N$ 의 관계를 가지고 있다. 동적콘관입시험(DCPT)은 타격횟수(Nd)를 측정하고 측정값의 범위에 따라 등급을 산정하며 토사의 종류가 점성토의 경우에는 연경도, 사질토의 경우는 상대밀도에 따라 분류할 수 있다.
- 붕적 자갈층으로 형성된 사면의 경우 더욱 신뢰성 있는 평가결과를 얻기 위해서는 표준관입시험의 수행에 대한 검토가 필요하며, 이에 대해서는 관리주체 및 점검책임자의 판단에 따라 시험방법을 결정한다.

〈표 2.6-2〉 토사비탈면의 지반상태 등급 및 기준

항목	등급	상세	비고		
지반상태 (토사)	a	매우건고/매우조밀	동적콘관입시험(DCPT) Nd치		
	b	건고/조밀	구분	점성토(연경도)	사질토(상대밀도)
	c	보통건고/중간조밀	Nd치	3미만(매우연약)	5미만(매우느슨)
	d	연약/느슨		3이상 5미만(연약)	5이상 12미만(느슨)
	e	매우연약/매우느슨		5이상 10미만(보통건고)	12이상 35미만(중간조밀)
				10이상 18미만(건고)	35이상 58미만(조밀)
				18이상(매우건고)	58이상(매우조밀)

〈표 2.6-3〉 토양경도계 측정에 따른 등급

항목	지반종류	등급	분류	토양경도(mm)
지반상태 (토사)	모래	a	매우조밀	$26.0 \leq X$
		b	조밀	$23.3 \leq X < 26.0$
		c	보통	$20.4 \leq X < 23.3$
		d	느슨	$17.2 \leq X < 20.4$
		e	매우느슨	$X < 17.2$
	모래질실트	a	매우조밀	$18.9 \leq X$
		b	조밀	$14.9 \leq X < 18.9$
		c	보통	$12.0 \leq X < 14.9$
		d	느슨	$10.2 \leq X < 12.0$
		e	매우느슨	$X < 10.2$
	실트	a	매우조밀	$11.1 \leq X$
		b	조밀	$9.7 \leq X < 11.1$
		c	보통	$7.1 \leq X < 9.7$
		d	느슨	$4.7 \leq X < 7.1$
		e	매우느슨	$X < 4.7$

2) 암반사면의 지반상태

- 암석의 강도는 풍화에 따라 시간적으로 변하는 물성치로 초기 암반 상태가 한 등급 낮은 등급으로 떨어질 때의 강도 감소율을 최하등급으로 설정하고 나머지 등급은 등간격으로 한다.

〈표 2.6-4〉 암반사면의 지반상태 등급 및 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계값(초기 점점값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	95%이상 100%이하	94%이상 100%이하	90%이상 100%이하
	b	95%이상 97.5%이하	90%이상 95%이하	88%이상 94%이하	80%이상 90%이하
	c	92.5%이상 95%이하	85%이상 90%이하	82%이상 88%이하	70%이상 80%이하
	d	90%이상 92.5%이하	80%이상 85%이하	75%이상 82%이하	60%이상 70%이하
	e	90%미만	80%미만	75%미만	60%미만

〈표 2.6-5〉 암종별 암편 내압강도

암종	그룹	암편 내압강도(kg/cm ²)
풍화암	A B	300 이상 700 미만 100 이상 200 미만
연암	A B	700 이상 1,000 미만 200 이상 500 미만
보통암	A B	1,000 이상 1,300 미만 500 이상 800 미만
경암	A B	1,300 이상 1,600 미만 800 이상
극경암	A B	1,600 이상

구분	A 그룹	B 그룹
대표적 암명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 석회암, 사암, 위록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 김람암, 사교암, 유교암, 현암, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 혈암, 니암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것, 결정도가 높은것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 것, 천매상의 것
500~1,000gr 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되거나 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점의 암이 부서지지 않고, 분상이 되어 남고 암편의 비산 정도가 적은 것

3) 표면보호공

- 표면보호공은 사면의 안정성에 직접적인 영향을 주지는 않으나, 사면의 상태 보호 및 유지시키는데 영향을 준다. 식생의 경우 전체 면적 대비 피복 면적의 비, 콘크리트뿔 어붙이기 및 석장공 같은 구조물공의 경우 전체 시공 면적 대비 손상 면적의 비를 기준으로 등급을 분류한다. 단, 식생과 구조물공이 혼재되어 있는 경우는 구조물공이 사면의 상태에 더 영향을 주므로 이에 대한 등급을 최종등급으로 한다.

〈표 2.6-6〉 표면보호공 평가 등급 및 기준

항목	등급	보호공 종류		비고
		식생 (식생피복율, %)	콘크리트뿔어붙이기/ 석장공 (손상면적율, %)	
표면보호공	a	매우 양호 (90%이상)	균열 및 박락없음 (0 ~ 10%미만)	식생과 구조 물공(콘크리 트뿔어붙이기 /석장공)이 혼재되어 있 는 경우는 구 조물공의 등 급을 최종등 급으로 함
	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 상 태, 누수발생 (50% 이상 ~ 70% 미만)	
	e	매우 불량 (0% 이상 ~ 30% 미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생 (70% 이상)	

4) 사면보강공

- 사면보강공에 대한 내구성능 평가는 사면의 안정성과 직·간접적으로 영향을 주는 보강 구조물을 대상으로 수행한다. 시공시의 보강공의 상태 및 성능은 양호하다는 기본 전제조건 하에 시간에 따라 보강성능 저하에 영향을 줄 수 있는 ‘보강공 두부와 지반의 밀착도’ 및 ‘보강공 두부의 균열 및 파손’에 대해 평가한다. 각각에 대해 평가하고 낮은 등급을 최종등급으로 산정한다.

〈표 2.6-7〉 사면보강공 평가 등급 및 기준

항목	등급	보강공 두부와 지반의 밀착도	보강공 두부의 균열 및 파손
사면보강공	a	유격 없음	균열 및 파손 없음
	b	-	미세함 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

5) 암반의 절리상태 및 풍화진행도

- 절리상태(길이/틈새/거칠기/충전물) 및 풍화진행도는 시간에 따라 변화하여 암반사면의 안전성능 저하를 유발할 수 있는 가장 큰 요인에 해당하므로 이에 대한 내구성능 평가를 실시한다.
- 길이, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화진행도에 대해 각각 평가하고 평균점수에 따라 등급을 산정한다. 풍화진행도는 국제암반역학회(ISRM)이 제시한 풍화등급분류 방법 및 해머타격 시험을 통한 암반의 풍화등급 분류법에 따라 평가를 실시한다.

〈표 2.6-8〉 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

구분	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 거침	거침	약간 거침	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

2.6.3 내구성능평가 결과산정 방법

가. 개요

•내구성능평가 결과 산정방법은 각 지표별 평가 등급의 결함도 지수와 가중치를 활용하여 최종 등급을 산정하며, 혼합사면의 경우 토질과 암반을 각각 평가하여 낮은 등급을 최종 등급으로 결정한다.

•사면 형식별 지표의 중요도에 따라 가중치가 다르며, 평가지표에 대한 평가대상 시설물이 없는 경우에는 가중치를 보정하여 평가에 반영한다. 예를 들어 토사사면에 ‘사면보강공’이 없는 경우에는 ‘지반상태’와 ‘표면보호공’ 두 개의 지표에 대해 가중치를 보정한 값을적용하여 결함도 지수를 산정한다. 지표별 가중치는 <표 2.6-10>과 같다.

〈표 2.6-9〉 등급별 결함도 지수 및 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
0.08	0.23	0.43	0.65	0.88
$0 \leq E < 0.15$	$0.15 \leq E < 0.30$	$0.30 \leq E < 0.55$	$0.55 \leq E < 0.75$	$0.75 \leq E$

〈표 2.6-10〉 비탈면 형식에 따른 지표별 가중치

사면구분		지표명	지표별 가중치(%)			
			기본		가중치 보정	
토사사면		지반상태(토질)	40	53	62	100
		표면보호공	25	-	38	-
		사면보강공	35	47	-	-
암반사면		지반상태(암반)	25	28	33	38
		절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62
		표면보호공	10	-	14	-
		사면보강공	25	28	-	-
혼합사면	토질	지반상태(토질)	40	53	62	100
		표면보호공	25	-	38	-
		사면보강공	35	47	-	-
	암반	지반상태(암반)	25	28	33	38
		절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62
		표면보호공	10	-	14	-
		사면보강공	25	28	-	-

나. 결과산정절차

●결과산정절차는 혼합사면의 내구성능평가 예이다. 평가대상 구간에 평가지표 대상시설물(표면보호공, 사면보강공 등)이 없는 경우는 해당지표를 제외하고 평가하는 지표에 대한 가중치를 보정하여 산정한다.

〈표 2.6-11〉 단계별 결과산정절차

구분	내용
1단계	토사사면 지표별 평가 및 등급산정
	암반사면 지표별 평가 및 등급산정
2단계	평가항목별 가중치에 따라 구간별 내구등급 산정 토사/암반 구간별 등급점수 = $\sum(\text{지표등급점수} \times \text{가중치})$
3단계	토사사면과 암반사면의 평가등급 중 낮은 등급을 최종등급으로 결정

〈표 2.6-12〉 토사사면의 조사 방법 및 수량

평가지표	평가범위	조사/점검 방법	조사/점검 수량
지반상태(토사)	토사구간 전체	동적콘관입시험 (정밀안전진단시)	20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상 (1개소당 1~2m 간격을 두고 3회 측정)
표면보호공(토사)	토사구간 전체	식생이 있는 구간에 대한 피복율 측정	토사구간 계획 및 시공 면적에 대한 점검시 식생 피복면적의 비
		콘크리트뿔어붙이기/석장공이 설치된 구간에 대한 손상 면적을 측정	콘크리트뿔어붙이기/석장공 시공면적에 대한 손상면적의 비
사면보강공	토사구간 전체 보강공	보강공 두부와 지반밀착도 및 보강공 두부의 균열 및 파손상태 육안조사	전체 보강공의 25% 이상

〈표 2.6-13〉 암반사면의 조사 방법 및 수량

평가지표	평가범위	조사/점검 방법	조사/점검 수량
지반상태(암반)	암반구간 전체	설계(초기)값 대비 슈미트해머 강도 추정값 비율 측정	20m 구간별 최소1개소, 최소10개소이상
표면보호공(암반)	암반구간 전체	토질구간의 경우와 동일	토질구간의 경우와 동일
사면보강공	암반구간 전체 보강공	토질구간의 경우와 동일	토질구간의 경우와 동일
절리상태 및 풍화진행도	암반구간 전체	절리상태: 육안조사 풍화진행도: ISRM 5단계 분류법 또는 해머타격 시험에 의한 풍화도	20m 구간별 1개소, 최소 5개소 이상

다. 내구성능 평가 결과산정 예

〈표 2.6-14〉 평가대상 사면 개요

사면 형식		혼합사면(토사사면+암반사면)
공용 기간		10년
암반구간 설계(초기)강도		35MPa
길이		100m
면적	전체	3,000m ²
	토질구간	1,000m ²
	암반구간	2,000m ²
표면보호공	식생	토질구간 시공 (준공시 1,000㎡, 공용중 석장공 시공에 의해 700㎡로 감소)
	석장공	토질구간 시공(공용중 시공, 300㎡)
사면보강공	그라운드 앵커	암반구간 100개 시공

1) 토사구간의 지표평가

(가) 지반상태

〈표 2.6-15〉 지반상태(토사)

시험개소	동적콘관입시험(DCPT) Nd치	비고
A-1	27	최소
A-2	29	-
A-3	34	-
A-4	34	-
A-5	37	최대
평균값	31	최소/최대 제외
등급	C 사질토 상대밀도(중간조밀 12~35)	

(나) 표면보호공

<표 2.6-16> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	피복면적	피복율(%)
식생	520m ² / 700m ²	74.3
등급	B 양호(70% 이상 ~ 90% 미만)	

<표 2.6-17> 표면보호공 손상 면적

표면보호공 종류	피복면적	피복율(%)
석장공	96m ² / 300m ²	32.0
등급	C 균열 및 일부 박락 발생(30% 이상 ~ 50% 미만)	

2) 암반구간의 지표평가

(가) 지반상태

<표 2.6-18> 지반상태(암반)

시험개소	슈미트해머에 의한 추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비 강도(%)	비고
A-1	34.86	99.5	
A-2	34.79	99.4	
(A-O)	(OO)	(OOO)	
(A-O)	(OO)	(OOO)	
A-8	34.83	99.5	
A-9	34.75	99.3	최소
A-10	34.89	99.7	최대
평균값		99.5	최소/최대 제외
등급	A 보통암(94 ~ 100%)		

(나) 사면보강공

〈표 2.6-19〉 사면보강공

앵커번호	밀착도	균열 및 파손	앵커별 등급	등급점수	비고
A-1	B	C	C	0.43	
A-2	A	B	B	0.23	
(A-O)	(O)	(O)	(O)	(OOO)	최대
(A-O)	(O)	(O)	(O)	(OOO)	
(A-O)	(O)	(O)	(O)	(OOO)	최소
A-25	B	A	B	0.23	최소/최대 제외
평균값				0.29	
등급				B	

(다) 절리상태 및 풍화진행도

〈표 2.6-20〉 절리상태 및 풍화진행도

시험개소	시험개소별 등급	등급점수	비고
A-1	C	0.43	
A-2	B	0.23	최대
A-3	C	0.43	
A-4	D	0.65	최소
A-5	C	0.43	
평균값		0.43	최소/최대 제외
등급		B	

3) 혼합사면의 내구성능 등급 산정

(가) 토사구간 내구성능 등급

〈표 2.6-21〉 토사구간의 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a)×(b)
지반상태	C	0.4	0.62	0.267
표면보호공	C	0.4	0.38	0.163
사면보강공	-	-	-	-
결합도 지수				0.43
등급				C

(나) 암반구간 내구성능 등급

〈표 2.6-22〉 암반구간의 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a)×(b)
지반상태	A	0.08	28	0.022
표면보호공	-	-	-	-
사면보호공	B	0.23	28	0.064
절리상태 및 풍화진행도	C	0.43	44	0.189
결합도 지수				0.275
암반구간 등급				B

(다) 혼합사면의 내구성능 등급 산정

〈표 2.6-23〉 혼합사면 내구성능 평가 최종 등급 산정

구간	내구성능 등급	결합지수	근거 표번호	최종등급
지반상태	C	0.43	[표 4.72]	C
표면보호공	B	0.275	[표 4.73]	

〈표 2.6-24〉 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전 등급	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 결정해야 하는 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 성능 수준

2.7 종합평가 기준 및 방법

2.7.1 종합평가 일반

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.

- 안전성능평가 결과가 가장 낮은 등급일 때
 - 안전성능평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정함
- 안전성능평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우
 - 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정함

2.7.2 종합평가 결과산정방법

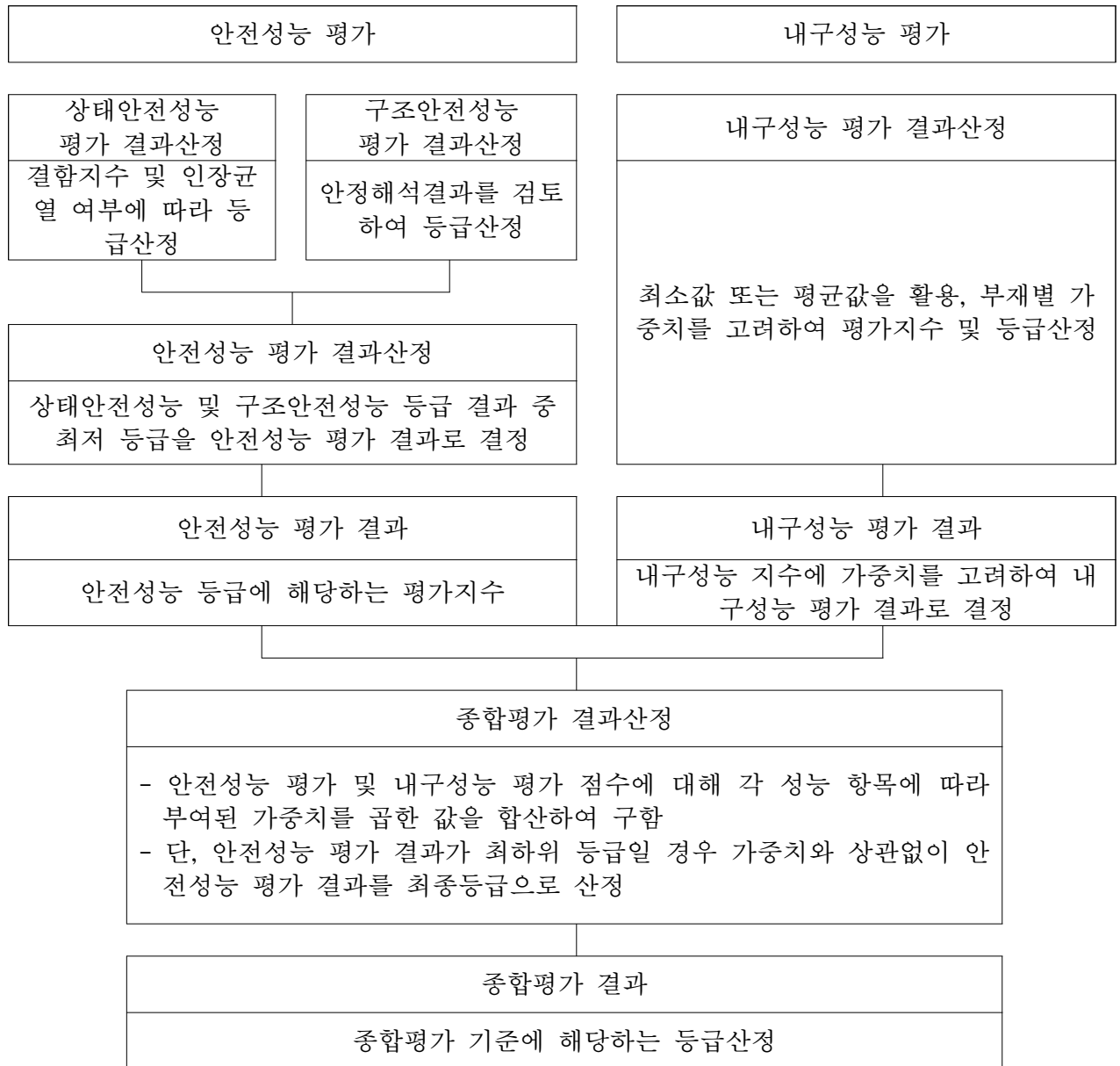
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

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

〈표 2.7-1〉 성능간 가중치 산정값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치(Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2



<그림 2.7-1> 절토사면의 종합평가 결과 산정 절차

- 상태안전성능: 인장균열이 없는 경우 결함지수에 따라 등급을 산정하며, 인장균열이 있는 경우에는 진행 여부에 따라 최저등급으로 산정
- 구조안전성능: 안정해석결과 안전율에 따라 등급 산정
- 안전성능 평가: 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최저등급으로 산정
- 내구성능 평가: 지표별 평가등급을 산정하여 등급에 따른 결함지수에 사면형식별 지표 가중치를 곱하여 내구성능 등급 산정

- 종합평가: 안전성능 평가 결과가 최하위 등급일 경우 가중치와 상관없이 안전성능 평가 결과를 최종등급으로 산정하며, 그렇지 않을 경우 각 성능항목의 가중치를 곱한 값으로 최종등급을 산정

〈표 2.7-2〉 절토사면의 종합평가 산정 예

시설물 종합평가 결과 산정표					
시설물명	000사면		분류	일반도로/혼합사면	
평가구분	성능평가 지 수	평가결과	성능간 가중치(W n)	비고	
안전성능 평 가	ps=0.39	C	0.833	근거 표번 호	표 4.50
내구성능 평 가	pd=0.43	C	0.167	근거 표번 호	표 4.50
종합평가 결 과	사면의 종합평가 지수(P) $= \sum (\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$ $= 0.39 \times 0.8 + 0.43 \times 0.2 = 0.398$				
	결합지수	0.398	종합평가등급	C	

〈표 2.7-3〉 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성 능등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq (P) < 0.15$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구 성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수 용할수 있는 성능수준
B (양호)	$0.15 \leq (P) < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되
C (보통)	$0.30 \leq (P) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으 나, 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 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (P) < 1.00$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안 전에 위함이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉 각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

2편 | 성능평가편

제 1 장 마창절토사면

제 2 장 마창절토사면(영업소뒤)

제1장

마창절토사면

- 1.1 현황조사
- 1.2 외관조사 결과
- 1.3 내구성 조사
- 1.4 시설물의 안전성능 평가
- 1.5 시설물의 내구성능 평가
- 1.6 종합평가
- 1.7 시설물의 유지관리
전략 제안
- 1.8 종합결론 및 건의사항

제1장 마창 절토사면

1.1 현황조사

1.1.1 위치도 및 전경



〈그림 1.1-1〉 조사지역의 위치도



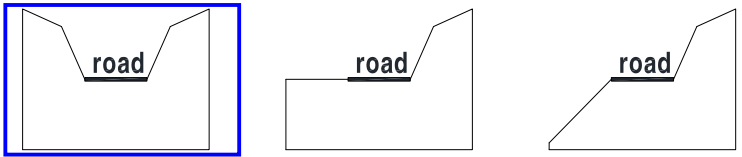
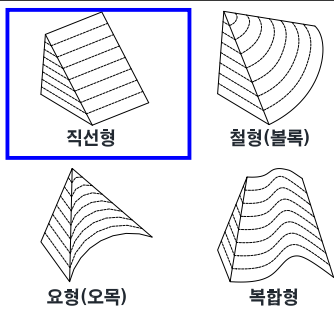
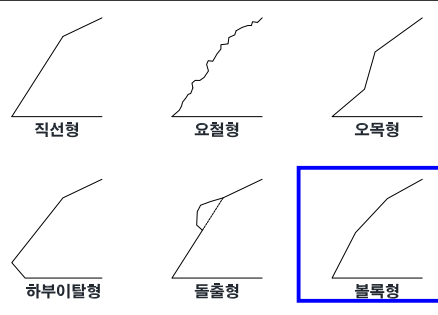
〈그림 1.1-2〉 대상비탈면 전경

1.1.2 현장조사 체크리스트

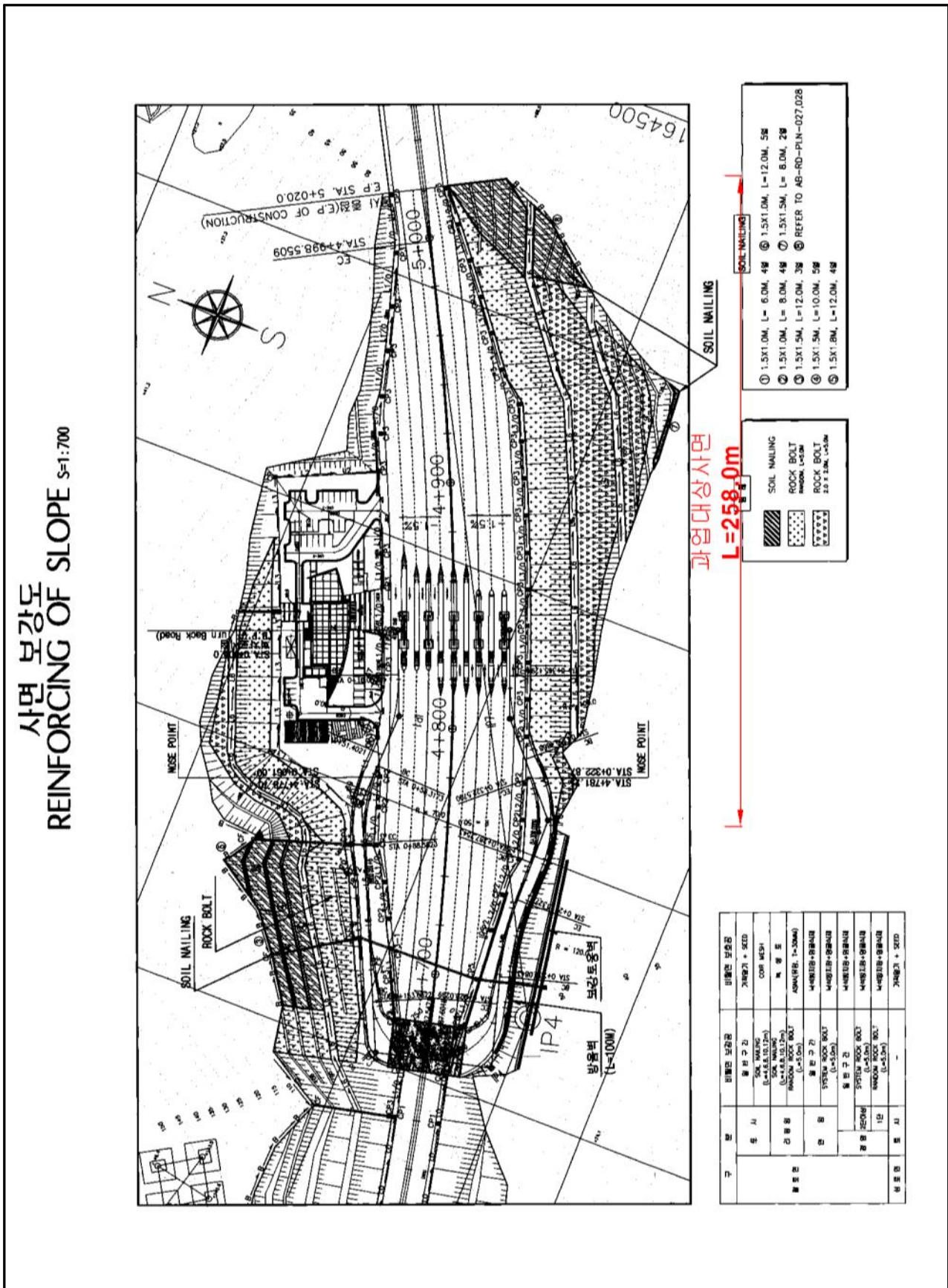
〈표 1.1-1〉 절토비탈면 일반현황

조사일자	2019년 4월 16일	조 사 자	서영노 외 4인
일 기	맑음	준공년도	2008년 7월
행정구역	경상남도 창원시 성산구 남해안대로 6687 (귀산동)		
위 경 도	시 점 : N(34° 15' 43''), E(128° 36' 49'')		
	종 점 : N(34° 15' 45''), E(128° 36' 54'')		
절토비탈면	길 이 : 258m		높 이 : 64.7m
	경 사/경사방향 : 52/305		
	구성물질 : 암반		토층심도 : 8.0m
	소 단 : 5소단		
낙석/뜯돌	낙석 존재유무 : 무		낙석의 양 :
	낙석 평균크기 :		
	낙석 최대크기 :		
	뜯돌 존재유무 : 유		뜯돌의 양 : 23.74㎡
절토비탈면 시공현황	뜯돌 평균크기 : 2.0m×2.0m		
	뜯돌 최대크기 :		
	종 류	위 치	상 태
	Soil-Nail	4+902~4+934(7단)	양호
		4+793~5+020(1단~2단)	양호
	락볼트	4+760~5+020	양호
	콘크리트 옹벽	4+760~5+020	양호
	산마루배수로	4+980~5+020	양호
점검계단	4+940,4+950,4+960,4+970,4+980,4+985,4+990,5+010,5+020	양호	
붕괴이력	유 형	규 모	위 치
기 타			

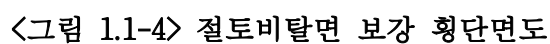
<표 1.1-2> 절토비탈면 지형 및 식생

주변지형의 특성	주변 지형		준산악지형			
	종단면 형상					
	기타 특징		-			
절토비탈면의 특성	종 횡 단 면			종 단 면 특 성		
상부 자연비탈면	경 사 도		(+) 0° - STA.4+920 횡단면도			
	인장균열		무			
	포행흔적		무			
	수목의 기울어짐		무			
	인공구조물		무			
	산마루측구		무			
	계곡부		무			
지질도						
	지질각론		• 중생대 백악기 시대의 유천층군안산암으로 구성 • 암질상태는 대부분 약간풍화~보통풍화이며, 일부 완전풍화가 관찰되고 있음.			
식 생	① 종 류	초 본	관 목	침 엽 수	활 엽 수	
	② 밀 도	하	하	하	중	
	③ 근계특징	천근성 (○), 심근성 ()				

1.1.3 주요도면



<그림 1.1-3> 절토비탈면 보강도



1.1.4 자료수집 및 분석

가. 설계 및 시공관련자료

시설물을 효율적으로 유지관리하기 위해서는 설계도면, 준공도면, 구조계산서 등 시설물 가설 당시의 모든 설계도서와 이후의 점검이나 진단보고서 및 이력, 보수·보강공사 이력 등 유지관리 자료를 보존하는 것이 가장 중요하다. 대상구조물의 관련자료 수집내용은 다음 표와 같다.

〈표 1.1-3〉 유지관리자료 보유 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	◦공 통 - 준공내역서 - 각종시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	○	-
	◦설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(종횡), 구조물도 상세도	○	
시설물 관리대장	◦기본현황 ◦상세제원 ◦유지관리 이력	○	•FMS 자료
시공관련 자료	◦시공관련 자료 ◦품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종시험 기록 - 시설물의 주요 구조부위에 대한 계측관련 자료 ◦사고기록	○	-
안전점검 및 정밀안전진단 자료		○	•FMS 자료
보수보강 자료		○	•FMS 자료

나. 안전점검 및 정밀안전진단 이력

본 과업대상 시설물에 대한 점검 및 진단 이력은 다음과 같다.

〈표 1.1-4〉 점검 및 진단 이력

No.	점검일자	점검종류	점검기관	평가 등급	점검 결과
1	2018-12-27	정기점검 (하반기)	(주)세안안전 진단	양호	-절토사면내 이완암 및 과대굴착 발생 -절토사면 녹물 발생 -사면암반 누수 발생(현재 누수 안됨.) -소단 균열 폭 0.3mm 균열 발생 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생
2	2018-06-25	정기점검 (상반기)	(주)세안안전 진단	양호	-절토사면내 이완암 및 과대굴착 발생 -절토사면 녹물 발생 -소단 균열 폭 0.5mm 균열 발생 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생
3	2017-12-15	정기점검 (하반기)	(주)한국구조 물안전연구원	양호	-절토사면내 이완암 및 과대굴착 발생 -절토사면 녹물 발생 -1단 콘크리트소단 체수흔적 및 토사퇴적 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생 -Rock bolt 지압판 부식
4	2017-06-26	정밀점검 (상반기)	(주)한국구조 물안전연구원	B등급	-절토사면내 이완암 및 과대굴착 발생 -절토사면 녹물 발생 -1단 콘크리트소단 체수흔적 및 토사퇴적 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생 -Rock bolt 지압판 부식
5	2016-12-31	정기점검 (하반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-사면내 절리구간 누수 -암석 풍화(약간 풍화, 심한풍화) 진행됨.
6	2016-06-30	정기점검 (상반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-사면내 절리구간 누수 발생. -암석 풍화(약간풍화, 심한풍화) 진행됨. -하단옹벽 및 소단배수로 균열 발생.
7	2015-12-15	정기점검 (하반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-사면내 절리구간 누수 발생. -암석 풍화(약간풍화, 심한풍화) 진행됨.
8	2015-06-30	정밀점검	한국인프라 서비스(유)	B등급	-하단옹벽 및 수단배수로 균열 발생.
9	2014-12-15	정기점검 (하반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-2단 사면에 부분적으로 녹물유출로 인해 암반변색이 발생되어 있으며 변색된 부위 가 다소 확대됨. -소단 배수로와 하단옹벽에 부분적으로 균 열손상이 발생되어 있음.
10	2014-06-30	정기점검 (상반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-보호시설은 대체로 양호하며 공용기간 경 과에 따른 암반 풍화가 진행되었음. -정기적으로 점검 및 잡목제거 등 유지관리 되고 있음.

〈표 1.1-4〉 점검 및 진단 이력 - 계속

No.	점검일자	점검종류	점검기관	평가 등급	점검 결과
11	2013-12-15	정기점검 (하반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-사면전면에 부분적으로 녹물유출로 인해 암반변색이 발생되어 있으며 변색된 부위 가 다소 확대됨. -소단 배수로에는 부분적으로 균열손상이 발생되어 있음. -보호시설에 대해서는 2013년 상반기 하자 보수공사로 대체로 양호하며 전반적으로 사면의 안전성을 우려할 정도의 손상은 없 으며 공용기간 경과에 따른 암반 풍화가 다소 진행중인 것으로 조사됨.
12	2013-07-29	정밀점검	한국인프라 서비스(유)	B등급	-암석의 풍화가 일부 진행되었으며 절리구 간에 누수가 발생하고 있으나 전체적으로 안전성을 우려할 정도의 특이사항은 없음.
13	2012-12-31	정기점검 (하반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-암반사면에는 낙석방지망과 Rock Bolt가 설치되어 있으나 보호캡 망실, 두부돌출, 지압판 미설치 · 부식 등이 발생되어 있고 녹물유출로 인해 변색된 부위가 다소 확대 됨.
14	2012-06-29	정기점검 (상반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	
15	2011-12-15	정기점검 (하반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-암반사면에는 낙석방지망과 Rock Bolt가 설치되어 있으나 보호캡 망실, 두부돌출, 지압판 미설치 · 부식 등이 발생되어 있고 녹물유출로 인해 변색된 부위가 다소 확대 됨.
16	2011-07-08	정밀점검	한국인프라 서비스(유)	B등급	-보호 및 보강시설(녹생토, Rock Bolt 등) 설치불량 -Rock Bolt 두부 정리, 지압판 교체
17	2010-12-15	정기점검 (하반기)	한국인프라 서비스(유)	보통	-암반사면에는 Rock Bolt가 설치되어 있으 나 보호캡 망실, 두부돌출, 지압판 탈락 · 부식 등 시공 불량에 의한 손상이 발생되 었고 사면내 뜯돌 발생 및 녹물유출로 인 해 변색된 부위가 지난 점검시보다 확대되 었으며 소단배수로에는 부분적으로 균열손 상이 발생되어 있는 것으로 조사되었다. 대부분 시공불량에 의한 손상으로서 사면 의 안전성을 우려할 정도의 손상은 없으나 유지관리 측면에서 락볼트 두부정리, 보호 캡 설치, 지압판 교체 및 지반변형, 암석의 풍화정도에 대해 지속적인 점검이 요망된 다.

〈표 1.1-4〉 점검 및 진단 이력 - 계속

No.	점검일자	점검종류	점검기관	평가 등급	점검 결과
18	2010-06-15	정기점검 (상반기)	한국인프라서 비스(유)	양호	-사면 하부는 암반층이고 상부는 토사층인 혼합사면으로서 상부의 토사층에는 Soil Nailing에 의해 보강되어 있으며 전반적으 로 보강상태 및 식생상태는 양호한 것으 로 조사되었다. 암반사면에는 Rock Bolt가 설치되어 있으나 보호캡 망실, 두부돌출, 지압판 탈락 · 부식등 시공 불량에 의한 손상이 발생되었고 지하수 유출로 인해 변색된 부위가 지난 점검시보다 확대되었 으며 소단배수로에는 부분적으로 균열손 상이 발생되어 있는 것으로 조사되었다. 대부분 시공불량에 의한 손상으로서 사면 의 안전성을 우려할 정도의 손상은 없으 며 손상부에 대한 보수조치가 취해지면 사용성 및 내구성은 양호할 것으로 판단 된다.
19	2009-12-15	정기점검 (하반기)	(주)한길종합 엔지니어링	양호	-암구간 붕괴 발생부 추가 손상 진행 유무 및 보호 보강 시설 연결부 중점 관찰, 토 사구간 표층 유실부 주의관찰 후 조치
20	2009-06-08	정기점검 (상반기)	(주)한길종합 엔지니어링	양호	-절토사면 보강 및 보호시설 재정비, 간골 재 및 버력 퇴적 구간 정비, 표층침식구 간 주의 관찰
21	2008-12-01	정기점검 (하반기)	(주)한길종합 엔지니어링	양호	-락볼트 보호캡 망실, 락볼트 돌출, 지압판 망실, 와이어 조립구 불량 등에 대해 보 수필요

다. 보수·보강 이력

본 과업대상 시설물에 대한 보수·보강 이력은 다음과 같다.

〈표 1.1-5〉 보수·보강 이력

구 분	공사일시	위치 및 내용	보수·보강 내용	시공사
일반보수	2016-12	하단옹벽 및 소단배수로	-균열보수	
일반보수	2016-10-12~ 2016-10-21	Rock Bolt Cap 망실	-Rock Bolt Cap 재설치	현대건설(주)
일반보수	2015-05-12~ 2015-06-30	마창절토사면(영업소뒤)	-낙석방지책 설치	(주)도우개발
일반보수	2013-03-01~ 2013-06-30	락볼트 지압판 부식보수 및 재설치, 락볼트캡 재설치, 락볼트 두부정리 착근불량 보수	-수지주입공법 등	현대건설(주)

라. 기 실기 점검 결과 분석

<표 1.1-6> 2015년 정밀점검 실시 결과

구 분	정밀점검 결과	점검 의견	비고
외관조사 결과	-절토사면내 이완암 및 과대굴착 발생 -절토사면 녹물 발생 -1단 콘크리트소단 체수흔적 및 토사퇴적 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생 -Rock bolt 지압판 부식	-주의관찰 -충전보수 -녹제거후 재도장	
현장시험 결과	-암반강도 측정 결과 : 92.9 ~ 134.0MPa	-1단~3단 모두 연암 ~ 경암으로 분포되어 있음	
안전등급	-B등급(결함지수 F=0.250)		
유지관리 사항	-부분적으로 뜯돌 발생 -사면 일부 녹물 오염 발생 -소단 배수로 체수 흔적	-주의관찰	
종합의견	-전반적인 표층상태는 양호하게 조사되었으며, 덩굴식재에 따른 사면 표면보호가 잘 되고 있는 상태임. 사면 중단부에서 이완암이 일부구간 조사되었으나 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 도로피해는 없을 것으로 판단되며 주의관찰이 필요함 -시공당시 사면 보강한 Soil Nailing은 특별한 손상이 없었으며 Rock Bolt는 일부개소에서 지압판부식이 발생한 것으로 조사되었고, 구조적으로는 문제가 없으나 Rock bolt의 내구성 강화 목적으로 녹 제거후 재도장이 필요함 -본 시설물의 안전등급은 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태” 인 B등급으로 평가되었음.		

<표 1.1-7> 2017년 정밀점검 실시 결과

구 분	정밀점검 결과	점검 의견	비고
외관조사 결과	-사면 내 절리구간 누수 발생 -암석 풍화(약간풍화,심한풍화) 진행됨 -하단옹벽 및 소단배수로 균열 발생	-주의관찰 -콘크리트 균열부 수지주입 및 충전공법	
현장시험 결과	-암반강도 측정 결과 : 79.5 ~ 171.1MPa	-1단~3단 모두 연암 ~ 극경암으로 분포되어 있음	
안전등급	-B등급(결함지수 F=0.171)		
유지관리 사항	-부분적으로 뜯돌 발생 -사면 일부 녹물 오염 발생 -소단 배수로 체수 흔적	-주의관찰	
종합의견	-마창대교 절토사면에 대한 정밀점검 결과 암석의 풍화가 일부 진행되었으며 누수가 발생하고 있으나 전체적으로 안전성을 우려할 정도의 특이사항은 없음. 본 시설물의 안전등급은 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태” 인 B등급으로 평가되었음.		

마. 자료 분석 결과 요약

본 과업대상 시설물에 기 점검 수집자료 분석결과 및 금회 성능평가시 중점 점검진행 방향은 다음과 같다.

〈표 1.1-8〉 자료수집 분석 결과

수집자료	자료수집 분석 결과	성능평가 방향
점검 및 진단 이력	◦점검 및 진단 이력을 검토한 결과, -전반적으로 상태 양호 -일부 뜬돌이 발생 -녹물유출로 인한 착색 -소단 배수로 체수 흔적 등이 조사됨	◦기 조사된 손상에 대한 사항을 상세 외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가손상 확인, 보수여부 및 대책방안 마련. ◦금회 성능평가 자료를 활용하여, 차후 안전성 변화 여부에 대한 비교, 검토를 실시함
보수·보강 이력	◦하단 옹벽 및 소단배수로 균열보수, 낙석방지책, 락볼트 캡 재설치, 지압판 부식보수를 실시하였음	◦록볼트에 대한 추가 부식 발생 여부 파악 및 보수상태 조사

1.2 외관조사 결과

본 과업대상 절토비탈면은 연장 258m, 높이 64.7m의 암반으로 구성되어 있으며, 외관조사 시 근접조사를 위해 고소작업차를 이용하여 현장조사를 수행하였다.



〈그림 1.2-1〉 조사지역의 위치도

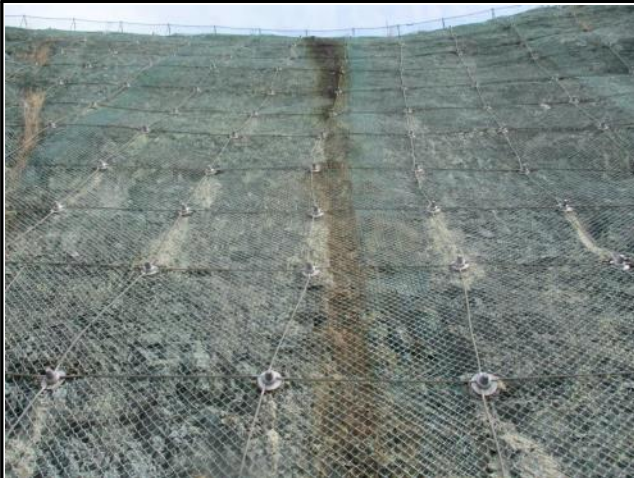
〈표 1.2-1〉 절토비탈면 조사 분할구간

구 분	구 간	연장(m)	비탈면상태	비 고
1구간	4+752 ~ 5+020	258	절리암반사면	

1.2.1 외관조사 결과



마창 절토사면 전경



① 5+925 지점 : 2단 녹물 오염



② 5+810 지점 : 소단측구 하부 과대굴착구간



③ 4+900 지점 : 2소단측구 전경



④ 4+980 지점 : 산마루 측구 전경



⑤ 4+980 지점 : 2소단 상부 반발경도 측정



⑥ 4+920 지점 : 2소단 상부 낙석방지책 및 낙석방지망 설치상태 양호



⑦ 4+920 지점 : 3소단 상부 심한풍화 및 락볼트 상태양호



⑧ 4+910 지점 : 3단 뜯돌 관찰(2.0m×2.0m) 낙석 위험은 나타나지 않음



⑨ 4+930 지점 : 4소단상부 식생상태 양호



⑩ 4+930 지점 : 상부 자연사면 전경



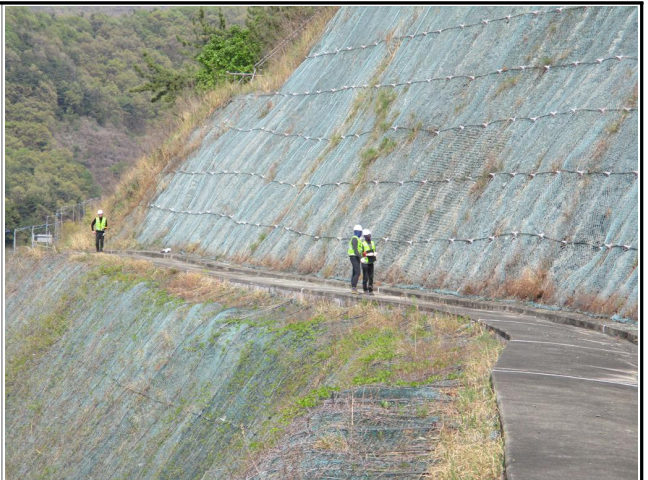
⑪ 4+930 지점 : 점검로 상태 보통
(체결부 부식)



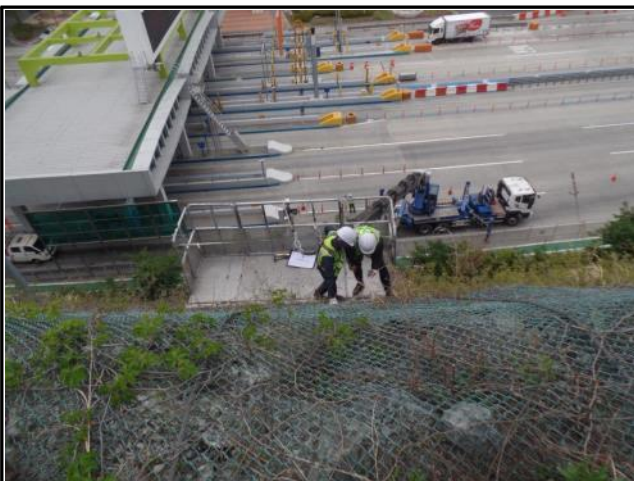
⑫ 4+960 지점 : 2소단 배수로 균열 보수 완료



⑬ 4+940 지점 : 1소단 배수로 체수혼적



⑭ 도보를 통한 조사 전경



⑮ 고소작업차를 이용한 조사 전경



⑯ 비탈면 하부 옹벽 전경



⑰ 4+980 지점 : 2소단 이완암(2.5m×2.5m)



⑱ 4+980 지점 : 풍화에 따른 유실 및 이완암



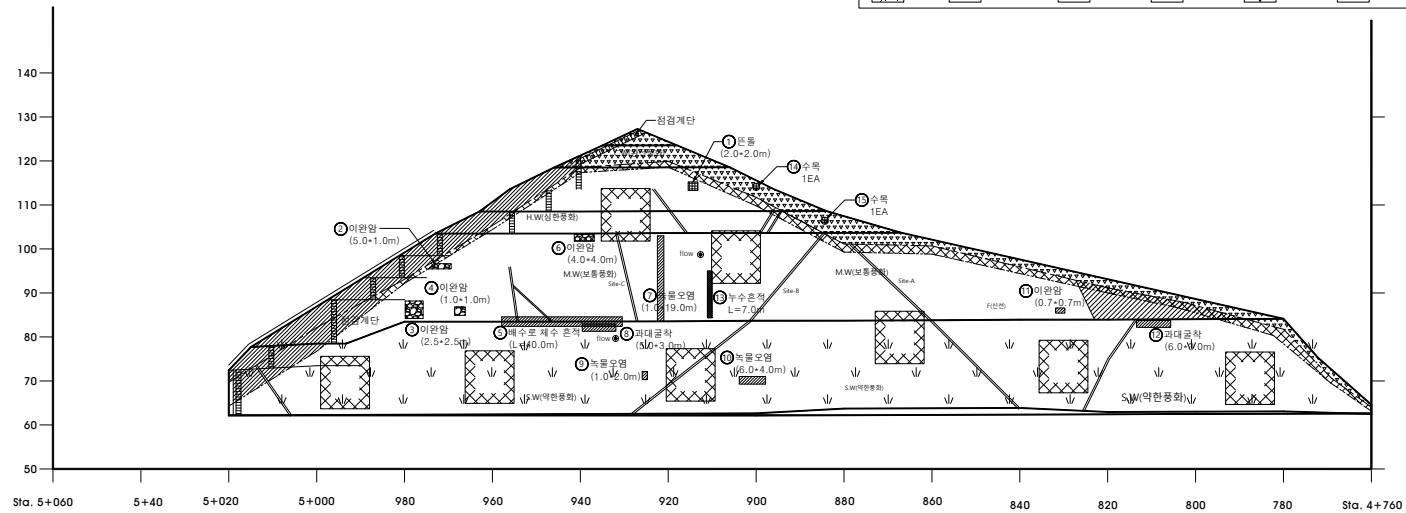
⑬ 4+975 지점 : 2단 이완암(1.0m×1.0m)



⑭ 5+020~930 지점 : 점검로 계단 전경

절토사면명(위치) : 마창절토사면

포 레	C.W.	Completely Weaehted	완전중화
	H.W.	Highly Weaehted	심한중화
	M.W.	Motherately Weaehted	보통중화
	S.W.	Slightly Weaehted	약간중화
	F.	Fresh	신 선



Bieniawski의 RMR분류											N o.	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E	
간 격(m)		연 장(m)		틈 새(mm)		거칠기		충진물(mm)		종화도		방 향	60/268	60/067	71/219		
> 2.0	S1	< 1.0	P1	tight	A1	매우거칠		R1	void	F1	Fresh	6	간 격	-	-	-	
0.6 ~ 2.0	S2	1.0 ~ 3.0	P2	< 0.1	A2	거칠		R2	hard	< 5	F2	S.W.	5	틈 새	0.1mm~0.3mm	0.1mm~0.5mm	0.1mm~0.3mm
0.2 ~ 0.6	S3	3.0 ~ 10.0	P3	0.1 ~ 1.0	A3	약간거칠		R3		> 5	F3	M.W.	3	거칠기	약간가침	약간가침	약간가침
0.06 ~ 0.2	S4	10.0 ~ 20.0	P4	1.0 ~ 5.0	A4	매끄러움		R4	soft	< 5	F4	H.W.	1	충진물	딱딱함(5mm미만)	딱딱함(5mm미만)	딱딱함(5mm미만)
< 0.06	S5	> 20.0	P5	> 5.0	A5	경면화		R5		> 5	F5	C.W.	0	누 수	없음	없음	없음
조 사 지 소 견		위 령 도		피 해 도													
		☐ 대략불필요 ☒ 낮음 ☐ 보통 ☐ 높음 ☐ 매우 높음		☒ 없음 ☐ 낮음 ☐ 보통 ☐ 높음 ☐ 매우 높음													

1.2.2 손상물량 집계표

〈표 1.2-2〉 손상물량 집계표

부재명	결합 및 손상내용	단위	손상물량		증감량	비고
			2018 하반기 물량 / 개소	금회 정밀안전점검 물량 / 개소		
사 면	이완암	m ²	23.74 / 4	28.74 / 4	▲ 5.0	추가
	녹물오염	m ²	45.5 / 3	45.5 / 3	-	기존
	과대굴착	m ²	33.0 / 2	33.0 / 2	-	기존
	누수(흔적)	m	7.0 / 1	7.0 / 1	-	기존
	뜯돌	m ²	-	4.0 / 1	▲ 4.0	신규
배수 시설	산마루배수로 이음부틈	m	2.0 / 2	-	▼ 2.0	보수
	산마루배수로 균열(0.5mm)	m	1.5 / 1	-	▼ 1.5	보수
	산마루배수로 이음부식생	개소	1.0 / 1	-	▼ 1.0	보수
	소단배수로 토사퇴적	m	40.0 / 1	-	▼ 40.0	보수

1.2.3 외관조사 결과 요약

〈표 1.2-3〉 외관조사 결과

구 분	외관조사 결과	비 고
상부자연 비탈면부	상단부 자연사면에는 목본류가 자생하고 있으며 인장균열 및 지반변형 등 사면 안전성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 없는 것으로 판단된다.	
비탈면부	- 암종은 안산암으로 구성되어 있으며, 상부에 토사사면이 혼재된 혼합사면으로 토층심도율(6.5m/64.7m)은 10% 미만이며 암사면 구간은 Rock Bolt 및 낙석방지망이 시공되어있으며, 토사구간에는 Soil Nailing, 녹생토 등으로 보강되어 있다. - 암사면은 하단부에서 상단부로 갈수록 풍화가 진행된 상태로 조사되었으며 하단부는 약간풍화~보통풍화, 상단부는 심한풍화 상태로 조사되었다. - 기반암에 포함되어 있는 철 성분이 화학적 풍화 작용으로 산화되어 생긴 녹물에 의한 변색이 조사되었다. - 일부구간에서 이완암이 발생하였으나 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 도로피해는 없을 것으로 판단된다. - 사면의 1소단부에 설치된 콘크리트소단은 일부구간 경사도 조정 불량으로 인한 체수흔적이 조사되었다. - 사면 3개의 구간에서 누수 흔적이 조사되었다. 시공당시 절리부에 발생한 누수를 다발관을 통해 우수를 배제했던 곳으로 판단된다. 금회 조사시는 누수가 발생하지 않은 건조된 상태로 조사되었다. - 점검로는 종점에서 사면 최상부까지 철제계단 9단으로 설치되어 있으며, 양호한 상태로 조사되었다.	
비탈면 하부	사면 하단의 옹벽은 높이 2m로 2016년에 균열보수를 실시하였으며 현재 특별한 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.	
보호시설	암사면 하단부는 덩굴식재 및 초본류가 식생 되어 있는 상태이며 상단부는 관목+목본류가 발달되어있다.	
보강시설	사면에 보강된 Rock bolt 및 Soil nailing은 특별한 손상이 없는 상태이다.	
배수처리 시설	2소단 배수로내 균열부에 대하여 보수가 완료되어있는 상태임. 2소단 산마루측구 신축이음부에 대하여 현재 보수 완료 상태로 구조물의 배수기능이 확보되는 것으로 판단됨.	

가. 불연속면 특성

지질은 중생대 백악기의 안산암으로 구성되어 있으며, 도로 배면부 하단은 표면보호공(덩쿨식재공)이 식재되어 있고, 중단 및 상단은 암반이 노출되어 있다.

주요 불연속면으로는 총 3개(J1: 60/268, J2: 60/067, J3: 71/219)의 절리군이 발달하며 연장성은 21.0m~28.0m, 약간거침의 거칠기를 보여준다. 충전물질은 딱딱함과 충전물질의 재료는 5mm 미만으로 조사되었다. 절리면에서 누수는 관찰되지 않았다.

현장조사시 국부적인 이완암이 관찰되었으나 현재 낙석방지망이 설치된 상태로 대규모암이탈로 인한 도로피해 가능성은 없을 것으로 판단된다.

불연속면에 대한 특성조사는 대표 방향성을 가진 3개의 절리에 대해 실시하였으며, 조사에 대한 분석 결과는 [표 1.2-3]와 같이 분석되었다.

〈표 1.2-4〉 불연속면의 세부상태 평가

불연속면의 세부상태 평가			
구 분	Site 1	Site 2	Site 3
방 향 성	60/268	60/067	71/219
연장성(m)	20.0m이상	20.0m이상	20.0m이상
틈새(mm)	0.1~1.0	0.1~1.0	0.1~1.0
거칠기	약간거침	약간거침	약간거침
충진물질	단단<5mm	단단<5mm	단단<5mm
풍화도	보통풍화	보통풍화	보통풍화
절리간격(m)	2m이상	2m이상	2m이상
점 수	9.8	9.8	9.8
등 급	C	C	C

나. 낙석

본 절토사면은 암반구간에 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 있으며 일부구간에 서 이완암이 관찰되었다. 예상되는 낙석의 최대 규모는 sta.4+910 4소단 하부로 이완 암괴가 평균 $V=1.0 \times 1.0 \times 0.5 \text{ m}^3$ 의 규모로 분포하는 것으로 조사되었다. 낙석의 발생규모 및 예상 낙석에너지 분석 결과는 [표 1.2-4]와 같이 분석되었다.

〈표 1.2-5〉 1구간 예상 낙석에너지

예상 낙석에너지					
위 치	θ (사면경사) (°)	V(낙석크기) (m^3)	m(낙석중량) (ton)	H(낙석높이) (m)	E_i (낙석에너지) (kJ)
4+910m (4소단 하부)	52	$1.0 \times 1.0 \times 0.5$	1.25	5	59.5
$E_i = \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta}\right) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H$ 여기서, E_i = 낙석에너지(kJ), θ = 사면의 경사, μ = 낙석의 등가마찰계수(0.15), β = 회전에너지계수(0.1), m = 낙석의 중량(t), H = 낙석의 높이(m), g = 중력가속도(9.8 m/sec^2), 낙석의 단위중량 = 2.5 ton/m^3					

1.3 내구성 조사

가. 암반의 강도조사

암반의 판정은 현장에서 비탈면에 노출된 노두를 대상으로 슈미트햄머 강도측정을 수행하였으며, 그 결과 슈미트해머 측정값은 23.9~51.7의 평균치를 보이며, 추정강도는 32.9~127.7MPa로 연암~보통암의 암반상태를 보인다.

〈표 1.3-1〉 암반 강도시험 평가결과

측정위치	타격 방향	측정치					평균치	반발경도 (R0)	추정강도 (Mpa)
1단사면 (SAT.4+780)	-45	39	42	37	40	44	41.3	40.6	74.3
		34	42	38	40	38			
		40	37	42	34	38			
		42	40	41	36	34			
1단사면 (SAT.4+800)	-45	38	32	30	30	38	37.2	36.3	60.2
		28	28	34	38	35			
		34	35	40	37	38			
		38	34	35	33	34			
1단사면 (SAT.4+840)	-45	32	38	41	40	38	39.5	38.8	68.0
		34	34	34	36	36			
		36	32	34	38	40			
		40	42	40	38	36			
1단사면 (SAT.4+880)	-45	50	38	44	42	36	47.6	46.9	101.0
		44	46	42	44	40			
		48	46	44	48	46			
		46	46	48	48	50			
1단사면 (SAT.4+920)	-45	38	38	36	33	35	36.0	35.1	56.8
		38	30	38	32	31			
		30	31	31	33	34			
		35	32	32	35	31			
1단사면 (SAT.4+940)	-45	35	34	32	30	35	39.0	38.1	65.7
		38	40	42	38	40			
		38	40	35	34	36			
		36	40	38	36	34			
1단사면 (SAT.4+980)	-45	48	46	48	44	44	47.8	47.1	102.0
		42	42	40	44	46			
		44	42	44	48	50			
		46	48	46	48	50			
2단사면 (SAT.4+840)	-45	49	46	44	44	46	46.7	46.0	96.6
		47	47	43	42	39			
		50	41	39	39	38			
		48	46	39	38	44			
2단사면 (SAT.4+860)	-45	22	24	25	23	26	24.8	23.9	32.9
		22	23	21	20	24			
		24	22	25	26	26			
		24	21	23	24	22			
2단사면 (SAT.4+920)	-45	52	50	51	49	53	52.4	51.7	127.7
		54	48	49	51	50			
		52	51	50	52	49			
		48	51	50	53	55			

측정위치	타격 방향	측정치					평균치	반발경도 (R0)	추정강도 (Mpa)
2단사면 (SAT.4+980)	-45	38	44	38	36	32	43.2	42.5	81.5
		30	35	45	43	42			
		40	41	37	42	39			
		38	40	43	47	45			
3단사면 (SAT.4+910)	-45	38	38	36	40	34	39.5	38.8	68.0
		40	40	35	41	36			
		38	37	36	40	37			
		36	39	41	35	37			
3단사면 (SAT.4+935)	-45	44	40	42	38	45	43.7	43.0	83.5
		42	44	44	39	42			
		45	41	43	45	40			
		40	43	39	40	38			

구 분	추정강도(MPa)	판정결과
암반강도	32.9~127.7	연암~보통암 이상

나. 기 점검 결과와 비교

2017년 정밀점검 결과와 금회 정밀점검과 비교결과 추정강도는 연암~보통암의 암반상태를 유지하고 있는 것으로 나타났으며, 일부 암반의 강도 차이가 있으나 이는 측정위치 차이에 따른 것으로 판단된다.

구 분	반발경도(R0)	추정강도(MPa)	판정결과
2017년	45.2~52.7	92.9~134.0	연암~경암 이상
금회	23.9~51.7	32.9~127.7	연암~보통암 이상

1.4 시설물의 안전성능평가

1.4.1 지반특성에 따른 사면의 분류

본 사면의 실제 연장은 258m로 사면에 대한 종합성능평가를 위해서 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가편)에 의거하여 성능평가를 실시하였으며, 현장조사 및 유지관리 자료를 이용하여 성능평가를 시행하였다. 세부지침상 200m 마다 구간을 분할하여 성능평가를 실시하게 되어있으나, 계곡부가 없는 하나의 능선으로 이루어져 있으며 전차년도 정밀점검 보고서의 상태평가도 1구간으로 시행하여 동일 조건에서 검토되도록 금회 성능평가지 구 분하지 않고 수행하였다.

〈표 1.4-1〉 사면의 분류

구 분		분류기준	평가점수	사면 분류		비고
				세부분류	종합분류	
영업소 방향	토층심도율	0.40	0.10이하	암반사면	암반사면	
	압축강도	10MPa	10MPa이상	연약암반사면		
	블록크기	0.01	0.03	절리암반사면		

〈표 1.4-2〉 사면 형식별 성능지표

구분	성능지표		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	집수지형 지반변형 지하수 배수조건 사면상부 상태 붕괴이력	집수지형 불안정지질 불연속면 특성 지반변형 지하수 배수조건 붕괴이력 낙석	집수지형 불안정지질 불연속면 특성 지반변형 지하수 배수조건 붕괴이력 낙석 사면상부 상태
적용		○	

1.4.2 안전성능평가 결과

가. 상태안전성능 평가

〈표 1.4-3〉 1구간 암반사면의 지표등급별 점수

결함등급 성능지표		a	b	c	d	e	평가
①집수지형	사면 외	없음	1개소	2개소	3개소	4개소 이상	0
	사면 내	없음	1개소	2개소	3개소	4개소 이상	
	점수	0	1	3	4	6	
②불안정 지질	구분	없음	일부분포 (견고)	국지적분포 (파쇄)	전반적분포 (파쇄)	전반적분포 (파쇄,누수)	3
	점수	0	3	6	10	15	
③불연속면특성	구분	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량	9.8
	점수	0	1~5	6~10	11~16	17~24	
④지반변형	구분	변형 없음	약간의 변형	국지적인 변형	사면 전반에 걸친변형	사면 전반에 걸친변형	0
	점수	0	2	4	6	9	
⑤지하수	구분	건조	젖음 사면하부	젖음 사면상부	흐름 사면하부	흐름 사면상부	0
	점수	0	2	3	5	8	
⑥배수조건	구분	완전배수	양호	보통	불량	매우불량	2
	점수	0	2	5	7	11	
⑦붕괴이력	구분	없음	세굴 및 표층균열	표층파괴	심층파괴	대규모파괴	0
	점수	0	2	4	7	10	
⑧낙석	구분	없음	1m³ 미만 (50kJ미만)	1~5m³ 미만 (50~70kJ미만)	5~10m³ 미만 (70~120kJ미만)	10m³ 이상 (120kJ이상)	7
	점수	0	4	7	11	17	
결함지수 = $\Sigma(①\sim⑧) / 100 = 0.218$							b 등급

〈표 1.4-4〉 1구간 인장균열의 결함점수 산정

결함등급 성능지표		a	b	c	d	e	평가
⑨인장균열	구분	없음	-	-	있음 (비진행성)	있음 (진행성)	8
	점수	8	-	-	65	88	
결함지수 = ⑨ / 100 = 0.080							a 등급

나. 상태안전성능 평가결과

〈표 1.4-5〉 구간별 상태안전성능평가 결과

사면의 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종평가결과 선정	비고
258m	1구간	258m	b	b	
	· 인장균열 유무 및 진행성 여부를 고려하여 분할 평가한 구간 중 최소 등급으로 산정된 값을 적용				

〈표 1.4-6〉 상태안전성능평가 결과

시설물명	마창절토사면	근거표번호		〈표 1.4-3〉	
사면종류	절토사면	구성재료		암반	
평가요소		결합점수	결합점수 선정	결합종류별 평가등급	
평가항목	세부평가항목				
(1) 집수지형	사면 내	0	0	a	
	사면 외	0			
(2) 불안정 지질		3	3	b	
(3) 불연속면의 특성		9.8	9.8	c	
(4) 지반변형		0	0	a	
(5) 지하수		0	0	a	
(6) 배수조건		2	2	b	
(7) 붕괴이력		0	0	a	
(8) 낙석	규모	0	7	c	
	예상낙석에너지	7			
총점		-	21.8	-	
결합지수		0.218			
상태평가 결과		B			

다. 외관조사 및 결과분석의 적정성

1) 하중상태 등 조사

본 절토 비탈면 상부 자연사면 조사결과 상부 자연사면은 0° 내외의 상향경사를 보이고 있고, 전차 정밀점검과 비교하여 하중상태는 변화가 없으며, 자연사면 상부의 인장균열은 관찰되지 않았다.

2) 부재변형 등 조사

본 절토 비탈면 현장조사 결과, 전차 정밀점검과 비교하여 부재변형등은 나타나지 않고 있으며, 이완압반 또한 안정한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

소단배수로의 균열부 및 산마루측구 신축이음부 균열에 대하여 보수가 완료된 상태로 조사되었다.

일부 과굴착 구간이 관찰되고 있으나, 이는 비탈면의 안정성에 큰 영향을 미치는 요인은 아닌 것으로 판단된다.

3) 결함(손상) 발생원인 분석

본 절토사면의 소단배수로의 균열부 조사결과 시공중 건조수축에 의한 균열로 판단되며, 현재 보수가 완료된 상태이며, 산마루측구의 신축이음부의 균열 또한 시공중 발생된 것으로 판단되며, 현재 보수 완료된 상태로 조사되었다.

라. 손상 및 결함 등에 대한 원인 추정의 적정성

1) 결함 항목별 원인 추정

본 절토사면내 설치되어있는 콘크리트 배수 구조물에서 균열이 관찰되고 있으며, 이는 시공중 발생하는 건조수축에 의한 균열로 판단되며, 진행성 균열은 조사되지 않았다.

2) 부재(부위)별 원인 추정

콘크리트 배수구조물의 균열 보수상태는 전반적으로 양호한 상태로 관찰되었으며, 주기적인 관찰을 통하여 신규 손상등을 파악하여야 할 것으로 판단된다.

1.4.3 구조안전성능평가

가. 구간별 구조안전성능 평가

본 절토사면의 설계도서 및 현장조사결과를 바탕으로 검토를 수행하였다.

1) 구조안전성능 평가

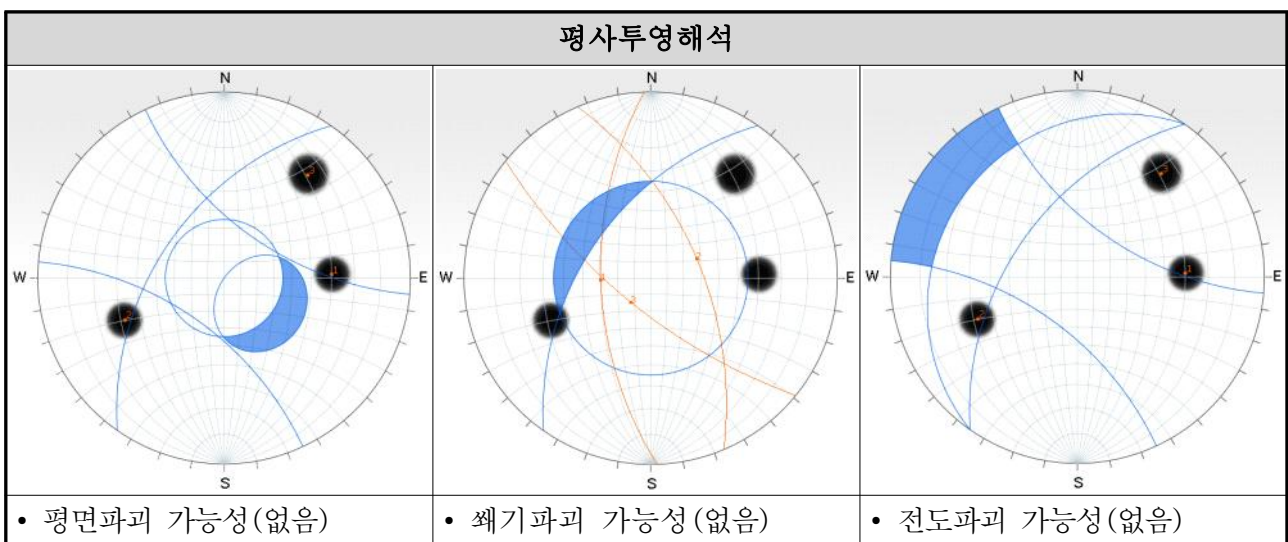
(가) 암반구간 평사투영해석

본 절토사면의 경우 깎기높이가 64.7m이며, 토층 심도가 10m 내외로 조사되어 토사 비탈면 및 암반사면 구분하였으며, 사면에 대한 구조안전성능 평가를 수행하였다. 불연속면의 방향성으로 평사투영해석을 수행하여 평면 및 켜기, 전도 파괴의 발생 가능성을 분석하였다.

〈표 1.4-7〉 불연속면의 절리값

구 성	Site 1		
종류	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	60/268	60/067	71/219

〈표 1.4-8〉 평사투영해석결과

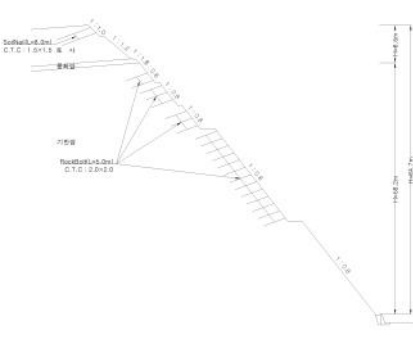
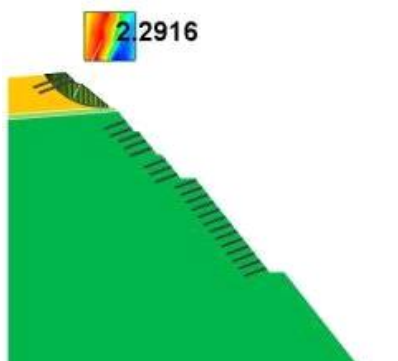
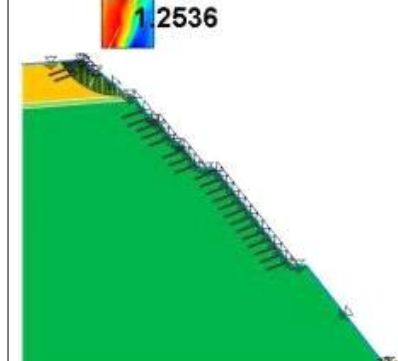


본 평가에서 사용된 프로그램은 Midas社의 Soilworks(Rock Module)프로그램을 이용하였으며, 평사투영해석 결과 평면파괴, 켜기 및 전도파괴 가능성은 나타나지 않는 것으로 확인되어 암반구간에 대한 한계평형해석은 별도 수행하지 않았다.

(나) 토사구간 한계평형해석

본 절토사면의 토층 심도가 6.0~7.0m 내외로 조사되었으나, 기초자료 검토 결과 약 6.5m의 심도로 이루어져 있어 첨부되어있는 기초자료 도면중 STA. 4+930단면을 가장 불리한 단면으로 선정하여 토사구간에 대한 한계평형해석을 시행하였으며, 이때 지하수위 조건은 시추조사를 실시하지 않았으며, 지하수 유출이 관찰되지 않아, 가장 불리한 조건인 지표면에 위치하는 것으로 하였다.

<표 1.4-9> 토사구간 한계평형해석결과

해석단면	건기시	우기시
		
비탈면 높이 : 64.7m	안전율 FS = 2.292 > 1.50	안전율 FS = 1.254 > 1.20

본 평가에서 사용된 프로그램은 Midas社의 Soilworks(Slope Module)프로그램을 이용하였으며, 토사구간에 대한 한계평형해석 결과 건기시 및 우기시 기준안전율 이상으로 충분한 안전성 확보가 가능한 것으로 검토되었다.

나. 구간별 구조안전성능 평가 결과

본 과업대상 절토사면은 외관조사 시 연장 258m, 높이 64.7m의 암반으로 구성되어 있으며, 암반구간에 대해서는 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하여야하나 파괴가능성이 나타나지 않아 별도 한계평형해석은 수행하지 않았으며, 토사심도가 약 6.0~7.0m 내외로 분포되고 있어 토사구간에 대하여 한계평형해석을 수행하여 구조안전성능 평가를 시행하였다.

1) 구조안전성능 평가 결과

〈표 1.4-10〉 구조안전성능 평가 결과

구조안전성능 평가결과 산정표					
시설물명		마창절토사면		근거표번호	<표 1.4-8>
구성재료	파괴유형	기준안전율		평가 결과	비고
암반	평면파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
	썰기파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
	전도파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
토사	원호파괴	건기시	2.292	0.08	건기 및 우기시 허용안전율 만족
		우기시	1.254		
지진시		-		-	필요시
구조안전성능 평가결과		a			

주) 평사투영해석 결과 평면파괴 썰기파괴 및 전도파괴 가능성이 나타나지 않아 한계평형해석은 수행하지 않았으며, 일부 이완암이 관찰되고 있으나 본 검토 비탈면에는 낙석방지망이 설치되어 국부적인 낙석(전도파괴)의 위험성이 억제될 것으로 판단됨.

다. 구조안전성능 평가 결과

〈표 1.4-11〉 구간별 구조안전성능 평가 결과

사면의 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종평가결과 선정	비고
258m	1구간	258m	a	A	

1.4.4 안전성능평가 결과

안전성능평가는 상태안전성능평가 결과와 구조안전성능평가 결과 중 낮은 등급인 B등급을 안전성능평가 등급으로 결정하였다.

〈표 1.4-12〉 안전성능평가 결과표

안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명	마창절토사면		비고	근거표번호
평가구분	결합지수	평가결과		
상태안전성능	0.218	B	인장균열 없음	〈표 1.4-6〉
구조안전성능	0.080	A	-	〈표 1.4-10〉
안전성능	0.218	B		
안전성능평가 결과	· 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소 등급 선택 · 안전성능 평가 결과 : B 등급			

〈표 1.4-13〉 안전성능 평가결과에 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 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.50 \leq (E) < 0.75$	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 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

1.5 시설물의 내구성능평가

1.5.1 비탈면 개요

내구성능평가 결과 산정은 각 지표별 평가등급의 결함도 지수와 가중치를 활용하여 최종 등급을 산정하였으며, 혼합사면의 경우 토질과 암반을 각각 평가하여 낮은 등급을 최종등급으로 결정하였다.

〈표 1.5-1〉 비탈면 개요

사면 형식		암반사면
공용 기간		11년
암반구간 설계(초기)강도		113.45(2017년 상반기 정밀점검 발체)
길이		258.0m
면적	전체	9,689㎡
	토질구간	2,202㎡
	암반구간	7,487㎡
표면보호공	식생	2,202㎡
	구조물공	-
사면보강공	RockBolt	균열 및 파손 없음
	Soil Nail	균열 및 파손 없음

〈표 1.5-2〉 등급별 결함도 지수 및 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
0.08	0.23	0.43	0.65	0.88
$0 \leq E < 0.15$	$0.15 \leq E < 0.30$	$0.30 \leq E < 0.55$	$0.55 \leq E < 0.75$	$0.75 \leq E$

〈표 1.5-3〉 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치(%)			
		기본	가중치 보정		
토사사면	지반상태(암반)	40	53	62	100
	표면보호공	25	-	38	-
	사면보강공	35	47	-	-
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62
	표면보호공	10	-	14	-
	사면보강공	25	28	-	-

1.5.2 구간별 내구성능 평가

가. 지표평가

1) 지반상태

현장조사시 수행한 슈미트해머 측정값을 활용하여 암반사면의 지반상태를 평가하였다. 본 절토사면의 암석 강도에 대하여 2017년 정밀점검시 산정되었던 값의 평균을 이용하여 초기값(113.5MPa)으로 설정하였다.

〈표 1.5-4〉 지반상태

시험개소	슈미트해머에 의한 추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비 강도 (%)	비 고
1단사면 (SAT.4+780)	74.3	65.45%	
1단사면 (SAT.4+800)	60.2	53.06%	
1단사면 (SAT.4+840)	68.0	59.95%	
1단사면 (SAT.4+880)	101.0	89.02%	
1단사면 (SAT.4+920)	56.8	50.04%	
1단사면 (SAT.4+940)	65.7	57.93%	
1단사면 (SAT.4+980)	102.0	89.89%	
2단사면 (SAT.4+840)	96.6	85.19%	
2단사면 (SAT.4+860)	32.9	28.97%	최소
2단사면 (SAT.4+920)	127.7	112.52%	최대
2단사면 (SAT.4+980)	81.5	71.81%	
3단사면 (SAT.4+910)	68.0	59.95%	
3단사면 (SAT.4+935)	83.5	73.59%	
평균 값	97.9	76.54%	
등급	D 보통암 (75 ~ 82%)		

2) 표면보호공

〈표 1.5-5〉 표면보호공

표면보호공 종류	피복 면적 (손상 면적)	피복율 (손상율)
식생	2,202㎡ / 9,689㎡	22.73%
구조물공	(-)	(-)
등급	E 매우 불량 (0% ~ 30% 미만)	

※ 식생과 구조물공(콘크리트뿔어붙이기/석장공)이 혼재되어 있는 경우 구조물공의 등급을 최종등급으로 결정함.

3) 사면보강공

〈표 1.5-6〉 사면보강공

구분	밀착도	균열 및 파손	앵커별 등급	등급점수	비고
락볼트	유격없음	균열 및 파손 없음	A	0.08	
소일네일	유격없음	균열 및 파손 없음	A	0.08	

4) 절리상태 및 풍화진행도

〈표 1.5-7〉 절리상태 및 풍화진행도

시험개소	시험개소별 등급	등급점수	비고
Site 1	c	0.48	
Site 2	c	0.48	
Site 3	c	0.48	
평균 값	C	0.48	
등급	C		

※ 세부 평가내용은 부록 “성능평가” 에 수록하였음.

1.5.3 내구성능평가 결과

내구성능평가 결과 산정은 각 지표별 평가등급의 결함도 지수와 가중치를 활용하여 최종 등급을 산정하였다.

〈표 1.5-8〉 지표별 가중치 결과표

사면구분	지표명	지표별 가중치(%)				
		기본	가중치 보정			적용
암반사면 (1구간)	지반상태(암반)	25	28	33	38	25
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	40
	표면보호공	10	-	14	-	10
	사면보강공	25	28	-	-	25

가. 내구성능 등급 산정

〈표 1.5-9〉 내구성능평가 결과표

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a×b)
지반상태	D	0.65	0.25	0.163
표면보호공	E	0.88	0.10	0.088
사면보강공	A	0.08	0.25	0.020
절리상태 및 풍화진행도	C	0.43	0.40	0.172
결함도 지수				0.443
등급				C

나. 내구성능 평가 최종등급 산정

〈표 1.5-10〉 내구성능 평가 최종등급 산정

구간	사면구분	내구성능 등급	결합지수	근거표번호	최종등급
마창절토사면	암반사면	C	0.443	〈표 1.5-9〉	C

1.6 종합평가

1.6.1 종합평가 결과

본 점검에서 수행한 성능평가는 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편(국토교통부/한국시설안전공단, 2019. 01.)”에 준하여 실시하였으며 안전성능평가와 내구성능평가를 통하여 종합평가를 실시하였다.

〈표 1.6-1〉 종합평가 결과 산정표

시설물 종합평가 결과 산정표					
시설물명	마창절토사면		분 류	일반도로 / 암반	
평가구분	성능평가지수	평가결과	성능간 가중치(Wn)	비 고	
안전성능 평가	ps=0.218	B	0.8	근거 표번호	〈표 1.4-12〉
내구성능 평가	pd=0.443	C	0.2	근거 표번호	〈표 1.5-10〉
종합평가 결과	· 사면의 종합평가 지수(P) $= \sum(\text{성능평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn))$ $= 0.218 \times 0.8 + 0.443 \times 0.2 = 0.263$				
	결합지수	0.263	종합평가등급	B	

1.6.2 종합성능등급 지정

본 점검에서 수행한 안전성능평가 및 내구성능평가 등을 종합적으로 평가하여 종합성능등급을 “B” 등급으로 지정하였다.

〈표 1.6-2〉 안전등급 지정

종합성능등급	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 조사되었고 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 필요하며 사용 제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (P) < 1.00$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

1.7 시설물의 유지관리 전략 제언

1.7.1 보수·보강방안

본 절토비탈면은 전체적으로 안전성 및 사용성을 확보하고 있는 것으로 판단되며, 소단측구 이물질 퇴적에 의한 배수기능 불량 등에 대하여 보수가 완료된 상태이다. 현재 절토사면의 상태는 보수나 보강이 필요치 않은 양호한 상태로 판단된다.

구분	구 간	보수·보강 방안	보강사유	수량	비고
①	이완암	주의관찰	-	28.74m ²	
②	과대굴착	주의관찰	-	33.0m ²	
③	녹물오염	주의관찰	-	45.5m ²	
④	누수(흔적)	주의관찰	-	7.0m	
⑤	뜯돌	주의관찰	-	4.0m ²	

〈표 1.7-1〉 비탈면 보수·보강비

구 분	공 종	수량	단위	금액(천원)	비고
-	-	-	-	-	
소계(직접공사비)				-	
총공사비(직접공사비×1.6)				-	

1.7.2 우선순위지수

가. 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능 간 가중치를 산정하면 다음과 같다.

〈표 1.7-2〉 안전성능 가중치

구분	토사사면	암반사면	혼합사면
집수지형	12	6	7
불안정지질	-	15	14
불연속면특성	-	24	8
지반변형	24	9	11
지하수	18	8	12
배수조건	10	11	10
붕괴이력	22	10	11
낙석	-	17	12
사면상부상태	14	-	15

〈표 1.7-3〉 내구성능 가중치

구분	토사사면	암반사면	혼합사면
지반상태	40	25	29
표면보호공	25	10	15
사면보강공	35	25	24
절리상태 및 풍화도	-	40	32

〈표 1.7-4〉 성능간 가중치

구분	성능별 가중치	
	안전성능 (P1)	내구성능 (P2)
절토사면	80	20

나. 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하며, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

〈표 1.7-5〉 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치			영향도
		토사사면	암반사면	혼합사면	
안전성능 (E1)	집수지형	12	6	7	50~100
	불안정지질	-	15	14	50~100
	불연속면특성	-	24	8	50~100
	지반변형	24	9	11	50~100
	지하수	18	8	12	50~100
	배수조건	10	11	10	50~100
	붕괴이력	22	10	11	50~100
	낙석	-	17	12	50~100
	사면상부상태	14	-	15	50~100
내구성능 (E2)	지반상태	40	25	29	50~100
	표면보호공	25	10	15	50~100
	사면보강공	35	25	24	50~100
	절리상태 및 풍화진행도	-	40	32	50~100

1.7.3 유지관리 전략 제언

본 비탈면의 보수보강은 필요치 않은 상태로, 손상 발생에 대한 주기적인 점검을 통한 주의관찰을 실시한다면 효율적인 유지관리가 될 것으로 판단된다.

1.7.4 성능목표 등급 산정

본 비탈면의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표는 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가 편(국토교통부/한국시설안전공단, 2019. 01.)“에 의거하여 “B등급” 으로 선정한다.

〈표 1.7-6〉 종합성능평가에서의 결함도 범위

기 준	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.3$	$0.3 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

1.7.5 중점유지관리 사항

본 깎기비탈면에 대한 성능평가 결과에 따라 본 절에서는 향후 실시할 점검 및 진단 시 깎기비탈면의 안전성 및 내구성 차원에서 중점적으로 관찰하고 유의하여야 할 중점유지관리 항목을 설정하여 제시하였다. 이러한 항목들은 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰하여 향후 더 크게 발전할 가능성이 있는 결함부위에 대한 원인을 분석하여 사전에 예방 하자는 것으로서 <표 1.7-7>에 중점유지관리 항목을 제시하였다.

<표 1.7-7> 중점유지관리 항목

구 분	중점유지관리 항목	
사면부	- 관목류 뿌리에 의한 암반 이완 지속적 관찰 - 식생불량구간 토사 유실 발생 여부 관찰	
		
	심한풍화 및 락볼트 상태양호	뜯돌 관찰
		
	풍화에 따른 이완암	점검로 체결부 부식 - 주의관찰
종합의견	- 비탈면 내 뜯돌이 발생되어, 낙석방지망에 포획되어있는 상태로서 낙석의 위험은 나타나지 않으나 주기적인 점검이 필요 - 산마루측구 및 소단배수로의 균열 보수가 실시된 양호한 상태임 - 절취면이 노출되어있는 상태로 풍화진행에 따른 강도저하등이 예상되며 현재 일부구간에서 표층유실이 관찰됨에 따라 낙석에 대하여 주기적인 점검이 필요 - 점검로 체결부 부식에 따른 볼트의 조임상태 주의관찰을 요함	

1.8 종합결론 및 건의사항

일반적으로 절리암반 비탈면에 대한 평가는 인장균열, 지반 및 구조물변형, 파괴발생규모와 같은 손상상태와 절취면에서 확인되는 절리의 방향성, 절리상태 등의 지반상태 및 비탈면경사, 강우등 자연요인, 절취 및 보강상태 등의 파괴요인을 종합적으로 고려하여 비탈면의 상태를 평가하고 있으며 이러한 평가요소는 주로 비탈면 외부에서 육안으로 확인되는 외적상태 및 자연적 요소에 중점을 두고 있다. 그러나 실제 절리암반비탈면의 붕괴는 이러한 요인과 함께 비탈면 내부에 안정성에 영향을 미칠 수 있는 단층, 절리 등의 지질구조대가 발달한 경우 지속적인 강도저하, 강우시 내부의 절리면의 급격한 간극수압 증가, 해빙기 취약면의 응력증가 등 육안상으로 확인되지 않는 내부의 다양한 요인에 의해 발생하고 특히, 대부분의 비탈면 붕괴가 집중호우중이나 강우직후에 발생하는 점을 고려할 때 비탈면의 상태평가 및 성능평가 등급으로 붕괴가능성을 충분히 예측하기에는 근본적 한계가 있다고 볼 수 있으며 평가 등급과 붕괴가능성 정도를 단순하게 연결, 해석하는 것은 매우 신중하여야 한다.

1.8.1 성능평가 종합 결론

본 대상비탈면은 국도2호선 마창대교에 위치한 시설물로서 금회 현장 성능평가를 통한 비탈면 상태를 종합적으로 평가한 결과는 다음과 같다.

- 본 점검대상 비탈면에 대한 외관조사 결과 전반적으로 암사면 하단부는 덩굴식재 및 초본류가 식생 되어 있는 상태이며 상단부는 관목+목본류가 발달되어있다.
- 사면의 구성 암종은 안산암으로 구성되어 있으며, 1단의 암의 풍화상태는 약한풍화 상태이나, 2,3단의 상부의 암 상태는 보통~심한 풍화의 상태로 관찰되었다.
- 비탈면 최상부에 대한 조사 결과 인장균열, 지반변형 등의 중대 손상은 발생되지 않은 것으로 조사되어, 비탈면 안정성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 조사되지 않은 상태이다.
- 기반암에 포함되어 있는 철 성분이 화학적 풍화 작용으로 산화되어 생긴 녹물에 의한 변색이 조사되었다.
- 사면에 보강된 Rock bolt 및 Soil nailing은 특별한 손상이 없는 상태로 조사되었다.
- 기 점검시 사면 1개의 구간에서 누수 흔적이 조사되었다. 시공당시 절리부에 발생한 누수를 다발관을 통해 우수를 배제했던 곳으로 판단되는 것으로 조사되었으나, 금회 조사시는 누수가 발생하지 않은 건조된 상태로 조사되었다.
- 2소단 배수로내 균열부에 대하여 보수가 완료된 상태이다.

- 안전성능평가 결과 ‘B’ , 내구성능평가 결과 ‘C’ 등급으로서, 성능간 가중치를 고려한 종합평가 결과 ‘B’ 등급으로 평가되었다.
- 본 비탈면에 대한 성능평가 결과 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가편(국토교통부/한국시설안전공단, 2019. 01.)“에 따른 종합성능등급은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준” 인 『B등급』으로 평가되었다.

1.8.2 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

금회 성능평가 결과, 전체적인 비탈면의 안정성 및 내구성은 양호한 것으로 판단되나 관목류 발달로 인한 절리 이완 상태 확인 및 배수시설 내 퇴적물 퇴적 여부 확인 필요하다.

따라서 주기적인 점검을 통한 손상의 확장 유무를 확인하고, 금회 실시된 성능평가 자료를 기초로 하여 추후 점검시 효율적인 유지관리가 이루어질 수 있도록 함이 옳을 것으로 판단된다.

제2장

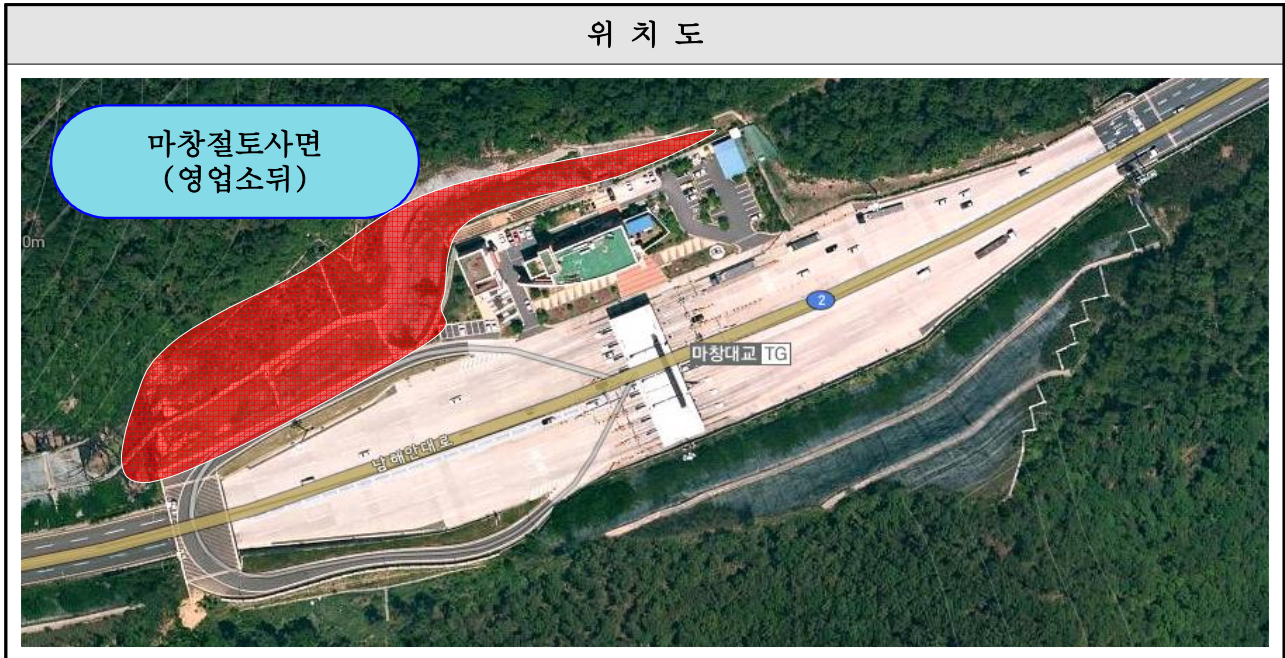
마창절토사면(영업소뒤)

- 2.1 현황조사
- 2.2 외관조사 결과
- 2.3 내구성 조사
- 2.4 시설물의 안전성능 평가
- 2.5 시설물의 내구성능 평가
- 2.6 종합평가
- 2.7 시설물의 유지관리
전략 제안
- 2.8 종합결론 및 건의사항

제2장 마창 절토사면(영업소뒤)

2.1 현황조사

2.1.1 위치도 및 전경



〈그림 2.1-1〉 조사지역의 위치도



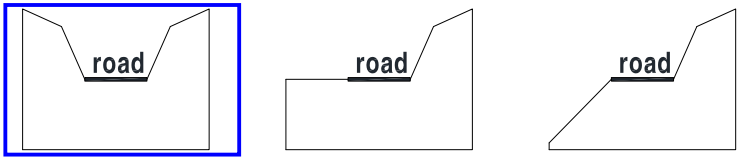
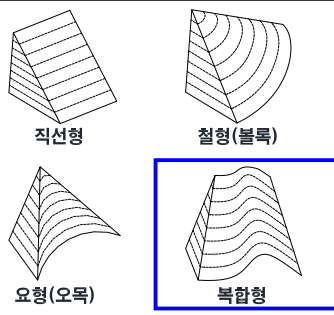
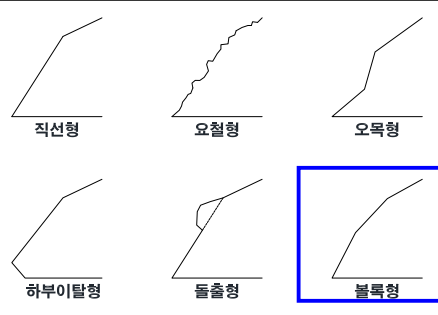
〈그림 2.1-2〉 대상비탈면 전경

2.1.2 현장조사 체크리스트

〈표 2.1-1〉 절토비탈면 일반현황

조사일자	19년 4월 16일	조 사 자	서영노 외 4인	
일 기	맑음	준공년도	2008년7월	
행정구역	경상남도 창원시 성산구 남해안대로 6687 (귀산동)			
위 경 도	시 점 : N(35° 10' 1''), E(128° 36' 23'')			
	종 점 : N(35° 10' 5''), E(128° 36' 32'')			
절토비탈면	길 이 : 248m		높 이 : 39.0m	
	경 사/경사방향 : 1구간 : 50/140, 2구간 : 48/095, 3구간 : 51/154			
	구성물질 : 혼합		토층심도율 : 0.3	
	소 단 : 6소단			
낙석/뜯돌	낙석 존재유무 : 무		낙석의 양 :	
	낙석 평균크기 :			
	낙석 최대크기 :			
	뜯돌 존재유무 : 유		뜯돌의 양 : 6.0㎡	
	뜯돌 평균크기 : 3.0m×4.0m			
절토비탈면 시공현황	종 류		위 치	상 태
	SoilNail		4+660~4+750(3~7단)	양호
	락볼트		4+660~5+860	양호
	콘크리트 옹벽		4+660~4+900	양호
	산마루배수로		4+680~4+770	양호
	점검계단		4+840~4+900, 4+740	양호
	도수로		4+720, 4+760, 4+840	양호
붕괴이력	유 형		규 모	위 치
기 타				

<표 2.1-2> 절토비탈면 지형 및 식생

주변지형의 특성	주변 지형		준산악지형			
	종단면 형상					
	기타 특징		-			
절토비탈면의 특성	종 횡 단 면			종 단 면 특 성		
상부 자연비탈면	경 사 도		(+) 39° - STA.4+740 횡단면도			
	인장균열		무			
	포행흔적		무			
	수목의 기울어짐		무			
	인공구조물		철탑			
	산마루측구		유			
	계곡부		무			
지질도						
	지질각론		• 중생대 백악기 시대의 유천층군안산암으로 구성 • 암질상태는 대부분 약간풍화~보통풍화이며, 일부 심한풍화가 관찰되고 있음.			
식 생	① 종 류	초 본	관 목	침 엽 수	활 엽 수	
	② 밀 도	하	하	하	중	
	③ 근계특징	천근성 (○), 심근성 ()				

2.1.4 자료수집 및 분석

가. 설계 및 시공관련자료

시설물을 효율적으로 유지관리하기 위해서는 설계도면, 준공도면, 구조계산서 등 시설물 가설 당시의 모든 설계도서와 이후의 점검이나 진단보고서 및 이력, 보수·보강공사 이력 등 유지관리 자료를 보존하는 것이 가장 중요하다. 대상구조물의 관련자료 수집내용은 다음 표와 같다.

〈표 2.1-3〉 유지관리자료 보유 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	◦공 통 - 준공내역서 - 각종시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	○	-
	◦설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(종횡), 구조물도 상세도	○	
시설물 관리대장	◦기본현황 ◦상세제원 ◦유지관리 이력	○	•FMS 자료
시공관련 자료	◦시공관련 자료 ◦품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종시험 기록 - 시설물의 주요 구조부위에 대한 계측관련 자료 ◦사고기록	○	-
안전점검 및 정밀안전진단 자료		○	•FMS 자료
보수보강 자료		○	•FMS 자료

나. 안전점검 및 정밀안전진단 이력

본 과업대상 시설물에 대한 점검 및 진단 이력은 다음과 같다.

〈표 2.1-4〉 점검 및 진단 이력

No.	점검일자	점검종류	점검기관	평가 등급	점검 결과
1	2018-12-27	정기점검 (하반기)	(주)세안안전 진단	양호	-사면 하단 절토사면 이완암 발생 -중단부 절토사면 녹물 발생 -중점측 중단 절토사면 착근 불량 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생
2	2018-06-25	정기점검 (상반기)	(주)세안안전 진단	양호	-사면 하단 절토사면 이완암 발생 -중단부 절토사면 녹물 발생 -중점측 중단 절토사면 착근 불량 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생
3	2017-12-15	정기점검 (하반기)	(주)한국구조 물안전연구원	양호	-사면 하단 절토사면 이완암 발생 -중단부 절토사면 녹물 발생 -중점측 중단 절토사면 착근 불량 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생 -Rock bolt 지압판 부식
4	2017-06-26	정밀점검 (상반기)	(주)한국구조 물안전연구원	B등급	-절토사면내 이완암 및 과대굴착 발생 -절토사면 녹물 발생 -1단 콘크리트소단 체수흔적 및 토사퇴적 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생 -Rock bolt 지압판 부식
5	2016-12-31	정기점검 (하반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-암석 풍화(약간풍화, 심한풍화) 진행됨. -뜯돌 및 녹물 오염
6	2016-06-30	정기점검 (상반기)	한국인프라 서비스(유)	양호	-암석 풍화(약간풍화, 심한풍화) 진행됨. -뜯돌 발생 및 녹물 오염 발생 -하단부 옹벽 연직균열 발생.

다. 보수·보강 이력

본 과업대상 시설물에 대한 보수·보강 이력은 다음과 같다.

〈표 2.1-5〉 보수·보강 이력

구 분	공사일시	위치 및 내용	보수·보강 내용	시공자
일반보수	2015-05-12 ~ 2015-06-30	마창절토사면(영업소뒤)	- 낙석방지책 및 파라펫 설치	(주)도우개발

라. 기 설기 점검 결과 분석

〈표 2.1-6〉 2017년 정밀점검 실시 결과

구 분	정밀점검 결과	점검 의견	비고
외관조사 결과	-절토사면내 이완암 및 과대굴착 발생 -절토사면 녹물 발생 -1단 콘크리트소단 체수흔적 및 토사퇴적 -산마루배수로 폭 0.5mm 균열 발생 -Rock bolt 지압판 부식	-주의관찰 -충전보수 -녹제거후 재도장	
현장시험 결과	-암반강도 측정 결과 : 119.8 ~ 148.5MPa	-1단~2단 모두 보통암 ~ 경암 으로 분포되어 있음	
안전등급	-B등급(결함지수 F=0.250)		
유지관리 사항	-부분적으로 뜯돌 발생 -사면 일부 녹물 오염 발생 -소단 배수로 체수 흔적	-주의관찰	
종합의견	-전반적인 표층상태는 양호하게 조사되었으며, 덩굴식재에 따른 사면 표면보호가 잘 되고 있는 상태임. 사면 중단부에서 이완암이 일부구간 조사되었으나 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 도로피해는 없을 것으로 판단되며 주의관찰이 필요함 -시공당시 사면 보강한 Soil Nailing은 특별한 손상이 없었으며 Rock Bolt는 일부개소에서 지압판부식이 발생한 것으로 조사되었고, 구조적으로는 문제가 없으나 Rock bolt의 내구성 강화 목적으로 녹 제거후 재도장이 필요함 -본 시설물의 안전등급은 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태” 인 B등급으로 평가되었음.		

마. 자료 분석 결과 요약

본 과업대상 시설물에 기 점검 수집자료 분석결과 및 금회 성능평가 시 중점 점검진행 방향은 다음과 같다.

〈표 2.1-7〉 자료수집 분석 결과

수집자료	자료수집 분석 결과	성능평가 방향
점검 및 진단 이력	◦점검 및 진단 이력을 검토한 결과, -전반적으로 상태 양호 -일부 뜯돌이 발생 -녹물유출로 인한 착색 -소단 배수로 체수 흔적 등이 조사됨	◦기 조사된 손상에 대한 사항을 상세 외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가손상 확인, 보수여부 및 대책방안 마련. ◦금회 성능평가 자료를 활용하여, 차후 안전성 변화 여부에 대한 비교, 검토를 실시함
보수·보강 이력	◦하단 옹벽 및 소단배수로 균열보수, 낙석방지책, 락볼트 캡 재설치, 지압판 부식보수를 실시하였음	◦록볼트에 대한 추가 부식 발생 여부 파악 및 보수상태 조사

2.2 외관조사 결과

본 과업대상 절토비탈면은 연장 248m, 높이 39.0m의 토사 및 암반으로 구성되어 있으며, 외관조사시 근접조사를 위해 고소작업차를 이용하여 현장조사를 수행하였다.



<그림 2.2-1> 조사지역의 위치도

<표 2.2-1> 절토비탈면 조사 분할구간

구 분	구 간	연장(m)	비탈면상태	비 고
1구간	4+790 ~ 4+900	110	절리암반사면	
2구간	4+740 ~ 4+790	50	혼합사면	토사 및 암반
3구간	4+652 ~ 4+740	88	혼합사면	토사 및 암반

2.2.1 외관조사 결과



마창 절토사면(영업소 뒤) 전경



① 1구간 전경



② 2구간 전경



③ 3구간 전경



④ 4+840~900지점 : 1단 점검계단 상태 양호



⑤ 4+840 지점 : 1단 도수로 상태양호



⑥ 4+800~900 지점 : 1소단 소단배수로 상태양호(안전 울타리 상태 양호)



⑦ 4+800~900 지점 : 1~3단 절취면 상태양호



⑧ 4+800~900 지점 : 4단 절취면 상태양호



⑨ 4+740 지점 : 2~5단 점검로 상태 양호



⑩ 4+720 지점 : 2소단 수직도수로 상태 보통



⑪ 토양 경도계 작업 전경



⑫ 4+720~760 지점 : 산마루측구 상태 양호



⑬ 4+760 지점 : 배수로 균열 보수 완료



⑭ 4+770 지점 : 배수로 균열 보수 완료



⑮ 4+720 지점 : 배수로 균열 보수 완료



⑯ 4+770~800 지점 : 1소단 토사 퇴적(L=30.0m)



⑰ 4+740~800 지점 : 4단 락볼트 상태양호



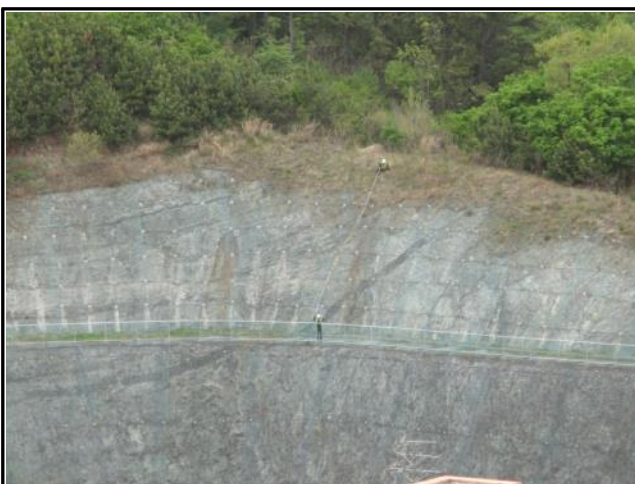
⑱ 4+800 지점 : 녹물 흔적



⑲ 4+800~900 지점 : 하단부 이격거리 전경



⑳ 1구간 고소차 작업 전경



㉑ 절리연장성 측정 작업 전경



㉒ 4+810 지점 : 상부 자연사면 전경



㉓ 4+830 지점 : 1단 락볼트 상태 양호



㉔ 4+640~710 지점 : 1소단 낙석방지울타리 상태 양호



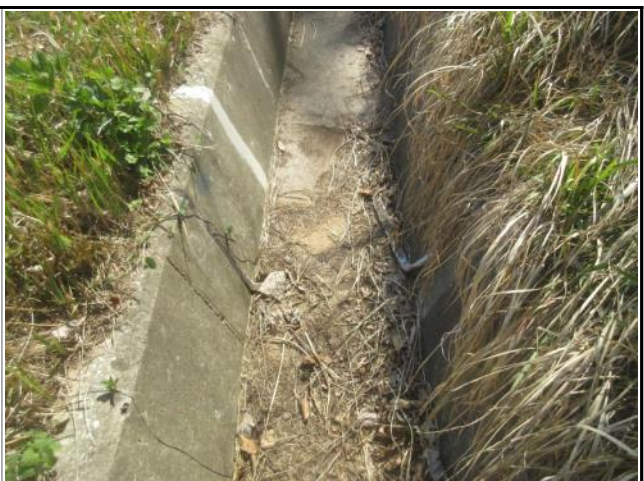
㉕ 4+900 지점 : 1~2단 점검계단 상태 양호



㉖ 4+820 지점 : 1소단배수로 균열 보수 완료



㉗ 4+710 지점 : 상부 배수로 보통



㉘ 4+980 지점 : 산마루 측구 균열 보수완료



㉔ 4+675~690 지점 : 1소단 토사퇴적 L=15.0m



㉕ 4+770 지점 : 상부 배수로 균열 보수완료



㉖ 4+720~730 지점 : 산마루측구 균열보수완료

절토사면 외관조사 현황도(Face Map)

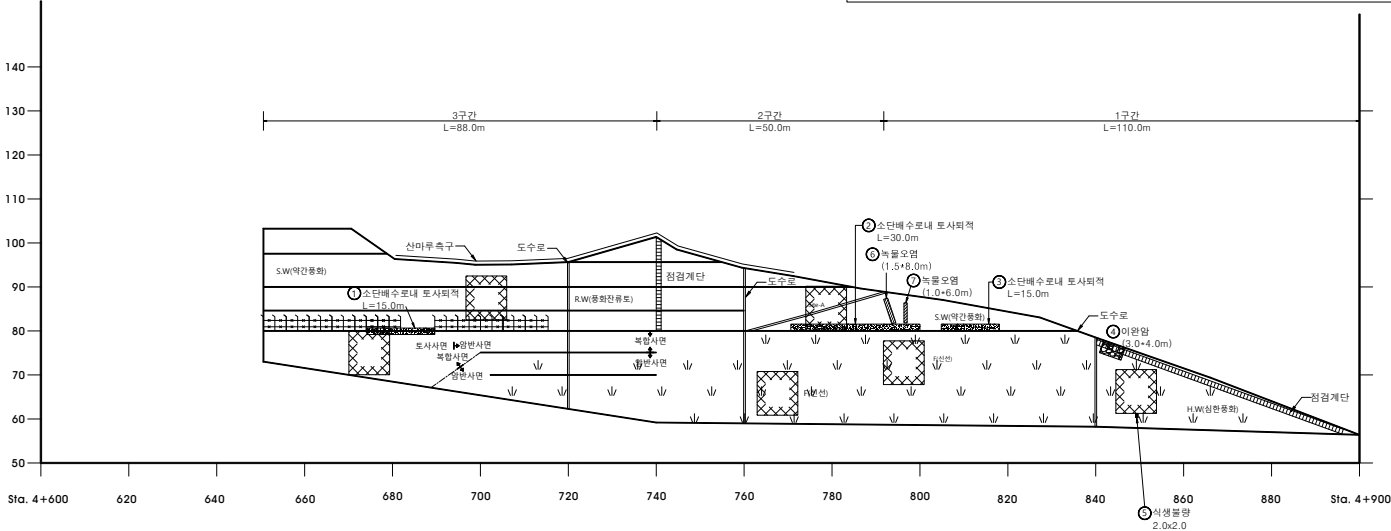
Scale [V=1:1,000
H=1:1,000

절토사면명(위치) : 마창절토사면(영업소위)

경사/방향 : 1구간-50/140, 2구간-48/095, 3구간-51/154
연 장 : 248.0m
높 이 : 39.0m

C.W.	Completely Weashted	완전중화
H.W.	Highly Weashted	심안중화
M.W.	Moderately Weashted	보통중화
S.W.	Slightly Weashted	약간중화
F.	Fresh	신 선

식생양호	식생보통	식생불량	소크리드	낙석방지막	낙석방지울타리	각지형벽+영커	수평배수구	포충유실(토사)	경면파괴	경면파괴	단층	기암과지점	유수흔적	녹생도	ASNA	절리
------	------	------	------	-------	---------	---------	-------	----------	------	------	----	-------	------	-----	------	----



Bieniawski의 RMR분류										N o.	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E
간 격(m)	연 장(m)	틈 새(mm)	거칠기	충전물(mm)	풍화도						방 향	15/026			
> 2.0	S1	< 1.0	P1	tight	A1	매우거칠	R1	void	< 5	F1	Fresh	6	연 장	23.0m	
0.6 ~ 2.0	S2	1.0 ~ 3.0	P2	< 0.1	A2	거칠	R2	hard	< 5	F2	S.W.	5	틈 새	0.1mm~0.5mm	
0.2 ~ 0.6	S3	3.0 ~ 10.0	P3	0.1 ~ 1.0	A3	약간거칠	R3	soft	> 5	F3	M.W.	3	거칠기	약간거칠	
0.06 ~ 0.2	S4	10.0 ~ 20.0	P4	1.0 ~ 5.0	A4	매끄러움	R4		< 5	F4	H.W.	1	충전물	막막함(5mm미만)	
< 0.06	S5	> 20.0	P5	> 5.0	A5	경면화	R5		> 5	F5	C.W.	0	풍화도	없음	

조 사 자	위험도	피해도
□ 대개불량	■ 낮음	■ 낮음
□ 보통	■ 보통	■ 보통
□ 높음	■ 높음	■ 높음
□ 매우 높음	■ 매우 높음	■ 매우 높음

2.2.2 손상물량 집계표

〈표 2.2-2〉 손상물량 집계표

부재명	결함 및 손상내용	단위	손상물량		증감량	비고
			2018 하반기 물량 / 개소	금회 정밀안전점검 물량 / 개소		
사 면	이완암	m ²	12.0 / 1	12.0 / 1	-	기존
	소단부 균열	m	7.3 / 3	-	▼ 7.3	보수
	녹물오염	m ²	18.0 / 2	18.0 / 2	-	기존
	식생불량	m ²	4.0 / 1	4.0 / 1	-	기존
배수 시설	산마루배수로 균열(0.5mm)	m	2.1 / 4	-	▼ 2.1	보수
	소단배수로 토사퇴적	m	-	60.0 / 1	▲ 60.0	신규

2.2.3 외관조사 결과 요약

〈표 2.2-3〉 외관조사 결과

구 분	외관조사 결과	비 고
상부자연 비탈면부	상단부 자연사면에는 목본류가 자생하고 있으며 인장균열 및 지반변형 등 사면 안전성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 없는 것으로 판단된다.	
비탈면부	- 암종은 안산암으로 구성되어 있으며, 상부에 토사사면이 혼재된 혼합사면으로 토층심도율은 30% 정도로 암사면 구간은 Rock Bolt 및 낙석방지망이 시공되어있으며, 토사구간에는 Soil Nailing, 녹생토 등으로 보강되어 있다. - 암사면은 전체적으로 약간풍화로 풍화상태가 양호하였으며 Sta.4+840~900m 구간은 심한풍화 상태로 조사되었다. - Sta.4+840m 구간에서 이완암이 1개소 조사되었으나 낙석방지망이 설치되어 대규모 암이탈에 따른 피해는 없을 것으로 판단된다. - 사면 중단부에 녹물변색이 조사되었으며 이는 기반암에 포함되어 있는 철 성분이 화학적 풍화 작용으로 산화되어 생긴 것으로 조사되었다. - 사면의 콘크리트소단의 균열에 대하여 대부분 보수가 완료된 상태로서 내구성은 확보된 것으로 판단된다. - 점검로는 콘크리트 계단 및 철제계단으로 설치되어 있으며 변형 및 파손흔적은 관찰되지 않아 양호한 상태로 조사되었다. - 인장균열 및 지반변형 등 사면 안전성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 없는 것으로 판단된다.	
비탈면 하부	사면 하단의 옹벽은 높이 2m로 2016년에 균열보수를 실시하였으며 현재 특별한 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.	
보호시설	- 암사면 하단부는 초본류가 식생 되어 있는 상태이며 상단부는 관목+목본류가 발달되어있으며, 종점부 녹생토 유실구간이 존재한다. - Sta.4+650지점의 2단내 식생의 활착불량으로 인하여 소단 배수로 내 토사퇴적이 발생된 상태이다.	
보강시설	사면에 보강된 Rock bolt 및 Soil nailing은 특별한 손상이 없는 상태이다.	
배수처리 시설	산마루배수로는 Sta.4+680~770m에 설치되어 있으며, 기존에 관찰된 균열에 대하여 현재 보수 완료상태로 구조물의 배수기능이 확보되는 것으로 판단됨.	

가. 불연속면 특성

지질은 중생대 백악기의 안산암으로 구성되며, 사면 하단은 표면보호공(덩굴식재공)이 식재되어 있고, 중단 및 상단은 암반이 노출되어 있다.

주요 불연속면으로는 총 1개(J1: 15/026)의 절리가 존재하며 연장성은 25.0m, 약간거침의 거칠기를 보여준다. 충전물질은 딱딱함과 충전물질의 재료는 5mm 미만으로 조사되었다. 절리면에서 누수는 관찰되지 않았다.

현장조사시 국부적인 이완암이 관찰되었으나 현재 낙석방지망 및 낙석방호울타리가 설치된 상태로 대규모 암이탈로 인한 피해 가능성은 없을 것으로 판단된다.

불연속면에 대한 특성조사는 대표 방향성을 가진 1개의 절리에 대해 실시하였으며, 조사에 대한 분석 결과는 [표 2.2-4]와 같이 분석되었다.

〈표 2.2-4〉 불연속면의 세부상태 평가

불연속면의 세부상태 평가			
구 분	Site 1		
방 향 성	15/026		
연장성(m)	20.0m이상		
틈새(mm)	0.1~1.0		
거칠기	약간거침		
충진물질	단단<5mm		
풍화도	보통풍화		
간격(m)	0.2~0.6		
점 수	11.5		
등 급	d		

나. 낙석

본 절토사면은 암반구간에 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 있으며 일부구간에 서 이완암이 관찰되었다. 예상되는 낙석의 최대 규모는 4+840~4+850 1소단 상부로 이완 암괴가 평균 $V=1.5 \times 1.5 \times 0.3\text{m}^3$ 의 규모로 분포하는 것으로 조사되었다. 낙석의 발생규모 및 예상 낙석에너지 분석 결과는 [표 2.2-4]와 같이 분석되었다.

〈표 2.2-5〉 1구간 예상 낙석에너지

예상 낙석에너지					
위 치	θ (사면경사) (°)	V(낙석크기) (m^3)	m(낙석중량) (ton)	H(낙석높이) (m)	E_i (낙석에너지) (kJ)
4+840~4+850m (1소단 상부)	50	$1.5 \times 1.5 \times 0.3$	1.69	5	79.5
$E_i = (1 - \frac{\mu}{\tan\theta}) \times (1 + \beta) \times m \times g \times H$ 여기서, E_i = 낙석에너지(kJ), θ = 사면의 경사, μ = 낙석의 등가마찰계수(0.15), β = 회전에너지계수(0.1), m = 낙석의 중량(t), H = 낙석의 높이(m), g = 중력가속도(9.8m/sec^2), 낙석의 단위중량 = 2.5ton/m^3					

2.3 내구성 조사

가. 토사비탈면의 상태조사

토사비탈면의 지반상태 평가를 위해 토양경도계(산중식 경도계)를 사용하여 접근이 가능한 구간을 선별하여 20m 구간별 총 7개소에 대해 비탈면 상부, 중부, 하부를 각 10회씩 측정하여 평균하고 토양경도지수를 mm 단위로 나타내었다.

평가대상 비탈면의 토성은 실트질 모래로 측정결과 최대 17.1, 최소 15.2, 평균 16.1로 조사되어 조밀한 상태로 나타났다.

〈표 2.3-1〉 토양경도시험 평가결과

구분	측정위치	측정치(mm)											평균 mm	지반 분류
1	4+660	상부	17.5	18.1	17.9	13.4	13.5	15.1	16.4	18.9	17.5	17.4	17.1	모래질 실트
		중부	16.6	17.3	16.1	16.7	17.9	18.5	17.4	18.9	18.5	20.5		
		하부	14.2	15.8	14.4	19.5	15.4	15.8	19.5	17.5	18	19.5		
2	4+680	상부	13.5	11.9	15.4	17.8	15.5	20	21.5	18.4	15.9	17	16.6	모래질 실트
		중부	14.9	15.7	15.6	18.5	18.5	20.4	19.5	15.7	19	14.5		
		하부	14.2	15.9	17.4	17.9	18.2	14.7	18.5	12.1	15.1	14.5		
3	4+700	상부	10.9	12.5	10.9	14.6	15.5	15.9	17.8	15.5	14.9	17.4	15.6	모래질 실트
		중부	18.6	13.4	16.7	17.2	13.2	10.9	15.4	14.1	15.2	14.4		
		하부	15.8	14.9	15.4	19.2	18.7	15.9	18.4	18.2	18.5	17.6		
4	4+720	상부	18.2	18.5	17.4	16.5	15.4	15.9	17.5	16.5	15.2	15.3	15.2	모래질 실트
		중부	9.8	14.5	15.9	10.7	17.5	18.5	15.5	16.3	15.3	15.4		
		하부	13.2	14.9	14.5	13.8	15.4	13.2	11.8	12.4	14.8	15.8		
5	4+740	상부	14.3	13.2	15.5	14.9	19.2	18.7	17.5	12.7	15.6	15.5	15.3	모래질 실트
		중부	18.3	17.1	14.5	15.6	15.5	17.2	13.2	10.4	11.4	13.9		
		하부	12.5	15.7	11.5	18.4	17.5	14.6	13.2	18.7	14.9	17.9		
6	4+760	상부	18.5	17.4	15.6	15.5	16.4	18.4	18.2	17.9	16.5	17.5	16.6	모래질 실트
		중부	18.6	18.5	17.4	15.6	15.3	17.2	16.9	16.8	17	15.4		
		하부	14.4	15.5	15.9	18.5	16.5	15.1	16.5	15.2	15.7	14.8		
7	4+780	상부	15.8	15.4	17.8	16.5	13.5	16.5	13.8	14	15.6	17.7	16.7	모래질 실트
		중부	16.8	16.8	16.8	16.8	16.7	16.8	17.8	16.5	16.9	19.8		
		하부	16.5	16.9	17.5	16.8	17.8	19.5	16.8	17.6	18	15.8		

나. 암반의 강도조사

암반의 판정은 현장에서 비탈면에 노출된 노두를 대상으로 슈미트햄머 강도측정을 수행하였으며, 그 결과 슈미트해머 측정값은 44.7~59.6의 평균치를 보이며, 추정강도는 87.7~181.4MPa로 연암~경암의 암반상태를 보인다.

〈표 2.3-2〉 암반 강도시험 평가결과

측정위치	타격 방향	측정치					평균치	반발경도 (R0)	추정강도 (Mpa)
1단사면 (SAT.4+670)	-45	53	52	56	60	62	58.8	58.1	174.5
		58	56	57	55	59			
		59	53	58	56	58			
		60	57	55	53	57			
1단사면 (SAT.4+690)	-45	47	51	53	52	50	51.8	51.1	124.0
		46	53	52	51	54			
		49	48	50	49	51			
		50	50	48	51	49			
1단사면 (SAT.4+700)	-45	52	50	50	48	52	53.0	52.3	131.4
		54	51	52	49	54			
		50	53	54	52	55			
		52	51	50	51	52			
1단사면 (SAT.4+710)	-45	53	54	50	52	52	53.6	52.9	135.4
		59	50	53	49	50			
		51	52	54	52	52			
		55	49	50	51	50			
1단사면 (SAT.4+720)	-45	51	52	50	53	51	56.0	55.3	152.2
		52	52	53	50	60			
		61	52	54	53	59			
		55	54	54	49	57			
1단사면 (SAT.4+730)	-45	54	53	50	55	52	54.2	53.5	139.4
		56	54	52	53	51			
		50	52	53	56	52			
		52	51	53	50	55			
1단사면 (SAT.4+750)	-45	51	50	53	55	52	53.8	53.1	136.7
		55	52	53	54	55			
		53	55	52	49	48			
		52	52	53	51	52			
1단사면 (SAT.4+760)	-45	52	58	54	52	56	58.1	57.4	168.6
		60	59	58	56	58			
		54	56	57	57	60			
		55	57	56	57	54			
1단사면 (SAT.4+780)	-45	62	63	56	54	60	59.6	58.9	181.4
		52	52	60	59	57			
		53	58	57	55	58			
		60	57	56	59	56			
1단사면 (SAT.4+800)	-45	60	62	53	55	53	58.1	57.4	168.6
		56	57	56	54	58			
		54	54	56	57	59			
		52	56	59	55	57			

〈표 2.3-2〉 암반 강도시험 평가결과 - 계속

측정위치	타격 방향	측정치					평균치	반발경도 (R0)	추정강도 (Mpa)
1단사면 (SAT.4+820)	-45	58	56	54	55	56	57.6	56.9	164.5
		57	60	56	55	60			
		58	52	54	56	57			
		58	55	56	55	56			
1단사면 (SAT.4+830)	-45	52	56	60	60	54	58.8	58.1	174.5
		52	55	56	60	61			
		56	58	56	57	58			
		59	56	57	56	58			
2단사면 1구간 (SAT.4+795)	-45	42	42	41	40	41	51.5	50.8	122.2
		50	51	51	50	53			
		50	52	53	52	52			
		50	50	42	45	51			
2단사면 1구간 (SAT.4+800)	-45	48	53	49	47	46	52.1	51.4	125.8
		55	45	47	49	51			
		40	47	52	52	51			
		40	39	57	52	49			
2단사면 1구간 (SAT.4+805)	-45	55	57	53	56	57	57.9	57.2	167.0
		59	58	60	58	57			
		58	55	56	55	59			
		55	52	55	54	55			
2단사면 1구간 (SAT.4+810)	-45	56	54	54	52	54	57.5	56.8	163.7
		58	55	57	57	56			
		55	56	61	55	57			
		54	52	57	58	58			
2단사면 2구간 (SAT.4+765)	-45	55	54	51	55	57	54.7	54.0	142.8
		50	54	55	55	52			
		54	50	56	52	45			
		49	52	38	51	42			
2단사면 2구간 (SAT.4+770)	-45	56	57	58	56	54	57.6	56.9	164.5
		55	57	61	55	53			
		54	57	55	58	55			
		55	59	56	57	54			
2단사면 2구간 (SAT.4+775)	-45	57	55	53	53	55	56.6	55.9	156.7
		58	52	56	52	57			
		59	54	56	56	55			
		52	53	57	55	55			
2단사면 3구간 (SAT.4+655)	-45	46	43	42	43	43	45.7	45.0	92.0
		41	44	46	45	46			
		39	45	47	47	45			
		45	44	43	45	42			
2단사면 3구간 (SAT.4+660)	-45	40	42	41	43	45	44.7	44.0	87.7
		42	41	46	45	42			
		42	46	40	42	43			
		45	47	45	42	42			

구 분	추정강도(MPa)	판정결과
암반강도	87.7~181.4	연암~경암 이상

나. 기 점검 결과와 비교

2017년 정밀점검 결과와 금회 정밀점검과 비교결과 추정강도는 연암~경암의 암반상태를 유지하고 있는 것으로 나타났으며, 일부 암반의 강도 차이가 있으나 이는 측정위치 차이에 따른 것으로 판단된다.

구 분	반발경도(R ₀)	추정강도(MPa)	판정결과
2017년	50.4~54.8	119.8~148.5	보통~경암 이상
금회	44.0~58.9	87.7~181.4	연암~경암 이상

2.4 시설물의 안전성능평가

2.4.1 지반특성에 따른 사면의 분류

본 사면의 실제 연장은 248m로 사면에 대한 종합평가를 위해서 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-성능평가 편(국토교통부/한국시설안전공단, 2019. 01.)”에 의거 3개의 구간으로 분할하여 성능평가를 실시하였으며, 현장조사 및 유지관리 자료를 이용하여 성능평가를 수행하였다.

〈표 2.4-1〉 사면의 분류

구 분		분류기준	평가점수	사면 분류		비고
				세부분류	종합분류	
1구간 Sta. 4+790 ~4+900	토층심도율	0.40	0.16	암반사면	암반사면	
	압축강도	10MPa	10MPa이상	연약암반사면		
	블록크기	0.01	0.03	절리암반사면		
2구간 Sta. 4+740 ~4+790	토층심도율	0.40	0.36	혼합사면	혼합사면	토사, 암반 모두 고려
	압축강도	10MPa	10MPa이상	연약암반사면		
	블록크기	0.01	0.03	절리암반사면		
3구간 Sta. 4+652 ~4+740	토층심도율	0.40	0.30	혼합사면	혼합사면	토사, 암반 모두 고려
	압축강도	10MPa	10MPa이상	연약암반사면		
	블록크기	0.01	0.03	절리암반사면		

〈표 2.4-2〉 사면 형식별 성능지표

구분	성능지표		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	집수지형 지반변형 지하수 배수조건 사면상부 상태 붕괴이력	집수지형 불안정지질 불연속면 특성 지반변형 지하수 배수조건 붕괴이력 낙석	집수지형 불안정지질 불연속면 특성 지반변형 지하수 배수조건 붕괴이력 낙석 사면상부 상태
적용			○

2.4.2 안전성능평가 결과

가. 상태안전성능 평가

〈표 2.4-3〉 1구간 암반사면의 지표등급별 점수

결함등급 성능지표		a	b	c	d	e	평가
①집수지형	사면 외	없음	1개소	2개소	3개소	4개소 이상	0
	사면 내	없음	1개소	2개소	3개소	4개소 이상	
	점수	0	1	3	4	6	
②불안정 지질	구분	없음	일부분포 (견고)	국지적분포 (파쇄)	전반적분포 (파쇄)	전반적분포 (파쇄,누수)	3
	점수	0	3	6	10	15	
③불연속면특성	구분	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량	0
	점수	0	1~5	6~10	11~16	17~24	
④지반변형	구분	변형 없음	약간의 변형	국지적인 변형	사면 전반에 걸친변형	사면 전반에 걸친변형	0
	점수	0	2	4	6	9	
⑤지하수	구분	건조	젖음 사면하부	젖음 사면상부	흐름 사면하부	흐름 사면상부	0
	점수	0	2	3	5	8	
⑥배수조건	구분	완전배수	양호	보통	불량	매우불량	0
	점수	0	2	5	7	11	
⑦붕괴이력	구분	없음	세굴 및 표층균열	표층파괴	심층파괴	대규모파괴	0
	점수	0	2	4	7	10	
⑧낙석	구분	없음	1m ³ 미만 (50kJ미만)	1~5m ³ 미만 (50~70kJ미만)	5~10m ³ 미만 (70~120kJ미만)	10m ³ 이상 (120kJ이상)	11
	점수	0	4	7	11	17	
결함지수 = $\Sigma(①\sim⑧) / 100 = 0.140$							A 등급

〈표 2.4-4〉 1구간 인장균열의 결함점수 산정

결함등급 성능지표		a	b	c	d	e	평가
⑨인장균열	구분	없음	-	-	있음 (비진행성)	있음 (진행성)	8
	점수	8	-	-	65	88	
결함지수 = ⑨ / 100 = 0.080							a 등급

〈표 2.4-5〉 2구간 토사사면의 지표등급별 점수

결합등급		a	b	c	d	e	평가
성능지표							
①집수지형	사면 외	없음	1개소	2개소	3개소 이상		0
	사면 내	없음	1개소	2개소	3개소이상		
	점수	0	3	5	8~12		
②지반변형	구분	변형 없음	약간의 변형	국지적인 변형	사면 전반에 걸친변형		0
	점수	0	5	10	16~24		
③지하수	구분	건조	젖음 사면하부	젖음 사면상부	흐름 사면하부	흐름 사면상부	0
	점수	0	4	8	12	18	
④배수조건	구분	완전배수	양호	보통	불량	매우불량	0
	점수	0	2	4	7	10	
⑤사면상부상태	구분	없음	10° 미만	10° ~ 20°	20° ~ 30°	30° 이상	14
	점수	0	3	6	9	14	
⑥붕괴이력	구분	없음	세굴 및 표층균열	표층파괴	심층파괴		0
	점수	0	5	9	14~22		
결합지수 = $\Sigma(①\sim⑨) / 100 = 0.140$							A 등급

〈표 2.4-6〉 2구간 인장균열의 결합점수 산정

결합등급		a	b	c	d	e	평가
성능지표							
⑦인장균열	구분	없음	-	-	있음 (비진행성)	있음 (진행성)	8
	점수	8	-	-	65	88	
결합지수 = ⑩ / 100 = 0.080							a 등급

〈표 2.4-7〉 2구간 암반사면의 지표등급별 점수

결합등급 성능지표		a	b	c	d	e	평가
①집수지형	사면 외	없음	1개소	2개소	3개소	4개소 이상	0
	사면 내	없음	1개소	2개소	3개소	4개소 이상	
	점수	0	1	3	4	6	
②불안정 지질	구분	없음	일부분포 (견고)	국지적분포 (파쇄)	전반적분포 (파쇄)	전반적분포 (파쇄, 누수)	3
	점수	0	3	6	10	15	
③불연속면특성	구분	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량	11.5
	점수	0	1~5	6~10	11~16	17~24	
④지반변형	구분	변형 없음	약간의 변형	국지적인 변형	사면 전반에 걸친변형	사면 전반에 걸친변형	0
	점수	0	2	4	6	9	
⑤지하수	구분	건조	젖음 사면하부	젖음 사면상부	흐름 사면하부	흐름 사면상부	0
	점수	0	2	3	5	8	
⑥배수조건	구분	완전배수	양호	보통	불량	매우불량	0
	점수	0	2	5	7	11	
⑦붕괴이력	구분	없음	세굴 및 표층균열	표층파괴	심층파괴	대규모파괴	0
	점수	0	2	4	7	10	
⑧낙석	구분	없음	1m ³ 미만 (50kJ미만)	1~5m ³ 미만 (50~70kJ미만)	5~10m ³ 미만 (70~120kJ미만)	10m ³ 이상 (120kJ이상)	0
	점수	0	4	7	11	17	
결합지수 = $\Sigma(①\sim⑧) / 100 = 0.145$							A 등급

〈표 2.4-8〉 2구간 인장균열의 결합점수 산정

결합등급 성능지표		a	b	c	d	e	평가
⑨인장균열	구분	없음	-	-	있음 (비진행성)	있음 (진행성)	8
	점수	8	-	-	65	88	
결합지수 = ⑨ / 100 = 0.080							a 등급

〈표 2.4-9〉 3구간 토사사면의 지표등급별 점수

결합등급		a	b	c	d	e	평가
성능지표							
①집수지형	사면 외	없음	1개소	2개소	3개소 이상		0
	사면 내	없음	1개소	2개소	3개소이상		
	점수	0	3	5	8~12		
②지반변형	구분	변형 없음	약간의 변형	국지적인 변형	사면 전반에 걸친변형		0
	점수	0	5	10	16~24		
③지하수	구분	건조	젖음 사면하부	젖음 사면상부	흐름 사면하부	흐름 사면상부	0
	점수	0	4	8	12	18	
④배수조건	구분	완전배수	양호	보통	불량	매우불량	0
	점수	0	2	4	7	10	
⑤사면상부상태	구분	없음	10° 미만	10° ~ 20°	20° ~ 30°	30° 이상	14
	점수	0	3	6	9	14	
⑥붕괴이력	구분	없음	세굴 및 표층균열	표층파괴	심층파괴		0
	점수	0	5	9	14~22		
결합지수 = $\Sigma(①\sim⑨) / 100 = 0.140$							A 등급

〈표 2.4-10〉 3구간 인장균열의 결합점수 산정

결합등급		a	b	c	d	e	평가
성능지표							
⑦인장균열	구분	없음	-	-	있음 (비진행성)	있음 (진행성)	8
	점수	8	-	-	65	88	
결합지수 = ⑩ / 100 = 0.080							a 등급

<표 2.4-11> 3구간 암반사면의 지표등급별 점수

결합등급 성능지표		a	b	c	d	e	평가
①집수지형	사면 외	없음	1개소	2개소	3개소	4개소 이상	0
	사면 내	없음	1개소	2개소	3개소	4개소 이상	
	점수	0	1	3	4	6	
②불안정 지질	구분	없음	일부분포 (견고)	국지적분포 (파쇄)	전반적분포 (파쇄)	전반적분포 (파쇄, 누수)	3
	점수	0	3	6	10	15	
③불연속면특성	구분	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량	0
	점수	0	1~5	6~10	11~16	17~24	
④지반변형	구분	변형 없음	약간의 변형	국지적인 변형	사면 전반에 걸친변형	사면 전반에 걸친변형	0
	점수	0	2	4	6	9	
⑤지하수	구분	건조	젖음 사면하부	젖음 사면상부	흐름 사면하부	흐름 사면상부	0
	점수	0	2	3	5	8	
⑥배수조건	구분	완전배수	양호	보통	불량	매우불량	0
	점수	0	2	5	7	11	
⑦붕괴이력	구분	없음	세굴 및 표층균열	표층파괴	심층파괴	대규모파괴	0
	점수	0	2	4	7	10	
⑧낙석	구분	없음	1m³ 미만 (50kJ미만)	1~5m³ 미만 (50~70kJ미만)	5~10m³ 미만 (70~120kJ미만)	10m³ 이상 (120kJ이상)	0
	점수	0	4	7	11	17	
결합지수 = $\sum(①\sim⑧) / 100 = 0.030$							A 등급

<표 2.4-12> 3구간 인장균열의 결합점수 산정

결합등급 성능지표		a	b	c	d	e	평가
⑨인장균열	구분	없음	-	-	있음 (비진행성)	있음 (진행성)	8
	점수	8	-	-	65	88	
결합지수 = ⑨ / 100 = 0.080							a 등급

나. 상태안전성능 평가결과

〈표 2.4-13〉 구간별 상태안전성능평가 결과

사면의 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종평가결과 선정	비고
248m	1구간	110m	B	B	
	2구간	50m	B		
	3구간	88m	B		
	· 인장균열 유무 및 진행성 여부를 고려하여 분할 평가한 구간 중 최소 등급으로 산정된 값을 적용				

〈표 2.4-14〉 상태안전성능평가 결과(토사)

시설물명	마창절토사면 (영업소 뒤)	근거표번호		〈표 2.4-5〉 〈표 2.4-9〉			
사면종류	절토사면	구성재료		토사			
평가요소		1구간		2구간		3구간	
평가항목	세부평가항목	결합 점수	등급	결합 점수	등급	결합 점수	등급
(1) 집수지형		-	-	0	a	0	a
(2) 지반변형		-	-	0	a	0	a
(3) 지하수		-	-	0	a	0	a
(4) 배수조건		-	-	0	a	0	a
(5) 사면상부상태		-	-	14	e	14	e
(6) 붕괴이력		-	-	0	a	0	a
(A) 총점				0.140	a	0.140	a
(7) 인장균열		-	-	8	a	8	a
(B) 총점				0.08		0.08	
결합지수 (A)와(B)중 최대값				0.140	A	0.140	A
상태평가 결과		A					

〈표 2.4-15〉 상태안전성능평가 결과(암반)

시설물명	마창절토사면 (영업소 뒤)	근거표번호		〈표 2.4-3〉 〈표 2.4-7〉 〈표 2.4-11〉			
사면종류	절토사면	구성재료		암반			
평가요소		1구간		2구간		3구간	
평가항목	세부평가항목	결합 점수	등급	결합 점수	등급	결합 점수	등급
(1) 집수지형		0	a	0	a	0	a
(2) 불안정 지질		3	b	3	b	3	b
(3) 불연속면의 특성		0	a	11.5	d	0	a
(4) 지반변형		0	a	0	a	0	a
(5) 지하수		0	a	0	a	0	a
(6) 배수조건		0	a	0	a	0	a
(7) 붕괴이력		0	a	0	a	0	a
(8) 낙석	규모	0	d	0	a	0	a
	예상낙석에너지	11		0		0	
(A) 총점		0.140		0.145		0.030	
(9) 인장균열		8	a	8	a	8	a
(B) 총점		0.080		0.080		0.080	
결합지수 (A)와(B)중 최대값		0.140	A	0.145	A	0.080	A
상태평가 결과		B					

다. 외관조사 및 결과분석의 적정성

1) 하중상태 등 조사

본 절토 비탈면 상부 자연사면 조사결과 상부 자연사면은 39° 내외의 상향경사를 보이고 있고, 전차 정밀점검과 비교하여 하중상태는 변화가 없으며, 자연사면 상부의 인장균열은 관찰되지 않았다.

2) 부재변형 등 조사

본 절토 비탈면 현장조사 결과, 전차 정밀점검과 비교하여 부재변형등은 나타나지 않고 있으며, 이완암반 또한 안정한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

소단배수로 및 산마루측구의 균열부에 대하여 보수가 완료된 상태로서 배수기능이 원활히 이루어지며, 내구성 또한 확보된 것으로 판단된다.

3) 결함(손상) 발생원인 분석

본 절토사면의 소단배수로의 균열부 조사결과 시공중 건조수축에 의한 균열로 판단되며, 현재 보수가 완료된 상태이며, 산마루측구의 신축이음부의 균열 또한 시공중 발생한 것으로 판단되며 보수 완료 상태로 조사되었다.

라. 손상 및 결함 등에 대한 원인 추정의 적정성

1) 결함 항목별 원인 추정

본 절토사면내 일부 식생활착 불량에 의한 식생토의 흘러내림 및 토사 퇴적이 관찰되고 있으며, 암반비탈면에 적용하여 습윤상태가 지속되지 않아 식생의 발아가 제대로 이루어지지 않은 것으로 추정된다.

2) 부재(부위)별 원인 추정

콘크리트 배수구조물의 균열 보수상태는 전반적으로 양호한 상태이며, 식생 불량구간에 대하여 주기적인 관찰을 통하여 암반 노출면에 대하여 풍화의 진행을 파악하여야 할 것으로 판단된다.

2.4.3 구조안전성능평가

가. 강도정수

본 과업은 2종 성능평가 과업으로서, 기 안전성검토 자료를 바탕으로 평가를 수행하였으며, 마창대교 건설공사 구조 및 수리계산서 보고서에서 산정된 강도정수를 적용하였으며, 적용 물성은 다음과 같다.

마창대교 건설공사 구조 및 수리계산서

마 창 대 교 건 설 공 사
구조 및 수리계산서
[Vol. IV - 영업소]

2008. 6

▲ (주) 마 창 대 교

723

평면과고 형상평형해석

1. 개요 (218, 245) 부속사면

2. 설계조건

구분	단위	값
설계하중	kN/m ²	10.0
설계속도	m/s	0.5
설계지점	m	10.0

3. 설계과정

743

1) 연속체 강도정수

〈표 2.4-16〉 연속체 해석을 위한 강도정수 산정결과

구 분	단위중량(kN/m ³)	점착력(kPa)	내부마찰각
풍화토	19.0	10	30.0
풍화암	21.0	50	31.0
연 암	25.0	190.0	33.0

2) 불연속체 강도정수

〈표 2.4-17〉 불연속체 해석을 위한 강도정수 산정결과

구 분	단위중량(kN/m ³)	점착력(kPa)	마찰각(°)
기반암	25.0	0.0	30.0

나. 구간별 구조안전성능 평가

본 절토사면의 설계도서, 지형도(1:5,000) 및 현장조사결과에서 횡단면도를 추출하여 검토 단면을 선정하였다. 지하수위 조건은 지표면에 위치하는 것으로 하였다.

1) 1구간(암반사면) 구조안전성능 평가

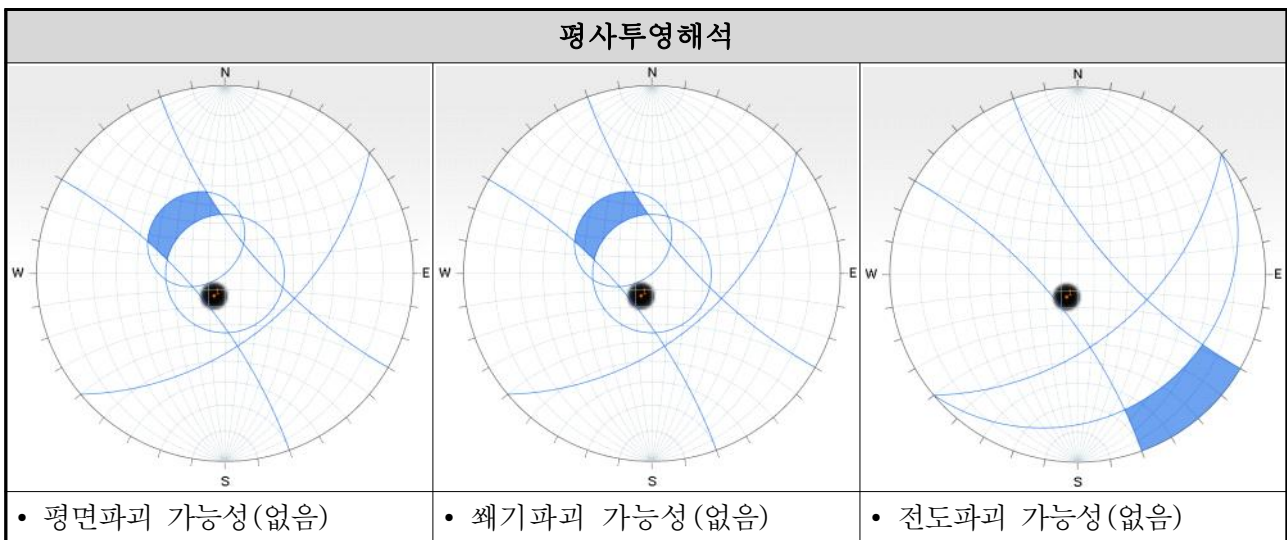
(가) 암반구간 평사투영해석

본 절토사면 1구간 사면의 경우 깎기높이가 30m이며, 토층 심도가 5m 내외로 조사되어 암반사면으로 확인되어, 암반사면에 대한 구조안전성능 평가를 수행하였다. 불연속면의 방향성으로 평사투영해석을 수행하여 평면 및 쉼기, 전도 파괴의 발생 가능성을 분석하였다.

〈표 2.4-18〉 불연속면의 절리값

구 성	Site 1	구 성	Site 1
비탈면 경사	53	종류	Set 1
비탈면 방향성	140	방향성	15/026

〈표 2.4-19〉 평사투영해석결과



본 평가에서 사용된 프로그램은 Midas社의 Soilworks(Rock Module)프로그램을 이용하였으며, 평사투영해석 결과 평면파괴, 쉼기 및 전도파괴 가능성은 나타나지 않는 것으로 확인되어 암반구간에 대한 한계평형해석은 별도 수행하지 않았다.

2) 2구간(혼합사면) 구조안전성능 평가

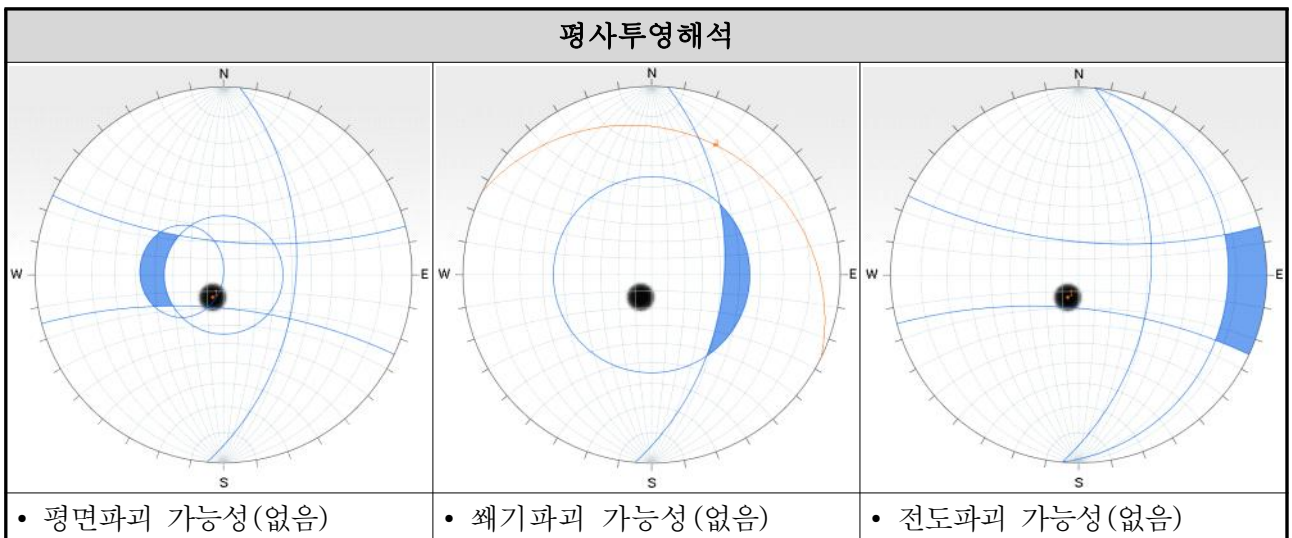
(가) 암반구간 평사투영해석

본 절토사면 2구간 사면의 경우 깎기높이가 36m이며, 토층 심도가 13m 내외로 조사되어 혼합사면으로 확인되어, 암반사면에 대한 구조안전성능 평가를 수행하였다. 불연속면의 방향성으로 평사투영해석을 수행하여 평면 및 켜기, 전도 파괴의 발생 가능성을 분석하였다.

〈표 2.4-20〉 불연속면의 절리값

구 성	Site 1	구 성	Site 1
비탈면 경사	48	종류	Set 1
비탈면 방향성	095	방향성	15/026

〈표 2.4-21〉 평사투영해석결과

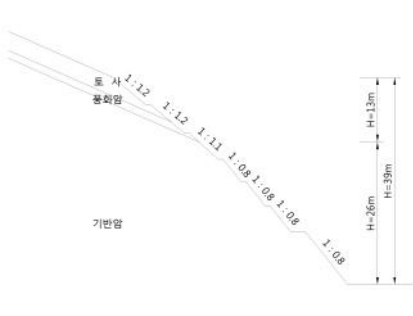
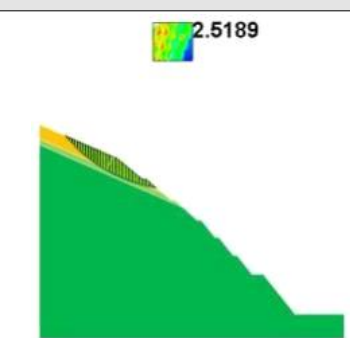
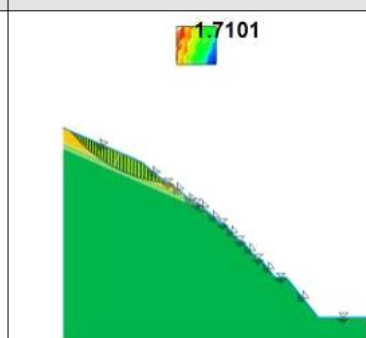


본 평가에서 사용된 프로그램은 Midas社의 Soilworks(Rock Module)프로그램을 이용하였으며, 평사투영해석 결과 평면파괴, 켜기 및 전도파괴 가능성은 나타나지 않는 것으로 확인되어 암반구간에 대한 한계평형해석은 별도 수행하지 않았다.

(나) 토사구간 한계평형해석

본 절토사면 2구간 토층 심도가 13m 내외로 조사되어 토사구간에 대한 한계평형해석을 시행하였으며, 이때 지하수위 조건은 지표면에 위치하는 것으로 하였다.

〈표 2.4-22〉 토사구간 한계평형해석결과

해석단면	건기시	우기시
		
비탈면 높이 : 39m	안전율 FS = 2.519 > 1.50	안전율 FS = 1.710 > 1.20

본 평가에서 사용된 프로그램은 Midas社의 Soilworks(Slope Module)프로그램을 이용하였으며, 토사구간에 대한 한계평형해석 결과 건기시 및 우기시 기준안전율을 이상으로 충분한 안전성 확보가 가능한 것으로 검토되었다.

3) 3구간(혼합사면) 구조안전성능 평가

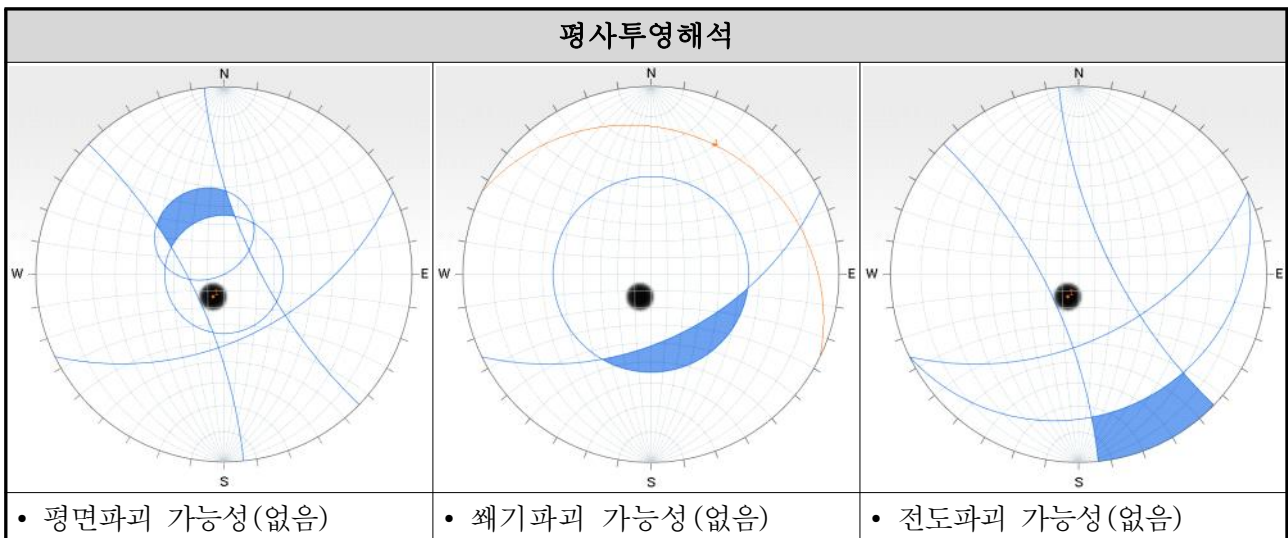
(가) 암반구간 평사투영해석

본 절토사면 3구간 사면의 경우 깎기높이가 36m이며, 토층 심도가 11m 내외로 조사되어 혼합사면으로 확인되어, 암반사면에 대한 구조안전성능 평가를 수행하였다. 불연속면의 방향성으로 평사투영해석을 수행하여 평면 및 켜기, 전도 파괴의 발생 가능성을 분석하였다.

〈표 2.4-23〉 불연속면의 절리값

구 성	Site 1	구 성	Site 1
비탈면 경사	51	종류	Set 1
비탈면 방향성	154	방향성	15/026

〈표 2.4-24〉 평사투영해석결과

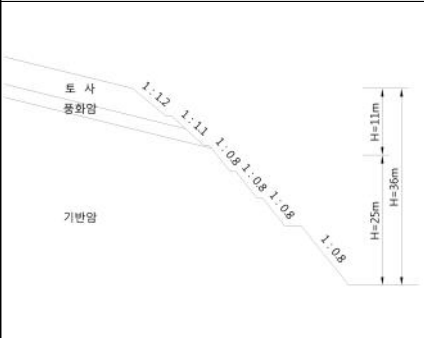
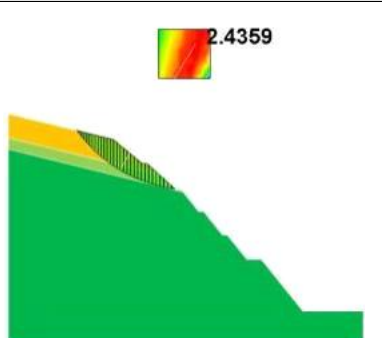
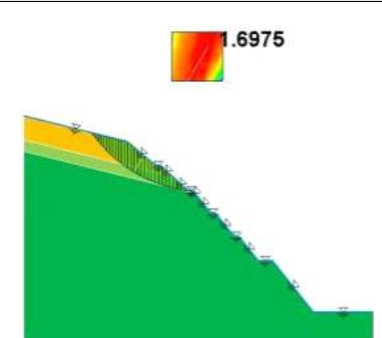


본 평가에서 사용된 프로그램은 Midas社의 Soilworks(Rock Module)프로그램을 이용하였으며, 평사투영해석 결과 평면파괴, 켜기 및 전도파괴 가능성은 나타나지 않는 것으로 확인되어 암반구간에 대한 한계평형해석은 별도 수행하지 않았다.

(나) 토사구간 한계평형해석

본 절토사면 3구간 토층 심도가 11m 내외로 조사되어 토사구간에 대한 한계평형해석을 시행하였으며, 이때 지하수위 조건은 지표면에 위치하는 것으로 하였다.

〈표 2.4-25〉 토사구간 한계평형해석결과

해석단면	건기시	우기시
		
비탈면 높이 : 36m	안전율 FS = 2.436 > 1.50	안전율 FS = 1.698 > 1.20

본 평가에서 사용된 프로그램은 Midas社의 Soilworks(Slope Module)프로그램을 이용하였으며, 토사구간에 대한 한계평형해석 결과 건기시 및 우기시 기준안전율 이상으로 충분한 안전성 확보가 가능한 것으로 검토되었다.

나. 구간별 구조안전성능 평가 결과

본 과업대상 절토사면은 외관조사 시 연장 248m, 높이 39m의 암반으로 구성되어 있으며, 암반구간에 대해서는 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하여, 구조안전성능 평가를 시행하였다.

1) 1구간 구조안전성능 평가 결과

<표 2.4-26> 1구간 구조안전성능 평가 결과

구조안전성능 평가결과 산정표					
시설물명		마창절토사면(영업소 뒤)		근거표번호	<표 2.4-26>
구성재료	파괴유형	기준안전율		평가 결과	비고
암반	평면파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
	썰기파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
	전도파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
토사	원호파괴	건기시	-	-	-
		우기시	-		
지진시		-		-	필요시
구조안전성능 평가결과		a			

2) 2구간 구조안전성능 평가 결과

<표 2.4-27> 2구간 구조안전성능 평가 결과

구조안전성능 평가결과 산정표					
시설물명		마창절토사면(영업소 뒤)		근거표번호	<표 2.4-27>
구성재료	파괴유형	기준안전율		평가 결과	비고
암반	평면파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
	썰기파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
	전도파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
토사	원호파괴	건기시	2.519	0.080	건기 및 우기시 허용안전율 만족
		우기시	1.710		
지진시		-		-	필요시
구조안전성능 평가결과		a			

3) 3구간 구조안전성능 평가 결과

〈표 2.4-28〉 3구간 구조안전성능 평가 결과

구조안전성능 평가결과 산정표					
시설물명		마창절토사면(영업소 뒤)		근거표번호	〈표 2.4-28〉
구성재료	파괴유형	기준안전율		평가 결과	비고
암반	평면파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
	썰기파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
	전도파괴	건기시	-	-	평사투영해석결과 가능성 없음
		우기시	-		
토사	원호파괴	건기시	2.436	0.080	건기 및 우기시 허용안전율 만족
		우기시	1.698		
지진시		-		-	필요시
구조안전성능 평가결과		a			

주) 평사투영해석 결과, 평면파괴 썰기파괴 및 전도파괴 가능성이 나타나지 않아 한계평형해석은 수행하지 않았으며, 일부 이완암이 관찰되고 있으나 본 검토 비탈면에는 낙석방지망이 설치되어 국부적인 낙석(전도파괴)의 위험성이 억제될 것으로 판단됨.

다. 구조안전성능 평가 결과

〈표 2.4-29〉 구간별 구조안전성능 평가 결과

사면의 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종평가결과 선정	비고
248m	1구간	110m	a	A	
	2구간	50m	a		
	3구간	88m	a		
	· 분할 평가한 구간 중 최소 등급으로 산정된 값을 적용				

2.4.4 안전성능평가 결과

안전성능평가는 상태안전성능평가 결과와 구조안전성능평가 결과 중 낮은 등급인 B등급을 안전성능평가 등급으로 결정하였다.

〈표 2.4-30〉 안전성능평가 결과표

안전성능 평가 결과 산정표					
시설물명		마창절토사면(영업소뒤)		비고	근거표번호
평가구분		결합지수	평가결과		
1구간 암반	상태안전성능	0.140	A	인장균열 없음	〈표 2.4-18〉
	구조안전성능	0.080	A	-	〈표 2.4-26〉
2구간 토사	상태안전성능	0.140	A	인장균열 없음	〈표 2.4-22〉
	구조안전성능	0.080	A	-	〈표 2.4-27〉
2구간 암반	상태안전성능	0.145	A	인장균열 없음	〈표 2.4-20〉
	구조안전성능	-	-	-	〈표 2.4-27〉
3구간 토사	상태안전성능	0.140	A	인장균열 없음	〈표 2.4-14〉
	구조안전성능	0.080	A	-	〈표 2.4-28〉
3구간 암반	상태안전성능	0.080	A	인장균열 없음	〈표 2.4-15〉
	구조안전성능	-	-	-	〈표 2.4-28〉
안전성능		0.145	A		
안전성능평가 결과		· 상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소 등급 선택 · 안전성능 평가 결과 : A 등급			

〈표 2.4-31〉 안전성능 평가결과에 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 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq (E) < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.50 \leq (E) < 0.75$	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 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

2.5 시설물의 내구성능평가

2.5.1 비탈면 개요

내구성능평가 결과 산정은 각 지표별 평가등급의 결합도 지수와 가중치를 활용하여 최종 등급을 산정하였으며, 혼합사면의 경우 토질과 암반을 각각 평가하여 낮은 등급을 최종등급으로 결정하였다.

〈표 2.5-1〉 시설물의 내구성능평가

사면 형식		혼합사면
공용 기간		11년
암반구간 설계(초기)강도		134.15MPa
길이		248.0m
면적	전체	6,572㎡
	토질구간	2,355㎡
	암반구간	4,217㎡
표면보호공	식생	3,258㎡
	구조물공	-
사면보강공	RockBolt	균열 및 파손 없음
	Soil Nail	균열 및 파손 없음

〈표 2.5-2〉 등급별 결합도 지수 및 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
0.08	0.23	0.43	0.65	0.88
$0 \leq E < 0.15$	$0.15 \leq E < 0.30$	$0.30 \leq E < 0.55$	$0.55 \leq E < 0.75$	$0.75 \leq E$

〈표 2.5-3〉 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치(%)			
		기본	가중치 보정		
토사사면	지반상태(암반)	40	53	62	100
	표면보호공	25	-	38	-
	사면보강공	35	47	-	-
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62
	표면보호공	10	-	14	-
	사면보강공	25	28	-	-

2.5.2 구간별 내구성능 평가

가. 1구간(암반사면) 지표평가

1) 지반상태

현장조사시 수행한 슈미트해머 측정값을 활용하여 암반사면의 지반상태를 평가하였다. 본 절토사면의 암석 강도에 대하여 2017년 정밀점검시 산정되었던 값의 평균을 이용하여 초기값(134.15MPa)으로 설정하였다.

〈표 2.5-4〉 지반상태

시험개소	슈미트해머에 의한 추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비 강도 (%)	비 고
1단사면 (SAT.4+800)	168.6	125.7	
1단사면 (SAT.4+820)	164.5	122.6	
1단사면 (SAT.4+830)	174.5	130.1	최대
2단사면 (SAT.4+795)	122.2	91.1	최소
2단사면 (SAT.4+800)	125.8	93.8	
2단사면 (SAT.4+805)	167.0	124.5	
2단사면 (SAT.4+810)	163.7	122.0	
평균 값	155.19	115.7	
등급	A 경암 (95 ~ 100%)		

2) 표면보호공

〈표 2.5-5〉 표면보호공

표면보호공 종류	피복 면적 (손상 면적)	피복율 (손상율)
식생	244㎡ / 1,889㎡	12.92%
구조물공	(-)	(-)
등급	E 매우불량 (0% 이상 ~ 30% 미만)	

※ 식생과 구조물공(콘크리트뿔어붙이기/석장공)이 혼재되어 있는 경우 구조물공의 등급을 최종등급으로 결정함.

3) 사면보강공

〈표 2.5-6〉 사면보강공

구분	밀착도	균열 및 파손	앵커별 등급	등급점수	비고
락볼트	유격없음	균열 및 파손 없음	A	0.080	

4) 절리상태 및 풍화진행도

〈표 2.5-7〉 절리상태 및 풍화진행도

시험개소	시험개소별 등급	등급점수	비고
Site 1	c	0.430	
평균 값	C	0.430	
등급	C		

※ 세부 평가내용은 부록 “성능평가” 에 수록하였음.

나. 2구간(토사사면) 지표평가

1) 지반상태

현장조사시 수행한 토양경도시험 측정값을 활용하여 토사사면의 지반상태를 평가하였다.

<표 2.5-8> 토양경도시험 평가결과

시험 위치	시험위치	토양경도(mm)				비 고
		상부	중부	하부	평 균	
2구간	4+760	17.2	16.9	15.8	16.6	
등 급		B				

2) 표면보호공

<표 2.5-9> 표면보호공 면적

표면보호공 종류	피복 면적 (손상 면적)	피복율 (손상율)
식생	710㎡ / 710㎡	100%
구조물공	(-)	(-)
등급	A 양호 (90% 이상)	

※ 식생과 구조물공(콘크리트뿔어붙이기/석장공)이 혼재되어 있는 경우 구조물공의 등급을 최종등급으로 결정함.

3) 사면보강공

<표 2.5-10> 사면보강공

구분	밀착도	균열 및 파손	앵커별 등급	등급점수	비고
소일네일	유격없음	균열 및 파손 없음	A	0.080	

다. 2구간(암반사면) 지표평가

1) 지반상태

현장조사시 수행한 슈미트해머 측정값을 활용하여 암반사면의 지반상태를 평가하였다. 본 절토사면의 암석 강도에 대하여 2017년 정밀점검시 산정되었던 값의 평균을 이용하여 초기값(134.15MPa)으로 설정하였다.

<표 2.5-11> 지반상태

시험개소	슈미트해머에 의한 추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비 강도 (%)	비 고
1단사면 (SAT.4+750)	136.7	101.9	최소
1단사면 (SAT.4+760)	168.6	125.7	
2단사면 (SAT.4+765)	142.8	106.4	
2단사면 (SAT.4+770)	164.5	122.6	
2단사면 (SAT.4+775)	156.7	116.8	
1단사면 (SAT.4+780)	181.4	135.2	최대
평균 값	158.45	118.1	
등급	A 경암 (95 ~ 100%)		

※ 본 과업은 최초로 시행하는 성능평가 과업으로서 현재 값을 초기값으로 사용하였음.

2) 표면보호공

<표 2.5-12> 표면보호공

표면보호공 종류	피복 면적 (손상 면적)	피복율 (손상율)
식생	93㎡ / 1,087㎡	8.56%
구조물공	(-)	(-)
등급	E 매우불량 (0% ~ 30% 미만)	

※ 식생과 구조물공(콘크리트붙어붙이기/석장공)이 혼재되어 있는 경우 구조물공의 등급을 최종등급으로 결정함.

3) 사면보강공

〈표 2.5-13〉 사면보강공

구분	밀착도	균열 및 파손	앵커별 등급	등급점수	비고
락볼트	유격없음	균열 및 파손 없음	A	0.080	

4) 절리상태 및 풍화진행도

〈표 2.5-14〉 절리상태 및 풍화진행도

시험개소	시험개소별 등급	등급점수	비고
Site 1	c	0.430	
평균 값	C	0.430	
등급	C		

※ 세부 평가내용은 부록 “성능평가” 에 수록하였음.

라. 3구간(토사사면) 지표평가

1) 지반상태

현장조사시 수행한 토양경도시험 측정값을 활용하여 토사사면의 지반상태를 평가하였다.

〈표 2.5-15〉 토양경도시험 평가결과

시험 위치	시험위치	토양경도(mm)				비 고
		상부	중부	하부	평 균	
3구간	4+660	16.6	17.8	17.0	17.1	최대 최소
	4+680	16.7	17.2	15.9	16.6	
	4+700	14.6	14.9	17.3	15.6	
	4+720	16.6	14.9	14.0	15.2	
	4+740	15.7	14.7	15.5	15.3	
등 급		B				

2) 표면보호공

〈표 2.5-16〉 표면보호공 면적

표면보호공 종류	피복 면적 (손상 면적)	피복율 (손상율)
식생	1,645㎡ / 1,645㎡	100%
구조물공	(-)	(-)
등급	A 매우양호 (90% 이상)	

※ 식생과 구조물공(콘크리트뿔어붙이기/석장공)이 혼재되어 있는 경우 구조물공의 등급을 최종등급으로 결정함.

3) 사면보강공

〈표 2.5-17〉 사면보강공

구분	밀착도	균열 및 파손	앵커별 등급	등급점수	비고
소일네일	유격없음	균열 및 파손 없음	A	0.080	

마. 3구간(암반사면) 지표평가

1) 지반상태

현장조사시 수행한 슈미트해머 측정값을 활용하여 암반사면의 지반상태를 평가하였다. 본 절토사면의 암석 강도에 대하여 2017년 정밀점검시 산정되었던 값의 평균을 이용하여 초기값(134.15MPa)으로 설정하였다.

〈표 2.5-18〉 지반상태

시험개소	슈미트해머에 의한 추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비 강도 (%)	비 고
2단사면 (SAT.4+655)	92.0	68.6	
2단사면 (SAT.4+660)	87.7	65.4	최소
1단사면 (SAT.4+670)	174.5	130.1	최대
1단사면 (SAT.4+680)	132.1	98.5	
1단사면 (SAT.4+690)	124.0	92.4	
1단사면 (SAT.4+700)	131.4	98.0	
1단사면 (SAT.4+710)	135.4	100.9	
1단사면 (SAT.4+720)	152.2	113.5	
1단사면 (SAT.4+730)	139.4	103.9	
평균 값	129.8	96.8	
등급	A 경암 (95 ~ 100%)		

※ 본 과업은 최초로 시행하는 성능평가 과업으로서 현재 값을 초기값으로 사용하였음.

2) 표면보호공

〈표 2.5-19〉 표면보호공

표면보호공 종류	피복 면적 (손상 면적)	피복율 (손상율)
식생	566㎡ / 1,245㎡	45.46%
구조물공	(-)	(-)
등급	D 불량 (30% 이상 ~ 50% 미만)	

※ 식생과 구조물공(콘크리트뿔어붙이기/석장공)이 혼재되어 있는 경우 구조물공의 등급을 최종등급으로 결정함.

3) 사면보강공

〈표 2.5-20〉 사면보강공

구분	밀착도	균열 및 파손	앵커별 등급	등급점수	비고
락볼트	유격없음	균열 및 파손 없음	A	0.080	

4) 절리상태 및 풍화진행도

〈표 2.5-21〉 절리상태 및 풍화진행도

시험개소	시험개소별 등급	등급점수	비고
Site 1	c	0.430	
평균 값	C	0.430	
등급	C		

※ 세부 평가내용은 부록 “성능평가” 에 수록하였음.

2.5.3 내구성능평가 결과

내구성능평가 결과 산정은 각 지표별 평가등급의 결합도指數와 가중치를 활용하여 최종 등급을 산정하였다.

〈표 2.5-22〉 지표별 가중치 결과표

사면구분		지표명	지표별 가중치(%)				
			기본	가중치 보정			적용
암반 사면 (1구간)	암반	지반상태(암반)	25	28	33	38	25
		절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	40
		표면보호공	10	-	14	-	10
		사면보강공	25	28	-	-	25
혼합 사면 (2구간)	토사	지반상태(토사)	40	53	62	100	62
		표면보호공	25	-	38	-	38
		사면보강공	35	47	-	-	35
	암반	지반상태(암반)	25	28	33	38	25
		절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	40
		표면보호공	10	-	14	-	10
		사면보강공	25	28	-	-	25
혼합 사면 (3구간)	토사	지반상태(토사)	40	53	62	100	62
		표면보호공	25	-	38	-	38
		사면보강공	35	47	-	-	35
	암반	지반상태(암반)	25	28	33	38	25
		절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	40
		표면보호공	10	-	14	-	10
		사면보강공	25	28	-	-	25

가. 1구간(암반사면) 내구성능 등급 산정

〈표 2.5-23〉 내구성능평가 결과표

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a×b)
지반상태	A	0.080	0.25	0.020
표면보호공	E	0.880	0.10	0.088
사면보강공	A	0.080	0.25	0.020
절리상태 및 풍화진행도	C	0.430	0.40	0.172
결합도 지수				0.300
등급				B

나. 2구간(토사사면) 내구성능 등급 산정

〈표 2.5-24〉 내구성능평가 결과표

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a×b)
지반상태	B	0.230	0.40	0.092
표면보호공	A	0.080	0.25	0.020
사면보강공	A	0.080	0.35	0.028
결합도 지수				0.140
등급				A

다. 2구간(암반사면) 내구성능 등급 산정

〈표 2.5-25〉 내구성능평가 결과표

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a×b)
지반상태	A	0.080	0.25	0.020
표면보호공	E	0.880	0.10	0.088
사면보강공	A	0.080	0.25	0.020
절리상태 및 풍화진행도	C	0.430	0.40	0.172
결합도 지수				0.300
등급				B

라. 3구간(토사사면) 내구성능 등급 산정

〈표 2.5-26〉 내구성능평가 결과표

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a×b)
지반상태	B	0.230	0.40	0.092
표면보호공	A	0.080	0.25	0.020
사면보강공	A	0.080	0.35	0.028
결합도 지수				0.140
등급				A

마. 3구간(암반사면) 내구성능 등급 산정

〈표 2.5-27〉 내구성능평가 결과표

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결합지수 (a×b)
지반상태	A	0.080	0.25	0.020
표면보호공	D	0.650	0.10	0.065
사면보강공	A	0.080	0.25	0.020
절리상태 및 풍화진행도	C	0.430	0.40	0.172
결합도 지수				0.277
등급				B

바. 내구성능 평가 최종등급 산정

〈표 2.5-28〉 내구성능 평가 최종등급 산정

구간	사면구분	내구성능 등급	결합지수	근거표번호	최종등급
1구간	암반사면	B	0.300	〈표 2.5-23〉	B
2구간	토사사면	A	0.140	〈표 2.5-24〉	
	암반사면	B	0.300	〈표 2.5-25〉	
3구간	토사사면	A	0.140	〈표 2.5-26〉	
	암반사면	B	0.277	〈표 2.5-27〉	

2.6 종합평가

2.6.1 종합평가 결과

본 점검에서 수행한 성능평가는 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가 편 (국토교통부/한국시설안전공단, 2019. 01.)”에 준하여 실시하였으며 안전성능평가와 내구성능평가를 통하여 종합평가를 실시하였다.

〈표 2.6-1〉 종합평가 결과 산정표

시설물 종합평가 결과 산정표							
시설물명			마창절토사면(영업소뒤)		분 류	국도 / 암반	
평가구분			성능평가지수	평가결과	성능간 가중치(Wn)	결합지수	비 고
1 구 간	암반	안전성능 평가	ps=0.140	A	0.8	0.172	
		내구성능 평가	pd=0.300	B	0.2		
2 구 간	토사	안전성능 평가	ps=0.140	A	0.8	0.140	
		내구성능 평가	pd=0.140	A	0.2		
	암반	안전성능 평가	ps=0.145	A	0.8	0.176	
		내구성능 평가	pd=0.300	B	0.2		
3 구 간	토사	안전성능 평가	ps=0.140	A	0.8	0.140	
		내구성능 평가	pd=0.140	A	0.2		
	암반	안전성능 평가	ps=0.080	A	0.8	0.119	
		내구성능 평가	pd=0.277	B	0.2		
종합평가 결과			· 사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = 0.145 × 0.8 + 0.300 × 0.2 = 0.176				
			결합지수	0.176	종합평가등급	B	

2.6.2 종합성능등급 지정

본 점검에서 수행한 안전성능평가 및 내구성능평가 등을 종합적으로 평가하여 종합성능등급을 “B” 등급으로 지정하였다.

〈표 2.6-2〉 안전등급 지정

종합성능등급	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 조사되었고 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 필요하며 사용 제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq (P) < 1.00$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

2.7 시설물의 유지관리 전략 제언

2.7.1 보수·보강방안

본 절토비탈면은 전체적으로 안전성 및 사용성을 확보하고 있는 것으로 판단되며, 대부분의 소단측구내 퇴적물 제거가 완료되어 배수기능을 확보한 상태이나 일부 구간(4+675~690, 4+770~800, 4+805~820)내 퇴적물이 제거되지 않은 상태로 강우시 체수 등의 손상발생에 대한 주의 관찰이 필요한 상태이다. 현재 절토사면의 상태는 보수나 보강이 필요치 않은 양호한 상태로 판단된다.

구분	구 간	보수·보강 방안	보강사유	수량	비고
①	소단배수로 토사퇴적	주의관찰	-	L=60.0m	
②	이완암	주의관찰	-	12.0m ²	
③	식생불량	주의관찰	-	4.0m ²	

〈표 2.7-1〉 비탈면 보수·보강비

구 분	공 종	수량	단위	금액(천원)	비고
-	-	-	-	-	
소계(직접공사비)				-	
총공사비(직접공사비×1.6)				-	

2.7.2 우선순위지수

가. 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능 간 가중치를 산정하면 다음과 같다.

〈표 2.7-2〉 안전성능 가중치

구분	토사사면	암반사면	혼합사면
집수지형	12	6	7
불안정지질	-	15	14
불연속면특성	-	24	8
지반변형	24	9	11
지하수	18	8	12
배수조건	10	11	10
붕괴이력	22	10	11
낙석	-	17	12
사면상부상태	14	-	15

〈표 2.7-3〉 내구성능 가중치

구분	토사사면	암반사면	혼합사면
지반상태	40	25	29
표면보호공	25	10	15
사면보강공	35	25	24
절리상태 및 풍화도	-	40	32

〈표 2.7-4〉 성능간 가중치

구분	성능별 가중치	
	안전성능 (P1)	내구성능 (P2)
절토사면	80	20

나. 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하며, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

〈표 2.7-5〉 공법별 가중치 산정

구분	지표항목	가중치			영향도
		토사사면	암반사면	혼합사면	
안전성능 (E1)	집수지형	12	6	7	50~100
	불안정지질	-	15	14	50~100
	불연속면특성	-	24	8	50~100
	지반변형	24	9	11	50~100
	지하수	18	8	12	50~100
	배수조건	10	11	10	50~100
	붕괴이력	22	10	11	50~100
	낙석	-	17	12	50~100
	사면상부상태	14	-	15	50~100
내구성능 (E2)	지반상태	40	25	29	50~100
	표면보호공	25	10	15	50~100
	사면보강공	35	25	24	50~100
	절리상태 및 풍화진행도	-	40	32	50~100

2.7.3 유지관리 전략 제언

본 비탈면의 보수보강은 필요치 않은 상태로, 손상 발생에 대한 주기적인 점검을 통한 주의관찰을 실시한다면 효율적인 유지관리가 될 것으로 판단된다.

2.7.4 성능목표 등급 산정

본 비탈면의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표는 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가 편(국토교통부/한국시설안전공단, 2019. 01.)“에 의거하여 “B등급” 으로 선정한다.

〈표 2.7-6〉 종합성능평가에서의 결함도 범위

기 준	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.3$	$0.3 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

2.7.5 중점유지관리 사항

본 깎기비탈면에 대한 성능평가 결과에 따라 본 절에서는 향후 실시할 점검 및 진단 시 깎기비탈면의 안전성 및 내구성 차원에서 중점적으로 관찰하고 유의하여야 할 중점유지관리 항목을 설정하여 제시하였다. 이러한 항목들은 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰하여 향후 더 크게 발전할 가능성이 있는 결함부위에 대한 원인을 분석하여 사전에 예방 하자는 것으로서 <표 2.7-7>에 중점유지관리 항목을 제시하였다.

<표 2.7-7> 중점유지관리 항목

구 분	중점유지관리 항목	
사면부	- 관목류 뿌리에 의한 암반 이완 지속적 관찰 - 식생불량구간 토사 유실 발생 여부 관찰	
		
	소단 토사퇴적	수직도수로 주변 식생
종합의견	- 식생토의 활착불량에 의한 토사의 퇴적이 이루어짐에 따른 소단 배수기능저하가 예상되므로 주기적인 점검을 통하여 퇴적물 제거가 필요 - 산마루측구 및 소단배수로의 균열 보수가 완료되었으나, 주기적인 점검을 통하여 배수구조물의 내구성 확보 필요 - 절취면이 노출되어있는 상태로 풍화진행에 따른 강도저하등이 예상됨에 따라 낙석에 대하여 주기적인 점검이 필요	

2.8 종합결론 및 건의사항

일반적으로 절리암반비탈면에 대한 평가는 인장균열, 지반 및 구조물변형, 파괴발생규모와 같은 손상상태와 절취면에서 확인되는 절리의 방향성, 절리상태 등의 지반상태 및 비탈면경사, 강우등 자연요인, 절취 및 보강상태 등의 파괴요인을 종합적으로 고려하여 비탈면의 상태를 평가하고 있으며 이러한 평가요소는 주로 비탈면 외부에서 육안으로 확인되는 외적상태 및 자연적 요소에 중점을 두고 있다. 그러나 실제 절리암반비탈면의 붕괴는 이러한 요인과 함께 비탈면 내부에 안정성에 영향을 미칠 수 있는 단층, 절리 등의 지질구조대가 발달한 경우 지속적인 강도저하, 강우시 내부의 절리면의 급격한 간극수압 증가, 해빙기 취약면의 응력증가 등 육안상으로 확인되지 않는 내부의 다양한 요인에 의해 발생하고 특히, 대부분의 비탈면 붕괴가 집중호우중이나 강우직후에 발생하는 점을 고려할 때 비탈면의 상태평가 및 성능평가 등급으로 붕괴가능성을 충분히 예측하기에는 근본적 한계가 있다고 볼 수 있으며 평가 등급과 붕괴가능성 정도를 단순하게 연결, 해석하는 것은 매우 신중하여야 한다.

2.8.1 성능평가 종합 결론

본 대상비탈면은 국도2호선 마창대교에 위치한 시설물로서 금회 현장 성능평가를 통한 비탈면 상태를 종합적으로 평가한 결과는 다음과 같다.

- 본 점검대상 비탈면에 대한 외관조사 결과 전반적으로 암사면 하단부는 덩굴식재 및 초본류가 식생 되어 있는 상태이며 상단부는 관목+목본류가 발달되어있다.
- 암사면은 하단부에서 상단부로 갈수록 풍화가 진행된 상태로 조사되었으며 하단부는 약 간풍화~보통풍화, 상단부는 심한풍화 상태로 조사되었다
- 비탈면 최상부에 대한 조사 결과 인장균열, 지반변형 등의 중대 손상은 발생되지 않은 것으로 조사되어, 비탈면 안정성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 조사되지 않은 상태이다.
- 기 점검시 기반암에 포함되어 있는 철 성분이 화학적 풍화 작용으로 산화되어 생긴 녹물에 의한 변색이 조사된 것으로 확인되었다.
- 사면에 보강된 Rock bolt 및 Soil nailing은 특별한 손상이 없는 상태로 조사되었다.
- 기 점검시 도수로 구간에서 누수 흔적이 조사되었으나, 금회 조사시는 누수가 발생하지 않은 건조된 상태로 조사되었다.
- 소단 배수로 및 산마루측구의 균열부에 대하여 보수가 완료되어 배수 시설물은 양호한 것으로 조사되었다.

- 안전성능평가 결과 ‘B’ , 내구성능평가 결과 ‘B’ 등급으로서, 성능간 가중치를 고려한 종합평가 결과 ‘B’ 등급으로 평가되었다.
- 본 비탈면에 대한 성능평가 결과 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(국토교통부/한국시설안전공단, 2019. 01.)“에 따른 종합성능등급은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준” 인 『B등급』으로 평가되었다.

2.8.2 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

금회 성능평가 결과, 전체적인 비탈면의 안정성 및 내구성은 양호한 것으로 판단되나 관목류 발달로 인한 절리 이완 상태 확인 및 배수시설 내 퇴적물 퇴적 여부 확인 필요하다.

따라서 주기적인 점검을 통한 손상의 확장 유무를 확인하고, 금회 실시된 성능평가 자료를 기초로 하여 추후 점검시 효율적인 유지관리가 이루어질 수 있도록 함이 옳을 것으로 판단된다.