

남산공원 잠두봉 낙석방지공사 실시설계

보 고 서

2008. 10

서울특별시 남산공원관리사업소

제 출 문

남산공원관리사업소장 귀하

귀 청에서 의뢰한 “남산공원 잠두봉 낙석방지공사 실시설계 용역”을 완료하고,
그 결과를 정리하여 본 보고서로 제출합니다.

2008년 10월 일

서울시 금천구 가산동 327- 대륭테크노타운12차 909호

TEL : (02)3452-9130 FAX : (02)3452-9132

대 표 이 사 강 인 규(공 학 박 사)

토질 및 기초기술사 류 정 수



목 차

제 1 장 개 요	1
1.1 과업명	1
1.2 과업목적	1
1.3 과업범위	2
제 2 장 현 황	3
2.1 사면현황	3
2.2 현장조사	6
제 3 장 사면의 안정성 분석	17
3.1 암반의 분류	17
3.2 평사투영법에 의한 검토	23
3.3 낙석에 대한 검토	28
제 4 장 낙석위험구간 보강대책	33
4.1 암반사면 안정화 공법	33
4.2 낙석방지대책	41
4.3 시공관리	45
제 5 장 결론 및 제언	49

부 록

- A.1 측량보고서
- A.2 설계도면

제 1 장 개 요

1.1 과업명

남산공원 잠두봉 낙석방지공사 실시설계 용역

1.2 과업목적

본 과업은 중구 회현1가 산 1-2번지의 남산공원 잠두봉 일대의 산책로에 인접한 낙석 위험 사면에 대한 안정성을 검토하고 이에 대한 사면안정대책을 수립하는데 목적이 있다. 또한, 과업구간의 위치도는 그림 1.1과 같다.



그림 1.1 현장 위치도

1.3 과업범위

본 과업에서 검토 및 분석한 내용은 다음과 같다.

- (1) 사면 현장조사
- (2) 사면 안정성 분석
- (3) 현지여건에 맞는 낙석방지설계
- (4) 설계도서 작성

제 2 장 현 황

2.1 사면현황

본 과업구간은 남산공원 잠두봉 일대의 산책로에 인접한 낙석위험 구간으로서 조사구간에 대한 현황도 및 횡단면도는 그림 2.1 및 그림 2.2와 같다.

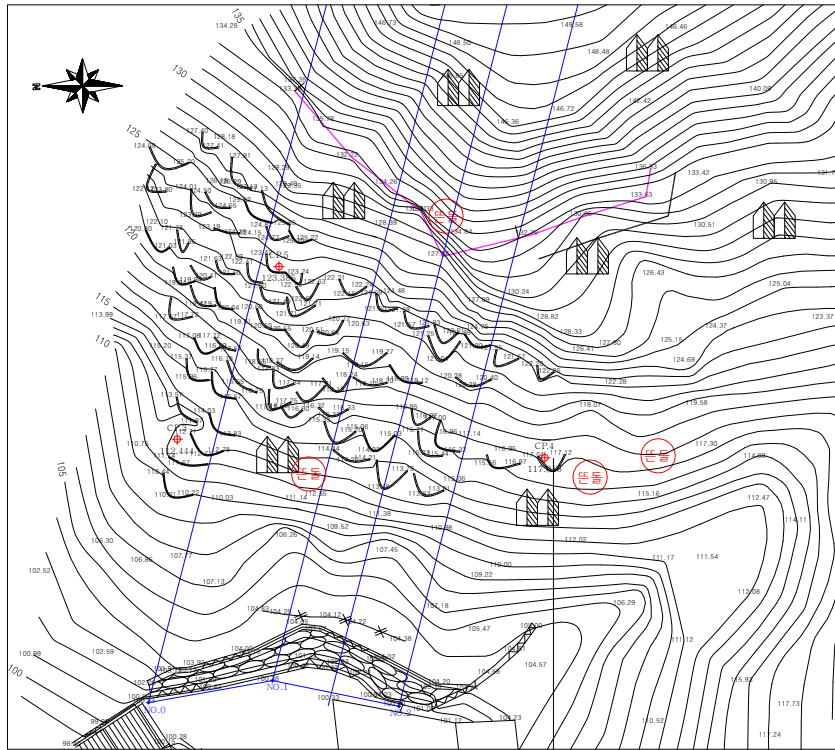


그림 2.1 남산공원 잠두봉 낙석위험구간의 현황도

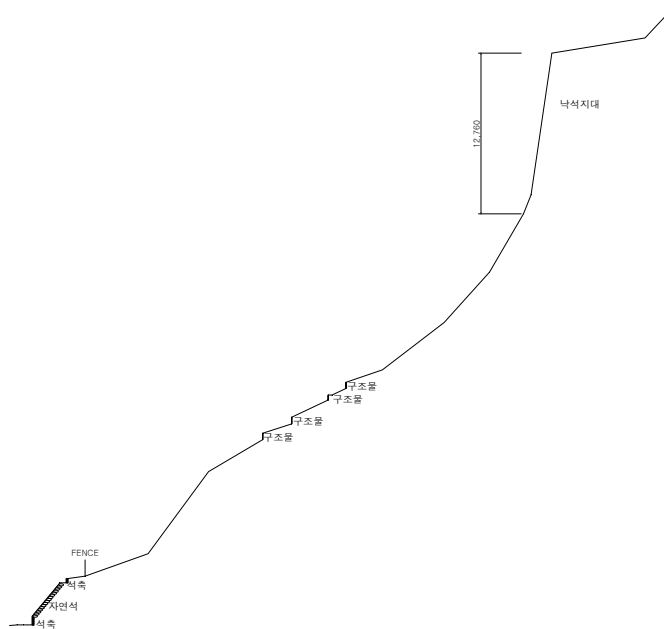


그림 2.2 NO.1 지점의 횡단면도

2.2 현장조사

본 과업구간은 암반사면으로서 암반사면의 안정성은 암반내 존재하는 불연속면의 공학적인 특성에 의해 크게 좌우되므로 암반 내에 발달하고 있는 불연속면의 공학적인 특성을 파악하는 것이 중요하다.

본 구간의 암반에 대한 지표지질조사를 실시하여 암반의 풍화상태 및 암반사면내에 발달된 불연속면의 발달상태 등을 판단하여 현장여건에 맞는 대책방안을 수립하기 위한 자료로 사용하고자 한다.

2.2.1 풍화상태

일반적으로 암석은 지표에 노출되면 기계적 및 화학적 작용에 의하여 풍화작용을 받는데 풍화작용의 정도에 따라 구성성분, 결합력, 강도 등에 많은 차이가 발생하며, 본 구간 절토사면의 풍화상태는 표 2.1에 제시한 기준에 의거 조사하였다.

표 2.1 풍화의 정도에 따른 분류

용 어	풍 화 정 도
완전풍화(Completely Weathered, CW)	암석전체가 완전히 풍화되어 흙으로 변화되었으나 모암의 원조적과 구조를 지니며, 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유하는 상태
심한풍화(Highly Weathered, HW)	암석 내부까지 풍화가 진행 중이며, 점토 물질이 협재되어있어 부분적으로 쉽게 부스러뜨릴 수 있는 상태
보통풍화(Moderately Weathered, MW)	전 암석표면에서부터 풍화가 진행 중이며, 색조는 변화했으나 손으로 부스러뜨릴 수 없는 상태
약간풍화(Slightly Weathered, SW)	기반암중에 발달된 불연속면을 따라 이미 약한 풍화작용이 시작되고 있으나 암석 자체에는 아무런 풍화작용이 일어나지 않은 상태
신 선(Fresh, F)	풍화작용의 흔적이 없는 상태

조사결과 본 구간의 풍화도는 전반적으로 보통풍화(MW)의 상태를 나타내고 있는 것으로 나타났다.

2.2.2 불연속면의 발달상태

암반사면의 안정성은 암반 내에 발달된 불연속면의 분포, 형태, 공학적 특성이 가장 중요한 요소이므로 불연속면의 공학적인 성질을 파악하기 위하여 방향, 간격, 연장성, 틈새, 종류수, 충전물질, 거칠기 및 강도 등을 조사하였다.

(1) 불연속면의 방향(Orientation)

불연속면의 방향은 그림 2.4와 같이 주향(Strike)과 경사(Dip)로 정의되며, 클리노콤파스를 사용하여 불연속면을 이루고 있는 면 중에서 주요 암괴의 안정에 영향을 미치는 불연속면들에 대해 주향과 경사를 측정하여 Stereonet에 투영함으로써 대표적인 불연속면의 방향을 검토할 수 있다.

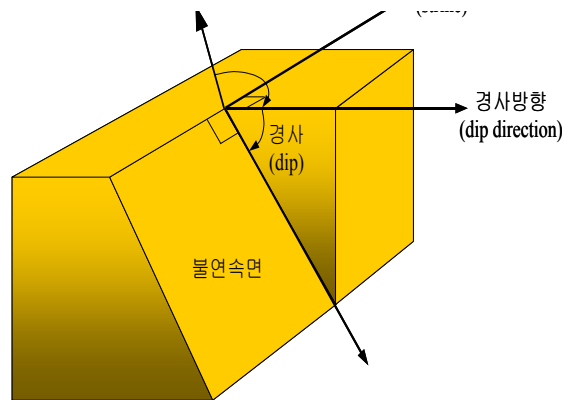


그림 2.4 불연속면의 방향

(2) 연속면의 간격(Spacing)

불연속면의 간격은 인접한 불연속면간의 수직거리이고, 일반적으로 불연속면의 종류에 따라 각각 평균수직간격을 측정한다.

불연속면의 간격은 암반을 구성하고 있는 암괴의 크기를 결정하고 암반의 공학적인 성질에 영향을 주는데 이에 대한 기준은 표 2.2와 같다.

표 2.2 불연속면 간격의 구분 및 표현

구 분	간 격(cm)	비 고
Extremely Close spacing	< 2	
Very Close Spacing	2 ~ 6	
Moderate Spacing	6 ~ 20	
Wide Spacing	20 ~ 60	
Very Wide Spacing	60 ~ 200	
Extremely Wide Spacing	> 600	

(3) 불연속면의 연장성(Persistence)

불연속면의 연장성은 불연속면의 크기 또는 불연속면이 연장되는 정도이고, 암반의 공학적인 성질을 지배하는 중요한 요소로서 길이에 따라 표 2.3과 같이 구분할 수 있다.

표 2.3 불연속면의 연장성 구분

용 어	길 이(m)	비 고
Very High Persistence	> 20	
High Persistence	20 ~ 10	
Medium Persistence	10 ~ 3	
Low Persistence	3 ~ 1	
Very Low Persistence	< 1	

(4) 불연속면의 틈새(Aperture)

불연속면의 틈새가 아주 좁아 밀착되어 있을 경우에는 점토나 모래와 같은 이물질이 유입되기 어렵다. 그러나 틈새가 비교적 넓은 경우에는 지하수의 유입과 유동이 자유로워지며, 이러한 지하수의 흐름에 따라 모래나 작은 암편들이 유입되어 틈새를 채우게 되는데 협재된 물질에 따라 사면의 전단저항력에 큰 영향을 미치기도 한다.

특히 협재된 물질이 연약한 점토일 경우에는 전단저항력을 현저히 감소시킬 수 있으며, 이러한 불연속면의 틈새는 그 틈새의 크기에 따라 표 2.4와 같이 분류할 수 있다.

표 2.4 불연속면의 틈새에 의한 분류

틈 새	구 분	형 태	비 고
< 0.1 mm	Very Tight	"Closed" Features	
0.1 ~ 0.25 mm	Tight		
0.25 ~ 0.5 mm	Partly Open		
0.5 ~ 2.5 mm	Open	"Gapped" Features	
2.5 ~ 10 mm	Moderately Wide		
> 10 mm	Wide		
1 ~ 10 cm	Very Wide	"Open" Features	
10 ~ 100 cm	Extremely Wide		
> 1 m	Cavernoud		

(5) 불연속면의 조도(Roughness)

불연속면의 거칠기는 전단강도에 있어 중요한 요소이며, 특히 무충전 절리에 있어 더욱 그러하다. 불연속면의 거칠기는 전체 절리의 굴곡정도(Waviness)와 작은 규모의 절리면 요철(Unevenness)로 나뉘어 기재한다. 굴곡정도(Waviness)는 절리표면에서 파동과 같이 나타나는 1차 거친 정도(First Order of Asperities)이며, 작은 규모에서의 절리면 요철은 2차 거친 정도(2nd Order of Asperities)이다.

표 2.5와 그림 2.5는 ISRM에 의해 제안된 등급과 거칠기의 정도를 표시한 것이다. 거칠기에 대한 표시방법은 두 단계 즉 소 척도(수 cm)와 중간 척도(수 m)의 측정으로 표시되어진다. 거칠기의 중간척도는 계단형, 파동형 및 평면형으로 나누어진다. 소척도는 다시 중간척도에 부과되어 거침(불규칙), 완만 및 매끄러움의 3단계로 구분된다.

표 2.5 불연속면의 거칠기 구분

등급	표시 방법	
I II III	계단형 (Stepped)	거침 혹은 불규칙 완만 매끄러움
IV V VI	파동형 (Undulating)	거침 혹은 불규칙 완만 매끄러움
VII VIII IX	평면형 (Planar)	거침 혹은 불규칙 완만 매끄러움

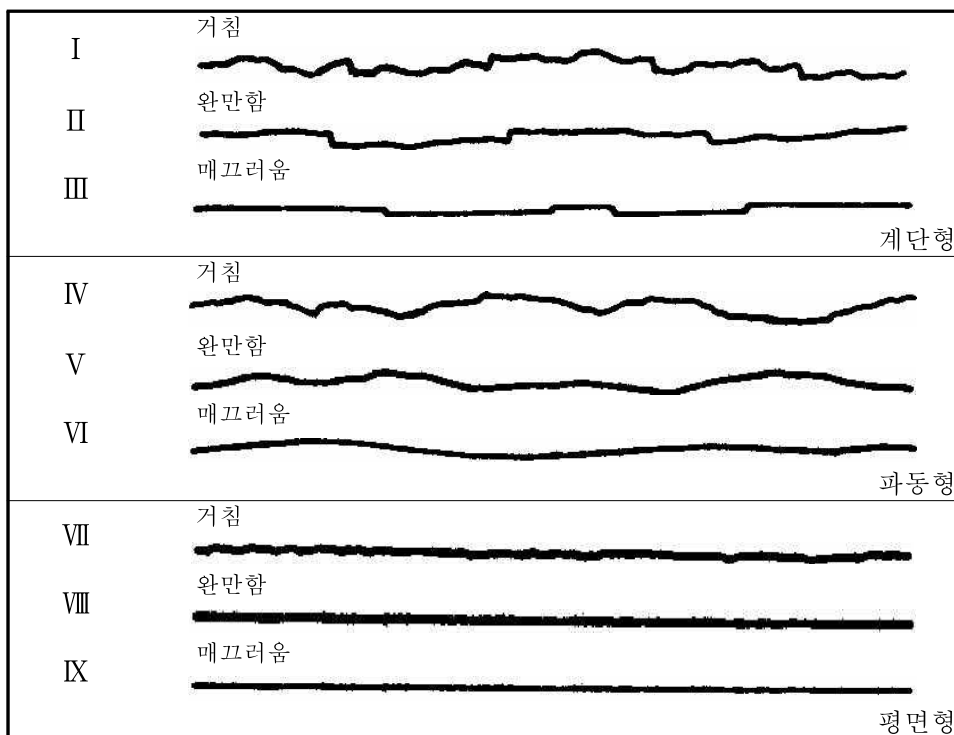


그림 2.5 거칠기 종단면

불연속면의 굴곡은 작은 규모의 요철(Unevenness)과 큰 규모의 만곡(Waviness)으로 정의한다. 이 요철과 만곡은 불연속면의 전단강도에 영향을 주기 때문에 불연속면의 전단강도를 추정하는데 반드시 필요하고, 특히 충전 물질이 없는 경우에는 Profile Gauge 등을 이용하여 측정한다.

(6) 불연속면의 강도(Wall Strength)

불연속면의 강도는 면을 구성하고 있는 암석의 압축강도를 의미하며, 불연속면에서는 풍화와 열수변질에 의해서 암괴내부의 강도보다도 낮은 경우가 있다.

불연속면의 강도를 측정하는 방법은 칼로 긁거나 망치로 타격하여서 정성적으로 추정하거나 정량적으로 슈미트해머를 사용하여 현장에서 간편하게 개략적인 강도를 결정할 수도 있으며, 현장에서 정성적 암석의 강도는 표 2.6과 같은 기준에 준한다.

표 2.6 불연속면의 강도

구 분	암석의 상태	비 고
매우 약함 (Very Weak)	손가락 또는 엄지손가락의 압력으로 눌러 으스러지는 정도	
약함 (Weak)	해머로 눌러 으스러지는 정도	
보통 강함 (Moderately Strong)	1회의 약한 해머 타격으로 쉽게 깨지나 모서리가 으스러지는 정도	
강함 (Strong)	1, 2회의 강한 해머 타격으로 깨지나 모서리가 각이 지는 정도	
매우 강함 (Very Strong)	여러 번의 강한 해머타격으로 깨지며 조각이 날카로운 정도	

(7) 불연속면의 충전물질(Filling)

불연속면의 틈새가 벌어진 사이로 Calcite, Clay, Silt, Sand, Fault Gouge 등의 물질이 흘러들어 틈새를 충전시키는 경우로서 이 물질은 일반적으로 모암보다 강도가 약하다.

이런 경우 충전물질의 종류, 두께, 연약성, 점성 및 투수성 등에 대해 기록하여야 하며, 불연속면의 형태는 그림 2.6과 같이 틈새와 충전상태에 따라 밀착형(Closed Type), 개구형(Open Type), 충전형(Filled Type)으로 구분된다.

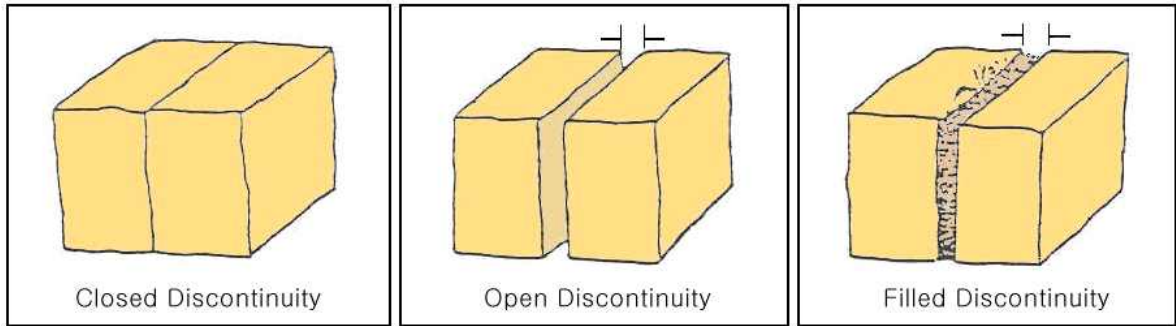


그림 2.6 불연속면의 틈새와 충전상태에 따른 형태

(8) 불연속면의 종류수(Number of Sets)

불연속면의 종류수는 상호 교차하는 불연속면계를 이루고 있는 불연속면방향의 숫자를 뜻하며, 암반체내에 불연속면이 많이 발달되어 있을 경우 파쇄의 단위가 작아져서 심할 경우에는 파쇄대를 형성하게 되어 결국 전단저항력을 감소시키게 된다.

이러한 불연속면의 방향수가 많아질수록 사면체의 붕괴가능성도 높아지게 되어 사면의 안전율을 저하시키는데 이러한 불연속면의 방향수는 표 2.7과 같이 표현된다.

표 2.7 절리군의 방향수에 따른 표현

I	Massive, Occasional Random Joints
II	One Joint Sets
III	One Joint Set Plus Random
IV	Two Joint Sets
V	Two Joint Set Plus Random
VI	Three Joint Sets
VII	Three Joint Set Plus Random
VIII	Four or More Joint Sets
IX	Crushed Rock, Earth-like

과업구간의 암반사면에서 조사된 불연속면의 절리군은 대부분 3 Sets ~ 4 Sets으로 조사되었다.

(9) 불연속면의 누수(Seepage)

누수(Seepage)는 암반이나 불연속면에서의 물의 흐름이나 가시적인 습기를 말한다. 암반을 통한 누수는 불연속면을 통하여 이루어지고, 어떤 퇴적암의 경우는 암석의 구성물질의 1차 투수율이 공극을 통해 일어나는 전체 투수에 상당히 중요한 역할을 한다. 투

수율은 그 지역의 지하수위 그리고 관련된 방향성의 투수율에 대략 비례한다. 지하수위, 투수의 통로, 수압 등은 암반의 유효응력을 감소시킴으로써 암반의 안정성을 감소시킬 수 있다.

또한, 충전되지 않은 불연속면의 누수등급과 충전된 불연속면의 누수등급은 표 2.8 및 표 2.9와 같이 표현한다.

표 2.8 충전되지 않은 불연속면의 누수등급

등 급	정 의	비 고
I	불연속면이 빈틈이 없고 건조하며, 불연속면을 따라서 누수의 가능성이 없음	
II	불연속면이 건조하고 누수의 흔적이 없음	
III	불연속면이 건조하나 누수의 흔적이 있음(녹)	
IV	불연속면이 젖어 있으나 현재 물의 흐름은 없음	
V	불연속면의 누수가 있고 부분적으로 물이 떨어지고 있으나 지속적인 흐름은 없음	
VI	불연속면에서 연속적인 물의 흐름이 있음	

표 2.9 충전된 불연속면의 누수등급

등 급	정 의	비 고
I	충전물이 과압밀되어 있고 건조, 낮은 투수성 때문에 물의 흐름이 불가능해 보임	
II	충전물이 젖어 있으나 현재 물의 흐름은 없음	
III	충전물이 젖어 있고 부분적으로 물이 떨어짐	
IV	충전물이 씻겨 나간 흔적이 있고 계속적으로 물이 떨어짐(수 l/min)	
V	충전물이 부분적으로 씻겨 나갔고 상당한 양의 누수(수 l/min)	
VI	충전물이 완전히 씻겨 나갔고 특히 초기 상당히 높은 수압(수 l/min , 수압)	

(10) 불연속면에 의해 규제되는 암괴의 크기

암괴의 크기는 암반거동의 매우 중요한 척도이며, 암괴의 크기와 모양은 서로 교차되는 불연속면의 상호 방향과 각 불연속면군간의 간격, 불연속면군의 수, 불연속면의 연속성에 의해 결정된다.

불연속면군의 수와 방향이 암괴의 모양을 결정하게 된다. 한 그룹에 속하는 불연속면

들이 일관되게 평행한 경우가 드물기 때문에 기하학적으로 규칙적인 형상은 일반적이라기보다 예외적인 경우다. 일반적으로 퇴적암에 있는 불연속면이 가장 불규칙한 형태의 암괴를 만든다.

암괴의 크기와 암괴간의 전단응력에 의해 조합된 성질들이 어떤 주어진 응력하에서의 암반의 역학적 거동을 결정하게 된다. 대규모의 암괴로 구성된 암반은 변형이 적게 일어나는 경향이 있으며 지하공동의 건설에 있어서는 양호한 Arching과 Interlocking 효과를 나타낸다. 사면에 있어서 작은 크기의 암괴는 불연속면이 존재하는 암반과 관련된 평면 및 전도파괴대신에 토사와 비슷한 파괴형태를 야기시킬 가능성이 있다. 채석이나 발파 효과는 자연적으로 분포하는 현지 암괴의 크기에 매우 많은 영향을 받을 수 있다.

암괴의 크기는 전형적인 암괴의 평균 크기(암괴크기지수, Block Size Index, I_b)로 표시하거나 암반의 당위 체적당내에 교차하는 총 불연속면들의 수(Volumetric Joint Count, J_v)로 표 2.10과 같이 표시할 수 있다.

표 2.10 암괴의 크기의 표현방법

정 의	J_v (절리수/m ³)	비 고
매우 큰 암괴(Very Large Blocks)	< 1.0	
큰 암괴(Large Blocks)	1 ~ 3	
중간 크기 암괴(Medium-sized Blocks)	3 ~ 10	
작은 암괴(Small Blocks)	10 ~ 30	
매우 작은 암괴(Very Small Blocks)	> 30	



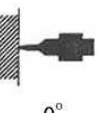


2.2.3 슈미트해머시험

(1) 시험방법

슈미트해머시험은 스프링의 힘, 즉 미리 압축한 스프링에 축적된 힘을 해방시킴으로써 해머가 암반 표면에 부딪칠때 발생하는 반발력(탄성적인 튀어오름)을 측정하여 그 반발경도로부터 암석, 암반의 강도나 탄성계수를 추정하는 것으로 신선하고 단단한 암석, 암반일수록 해머의 튀어오르는 거리는 커지게 된다. 이 튀어오르는 거리를 해머에 충격을 주기 전에 스프링의 힘에 의하여 움직인 거리에 대한 백분율로 나타내며, 이것을 슈미트해머의 반발치 (Rebound Value) R이라고 한다.

슈미트해머의 시험방향에 따라 슈미트해머의 반발정도가 다르며, 시험방향에 따른 슈미트해머의 반발치와 일축압축강도와의 관계는 표 2.11과 같다.

표 2.11 슈미트해머 수치와 일축압축강도와의 관계(계속)

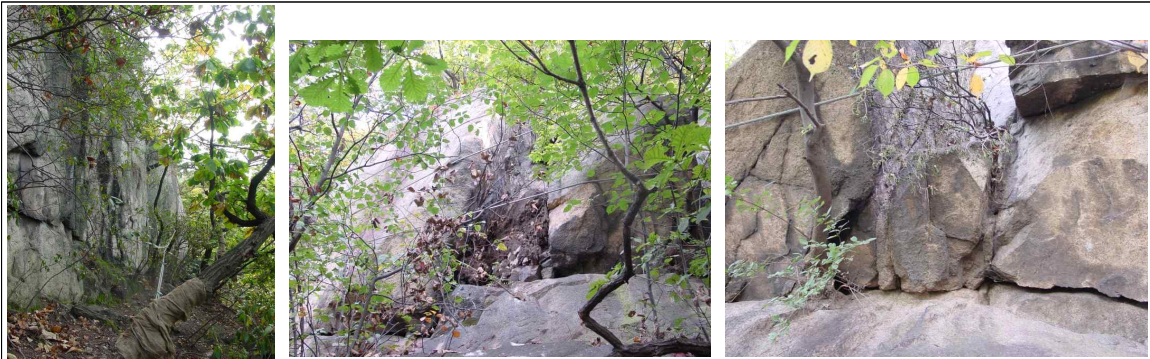
		단위(kgf/cm ²)				
시험 방향 반발도 (R)						
	+90°	+45°	0°	-45°	-90°	
10			51	61	64	
11			55	65	69	
12			59	70	74	
13			63	75	80	
14			68	80	86	
15			73	87	92	
16			78	93	99	
17			84	100	106	
18			90	107	114	
19			97	115	123	
20	71	81	104	124	132	
21	76	87	111	133	141	
22	82	94	119	142	151	
23	89	101	128	152	162	
24	96	109	138	163	174	
25	104	117	148	175	186	
26	111	125	158	188	199	
27	120	136	170	201	213	
28	130	146	182	215	229	
29	139	157	196	230	244	
30	151	169	210	247	262	
31	163	182	226	265	281	
32	176	196	242	283	299	
33	190	212	260	304	321	
34	206	227	279	326	342	
35	224	246	299	350	367	
36	242	264	321	373	394	
37	262	285	345	400	420	
38	283	306	370	429	451	
39	306	330	397	457	481	
40	330	355	426	491	516	
41	357	383	457	527	554	
42	383	411	491	561	590	
43	414	445	527	603	633	
44	445	477	565	642	675	
45	481	516	607	689	724	
46	516	554	651	740	772	
47	558	598	699	788	828	
48	598	642	750	846	883	
49	647	694	805	902	947	
50	694	745	864	968	1010	
51	750	805	927	1039	1084	
52	811	864	995	1107	1155	
53	870	934	1068	1188	1239	
54	941	1002	1147	1275	1321	
55	1017	1084	1231	1368	1417	
56	1099	1163	1321	1458	1511	
57	1188	1257	1417	1565	1621	
58	1275	1349	1521	1679	1728	
59	1378	1458	1633	1790	1854	
60	1489	1565	1752	1921	1976	

또한 일축압축강도에 따른 암석의 분류는 표 2.12와 같다.

표 2.12 암석의 일축압축강도에 따른 분류

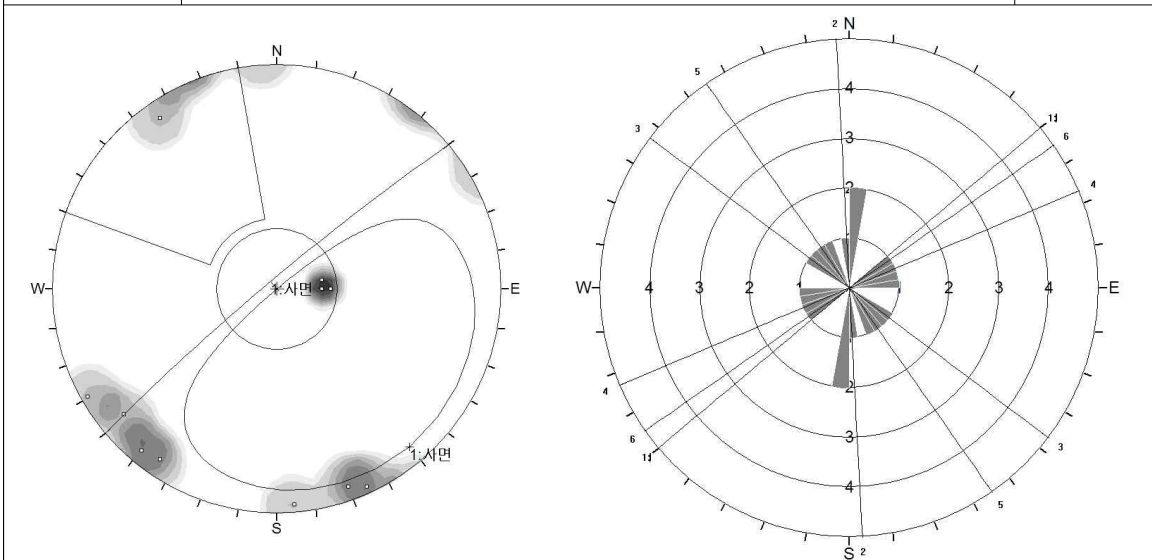
등 급	분 류	일축압축강도(kgf/cm ²)
A	극경암(Very High Strength)	2,250이상
B	경 암(High Strength)	1,125~2,250
C	보통암(Medium Strength)	560~1,125
D	연 암(Low Strength)	280~560
E	극연암(Very Low Strength)	280이하

2.2.4 지표지질조사결과



사면방향 : N50E/85NW(85/320)

구 분	J1(수직)	J2(전면)	J3(평면)	비 고
방향성	85/40, 82/50, 86/35, 87/60	87/335, 85/340, 85/145, 88/356	24/260, 25/270, 22/272	
풍화도	보통풍화(MW)			
간격(cm)	10~100	10~100	20~100	
연장성(m)	20이하	20m이하	10~20	
틈새(mm)	1~10이하			
충진물	사질토			
거칠기	파동형~완만함	계단형~완만함	계단형~거침	
강도(kgf/m ²)	242	1,147	199	
지하수	II등급(불연속면이 건조하고 누수의 흔적이 없음)			
암괴크기	큰 암괴~중간크기 암괴			



◦ 평사투영해석결과 : 전도파괴 예상

JRC	구 분	거칠기 형상	비 고
	J1		
	J2		
	J3		

제 3 장 사면의 안정성 분석

3.1 암반의 분류

3.1.1 RMR에 의한 암반분류

RMR(Rock Mass Rating)분류법은 1979년 Bieniawski에 의해서 제안된 것으로 다음과 같이 현장에서 측정 가능한 6개의 변수에 의하여 암반을 공학적으로 분류하는 방법이다.

- ① 무결함 암의 일축압축강도
- ② RQD(Rock Quality Designation)
- ③ 불연속면의 간격
- ④ 불연속면의 조건
- ⑤ 지하수 조건
- ⑥ 불연속면의 방위

이 분류 방법은 각 매개변수에 대한 암반의 상태에 따른 등급별 점수를 할당한 후, 이들 변수에 대한 점수의 합계에 대해 절리의 주향과 경사와 굴착면의 방향을 고려하여 이에 대한 점수를 보정한 값, 즉 RMR값에 의해 암반의 전체적인 평가 기준을 제시한다.

또한 위의 6가지 변수를 사용하는 암반의 지질공학적 분류는 다음과 같다.

(1) RMR 분류법의 기준 및 정수

분 류 방 법			값 의 범 위						
1	Intact Rock 강도 (MPa)	Point Load 강도지수	> 10	4 ~ 10	2 ~ 4	1 ~ 2	일축압축강도만 적용		
		일축압축 강도	> 250	100 ~ 250	50 ~ 100	25 ~ 50	5~25 MPa	1~5 MPa	< 1 MPa
	점 수	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)		90 ~ 100	75 ~ 90	50 ~ 75	25 ~ 50	0 ~ 25		
	점 수		20	17	13	8	3		
3	절리간격		> 2m	0.6 ~ 2m	200~600mm	60~200mm	< 60mm		
	점 수		20	15	10	8	5		

분 류 방 법		값 의 범 위					
4	절리면의 상태	매우거칠다. 불연속면 이격면 없음 신선	다소거칠다. 건고하며 1mm이내의 틈	다소거칠다. 연약하며, 1mm 이내의 틈	매끄럽다. 1~5mm 두께의 충전물, 1~5mm 연속이격	5mm 이상의 충전물, 5mm 이상의 틈, 연속된 이격	
	점 수	30	25	20	10	0	
5	지하수	터널길이 10m당 유입량	없음	< 10 (L/분)	10~25 (L/분)	25~125 (L/분)	> 125 (L/분)
		절리수압 ----- 최대주응력	0	0.0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.5	> 0.5
		일반적 조건	완전건조	습한	젖어 있음	물방울이 떨어짐	물이 흐름
	점 수	15	10	7	4	0	
6	절리의 주향과 경사		매우유리	유 리	양 호	불 리	매우불리
	점 수	터 널	0	-2	-5	-10	-12
		기 초	0	-2	-7	-15	-25
		사 면	0	-5	-25	-50	-60

※ 1MPa = 10kgf/cm²

(2) RMR 점수에 의한 암반 구분

점 수	100 ~ 81	80 ~ 61	60 ~ 41	40 ~ 21	0 ~ 20
등 급	I	II	III	IV	V
상 태	매우 우수	우수	양호	불량	매우 불량

(3) 암반 등급의 의미

등 급	I	II	III	IV	V
암반의 점착력 (KPa)	> 400	300 ~ 400	200 ~ 300	100 ~ 200	< 100
마찰각(φ)	> 45°	35° ~ 45°	25° ~ 35°	15° ~ 25°	< 15°

3.1.2 SMR에 의한 암반분류

사면에서의 암반분류법으로 사용되는 SMR(Slope Mass Rating)에 의한 암반분류법은 암반사면을 1차적으로 안정성을 평가하는 방법으로 일반 암반의 평가법인 Bieniawski의 RMR 분류법을 근거로 하여 사면에 대한 요소들을 보정하는 방법으로 Romana(1985, 1988 & 1993)에 의해 제시되었다.

RMR에 의한 암반분류는 주로 터널에서 지보의 적합성을 평가하는 암반분류법으로 발전되었으며, SMR분류법은 RMR을 기본으로 하여 사면에 적용하는 암반분류법으로 발전되어 왔다.

이 분류법에서 고려되는 암반사면의 파괴형태는 일반적으로 평면파괴, 썩기파괴, 전도 파괴 형태이다. SMR 암반분류에서 고려되는 요소들은 다음과 같다.

- ① 암반의 일반적인 특성
- ② 사면과 불연속면의 주향방향의 차이
- ③ 사면의 경사방향과 불연속면의 경사각의 차이
- ④ 불연속면의 경사
- ⑤ 사면의 채굴방법

SMR의 값은 RMR에서 고려하는 ① 암석의 강도(15), ② RQD 값(20), ③ 불연속면의 간격(20), ④ 불연속면의 상태(30), ⑤ 지하수 상태(15) 등 5가지 요소에 대한 평가값과 SMR의 보정요소로 작용하는 불연속면 및 사면과 관련된 위에서 설명한 3가지 요소와 사면의 굴착방법에 대한 보정요소의 값으로 구해진다.

불연속면 및 사면과 관련된 보정요소는 표 3.1과 같으며 경험적으로 그 값을 계산에 의해 다음과 같이 구하기도 한다.

(1) F_1

암반사면의 경사방향과 불연속면 경사방향과의 차이각의 절대값을 구하며 차이각이 30°이상일 때는 붕괴 가능성이 희박한 것으로 본다. 또한 F_1 은 0.15에서 서로 평행한 경우인 1.0사이의 값을 가지며, 이 값은 경험적으로 다음과 같은 식으로 표현되기도 한다.

$$F_1 = (1 - \sin \alpha)^2$$

여기서, α : 불연속면과 사면과의 경사방향 차이각

(2) F_2

평면파괴 형태에서의 불연속면의 경사각과 관련된 요소로 불연속면의 전단거동 가능성의 척도를 나타내며, 이 값은 1.0(경사각이 45°보다 큰 경우)에서 0.15(경사각이 20°보다 작은 경우) 사이의 값을 가진다. 또한 경험적으로 다음과 같은 식으로 표현되기도 한다. 그리고 전도파괴에서는 F_2 는 1.0의 값을 갖는다.

$$F_2 = \tan^2 \beta_j$$

여기서, β_j : 불연속면의 경사각

(3) F_3

사면과 불연속면의 경사각의 차이값으로 나타내는 값으로 평면파괴에서는 사면에 'Daylight'되는 불연속면의 가능성과 관련되며, 사면과 불연속면이 평행할 때는 양호한 상태가 되고 사면의 경사각이 불연속면의 경사각보다 10°이상 클 때는 불안정한 상태가 된다. 또한 전도파괴의 경우에는 전도의 성격상 불안정하거나 매우 불안정한 상태는 일어날 수 없고 갑작스런 전도파괴도 극히 드문 상태이므로 그대로 유지되는 경우가 많다.

F_3 은 불연속면의 경사각(β_j)과 사면의 경사각(β_s)을 이용하여 표 3.1로부터 경험적으로 결정한다.

표 3.1 불연속면과 사면에 의한 보정값

구 분		아주 우수	우 수	보 통	불 량	아주 불량
P	$ \alpha_j - \alpha_s $					
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	$> 30^\circ$	30-20°	20-10°	10-5°	$< 5^\circ$
P/T	F_1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	20-30°	30-35°	35-45°	$> 45^\circ$
P	F_2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	10-0°	0°	0--10°	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	110-120°	$> 120^\circ$	-	-
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60
P : 평면 파괴		α_s : 사면의 경사 방향		β_s : 사면의 경사각		
T : 전도 파괴		α_j : 불연속면의 경사 방향		β_j : 불연속면의 경사각		

(4) F₄

사면의 굴착방법에 따라 변하는 보정요소로 경험적으로 표 3.2를 이용하여 결정한다.

표 3.2 사면의 굴착방법에 의한 보정치

굴착방법	자연사면	Pre-splitting	Smooth Blasting	일반 발파, 기계적 리핑	불안전한 발파
F ₄	15	10	8	0	-8

결과적으로 이러한 보정요소를 고려한 SMR의 값은 다음과 같은 식으로 구하며, 이 값에 따른 사면 암반의 등급과 안정성 그리고 예상되는 파괴형태는 표 3.3과 같다.

$$SMR = RMR_{basic} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

썰기형의 파괴형태는 평면파괴에 적용하는 것과 차이가 없으며, 복수군의 불연속면에 대한 암반분류는 각 불연속면의 Set에 대해 적용하며 이때 구해진 최소값의 SMR값이 암반사면의 암반분류 등급에 사용된다.

표 3.3 SMR에 의한 암반분류 등급표

등급	SMR	판정	안정성	예상 파괴
I	81~100	매우 양호	매우 안정	-
II	61~80	양호	안정	약간의 블럭
III	41~60	보통	부분적 안정	일부 불연속면 다수의 썰기형 파괴
IV	21~40	불량	불안정	평면파괴 큰 썰기형 파괴
V	0~20	매우 불량	매우 불안정	대규모 평면파괴 토사형의 파괴

암반사면의 경우는 터널의 암반과 달라 풍화에 대한 고려가 있어야 한다. 기후나 암

석의 광물학적인 조건에 따라 변하는 시간의 경과와 관계되는 풍화는 암반분류에서 평가될 수 없다. 따라서 특히 풍화되기 쉬운 암반에서 사면의 작업이 이루어질 경우에는 굴착당시에 사면이 안정되어 있을지라도 시간의 경과와 함께 몇 년 후에 풍화되어 불안정하게 되는 경우가 많이 있다. 따라서 현재 신선한 암반일지라도 장차 풍화될 수 있는 조건을 고려하여 암반을 보수적으로 평가하는 것이 바람직하다.

3.1.3 암반분류 요약

본 구간의 암반에 대한 지표지질조사의 내용에 따른 RMR는 표 3.4에 나타내었으며, 불연속면의 방향에 따른 SMR은 표 3.5에 나타내었다.

RMR분류 결과는 표 3.4와 같이 III 등급으로서 암반의 상태가 양호한 상태로 평가되었으며, SMR분류 결과는 표 3.5와 같이 IV 등급으로서 사면이 불안정한 상태로 평가되었다.

표 3.4 RMR에 의한 암반분류 결과

구 간	일축압축 강도(kgf/cm ²)		RQD (%)		불연속면 간격(cm)		불연속면의 상태 (mm)		지하수 점수	총 점	평가
	상태	점수	상태	점수	상태	점수	상태	점수			
남산 잠두봉 낙석위험 구간	199~1,147	7	50~90 (추정)	15	10~100	12	1~10mm 이하	0	15	49	III

표 3.5 SMR에 의한 암반분류 결과

구 간	RMR총점	f1	f2	f3	f4	SMR	평가	비 고
남산 잠두봉 낙석위험 구간	49	0.85	1.0	-25	0	27.75	IV	전도파괴

3.2 평사투영법에 의한 검토

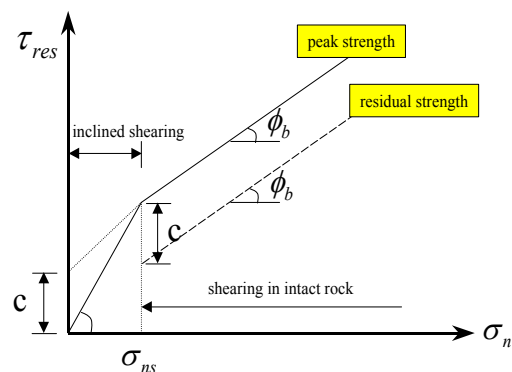
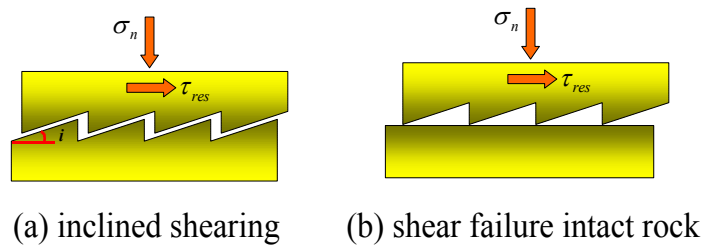
3.2.1 해석개요

본 해석에서는 Hoek, E.와 Diederichs, M.이 1989년 개발한 DIPS 3.0 프로그램을 사용하였다. DIPS 3.0 프로그램은 평사투영법에 의한 암반사면의 안정해석에 대표적으로 사용하고 있는 프로그램이다.

3.2.2 절리면의 전단강도

절리면의 전단강도는 면의 거칠음에 의해 가장 크게 영향을 받으나 맞물림 상태, 충전물 유무와 특성, 절리면을 구성하는 모암의 역학적 성질 및 연속성과 길이에 의해 상당히 영향을 받는다.

일반적으로 거칠음면이 있는 그림 3.1에서 보는 바와 같이 절리면의 전단특성은 거칠음면이 전단강도에 저항하여 Peak 전단강도에 도달하고 나면, 거칠은 부분은 파쇄되고 면은 평탄해진다. 평탄해진 절리면에 지속적으로 전단이 발생하면 전단강도는 일정한 값의 잔류강도 값에 수렴한다.



(c) bilinear failure criterion

그림 3.1 절리면의 전단특성

전단시에 가해지는 힘의 일부는 거칠음면을 따른 미끄러짐에 사용되고 나머지는 거칠은 부분을 파쇄하는데 사용되게 되며, 그 비율은 수직응력에 따라 변화하는 것으로 알려져 있다. 또한 거칠음면이 없는 절리의 경우에는 Peak 강도와 잔류강도가 같은 거동을 보이게 된다.

따라서 재료자체의 기본적인 마찰저항각 또는 평탄한 절리면 간의 접촉마찰각을 ϕ_b 거칠음면의 경사각을 i 라 하면 거칠음면의 전단강도 τ 는 식 (3.1)과 같다.

$$\tau = \sigma \tan(\phi_b + i) \quad (3.1)$$

여기서, 절리면간의 접촉마찰각 ϕ_b 는 대체로 $30^\circ \sim 35^\circ$ 의 값을 갖는 것으로 보고되고 있으며, 본 연구에서는 최소값인 30° 로 가정하였다. 또한 거칠음면의 경사각 i 는 실험실에서 측정된 값과 현장에서 다루는 절리면의 규모에 따라서 값이 상당히 차이가 있으며, 본 연구에서는 가장 불리한 조건에서 검토하고자 거칠음면의 경사각 i 를 고려하지 않았다.

3.2.3 파괴형태에 따른 극점분포

(1) 원호파괴

불연속면이 불규칙하게 많이 발달되어 뚜렷한 구조적 특징이 없는 경우에 토질사면에 서와 같은 원호파괴가 발생하는데 주로 풍화가 심한 암반이나 파쇄가 심한 암반에서 발생한다. 대표적인 원호파괴 형태와 절리의 극점분포는 그림 3.2와 같다.

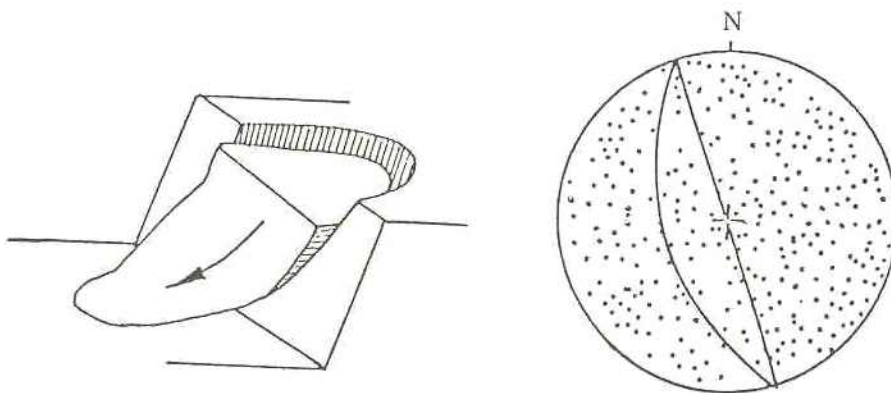


그림 3.2 원호파괴 형태와 절리의 극점분포

(2) 평면파괴

불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생 가능하며, 암반사면의 평면파괴에 대한 발생조건은 다음과 같다.

- ① 절개면과 절리면의 경사방향이 같아야 한다.
- ② 사면의 주향이 절리면의 주향과 비슷해야 한다.($\pm 20^\circ$ 이내)
- ③ 절리면의 주향이 절개면상에 나타나야 한다.

즉, 절리면의 경사각(α) < 절개면의 경사각(β)

- ④ 절리면의 경사각(α)이 절리면의 마찰각(ϕ)보다 커야 한다.
- ⑤ 붕괴되는 암괴의 양쪽측면이 절단되어서 암괴가 무너지는데 측면의 영향이 없어야 한다.

대표적인 평면파괴 형태와 절리의 극점분포는 그림 3.3과 같다.

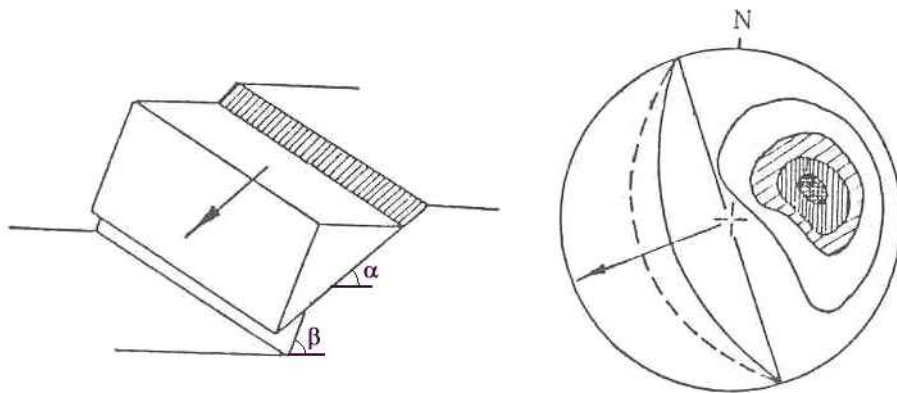


그림 3.3 평면파괴 형태와 절리의 극점분포

(3) 썩기파괴

썩기파괴는 두개의 불연속면을 따라서 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴 형태로서 기본적인 역학관계는 평면파괴와 유사하다. 암반사면의 썩기파괴에 대한 발생조건은 다음과 같다.

- ① 절리면의 교선과 절개면의 경사방향이 같아야 한다.
- ② 절리면의 주향이 절개면의 주향과 비슷해야 한다.
- ③ 절개면의 경사각(β) > 절리면의 교선의 경사(α) > 절리면의 마찰각(ϕ)

대표적인 썩기파괴 형태와 절리의 극점분포는 그림 3.4와 같다.

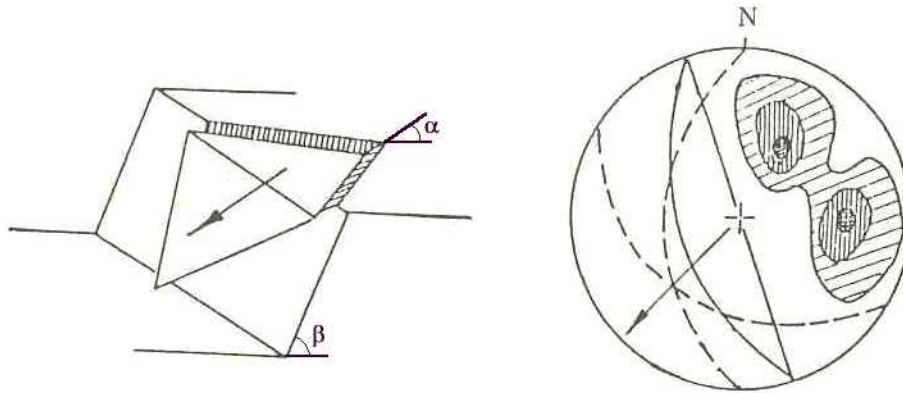


그림 3.4 썩기파괴 형태와 절리의 극점분포

(4) 전도파괴

전도파괴는 수직절리가 발달한 암반에서 발생되며, 이때 절개면과 수직절리면의 경사 방향이 반대이어야 한다. 암반사면의 전도파괴에 대한 발생조건은 다음과 같다.

- ① 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이어야 한다.
- ② 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷해야 한다.(최소한 $\pm 30^\circ$ 이내)
- ③ $(90^\circ - \text{절리면의 경사}) + \text{절리면의 마찰각} < \text{절개면의 경사}$

$$(90^\circ - \alpha) + \phi < \beta$$

대표적인 전도파괴 형태와 절리의 극점분포는 그림 3.5와 같다.

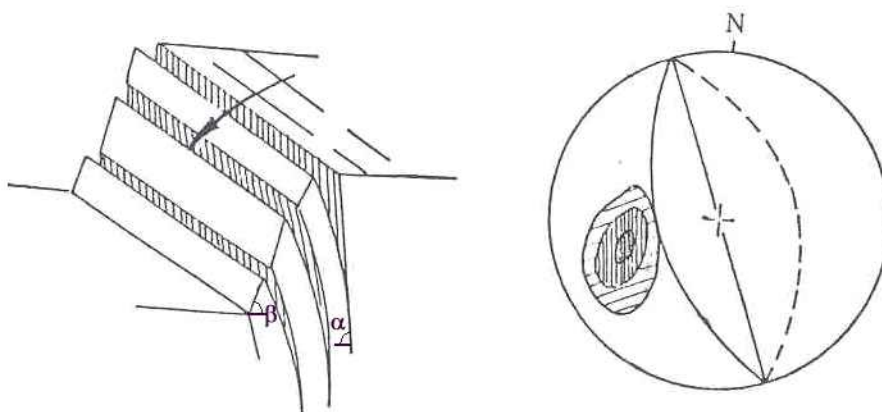


그림 3.5 전도파괴 형태와 절리의 극점분포

3.2.4 해석결과

본 구간 절토사면의 주향/경사는 N50E/85NW(85/320)로서 지표지질조사 결과에 의한 평사투영해석 결과는 그림 3.6과 같다.

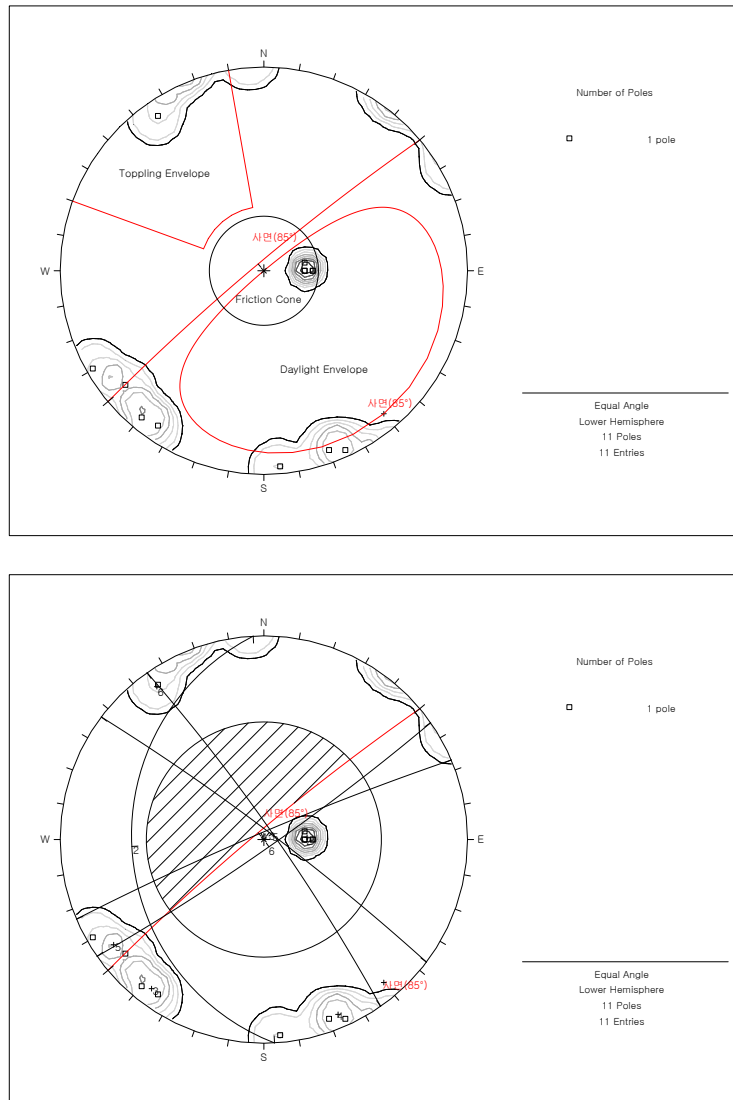


그림 3.6 지표지질조사에 의한 평사투영해석결과

본 과업구간의 불연속면에 대한 평사투영해석결과 전도파괴가 예상되며, 현재 상태는 불안정한 것으로 해석되었다. 따라서, 본 구간 암괴의 전도에 의한 낙석에 대한 안정대책이 간구되어야 할 것으로 판단된다.

3.3 낙석에 대한 검토

3.3.1 낙석의 발생원인

낙석은 일반적으로 암석에 작용하는 힘의 변화를 발생시키는 기후나 생물학적 변화에 의해 발생된다. 이러한 변화의 요인으로는 강우시 공극압의 증가, 폭풍우에 의한 주변 물질의 침식, 동결-해빙 과정, 암의 풍화, 식물 뿌리의 성장 등이 포함된다. 공사중인 환경에서 낙석의 잠재가능성은 상기의 기후나 환경적인 요인에 의한 것보다 하나 내지 두 등급 정도 높을 수도 있다.

사면 상부에 위치한 암괴가 일단 이동되기 시작할 때, 암괴의 궤적을 좌우하는 가장 중요한 요인은 사면의 형상이다. 특히 사면이 급경사를 이루고, 화강암의 판상절리가 발달한 지역에서 발생하는 낙석들은 이 판상절리에 의해 낙석발생시 수평방향에 큰 영향을 주게된다. 이런 사면에서의 가장 위험한 점은 “스키 점프”처럼 낙석이 움직이므로 수평방향의 속도가 크게 발생해 사면 끝으로부터 먼 거리까지 튀게되는 요인이 된다.

강하고 신선한 암으로 구성되고 사면이 깨끗할 경우 낙석 발생시 가장 위험하다. 즉, 이 사면은 낙석이 구르거나 떨어지는 활동을 할 경우, 그 활동을 줄여줄 수 없기 때문이다. 반면에 표면이 테일러스(talus)나 자갈로 덮여있을 경우 낙석의 활동에너지를 상당량 흡수하므로 낙석을 완벽히 멈추게 할 것이다.

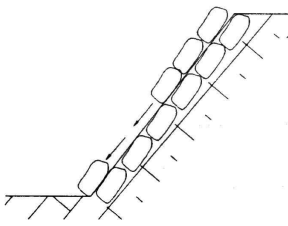
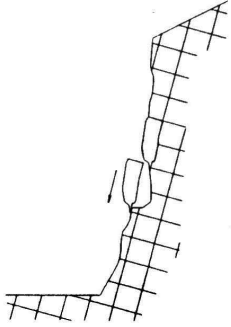
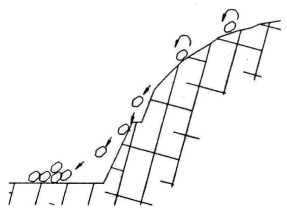
이와 같이 지표면 물질의 감속 능력은 수학적으로 복원계수라는 용어로 표현된다. 이러한 복원계수는 부딪치는 면을 형성하는 재질의 성질에 따라 달라진다. 강한 암으로 구성되고 사면이 깨끗할 경우 높은 복원계수를 갖으며, 토양, 자갈, 그리고 완전히 풍화된 화강암은 낮은 복원계수를 갖는다. 이것이 낙석의 바운딩을 방지하기 위해 소단에 자갈층을 설치하는 이유이다.

낙석의 크기나 형상, 암면의 마찰계수, 암석이 작은 파편으로 부서질지의 유무와 같은 기타 요인은 사면형상이나 위에서 언급한 복원계수보다는 덜 중요하다. 결국, 낙석 시뮬레이션 모델은 낙석의 궤적을 상당히 합리적으로 예측 할 수 있게 해준다.

3.3.2 낙석 발생형태의 분류

낙석 발생형태는 표 3.6과 같이 슬라이딩, 자유낙하, 구름 및 튼 등으로 크게 분류할 수 있다.

표 3.6 낙석 발생형태 분류

구분 항목	낙석 발생 형태		
	슬라이딩(Sliding)	자유낙하(Freefall)	구름 및 튼 (Rolling & Bounding)
사면상태	· 파쇄대 또는 풍화대 발달지역	· 연암 이상 암반지역 · 뜯돌 발생지역	· 연암 이상 암반지역 · 뜯돌 발생지역
사면경사	30~80°정도의 경사면	80°이상의 급경사면	30~80°정도의 경사면
모식도			
수평 이동거리	대부분 사면 끝단에 쌓임.	대부분 사면끝단에 쌓임. 이동거리 짧음	사면높이 및 낙석크기에 따라 멀리 튼.

3.3.3 해석개요

(1) 프로그램 개요

낙석에 따른 낙석방지대책 수립을 위하여 절개지 사면의 낙석 궤적해석에 사용한 프로그램은 미국의 Rocscience사에서 개발한 ROCFALL 프로그램으로 급경사면에서 낙석의 영향범위 및 안정성을 분석하는데 사용되는 2차원 전산해석 프로그램으로서, 초기조건(사면형상, 낙석의 중량, 속도, 지반조건)에 따른 낙석의 운동궤적 및 낙석의 충격에너지에 대한 분석이 가능하다.

ROCFALL 프로그램을 이용하여 낙석 궤적해석을 수행하기 위한 기본적인 흐름도는 그림 3.7과 같다.

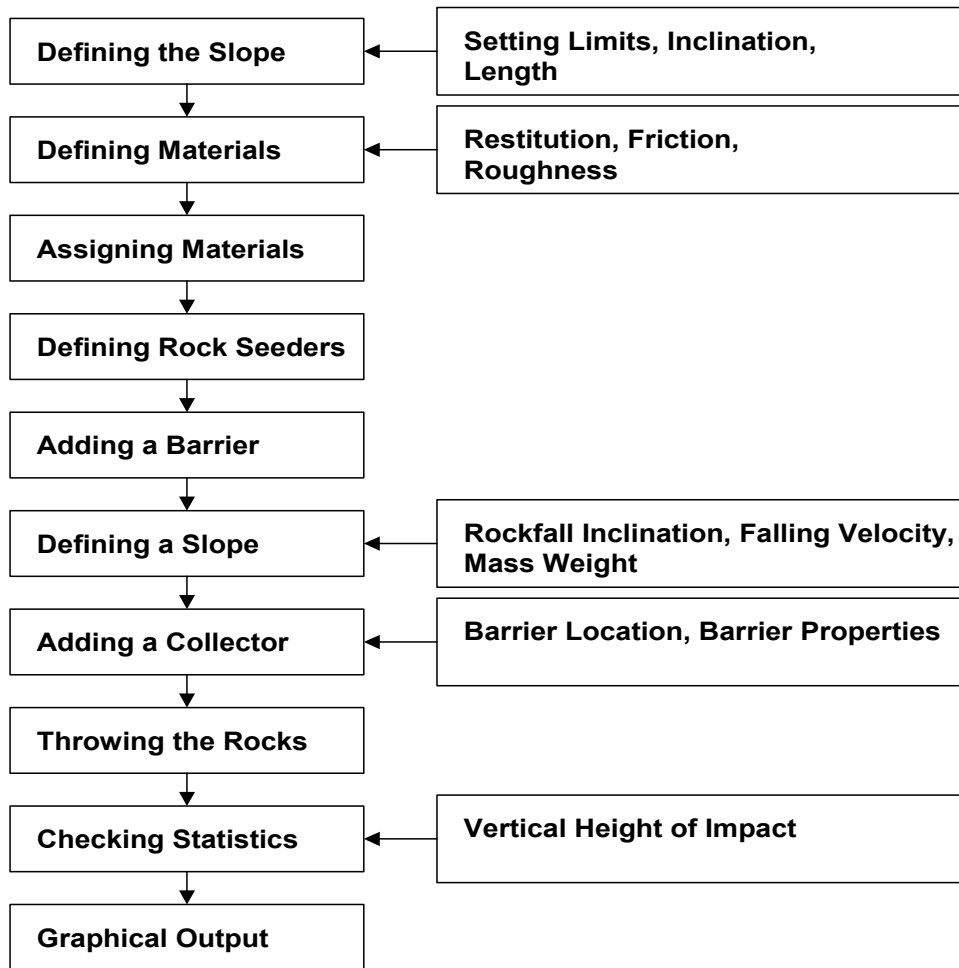


그림 3.7 ROCFALL의 흐름도

(2) 사면 물성치

ROCFALL 프로그램 해석을 위한 사면의 물성치는 표 3.7과 같다.

표 3.7 사면 물성치

구 분	수직복원계수		접선복원계수		마찰 각 (°)		사면의 거칠기 (°)
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	
암 반	0.35	0.04	0.85	0.04	40	2	0
수목지역	0.30	0.04	0.80	0.04	30	2	0
아스팔트	0.40	0.04	0.90	0.04	30	2	0

(3) 초기조건

ROCFALL 프로그램 해석을 위한 사면의 초기조건은 표 3.8과 같으며, 현장조사에 의하여 낙석가능한 암괴에 대하여 검토하였다.

표 3.8 사면의 초기조건

구 분	평 균	표준편차	비 고
수평방향 속도(m/s)	0	0	
수평방향 속도(m/s)	0	0	
중 량(kgf)	2,650 (1.0×1.0×1.0×2.65tf/m ³)	0.3	
각속도(rad/s)	0	0	

(4) 대표단면 선정

본 과업구간은 상부의 낙석가능지역 및 하부의 수목과 암반이 어우러져 있으므로 현장의 지반조건을 고려한 낙석모의시험을 수행하였으며, ROCFALL 프로그램 해석을 위하여 그림 3.8과 같이 대표단면은 NO.1지점으로 선정하였다.

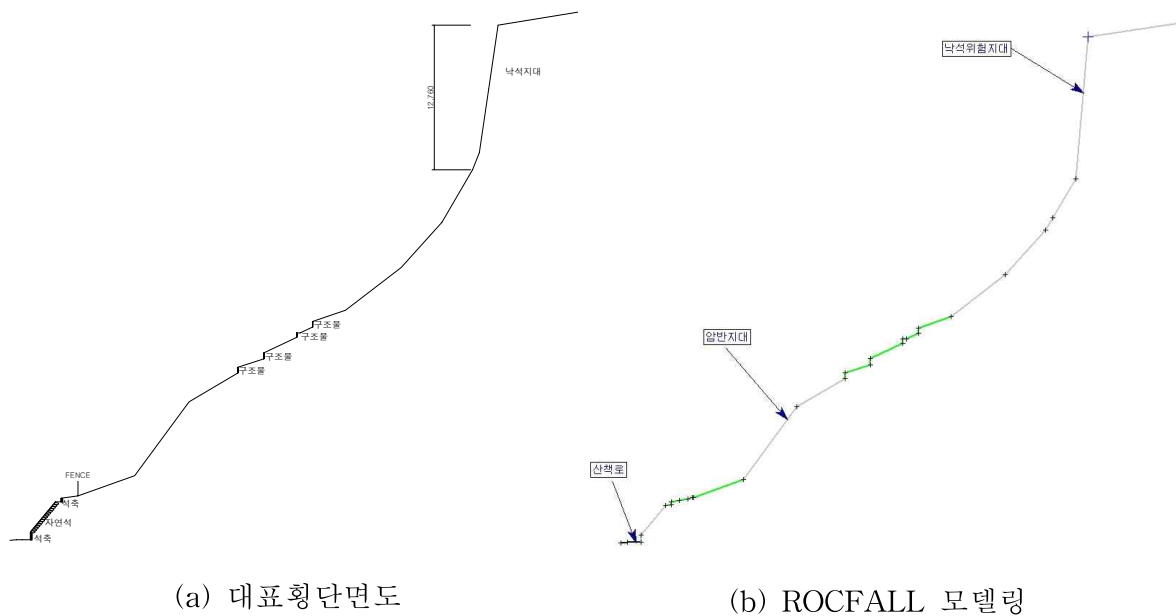


그림 3.8 대표단면(NO.1)

3.3.4 ROCFALL 프로그램 해석결과

NO. 1 지점의 낙석위험지역에 대한 낙석 1,000개에 대한 낙석모형실험결과 낙석의 궤적은 그림 3.9와 같이 낙석이 대부분 산책로로 유입되는 것으로 나타났으며, 산책로를 통과하는 낙석의 운동에너지가 100~400kJ로서 낙석에 의한 인명 및 재산피해의 가능성이 높으므로 이에 대한 대책이 필요한 것으로 검토되었다.

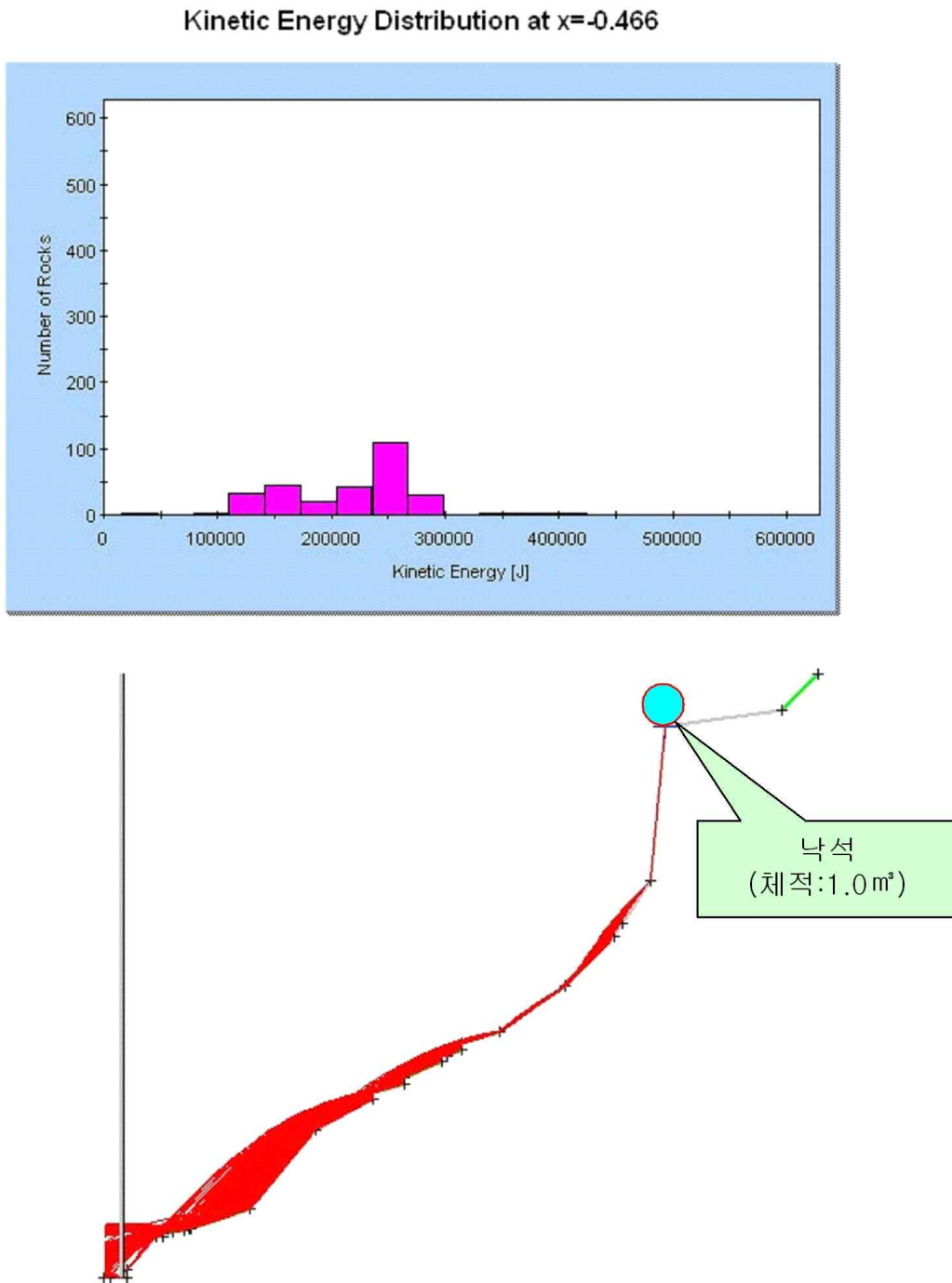


그림 3.9 낙석의 운동에너지 및 낙석의 궤적

제 4 장 낙석위험구간 보강대책

4.1 암반사면 안정화 공법

4.1.1 개요

암반사면 붕괴의 발생은 복잡한 요소가 얽힌 현상이며, 그 파괴형태나 사면도중의 운동형태도 다양하게 발생된다. 암반붕괴의 대책으로는 붕괴의 발생원인 불안정한 암괴를 제거하거나, 사면에 고정하는 지반보강공법과 발생하는 낙석을 차단하거나 낙석의 에너지를 줄이는 낙석보호공법으로 대별할 수 있다. 암반사면에서의 일반적인 대책공법은 다음과 같다.

- ① 지형적인 여건이 가능한 경우에 사면의 구배를 완화시키는 방법
- ② 위험암괴를 제거하거나 와이어 등을 이용하여 고정시키는 방법
- ③ 지형적 여건이 추가절취가 불가능하고 보강부 암반을 지지해주는 기반암이 비교적 견고한 경우에는 록볼트 또는 록앵커로 처리하여 암반의 전단저항력을 증가시키는 방법
- ④ 그라우팅 작업으로 암반균열면의 점착력을 증가시키고 지하수 이동을 감소시켜 양압력 상승방지와 풍화작용을 둔화시키는 방법
- ⑤ 지형적인 특수성에 따라 추가절취시 사면연장이 길어지고 부분적인 보호공법의 효과가 없는 경우와 ①, ②, ③항의 대책으로는 충분한 보강대책이 되지 않는 경우에는 옹벽 등 구조물과 록볼트 등을 시공하여 전단저항력을 증가시켜 굴착면을 보호하는 방법
- ⑥ 와이어네트를 설치하는 방법
- ⑦ 낙석예상구간에 Ditch나 Chain Link Fence를 설치하는 방법
- ⑧ 단층대나 연암부를 부분굴착하고 콘크리트를 채우는 방법
- ⑨ 소단부나 사면하부에 방책을 설치하는 방법
- ⑩ 사면부에 도수로를 설치하여 배수조건을 개선하는 방법

등의 공법이 있다. 이들 공법은 일반적으로 몇 가지의 공법을 함께 사용하기도 한다.

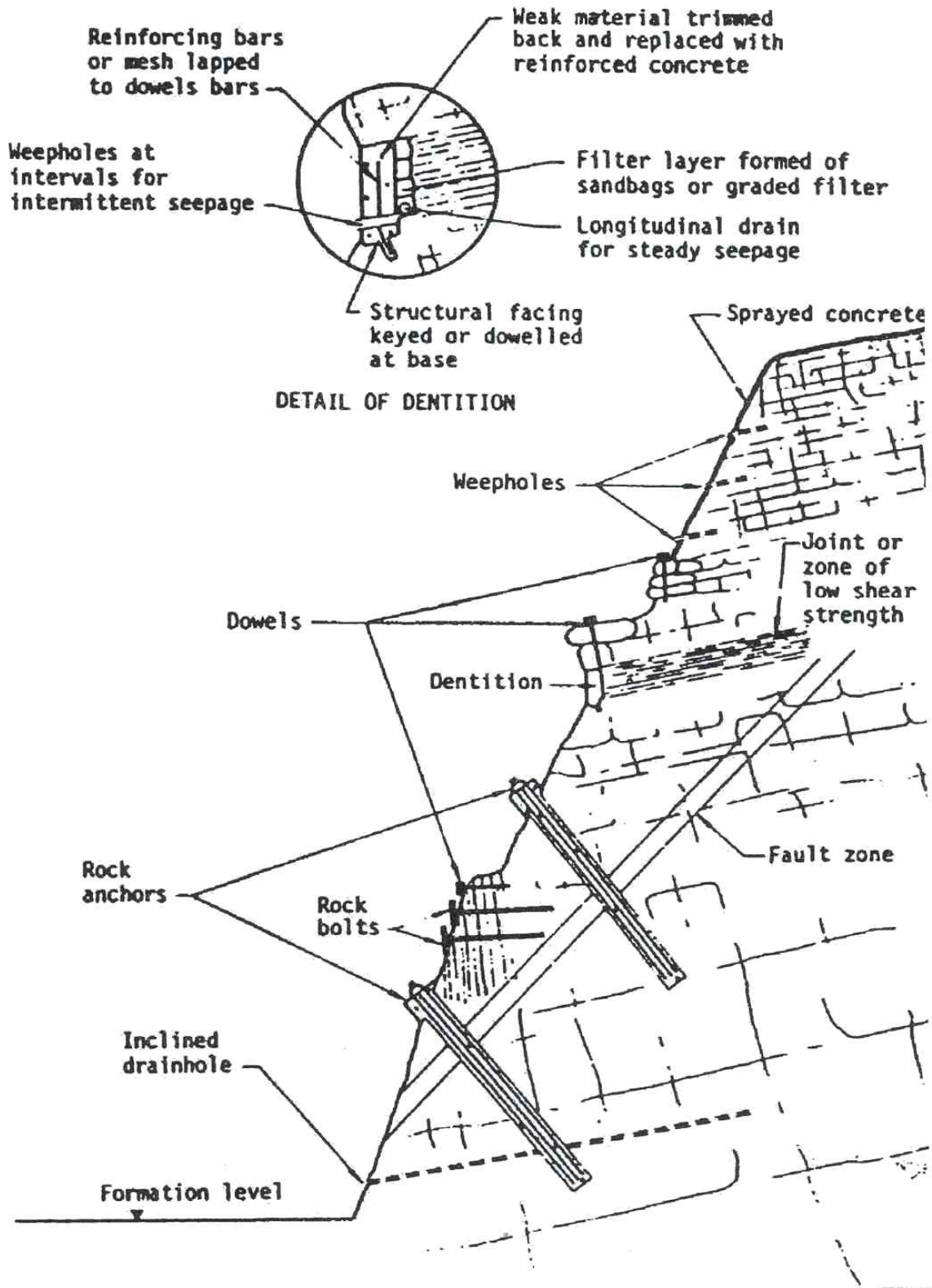


그림 4.1 암반사면의 붕괴유형별 대책공법

4.1.2 암반사면 낙석방재대책

낙석에 대한 대책은 크게 구분해서 예방공, 방호공, 경계 등 3가지로 구분할 수 있다. 예방공은 낙석이 일어나지 않도록 발생원이 되는 사면을 잘 관리하는 것을 의미하는 것으로 사면의 각종 상황을 조사해 두는 것, 사면에 있는 전석이나 부석을 정리, 제거 또는 고정시키거나 낙석점검장치를 설치하는 등의 작업을 말한다. 또한 방호공은 도로의 경우 낙석 발생시 차량 등의 통행에 지장을 초래하지 않도록 도로를 방호하는 것으로서 낙석의 위험이 존재하는 사면에 철망을 설치한다거나 낙석방호책을 설치하는 등의 대책을 말한다. 낙석은 발생시기의 예측이 어려운 문제이기는 하지만 낙석의 발생을 조기에 예측해서 통행금지 조치를 내리는 등의 낙석에 대한 경계는 중요한 부분이다.

다양한 낙석 대책공법에 대한 효과, 내구성, 유지관리 방법, 시공 난이도, 경제성 등의 특징을 비교하여 정리하면 표 4.1과 같다.

표 4.1 낙석 대책공법의 특징 비교

범	례	특	징	대책공의 효과				내구성	유지관리	시공 난이도	신뢰성	경제성			
				풍화침식 방지	발생 방지	방향 변경	에너지 흡수						충격에 저항	눈사태 방지 검용	
공	법	적	용	◎	매우 좋다				매우 좋다	용이	용이	매우 좋다	싸다		
				○	좋다				좋다	약간 용이	약간 용이	좋다	경우에 따라 다름		
				△					낙석으로 파손	어려움	어려움		비싸다		
낙	에	방	공	사면 절취		◎				◎	○	△	◎	○	
				부석 정리		◎				○	○	△	○	○	
				Foot Protection공	○	◎				○	○	○	◎	○	
				록 앵커		◎				◎	◎	○	◎	○	
				표면 피복	◎	○				◎	◎	○	◎	○	
				와이어로프 캐공		◎				○	○	○	○	○	
낙	석	방	공	낙석방지림	◎			◎	○	◎	○	△	◎	○	
				다단식낙석방호책				◎	◎	◎	△	△	○	○	○
				낙석유도책			◎			◎	◎	○	◎	○	◎
				낙석방지벽					◎	◎	○	△	◎	○	◎
				낙석방지책				○	◎	◎	◎	○	◎	○	◎
				낙석방지망		○		○			○	○	◎	○	◎
				낙석덮개			◎			◎	◎	◎	△	◎	△
				낙석방호옹벽					◎	◎	◎	○	◎	○	○
				낙석방지둑					◎	◎	◎	○	◎	○	○

(1) 사면경사완화

사면경사 완화는 활동압괴를 제거하거나 활동가능 경사각 또는 그 이하로 사면경사각을 완화함으로써 사면을 안정화시키는 가장 확실한 방법이다. 그러나 사면높이가 크고 경사가 급할 경우 약간의 사면경사 완화에도 굴착량이 많아 공사비가 과다하게 발생되며, 공사시 발파에 따른 민원발생 등에 의해 시공의 어려움이 예상되기도 한다. 또한 굴착 완료 후에도 지반내부의 예상치 못한 지질구조선 발달과 공사 중의 발파영향 등에 의해 낙석발생 가능성이 상존하므로 약간의 사면경사 완하시 그 효과를 기대하기는 어렵다.

따라서 사면경사 완화는 사면내 활동가능면이 발달해 있어 보강으로는 사면안정을 확보할 수 없거나 또는 약간의 완화로도 썩기과괴의 가능성을 배제할 수 있는 경우에 한해 실시하는 것이 바람직하다고 판단된다.

(2) 록볼트공

록볼트 공법은 암반과의 일체화 혹은 불연속면을 경계로 하여 암반이 일체화되도록 보강하는 것을 목적으로 사용한다. 록볼트의 작용효과는 부재의 전단강도나 원지반과의 인발저항에 의한 직접적인 원지반 보강뿐만 아니라 간접적으로 원지반의 물성을 강화하는 효과도 있으므로 보강토 공법과도 유사하다. 록볼트의 종류는 지지형태에 따라 여러가지가 있으나, 암반사면에서는 전면접착식인 시멘트 모르타르 충전형이 가장 효과가 좋은 것으로 평가된다.

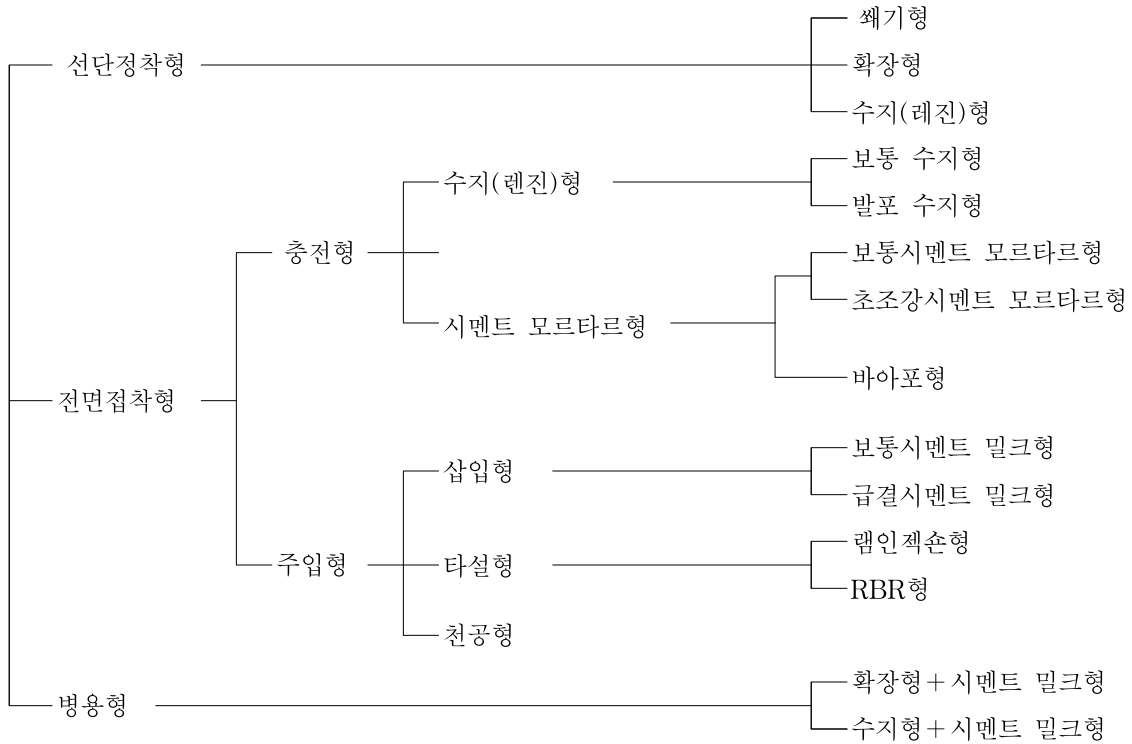


그림 4.2 정착방법별 Rock Bolt의 종류

(3) 슛크리트 공

스�크리트 공법은 사면에 전체적으로 용수가 없고, 풍화를 받기 쉬운 암질, 풍화하여 붕괴될 위험이 있는 암질, 균열, 절리가 많아 낙석의 위험성이 있는 암질 및 식생이 부적합한 사면 등에 사용된다. 본 공법은 시간이 경과됨에 따라 재질의 변상이 많기 때문에 유지, 관리상의 제약이 따르는 단점이 있다.

본 공법의 시공은 암반 표면에 시멘트 모르타르를 타설하기 전에 붕괴가능한 작은 암석이나 표면의 잔석을 깨끗이 제거하여 암반과 슛크리트의 부착력을 높여야 한다. 슛크리트의 타설두께가 얇을 경우, 균열이 발생하는 원인이 되므로 일정한 두께로 타설되도록 주의하여야 한다. 그리고 암반에 스며드는 표면수 및 지하수는 동결융해작용으로 사면의 풍화를 가속시키고 부피팽창으로 인한 슛크리트의 균열발생 및 슛크리트와 지반사이에 공동현상을 발생시킬 수 있는 중요한 원인이 된다. 그러므로 슛크리트내에 배수공을 반드시 설치하여 주어야 하며 막히지 않도록 충분한 주의를 하여야 한다.

스�크리트는 사면전체에 용수가 있는 개소에는 원칙적으로 사용치 않는 것으로 하며 부분적으로 용수가 있는 경우나 용수가 염려되는 경우에는 적절한 배수공을 설치하는 것이 필요하다. 그리고 지표수의 사면상부에서 지반과 슛크리트 사이로 침투하는 것을 방지하기 위하여 상부에 산마루 측구가 설치된 경우 또는 소단내에 배수로가 있는 경우는

산마루 측구에서부터 연장하여 설치한다.

(4) 결착식 낙석방지망 공법

결착식 낙석방지망 공법은 사면의 보강 효과가 적은 덮기식 낙석방지망의 단점과 소규모의 낙석을 방지하지 못하는 록볼트의 단점을 보완하기 위하여 덮기식 낙석방지망과 록볼트를 연계 시공한 낙석방지망이라 할 수 있다. 즉, 결착식 낙석방지망은 덮기식 낙석방지망 공법과 동일하게 시공되나, 상이한 점은 앵커볼트 대신에 록볼트를 설치하고 록볼트 지압판에 정착구를 설치하여 와이어로프를 연결할 수 있게 한 것이다.]

기존 방식은 록볼트 설치후 낙석방지망을 설치하고 다시 앵커볼트를 설치하는 2단계 공종으로 시행되었으나, 결착식 낙석방지망 공법은 낙석방지망 설치후 앵커볼트 대신에 록볼트를 설치한 후 정착구를 설치하여 와이어로프를 연결함으로써 록볼트와 고정망 및 와이어로프가 일체가 되어 암반을 지지할 수 있도록 한 공법이다.

표 4.2 낙석방지망 형식 비교

구 분	덮기식 낙석방지망	결착식 낙석방지망	비 고
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> • P.V.C 코팅망 설치 • 와이어로프 설치 • 앵커볼트 삽입 • 와이어고정용 조립구 설치 • 앵커볼트 조임 	<ul style="list-style-type: none"> • P.V.C 코팅망 설치 • 와이어로프 설치 • 록볼트 삽입 • 지압판 및 정착구 설치 • 록볼트 조임 	
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 낙석 방지가 주 목적임 	<ul style="list-style-type: none"> • 낙석방지 및 사면보강의 이중 효과 	

(5) 압부착망

압부착망 공법은 스위스 GEOBRUGG사에서 개발된 시스템으로 구성은 와이어로프, 앵커, 와이어로프 넷으로 구성된다. 본 방식은 덮기식 낙석방지망과 형태는 비슷하나, P.V.C 코팅망 대신에 강선으로 된 와이어로프를 상용하는 점과 앵커볼트(50mm) 대신에 3m의 앵커를 설치하는 것이 상이하다. 따라서 덮기식 낙석방지망 보다는 훨씬 큰 인장 강도를 나타내므로 규모가 큰 불안정사면이나 낙석가능성이 있는 구간에 효과적이다.

(6) 덮기식 낙석방지망

덮기식 낙석방지망 공법은 P.V.C 코팅망으로 사면을 덮고, 아연도금된 와이어로프를 종·횡방향으로 설치한 후 앵커볼트로 고정하여 사면내 텅기지 텅기지 않고 넷을 따라 굴러 정지된다든지, 뜯돌을 누르게 하는 공법이다. 본 공법은 낙석 및 붕락의 위험이 있는 사면 전면을 넷으로 씌워서 텅기는 돌을 막는 형태로 낙석에너지의 크기를 최소화하여 낙석방지망 파손을 방지할 수 있다.

(7) 포켓식 낙석방지망

포켓식 낙석방지망 공법은 암반사면이 급경사면으로 낙석 미 붕괴가 예상되는 구간에 설치된다. 본 방식은 P.V.C 코팅망인 낙석방지망을 사면 상부에 설치한 지주를 이용하여 비탈면과 일정한 간격으로 유지시켜, 낙석 발생시 낙석방지망이 낙석에너지를 1차 흡수한 후 사면 하단으로 유도시키도록 하는 공법으로 소규모 낙석 발생 구간에서 매우 효과적이다. 포켓식 낙석방지망 설치구간에는 사면내 낙석이 걸려있는 경우가 없으므로 심리적으로 매우 안정감을 주나 하단부에 낙석이 쌓일 수 있는 충분한 공간확보가 필요하다.

(8) 낙석방지울타리

사면에서 낙석이 일어날 경우 낙석방지망 만으로 사면하부의 안전을 확보할 수 없을 경우 설치하는 것으로 설치위치는 사면의 높이, 사면의 경사, 낙석 발생위치, 낙석규모 등에 따라 높이와 사면 끝단으로부터의 이격거리가 결정된다. 또한, 낙석이 비교적 적은 경우에 시행하는 공법으로 철주 사이를 앵커로 된 와이어로프, 철망 또는 강재 등으로 연결된 구조물을 말한다.

(9) 낙석방지벽

비탈면 하부에 설치하여 낙석을 방호하며 벽면 배후에 설치한 토사, 모래방석 등으로 낙석의 충격력을 분산, 감소시키는 구조물로서 배후에 낙석이 퇴적될 수 있는 공간 확보가 요구된다.

(10) 링네트 공법

링네트 낙석방호책은 산악지역이 대부분인 스위스에서 개발된 공법으로서 낙석의 충격시 높은 수준의 낙석에너지(250kJ-3,000kJ) 대부분을 1차적으로 개개의 링네트 탄·소성 변형의 총합에 의해 상쇄시키고 더 나아가 변형특성이 링네트와 지지구조인 브레이크 링, 지지로프, 와이어로프 앵커에 골고루 전달, 에너지흡수를 복합적으로 작용, 상쇄시키는 시스템으로 높은 수준의 운동에너지 흡수를 가능하게 하는 낙석방호책이다.

4.2 낙석방지대책

4.2.1 대책공법

과업구간의 낙석방지 대책으로 뜯돌을 제거한 후 결착식 낙석방지망을 설치하고 그 하부에 링네트를 설치하여 하부의 산책로에 유입되는 낙석을 완전히 차단할 수 있도록 계획하였으며, 대강대책에 대한 공사계획 평면도 및 대표횡단면도는 그림 4.3 및 4.4와 같다.

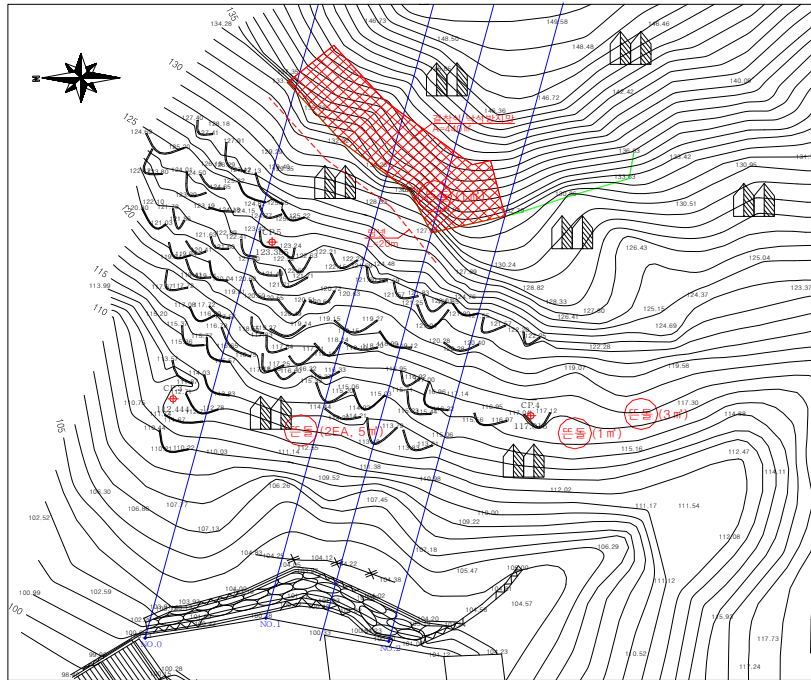


그림 4.3 공사계획 평면도

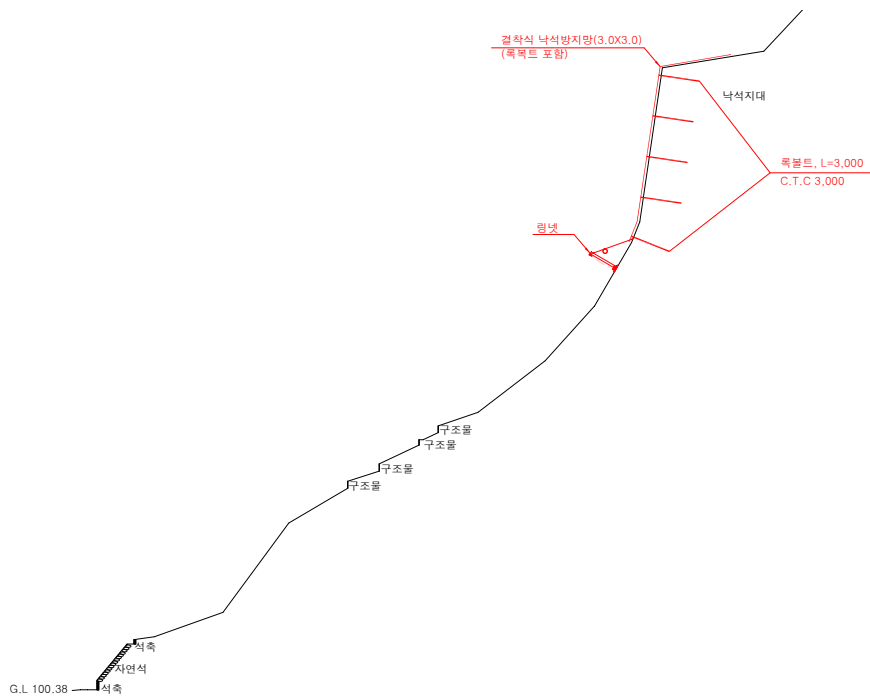


그림 4.4 보강대책 대표횡단면도

4.2.2 낙석보강대책의 ROCFALL 프로그램 해석결과

(1) 상부의 낙석위험구간에 대한 검토

링네트(RX-075) 설치후 NO.1 지점의 낙석위험지역에 대한 낙석(체적:1.0m³) 1,000개에 대한 낙석모형실험결과, 낙석의 도약높이는 그림 4.5와 같이 1.2m 이하로서 낙석이 링네트(H=3.0m)에 걸려 사면아래로 내려가지 않는 것으로 검토되었다.

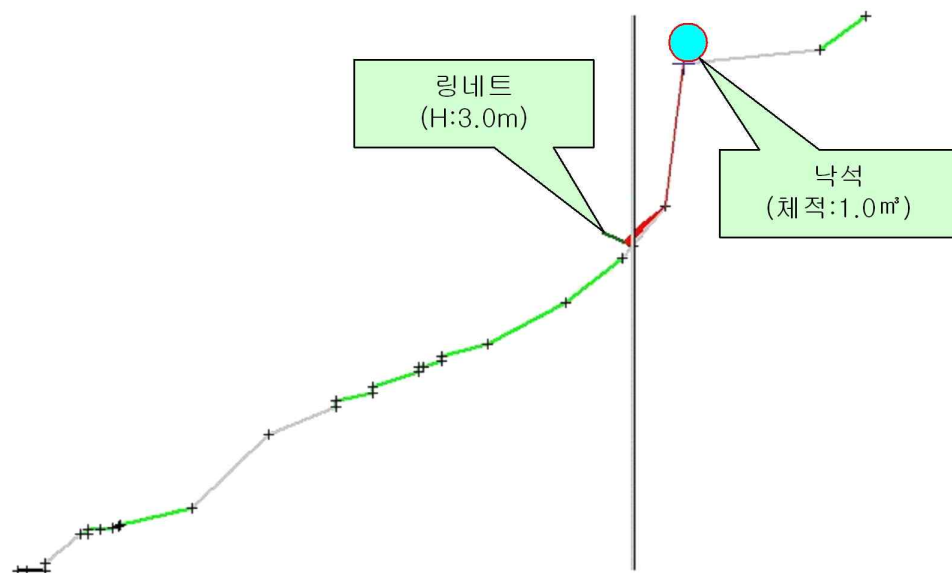
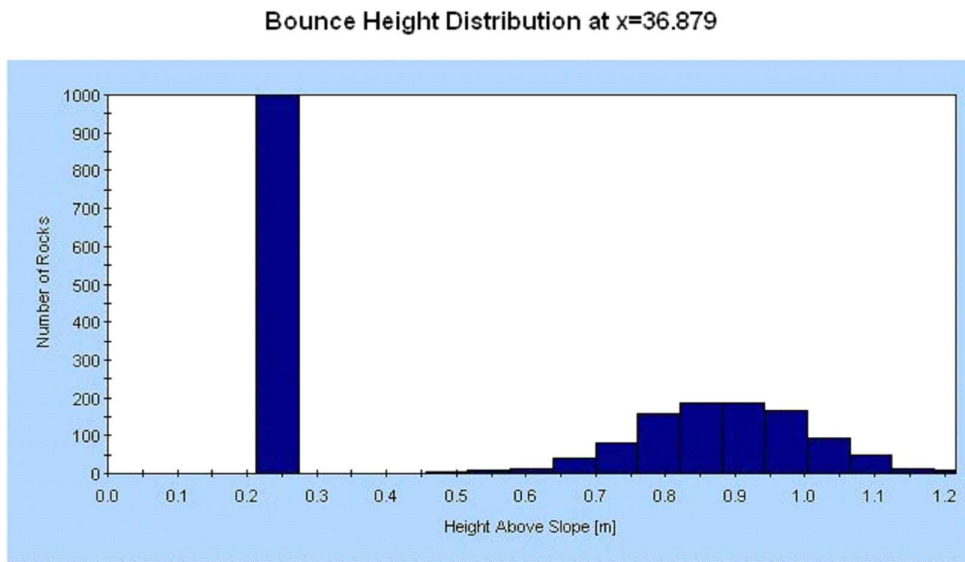


그림 4.5 낙석의 도약높이 및 낙석의 궤적

링네트(RX-075) 설치후 NO.1 지점의 낙석위험지역에 대한 낙석(체적:1.0m³) 1,000개에 대한 낙석모형실험결과, 그림 4.6과 같이 링네트에 가해지는 충격에너지가 310kJ이하로서 링네트(RX-075)의 방호능력 750kJ보다 작으므로 낙석에 대하여 충분히 안전한 것으로 검토되었다.

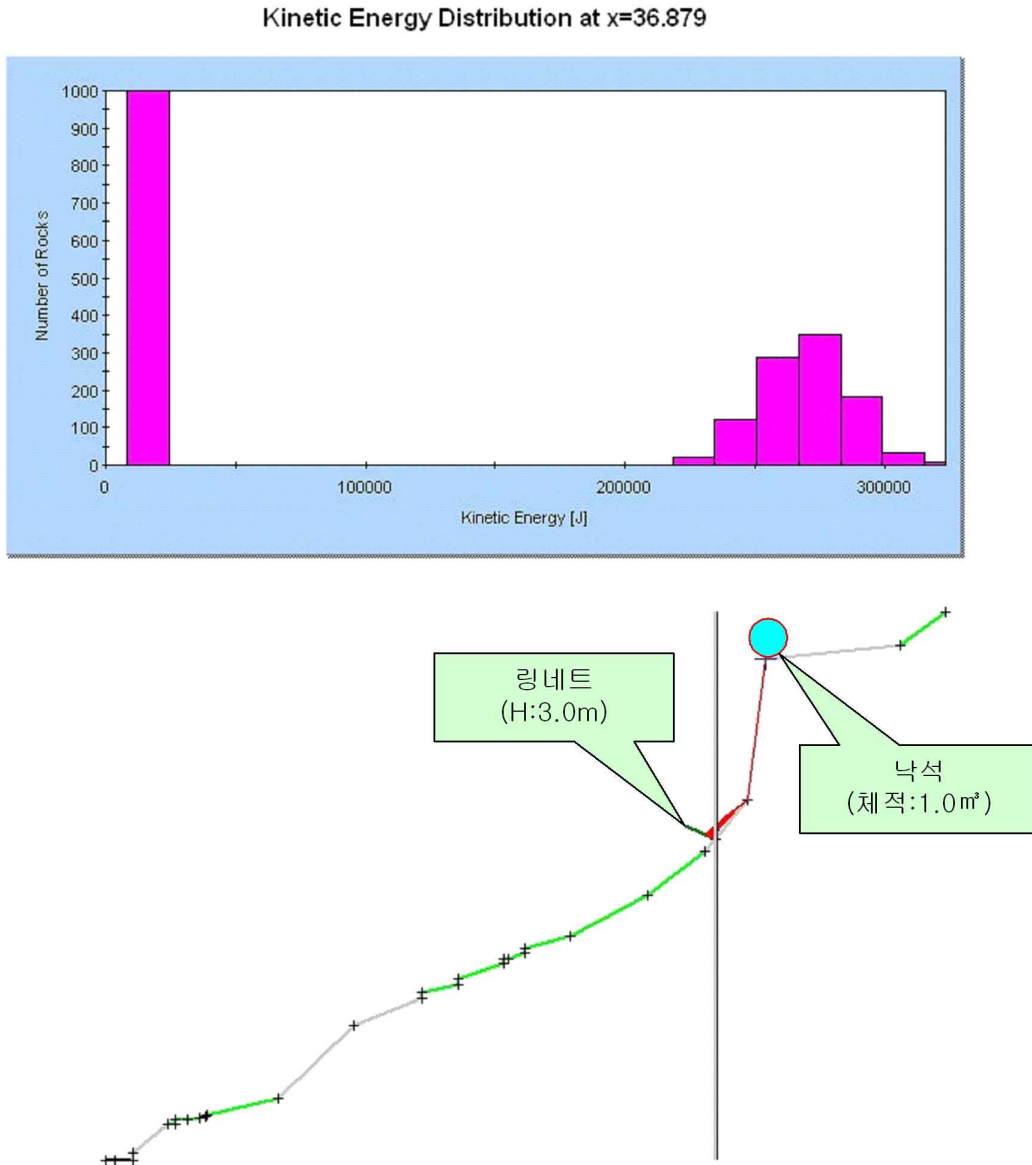


그림 4.6 낙석의 운동에너지 및 낙석의 궤적

(2) 낙석위험구간 하부의 낙석에 대한 검토

링네트(RX-075) 설치후 NO.1 지점의 낙석위험지역 하부의 낙석(체적:1.0m³) 1,000개에 대한 낙석모형실험결과, 그림 4.7과 같이 낙석의 도약높이는 0.5m 이하이고 낙석의 운동궤적 해석결과와 같이 낙석이 사면내에서 멈춰서서 사면아래로 내려가지 않는 것으로 검토되었다.

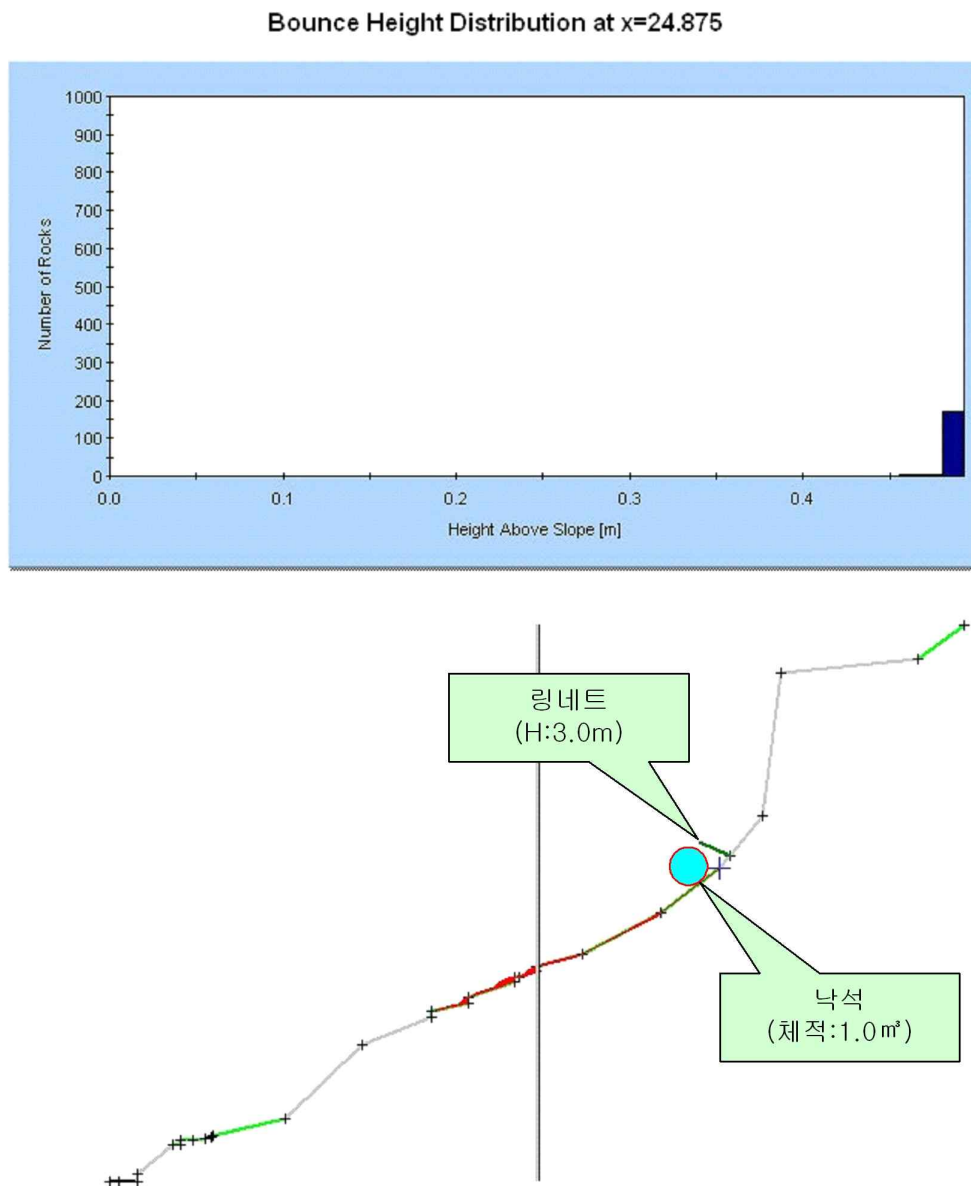


그림 4.7 낙석의 도약높이 및 낙석의 궤적

4.3 시공관리

4.3.1 결착식 낙석방지망

(1) 개요

결착식 낙석방지망 공법은 덮기식 낙석 방지망과 유사한 형태이나 가장 큰 차이점은 앵커 대신에 록볼트를 사용하여 암반을 보강할 수 있다는 점이다. 기존 방식은 록볼트 설치후 낙석방지망을 설치하는 2단계 공중이나, 본 공법은 앵커 대신에 록볼트를 사용함으로써 공중을 단순화하였다. 따라서 본 공법은 전도파괴, 켜기파괴 발생구간과 같이 불안정 영역에서 매우 탁월한 효과를 나타내고 있다. 록볼트 설치 간격은 4.2.1항에서 결정한 기준과 동일하게 적용하였다.

(2) 결착식 낙석방지망 재질

결착식 낙석방지망의 재료는 코팅망, 철선, 록볼트, 조립구 및 와이어로프 등이 있으며, 각각의 규격은 표 4.3과 같다.

표 4.3 결착식 낙석방지망 품명 및 규격

(1m²당)

품명	규격	수량	단위	비고
PVC 코팅망	#10×58×58	1.3	m ²	
PVC 코팅철선	#8	0.4	m	
록볼트	D25	0.122	개	
조립구	120×120×8T	0.122	개	
와이어로프	φ16×6×20	0.767	M	

(3) Rock Bolt

암반사면 안정성 평가결과, 전도파괴의 가능성이 있는 부분에 대하여 낙석방지망과 함께 록볼트(결착식 낙석방지망 공법)를 적용하였다. 사면에 록볼트를 타설할 경우의 작용효과는 록볼트 주변의 암석을 압축된 상태로 만들고, 수평압축력이 증가됨에 따라 전도파괴에 대한 안전률이 증가되는 결과를 얻게된다.

1) 록볼트의 형식

록볼트의 형식은 선단정착방식과 전면정착방식으로 대별되며, 각각의 특징은 표 4.4와 같다.

표 4.4 록볼트 정착 형식별 특징

정착방식	선단정착방식	전면정착방식
정착방법	썰기형, 확장형과 캡슐에 의한 접착형이 있고 정착후 너트로 조임.	정착재료로 수지, 시멘트 모르터를 쓰고 록볼트 전장을 지반에 정착시킴.
특성	기계식의 경우 접착부의 지반상태에 따라 정착력이 줄어드는 문제가 있음.	록볼트 전장에서 지반을 구속함.
적용범위	확장형 및 레진형은 봉합효과를 목적으로 하는 경우에 사용.	경암, 연암, 토사지반까지 적용범위 넓음.
종합검토	암반의 강도, 균열발달상태 등이 부분적으로 매우 상이하므로 다양한 지반에 적용가능한 전면정착방식이 효과적이라 판단됨.	
적용		◎

2) 록볼트의 재질 및 강도

록볼트의 재질은 일반적으로 인장재로 사용되기 때문에 인장강도가 큰 것을 사용하는 것이 바람직하며, 지반의 급격한 붕괴를 방지하기 위해서는 연성이 큰 신장특성을 갖는 재료를 사용하는 것이 바람직하다.

표 4.5 록볼트용 이형 강봉의 내력표

재질	규격	단면적 (cm ²)	허용응력 (kgf/cm ²)	허용내하력 (Tonf)	항복강도 (kgf/cm ²)	항복내하력 (Tonf)	적용
SD30	D22	3,871	1,500	5.8	3,000	11.6	
	D25	5,067	1,500	7.6	3,000	15.2	
	D29	6,424	1,500	9.6	3,000	19.3	
SD35	D22	3,871	1,750	6.8	3,500	13.5	
	D25	5,067	1,750	8.9	3,500	17.7	
	D29	6,424	1,750	11.2	3,500	22.5	
HD40	D22	3,871	1,800	7.0	4,000	15.5	
	D25	5,067	1,800	9.1	4,000	20.3	◎
	D29	6,424	1,800	11.6	4,000	25.7	

4.3.2 링네트 공법

링네트 공법은 구조적인 유연성을 특징으로 하는 낙석방호책이다. 즉, 구성부재에 대한 과도한 응력발생을 막고, 방호책 전체가 유연하게 균형을 잡아 변형하는 구조로서, 높은 수준의 낙석운동에너지 흡수를 가능케 한다. 방호책 전체구조와 흡수가능한 운동에너지량은 실험실실험을 기본으로 하여 연구·개발되며 동시에 구성부재의 적정성 및 과도한 방호책 변위가 발생하지 않는다는 검증도 함께 이루어지고 있다.

(1) 주요부재

- 1) 링네트(RX-ROCCO Net) : 링네트 낙석방호책의 네트부분, 소선을 링형태로 말아서 묶은 것을 네트모양으로 엮어서 짠 형태
- 2) 와이어로프 앵커(Wire Rope Anchor) : 와이어로프로 구성되어 있는 앵커부재
- 3) 브레이크 링(Brake Ring) : 링모양으로 가공된 강철튜브에 와이어로프를 끼워 넣은 에너지 흡수장치

(2) 특징

- 1) 낙석운동에너지를 강성구조(Rigid System)로 이루어진 힘으로 대항하는 것이 아니라 큰 변형성에 의해 에너지를 흡수하는 유연성(Flexible System)의 방호책임.
- 2) 운동에너지의 흡수량은 250~3,000kJ(25~300 tf·m) 규모
- 3) 방호책의 설치는 타공법에 비해 단기간에 가능하며, 높은 흡수 능력 대비 경제적이다.
- 4) 온도변화, 기상조건, 부식 등에 대해 영향을 받지 않는 내구적인 부재 사용
- 5) 2-스팬을 기본단위로 구성되며, 충격에 의한 파손시 부분교체에 의한 유지보수 용이.
- 6) 종래의 낙석 방호구조물에 비해 사면에서도 크게 눈에 띄지 않고 자연경관에 대응한 디자인

(3) 시공사례

링네트 공법은 사면내에 발생하는 낙석 및 계곡부의 토석류 등에 대한 대책으로 적용이 가능하며, 링네트 공법의 국·내외 시공사례는 사진 4.1과 같다.



사진 4.1 링네트 공법의 시공사례

제 5 장 결론 및 제언

“남산공원 잠두봉 낙석방지 공사 실시설계용역”에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 과업구간은 남산공원 잠두봉 일대의 산책로에 인접한 낙석위험 구간으로서 사면상부의 낙석위험구간 암반사면에 대한 조사결과 사면의 경사는 85°이상이고 사면의 주향경사는 N50E/85NW로서 전도파괴에 의한 낙석의 가능성이 있는 것으로 조사되었다. 또한, 암반의 풍화도는 보통풍화(MW) 정도를 나타내고 있고, 암반의 일축압축강도는 199~1,147kgf/cm²으로서 연암 내지 경암의 강도를 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

(2) 본 조사지역 암반에 대한 RMR분류 결과는 III 등급으로서 암반의 상태가 양호한 상태로 평가되었으며, SMR분류 결과는 IV 등급으로서 사면이 불안정한 상태로 평가되었다. 또한, 평사투영해석결과 전도파괴의 가능성이 있는 것으로 평가되었으며, NO. 1 지점의 낙석위험지역에 대한 낙석 1,000개에 대한 낙석모형실험결과에 의하면 낙석이 대부분 산책로로 유입되는 것으로 나타났으며, 산책로를 통과하는 낙석의 운동에너지가 100~400kJ로서 낙석에 의한 인명 및 재산피해의 가능성이 높으므로 이에 대한 대책이 필요한 것으로 검토되었다.

(3) 과업구간의 낙석방지 대책으로 낙석위험이 있는 뜯돌을 제거한 후 결착식 낙석방지망을 설치하고 그 하부에 링네트를 설치하여 하부의 산책로에 유입되는 낙석을 완전히 차단할 수 있도록 계획하였으며, 링네트(RX-075) 설치후 NO.1 지점의 낙석위험지역에 대한 낙석(체적:1.0m³) 1,000개에 대한 낙석모형실험결과, 낙석의 도약높이는 1.2m 이하로서 낙석이 링네트(H=3.0m)에 걸려 사면아래로 내려가지 않는 것으로 검토되었으며, 링네트에 가해지는 충격에너지가 310kJ이하로서 링네트(RX-075)의 방호능력 750kJ보다 작으므로 낙석에 대하여 충분히 안전한 것으로 검토되었다.

또한, 링네트(RX-075) 설치후 NO.1 지점의 낙석위험지역 하부의 낙석(체적:1.0m³) 1,000개에 대한 낙석모형실험결과, 낙석의 도약높이가 0.5m 이하이고 낙석

이 사면내에서 멈춰서서 사면아래로 내려가지 않는 것으로 검토되었다.

- (4) 본 과업구간은 상부사면의 경사가 급하므로 결착식 낙석방지망 및 링네트 등의 시공을 하기에 앞서 낙석의 위험이 있는 뜯돌을 제거하기 바라며, 하부의 산책로는 주민들의 왕래가 잦은 지역으로서 공사시에 낙석이 발생하지 않도록 시공에 유의하기 바란다.