

# 슬레이트질 변성퇴적암 지대에서의 사면보강공법 및 식생공법



현재 공사가 진행중인 00도로현장의 경우 엽리 또는 편리면이 매우 잘 발달된 변성퇴적암 지대로서 지표에 노출시 쉽게 풍화되어 소규모 판상의 암편으로 분리되는 특성을 보이고 있다. 이러한 슬레이트질 변성퇴적암 지대에서의 사면보강방안을 공법별로 비교하고 이에따른 사면녹화 공법에 대해 알아보고자 한다.

글 | 김광진 단우기술단 과장 02-2144-2942 이메일 | hysiger@hanmail.net  
 글 | 추석연 단우기술단 이사 02-2144-2920 이메일 | danwchoo@hanmail.net

## 1 서론

국토의 대부분이 산악지로 형성된 국내 지형상, 도로건설 현장에서 자연사면을 절취하는 경우가 많다. 이러한 절취면이 암반인 경우 암반내에 발달해 있는 불연속면이나 단층과 같은 지질구조 요소에 의해 그 안정성이 크게 좌우된다.

특히, 현재 공사가 진행중인 00도로현장의 경우 엽리 또는 편리면이 매우 잘 발달된 변성퇴적암 지대로서 지표에 노출시 쉽게 풍화되어 소규모 판상의 암편으로 분리되는 특성을 보이고 있다.

이러한 슬레이트질 변성퇴적암 지대에서의 사면보강방안을 공법별로 비교하고 이에따른 사면녹화 공법에 대해 알아보고자 한다.

## 2 현장 적용 사례

### 2.1 사면지질

#### 1) 현황



#### 2) 지질특성

- 옥천누층군의 함역 천매암 및 천매암으로 구성됨
- 엽리의 방향성은 N42~70E/40~45NW를 보임
- 절리의 발달이 심하여 전체적으로 암불력으로 깨져 있음

#### 3) 현장특성

- 발파암(경암, 연암)사면의 구배는 1:0.3~0.5로 설계됨

- 리핑암(풍화암)사면의 구배는 1:0.7~0.8로 설계 되었으며, 현재 시공중 임

- 2004년 11. 10 강우로 인한 전단강도감소로 법면 시공중 터널 우측사면 STA. 5+580지점의 사면이 붕괴됨

절리군	방향성	연장성(m)	절리면 상태		SHV (kgf/cm <sup>2</sup> )	지하수	풍화정도
			상 태	JRC			
J1	46/312	0.5~1.5	평면형/거침~매끄러움	8~10	864	-	MW~HW
J2	82/306	0.7~2.0	평면형/거침~매끄러움	12~14	490	-	MW~HW
J3	80/078	0.3~0.7	평면형/거침거침~매끄러움	-	-	-	MW~HW
J4	82/281	0.5~1.5	평면형/거침	-	-	-	MW~HW
기타	83/240, 45/102	-	평면형/거침	-	-	-	-

- 주절리는 48/345, 85/307, 74/278 및 76/246의 방향성을 보임
- 절리의 연장성은 낮은~매우 낮은 연장성(2m이하)을 보임
- 엽리의 방향성과 주절리의 방향이 일치하고 파쇄정도가 심하여 암편에 의한 원호파괴의 가능성이 높음

### 4) 절토사면 지질분포 현황 및 절리발달 사항

#### (1) 터널 좌측부(괴산방향)

- 본 지역을 구성하는 지질상태는 상부로부터 풍화암층, 연암~경암층의 순으로 구성되어 있으며 절리발달 사항은 다음과 같다.



절리군	방향성	연장성(m)	절리면 상태		SHV (kgf/cm <sup>2</sup> )	지하수	풍화정도
			상 태	JRC			
J1	50/345	0.4~0.7	평면형/거침~매끄러움	6~8	142~174	Drop	MW~HW
J2	79/097	0.3~0.5	평면형/거침	8~10	-	-	MW~HW
J3	30/135	0.3~0.5	평면형/거침	-	-	-	MW~HW
J4	83/310	0.2~0.6	평면형/거침	-	-	-	MW~HW

절리군	방향성	연장성(m)	절리면 상태		SHV (kgf/cm <sup>2</sup> )	지하수	풍화정도
			상 태	JRC			
J1	50/345	0.4~0.7	평면형/거침~매끄러움	6~8	142~174	Drop	MW~HW
J2	79/097	0.3~0.5	평면형/거침	8~10	-	-	MW~HW
J3	30/135	0.3~0.5	평면형/거침	-	-	-	MW~HW
J4	83/310	0.2~0.6	평면형/거침	-	-	-	MW~HW

절리군	방향성	연장성(m)	절리면 상태		SHV (kgf/cm <sup>2</sup> )	지하수	풍화정도
			상 태	JRC			
J1	50/345	0.4~0.7	평면형/거침~매끄러움	6~8	142~174	Drop	MW~HW
J2	79/097	0.3~0.5	평면형/거침	8~10	-	-	MW~HW
J3	30/135	0.3~0.5	평면형/거침	-	-	-	MW~HW
J4	83/310	0.2~0.6	평면형/거침	-	-	-	MW~HW

#### (2) 터널 우측부(충주방향)

- 본 지역을 구성하는 지질상태는 상부로부터 풍화암층, 연암~경암층의 순으로 구성되어 있으며 절리발달 사항은 다음과 같다.

절리군	방향성	연장성(m)	절리면 상태		SHV (kgf/cm <sup>2</sup> )	지하수	풍화정도
			상 태	JRC			
J1	50/345	0.4~0.7	평면형/거침~매끄러움	6~8	142~174	Drop	MW~HW
J2	79/097	0.3~0.5	평면형/거침	8~10	-	-	MW~HW
J3	30/135	0.3~0.5	평면형/거침	-	-	-	MW~HW
J4	83/310	0.2~0.6	평면형/거침	-	-	-	MW~HW

절리군	방향성	연장성(m)	절리면 상태		SHV (kgf/cm <sup>2</sup> )	지하수	풍화정도
			상 태	JRC			
J1	46/312	0.5~1.5	평면형/거침~매끄러움	8~10	864	-	MW~HW
J2	82/306	0.7~2.0	평면형/거침~매끄러움	12~14	490	-	MW~HW
J3	80/078	0.3~0.7	평면형/거침거침~매끄러움	-	-	-	MW~HW
J4	82/281	0.5~1.5	평면형/거침	-	-	-	MW~HW
기타	83/240, 45/102	-	평면형/거침	-	-	-	-

특이 사항  
 · 흑색 천매암으로 구성됨  
 · 매우 낮은 연장성을 보이고 풍화정도는 MW~HW임  
 · 절리면을 따라 약간의 누수가 있음

## 3 붕괴사면 현황 및 대책

### 3.1 붕괴사면 1(STA.5+581 우측사면(충주방향))



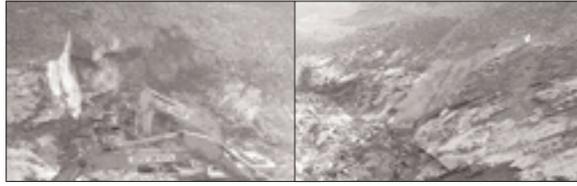
현 황	대 책
· 발파암사면의 구배는 1:0.3~0.5, 리핑암은 1:0.7~0.8, 토사는 1:1.0으로 시공 중 임	· 붕괴사면 절취 시 확인된 지반선을 반영하여 비탈면 설계
· 2004.11.10 사면구배 1:1.0으로 시공 중 인 구간에서 붕괴 발생	· 사면구배 선정 시 기 sliding구간 제거를 고려하여 원구배 1:1.0에서 1:1.2로 변경
· 붕괴원인은 강우로 인한 원지반 전단강도감소로 판단됨	· 상부 토사구간은 무한사면 발생이 예상되어 1:1.0구배 적용 후 Soil-nail 보강방안 수립

### 3.2 붕괴사면 2(STA.5+540 우측사면(충주방향))



현 황	대 책
· 발파암사면의 구배는 1:0.3~0.5, 리핑암은 1:0.7~0.8, 토사는 1:1.0으로 시공 중 임	· 붕괴사면 절취 시 확인된 지반선을 반영하여 비탈면 설계
· 2004.11.23 사면구배 1:0.7로 시공 중인 법면에서 붕괴 발생되었으며, 지속적으로 소규모 법면붕괴 발생중에 있음	· 사면구배 선정 시 기 sliding구간 제거를 고려하여 원구배 1:0.7에서 1:1.0으로 변경
· 붕괴원인은 토사층이 비교적 두터운 지점에서 강우로 인한 원지반 전단강도감소와 안정성이 확보되지 못한 사면구배(1:0.7)로 판단됨	· 붕괴구간 토사층 심도가 깊은 관계로 보강심도를 충분히 확보하기 위하여 Soil-nail 길이를 8m~10m로 적용

### 3.3 붕괴사면 3(STA.5+565 우측사면(충주방향))



현황	대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발파암사면의 구배는 1:0.3~0.5, 리핑 암은 1:0.7~0.8, 토사는 1:1.0으로 시공 중임</li> <li>· 2004.11.28 사면구배 1:0.5로 시공 중 인 발파 및 리핑암 절취 구간에서 붕괴 발생</li> <li>· 현 사면구배(1:0.5)는 보강이 필요한 구배이나 사면 절취 후 즉각적인 보강이 이루어지지 못해 붕괴가 발생한 것으로 판단됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 붕괴사면 절취 시 확인된 지반선을 반영하여 비탈면 설계</li> <li>· 사면구배 선정 시 기 sliding구간 제거를 고려하여 원구배 1:0.5에서 1:0.8-1.0으로 변경</li> <li>· 상부 토사구간은 무한사면 발생이 예상되어 1:1.0-1.2구배 적용 후 Soil-nail 보강방안 수립</li> </ul>

### 3.4 붕괴사면 4(STA.5+560 우측사면(충주방향))



현황	대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발파암사면의 구배는 1:0.3~0.5, 리핑 암은 1:0.7~0.8, 토사는 1:1.0으로 시공 중임</li> <li>· 2004.12.01 11월28일 붕괴된 사면(STA.5+565) 직 상부구간에서 붕괴가 발생</li> <li>· 붕괴원인은 기 붕괴된 사면 때문에 지반 이완영역이 확대 되었고, 이에 따른 사면하부 지지력 약화로 인하여 상부 사면의 붕괴가 발생한 것으로 판단됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 붕괴사면 절취 시 확인된 지반선을 반영하여 비탈면 설계</li> <li>· 사면구배 선정 시 기 sliding구간 제거를 고려하여 원구배 1:0.8에서 1:1.0-1.2로 변경</li> <li>· 상부 토사구간은 무한사면 발생이 예상되어 1:1.0-1.2구배 적용 후 Soil-nail 보강방안 수립</li> </ul>

## 4 사면안정성 검토

### 4.1 개요

수안보.C~수안보 도로건설공사 중인 살미터널 시 · 종점부에 형성된 절토사면에 대해서 안정성 및 보강방법을 절토사면에 대한 정밀지질조사에서 얻어진 자료를 토대로 Dips 프로그램을 이용하여 평사투영을 실시하여 암반사면의 파괴유형을 파악하고, 불안정한 구간에 대하여 파괴유형에 맞는 방법을 이용하여 사면의 안정성 및 이에 대한 대책을 검토하였다.

### 4.2 국내외의 비탈면 표준경사와 안전율

#### 1) 국내 각기비탈면 표준경사

토질 조건	비탈면 높이	비탈면 경사 기준			
		건설교통부	한국도로공사	한국토지공사	한국주택공사
토사 (사질토, 점성토)	5m 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5
	0~5m	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2
리핑암 (풍화암)	5m 이상	1:1.0	1:1.0	1:1.0	1:1.2
	0~5m				
발파암	연암 5m 이상	1:0.5	1:0.5	1:0.5	1:1.0
	경암 0~5m				1:0.8
	경암 5m 이상				1:0.8
	경암 0~5m				1:0.5

#### 2) 국내 각기비탈면의 최소안전율 적용기준

구분	최소안전율(Minimum Safety Factor)	비고	
한 국 도로공사	도로설계요령 (1976년)	· 원위치 시험에 의해서 전단강도를 구한 경우 · 일축, 삼축압축 시험에 의해 강도를 구한 경우	Fs ≥ 1.7 Fs ≥ 1.5
	도로설계요령 (1992년)	· 각기비탈면은 시공후 시간의 경과와 함께 불안정하게 되므로 비탈면안정 계산은 무의미함	
미국 Federal Regiter, 1977	· 시공직후 · 시공직후침윤을 고려할 때 · 시공직후자진을 고려할 때	Fs ≥ 1.3 Fs ≥ 1.5 Fs ≥ 1.0	
미국 D'APPOLONIA Consulting Engineers	· 실내시험에 의해 강도를 구할 경우 · 최대지진가속도를 고려할 때	1.5 > Fs > 1.3 1.2 > Fs > 1.0	
영국 National Coal Board, 1970	1) Peak Shear Stress(UU Test) 2) Residual Shear Stress(CD Test) 3) 포화된 사질토의 경우 (C=0) 4) 2),3)항 공히 적용되는 경우 (C=0, CD Test)	1.50 > Fs > 1.25 1.35 > Fs > 1.15 1.35 > Fs > 1.15 1.20 > Fs > 1.10	
일본도로공단	· 도로설계요령	Fs > 1.5	
일본건설성	· 표준적인 계획안전율	Fs > 1.1~1.3	
건설부	· 구조물 기초설계기준	Fs > 1.3	

#### 3) 안정성 검토에 사용된 지반정수

구분	단위중량 (tf/m <sup>3</sup> )	점착력 (tf/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 (°)	비고
토 사	1.8	1.1	25	역해석에 의한 지반정수 산정
풍화암	2.3	2.0	30	역해석에 의한 지반정수 산정
발파암 (불연속면)	2.66	4.0	30	관련문헌, 실시설계를 종합 검토

#### 4) 암반비탈면 안정성 검토

##### (1) 평사투영 해석

##### ① 좌측-1(괴산방향)

구분	평면/전도 파괴	썩기 파괴	
평사투영 결과도			
파괴 가능성 및 검토결과	평면파괴 ○	썩기파괴 ×	전도파괴 ○
	평면파괴의 가능성 높음	썩기파괴는 관찰되지 않음	전도파괴의 가능성 높음
	평면 및 전도파괴가 관찰되고 있어 이에 대한 보강대책이 필요함		



본 절취사면의 검토목적은 터널입구 구간 절토사면의 검토·분석하여 불안정한 사면에 대해 사면 보강방안을 제시하여 경제적이고 안정한 사면을 유지하는데 그 목적이 있다.

##### ② 좌측-2(괴산방향)

구분	평면/전도 파괴	썩기 파괴	
평사투영 결과도			
파괴 가능성 및 검토결과	평면파괴 ○	썩기파괴 ○	전도파괴 ○
	평면파괴의 가능성 높음	썩기파괴의 가능성 높음	전도파괴의 가능성 높음
	전체적으로 불안정하여 이에 대한 보강이 필요함		

##### ③ 우측-1(충주방향)

구분	평면/전도 파괴	썩기 파괴	
평사투영 결과도			
파괴 가능성 및 검토결과	평면파괴 ○	썩기파괴 ×	전도파괴 △
	평면파괴의 가능성 높음	썩기파괴의 가능성 높음	전도파괴의 가능성 없음
	전체적으로 불안정하여 이에 대한 보강이 필요함		

##### ④ 우측-2(충주방향)

구분	평면/전도 파괴	썩기 파괴	
평사투영 결과도			
파괴 가능성 및 검토결과	평면파괴 ○	썩기파괴 ○	전도파괴 ○
	평면파괴의 가능성 높음	썩기파괴의 가능성 높음	전도파괴의 가능성 높음
	파괴유형이 다양하게 관찰되고 있어 이에 대한 보강대책이 필요함		

### ⑤ 결론

구분	구간	투형결과	해석방법	비고	
터널입구	좌측 (괴산방향)	좌측-1	전도파괴 가능성	-	
		좌측-2	평면, 전도 및 썩기파괴의 가능성	Plane Failure Analysis Module Swedge 3.03	
	우측 (충주방향)	우측-1	평면파괴 가능성	Plane Failure Analysis Module	
		우측-2	평면, 전도 및 썩기파괴의 가능성	Plane Failure Analysis Module Swedge 3.03	

### 4.2 평면파괴 검토

· 암반사면의 평면 파괴에 대한 안정율 계산은 Plane Failure Analysis Module(E. Bane Kroeger)를 이용

비탈면 구간	사면 기울기 (°)	암반 사면고 (m)	암반 하중 (W, ton)	작용수압 수평 수직 (U, V/m <sup>2</sup> )	인장균열 깊이(m)	안전율(Fs)		비고			
						건기	우기				
터널 입구	좌측	좌측-1	35	20	99.1	172.6	1.0	1.9	3,107	1,328	O.K
		좌측-2	48	20	51.6	140.7	0.5	1.0	3,520	1,275	O.K
	우측	우측-1	51	16	50.7	87.7	0.9	1.2	2,789	1,368	O.K
		우측-2	45	16	89.4	101.1	1.7	2.1	2,408	1,304	O.K

	좌측-1	좌측-2
좌측		
우측		

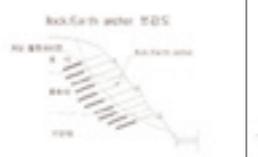
### 4.3 썩기파괴 검토

비탈면 구간	비탈 면각 (deg)	파괴절군		암반비탈 면고 (H, m)	마찰각 (deg)	점착력 (tf/m <sup>2</sup> )	단위 중량 (tf/m <sup>3</sup> )	안전율		판정	
		J1	J2					건기	우기		
터널 입구	좌측	51	55/048	45/158	20	30	4	2.66	2,041	1,238	O.K
		59	39/204	69/225	20	30	4	2.66	5,169	1,419	O.K
	우측	-	83/006	70/278	16	30	4	2.66	Invalid wedge		O.K
		-	70/278	36/338	16	30	4	2.66	Invalid wedge		O.K

· 위치: 좌측-2 · 사면경사: 51/135 · 절라: 55/048 ^ 45/158	· 위치: 좌측-2 · 사면경사: 59/135 · 절라: 39/204 ^ 69/225

# 5 비탈면 보강공법 및 보호공법

## 5.1 사면보강공법 비교

구 분	FRP 보강 그라우팅	Soil Nailing	Rock/Earth Anchor 공법	임지말뚝
개 요	· 대상지반을 천공후 지질조건에 따라 FRP보강재를 적절한 간격으로 배열·설치 · FRP 보강재내에 패커를 설치하여 압력에 의해 파쇄암반의 절리와 토사지반 공극을 고강도 그라우트재를 주입 · 원지반 전단강도를 증가 및 FRP 보강재에 의한 전단, 휨 및 Nailing 효과를 동시에 얻는 공법	· 면보강 및 굴착면에 대한 유연한 지반 보강 공법 · 보강재를 프리스트레스 없이 촘촘한 간격으로 원지반에 삽입 · 원지반 자체의 전체적인 전단강도를 증대시키고 지반의 변위를 가능한 억제하는 TopDown식 절토면 보강공법	· 원지반을 천공한 후, 고장력에도 견딜 수 있는 PC 강선을 절취 사면의 예상 활동면 보다 깊은 위치에 정착 · 인장력에 의해 사면을 압축하고, 원지반의 전단저항력을 증가시키는 공법 · 암반등의 블록파괴를 방지하고 변형을 억제 (프리텐션에 주로 적용되는 공법	· 임지말뚝공법은 활동토괴를 관통하여 부동지반까지 말뚝을 일렬로 설치 · 사면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 부동지반에 전달시키는 공법 · 임지말뚝공법은 타 공법에 비교하여 지중 깊은 곳까지 발생하는 산사태의 경우에서도 지중에 저항할 수 있는 구조물을 설치할 수 있다는 장점을 가지고 있음
개 요 도				
경 제 성	△	◎	×	×
분현장 적용성	· 보강재 부식영향 적고 중량이 작아 시공성 용이 · 사면전면 방향으로의 편리발달 ⇒ 그라우트재 주입시 사면전면으로의 그라우트재 유출가능성 높음 ⇒ 균질한 그라우팅 작업 어려움	· 원지반 보강공법으로써 Nail 1개가 부담하는 안전도 낮음 ⇒ 부분적 품질저하가 전체안전에 미치는 영향 상대적으로 적음 · 천공 및 철근삽입으로 시공성 용이	· PC강선의 인발저항으로 직접적인 원지반의 보강뿐만 아니라 간접적인 원지반의 물성강화효과가 있으나, 경제성 및 시공성 확보 곤란	· 산사태등의 대규모 파괴에 대한 안정성 확보 용이하나 · 경제성 및 시공성 확보 곤란
추천안		◎		

## 5.2 사면보호 식생공법

### 1) 개요

사면보호 식생 공법은 우수침식의 방지, 지표면 온도의 완화 및 뿌리로 표토를 묶어 동상붕락의 억제 및 완화에 의한 미적효과 등의 목적을 위하여 시공되는 공법이다. 특히, 본 현장 살미터널 시점부 갱구부는 절리발달이 심한 천매암이 주요 암종으로 분포하고 있어 향후 풍화에 의한 사면안정성 저하 영향이 클 것으로 예상되므로 사면보호 식생 공법의 중요성이 부각되는 사안임.

### 2) 실시설계 적용 사면보호 식생공법

구 분	보호공법	재료	선정기준
절 토	토 사	· 벚짚 · 시드스프레이용 재료	자연친화적, 경제적
	리핑암	· 자연토양 (T=3cm)	
	발파암	· 코코넛 부속토 · 지효성 유기물	

### 3) 사면보호 식생공법 선정시 주안점 - 지질특성

- 주요 분포암종 : 흑색 천매암

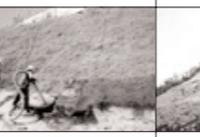
- 절리면 상태 : 평면형 · 거침 ~ 매끄러움(JRC : 6 ~ 8)  
- 절리연장성이 매우 낮은 ~ 낮은 상태를 보이고 있어 절리(엽리)발달이 매우 심한 상태이며, Stereo Net 투영결과는 다음과 같음.

구 분	Stereo Net 투영결과			결 과
	평면	전도	쇄기	
터널 입구	좌측	좌측-1	○ ○ ×	평면파괴 및 전도파괴 가능성 높음
	사면	좌측-2	○ ○ ○	평면파괴, 전도파괴 및 썩기파괴의 가능성이 있음
	우측	우측-1	○ × △	평면파괴 가능성 높고 썩기파괴의 가능성이 있음
	사면	우측-2	○ ○ ○	평면파괴, 전도파괴 및 썩기파괴의 가능성이 있음

### - 사면보호 식생공법 선정시 주안점

· 본 지역의 지표지질조사 및 사면안정성 평가결과, 절리(엽리)발달 상태가 매우 심해 평면파괴 및 전도에 의한 낙석 가능성이 매우 높음  
· 이는 Nailing에 의한 사면 보강 공법이 적용되어도, 국부적 낙석위험성을 배제할 수 없기 때문에 이를 고려하여 사면보호 식생공법을 선정하여야 함.

## 5.3 사면보호 녹화공법 비교

구 분	섬유거푸집 몰탈격자블럭	녹생토 공법	배토습식공법 (ASNA)	자연생태 복원녹화공법	숏크리트 공법	현장타설격자블럭공법
개 요 도						
개 요	· 대상지반에 섬유대 거푸집을 포설한후 거푸집 내에 시멘트 몰탈을 타설한 후 공간에 식생을 하는 공법.	· 암절개지에 철망을 설치한 후 종자, 비료등 유기물질을 혼합하여 고압분사기를 이용, 인위적으로 토양층을 강제 부착하여 녹화를 유도하는 공법	· 하수, 펄프오니 등과 현무암토를 주재료로 하여 무균상태로 정제·미생물을 투입, 식물의 발아와 활착을 돕고 물리화학적 재해를 방지하는 공법, 자중을 줄이기 위해 보다 경량화된 토양(인공 배양토)으로 기반조성	· 자연토양을 주재료로 조성한 녹화기반토양을 암비탈면에 취부하는 녹화공법	· 대상지반에 시멘트, 골재, 모래 등을 혼합하여 대상사면에 취부하는 공법	· 대상지반에 거푸집을 대고 콘크리트를 타설하고 보강공법(Nail, 앵커)을 적용한후 격자블럭 사이를 식생하는 공법.
적용조건	· 토사, 풍화암, 연암	· 리핑암, 경암	· 성토 및 풍화대 연암, 경암	· 토사, 풍화암, 연암	· 토사, 풍화대, 암반	· 토사, 풍화대, 암반
장 점	· 몰탈격자블럭 자중에 의해 사면안정성 증대 · 자유로운 종자선택으로 자연경관 창출 및 미관양호 · 섬유거푸집을 공장 제작하므로 품질이 균질하다. · 시공이 간편하고 공기가 쉰다. · 표토유실 방지하여 장기적으로 안정적 식생가능	· 급경사지 시공가능 · 초기녹화 우수 · 경암 시공가능	· 미생물에 의한 영양공급으로 식생이 영구적 · 균열, 굴곡이 많을수록 효과 좋다 · 락탈트 선행시공 · 액상형태의 분무이기 때문에 균열부 침투효과 좋다 · 시공 40시간 경과후 표면 경화현상 발생	· 보비, 통기성이 우수 · 다양한 재래 초·목본류의 종자 사용으로 식물의 쇠퇴 방지 · 천이가 이루어져 주변산림과 조화되는 자연친화형 식물군락의 조성 용이 · 목본과 초본이 생장하여 야생동물 이동통로가 형성됨 · 토양이 고결화 되지 않음	· 사면에 발생하는 응력에 대하여 저항력이 가장 우수함	· 사면지반과 CONC 밀착되므로 안정성 유지 · 대상지반에 앵커공법 적용시 안정성 우수
단 점	· 면이 평탄치 않을시 미관이 불량할 수 있다. · 시멘트 몰탈의 배합에 유의하여야 한다.	· 공사비가 높음 · 우기시 함수량의 증가에 따른 단위중량의 증가로 사면붕괴의 원인을 제공 · 건조 지속시 고사의 위험성 · 식생천이가 없음	· 토양두께가 얇아 건조피해 우려 · 시공속도가 늦다 · 천이가 불가하며, 초본류에만 국한 · 하수오니 등을 주재료로 사용하기 때문에 환경유해물질이 다량 함유 · 토양이 고결화되어 종자사용이 한정.	· 균열이 없고 매끈한 급경사(1:0.20이하) 경암지역에 적용이 곤란 · 단립구조 파괴시 토양유실 · 단순 수림화로 인한 식생천이 어려움 · 고비용	· 골재 시멘트 혼합 부지, 발전기 및 장비운용 부지 필요 · Shotcrete 재료 혼합 장비비 및 취부에 필요한 장비 소요 · 식생 불가하고 미관 불량 · 장기적으로 배수문제 발생	· 고결토 사면의 경우 비계 가설 또는 고가장비 필요 · 절취면이 평탄치 않을시 시공불가 · 쇄굴 등에 의한 부분침하, 유실 발생시 보수 어려움
경 제 성	38,500원/m <sup>2</sup> (T=10cm)	51,000원/m <sup>2</sup> (T=15cm)	43,000원/m <sup>2</sup> (T=5cm, 연경암)	73,000원/m <sup>2</sup> (T=5cm)	47,000원/m <sup>2</sup> (T=15cm)	현타격자블럭 (40,000/m <sup>2</sup> )+ 녹생토(38,000/m <sup>2</sup> , T=10cm)
추천안	◎					
검 토 의 건	· 본 지역의 지표지질조사 및 사면안정성 평가결과, 절리(엽리)발달 상태가 매우 심해 평면파괴 및 전도에 의한 낙석 가능성이 매우 높음. 따라서 Nailing에 의한 사면보강 공법이 적용되어도, 국부적 낙석위험성을 배제할 수 없기 때문에 몰탈격자블럭 자중에 의한 사면안정성 증대를 도모함이 바람직 할 것으로 판단됨.					

# 6 결론

본 절취사면의 검토목적은 터널입구 구간 절토사면의 검토·분석하여 불안정한 사면에 대해 사면 보강방안을 제시하여 경제적이고 안정한 사면을 유지하는데 그 목적이 있다.  
사면 보강방안은 현장 암반상태 및 경제성등을 고려하여 Soil Nailing보강 공법으로 선정하였으며 사면별 절토구배는 원지반 경사, 지중두께등을 고려하여 선정하였다. 또한 사면 풍화방지를 녹화공법은 심한 엽리발달상태, 높은 국부적 낙석가능성등을 고려하여 섬유거푸집 몰탈 격자블럭을 적용토록 하였다.

특히, 빠른 풍화속도 및 절토후 지속적인 사면붕괴 발생이려 등을 고려하여 상부로 부터의 사면 절토시 사면절토후 즉각적인 Soil Nailing 보강을 각 소단별로 단계적으로 실시하여 발생될 수 있는 사면붕괴를 방지하여야 하며, 상시 또는 일상점검을 통하여 사면의 이상유무를 지속적으로 점검(사면거동영상 또는 사면 상부 인장균열 발생여부등)하여 사면의 안정성 여부를 파악토록 하여야 한다.