

# 퇴적암에서 SMR(Slope Mass Rating) 방법에 의한 터널 갱구 사면 해석의 평가와 보강

김학문<sup>1)</sup>, 이형원<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 단국대학교 공학부, <sup>2)</sup> SK건설(주) 토목TK팀

## 1. 서론

현재 경상남도 함안지역의 퇴적암지역에서 건설되는 4개 터널의 갱구사면 해석을 SMR방법, 평사투영해석, 한계평형해석법으로 각각 수행하여 그 결과를 비교 평가하고 보강방법을 제시해 보았다.

터널 갱구부의 특수성과 굴착시 응력이완이나 지하수의 영향, 풍화 등으로 고결력이 저하되는 퇴적암(세일)지역에서의 지질특성을 고려한 설계·시공 및 장기적인 안정성에 만족되는 영구 보강이 이루어지도록 고려하였다.

## 2. 지반조건 및 현황

제1, 제2, 제3, 제4 터널은 중심간격이 30m 상/하 행선이 분리된 편도 2차선의 병설 터널이다. 현재 터널갱구부 상부 및 양측 진입부 절취공사가 완료되어있으며 일부 썩기 형태의 붕괴가 발생되었다.

호층구조를 가진 퇴적암류의 기반암[혈암(shale), 이암(mud or siltstone), 사암(sandstone)] 등이 내부에 발달되어 있으며, 암회색의 혈암(shale)이 기반암으로 주절리인 층상절리 (bedding joint)는 사면 방향으로 약10° 내외의 경사로 수직방향의 넓은 파쇄대와 함께 썩기형 파괴를 유발하였다고 사료된다.

이들 파쇄대를 통해 불규칙하게 존재하는 경사절리와 수평방향의 층상절리 틈사이에는 점토내지 실트질 충진물(gouge)이 10cm~30cm까지 두텁게 채워져 있어 지하수의 작용으로 쉽게 미끄러짐 현상이 발생되면 추가의 붕괴사고도 예견될 수 있다.

## 3. 제1터널

부근에서 조사된 BH-1의 시추조사 결과로부터 얻어진 암반의 평가는 다음과 같다.

표 1. BH-1 시추조사에 의한 암질 분류

시추공	깊이(m)	암석강도 점수	RQD 점수	절리간격 점수	절리상태 점수	지하수 흐름상태 점수	절리방향 점수	RMR	등급
BH-1	2.8-10.6	10	12	9	10	5	-15	31	IV poor
	10.6-21.5	12	13	9	10	5	-12	37	IV poor

### 3.1 주변지반의 평사투영 해석

주변 지반의 평사투영 해석 결과는 그림 1과 그림 2에 나타나 있다.

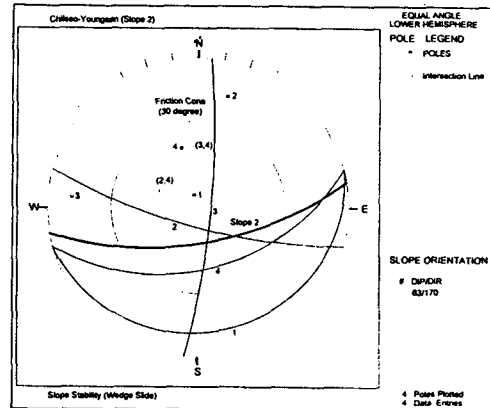
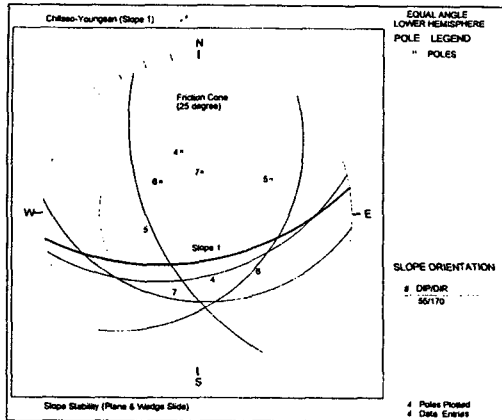


그림 1. 사면(1)의 평사투영 해석결과

그림 2. 사면(2),(3)의 평사투영 해석결과

### 3.2 안정성 평가와 보강대책

1·2차에 걸쳐 시행한 안정성 평가와 보강 방안은 표 2와 같다.

옹벽배면부 사면붕괴 지점은 부석과 점토채움재 (Gouge)등을 깨끗이 제거한후 배수공들을 설치하고 콘크리트로 채운후 ROCK BOLT로 보강한다. 특히 파쇄대의 영역을 확인하여 보강영역을 결정한다.

하행시점부의 터널사면은 소단 상부에서는 기 분석된 1·2차 해석 결과의 검토 내용이 유사하므로 이를 참고하여 Soil Nailing공법과 녹생토(Green Slope 공법) 적용이 타당하다고 사료된다.

그러나 터널갱구부, 즉 소단하부에 위치한 MW, SW 암반 절취면은 장기적인 열화현상에 취약하고, 국내 Shale 지역에서의 암반낙반사고가 뒤늦게 발생되고 있는 점을 감안하여 Systematic Rock Bolt(길이; 4~6m, 간격; 1.5~2.0m), shotcrete 및 녹생토 공법으로 법면을 보호하고, Mapping 결과에 따라 현장에서 간격을 조정 가능하도록 한다.



지층이다. 지표 9.0m부터 21.0m까지 존재하는 경암층 역시 일부구간의 RQD가 18을 제외하면 전체적으로 RQD=0로 사암~셰일이 상당한 절리 및 파쇄대를 나타내며 코아회수율도 저조하였다.

당초 설계시 사면의 경사는 1:0.5였으나 현재 1:0.7로 굴착 완료되어 있음.

LOCATION		STA.3+324(2터널중점)		COORDINATES		ELEVATION	
ANGLE		vertical		HOLE DIA.		NX	
DRILL		LY-38		DRILLER		안달용	
INSPECTOR							
Depth 심도 m	Thick- ness 층 후 m	CASING TYPE	Colum- nar Section 주상도	지 층 설 명 DESCRIPTION OF MATERIAL		FRAC- TURE E.C.C	T.C.R /S.C.R /R.Q.D
0.3	0.3			* 표토층 심도 : 0.0 - 0.3M - 실트 - 암갈색			62/ 32/ 0
5				* 연암층 심도 : 0.3 - 9.0M - 셰일 - 절리 및 파쇄 매우 발달함 - 세편 및 원주상의 코아회수 - 코아회수율 저조함 - 모퉁풍화 - 담회색 - 0.3-3.5M : D3/S2-3/F4-5 - 3.5-5.0M : D3/S2-3/F4-5 - 5.0-7.0M : D2-3/S2-3/F5 - 7.0-9.0M : D2-3/S2-3/F3-5			73/ 40/ 0 51/ 15/ 0 85/ 60/ 17
9.0	8.7			* 경암층 심도 : 9.0 - 21.0M - 사암~셰일 - 절리 및 파쇄 매우 발달함 - 세편 및 원주상의 코아회수 - 코아회수율 저조함 - 담회색 - 9.0-11.0M : D2-3/S3/F5 - 11.0-13.0M : D2-3/S3/F4-5 - 13.0-15.0M : D2-3/S3/F3-5 - 15.0-18.0M : D2-3/S3/F4-5 - 18.0-19.0M : D2-3/S3/F5 - 19.0-20.0M : D2-3/S3/F4-5 - 20.0-21.0M : D2-3/S3/F5			35/ 35/ 0 28/ 28/ 0 63/ 63/ 18 32/ 32/ 0 71/ 0/ 0 96/ 25/ 0
10							
15							
20							

그림 3. 제 2 터널 지질 주상도

#### 4.1 안정성 평가와 보강방안

제1차 해석과 2차 해석시 안정성 평가와 보강방안은 표 3과 같다.

표 3. 안정성평가와 보강대책 비교

평가항목	1차 해석 결과	2차 해석 결과
· 갱구부 사면 압반평가	RQD = 10(poor) RMR = 52 연암~보통암	RMR = 9~32 등급 : VI~V (불량~매우불량) 풍화암~연암
· 평사투영 해석결과	썩기파괴와 전도파괴 가능성이 있음	전도파괴양상 단층파쇄대는 매우 불안정한 상태 썩기파괴 가능성과 함께 단층파쇄대 의 파괴가능성 매우 높다
· SMR해석결과 (Slope Mass Rating)	SMR = 44.3~52 등급 : IIIa~IIIb (보통) 부분적안정, 많은썩기파괴, 체계적 support요구됨 파쇄대구간 : 별도로 $\psi=23^\circ$ , $c=2t/m^2$ 토사구간으로 간주	SMR = 9~39.5 등급 ; IV~V (불량~매우불량) 큰썩기형 파괴 대규모 평면파괴 토사형 파괴가능
· 한계평형해석결과 사용 program	K-STABL	파쇄가 심한상태 ∴ 토사층과 같은 원호파괴가정
안전율( $F_s$ )	$F_s=0.766$ ( $F_s<1.25$ 불안정)	$F_s=0.501$ (불안정)
· 보강방법	Soil Nail과 Shotcrete · Nail : HD29, L=6m 간격 = 2~3m · Shotcrete : t=100mm 파쇄대구간 : 별도 a:사면상부측구 및 보호 conc 타설 b:앵커설치(80ton/ea) c:사면에 1차 shotcrete 50mm d: Wire Mesh ( $\phi$ 4.8, 100×100mm) e: ㄷ형강 Anchor 인장 (250×90×9.0×13mm) f: 2차 shotcrete 100mm g: 소단부 측구 설치	Soil Nail과 Shotcrete 파쇄대구간(15m) Nail : HD32, L=16m $V_s=H_s=1.2m$ (지표면~터널상단높이) 그외구간(파쇄대 좌우측 각각10m) Nail : HD29 L=6~10m $V_s=H_s=1.5m$ (SD40, EPOXY COATING)
· 보강후의 안전율 변화	(보강전) (보강후) 0.766 → $F_s=1.25$ ∴ O.K	(보강전) (보강후) 0.501 → $F_s=1.28$ ∴ O.K
· 터널상단 갱구부 주변	MW, SW 지역보강 필요	MW, SW 지역보강 필요

## 5. 제 3 터널

제 3 터널 부근에서 시추조사된 주상도(Borehole Log) TB-3-1, Location STA. 3+446 지점의 지층상태는 표토층 0.5m 하부에 두께 8.5m의 연암층이 존재하며 그 하부는 경암층으로 구성되어 있다.

그림 5의 시추주상도 지층설명에 의하면 상부 8m 두께의 연암층에서 R.Q.D 값은 20, 25, 18로 평균 21이며 그 하부의 경암층(8m~20m심도까지)에서 R.Q.D 값은 41, 31, 68로 평균 47로 암질이 불량~매우불량한 상태를 나타내고 있다.

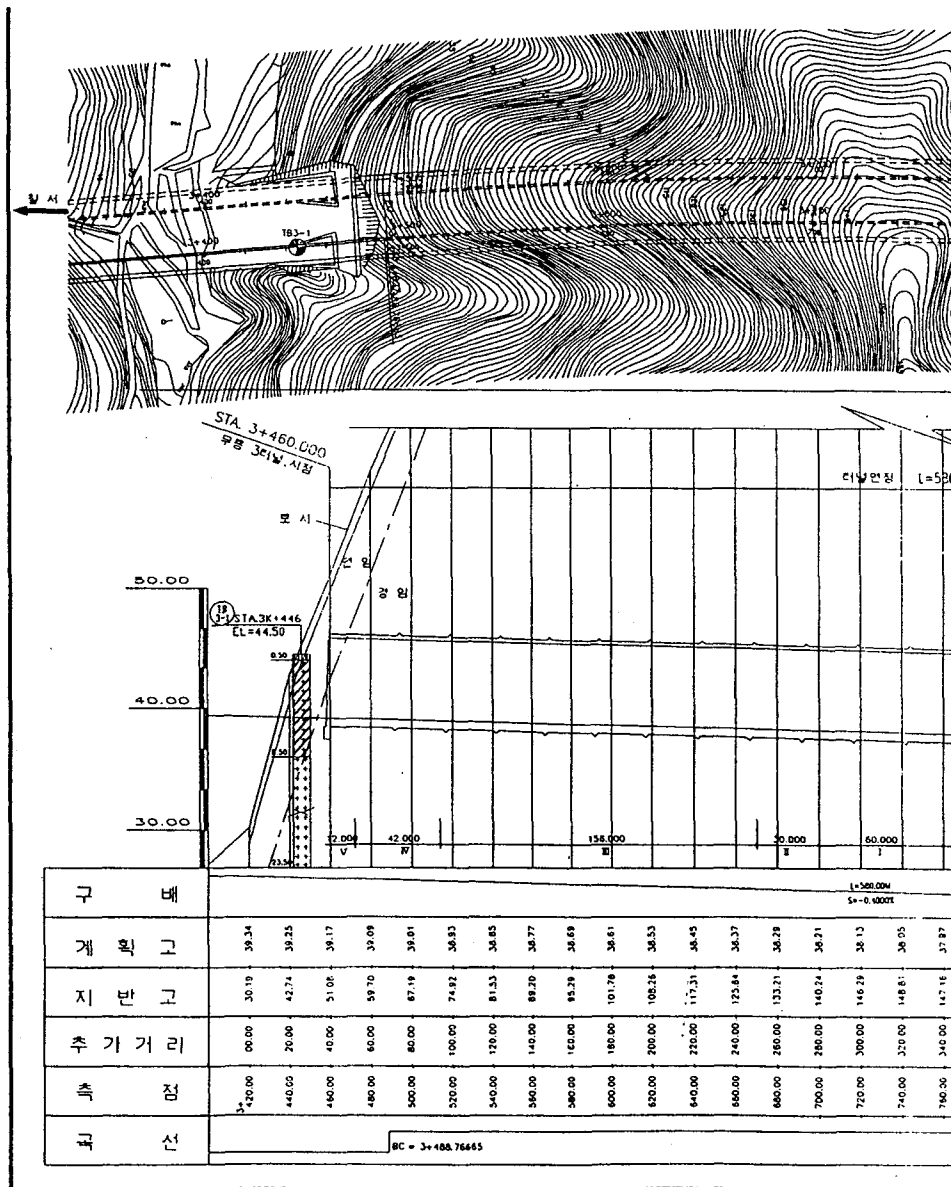


그림 4. 평면 및 종단면도

STA.3+446(중심)	COORDINATES		ELEVATION	44.50 m
vertical	HOLE DIA.	NX	G. W. L	지표면하 6.4m
LY-38	DRILLER	안달용	INSPECTOR	이유상

CASINO TYPE	Column Section 주상도	지 층 설 명 DESCRIPTION OF MATERIAL	FRACTURE LOG	T.C.R /S.C.R /R.Q.D	Standard Penetration Test 표준관입시험			
					BLOW /30CM	N Blow 10 20 30 40		
	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 표토층</li> <li>심도 : 0.0 - 0.5M</li> <li>- 실트</li> <li>- 암갈색</li> </ul>		65/ 37/ 20				
	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 연암층</li> <li>심도 : 0.5 - 8.5M</li> <li>- 세일</li> <li>- 질리 및 파쇄 발달함</li> <li>- 세편 및 원주상의 코아회수</li> <li>- 모통중화</li> <li>- 암회색</li> <li>- 0.5-2.5M : D3/S3/F3-5</li> <li>- 2.5-5.5M : D3/S3/F3-5</li> <li>- 5.5-8.5M : D3/S3/F3-5</li> </ul>		97/ 80/ 25				
	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 경암층</li> <li>심도 : 8.5 - 23.5M</li> <li>- 세일</li> <li>- 상부층 질리, 파쇄 발달함</li> <li>- 하부로 갈수록 암질상태 양호</li> <li>- 세편, 장주 및 원주상의 코아회수</li> <li>- 약간중화-신선함</li> <li>- 암회색</li> <li>- 8.5-11.5M : D2-3/S2-3/F3-5</li> <li>- 11.5-14.5M : D2-3/S2-3/F2-5</li> <li>- 14.5-17.5M : D2-3/S2-3/F2-5</li> <li>- 17.5-20.5M : D2/S2/F2-4</li> <li>- 20.5-23.5M : D2/S2/F2-3</li> </ul>		98/ 81/ 41				
	+			97/ 90/ 31				
	+			98/ 98/ 68				
	+			98/ 98/ 87				

그림 5. 시추 주상도(TB-3-1)

지하수위는 지표면에서 -6.4m로 비교적 높게 나타났다.

세일의 주절리면인 층리는 규칙적으로 4~16° 까지 굴착면을 향해 완만한 경사를 갖고 있으며 연암의 강도는 햄머로 눌러서 부서지거나 한번타격에 쉽게 모서리가 깨어지는 정도의 약한강도~보통강도를 갖는다.

현재 터널 갱구부의 절취면 굴착이 당초 설계인 1:0.5로 완료되었으며 굴착면의 일부가 지표수에 의해 씻기며 물길을 형성하고 있다.

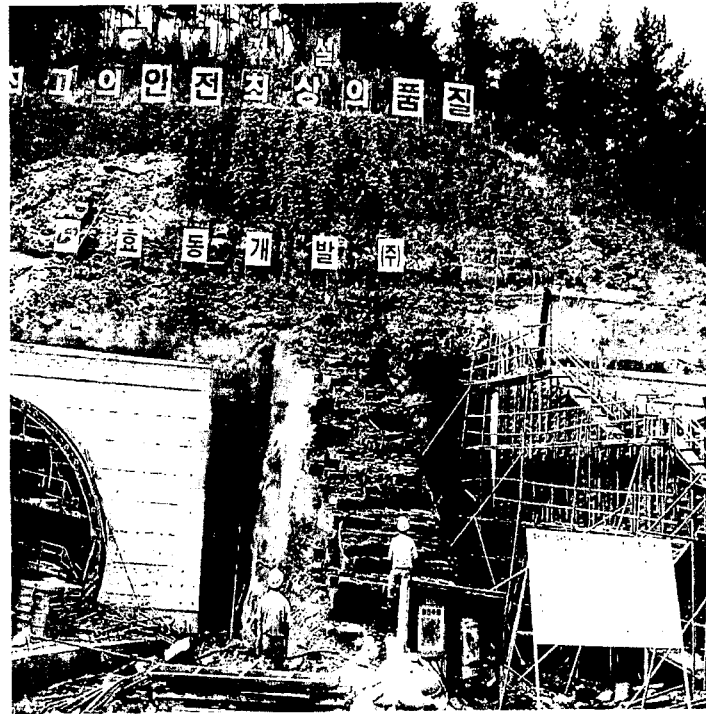


그림 6. 제 3 터널 시점부 전경

## 5.1 갱구부의 사면 보강방안

지표면에서 8.0~10.0m 심도에 걸쳐 분포된 풍화암, 연암대의 절취면은 평균 R.Q.D가 21로 불량하게 나타나 있다(부체도로 상부지역).

### - 보강방안 1 ;

사면 절취법면의 경사를 1:1로 하고 녹생토 적용

### - 보강방안 2 ;

사면 절취법면의 경사를 1:0.8로 하고 Systematic Bolt(길이; 4~6m, 간격; 1.5~ 2.0m)와 shotcrete 및 녹생토로 보강

연암하부의 경암지층에서는 평균 R.Q.D가 47정도로 불량에서 보통정도를 나타냈다(부체도로 하부지역). 이 지층의 보강방안은 사면절취 법면의 경사를 1:0.7로 하고 Random Bolt(길이; 4~6m, 간격; 1.5~2.0m)와 shotcrete 및 녹생토로 보강이 요구된다.

제 3 터널 시점부의 갱구부 사면은 당초 설계가 1:0.5로 되어있어 현장에서 사면 절취공사가 완료된 상태이다. 그러나 주변 시추 주상도의 자료와 현장방문 자료를 토대로 암질을 평가하고 예비설계를 시행한바 지표면 부근의 풍화암~연암구간 과 그 하부의 경암부분에서도 당초설계보다 완만한 1.1~0.7로 재조정하고 Rock Bolt와 shotcrete 및 녹생토 보강을 함으로써 장기적인 안정성을 확보할 수 있을 것이다.



1·2차 해석결과에서 제안한 바와 같이 본 현장의 지질 특성상 설계·시공 및 장기적인 안정성에 미치는 영향들을 고려하여 토론된 내용을 충분히 감안하여야 된다고 사료된다.

1) 본 현장의 대상사면은 세일(퇴적암)층으로 구성되어있으며 굴착시 응력이완이나, 지하수의 영향, 풍화 등으로 고결력이 저하된다. 특히 연한 암석층은 환경영향변화에 따른 건조습윤의 반복으로 암석입자의 결합력이 파괴되어 강도가 저하되며 침수붕괴(slaking)와 swelling 현상이 두드러져서 사면의 붕괴가 어느 시점에서나 발생할 가능성을 가지고 있다.

2) 세일은 층리면이 규칙적으로 형성되어 있으므로 강도이방성이 심하며 이 지역에서 층리 간격은 1cm~100cm로 평균 30cm이내의 좁은 간격을 나타내고 있으므로 부정합면이나 파쇄대를 만날 경우 암편들의 붕괴가 발생할 수 있으므로 기본적인 보강은 필수적이다.

3) 지표수나 지하수의 접촉으로 급격한 열화현상과 불연속면의 미끄러짐(sliding)현상으로 붕괴사고 우려가 있으므로 보강구간 모든 사면은 필히 배수공을 설치하고 소단의 측구도 고려해 볼 수 있다.

4) 터널갱구부 사면은 향후 개/보수가 어렵고, 사고시 그 피해가 막대하므로 충분한 안전을 가진 영구 보강이 이루어져야 한다.

## 6. 제 4 터널

이 구간은 STA.4+000~4+080 터널 종점 지역으로 상행과 하행 갱구부를 모두 포함하여 기반암인 세일을 주로하여 일부 사암이 분포한다. 지표면으로부터 HW(Highly Weathered), MW(Moderately Weathered), SW(Slightly Weathered) 영역으로 구분되어져 있다.

불연속면은 절리와 퇴적암의 층리면에 의해 그 방향이 우세하게 분포한다. 현재 절취구배 1:0.7로 굴착이 완료된 상태이다.

### 6.1 안정성 평가와 보강 대책

본 터널의 안정성 평가에 대한 비교와 보강 대책을 요약해보면 표 4와 같다.

본 구간의 암판정기준 중 RMR평가와 SMR(사면안정법)기준으로도 모두 불량암반으로 판정되었고, 한계평형방법으로도 불안정하게 판단되어 보강된 Soil Nailing 공법과 녹생토 방법은 일반적인 대책방법으로 타당하다고 사료된다.

단, 지표수의 유입이 용이한 지표면 부근에 Nailing이 설치되는 점을 감안하여 현재의 길이를 4m에서 6m로 증가시키는 것이 바람직하겠다.

그 외의 터널 직상부와 주변의 MW, SW영역에서도 불연속면의 간격이 20~60cm이므로 ㄷ-형강을 격자 형태로 설치하고, wiremesh, Rock Bolt(길이; 4~6m, 간격; 1.5~2.0m)와 shotcrete(두께; 100~150mm) 및 녹생토 공법을 적용함으로써 장기적인 안전율을 확보할 수 있을 것이다.

표 4. 안정성 평가와 보강 대책

평가항목	안정성 평가와 보강 대책
· RMR에 의한 암반평가	하행(후방) : RMR = 24, 등급 : IV 상 행 : RMR =24, 등급 : IV 불량으로 평가됨
· SMR해석결과 (Slope Mass Rating)	하행(후방) : SMR = 39, 등급 : IV 상 행 : SMR = 31.5, 등급 : IV 불량으로 판정됨, 안정성은 불안정하며, 예상파괴형태는 평면파괴와 큰 썩기형 파괴이다
· 평사투영 해석결과	평면파괴양상과 전도파괴 가능성 높음
· 한계평형해석결과	$F_s=1.231$ 로 사면활동에 대해 불안정하다 우측사면은 수직절리로 인한 낙석이 우려됨 (우측사면 $F_s=1.636 \rightarrow O.K$ )
· 보강공법	Soil Nailing $S = 4.0m$ , $V_s=H_s=1.5m$
· 보강후의 안전율 ( $F_s$ )	(보강전) (보강후) 1.231 → 1.659
· 터널 직상부와 주변의 사면	Shotcrete 설치 (MW, SW지역)

## 7. SMR(Slope Mass Rating)해석에 의한 사면안정성 평가

SMR(Slope Mass Rating)은 RMR에서 고려하는 암석의 강도, RQD값, 불연속면의 간격, 불연속면의 상태, 지하수상태 등 5가지 요소에 대한 평가값과 SMR의 보정요소로 작용하는 불연속면 및 사면과 관련된 요소( $F_1, F_2, F_3$ )와 굴착방법에 따른 보정요소( $F_4$ )의 값으로 구해진다.

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

F1: 암반의 경사방향과 불연속면 경사방향과의 차이각( $\alpha$ )의 절대값으로 구하며 각도차가 30° 이상일때는 붕괴가능성이 희박한 것으로 본다. F1은 0.15에서 서로 평행한 경우인 1사이의 값을 가지며 경험적으로 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$F1 = (1 - \sin \alpha)^2$$

F2 : 평면파괴 형태에서의 불연속면의 경사각과 관련된 요소로 불연속면의 전단기동 가능성의 척도를 나타내며 이 값은 1.00(경사각이 45°보다 큰 경우)에서 0.15(경사각이 20°보다 작은 경우)사이의 값을 가지며, 또한 경험식으로 아래와 같이 표현되며 전도파괴에서는 1의 값을 가진다.

$$F2 = \tan^2 \beta;$$

F3 : 사면과 불연속면의 경사각의 차이 값으로서 평면파괴에서는 사면에 Daylight되는 불연속면의 가능성과 관련되며, 사면과 불연속면이 평행할 때는 양호한 상태를 나타낸다. 사면의 경사각이 불연속면의 경사각 보다 10 ° 이상 클 때는 불안정한 상태가 된다. 또한 전도파괴의 경우는 불안정하거나 매우 불안정한 상태는 일어날 수 없으며 갑작스런 전도파괴도 극히 드물고 전도된 사면도 그대로 유지되는 경우가 많다.

표 5. 불연속면과 사면에 의한 보정값

파괴형태		매우양호	양호	보통	불량	매우불량
P T	$ \alpha_j - \alpha_s $ $ \alpha_j - \alpha_s - 180 $ °	>30 °	30 °~20 °	20 °~10 °	10 °~5 °	<5 °
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$ \beta_j $	<20 °	20 °~30 °	30 °~35 °	35 °~45 °	>45 °
P	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	>10 °	10 °~ 0 °	0 °	0 °~-10 °	<-10 °
T	$\beta_j + \beta_s$	<110	110~120	>120	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60
P:평면파괴 T:전도파괴		$\alpha_j$ :사면의 경사방향 $\beta_j$ :불연속면의 경사방향	$\alpha_s$ :사면의 경사각 $\beta_s$ :불연속면의 경사각			

F4 : 사면의 굴착방법에 따라 변하는 보정요소로 경험적으로 그 값은 다음 표와 같다.

굴착방법	자연사면	presplitting	smooth blasting	일반발파, 기계적 리핑	불완전한 발파
F4	15	10	8	0	-8

표 6. SMR 점수에 따른 암반상태, 안정성 및 예상파괴 형태

등급	SMR	암반상태	안정성	예상파괴	보 강
I	81~100	매우양호	매우안정	-	불필요
II	61~80	양호	안정	약간의 블럭	부분적 실시
III	41~60	보통	부분적 안정	일부 불연속면 다수의 썩기형파괴	체계적 실시
IV	21~40	불량	불안정	평면파괴 큰 썩기형파괴	매우 많은 보강/ 구배 혹은 방향조정
V	0~20	매우불량	매우 불안정	대규모 평면파괴 토사형의 파괴	재굴착

표 7. SMR에 따른 사면 보강 기준

Class	SMR	Description
I a	92~100	불필요
I b	81~90	불필요, 면 다듬기 작업
II a	71~80	(도랑 혹은 보호벽) 부분적 볼트 설치
II b	61~70	도랑 또는 보호벽 설치, 보호망과 부분적 또는 체계적 볼트 설치
III a	51~60	도랑 또는 보호벽 설치, 부분적 또는 체계적 볼트 설치와 부분적 슛크리트 타설
III b	41~50	(도랑 또는 보호벽) 체계적 볼트 설치와 앵커설치, 슛크리트 타설, 선단벽 콘크리트 타설
IV a	31~40	앵커설치와 체계적 슛크리트 타설, 선단벽과 콘크리트 타설, (재굴착)배수로 설치
IV b	21~30	체계적 보강스�크리트 타설, 토우웰과 콘크리트 타설, 재굴착과 깊은 배수로 설치
V a	11~20	재굴착

## 8. 결 론

본 터널의 Shale 지역과 풍화등급이 MW, SW인 지역은 지표수나 지하수의 접촉으로 급격한 열화현상과 불연속면의 미끄러짐 현상으로 붕괴사고 우려가 있으므로, 40m인 대절취 사면면을 감안하여 기 설계된 자료가외에 모든 검토 현장 갱구부 직상부 및 MW, SW의 터널구간을 Rock Bolt(길이 4~5m), 간격 1.5~2m로 설치해야 될 것으로 판단되며, 이들 구간의 배수공 설치는 물론, Rock Bolt 구간은 C-형강(steel channel)등으로 격자를 짜주며 Shotcrete 두께도 100~150mm로 보강해 주는 것이 바람직하다. 또한 터널 갱구부 상부에 1차 낙석방지를 위한 Fence 설치가 고려되어야 할 것으로 사료된다.

각 터널별 결론을 요약하면 다음과 같다.

### 1) 제 1 터널

옹벽배면부 사면붕괴 지점은 부석과 점토채움재 (Gouge)등을 깨끗이 제거한후 배수공들을 설치하고 콘크리트로 채운후 ROCK BOLT로 보강한다. 특히 파쇄대의 영역을 확인하여 보강영역을 결정한다.

하행시점부의 터널사면은 소단 상부에서는 기 분석된 보고서 1999.7월 과 2001.1월의 검토내용이 유사함으로 이를 참고하여 Soil Nailing공법과 녹생토(Green Slope 공법) 적용이 타당하다고 사료된다.

그러나 터널갱구부, 즉 소단하부에 위치한 MW, SW 암반 절취면은 장기적인 열화현상에 취약하고, 국내 Shale 지역에서의 암반낙반사고가 뒤늦게 발생되고 있는 점을 감안하여 Systematic Rock Bolt(길이; 4~6m, 간격; 1.5~2.0m), shotcrete 및 녹생토 공법으로 법면을 보호하고, Mapping 결과에 따라 현장에서 간격을 조정 가능하도록 한다.

### 2) 제 2 터널

이 구간은 시추조사 결과 (BH-TB-2-3), 갱구부 암반평가, 평사투영해석 결과, SMR 해석, 한계 평형해석 결과들이 제시한 바와 같이 안전율이 0.501~0.766으로 매우 낮아 불안정한 상태로 파괴가능성이 매우 높다고 판단되는 구간이다.

그러므로 기 제시된 갱구부 사면 보강안 비교를 통하여 단층파쇄대와 HW 지역은 제1안(참고자료Ⅳ-3 참조)인 ROCK ANCHOR + SOIL NAIL 보강이 가장 타당할 것으로 사료되며, 터널 직상부 후방사면의 MW, SW 지역은 터널에서  $45^\circ + \psi/2$ 의 상부 영향구간을 ROCK BOLT(길이; 4~6m, 간격; 1.5~2m)로 설치해야 할 것으로 판단된다.

물론 배수공 설치와 이들 ROCK BOLT간은 ㄷ-형강(Steel channel) 등으로 연결하여 격자를 짜주며 shotcrete 두께도 100~150mm로 보강하며 녹생토를 적용하는 것이 바람직하다.

### 3) 제 3 터널

제 3 터널 시점부의 갱구부 사면은 당초 설계가 1:0.5로 되어있어 현장에서 사면 절취공사가 완료된 상태이다. 그러나 주변 시추 주상도의 자료와 현장방문 자료를 토대로 암질을 평가하고 예비설계를 시행한바 지표면 부근의 풍화암~연암구간 과 그 하부의 경암부분에서도 당초설계보다 완만한 1.1~0.7로 재조정하고 Rock Bolt 와 shotcrete 및 녹생토 보강을 함으로서 장기적인 안정성을 확보할 수 있을 것이다.

지표수나 지하수의 접촉으로 급격한 열화현상과 불연속면의 미끄러짐(sliding)현상으로 붕괴사고 우려가 있으므로 보강구간 모든 사면은 필히 배수공을 설치하고 소단의 측구도 고려해 볼 수 있다.

터널갱구부 사면은 향후 개/보수가 어렵고, 사고시 그 피해가 막대하므로 충분한 안전율을 가진 영구 보강이 이루어져야 한다.

### 4) 제 4 터널

본 구간의 암판정기준 중 RMR평가와 SMR(사면안정법)기준으로도 모두 불량암반으로 판정되었고, 한계평형방법으로도 불안정하게 판단되어 보강된 Soil Nailing 공법과 녹생토 방법은 일반적인 대책방법으로 타당하다고 사료된다.

단, 지표수의 유입이 용이한 지표면 부근에 Nailing이 설치되는 점을 감안하여 현재의 길이를 4m에서 6m로 증가시키는 것이 바람직하겠다.

그 외의 터널 직상부와 주변의 MW, SW영역에서도 불연속면의 간격이 20~60cm이므로 ㄷ-형강을 격자 형태로 설치하고, wiremesh, Rock Bolt(길이; 4~6m, 간격; 1.5~2.0m)와 shotcrete(두께; 100~150mm) 및 녹생토 공법을 적용함으로써 장기적인 안전율을 확보할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 이 정인 역, 암반사면공학, p.459, 도서출판 엔지니어즈(1995)
2. 이 정인, 불연속면의 특성에 따른 암반사면의 안정성 해석, '97 사면 안정 학술발표회 논문집, pp.21-47, 한국지반공학회(1997)
3. Hoek, E. Rock Engineering, p.313(미출판 전자문서)(1999)
4. Giani, G.P., Rock Slope Stability Analysis, p.361, A.A.Balkema(1992)
5. Romama, M.R., A Geomechanical Classification for Slopes : Slope Mass Rating, Comprehensive Rock Engineering, Vol. 3-II, pp.575-599, Pergamon Press(1993)