

# 시공성을 고려한 터널설계변경 (절토사면을 터널로) 사례검토

현재 시공중인 본 터널은 실시설계시 예상치 못했던 지질 및 지반특성으로 인하여 시점부 갱구부 조성시 갱구사면, 터널 시점 천단부 붕락등의 문제가 발생되고 있으며, 주요 발생현안은 다음과 같음.

## 1 개요

쌍용건설(주)에서 시공중인 00도로건설공사 00터널 시·중점부의 절토사면을 최소화 하고, 터널 시공중 발생할 수 있는 위험요소를 사전에 파악하여 최적의 터널시공방안 및 보강방안을 제시함으로써 터널공사구간내 안정성 및 시공성을 확보하도록한 설계변경 사례에 대해 소개하고, 최근 터널 갱구부 선정과 관련된 일반사항에 대해 알아보고자 한다.

## 2 현장적용사례

### 2-1. 주요현황

- 공사 구간내에 시공중인 00터널은 연장 488m의 2차로 NATM 병렬터널로 계획된 구조물로서, 주요 현황은 다음과 같음.
- 공사 위치 : 충북 괴산군 장연면 방곡리~충주시 살미면 세성리 간
- 구조물 현황

■ 표 1. 구조물 현황

방향	터널 시점	터널 종점	터널 연장	비고
충주방향	Sta. 5+596	Sta. 6+084.4	L=488.4m	
괴산방향	Sta. 5+596	Sta. 6+084.4	L=488.4m	

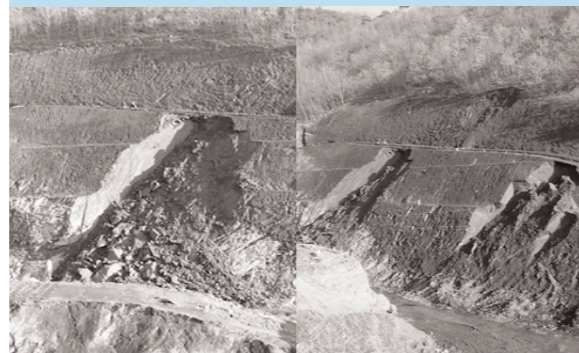
### 2-2. 터널 시공중 주요현황 및 설계변경 사항

#### 1) 터널 시공중 주요현황

· 현재 시공중인 본 터널은 실시설계시 예상치 못했던 지질 및 지반특성으로 인하여 시점부 갱구부 조성시 갱구사면, 터널 시점 천단부 붕락등의 문제가 발생되고 있으며, 주요 발생현안은 다음과 같음.

- 터널 시점부 갱구사면 붕괴

■ 그림 1. Sta. 5+560 충주방향 붕괴현황



· 시점부 갱구사면 조성시 조사된 결과에 의하면, 옥천누층군의 함역 천매암 및 천매암으로 구성된 본 구간은 엽리의 방향이 N42~70E/40~45NW의 방향성을 보이며 엽리의 발달이 매우 심하여 전체적으로 암블럭형상으로 깨어져 있는 상황임  
· 이로 인하여 터널 시점부 갱구사면 조성시 4~5차레의 사면붕괴가 발생되었으며, 현재에도 붕괴영역의 풍화 및 이완영역 확대가 발생되고 있음

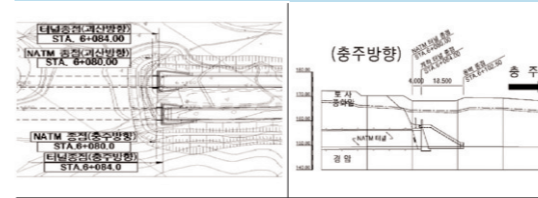
- 터널 시점부 터널 천단 붕괴

- 터널 시점부 공사용 갱문 조성시 갱구패턴 P-6패턴으로 시공된 구간 터널 천단부 붕괴
- 붕괴원인으로 갱구패턴인 P-6패턴은 천단부 보강을 위하여 Fore-Polling 보조공법 이 적용되어 있으나, 터널 천단부 Gauge를 포함한 2~3mm폭의 파쇄대 및 갱구부의 응력상태 불균형에 의한 안정성 저하등의 원인으로 파악됨. 따라서 본 붕괴 영역에 대하여 강관다단 그라우팅에 의하여 안정성을 확보한 상태임.

#### 2) 설계변경 사항

- 상기 언급된 공사중 발생된 주요 파괴사태 방지를 위하여 터널 필요 설계변경사항은 다음과 같음.
- 중점부 NATM 위치 변경
- 변경목적 : 중점부 NATM위치 변경에 따른 터널연장중대로 중점갱구부 절취사면 최소화 방안 수립

■ 그림 2. 터널 중점부 평면도  
■ 그림 3. 터널 중점부 단면도



- 세부 변경내용

■ 표 2. 세부 변경 내용

방 향	터널시점	터널중점		터널연장	
		당초	변경	당초	변경
충주방향	5+596	6+084.4	6+124	L=488.4m	L=528m
괴산방향	5+596	6+084.4	6+124	L=488.4m	L=528m

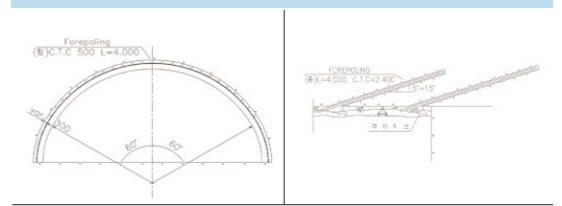
- 터널연장 변경에 따른 세부 변경항목

가. 구간별 지보패턴 변경 : 중점부 추가 NATM구간 나. 중점부 갱문위치 변경에 따른 갱구부 설계

· 강관다단 그라우팅 추가설치

- 목 적 : 터널 시중점부 갱구패턴인 P-6패턴에 적용된 Fore-Polling 그라우팅의 강관다단 그라우팅 보강 변경으로 갱구부 터널천단 안정성 확보방안 수립

■ 그림 4. P-6패턴 Fore-Polling 설계개요도 및 상세도



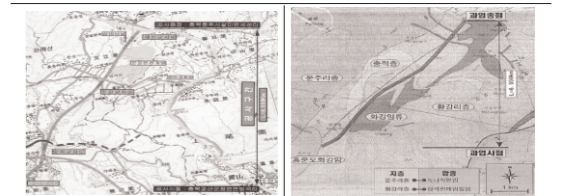
· 시점부 갱구 옹벽 날개벽 연장중대

- 목 적 : 시점부 갱구부 절토사면 조성시, 4~5차레에 걸쳐서 발생된 사면파괴 구간에 대하여 갱구 옹벽 날개벽 중대로 기 절토사면의 노출면적 최소화를 통한 안정성 확보

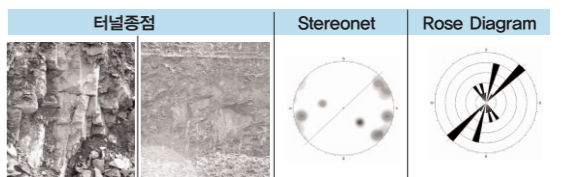
#### 3) 터널 주변 지질특성 평가

· 지형 및 지질

- 본 조사지역은 한반도 중부에 북북동 방향으로 뻗는 차령산맥과 그 남쪽에 위치하는 소백산맥의 사이에 위치하여 북저 남동고의 지형을 이룬다. 과업구간은 남북방향으로 발달하는 계명산(774m), 대향산, 첩부산(698m) 및 박달산 사이의 북동방향의 오가천 및 인접한 소규모 평야를 따라서 위치하며 노선 북부에는 문강온천 개발 지역이 위치하고 있다.



- 시점부 갱구사면 조성시 수행된 상세 지표지질조사 결과에 의하면, 옥천누층군의 함역 천매암 및 천매암으로 구성된 본 구간은 엽리의 방향이 46~82/78~312(Dip/Dip Direction)의 방향성을 보이며 엽리의 발달이 매우 심하여 전체적으로 암블럭형상으로 깨어져 있는 상황임.



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

특이사항 · 흑색 천매암으로 구성됨 / 매우 낮은 연장성을 보이고 풍화정도는 MW~HW임

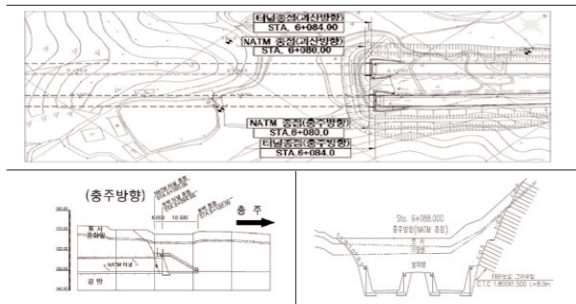
### 3 주요설계 변경 내용

#### 3-1. 현황

- 공사 구간내에 시공중인 00터널은 연장 488m의 2차로 병렬터널로 설계되어 있음.

■ 표 3. 터널 현황

방향	터널 시점	터널 종점	터널 연장	비고
총주방향	Sta. 5+596	Sta. 6+084.4	L=488.4m	
과산방향	Sta. 5+596	Sta. 6+084.4	L=488.4m	



- 현재 터널 종점부의 NATM위치는 약 상부 1.5D이상의 토피고 확보로 설계되어 터널 갱구부 조성 절토사면이 매우 크게 발생(사면고 약 30.0m)되는 상황임.
- 시점부 갱구절토사면 시공시 갱구사면 파괴발생으로 인하여 상세 지표지질조사를 수행한 바 있으며, 지표지질 조사가 수행되는 약 20일 동안에도 총 4~5회에 걸쳐 사면붕괴가 발생되었으며, 현재에도 붕괴영역이 점이적으

로 확산되고 있는 점을 감안할 때, 지질특성이 유사한 터널 종점구간에 대하여 현 터널 종점위치대로 시공시 수직높이 최대 약 30m 절취사면이 형성되며, 이로 인한 사면붕괴 위험성이 매우 높음.

- 따라서 종점부 NATM위치 변경으로 종점부 절토사면 조성연장 및 높이를 최소화 하여야 할 것으로 사료됨.

#### 3-2. NATM위치 변경에 따른 주요 설계변경 사항

- 변경 NATM위치 현황
  - 터널 종점부 NATM위치 선정은 터널 구조물 안정성 확보를 위한 적정 토피고 확보, 갱구사면 최소화 및 터널 종점부와 연계되는 00교차로와의 이격거리등을 고려하여 다음과 같이 선정함.

■ 표 4. 세부 변경 내용

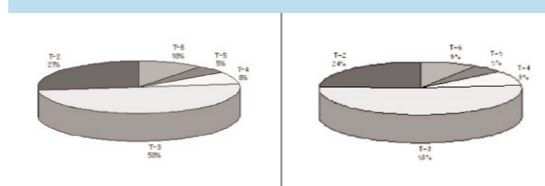
방향	터널 시점	터널종점		터널연장		비고
		당초	변경	당초	변경	
총주방향	5+596	6+084.4	6+124	L=488.4m	L=528m	
과산방향	5+596	6+084.4	6+124	L=488.4m	L=528m	

#### 3-3. 구간별 지보패턴 변경

##### 1) 지보패턴 변경 현황

- 실시설계시 00터널 구간의 구간별 지보패턴 선정은 지반 조사시 수행된 시추조사 및 전기비저항 탐사등을 이용하여 선정하였으며, 선정결과는 다음과 같음.

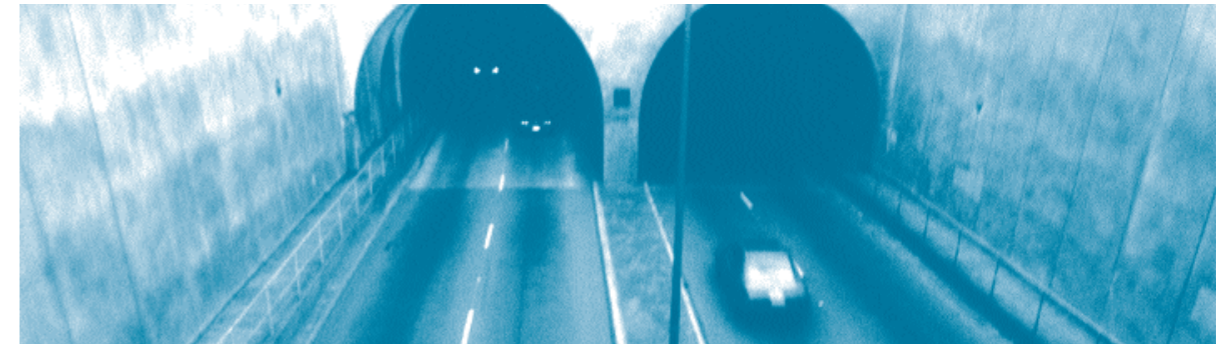
■ 그림 5. 실시설계 및 변경설계 지보패턴 비율



■ 표 5. NATM위치 연장변경에 따른 추가 터널구간

구분	Sta	연장	지보패턴 변경사유
지보패턴 변경구간	6+080~6+120	40m	NATM위치 연장변경에 따른 추가 터널구간

- 지보패턴 변경시 구간별 적용 지보패턴은 실시설계시의 조사자료를 기준으로 하여 선정하였으므로, 실제시공중 막장면 상태 평가에 따라 적용 지보패턴을 변경토록 하여야 함.



#### 2) 지보패턴 변경에 따른 안정성 해석

- 해석위치 및 물성

해석위치	지보패턴	해석프로그램	선정사유
STA. 6+100	T-6	FLAC 2D	· 종점 갱구부 안정성 검토

구분	단위중량 (tf/m <sup>3</sup> )	탄성계수 (×103tf/m <sup>2</sup> )	점착력 (tf/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 (°)	포아송비	축압계수
지반등급III	2.653	769	80	35	0.245	K0=0.5, 1.5
풍화암	2.30	24	4	33	0.30	K0=0.5, 1.5
토사	1.80	2	1	30	0.33	K0=0.5

- 해석조건 및 방법

STA. 6+100	해석단계	해석내용	하중 분담율 (%)
STEP 3 STEP 6	과산방향 분할굴착 상반(STEP 3) 하반(STEP 6)	굴착	40
		연한 슛크리트	30
STEP 9 STEP 12	총주방향 분할굴착 상반(STEP 9) 하반(STEP 12)	굴착	40
		연한 슛크리트	30
		굳은 슛크리트	30

■ 그림 7. 표준단면 및 지보패턴

표준단면(T-6)	지보패턴(T-6)
	1회굴진장
	상반 하반
	1.20 m 1.20 m
	스프링클러 두께
	16 cm
	록볼트 길이
	4.0 m
록볼트 설치간격	
총방향 횡방향	
1.20 m 1.50 m	

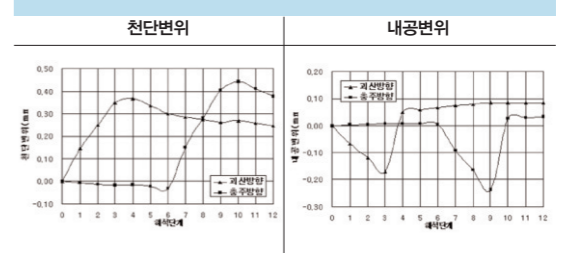
- 해석결과

- K0 = 0.5

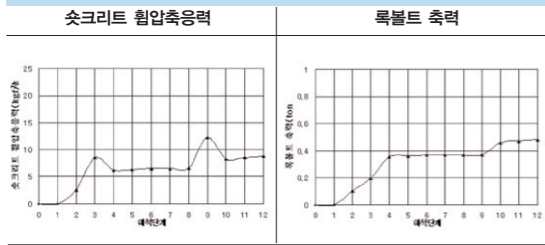
■ 표 7. K0=0.5일 경우 해석결과

구분	과산방향	총주방향
변위량 (mm)	STEP 6 a	0.300
	b	-0.030
	STEP 12 a	0.067(0.034, 0.033)
	b	0.006(-0.001, 0.007)
부호규약	천단변위 a : ↓ (+)	내공변위 b : → (+) ← (-)
스프링클러	STEP 6	6.477
합압축력	STEP 12	6.608
천단응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	fca = 0.4 × 210 = 84 kgf/cm <sup>2</sup>	
록볼트 축력 (tonf)	STEP 6	0.372
	STEP 12	0.369
하중축력		fca = 0.4 × 210 = 84 kgf/cm <sup>2</sup>
스프링클러 최대 합압축력 및 록볼트 최대 축력 발생위치 (최종단계)	과산방향	총주방향
해석결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해석결과 최대 천단변위는 0.441mm, 최대내공변위는 -0.237mm의 값을 나타냄</li> <li>· 슛크리트 최대 합압축력 및 록볼트 최대 축력은 12.26kgf/cm<sup>2</sup>, 0.481tonf로, 각각의 허용치 84kgf/cm<sup>2</sup>과 8.867tonf이내이므로 지보 안정성 확보</li> </ul>	

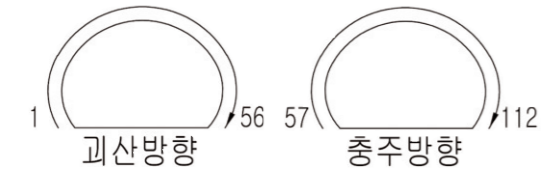
■ 그림 8. 천단 및 내공 변위



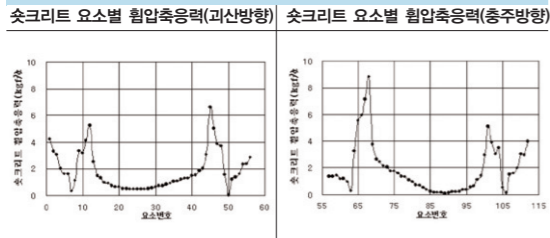
■ 그림 9. 지보재 응력



■ 그림 10. shotcrete 요소번호

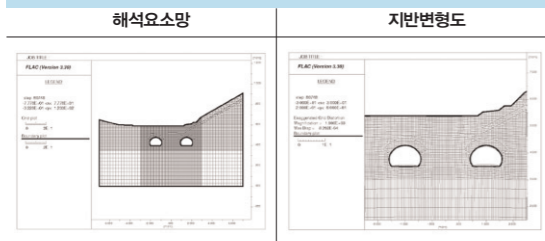


■ 그림 11. shotcrete 응력

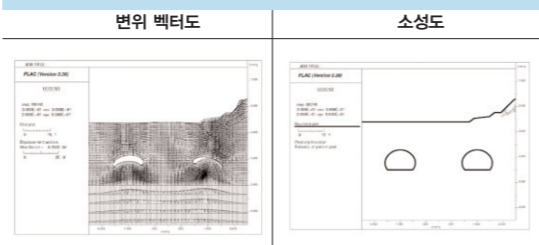


- 천단변위는 과산방향, 충주방향 모두 하부 반단면 굴착후까지 급격한 증가를 나타내지만 지보재 설치 후 일정 값으로 수렴
- 측벽변위는 과산방향, 충주방향 모두 상부 반단면 굴착시에는 천단과 바닥의 변화가 상대적으로 크기 때문에 터널 외부로 변위를 보이나, 하부 반단면 굴착 후에는 터널내공 방향으로 0.1mm이하에서 수렴
- shotcrete 최대 응력은 충주방향 상부 반단면 굴착후 지보재 설치후 최대값 12.267kgf/cm<sup>2</sup>을 나타냄

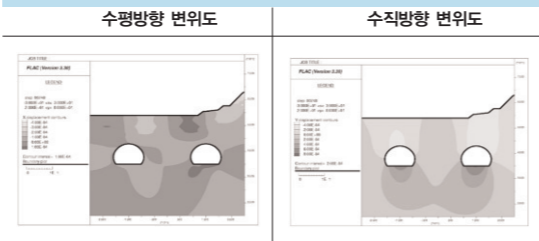
■ 그림 12.



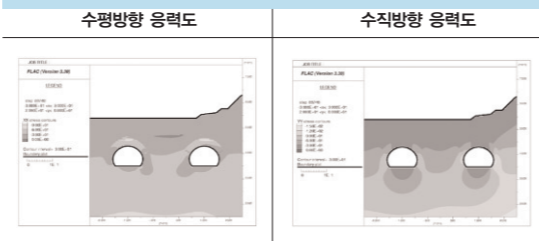
■ 그림 13.



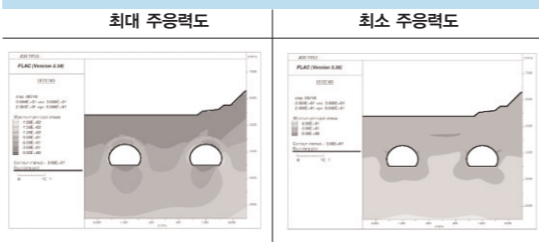
■ 그림 14.



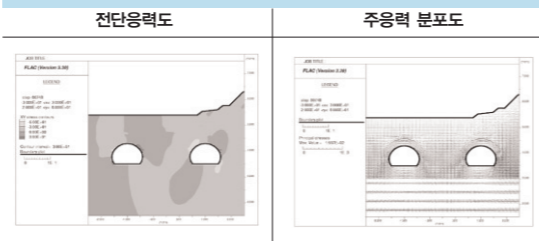
■ 그림 15.



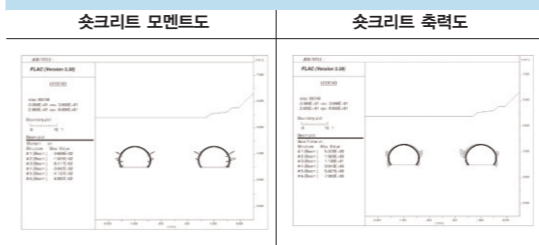
■ 그림 16.



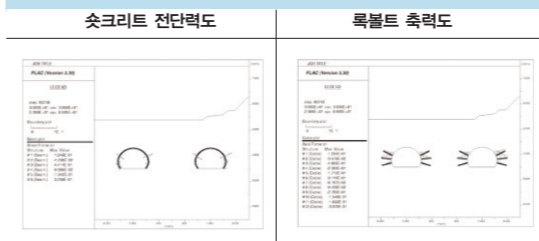
■ 그림 17.



■ 그림 18.



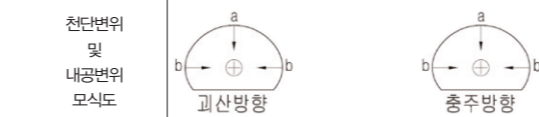
■ 그림 19.



- Ko = 1,5

■ 표 8. Ko=1.5일 경우 해석결과

구 분	과산방향	충주방향
변위량 (mm)	a	-0.125
	b	1.131(0.561, 0.570)
	a	-0.130
	b	1.068(0.634, 0.434)
부호규약	천단변위 a : ↓ (+)	내공변위 b : → (+) ← (-)

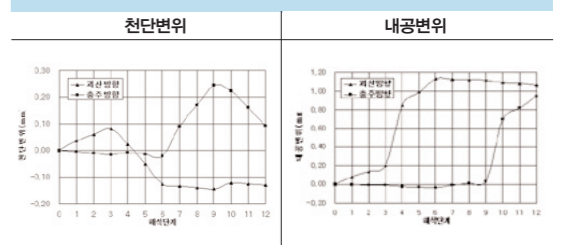


shotcrete	STEP 6	10,756	-
침입축력	STEP 12	10,590	13,415
전단응력 허용침입축응력 (kg/cm <sup>2</sup> )		fca = 0.4 × 210 = 84 kgf/cm <sup>2</sup>	
rock bolt 축력 (tonf)	STEP 6	0.831	-
	STEP 12	0.835	0.959
허용축력		0.5ty · A = 0.5 × 3500 × 5.067 = 8,867 tonf	

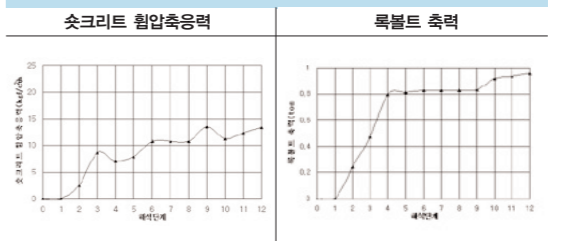


- 해석결과와 최대 천단변위는 0.244mm, 최대내공변위는 1.131mm의 값을 나타냄
- shotcrete 최대 침입축응력 및 rock bolt 최대 축력은 13.437kgf/cm<sup>2</sup>, 0.959tonf로, 각각의 허용치 84kgf/cm<sup>2</sup>과 8.867tonf이내이므로 지보 안정성 확보

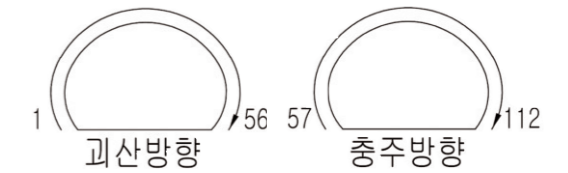
■ 그림 20. 천단 및 내공변위



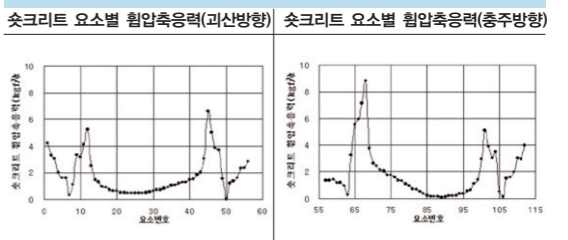
■ 그림 21. 지보재 응력



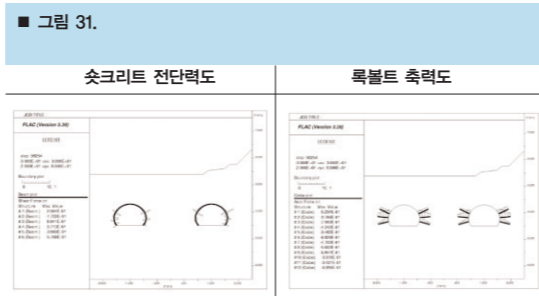
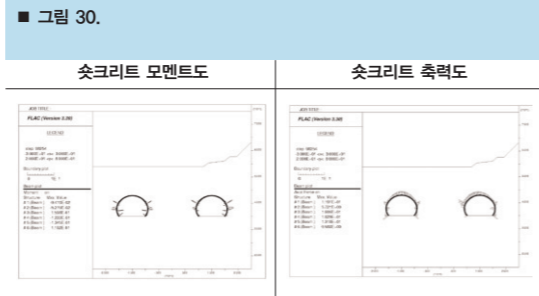
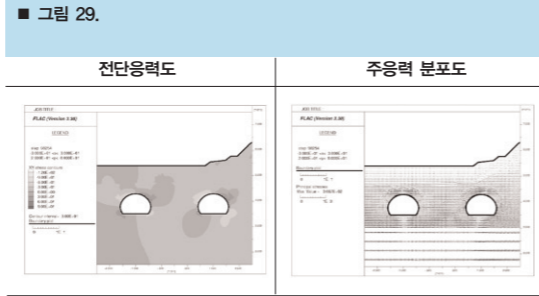
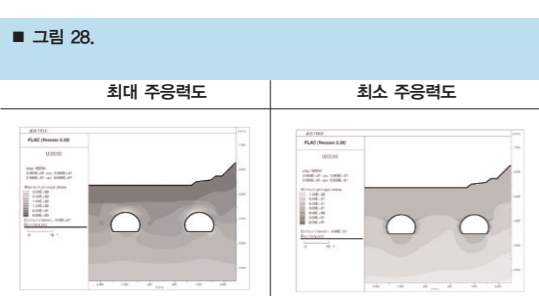
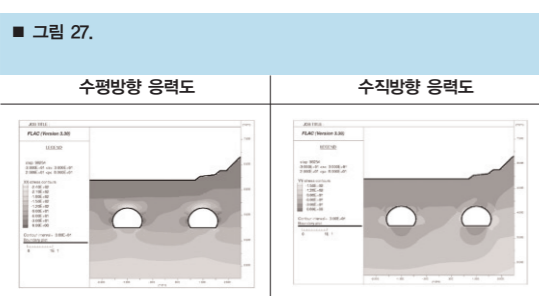
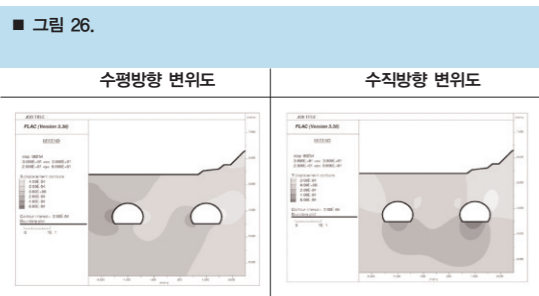
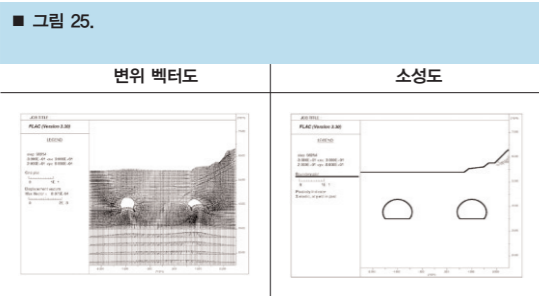
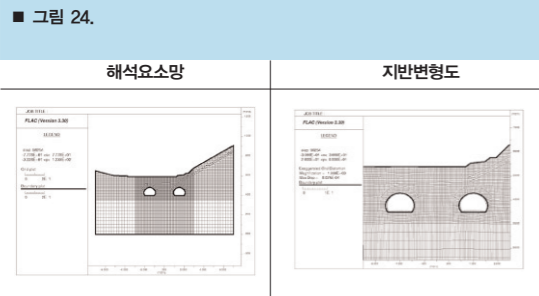
■ 그림 22. shotcrete 요소 번호



■ 그림 23. shotcrete 응력



- 천단변위는 과산방향, 충주방향 모두 하부 반단면 굴착후까지 급격한 증가를 나타내지만 지보재 설치 후 일정 값으로 수렴
- 측벽변위는 과산방향, 충주방향 모두 상부 반단면 굴착시에는 천단과 바닥의 변화가 상대적으로 크기 때문에 터널 외부로 변위를 보이나, 하부 반단면 굴착 후에는 터널내공 방향으로 0.1mm이하에서 수렴
- shotcrete 최대 응력은 충주방향 상부 반단면 굴착후 지보재 설치후 최대값 12.267kgf/cm<sup>2</sup>을 나타냄



### 3-4. 갱구부 설계

#### 1) 갱구부의 정의 및 특성

· 터널의 일반부는 주로 지반조건, 지질구조, 지하수 등 원지반 내부의 조건에 따라 그 거동이 지배되는데 반해, 갱구부의 터널거동은 지형, 기상 등의 외적조건에 의해서도 지배된다. 따라서 갱구부는 터널의 일반부와는 달리 특별한 구조와 시공법이 필요한 곳이다.

· 갱구부의 범위를 명확하게 나타낸다는 것은 각 터널에 따라 지형, 지반조건 및 노선의 위치 등 설계조건이 다르기 때문에 곤란하나, 터널시공이 사면이나 지표면에 영향을 미칠 가능성이 있는 범위를 갱구부라 명칭한다. (◆「설계요령, 터널, 일본도로공단, ◆「도로설계편람 (I)」, 건설교통부, 1999, ◆「터널 갱구부 설계기준 검토」, 한국도로공사, 2002, 2003)



■ 표 9. 터널 갱구부 일반사항

구분	정의	특성
갱문	· 터널 출입구	· 배후사면 토입지역의 토목구조물 · 교통의 연속성 확보를 위한 주변환경과 조화로운 창출
갱구부	· 터널굴진을 위한 기지 · NATM 터널의 시점	· 자연경관과 갱문의 조화 도모 · 갱구 경사면의 안정도, 지내력등 공사중 안정성 확보
	· 터널 시공이 사면이나 지표면에 영향을 미칠 가능성이 있는 범위 · 갱문배면에서 갱속의 그랜다치의 형성이 가능한 1~2D정도의 토피가 확보되는 범위	· 지형·지질의 원지반 불안정 · 공사중 지표면 변화등으로 붕괴, 편도압 등의 발생에 따른 대책 수립 (터널의 일 반부와는 달리 특별한 구조와 시공법이 필요)
터널 일반부	· 터널의 주굴진 구간	· 지형·지질의 연속성 확보 · 불균질한 조건에 대한 보강대책 수립

#### 2) 갱구위치 선정기준 검토

■ 표 10. 갱구부 선정기준

구분	Case 1	Case 2
개요도		
	· 도로설계편람 (I), 건설교통부, 1999 · 한국도로공사 기술환13304-3호, 2002	· 한국도로공사 설계처, 2003

구분	Case 1	Case 2
최고도피고	2~3m	3~5m
갱구위치	· 터널 천단부에서의 토피고를 기준으로 최소 2~3m가 확보되는 지점으로부터 1.0D내에서 지형, 지질 조건등을 검토하여 훼손구간이 최소화 될 수 있도록 최적위치 선정	· 근래 대두되는 환경보호정책 방향에 부응하고 갱구부사면의 안정성 확보를 위해 갱구상단부 토피가 3~5m 정도 확보되는 지점에 갱구형성을 표준으로 설계

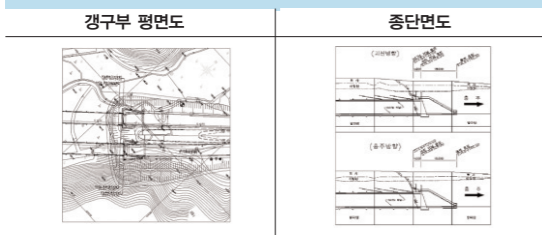
■ 표 11. 갱구위치 선정결과

구분	Case 1	Case 2
적용안		
검토 의견	· 상기 규정들은 터널 천단부로부터 상부 지층의 암중구분과 상관없이 최소 토피고를 2~5m로 제시하고 있음.(2002년 한국도로공사 기준은 최대 토피고를 1.0~2.0D로 제시) · 그러나 본 터널은 구성암반상태가 엇리발달이 매우 심하여 전체적으로 블록 형상으로 깨어져 있는 옥천누층군의 함역 천매암 및 천매암으로 구성된 점을 감안하여 암도피고(리핑암층 포함)가 1.0H(터널높이) 이상 확보하는 지점을 갱구위치로 선정	

· 00터널 종점부 갱구위치 선정은 다음의 사항을 고려하여 최종적인 갱구위치를 선정하였다.

- 터널 종점부와 근접하여 조성되는 00교차로와의 도로 기하구조적 이격거리
- 터널상부 리핑암 및 발파암 토피고 및 종점부 절토사면 최소화

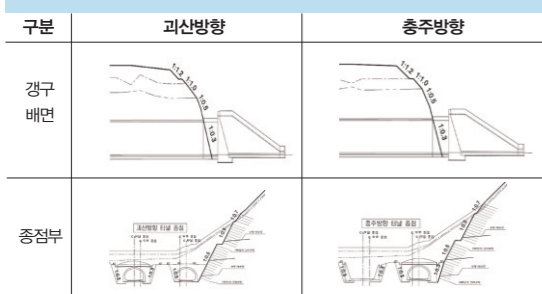
■ 그림 32. 변경갱구부 종·평면도



3) 갱구부 절토사면 안정성 검토

- 본 과업구간의 터널 종점부 깎기 비탈면을 검토대상으로 한계평형해석을 적용하여 안정성 검토를 수행하였다.
- 깎기 비탈면 현황

■ 그림 33. 변경 갱구부 사면현황



■ 표 12. 변경갱구부 적용 절취구배

구분	대표단면 (STA)	지층	적용경사	보강 공법	최대 비탈면고
갱구 배면	STA.6+120.000 (과산방향)	토사	1:1.0~1:1.2	-	17.61m
		리핑암	1:1.0		
	STA.6+120.000 (총주방향)	토사	1:1.2		
		리핑암	1:1.0		
종점부	STA.6+124.000 (과산방향)	토사	1:0.7	FRP보강 그라우팅	49.29m
		리핑암	1:0.5~1:0.7		
	STA.6+124.000 (총주방향)	토사	1:0.7		
		리핑암	1:0.5~1:0.7		

- 터널 종점부의 깎기비탈면 설계시 Slope/w 프로그램을 이용하여 표준기울기 적용시 안정성 검토를 실시하였고, 보강 비탈면은 TALREN 97을 이용하여 안정성 검토를 수행 하였다.

■ 표 13. 사면안정 검토시 적용강도 정수

지층	강도 정수	Dunham	도로설계 실무편람	도로설계 실무편람 (동화암)	기 존 설계사례	설계 적용
토사	(tf/m <sup>2</sup> )	-	1.9	-	1.8~1.9	1.8
	c (tf/m <sup>2</sup> )	-	3.0 이하	-	1.0~2.0	1.5
	(o)	35~38	30	-	30~33	30
리핑암	(tf/m <sup>2</sup> )	-	2.0	-	2.0~2.4	2.3
	c (tf/m <sup>2</sup> )	-	0	10	1.0~10.0	4
	(o)	39	40	30	30~35	33

- 또한, 표준기울기 적용시 무한비탈면이 형성되어 경제성이 저하되거나 주변 자연환경 훼손이 우려되는 경우 비탈면의 안정성 확보와 친환경적인 비탈면 설계를 위해 합리적인 기울기를 적용하여 비탈면에 대한 안정검토를 실시하였다.

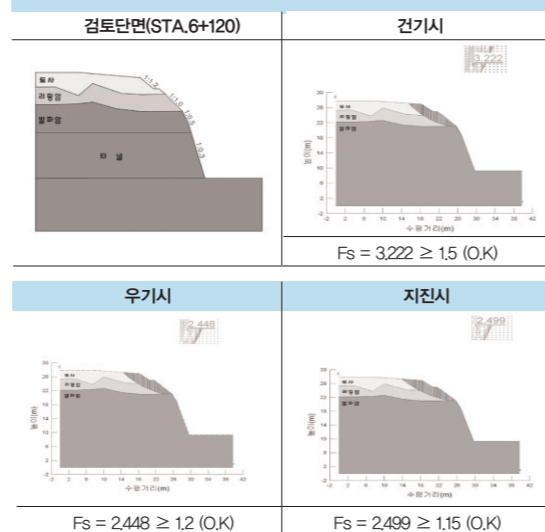
- 갱구배면 비탈면(과산방향 NATM 종점)

■ 표 14. 사면안정 검토 결과

구분	대표단면	안전율			적용 구배	검토
		건기시	우기시	지진시		
토사	과산방향 NATM 종점	3.222	2.448	2.499	표준경사	안정
	총주방향 NATM 종점	3.222	2.396	2.535	표준경사	안정
리핑암	총주방향 우측비탈면 STA.6+121.9	2.05	2.05	1.7	보강경사	안정
	총주방향 우측비탈면 STA.6+124.0	2.04	2.04	1.69	보강경사	안정

- 갱구배면 비탈면(총주방향 NATM 종점)

■ 그림 34. 갱구배면 비탈면(과산방향 NATM 종점)

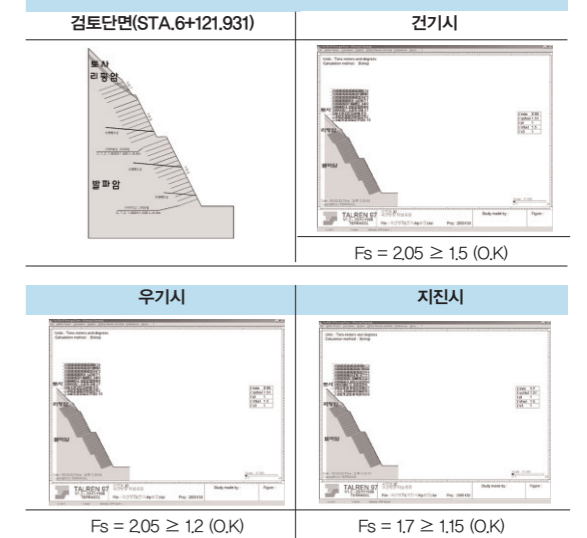


구 분	해석결과			
	조건	검토안전율	허용안전율	비고
과산방향 NATM 종점 (STA.6+120)	건기	3.222	1.5	ok
	우기	2.448	1.2	ok
	지진시	2.499	1.15	ok
검토결과	· 표준경사적용시 안전율은 건기시 3.222, 우기시 2.448, 지진시 2.499로 모두 허용안전율을 만족하므로 터널 상행(과산방향) 종점부 갱구부 배면 비탈면은 표준경사로 안정할 것으로 판단됨			

검토결과	해석결과
· 표준경사적용시 안전율은 건기시 3.322, 우기시 2.396, 지진시 2.535로 모두 허용안전율을 만족하므로 터널 하행(총주방향) 종점부 갱구부 배면 비탈면은 표준경사로 안정할 것으로 판단됨	

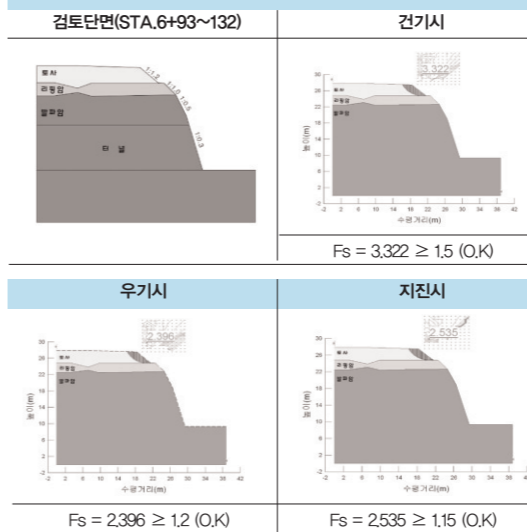
- 종점부 비탈면(총주방향 우측비탈면 - 총주방향 터널종점)

■ 그림 36. 종점부 비탈면(총주방향 우측비탈면 - 과산방향 터널종점)



- 종점부 비탈면(총주방향 우측비탈면 - 과산방향 터널종점)

■ 그림 35. 갱구배면 비탈면(총주방향 NATM 종점)

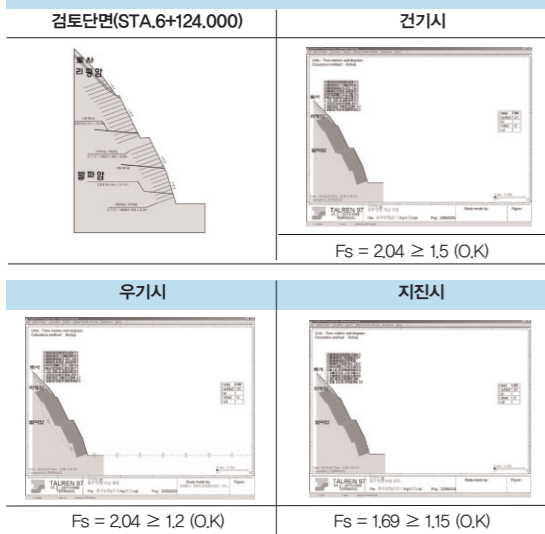


구분	해석결과			
	조건	검토안전율	허용안전율	비고
총주방향 NATM 종점 STA.6+120	건기	3.222	1.5	ok
	우기	2.396	1.2	ok
	지진시	2.535	1.15	ok

구분	해석결과			
	조건	검토안전율	허용안전율	비고
총주방향 STA.6+121.931	건기	2.05	1.5	ok
	우기	2.05	1.2	ok
	지진시	1.7	1.15	ok

검토결과	해석결과
· 보강경사적용시 안전율은 건기시 2.05, 우기시 2.05, 지진시 1.7로 모두 허용안전율을 만족하므로 터널 과산방향 종점부 비탈면은 보강경사에서 안정한 것으로 판단됨	

■ 그림 37. 종점부 비탈면(충주방향 우측비탈면 - 충주방향 터널종점)

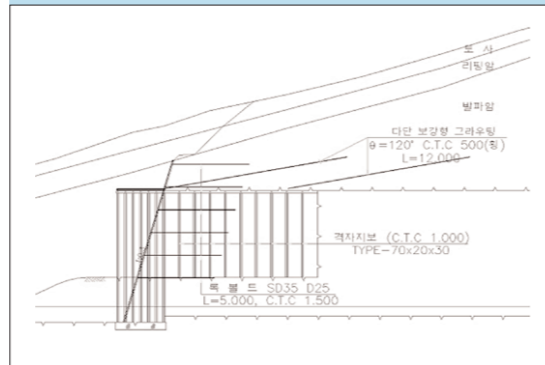


구분	해석결과			
	조건	검토안전율	허용안전율	비고
충주방향 STA.6+124.000	건기	2.04	1.5	ok
	우기	2.04	1.2	ok
	지진시	1.69	1.15	ok

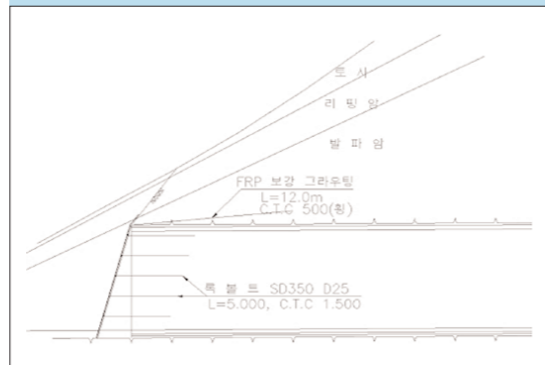
검토결과 · 보강경사적용시 안전율은 건기시 2.04, 우기시 2.04, 지진시 1.69로 모두 허용안전율을 만족하므로 터널 충주방향 터널종점부 비탈면은 보강경사에서 안정한 것으로 판단됨

법이 필요한 곳을 감안하여 터널 갱구부 천단보강을 위한 보강공법이 추가로 설치되는 설계 및 시공사례가 다수 발생되고 있으며 대표적인 설계 및 시공사례는 다음과 같다.

■ 그림 38. 서울~춘천간 고속도로 건설공사 적용예



■ 그림 39. 주문진~속초간 고속도로 건설공사 적용예



### 3-5. 갱구부 보강 및 본선부 천단보강 추가 설치

#### 1) 갱구부 강관다단 그라우팅 적용사례 분석

- 터널의 일반부는 주로 지반조건, 지질구조, 지하수 등 원지반 내부의 조건에 따라 그 거동이 지배되는데 반해, 갱구부의 터널거동은 지형, 기상 등의 외적조건에 의해서도 지배된다. 따라서 갱구부는 터널의 일반부와는 달리 특별한 구조와 시공법이 필요한 곳이다
- 갱구부의 범위를 명확하게 나타낸다는 것은 각 터널에 따라 지형, 지반조건 및 노선의 위치 등 설계조건이 다르기 때문에 곤란하나, 터널시공이 사면이나 지표면에 영향을 미칠 가능성이 있는 범위를 갱구부라 명칭한다. (◆「설계요령, 터널」, 일본도로공단, ◆「도로설계편람 (I)」, 건설교통부, 1999, ◆「터널 갱구부 설계기준 검토」, 한국도로공사, 2002, 2003)
- 터널 갱구부는 터널일반부와는 달리 특별한 구조와 시공

터널의 일반부는 주로 지반조건, 지질구조, 지하수 등 원지반 내부의 조건에 따라 그 거동이 지배되는데 반해, 갱구부의 터널거동은 지형, 기상 등의 외적조건에 의해서도 지배된다. 따라서 갱구부는 터널의 일반부와는 달리 특별한 구조와 시공법이 필요한 곳이다

### 2) 보조공법 비교(적용)

■ 표 15. 터널 보강공법 비교

공법	강관 보강형 다단그라우팅 공법	FRP 터널 보강 그라우팅 공법	RPUM 공법(직천공) (대규경(φ114mm)강관 다단그라우팅 공법)	Fore Poling 공법
공법개요	터널 굴착전에 강관을 적절한 형상으로 배열 설치하고 주입재를 주입함으로써 주입재에 의한 지반고결로 강관과 주변 지반을 일체화 시켜 Beam Arch를 형성하여 차수 및 보강 효과를 동시에 얻는 공법이다. 동시에 얻는 공법	고강도 FRP관을 Umbrella 형태로 배열 설치하고 주입재에 의한 지반고결로 보강재와 주변지반을 일체화시켜 Beam Arch를 형성하는 공법으로 차수 및 보강효과를 동시에 얻을 수 있는 공법이다.	장대막장안정공법으로 굴착면 전방에 우산모양의 구조체를 형성하여 굴착시 구조적인 안전성을 도모 유지하는 공법으로 지반조건에 따라 강관을 이용한 직천공이 가능하며 주입방식 및 목적에 따라 다단주입, 케이싱 헤드방식 및 수평JET 방식의 3가지 형태의 시공이 가능하다.	불량한 지반 조건의 구간에서 터널을 굴착하기 전에 굴착 자유면의 길이를 감소시키고 지반변형을 방지하여 국부적인 막장 붕락을 막기 위하여 강관 또는 철근을 터널 막장에 관입하는 보조공법이다.
개요도	시멘트 + 규산소다	시멘트 + 규산소다 + 혼화제	시멘트 시멘트 + 규산소다	시멘트
주입방법	Air Packer System을 이용한 다단주입	Air Packer System을 이용한 다단주입	강관 직천공 실시 Packer System을 이용한 다단주입가능	1.0 Shot 방식의 단관 주입
적용목적	· 여굴 및 붕락방지 · 차수 및 지반보강	· 여굴 및 붕락방지 · 차수 및 지반보강	· 여굴 및 붕락방지 · 차수 및 지반보강	· 여굴 및 붕락방지
적용토질	SC이상의 토질 풍화암, 연암, 파쇄대 및 단층대	ML 이상의 토질 풍화암, 파쇄대 및 단층대	SC이상의 토질 풍화암, 연암, 파쇄대 및 단층대	풍화암 및 연암
효과	차수	우수	우수	—
	지반보강	우수	우수	보통
장점	1. 강관의 제작이 용이하다. 2. FRP관에 비해 강관재료비가 저렴하다.	1. 중량이 가벼워 취급이 용이하다. 2. 내부식성이 좋아 영구적인 보강재로 가능 3. FRP 주입관과 간격재가 일체화되게 특수 제작되어 고부밴드를 보호하여 그라우팅 품질향상이 기대되고 시공 신뢰도가 높다. 4. FRP관의 표면이 거칠어 그라우트재와 부착 강도가 증가.	1. 전용장비사용으로 시공 정밀도가 양호하고 180° 보강이 가능하다. 2. 보강효과 우수. 3. 지반조건 및 목적에 따라 다양한 시공 방법의 선택이 가능하다.(직천공에 의한 다단주입, 케이싱헤드 주입, JET GROUTING) 4. 강관을 이용한 직천공이 가능하므로 천공홀의 붕괴에 의한 시공성의 저하를 방지 할수 있다. 5. 강관 직천공에 의한 지층의 구애를 받지 않음	1. 시공이 용이하다 2. 공정이 간단하다.
단점	1. 강관 삽입시 주입구 밴딩부의 파손으로 Seal 재 및 천공 Slime이 강관 내부로 유입되어 Packer 설치가 곤란하여 주입이 불가능한 경우 발생. 2. 강관자체의 중량이 커서 시공성 저하.	1. 시공비가 매우 고가이다. 2. 신공법으로 시공실적이 부족하다.	1. 전용장비가 고가이다. 2. 시공비가 고가이다. 3. 직천공 작업시 시공 속도가 저하된다.	1.매막장마다 설치하므로 시간 및 인력 소모가 크다. 2.막장 굴착길이가 길어질수록 지지 효과 감소 3.강관다단 그라우팅에 비해 보강효과가 떨어진다.
적용	- Fore-Polling은 일시적 지보재로서 굴착된 터널 천단부에 중방향으로 설치하여 굴착천단부의 안정을 도모하고 막장전방의 지반보강 및 느슨함 방지를 주목적으로 실시하는 것임. - 따라서 NATM본선부와 달리 구조적 불리함, 시간에 따른 암석풍화로 발생될 수 있는 강도저하등을 고려하여 갱구부 강관다단 그라우팅에 의한 보강이 필요함. - 또한 본 터널 시공구간의 경우 구성암석이 역을 함유한 천매암질 또는 슬레이트질 변성퇴적암으로서 열리 또는 편리 불연속면이 매우 잘 발달되어 있고 지하수위가 높아 용수발생 가능성이 높아 천단보강공법으로 지반보강 및 차수능력이 탁월한 강관다단 그라우팅공법을 적용함.			