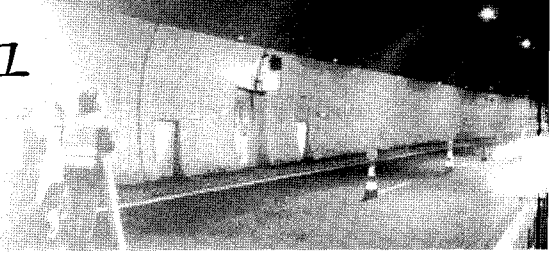


## 경부고속철도 8-1 공구 상촌터널 현장



김영근 \_ 정회원, (주)대우건설 토목연구팀 차장  
 신태은 \_ 정회원, (주)대우건설 경부고속철도 8-1 공구현장 현장소장  
 양종화 \_ 정회원, (주)대우건설이사 영동선철도현장 현장소장

### 1. 서론

1980년대 국내에서 NATM공법이 도입되기 시작한 이래, 많은 기술과 경험이 축적되어 현재 NATM공법은 터널표준공법으로 발전하였고 도심지 터널, 산악터널 등에 광범위하게 적용되고 있다. 특히 산악터널의 경우 철도나 도로의 선형개량에 따라 장대화되고 있으며, 고속철도나 일부 도로터널의 경우 점점 대단면화 되고 있는 추세이다.

터널의 경우, 동일한 공정이 반복되기 때문에 효율적인 굴착을 위해서는 적절한 기계장비를 선정하고 이를 운영하는 것이 공사의 성공여부를 좌우하는 중요한 요소가 되고 있다. 이와 더불어 산업이 급속히 발달함에 따라 터널 시공에 투입되는 건설기계도 대형화, 첨단화되어 공사를 수행하는데 있어 중요한 역할을 수행하고 있다. 특히 장대터널은 터널막장이 동시에 여러 곳에 형성되기 때문에 작업공정 사이클 및 건설기계의 효율적 운영은 매우 중요하다 할 수 있다. 또한 NATM터널에서 터널 굴착후 효과적으로 지반을 안정시키기 위해서는 터널조건 및 지반상태에 적합한 시공기계의 적절한 운용이 매우 중요하다 할 수 있다.

본 고에서는 경부고속철도 구간에 건설중인 대단면 장대터널에서의 터널공정에 투입된 건설장비의 특성을 고찰하고 작업 Cycle time을 분석함으로써 경제적이고 합리적인 터널공사를 위한 대단면 장대산악터널에서의 기

계화시공의 의미를 고찰하고자 하였다. 또한 본 터널공사에서 얻은 기술적 경험과 앞으로의 터널공사시 해결해야 할 과제에 대해 정리하였다.

### 2. 공사개요 및 지질

#### 2.1 공사개요

본 현장은 국가사업으로 추진되고 있는 경부고속철도 공사로 터널공사가 주이며, 공사개요는 표 1에서 보는 바와 같다. 본 터널은 현존하는 국내 최장터널이라 할 수 있으며, 굴착공사가 완료된 상태에서 현재 콘크리트 라이닝을 시공중에 있다. 사진 1은 터널전경을, 사진 2는 굴착중인 터널내부 모습을 보여준다.

표 1. 공사 개요

공시명	경부고속철도 제 8-1공구 노반신설 기타공사
공사위치	시점:충북 영동군 상촌면 유곡리 (Sta. 202 km 412)
(그림 1) 종점:	경북 김천시 봉산면 태화리 (Sta. 213 km 500)
공사기간	1996. 4~2001. 3 (60개월)
공사내용	상촌터널 (길이:9,975m 내경:14.2m 높이:9.77m) 사갱터널 (길이:1,040m 내경: 8.3m 높이:6.60m)
공사규모	굴착 : 1,429,046m <sup>3</sup> 숏크리트 : 121,083m <sup>3</sup> 록볼트: 92,525개 라이닝콘크리트 : 112,804m <sup>3</sup>



사진 1. 터널전경

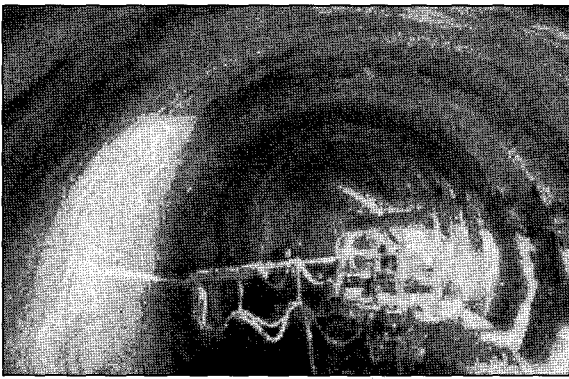


사진 2. 터널 내부모습

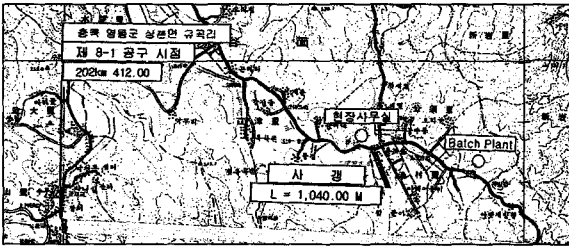


그림 1. 공사 노선도

본 터널은 연장이 10km에 이르는 장대터널이기 때문에 사갱을 굴착하여 터널중앙부에 이르고 다시 양쪽으로 굴착하여 총 4개의 막장에서 굴착작업을 진행하였다. 전체 터널의 구성은 표 2에서 보는 바와 같으며, 본선 시점부와 종점부 터널 그리고 사갱부 시점부와 종점부터널로 구분된다. 본 터널의 전체적인 굴착위치 및 관통위치는 표안에 있는 그림에 나타나 있다.

## 2.2 지형 및 지질특성

본 구간은 황악산을 포함하고 있는 험준한 지형으로 터널 최대토피는 약 542m이다. 또한 Sta. 208km 지점은 어촌저수지가 위치하여 소유지들이 비교적 저지형부에 발달되어 있으며, 지질은 시대미상의 주입편마암과 이를 관입한 흑운모화강암으로 대별되며 점이적인 변화로 경계가 불분명한 특징을 보이고 있다.

주입편마암은 선캠브리아기의 퇴적암이 화성활동에 의해 변질되어 변성정도에 따라 흑운모편마암부터 화강암질편마암에 이르기까지 불규칙한 암상을 나타내고 있다. 흑운모편마암은 뚜렷한 편마구조를 보이며, 대부분 편리의 방향과 평행하게 절리가 발달하여 이를 따라 쉽게 쪼개지는 특성을 나타내고 있다. 변성정도에 따라 점이적으로 암상이 변하므로 뚜렷한 경계면은 확인되지 않으나 202km 435~207km 200에는 화강암질 편마암이 나타나며, 시점에서 동쪽으로 갈수록 변성정도가 심하여 흑운모화강암화하는 암상을 보인다. 흑운모

표 2. 본 터널의 구성

시점부	L=2,853m		
사갱부	시점		L=2,200m
	종점		L=2,400m
종점부	L=2,488m		
터널길이	총연장 L=9,975m (NATM 9,941m 개착부 34m)		

화강암은 중생대 백악기 지층으로 주입편마암을 관입하고 있으며, 주입편마암과는 풍화정도 차이에 의하여 해발 400m 이하의 낮은 지형을 이루고 있다. 관입시 발생하는 불연속면이나 파쇄대로 여겨지는 암의 경계면은 뚜렷하게 보이지 않는다. 대체로 두 암의 구성광물이 비슷하며 점이적인 변화를 보이는 것으로 보아 관입후에도 접촉변성작용에 의해 암이 동질화된 것으로 판단된다.

대부분의 편리의 방향은 NE주향에 SE의 경사를 보이며, 편리를 따라 절리가 발달하고 있는 특성을 보이고 있다. 측정된 절리면의 평사투영해석결과, 주입편마암의 주절리의 주향과 경사는 N4~20E/62~78SE이며, 흑운모

화강암의 주향과 경사는 N15~45E/65~85SE, N42~48E/75~80NW으로 나타났다.

### 3. 터널 설계

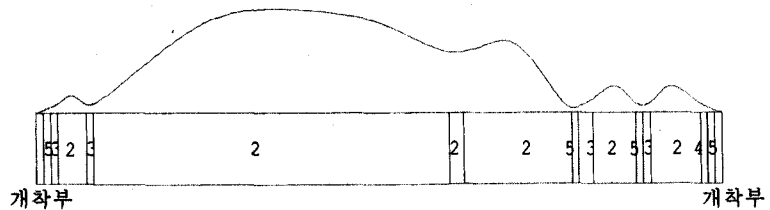
#### 3.1 본선 터널

본선터널의 단면은 한국고속철도건설공단에서 제시된 복선반원형 표준단면으로 설계하였으며 궤도중심간격은 5.0m이다. NATM공법을 적용하여 터널막장의 지반상태와 시공성을 고려하여 5종의 표준지보패턴으로 구분, 설

표 3. 본선터널의 표준지보패턴

구분		경부고속전철(R=7.10m)				
형식		패턴-1	패턴-2	패턴-3	패턴-4	패턴-5
RMR		100~81	80~61	60~41	40~21	20 이하
굴착방법		상하 반단면굴착	상하 반단면굴착	상하 반단면굴착	상하 반단면굴착	다단면굴착
1회 굴착거리 (m)		2.50	2.00	1.50	1.30	0.80
Shotcrete두께(cm)		10	10	15	20	25
Rock Bolt	길이(m)	4	4	5	5	6
	SD 35 D=25mm	간격 종횡	Random 2.50	2.00	1.50	1.30
			상단면 1.50	1.50	1.25	1.00
Steel Rib	간격		2.00	1.50	1.30	0.80
	규격		H-100×100×6×8	H-125×125×6.5×9	H-150×150×7×10	H-150×150×7×10
Wire mesh			1차	1차·2차	1차·2차	1차·2차
라이닝두께(cm)		40	40	40	40	40

본터널에서의  
터널지보패턴



0m      8595.3m(86%)      871.5m      7.8m      466.4m

비고 : 개착부 34m, NATM : 9,941M

계하였으며 지보패턴 I~IV까지는 상하반단면 굴착공법으로 하고 지보패턴 V는 다단면 굴착공법으로 설계하였다. 본선터널의 모습이 사진 3에 나타나 있으며, 대표적인 표준단면이 그림 2에 나타나 있다.

패턴-1: 극히 양호한 지반에 적용하였으며 RMR 값이 81~100이고 신선하며 절리상태가 Massive한 지반에 적용하였다. 슛크리트 두께는 10cm이고 강지보재는 사용하지 않으며 록볼트는 L=4m 록볼트를 랜덤하게 설치하는 것으로 하였다.

패턴-2: 양호한 암반에 적용하였으며 RMR 값이 61~80이고 풍화상태는 거의 신선한 지반에 적용하였다. 슛크리트 두께는 10cm, 강지보재(H-100×100)의 간격은 2.0m로 하고 록볼트는 4m 길이, 1.5m 간격으로 터널 아치부에만 규칙적으로 설치하는 것으로 하였다.

패턴-3: 비교적 양호한 암반에 적용하는 것으로 RMR 값이 41~60이고 풍화상태는 보통인 지반에 적용하였다. 슛크리트 두께는 15cm로 하고 강지보재(H-125×125)의 간격은 1.5m, 록볼트는 L=5m를 1.5m 간격으로 터널의 아치부 및 측벽부에 설치하는 것으로 하였다.

패턴-4: 풍화가 발달한 암반에 적용하며 RMR 값이 21~40이고 부분적으로 풍화된 지반에 적용하였으며 슛크리트 두께는 20cm, 강지보재(H-150×150)의 간격은 1.3m, 록볼트는 L=5m를 1.3m 간격으로 터널의 아치부 및 측벽부에 설치하는 것으로 하였다.

패턴-5: 암반이 이완되어 있거나 극히 불량한 암반에 적용하는 것으로 RMR 값이 20이하이고, 풍화가 발달한 암반과 풍화 및 파쇄가 심한 개소 및 터널 갱구 초입부에 적용하였다. 강지보재(H-150×150)는 0.8m 간격으로 설치하고 슛크리트 두께는 25cm로 하며, 록볼트는 L=6m

를 1.0m 간격으로 터널 전주위에 설치하는 것으로 하였다.

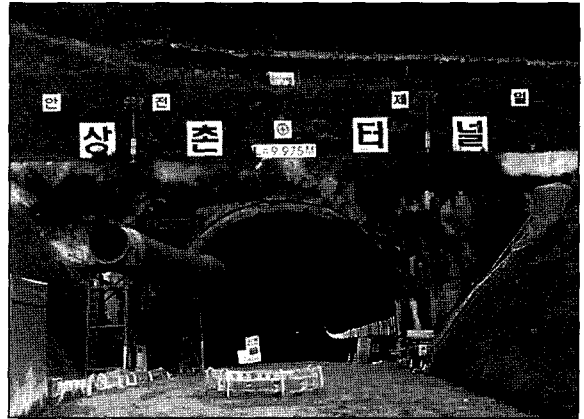


사진 3. 본선터널 모습

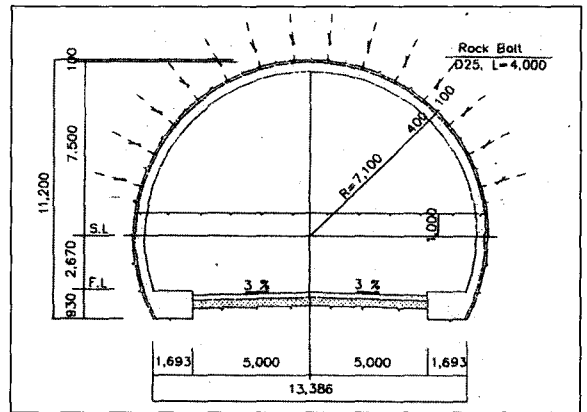


그림 2. 본선터널 표준지보패턴(P-2)

### 3.2 사갱 터널

사갱터널의 길이는 1,040m로 내경 8.3m, 높이 6.60m이다. 본선터널과 같이 NATM공법으로 굴착되었고 사진 4에 사갱터널의 모습이, 그림 3에는 사갱터널의 표준단면도가 나타나 있다. 사갱터널은 주요 건설장비의 운반로이기 때문에 본 현장에서는 당초설계에서 없었던 턱을 일정한 거리마다 설치하여 안전에 유의하였다.



사진 4. 사갱터널 모습

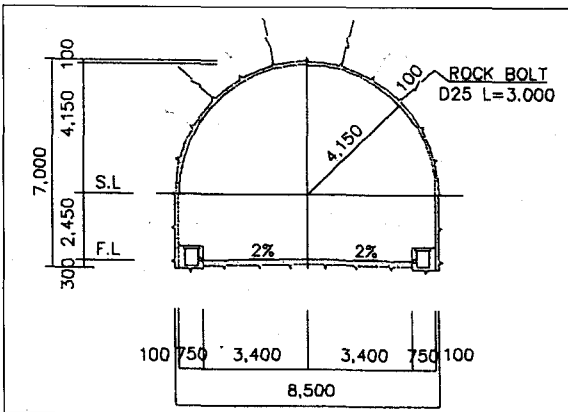


그림 3. 사갱터널 표준지보패턴(P-2)

## 4. 터널 기계화 시공

본 터널의 시공은 NATM 공법에 의해 시공되었으며, 굴착 공법으로는 막장을 상·하반 분할하여 굴착하는 Long Bench Cut 공법을 사용하였다. 굴착은 시점부와 종점부 그리고 사갱터널에서의 시점부와 종점부로 구분하고, 각각을 시발점으로 하여 Sta. 205km 300 지점과 Sta. 209km 900 지점을 관통하였다.

## 4.1 측량

장대터널의 정확한 위치측량을 위하여 인공위성을 이용한 최신 노선측량방법인 GPS기법을 적용하였다. 본 기법은 고정밀측량으로 측량오차를 최소화 할 수 있으며, 정확도는 1/1,000,000이다. 그림 4는 GPS에 의한 정밀측량의 모식도를 나타낸 것이다. 또한 지속적인 터널내공단면 관리를 위하여 Total Station(Geodimeter)을 이용하여 터널내공단면을 측량하였다. 본 장비는 고정밀 장대터널에서 노선측량이 가능하며, 내공단면을 확인 Feedback하여 여굴관리를 할 수 있다. 사진 5는 터널내공단면을 측량하는 모습이고 그림 5는 측량결과의 한 예를 보여주고 있다.

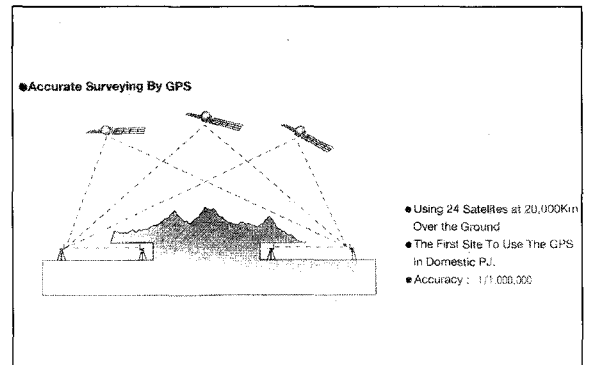


그림 4. Accurate Surveying by GPS



사진 5. 터널내공단면 측량

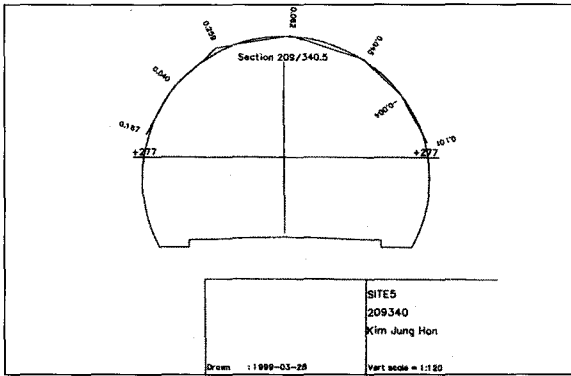


그림 5. 터널내공단면 측정결과

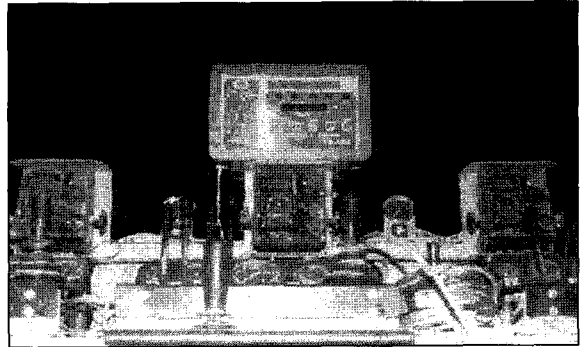


사진 7. 자동천공각도 조절장치

#### 4.2 천공

본터널에서는 선진천공에 의한 전방암반상태의 사전조사 실시하였다. 장비는 선진보링 장치(FORALIM-1)로서 굴착전방 암반 20M까지 선진 천공하여 천공속도 (IAS), Torque, Total Pressure 등을 측정하여 암반의 연경도를 판단하게 된다. 또한 절리층이나 연약암반에서의 Water pocket에 대한 사전예측이 가능하다. 천공장비는 3-Boom 점보드릴(BOOMER 353E, 사진6)로서 동시천공으로 천공작업의 능률을 극대화시켰고, Eagle Type으로 전단면천공이 가능하다. 또한 자동천공각도조절장치를 장착하여 천공시 수평/수직각을 자동조절(3~7°)하여 천공의 정밀도를 향상하도록 하였다.(사진 7). 그림 6은 선진보링장치에 의한 측정결과와 한 예이다.

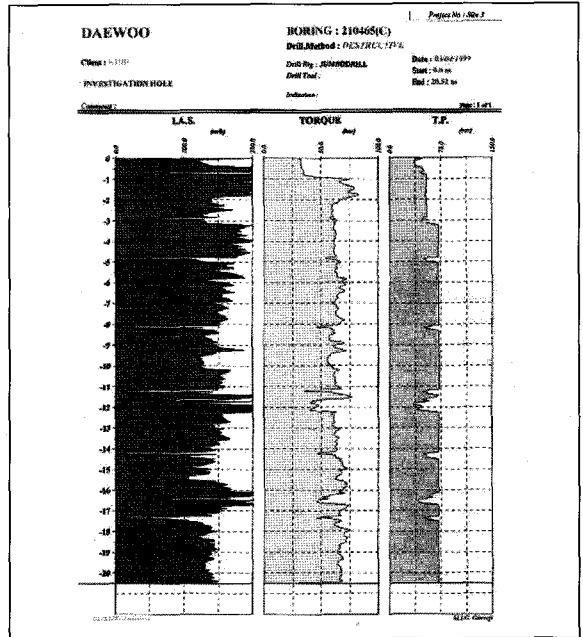


그림 6. 선진보링장치에 의한 데이터

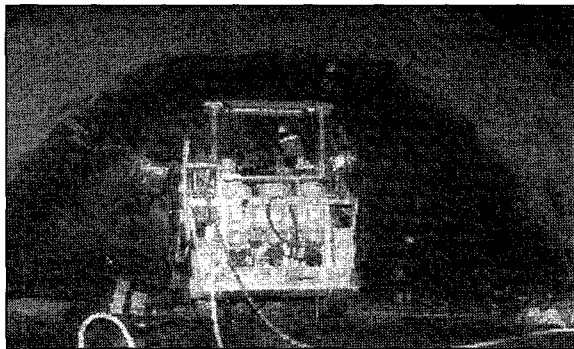


사진 6. Jumbo Drill

#### 4.3 장약 및 발파

장약은 자주이동식 대차를 이용하였고, 발파는 전기식 발파기를 사용하였다. 심발공은 Burn-Cut / V-Cut, 주변공에는 Smooth Blasting(Finex II, LP뇌관), 일반공에는 Normal Blasting(Dynamite, MS뇌관)을 적용하였다. 또한 발파진동에 의해 민원이 예상되는 지역에는 다

단발파기를 사용하여 진동을 최소화하였다. 그림 7은 대표적인 발파패턴도를 나타낸 것이며, 사진 8은 터널막장에서 장약

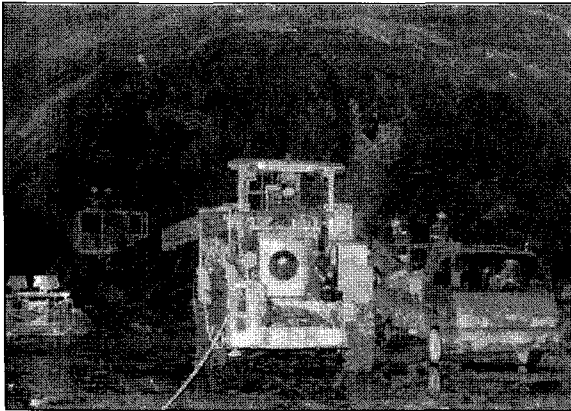


사진 8. 터널막장에서 장약

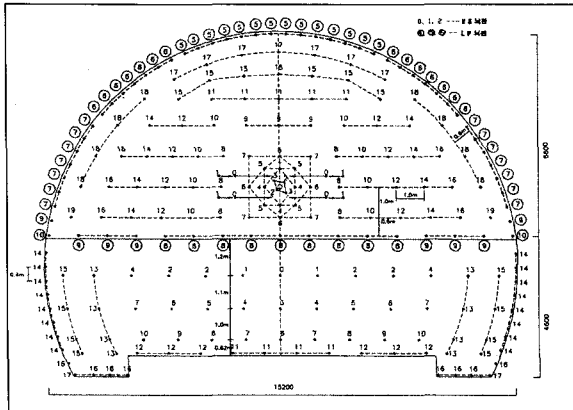


그림 7. 발파패턴도(P-2)

#### 4.4 버력처리 및 부석정리

발파후 암버력의 적재장비는 7.4m<sup>3</sup>급 휠로더(TORO 501, 사진 9)로서, 적재기간을 단축하고 좁은 공간에서 회전가능하여 사갱터널에서 유용하였다. 운반장비는 40톤 덤프트럭(TORO 40, 사진 10)으로 사갱굴착시 12% 구매에 적용할 수 있도록 하였으며, 2중 특수브레이크를 사용하여 경사지 안전운행을 도모하였다. 또한 배기가스 특수

처리로 작업환경을 개선하였다.

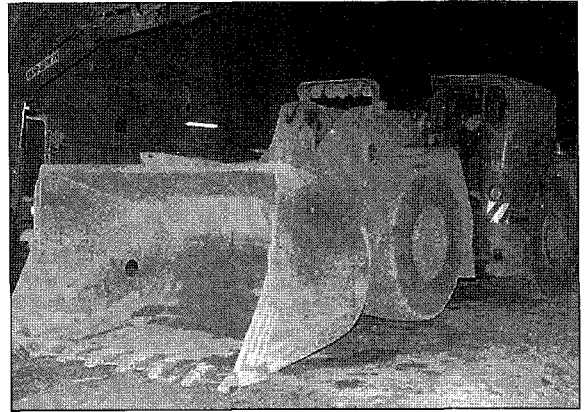


사진 9. Wheel Loader

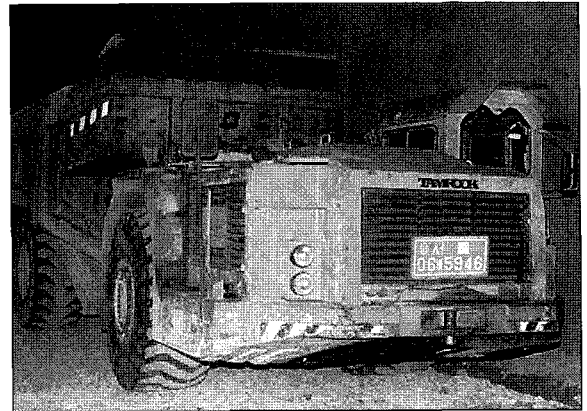


사진 10. 40톤급 덤프트럭

#### 4.5 숏크리트/록볼트

숏크리트 타설은 습식숏크리트 타설용 로봇식장비를 사용하였다(사진 11). 숏크리트의 생산공급은 60m<sup>3</sup>/hr급 콘크리트 배치플랜트와 6m<sup>3</sup> 적재능력의 믹서트럭을 사용하여 균질한 숏크리트의 공급과 소요강도를 유지하도록 하였다. 록볼트는 점보드릴에 의해 소정의 착공길이에 천공한 후 유압식 자동대차(Charmec 9900bc Twin, 사진 12)를 이용하여 삽입 장착하였다.

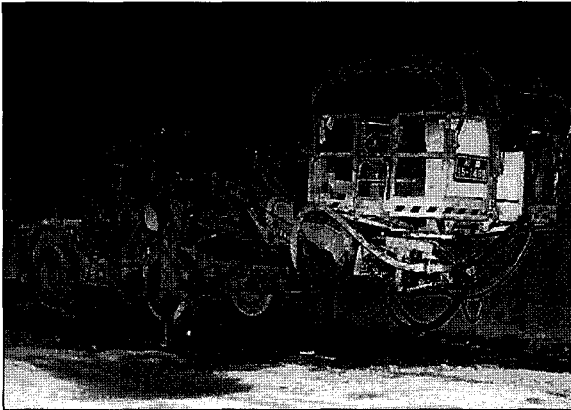


사진 11. 슛크리트 타설기

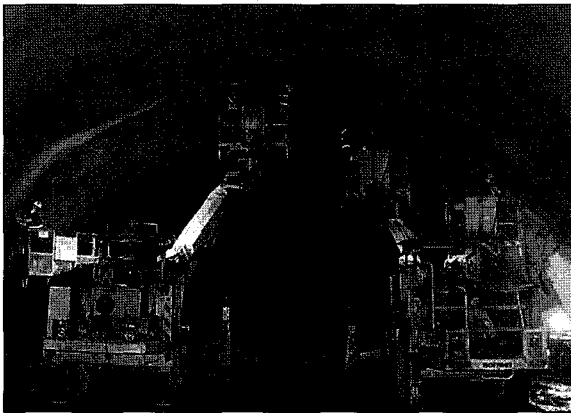


사진 12. 유압식 자동대차

#### 4.6 Cycle Time 분석

본 현장에서 중요한 것은 효율적인 기계화시공을 달성하는 것이며, 이를 위해서는 각 장비들의 운용시간을 분석하여 효율적으로 운용될 수 있도록 하여야 한다. 표 4에는 본공사의 대부분을 차지하는 지보패턴 P-2에서의 상반굴착시 Cycle time을 분석한 것이다.

터널 1막장을 굴진 하는데 소요되는 시간은 17.33시간으로 천공작업이 가장 시간이 많이 소요되며, 그 다음이 버력처리임을 알 수 있다. 따라서 작업사이클을 단축하여 굴진율을 향상하기 위해서는 이들 작업공정에 대한 기계

화시공이 필수적이며, 터널조건과 작업조건에 적합한 장비를 선정하고 운영하는 것이 중요하다 할 수 있다.

표 4. Cycle Time 분석 (Pattern-2)

구분	단위	상부	비고	
천공장	m	4.5		
굴진장	m	4		
C Y C L E	준비작업 및 측량	분	60	
	천공	분	240	W/M병행
	천공후 Scaling	분	30	
	장약/발파	분	150	
	환기	분	20	
T I M E	버력처리	분	210	
	발파후 Scaling	분	50	
	스�크리트 타설	분	180	
	록볼트 설치	분	60	
	와이어매쉬설치	분	(120)	
기타정리	분	30		
굴진당소요시간	분	1,040	17.33시간	

### 5. 특수문제구간 시공

본 터널의 특수문제구간은 저토피구간인 경부선철도 통과구간과 도로 및 경작지 통과구간, 터널상부에 저수지를 통과하는 구간이 있으며, 이 구간에서는 터널 안정성 뿐만 아니라 상부구조물의 안전성을 확보하기 위하여 철저하고 면밀한 시공관리가 요구되었다.

#### 5.1 경부선철도 통과구간

경부선철도 통과구간은 211km 496~564의 68m 구간으로 토피고는 15~17m이며, 열차운행 등으로 인하여 발파시간이 제한되었다. 본 구간에서의 시공은 사전지반조사를 통하여 암반상태를 파악하여 굴진장을 조정하였고, 암질의 상태가 양호하여 보강공을 최소화하였으며(강관 다단 68m→14m), 다단발파기를 사용하여 발파진동을 제



어하였다. 그림 8은 경부선철도 통과구간에서의 지반조사를 위한 보오링과 보강공을 보여주고 있다. 그리고 지중변위, 지하수위, 지표침하, 변형율 등을 계측하였으며, 자동계측기를 설치하여 터널 및 주변지반의 안정성을 확인하였다. 또한 사진 13과 같이 레일빔을 설치하여 철도 레일의 안정성을 확보하였다.



사진 13. 레일빔 설치

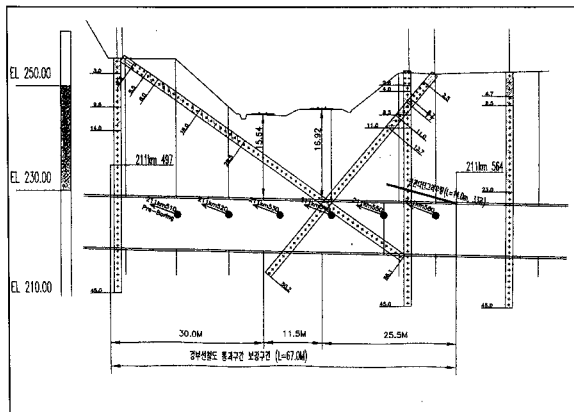


그림 8. 경부선 철도통과구간 보강

## 5.2 도로 및 경작지 통과구간

977지방도 및 경작지 통과구간은 210km 476~660의 184m 구간으로 토피고는 10~17m이며, 민가, 축사, 가스관, 논, 도로등이 산재해 있고, 지표수가 유출되는 것이

특징이다. 본 구간에서의 시공은 사전지반조사를 통하여 암반상태를 파악하여 지보패턴을 결정하였으며, 암질의 상태가 양호하여 LW그라우팅을 생략하고 시공하였다. 또한 경부선철도 통과구간과 마찬가지로 지중변위, 지하수위, 지표침하, 변형율 등을 계측하였으며, 자동계측기를 설치하여 터널 및 주변지반의 안정성을 확인하였다.

## 5.3 저수지 통과구간

어촌저수지 통과구간은 208km 420~760의 340m 구간으로 토피고는 180m이다. 본 구간의 특징은 터널굴착으로 인하여 저수지 유량감소 가능성, 저수지 댐본체 안정성, 용출수 사전차단 등이 문제가 될 수 있다. 본 구간에서의 시공은 용출수 출현을 대비하여 Swellex Rock Bolt 확보 및 우레탄 방수 그라우팅을 준비하였으며, 지반상태 및 용출수 정도를 파악하여 선진그라우팅은 실시하지 않았다. 또한 저수지에 대한 정밀안전진단을 병행하여 터널굴착으로 인한 저수지의 안전성여부를 확인하였다.

## 6. 안전 및 환경대책

### 6.1 안전대책

먼저 터널굴착시 선진보링에 의한 전방암반상태를 파악하여 단층파쇄대와 같은 위험요소를 사전에 인지하여 안전시공을 도모하였다. 또한 천공 및 발파후 부석정리(Scaling)로 낙석에 의한 안전사고를 예방하였으며, 변압기 자동차단장치, 누전차단기, 전선대 거치대를 설치하여 감전사고를 예방하였다. 이외에도 터널내 구급함 설치, 정전대비용 비상라이트, 화약고 도난방지를 위한 자동감지장치, 사갱 및 본갱접속부의 차량접속사고 방지를 위한 차량통과용 경보시스템을 설치하였다.

## 6.2 환경대책

표 5. 본 현장에서의 환경대책

구분	대책
대기관리 (비산먼지 등)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 진입도로 아스팔트콘크리트 포장(시점부 234m, 사갱부 680m)</li> <li>· 세륜, 세차시설 및 살수차 운영 · 인근 과수원 방진망 및 Fence 설치</li> <li>· 덤프트럭에 비산먼지방지용 자동덮개 설치</li> <li>· Cement Silo에 Bag Filter 설치(반기 1회 먼지제거 효율측정)</li> <li>· 건설장비의 배기가스 처리</li> </ul>
수질관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 폐수처리장, 터널용수 중화처리장 설치운영(그림 9, 사진 14)</li> <li>· 월 1회 터널용수 및 인근하천 수질조사</li> <li>· 터널용수의 수질오염 개선                         <ul style="list-style-type: none"> <li>-시점부 : 터널내부에서 자연유하 후 배수(침전조/중화시설 2개소 설치)</li> <li>-사갱부 : 터널외부에서 자연유하(침전조 및 중화시설 2개소 설치)</li> </ul> </li> </ul>
소음 · 진동관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Smooth blasting / 다단발파기 사용</li> <li>· 시험발파에 의한 발파영향평가후 적정장약량 산정 발파</li> </ul>

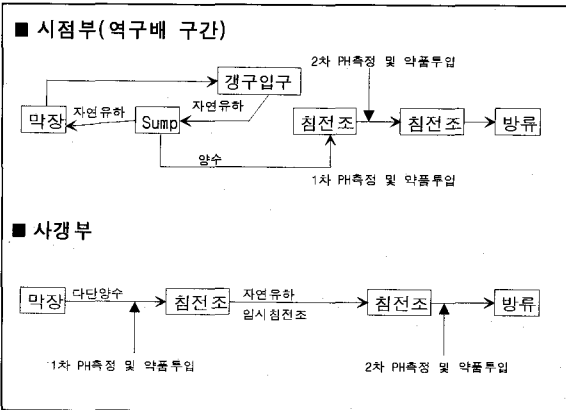


그림 9. 터널용수처리 계통도

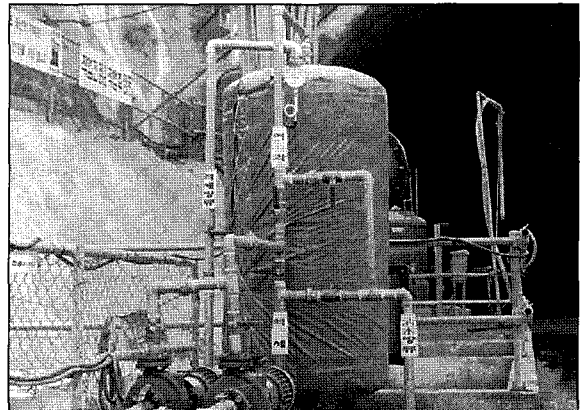


사진 14. 터널용수 중화처리장

## 7. 결론 및 향후 과제

본 터널은 NATM공법으로 시공되는 국내 최장터널이다. 본 고에서는 경암지반에 굴착되는 대단면 장대산악터널에서의 기계화 시공의 효율성과 적용성을 검토하였다. 본 터널에서 얻은 기술적 경험과 과제는 다음과 같다.

1) 본 터널에서는 Total Station과 인공위성측량과 같은 정밀측량기법을 적용하여 장대터널에서의 선형의 오차를 최소화하였으며, 선진보링장치(FORALIM-1)를 이용 암의 연경도를 판단하고, 천공홀을 통한 Water Pocket를 인지함으로써 망장전방의 암반상태를 파악할 수 있었다.

2) 본 터널에서는 3-Boom 점보드릴, 로봇형 슛크리트

타설기, 유압식 자동작업대차, 휠로더, 덤프트럭 등을 사용함으로써 효율적인 기계화시공에 의한 터널의 안전 및 품질시공을 달성할 수 있었다.

- 3) 본 터널에서는 철도 및 도로통과구간, 저수지 통과구간에서 사전평가 및 정밀안전진단을 실시하여 철저한 안전시공을 도모하였고, 적절한 보조공법을 실시하여 터널 및 주변구조물에 대한 안정성을 확보할 수 있었다. 또한 본 구간에서는 강지보 변위, 슛크리트 응력에 대한 자동계측을 실시하여 터널의 안정성 여부를 즉각적으로 확인하였다.
- 4) 본 터널의 실시설계시 지반조사 개소가 부족한 상태로, 특히 철도 및 통과구간과 같은 경우 추가지반조사를 실시하였으며, 조사 난이점들은 경사보링 등을 실시하여야 할 것으로 판단된다.
- 5) 향후 터널공사시 필요한 과제로는 터널전방의 암반 예측기술, 터널용수처리기술, 터널내 방재시설, 지

반불량구간의 정확한 지반조사기술, 유형별 보강공법기술 등이며, 본 공사중 애로사항으로는 사토장 구득의 어려움, 진동, 소음과 관련된 민원처리, 관계기관과의 협의 등이었다.

## 참고문헌

1. (주)대우건설 경부고속철도 8-1공구 현장자료
2. 한국고속철도건설공단, 경부고속철도 제8공구 지반조사보고서, 1996.
3. 한국고속철도건설공단, 경부고속철도 제8공구 터널설계도서, 1996.
4. (주)대우건설기술연구소, 터널 합리화시공을 위한 암반평가 시스템 연구, 1995.
5. 대단면 산악터널에서의 기계화시공 및 시공관리시스템, 한국지반공학회 터널기술위원회 학술발표회 논문집, PP. 97~111, 1998.