

<報 文>

# 住岩多目的댐 導水터널 및 附帶施設 工事 施工 報告

Report on Constrution of Diversion Tunnel and its Related Facilities  
of Juam Multi-purpose Dam

오 정 일\*

Oh, Jung-Il

## 1. 공사개요

### 1. 공사내용

- 1) 공사명: 주암다목적댐 도수터널 및 부대 시설 공사
- 2) 공사기간: 1986. 12. 31 ~ 1990. 12. 15 (47.5개월)
- 3) 기획청: 건설부
- 4) 시행청: 한국수자원 공사
- 5) 감리단: 삼안엔지니어링, 日本共營
- 6) 시공자: 진로건설 주식회사
- 7) 위치: 流入口-전남 송주군 송광면 봉산리  
流出口-전남 송주군 송주읍 유평리
- 8) 공사비: 총공사비 188억원  
도급액 166억원  
사급비 22억원
- 9) 공사규모: T. B. M 구간 - 연장 8,594M,  
φ 4.5M

채래식 구간 - 연장 2,894M

φ 4.9M

계 - 연장 11,488M

10) 총평도: 그림 1과 같다.

## 2. 지질개요

### 1. 개요

도수터널 구간에서의 현장답사에 따른 야외지질조사, 항공사진 판독, 시추조사, 실내암석시험 및 탄성과 탐사를 종합하여 볼때 편마암 또는 화강편마암이 대부분이고 부분적으로 반상편마암이 분포하며 이들 암석은 일반적으로 괴상일 것으로 예상되었으며 굴착결과 동일하였다.

### 2. 도수터널 구간의 지질 및 연약대

① 流出口로부터 800m 지점에 위치한 北東-南西方向의 小溪谷에 계곡방향에 平行한 線接

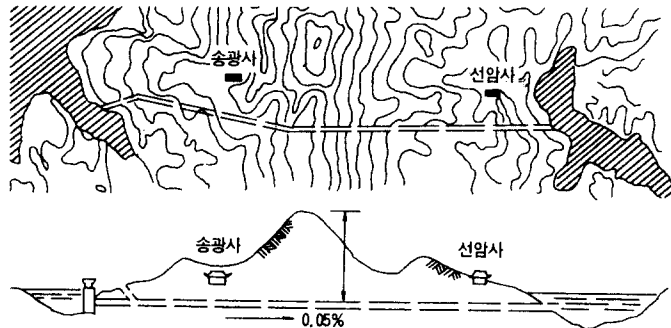


그림 1 도수터널의 총평도

\* 진로건설(주) 상무

造가 확인되었다.

- ② 항공사진 촬영 결과 流入口로부터 9.5Km 구간과 流出口로부터 1.5Km 구간은 터널방향과 線構造가 平行하거나 低角으로 交叉함으로써 터널구간중 가장 심한 破碎現象을 보일것으로 예상되었으며 굴착결과 동일하였다.
- ③ 流出口로부터 300m지점, 2.0~2.5Km지점, 流出口로부터 800m지점은 小溪谷의 斷層帶로 판단되며 薄層의 암반으로 피복되고 斷裂帶가 교차되어 매우 불량한 암반이 분포할 것으로 예상되었으며 굴착결과 동일하게 확인되었다.

3. 터널굴착부의 루수

- ① 流出口로부터 800m 지점에 위치한 무화리 계곡으로 부터 2.0Km구간 수매의 단층이 형성되고 0.9km<sup>2</sup>의 集水流域, 約 70m의 터널 상부피복 두께.
- ② 流出口로부터 2.0~2.5km 구간의 鳳山里부근 地表水와 地下水의 集水가 용이한 반추형 지형을 형성한 약 1.1km<sup>2</sup>의 集水流域, 약 110m의 터널상부 피복두께.

4. 실내 암석시험.

현장에서의 실내 암석시험은 압축강도 및 탄성파 속도와 RMR값의 상관 관계를 비교하여 암분류기준이 비례관계에 있는지 여부를 조사하였다 (표 1). 비교 결과 거의 일치하고 있음이 확인되었으며 터널내 신선한 암의 평균 압축강도는 1300 kg/cm<sup>2</sup>, 평균 탄성파 속도는 6.7km/sec였고 연약지반(파쇄대)에서는 시료 성형이 불가하였다.

3. T. B. M 도입 경위

본 터널은 당초 재래식 발파 공법(N. A. T. M)으로 작업갱을 3개소 설치하여 6개소에서 동시 굴착하여 착공후 51개월 소요공기가 예정되었으나 터널노선이 조계산 송광사 밑을 통과하도록 설계되어 조계중 축의 강력한 노선변경 요청에 의해 노선 변경이 불가피 함에 따라 노선변경에 따른 지질조사 및 재설계 작업으로 착공이 1년 정도 지연되어 재래식 발파 공법으로는 당초 공기내에 완공이 불가하여 주압담 사업 계획에 막대한 차질이 예상되던 중 당사에서 유일하게 보유한 전단면 굴착기인 T. B. M으로 부산시 구덕 상수도 터널(φ4.5m, ℓ=2238m 공사기간 '85. 10. 4~'86. 5. 30)을 국내 최초로 성공적으로 관통한 실적과 경험으로 건설부 및 한국수자원 공사에 본 터널에 대한 시공 제안서를 제출, 심의과정을 거쳐 접수되어 '86. 12. 31 계약 및 착공을 하였으며 T. B. M 공법

표1. R, M, R값과 압축강도 및 탄성파 속도 비교표

STA	출구로부터거리	RMR	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성파속도 (m/sec)	담분류			비 고
					RMR	압축강도	탄성파속도	
581	42	86	1372	7530	경암	경암	극경암	
542+5	817	73	1312	6610	경암	경암	극경암	
507+10	1512	55	1183	7830	보통암	보통암	극경암	
468	2302	32	—	—	인암			시료성형불가
434+10	2972	95	1483	6320	극경암	경암	극경암	
389	3882	41	1037	6210	보통암	보통암	극경암	
367	4322	22	—	—	인암			시료성형불가
342	4822	93	1681	6180	극경암	극경암	극경암	
282	6022	67	1295	6350	경암	보통암	극경암	

을 도입함으로써 본 터널 공사는 공기를 10개월 단축하고 공사비를 약 50억원(전체 공사비의 약 20%) 절감함으로써 주압 다목적댐 사업을 공기내 완공하는데 결정적 역할을 하였으며 국내 최장대도수터널을 신기술 장비인 T. B. M으로 시공함으로써 국내 터널 공사의 시공방법 및 기술향상에 일대 혁신을 가져오는 계기가 되었다.

4. T. B. M 기계 사양

주압천장의 터널굴착에 사용된 T. B. M은 서독 WIRTH사 제품으로 그 기종은 TBS-450E 모델(직경 4.5M)이다.

이 기계는 연약한 암반에서도 주변 암반을 이완시키지 않고 전단면을 동시에 굴착하므로, 연암에서 극경압에 이르기까지 광범위하게 작용된다. 이 기계의 특징을 간추려 보면,

CUTTER HEAD의 구동은 전동 MOTOR에 의해 이루어지고(7.3 R. P. M), 그외의 모든 동작은 유압에 의해 작동되며, 굴착시의 전진은 암질의 상태에 따라 전진속도의 임의조정이 가능하다.

CLAMPING은 4방향 12개소의 CLAMPING SHIELD에 의해 이루어지므로 굴착시 진동이 적으며, 암질의 상태가 다소 불량하더라도 안정된 굴착으로 정밀시공이 가능하다. (CLAMPING시의 MAX. 면압 29kg/cm<sup>2</sup>)

T. B. M 굴착을 위한 진입 또는 관통후의 반출시 WALKING용SUPPORTING FOOT에 의해, 지주식으로 이동에 용이하므로 타 T. B. M에 비해 다소 유리하다.

이 기계의 주요 PARTS의 체결부는 Bolt TENSIONINGDEVICE에 의해 EXPANTION Bolt로 체결되므로 진동 및 충격으로 인한 풀림이 거의 없다. 이 기계의 사양은 다음과 같다.

- T. B. M 본체와 후속설비 및 후속설비대차  
 ① Cutter Head ② Head Jacket ③ Roof Rail ④ Main Body ⑤ Rock Drilling Machine ⑥ Cramp ⑦ 후속설비대차 ⑧, ⑩ Dust corrector ⑨ Belt Conveyor 그림2 참조

T. B. M은 터널을 굴착하는 기계본체와 기계본체를 가동하기 위한 동력 및 유압 설비 등을 적재하고 있는 후속대차로 구성되어 있다.

cutter head

boring diameter	4.50m
drive capacity	4×160kw
No. of revolutions	7.3min <sup>-1</sup>
torque at tot.	0.94 780KNm

advance

boring thrust	7100Kw
boring stroke	1250mm
speed	0-5m/h
cylinders	4
cylinder dia.	360/180mm (pulling cylinders)
hydraulic pressure	233bar

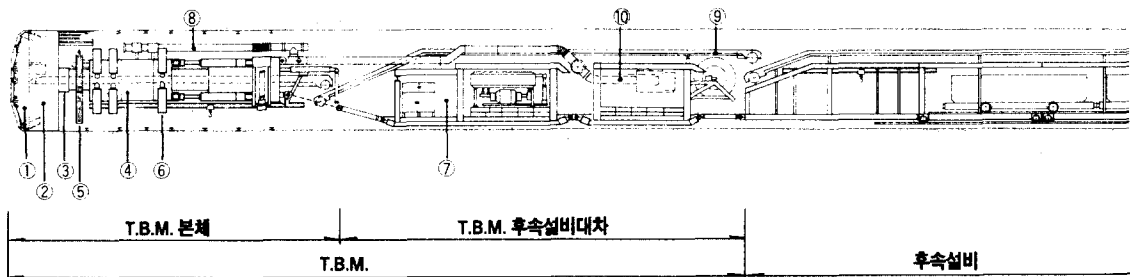


그림 2 T. B. M의 구조 및 기능

clamping system

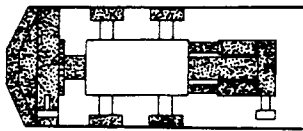
- at a clamping dia. of 4500mm
- clamping force 20300kN (2,070TON)
- clamping shields 12
- cylinders 24
- cylinder dia. 200mm
- hydraulic pressure max. 270bar
- surface pressure at approx. 30kp/cm<sup>2</sup>
- max. clamping force
  
- conveyor Belts 650mm wide
- delivery 265m<sup>3</sup>/h at 2m/sec.

electric equipment

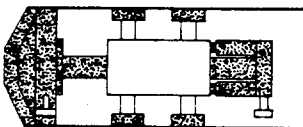
- installed total power approx. 690kW
- transformer capacity 2×630kVA
- nature of current threephase current
- high-tension voltage 3000-6000 V depend  
ing on local conditions
- motor voltage 380-500V
- frequency 50Hz
- min. curve radius approx. 180m

5. T. B. M 굴진작업순서도

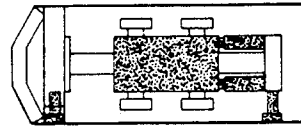
그림3의 순서에 따라 굴진작업을 진행한다.



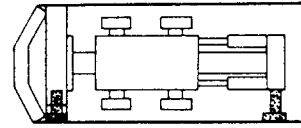
- 제 1 단계**
- Clamping Pad 를 터널벽면에 압착
  - 앞, 뒤 기계지지대를 위로 오무림
  - Cutter Head 작동 시작



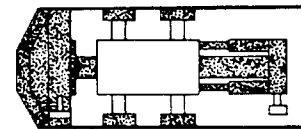
- 제 2 단계**
- 1 Stroke 의 굴진이 끝남  
(1 Stroke ≒ 1.2m ~ 1.5m)
  - ※ Inner Kelly 만 전진 상태



- 제 3 단계**
- 앞, 뒤 기계지지대를 지상으로 내림
  - Clamping Pad 를 터널 벽면으로 부터 폼



- 제 4 단계**
- Outer Kelly 를 1 Stroke 만큼 전진시킴
  - 뒷쪽 기계지지대서 기계굴진 방향조정함(기계방향 레이저 광선 방향 일치시킴)



- 제 5 단계**
- 제 1 단계와 같음

그림3 T. B. M굴진작업순서도

6. 주요투입장비

- 1) T. B. M: φ 4.5m×1대(독일 WIRTH社)
- 2) TRAIN LOADER:單線 72M×1대(國產)
- 3) LOCOMOTIVE:Diesel 15ton×3대(日製)
- 4) CALIFORNIA SLIDING: 이동식 Switching System×2대(國產)
- 5) Lazer Gun: 方向조정장치×1대(독일제)
- 6) Dumping Unit: 쇄석 符役裝置×1대(國產)
- 7) Local Fan: 30kw~60kw×21대(國產)
- 8) Emergency Generator: 300kw×2대(國產)
- 9) Compressor: 850cfm×1대, 655cfm×1대(國產)
- 10) ALIBA: φ 280m/m 쇼크리트 타설장비×1대(독일제)
- 11) 원형자주식 거푸집: Needle Beam Type φ 3.8m×1대 ℓ=10.0m(國產)
- 12) Agitator: Rail Type 6m<sup>3</sup>×3대(美製)
- 13) Con'c Pump: Stationary 32m<sup>3</sup>/Hr×1대(독일제)

7. 굴착실적

'87. 1. 1~5. 6(4개월) 기간 流出口(T. B. M 굴착시점) 토사 및 압반 개착을 완료하고 병행하여 '87.

3. 25~5. 5(40일간) T. B. M반입, 조립, 시운전을 완료하고 '87. 5. 6 T. B. M굴착을 개시하여 '90. 5. 22 재래식 굴착구간과 관통하기까지 36. 5개월이 소요되었다.

- 1) 실굴착 연장:8579m
- 2) 월평균 굴착연장:235m(최대 440m)
- 3) 일평균 굴착연장:9. 4m(최대 29m)
- 4) T. B. M 실효율:46%(가동율 35%)

8. T. B. M 적용효과

구분	적용효과
경제성	1. 재래식 발파공법에서 계획된 사갱(중간터널 Ø5', 700m×2개도) 및 진입로 불필요 2. 여굴이 거의 없음→낙석처리 및 라이닝Con'c구소에 의한 경제적 시공 3. 공기 단축으로 인한 공사비 절감→10개월(재래식 기준) 4. 비력(80m/m이하) 이용→조절지 댐 FILTER ZONE에 100% 유용 5. 기계화시공(전동 및 유압)에 의한 최소의 인원 투입→인건비 절감
안전성	1. 진동 및 충격의 극소화로 주위 암반의 교란 및 이완 방지→낙반이 거의 없음 2. T. B. M조정원 및 기능직 사원들이 T. B. M 내에서 작업함으로써 안전성 보장→파쇄대충 통과시 낙반에 의한 인명피해가 없음.
환경성	1. 천공분진 및 발파가스로 작업 환경조건이 불리한 재래식에 비해 굴착시 분진이 거의 없고 소음 및 진동이 극히 적음. 2. 터널 인접 사찰(송광사, 선암사)과의 민원 해소. 3. 굴착 및 상처시 별도의 상처 장비가 필요없고 쇄석운반도 궤도부설에 의한 기관차 운반으로 갱내의 매연상태가 재래식에 비해 양호

2. 공사상황

1. 터널굴착후의 상황

1. 지질상황

지질상태는 1-2) 지질개요에서 언급한 바와 같이 당초 조사보링 및 탄성과 탐사 시험결과와 실제굴착 결과가 비교적 유사하여 탄성과 탐사의 정확성이 입증되었으며 굴착후 지질상태는 표 2와

같다.

표2. 암분류기준

구분	품셈 기준		R, M, R
	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성파속도 (km/sec)	
풍화암	300~700	2.0~2.7	20이하
연암	700~1,000	2.7~3.7	21~40
보통암	1000~1300	3.7~4.7	41~60
경암	1300~1600	4.7~5.8	61~80
극경암	1600이상	5.8이상	81이상

RMR 값에 의한 암분류는 암석 압축강도 및 탄성과 속도 시험 결과와 비교해 볼때 비례관계에 있으며 표준품셈과도 일치하고 있음.

2. 붕락 상황

터널굴착중 붕락 상황은 재래식 굴착구간에서는 지질상태가 비교적 양호하여 붕락으로 인해 굴진작업에 영향을 준 대규모의 붕락사고는 없었으나 T. B. M 구간에서는 표 4와 같이 4개소에서 T. B. M 굴진 방향으로 연약파쇄대 지반이 형성되어 붕락으로 인한 작업중단 및 복구에 상당한 시간을 소요하였다.

2. 시공상황

1. 굴착

1) 급수설비시공

급수설비는 생활용수와 공사용수로 구분하였다. 생활용수는 지하수를 개발하여 사용하였으며, 생활용수중 수질과 관계없이 수압을 요하는 부분은(화장실 등) 일부 공사용수로 대체. 자연낙차를 이용 급수하였다.

공사용수는 T. B. M 급수가 주종이며, 터널의 작업장의 STATIONARY COMP 정비고 등에도 급수가 필요했다.

수원은 깨끗한 청수사용을 원칙으로 하며, 당주압현장에서는 보성강의 지류인 이사천의 물을 사용하였다.

표3. 굴착후 지질상태

구 분	당 초 (지질조사서)				실 굴착 결과			
	파쇄대및 극히 연약한 암질 (Lined)	20%	2%	R, M, R 값이 40이하	연암	19%	6%	R, M, R 값이 40이하
18%			R, M, R 값이 41~60	보통암	13%		R, M, R 값이 41~60	보통암
보통암~경암 (Unlined)	80%		R, M, R 값이 61이상		81%	72%	R, M, R 값이 61~80	경암
						9%	R, M, R 값이 81이상	극경암

표4. 불량현황

낙석발생기간	발생위치	연장 (m)	낙석량 (m³)	작업중단및 복구일수
87. 8	STA 545~544 (760m)	20	6	4
87. 12~88. 1	STA 474~467 (2180~2320m)	140	127	18
88. 8~88. 10	STA 370~366 (4260~4340m)	80	135	35
89. 8~89. 11	STA 254~229 (6580~7080m)	500	430	63
계		740	698	120

i) 급수설비 규격 선정

각 설비의 규격 선정에 앞서 그 공사 현장의 지형 등, 실정에 맞추어 각 설비의 위치점점을 먼저 고려해야 할 것이다. 이는 설치시의 문제점, 유기 관리 및 철거시까지도 고려해야 한다. 또한, 터널 내에 공급된 물은 원칙적으로 다시 배수시켜야 하므로 과다한 급수는 오히려 시공의 장애요인이 되므로 필요수량을 정확히 파악하여 각 설비의 용량을 결정해야 한다.

◦ 물탱크.

급수원 이상 또는 PUMP의 고장, PIPE의 파손 등의 요인에 의해 급수가 불가할 시 T, B, M을 2시간 이상 가동할 수 있는 물을 저장할 수 있는 용량이어야 하며, 이는 대부분의 요인이 2시간이내 수리 또는 복구가 가능함을 기준한 것이다.

또한 운반 및 유지관리 등을 고려하여 결정해야 할 것이다. 당 주압 현장에서는 강제 18m³ TANK 그대로 선정 설치하였다.

◦ 급수펌프 및 기타

급수펌프의 결정은 수원, 수원의 수길, 필요수량 및 전압정 등은 기본적인 고려사항이지만 설치 후의 유지관리 면도 충분히 고려해야 한다.

급수관은 재질, 환경 등의 결정도 중요하지만

작업성 및 누수손실 등과 관련있는 coupling 방식 등도 고려해야 한다. 당 주압 현장에서는 작업성을 고려 강관보다 단층이 4배 정도 작은 P, E관을 사용하여 시공하였다.

(강의 비중: 7.85 강관단층 12.2kg/m (100A))

(P, E 비중: 0.95 P, E관 단층 3.1kg/m (100A: 수도관))

ii) 시공 및 유지관리

터널내의 모든 가설시공은 T, B, M 굴착에 지장을 주지 않는 시간을 택해 시공하는 것이 원칙이고, 또한 중요한 사항이다.

특히 T, B, M에 급수가 되지 않으면 T, B, M 가동이 불가하므로, 가동중인 T, B, M을 정지시키고 급수관 설치 등을 하는 경우는 최대한 억제해야 할 것이다.

급수관의 연장설치 등은 T, B, M의 CUTTER 교환 시간, 기타 정비시간 등을 이용하는 것이 효과적이었다.

또한 가시공된 급수설비의 TROUBLE을 최대한 줄여 T, B, M 굴착효율을 높이는 것이 중요하다.

수원의 수질에 따라 차이는 있겠지만

STRAINER 같은 FILTER류는 최소 주 2회 이상

을 확인하여야 했다. 또한 장대 터널의 경우 급수관 내의 AIR층 발생, 스케일 및 불순물(모래등) 침전 등으로 수량이 모자라는 경우가 있는데 이것을 급수관의 누수개소 관리철저, BOOSTER 설치 등으로 해결이 가능하였다.

이러한 터널내의 유지관리를 위해 양수공을 배치하려 관리하는 것도 중요하지만 터널내 모든 가설재의 이상유무 확인은 터널내 출입이 작은 궤도 공기관차 운전원 등이 출입시 관심을 갖고 살필수 있도록 하는 것도 중요하였다.

### 2) 배수설비 시공

터널 경사도가 0.044%(0.44/1000)로 河床勾配를 이루지 못하여서 자연배수가 전혀 되지 않아 500m마다 수중 양수기를 설치하여 각 구간별 Relay식 강제 배수를 하였으며 각 구간중 배수상태가 좋지않은 부분은 별도 양수기를 설치하여 MAIN 배수 PIT로 집수하여 배수시켰다. 터널내의 Slime, 각종 이물질로 인하여 양수기가 타는 일이 많았으며 양수기가 가동안될시 T.B.M 냉각수와 터널내의 지하수로 인하여 軌道가 침수되고 수중에서의 운행으로 車輪의 베어링과 Wheel의 마모가 심하였다. 이는 또한 기관차 및 광차의 탈선 원인이 되어 T.B.M 가동율을 극히 저하시키는 요인이 되었다. 따라서 수중양수기 유지관리를 위하여 양수공을 필히 배치하고 전공이 수시로 양수기를 점검하고 이상이 있을 때는 즉시 교체하여 항상 軌道가 노출되도록 유지하는 것이 중요하였다.

### 3) 환기설비 시공

당초 설계는 터널내의 유해가스중 가장 문제가 되는 CO가스의 농도를 100P.P.M이내로 유지되도록 1KM마다 60KW(30KW@ 2,500m<sup>3</sup>/min, 500mmAq) 축류 FAN을 설치하여 T.N밖의 신선한 공기를 공급하여 T.B.M 굴진작업을 하도록 되어 있었으나 실제 1KM 이상 2KM, 3KM 굴진장이 길어짐에 따라 송기식 만으로는 환기(배기)

가 원활하게 되지 않아, 1KM마다 30KW(300m<sup>3</sup>/min, 350mmAq) 배기 FAN을 설치하여 송배기식 강제환기를 도모함으로써 터널내의 매연 또는 각종 GAS를 터널밖으로 배출시켜 작업환경을 개선시켰다.

송기식 만으로는 굴착시 막장의 유해가스 농도는 CO 가스가 무려 129P.P.M까지 도달하여 도저히 작업이 불가하였으나, 송·배기 환기 방식 채택 이후에는 CO 가스의 농도를 거의 50P.P.M 이내로 유지할 수 있었다.

### 4) 수전설비

변전실의 변합기 용량 및 설치대수는 T.B.M 主전력과 BACK-UP-system의 소요전력을 터널 연장과 공정계획에 맞춰서 정해야 하며 당현장에서는 2,000KVA(22,900V, 3φ)를 수전받아 T.B.M에 100KVA(6,600V, 3φ), BACK-UP 설비에 1,000KVA(6,600V, 3φ)로 배전하여 사용하였다.

특히 BACK-UP system에 소요되는 T/R 배전함과 각종 전선의 연장이 11.5KM에 달하는 막대한 수량이므로 이들에 대한 적기자재 수급계획 수립이 공정계획과 관련하여 이뤄져야만 했다.

또한 이처럼 장대터널의 경우 터널내에 장거리 고압송전(6,600V)하게 되므로 이에 대한 충분한 접지시공(1종접지)이 필요하며, 기타 충분한 보호장치를 하여야 한다.

터널내의 조건은 항상 다습하고 기관차의 잦은 출입, 낙반 등 위험한 요인이 많으므로 전기담당은 수시로 송전 CABLE의 변형, 파손여부 및 T/R배전반, Connection Box의 이상유무를 매일 점검하여야 한다.

특히 낙반(파쇄대) 구간에서는 전선의 보호를 위하여 보호조치(P.V.C pipe, 스티로폴)를 취해야 한다.

### 5) T.B.M 작업장 조성

T.B.M굴진을 하기 위하여 작업장이 사전에 준비되어야 하는데 ① 버럭하치장 ② 컷타실 ③ 정

비설 ④ 레일설치(본선, 정비차선, 대기차선) ⑤ T, B, M 조립장 및 T, B, M의 T, N진입로(콘크리트 포장) 등이 선행되어야 하며 이러한 시설들의 위치 결정시 전공정의 작업성 등을 복합적으로 고려함이 중요하다.

또한 배수로 및 배수집수조 등의 위치 결정도 중요한 사항인데 작업장 주변의 지표수 혹은 장마철 홍수시 주변에서 스며드는 우수, 용수 등에 대비해 충분한 배수능력을 갖추어야 한다.

특히 레일설치시 S/W point와 커브구간의 짝경사(cant)를 충분히 고려하여 설치해야만 광차의 탈선과 레일 및 광차 Wheel의 급격한 마모를 방지할 수가 있다.

#### 6) Pilot갱(재래식 발파 굴착)

T, B, M이 반입 및 조립을 완료하여 터널전단면 굴착을 시작하려면 T, B, M이 측벽에 Clamping하여 지지한 상태에서 굴착을 하여야 하므로 최소한 T, B, M 몸체의 연장만큼(15M 이상) 재래식 터널 시공을 하고 지보공을 설치하여야 한다. 이때 측벽은 라이닝 콘크리트 혹은 쇼크리트로 보강하여 Clamping이 양호하게 유지되도록 하여야 하며 하부 Clamping Shield의 Clamping을 용이하게 유지시키기 위해서는 원형 또는 수정 마제형의 터널 단면이 유리하다. 이때 Clamping부의 압축강도는 사용하는 T, B, M의 종류에 따라 다르지만 당 현장에 사용된 wirth T, B, M의 경우 최소 25Kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 유지해야 한다.

#### 7) T, B, M 굴착(반입, 조립, 굴착)

T, B, M 굴착에 선행해서 入口部 개착, T, B, M 작업장 조성, 시공측량, 진입로 콘크리트 타설 등이 사전시공된 후 최소한 굴착 1個月전에는 T, B, M이 현장에 반입되어 조립개시를 해야 하는데 T, B, M  $\phi$  4.5m인 경우 T, B, M 본체와 T/R-1~4의 총중량이 약300톤이므로 운반 및 상하차시 100 TON급 크레인 1대와 25~50톤 트레일러 13대 이상이 소요되며 BACK-UP system까지 합치면 트

레일러 50대 정도가 필요하므로 사전에 주도면밀한 운송계획을 세워야 한다. 이때는 현장여건을 충분히 감안하여 운송 PARTS의 DIMENSION 및 중량별 크기에 따라 운송차량 및 CRANE 사용계획, 현장배치 계획이 선검토 되어야 하며 조립순서에 준한 운반순서도 고려해야 한다. 조립기간은 약25일, 시운전 및 점검을 포함하여 1個月 정도가 소요된다. 이때 조립시 필요한 일반공구 및 특수공구류, WIRE, 사클 등을 필요시 조립전에 준비하여야 한다.

수전설비가 완공되지 않은 경우에는 T, B, M 조립시 100KW 이상의 발전기를 준비하여야 한다.

특히 T, B, M은 대형의 정밀기계로서 굴착중 일어나는 과도한 충격 및 진동에 견디기 위해 각 PARTS의 연결부분이 특수 Bolt로 체결되므로, T, B, M작업원들에게 특수공구의 사용법 등을 사전에 충분히 TRAINNING시켜서 조작실수로 인한 공구의 파손 및 작업원들이 다치는 일이 없도록 하여야 한다.

조립 및 시운전 작업이 완료되면 역사적인 터널 전단면 굴착을 위하여 서서히 T, B, M진입로 포장을 통과하여 pilot갱에 진입하여 T, B, M Setting 후 굴착을 개시한다.

Pilot갱에의 진입방법은 굴착시 Resetting 방법과 거의 같으며 진입시 작업원들을 각 Supporting Foot에 배치하여 각 Supporting Foot의 변경 여부 등의 점검을 철저히 하여 T, B, M이 안전하게 진입되도록 하여야 한다. 통상 입구에서 200m까지는 HOPPER를 이용하여 T, N 굴착 버력을 덤프트럭을 이용하여 운반하고 200m이후는 레일을 부설하여 기관차와 광차를 이용하여 버력을 운반하역하며 갱의 레일 및 S/W Point부설 요령은 T, B, M 작업장 조성에서 언급한바와 같다.

#### 2. 연약지반(파쇄대) 통과

파쇄대층은 당초 T, B, M 구간의 2% 정도로 추정하였으나 실제로는 더 많이 발생하여 T, B, M구간 8.594M의 8.6%인 740M가 발생하였으며 발생구



간은 크게 나뉘서 760m, 2, 180~2, 320m, 4, 260~4, 340m, 6, 580~7, 080m 4개 구간으로 볼 수 있고 이외에 200m, 1200, 1650, 2650, 4650m 등 여러곳에서 부분적으로 파쇄대가 나타났다.

T, B, M 굴착도중에는 낙석처리, Rock Bolt, Steel support 등 지반보강공을 할 수 없기 때문에 굴착을 중단해야 하므로 굴착이 부진하여 공정이 떨어질 수밖에 없었다.

굴착 능률저하 요인을 열거해 보면

첫째, 파쇄대를 통과할 때

둘째, 극경암 지대를 통과할 때

셋째, 지하수가 많은 구간을 통과할 때

넷째, Center-Cutter mount를 보강할 때

다섯째, Gguge-Cutter mount를 보강할 때

여섯째, 콘베아 Belt 또는 콘베아 Motor를 교환할 때

일곱째, 갱내 S/W Point를 설치 또는 이동할 때

여덟째, 갱내 T/R 또는 FAN을 설치할 때

등이 있으나 이중 가장 굴착능률이 저하되는 요인은 파쇄대 구간을 통과하면서 T, B, M이 굴착중단되는 경우이며 따라서 얼마나 파쇄대 구간을 빨리 그리고 안전하게 통과하느냐가 공기에 절대적인 영향이 있다.

본 터널에서는 파쇄대 구간을 통과하면서 낙석을 미연에 방지하기 위하여 Rock Bolt, 쇼크리트, Steel support 등을 선행하려고 시도하였으나 낙반이 오는 상태에서 Rock Bolt 작업이 불가능하였고 쇼크리트 작업은 무의미하였으며 Steel support 작업은 T, B, M 전진에 방해물이 되었고 여굴이 많은 구간에서는 Steel support를 했을 때 Clamping에 문제가 많았기 때문에 一次로 낙반부위의 격리된 암석을 제거(낙석처리)하고 二次로 Rock Bolt를 박고 T, B, M을 전진시킨 뒤에 T, B, M후미에서 T, B, M굴착과 병행하여 Steel support를 세움으로서 굴착능률을 최대한 향상시켰다. 그리고 굴착전진을 도저히 할 수없는 경우는 T, B, M Head 후미 또는 T, B, M몸체와 T/R-1 사

이에서 굴착을 중단하고 Steel support를 설치한 후에 굴착을 진행하였다.

파쇄대 구간에서는 수시로 낙반이 발생하므로 한시도 주의를 게을리해서는 안되고 24시간 내공 변위 측정기를 이용하여 계속 낙반상태, 균열상태를 점검하여 낙반위험이 있는 암석은 즉시 제거하고 균열과 낙반상태에 따라 Rock Bolt 또는 Steel support를 적절하게 시공하여야 한다.

특히 낙반 구간에서는 전력 Cable을 보호하는데 주력을 두어야 하고 Steel support 설치후 여굴 부위를 횡갱목으로 충분히 채워서 용력이 충분히 전달되도록 해야 한다.

또한 T, B, M이 굴착전진시 굴착 암의 강도가 균일치 않으므로 上, 下, 左, 右로 方向이 틀어지기 쉬우므로 수시로 측량을 하여 方向을 교정하여야 한다. 파쇄구간을 통과시 가장 중요한 사항은 낙반에 의한 안전사고이므로 이점에 가장 신경을 써서 안전사고를 미연에 방지하기 위하여 세심한 주의를 기울여야만 하고 만일의 경우를 대비 안전사고 발생시 응급조치 방안도 수립하고 있어야 한다.

### 3. 지보공

지보공은 T, B, M 굴착도중 또는 굴착후 터널 암반을 보강하는 작업으로 터널의 안정상 굴착도중에 시행하는 것이 바람직하나 파쇄대, 단층대, 암반의 절리상태에 따라 굴착 직후 또는 관통후에 시공하는 경우도 있는데 특히 쇼크리트나 콘크리트라이닝 등은 T, B, M 굴착과 병행시공이 곤란하므로 일반적으로 관통후에 시공하고 Steel support 구간은 굴착중에 반드시 시공하여 낙반 또는 지반의 붕락을 방지해야 한다. 지보공은 a) Rock Bolt b) Shotcrete c) Steel support d) Con'c lining 등으로 구분되며 R, M, R 岩分類法에 따라 표 5와 같이 6단계로 지보방법을 구분할 수 있다.

#### 1) Rock Bolt 시공

Rock Bolt는 절리상태에 따라 굴착도중 또는

표5. 지보방법

구 분	R. M. R값	ROCK BOLT	Shartcrete	Steel support	Con'c lining
NONE	81~100	-	-	-	-
PATTERN I	71~80	1EA/2m	-	-	-
" II	61~70	1EA/m	-	-	-
" III	46~60	5EA/3m	절리상태에 따라 t=10cm시공	-	-
" IV	36~45	5EA/3m	t=10cm	-	-
" V-1	31~35		t=15cm	ISPAN:1.5M H빔:125×125	
" V-2	21~30			ISPAN:0.8-1.5M H빔:125×125	t=35cm

표6. Rock Bolt의 고정방법의 비교

방 법	장 점	단 점	당사 채택
Cement Milk 그라우팅	재료비 저렴	시공성이 나쁘다	사용 무
Glass Type RESIN	인발력이 크다	운반시 파손률 큼	일부사용
Tube Type RESIN	"	고온에 약하여 잘 응고됨	"
Cembolt RESIN	가격저렴, 취급용이	-	최종 대부분 사용

굴착직후에 시공을 하는데 PATTERN I, II 경우는 T. B. M 굴착후에 굴착과 병행하여 시공을 하여도 무방하나 PATTERN III, IV 경우는 절리가 발달하여 붕락이 발생하거나 예상되는 부분이므로 굴착도중 또는 굴착직후에 시행하여야 한다.

굴착과 병행시공은 T. B. M 굴착 비력반출에 지장을 주어서는 안되므로 이동식 작업대를 제작하고 전동식 Compressor를 고정설치하여 上部에서 Rock Bolt작업을 하고 下部로는 Mucking CAR가 통행하도록 한다.

Rock Bolt의 규격은  $\phi 25m/m$   $l=2.0m$  인발하중  $\geq 14TON/本$ , 고정방법은 Cement Milk Grouting, RESIN(Glass TYPE, Tube TYPE), CemBolt 등이 있는데 그 장단점은 표 6과 같다.

2) Shotcrete

쇼크리트 시공을 하기 위해서는 Aliba, 혼합 Mixer, 혼합골재 운반용 콘베아, 600~800 Cfm 콤퓨레샤, 시멘트, 모래, 자갈 등 사용장비 및 자재가 많이 동원되어야 하고 이들을 운반 및 작업도중 대기해야 할 작업대차가 2~3대 항상 Rail위

에 있게되므로 부득이한 경우를 제외하고는 T. B. M 굴착을 완료(관통)하고 시공하여야 한다.

처음에는 갱내 환기상태를 양호하게 하기 위하여 전동식 콤퓨레샤(정치식) 425cfm을 이동식 T/R(변압기)을 이용하여 사용해 보았으나 용량부족과 전기회로에 문제점이 자주발생하여 나중에는 655cfm 엔진 콤퓨레샤(이동식)를 사용하였다.

갱내에서 시멘트, 조세골재의 운반 및 혼합이 여러가지 불리한 점이 많아 쇼크리트용 혼합재료(건식)는 갱외에서 혼합하고, 운반은 Agitator Car(/전인식)를 Diesel Locomotive(기관차)로 견인하여 작업하였다.

급결제는 분말과 용액 두종류중 가격이 저렴하고 시공성이 좋은 분말을 사용하였고 Alila는 습식과 건식의 두종류중 작업조건은 나쁘지만 작업능률면울 고려하여 건식을 사용하였으나 분진이 많아 작업원들의 고충이 많았으며 작업조건은 개선시키기 위하여 이동식 local Fan을 사용하였다.

앞으로는 습식의 단점(alila의 고장이 잦고 작업량 적음) 및 문제점을 개선하여 습식을 사용토록 권장하며 습식, 건식을 불문하고 로보트로 쇼크

리트 타설을 시행함으로써 작업능률을 향상시키고 갱내 작업원의 작업조건을 개선하는 방향으로 나아가 할 것이다.

Shotcrete 배합율은 표 7과 같다.

c) Steel support

Pattern V (R, M, R值:21~35) 의 벽은 연암 또는 풍화암으로서 절리가 발달되었고 단층지대로서 거의 붕락이 발생하는 구간으로 굴착도중 가능한 빨리 Steel Support를 설치하고 여굴부위를 횡생목으로 채워서 암반을 지지하여 붕락을 막아야 한다. 특히 당장 붕락이 안되고 있으나 절리가 발달하고 지하수가 많이 발생하는 곳은 Steel support를 설치해야 한다. 간격은 일반적으로 lspan=1.5M로 하나 절리 및 지하수 상태, 붕락의 정도에 따라 0.8M~1.5M 사이에서 조절한다. Steel support 區間은 Con'c lining을 원칙으로 하나 Pattern V-1(R, M, R值:31~35) 의 경우 Shotcrete t=15cm로 대치함으로써 공기 및 공사비 절감을 기하였다.

Steel support 시공은 초기에는 3등분하여 시공하였으나 작업의 편리성, 굴착비리운반과의 중복을 피하고 설치기간을 단축하기 위해서 4등분하여 3등분만 Arch 部에 설치하였고 下部범은 터널 관통후 쇼크리트 또는 con'c lining 직전에 설치하였다.

규격은 9×6×125 H형강이고  $\phi$  4.5m (外徑) 원형

4) Con'c lining

표7. Shotcrete의 배합율

$\sigma_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Max Size (m/m)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	S/A (%)	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	급결재 (kg/m <sup>3</sup> )
200	13	172	410	42	60	1056	658	16.4

표8. Con'c lining 배합표

$\sigma_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Max Size (m/m)	Slemp (cm)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	S/A (%)	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	pozzo-LITH (g/m <sup>3</sup> )
210	20	11±1	189	337	56	46	792	870	842

Con'c lining을 시공하기 위해서는 원형철재거꾸집 Con'c pcump Con'c 운반용 Agitator car, 이동식 변압기 등 사용장비 및 가설재가 많이 동원되어 Con'c 타설 및 운반도중 Rail 위에서 있게 되므로 타널관통후에 시공하여야 한다.

Con'c lining이 t=35cm,  $\phi$  3.8m (內徑) 원형이므로 터널내의 모든 Back-up system을 철거해야 하며 레일철거후 바닥에 있는 Slime을 제거해야 하므로 당사에서는 원형철재 거꾸집으로 자주식 Needle Form ( $\phi$  3.8m,  $l$ =10.0m 전원, 유압식)을 제작 사용하였고, 0.2포크렌을 투입하여 기관차와 광차를 이용, Slime을 상차, 운반하였다.

콘크리트는 뱃차프랜트에서 생산, 레미콘 트럭으로 터널 入口까지 운반할 것을 견인식 Agitator Car에 옮겨서 기관차로 터널내 작업장까지 견인 운반하여 콘크리트 펌프(정치식)에 공급, 타설하였다.

라이닝이 총360m, 18개소, 평균 1개소당 20m로 터널 8,600m 구간에 산재해 있으므로 자주식 Needle Form을 사용해야만 되었고 라이닝이 80m가 연속있을 경우 1日 ISPAN(10m)씩 lining작업이 가능하였으나 실제로는 lining타설시간보다 Needle Form 이동시간이 더 많았다. Needle Form 이동속도는 20m/Hr, 160m/day, 터널연장이 길므로 콘크리트 운반시간이 많이 걸리고 터널내에서 중간에 Agitator가 탈선하는 경우 콘크리트가 경화(성형)되어서 타설하지 못하고 터널밖으로 다시나와서 브레카로 캐서 장시간 Agitator를 청소한 경우도 가끔 있었다. 따라서 터널내 lining 작업장과 터널 入口, 그리고 뱃칭 프랜트와

수시로 통신연락을 취하여 시간 통제를 철저히 하여야만 콘크리트 손실이나 작업능률 저하를 방지할 수가 있었다. 더욱이 Rail상에서의 기관차나 Agitator의 탈선방지를 위하여 꾸준히 Rail이나 Switching point의 보수 및 유지관리를 양호하게 해야만 한다.

### 3. 結語

φ 4.5M T. B. M으로 국내에서는 최초로 부산구덕 상수도 터널(연장: 2,258m)을 당사에서 1985. 10. 4~1986. 5. 30 기간중 시공하였으나 주압다목적 댐 도수터널은 총 연장이 11,500M중 8600M를 φ 4.5 T. B. M으로 전단면 굴착을 시공하는 것으로서 국내에서 최장대 도수터널 공사이므로 부산구덕 상수도에서 사용하지 않았던 Back-up system(이동식 갱내 S/W point, 배기설비, 비상급기 시설 등)을 사용하였고 또한 부산구덕상수도에서 경험하지 못했던 여러가지 문제점(파쇄대 및 단층지대 통과, 배수불량시의 작업조건, Rail Type Agitator car에 의한 Lining con'c운반 및 타설)들이 발생하여 공사도중 시행착오를 범하였고 이로 인한 T. B. M 가동률 저하도 무시할 수 없었다. 따라서 앞에서 언급한 여러가지 시행착오와 시공 경험에서 얻은 지식과 현재보다 개선된 back-up system과 T. B. M 가동률 향상 작업방법을 적용한다면 향후 φ 3.5~φ 7.0의 도수터널 및 전력구, 지하철, 고속전철, 배수지 터널 등을 시공하는데 자신을 갖게 되었다. 당현장 공사기간(1986. 12. 31~1990. 12. 15)중 실사를 통해 φ 4.5M와 φ 7.0M에 대해서 건설품셈에 1개 작업조의 인원편성 및 스라임 처리경비 계상과 암의 성질에 따라 작업효율 값이 적용된 것은 좋은 성과라 생각되며, 계속해서 암의 종류 또는 성질에 따라 Cutter의 소모량 및 두께, 유류 소모량 등이 품셈에 반영되어야 하겠다.

끝으로 주압도수터널 11,500m를 4년간에 걸쳐

시 시공하면서 향후 이와 유사하거나 더 긴 터널을 시공시 설계상 고려해야 될 사항을 몇가지 열거하면서 본 시공보고서의 글을 맺고자 한다.

첫째, 터널연장이 5KM 이상일때 반드시 사갱(횡갱)을 두어 시공중 공기를 단축하고 갱내의 환기상태를 좋게하며 비상시 탈출구로 이용하며 공사완료후 유지관리시 수로 터널인 경우 Air Veticalion 효과를 주며 짐사 및 작업진입으로 활용 수가 있다.

둘째, T. B. M 굴진작업은 물론 Rail 상태를 양호하게 유지하기 위하여 자연배수가 가능하도록 터널 종단구배는 5/1000~10/1000을 기준으로 하여야 한다.

셋째, 터널연장이 2KM 이상이면 송기 FAN에 의한 터널밖의 신선한 공기를 공급하고 배기 FAN에 의한 갱내 매연 및 지하자연 유독 GAS를 강제 터널밖으로 배출시켜야 한다.

넷째, 터널내에는 항상 막장에서 작업하는 사람들이 신선한 공기가 필요하므로 비상상태를 대비하여 비상공기 공급 파이프 라인을 설치해야 한다.

다섯째, 터널내에는 항상 조명과 배수작업을 위한 양수기를 가동해야 하므로 정전시를 대비하여 최소한의 비상발전기를 비치 운영하여야 한다.

여섯째, 터널내에는 항상 기관차가 운행하고 있어 갱내작업원이 대비할 수 있는 대피소(Walk way)를 일정한 간격으로 설치하여야 한다.

일곱째, 터널내에서 작업하는 모든 장비는 지하작업이므로 고온 다습하고 매연이 있으므로 장비의 수명이 빨리 단축되며 작업능률 및 조건도 저하되므로 설계상의 모든 조건을 불량조건으로 계상해야 타당할 것이며, 작업자도 터널내의 유해위험수당, 24시간 4교대 작업에 따른 야간수당, 터널연장의 증가에 따른 할증계수 등 지하작업에 따른 모든 불리한 작업조건이 설계상 인건비 계상에 충분히 반영되어야 할 것이다.