

## 〈工事報告〉

# 住岩多目的댐 建設事業과 T.B.M에 依한 導水터널工事

崔 英 松\* · 元 喜 英\*\*

### 1. 序 言

住岩多目的댐 建設事業은 光州市 및 인근地域과 全南 南海岸의 여천·광양 工業地區에 生活 및 工業用水를 安定的으로 供給하고 洪水피해경감 및 水力開發등을 目的으로 政府에서 推進하고 있는 多目的 水資源開發事業이다.

本 事業은 섬진강水系의 第一支流인 寶城江流域에 建設되는 住岩 本댐과 全라남도 順川市를 통하여 順천만으로 流入되는 東川 水系의 이사천에 建設되는 調節池댐으로 형성되는 貯水池를 총연장 11.4km의 導水터널로 連結 運營토록 計劃되었다.

住岩 本댐은 1984년에 착공되어 1990년 3월에 담수를 시작하였으며, 調節池댐은 1986년에 착공되어 1990년 6월까지 是 댐 築造를 完了할 計劃으로 工事が 推進되고 있다. 아울러 導水터널 工事は 최근에 國內에 도입된 터널 全斷面 굴착기에 의한 굴착工法으로 1987년에 着工되어 1990年末 調節池댐 湛水와 더불어 通水를 목표로 공사가 시행되고 있다.

本稿를 통하여 필자는 住岩多目的댐 建設工事의 概要를 개괄하여 紹介하고자 하며 특히 流路

變更方式에 의한 水資源의 效率的 利用側面에서 앞으로 住岩導水터널과 같은 水路用 長大터널 工사가 豫想되고 있음을 勘案 全斷面굴착기에 의한 터널計劃시 岩質의 種類과 관련된 굴진速度의 精度있는 豫測은 設計및 施工上 工期를 결정하고 工事費를 算定하는 가장 중요한 요소가 되므로 이에대한 施工過程에서 分析 適用된 바 있는 事例를 紹介하여 追後 施行될 事業의 計劃樹立에 參考資料로 提示코자 한다.

### 2. 事業의 概要

#### 가. 位置 및 流域面積

住岩 本댐의 建設位置는 寶城江 流域으로 섬진강 本流 合流點으로 부터 上流 約25km地點인 全라남도 昇州郡 大光里에 位置한다. 本댐의 流域面積은 總1,010km<sup>2</sup>이며 댐地點 上流 約40km 地點에 水力發電用 댐인 寶城江댐과 寶城江의 第一支流인 同福川에는 光州市 用水供給을 爲한 同福댐이 建設되어 運營中에 있다.

調節池댐은 住岩 本댐으로부터 東南쪽 21km地點의 全라남도 昇州郡 上砂面 용계리의 이사천에

\* 韓國水資源公社 建設二處 工事部長  
\*\* 韓國水資源公社 建設二處 工事課長

建設되고 있으며, 流域面積은 135km<sup>2</sup>이다.

導水터널은 人口가 住岩 本댐 貯水池內의 댐으로부터 上流 約13km地點인 松光面 大谷里에 位置하고 있으며 出口는 調節池댐 貯水池內의 댐으로부터 上流 約 8km地點인 雙岩面 柳坪里 位置하

나. 施設計劃

住岩多目的댐 施設計劃을 要約하면 각각 다음과 같다.

○ 導水터널

直徑 : D=3.8~4.5m 延長 : 11.4km

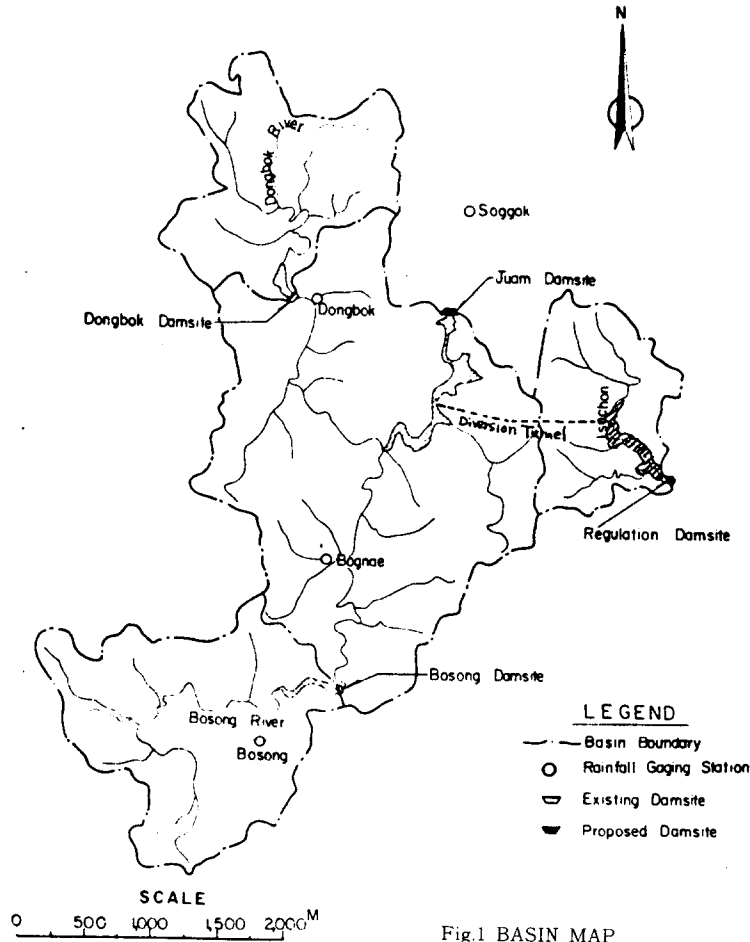


Fig.1 BASIN MAP

Fig. 1 Location of Basin Map

고 있다.

發電所는 調節池댐 下流地點에 建設되고 있으며 發電用水의 調節放流를 위한 逆調節池댐은 發電所로부터 下流地點에 位置한다.

住岩多目的댐 位置 및 流域은 圖 1에 圖示한 바와 같다.

○ 發展設備

施設容量 : 22,500Kw (11,250Kw × 2기)

送電線路 : 2km (154Kw)

다. 事業效果

○ 洪水調節 : 80百萬m<sup>3</sup>

○ 貯水池

區分	本  댐	調節池댐	逆調整池댐	備考
計劃洪水位 (E.L. m)	110.5	111.1	24.3	
常時滿水位 (E.L. m)	108.5	108.5	23.5	
貯水池面積 (km <sup>2</sup> )	33	7.8	—	
總貯水容量 (백만 m <sup>3</sup> )	457	250	0.64	
有效貯水容量 ( % )	412	210	0.58	

○ 댐의 각제원

區分	本  댐	調節池댐	逆調整池댐	副  댐
形式	Rockfill	Rockfill	콘크리트/ earthfill	Earthfill
높이 (m)	57	106.0	18.0	9.7
길이 (m)	330	575	198	70
體積 (천 m <sup>3</sup> )	1,491	4,960	59	13

○ 여수로의 각제원

區分	本  댐	調節池댐	逆調整池댐	備考
形  式 門  扉	越流式 라디알게이트 ( B13.0 m × H12.5 × 5 조 )	側流式 —	越流式 수직개·폐식 ( B12.0 m × H4.8 m × 3 조 )	
設計洪水量 ( m <sup>3</sup> /sec)	5,601	2,345		

- 洪水調節 : 80百萬 m<sup>3</sup>
- 用水供給 : 448.8百萬 m<sup>3</sup>/年
- 發 電 : 51.3百萬 Kwh/年

3. 導水터널공사

가. 工法選定

住岩 導水터널의 건설사업은 주암본댐 건설과 함께 水源이 부족한 調節池댐의 동시 개발에 따라 2개 저수지의 水系를 連結하는 총연장 1.1km의 長大터널 공사이다.

85. 6월 도수터널의 실시설계가 완료되어 시공 계획을 확정 지었으나 동년 9월 불교 조계종이 본 路線이 송광사와 선암사가 위치한 조계산을 貫通하게 되어 산의 정기를 훼손시킨다 하여 노선을 변경시켜 달라는 民願을 제기한바, 이에 대한 代案路線 및 시공법등을 재검토중 90년말까지의 順川, 光陽地區에의 用水供給이라는 制限된

공기등을 감안 T.B.M工法の 導入문제를 검토한 결과 총연장 11.5km의 터널중 T.B.M으로 9.3km 발파공법으로 2.2km를 시공하는 병행 공법을 채택하면 합리적이라는 結論을 얻게 되었으며 아울러 T.B.M 공법 적용시 新工法 技術開發에 의한 터널 工法の 발전을 도모 할 수있어 그工法の 導入을 결정하게 되었다.

나. T.B.M工法の 개요

T.B.M(Tunnel Boring Machine)이란 터널 굴착장비로서 재래식 발파공법과는 달리 Cutter가 장착된 Head를 전기모타가 압력을 가하면서 회전시켜 岩盤을 파쇄시켜 굴진해 나가는 비폭파 丹形斷面 굴착시공방법이다. T.B.M에 의한 굴착은 擴大機방식과 全斷面방식이 있는데 전단면 방식은 직경 5.0m미만의 小단면에 주로 사용하고 직경 8.0m이상의 大단면 터널에는 먼저 작은 구경의 T.B.M으로 Pilot갱을 굴착후 확대기 (T.B.E)방식을 사용한다. 歐美를 비롯한 21국에

서는 60년대 부터 연장 2km이상의 터널공사에 대한 실적이 많이 있으며 국내 시공실적은 85년 1월에 도입된 口徑中 4.5m T.B.M이 부산 구덕수로 터널에 투입 되었으며 86년 10월에 도입된 구경中 7.0m T.B.M이 부산 지하철공사에 투입 시공중에 있다. 住岩導水터널은 부산 구덕수로터널을 시공했던 폭을 WRITH사의 구경中4.5m T.B.M으로 굴진 중이다.

T.B.M시공은 靜力學的으로 안정성이 높은 円形의 全斷面을 기계에 의해 동시에 굴진하는 공법이므로 시공상의 안정성이 높고 굴진속도가 비교적 빨라 安全施工과 工期短縮면에서 타공법보다 우수하다. 또한 터널굴착에 있어 커다란 비중을 차지하는 余굴과 라이닝의 감소와 支保工을 절감 할 수 있으며 비폭과 방식으로 소음 및 공해가 적으므로 터널내의 작업환경이 양호하고 터널 밖 주변환경에 대한 피해가 적으며 지하철 공사나 상. 하수도 공사와 같은 대도시의 都心地工事に 적합한 시공법이다.

그리고 기계 굴착후 발생되는 버럭처리가 용이

하며 도로의 보조기능이나 구조물 되메우기등에 이용할 수 있는 장점이 있다. 반면에 T.B.M의 단점은 암질의 변화에 대한 적응성이 미흡하여 斷層破쇄帶나 연약지반등에 대해 하기 어렵고 굴진 曲率半徑이 커서 回線施工에 아주 불리하다. 또한 장비가 高價이며 重量이 무겁고 本體가 크므로 운반 조립이 힘들뿐 아니라 반입로, 조립장 등 부대시설 비용이 많이 든다는 점이다.

#### 다. T.B.M掘進能力과 設計基準

住岩 導水터널중 T.B.M으로 시공되는 구간의 굴착단면은 岩質狀態에 따라 支保工 형태를 달리 한 그림 2와 같이 設計하였다.

T.B.M工事の 工事費및 工期算定에 절대적인 영향을 주게되는 T.B.M의 掘進能力은 岩質과 CUTTER의 岩盤貫入能力 및 T.B.M의 稼働率에 의해 支配된다.

해외에서의 T.B.M시공사례는 비교적 손쉽게 구할수 있으나 우리나라의 경우에는 아직도 세부적인 시공사례가 발표된 바가 없어 設計 및 見積

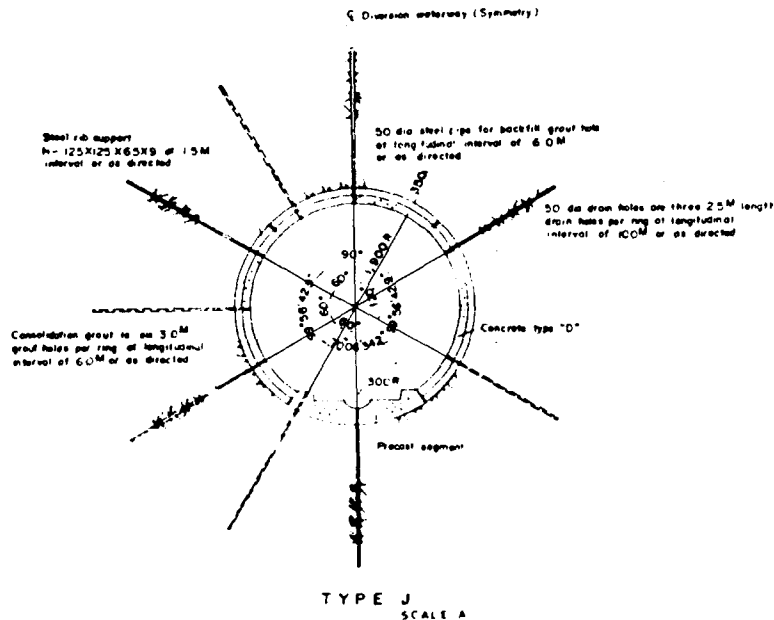


그림2. 住岩 導水터널 標準 斷面圖(라이닝구간)

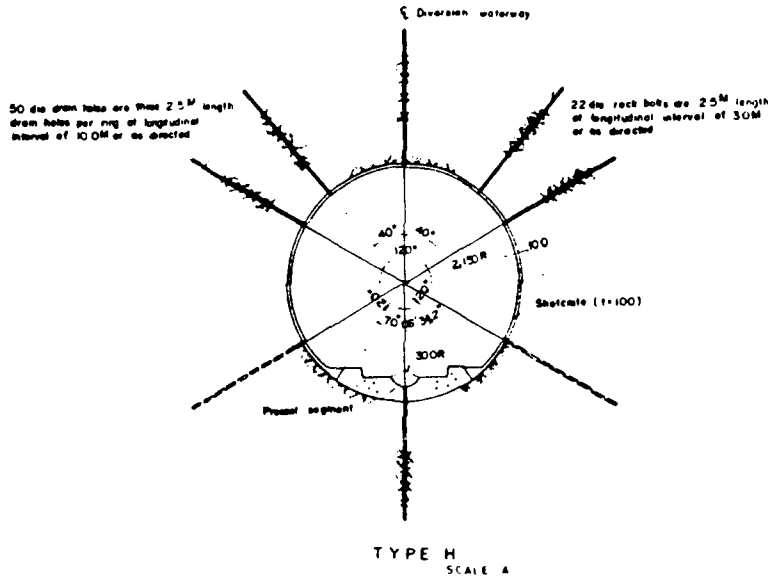


그림3. 住岩 導水터널 標準 斷面圖(非라이닝구간)

에 있어 岩質區分에 따라 현저한 차이로 추정될 수 밖에 없는 掘進能力을 제작자가 제시한 자료에 의존할수 밖에 없으므로 그 適用時의 신뢰성에 대해 확신을 주지 못하고 있는 실정이다. 따라서 本章에서는 T.B.M掘進에 따른 岩質의 分類와 터널掘進에서 필연적으로 수반되는 支保工法의 決定事例, 岩質에 따른 CUTTER등 消耗資材의 消耗率등의 實例를 종합적으로 정리 제시하여 追後 設計및 見積資料의 신뢰성 부여에 보탬이 되고자 한다.

제작자 사양에 의하면 직경 4.5M규격의 TBS III-450E(서독 WIRTH사 제품)모델은 岩質에 따라 표2과 같은 掘進速度資料를 제시하고 있다.

後述할 실적치와의 비교를 위해 우리나라 標準 품셈상의 岩分類를 보면 壓縮強度 및 彈性波 速度에 따라 연암, 보통암, 경암으로 구분하고

있으며 아래表와 같다.

87년 5월부터 89년 5월까지 시행된 총 연장 5,902M의 T.B.M掘進實績을 요약하면 表2와 같으며 이로부터 실적에 의한 투과깊이 및 Resetting 시간을 산정하여 제작자 사양과 비교해 볼때 이는 表3과 같다.

본 실적치에 따르면 주암도수터널의 전반적 岩質은 제작자 사양상 1,500Kg/cm<sup>2</sup> 強度의 岩質에 속하는 것으로 分類되며. 표준품셈상으로는 경암으로 分類될 수 있다. 이를 확인키 위해 대표구간의 試料에 대한 岩의 壓縮強度 및 彈性波 試驗을 시행한 바 이는 表6과 같으며 壓縮強度 1,100Kg/cm<sup>2</sup>~ 1,600Kg/cm<sup>2</sup>으로 제작자 사양의 투과깊이 보다는 다소 적은 투과실적을 보이고 있으나 設計 및 見積時 適用에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

表1. 標準품셈上 岩分類基準

區分	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성파속도 (km/sec)
연암이하	1000이하	2.7~3.7
보통암	1000~1300	3.7~4.7
경암	1300~1600	4.7~5.8
극경암	1600이상	5.8이상

라. 岩質分類와 支保工法の 決定

T.B.M굴착시에도 在來式 발파굴착공법과 마찬가지로 岩質에 따라 支保工의 設置는 불가피하며 住岩 導水터널의 경우는 Bieniawski의 Geomachanic 岩盤分類方法(Rock Mass Rating

System, RMR)을 적용, 積정한 支保工法을 선정 시공하고 있다. RMR分類法은 岩質의 強度, RQD, 절리의 간격, 지하수 상태, 터널 축방향에 따른 절리의 方向性등 6가지 要素를 項目別로 配定하여 岩을 分類하는것으로 이는 본래가 在來式 工法에 대해 제안된 것이나 T.B.M工法에서도 援

表 2. TBM 굴진실적

년월	굴진거리 (m)	S/T 수	순굴진 시간 (HR)	RESETTING 시간	비고
87.5	201	166	178;35	16;00	
6	211.4	167.6	175;25	24;00	
7	440.3	364.8	364;55	62;00	
8	259.1	330.5	241;35	38;15	
9	271.2	221.5	220;40	31;35	
10	334.4	277.3	273;55	30;20	
11	376.3	317	301;40	43;10	
12	289.6	241.4	225;05	41;10	
88.1	110.7	93.3	100;00	16;30	
2	269.1	228.2	232;30	39;40	
3	361	302.3	298;50	51;20	
4	368.2	306.5	343;35	52;50	
5	185.7	154.6	229;20	27;40	
6	320.5	269.4	297;30	47;05	
7	213.8	198.6	210;05	34;45	
8	110.3	179.3	198;55	31;10	
9	167.8	139.9	130;30	25;20	
10	112.3	245.3	250;25	42;00	
11	65.6	59.3	63;00	10;30	
12	210.4	183	190;30	22;50	
89.1	195.1	176	162;45	20;55	
2	206.5	185	204;10	22;55	
3	263.8	216	225;25	26;45	
4	248.2	181	202;55	24;55	
5	109.7	79	79;15	9;45	
총계	5,902	5,282.8	5,401;30	793;25	

表 3. 굴진속도 실적 및 제작자 사양대비표

항 목	구 분 압강도(kg/m <sup>2</sup> )	제 작 자 사 양				住岩터널 실 적 처
		1,000	1,500	2,000		
CUTTER 투과깊이	mm	3.0	2.5	2.0	2.49	
CUTTER HEAD 회전수	r.p. m	7.3	7.3	7.3	7.3	
1 Stroke	m	1.2	1.2	1.2	1.2	
1 Stroke 굴진소요시간	min	55	65	80	75	
RESETTING TIME	min	10	10	10	9	
시간당 굴진거리	m	1.10	0.95	0.80	0.96	
1일굴진거리 24 hr × 0.65 ÷ 15 hr	m	16.5	14.2	12.0	13.8	
월굴진거리(25일기준)	m	412	355	300	345	

用할수 있다.

表4는 RMR分類法을 要約한 것이다.

RMR式에 따라 導水터널 굴착과정에서 調査된 岩比率을 살펴보면 아래 表5와 같다.

터널 掘鑿岩質을 判別하는 基準으로써 RMR分類가 적정한지의 여부를 알아보기 위하여 대표구간에 대한 岩의 試料에 대해 壓縮強度 및 彈性波速度試驗을 시행하고 (表6)RMR치와 壓縮強度의 相關關係(그림4)를 비교해 볼때 RMR分類는

表 5. RMR 방식에 의한 導水터널 岩分類

구 분	R.M.R 값	연 장 (m)	비 율 (%)
극경암	91이상	552	9%
경 암	61-90	4236	72%
보통암	41-60	732	13%
연 암	40이하	382	6%
		5902	100%

土木工事 표준품셈상의 土質 및 岩의 分類와 類 似한 것으로 調査되어 RMR岩質分類는 터널 掘鑿岩質을 판단하는 基準으로써 또한 後述한 支保

表 4. RMR 分類基準

ITEM	RATING						
	> 2000	2000-1000	1000-500	500-250	250-100	100-30	30-10
Rock Strength ( kg /sq. cm )							
R1	15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D(%)	100-90	90-75	75-50	50-25	< 25		
R2	20	17	13	8	3		
Joint interval( cm )	> 300	300-100	100-30	30-5	< 5		
R3	30	25	20	10	5		
Joint Plane	rough	little rough	partly slickenside	continued slickenside	accompanied clay layer		
R4	25	20	12	6	0		
Water Seepage	none	wet	drops	little drain	along joint much	whole wall	
R5	10	7	7	4	0	0	
Evaluation of joint direction	매우양호	양 호	보 통	불 량	매우불량		
R6	0	-2	-5	10	-12		

RMR Value = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6

表 6. RMR 압축강도 및 탄성파속도 시험비교표

STA	출구 로 부터 거리	RMR	압축 강도 (kg /cm <sup>2</sup> )	탄성파 속도 (m / sec )	압 분 류			비 고
					RMR	압축 강도	탄성파 속도	
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	-	-	연암			
434+10	2972	95	1483	6320	극경암	경암	극경암	
389	3882	41	1037	6210	보통암	보통암	극경암	시료성형불가
367	4322	22	-	-	연암			
342	4822	93	1681	6180	극경암	극경암	극경암	
282	6022	67	1295	6350	경암	보통암	극경암	

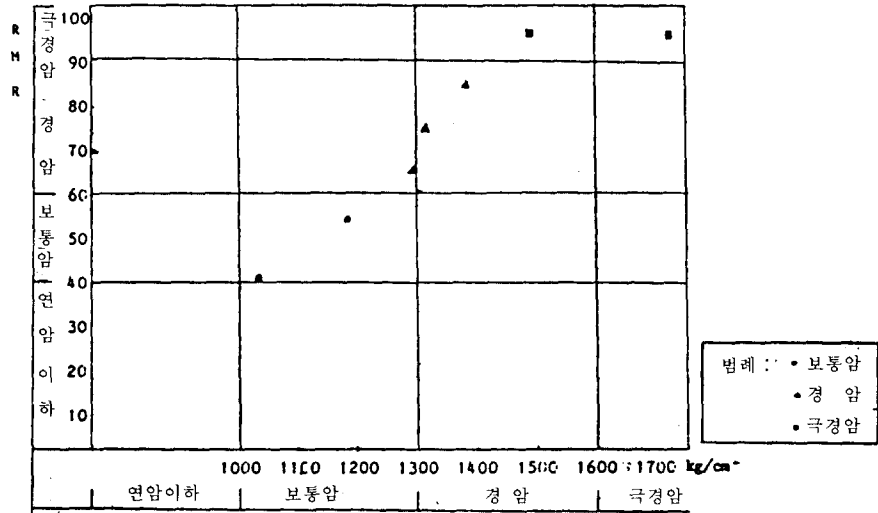


그림 4. RMR 과 압축강도 상관관계도

表 7 住岩導水터널 支存形態 選定基準

암등급 (RMR)	지 보 형 태			표준품셈상 암의 분류	
	Rock Bolt (ℓ = 2 m)	Shotcrete	Lining	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	암의 분류
81-100	Spot Bolting if Required	-	-	1500이상	극경암, 경암
71-80	Spot Bolting 1 bolt/1.75 m	-	-	1300-1600	경 암
59-70	1.5 bolts/1.5 m	-	-	1300-1600	경 암
56-58	2.5 bolts/1.5 m	t = 10 cm	-	1000-1300	보통암
36-55	2.5 bolts/1.5 m	t = 10 cm with wire mesh	-	900-1300	보통암, 연암
35 이하	2.5 bolts/1.5 m	-	t = 35 cm with steel supports	1000이하	연 암

工法 選定基準으로써 妥當한 것으로 思料된다.

住岩 導水터널에서는 RMR值를 基準으로 하여 Bieniawski가 發破工法에 대해 제안한 支保工法의 基準을 다소 下向調整하여 터널支保工 形態를 選定 施工하였으며 適用된 基準을 살펴보면 아래 (表7)과 같다.

다. TBM CUTTER 및 消耗資材 消耗率

T.B.M工法에 의한 터널掘進의 設計, 工期算出

및 內容見積에 있어서 T.B.M掘進速度와 함께 반드시 검토하여야 할 사항은 掘進에 필요한 消耗資材의 消耗率이다.

住岩담 導水터널에 사용된 직경 4.5m규격의 TBSⅢ-450E모델의 掘進時 장착소모품의 종류, 수량 및 비라이닝구간의 M당 消耗量은 (表8)과 같으며 本 消耗率은 비라이닝구간이 RMR 60이상의 岩質에 대한것으로 追後 設計에 참고될 수 있도록 分析 提示하였다.



表 8. CUTTER 및 소모품 소모현황

(0 ~ 5.920M 구간)

품 명				장착 수량	굴진장	소모 수량	평균굴진장	M 당소모량 (EA/M)	비고
OUTER NORMAL	CENTER CUTTER			8		245	129	0.062	
	CUTTER &GUAGE	DISC RING	OUTER.C	28		919	139.7	0.2003	
			GUAGE.C	4		206	84.5	0.0473	
			계	32		1125	129.2	0.2476	
	CUTTER	BODY	GUAGE.C	28		386	351.7	0.0796	
			OUTER.C	4		107	182.05	0.0219	
계			32		493	314.9	0.1016		
	RETAINING RING			32		1125	129.2	0.2476	
SPECIAL CUTTER	CENTER CUTTER			8		71	187.3	0.0426	
	OUTER &GUAGE CUTTER	BODY	OUTER.C	28		97	275	0.1018	
			GUAGE.C	4		35	176.1	0.0227	
			계	32		132	249.5	0.1282	
THREADED RING				32		668	274	0.1167	
BEARING				32		434	410.9	0.0778	
SCRAPER				6	5891.4	352	100.4	0.0597	
BUCKET				6	5912.4	78	454.8	0.01319	

- 주 : 1. 장착수량은 굴진시 CUTTER HEAD 에 장착되는 수량 (EA)  
 2. 굴진장은 소모수량에 대한 굴진장 (M)  
 3. 평균굴진장의 단위는 SET 당 굴진거리 (M/SET)  
 (여기서 SET 는 장착수량)  
 · CENTER CUTTER 1 SET ; 8EA  
 · OUTER CUTTER 1SET ; 28EA  
 · GUAGE CUTTER 1 SET ; 4EA  
 · SCRAPER 1 SET ; 6EA  
 · BUCKET 1 SET ; 6EA  
 4. M 당 소모수량이란 1M 굴진하는데 소모되는 PARTS 의 수량 (EA/M)