

# T B M 工 法의 適用

On the application for TBM

李 元 齊\*

O. J. Lee

## 1. 序 言

産業發達과 經濟成長이 加速化됨에 따라 國土의 效率的 活用, 環境保全 次元에서 地下掘鑿을 통한 空間活用の 必要性이 世界적으로 增加하는 趨勢이다. 특히 都心地뿐 아니라 國家的 次元에서 直面하고 있는 交通難 解消을 위해 道路터널, 地下鐵, 高速電鐵 등의 地下交通路 建設이 활발히 進行되고 있다. 地下交通路 建設을 위한 터널掘鑿은 그 工法에 따라 周圍環境뿐 아니라 工事의 效率性 및 空洞의 安定性에도 지대한 影響을 招來한다. 따라서 이와 같은 影響을 最小로 하고 보다 經濟的이며 施工性, 安定性에서 유리한 터널掘鑿工法 開發을 위해 꾸준한 研究가 持續되어 왔다. 오늘날 全斷面 터널掘鑿機에 의한 터널 工法은 在來式 發破工法을 대신하여 全世界의 으로 널리 認定되어 普遍化되어 가고 있는 工法이라 할 수 있다. 날로 인상되고 있는 勞賃單價, 劣惡한 地下 作業現場 勤務를 忌避함으로 인하여 惹起되는 人力不足 등이 보다 進歩된 機械의 設計, 향상된 材料의 品質, 그로 인한 보다 우수한 機能을 가진 機械式 터널工法으로 발전하여 TBM(Tunnel Boring Machine)의 적용을 持續的으로 증가시켜 주고 있다.

本稿에서는 날로 深化되고 있는 都心地 및 地方

道の 交通難 解消을 위해 地下鐵建設, 道路터널 建設 및 設計가 着手된 高速電鐵 건설시 地下 岩盤掘鑿을 위한 터널工法중 최근 導入, 適用이 증가되어 가고 있는 機械的 掘鑿工法인 TBM工法에 대해 그 원리와 적용사례를 소개하고 향후 개선 또는 研究 開發하여야 할 方向 등에 대해 記述하고자 한다.

## 2. TBM工法

### 2.1 TBM工法 概要

TBM(Tunnel Boring Machine)은 재래식의 穿孔 및 發破를 반복하는 掘鑿工法과는 달리 自動화된 터널掘鑿 裝備로 터널전단면을 동시에 掘進해 나가는 掘鑿機械이다.

터널掘鑿공사는 手作業에 의해 岩石을 粉碎하는 일련의 機械的 過程, 산(황산, 염산 등)을 살포하여 부식시킨 후 굴착하던 化學的 過程을 거쳐 흑색 화약을 사용한 발파공법, 그후 1867년에 다이너마이트를 사용하여 굴착하는 방법으로 전환되어 왔다. 그러나 爆發性 화학에너지 放出과 가스膨脹에 의해 암반을 분쇄하는 방법이 도입되기 전에 이미 機械式 掘鑿방법, 즉 回轉하는 커터 헤드에 裝着된 끝 타입의 커터를 이용하여 軟岩을 掘鑿하는 기계적인 掘鑿방법이 이미 開發되었다는 것은 매우 높

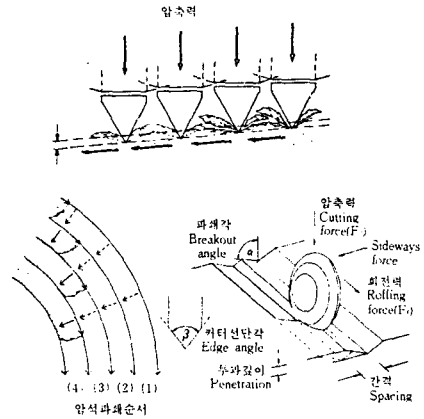
\* 韓國建設技術院

랄만한 일이라 하겠다. TBM의 實用化는 1881년 英佛海峽 터널의 調査坑 掘鑿에 사용코져 英國에서 최초로 시도된 이래 초기에는 비트(bit)의 回轉力을 이용한 切削式으로 개발되었으나 壓縮強度가 높고 磨耗性이 강한 岩質에는 適應力 및 經濟性이 뒤떨어졌다. 1960년대에 이르러 티스(teeth)형 및 乳頭形의 커터를 裝着하여 壓縮力 및 回轉力을 이용한 壓碎式 TBM이 개발되고 1966년 美國 Robbins사의 disc cutter개발, 1968년~1969년도에는 獨逸 Wirth사에 의해 생산된 TBM이 硬岩層(壓縮強度 2,500kg/cm<sup>2</sup>, 花崗岩, 片磨岩)터널 현장에 投入되는 등 그 能力을 發揮함으로써 터널 기술에 있어서의 劃期的인 轉機를 마련하게 되었다. 또한 斜坑에서의 TBM을 이용한 터널 掘鑿試圖(Wirth 특허번호 1931775)와 1970년대에 Wirth사가 최초로 적용한 擴大掘鑿方式은 이러한 기술의 廣範圍한 적용을 보다 進一步시켰다고 하겠다.

(1) 암석의 破碎原理

TBM의 掘鑿方法은 비트(bit)의 회전력(torque)을 이용한 切削式과 커터의 회전력과 압축력(thrust)를 혼합한 壓碎式 掘鑿방법으로 구분되는데 암쇄식은 주로 암석의 압축강도에 지배되며 절삭식은 압축강도외에 硬度에 支配된다. 현재 사용되는 TBM 커터는 土質에 따라 岩盤掘鑿인 경우 압쇄식(rotary type)을, 土砂 및 風化土 掘鑿인 경우 절삭식(shield-type)으로 대별한다. 암쇄식에 대해 좀더 詳細히 언급하면, 헤드(head) 前面에 裝착된 디스크 커터(disc cutter)에 壓縮을 가하여 回轉시키면 암석면은 龜裂이 발생, 破碎하게 된다. 이때 掘鑿面에 2~6°의 掘鑿角度를 주고 각 커터에 掘鑿順序를 두면 암면에 自由面이 形成되고 커터의 效率 및 掘鑿能力을 증대시켜 준다(그림 1 참조). 암석의 破碎 정도는 岩質과 TBM의 커터간격 및 透過깊이에 따라 결정되는데 경암일 경우 대체로 폭 60~80mm, 두께 10~50mm 정도로 破碎된

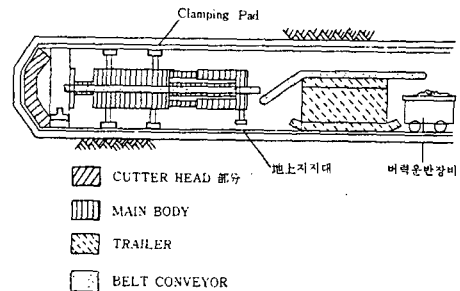
다. TBM의 掘鑿能力은 암석의 경우, 일축압축강도 500~2,000kg/cm<sup>2</sup>에서 優秀하며 限界는 3,500 kg/cm<sup>2</sup>정도로 推定되고 있다.



[그림 1] TBM에 의한 岩石破碎原理(壓碎式)

(2) 機械構造의 개요

TBM의 기계구조부는 크게 head부, body부, 後屬트레일러(trailer)부의 3부분으로 나눌 수 있다. head부는 터널掘鑿을 위한 cutter driving motor, 油壓실린더가 있고 body부는 cutter head를 돌리기 위한 發電室, 集塵器 등으로 構成되어 있으며 후속 trailer부는 버력處理 및 崩落處理 裝置로 構成되어 있다(그림 2 참조). 각 구조부의 구성을 살펴보면 다음과 같다.



[그림 2] TBM의 主要部分

① cutter head

- 最先端 部分으로서 前面에 커터가 配列 装着 되어 압착, 회전으로 암석을 파쇄
- 掘鑿된 암석은 scraper로 集積되어 bucket 에 投入됨

② main body

- 기계의 從方向으로 중앙부를 貫通하는 conveyor belt 장치 (cutter head bucket으로부터 掘鑿암석 運送)
- 커터 헤드의 회전을 위한 회전축, 커터 헤드의 前進作動을 위한 실린더 및 clamping pad 장치
- 掘鑿前進 작업시에는 clamping pad로 掘鑿된 터널壁面을 압착, 실린더의 전진력에 대해 강력한 支持反力 形成
- 기계 본체의 地上支持를 위한 支持臺

③ trailer

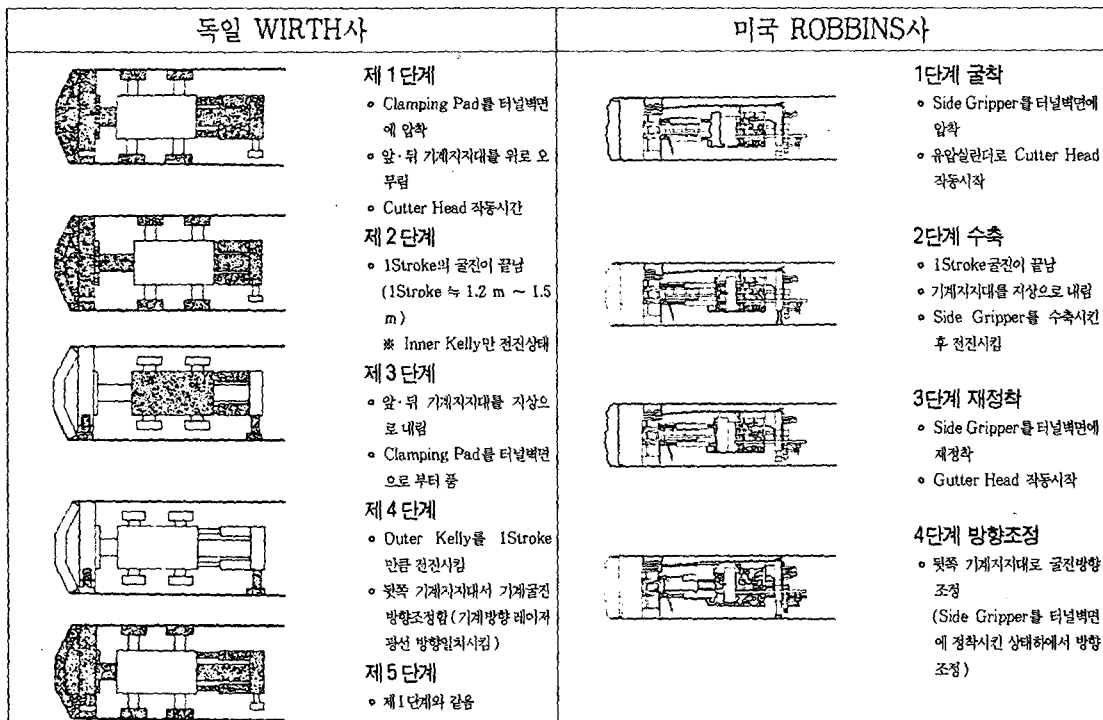
- 상부에 掘鑿암석 運送용 conveyor belt 搭載
- 내부에 cutter head와 기계 본체 驅動用 유압 펌프 및 設備積載

(3) TBM의 掘鑿順序

압쇄식의 掘鑿方法은 既掘鑿된 암면에 기계몸체를 지지대(clamp or gripper)로 固定시키고 전면 掘鑿 head를 推進, 回轉시켜 掘進한다. 굴진 완료후 지지대를 풀어 앞으로 고정시켜 反復作業을 하게 된다. 그림 3에는 掘鑿順序圖를 대표적인 制作會社인 독일 Wirth사와 미국 Robbins사로 구분하여 나타내었다.

(4) TBM性能의 豫測

TBM의 掘進性能은 純掘進率과 作業效率에 의해 결정된다. 주어진 암반 구조하에서의 순굴진율은 TBM의 기계적 特徵에 의해 決定될 수 있기 때문에 TBM 製造業體의 가장 큰



[그림 3] TBM掘鑿 順序圖

任務중의 하나는 순굴진율과稼動性을 높일 수 있도록 TBM을 設計하는 것이다. 또한 굴진시간 및 總 작업시간의 比率을 높여 效率을 높이는 것인데 이는 현장의 作業與件에 따라 크게 좌우된다.

### ① 純掘進率

순굴진율은 TBM의 성능을 판단하는 첫째 要因이 되는데 이것은 커터 헤드의 分當 回轉數(rpm)와 커터의 굴진 길이의 관계로 다음과 같이 算出할 수 있다.

$$V_n = P \cdot n \cdot 0.06(\text{m/hr})$$

P : 굴진길이, n : rpm

### ② 稼動率

全工程의 작업시간( $t_A$ )을 굴진시간으로 着做할 수는 없으며 再裝着時間, 커터點檢 및 交換時間, 維持補修 및 기타 기계停止 時間들을 減하여야 한다. 따라서 이때의 稼動率,  $\eta_a$ 는 다음과 같이 算出할 수 있다.

$$\eta_a = [1 - (t_r + t_c + t_m + t_o) / t_A] \times 100(\%)$$

여기서,

$t_r$  = 再裝着 時間

$t_c$  = 커터點檢 및 交換時間

$t_m$  = 維持補修 時間

$t_o$  = 其他 機械 停止時間

TBM의 稼動率 또한 TBM 性能을 判斷하는 基本要素가 되는데 이것은 기계의 설계와 깊은 관계가 있을 뿐 아니라 岩盤構造 및 作業現場 與件에 따라 影響을 받는다.

### ③ 作業效率

TBM의 性能을 測定하는 두번째 요인은 作業效率이다. 이것은 TBM의 稼動率에도 影響을 받지만 그것보다는 岩盤構造와 現場條件에 의해 결정된다. 만일 TBM이 같은 稼動率에 의해 계속 굴진될 경

우 作業效率은 TBM 가동율과 一致한다고 할 수 있다. 그러나 실제로는 다음과 같은 追加的인 要因들에 의해 기계가 정지되는 시간( $t_B$ )만큼 감소한다.

- 터널壁面 補強作業(라이닝)

- 壁面 破碎帶

- 資材供給 및 버력處理

- 作業者의 未熟

그러므로 TBM 作業效率은 TBM 稼動率에서 上記 追加要因을 除去하여 다음과 같이 算出할 수 있다.

$$\eta_v = \eta_a - \frac{t_B}{t_A}(\%)$$

## 2.2 터널工法 比較

일반적으로 터널工法으로는, 周邊岩盤에 작용하는 荷重을 主支保인 鋼支保材와 콘크리트 라이닝을 補助支保체로 活用하여 支持하는 在來式 工法인 ASS(American Steel Support Method), 터널의 構成體인 주변암반 자체를 주지보로 活用하고 슛크리트 및 록볼트를 補助支保體로 使用하는 NATM(New Austrian Tunneling Method), 地中に 竪드를 推進시켜 掘鑿터널의 주변지반을 維持하면서 掘鑿 및 履工을 동시에 수행하여 構築하는 Shield工法, 그리고 TBM工法으로 분류할 수 있다. 發破가 적용되는 工法은 암반으로 分類되는 거의 모든 곳에 適用이 가능하지만 아무리 適正한 發破를 실시하더라도 發破工法의 固有한 特性이라 할 수 있는 餘掘現狀을 피할 수 없는 短點을 지니고 있다.

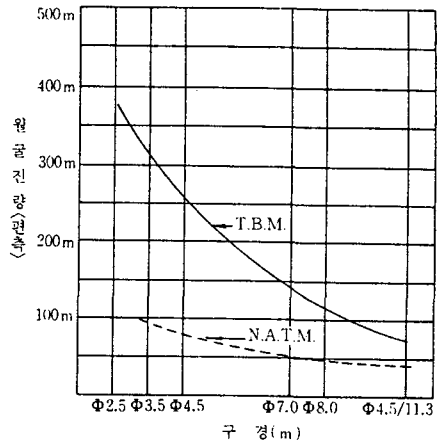
표1에서 각 工法에 대한 比較 內容을 圖表로 나타내었으며 그림 4 및 5에는 굴진량과 미터당 工事費를 현재 가장 널리 적용되고 있는 NATM공법과 비교, 도시하여 TBM 工法적용시의 施工性, 經

濟性を 나타내고 있다.

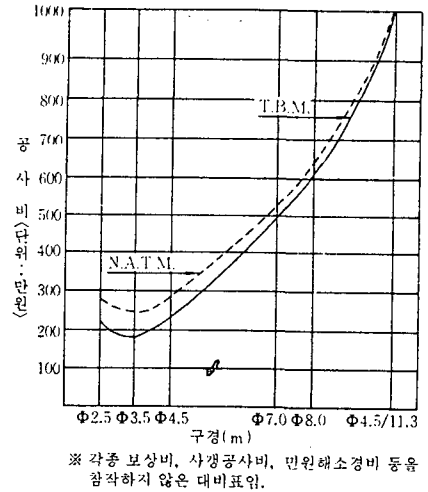
TBM工法은 前述한 表1의 내용과 다음에 언급하는 주요 長點외에 몇가지 制約要因에 따른 工法適用上의 問題點, 施工時 考慮해야 할 事項이 있어 이를 記述하면 다음과 같다.

〈표 1〉 터널工法 比較

區分/工法	A.S.S.M.	N.A.T.M.	T.B.M
굴압 質狀 방掘 법	硬岩 前단면 掘鑿 普通岩 前단면 상하반 掘鑿 軟岩 상하반 掘鑿	전단면 掘鑿 전단면 상하반 掘鑿 상하부, Bench cut	전단면 掘鑿 전단면 掘鑿 전단면 掘鑿
방掘 工程	1. 穿孔 및 發破 2. 버력처리 3. 강제지보공 설치  * 掘鑿工程 단순	1. 穿孔 및 發破 2. 버력처리 3. shotcrete 타설 4. rock-bolt 설치 5. 강제지보공 설치  * 掘鑿工程 복잡	1. 掘鑿 및 버력처리   * 掘鑿工程 단순
굴 진 속 도 ( m/일)	3-5m/일 75-125m/월	3-4m/일 75-100m/월	10-14m/일 250-350m/월
굴 진 능 력 ( m/일)	5 이하	2-3m/일	5-8m/일
	5-7m	50-75m/월	50-75m/월
	7m 이상	1-1.5m/일	1-2m/일
단면 및 시 선형유지	非精密	非精密	精 密
岩盤의 弛緩領域	0.0-1.3m	0.3-0.7m	0.0-0.3m
餘 掘	20-30cm	12-15cm	0
성 버력처리	大小岩 混成으로 運 搬效率 低下	대소암 혼성으로 운 반능률 저하	Ø8cm의 骨材狀態로 운반능률 向上
안 전 성	낙반 및 發破에 대한 주변 안전시설 및 대 책강구	좌 동	機械掘鑿으로 각종 민원 및 보상분쟁 最 소화 가능
	작업환경	穿孔粉塵 및 發破가 스로 작업환경 불량	
경 주 변 성	發破活動과 騒音등으 로 건물, 지하매설물 의 損傷 및 각종 公害 로 民願과 補償紛爭 頻頻		
	施 工 例	* 도수터널다수 * 지하철 다수 * 공동구 다수 * 도로터널다수	좌 동



[그림 4] 터널掘進量 比較



[그림 5] 터널工事費 比較(미터當)

○ TBM工法の 長點

① 掘進速度가 發破工法에 비하여 월등히 빠르며 특히 중간에 作業坑을 설치하기 곤란한 長大터널의 경우에는 顯著한 工期 短縮效果를 가져올 수 있다.

② 設計 尺寸대로의 掘鑿이 가능하며 發破에 의

한 굴진시 必然的으로 발생하는 餘掘을 최소화 할 수 있다. TBM에 의한 掘鑿面은 요철이 수 mm이 내의 平坦한 단면이므로 여굴에 의한 掘鑿面の 요철에 작용하는 應力集中을 방지할 수 있으며 특히 콘크리트 라이닝을 施工하여야 하는 경우 餘掘量的 減少는 공사비에 많은 影響을 미친다.

③ 發破로 인한 安全事故 및 有害가스, 粉塵, 騒音 등의 발생을 막을 수 있어 양호한 작업환경을 確保할 수 있을 뿐 아니라 隣近地域의 被害를 최소화시켜 민원발생의 여지가 적다.

④ 대부분의 굴진이 器機에 의하는바 인력사용을 최소화함으로써 勞務費 切感 및 勞動 災害要因을 減少시킬 수 있다.

#### ○ TBM工法 適用上の 問題點

TBM工法은 일반 發破工法과 비교하여 빠른 속도와 火藥을 사용하지 않는 등 여러가지 利點이 있지만 그에 못지않게 여러가지 地質的, 器機的 制約要因이 있다.

#### ① 地質條件 및 脂質調査 :

모든 터널공사에 있어서의 지질조사의 필요성은 再論할 여지가 없겠으나 TBM工法은 發破工法에 비하여 특히 岩質構造에 의한 制約을 많이 받기 때문에 地質調査의 重要性이 강조되고 있으며 이는 주로 極硬岩에서는 작업효율이 떨어져 發破工法에 비하여 非經濟的일 수 있으며 斷層破碎帶나 軟弱地盤에서는 TBM에 의한 굴진작업이 困難하게 된다.

일반적으로 壓縮強盜 3,000kg/cm<sup>2</sup>이상의 극경압 지대에서는 TBM에 의한 掘進을 無理가 있는 것으로 알려져 있으며 또한 大規模의 단층 파쇄대나 연약지반, 膨脹性 地盤을 통과하거나 대량의 湧出水가 있는 경우에는 터널막장에 重量 수백톤의 TBM이 위치하고 있어 현장에서의 即刻的이고 效果的인 對處가 어렵게 된다.

② TBM은 掘鑿途中에 掘鑿斷面의 變경이 어렵

기 때문에 掘鑿에 制限을 받게 된다.

③ 굴진에 필요한 전작업이 TBM 1대에 연결되어 작업되므로 地質的, 器機的 要因이나 裝備組合의 不均衡등으로 인한 稼動率 低下시 장비의 대처 등 기타 多角的인 대처에 어려운 문제점이 있다.

④ TBM은 장비가 高價이고 단면의 形狀과 크기가 個個 장비에만 局限되기 때문에 裝備의 活用이 제한을 받을 뿐 아니라 掘鑿단면에 불필요한 공간(dead space)이 커질 우려가 있어 他裝備에 비하여 經濟性이 떨어지거나 제작에 필요한 시일이 오래 걸린 등 初期投資가 크다.

⑤ TBM의 bit와 cutter형식은 어느 特定한 岩種에만 적합하게 注文制作되기 때문에 不均質한 암층이나 지질상태 변화가甚한 지층에서는 作業能率이 급격히 低下되는가 굴진이 불가능한 경우까지 惹起될 수 있으므로 장비 선택에 있어 많은 危險負擔이 따르게 된다.

⑥ TBM은 高壓電力 사용에 따른 대용량 動力設備, 중량물 운반을 위한 道路確保, 배수를 위한 沈澱設備 등 發破工法에 비하여 대규모 공사용 假設備 施設이 필요하게 된다.

#### ○ 施工時 考慮事項

掘鑿에 있어서는 經濟的이고 能率的으로 하기 위하여 암석 試料試驗의 成果를 충분히 검토한 다음 커터의 種類選定과 커터의 配置, 커터헤드의 회전수, 커터헤드의 推力 등을 設定하여야 한다. 또한 掘鑿時의 회전수, 추력에 대해서는 進行狀況, 電力消費量 등을 勘案하여 지질에 대한 최적값을 찾아내도록 하여야 한다.

또 TBM으로 掘鑿하는 지질은 일반적으로 안정되어 있으나 強度, 硬度, 갈라진 틈의 미묘한 변화 또는 部分的인 不良 地質區間의 존재로 인하여 흔히 蛇行이나 機械의 回轉이 생기는 수가 있다. 그래서 회전은 作業性을 깨뜨리고 사행은 餘掘로 발전되

어 만족스럽지 못한 作業結果를 招來하게 된다.

不良區間에 있어서의 사행의 원인은 지반의 支持力 不足에 의한 기계의 自體沈下 또는 그립프슈 (grip shoe)의 坑壁으로 파고듬에 따른 推進反力의 부족 등 때문에 操舵性を 잃게 된다. 따라서 사행, 기계의 회전을 방지하기 위해서는 綿密한 推進管理를 행하고, 불량 지질구간에서는 필요에 따라 地盤注入에 의하여 地盤強化를 하거나 불량 지질구간에만 在來工法을 採用하는 등의 대책을 행할 必要가 있다.

또 維持管理는 레이저트랜시트(laser transit)에 의하여 행하는 事例가 많으나 이 裝置는 連續掘進을 위한 장비이므로 坑內測量은 별도로 실시하여야 한다. 또 TBM은 掘進速度가 중요하기 때문에 굴진속도와 均衡이 맞도록 充分한 버력처리 설비를 計劃할 必要가 있다.

굴진시에는 粉塵發生, 막장근처의 溫度上昇이 생기기므로 막장에 물을 噴射하고 換氣容量을 맞추도록 충분한 대책을 講究해야 한다.

### 2.3 國內 施工事例

국내에서는 1983년 TBM에 대한 事業性 및 技術性이 檢討되고 1985년 건설부의 TBM工法 채택, 推薦 등의 과정을 거쳐 1985년 처음으로 西獨 Wirth사 장비가 導入되면서 그 적용이 시작된 후 工法의 國內 定着과 施工方法 改善, 機械化 施工에 의한 능력향상 및 개발 등을 위해 꾸준한 研究와 함께 現場適用이 점차 증가하는 趨勢에 있다.

표2에서 국내 J건설회사에서 시공한 바 있는 TBM工法 適用事例中 一部를 圖表化하였다.

그리고 남산 쌍굴터널, 서울 지하철 건설 등(J건설)과, 蔚山 工業用水施設 導入터널(Y건설), 주암댐 開通 上水道工事(D공사)등 TBM을 이용한 터널시공이 점점 늘어나고 있다.

〈표 2〉 TBM工法 適用事例

구분/공사명	부산 구덕수로터널	부산 지하철전선	주암댐 도수터널
공기공사기간	1985. 10-1986. 5	1985. 10-1987. 7	1986. 12-1990. 12
공사규모	φ4.5m, L 2,238m	φ7.0m, L 1,835m	φ4.5m, L 8,594m
개지질	용회암, 안산암	안산암, 풍화안산암	편마암, 화강편마암
요구	q <sub>n</sub> =770~3,300kg/cm <sup>2</sup> (평균 2,000kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>n</sub> =300~1,500kg/cm <sup>2</sup> (평균 820kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>n</sub> =940~1,700kg/cm <sup>2</sup> (평균 1,350kg/cm <sup>2</sup> )
굴착	연평균 9.2m 굴진거리 (최대 23.2m)	5.4m	9.7m (최대 29m)
실시	월평균 248m	122m	245m
적용	굴진거리 (최대 356m) T B M 34% 가동율	(최대 173m) 23%	(최대 440m) 가동율 32%
적용성	전체 공사기간 1년 단축 인구밀집지역의 주민, 가옥에 대한 민원발생, 훼손, 보상 등을 사전 해소	공사기간중 도로교통 체증 예방 발파진동, 소음공해 및 건물파괴등 민원에 대한 보상 최소화	사행, 진입로 불필요에 따른 자연훼손 감소, 공사에 걸림 재래식 기준으로 공사기간 1년 단축 인접 사찰과의 민원 해소

### 3. 研究開發 方向

최근 국제터널협회(ITA)의 統計資料에 의하면 오늘날 일본, 미국, 오스트리아, 이탈리아 및 독일 등지에서 시공된 터널중 30% 정도가 機械式 方法인 TBM에 의하 掘鑿되고 있다. 이러한 國外 및 國內 施工現況을 考慮할 때 향후 국내에서의 TBM 시공현장 증가와 더불어 施工經驗을 토대로 한 施工方法 改善, 掘進能力向上, 經濟性 增大 등을 목표로 지속적인 研究開發이 要求된다.

일반적으로 기계식 掘鑿工法을 적용할 경우에는 地盤條件에 적합한 工法을 선택하는 것이 중요하므로 精密한 地盤調査를 통하여 事典에 지반상태를 정확하게 파악, 保存하여야 한다. 특히 TBM시공 시 作業效率, 經濟性 등은 지반조사 결과와 直結되므로 사전 詳細調査에 의한 시공 및 시공자료의 蓄積을 통하여 향후 施工效率를 증대시키기 위해서 高強度 커터의 개발이 필요하며 輸入에 依存하고

있는 現實性에 비추어 국내 개발이 시급히 요청된다. 아울러 시공중 커터 檢査, 커터 交換 등에 따른 遲滯時間을 감소시키고 稼動率, 掘進性能을 向上시키기 위해서 커터의 磨耗率 試驗分析이 뒤따라야 할 것이다.

한편 岩盤 掘鑿途中 軟弱地層이나 破碎帶, 不安定 地層 등 惡條件에 직면하는 경우가 발생할 수 있으므로 이에 따른 掘進率 低下를 防止할 수 있는 시공방법에 대한 연구가 요구되며 특히 市街地에서의 시공시에는 交通滯症, 周邊環境, 民願 등 제한적 요소들을 감안한 掘鑿과 버력 시스템 講究가 要請된다.

#### 4. 結語

오늘날 국내의 建設與件은 눈부신 經濟成長과 더

불어 生活環境 改善을 요구하는 國民意識 水準의 향상에 副應하여 社會福祉 및 便益施設 擴充을 위한 道路, 鐵道 및 地下鐵 등의 交通施設과 각종 貯藏施設, 通信施設 등 建設사업이 急激히 推進되고 있으며 특히 대도시의 경우 地上에는 用地補償, 交通問題, 各種 民願 등의 제약 때문에 最近에는 터널 및 지하에의 건설로 급속히 轉換되고 있다.

TBM工法은 自動化된 機械 시스템을 가진 全断面 掘鑿工法으로서 漸進的인 開發과 施工技術의 향상이 뒷받침되면 市街地의 터널 掘鑿時 適切한 工法으로 판단되며 機械化됨에 따라 人力不足의 深刻한 문제점을 解消하는 次元뿐 아니라 날로 深化되는 交通難 解消을 위해 地下交通路 건설시 工事期間 短縮, 經濟的 施工側面에서 妥當性있는 시공방법이라 思料된다.

## 產 業 火 藥 界 略 史

1935年	倭帝下 興南에 火藥工場 設立
1950年	美國 Lee와 Akre共同으로 ANFO 特許
1952年	韓國火藥(株) 仁川工場 再建
1954年	許墳 Brun Cut工法 實用化實驗 於 上東鑛山
1956年 12月	美國 M.A. Cook와 加國 H.E. Farnam 共同으로 Slurry 特許
1962年 8月	日本 下村 ANFO實用化 公開實驗
1964年 6月 20日	許墳 國產 ANFO 製造 性能公開實驗 商工部 主催 於 始興 鑛山
1968年 2月	許墳 Al-ANFO製造 性能公開實驗 火藥協會主催 於富平鑛山(1969年 日本工業火藥協會 秋期大會 發表)
1968年	韓國火藥(株) ANFO 製造市販
1975年	日本 Slurry 製造市販 (美 Dupont 및 IRECO等과 技術提携)
1977年 11月	許墳 Slurry 製造性能公開實驗 建設協會, 洋灰協會, 石炭協會 鑛業會共同主催 於天寶鑛山
1980年 12月 30日	爆藥年消費量 21,237T中 ANFO가 6,363T(30% 占有)
1980年 12月	許墳 申甲徹 Gurit使用 Smooth 工法實用化實驗 於 서울地下鐵 및 K-1 貯油場
1981年 1月 10日	銃砲刀劍 火藥類 團東法改正 公布 Slurry(含水爆藥)追加
1981年 5月 24日	韓國火藥(株) Slurry 및 Finnex製造市販
1981年 6月 27日	許墳 Burn Cut 實用化實驗 於 서울地下鐵 324工區