

# 國內 터널工事에서의 T.B.M (Tunnel Boring Machine)에 의한 技術革新

(Technical Renovation by T.B.M(Tunnel Boring Machine)  
in Domestic Tunnel Projects)

禹 光 國\*  
Woo,Kwang Kuk

## 1. 序 論

大望의 2000年代를 맞이하면서 政治, 經濟, 社會, 文化等 모든 分野에서 國內外的으로 많은 變化가 우리에게 닥쳐올 것으로 豫測된다.

對內的으로는 多様な 國民的 欲求가 높아지고 이를 充足시키기 爲해서는 國土의 어떠한 地域에서도 餘裕있고 安樂한 生活이 保障되도록 社會基盤施設을 擴充하고 整備해 나가는 것이 무엇보다도 重要한 課題라 하겠다.

對外的으로는 世界的인 開放霧圍氣에 便乘하여 國內建設市場 開放化의 壓力이 加速될 것으로 豫測되며, 建設市場은 技術開發과 新技術의 實用化가 가장 重要한 課題라 하겠다.

## 2. 터널工事에서의 T.B.M의 必要性

最近 產業文化의 飛躍的인 發展과 보다 좋은 生活環境에로의 國民的 要求는 劃期的인 道路, 鐵道, 地下鐵 等 交通網의 整備가 必要하게 되고 더욱이 給排水, 發電水力, 電力通信溝 等の 建設이 增大될 것으로 豫想된다.

또한 世界的인 傾向으로서, 人口의 都市集中은 地下鐵, 上下水道의 整備와 사람이 어느 目

的을 가지고 他地域으로 움직일때 本能的으로 가까운 길을 選擇하여 빠르고 安樂하게 行動하려는 本能的 欲望에 따라 더욱더 많은 터널을 必要로 하게 되어 全世界 各國은 터널 建設에 拍車를 加하고 있다.

그러나 터널은 建設費用이 많이 들고 또한 危險한 一面도 있지만 社會產業文化의 發展은 不可避하게 多數의 터널을 必要로 하고 있는 現實情이기도 하다.

建設工事中에서 터널 工事は 人力에 依存하는 比率이 他 建設工事보다 높아 建設人力難이 深化될 때에는 政府計劃事業의 蹉跌과 建設投資의 增大에 따라 人件費 上昇에 따른 터널 工事費의 上昇이 豫想되므로 이에 對한 適切한 對策樹立이 時急하다고 하겠다. 또한 우리나라 國民經濟의 高度成長에 따른 國民所得水準 向上으로 國民生活이 潤澤하여져, 레저 (Leisure)를 즐기는 風潮와 各界各層의 사람들이 自己欲求의 噴出을 하는 過程에서 일어나는 勞使紛糾 또는 勤勞者들이 거칠고 힘든 일과 危險作業을 忌避함으로써 建設現場에 新規人力 流入이 크게 줄어들고 있는데다 人力의 高齡化, 女性化로 能率低下까지 招來되고 있다.

國土開發研究院이 現在의 勞動人力供給構造가 存續된다는 前提下에 建設勞動人力 需給展

\* 安全管理技術士(建設安全·土木施工)·有元建設(株) 專務理事

望을 豫測한 資料에 따르면 建設人力의 不足現象은 技能工을 中心으로 갈수록 深化될 展望이다.

따라서 建設現場 勤勞者의 不足現象은 今後 勞動生産性을 大幅 向上시킨다고 하더라도 向後의 建設投資額의 上昇에 미루어보면 勤勞者의 確保는 相當한 困難이 豫想된다.

今後의 都市의 再開發, 高速道路 및 高速鐵道網의 整備에 따라 더욱더 많은 터널이 必要할 것을 生覺하면 터널 掘鑿技術은 보다 더 進歩發展이 要求되고, 보다 빠르게, 보다 싸게, 보다 安全하게 施工할 수 있는 機械化工法 즉, T.B.M 裝備導入과 普及을 시키는 일이 時急하다고 하겠다.

### 3. 在來工法에 對한 T.B.M 工法의 特徵

#### 1) 公害 對應性

發破에 依하여 터널을 掘鑿할 境遇 騒音과 振動이 問題가 되는 것이 많다. 市街地 附近이나 住宅地에 近接하여 施工하는 터널에서는 各種의 騒音 Shutter나 防音 Sheet가 開發되어 使用되고 있지만 가까운 距離의 條件下에서는 問題가 되고 있다. 따라서 TBM에 對한 期待는 크다.

TBM은 그 掘鑿方法, Mechanism 등으로 低騒音, 低振動性이므로 都市地域, 幹線道路下, 人口密集地 및 住宅地 附近에서는 環境制約條件(騒音, 振動 등)에 따라서 不可避하게 TBM을 採擇하는 境遇가 많다.

#### 2) 作業 環境 改善性

터널工事は 狹小한 地下空間과 作業막장의 移動에 따라, 人工的으로 維持되는 環境下에서 限定된 斷面內의 좁은 閉鎖性 環境과 地質의 變化 등으로 그 作業環境整備에는 限界가 있으므로 根本的인 技術改革 또는 工法이나 施工機械 등의 技術開發이 必要하다. TBM은 이러한 觀點에서 適切한 地盤을 選擇하여 使用한다면 優秀한 效果를 發揮할 수 있다고 生覺된다.

#### (1) 騒音

油壓鑿岩機 또는 騒音對策型의 機械等을 使用하면 어느 程度 騒音을 줄일 수 있지만 現在 工法으로서는 限界에 가까운 狀態라고 할 수 있다.

터널內에서는 音의 減衰가 적고 막장에서 坑口까지 豫想以上の 距離를 騒音이 傳播되므로 坑內의 作業員은 甚한 環境下에 長時間 露出되고 있다.

따라서 TBM에 依하면 이러한 騒音을 大幅的으로 줄일 수 있다.

#### (2) 粉 塵

터널 工事에서 作業員들의 塵肺 發生은 社會的 問題가 되고 있지만 TBM에 依하면 그 發生 粉塵이 적고 發生되더라도 쉽게 除去할 수 있으므로 그 作業 環境 改善性이 좋다.

#### 3) 力學的 安定性

터널 斷面形은 岩盤 및 構造力學的 安定性, 水理的, 經濟的 및 施工的 要素를 考慮하여 內空斷面 形狀을 決定하지만 圓形 또는 圓形에 가까운 馬蹄形 斷面이 岩盤 및 構造的 安定性이 뛰어난다.

따라서 TBM에 依한 施工은 圓形斷面이므로 發破에 依하여 掘鑿된 馬蹄形 斷面 또는 其他 斷面に 比하여 掘鑿에 依한 應力再配分에 依하여 發生되는 弛緩領域이 적다.

土被高, 岩盤強度 및 掘 斷面積의 크기에 따라 다르지만 一般的으로 TBM工法, NATM工法, 在來工法의 順으로 弛緩領域은 커지고 弛緩領域의 彈性係數値는 적어지는 傾向을 가지고 있다. 弛緩領域의 工法別 程度比率는 在來工法: NATM工法: TBM工法=4:2:1이다.

中小斷面 터널의 掘鑿壁面の 平滑性은 發破工法과 TBM工法과는 크게 다르다. 發破工法에서는 動的破壞의 影響을 크게 받는 凹凸狀態가 甚하다. 이에 比하여 TBM工法은 掘鑿 Mechanism 때문에 凹凸이 적고 平滑度가 높은 掘鑿壁面이 된다.

따라서 掘鑿에 依한 原地盤의 損傷이나 壁面

의凹凸에 의한應力集中現狀이 생기지 않아 適切한 支保材를 早期에 施工하면 壁面破壞를 防止할 수 있고 Shotcrete, Lining Concrete 等を 施工하면 構造的 安定화와 함께 水理的 平滑性을 얻을 수 있다.

#### 4) 水理的 特性

斷面積을 一定하게 할 境遇 周邊長이 最小가 되는 圓形이 水理的으로 가장 有利하다. 따라서 TBM工法은 圓形이므로 他 斷面과 比較하여 水理的으로 流量比가 가장 크다.

#### 5) 長大 터널에서의 經濟的 特性

터널 工事費는 岩盤條件 等の 設計諸條件과 함께 施工延長에 따른 換氣, 給氣, 給水, 給電, 排水設備 및 動力設備 等の 假設備 規模와 掘된 버럭搬出 等の 運搬時間 等に 따라 變化한다.

또한 施工을 爲한 假設備나 機械運搬等에 要하는 固定費的 初期投資가 一般的으로 다른 土木工事に 比하여 크므로 어느 程度以下의 施工延長에서는 工事費가 上昇하는 傾向을 가지고 있다.

TBM工法에서는 그 機械의 特徵이나 SYSTEM으로부터 動力設備나 濁水處理設備가 比較的 크게 되며 機械本體의 組立, 解體 및 運搬에 要하는 費用도 크게 되므로 施工延長이 어느 程度 以上이 되지 않으면 經濟的 MERIT가 없는 境遇가 있다.

터널 斷面に 따라 어느 程度 差異가 있지만 經濟性이 높은 合理的인 施工延長은 2~3KM 程度가 必要하며, 工期短縮의 效果와 Cost節減이 된다.

따라서 長大터널일수록 經濟的인 特性을 가지고 있다.

都市地域에서 公害對策 等を 目的으로 使用할 境遇는 그 對策에 要하는 區間 程度에 따라 延長에 의한 經濟的 特性도 크게 變化하므로 單純히 施工延長만 가지고 判斷하지 말고 綜合的 檢討가 必要하다.

## 4. TBM工法の 效果

### 1) 施工對象터널 擴大로 省力化, 省人化

TBM工法에 의한 터널 施工은 在來工法과 比較하여 一般的으로 急速施工性이 높고, 安全性, 經濟性이 優秀하여 省力化, 省人化를 圖謀할 수 있다.

더욱이 工法的으로 弛緩領域이 적고 掘鑿壁面의 平滑性으로 壓力集中이 적어 構造的으로 優秀하며, 水理的으로 가장 有利한 斷面인 點等의 利點이 있다.

따라서 TBM工法の 適用對象 터널은 水路터널 및 大斷面 터널의 導坑掘鑿에 TBM을 積極的으로 活用한다면 建設入力 不足現象에 對處할 수 있는 方案이 될 수 있다.

### 2) 公害防止

最近 建設工사로 인한 騒音, 振動 等に 對한 地域住民의 公害意識이 極히 敏感하여 市街地에서의 터널施工과 坑口附近 또는 土被가 얇은 場所에서 發破工法에 의한 騒音, 振動 等이 問題로 되고 있어 無發破工法 또는 制御發破工法 等으로 터널 掘鑿을 要求하는 境遇가 增加하고 있다.

TBM工法은 發破工法과 比較하여 住民, 家畜, 人家, 施設物, 構造物 等に 미치는 惡影響이 極히 적어 夜間의 施工도 큰 問題가 되지 않기 때문에 全體工期의 短縮도 可能하다.

發破工法에 의한 터널굴착에 따른 湧水增加로 雨물·農作物等에 對한 渴水問題에 對한 對策으로서 TBM工法이 活用될 수 있다.

또한 最近 都市地域의 擴大, 山岳地域의 都市化, 土地의 高度利用 등으로 水路터널 施工場所도 廣域化, 複雜化되고 있는 現實에서 TBM工法을 活用하면 公害防止의 對策이 될 수 있다.

### 3) 急速施工에 의한 工期短縮

小斷面, 長大터널을 建設하는 境遇에는 急速施工에 의한 工期短縮이 可能한 TBM工法이

他工法과 比較하여 施工上 有利하다. 特히 터널 部分의 工期가 全體工事의 工程上 Critical PATH가 되는 境遇에는 全體計劃에 크게 貢獻한다. 但, TBM工法의 經濟性과 急速施工의 特徵을 充分히 發揮하기 위한 施工延長으로서는 2~3KM 程度는 必要하기 때문에 計劃時 이러한 點을 重視하여 採用해야 한다. 施工條件과 地質條件 등이 맞다면 工期短縮과 工事費 節減에도 效果가 크다.

#### 4) 作業環境 改善으로 産業安全保健 및 勞動問題解決

TBM工法은 掘鑿에 火藥類를 使用하지 않기 때문에 發破作業에 따른 危險이 없고 火藥類의 取扱管理에 對한 勞力이 必要없다. 또한 掘에 依한 弛緩領域이 적으므로 崩落(Concrete), 落石, 落盤 등의 危險이 적어 安全性이 높다.

特히 小斷面 터널內의 作業環境은 複雜하게 되지만 在來工法과 比較한다면 機械化에 依한 作業標準化가 促進되며 또한 質적으로 向上된다. 坑內 粉塵問題에 對해서는 Belt Conveyor 方式은 막장面에 散水和 集塵機로 對處할 수 있지만 一方流體輸送方式에서는 JET Pump로 掘鑿된 버력을 搬送하므로 막장 粉塵을 吸入하기 때문에 坑內에서의 粉塵問題는 發生하지 않는다.

따라서 塵肺의 發生防止에 크게 도움이 된다.

또한 TBM工法은 比較的 빠른 掘鑿速度를 낼 수 있기 때문에 單位掘鑿量(M3, M)當 作業人員의 減少가 可能하게 되어 省力化가 되어 建設業界의 熟鍊技能工 不足, 勤勞者의 高齡化, 新規人力難 등의 한가지 解決手段이 되기 때문에 積極的인 TBM工法의 活用이 要望된다.

#### 5) 工事費의 節減

TBM工法의 特徵인 急速施工에 따른 工期短縮은 工事全體에 影響을 미치지만 그中에서도 가장 큰 것은 工事費의 節減이다.

그러나 TBM裝備費가 高價이며 初期投資費가 크므로 短區間 터널에서는 그 效果가 적기 때문에 他 터널로의 轉用 등에 對하여 計劃段階에 綜合的인 檢討가 必要하며, 檢討時 他 企業間과의 轉用도 考慮한다면 더욱 有利하다고 生覺한다.

또한 TBM 및 假設費 등의 掘鑿 以前에 輸送, 組立, 掘鑿終了後의 解體, 輸送 등을 考慮하면 短距離 터널에서는 TBM에 依한 經濟的 效果는 相當히 어렵다.

그러나 터널延長이 긴 境遇에 在來工法에서는 多數의 坑口를 設置하기 爲한 進入路 또는 Cable Crane 등이 必要하기 때문에 自然景觀毀損, 工事費의 增加 및 用地費의 增加가 豫想되지만 TBM工法에서는 이러한 것들을 省略할 수 있기 때문에 經濟的 效果를 거둘 수 있다.

## 5. 結 論

우리나라 國家 經濟의 發展과 社會生活水準 向上에 따른 都市의 再開發, 地下空間活用, 道路, 鐵道, 水路, 上下水道 등의 建設投資의 增大에 따라 長大터널, 河底터널, 既存 構造物, 建物에 近接하는 터널 建設이 增加될 것이 豫想됨에 따라 建設機能工의 勞賃上昇에 依한 터널工事費의 上昇, 勞動環境의 改善要求, 工事費 節減, 社會基盤施設建設의 工期短縮 必要性 등의 將來展望에 立脚하여 보면 T.B.M은 發展의 必然性을 가지고 있다.

앞으로 國土의 70%가 山岳地인 與件에서 그동안 쉬운 곳은 다하고 어려운 곳만 남아 있는 國內 터널工事に 있어서 建設技能工 不足難에 對한 對策이 될 수 있고 터널工事費 上昇抑制로 인한 國家豫算 節減效果와 國民의 公害防止 欲求 및 勤勞者의 勞動環境 改善欲求에 寄與할 수 있는 TBM의 積極的인 活用이 要望된다.