

日本 地中線 送電用 Tunnel의 現況과 展望

지난 5月21日 Under Tech Expo에서 請講했던 內容이다.

韓國電力(株)를 비롯한 施工業体技術者 100餘名이 參席하여 盛況을 이루었다.

桑 原 洋 *

1. 序言

『Shield 工法 이란 Shield라고 부르는 掘進機를 地中에 推進시켜 土砂의 崩壞를 防止하면서 그 內部에서 安全하게 掘鑿 作業을 行하면서 Tunnel을 構築하여 가는 工法』이라고 定義되어 있다. Shield 工法은 1818年 Mark Burnell에 의하여 考案되어 1825年 Thames Tunnel 工事中에 처음으로 採用되었다. 그 후 여러가지의 技術開發을 거쳐 歐洲 및 美國에서 널리 使用되어 오고 있다. 日本에서의 最初의 Shield 工事は 1919年の 鐵道 Tunnel이다. 이후 日本의 地質 特徵에 맞는 技術開發 이 行여져 日에 이르고 있으며 그 Level은 世界의 Top Level에 있다고 생각된다.

2 日本의 地質과 Shield 工法

關東 平野는 끊임없이 流하는 利根川, 荒川,

鬼怒川の 土砂에 의해 形成된 第4紀 沖積世(現代~1萬年前)의 平野이고, 工學的으로는 極히 Loose한 土砂 및 粘土層이 地表에 두껍게(0-50 m) 蓄積되어 있다. 그 下部에 第4紀 洪積世(1萬年前~180萬年前)의 堆積層이 700m의 두께로 堆積되어 있다. 그 下部에 第3紀의 沖積層이 泥岩이 基盤岩으로 分布되어 있다. 東京은 이 沖積平野에 交通의 便利性和 土地의 效用性을 찾아서 發達하여온 過密 都市이다. 다른 大都市 例를 들면 大阪 名古屋도 똑같다. 따라서 日本의 Shield 技術은 이 軟弱 地盤에 對處하기 위한 開發改良이 加하여져 왔다. 表-1에 日本에서 行하여지고 있는 Shield工法을 表示하나 上の 理由에 의해 現在는 開放型 Shield 工法은 거의 採用될 機會가 없고 大部分 密閉型 Shield 工法이 採用되고 있다.

* 東京電力(株) 送變電建設本部長

表-1

세계의 주요 전력 회사

事業者名	項目	國名	販賣電力量 (百萬Kwh)	發電設備 (千Kw)
1. EDF(France 電力公社)		France	427,700	97,500
2. 東京電力		日本	248,855	51,318
3. ENEL (Italy 電力)	(1)	Italy	205,100	54,357
4. Hydro, Quebec		Canada	158,166	30,435
5. 韓國電力		韓國	146,540	28,750
6. ESKOM	(2)	南Africa	143,800	39,746
7. 關西電力	(1)	日本	131,934	35,355
8. Ontario, Hydro		Canada	129,028	34,432
9. R. W. E. Energies (3)		German	123,570	25,960
10. TVE(Tennessee 溪谷開發公社)	(4)	America	122,574	25,913
11. 中部電力	(1)	日本	110,117	26,654
12. 臺灣電力		臺灣	98,561	20,983
13. National Power	(1)	England	92,300	20,243
14. Texas Utility's Electric		America	89,134	22,233
15. The Common Wealth of Edison		America	85,171	22,522

(注) (1)은 1995年3月31日, (2)는 1993年12月31日, (3)은 1994年6月30日 現在.
(4)는 1994年9月30日 現在.

表-2

Shield의 分類

前面的構造	形式	막장 安定 機構	掘鑿 機構	輸送機構	原理 와 特徵
Shield 前面 開放 型	手掘式	Hood 흙막이	人 力	Belt Con veyer~ 버럭 Truck	掘鑿을 人力으로 行하고 Belt Con- veyer등으로 排土한다. 土質의 상태에 따라 Hood 및 흙막이 등의 막장의 安定機構를 使用한다. 막장의 安定機 構를 설치하는 것이 일반적이다. 기 본적으로 막장이 자립하는 것이 필 요.
	半氣械 掘式	Hood 흙막이	人力+機械 (Rotary, Shovel, Back hoe, Screw)	Belt Con veyer~ 버럭 Truck	대부분의 掘鑿 및 積載에 따라 振動 機械를 使用한다. 막장의 安定機構는 手掘式과 같다. 기본적으로 막장이 自立하는 것이 필요.
	機 械 掘式	面板 Spoke	Cutter 回轉 Cutter 搖勤	Belt Con veyer~ 버럭 Truck	Shield Hood部에 Cutter Head가 있고 機械的으로 연속굴착 한다. 面板을 이용한 막장 安定기구를 설치하는 것이 一般적이다. 기본적으로 막장이 자립하는 것이 필요.

	前面的 構造	形式	막장 安定 機 構	掘鑿 機構	輸送機構	原理 와 特徵
Shield	前 部 分 開 放 型	Blind 式	Slit	推 進	Belt Con- veyer~ 버럭 Truck Belt Conveyer~ Pipe	Shield Hood部를 밀폐하고 그 일부에 조절가능한 土砂取出口를 설치하고 Shield 추진을 이용하여 굴착을 행한 다. 土砂取出口의 개폐를 행하고 土 砂의 排土抵抗을 조절하는 것에 막 장의 安定을 도모한다. 土砂가 Shield 추진에 塑性流動狀態로 되는 것이 필요.
						Screw Conveyer~ 버럭 Truck Belt Con- veyer~ Pipe
	密 閉 型	土壓式	(土壓) 掘鑿土+面板 掘鑿+Spoke	Cutter 回轉	掘鑿土砂의 塑性流動化를 촉진시키 는 添加材를 주입하면서 Cutter Head 등을 이용하여 土砂를 기계적으로 攪拌한다. 기타의 기구는 土壓 Shield 와 같다. 첨가재를 사용하기 때문에 적용가능한 토질범 위가 土壓 Shield 보다 넓다.	
		泥水式	泥水+面板 泥水+Spoke	Cutter 回轉	Pump~ Pipe	泥水에 소정의 압력을 주는것에 의 해 안정을 도모한다. 泥水を 순환시 켜 굴착토사의 流体輸送을 동시에 行한다. 굴착에서 泥水處理까지 全體 가 System化 되어 있다. 적용가능한 토질범위는 泥土壓 Shield와 거의 같 다.

3. 東京電力(株)의 基幹系 地中送電線의 建設

表-3에 世界 主要 建設會社의 販賣 電力量과 發電 設備를 表示한다. 東京電力은 日本列島의 1/10이나 人口, 電力量, 最大電力量, 總收入은 함께 全 100個社의 1/3의 차지하고 總收入은 5兆 ̶에 달하는 會社이다. France의 國營企業인 EDF에 다음가는 第2位의 規模의 民間企業이다. 東京電力(株)의 基幹系 地中送電線의 建設은 1960年에 始作하여 現在는 延長 4,635km에 달하고 있다. 더구나 都區內의 基幹系 地中送電線의 建設은 94%나 달하고 있다. 基幹系 地中送電線은 東京 都區部의 過密 供給을 깊어지고 있다. 現在는 500Kv地中線 工事を 開始하고 있다. 基幹系 地中送電量은 當初 直埋法, 開鑿工法 또는 開放型 Shield工法으로 施工되고 있으나 最近에는 거의

密閉型 Shield工法으로 施工되고 있다.

4. 日本에서의 Shield工法에 관한 技術開發의 展望

4.1 大斷面化, 斷面形의 多樣化

大斷面化의 指向은 다음의 必要性 또는 基盤 위에 成立하고 있다.

- ① 技術의 蓄積
- ② 都市의 過密化
- ③ 經濟性

斷面形의 多樣化의 指向은 다음의 必要性에 의하고 있다.

- ① 斷面의 最適化(2段式 Shield, 타원형 Shield)
- ② 開鑿工法의 省略(擴大 Shield, 地中切擴)

表-4에 大斷面化, 斷面多樣化의 課題와 將來 展望을 表示한다.

表-3 大團面化, 斷面多樣化의 課題와 將來展望

항 목	기술적 과제 (現狀에서의 문제점, 개선점등 포함)	기술개발의 래전망
大口徑Shield	<ul style="list-style-type: none"> • 막장의 安定의 確保 • 安全施工 및 省力化 	<ul style="list-style-type: none"> • 밀폐형 Shield의 막장 安定기구의 충실 • 자동화, Robot의 推進
복원형 Shield	<ul style="list-style-type: none"> • 占有面積의 축소 • 驛舍部 도로시설 등으로의 이용확대 	<ul style="list-style-type: none"> • 縱型復元形 Shield의 개발 • 3連 4連型Shield의 개발
확대 Shield	<ul style="list-style-type: none"> • 地山安定 處理工法의 생략 • 擴大斷面化狀의 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> • 밀폐형확대 Shield공법의 개발 • 확대단면형상 다양화

4-2 長距離化

長距離化의 指向은 다음의 必要性和 基盤위

에 의하고 있다. 東京灣 橫斷道路와 같은 海底洞道(基幹系送電線, Gas 導管 等)에는 尤호.

但, 장거리 掘鑿은 반드시 工事費 低減에는 寄與하지 않는다. 電力用 Tunnel 규모(內徑 3~4m)로 의 試算에 의하여 Cost面에서는 2~3km가 最適이다.

- ① 垂直坑 工事費의 節減
- ② 困難한 用地 確保 (垂直坑 用地의 省略)
- ③ 實績의 蓄積

表-5에 長距離化의 課題와 將來 展望을 表示한다.

표-4 장거리화의 문제점과 장래전망

項 目	기술적 과제 (現狀에서의 문제점 포함)	기술개발의 장래전망
高速施工	<ul style="list-style-type: none"> • 工期의 短縮, 工費의 低減 	<ul style="list-style-type: none"> • 掘進 및 Segment 조립의 동시시공 • Segment 조립, 掘鑿土搬出, 자기재 반입 등의 자동화
Shield의 耐久性	<ul style="list-style-type: none"> • Cutter Bit의 내구성 • Cutter 驅動部土砂 • Tale Seal의 내구성 	<ul style="list-style-type: none"> • 내마모성 재료의 개발, 선행Bit • 段差 Bit 등의 장치 • 내마모성 재료의 개발, 충전용 유지 주입 관리의 확립, 온도상승 방지용 Cooling裝置의 장치 • 내마모성 재료의 개발, 충전용 유지 주입관리 확립, 장치 段數增
部材의 교환	<ul style="list-style-type: none"> • Cutter Bit의 交換 • Tale Seal의 交換 	<ul style="list-style-type: none"> • 기계적 교환방법의 개발에 의한 地山안정처리 공법의 생략 • 긴급지수장치의 개발에 의한 地山안정처리 공법의 생략
複合地盤對策	<ul style="list-style-type: none"> • 막장의 安定 및 굴착기구 • 수송기구 • 覆工 	<ul style="list-style-type: none"> • 밀폐형 Shield의 적용토질 범위의 확대 • Pipe 수송의 효율화 • 합리적 복공구조의 채용(장소 打設 Lining공법의 부분채용 등)
地中接合	<ul style="list-style-type: none"> • 工期 短縮, 工費의 低減 	<ul style="list-style-type: none"> • 기계적적합 공법의 개발에 의한 進山안정처리 공법의 생략
測量法	<ul style="list-style-type: none"> • 測量誤差의 低減 	<ul style="list-style-type: none"> • Gyro Compass, 광과측거의 등의 채용 • 大深度高精度觀測孔用 Boring공법의 채용 지수방법의 개발

4-3 深層化

深層化의 指向은 다음의 必要性和 基盤위에 의하고 있다.

① 深層部の 輻輳

② 困難한 용지 確保(掘鑿承諾)

③ 技術의 蓄積

表-5 深層化의 課題와 將來展望을 表示한 다.

表-5

심층화의 과제와 장래 전망

항 목	기술적 과제 (現狀에서의 문제점, 개선점등 포함)	기술개발의 장래전망
지질조사법 구조	<ul style="list-style-type: none"> 淺層部에 비해 보다 3차원적인 지질 構造 地盤定數 및 지하수 정보의 파악 표준관입시험의 精度의 低下 	<ul style="list-style-type: none"> 지질구조의 탐사법에서는 전기검층, 속도검층, 방사능검층 및 Caliper검층이 地盤定數의 탐사에서는 孔內적하시험이 유망 孔暈, 深度補正量의 增大에 의한 構度의 低下 등의 해결
Shield	<ul style="list-style-type: none"> Cutter 驅動部 土砂 Seal의 止水性 Tale Seal의 止水性 	<ul style="list-style-type: none"> Rip Seal의 단수증, 온도상승용 Cooling장치가 필요 내마모성재료의 개발, 단수증, 충전재(油脂)의 주입관리 교환방법의 개량
覆工	<ul style="list-style-type: none"> 覆工에 작용하는 하중의 파악 Segment Seal材의 止水性 RCSegment의 止水性 	<ul style="list-style-type: none"> 실측, 실험 등의 겹쳐짐에 의한 하중의 명확화 水膨潤 Scale材의 사용이 주류가 될 것이다. 이를 위하여 Scale材의 두께, 幅, 체적 등의 설계 사상의 명확화, 접면압력의 파악 및 내구성의 평가법의 확립. Grout 孔 및 이음 金物을 필요로 하지 않는 구조(Scale內에서의 뒷채움 주입및 長Bolt방식 이음의 채움等)의 개발

4-4 施工의 自動化

施工의 自動化의 指向은 다음의 必要性和 基盤위에 이하고 있다.

- ① 작업효율의 향상
- ② 위험작업의 제거

③ 작업원의 부족

④ 기술의 축적

表-6에 施工의 自動化의 課題와 將來展望을 表示한다.

表-6

자동화의 과제와 장래전망

항 목	기술적 과제 現狀에서의 문제점, 개선점등 포함	기술개발의 장래전망
Segment 자동조립	<ul style="list-style-type: none"> • 위치제어와 Bolt의 체결기구의 간소화 • 全体 System의 완성 	<ul style="list-style-type: none"> • 자동조립을 용이하기 위한 Segment이음의 개발과 기준화 • Segment반입, 운반까지의 자동화
Shield의 자동제어	<ul style="list-style-type: none"> • 자동측량에 의한 위치, 姿勢의 검출과 Shield 방향제어 	<ul style="list-style-type: none"> • Laser, Gyro 또는 화상처리 등을 사용한 高構度位置 測定裝置의 도입 • Fuzzy이론, Karman Filter등을 사용한 Shield 방향제어 System의 도입
自動 버력 搬出裝置	<ul style="list-style-type: none"> • 국착토 수송기구의 자동화 	<ul style="list-style-type: none"> • 유체수송 방식 또는 압송방식에 의한 Pipe 수송으로서의 이행 • Truck 수송의 경우에는 운반, 반추까지의 자동화

4-5 低減

現在 日本에서는 모든 産業分野에서 價格破壞가 일어나고 있으나 Shield工事に 있어서도 똑같은 환경이다.

價格低減化의 指向은 다음의 環境理由에 의한다.

① 公共料金低減의 社會的 要請

② 國際化에 의한 都市開發의 必要性

表-7에 價格低減에 課題와 將來展望을 表示한다.

表-7

가격저감의 과제와 장래전망

항 목	기술적 과제 (現狀에서의 문제점개선점등 포함)	기술개발 장래전망
Segment	Concrete Segment의 寡占市場만 고침	<ul style="list-style-type: none"> • 제3기 기업의 참가, 외국산Segment 수입, 새로운 Type의 Segment의 개발
Shield機	自由市場의 形成	<ul style="list-style-type: none"> • 경쟁원리가 작용하도록 건설회사를 指導여분의 附屬品の 排除
發進 到達	막장의안정화 수밀성의 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 지반개량,약액주입 범위의 축소 절삭가능한 신소재의 개발에 의한 벽면의 구축

4-6 其他

(1) 좁은 道路를 利用하기 위한 急曲 Shield 機의 開發

(2) 礫質基盤에 대처하기 위한 礫對應 Shield 機의 開發

(3) 輻輳基盤을 有效하게 利用하기 위한 急

勾配 Shield機의 開發

(4) 垂直坑을 省略하는 地中接合 Shield機의 開發

ex) Mechanical Docking 工法
Docking Hood 工法