

日本 LINEAR實驗線 Tunnel 現場 One The Experimental Test of Lineair Tunnel

朴 正 柱*
Park. Jung-Ju

1. 序 言

서울 地下鐵은 1~4號線의 1期 地下鐵이 建設完了되어 運營中에 있고 현재 5~8號線의 2期 地下鐵을 建設中에 있다. 과거 地下鐵 터널은 일부하저구간을 제외하고는 대부분 排水型 터널로 設計, 施工되었으나 금번 6號線의 경우는 地下鐵 建設에 따른 地下水位 低下와 地반침하를 억제하고 地下鐵 運營의 長期的 效率性和 安全性을 提高하기 위하여 일부 논란에도 불구하고 경암구간에도 非排水 完全防水型 터널로 계획되고 있다. 이에 따라 完全防水型 터널의 設計 및 施工에 관한 日本의 技術現況을 조사하고 아울러 日本의 터널시공현장을 직접 방문하여 그들의 先進技術水準을 파악하기 위한 것이다. 찾아간 터널 현장은 21기형 초고속 交通수단으로 기대되는 超傳導 磁氣浮上式 鐵道(이하 Linear로 略稱)의 實驗線 구간으로서 터널 시공의 선진기술 뿐 아니라 최첨단의 技術開發 現場을 직접 견학할 수 있다는 점에서 더욱 큰 의미를 지니는 것으로 생각되었다. Linear의 원리에 대해 간략히 살펴본 후 Linear 實驗線 터널 現場의 訪問을 통해 수집된 設計, 施工關聯 技術資料를 소개하고자 한다.

2. 鐵建(株)의 現況

최근에는 Shield Segment를 사용하지 않고 현장에서 콘크리트를 타설하는 복공기술인 Ecl공법을 실용화하므로써 단가가 비싼 Segment대신 현장 직타 Lining공법을 추구하고 있는 회사이다.

鐵建(株)회사 연혁 및 개황

설립	1943年
자본금	191억 5,800만圓
본사	日本 東京 千代田區 三崎町 2-5-3
종업원수	2,487명(1992年 3月)
매출액	건축 1,459억, 7,200만圓
	토목 1,072억 7,400만圓

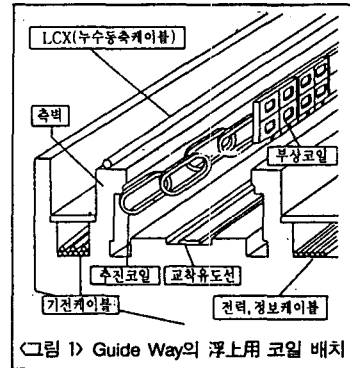
3. Linear의 原理 및 實驗線 概要

3-1) Linear의 一般原理

1) 강력한 磁力에 의한 浮上

지상 양측에 Guide Way를 설치하여 양측에 浮上用의 8자형 코일을 설치하고(그림1 참조), 차량 본체에도 강력한 자력을 갖는 超傳導 磁石을 부착한다.

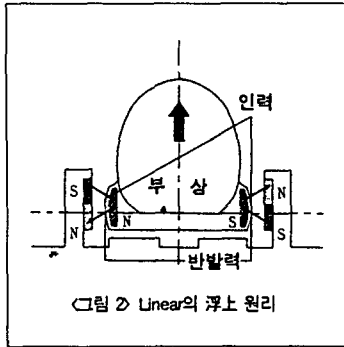
Guide Way의 코일은 차량의 超傳導 磁石이 가까워지면 전자 유도 작용에 의해 코일내에 전류가



유기되어 차량의 超傳導 磁石에 가까운 코일이 같은 극으로, 먼 쪽의 코일이 반대극으로 변화되

* 鮮京建設(株) 土木部門 常務

며 이에따라 相互 反撥力과 引力을 갖게되어 이 힘에 의해 열차는 10cm가량 浮上하게 된다.
(그림 2 참조)



◻림 2 Linear의 浮上 원리

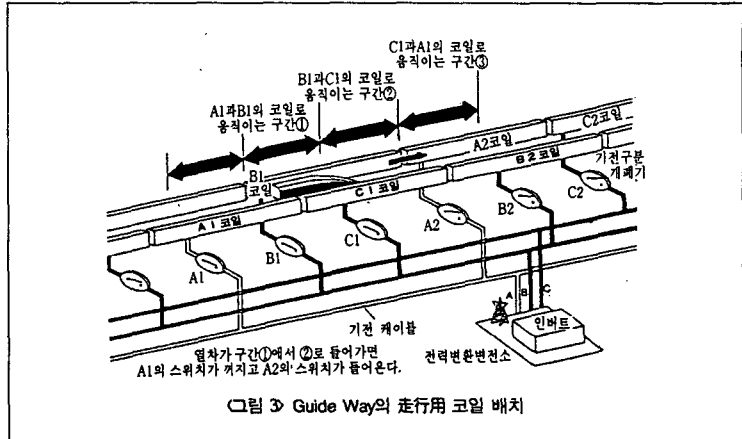
2) 磁石의 引力과 反撥力을 이용한 高速走行

Guide Way에 추진용 코일을 설치하고 이 코일의 N, S극은 열차가 주행함에 따라 순차적으로 변화되도록 하며, 차량본체의 초전도체 자석은 N, S극이 교차되게 배치되어 열차 주행시 변화하지 않도록 되어있다. 따라서 열차의 超電導 磁石에 대하여 바로 앞에 있는 Guide Way 코일은 다른 극으로, 바로뒤의 Guide Way 코일은 같은 극으로 변환되어 이때 발생하는 引力과 反撥力에 의해 車體가 앞으로 前進한다.
(그림3과 그림4 참조)

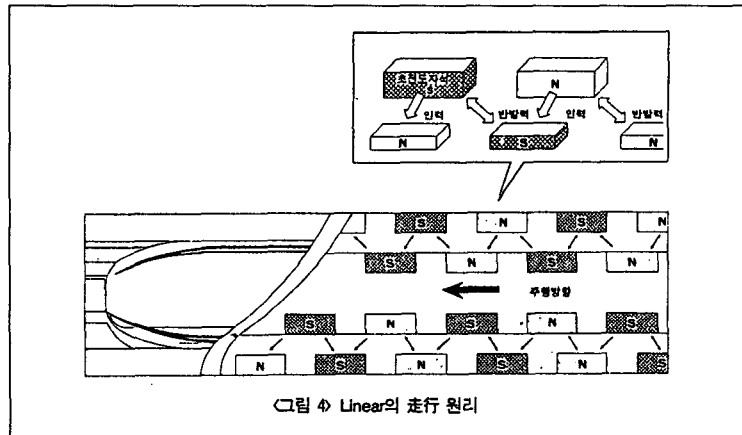
3) 超電導란?

어떠한 금속도 전류가 흐를때 抵抗, 즉 전류의 흐름을 방해하는 힘이 발생한다. 그러나 어떤 종류위 금속 중에는 온도가 -273°C (물질의 最低 溫度로서 절대 0°K)에 가까우면 전기저항이 사라지며 이것이 바로 超電導 현상이다. 超電導體는 전기저항이 없으므로 일단 흐르던 전류는 그림5와 같이 영구히 계속하여 흐른다. 또 열이나 빛등의 형태로 에너지가

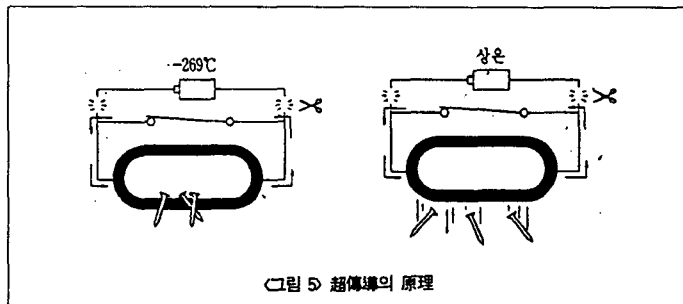
손실되지 않으므로 磁氣浮上 列車과 같이 강력한 磁力이 필요한 경우 대단히 유용한 기술이다.



◻림 3 Guide Way의 走行用 코일 배치



◻림 4 Linear의 走行 원리



◻림 5 超電導의 原理

3-2) Linear 實驗線 概要

21세기의 超高速 교통수단으로 개발중인 超電導 磁氣浮上 열차는 1961年 Linear Motor 추진 浮上式 철도의 연구를 개시하여 1986年 有人 2

량 편성에 400.8km/hr를 달성하므로써 본격적인 實驗線 사업에 착수하게 되었다.

工事が 진행중인 山梨 實驗線의 概要는 다음과 같다.(그림6 및 그림7 참조)

<ul style="list-style-type: none"> • 路線의 位置 山梨縣 東八代部 境川村을 기점으로 하여 同南部 留郡 秋山村을 종점으로 함
<ul style="list-style-type: none"> • 路線延長 : 42.8km
<ul style="list-style-type: none"> • 路線特性 - 최소곡률반경, R : 8,000m - 최급 구배 : 1,000분의 40 - 최소 케도중심간격 : 5.8m
<ul style="list-style-type: none"> • 工事期間(土木工事) : 1990.7~1997.3
<ul style="list-style-type: none"> • 工事費 : 약 3,040억円

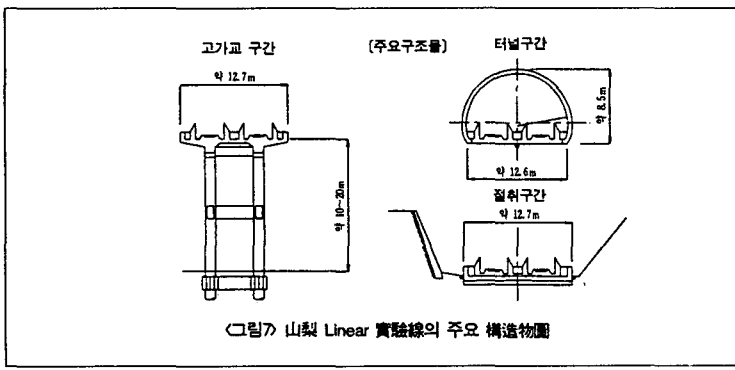
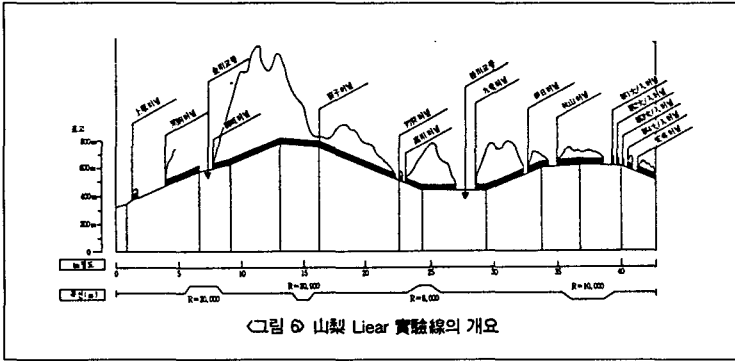
<ul style="list-style-type: none"> • 主要工事내역 - 터널 : 35km(노선연장의 81.8%) - 교량 및 기타 : 7.8km(노선연장의 18.2%) - 실험센터 : 1개소 - 연구소 : 2개소 - 차량기지 : 1개소
--

Linear 技術開發의 全體 計劃은 「技術開發 基本 計劃」에서 종합할수 있으며 금번 견학하게 된 山梨 實驗線에서 진행되는 「實用化 技術開發」과 국립연구소인 宮崎實驗室에서 진행하고 있는 「基礎 技術 開發」로 구분하여 계획이 진행되고 있다. 技術開發의 목표로서는 상업최고속도 500km/h를 달성하고 經濟性을 確保하는 것이다. 현재 土木

4. Linear 實驗線 笹子(西)터널 現場見學

總延長 42.8km인 山梨 Linear 實驗線은 약 82%인 35km가 터널이다. 이와같은 장대 터널 구간에서는 차량의 超高速 進入時 安全性을 확보할 수 있는 단면형태를 결정하고 터널내 기압의 변화와 이에 따른 차체의 영향을 파악하여야 한다. 또 보다 機械化, 省力化된 터널 施工法의 개발, 경제적이며 안전하면서도 工期를 단축할 수 있는 공법개발 등의 연구가 필요하다. 터널 및 교량의 건설을 단기간

에 省力化하여 실시하는 기술은 실제 노선건설시 유효하게 활용될 것이다. 이러한 山梨 實驗線中 금번 견학지점은 Change 16.610km 지점에서 시작되는 笹子 터널로 총연장 5,890m의 장대터널 중 鐵建建設(株)에서 1,990m를 시공중인 터널현장이다.



4-1) 工事概要

· 공사명	Linear 笹子 터널(西)
· 발주처	日本 鐵道建設公團 關東支社
· 현장위치	山梨縣 大月市 笹子町
· 공사기간	1991.2.7~1993.12.5
· 시공방법	
- 鐵建建設(株)	: 40%
- 日本國土開發(株)	: 25%
- 東急建設(株)	: 20%
- (株)大本組	: 15%
	→ 공동기업체
· 공사내용	
Linear 實驗線	건설공사에 수반하는
터널 신설공사	
- 본궤	: 1,990m (NATM)
- 횡궤	: 131.2m (NATM)
· 물량	
- 본궤 강지보	: 125H, 40基
- 횡궤 강지보	: 100H, 20基
- 복공콘크리트 A, B, C Type	: 1,990m
- 방수 Sheet A, B Type	: 1,990m
- Invert 콘크리트	: 40m
- 중앙배수관	: $\phi 300$, 40m
- 토사	: 176,000m ³

4-2) 地形 및 地質

笹子(西) 터널의 본 구간은 시점(횡궤)구간은 표고 750m에서 표고 1,000m에 달하는 험준한 산지가 연속하여 이어지고 있고, 종점부는 표고 620m 가량의 산악지형이다. 지질은 점판암(shale)을 주로 하여 부분적으로 사암이 협재하고 있으며, 점판암의 單軸壓縮強度는 1,000kg/cm² 가량으로서 비교적 경암이고 일부 단층 파쇄대가 예상되고 있으나 전반적으로 양호한 지반 조건으로 추정되고 있다.(그림8 참조)

4-3) 터널設計

超高速 鐵道에 있어 터널은 高速走行에 따른 터널내 압력 변동, 미기압과, 주행 저항 등의 空氣力學的 問題를 고려치 않을 수 없다. 이러한 影響을 가능한 최소화하기 위하여 차량과 터널의 斷面積比(차량단면적/터널단면적)를 적게하는 것이 좋으나, 그럴 경우 터널의 斷面積이 크게되어 非經濟的이 된다. 이에따라 實驗線 터널의 적정 단면적을 구하기 위한 이론적 검토를 수행하였고, 그 결과 本 實驗線에서는 터널의 斷面積比를 0.12로 결정하였으며 향후 走行試驗을 통하여 最適斷面의 크기를 확인하는 것으로 계획하였다.

본 구간의 터널은 排水式 馬蹄形으로서 A, B, C의 3개 Type으로 설계되었으며(그림9 참조) C Type은 Invert가 있고 강지보공이 포함된다.(표1 참조)

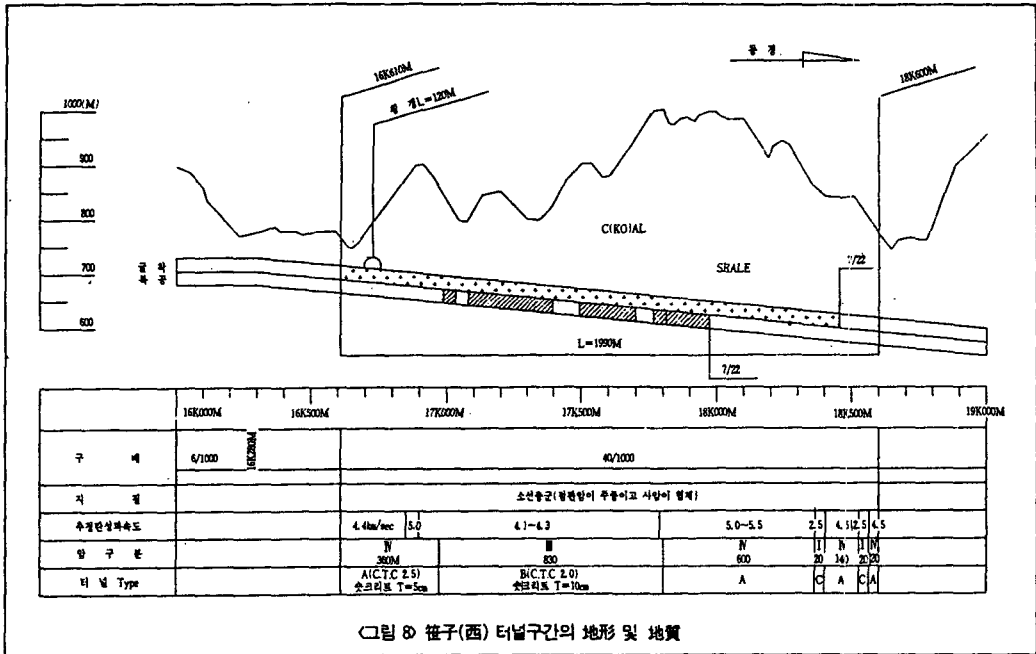
〈표 1〉 터널 Type별 굴착, 지보 Pattern

Type	터널굴 착단면 (M ²)	Shot crete (M ³)	Concrete Lining (M ³)	Invert Con crete	Rock Bolt	Steel Rib	추정단 성파속도 (km/s)	Remark
A	89.70	121 (t = 5cm)	7.48 (t = 3.0cm)	-	-	-	4.4 ~5.5	Lining Concrete 180kg/cm ³
B	89.70	2.42 (t = 10cm)	7.48 (t = 30cm)	-	$\ell = 3.0m$ $\phi 25\%$ 12本	-	4.1 ~4.3	"
C	93.60	3.85 (t = 15cm)	6.95 (t = 30cm)	14.16	$\ell = 3.0m$ $\phi 25\%$ 22本	H125 C.T.C =1.0m	2.5	"

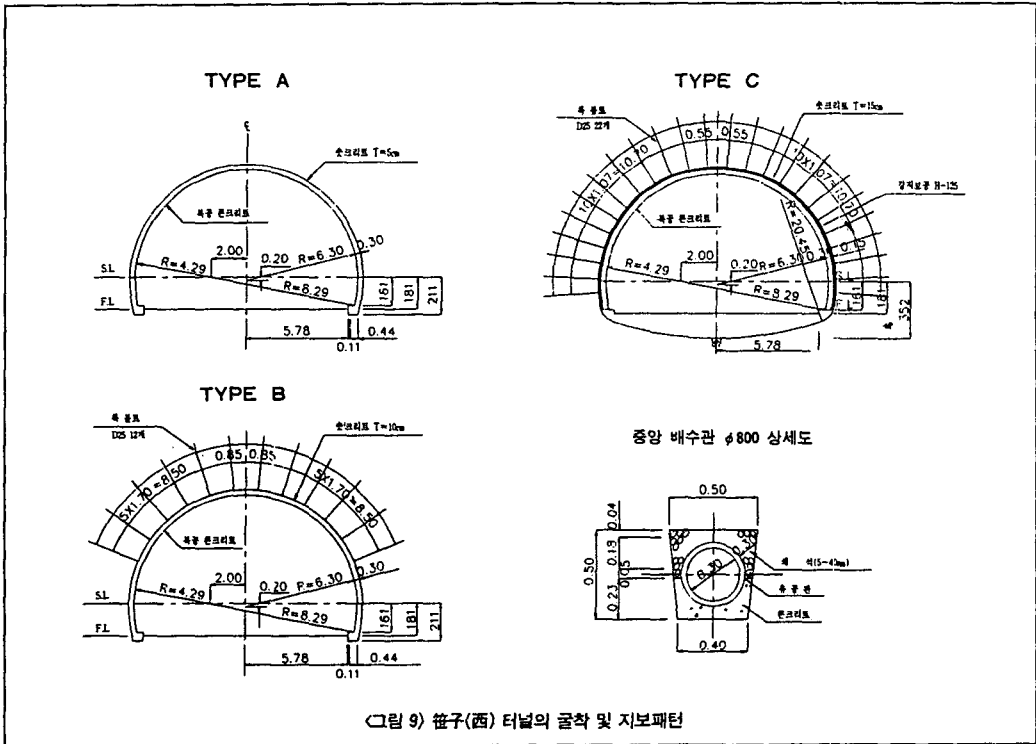
4-4) 터널施工

本 訪問 現場은 穿孔-發破에 의한 NATM공법으로 시공되고 있었으며 ① 掘鑿(穿孔 및 發破) ② 換氣 및 버럭처리 ③ S/T支保工 ④ Shotcrete 및 Rock Bolt 支保工이 동시에 체계적으로 진행하고, 적절한 거리의 後方에서 콘크리트 Lining타설이 이루어지고 있고 NATM의 이상적인 터널시공 방법을 보여주고 있었다.

특히 Lining Form을 토공 및 기타장비의 진출입에 지장을 받지 않도록 제작한 점과 Lining Form의 청소를 외부에서 시행할 수 없다는 점을



□림 8) 笮子(西) 터널구간의 地形 및 地質



□림 9) 笮子(西) 터널의 굴착 및 지보패턴

감안하여 Form의 철관을 Stainless로 하고 Form 외부를 자동청소할 수 있는 시설을 구비한 점은 특기할만한 사항이었다. 터널의 굴착은 93.7.23 현재 공구의 총연장 1,990m 중 1,830m가 굴착 완료되어 있었으며 월평균 작업일수 23일에 월평균 굴진장은 115m/월이지만 최대로 178m/월의 굴진능률을 보였다.

Lining 콘크리트는 레미콘을 구매하여 사용하고 있었으며, Shotcrete는 현장에서 Plant를 설치하여 운영하고 있었고 골재 보관상태, 배합설비 등이 전자동식으로 되어서 양질의 Shotcrete생산이 가능하였다. 이러한 Shotcrete의 시공 방법은 이제 막 국내에 적용되기 시작한 습식으로서, 로보트를 사용하여 능률적으로 시공중이었다.

또 安全守則 준수로 원활한 작업진행이 어렵다는 불평이 나올 정도로 安全施工에 대해 철저히 배려하고 있었으며, 다소 불편하더라도 서로의 안전과 공사의 궁극적인 완벽시공을 위하여 반드시 安全守則을 준수하여야 한다는 의식이 보편화되어 있다고 느꼈으며 이점은 우리도 하루 빨리 본받아야 할 점이라고 생각되었다.

5. 結 言

현재 한국에서 도입중에 있는 터널설계방식인

非排水式 터널은 日本에서도 이제 고려하여야 할 시점 정도로 인식하고 있으며, 수압이 과다하게 작용하는 일부 河底, 海底 터널의 경우 Pre-Grouting을 실시하여 지반의 透水 係數를 낮추고 이를 수압에 대응하는 지지 Ring으로 활용하는 기법을 사용하고 있다. 따라서 국내에서도 터널에 작용하는 수압의 처리방식이나 非排水 完全防水 터널설계에 있어서 이의 조기 도입으로 인한 비경제적 측면을 좀더 심도있게 검토해야 할 필요가 있다고 느꼈다. 또한 설계뿐 아니라 실제 施工上の 제반 여건과 기술적 문제점도 이와 관련하여 충분히 검토하여야 할 것으로 보이며, 아울러 향후 완공된 비배수 터널의 운영중 누수발생시 이에 대한 유지보수문제도 기술적 타당성 검토가 선행되어야 할 것으로 보인다.

금번 방문한 본 Project는 日本에서 최초로 수행되는 미래형 Project로서 2000년대에 세계 교통문화의 새로운 場을 열게 될 각종 첨단기술이 총동원되고 있었으며, 이제 막 시작되는 한국의 高速鐵道事業과 비교할 때 隔世之感을 느끼지 않을 수 없었다.

또 이러한 대형 Project에서 이제는 한 분야의 기술만 가지고 추진한다는 것은 불가능하고 土木 技術을 포함한 각종 분야의 첨단기술이 효율적으로 결집되어야 할 것이라 생각된다.