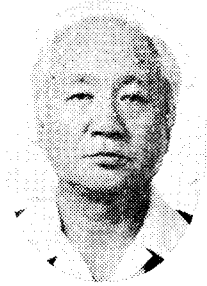


〈技術解説〉



浮上式 鐵道

一洋合同特許法律事務所
(社)韓國技術士會副會長

金 慶 植*

1. 日本 宮崎實驗線

지난 5月下旬 日本國九州의 宮崎(미야자키)에서, 지금은 없어진 옛中學校의 同期同窓會를 한 다하기에 가기로 했다.

늦게나마 日本國有鐵道の 자랑인 浮上式 鐵道の 實驗線이 宮崎에 있다는 것을 깨닫고 親舊인 前 日本國鐵의 常務理事였고 現在 某私鐵會社社長인 Y氏에게 便紙를 냈다. 일부러도 같것인데 마침 가는 길이니 現地의 適當한 사람을 紹介해 달라고 했더니 福岡(후쿠오카)으로 떠나기 바로 前日 回申이 왔다. 日本 國鐵本社를 통해서 連絡했으니 現地 所長을 찾으라고 했고 金慶植等 3名으로 하였다고 했다.

5月 28日(月曜日) 午前 7時30分 그地方 高校 校長을 停年退職한 S君等 3名이 택시를 탔다.

비가 오락가락 하는 날이라, 雨中에 물고물어서 9時20分에서나 美美津(미미즈)한 곳에 있는 「리니어·모타카」展望台란 곳에 到着했다. 택시 料金は 12,400円(엔)이었다.

接受에서 人事를 하고 짐을 맡기고 브리핑室로 가니 두분이 人事를 받는다. 명함을 보니

日本國有鐵道 下關工事局
宮崎 浮上式鐵道 實驗센터
副 所 長 佐佐木(拓二)
計劃科長 中 集(將文)

이라 적혀 있다.

8mm 필름映畫를 보고, 實物모델, 4名이 있는 運轉室 그리고 밖에 있는 實物을 보고, 멀리감치 He 冷凍施設(노우·하우)와 裝置를 보고 나서 다시 브리핑室로 와서 몇마디 물어보았다.

왜 實驗線 立地를 東京에서 그렇게도 멀리 떨어져 있는 이場所를 澤하게 되었는가 하니, 잘은 모르지만, 첫째 土地買入이 容易하고 廉價이고 둘째 周圍에 미치는 公害(騒音) 被害가 적고 셋째로는 크게 高低差가 없는 溫暖한 氣候때문 일것이란단다.

實驗센터 4名에는 中央制御裝置가 있는데, 이 裝置는 미리 設定된 走行曲線에 따라 實驗車가 走行하도록 走行中 時時刻刻 리니어·모타의 電流值를 計算하여 變電所에 指示하고 또 實驗車의 狀態를 끊임없이 監督하고 있는 것이었다.

이웃에 있는 變電所는 中央制御裝置에서 指示한 電流를 흐르게 하여 리니어·모타의 地上코일에 通電하고 있다. 이 電流는 實驗車의 建設에 비추어 周波數와 電壓을 變化시켜야 하니 特別高壓으로 受電한 電力은 周波數變換裝置및 電力變換裝置로서 必要한 形態로 變換되는 것이다 또한 電力의 흐름은 變電所 電力總括制御盤으로 監督하게 하고 있는 것이다.

그날은 實驗車 整備中이었다. 다음 날 實驗走行을 한다는 MLU-001型이 U形 가이드·웨이틀을 走行할때, U型통속 앞의 空氣를 밀면서 나

* 機械技術士(交通車輛)

가야하니 그 많은 空氣抵抗은 走行에 支障을 줄 것이 아닌가 하니, 空氣를 받아서 위로, 뒤로 보내게 한다는 것이다. 그렇다면 이것은 浮上한 車를 내려누를터인데 생각 하면서도 質問은 繼續하지는 않았다.

實驗센터에는 約 40 名의 에리트가 10 億圓/年의 經常費로 運營하고 있으며, 實驗車製作費 등은 本部費用에서 支拂된다 한다. 本實驗車 單體의 製作費는 約 10 億圓이라니 車長 1m 當 1 億圓이 든 셈이다.

芳名錄에 大韓民國 技術士 1 號 金慶植이라 署名하고 카탈로그 그밖의 額子에 들은 浮上車寫眞을 선물로 받아 나오면서 果然 이 車가 언제 實用化는 될 것인가, 實用化할 必要는 없는 것인지 하고 개운치 않은 心情으로 택시를 불러 이웃 鐵道驛인 日向(히우라)로 向했다.

2. 磁氣浮上車

在來의 車輪과 레일의 摩擦로 走行하는 鐵道는 實用上 300km/Hr 程度의 速度가 限界라 보고 있다. 그리고 高速運轉에서는 騒音振動이 큰 問題로 되어 있다.

그래서 各國에서는 超高速鐵道の 研究開發을 發展시키면서 2 輪의 軌道에 車輪으로서 支持되고 이 車輪으로서 粘着驅動되는 方式과는 틀리는 支持方式과 推進方式을 擇하는 陸上輸送機關을 模索하고 있는 것이다.

超高速鐵道の 開發에 있어 于先生覺되는 方式은 空氣浮上方式이다. 이 方式은 에어·쿠션(Air Cushion)으로서 車體를 軌道에 無接觸으로 支持하는 것으로서 호버크라프트(Hover-Craft)의 技術을 利用하고 있다. 主로 佛·英에서 開發이 進行되고 있다 한다.

그러나 리니어·모타(Linear motor)와 超電導磁石 등의 實用化가 進展됨에 따라 磁氣浮上方式이 浮上되고, 現在에서는 磁氣浮上方式이 超高速鐵道の 主流로 되어 研究開發이 進行되고 있는 實情이다.

磁氣浮上方式은 磁氣의 作用으로 生기는 힘으로 車體를 支持하는 方式으로서 原理의 相違로서 反發式, 吸引式 및 豫磁式으로 大別하고 있

다. (그림 1. 參照)

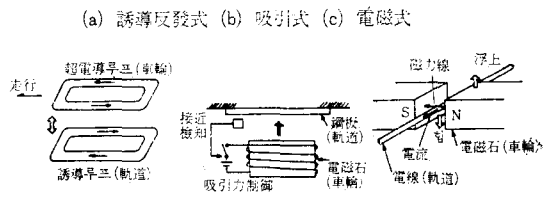


그림 1. 磁氣浮上式の 區分

反發式은 磁石의 同極끼리의 反發力을 支持力으로 하고 있으며, 磁石으로는 永久磁石을 使用하는 것이 가장 構造가 簡單하다.

그러나 超電導磁石이 實用化됨에 따라 現在는 超電導磁石을 使用하는 것으로 永久磁石이나 常電導磁石보다 強力한 磁界를 얻어지는 것을 利用한 誘導反發式이 研究開發되고 있다.

이 誘導反發式은 그림 1-(a)參照, 車上 쪽에 超電導磁石을, 軌道쪽에 非磁性 金屬板 또는 루프·코일(Loop coil)를 設置하고, 車上쪽의 超電導磁石이 走行通過할 때 非磁性金屬上에 誘導되는 渦電流를 利用하는 方式으로서, 走行中에 集電과 軌道쪽 磁石의 敷設이 必要없고 實用性이 높은 方式이라 보고 있다.

吸引式은 그림 1-(b)參照, 磁石의 鐵에 對한 吸引力을 利用하여 車體를 浮上시키는 方式으로서 軌道에 따라서 鐵레일을 敷設하고, 이 鐵레일 아래쪽에 車上쪽 磁石이 오게끔 構成하여 吸引力과 車體重量을 같게 되게끔 鐵레일과 磁石의 間隙을 유지하는 方式이다.

이 方式은 原理가 簡單하고 흔히 쓰이는 方式이나 鐵레일과 磁石과의 間隙이 작아지면 吸引力이 急激히 增大하는 性質때문에, 이 間隙變化에 따른 吸引力을 正確하게 制御해야 한다.

이때문에 吸引式에서는 一般的으로 車上에 電流制御가 可能한 常電導磁石을 設置해야 하니 集電裝置가 必要하고 또한 間隙檢知裝置와 電流制御裝置도 車上에 載置해야 한다.

또한 吸引力에서는 效率 좋게 浮上力을 얻기爲해서는 間隙을 작게 해야 하는데(一般的으로 10mm 程度), 이때문에 軌道の 鐵레일을 精密度가 좋은 것을 設置해야 한다는 것이 이 方式의 技術의 課題로 되고 있다.

電磁式은 그림 1-(c) 參照, 플레밍(Pleming)의 左手法則에 의한 電磁力, 即磁界中에 놓인 電流가 흐르는 導體가 받는 힘을 浮上力으로 利用하는 方式으로서 反發式의 1種이라고도 볼 수 있다.

一般的으로는 車上쪽에 界磁를, 軌道쪽에는 導電레일이라는 構成으로서 界磁를 發生시키는것은 常電導磁石 또는 超電導磁石을 使用하고 있다.

이方式의 特徵은 軌道쪽의 導電레일方向을 走行方向과 直角方向으로 變하게 하면 同期리니어·모타(Synchronous linear motor)로 되어 推力을 얻을 수 있다는 것이다.

磁氣浮上方式에 있어서 이것을 反發式吸引式, 및 電磁式으로 區分할 때, 最近 10年間 日本特許廳에 出願한 件數로 對比하면 그 比率은 3:6:1로 되고 있다 한다.

3. 日本國鐵의 超電導 磁氣浮上車

正確히 말하면 超電導 電磁誘導反發型 磁氣浮上車가 될것이다. 이것을 풀어서 說明하여 본다

가. 上下의 支持와 左右의 案内

車輻을 上下로 支持하기 爲해서는 前述한 바와 같이 電磁誘導現象으로 磁氣浮上시키고 있다

그리고 車輻을 左右로 案内하기 爲해서도 上下의 支持와 같이 磁石끼리의 反發力을 利用하고 있는데, 車輻이 左右 어느쪽으로나 變位하여도 가이드·웨이(Guide way) 中央으로 車輻이 되돌아 가게하는 作動을 하게하는 것이다.

即 車輻이 左右 어느쪽으로 쏠리면 車上의 磁石이 가까이 된 쪽의 地上코일과는 反發力이 또 車上의 磁石이 멀리 된 쪽의 地上코일과는 吸引力이 作動하여 어느쪽의 힘도 車輻의 쏠림을 되돌아 가게하는 힘이 되는 것이다. 이와 같은 接續을 날·플렉스接續이라 하고 있다.

나. 리니어·모타 推進의 原理

現在の 電車는 모타의 回轉을 기어로서 車輪에 傳達하고, 車輪이 回轉하면 車輪과 레일間의 摩擦로서 車輻이 進行하게 되는 것이다.

리니어·모타카는 리니어·신크로너스·모타

(Linear synchronous motor)를 使用하여 磁石의 吸引, 反發力으로서 非接觸으로 車輻을 推進시키고 있다.

普通의 同期모타(Synchronous motor)는 固定子卷線에 交流를 흘리는 것으로 生기는 電磁力으로서 中央의 磁石(回轉子)가 回轉하게 된다. 이 모타를 中央에서 잘라서 展開하여 直線狀으로 하여 固定子를 線路(가이드·웨이)上으로 길게 延長시킨 것이 線型 同期 모타(리니어·신크로너스·모타)인 것이다.

그러니 回轉子에 相當하는 磁石(車輻쪽)은 電磁力으로서 固定子(推進用 地上코일)에 따라서 直進하게 된다.

그러므로 推進用 地上코일에 흐르는 電流의 크기나 周波數를 變動시키는 것으로서 車輻의 建設, 加減速을 制御할 수 있게 된다.

다. 超電導 磁石

車輻에 積載하는 磁石은 가볍고, 強力하고 또한 走行中 電力을 供給하지 않아도 되는 永久磁石이라야 한다.

니오브티탄 등의 金屬을 -270°C 程度의 極低溫까지 冷却시키면 電氣抵抗이 0으로 되는 超電導現象을 나타낸다.

이와같은 金屬을 使用하여 만든 코일을 極低溫으로 하고 電氣를 흘리면, 電氣抵抗이 없으므로 큰 電流를 흘릴수도 있고 또한 電源의 遮斷해도 電流가 繼續흐르므로 普通의 電磁石 보다 強力한 磁石을 얻을 수 있다.

이와같은 極低溫을 維持하는데 液體헬륨(He, Helium) (-269°C)를 使用하고 있다.

4. 日本國鐵의 實驗車

가. ML-500型

逆T形 가이드·웨이로서 實驗車 ML-500는 1977年 7月 走行實驗을 開始했다. 그리고 77年 9月에는 112 km/Hr, 78年 3月에는 30/km/Hr, 78年 11月에는 347 km/Hr 등 除除히 建設을 올리면서 磁氣浮上特性, 推進案内特性, 超電導磁石特性, 電力供給特性, 情報傳送特性 등 基本性能을 確認하고 79年 3月에는 모의터널 走行實驗

79年 5月에는 He 冷凍機塔載의 走行實驗을 한후 79年 12月에 이르러 500km/Hr 를 突破하고 517 km/Hr 를 達成하였다.

車輛諸元은 表 1과 같고, 런닝·커브(Running Curve)는 그림 2와 같다.

表 1. ML-500 諸元

項目	方 式	諸 元
浮 上	超電導誘導反發 磁氣浮上	浮上力 10t 浮上높이 (코일中心間距離) 250mm 有効間隙 100mm
案 內	널·플럭스 磁氣 案內	案內力(50mm變位時) 5t 有効間隙 100mm
推 進	地上 1次兩側式 리니어·신크로 너스·모타	推力 4.4t 相數 3φ 周波數 0~34Hz 電壓 3,000V 電流 1,100A
브레이크	電氣 및 油壓 브레이크	常用 回生 2.6t 非常 發電 2.5t(피크) 緊急 機械 3.5t(平均)
制 御	패턴 制御 自動 走行	

平均加速度: 約 0.326g (11.57km/h/s)
平均減速度: 約 0.351g (12.38km/h/s)

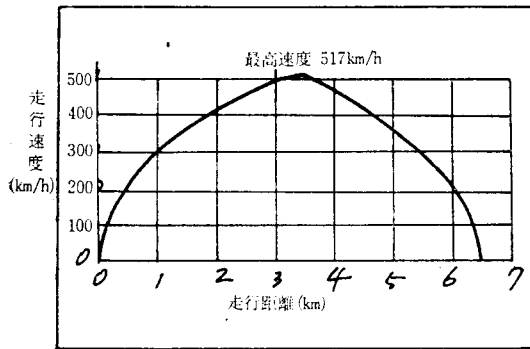


그림 2. Running curve

나. MLU-001型

1980年 11月부터 U形가이드·웨이에서 MLU-001型을 使用하여 走行實驗을 始作했다.

81年 4月에는 251 km/hr 로서 實驗하고 81年 11月에는 2輛連結하고 走行實驗을 했다. 82年 7月에는 305km/hr 를 達成하고 82年 9月부터는

有人走行實驗을 하고 82年 11月부터는 3輛連結 走行實驗을 하고 現在에 이르고 있다.

이 U形車輛의 諸之는 表 2와 같고 그 實驗車의 側面圖 및 斷面圖는 그림 3 및 그림 4와 같다.

表 2. MLU-001 諸元

方 式	諸 元
電磁誘導反發形 磁氣 支持	浮上力 10t/輛 有効間隙 約 100mm
電磁誘導形 磁氣案內 (널·플럭스式)	案內力 5t/輛 有効間隙 約 100mm
同期型 리니어·모타 (地上 1次式)	推力 0~5.2t 相數 3 周波數 0~34Hz 電壓 3000V 電流 1100A
電氣 및 油壓 브레이크	常用 回生 非常 發電 緊急 渦電流 停留 油壓
內 容	諸 元
最高速度	300~400km/h
車 體 (길이×너비×높이) (重量)	28.8m×3m×3.3m 約 10t/輛
超電導磁石 (起磁力) (冷却)	4極×2列/輛 700KAT/코일 車載形헬륨, 冷凍機塔載

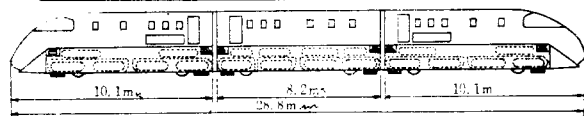


그림 3. 實驗車側面圖

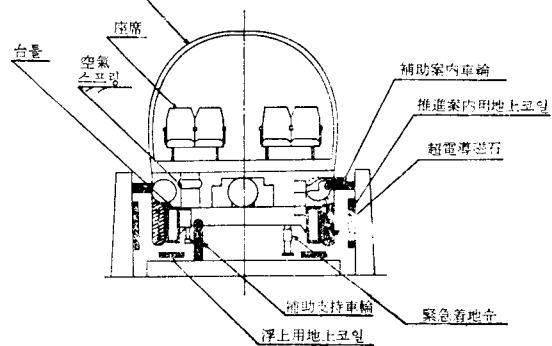


그림 4. 實驗車斷面圖

5. HSST 磁氣浮上車

1985年 3月 筑波(즈쿠마)에서 開催되는 國際科學博覽會에 日本航空(株)이 過去 10년에 亘하여 開發하여온 HSST(High Speed Surface Transport)를 參加시켜 一般에게 公開하고 그 乘車感을 試範하기로 하고 있다.

科學博覽會 TSST 共同企業體는 日本航空(株)와 住友電氣工業(株)이다.

HSST는 常電導 磁氣浮上方式에 依한 車上 1次의 리니어·모터를 備置한 交通시스템이다.

그리고 HSST開發은 1980年~81년에 거친 運輸技術富議會에 組織된 「常電導 磁氣浮上式 鐵道技術開發指針 調査委員會」에서 將來의 常電導 磁氣浮上鐵道の 樣態에 對하여 檢討되었을 때, 檢討對象시스템의 하나로서 採擇되고, 더욱 83~84年度에 거친 (財)日本造船振興財團의 技術開發基金에 依한 補助事業으로서 (社)日本鐵道技術協會로부터 委託을 받아 現在 各種 機構의 試作과 實驗이 進行中에 있다.

이 方式은 浮上案内用 마그넷 및 推進用 誘導電動機(Induction motor) 등을 유닛(Unit)化하여 裝置한 것으로 이를 모듈(module)式이라 呼名하고 있다.

即 모듈이란 SLIM(Single side linear Induction motor)와 浮上案内 兼用 마그넷 그밖의 것을 組合하여 剛性이 높은 箱子型 構造體에 附着하여 유닛化한 것이다.

現在 實驗車인 HSST-03에서는 1輛의 車體에 한쪽에 3個씩, 計 6個의 모듈이 서로 10mm의 間隙을 두고 連結시켜 附着하고 있으며 2次懸架(Suspension)로서 獨立支持되고 있다. 이는 다음과 같은 特徵을 가지고 있다. (그림5 參照)

첫째 車輛의 길이에 比하여 작은 커브(Curve)를 돌 수 있다, (最小半徑 250m)

둘째, 마그넷이 車輛의 全長에 亘하며 빈틈없이 配列되어서 浮上力을 일으키므로 浮上을 爲한 磁氣드롭을 低減시킴과 同時에 地上쪽의 레일은 이와 同種의 車輛으로서는 極度로 輕量化하여도 된다.

셋째, 走行에 必要한 機能은 全部를 모듈에集

중시키고 이와 對應하는 레일은 各種 要素가 集中되고 있으므로 形狀은 複雜하게 되나 軌道の 精密度調整·維持가 單純化될 수 있다.

本 HSST-03은 筑波博覽會용으로 當初부터 計劃된 것은 아니고 將來構想의 HSST프로토 타입(Proto-type)으로서 10모듈로 計劃하고 있던 것을 筑波科學博覽會용으로 轉用한 것으로서 低速이나마 널리 一般에게 紹介하는 것이라 한다.

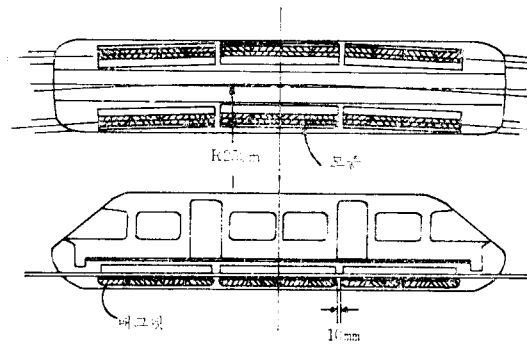


그림 5. HSST-03의 모듈配置

6. 考 察

今般 우연치 않은 機會에 日本國鐵의 浮上式 車輛實驗센터를 實際로 보니 몇가지 개운치않은 點이 생긴다.

鐵道輸送이란 航空과 海上에 對한 陸上輸送으로서 自動車에 比하여 特定軌道上을 大量, 迅速 그리고 安全하게 輸送하는 것을 特徵으로 하고 있다.

當初 英國에서 1次産業革命과 더불어 當時까지 大衆交通手段이던 馬車를 迅速·安全輸送을 하기 爲하여 特定道路上의 鐵板軌條를 달리게 하였는데 이갈 動力代身 蒸氣機關을 活用代置하였던 것이다.

그래서 그로부터 發展된 軌道는 當時의 馬車 바퀴 너비인 $4'8''\frac{1}{2}$ (1435mm)繼承하고 이것이 標準軌道가 된 것이다.

발動力에 代置된 蒸氣機關은 發達되어 機關車用으로 獨步的인 領域을 차지했으나, 그間 使用燃料은 木材·石炭·油類 등으로 變遷되고 往復 피스톤은 터빈 등으로도 發展은 되었으나, 그후

內燃機關이 그 자리를 차지하면서 이것이 內燃發電·電動機 驅動方式으로 發展되고 다시 動力發生裝置를 지니고 다니는 것은 浪費이니 電動機만 달고 다니고 電力을 架線으로 供給받는 電車式으로 變遷되고, 또한 電動機性能向上으로 機關車에만 電動機를 集中配置시킬 것이 아니라 이를 各車輛(客車)에 分散配置하면 레일負擔力이 減한다해서 動力分散型 所謂電車式으로도 發電시킨 것이다.

速度란 面에서는 航空機(多量이란 面에서는 船舶)에 匹敵할 力이 없는데 보다 高速으로 走る는 慾望때문에 高出力, 輕量化, 自動化에 努力하다가 日本國鐵이 先手를 쳐 所謂「新幹線(신강선)」을 約 20年前 開通시키고 營業最高速度 200km/h의 장벽을 뚫은 것이다.

이에 屈辱感을 느낀 歐美各鐵道는 高速化에 拍車를 加하던 次 佛國有鐵道는 1981年 1月에 TGV (Train á Grande Vitesse) 列車로 380 km/hr 인 試運轉 最高速度를 내고 81年 9月에는 營業最高速度 260km/hr로서 파리-리온間을 開通시키게 이르는 것이다.

여기서 TGV는 機關車牽引型이고 新幹線은 動力分散電車型인 것이다.

그런데 線路上을 車輪으로서 轉着驅動하는 方式은 300km/hr程度가 分岐點이다. 그러므로 速度向上에 血眼이 된 各國鐵道는 超高速이란 概念으로 在來方式을 脫皮한 浮上式 即 날으는 列

車를 開發하고 있다.

浮上式鐵道는 처음에는 軌道上을 바퀴로 구르다가 速度가 오르면 그 軌道上을 떠서 가는데 日本國鐵의 MLU-001型은 超電導電磁誘導反發型으로서 U字形 가이드, 웨이속을 날으는 셈이다 이러한 點등으로 이루어 볼 때,

첫째, 리니어·모타이니 浮上車輛은 모타의 回轉體格이고, 軌道는 固定磁場體格이다. 그러므로 全軌道の 위·옆에 界磁코일을 始點에서 終點까지 架設하고 있으며, 一般的인 回轉모타는 圓筒속을 돌고만 있으면 되는 것에 比하여 볼 때 그리고 昇磁線路 使用效率面으로 考察할 때 엄청난 使用頻度가 아니면 即 벨트·컨베이어와 같이 連續性인 것이 아니면 效率性을 얻기 어렵지 않을 까 하고 염려된다.

그리고 U형 가이드·웨이를 뚫고가니 即 앞의 空氣저항을 밀면서 뒤·옆으로 排除해야 하니 이의 空氣저항은, 航空機처럼 도 할수 없으니 엄청난 것이다. 그렇다고 軌道를 말아서 튜브形으로 하고 그속의 空氣를 줄여서 眞空튜브列車로 한다면 이야기는 달라진다.

아름은 浮上式鐵道는 鐵道와 航空機의 長短點을 서로 混合調整하는 方式이라고 볼 때 앞으로의 問題點은 많을 것이다. 어떠한 營業用이라기 보다 觀光用으로 發展되지 않을 까 하고 생각하면서 이글을 줄인다. (끝)