

磁氣浮上列車 技術體系와 開發戰略

유문환 (자기부상열차개발국핵연구사업단)

김인근 (한국기계연구소 자기부상열차개발국핵연구사업단장)

Present Status and Development Strategies of Maglev in Korea

Yoo Mun Hwan (Maglev R&D Program, KIMM)

Kim In Kun (Manager, Maglev R&D Program, KIMM)

<Abstract>

In recognition of the transportation problems of the present and to prepare for the ever increasing demands of the future, government decided to develop the magnetically levitated train domestically and started R&D program office in Korea Institute of Machinery and Metals(KIMM).

This office since has established three step by step goals : first to develop a 40 passenger exhibition vehicle for Daejeon EXPO'93, second to develop the low to mid-speed maglev system for urban public transportation by 1997 and finally the high speed inter-city maglev train by year 2001.

The first two maglev systems will use attractive levitation-LIM driven technologies and these technologies are the ones currently being developed by this office and others.

The maglev train system is a product of wide range of technologies from electro-technologies to civil engineering technologies. Some of the technologies are currently available but more have to be developed in the near future and these technologies are owned by or to be developed by various institutions within the science & technology community.

The level of the technologies available at the present time are still very rudimentary and their basis are very narrow.

Recently we have made a few successes in terms of levitation and propulsion but they are only with small scale modules and results are very qualitative at best.

A great deal of development work has yet to be done to refine the technologies and to gain confidence.

Full scale levitation/propulsion modules will be tested on the curved guideway within 6 months by this office and another institution.

This paper reviews the current status of the maglev technologies in Korea and discuss the development strategies.

The Korean maglev program is very ambitious and the schedule is even more so.

A steady financial support and strong system engineering and integration are essential to the success of this program.

1. 序 論

磁氣浮上列車技術은 '60년대의 胎動期,' 70년대의 成熟期, '80년대의 實證實驗期를 거쳐 '90년대의 實用化期에 접어들고 있으며, 國內 磁氣浮上列車 研究는 1989년 政府의 國策研究開發事業 시작을 信號로 汎國家的인 開發熱氣 擴散이 이루어지고 있다.

國策研究事業 着手 이전의 연구로는, 한양대학교에서 수행해 왔던 線型誘導電動機 研究 및 浮上, 推進모듈 제작, 현대정공(주)의 수년간에 걸친 磁氣浮上實驗研究 등을 들 수 있다.

한양대에서 개발한 시스템은 일본의 HSST-03 과 유사한 4.5ton 규모의 浮上推進모듈로서 1990년 초에 1차조립 완료되어 현재 37m 시험트랙에서 시험중에 있고, 1985년부터 연구를 계속해 온 현대정공(주)은 1989년 초에 20kg 급 線型磁氣浮上列車를 제작하여 부상, 추진실험을 실시했으며 최근 8인승 자기부상열차모듈 조립을 완료, 시험중에 있다. 상대적으로 출발이 늦었던 대우중공업(주)은 1989년에 건담연구팀을 구성한 바 있으며 1991년 중에 150m 시험트랙에서 HSST와 유사한 시험모듈을 운행할 계획으로 있다.

國策研究開發事業으로 착수한 政府部門 연구개발은 1989년 12월 『磁氣浮上列車開發을 위한 先行研究事業』을 기점으로 韓國機械研究所가 주관하는 본격적 研究開發體制를 갖춘 바 있으며, 이듬해인 1990년 12월에는 事業本部로 『磁氣浮上列車開發國策研究事業團』이 설치되어 보다 강화된 研究開發體制를 유지해 나가고 있다.

本稿는 國策研究開發 3次年度事業 시작을 수개월 앞둔 시점에서, 지난 수년간 國內에서 推進해 온 磁氣浮上關聯 要素技術研究의 經驗을 集約하고 開發모형의 特性을 比較함과 아울러, 實用化를 위한 問題點과 解決方向을 檢討코자 한다.

2. 磁氣浮上列車 要素技術과 技術方式

2.1 浮 上

① 永久磁石反發浮上

같은 極性的 永久磁石 間에 작용하는 反발력을 이용한다.

구성이 가장 간단하고 安全性이 높으나, 左右方向의 案内特性을 고려하면 特性이 不安定하다.

② 誘導反發浮上(EIS: Electro-Dynamic Suspension)

차량에 附着된 磁石이 地上에 설치된 短絡코일 또는 導電Sheet 에 대하여 前進運動을 하게 되면 코일이나 Sheet 에 전류가 유도된다.

이때의 誘導電流에 의한 磁力를 反발력으로 작용시키는 방식으로서, 이 방식은 차량을 부상시키기 위한 충분한 힘을 발생시키기 위하여 강력한 자석이 필요하며 이때문에 超傳導磁石을 사용하게 된다.

③ 電磁吸引制御浮上(EMS: Electromagnetic Suspension)
 支持用 레일과 자석간에 작용하는 吸引力으로 부상한다.
 이 방식에서는 吸引力과 支持荷重이 약간만 변화해도 電磁石의 吸着 또는 落下현상이 발생하게 되므로 예민한 制御(Gap Control)가 요구된다.

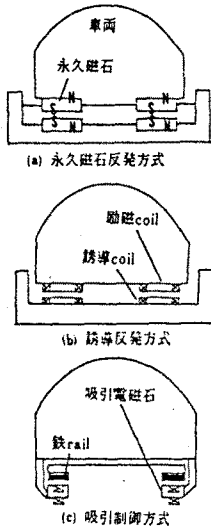


그림 1. 磁氣浮上方式

2.4 實用化段階의 主要 技術方式

실제로 實用化段階에 突入중이거나 實用化를 목표로 集中研究開發중에 있는 시스템은

- 超電導 EDS-LSM 방식
- 常電導 EMS-LSM 방식
- 常電導 EMS-LIM 방식

의 3가지 형태로 압축되고 있으며 이 3방식의 相互比較는 표 1와 같다

表 1. EDS-LSM, EMS-LSM, EMS-LIM 방식의 相互比較

區分	超電導 EDS-LSM	常電導 EMS-LSM	常電導 EMS-LIM
浮上높이	100mm 정도	gap 10mm 정도	gap 10mm 정도
信頼性	냉각시스템이 解決課題	浮上界電源이 多系列로 構成되므로 整合性에 問題	塔載器機는 많으나, 現在로는 信頼性確保가 가장 有利
乘車感	本來 damping이 나쁜 系이나, LIM의 damping판 등의 機械構造로 改善	1次스프링系로 磁石의 軌道追從性과 乘車感을 調整	LIM의 torque ripple과 合계 module에 걸리는 힘이 複雜
에너지效率	空心, 超電導 등으로 基幹部는 좋음	鐵心 때문에 力 率은 저하	LIM의 垂直力을 억제하면 效率 低下

2.2 推 進

推進은 線型誘導電動機(LIM: Linear Induction Motor)를 채용하는 방식과 線型同期電動機(LSM: Linear Synchronous Motor)를 채용하는 방식으로 大別된다.

① 線型誘導電動機(LIM)

LIM은 2次側의 구조가 간단한 특징이 있지만 에너지效率이 낮고 高速에서는 端效果에 의해 성능이 低下한다.

端效果를 줄이기 위해서는 폭이 좁고 긴 구조가 되어야 하지만, 길이는 曲線走行에 있어서 곡률반경 등에 제한을 주게 된다. 또한 LIM은 車上1次로서 集電裝置를 필요로 한다.

이와 같은 이유때문에 LIM은 300km/hr 이상 시스템에의 적용은 어려운 것으로 인식되지만, 中, 低速用 시스템에서는 코스트면의 이점이 있다.

② 線型同期電動機(LSM)

LSM은 回轉型同期電動機처럼 界磁과 電氣子로 구성되며, 界磁는 鐵心에 券線을 설치한 電磁石型, 空心코일을 이용하는 超電導코일형으로 나눌 수 있다.

LSM에 공급되는 1차전류는 界磁磁石의 동자와 同期의 移動磁界를 발생해야 하므로 制御시스템의 구성이나 성능에 대한 요구는 LIM의 경우보다 엄격하며, 속도는 供給周波數에 의해서 制御된다.

2.3 浮上, 推進 制御

超電導反式은 安定된 시스템으로서 浮上gap 制御의 필요는 없다.

常電導吸引式시스템의 제어는 일반적으로 加速信號와 狀態觀測器에서 측정된 磁石位置와 그 微分을 이용한 狀態 Feed-back을 基礎로 構成되며, 階階狀의 變位에 대한 追從性을 개선하기 위해서는 자석의 非線型特性도 고려하게 된다.

3. 우리技術의 現住所

3.1 研究開發現況

磁氣浮上列車開發國策研究事業團의 제 1차년도 主要事業實績으로는 事業團 산하 2개 연구팀(海事研, 電氣研)의 常電導, 線型誘導推進方式 浮上, 推進實驗 成功을 들 수 있다.

2개 시스템은 基本方式에 있어서 同一하나 浮上마크레트와 리니어모터의 配列方式, 制御方式에서 각각 별도의 방식을 채택한 바 있으며, 현재 계속되고 있는 실험의 결과에 따라 장단점을 검토 취합하여 보다 새로운 모델 설계에 적용시킬 계획으로 있다.

현재는 대전 EXPO'93 자기부상열차의 주계약자로 組構委員會가 선정한 현대중공업(주) 과 이에 技術協力事業 및 監理事業을 수행할 자기부상열차개발국책연구사업단 간에 基本設計協力業務가 진행되고 있다.

3.2 要素技術 現況

① 浮 上

常電導線型誘導推進方式 試驗모델의 磁石重量比(부상력 Kg/무게Kg)는 國內가 6.0 수준, 日本(HSST-05)가 7.0 수준으로서 20% 정도의 차이불 보이고 있고, 주로 材質 및 絕緣設計, 加工 등이 문제가 되고 있다.

超電導方式은 國內의 超電導磁石技術 未保有로 研究實績이 거의 없는 상태이나, 現在 事業團에서는 반발식 부상열차를 채택한 磁氣浮上列車 개발을 1997년 이후로 계획하고 있는 가운데, 이를 위하여 超電導磁石設計프로그램 등을 개발중에 있다.

② 推 進

현재 國內에서 LSM 관련 研究는 미비한 상태이며, LIM은 Variable Voltage Variable Inverter(VVFI)를 사용 加速時의 Normal Force를 최소한으로 줄이면서 필요한 推進力을 얻는 設計方式을 採用하고 있으나, 國產材質의 性能關係로 輕量化가 이루어지지 못하고 있다.

LIM의 推進力(Newton)과 重量(Kg)의 비율은 현재 10 정도인바 日本의 12와 비교하여 약 20% 정도의 차이를 보이고 있다.

Inverter의 경우 현재 150KVA 용량의 소형은 국내생산이 가능하나 500KVA 이상의 대용량은 외국에 의존하고 있다.

③ 浮上, 推進制御

現在 국내에서는 小規模 모델을 통한 PID Control 實驗을 實施中이며, 실차 運行에 필요한 Robust Control, 曲線走行을 위한 active한 案內制御, 電裝品の reliability 改善 등이 課題로 남아있다.

④ 車體關聯技術

磁氣浮上列車 車體는 Wheel-on-Rail 車體에 비해 가벼워야 하며 그 구조면에서 Al과 FRP를 사용하는 비행기와 비슷한 設計가 이루어져야 한다.

現在 본격적인 實車 모델은 제작에 착수하지 않고 있으나 40인승 EXPO 모델의 경우 차체구조중량이 3.5ton 이상이 될것으로 예상되는 반면, 日本의 40인승 HSST-03의 경우 2.7ton으로 나타되고 있다.

이에 따라, 현재 事業團에서는 車體輕量化研究와 함께 時速 200km급에 대비한 空力設計研究를 進行하고 있다.

⑤ 其他

磁氣浮上列車 실용화시 가장 큰 費用이 드는것은 線路로서 약 70% 정도가 推算되고 있다.

캐나다의 CIGGT (Canadian Institute of Guided Ground Transport)가 수행한 『서울~영종도 간 신교통시스템 타당성 조사연구』에서도 노선비용을 전체의 67%로 산정하고 있다.

궤도 토목공사는 현재 곡선구간의 정밀시공경험이 약하여 실시실계에 문제가 되고 있으나, 事業團이 推進중인 實驗用 軌道 (대덕 해사연 내)의 曲線區間 施工過程에서 많은 問題點 導出과 解決이 예상되고 있다.

3.3 脆弱點 綜合

현재까지 우리나라 技術의 취약점을 종합하면,

- 核心技術의 理論的 취약
- 部品 및 材料의 Reliability 미흡
- 大型 System에 대한 理解 및 經驗 不足
- Technology Base의 협소

로 나타나고 있으며, 이를 개선하기 위해서는

- 大學을 중심으로 하는 理論的 研究 強化 (독자모델의 理論的 背景)
- 全般的인 엔지니어링 能力向上
- 強力한 System Integration 主體 維持, 發展
- Technology Base 擴大를 통하여 高度의 技術을 受容할 수 있는 競爭體制의 構築

이 중요하다고 판단되고 있다.

4. 바람직한 研究開發推進體制 및 戰略

System Integration 주체인 磁氣浮上列車開發國策研究事業團은 현재로서는 충분한 인력은 갖추고 있지는 못하고 있지만 기본적인 組織體系를 갖추고 있으며, 다가오는 大田EXPO'93 행사에 대비하여 40인승 자기부상열차 개발에 필요한 주요 기술의 綜合研究體制를 繼續 構築해 나가고 있다.

앞으로 보다 효과적인 要素技術研究와 System Integration을 수행하기 위하여 사업단 조직의 세분화와 종합기능의 강화를 추진할 계획이다.

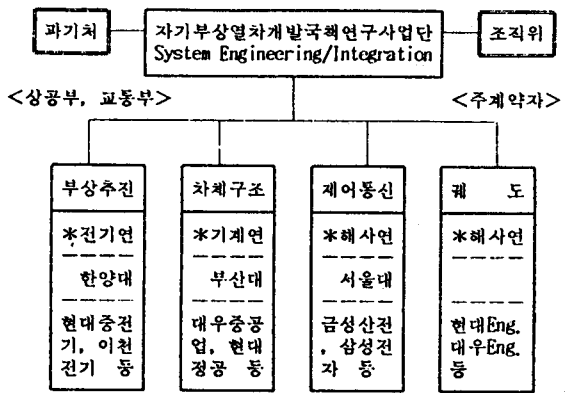


그림 2. 事業團 研究開發體制

磁氣浮上列車 開發을 효율적으로 推進하기 위해서는 參與 研究所, 大學, 企業이 각기 지니는 長點을 最大限 살리는 것이 중요하며, 이를 효율적으로 運營하고 시스템 개발을 효과적으로 推進하기 위하여 事業團의 組織 強化와 機關間 協助精神 함양이 필요하다.

國內에서는 아직 이러한 협조가 충분치 못한 상황으로서 機關別 利害關係 등으로 독자추진 선호경향이 많았던 것이 사실이다.

앞으로 國策事業의 效果의 추진을 위해서,

- 大學은 基礎研究
- 出捐研은 要素技術開發과 함께 小規模 實驗 등을 통한 基礎理論~實驗值 比較分析
- 事業團은 Prototype 製作實驗, System設計, 試驗評價, System Integration
- 企業은 部品開發 및 實運行시스템 製作

의 役割分擔를 통해 實質的인 協力이 이루어지도록 해야 할 것이다.

5. 磁氣浮上列車 實用化 方案

5.1 技術開發側面

자기부상열차 개발 과정에서 縮小模型 開發과 試運轉 實驗過程에서는 나타나지 않던 많은 문제점이 實車 (Full-Scale) 모델 개발 과정에서 나타날 것으로 예상된다.

磁氣浮上列車은 交通시스템이므로 安全性, 信賴性 維持가 무엇보다도 중요하며, 이를 위해서 많은 部品試驗과 Full-Scale을 통한 성능확인과정이 필요하고, 이에 先行하여 要素 및 시스템을 自體設計할 수 있는 深度있는 技術力 및 綜合能力 培養이 중요하다.

따라서, 관련 요소기술 중심 연구체제로 分散된 國內 可用研究資源을 하루속히 System Integration 推進主體의 空間的, 體系的 領域에 보다 가깝게 接近시키는 일이 중요하며, 이를 통하여 先進기술분야간 境界領域의 產出物이 새로운 設計로 발전할 수 있도록 基礎를 다져나가야 할 것이다.

이의 實踐의 方案의 一環으로는 현재 대진, 창원, 서울로 분산되어 있는 有關機關 研究人力 중 磁氣浮上列車 專擔研究人力의 대부분이 事業團에 실질적으로 동참하여 최소한도 30-40 선의 專門研究組織으로 발전할 필요가 있다.

5.2 經濟的 側面

磁氣浮上列車의 經濟性에 대해서는 아직 논란의 여지는 있으나, 캐나다의 CIGGT가 수행한 LA-Las Vegas區間 검토사례로 보면 LSM 을 채용한 장거리 고속형 (TR)의 경우 高速車輪形 (TGV) 에 비해 建設費가 10% 정도 많이 드는 것으로 調査된 바 있으며, 이는 주로 TR의 線路 電氣設備과 Pre-fabricated Concrete Structure 費用이 광활한 지역의 車輪用레일 工事費보다 많아지는 점에 기인하는 것으로 보인다.

LIM 을 채용하는 都市型的 경우, CIGGT 의 國內 서울 ~영종도 간 新交通시스템妥當性調査研究 結果에 따르면 日本의 HSST 建設비용이 가장 저렴한것으로 나타나고 있다.

국내에서도 실용화 가능성이 큰 도시형 高架 磁氣浮上列車는 근래 건설된 지하철 건설비가 Km당 250-300억 원 규모인것을 감안할 때 이의 절반 수준인 Km당 100-150억 원 규모로 동일한 수송용량을 처리할 수 있을 경우 상공적인 운행이 가능할 것으로 예상되며, 일본 HSST 實用化路線 建設비 추정액이 Km당 25억엔 규모 ('90 HSST발표) 인 점을 감안할때 충분한 경제적 타당성이 엿보이고 있다.

5.3 國民의 공감대 形成

새로운 大衆交通手段이 成功的으로 운행되기 위해서는 技術 및 經濟的인 問題 解決과 병행해서 國民의 共感帶를 얻는 것이 중요하다.

이점에서 볼때 大田EXPO'93 行事의 一環으로 國內技術로 開發, 運行될 磁氣浮上列車는 國民의 Acceptance 를 얻기 위한 共感帶 形成의 좋은 기회가 될것이다.

最近 磁氣浮上列車開發國策研究事業團의 發足과 京釜 高速電鐵事業 推進이 時期的으로 一致하는 가운데 磁氣浮上列車가 交通시스템의 한 方便으로 國民에게 널리 認識되고 있는 점은 다행스러운 일이나, 事業團이 現在 개발중인 모델은 일단 時速 100Km급의 都市型을 목표로 하는 것이기 때문에 現在 推進중인 京釜 高速電鐵事業과 直接的인 관계가 없으며 이와 관련된 不必要한 오해도 없기를 바라고 있는 立場이다.

磁氣浮上列車 必要性에 대한 共感帶는 新交通시스템 전반에 대한 종합적 검토의 결과로 형성되는 것이 바람직할 것이며, 여론의 집약과정에서는 기존 지하철을 비롯한 도시대중교통수단과 신교통시스템의 장단점이 폭넓게 논의될 필요가 있다.

5.4 既存 交通시스템과의 연계성 維持

韓國型磁氣浮上列車가 개발되어 도시교통시스템에 채택될 경우 이 시스템은 완전히 독립된 空間輸送體系를 형성하게 될것으로 예상된다.

다만 이 시스템 노선의 대부분은 幹線道路 周邊을 통과하게 될 것이기 때문에 정차장 배치에 따라 지하철이나 노선버스 등 週繫輸送手段과의 환승체계를 최적화하는 것은 交通計劃立案當局의 입안사항이다.

그러나 자기부상열차 노선 설치의 간편성과 무공해성으로 인해 한번 건설이 시작되면 점차 주택단지 곳 곳까지 연결되는 主力交通體系로 발전할 것이 예상되며, 이렇게 될 경우 기존 교통시스템과의 연계성 자체가 의미를 상실하게 될 수도 있다.

다만 電鐵 地上區間과 磁氣浮上線路가 교차 또는 병행할 경우 驛舍를 공유하거나 선로를 부분적으로 병행시키는 것은 實施設計段階에서 가능한 대로 적용시키는 것이 바람직할 것이다.

6. 結 論

영국의 버밍햄시스템, 독일의 M-Bahn 등 磁氣浮上列車의 商業運轉은 이미 시작된지 오래며, 超高速磁氣浮上列車도 지의 商業運轉모델에 가까운 시스템이 海外에서 시운전되고 있는 상황에서, 늦게나마 시작한 國策研究事業으로 國內에서도 다행스러운 출발을 하고 있다

지금까지 政府가 주도한 綜合시스템 研究開發事業 經驗이 적었던 관계로, 본 事業 역시 아직은 미흡한 推進體制로 過渡期的 運營을 해나가고 있는 상황이나, 모방단계인 현재에도 開發速度면에서는 상당히 신속한 面貌를 보이고 있는 것도 사실이다.

앞으로 개발속도를 倍加해 나가기 위해서는 事業團 내 정예인력의 확충과 함께 실용화시스템 개발을 위한 國家科學技術豫算의 初期投資가 重要하며, 점차 技術의 需要處인 교통주무부처와 시, 도 지방자치단체의 관심 및 의욕도 커다란 變數로 作用할 것이다. 끝.