

자기부상열차 (磁氣浮上列車)

김 인 근*

「비접촉에서 오는 뛰어난 승차감, 낮은 소음, 그리고 높은 속도 등의 특징으로 자기부상열차는 꿈의 열차라고 불리어진다. 이제 국내에서도 5~6년의 집중적인 노력으로 본격적인 도시형자기부상열차의 실용화를 이룰 수 있을 것으로 예견되고 있다.」

1. 꿈의 열차

자기부상열차는 꿈의 열차라고 부른다.

비접촉에서 오는 뛰어난 승차감, 낮은 소음 그리고 높은 속도 등 자기부상열차가 지니는 여러가지 특성에서 나온 이름이다.

이 꿈은 약 30여년 전 미국에서 시작되어 미국·독일·일본·영국 등 선진국에서는 벌써 20년 내지는 30년의 연구가 진행되어 왔으며 독일의 초고속 자기부상열차인 트랜스래피드(Transrapid)와 일본의 중저속 자기부상열차 HST는 현재 실용화 준비단계에 들어서 있다.

한국도 뒤늦게나마 4~5년 전부터 자기부상열차에 관한 연구가 시작되었으며, 현재 한국기계연구원의 자기부상열차사업단, 대우중공업, 현재정공 등이 연구개발을 진행중이고, 현대정공이 사업단과 협력하여 개발한 대전 EXPO '93 자기부상열차는 전시운행을 통하여 많은 국민들에게 자기부상열차를 선보이고 있다.

한국은 자기부상열차 개발을 시도하는 5번째의 국가로서 대도시의 극심한 교통난 해결과 21세기의 풍요로운 미래를 내다보면서 추진하고 있으며, 지금부터 5~6년의 집중적인 노력으로 국내에 본격적인 도시형자기부상열차의 실용화를 이룰 수 있다고 믿고 있다.

2. 개발의 배경과 기술방식

1960년 어느 금요일 오후 미국 부록크헤이븐 국립과학연구소의 제임스 파우엘 박사는 뉴욕과 롱아일랜드 간 혼잡한 도로 속에 갇혀 꼼짝할 수 없는 지경이 되었다. 파우엘은 이때 이러한 교통지옥을 근본적으로 해소하기 위해서는 지금까지와는 다른 혁신적인 교통수단이 있어야겠다고 생각했으며, 연구소에 돌아와 동료 과학자인 고든덴비와 함께 곧 연구에 착수, 초전도자석을 이용하는 자기부상열차의 기본개념을 얻어냈다.

자기부상방식의 이론 제안은 이보다 훨씬 더 이전으로 거슬러 올라갈 수 있지만 궤도차량에 관한 아이디어는 이것이 시초로 볼 수 있으며, 이로부터 시작된 미국의 연구는 1975년까지 계속되다가 한동안 중단된 후 최근 다시 국책적인 연구개발이 시작되고 있다.

자기부상열차의 연구개발은 미국 보다는 인구가 훨씬 조밀한 독일·일본·영국 등지에서 꽃을 피우게 되었으며 각기 약간씩 다른 방식으로 개발되고 있다.

현재 세계적으로 개발되고 있는 자기부상열차는 부상상식에 있어서 일반 전자석의 끌어당기는 힘을 이용하는 상전도(常電導)방식과 극저온 상태에서 발생하는 초전도 현상을 이용하는

* 자기부상열차 국책사업단장

초전도(超電導) 방식의 2가지로 구분된다.

상전도방식에서는 지상에서 1Cm정도 부상시키는 것이 일반적이며, 시험 및 운행중인 모델은 영국의 버밍햄공항 내 연결교통수단으로 실용화된 Birmingham People Mover, 독일의 고속시험 모델인 Transrapid, 일본의 중저속시험 모델인 HSST, 그리고 우리나라에서 개발중인 모델이며, 반발력으로 약 10Cm정도 부상시키는 초전도방식은 현재 일본의 MLU 모델이 유일한 시운전시험모델이다. 자기부상열차의 추진을 위해서는 회전모터를 직선상에 펼쳐놓은 형태의 선형전동기(리니어모터: Linear Motor)를 이용하게 된다.

선형전동기 중에는 외부로 부터 전력을 공급받기 위해 집전(集電)이 필요한 차상1차(車上1次) 방식의 선형유도전동기(線型誘導電動機)와 집전이 불필요한 지상1차(地上1次) 방식의 선형동기전동기(線型同期電動機)가 있다. 중저속형의 경우는 선형유도전동기, 초고속형의 경우는 선형동기전동기가 주로 채택되고 있다.

자기부상열차는 지금까지 위에서 언급한 부상 방식과 추진방식이 각각 결합된 독특한 모델들이 개발되고 있으며, 결합 방식과 이에 해당되는 주요 모델들은 다음과 같다.

◇ 부상: 상전도식 + 추진: 선형유도식 → 한국, 일본 (HSST), 영국 (BPM)

저렴한 방식, 도시형에 적합(시속 100Km내외)

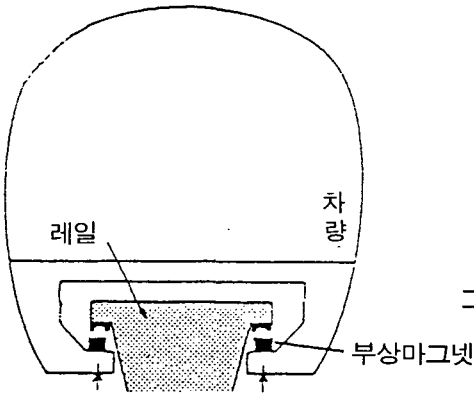
◇ 부상: 상전도식 + 추진: 선형동기식 → 독일 (Transrapid)

비교적 고가, 도시간 고속용(시속 300Km내외)

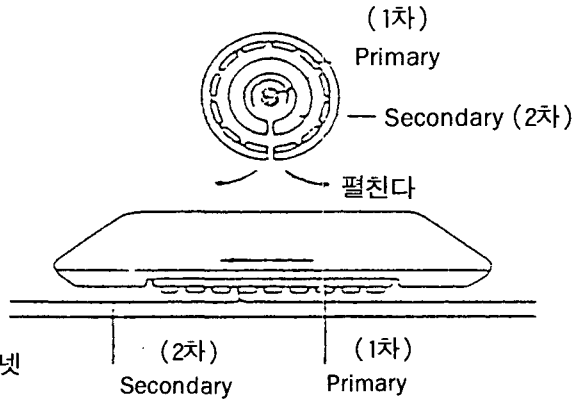
◇ 부상: 초전도식 + 추진: 선형동기식 → 일본 (MLU) · 미국

기술의 미완성, 도시간 초고속용(시속 400Km이상)

위에서 보는 바와 같이 상전도, 선형유도식은 도시형으로 가장 적합한 방식이기 때문에 우리나라에서는 현재 개발1단계 사업으로 이 방식에 의한 도시형 자기부상열차 실용화를 추진중에 있고, 기본 원리는 다음과 같다.



◇ 부상(흡인식)



◇ 추진(선형유도식)

◇ 부상 및 추진의 원리

3. 자기부상열차의 특성

우리가 추구하는 깨끗하고 풍요로운 복지사

회에 어울리는 새로운 대중교통수단은 대체로 다음과 같은 조건을 구비해야 한다고 볼 수 있다.

- 신속·안전·편리성이 보장되어야 한다.
- 진동·소음·대기오염 등 환경적 측면에서 저공해성을 갖추어야 한다.
- 값싸게 건설하여 국가 재정의 부담을 줄여야 한다.
- 신속한 건설이 가능하여 공사에 따른 시민의 불편을 줄여야 한다. 자기부상열차는 이러한 조

건을 대부분 충족시키고 있으며, 이에 따라 미래의 신교통시스템으로서 매우 유망하다.

자기부상열차의 기술적 특성은 차륜식과 비교해 봄으로써 보다 명확히 파악할 수 있는데, 지금까지 해외의 주요 신교통시스템 연구기관이 조사분석한 자료를 토대로 종합정리하면 아래와 같다.

(자기부상식과 차륜식의 특성비교)

항 목	자기부상식	차 륜 식
최 고 속 도	선형동기식의 경우 속도의 제한이 없음 - 실용화 : 500 Km/hr 이상 가능	바퀴에 의한 구동과 접선 때문에 속도 한계 - 실용화 : ~300 Km/hr 정도
진 동 · 소 음	레일과 차체의 기계적 접촉이 없으므로 거의 없음 ◇ 250 Km/hr 시 소음 : 60 데시벨	레일과 차륜의 접촉으로 인한 진동·소음 발생 ◇ 250 Km/hr 시 소음 : 70 데시벨
안 전 성	차체가 궤도를 감싸고 있기 때문에 궤도붕괴 등 심각한 사고 이외에는 탈선 없음	레일 표면에 차륜이 얹혀서 주행하기 때문에 가벼운 레일결함으로 탈선 우려
건설·차량 제작비 관련	주행장치(Bogie)가 가볍고 단면적이 적어 궤도건설비와 터널공사비 대폭 절감	무겁고 큰 차체와 집중하중에 따라 견고한 궤도와 넓은 터널 단면적 요구
부 품 교 체	회전운동부품이 없으므로 부품교체가 거의 없음	회전전동기, 변속기, 차륜, 레일 마모로 주기적 교체
경사등판력	100/1000 : 급경사 주행 가능	35/1000
가 속 력	초당 0.6m 가속	초당 0.3m 가속

4. 독일·일본·미국의 개발현황

◇ 독일

독일은 지난 1969년에 자기부상열차 개발을 착수하여 근래 상업용 최종모델로 확정된 상전도흡인식의 Transrapid-07 모델을 탄생시키기 까지 범국가적인 연구개발체제를 통하여 부단하고 일관성 있는 노력을 기울여온바 있다. 1987년에는 독일 북부의 엠슬란트 강변의 뎀펜~뉘른 간의 31.5Km 시험선로를 완성하고 승객이 탑승한 Transrapid-60 모델을 시속 406Km 까지 운행하였으며 최종모델인 Transrapid-07 모델은 시속 412Km까지 실험한 바 있고 현재 함부르크~베를린 구간 등의 실용화 구간 조사

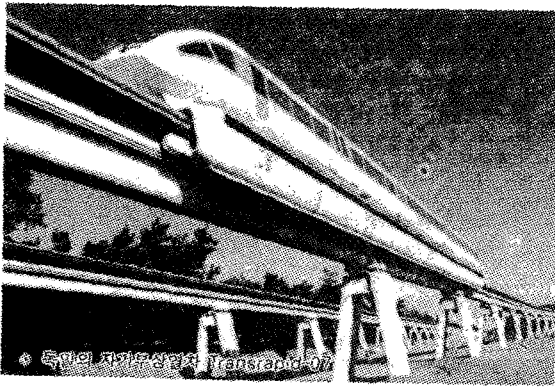
가 진행중에 있다. 이와는 별도로 1971년 부터 연구기술성과 M-Bahn사가 공동개발한 상전도 흡인·선형유도추진방식의 도시형자기부상열차 M-Bahn 모델은 1984년에 베를린에 설치되어 성공적으로 운행되어온 바 있다. 독일은 차륜식 고속전철분야에서 일본과 프랑스 보다 출발이 늦었지만, 고속자기부상열차 분야에서는 현재 세계최고수준의 기술을 보유하고 있다.

◇ 일본

일본의 자기부상열차 연구는 지난 60년대 초로 거슬러 올라갈 수 있으며, 1969년부터는 상전도반발식 1974년부터는 상전도흡인식 실험 연구가 본격화 되었다.

(독일의 자기부상열차개발 주요 연혁)

- 1969 : 서독 연방운수청 수송정책 일환으로 자기부상 검토시작
- 1977 : 기술방식을 상전도흡인식으로 최종 결정
- 1983 : TR-06 제작 완료
- 1984 : Emsland 시험선로 건설 시작(31.5Km)
- 1987 : Emsland 시험선로 건설 완료
- 1987 : TR-06 406 Km/hr 시험
- 1988~ : TR-07 제작 완료. 주행시험중(운수성 형식 승인 획득)



일본이 국책연구기관인 철도종합기술연구소를 통하여 초전도반발식을 집중적으로 연구하게 된 것은 지진에 대한 우려가 컸기 때문이며, 이 시스템은 처음부터 동경과 오사카 간 시속 400Km 이상 급의 새로운 노선을 겨냥하고 있었기 때문에 고속주행도중 지반 침하시의 안전성 확보를 위하여 약 10Cm 이상 부상이 가능한 초전도반발식이 적합한 것으로 판단되었다.

현재 MLU-002 모델이 큐슈 미야자키의 7Km 시험선로에서 시험운행되고 있으며 동경~오사카 간 자기부상 계획노선 통과구간인 야마나시현 내 실용화시험노선 43Km 공사계획이 수립되어 있고, 완전한 실용화는 2005~2010년 경으로 예상되고 있다. 이와는 별도로 일본항공(JAL)이 개발해 온 상전도 흡인식의 HSST 모델은 당초 동경의 나리타 신공항과 도심을 연결하는 계획이 있었으나, 현재는 본격적인 도시경전철 용 자기부상열차 개발체제로 바뀌었으며,

이를 위하여 현재 나고야 1.5Km 시험선로에서 HSST-100 모델을 100Km/hr 이상으로 연속주행 시험중에 있다. 실용화 계획구간은 여러군데가 있지만 가장 먼저 실용화가 예상되는 구간은 廣島(Hiroshima)의 신공항과 시내를 연결하는 전장 50Km 노선과 현재의 나고야 시험선로를 연장하는 나고야 시내경전철로 알려지고 있다.

◇ 미국

1992년에 미국은 자기부상열차개발 10개년계획을 수립하고 연방정부 주도하에 NMI (National Maglev Initiative)를 구성하여 92년 한해에 일단 조사연구비로 65억원을 투자했으며, 1993년 부터는 1단계 개발사업으로 5년간 5,800억원을 투입하는 연구개발사업을 착수하였다. 미국의 이러한 결정은 자동차와 항공기가 급세기의 고속교통수단의 주역이듯이 다음세기에는 자기부상열차가 주역으로 등장할 것이라는 확고한 전망이 바탕이 된 것으로 판단되며, 이와 아울러 자기부상열차의 이론정립이나 기술적 실험은 미국이 먼저 시도했는데도 유럽과 일본에 주도권을 빼앗겼다는 국민적 자각이 21세기 고속전철분야의 선두를 탈환하겠다는 의지로 발전한 것으로 보여진다.

5. 우리나라의 연구개발현황

국내에서는 지난 1989년 12월 과학기술처가 10대 국책연구사업의 하나로 21세기 교통기술개발사업을 설정하고 이의 일환으로 자기부상열차 개발사업을 시작한 것이 국가가 주도하는 자기부상열차 개발의 첫걸음이 되었다.

국책연구사업의 시작은 이 땅에 신교통시스템 개발의 힘찬 기보를 내디딘 것으로서 국내 철도차량업체(대우중공업, 현대정공 등)는 이에 발맞추어 전담 연구팀을 구성하여 본격적인 연구개발사업 착수와 함께 출범한 자기부상열차개발국책연구사업단은 한국기계연구원 내에 설치되

어 한국전기연구소 등 타 정부출연연구기관, 대학, 기업 간 협력연구사업의 센터 역할을 수행해 왔다.

지금까지 사업단에서는 도시형 자기부상열차의 완성차량 시제품제작에 앞서 핵심기능을 수행하는 부상, 추진시스템의 자체개발과 시험선로 (Test Bed)상에서의 반복주행실험에 의한

◆ 사업단의 Test Bed 설비 현황

◇ 100m 시험선로 (직선 + 곡선)

◇ 2종의 Test Module (부상추진시스템)

- 1st Module : 전장 3.7m, 자중 4톤, 아날로그 제어방식

- 2nd Module : 전장 2.5m, 자중 2.5톤, 디지털 제어방식

◇ 기타 스위칭실험설비, 지상전원설비, 제어계측설비 및 Car Body

현대정공은 대전 EXPO'93 행사장 내 40인승 자기부상열차의 전시운영 책임을 맡고 있으며 1993년 초에 제작을 완료하여 수개월간 행사장 내 560m 선로에서 시운전한 후 현재 성공적으로 전시운영 중이고, 이 사업과 관련하여 대책

성능개선에 노력을 집중해 왔으며, 이를 통해 국내기업의 관련연구개발사업을 직·간접적으로 지원 (현대정공의 40인승 EXPO모델, 대우중공업의 40인승 모델) 하면서 대책연구성과의 민간이전과 기계·재료·전기·전자 등 관련기술분야의 기술과급을 피하고 있다.

(일본의 자기부상열차개발 주요 연혁)

1960 : 리니어모터 추진기술과 반발식 자기부상 연구 시작

1971 : 상전도흡인식 HSST-01 실험 시작

1977 : 초전도반발식 실험용 Miyazaki Maglev Test Center 건설

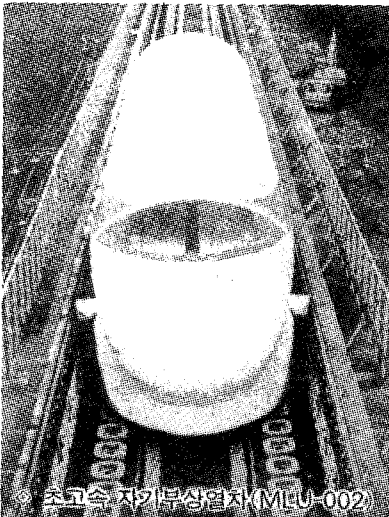
1982 : 초전도반발식 MLU-001 모델 305 Km/hr 달성

1985 : HSST-03 쓰꾸바 박람회 전시운영

1989 : HSST-05 요코하마 박람회 전시운영

1987 : 초전도반발식 MLU-002 모델 실험 시작 (최고 : 507 Km/hr)

1991 : 나고야 1.5Km 시험선로 건설 완료, HSST-100 시험운영 시작



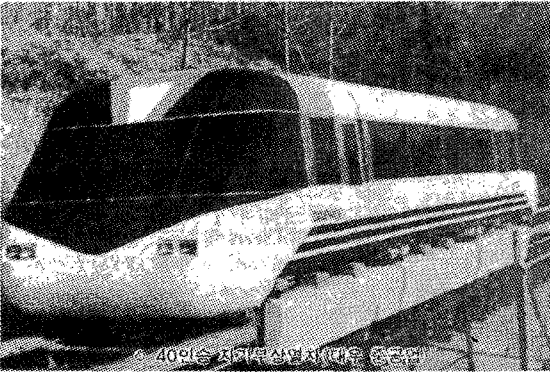
◇ 초고속 자기부상열차 (MLU-002)



◇ 중저속 자기부상열차 (HSST-100)

연구사업단은 전반적인 기술협력과 기술감리 역할을 수행해 왔다. 대우중공업은 도시형을 겨냥하여 40인승 실용화모델 시제품을 1992년 말에 제작 완료하여 현재 사내 100m 시험선로에서

성공적으로 시운전중에 있고, 이 과정에서 대책 연구사업단 연구팀은 부상 및 제어 시스템 분야의 기술협력을 실시한 바 있다.



6. 앞으로의 계획과 전망

자기부상열차사업단에서는 현재의 국내상황이 도시형 자기부상열차 구현에 필요한 제반 요소기술기반과 연구개발추진체제가 구축된 단계로 보고 있으며, 앞으로 실용화를 위한 구체적인 계획이 입안되면 명실공히 산·학·연 협력체제에 의한 한국형 통합모델 개발작업이 신속히 진행될 수 있을 것으로 판단하고 있다.

사업의 주안점은 도시 교통난 해결과 대도시 외곽 연계수송수단 확충에 두고 있으며, 이를 위하여 1995년 말 부터는 한국기계연구원내에 설치되어 사업단이 관리하게 되는 1Km 시험선로상에서 60인승 자기부상열차 2량 주행시험을 착수하고 설계개선과정을 거쳐 2000년 이전에

다량 편성 자기부상열차를 기업과 힘을 합쳐 실용화할 계획이다.

실용화노선 채택은 1차적으로 서울을 비롯한 국내 주요도시 외곽지역의 교통망 확충에 적용한 후, 여기에서의 운행경험을 통하여 주요 대도시 내 신교통시스템 확충사업을 본격적으로 전개해 나가는 것이 필요한데, 현재 지하철 건설수요가 있는 국내 주요도시의 도시계획당국에서도 자기부상열차방식에 대해 많은 관심을 보이고 있어 전망은 매우 밝은 편이다. 이와 아울러, 동아시아의 최대 관문으로 등장할 영종도 신공항과 수도 서울간의 연계노선은 쾌적하고 안전한 첨단 자기부상열차 노선의 최적지이며 이점에 대해서는 현재 교통부에서도 하나의 대안으로 긍정적인 견해를 갖고 있는 것으로 알려지고 있다. 자기부상열차기술의 발전은 궁극적으로 초전도방식으로 진행될 것이 예상되며, 최근 미국과 일본의 국책연구가 초전도방식에 집중되고 있는 점이 이러한 예상을 뒷받침하고 있다.

이에 따라 국책연구사업단에서는 90년대 후반 부터는 상전도방식 도시형 자기부상열차 실용화를 추진하면서 이와 아울러 초전도방식에 대한 연구개발사업도 장기목표를 수립하여 추진해 나갈 계획으로 있다.