

## 자기부상열차의 현황 및 주요 기술



김국진



김동선

### I. 서론

환경 친화적이며 주행성능이 우수하고 경제성이 우수한 자기부상열차는 1970년대부터 독일, 일본 등에서 본격 개발에 착수하여, 2004년초 중국 상하이에서 독일의 초고속 Transrapid 시스템이 세계 최초로 상업운전을 시작하였으며, 금년 3월에는 나고야와 애지현을 연결하는 동부구릉선에서 일본의 중·저속형 HSST 시스템이 영업 개통을 시작한바있다. 또한 일본은 초전도자석을 이용한 고속자기부상열차 개발에 정부가 적극 나서 현재 이 분야에서는 세계 최고의 기술을 보유하고 있으며 시속 500km의 속도로서 제품 모델의 시험운전을 실시중이다. 아울러 국내, 미국, 중국 등에서도 자기부상열차 시스템 개발에 박차를 가하고 있으며, 최근 국내에서도 중·저속형 자기부상열차에 대한 실용화가 검토되고 있다.

### II. 자기부상열차의 원리 및 특징

#### 1. 자기부상열차의 원리

김국진 : (주)로템 기술연구소, drkjkim@rotem.co.kr, 직장전화: 746-1630 직장팩스: 746-1895

김동선 : 대전대학교 도시공학과, kimdns@daejin.ac.kr, 직장전화: 031-539-2011, 직장팩스: 031-539-1930

자기부상열차는 바퀴가 없이, 자석의 힘으로 차량이 지지(부상)되고 선형 전동기로 추진되는 열차이다.

## 1) 부상의 원리

### (1) 상전도 흡인식(Electro-Magnetic Suspension, EMS)

일반적으로 차량의 하부에는 전자석을 설치하고, 대향 하는 궤도에는 철 레일을 설치하여, 전자석에 전원을 인가하면 전자석과 철 레일에 서로 끌어당기는 힘(흡인력)이 발생하여 부상하게 된다. 상전도 부상방식의 경우, 전자석과 레일사이의 일정한 공극을 제어하기 위해 능동 제어가 필요하며, 아울러 정지상태에서도 부상이 가능하다. 이러한 부상방식을 적용한 차량은 독일의 Transrapid, 일본의 HSST, 그리고 한국의 도시형 자기부상열차(UTM)가 있다.

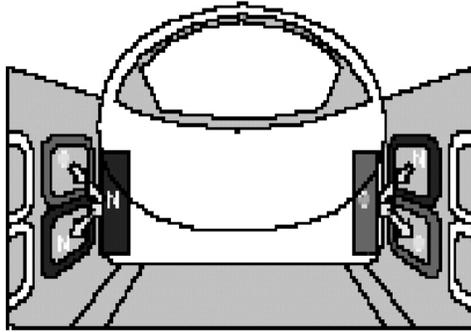


〈그림 1〉 상전도 부상방식의 개념도

### (2) 초전도 부상식(Electro-Dynamic Suspension, EDS)

일반적으로 차량에는 초전도 자석을 설치하고, 대향 하는 궤도에는 2쌍의 유도코일을 설치하여, 열차가 주행할 때 2쌍의 유도코일에는 서로 다른

극의 자속이 발생한다. 이때 궤도의 위쪽 유도코일에는 차량과 다른 극이 유기되어 흡인력이 발생하고, 아래쪽 유도코일에는 차량과 같은 극이 유기되어 반발력이 발생하여 차량이 부상하게 된다. 초전도 부상방식의 경우 출발시에는 바퀴를 이용하여 주행, 어느 속도(약 150 km/h) 이상에서만 부상이 가능 하다. 이러한 방식을 적용한 차량은 일본의 MLX가 있다.



〈그림 2〉 초전도 부상방식의 개념도

## 2) 추진 원리

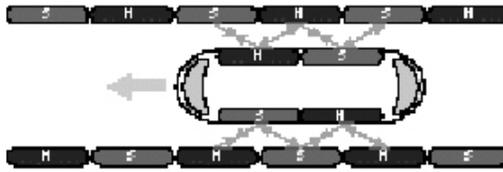
자기부상열차는 바퀴가 없이 부상하여 주행하므로 일반 회전형 전동기(Rotary Motor)를 사용하지 않고 선형 전동기(Linear Motor)를 사용한다. 선형 전동기는 회전형 전동기를 잘라 펼친 형태로, 전원을 인가하면 이동자계에 의해 직접 추진력이 발생한다(회전형 전동기는 회전자계에 의해 회전력이 발생).

### (1) 선형 유도전동기(Linear Induction Motor, LIM) 방식

차량에는 전동기의 1차 측(코일)을 설치하고 대향 하는 궤도에는 전동기의 2차측 도체판을 설치하여, 1차측 코일에 전원을 인가하면 2차측과의 유도기전력에 의해 추진력이 발생한다. 일반적으로 LIM 방식은 중·저속형 열차, 중·단거리(도심내) 교통수단에 적용되며, 일본의 HSST와 한국의 도시형 자기부상열차(UTM)가 이 방식을 적용하고 있다.

**(2) 선형 동기전동기(Linear Synchronous Motor, LSM) 방식**

궤도에 전동기의 1차측 코일을 설치하고 차량에 2차측 계자를 설치하여, 1차측 코일과 2차측 계자의 동기에 의해 추진력이 발생하며, 일반적으로 초고속형 열차, 장거리(지역간) 교통수단으로 활용하게 된다. 그리고 이 방식은 독일의 Transrapid 및 일본 MLX에 적용되고 있다.



〈그림 3〉 선형 동기전동기의 추진방식

**2. 자기부상열차의 특징**

**1) 환경 친화 측면**

자기부상열차는 궤도와 비접촉으로 주행하므로 일반 바퀴식 열차에서 발생하는 소음(75~80 dB(A)) 보다 현저히 작은 소음(65 dB(A))을 발생시키며, 주행중 발생하는 진동가속도도 일반 바퀴식 차량에 비해 현저히 낮다(0.02g 수준). 그리고 기계적인 접촉이 적으므로 인체에 유해한 철, 고무 같은 분진이 발생하지 않는다.

**2) 주행성 측면**

자기부상열차는 선형 전동기에 의해 추진되므로 일반 철도차량의 바퀴와 레일간에서 발생할 수 있는 공진 혹은 활주 등 여러 가지 마찰 관련 문제를 예방할 수 있다. 또한 구배 주행시에도 마찰과는 무관한 추진력을 얻을 수 있으므로 레일 표면의 상태와는 무관한 큰 추진력을 얻을 수 있게 되어 급구배 주행 능력을 향상시킬 수 있다.

**3) 안전성 측면**

자기부상열차는 차량 하부의 대차 구조가 레일을 완전히 감싸는 구조로

제작되므로, 일반 철도차량에서 발생할 수 있는 차량 전복이나 탈선의 우려가 없다. 그리고 바퀴 대신 전자석으로 비접촉 주행을 하므로 철차륜 혹은 고무차륜 차량에서 발생할 수 있는 각종 기계적 결함(차륜 찰상 혹은 타이어 파손)의 우려가 없다. 또한 전자석에서 발생하는 자력이 일반 철도차량의 1차 현수장치의 역할을 수행하므로, 주행중에 대차에서 발생하는 진동 가속도를 크게 감소시킬 수 있게 되어 구조물에 가해지는 하중을 대폭 감소시킬 수 있다.

#### 4) 건설비 및 운영비 측면

자기부상열차는 일반 철도차량에 비해 발생하는 소음이 현저히 적으므로 노선을 지하화 할 필요가 없게 되어, 건설비 중 가장 큰 부분을 차지하는 터널 공사비를 절감할 수 있으며, 지상 고가 건설시 소음이 작기때문에 방음벽 등의 건설이 불필요하다. 또한 궤도에 가해지는 하중이 전자석의 자력으로 인한 분산 하중이므로 궤도 구조물을 보다 가볍고 유연하게 만들 수 할 수 있다.

그리고 자기부상열차는 일반 바퀴식 열차에 적용되는 각종 베어링, 드라이빙 기어, 차륜 등과 같은 마모 가능 부품의 수를 대폭 줄여 유지보수 인력과 부품을 감소시킬 수 있게 되어, 노선 운영에 필요한 각종 부대비용도 절감할 수 있다.

### Ⅲ. 국내·외 자기부상열차의 개발현황 및 전망

#### 1. 독일

60년대 중반부터 자기부상열차 개발에 착수한 독일은 초기에는 중·저속용을 개발하였으나 80년대부터 초고속용으로 전환하여 1999년 상전도 흡인식 부상의 Transrapid 08호기를 개발해 31.5km의 Emsland 시험선에서 시속 500km 주행시험을 완료하고 일반 관람객을 대상으로 유료시승 중에 있으며, Transrapid는 중국의 상해 도심과 푸둥공항간 31km 상업 노선을 건설, 2004년초 개통하여 영업운전 중에 있다.



〈그림 4〉 상해에서 운행중인 독일의 Transrapid

## 2. 일본

일본은 1970년대부터 장거리 교통수단인 초고속용과 경전철 노선에 적합한 중·저속용 자기부상열차를 개발 중에 있다.

1973년 동경과 오사카를 연결(500km)하는 '리니어 중앙 신간선' 실용화 노선을 확정하여 이 중 일부 구간인 야마나시현에 18.4km의 시험선로를 건설하여 초전도 부상식 MLX-01을 시속 580km까지 주행시험을 실시하였다.

일본 HSST 개발(주)는 총 7번의 시속 100km급 중·저속용 자기부상열차를 개발하여 나고야 중부 시험선로에서 주행시험을 완료하였으며, 2005년 애지현 국제박람회를 겨냥하여 박람회장과 나고야 후지가오카 역을 연결하는 상업 노선(동부구릉선)에 자기부상열차 Linimo를 투입하여 지난 3월부터 운행 중에 있다. HSST 관계자들은 향후 일본의 경전철 및 신교통시스템을 계획하고 있는 대부분의 노선에 Linimo가 채택 될 것으로 전망하고 있다.



〈그림 5〉 일본의 고속형 MLX-01와 중·저속형 Linimo

### 3. 한국

우리나라는 자기부상열차의 연구개발 역사로 볼 때 독일이나 일본에 비하면 뒤지지만 그 기술의 진보는 괄목할 만한 성장을 이루고 있다. ㈜로템(구 현대정공㈜)은 1988년부터 자기부상열차의 개발에 착수하여 이미 1993년 대전 엑스포박람회에서 전시/운행을 통해 실용화 가능성을 입증하였으며, 엑스포 기간(93일)중 총 12만 명의 관람객을 수송한바 있다.

90년대 중반 한국기계연구원과 공동으로 약 5년간 과학기술부의 지원으로 개발한 경전철 형태의 도시형 자기부상열차(UTM-01)는 급곡선(반경 60m), 급구배(기울기 6%), 분기기 통과 등 성능시험을 완료하고 현재 대전 한국기계연구원내 1.3km의 시험선로에서 주행시험을 수행 중에 있으며, 약 40,000km를 주파하였다.



〈그림 6〉 국내에서 개발한 자기부상열차 (좌 : HML-03 / 우 : UTM-01)

또한 2003년 10월부터 산업자원부의 지원으로 무인자동운전이 가능한

시속 110km급 실용화를 위한 모델의 개발에 착수, 2004년 9월 베르린 InnoTrans에, 2005년 6월 부산 BEXCO에 출품/전시한바 있으며 2006년 9월까지 기능, 성능 및 신뢰성 시험을 완료한 후 '엑스포과학공원~국립중앙과학관 노선(1km)'에 투입할 예정이다.



〈그림 7〉 자기부상열차 실용화를 위한 모델

#### IV. 결론

철도는 1825년 영국에서 세계최초로 본격 운행되기 시작하였다. 하지만 이후 180년 동안 속도의 증가, 증기기관에서 전기모터를 이용하는 동력방식의 변화 등 커다란 변화를 거치면서도, 철바퀴가 철궤도 위에서 달린다는 기본원리에는 변함이 없었다. 하지만 앞으로는 이러한 기본 개념이 드디어 변할 것으로 보인다. 도시교통에서 지하철보다 많은 장점을 갖고 있는 중저속 자기부상열차가 본격 개발되고 있기 때문이다. 상기에서 설명한 시스템 외에도 미국, 중국 등에서도 자체적으로 중·저속형 자기부상열차의 개발에 박차를 가하고 있다.

독일과 일본의 자기부상열차는 이미 상용화에 돌입하여 운행 중에 있으며, 국내에서도 범 정부차원의 자기부상열차 실용화에 노력을 기울이고 있다.

앞으로 대도시에 지하철 대신 고가에서 달리는 자기부상열차가 만들어지면, 사업자는 에너지를 절약하여, 운영비를 절약할 수 있고, 시민들은 기존 방식보다 더 쾌적하고 친환경적인 교통수단을 이용할 수 있을 것이다. 이러한 자기부상열차의 이점으로 인해 말레이시아, 인도네시아 등 동남아 시장에서도 자기부상열차의 도입을 적극 검토하고 있는바, 국내 자기부상열차의

조속한 실용화가 이루어 지지 못한다면 일본, 독일 등에 의해 전세계 자기 부상열차 시장이 선점 당할 가능성을 배제할 수 없으므로 자기부상열차의 조속한 실용화를 이루어야 할 것이다..

## 참고문헌

1. M. Fujino & S. Ishimoto(2001), "High Speed Surface Transport Systems : Nagoya East Hillside Line and he Operational Testing for 3-Car Vehicle Prototype", J-Rail'01, pp.151~154.
2. 산업자원부(2003), "자기부상열차 실용화 모델 개발을 위한 산업분석" 보고서.
3. 김국진(2005), "자기부상열차의 개발 및 상용화 현황", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.70~74.