

자기부상열차도 궤도상에서 움직이지만,
차량과 궤도와의 접촉부위는 오직 집전(集電)부분 외에는
없기 때문에 이상적으로 설계, 제작하면
소음이나 진동이 거의 없게 되며,
언덕 주행능력과, 급곡선 주행능력이 뛰어난 점 등
바퀴식보다 많은 장점들을 가지고 있다.

자기부상열차의 개발 동향과 전망

1. 자기부상열차?



이 상 록
한국기계연구원
신교통기술연구부 책임연구원

자기부상열차는 자력(磁力)에 의해서 “떠서” 주행하는 궤도차량을 의미한다.

일반적인 철도차량이 “바퀴”에 의해 지지(支持)되고 회전모터(Rotary Motor)에 의해서 구동되는 반면 자기부상열차는 “자력”에 의해 지지되고 선형모터(Linear Motor)에 의해 구동된다.

자기부상열차도 궤도상에서 움직이지만, 차량과 궤도와의 접촉부위는 오직 집전(集電)부분 외에는 없기 때문에 이상적으로 설계, 제작하면 소음이나 진동이 거의 없게 되며, 언덕 주행능력과, 급곡선 주행능력이 뛰어난 점 등 바퀴식보다 많은 장점들을 가지고 있다.

2. 자기부상열차 개발 역사와 동향

자기부상열차의 아이디어가 처음 나온 것은 1934년 독일의 Herman Kemper로 알려져 있으며 당시의 제반 기술수준이 이 Idea를 뒷받침할 수 없었기 때문에 실용화기술로

개발되지 못하였다. 이런 가운데 자기부상열차 Idea를 최초로 실용화 개념으로 발전시킨 사람은 미국 Brookhaven 국립연구소의 James Powell과 Gordon Danby이다.

이들은 당시(1960년대 초) 개발이 시작된 초전도자석을 이용한 자기부상열차의 연구를 통해 초고속(500Km/Hr)의



유 문 환
한국기계연구원
신교통기술연구부 선임연구원

자기부상열차의 특징(장점)

장 점	내 용
높은 속도 (High Speed)	<ul style="list-style-type: none"> • 부상, 안내, 추진이 물리적 접촉 없이 일어난다. • 기존의 지상 고속운송수단에 비해 우수한 곡선주행성능을 지니고 있어 더 빠른 속도와 가속도를 제공한다.
뛰어난 제어시스템 (Excellent System Control)	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 완전 자동화 된 Maglev 시스템 구현이 가능하다.
낮은 유지비용 (Low maintenance)	<ul style="list-style-type: none"> • 차량과 궤도 사이에 직접적인 접촉이 없다. : 유지, 보수비 격감
안전성과 이용성 (Safety and Availability)	<ul style="list-style-type: none"> • 기존의 운송수단에 비해서 <ul style="list-style-type: none"> - 구조적으로 안전성이 높다. - 치명적인 고장이 적게 발생한다.
적당한 설치 공간 (Modest Land Requirement)	<ul style="list-style-type: none"> • 소음이 적기 때문에 Buffer Area가 좁아도 된다.
낮은 에너지 소모 (Low Energy Consumption)	<ul style="list-style-type: none"> • 이용객에게 비행기 수준의 여행시간을 제공하는 반면 연료 소모는 비행기의 경우보다 훨씬 적다. <ul style="list-style-type: none"> - maglev의 에너지 소모 (Energy/Seat. Meter) = Boeing 737의 1/7~1/4 • 더 중요한 점은 화석연료의 직접적인 사용이 없다는 석이다.
낮은 운전 비용 (Low Operation Costs)	<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 에너지 소모, 적은 유지비용, 완전한 자동운행 <ul style="list-style-type: none"> - 전체적인 운전비용이 감소한다.
적은 소음 (Lower Noise)	<ul style="list-style-type: none"> • 저속주행시 주소음원인 차체와 레일의 접촉소음을 없앴다. • 고속주행의 경우에도 실험에 의해 차륜식 고속전철에 비해 5~7dBa 정도 낮은 소음이 발생하는 것으로 입증되었다.

반발식 자기부상열차의 개념을 확립하였다. 이러한 연구는 그후 1960년대 말 일본 및 독일로 전파되었으며 양국 공히 정부의 적극적인 지원하에 실용화 수준의 기술로 발전하게 되었다.

독일과 일본의 개발 역사와 동향

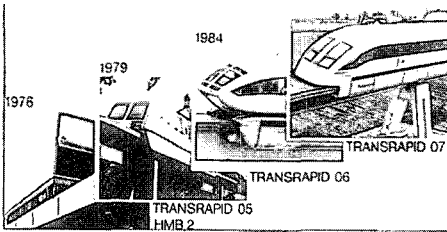
독일에서는 독일은 1960년대 말 기존 철도를 대체할 새로운 고속궤도교통수단의 방식으로 자기부상식과 공기부상식의 장단점을 비교 평가한 결과 공기부상식의 불안정

성때문에 자기부상식을 채택하는 것으로 일찍이 결론을 내렸다. 자기부상 방식으로는 초전도반발식(超電導反撥式)과 상전도 흡인식(常電導吸引式) 방법을 놓고 검토한 끝에, 당시로서는 아직 실용성이 미흡했던 초전도자석을 이용한 방식을 접어두고 일반전자석을 이용하는 상전도흡인식으로 결정하여 수차레의 모델 실험을 진행한 후, 31.5Km의 시험선로 건설(1983년 20Km 건설, 1987년 완성)과 함께 완전한 고속 모델 개발에 나서 1989년 시속450Km로 주행하는 실용화모델(Transrapid-07)을 탄

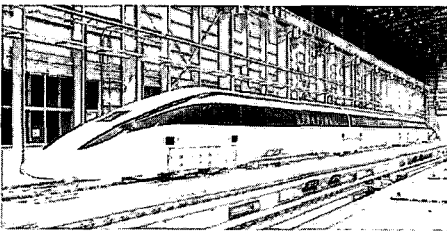
생 시켰고, '90년대 중반 함부르크~베를린 간 290km 노선 건설계획을 정부계획으로 결정해 놓은 상태다.

이 노선에는 금년에 완성된 Transrapid-08이라는 최종 모델이 적용될 예정이다.

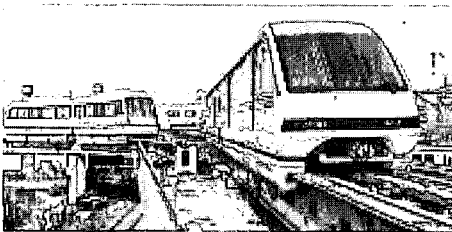
일본의 경우 주기기술방식은 처음부터 Powell & Danby가 정립한 초전도반발식 개념(선로 수평면에 코일 설치)을 따라 왔다. 일본 역시 1960년대 말부터 철도총합연구소에서 고속자기부상열차 개발에 착수했으며, 1988년 Powell & Danby가 새로 Null Flux 방식을 제안하자 일본은 곧 이를 수용 지금은 Null Flux(선로의 수직면에 코일 설치) 방식으로 시험선로 및 차량(MLU-002, 002N)을 개조하였다.



독일 Transrapid



일본 MLX



일본 HSST

현재는 후지산 인근 야마나시 시험선로(18km)에서 실용화를 겨냥한 시제품 모델(MLX-01:시속 500km급)의 주행시험을 실시중이며 2010년 이전에 동경~오오사카 간 제2신간선 개통을 계획하고 있어 세계 시장에서 독일의 Transrapid 와 불꽃튀는 경쟁이 예상된다.

일본에서 초전도방식에 의한 자기부상열차 개발이 국가주도 사업이었다면 상전도 흡인식 자기부상열차 HSST(High Speed Surface Transport)는 민간 주도(JAL)의 자기부상열차 개발사업이었다. JAL 은 1974년 상전도흡인식 자기부상열차 기술을 독일에서 도입, 이를 개선시켜 왔다. 초기의 목적은 당시 건설되고 있던 Narita 공항과 동경 도심을 연결하는 고속(~300Km/hr) 자기부상열차 개발을 목표로 했으나 이 계획은 성사되지 못하였고 현재는 중저속 도시교통용으로 그 목표를 조정하여 추진되고 있다.

현재 나고야 1.5km 시험선로상에서는 최종 실용화 모델인 HSST-100 의 연속운행이 실시되고 있고, 2005년 나고야 EXPO 행사에 맞추어 8.9km 노선 건설계획을 확정('99.7)하였다.

우리나라의 개발 역사와 현황

우리나라에서는 '80년대 중반부터 상전도 흡인식 자기부상기술과 리니어 모터에 관한 소규모 실험연구가 대학, 연구소, 기업(현대정공)에서 진행된 바 있으며, 1989년 12월부터 한국기계연구원이 주관하는 과학기술처 국책연구개발사업이 추진됨에 따라 본격적인 개발이 진행되어 왔다. 한국기계연구원 내 사업단의 발족으로 그때까지 산발적으로 진행되어온 자기부상열차 관련

연구가 체계화되고 박차를 가하게 되었으며 현대, 대우등 국내 대기업의 관심이 확대되고, 현대정공이 주도하고 기계연이 협력한 대전 EXPO'93의 자기부상열차 전시 운행으로 이어지게 되었다.

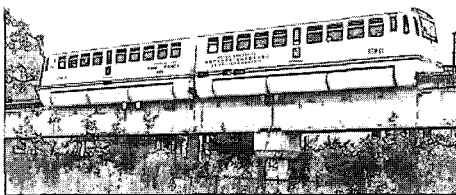
1994년부터 시작된 국책 2단계사업(1994~1998)은 사업단과 현대정공의 협력사업으로서 2량의 Prototype 차량을 개발하여, 기계연에 건설된(1993~1996) 시험선로(1.5km)에서 주행시험을 통한 성능 입증 및 개선을 성공적으로 실시하였으며, 이어서 실시된 국책 3단계사업은 2단계사업에서 하지 못한 운행자동화 기술, 선로의 Switching 기술 등을 보강하고 차량의 신뢰성, 안전성 등을 확립함을 목표로 2년간 계획되어 있었으나 아쉽게도 인천국제공항내 실용화 시범사업 추진의 무산과 함께 '99년 9월 과기부의 과제종료 조치로 남은 1년을 채우지 못하고 중단되었다.

국책연구 추진 경과

국책 1단계	1989~1993	요소기술개발, Scale Model 시험
국책 2단계	1994~1998	Prototype 차량(UTM) 개발 및 시험, 개선
국책 3단계	1998.11~1999.9	운전자동화, Switching, 성능개선, 신뢰도 개선

* UTM : Urban Transit Maglev

UTM-01



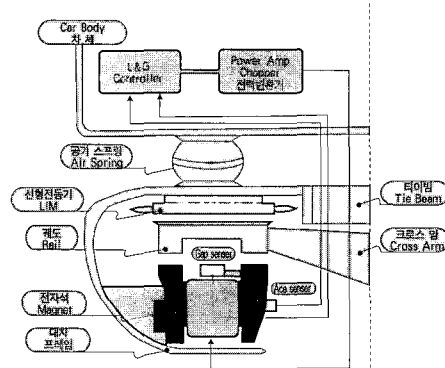
* 3대 차량, 120인승/량

3. 자기부상열차 기술

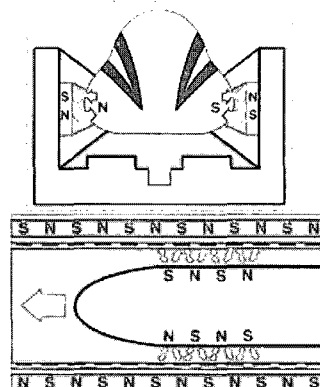
현재 실용화 기종으로 개발되고 있는 자기부상열차의 기술방식을 대별하면 다음과 같다.

부 상	추진	기 종
상전도흡입식	LIM	한국 : UTM * 110km/hr * '89년부터 개발 일본 : HSST * 150km/hr * '75년부터 개발
상전도흡인식	LSM	독일 : TR * 450km/hr * '69년부터 개발
초전도반발식 (Null Flux)	LSM	일본 : MLX * 500km/hr * '70년부터 개발

상전도 흡입식



초전도 반발식



Sub system 기술방식과 우리나라의 UTM 적용방식(★)

구성 요소	구 분	종 류	기능/원리
부상/안내 장치 (Levitation & Guidance)	부상 방식	상전도흡인식 EMS (Electromagnetic Suspension) ★	• 철제 레일과 차량에 설치된 전자석 간에 서로 잡아당기는 흡인력을 이용하여 부상시키는 방식 이 방식을 이용하기 위해서 대차에는 전자석과 센서들이 부착되며 차상에는 초퍼와 부상/안내 제어장치가 설치
		초전도반발식 EDS (Electrodynamic Suspension)	• 차량에 설치된 초전도자석이 궤도에 설치된 유도 코일 위로 움직이게 되면 전자기유도현상에 의해 초전도자석과 유도코일 사이에 강한 반발력을 발생시키게 되는데 이 반발력을 이용하여 차체를 부상시키는 방식임
	안내 장치	부상/안내 겸용 ★	• 안내력(Guidance Force)은 대차의 전자석들의 횡방향 분력으로 자동 발생(:한국 UTM)
		부상/안내 분리	• 안내용 전자석을 대차 측면에 부착
추진 장치 (Propulsion)	용 도	선형유도전동기(LIM) ★	• 회전식유도전동기 원리와 동 - 중저속용에 주로 사용
		선형동기전동기(LSM)	• 회전식동기전동기 원리와 동 - 고속용에 주로 사용
	설치 방법	차상 1차식 ★ (Short Stator)	• 차상에 전력변환장치를 설치하므로 높은 전력 공급이 곤란하여 중저속용에 적합
		지상 1차식 (Long Stator)	• 지상에 전력변환장치를 설치하므로 높은 전력 공급이 가능하여 고속용에 적합
제동장치 (Brake)	제동 방식	전기제동방식 ★	• 선형전동기가 제동시 발전기로 작동 - 회생제동과 저항(열로 방출)제동 방법이 있음
		기계제동방식 ★	• 주로 압축공기를 이용 제동기를 작동하여 Brake Lining이 레일과 마찰됨으로서 제동력을 발생

상전도 흡인식 부상은 차량의 대차(Bogie)에 장착된 상전도 전자석과 궤도 간의 흡인력을 이용하여 차량을 부상시킨다.

이 경우 전자석은 궤도의 하부에 있게 되며 궤도와 전자석 간에 일정한 간격(Gap: 약 10mm) 유지를 위한 정교한 부상제어가 가장 핵심기술이다.

초전도 반발식 부상은 차량측의 초전도 자석이 궤도상에 배치된 코일(Coil)의 상부에 설치 설치되거나(Facing Levitation), 궤도의 수직면과 평행하게 설치된다(Null Flux Levitation).

반발식 부상의 경우 차량 탑재가 가능한 강력한 초전도자석, 소형 헬륨(Helium) 냉각기의 개발이 가장 핵심이 되며 10cm

이상의 부상이 가능하다.

4. 향후 전망

한국기계연구원이 '99년 인천국제공항 내부노선에 대한 조사사업 과정에서 분석한 경전철의 km당 건설비를 보면 자기부상식이 상대적으로 매우 저렴하게 나타나고 있고, 이는 경량화된 궤도의 적용 등 시스템 자체의 경제성에 더하여, 자체개발로 궤도~차량 모두 기술로 부담이 없는 국산이라는 점이 중요한 이유가 되고 있다.

운영비에 있어 자기부상열차의 경우 차륜, 차축, 베어링, 드라이빙 기어, 기어커플링 및 회전형 모터가 없으므로 이와 관련된 유지보수 설비가 불필요하고, 관련 인건비가 절감된다.

한편 부상에 소요되는 전력은 총 전력의 1/10정도이며, 리니어모터 자체의 효율은 다소 낮으나 구동부에 접촉저항이 거의 없어 전력비는 타 시스템과 비슷한 수준으로서, 건설비, 운영비 전반에 걸쳐 자기부상식이 유리하기 때문에 앞으로 고속형은 물론 도시형 경전철로 많은 활용이 예상된다.

실용화 전망은 독일의 경우 함부르크~베를린 간 290km 노선(TR-08 적용)에 대해 재원문제 등의 어려움이 상존하고있으나, 2006년경 개통계획에 아직 변경은 없으며, 일본의 경우는 동경~오사카 간 제2신간선에 적용할 초전도방식(MLX)에 대

해 아직은 기술평가단계에 있기 때문에 당초 2005~6년 경 운행계획은 지연될 전망이다. 도시형(HSST)은 2005년 나고야 엑스포 행사에 맞추어 8.9km 노선 건설 확정상태로서 예정대로 진행될 것이 확실하다.

인천국제공항의 주청사와 외부의 국제업무지역을 연결하는 PMS(People Mover System)노선은 우리나라가 일본보다도 앞서 자기부상열차를 실용화 하여 세계로 응비할 수 있는 절호의 기회였으며 최적의 국책시범사업 대상이었다.

그러나 안타깝게도 연구개발 시제품 1호인 현재의 UTM-01의 성능과 신뢰도만을 놓고 건설교통당국이 적용 유보 결정('99.8)을 내림으로서, 지자체의 경전철 기종 결정에도 간접영향을 미치게 되었고 당분간 국내 노선계획 수립은 어려울 전망이다. 다만 수도권 3기 지하철, 대전의 유성~제3청사 간 경전철 노선 등 자기부상열차를 검토대상 기종에 포함하고 있는 지역은 많이 있다.

최근 과학기술부의 무리한 국책연구 종료조치('99.9.20)로 현재 연구개발이 전면 중단되어 있으나 과거에도 그랬듯이 공백기간을 거친 후 어떠한 형태로든 연구개발은 계속될 수 있을 것으로 전망되며, 만약 그렇지 못할 경우 연구팀 분산, 시설 유희화, 기술 사장의 엄청난 국력 낭비가 발생할 수도 있는 점이 우려되고 있다.

(단위 : 억원)

구 분	철차륜식		고무차륜식	자기부상식
	캐나다 UTDC MARK II (리니어모터카)	영국 도크랜드 (C200형) (일반경전철)	프랑스 VAL 256/208	UTM(경전철용)
km 당 건설비	494	535	800	390