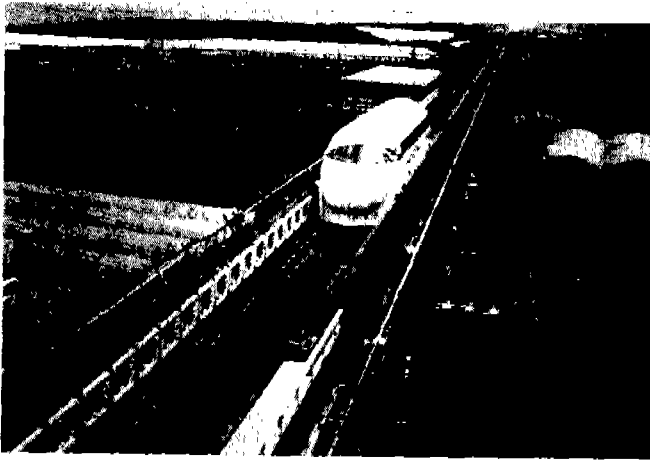


磁氣浮上列車의 國產化 開發計劃



김용주, 구대현

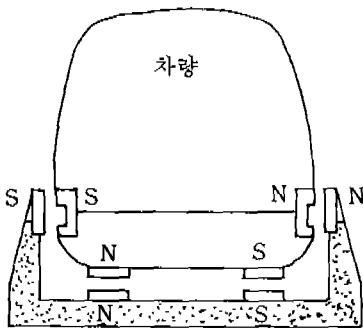
한국전기연구소 전력기기연구실

최근 급속한 경제성장과 더불어 기존 교통체계의 포화화 교통수단으로 인한 배연, 소음, 진동 등의 공해문제가 현실적으로 제기되고 있다. 이에 대한 문제해결과 대체식 교통수단의 한계성을 극복하기 위해 미래지향적이고 고속화된 대중 교통수단의 출현이 필수적이라는 공감대가 형성되면서 공해가 없이 비접촉주행으로 쾌적하면서 경제적인 고속의 교통수단인 자기부상열차(Maglev)에 대한 연구개발이 독일, 일본, 영국,

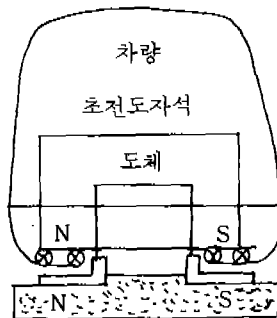
프랑스, 캐나다, 미국 등에서 국가적 차원에서 활발히 진행되고 있다.

우선 자기부상열차의 원리에 대하여 알아보면 자기부상열차란 이름 그대로 전자석 또는 영구자석의 자기력을 이용하여 부상된 상태에서 선형전동기에 의해 추력을 발생시키는 방식이다.

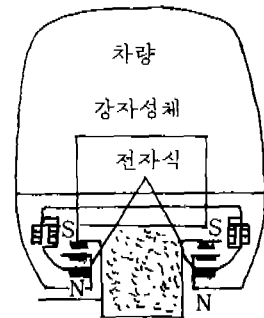
자기부상방에는 반발력(Repulsive Force)과 흡인력(Attractive Force)을 이용하는 두 가지 방식으로 나눌 수 있는데, 반발력을 이용



〈그림 1〉 영구자석을 이용한 부상방법



〈그림 2〉 초전도 자석을 이용한 부상방법



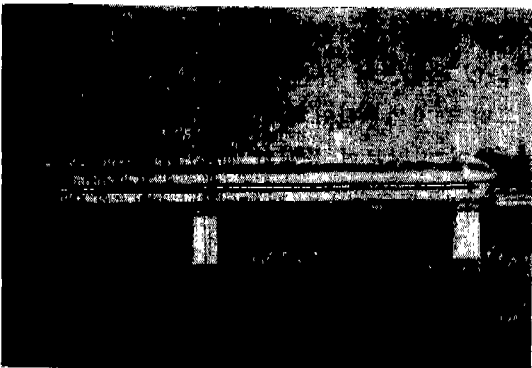
〈그림 3〉 상전도자석을 이용한 부상방법

한 방식으로는 그림 1과 그림2에서 처럼 영구 자석과 초전도 자석을 이용하는 방법이 있다.그림 1의 영구자석을 이용한 방법은 기술적으로는 어렵지 않으나 고속 주행용에는 적합하지 않아 독일에서 개발한 저속의 M-Bahn(사진4)에만 사용되고 있다.

그림 2의 초전도 자석(Superconducting Magnet)을 이용한 방식은 차량에 초전도자석을 탑재하여 가이드웨이에 설치되어 있는 도전성 코일과의 상호 반발력을 이용하는 방법인데, 이를 EDS(Electrodynamic Suspension)방식이라 한다. EDS 방식의 가장 큰 특징이자 장점은 주행 시열차와 가이드 웨이간의 부상높이가 10~15cm에 이르러 기후나 미세한 지진, 가이드웨이의 표

면상태에 큰 지장을 받지 않으며 시스템의 안정도와 신뢰성이 높다는 점이다. 그러나 부상력이 속도에 비례하기 때문에 저속에서는 부상을 할 수 없어 보조 지지기구가 필요한 단점이 있다. 표제사진의 일본 국철 MLU가 이 EDS 방식을 채택하여 개발중에 있다.

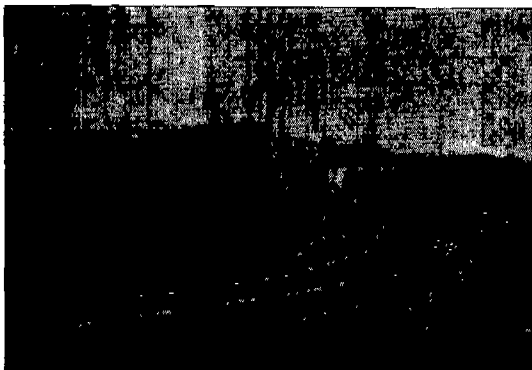
그림 3은 흡인력을 이용하는 방식으로 차량에 탑재된 전자석과 가이드웨이에 설치된 강자성체(Ferromagnetic Material) 사이에서 발생하는 흡인력으로 차량을 부상시키는데, 이를 EMS(Electromagnetic Suspension)방식이라 한다. EMS방식은 독일에서 개발중인 Transrapid(사진1), 일본항공 JAL에서 개발중인 HSST(사진2), 그리고 영국에서 개발한 Birmingham



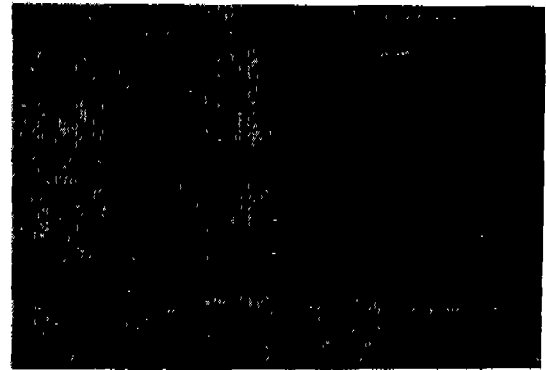
〈사진 1〉 독일의 TRANSRAPID



〈사진 2〉 일본의 HSST



〈사진 3〉 영국의 BPM



〈사진 4〉 독일의 M-Bahn

People Mover(사진 3) 등이 이 방식을 사용하고 있다.

EMS방식은 본질적으로 Unstable하기 때문에 능동동적 귀환제어(Active Dynamic Feedback Control)를 이용하여 안정상태를 유지시켜야 하며 부상 높이는 약 0.8~1.5cm 정도이지만 EDS와는 달리 속도에 무관한 부상력을 얻을 수 있어 별도의 지지기구가 필요없다.

이러한 EDS나 EMS 방식을 채택한 부상 시스템은 부상한 상태에서 고속으로 주행하기 때문에 기계적인 지지기구가 없어 선형전동기에서 발생한 전자력이나 주행시의 공기저항, 트랙의 불균일 등으로 인해 차량의 앞부분과 뒷부분의 움직임, 좌우로 흔들림, 회전하려는 힘 등이 발생하는데, 이를 방지하기 위하여 별도의 제어장치가 필요하며 이러한 기능을 안내라고 한다.

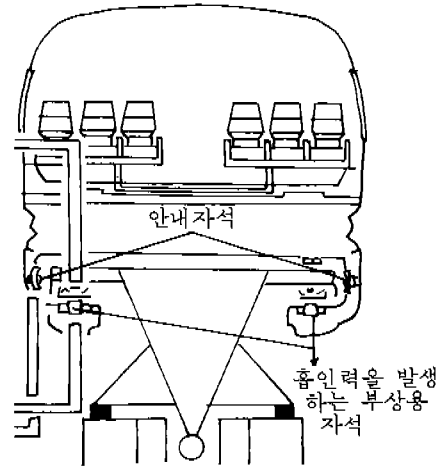
안내방식으로 일본의 국철 MLU의 안내를 예를 들면 Null-flux 방식의 안내를 하고 있는데, 차량이 가이드웨이 정위치에서 이탈하여 좌·우측의 측면변위가 발생할 경우, 도전 코일과 초전도 자석간의 상호작용으로 측면변위 반대방향으로 힘을 받아 차량이 가이드웨이 정위치에 위치하도록 복원력을 발생시키는데, 저속에서는 안내력이 발생하지 않으므로 보조 안내기구가 필요하다.

독일의 Transrapid 안내를 예를 들면 그림 4와 같이 차량에 장착된 안내용 전자석과 가이드웨이의 측면에 설치된 안내용 레일과의 상호작용으로 인하여 측면변위를 방지하는 안내력을 발생시킨다.

이와 달리 일본의 HSST나 영국의 Birmingham People Mover에서는 그림 5에서와 같이 부상용 전자석으로 부상과 안내를 동시에 하도록 되어 있다.

이는 가이드웨이에 설치된 강자성체 레일과 전자석을 얼마간의 offset를 두어서 이 차이로 인하여 차량이 항상 정위치에 위치하도록 하고 있다.

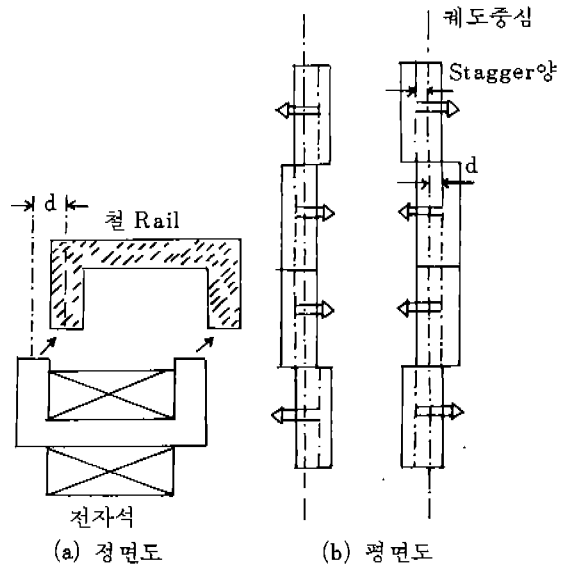
추진 시스템으로는 선형전동기를 이용하는데,



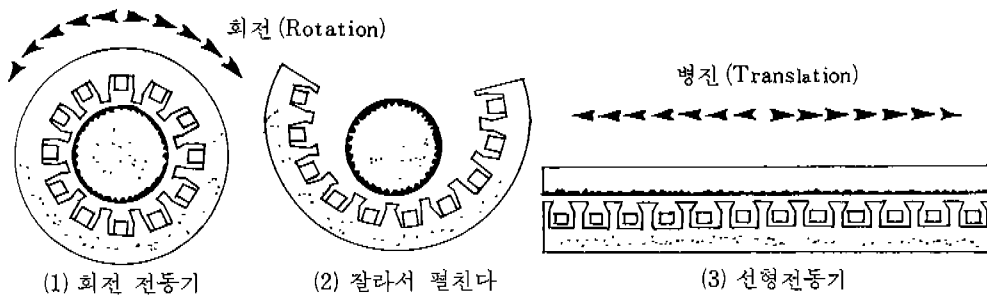
〈그림 4〉 Transrapid의 안내자석 및 부상자석

중·저속용으로는 선형유도전동기(LIM), 고속용으로는 선형동기전동기(LSM)를 이용하여 추력을 얻고 있으며 기본원리는 그림 6과 같다.

그리고 자기부상열차의 국외 개발현황에 대하여 좀 더 살펴보면 독일의 Transrapid는 도시간 고속 운송수단으로 개발되었는데, 지상 1차 선형동기 추진방식을 채택하여 부상 높이가 10mm



〈그림 5〉 Stagger 배열된 전자석



〈그림 6〉 선형전동기의 기본원리

로 바로 실용화가 가능할 만큼 자기부상기술이 앞서 있다. 지난 '84년 암스랜드에 21km의 시험 구간을 건설하여 시험운행을 하였으며, '87년에는 시험구간을 31.5km로 증설하여 신뢰성 향상을 위해 운행실험을 계속하고 있다.

중·저속 대도시 교통수단을 목적으로 개발된 독일의 M-Bahn은 '88년부터 미국 라스베가스에서 피플무버(LVPM) 건설을 시작하여 1991년에 상업운행이 개시될 예정에 있고 또한 자국의 프랑크푸르트 공항내의 연계수단으로 채택되어 '93년에 완공을 목표로 건설중에 있다.

일본의 MLU는 육상교통수단으로서 최고 시속인 517km/h를 시험주행에서 성공하여 곧 실용화 단계 돌입을 위해 미비점 보완에 주력하고 있으며 동경-오사카 축에 건설을 목표로 40km의 시험선로를 착공하였다.

중저속도용으로 개발된 일본의 HSST 시리즈는 수차페 박람회 전시운행을 거쳐 안정성을 입증받아 미국 Nevada 라스베가스에 17km의 구간을 1992년에 실용화 목표로 PSC (Public Service Commission)의 승인을 얻었으며 일본 나고야에서는 10km 구간을 대중교통수단으로 채택하여 1991년에 시험선로(약 1km)를 착공하여 1991년 상반기에 시험운전할 예정이다.

영국의 도시형 저속자기부상 전철 BPM (Birmingham People Mover)은 1984년 버밍햄공항의 셔틀로서 개통하여 높은 신뢰성을 보이며 상업화에 성공하고 있다.

그리고 자기부상열차의 국내 개발현황과 전망에 대해서 살펴 보면, 산업계에서는 현대정공(주)이 1989년부터 연구를 시작하여 최근 8인승 상전도 흡입방식 자기부상열차(HML-02)를 개발해 30m 시험 트랙에서 시험운행을 성공적으로 마쳤으며 운행제어 연구를 위해 200m 타원형 궤도를 계획하고 있다. 대우중공업(주)에서는 1989년에 연구 팀을 구성하여 한양대학교와 산학공동체제를 형성하여 100m 시험 트랙을 공장내에 건설하여 HSST형 2-Module 모델 시험차량을 제작하여 시험운행할 계획에 있다.

학계로서는 한양대 전기공학과에서 1990년초 일본의 HSST-03형과 유사한 4.5Ton 규모의 시험차량과 37m의 실험트랙을 설치하여 현재 연구중에 있다.

과거처 산하의 정부 출연 연구기관들도 1989년부터 자기부상열차 개발에 착수하여 대전 EXPO '93용 자기부상열차 개발을 위하여 자기부상열차 개발사업단을 중심으로 한국전기연구소, 한국기계연구소 및 해사기술연구소 등이 각 분야별로 연구 수행중에 있다.

상용화 문제에 있어 대도시간의 고속 자기부상열차의 상용화에 대하여 살펴 보면 1990년 독일이나 일본의 경우 첨단기술의 접목으로 높은 신뢰성과 안정성을 확보하여 기술적으로 실용화 단계에 와 있으며 일본에서는 동경-오사카 축에 건설을 발표하였다. 경제성에 있어서는 HSST Type의 경우 고속전철보다 건설 단가가 약간

낮게, Transrapid는 고속전철의 건설단가보다 약간 높게 평가되었지만, 우리나라의 경우에 있어서 기술의 발전과 산업에의 파급효과 및 지형과 대도시의 토지가격을 고려한다면 충분히 경제성이 있다고 판단되며 도시간의 자기부상열차 운행문제는 좀 더 적극적이며 신중한 검토가 있어야 할 것으로 생각한다.

대도시에서의 중·저속용 자기부상열차의 상용화문제는 소음, 진동 등의 공해가 없이 기존 교통수단과의 연계성이 뛰어나 특히 춘 동심원 끝의 교통흐름 및 공항청사와 기술성 등에서 그 타당성이 인정되어, 외국에서는 이미 상용운전을 하고 있는 단계이므로 우리나라에서도 신뢰성 확보를 위하여 실용화 개발연구가 계속 수행되어 2000년초에는 바퀴식 지하철을 중·저속용 자기부상열차로 대체시킬 수 있을 것으로 본다.

이에 과학기술처는 1989년에 자기부상열차 개발사업단을 발족시켜 표 1에서와 같이 2001년까지 3단계에 걸쳐 자기부상열차 개발계획을 수립하여 연구 수행 중에 있다.

현재 국내 자기부상열차 개발의 제1단계(1989~1993) 목표는 대전 EXPO '93에서 승객 수송용 저속형 자기부상열차를 개발하여 전시하여 운행하는 것이다. 초기 연구개발 단계에서는 외국에서 개발되어 시험운행중에 있는 각 Model을 기술적, 경제적인 면에서 다각적으로 검토하여 국제공동연구와 국내의 산·학·연 협조체계의 구축을 통해서 선진외국 기술을 흡수하여 신 모델의 중저속 자기부상열차를 개발할 수 있는 핵심 요소기술을 확보함과 동시에 대전 EXPO'93 전시용 자기부상열차의 개발을 완료하는 것이다.

제 2단계 (1994~1997)에서는 도시형 중저속 자기부상열차의 상용화 개발을 목표로 하고 있으며 1단계에서 개발된 모델을 기초로하여 시속 150km/h급 자기부상 열차를 개발하고 장거리 시험선로에서 시험운전하게 될 것이다. 이 단계에서는 상전도 초고속 부상열차의 Model개발도 병행하여 고속주행을 위한 부상 및 선형동기 추진 시스템의 개발을 완료하고 차체의 내구, 경

〈표 1〉 단계별 연구개발계획

도시형 150km/h	기반기술연구	상용화 연구개발	상업운영	
	'93 EXPO 차량제작전시			
초고속 500km/h		기반기술 연구	상용화 연구개발	
		시험트랙건설 및 운영시험		
			상업 운영	
	'89	'94	'97	
	'89	'94	'97	'2000

량화 및 공력설계에 중점을 두며, Guideway 관련기술, 주요부품의 국산화개발, 시험선로의 건설, 시험용 고속열차 제작 및 시험 등이 이루어지게 될 것이다.

제 3단계 (1998~2001)는 초고속 자기부상열차 (400~500km/h)의 상용화 개발기간으로서 초고속화에 따른 제반 설비의 성능 및 안정도 향상을 위한 기술개발이 이루어지며 초전도를 이용한 초고속 자기부상열차의 핵심기술인 초전도 재료 개발 및 응용기술에 대한 연구도 병행이 되어야 할 것이다.

이제 우리나라도 자기부상열차에 대한 연구가 활발하게 진행되어 한국전기연구소가 3 ton 급 (KOMAG-01), 현대정공(주)가 8인승 (HML-01) 자기부상열차 개발에 성공함으로써 한국형 자기부상열차의 고유 모델을 개발할 수 있는 능력을 어느 정도 보유하고 되었다.

그러나 보다 완벽한 자기부상열차 개발을 위해서는 정부 주도하에 산·학·연이 공동으로 노력을 경주하고 선진 외국의 첨단기술을 습득하면서 각 Sub-System 및 소자의 국산화 개발을 이루게 되면 한국형 자기부상 열차가 국내 기술진만으로도 완성이 그렇게 어렵지만은 않을 것으로 판단된다.

그렇게 되면 자기부상열차의 개발로 인한 막대한 기술적 파급효과와 더불어 대도시의 극심한 교통난 완화에 일익을 담당할 것이며 장기적으로는 21세기 교통의 총아로서 국민복지와 국가 경제등에 지대한 공헌을 할 것으로 기대된다.