

도시형자기부상열차 실용화사업 소개



이 신 병 천 |
한국기계연구원
도시형자기부상열차
실용화사업단
사업단장



이 김 원 중 |
한국기계연구원
도시형자기부상열차
실용화사업단
사무국장



이 박 도 영 |
한국기계연구원
도시형자기부상열차
실용화사업단
기술팀장



이 백 진 기 |
한국기계연구원
도시형자기부상열차
실용화사업단
선임연구원



이 강 흥 식 |
한국기계연구원
도시형자기부상열차
실용화사업단
선임연구원

1. 서론

도시형자기부상열차는 차륜과 레일간의 점착력을 이용하는 한계를 극복하기 위해 개발된 열차로서 전자석의 힘으로 레일위를 부상(8mm)하고, 선형유도전동기(리니어모터)에 의해 추진하는 시스템이다. 소음과 진동이 작아 승차감이 우수하고, 분진이 거의 없는 환경친화적 열차이면서 등판능력 등도 우수하다. 또한, 차체가 레일을 감싸고 주행하는 구조로 전복이나 탈선의 위험이 없는 안전한 특징을 가지고 있다.

한국형 도시형자기부상열차는 국책사업의 일환으로 1989년 흡인식(EMS, Electro-Magnetic Suspension) 시스템 부상 및 선형유도전동기(LIM, Linear Induction Motor) 추진으로 이루어지는 형태로 한국기계연구원(이하: 기계연구원)이 주관하여 중저속 자기부상열차의 본격적인 연구개발을 시작하였다.

기계연구원은 협력기관들과 함께 1998년 UTM-

01 차량을 개발하였다. UTM-01 개발 기술을 기반으로 기술을 향상시켜 2005년 현대로템(주)이 주관하여 UTM-02를 개발하게 되었고, 이후 연구개발 수준의 시제차량을 뛰어 넘어 안전성과 신뢰성을 보장하면서 승객이 이용할 수 있는 상업화된 도시형 자기부상열차에 대한 기대감이 높아지면서 실용화 사업을 추진하는 걸음이 빨라지기 시작하였다.

자기부상열차 개발은 범정부 차원의 환경친화적인 미래형 교통수단 개발의지와 맞물려 자기부상열차의 실용화 방안의 필요성이 대두되었다. 2006년 12월 '도시형 자기부상열차 실용화사업'을 국토해양부가 주관하고, 한국건설교통기술평가원이 전문기관으로서, 총괄주관기관으로 기계연구원을 선정하여 발족시켰다. 그린수송 시스템인 '도시형 자기부상열차 실용화사업'은 6년간 약 4,500억원의 예산을 투입하여 무인자동운전이 가능한 110km/h급 자기부상열차 4편성(총 8량)을 개발하고, 7km 이내의 시범노선을 건설하여 개발된 자기부상열차로 상업운전이 가능하도록 하는 사업이

다. 이 사업을 통하여 자기부상열차라는 친환경, 최첨단 교통수단을 국내 기술력과 자본으로 기술을 향상시키고, 국가 주도의 시범사업으로 영업운전 실적을 확보함으로써, 국내는 물론 해외시장 수출을 위한 기반을 마련하는데 중요한 의미가 있다. 또한, 도시형자기부상열차의 실용화를 통해 우리나라는 세계 2번째의 도시형자기부상열차 상용화 기술을 보유하게 되며, 중저속형 자기부상열차 기반 기술을 토대로 높은 기술집약 사업으로의 확대 재생산을 할 수 있게 될 것이다.

2. 국내외 도시형 자기부상열차 개발현황

가. 국내 개발현황

우리나라 자기부상열차의 본격적인 개발은 1989년 12월 과학기술부 국책연구 주관기관으로 기계연구원이 선정되면서 시작되었다. 한국형 자기부상열차 기술 개발은 관계기관과의 협력을 통해 추진되어 왔으며, 국내 최초로 1.3km의 자기부상열차 전용 시험선로를 구축하고 그림 1과 같이 UTM-01이라는 도시형 자기부상열차를 개발하여 주행시험을 수행하여 왔다.

현대로템(주)에서는 산자부 중기거점사업으로 UTM-02를 개발하여 기계연구원의 시험선에서 성능시험을 완료하였다. 그림 2는 2008년 4월부터 국립중앙과학관과 엑스포공원을 연결하는 1km 노선에서 운용중인 UTM-02를 보여준다.

연구개발에 머무르던 도시형자기부상열차의 기술은 2006년 부터 국토해양부 대형국가연구개발 사업으로 수행중인 도시형자기부상열차 실용화사업을 통해 안전한 승객 운송시스템으로 확실한 면모를 갖추게 되었다. 기계연구원에서는 2009년 기존 기계연 시험선로를 전면 개보수하여 운행 시험을 위한 준비를 마무리 하였고, 2010년부터 그림 3과 같이 시제차량으로 개발된 열차로 기계연구원 시험선로에서 차량 성능시험을 수행하고 있으며, 2011년 말 까지 지속적인 운행 시험을 수행할 예정이다. 시험 검증 데이터를 토대로 2011년 초부터 인천공항 시범노선에 투입 될 더욱 완성도 높은 양산차량 제작이 진행되고 있다.



그림 1. 한국기계연구원의 UTM-01



그림 2. 과학관 노선의 UTM-02



그림 3. 도시형자기부상열차 실용화사업 시제차량

나. 국외 개발현황

20세기 바퀴없이 떠서가는 자기부상열차의 개념이 소개된 이후 도시형 자기부상열차를 개발하고 있는 국가들로는 우리나라를 비롯하여 일본, 중국, 미국 등이 알려져 있다.

일본은 1972년 신설 나라타 공항 연결노선 적용을 위해 일본항공(JAL) 주도로 개발을 시작하여 세계최초로 도시형 자기부상열차 실용화에 성공 하였으며, 2005년 3월 8.9km 노선 (동부구릉선 : Tobu Kyuryo선, 차량 : Linimo)이 일본 나고야 시에서 개통되어 운행되고 있다. 그림 4는 일본의 도시형 자기부상열차인 Linimo 차량의 사진이다.



그림 4. 일본 Linimo

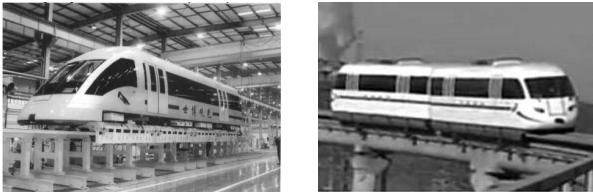


그림 5. 중국의 도시형 자기부상열차



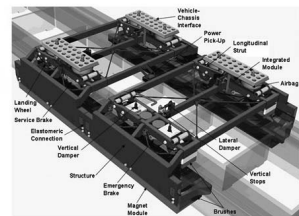
그림 6. 중국 베이징 도시형 자기부상열차 노선도

중국은 90년대 중반부터 교통대학, 국방대학 등에서 중저속 도시형 자기부상열차 개발을 시작하여 자기부상열차 개발 기술을 쌓아가고 있다. 특히 국방대학에서는 CMS-03 차량과 개량형 도시형 자기부상열차 차량을 계속해서 개발하여 1.6km 길이의 시험선에서 시험을 수행하고 있다. 중국은 도시형자기부상열차에 대한 연구 시작은 늦었지만 상용화를 위한 발걸음이 더욱 빠르게 전개되고 있어 베이징의 스먼잉(石門營)역에서 핑궈위안(平果園)역까지를 연결하는 10km 도시형자기부상열차 노선 착공식이 2011년 2월 28일에 있었으며, 2013년 개통될 예정이다. 그림 5는 중국의 도시형 자기부상열차 차량 사진이며, 그림 6은 중국 베이징 도시형자기부상열차 예상 노선도이다.

인구분포가 낮아 철도차량에 큰 관심이 없었던 미국은 대도시들이 밀집한 동부지역과 서부지역 일부에 자기부상열차 적용 필요성이 대두되고 있어 90년대말부터 개발이 시작되었다. 미국은 미 연방정부(DOT : Department of Transportation) 주관으로 자기부상열차 방식에 대한 타당성 검토 연구를 실시하여 GA(General Atomics)사 등이 참여하는 영구자석 반발식 자기부상열차 개발 국책연구계획을 확정하여 현재 개발이 진행중에 있다. 그림 7은 미국에서 개발되고 있는 영구자석 반발식 도시형자기부상열차 사진이다.



영구자석 반발식 대차



대차(Bogie) 구조도

그림 7. 미국의 도시형 자기부상열차

3. 도시형자기부상열차 실용화사업

가. 사업목표

도시형 자기부상열차 실용화사업의 최종목표는 첫째, 기술보완을 통하여 세계 최고 수준의 시속 110km급 무인 운전 자기부상열차 시스템 개발과 둘째, 시스템 성능검증

과 영업운전 실적을 확보하기 위한 목적으로 개발시스템 운영을 위한 7km이내의 시범노선 구축이다. 이를 위하여 2량 1편성으로 구성되는 자기부상열차 총 4편성을 제작하여 시범노선에서 1년간 집중적인 시험을 수행하고 상업운전이 가능한 수준을 확보할 계획이다.

세계적인 실용화 사례는 2004년 개통한 중국 상하이의 시속 430km급 고속자기부상열차(독일모델)와 2005년 개통한 일본 나고야의 도시형 자기부상열차(HSST) 뿐이며, 실용화사업이 차질없이 추진되면 우리나라가 세계 2번째 도시형 자기부상열차 실용화노선 보유국이 될 전망이다.

나. 사업추진체계

도시형 자기부상열차 실용화사업의 추진을 위해 국토해양부가 총괄주관하고, 교육과학기술부와 지식경제부가 협조하여 추진하며, 기계연구원이 총괄기관(사업단장: 신병천)으로 '도시형자기부상열차실용화사업단'이 구성되었다. 그림 8은 '도시형자기부상열차실용화사업단'의 구성체계를 보여 준다.

시스템 엔지니어링 분야는 기계연구원, 차량개발 분야는 현대로템(주), 선로구축 분야는 한국철도시설공단이 핵심총괄 주관기관으로 선정되었다. 각 핵심과제는 분야별 특성에 적합한 기계연구원, 철도기술연구원, 생산기술연구원, 전기연구원, 교통개발연구원, 산업기술시험원 등 주요 출연연구기관과 철도시설공단, 철도차량업체인 현대로템 등 산·학·연 26개기관 총 300여명의 전문가가 참여하여 사업을 수행한다.

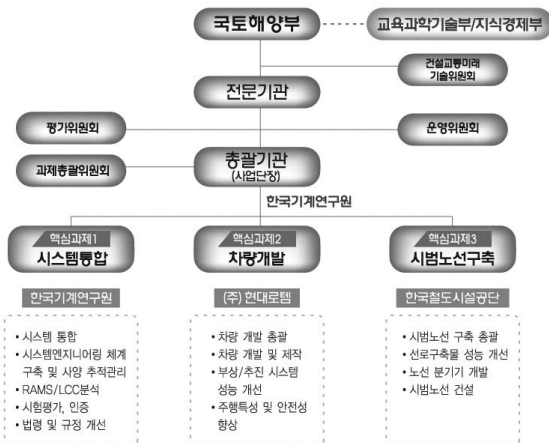


그림 8. 사업단 구성체계

다. 사업추진일정

사업기간은 2006.12~2012.12까지이며, 전반기 3년 동안은 세계적 수준의 자기부상열차 기술확보를 위한 기술보완(차량개발 및 선로 구축물)과 시범노선 지역 선정 및 노선 설계, 후반기에는 시범노선 건설이 진행된다. 또한 실용화모델 차량(2량/1편성)을 제작하여 기계연구원 시험선에서 기본성능시험을 마친 후 추가 3편성을 시범노선에 투입하여 속도시험, 안전성시험 등 최종 시험 및 종합시운전을 수행하여 시스템 전반에 대한 검증을 완료한 후 시범노선 유치기관에 이전하여 영업운전을 실시하게 된다. 표 1은 전체 사업일정을 나타내고 있다.

표 1. 도시형자기부상열차 실용화사업 일정

구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
시스템엔지니어링	[Progress bar from 2007 to 2013]						
차량개발	시제차량(성능시험포함)	[Progress bar: 설계/제작]		[Progress bar: 성능시험]			
	양산차량 제작			[Progress bar]			
	시험선 시험평가			[Progress bar]			
시범노선구축	노선선정	[Progress bar]					
	기본계획/실시설계		[Progress bar: 시설준비대안]		[Progress bar: 전기준공]		
	시험선 보수(기계연)		[Progress bar]				
	노선건설/시스템통합		[Progress bar: 시설공사착공]		[Progress bar: 전기공사착공]		
종합시운전						[Progress bar]	

※ 2006년 12월 21일 사업시작

4. 실용화사업 차량

본 사업에서 개발되는 차량은 UTM-01과 UTM-02의 연구결과를 바탕으로 차량의 경량화 및 부상/추진시스템

표 2. 차량의 주요 규격

주요사양	실용화사업 차량	리니모(일본)
차수 (m)	12.0(L)*2.7(W)*3.45(H)	13.5(L)*2.6(W)*3.45(H)
공차중량	19 ton/car	17 ton/car
탑승인원(최대)	115 명/car	84 명/car
부상 공극	8 mm	8 mm
최고속도	110 km/h	100 km/h
가속성능(최대)	4.0 km/h/s	4.0km/h/s
량당 대차수	4	5
궤 간	1.85 m	1.7 m
최대구배	7 %	6 %
최소곡선반경	50 mR	75 mR

의 성능을 대폭 향상시켰으며, 세계 최고수준의 성능을 확보하기 위한 보완연구를 지속적으로 전개해 나아갈 것이다. 표 2는 개발된 차량의 주요 규격을 나타내고 있다.

차량의 내외부 디자인은 2008년 1월부터 1개월간 약 4천 5백명을 대상으로 수행한 조사를 통해 조사참여 인원의 64%가 선호한 고려청자의 아름다운 곡선을 담은 디자인이 선정되었다. 그림 9는 선정된 외부와 내부 디자인이다.



차량외부



차량내부

그림 9. 차량 내외부 디자인

5. 기계연구원 시험선로 시험

그림 10은 기계연구원 시험선로 전경을 보여주고 있다. 실용화사업으로 개발되는 차량에 맞추어 기계연구원 자기 부상열차 시험선로 상부구조물의 전반적인 개보수 작업이 2009년 11월 마무리 되었다. 초창기 연구를 위해 설치된 용접구조의 레일을 보다 정밀하고 균일한 압연 레일로 교



그림 10. 한국기계연구원 시험선로 전경

체하였으며, 기존 2m의 궤간을 1.85m로 축소하였고, 제3궤조는 안전성과 집진성능 향상을 위한 연구성과물을 적용하여 설치하였다.

기계연구원 시험선로의 총길이 1.3km로 차량 주행시 다양한 특성을 파악할 수 있는 형태로 구성되어 있어 차량의 성능 및 주행 특성을 분석하고 보완할 수 있도록 되어 있다.

기계연구원 시험선 시험을 통해 차량 만차 조건에서도 가감속 성능이 4.0km/h/s 이상임을 그림 11의 추진/제동 성

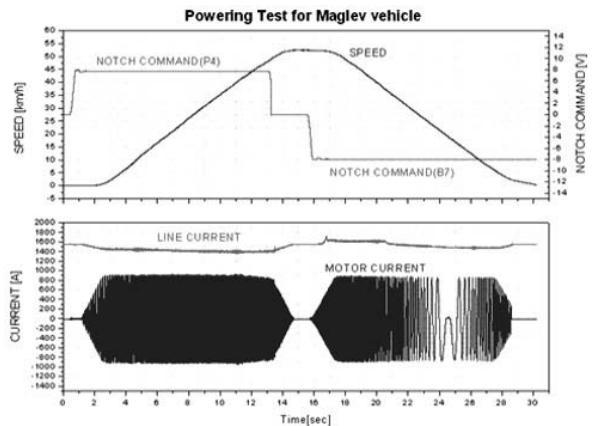


그림 11. 추진/제동 성능시험 결과

능시험 결과를 통해 확인할 수 있었다.

주행중 부상공극 변화 측정 값을 통하여 향후 시범노선 110km/h 시 공극변화를 추정할 수 있는 기초 데이터를 측정하였다. 그림 12는 차량 속도 증가에 따른 공극 변화를 측정 한 결과이다. 시험선 구간에서는 안전을 위한 제동거리 확보를 위해 최고속도를 55km/h까지 시험하여 결과를 얻었다. 그림 12의 시험 결과에서 부상공극의 변화(peak-to-peak)는 55km/h까지 ±1.5mm 이상을 벗어나지 않는 것

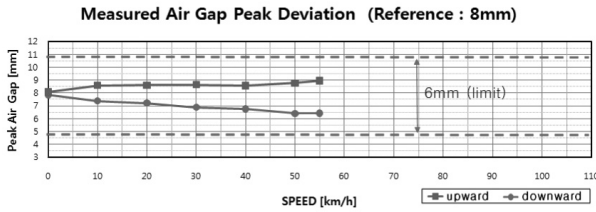


그림 12. 주행 시 부상공극 변화시험 결과

을 볼 수 있으며, 목표속도인 110km/h에서도 $\pm 3.0\text{mm}$ 이상 벗어나지 않을 것으로 추측하고 있다. 110km/h의 속도에서 부상공극 변화에 따른 결과는 시범노선에서 확인 할 예정이다.

그리고 안정성과 관련하여 만일의 경우 전원공급이 차단되었을 때 일정기간 부상을 유지시키는 장치인 비상배터리 기능시험을 실시하여 요구조건을 충족하는 결과를 얻었다. 그림 13은 비상배터리 기능 시험 결과를 보여주고 있으며 시험 결과에서 볼 수 있듯이 43초구간에서 DC-DC 전원을 차단하였을 때도 비상배터리 전압에 의해 열차의 부상이 유지 되는 것을 확인할 수 있다.

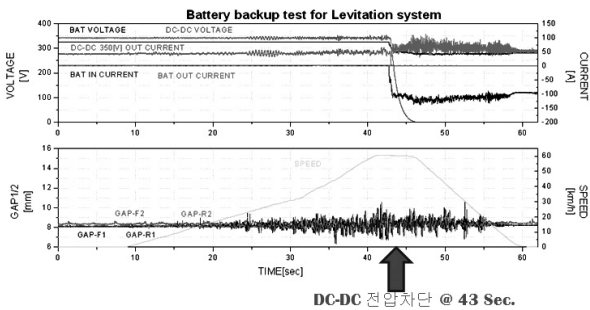


그림 13. 비상 배터리 기능시험 결과

6. 실용화사업 시범노선

전국 지자체를 대상으로 공개경쟁을 통하여 인천광역시 가 인천국제공항공사와 공동으로 제안한 인천공항 노선이 2007년 6월 시범노선으로 선정되었다.

실용화사업 시범노선은 그림 14와 같이 인천공항내 교통센터에서 용유역까지 6.1km 구간에 복선으로 차량기지 1개소 및 정거장 6개소가 설치될 예정이다.



그림 14. 인천국제공항 시범노선 조감도



그림 15. 인천국제공항 노선 계획

또한 시범노선과 연계하여 그림 15와 같이 향후 2, 3단계를 거쳐 영종도 순환노선 추진이 계획되고 있으며, 3단계에서 총 연장 53.2km의 영종도 순환노선이 구축되면 공항과 이지역 경제 활성화의 초석이 될 것으로 기대하고 있다.

시범노선 기본 및 실시설계가 동명기술단 컨소시움에 의해 '07년 11월에 시작되어 '09년 8월까지 마무리 되었지만, 더욱 완성도 높은 성과물을 얻고자 대안설계를 실시하였고 '10년 2월 시범노선 시공사가 GS건설 컨소시움으로 결정되어 시설공사가 진행중에 있으며, '11년 2월 전기공사 발주 및 계약이 마무리되어 공사가 진행되고 있다. 그림 16은 건설공사 현장진행 사진이다.



그림 16. 인천국제공항 시범노선 공사 현장

시범노선 공사는 '12년 8월까지 전 공정이 마무리 될 예정이며, 이후 12개월의 시범노선 시운전시험을 마무리하고 2013년 영업운전을 실시할 예정이다.

7. Maglev 2011 국제학술대회

한편 국내에서 개발된 도시형 자기부상열차의 개발성과를 전세계 자기부상열차 전문가들에게 알리기 위하여 제21차 Maglev 국제학술대회(Maglev 2011)을 유치하여 2011년 10월 10일부터 13일까지 대전에서 개최할 계획이다.

Maglev 국제학술대회는 1977년 미국 보스턴에서 처음으로 개최된 이래 매 2~3년마다 개최되며, 자기부상차량 뿐만 아니라 토목, 신호, 교통계획을 포함한 자기부상열차관련 전분야의 세계적인 전문가들이 참석하는 국제학술대회이다.

Maglev2011은 철도학회가 주최하고 한국기계연구원 및 한국철도기술연구원이 주관하며 국토해양부와 한국건설교통기술평가원의 후원으로 개최된다. 자기부상열차관련 전세계 전문가들이 다양한 분야의 연구성과를 발표할 계획이며, 도시형자기부상열차실용화사업에 참여하는 연구진들이 지금까지의 연구개발성과를 총 30여편의 논문으로 발표할 예정이다. 금번 개최되는 Maglev2011은 친환경 교통수단으로 향후 철도분야의 주역으로 등장할 자기부상열차의 개발현황을 국내 철도전문가들이 파악할 좋은 기회가 될 것이다.

8. 맺음말

2004년 중국은 독일의 기술을 활용하여 중국 상하이에 초고속 자기부상열차를 상용화였고, 2005년 일본은 나고야시에 중저속형 도시형자기부상열차를 개통하였다. 여기에 발을 맞추어 자기부상열차 개발 및 실용화가 범 세계적인 확산 추세에 들어서 있으며, 우리나라에서도 시범적 상용화 필요성을 인식하여 2006년부터 도시형 자기부상열차 실용화사업이 시작되었고, 2013년 도시형자기부상열차가 인천국제공항에서 성공적으로 시운전을 마치고 본격적인 영업운전이 시작되면 자기부상열차의 상용화 시대를 열게 된다.

주목할 점은 최근 중국이 기술개발 및 경쟁력 강화를 위한 노력을 전략적으로 추진하고 있다는 점이며, 중국의 규모모델로 2013년 베이징 10km 노선을 개통할 예정으로 향후 세계시장에서 치열한 경쟁을 펼칠 것으로 예상된다.

도시형 자기부상열차의 경우 앞으로의 세계시장에서 일본 대비 기술경쟁력, 중국 대비 가격경쟁력 문제에 봉착할 가능성이 크다고 예상되기 때문에 실용화사업에서는 성능과 가격면에서 국제경쟁력이 탁월한 시스템으로 구축하기 위한 연구를 지속적으로 추진하고 있다. 따라서 도시형 자기부상열차 실용화사업에서는 차량개발을 담당하는 현대로템(주)과 노선구축을 담당하는 한국철도시설공단과 함께 수요처의 요구사항을 반영한 차량개발 등의 기술 경쟁력과 더불어 가격경쟁력을 확보하기 위한 노력을 게을리 하지 않을 것이다. ☺