

도시형 자기부상철도 규격에 대한 검토

The Review of Specification for Urban Maglev

장석각** 이영훈* 변운섭*

Chang, Seok-Gahk Lee, Young-Hoon Byun, Youn-Sub

ABSTRACT

For the successful project, it is very important to specify of requirement. This requirement is include all request. For example specification and performance of the system, safety, reliability and maintainability. Maglev is a non-contact traffic system in which cars are supported by magnetic force instead of wheels. This is a ground-breaking traffic system providing superior environmental friendliness and cost efficiency due to the minimal noise and vibration offered by its non-contacting nature. We study the present specification and performance of the low speed urban maglev system in Korea and other countries. After set up the test line, to success the "Commercialization of Korean Urban Maglev System" project, we establish proper requirement of maglev system in Korean environment on base of "Daejeon National Science Museum Maglev Establish Project".

1. 서론

사업을 성공적으로 수행하기 위하여 발주자는 완전하고 애매모호하지 않은 정확한 요구사항을 갖는 것이 중요하다. 이러한 요구사항은 발주자의 요구를 만족시키기 위해 필요한 모든 것을 포함하는 것이 좋다. 여기에는 성능, 안전성, 신뢰성, 보안성 등이 해당된다.

이러한 요구사항은 시스템 인수동안 유효성이 확인될 수 있도록 충분할 정도로 정확히 명시되는 것이 좋다. 발주 요구사항은 문서 관리되어야 하며, 서브시스템 사이의 인터페이스는 직접 또는 인용해서 완전하게 규정되는 것이 바람직하다.

자기부상철도는 전 세계적으로 도시교통을 위한 도시철도로 상용화가 확산되고 있는 신교통 시스템으로, 도시간 운행되는 초고속형과 도시내 교통용인 중저속 형으로 개발 운영되고 있다. 본고에서는 중저속형 자기부상철도 시스템을 대상으로 하였다. 독일과 영국 그리고 일본 등과 같이 자기부상철도가 운행되었거나 연구 시험·운행 중인 시스템의 규격에 대하여 검토하였다.

2. 해외 자기부상철도시스템

가. 영국의 BPM

세계 최초로 자기부상열차가 운행된 구간은 영국의 Birmingham 공항에서 철도역사 사이의 620m 구간으로, 1984년부터 1995년까지 약 11년 동안 운행되었다. 도시형 저속 자기부상열차로서 BPM(Birmingham People Mover)으로 불렸으며, 3량으로 최고속도 40km/h로 운행되었다. 이 자기부상열차의 부상방식은 상진도 흡인식, 추진시스템은 선형유도전동기를 적용하였다. BPM은 97년 운행이 중단된 후 철거되었다.

** 한국철도기술연구원 책임기술원, 정회원

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

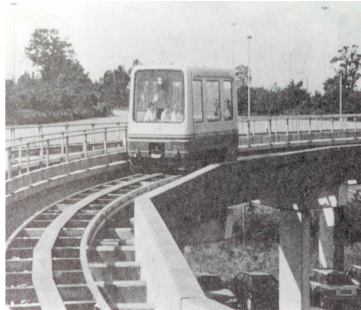


그림1 BIRMINGHAM-MAGLEV

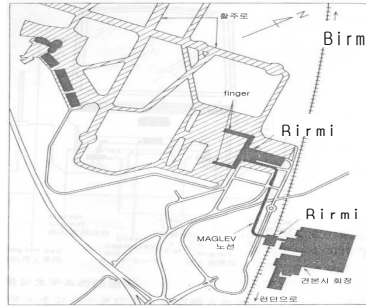


그림2 노선도

West Midlands County에서는 Birmingham의 공항 확장 계획에 착수하면서 공항의 새롭고 근대적인 터미널 빌딩과 국철의 International역(상철 전시장)을 연결하는 가장 효율적인 수송 시스템을 찾기 위하여 검토하였다. 고무 차륜 부착의 궤도 차량, 셔틀 버스 등에 비해 자기부상철도 시스템은 유지보수비, 수송력, 공해, 승차감 및 건설비등 모든 점에서 우수하다는 판정이 내려졌다.

새로운 셔틀의 건설과 운영을 위해 1981년 2월 주 의회(WMCC)는 자기부상철도 선로와 차량을 발주하여 토목 공사는 1982년 봄에 완료되고 다음해 7월에 최초의 차량이 반입되어 약 1년간의 시험 주행 후, 1984년 8월 7일부터 여객을 수송하였다. 복선 궤도에는 각각 1~2량 편성의 열차가 왕복 운행되었고, 본격 가동시 방향당 시간당 2,200명의 여객을 수송하여 에어버스가 10분마다 도착하는 상황에 충분히 대응하도록 하였다.

표 1 BPM 요구사항

항목	내용	비고
차량편성	1량 편성, 총 3량 운영	2량 운행, 1량 예비
차량치수	L 6.00 × W 2.25 × H 3.00 [m]	공차 4.8ton
승차정원	40명	
차체구조	알루미늄 합금 프레임, GRP 구조	
부상장치	상전도 전자석 부상 및 안내 겸용방식	부상갭 15mm
추진장치	선형유도전동기(S-LIM 10대/량) VVVF (1대/량)	
사용전압	DC 600V	
선로구조	S자 형태, 고가 복선 620m	레간 : 약1500mm
운전보안	ATP,ATO 통신시스템	연속루프코일설치
기 타	편도소요시간 90sec 평균속도 24.8km/h 회차시간 40sec(가변)	1,100명/시간, 1량

나. 독일의 M-Bahn

1970년대 중반 Berlin 정부는 Gleisdreieck에서 북쪽으로 기존의 도로옆으로 선로를 만들고 자기부상열차를 운행하기로 결정하였고, 이것이 M-Bahn(Magnet Bahn) 이라 불리게 되었다. Berlin에서 M-Bahn은 1980년대에 기관사가 없는 자기부상열차시스템을 1.6km 선로에 3개의 기차역에 걸쳐 연결하였다. 1989년 8월에 여객 수송 시험을 시작하였고, 1991년 7월에 정기적인 운영을 개시하였다. Berlin 장벽이 무너진 이후에 교통체계가 바뀌면서 1992년 3월에 선로가 완전히 해체·철거 되었고 그 노선은 정기적인 지하철 노선으로 대체되었다.



그림3 M-Bahn

도시의 대기오염, 소음, 석유소비 등의 문제를 해결하는 공공 시스템을 검토한 결과, 선로의 경량화를 위해서 차량에 영구자석을 설치하고, 선로에 설치한 코일로 구성된 선형동기전동기에 의해 구동하는 중량규모의 궤도수송 시스템인 M-Bahn 시스템 개념이 도출되었다.

이 시스템은 서독의 과학기술국(BMET)과 BrownSchweig공과대학이 1973년에 설립한 Mnetbahn GmbH에 의해 개발되어, 1975년에 대학 구내에서 400m의 실험선(고가, 터널, 분기기)과 3량의 차량(40인승과 70인승의 2종류)으로 각종 시험을 실시하였다.

1982년에 Berlin 교통국, 도시교통협회 등과 함께 시내에 이 M-Bahn 시스템을 공공 서비스의 교통수단으로 채용할 것으로 결정했다. 이 시스템은 1983년에 착공하여, 1984년 가을에 단선 600m가 완성되었고, 1량의 차량으로 시험이 시작되었다. 그 후, 1987년 가을에는 복선 1km의 궤도가 증설되어 총 1.6km가 완성되었고, 8만km이상의 시험주행을 실시하였다.

이 시스템은 종래의 시스템보다 에너지 소비가 적기 때문에 운영비용 측면에서 유리하다는 특징을 갖고 있으며, 차량의 대차 높이를 낮게 하여 차량전체의 높이도 낮아지고 지하철로 이용할 경우는 터널 단면을 작게 할 수 있다는 장점도 갖고 있었다.

표 2 M-Bahn 요구사항

항목	내용	비고
일반사항	Berlin 정부	1991.7~1992.3
	Planungsprozess~Gleisdreieck 역간 1.6km	복선 1km
정거장수	무인 3개역	
운행조건	전자동 열차제어시스템	
	무인 자동운전	
비상통신	차량과 중앙통제실	
개발주체	BrownSchweig공과대학이 M-bahn 개발(1973)	
시험선	대학구내 400 m / 차량 3량(40인, 70인)	시험주행 8만 km
차량지지	영구자석 부상 및 차륜 지지	
추진장치	차량에 설치된 영구자석과 선로의 3상 교류 권선의 전자장력	

다. 미국의 M³

미국은 1960년대부터 자기부상철도에 대한 연구를 시작하였으나, 1978년 정부의 지원 중단으로 연구가 중단되었다. 그러나 1990년대 정부의 지원이 재개되고 본격적인 연구개발이 수행되어 최근에는 영구자석을 이용하는 도시형 자기부상철도 M³(Magne Motion Maglev)의 개발과 함께 시험선로를 건설 중인 것으로 알려져 있다. M³사업은 1999년 2월에 개발 착수하여 2004년 6월까지 FTA(Federal Transit

Administration)가 사업비 분담한 시스템 성능관련 주요 요구사항은 다음과 같다.

승차감은 우수하고, 환경에 미치는 영향은 최소이어야 하고, 사업비용은 저렴하여야 한다. 한 방향으로 시간당 승객 12,000명을 수송하여야 하며 설계최고속도는 161km/h 이상으로 배차간격은 4초 이내이어야 한다. 선로길이는 13.5km이며 정거장수는 15개 역으로 최대구배 7% 최소곡선반경 25m에서 주행하는 시스템이어야 한다.

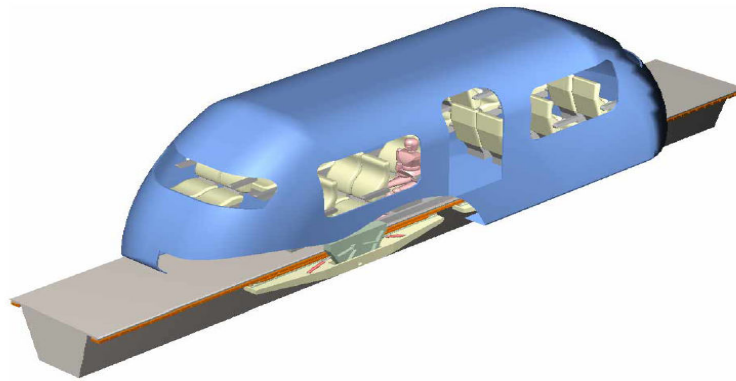


그림4 미국의 도시형 자기부상철도 M⁰ 모델

표 3 M⁰ 요구사항

항목	내용	비고
환경영향	최소(Minimum)	FTA/1999
승차감	우수(Excellent)	
승객수요	12,000명/시간/방향	입석최대 48명
설계최고속도	161 km/h(101mph), 45m/s	
배차간격	4초	
노반	Box beam concrete guideways	1.7m gauge
부상갭	20 mm (영구자석, Electro Magnetic Suspension)	
부상력	100W/Mg(100mph)	안내겸용
추진력	Linear Synchronous Motor	
차량	경량 유선형	1999년 2월에 개발 착수
전원	+ 900VDC/좌, -900VDC/우	
인버터	1,700 IGBTs	
HVAC	8 kW	
선로구조	선로길이 13.5 km	
	최대구배 70%	
	최소곡선반경 25m	
정거장수	15개역	

라. 일본의 Linimo

자동차로 인한 극심한 교통정체를 해소하며, 2005년 Aichi 세계박람회 개최시 방문자들을 수송할 수단으로, '도시교통 기술조사 위원회'는 중간 크기 궤도의 자기부상철도 시스템을 교통정책위원회에서 최종 결정 보고함에 따라 Aichi현과 교통성(the Ministry of Transport)은 철도 교통수단으로 HSST(High Speed Surface Transport)를 Tobu Kyuryo선에 운행하기로 결정하였다. 이 노선은 총 연장 8.9km(Fujigaoka역~Yakusa역간 9개역)로 애칭 Linimo선으로 불리고 있다

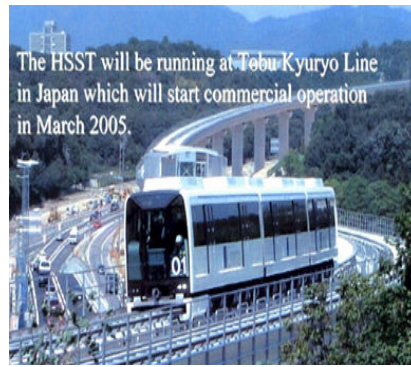
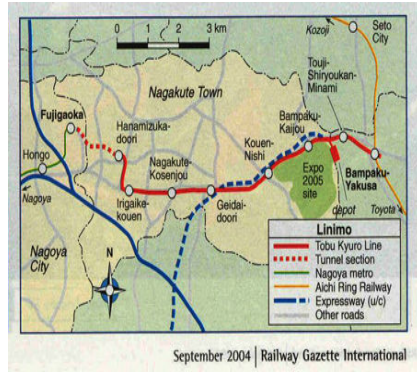


그림5 Nagoya Linimo 운행노선 그림6 Nagoya Linimo 차량

Nagoya에서 운행하기로 선정된 차량은 일본항공이 공항으로의 고속접근을 위해 1972년부터 민간 주도로 HSST 개발을 착수한 이래 HSST-100L형을 바탕으로 제작되었다. 1991년 이후, 각종 운행시험을 시험선에서 수행하여 교통안전공해연구소로부터 최고 속도 100km/h급으로서 안전심사를 통과하여 허가를 받았다.

중저속 자기부상철도인 HSST는 상전도 흡인형 자기부상과 선형유도전동기 추진방식으로 무인 운행한다. 주행 중 소음이나 진동은 거의 없고, 급구배와 곡선에서 원활한 주행을 한다. 차량의 성능 및 사양은 다음 표와 같다.

표 4 Linimo 요구사양

항목	내용	비고
차량편성	3량 고정편성(Mc1-M-Mc2)	보유차량수 : 27량
차량크기	길이(L) 14.0 × 폭(W) 2.6 × 높이(H) 3.45 [m]	중간차 : L13.5m
승차정원	244명/편성, (좌석정원 104명)	선두차 : 80(34)명 중간차 : 84(36)명
차체구조	알루미늄 합금 용접구조	
차량중량	17.3 ton(Mc), 17.3 ton(M)	
부상장치	상전도 전자석 부상 및 안내 겸용방식	부상 갭 8mm
추진장치	선형유도전동기(S-LIM 10대/량) VVVF 인버터(1대/량)	
제동장치	상용 : 전기+ 유압, 비상 : Caliper형-6units/car	
전기설비	고주파 DC-DC 컨버터(출력 DC275V, DC100V, AC100V)	전차선 : DC1500V
차량성능	최대가속도 4.0km/h/s	
	상용최대감속도 4.0km/h/s, 비상감속도 4.5km/h/s	
선로구조	최대구배 60‰	
	최소곡선반경 75m, 최소중곡선반경 1500m	
운전관리	자동열차방호장치(ATP) 자동열차운전장치(ATO) 열차정보관리시스템(TIMs)	무인자동운전 정거장수 : 9개역

3. 국내 자기부상철도시스템

우리나라 자기부상철도 시스템은 경량전철형 차량중심으로 개발되어 왔으며, 일본의 HSST 시스템과 매우 유사한 특징을 가지고 있다. 현재 산자부 주관으로 추진되고 있는 ‘자기부상열차 실용화를 위한 모델 개발’ 사업이 최선의 시스템 사양이다.

이 사업의 목표는 무인운전이 가능한 110km/h급의 도시형 자기부상열차 실용화를 위한 모델 차량 2량1

편성을 개발하고, 12만km의 연속 주행시험을 통하여 신뢰성 및 안전성을 확보하는 것이다. 이에 따라 1 단계 '06년까지는 차량 및 신호 시스템의 시제품을 개발 제작하고, 현재 시험 중인 차량의 사양은 다음과 같다.

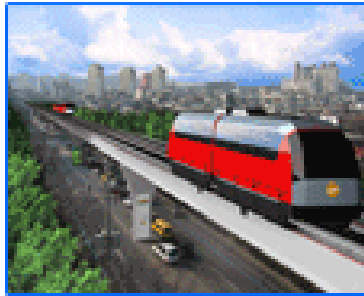


그림7 실용화모델

표 5 실용화모델 요구사양

항목	내용	비고
차량편성	2량 고정편성(Mc1-Mc2)	
차량크기	길이(L) 13.5 × 폭(W) 2.8 × 높이(H) 3.5 [m]	
승차정원	63명/량 (좌석 22명, 입석 41명)	
차체구조	알루미늄 합금 용접구조	
차량중량	공차 : 22 ton, 만차 : 28.5 ton	
부상장치	상전도 전자석 부상 및 안내 검용방식	부상 갭 10mm
추진장치	선형유도전동기	
제동장치	회생제동병용, 전기지령식 공기제동(응하중제어)	
전기설비	전차선 : 제3궤조방식(양측), DC 1,500V	
차량성능	최대가속도 3.6km/h/s	설계속도; 110 km/h
	상용최대감속도 3.6km/h/s, 비상감속도 4.5km/h/s	운행최고; 80 km/h
선로구조	최대구배 60%	궤간 2,000 mm
	최소곡선반경 60m	
운전관리	자동열차방호장치(ATP), 자동열차운전장치(ATO) 열차정보관리시스템(TIMIS)	무인자동운전

4. 결론

국내 자기부상열차의 기술개발은 경량전철 요구조건에 맞추어 단순 연구개발 과제로 수행되었다. 따라서 시스템 요구사항은 생애주기를 고려한 전체 시스템까지의 요구사항을 도출하고 관련 시스템의 기능 및 사양을 규정하지 않았다. 본고에서는 중·저속형 자기부상철도 시스템을 대상으로 하여 독일과 영국 그리고 일본 등과 같이 자기부상철도가 운행되었거나 연구 시험·운영 중인 시스템의 규격에 대하여 검토하였다. 앞으로 노선과 운영주체가 선정되어 본격적인 실용화 사업이 추진될 때, 본 사업에 적용할 시스템 규격은 진행 중인 대전 중앙국립과학관 자기부상열차 설치사업의 경험을 초석으로 삼아 타당한 요구사항을 정립하고, 우리의 환경에 맞는 운용자의 구체적이고 적합한 요구규격을 구축하여야 하겠다.

참고문헌

1. 자기부상철도 실용화 사업에 대한 예비타당성 조사, 2005.
2. Commercialization of HSST Linimo, an Access Line for the 2005 World Exposition in Aichi, Japan, Japanese Railway Engineering No.152, 2004.