

자기부상철도 성능 및 안전 관련법 검토

장석각, 이영훈, 변운섭

A Review of Performance and Safety Law for Maglev Vehicle

Seok-Gahk, Chang Young-Hoon, Lee Youn-Seop, Byun
Korea Railroad Research Institute

Abstract - 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. 서 론

자기부상열차(Magnetically Levitated Vehicle : MAGLEV)는 지상 장치와 차상 주행장치의 비접촉 주행에 따른 저소음, 저공해성으로 친환경적인 신교통수단이라는 장점 때문에 1960년대부터 독일, 일본, 영국 등 실용 모델을 연구 개발하여왔다. 중국은 독일의 Transrapid 08 모델을 Shanghai Longyang역과 Pudong 공항간 30km 구간에 2003년 말부터 운행 중이며, 일본 Nagoya에서는 2005년 3월부터 세계박람회에 맞추어 Linimo를 영업 운행하고 있다.

국내의 자기부상열차는 1980년대부터 민간 주도로 개발되어오다 근래에 산자부 중기거점 사업으로 (주)로렐이 실용화 모델을 개발 제작하여 기체연구원 선로에서 시험주행 중이다. 현재 "도시형 자기부상열차 실용화 사업 타당성 조사" 사업이 진행되고 있는 가운데 준거를 삼고자 본고에서는 독일과 일본의 자기부상열차 성능 및 안전에 관련하여 법에 규정된 내용에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 본 론

2.1 일본부상식철도운수령

일본 부상식철도 운수령에서는 선로 전기 및 운전보안 시설의 인프라와 차량에 대하여 포괄적으로 규정하여 1987년 1월 시행하고 있는 주요 내용은 다음과 같다.

곡선반경 및 구배는 차량의 주행에 지장을 주는 위험이 없도록 부상력, 안내력 및 동력특성과 차량의 속도 등을 고려하여 정하도록 하고 있다. 또한, 회생제동을 안정하게 사용하기 위한 장치를 변전소에 설치하도록 하고, 부상 장치의 지상과 차상 설비간 안전한 부상력을 발생하는 자기회로를 구성하도록 정하고 있다.

안전을 위하여 운전보안설비인 자동열차 정지 장치 등의 속도검출 장치는 전차선, 차량의 전기기기 등에 의한 유도 작용 등으로 장애가 발생하지 않도록 규제한다. 부상 장치의 차상설비는 전원공급 차단시 안전한 주행에 필요한 부상간격을 유지하여야 하고, 부상력을 얻을 수 없는 경우에 차량을 안전하게 받칠 수 있는 장치를 보유하고 있도록 규정한다. 특히 상용제동장치 감속도는 3~4 km/h/s 이상을 요구하고 있다. 국토교통성에 의한 승인검사와 Aichi 현의 운행 개시 인가로 상업운행중인 Linimo의 사양은 다음 표와 같다.

〈표 1〉 Linimo 성능 및 사양

항목	Linimo Specification and Performance	비고
부상	상전도 전자석 부상 및 안내 겸용방식	Airgap : 8mm
추진	선형유도전동기(S-LIM 10대/량) VVVF 인버터(1대/량)	
제동	상용 : 전기+공기, 비상 : Caliper형-6units/car	
전기	전차선 : DC1500V	
성능	최대가속도 4.0km/h/s 상용최대감속도 4.0km/h/s, 비상감속도 4.5km/h/s	
선로	최대구배 60% 최소곡선반경 75m, 최소중곡선반경 1500m	궤간:1700mm

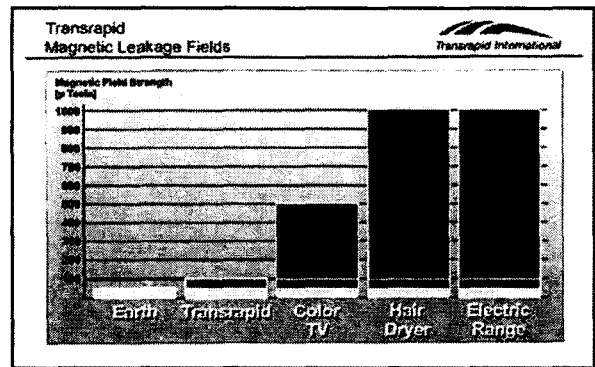
2.2 독일자기부상철도법

1997년 9월 23일 제정된 자기부상철도법은 건설과 운행에 적용하도록 규정하고 있다.

그 주요한 내용으로 선로의 중구배는 100%, 승강장 중구배는 5%를 초과할 수 없고, 횡구배는 12도를 초과할 수 없다. 승강장 횡구배는 3, 4도 이상 허용되지 않는다.

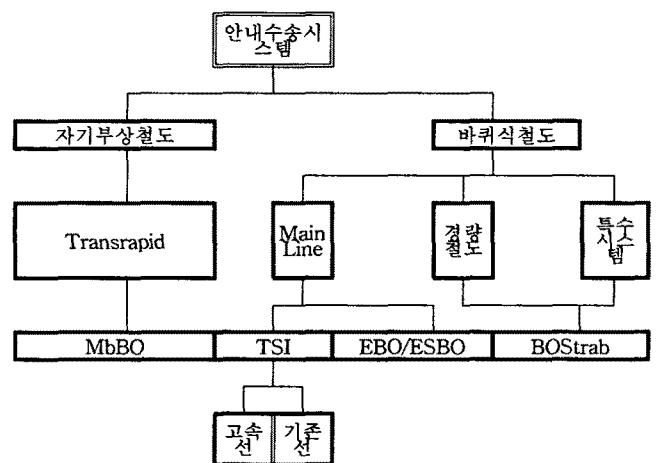
차량속도를 선로에 따라 제한하고 있으며, 중방향 가속속도는 1.5 m/s², 구배 가속도는 정점부에서 0.6m/s², 저점부에서 1.2m/s²로 제한하고 있다.

승객의 안전한 승하차를 보장하도록 승강장과 차량 간격은 최대 5cm로 규정 한다. 차량은 정지시 충전되어 승객의 위험을 방지할 수 있는 시설을 갖추어야 한다. 특히, 유도전력은 350mJ을 초과하지 않도록 제한하고 있다. 참고로 누설자기장은 아래 그림과 같이 적다



〈그림 1〉 누설자기장 비교

자기부상철도는 유럽철도법(AEG,1994, Allgemeines Eisenbahngesetz), 독일기본법, 수송 및 안전에 적용하는 연방수송수송조례(Personenbeförderungsgesetz, PBefG), 철도건설 운영 규정(Eisenbahn-Bau-und Betriebsordnung, EBO) 등을 참고하며, 자기부상철도 건설운영규정(Verordnung über den Bau und Betrieb der Magnetschwebbahnen (Magnetschwebbahnen-Bau-und Betriebsordnung-MbBO)을 적용하도록 규정한다.



〈그림 2〉 독일수송시스템관련법

MbBO : Magnetic Levitation Train Construction and Operation Regulation
 TSI : Technical Specifications for Interoperability
 EBO/BSBO : Railroad Construction and Operation Regulation
 BOStrab : Streetcar Construction and Operation Regulation

독일수송시스템 관련법은 위 그림과 같고, 안전기준과 성능시험 기준의 근거가 되는 자기부상철도 건설·운영 법(MbBO, 1997년 9월 23일, 연방법 제1부 2329쪽)은 연방 방사보호법 (1990년 5월 14일), 자기부상철도설계법(1994 11월) 그리고 일반자기부상철도법 (1996년 7월)을 근거로 제정되었다. 그 목적은 다음과 같다.

- 제1장 효력 : 적용영역, 개념정의, 일반적 요구조건, 운행허가, 예외, 구매, 감독, 유지보수
- 제2장 건설규정 : 건축 감독에 관한 허가, 건축착수, 건축 감독
- 제3장 운행시설 : 궤도, 선로, 승강장, 운행시설감독
- 제4장 차량 : 기본원칙, 기술설비, 운반 적재시스템, 제동 연결기, 감시가 요구되는 차량시설
- 제5장 안전운행 : 운행조건, 안전규칙, 운행설명서, 자기부상운행의 장애, 안전규칙
- 제6장 운영승무요원
- 제7장 공중안전 : 차량과 운행시설의 이용과 접근, 운행에 장애하는 행동, 적합성, 규정위반

2.3 우리나라 도시철도차량의 안전 및 성능관련법

새로운 교통시스템인 자기부상철도는 안전 및 성능기준 그리고 표준사양 등이 새로 제정되어야 한다. 자기부상철도는 경량전철시스템의 일종으로 현재 운용 가능한 도시철도법에 대하여 알아본다. 우리나라는 도시철도 차량에 대하여 2000년부터 건설교통부령으로 '안전기준에 관한 규칙'과 '성능시험에 관한 기준'을 건설교통부고시에 규정하고 있다.

안전운행에 필요한 기준은 구조와 장치별 안전기준으로 구별하여, 구조 안전기준으로 차량한계, 화재, 전기 및 충돌에 대하여 기준을 정하고, 주행 제동 추진 신호보안장치 등 8개 항목으로 장치를 구분하여 규정하고 있다. 특히 대구지하철 화재사고 후 기존 내장재를 교체하고 연소성만 시험하던 것을 가스독성, 연기밀도 화재전파 시험 등을 추가하고, 소화기를 객실에 1개 이상 비치하던 것을 2개 이상 비치의무화 하는 등 재발 사항을 강화하였다.

성능시험은 최초 제작된 차량에 대한 형식시험, 동일제작 차량에 대한 전수시험, 구성품 시험을 통과한 차량에 대한 완성차시험 그리고 본선시운전이 있다. 본선시운전을 하고자 하는 차량은 완성차시험을 통과한 후 예비주행(형식시험은 5000km이상, 전수시험은 1000km이상)을 실시하여 신뢰성이 확인된 차량에 대하여 차량운행과 관련된 성능 및 안전성을 확인한다.

도시철도시스템의 기능과 성능규격에 대해 2005년 7월 19일 개정하여 규정한 건설교통부고시제2005-220호 "도시철도 고무차륜형식 표준사양"의 다음과 같은 주요 내용을 참고하고자 한다.

<표 2> 도시철도 표준사양

조건	도시철도고무차륜형식표준사양	비고
선로	궤간 : 1,700 mm(주행륜 중심간 거리)	
	차량최대축중 : 9.0 Ton	
	최소곡선반경 : 본선 40m, 측선 30m	
하중	공차중량 : 12 Ton 이하	
	최대승객하중:6Ton이상(성능기준,입석6명/m ²)	
운전	성능최고속도 : 70km/h 이상	
	최고운행속도 : 60km/h 이상	
	가속도 : 3.5km/h/s 이상	
	감속도 : 3.5(비상:4.5)km/h/s 이상	
승차감	2.3이하(양호) cf. 2<N<2.5 : 양호	UIC
소음	75 dB(A) Leq(5sec, Fast Mode) 이하	

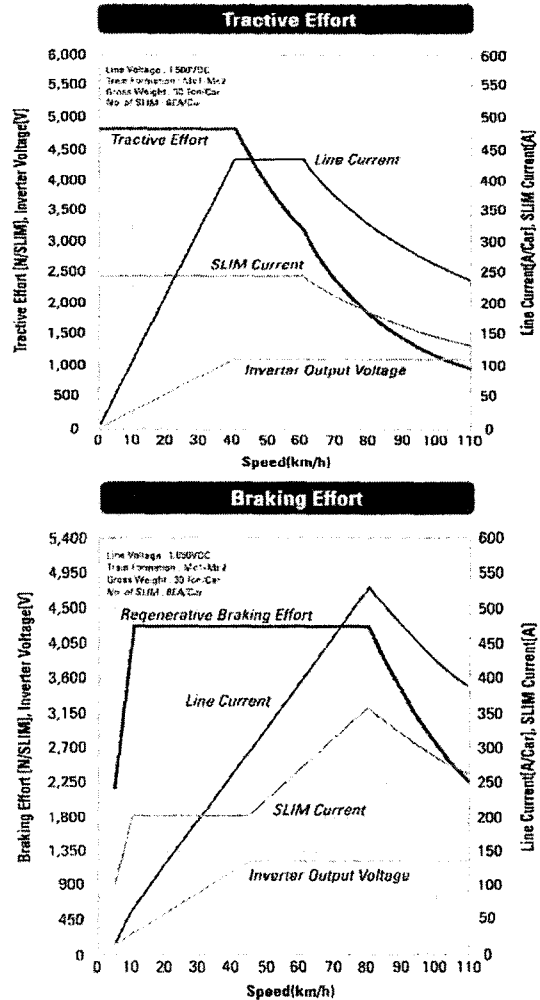
2.3.1 자기부상철도 성능 및 사양

우리나라 자기부상철도 시스템은 경량전철형 차량중심으로 개발되어 왔으며, 일본의 HSST 시스템과 매우 유사한 특징을 가지고 있다. 현재 산자부주관으로 추진되고 있는 '자기부상열차 실용화를 위한 모델 개발' 사업의 최신 시스템의 성능 및 사양과 견인곡선 그리고 제동성능곡선은 다음과 같다. 특히 소음은 65dB(A) 이하로 도시철도법 기준보다 아주 우수하며, 승차감 또한 UIC 기준의 양호한 평가인 2.5이하에 속한다.

<표 3> 산자부실용화모델 성능 및 사양

항목	Specification and Performance	비고
부상	상전도 전자석 부상 및 안내 겸용방식	Airgap : 10mm
추진	선형유도전동기(S-LIM 6대/량) VVVF 인버터(1대/량)	

제동	회생제동 병용, 전지저령식 공기제동	
전기	전차선 : DC1500V, 제3궤조 균전방식	
성능	최대가속도 3.6m/h/s 상용최대감속도 3.6m/h/s, 비상감속도 4.5m/h/s	
선로	최대구배 60% 최소곡선반경 60m	궤간:2000mm



<그림 3> 산자부개발모델 견인 및 제동 성능곡선

3. 결 론

국내에서 개발한 자기부상철도 차량은 중저속형 상전도 흡인식으로 부상추진 장치 등 주요 장치는 순수 국내 기술로 개발되었다. 이 확보한 기술수준의 정확한 분석을 통하여 사업 기간 내에 달성 가능한 실용화 기술수준의 목표를 설정하는 것이 사업의 성패에 중요한 요소가 될 것이다.

자기부상철도 시스템의 실용화 사업의 성공을 위해서는 시스템엔지니어링, 인프라, 신호, 통신, 제어 등 기술보완 연구가 진행되어야 하겠다. 우선 개선 연구되어야 할 부분은 첫째, 인프라 설비의 최적 궤간 규모 결정에 관한 연구가 진행되어야 하겠다. 두 번째로 차량의 경량화 연구가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

더 나아가 대전 엑스포과학공원과 국립중앙과학관을 연결하는 '자기부상열차 설치사업'을 통하여 안전 기준과 자기부상철도 시스템의 성능 시험기준을 정립하여야 하겠다. 또한 표준사양 제정, 시험평가 및 인증체계 구축, 관련 법령 및 제도 정비에 대한 연구가 추진되어야 할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] Yuichi Tejima, Naoki Ando, "Commercialization of HSST Linimo, an Access Line for the 2005 World Exposition in Aichi, Japan", Japanese Railway Engineering, No.152, 2004.
 [2] THYSSEN TRANSRAPID SYSTEM GMBH, "Superspeed Maglev System Transrapid Technology and System", P12,