

도시형 자기부상열차 실용화 현황

김동성, 유문환 | 한국기계연구원

1. 총 론

바뀌없이 떠서가는 자기부상열차의 개념은 20세기 초 독일의 헤르만캠퍼 등에 의해 제안되었으며, 20세기 중반 미국의 제임스포엘, 고든덴비 등에 의해 초전도방식에 의한 고속자기부상열차의 기본설계개념이 정립되었다.

독일은 1969년부터 국가예산을 투입(BMFT: 과학기술성)하여 일반전자석을 이용한 흡인식 부상방식으로 철차륜식 고속전철의 속도한계(당시 300km/h)를 능가하는 고속자기부상열차 개발을 추진하였다. 이와는 달리 일본은 1970년 부터 역시 국가예산(운수성)을 투입하여 당시 철도총합연구소 주관으로 초전도자석의 반발력을 이용한 반발식 초고속자기부상열차 개발에 착수하였다.

오늘날, 독일과 일본의 이 두가지 모델(독일: Transrapid, 일본: MLX)이 기술적으로 가장 진보된 자기부상열차로 평가받고 있으며, 이중 독일의 시속 450km 급 트란스라피드 모델은 2004년 1월 세계최초로 중국의 상하이(30km)에서 상용화 되어 현재 정상운행중에 있다. 일본의 초전도자기부상열차 MLX는 현재 제 2신간선 예정노선인 후지산 인근 아미나시 시험선로에서 고속(시속 500km 내외)주행실험중이며, 극저온도를 지속적으로 유지해야 하는 초전도발생장치를 차내에 탑재해야 하는 시스템의 특성상, 비용과 신뢰도 면에서 앞으로도 수년간의 기술적 검증과 보완을 거쳐 상용화 계획이 수립될 전망이다.

도시형 자기부상열차의 개발은 일반전자석을 이용한 고속자기부상열차(독일 Transrapid) 개발 과정에서 획득한 기술을 중저속용으로 활용하는 형태로 초기 개발이 시작되었다. 이는 자기부상방식이 기본적으로 쾌적하고 환경친화적이며 구배·곡선 주행력이 뛰어나서 고속용으로 뿐만이 아니라 도시교통용으로도 매우 유망한 것으로 인식되었기 때문이다.

오늘날 도시형자기부상열차의 유력한 기술방식인 상전도흡인식 도시형자기부상열차 기술은 당초 독일의 Transrapid-04가 모체가 된것으로서, 일본이 이 기술을 도입하여 HSST를 개발해 온 이후, 한국과 중국도 기본적으로는 이 방식을 따르고 있다. 최근 미국이 독자적으로 영구자석반발식 도시형자기부상열차 개발을 새롭게 추진하고 있으며, 개발에 성공할 경우 앞으로 세계시장에서 이 2가지 방식이 주로 경합하게 될 것으로 예상된다.

본 고의 내용은 도시형자기부상열차의 실용화에 초점을 맞추되, 전세계 자기부상열차의 전반적인 최신 동향을 함께 파악할 수 있도록 가급적 포괄적으로 다루며, 국별 동향과 기술적인 내용들은 가급적 알기 쉽도록 사진, 도표 등 시각적 자료들을 수록하였다.

□ 자기부상열차 기술방식 종합

부 상		추 진	기 종	상용화 최고시속	시스템 비용
흡인식	상전도 흡인식	선형유도식 : LIM (차상전원 : 집전방식)	UTM(한국) HSST(일본)	110km/h 100km/h	저비용 저비용
	상전도 흡인식	선형동기식 : LSM (지상전원 : 무집전방식)	Transrapid(독일)	431km/h	고비용
반발식	초전도 반발식	선형동기식 : LSM (지상전원 : 무집전방식)	MLX(일본)	500km/h	고비용
	영구자석 반발식	LSM 또는 LIM	개발중(미국) 기초연구중(한국)	저속시험중 원리시험중	저비용 저비용

* LIM : Linear Induction Motor

* LSM : Linear Synchronous Motor

2. 일본 중저속형

2.1 일반 현황

□ 개발 경위

중저속자기부상열차 HSST(High Speed Surface Transport)는 1972년 신설 나리타공항 연결노선 적용을 위해 일본항공(JAL) 주도로 개발을 시작했다. 당시 독일 Transrapid-04 기술을 도입하여 개발하기 시작한 HSST는 수차례의 국제박람회장 내 전시운행을 거치면서 홍보효과와 함께 기술개선을 도모해 나갔으며, 1991년부터 나고야 1.5km 시험선노선에서 실용화 모델 시험을 거쳐, 1992년 최고 100km/h급으로 교통안전공해연구소의 실용화 인증을 받았다.

HSST의 상용화는 2005년 초 일본 나고야 시에서 이루어졌다. 2005년 아이치(환경)엑스포 행사장을 연결하는 신교통시스템으로 자기부상열차가 선정되어 2002년부터 공사를 진행하여 2005년 3월 8.9km 노선(동부구릉선 : Tobu Kyuryo선, 차량 : Linimo)을 개통하였으며 엑스포기간 중 수송목표를 초과달성한 이후 현재 정상적으로 상업운영중에 있다.

□ 주요 경과

- 1972년 : 일본항공이 나리타공항 고속접근을 위해 HSST 개발 착수
- 1975년 : 200m 레도에서 상전도 흡인식 HSST-01호기 부상, 주행에 성공, 1978년 300km/h 달성
- 1989년 : Nagoya철도회사, Aichi현, HSST회사 주도로 Chubu HSST 개발주식회사 설립
- 1991년 : Nagoya시에 시험선 건설, HSST-100S 시험
- 1992년 4월 : 운송정책심의회에서 동부구릉선 노선 선정
- 1998년 4월 : 동부구릉선추진협의회(Aichi현, Nagoya시 등) 구성
- 1999년 7월 : 동부구릉선도입선정위원회가 Aichi현 지사에게 자기부상열차가 최적의 방안인 것으로 보고
- 2000년 2월 : Aichi현 등이 동부구릉선 운영주체로 Aichi Rapid Transit Co., Ltd 설립

- 2001년 12월 : '05년 아이치박람회 운송수단으로 철도교통 결정
- 2002년 3월 : Aichi Rapid Transit 사에 공사시행 인가
- 2004년 6월 : 본선의 일부구간에서 조정 및 시험주행 개시
- 2004년 12월 : 공사 준공, 운행개시인가 신청
- 2005년 1월 : 운임 인가, 국토교통성에 의한 승인검사, Aichi 현의 운행개시 인가검사
- 2005년 3월 : 개통

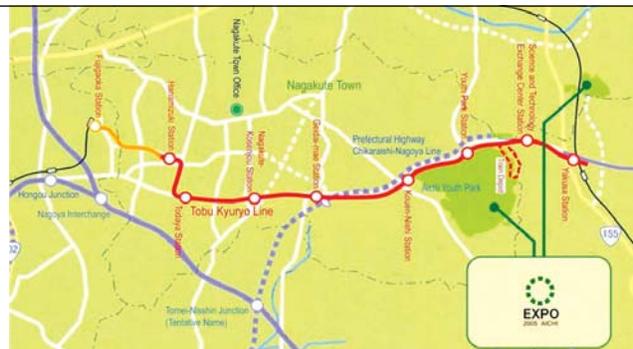
2.2 실용화 추진 현황

□ 나고야 동부구릉선의 시제품(1호) 차량 (3량/1편성)



- 8.9km 노선개통 전까지 1.5km 시험선로에서 6개월 주행시험, 현재 전시중
- 제원
 - 차량 치수 : L14.0 * W2.6 * H3.45 (m) (중간차 : L 13.5)
 - 승차 정원 : 244명/편성 (좌석 104명), 선두차 : 80(34)명, 중간차 : 84(36)명
 - 차체 구조 : 알루미늄 합금용접구조
 - 차량 성능 : 최고운행속도 100km/h, 최대 감/가속도 4.0km/h/s 최대구배 6%, 최소곡선반경 75m

□ 노선도



- 운행노선 : 8.9km, 9개역, 시내 Fujikaoka역~Hanamizuki역 제1구간은 지하터널(1.3km) 구간, 나머지는 지상고가(7.6km) 구간임
- 3량/1편성, 9편성 운행중



차량기지

2.3 기타 최근동향

- 동부구룡선 운영 실적
 - 나고야 엑스포기간 ('05.3.25 ~ 9.25)중 총 1,968만명 수송
 - 1일 평균 약 11만명 수송
 - 시간당 최대 11편성 운용
 - 리니모의 운전장애 발생 현황 (30분이상의 운행중지 사례)
 - 차량고장 6건(부상-3건, ATO-1건, 배터리-1건, 브레이크제어-1건)
 - 분기기고장 1건(접점불량)
 - 송전지장 1건(열차의 무게에 따른 계전기 50F 동작)
 - 차량 소모품 마모량
 - 판타토리프 집전판 0.89mm/천km(당초예측 1.5mm/천km)
 - 브레이크 슈 0.15mm/천km(당초예측 1.9mm/만km)
- HSST 향후 상용화 계획
 - 요코하마 드림랜드 선 : 5.3km 노선에 5개 역 검토
 - 히로시마 공항과 시라이치 역 검토
 - 1차 : 8.3km 노선 (Single Track)
 - 2차 : 4.7km 노선 (Double Track)
 - 해외 : 미국 디즈니랜드(플로리다) 등 10여개 노선 협상중

3. 일본 초고속형

3.1 일반 현황

□ 고속형 개요(일본, 독일)

- 일본 MLX : 초전도자석을 이용한 반발식 부상시스템
 - 1970년부터 개발에 착수하여 현재 실용화를 위한 주행실험중(시험최고속도 시속 581km)이며, 상용화 목표는 시속 500km임
 - 특징 : 부상계가 구조적으로 안정하나 저비용화 필요

- 독일 Transrapid : 일반전자석을 이용한 흡인식 부상시스템
 - 1969년부터 개발에 착수하여 2004년 1월 중국 상하이 30km 노선에 투입, 세계 최초로 상용화했으며 운행최고 속도는 시속 431km임
 - 특징 : 흡인식이므로 정밀부상제어가 필요하며, 비용은 초전도반발식에 비해 저렴함



일본 MLX 주행시험장면
- 야마나시 시험선로 : 18.4km -

독일 Transrapid 운행장면
- 중국 상하이 노선 : 30km -

□ 일본의 개발 경위

- 동경~오오사카 간 철차륜식 신간선(Shinkansen) 노선의 향후 포화에 대비, 제 2신간선 건설을 목표로 하고 있음
 - 동경~오오사카 간 1시간대 목표
- 제 2신간선은 국가 경제발전에 기여하고, 재해에 강하고 안전한 국토 형성과, 에너지 및 환경 문제에 대응하는 등의 역할이 제시됨

□ 개발 주요 경과

- 1962년 : Linear Motor 추진부상식 철도의 연구개시 (철도종합연구소 주관)
- 1970년 : 초전도 자기부상의 기초시험장치 완성
- 1972년 : ML100, 시속 60km, 최초의 유인운행 성공
- 1973년 : 동경, 오사카간 Linear 중앙신간선 노선도 확정
- 1977년 : ML-500, 미야자키 시험선에서 주행시험 개시

- 1979년 : ML-500, 최고시속 517km 달성
- 1987년 : MLU001, 유인주행으로 시속 400km 달성
- 1989년 : 야마나시 시험선(18.4km) 건설 결정
- 1990년 : 야마나시 시험선 건설 착수
- 1994년 : 미야자키시험선에서 실용형차량 MLU002N으로 시속 430km 주행성공
- 1998년 : 야마나시 시험선에서 MLX01이 유인주행 세계기록 시속 531km 달성
- 현재 : 주행시험 및 개선중, 시험최고속도 580km/h

3.2 개발 및 실용화 준비

□ 초고속 자기부상열차 개발 경과 및 시험선로 현황

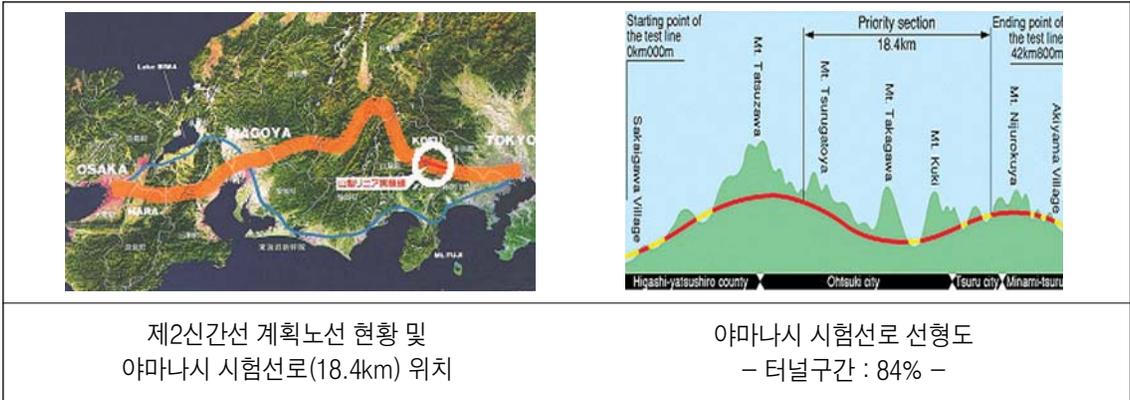
Model	Year 개발년도	Weight (Ton)	Length(km) 시험선로	Guideway Configuration 시험선로 형상	Max Speed (km/hr) 최고속도
ML-500	1979	1	7/Miyazaki	Inverted T	517
MLU 001	1981	10	7/Miyazaki	U	402
MLU 002	1990	20	7/Miyazaki	U	410
MLU 002N	1992	20	7/Miyazaki	U	430
MLX01	1997	varies	18.4/Yamanashi	Null Flux	552
MLX01	2003				581

• 1977년부터 큐슈의 미야자키시험선로에서 초기모델 주행시험
 • 동경~오사카 간 제 2신간선 예정노선의 한구역인 야마나시시험선로(후지산 인근)에서 1998년부터 실용화연구 모델 MLX 주행시험

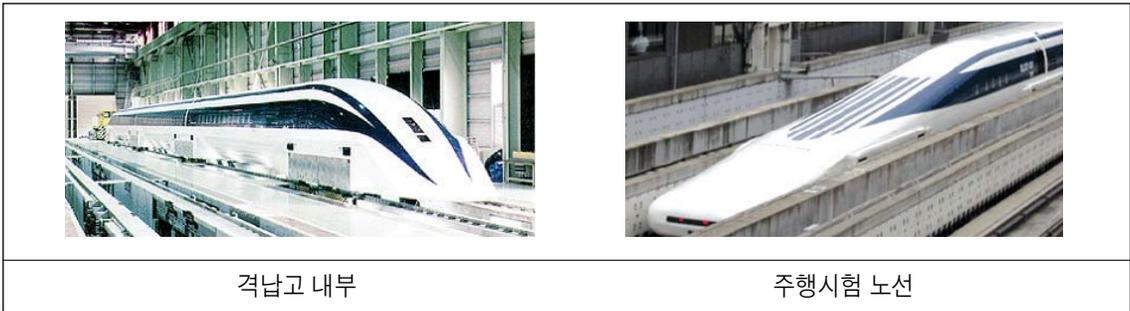
□ 연구개발용 시험선로 : 미야자키 시험선로



□ 실용화모델 개발용 시험선로 : 야마나시 시험선로



□ 실용화 모델 : MLX 차량



3.3 기타 최근동향

- 초전도자기부상열차는 고속운송시스템으로써의 잠재력을 가지고 있으며, 500km/h로 운행되는 자기부상열차의 속도제한요소는 오직 공기저항 뿐이기 때문에 미래의 진공터널 속에서는 자기부상열차가 1,000km/h 이상의 속도도 가능할 것으로 예상됨
- 일본은 산악지형이 많은 나라로서, 당초의 큐슈 미야자키 시험선로(7km)는 터널구간이 없었기 때문에, 신설 야마나시 시험선로(18.4km)에서는 터널시험을 중점적으로 실시, 야마나시 시험선로는 84%를 터널로 구축
- MLX는 시험선에서 시속 550km까지 안전주행을 하는 것이 목표이며, 실용화 목표는 시속 500km임
- 일본의 초전도자기부상열차 개발에 총 2조 5천억원 투입
- MLX의 실용화 결정이 지연되는 이유는 공식적으로 제시되고 있지는 않으나 초전도반발식 부상시스템의 고 비용 문제 때문인 것으로 해외 전문가들이 추정하고 있음
- 현재 시스템으로 제2신간선(약 500km)을 건설할 경우 1,000억불(미) 정도 소요될 것으로 추정하고 있으며, 이는 km 당 약 2억불(약 1,800억원)이라는 큰 비용으로서, 비용 저감을 위한 기술보완이 필요한 상황임

4. 독일 고속형

4.1 일반 현황

□ 독일의 자기부상열차 개발 추진 주요경과

1934년 허먼 켐퍼(Herrmann Kemper)가 세계 최초로 바퀴없이 전자적으로 떠서 가는 궤도차량에 대한 특허를 취득하였으며, 본격적인 개발은 1969년부터 시작되어 연방 과학기술성(BMFT)의 중점지원으로 1990년대 초 시속 450km급 Transrapid 모델 개발을 완료하고 상용화사업을 추진해 오고 있음





1999

3량으로 구성된 TR 08 제작을 시작
, 최신추진 및 최신제어



2002

중국 상하이 30노선용 차량 납품
- 8월에 최초의 3량1편성 열차 상하이 도착



4.2 실용화 추진 현황

- 실용화 모델 : Transrapid 08
- 베를린~함부르크(290km) 노선 건설 검토



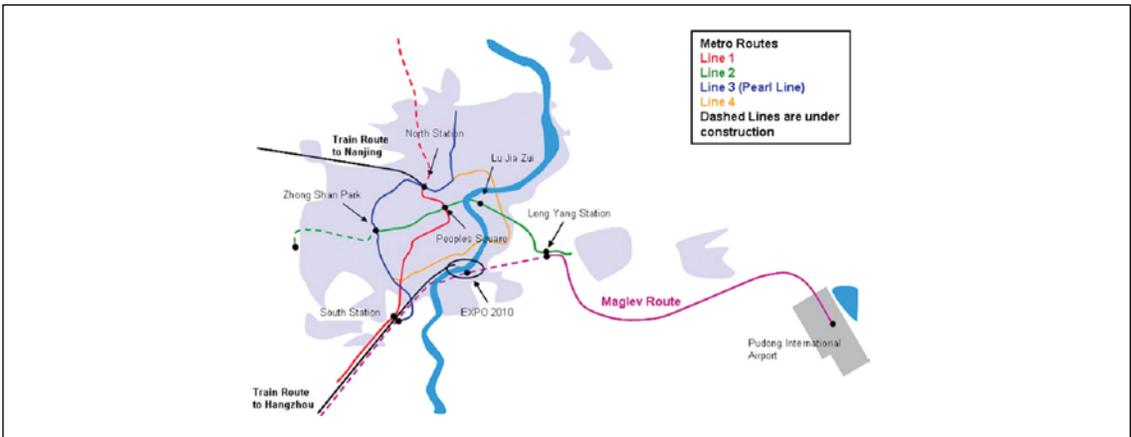
- Transrapid 연구개발시리즈의 최종모델
 - 1999년 개발
- 제원
 - 열차길이(3량/1편성) : 78.8m , 3.7m(W) , 4.2m(H)
 - 차량당 공차무게(승객용) : 약 53톤
 - 차량당 공차무게(화물용) : 약 48톤
 - 차량당 유효탑재량(화물용) : 약 15톤
 - 좌석수 : 종단차량(승객용) : 최대 92, 중간차량(승객용) : 최대 127
 - 시험최고속도 : 500km/h
 - 상업운행최고속도 : 450km/h

- 베를린~함부르크 노선(290km) 검토 경과
 - 1994.3 : 콜 내각이 함부르크-베를린 구간 확정. 3개월 후 하원에서 법안 통과
 - 1998.10 : 연방철도청이 건설 비용을 당초 61억 마르크에서 77-89억 마르크로 높여 계산.
 - 1999.4 : 단선 궤도 건설 검토 시작 (당초: 복선 계획)
 - 1999.5 : 비용 조달을 위해 15억 마르크를 민간 자본에서 모으는 방안 검토.
 - 1999.9 : 독일철도 보고서에서 단선 궤도 운영에 있어서의 경제성 문제 제기.
 - 2002.2 : 연방정부의 실현 불가 발표

□ 중국 상하이 노선에 투입

- 중국 Shanghai 시내(푸둥지역)~시외곽 푸둥국제공항 간 30km
- 2001.1.22 : 중국/독일 간 계약 체결
- 2004.1 : 상업운행 개시 (세계 최초 상용화)

□ 향후 상용화 계획 (독일 국내)



- 상하이 노선 현황
 - 길이 : 30 km 복선 (유지보수선 : 별도 3km 단선)
 - 역사 : 2개소
 - 열차 : 3편성 (5량/1편성)
 - 운행최고속도 : 431 km/h
 - 편도운행시간 : 7분 20초
 - 열차운행간격 : 10분, 일일운행시간 : 18시간
- km 당 건설비 : 약 400억원
- 수송량 (계획)
 - 2005 : 10백만명, 2010 : 21백만명, 2020 : 33백만명

길이	37 km (복선)
여행시간	10 minutes
열차시격	10 minutes
운행속도	max. 350 km/h
역 수	2
계획 입안	2005
공사시작	2007
운영	2011



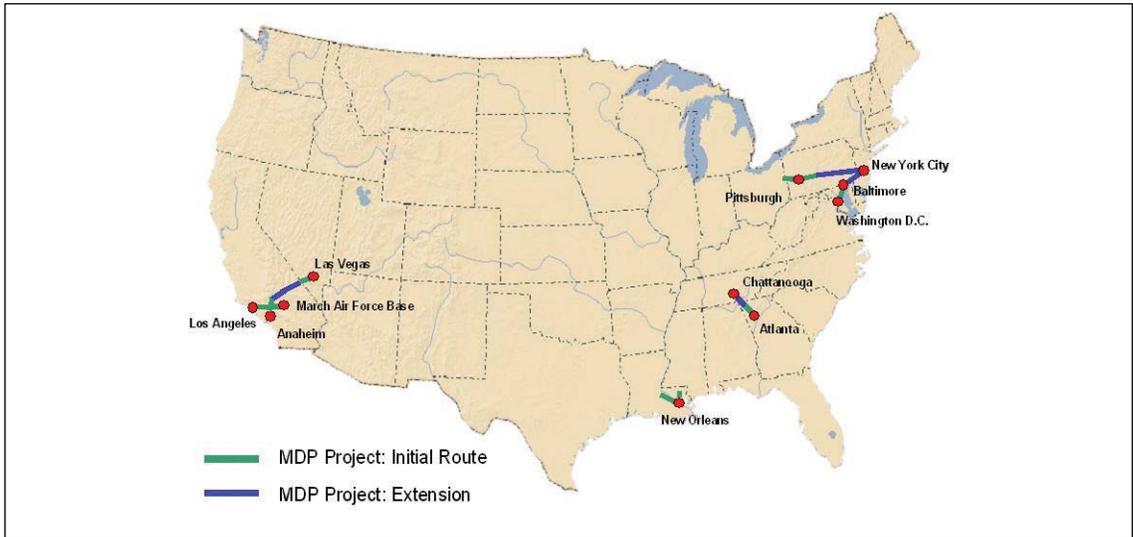
• 독일 뮌헨 노선: 뮌헨 시내 - 뮌헨 공항
- 사업추진 결정, 사업비 5.5억 유로 추산

- 기타 검토중인 노선 (독일 국내)
 - 베를린 시내 ~ 베를린 쉰펠트 공항: 28 km
 - 뒤셀도르프 시내 ~ 도르트문트: 78 km
 - 프랑크푸르트 공항 ~ 한 공항: 108 km
 - 함부르크 ~ 베를린 ~ 그로닝겐 (네덜란드): 289 km

□ 향후 상용화 계획 (해외: 협상중)

4.3 기타 최근동향

Qatar / UAE / Bahrain	Manama-Doha-(Abu Dhabi-Dubai)	800km
영국	Glasgow-Manchester-London	800km
Canada	Edmonton-Calgary	294km
Netherlands	Schiphol-Groningen	187km
	Rondje Randstad	200km
Malaysia / Singapore	Kuala-Lumpur-Singapore	320km
미국지역	: 4개 노선	



- 미국지역 : 협상중인 노선
 - Las Vegas ~ Primm 노선 : 56km
 - LA~Las Vegas 노선의 1차구간
 - Baltimore ~ Washington 노선 : 63km
 - Pittsburgh ~ Greenburg 노선 : 87km
 - 기타 Chattanooga 노선, New Orleans 노선 등

- 문헨 노선 (문헨 시내 ~ 공항 : 37km)
 - 건설비 : km 당 500억원 정도 소요 예상
- 독일에서 상용화가 지연되어 온 이유
 - 전반적인 재정문제, 지자체 간 이견 및 동독지역이 경제력을 갖추지 못한 점 등
- 상하이노선(30km) 의 고속주행시 진동문제에 대하여
 - 상하이 지역 지반침하가 주된 원인으로 파악(독일측)
- 상하이노선(30km) 의 고장 사례
 - Motor Cable 고장 등 경미한 고장만 있었음
- 중국 상하이~항주 노선(175km) 사업에 지멘스 등 Transrapid 관계기업 참여 예정

5. 중 국

5.1 일반 현황

중국은 1980년대 후반부터 실험실 수준의 연구개발을 시작하였으나 상당기간동안 외부에 잘 알려지지 않았으며, 개발은 일본 HSST를 모방한 중저속 자기부상열차 중심으로 이루어져 온 바 있다.

1990년대 중반부터는 고속자기부상열차에 대한 조사연구 등을 시작하여 주룽지 총리의 독일 방문 이후 독일의

Transrapid를 우선적으로 도입하는 쪽으로 정책의 방향을 설정하고, 2001년 3월 상하이 푸둥국제공항과 시내를 연결하는 30km 노선 건설에 착수, 단기간 내에 공사를 완료하여 2004년 1월 세계최초로 고속자기부상열차 상용 노선을 개통하였다.

최근에는 중국정부가 이 노선을 항주까지 175km 추가 연장하는 사업 추진을 결정하였으며, 이 노선을 통하여 교통소통과 함께 고속자기부상열차 기술력 기반구축의 계기로 삼으려는 전략이 엿보이고 있고, 사업 추진에 있어서는 경제성을 강조하고 있어 자체 상용화 후 수출전략산업화 의지도 보여지고 있다.

- 중국의 주요 개발주체
 - 중국철도대학 (National Railway Academy)
 - 남서자오통대학 (South-West Jiatong University)
 - 중국국방대학 (National Defence University)
 - 전기기술협회(IEE of the Chinese Academy of Sciences)

5.2 개발 및 실용화 준비

- 중국이 개발 · 실용화 준비중인 중저속 자기부상열차
- 고속자기부상열차 도입 · 상용화 (상하이 노선)



중저속 자기부상열차 최근 모델



- 중국국방대학이 기업과 공동 개발한 자기부상차량 (CMS-03) 후속 신형모델
- 규격, 성능
 - 규격 : 전장 15.5m, 폭 3m, 높이 3.83m
 - 자중 : 21톤
 - 설계최고속도 : 150km/h
 - 최소곡선반경 : 75m
 - 등판력 : 7%

- 상하이 자기부상열차 노선 건설 배경
 - 푸둥(Pudong)공항은 터미널과 이착륙 활주로를 확장, 매년 7,000만명의 인원을 수용하는 아시아 최대 항공교통의 허브가 될 것으로 예상
 - 상하이 시내 푸둥지구 롱양(Longyang)역 부근은 금융 중심가로 새롭게 형성되고 있는 인구밀집지역으로서, 구시가지로 연결되는 지하철 2호선과 연계되는 지역
- 사업 추진 현황
 - 중국은 상하이노선사업을 수행하기 위하여 자체적으로 SMTDC(Shanghai Maglev Transportation Development Co. : 上海磁浮交通發展有限公司) 라는 기술공단을 구성하여 노선 건설사업을 추진
 - 독일연방철도청이 상용성을 인정한 TR-07 차량 이후 독일측이 Berlin~Hamburg 프로젝트를 위해 선행 개발한 TR-08 사양을 최대한 변경하지 않고 적용할 것을 독일측에 요구하였고, 이에 따라 극히 일부분만을 수정하여 적용
 - 건설 개요 및 투자 내역
 - 175t/24m 길이의 guideway girder가 2,551개 소요되는 등, 약 12억\$(US) (Km당 약 400억원) 정도의 투자가 이루어졌음.

- 추진 일정
 - 2001.1.23 : 독일측과 건설계약 체결
 - 2001.3 : 사업 시작
 - 2002.12.31 : 시범운행 시작
 - 2004. 1 : 상업운행 개시
- 운영 현황
 - 구간: 상하이 국제공항 ~ 상하이 도심(푸둥지구) 30km
 - 최고속도: 431km/h, 편도주행시간: 7분 20초
 - 차량편성: 3편성 (5량/1편성)
 - 운영현황: 2004년 4월 13일부터 2006년 4월 9일 까지
 - 전자동 운행, 일일 14시간 운영, 승객 10,000명/일, 승객의 70%가 항공기 고객
 - 시스템의 기술적인 가용도: 99.93%



상하이 자기부상열차 노선도 1

상하이 자기부상열차 노선도 2



차량 주행모습

차량 정비시설

5.3 기타 최근동향

- 중국의 자기부상열차 개발 · 실용화 방향
 - 중저속형: 일본 HSST기술을 모방 · 소화하여 시속 150km급 자기부상열차를 향후 3~4년 내 개발 완료 후 주요 도시에 설치하기 시작할 것으로 예상됨
 - 중국국방대학이 기업과 공동 개발한 중저속 자기부상차량 (CMS)의 실용화 준비 추진중
 - 속도시험을 위하여 총연장 2km 시험노선 건설 예정: 향후 3~5년 후 도시교통시스템 적용목표
 - 상하이 Transrapid시스템을 중저속용으로 활용하는 방안도 검토중
 - 고속형: 시속 300km급 자기부상열차는 거리 700~800km, 시속 500km 급 자기부상열차는 거리 1,500km에서 항공기보다 경쟁력이 있는 것으로 기술정책 관계자들이 판단하고 있으며, 광활한 중국대륙의 여건상 증장기적으로 시속 500km 내외의 초고속자기부상열차 개발 추진이 예상됨
 - 중국 내 고속철도노선(철차륜식, 자기부상식) 장기적 수요를 8,000km 예상
- 자기부상열차 상용화 후속노선 검토
 - 북경~상하이 노선: 검토중
 - 총연장 1,370km, 시속 300~350km로 6~7시간 소요
 - 철차륜식과 자기부상식 모두 검토중에 있으며 자기부상 관계자들이 정부에 시속 500km급 자기부상열차 설치를 적극 건의중
 - 상하이~항주 노선: 건설 결정
 - 자기부상 관계자들의 북경~상하이 노선 건의에 대하여 중국정부에서는 교통망 확충 및 자기부상열차의 기술 · 경제성 검증을 위하여 최근 상하이~항주 사업 추진 결정
 - 총연장 175km, 시속 450km로 27.5분 소요



6. 미 국

6.1 일반 현황

미국은 1950년대 초 제임스포엘, 고든덴비 등에 의해 초전도반발식 자기부상열차의 기본개념을 구축하였으나, 실제 개발은 이루어지지 못하고 이 개념을 바탕으로 한 기술개발은 일본이 주도적으로 추진하였다.

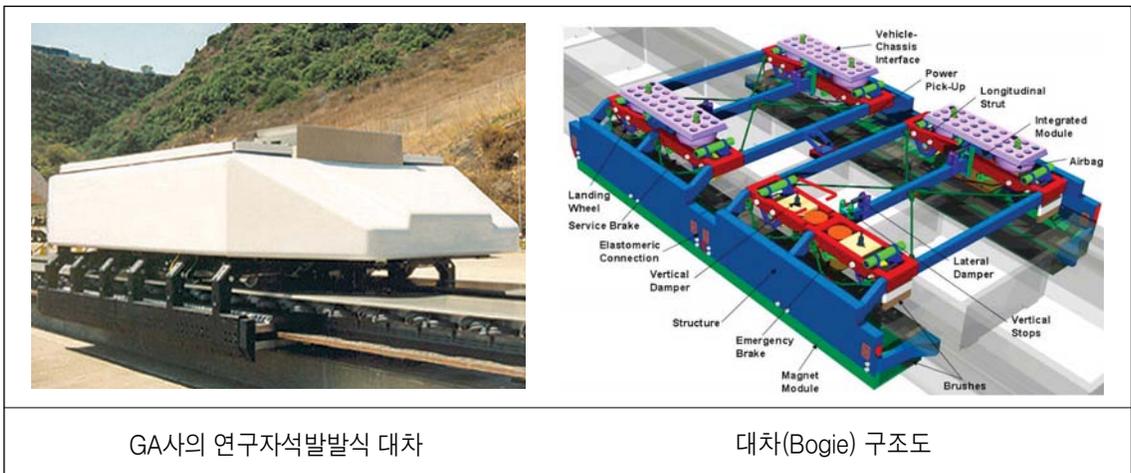
1980년대 말 독일의 Transrapid의 시속 450km 주행 성공, 일본 MLU의 시속 500km 주행성공 등에 자극받아 1991년 12월 18일 미연방의회에서 육상교통효율화 법안(ISTEA : Intermodal Surface Transportation Efficiency Act)을 채택한 바 있으며, 이 내용은 연방 운수성(DOT) 장관이 상무성(DOC) 장관, 에너지성(DOE) 장관, 육군공병단(USACE) 부사령관 및 관련기관의 협의하에 대기오염, 에너지 소모, 소음, 토지점유율, 안전성 등을 고려하여 기존교통체계의 대안으로 자기부상열차의 개발 및 실용화를 위한 연방정부차원의 연구개발을 추진해야 한다는 내용이다.

이에 따라 1992년 부터는 연방정부 주도로 자기부상열차 개발의 중심조직인 NMI(National Maglev Initiative)를 구성하고 본격 개발에 착수한 바 있으나, '90년 대 중반 이후 예산사정 등으로 인해 담보 상태였고, 1990년대 말 로렌스리버모어연구소에서 영구자석반발식 축소모델 실험이 성공함에 따라, 2000년대 초부터 이 방식을 채용한 연구개발사업을 연방정부 지원으로 추진하고 있다.

6.2 개발 및 실용화 준비

□ 영구자석반발식 개발

- 1990년대 말 미국의 로렌스리버모어 연구소에서 영구자석 반발식을 자기부상열차에 적용하기 위한 축소모델 실험 성공. 기존의 영구자석으로는 부상력이 충분하지 않았으나 Nd 계열의 영구자석들을 Halbach Array(특수한 배열로 자속을 일정 방향으로 집중해주는 방식)라는 방식으로 적용 가능
- 2000년 General Atomics (GA)사가 연방교통국과 중저속 자기부상열차 개발계약 체결하고, 2003년 5월 San Diego에 120m 길이의 시험선로 건설을 시작했으며, 2004년부터 부상추진시험장치의 주행시험 실시중
- 추진은 선형동기전동기를 사용하며, 차량은 처음에는 바퀴를 이용하여 주행하다가 3~4m/s 속도에서 부상



GA사의 영구자석반발식 대차

대차(Bogie) 구조도

시작

- M3(도시형) 시스템 요구사항
 - 설계최고속도 : 161KM/H
 - 가속도 : 2Km/h/s
 - 궤도 : Box Beam Concrete Guideway (1.7m gauge)
 - 부상높이 : 200mm
 - 최대구배 : 7%
 - 최소곡선반경 : 25m
- M2000(고속형) 시스템 요구사항
 - 온도특성 : 섭씨 -40도 ~ +40도
 - 최대풍속 : 120kph
 - 최대구배 : 15도
 - 차량치수 : L 20.12 * W 3.35 * H 3.05 (m)
 - 승차인원 : 좌석 50인/량, 최대 100인(입석 50인)/량
 - 하중조건 : 19.48톤(공차), 23.56톤(75% 적재)
 - 부상시스템 : 초전도전자석 사용
 - 추진시스템 : 선형동기전동기(LSM)
 - 제동 : LSM제동(상용), Guideway Resistive Loop(비상), Locked Wheel(주차제동)
 - 가속도 : $1.5m/s^2$, 감속도 : 1.5m/s
 - 분기기 : 78~148m 강철박스빔
 - 운행속도 : 300~500km/h

□ 영구자석반발식(M3 모델) 실용화 계획

- 미국 펜실베이니아주 캘리포니아대학 단거리노선 건설 예정



운행 상상도 (약 3km노선)



캘리포니아대학 위치도

- 미국 피츠버그 시내 노선 : 16km
 - 영구자석반발식 개발 초기부터 검토, 건설일정 : 미정

□ 고속자기부상열차 도입, 상용화 계획

- LA ~ Las Vegas 노선
 - 총연장 420km
 - 1단계 : Las Vegas ~ Primm 간 56km
 - 독일 Transrapid 도입 검토중(최고시속 450km 급)

6.3 기타 최근동향

□ 민간의 상전도흡인식 개발

- 민간업체인 AMT사 (American Maglev Technology, Inc.)는 '90년대 중반부터 MIT 등과 협력하여 독자적으로 자기부상열차 개발을 추진. 상전도흡인식(저속) 자기부상열차 시험노선을 플로리다에 건설하여 시험 후, 이 기술을 적용한 실용노선을 버지니아주의 ODU 대학에 건설하였으나(2002년, 2km), 부상제어 불안 등 기술적 문제로 인하여 2006년 초 현재 철거중
- 기타 도입검토 노선 (주로 Transrapid 도입 검토)
 - Baltimore ~ Washington 노선 : 63km
 - Pittsburgh ~ Greenburg 노선 : 87km
 - 기타 Chattanooga 노선, New Orleans 노선 등

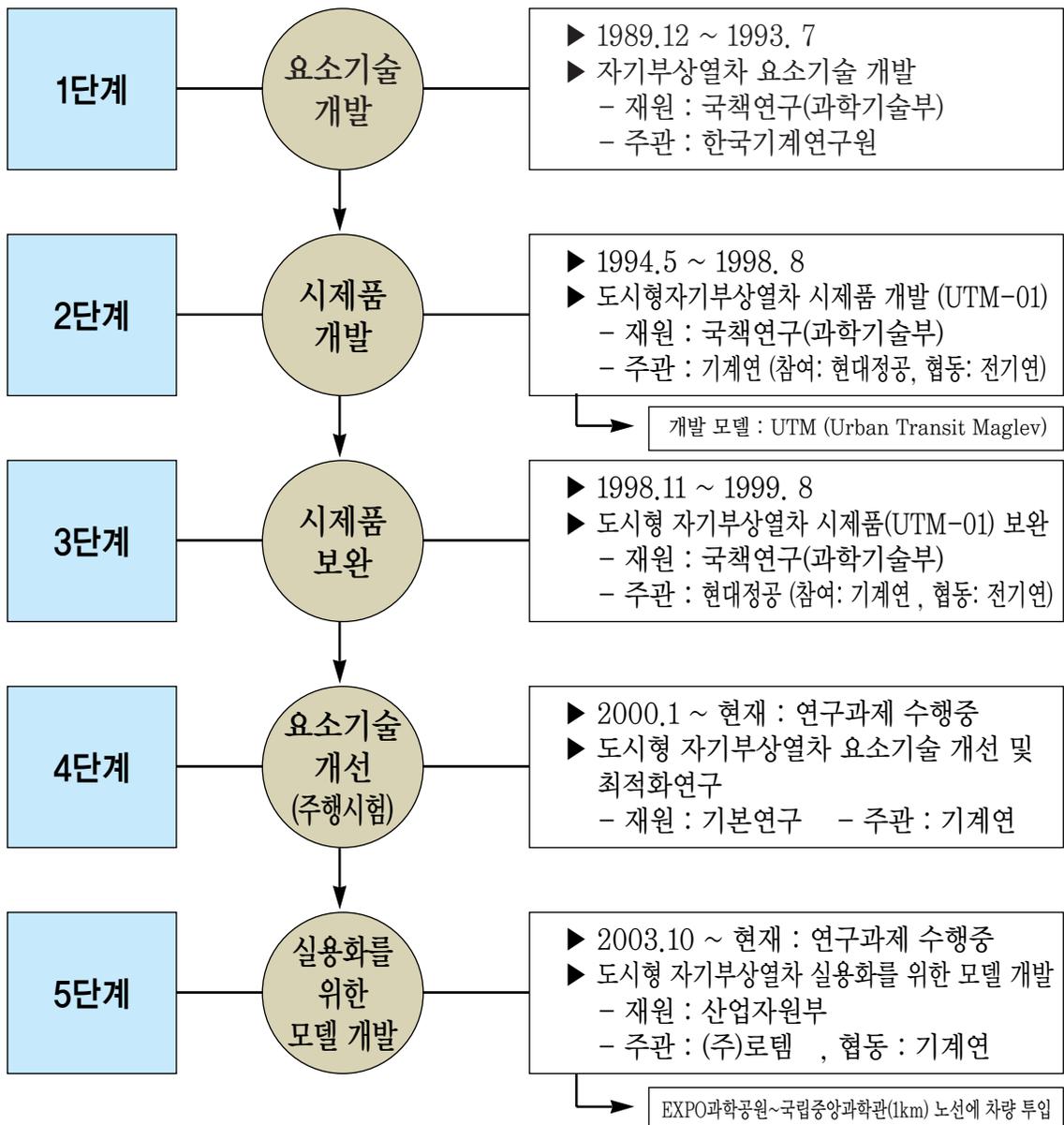
7. 우리나라

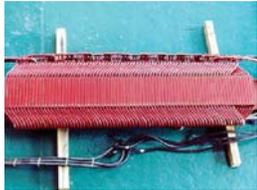


우리나라의 자기부상열차 개발은 1989년 12월 과학기술부 국책연구 착수와 함께 본격적으로 시작되었으며, 그 이전의 연구개발은 한양대학교의 리니어모터 개발, 당시 현대정공의 상전도흡인식 축소모델 개발 등이 진행된 바 있다.

한국기계연구원은 1988년 수립한 중장기발전계획에 자기부상 열차 개발계획을 반영하였으며, 1989년 4월 부터 진행된 과학기술부의 10대국책연구사업 선정 과정에서 자기부상열차 개발사업을 적극 제안하여 평가단계를 거쳐 최종선정되어, 1989년 12월 1일 부터 국책연구 주관기관으로서 관계기관과 협력하여 자기부상열차 개발을

국책연구 추진 경과 (주요 사업 별 요약)



국책연구 추진 경과 (주요 개발 성과)			
국책연구 착수 1989.12 - 주관 : 기계연 - 협동 : 전기연			
→	국책연구 착수 현판식(1990.12)	축소모델(4인승) - 기계연(1990.12)	축소모델(4인승) - 전기연(1991.2)
			100m 선로상 대차시험 (기계연 내)
원판시험장치 -기계연(1991)	전자석 개발(우측) -기계연(1991)	리니어모터 개발 -기계연(1991)	축소모델(4인승) - 전기연(1991.2)
			
갭센서어셈블리 개발 -기계연(1993)	부상특성(2조)시험기 개발 -기계연(1994)	LIM동특성시험기 개발 -기계연(1995)	시험선로 건설 -기계연(1996)
			
UTM-01 대차 개발 -기계연/로템(1996)	UTM대차 부상실험 -기계연/로템(1996)	UTM대차 추진실험 -기계연/로템(1997)	UTM-01 제1차량 (1998)
		UTM-01 기술보완 (기본연구) (2000.1~) 산자부 중기거점 (2003.10~)	
UTM-01 2량/1편성 (1999)	UTM-01 리모델링 (2002)		UTM-02 (2005)

주도적으로 추진해 왔다.

최근 자기부상열차 상용화의 세계적 추세와 함께 우리나라에서도 건설교통부 주관으로 시범적 실용화사업에 대한 최종검토와 준비작업이 진행되고 있으며, 사업 기간은 5~6년 정도로 예상되고 있다.

- 대전 엑스포과학공원~국립중앙과학관 연장 사업
 - '93대전엑스포 관람용으로 설치된 엑스포과학공원 내 560m구간을 국립중앙과학관까지 총1km로 연장 운행
 - 과학기술진흥기금 98억원, '05년 1월 사업 착수, '07년 하반기 개통 예정
 - 운행차량: 중기거점사업(산자부)으로 개발한 UTM-02
- 실용화사업 (추진 경과)
 - 2004년 7월

UTM의 규격·성능 종합 (일본 HSST 자료 포함)

규격, 성능		UTM-01 국책연구차량	UTM-02 중기거점차량	HSST (일본) 리니모(8.9km)
차량	치수 (m)	13.0(L)*3.0(W) *3.96(H)	13.5(L)*2.85(W) *3.53(H)	13.5(L)*2.6(W) *3.45(H)
	구조물	AL 용접구조	AL 용접구조	AL 용접구조
	대차수/car	3	3	5
	공차시 차중량	22 ton/car	27 ton/car	17 ton/car
	만차시 차중량	28 ton/car		23.7 ton/car*
	용량, Seated	36 명/car	22 명/car	36 명/car
	용량, Maximum	120 명/car	100 명/car	84 명/car
부상계	부상방식	상전도흡인식	상전도흡인식	상전도흡인식
	정격방식 Gap	11 mm	10 mm	6 mm
추진계	Motor	LIM, 6개/car	LIM, 6개/car	LIM, 10개/car
	추진제어	VVf Inv. IGBT	VVf Inv. IGBT	좌동
	설계최고속도	110 km/h	110 km/h	100 km/h
	최대가속도	0.8 m/s ²	1.0 m/s ²	1.11 m/s ²
	최대감속도 (비상제동시)	1.25 m/s ²	1.25 m/s ²	1.25 m/s ²
	상용제동	전기식+기계식	전기식+기계식	좌동
	비상제동	기계식	기계식	좌동
궤도계	궤간	2000 mm	2000 mm	1700 mm
	분기방식	평행이동식	굴절식	굴절식
	최소곡률반경	60m (시험선로)	-	25m (시험선로), 50m (노선)
	최대구배	6%	6%	6%
전원 공급계	가선공급전압	DC 1500 V	DC 1500 V	DC 1500 V
신호 통신계	자동운전	없음	ATP / ATO	ATP / ATC
	신호통신	없음	무선통신	무선통신

- 대통령 주재 제51회 국정과제회의에서 국가기술혁신체계 (NIS) 관련 자기부상열차를 포함한 30개 과제 추진 결정
- 2004년 10월~11월
 - 정부출연(연) 대상 1차· 2차 수요조사 실시(과학기술혁신본부)
- 2004년 12월
 - 대형 국가연구개발 실용화사업 추진 기본방향 확정 (국가과학기술위원회)
 - 대형 국가연구개발 실용화사업 기본계획(안) 확정 (과학기술관계장관회의)
- 2004년 12월~2005년 1월
 - 관계부처 수요조사 실시(과학기술혁신본부)
- 2005년 3월~4월 : 예비타당성조사 수행
- 2005년 5월
 - 과학기술관계장관회의에서 우선추진과제(6개) 선정
- 2006년 2월~ 8월
 - 본타당성조사(타당성검토 및 마스터플랜) 수행 (건설교통부 주관)

8. 결 언

자기부상열차 상용화는 2004년 중국 상하이, 2005년 일본 나고야를 시작으로 세계적인 확산 추세에 들어서 있으며, 다행히 우리나라에서도 시범적 상용화 필요성에 대한 공감대가 형성되어 정부의 시범사업 정책 입안이 진행 중에 있다. 주목할 점은 최근 중국이 기술개발 및 경쟁력 강화를 위한 노력을 전략적으로 추진하고 있다는 점이며, 중국의 고유모델이 탄생할 경우 지금까지의 선도국들의 위상이 크게 흔들릴 수도 있다는 점이다.

이 점에서 한국도 예외가 아니어서 실용화 초기단계에서부터 성능과 가격면에서 국제경쟁력이 탁월한 시스템을 구축하는 것이 중요한 관건이 되고있다.

중저속형의 경우 앞으로의 세계시장에서 일본 대비 기술경쟁력, 중국 대비 가격경쟁력 문제에 봉착할 가능성이 많으며, 이를 위한 대책을 실용화모델 설계단계에서부터 철저히 점검해야 할 것이다.

아울러 자기부상열차의 꽃이라 할 수 있는 초고속형에 대한 집중연구개발을 서둘러 진행하여 미래에 대비해야 할 것이다.



김 동 성

· 한국기계연구원 기계시스템신뢰성연구센터 책임연구원
 · 관심분야 : 도시형자기부상열차 실용화, 자기부상열차 기술개발 및 시험평가, 고속충돌 실험 및 해석
 · E-mail : dskim@kimm.re.kr



유 문 환

· 한국기계연구원 기계시스템신뢰성연구센터 선임연구원
 · 관심분야 : 자기부상열차 기술개발정책 입안, 자기부상열차 전기계통 실험연구 업무, 자기부상열차 시험평가업무, 도시형자기부상열차 실용화 추진
 · E-mail : yoo_mh@kimm.re.kr