

# 도시형 자기부상열차 개발 및 실용화 전망

## Status of Korean Maglev Development and Commercial Application Prospects

김인근    이상록    조홍제    유문환    김봉섭    성호경    이종민  
Kim, In-Kun    Lee, Sang-Rok    Cho, Hung-Je    Yoo, Mun-Hwan    Kim, Bong-Seup    Sung, Ho-Kyung    Lee, Jong Min

### ABSTRACT

The status of the maglev development in Korea is reported along with related commercial application prospects. The 1st test vehicle, Urban Transit Maglev-01, is in the running tests, and is now entered a new phase in which a new vehicle be built within 3 years.

Eventhough Korean maglev teams made remarkable progress for 10 years since 1990, major portion of the works to prove safety and reliability remains for the future.

Many LRT routes are being planned by the Korean government and UTM will find its commercial application if we can prove many merits of the maglev system plus its reliability. But the commercial application efforts did not produce any outcome at the time because the customer wasn't totally satisfied with the new system and also, they decided it wasn't urgently needed.

### 1. 서론

바퀴 없이 전자석으로 떠서 주행하는 자기부상열차는 지난 1989년 12월 부터 우리나라에서 개발에 착수하여 지금까지 약 10년의 개발해 왔으며, 최초의 도시형자기부상열차 시제품 모델인 UTM(Urban Transit Maglev)-01은 현재 대덕 한국기계연구원 내 1.1km 시험선로에서 주행시험 중에 있다.

UTM-01은 아직 초도 시제품에 불과하기 때문에 각 부품의 신뢰도, 안전성이 실용화 수준에 도달하지는 못한 상황이며, 차량의 경량화 등 개선의 여지가 많은 상황이다. 이에 따라 연구팀에서는 현재 UTM-01의 주행시험과 더불어 UTM-02 개발에 박차를 가하고 있다.

현재 우리나라에서는 많은 경전철 노선계획이 검토되고 있으며, 이 중에는 자기부상열차가 적합한 노선도 있을 것으로 판단되고 있다. 그렇지만 자기부상식이 지닌 많은 장점에도 불구하고 이러한 혁신적인 방식에 대해 수요처의 수용 준비가 아직은 성숙되어 있지 않은 것이 현실이며, 이에 따라 본고에서는 UTM의 전반적인 소개와 함께 실용화 전망을 연구팀의 입장에서 다루어봄으로서 관련 전문가들을 위한 참고자료로 제시하고자 한다.

## 2. 본 문

### 2.1 자기부상열차의 개요

자기부상열차는 자력(磁力)에 의해서 “떠서” 주행하는 궤도차량을 의미한다.

일반적인 철도차량이 “바퀴”에 의해 지지(支持)되고 회전모터(Rotary Motor)에 의해서 구동되는 반면 자기부상열차는 “자력”에 의해 지지되고 선형모터(Linear Motor)에 의해서 구동된다.

자기부상열차도 궤도상에서 움직이나, 차량이 궤도와의 접촉없이 주행하기 때문에 소음이나 진동이 매우 적으며, 리니어모터의 추력을 높이면 매우 급한 경사면의 주행이 가능하고, 급곡선 주행능력도 탁월하다.

- 자기부상식과 철차륜식의 특성 비교 -

항 목	자 기 부 상 식	철 차 륜 식
☆ 진동.소음	- 레일과 차체의 기계적 접촉이 없으므로 진동.소음이 매우 적음 * UTM : 60~65 데시벨(차내)	- 레일과 차륜의 접촉으로 인한 진동.소음이 많이 발생 * 차륜식 전철 : 75~80 데시벨(차내)
☆ 안전성	- 차체가 궤도를 감싸고 있기 때문에 궤도붕괴 등 심각한 사고 이외에는 탈선 우려가 없음	- 레일 표면에 차륜이 없어서 주행하기 때문에 가벼운 레일 결함이나 차륜의 결함으로 탈선 우려
☆ 궤도 구조	- 경량 차체와 분포하중으로 인해 궤도구조 경량화 가능	- 무겁고 큰 차체와 집중하중에 따라 견고한 궤도 구조 필요
☆ 부품 교체	- 회전운동부품이 없으므로 부품 교체율이 매우 낮음	- 회전전동기, 변속기, 차륜, 레일 등 주기적 교체 필요
☆ 경사 등판력	- 60/1000 : 급경사 주행 가능 (:UTM)	- 35/1000 내외
☆ 곡선 주행력	- 반경 60m 까지 주행 가능 (:UTM)	- 반경 150m 이내는 무리
☆ 가속력	- 초당 1.0m 정도 가능	- 초당 0.3m 정도 가속

### 2.2 자기부상열차의 역사와 외국의 동향

자기부상열차의 아이디어를 처음 제시한 사람은 1934년 독일의 Herman Kemper이며 당시의 제반 기술수준이 이 아이디어를 뒷받침할 수 없었기 때문에 실용화기술로 발전하지 못했다.

자기부상열차 Idea를 최초로 실용화 개념으로 발전시킨 사람은 미국 Brookhaven 국립연구소의 James Powell과 Gordon Danby 이다.

이들은 당시(1960년대 초) 개발이 시작된 초전도자석을 이용한 자기부상열차의 연구를 통해 초고속(500Km/Hr)의 반발식 자기부상열차의 개념을 확립하였다. 이러한 연구는 그후 1960년대 말 일본 및 독일로 전파되었으며 양국 공히 정부의 적극적인 지원하에 실용화 수준의 기술로 발전하게 되었다.

독일은 1960년대 말 기존 철도를 대체할 새로운 고속케도교통수단의 방식으로 자기부상식과 공기부상식의 장단점을 비교 평가한 결과 자기부상식을 채택하는 것으로 일찍이 결론을 내렸으며,

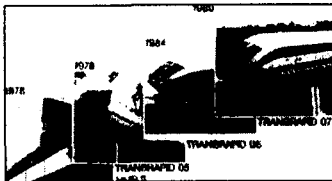
자기부상 방식으로는 초전도반발식과 상전도흡인식 방법을 놓고 검토한 끝에, 당시로서는 아직 실용성이 미흡했던 초전도방식을 접어두고 일반전자석을 이용하는 상전도흡인식으로 결정하여 수차례의 모델 실험을 진행한 후, 31.5Km의 시험선로 건설(1983년 20Km 건설, 1987년 완성)과 함께 완전한 고속 모델 개발에 나서 1989년 시속 450Km로 주행하는 실용화 모델(Transrapid-07)을 탄생 시켰고, 한때 함부르크~베를린 간 290km 노선 건설사업계획을 의욕적으로 검토하였으나 사업비 조달 문제등으로 일단 유보되고, 현재는 프랑크푸르트 신공항 연계 노선 등 대도시 근교 근거리 노선을 대상으로 새로운 검토가 진행되고 있다.

일본의 경우도 역시 1960년대 말부터 철도총합연구소에서 고속자기부상열차 개발에 착수한 바 있다. 1988년 Powell & Danby가 새로 Null Flux 방식을 제안하자 일본은 곧 이를 수용 지금은 Null Flux(선로의 수직면에 코일 설치) 방식으로 시험선로 및 차량(MLU-002N)을 개조하였다.

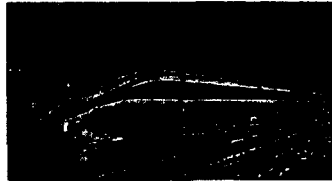
현재는 후지산 인근 야마나시 시험선로(18km)에서 실용화를 겨냥한 시제품 모델(MLX-01: 시속 500km급)의 주행시험을 실시중이다.

일본에서 초전도방식에 의한 자기부상열차 개발이 국가주도 사업이었다면 상전도흡인식 자기부상열차 HSST(High Speed Surface Transport)는 민간 주도(JAL)의 자기부상열차 개발사업이었다.

JAL 은 1974년 상전도흡인식 자기부상열차 기술을 독일에서 도입, 이를 개선시켜 왔다. 초기의 목적은 당시 건설되고 있던 Narita 공항과 동경 도심을 연결하는 고속(~300Km/hr) 자기부상열차 개발을 목표로 했으나 이 계획은 성사되지 못하였고 현재는 중저속 도시교통용으로 그 목표를 조정하여 추진하여, 최종 실용화 모델인 HSST-100L은 2005년 나고야 EXPO 행사에 맞추어 도심과 행사장을 연결하는 8.9km 노선 운행차량으로 확정('99.7)되었다.



독일 Transrapid



일본 MLX



일본 HSST

### 2.3 우리나라의 개발 현황 개요

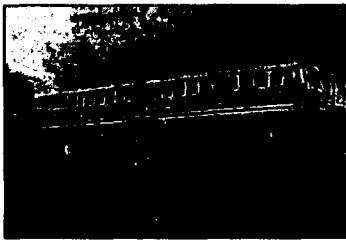
우리나라는 '80년대 중반부터 상전도흡인식 자기부상기술과 리니어모터에 관한 소규모 실험연구가 대학, 연구소, 기업(현대정공)에서 진행된 바 있으며, 1989년 부터는 과학기술처의 국책연구개발사업이 추진됨에 따라 본격적인 개발이 진행되어 왔다.

1990년부터는 한국기계연구원내에 국책연구사업단이 출범하여 본격적인 기술개발을 추진하였다.

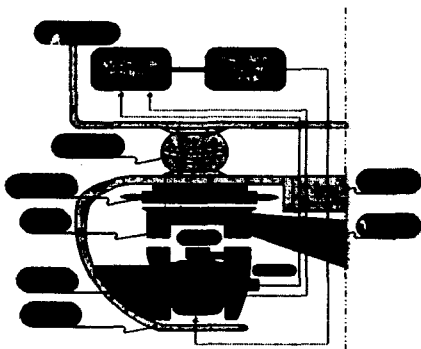
사업단의 발족으로 그때까지 산발적으로 진행되어온 자기부상열차 관련 연구가 체계화 되고 박차를 가하게 되었으며 현대, 대우등 국내 대기업의 관심이 확대되고, 현대정공 주도의 1993 대전 EXPO'93 자기부상열차 전시운행으로 이어지게 되었다.

1994년부터 시작된 국책 2단계사업(1994~1998)은 한국기계연구원(주관), 현대정공(참여), 한국전기연구소(협동) 등의 협력사업으로서 2량의 Prototype 차량(UTM-01)을 개발하여, 기계연에 건설된 (1993~1996) 시험선로(1.5km)에서 주행시험을 통한 성능 입증 및 개선을 성공적으로 실시하였으며, 이어서 실시된 국책 3단계사업은 2단계사업에서 하지 못한 운행자동화 기술, 선로의 Switching 기술 등을 보강하고 차량의 신뢰성, 안전성 등을 확립함을 목표로 2년간 계획되어 있었으나 '99년 9월 과기부의 과제종료 조치로 남은 1년을 채우지 못하고 중단되어, 현재는 한국기계연구원이 소속된 총리실 산하 산업기술연구회 소관 연구비로 후속 연구가 진행되고 있다.

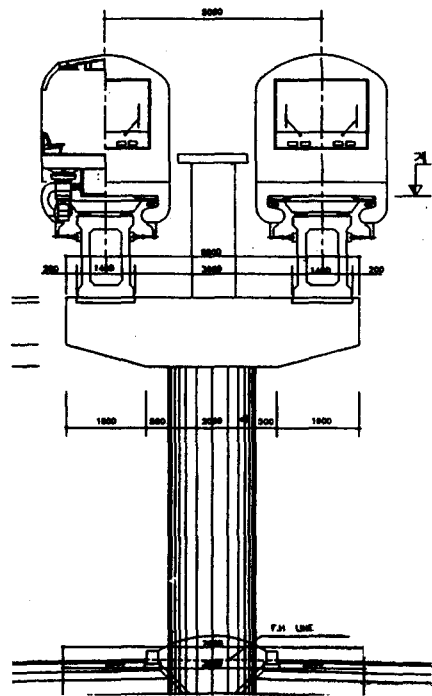
#### 2.4 UTM 적용 기술과 실용화 모델 사양



UTM-01 (2량/1편성)



UTM 대차의 단면도



궤도 단면도 (복선 실용노선)

UTM은 대차(Bogie)에 장착된 상전도 전자석과 궤도간의 흡인력을 이용, 차량을 부상시킨다. 따라서 전자석은 궤도의 하부에 있게 되며 궤도와 전자석 간에 일정한 간격(Gap: 약 10mm) 유지를 위한 정교한 부상 Control이 이루어진다.

현재 부상계, 추진계, 차량(구조)계, 궤도계, 전원공급계 구현에 필요한 모든 기술이 개발되었으며 부품도 일부 센서류 등을 제외하면 모두 국산화 되었다. 앞으로 보완이 필요한 기술은 부품의 신뢰도 향상, 자동운행시스템의 구축, 차량의 경량화 및 시험평가체계의 확립 등이다.

- UTM 적용 기술 : ★ -

부상/안내 장치 (Levitation & Guidance)	부상 방식	상전도흡인식 EMS (Electromagnetic Suspension) ★	○ 철제 레일과 차량에 설치된 전자석 간에 서로 잡아당기는 흡인력을 이용하여 부상시키는 방식 이 방식을 이용하기 위해서 대차에는 전자석과 센서들이 부착되며 차상에는 초퍼와 부상/안내 제어장치가 설치 - 대차의 각 중 센서(Gap Sensor 등)로부터 받아들인 데이터가 차상의 부상/안내제어장치로 입력되고 그 결과 필요한 만큼의 전류를 초퍼에서 전자석으로 보내주어 부상력을 발생함
		초전도반발식 EDS (Electrodynamic Suspension)	○ 차량에 설치된 초전도자석이 궤도에 설치된 유도 코일 위로 움직이게 되면 전자기유도현상에 의해 초전도자석과 유도코일 사이에 강한 반발력을 발생시키게 되는데 이 반발력을 이용하여 차체를 부상시키는 방식임 - 이때 발생하는 반발력은 차량이 움직이는 속도에 비례하므로 자기력이 차량의 중량보다 적은 저속영역에서는 보조바퀴를 필요로함
	안내 장치	부상/안내 겸용 ★	○ 안내력(Guidance Force)은 대차의 전자석들의 횡방향 분력으로 자동 발생 (: 한국 UTM) - 전자석들을 서로 약간씩 비틀게 배치함으로써 보다 안정된 횡방향 복원력을 얻는 방법도 사용 (: 일본 HSST의 초기 모델)
		부상/안내 분리 A	○ 안내용 전자석을 대차 측면에 부착하여 부상의 경우와 같은 원리에 의해 차량이 궤도를 따라 안전하게 운행되도록 함
		부상/안내 분리 B	○ 초전도 반발식 부상의 경우에는 궤도와 차체의 좌우측에 추진용 코일들이 설치됨 - 이 경우 차체가 어느 한쪽으로 치우치게 되면 간격이 작아진 쪽의 추진 전류가 많이 흐르게 되고 그 결과 차량의 변위를 보정하려는 힘이 작용하게 됨
	추진 장치 (Propulsion)	형 식	선형유도전동기 (LIM) ★
선형동기전동기 (LSM)			○ 회전식동기전동기 원리와 동 - 고속용에 주로 사용
설치 방법		차상 1차식 ★ (Short Stator)	○ 차상에 전력변환장치를 설치하므로 높은 전력 공급이 곤란하여 중저속용에 적합
		지상 1차식 (Long Stator)	○ 지상에 전력변환장치를 설치하므로 높은 전력 공급이 가능하여 고속용에 적합
제동 장치 (Brake)	제동 방식	전기제동방식 ★	○ 선형전동기가 제동시 발전기로 작동 - 회생제동과 저항(열로 방출)제동 방법이 있음
		기계제동방식 ★	○ 주로 압축공기를 이용 제동기를 작동하여 Brake Lining이 레일과 마찰됨으로서 제동력을 발생하는 방식 - 보통 차량의 정위치 정지 또는 비상시에 사용

## UTM-01 의 사양

1	Max. Speed	110Km/h
2	Max. Accel	0.8m/s <sup>2</sup>
3	Dimension(mm)	L 13,000×W 3,000×H 3,960
4	Weight	22 Ton~28 Ton / Vehicle
5	Trainset	2 Vehicles
6	Capacity	60~120 Persons / Vehicle
7	Suspension	3 Bogie / Vehicle
8	Levitation Type	EMS, 24 Magnets / Vehicle
9	Levitation Gap	11 mm
10	Guidance	Staggerd & Lateral Control
11	Propulsion Type	SLIM
12	Brake	Regeneration & Mechanical
13	Test Track	1.1Km 60mR, 4% & 6% Slope
14	Power Collection	2 Power Rails on the Track
15	Power Supply	1,500 V DC

### 2.5 국내 자기부상열차(UTM) 기술 수준 : 일본 HSST 와의 비교

국내의 도시형 자기부상열차(UTM)는 현재 제1차 시제품 모델이 개발되어 있는 것이고, 일본의 HSST(High Speed Surface Transport)의 경우는 과거 5차례의 전시운행모델 개발 경험에 이어 나고야 1.5km 선로상에서 시험한 2차례의 실용화 모델 등 7차례나 되는 개발 경험이 있는 것이기 때문에 당연히 시스템 성능의 성숙도나 신뢰도 면에서 HSST가 앞서 있는 상황이며, 이를 몇가지의 지표로 나누어 검토해 보면 다음과 같다.

#### ○ Milestone에 의한 비교

	(UTM)	(HSST)
- 최초의 전시운행	1993	1985
- 부상 Control: Digital화	1995	1992
- 실용모델용 시험선 건설 완료	1996(1.1km)	1991(1.5km)
- 실용모델 시험 착수	1997	1991
- 전장품 IGBT화	1998	1996
- 운전자동화 시스템 구성	2001예상	1993
- 실용화 준비 완료(중저속형)	2002예상	1996
- 실용화 사업 추진 결정	2003예상	1999(나고야선 결정)

#### ○ 기술분야 별 수준 격차 (집중 개발시 현재의 HSST 100L 수준에 도달할 수 있는 기간)

- 전장품 기술(Chopper, Inverter 등)	: 2~3년
- 부상 Control System	: 2~3년
- 전력기기(Magnet, LIM 등)	: 2~3년
- 차량 경량화	: 1~2년
- 시험평가	: 3~4년
- 운전자동화	: 2~3년
- 주변기술(집전, 지상전원 등)	: 1~2년
- 궤도	: 1년

## 2.6 UTM의 실용화 준비 추진 경과와 앞으로의 전망

UTM의 개발 과정에서는 앞으로의 실용화를 위한 몇 차례의 검토과정도 병행되어 왔다.

UTM-01의 개발이 한창 진행중이던 1995년에는 부산시의 적극적인 관심에 힘입어 해운대 관광특구 노선(총연장 18.2km)을 비롯하여 부산시내 3개 노선의 자기부상식 적용 검토가 이루어진 바 있으며, 사업의 타당성은 인정되었으나 당시로서는 아직 UTM-01이 완성되기 전이었기 때문에 후속 진행은 이루어지지 못한 바 있다.

1997년에는 대전광역시의 유성지구 재개발계획에 따라 유성은천과 정부3청사 간 19.2km 노선에 대한 자기부상식 적용 검토가 있었으며, 타당성은 확인되었으나 재원 문제 등으로 역시 후속 진행은 이루어지지 못한 바 있다.

1998년에는 한국공항공단의 제안에 의해 김포공항 청사 간 순환노선에 대한 검토가 있었으나, 검토 도중 영종도 신공항이 기존 김포공항의 기능을 모두 수용하는 것으로 건설교통부의 항공운항정책이 마련됨으로서 설치 필요성 자체가 사라진 바 있다.

1999년에는 인천국제공항공사측의 적극적인 관심과 정부(총리실) 차원의 정책적 지원에 힘입어 인천국제공항 내 PMS(People Mover System) 노선(1.8km) 사업을 시범사업으로 추진하기 위한 타당성조사연구가 체계적으로 실시되었으나, 건설교통부의 검토 결과 노선 건설이 아직 시급하지 않고 UTM-01이 아직 신뢰할 수 없다는 등의 이유로 시행은 유보되었다.

다음은 1999년에 검토했던 인천국제공항 PMS 노선사업(안)의 개요이다.

### ▶ 인천국제공항 개요

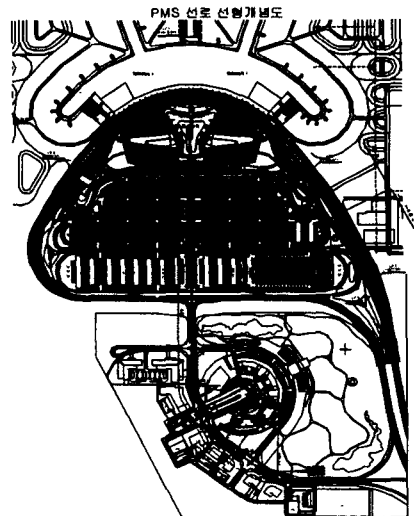
- 신공항 : 1992년 11월 착공, 2001년 1월 개항 목표
- PMS 노선: 주청사 인접 교통센터 ~ 국제업무지역
  - \* 총연장 1.8km (복선)

### ▶ 시스템 설계/설치 방안

- 무인 자동운전방식
- 소음, 진동을 최소화, 환경친화적 시스템 구축

### ▶ 시스템 성능 목표

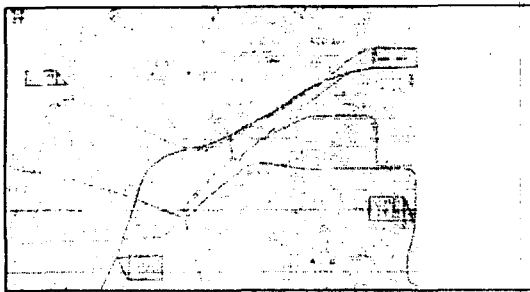
- 차량 편성 : 2량/1편성 운행
  - \* 1량 당 정원 116명, 최대 148명
- 최대 수송인원 : 시간당 1방향 당 4,440인
- 설계 최고속도 : 100km/h                      - 운행 최고속도 : 80km/h
- 최대 가속도 : 3.6km/h/s                      - 감속도: 3.6km/h/s(상용)    3.6km/h/s(비상)
- 최대등판력 : 8% (운행조건 : 최대 6%)
- 최소곡선 통과능력 : 60mR (운행조건 : 최소 100mR)



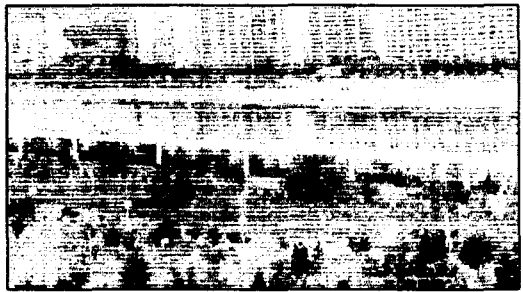
PMS노선도(상단:주청사)(하단:국제업무지역)

인천국제공항 PMS 선의 경우 노선의 건설이 시급하지 않다는 점은 처음부터 전제된 사항이었으며, 이 때문에 건설 후 상당기간 시운전을 통하여 국책연구성과를 검증하고 성능을 개선하여, 신뢰성과 안전성 확인 후 정상운행에 돌입하는 국책시범사업으로 추진코자 하였던 것이지만 결과적으로 사업 승인을 받지 못함으로써, 연구개발사업도 새로운 국면을 맞이하게 되었다.

2000년 부터의 연구개발은 UTM-02의 조속 개발에 초점이 맞추어져 있으며, 연구개발을 보다 목표지향적으로 수행하기 위하여, 연구팀에서는 지난 1997년에 검토한 바 있는 유성~제3청사 간 기 검토노선(19.2km) 중 일부구간(4km)을 국책시범사업으로 추진하는 방안을 검토중이다.



(유성지구 전체 노선도)



- 유성구청~엑스포과학공원 : 4km -

(국책시범노선 조감도 : 갑천 변)

### 3. 결 론

세계적으로 아직 본격적인 자기부상열차 실용노선은 건설되고 있지 않다. 그러나 분명한 것은 일본이 2005년 나고야 엑스포 행사에 맞추어 8.9km 노선 건설계획을 확정했다는 사실이며, 이에 따라 일본은 세계 최초의 자기부상열차 실용노선 보유국이 될 전망이다. 아울러 고속 모델인 독일의 Transrapid, 일본의 MLX도 2005년 경 이후 차례차례 실용화에 착수할 것으로 본다.

실용노선의 건설비 소요액에 있어 UTM의 복선 노선은 km당 350억원 내외로 추산되고 있으며, 고무차륜식(Matira, Adtranz 등)은 400억원~600억원, 대량수송지하철의 경우 800억원~1,000억원 정도로 나타나고 있다. 운영비 면에서도 회전, 왕복 부품이 없기 때문에 유지보수비가 적게 드는 자기부상식이 단연 유리한 것으로 나타나고 있다. 다만 자기부상식의 본격 실용화 사례가 없기 때문에 실용화 정책 결정에 어려움이 있는 것이 사실이므로, 이의 전 단계로 국책시범사업이라는 과도기적 사업 형태가 바람직한 대안이 될 수 있을 것으로 본다.

국책시범노선의 성격은 국가가 추진해 온 신교통시스템 개발사업의 성과를 국민들에게 널리 보급 하기에 앞서 국가가 책임지고 검증하는 노선이기 때문에, 예산의 지원과 제도의 정비에 있어 정부의 기술개발부처와 기술수요부처간의 협력이 필요하고, 실무적으로는 철도기술 관련 연구소들 간 적절한 역할 분담을 통한 협력체제의 구축이 매우 중요하다. 다행히 최근 유관기관 간 상호 이해와 공조 분위기가 확대되는 추세를 보이고 있어 향후 가까운 시일 내 가시적 성과가 있을 것으로 기대되고 있다. 끝.