

(뒷면) (옆면)

(앞면)

3cm	과제 번호	4cm	건설교통연구기획사업 제 1 차년도 기획보고서 (견고딕13p)
			3cm
			0.5cm 2012-연구기획-AH-01
			2.5cm 9cm
			(견고딕31p) 5cm
			전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템 핵심기술 개발 기획보고서
			(0.1cm)
			2012. 9.
			0.15cm (견고딕15p)
			(별색바탕 : C50, M20, Y59, K0)
			주관연구기관 / 우 송 대 학 교
			협동연구기관 / 한국철도기술연구원 2cm
			(견고딕 15.5p)
			(백색바탕)
			국 토 해 양 부
			한국건설교통기술평가원
			(견고딕 20p)
5cm	전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템 핵심기술 개발 기획보고서	Land Transport and Maritime R&D Report	
	2012 (견고딕13p)		
	국 토 해 양 부		
3cm	한국건설교통기술평가원 (견고딕17p)	(견고딕 25p)	

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 "전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템 핵심기술 개발 기획"과제의 보고서로 제출합니다.

2012 . 9 .

주관연구기관명 : 우 송 대 학 교
주관연구책임자 : 노 영 환 교수
연구 원 : 황 의 성 연구원
" : 박 용 권 연구원
" : 박 준 성 연구원
" : 송 영 득 연구원
" : 박 한 범 연구원

협동연구기관명 : 한국철도기술연구원
협동연구책임자 : 이 병 송 책임연구원
연구 원 : 이 형 우 선임연구원
" : 이 창 영 선임연구원

보고서 요약서

과제고유번호		해 당 단 계 연 구 기 간	2012.04.13.~ 2012.09.12	단 계 구 분	1차년도 /1차년도
연구사업명	중 사업명	건설교통기술연구개발사업			
	세부사업명	건설교통연구기획사업			
연구과제명	대 과 제 명				
	세부과제명	전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템 핵심기술 개발 기획			
연구책임자	노 영 환	해당단계 참 여 연구원수	총 : 9 명 내부 : 4 명 외부 : 5 명	해당단계 연 구 비	정부 : 5천만원 기업 : 천원 계 : 5천만원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 9 명 내부 : 4 명 외부 : 5 명	총연구비	정부 : 5천만원 기업 : 천원 계 : 5천만원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	우송대학교 철도전기시스템학과		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
협 동 연 구	연구기관명 :한국철도기술연구원 연구책임자 : 이 병 송				
요약				보고서면수	114
지상에서 전력을 직접 공급하므로 가공전차선 및 팬터그래프가 필요 없고, 차상에 전력변환장치 및 대차에 견인전동기와 기어를 탑재하지 않아, 기존 철도차량 추진시스템의 단점을 개선할 뿐만 아니라, 기존철도의 속도향상을 저해하는 집전, 추진장치를 제거하여 에너지 소모량을 저감하고, 차량의 경량화, 등판능력향상, 터널단면적 축소 등의 인프라 비용저감이 가능한, 무가선, 비점착, 순시제동, 자동위치검지 등의 기능을 갖춘 신개념 철도차량 추진시스템 개발을 위하여 전기 및 전력전자, 초전도, 신호, 궤도 및 건설 등 총체적 기술 검토가 필요함. 따라서 본 보고서에서는 전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템(초전도 전자석 적용 레일 추진시스템, Superconducting Magnet Applied Rail Traction systems, SMART) 의 핵심기술 개발을 위한 기술 분석 및 개발 전략 등을 수립하였으며, 본 연구개발 과제의 기획을 수행하였음. 핵심기술 개발을 위하여 4개의 세부과제를 도출하였으며, RFP를 도출하여 제시하였음. ○ 세부과제 1 : 초전도 리니어레일(SLR) 전동기 기술 개발 (시스템 총괄) ○ 세부과제 2 : 차상 초전도시스템 기술 개발 ○ 세부과제 3 : 차상 전원용 집전시스템 개발 ○ 세부과제 4 : 전용 인프라 기술 개발					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	초전도 리니어레일(SLR), 리니어펄스모터, 차상계자용 초전도자석, 대전류 전력변환장치, 위치검지			
	영 어	Superconducting Linear Rail, Linear pulse motor, On-board superconducting field magnet, High-current power conversion system, Position sensing			

목 차

[요약문]	3
1. 기획 필요성	15
1.1 기획 배경	15
1.2 기획 목적 및 추진방향	15
2. 기술개발 동향 및 환경분석	18
2.1 국내외 정책·시장·기술 동향분석	18
2.2 국내외 기술개발 현황 및 국내 기술 인프라·기술 인력 현황	53
2.3 기술수요 및 기술예측 조사	57
2.4 기술개발 추진방향	57
3. 기술개발 전략 수립	60
3.1 비전 및 기술발전 시나리오	60
3.2 후보과제 도출	62
3.3 후보과제 우선순위 선정	64
3.4 과제 연구수행 체계	75
3.5 연구개발과제 및 로드맵	75
4. 연구 목표 및 범위	78
4.1 목표, 연구범위	78
4.2 세부과제별 연구내용	79
4.3 세부과제별 연차별·단계별 성과목표 및 성과지표	83
5. 연구목표 달성을 위한 추진방안	84
5.1 기존 기술·인프라 등의 활용 및 연계 방안	84
5.2 연구추진체계	86

6. 연구성과 활용방안 및 실용화 추진방안	87
6.1 성과분석 및 검증방안	87
6.2 실용화 방안	88
7. 인력투입 계획 및 소요예산 산정	88
7.1 연구일정 및 인력투입계획	88
7.2 과제별 소요예산	89
8. 연구개발 사전 타당성 조사	93
8.1 정책적 타당성	93
8.2 기술적 타당성	99
8.3 경제적 타당성	99
9. 과제 RFP 및 평가기준	115
9.1 본 과제 RFP	115
9.2 연차별 연구성과 평가방법 및 기준 설정	122

[요약문]

I. 기획연구배경 및 목적

(1) 기획연구의 배경

- 기존의 접촉식 전력공급장치를 제거하여 전차선 설비가 필요 없고 이로 인한 터널 단면적 축소로 공사비 저감 및 유지보수 비용 절감이 가능한 **전력공급 및 추진 일체형 시스템의 연구개발 필요**
- 기존 전력공급장치의 단선 및 전기접촉 등에 의한 위험성이 없는 **친환경적인 전기철도 시스템 구현이 가능한 새로운 기술 개발 필요**
- 비접촉 구동을 통한 직접 추력 발생 방식으로 **급가속 및 고속 주행이 가능한 미래 철도차량 추진시스템에 대한 연구개발이 시급**
- 본격적인 연구 과제의 추진에 앞서 대규모 예산 투입에 따른 예산 효율성과 연구개발 성공 가능성을 높이기 위해서 **연구 과제의 전략적 방향성 및 실행방안을 제시할 사전 기획 필수**
- 기획연구(사전 타당성 조사 등 포함)를 통하여 **세부 연구내용 결정 필요**

(2) 기획연구의 목적

- 기존 철도차량 추진시스템을 개선하여 무가선, 비접촉, 순시제동, 자동위치검지 등의 기능을 갖춘 **신개념 미래 철도차량 추진시스템의 핵심기술개발을 위한 상세 연구 내용 도출 및 추진전략 수립**
- 연구과제에 대한 상세기획을 통하여 타당성조사를 수행하고 **본 과제 공모를 위한 RFP 도출 및 추진형태 제시**

II. 기획연구내용 및 범위

- 시스템 요구수준 및 적용 대상 제시
 - 기존 철도차량 개량 및 신규 차량 적용 등 기술의 활용 방안 및 차별성 제시
- 기술개발 동향 및 환경분석
 - 국내외 정책 · 시장 · 기술 동향분석
 - 국내외 관련 기술수준 분석
 - 국내외 기술개발 현황 및 국내 기술 인프라·인력 현황(기업, 연구소, 대학 등) 분석
 - 기술수요 및 기술예측 조사 실시
 - 동향분석 결과를 바탕으로 기술개발 추진방향 정립(SWOT 분석 등)
- 기술개발 전략 수립
 - 기술개발 비전, 목표, 핵심전략 제시
 - 기술발전 시나리오 제시
- 연구목표 및 범위 설정
 - 목표 및 연구범위 설정
 - 세부과제(핵심요소기술) 도출 및 연구내용 설정
 - 세부과제 연차별 · 단계별 성과목표 및 성과맵 제시
- 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립
 - 기존 기술 · 인프라 등의 활용 및 연계 방안 수립
 - 연구추진체계 제시
- 연구성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시
 - 성과분석 및 검증방안 제시
 - 연구성과물 운영주체(활용처, 수요처) 및 활용방법 제시
- 연구개발과제별 인력투입 계획 및 소요예산 산정
 - 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립
 - 과제별 소요예산 산정
- 연구개발 타당성 검토
- 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정
 - 연구목표와 내용, 추진전략 등을 바탕으로 본 과제를 공모하기 위한 RFP 작성
 - 연차별 평가를 위한 성과목표·지표·마일스톤의 설정, 평가방법 및 기준 설정

III. 기획연구 결과

1. 연구개발필요성

- 세계적으로 꾸준히 증가하는 철도 건설 및 수요에 대응하기 위하여 교통수단의 다양화가 요구되고 있으며, 팬터그래프와 가공차선을 이용한 접촉식 전력공급장치의 터널 건설비용 증가, 점착 구동방식의 바퀴식 초고속 열차의 속도 한계, 도심내 전력선의 미관 침해 및 위험성 증대 등이 커다란 이슈인 시점에서 **새로운 친환경적인 미래형 전기철도 추진시스템의 개발이 필요**
- 기존의 차량추진시스템은 전차선 및 팬터그래프와 같은 접촉식의 전력공급 장치에 따른 **터널 건설비 및 유지보수비용 증대**
- 차량에 변압기, 컨버터, 인버터 등의 전력변환 장치와 회전형 견인전동기 및 기어 등의 에너지 변환 및 동력전달 장치를 탑재함에 따른 **부피/무게 증가 및 구조 복잡**
- 무게 증가에 따른 가감속 능력의 저하로 **초고속주행이 어려움**
- 또한 휠 온 레일 방식은 차체에 장착된 휠과 지면에 고정되어 있는 레일 사이의 마찰력을 통해 추진력을 얻는 원리 상 **급가속이나 고속이 어려움**
- 따라서, 이러한 문제점을 일시에 소거하는, **신개념 미래형 전기철도 추진시스템의 개발이 필요**
- 기존의 접촉식 전력공급장치를 제거하여 전차선 설비가 필요 없고 이로 인한 터널 단면적 축소로 공사비 저감 및 유지보수 비용 절감이 가능한 **전력공급 및 추진 일체형 시스템의 연구개발 필요**
- 기존 전력공급장치의 단선 및 전기접촉 등에 의한 위험성이 없는 **친환경적인 전기철도 시스템 구현이 가능한 새로운 기술 개발 필요**
- 비점착 구동을 통한 직접 추력 발생 방식으로 **급가속 및 고속 주행이 가능한 미래 철도차량 추진시스템에 대한 연구개발이 시급**
- 전자장 가속방식(초전도 리니어레일, Superconducting Linear Rail, SLR) 전동기 기술, 위치검지 기술, 초전도 마그넷 기술 등 SMART(초전도 전자석 적용 레일 추진시스템, Superconducting Magnet Applied Rail Traction systems) 원천기술 개발을 통한 미래형 교통수단에 대한 **선진국의 기술선점 및 특허장벽 극복을 위하여 연구개발 조기 착수가 필요**
- 새로운 기술이 접목된 미래형 교통수단의 핵심 기술 개발을 통한 시장 주도 및 국가의 위상 제고 선도 가능
- 본 핵심 기술은 개발 초기 단계이므로, 현 시점에서 기술 개발에 성공할 경우 세계 시장을 선도적으로 주도할 수 있으며, 풍부한 해외 철도 시장을 바탕으로 수출 산업화가 가능하여 녹색 철도교통시스템의 해외 진출 활성화에 크게 기여함

2. 국내외 동향 및 환경분석

- 철도 건설에 있어서 건설비 저감 및 운영시 유지보수비 절감은 반드시 이루어야 할 과제로서, 전 세계적으로 이에 대한 연구개발이 활발히 진행 중임
- SMART(초전도 전자석 적용 레일 추진시스템, Superconducting Magnet Applied Rail Traction systems)는 기존의 접촉식 전력공급장치, 전력변환장치, 견인전동기, 기어 등을 사용하는 일반전철과 비교하여 경제적인 시스템으로 비용 저감이 가능함
- 철도차량 추진용 초전도 리니어레일(SLR) 추진 및 이를 위한 초전도 기술 등은 원천 기술로서 세계 최초로 시도되는 기술임
- 선형전동기를 추진으로 이용하는 철도 기술은 일본, 캐나다, 미국, 독일, 중국 등에서 활발히 진행중이며, 투자를 확대하고 있음
- 상부 가선식의 기존 회전형 추진시스템 방식에 의한 고가의 건설비 및 유지보수 비용, 외부 환경의 변화에 따른 낮은 시스템 안전성 등의 기존 전철시스템을 본 연구에 의해 개발된 SMART를 갖춘 경량전철 시스템으로 대체할 경우, 도시 미관을 살리고, 상대적으로 저렴한 건설비로 경량전철을 구현이 가능하여 비용 절감과 관련 기술의 수출 산업화가 가능
- 경량전철은 환경정책 및 교통 혼잡문제를 해결하는 핵심적인 대안으로 개발되어 실제로 상용노선에서 괄목할만한 실적을 올리고 있으며 전 세계 경량전철 시장의 규모는 연간 1조 4천억 원 수준으로 매년 6% 내외의 증가율을 나타내고 있음
- 경전철 국내 시장의 경우, 의정부와 용인, 광명 등 전국 21개 지자체들이 연계 교통망 확충을 위해 13조 8810억원 규모의 경전철 사업을 추진 중이고 건설비 및 차량 구입비와 유지 보수 경비를 감안할 경우 향후 10여 년간 최소 60조원 이상의 시장 규모인 것으로 추산됨[문화일보, 2005년 5월 24일자]
- 국내 및 국외시장 분석결과 소형 시스템 분야에서 LPM의 기본적인 연구가 진행되었지만, 철도차량과 같은 대형 시스템 분야에서는 주로 LIM이나 LSM과 같은 선형시스템 연구가 주를 이루었음. 즉 철도차량에 SLR을 적용하기 위한 연구는 아직까지는 초기 단계라 할 수 있음
- 리니어 추진시스템은 비점착 구동에 의한 많은 장점을 가지고 있음 (급구배, 급가속, 급곡선, 가용률, 환경성 등)
- 이 중, LIM은 속도의 한계 존재 (150km/h 이상 고속 적용 어려움)
- LSM은 고비용 시스템 (아래표 참조)으로, 추진만 사용하는 Wheel-on-rail 방식의 경우(자기부상을 위한 부상력 불필요), SMART 철도가 적합함
- SMART는 기존철도에 비해 전장품의 차량 미 탑재로 경량화가 가능하고 이로 인한 에너지 세이브 실현 및 선로 건설비 저감이 가능하므로 철도차량 추진의 근본적인 혁신 기술임
- 또한 설치비용 및 유지보수 비용이 타 시스템 대비 저렴하여 경제성을 확보함

○ 각 추진시스템의 철도적용시 무게 및 비용 비교

8량 1편성 기준	기존철도		LIM 추진 철도	LSM 추진 철도		SMART 철도	
	도시철도 [서울지하철7호선]	고속철도 [HEMU]	도시철도	도시철도	고속철도 [독일TR07참조]	도시철도	고속철도
차상 전장품 중량	Panto+변압기+ 인버터+모터	Panto+변압기+ 인버터+모터	Panto+변압기+ 인버터+LIM	차상전자석+ PCU	차상전자석+ PCU	초전도 전자석+ PCU	초전도 전자석+ PCU
	16.2 ton (100 %)	22.5 ton (100 %)	12.4 ton (76.5 %)	2.8 ton (17 %)	8 ton (36 %)	2.8 ton (17 %)	8 ton (36 %)
전기시설비 (편성당/km당)	Total: 34 억 (100 %)	Total: 53.2 억 (100 %)	Total: 39 억 (115 %)	Total: 46 억 (135 %)	Total: 99 억 (186 %)	Total: 57 억 (168 %)	Total: 104 억 (195 %)
전기시설 유지보수비 (km/년)	Total: 1.56 억 (100 %)	Total: 1.76 억 (100 %)	Total: 1.56 억 (100 %)	Total: 0.36 억 (23 %)	Total: 0.36 억 (20 %)	Total: 0.36 억 (23 %)	Total: 0.36 억 (20 %)
노선 적용 시 전기시설비 (30km 노선기준)	382 억 (100 %)	488 억 (100 %)	532 억 (139 %)	684 억 (179 %)	1,578 억 (323 %)	405 억 (106 %)	655 억 (134 %)
노선 적용 시 운영유지보수비 (30km 노선기준)	46.8 억/년 (100 %) [전력사용비] =2.6187억원	52.8 억/년 (100 %)	46.8 억/년 (100 %)	10.8 억/년 (23 %)	10.8 억/년 (20 %)	10.8 억/년 (23 %) [전력사용비] =2.6187억원	10.8 억/년 (20 %)

❖SMART 철도 적용에 따른 정성적 효과

- ① 전차선 시설 제거를 통한 미관 및 안전성 향상
- ② 차량 경량화 및 터널 단면적 축소에 따른 공사비 20% 저감
- ③ CBTC 적용 등 신호보안설비 간소화에 따른 경제성 향상(전용주파수 확보 및 시설/유지보수 불필요)
- ④ 기존 선로 병행 운전이 가능하여 점진적인 철도시스템 교체 용이

○ 리니어 추진시스템의 기술적 특징 비교

		LIM	LSM	SMART
속도		150 km/h 이내	300 km/h 이상	300 km/h 이상
효율		약 70% 이하	약 75% 내외	약 75% 내외
제어성	인버터 위치검지	복잡 불필요	복잡 복잡	간단 간단
열차 위치 신호		비콘/발리스 (복잡)	인크레파/교차유도 (복잡)	제어위치검지 병용 (간단)

3. 연구개발 내용 및 범위

본 연구개발을 위하여 총 4개의 연구개발 세부과제를 포함함

(가) 초전도 리니어레일(SLR) 전동기 기술 개발

- 대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술
 - 초전도 리니어레일(SLR) 자료 조사 및 분석
 - 목표사양을 달성하는 초전도 리니어레일(SLR) 설계
 - 차량 총 중량 : 5[ton] 이내
 - 가속도 : 2.0 m/s^2 이상
 - 최고속도 : 100 km/h
 - 등판능력 : 80 %
 - SLR 정격 용량 : 300 kW
 - 초전도 리니어레일(SLR) 등가회로 분석
 - 초전도 리니어레일(SLR) 전자장 해석
 - 추력 리플 저감 기술 개발
- 지상 권선 성형 기술
 - 초전도 리니어레일(SLR)의 전기자 권선 직각 성형 기술 개발
 - 권선 재료에 따른 특성 분석
 - 지상 권선의 대전류/저전압 특성 및 전압강하 보상 기술 개발
- 대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술
 - 초전도 리니어레일(SLR) 구동을 위한 대전류공급용 인버터 설계
 - 대전류 펄스공급을 위한 가용 스위치 조사 및 전기적 특성 분석
 - 구동 전류 및 전압에 대한 전력변환장치 특성 해석
- 블록 스위칭 기술
 - 구동 블록의 길이 산정
 - 대전류 스위치기어 조사 및 특성 분석
 - 차량 위치에 따른 섹션 전환 기술 개발
- 정밀 위치 및 속도 검지 기술
 - 차량 절대위치 검지 기술 개발
 - 차량 상대위치 검지 기술 개발
 - INKREFA, Slot counter, 광센서, 도플러센서 등 다양한 위치 검지 기술 검토 및 적용 기술 개발

- 다양한 악조건에서의 차량 위치검지 구현 방안 수립 (2중 구조)
- 초전도 리니어레일(SLR) 제어 기술
 - 속도 및 대전류 제어기술 개발
 - 펄스에 의한 피크 유기전압 저감 기술 개발
- 전력변환 제어 및 운영 기술
 - 대전류 전력변환장치의 운전 및 제어 기법 개발
 - 지상 전력시스템 및 지상 코일, 차상 집전시스템 등 주요장치의 고장 시 대처 방안 및 유지보수 방안 수립 (2상 권선법, 독립전원)

(나) 차상 초전도시스템 기술 개발

- 차상 초전도 전자석 설계/해석 기술
 - 초전도 코일 설계 기술
 - 초전도체의 자기장 특성을 고려한 코일 최적화 설계 연구
 - 차량 탑재 환경 고려 내진동/Compact 설계
 - 초전도 전자석 제작 기술
 - Race track형 코일 권선 기술 개발
 - 초전도 선재 안정화 접합 기술 개발
 - 전류 리드 기술
 - 전류 리드 열절연 해석 및 형상 설계
 - 탈 부착형 구조
 - 초전도 자석 평가 기술
- 초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술
 - 영구전류운전용 초전도 스위치 기술
 - 영구전류 모드 중 자기장 감쇄 저감 기술
- 초전도 전자석 냉각시스템 설계 및 운전 기술
 - 냉각 방식별 성능 특성 연구
 - 고효율 냉각 시스템 개발
 - 저손실 Cryostat 설계 및 해석
 - 열 절연 구조 설계 및 해석
- 차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술
 - 계자용 초전도 전자석 취부를 위한 하부 구조 분석

- 동력전달을 위한 초전도 전자석의 대차 취부 기술

(다) 차상 전원용 집전시스템 개발

- 차상 전원용 집전장치 설계/해석
 - 차상 전원용 집전장치 자료 조사 및 분석
 - 집전장치 설계
 - 집전장치 전자장 해석 및 특성 분석
- 차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석(배터리 연계) 기술
 - 차상 전원용 컨버터 설계 및 해석
 - 차상 EMS(Energy Management System) 기술 개발
- 집전 시스템 성능해석 등 특성 연구
 - 집전장치와 차상 전력변환장치의 연계 및 성능 분석
 - 속도대별 집전시스템의 성능 분석
- 집전 차량 하부 구조 분석
 - 분산식, 집중식 집전시스템 아이디어 도출
 - 각 시스템 별 차량 하부 취부를 위한 구조 분석
 - 차량 하부 취부 기술 개발

(라) 전용 인프라 기술 개발

- 신호 및 통신시스템 인터페이스 기술
 - 전기자 권선을 이용한 차량 정보의 신호 및 통신시스템 기술 개발
 - 안전성 확보를 위한 별도의 통신시스템 및 인터페이스 기술 개발
- 궤도 등 인프라 구조 / 취부 구조 개발
 - 전기자 권선 설치를 위한 궤도 구조 분석
 - 전기자 권선의 인입 특성 분석 및 기술 개발
- SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스트베드 건설
 - 전용 테스트베드 제작 및 운용 기술 개발
 - 핵심 기술간의 인터페이스 기술 개발
 - 각 기술의 안전 및 내구성 검토
 - 시험검증 및 성능평가 기법 개발
- 전자장 등 관련 안전성 문제 검토

- 전용 테스트베드에서 안전성 검토 및 운용 기술 개발

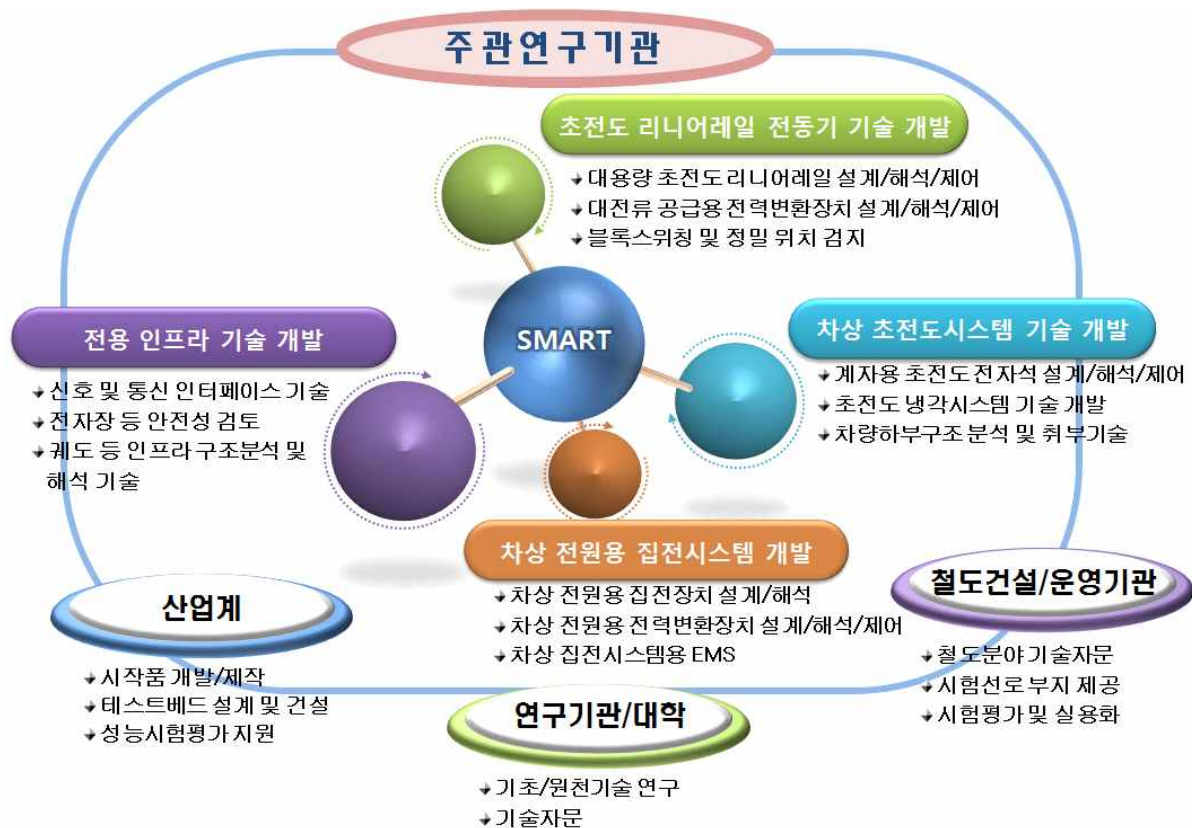
4. 연구개발과제 구성 및 추진전략

- 연구개발과제의 구성은 다음과 같음



- 본 연구개발과제의 추진전략은
- Top-down 방식으로 원천기술 개발
 - 시스템 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시스템 사양 개발
 - 테스트베드 개발을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시스템 통합 구축, 원천기술 검증
- 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
 - 기존 철도에 적용을 위한 원천기술 확장 및 상세기술개발전략 수립
 - 개념설계를 통한 시스템 사양 결정 및 아키텍처 개발

- 핵심장치의 설계·제작·시험 추진
 - 시험평가를 통한 원천기술 실용화 검증
- 산·학·연 공동연구 참여를 통한 기관 간 역할 분담 및 최적 역량 도출 유도할 예정이며, 원천기술에 대하여 주관기관 내부 인력이 주도적으로 연구업무를 진행하며, 시작품 제작, 시험평가 및 실용화를 대비하여 외부 전문인력 활용
- 새로운 추진시스템의 보급 확대 및 테스트베드 구축 및 운영을 위해 도시철도 운영기관의 참여를 유도
- 테스트베드 부지 제공 및 시험 평가
- SMART 핵심 기술 연구 후 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발·실증 역량 확충·철도 운영처로 실용화 다각화
- 물류 운송 활용방안 모색 (매립형 궤도로 타 지상 교통수단에 장애를 주지 않고 물류네트워크 구성 가능)
- 연구개발과제의 추진체계는 다음과 같음

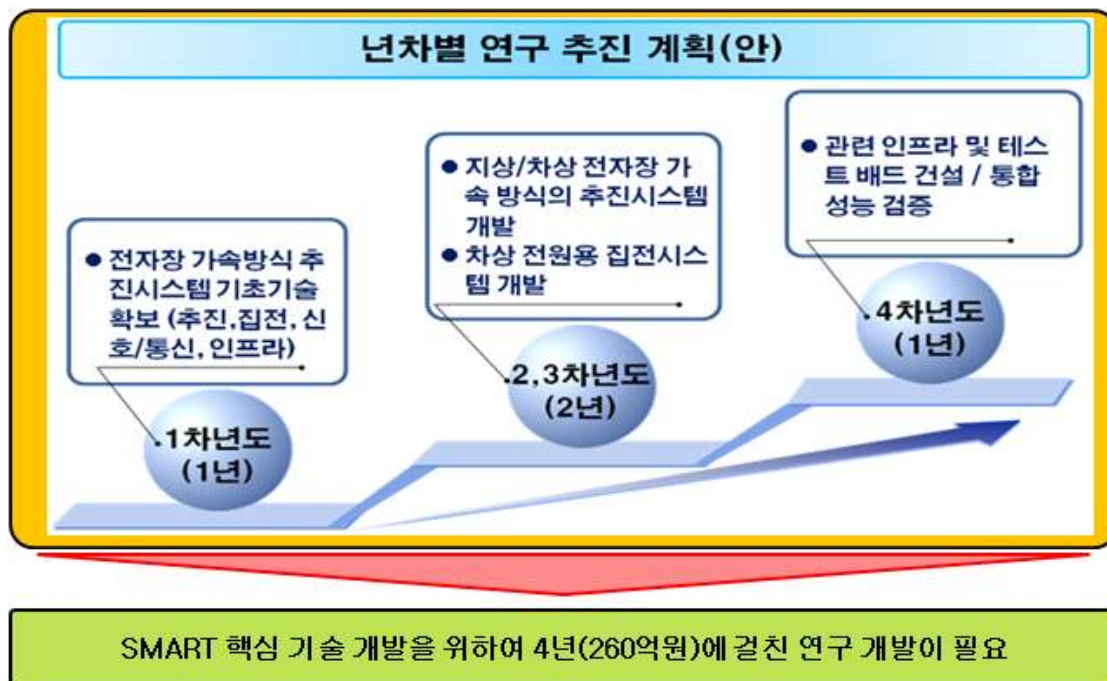


5. 사전타당성 검토

- “SMART(초전도 전자석 적용 레일 추진시스템) 핵심기술 개발”은 정책적, 기술적, 경제적 타당성을 확보하고 있으며, 시급한 기술개발의 필요성이 있음
- 본 과제는 정부지원이 타당하며, 국가 차원에서의 주도적인 연구개발이 반드시 수행되어야 함
- 충분한 예산과 인력 및 인프라를 투입하여, 조속한 시일 내에 연구 결과를 도출하여 실용화 할 수 있도록 노력해야 함

6. 연구개발 소요기간 및 예산

- SMART 기술 개발을 위하여
 - ① 1차년도에 핵심 기초 기술 확보
 - ② 2, 3차년도에 각 세부과제별 시스템 개발
 - ③ 4차년도에 테스트베드 건설 및 통합 성능 검증 등
- 기간은 총 4년, 인원은 총 104명, 예산은 총 260억원이 소요될 것으로 예상됨



IV. 연구개발결과의 활용 계획

- 미래 전기철도 추진시스템의 핵심 기술 개발을 통하여 성능 검증 및 효율적 활용에 대한 운영 모델로 활용
- 향후 국내외에서 추진되고 있는 비점착 구동 추진시스템을 위한 핵심 기술 및 핵심 장치 개발에 활용
- 철도차량 기술개발에 대하여 기술 지원 및 신규 국가 R&D 사업 창출에 활용
- 철도 운영기관에서의 신 비즈니스 모델 창출에 활용
 - ※ SMART 기술을 적용한 물류운송시스템 개발 시 매립형 궤도를 이용하여 타 지상 교통수단에 장애를 주지않고, 물류운송 네트워크 구축 가능
- 산악 트램 및 놀이시설의 롤러코스터등 급구배 추진이 요구되는 타 수송수단에 대한 적용 파급
 - ※ SMART 기술을 적용한 롤러코스터 개발 시 세계 1,400여개의 테마파크에 진출이 가능하며, 전체 테마파크의 시장의 50% 이상을 점유하고 있는 미국 (2007년 매출 12조원, 입장객3억4천만명)으로 시장 진출 모색 가능
- 국내 철도기관의 해외 진출시 기술 우위를 선점하기 위한 기술 자료로 확대 활용
- 고부가가치형 철도 추진시스템으로서 산업체로의 기술이전 가능 및 기술 선점으로 수출 동력화 추진
- 철도시스템 분야 국가 경쟁력 확보 및 철도차량 분야의 세계시장 선도에 기여
- 타 운송수단 분야에 대한 기술지원 및 확산에 활용
- 새로운 철도차량 활용의 활성화 기여

※ 중간보고서에 대하여 p.5 이내로 요약하여 작성

※ 글꼴/크기/줄간격 : 굴림체/14포인트/160%

< 작성시 참고사항 >

- 본 쪽부터 쪽 번호 시작됨
- 본문의 글꼴/크기/줄간격 : 굴림체/12포인트/160%
- (※) 표시는 해당 항목의 작성 요령을 의미함

1. 기획 필요성

※ 연구과제에 대하여 기획의 배경, 목적(추진 필요성) 및 추진방향을 명확하게 서술

1.1 기획 배경

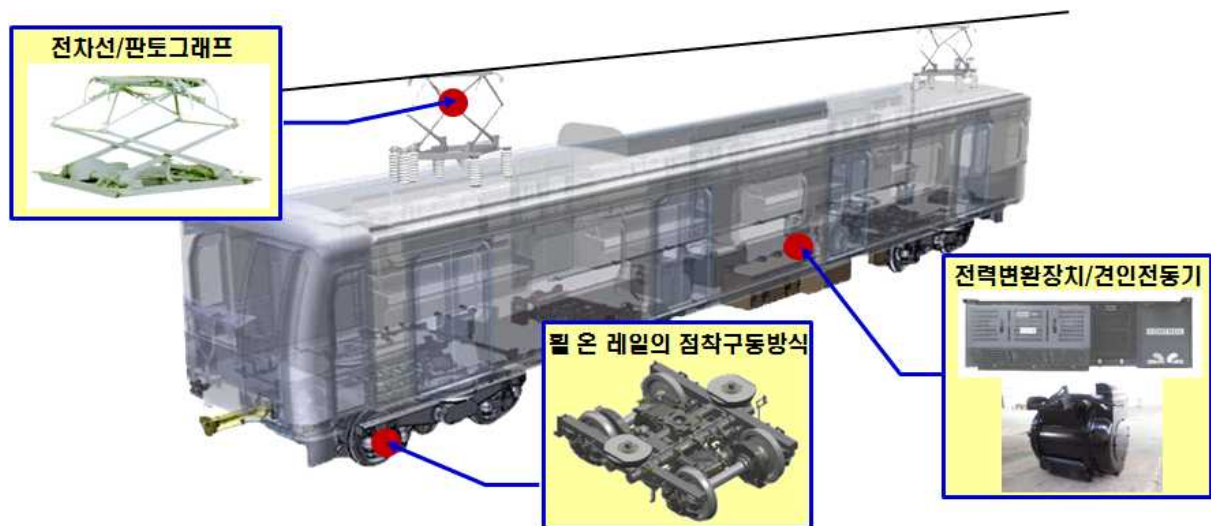
- 기존의 접촉식 전력공급장치를 제거하여 전차선 설비가 필요 없고 이로 인한 터널 단면적 축소로 공사비 저감 및 유지보수 비용 절감이 가능한 **전력공급 및 추진 일체형 시스템의 연구개발 필요**
- 기존 전력공급장치의 단선 및 전기접촉 등에 의한 위험성이 없는 **친환경적인 전기철도 시스템 구현이 가능한 새로운 기술 개발 필요**
- 비점착 구동을 통한 직접 추력 발생 방식으로 **급가속 및 고속 주행이 가능한 미래 철도차량 추진시스템에 대한 연구개발이 시급**
- 본격적인 연구 과제의 추진에 앞서 대규모 예산 투입에 따른 예산 효율성과 연구개발 성공 가능성을 높이기 위해서 **연구 과제의 전략적 방향성 및 실행방안을 제시할 사전 기획 필수**
- 기획연구(사전 타당성 조사 등 포함)를 통하여 **세부 연구내용 결정 필요**

1.2 기획 목적 및 추진방향

(1) 기획연구의 목적

- 세계적으로 꾸준히 증가하는 철도 건설 및 수요에 대응하기 위하여 교통수단의 다양화가 요구되고 있으며, 팬터그래프와 가공차선을 이용한 접촉식 전력공급장치의 터널 건설비용 증가, 점착 구동방식의 바퀴식 초고속 열차의 속도 한계, 도심내 전력선의 미관 침해 및 위험성 증대 등이 커다란 이슈인 시점에서 **새로운 친환경적인 미래형 전기철도 추진시스템의 개발이 필요**
- 기존의 차량추진시스템은 전차선 및 팬터그래프와 같은 접촉식의 전력공급 장치에 따른 터널 건설비 및 유지보수비용 증대
- 차량에 변압기, 컨버터, 인버터 등의 전력변환 장치와 회전형 견인전동기 및 기어 등의 에너지 변환 및 동력전달 장치를 탑재함에 따른 **부피/무게 증가 및 구조 복잡**
- 무게 증가에 따른 가감속 능력의 저하로 **초고속주행이 어려움**

- 또한 휠 온 레일 방식은 차체에 장착된 휠과 지면에 고정되어 있는 레일 사이의 마찰력을 통해 추진력을 얻는 원리 상 **급가속이나 고속이 어려움**
- 따라서, 이러한 문제점을 일시에 소거하는, **신개념 미래형 전기철도 추진시스템의 개발이 필요**



< 기존철도차량 추진시스템의 한계 >

- 기존의 접촉식 전력공급장치를 제거하여 전차선 설비가 필요 없고 이로 인한 터널 단면적 축소로 공사비 저감 및 유지보수 비용 절감이 가능한 **전력공급 및 추진 일체형 시스템의 연구개발 필요**
- 기존 전력공급장치의 단선 및 전기접촉 등에 의한 위험성이 없는 **친환경적인 전기철도 시스템 구현이 가능한 새로운 기술 개발 필요**
- 비점착 구동을 통한 직접 추력 발생 방식으로 **급가속 및 고속 주행이 가능한 미래 철도차량 추진시스템에 대한 연구개발이 시급**
- 전자장 가속방식(초전도 리니어레일, Superconducting Linear Rail, SLR) 전동기 기술, 위치검지 기술, 초전도 마그넷 기술 등 SMART(초전도 전자석 적용 레일 추진시스템, Superconducting Magnet Applied Rail Traction systems) 원천기술 개발을 통한 미래형 교통수단에 대한 **선진국의 기술선점 및 특허장벽 극복을 위하여 연구개발 조기 착수가 필요**
- 새로운 기술이 접목된 미래형 교통수단의 핵심 기술 개발을 통한 시장 주도 및 국가의 위상 제고 선도 가능
- 또한, 정부 및 지자체의 저비용, 고효율 수송시스템에 대한 관심 및 요구가 증대되고 있는 상황에서, SMART는 저비용, 고효율의 철도시스템 구축이 가능함
- 본 핵심 기술은 개발 초기 단계이므로, 현 시점에서 기술 개발에 성공할 경우 세계 시장을 선도적으로 주도할 수 있으며, 풍부한 해외 철도 시장을 바탕으로 수출 산업화가 가능하여 녹색 철도교통시스템의 해외 진출 활성화에 크게 기여함

(2) 기획연구의 추진방향

- 시스템 요구수준 및 적용 대상 제시
 - 기존 철도차량 개량 및 신규 차량 적용 등 기술의 활용 방안 및 차별성 제시
- 기술개발 동향 및 환경분석
 - 국내외 정책 · 시장 · 기술 동향분석
 - 국내외 관련 기술수준 분석
 - 국내외 기술개발 현황 및 국내 기술 인프라·인력 현황(기업, 연구소, 대학 등) 분석
 - 기술수요 및 기술예측 조사 실시
 - 동향분석 결과를 바탕으로 기술개발 추진방향 정립(SWOT 분석 등)
- 기술개발 전략 수립
 - 기술개발 비전, 목표, 핵심전략 제시
 - 기술발전 시나리오 제시
- 연구목표 및 범위 설정
 - 목표 및 연구범위 설정
 - 세부과제(핵심요소기술) 도출 및 연구내용 설정
 - 세부과제 연차별 · 단계별 성과목표 및 성과맵 제시
- 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립
 - 기존 기술 · 인프라 등의 활용 및 연계 방안 수립
 - 연구추진체계 제시
- 연구성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시
 - 성과분석 및 검증방안 제시
 - 연구성과물 운영주체(활용처, 수요처) 및 활용방법 제시
- 연구개발과제별 인력투입 계획 및 소요예산 산정
 - 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립
 - 과제별 소요예산 산정
- 연구개발 타당성 검토
- 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정
 - 연구목표와 내용, 추진전략 등을 바탕으로 본 과제를 공모하기 위한 RFP 작성
 - 연차별 평가를 위한 성과목표·지표·마일스톤의 설정, 평가방법 및 기준 설정

2. 기술개발 동향 및 환경분석

2.1 국내외 정책·시장·기술 동향분석

가. 국내외 정책동향

1) 국내 정책동향

- SMART 핵심기술은 7대 기술 분야 중 4번째 분야인 국가주도 기술 분야와 관련하여 민간의 투자가 어려운 건설교통 분야 기술과 연계됨
- 7대 기술 분야 중 세계적 관심사인 에너지 환경 문제와 관련되어 있으므로 6번째 분야인 글로벌 이슈분야와도 관련됨
- 친환경 교통 시스템의 연구 개발을 목표로 하고 있으므로 과학기술기본계획에서 추진되고 있는 21세기 핵심기술로 부상한 신·재생에너지 등 친환경 기술과도 관련됨
- 기초·원천 연구역량 강화로 핵심기술의 해외의존을 탈피하고자 하는 정부의 의지를 반영하고 있음
- 창조형 혁신을 주도할 핵심 과학기술인재의 양성·활용과 창의적·도전적 연구지원 강화를 목표로 하는 방향과도 부합하고 있음
- 정부에서 계획하고 있는 2013년까지 85%의 선진국 대비 기술력 달성 및 세계 7위의 철도시장 점유 목표 달성, 2018년까지 90%의 기술력 달성 및 세계 5위의 점유 목표 달성을 위해서는 기술 추종형 연구개발이 아닌 기술 선도형 연구개발이 반드시 필요함



- 교통 신기술 개발에 대한 필요성 언급

※ 국가기간교통망 계획 제19조2항에는 국가교통기술개발계획을 수립하도록 명시하고 있고 제21조3항에는 신교통기술의 지정과 활용에 대해 설명하고 있으며 제21조4항에는 신교통기술의 시범사업 계획에 대한 근거를 제시하고 있으므로 이러한 법 조항을 기초로 새로운 미래형 철도차량 추진시스템의 개발이 필요함

※ 교통체계효율화법시행령([시행 2010.1.7] [대통령령 제21985호, 2010.1.7 전부개정]
주요내용 中

- 교통신기술의 지정 및 보호에 관한 제도 개선(안 제99조 및 제100조)

- 1) 최근 교통기술에 관한 연구개발사업이 활발하게 추진되고 있으며, 새로운 교통 기술의 활용과 관련하여 기술개발자의 권리보호에 관한 사항을 명확히 할 필요가 있음
- 2) 교통신기술의 보급을 활성화하기 위하여 지정받은 교통신기술에 대한 시험시공을 권고할 수 있도록 하고, 현행 3년으로 규정된 보호기간을 5년으로 연장함
- 3) 교통신기술에 대한 보호규정을 강화함으로써 기술개발을 촉진할 것으로 기대됨

○ 저탄소 녹색성장 국가 비전 선포 (2008. 8)

※ 경제를 우선시했던 정책에서 기술혁신을 통해 에너지 효율을 높이고 대외 경쟁력을 강화시키는 방향으로 선회

※ 경제만이 아닌 환경과 경제가 상생할 수 있는 방안 모색

○ 정부의 녹색성장 정책

※ 정부가 추진하고 있는 녹색성장 정책은 에너지 소비절약/사용 효율화, 저탄소·친환경 인프라 구축, 녹색기술에 대한 R&D 투자, 신 재생에너지 등 녹색산업 육성 및 수출 산업화, 세계시장 선점 지원 등이 핵심임. SMART 개발은 이런 정부의 녹색 성장 정책과 매우 부합되는 새로운 사업임

○ 국가 과학기술 정책

※ SMART 개발 사업은 새로운 신성장 동력 사업으로 경전철 뿐만 아니라 중전철 및 고속 전철까지 적용이 가능한 기술로써, 이는 현재 국가적으로 추진하고 있는 국가 과학 기술 정책과 매우 부합되는 새로운 연구 개발 사업임

○ 선형전동기 관련 연구의 정부지원 현황

- 도시철도차량용 750V 리니어추진시스템

[한국철도기술연구원 주요연구사업, 2007~2008, 16.5억원]

- 초고속 자기부상철도 핵심요소기술 연구

[한국철도기술연구원 자체연구사업, 2008, 4.3억원]

- 초고속 튜브철도 차량 핵심기술개발

[한국철도기술연구원 주요연구사업, 2009~2011, 30.2억원]

- 초고속 튜브철도 급전 및 신호 핵심기술개발

[한국철도기술연구원 주요연구사업, 2009~2010, 19.5억원]

- 초고속 튜브철도 인프라 핵심기술개발

[한국철도기술연구원 주요연구사업, 2009~2010, 18.5억원]

- 초고속(튜브)트레인 시스템의 기술적 검토

[국토해양부 표준화사업, 2009~2010, 2천만원]

- EMS기반의 초고속 철도시스템 원천기술개발 기획

[국토해양부 표준화사업, 2010~2011, 2천만원]

- 초고속 튜브트레인 시스템 핵심기술 조사 연구

[한국철도기술연구원 자체연구사업, 2009~2011, 7천5백만원]

- 초고속 자기부상철도 핵심 기술개발

[국토해양부 사업, 2012~, 50억원]

2) 국외 정책동향

- 철도 건설에 있어서 건설비 저감 및 운영시 유지보수비 절감은 반드시 이루어야 할 과제로서, 전 세계적으로 이에 대한 연구개발이 활발히 진행 중임
- SMART(초전도 전자석 적용 레일 추진시스템, Superconducting Magnet Applied Rail Traction systems)는 기존의 접촉식 전력공급장치, 전력변환장치, 견인전동기, 기어 등을 사용하는 일반전철과 비교하여 경제적인 시스템으로 비용 저감이 가능함
- 철도차량 추진용 초전도 리니어레일(SLR) 추진 및 이를 위한 초전도 기술 등은 원천 기술로서 세계 최초로 시도되는 기술임
- 선형전동기를 추진으로 이용하는 철도 기술은 일본, 캐나다, 미국, 독일, 중국 등에서 활발히 진행중이며, 투자를 확대하고 있음
- ※ 일본 : 리니어메트로, 초고속 자기부상열차(MLX), 중저속 자기부상열차(Linimo)
- ※ 캐나다 : 리니어경전철
- ※ 미국 : 중저속 자기부상열차(Inductrack)
- ※ 독일 : 초고속 자기부상열차(Transrapid)
- ※ 중국 : 중저속 및 초고속 자기부상열차, 리니어메트로

나. 국내외 시장현황 및 전망

1) 국내 시장현황

- 경전철 국내 시장의 경우, 의정부와 용인, 광명 등 전국 21개 지자체들이 연계 교통망 확충을 위해 13조 8810억원 규모의 경전철 사업을 추진 중이고 건설비 및 차량

구입비와 유지 보수 경비를 감안할 경우 향후 10여 년간 최소 60조원 이상의 시장 규모인 것으로 추산됨[문화일보, 2005년 5월 24일자]. 현재 참고와 같이 전국적으로 여러 노선의 경전철이 추진 중이거나 계획되고 있음

■ 참고

① 서울시 경량전철 건설 계획

- 서울시는 2014년부터 단계적 개통을 목표로 경전철에 대한 계획을 수립하거나 검토 중에 있음
- 서울시는 총 건설비(4조8,503억원) 중 28%(1조4,090억원)만을 부담 나머지는 민간 자본을 유치할 계획이며, 2008. 11. 12 도시철도기본계획 확정(국토해양부)에 따른 경전철 공사 계획은 다음과 같음

[표. 서울시의 경량전철 건설 계획]

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	공사비 (억원)	차량	진행현황
1	신림선	7.7	5,390	4,300	AGT	책임감리용역 발주 (‘11.9)
2	면목선	9	6,300	4,950	AGT	사전자격심사 통과 (‘11.10)
3	서부선	12.5	8,750	6,875	AGT	제3자 공고준비
4	동북선	13.2	9,240	7,260	AGT	우선협상 대상 선정 (‘10.10)
5	목동선	11.9	7,490	5,500	AGT	사업 보류(‘10.2)
6	DMC(상암)	6.5	2,000	1,300	모노레일	사업 보류(‘10.2)
7	금천선	7.2	5,200	4,100	AGT	서울시 10개년 도시철도기본계획(안) 검토노선에 포함
8	홍제-길음선	8.7	6,100	4,900	AGT	
9	시청-은평선	11.4	7,980	6,270	AGT	
10	송파 노면전차	5.5	2,000	1,200	노면전차	위례신도시 계획에 포함

② 경기수도권 경량전철 건설 계획

- 경기수도권에서는 이미 활발히 경전철 사업이 진행 중이고, 수원시, 부천시, 고양시,

과주시 등에서는 일부 구간에 대한 기본 계획을 수립하고 있음

- 경기 수도권에서 진행 중인 경전철 사업은 다음과 같음

[표. 경기수도권의 경량전철 건설 계획]

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	공사비 (억원)	차량	진행현황
1	수원선	18.7	9,419	6,700	AGT	도시철도기본계획 수립중
2	고양선	11.4	5,300	3,700	모노레일	사업추진 보류
3	성남선	20.7	7,556	5,605	노면전차	예비타당성 조사 진행중
4	시흥선	14.5	6,775	5,600	AGT	예비타당성 조사 진행중

③ 기타 지방권 경량전철 건설 계획

- 부산, 울산 등 수도권 이외의 지방에서도 아래와 같은 경전철 사업이 공사 중이거나 계획 중에 있음

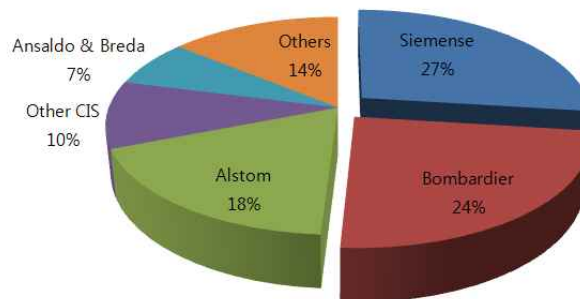
[표. 기타 지방권의 경량전철 건설 계획]

번호	노선명	연장 (km)	차량	진행현황
1	부산 초읍선	7.3	AGT	2030 부산 도시교통정비 기본계획에 포함
2	대구 4호선	37.6	미정	2020 대구 도시기본계획에 포함
3	대전 2호선	30.8	AGT	예비타당성조사 대상 선정
4	울산 1호선	15.95	노면전차	도시철도 기본계획 고시
5	천안선	12.3	K-AGT	기본계획 수립완료

2) 국외 시장현황

- 경량전철은 유럽을 중심으로 하여 일본, 싱가포르, 말레이시아, 미국, 캐나다 등지에서 운행 중이며, 기존 지하철의 연결을 통한 교통망 구축, 환경정책과 교통혼잡 문제 해결, 신 개발지역과 도심과 연결을 주목적으로 하여 도입되고 있음

- 경량전철은 환경정책 및 교통 혼잡문제를 해결하는 핵심적인 대안으로 개발되어 실제로 상용노선에서 괄목할만한 실적을 올리고 있으며 전 세계 경량전철 시장의 규모는 연간 1조 4천억 원 수준으로 매년 6% 내외의 증가율을 나타내고 있음[김정태 2009]
- 경량전철 제조자는 전통적인 차량 제작사와 화차 제작사를 포함하며, 이 중에서 Bombardier, Alstom, Siemens 가 가장 크며, 이 밖에 Skoda, Ansaldo, Breda, 러시아 등의 지역 제작사가 있음. SCI Verkehr의 분석 결과에 따르면 현재까지 Siemens와 Bombardier 가 세계 시장을 지배하고 있으나 양사는 최근 시장 점유율을 잃고 있음. 몇 년 전까지만 해도 두 개사는 시장의 2/3정도를 차지하고 있었지만, 최근에는 모든 납품의 반 정도를 공급하고 있음. Siemens의 시장 점유율은 북아메리카와 아시아 이외의 주문이 없음에 따라 지속적으로 떨어질 것임. 반면 Alstom은 점유율을 높여가고 있으며 최근은 서유럽 경량전철 차량의 주요 공급자이기도 함



< 세계의 차량 제작사별 경량전철 시장의 점유율(2002년~2006년) >

출처 : Maria Leenen 외, <The Worldwide Market for Railway Technology 2007-2100>, CIS Verkehr GmbH, 2006.10

*CIS: Commonwealth Independent States(독립국가연합)

다. 기술동향 분석

1) 관련 기술개발 동향

(가) 초전도 리니어레일(SLR) 전동기 기술 개발

(1) 국내

- 국내에서는 1990년대 공작기계용으로 리니어모터가 주목을 받기 시작한 이래 고속화, 고속 가공을 목적으로 리니어 모터를 탑재하는 공작기계에 대한 시장이 형성되기 시작했으며, 최근에는 반도체 및 평판 디스플레이 생산 장비와 고정밀 인쇄 장비의 모션제어 등에도 활용범위가 확산됨에 따라 매년 그 수요가 점차 증가하고 있음
- 국내 대표적인 리니어 모터 산업체는 신성 ENG, 세우산전, 삼익 LM, 저스텍, 미래산업, 동진기전과 같은 중소 벤처기업이 있으며, 최근에는 일본, 대만 등으로부터의 해외물량 수주도 크게 늘어나면서 국산 제조 산업체들의 해외진출이 활발하며 소형, 소

용량 리니어 모터 분야에서는 선진국과 대등한 수준의 기술력을 보유하고 있음



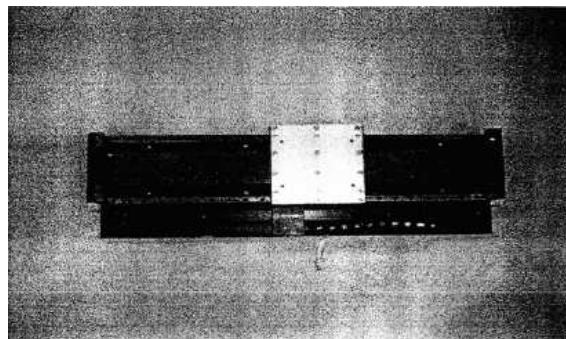
(a) 철심형



(b) 공심형

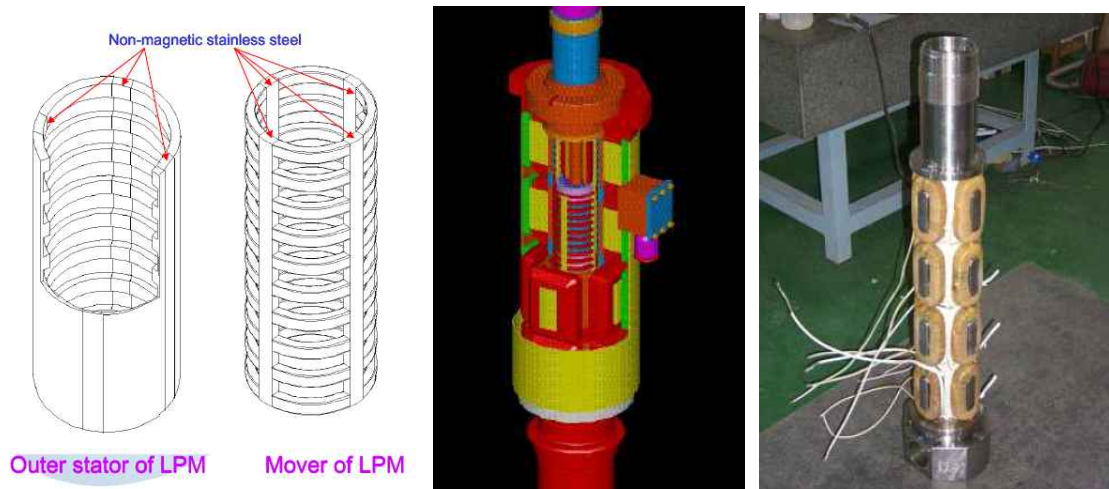
< 반도체 이송 공정용 소형 리니어 모터 제품 >

- 하이브리드 방식의 리니어펄스모터 연구와 관련하여, 2001년도에 (주)모아텍 주관 하에 공작기계용 이송테이블 시스템을 위한 직접 구동 리니어모터 연구를 통하여 최대 추력 150N, 최대속도 2m/s 의 시제품 제작 연구가 진행되었음



< 공작기계 이송테이블 구동용 150N급 Hybrid-type LPM >

- 한국원자력연구원에서는 2006년도에 원자로 제어봉의 안전하고 신속한 구동을 위하여 액츄에이터로 튜블라 방식의 리니어모터(Linear Pulse Motor, LPM)를 적용하는 연구를 수행하였으며, 시제품으로 2m 스트로크에 100kg의 부하를 50mm/s의 속도로 이송시킬 수 있는 시제품을 제작함



< 원자로의 제어봉 구동장치용 Tubular-type LPM >

- 국내의 철도교통에 적용되고 있는 선형전동기 기술은 주로 대형, 대용량 리니어 모터 기술로서, 선형유도전동기(Linear induction motor, LIM)가 리니어 경전철 및 도시형 자기부상철도에 적용 중에 있으며, 최근 550km/h급 초고속 자기부상철도에 상전도 전자석 방식의 선형동기전동기(Linear Synchronous motor, LSM)를 이용한 추진 시스템 기술이 연구 중에 있음
- 국내 최초의 리니어 추진방식의 경전철은 용인경전철이며, 봄바디어 트랜스포테이션의 ART 기반 열차를 사용하며, 최대속도는 80km/h 이고 약 200명 정도가 탑승할 수 있으며, 차량의 구동 방식으로 철궤도 중앙에 위치한 리액션 플레이트를 이용한 LIM 추진방식을 사용하고 있으며, 2012년에 개통 예정임

< 표. 용인경전철의 주요사양 >

용인 경전철	개 요
	용인 경전철(에버라인) 개통시기 : 2012년 예정 노선연장 : 18.4km 제작사 : 캐나다 봄바디어 정거장 : 15개 궤간 : 1435mm (표준궤) 전원 : 제3궤조 방식, DC750V 영업최고속도 : 80km/h



< 용인경전철 추진시스템용 LIM의 차상 Primary와 지상 리액션플레이트 >

- LIM 추진방식의 도시형 자기부상철도는 1989년 한국기계연구원에서 연구를 시작으로 약 20여년간 기술개발을 추진해 왔으며, 현재 인천공항~용유기지(8km)를 노선으로 하는 영업선을 2012년 말까지 완공을 목표로 건설 중에 있음



(a) 국내 LIM추진 용인경전철



(b) 중저속 도시형 자기부상열차

< LIM 방식의 추진 기술 국내 적용 현황 >

- 상전도 LSM 방식의 추진 기술은 한국철도기술연구원에서 수행한 초고속 튜브철도 차량 핵심기술 개발을 목적으로 700km/h급 초고속 LSM 추진 기술 대한 기초 연구를 수행한 바 있으며, 이러한 기반 연구를 토대로 550km/h급 초고속 자기부상철도의 핵심 기술 개발을 목표로 2011년부터 3년간 약 160억 규모의 국가 R&D가 진행 중에 있음



< 상전도 LSM 추진 시스템 시작품 (한국철도기술연구원) >

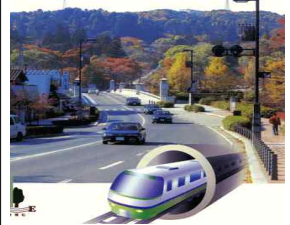
(2) 국외

- 리니어펄스모터의 최초 출현은 1966년 미국의 Fredrickson이 가변릴럭턴스(Variable Reluctance, VR)형과 하이브리드형에 관한 특허를 출원한 것을 시발점으로 하여 1968년에는 자동 제도기에 이용되었고, 같은 해에 Sawyer는 3상 VR형 공기부상식 리니어펄스모터를 개발함
- 리니어 추진시스템(LIM)을 이용한 지하철 또는 경전철의 국외 개발 동향을 살펴보면, 일본, 캐나다, 미국 등을 중심으로 연구되어졌으며, 1980년대 후반부터 상용화가 이루어졌음. 2007년 현재 리니어 전철을 자체적으로 설계제작 가능한 국가는 캐나다와 일본 2개 국가가 있음. 캐나다 Bombardier사는 미국, 말레이시아, 중국, 한국 등에 MK-I, MK-II 모델의 리니어 경전철차량을 수출하고 있으며, 일본에서는 국산화된 기술을 바탕으로 자국의 5개 도시에서 리니어 지하철을 운행하고 있음
- LIM 적용 지하철 관련 일본의 경우, 1985년 4월부터 운수성이 주관하여 산·학·연·관 합동으로 지하철의 저가격화에 관한 연구개발을 시작한 이래 1987년 3월부터 오사카에 1,885m의 시험선을 설치하여 LIM 추진시스템 적용 차량의 안전성, 경제성 등의 평가시험을 실시하였으며, 사단법인 일본 지하철협회가 ‘리니어 모터 구동 소형 지하철 시스템’의 연구로 최고속도 70km/h, 길이 1,850m, 구매 60%, 40%의 선로를 오사카에 설치하여 연구를 수행. 오사카 7호선, 동경 12호선 등의 상용화선이 대표적인 경우로서 기존 지하철에 비하여 리니어 추진시스템을 이용한 경우 터널의 단면적을 64% 정도까지 줄일 수가 있어서 전체 건설비의 70% 이상을 차지하는 터널공사비를 대폭 경감시킬 수가 있었음
- LIM 적용 경전철 관련 캐나다의 경우, UTDC(캐나다 온타리오의 도시수송개발공사, Urban Transit Development Corporation, Ltd)사는 1970년대부터 리니어 모터를 이용한 수송시스템을 개발하기 시작하여 지금은 ALRT(Advanced Light Rapid Transit)시스템으로 상용화를 달성하였음. 세계최초로 리니어 모터 전철을 개발하여 1985년에 토론토의 스카보로(Scarborough)에 시스템을 건설하였고, 그 후 밴쿠버의

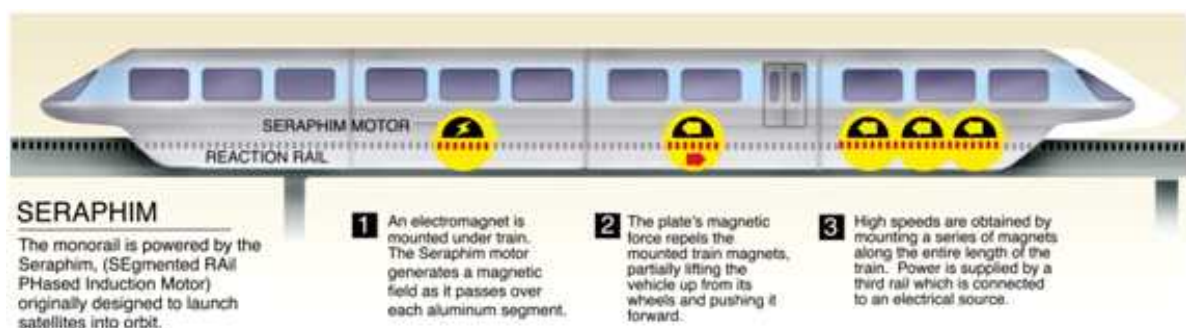
스카이트레인, 디트로이트의 피플무버(People Mover)를 건설하여 상용화시켰음. 현재 캐나다에서는 Bombardier사가 기술을 이전받아, 미국의 디트로이트, 뉴욕 JFK 공항 순환노선, 말레이시아 쿠알라룸푸르의 리니어 전철 시스템을 설계, 제작한 바 있으며, 한국의 용인 경전철, 중국 북경의 공항노선에 리니어 전철시스템을 건설하였음

< 표. 일본과 캐나다의 LIM 추진시스템을 적용한 지하철/경전철 개발 현황 >

일본의 리니어 지하철		캐나다의 리니어 경전철	
이미지	주요 사양	이미지	주요 사양
	오사카 Line No.8 개통시기 : 1990년 노선연장 : 26.9km 제작사 : Kawasaki 정거장 : 5개 최급구배 : 60‰ 최소곡선반경 : 100m		벤쿠버 Skytrain 개통시기 : 1986년 (1994년 연장) 노선연장 : 49.5km 제작사 : Bombardier 최고속도 : 80km/h 열차편성 : 2~4량
	도쿄 Oedo Line 개통시기 : 1997년 노선연장 : 40.7km 제작사 : Hitachi 정거장 : 38개 최급구배 : 55‰ 최소곡선반경 : 100m		뉴욕 Airtrain JFK 개통시기 : 2003년 노선연장 : 13km 제작사 : Bombardier 최고속도 : 110km/h 열차편성 : 1~4량
	고베 Kaigan Line 개통시기 : 2001년 노선연장 : 7.9km 제작사 : Kawasaki 정거장 : 10개 최급구배 : 50‰ 최소곡선반경 : 100m		말레이시아 Putra 개통시기 : 1998년 노선연장 : 29.2km 제작사 : Bombardier 정거장 : 24개 열차편성 : 4량
	중국 광저우 개통시기 : 2005년 노선연장 : 14.11km 제작사 : Kawasaki; Sifang R&S 정거장 : 5개 열차편성 : 4량		한국 경기도 용인 개통예정시기 : 2012 년 노선연장 : 18.6km 제작사 : Bombardier 정거장 : 15개 열차편성 : 1량

	후쿠오카 Nanakuma Line 개통시기 : 2005년 노선연장 : 12km 제작사 : Hitachi 정거장 : 16개 최고구배 : 60‰ 최소곡선반경 : 100m		
	요코하마 Line No.4 개통시기 : 2007년 노선연장 : 12.9km 정거장 : 10개 최고구배 : 60‰ 최소곡선반경 : 100m		
	센타이 Tozai Line 개통예정시기 : 2015년 노선연장 : 14km 정거장 : 13개 최고구배 : 60‰ 최소곡선반경 : 100m		

- 미국에서는 Sandia National Lab.에서 1995년도에 SERAPHIM-200 (SEgmented RAil PHased Induction Motor) 프로젝트를 수행하였으며, 일반적인 LIM과 다르게 Pulsed magnetic field와 Segmented reaction rail을 이용한 펄스타입의 LIM 기술을 선보임



< SERAPHIM 열차 concept (Vertical reaction plate 방식) >

- 독일에서는 1970년 초부터 상전도 LSM 기술을 적용하여 500km/h 급 초고속 자기 부상철도인 Transrapid를 개발하였으며, 중국 상하이에 세계 최초로 영업노선을 구축하여 2004년부터 운행 중에 있음
- 초전도 전자석을 적용한 선형전동기 추진 방식으로는 일본의 500km/h급 초고속 자기부상열차의 LSM 추진 시스템이 세계적으로 유일함
- 일본은 토카이도 신칸센 노선(도쿄~오사카)의 포화로 대체선로의 필요성이 증가하면서 추오 신칸센 계획을 수립(신칸센 철도정비법 제4조)하고, 1970년도부터 초전도 전자석을 이용한 LSM 기술을 적용하여 500km/h 이상의 초고속 자기부상철도를 개발하였으며, 도쿄와 오사카 간 약 500km 구간을 초전도 자기부상열차로 약 1시간 내에 주파하는 영업 노선을 계획하고, 전체노선 중 1단계 사업으로서 도쿄에서 나고야까지 약 290km 구간을 2027년까지 건설 완료하는 것을 목표로 함



(a) 상전도 LSM 초고속 자기부상열차 (b) 초전도 LSM 초고속 자기부상열차

< 국외 LSM 방식 추진 철도 >

(나) 차상 초전도시스템 기술 개발

(1) 국내

- SMART 기술을 구현하기 위한 국내의 초전도 전자석 기술은 1992년에 한국전기연구원원이 러시아와의 공동연구를 통하여 저온초전도 전자석의 기본 설계 및 제작 기술을 확립하고, 점차 그 성능을 향상시켜 17T까지도 가능한 초전도 전자석의 개발에 성공한 바 있음
- 1995년부터 추진한 KSTAR (Korea Superconducting Tokamak Advanced Research) 프로젝트를 통해 저온초전도 전자석에 대한 본격적인 기술개발이 이루어졌으며, 이 사업을 통하여 초전도 전자석의 설계 및 해석, 극저온 냉각시스템 개발 및 전자석 운전 등 주요 핵심 기반 기술이 확보됨
- 국내의 고온 초전도기기에 대한 기술개발은 2001년부터 착수된 21C 프런티어연구개발사업인 차세대 초전도 응용기기 개발사업(DAPAS사업)을 통해 시작되었으며, 이

사업을 통해 고온초전도기기 운전기술, 단열(Cryostat) 및 냉각시스템 기술, 저손실 전류도입부 기술, 최적화선재 설계기술 등 SMART용 고온초전도 전자석 개발에 필요한 연구 인프라를 확보한 상태임

- 또한 2008년에는 한국전기연구원에서 국내 최초로 냉매를 사용하지 않는 전도냉각방식으로 2T급 고온초전도전자석을 개발 하였으며, 최근에는 국내 대학을 중심으로 교육과학부의 지원을 받아 미래 첨단 바이오의료분야의 핵심기술인 GHz급 초고자장 NMR용 고온초전도 전자석 기초 연구가 진행 중에 있음
- 철도 분야에 초전도 기술이 연구된 사례는 2009~2011, 한국철도기술연구원이 초고속 자기부상철도의 핵심 원천 기술로서 차량용 초전도 하이브리드 전자석에 대한 연구를 진행한 바가 있으며, 고온 초전도 전자석을 이용하여 시작품을 제작하고 운전에 성공한 바가 있음



(a) 전도냉각방식의 2T급 고온초전도전자석 (b) Maglev용 초전도 하이브리드 전자석
(한국전기연구원) (한국철도기술연구원)

< 국내의 초전도 전자석 개발 사례 >

- 고온 초전도 전자석용 선재에 있어서는 국내의 벤처 업체인 (주)서남에서 고온초전도 박막공정분야에서 독창적인 RCE-DR공정을 적용하여 차세대 고온 초전도선인 GdBCO선재를 생산 중에 있으며 국내 초전도 기기 개발에 요구되는 물량을 일부 공급하고 있음

(2) 국외

- 일본 초고속 자기부상열차의 LSM 추진용 초전도 전자석은 약 1000~1500회의 권선수를 가지는 4개의 Racetrack형 코일을 N-S-N-S의 극배치가 되도록 교차직렬로 연결한 상태에서 500A의 전류를 통전하여 4.7T의 자장을 발생시킬 수 있는 구조로 제작되었음
- 열차의 주행최고기록속도인 581km/h는 저온 초전도체인 NbTi 선재를 사용하고 액체 헬륨을 냉매로 하는 저온초전도 전자석을 탑재한 시험에서 달성되었음

- 1999년부터는 초전도전자석의 경량화 및 구조의 단순화를 목적으로 1세대 고온초전도 선재인 BSCCO를 사용한 고온초전도 전자석을 개발하였고, 2005년 주행시험에 성공함으로써 고온초전도 전자석에 의한 초고속 LSM의 실현 가능성을 확인한 바 있음



(a) 고온초전도 전자석



(b) 저온초전도 전자석

< 일본 초고속 자기부상열차의 LSM 추진용 초전도 전자석 >

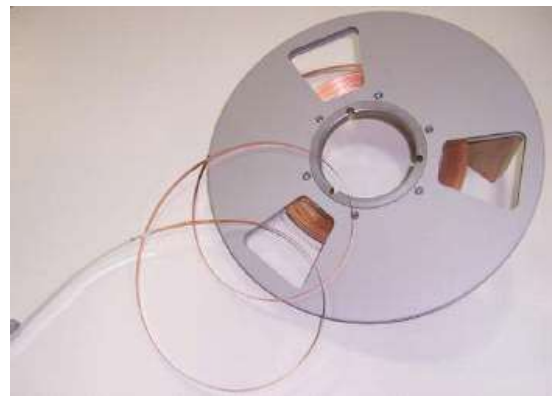
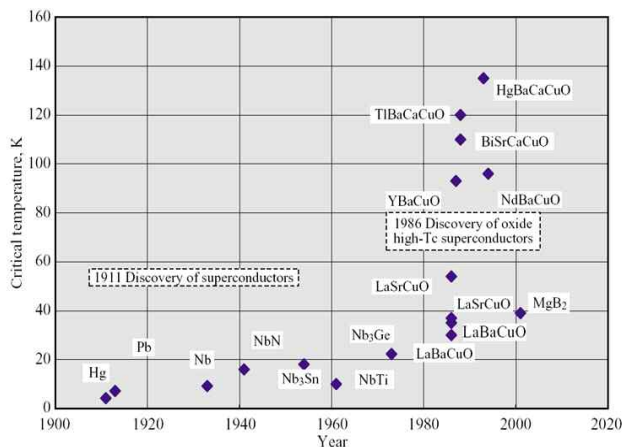
< 표. 일본 초고속 자기부상열차의 LSM 추진용 고온 및 저온 초전도 전자석 비교 >

	저온초전도 마그넷	고온초전도 마그넷
기자력	700-750kA	750kA
초전도 코일 수	4	4
코일 형상	Racetrack	Racetrack
Coil dimensions	1.070 X 500mm	1.070 X 500mm
Straight part	570mm	570mm
정격전류	500A	544 A
권선수	1,400-1,500 회	1,380 회
초전도체	NbTi	BSCCO
전류감쇄율	0.1%/day 이하	1%/day 이하
초전도냉각온도	4.2 K	20 K 이하
냉각방식	액체질소, 액체헬륨	전도냉각(냉매Free)
냉동기	GM cryocooler GM/JT cryocooler	GM-type 2-stage pulse-tube cryocooler

- YBCO 선재에 의한 고온초전도 전자석이 개발될 경우 추진 성능의 향상 및 철도의 건설비용을 획기적으로 줄일 수 있기 때문에 최근에는 YBCO 고온초전도선재의 급속한 성능 향상에 따라 YBCO 선재를 사용한 고온 초전도 전자석의 개발이 진행 중에 있음

○ 초전도 선재 개발 현황은 다음과 같음

- 현재까지 다양한 초전도체가 발견 또는 개발되었으나 이 중 재료의 안정성 및 선재화 공정능력 등의 이유로 현재 4K이하의 냉각온도에서 초전도성을 갖는 저온초전도체인 NbTi 소재만이 자기공명영상장치(MRI), 입자가속기 등의 초전도 전자석 소재로 활용되어 왔음
- 1986년에 액체질소온도인 77K 이상에서도 초전도성을 갖는 고온초전도체가 발견됨에 따라 고온 초전도체를 이용한 다양한 초전도 기기 개발이 활발히 진행되고 있음
- 고온초전도체는 1세대 고온초전도체와 2세대 고온초전도체로 나뉘어지며, 1세대 고온초전도체인 Bismuth화합물계열의 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_8$ (BSCCO)는 초전도기에 적용 가능한 선재로 이미 상용화 개발되었음. 그러나 BSCCO 선재의 제조공정특성상 고가의 은(Ag)을 모재로 사용하기 때문에 초전도 선재 가격의 하락에 한계가 있으며, 특히 BSCCO선재의 자장특성이 저온초전도체인 NbTi보다 불리하기 때문에 자장성능을 필요로 하는 초전도 마그넷용으로는 사용되지 않음
- 2세대 고온초전도체인 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO :Coated Conductor)는 초전도 선재의 가격을 구리 도체 수준까지도 낮출 수 있는 소재로서 초전도 기기의 제작 비용을 획기적으로 줄일 수 있을 뿐 아니라 특히 전류밀도가 높고 자장특성 및 기계적 강도가 우수하기 때문에 초전도 마그넷 응용에 큰 이점이 있음



(a) 초전도체 개발 현황

(b) 2세대 고온초전도선재(IGC Superpower사)

< 초전도체 개발 현황과 2세대 고온초전도 선재 >

- 현재 YBCO의 경우 임계전류가 높으면서도 초전도기기의 제작에 적합한 수준까지 장선화 공정 기술의 개발이 가장 큰 관건이며, 현재 미국의 IGC Superpower사와 AMSC사가 전 세계 초전도 선재 시장을 독점하고 있음
- 최근 Superpower사의 발표에 따르면 $I_c=153\text{A/cm}$, 길이 1311 m까지 제조가 가능한 장선화 공정을 달성함

< 표. 고온 초전도체 비교 >

항 목	BSCCO		YBCO
	Without SUS Tape	With SUS Tape	
선재 폭	4.5 mm	4.5 mm	4 mm
선재두께	0.30 mm	0.30 mm	0.095 mm
최대 제조 길이	1500m 이하	500 m 이하	-
임계전류 (77K, Self-field)	180A 이하	180A 이하	80~110A
최대 허용 인장강도	130 MPa	270 MPa	550 MPa
최대 허용 굽힘반경	70mm	60mm	11mm

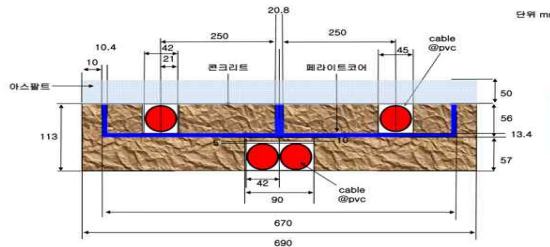
(다) 차상 전원용 집전시스템 개발

(1) 국내

- 차상 급전을 위한 유도급전은 국내의 경우 주로 소용량 전자기기의 무선전원공급 또는 충전 기술 개발을 목적으로 연구가 활발히 진행되고 있으며, 유도급전을 활용한 핸드폰 충전기기가 상용화 되어 시장에 출시되고 있음
- 또한 반도체 공정 등 산업 자동화 분야(한국전기연구원) 및 전기버스(KAIST) 등에서 중용량 유도급전 관련 연구를 수행하였음

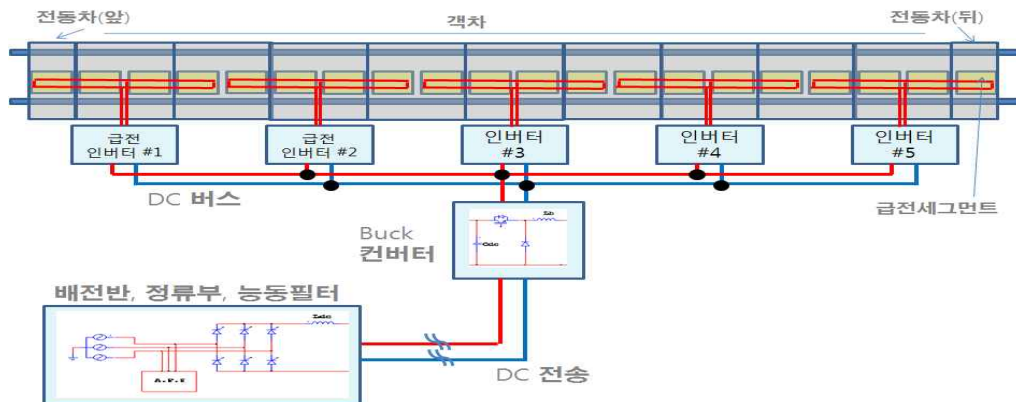


< 한국전기연구원이 개발한 30kW급 CPS >



< KAIST의 서울대공원 코끼리 열차 급전선로 >

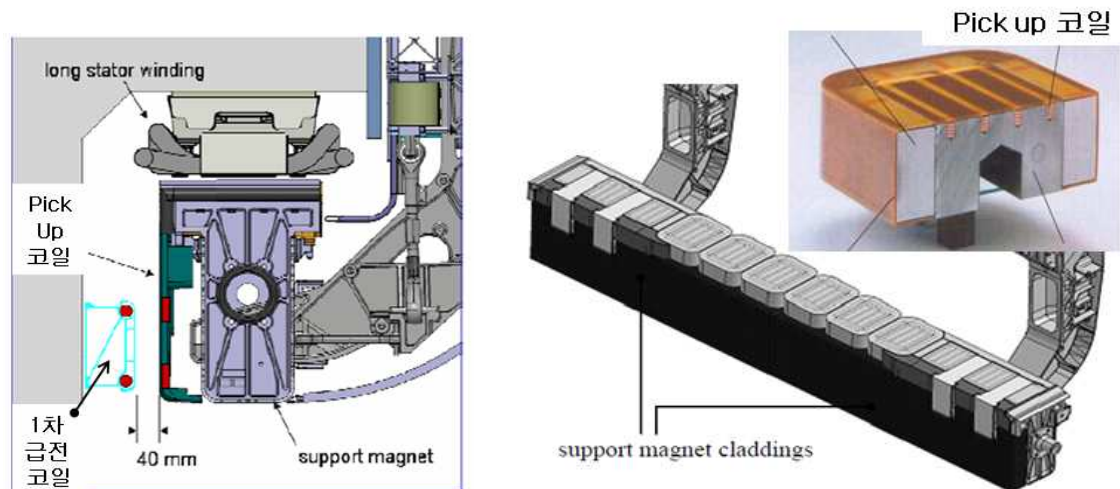
- 대용량 비접촉 급전은 연구된 바가 없으나, KAIST의 온라인 버스에 적용한 시스템을 응용하여, 한국철도시설공단 주관으로 KAIST와 한국철도기술연구원이 공동으로 철도에 적용 가능한 대용량 비접촉 급전 장치(4MW)에 대한 연구를 수행 중임



< 고속철도용 비접촉식 급전 전력 시스템 배치도 >

(2) 국외

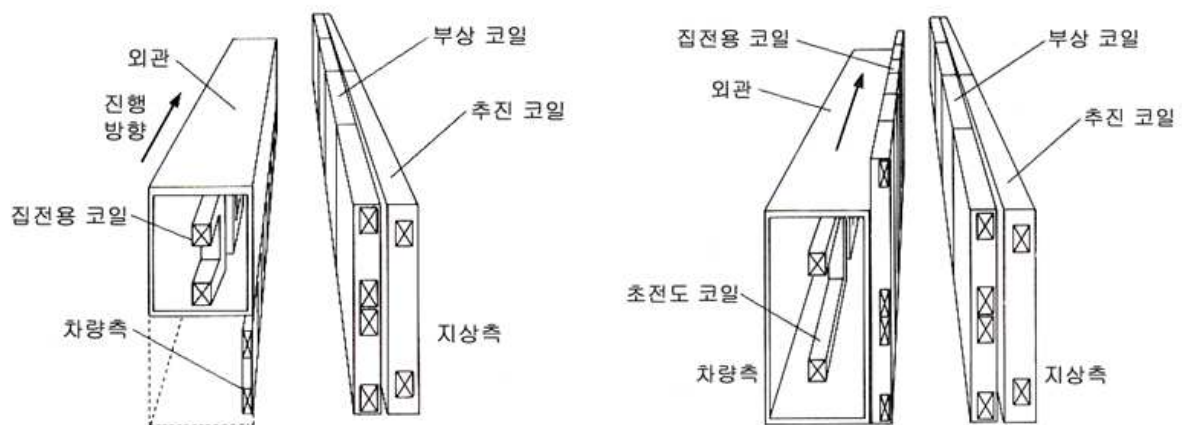
- 비접촉 차상 집전기술의 경우, 독일, 프랑스, 영국 등을 포함하는 유럽연합에서는 2002년도부터 EVIAC (Electric Vehicle Inductive Automatic Charging)를 구성하여 전기자동차 및 경량전철에 활용할 수 있는 유도 급전기술을 공동 개발하고 있음
- 비접촉 차상 집전기술을 수송시스템에 적용한 사례로는 미국 라스베이거스 관광객 수송을 위한 환경 친화적인 궤도전용 유도 급전 경량전철에 상용화 하였으며, 뉴질랜드의 경우 오클랜드 대학에서 연구를 수행하여, 환경 친화적인 도로전용 유도급전 소형자동차시험선을 구축하여 상용화 검증시험이 진행 중임
- 독일의 500km/h 초고속 자기부상철도의 경우 역사 등 저속주행 구간에서의 차량급전을 목적으로 공진방식의 유도급전기술을 적용하고 있으며, 100km/h 이상의 고속주행구간에서는 선형 발전기식 유도급전기술을 적용하고 있음



(a) 저속구간의 공진형 유도급전시스템 (b) 고속구간의 선형발전식 차량 전자석

< 독일 초고속 자기부상열차의 유도급전 시스템 >

- 일본의 MLX는 전 속도구간에서 비접촉식 차상집전 시스템을 개발하여 채용하고 있으며, 차상 집중식 및 차상 분산식 두가지 방법을 적용중임



(a) 차상 집중 방식

(b) 차상 분산 방식

< 독일 초고속 자기부상열차의 유도급전 시스템 >

(라) 전용 인프라 기술 개발

(1) 국내

- 한국철도기술연구원은 2001년부터 프리캐스트 콘크리트 방식의 새로운 콘크리트 슬래브케도를 개발해 왔으며(관련 연구과제 : 도시철도 선로시스템 표준화 연구, 건설교통부, 2001-2006; 고속철도 선로구축물 안정화 기술개발, 2002-2007) 토공구간을 대상으로 설계된 1차 개발모델을 전라선에 시험부설 하여 성능을 검증하였음

Rail Fastener
(ready for any types of rail fastener)

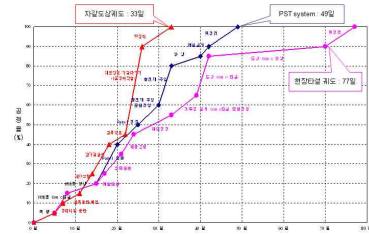
Rail

Slab (PSC)
6.45 X 2.5 X 0.2 m

HSB
(Lean concrete base)
fck: 15MPa
300mm thick

Grout
(Cement asphalt mortar)
~40mm

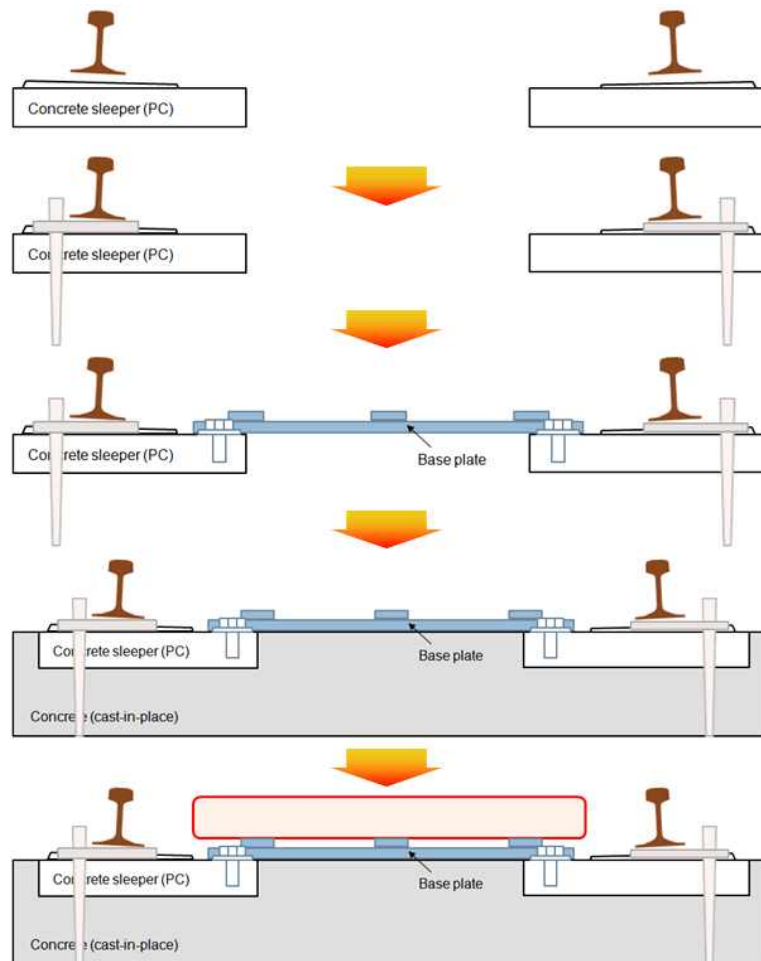
Slab connection



< 토공구간용 포장궤도 개발 완료 >



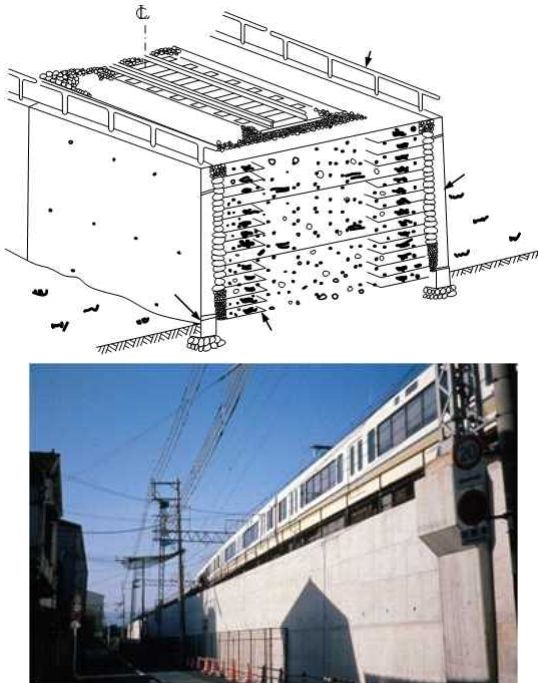
< 본선 시험부설(서울메트로 서울-남영역) >



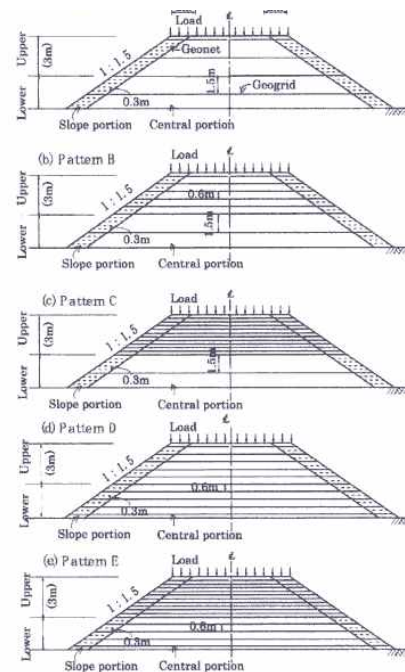
< 콘크리트 궤도 시공 순서 >

(2) 국외

- 대표적인 프리캐스트 콘크리트 슬래브레도 공법인 일본 신간선 J-slab와 독일 Max-Bögl社의 FFBögl과 현장타설공법인 Rheda 시리즈는 자국 내의 많은 시공 및 운영실적을 바탕으로 이미 중국, 대만 등 해외시장에 진출하고 있음



< 철도용 보강노반 적용(일본) >



< 토목섬유 보강 성토(일본) >

- 현재 독일, 일본 등의 프리캐스트 콘크리트 슬래브레도 기술은 자국 내에서 실용화하고, 해외시장에 진출하고 있음. 기술개발은 현재 수준에서 기능 및 시공성 측면에서 개선되는 수준에 머물 것으로 예상되나, 해외 시장에서 점유율을 점차 높여 나갈 것으로 판단됨
- 전자장 추진 철도의 전자기 환경 영향 분석의 경우, 독일의 초고속 자기부상열차 (TR08) Maglev에서 전자기 환경 영향 실험을 수행하였음
- 실험은 2001년 8월 독일 엠슬란트 지방에 있는 TRI Test Facility에서 실시되었으며, MultiWave® 디지털 데이터 기록장치를 사용하여 정적(static) 및 극저주파(ELF; 3-3,000 Hz) 자기장의 특성을 기록하고, 수집된 데이터에 초저주파(3-30 kHz) 및 저주파(30-300 kHz) 자기장, ELF 전기장, 그리고 무선주파수(RF) 전기장의 측정값을 비교함
- 실험 결과 기존의 전기 수송수단과 유사한 수준이었으며 현재 적용되고 있는 모든 인적 노출 안전표준을 만족함
- 표에서 볼 수 있는 것과 같이 자기부상 열차의 객실 내에서의 정적 및 ELF 자기장의 세기는 기존 철도 시스템의 객차에서 측정되는 장 세기의 범위를 초과하지 않으며,

자기부상 열차에서 측정된 다양한 하위 주파수 대역의 장 세기 분포는 기존 철도 시스템의 객차에서 측정되는 것과 전체적으로 볼 때 유사함

Transportation System	Static 0 Hz	All ELF 2-3002 Hz	Low Frequency 2-48 Hz	Power Frequency 48-62 Hz	Harmonic Frequency 62-303 Hz	High Frequency 302-3002 Hz
NEC 25 Hz	606 (1763)	133.8 (782.1)	132.0 (776.0)	6.0 (41.4)	16.2 (95.2)	2.7 (14.7)
NEC 60 Hz	630 (1039)	52.5 (408.4)	1.4 (12.2)	52.0 (407.0)	5.7 (43.9)	1.4 (12.8)
NEC Non- Electrified	569 (1033)	5.2 (26.5)	1.4 (6.7)	4.8 (26.3)	0.7 (5.9)	0.2 (1.9)
NJT Long Branch	734 (1016)	18.6 (108.8)	1.6 (13.0)	18.2 (107.1)	2.5 (17.7)	0.7 (3.6)
TGV-A	545 (962)	43.2 (165.0)	23.3 (106.2)	30.5 (164.7)	2.7 (10.4)	1.5 (5.4)
TR07	611 (1110)	52.4 (143.2)	47.6 (141.4)	7.7 (29.4)	18.5 (35.5)	1.2 (2.5)
TR08	462 (1084)	34.3 (151.9)	32.6 (151.4)	3.0 (21.5)	8.3 (27.8)	1.5 (10.1)

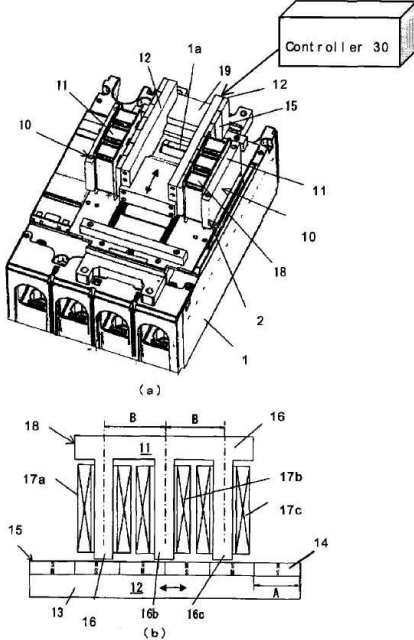
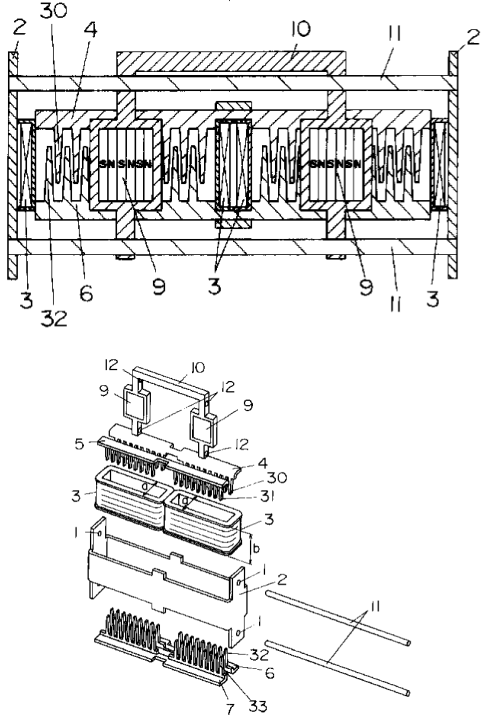
<자료출처 : Electromagnetic Field Characteristics of the Transrapid TR08 Maglev System, U.S. Department of Transportation, DOT-VNTSC-FRA-02-11, 2005>

2) 특허 동향 분석

- 관련 핵심어로 WIPS 및 Thomson Innovation 에서 특허 조회를 해본 결과 다수의 특허들이 검색되었지만, 개발하려는 기술과 직접적으로 연관되거나 향후 특허 출원 시 상충의 우려가 있는 특허는 없음
- 기존 특허는 일반 전자석 또는 영구자석을 이용한 LPM의 설계 및 제작 방법에 치중되어 있으므로, 본 연구과제에서는 초전도 마그넷을 LPM에 적용하여 LPM의 경량화 및 고출력화를 달성하는 방향으로 연구를 추진하여 초전도 마그넷 적용 리니어모터 관련 특허 등을 국내 및 국외에 출원할 계획임

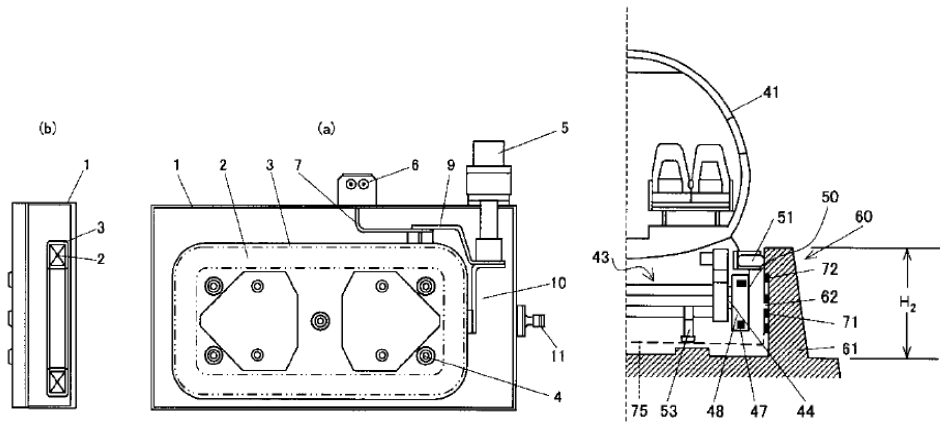
○ Linear Pulse Motor 관련 특허 분석 결과

Keyword	Linear pulse motor OR LPM
검색건수	28

유효특허건수		5	
핵심특허 및 관련성	특허명	Linear actuator for circuit breaker remote operation device	Small size linear pulse motor
	보유국	미국	일본
	등록년도	2008	2006
	관련성	75 %	80 %
	유사점	- 영구자석 제자를 적용한 리니어 펄스 모터 - LPM 방식의 추진 방식	- 영구자석을 이용한 추진 방식 - 영구자석부분이 이동하는 방식
차이점		- 지상에 영구자석을 배치하고 차상에 코일 배치 - 코일부분에 자극형성을 위한 yoke 삽입(3극) - 소형 스테이지 구동용 	- 영구자석형 횡자속전동기 방식의 추진방식 - 소형 스테이지 구동용(왕복운동) 

○ 차상 설치형 초전도 전자석 관련 특허 분석 결과

Keyword		Superconducting Magnet AND Railway
검색건수		31
유효특허건수		1
핵심특허 및 관련성	특허명	The superconducting magnet for magnetic levitation railway vehicles
	보유국	일본
	등록년도	2008
	관련성	80%
	유사점	- 철도차량 구동을 위한 차상 설치용 초전도 전자석으로써, 초전도 코일을 이용한 전자석임 - 초전도 전자석의 코일단에 영구전류 모드 스위치를 설치하여 초기 입력전류만으로 전자석 구현이 가능한 시스템임
	차이점	- 반발식 자기부상열차의 차상 부상용 전자석으로써, 철도차량의 양 측면 부착형이 특징임 - 초전도 전자석의 코일부에 금속계 저온 초전도 선재나 세라믹계 고온 초전도 선재를 사용하였으나, 아직 특성 및 가공성이 우수한 박막 형태의 고온 초전도 선재가 적용되지 못했음



3) 논문 동향 분석

- 기존 논문은 소형 LPM의 이론적 특성 해석 분야에 치중되어 있으므로, 본 연구과제에서는 철도차량에 적용이 가능한 대용량 초전도 레일 추진시스템(SLR) 설계 기법 정립과 함께 SMART의 시제품 실험을 통한 초전도 마그네틱의 철도차량 차상 적용의 가능성에 대한 검증 방향으로 연구를 추진하여 다양한 논문 등을 국내외 각종 전기 기기 및 초전도 분야 학술지 등에 게재할 계획임

Keyword		<i>(Linear Pulse Motor) or (LPM)</i>	
검색건수		213	
유효논문건수		12	
핵심논문 및 관련성	논문명	Position-sensorless drive of linear pulse motor for suppressing transient vibration	Manufacture and estimation of two phase driver for hybrid type linear pulse motor
	학술지명	IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 47, No. 2	3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications 2008
	저 자	Hirai, J. 외 2명	Dong-Hee Kim 외 4명
	게재년도	2002	2008
	관련성(%)	80 %	75 %
	유사점	• LPM의 경우, 과도상태에서 발생하는 진동에 의해 응답성능이 감소되는 특징이 있음 • 본 연구에서는 LPM의 감소된 응답성능을 높이기 위한 제어적 알고리즘 기법 제시	• LPM의 제어성능 개선을 위하여 정확한 추력의 계산이 필요하며, 이를 위한 해석적 기법을 제시 • LPM 시제품의 진류, 전압 측정을 통하여 제시된 해석적 기법의 유효성을 검증
	차이점	• 본 연구에서는 Kalman filter에 근거한 LPM의 Sensorless 제어기법을 제시함. • LPM 이동자의 위치와 이동속도는 LPM의 여자권선 회로의 비선형 상태 방정식을 적용한 확장 Kalman filter를 이용하여 추정함.	• 논문에서의 LPM은 Hybrid 타입으로 본 연구에서의 LPM과 구조적 차이가 있음. • 2상 Driver를 제시함. Driver는 4개 또는 6개의 IGBT 또는 MOSFET으로 1모듈의 IPM을 구성함으로써 경제적이며 간단한 구조의 Driver 설계 기법을 제시함.

Keyword		<i>(Superconducting magnet) and (High temperature)</i>	
검색건수		112	
유효논문건수		8	
핵심논문 및 관련성	논문명	Development of conduction-cooled high temperature superconducting magnet	Test results of central magnetic field and field uniformity of a high temperature superconducting magnet with gap
	학술지명	IEEE Transactions on Applied Superconductivity	IEEE Transactions on Applied Superconductivity
	저자	Qiuliang Wang 외 6명	Kim, Y 외 5명
	게재년도	2005년	2011년
	관련성(%)	85 %	70 %
	유사점	• 논문에서는 냉동기에 의한 전도냉각 방식 기술을 적용한 고온초전도 마그넷 기술을 제시함 • 고온초전도 선재를 팬케이크 형식으로 권선하였음 • 제시된 고온초전도 마그넷의 발생 자속은 3[T]로 본 연구에서 목표로 하고 있는 2[T]와 유사한 성능임	• 다수개의 권선을 사용할 경우, 고온 초전도 마그넷의 균일한 자속 발생을 위한 권선 배치 방법을 제시함 • 고온초전도 선재를 팬케이크 형식으로 권선하였음
	차이점	• 논문에서 제안한 고온초전도 마그넷의 경우, BSCCO 계열의 1세대 고온초전도 선재를 이용함 • 또한 냉각 방식에 있어서도 냉동기만을 사용한 전도냉각을 이용하므로 본 연구에서 적용할 액체질소와 냉동기를 혼용한 과냉각 방식과는 차이가 있음 • 본 연구에서는 박막코팅에 의한 2세대 고온초전도 선재를 이용하여 초전도 마그넷을 개발할 계획임	• 논문에서 제안한 고온초전도 마그넷의 경우, BSCCO 계열의 1세대 고온초전도 선재를 이용함 • 본 연구에서는 박막코팅에 의한 2세대 고온초전도 선재를 이용하여 초전도 마그넷을 개발할 계획임

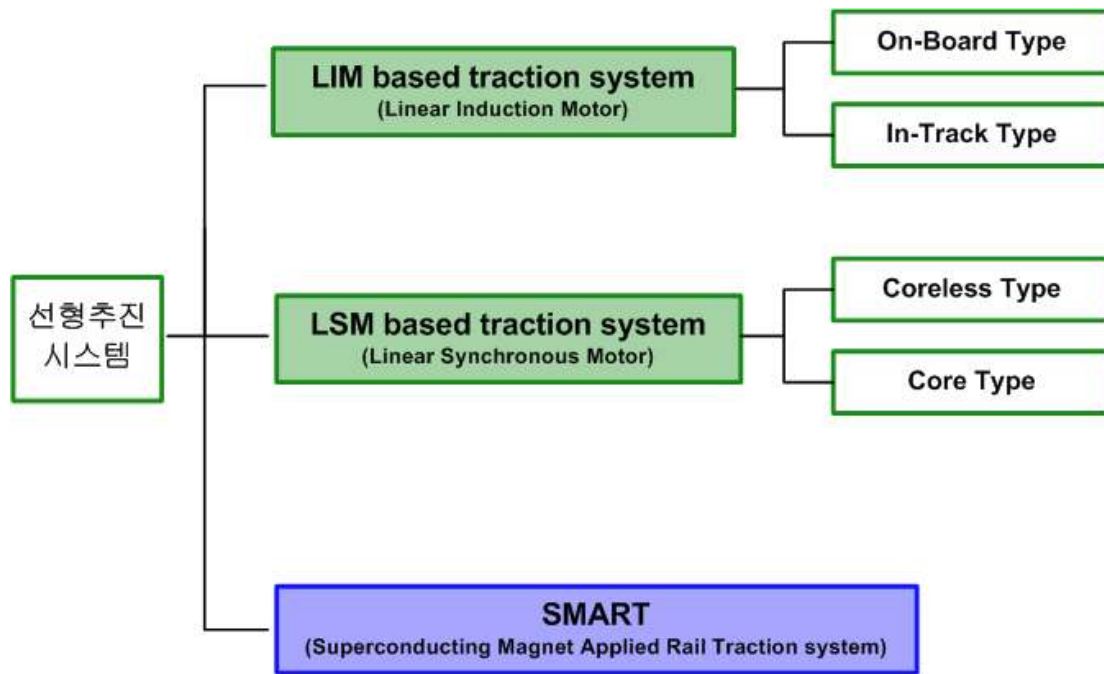
핵심논문 및 관련성	논문명	Application of HTS current lead for superconducting magnet
	학술지명	QR of RTRI, Vol. 48, No. 2
	저자	Masafumi Ogata 외 4명
	게재년도	2007년
	관련성(%)	90 %
	유사점	• 팬케이크 형태로 권선이 된 초전도 마그넷에 대전류를 넣어주기 위해서 초전도 Current lead가 필요하며, 논문에서는 Current lead 제작 및 전류 측정 기술을 제시함 • 초전도 마그넷의 영구전류 모드 구현을 위한 영구전류 스위치 앞단에 초전도 Current lead를 설치
	차이점	• 논문에서 제안한 Current lead는 회로류 계열의 Bulk 타입의 고온초전도 재료를 사용하였음 • 본 연구에서는 박막코팅에 의한 2세대 고온초전도 선재를 이용하여 초전도 마그넷을 개발할 계획임 • 또한 냉각 방식에 있어서도 냉동기만을 사용한 전도냉각을 이용하였으며, 2개의 냉동기를 이용하여 2 stage 냉각 채널을 구성하였으므로 본 연구에서 적용할 액체질소와 냉동기를 혼용한 과냉각 방식과는 차이가 있음

4) 기존 기술(연구)과의 차별성

- 기술의 정의를 보다 명확히 하기 위하여 유사 추진시스템과의 차별성 및 특징을 비교하였음

(가) 선형 추진시스템의 분류

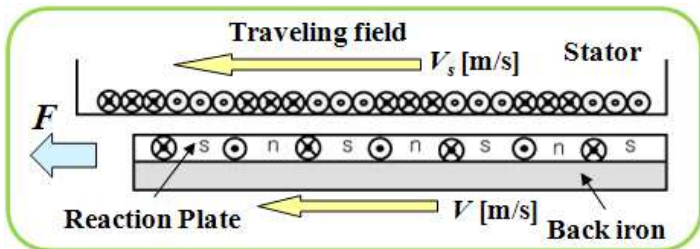
- 선형추진시스템의 일반적인 분류는 다음과 같음
- 선형추진시스템은 추진용 선형전동기 방식에 따라 LIM based traction system, LSM based traction system, SMART(Superconducting Magnet Applied Rail Traction system)로 구분할 수 있음
- 본 연구에서 제안하는 SMART는 Electro-magnet type 선형 추진시스템으로서 공심형(Coreless type)이며, 계자는 초전도 전자석이 적용됨



< 선형 추진시스템의 분류 >

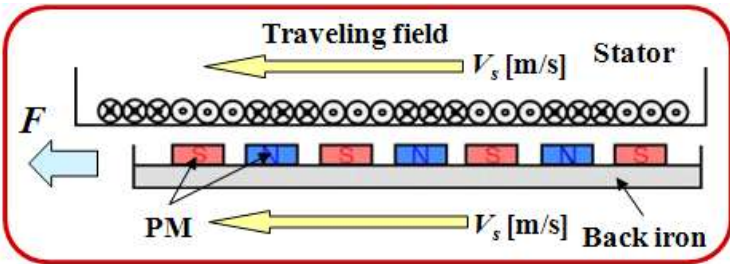
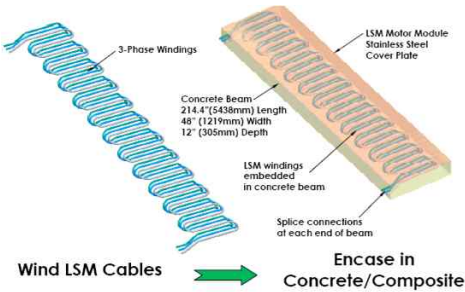
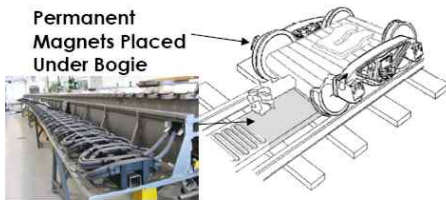
(나) 선형 추진시스템별 특징 분석

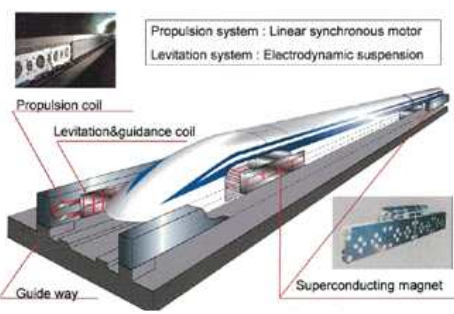
① LIM(Linear Induction Motor) Based traction system

	내 용					
원리	1차 전기자 코일과 2차 도체(리액션 플레이트)로 구성 1차 전기자 코일에 3상 교류를 흘리면, 회전형의 유도전동기의 회전자계와 같은 모양으로 이동자계가 발생 - 이동자계의 자속이 2차 도체를 가로 지를 때에 2차 도체에 전류를 유기시켜, 상호 흡인·반발 작용에 의하여 추진력을 발생시키는 원리 					
분류	<table><tr><th>On-Board Type LIM</th><th>In-track Type LIM</th></tr><tr><td> 1차 3상 전기자는 차상에 설치 2차 도체(리액션 플레이트)는 지상에 설치 - 차상에 인버터가 탑재되므로 차상으로의 급전시스템 필요 </td><td> 1차 3상 전기자는 지상에 설치 2차 도체(리액션 플레이트)는 차상에 설치 - 인버터가 지상에 설치되므로 차상으로의 급전시스템 불필요  </td></tr></table>	On-Board Type LIM	In-track Type LIM	1차 3상 전기자는 차상에 설치 2차 도체(리액션 플레이트)는 지상에 설치 - 차상에 인버터가 탑재되므로 차상으로의 급전시스템 필요	1차 3상 전기자는 지상에 설치 2차 도체(리액션 플레이트)는 차상에 설치 - 인버터가 지상에 설치되므로 차상으로의 급전시스템 불필요 	
On-Board Type LIM	In-track Type LIM					
1차 3상 전기자는 차상에 설치 2차 도체(리액션 플레이트)는 지상에 설치 - 차상에 인버터가 탑재되므로 차상으로의 급전시스템 필요	1차 3상 전기자는 지상에 설치 2차 도체(리액션 플레이트)는 차상에 설치 - 인버터가 지상에 설치되므로 차상으로의 급전시스템 불필요 					
특징	<table><tr><th>장점</th><th>단점</th></tr><tr><td> - 가감속 성능 우수 및 비점착 구동에 의한 등판능력 우수 2차측 구조의 간단함으로 인해 생산비 및 건설비 저렴(알루미늄판) - In-track type LIM 적용 시 대차 경량화가 가능함 - In-track type LIM 적용 시 가공전차선 설비 불필요 </td><td> 2차측 도체판에 의한 전기적 공극이 큼(출력비 및 효율이 낮음) - 단부효과에 의한 성능 저하 - 수직력 불균형에 의한 고속 운전의 어려움(200km/h 이하) - 서보성능이 낮음(위치결정도가 낮음) - On-Board type LIM 적용 시 </td></tr></table>	장점	단점	- 가감속 성능 우수 및 비점착 구동에 의한 등판능력 우수 2차측 구조의 간단함으로 인해 생산비 및 건설비 저렴(알루미늄판) - In-track type LIM 적용 시 대차 경량화가 가능함 - In-track type LIM 적용 시 가공전차선 설비 불필요	2차측 도체판에 의한 전기적 공극이 큼(출력비 및 효율이 낮음) - 단부효과에 의한 성능 저하 - 수직력 불균형에 의한 고속 운전의 어려움(200km/h 이하) - 서보성능이 낮음(위치결정도가 낮음) - On-Board type LIM 적용 시	
장점	단점					
- 가감속 성능 우수 및 비점착 구동에 의한 등판능력 우수 2차측 구조의 간단함으로 인해 생산비 및 건설비 저렴(알루미늄판) - In-track type LIM 적용 시 대차 경량화가 가능함 - In-track type LIM 적용 시 가공전차선 설비 불필요	2차측 도체판에 의한 전기적 공극이 큼(출력비 및 효율이 낮음) - 단부효과에 의한 성능 저하 - 수직력 불균형에 의한 고속 운전의 어려움(200km/h 이하) - 서보성능이 낮음(위치결정도가 낮음) - On-Board type LIM 적용 시					

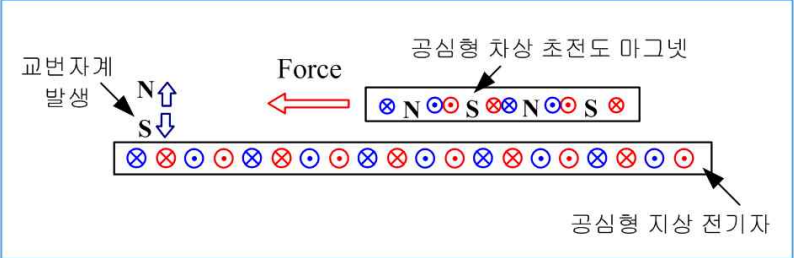
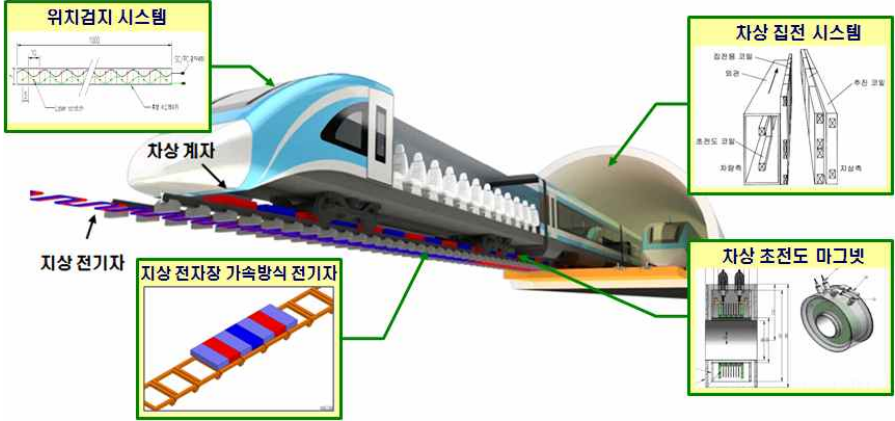
	가공전차선 설비 필요 • In-Track type LIM 적용 시 불연속 토크 발생 • In-Track type LIM 적용 시 섹션전환을 위한 스위치기어 필요에 따른 비용 증가		
응용사례	지하철/경전철 • On-Board type LIM 적용 	자기부상열차 • 중저속 자기부상열차 추진용으로 On-Board type LIM 적용 	PRT • In-Track type LIM 적용 
핵심기술	• LIM 최적 설계 및 제작 기술 • 전자장 해석을 통한 LIM 동특성 분석 기술 • LIM 제어기 최적 설계/제작 기술 • LIM 고효율 제어 알고리즘 기술 • LIM 최적공극제어 기술 • LIM의 단부효과 저감설계 기술 • 무효전력 저감설계를 통한 역률/효율 개선 기술 • LIM 서보능력 향상을 위한 제어기술		

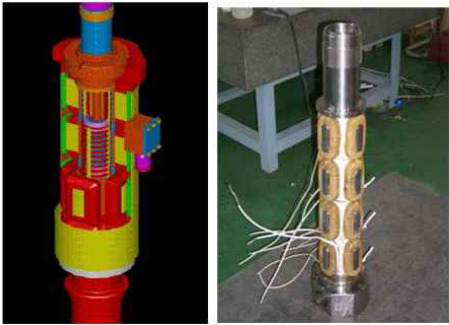
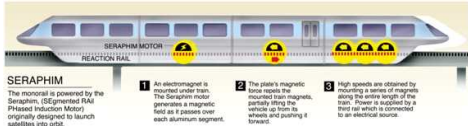
② LSM(Linear Synchronous Motor) Based traction system

	내 용	
원리	1차 전기자 코일과 2차측 계자(전자석형, 영구자석형)로 구성되며, 1차측 전기자의 자계와 2차측 계자의 자계가 상호작용하여 동기속도로 이동하는 원리 1차 전기자 코일에 3상 교류를 흘리면, 전기자에 3상 이동자계 발생. 이때, 2차측 계자는 이동자계의 속도와 동기화된 속도로 구동됨. 	
분류	Coreless Type LSM 1차측 3상 전기자 및 2차측 계자에 철심을 사용하지 않고 코일만으로 구성되는 구조  Wind LSM Cables → Encase in Concrete/Composite 	Core Type LSM 1차측 3상 전기자 및 2차측 계자에 철심으로 Core를 구성하고, Core의 한 측면에 다수개의 슬롯을 구성하여 코일을 삽입한 구조 
특징	장점 - 가감속 성능 우수 및 비점착 구동에 의한 등판능력 우수 - 초고속 주행이 가능함 - LIM보다 상대적으로 높은 효율 - LIM보다 제어측면에서 상대적으로 높은 신뢰성을 가짐 - 지상 전기자 방식으로 주로 적	단점 - 구동을 위한 정밀 위치제어 필요 (제어 비용 증가) - 차상에 계자 및 차상전원용 급전장치 및 전력변환장치 탑재 - Core Type의 경우 재료 및 설치 비용이 큼 - 지상 급전의 섹션전환을 위한 스위치기어 필요에 따른 비용 증가

	용되며, 가공전차선 설비 불필요	SMART에 비해 2배의 지상 전기자 코일 필요에 따른 비용 증가
응용사례	자기부상열차 - 독일 초고속 자기부상열차 (Core Type LSM 적용, 상전도 흡인식) - 일본 초고속 자기부상열차 (Coreless Type LSM 적용, 초전도 반발식)  	화물이송시스템 미국 General Atomics의 Cargo 운송용 MagneRail에 Coreless Type LSM 적용  
핵심기술	- LSM 최적 설계 및 제작 기술 - 전자장 해석을 통한 LSM 동특성 분석 기술 - LSM 제어기 최적 설계 및 제작 기술 - LSM 고효율 제어 알고리즘 기술 - LSM 디텐트력 저감 설계 기술 - LSM의 부하각 제어를 위한 정밀 위치 센싱 기술 - 지상 급전의 섹션전환 기술 및 이를 위한 LSM 위치검지 기술	

③ SMART(Superconducting Magnet Applied Rail Traction system)

	내 용	
원리	1차측 지상 전기자 코일과 2차측 차상 초전도 계자로 구성되며, 구동 원리는 LSM과 유사한 리니어펄스 모터 기술임. 1차 전기자 코일에 펄스 전원을 흘리면, 전기자에 교번자계 발생. 이때, 2차측 계자는 교번자계의 교번 속도와 동기화된 속도로 구동됨. 	
구성	- SMART(Superconducting Magnet Applied Rail Traction)는 - 지상의 Coreless Type 단상 또는 2상의 전기자 코일 노선 및 계자의 위치에 따라 대전류를 공급하는 전력변환장치 및 섹션전환 장치 - 차상의 Coreless Type 초전도 전자석과 영구전류모드 운전용 전원 장치 및 초전도 상태를 유지하기 위한 냉각장치 - 차상에 필요한 전력을 공급하기 위한 차상 전원용 집전장치로 구성됨 	
특징	장점	단점
	- 가감속 성능 우수 및 비점착 구동에 의한 등판능력 우수 - 저속부터 초고속까지 모든 속도영역 주행 가능 - LSM 수준의 높은 효율 - 구동을 위한 정밀 위치 검지 불필요(Self position detection) - 지상 전기자 방식으로 가공전차선 설비 불필요하며, 전 구간 공	- 차상에 계자 전자석 및 차상전원용 전력변환장치 탑재 - 지상 급전의 섹션전환을 위한 스위치기어 필요 (In-Track 방식 LIM, LSM 대비 1/10 수준)

	심형이므로 기존 철도시스템(전차선+TM)보다 차량 경량화 및 터널단면적 축소로 약 20% 건설비 저감 가능 지상코일 매설로 기존선로와 병행운전 가능	
응용사례	산업용 액추에이터 한국원자력연구원의 원자로 제어봉 구동용 튜블라 방식의 리니어 펄스모터(LPM). 	철도차량용 추진시스템 - 미국 Sandia National Lab.의 SERAPHIM-200. - Pulsed magnetic field와 Segmented reaction rail을 이용한 펄스타입의 LIM 기술 적용 
핵심기술	- 대용량 SMART 최적 설계 및 제작 기술 - 전자장 해석을 통한 SMART 동특성 분석 기술 - SMART 구동용 제어기 최적 설계 및 제작 기술 - SMART 구동용 고효율 제어 알고리즘 기술 - 지상 전기자 권선 저비용 성형 기술 - 대전류 공급용 전력변환장치 기술 - 블록 스위칭 및 정밀 위치/속도 검지 기술 - 차상 초전도 전자석 및 냉각시스템 기술 - 차상 전원용 집전장치 기술	

(다) 기존 기술과의 차별성 및 우수성 종합 분석

- 리니어 추진시스템은 비점착 구동에 의한 많은 장점을 가지고 있음 (급구배, 급가속, 급곡선, 가용률, 환경성 등)
- 이 중, LIM은 속도의 한계 존재 (150km/h 이상 고속 적용 어려움)
- LSM은 고비용 시스템 (아래표 참조)으로, 추진만 사용하는 Wheel-on-rail 방식의 경우(자기부상을 위한 부상력 불필요), SMART 철도가 적합함
- SMART는 기존철도에 비해 전장품의 차량 미 탑재로 경량화가 가능하고 이로 인한 에너지 세이브 실현 및 선로 건설비 저감이 가능하므로 철도차량 추진의 근본적인 혁신 기술임

- 또한 설치비용 및 유지보수 비용이 타 시스템 대비 저렴하여 경제성을 확보함
- 각 추진시스템의 철도적용시 무게 및 비용 비교

8량 1편성 기준	기존철도		LIM 추진 철도	LSM 추진 철도		SMART 철도	
	도시철도 [서울지하철7호선]	고속철도 [HEMU]	도시철도	도시철도	고속철도 [독일TR07참조]	도시철도	고속철도
차상 전장품 중량	Panto+변압기+ 인버터+모터	Panto+변압기+ 인버터+모터	Panto+변압기+ 인버터+LIM	차상전자석+ PCU	차상전자석+ PCU	초전도 전자석+ PCU	초전도 전자석+ PCU
	16.2 ton (100 %)	22.5 ton (100 %)	12.4 ton (76.5 %)	2.8 ton (17 %)	8 ton (36 %)	2.8 ton (17 %)	8 ton (36 %)
전기시설비 (편성당/km당)	Total: 34 억 (100 %)	Total: 53.2 억 (100 %)	Total: 39 억 (115 %)	Total: 46 억 (135 %)	Total: 99 억 (186 %)	Total: 57 억 (168 %)	Total: 104 억 (195 %)
전기시설 유지보수비 (km/년)	Total: 1.56 억 (100 %)	Total: 1.76 억 (100 %)	Total: 1.56 억 (100 %)	Total: 0.36 억 (23 %)	Total: 0.36 억 (20 %)	Total: 0.36 억 (23 %)	Total: 0.36 억 (20 %)
노선 적용 시 전기시설비 (30km 노선기준)	382 억 (100 %)	488 억 (100 %)	532 억 (139 %)	684 억 (179 %)	1,578 억 (323 %)	405 억 (106 %)	655 억 (134 %)
노선 적용 시 운영유지보수비 (30km 노선기준)	46.8 억/년 (100 %) [전력사용비] =2.6187억원	52.8 억/년 (100 %)	46.8 억/년 (100 %)	10.8 억/년 (23 %)	10.8 억/년 (20 %)	10.8 억/년 (23 %) [전력사용비] =2.6187억원	10.8 억/년 (20 %)

❖SMART 철도 적용에 따른 정성적 효과

- ① 전차선 시설 제거를 통한 미관 및 안전성 향상
- ② 차량 경량화 및 터널 단면적 축소에 따른 공사비 20% 저감
- ③ CBTC 적용 등 신호보안설비 간소화에 따른 경제성 향상(전용주파수 확보 및 시설/유지보수 불필요)
- ④ 기존 선로 병행 운전이 가능하여 점진적인 철도시스템 교체 용이

- 리니어 추진시스템의 기술적 특징 비교

		LIM	LSM	SMART
속도		150 km/h 이내	300 km/h 이상	300 km/h 이상
효율		약 70% 이하	약 75% 내외	약 75% 내외
제어성	인버터 위치검지	복잡 불필요	복잡 복잡	간단 간단
열차 위치 신호		비콘/발리스 (복잡)	인크레파/교차유도 (복잡)	제어위치검지 병용 (간단)

라. 유사과제 분석

○ 해당 사항 없음

2.2 국내외 기술개발 현황 및 국내 기술 인프라·기술 인력 현황

가. 국내 주요 기관 현황

기 관 명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비 고
한국철도 기술연구원	각종 리니어모터 설계/제어기술	중저속 차량용 LIM 초고속 차량용 LSM 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(80%)	
한국전기연구원	초전도 마그넷 설계/제작기술	전도냉각방식의 2T급 고 온초전도마그넷 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(90%)	
한국기계연구원	극저온 Cryostat 설계기술	1kW급 마이크로 스테링 냉동기 설계 기술 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(70%)	
(주)CVE	극저온 Cryostat 제작기술	FRP 극저온용기 및 초고 진공기기 제작기술 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(80%)	철도차량용 최적화 기술 필요
(주)저스텍	직접구동식 리니어 모션 시스템 제작기술	4kN급 공심형 리니어모 터 제작 기술 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(70%)	철도차량용 최적화 기술 필요
한국철도 기술연구원	프리캐스트 콘크리트 슬래브케도(토공구간용) 기술	- 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(80%)	
한국철도 기술연구원	포장케도(토공구간용) 건설 기술	- 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(80%)	

나. 국내 기술개발 수준

기술명	현재 기술수준			기술개발 완료시 국내 기술수준		
	기술수준 (%)	기술격차 (년)	비고	기술수준 (%)	기술격차 (년)	비고
공심형 지상고정자 기술	80	2	성숙	90	1	상용화
지상고정자 섹션전환기술	70	3	도입	90	1	상용화
지상 인버터 제어기술	80	2	성숙	90	1	상용화
블록스위칭 제어신호 검지기술	70	3	도입	90	1	상용화
차상 초전도마그넷 기술	80	2	성숙	90	1	상용화
극저온 Cryostat 기술	70	3	성숙	80	2	경쟁
극저온 Current lead 기술	80	2	성숙	90	1	상용화
초전도용 영구전류 스위치 기술	70	3	성숙	80	2	경쟁
차상 전력 집전 기술	70	3	도입	90	1	상용화
프리캐스트 콘크리트 슬래브 궤도 기술	80	8	도입	90	3	경쟁

다. 국외 주요 기관 현황

기관명	보유 기술 또는 특허	기술 수준
일본 히타치, 미쓰비시	LIM을 적용한 도시철도차량용 추진시스템	120kW급, 공극 12mm, On-board방식
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (100%)
캐나다 봄바디어	LIM을 적용한 경전철용 추진시스템	110kW급, 공극 9mm, On-board방식
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (100%)
독일 Thyssen Krupp	LSM을 적용한 상전도흡인식 자기부상/추진시스템 기술	430km/h급 상해 상용화 라인 구축 및 운영 기술
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (100%)
일본 RTRI	LSM을 적용한 초전도반발식 자기부상/추진시스템 기술 및 극저온 냉각기술	580km/h급 차량 시험라인 구축 및 운영 기 술
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (100%)
미국 SuperPower, AMSC(American Superconductor)	500 ~ 1,000m급의 박막선재 생산 기술	인공핀닝센터(Artificial Pinning Center) 형성기술, MOD 공정
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (100%)
일본 Fujikura Ltd.	IBAD-PLD공정으로 고성능의 GdBCO 초전도선재 개발 기술	816m길이 GdBCO선재에서 572A 달성
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (100%)
독일 KIT	CC를 이용한 케이블형 도체 개발 기술	77K 온도에서 5kA용량의 도체 제작
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (90%)
독일 Transrapid	비접촉 집전기술 및 선형발전기술	정지시에서 최고 500km/h 까지 비접촉 집전 기술 달성
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (100%)
일본 RTRI	차상 집중식 및 분산식 비접촉 집전기술	초전도 계자를 이용한 측면 집전 기술
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (100%)
일본 RTRI 독일 Max Boegel	프리캐스트 콘크리트 슬래브 궤도 설계 및 시공 기술	-
		세계최고 대비 상대적 기술수준 (100%)

라. 인적 능력

- SMART 핵심기술 개발을 위하여
- 전기전자분야에서 20년 이상 국가 프로젝트 수행 경험을 가지고 있고, 연구결과를 국제 유명저널에 전력소자(IGBT, MOSFET)의 회로설계 및 응용에 관한 다수의 논문발표를 하였으며, 회로설계 및 구현 경험이 풍부한 전문가 참여 가능
- 전기 및 기계 분야에서 10년 이상 연구 또는 프로젝트 수행 경험을 가지고, 한국형 경량전철시스템 및 도시철도차량용 리니어전철 시스템 기술개발 과제 및 다양한 철도시스템 관련 과제 다수 등의 연구경험이 있는 전문가 참여 가능
- 리니어 추진 및 초전도, 대차 및 차량기술, 집진, 통신, 인프라 및 성능 시험평가 기술 분야에서 5년 이상 연구 또는 프로젝트 수행경험을 가지고 있는 전문가 참여 가능
- 관련 분야를 연구한 산-학-연 전문가 다수 참여 가능

마. 활용 장비

- H/W 활용 방안
 - AC/DC Power Supply : 축소 시제품 전원공급
 - Multi-Meter : 축소 시제품의 간단한 전류/전압 측정 테스트
 - Oscilloscope : 축소 시제품 제작시 측정용
 - MCU Emulator : 축소 시제품 제작 MCU Writing 및 Debugging
 - Power Analyzer : 전력사용량 측정 및 분석
 - PXI Host : Real Target 장비 Control용 PXI 장비
 - DAQ : Test-bed 구성품 Data Logging용
- S/W 활용 방안
 - Maxwell 2D/3D Ver.11 : 리니어펄스 추진시스템의 설계 및 특성 분석
 - Simplorer/Matlab-Simulink : 리니어펄스 추진시스템의 제어 알고리즘 개발 및 특성 분석
 - JAVA Software : AMI Prototype MCU Source Programming
 - LabVIEW : 축소형 시제품 모델의 성능계측용 PXI장비 및 DAQ 구동 및 분석

2.3 기술수요 및 기술예측 조사

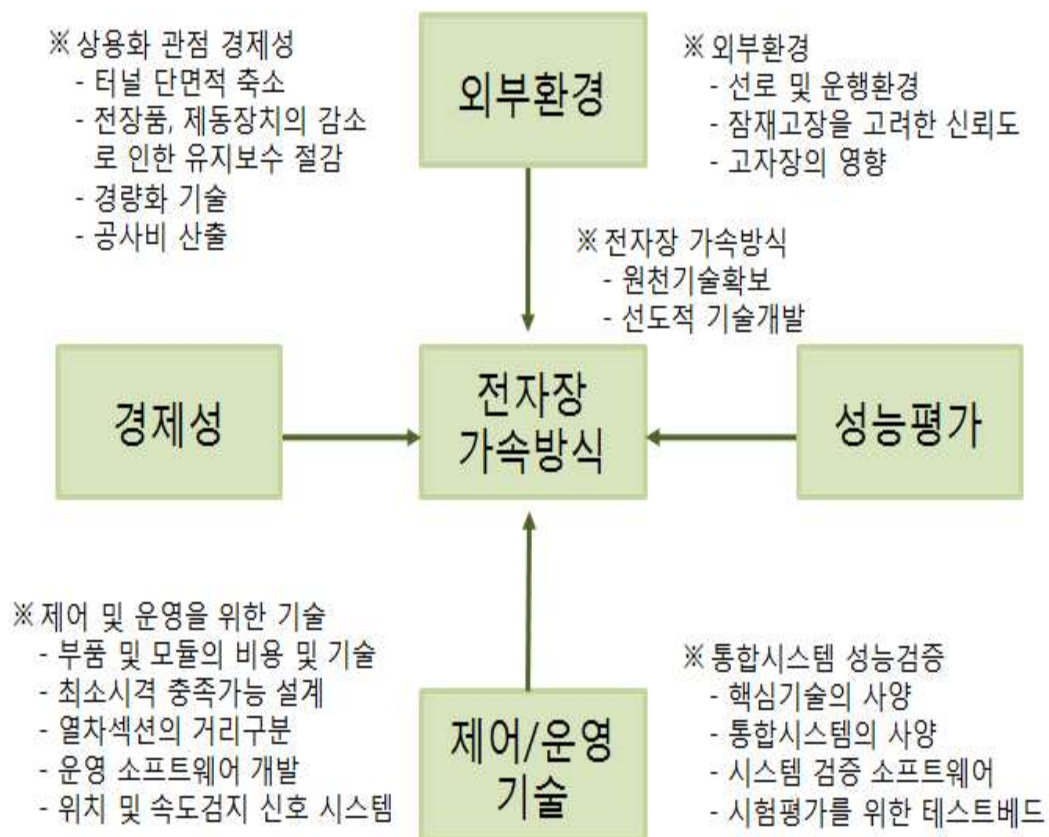
○ 기술수요

- 기존의 접촉식 전력공급장치의 여러 가지 문제점을 해결할 수 있는 기술임
- 전자장 가속방식의 원천기술개발 가능
- 터널 공사비 감소가능

○ 기술예측

- 경제성에 대한 구체적인 산출이 필요
- 외부환경인자(비, 눈)에 대한 영향성 연구필요
- 철도차량을 통합 제어할 수 있는 소프트웨어 연구필요
- 신규 발생하는 모듈&시스템에 대해서 잠재고장에 대한 예측, 사례정리가 필요
- 다양한 비접촉 급전시스템의 장단점 분석필요
- 시스템용 부품 및 모듈에 대한 연구필요
- 구체적인 통합시스템 연구에 대한 내용 필요

2.4 기술개발 추진방향



3) SWOT 분석

(가) 강점(S)

- 주요 장치 및 시스템 기술 보유
- 도시철도 및 고속철도 국내 독자 개발 능력 보유
- 철도 부품 산업 기반 보유

(나) 약점(W)

- 핵심 부품은 선진 기술과의 장벽 존재
- 핵심 기술과 축소시제품개발 경험을 보유하고 있으나, 실차 적용 대용량 개발 경험 미보유
- 용인 경전철 등 유사 전자장 가속 철도의 신뢰성 검증 부족
- 핵심 기술 연구 인프라 부족

(다) 기회(O)

- 저비용 전철 시스템에 대한 지자체 관심 증가
- 환경 및 도심 미관에 대한 중요성 증가
- 철도 산업의 정부 투자 확대

(라) 위협(T)

- 연구개발에 상당기간 재원 투입 필요
- 신개념 저비용 경전철 시스템의 출현
- 기존 경전철의 건설비 경쟁력 확보

(마) SO 전략

- 양질의 Know-how와 연구원 자체 개발기술을 이용한 개발품의 실차 적용을 통한 실용화 추진
- 산업체의 적극적인 참여 유도
- SMART 적용 전기철도의 세계시장 진출
- 시험선을 이용한 개발기술의 안정성 향상과 특허기술 창출

(바) WO 전략

- 실차 적용을 통한 국외 기술 의존도 및 기술격차 최소화와 국내 기술개발에 대한 신뢰성 획득
- 관련 기술의 전문가 양성을 통한 세계시장 및 국내 대형 프로젝트 수주

(사) ST 전략

- 해외 시장 진출시 핵심 기술 이전 문제 극복
- 국내 전문 연구인력의 적극적인 참여 유도
- 철도전문연구기관으로서의 산, 학, 연 협력연구 강화

(아) WT 전략

- 선진 해외 연구기관 및 전문가의 자문을 통하여 핵심 기술 이전 및 국내 전문가 양성
- 해외 전문가를 포함한 국제 세미나 등을 통하여 관련 기술의 철도 적용에 대한 인식 고양
- 지속적인 정부의 관심 및 투자 유도
- 독창적 아이디어 도출 및 다양한 기술 개발을 통한 국내외 기술 시장 개발

SWOT-SO/ST/WO/ST 전략도출

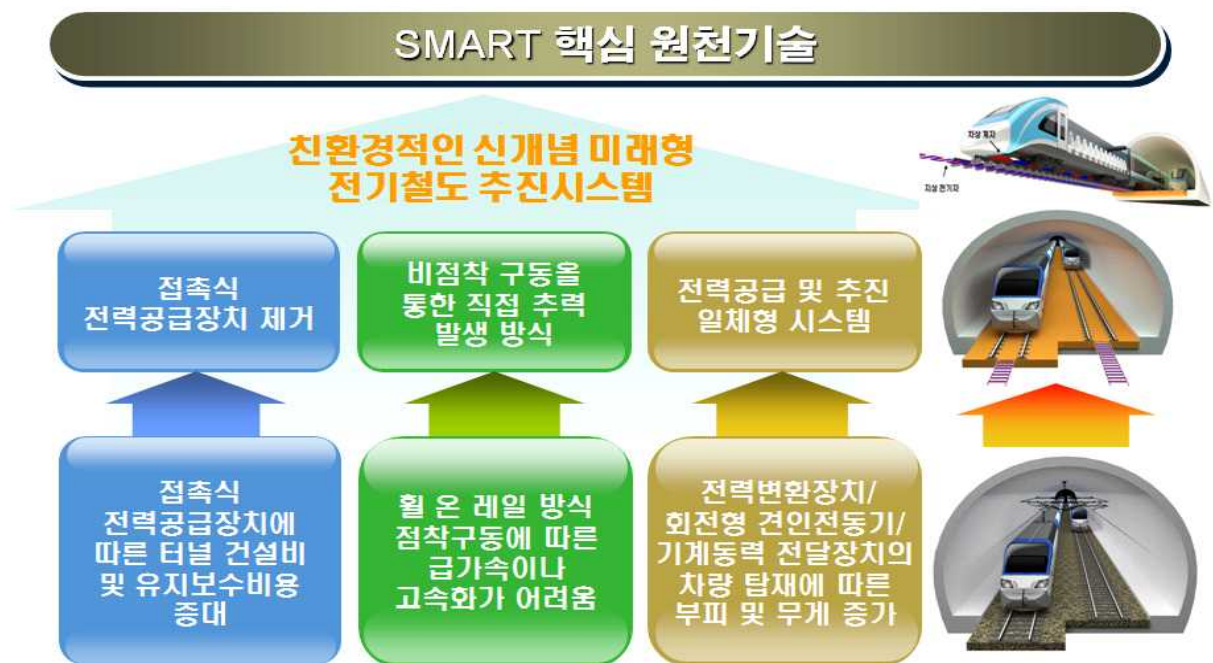
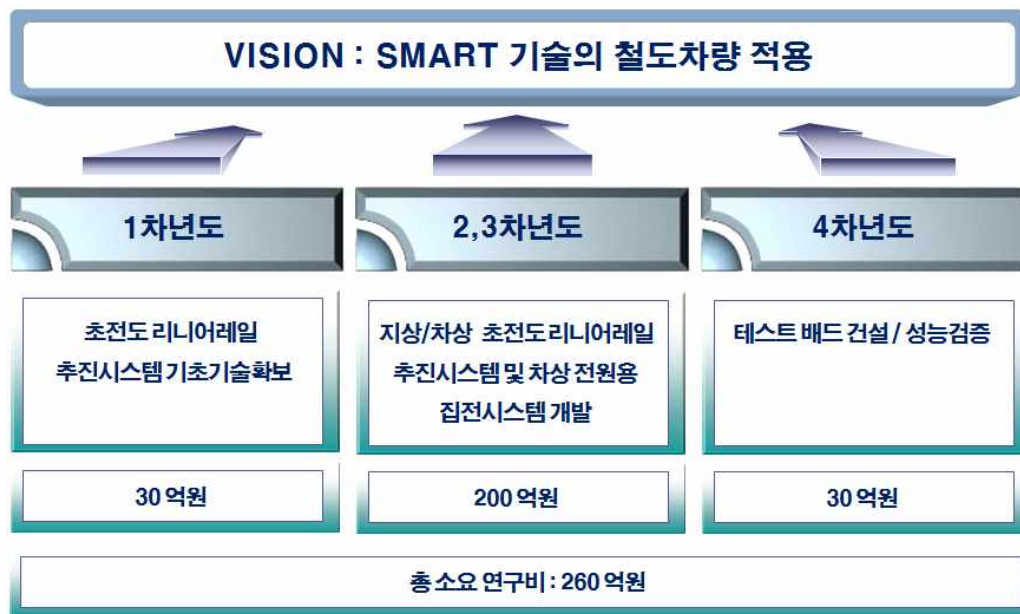
	강점(S)	약점(W)
	○ 주요 장치 및 시스템 기술 보유 ○ 도시철도 및 고속철도 국내 독자 개발 능력 보유 ○ 철도 부품 산업 기반 보유	○ 핵심 부품은 선진 기술과의 장벽 존재 ○ 핵심 기술과 축소시제품개발 경험을 보유하고 있으나, 실차 적용 대응량 개발 경험 미보유 ○ 용인 경전철 등 유사 전차장 가속 철도의 신뢰성 검증 부족 ○ 핵심 기술 연구 인프라 부족
기회(O)	SO 전략(시너지 창출전략)	WO전략(보완전략)
○ 저비용 전철 시스템에 대한 지자체 관심 증가 ○ 환경 및 도심 미관에 대한 중요성 증가 ○ 철도 산업의 정부 투자 확대	○ 양질의 Know-how와 연구원 자체 개발기술을 이용한 개발품의 실차 적용을 통한 실용화 추진 ○ 산업체의 적극적인 참여 유도 ○ SMART 적용 전기철도의 세계시장 진출 ○ 시험선을 이용한 개발기술의 안정성 향상과 특허기술 창출	○ 실차 적용을 통한 국외 기술 의존도 및 기술격차 최소화과 국내 기술개발에 대한 신뢰성 획득 ○ 관련 기술의 전문가 양성을 통한 세계시장 및 국내 대형 프로젝트 수주
위협(T)	ST전략(위험 최소화 전략)	WT전략(위험 극복 전략)
○ 연구개발에 상당기간 재원 투입 필요 ○ 신개념 저비용 경전철 시스템의 출현 ○ 기존 경전철의 건설비 경쟁력 확보	○ 해외 시장 진출시 핵심 기술 이전 문제 극복 ○ 국내 전문 연구인력의 적극적인 참여 유도 ○ 철도전문연구기관으로서의 산, 학, 연 협력연구 강화	○ 선진 해외 연구기관 및 전문가의 자문을 통하여 핵심 기술 이전 및 국내 전문가 양성 ○ 해외 전문가를 포함한 국제 세미나 등을 통하여 관련 기술의 철도 적용에 대한 인식 고양 ○ 지속적인 정부의 관심 및 투자 유도 ○ 독창적 아이디어 도출 및 다양한 기술 개발을 통한 국내외 기술 시장 개발

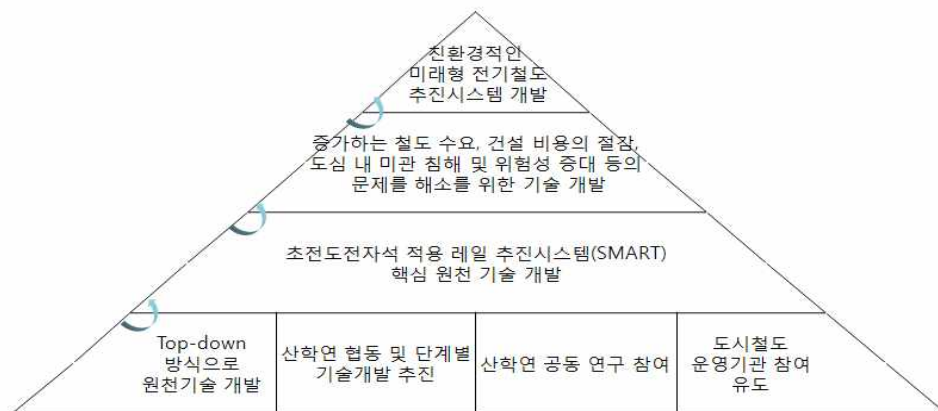
3. 기술개발 전략 수립

3.1 비전 및 기술발전 시나리오

가. 비전 및 목표

- 무가선, 비점착, 순시제동, 자동위치검지, 차상급전 등의 기능을 갖춘 신개념 미래 철도 차량 추진시스템의 핵심 원천기술을 확보하고, 테스트베드를 통해 실증하는 기술 개발



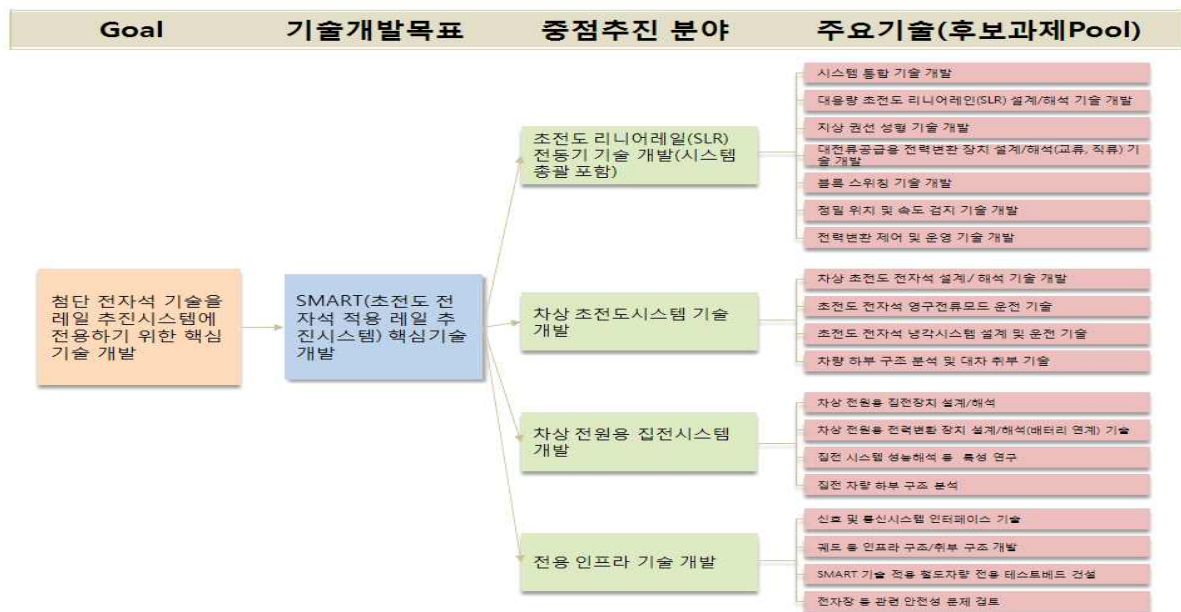


나. As-is, To-be

	As-is	To-be
개념		
		
전차선	有	無
차상 전장품	팬터그래프/변압기/인버터/모터	초전도 전자석/냉각장치
동력전달장치	有	無
구동방식	점착 구동	비점착 구동
가감속력	보통	우수
등판능력	30~40 %	80~100 %
초고속능력	~ 500km/h	500km/h 이상

신호시스템	복잡	간단
터널단면적	大	中
가용률	높음	매우 높음
지상 권선	無	有

3.2 후보과제 도출



연번	후보과제명	후보과제 정의
1	시스템 통합 기술 개발	전자장 가속 추진 시스템 기술 분석 및 정의한 종괄운영관리 체계 구축
2	대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술 개발	초전도 리니어레일(SLR) 자료 조사, 분석, 해석을 이용한 설계 및 추력 리플 저감 기술의 개발
3	지상 권선 성형 기술 개발	권선의 특성과 보상 기술 개발 및 전기자 권선 직각 성형 기술 개발
4	대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술 개발	대전류용 스위치 조사와 구동 전류 및 전압에 대한 전력변환 장치 특성 분석/해석을 통한 대전류공급용 인버터 설계
5	블록 스위칭 기술 개발	대전류 스위치기어 조사 및 특성 분석과 구동 블록의 길이 산정을 통한 차량 위치에 따른 섹션 전환 기술 개발
6	정밀 위치 및 속도 검지 기술 개발	다양한 위치 기술을 검토 및 개발하여 다양한 상황에서도 절대적/상대적인 차량 위치 검지 기술 개발
7	전력변환 제어 및 운영	고장시 대처 및 유지보수 방안 설립을 위한

	기술 개발	전력변환장치의 속도 및 대전류 제어기술과 피크 유기전압 저감 기술 개발
8	차상 초전도 전자석 설계/해석 기술 개발	코일 설계 및 권선 기술 개발 및 선재 안정화 접합 기술 개발과 탈부착형 전류 리드 해석 및 설계와 초전도 자석 평가 기술
9	초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술	영구전류운전용 초전도 스위치 기술과 자기장 감쇄 저감 기술
10	초전도 전자석 냉각시스템 설계 및 운전 기술	고효율 냉각 시스템 개발을 위한 구조, 장치 등의 설계 및 해석
11	차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	계자용 또는 동력전달 위한 초전도 전자석 취부를 위한 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술
12	차상 전원용 집전장치 설계/해석	차상 전원용 집전장치 자료 조사, 분석 및 설계
13	차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석(배터리 연계) 기술	차상 전원용 컨버터 설계 및 해석과 EMS(Energy Management System) 기술 개발
14	집전 시스템 성능해석 등 특성 연구	집전 장치와 차상 전력변환장치의 연계 및 속도대별 집전장치의 성능을 분석
15	집전 차량 하부 구조 분석	분산식, 집중식 집전시스템 별 차량 하부 취부를 위한 구조 분석 및 기술 개발
16	신호 및 통신시스템 이네피이스 기술	전기자 권선을 이용한 차량 정보의 신호 및 통신시스템 기술을 개발 및 안정성 확보를 위한 기술 개발
17	궤도 등 인프라 구조 / 취부 구조 개발	전기자 권선 설치를 위한 궤도 구조 분석, 권선의 인입 특성 분석 및 기술 개발
18	SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스트베드 건설	전용 테스트베드 제작, 운용 기술 개발, 인터페이스 기술 개발 및 검토, 성능 평가 기법 개발
19	전자장 등 관련 안전성 문제 검토	전용 테스트베드에서 안전성 검토 및 운용 기술 개발

3.3 후보과제 우선순위 선정

■ 전문가 자문에 의한 순위 선정

- 총 산학연 전문가 5인으로부터 우선순위 선정 자문 요청

■ 후보과제별 우선순위

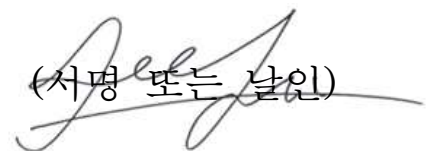
순번	후보과제명	후보과제 정의	우선 순위
1	시스템 통합 기술 개발	전자장 가속 추진 시스템 기술 분석 및 정의한 총괄운영관리 체계 구축	4
2	대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술 개발	초전도 리니어레일(SLR) 자료 조사, 분석, 해석을 이용한 설계 및 추력 리플 저감 기술의 개발	1
3	지상 권선 성형 기술 개발	권선의 특성과 보상 기술 개발 및 전기자 권선 직각 성형 기술 개발	2
4	대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술 개발	대전류용 스위치 조사와 구동 전류 및 전압에 대한 전력변환 장치 특성 분석/해석을 통한 대전류공급용 인버터 설계	3
5	블록 스위칭 기술 개발	대전류 스위치기어 조사 및 특성 분석과 구동 블록의 길이 산정을 통한 차량 위치에 따른 섹션 전환 기술 개발	5
6	정밀 위치 및 속도 검지 기술 개발	다양한 위치 기술을 검토 및 개발하여 다양한 상황에서도 절대적/상대적인 차량 위치 검지 기술 개발	6
7	전력변환 제어 및 운영 기술 개발	고장시 대처 및 유지보수 방안 설립을 위한 전력변환장치의 속도 및 대전류 제어기술과 피크 유기전압 저감 기술 개발	7
8	차상 초전도 전자석 설계/해석 기술 개발	코일 설계 및 권선 기술 개발 및 선재 안정화 접합 기술 개발과 탈부착형 전류 리드 해석 및 설계와 초전도 자석 평가 기술	16
9	초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술	영구전류운전용 초전도 스위치 기술과 자기장 감쇄 저감 기술	18
10	초전도 전자석 냉각 시스템 설계 및 운전 기술	고효율 냉각 시스템 개발을 위한 구조, 장치 등의 설계 및 해석	17
11	차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	계자용 또는 동력전달 위한 초전도 전자석 취부를 위한 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	19
12	차상 전원용 집전장치 설계/해석	차상 전원용 집전장치 자료 조사, 분석 및 설계	8

13	차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석 (배터리 연계) 기술	차상 전원용 컨버터 설계 및 해석과 EMS(Energy Management System) 기술 개발	10
14	집전 시스템 성능해석 등 특성 연구	집전 장치와 차상 전력변환장치의 연계 및 속도대별 집전장치의 성능을 분석	9
15	집전 차량 하부 구조 분석	분산식, 집중식 집전시스템 별 차량 하부 취부를 위한 구조 분석 및 기술 개발	11
16	신호 및 통신시스템 이넨페이스 기술	전기자 권선을 이용한 차량 정보의 신호 및 통신시스템 기술을 개발 및 안정성 확보를 위한 기술 개발	12
17	궤도 등 인프라 구조 / 취부 구조 개발	전기자 권선 설치를 위한 궤도 구조 분석, 권선의 인입 특성 분석 및 기술 개발	14
18	SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스트베드 건설	전용 테스트베드 제작, 운용 기술 개발, 인터페이스 기술 개발 및 검토, 성능 평가 기법 개발	13
19	전자장 등 관련 안전성 문제 검토	전용 테스트베드에서 안전성 검토 및 운용 기술 개발	15

“전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템 핵심기술 개발” 기획과제와 관련한 핵심후보기술의 우선순위를 위와 같이 도출 합니다.

2012년 9월 19일

위원명 : 이주 (서명 또는 날인)



■ 후보과제별 우선순위

순번	후보과제명	후보과제 정의	우선 순위
1	시스템 통합 기술 개발	전자장 가속 추진 시스템 기술 분석 및 정의한 총괄운영관리 체계 구축	5
2	대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술 개발	초전도 리니어레일(SLR) 자료 조사, 분석, 해석을 이용한 설계 및 추력 리플 저감 기술의 개발	4
3	지상 권선 성형 기술 개발	권선의 특성과 보상 기술 개발 및 전기자 권선 직각 성형 기술 개발	6
4	대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술 개발	대전류용 스위치 조사와 구동 전류 및 전압에 대한 전력변환 장치 특성 분석/해석을 통한 대전류공급용 인버터 설계	1
5	블록 스위칭 기술 개발	대전류 스위치기어 조사 및 특성 분석과 구동 블록의 길이 산정을 통한 차량 위치에 따른 섹션 전환 기술 개발	7
6	정밀 위치 및 속도 검지 기술 개발	다양한 위치 기술을 검토 및 개발하여 다양한 상황에서도 절대적/상대적인 차량 위치 검지 기술 개발	3
7	전력변환 제어 및 운영 기술 개발	고장시 대처 및 유지보수 방안 설립을 위한 전력변환장치의 속도 및 대전류 제어기술과 피크 유기전압 저감 기술 개발	2
8	차상 초전도 전자석 설계/해석 기술 개발	코일 설계 및 권선 기술 개발 및 선재 안정화 접합 기술 개발과 탈부착형 전류 리드 해석 및 설계와 초전도 자석 평가 기술	18
9	초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술	영구전류운전용 초전도 스위치 기술과 자기장 감쇄 저감 기술	17
10	초전도 전자석 냉각 시스템 설계 및 운전 기술	고효율 냉각 시스템 개발을 위한 구조, 장치 등의 설계 및 해석	16
11	차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	계자용 또는 동력전달 위한 초전도 전자석 취부를 위한 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	19
12	차상 전원용 집전장치 설계/해석	차상 전원용 집전장치 자료 조사, 분석 및 설계	9
13	차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석(배터리 연계) 기술	차상 전원용 컨버터 설계 및 해석과 EMS(Energy Management System) 기술 개발	8
14	집전 시스템 성능해석 등 특성 연구	집전 장치와 차상 전력변환장치의 연계 및 속도대별 집전장치의 성능을 분석	10

15	집전 차량 하부 구조 분석	분산식, 집중식 집전시스템 별 차량 하부 취부를 위한 구조 분석 및 기술 개발	11
16	신호 및 통신시스템 인터페이스 기술	전기차 권선을 이용한 차량 정보의 신호 및 통신시스템 기술을 개발 및 안정성 확보를 위한 기술 개발	12
17	궤도 등 인프라 구조 개발 / 취부 구조	전기차 권선 설치를 위한 궤도 구조 분석, 권선의 인입 특성 분석 및 기술 개발	13
18	SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스트베드 건설	전용 테스트베드 제작, 운용 기술 개발, 인터페이스 기술 개발 및 검토, 성능 평가 기법 개발	14
19	전자장 등 관련 안전성 문제 검토	전용 테스트베드에서 안전성 검토 및 운용 기술 개발	15

“전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템 핵심기술 개발” 기획과제와 관련한 핵심후보기술의 우선순위를 위와 같이 도출 합니다.

2012년 9월 19일

위원장 : 정재성 (서명 또는 날인)

■ 후보과제별 우선순위

순번	후보과제명	후보과제 정의	우선 순위
1	시스템 통합 기술 개발	전자장 가속 추진 시스템 기술 분석 및 정의한 총괄운영관리 체계 구축	4
2	대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술 개발	초전도 리니어레일(SLR) 자료 조사, 분석, 해석을 이용한 설계 및 추력 리플 저감 기술의 개발	1
3	지상 권선 성형 기술 개발	권선의 특성과 보상 기술 개발 및 전기자 권선 직각 성형 기술 개발	7
4	대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술 개발	대전류용 스위치 조사와 구동 전류 및 전압에 대한 전력변환 장치 특성 분석/해석을 통한 대전류공급용 인버터 설계	5
5	블록 스위칭 기술 개발	대전류 스위치기어 조사 및 특성 분석과 구동 블록의 길이 산정을 통한 차량 위치에 따른 섹션 전환 기술 개발	6
6	정밀 위치 및 속도 검지 기술 개발	다양한 위치 기술을 검토 및 개발하여 다양한 상황에서도 절대적/상대적인 차량 위치 검지 기술 개발	10
7	전력변환 제어 및 운영 기술 개발	고장시 대처 및 유지보수 방안 설립을 위한 전력변환장치의 속도 및 대전류 제어기술과 피크 유기전압 저감 기술 개발	11
8	차상 초전도 전자석 설계/해석 기술 개발	코일 설계 및 권선 기술 개발 및 선재 안정화 접합 기술 개발과 탈부착형 전류 리드 해석 및 설계와 초전도 자석 평가 기술	2
9	초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술	영구전류운전용 초전도 스위치 기술과 자기장 감쇄 저감 기술	12
10	초전도 전자석 냉각 시스템 설계 및 운전 기술	고효율 냉각 시스템 개발을 위한 구조, 장치 등의 설계 및 해석	8
11	차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	계자용 또는 동력전달 위한 초전도 전자석 취부를 위한 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	13
12	차상 전원용 집전장치 설계/해석	차상 전원용 집전장치 자료 조사, 분석 및 설계	3
13	차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석(배터리 연계) 기술	차상 전원용 컨버터 설계 및 해석과 EMS(Energy Management System) 기술 개발	9
14	집전 시스템 성능해석 등 특성 연구	집전 장치와 차상 전력변환장치의 연계 및 속도대별 집전장치의 성능을 분석	14

15	집전 차량 하부 구조 분석	분산식, 집중식 집전시스템 별 차량 하부 취부를 위한 구조 분석 및 기술 개발	15
16	신호 및 통신시스템 인터페이스 기술	전기차 권선을 이용한 차량 정보의 신호 및 통신시스템 기술을 개발 및 안정성 확보를 위한 기술 개발	17
17	궤도 등 인프라 구조 개발 / 취부 구조	전기차 권선 설치를 위한 궤도 구조 분석, 권선의 인입 특성 분석 및 기술 개발	16
18	SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스트베드 건설	전용 테스트베드 제작, 운용 기술 개발, 인터페이스 기술 개발 및 검토, 성능 평가 기법 개발	19
19	전자장 등 관련 안전성 문제 검토	전용 테스트베드에서 안전성 검토 및 운용 기술 개발	18

“전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템 핵심기술 개발” 기획과제와 관련한 핵심후보기술의 우선순위를 위와 같이 도출 합니다.

2012년 9월 18일

위원명 : 박 영대



■ 후보과제별 우선순위

순번	후보과제명	후보과제 정의	우선 순위
1	시스템 통합 기술 개발	전자장 가속 추진 시스템 기술 분석 및 정의한 총괄운영관리 체계 구축	/
2	대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술 개발	초전도 리니어레일(SLR) 자료 조사, 분석, 해석을 이용한 설계 및 추력 리플 저감 기술의 개발	2
3	지상 권선 성형 기술 개발	권선의 특성과 보상 기술 개발 및 전기자 권선 직각 성형 기술 개발	3
4	대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술 개발	대전류용 스위치 조사와 구동 전류 및 전압에 대한 전력변환 장치 특성 분석/해석을 통한 대전류공급용 인버터 설계	4
5	블록 스위칭 기술 개발	대전류 스위치기어 조사 및 특성 분석과 구동 블록의 길이 산정을 통한 차량 위치에 따른 섹션 전환 기술 개발	5
6	정밀 위치 및 속도 검지 기술 개발	다양한 위치 기술을 검토 및 개발하여 다양한 상황에서도 절대적/상대적인 차량 위치 검지 기술 개발	6
7	전력변환 제어 및 운영 기술 개발	고장시 대처 및 유지보수 방안 설립을 위한 전력변환장치의 속도 및 대전류 제어기술과 피크 유기전압 저감 기술 개발	7
8	차상 초전도 전자석 설계/해석 기술 개발	코일 설계 및 권선 기술 개발 및 선제 안정화 접합 기술 개발과 탈부착형 전류 리드 해석 및 설계와 초전도 자석 평가 기술	16
9	초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술	영구전류운전용 초전도 스위치 기술과 자기장 감쇄 저감 기술	17
10	초전도 전자석 냉각 시스템 설계 및 운전 기술	고효율 냉각 시스템 개발을 위한 구조, 장치 등의 설계 및 해석	18
11	차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	계자용 또는 동력전달 위한 초전도 전자석 취부를 위한 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	19
12	차상 전원용 집전장치 설계/해석	차상 전원용 집전장치 자료 조사, 분석 및 설계	8
13	차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석(배터리 연계) 기술	차상 전원용 컨버터 설계 및 해석과 EMS(Energy Management System) 기술 개발	9

14	집전 시스템 성능해 석 등 특성 연구	집전 장치와 차상 전력변환장치의 연계 및 속도대별 집전장치의 성능을 분석	10
15	집전 차량 하부 구 조 분석	분산식, 집중식 집전시스템 별 차량 하부 취부를 위한 구조 분석 및 기술 개발	11
16	신호 및 통신시스템 이넨페이스 기술	전기차 권선을 이용한 차량 정보의 신호 및 통신시스템 기술을 개발 및 안정성 확보를 위한 기술 개발	12
17	궤도 등 인프라 구 조 / 취부 구조 개 발	전기차 권선 설치를 위한 궤도 구조 분석, 권선의 인입 특성 분석 및 기술 개발	13
18	SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스 트베드 건설	전용 테스트베드 제작, 운용 기술 개발, 인 터페이스 기술 개발 및 검토, 성능 평가 기 법 개발	14
19	전자장 등 관련 안 전성 문제 검토	전용 테스트베드에서 안전성 검토 및 운용 기술 개발	15

“전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템 핵심기술 개발” 기획과
제와 관련한 핵심후보기술의 우선순위를 위와 같이 도출 합니다.

세 부과제가 너무세분 되어 2~3개 과제는 동량 검토바람이다,

2012년 9월 20일

위원명 : 박 만 수 (재명 또는 날인)

후보과제별 우선순위

순번	후보과제명	후보과제 정의	우선 순위
1	시스템 통합 기술 개발	전자장 가속 추진 시스템 기술 분석 및 정의한 총괄운영관리 체계 구축	6
2	대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술 개발	초전도 리니어레일(SLR) 자료 조사, 분석, 해석을 이용한 설계 및 추력 리플 저감 기술의 개발	1
3	지상 권선 성형 기술 개발	권선의 특성과 보상 기술 개발 및 전기자 권선 직각 성형 기술 개발	4
4	대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술 개발	대 전력용 스위치 조사와 구동 전류 및 전압에 대한 전력변환 장치 특성 분석/해석을 통한 대전류공급용 인버터 설계	2
5	블록 스위칭 기술 개발	대전류 스위치기어 조사 및 특성 분석과 구동 블록의 길이 산정을 통한 차량 위치에 따른 섹션 전환 기술 개발	5
6	정밀 위치 및 속도 검지 기술 개발	다양한 위치 기술을 검토 및 개발하여 다양한 상황에서도 절대적/상대적인 차량 위치 검지 기술 개발	3
7	전력변환 제어 및 운영 기술 개발	고장시 대처 및 유지보수 방안 설립을 위한 전력변환장치의 속도 및 대전류 제어기술과 피크 유기전압 저감 기술 개발	7
8	차상 초전도 전자석 설계/해석 기술 개발	코일 설계 및 권선 기술 개발 및 선재 안정화 접합 기술 개발과 탈부착형 전류 리드 해석 및 설계와 초전도 자석 평가 기술	8
9	초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술	영구전류운전용 초전도 스위치 기술과 자기장 감쇄 저감 기술	9
10	초전도 전자석 냉각 시스템 설계 및 운전 기술	고효율 냉각 시스템 개발을 위한 구조, 장치 등의 설계 및 해석	10
11	차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	계자용 또는 동력전달 위한 초전도 전자석 취부를 위한 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	11
12	차상 전원용 집전장치 설계/해석	차상 전원용 집전장치 자료 조사, 분석 및 설계	13
13	차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석(배터리 연계) 기술	차상 전원용 컨버터 설계 및 해석과 EMS(Energy Management System) 기술 개발	12

14	집전 시스템 성능해 석 등 특성 연구	집전 장치와 차상 전력변환장치의 연계 및 속도대별 집전장치의 성능을 분석	14
15	집전 차량 하부 구 조 분석	분산식, 집중식 집전시스템 별 차량 하부 취부를 위한 구조 분석 및 기술 개발	15
16	신호 및 통신시스템 인터페이스 기술	전기차 권선을 이용한 차량 정보의 신호 및 통신시스템 기술을 개발 및 안정성 확보를 위한 기술 개발	17
17	궤도 등 인프라 구 조 / 취부 구조 개 발	전기차 권선 설치를 위한 궤도 구조 분석, 권선의 인입 특성 분석 및 기술 개발	16
18	SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스 트베드 건설	전용 테스트베드 제작, 운용 기술 개발, 인 터페이스 기술 개발 및 검토, 성능 평가 기 법 개발	19
19	전자장 등 관련 안 전성 문제 검토	전용 테스트베드에서 안전성 검토 및 운용 기술 개발	18

“전자장 가속방식 활용 철도차량 추진시스템 핵심기술 개발” 기획과
제와 관련한 핵심후보기술의 우선순위를 위와 같이 도출 합니다.

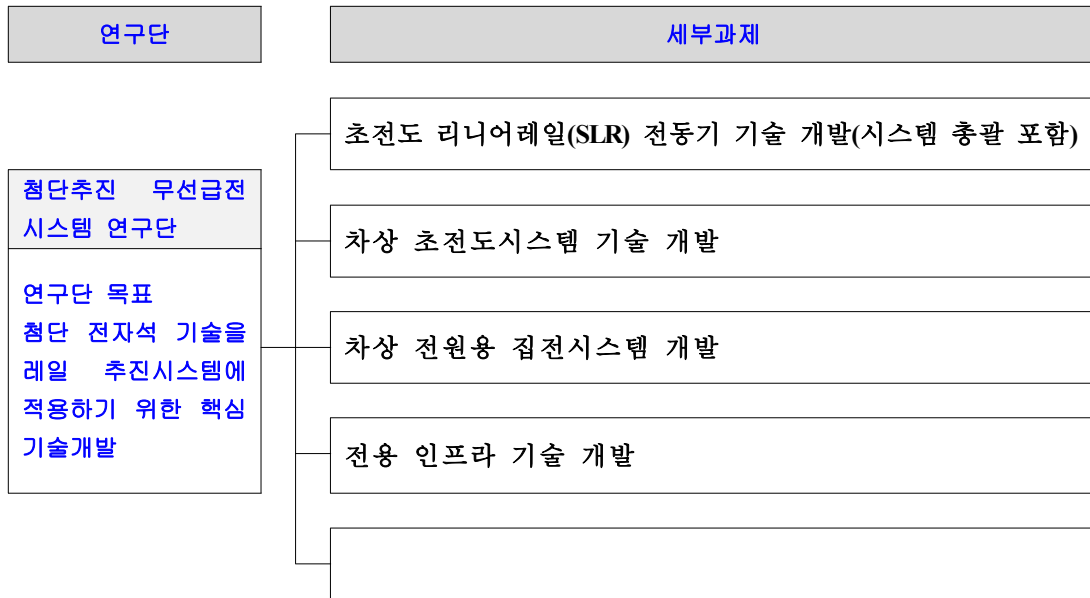
2012년 09월 19일

위원명 : 노 태 문 (서명 또는 날인)

■ 우선순위 선정 결과

순 번	후보과제 명	후보 과제 순위					평균 순위	순위
		노태문	정재성	이주	박만수	박영대		
1	시스템 통합 기술 개발	6	5	4	1	4	4	3
2	대용량 초전도 리니어레일(SLR)설계/해석기술 개발	1	4	1	2	1	1.8	1
3	지상 권선 성형 기술 개발	4	6	2	3	7	4.4	4
4	대전류 공급용 전력변환장치 설계/해석(교류,직류)기술 개발	2	1	3	4	5	3	2
5	블록 스위칭 기술 개발	5	7	5	5	6	5.6	5
6	정밀 위치 및 속도 검지 기술 개발	3	3	6	6	10	5.6	5
7	전력 변환 제어 및 운영 기술 개발	7	2	7	7	11	6.8	7
8	차상초전도전자석설계/해석기술 개발	8	18	16	16	2	12	11
9	초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술	9	17	18	17	12	14.6	16
10	초전도 전자석 시스템 설계 및 운전 기술	10	16	17	18	8	13.8	13
11	차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술	11	19	19	19	13	16.2	18
12	차상전원용집전장치설계/해석	13	9	8	8	3	8.2	8
13	차상 전원용 전력 변환 장치 설계/해석(배터리연계)기술	12	8	10	9	9	9.6	9
14	집전 시스템 성능해석 등 특성 연구	14	10	9	10	14	11.4	10
15	집전 차량 하부 구조 분석	15	11	11	11	15	12.6	12
16	신호 및 통신 시스템 인터페이스 기술	17	12	12	12	17	14	14
17	궤도 등 인프라구조/취부구조개발	16	13	14	13	16	14.4	15
18	SMART 기술적용 철도차량 전용테스트베드건설	19	14	13	14	19	15.8	17
19	전자장 등 관련 안전성 문제 검토	18	15	15	15	18	16.2	18

3.4 과제 연구수행 체계



3.5 연구개발과제 및 로드맵

(가) 전체 과제의 기술로드맵



(나) 1세부 : 초전도 리니어레일(SLR) 전동기 기술 개발 로드맵



(다) 2세부 : 차상 초전도시스템 기술 개발 로드맵



(라) 3세부 : 차상 전원용 집전시스템 기술 개발 로드맵



(마) 4세부 : 전용 인프라 기술 개발 로드맵



4. 연구 목표 및 범위

4.1 목표, 연구범위

가. 목표

- 무가선, 비점착, 순시제동, 자동위치검지, 차상급전 등의 기능을 갖춘 신개념 미래 철도차량 추진시스템의 핵심 원천기술을 확보
 - 가속도 : 2.0 m/s^2 이상
 - 최고속도 : 100 km/h
 - 등판능력 : 80 %
 - SLR 정격 용량 : 300 kW
- 기술검증 및 성능평가를 위한 1km 내외 테스트 베드 구축

나. 연구범위

(가) 초전도 리니어레일(SLR) 전동기 기술 개발

- 대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술
- 지상 권선 성형 기술
- 대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술
- 블록 스위칭 기술
- 정밀 위치 및 속도 검지 기술
- 초전도 리니어레일(SLR) 제어 기술
- 전력변환 제어 및 운영 기술

(나) 차상 초전도시스템 기술 개발

- 차상 초전도 전자석 설계/해석 기술
- 초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술
- 초전도 전자석 냉각시스템 설계 및 운전 기술
- 차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술

(다) 차상 전원용 집전시스템 개발

- 차상 전원용 집전장치 설계/해석
- 차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석(배터리 연계) 기술

- 집전 시스템 성능해석 등 특성 연구
- 집전 차량 하부 구조 분석

(라) 전용 인프라 기술 개발

- 신호 및 통신시스템 인터페이스 기술
- 궤도 등 인프라 구조 / 취부 구조 개발
- SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스트베드 건설
- 전자장 등 관련 안전성 문제 검토

4.2 세부과제별 연구내용

가. 연구내용

(가) 초전도 리니어레일(SLR) 전동기 기술 개발

- 대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술
 - 초전도 리니어레일(SLR) 자료 조사 및 분석
 - 목표사양을 달성하는 초전도 리니어레일(SLR) 설계
 - 차량 총 중량 : 5[ton] 이내
 - 가속도 : 2.0 m/s^2 이상
 - 최고속도 : 100 km/h
 - 등판능력 : 80 %
 - SLR 정격 용량 : 300 kW
 - 초전도 리니어레일(SLR) 등가회로 분석
 - 초전도 리니어레일(SLR) 전자장 해석
 - 추력 리플 저감 기술 개발
- 지상 권선 성형 기술
 - 초전도 리니어레일(SLR)의 전기자 권선 직각 성형 기술 개발
 - 권선 재료에 따른 특성 분석
 - 지상 권선의 대전류/저전압 특성 및 전압강하 보상 기술 개발
- 대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술
 - 초전도 리니어레일(SLR) 구동을 위한 대전류공급용 인버터 설계
 - 대전류 펄스공급을 위한 가용 스위치 조사 및 전기적 특성 분석

- 구동 전류 및 전압에 대한 전력변환장치 특성 해석
- 블록 스위칭 기술
 - 구동 블록의 길이 산정
 - 대전류 스위치기어 조사 및 특성 분석
 - 차량 위치에 따른 섹션 전환 기술 개발
- 정밀 위치 및 속도 검지 기술
 - 차량 절대위치 검지 기술 개발
 - 차량 상대위치 검지 기술 개발
 - INKREFA, Slot counter, 광센서, 도플러센서 등 다양한 위치 검지 기술 검토 및 적용 기술 개발
 - 다양한 약조건에서의 차량 위치검지 구현 방안 수립 (2중 구조)
- 초전도 리니어레일(SLR) 제어 기술
 - 속도 및 대전류 제어기술 개발
 - 펄스에 의한 피크 유기전압 저감 기술 개발
- 전력변환 제어 및 운영 기술
 - 대전류 전력변환장치의 운전 및 제어 기법 개발
 - 지상 전력시스템 및 지상 코일, 차상 집전시스템 등 주요장치의 고장 시 대처 방안 및 유지보수 방안 수립 (2상 권선법, 독립전원)

(나) 차상 초전도시스템 기술 개발

- 차상 초전도 전자석 설계/해석 기술
 - 초전도 코일 설계 기술
 - 초전도체의 자기장 특성을 고려한 코일 최적화 설계 연구
 - 차량 탑재 환경 고려 내진동/Compact 설계
 - 초전도 전자석 제작 기술
 - Race track형 코일 권선 기술 개발
 - 초전도 선재 안정화 접합 기술 개발
 - 전류 리드 기술
 - 전류 리드 열절연 해석 및 형상 설계
 - 탈 부착형 구조
 - 초전도 자석 평가 기술

- 초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술
 - 영구전류운전용 초전도 스위치 기술
 - 영구전류 모드 중 자기장 감쇄 저감 기술
- 초전도 전자석 냉각시스템 설계 및 운전 기술
 - 냉각 방식별 성능 특성 연구
 - 고효율 냉각 시스템 개발
 - 저손실 Cryostat 설계 및 해석
 - 열 절연 구조 설계 및 해석
- 차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술
 - 계자용 초전도 전자석 취부를 위한 하부 구조 분석
 - 동력전달을 위한 초전도 전자석의 대차 취부 기술

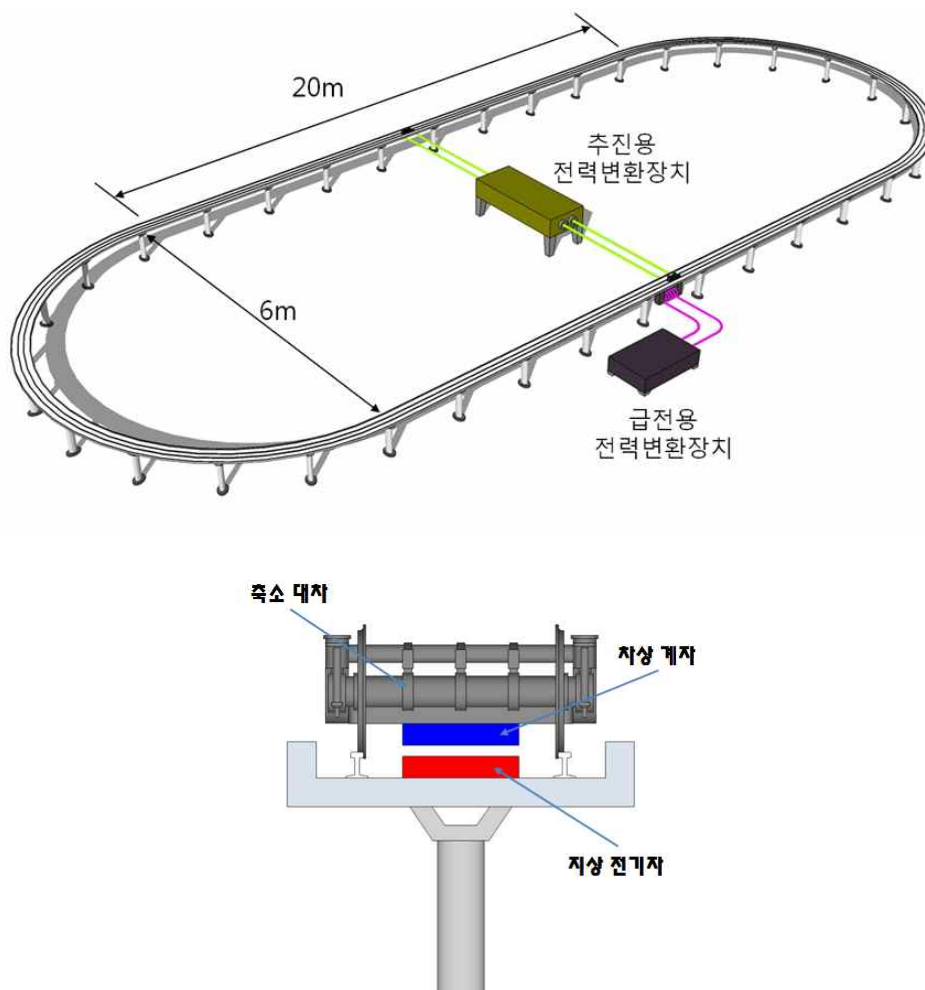
(다) 차상 전원용 집전시스템 개발

- 차상 전원용 집전장치 설계/해석
 - 차상 전원용 집전장치 자료 조사 및 분석
 - 집전장치 설계
 - 집전장치 전자장 해석 및 특성 분석
- 차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석(배터리 연계) 기술
 - 차상 전원용 컨버터 설계 및 해석
 - 차상 EMS(Energy Management System) 기술 개발
- 집전 시스템 성능해석 등 특성 연구
 - 집전장치와 차상 전력변환장치의 연계 및 성능 분석
 - 속도대별 집전시스템의 성능 분석
- 집전 차량 하부 구조 분석
 - 분산식, 집중식 집전시스템 아이디어 도출
 - 각 시스템 별 차량 하부 취부를 위한 구조 분석
 - 차량 하부 취부 기술 개발

(라) 전용 인프라 기술 개발

- 신호 및 통신시스템 인터페이스 기술
 - 전기자 권선을 이용한 차량 정보의 신호 및 통신시스템 기술 개발

- 안전성 확보를 위한 별도의 통신시스템 및 인터페이스 기술 개발
- 궤도 등 인프라 구조 / 취부 구조 개발
 - 전기자 권선 설치를 위한 궤도 구조 분석
 - 전기자 권선의 인입 특성 분석 및 기술 개발
- SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스트베드 건설
 - 전용 테스트베드 제작 및 운용 기술 개발
 - 핵심 기술간의 인터페이스 기술 개발
 - 각 기술의 안전 및 내구성 검토
 - 시험검증 및 성능평가 기법 개발
- 전자장 등 관련 안전성 문제 검토
 - 전용 테스트베드에서 안전성 검토 및 운용 기술 개발



< 시작품 제작 및 Test-bed 설치 예 >

4.3 세부과제별 연차별·단계별 성과목표 및 성과지표

유 형	지표구분	성과지표	1차(2013년)목표	2차(2014년)목표	3차(2015년)목표	4차(2016년)목표	최 종 목 표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	가속도 2.0 m/s ² 이상 최고속도 100 km/h 동판능력 80 % SLR 용량 300 kW 초전도 리니어레일 전동기 기술 확보	·대용량 SLR 설계/해석 ·시뮬레이션을 통한 검증	·지상권선 성형기술 확보 ·블록스위칭 기술 확보 ·정밀위치/속도 검지 기술 확보	·대전류공급용 전력변환장치 설계/제작 ·전력변환 제어/운행 기술 확보 ·SLR 제어 기술 확보	시제품 통합 시험검증	초전도 리니어레일 전동기 기술 확보
		차속밀도 2.0 T 고온 초전도 시스템 기술 확보	·차상 초전도 전자석 설계/해석 ·시뮬레이션을 통한 검증	·영구전류모드 운전기술 확보	·초전도 전자석 설계/제작 ·냉각시스템 설계/제작 ·대차 취부 기술 확보	시제품 통합 시험검증	차상 초전도시스템 기술 확보
		70 kw 이상 차상 집전용 집전시스템 기술 확보	·차상 집전시스템 기초설계	·차상 전력변환장치 설계 ·대차 취부 기술 확보	·차상 집전시스템 성능 검증 ·집전시스템 운영 알고리즘 기술 확보 ·집전시스템 설계/제작	시제품 통합 시험검증	차상 집전시스템 기술 확보
		차량/인프라 인터페이스 기술 확보 지상 권선 매립용 궤도 기술 확보	·신호/통신 인터페이스 기술 확보	·권선 매립 구조 분석 및 기술 확보	·전용 테스트베드 건설 완료	시제품 통합 시험검증	전용 인프라 기술 확보
	표준 지표	논문 발표	- SCI급 논문 0건 - 국내저널: 0건 - 해외발표: 0건 - 국내발표: 0건	- SCI급 논문 2건 - 국내저널: 1건 - 해외발표: 2건 - 국내발표: 3건	- SCI급 논문 2건 - 국내저널: 1건 - 해외발표: 2건 - 국내발표: 3건	- SCI급 논문 2건 - 국내저널: 1건 - 해외발표: 2건 - 국내발표: 3건	- SCI급 논문 6건 - 국내저널: 3건 - 해외발표: 6건 - 국내발표: 9건
		특허 출원/등록	- 국내특허 출원: 5건 - 국내특허 등록: 2건	- 국내특허 출원: 5건 - 국내특허 등록: 5건	- 국내특허 출원: 5건 - 국내특허 등록: 5건	- 국내특허 출원: 5건 - 국내특허 등록: 5건	- 국내특허 출원: 20건 - 국내특허 등록: 17건
결과 (Outcome) 지표	과제의 공극적 목표	기술 종속 탈피 및 독자 기술 확보 여부	- SMART 설계 및 인터페이스 기술 확보		- SMART 제작 및 제어 기술 확보	- SMART 성능평가 기술 확보	- 전자장가속방식의 추진 시스템 독자적 원천 기술 확보
	표준 지표	연구성과의 활용 및 확산				- 홍보건수: 1건	- 홍보건수: 1건

5. 연구목표 달성을 위한 추진방안

5.1 기존 기술·인프라 등의 활용 및 연계 방안

가. 추진전략

- 미래철도용 SMART 기술은 국내/국외의 타 연구기관에서 연구된 적이 없는 시스템으로서 반드시 조기 개발하여 기술적 우위를 확보해야 함
- Top-down 방식으로 원천기술 개발
 - 시스템 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시스템 사양 개발
 - 테스트베드 개발을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시스템 통합 구축, 원천기술 검증
- 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
 - 기존 철도에 적용을 위한 원천기술 확장 및 상세기술개발전략 수립
 - 개념설계를 통한 시스템 사양 결정 및 아키텍처 개발
 - 핵심장치의 설계·제작·시험 추진
 - 시험평가를 통한 원천기술 실용화 검증
- 산·학·연 공동연구 참여를 통한 기관 간 역할 분담 및 최적 역량 도출 유도할 예정이며, 원천기술에 대하여 주관기관 내부 인력이 주도적으로 연구업무를 진행하며, 시제품 제작, 시험평가 및 실용화를 대비하여 외부 전문인력 활용
산업체 예)
 - 대한전선, LS전선 : SLR용 대전류 지상권선 제작
 - VC Tech, 이지트로닉스 : 대전류 인버터 등 전력변환장치 제작
 - 한성정공, 저스텍 : 차상전원용 리니어 발전기의 집전체 제작
 - 서남 : 초전도 선재 제작학계 예)
 - 한양대 : SLR 최적설계 및 해석
 - 중앙대 : 전력변환 알고리즘 분석 및 개발
 - 연세대 : 초전도 선재 특성 분석 및 적용 기술 개발연구원 예)
 - 기계연 : 초전도 냉각기기 해석 및 취부구조 분석
 - 전기연 : 차상전원용 리니어 발전기 분석 및 개발
- 새로운 추진시스템의 보급 확대 및 테스트베드 구축 및 운영을 위해 도시철도 운영기관의 참여를 유도

- 테스트베드 부지 제공 및 시험 평가
- SMART 핵심 기술 연구 후 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 실용화 다각화
 - 물류 운송 활용방안 모색 (매립형 궤도로 타 지상 교통수단에 장애를 주지 않고 물류네트워크 구성 가능)



< 항만 물류 내부 철도 : 부산신항 타 부두 환적 >

나. 기존기술 및 인프라 활용 계획

가). 인적 능력

- SMART 핵심기술 개발을 위하여
- 전기전자분야에서 20년 이상 국가 프로젝트 수행 경험을 가지고 있고, 연구결과를 국제 유명저널에 전력소자(IGBT, MOSFET)의 회로설계 및 응용에 관한 다수의 논문발표를 하였으며, 회로설계 및 구현 경험이 풍부한 전문가 참여 가능
- 전기 및 기계 분야에서 10년 이상 연구 또는 프로젝트 수행 경험을 가지고, 한국형 경량전철시스템 및 도시철도차량용 리니어전철 시스템 기술개발 과제 및 다양한 철도시스템 관련 과제 다수 등의 연구경험이 있는 전문가 참여 가능
- 리니어 추진 및 초전도, 대차 및 차량기술, 집전, 통신, 인프라 및 성능 시험평가 기술 분야에서 5년 이상 연구 또는 프로젝트 수행경험을 가지고 있는 전문가 참여 가능

- 관련 분야를 연구한 산-학-연 전문가 다수 참여 가능

나). 활용 장비

○ H/W 활용 방안

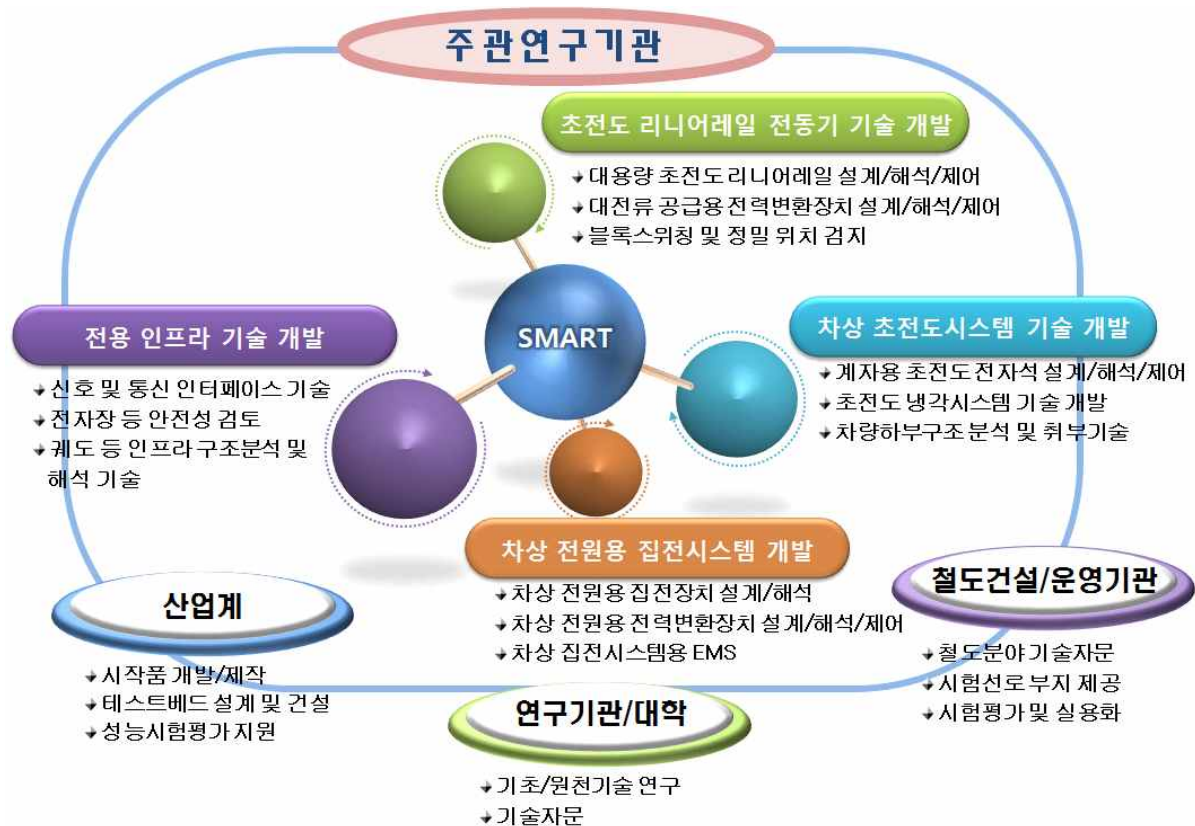
- AC/DC Power Supply : 축소 시제품 전원공급
- Multi-Meter : 축소 시제품의 간단한 전류/전압 측정 테스트
- Oscilloscope : 축소 시제품 제작시 측정용
- MCU Emulator : 축소 시제품 제작 MCU Writing 및 Debugging
- Power Analyzer : 전력사용량 측정 및 분석
- PXI Host : Real Target 장비 Control용 PXI 장비
- DAQ : Test-bed 구성품 Data Logging용

○ S/W 활용 방안

- Maxwell 2D/3D Ver.11 : 리니어펄스 추진시스템의 설계 및 특성 분석
- Simplorer/Matlab-Simulink : 리니어펄스 추진시스템의 제어 알고리즘 개발 및 특성 분석
- JAVA Software : AMI Prototype MCU Source Programming
- LabVIEW : 축소형 시제품 모델의 성능계측용 PXI장비 및 DAQ 구동 및 분석

5.2 연구추진체계

- 국내 철도, 추진, 차량, 초전도 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
- 시작품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소 기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함
- 원천기술 및 시작품의 테스트베드를 통한 실증을 위해 도시철도 운영기관의 참여가 바람직함
- 본 연구단은 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음
- 연구신청자는 과도한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것
- 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요



6. 연구성과 활용방안 및 실용화 추진방안

6.1 성과분석 및 검증방안

- 미래 전기철도 추진시스템의 핵심 기술 개발을 통하여 성능 검증 및 효율적 활용에 대한 운영 모델로 활용
- 향후 국내외에서 추진되고 있는 비점착 구동 추진시스템을 위한 핵심 기술 및 핵심 장치 개발에 활용
- 철도차량 기술개발에 대하여 기술 지원 및 신규 국가 R&D 사업 창출에 활용
- 철도 운영기관에서의 신 비즈니스 모델 창출에 활용
- ※ SMART 기술을 적용한 물류운송시스템 개발 시 매립형 궤도를 이용하여 타 지상교통수단에 장애를 주지않고, 물류운송 네트워크 구축 가능
- 산악 트램 및 놀이시설의 롤러코스터등 급구배 추진이 요구되는 타 수송수단에 대한 적용 파급
- ※ SMART 기술을 적용한 롤러코스터 개발 시 세계 1,400여개의 테마파크에 진출이 가능하며, 전체 테마파크의 시장의 50% 이상을 점유하고 있는 미국 (2007년 매출12조 원, 입장객3억4천만명)으로 시장 진출 모색 가능

6.2 실용화 방안

- 국내 철도기관의 해외 진출시 기술 우위를 선점하기 위한 기술 자료로 확대 활용
- 고부가가치형 철도 추진시스템으로서 산업체로의 기술이전 가능 및 기술 선점으로 수출 동력화 추진
- 철도시스템 분야 국가 경쟁력 확보 및 철도차량 분야의 세계시장 선도에 기여
- 타 운송수단 분야에 대한 기술지원 및 확산에 활용
- 새로운 철도차량 활용의 활성화 기여

7. 인력투입 계획 및 소요예산 산정

7.1 연구일정 및 인력투입계획

1) 전체사업 인력투입계획

- 전체사업에 필요한 분야별 소요인력은 다음과 같음
- 분야별 소요인력

(단위 : 명)

세부 과제	기술분야	2013	2014	2015	2016	합계
1	총괄	2	2	2	2	8
	SE	2	2	2	2	8
	추진시스템	4	4	4	4	16
	전력변환장치	2	2	2	2	8
2	초전도 시스템	6	6	6	6	24
3	차상급전시스템	4	4	4	4	16
4	신호 및 통신시스템	2	2	2	2	8
	인프라	2	2	2	2	8
	시험선	2	2	2	2	8
계		26	26	26	26	104

- 소요인력 상세 산출근거

- 총괄 분야 : 연인원 2명, 사업단장 외 행정 인력 1명
- SE 분야 : 연인원 2명, 기술 분야 1명 및 시스템 해석·관리 1명
- 추진시스템 분야 : 연인원 4명, 전동기 관련 의사결정 1명 및 분석 3명

- 전력변환장치 분야 : 연인원 2명, 전력전자 관련 의사결정 1명 및 분석 1명
- 초전도 시스템 분야 : 연인원 6명, 초전도 관련 의사결정 2명 및 분석 4명
- 차상급전 시스템 분야 : 연인원 4명, 비접촉 급전기술 관련 의사결정 1명 및 분석 3명
- 신호 및 통신시스템 분야 : 연인원 2명, 신호 및 통신 관련 의사결정 1명 및 분석 1명
- 인프라 분야 : 연인원 2명, 궤도/토목 관련 의사결정 1명 및 분석 1명
- 시험선 분야 : 연인원 2명, 시험선 건설 관련 의사결정 1명 및 분석 1명

2) 세부과제별 인력투입계획

○ 세부과제에 필요한 소요인력은 다음과 같음

- 세부과제별 소요인력

(단위 : 명)

세부과제	2013	2014	2015	2016	합계
초전도 리니어레일(SLR) 전동기 기술 개발 (제1세부)	10	10	10	10	40
차상 초전도시스템 기술 개발 (제2세부)	6	6	6	6	24
차상 전원용 집전시스템 기술 개발 (제3세부)	4	4	4	4	16
전용 인프라 기술 개발 (제4세부)	6	6	6	6	24
계	26	26	26	26	104

7.2 과제별 소요예산

1) 예산 산정방법

○ 소요예산 상세 산출근거

- 인건비 : 참여인원 104명분, 4,784,000천원
- 직접비 : 연구활동비 및 시제품 제작, 재료비 등, 19,478,040천원
- 위탁연구비 : 세부과제당 1개 기관 위탁, 800,000천원
- 간접비 : 937,960천원

2) 전체사업 소요예산

(단위 : 천원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
1세부(총괄)										
인건비	461,000		461,000		461,000		461,000		1,844,000	
직접비	498,610		2,898,610		2,898,610		498,610		6,794,440	
위탁비	50,000		50,000		50,000		50,000		200,000	
간접비	90,390		90,390		90,390		90,390		361,560	
합계	1,100,000		3,500,000		3,500,000		1,100,000		9,200,000	
2세부										
인건비	274,000		274,000		274,000		274,000		1,096,000	
직접비	422,290		2,622,290		2,622,290		422,290		6,089,160	
위탁비	50,000		50,000		50,000		50,000		200,000	
간접비	53,710		53,710		53,710		53,710		214,840	
합계	800,000		3,000,000		3,000,000		800,000		7,600,000	
3세부										
인건비	187,000		187,000		187,000		187,000		748,000	
직접비	226,320		726,320		726,320		226,320		1,905,280	
위탁비	50,000		50,000		50,000		50,000		200,000	
간접비	36,680		36,680		36,680		36,680		146,720	
합계	500,000		1,000,000		1,000,000		500,000		3,000,000	
4세부										
인건비	274,000		274,000		274,000		274,000		1,096,000	
직접비	222,290		2,122,290		2,122,290		222,290		4,689,160	
위탁비	50,000		50,000		50,000		50,000		200,000	
간접비	53,710		53,710		53,710		53,710		214,840	
합계	600,000		2,500,000		2,500,000		600,000		6,200,000	
합계	1차년		2차년		3차년		4차년		합계 (억원)	
	30		100		100		30		260	

3) 세부과제별 소요예산

(1) 제 1 세부과제

(단위 : 천원)

예 산 항 목	세 부 항 목	예 산 항 목							비 율 (%)
		단가 (연급여)	연 평 균 인 원/ 참 여 율	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소 계	
인 건 비	책 임 연구 원	75,000	2/100%	150,000	150,000	150,000	150,000	600,000	6.5
	연구 원	65,000	3/100%	195,000	195,000	195,000	195,000	780,000	8.5
	연구 보조 (박사과 정)	25,000	2/100%	50,000	50,000	50,000	50,000	200,000	2.2
	연구 보조 (석사과 정)	22,000	3/100%	66,000	66,000	66,000	66,000	264,000	2.9
	소 계			461,000	461,000	461,000	461,000	1,844,000	20.0
직 접 비	연구장비 재 료 비			229,610	2,629,610	2,629,610	229,610	5,718,440	62.2
	연구활동비			200,000	200,000	200,000	200,000	800,000	8.7
	연구수당			69,000	69,000	69,000	69,000	276,000	3.0
	소 계			498,610	2,898,610	2,898,610	498,610	6,794,440	73.9
위탁연구개 발 비				50,000	50,000	50,000	50,000	200,000	2.2
간접비				90,390	90,390	90,390	90,390	361,560	3.9
합 계				1,100,000	3,500,000	3,500,000	1,100,000	9,200,000	100.0

(2) 제 2 세부과제

(단위 : 천원)

예 산 항 목	세 부 항 목	예 산 항 목							비 율 (%)
		단가 (연급여)	연 평 균 인 원/ 참 여 율	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계	
인 건 비	책임 연구원	75,000	2/100%	75,000	75,000	75,000	75,000	300,000	3.9
	연구원	65,000	3/100%	130,000	130,000	130,000	130,000	520,000	6.8
	연구보조 (박사과정)	25,000	2/100%	25,000	25,000	25,000	25,000	100,000	1.3
	연구보조 (석사과정)	22,000	3/100%	44,000	44,000	44,000	44,000	176,000	2.3
	소 계			274,000	274,000	274,000	274,000	1,096,000	14.4
직 접 비	연구장비 재료비			261,290	2,461,290	2,461,290	261,290	5,445,160	71.6
	연구활동비			120,000	120,000	120,000	120,000	480,000	6.3
	연구수당			41,000	41,000	41,000	41,000	164,000	2.2
	소 계			422,290	2,622,290	2,622,290	422,290	6,089,160	80.1
위탁연구개발비				50,000	50,000	50,000	50,000	200,000	2.6
간접비				53,710	53,710	53,710	53,710	214,840	2.8
합 계				800,000	3,000,000	3,000,000	800,000	7,600,000	100.0

(3) 제 3 세부과제

(단위 : 천원)

예 산 항 목	세 부 항 목	예 산 항 목							비 율 (%)
		단가 (연급여)	연 평 균 인 원/ 참 여 율	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계	
인 건 비	책 임 연구 원	75,000	2/100%	75,000	75,000	75,000	75,000	300,000	10.0
	연구 원	65,000	3/100%	65,000	65,000	65,000	65,000	260,000	8.7
	연구 보조 (박사과 정)	25,000	2/100%	25,000	25,000	25,000	25,000	100,000	3.3
	연구 보조 (석사과 정)	22,000	3/100%	22,000	22,000	22,000	22,000	88,000	2.9
	소 계			187,000	187,000	187,000	187,000	748,000	24.9
직 접 비	연구장비 재료비			118,320	618,320	618,320	118,320	1,473,280	49.1
	연구활동비			80,000	80,000	80,000	80,000	320,000	10.7
	연구수당			28,000	28,000	28,000	28,000	112,000	3.7
	소 계			226,320	726,320	726,320	226,320	1,905,280	63.5
위탁연구개발비				50,000	50,000	50,000	50,000	200,000	6.7
간접비				36,680	36,680	36,680	36,680	146,720	4.9
합 계				500,000	1,000,000	1,000,000	500,000	3,000,000	100.0

(4) 제 4 세부과제

(단위 : 천원)

예 산 항 목	세 부 항 목	예 산 항 목							비 율 (%)
		단가 (연급여)	연평균 인원/ 참여율	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계	
인 건 비	책임 연구원	75,000	2/100%	75,000	75,000	75,000	75,000	300,000	4.8
	연구원	65,000	3/100%	130,000	130,000	130,000	130,000	520,000	8.4
	연구보조 (박사과정)	25,000	2/100%	25,000	25,000	25,000	25,000	100,000	1.6
	연구보조 (석사과정)	22,000	3/100%	44,000	44,000	44,000	44,000	176,000	2.8
	소 계			274,000	274,000	274,000	274,000	1,096,000	17.7
직 접 비	연구장비 재료비			61,290	1,961,290	1,961,290	61,290	4,045,160	65.2
	연구활동비			120,000	120,000	120,000	120,000	480,000	7.7
	연구수당			41,000	41,000	41,000	41,000	164,000	2.6
	소 계			222,290	2,122,290	2,122,290	222,290	4,689,160	75.6
위탁연구개발비				50,000	50,000	50,000	50,000	200,000	3.2
간접비				53,710	53,710	53,710	53,710	214,840	3.5
합 계				600,000	2,500,000	2,500,000	600,000	6,200,000	100.0

8. 연구개발 사전 타당성 조사

8.1 정책적 타당성

1) 정부 정책 및 규제와의 부합성

(가) 신성장 동력과 발전전략

- 글로벌 경쟁 심화, 지식기반 경제 도래, 에너지·자원 위기 속에서 세계 각국의 새로운 성장 동력 확보 경쟁이 치열해 지고 있음. 건강, 식량, 환경 등 인류 난제 해결에 필요한 바이오신약, 제품 및 IT 융합의료기기 개발을 통해 고부가가치 미래신산업 창출하고자 함.

□ 주요내용

- ‘성공 가능성’과 ‘파급효과’, ‘경제·사회적 문제 해결’ 측면을 고려하여 6대 분야, 22개 신성장 동력 발굴
- 기후 변화, 고령 사회 등 현안 문제를 해결하면서 고성장이 예상되는 분야 : 에너지·환경, 바이오
- 세계시장 규모, 국내기업 점유율, 우리의 기술역량 고려 : 수송시스템, New IT, 융합신산업
- 일자리 창출과 타 산업 파급효과 고려 : 지식서비스

표. 2008 신성장 동력 6대 분야

6대 분야	22개 신성장 동력
에너지·환경 (6)	무공해 석탄에너지, 해양 바이오 연료, 태양전지, 이산화탄소 회수 및 자원화, 연료전지 발전시스템, 원전 플랜트
수송시스템 (2)	Green Car, 선박·해양 시스템
New IT (5)	반도체, 디스플레이, 차세대 무선통신, LED 조명, RFID/USN
융합신산업 (4)	로봇, 신소재·나노융합, IT융합 시스템, 방송통신 융합미디어
바이오 (1)	바이오 신약 및 의료기기
지식서비스 (4)	소프트웨어, 디자인, Healthcare, 문화 콘텐츠

- SMART는 수송 시스템 혁신을 가져오는 신 기술로, 2008년 신성장 동력 사업에 포함되어 있지 않지만, 미래 신성장 동력으로 반드시 정부의 투자가 필요한 부분임. 현재 자동차 기반의 수송 시스템의 한계를 극복하고, 기존의 상부 가선식의 열차 시스템에서 탈피하게 됨으로써, 도심에 적합한 철도 개발이 가능하고, 나아가 중전철 및 고속 전철에 적용 시 파급효과가 막대한 새로운 신성장 산업이 될 것임

(나) 녹색성장 정책

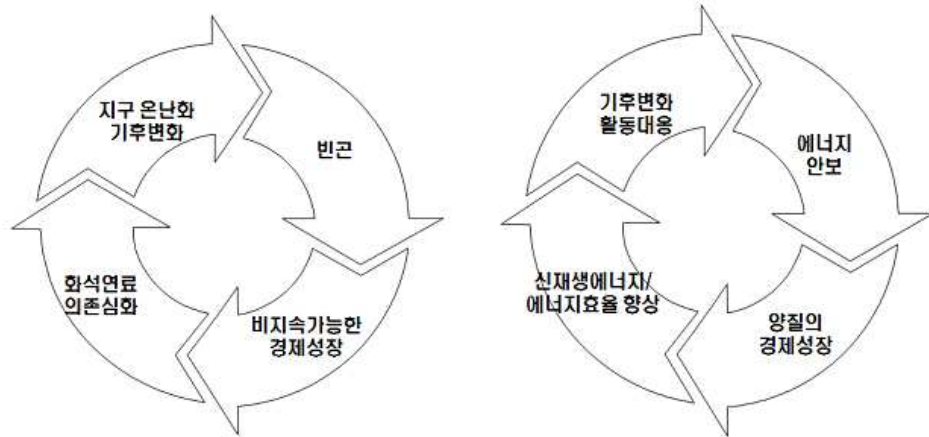
- 국제 온실가스 규제대응, 저탄소 친환경 신성장 전략사업 창출, 환경규제에 대한 국가경쟁력 향상 및 세계시장 선점을 위한 정책들을 현재 정부에서는 적극적으로 추진하고 있음. 저탄소 녹색성장(Low Carbon, Green Growth)은 온실가스와 환경오염을 줄이는 지속가능한 성장으로 녹색기술과 청정에너지를 활용하여 신성장 동력과 일자리를 창출하는 신 국가 발전 패러다임임. 세계는 환경문제에 대한 고려 없이는 경제발전도 생각할 수 없는 메커니즘으로 운영되고 있고, 녹색성장의 핵심은 경제성장을 추구하되 자원이용과 환경오염을 최소화하고, 이를 다시 경제성장의 동력으로 활용하는 ‘선순환구조’에 있음

□ 정책적 목표

- 신 재생에너지 비율 확대 : '06년 2.4% ⇒ 30년 11% ⇒ 50년 20% 이상
- LED, 무공해석탄, 녹색기술 R&D등 그린 에너지 기술개발 확대
- 그린홈 100만호 프로젝트 추진
- 하이브리드 등 그린카 육성

□ 10대 추진방향

- 온실가스 줄이는 저탄소 정책
- 녹색기술을 새로운 성장동력으로 선정
- 고도의 융합기술 정책
- 새로운 일자리 창출
- 기업의 경쟁력 강화
- 국토·도시·건축·교통 개조
- 소비패턴까지 바꾸는 생활혁명
- 녹색성장은 교육·환경정책
- 환경 친화적인 세제정책
- 국가브랜드를 높이는 외교정책



< 악순환 구조(좌)와 선순환 구조(우) >

※ 자료 : 대한민국 정책 포털 <http://green.korea.kr/>

표. 녹색성장 정책 3대 요소

3대 요소	내 용
견실한 성장을 하되, 에너지·자원 사용량은 최소화	· 에너지 저소비형 산업구조 개편 (제조업 중심→지식서비스업 중심) · 에너지 소비절약/사용 효율화 · 상태효율성 제고 정책
동일한 에너지·자원을 사용하되, CO ₂ 배출 등 환경 부하 최소화	· 신 재생에너지 보급 확대 · 원자력 등 청정에너지 개발 · CO₂ 배출규제 · 저탄소·친환경 인프라 구축 · 소비자 녹색제품 구매 활성화
신성장 동력으로 개발	· 녹색기술에 대한 R&D 투자 · 신 재생에너지 등 녹색산업 육성 및 수출 산업화 · 세계시장 선점 지원

□ 녹색성장 정책관련 법규

- 국회 기후변화대책 특별위원회에서 ‘저탄소 녹색성장 기본법안’을 상정하여 현재 위원회 심사 진행 중임. 다수 부처에서 개별 법률로 진행 중인 기후변화, 신재생에너지 등의 정책을 통합하여 효율적, 체계적으로 관리하기 위한 제도적 장치를 마련하고 있음

○ 법규 관련 내용

- 녹색성장 국가전략을 대통령 소속으로 설치되는 녹색성장위원회 등의 심의를 거쳐 수립·시행하도록 함(안 제9조)

- 녹색경제·녹색산업의 창출, 녹색경제·녹색산업으로의 단계적 전환 촉진 등을 위하여 녹색경제·녹색산업의 육성·지원 시책을 마련(안 제22조 및 23조)
 - 녹색산업과 관련된 기술개발 및 사업을 활성화하기 위하여 녹색산업 등에 자산을 투자하여 그 수익을 투자자에게 배분하는 것을 목적으로 하는 녹색산업 투자회사를 설립할 수 있도록 함(안 제29조)
 - 정부는 온실가스를 획기적으로 감축하기 위하여 온실가스 배출 중장기 감축목표 설정 및 부문별·단계별 대책, 에너지 수요관리 및 안정적 확보대책 등을 포함한 ‘기후변화대응 기본계획’과 ‘에너지기본계획’을 수립 및 시행하도록 함(안 제40조 및 41조)
 - 정부는 온실가스 감축, 에너지 절약과 에너지 이용효율 향상 및 신·재생에너지 보급 확대를 위하여 중장기 및 단계별 목표를 설정하고, 일정 수준 이상의 온실가스 다 배출업체 및 에너지 다소비업체로 하여금 매년 온실가스 배출량 및 에너지 사용량을 정부에 보고하도록 하며, 정부는 온실가스 종합정보 관리체계를 구축·운영하도록 함(안 제42조, 44조, 45조)
 - 정부는 시장기능을 활용하여 효율적으로 온실가스를 감축하고 국제적으로 팽창하는 온실가스 배출권 거래시장에 대비하기 위하여 온실가스 배출허용 총량을 설정하고 배출허용량을 거래하는 ‘총량제한 배출권 거래제’ 등을 실시하되, 배출허용량의 할당·등록 및 관리방법 등은 따로 법률로 정하도록 함(안 제46조)
 - 정부는 건강하고 쾌적한 환경과 사회·경제개발이 조화를 이루는 녹색 국토를 조성하고, 저탄소 교통체계를 구축하며, 녹색성장을 위한 생산·소비문화를 확산시키고 녹색생활 실천을 위한 교육·홍보 등을 강화함으로써 지속가능발전을 실현할 수 있도록 함(안 제52조, 제54조, 제58조 및 제60조)
- 정부가 추진하고 있는 녹색성장 정책은 에너지 소비절약/사용 효율화, 저탄소·친환경 인프라 구축, 녹색기술에 대한 R&D 투자, 신 재생에너지 등 녹색산업 육성 및 수출 산업화, 세계시장 선점 지원 등이 핵심임
 - SMART 핵심기술 개발은 이런 정부의 녹색 성장 정책과 매우 부합되는 새로운 사업임. 도심 내 철도 서비스를 활성화하여 에너지 사용을 효율화 하고, 저탄소 친환경 인프라를 구축할 수 있음. R&D 투자를 통해 국내 철도 기술을 발전시킴으로, 나아가 해외 수출 및 해외 시장을 선점할 수 있는 교두보를 마련할 수 있을 것임

(다) 국가 과학기술 정책

- 국가 과학기술의 주요 정책은 신성장동력 발굴, 저탄소 녹색성장을 위한 R&D 지원 기초·원천연구 강화, 연구자 친화적 제도개선 등이 주요 내용임

□ 주요내용

- 투자규모는 2009년도 정부예산안 기준으로 총 8조 2,569억 원 규모로 50개 중점과제 분야의 08년도 투자액 대비 19.5% 증가한 규모
- ※ 7대 기술 분야 : 4조 6,282억 원, 7대 시스템 분야 : 3조 6,257억 원 등
- ※ 시행계획 범위 : 50개 중점과제 관련 R&D사업, 과학문화 확산 등 비 R&D사업, 정책·제도개선을 포함하고, 인문사회계 연구, 출연(연) 기본사업, 비밀로 분류된 국방연구 등 제외
- 연구자 친화적 연구 관리제도 구축, PBS 제도개선, 기초원천기술연구 확대 등 과학기술기본계획 중점추진과제의 주요시책을 포함

표. 국가 과학기술 정책 주요시책

주요시책	내 용
5% 투자 달성	· 정부 : '09년도 정부R&D 예산안 12.3조원(10.8% 증가) · 민간 : 세제지원 등으로 연평균 16.5%(매년 5.5조원) 확대 ※ R&D 시설투자 세액공제 한도 확대(투자금액의 7 → 10%), 중소기업 R&D비용 세액공제 확대(당해 연도 지출분의 15 → 25%), R&D 투자 준비금의 손금 산입제도 도입(매출액의 3%) 등
7대 기술분야 집중육성	· 총 4조 6,282억 원 투자, '08년 4조 1,210억 원 대비 12.3% 증가 ※ 신성장동력 발굴 1조 1,923억원, 녹색기술 연구개발 1조 3,297억원 등
7대 시스템 선진화	· 총 3조 6,257억 원 투자, '08년 2조 8,293억 원 대비 28.1% 증가 ※ 인력양성 8,123억 원, 기초·원천연구 8,521억 원, 출연(연) 안정적 인건비 확대 (30.8% → 50.2%), 기초연구투자 확대 (25.6% → 29.3%)등

- SMART 핵심기술 개발 사업은 새로운 신성장 동력 사업으로 경전철 뿐만 아니라 중전철 및 고속 전철까지 적용 가능한 핵심 원천 기술 개발을 1차적 목표로 하고 있으며, 이는 현재 국가적으로 추진하고 있는 국가 과학 기술 정책과 매우 부합되는 새로운 연구 개발 사업임

(라) 철도관련 정책과의 부합성

- SMART와 현재 국토 해양부가 추진하고 있는 철도 정책과의 부합성을 첨단 철도 기술, 비용 절감과 효율화, 안전성 및 이용 환경, 해외 진출 활성화 및 실용화 가능성 측면에서 살펴보았음
- 첨단 철도 기술

- SMART는 탄소배출을 줄일 수 있는 친환경적인 철도 시스템으로 다양한 철도 형태에 적용 가능한 첨단 기술로서 철도 분야 상용화 가능
- SMART 핵심기술 개발에 성공할 경우 세계 시장을 선도적으로 주도할 수 있음

○ 비용 절감과 효율화

- 추진에 필요한 전력 및 동력을 지상으로부터 직접 전달 받음으로써 상부가선시스템을 이용하는 전철 대비, 터널 단면적 감소가 가능하여 공사비 및 유지보수비 저감이 가능
- 주행 중 급집전이 불필요하므로 상대적으로 저 용량의 배터리로 운행 가능함으로 배터리비용을 혁신적으로 절감 할 수 있음

○ 안전성 및 이용 환경

- 상부의 전력선이 사라지므로 이용 안전성 및 도심 미관 개선 가능
- 속도와 무관하고, 온도변화, 강우, 강설 등 외부환경에 대해 강인하여 신뢰도 및 안전성 우수
- 날씨 변화, 환경 변화 시에도 안정적인 전력 공급 및 추진이 가능
- 급전선 사고에 무관하여 운행 안전성 우수
- 가선 사고에 의한 피해 최소화 가능

○ 해외 진출 활성화 및 실용화 가능성

- 건설비와 운영비가 저렴한 SMART의 개발을 통해 도심지 경량전철건설에 대한 풍부한 해외 시장을 바탕으로 수출 산업화 가능
- 기술 개발을 통한 요소기술 수출 가능
- 발의된 “노면 전차 건설관리 법안”과 신규건설비 지원을 상향 조정에 의해 경전철이 도시에 빠르게 구축될 수 있고 이중 일부에 본 기술 적용 가능

○ 결과적으로 SMART는 하부 가선으로 인한 공사비 감소와 효율적인 에너지 전달을 가능하게 함으로써 비용을 줄이고 안전성 및 도시 미관을 살릴 수 있는 획기적인 첨단 기술로서, 현재 이 분야에서 국내에서 선도적인 아이디어를 보유하고 있으므로 본 연구를 성공적으로 수행할 경우 전 세계적으로 실용 가능한 선도 기술을 우리나라에서 보유하게 될 것이며, 이는 철도 정책이 추진하는 바와 일치함

(마) 관련 규제

○ 현재 국내에서는 경전철 관련 건설 및 운행 기준이 미흡한 실정이며, 관련 법령, 기준, 절차 등이 명확하지 않아 경전철 도입에 혼선을 주고 있음. 경전철의 종류가 다양하고 특수한 경우가 많아 기존의 법 적용이 모호하고, 행정 절차가 복잡하여 통합된 가칭 ‘경전철 특별법’을 제정하기 위해 준비 중임. 현재 ‘노면전차 건설관리 법안’이 발의된 상태임

8.2 기술적 타당성

- SMART는 리니어 전철, 자기부상열차 등에 사용되는 선형전동기와 유사하나, 현재의 기술은 대량의 코어가 소요되어 실용성이 낮은 문제점을 가지고 있음
- 또한 본 연구에 필요한 대전류 전력변환장치는 기존의 철도에 사용되는 전력변환장치와 달리, 대전류 펄스가 필요하여 현재의 기술로 어려우며, 새로운 연구개발이 필요함
- 초전도 계자 기술은 냉각장치 및 초전도 선재에 대한 기술이 필요하며, 현재의 기술로 차량탑재용으로 연구된 바가 없음
- 차상 전력 공급용 비접촉 집전 기술은 전기자동차용 유도급전, 자기부상열차용 선형발전기 등이 개발되었으나, 다수의 대용량 공진형 컨버터가 요구되고, 발전을 위한 일정 속도 이상의 고속 주행이 요구되어지므로 새로운 기술 개발이 필요함
- 초전도 리니어레일(SLR)의 전기자 권선을 궤도 사이에 매입하는 기술은 연구된 바가 없으며, 누전 및 강도 등의 문제를 고려한 기술 개발이 필요함
- 본 연구는 철도차량용 추진시스템에 있어, 전기기기, 제어, 섹션전환, 급전, 신호 등을 포함하는 시스템에 대한 기술개발로, 각 분야에 국한된 부분적인 분야의 기술개발과 차별됨
- 본 연구는 시스템 사양 결정을 통한 독자 모델의 시스템 개발임

8.3 경제적 타당성

1) 전철의 분류

- 전철은 주로 운행공간, 타 교통기관과의 분리정도, 궤도방식에 따라 분류된다. 운행공간에 따라 고가, 지상, 지하로 분류, 타 교통기관과의 분리정도에 따라 전용타입, 부분공용타입, 공용타입으로 분류, 궤도방식에 따라 유궤도방식, 무궤도방식, 특수궤도방식으로 분류 한다. 또한 적용된 기술별로 지지방식, 유도방식, 구동방식, 제어방식에 따라 보다 구체적으로 분류되고 있음
- 현재 운행 중인 시스템들을 기술적인 측면에서 안내궤도의 형태나 차량시스템 구동기술에 따라 분류하면, 크게 AGT(Automated Guideway Transit:철제차륜, 고무차륜), LIM (Linear Induction Motor), 모노레일(Monorail), 노면전차 등의 유형으로 분류할 수 있음
- 이 중 개발되는 SMART 전철은 구동방식에 따른 분류에 의해 LIM과 유사한 특성을 보임

【표】 전철 시스템 분류

적 용 기 술		분 류 기 준	적용 시스템
지지방식 (Support)	Rail system	차량의 바퀴와 운행하는 선로의 표면과 접촉하는 방식	철제차륜AGT, 노면전차
	Rubber-tired		고무차륜AGT, 모노레일
	자기부상		초전도 및 상전도식 자기부상열차
유도방식 (Guidance)	Rail system	차량이 안전하게 운행될 수 있도록 인도하는 것	철제차륜AGT, 노면전차
	모노레일		모노레일
	Rubber-tired guide wall		고무차륜AGT
	Magnetic guide		자기부상열차
구동방식 (Propulsion)	Electric Motor	차량을 움직이기 위한 구동기관과 견인력을 전달하는 방법	철제차륜·고무차륜AGT, 노면전차 등
	Linear Induction Motor		LIM, 자기부상열차
제어방식 (Control)	Driver Controlled	차량의 운행을 제어 또는 통제하는 방식	노면전차, 모노레일
	Non Drive Controlled		고무차륜AGT, 철제차륜AGT 등

【표】 차량시스템의 유형 및 특성

구 분	지하철		AGT		LIM	모노레일	노면전차
	重量전철	中量전철	고무차륜	철제차륜			
승객정원/량	150~160	110~130	60~90	75~100	60~130	40~80	100
차량수/편성	6~10	6~10	2~6	2~4	2~6	2~6	2~3
수송능력 /시간·방향	평균 40,000이 상	20,000 ~40,000	7,000 ~25,000	17,000 ~20,000	25,000 ~30,000	5,000 ~20,000	1,100 ~1,400
차륜형태	철제	고무/철제	고무	철제	소형철제	고무/철제	철제
최고속도 (km/h)	80~130	80~130	60~80	70~80	80~90	70~80	60~88
최급구배(‰)	25	35~45	50~75	40~60	50~60	80~100	25
최소회전반 경(m)	400	200	30~35	25~40	70~100	50~55	35
차량중량 (톤/량)	28~39	18~23	18~19	18~27	14~22	10~22	29~42
해외운행사 례	동경, 파리, 런던, 뉴욕, 워싱턴 DC, 몬트리올 등	—	릴르, 잭슨빌, 시카고, 타이페이, 히로시마 등	도크랜드, 밴쿠버, 토론토 등	오사카, 쿠알라룸 푸르, 밴쿠버 등	오사카, 지바, 쇼낭, 시드니 등	포틀랜드, 히로시마, 동경, 토론토 등

2) SMART 경제성 분석

(가) 연구개발사업의 경제성 분석 이론

- 연구개발사업의 경제성 평가의 목적은 대형 및 신규 사업에 대한 기술적, 경제적 타당성 평가를 통해 연구개발 투자의 당위성을 객관적으로 제시하는 것이라고 할 수 있다. 투자대상 사업의 예측되는 모든 비용과 편익을 측정하여 사업의 타당성을 사전에 검증하는 비용편익분석 방법과 마찬가지로, 연구개발사업의 경제성 분석의 기본 목적은 소요 자원의 최적배분과 희소자원의 최소투입으로 최대효과(산출량)를 달성하기 위한 계량적 자료를 획득하는 것에 있다. 이러한 연구개발사업의 경제성 평가는 자원 배분의 효율성 증대, 경쟁력 및 사업성의 확보, 국가 경제발전과의 연계성 유지에 있다고 할 수 있음
- 연구개발사업에 적용될 수 있는 경제성 분석 방법론은 경제성장모형, 연구개발자본모형, 연구개발 파급효과 모형, 가치평가이론 등으로 정리될 수 있음
- 경제성장모형(Growth Model)을 이용한 방법은 한 국가의 경제성장을 성장에 기여한

요소들의 기여도에 의해 배분함으로써 개발된 기술의 경제성장에 대한 기여도를 측정하는 방법이다. 1956년 Solow에 의해 처음 시도된 이후 그동안 방법론에 있어 지속적으로 발전해 왔으며, 최근의 신성장 이론가들에 의해 계속 다듬어지고 있다. 연구개발자본모형은 산업사회에서 지식사회로의 이동에 따라 경제성장의 주요 원동력을 자본의 축적이 아닌 지식의 축적으로 보고 연구개발자본(R&D Capital)으로 지식의 축적을 추정하는 모형이다. 인적자본모형은 거시경제모형에 인적자본 부문을 첨가하여 해당 분야의 인적자원이 경제성장에 미친 효과를 추출함

【표】 경제성 분석 방법론

구분	내용
경제성장 모형	- 연구개발자본모형 : 경제성장의 주요 원동력은 자본의 축적이 아닌 지식의 축적에 있음 (지식의 축적 → 연구개발자본 (R&D Capital)) - 인적자본모형 : 거시경제모형에 인적자본 부문을 첨가하여 해당 분야의 인적자원이 경제성장에 미친 효과를 추출 - Solow의 총생산함수 모형을 기본 모형 (Q (생산량) = F (A(기술수준), K(자본), L (노동))) - 기술진보를 경제시스템내의 가장 중요한 요소로 인식
일반균형 모형	- 거시구조를 묘사하는 연립방정식 구조모형에 연구개발 분야를 추가한 방정식을 사용 - 일반적으로 모형의 개발, 유지하는 데 많은 비용과 시간이 소요되므로 최소화된 계산 가능한 구조방정식을 사용
연구개발 파급효과 모형	- 연구개발의 공공재적 특징으로 인해 연구개발로 인한 도출된 지식 정보가 다른 생산자들의 생산성이나 이윤 등의 성과에 영향을 미침. 산업간 파급효과를 계산에 포함 - 산업간 파급효과(inter-industry R&D spillover) : 한 산업에서 이루어진 연구개발에 의하여 관련된 다른 산업의 생산방식이 영향을 받게 되는 것
가치평가 이론 (경제적가치 환산법)	- 기존의 부동산, 보석 등의 유형자산과 주식, 채권 등의 사적(금융)자산에 대한 가치평가이론과는 달리 연구개발은 무형자산의 특징과 공공재적 특성을 지님 - 무형자산인 기술의 가치평가 및 공공재인 환경자산의 가치평가이론의 적용을 통해 연구개발의 가치, 즉 경제성을 산정할 수 있음

- 일반균형모형(General Equilibrium Model)을 이용한 방법은 한 국가의 거시경제를 표현하는 모형을 이용하여 국가 경제 내에서 기술의 기여도를 측정하는 방법이다. 기존의 일반균형모형(General Equilibrium Model)을 연산 가능한 일반균형모형(Computable General Equilibrium Model, CGE Model)로 전환하여 기술에 따른 계량적 효과를 분석함
- 연구개발 파급효과(R&D spillovers)는 연구개발의 자체 목적 및 연구개발 사업의 목적상 부가적으로 파생된 직접효과 및 간접효과 이외에도 연구개발이 가지고 있는 특

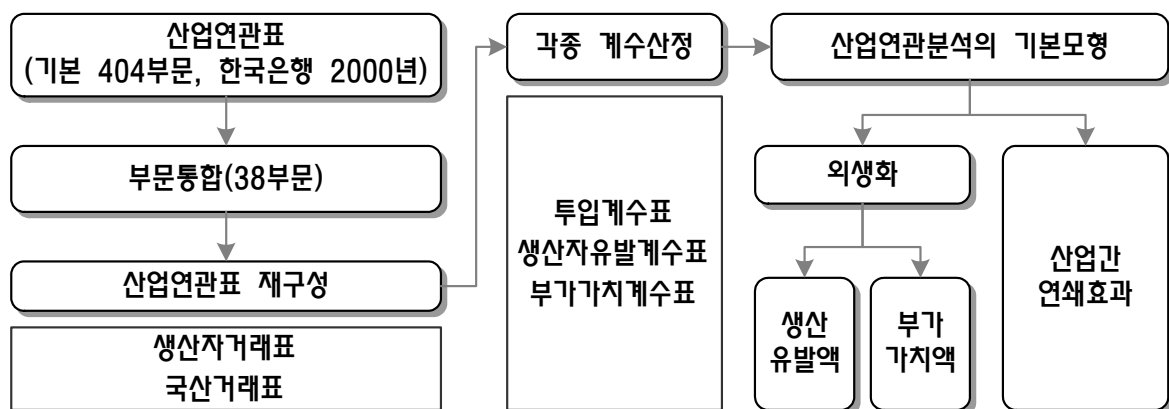
성상 만들어내는 다른 형태의 가치 및 성과가 존재한다는 것을 말한다. 이러한 효과의 발생은 연구개발 활동이 다른 경제활동과 구분되는 공공재적 특징을 지니고 있다는 것을 의미하는 것으로, 파급효과는 다른 산업 및 국가 경제에 광범위하게 영향을 끼치게 된다. 지식·정보가 여러 원천으로부터 생산되는 것과 마찬가지로 지식·정보의 기업간, 산업간 및 국가간 파급경로 역시 매우 다양하다. 파급경로가 시장 기구를 매개로 하는 경우에는 체화된 파급효과(embodied spillovers)라 하며, 시장기구가 아닌 기술정보의 흐름이나, 인력의 흐름, 역 엔지니어링 등 시장 외적에서 발생하는 효과를 비체화된 파급효과(disembodied spillovers)로 구분한다. 시장 기구를 매개로 하지 않는 비체화된 파급효과는 산업구조에 관계없이 지식 및 정보의 공공재적 특성에 기인하기 때문에 진정한 의미의 파급효과라고 보기도 함

- 파급효과의 측정 방법은 먼저 계량경제학적 모형에 기초한 방법으로 가장 전형적인 형태는 생산함수나 비용함수를 이용하여 연구개발 활동이 부가가치의 증대나 생산비용 절감, 또는 기타 예상되는 파급효과에 기여한 정도를 파악하는 것이다. 그리고 특정 분야에서 이루어진 연구개발 프로그램과 관련된 모든 비용과 편익을 측정하는 사례연구적인 접근법이다. 이러한 접근법은 특정 프로젝트가 영향을 끼치는 범위를 사전적으로 한정할 수 있어야 하고 잠재적 모든 편익들을 고려해야 한다는 점에서 시행에 어려움이 있으나 연구개발 프로젝트의 영향을 자세하게 분석할 수 있다는 장점을 가짐
- 가치평가이론을 통한 경제적 가치 환산법은 주로 환경재 및 신기술 등에 대한 가치를 금전적 가치로 환산하는 가치평가방법에서 나타난 것을 발전시킨 것임
- 그리고 산업간 파급효과 분석방법은 기술의 개발이 각 산업간 파급되어 여러 산업에 미치는 경제적 효과를 측정하는 방법으로 산업연관표(Input-Output Table)를 이용한 방법, 특허흐름(Patent Flow)을 이용한 방법, 기술거리(Technological Distance)를 이용한 방법, 생산함수, 비용함수를 이용한 방법 등이 사용됨
- 산업연관분석모형은 산업간 파급효과를 분석할 수 있는 대표적인 방법론으로 한 산업에서 생산된 제품은 다른 산업의 제품 생산을 위한 원재료로 투입됨으로써 각 산업은 직접 간접으로 서로 밀접한 연관관계를 맺고 있음에 주목하여 이러한 산업과 산업간의 관계를 수량적으로 파악하고자 하는 분석방법이다. 레온티에프(W.W.Leontief)의 이론을 기반으로 국민경제의 움직임을 산업간의 생산기술 연결구조로 구조화하여 그 연관관계를 구명하는 실증적인 분석방법으로, 투입산출분석(Input Output Analysis)이라고도 한다. 산업연관표(Input-Output Table)는 국민경제내에서 개별산업들의 최종산출물이 다른 산업의 중간투입으로 얼마만큼 사용되며 최종수요에 어느 정도 사용되는지, 그리고 그 산출물을 만들기 위해 다른 산업으로부터 어느 정도의 중간재를 구매했고, 거기에 노동과 자본이 얼마나 투입되었는지를 일목요연하게 보여주는 일종의 통계표로써 우리나라는 한국은행에 의해 5년 간격으로 만들어지고 있음
- 산업연관표는 산업들간의 투입 구조를 상세히 알려주고 있기 때문에 산업간 파급효과를 살펴보는 데 유용한 정보와 방법론은 제공하며, 국가의 거시정책이나 산업정책, 물가파급예측 등에 많이 활용되고 있다. 산업연관분석의 결과는 생산유발효과, 전후방

연쇄효과, 수입유발효과 등으로 나타난다. 생산유발효과란 최종수요의 증가에 따라 각 산업의 생산에 미치는 직·간접적인 생산증가 효과를 말하며, 이는 특정 부문의 최종수요가 한 단위 증가함에 따라 산업전체에서 직·간접으로 유발하는 생산액을 나타내는 생산유발계수를 통해 살펴볼 수 있음

(나) 산업 연관 분석

- 철도산업은 직·간접적으로 많은 산업과 밀접한 연관관계를 맺고 있기 때문에 철도산업의 생산품은 다른 산업의 상품생산에 위한 원재료로 투입된다. 따라서 철도 산업의 산출량 증가는 다른 산업에도 투자를 증가시켜, 본 사업 생산량을 증가시키게 된다. 그러므로 철도 산업의 생산증가는 타 산업으로 파급되는 효과가 발생되게 된다. 생산 활동을 통하여 이루어지는 산업간의 상호 연관관계를 수량적으로 분석하기 위해 산업연관분석을 수행함
- 한국개발연구원에서는 예비타당성조사의 모든 사업들에 대하여 사업비 지출에 따른 파급효과를 산출하기 위해 산업연관표에 의한 파급효과를 추정하고 있어 한국개발연구원의 철도분야 예비타당성조사 표준지침에 따라 산업연관분석을 수행하며, 철도관련 부분에서의 생산 및 서비스 활동이 직·간접적으로 상호간에 의존관계를 형성(시스템 국산화로 인한 대체효과)하여 국민 경제에 미치는 파급효과를 수량적 또는 계량적으로 분석하였다. 경전철의 실용화 사업에 투입되는 사업비 지출에 따른 경제적 파급효과를 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과로 구분하여 산출하였음
- 본 연구에서는 기존 경제적 파급효과를 수행한 “자기부상열차 예비타당성 조사”, 과기부 보고서를 참조하였다. 참조된 보고서에서는 2000년의 실측값을 사용한 한국은행 산업연관표를 사용하여 전체 404부분 중 철도차량, 철도시설, 철도서비스로 구분하여 총 38가지로 재구성하여 산출하였다. 사용된 방법은 다음의 그림과 같음



[산업연관분석 순서도]

(1) 산업연관표의 기본 구조

- 한 경제를 구성하고 있는 각 산업부문은 자산업은 물론 타산업으로부터 노동, 자본, 원자재 등 각종 중간재를 투입하여 소비재나 자본재를 생산하여 판매하게 된다. 이러한 과정에서 발생하는 모든 거래를 일정 기간 동안 일정 형식에 따라 정리한 표가 산업연관표이다. 어떤 재화를 생산하기 위해 일정한 중간재를 투입하여 부가가치의 생산과 더불어 최종재로 생산되어 판매되는데 결과적으로 이 중간투입재에 부가가치를 합치면 총산출물이 됨
- 재화와 서비스의 산업부문 상호간의 거래인 중간수요와 중간투입을 기록하는 부문을 내생부문이라고 하고, 최종수요와 부가가치를 기록하는 부문을 외생부문이라고 함
 - 내생부문 : 외생부문의 수치가 모형 밖에서 주어지면 이에 따라 수동적으로 모형내에서 그 값이 결정되는 부분
 - 외생부문 : 내생부문과 관계없이 모형 밖에서 값이 결정되는 부분
 - 외생부문 값의 변동이 국민경제에 어떠한 파급효과를 정도를 파악

【표】 산업연관표의 기본구조

구분		내생부문				외생부문		수입 (공제)	총 산출		
		1산업	...	산업	...	n 산업	중간수요계			최종수요계	
내생 부문	1산업	1	...	X_{1j}	...	X_{1n}	W_1	Y_1	M_1	X_1	
	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	i 산업	X_{i1}	...	X_{ij}	...	X_{in}	W_i	Y_i	M_i	X_i	
	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	n 산업	X_{n1}	...	X_{nj}	...	X_{nn}	W_n	Y_n	M_n	X_n	
	중간투입계	U_1	...	U_j	...	U_n					
외생 부문	부가가치세	V_1	...	V_j	...	V_n					
	총투입	X_1	...	X_j	...	X_n					

- 이러한 산업연관표의 일반적인 형식은 위의 표와 같 있으며 가로방향 i 부문의 총생산액 X_i 와 수입 M_i 를 합한 총급급액 $(X_i + M_i)$ 는 중간수요인 $W_i = \sum_{j=1}^n X_{ij}$ 만큼 자체부문 및 타 부문의 중간재로 최종수요인 $Y_i (= C_i + I_i + E_i)$ 만큼 소비, 투자, 수출을 통해 최종재로 판매되었음을 나타낸다. 또한 세로방향 j 부문은 X_j 만큼의 생산을 위해 중간투입인 $U_j (= \sum_{i=1}^n X_{ij})$ 만큼 자체부문 및 타 부문에서 원재료를, 부가가치인 $V_j (= R_j + S_j + D_j + T_j)$ 만큼 본원적 생산요소를 각각 구입하였음을 나타냄
- 산업연관표는 위의 표(내생부문과 외생부문, 또는 투입구조와 배분구조)에 따라 일정한 형식을 갖게 되는데 이는 다음과 같음

- 중간수요+ 최종수요=산출액+ 수입+ 수송운임+ 도소매마진+ 잔폐물
- 총수요 = 총공급

$$\begin{array}{cccccccc}
 & X_{12} & + \dots & + X_{1j} & + \dots & + X_{1n} & + Y_1 & - M_1 = X_1 \\
 & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\
 & X_{i1} & + X_{i2} & + \dots & + X_{ij} & + \dots & + X_{in} & + Y_i - M_i = X_i \\
 & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\
 & X_{n1} & + X_{n2} & + \dots & + X_{nj} & + \dots & + X_{nn} & + Y_n - M_n = X_n
 \end{array}$$

- 여기에서 X_{ij} 는 j 부문에서 사용된 i 는 중간투입액, X_i 는 i 부문의 산출액, X_j 는 j 부문의 산출액, Y_i 는 i 부문의 최종수요액, M_i 는 i 부문의 수입액

- 여기에서 한 재화나 서비스를 생산하기 위해 투입된 투입정도를 보기 위해서는 투입계수가 필요하며, 투입계수는 각각의 중간 투입액을 총산출액으로 나누어 산출된다. 이 투입계수는 $a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j}$ 로 표시할 수 있으며, j 재 한 단위를 생산하기 위해 i 재가 투입된 것을 의미한다. 이 투입계수를 모든 산업에 연관하여 계산하기 위해서 다음과 같은 일반식으로 표현함

$$\begin{array}{cccccccc}
 a_{11}X_1 & + a_{12}X_2 & + \dots & + a_{1j}X_j & + \dots & + a_{1n}X_n & + Y_1 & - M_1 = X_1 \\
 & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\
 a_{i1}X_1 & + a_{i2}X_2 & + \dots & + a_{ij}X_j & + \dots & + a_{in}X_n & + Y_i & - M_i = X_i \\
 & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\
 a_{n1}X_1 & + a_{n2}X_2 & + \dots & + a_{nj}X_j & + \dots & + a_{nn}X_n & + Y_n & - M_n = X_n
 \end{array}$$

- 이는 행렬식으로 나타내면 $AX + Y - M = X$ 가 되며, 여기서 A 는 a 의 투입계수행렬, X 는 총산출액 벡터, Y 는 최종수요 벡터, 그리고 M 은 수입액 벡터로 이행렬식은 다음과 같이 풀 수 있음

$$\begin{aligned}
 X - AX &= Y - M \\
 (I - A)X &= Y - M \\
 X &= (I - A)^{-1}(Y - M)
 \end{aligned}$$

단, i 는 주 대각요소가 모두 1이고 나머지 요소는 모두 0인 단위행렬

- 생산유발계수는 최종수요가 1단위 증가하였을 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 산출단위이므로 $(I - A)^{-1}$ 가 최종수요 1단위 증가에 따라 유발되는 모든 요소들의 직·간접적인 파급효과를 합한 것이므로 생산유발함수를

의미한다. 이 계수는 산업의 총 산출액이 본산업의 투입물을 포함한 다른 모든 산업으로부터 투입된 모든 요소의 합으로 항상 1보다 크거나 같으며, 이 수치에서 1을 뺀 나머지는 최종수요가 본 산업부문의 생산에 미치는 간접효과가 됨

(2) 생산유발계수

- 국산과 수입을 구분하지 않는 경쟁수입형 생산자가격표의 투입계수를 기초로 하여 생산유발계수를 도출하였으며 이 생산유발계수는 기본적인 수급방정식으로부터 도출된다. 각 부문별 총산출액 (Y) 은 생산유발계수 $(I-A)$ 에 최종수요(수입공제)를 곱하여 구하게 된다. 그러므로 이 생산유발계수를 이용하기 위해서는 외생변수로서 최종수요벡터 (Y) 와 수입벡터 (M) 가 주어져야 함

(3) 부가가치 유발계수

- 최종수요의 발생이 국내생산을 유발하고 생산활동에 의해서 부가가치가 창출되기 때문에 결과적으로 최종수요의 발생이 부가가치가 창출의 원천이라고 할 수 있다. 즉 1단위의 최종수요에 의해서 유발되는 직·간접 산출단위를 나타내는 생산유발계수 행렬의 각 열에 본원적 생산요소 투입계수의 각 행을 곱함으로써 최종수요 충족을 위하여 필요한 본원적 생산요소 단위를 구할 수 있는데, 이러한 최종수요의 발생에 따른 부가가치 유발계수의 도출과정은 다음과 같음
- 부가가치벡터를 V , 부가가치계수의 대칭행렬을 A 라고 하면 $V = \overline{A}X$ 의 관계가 성립하며 이 식에 생산유발계수식 $X = (I - A^d)^{-1}Y^d$ 를 대입하면 $V = \overline{A}(I - A^d)^{-1}Y^d$ 이 도출되는데, 이 식에서 $\overline{A}(I - A^d)^{-1}$ 를 부가가치 유발계수행렬이라고 하며 이것을 이용하면 국산품에 대한 최종수요(Y^d)가 주어질 때 그것으로부터 유발되는 부가가치액을 구할 수 있다. 한편 $(I - A + m^*)^{-1}$ 형과 $[I - (I - m)A]^{-1}$ 형 생산유발계수를 이용하여 부가가치 유발계수행렬을 각각 산출할 경우 외생변수로서 최종수요(Y) 또는 국내 최종수요(Y^*)와 수출(E)을 각각 사용 함

(4) 경제적 효과 계수 추정

- 위에서 언급하였듯이 생산유발계수 및 부가가치계수는 경쟁수입형 생산자가격표의 투입계수를 기초로 다음과 같이 산출됨

【표】 철도생산 및 부가가치 유발계수 추정치

번호	산업구분	생산유발계수	부가가치유발계수
1	농림어업	1.8790	0.8945
2	광업	1.7779	0.9022
3-1	음식료품	2.5348	0.8073

번호	산업구분	생산유발계수	부가가치유발계수
3-2	섬유가죽제품	2.8651	0.6890
3-3	목재 및 나무제품	2.7044	0.5793
3-4	펄프 및 종이제품	3.0016	0.6328
3-4	인쇄출판 및 복제	2.7726	0.7930
3-6	석유석탄제품	2.2464	0.3844
3-7	화학제품	2.9753	0.6234
3-8	비금속광물제품	2.4934	0.7842
3-9	1차금속	3.3552	0.5827
3-10	금속제품	2.9188	0.7240
3-11	일반기계	2.9349	0.7076
3-12	전기및전자제품	3.0389	0.5429
3-13	정밀기계	2.9285	0.6643
3-14	자동차	3.2363	0.7037
3-15	철도차량	3.5862	0.5119
3-16	기타수송장비	3.1726	0.6885
3-17	기타제조업	2.7336	0.7109
4-1	전력-수도	2.1139	0.6747
4-2	건축건설	2.4235	0.8042
4-3	도로시설	2.2249	0.8799
4-4	철도시설	2.8040	0.7966
4-5	지하철시설	2.9108	0.7944
4-6	기타토목건설	2.3845	0.9086
5-1	도소매	1.7112	0.9117
5-2	음식점및숙박	2.3416	0.8394
5-3	철도여객운송	2.0846	0.8099
5-4	철도화물운송	2.7516	0.6667
5-5	도로여객운송	2.0012	0.7940
5-6	도로화물운송	2.1762	0.7867
5-7	기타운송 및 보관	2.5808	0.4867
5-8	통신및방송업	1.8644	0.9013
5-9	금융및보험	1.5703	0.9531
5-10	부동산및사업서비스	1.5894	0.9501
5-11	공공행정 및 국방	1.7707	0.8941
5-12	교육및보관	1.7832	0.9012
5-13	사회및기타서비스	2.6196	0.8035

- 그리고 고용 유발계수는 한국개발연구원(KDI)의 철도분야 예비 타당성 조사표준 지침상의 고용 유발계수를 이용하였음

【표】 경제적 효과 추정 계수

구분	생산유발	부가가치	고용유발(억원당)
철도시설	2.804	0.79	2.87
철도차량	3.5862	0.51	2.87
철도서비스	2.0846	0.81	2.87

- 생산 유발효과 추정계수는 철도시설, 철도차량, 철도서비스에 각각 2.8, 3.6 그리고 2.1이며, 부가가치 유발효과는 철도시설, 철도차량, 철도서비스에 0.79, 0.51, 0.81로 각각 나타났다. 그리고 고용유발효과는 철도투자 1억원당 2.87명이 고용되는 것으로 나타났다음

(5) 경제적 파급효과 추정

- 경제적 파급효과를 분석하기 위해서는 일정한 노선이 선정된 상태에서 추정하여야 하나 현실적으로 노선이 선정되어 있지 않으므로 가상적인 대상 노선(시범사업노선 7km)을 선정하고 이에 대한 경제적 파급효과를 분석하였음
- SMART 전철 실용화사업에 소요되는 비용은 LIM 평균사업비 분석을 통한 사업비 단가에 총연장 7km로 8량 9편성 기준 차량 시스템의 차량비, 운영비용을 산출하여 추정한 것을 이용하였다. 이 비용(시스템별 건설비, 차량비, 운영비)과 위에서 산출한 계수를 이용하여 SMART 실용화사업의 전체적인 경제적 파급효과를 추정하였음

【표】 차량비 및 유지보수비

8량1편성 기준	기존 도시철도 (서울지하철7호선)		SMART 철도	
차량 가격	12 억/량 (96억/편성)	100 %	14.87 억/량 (118.96/편성)	124 %
전장품 가격 (Panto+변압기+주전력변환 장치 +필터리액터+건인전동기+ 제동Unit)	4 억/량	100 %	6.87 억/량	172 %
노선 적용 시 유지보수비 (7km 노선 기준)	10.92 억/년	100 %	2.52 억/년	23 %
전력사용비 (7km 노선 기준)	0.61 억/년/편성	100 %	0.61 억/년/편성	100 %
20년간 차량 운영비 (7km 노선 기준, 1편성)	{10.92 억/년 (노선유지보수비) + 0.61 억/년/편성 (전력사용비)}*20년 = 326.6 억	100 %	{2.52 억/년 (노선유지보수비) + 0.61 억/년/편성 (전력사용비)}*20년 = 181.56 억	56 %

【표】 경제적 파급효과 추정 결과

구분	비용(억원)	생산유발(억원)	부가가치(억원)	고용유발(명)
철도시설 (건설비)	2,833	7,944	2,238	8,131
철도차량 (차량비)	1071	3,841	546	3,074
철도서비스 (운영비)	173	361	140	497
합계	4,077	12,146	2,924	11,702

- 사업비 지출에 따른 파급효과를 추정한 결과, 노선연장 7km의 SMART 실용화 사업 시행을 기준으로 총 경제적 파급효과는 1조 5,070억원으로 분석되어 파급효과가 큰 것으로 나타났다. 생산유발효과는 1조 2,146억원, 부가가치 유발 효과는 2,924억원 이고 1만 1,702명 정도의 고용기회가 창출되는 것으로 추정되었음

(다) 매출 및 부가가치 전망

- SMART가 국내시장 및 국외시장에 진출할 때 어느 정도 부가가치를 창출할 수 있는가를 산출하고 비용편익분석을 통해 경제성을 산출하였다. 개발 후 10년간 예상되는 매출액 및 예상 부가가치액과 연구개발에 투자된 연구개발 투자액을 사용하였음

(1) 수요 추정

- 국내수요는 2008년 경전철기술개발 기획보고서의 내용을 중심으로 계획된 모든 경전철 노선을 통해 추정하였다. 국내 경전철 및 신교통체계 도입계획으로부터 계획/검토 중인 노선연장은 618km정도 되는 것으로 추정되었음
- 현재의 단계에서 시장점유율을 파악하는 것은 불가능하므로 일정한 시나리오에 따라 규모를 예측하였다. 건설계획 및 검토 노선의 일부 노선이 개발되는 경전철시스템으로 건설되는 것으로 가정하여 그 시장규모를 추정하였다. 약 10% 정도가 개발된 시스템으로 건설된다고 가정할 때 매해 약 3km ($618.1\text{km}/20\text{년} \times 0.1$) 정도의 수요가 발생한다고 가정할 수 있다. 현실적으로 매년 건설이 이루어지지 않는으나 2~3년에 5km~10km의 건설이 이루어진다고 가정한다면 평균 3km/년은 합리적인 가정으로 볼 수 있음
- 국외수요는 국외의 경우 말레이시아, 인도네시아 및 태국 등에서 경전철 도입을 검토 중에 있고 기타 아시아, 호주, 남미, 유럽 등에서 20년간 총 500여개의 경전철시스템 도입을 검토 중에 있어, 이들 노선의 평균거리를 10km로 가정할 때 총연장 5,000km가 된다. 이중 25.2%(AGT, LIM과 모노레일시장)의 진출이 가능하다면 노선연장은 1,260km이다. 이중 국내 개발경전철이 10%의 시장점유율을 가진다면 126km로 매년 6.3km의 수출이 가능하다고 추정할 수 있음

(2) 매출 전망

- 제시된 가정에 따라 국내 및 국외 수요를 예측한다면 국내 3km, 국외 6.3km 정도의 수요가 연구개발 종료후 10년간 예측할 수 있음
- 개발후 10년간 국내에서는 약 30km정도 노선에서 개발된 경전철이 도입될 것으로 추정되고, 해외에서는 63km 정도의 노선에 진출할 수 있을 것으로 예측됨
- 사업비는 선정된 시스템과 노선조건에 따라 많은 차이가 발생하게 된다. 그러므로 추진시스템의 변경에 따른 차상 전장장치와 노선 전기시설비만을 대상으로 매출액을 산정하였음
- SMART의 경우 시설비는 LIM과 비교하여 차상장치 비용은 높고 노선 전기시설 비용은 낮다. 또한 유지보수비도 기존철도 대비 23%수준으로 높은 경제성을 보이고 있음

【표】 시스템별 추정 시설비 및 유지보수비

	기존철도	LIM추진 도시철도	SMART 철도
전기시설비 (편성당/km당)	차상장치 : 22억 전차선 : 12억 (지상구간 가정) <u>Total : 34억</u> 100 %	차상장치 : 22억 전차선 : 12억 지상 RP : 5억 <u>Total : 39억</u> 115%	차상장치 : 45억 지상코일 : 7억 인버터 : 5억 <u>Total : 57억</u> 168 %
전기시설 유지보수비 (km/년)	전차선 : 1.2억 선로 : 0.36억 (콘크리트궤도) <u>Total : 1.56억</u> 100 %	전차선 : 1.2억 선로 : 0.18억 RP 관리비 : 0.18억 <u>Total : 1.56억</u> 100%	지상전기차 : 0.18억 선로 : 0.18억 <u>Total : 0.36억</u> 23%
노선 적용 시 전기시설비 (30km 노선기준)	22+12x30 = <u>382억</u>	22+17x30 = <u>532억</u>	45+12x30 = <u>405억</u>

- SMART로 인한 매출은 차상 전장품 및 노선 전기시설 추정액을 사용하였음
- 1편성 기준으로, 국내의 경우 매년 45억+12x3=81억을, 해외의 경우 45+12x6.3=120.6억원을 추정치로 사용하였음
- 총 매출발생 추정액 산정시 연구개발기간이 2016년도에 완료되고 안정화 기간 및 시험기간을 2년으로 책정하여 실제 매출발생은 2018년부터 발생하는 것으로 하였음

(3) 부가가치 발생과 비용편익 산출

- 추정된 매출 발생액으로부터 부가가치 발생을 추정하고 이로부터 비용편익비(BC ratio)를 추정하였다. 부가가치 발생 정도를 추정하기 위해 매출액의 40%를 부가가치 발생률로 사용하였다. 부가가치발생률은 과학기술기획평가원의 자기부상열차, 경제성 평가 등 유사 사업의 보고서에서 사용된 수치임

① 연구개발비

- 연구진에서 제시된 연구기간 4년의 연구개발비를 사용하였다. 연구비 투입은 다음과 같음

【표】 연구비 투입내용 (단위:백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도(2013)	3,000		3,000
2차년도(2014)	10,000		10,000
3차년도(2015)	10,000		10,000
4차년도(2016)	3,000		3,000
합계	26,000	0	26,000

주) 상기 예산은 연차별 중간평가결과와 정부 예산정책에 따라 변경될 수 있음

② 부가가치 전망

- 매출액의 40%를 가정하여 부가가치를 산출하였다. 매년 국내의 경우 32억, 국외 48억이 기술개발에 따른 부가가치로 추정되었음

③ 비용편익 분석 결과

- 비용편익분석 결과 SMART 사업은 부가가치 창출 면에서 경제적 타당성이 있는 것으로 나타났다. 하지만 이 수치가 향후 시스템 도입의 효율성을 보여주는 것은 아니라는 점을 주의해야 함

【표】 비용편익분석 결과

구분	NPV (순현재가치법)	IRR (내부수익률법)	B/C (비용-편익비법)
SMART	221	14%	1.92

(라) SMART의 경제적 장점

- 개발하고자 하는 SMART 전기철도는 타 교통수단과 비교해 볼 때 노면전차의 특성과 유사한 장점을 보유하고 있으며 고비용의 고가 구조물 및 역사가 필요 없기 때문에 건설비가 저렴한 측면이 있음. 또한, 전차선 설비가 불필요하므로 터널구간에서의 단면적이 크게 감소함에 따라 터널공사비 등 건설비 저감에 기여할 수 있을 것임. 이

러한 낮은 투자비로 인하여 현재 건설비가 높아 건설을 주저하고 있는 지방자치단체에 유리한 시스템이라고 판단됨. 즉 건설비 부분에서 많은 비중을 차지하고 있는 역사 건설비 그리고 지하구간에서의 터널건설비용, 지하역사 등의 건설에 대한 비용이 타 시스템과 비교할 때 저렴하기 때문에 지하구간이 많은 도심지역에서는 경제적으로 유리한 시스템이라고 판단할 수 있음

- 기술적으로 본 시스템은 비접촉방식으로서 접촉에 의한 마모가 없어 유지보수 비용 절감이 가능하다고 예측할 수 있으며, 직접 추력 발생 특성에 의한 효율적 운전이 가능한 설비구성으로 에너지효율성이 높으며, 추가적인 차량설비 없이 제동 시 발생하는 회생에너지 이용이 가능하기 때문에 이를 활용한 경제적 장점도 보유하고 있다고 할 수 있음

9. 과제 RFP 및 평가기준

9.1 본 과제 RFP

연구과제명	SMART(초전도 전자석 적용 레일 추진시스템) 핵심기술개발
1. 연구개발 목표	○ 무가선, 비점착, 순시제동, 자동위치검지, 차상급전 등의 기능을 갖춘 신 개념 미래 철도차량 추진시스템의 핵심 원천기술을 확보 ▪ 가속도 : 2.0 m/s^2 이상 ▪ 최고속도 : 100 km/h ▪ 등판능력 : 80 % ▪ SLR 정격 용량 : 300 kW ○ 기술검증 및 성능평가를 위한 1km 내외 테스트 베드 구축
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발의 필요성 ○ 차상 추진 방식의 기존 철도 시스템은 차상장치(변압기, 전력변환장치, 추진 모터등)로 인한 차량 부피 및 중량증가, 전차선 설치에 따른 터널 건설비 증가, 점착 구동에 따른 가감속 능력 한계 등 철도 노선 건설 및 운영 효율 측면에서 지속적으로 문제 제기됨 ○ 도심내 저비용, 고효율 그리고 친환경 철도 교통 시스템에 대한 정부 및 지자체의 요구 증대에 따라 가공 전차선을 사용하지 않는 미래형 친환경 전기철도 시스템의 개발 필요 ○ SMART는 지상 동력으로 차량의 추력을 발생 시킬 수 있는 추진 시스템으로서 가공전차선이 필요하지 않으며, 급가감속 및 고속 주행이 가능한 미래 철도차량용 추진 기술로 국외에서 유사한 기술의 연구가 활발히 진행되고 있음 ○ SMART 기술을 구현하기 위한 대용량 선형 전동기 기술, 위치검지 기술, 초전도 전자석 기술 등은 원천기술로서 선진국의 기술선점 및 특허장벽 극복을 위하여 연구개발 조기 착수가 필요 ○ 본 핵심 기술은 개발 초기 단계이므로, 현 시점에서 기술 개발에 성공할 경우 세계 시장을 선도적으로 주도할 수 있으며, 풍부한 해외 철도 시장을 바탕으로 수출 산업화가 가능하여 녹색 철도교통시스템의 해외 진출 활성화에 크게 기여함 ○ SMART는 리니어 전철, 자기부상열차 등에 사용되는 선형전동기와 유사하나, LIM의 속도 한계를 극복하고, LSM의 고비용에 의한 실용성을 해결할 수 있는 차세대 추진시스템임 ☐ 기술동향 <국내 동향> ○ 국내의 경우, 용인 경전철 및 도시형 자기부상철도에 선형유도전동기(Linear induction motor : LIM) 추진 방식의 전자장 가속 추진 기술이 일부 적용 중에 있음 ○ 550km/h급 초고속 자기부상철도의 핵심 기술 개발을 목표로 2011년부터 3년간, 상전도 전자석 적용 선형동기전동기(Linear Synchronous motor, LSM) 추진 시스템 기술 개발이 진행 중에 있음 ○ 한국원자력연구원에서는 2006년도에 원자로 제어봉의 안전하고 신속한 구동을 위하여 액츄에이터로 튜블라 방식의 리니어펄스모터(Linear Pulse

Motor, LPM)를 적용하는 연구를 수행하였으며, 시제품으로 2m 스트로크에 100kg의 부하를 50mm/s의 속도로 이송시킬 수 있는 시제품을 제작함

<국외 동향>

- 독일에서는 1970년 초부터 상전도 LSM 기술을 적용하여 500km/h 급 초고속 자기부상철도인 Transrapid를 개발하였으며, 중국 상하이에 세계 최초로 영업노선을 구축하여 2004년부터 운행 중에 있음
- 초전도 전자석을 적용한 선형전동기 추진 방식으로는 일본의 500km/h급 초고속 자기부상열차의 LSM 추진 시스템이 세계적으로 유일하며, 현재 1단계 사업으로서 도쿄-나고야(약 290km) 구간에 대하여 영업 노선을 건설 중에 있음
- 미국에서는 Sandia National Lab.에서 일반적인 LIM과 다르게 Pulsed magnetic field와 Segmented reaction rail을 이용한 펄스타입의 LIM 기술을 선보임

3. 연구개발내용

□ 세부과제 1 : 초전도 리니어레일(SLR) 전동기 기술 개발(시스템 총괄 포함)

- 시스템 통합 기술 개발
 - 전자장 가속 추진 시스템 기술의 통합 및 총괄운영관리 체계 구축
 - 시스템 인터페이스 내용 분석
 - 시스템 요구사항 분석 및 정의
- 대용량 초전도 리니어레일(SLR) 설계/해석 기술 개발
 - 초전도 리니어레일(SLR) 자료 조사 및 분석
 - 목표사양을 달성하는 초전도 리니어레일(SLR) 설계
 - 차량 총 중량 : 5[ton] 이내
 - 가속도 : 2.0 m/s^2 이상
 - 최고속도 : 100 km/h
 - 등판능력 : 80 %
 - SLR 정격 용량 : 300 kW
 - 초전도 리니어레일(SLR) 등가회로 분석
 - 초전도 리니어레일(SLR) 전자장 해석
 - 추력 리플 저감 기술 개발
- 지상 권선 성형 기술 개발
 - 초전도 리니어레일(SLR)의 전기자 권선 직각 성형 기술 개발
 - 권선 재료에 따른 특성 분석
 - 지상 권선의 대전류/저전압 특성 및 전압강하 보상 기술 개발
- 대전류공급용 전력변환 장치 설계/해석(교류, 직류) 기술 개발
 - 초전도 리니어레일(SLR) 구동을 위한 대전류공급용 인버터 설계
 - 대전류 펄스공급을 위한 가용 스위치 조사 및 전기적 특성 분석
 - 구동 전류 및 전압에 대한 전력변환장치 특성 해석
- 블록 스위칭 기술 개발
 - 구동 블록의 길이 산정
 - 대전류 스위치기어 조사 및 특성 분석
 - 차량 위치에 따른 섹션 전환 기술 개발
- 정밀 위치 및 속도 검지 기술 개발
 - 차량 절대위치 검지 기술 개발
 - 차량 상대위치 검지 기술 개발

- INKREFA, Slot counter, 광센서, 도플러센서 등 다양한 위치 검지 기술 검토 및 적용 기술 개발
- 다양한 악조건에서의 차량 위치검지 구현 방안 수립 (2중 구조)
- 전력변환 제어 및 운영 기술 개발
 - 대전류 전력변환장치의 운전 및 제어 기법 개발
 - 속도 및 대전류 제어기술 개발
 - 펄스에 의한 피크 유기전압 저감 기술 개발
 - 지상 전력시스템 및 지상 코일, 차상 집전시스템 등 주요장치의 고장 시 대처방안 및 유지보수 방안 수립 (2상 권선법, 독립전원)

□ 세부과제 2 : 차상 초전도시스템 기술 개발

- 차상 초전도 전자석 설계/해석 기술 개발
 - 초전도체의 자기장 특성을 고려한 코일 최적화 설계 연구
 - 차량 탑재 환경 고려 내진동/Compact 설계 연구
 - Race track형 코일 권선 기술 개발
 - 초전도 선재 안정화 접합 기술 개발
 - 탈 부착형 전류 리드 열절연 해석 및 형상 설계
 - 초전도 자석 평가 기술
- 초전도 전자석 영구전류모드 운전 기술
 - 영구전류운전용 초전도 스위치 기술
 - 영구전류 모드 중 자기장 감쇄 저감 기술
- 초전도 전자석 냉각시스템 설계 및 운전 기술
 - 냉각 방식별 성능 특성 연구
 - 고효율 냉각 시스템 개발
 - 저손실 Cryostat 설계 및 해석
 - 열 절연 구조 설계 및 해석
- 차량 하부 구조 분석 및 대차 취부 기술
 - 계자용 초전도 전자석 취부를 위한 하부 구조 분석
 - 동력전달을 위한 초전도 전자석의 대차 취부 기술

□ 세부과제 3 : 차상 전원용 집전시스템 개발

- 차상 전원용 집전장치 설계/해석
 - 차상 전원용 집전장치 자료 조사 및 분석
 - 집전장치 설계
 - 집전장치 전자장 해석 및 특성 분석
- 차상 전원용 전력변환 장치 설계/해석(배터리 연계) 기술
 - 차상 전원용 컨버터 설계 및 해석
 - 차상 EMS(Energy Management System) 기술 개발
- 집전 시스템 성능해석 등 특성 연구
 - 집전장치와 차상 전력변환장치의 연계 및 성능 분석
 - 속도대별 집전시스템의 성능 분석
- 집전 차량 하부 구조 분석
 - 분산식, 집중식 집전시스템 아이디어 도출
 - 각 시스템 별 차량 하부 취부를 위한 구조 분석
 - 차량 하부 취부 기술 개발

□ 세부과제 4 : 전용 인프라 기술 개발

- 신호 및 통신시스템 인터페이스 기술

- 전기자 권선을 이용한 차량 정보의 신호 및 통신시스템 기술 개발
- 안전성 확보를 위한 별도의 통신시스템 및 인터페이스 기술 개발
- 궤도 등 인프라 구조 / 취부 구조 개발
 - 전기자 권선 설치를 위한 궤도 구조 분석
 - 전기자 권선의 인입 특성 분석 및 기술 개발
- SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스트베드 건설
 - 전용 테스트베드 제작 및 운용 기술 개발
 - 핵심 기술간의 인터페이스 기술 개발
 - 각 기술의 안전 및 내구성 검토
 - 시험검증 및 성능평가 기법 개발
- 전자장 등 관련 안전성 문제 검토
 - 전용 테스트베드에서 안전성 검토 및 운용 기술 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- Top-down 방식으로 원천기술 개발
 - 시스템 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시스템 사양 개발
 - 테스트베드 개발을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시스템 통합 구축, 원천기술 검증
- 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
 - 개념설계를 통한 시스템 사양 결정 및 아키텍처 개발
 - 핵심장치에 대한 시작품의 설계·제작·시험 추진
 - 시험평가를 통한 기술 실용화 검증
- 새로운 추진시스템의 적용과 테스트베드 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도
 - 테스트베드 부지 제공 및 시험평가
- 기반구축 연구로 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발·실증 역량 확충·철도 운영처로 다각화 추진
 - 물류 운송 활용방안 모색 (매립형 궤도로 타 지상 교통수단에 장애를 주지 않고 물류네트워크 구성 가능)
- 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용
- 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력

□ 추진체계

- 국내 철도, 추진, 차량, 초전도 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
- 시작품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함
- 원천기술 및 시작품의 테스트베드를 통한 실증을 위해 도시철도 운영기관의 참여가 바람직함
- 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영
- 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
- 본 연구단은 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에

있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요	
5. 최종성과물	
☐ 주요 최종 성과물	☐ 세부과제 1 : 시스템 총괄 및 전자장 가속(SLR) 추진 시스템 설계 기술 개발 ○ 시스템 인터페이스 설계안 및 주요 시스템 성능시험 기준안 - 시스템 요구사항분석 및 정의 - 시스템 인터페이스 내용 분석 - 성능평가 시험계획 및 절차서 - 시스템 성능시험 기준안 ○ 초전도 리니어레일(SLR) 추진시스템 시작품 및 성능평가 시험기준안 - 초전도 리니어레일(SLR) 설계사양서, 설계도면 - 초전도 리니어레일(SLR) 시작품 - 대전류 전력변환장치 설계사양서, 설계도면 - 대전류 전력변환장치 시작품 - 초전도 리니어레일(SLR) 제어 알고리즘 - 추진시스템 성능계측시스템 - 추진시스템 성능평가 시험기준안 ○ 블록스위칭 제어 알고리즘 및 위치 검지 시스템 - 블록스위칭 제어 알고리즘 - 스위치 기어 시작품 - 위치검지 시스템 시작품 - 블록스위칭 및 위치검지 성능평가 시험기준안 ☐ 세부과제 2 : 차상 초전도시스템 기술 개발 ○ 차상 초전도전자석 시스템 시작품 - 극수 : 4극 - 평균자속밀도 :2T ○ 초전도 전자석시스템 설계사양서, 설계도면 - 초전도 코일 설계사양서, 설계도면 - 냉각시스템 설계사양서, 설계도면 - 전력공급시스템 설계사양서, 설계도면 ☐ 세부과제 3 : 차상 전원용 집전시스템 개발 ○ 차상전원용 집전시스템 시작품 및 성능평가 시험기준안 - 집전장치 설계사양서, 설계도면 - 집전장치 전력변환장치 설계사양서, 설계도면 - 차상 EMS 제어 알고리즘 - 집전장치 차량 취부안 - 집전시스템 성능평가 시험기준안 ☐ 세부과제 4 : 전용 인프라 기술 개발 ○ 신호 및 통신시스템 - 신호 및 통신시스템 시작품 - 신호 및 통신시스템 제어 알고리즘

	○ 궤도 등 인프라 구조 - 전기자 권선 설치를 고려한 궤도 시작품 ○ SMART 기술 적용 철도차량 전용 테스트베드 - 전용 테스트베드 설계사양서, 설계도면 - 시험검증 및 성능평가 기준안 ○ 전자장 등 관련 안전성 문제 해결 방안 - 전용 테스트베드에서 안전성 시험성적서
6. 기대효과 및 파급효과	(1) 경제적 측면 ○ 철도의 터널 건설비, 전차선 건설비, 유지보수비 등 절감 ○ 철도 산업 신시장 창출 및 해외 철도 사업 진출 경쟁력 확보 (2) 기술적 측면 ○ 철도차량기지, 정거장 및 전차선 구간에서의 무선충전에 의한 급전 기술을 적용함으로써 차량 경량화 가능 ○ 전자장 추진용 자동위치검지 기술을 활용함으로써 별도의 열차 신호시스템 없이 열차 운행 제어 실현 ○ 본 연구의 핵심기술은 타 산업분야(자동차 및 항공 생산 공정, 대용량 항공 추진시스템, 물류운송, 공장자동화 등)에 다양하게 파급될 수 있음 (3) 사회적 측면 ○ 무가선 도시 철도 교통 구현에 따른 도심 미관 증대 ○ 철도 교통 에너지 사용 효율 향상에 따른 교통 분야 국가 에너지 정책 대응 ○ 저상 철도 구현이 가능하기 때문에 교통약자의 이동편의 증진을 위한 교통수단으로 대응 가능
7. 연구개발기간 및 소요예산	○ 총 연구기간 : 2013.1 ~ 2016.12 (4년) - 1차년도 연구기간 : 2013.1 ~ 2013.12 (1년) - 2차년도 연구기간 : 2014.1 ~ 2014.12 (1년) - 3차년도 연구기간 : 2015.1 ~ 2015.12 (1년) - 4차년도 연구기간 : 2016.1 ~ 2016.12 (1년) ○ 총 정부출연금 : 260억원 - 1차년도 연구개발비 : 정부출연금 30억원 ※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 제시된 총 정부출연금 범위 내에서 편성 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능
8. 기 타	○ 과제별 주요 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는“과제제안요구서(이하 ‘RFP’)”를 참조하여 작성 - 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용

을 일부 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시

※ 총 정부출연금 및 연차별 정부출연금은 향후 선정평가 결과, 정부예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음

- 연구관리 전문기관(한국건설교통기술평가원)은 필요시 선정된 동 과제 연구책임자와 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구기간 변경, 연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 성과목표(지표)별 연차별 정량적·정성적 달성목표치 및 가중치 등을 연구 개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표에 미래철도기술개발사업 성과지표를 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 연구개발 성과물의 현장시험을 통한 검증 및 향후 추진계획을 필히 제시해야 함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 연구개발계획서에는 구체적인 연구방법론이 반드시 제시되어야 함
- 매년 기술 및 시장 동향조사를 실시하여 차년도 연구계획에 반영
- 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kictep.re.kr 열린정보, <http://mdgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

9.2 연차별 연구성과 평가방법 및 기준 설정

가. 세부과제별 연차별·단계별 성과목표 및 성과지표

유 형	지표구분	성과지표	1차(2013년)목표	2차(2014년)목표	3차(2015년)목표	4차(2016년)목표	최 종 목 표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	가속도 2.0 m/s ² 이상 최고속도 100 km/h 등판능력 80 % SLR 용량 300 kW 초전도 리니어레일 전동기 기술 확보	·대용량 SLR 설계/해석 ·시뮬레이션을 통한 검증	·지상권선 성형기술 확보 ·블록스위칭 기술 확보 ·정밀위치/속도 검지 기술 확보	·대전류공급용 전력변환장치 설계/제작 ·전력변환 제어/운행 기술 확보 ·SLR 제어 기술 확보	시제품 통합 시험검증	초전도 리니어레일 전동기 기술 확보
		자속밀도 2.0 T 고온 초전도 시스템 기술 확보	·차상 초전도 전자석 설계/해석 ·시뮬레이션을 통한 검증	·연구전류모드 운전기술 확보	·초전도 전자석 설계/제작 ·냉각시스템 설계/제작 ·대차 취부 기술 확보	시제품 통합 시험검증	차상 초전도시스템 기술 확보
		70 kw 이상 차상 집전용 집전시스템 기술 확보	·차상 집전시스템 기초설계	·차상 전력변환장치 설계 ·대차 취부 기술 확보	·차상 집전시스템 성능 검증 ·집전시스템 운영 알고리즘 기술 확보 ·집전시스템 설계/제작	시제품 통합 시험검증	차상 집전시스템 기술 확보
		차량/인프라 인터페이스 기술 확보 지상 권선 매립용 궤도 기술 확보	·신호/통신 인터페이스 기술 확보	·권선 매립 구조 분석 및 기술 확보	·전용 테스트베드 건설 완료	시제품 통합 시험검증	전용 인프라 기술 확보
	표준 지표	논문 발표	- SCI급 논문 0건 - 국내저널: 0건 - 해외발표: 0건 - 국내발표: 0건	- SCI급 논문 2건 - 국내저널: 1건 - 해외발표: 2건 - 국내발표: 3건	- SCI급 논문 2건 - 국내저널: 1건 - 해외발표: 2건 - 국내발표: 3건	- SCI급 논문 2건 - 국내저널: 1건 - 해외발표: 2건 - 국내발표: 3건	- SCI급 논문 6건 - 국내저널: 3건 - 해외발표: 6건 - 국내발표: 9건
		특허 출원/등록	- 국내특허 출원: 5건 - 국내특허 등록: 2건	- 국내특허 출원: 5건 - 국내특허 등록: 5건	- 국내특허 출원: 5건 - 국내특허 등록: 5건	- 국내특허 출원: 5건 - 국내특허 등록: 5건	- 국내특허 출원: 20건 - 국내특허 등록: 17건
결과 (Outcome) 지표	과제의 궁극적 목표	기술 종속 탈피 및 독자 기술 확보 여부	- SMART 설계 및 인터페이스 기술 확보		- SMART 제작 및 제어 기술 확보	- SMART 성능평가 기술 확보	- 전자장가속방식의 추진 시스템 독자적 원천 기술 확보
	표준 지표	연구성과의 활용 및 확산				- 홍보건수: 1건	- 홍보건수: 1건

나. 평가기준 설정

기준항목	세 부 항 목
연구개발목표 (10점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 적절성·타당성(5점)
	성과지표 설정의 명확성 및 적정성(5점)
연구개발내용 (20점)	RFP와의 적합성(5점)
	과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점)
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성(5점)
	연차별 연구내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획 (20점)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성(5점)
	연구추진 전략의 구체성 및 타당성(5점)
	연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점)
	연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
개발기술의 실용성 및 경제성 (40점)	개발기술의 혁신성 및 차별성(10점)
	활용방안의 적절성 및 구체성(10점)
	개발기술의 실용성 및 사업성(10점)
	개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)(10점)
연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10점)	연구전문성 및 해당분야 실적(5점)
	연구과제 관리 및 운영 능력(5점)
부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치

※총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락