

온라인 유도급전 철도시스템 기술개발 기획보고서

2010. 8. 3.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

위탁연구기관 / KAIST온라인전기자동차사업단

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 "온라인 유도급전 철도시스템 기술개발 기획" 과제의 보고서로 제출합니다.

2010 . 8 . 3

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 이 병 송 책임연구원
연 구 원 : 김 형 철 책임연구원
" : 김 남 포 책임연구원
" : 권 태 수 책임연구원
" : 곽 재 호 책임연구원
" : 김 용 규 책임연구원
" : 김 대 상 책임연구원
" : 박 찬 배 선임연구원
" : 이 형 우 선임연구원
" : 최 진 유 선임연구원
" : 엄 진 기 선임연구원
" : 이 성 진 선임연구원

위탁연구기관명 : KAIST 온라인자동차사업단
위탁연구책임자 : 조 동 호 교수
연 구 원 : 정 용 훈 교수
" : 김 종 우 책임연구원
" : 유 병 역 선임연구원
" : 강 상 훈 연구원
" : 최 유 준 연구원
" : 최 학 준 연구원

보고서 요약서

과제고유번호		해 당 단 계 연구 기 간	2009.12.23~ 2010.5.22	단 계 구 분	1차년도 /1차년도
연구사업명	중 사업명	미래철도기술개발사업			
	세부사업명				
연구과제명	대 과 제 명	온라인 유도급전 철도시스템 기술개발 기획			
	세부과제명				
연구책임자	이 병 송	해당단계 참 여 연구원수	총 : 19명 내부 : 12명 외부 : 7명	해당단계 연구비	정부 : 8천만원 기업 : 천원 계 : 8천만원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 19명 내부 : 12명 외부 : 7명	총연구비	정부 : 8천만원 기업 : 천원 계 : 8천만원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국철도기술연구원 주행추진연구실		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : KAIST 온라인차 동차사업단		연구책임자 : 조동호 교수		
요약				보고서면수	
기존 철도의 장점인 정시성과 안전성은 보장하면서 기존의 접촉식 전력공급장치를 개선하여 전차선 설비가 필요 없어 유지보수 비용 절감이 가능하고, 접촉방식이 아니기 때문에 단선 및 전기접촉 등에 의한 위험성이 없는 친환경적인 전기철도 시스템 구현이 가능한 새로운 기술 개발 필요성 대두되면서 친환경적인 유도급전 기술을 적용한 온라인 전기철도 시스템 개발을 위하여 급전, 집전, 차량, 궤도 등 총체적 기술 검토 및 개발이 필요한 상황임. 따라서 본 보고서에서는 비접촉식 유도급전 시스템의 철도시스템 적용을 위하여 단계별 경량전철차량, 도시철도차량, 고속철도차량용 유도급전시스템 기술개발 전략을 수립하였으며, 우선적으로 1단계 240kW 급 유도 급/집전 시스템 핵심 기술 개발 및 확보를 위한 연구 기획을 수행하였음. 240kW급 유도 급/집전 시스템 핵심기술 개발을 위하여 3개의 세부과제를 도출하였으며, 세부과제별 RFP를 도출하여 제시하였음. ○ 세부과제 1 : 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술개발 ○ 세부과제 2 : 유도 급/집전장치 핵심기술개발 ○ 세부과제 3 : 유도 급/집전 시스템 시험평가 기술 개발					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	온라인철도시스템, 유도급전/집전 기술, 경전철, 비접촉, 그린철도			
	영 어	Online Railway System, Inductive Power Transfer/Collection Technology, Light Railway Transit, Contactless, Green Railway			

요 약 문

I. 제목

- 온라인 유도급전 철도시스템 기술개발 기획

II. 연구목적 및 필요성

1. 기술 개발의 필요성

- 기존 철도의 장점인 정시성과 안전성은 보장하며, 기존의 접촉식 전력 공급 장치를 개선하여 전차선 설비가 필요 없어 유지보수 비용 절감이 가능하고, 접촉방식이 아니기 때문에 단선 및 전기접촉 등에 의한 위험성이 없는 친환경적인 전기철도 시스템 구현이 가능한 새로운 기술의 개발 필요함.
- 친환경적인 유도급전 기술을 적용한 전기철도 시스템 개발을 위하여 급/집전 및 Energy Management System 등 총체적 기술 검토 및 개발이 필요함.

2. 기술적 중요성

- 기존 철도차량의 접촉식 전력공급시스템(전차선 & 판토틀렉스 방식, 제3궤조 방식)의 경우, 높은 건설비 및 유지보수 비용, 낮은 신뢰성 및 안전성, 낮은 환경친화성 등의 문제점을 가지고 있기 때문에 미래 교통 시스템에 대응할 수 있는 신개념의 전력공급시스템 기술 개발이 필요한 상황임.
- 유도급전 시스템은 기존 접촉식 급전설비와 비교하여 집전장치 및 전차선의 유지보수가 거의 불필요하므로 경제적이고, 단선의 위험이 없는 등, 기존의 접촉식 급전/집전 방식 보다 안전한 급전시스템이므로 서둘러 기술적 중요성이 큼.

3 국가정책에 대한 기여도

- 친환경 녹색교통의 일환인 청정 철도시스템 구축에 기여
 - 유도급전 기술을 적용한 철도시스템은 CO₂ 배출을 줄일 수 있는 친환경적인 철도 시스템으로 정부의 “저탄소 녹색교통” 개발 정책에 부합되는 첨단 기술임.
 - 2009년 12월 발의된 “노면전차 건설 관리 법안”과 신규 건설비 지원을 상향 조정 움직임에 의해 지자체에서의 경전철 수요가 급증할 것으로 예상됨에 따라, 가공차선을 궤도 사이에 배치하여 이용 안정성 및 도심 미관 개선 효과가 큰 유도급전 철도시스템에 대한 관심 및 수요가 클 것으로 예상됨.
- 비용 절감 및 고효율 철도시스템 구축에 기여
 - 정부 및 지자체의 저비용, 고효율 수송시스템에 대한 관심 및 요구가 증대되고 있는 상황에서, 유도급전 기술과 다양한 에너지 저장시스템(슈퍼캡, 플라이휠, 초전도자기에너지저장장치(SMES) 등) 기술을 접목한 철도시스템의 개발로 배터리에 100% 의존하는 철도시스템 대비 저비용, 고효율의 철도시스템 구축이 가능함.
 - 유도급전 철도시스템의 경우, 가공차선을 이용하는 전철 대비, 공사 시 터널 단면적 축소가 가능하여 공사비 및 유지보수비 저감이 가능함.

- 녹색 철도교통 시스템의 해외 진출 활성화에 기여
 - 유도급전 철도시스템 시장은 아직 기술개발 초기 단계이므로, 현 시점에서 기술 개발에 성공할 경우 세계 시장을 선도적으로 주도할 수 있으며, 풍부한 해외 철도시스템 시장을 바탕으로 수출 산업화가 가능함.

III. 연구내용 및 범위

1. 1단계 사업의 연구목표

- 기존의 접촉식 전력공급방식을 개선할 수 있는 비접촉식 유도급전 시스템의 철도시스템 적용을 위하여 단계별 경량전철차량, 도시철도차량, 고속철도차량용 유도급전 시스템 기술개발을 위한 1단계 240kW급 유도 급/집전 시스템 핵심 기술 개발 및 확보가 목표임

2. 세부과제 I : 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술 개발

- 급/집전 시스템 기술기준 개발 체계 정의
- 온라인 전기 철도용 다중동력원 전력공급 장치 개발
- 온라인 전기 철도용 다중동력원 시스템 통합기술 개발
- 온라인 철도의 에너지 모니터링 및 운영 관리 기술 개발

3. 세부과제 II : 유도 급/집전 장치 핵심기술 개발

- 270kW급 급전용 인버터 개발
- 최적설계를 기반으로 한 급전선로 개발
- 240kW급 집전모듈 개발

4. 세부과제 III : 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술 개발

- 전기철도용 유도 급/집전시스템 개별/통합 성능평가 및 안전성능 검증
 - 시스템 성능시험을 위한 평가체계 수립 및 시험평가 종합관리
 - 시스템 시험평가 항목 및 평가기준 기술 개발
 - 유도 급/집전 시스템 통합 성능 평가 수행
 - 유도 급/집전 시스템 안전성능 검증기술 개발

IV. 기술 실용화 가능성 및 전략

1. 국내 기술 개발을 위한 연구 역량

- 한국철도기술연구원은 2005년 건설교통부의 차세대 도시철도 시스템 기술개발사업의 소형케도열차시스템분야 연구(1년)에서 유도급전장치와 관련된 연구를 시작하였으며, 현재, 10kW, 20kW급 주파수 추적제어 전력변환장치와 가변 공극 제어용 지그 및 고주파용 자성체, ultra-capacitor를 이용하여 연구 중임.
- 또한 비접촉 유도급전 기술과 관련하여 효율 80%, 20kW 비접촉 유도급전장치 개발/보유(공극 20mm)하고 있으며, 시스템 요소장치의 특성해석은 물론 설계기술을 확보 중이며, 유도급전 기술과 다양한 에너지 저장시스템(수퍼캡, 플라이휠, SMES 등) 기술을 접목한 Energy Management System 개발 연구를 진행 중임.
- KAIST의 온라인 전기자동차 사업단의 경우, 2009년에 그린파워(주), 현대중공업, 대우버스, 코감 등과 협력하여 온라인 전기자동차용 공진형 자기유도 기술을 적용한 실험모델 개발에 성공하였으며, OLEV 전기버스, 서울대공원의 코끼리 열차 등의 실험모델에 적용하여 성능시험을 진행 중임. 개발 기술은 정차 및 가속구간 유도급전 방식으로 15kW/Unit × 4 Unit의 집전장치로 최대 60kW급 성능을 보유하고 있음.

2. 실용화 달성을 위한 전략

- 유도급전 기술의 고속철도차량 적용을 최종 목표로 하여, 단계별로 경량전철차량, 도시철도차량, 고속철도차량용 유도급전시스템 기술을 개발하여 실용화 전략 수립
- 1단계 사업은 경량전철차량 적용을 위한 240kW급 유도급전 핵심기술 개발 사업으로써, 다음과 같은 기술 개발이 이루어진다면 국내 보유 기술의 접목으로 실용화 달성이 가능하다고 판단됨.
 - 정차시와 가속시 고밀도 급속 충전(고효율 유도급/집전 장치 개발)에 의해 90%이상의 효율 달성
 - 철도차량용 역사 및 가속구간의 고밀도 유도급전장치 Stack 기술 적용을 통한 240kW급 이상 용량 확보
 - 유도급/집전 장치의 최적설계를 통한 인체 및 철도차량 주변장치(신호/통신)에 대한 유도급전 기술의 EMI/EMC/EMF 최소화 기술 확보
 - 유도급전 기술과 다양한 에너지 저장시스템(수퍼캡, 플라이휠, SMES 등) 기술을 접목한 고효율/최적 에너지 관리 제어 기술 확보
- 단 기간의 연구로 기술 개발 및 실용화에 도달하기 위하여 정부의 지속적 R&D 투자가 필요하며, 정부부처와의 긴밀한 관계유지를 통하여 지속적 R&D 투자를 유도할 계획임
- 개발된 시스템의 성능평가용 시험노선 확보를 위하여 정부 관계부처 및 철도 유관기관과의 긴밀한 협조관계 유지가 필요하며, 개발 기술의 철도차량 적용을 위하여 유관 철도차량 제작 기업의 적극 참여 유도 및 공동 연구 체계 수립 필요

V. 기대 효과 및 전망

1. 기대 효과

- 전차선 및 부속설비 등으로 복잡한 기존 전력공급 시스템을 대체할 수 있는 안전하고 미려한 온라인 전기 철도차량시스템의 보급 개발이 가능
- 전차선 설비가 없어지므로 건설비 및 터널 공사비용 저감이 가능하고, 비접촉방식으로 접촉에 의한 마모가 없어 유지보수 비용 저감을 기대할 수 있음
- 화석연료 고갈과 공해문제 해결을 위하여 청정에너지를 활용하는 측면의 전기에너지 공급시스템 개발은 국내는 물론 선진국에서도 개발 초기단계에 있으므로 막대한 경제적 파급효과를 유발할 것으로 예상됨
- 현재 성공적으로 개발된 온라인 전기버스(Olive)에서 축적된 기술개발 노하우의 활용으로 기술적 연계성을 창출하는 모범사례로서의 역할로 향후 다양한 분야에서의 연계기술 개발에 많은 영향을 줄 것임

2. 파급 전망

- 친환경성 및 에너지 효율성 측면
 - 비접촉방식 적용에 의해 기존의 접촉에 의한 각종 오염물질 배출이 사라짐으로 인해 대기오염의 최소화, 에너지 효율성 향상 등으로 환경성과 경제성을 동시에 충족 시킬 수 있는 시스템임
 - 제동 시 발생하는 회생에너지의 이용률을 최대화하여 에너지 효율성이 다른 철도기관보다도 높아짐
- 교통 환경에 대한 능동적인 대응성
 - 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템은 시스템 특성상 규모가 작은 중, 소도시에 서부터 대도시의 지선교통까지 각각의 수요에 맞게 대응 가능
 - 가공전차선이 필요 없는 기술이기 때문에 급곡선 및 상부 전차선 등 지리적, 공간적 요인에 따라 제공할 수 없었던 지역 및 노선에 대한 철도서비스의 제공이 가능해짐
- 도시이미지 제고
 - 유도 급/집전 방식의 에너지 전달로 기존 가선 방식 철도차량의 단점인 도시 내 거리에서의 가공 전차선을 없앴으로써 도시의 경관과 조화가 가능한 철도시스템 공급이 가능해지며, 첨단교통시설이라는 이미지의 제공이 가능함

목 차

제1장 사업의 필요성

제1절 사업 배경	1
제2절 사업 필요성	2
1. 기술 개발의 필요성	2
2. 기술적·경제적 중요성	2
3. 국가시책에 대한 기여도	4

제2장 국내·외 기술개발 및 시장 동향

제1절 급전 및 궤도분야 기술 개발 동향	6
1. 국외 개발 동향	6
2. 국내 개발 동향	10
제2절 집전 및 차량분야 기술 개발 동향	12
1. 국외 개발 동향	12
2. 국내 개발 동향	15
제3절 SE 및 안전/성능 분야 기술 개발 동향	17
1. 국외 개발 동향	17
2. 국내 개발 동향	21
제4절 국내·외 정책 및 시장 동향	26
1. 국내외 시장 현황 및 전망 분석	26
2. 국내외 철도 정책 현황 분석	37

제3장 기술적, 경제적 타당성 분석

제1절 기술적 타당성 분석	42
1. 유도급전 기술 관련 특허 동향 분석	42
2. 유도급전 기술 수요 관련 설문 조사 분석	62
3. 유도급전 기술 도입 시 필요 기술 분석	67

제2절	경제적 타당성 분석	76
1.	기존 기획연구에서의 경제성 검토에 대한 분석	76
2.	경제성 분석의 방향 및 시행	81
3.	산업연관분석에 의한 경제성 분석	86
제3절	사업적 타당성 분석	93
1.	정부 정책 및 규제와의 부합성	93
 제4장 유도급전 전기철도 시스템 개발 사업의 최종목표 및 내용		
제1절	최종목표	102
제2절	기술개발 내용	103
 제5장 1단계 사업의 최종목표 및 세부연구 내용		
제1절	1단계 사업의 최종목표	105
제2절	1단계 사업 세부연구 도출	105
제3절	1단계 사업 세부연구별 기술개발 목표 및 내용	106
1.	세부 1 : 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술 개발	106
2.	세부 2 : 유도 급/집전 장치 핵심기술 개발	110
3.	세부 3 : 유도 급/집전 시스템 시험평가 기술 개발	114
제4절	1단계 사업의 연구성과 목표	117
 제6장 추진전략 및 방법		
제1절	SWOT 분석	119
1.	시장 및 기술의 특징	119
2.	기회 및 위협 요인	120
3.	강점 및 약점 분석	121
제2절	연구개발 전략	122
 제7장 기대효과 및 전망		
제1절	기술 실용화 가능성 및 전략	125

1. 국내 기술 개발을 위한 연구 역량	125
2. 실용화 추진 시 예상문제점 및 해결 전략	126
3. 실용화 달성을 위한 전략	126
제2절 기대효과 및 파급효과	128
1. 기대효과 검토방향	128
2. 사회적 기대효과	128
3. 기술적 기대효과	131

제8장 세부과제별 RFP 및 TRM

제1절 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술 개발	133
제2절 유도 급/집전 장치 핵심기술 개발	139
제3절 유도 급/집전 시스템 시험평가 기술 개발	145

표 목 차

표 2-1 급전 기술방식별 사례	8
표 2-2 집전 기술방식별 사례	13
표 2-3 ICNIRP 가이드 라인	21
표 2-4 국내 자동차 업체의 EMC 적용 규격	24
표 2-5 서울시의 경량전철 건설 계획	29
표 2-6 경기수동권의 경량전철 건설 계획	29
표 2-7 기타 지방권의 경량전철 건설 계획	30
표 3-1 국가별 분석구간 및 특허건수	42
표 3-2 특허 분석대상의 기술 분류	43
표 3-3 특허 분석을 위한 핵심 Keyword	43
표 3-4 온라인 유도급전 전기철도시스템의 선행기술 조사를 위한 검색 조합식 ..	44
표 3-5 급전 및 궤도 분야의 중요 특허 현황	48
표 3-6 집전 및 차량 분야의 중요 특허 현황	52
표 3-7 SE 및 안전/성능 분야의 중요 특허 현황	55
표 3-8 유도 급/집전장치 관련 기술 유형 분석	67
표 3-9 유도 급/집전장치 관련 필요 기술 분석	69
표 3-10 에너지 및 운영 기술 관련 필요 기술 분석	72
표 3-11 유도 급/집전 시스템 SE 및 시험검증 기술 관련 필요 기술 분석 ...	74
표 3-12 건설비 비교표 (인프라)	82
표 3-13 km당 전차선로 건설단가	83
표 3-14 유지보수비 비교표	84
표 3-15 산업연관표의 기본구조	88
표 3-16 철도생산 및 부가가치 유발계수 추정치	91
표 3-17 경제적 효과 추정 계수	92
표 3-18 경제적 파급효과 추정 결과	93
표 3-19 2008 신성장 동력 6대 분야	94

표 3-20 녹색성장 정책 3대 요소	96
표 3-21 국가 과학기술 정책 주요시책	98
표 3-22 일반인에 대한 전자과강도 기준	101
표 5-1 세부과제 1의 년차별 연구 목표 및 내용	107
표 5-2 세부과제 1의 연구추진 체계 및 역할	109
표 5-3 세부과제 2의 년차별 연구 목표 및 내용	110
표 5-4 세부과제 2의 연구추진 체계 및 역할	112
표 5-5 세부과제 3의 년차별 연구 목표 및 내용	114
표 5-6 세부과제 3의 연구추진 체계 및 역할	116
표 5-7 세부과제 1의 연구성과 목표 및 평가방법	117
표 5-8 세부과제 2의 연구성과 목표 및 평가방법	117
표 5-9 세부과제 3의 연구성과 목표 및 평가방법	118
표 7-1 개발기술의 실용화 추진시 예상문제점 및 해결 전략	126

그 립 목 차

그림 1-1 사업 배경	1
그림 1-2 기존 철도차량의 전력공급시스템의 문제점	2
그림 1-3 철도차량에 유도급전 시스템 적용 가능 영역	4
그림 2-1 유럽연합의 EVIC	6
그림 2-2 라스베가스의 궤도전용 유도급전 경량전철	6
그림 2-3 유도급전을 적용한 스위스 Numexia사의 컨테이너 수송용 차량 ..	7
그림 2-4 트랙용 인버터 장치	7
그림 2-5 Bombardier의 PRIMOVE 시스템 및 독일 Bautzen의 시험라인 ..	8
그림 2-6 Kawasaki SWIMO-X 구성도	9
그림 2-7 Alstom - Citadis 개념도	10
그림 2-8 Rail-mounted E-Core Type CPS	10
그림 2-9 한국전기연구원이 개발한 30kW급 CPS	11
그림 2-10 제3궤조 집전방식의 유형	12
그림 2-11 BOMBARDIER사의 PRIMOVE	13
그림 2-12. APS 시스템의 집전 Shoe	14
그림 2-13 Sorrento Electronics 사의 IPS 시스템	14
그림 2-14 비접촉 집전 시스템 개념도(한국철도기술연구원)	15
그림 2-15 KAIST가 개발한 집전구조 형상 및 실제사진	16
그림 2-16 전자동 무인 운전 철도 시스템 ‘두바이 메트로’	18
그림 2-17 Bombardier ECO4 portfolio overview	19
그림 2-18 안전 및 성능 검증을 위한 평가 조건 예시	19
그림 2-19 항공기의 환경인자와 불량과의 관계	20
그림 2-20 용인 무인운전시스템 경전철	22
그림 2-21 구조 해석 및 유동해석	25
그림 2-22 수송거리 및 수송 인원별 수송 수단	27
그림 2-23 차량 제작사별 경량전철 시장의 점유율	33
그림 3-1 유도급전 전기철도시스템 기반기술 전체 도향	45

그림 3-2 유도급전 전기철도시스템 기반기술 국가별 전체 동향	46
그림 3-3 유도급전 전기철도시스템 기반기술의 기술별 전체 동향	47
그림 3-4 1990년대 이후 온라인 유도급전전기철도 시스템 기술 분야의 기술별 특허동향 ..	48
그림 3-5 SE 및 안전/성능 관련 특허 동향	55
그림 3-6 기존 접촉식 전력공급방식에 대한 문제점 인식	62
그림 3-7 기존 철도차량의 접촉식 전력공급시스템에 대한 대안으로 유도급전 기술의 적합성 ..	63
그림 3-8 유도급전 적용 전기철도시스템 기술 개발의 필요성	63
그림 3-9 철도차량용 유도급전 기술개발의 적정 시기	64
그림 3-10 유도급전 적용 전기철도차량의 상용화 가능 시기	65
그림 3-11 신규 철도 노선의 유도급전 적용 전기철도시스템 예상 수요 ...	66
그림 3-12 유도급전 적용 철도차량의 국내 적용 시 우선 검토 노선	66
그림 3-13 급·집전 시스템 관련 기술 개념도	70
그림 3-14 에너지 및 운영관리 관련 기술 개념도	73
그림 3-15 유도 급/집전 시스템 및 SE 및 시험검증 기술개념도	75
그림 3-16 터널단면적에 따른 건설비 변화 추이	85
그림 3-17 일반철도와 온라인 전기철도의 유지보수 관련 경제성 비교	86
그림 3-18 산업연관분석 순서도	87
그림 3-19 역순환 구조(좌)와 선순환 구조(우)	96
그림 4-1 유도 급/집전 시스템 기술 개발을 위한 연구 개발 로드맵	102
그림 4-2 유도급전 전기철도시스템 개발 사업의 전체 소요 연구예산 현황 ..	104
그림 5-1 1단계 사업 세부 연구과제 도출	105
그림 5-2 세부연구과제 1의 연구 TRM	109
그림 5-3 급/집전 시스템 핵심기술 개발 관련 연구 추진 체계	112
그림 5-4 세부연구과제 2의 연구 TRM	113
그림 5-5 세부연구과제 3의 연구 TRM	116
그림 5-6 전기철도용 유도 급/집전 시스템 핵심기술 개발 항목 및 개발 기술의 목표 정리 ..	118
그림 6-1 전기철도용 유도 급/집전 시스템 핵심기술 개발 SWOT 분석 ..	121
그림 6-2 유도급전 기술의 고속철도 적용을 위한 3단계 사업 추진 전략 ..	123
그림 6-3 1단계 사업을 위한 연구개발의 구체적 구현 전략	124

Summary

I . Title

- Feasibility study on the technology development of Inductive Power Supply Railway System

II. Necessity of R&D

- In need of technologies that guarantee advantages of conventional railways which are on-time operation and safety, while improving conventional contact type power supply devices by a non-contact power supply system. Non-contact power supply systems require no contact wire facilities reducing maintenance costs and solves dangers of disconnected wires and electrical contact making possible implementation of an environmental electric railway system.
- In need of overall technical investigation and development of a power supply-current collection-energy management system for application of the environmental inductive power supply system.
- Inductive power supply system requires no contact type power supply facilities making it economical in the maintenance side of view and has no risk of disconnection making it a safer method of power supply.

III. Details and range of R&D

1. Objective of project stage 1

- Development of core technologies for a 240kW class inductive power supply-current collection system that will be sequentially applied to replace contact light-weight railway vehicles, urban railway vehicles, and high-speed railway vehicles.

2. Subtask I : System integration and development of core technologies for high-capacity energy conversion

- Define research organization for power supply-current collection system

technology basis

- Develop multi-source power supply device for online electric railways
 - Develop integration technology for multi-source power supply device for online electric railways
 - Develop energy monitoring and management technology for online railways
- 3. Subtask II : Development of core technologies for inductive power supply-current collection device**
- Develop 270kW class supply inverter for power supply
 - Develop power supply lines based on optimized design
 - Develop 240kW class current collection module
- 4. Subtask III : Development of performance evaluation technologies for inductive power supply-current collection system**
- Performance assessment and safety verification of electric railway inductive power supply-current collection system by parts/combined
 - Establish system performance test assessment criterion and manage assessment results
 - Develop system assessment items and assessment criterion configuration technology
 - Assess overall performance of inductive power supply-current collection system
 - Develop technologies for safety performance verification of inductive power supply-current collection system

IV. Possibilities and strategy of practicalization

- Establish sequential practicalization strategy with applying inductive power supply technology to high-speed railway vehicles as the final objective.
- Stage 1 is a project for development of core technologies on 240kW class inductive power supply for application to light-weight railway vehicles. If the following technologies are studied, practicalization is possible by combinations with related domestic technologies.
 - Develop high density/speed charging technology with 90% efficiency during idle and accelerating conditions.
 - Assure 240kW class capacity by applying high-density inductive power supply device stack technology to railway vehicle stations and acceleration sections.
 - Assure minimal effects of EMI/EMC/EMF to human bodies and surrounding

devices caused by inductive power supply-current collection device optimized design.

- Develop highly efficient and optimized energy management technologies by merging inductive power supply technology and energy storage technologies(super-cap, fly-wheel, SMES).
- Consistent government funding for R&D is required to develop and practicalize technologies during short periods. Plans to attract consistent investment by close relationships with government departments.
- Close relationship with government and railway related institutes to secure test line for performance assessment of developed system. Participation of railway vehicle manufacturing related companies and establishment of consortium needed.

V. Expectations

- Possible to distribute a safe and attractive online electric railway system that can replace complicated conventional railway systems
- Reduce construction costs of contact wire facilities and tunnels and maintenance costs caused by contact wire wear
- Expected to bring extreme economical influences regarding the fact that development of green energy sources that will replace fossil fuel is in an early stage all around the world.
- Application of know-hows accumulated from the success of developing 'Olive' the online electric bus, development will influence many future applications in many related areas.

Contents

Chapter 1. Necessity of R&D

Section 1. Project background	1
Section 2. Necessity of project	2
1. Necessity of technology development	2
2. Technical-Economical importance	2
3. Contribution to national policies	4

Chapter 2. Domestic/Foreign research trend and market trend

Section 1. Research trend of power supply and track area technologies	6
1. Foreign cases	6
2. Domestic cases	10
Section 2. Research trend current collection and vehicle area technologies ·	12
1. Foreign cases	12
2. Domestic cases	15
Section 3. Research trend of SE, safety/performance area technologies ·	17
1. Foreign cases	17
2. Domestic cases	21
Section 4. Domestic/Foreign policies and market trend	26
1. Analysis of current status of domestic/foreign market and prospect ...	26
2. Analysis of domestic/foreign railway policies	37

Chapter 3. Analysis of technical, economical validity

Section 1. Analysis of technical validity	42
1. Analysis of inductive power supply related patents	42
2. Analysis of inductive power supply demand related surveys	62
3. Analysis of required technologies for application of inductive power	

supply technologies	67
Section 2. Analysis of economical validity	76
1. Analysis of examinations conducted in previous planning task	76
2. Analysis and execution of productivity	81
3. Analysis of industry related productivity	86
Section 3. Analysis of business related validity	93
1. Correspondence to government policies and regulations	93
 Chapter 4. Final objective and details of inductive power supply electric railway system development	
Section 1. Final objective	102
Section 2. Development details	103
 Chapter 5. Final objective and details of project stage 1	
Section 1. Final objective of stage 1	105
Section 2. Derivation of subtasks for stage 1	105
Section 3. Objectives and details of subtasks for stage 1	106
1. Subtask 1 : System integration and development of core technologies for high-capacity energy conversion	106
2. Subtask 2 : Development of core technologies for inductive power supply-current collection device	110
3. Subtask 3 : Development of inductive power supply-current collection system performance assessment technologies	114
Section 4. Research outcome objective of stage 1	117
 Chapter 6. Project strategy	
Section 1. SWOT analysis	119
1. Properties of market and technology	119
2. Opportunities and threats	120

3. Advantages and disadvantages	121
Section 2. Research and development strategy	122

Chapter 7. Expectations of study

Section 1. Possibility and strategy of technology practicalization	125
1. Research capability for domestic development	125
2. Expected problems and solutions with practicalization	126
3. Strategies for practicalization	126
Section 2. Expectations and influences	128
1. Method of examining expectations	128
2. Social expectations	128
3. Technical expectations	131

Chapter 8. RFP and TRM for subtasks

Section 1. System integration and development of core technologies for high-capacity energy conversion	133
Section 2. Development of core technologies for inductive power supply-current collection device	139
Section 3. Development of assessment method for inductive power supply-current collection device	145

제 1 장 사업의 필요성

제 1 절 사업 배경

- KAIST에서는 공진형 자기유도 기술을 적용하여 2009년 2월 소형 승용자동차에 비접촉 전력공급방식을 적용하여 운행이 가능함을 보여주었으며, 기존의 자동차를 개조/제작한 온라인전기버스 실험모델을 개발(2009년 7월)하였으며, 자기유도기술을 적용한 온라인전기승용차(SUV)개발(2009년 8월)을 수행하였음.
- KAIS의 유도급/집전 기술 관련 연구 결과 발표를 통하여 국내외 유도급/집전 기술에 대한 관심이 증가되었으며, 국토부에서의 기존 전차선 급전 방식의 대안으로 유도급전 기술의 고속철도 시스템 적용 필요성이 제기됨.
- KTX의 경우, 차량 1편성의 추진용량이 총 10MW 정도이며, 차량당으로 환산하면 약 500kW 정도의 급전용량이 필요한 수준임. 이에 현재의 국내 유도/급집전 기술 수준으로 고속철도 시스템에 적용하는데 어려움이 있을 것으로 판단됨.
- 따라서 기존의 접촉식 전력공급방식을 개선할 수 있는 비접촉식 유도급/집전 시스템의 철도시스템 적용을 위한 단계별 경량전철차량, 도시철도차량, 고속철도차량용 유도급전시스템 기술개발이 필요하며, 먼저 경량전철급인 240kW급 유도급전 핵심기술 개발을 통하여 전기철도차량 적용을 위한 핵심 선행기술 확보가 필요한 상황임.

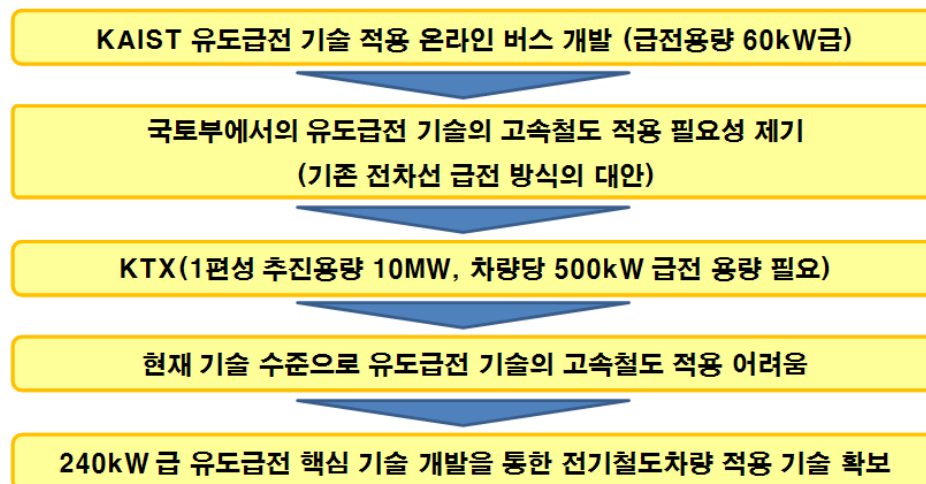


그림 1-1. 사업 배경

제 2 절 사업 필요성

1. 기술 개발의 필요성

- 기존 철도 시스템의 장점인 정시성과 안전성은 보장하며, 기존의 접촉식 전력 공급 장치를 개선하여 전차선 설비가 필요 없어 유지보수 비용 절감이 가능하고, 접촉방식이 아니기 때문에 단선 및 전기접촉 등에 의한 위험성이 없는 친환경적인 전기철도 시스템 구현이 가능한 새로운 급/집전 기술의 개발이 필요한 상황임.
- 친환경적인 유도 급/집전 기술을 적용한 전기철도 시스템 개발을 위하여 고효율, 대용량의 급/집전체 모듈 개발 및 차량의 Energy Management System 등 총체적 기술 검토 및 개발이 필요함.

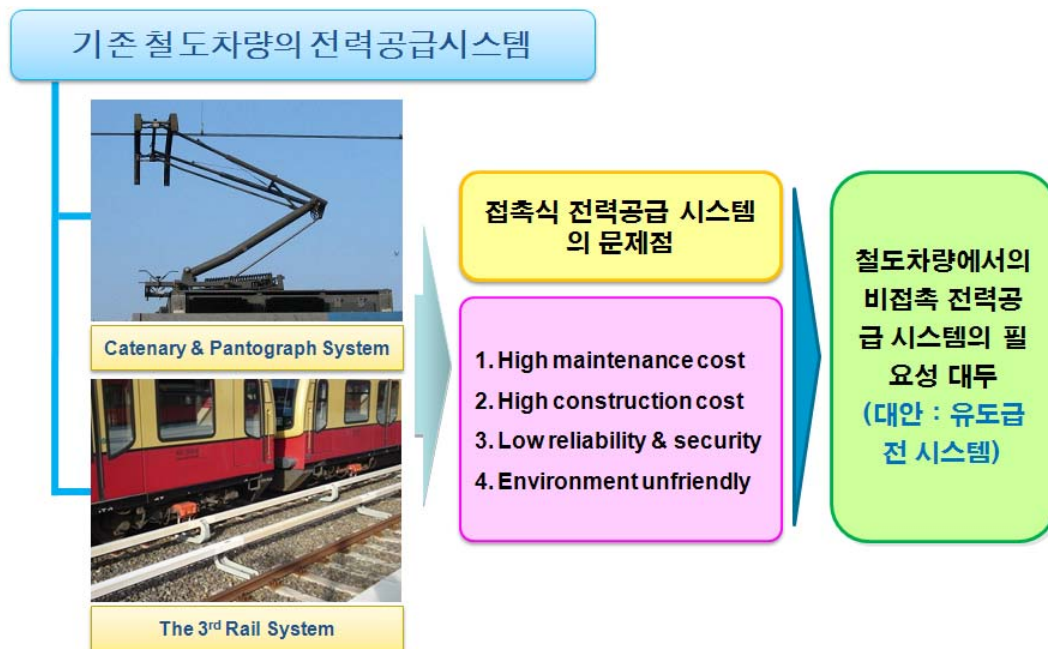


그림 1-2. 기존 철도차량의 전력공급시스템의 문제점

2. 기술적 · 경제적 중요성

- 기존 철도차량의 접촉식 전력공급시스템(전차선 & 판토그래프 방식, 제3궤조 방식)의 경우, 높은 건설비 및 유지보수 비용, 낮은 신뢰성 및 안전성, 낮은 환경친화성

등의 문제점을 가지고 있기 때문에 미래 교통 시스템에 대응할 수 있는 신개념의 전력공급시스템 기술 개발이 필요한 상황임

- 유도급전 시스템은 기존 접촉식 급전설비와 비교하여 집전장치 및 전차선의 유지보수가 거의 불필요하므로 경제적이고, 단선의 위험이 없는 등, 기존의 접촉식 급전/집전 방식 보다 안전한 급전시스템이므로 서둘러 기술적 중요성이 큼
- 따라서 유도 급/집전 시스템 기술의 철도차량 적용 시 장점을 살펴보면 다음과 같다.
 - 고비용의 고가 구조물 및 역사가 필요 없기 때문에 건설비가 저렴한 측면이 있으며, 가공 전차선 설비가 불필요하므로 터널구간 공사 시 터널단면적이 크게 감소함에 따라 터널공사비 등 건설비 저감에 기여 가능
 - 낮은 투자비로 인하여 건설비에 대한 경제적 부담을 많이 가지고 있는 지방자치단체에 유리한 시스템
 - 비접촉방식으로서 급전장치의 접촉에 의한 마모가 없어 유지보수 비용 절감이 가능
 - 철도 궤도의 특성에 의한 효율적 급전이 가능한 설비구성으로 에너지 효율성이 높으며, 별도의 추가적 장치 없이 제동 시 발생하는 회생에너지 이용이 가능한 경제적인 시스템 구성 가능
 - 급/집전 성능이 차량의 속도와 무관하고, 외부 환경(온도변화, 강우, 강설 등)에 대해 강인하여 시스템의 신뢰도 및 안전성 우수
 - 상부 가선시스템과 달리 급전선 사고(크레인 전복에 의한 단선 등)에 무관하여 차량 운행 신뢰도 우수
- 국내 유도 급/집전 시스템 관련 기술력 확보의 시급성
 - 현재 국내 경전철 시장이 해외 경전철 사업자들에 의해 독식되어 지고 있으며, 그 결과 기술적 종속의 우려가 커지고 있음
 - 비접촉 유도급전 기술을 경전철 부분에 적용할 경우, 다른 시스템보다 안전성이 뛰어난 경전철 시스템 구축이 가능하므로 관련 기술의 조속한 개발이 필요함
 - 국내 경전철 시장에서의 외화 유출을 막고 관련 기술의 수출 산업화가 가능해짐

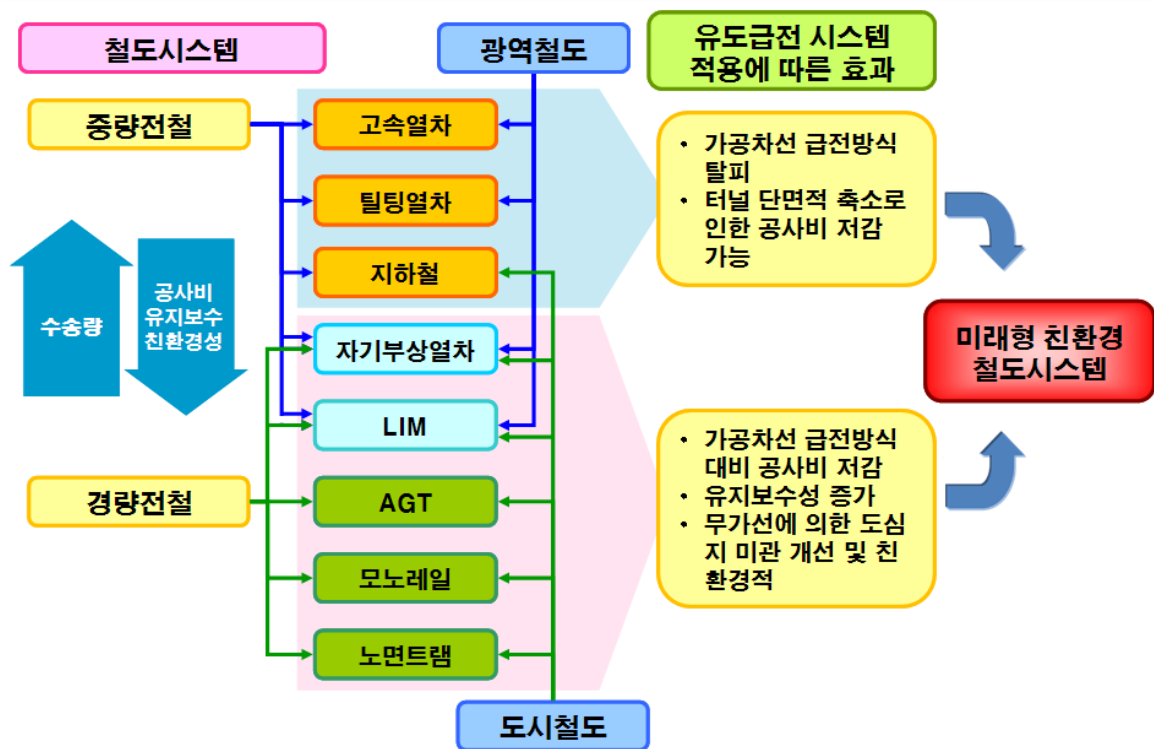


그림 1-3. 철도차량에 유도급전 시스템 적용 가능 영역

3. 국가시책에 대한 기여도

○ 친환경 녹색교통의 일환인 청정 철도시스템 구축에 기여

- 유도 급/집전 기술을 적용한 철도시스템은 CO₂ 배출을 줄일 수 있는 친환경적인 철도시스템으로 정부의 “저탄소 녹색교통” 개발 정책에 부합되는 첨단 기술임.
- 2009년 12월 발의된 “노면전차 건설 관리 법안”과 신규 건설비 지원을 상향 조정 움직임에 의해 지자체에서의 경전철 수요가 급증할 것으로 예상됨에 따라, 가공차선을 궤도 사이에 배치하여 이용 안정성 및 도심 미관 개선 효과가 큰 유도 급/집전 철도시스템에 대한 관심 및 수요가 클 것으로 예상됨.

○ 비용 절감 및 고효율 철도시스템 구축에 기여

- 정부 및 지자체의 저비용, 고효율 수송시스템에 대한 관심 및 요구가 증대되고 있는 상황에서, 유도 급/집전 기술과 다양한 에너지 저장시스템(수퍼캡, 플라이휠, 초전도 자기에너지 저장장치(SMES) 등) 기술을 접목한 철도시스템의 개발로 배터리에 100% 의존하는 철도시스템 대비 저비용, 고효율의 철도시스템 구축이 가

능함.

- 유도 급/집전 철도시스템의 경우, 가공차선을 이용하는 전철 대비, 공사 시 터널 단면적 축소가 가능하여 공사비 및 유지보수비 저감이 가능함.

○ 녹색 철도교통 시스템의 해외 진출 활성화에 기여

- 유도 급/집전 철도시스템 시장은 아직 기술개발 초기 단계이므로, 현 시점에서 기술 개발에 성공할 경우 세계 시장을 선도적으로 주도할 수 있으며, 풍부한 해외 철도시스템 시장을 바탕으로 수출 산업화가 가능함.

제 2 장 국내 · 외 기술개발 및 시장동향

제 1 절 급전 및 궤도분야 기술 개발 동향

1. 국외 개발 동향

- 현재 비접촉식 유도급전에 대한 연구가 추진되는 현황을 살펴보면 독일, 프랑스, 영국 등을 포함하는 유럽연합에서는 2002년도부터 EVIAC (Electric Vehicle Inductive Automatic Charging)를 구성하여 전기자동차 및 경량전철에 활용할 수 있는 유도급전기술을 공동 개발하고 있음.



그림 2-1. 유럽연합의 EVIAC

- 유도 급전기술을 수송시스템에 적용한 사례로는 미국 라스베가스 관광객 수송을 위한 환경 친화적인 궤도전용 유도 급전 경량전철 상용화가 있으며, 또한 독일 Wampfler사의 뉴질랜드 와카레와레 공원의 20kW급 순환용 자동차와 Italy의 Porto Antico의 60kW급 버스가 있음.



그림 2-2. 라스베가스의
궤도전용 유도급전 경량전철

- 뉴질랜드의 경우 오클랜드 대학에서 연구를 수행해 왔으며, 매입형 유도전력 급전장치와 차량 내 충전기를 최소화하는 구동시스템 개발 등이 완료되었으며, 환경 친화적인 도로전용 유도급전 소형자동차시험선을 구축하여 상용화 검증시험이 진행 중에 있음.

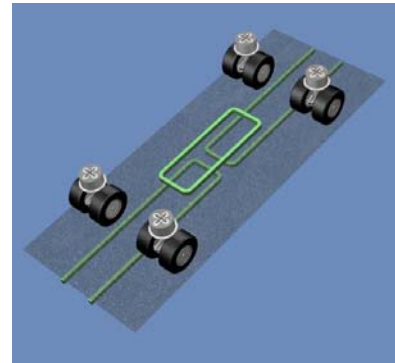


그림 2-3. 유도급전을 적용한 스위스 Numexia사의 컨테이너 수송용 차량

- 독일 Wampller사는 30kW급 인버터 장치를 개발하였으며, 이 인버터는 400V 3상 전원을 사용하여 전기버스의 전원을 공급하기 위하여 20kHz 전원을 트랙에 공급하여 사용하며 픽업은 80Ask 125A를 사용하고 있음.



그림 2-4. 트랙용 인버터 장치

- 철도분야에서 추진되고 있는 급전에 대한 연구는 크게 비접촉과 접촉식 급전방식으로 연구가 진행되고 있으며, 접촉식 급전 방식에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있으며, 비접촉식 급전방식에 대해서는 차량분야에서는 추진되고 있으나 철도분야에서는 Bombardier를 제외하고는 아직 활발하게 연구가 진행되고 있는 상황은 아님.

표 2-1. 급전 기술방식별 사례

기술 방식	국가	적용 분야	적용차량	공극	급전선 로규격	급전인 버터규격	비고
비접촉 자기유 동방식	독일 (Bombardier)	열차		6.5cm	효율93% 이상, 15m 세그먼트 이전	250kW 이상	급 전 선 로 가 15m 간격으 로 세그먼트 이전됨
	독일 (Wampfler)	열차		15cm 이하	-	60kW	독일의 Weil 과 Rhein에 시험용 선로 건설
	미국 (라스베가스)	경량 전철		-	-	-	관광객 수송 용
접촉식 지면급 전방식	프 랑 스 (Alstom-Ci tadis)	경량 전철		-	22m 세그먼트 이전	-	급 전 선 로 가 22m 간격으 로 세그먼트 이전됨

○ 철도분야에서 비접촉과 접촉식 급전방식을 기준으로 다양한 형태의 급전방식에 대한 연구를 추진하고 있으며, 방식별로 대표적인 사례를 살펴보면 다음과 같음.

가. Bombardier의 PRIMOVE 시스템

○ Bombardier사의 PRIMOVE는 비접촉식 자기유도방식을 적용하여 연구개발을 추진하였으며, MIRAC Energy Saver(BMS)적용으로 30%에너지 절약이 가능함. 급전선로는 16.2m 간격으로 세그먼트 되어 있으며, 공극간격 6.5m에 효율 93% 달성하였음 (750Vdc, 800A, 최대출력 250kW).



그림 2-5. Bombardier의 PRIMOVE 시스템 및 독일 Bautzen의 시험라인

나. Kawasaki의 SWIMO-X 시스템

- Kawasaki SWIMO-X는 하이브리드 저장트램으로 배터리를 통해 구동함. 600Vdc 가선 구간을 통해 충전을 하며, 3차체 3대차 방식으로 3~5분 충전으로 무가선 구간을 10km 정도 운행이 가능함. 600V-200Ah이상의 대형 니켈 수소 2차 전지를 구동용으로 사용하고 있음.



그림 2-6. Kawasaki SWIMO-X 구성도

다. Alstom의 Citadis 시스템

- Alstom-Citadis는 접촉식 지면급전방식을 적용하여 운행하며, 2003년부터 운영되기 시작하였으며, 가공차선 구간과 혼용하여 운행하고 있음. 무급전시 차량 내에 설치되어 있는 비상배터리를 이용하여 운행하며, 22m 간격으로 세그먼트되어 있으며, 8m 급전라인 사이에 3m Isolation Part로 구성되어 있음. 가공차선 구간을 혼용으로 사용이 가능한 장점이 있으나, 기존 가공차선 방식에 비해 유지보수 비용이 3배 정도 높다고 알려져 있음.

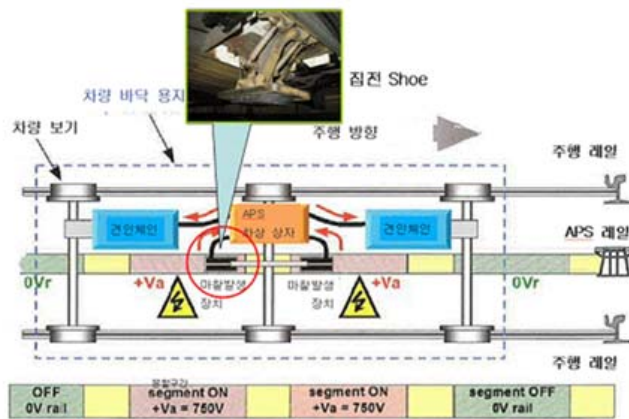


그림 2-7. Alstom - Citadis 개념도

2. 국내 개발 동향

- 국내에서는 Bombardier와 같이 비접촉 자기유도방식을 철도분야에 직접 적용하여 연구를 추진한 사례는 없으나, 다양한 영역에서 연구를 추진 중에 있음. 산업자동화 영역에서 한국전기연구원이 (주)그린파워, 신성ENG와 협력하여 LCD 생산 클린룸의 LCD 이송용 선형회자속전동기 전원공급용 비접촉 전원공급 장치 상용화(2006년) 하였으며, KAIST에서는 현대중공업, 대우버스, 코감, 그린파워 등과 협력하여 온라인 전기자동차에 공진진형 자기유도 기술을 적용한 실험모델 개발에 성공하였음. 한국전기연구원에서 개발된 기술은 Rail-mounted E-Core Type으로 그린파워가 보유중인 상용화 제품은 출력용량이 0~100kW, 레일길이가 10~200m 임.

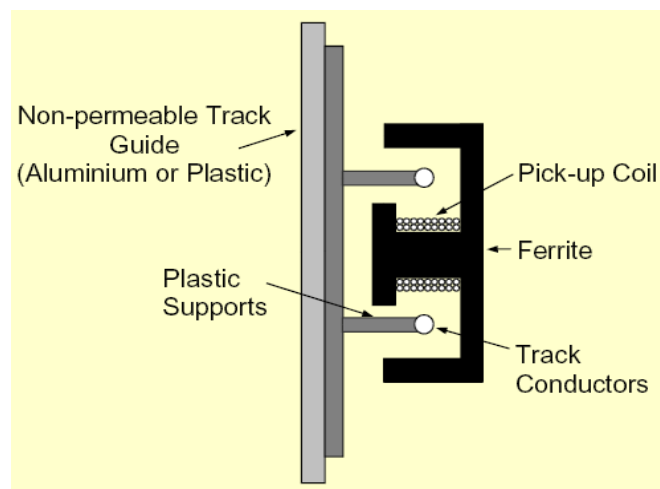


그림 2-8. Rail-mounted E-Core Type CPS



그림 2-9. 한국전기연구원이 개발한 30kW급 CPS

- KAIST에서는 공진형 자기유도 기술을 적용하여 기존의 자동차를 개조 제작한 온라인전기버스 실험모델을 개발하였으며(2009년 7월), 서울대공원에서 자기유도기술을 적용한 온라인전기 열차를 개발하였음. 온라인 전기버스의 경우에는 공극간격 20cm 이상에서 효율90%이상으로 3m 세그먼트이션이 되어 있으며, 온라인전기 열차는 공극간격 12cm 이상에서 효율 90%이상이며 24m 세그먼트이션으로 구성되어 있음. (주) 다원시스에서는 2007년에 유도 용해로용 부하 공진형 인버터를 개발하였으며, 이 인버터는 6상의 AC입력전원을 받아 정류시킨 후 사이리스터를 이용하여 유도용해를 이용한 것으로 병렬 공진방식의 낮은 역률을 고려하여 직렬 공진방식을 채택하고 있음.

제 2 절 집전 및 차량분야 기술 개발 동향

1. 국외 개발 동향

- 집전장치에 대한 연구는 급전장치에 대한 연구와 함께 진행되고 있으며 급전방식에 따라 다양한 형태의 집전장치를 개발하고 있음.
- 대부분의 집전장치에 대한 연구가 접촉식에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 아직 비접촉 방식의 집전장치에 대한 연구가 미약한 상태임.
- 집전장치의 마모 및 상부가선 설치로 인한 비용 문제, 미관상 문제, 안전 등의 문제로 인하여 비접촉식 유도 급/집전에 대한 관심이 증대되고 있음.
- 접촉식으로 현재 연구가 진행되어 철도 차량에 적용하여 사용하는 방식으로 3궤조 집전장치를 통해 수전하는 집전방식에 대한 연구와 실제 적용 되어 사용되고 있음. 제3궤조 집전방식은 접촉방식에 따라 다양하게 분류되고 있음.

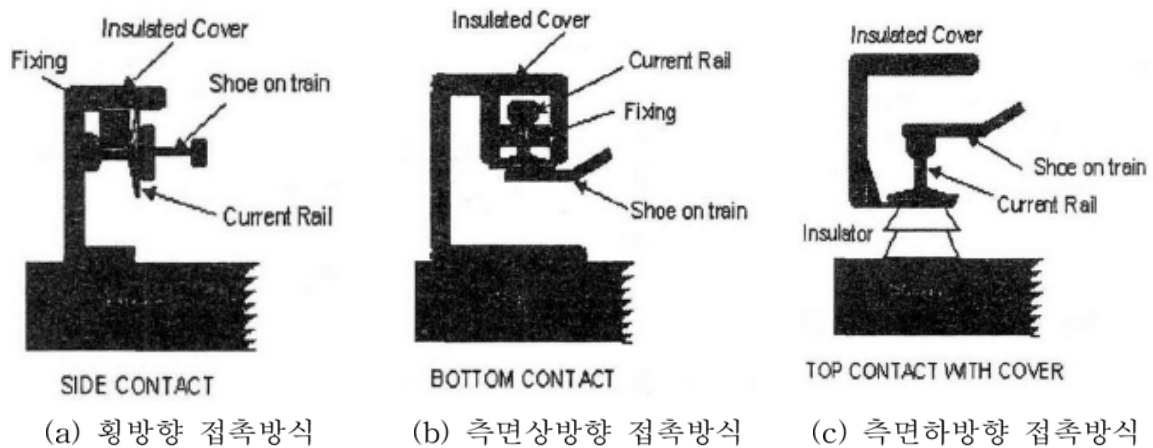


그림 2-10. 제3궤조 집전방식의 유형

표 2-2. 집전 기술방식별 사례

기술 방식	국가	적용 분야	적용차량	공극	집전모 듈규격	집전레 귄레이 터 규격	비고
비접촉 자기유 동방식	독일 (Bombardier)	열차		6.5cm	93%	250kW	
	독일 (Wampller)	열차		15cm 이하	60kW	60kW	독일의 Weil 과 Rhein에 시험용 선로 건설
	미국 (라스베가스)	경량 전철		-	-	-	
접촉식 지면급 전방식	프랑스 (Alstom-Ci tadis)	경량 전철		-	-	-	

가. Bombardier의 PRIMOVE 시스템

- 독일의 Bombardier사는 온라인 전기 Tram에 대한 연구를 진행하고 있으며, 현재 PRIMOVE라는 프로토 모델을 Bautzen에서 운행 시험 중에 있음. 도로표면과 집전 모듈과의 공극은 6.5cm 이며, 93%의 전력전달 효율을 가지며, 집전레귤레이터는 250kW의 전력용량을 갖고 있음.

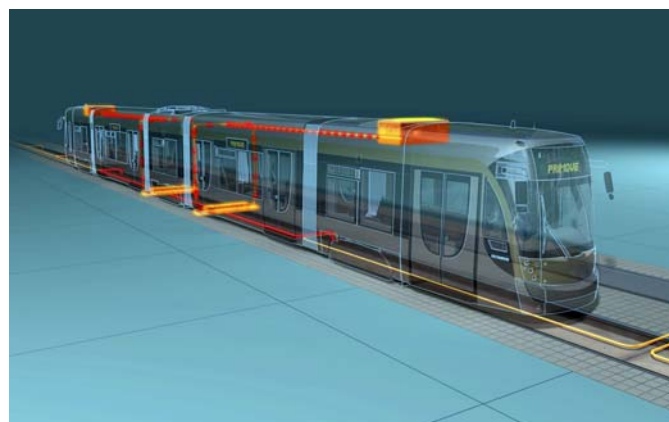


그림 2-11. BOMBARDIER사의 PRIMOVE

나. Alstom의 Citadis 시스템

- Alstom사는 프랑스 보르도 지방에서 궤도 사이에 설치된 접촉식 급전 방식인 Automatic Power Supply(APS) 시스템을 이용하여 경량 전철을 운행하고 있음.
- 상부 전차선이 설치된 곳에서는 판토그래프를 활용하여 급전을 하고, 상부 전차선이 없는 도심 구간에서는 하부의 APS 급전라인을 통하여 공급하는 전력을 집전 Shoe 를 통해 집전하여 차량 운행에 사용하고 있음.

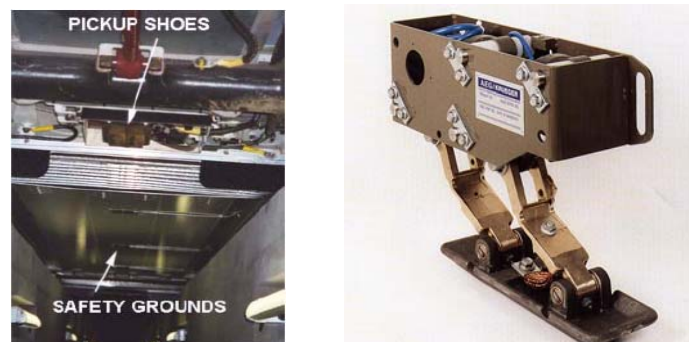


그림 2-12. APS 시스템의 집전 Shoe

다. Sorrento Electronics Inc.의 IPS 시스템

- Sorrento Electronics 사는 1982년 자기부상열차에 비접촉 전력 전달 시스템을 적용 하였음. 자기부상열차에 적용 가능한 E-core 형태의 pick-up을 제작하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 이론적으로 검증하였으며, 공극 25.4mm에서 효율 53%, 80kW 출력을 달성하였음.

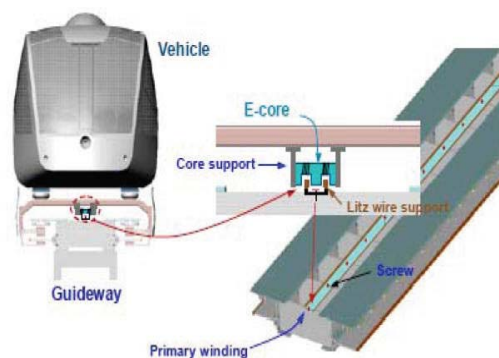


그림 2-13. Sorrento Electronics
사의 IPS 시스템

2. 국내 개발 동향

- 집전은 급전 분야와 함께 연구를 추진하고 있기 때문에, 아직 특별한 연구가 진행된 사항은 없으나, 한국철도기술연구원에서 ‘전기차량의 전원급전용 비접촉 집전 시스템’ 특허를 등록까지 완료하였으며, KAIST에서는 온라인전기버스 및 온라인전기열차용 집전장치를 개발하였음.
- 이 기술을 바탕으로 2009년 7월에 온라인전기버스를 제작하였고, 8월에는 온라인전기승용차, 12월에는 서울대공원 코끼리 순환열차를 제작하였음.
- 한국철도기술연구원에서 등록한 특허는 전기 차량에 있어서 차량 외부로부터 전력을 선택적으로 공급받아 동작이 가능하도록 하는 전원급전용 비접촉 집전시스템에 관한 내용으로 차량이 주행하는 도로상에 전력송전선을 설치하는 것을 특징으로 함.
- 또한 전기 차량의 하부에 전력 집전장치를 설치하여 전자기유도 작용에 의해 비접촉방식의 차량전력공급이 가능한 방식임.
- 주행 중 차량의 집전과 차량 내부 배터리 충전을 위한 전력집전이 가능하도록 하는 종래의 접촉 방식의 장점을 살리면서, 접촉방식의 한계였던 기계적 마찰에 의한 마모, 소음 발생현상을 해소가능함.

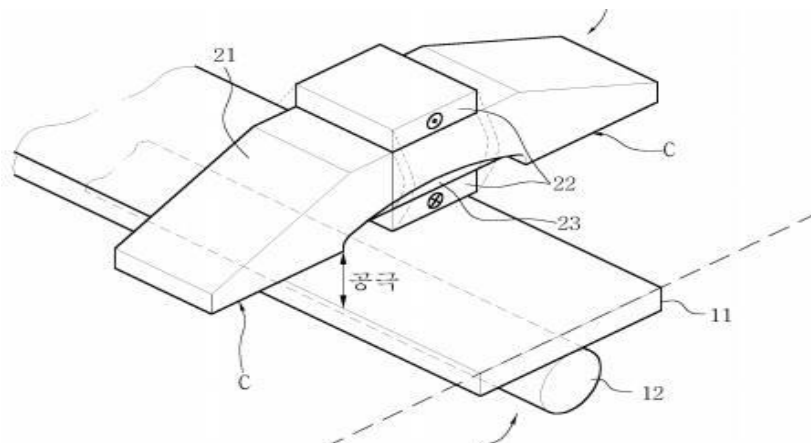


그림 2-14. 비접촉 집전 시스템
개념도(한국철도기술연구원)

- KAIST에서 개발한 전기버스용 집전장치는 공극 간격 20cm 이상, 집전모듈규격은 효율 93%이상, 총 60kW 이상임.
- 현재까지 개발한 집전장치는 3kW급 E타입 집전구조를 2월에 개발하였고, 7월에는 Flat 타입의 집전구조, 8월에는 15kW급 Slim E 타입 집전 구조를 확보하였으며, 향후 용량과 성능을 최적화한 집전구조를 개발할 예정에 있음.

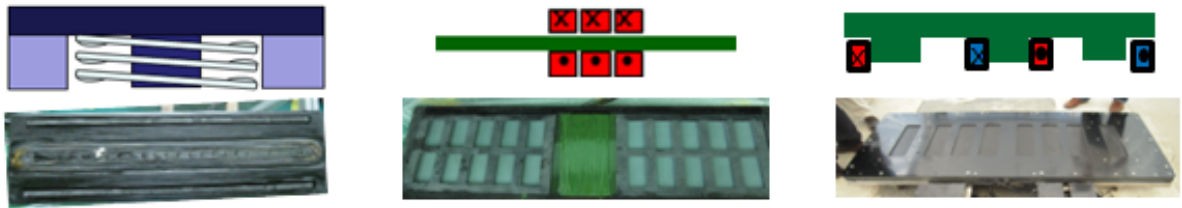


그림 2-15. KAIST가 개발한 집전구조 형상 및 실제사진

제 3 절 SE 및 안전/성능분야 기술 개발 동향

1. 국외 개발 동향

가. SE 분야

- SE분야는 무인운전과 에너지 관리 및 운행관리를 위한 통신 시스템에 대한 연구가 진행되고 있음.
- 지멜스 모빌리티는 2009년 세계 대중교통연맹 세계회의에서 무인 운전의 무선통신 기반의 열차제어시스템(CBTC, Communication Based Train Control)을 적용한 Airval 차량을 발표하였으며, 미국의 General Electric사는 1957년 처음으로 EDLC에 대한 특허를 출원한 후 1970년 미국의 SOHIO사가 제품개발과 관련한 특허를 냈고 1970년대에 미국의 SOHIO사와 일본의 마쓰시타 전기가 합작하여 제품화에 성공하였음.
- 중국은 2008년 공항청사인 T3에서 중국 최초로 무인조정방식으로 운영되는 공항 궤도열차를 선보였으며, 무선통신기술을 토대로 열차 간 운행간격을 줄이고 승객 수송량을 늘리기 위하여 전자동 열차통제시스템을 도입하였음.
- 비접촉식 무선전력 방식의 전력 공급은 무선이라는 장점으로 전 세계적으로 연구가 진행되고 있으며, 급집전 장치간의 통신 또는 이를 통한 다양한 서비스 제공보다는 급/집전 효율 증가를 위한 연구에 집중하고 있으며, 흙, 물, 금속 등의 매질물에서도 통신이 가능한 자기장을 이용한 통신은 사용 환경의 제약이 많은 무선통신의 대안으로 지중에서의 통신을 위해 연구가 활발히 진행되고 있으나, 아직 그 연구 결과가 미미한 상태임.
- 버클리 대학교의 PATH팀은 자기장 기반 센서인 자기마커 센서를 이용하여 이동 중인 차량의 위치를 판별하여 수집된 정보를 바탕으로 차량의 자동항법 기능을 제공하는 등의 연구를 수행하고 있음.
- 유럽의 u-City 개념의 종합적인 도시개발이 증가하면서 기반시설인 지중시설물에

대한 통합 운영 시스템의 중요성이 급증하였으며, 이에 따라 정부차원의 자기장통신을 이용한 기초 기술 연구 투자 및 기 경험 풍부한 민간 기업의 투자가 이루어지고 있으며, 영국 기업인 Radiodetection와 미국 기업인 SCHONSTEDT INSTRUMENT 사가 유럽에서 연구를 진행 중에 있음.

- 두바이에서는 2009년 9월 세계 최장거리의 무인운행 거리를 갖는 중동 최초의 전자동 무인운전 철도인 “두바이 메트로”를 운행하였으며 전체 두바이 메트로 네트워크의 자동화 운행은 Thales Rail Signalling Solutions 시스템으로 구축되었고, Rashidiya에 있는 관제센터(OCC, Operations Control Centre)에서 제어되고 있음.



그림 2-16. 전자동 무인 운전 철도 시스템 ‘두바이 메트로’

- Bombardier의 경우 double layer capacitor를 기반으로 한 MITRAC Energy Saver를 탑재하여 차량의 회생 제동기술을 적용하여 제동 시 저장한 에너지를 가속 또는 운행 시 재 이용함으로써 에너지 사용량을 최대 30%까지 최소화하였음. 열차의 무인운행 분야의 경우 Bombardier는 “EBI Drive 50” 운행 보조 시스템을 세계 최초로 적용함으로써 가속 또는 감속 시 최적의 차량 속도를 운전자에게 추천함으로써 차량 에너지 소모를 최소화 할 뿐만 아니라 열차의 부드러운 운행을 가능하게 함으로써 브레이크, 윤축, 엔진 그리고 궤도의 마모를 감소시킬 수 있는 최적의 운행 지원 기술을 개발하였음.
- 통신분야의 경우, Bombardier는 2.4GHz DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) Radio 방식을 이용한 IP Network기반 무선통신을 사용하여 열차와 통신망을 구축하였고, 차량관리를 위하여 RFID와 “Check Point”라 불리우는 inductive loop를 활용한 차량 감지기를 이용한 TRS(Train Registry System)를 도입하여 차량 자동 감

지 시스템을 구축하고 망관리 시스템과 연계하여 ARS(Automatic Recovery System)을 개발하였음.

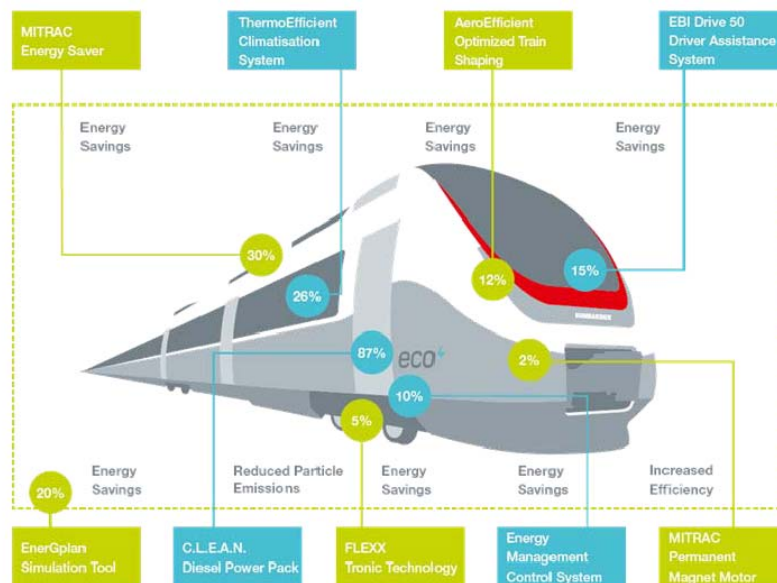


그림 2-17. Bombardier ECO4 portfolio overview

- 모토로라 코리아 엔터프라이즈 모빌리티 솔루션(EMS) 사업부는 2009년 12월 고속 철도/무인경전철 사업에 있어 열차와 통제본부와의 통신이 끈기지 않는 통신 시스템 구축프로젝트를 진행 중에 있음.

나. 안전/성능 검증 분야

- 비접촉식 자기유도 충전방식의 경우, 기존의 접촉식 전력공급 방식의 단점을 극복하기 위해 개발된 기술이나, 현재까지 운송기계 및 철도차량에 대해 완전히 상용화가 진행된 시스템은 없는 상황이며, 현재 신뢰성 평가 기법 및 기준 개발이 진행 중인 단계임.

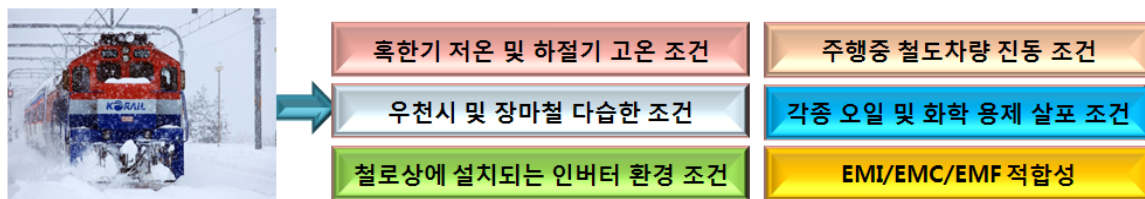


그림 2-18. 안전 및 성능 검증을 위한 평가 조건 예시

- 해외의 철도차량 및 시스템 업체에서는 제품 및 시스템을 설계할 때 대상 제품이 수명주기 중 겪을 수 있는 환경에 노출되었을 때 정상적인 기능을 수행할 수 있는지 평가하는 자체 기준 및 표준을 개발하여 해당 제품의 신뢰성을 보장하고 있음.
- Hughes Aircraft社 에서 조사하여 제시한 데이터를 보면 제품의 고장에 큰 영향을 미치는 환경요인은 온도, 진동, 습도로 전체고장의 86%를 차지함.

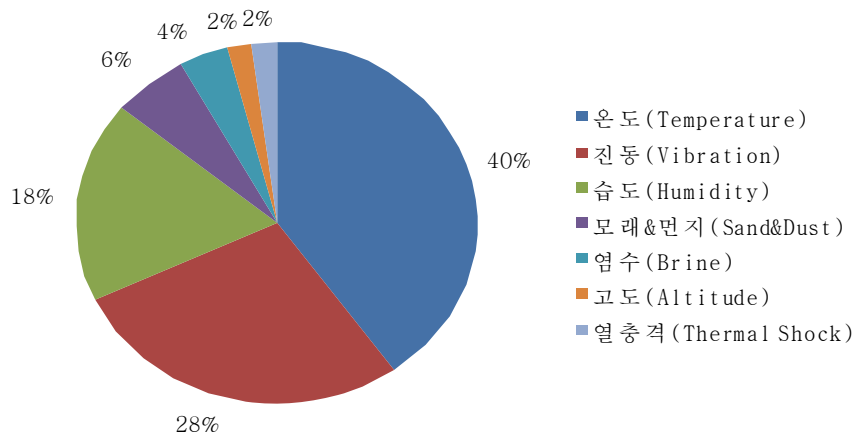


그림 2-19. 항공기의 환경인자와 불량과의 관계

- 해외의 경우에는 각국의 자연환경의 특징에 맞도록 일부는 더욱 가혹한 안전기준을 요구하고 있으며, 국제적으로는 ISO 기준과 같이 다양한 주행 조건에서 전기철도 시스템의 성능 및 구성요소 상태를 만족시켜야 하는 기준이 법제화될 전망이며 이에 관련된 검증시험 표준 수립을 위한 다양한 연구 활동이 진행 중임.
- 비접촉 유도급전방식을 적용한 철도차량 내부의 전자파 안전에 관련하여서는 아래의 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 전자파 차폐를 위한 국제비전리방사위원회)에서 제시하는 일반인 및 직업인에 대한 전자파 안전 지침을 참고할 수 있는데, 이 지침에서 제시하는 규제치에 대해서는 다양한 국제 학회를 통해 의견을 수렴하고 있음.
- 전자기 유도방식을 이용한 비접촉식 급/집전시스템 및 구동시스템에서 발생하는 열/소음/진동에 대해 차량 및 주위 환경을 보호할 수 있는 내환경성/내구성 기준에 대해 산업기계, 운송기계 및 철도기계 업체에서 다양한 연구 활동이 진행 중이며

시험 기준 및 기법에 대해서는 각 업체에서 대외비로 관리하고 있음.

- 복지국가를 표방하는 유럽 각국에서는 도심 인프라의 안전성 검증을 통해 인간의 안전한 삶을 보장하며 건강한 환경 제공을 통해 국민 삶의 질 향상을 목표로 정부 및 민간이 합동으로 다양한 연구를 진행하고 있음.

표 2-3. ICNIRP 가이드 라인

	Frequency Range	current density (head, body)($\mu\text{A}/\text{m}^2$)	Whole body SAR (W/kg)	Partial SAR (head, body) (W/kg)	Partial SAR (arm, foot) (W/kg)	power density (W/m ²)
occupational	~ 1Hz	40	-	-	-	-
	1-4 Hz	40/f	-	-	-	-
	4 Hz-1kHz	10	-	-	-	-
	1-100kHz	f/100	-	-	-	-
	100kHz-10MHz	f/100	0.4	10	20	-
	10MHz-10GHz	-	0.4	10	20	-
	10GHz-300GHz	-	-	-	-	50
general public	~ 1Hz	8	-	-	-	-
	1-4 Hz	8f	-	-	-	-
	4 Hz-1kHz	2	-	-	-	-
	1-100kHz	f/500	-	-	-	-
	100kHz-10MHz	f/500	0.08	2	4	-
	10MHz-10GHz	-	0.08	2	4	-
	10GHz-300GHz	-	-	-	-	10

2. 국내 개발 동향

가. SE 분야

- 온라인 전기열차 및 비접촉 유도급전 인프라를 위한 운영관리시스템의 경우, 온라인 전기열차용 MIB, 인버터용 MIB를 비롯한 기반 기술이 전혀 연구된 바 없는 상태임.
- 공항철도(주)는 모토로라의 TETRA시스템을 기반으로 중앙사령실과 각 열차를 CAD(컴퓨터 기반의 지령통화)로 연결해 중앙사령실에서는 열차 운행사항(열차운행 통신, 승객 비상통화 서비스, 열차고장 정보)를 CAD모니터를 통해 실시간으로 확인하고 있음.
- 이우티이씨는 영구 자석인 자기 마커를 이용하여 지중매설물 관리 시스템을 개발하였으나, 기존 전자유도방식 탐지기에 비하여 사용이 편리하지만 여전히 자기탐지기 의크기가 커서 휴대성이 낮으며, 자력이 고정되어 있기 때문에 환경 및 상황에 따른 유연성이 낮을 뿐만 아니라 정보 전달 능력이 없기 때문에 단순 위치 확인용으로만 제한되어 있음.

- 2008년 4월 EDLC(Electric Double Layer Capacitor) 개발에 성공한 삼화전기는 2011년까지 고부가가치 제품인 1000F(패럿) 이상의 대용량제품 생산 능력을 현재 연간 40만개에서 100만개 이상으로 확대할 계획이며 자사의 EDLC 브랜드 그린캡을 경전철 및 도시철도의 에너지 회생용, 풍력발전의 피치제어시스템(Pitch Control System), 태양광 인버터(inverter) 효율 개선용 등으로 활용할 계획에 있음.
- 서울시는 ETSI가 정한 디지털 주파수공용통신(Trunked Radio System)인 TETRA를 이용한 열차무선통신시스템을 도시철도 9호선에 도입하였으며, 중앙관제센터의 제어명령이 현장 열차제어시스템을 통해 차량과 실시간 무선통신으로 열차가 자동 운행되는 완전무인운전 시스템을 용인 경전철에 도입하여 시운행 중에 있음.



그림 2-20. 용인 무인운전시스템 경전철

- 리노스는 무인자동화 시스템으로 운행되는 부산-김해 경전철에 TRS(Trunked Radio System)을 통해 안전한 무인자동운전 경전철 운행에 필수적인 무선통신 및 데이터 망 구축 계약을 체결하였음. 자기장을 이용한 통신은 일부 연구가 있으나, 급·집전 인프라를 기반으로 하는 자기유도 방식의 통신은 일반적인 자기유도를 이용한 데이터 전송과는 상이하며, 특히 온라인 전기철도에 적합한 통신 방법에 대한 연구가 미비한 상태이다. KAIST와 KETI는 자기유도 방식의 자기장 통신을 사용하여 10km/h에서 위치 인식 시스템 개발 및 1kbps의 통신 속도의 자기장 통신 모듈 개발하였음.
- 현대로템에서는 2009년 10월 무선 통신기반의 자동 열차 제어 및 운전 시스템이 적용된 무인경전철을 선보였고, 현대로템은 2009년 최고속도가 시속 90km이며 중앙통

제시스템에 따라 자동으로 운행되는 무인 경전철 운행 실시하였고, 2009년 11월 상파울로에 브라질 최초의 무인운전 전동차 1호를 수출하였음.

- 인천시는 2014년 7월에 완공될 인천도시철도 2호선을 자동 무인운전으로 운행할 예정이며 ‘선로 장애물 및 탈선 감지장치’와 ‘비상시 창문 파괴장치’, ‘비상정지버튼’, ‘폐쇄회로 TV감시장치’를 설치하기로 하였으며, 대구시의 경우에는 오는 2014년을 무인자동운전이 가능한 무인철도를 개통할 예정에 있음. 코레일은 2008년 2월 분당선 무인열차운행시스템의 최종단계인 인증시험을 완료하였으며, 본 기술은 전방 운행 열차와의 간격 정보를 이용하여 기관사 없이 열차를 운행하는 방식으로써, 열차 운행 시간을 약 20% 단축하고 수송량을 2배 이상 늘릴 것으로 예상됨.
- 유도급전기술은 기존의 접촉식 전력공급 방식의 단점을 극복하기 위해 개발된 기술로써 현재 자동차 및 철도차량에 대해 완전한 상용화가 이뤄진 시스템이 없으며, 따라서 신뢰성 평가 기법 및 기준이 개발되고 있는 단계에 있음.
- KRRI의 차세대전동차 연구단은 ‘차세대 첨단 도시철도시스템-에너지 저장장치 기술’의 결과로 회생제동 기술을 경전철 및 중전철에 적용하였음. 그리고 2.4GHz대의 무선랜 안테나와 지상 AP시스템을 결합한 차상무선통신장치를 이용하여 자동 열차주행 진로 확인, 차량속도 조절 및 차량 상태 정보표시 등의 열차 운행관리 기술을 개발에 성공하였음.

나. 안전/성능 검증 분야

- 유도급전기술은 기존의 접촉식 전력공급 방식의 단점을 극복하기 위해 개발된 기술로써 현재 철도차량시스템에 대해 완전한 상용화가 이뤄진 시스템이 없으며, 따라서 신뢰성 평가 기법 및 기준이 개발되고 있는 단계임.
- 철도기술연구소 및 철도차량 업체와 철도차량 부품업체에는 각종 법규 및 상품성 기준 또는 자체 개발시험 기준에 맞춰 검증시험 및 설계 개선시험을 실시할 수 있는 각종 검증시험 장비 및 시험실 환경을 구축하고 있음. 이러한 연구 기관 및 업체에서 미래형 전기철도시스템에 대한 다양한 시험이 진행 중이며, 이러한 다양한 시험을 통해 미래형 전기철도시스템의 기술자료 및 신뢰성을 확보하고 있음.

- 전기철도차량의 전자기파 적합성 및 안전성에 관련하여서는 법규로 규제하고 있으며, 이러한 규제에 대응하고자 철도차량 제작업체 및 전기철도용 전장품 부품업체에는 다양한 규모의 전자기파 적합성 측정 및 시험 장비를 보유하고 있음.
- 전기철도시스템 구성부품 제작업체에서는 내연기관 철도차량과는 다른 전기철도시스템의 특성인 강력한 전자기파의 방사 및 내성에 대한 자체 검증시험을 위해 전파무향실이나 전기장/자기장 측정 장비를 확보하고 불요 전자기파에 대한 감쇄 기술과 외부 전자기파에 대한 전기자동차의 내성 확보, 그리고 차량 내부에 장착되는 각종 전자기기에 대한 EMI/EMC 측정 및 개선을 위한 다양한 연구 활동을 진행하고 있음.
- 온라인 철도시스템의 전자기파 적합성 및 인체보호기준 검증 시험 기법 개발과 관련해서는 온라인 철도시스템의 급/집전 구조에 부합하는 전자기파 적합성 평가 기준이 정확하게 마련되어 있지 않아 그 적합성 여부를 평가하는데 많은 애로사항이 발생하고 있음.
- 아래 표는 국내 자동차 업체의 EMC 적용 규격이며, 온라인 철도시스템 관련하여 참고할 수 있음.

표 2-4. 국내 자동차 업체의 EMC 적용 규격

시험 항목	적용 시험 규격 (Test Spec)	
	A사	B사
RADIATED EMISSION (B/B, N/B)	CISPR 25 2005/83/EC	CISPR 25 2005/83/EC
CONDUCTED EMISSION	CISPR 25	CISPR 25
TRANSIENT EMISSION	ISO 7637	ISO 7637
RADIATED SUSCEPTIBILITY	ISO 11452-2	ISO11452-2
BULK CURRENT INJECTION	ISO 11452-4	ISO11452-4
CONDUCTED TRANSIENT	ISO 7637	ISO7637
ELECTROSTATIC DISCHARGE	SAE J1113/13	SAE J1113/13

- 철도차량 및 시스템의 신뢰성과 안전성은 한국철도기술연구원에서 구조해석 및 유동해석을 통해 검증하고 있음.

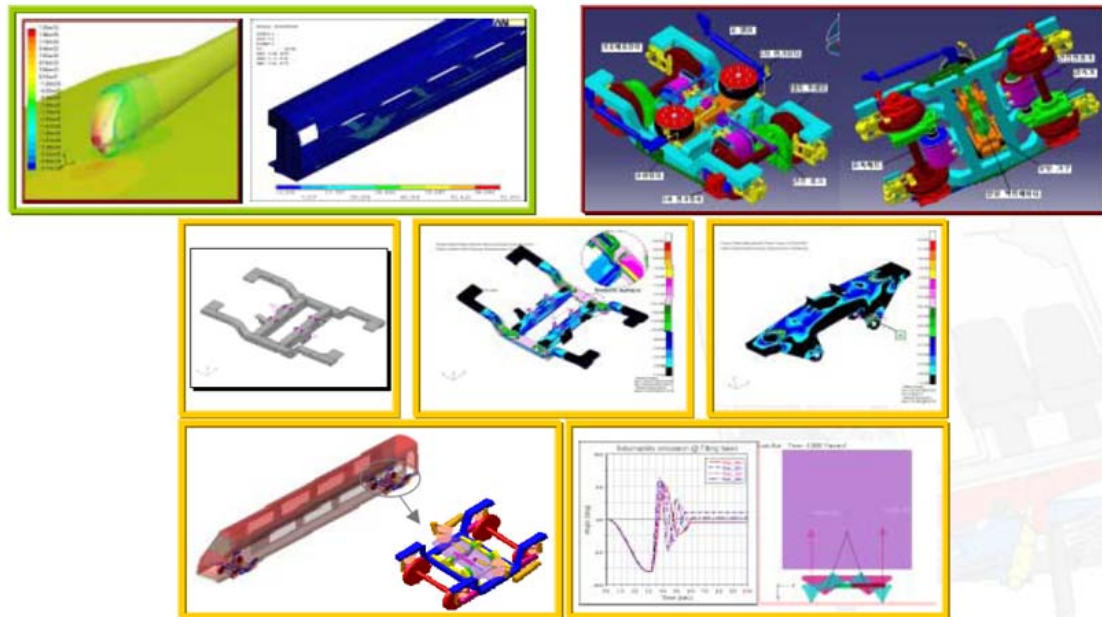


그림 2-21. 구조 해석 및 유동해석

- 각종 인증 시험 기관 및 철도차량과 차량부품업체에서는 각종 법규 및 상품성 기준에 맞춰 신뢰성 평가 및 개선 시험을 실시할 수 있는 장비를 보유하고 측정하고 있음.

제 4 절 국내 · 외 정책 및 시장 동향

- 비접촉 유도급전 철도시스템은 유도급전 기술을 이용하여 비접촉으로 전력을 철도에 전달하여 사용할 수 있도록 하는 기술로서 본 연구보고서에서는 국내외 정책 및 시장 동향을 파악하기 위하여 조사 대상을 경량전철 시스템 개발로 한정하였음. 하지만, 비접촉 유도급전 기술은 향후 중전철이나 고속전철에도 적용할 수 있는 잠재력이 매우 높은 기술임.
- 경량전철의 시장 규모를 살펴봄으로써 비접촉 유도급전 철도시스템의 일차적인 잠재 시장의 규모를 파악하였고, 국내외 철도 정책 동향을 분석해 봄으로써 향후 철도 시장에서 비접촉 유도급전 철도시스템의 잠재성을 파악하였음. 나아가 사업적 타당성 분석에서 기존 정책과 비접촉 유도급전 기술과의 부합성을 분석하였음.

1. 국내외 시장 현황 및 전망 분석

- 온라인 철도시스템의 일차적인 목표인 경량전철의 시장 동향을 분석하였음. “경량전철”(LRT)의 용어는 주로 도시철도 운송수단을 말하며, “경량” 차량(LRV)은 일반적으로 노면 위를 주행하며, 자체의 궤도 구조물이나 도로와 통합되어 운영됨. 또는 고가궤도나 긴 단면의 터널(예: 독일 쾰른)을 사용하거나 표준궤도에 통합하여 운행하기도 함. (예: 독일 칼스루에, 카셀, 스페인 알리칸테)
- 아래와 같은 항목에 “경량전철차량” (LRV) 용어를 사용함.
 - 주로 도시의 운송수단으로 운행된다. 이것은 도시-교외, 도시-도시간 운행하는 것을 포함한다.
 - 직류 600V, 750V, 1500V 의 전압으로 가동되며, 축중은 10t, 차체 폭은 2.65m 를 초과하지 않는다.
- 운송 기능이 관계 되는 한, 경량전철시스템은 버스(적은 수용력, 낮은 속도, 표준생산, 기반 시설물이 필요 없음)와 지하철(높은 운송 능력, 높은 효율, 지하 선로 건설의 높은 비용) 사이로 분류될 수 있음. LRT 시스템의 평균 운행 속도는 역간 거리

가 짧기 때문에 20~30km/h 정도밖에 되지 않으며, 경전철의 타 운송 수단 대비 상대적 위치는 아래 그림과 같음.

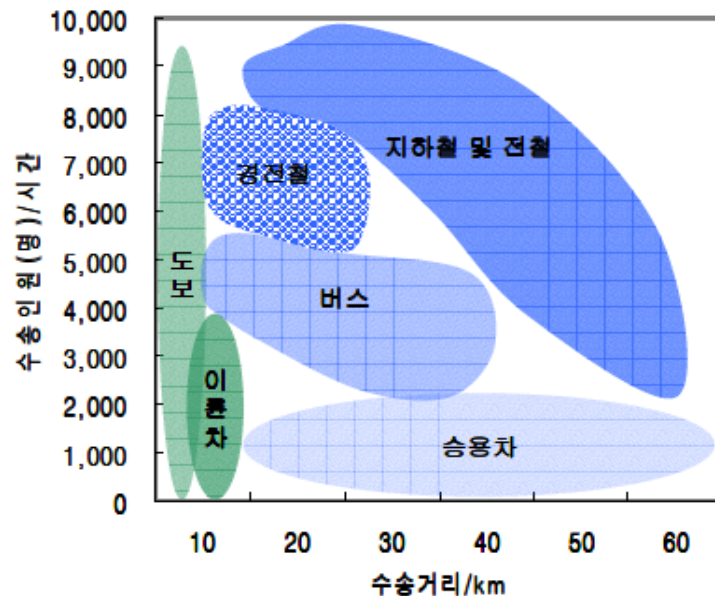


그림 2-22. 수송거리 및 수송 인원별 수송 수단

- 고속철도에 대한 정의는 시대와 나라에 따라 다르지만 통상적으로 200km/h 이상의 고속으로 주행하는 철도를 일컫음. 1964년 일본의 도카이도 신칸센(도쿄~신오사카)이 세계 최초로 210km/h 속도를 내기 시작하면서 급속도로 발전해 각국이 속도향상을 위한 기술, 연구 개발에 매달려 현재는 시속 300km/h 대의 고열차가 운행되고 있음. 현재 운행되는 모든 고속열차는 전기를 동력으로 사용하고 있어 고속철도를 고속 전철이라고도 함. 고속철도는 크게 종전의 열차와 같이 바퀴를 사용하여 레일 위를 주행하는 바퀴식(Wheel-On-Rail)과 자력의 흡인 반발력을 사용하여 열차를 부상시켜 주행하는 자기부상식(Magnetic Levitation)두 가지 방식이 있음. 바퀴식 고속철도는 레일과의 점착력 한계로 시속 330km/h가 한계라고 생각했으나, 프랑스가 1990년 5월 대성양선의 남부지선 Vendome 구간에서 시속513.3km/h의 시험운행에 성공함으로써 지속적으로 발전하고 있으며, 자기부상식 고속철도는 독일, 일본 등에서 연구 중이며, 이미 지난 1997년 일본이 시속 550km의 속도 갱신을 세운 이래 시속 580km를 목표로 개발 중이며, 중국에서는 2002년 12월 상하이 국제공항까지 32km 구간을 개통해 시속 430km/h의 속도를 자랑하고 있음.

가. 국내 시장 분석

(1) 경량 전철

- 도심지의 교통난이 가중되고 환경 및 에너지 문제가 심각해질수록 건설비와 운영비가 저렴한 경전철 사업에 대한 관심과 관련 시장 규모가 증가할 것으로 전망됨.
- 현재 많이 사용되고 있는 상부 가선식의 경량전철의 경우, 건설비 및 유지보수 비용이 많이 소요되고 외부 환경의 변화에 따른 시스템의 안전성이 낮아 새로운 시스템 개발이 요구됨으로 비접촉 유도급전 철도시스템 개발을 통해, 도시 미관을 살리고, 상대적으로 저렴한 건설비로 경량전철을 구현 가능하여 국내 건설 시 비용 절감과 관련 기술의 수출 산업화가 가능할 것임.
- 경전철 국내 시장의 경우, 의정부와 용인, 광명 등 전국 21개 지자체들이 연계 교통망 확충을 위해 13조 8810억 원 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 전국적으로 78개 노선의 경전철이 추진 중이거나 계획되고 있음.

■ 서울시 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 민간자본을 유치할 계획이며, 2008. 11. 12 도시철도기본계획 확정(국토해양부)에 따른 경전철 공사 계획은 다음과 같음.

표 2-5. 서울시의 경량전철 건설 계획

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	공사비 (억원)	차량	진행현황
1	우이-신설선	11.4	6,961	5,724	AGT	'08년 착공 2013년 완공 예정
2	우이-신설 연장선	3.5	2,277	1,872	AGT	도시철도기본계획 확정
3	신림선	7.7	5,390	4,300	AGT	도시철도기본계획 확정
4	면목선	9	6,300	4,950	AGT	도시철도기본계획 확정
5	서부선	12.5	8,750	6,875	AGT	도시철도기본계획 확정
6	동북선	13.2	9,240	7,260	AGT	도시철도기본계획 확정
7	목동선	11.9	7,490	5,500	AGT	도시철도기본계획 확정
8	DMC(상암)	6.5	2,000	1,300	모노레일	도시철도기본계획 확정
9	금전선	7.2	5,200	4,100	AGT	서울시 검토 중
10	홍제-길음선	8.7	6,100	4,900	AGT	서울시 검토 중
11	시청-은평선	11.4	7,980	6,270	AGT	서울시 검토 중
12	송파 노면전차	5.5	2,000	1,200	노면전차	서울시 검토 중

■ 경기수도권 계획

○ 경기수도권에서는 이미 활발히 경전철 사업이 진행 중이고, 수원시, 부천시, 고양시, 파주시 등에서는 일부 구간에 대한 기본 계획을 수립하고 있음.

○ 경기 수도권에서 진행 중인 경전철 사업은 다음과 같음.

표 2-6. 경기수도권의 경량전철 건설 계획

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	공사비 (억원)	차량	진행현황
1	용인선	18.8	6,970	5,553	LIM	공사중 2010년 개통 예정
2	의정부선	11.08	4,750	3,489	고무차륜 AGT	공사중
3	광명선	10.3	4,512	3,400	고무차륜 AGT	실시협약완료
4	수원선	18.7	9,419	6,700	AGT	적격성 심사중
5	김포선	25	14,000	12,560	AGT	예비타당성 조사 진행중
6	고양선	11.4	5,300	3,700	모노레일	전격성 심사중
7	성남선	20.7	7,556	5,605	노면전차	예비타당성 조사 진행중

8	인천 자기부상	6.1	4,140	3,400	자기부상	건교부 시범 사업
9	인천 월미도선	6.1	760		모노레일	재정 사업
10	시흥선	14.5	6,775	5,600	AGT	예비타당성 조사 진행중

■ 기타 지방권 계획

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

표 2-7. 기타 지방권의 경량전철 건설 계획

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	차량	진행현황
1	부산 반송선	12.7		K-AGT	공사중
2	부산 김해선	23.7		철제 차륜	공사중
3	부산 초읍선	7.3		AGT	현상 중단
4	대구 3호선	23.9		모노레일	기본설계 완료 (재정사업)
5	대전 2호선	30.8		AGT	대전시 검토중
6	울산 1호선	11.3		노면전차	기본 설계 진행중
7	광주 2호선	22			적격성 심사중
8	천안선	12.3		K-AGT	기본계획 수립완료

(2) 고속철도

- 2004년 4월 1일 개통한 경부고속철도의 시작으로 국내에서는 전국을 잇는 고속철도가 건설되고 있거나 계획 중에 있음. 경부선은 2010년 11월이면 전 구간을 고속선으로 달릴 수 있게 될 것이며, 2014년에는 한반도의 양대 축인 호남선에서도 고속철이 구축되고, 수도권 고속철도가 개통되면서 전국에 X자 형 고속철도망이 완성될 것임.
- 서울~부산(417.5km)을 잇는 경부고속철도는 총 사업기간 22년, 사업비 20조 6831억원이 투입되는 국내 최대 국책사업임. 2004년 개통한 1단계(409.8km) 경부고속철도의 경우, 서울~동대구는 고속선, 대구~부산은 기존선으로 연결한 반쪽짜리이지만, 당

시 4시간 10분이던 새마을호의 서울~부산 간 운행시간을 2시간 40분으로 90분 단축하며 속도의 혁명을 실감케 하고 있음. 서울~부산 전 구간을 고속선으로 연결하는 2단계(423.9km)는 개통시기가 2010년 말에서 약 2개월 앞당겨지는데, 이는 11월11일 'G20 정상회의'에 앞서 한국의 고속철도를 세계에 선보이기 위해서임.

- 경부고속철도는 ▲서울~광명~천안아산~오송~대전~김천구미~동대구~경주~울산~부산을 연결하는 신(新)노선과 ▲서울~광명~천안아산~오송~대전~김천구미~동대구~밀양~구포~부산을 연결하는 1단계 노선으로 나뉘어 운행하며, 신노선은 운행거리가 늘어났지만 운행시간은 2시간18분으로 22분 단축됨. 최종 3단계(417.5km)는 2014년 완성된다. 대전·대구 도심구간이 고속선으로 건설되면서 기존 노선(51.7km)보다 6.4km가 짧아지고 운행시간도 8분 단축돼 2시간10분이면 서울~부산 운행이 가능해짐.
- 오송~광주(송정)를 연결하는 호남고속철도 1단계 구간(182.2km)이 2014년 말 개통하며, 호남고속철이 개통하면 용산~광주 간 운행시간이 2시간39분에서 1시간33분으로 66분 단축될 것임. 2단계 광주~목포 구간(48.5km)까지 2017년 완전 개통되면 용산~목포간 운행시간이 3시간5분에서 1시간46분으로 79분 줄어들게 될 것임.
- 용산~목포를 연결하는 호남고속철도는 총연장 352.4km로 기존 경부고속선인 오송에서 분기해 목포로 이어짐. 11조 2000여억원의 사업비가 투입되며 지난해 5월부터 19개 공구로 나뉘어 전면 착공됐으며, 호남고속철도는 ▲용산~광명~천안아산~오송~공주~익산~정읍~광주송정~목포를 운행함. 특히 호남고속철은 세계 최초로 탄소배출권을 확보할 수 있는 청정개발체제(CDM)사업으로 추진될 것임. 때를 같이해 수서~동탄~평택을 잇는 수도권고속철도(61.08km)도 개통할 것임. 강남에서 출발해 평택에서 경부고속철도, 오송에서 호남고속철도와 연결될 것이며, 서울~시흥 간 병목구간을 거치지 않는 첫 열차가 될 것임.
- 2015년에는 서울에서 한반도 지도에서 호랑이꼬리에 위치한 포항까지 고속열차가 투입될 것임. 현행 서울~포항을 열차로 가려면 5시간이 걸리지만 고속철도가 운행되면 1시간50분이면 도착 가능할 것임. KTX 포항 직결노선은 경부고속철도 신경주역에 앞선 경주시 건천읍 모량리(서울기점 319km)에서 동해남부선과 연결될 것임. 경부고속철도와 동해남부선 간 7.5km 연결 공사 사업비는 약 1,734억여원이 투입되며 2014년 말 운행 예정임.

나. 해외시장 분석

(1) 경량 전철

- 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].
- 해외 경량 전철 시장에서 각 시스템 별로 차지하는 비중을 살펴보면 AGT는 13%, LIM은 1.4%, 모노레일은 9.4%에 불과하며, 나머지 76.2%를 노면 트램이 차지하고 있으며 운행하고 있는 도시는 334개 달하고 있음[철도기술연구원 2007].
- 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.
- 작은 차량공급업체는 시장에서 위치를 굳건하게 할 수 있도록 해오고 있으며, 점유율은 한자리 수이지만 앞으로 성장할 예정이며, SCI Verkehr 는 동유럽 제조업체가 시장 점유율을 높일 것으로 예측하였음. 아래 그림은 2002 - 2006 사이 시장 점유율을 보여주고 있음.

2002 - 2006년 사이 시장 점유율

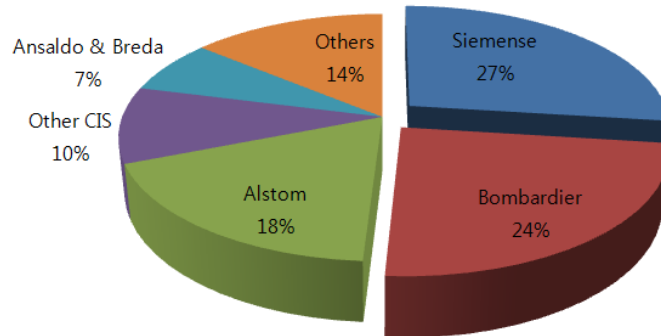


그림 2-23. 차량 제작사별 경량전철 시장의 점유율

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

*CIS: Commonwealth Independent States(독립국가연합)

- SCI Verkehr 자료에 나온 세계 각 지역에서의 경량전철 시장 추이는 다음과 같음.

■ 유럽 시장

- 서유럽은 세계에서 가장 큰 LRV 시장임. 다수의 새로운 프로젝트로 프랑스는 최근 (국가적으로) 가장 큰 시장이며, 지금 까지 가장 큰 시장이었던 독일 시장은 최근 잠시 침체를 보이고 있음. 최근 사업은 주로 교체조달을 포함하고 있으며, 향후에는 푸랑크푸르트와 베를린 등에서 계획되고 있는 신규프로젝트가 새로운 시장의 역동성을 가져올 것임.
- 동유럽의 많은 국가들의 노후 차량에 대한 수요가 매우 많으나, 현재의 조달 능력이 나 재정이 부족하여 교체에 어려움을 겪고 있음. 터키에서의 LRT 붐이 일어나고 있어 신규 개발프로젝트와 성능개선 프로젝트가 계획 되고 있으며, 추가적으로 많은 국가들이 EU에 가입하게 되어, 신규 차량과 노후 차량의 재생에 대한 수요가 늘어날 것임.

■ 아시아 시장

- 현재 아시아에서는 대부분의 국가에서 LRT 시스템이 대중교통 수단에서 주요한 수

단이 아님. 백만을 넘는 거주자가 살고 있는 130개 아시아의 도시 대부분이 여전히 도시내부에 열차 시스템을 갖고 있지 않고 있어서 그 잠재성이 매우 높은 시장임. 현재 중국, 일본, 홍콩, 인도 등이 가장 큰 시장으로 보이며, 이런 대부분의 나라에서 LRT 시스템 건설계획을 갖고 있지만, 구체적인 시간계획은 정해져 있지 않은 실정임.

■ 미국 및 기타 지역 시장

- 미국의 LRV 시스템은 과거에 급격한 증가를 경험하였으며, 신규차량에 대한 수요가 2011년 까지 약간 감소할 것으로 예상됨. 이는 대부분의 신규 개발프로젝트와 업그레이드 프로젝트가 완성되었기 때문임. 중남미의 대다수 나라들이 새로운 LRT 시스템을 계획하고 있지만, 2011년에나 이루어질 것으로 예상되고, 중동 및 아프리카 지역은 매우 작은 시장규모로서 3가지 시스템만이 운행되고 있고 신규 개발이 예루살렘, 알제, 리야드에서 이루어지고 있음.

(2) 고속철도

- 세계 철도 시장은 2003년 기준 약 700억불 규모로 인프라가 350억불로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 철도차량 270억불, 시스템 70억불 등의 시장을 형성하고 있음. 그 중 고속철도 차량 시장은 약 17억 달러로 전체 차량 시장의 약 6% 정도를 차지하고 있으며 연평균 성장률 6%의 비교적 빠르게 성장하고 있는 시장임. 특히, 고속철도 시장은 최근 중국, 러시아를 비롯하여 미국에서도 새롭게 대형 사업이 도출되는 등 전 세계적으로 관심이 점차 높아지고 있어 향후 전망이 매우 밝은 시장이라고 할 수 있음.

■ 유럽 시장

- 유럽에서 고속철도 분야의 대표적인 국가인 프랑스에서는 철도운영자인 SNCF가 일찍부터 간선철도망에서 상업운행열차의 최고 속도를 계속 향상시켜왔음. 재래식 선로조건하에서 속도향상에 한계를 느끼고, 또 일부 주요구간에 교통량 증가로 철도의 추가건설이 불가피해져서 철도수송이 타 교통수단에 대해 경쟁력을 가지면서도 경제적 타당성을 가질 수 있도록 고속철도 건설 추진하였음. 현재 프랑스에서 운영되고 있는 고속철도의 길이는 1,872 km이며 4개 구간에서 건설 중이 철도 길이

가 299km임. 향후 16개 구간 2,616km를 추가 건설할 계획을 가지고 있음. 주요 국가 및 대륙별 고속 철도 현황 및 계획은 2009년 6월 14일자 UIC High Speed Department 자료를 참고하였음.

- 독일은 1950년 이래 자동차공업의 급속한 발달과 도로위주로 교통이 발전하였으나 한계점에 도달하였고, 급속한 자동차 증가에 따른 환경보호대책이 요구되었음. 뿐만 아니라, 장거리를 신속하게 소통할 수 있고, 독일의 주요도시와 인접 유럽 여러 나라의 철도와 고속연계가 가능한 교통수단이 요구되어 고속 철도 개발을 시작하였음. 독일에서는 현재 10개의 노선, 1,285km 구간에서 고속 철도가 다니고 있고 3개 구간 378km가 건설 중에 있으며, 향후 6개 구간 670km가 추가로 건설될 계획임.
- 프랑스, 독일, 스페인, 영국 등 주요 유럽 12개국에서 현재 운영 중인 고속 철도 구간은 55,821km이고 건설 중인 구간이 3,256km이며, 향후 추가적으로 계획 되고 있는 구간의 총 연장선은 8,501km임.

■ 아시아 시장

- 일본은 지리적, 사회적 특수성 때문에 일찍부터 철도에 의한 대중교통수단이 발달하였음. 기존선은 궤간 1,067mm의 협궤위주로 건설되어 있어서 속도향상이나 수송량 증대에 한계가 있었고, 2차대전 후 인구·산업이 대도시와 임해공업지대로 집중되어 교통애로가 극심하였음. 1964년 동경올림픽 개최에 맞추어 수송체계의 정비 개선과 대용량의 고속교통 시스템이 필요하여 일본은 1964년 신칸센을 개통하였음. 일본의 신칸센은 높은 기술력을 바탕으로 1964년 신칸센 개통 이후 1965년 운수성(현 국토교통성)과 일본국유철도(현 JR그룹)가 중심이 되어 해외철도기술협력협회(JARTS)라는 사단법인을 만들어 신칸센의 해외진출을 모색해왔음. 이 기구는 교통부, 철도청 산하의 정부 조직으로 각종 철도 프로젝트에 대해 타당성 조사, 엔지니어링 서비스, 컨설팅 서비스를 제공하는 역할을 수행해왔음. 현재 일본에서 운행 중인 고속철도 구간은 2,452km이고 건설 중인 구간이 590km이며, 향후 추가적인 3 구간에서 583km를 계획하고 있음.
- 중국은 최근 고속 철도 건설 및 개발에 가장 많은 투자를 하고 있는 국가이며, 해외 기업들의 기술력을 이어 받아 최근 수출에도 박차를 가하고 있음. 현재 중국에 건

설되어진 고속철도 구간은 총 1,194km이고 건설 중인 구간이 무려 22개 구간에 총 9,031km이임. 뿐만 아니라 현재 계획하고 있는 구간도 13개 구간 2,901km임.

- 일본, 중국 및 기타 아시아 국가들을 포함한 전체 아시아 시장의 고속 철도 시장 규모는 현재 운행 중인 구간이 4,556km이고 건설 중인 구간은 10,213km, 계획 중인 구간이 6,683km임.

■ 미국 및 기타 지역 시장

- 미국은 최근 고속 철도 건설에 큰 관심을 보이고 있는 국가임. 미국 주요 도시를 연결하는 고속철도망 구축 추진하고 있는 오바마 대통령이 2010년 4월 16일에 발표한 고속철도 건설 확대 의지는 아이젠하워 대통령이 1950년대에 야심차게 추진했던 대규모 고속도로 건설(Interstate Highway System) 프로젝트에 비할 수 있음. 고속철도 건설프로젝트가 본격화될 경우, 미국의 경기부양에 즉각적인 효과를 가져오는 것은 물론 중장기적으로는 석유의존도 감소에 큰 기여를 할 것으로 기대되고 있음. 게다가 연간 60억 파운드의 이산화탄소 배출이 절감되는 친환경적 효과까지 수반할 것으로 분석되었음. 이는 중서부지역에서 약 100만 대 자동차가 사라지는 효과와 같음. 미국에서는 지역별 대도시를 연결하는 동부와 중부, 캘리포니아주를 중심으로 한 서부지역 중심으로 고속철도 건설이 적극 추진되며, 특히 캘리포니아와 플로리다 주정부는 구체적인 고속철도 건설추진계획 등을 발표하고 한걸음 빨리 움직이고 있음. 현재 미국 각 주 정부들은 지역 간 고속철도 건설을 위한 연방정부 예산을 배정받기 위해 치열한 경쟁을 펼치고 있고, 이미 고속철도 건설과 관련해 약 40개 주에서 278개의 계획안이 연방정부에 제출된 상황임. 연방정부는 고속철도 건설을 위해 경기부양 자금 중 초기에 이미 배정된 80억 달러를 포함해 약 1,020억 달러의 총예산을 배정해 놓고 있어 지역별 고속철도 건설이 본격적으로 탄력 받을 전망이다. [미국 고속철도 건설계획 자료원 : U.S. Department of Transportation]

- 2009년 6월 14일자 UIC High Speed Department 자료에 따르면 현재 미국에서 운행 중인 고속 철도 구간은 362km이고 LA와 Sacramento를 잇는 900km구간이 계획되고 있으며, 미국 이외에도 모로코, 아르헨티나, 브라질에서 1,495km구간의 고속철도 건설을 계획 중임.

2. 국내외 철도 정책 현황 분석

- 친환경적인 철도 교통의 수용 용량 증가와 특히 온실가스 저감을 위한 다양한 철도 관련 지원 정책들이 세계적으로 추진되고 있음. 철도분야에서 유도급전 및 배터리 기술을 적용한 친환경적인 미래형 전기철도 시스템 개발을 위한 해외 선진국들의 R&D 투자 증대되고 있으며 국내에서도 정부 및 지자체의 친환경, 저비용, 고효율 수송시스템에 대한 관심이 고조되고 있음.

가. 국내 철도 정책

- 국토 해양부에서 현재 추진하고 있는 철도 관련 정책은 녹색 교통 구현을 위한 철도 인프라 확충을 주 내용으로 비용절감, 첨단 기술 개발 및 해외 진출 활성화 등이며, 세부적인 내용은 다음과 같음[국토해양부 교통 정책실 철도 정책 2010].

- 녹색 교통을 구현하는 철도 인프라 확충

- KTX서비스를 전국적으로 확대하고, 광역/도시 철도 및 저비용 고효율 철도물류 인프라를 확충할 계획임.

- 철도 건설/운영 전반의 비용절감화 효율화

- 비용 절감을 위해 계획 설계 과정과 관설 과정의 비용을 절감할 수 있는 방안을 지원할 계획임.

- 첨단 철도기술 개발과 해외진출 활성화

- 첨단 철도 차량 기술 개발, 철도 신호 / 궤도 기술 선진화를 통해 해외 진출을 활성화 하고자 함.

- 쾌적하고 안전하고 편리한 이용환경 조성

- 2009년 12월 “노면 전차 건설관리법안” 공동 발의

- 중앙정부가 지자체에 의해 추진되는 노면 전차 도입 시 온실가스 배출 감축 및 에너지 절약 효과가 있다고 판단될 경우 도입 비용의 60% 이상 보조할 수

있는 법안을 발의한 상태이고 이를 통해 노면 전차를 활성화 시킬 계획임.

- 도시철도 부문도 대도시 재정운영의 압박요인으로 대두되고 있는 지하철 부채 문제 해결의 일환으로 신규 건설비 지원율을 60%로 상향 조정하려는 움직임 대두
 - 현재 국토 해양부에서 중점적으로 추진하고 있는 철도 정책들은 첨단 기술 개발을 통한 철도 시스템 비용 절감을 목표로 하고 있는 비접촉 유도급전 철도시스템 개발과 매우 부합됨.

나. 해외 철도 정책

- 해외 철도 정책은 일반적인 철도 정책 보다 경전철과 수송 분야에서 환경 친화적인 솔루션으로 부각되고 있는 철도에 대한 각국의 철도 정책에 대한 내용을 분석하였음. 본 장의 내용은 강승우 등이 2009년에 작성한 ‘해외 기후변화대응 철도 정책 분석을 통한 국내 기후변화대응 철도정책 방향제시’ 논문의 내용을 토대로 작성되었음.

■ 유럽

- 유럽연합의 철도부문의 최근 정책들은 도로부문 수요를 비도로 부문으로 전환하는 정책이임. 대표적으로 ‘Revitalization of Railways’와 ‘Promotion of Intermodal Freight Transport’ 의 2가지 정책이 있음.
- Revitalization of Railways 에서는 유럽 철도 네트워크 통합을 통한 철도의 수송비 중 증대를 위한 5가지 전략을 내세웠음. 그 정책으로는 첫째, 안전도 인증을 통해, 철도의 안전성을 개선하고 모든 철도회사들은 유럽 철도 네트워크에서 철도를 운영하기 위해 안전인증을 확보하도록 한다. 둘째, Directives 96/48과 2001/16을 통해 Interoperability의 기본원리들을 보장한다. 셋째, 효율적인 운영기구인 the European Railway Agency를 설립한다. 넷째, 철도물류시장의 개방을 확대하고 가속한다. 마지막으로, OTIF(the Intergovernmental Organization for International Carriage by Rail)에 가입하는 것임. 이러한 5가지 전략을 통해 유럽연합에서는 철도 물류의 비중 증대에 힘쓰고 있음.
- ‘Revitalization of Railways’ 외에도 ‘Promotion of Intermodal Freight Transport’

라는 정책으로 인터모달 물류교통 증대정책이 있음.

- 본 정책의 일환으로 유럽 의회는 2002년 2월 4일, 인터모달 물류 교통을 지원하기 위해 Marcopolo 프로그램을 제안하였음. 본 프로그램은 가능한 도로물류 대신책이 될 수 있는 새로운 국제솔루션을 재정적으로 뒷받침함. 연간 120억톤-킬로미터의 증가율이 예상되는 혼잡한 도로부문 물류를 철도로, 단거리 해상물류와 내륙수로 등의 친환경 교통수단으로의 전환을 도와줌. 교통 협의회는 2002년 12월 5일, 마르코 폴로 프로그램에 대해 정치적 합의를 이루었고, 마르코 폴로 프로그램은 2003년 -2006년 7,500백만 유로를 지원했음.
- EU에서는 연구예산이 2천만 유로에 달하는 MODURBAN 연구 프로그램을 통해 차세대 자용 유도궤도 차량 연구 개발을 목적으로 메트로와 경전철을 포함하고 있는 도시 철도 연구 과제를 추진하고 있음.
- 프랑스의 철도부문 최근 정책은 유럽의 정책과 같은 방향으로써, 도로교통을 철도교통으로의 대체에 초점을 맞추고 있음. ‘Grands chantiers de transports complémentaires à la route’ 정책은 도로교통 대체를 위한 교통 개발 프로젝트로써, 특히 TGV 네트워크의 확장이 주요사항임. TGV 네트워크 확장을 위해서 재정, 건설, 새로운 고속도로의 개통을 가속화 하고 현재, 3개의 추가 TGV 고속철 노선을 동시에 진행 중에 있음.
- 영국의 철도정책은 철도부문의 수송용량을 늘리고 철도로의 수송모드변환, 철도자체의 온실가스 배출량 저감으로 요약할 수 있음. 대표적인 철도로의 수송모드변환 프로젝트로는 ‘Delivering a Sustainable Railway’ 가 있음. 본 프로젝트 내에서 영국 정부는 철도의 수송용량을 늘리기 위해 2009년부터 2014년까지 100억 파운드 이상의 지원을 할 것이고, 영국 정부의 총 철도 지원 자금으로는 150억 파운드를 책정하였고, 2015년 말까지 런던 중심부를 통과하는 12차량 기차들을 시간당 24대 배치하는 Thameslink 프로그램을 실행 중임. 본 프로그램을 통해 결과적으로 14,500 자리를 추가 확보함으로써, 런던의 남부를 연결하여, 철도 교통으로의 Modal shift를 꾀하고 런던 이외의 도시에서도 열차 길이를 늘임으로써 증가하는 수송량에 대비할 것임. 또한, 철도로의 Modal shift를 위한 방안으로, E-money를 티켓에 도입하는 All programme에 3억 7천 파운드를 2015년까지 투자함으로써 역내 및 객실 서비스

를 향상시킬 것임. 그리고 철도 자체의 CO2 배출량 저감 기술 개발 역시 영국 정부의 지속가능한 철도로 향한 발전 방향에 포함되어 있음. 영국 정부는 R&D 에 대한 투자 지원을 통하여, 철도산업체들이 저탄소 차량 개발을 할 수 있도록 지원하고 있음. 철도 물류의 경우 1995/96년에 비해 톤-킬로미터 단위로 계산 시 55퍼센트의 성장률을 보이고 있음. 정부는 현재 매년 800,000 대의 화물자동차를 대체하기 위해 2천만 파운드를 투자하고 있음.

■ 아시아

- 일본의 철도분야 기후변화 대책은 철도 자체의 에너지효율 향상 및 물류 효율화로 구분됨. 철도의 에너지 효율 향상을 위해 2010년까지 1995년 대비 에너지 소비 원 단위를 약 7% 감축을 목표로 하고 있음.
- 물류 효율화를 위해서는 철도 및 해운화물운송 추진과 국제 컨테이너화물 등 국내 육상운송거리 감축을 위해 항만정비, 트럭의 적재효율향상, 트레일러화 및 차량 대형화 촉진, 물류 정보화 등을 추진하여 물류를 효율화하고 CO2배출을 억제해야 함.
- 또한, 철도화물의 인프라 정비, 효율적인 철도화물 집배시스템구축, 선박적재량 조정, 국제해상터미널 정비. 트럭 적재 효율화를 빠른 시일 내에 50% 향상시킬 목적으로 자영(自營)전환, 공동 집배 및 수송 등의 여러 대책을 적극적으로 추진하고 있음.
- 중국의 경우 [중장기 철도망 건설계획]에 의거 2020년 까지 4종 4횡의 여객전용선 건설을 통해 전 국토를 거미줄처럼 연결하여 국토의 균형 발전을 꾀하고 있으며, 철도 속도 증강을 통해 철도가 경제도약의 원동력이 될 수 있도록 철도 정책을 추진하고 있음. 도심 내 이동의 경우 지하철과 경전철을 주요 수단으로 추진 중 임.

■ 미국 및 기타 지역

- 미국의 경우 도시간 교통은 연방정부의 소관이지만 도시 교통에 대해서는 주 정보 이하에서 관할하고 있고 도시 교통 정책에 대해서는 도로혼잡, 환경오염, 고령자/장애자 등의 교통 약자의 관점에서 기본적으로 FTA가 연방수준의 보조제도를 통해서

공공수송기관의 촉진에 관여하고 있음.

- 미국 이외의 기타 지역에서도 환경오염에 대한 높은 관심을 보이며 친환경 교통수단인 철도 교통을 이용하여 이를 해결하려는 정책들을 많이 수립하여 추진하고 있음.

제 3 장 기술적 · 경제적 타당성 분석

제 1 절 기술적 타당성 분석

1. 유도급전 기술 관련 특허 동향 분석

가. 특허 분석 범위

- 특허 분석대상은 온라인 유도급전 전기철도시스템에 관한 특허로서 2010년 03월까지 한국, 미국, 일본, 유럽에 출원 또는 등록된 특허로 선정하였음
- 각 국의 특허검색 결과를 얻기 위해서 WIPS(www.wips.co.kr)의 데이터 베이스를 대상으로, 주로 서지사항의 프론트 페이지의 정보 및 대표 청구항을 대상으로 검색을 수행하였음
- 분석대상 특허 건수를 국가별로 표 3-1에 나타내었음.

표 3-1. 국가별 분석구간 및 특허건수

자료 구분	국 가	전체분석구간	정량분석 대상특허	정성분석 대상특허
공개특허 (출원일 기준)	한국	~ 2010.03(검색일)	-	20
	일본	~ 2010.03(검색일)	-	88
	유럽	~ 2010.03(검색일)	-	21
	미국	~ 2010.03(검색일)	-	57
등록특허 (등록일 기준)	미국	~ 2010.03(검색일)	-	-
합계			-	186

나. 특허 분석 기준

- 특허 분석대상의 기술 분류를 표 3-2에 나타내었음.

표 3-2. 특허 분석대상의 기술 분류

대분류	중분류	분류기호
온라인 유도급전 전기철도 시스템	급전 및 집전체 요소기술	AA
	급전/집전용 전력 변환 시스템 기술	AB
	급전 SE 및 궤도 인프라 기술	AC
	급전 시스템 안전/성능 검증	AD
	위치제어 및 외부 추진체 연계기술	AE

- 특허 분석대상 기술범위

- 기존 철도의 장점인 정시성과 안전성은 보장하며 기존의 접촉식 전력 공급 장치를 개선하여 전차선 설비가 필요 없어 유지보수 비용 절감이 가능하고, 접촉방식이 아니기 때문에 단선 및 전기접촉 등에 의한 위험성이 없는 친환경적인 전기철도 시스템 구현이 가능한 새로운 기술 개발
- 기존의 접촉식 전력공급방식을 개선할 수 있는 비접촉식 유도급전 시스템의 철도 시스템 적용을 위한 단계별 경량전철차량, 도시철도차량, 고속철도차량 용 유도급전시스템 기술개발

표 3-3. 특허 분석을 위한 핵심 Keyword

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	온라인 철도시스템	유도 급전/집전기술	경량전철	비접촉	그린철도
영문	Online railway system	Inductive power transfer /collection technology	Light Railway Transit	Contactless	Green railway

- 온라인 유도급전 전기철도시스템의 선행기술 조사를 위한 검색 조합식은 표 3-4에 서술하였음

표 3-4. 온라인 유도급전 전기철도시스템의 선행기술 조사를 위한 검색 조합식

대분류	검색 조합식
온라인 유도급전 전기철도 시스템	((유도* 무접촉* 비접촉* 온라인* induct* Contactless* ((non) near (contact*)) non-contact* on-line* online*) near5 (급전* 충전* 공급* 전원* 전력* charg* power* electric* supply* feed* transfer*)) and (철도* 열차* 자동차* 차량* 전철* 전동차* 이동* 레일* train* railway* railroad* car* mov* vehicle* automobile* transit*)
	((induct* Contactless* ((non) near (contact*)) non-contact* on-line* online*) near5 (charg* power* electric* supply* feed* transfer*)) and (train* railway* railroad* car* mov* vehicle* automobile* transit*)

다. 온라인 유도급전 전기철도시스템 분야의 전체 특허 동향

(1) 연도별 전체동향

- 특허동향 분석에서는 2010년 03월 이전 출원까지로 한정하여 수행하였으며, 온라인 유도급전 전기철도 시스템 기술 중심으로 분석함
- 그림 3-1은 온라인 유도급전 전기철도 시스템 기술 분야의 전체 특허 출원동향 및 누적건수를 나타내는 것으로, 대체적으로 02년까지는 100건 이내의 출원수를 보이다가 03년 이후부터는 10건 이상의 출원을 기록하며 꾸준히 출원되는 것으로 나타났다으며, 이는 기술개발 및 연구가 꾸준히 이루어지고 있는 것으로 판단됨
- 유도급전 전기철도시스템 기반기술에서 친환경 기술개발에 대한 수요와 에너지 효율화에 따른 기술수준이 향상되면서 이에 따른 특허출원은 계속 증가할 것으로 전망됨

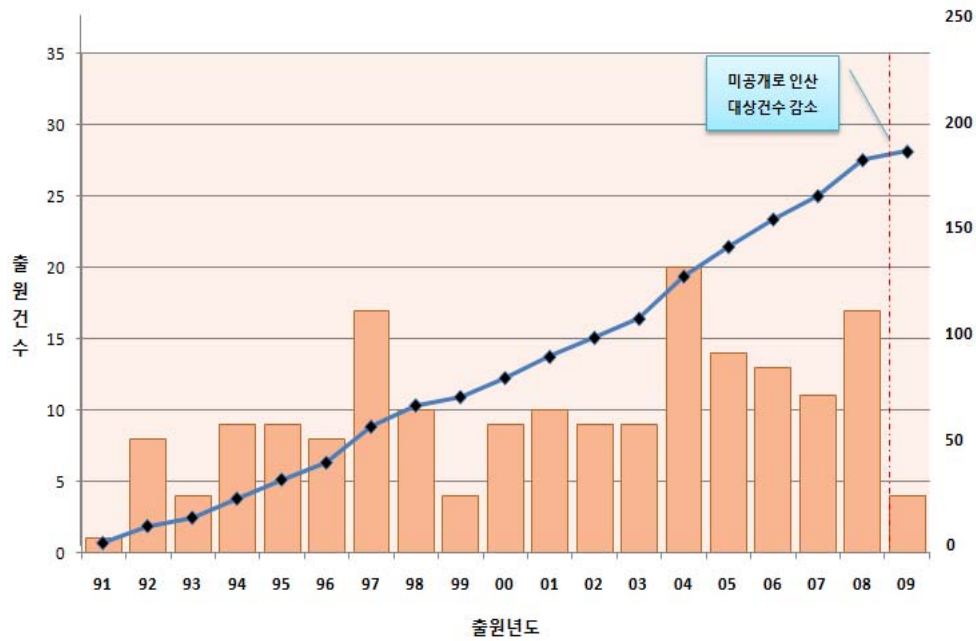


그림 3-1. 유도급전 전기철도시스템 기반기술 전체 동향

(2) 국가별 전체동향

- 온라인 유도급전 전기철도 시스템 개발 분야의 특허동향은 '03년 이후 일본특허가 가장 높은 증가세를 보이고 있음
 - 한국특허의 경우 '00년 이후 꾸준한 출원을 나타내다가 '06년 이후 감소하고 있으며, 유럽특허의 경우 '04년 이후 감소세를 나타내고 있으며, 미국특허의 경우 '04년 이후 감소세를 보이다가 07년 이후 다시 증가하는 것으로 나타남
- 온라인 유도급전 전기철도 시스템 개발 분야의 특허동향은 일본특허가 88건(48%)으로 가장 많으며, 그 다음으로 미국특허 53건(29%), 유럽 21건(12%), 한국특허 20건(12%) 순으로 나타남

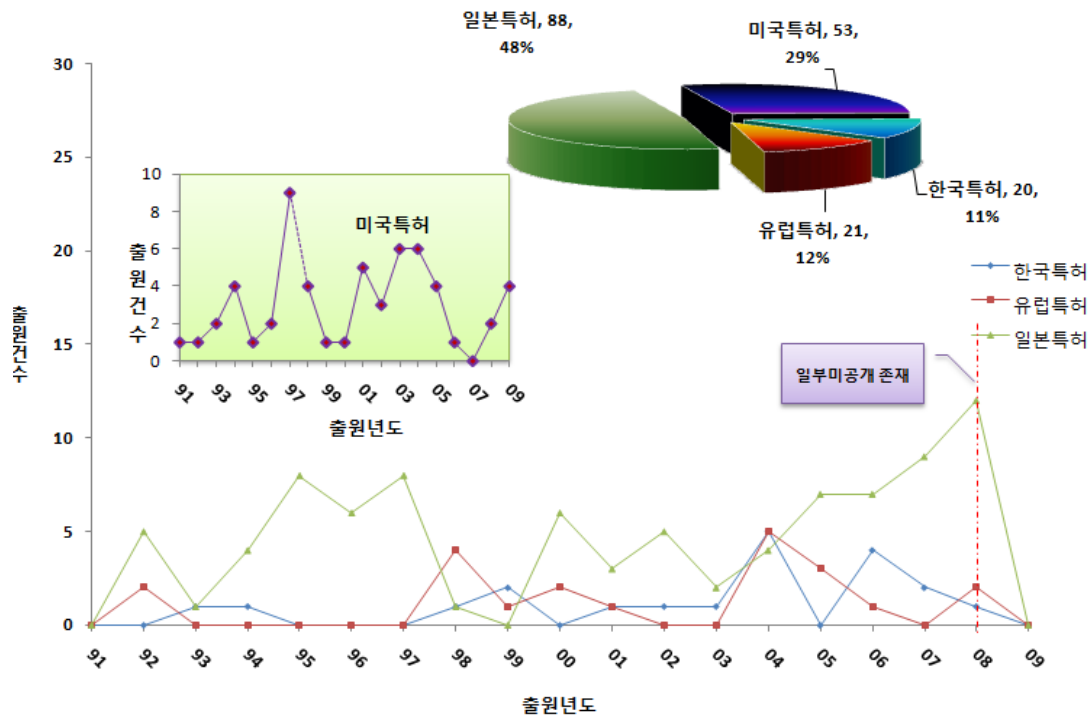


그림 3-2. 유도급전 전기철도시스템 기반기술 국가별 전체 동향

(3) 기술별 전체동향

- 온라인 유도급전 전기철도 시스템 개발 분야의 기술별 전체동향은 '급전 SE 및 궤도 인프라 기술'의 출원이 가장 많은 것으로 나타남
 - 한국특허의 경우 '급전 SE 및 궤도 인프라 기술'이 14건으로 70%의 점유율을 나타내고 있으며, 일본특허의 경우 '급전 및 집전체 요소기술' 및 '급전 SE 및 궤도 인프라 기술'이 높은 점유율을 나타내고 있음
 - 미국특허의 경우 '급전 SE 및 궤도 인프라 기술'이 가장 높은 건수의 출원동향을 나타내고 있으며, '급전 및 집전체 요소기술', '급전/집전용 전력변환 시스템 기술', '위치제어 및 외부 추진체 연계 기술'이 비슷한 출원동향을 나타냄
- 온라인 유도급전 전기철도 시스템 개발 분야의 기술별 전체동향은 '급전 SE 및 궤도 인프라 기술'과 급전 및 집전체 요소기술' 분야의 연구개발이 활발한 것으로 나타나고 있으며, 급전시스템 안전/성능 검증 분야의 연구는 미진한 것으로 나타남

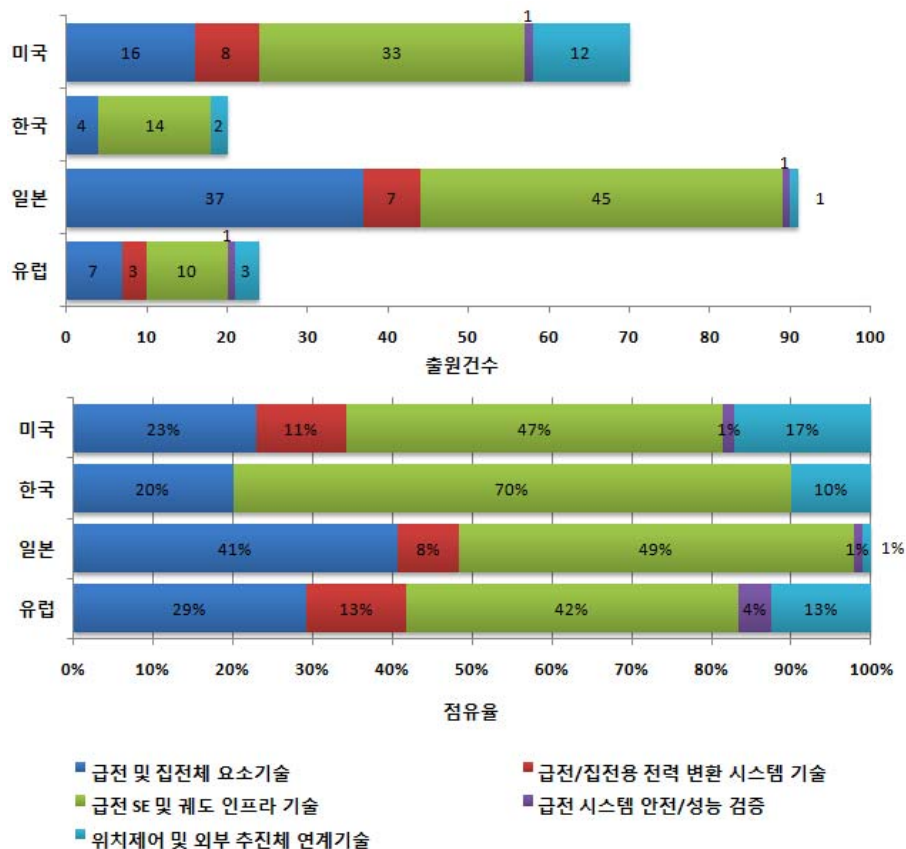


그림 3-3. 유도급전 전기철도시스템 기반기술의 기술별 전체 동향

라. 온라인 유도급전 전기철도시스템 분야의 기술별 특허 동향

- 그림 3-4는 90년대 이후의 온라인 유도급전전기철도 시스템 기술 분야의 기술별 특허동향을 나타낸 것으로 5년을 주기로 살펴보았을 때 '00~'04년의 증가세가 가장 높으며, '04~08년 가장 많은 출원으로 꾸준한 것으로 나타남
- '04~'08년 출원건수가 80건으로 급전 SE 및 궤도 인프라 기술이 가장 높은 출원건수를 나타내고 있으며, 그다음으로 위치제어 및 외부 추진체 연계기술이 높은 것으로 나타남. 급전/집전용 전력변환 시스템 기술은 '04, '08년에 가장 높은 출원건수를 나타냄

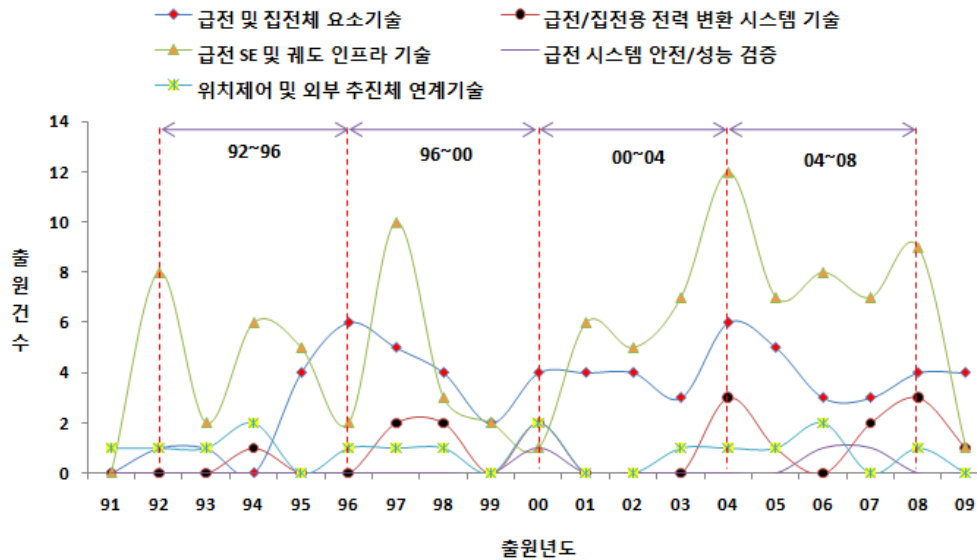


그림 3-4. 1990년대 이후 온라인 유도급전전기철도 시스템 기술 분야의 기술별 특허동향

(1) 급전 및 궤도 기술 분야의 특허 동향 및 중요 특허 분석

- 온라인 유도급전 철도시스템 기술분야의 전체 특허 출원 동향은 02년까지는 100건 이내의 출원수를 보이다가 03년 이후부터는 10건 이상의 출원을 기록하며 꾸준히 출원되고 있으며, 국내외 급전 관련 주요특허는 다음과 같음.

표 3-5. 급전 및 궤도 분야의 중요 특허 현황

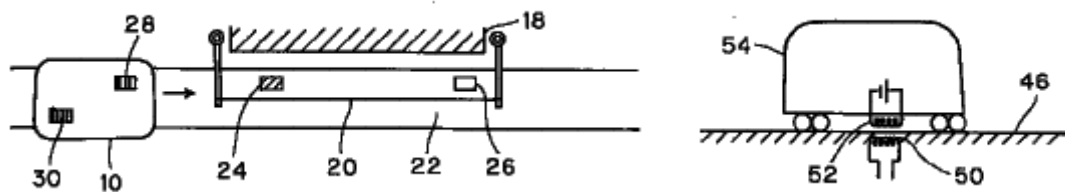
출원 국가	출원/등록번호	발명명칭	출원인	비고
한국	2003-0072376	비접촉 급전방식을 이용한 전기차량운행 시스템	한국철도기술연구원	비접촉 충전/전기차량
	2006-0029621	전동차의 유도급전설비 시스템	한국철도기술연구원	비접촉 충전/전동차
	2006-0006073	비접촉 급전 시스템	한국철도기술연구원	비접촉 충전/전기차량
	2007-0115697	누설자속 저감을 위한 철도차량용 아몰퍼스 유도급전장치	한국철도기술연구원	비접촉 충전/전기차량
	10-2008-0086259	전기자동차를 이용하는 운송시스템	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2008-0135426	전기자동차 시스템	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량

	10-2009-0067716	전기자동차용 전원공급 시스템 및 방법	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0029671	전기자동차용 초박형 급전장치와 집전장치	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0095761	전기자동차용 급전레일장치	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0091335	방전방지 케이블	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0098982	콘크리트 구조물에 의해 보호되는 전기자동차용 급전장치	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0098973	변압기 철심	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0098977	EMF 감소장치를 구비한 전기자동차용 모노레일방식의 급전장치	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0125235	온라인 전기자동차용 공통선 자계 차폐 장치	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0131285	Loop 형상의 구조물을 이용한 듀얼레일 급전시스템의 EMF 차폐	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
일본	P2001-84288	노면전차를 이용한 도시교통시스템	Kawasaki heavy IND LTD	접촉-비접촉 충전/노면전차
EU	EP 1226994	Medium Frequency Energy Supply For Rail Vehicles	Falk, Andreas Kassel DE (Alstom, 프랑스)	비접촉 충전/컨베이어
	WC 2009/00765A1	Power supply installation for a railway vehicle	Moskowitz Jean-Paul (Alstom, 프랑스)	비접촉 충전/전기철도
미국	20030146062	Electric suspended conveyor with contactless energy transmission	Futschek, Norbert (Glienicke, DE)	비접촉 충전/컨베이어
	US2009/0301834	Electric vehicle and associated transport system	Vienney Pierre-Jean (Alstom, 프랑스)	비접촉 충전/전기차량

○ 노면 전차를 이용한 도시 교통 시스템 (Kawasaki heavy IND LTD, 일본, P2001-84288)

- 본 발명의 목적은 노면 전차에의 전력공급방법으로서 가선과 충전 가능한 전지를 병용하거나 연료전지를 이용하거나, 인덕티브 충전을 응용한 무가선 충전을 채용하는 것에 의해, 일부 또는 전부의 구간에서 가선을 사용하지 않고 주행 가능한 노면 전차를 실현할수 있는 토시코우츠우 시스템을 제공하는 것에 있다.

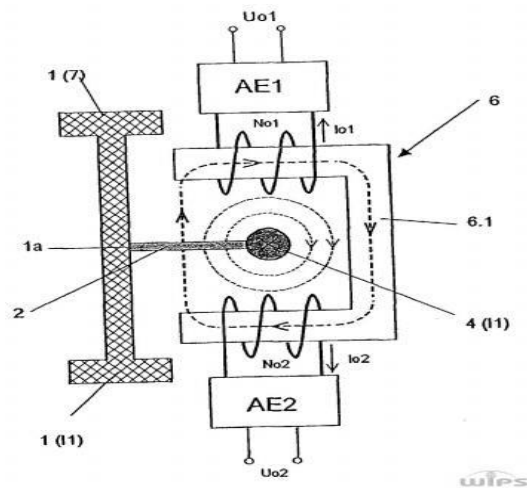
- 상기의 목적을 달성하기 위해 본 발명의 노면 전차를 이용한 토시코우츠우 시스템은 전기로 구동하는 노면 전차가 축전지 및 지상의 가선으로부터 집전하는 팬터그래프를 가지고있고 노면 전차의 궤도가 가선이 없는 구간과 가선을 설치한 구간을 갖고, 가선을 설치한 구간에서 팬터그래프에 의하여 가선으로부터 집전하고 노면 전차에 탑재한 축전지를 충전하고 가선이 없는 구간에서 축전지를 전원으로으로서 노면 전차의 주행을 행하도록 구성되어있다.
- 이 경우 전철 정류소의 궤도 부분에 가선을 설치한 구간을 배치하고 노면 전차가 정차하고 있는 사이에 전력을 보급할 수 있게 하고 노면 전차가 주행하는 타의 궤도부분에 가선을 설치하지 않도록 할 수 있다. 노면 전차의 전원을 노면에 부설하고 노면 전차의 궤도상에서 전자 유도에 의하여 노면 전차에 전력을 공급하고 가선을 사용하지 않고 노면 전차에 전력을 공급할 수 있게 하는 것을 특징으로 하고 있다.
- 상기의 가선과 축전지에 의한 전력 공급을 병용한 노면 전차의 시스템에 있어 노면 전차의 인덕티브 충전을 행하는 구간으로 하고 가선을 사용하지 않고 노면 전차에 전력을 공급할 수 있게 하는 것도 가능하다.



○ Electric suspended conveyor with contactless energy transmission (Futschek, Norbert(Gliencke, DE, 독일), 20030146062)

- 본 발명은 슬라이드 레일 위를 지나가는 차량에 있어서, 레일로부터 비접촉식 전자기 유도 방법으로 전력을 전달받음과 동시에, 두가지 요구전압을 동시에 얻을 수 있는 방법에 관한 것이다.
- 비접촉식으로 전력을 전달하기 위해, 레일이 primary conductor(feeder)의 역할을 하고, 차량에 U모양의 ferrite core를 설치한다. 이때 core에 winding을 서로 다른 비율로 함으로써 서로 다른 두가지 전압수집이 가능하다. 이때 슬라이드 레일은 고주파 AC전원에 연결되어 전력을 공급하고, ferrite core에 부착된 전압수집원은 소비전력 요구사항에 맞게 전력을 조절해주는 전자회로(AE1, AE2)를 내장하고

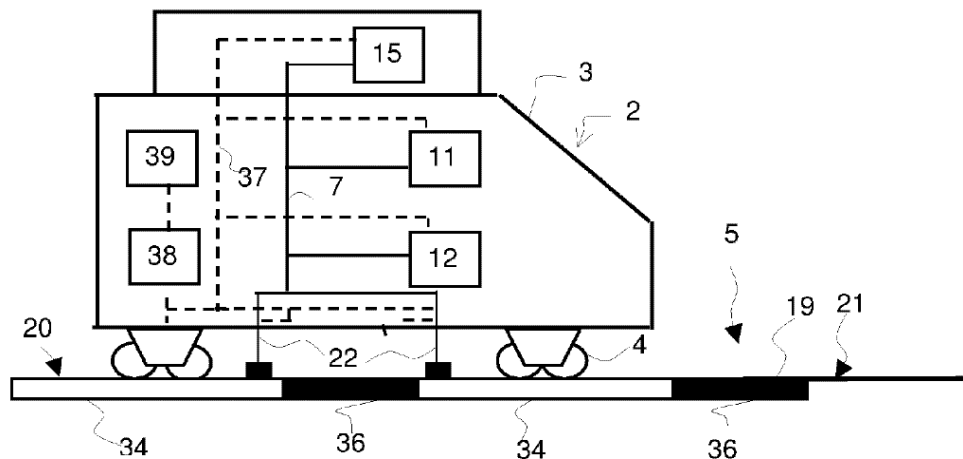
있어 최종 소비전력을 공급한다.



○ Power supply installation for a railway vehicle

(Moskowitz Jean-Paul (Alstom, 프랑스), WO 2009/003765 A1)

- 전기 차량에 전원을 공급 할수 있는 정차장을 구비하고 그 정차장 사이에 지하에 매설되어있는 전원 공급 시스템을 이용한 전기 차량의 발명에 관한 것으로 지하의 전원공급시스템에서 자기유도로 전달된 에너지가 차량의 에너지 저장장치와 모터로 공급되며 차량의 동력원으로 쓰이게 된다.



(2) 집전 및 차량 기술 분야의 특허 동향 및 중요 특허 분석

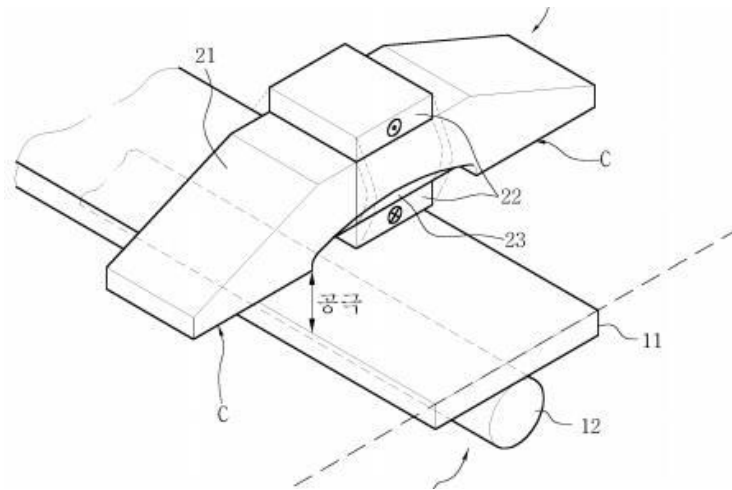
- 급전에 관련된 특허에 비하여 아직 집전 부분에 대한 특허 출원은 작은 편이며 현재 집전 관련하여 국내외 5건 정도의 특허가 출원 및 등록된 상태임.

표 3-6. 집전 및 차량 분야의 중요 특허 현황

출원 국가	출원/등록번호	발명 명칭	출원인	비고
한국	등록특허 제573411	전기차량의 전원급전용 비접촉 집전 시스템	한국철도기술연구원	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0088773	전기자동차용 급전 장치 및 집전장치(Z형)	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0091802	전기자동차용 급전장치 및 집전장치(I형)	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
	10-2009-0127831	EMF 능동차폐 기능을 포함하는 온라인전기자동차용 집전장치	KAIST(출원완료)	비접촉 충전/전기차량
미국	US 6,363,862 B1	Power pick-up assembly and corresponding railway vehicle	Hazard Laurent(Alstom, 프랑스)	비접촉 충전/전기철도

○ 전기 차량의 전원급전용 비접촉 집전 시스템 (한국철도기술연구원)

- 본 발명은 전력을 동력원으로 하는 전기 차량에 있어서 차량 외부로부터 전력을 선택적으로 공급받아 동작 가능하도록 하는 전원급전용 비접촉 집전 시스템에 관한 것이다.
- 본 발명에서는 차량이 주행하는 도로상에 전력송전선을 설치하고, 차량에 전력 집전장치를 설치하여 전자기 유도작용에 의해 비접촉방식의 차량전력공급이 가능하도록 하도록 하는 비접촉 급전시스템을 제공하고자 하는 것으로, 주행 중 차량으로의 집전과 차량 내부 배터리 충전을 위한 전력집전이 가능하도록 하는 종래의 접촉방식의 장점은 살리면서, 종래의 접촉방식의 한계였던 기계적 마찰에 의한 마모, 소음 발생현상을 해소하고, 차량에의 집전 손실로 작용할 수 있는 아크, 공기 마찰 등의 전기적, 환경적 문제를 최소화한다.



○ 전기자동차용 급전장치 및 집전장치(KAIST(한국), 10-2009-0088773)

- 비접촉방식의 전기자동차용 급전장치와 집전장치가 제공된다. 급전 장치는 도로의 진행방향을 따라 일정한 간격을 두고 도로의 진행방향과 수직을 이루는 방향으로 배치된 복수 개의 자극을 구비하는 급전코어와 도로의 진행방향을 따라 서로 이웃하는 상기 급전코어의 자극이 다른 극성을 갖도록 배치되는 급전선을 포함한다.
- 집전 장치는 급전 장치로부터 자기유도방식으로 전력을 공급받을 수 있다. 본 발명에 의하면, 도로면과 집전장치 사이의 공극간격을 크게 하고 자동차 운행방향의 좌우 치우침인 조향편차의 허용폭을 충분히 허용하면서도, 급전장치의 폭과 집전장치의 폭을 줄이고 전자기장(EMF, electromagnetic field)의 발생량을 대폭 경감시킬 수 있다.

○ 전기자동차용 급전장치 및 집전장치(KAIST(한국), 10-2009-0091802)

- 비접촉방식의 전기자동차용 급전장치와 집전장치가 제공된다. 급전 장치는 도로의 진행방향을 따라 일정한 간격을 두고 도로의 진행방향과 수직을 이루는 방향으로 배치된 복수 개의 자극을 구비하고, 도로 진행방향에 수직인 폭을 매우 작게 한 급전코어와 도로의 진행방향을 따라 서로 이웃하는 상기 급전코어의 자극이
- 다른 극성을 갖도록 배치되는 급전선을 포함한다. 집전 장치는 급전 장치로부터 자기유도방식으로 전력을 공급받을 수 있다.
- 본 발명에 의하면, 도로면과 집전장치 사이의 공극간격을 크게 하고 자동차운행방향의 좌우 치우침인 조향편차의 허용폭을 충분히 허용하면서도, 급전선로의폭과 집전모듈의 폭을 줄이고 전자기장(EMF, electromagnetic field)의 발생량을 대폭

경감시키며, 특히 급전선로의 폭을 현격히 줄임으로써 도로 설치 비용을 크게 절감할 수 있다.

○ **EMF 능동차폐 기능을 포함하는 온라인 전기자동차용 집전장치 (KAIST(한국), 10-2009-0127831)**

- 온라인전기자동차용 급전선로는 급전장치만 동작시킬 경우 기준 측정 위치에서 측정하더라도 우수한 EMF 특성을 나타낸다. 그러나 집전장치를 배치하고 집전장치에서 소비전력을 발생시킬 경우 선로 주변에서의 EMF는 급격하게 증가된다. 이때 발생하는 EMF의 세기는 2차 측의 소비전류량에 비례해서 증가하게 되며 집전장치에서 부하에 전력을 전달해 줄 경우 집전장치 주변에서의 EMF가 매우 크게 나타났다. 이를 줄여주기 위해 2차측 집전코일을 이용한 능동차폐 방법을 제안한다.
- 능동차폐 방식이란, 2차 측의 집전코일과 반대 방향으로 집전코일을 되감아 주어서 2차 코일에 흐르는 전류와 반대 방향으로 전류를 흘러 EMF를 감소시켜주는 방식이다.

○ **Power pick-up assembly and corresponding railway vehicle (Hazard Laurent (Alstom, 프랑스))**

- 본 발명은 전기 차량에서 전력을 받기 위한 집전장치에 관한 것으로 집전장치는 전기 차량의 아래 부분에 설치되어있으며 새시로 보호되어있다. 또한 이 새시는 부동과 가동적인 새시로 구분되어있으며 가동 새시는 세로 방향으로 여러 각도로 움직일 수 있어 집전장치가 tilting될 수 있다.

(3) SE 및 안전/성능 기술 분야의 특허 동향 및 중요 특허 분석

- 차량의 운행지원, 에너지 모니터링, 긴급상황 및 무인운행기술과 관련된 SE분야의 경우 2000년 이전까지는 전체 20건 이내의 저조한 출원 수를 보이다가, 2003년 이후 매년 15건 이상의 출원을 기록하며 꾸준히 출원되고 있음. 특히 운영관리와 동력원과 관련된 특허의 경우 2000년 이후 매년 10건 이상의 특허가 출원되고 있으며, 무인운행기술 및 긴급상황과 관련된 특허의 출원도 꾸준히 증가하고 있는 경향임.

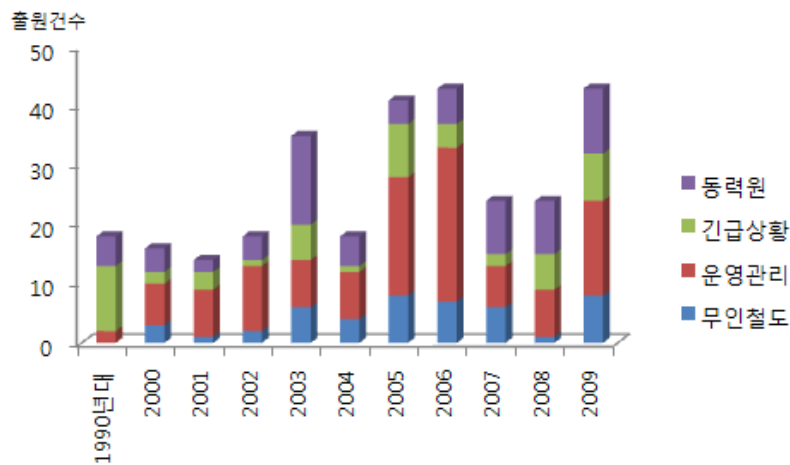


그림 3-5. SE 및 안전/성능 관련 특허 동향

- 출원 및 등록된 주요 특허를 살펴보면 아래와 같음.

표 3-7. SE 및 안전/성능 분야의 중요 특허 현황

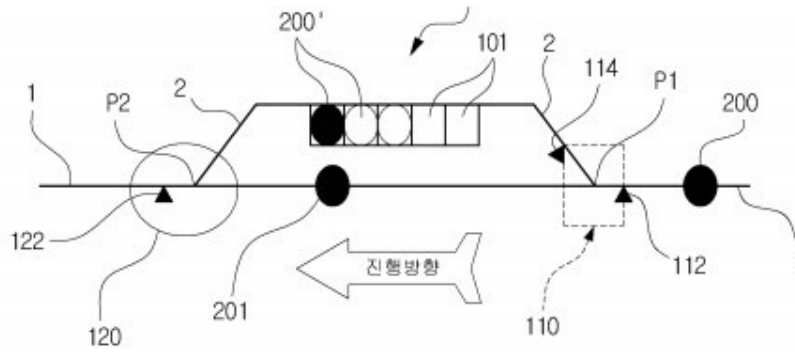
출원 국가	출원/ 등록번호	발명의 명칭	출원인
한국	10-2008-0071740	스테레오 카메라 및 열화상 카메라를 이용한 승강장모니터링 시스템 및 그 방법	한국철도기술연구원
	10-2008-0065025	소형 궤도차량의 역 진입 및 진출 제어 방법	한국철도기술연구원
	10-2008-0064630	물류 무인수송 시스템	박상희
	10-2008-0063101	레이저빔을 이용한 철도 건널목 지장물 검출 제어 시스템 및 방법	(주)엔텍엔지니어링
	10-2008-0058250	철도차량의 대차단위 제동시스템	한국철도기술연구원
	10-2008-0057915	전기철도 차량의 회생 에너지 저장 시스템	한국철도기술연구원
	10-2009-0117705	전차선을 통한 전력선 통신을 이용하는 전기 철도 관리 시스템	곽영규
	10-2008-0055175	폐쇄형 전송 시스템에서 열차 제어신호 전송 방법	한국철도기술연구원

10-2008-0054414	궤도차량의 운전모드 변경 장치 및 그 방법	한국철도기술연구원
10-2008-0032507	철도차량용 하이브리드 리니어 추진 시스템	한국철도기술연구원
10-2008-004460	돌발상황 감시 시스템	주식회사 토페스
10-2008-0051405	철도 차량용 제동저항기	주식회사 푸름
10-2008-0049371	무인 전동차 시스템	김재윤
10-2008-0042631	CAN 통신을 이용한 전동차 종합제어시스템	서울특별시도시철도공사
10-2008-0015488	도로 차량 또는 철도 차량용 스마트 정거장	한국철도기술연구원
10-2007-0130921	고속철도차량용 고정밀 속도 및 위치 검측장치	한국철도기술연구원
10-2007-0130224	철도신호 제어기용 바이탈 위치독 타이머	한국철도기술연구원
10-2007-0126924	도시 철도 차량의 인버터의 충전 및 회생 전력 소모 장치	한국철도기술연구원
10-2009-0098768	에너지절약을 위한 지리정보기반 차량동력 관리 기술(전기 구동 이동체의 에너지 절약 제어시스템 및 제어 방법)	KAIST(출원)
10-2009-0098824	온라인전기자동차의 위치인식 시스템	KAIST(출원)
10-2009-0115761	회생제동 회수에너지의 관리가 가능한 온라인 전기지동차 -온라인전기자동차의 회생제동 회수에너지 전력관리를 위한 스미트 전력제어 기술과 시스템	KAIST(출원)
10-2009-0127254	차량 위치 측정방법 및 이를 이용한 차량 위치 측정장치(지자기 센싱 값의 임계점을 이용한 정확한 차량감지를 위한 방법)	KAIST(출원)
10-2009-0129193	차량의 자동 주행제어 방법	KAIST(출원)

○ 소형 궤도차량의 역진입 및 진출 제어방법

(한국철도기술연구원, 10-2008-0065025)

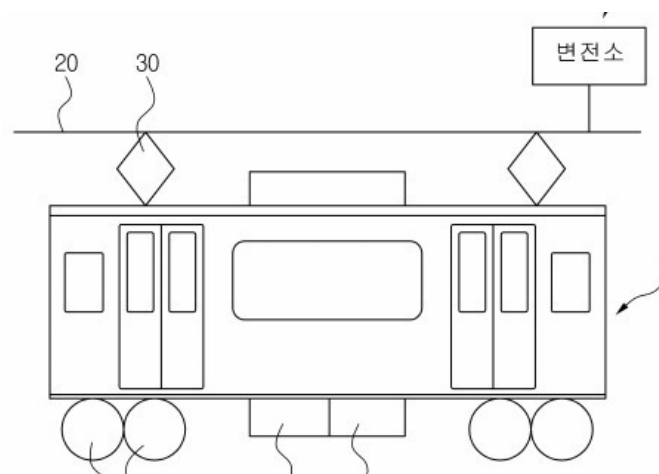
- 본 발명은 소형 궤도차량의 역 진입 및 진출 제어 방법에 관한 것으로, 특히 무정차로 운행하는 소형 궤도차량이 본선에서 역에 진입하거나 또는 역에서 본선으로 진출하는 경우 효율적으로 소형 궤도차량을 제어할 수 있는 소형 궤도차량의 역 진입 및 진출 제어 방법에 관한 것이다.
- 이와 같은 본 발명에 따르면 소형 궤도차량의 역 진입 및 진출을 효율적으로 감시 및 제어함으로써 승객의 차량대기 시간을 단축시키고 노선상의 원활한 차량 관리를 달성할 수 있는 장점이 있다.



○ 전기철도 차량의 회생 에너지 저장 시스템

(한국철도기술연구원, 10-2008-0057915)

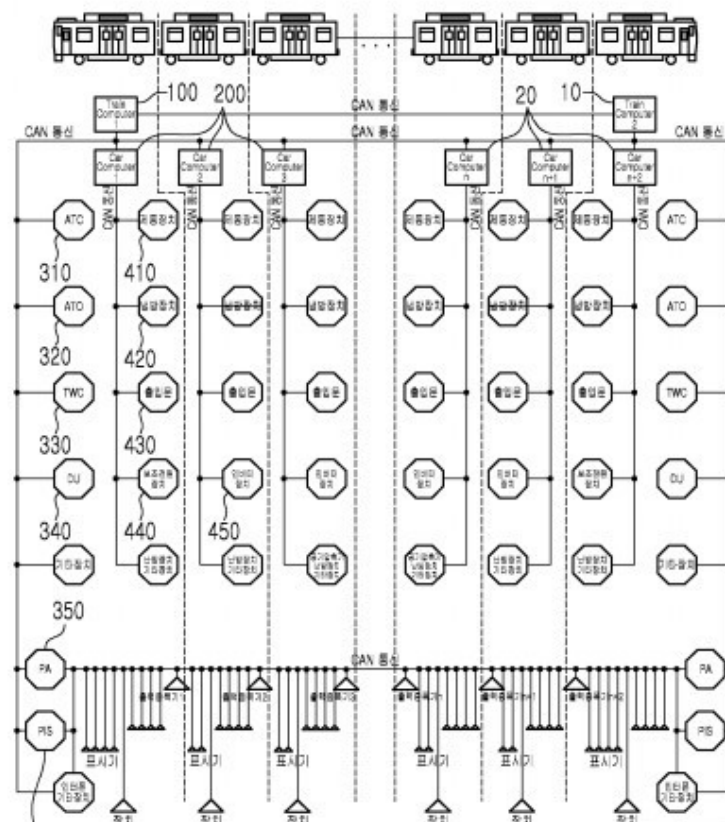
- 본 발명은 전기철도 차량의 회생 에너지 저장 시스템에 관한 것으로서, 전기철도 차량에 필요한 공급하는 판토틀라프와, 상기 전기철도 차량에 동력을 공급하는 전동기와, 상기 판토틀라프를 통해 전원이 공급되고, 상기 전동기에 공급되는 전압과 주파수를 제어하여 열차의 속도를 제어하도록 하는 전력변환장치와, 상기 전기철도 차량에 탑재되어 회생 제동에 의해 발생한 회생 전기에너지를 충전 또는 방전하는 에너지 저장장치와, 상기 에너지 저장장치의 작동을 제어하여 전기에너지와 운동에너지간의 변환 및 상기 회생 전기에너지의 충방전을 제어하는 제어장치를 포함한다.
- 본 발명에 따르면, 전기철도 차량의 회생 제동시에 발생하는 회생 에너지가 차량에 탑재되어 있는 에너지 저장장치에 공급되어 저장됨으로써 가선 전압의 변동 요인이 저감되는 것을 방지하면서 회생 실효도 감소시킬 수 있고, 전기철도 차량의 안정적인 회생 제동이 가능할 뿐만 아니라, 차량 역행시 저장된 회생 에너지를 차량 내 전동기에 공급하여 에너지를 절감할 수 있다.



○ CAN 통신을 이용한 전동차 종합제어시스템

(서울특별시도시철도공사, 10-2008-0042631)

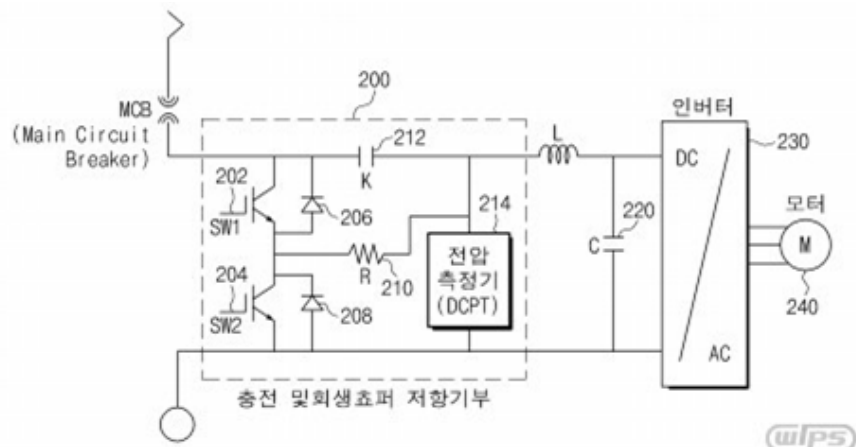
- 본 발명은 전동차 내의 각각의 제어유닛에 연결된 입, 출력 케이블들을 감소시켜 차량의 제작원가를 절감시키고 배관, 배선의 설계 및 설치작업의 효율성을 향상시키는 것을 목적으로 한다.
- 또한, 전동차 내에 배선되는 배선상태의 복잡성을 단순 화시켜 차량의 유지보수가 용이하게 이루어지도록 한 각종 유닛 제어장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- 그리고 제어 유닛의 신, 증설 필요시 간편하게 제어 유닛의 추가환경을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- 이를 위하여 본 발명은, 전동차의 주제어장치로 동작하는 TC 상기 TC와 하나의 CAN 버스(BUS)를 통하여 연결되어 통신하며, 전동차의 각 차량에 형성되어 각 차량을 제어하는 CC; 및 상기 TC와 CC를 연결하는 CAN 버스로부터 분기되어 연결되는 복수의 제어 유닛을 포함하는 CAN 통신을 이용한 전동차 종합제어시스템을 제공한다.



○ 도시 철도 차량의 인버터의 충전 및 회생 전력 소모 장치

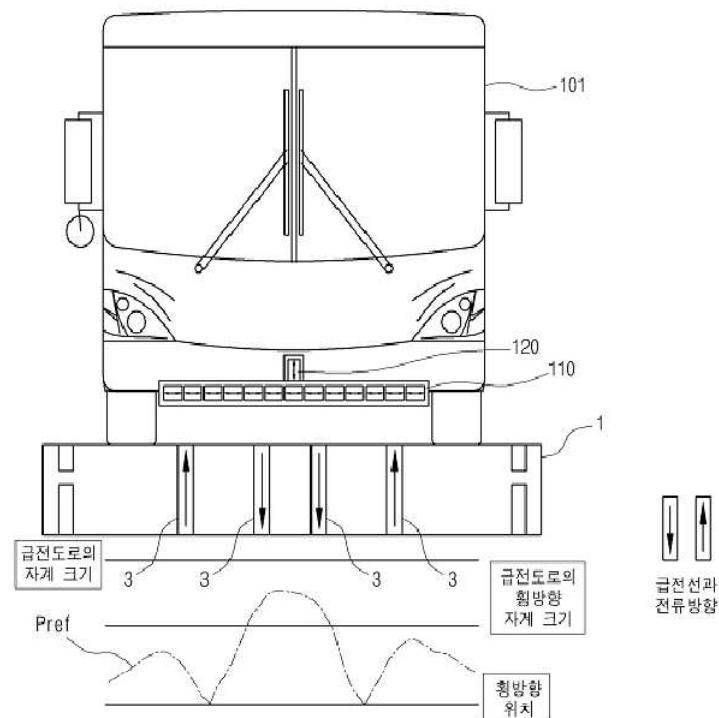
(한국철도기술연구원, 10-2007-0126924)

- 본 발명은 도시 철도 차량 추진 인버터의 충전과 소모에 관한 것으로 상세하게는 전력반도체 스위치와 저항기를 사용하여 충전 기능과 회생 전력에 의한 과전압을 소모시켜 유지시키는 도시 철도 차량의 인버터의 충전 및 회생전력 소모 장치에 관한 것이다.
- 본 발명은 직, 교류 전기철도 차량의 추진장치를 전력용 트랜지스터로 구성되는 스위치를 이용하여 직류단 필터 커패시터를 충전하고, 모터의 구동으로 발생하는 회생전력에 의한 과전압 생성 시에는 저항을 통하여 전압을 낮추어 성능을 향상시키는 도시 철도 차량의 인버터의 충전 및 회생전력 소모 장치이다.



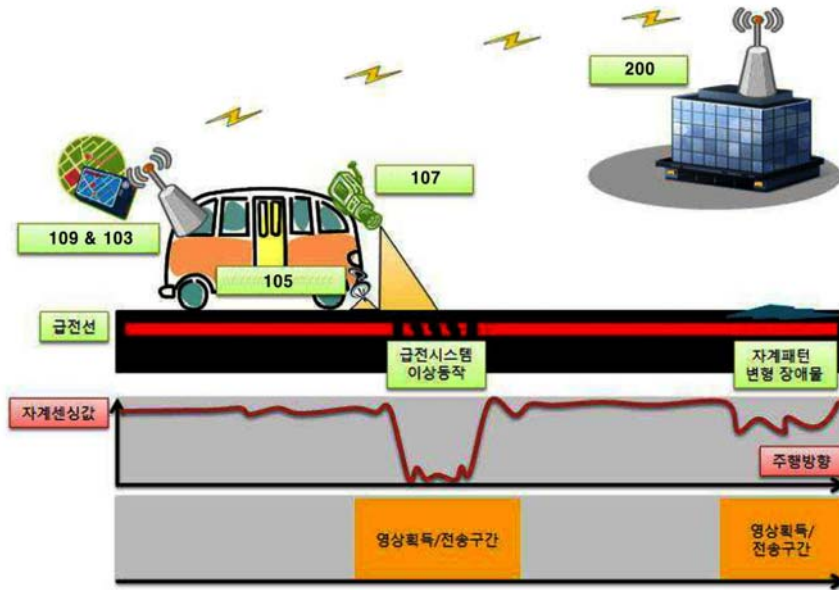
○ 온라인 전기자동차의 자율 주행 장치 및 자율 주행 방법 (KAIST(한국), 10-2009-0099000)

- 본 발명은 온라인 전기자동차의 자율 주행 장치 및 자율 주행 방법에 관한 것으로서, 급전 도로에 종방향으로 설치되는 급전 장치와, 상기 급전 장치로부터 자기유도 방식으로 전력을 공급받는 집전장치로 이루어지는 온라인 전기자동차의 자율 주행 장치에 있어서, 상기 온라인 전기자동차의 주행 방향에 대해 상기 급전 장치로부터 발생하는 횡방향 자계값을 센싱하도록 상기 온라인 전기자동차에 설치되는 횡방향 자계 센서와; 상기 온라인 전기자동차의 주행 방향에 대해 상기 급전 장치로부터 발생하는 종방향 자계값을 센싱하도록 상기 온라인 전기자동차에 설치되는 종방향 자계 센서와 상기 횡방향 자계 센서 및 종방향 자계 센서로부터 입력되는 횡방향 자계값 및 종방향 자계값을 이용하여 상기 온라인 전기자동차의 도로 종방향에 대해 기울어진 각도를 이용하여 횡방향 위치를 추정하는 마이크로 프로세서 및 상기 마이크로 프로세서로부터 제공되는 기울어진 각도 정보와, 횡방향 위치 추정 정보를 이용하여 상기 온라인 전기자동차의 주행 방향을 추정한 후 상기 온라인 전기자동차의 조향 및 가감속 제어를 통해 위치를 제어하는 차량 제어 모듈을 포함한다.



○ 자계센서 및 영상센서를 이용한 온라인 전기자동차용 급전도로의 이상상태 제어 시스템 및 제어방법(KAIST(한국), 10-2009-0098475)

- 본 발명은 자계센서 및 영상센서를 이용한 온라인 전기자동차용 급전도로의 이상상태 제어시스템 및 제어방법에 관한 것으로서, 구체적으로 상기 제어시스템은 급전도로를 주행하는 복수의 온라인 전기자동차, 및 급전도로에 대한 정보교환을 통하여 급전도로의 이상상태를 감시하고 해결하는 외부 중앙관제 서버를 포함한다.
- 상기 온라인 전기자동차는 온라인 전기자동차용 급전도로에서 발생하는 자계를 검출하는 자계센서부와, 급전도로 표면의 영상 데이터를 획득하는 영상센서부와, 온라인 전기자동차의 GPS 위치정보를 수신하는 GPS수신부와, 상기 외부 중앙관제 서버와 정보를 교환하는 통신부와, 상기 자계센서부, 영상센서부, GPS수신부, 통신부로부터 획득된 데이터를 저장하는 데이터저장부, 및 중앙처리부로 구성되는데, 중앙처리부는 실시간 급전도로의 자계 패턴 데이터와 기저장된 해당 급전도로의 정상 자계 패턴 데이터를 비교하여 이상상태 여부를 판정하고, 이상상태인 경우 획득된 상기 영상센서부의 이상상태 영상 데이터, 상기 자계센서부의 이상상태 자계 패턴 데이터, 및 상기 GPS수신부의 GPS위치정보를 상기 통신부를 통해 외부 중앙관제 서버로 전송하고 저장한다.



2. 유도급전 기술 수요 관련 설문조사 분석

가. 설문조사 개요

- 설문조사 목적 : 유도급전 기술 적용 전기철도시스템 개발과 관련하여 철도 분야의 관련 기관에서 업무를 수행하고 계신 전문가들의 의견을 수렴하여 향후 유도급전 기술 적용 전기철도 시스템 개발에 필요한 기초 자료 확보
- 설문조사 시기 : 2010년 4월 26일 ~ 27일
- 설문조사 대상 기관 : 총 56명[한국철도공사(12명), 한국철도시설공단(7명), 서울메트로(14명), 현대로템(17명), 대학 등(6명)]

나. 설문조사 분석 내용

(1) 기존 접촉식 전력공급시스템의 문제점에 대한 인식

- 기존의 접촉식 전력공급방식(전차선&판토타그래프, 제3궤조 등)의 대안에 대한 필요성에 절대적으로 공감했으며, 기존 접촉식 전력공급방식의 주요 문제점으로 높은 건설비와 유지보수비, 환경친화성 결여 및 낮은 신뢰성/안정성 등을 선택하였음

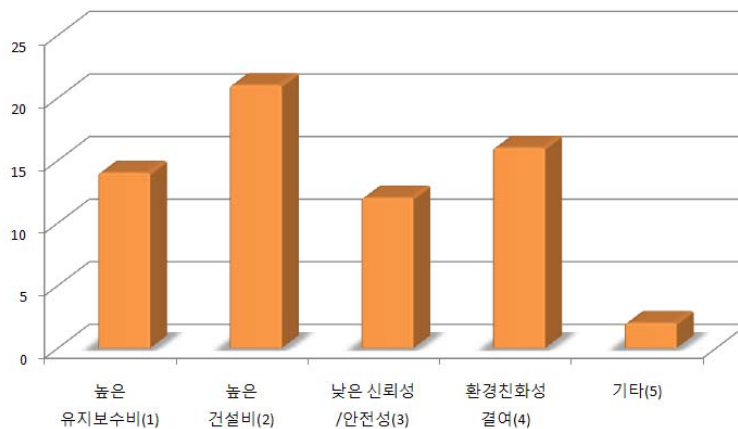


그림 3-6. 기존 접촉식 전력공급방식에 대한 문제점 인식

(2) 유도급전 적용 전기철도시스템 기술개발의 필요성에 대한 인식

- 그림 3-6에서 보는 바와 같이, 기존 철도차량의 접촉식 전력공급시스템에 대한 대안으로 유도급전 기술의 적합성 및 유도급전 적용 전기철도시스템 기술 개발의 필요성에 공감했으며, 유도급전 적용 전기철도시스템 기술 개발 필요성의 이유로는 다음과 같은 의견이 수렴됨.
 - 차량의 고속화에 따른 급전 인프라 건설비용 및 유지보수비용 절감 필요

- 기술 개발 초기단계인 만큼 신기술 선점 및 세계시장 진출 선점 필요성 중요
- 친환경적인 급전 시스템 필요 (도시 미관에 유리한 시스템)
- 접촉식의 신뢰성, 안전성 등의 한계 등 ...

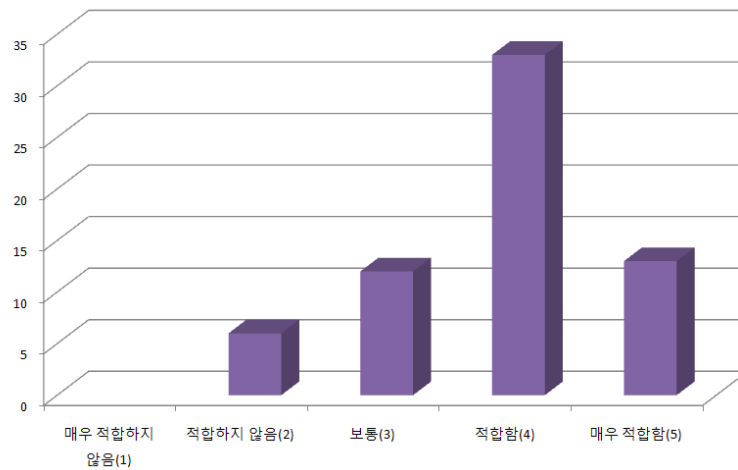


그림 3-7. 기존 철도차량의 접촉식 전력공급시스템에 대한
대안으로 유도급전 기술의 적합성

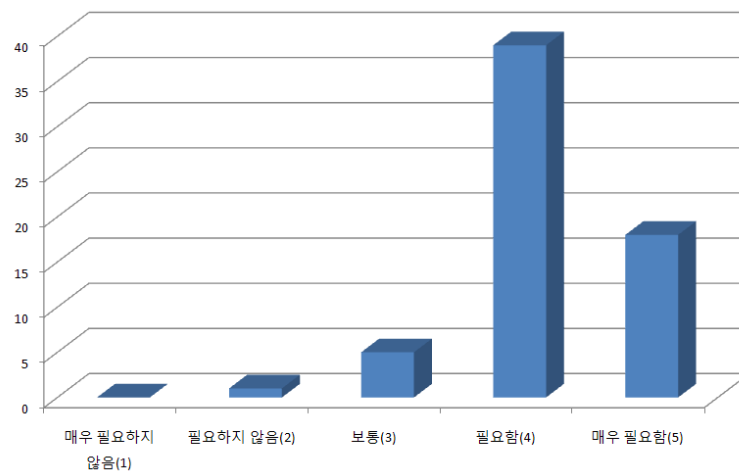


그림 3-8. 유도급전 적용 전기철도시스템 기술 개발의
필요성

(3) 유도급전 적용 전기철도시스템 기술의 실현 가능성에 대한 인식

- KAIST의 전기버스용 60kW급 유도급전 기술개발 사례를 근거로 철도차량과 같은 대용량 시스템에 유도급전 기술의 적용 가능성에 대하여 공감했으며, 유도급전 기술의 실현 가능성을 위해 선행되어야 할 기술개발 항목으로 다음과 같은 의견이 수렴됨.

- 전력공급의 안정성, 경제성 및 효율 개선
- 에너지 저장장치에 대한 기술 개발 및 법적 근거와 기준(적용)안 마련 등 ...

○ 철도차량용 유도급전 기술개발의 시기는 향후 2~4년 이내의 응답이 가장 많음

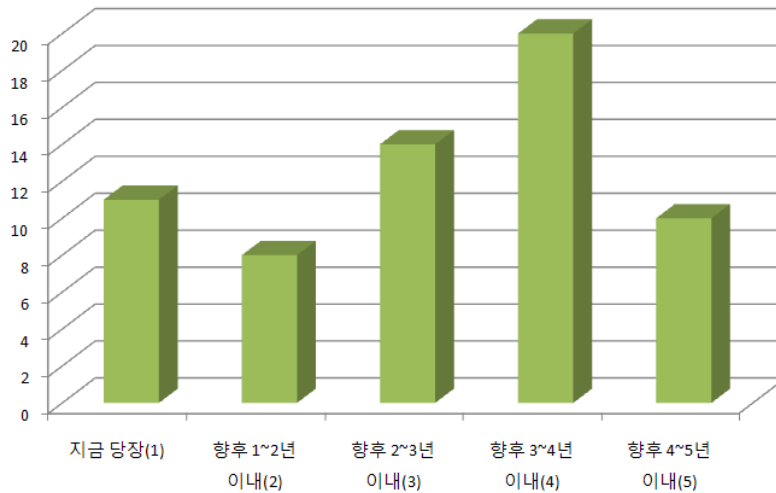


그림 3-9. 철도차량용 유도급전 기술개발의 적정 시기

(4) 유도급전 적용 전기철도차량의 상용화 가능성에 대한 인식

- 유도급전 적용 전기철도차량의 상용화 가능성에 대하여 대부분 공감했으며, 상용화 시기는 3~5년 이내가 가장 많음
- 유도급전 적용 전기철도차량의 상용화를 위하여 선행되어야 할 기술개발 항목으로 다음과 같은 의견이 수렴됨
 - 효율 증대 및 안정적인 충/방전 시스템 개발
 - 대용량화에 따른 전자파 인체 유해성 검토 등 ...
- 유도급전 기술의 철도차량 상용화를 위한 선행 적용대상 철도차량에 대한 의견으로는 노면트램(37), 경전철(29), 도시철도차량 및 지하철(4), 광역철도(1) 순으로 의견이 수렴됨

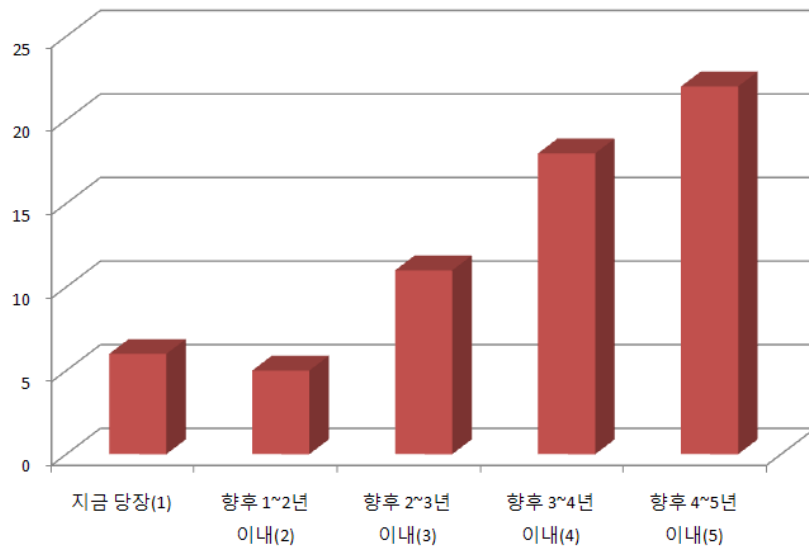


그림 3-10. 유도급전 적용 전기철도차량의 상용화 가능 시기

(5) 유도급전 적용 전기철도차량의 수요에 대한 인식

- 유도급전 기술이 철도차량에 적용되어 상용화 될 때 신규 철도노선의 유도급전 적용 전기철도시스템 예상 수요는 20~30% 가 가장 많음
- 유도급전 적용 철도차량의 신규 철도노선 수요를 높이기 위한 요구 사항은 다음과 같은 의견이 수렴됨
 - 건설비용 및 유지보수 비용 축소 방안 마련
 - 관련 기술의 상용화 이후, 급전의 안정성, 신뢰성 및 경제성 확보
 - 중전철 이상을 수용할 수 있을 정도의 용량확대 등 ...
- 유도급전 적용 철도차량의 국내 적용 시 우선 검토 노선으로 관광지 순환선 및 중소도시의 도심 내부선이 가장 많은 응답을 보임

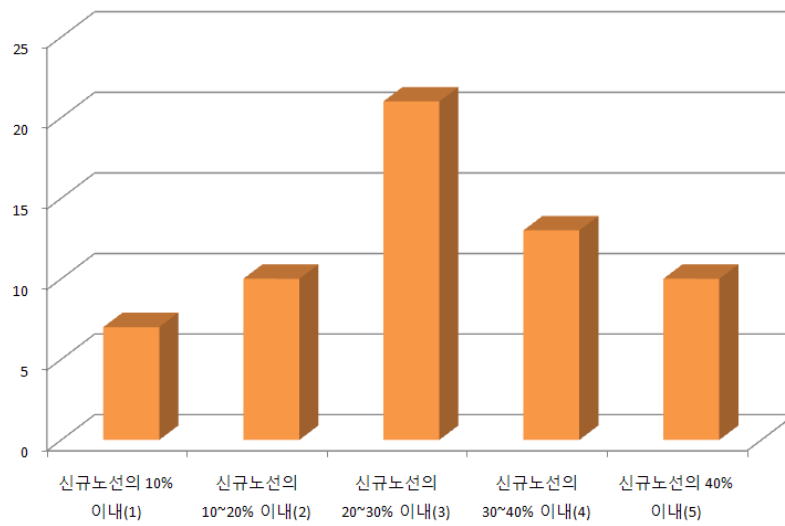


그림 3-11. 신규 철도노선의 유도급전 적용 전기철도시스템
예상 수요

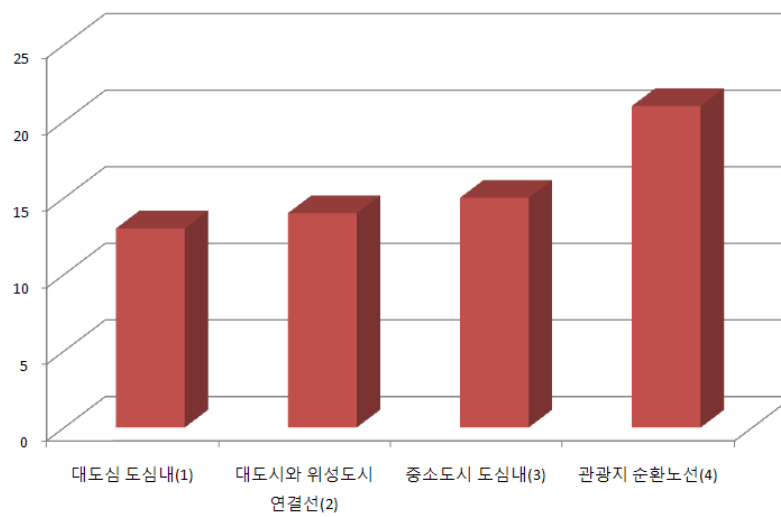
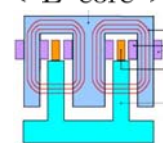
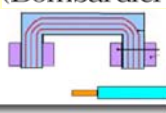
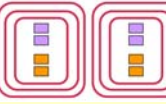
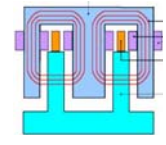
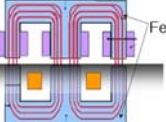


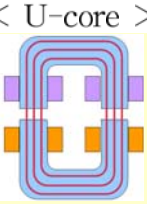
그림 3-12. 유도급전 적용 철도차량의 국내 적용 시 우선
검토 노선

3. 유도급전 기술 도입 시 필요 기술 분석

- 유도급전기술의 핵심은 에너지 효율에 있으므로 에너지효율 증가에 관련된 기술 개발이 필요함
- 그에 따라 공극제어를 포함한 유도 급전/집전시스템의 기술개발뿐만 아니라 Super-Capacitor 및 배터리의 효율적 사용, 전력경로 제어를 위한 전력기기 인터페이스 및 효율적인 Energy Management 시스템 분석 기술이 필요함
- 유도급전 기술 관련 유형별 비교분석을 통하여 현재, 개발 혹은 적용 중인 유도급전 기술을 아래의 표와 같이 적용 시스템 유형/기술적 특징/집전성능의 항목으로 분류가 가능함.

표 3-8. 유도 급/집전장치 관련 기술 유형 분석

개발기관	무접촉 전기에너지 전송 Type 및 형상	기술적 특징			일반적인 적용 System & 방식
		Primary core	Pickup core	무접촉 자유도	
① Wamplfer	< E-core > 	core less	E (페라이트 또는 규소강판)	1D	-공장/자동화
	< Flat > (Bombardier) 	core less	U/I (페라이트 또는 규소강판)	3D	-케도차량(캐나다, 시범운행) 주행급 전방식
	< Core-less > 	core less	core less	3D	-도로차량(이탈리아, 버스적용) 정차급 전방식
② 전기연	< E-core > 	core less	E (페라이트 또는 규소강판)	1D	-공장/자동화
③ KAIST	< E-E core > 	E (페라이트)	E (페라이트)	3D	-도로차량 주행급 전방식

④ 철도연		U (아몰포스)	U (아몰포스)	3D	-궤도차량 정차/저속급전방식
-------	---	-------------	-------------	----	-----------------

○ 궤도 교통시스템에 적합한 유도급전 방식 :

- ① Wampfler의 flat type과 core-less type(주행로 급전방식)
- ③ KAIST flat E-core type(주행로 급전방식)
- ④ 한국철도기술연구원의 U-core type(역사급전 방식)

가. 유도 급 · 집전장치 관련 기술

□ 핵심 기술

- 급전용 인버터 개발
- 최적설계를 기반으로 한 급전선로 개발
- 집전모듈 및 집전 정류기 개발

□ 개발 필요 기술

- 270kW급 급전용 인버터 개발
 - 고주파 대전류용 전자식 세그먼트이션 기술 개발
 - 270kW급 인버터 회로 기술 및 제어 알고리즘 기술 개발
- 최적설계를 기반으로 한 급전선로 개발
 - 급 · 집전 자기회로 전달 효율 90% 이상 기술
 - 고주파 고전압, 대전류용 케이블 및 코어 적용 기술 개발
 - 유도 급전 시스템의 EMF/EMI 저감 기술 개발
- 240kW급 집전모듈 개발
 - 고출력 240kW급 집전모듈 기술 개발
 - 고압절연과 코어손실을 최소화 가능한 고성능 권선기법 개발
 - 유도 집전 시스템의 EMF/EMI 저감 기술 개발
 - 철도차량용 집전모듈 제어기 개발(정전압 레귤레이터)

표 3-9. 유도 급/집전장치 관련 필요 기술 분석

현 기술	추가 R&D 필요기술	추가 R&D 추진 계획												
온라인전기버스용 기계식 세그먼테이션 기술을 적용한 고효율 급전 인버터 기술	온라인 전기철도용 고속 전자식 세그먼테이션 기술을 적용한 고효율 급전 인버터 기술	- 온라인 전기철도 환경에 적합한 인버터 기술 연구 - 고속운행에 적합한 100msec이하의 고속 전자식 세그먼테이션 절체 기술 연구 - 급전 인버터 효율을 97%까지 향상 - 급전인버터-급전선로-온라인 철도간 고 속 자기장 통신을 위한 인터페이스 연구 - 급전선로 모듈화 설계 및 제작을 통하여 구조적 안정성 확보 기술 - 궤도 구조를 고려하여 유지, 보수가 용 이한 기술 연구 - 철도 환경에서도 내구성, 절연성이 강한 급전케이블과 급전코어 연구												
콘크리트 구조를 통해 외부충격으로부터 급전코어, 케이블을 보호할 수 있는 구조 설계 및 시공 기술	구조적인 안정성 및 유지보수가 용이한 온라인 전기철도용 고효율 급전선로 구조 기술 개발	- 온라인 전기철도 환경에 적합한 고효율 급전선로 연구 - 고출력 급전선로 개발을 위하여 급전코 일 및 코어의 측성을 고려한 최적의 구 조 및 인터페이스 연구 - 온라인 전기철도용 최적 세그먼테이션 설계 및 적용 기술 연구												
집전 전력 60kW 출력을 위한 고효율 급전선로 및 세그먼테이션 기술	EMF 및 집전전력 1MW를 만족하는 고효율 급전선로 및 고속 세그먼테이션 기술	- Pick-up 시스템당 출력을 60kW에서 1MW로 증대 연구 - 고출력 Pick-up 개발을 위하여 집전코 일 및 코어의 특성을 고려한 최적의 구 조 및 최적의 인터페이스 연구 - 고출력용 집전장치 개발을 위하여 레귤 레이터의 DSP 제어기 알고리즘 설계 및 제작을 통한 출력 향상 연구												
Pick-up 시스템당 60kW 출력기술(지상고 17cm)과 60kW 레귤레이션 기술	고효율 유도 급집전 기술의 효율향상과 집전출력증대 기술과 레귤레이션 기술	<table><tr><td></td><td>구동모터용량</td><td>집전용량</td><td>에너지 저장장치</td></tr><tr><td>OLEV 버스</td><td>120kW / 240kW</td><td>75kW</td><td>24kW</td></tr><tr><td>경전철</td><td>500kW</td><td>250kW</td><td>250kW</td></tr></table> - 철도 차량용 집전장치 세부 구조 개발 및 철도 차량용 고효율 경량 집전장치 및 에너지 저장장치의 Packaging 기술 연구		구동모터용량	집전용량	에너지 저장장치	OLEV 버스	120kW / 240kW	75kW	24kW	경전철	500kW	250kW	250kW
	구동모터용량	집전용량	에너지 저장장치											
OLEV 버스	120kW / 240kW	75kW	24kW											
경전철	500kW	250kW	250kW											
철도차량용 각 전장품 의 차량 하부 장착을 위한 Packaging 기술 (온라인 전기버스의 집 전장치 Packaging 기 술)	철도차량용 집전장치 및 에너지 저장장치의 Packaging 기술과 에너지 관리 기술/최적의 에너지 저장시스템 개발													

		- 집전장치 내진 설계 기술 연구 - 집전장치 최적 냉각기술 연구 (공랭식/수냉식) - 집전용량 및 에너지 저장장치 용량을 각 250kW, 250kW까지 증대 기술 연구
온라인 전기버스의 저용량 급/집전 시스템의 EMF 최소 설계 (62.5mG) 및 내부 승객에 대한 전자파 차폐 기술	철도차량의 내부/외부에서 250kW급 유도 급/집전시스템의 62.5mG 이내로 EMF 최소화 기술 및 철도차량 내부 승객에 대한 전자파 차폐 기술	- 250kW급 고용량 유도 급/집전 시스템의 급/집전 코어 형상 최적 설계를 이용한 발생 EMF 최소화 기술 연구 - 자속 가이드 및 차폐막을 활용한 전자파 차폐 기술 연구



그림 3-13. 급 · 집전 시스템 관련 기술 개념도

나. 에너지 및 운영 관리 관련 기술

□ 핵심 기술

- 온라인 전기철도용 다중동력원 전력변환 장치
- 온라인 전기 철도용 다중동력원 시스템 통합기술
- 온라인 철도의 에너지 모니터링 및 운영 관리 기술
- 온라인 철도의 무인운행 시스템 기술 개발
- 온라인 철도의 다중 동력원 통합제어 기술
- 온라인 철도의 긴급상황 대처 기술 개발

□ 개발 필요 기술

- 온라인 전기 철도용 다중동력원 전력변환 장치 개발
 - 240kW급 양방향 DC-DC 컨버터 개발
 - 대용량 에너지 저장장치(2차전지, 슈퍼캡, Flywheel, SMES) 관리모듈 및 인터페이스 기술 개발
- 온라인 전기 철도용 다중동력원 시스템 통합기술 개발
 - 구동 시 에너지 효율 극대화를 위한 전력공급 알고리즘 개발
 - 다중동력원 통신 프로토콜 (LON Works, ARCnet, ProfiBus, CAN) 개발
 - 에너지 회수율 20%이상의 회생제동 알고리즘 개발
 - 다중동력원 자가진단 및 Fault Management System 개발
 - 다중동력원 통합장치 System Integration기술 개발
- 온라인 철도의 에너지 모니터링 및 운영 관리 기술 개발
 - 온라인 철도의 운영 관리 기술 개발
 - 차량 및 인프라의 최적 관리를 위한 망내 차량 자동 검지 및 차량 인프라간 통신 기술
 - 실시간 에너지 흐름 및 동력원별 에너지 상태 모니터링 및 관리 기술
 - 소모 에너지와 주행거리 기반 차량 에너지 효율 검출 기술
- 온라인 철도의 무인운행 시스템 기술 개발
 - 급전효율 극대화를 위한 무인 도킹 기술 개발
 - 분해능 1mm미만을 갖는 급전선로 센싱 시스템 기술
 - 무인 도킹 시 플랫폼간의 거리 오차 10cm이내, 급전효율 93% 이상을 갖는 무인도킹 시스템 기술

- 에너지 소비 최적화를 위한 최적운행 기술 개발
 - 통신기반열차제어시스템(CBTC)과 연계한 차량 위치 측위 시스템 개발
 - 차량 운행 상태에 따른 최적 속도 추천 시스템 개발
- o 온라인 철도의 긴급상황 대처 기술 개발
 - 분해능 5cm이내의 융합센서 기반 주행 중 장애물 센싱 시스템 개발
 - 선로상 긴급상황 대처를 위한 GIS기반 알람 시스템 개발

표 3-10. 에너지 및 운영 기술 관련 필요 기술 분석

현 기술	추가 R&D 필요기술	추가 R&D 추진 계획
차량의 공급전력 및 소모전력 모니터링과 급전인버터의 급전전력량을 모니터링하고 인버터를 제어할 수 있는 기술	에너지 모니터링 및 관리 기술	- 최적 에너지 재사용을 위한 에너지 관리 기술연구 - 온라인 철도의 운영 관리 기술연구 - 실시간 에너지 흐름 및 동력원별 에너지 상태 모니터링 및 관리 기술 연구
급전선의 자기장을 센싱하여 cm분해능으로 급전선로 무인주행 기술	급전효율 극대화를 위한 무인운전시스템 기술	- 정류장 도킹시 급전선로 상에 급전효율 93% 이상 지점에 자동으로 도킹할 수 있는 무인 도킹 기술 연구 - 에너지 소비 최적화를 위한 최적 운행 기술 연구
온라인 버스용 다중동력원 전력변환 및 통합제어장치 기술	온라인철도용 다중동력원 전력변환 및 통합제어장치 기술	- 온라인 철도용 배터리 및 BMS 실용화 기술연구 - 온라인 철도용 슈퍼캡 및 CMS 실용화 기술연구 - 온라인 철도용 양방향 DC-DC컨버터 기술연구 - 온라인 철도용 다중동력원 통합제어장치 기술연구 - 온라인 철도용 다중동력원 인터페이스(HW,통신) 기술연구
2.4GHz WLAN 기반 로컬 망 구축 기술	운영관리 기술	- 열차의 운영관리를 위한 광역 망 관리 시스템 기술연구 - 선로상 긴급상황 대처를 위한 GIS기반 알람 알고리즘 기술연구



그림 3-14. 에너지 및 운영관리 관련 기술 개념도

다. 유도 급/집전시스템 SE 및 시험검증 기술

□ 핵심 기술

- 급·집전시스템 EMF 최소 설계 기술
- 온라인 전기철도시스템 통합제어 기술
- 비접촉 유도 급전장치 신뢰성 평가 기술
- 전자기파 안전성능 평가 기술
- 철도차량 집전장치 신뢰성 평가 기술

□ 개발 필요 기술

- 급·집전시스템 EMF 최소 설계
 - 철도차량의 내부/도로에서 62.5mG 이내로 EMF를 최소화 할 수 있는 자기장 영향 차폐 전장구조 설계 기술 확보
 - 철도차량에 적용이 가능한 급전선로/집전픽업의 EMF 저감 및 차폐 기술 개발
- 온라인 전기철도시스템 통합제어
 - 급집전 장치간의 통신 및 온라인 전기철도 차량 내부의 각종 컴포넌트 및 시스템 통합 제어기술 개발

- 비접촉 유도급전 철도시스템 통신을 위한 자기장을 이용한 통신에 대한 연구
- 온라인 전기열차 및 비접촉 자기유도 급전 인프라를 위한 운영관리시스템 개발
- 비접촉 유도 급전장치 신뢰성 평가
 - 온라인 전기철도시스템에 적용되는 비접촉 유도 급전장치의 환경조건 및 각종 악의적인 사용 모드에 대한 신뢰성 평가
 - 모노블록, 트윈블록, 노상전차 등 각종 레일 시스템 및 교량, 터널과 분기점과 같은 철도 구조물에서의 급전장치 신뢰성 평가를 통한 특성 파악 및 안전성 확보
 - 신뢰성 평가 기법 개발 및 평가 결과를 분석하는 기술 및 시험 데이터의 분석을 통한 평가 기준 개발
 - 향후 구체적인 사업화/실용화 이후 실제 장비 제작 업체에서 실시할 수 있는 체계적인 신뢰성 평가 기준 및 시험 기법, 장비 개발
- 전자기파 안전성능 평가
 - 국내 전자파장해방지기준
 - 정보통신부 고시 전자파 인체보호기준 제3조(전신노출에 대한 전자파강도기준)에 대한 급전장치 및 차량의 전자파 평가 기법 및 적절한 차폐를 통한 안전성 확보 기법 연구
 - 추후 온라인 전기철도 관련 각종 신뢰성 및 전자기파 안전 기준 법제화시 시험 평가 기법 제시
- 철도차량 집전장치 신뢰성 평가
 - 철도차량내 집전장치의 환경조건 및 각종 악의적인 사용 모드에 대한 신뢰성 평가
 - 신뢰성 평가 기법 개발 및 평가 결과를 분석하는 기술 및 시험 데이터의 분석을 통한 평가 기준 개발
 - 향후 구체적인 사업화/실용화 이후 실제 철도차량 및 집전장치 제작 업체에서 실시할 수 있는 체계적인 신뢰성 평가 기준 및 시험 기법, 장비 개발

표 3-11. 유도 급/집전시스템 SE 및 시험검증 기술 관련 필요 기술 분석

현 기술	추가 R&D 필요기술	추가 R&D 추진 계획
EMF 최소화 설계 기술(버스 내부 및 도로에서 62.5mG 이내로 만족)	EMF 최소화 설계(철도차 량용)	- 급전선로 EMF저감 및 차폐 기술연구 - 집전픽업 EMF 저감 침 차폐 기술연구



그림 3-15. 유도 급/집전시스템 SE 및 시험검증 기술개념도

제 2 절 경제적 타당성 분석

1. 기존 기획연구에서의 경제성 검토에 대한 분석

- 기획단계에서의 사업에 대한 경제적 타당성 분석은 일반사업의 타당성 분석기법을 적용하기에는 많은 가정 및 문제점을 수반하고 있음. 따라서 본 연구에서는 타 기획연구에서 수행한 경제성 분석에 대한 방법에 대하여 우선적으로 검토하여 그 검토 결과에 근거하여 경제성 검토를 시행하고자 하였다. 기존 기획연구 중 주요 검토 대상과제는 아래와 같음.

- 무가선 하이브리드 저상트램 기획연구
- 한국형 모노레일 기술개발 기획보고서
- 신교통 소형궤도열차 시스템 개발을 위한 기획연구
- 경제적 측면에서 바이모달트램 시스템의 국내 도시 적용성 검토
- 자기부상열차 실용화 사업에 대한 예비타당성 조사
- 기술자립형 도시철도시스템 기술개발 기획
- 온라인 전기자동차기반 수송시스템 혁신사업 사업타당성 분석보고서

- 각 기획보고서에서 나타난 경제성 검토에 대한 연구내용을 검토해 보면 다음과 같음.

① 무가선 하이브리드 저상트램 기획연구

- 본 연구에서는 연구의 필요성을 기술적 필요성, 경제적 필요성, 사회적 필요성으로 구분하여 제시하였으며, 낮은 건설비, 풍부한 해외시장으로의 수출가능성 등으로 경제적 필요성을 제시하였음.
- 교통약자에 대한 고품질 서비스제공, 고도의 안전성, 중소 도시의 도심지개발과 연동하여 추진하는 측면의 사회적 필요성을 제시하였음.
- 본 연구에 의해 예상되는 기대효과 및 전망으로는 정책적 시사점으로 저상트램의 경제성, 교통계획과 도시계획의 조화, 저상트램의 이미지 제고, 시민들의 공감대와 요구에 적합한 시스템임을 제안하였으며, 지방자치단체의 경전철 건설계획 및 저상트램 선택 전망, 저렴한 건설비, 친환경성 및 에너지효율성, 교통수요 및 환경에 대한 능동적 대응, 교통약자들에

대한 고품질 서비스 제공, 도심지 활성화 및 이미지제고 등으로 인하여 높은 국내 실용화 가능성을 강조하였음.

- 또한 기대효과 및 해외 수출 전망에서는 국산화율 및 수입대체효과, 저장트램기술의 세계적 선도, 저장트램 해외수출 전망 등을 제시하였으며, 저장트램의 국산화율 및 수입대체효과 분석에서는 국내 경량전철의 도입을 계획 중인 노선의 약 39%가 저장트램을 도입할 경우 예상되는 차량 소요수와 국산화율을 가정하여 수입대체효과 등을 산출하였음.

② 한국형 모노레일 기술개발 기획보고서

- 본 연구는 경량전철 중의 하나인 모노레일에 대하여 한국형 모노레일에 대한 기술개발 기획보고서로서 본 연구에서 기술개발에 대한 파급효과로는 크게 경제, 산업적 측면에서 분석을 시행하였음.
- 한국형 모노레일을 개발할 경우 전체시장규모에서 모노레일 시장점유(20~30%)를 추정하여 수입대체효과 및 고용창출효과를 분석하였다. 또한, 기술개발사업의 경제적 기대효과로서 전체 경전철 계획 노선중 모노레일을 선택할 수 있는 노선을 추정하여 국내 및 국외모노레일의 시장규모를 예측하였으며, 이에 따른 국내외 수요대응 효과를 산출하였다. 모노레일에 대한 비용분석으로는 철제차륜(LIM), 고무차륜 경전철과 건설비, 차량구입비, 동력비, 유지보수비 등 각 분야별 비용에 대하여 상대비교를 통하여 제시하였으며, 경제적·사회적 파급효과로서 주요 건설비 및 수입대체효과 등에 대하여 제시하였음.

③ 신교통 소형궤도열차 시스템 개발을 위한 기획연구

- 「신교통 소형궤도열차 시스템 개발을 위한 기획연구」에서는 본 시스템 개발을 위해 필요한 각 기술 분야별(차량기술 분야, 시설설비기술 분야, 열차제어 및 통신기술 분야, 시스템 기술 분야)로 기술 분석과 함께 기술개발 파급효과를 추정하였으며 이와 함께 기술개발에 따른 해외 미래형 소형궤도열차 시장의 확보 및 기술선점, 수입대체효과 등 간접적 파급효과도 제시하였음.
- 아울러 기술개발성과의 활용방안, 기술파급 방안, 실용화 방안 등도 함께 제시하고 있는데 경제성분석에 대한 부분은 빠져있음.

④ 경제적 측면에서 바이모달트램 시스템의 국내도시 적용성 검토

- 본 연구에서는 경제성 분석 기준으로 연구 개발 중인 특성으로 인해 국내 관련사례 및 경

제성 분석과 관련된 분석기준과 자료가 미약하기 때문에 바이모달트램을 중심으로 신교통 시스템의 일반적인 평가항목을 검토하고, 이를 기반으로 경제성 분석 기준 및 적용방안에 대한 기본적인 방향 및 방법론을 검토하였음.

- 경제성분석 비용항목으로는 철제차륜 AGT, 고무차륜 AGT, 모노레일, 노면전차 등과 함께 바이모달 트램의 비용 원단위를 추정하였으며, 토목, 터널, 교량, 정거장, 차량기지 비용을 기초로 공사비 원단위를 산정하였으며, 기타 부대비, 차량구입비, 운영비, 잔존비용 처리 등에 대한 비용을 산정하여 활용하였음.
- 경제성분석 편익항목으로는 경제성분석에서의 일반적인 편익항목인 차량운행비용, 통행시간, 환경비용 등에 대한 일반적인 산출방법을 제시하였으며, 실제로 편익부분을 산출하는데 한계가 있기 때문에 편익이 산정되지 못하여 전체적인 경제성 분석은 시행하지 않았음.
- 도입효과 부분에서는 자료 등의 한계 등으로 인하여 도입효과 측정방향만 제시하였음.

⑤ 자기부상열차 실용화 사업에 대한 예비타당성 조사

- 본 연구에서는 설치 대상지역과 설계기준 등이 확정되지 않은 가운데 예비타당성을 조사해야 하므로 개량설계를 통한 비용 추정법은 시행하지 않았음.
- 기존 연구사례를 중심으로 과업과 성격이 유사한 경량전철사업에 대해 비용관련 지침과 사례를 제공해주는 보고서를 분석하여 비용 원단위를 산정 후 자기부상열차 실용화 사업의 비용(조사비, 전기공사비, 신호통신비, 토목공사비, 차량구입비, 예비비 등)을 분석하였음.
- 경제적 파급효과 분석에서는 산업연관분석을 통하여 철도시설, 철도차량, 철도서비스 3개로 구분하여 생산유발효과, 부가가치, 고용유발에 대하여 파급효과를 산출하였음.
- 경제성 분석을 위하여 본 연구에서는 경제성이 있는 사업을 위하여 최소 수송수요를 추정하였으며, 본 사업 상용화를 하기 위해서는 수익성이 확보가 되어야 하므로 이를 위한 최소 수송수요를 도출하였는데, 수입과 지출이 같아지는 재무적 타당성 확보가 가능한 수송수요를 추정하였음.
- 또한 시범사업구간 등 12.7km에 대한 비용산출, 요금별 수입을 산출하여 제시하였으며, 경제성분석은 수익성 분석표 추정기법을 적용하여 FNPV를 산출하는 방법을 적용하였는데 분석결과 높은 공사비 부담과 낮은 운임 등으로 인하여 재무적 타당성이 없는 것으로 분석되었음.

⑥ 기술자립형 도시철도시스템 기술개발 기획

- 본 사업에서는 경제성 분석을 위한 수요예측에서는 경전철 시장분석을 위해 시나리오에 따른 규모를 추정하여 시행하였으며, 본 연구에서는 현재 계획된 전체 경전철 노선의 10% 정도가 개발 경전철을 도입할 것으로 가정하여 수행하고 있음.
- 경제적 타당성 분석을 위해서는 산업연관분석을 통하여 철도시설, 철도차량, 철도서비스 3개로 구분하여 생산유발효과, 부가가치, 고용유발에 대하여 파급효과를 산출하였음.
- 경제성 분석은 개발 후 10년간 예상되는 매출액 및 예상 부가가치액(편익)과 연구개발에 투자된 연구개발 투자액(비용)을 사용하여 산정하였으며, 여기에 사용되는 수요추정으로는 국내와 국외로 분리하여 국내에서는 계획노선 매년 3km($618\text{km}/20\text{년} \times 10\%$), 국외에서는 매년 6.3km($1260\text{km}/20\text{년} \times 10\%$)가 본 시스템을 적용한다고 가정하였으며, 추정된 수요를 기준으로 향후 10년간 시스템별 차량구입비 km당 단가를 이용하여 매출액을 산정하였으며, 부가가치는 매출액의 40%를 부가가치 발생률로 사용하였는데, 경제성분석 결과는 개발 사업에 대한 타당성이 있는 것으로 분석되었음.

⑦ 온라인 전기자동차기반 수송시스템 혁신사업 사업타당성 분석보고서

- 본 사업은 철도에 대한 경제적 타당성 분석은 아니지만 온라인 철도시스템의 핵심기술을 사용하는 전기자동차에 대한 사업타당성으로서 온라인 전기자동차 비용분석으로는 연구개발비용, 급전도로 인프라 구축비용, 급전도로 인프라 유지보수비용, 도로 점·사용료, 인프라 운영시스템 비용, 인프라 운영시스템 유지보수 비용을 산출하여 활용하였음.
- 온라인 전기자동차 잠재시장 분석에서는 서울특별시, 6대광역시, 제주도에서 시내버스교체 수요, 신규버스 수요로 예측하였는데 2016년~2038년까지 교체수요를 포함하여 총 5.4만대가 판매될 것으로 예측하였음.
- 편익산정을 위해서는 주요 편익항목으로는 원유수입 절감효과, 탄소배출량 감소효과, 대기 오염물질 감소효과, GDP 증대효과, 혼잡효과, 일자리 창출 등 공공부분의 편익항목을 산정하였음. 각 분야별 세부 절감효과 내용은 다음과 같음.
 - 원유수입 절감효과 : 디젤, 가솔린기관과 전기자동차 에너지 소모량 차
 - 탄소배출량 감소효과 : 내연기관의 이산화탄소 배출량과 전기자동차의 탄소배출량 차
 - 대기오염물질 감소효과 : 경유 및 CNG버스 대체에 따른 대기오염물질 감소량
 - GDP 증대효과 : 집전장치, 배터리 생산액, 급전 인프라 생산 등을 기준으로 부가가치 유발계수 적용하여 산출

- 혼잡비용(부(-)의 편익) : 급전도로건설에 따른 혼잡발생
- 일자리 창출 : 인프라 건설에 따른 일자리 창출

⑧ 기존 기획연구 보고서 검토결과 종합

- 주로 기술개발에 따른 경제적 기대효과를 산출하는 방식으로 산정되었다. 예를 들면, 주요 시스템의 대상시장 규모를 예측하고 타시스템과의 각 분야별 비용에 대한 상대비교를 통하여 효과를 제시하였음.
- 경제적·사회적 파급효과는 산업연관분석 등을 통하여 철도시설, 철도차량, 철도서비스의 경제적 효과추정계수를 이용하여 경제적 파급효과를 추정하였음.
- 그밖에도 경제적 파급효과 외에 기술개발에 따른 파급효과 분석 및 기술개발 성과의 활용 등에 대한 효과를 추정하였음.
- 시스템별 특성을 강조하여 시스템 개발의 필요성과 그에 따른 사회적 파급효과를 제시하고자 하였음.
- 수요에 대한 명확한 추정이 곤란하기 때문에 대부분 가정을 통하여 수요를 추정, 즉, 전체 대상중 10% 또는 시나리오를 제시하여 산정하거나 또는 온라인 전기철도와 같이 전체를 대상으로 하여 추정하였음.
- 비용부분에 대한 추정은 일반적인 경제성분석의 비용부문 분석에 필요한 비용을 산정하여 제시하고 있다. 경제성 분석이 불가능하더라도 시스템별 비용에 대한 건설비와 유지보수비 등은 분석하여 제시하였음.

2. 경제성 분석의 방향 및 시행

- 일반적으로 연구개발의 경제성은 ① 연구개발에 소요되는 직접비용이라는 측면에서의 경제성과 ② 연구개발 결과의 활용을 통해 창출되는 효과(직접효과 및 간접효과)라는 측면으로 구별할 수 있다. 기존 개발중인 시스템들과 기술적 사양과 성능이 동일하다면 개발비용이 적은 시스템이 가장 경제성이 높음. 그러나 현재 개발중인 시스템들은 서로 다른 기술적 사양, 성능, 특성을 보유하고 있으므로 개발 비용에 의한 경제성 여부의 판단은 무의미하다고 할 수 있음.
- 따라서 해당 시스템의 확산에 따라 누적적으로 증가하는 건설 및 운영비용을 기준으로 경제성 또는 기술개발의 필요성을 판단해야 하며, 시스템의 건설과 운영에 따라 발생하는 효과(편익)에는 차량운행비용 절감, 이용객들의 통행시간 절감, 교통사고 절감, 환경비용 절감 등 직접 및 간접효과가 포함됨. 그러나 이러한 효과산출을 위해서는 구체적인 노선망을 가정해야 하므로 본 연구에서는 일반적인 관점에서 타 수송수단과의 비용적 측면을 비교분석하고자 하며, 개발시스템의 가상노선 적용에 의한 경제적 파급효과를 추정하고자 함.

가. 온라인 전기철도의 경제적 장점

- 개발하고자 하는 온라인 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. 이러한 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, 철도궤도의 특성에 의한 효율적 급전이 가능한 설비구성으로 에너지효율성이 높으며, 추가적인 차량설비 없이 제동 시 발생하는 회생에너지 이용이 가능하기 때문에 이를 활용한 경제적 장점도 보유하고 있다고 할 수 있음.

나. 비용 산출

- 본 연구에서는 시스템의 개발이 진행 중에 있기 때문에 구체적인 비용의 산출이 불가능함. 따라서 가상의 구간에 대하여 타 시스템과의 비교를 통하여 개략적인 비용을 산출하고자 하며 특히 본 연구에서 산출한 비용은 개발 시스템과 가장 유사한 일반 노면전차와의 비교를 통하여 산출하였음. 정확한 비용 산출에 따른 한계로 인하여 정확한 비용분석은 불가능하지만 예상되는 각종 기술적인 측면을 고려하여 산출하고자 하였음. 대상 노선은 현재 계획 중인 지방자치단체의 노면전차노선을 기준으로 산출하였으며, 복선형태로 약 6.2km구간을 적용하여 산출하였음.

(1) 건설비 비교 (인프라)

- 총인프라 비용은 온라인 전기철도와 노면전차가 거의 같은 수준으로 산정되었음.
- 차량단가(6량 기준)의 경우 노면전차의 팬터그래프 비용 2000만원과 온라인 전기철도의 배터리 비용이 거의 비슷하므로 같은 12억원으로 책정하였음.

° 배터리: 200만원

° 집전장치: 200만원 (20kVA10~20kHz 정류기 및 전기설비 가격)

표 3-12. 건설비 비교표 (인프라)

	일반철도(노면전차)	Online 전기철도
①궤도토목 공사비	<u>건설구간 기준 총 238.7억</u> 궤도 부설비 31.5억/km 궤도 부설을 위한 토목공사비 7억/km (아스팔트 제거 및 노반조성 비용 포함)	
②변전소 건설비	<u>건설구간 기준 총 60억</u> 20억/개소당 (2.5km당 1개소, 총 3개소)	
③통신시설비	<u>건설구간 기준 총 34.1억</u> 5.5억/km	
④신호시스템 교체비 (도로 교통신호 시스템 포함)	<u>건설구간 기준 총 37억</u> 5.96억/km	
⑤정거장 건축비	<u>건설구간 기준 총 32억</u> 4억/개소당 (총8개소)	
⑥급전건설비(억원) [전차선/급전레일]	<u>총 56.1억</u> 9.05억원/km	<u>총 21.7억~68.82억</u> 3.2~11.1억원/km
총 인프라비(①~⑥)	457.91억원	421.6~470.6억원 (평균 68~75.9억원/km)

- 궤도토목공사비는 궤도의 부설을 위하여 궤도폭 전체에 대한 노반 정비공사가 필요하므로 급전장치 매설을 위한 추가비용은 궤도전체 공사비에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단됨.
- 변전소건설비의 경우 전력소모량은 온라인 전기철도가 다소 많이 필요하나 건설비는 거의 같다고 판단되며, 변전소는 2.5km당 1개소를 건설하는 것을 하였다. 단, 실제 시공시에는 전력시뮬레이션에 의한 정확한 분석이 요구됨.
- 신호통신시스템의 경우 두 시스템간의 건설비는 차이가 없으며, CBTC를 채용할 경우 20억/km의 예산이 필요하나, 무접촉 유도급전 관련 설비의 영향을 받지 않는 신호시스템의 선정 및 적용 방안이 기술적으로 검토되어야 할 것임.
- 정거장은 8개로 지하역 건설이 아닌 지상건설로서 두 시스템의 건설비는 같다고 판단됨.
- 급전건설비는 노면전차의 경우 km당 9.05억이 소요되며 온라인 전기철도의 경우 3.2억~11.1억(복선)으로 추정되었음.
 - ° 지중매설 전력공사비: 6,000만원(한전시설단가기준, 저압(1kV이하)은 6만원/m, 고압(수십kV)은 11만원/m이므로, OLEV용은 1km당 6000만원 소요)
 - ° 고주파 전력공급장비: 5000만원
 - ° 급전 코일: 5000만원(단일선 공심코일)~5억 (20kVA 코일).
 - ° 일반 노면전철의 전차선로 건설단가
- 트램의 경우 시내 교통수단이므로 지지물간 간격이 짧아 지지물 설치에 대한 비용이 많이 소요되지만, 일반 전철의 전차선로 보다 설비가 단순하여 건설단가를 일반 전철과 유사하게 추정됨.

표 3-13. km당 전차선로 건설단가 (단위 : 백만원)

구분	km당 건설단가	비고
고속철도*	912	
일반/광역 전철*	905	
트램	905	추정가

주) * 복선 기준/ 토공, 터널, 역 구내 포함한 단가임

(2) 유지보수비

- 총 유지보수비용은 온라인 전기철도가 다소 저렴하거나 거의 같게 분석되었으며, 온라인 전기철도는 급전레일 유지보수비가 저렴하지만 반면에 전력사용비는 많이 들것으로 추정됨.
- 차량 유지보수의 경우 6량 1편성 전체기준으로 팬터그래프의 집전판은 12만km 당 교체가 필요하며(10만원), 그로 인한 비용은 5년기준 600만원이 소요되는 것으로 분석되었고, 온라인 전기철도의 경우 배터리 수명주기는 5년으로 보조배터리 교체 시 5년에 500만원이며, 그 외 노면전차의 팬터그래프 및 온라인차량의 집전장치의 유지보수비는 같다고 가정하였음.

표 3-13. 유지보수비 비교표

	일반철도(노면전차)	온라인 전기철도
팬터그래프/배터리 교체비용 (원/년)	120만원	100만원
전차선/급전레일 유지보수비 (원/년)	2721.8만원	1356.4만원
전력 사용비(원/년)	5,412만원	6,765만원
유지보수비	8253.8만원/년	8221.4만원/년

- 급전 유지보수비에 있어서는 한국철도공사 2006년 기준에 따르면 총가선 길이 4,724km 당 208억원의 전차선 유지보수비가 소요되는 것으로 산출되었음.
- 전차선 유지보수 비용은 439만원/km · 년으로 추정하였음.
- 온라인 전기철도 시스템의 급전레일은 제 3궤조방식과 비교할 때 파워레일 제작사인 Brecknell Willis사에 따르면 기존 가공전차선의 50%가 소요되리라 예상되는데, 그 이유는 급전레일이 지상에 있어 점검이 수월하다는 것임. 그러나 급전레일의 매설 방식에 따라서 다소 차이가 날 수 있음.
- 온라인 전기철도의 전력사용비는 효율 80%를 기준으로 하여 계산
 - $\text{연간사용전력량} = \text{연간운행거리}(car - km) \times \text{견인전력량}(kWh/car - km)$
 $= 8,286,968(kWh)$

- 편성당 전력량요금(원/년)

$$= \text{연간사용전력량}(kWh)/7\text{편성} \times \text{단위전력비시행요금(원}/kWh)$$

$$= 54,120,000(\text{원/년})$$
- 온라인전기철도전력량요금(원/년) = (노면전차 전력량요금) × 효율

$$= 67,650,000(\text{원/년})$$

(3) 비용 산출 검토 결과

- 총 인프라비용 및 유지보수비용은 노면전차와 온라인전기철도가 거의 비슷하게 산출되었음. 단 급전레일의 용량, 매설방식에 따라 건설비 및 유지보수비에 많은 차이가 날 것으로 판단됨.
- 터널구간이 있을 경우 지형 및 터널 길이에 따라 유동적이나, 터널 사이즈를 줄일 수 있는 온라인 전기철도가 훨씬 경제성이 있다고 사료됨.
- 터널단면적을 10m²을 줄일 경우 15%의 건설비가 감축되며, 25m²를 줄일 경우 22%의 건설비가 감축되는 것으로 나타났으며, 이는 건설비 비중이 높은 철도 시스템에서 매우 유용한 시스템이라고 할 수 있음.

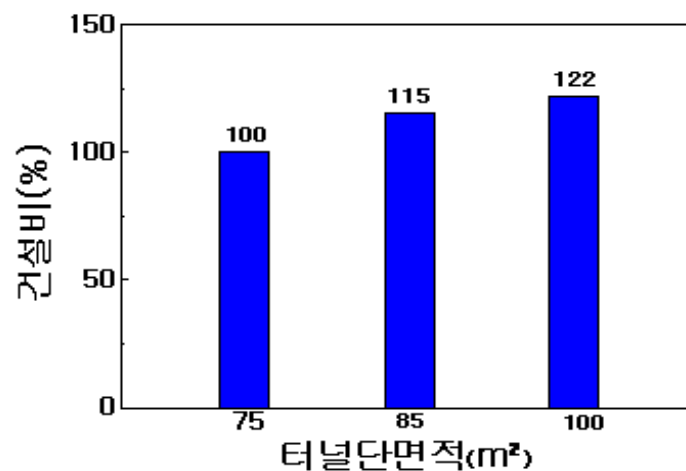


그림 3-16. 터널단면적에 따른 건설비 변화 추이

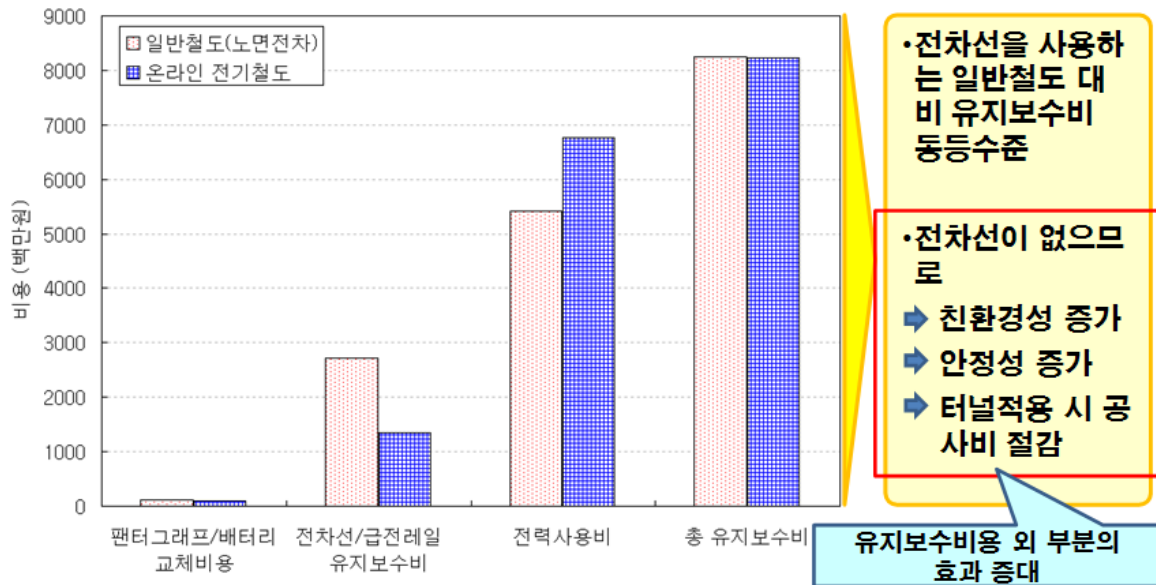


그림 3-17. 일반철도와 온라인전기철도의 유지보수 관련 경제성 비교

3. 산업연관분석에 의한 경제성 분석

- 철도산업은 직·간접적으로 많은 산업과 밀접한 연관관계를 맺고 있기 때문에 철도산업의 생산품은 다른 산업의 상품생산을 위한 원재료로 투입되기 때문에 철도산업의 산출량 증가는 다른 산업에도 투자를 증가시켜, 본 사업 생산량을 증가시키게 됨. 그러므로 철도 산업의 생산증가는 타 산업으로 파급되는 효과가 발생되게 되며, 생산 활동을 통하여 이루어지는 산업 간의 상호 연관관계를 수량적으로 분석하기 위해 산업연관분석을 수행하였음.
- 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 분석하였음.
- 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 참조하였으며, 참조된 보고서에서는 5년마다 갱신되는 2003년도의 2000년 실측값을 사용한 한국은행 산업연관표를 사용하여 전체 404부분 중 철도차량, 철도시설, 철도서비스로 구분하여 총 38가지로 재구성하여 산출하였음. 사용된 방법은 다음의 그림과 같음.

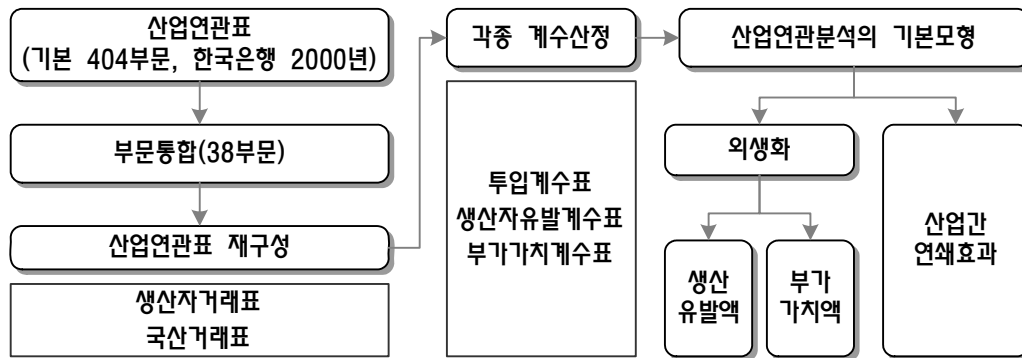


그림 3-18. 산업연관분석 순서도

가. 산업연관표의 기본구조

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

표 3-15. 산업연관표의 기본구조

구분		내생부문			외생부문		수입 (공제)	총산출
		1산업	...j산업	...n산업	중간수요계	최종수요계		
내생 부문	1산업	X_{11}	... X_{1j}	... X_{1n}	W_1	Y_1	M_1	X_1
	...	...	...	...	...	...	...	...
	i산업	X_{i1}	... X_{ij}	... X_{in}	W_i	Y_i	M_i	X_i
	...	...	...	...	...	...	...	...
외생 부문	n산업	X_{n1}	... X_{nj}	... X_{nn}	W_n	Y_n	M_n	X_n
	중간투입계	U_1	... U_j	... U_n				
	부가가치세	V_1	... V_j	... V_n				
	총투입	X_1	... X_j	... X_n				

- 이러한 산업연관표의 일반적인 형식은 위의 표와 같으며 가로방향 i부문의 총생산액 X_i 와 수입 M_i 를 합한 총공급액 ($X_i + M_i$)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 나타냄. 또한 세로방향 j부문은 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

$$- X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1j} + \dots + X_{1n} + Y_1 - M_1 = X_1$$

$$\underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{중간수요}} + \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{최종수요}} - \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{수입}} = \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{산출액}}$$

$$- X_{i1} + X_{i2} + \dots + X_{ij} + \dots + X_{in} + Y_i - M_i = X_i$$

$$\underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{중간수요}} + \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{최종수요}} - \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{수입}} = \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{산출액}}$$

$$- X_{n1} + X_{n2} + \dots + X_{nj} + \dots + X_{nn} + Y_n - M_n = X_n$$

- 여기에서 X_{ij} 는 j부문에서 사용된 i는 중간투입액, X_i 는 i부문의 산출액, X_j 는 j부문의 산출액, Y_i 는 i부문의 최종수요액, M_i 는 i부문의 수입액

- 여기에서 한 재화나 서비스를 생산하기 위해 투입된 투입정도를 보기 위해서는 투

입계수가 필요하며, 투입계수는 각각의 중간 투입액을 총산출액으로 나누어 산출됨. 이 투입계수는 $a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j}$ 로 표시할 수 있으며, j 재 한 단위를 생산하기 위해 i 재가 투입된 것을 의미하며, 이 투입계수를 모든 산업에 연관하여 계산하기 위해서 다음과 같은 일반식으로 표현 가능함.

$$\begin{aligned}
 - & a_{11}X_1 + a_{12}X_1 + \dots + a_{1j}X_1 + \dots + a_{1n}X_1 + Y_1 - M_1 = X_1 \\
 & \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \\
 - & a_{i1}X_i + a_{i2}X_i + \dots + a_{ij}X_i + \dots + a_{in}X_i + Y_i - M_i = X_i \\
 & \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}} \\
 - & a_{n1}X_n + a_{n2}X_n + \dots + a_{nj}X_n + \dots + a_{nn}X_n + Y_n - M_n = X_n
 \end{aligned}$$

- 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.

$$\begin{aligned}
 - & X - AX = Y - M \\
 - & (I - A)X = Y - M \\
 - & X = (I - A)^{-1}(Y - M) \\
 - & \text{단, } i \text{는 주 대각요소가 모두 1이고 나머지 요소는 모두 0인 단위행렬}
 \end{aligned}$$

- 생산유발계수는 최종수요가 1단위 증가하였을 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업 부문에서 직·간접적으로 유발되는 산출단위이므로 $(I - A)^{-1}$ 가 최종수요 1단위 증가에 따라 유발되는 모든 요소들의 직·간접적인 파급효과를 합한 것이므로 생산유발함수를 의미하며, 이 계수는 산업의 총 산출액이 본 산업의 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.

나. 생산유발계수

- 국산과 수입을 구분하지 않는 경쟁수입형 생산자가격표의 투입계수를 기초로 하여

생산유발계수를 도출하였으며 이 생산유발계수는 기본적인 수급방정식으로부터 도출되며, 각 부문별 총산출액 (X)은 생산유발계수 $(I-A)^{-1}$ 에 최종수요(수입공제)를 곱하여 구하게 됨.

- 생산유발계수를 이용하기 위해서는 외생변수로서 최종수요벡터 (Y)와 수입벡터 (M)가 주어져야 함.

다. 부가가치 유발계수

- 최종수요의 발생이 국내 생산을 유발하고 생산활동에 의해서 부가가치가 창출되기 때문에 결과적으로 최종수요의 발생이 부가가치 창출의 원천이라고 할 수 있음. 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 최종수요 발생에 따른 부가가치 유발계수의 도출과정은 다음과 같음.
- 부가가치벡터를 V , 부가가치계수의 대칭행렬을 $\overline{A}$ 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 있음.
- 한편 $(I-A+\widehat{m}^*)^{-1}$ 형과 $[I-(I-\widehat{m})A]^{-1}$ 형 생산유발계수를 이용하여 부가가치 유발계수행렬을 각각 산출할 경우 외생변수로서 최종수요(Y) 또는 국내 최종수요 (Y^*)와 수출(E)을 각각 사용함.

라. 경제적 효과 계수 추정

- 생산유발계수 및 부가가치계수는 경쟁수입형 생산자가격표의 투입계수를 기초로 다음과 같이 산출됨.

표 3-16. 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
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	부동산및사업서비	1.5894	0.9501

번호	산업구분	생산유발계수	부가가치유발계수
	스		
5-11	공공행정 및 국방	1.7707	0.8941
5-12	교육및보관	1.7832	0.9012
5-13	사회및기타서비스	2.6196	0.8035

- 고용 유발계수는 한국개발연구원(KDI)의 철도분야 예비타당성조사 표준지침상의 고용유발계수를 이용하였음.

표 3-17. 경제적 효과 추정 계수

구분	생산유발	부가가치	고용유발(억원당)
철도시설	2.804	0.7966	2.87
철도차량	3.5862	0.5119	2.87
철도서비스	2.0846	0.8099	2.87

- 생산유발효과 추정계수는 철도시설, 철도차량, 철도서비스에 각각 2.8, 3.6 그리고 2.1이며, 부가가치유발효과는 철도시설, 철도차량, 철도서비스에 0.79, 0.51, 0.81로 각각 나타났으며, 고용유발효과는 철도투자 1억원당 2.87명이 고용되는 것으로 나타났음.

마. 경제적 파급효과 추정

- 경제적 파급효과를 분석하기 위해서는 일정한 노선이 선정된 상태에서 추정하여야 하나 현실적으로 노선이 선정되어 있지 않으므로 가상의 대상 노선(시범노선 6.2km)을 선정하고 이에 대한 경제적 파급효과를 분석하였음.
- 비용은 평균사업비 분석을 통한 사업비 단가에 총연장 6.2km로 차량 시스템별 건설비, 차량비, 운영비용을 산출하여 추정한 것을 이용하였으며, 이 비용(시스템별 건설비, 차량비, 운영비)과 위에서 산출한 계수를 이용하여 온라인철도사업의 가상 노선에 대한 경제적 파급효과를 추정하였음.

표 3-18. 경제적 파급효과 추정 결과

구분	비용(억원)	생산유발(억원)	부가가치(억원)	고용유발(명)
철도시설 (건설비)	446	1,251	355	1,280
철도차량 (차량비)	84 (12억원/편성×7편성)	301	43	241
철도서비스 (운영비)	16억원	34	13	47
합계		1,586	411	1,568

- 사업비 지출에 따른 파급효과를 추정한 결과, 노선연장 6.2km 구간에서 온라인전기 철도의 경제적 파급효과로는 생산유발효과가 1,586억원, 부가가치 유발 효과는 411억원이며, 1,568명 정도의 고용기회가 창출되는 것으로 추정되었음.

제 3 절 사업적 타당성 분석

- 사업적 타당성 분석에서는 현재 국가에서 추진하고 있는 신성장 동력 및 녹색 성장 관련 정책, 철도 관련 정책 및 관련 규제를 탐색하여 본 사업의 사업적 타당성을 정부 정책 관점에서 분석하고 현재 사업 추진의 당위성을 도출하였음.

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 있다. 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 3-19. 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

- 온라인 철도 시스템 연구는 수송 시스템 혁신을 가져오는 신 기술로, 2008년 신성장 동력 사업에 포함되어 있지 않지만, 미래 신성장 동력으로 반드시 정부의 투자가 필요한 부분이다. 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 고려없이 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

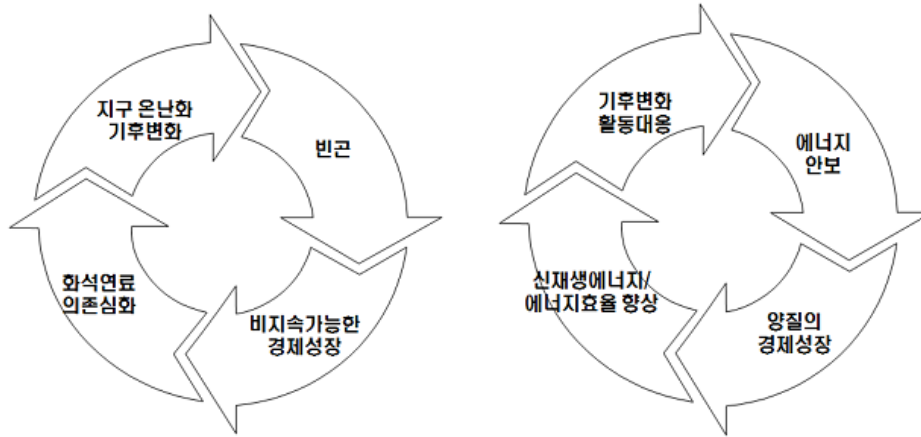


그림 3-19. 악순환 구조(좌)와 선순환 구조(우)

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

표 3-20. 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 중이임. 다수 부처에서 개별 법률로 진행 중인 기후변화, 신재생에너지 등의 정책을 통합하여 효율적, 체계적으로 관리하기 위한 제도적 장치를 마

련하고 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.

- 온라인 전기 철도 시스템 개발은 이런 정부의 녹색 성장 정책과 매우 부합되는 새로운 사업입니다. 도심 내 철도 서비스를 활성화 하여 에너지 사용을 효율화 하고, 저탄소 친환경 인프라를 구축할 수 있다. 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 과학 기술기본계획 중점추진과제의 주요시책을 포함

표 3-21. 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

- 온라인 전기 철도 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

- 비접촉 유도급전 철도시스템과 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
 - 비접촉 유도급전 철도시스템은 탄소배출을 줄일 수 있는 친환경적인 철도 시스템으로 다양한 철도 형태에 적용 가능한 첨단 기술임
 - KAIST 온라인 전기자동차 사업단에서 세계 최초로 상용화한 온라인 전기 버스 기술을 철도에 접목함으로써 첨단 기술의 철도 분야 상용화 가능
 - 비접촉 유도 급전 기술시장 초기에 기술 개발에 성공할 경우 세계 시장을 선도적으로 주도할 수 있음
- 비용 절감과 효율화
 - 비접촉 유도 급전 기술을 이용하여 전력을 전달 받음으로써 상부가선시스템을 이용하는 전철 대비, 터널 단면적 감소가 가능하여 공사비 및 유지보수비 저감이 가능
 - 주행 중 급집전이 가능하여 상대적으로 저 용량의 배터리로 운행 가능함으로 배터리비용을 혁신적으로 절감 할 수 있음
 - 급집전 과정에서 높은 에너지 효율을 달성할 수 있는 원천 기술을 KAIST 온라인 전기자동차 사업단에서 확보하고 있으므로 효율적인 에너지 전달이 가능함
- 안전성 및 이용 환경
 - 상부의 전력선이 지하에 배치되어 이용 안전성 및 도심 미관 개선 가능
 - 속도와 무관하고, 온도변화, 강우, 강설 등 외부환경에 대해 강인하여 신뢰도 및

안전성 우수

- 유도 급전 기술로 날씨 변화, 환경 변화 시에도 안정적인 전력 공급이 가능
- 급전선 사고에 무관하여 운행 안전성 우수
- 가선 사고에 의한 피해 최소화 가능

○ 해외 진출 활성화 및 실용화 가능성

- 건설비와 운영비가 저렴한 비접촉 유도급전 철도시스템의 개발을 통해 도심지 경량전철건설에 대한 풍부한 해외 시장을 바탕으로 수출 산업화 가능
- 비접촉 유도급전 철도시스템의 핵심 기술인 대용량 유도급집전 기술 개발을 통한 요소기술 수출 가능
- 발의된 “노면 전차 건설관리 법안”과 신규건설비 지원을 상향 조정에 의해 경전철이 도심에 빠르게 구축될 수 있고 이중 일부에 비접촉 유도급전기술 적용 가능

- 결과적으로 비접촉 유도급전 철도 시스템은 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 기술을 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.
- 온라인 유도급전 기술은 자기장을 이용하기 때문에 전자파 규제를 만족해야 함. 관련 규정인 전파법 제47조 2항 관련 방송통신위원회 고시 제2008-37호 “전자파 인체 보호 기준”의 인체보호기준 제3조 1항 ‘일반인에 대한 전자파강도 기준(μT)을 만족

해야 함.

표 3-22. 일반인에 대한 전자파강도 기준

주파수 범위	전기장 강도 (V/m)	자기장 강도 (A/m)	자속밀도 (μ T)
3kHz 이상 ~ 150kHz 미만 (OLEV 사용 주파수: 20kHz)	87	5	6.25 (=62.5 mG)

- 현재 KAIST에서 개발하여 시험 운행 중인 버스나 코끼리 열차의 경우 어느 곳에서 측정하여도 이 기준을 만족하고 있어 전자파 관련 안전성을 확보하기 위한 기술은 이미 개발되어져서 검증되었음.

제 4 장 유도급전 전기철도 시스템 개발사업의 최종목표 및 내용

제 1 절 최종목표

- 기존의 점촉식 전력공급방식을 개선할 수 있는 비점촉식 유도급전 시스템의 철도 시스템 적용을 위한 유도 급/집전시스템 핵심기술 개발을 통하여 최종적으로 고속 철도차량용 유도 급/집전시스템의 기술 확보가 목표임
- 1단계 사업으로 240kW급 유도 급/집전시스템 핵심기술 개발 사업, 2단계 사업으로 유도 급/집전시스템 핵심기술의 실용화를 위하여 240kW급 전기철도차량 적용 Test-Bed 구축 및 성능평가 기술개발 사업, 최종적으로 고속철도차량용 유도급전 시스템 기술 개발 사업을 추진하기 위한 목표 수립

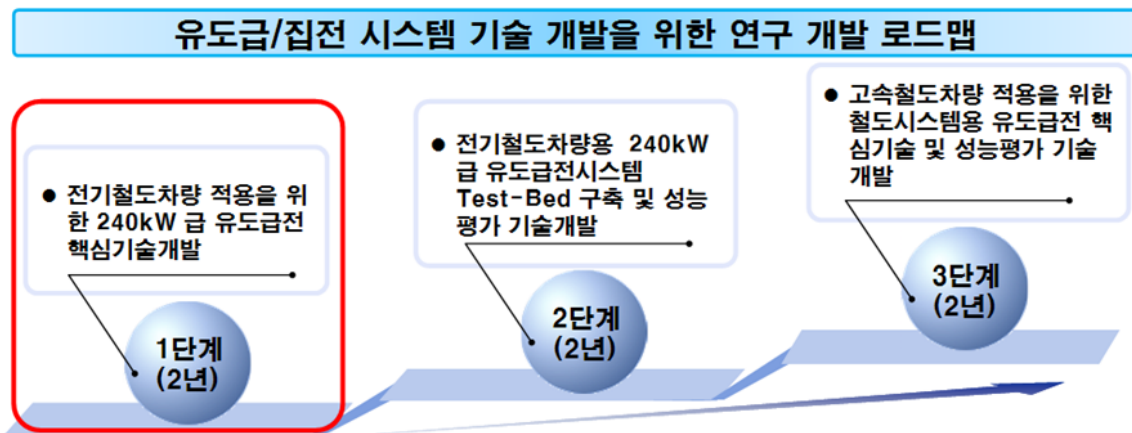


그림 4-1. 유도 급/집전 시스템 기술 개발을 위한 연구 개발 로드맵

제 2 절 기술개발 내용

■ 1단계 사업 (140억원)

- 사업 목표 : 전기철도차량 적용을 위한 240kW급 유도급전 핵심기술 개발
- 주요 연구내용
 - 전기철도용 급전 핵심기술 개발 (급전인버터 270kW, 급집전 효율 90 % 이상)
 - 전기철도용 집전 핵심기술 개발 (집전모듈 240kW)
 - 다중동력원 및 통합제어 핵심기술 개발 (240kW급 DC-DC 컨버터, 에너지 저장 시스템 등)
 - 에너지 및 운영관리 핵심기술 개발 (급전선로 센싱, 무인도킹 시스템 등)
 - SE 및 시험 검증 핵심기술 개발 (240kW급 시스템 실용화 등)

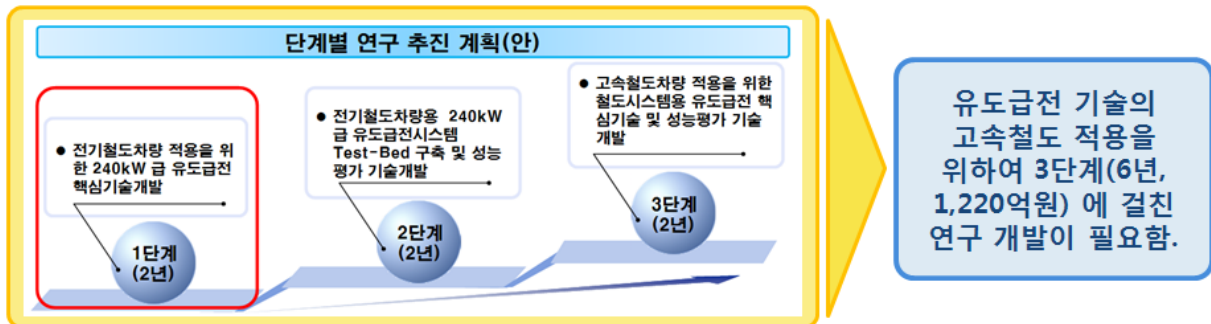
■ 2단계 사업 (400억원)

- 사업 목표 : 전기철도차량용 240kW급 유도급전시스템 Test-Bed 구축 및 성능평가 기술 개발
- 주요 연구내용
 - 전기철도용 급전 실용화기술 개발 (270kW 급전인버터의 전기철도차량 적용, 급집전 효율 90 % 이상)
 - 전기철도용 집전 실용화기술 개발 (240kW급 집전모듈의 전기철도차량 적용 및 실용화)
 - 다중동력원 및 통합제어 실용화기술 개발 (240kW급 DC-DC 컨버터, 고효율 에너지 저장시스템 개발 및 차량 적용 기술 개발 등)
 - 에너지 및 운영관리 실용화기술 개발 (무인도킹 시스템 및 철도차량용 고효율 EMS 실용화 등)
 - SE 및 시험 검증 핵심기술 개발 (240kW급 유도 급/집전시스템 적용 전기철도차량의 실용화 및 시험평가 기술개발 등)

■ 3단계 사업 (680억원)

- 사업 목표 : 고속철도차량 적용을 위한 유도급전 핵심 및 실용화 기술 개발
- 주요 연구내용
 - 고속철도용 급전 핵심 및 실용화기술 개발 (대용량 급전인버터 1.2MW, 급집전 효율 93 % 이상, 고속철도 적용 기술 개발 등)
 - 고속철도용 집전 핵심 및 실용화기술 개발 (대용량 집전모듈 1MW)

- 다중동력원 및 통합제어 핵심 및 실용화기술 개발 (대용량 1MW급 DC-DC 컨버터, 대용량 초경량화 에너지 저장시스템 기술 개발 등)
- 에너지 및 운영관리 핵심 및 실용화기술 개발 (급전선로 센싱, 무인도킹 시스템 및 대용량 EMS의 고효율 운전 기술 개발 등)
- SE 및 시험검증 핵심 및 실용화기술 개발 (1MW급 유도 급/집전시스템 적용 고속철도 차량의 실용화 및 시험평가 기술 개발 등)



구분	1단계 (2년)	2단계 (2년)	3단계 (2년)
연구 내용	1. 전기철도용 급전 핵심 기술 개발 • 급전인버터 : 270kW, 급집전 효율 : 90% 이상 2. 전기철도용 집전 핵심 기술 개발 • 집전모듈 : 240kW 1차 : 14 / 2차 : 36 (Total 50억원) 3. 다중동력원 및 통합제어 핵심 기술 개발 • 240kW급 DC-DC 컨버터, 에너지 저장 시스템 등 1차 : 30 / 2차 : 50 (Total 80억원) 4. 에너지 및 운영관리 핵심 기술 개발 • 급전선로 센싱, 무인도킹 시스템 등 1차 : 30 / 2차 : 30 (Total 60억원) 5. SE 및 인포, 시험검증 핵심 기술 개발 • 240kW급 시스템 실용화 등 1차 : 5 / 2차 : 5 (Total 10억원)	1. 전기철도용 급전 실용화 기술 개발 • 270kW 급전인버터의 전기철도차량 적용, 급집전 효율 : 90% 이상 달성 2. 전기철도용 집전 실용화 기술 개발 • 240kW 급 집전모듈의 전기철도차량 적용 및 실용화 1차 : 140 / 2차 : 140 (Total 280억원) 3. 다중동력원 및 통합제어 실용화 기술 개발 • 240kW급 DC-DC 컨버터, 고효율 에너지 저장 시스템 개발 및 차량 적용 기술 개발 1차 : 30 / 2차 : 30 (Total 60억원) 4. 에너지 및 운영관리 실용화 기술 개발 • 무인도킹 시스템 및 철도차량용 고효율 EMS 실용화 1차 : 30 / 2차 : 30 (Total 60억원) 5. SE 및 인포, 시험검증 실용화 기술 개발 • 240kW급 유도급/집전 시스템 적용 전기철도차량의 실용화 및 시험평가 기술 개발 1차 : 30 / 2차 : 30 (Total 60억원)	1. 고속철도용 급전 핵심 및 실용화 기술 개발 • 대용량 급전인버터 : 1.2MW, 급집전 효율 : 98% 이상, 고속철도 적용 기술 개발 2. 고속철도용 집전 핵심 및 실용화 기술 개발 • 대용량 집전모듈 : 1MW 1차 : 250 / 2차 : 250 (Total 500억원) 3. 다중동력원 및 통합제어 핵심 및 실용화 기술 개발 • 대용량 1MW급 DC-DC 컨버터, 대용량 초경량화 에너지 저장 시스템 기술 개발 1차 : 40 / 2차 : 50 (Total 90억원) 4. 에너지 및 운영관리 핵심 및 실용화 기술 개발 • 급전선로 센싱, 무인도킹 시스템 및 대용량 EMS의 고효율 운전 기술 개발 1차 : 40 / 2차 : 50 (Total 90억원) 5. SE 및 인포, 시험검증 핵심 및 실용화 기술 개발 • 1MW급 유도급/집전 시스템 적용 고속철도차량의 실용화 및 시험평가 기술 개발 1차 : 40 / 2차 : 50 (Total 90억원)
예산 연구비	1차년도 : 46억원 2차년도 : 94억원 총 140억원	1차년도 : 200억원 2차년도 : 200억원 총 400억원	1차년도 : 330억원 2차년도 : 350억원 총 680억원
총액	1,220억원		
	1단계 사업에서 우선 추진 (110억)		

그림 4-2. 유도급전 전기철도시스템 개발 사업의 전체 소요 연구예산 현황

제 5 장 1단계 사업의 최종목표 및 세부연구 내용

제 1 절 1단계 사업의 최종목표

- 기존의 접촉식 전력공급방식을 개선할 수 있는 비접촉식 유도급전 시스템의 철도 시스템 적용을 위하여 단계별 경량전철차량, 도시철도차량, 고속철도차량용 유도급전시스템 기술개발을 위한 1단계 240kW급 유도 급/집전 시스템 핵심 기술 개발 및 확보가 목표임

제 2 절 1단계 사업 세부연구 도출

- 세부과제 1 : 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술개발
- 세부과제 2 : 유도급/집전장치 핵심기술개발
- 세부과제 3 : 유도 급/집전 시스템 시험평가 기술 개발



그림 5-1. 1단계 사업 세부 연구과제 도출

제 3 절 1단계 사업 세부연구별 기술개발 목표 및 내용

1. 세부 연구과제 1 : 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술 개발

가. 연구개념

- 온라인 전기 철도차량의 전력공급 효율을 극대화하는 전력공급원과 전력공급원간의 인터페이스에 의한 시스템 통합기술 개발
- 전기철도용 급/집전 효율 극대화(정차 시 급/집전 효율 90% 이상)를 위한 유도급전 기술 적용 철도차량의 운행 주행 기술과 유도 급전된 에너지 최적화를 위한 에너지 모니터링 및 운영 관리 기술 개발

나. 연구목표 및 연구내용

- 급/집전 시스템 기술기준 개발 체계 정의
 - 시스템 개념설계 및 사양결정
 - 급/집전 시스템 관리 요소 정의 및 인터페이스 기술 개발
 - 전력 관리시스템 관리요소 정의 및 인터페이스 기술 개발
 - 유도급전 시스템 적용 신호/통신 시스템 및 인터페이스 기술 개발
 - 환경(EMF/EMI) 분야 요소정의 및 인터페이스 기술 개발
- 온라인 전기 철도용 다중동력원 전력변환 장치 개발
 - 240kW급 양방향 DC-DC 컨버터 개발
 - 대용량 에너지 저장장치(2차전지, 수퍼캡, Flywheel, SMES) 관리모듈 및 인터페이스 기술 개발
- 온라인 전기 철도용 다중동력원 시스템 통합기술 개발
 - 구동 시 에너지 효율 극대화를 위한 전력공급 알고리즘 개발
 - 다중동력원 통신 프로토콜 (LON Works, ARCnet, ProfiBus, CAN) 개발
- 온라인 철도의 에너지 모니터링 및 운영 관리 기술 개발
 - 온라인 철도의 운영 관리 시스템 개발
 - 실시간 에너지 흐름 및 동력원 별 에너지 상태 모니터링 및 관리 기술 개발

다. 년차별 연구 목표 및 내용

표 5-1. 세부과제 1의 년차별 연구 목표 및 내용

구분		1차년도(12개월)	2차년도(18개월)
연구목표		시스템 통합 기술 개발 및 240kW급 에너지변환을 위한 핵심 기술 개발	240kW급 유도 급/집전 시스템과 에너지변환 시스템간의 인터페이스 기술 개발 및 시스템 통합 및 검증
연구 세부 내용	급/집전 시스템 통합 기술 (5억)	- 시스템 개념 설계 및 사양 결정 - 급/집전 시스템 관리 요소 정의 및 인터페이스 기술 개발 - 전력/신호/통신 시스템 인터페이스 기술 개발	- 급/집전 시스템과 에너지 변환 시스템 간 인터페이스 기술 개발 및 시스템 통합 및 검증 기술 개발 - 환경(EMF/EMI) 분야 인터페이스 기술 개발
	에너지 모니터링 및 관리 기술 (10억)	- 온라인 철도의 운영 관리 시스템 기술 개발 - 실시간 에너지 흐름 및 동력원별 에너지 상태 모니터링 기술 개발	- 온라인 철도의 운영 관리 시스템 시제품 제작 및 성능평가 기술 개발 - 실시간 에너지 모니터링 및 관리 시스템 시제품 제작 및 성능 평가 기술 개발
	다중동력원 전력변환 장치 개발 (27억)	- 240 kW급 양방향 DC-DC 컨버터 설계 기술 개발 - 대용량 에너지 저장장치(2차전지, 슈퍼캡, Flywheel, SMES) 관리 모듈 기술 개발 및 관리 방안 연구	- 240 kW급 양방향 DC-DC 컨버터 시제품 제작 및 성능 평가 기술 개발 - 대용량 에너지 저장장치(2차전지, 슈퍼캡, Flywheel, SMES) 차량적용 구조 및 인터페이스 기술개발 및 성능평가 기술 개발
	다중동력원 통합제어장치 개발 (8억)	- 구동 시 에너지 효율 극대화를 위한 전력공급 알고리즘 기술 개발 - 다중동력원 통신 프로토콜 (LON Works, ARCnet, ProfiBus, CAN) 기초 기술 개발	- 에너지 효율 극대화를 위한 전력 공급 알고리즘 성능 검증 기술 개발 및 시제품을 활용한 성능 평가 - 다중동력원 통신 프로토콜 (LON Works, ARCnet, ProfiBus, CAN) 적용 기술 개발 및 성능 평가
예상 연구비		12.5 억원	37.5 억원

라. 연구 추진전략 및 추진방법

○ 연구 추진전략

- 철도 관련 유관기관들과 유기적 협조체제 구축
 - 연구 성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기업 및 인증시험기관과의 정기적인 성과교류회 실시 및 지속적인 의견수렴
 - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 적극 반영
- 유도급전 적용 전기철도시스템 개발을 위한 급/집전 시스템 통합 기술 및 다중동력원 전력변환장치 및 에너지 모니터링 분야에서의 핵심 원천기술을 확보함
- 유도급전 적용 전기철도시스템의 원천기술을 개발하기 위해 산학연 공동 연구를 추진
 - 연구성과를 현장에 적용할 수 있도록 철도관련 유관기관의 의견 수렴
 - 현장 문제점 및 개선점을 연구개발 시에 실시간으로 반영하여 실 적용시 설계변경을 최소화함
- 원천기술 개발 후, 시제품 개발 및 성능 검증을 통하여 연구성과의 객관성을 확보
 - 검증 시에는 철도 관련 전문인증기관을 통해 검증의 신뢰성 확보
- 기 수행한 과제인 2009년 KAIST 온라인 전기버스 개발과제의 연구성과 중 응용가능한 것을 재활용하여 중복연구의 낭비를 줄임

○ 연구 추진방법

- 주관기관에서 시험용 온라인 전기철도용 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심 기술 개발 및 검증을 수행하며, 시제품 개발 및 관련 시제품의 시험은 주관기관과 관련 산업체 및 연구소에서 상호 협력하여 수행
- 연구내용의 검증과 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
- 필요시 외국 전문가 또는 외국 기관 활용

표 5-2. 세부과제 1의 연구추진 체계 및 역할

구분	역할
주관 기관	- 유도 급/집전시스템 기술개발을 위한 총괄조정 및 일정관리, 업무조정, 사업관리 - 각 시스템 부분의 요소 정의 및 개념설계, 사양 결정 등의 기술기준 개발 체계 정의 - 온라인 전기철도용 다중동력원, 통합제어장치 원천기술 개발 및 검증 - 차량 인프라간 통신기반 망내 차량 자동검지 시스템 원천기술 개발 및 검증 - 급전선로 센싱 시스템 원천기술 개발 및 검증 - 급전효율 극대화를 위한 무인도킹 원천기술 개발 및 검증
산업체 /연구소	- 유도 급/집전 시스템의 각 시스템 부분의 인터페이스 연구 - 각 시스템 부분의 센싱 인터페이스 연구 및 통신 신뢰성 확보를 위한 연구 - 시스템 설계 사양의 검증 및 개선 방향 연구 - 온라인 전기철도용 다중동력원, 통합제어장치 실험시제품 제작 및 검증 - 차량 인프라간 통신기반 망내 차량 자동검지 시스템 실험 시제품 제작 및 검증 - 급전선로 센싱 시스템 실험 시제품 제작 및 검증
기타	- 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구 내용의 질적 향상 및 객관성 확보

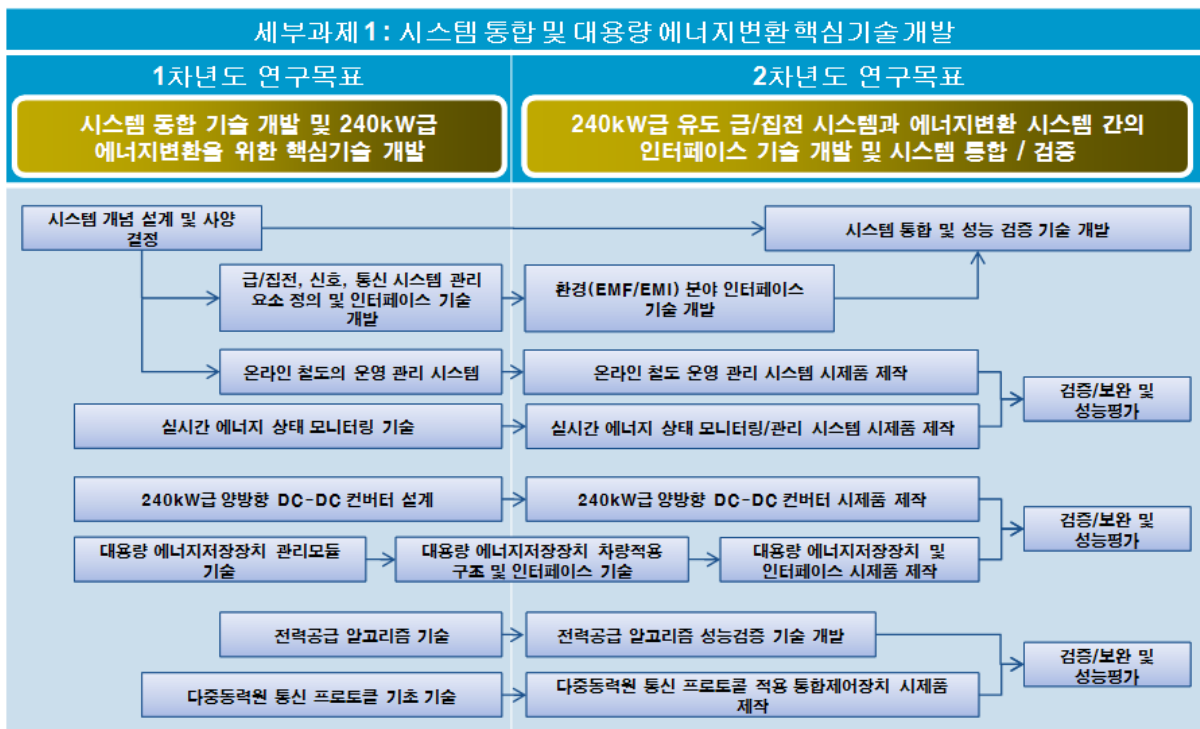


그림 5-2. 세부연구과제 1의 연구 TRM

2. 세부 연구과제 2 : 유도 급/집전 장치 핵심기술 개발

가. 연구개념

- 240kW급 유도 급/집전 시스템 개발을 위한 급전 인버터 및 급전 선로, 집전모듈의 최적 설계, 시제품 제작 및 성능 평가 기술

나. 연구목표 및 연구내용

- 270kW급 급전용 인버터 개발
 - 고주파 대전류용 전자식 세그먼테이션 기술 개발
 - 270kW급 인버터 회로 기술 및 제어 알고리즘 기술 개발
- 최적설계를 기반으로 한 급전선로 개발
 - 급/집전 자기회로 전달 효율 90% 이상 기술 개발
 - 고주파 고전압, 대전류용 케이블 및 코어 적용 기술 개발
 - 유도 급전시스템의 EMF/EMI 저감 기술 개발
- 240kW급 집전모듈 개발
 - 고출력 240kW급 집전모듈 기술 개발
 - 고압절연과 코어손실을 최소화 가능한 고성능 권선기법 개발
 - 유도 집전시스템의 EMF/EMI 저감 기술 개발
 - 철도차량용 집전모듈 제어기 개발(정전압 레귤레이터)

다. 년차별 연구 목표 및 내용

표 5-3. 세부과제 2의 년차별 연구 목표 및 내용

구분		1차년도(12개월)	2차년도(18개월)
연구목표		240kW급 전기철도용 유도 급/집전 장치 설계 기술 개발	240kW급 전기철도용 유도 급/집전 장치 시제품 제작 및 성능 평가 기술 개발
연구 세 부 내	270kW급 급전 인버터 개발 (10억)	- 고주파/대전류용 전자식 세그먼테이션 기초 기술 연구 - 270kW급 급전 인버터 회로 설계 및 제어 알고리즘 기술 개발	- 고주파/대전류용 전자식 세그먼테이션 기술의 시제품 활용을 통한 성능 검증 및 보완 - 270kW급 급전 인버터 시제품 제작 및 성능검증/보완

용			(용량 270 kW, 효율 93 % 이상)
	최적설계를 기반으로 한 고효율 급전선로 개발 (15억)	- 최적 급/집전 자기회로 설계 기술 개발(지상고 6.5cm 기준 전 달 효율 90% 이상) - 고주파 고전압, 대전류용 케이블 및 코어 적용 기술 개발 - 유도 급전 시스템의 EMF/EMI 저감기술 개발	- 고효율 급전 선로 시제품 제작 및 성능검증/보완 - 유도 급전 시스템의 EMF/EMI 저감 기술 적용 시제품 제작 및 성능검증/보완
	240kW급 집전모듈 개발 (25억)	- 고출력 240kW급 집전모듈 설계 기술 개발 - 고압절연과 코어손실 최소화 가능한 고성능 권선 기법 개발 - 유도 집전 시스템의 EMF/EMI 저감기술 개발 - 철도차량용 집전모듈 제어기 설계 기술 개발 (정전압 레귤레이터)	- 고출력 240kW 급 집전모듈 시제품 제작 및 성능검증/보완(집전 효율 90 % 이상) - 유도 집전 시스템의 EMF/EMI 저감 기술 적용 시제품 제작 및 성능검증/보완 - 철도차량용 정전압 레귤레이터 시제품 제작 및 성능검증/보완
예상 연구비		12.5 억원	37.5 억원

라. 연구 추진전략 및 추진방법

○ 연구 추진전략

- 유도급전 적용 전기철도시스템 개발을 위한 급/집전 장치용 급전 인버터, 급전선로, 집전 회로 및 정류회로 분야에서의 핵심 원천기술을 확보함
- 유도급전 적용 전기철도시스템의 급/집전 장치 원천기술을 개발하기 위해 산학연 공동 연구를 추진
 - 연구성과를 현장에 적용할 수 있도록 철도 유관기관의 의견 수렴
 - 현장 문제점 및 개선점을 연구개발 시에 실시간으로 반영하여 실적용 시 설계변경을 최소화함
- 급/집전 원천기술 개발 후, 시제품 개발 및 성능 검증을 통하여 연구성과의 객관성을 확보
 - 검증 시에는 철도 관련 전문인증기관을 통해 검증의 신뢰성 확보
- 기 수행한 과제인 2009년 KAIST 온라인 전기버스 개발과제의 연구성과 중 응용 가능한 것을 재활용하여 중복연구의 낭비를 줄임

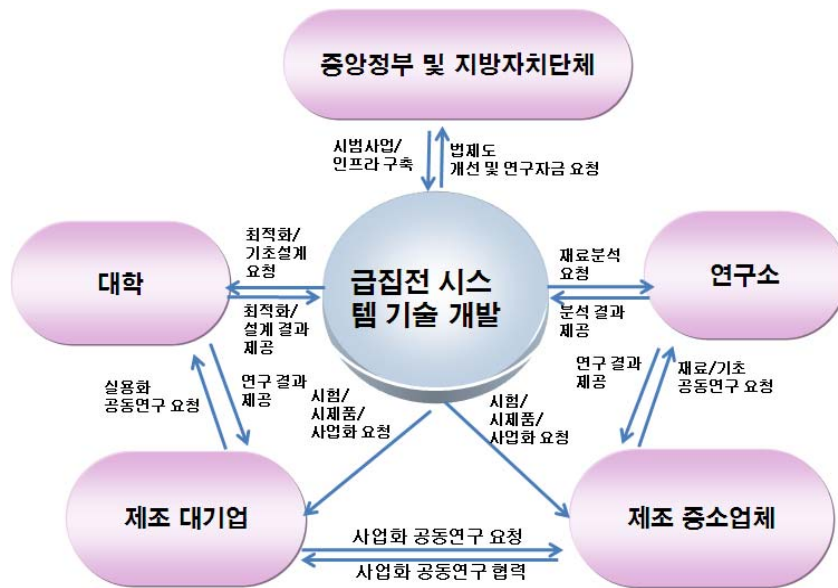


그림 5-3. 급/집전 시스템 핵심기술 개발 관련 연구 추진 체계

○ 연구 추진방법

- 주관기관에서 시험용 온라인 전기철도용 급집전 원천기술을 개발 및 검증하며, 시제품 개발 및 시험은 주관기관과 관련 산업체 및 연구소에서 상호 협력하여 수행
- 연구내용의 검증과 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영
- 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구 과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
- 필요시 외국 전문가 또는 외국 기관 활용

표 5-4. 세부과제 2의 연구추진 체계 및 역할

구분	역할
주관 기관	- 전기철도차량용 대용량, 고효율 급전인버터 원천기술 개발 및 검증 - 전기철도차량용 대용량, 고효율 급전선로 원천기술 개발 및 검증 - 전기철도차량용 대용량, 고효율 집전모듈 원천기술 개발 및 검증 - 전기철도차량용 대용량, 고효율 집전 레귤레이터 원천기술 개발 및 검증
산업체 /연구소	- 전기철도차량용 대용량 급전 인버터 실험 시제품 제작 및 검증 - 전기철도차량용 대용량 고효율 급전선로의 실험 시제품 제작 및 검증 - 전기철도차량용 대용량 집전 레귤레이터 실험 시제품 제작 및 검증 - 전기철도차량용 대용량 고효율 집전 모듈 실험 시제품 제작 및 검증
기타	- 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구 내용의 질적 향상 및 객관성 확보



그림 5-4. 세부연구과제 2의 연구 TRM

3. 세부 연구과제 3 : 유도 급/집전 시스템 시험평가 기술 개발

가. 연구개념

- 유도 급전방식을 적용한 철도차량의 전력 급/집전 시스템, 에너지 저장/관리 시스템, 차량 추진 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성 요소의 안정성 및 성능을 검증하고 시험 평가하는 기술

나. 연구목표 및 연구내용

- 전기철도용 유도 급/집전시스템 개별/통합 성능평가 및 안전성능 검증
 - 시스템 성능시험을 위한 평가체계 수립 및 시험평가 종합관리
 - 시스템 시험평가 항목 및 평가기준 기술 개발
 - 유도 급/집전 시스템 통합 성능 평가 수행
 - 유도 급/집전 시스템 안전성능 검증기술 개발

다. 년차별 연구 목표 및 내용

표 5-5. 세부과제 3의 년차별 연구 목표 및 내용

구분	1차년도(12개월)	2차년도(18개월)
연구목표	전기철도용 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능 평가 항목 및 평가 방법 도출	전기철도용 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가
연구세부내용	● 전기철도용 유도 급/집전시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능 평가 항목 및 평가 방법 연구 - 철도차량용 구동시스템과의 통합 평가 방안 개발 - 급/집전 시스템 효율 시험평가 항목 및 평가 기준 핵심 기술 개발 - 급전 인버터, 세그먼트, 집전장치 신뢰성 시험 방안 개발	● 전기철도용 유도 급/집전시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가 - 철도차량용 구동시스템과의 통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가 - 급/집전 시스템 개별 / 통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가 - 급전 인버터, 세그먼트, 집전장치 개별 / 통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가
예상 연구비	5 억원	5 억원

라. 연구 추진전략 및 추진방법

○ 연구 추진전략

- 전기철도용 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능 항목 및 평가 방안 개발, 안전성 검증/보완 및 시험 평가 관련 핵심 원천기술을 우선적으로 확보함
- 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 시험평가 기술을 개발하기 위해 산학연 공동 연구를 추진하며, 철도차량 제작사 및 시험평가 관련 유관기관들과의 유기적 협조체제 구축
 - 연구성과를 현장에 적용할 수 있도록 철도 유관기관의 의견 수렴
 - 현장 문제점 및 개선점을 연구개발 시에 실시간으로 반영하여 실적용 시 설계 변경을 최소화함
- 시험평가 관련 원천기술 개발 후, 시제품 개발 및 성능 검증을 통하여 연구성과의 객관성을 확보
 - 검증 시에는 철도 관련 전문인증기관을 통해 검증의 신뢰성 확보
- 기 수행한 과제인 2009년 KAIST 온라인 전기버스 개발과제의 연구성과 중 응용 가능한 것을 재활용하여 중복연구의 낭비를 줄임

○ 연구 추진방법

- 주관기관에서 시험용 전기철도용 유도 급/집전시스템 통합 및 평가기술을 개발 및 검증하며, 시제품 개발 및 시험은 주관기관과 관련 산업체 및 연구소에서 상호 협력하여 수행
- 연구내용의 검증과 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영
- 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구 과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
- 필요시 외국 전문가 또는 외국 기관 활용

표 5-6. 세부과제 3의 연구추진 체계 및 역할

구분	역할
주관 기관	- 유도 급/집전시스템 성능 평가 체계 수립 및 안전성능 관련 종합관리 - 유도 급/집전 시스템 효율 시험평가 핵심 기술 개발 - 급전 인버터, 세그먼트, 집전장치 신뢰성 핵심 기술 개발 - 급·집전시스템 시험·인증 규격 및 평가 핵심 기술 개발 - 전기철도용 대용량 전기구동 시스템 시험·인증 규격 및 평가 핵심 기술 개발
산업체 /연구소	- 유도 급/집전시스템 시험평가 항목 및 평가기준 기술개발 연구 지원 - 각 시스템 부분의 원활한 통합을 위한 인터페이스 연구 - 시험평가를 위한 각 시스템 부분의 센싱 인터페이스 연구 - 각 시스템간의 통신 신뢰성 확보를 위한 연구
기타	- 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구 내용의 질적 향상 및 객관성 확보

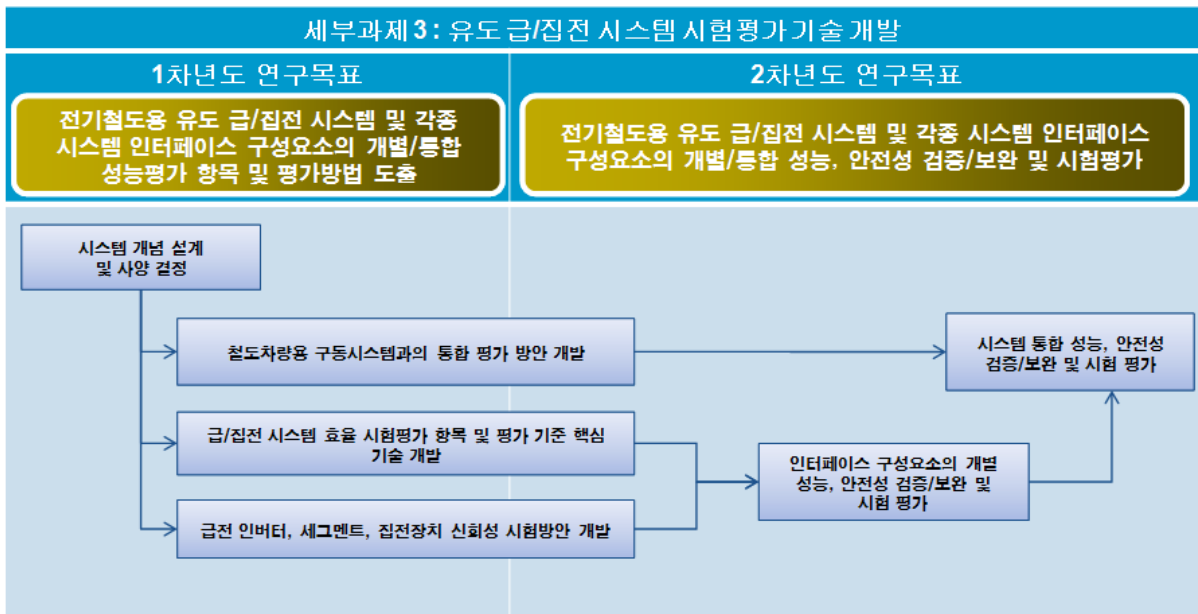


그림 5-5. 세부연구과제 3의 연구 TRM

제 4 절 1단계 사업의 연구성과 목표

● 세부 연구과제 1 : 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술 개발

표 5-7. 세부 연구과제 1의 연구성과 목표 및 평가방법

평가항목 (주요성능)	단위	세계 최고 수준	연구개발전 국내수준	성과 목표	평가방법
에너지 모니터링 및 관리 기술 (저장 에너지 검출 오차)	%	-	10	5	에너지 저장장치의 SOC 비교
다중동력원 통합제어장치 신뢰도	%	-	95	97	급감속에 의한 통합제어기 신뢰성 분석
다중동력원 인터페이스 신뢰도	%	-	93	95	다중동력원간의 통신프로토콜에 의한 에러율 측정
양방향 DC-DC 컨버터	kW	-	120	240	DC-DC 컨버터 용량 240kW 확인

● 세부 연구과제 2 : 유도 급/집전 장치 핵심기술 개발

표 5-8. 세부 연구과제 2의 연구성과 목표 및 평가방법

평가항목 (주요성능)		단위	세계 최고 수준	연구개발전 국내수준	성과 목표	평가방법
급전 선로	출력용량	kW	-	100	270	정격 출력 시
	세그먼테이션 절체 시간 기술	ms	-	200	200	전기철도용 최적 설계 EMF 및 집전 전력 만족 여부 확인
	자기장 차폐	mG	-	62.5	62.5	급전인버터-급전선로 -온라인 철도간 통신
급전 인버터	출력용량	kW	-	100	270	정격 출력 시
	효율	%	90 이상	93	93	정격 출력 시
	인버터 응답 시간	ms	-	200	200	정격 주행 시
집전 모듈	모듈 출력용량	kW	-	15	40	정격 출력 시 240kW 출력 여부 확인
	시스템 출력용량	kW	-	60	240	정격 출력 시
	자기장 차폐	mG	-	62.5	62.5	정격 출력 시

● 세부 연구과제 3 : 유도 급/집전 시스템 시험평가 기술 개발

표 5-9. 세부 연구과제 3의 연구성과 목표 및 평가방법

평가항목 (주요성능)	단위	세계 최고 수준	연구개발전 국내수준	성과 목표	평가 방법
자기장 강도	mG	62.5	62.5	62.5	자기장 차폐장치 외의 부분에서 측정
EMI	dB μ V	기준 만족	없음	Class 3	CISPR D25 기준에 맞춘 실측
급/집전효율	%	93	80	90 % 이상	지상고 6.5cm 기준. 급전 인버터 입력 전력 대비 실제 출력비 실측
인증용 시험장비 측정오차	%	0.1	0.2	0.1	정밀 계측기로 실측



그림 5-6. 전기철도용 유도 급/집전 시스템 핵심기술 개발 항목 및 개발 기술의 목표 정리

제 6 장 추진전략 및 방법

제 1 절 SWOT 분석

1. 시장 및 기술의 특징

- 국내외의 신교통기술 시장은 정보통신기술과의 융합을 통하여 급속히 성장하고 있으며, 미래의 성장동력으로 세계시장 선점을 위한 경쟁이 날로 치열해지고 있음.
- 해외 시장의 경우, 경량전철은 유럽을 중심으로 일본, 싱가포르, 말레이시아, 미국, 캐나다 등에서 운행 중이며, 기존 지하철과의 연계 교통망 구축, 신 개발지역과 도심의 연결을 주목적으로 도입되었음. 전 세계 경량전철 시장의 규모는 연간 1조 4천억원 수준이며, 매년 6% 내외의 증가율을 나타내고 있음 [김정태, 2008]
- 해외 경량전철 시장에서 각 시스템 별로 차지하는 비중을 살펴보면 AGT 13%, LIM 1.4%, 모노레일 9.4%에 불과하며, 나머지 76.2%를 노면 트램이 차지하고 있으며, 전 세계적으로 경량전철을 운행하고 있는 도시는 334개 달하고 있음 [한국철도기술연구원 2007].
- 전 세계적으로 경량전철은 환경정책 및 교통 혼잡문제를 해결하는 핵심적인 대안으로 개발되어 실제로 상용노선에서 괄목할만한 실적을 올리고 있으며, 유럽이 전통적으로 가장 큰 시장이며, 아시아의 경우 아직 대도시에 경전철의 비중이 매우 낮아 중국, 일본, 홍콩, 인도 등이 주요 잠재 시장이며, 그 외 지역에서도 많은 국가들이 경량전철에 대한 신규 계획을 가지고 있음.
- 국내 시장의 경우, 향후 10여 년간 총 60조 원 규모의 경전철 시장을 형성할 것으로 예상되며 [문화일보, 2005년 5월 24일자], 의정부와 용인, 광명 등 전국 21개 지자체들이 연계 교통망 확충을 위해 13조 8810억 원 규모의 경전철 사업을 추진 중이며, 건설비 및 차량 구입비와 유지 보수 경비를 감안할 경우 최소 60조원 이상의 시장 규모인 것으로 추정됨. 현재 전국적으로 78개 노선의 경전철이 추진 중이거나 계획되고 있음.
- 도심지의 교통난이 가중되고 환경 및 에너지 문제가 심각해질수록 건설비와 운영비가

저렴한 경전철 사업에 대한 관심과 관련 시장 규모가 증가할 것으로 전망되며, 현재 많이 사용되고 있는 가공전차선 방식 경량전철의 경우 건설 및 유지보수 비용이 많이 소요되고 외부 환경의 변화에 따른 시스템의 안전성이 낮아 새로운 시스템 개발이 요구되고 있음. 비접촉 유도급전 철도시스템 개발을 통해, 도시 미관을 살리고, 상대적으로 저렴한 건설비로 경량전철을 구현 가능하여 국내 건설 시 비용 절감과 관련 기술의 수출 산업화가 가능할 것임.

2. 기회 및 위협 요인

- CO₂ 방출의 주범인 기존 교통시스템의 한계에 따른 지구 온난화로 지금 전 세계는 이상기후에 몸살을 앓고 있는 가운데 범세계적인 차원에서 친환경적인 교통 수단의 필요성이 증대되고 있음
- 친환경적인 교통수단인 전기철도 시스템에 대한 관심이 증가되고 있으며, 이에 따른 우리 정부의 전기철도에 대한 투자도 확대되고 있으며, 지방자치 단체들의 도심 교통 수단으로써의 경량전철에 대한 관심 및 지원이 확대되고 있음
- 과거의 단순한 수송 수단으로써의 교통시스템에 대한 관점으로부터 주변 환경 및 도심 미관과의 교통시스템의 조화 및 연계에 대한 중요성이 부각됨에 따라 환경친화적인 비접촉식 전력공급방식인 유도급전 방식을 적용한 철도차량에 대한 관심이 집중되고 있으며, 이에 따른 관련 해외 시장도 증가하고 있음
- 하지만, 친환경적인 교통수단인 전기철도 시스템에 대한 전세계적 관심이 증가됨에 따라 세계 각국의 전기철도 관련 기술 개발에 대한 투자도 확대되고 있으며, 이로 인해 전 세계 철도산업의 경쟁이 날로 심화되고 있는 상황임
- 봄바디어와 같은 철도차량 분야의 대규모 다국적 기업들이 해외 시장에서 이미 유도급전 기술을 적용한 철도차량 분야의 유사 기술을 보유하고 있는 상황이므로 향후 기술 개발 후 실용화를 거쳐 해외 시장 진출 시 치열한 경쟁이 불가피하며, 경량전철 분야에서도 유도급전 기술 외에 APS 기술 및 배터리 차량 기술 등의 유사 기술들이 다양하게 존재하므로, 표준 기술로 자리 잡는데 어려움이 존재할 것으로 예상됨

3. 강점 및 약점 분석

- 국내 KAIST의 경우, 온라인 전기자동차사업을 통하여 유도 급/집전장치 관련 원천 핵심기술을 이미 축적한 상황이며, 서울대공원의 코끼리열차에 유도 급/집전장치를 적용시킨 시범사업의 경험도 보유하고 있음
- 전기철도차량용 유도 급/집전 시스템 기술은 가공전차선이 필요없는 환경 친화적인 기술로써, 유도 급/집전 시스템을 적용함으로써 도시 미관을 살릴 수 있는 도심 친화적인 철도시스템 개발이 가능한 기술이며, 향후, 중전철 및 고속전철에 적용될 수 있는 잠재력을 가지고 있는 기술임
- 한국철도기술연구원과 KAIST를 주축으로 산-학-연-관 협동체제 확립을 통한 효과적인 연구 추진 체계 마련이 가능하며, 관련 파생산업에 유도 급/집전 기술의 접목이 가능함
- 하지만 국내의 경우, 철도차량용 대용량 유도 급/집전 시스템이 아닌 도로교통용 소용량 유도급/집전 핵심 기술과 시범 시제품개발 경험을 보유하고 있는 수준이며, 실용화 개발 경험이 없는 상황이며, 해외 선진업체들과의 경쟁 시 자금 조달 능력 및 국내 철도 사업 부품 및 지원 업체의 경쟁력이 상대적으로 낮음

강점	약점
● 온라인 전기자동차 사업을 통한 관련 원천 핵심 기술 축적 및 시범 사업 경험 보유 ● 환경 친화적이며 도시 미관을 살릴 수 있는 도심 친화적인 철도 기술 ● 향후, 중 전철 및 고속 전철에 적용될 수 있는 잠재력을 가지고 있는 기술임 ● KAIST, 철기연 등 산-학-연-관 협동체제 확립을 통한 효과적인 연구 추진 체계 마련 ● 파생산업에 접목 가능	● 핵심 기술과 시범시제품개발 경험을 보유하고 있으나, 실용화 개발 단계에 있음 ● 해외 선진업체들과의 경쟁 시 자금 조달 능력 및 국내 철도 사업 부품 및 지원 업체의 경쟁력이 상대적으로 낮음
기회	위험
● 지구 온난화에 따른 친환경적인 교통 수단의 필요성 증대 ● 친환경적인 교통 수단인 전기 철도에 대한 관심 증가 및 정부 투자 확대 ● 지방자치 단체들의 도심 교통 수단으로서의 경량 철도에 대한 지원 확대 ● 환경 및 도심 미관에 대한 중요성 증가 ● 관련 해외 시장의 증가	● 세계철도 산업의 경쟁 심화 ● 봄바디어 등 해외 시장에서 이미 유사 기술을 보유하고 있는 기업들이 이미 존재하여 치열한 경쟁이 불가피함 ● 경량 전철 분야에서도 유사 기술들이 다양하게 존재하므로, 표준 기술로 자리 잡는데 어려움이 존재함

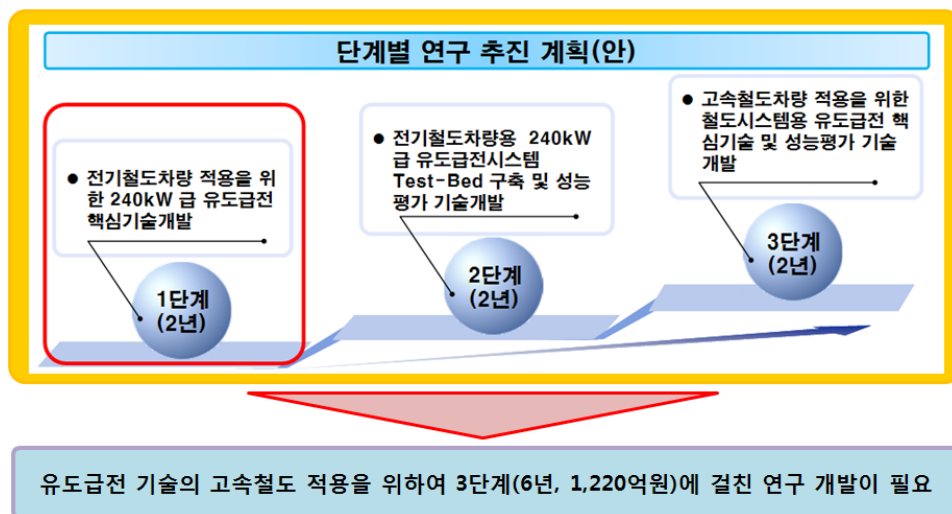
그림 6-1. 전기철도용 유도 급/집전 시스템 핵심기술 개발 SWOT 분석

제 2 절 연구개발 전략

- 연구의 규모, 기술개발 기간 및 기술적 필요성 등을 감안할 때, 본 연구는 국가 연구개발과제로 진행하는 것이 효율적이라고 봄
- 본 연구는 기존의 접촉식 전력공급방식을 개선할 수 있는 비접촉식 유도급전 시스템의 철도시스템 적용을 위한 유도 급/집전시스템 핵심기술 개발을 통하여 최종적으로 고속철도차량용 유도 급/집전시스템의 기술 확보가 목표임
- 본 연구는 총 3단계 사업으로 계획이 됐으며, 1단계 사업으로 240kW급 유도 급/집전시스템 핵심기술 개발 사업, 2단계 사업으로 유도 급/집전시스템 핵심기술의 실용화를 위하여 240kW급 전기철도차량 적용 Test-Bed 구축 및 성능평가 기술개발 사업, 최종적으로 고속철도차량용 유도급전시스템 기술 개발 사업으로 구성이 됨
- 총 3단계 사업 중 우선적으로 1단계 사업(240kW급 유도 급/집전시스템 핵심기술 개발)을 추진하며, 1단계 연구 사업은 총 3개의 세부연구과제로 나누어지며, 총 2.5년간 1차년도에 유도 급/집전시스템 각 부분의 요소기술을 개발하고, 2차년도에 관련 시제품 제작 및 성능평가를 수행하도록 계획함
- 최종 성과물의 개발이 완료되기 전에 각 부분 기술 및 시제품의 개발 중간단계에서 완료되면 개별 시제품의 적극적인 Test 및 통합시스템 적용성 평가를 실시할 계획임
- 기술개발을 위한 연구개발 전략은 다음과 같음
 - 전기철도용 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능 항목 및 평가 방안 개발, 안전성 검증/보완 및 시험 평가 관련 핵심 원천기술을 우선적으로 확보함
 - 유도 급/집전 장치 및 대용량 에너지변환 핵심기술을 개발하기 위해 산학연 공동 연구를 추진하며, 철도차량 제작사 및 철도 운영 및 시험평가 관련 유관기관들과의 유기적 협조체제 구축
 - 연구성과를 현장에 적용할 수 있도록 철도 유관기관의 의견 수렴
 - 현장 문제점 및 개선점을 연구개발 시에 실시간으로 반영하여 실적용 시 설계

변경을 최소화함

- 급/집전 원천기술 개발 후, 시제품 개발 및 성능 검증을 통하여 연구성과의 객관성을 확보
 - 검증 시에는 철도 관련 전문인증기관을 통해 검증의 신뢰성 확보 및 연구내용의 검증과 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영. 필요 시 외국 전문가 또는 외국 기관 활용
- 기 수행한 과제인 2009년 KAIST 온라인 전기버스 개발과제의 연구성과 중 응용가능한 것을 재 활용하여 중복연구의 낭비를 줄임



구분	1단계 (2년)	2단계 (2년)	3단계 (2년)
연구 내용	1. 전기철도용 급전 핵심 기술 개발 • 급전인버터: 270 kW, 급집전 효율: 90 % 이상 2. 전기철도용 집전 핵심 기술 개발 • 집전모듈: 240 kW 3. 다중동력원 및 통합제어 핵심 기술 개발 • 240 kW급 DC-DC 컨버터, 에너지 저장 시스템 등 4. 에너지 및 운영관리 핵심 기술 개발 • 급전선로 센싱, 무인도킹 시스템 등 5. SE 및 시험검증 핵심 기술 개발 • 240kW 급 시스템 실용화 등	1. 전기철도용 급전 실용화 기술 개발 • 270kW 급전인버터의 전기철도차량 적용, 급집전 효율: 90 % 이상 달성 2. 전기철도용 집전 실용화 기술 개발 • 240kW 급 집전모듈의 전기철도차량 적용 및 실용화 3. 다중동력원 및 통합제어 실용화 기술 개발 • 240 kW급 DC-DC 컨버터, 고효율 에너지 저장 시스템 개발 및 차량 적용 기술 개발 4. 에너지 및 운영관리 실용화 기술 개발 • 무인도킹 시스템 및 철도차량용 고효율 EMS 실용화 5. SE 및 시험검증 실용화 기술 개발 • 240kW급 유도급/집전 시스템 적용 전기철도 차량의 실용화 및 시험평가 기술 개발	1. 고속철도용 급전 핵심 및 실용화 기술 개발 • 대용량 급전인버터: 1.2 MW, 급집전 효율: 93 % 이상, 고속철도 적용 기술 개발 2. 고속철도용 집전 핵심 및 실용화 기술 개발 • 대용량 집전모듈: 1 MW 3. 다중동력원 및 통합제어 핵심 및 실용화 기술 개발 • 대용량 1 MW급 DC-DC 컨버터, 대용량 초경량화 에너지 저장 시스템 기술 개발 4. 에너지 및 운영관리 핵심 및 실용화 기술 개발 • 급전선로 센싱, 무인도킹 시스템 및 대용량 EMS의 고효율 운전 기술 개발 5. SE 및 시험검증 핵심 및 실용화 기술 개발 • 1 MW급 유도급/집전 시스템 적용 고속철도차량의 실용화 및 시험평가 기술 개발
예산 연구비	140 억원	400 억원	680 억원
총액	1,220 억원		

그림 6-2. 유도급전 기술의 고속철도 적용을 위한 3단계 사업 추진 전략

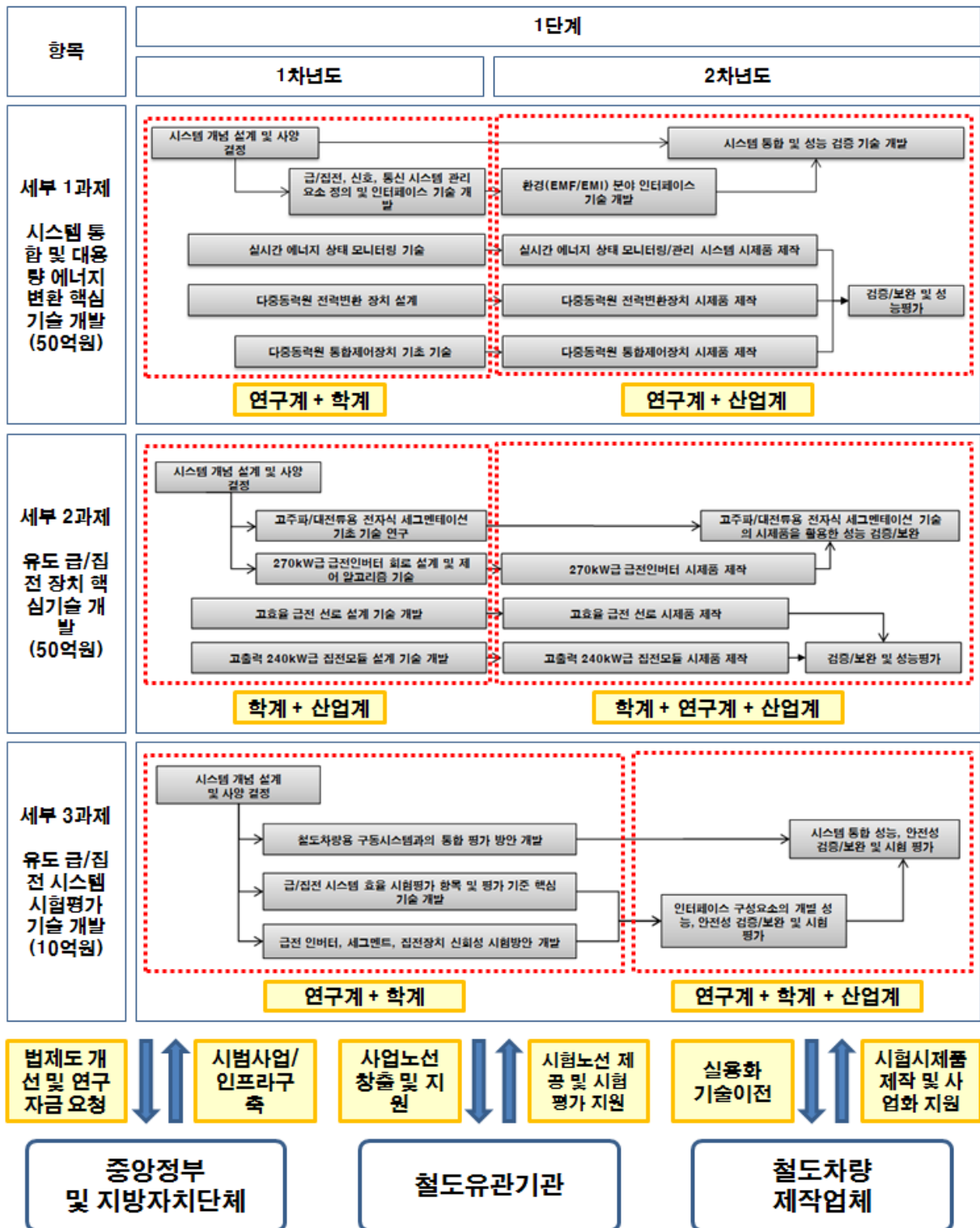


그림 6-3. 1단계 사업을 위한 연구개발의 구체적 구현 전략

제 7 장 기대효과 및 사업 전망

제 1 절 기술 실용화 가능성 및 전략

1. 국내 기술 개발을 위한 연구 역량

- 한국철도기술연구원은 2005년 건설교통부의 차세대 도시철도 시스템 기술개발사업의 소형궤도열차시스템분야 연구(1년)에서 유도급전장치와 관련된 연구를 시작하였으며, 현재, 10kW, 20kW급 주파수 추적제어 전력변환장치와 가변 공극 제어용 지그 및 고주파용 자성체, ultra-capacitor를 이용하여 연구 중임.
- 또한 비접촉 유도급전 기술과 관련하여 효율 80%, 20kW 비접촉 유도급전장치 개발/보유(공극 20mm)하고 있으며, 시스템 요소장치의 특성해석은 물론 설계기술을 확보 중이며, 유도급전 기술과 다양한 에너지 저장시스템(수퍼캐, 플라이휠, SMES 등) 기술을 접목한 Energy Management System 개발 연구를 진행 중임.
- KAIST의 온라인 전기자동차 사업단의 경우, 2009년에 그린파워(주), 현대중공업, 대우버스, 코캠 등과 협력하여 온라인 전기자동차용 공진형 자기유도 기술을 적용한 실험모델 개발에 성공하였으며, OLEV 전기버스, 서울대공원의 코끼리 열차 등의 실험모델에 적용하여 성능시험을 진행 중임. 개발 기술은 정차 및 가속구간 유도급전 방식으로 15kW/Unit × 4 Unit의 집전장치로 최대 60kW급 성능을 보유하고 있음.

2. 실용화 추진 시 예상문제점 및 해결 전략

표 7-1. 개발기술의 실용화 추진 시 예상문제점 및 해결 전략

구분	예상 문제점	해결 전략
효율	○ 유도급전 시스템의 효율개선 문제 - 현재 국내 교통시스템에 적용중인 유도급전 기술의 효율 : 70% (KAIST 온라인 버스)	○ 정차시와 가속시 고밀도 급속 충전(고효율 유도급/집전 장치 개발)에 의해 90%이상의 효율 달성 방안 수립
용량	○ 철도차량 적용을 위한 대용량 유도급전 시스템의 필요 - 도로주행용 주행 중 급전기술의 경우 100kW급 개발 중 - 경전철의 경우 200kW급 이상의 유도급전 시스템 필요	○ 철도차량용 역사 및 가속구간의 고밀도 유도급전장치 Stack 기술 적용을 통한 200kW급 이상 용량 확보 방안 수립
EMI/EMC/EMF 문제	○ 철도차량에 유도급전 시스템 기술을 적용함에 따른 인체 및 철도차량 주변장치(신호/통신)에 대한 EMI/EMC/EMF 문제	○ 유도급/집전 장치의 최적설계를 통한 인체 및 철도차량 주변장치(신호/통신)에 대한 유도급전 기술의 EMI/EMC/EMF 최소화 기술 확보 방안 수립
에너지 관리 및 제어기술	○ 유도급전 적용 철도시스템의 주행 중 고효율/최적 에너지 관리 제어 기술의 문제	○ 유도급전 기술과 다양한 에너지 저장시스템(수퍼캡, 플라이휠, SMES 등) 기술을 접목한 고효율/최적 에너지 관리 제어 기술 연구 방안 수립

3. 실용화 달성을 위한 전략

○ 유도급전 기술의 고속철도차량 적용을 최종 목표로 하여, 단계별로 경량전철차량, 도시철도차량, 고속철도차량용 유도급전시스템 기술을 개발하여 실용화 전략 수립

○ 1단계 사업은 경량전철차량 적용을 위한 240kW급 유도급전 핵심기술 개발 사업으로써, 다음과 같은 기술 개발이 이루어진다면 국내 보유 기술의 접목으로 실용화 달성이 가능하다고 판단됨.

- 정차시와 가속시 고밀도 급속 충전(고효율 유도급/집전 장치 개발)에 의해 90%이상의 효율 달성
- 철도차량용 역사 및 가속구간의 고밀도 유도급전장치 Stack 기술 적용을 통한 240kW급 이상 용량 확보

- 유도급전 장치의 최적설계를 통한 인체 및 철도차량 주변장치(신호/통신)에 대한 유도급전 기술의 EMI/EMC/EMF 최소화 기술 확보
 - 유도급전 기술과 다양한 에너지 저장시스템(슈퍼커패시터, 플라이휠, SMES 등) 기술을 접목한 고효율/최적 에너지 관리 제어 기술 확보
- 단 기간의 연구로 기술 개발 및 실용화에 도달하기 위하여 정부의 지속적 R&D 투자가 필요하며, 정부부처와의 긴밀한 관계유지를 통하여 지속적 R&D 투자를 유도할 계획임
- 개발된 시스템의 성능평가용 시험노선 확보를 위하여 정부 관계부처 및 철도 유관기관과의 긴밀한 협조관계 유지가 필요하며, 개발 기술의 철도차량 적용을 위하여 유관 철도차량 제작 기업의 적극 참여 유도 및 공동 연구 체계 수립 필요

제 2 절 기대효과 및 파급효과

1. 기대효과 검토방향

- 다양한 대중교통수단중 하나의 새로운 시스템으로 개발되는 온라인 철도시스템은 대중교통 수요자인 시민들에게 새로운 시스템에 대한 서비스를 제공할 뿐만 아니라 대중교통체계의 강화를 통하여 개인교통 이용자에게 대중교통을 이용하도록 전환시키는 효과를 창출시킴.
- 이러한 개인교통에서 대중교통으로의 전환으로 인하여 기존 도시에서 발생하는 교통혼잡, 도시공해 등 많은 교통문제를 완화시키게 될 것이며, 이러한 교통혼잡 완화에 의한 혼잡비용의 감소, 도시공해 완화에 따른 환경비용의 절감 등 직접적인 효과 이외에도 관련기술의 발달로 인하여 산업발달과 지역경제 활성화 등 많은 추가적인 효과를 기대할 수 있음.
- 본 절에서는 정량화된 값으로는 산출할 수 없지만 본 시스템의 개발로 인하여 기대할 수 있는 정성적인 기대효과를 중심으로 사회적 기술적 기대효과에 대하여 분석하고자 하며, 사회적 기대효과로서는 최근 들어 사회적 중요성이 부각되고 있는 친환경성과 에너지 효율성, 고령화 사회에 따른 사회적 약자에 대한 서비스 제공 등에 대한 검토를 하였으며 기술적 기대효과에서는 온라인 전기철도의 기술개발에 따라 나타날 수 있는 기술적 기대효과에 대하여 검토함.

2. 사회적 기대효과

가. 친환경성 및 에너지 효율성 측면

- 온라인 전기철도시스템은 최근 들어 주요 사회적 이슈가 되고 있는 친환경성에 대한 관심도의 증가에 부응할 수 있는 시스템으로서 주요 시범사업으로도 활용할 수 있는 시스템임.
- 온라인 전기철도시스템은 배터리에 의해 구동하는 전기철도이므로 디젤 및 가솔린 기관의 교통수단보다 이산화탄소 등 각종 환경오염물질의 발생이 적은 친환경적인 전기철도 교통수단임. 이것은 특히 온라인 전기철도가 대중교통이기 때문에 더 큰 영향력을 나타낼 것이며, 개인교통을 대중교통으로 전환시켜 각 개인교통이 발생하는 환경오염물질을 억제할 수 있으며, 아울러 시스템 자체적으로 환경오염물질의

발생을 억제하는 시스템으로서 친환경성의 특징은 더욱 부각될 수 있을 것임.

- 온라인 전기철도시스템은 일반 전기철도시스템이 가지고 있는 하나의 단점인 집전 장치에서의 환경오염물질 발생을 원천적으로 봉쇄하고 있으며, 온라인 전기철도는 무접촉방식의 유도 급/집전 장치에 의해 전력을 공급받아 다양한 에너지 저장시스템에 저장하여 구동하는 시스템임. 즉 전기철도의 경우 가선으로부터 전력을 공급받기 위해 팬터그래프를 통하여 집전이 이루어지지만 온라인 전기철도시스템은 비접촉방식을 채택하기 때문에 접촉방식의 팬터그래프 및 가공전차선에 의해 발생하는 각종 오염물질 배출이 전혀 없는 장점이 있음.
- 환경적 측면과 아울러 에너지 측면에서도 유도 급/집전 시스템은 높은 효율성을 가지고 있음. 일반 전기철도의 경우 대부분 제동 시 회생에너지를 활용하고 있으나, 발생되는 회생에너지를 활용하기 위하여 별도의 전력변환 설비가 추가적으로 필요하게 되나, 유도 급/집전시스템 적용 전기철도의 경우 특성상 차량 및 외부에 추가적인 장치 설비 없이 제동 시 발생하는 회생에너지를 바로 활용하는 것이 가능한 시스템임.
- 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템은 이산화탄소 등 대기오염의 최소화, 에너지 효율성 향상 등으로 환경성과 경제성을 동시에 충족시킬 수 있는 시스템으로서 향후 친환경 고에너지효율 시대에 적합한 시스템으로서 그 활용성이 매우 높을 것으로 판단됨.

나. 교통 환경에 대한 능동적인 대응성 및 도시 이미지 제고

- 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템은 시스템 특성상 규모가 작은 중, 소도시에서부터 대도시의 지선교통까지 각각의 수요에 맞게 대응할 수 있는 장점을 가지고 있음.
- 특히, 가공전차선이 필요 없는 기술이기 때문에 급곡선 및 상부 전차선 등 지리적, 공간적 요인에 따라 제공할 수 없었던 지역 및 노선에 대한 철도서비스의 제공이 가능해짐. 또한 교통이 혼잡한 도심지역에 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템을 적용 할 경우, 가공전차선이 없으므로 터널 건설 시 터널 단면적을 작게 할 수 있어 적은 공사비로 건설이 가능해짐. 이러한 특성은 다양한 시스템을 요구하고 있는 현재의 각종 도시적 상황에 적용할 수 있는 큰 이점이라고 판단됨.

- 현재까지 건설 중인 도시철도나 경전철의 경우 지상부의 경우에는 도시 이미지를 저해하는 각종 규모 및 모양의 교각이 건설되어 기존 도시의 이미지를 훼손하는 경우가 많았으며, 노면전차의 경우에도 전차선에 의한 도심환경의 심미성을 크게 떨어뜨린다는 지적을 받아 왔었음.
- 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템의 경우 노면전차의 가장 단점인 도시 내 거리에서의 전차선을 없애기 때문에 도시의 경관과 조화될 뿐만 아니라 첨단시설이라는 이미지의 제공이 가능하여 도시의 새로운 이미지 메이킹이 가능해짐.
- 또한 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템을 일반 트램시스템에 적용시킬 경우, 일반 자동차 도로에 건설이 가능하여 도시 이미지에 크게 영향을 미치는 교각의 건설 없이 운영이 가능하므로 기존 도심의 이미지를 그대로 유지할 수 있다는 장점이 있음. 아울러 궤도건설에 있어서도 전용노선이 아닌 공용노선일 경우 일반 도로와 같은 형태를 유지하므로써 궤도노출에 따른 미적 저해요소도 해소할 수 있는 장점이 있음.

다. 교통 약자들에 대한 서비스 제공

- 현재 전 세계는 고령화의 시대로 진입하고 있으며, 이러한 측면에서 각 정부는 고령자 뿐만 아니라 교통약자에 대한 각종 공공편의 시설의 제공에 많은 노력을 기울이고 있는 추세임.
- 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템을 노면전차에 적용할 경우, 차량의 바닥높이가 다른 경전철시스템 보다 낮아 노약자와 같은 교통약자 및 휠체어 등을 이용하는 장애인에게 고품질의 서비스 제공할 수 있는 특징이 있으며, 소음이 적고, 승차감이 우수하며, 저상차량이라는 특성으로 일반인 뿐만 아니라 교통약자 및 장애인 등이 보다 쉽게 이용할 수 있기 때문에 향후 각 지자체로부터 많은 관심을 받게 될 것으로 판단됨.
- 이와 함께 최근 「교통약자 이동편의 증진법」에 의해 정부는 교통약자의 이동편의 증진을 위한 교통수단, 여객시설 및 이동편의시설의 기준에 관한 사항 등에 대하여 규정하고 있으므로 신규 차량 개발 시부터 이에 가장 적합한 차량으로 개발이 추진될 필요가 있음.

3. 기술적 기대효과

- 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템 연구가 성공적으로 수행될 경우 가공전차선 및 부속설비 등으로 복잡한 기존 전력공급시스템을 대체할 수 있는 안전하고 미려한 온라인 전기철도 차량시스템을 개발 및 보급할 수 있을 것임.
- 무접촉 급/집전 기술의 적용으로 철도차량의 이용효율을 개선할 수 있으며, 철도차량기지, 정거장 및 전차선 구간 급속충전에 의한 급전전원 확보로 배터리 무게 증가 및 차량기계 배치 공간 감소의 문제점을 해결할 수 있음.
- 도로 교통시스템과 달리 철도 궤도시스템의 경우 고정된 레일과 철제차륜으로 인하여 유도 급/집전 기술 적용 시 작은 공극 상태에서의 운영이 가능해지며, 급/집전체 사이의 공극의 변화가 적어져서 효율적인 유도 급/집전 설비 구성이 가능해지며, 도로 교통시스템에 적용하는 것보다 이용 에너지 효율을 높일 수 있을 것으로 예상됨.
- 일반 전기철도 시스템의 경우 운행패턴에 의해 제동 시 회생에너지가 발생하게 되는데, 대부분의 경우에는 발생하는 회생에너지를 저항을 통하여 소모해왔으나, 최근 들어 회생에너지를 활용하기 위하여 별도의 전력변환 설비를 지상에 설치하여 차량 제동 시 발생된 회생에너지를 회수하는 방식이 적용되고 있음. 유도 급/집전 시스템이 적용된 전기철도의 경우 특성상 차량 및 외부에 추가적인 장치 설비 없이 제동 시 발생하는 회생에너지를 바로 활용하는 것이 가능하므로 경제적이며 회생에너지 이용률을 높일 수 있는 시스템 구축이 가능해짐.
- 교통이 혼잡한 도심지역 및 산간지역에 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템을 적용 할 경우, 가공전차선이 없으므로 터널 건설 시 터널 단면적을 작게 할 수 있어 적은 공사비로 건설이 가능해지며, 비접촉방식으로 접촉에 의한 마모가 없어 일반 접촉식 전력공급방식에 비해 유지보수 비용의 절감을 기대할 수 있음.
- 일반 전기철도의 경우 가선으로부터 전력을 공급받기 위해 팬터그래프를 통하여 집전이 이루어지지만 유도급전 방식 적용 전기철도시스템은 비접촉방식을 채택하기 때문에 접촉방식의 팬터그래프 및 가공전차선에 의해 발생하는 각종 오염물질 배출이 전혀 없는 청정시스템임. 이런 측면에서 바라볼 때, 비접촉 유도급전 방식의 전기에너지 공급 시스템 및 이 기술을 적용한 전기철도 시스템의 개발은 국내는 물론 선진국

에서도 개발 초기단계에 있으므로 막대한 경제적 파급효과를 유발할 것으로 예상됨.

- 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템 핵심기술 개발 사업은 현재 성공적으로 개발된 온라인 전기버스(OLEV)에서 축적된 기술개발 노하우의 활용으로 타 수송수단간 기술적 연계성을 창출하는 모범사례로서의 역할로 향후 다양한 분야에서의 연계기술 개발에 많은 영향을 줄 것으로 판단됨.

제 8 장 세부과제별 RFP 및 TRM

제 1 절 시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술 개발

1. 세부과제 1 RFP

연구과제명	시스템 통합 및 대용량 에너지변환 핵심기술 개발
1. 연구개발 목표	• 급/집전 시스템 기술기준 개발 체계 정의 • 온라인 전기 철도용 다중동력원 전력변환 장치 개발 • 온라인 전기 철도용 다중동력원 시스템 통합기술 개발 • 온라인 철도의 에너지 모니터링 및 운영 관리 기술 개발
2. 연구개발 필요성	① 기술적 필요성 • 온라인 전기철도차량의 전력공급 효율을 극대화하기 위한 다중 전력공급원과 다중 전력변환장치간의 인터페이스에 의한 시스템 통합 기술 개발이 필요함 • 전기철도용 급/집전 효율 극대화(정차 시 급/집전 효율 90% 이상)를 위한 유도급전 기술 적용 철도차량의 운행 주행 기술과 유도 급전된 에너지의 최적화 사용을 위한 에너지 모니터링 및 운영 관리 기술의 개발이 필요함 • 온라인 전기철도 시스템을 구성하는 급전선로, 급전 인버터, 집전장치, 집전레귤레이터, 다중전력변환장치 등의 기술기준 개발 체계를 수립하며, 장치간 원활한 통합이 이루어지도록 인터페이스 통합 기술 개발이 필요함 ② 경제/정책적 필요성 • 전기철도용 대용량/고효율의 다중동력원과 최적 통합제어 기술 개발을 통하여 관련 산업 육성 및 전문가 수요 증대를 통한 고용 창출이 가능함 • 녹색 성장의 일환으로 국내뿐만 아니라 해외에서도 전기철도에 관한 연구가 많이 진행되고 있으며 특히 KAIST 온라인전기자동차사업단에서 유도급전시스템의 성능 및 신뢰성에 관한 많은 연구가 진행되어 있어 기 확보된 기술을 온라인 전기철도로 확대적용이 필요함 • 유도 급전방식을 통한 강한 자기장을 이용하는 온라인 전기철도의 연구개발 단계에서 국내 및 해외의 전자기파 관련 기준에 맞춘 검

증시험을 통하여 온라인 전기철도 시스템 및 인프라가 기존의 전자
기과 기준을 만족시킬 수 있는 원천기술 확보 및 관련 평가 기준
및 기법 표준화 주도 가능함

3. 연구개발내용

구분		1차년도(12개월)	2차년도(18개월)
연구목표		시스템통합 기술 개발 및 240kW급 에너지변환을 위한 핵심 기술 개발	240kW급 유도 급/집전 시스템과 에너지변환 시스템간의 인터페이스 기술 개발 및 시스템 통합 및 검증
연구 세 부 내 용	급/집전 시스템 통 합 기술	- 시스템 개념 설계 및 사양 결정 - 급/집전 시스템 관리 요소 정의 및 인터페이스 기술 개발 - 전력/신호/통신 시스템 인터페이스 기술 개발	- 급/집전 시스템과 에너지 변환 시스템 간 인터페이스 기술 개발 및 시스템 통합 및 검증 기술 개발 - 환경(EMF/EMI) 분야 인터페이스 기술 개발
	에너지 모니터링 및 관리 기 술	- 온라인 철도의 운영 관리 시스템 기술 개발 - 실시간 에너지 흐름 및 동력원 별 에너지 상태 모니터링 기술 개발	- 온라인 철도의 운영 관리 시스템 시제품 제작 및 성능평가 기술 개발 - 실시간 에너지 모니터링 및 관리 시스템 시제품 제작 및 성능 평가 기술 개발
	다중동력원 전력변환 장치 개발	- 240 kW급 양방향 DC-DC 컨버터 설계 기술 개발 - 대용량 에너지 저장장치(2차 전지, 슈퍼캡, Flywheel, SMES) 관리 모듈 기술 개발 및 관리 방안 연구	- 240 kW급 양방향 DC-DC 컨버터 시제품 제작 및 성능평가 기술 개발 - 대용량 에너지 저장장치(2차 전지, 슈퍼캡, Flywheel, SMES) 차량적용 구조 및 인터페이스 기술개발 및 성능평가 기술 개발
	다중동력원 통합제어장 치 개발	- 구동 시 에너지 효율 극대화를 위한 전력공급 알고리즘 기술 개발 - 다중동력원 통신 프로토콜 (LON Works, ARCnet, ProfiBus, CAN) 기초 기술 개발	- 에너지 효율 극대화를 위한 전력공급 알고리즘 성능 검증 기술 개발 및 시제품을 활용한 성능 평가 - 다중동력원 통신 프로토콜 (LON Works, ARCnet, ProfiBus, CAN) 적용 기술 개발 및 성능 평가



< 연구성과 목표 및 평가방법 >

평가항목 (주요성능)	단위	세계최고 수준	연구개발진 국내수준	성과 목표	평가방법
에너지 모니터링 및 관리 기술 (저장 에너지 검출 오차)	%	-	10	5	에너지 저장장치의 SOC 비교
다중동력원 통합제어장치 신뢰도	%	-	95	97	급감속에 의한 통합제어기 신뢰성 분석
다중동력원 인터페이스 신뢰도	%	-	93	95	다중동력원간의 통신프로토콜에 의한 에러율 측정
양방향 DC-DC 컨버터	kW	-	120	240	DC-DC 컨버터 용량 240kW 확인

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 철도 관련 유관기관들과 유기적 협조체제 구축
- 유도급전 적용 전기철도시스템 개발을 위한 급/집전 시스템 통합 기술 및 다중동력원 전력변환장치 및 에너지 모니터링 분야에서 의 핵심 원천기술을 확보함
- 유도급전 적용 전기철도시스템의 원천기술을 개발하기 위해 산학 연 공동 연구를 추진
- 원천기술 개발 후, 시제품 개발 및 성능 검증을 통하여 연구성과 의 객관성을 확보

6. 기대효과 및 파급효과

① 기대효과

- 전차선 및 부속설비 등으로 복잡한 기존 전력공급 시스템을 대체할 수 있는 안전하고 미려한 온라인 전기 철도차량시스템의 보급 개발이 가능
- 전차선 설비가 없어지므로 건설비 및 터널 공사비용 저감이 가능하고, 비접촉방식으로 접촉에 의한 마모가 없어 유지보수 비용 저감을 기대할 수 있음
- 화석연료 고갈과 공해문제 해결을 위하여 청정에너지를 활용하는 측면의 전기에너지 공급시스템 개발은 국내는 물론 선진국에서도 개발 초기단계에 있으므로 막대한 경제적 파급효과를 유발할 것으로 예상됨
- 현재 성공적으로 개발된 온라인 전기버스(Olive)에서 축적된 기술개발 노하우의 활용으로 기술적 연계성을 창출하는 모범사례로서의 역할로 향후 다양한 분야에서의 연계기술 개발에 많은 영향을 줄 것임

② 파급효과

- 친환경성 및 에너지 효율성 측면
 - 비접촉방식 적용에 의해 기존의 접촉에 의한 각종 오염물질 배출이 사라짐으로 인해 대기오염의 최소화, 에너지 효율성 향상 등으로 환경성과 경제성을 동시에 충족 시킬 수 있는 시스템임
 - 제동 시 발생하는 회생에너지의 이용률을 최대화하여 에너지 효율성이 다른 철도기관보다도 높아짐
- 교통 환경에 대한 능동적인 대응성
 - 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템은 시스템 특성상 규모가 작은 중, 소도시에서부터 대도시의 지선교통까지 각각의 수요에 맞게 대응 가능
 - 가공전차선이 필요 없는 기술이기 때문에 급곡선 및 상부 전차선 등 지리적, 공간적 요인에 따라 제공할 수 없었던 지역 및 노선에 대한 철도서비스의 제공이 가능해짐
- 도시이미지 제고
 - 유도 급/집전 방식의 에너지 전달로 기존 가선 방식 철도차량의 단점인 도시 내 거리에서의 가공 전차선을 없앴으로써 도시의 경관과 조화가 가능한 철도시스템 공급이 가능해지며, 첨단 교통시설이라는 이미지의 제공이 가능함

7. 사업기간 및 소요예산

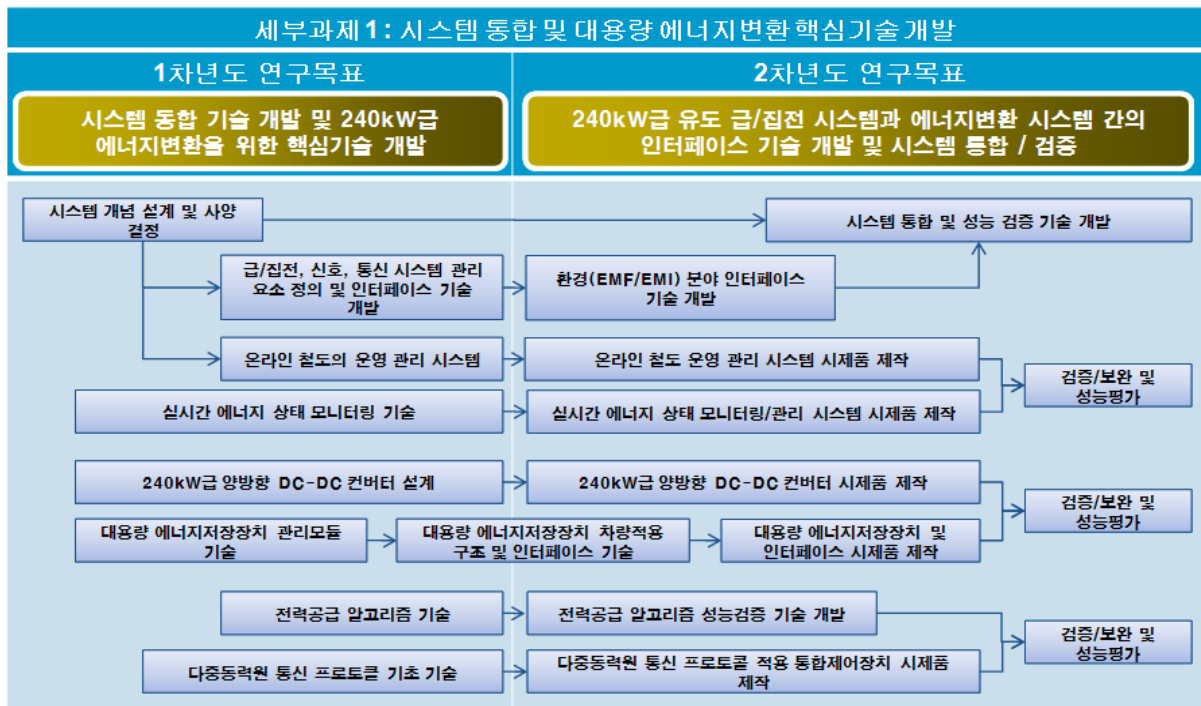
- 사업기간 : 2010.11 ~ 2013.4 (2년 6개월)
- 1차년도 사업기간 : 2010.11 ~ 2011.10 (12개월)

- 사업예산
 - 당해 연도 정부출연금 : 12.5 억원
 - 총 정부출연금 : 50 억원

8. 기 타

- 연구신청자는 RFP에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발 계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 수정하여 제안할 수 있음
- 성과목표(지표)별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨.
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

2. 세부과제 1 TRM

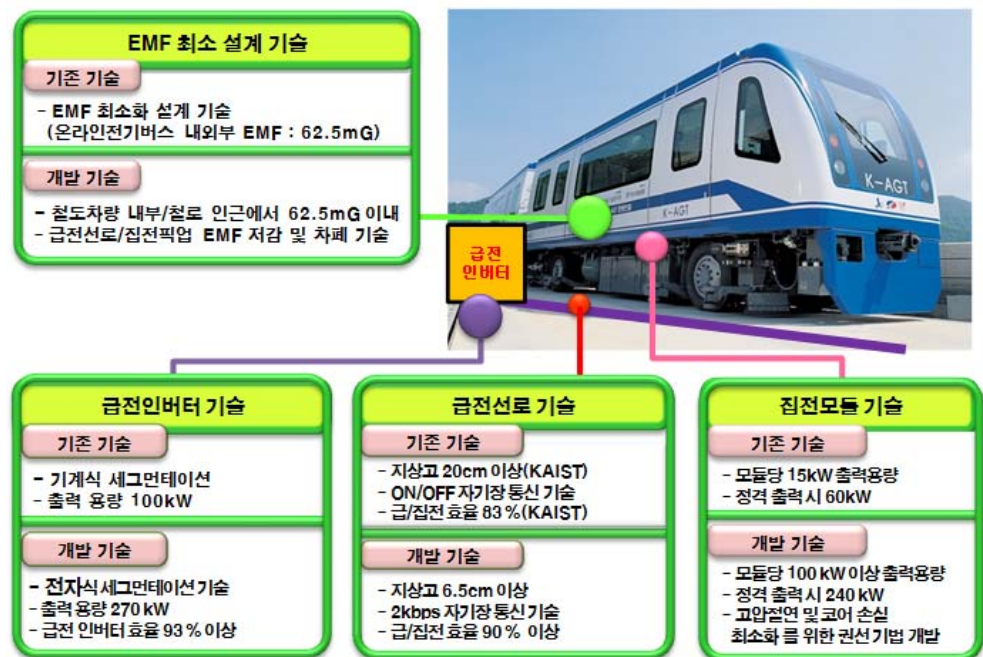


제 2 절 유도 급/집전 장치 핵심기술 개발

1. 세부과제 2 RFP

연구과제명	유도 급/집전 장치 핵심기술 개발
1. 연구개발 목표	• 270kW급 급전용 인버터 개발 • 최적설계를 기반으로 한 급전선로 개발 • 240kW급 집전모듈 개발
2. 연구개발 필요성	① 기술적 필요성 • 온라인 전기철도의 경우, 전력 공급이 지상에서의 비접촉 유도급전 방식으로 이루어짐에 따라 고효율의 전력공급을 위한 급/집전 장치 개발이 필요하며, 이에 따른 급전선로 구축 및 신뢰성 향상 기술 개발과 EMF/EMI 저감 기술 개발도 동시에 이루어져야 함 • 전기철도용 급전선로가 세그멘테이션 되면 급전트랙 간 신속한 절체를 위해서 신속응답특성을 갖는 급전 인버터 회로 개발이 필요하며, 기존 철도시스템과 달리 온라인 전기철도의 경우 철도의 전력 시스템 구성이 달라지기 때문에 이에 따른 효율적인 전력 제어 방안과 각 부품들의 인터페이스 방안에 대한 기술 검토 및 개발이 필요함 ② 경제/정책적 필요성 • 핵심기술을 적용하여 개발되는 온라인 전기철도 시스템은 터널 단면적을 최소화함으로써, 기존의 전차선 설비에 의한 건설비의 저감이 가능하며, 온라인 전기철도 급전관련 선도 기술 연구를 통한 급전선로 시장 주도 및 국가의 위상 제고가 가능함 • 급전선로의 핵심기술 개발 및 상용화와 각종 인프라구축을 통한 급전 시스템의 국제 표준화 및 급전장치 관련 EMF/EMC 기준 및 내환경성 기준의 국제 표준화 주도 가능하며, 국내 온라인 전기철도 급전 및 인프라 건설에 의한 GDP 증대, 수출에 의한 GDP 증대, 해외 기술료 창출이 가능함 • 녹색 성장의 일환으로 국내뿐만 아니라 해외에서도 전기철도에 관한 연구가 많이 진행되고 있으며 특히 KAIST 온라인전기자동차사업단에서 유도급전시스템의 성능 및 신뢰성에 관한 많은 연구가 진행되어있어 기 확보된 기술을 온라인 전기철도로 확대적용이 필요함
3. 연구개발내용	

구분		1차년도(12개월)	2차년도(18개월)
연구목표		240kW급 전기철도용 유도 급전 장치 설계 기술 개발	240kW급 전기철도용 유도 급전 장치 시제품 제작 및 성능 평가 기술 개발
연구세부내용	270kW급 급전 인버터 개발	- 고주파/대전류용 전자식 세그먼테이션 기초 기술 연구 - 270kW급 급전 인버터 회로 설계 및 제어 알고리즘 기술 개발	- 고주파/대전류용 전자식 세그먼테이션 기술의 시제품 활용을 통한 성능 검증 및 보완 - 270kW급 급전 인버터 시제품 제작 및 성능검증/보완 (용량 270 kW, 효율 93 % 이상)
	최적설계를 기반으로 한 고효율 급전선로 개발	- 최적 급전 자기회로 설계 기술 개발(지상고 6.5cm 기준 전달 효율 90% 이상) - 고주파 고전압, 대전류용 케이블 및 코어 적용 기술 개발 - 유도 급전 시스템의 EMF/EMI 저감기술 개발	- 고효율 급전 선로 시제품 제작 및 성능검증/보완 - 유도 급전 시스템의 EMF/EMI 저감 기술 적용 시제품 제작 및 성능검증/보완
	240kW급 집전모듈 개발	- 고출력 240kW급 집전모듈 설계 기술 개발 - 고압절연과 코어손실 최소화 가능한 고성능 권선 기법 개발 - 유도 집전 시스템의 EMF/EMI 저감기술 개발 - 철도차량용 집전모듈 제어기 설계 기술 개발 (정전압 레귤레이터)	- 고출력 240kW 급 집전모듈 시제품 제작 및 성능검증/보완(집전 효율 90 % 이상) - 유도 집전 시스템의 EMF/EMI 저감 기술 적용 시제품 제작 및 성능검증/보완 - 철도차량용 정전압 레귤레이터 시제품 제작 및 성능검증/보완



< 연구성과 목표 및 평가방법 >

평가항목 (주요성능)		단위	세계최고 수준	연구개발전 국내수준	성과 목표	평가방법
급전 선로	출력용량	kW	-	100	270	정격 출력 시
	세그먼테이션 절제 시간 기술	ms	-	200	200	전기철도용 최적 설계 EMF 및 집전 전력 만족 여부 확인
	자기장 차폐	mG	-	62.5	62.5	급전인버터-급전선로-온 라인 철도간 통신
급전 인버 터	출력용량	kW	-	100	270	정격 출력 시
	효율	%	90 이상	93	93	정격 출력 시
	인버터 응답 시간	ms	-	200	200	정격 주행 시
집전 모듈	모듈 출력용량	kW	-	15	40	정격 출력 시 240kW 출력 여부 확인
	시스템 출력용량	kW	-	60	240	정격 출력 시
	자기장 차폐	mG	-	62.5	62.5	정격 출력 시

4. 연구개발 추진방법

☐ 추진전략

- 철도 관련 유관기관들과 유기적 협조체제 구축
- 유도급전 적용 전기철도시스템 개발을 위한 급/집전 장치용 급전 인버터, 급전선로, 집전 회로 및 정류회로 분야에서의 핵심 원천 기술을 확보함
- 유도급전 적용 전기철도시스템의 급/집전 장치 원천기술을 개발 하기 위해 산학연 공동 연구를 추진
- 급/집전 장치 원천기술 개발 후, 시제품 개발 및 성능 검증을 통하여 연구성과의 객관성을 확보
- 기 수행한 과제인 2009년 KAIST 온라인 전기버스 개발과제의 연구성과 중 응용 가능한 것을 재활용하여 중복연구의 낭비를 줄임

☐ 추진체계

- 주관기관에서 시험용 온라인 전기철도용 급집전 원천기술을 개발 및 검증하며, 시제품 개발 및 관련 시제품의 시험은 주관기관과 관련 산업체 및 연구소에서 상호 협력하여 수행
- 연구내용의 검증과 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
- 필요시 외국 전문가 또는 외국 기관 활용

구분	역할
주관	- 전기철도차량용 대용량, 고효율 급전인버터 원천기술 개

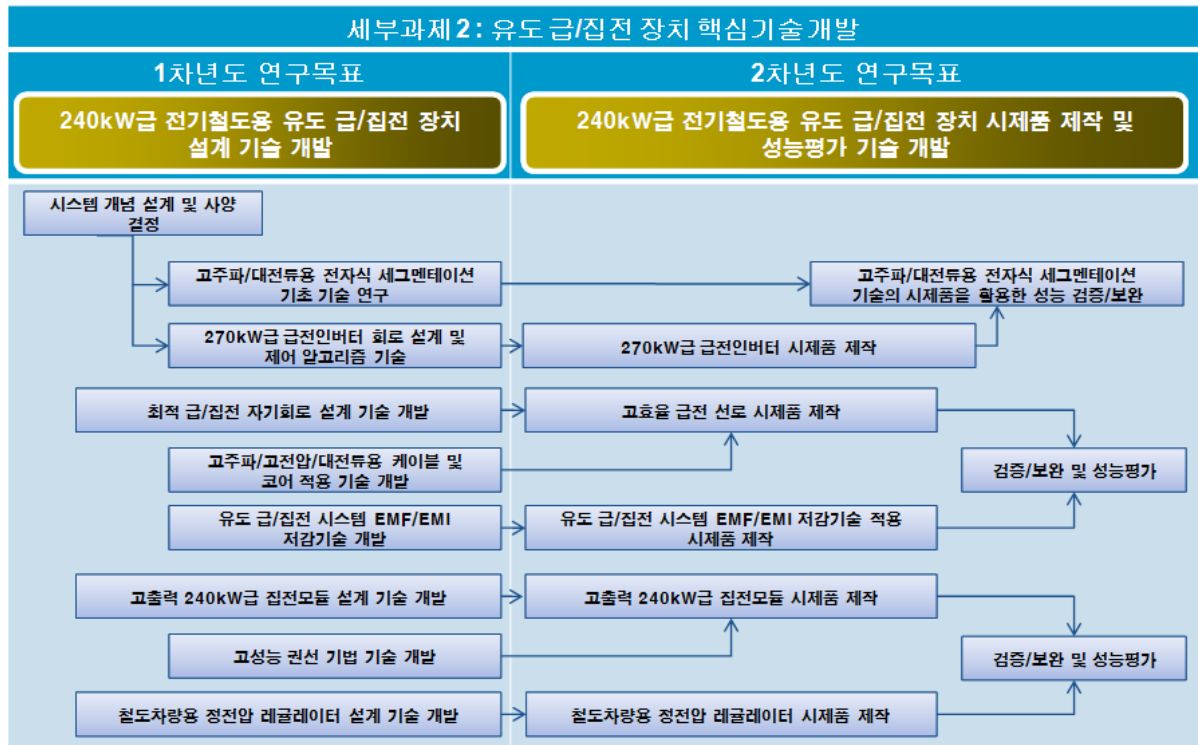
기관	발 및 검증 - 전기철도차량용 대용량, 고효율 급전선로 원천기술 개발 및 검증 - 전기철도차량용 대용량, 고효율 집전모듈 원천기술 개발 및 검증 - 전기철도차량용 대용량, 고효율 집전 레귤레이터 원천기술 개발 및 검증
산업체 /연구소	- 전기철도차량용 대용량 급전 인버터 실험 시제품 제작 및 검증 - 전기철도차량용 대용량 고효율 급전선로의 실험 시제품 제작 및 검증 - 전기철도차량용 대용량 집전 레귤레이터 실험 시제품 제작 및 검증 - 전기철도차량용 대용량 고효율 집전 모듈 실험 시제품 제작 및 검증
기타	- 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구 내용의 질적 향상 및 객관성 확보

5. 최종성과물	• 270kW급 급전용 인버터 개발 기술 및 시제품 • 최적설계를 기반으로 한 급전선로 개발 기술 및 시제품 • 240kW급 집전모듈 및 레귤레이터 개발 기술 및 시제품
----------	--

6. 기대효과 및 파급효과	① 기대효과 • 전차선 및 부속설비 등으로 복잡한 기존 전력공급 시스템을 대체할 수 있는 안전하고 미려한 온라인 전기 철도차량시스템의 보급 개발이 가능 • 전차선 설비가 없어지므로 건설비 및 터널 공사비용 저감이 가능하고, 비접촉방식으로 접촉에 의한 마모가 없어 유지보수 비용 저감을 기대할 수 있음 • 화석연료 고갈과 공해문제 해결을 위하여 청정에너지를 활용하는 측면의 전기에너지 공급시스템 개발은 국내는 물론 선진국에서도 개발 초기단계에 있으므로 막대한 경제적 파급효과를 유발할 것으로 예상됨 • 현재 성공적으로 개발된 온라인 전기버스(Olive)에서 축적된 기술개발 노하우의 활용으로 기술적 연계성을 창출하는 모범사례로서의 역할로 향후 다양한 분야에서의 연계기술 개발에 많은 영향을 줄 것임 ② 파급효과 • 친환경성 및 에너지 효율성 측면
----------------	---

	- 비접촉방식 적용에 의해 기존의 접촉에 의한 각종 오염물질 배출이 사라짐으로 인해 대기오염의 최소화, 에너지 효율성 향상 등으로 환경성과 경제성을 동시에 충족 시킬 수 있는 시스템임 - 제동 시 발생하는 회생에너지의 이용률을 최대화하여 에너지 효율성이 다른 철도기관보다도 높아짐 • 교통 환경에 대한 능동적인 대응성 - 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템은 시스템 특성상 규모가 작은 중, 소도시에서부터 대도시의 지선교통까지 각각의 수요에 맞게 대응 가능 - 가공전차선이 필요 없는 기술이기 때문에 급곡선 및 상부 전차선 등 지리적, 공간적 요인에 따라 제공할 수 없었던 지역 및 노선에 대한 철도서비스의 제공이 가능해짐 • 도시이미지 제고 - 유도 급/집전 방식의 에너지 전달로 기존 가선 방식 철도차량의 단점인 도시 내 거리에서의 가공 전차선을 없앴으로써 도시의 경관과 조화가 가능한 철도시스템 공급이 가능해지며, 첨단 교통시설이라는 이미지의 제공이 가능함
7. 사업기간 및 소요예산	• 사업기간 : 2010.11 ~ 2013.4 (2년 6개월) - 1차년도 사업기간 : 2010.11 ~ 2011.10 (12개월) • 사업예산 - 당해 연도 정부출연금 : 12.5 억원 - 총 정부출연금 : 50 억원
8. 기 타	• 연구신청자는 RFP에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발 계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 수정하여 제안할 수 있음 • 성과목표(지표)별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨. • 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

2. 세부과제 2 TRM



제 3 절 유도 급/집전 시스템 시험평가 기술 개발

1. 세부과제 3 RFP

연구과제명	유도 급/집전 시스템 시험평가 기술 개발
1. 연구개발 목표	• 전기철도용 유도 급/집전시스템 개별/통합 성능평가 및 안전성능 검증 - 시스템 성능시험을 위한 평가체계 수립 및 시험평가 종합관리 - 시스템 시험평가 항목 및 평가기준 기술 개발 - 유도 급/집전 시스템 통합 성능 평가 수행 - 유도 급/집전 시스템 안전성능 검증기술 개발
2. 연구개발 필요성	① 기술적 필요성 • 유도 급전방식을 적용한 온라인 전기철도차량의 전력 급/집전 시스템, 에너지 저장/관리 시스템, 차량 추진 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성 요소의 개별 안정성 및 성능 시험 평가가 필요함 • 온라인 전기철도시스템 및 운용 인프라에는 기존 철도차량에 적용되는 구동전동기 등의 장치 이외에 급전 인버터 시스템, 집전장치, 집전레귤레이터 등의 장치가 추가로 적용되며 온라인 전기철도 시스템 및 인프라 전용 장비의 연구개발 과정에서 시스템 통합적인 안전성과 성능을 평가할 수 있는 평가시험 기법 개발이 필요함 ② 경제/정책적 필요성 • 온라인 전기철도차량의 유도 급/집전 시스템, 에너지 저장/관리 시스템, 차량 추진 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성 요소의 개별 및 통합 안정성/성능 평가 기술 개발을 통하여 관련 산업 육성 및 전문가 수요 증대를 통한 고용 창출이 가능함 • 녹색 성장의 일환으로 국내뿐만 아니라 해외에서도 전기철도에 관한 연구가 많이 진행되고 있으며 특히 KAIST 온라인전기자동차사업단에서 유도급전시스템의 성능 및 신뢰성에 관한 많은 연구가 진행되어 있어 기 확보된 기술을 온라인 전기철도로 확대적용이 필요함 • 유도 급전방식을 통한 강한 자기장을 이용하는 온라인 전기철도의 연구개발 단계에서 국내 및 해외의 전자기파 관련 기준에 맞춘 검증시험을 통하여 온라인 전기철도 시스템 및 인프라가 기존의 전자기파 기준을 만족시킬 수 있는 원천기술 확보 및 관련 평가 기준 및 기법 표준화 주도 가능함

3. 연구개발내용

구분	1차년도(12개월)	2차년도(18개월)
연구목표	전기철도용 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능 평가 항목 및 평가 방법 도출	전기철도용 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가
연구세부내용	● 전기철도용 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능 평가 항목 및 평가 방법 연구 - 철도차량용 구동시스템과의 통합 평가 방안 개발 - 급/집전 시스템 효율 시험평가 항목 및 평가 기준 핵심 기술 개발 - 급전 인버터, 세그먼트, 집전장치 신뢰성 시험 방안 개발	● 전기철도용 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가 - 철도차량용 구동시스템과의 통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가 - 급/집전 시스템 개별 / 통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가 - 급전 인버터, 세그먼트, 집전장치 개별 / 통합 성능, 안전성 검증/보완 및 시험 평가



< 연구성과 목표 및 평가방법 >

평가항목 (주요성능)	단위	세계최고 수준	연구개발전 국내수준	성과 목표	평가 방법
자기장 강도	mG	62.5	62.5	62.5	자기장 차폐장치 외의 부분에서 측정
EMI	dB μ V	기준 만족	없음	Class 3	CISPR D25 기준에 맞춘 실측
급/집전효율	%	93	80	90 % 이상	지상고 6.5cm 기준. 급전 인버터 입력 전력 대비 실제 출력비 실측
인증용 시험장비 측정오차	%	0.1	0.2	0.1	정밀 계측기로 실측

4. 연구개발 추진방법

- ☐ 추진전략
- 전기철도용 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 개별/통합 성능 항목 및 평가 방안 개발, 안전성 검증/보완 및 시험 평가 관련 핵심 원천기술을 우선적으로 확보함
 - 유도 급/집전 시스템 및 각종 시스템 인터페이스 구성요소의 시험평가 기술을 개발하기 위해 산학연 공동 연구를 추진하며, 철도 차량 제작사 및 시험평가 관련 유관기관들과의 유기적 협조체제 구축
 - 시험 평가 관련 원천기술 개발 후, 시제품 개발 및 성능 검증을 통하여 연구성과의 객관성을 확보
 - 기 수행한 과제인 2009년 KAIST 온라인 전기버스 개발과제의 연구성과 중 응용 가능한 것을 재활용하여 중복연구의 낭비를 줄임

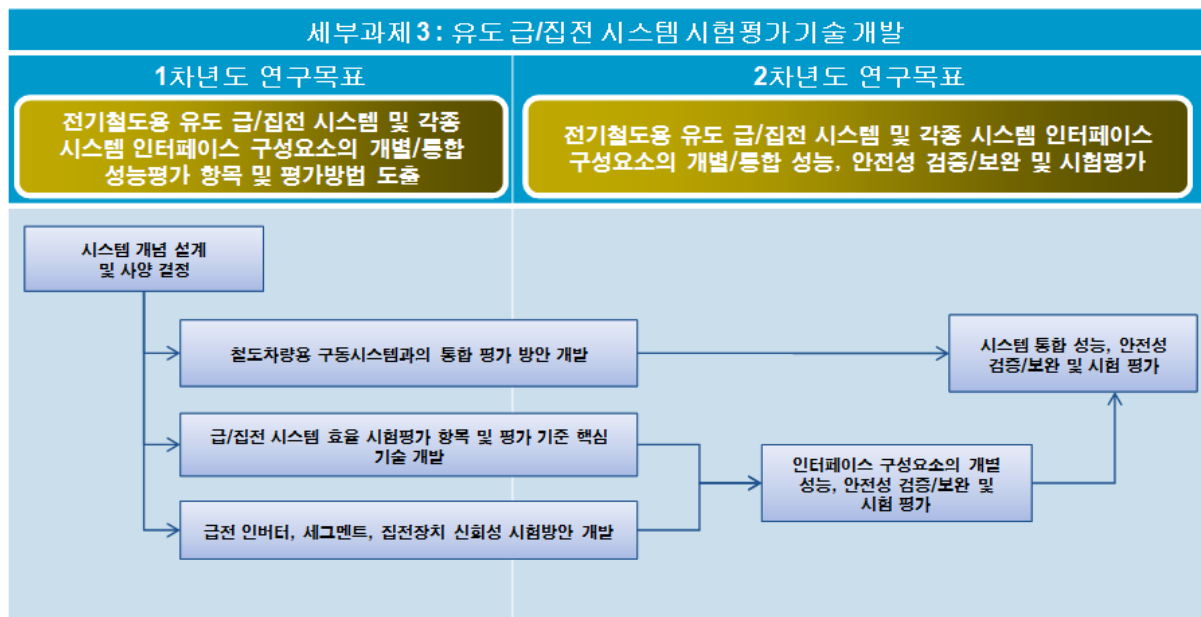
- ☐ 추진체계
- 주관기관에서 시험용 전기철도용 유도 급/집전시스템 통합 및 평가기술을 개발 및 검증하며, 시제품 개발 및 시험은 주관기관과 관련 산업체 및 연구소에서 상호 협력하여 수행
 - 연구내용의 검증과 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영
 - 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
 - 필요시 외국 전문가 또는 외국 기관 활용

구분	역할
주관 기관	- 유도 급/집전시스템 성능 평가 체계 수립 및 안전성능 관련 종합관리

	- 유도 급/집전 시스템 효율 시험평가 핵심 기술 개발 - 급전 인버터, 세그먼트, 집전장치 신뢰성 핵심 기술 개발 - 급·집전시스템 시험·인증 규격 및 평가 핵심 기술 개발 - 전기철도용 대용량 전기구동 시스템 시험·인증 규격 및 평가 핵심 기술 개발
산업체 /연구소	- 유도 급/집전시스템 시험평가 항목 및 평가기준 기술개발 연구 지원 - 각 시스템 부분의 원활한 통합을 위한 인터페이스 연구 - 시험평가를 위한 각 시스템 부분의 센싱 인터페이스 연구 - 각 시스템간의 통신 신뢰성 확보를 위한 연구
기타	- 외부 전문가 자문위원회 구성을 통해 연구 내용의 질적 향상 및 객관성 확보
5. 최종성과물	
	• 시스템 성능시험을 위한 평가체계 시험평가 종합관리 기술 • 시스템 시험평가 항목 및 평가기준 기술 • 유도 급/집전 시스템 통합 성능 평가 기술 • 유도 급/집전 시스템 안전성능 검증 기술
6. 기대효과 및 파급효과	
① 기대효과 • 전차선 및 부속설비 등으로 복잡한 기존 전력공급 시스템을 대체할 수 있는 안전하고 미려한 온라인 전기 철도차량시스템의 보급 개발이 가능 • 전차선 설비가 없어지므로 건설비 및 터널 공사비용 저감이 가능하고, 비접촉방식으로 접촉에 의한 마모가 없어 유지보수 비용 저감을 기대할 수 있음 • 화석연료 고갈과 공해문제 해결을 위하여 청정에너지를 활용하는 측면의 전기에너지 공급시스템 개발은 국내는 물론 선진국에서도 개발 초기단계에 있으므로 막대한 경제적 파급효과를 유발할 것으로 예상됨 • 현재 성공적으로 개발된 온라인 전기버스(Olive)에서 축적된 기술개발 노하우의 활용으로 기술적 연계성을 창출하는 모범사례로서의 역할로 향후 다양한 분야에서의 연계기술 개발에 많은 영향을 줄 것임 ② 파급효과 • 친환경성 및 에너지 효율성 측면 - 비접촉방식 적용에 의해 기존의 접촉에 의한 각종 오염물질 배출이 사라짐으로 인해 대기오염의 최소화, 에너지 효율성 향상 등으로 환경성과 경제성을 동시에 충족 시킬 수 있는 시스템임	

	- 제동 시 발생하는 회생에너지의 이용률을 최대화하여 에너지 효율성이 다른 철도기관보다도 높아짐 • 교통 환경에 대한 능동적인 대응성 - 유도 급/집전 기술 적용 전기철도시스템은 시스템 특성상 규모가 작은 중, 소도시에서부터 대도시의 지선교통까지 각각의 수요에 맞게 대응 가능 - 가공전차선이 필요 없는 기술이기 때문에 급곡선 및 상부 전차선 등 지리적, 공간적 요인에 따라 제공할 수 없었던 지역 및 노선에 대한 철도서비스의 제공이 가능해짐 • 도시이미지 제고 - 유도 급/집전 방식의 에너지 전달로 기존 가선 방식 철도차량의 단점인 도시 내 거리에서의 가공 전차선을 없앴으로써 도시의 경관과 조화가 가능한 철도시스템 공급이 가능해지며, 첨단 교통시설이라는 이미지의 제공이 가능함
7. 사업기간 및 소요예산	• 사업기간 : 2010.11 ~ 2013.4 (2년 6개월) - 1차년도 사업기간 : 2010.11 ~ 2011.10 (12개월) • 사업예산 - 당해 연도 정부출연금 : 5 억원 - 총 정부출연금 : 10 억원
8. 기 타	• 연구신청자는 RFP에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발 계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 수정하여 제안할 수 있음 • 성과목표(지표)별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨. • 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

2. 세부과제 3 TRM



참 고 문 헌

- 1) 서울시정개발연구원, 교통혼잡지역 신교통수단 도입 타당성조사 및 기본계획수립 연구, 최종보고서, 2001.
- 2) 삼안건설기술공사, 쾌적한 도시교통을 위한 경량전철현황, 2002.
- 3) 한국철도대학, “경량전철기술”, 한국철도대학, 2005. pp. 5
- 4) 포항공과대학교 정보통신연구소, PRT 시스템 개념설계 보고서, 1999. 1.
- 5) 김백, “전철전력공학”, 기다리, 2005. pp. 20
- 6) 김정태 (2008) “도시철도 연구기획과제 추진현황”, 철도학회 차량 및 정책분과 공동 세미나 자료집, 8월 28일
- 7) 류상환 “경전철의 개요 및 국내외 경전철 추진 현황”, 한국철도기술 연구원, 발표자료
- 8) 한국철도기술연구원 (2007) 철도시스템 기술의 이해
- 9) 한석운 (2007) “세계 경량전철 차량 시장 현황과 향후 전망”, 한국철도기술 연구원
- 10) 정락교 외5명(2000) “경량전철용 제3레조 집전장치의 시제품 개발”, 한국철도학회 2000년도 춘계학술대회 논문집
- 11) 백종현 외3명 (2009) “무선통신기반 차상제어장치의 전동차 시험 분석”, 한국산학기술학회논문지 Vol.10, No. 5, PP. 935~941
- 12) 국토해양부 (2008) 해외철도사업 진출 전략 및 수주 활성화 방안
- 13) 국토해양부 교통 정책실 철도 정책, http://transport.mltm.go.kr/USR/WPGE0201/m_1051/DTL.jsp
- 14) Ingmar Andeasson, Innovative Transit Systems – Survey of current developments, VINNOVIA Report VR 2001:3, 2001.
- 15) K.K.E. Cheng, Y.Lu, “Development of a contactless power converter”, IEE ICIT’02, Bangkok, pp. 786~791
- 16) K.Lashkari, S.E.Schladober, E.H.Lechner; “Inductive power transfer to an electric vehicle”, 8th international electric vehicle symposium, October, 1986, pp. 258~267.
- 17) A.Esser, H.Skudelny; “A new approach to power supply for robots”, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.27, No.5, September, 1991, pp. 872~875.
- 18) A.W.Klontz, D.M.Owens; “Connectorless power supply for an aircraft – passenger entertainment system”, IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.4, No. 3, July 1989, pp. 348~354.
- 19) Hideki Ayano, Kouki Yamamoto, Noriaki Hino, Ikuo Yamoto, “Highly efficient

- contactless electrical energy transmission system", IECON 02 [Industrial Electronics Society, Vol.2, 5-8 Nov. 2002 pp. 1364~1369.
- 20) Jacobus M. Barnard, Jan A. Ferreria, Jacobus Daniel van Wyk, "Sliding Transformer for Linear Contactless Power Delivery", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 44 No. 6 December 1997. pp. 774~779
 - 21) A. G. Pedder, A. D. Brown and J. A. Skinner, "A Contactless Electrical Energy Transmission System", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 46 No. 1, 1999. pp. 23~30
 - 22) F.Sato, J.Murakami, T.Suzuki, H.Matsuki, S.Kikuchi, K.Harakawa, H. Osada, K.Seki,"Contactless energy transmission to mobile loads by CLPS-test driving of an EV with starter batteries", IEEE Trans. on magnetics, Vol.33, No.5, September 1997, pp. 4203~4205.
 - 23) Koichi Hatanaka, Fumihiko Sato, Hidetoshi Matsuki, Shinki Kikuchi, Jun ichi Murakami, Makoto Kawase, Tadakuni Satoh, "Power transmission of a desk with a cord-free power supply", IEEE Trans. on Magnetism, Vol.38, No.5, September 2002, pp. 3329~3331.
 - 24) Jacobus M. Barnard, Jan A. Ferreria, Jacobus Daniel van Wyk, "Optimising Sliding Transformers for Contactless Power Transmission System" IEEE 1995,
 - 25) Rong-Jong Wai, Jeng-Dao Lee,"Voltage-source resonant inverters for linear piezoelectric ceramic motor", Industrial Electronics Society, 2004. IECON 2004. 30th Annual Conference of IEEE Vol. 2, 2-6 Nov. 2004, pp.1195~1200
 - 26) Ye, Z.M., Jain, P.K., Sen, P.C.,"Multiple frequency modeling of high frequency resonant inverter system", Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual Vol. 6, 20-25 June 2004, pp. 4107~4113
 - 27) Marian K. Kazimierczuk, Dariusz Czarkowski, " Resonant Power Converters", JOHN WILEY & SONS, INC.
 - 28) Carrasco, J.M., Galvan, E., Valderrama, G.E., Ortega, R., Stankovic, A.M.,"Analysis and experimentation of nonlinear adaptive controllers for the series resonant converter", Power Electronics, IEEE Transactions on Vol.15, May 2000, pp. 536~544
 - 29) Gupta, S.C, "Phase-locked loops", Proceedings of the IEEE Vol. 63, Feb. 1975, pp. 291~306

- 30) Chen, O.T.-C., Sheen, R.R.-B, "A power-efficient wide-range phase- locked loop", IEEE Journal of Vol.37, Jan. 2002, pp. 51~62
- 31) J.T.Boys. G.A.Covic, and GREEN, A, W " Stability and control of inductively coupled power transfer systems," IEE Proc.Electr.Power Appl., 2001, 147,(1) pp37~43, 2000
- 32) J.M.Barnard, J.A. Ferreira, and J.D. van Wyk, "Sliding tranformers for linear contactless power delivery," IEEE Trans., Power Electron., vol.44, pp 774-779, Dec.1997.
- 33) A.W.Kelley and W.R.Owens, "Connectorless Power Supply for an Aircraft-Passenger Entertainment Systems," IEEE Trans., Power Electron., vol.4, pp.348-354, July.1989.
- 34) Abe, H.Sakamoto, H. Harada. K."A noncontact carger using a resonant converter with parallel capacitor of the secondary coil," IEEE Transaction on Industry Applications, vol.36, no.2, pp.444-451, March/April. 2000.
- 35) C. Wang, O. H. Stielau, G.A. Covic, "Load models and their application in the design of loosely coupled inductive power transfer systems," IEEE-PES/IEE/DSEE International Conference of Power System Technology, POWERCON 2000, Perth Australia, December 4th-7th, pp.1053-1058, 2000.
- 36) Hiroshi Sakamoto and Koosuke Harada, "A novel circuit for non-contact charging throuth electromagnetic coupling," in PESC'93 Record, pp.168-174, Spain, 1992
- 37) G.H.Royer, "A switching DC-to-DC converter having an output frequency proportional to the DC input voltage," AIEE Trans. Vol.74, pp. 322-324
- 38) www.bombardier.com bombardier 홈페이지
- 39) Anton Mirtchev (2005), "AUTOMATIC RESTART FOR COMMUNICATION BASWD TRAIN CONTROL SYSTEM", Proceedings of JRC2005 Joint Rail Conference March 16~18, Pueblo, Colorado Mara Leenen et al., "The worldwide market for railway technology 2007-2100>, SCI Verkehr GmbH, 2006
- 40) Jacobus M. Barnard, Jan A. Ferreria, Jacobus Daniel van Wyk, "Sliding Transformer for Linear Contactless Power Delivery", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 44 No. 6, December 1997, pp. 774~779
- 41) 58th UITP World Congress, Vienna, June 7-11, 2009, Bombardier Transportation "Innovating Urban Mobility for the 21st Century"
- 42) A.W.Klontz, D.M.Owens, "Connectorless power supply for an aircraft - passenger

entertainment system", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.4, No. 3, July, 1989, pp. 348~354.

- 43) A.W.Klontz, D.M.Owens, "Connectorless power supply for an aircraft – passenger entertainment system", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.4, No. 3, July 1989, pp. 348~354.

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 미래철도기술개발사업의 기획연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 미래철도기술개발사업의 기획연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.