

무가선 저상트램 시스템 개발 연구 최종요약보고서

2013. 05.

- 1세부 총괄연구기관 / 한국철도기술연구원
주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 한국교통연구원
위탁연구기관 / 한국철도시설공단
한양대학교
(주)아이파워컨
한국화이바
- 2세부 협동연구기관 / 현대로템(주)
공동연구기관 / 갑을오토텍(주)
대원강업(주) 성환공장
유진기공산업(주)
(주)디유에이엔아이
한국전기통신(주)
- 3세부 단순참여기관 / (주)포스에이앤씨건축사사무소
협동연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / (주)LG화학
(주)포스코건설
(주)ERS
넥스콘테크놀러지(주)
단순참여기관 / 동진산업(주)
동영기술(주)
(주)카이센

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “무가선 저장트램 시스템 개발 연구”과제의 최종요약보고서로 제출합니다.

2013. 5. .

주관연구기관 : 한국철도기술연구원

원 장 : 홍 순 만

■ 총괄연구책임자 / 책임연구원 과 재 호

■ 참여연구원

[1세부과제]

☐ 1세부과제 책임자	/ 책임연구원	과 재 호	세부 책임
☐ 주관연구기관 참여연구원	/ 책임연구원	박 형 순	차량시스템 연구
	/ 책임연구원	이 호 용	차량시스템 연구
	/ 선임연구원	황 현 철	신호시스템 연구
	/ 선임연구원	정 우 태	사업관리/추진에너지 해석
	/ 선임연구원	장 승 호	사업관리/인터페이스 연구
	/ 선임연구원	신 승 권	신호제어 기초연구
	/ 책임연구원	권 태 수	시스템 인터페이스 업무
	/ 수석연구원	서 승 일	시스템 인터페이스 업무
	/ 수석연구원	최 성 규	차량시스템 연구
	/ 책임연구원	정 우 성	시스템 최적화 연구
	/ 선임연구원	이 재 영	시스템 최적화 연구
	/ 선임연구원	이 수 형	궤도시스템 연구
	/ 선임연구원	신 판 식	법제도 연구
	/ 선임연구원	한 순 우	차량시스템 연구
	/ 선임연구원	강 윤 석	궤도시스템 연구
	/ 선임연구원	이 광 섭	시스템 및 환경연구
	/ 연 구 원	오 용 국	전기시스템 연구
	/ 연 구 원	김 태 진	기술자료 조사 및 분석
	/ 연 구 원	심 규 하	기술자료 조사 및 분석
	/ 연 구 원	오 상 호	기술자료 조사 및 분석
	/ 연 구 원	조 연 호	추진시스템 최적화 연구

/수석연구원 김 태 현 연구책임

/책임연구원	서 우 성	시 트 설 계
/주임연구원	이 태 경	시 트 설 계
/책임연구원	이 서 현	도 아 설 계
/책임연구원	임 승 관	도 아 설 계
/책임연구원	신 판 주	도 아 설 계
/주임연구원	안 교 진	도 아 설 계
/주임연구원	백 경 민	도 아 설 계
/책임연구원	이 상 곤	연 구 책 임
/선임연구원	윤 승 오	HVAC 설 계
/선임연구원	박 재 경	HVAC 설 계
/주임연구원	배 상 호	HVAC 설 계
/연 구 원	구 태 우	HVAC 설 계
/수석연구원	강 형 민	연 구 책 임
/선임연구원	공 동 목	회 로 설 계
/주임연구원	서 회 극	표시기 설 계
/연 구 원	홍 시 석	표시기 설 계
/연 구 원	윤 혁 진	표시기 설 계
/연 구 원	안 기 철	표시기 설 계
/연 구 원	정 교 석	표시기 설 계
/연 구 원	이 동 규	표시기 설 계
/수석연구원	김 동 식	연 구 책 임
/수석연구원	박 훈 규	제 동 설 계
/수석연구원	이 경 석	제 동 설 계
/수석연구원	김 기 남	제 동 설 계
/선임연구원	황 성 훈	제 동 설 계
/선임연구원	노 용 수	제 동 설 계
/연 구 원	조 연 재	제 동 설 계

[3세부과제]

☐ 3세 부 과 제 책 임 자	/선임연구원	정 우 태	세부책임
☐ 주 관 연 구 기 관 참 여 연 구 원	/책임연구원	곽 재 호	인프라인터페이스
	/선임연구원	강 윤 석	궤도구조물
	/선임연구원	이 수 형	궤도/토목
	/선임연구원	장 승 호	인프라인터페이스

☐ 공동연구기관 참여연구원	/책임연구원	강 달 모	배터리 개발
	/선임연구원	이 진 규	배터리 개발
	/선임연구원	신 인 철	배터리 개발
	/선임연구원	장 민 철	배터리 개발
	/선임연구원	박 정 민	배터리 개발
	/선임연구원	최 용 석	배터리 개발
	/주임연구원	추 연 석	배터리 개발
	/주임연구원	박 정 민	배터리 개발
	/주임연구원	박 명 기	배터리 개발
	/주임연구원	이 범 현	배터리 개발

/주임연구원	정 상 윤	배터리 개발
/주임연구원	백 승 문	배터리 개발
/선임연구원	김 현 식	배터리 개발
/선임연구원	이 영 호	배터리 개발
/주임연구원	성 준 엽	배터리 개발
/선임연구원	박 현 철	배터리 개발
/주임연구원	최 지 영	배터리 개발
/주임연구원	김 민 정	배터리 개발
/주임연구원	황 형 진	배터리 개발
/주임연구원	박 재 성	배터리 개발
/주임연구원	이 현 철	배터리 개발
/주임연구원	최 준 석	배터리 개발
/주임연구원	노 태 환	배터리 개발
/주임연구원	박 장 옥	배터리 개발
/주임연구원	임 재 권	배터리 개발
/선임연구원	강 영 주	배터리 개발
/선임연구원	김 지 훈	배터리 개발
/주임연구원	김 현 진	배터리 개발
/주임연구원	강 정 수	배터리 개발
/주임연구원	고 철 원	배터리 개발
/선임연구원	조 태 신	배터리 개발
/주임연구원	김 동 연	배터리 개발
/주임연구원	남 진 무	배터리 개발
/선임연구원	강 영 삼	동진산업(주)
/책임연구원	전 성 우	동영기술(주)
/수석연구원	안 동 근	궤도구조연구
/책임연구원	김 철 환	궤도구조연구
/선임연구원	전 진 택	궤도구조연구
/선임연구원	안 상 구	궤도구조연구
/선임연구원	정 상 현	궤도구조연구
/선임연구원	김 동 완	궤도구조연구
/선임연구원	박 정 규	궤도구조연구
/선임연구원	정 영 도	궤도구조연구
/선임연구원	이 광 우	궤도구조연구
/주임연구원	이 보 라	궤도구조연구
/수석연구원	박 정 근	매립형궤도연구
/선임연구원	오 주 영	매립형궤도연구

보고서 요약서

과제고유번호	12PURT-B053833-04	연구기간	2009.12.01 ~ 2013.04.30	단계구분	최종
연구사업명	미래도시철도기술개발사업				
연구과제명	대과제명	무가선 저상트램 기술 연구			
	세부과제명	제1세부과제명 : 무가선 저상트램 시스템기술 연구 제2세부과제명 : 무가선 저상트램 차량개발 제3세부과제명 : 무가선 저상트램 에너지 인프라 개발			
연구책임자	곽재호	총연구기간 참여 연구원수	총 : 875 명 내부 : 875 명 외부 : - 명	총연구비	정부 : 21,403,000 천원 기업 : 14,880,000천원 계 : 36,283,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	(1세부) 한국철도기술연구원 (2세부) 현대로템(주) (3세부) 한국철도기술연구원	참여기업명		현대로템(주),갑을오토텍(주),대원강업(주)성환공장,유진기공산업(주), (주)디유에이엔아이,한국전기통신(주),(주)포스에이씨종합감리건축사사무소,(주)LG화학,(주)포스코건설,(주)이알에스,동영기술(주), 동진산업(주),(주)카이젠	
국제공동연구	상대국명 : -		상대국연구기관명 : -		
위탁연구	연구기관명 : 한양대 외		연구책임자 : 이형철 외		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
☐ 무가선저상트램 시스템 인터페이스 기술 개발 - 시스템 개발 공정관리, 목표사양 관리 및 조정 - 시험노선 대상지 설정 연구 ☐ 무가선 저상트램 종합성능 시험평가 - 무가선 주행성능 예측시스템 설계 및 구축 - 차량 신뢰성 검증용 주행데이터 추출 및 분석 - 누적 주행거리 성능 시험(5,000km) 달성 - 시험선 운영 및 유지보수 매뉴얼 개발 ☐ 무가선 저상트램 주행성능 시험선 구축 - 무가선 시험선 기본 및 실시 설계					

- 무가선티램 전용 시험선 건설 (검수고, 변전설비 및 충전시설 등)		
☐ 국내외 시장진출 방안 및 관련 정책/법규 제개정안 연구		
- 무가선 저상트램 실용화 관련 법률 및 제도 정비 방안 연구 - 무가선 저상트램 실용화 기획연구 보고서 작성		
☐ 무가선 저상트램 시제차량 개발		
- 차량시스템 규격서 및 설계도면 작성 (100% 저상대차 기술 개발) - 차량 구성품 설계 및 제작 (냉난방장치/제동/의장/도어/방송장치 등) - 차량 제작 및 공장 내 완성차 기능/성능시험 - 시제차량 시험선 시험 (성능시험 및 신뢰성 시험)		
☐ 대용량 추진배터리 시스템 개발		
- 고출력 단전지 개발 및 162kWh급 대용량 배터리시스템 시제품 제작 - 모듈단위 신뢰성 평가 및 환경성능 검증		
☐ 친환경 매립형 궤도시스템 개발		
- 친환경 궤도 체결장치 및 슬래브 궤도 기술 개발 - 무가선티램 전용 시험선 내 1km 매립형 궤도 시공		
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	노면경전철, 경량전철, 도시철도, 하이브리드차량, 철도차량
	영 어	Tram, LRT, Urban Railway, Hybrid Car, Railway Vehicle

요 약 문

I. 제목

무가선 저장트램 시스템 개발 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

- 친환경성, 에너지 효율성, 편리성, 경제성의 요구를 충족하는 신개념의 도시철도 시스템 기술을 확보하기 위하여 2차전지를 주동력으로 사용하여 무가선 및 유가선 하이브리드 방식으로 운행이 가능한 저장트램 시스템 기술개발

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

- 신성장동력형 고효율 친환경 철도차량 세계 최고 기술 확보
- 타 경전철 차량에 비해 초저상(승객 및 교통약자 이용 편의성 향상), 무가선(가선 제거 및 도시 환경성 향상), 선로의 호환성(기존 선로사용가능, 독립 시험선이 불필요), 멀티파워 하이브리드 추진(에너지 효율성 향상) 방식으로 전 세계 미개발 신기술 차량 시스템 개발이 요구됨. 국가 녹색산업 육성방향과 부합

나. 경제·산업적 측면

- 저렴한 인프라, 토목/건설비, 고효율 추진, 경량화 차량의 개발을 통한 경제성·시장경쟁력 확보
- 경량화를 통한 에너지 효율 향상과 가선을 통한 에너지 손실을 10% 이상 줄이며, 회생제동을 통하여 에너지효율을 30% 이상 높일 수 있다는 점에서 에너지 효율성과 환경 친화성을 극대화할 수 있음

- 향후 45조원 이상의 국내시장을 형성할 것으로 전망되는 경량전철 시장에 적극적으로 대응하고, 세계적인 기술 선도를 통해 신성장 동력으로서의 수출산업화

다. 사회·문화적 측면

- 승객 또는 교통약자 이동편의 증진, 초고령 사회 대응 등 사회적 요구에 부합하여 승하차, 환승이 편리함(접근성). 이를 통해 자가용 수요를 흡수함으로써 도로교통의 혼잡과 환경오염 등을 줄일 수 있는 획기적인 기술적 대안임 (교통수단별 CO2배출량: 승용차의 1.5%)

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

[1세부과제]

연 차	연구목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2009.12.01 ~ 2010.04.30)	무가선 저상트램 시스템 사양결정 및 기본설계	- 시스템 개발 세부사양 조정 및 결정 - 시스템 개발 및 시험선 구축에 관한 로드맵 도출 - 국내외 특허분석 및 기술 선점 요소 정립 - 구동력 및 구동에너지 스펙 도출 - 대차 및 차량배치 구성 관련 동역학 해석 연구 - 시험노선 대상지 선정기준 및 선정절차 제시
	트램도입을 위한 법 · 제도 개선방향 연구	- 트램건설과 운영에 관련한 제반 법·제도 적용방안 및 문제점 파악 - 국내·외 트램건설과 운영에 관한 법·제도 고찰 - 트램도입을 위한 법제도 개선방향 제시

2차년도 (2010.05.01 ~ 2011.02.28)	무가선 저상트램 시스템 구성요소 인터페이스 설계	- 시스템 개발 공정 및 목표사양 관리 - 노면레일 및 차륜 인터페이스 관련 소음방사 모델 연구 - 에너지 소모량 및 회수량, 차량의 정시성을 예측하는 TPS 개발 - 시험노선 대상지 설정 연구 - 무가선 시험선 기본계획
	무가선 저상트램 도입을 위한 법제화 방안 연구	- 도로교통법, 도시철도법, 궤도운송법의 체계 및 적용대상 파악 - 법률과의 상충을 최소화하고 무가선 저상트램의 도입을 원활하게 수행할 수 있는 법률 제·개정안 제시
3차년도 (2011.03.01 ~ 2012.02.29)	무가선 저상트램 시스템 인터페이스	- 시스템 개발 공정 및 목표사양 관리 - 저상 트램 환경소음 및 진동 예측모델 개발 및 검증
	무가선 시험선 구축 및 시스템 종합성능 시험평가	- 무가선 시험선 기본/실시 설계 - 시험선 노반공사 착수 - 종합시험 계측시스템 설계
	무가선트램의 표준 운영환경 구축	- 무가선 트램과 유사 대중교통수단과의 경제성, 친환경성 측면 비교 검토 - 미래교통시스템에 있어 트램의 위상 정립 - 무가선 트램의 표준 운영환경 구축
4차년도 (2012.03.01 ~ 2013.04.30)	무가선 저상트램 시스템 인터페이스 및 실용화기획 연구	- 시스템 개발 공정 및 목표사양 관리 - 무가선 저상트램 시스템 실용화기획 연구
	무가선 저상트램 종합성능 시험평가	- 무가선 시험선 건설 사업관리 및 완공 - 종합시험 계측시스템 구축 - 무가선 주행성능 및 종합시험 평가

[2세부과제]

연차	연구 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2009.12.01~ 2010.04.30)	차량시스템 Concept 개발	- 차량 기본 사양 결정 - 저상트램 차량 시스템 규격서 작성 - 차량 시스템 기본설계 도면 작성

	기본설계 차량 수치해석 모델링	- 노면트랩 및 저상대차 수치해석 관련 사례 조사 및 분석 - 동특성 및 승차감 관련 기준 조사 - 개념안 기본 수치해석
	냉난방 장치 기본설계	- 철도차량 냉난방기 관련 법령 검토 - 외국업체 유사제품 벤치마킹 - 차량 냉방부하 예측
	경량/고강도 의자 기본설계	- 경량 시트 현황 파악 자료 - 국내외 경량 시트 벤치마킹 자료 - 시트 디자인 정립
	제동시스템 및 집전장치 기본설계	- 트램 적용 유압제동 시스템 Piping diagram 확보 - 트램 관련 해외 규격 입수 - 요구제동력 검토
	경량/고신뢰성 출입문 사양결정	- 기술자료 조사/분석 - 해외특허 조사/분석 - Door system accessory 핵심부품 분석
	고성능, 다기능 방송표시기 기본설계	- 방송표시기 기술/시장동향분석 및 기능/성능 요구조건 파악 - 시스템 구성방안 도출 및 장치별 구성 방안 설계
2차년도 (2010.05.01~ 2011.02.28)	차량 시스템 상세설계	- 차량 시스템 상세설계 완료 - 구성품 발주 및 성능시험 - 차량 제작 착수 - 제작 및 성능평가 일정계획 수립
	소형/고성능 냉난방장치 개발	- 냉난방장치 프레임 세부설계 - 증발기 열교환기, 응축기, 열교환기 등 부품 개발 - 시제품 제작용 부품 구매
	경량/고강도 의자 개발	- 시트 경량 소재 개발 - 시트 상세 설계 및 해석
	제동시스템 및 집전장치 개발	- 상세 설계 및 동력대차용 시제품 제작
	경량/고신뢰성 출입문 개발	- 시스템 상세 설계 및 부품발주 - 시제품 제작 및 성능검증
	고성능/다기능 방송표시기 개발	- 장치 별 상세설계 및 발주 - 구성품 제작 및 시험
3차년도 (2011.03.01~ 2012.02.29)	구성품 제작	구성품(도어, 냉난방기, 의자, 제동, 방송표시기, 견인전동기, 인버터 등) 제작
	구성품 시험	성능시험 및 보완 (필요시)
	조립시험	추진계 성능시험
	차량제작	대차/차체제작 및 도장, 의장 및 기장 작업 (4차년도 완료)

	차체/대차프레임 하중시험	설계하중에 대한 구조시험
4차년도 (2012.03.01~ 2013.04.30)	차량제작	의장 및 기장작업 등 차량제작 완료
	공장시험	단차시험, 편성시험
	시험선 시험	시운전, 성능시험, 신뢰성시험

[3세부과제]

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도 (2009.12.01~ 2010.04.30)	트램 궤도시스템 요구사항 도출	- 트램 궤도구조 시스템(궤도/슬래브/노반) 주요 요구사항(안)도출 - 궤도구조의 시험평가(안) 도출 및 시험
	2차전지 시스템 구성 검토	- 전지 시스템 구성안 - 냉각 기술 및 가능성 검토 - 전지 모듈 기술 검토 - 차량용 비상 충전장치 구성 및 사양 검토
2차년도 (2010.05.01~ 2011.02.28)	궤도시스템 체결장치 및 지지슬래브 실시설계	- 궤도시스템 인터페이스 및 노반시공 상태평가 - 체결장치(수지고정형) 설계 및 시공방안 검토 - 궤도 지지슬래브 실시설계 및 실내시험평가
	고용량, 고출력 전지 설계 기술 및 초기 성능 평가	- 고용량, 고출력 구현을 위한 양/음극최적화 및 전극제조기술 개발 - 성능구현을 위한 단전지 설계 최적화 및 초기성능 평가 - 고용량 구현 시, 발생하는 출력저하 방지기술 개발 - BMS 하드웨어 및 SOC 추정 알고리즘 설계 - 차량용 비상 충전장치 설계
3차년도 (2011.03.01~ 2012.02.29)	Yard Test 및 시공성 평가	- 궤도시스템 (궤도/슬래브/노반)의 실외 성능 시험(Yard Test), 시공성 평가 및 보완
	전지시스템 시제품 제작 및 성능평가	- 전지 모듈 시제품 제작 - 모듈 시제품 전기적 성능 평가 - 전지 시스템 제작 및 성능 평가 - BMS 시제품 제작 및 평가

4차년도 (2012.03.01~ 2013.04.30)	저상트램 궤도시스템 시공 및 성능평가	- 궤도시스템(궤도/슬래브/노반)의 시험선 시공 시험 및 장기 성능평가 - 저상트램 궤도시스템의 총괄지침서(안) 작성
	단전지 환경성능 검증 및 단전지 수명 평가	- 실제 트램 주행을 통한 사용환경 정보 확보 - 단전지의 내환경 성능 검증 - 단전지의 사이클 및 저장 수명

IV. 연구개발결과

[1세부]

연 차	연구 내용	연구 결과
1차년도	○ 무가선 저상트램 시스템 사양결정 및 기본 설계	- 시스템 개발 세부사양 조정 및 결정 - 시스템 개발 및 시험선 구축에 관한 로드맵 도출 - 국내외 특허분석 및 기술 선점 요소 정립 - 구동력 및 구동에너지 스펙 도출 - 대차 및 차량배치 구성 관련 동역학 해석 연구 - 트램 도입을 위한 법·제도 개선방향 연구 - 시험노선 대상지 선정기준 및 선정절차 제시
2차년도	○ 무가선 저상트램 시스템 구성 요소 인터페이스 설계 - 시스템 개발 공정 및 목표사양 관리 - 노면레일 및 차륜 인터페이스 관련 소음방사 모델 연구 - 에너지 소모량 및 회수량, 차량의 정시성을 예측하는	- 분기별 공정회의 3회, 차량/배터리/궤도 인터페이스 회의 15회 실시 => 목표사양 세부 조정 - 배터리 성능시험 기준(안) 제시 - 매립형 궤도의 동적하중에 의한 레일의 진동, 소음방사 예측 및 콘크리트 슬라브의 진동, 소음방사 특성 예측 - 주행 시뮬레이션 프로그램(TPS) 개발 : 전력분배 알고리즘, GUI 및 전후처리 프로그램 개발

	TPS 개발 - 시험노선 대상지 설정 연구 - 무가선 시험선 기본계획	- 시험선 구축을 위해 시험선 평가기준 제시 - 후보지 3개 노선 타당성 검토, 선정된 1개 노선에 대한 기본계획 수립
	○ 무가선 저상트램 도입을 위한 법제화 방안 연구 - 도로교통법, 도시철도법, 궤도운송법의 체계 및 적용대상 파악 - 법률과의 상충을 최소화하고 무가선 저상트램의 도입을 원활하게 수행할 수 있는 법률 제·개정안 제시	- 노면전차 운영, 건설관련 해외사례 조사 - 노면전차 건설, 운영 지원체계 정립, 안전관리체계 및 사업관리체계 구축 - 도로교통법, 도시철도법 개정(안) 제시 및 관계 부처 협의
3차년도	○ 무가선 저상트램 시스템 인터페이스 - 시스템 개발공정 및 목표사양 관리 - 저상 트램 환경소음 및 진동 예측모델 개발 및 검증	- 차량/배터리/MVB 인터페이스 회의 9회 실시 =>시스템 목표사양 세부 조정 - 현장 공정회의 8건(로템 창원공장 등) - 위탁과제 공정회의 1건 - 매립형 궤도에서의 등가 동특성 측정. 이를 적용한 복합 구조물 및 레일 진동 응답 예측 및 소음 방사특성 확인. 흡음률을 적용한 주행 중 트램의 방사 소음 특성 예측
	○ 무가선 시험선 구축 및 시스템 종합성능 시험 평가 - 무가선 시험선 기본/실시 설계 - 시험선 건설 사업관리 및 향후 유지관리 등 활용방안 연구 - 시험선 노반공사 착수	- 시험선 부지 측량/지반 조사 - 시험선 노선 검토 및 선형/노반계획 수립 - 검수시설/기계설비/전기설비 사양 개발 - 무가선 저상 트램관련 지자체의 관련계획 분석하여 실용화 대비 자료 구축 - 시험선 건설위한 차량, 노반, 시스템 등 관련 분야 인터페이스를 분석 및 정립 - 시험선 구축 일정(12.8)에 맞추기 위하여 제작 발주가 시급한 변전설비 우선 제작 착수 - 변전설비 구성품 요구사양 및 시방서 개발

	- 종합시험 계측시스템 설계	- 변전설비 구성품 제작 착수 (직류고속도차단기반, 변압기반 등) - 기존 완성차 시험항목, 내용 및 관련 규정 분석 - 무가선 트램 차량시험위한 시험항목 선정 - 시험차량 계측시스템 요구사항 개발
	○ 무가선 저상트램 표준 운영환경 구축 - 무가선 트램과 유사 대중교통수단과의 경제성, 친환경성 측면 비교 검토 - 미래 교통 시스템에 있어 트램의 위상 정립 - 무가선 트램의 표준 운영환경 구축	- 기능에 따른 유사 교통수단과의 건설기간, 수송용량, 시스템구축 비용 등 비교분석 - 미래 대중교통시스템의 요구사항 검토 - 도로규모에 따른 노면전차 운영에 대한 도로표준화단구성과 운영방안 평가 - 단선, 복선, 단선·복선 조합에 따른 표준 운영방안 수립
	○ 무가선 저상트램 시스템 인터페이스 및 실용화기획 연구 - 시스템 개발 공정관리, 목표사양 관리 - 무가선 저상트램 시스템 실용화 기획연구 - 연구개발 성과물 홍보	- 공정회의(3회) 및 시스템 인터페이스 회의(6회) 진행 - 실용화 기획연구 보고서 개발 - 실용화 연구 기획타당성 검토 - 여수EXPO 시범운영 ('12.5~'12.8) - 시험선 개소식 및 각종 시승행사 개최
4차년도	○ 무가선 저상트램 종합성능 시험평가 - 무가선 시험선 건설 사업관리 및 완공 - 종합시험 계측시스템 구축 - 무가선 주행성능 및 종합시험 평가	- 오송 무가선 전용 시험선 완공 : 매립형궤도 약 1km 구축 : 검수고/변전설비/충전설비 및 간이 승강장 2개소 구축 - 차량 종합계측시스템 구축 완료 - 누적 주행거리 5,000km 달성 - 시험선 운영 및 유지보수 매뉴얼 개발

[2세부]

연차	연구 내용	연구 결과
1차년도	차량시스템 Concept 개발	- 저장트램 차량 기본사양 결정 - 저장트램 차량 시스템 규격서 작성 - 차량개념설계를 위한 해외기술협력 및 현차조사 - 차량 일반도 작성 - 해외 주요 업체 트렌드를 분석 및 디자인 Concept 검토 - 조감도 작성 - 차량 중량계산서 초안 작성 - 차량 시스템 규격서 및 개념 설계안 근거로 기본설계 도면 작성 - Regulation 및 Standard 수립
	기본설계 차량 수치해석 모델링	- 노면트램 및 저장대차 수치해석 관련 사례 조사 및 분석 - 동특성 및 승차감 관련 기준 조사 - 개념안 기본 수치해석
	냉난방 장치 기본설계	- 철도차량 냉난방기 관련 법령 검토 - 외국업체 유사제품 벤치마킹 - 차량 냉방부하 예측 - 제품 외형도면 작성 - 차량 장착 방안 협의 - 냉난방기 제품 제어방안 작성 - 냉난방기 회로도 작성
	경량/고강도 의자 기본설계	- 경량 시트 기술현황 파악 - 해외 업체 기술현황 파악 - 시트 디자인 컨셉 결정 - 시트 기본 설계 - 시트 기술사양서 검토
	제동시스템 및 집전장치 기본설계	- 트램 관련 해외 규격 분석(BOStrab, EN13452) - 트램에 적용되는 유압제동 시스템에 대한 Piping diagram 작성 - 소요부품 목록 작성 - 유압제동시스템 관련 구성품 도면 작성 - 집전장치 일반도 작성
	경량/고신뢰성 출입문 사양결정	- 관련 연구논문 총 15편 및 해외특허 약 80건 분석을 통한 회피방안 도출 - Door system accessory 핵심 부품의 전장품

		분석 및 개념설계 - Engine mechanism 1차 개념설계에 따른 예상문제점 및 개선방향 도출
	고성능, 다기능 방송표시기 기본설계	- 시스템 요구사항 분석 - 시스템 기술규격 검토 - 회로설계도, 소프트웨어 구성도, 기구물 설계도, 인터페이스 구성도
2차년도	차량 시스템 상세설계	- 디자인 조감도 제작성 검토 - 차량 시스템 상세도면 작성 - 기술문서작성 및 설계검증/공학해석 - 구성품 발주[차체, 대차, 전장, 연결장치, 제동, 차량검지 및 제어장치 외] - 구성품 성능시험[주요 의장 부품] - 차체 및 차량제작 착수 - 차량제작용 지그 설계/제작 - 차체 단품 기계 가공 - 제작 일정계획 수립(구성품 및 차량일정 포함) - 성능 평가계획 수립(시험항목 및 기준 포함)
	소형/고성능 냉난방장치 개발	- 냉난방장치 프레임 세부설계 - 증발기 열교환기, 응축기, 열교환기 등 부품 개발 - 시제품 제작용 부품 구매
	경량/고강도 의자 개발	- 기술자료 수집분석을 통한 소재 파악 - 전시회 등 기존자료조사를 통한 소재 분석 - 경량 구조 설계 검토 - 시트 취부 구조 경량화 설계 - 3D Modeling 설계 - 차량 요구사항 검토를 통한 설계 - 구조 강도 해석 방법 파악 - 조감도 LAY-OUT의 기술적 검토 - 정하중 강도 해석 시행
	제동시스템 및 집전장치 개발	- 개발모델에 대한 요구사항 결정(승인) - 일반도/규격서 확정 - 외부기기와의 인터페이스 확정 - 시제품 제작(구동대차용) - 시제품에 대한 입회시험(형식시험) 진행 - 시험보고서 제출
	경량/고신뢰성 출입문 개발	- 싱글, 더블리프용 스크류 구동 전기식 도어 시스템 설계 - 장 납기 부품 수배 및 발주

		- 단품 소조립 및 가공품 검사 - 조립용 TEST BED 제작 및 목업 설치
	고성능/다기능 방송표시기 개발	- 회로도면, 단품도면, 구성품명세서 작성 - ICCP 제작물 및 기타 장치별 시험용 PCB 조립물 완료 예정 - 시제품 제작사양서 수립 및 장단기 부품 발주
3차년도	구성품 제작 및 시험	- 소형/고성능 냉난방 장치 : 냉난방장치 개발 시험용 제품 제작 : 단품 상태에서의 개발 제품 시험 : 제품제작, 성능시험, 포장/납품 : 실차에서의 작동상태, 소음 등의 시험 - 경량/고강도 의자 개발 : 시트 신규 부품의 금형 개발 : 특허 및 의자(디자인) 출원 추진 : 각 타입별 의자 강도 및 내구 시험 실시 : Seat Ass'y 5모듈본 제작 - 고성능 제동시스템 및 판토 : 개발품 차량장착관련 업무지원 : 완성차 시험 입회 : 주행시험 입회 : 개발차량에 대한 시운전 참승 : 시험결과에 대한 모니터링 진행 - 경량/고신뢰성 출입문 개발 : 더블/싱글 리프용 도어엔진 및 판넬제작 : DCU 제작 : 테스트벤치를 통한 구성품 형식시험 완료 : 공인인증기관을 통한 구성품 성능 시험완료 : 더블/싱글 리프용 도어 시스템 시제작 설치 - 고성능/다기능 방송표시기 : 차상방송장치 구성품 수정 : 승객안내표시장치 구성품 수정 : 실내/외 감시카메라/현시장치 구성품 수정 : 차상방송장치 제작 및 시험 : 승객안내표시장치 제작 및 시험 : 실내/외 감시카메라/현시장치 제작 및 시험
	차체/대차프레임 하중시험	- 시험용 대차 프레임 제작 - 차체 및 대차 프레임 하중시험
	차량 제작 및 조합시험	- 5모듈 차체 제작 - 차량 도장 작업

		- 차량 의장 작업 - 공동기관 개발품 차량 인터페이스 및 취부 - 차량 완성 및 검사
4차년도	공장시험	- 소형/고성능 냉난방장치 : 냉난방기 작동시험, 모니터링 : 냉난방 제어 프로그램 보완 : 냉방기 문제점 조치 - 고성능 제동시스템 및 판토 : 시운전 시험 : 개발차량에 대한 시운전 첩승 : 시험결과에 대한 모니터링 진행. : 유지관리 방안 구축 및 유지보수 방안 마련 - 경량/고신뢰성 출입문 : 공장내 완성차 기능/성능 시험 참여 : 시범운행 지원 : 신뢰성 검증을 위한 데이터 검출 - 고성능/다기능 방송표시기 : 시험 및 시운전 : 시험선 시험 및 시운전 : 신뢰성/안정성 확보시험 - 공장내 완성차 시험(동적시험)
	시험선 시험	- 본선(시험선) 이송/설치 및 시험/운전 준비 - 시험운행 지원 - 무가선 신뢰성 시험 : 주행시험 실시(1회 충전 25km 이상 운행) : 신뢰성 검증을 위한 데이터 추출/분석

[3세부]

연 차	연구 내용	연구결과
1차년도	트램 궤도구조 시스템 (궤도/슬래브/노반) 주요 요구사항(안)도출	-트램 궤도구조 시스템 (궤도/슬래브 /노반) 주요 요구사항(안)
	궤도구조의 시험평가(안) 도출 및 시험	- 수지고정형 레일 체결장치, 슬래브 궤도구조 시험평가(안) 제시 및 시험 (정적 수직스프링 시험, 초기체결력 시험, 종방향저항력 시험, 피로하중에 의한 레일두부 횡변위 시험수행)
	트램궤도구조의 시스템해석 및 설계절차 정립	- 트램 매립형 궤도구조 해석 및 설계 절차서 작성
	체결장치(수지고정형) 기본, 상세설계	- 궤도체결장치(수지고정형)기본 및 상세설계 수행 및 KS50N레일 홈단면, 가고정장치 설계
	체결장치(수지고정형) 초도 시제품 제작	- 레일고정수지(Polycork65) 및 12mm 폴리우레탄 레일패드(PURailstrip) 사양 결정 및 길이 60cm 초도시제품제작
	초도시제품 주요 성능시험	- 수직스프링 시험, 초기체결력 시험, 종방향저항력 시험, 피로하중에 의한 레일두부 횡변위 시험결과 검토
	궤도 지지슬래브 기술동향 파악	- 도심형 트램 노면선로 설계 및 시공 사례 분석 및 형식별 분류보고서 작성
	궤도 지지슬래브 단면 개발	- 친환경 궤도슬래브 단면 개발 및 특허출원 1건
	궤도 지지슬래브 기본설계	- 궤도슬래브 기본 및 샘플설계 수행 및 궤도지지슬래브 표준단면 기본 설계서 작성
	고출력 고용량 전지재료 기 술문헌 조사	- 단전지 설계 관점에서의 재료 현황 파악 - 대체 단전지 검토 - 전지 제작 1차 진행 - 단전지 안전성 평가(시험)
	전지 시스템 구성 검토 - 직렬/병렬 연결 구성 - 단위 전지 모듈 구성 - 전지 냉각 시스템 기술 문헌 조사	- 트램 운행 부하 분석을 통한 온도 상승 예측 - 배터리 시스템 냉각 방법 비교 및 선정 완료 - 모듈 구조 설계 기본안 마련 - 트램 내부 여유 공간 분석 - 트램 내부 공간 활용한 배터리 배치

		구성 초안 마련
	BMS 기술 검토	- SOC 추정 알고리즘 기술 현황 파악 - DC 절연 측정 방안 도출
	충전시스템 구성검토	- 충전시스템 사양서
2차년도	궤도시스템의 인터페이스 검토	- 궤도구조의 선형기술 검토 - 궤도구조 요구사항 정립 - 궤도구조(안) 선정 - 매립형 체결장치, 슬래브궤도의 성능 시험 평가(안) 도출 - 궤도 시스템의 실내시험 보고서
	저상트램 구조 노반시공 상태평가	- 트램궤도구조의 시스템 구조계산 - 저상트램용 구조 노반시공 상태 평가(안) 도출
	- 체결장치(수지고정형 -Grooved Rail) 설계 및 시공방안검토 - 체결장치(수지고정형)실내 시험	- 궤도체결장치(수지고정형, Grooved Rail용)기본, 상세설계 및 시공방안 검토서 작성 - 관련특허 출원 1건
	- Grooved Rail용 체결장치(수지고정형) 시제품제작 - 체결장치(수지고정형 -Grooved Rail)사양결정	- Grooved Rail(41GPU) 레일 홈단면 및 가고정장치 설계 - 레일고정수지(Polycork65) 및 12mm 폴리우레탄 레일패드(PURailstrip) 사양 결정 및 길이 60cm 초도시제품제작
	- 저상 트램 궤도시스템 시험체 실시설계 - 궤도 지지슬래브 기본설계	- 궤도 지지슬래브 실시설계 도면 - 궤도지지슬래브 설계기준(안) (선로, 궤도, 차량기지, 노반 등 포함) - 잔디식생단면 구조계산
	궤도 지지슬래브 시공지침서 작성	- 궤도 지지슬래브 시공지침서 작성
	단전지 개발 및 대체 단전지 검토	- 단전지 샘플 제작 - 구성 요소 변경에 따른 특성 최적화 실험 - 대체 단전지 실험, 특성 - 단전지 안전성 평가
	전지 시스템 설계	- 트램 운행 부하 분석을 통한 온도 상승 예측 - 냉각 시뮬레이션 자료 - 모듈 구조 설계 기본안 마련

		- 팩 시스템 설계 기본안 마련 - 팩 시스템의 구조 안정성 시뮬레이션 자료
	- BMS 기술 검토	- SOC 추정 알고리즘 개발 보고서 - BMS Sequence기동 설계 보고서
	충전 및 비상전원시스템 설계	- 비상충전 장치 BMS 설계도 - 시험용 시작품 제작
3차년도	저상트램궤도 시스템의 보완 실내시험	- 경사피로 시험 실시 - 유지보수 및 시험 결과 도출
	수지고정형 체결장치의 실내시험 최종	- 시험안 도출 - 정·동적 수직 스프링계수 시험 - 종방향 강성 시험
	저상트램구조 현장시공성 평가	- 반복평판 재하 시험 - 하중강도와 침하곡선 분석
	체결장치(수지고정형) Yard Test 시제품 : 30(m)	- 노면트램궤도시공의 직선부 및 곡선부에 적용 - ERS체결장치의 현장 시공검증 Yard Test
	시공시방서	- 개요 및 특징 - 시공 - 참고사항
	궤도 지지슬래브 기본 설계	- 강도 설계법을 적용함을 원칙으로 하고 강재 구조물, 프리스트레스트 콘크리트, 가설 구조물, 기타 허용응력 설계법에 따름
	궤도 지지슬래브 단면 제안 및 제작설계	- 가공 및 매립 레일 시공 - 프리캐스트 슬래브 시공 - 구조 계산 수치해석 및 도면
	궤도 지지슬래브 시험체 시공	- 트램 궤도지지 슬래브 시공 및 현장 시공검증 Yard Test - 궤도 지지슬래브 시공 문제점 및 개선사항 분석
	궤도 지지슬래브 시험체 진동 및 소음 측정	- 레일 위에 Tapping Machine을 이용하여 진동을 발생 및 속도응답 측정 - 레일 위에 Tapping Machine을 이용하여 소음을 발생 및 Sound Level Meters로 측정 - 진동 및 소음 측정 결과 분석
	궤도 지지슬래브 시공지침서	시공지침서 작성
	전지시스템 개발	- 단위 모듈 총에너지 및 출력 평가

		- 전지 시스템의 냉각 시스템에 대한 냉각 성능 평가 확인 및 보안 - 전지 모듈 및 전지 시스템 시제품 제작
	단전지 개발	- 단전지 시제품 제작 및 설계보완 - 고용량, 출력등의 초기성능 평가 및 설계검증 - 단전지 모듈화 및 실차탑재실험을 통한 단전지의 설계 보완
	BMS 개발	- 무가선 저장 트램용 전지 SOC 추정 알고리즘 개발 - 무가선 저장 트램용 운용 소프트웨어 개발 - 무가선 저장 트램용 하드웨어 개발 - 무가선 저장 트램용 BMS 시제품 개발
4차년도	저상트램레도 시스템의 현장성능 장기평가	- 시공 시험선의 트랙 마스터를 이용한 시험평가 수행 - 시험선 유지보수(계속 진행) - 최종결과 도출
	총괄지침서 작성	- 총괄지침 내용을 포함한 최종보고서 작성 - 신기술 신청 및 지정(교통신기술 제 13호)
	체결장치(수지고정형) 시험 시공 및 성능검증 : 1km 시험선	- 노면트램레도시공의 직선부 및 곡선부에 적용 - ERS체결장치의 현장 시험선 시공
	체결장치(수지고정형)의 시공 및 유지보수 매뉴얼 작성	- 시공 (시험선 시공) - 유지보수 매뉴얼 작성
	궤도 지지슬래브 자동화 시공 (시험선 1km)	- 자동화 시공을 통한 매립형 궤도 슬래브의 시험선 시공 (시설공단 오송기지 시험선 1km) - 마감방식에 따른 시험선 시공 (잔디마감궤도, 석재마감궤도, 아스팔트 마감 궤도)
	노면선로 스마트 레일 시스템 구축 및 성능평가	- 광섬유를 이용한 스마트 레일 시스템 구축 및 궤도 성능평가
	노면선로 유지관리 지침서 개발	- 트램 선로의 유지관리 지침서 작성
	전지시스템 주행 평가 시험	- 4칼럼 2세트 형식의 전지시스템의

		트램 탑재 및 주행 평가 시험 실시(시험선 계속 운행 및 시험)
	셀 모듈 수명 평가	- 셀, 모듈의 내환경/안전성 성능 시험 - 사이클 수명 및 저장수명 평가 시험
	BMS 평가 및 개선	- 주행시험을 통한 문제점 파악 및 BMS 개선 - 진단 항목 개선 및 SOC 추정 성능 평가

V. 연구개발결과의 활용계획

- 세계적으로 기술개발단계에 있는 무가선 하이브리드형 저상트램을 조기 개발함으로써, 국외 많은 도시에서 운행되는 저상트램의 미래 수요 부분 흡수
- 본 기술의 핵심 개발내용인 친환경성 및 에너지 효율성의 기술력 확보와 홍보를 통한 지속적인 미래 수요 확보
- 완전무가선 핵심기술 확보를 통한 세계 노면트램 시장 선도 (트램의 경전철 시장 점유율 76%)
- 하이브리드 추진제어 시스템의 대용량 2차전지 집적기술 및 BMS기술은 타 운송 시스템 (하이브리드 전기 자동차, 선박, 항공 및 우주 등)의 원천기술 제공을 통한 기술 수출산업화 및 수입대체 효과
- 안전하고 편리한 친환경적 미래 도시대중교통수단 개발로 지속가능한 복지교통 구현에 기여
- 개발 완료 후, 교통시스템으로서 적용될 무가선 저상트램에 대한 실질적인 법적 지원체계로 활용
- 저상트램 건설과 운영에 대한 의식 구조 파악 결과 및 사회적 실험 결과를 토대로 대중에 대한 저상트램 홍보 전략 및 인식 구조 재편 계획을 수립하여 저상트램 운행에 대한 사회적 합의 형성

SUMMARY

I . Title

- Development of System Technology for Wireless Low-floor Tram.

II . Purpose and Necessity

Tram systems in Europe and North America are used as medium-capacity urban transit systems for creating environment-friendly and sustainable development. They have promoted a modal shift from motor vehicles to a mix of pedestrian and public transit. In addition the system is raising public interest for its energy-efficiency superior to automobiles. The purpose of this study is to develop the wireless low-floor tram system for giving the urban transit being very pedestrian friendly and running without electric power wire. The system is comprised of several subsystems, for example cars, tracks, battery systems, signals, related laws and regulations.

In the 1st project, the integration of the subsystems is carried out in the design and development of the wireless low-floor tram system. This study is also centered on the developments of fundamental interfacing technology and evaluations of the system.

The scope of the 2nd project is the design, validation, manufacturing and test of a wireless low floor tram having PADIS, braking system & pantograph, HVAC, seat and passenger doors.

The 3rd project is to research on the tram track infrastructure having embedded rail system, and the energy system infrastructure having battery and BMS. The components of the infrastructure would be designed, produced and tested.

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	2
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성	2
1. 연구개발의 목적	2
2. 연구개발의 필요성	3
제 2 절 연구개발의 목표 및 내용	10
1. 연구개발의 목표	10
2. 연구개발 내용	10
제 2 장 국내외 기술개발 현황	18
제 1 절 국내외 기술개발 현황	18
제 2 절 국내외 시장 동향	23
제 3 장 연구개발수행내용 및 결과	27
제 1 절 무가선 저상트램 시스템기술 연구	27
1. 과제총괄 및 목표조정 관리	27
2. 무가선 저상트램 최적화 기술연구	49
3. 무가선 저상트램 시험선 구축 및 운영	59
4. 무가선 저상트램 계측시스템 구축 및 시험평가	84
5. 무가선 저상트램 법제화 방안 연구	108
6. 무가선 저상트램 실용화 기획연구	145
제 2 절 무가선 저상트램 시제 차량 개발	164
1. 주요 연구 성과 요약	164
2. 연구목표치 대비 실적치	171
3. 주요 연구 내용	178
4. 완성차량 시험 결과	324
5. 시험선 시험 결과	328
제 3 절 무가선 저상트램 에너지인프라 개발	333
1. 총괄 인터페이스 기술검토	333
2. 수직고정형 노면트램 궤도체결장치 개발	354
3. 노면선로 시공기술 개발	377
4. 무가선 트램 대용량 배터리기술 개발	404

제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	422
제 1 절	목표달성도	422
1. 1세부		422
2. 2세부		424
3. 3세부		426
제 2 절	관련분야에의 기여도	428
1. 기술적 기여도		428
2. 경제·산업적 측면		428
3. 사회·문화적 측면		428
제 5 장	연구개발계획의 활용계획	430
제 1 절	연구결과의 활용 방안	430
제 2 절	기대성과 및 파급효과	430
1. 기술적 기대성과		430
2. 사회경제적 파급효과		430
제 6 장	참고문헌	433

그림 목차

[그림 1.1.1] 노면경전철(저상트램)과 도시 미관의 조화를 보여주는 사례	5
[그림 2.1.1] 일본 하이브리드 저상트램 SWIMO-X	20
[그림 2.1.2] 국외 하이브리드 트램 차량	21
[그림 3.1.1] 무가선티램용 배터리 시스템 시험평가 항목 및 평가 일정(안) ...	38
[그림 3.1.2] 차량 성능곡선 (역행 시/ 제동 시)	49
[그림 3.1.3] 트램 주행커브	50
[그림 3.1.4] Matlab API 블록	51
[그림 3.1.5] 전체 모델 구성	52
[그림 3.1.6] 무가선티램 시험선 노선도 (다음 면으로 계속)	61
[그림 3.1.7] 무가선티램 시험선 노선도 (이전 면에서 계속)	62
[그림 3.1.8] 무가선티램 시험선 현황	63
[그림 3.1.9] 매립형궤도 하부 노반의 조성	64
[그림 3.1.10] 반복평판재하시험 수행	64
[그림 3.1.11] 기존 도로 배수용 흡관의 보강	65
[그림 3.1.12] 매립형궤도 선로의 배수 시설	65
[그림 3.1.13] 수목이식 전경	66
[그림 3.1.14] 개발된 수지고정 매립형궤도의 구조	66
[그림 3.1.15] Grooved rail(41GPU) 단면	67
[그림 3.1.16] 아스팔트 마감	67
[그림 3.1.17] 마감재료에 따른 매립형궤도 적용	68
[그림 3.1.18] 매립형 분기기의 설치	68
[그림 3.1.19] 승강장 위치도	69
[그림 3.1.20] 도로 인접 승강장 (S101)	69
[그림 3.1.21] 저상트램용 승강장	69
[그림 3.1.22] 검수고 기초	70
[그림 3.1.23] 변전실 기초	70
[그림 3.1.24] 검수고 바닥 철근배근	70
[그림 3.1.25] 검수고 콘크리트 양생	70
[그림 3.1.26] 변전실 철근조립	71
[그림 3.1.27] 벽체 및 유로폼 설치	71
[그림 3.1.28] 검수고 철골작업	71

[그림 3.1.29] 검수고 판넬설치	71
[그림 3.1.30] 준공	71
[그림 3.1.31] 변전실 설비 단선도	73
[그림 3.1.32] 변전실 설비 배치도	74
[그림 3.1.33] 무가선 트램 시험선 변전설비	75
[그림 3.1.34] 트램 배터리 충전설비 구성도	76
[그림 3.1.35] 무가선 트램 배터리 충전설비	77
[그림 3.1.36] 검수고 진입 분기기 시스템 도면	78
[그림 3.1.37] 매립형 Turnout 제작품	79
[그림 3.1.38] 매립형 Turnout 조립 검사	79
[그림 3.1.39] 매립형 Turnout 궤간 검사	80
[그림 3.1.40] 수동형 선로전환장치 도면	81
[그림 3.1.41] 매립형 선로전환장치 현장설치	81
[그림 3.1.42] 매립형 선로전환장치 설치 검사	81
[그림 3.1.43] MVB Telegram	97
[그림 3.1.44] CAN 통신 배터리 계측	97
[그림 3.1.45] 무가선 트램 계측 System Layout	98
[그림 3.1.46] 계측 시스템	99
[그림 3.1.47] 통신 계측 시스템	100
[그림 3.1.48] 대차 영상 시스템 개념도	101
[그림 3.1.49] 대차 영상 시스템	101
[그림 3.1.50] 종합계측시스템 설치 위치	102
[그림 3.1.51] 종합계측시스템	103
[그림 3.1.52] 전체 운영 프로그램 계측 흐름도	104
[그림 3.1.53] 무가선 트램 계측 프로그램 Main 화면	104
[그림 3.1.54] 차량 속도 및 가속도	105
[그림 3.1.55] 차량 추진배터리 출력전압	105
[그림 3.1.56] 차량 추진배터리 SOC	105
[그림 3.1.57] 차량 속도 및 가속도	106
[그림 3.1.58] 차량 추진배터리 출력전압	106
[그림 3.1.59] 차량 추진배터리 SOC	106
[그림 3.1.60] 차량 추진배터리 충전전압	106
[그림 3.1.61] 차량 추진배터리 SOC	106

[그림 3.1.62] 차량 누적주행 거리	107
[그림 3.1.63] 철도 관련 법적용 체계	108
[그림 3.1.64] 도시철도건설체계	110
[그림 3.1.65] 예비타당성 조사	113
[그림 3.1.66] 도시철도 기본계획 수립절차(재정사업)	114
[그림 3.1.67] 도시철도 기본계획 수립절차(민자사업)	115
[그림 3.1.68] 도시 철도법의 체계	117
[그림 3.1.69] 기존선간 직결운행을 위한 연결선 개념도	118
[그림 3.1.70] 독일 칼스루헤 노면전차를 활용한 상호 직통운전 해외사례	119
[그림 3.1.71] 노면전차 차로변경 구간 사례	131
[그림 3.1.72] 노면전차를 위한 교통안전표지 예시	139
[그림 3.1.73] 매립형궤도 추가 구축을 통한 시험선 확장 계획	145
[그림 3.1.74] 무선전송장치 - CDMA 방식	155
[그림 3.1.75] 프리캐스트 매립형궤도를 이용한 급속 시공	158
[그림 3.1.76] 레일고정수지 자동시공배합 장비	158
[그림 3.1.77] 레일갱환 시공장비(수지컷팅 및 홈그라인딩 장비)	159
[그림 3.1.78] 궤도청소 장비	159
[그림 3.1.79] 프랑스 보르도 변전소의 전경 및 장비배치	160
[그림 3.2.1] 트램 시험선 구축(2012년 11월 개통)	168
[그림 3.2.2] 차체 3D 구조도	179
[그림 3.2.3] 언더프레임	180
[그림 3.2.4] 측 골조	180
[그림 3.2.5] 지붕골조	181
[그림 3.2.6] 단부 골조	182
[그림 3.2.7] 전두부 골조	182
[그림 3.2.8] 차체제작	183
[그림 3.2.9] 차량편성	184
[그림 3.2.10] 싱글리프트 도어 - A, B Car	187
[그림 3.2.11] 더블리프트 도어 -C, D Car	188
[그림 3.2.12] 운전실 칸막이 도어	189
[그림 3.2.13] 실내 3D Modeling - A, B Car	194
[그림 3.2.14] 실내 3D Modeling - A, B Car	194
[그림 3.2.15] 휠체어 공간 표기 - C, D car	195

[그림 3.2.16] 운전실 기기배치	197
[그림 3.2.17] 운전대	197
[그림 3.2.18] 흰지타입	200
[그림 3.2.19] 피치타입	200
[그림 3.2.20] 차량 의장작업	202
[그림 3.2.21] 트램 차량의 구성	204
[그림 3.2.22] 동력 대차용 제동 장치의 구성	204
[그림 3.2.23] Circuit diagram	205
[그림 3.2.24] 부수대차용 유압제어장치의 Circuit diagram	206
[그림 3.2.25] 부수대차용 제동장치의 구성	206
[그림 3.2.26] 트랙 제동장치 시험	209
[그림 3.2.27] 유압 제동 장치 시험	209
[그림 3.2.28] BCU 시험>	210
[그림 3.2.29] 완성차 시험 관련 작업 사진	210
[그림 3.2.30] 만차 제동 시험 및 하중 적재 현황	211
[그림 3.2.31] 구동대차 조립	213
[그림 3.2.32] 부수대차 조립	213
[그림 3.2.33] 구동대차 프레임	215
[그림 3.2.34] 사이드프레임과 부수 대차 프레임	215
[그림 3.2.35] 윤축조립체와 탄성차륜	215
[그림 3.2.36] 1,2차 현수장치 조립	216
[그림 3.2.37] 견인장치	217
[그림 3.2.38] 입력 연결기가 조립된 구동 모터와 연결 구조	217
[그림 3.2.39] 대차 기초 제동 장치	218
[그림 3.2.40] 대차 Hydraulic unit과 배관	218
[그림 3.2.41] 도유시스템 개략도	219
[그림 3.2.42] 도유기와 살사	219
[그림 3.2.43] 대차 프레임 하중시험 진행	220
[그림 3.2.44] 완성대차 하중시험	221
[그림 3.2.45] 대차 차체 인터페이스 예비 조사	221
[그림 3.2.46] 차륜 분기기 통과 검토 및 방지 장치	259
[그림 3.2.47] 보조전원장치(APU) Proto 제작	266
[그림 3.2.48] 보조전원장치(APU) Proto 제작	266

[그림 3.2.49] 보조전원장치(APU) Proto 예비시험 (입출력 전압/전류 및 온도 측정)	267
[그림 3.2.50] 보조전원장치(APU) 입출력 전압/전류 파형	267
[그림 3.2.51] 보조전원장치(APU) Proto 제품 온도상승 시험 결과	268
[그림 3.2.52] (a) 지멘스의 100 kW급 견인전동기, (b) TSA의 61 kW급 견인전동기(2대 연결)	270
[그림 3.2.53] Skoda의 저상트램 차량 (ForCity)	270
[그림 3.2.54] 견인전동기의 대차 취부 위치 및 설계 제한 공간	271
[그림 3.2.55] 저상트램용 견인전동기 성능 곡선	272
[그림 3.2.56] 견인전동기의 전폐형 냉각 구조	273
[그림 3.2.57] 견인전동기 1차 설계 모델의 3차원 조감도와 공기 순환 개념도	275
[그림 3.2.58] 견인전동기 2차 설계 모델의 3차원 조감도와 공기 순환 개념도	276
[그림 3.2.59] 전동기 각 부분의 재질 구분 개념도	278
[그림 3.2.60] 견인전동기 열 유동 해석 결과	278
[그림 3.2.61] 견인전동기 제작 과정	279
[그림 3.2.62] 완성된 견인전동기 시작품 모습	279
[그림 3.2.63] 추진성능곡선	285
[그림 3.2.64] 회생제동 성능 곡선	286
[그림 3.2.65] 고속도 차단기 외형	288
[그림 3.2.66] 선로차단기 외형	288
[그림 3.2.67] 필터리액터 외형	289
[그림 3.2.68] 인버터 스택 외형	290
[그림 3.2.69] 주 회로도	290
[그림 3.2.70] 무가선 모드	291
[그림 3.2.71] 유가선 모드	291
[그림 3.2.72] 열차 주행에 따른 추진인버터 운전모드	293
[그림 3.2.73] Input Fuse 형상	294
[그림 3.2.74] Line Contactor 형상	295
[그림 3.2.75] Charging Contactor 형상	295
[그림 3.2.76] Input Filter Capacitor 형상	296
[그림 3.2.77] IGBT Module 형상	296

[그림 3.2.78] Out Filter 형상	297
[그림 3.2.79] 컨버터 전류 센서 형상	297
[그림 3.2.80] 시스템구성도	300
[그림 3.2.81] 저장 트랩 하부장치 네트워크 구성도	302
[그림 3.2.82] Task 인터페이스와 Task 구조	303
[그림 3.2.83] 중앙제어장치(CCU : Central Control Unit)	305
[그림 3.2.84] MVB IO	315
[그림 3.2.85] DU(Display Unit)	316
[그림 3.2.86] MVB Repeater	317
[그림 3.2.87] 지상분석 장치 구성도	321
[그림 3.2.88] 조합시험 기기 배치(TCMS-DC/DC CONVERTER)	322
[그림 3.2.89] MVB 통신파형 확인(전압레벨 3.84V, Bit Time 672ns)	323
[그림 3.2.90] MVB 데이터 확인(Display Unit)	323
[그림 3.3.1] 매립형 슬래브케도 제작과정	336
[그림 3.3.2] 마감방식에 따른 케도 형상	337
[그림 3.3.3] 매립형 케도 시스템의 형상	338
[그림 3.3.4] 탄성기초위의 보, 레일고정수지의 레일지지강성 모델	339
[그림 3.3.5] 진동측정	344
[그림 3.3.6] 진동측정 결과(가속도 응답)	344
[그림 3.3.7] TrackMaster 선형검측과 궤간틀림 측정결과	346
[그림 3.3.8] 기존 도로교통체계와의 융합	346
[그림 3.3.9] 응급상황 대처	347
[그림 3.3.10] 신청기술 적용에 따른 교량 깊이 감소	347
[그림 3.3.11] 굴착량 감소	348
[그림 3.3.12] 경제성 검토	349
[그림 3.3.13] 개발기술의 정적설계 흐름도	351
[그림 3.3.14] 정적설계 흐름도	356
[그림 3.3.15] ERS시제품 제작 흐름도	357
[그림 3.3.16] ERS초도 시제품 및 인발저항, 수직스프링계수시험 준비장면 ...	358
[그림 3.3.17] 시제품 제작도면	361
[그림 3.3.18] Grooved Rail 41GPU 전용지그	361
[그림 3.3.19] 블록 분할 방식 Polycork 타설	362
[그림 3.3.20] 시공배치도	364

[그림 3.3.21] 시공사진	365
[그림 3.3.22] B타입 ERS 정적설계	368
[그림 3.3.23] 슬래브 궤도	378
[그림 3.3.24] 실시설계 주요 도면	389
[그림 3.3.25] 실험 대상 궤도지지 슬래브 단면도	390
[그림 3.3.26] 일반 도상레일과 잔디마감 구간 진동측정	390
[그림 3.3.27] 진동가속도 응답	392
[그림 3.3.28] 시험선 구성	395
[그림 3.3.29] 무가선 저상트램 시험선 궤도 슬래브 단면	395
[그림 3.3.30] 터파기 공사 및 노반다짐 단계	396
[그림 3.3.31] 슬래브 철근배근 및 콘크리트 공사 단계	397
[그림 3.3.32] 콘크리트 슬래브 상부마감 공사 단계	398
[그림 3.3.33] 콘크리트 슬래브 시공면 하강 위치	399
[그림 3.3.34] FBG interrogator	401
[그림 3.3.35] 데이터 측정 프로그램	401
[그림 3.3.36] 곡선구간 센서설치 개요	401
[그림 3.3.37] 최고속도구간 센서 설치 개요	402
[그림 3.3.38] 잔디구간 센서 설치 개요	402
[그림 3.3.39] 대체 단전지 사양	404
[그림 3.3.40] 8P 모듈 제작된 형상	405
[그림 3.3.41] 신규 전지 팩 (Column) 구조 설계 안	406
[그림 3.3.42] 팩의 차량 장착 형상 및 SET 구성도	407
[그림 3.3.43] 배터리 시스템 제작 완료 직후 형상	408
[그림 3.3.44] Current Profile of the battery(1C Charge/Discharge)	409
[그림 3.3.45] Voltage Measurement(좌), SOC Estimation(우) (1C Charge/Discharge)	409
[그림 3.3.46] Power Profile(좌), SOC Estimation(우) (2.5[kW] Discharge/Charge)	410
[그림 3.3.47] UNIT BMS 개발 보드	411
[그림 3.3.48] Master BMS	411
[그림 3.3.49] 충방전 Cycle 실험 구성 및 Power pattern	414
[그림 3.3.50] 충방전 Cycle 실험 조건	414
[그림 3.3.51] 3200 Cycle 동안 RPT 측정 값	414

[그림 3.3.52] 모듈 저장 수명 실험 조건	415
[그림 3.3.53] RPT during 12th Cycle	415
[그림 3.3.54] 저장 모듈 용량 및 에너지 변화	415
[그림 3.3.55] Tram 배터리 시스템 주행 시 PSD curves (X축)	416
[그림 3.3.56] Tram 배터리 시스템 주행 시 PSD curves (Y축)	417
[그림 3.3.57] Tram 배터리 시스템 주행 시 PSD curves (Z축)	417
[그림 3.3.58] 열화상 카메라 및 Thermocouple 부착 위치	418
[그림 3.3.59] Thermocouple 부착 위치의 시간에 따른 온도변화	418
[그림 3.3.60] Thermocouple 부착 위치의 열화상 카메라 이미지	419

표 목 차

[표 1.1.1] 한국의 교통수단별 CO2 배출량 비교	4
[표 2.2.1] 울산 경전철	24
[표 2.2.2] 마창진 경전철	25
[표 3.1.1] 제동별 주요 제어방식	34
[표 3.1.2] Cell 단위 평가 항목 내역 - 개요	36
[표 3.1.3] 특허 출원 및 등록	39
[표 3.1.4] 프로그램 등록	39
[표 3.1.5] 학술논문 발표	40
[표 3.1.6] 견학 및 시승행사	43
[표 3.1.7] 언론보도	45
[표 3.1.8] 방송보도	48
[표 3.1.9] 차량 성능 사양	49
[표 3.1.10] 검토키준노선 및 운행조건	49
[표 3.1.11] All-out 조건	50
[표 3.1.12] Coasting조건	50
[표 3.1.13] 반경 20m의 원형 곡선 상을 정속 15 kph로 해석하여 얻은 결과 비교.	55
[표 3.1.14] 반경 20m의 S자 곡선 상을 정속 15 kph로 해석하여 얻은 결과 비교.	56
[표 3.1.15] Soft pad와 Hard pad의 물성치	57
[표 3.1.16] 시험선 선로 선형 설계 결과	59
[표 3.1.17] 변전실 구성 설비	72
[표 3.1.18] 매립형 분기기 시스템 사양	77
[표 3.1.19] 주기별 차량 점검 사항	82
[표 3.1.20] 추진 시험 계측 항목	85
[표 3.1.21] 제동 시험 계측 항목	85
[표 3.1.22] 데이터 전달을 시험 계측 항목	86
[표 3.1.23] 인버터에서 측정하는 물리적 신호	89
[표 3.1.24] 계측 시스템의 S/W 코딩을 위한 항목별 주요값	90
[표 3.1.25] 도로교통법 개정 범위 설정	124
[표 3.1.26] 개선방안 종합	143

[표 3.1.27]] 해외 주요 운영처의 차량수준 신뢰성, 가용성, 유지보수성 목표치	146
[표 3.1.28] 국가R&D로 개발된 철도차량의 누적주행시험 거리	146
[표 3.1.29] 미국교통협회 경량전철 차량 표준사양의 신뢰성 요구사항	148
[표 3.1.30] 실용화를 위한 무가선티램 시험선 확장건설 비용 (억원)	151
[표 3.2.1] 설계도면 작성 현황	164
[표 3.2.2] 기술문서 작성현황	164
[표 3.2.3] 구성품 성능시험	165
[표 3.2.4] 완성차 시험항목 및 수행결과	166
[표 3.2.5] 주요시험선 시험항목	169
[표 3.2.6] 년차별 성과지표 및 실적	171
[표 3.2.7] 차체 주요 치수	178
[표 3.2.8] 도어의 종류 및 수량	186
[표 3.2.9] 제동 Matrix	203
[표 3.2.10] 동력대차용 제동장치 구성품 목록	205
[표 3.2.11] 동력 대차용 유압 제어 장치 Circuit 구성품	205
[표 3.2.12] 부수대차용 제동장치 구성품 목록	206
[표 3.2.13] 부수대차용 유압 제어 장치 Circuit 구성품	207
[표 3.2.14] 유압 제동 시스템의 상용 제동력(40km/h 기준)	207
[표 3.2.15] 유압 제동 시스템의 상용 제동력(70km/h 기준)	207
[표 3.2.16] 유압 제동 시스템의 비상 제동력(40km/h 기준)	208
[표 3.2.17] 유압 제동 시스템의 비상 제동력(70km/h 기준)	208
[표 3.2.18] 유압 제동 시스템의 보안 제동력(70km/h 기준)	208
[표 3.2.19] 유압 제동 시스템의 트랙 브레이크 제동력	208
[표 3.2.20] 무가선 저상트램의 중량	212
[표 3.2.21] 대차의 주요 대차 사양	214
[표 3.2.22] 대차프레임 하중시험	220
[표 3.2.23] 주요개념설정	260
[표 3.2.24] 보조전원장치 사양	265
[표 3.2.25] 저상트램용 견인전동기 1차 설계	275
[표 3.2.26] 저상트램용 견인전동기 개선 설계 (2차)	277
[표 3.2.27] 정현파 해석 결과 (차륜경 600mm 기준)	277
[표 3.2.28] 열 유동 해석을 위한 전동기 각 부분의 특성값	278

[표 3.2.29] 소음 시험 결과 (단위 : dB)	280
[표 3.2.30] 진동 시험 결과 (단위 : mm/sec)	280
[표 3.2.31] 작용규격	304
[표 3.2.32] VCPMS 보드 상세사양	306
[표 3.2.33] VRMT 보드 상세사양	308
[표 3.2.34] VAIT 보드 상세사양	309
[표 3.2.35] VDIT 보드 상세사양	311
[표 3.2.36] VDOT 보드 상세사양	313
[표 3.2.37] VPST 보드 상세사양	314
[표 3.2.38] MVB IO 상세사양	315
[표 3.2.39] DU 상세사양	316
[표 3.2.40] TCMS-하부장치간 조합시험	321
[표 3.2.41] 완성차 시험항목 및 수행 결과	324
[표 3.2.42] 주요 시험선 시험 항목	329
[표 3.2.43] 연속주행이력	331
[표 3.2.44] 연속 주행 기간 중 주요 고장 발생 사항	332
[표 3.3.1] 무가선 저장트램 궤도시스템 개발과정	334
[표 3.3.2] 궤도 시스템 비교	341
[표 3.3.3] 궤도시스템 지지구조 비교	342
[표 3.3.4] 선형점검 기준	345
[표 3.3.5] 공사기간 비교	349
[표 3.3.6] 정적설계결과	351
[표 3.3.7] 궤도슬래브 구조해석결과 정리	352
[표 3.3.8] 계산검토	353
[표 3.3.9] 연구목표 및 내용	354
[표 3.3.10] 연차별 성과지표	354
[표 3.3.11] 구조해석을 위한 설계조건	356
[표 3.3.12] ERS궤도체결장치 부속품 및 제원	357
[표 3.3.13] ERS 초도시제품 제작	357
[표 3.3.14] 구조해석을 위한 설계조건	358
[표 3.3.15] ERS-41GPU(무가선 저장트램용 궤도) 단면 기준	359
[표 3.3.16] 정적설계결과	360
[표 3.3.17] ERS-41GPU단면 사양	360

[표 3.3.18] ERS단면도	364
[표 3.3.19] 문제점 및 개선사항	365
[표 3.3.20] B타입 ERS궤도 FEM해석	370
[표 3.3.21] B타입 ERS 시험체 제작	370
[표 3.3.22] Polycork ERS 시험선시공(레일시공)	371
[표 3.3.23] 시공사진	371
[표 3.3.24] 연도별 연구목표 달성도	373
[표 3.3.25] 관련분야에의 기술발전 기여도	374
[표 3.3.26] 추가연구의 필요성	375
[표 3.3.27] 타연구에의 응용	376
[표 3.3.28] 재료 단위중량 (단위 : kN/m^3)	377
[표 3.3.29] 궤도중량	377
[표 3.3.30] 구조해석 결과	388
[표 3.3.31] 시공지침서의 주요 단계	393
[표 3.3.32] 설치센서	400
[표 3.3.33] 구간별 변형률	403
[표 3.3.34] 구간별 진동가속도	404
[표 3.3.35] 셀 및 모듈 시험	412