

철도기술연구사업

기획연구

무가선 저상트램 실증 연구개발 기획연구 최종보고서

2017. 07.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 “무가선 저상트램 실증 연구개발 기획연구”의 보고서로 제출합니다.

2017. 07.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

주관연구책임자 : 황 현 철

연구원 : 곽 재 호

연구원 : 이 수 형

연구원 : 오 용 국

연구원 : 강 석 원

연구원 : 권 태 수

연구원 : 서 준 호

보 고 서 요 약 서

과제고유번호	-	해 당 단 계 연 구 기 간	-	단 계 구 분	-
연구사업명	철도기술연구사업				
연구과제명	무가선 저장트램 실증 연구개발 기획연구				
연구책임자	황 현 철	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 7 명 내부 : 7 명 외부 : -명	총연구비	-
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국철도기술연구원		참여기업명	-	
국제공동연구	상대국명 :	-	상대국연구기관명 :	-	
위 탁 연 구	연구기관명 :	-	연구책임자 :	-	
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)			보고서면수	304	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 기술동향 및 시장 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 무가선트램 관련 국내외 기술동향 분석 - 트램관련 해외 시장 분석 및 관련 철도표준 현황 분석 - 국내 트램 도입 희망 지자체 현황 및 예상노선 분석 ○ 무가선트램 국가R&D 연구성과 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 트램 전용 시험선 현황 및 시험 인프라 분석 - 개발차량 사양 및 연구개발 현황 분석 ○ “무가선 저장트램 실증 연구개발” 연구목표 및 범위 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 시범노선 구축을 위한 연구개발 요소 도출 - 최소 운영을 위한 상용 protocol 도출 - 트램사고 예방·복구 기술개발을 위한 연구요소 도출 - 트램 운영을 위한 필수개정 법·제도 도출 및 범위 설정 - 연구내용 별 예상 소요 예산 도출 ○ 무가선트램 실증사업 시범노선 선정절차(안) 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 시범노선 지자체 선정을 위한 자격조건 분석 - 시범노선 선정을 위한 선정 평가 기준(안) 마련 ○ 세부과제 도출 : 3개 세부과제 구성의 연구단 과제 					

<ul style="list-style-type: none"> - 1세부 : 무가선티램 실증노선 구축 - 2세부 : 트램 사고 저감·복구 및 무임승차방지 기술개발 - 3세부 : 트램 안전운영 전략개발 및 체계 구축 		
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	무가선 저상트램, 시범노선, 신호, 인프라, 운영, 유지관리
	영 어	Wireless Low Floor Tram, Demonstration Line, Tram Signalling, Infra, Operation, Management, Maintenance

<목 차>

제1장 기술의 정의 및 필요성	1
제1절 기술의 정의 및 필요성	1
1. 기술의 정의 및 필요성	1
제2절 기술분류 및 내용	3
1. 기술분류	3
2. 기술내용	4
제2장 국내외 동향 및 환경 분석	6
제1절 국내외 정책동향	6
1. 기술적 정책동향	6
2. 사회적 정책동향	17
3. 해외 노면전차 현황	20
4. 국내 노면전차 현황	24
제2절 국내외 시장현황 및 전망	40
1. 국내시장 환경	40
2. 국외시장 환경	41
제3절 기술동향분석	45
1. 무가선 트램시스템 기술동향	45
2. 특허동향 분석	91
3. 논문동향 분석	98
제4절 기술수요 및 기술수준분석	101
1. 기술수요 도출	101
2. 기술수준 분석	103
3. 해외기술 대비 본과제 성과물 목표수준	119
제5절 국내 연구개발 인프라 분석	121
1. 연구 인력 인프라	121
2. 연구 기자재 인프라	122
3. 인프라 현황 조사결과	132
4. 선진국 대비 국내연구 인프라 수준	132
제6절 수요조사 및 활용 방안	133
1. 국내 트램사업 추진현황	133
2. 시범사업 가능성 검토	133

3. 지자체 노면전차 애로사항, 실증사업 수요조사	136
4. 연구성과물 활용방안	137
제7절 연구성과 실용화를 위한 관련 법령 검토	139
1. 트램 법제도 추진 현황	139
제8절 종합분석	142
1. 국내외 정책 및 시장분석	142
2. 기술개발 동향 분석	144
제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략	146
제1절 비전 및 목표	146
1. SWOT 분석	146
제2절 기술개발에 따른 미래상	148
1. 현황 및 미래상	148
제3절 연구개발과제 구성(안)	150
제4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략	151
1. 연구단 총괄	151
2. 1세부 과제	157
3. 2세부 과제	160
4. 3세부 과제	165
5. 기존 연구과제와의 기술적 차별성	170
제5절 연구추진체계	172
제6절 기술/성과 로드맵	173
1. 기술 로드맵	173
2. 세부과제별 성과 로드맵	177
제7절 지자체 연계 실증 대안 검토	179
1. 대안 추진(안)	179
2. 대안 세부과제별 기술 로드맵(안)	182
제4장 시범노선 구축 방안	185
제1절 개요	185
제2절 시범노선 추진 실행방안(안)	189
1. 시범노선 관련 적용 법령 검토	189
2. 지자체 및 시범노선 기본요건	195
제2절 시범노선 선정절차	200
1. 노선선정 주관 주체	200

2. 선정절차	201
3. 선정일정	205
제3절 시범노선 선정 평가기준	207
1. 사전 적격성 평가기준	207
2. 본 평가기준	208
제4절 시범노선 규모 및 예산(안)	216
1. 규모	216
2. 주요시설	216
3. 시범노선 구축 예산	220
제5장 사전타당성 검토	223
제1절 정책적 타당성	223
1. 국가 전략의 중요성	223
3. 정책적 추진 의지	226
제2절 기술적 타당성	226
1. 기술개발 계획의 적절성	226
2. 기술개발의 성공 가능성	227
3. 기존 사업과의 중복	229
제3절 경제적 타당성	229
1. 실증 노선 경제성 분석	229
2. R&D 과제 경제성 분석	230
제6장 인력투입계획 및 소요예산 산정	241
제1절 인력투입계획	241
1. 1세부과제 인력투입계획	241
2. 2세부과제 인력투입계획	243
3. 3세부과제 인력투입계획	245
제2절 소요예산 산정	247
1. 전체사업 소요예산	247
2. 세부과제별 소요예산	248
제3절 지자체 분담 금액(안) 검토	261
제7장 과제 제안요구서	262
제1절 연구단 총괄 제안요구서(RFP)	262
제2절 1세부과제 제안요구서(RFP)	273

제3절 2세부과제 제안요구서(RFP)	281
제4절 3세부과제 제안요구서(RFP)	289
제5절 공모조건	297
제6절 평가기준 설정	298
[첨부 1] 무가선 트램차량 신규제작 vs. 개조 비교	299
[첨부 2] 무가선 저상트램시스템 기술수준 및 단계별 분석	302

< 표 목차 >

<표 1> 무가선 저장트램 실증 연구개발 기술분류	3
<표 2> 한국의 교통수단별 CO2 배출량 비교	6
<표 3> 우리나라의 무가선 저장트램 기술수준	8
<표 4> 주요 운영유지보수 구성요소	12
<표 5> 세계 주요도시의 경량전철시스템 도입목적 비교	19
<표 6> 국내 지자체 트램사업 추진현황('17.6기준)	31
<표 7> 대전시 스마트트램 노선	34
<표 8> 판교 랜드마크 트램 개요	37
<표 9> 노면전차, LIM, 모노레일의 km당 총사업비, 차량가격, 운영비 비교	41
<표 10> 세계 경량전철시장의 시스템별 구성 현황	42
<표 11> 해외 지역별 동향	43
<표 12> 국내 무가선트램 개발차량 제원	46
<표 13> 무가선 저장트램시스템 개발현황	52
<표 14> 무가선 트램차량의 부품별 국산화율(가격기준)은 78%수준	53
<표 15> 선진국 대비 분야별 기술수준	55
<표 16> 신기술 전력공급시스템에 대한 주요 프로토타입 개발 현황	57
<표 17> 접촉급전방식 무가선 트램 상용노선 현황	59
<표 18> 배터리방식, 슈퍼커패시터방식, 하이브리드방식 무가선 트램 상용노선 현황	62
<표 19> 핵심특허 기술내용 분석	94
<표 20> 주요특허 기술 심층분석	95
<표 21> 무가선 저장트램 실증 기술 분류 (상: ○, 중: △, 하: ×)	101
<표 22> 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)	113
<표 23> 국내 지자체 트램 사업 협의	134
<표 24> 단계별 법·제도 계획(안)	140
<표 25> 지자체 사업추진 일정을 고려한 관련 법제도별 제도화 기한	141
<표 26> 기존 연구와의 중복성 검토	155
<표 27> 연구단 총괄 연차별 세부기술 개발 내용 및 개발 계획	173
<표 28> 1세부 연차별 세부기술 개발 내용 및 개발 계획	174
<표 29> 2세부 연차별 세부기술 개발 내용 및 개발 계획	175
<표 30> 3세부 연차별 세부기술 개발 내용 및 개발 계획	176
<표 31> 1세부 연차별 세부기술 개발 내용 및 개발 계획(안)	182
<표 32> 2세부 연차별 세부기술 개발 내용 및 개발 계획(안)	183
<표 33> 3세부 연차별 세부기술 개발 내용 및 개발 계획(안)	184
<표 34> 시범사업관련 법령	189
<표 35> 시범사업 추진관련 법령 (국토교통과학기술육성법 등)	190
<표 36> 시범노선 선정, 확정, 승인 관련 법령 (도시철도법)	191
<표 37> 연구개발물 인계관련 법령 (국가연구개발사업 규정 등)	194

<표 38> 지자체 및 시범노선 기본요건 안별 비교	196
<표 39> 도시철도법 적용에 의한 시범사업 사업기간 산정 (도시철도망구축계획 승인 시범노선기준)	199
<표 32> 시범노선 선정 주관 주체 관련 대안	200
<표 41> 시범노선 선정절차안 (연구진 주관 선정)	202
<표 42> 시범노선 선정관련 사전 적격성 관련 최소요건	207
<표 43> 기업도시 입지 선정 관련 본 평가기준	209
<표 44> 호남고속철도 분기역 선정 관련 평가기준	210
<표 45> 타 국책사업의 본 평가 기준 사례	211
<표 46> 본 평가 관련 평가기준 (예시)	214
<표 47> 국내 지자체 트램사업 추진현황('17.6기준)	229
<표 48> 연구개발부분 예비타당성조사의 편익항목 구분	231
<표 49> 무가선 트램 단계별 투입 연구비	232
<표 50> 국내 미래시장 규모	234
<표 51> 경제성 분석기준의 장단점 비교	235
<표 52> 비용 및 편익산정 평가표 및 결과 (사업성공율 : 100%)	237
<표 53> 비용 및 편익산정 평가표 및 결과 (사업성공율 : 70%)	238
<표 54> 비용 및 편익산정 평가표 및 결과 (사업성공율 : 50%)	239
<표 55> 무가선 트램차량 신규제작 vs. 개조 비교	299
<표 56> 무가선트램시스템 기술수준 및 단계별 비교	302

< 그림 목차 >

<그림 1> 무가선티램 실증노선 구축 및 시범운영 개념도	1
<그림 2> 저상트램과 도시 미관의 조화	7
<그림 3> 우리나라의 2차전지 기술수준	7
<그림 4> COST의 TU1103프로젝트 보고서	8
<그림 5> 트램을 위한 충돌회피 운전자지원시스템에 대한 독일VDV 보고서	9
<그림 6> 철도 RAMS 국제 규격의 변화	10
<그림 7> 철도기술기준 체계 및 구성	12
<그림 8> 철도용품·차량 형식승인의 업무 흐름도	14
<그림 9> 철도차량 형식승인 시행 절차	15
<그림 10> 스위스 형식승인 절차	16
<그림 11> 모노레일, LIM, 저상트램의 비교	18
<그림 12> Strasbourg의 저상트램을 이용한 도시재개발 사례	18
<그림 13> 프랑스 파리 트램의 성공사례	20
<그림 14> 미국 텍사스 휴스턴시의 트램 성공사례	21
<그림 15> 일본 토야마 트램의 성공사례	22
<그림 16> 해외 노면전차 도입목표와 기능	23
<그림 17> 대전 도시철도 2호선 및 스마트트램 노선안	35
<그림 18> 위례선 노선안	36
<그림 19> 성남시 판교 랜드마크 트램 노선안	38
<그림 20> 부산시 도시철도망 트램노선 계획안	39
<그림 21> 2012~2014년 지역별 경전철·트램 신규시장 규모	42
<그림 22> 세계 경전철 시장 제작사별 점유현황	44
<그림 23> 국내개발 무가선 저상트램	46
<그림 24> 수지고정형 매립형궤도(CDM nv)	48
<그림 25> 개발예정 급속시공궤도, 저진동궤도 및 매립형분기기의 시험선 시공	49
<그림 25> 충북 오송에 건설 중인 무가선 저상트램 시험선	49
<그림 27> 트램 신호시스템 구성도	50
<그림 28> 트램 충돌경보 및 긴급제동시스템	51
<그림 29> 승객승하차감시 디지털 펜스	51
<그림 30> 무가선 구현 기술 비교	56
<그림 31> 알스톰 APS(접촉급전방식) 무가선 트램	58
<그림 32> 안살도 브레다 Tramwave(접촉급전방식) 무가선 트램	58
<그림 33> 봄바르디아 Primove(무접촉급전방식) 무가선 트램	59
<그림 34> 중국 난징 무가선 상용 트램	60
<그림 35> 프랑스 니스 배터리방식 무가선 트램	61
<그림 36> 미국 달라스 배터리방식 무가선 트램	61
<그림 37> 이탈리아 파도바 배터리방식 무가선 트램	61

<그림 38> 중국 텐진 배터리겸용 무가선 트램	61
<그림 39> 프랑스 니스 : Alstom社 트램용 배터리 (루프설치)	61
<그림 40> 미국 시애틀 : Inekon사의 추진배터리 (루프설치)	62
<그림 41> 무가선 트램 시험선에서 시험운행 중인 트램	63
<그림 42> Kawasaki 社의 SWIMO System	64
<그림 43> Siemens 社의 Offboard High Power Charger	65
<그림 44> Proterra 社의 Overhead Fast Charger	65
<그림 45> Alstom 社의 APS System	66
<그림 46> 무가선 저상트램 시험선 트램신호 설비 및 배치도	68
<그림 47> 무가선 트램시험선 트램신호 설비 상세배치도	68
<그림 48> 도시형 트램 충돌사고 시나리오(SAFETRAM 최종보고서, 2004)	72
<그림 49> 에너지흡수부재 설계 사례(SAFETRAM 최종보고서, 2004)	72
<그림 50> 에너지흡수부재 충돌시험 전후 모습(SAFETRAM 최종보고서, 2004)	73
<그림 51> 동종 트램 간의 충돌해석 시물레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)	74
<그림 52> 트램과 승용차 충돌사고 사례(TCRP C-17 보고서, 2008)	74
<그림 53> 트램과 승용차 충돌사고 시물레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)	75
<그림 54> 연결기가 노출된 트램과 SUV 충돌사고 시물레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)	75
<그림 55> SUV의 트램 측면 충돌 시물레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)	75
<그림 56> COST의 TU1103프로젝트 보고서	77
<그림 57> 트램을 위한 충돌회피 운전자지원시스템에 대한 독일VDV 보고서	79
<그림 58> 관절식 차량에 대한 lifting 포인트 예시(EN16404-2)	79
<그림 59> 화차 Rerailing 장비 예시	80
<그림 60> 저상트램 복구기술 예시	80
<그림 61> 사고복구용 기중기 보관 및 출동시 사진(국토교통진흥원 기획보고서 발췌)	80
<그림 62> 열차 탈선사고 복구용 제크리트 설치 및 복구현황 사진(국토교통진흥원 기획보고서 발췌)	81
<그림 63> 도시철도 운영기관의 복구장비탑재한 출동장비(국토교통진흥원 기획보고서 발췌)	81
<그림 64> 한국철도공사의 사고복구용 주요 기중기 사양(국토교통진흥원 기획보고서 발췌)	82
<그림 65> 일본 얼굴인식시스템의 동작원리	84
<그림 66> 콜로라도 RTD의 무임승차단속시스템(EDA) 단말기	85
<그림 67> 트램 무임승차방지시스템(안) 및 효과분석	86
<그림 68> 출원년도 및 국가별 출원추이	91
<그림 69> 주요 출원국 및 출원기관 동향	92
<그림 70> 연도별 주요 출원인 동향	92
<그림 71> 핵심특허 도면	93
<그림 72> 핵심특허(US6615118B2) 평가결과	94
<그림 73> 복선 구축방안	108
<그림 74> 해외 사고피해저감 설계안 사례(OLEO사, Avanto LRV project)	109
<그림 75> 트램 사고복구 예(해외 사례)	111
<그림 76> 폭발한 리튬 배터리 예시	114
<그림 77> Bloomberg.com이 예측한 배터리 가격	115

<그림 78> BYD 社의 Articulated Electric Vehicle	117
<그림 79> 매립형궤도 선로의 표준횡단도	125
<그림 80> 매립형궤도 하부 노반의 조성	126
<그림 81> 국내개발 수지고정 매립형궤도 구조	126
<그림 82> Grooved rail(41GPU) 단면	127
<그림 83> 마감재료에 따른 매립형궤도 적용	127
<그림 84> 매립형분기기의 설치	127
<그림 85> 매립형궤도 선로의 배수	128
<그림 86> 저상트램용 승강장(도로 인접)	128
<그림 87> 저상트램용 승강장(전용선 인접)	129
<그림 88> 검수고 및 검수시설	129
<그림 89> 변전소 및 변전설비	130
<그림 90> 충전용 강체가선	130
<그림 91> 시범노선 선정절차 및 방법 (연구진 주관 선정)	187
<그림 92> 시범노선 선정절차 및 방법 (국토부 또는 전문기관 주관 선정)	187
<그림 93> 도시철도 건설사업 절차 및 지자체 진행현황	193
<그림 94> 시범노선 선정절차 및 방법 (연구진 주관 선정)	202
<그림 95> 시범노선 선정절차 및 방법 (국토부 또는 전문기관 주관 선정)	202
<그림 96> 시범노선 선정일정	206
<그림 97> 매립형궤도 및 분기기	216
<그림 98> 국외 트램용 검수시설	217
<그림 99> 오송시험선 검수시설	217
<그림 100> 변전소 및 변전설비	217
<그림 101> 오송시험선의 충전용 강체가선	218
<그림 102> 해외 트램용 승강장	218
<그림 103> 오송시험선 트램신호시스템	219
<그림 104> 연구개발부문 예비타당성 조사의 편익 추정방법 선택과정	233

제1장 기술의 정의 및 필요성

제1절 기술의 정의 및 필요성

1. 기술의 정의 및 필요성

가. “무가선 저상트램 실증”의 정의

- “무가선 저상트램” 기술 개발을 기초로 국내 Reference 확보 및 조기 해외진출 기반 마련을 목표로 하여 지자체 실제도로 또는 이와 유사한 환경을 구축하여 상용 운행에 대비하는 기술
 - ※ 최소한의 Protocol 구축으로 연구개발, 단순 발주 및 기존품 활용으로 구분하여 추진
 - 약 1km 의 복선궤도를 통한 교차운행
 - 2개 이상의 교차로 및 신호관제시스템
 - 2대 이상의 차량운영 및 정거장 시스템
 - 검수고 및 충전(변전)시스템 1set
- 또한 트램 운영 안전성 및 효율 향상을 목표로 선진국 대비 낙후된 기술의 차별화 및 우위 확보를 위해 배터리기술 뿐만 아니라 IT 기술을 접목한 안전 기술 개발과 관련 법제도 제도화함으로써, 상용 운행에 대비하는 기술



<그림 1> 무가선트램 실증노선 구축 및 시범운영 개념도

나. 실증 연구개발의 필요성

- 현재 도입을 추진 중인 10여개 이상의 지자체 수요 대처로 수입대체 뿐만 아니라 이를 기반으로 조기 해외진출을 통한 국내철도시장 활성화 및 국가 신성장동력화 기회가 형성됨. 하지만 국내 도입사례 전무로 수십년 간 건설 및 운영 중인 선진국과 비교하여 기술수준, 법·제도, 정책, 예산 및 사회적 경험 등 모든 면에서 미비한 상황임.
 - 트램은 세계 404개 도시에서 운영중, 현재 85개 도시에서 건설 중, 향후 10년간 약 200백 개 이상의 도시에서 도입 예정.
 - 국내는 전주시, 울산시, 창원시에서 예타 통과 후 설계 추진과정서 제반 문제점에 봉착하여 취소됨. 현재는 서울시, 부산시, 대전시, 수원시를 중심으로 약 10여개 지자체에서 추진 중

- 이를 단기간에 극복하기 위해서는 I, II 단계에서 개발된 제반 요소기술들을 활용하여 실제 도로상 또는 이에 준하는 환경을 구축하여 실증을 통한 기술수준 향상 및 검증, 기술 및 운영 표준모델 제공을 통한 경쟁력 확보가 필수적이다. 또한 국내의 앞선 배터리 및 IT 기술 고도화 접목시 해외 트램시장의 선도도 가능.
 - 터키 이즈미르시 (‘14.8, 38편성, 837억)와 안탈리아시(‘15.10, 18편성, 386억) 각각 有가선으로 수주계약.
 - 해외는 이미 30년 이상의 트램시스템 생산 및 운영실적을 가지고 있으나 국내는 관련산업이 전무. 현재는 국가 R&D 덕에 기술수준이 선진국대비 약 60% 수준으로 판단됨.
 - 1단계 결과물인 차량부문은 대기업 역량으로 첫발을 내딛었으나 기술수준(사용실적)부족으로 적자형 수주로 판단되며, 인프라(신호, 궤도 등) 및 운영은 더욱 열악한 상황임.
 - 중국은 ‘14.9월 봄바르디어 기술 도입하여 무가선(8km)트램 시범노선 운행시작, 고속철의 경우는 중국보다 먼저 개발하였으나 상용화에서 뒤져치는 상황

- 국내는 아직까지 실제 도로상에서의 도입 및 운영사례가 없어 실증의 기회 및 경험이 전무할 뿐만 아니라 관련된 관련 법제도도 미비함. 따라서 실증사업을 통해 이러한 과정을 선도하고 표준을 제시함으로써 지자체들이 시행착오를 최소화하여 국가예산 낭비 방지 및 안전을 확보하도록 유도하여야 함.

제2절 기술분류 및 내용

1. 기술분류

- “무가선 저상트램 실증 연구개발”은 지자체 실제도로 또는 이와 유사한 환경을 구축하여 상용 운행에 대비하는 기술로서 세부기술로 기술분류는 무가선 트램시스템 기술, 무가선 트램 운영 및 유지보수 기술, 트램 운영·안전 법제도로 구분할 수 있음.

<표 1> 무가선 저상트램 실증 연구개발 기술분류

대분류	중분류	소분류
무가선 트램시스템 기술	차량시스템	형식승인 차량설계
		형식승인 차량제작
		추진 배터리시스템 개발
		차량충돌 안전기술
	궤도시스템	실증노선 설계
		실증노선 구축
		실증궤도 설계기준 및 시방서
		실증노반 설계기준 및 시방서
	신호시스템	실증노선 신호설계
		실증노선 신호구축
		실증노선 신호 시험평가
		안전성 입증
	전기시스템	급속충전 지상충전장치
		변전설비
	차고지 및 관제	지상충전장치
		급속충전 차상인터페이스
		변전설비
		트램 배차·스케줄관리, 트램차량·노선관리
		트램차량 배터리 관리
	실증노선 성능 시험 및 평가	무가선트램 시범운영을 위한 RAMS 보증체계 연구
		트램 형식승인
		노선별 용량선정, 예비편성산정 최적화
		시험선 완성차 주행성능 평가
시험선 충방전 검증 및 평가		
승강장	시험선 궤도 인터페이스 평가	
	관제 승강장 승객 감시	
	차량 승강장 승객 감시 및 차량제어	
무가선 트램 운영 및	운영·유지보 수 기술	승강장 비상연락장치
		트램 표준운영모델
		정상 운영시나리오
		운영·안전관리·유지보수 매뉴얼

유지보수 기술	장애 및 사고 처리 기술	실증노선 운영계획 수립
		트램 요금징수체계
		사고 차량 신속복구 기술
		장애설비 신속복구 기술
트램 운영·안전 법제도	도시철도법	운영장애시 운영시나리오
		트램 건설 운영
		트램 정거장 및 환승
	철도안전법	트램 시설 설계
		안전관리체계
	기타법규	형식승인제도, 운전면허체계
교통사고 처리 법제도		
		트램 예비타당성관련 제도

2. 기술내용

가. 무가선 트램시스템 기술

- 성격 : 기술수준 향상, 국내 차량인증체계 완성, 국내산업 실적확보로 해외시장 조기 진출 기반 마련
- 기술현황 : 해외에서는 무가선 트램시스템 상용운영, 국내 시험선 운영실적은 있으나 국내 지자체 수입대체 및 국외 진출을 위해 최소 상용수준 실적확보 및 실도로(또는 유사도로)에서 검증 필요
- 기술내용
 - 실증노선(궤도, 노반 등 인프라) 설계 및 구축
 - 트램기술 실증, 인증체계, 법제도 등의 시범적 반영 등의 기술적 필수요건을 갖춘 노선선정을 위한 사전타당성 기준 마련
 - 트램사업의 파급효과 및 홍보를 최대화할 수 있는 노선선정 기준 도출
 - 실증노선 구축을 앞당길 수 있는 빠르고 공정한 선정절차 적용
 - 상용 Protocol 구축 및 시범운영
 - 무가선 트램차량, 궤도·노반, 신호·통신 설계 및 구축
 - 무가선 트램 시스템(차량, 궤도·노반, 신호통신 등) 검증 및 시운전
 - 차량 및 인프라 등 제반 기술 및 시설기준, 인증제도
 - 100% 무가선 트램차량 상용화 기술
 - 지붕탑재형 배터리 기술
 - 급속 지상충전장치 기술
 - 차량 전장품 개선 기술
 - 트램 교통사고 저감 기술
 - 교통사고 피해저감 차량 차체 설계 기술

- 트램 사고차량 신속복구 기술

나. 무가선 트램 운영 및 유지보수 기술

- 성격 : 국내 트램 운영기술 표준모델화
- 기술현황 : 선진국은 트램 운영사례를 통해 최적운영, 국내 트램 희망 지자체는 운영체계가 상이한 도시철도 또는 경전철의 운영모델을 참조하는 실정
- 기술내용
 - 국내 표준 운영유지 모델 개발
 - 한국형 표준 운영계획 수립, 모델개발 및 유지보수 기준매뉴얼 제작
 - 안전관리 기준개발 및 매뉴얼 제작
 - 트램 운영 및 유지보수 실증 매뉴얼 및 지원 시스템 개발
 - 해외 선진운영체계 교육프로그램 개발
 - 트램 운전면허체계 구축
 - ICT를 이용한 무임승차 방지 기술 개발
 - 영상처리를 이용한 차상 무임승차 검지 및 판단기술 개발
 - 실시간 통신을 이용한 요금징수장치-현장단말-센터 연계기술 및 체계 개발

다. 트램 운영·안전 법제도

- 성격 : 법령 및 제도, 정책, 체계 구축
- 기술현황
 - 트램 상용화에 필요한 법제·체계 구축, 관련 하위지침 및 시스템을 개발하는 것으로서 트램의 운행 및 안전에 있어서 필수적인 요소 기술임.
- 기술내용
 - 트램 법제관리 체계 구축
 - 트램 사고처리 등 안전 관련 법령 개정방안
 - 트램 보험제도 개발 등 트램 운영지원방안
 - 트램 종합시험 운행 시스템 구축을 위한 제도 정비
 - 철도안전관리체계 승인·검사체계 구축
 - 트램 투자평가체계 개선전략 마련
 - 트램 투자평가제도 개선
 - 트램 관련 신규편의 항목 개발
 - 트램 건설비 운영비 기준 마련
 - 트램 운전면허체계 구축
 - 운전자 교육 및 운전면허시험 관련 지침, 기준 개발
 - 교육과정 및 교육 프로그램 개발
 - 학과/기능시험 과목별 평가항목 및 내용 개발

제2장 국내외 동향 및 환경 분석

제1절 국내외 정책동향

1. 기술적 정책동향

가. 환경 친화성 및 에너지 효율성

- 우리나라는 2012년까지 - 온실가스 감축 의무없이 - 관련 통계 및 국가 이행사항을 당사국 총회에 제출하는 등 공통 의무사항만 이행하면 되는 개발도상국 지위를 인정받음
- 하지만 2013년 부터 시작되는 2차 공약기간에는 부속 국가로 분류되어 온실가스 배출량을 의무적으로 감축해야 할 가능성이 매우 높으므로, 온실가스 저감 효과가 탁월한 신교통수단의 개발을 본격적으로 추진해야 함
 - 한국은 2004년 4억 6,500만톤의 이산화탄소를 배출하여 세계에서 9번째로 이산화탄소 배출량이 많음 (UNDP 「2007/2008 인간 개발 보고서」)
- 이러한 관점에서 무가선 저상트램은 자가용 수요를 흡수함으로써 도로교통의 혼잡과 환경오염 등을 줄일 수 있는 획기적인 기술적 대안임
 - 우리나라의 교통수단별 CO2배출량을 보면 도시철도는 승용차의 1.5%, 승합차의 3.6%, 일반철도의 50.0%에 불과함
 - 무가선 저상트램은 경량화를 통해서 에너지 효율이 높을 뿐만 아니라, 가선을 통한 에너지 손실을 10% 이상 줄일 수 있고, 회생제동을 통하여 에너지효율을 30% 이상 높일 수 있다는 점에서 에너지 효율성과 환경 친화성을 극대화할 수 있는 기술적 대안임.

<표 2> 한국의 교통수단별 CO2 배출량 비교

구분	단위	승용차	승합차	일반철도	도시전철
CO2 배출량	천톤(CO2)	35,386	14,379	1,008	542
	%	69	28	2	1

※ 홍용기(2008) “지구 온난화 방지를 위한 교통시스템”, 「한국철도 학회지」, 11-3, p. 89.

- 한편, 저상트램은 여타의 경량전철과 비교하여 건설기간이 짧다는 특성으로 인해, 건설기간 중 발생하는 소음, 분진 등의 환경적인 문제를 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 일반시민들의 불편함으로 인한 민원도 최소화 가능한 장점이 있음
- 시각적인 측면에서도 저상트램은 도시미관과의 조화를 최우선으로 고려함으로써

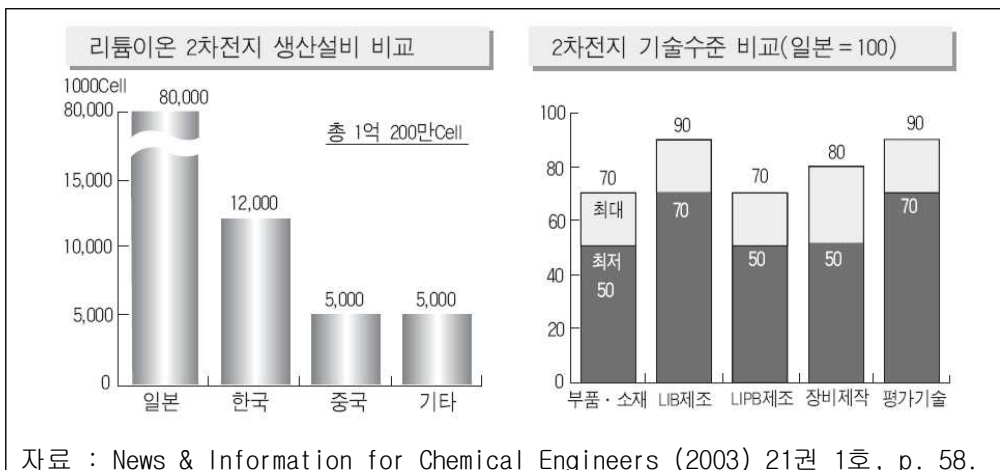
- 써, 도시의 이미지를 개선하는 등의 긍정적인 효과를 가짐
- 승객 조망권 확보를 통한 편리성의 증대



<그림 2> 저상트램과 도시 미관의 조화

나. 세계 최고수준의 기술 개발 가능

- 무가선 저상트램은 하이브리드 추진제어/비접촉 급속충방전기술/저상대차/리튬 2차전지 스택 및 제어기술 등의 핵심기술로 구성
- 우리나라는 전세계 2차전지 시장의 약 22%를 점유하고 있으며, 일본과 함께 세계적인 수준의 배터리 기술을 보유하고 있는 것으로 평가받고 있음.
- 특히, BMS(Battery Management System)와 스택 기술은 국내 핸드폰 개발 및 생산효과로 세계 최고수준으로 평가받고 있음



<그림 3> 우리나라의 2차전지 기술수준

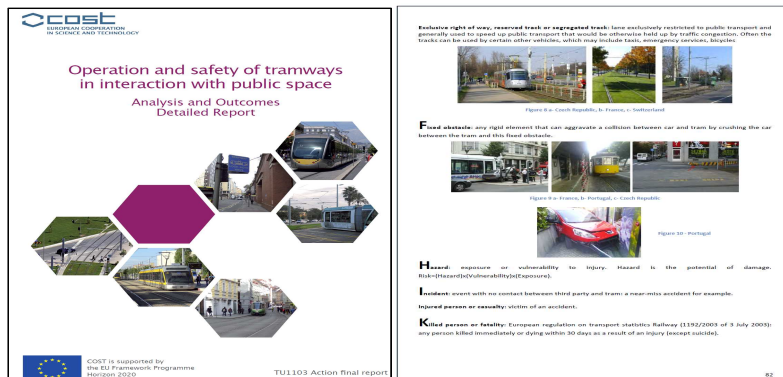
- 비록 일부 철도차량 제작기술(경량화, 차량저상화 등)이 선진국에 뒤쳐져있으나, 우리나라가 강점이 있는 2차전지 및 BMS 기술을 적극 활용할 경우, 전세계적으로 연구개발 단계에 있거나 새로운 시장(Emerging Market)이 형성되고 있는 무가선 저상트램 분야에서 세계적인 기술 선도자가 될 수 있음
- 무가선 저상트램은 선진국에서도 연구개발의 초기단계에 있기 때문에, 우리나라가 강점이 있는 2차전지 및 BMS 기술 등을 바탕으로 선진국 기술의 추월이 가능

<표 3> 우리나라의 무가선 저상트램 기술수준

구 분	차량설계 기술	인프라 핵심기술	하이브리드 시스템 기술
기술 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초저상대차 설계 ○ 구동모터설계 ○ 차체설계 기술 ○ 경량차체 설계 ○ 부품최적화 ○ 인터페이스기술 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노면선로 구축기술 ○ 정비 및 운행시스템 ○ 주행안전성, 신뢰성 확보기술 ○ 관련 도시교통법령 및 제도개선 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2차전지 집적기술 ○ BMS ○ 하이브리드 추진 제어기술 ○ 회생제동 시스템 ○ 유무선 급속충방전
선진국대비	50%	40%	70%

다. 트램 교통사고 저감 연구 착수

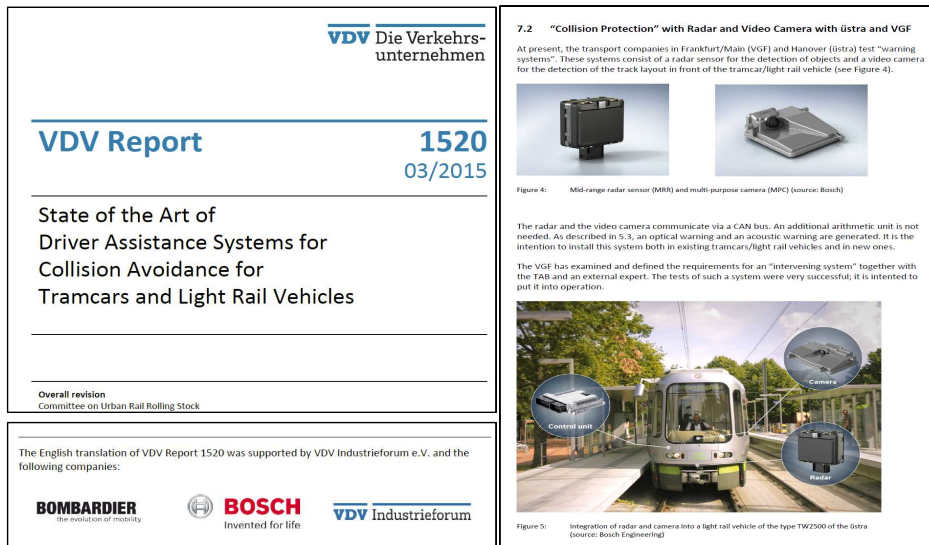
- 유럽을 중심으로 트램 사고저감 방안을 연구추진중임. 유럽과학기술연합(COST: European Cooperation in Science and Technology)은 트램 사고 저감과 사고에 의한 영향을 최소화하기 위해 트램 안전 향상 방안을 EU의 자금으로 TU1103 프로젝트를 수행하고 있음.
- 유럽 17개국의 트램운영기관 등이 참여하여 트램 사고유형, 원인, 조치결과를 수집·분석하여 최적 저감대책 도출
- 사고원인 분석결과 교차로에서 도로차량, 보행자 충돌 사고가 주요 원인으로 나타남.



<그림 4> COST의 TU1103프로젝트 보고서

- 트램의 도로주행 특성으로 빈번히 발생하는 도로 이용자와의 충돌 사고를 저감하기 위해 지능형자동차의 센서기반 안전기술을 트램에 적용하고자 UITP (세계교통협회) 주최로 관련 기술교류 회의가 개최됨
 - 2015년 비엔나에서 “운전자지원형 트램 안전시스템” 주제로 워크샵이 진행
 - 보쉬, 봄바르디아, 이베오 등의 제작사와 독일 프랑크푸르트 운영사가 참여하여 충돌회피 운전자지원시스템의 트램 적용사례 발표 등 효용성 논의를 통해 사고저감 기술 필요성 공감대 형성

- 독일 철도차량의 기술기준을 제정하는 독일운송업체연합(VDV)는 충돌회피 운전자지원시스템을 검토하고 최신 기술에 대한 보고서를 2015년 내놓음.

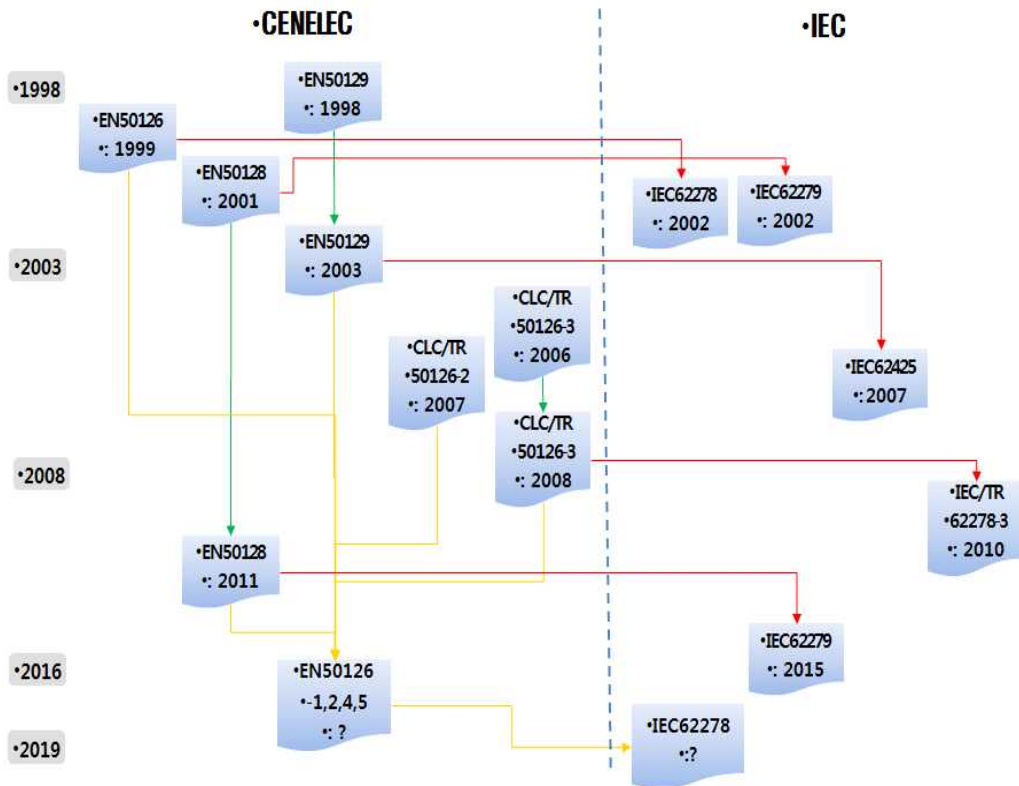


<그림 5> 트램을 위한 충돌회피 운전자지원시스템에 대한 독일VDV 보고서

라. 철도 RAMS 적용 확대

- 국외 RAMS 정책동향
 - EU Railway Safety Directive의 Safety Management System 규정에 의거하여 통일된 운영 단계의 RAMS 모니터링 및 유지보수 절차를 적용하고 있음.
 - 대부분의 해외사업은 입찰제안시 체계적으로 획득된 운영RAMS자료를 요구하고 있음.
 - 국제 철도 RAMS 규격 개정 추진
 - IEC 62278 개정 추진
 - EN50126, EN50128, EN50129 개정 추진

○ 철도 RAMS 국제 규격의 변화



<그림 6> 철도 RAMS 국제 규격의 변화

○ 해외 철도 RAMS 관련 규격 및 기준

- IEC 62278(2002), EN50126-1(1999)
 - Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)
- IEC 62279(2015), EN50128 (2011)
 - Railway applications - Communications, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems
- IEC62425(2007), EN50129 (2003)
 - Railway applications - Communications, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling
- PD CLC/TR 50126-2 (2007)
 - Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)
 - Part 2: Guide to the application of EN50126-1 for safety
- PD CLC/TR 50126-3 (2008), IEC/TR 62278-3 (2010)
 - Railway applications - The specification and demonstration of

Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)

▪ Part 2: Guide to the application of EN50126-1 for rolling stock RAM

- IRIS 및 TSI : RAMS 항목 요구

□ 국내 RAMS 정책동향

- 국내 철도안전법 강화 (2012.6, 관련 세부지침 2014년 고시)
 - 철도안전관리체계 : 유지보수 프로그램 → 승인사항
 - 철도차량/용품 형식승인, 제작사 승인
 - 사후적 검증 → 사전 예방적 검증, 책임 권한 의무 명확화, 제작사, 운영사 입증 책임 : 인증기관 확인, 과징금 부과 등 제재 수단 도입
- 국내 대부분의 철도운영기관들은 자체 유지보수관리 시스템을 통해 고장현황을 수집하고 있으나 현업의 현실과 동떨어져 활용도가 매우 떨어짐
- 철도안전법에 의거한 시스템의 사용년한 연장을 위해 필요한 객관적인 자료 제공을 위한 공인된 수집절차 및 통계처리 절차가 전무함
- 철도안전법에서 요구하는 LCC나 RCM와 관련하여 국내철도 및 경전철 요구사항에 부합되는 표준화된 절차나 시스템이 전무하며 외산 솔루션을 차용하여 사용하고 있음
- E&M 발주시 운영기관이 정하여야 할 정량적 RAMS 요구사항에 대해 국내 운영자료를 그 근간으로 하지 못하고 있음

마. 트램 운영 및 유지보수 체계정립

□ 국내 도시철도 운영유지보수 동향

- 일반적으로 국내에서는 운영이라는 표현을 열차운행과 시설물 유지보수를 통칭해서 사용하지만, 실제 해외사례 등을 살펴보면 운영(Operation)과 유지보수(Maintenance)는 구분되어서 사용된다.
 - 운영 : 열차운행, 열차 및 시설물 통제, 역무업무, 기타 안전관리와 직원의 교육 등 인력관리 포함
 - 유지보수 : 열차운영에 필요한 모든 시설물의 점검과 보수, 개량등의 업무
- 철도안전법 하위규정인 철도안전관리체계 기술기준 근거로 트램 전용 운영 및 유지보수 매뉴얼 필요

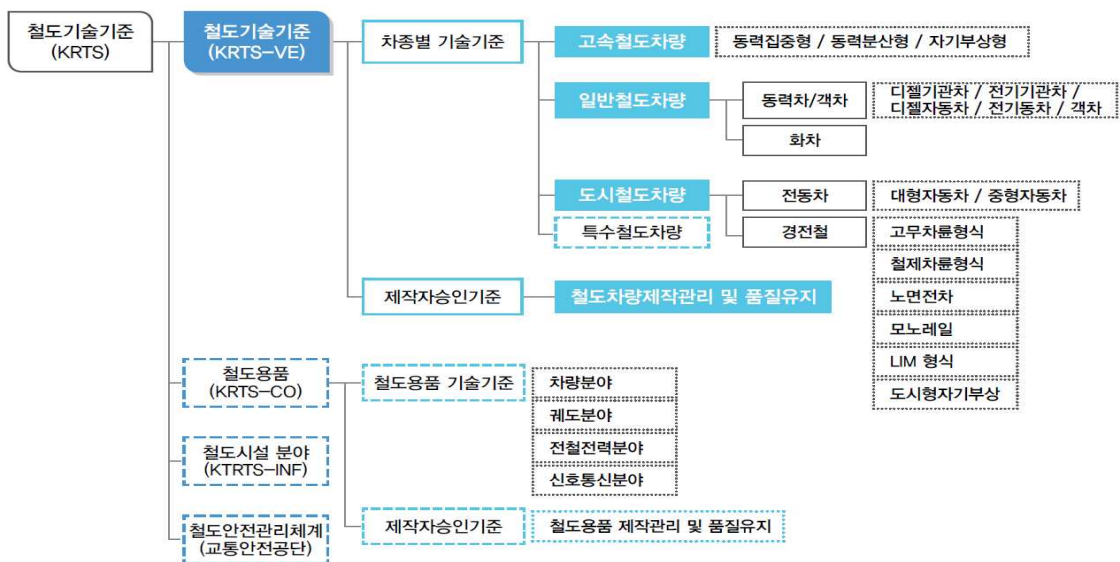
<표 4> 주요 운영유지보수 구성요소

구성요소		주요항목
운영	관제운영	시스템 통제, 열차 운행관리, 비상대응, 민원응대
	차량운전	차량운행계획, 차량상태 확인, 차량운전, 차량내 비상대응
	역사관리	요금징수 및 관리, 이용객 민원응대
	안전관리	안전관리, 품질관리, 환경관리, 보안관리
유지보수	궤도	궤도시설물 점검 및 보수
	전력	전기 공급, 전차선, 변전소, 전력제어설비 점검 및 보수
	신호	분선 및 분기부 신호시스템 및 설비 점검 및 보수
	통신	무선, 방송, 요금징수 시스템 점검 및 보수
	차량	차량 및 차량 검사장비의 점검 및 보수, 차량 청소
	건축	정거장 및 차량기지 건축 시설물 점검 및 보수
	토목	터널, 교량 시설물 등 토목구조물 점검 및 보수

바. 철도 인증 제도 동향

□ 인증제도의 필요성

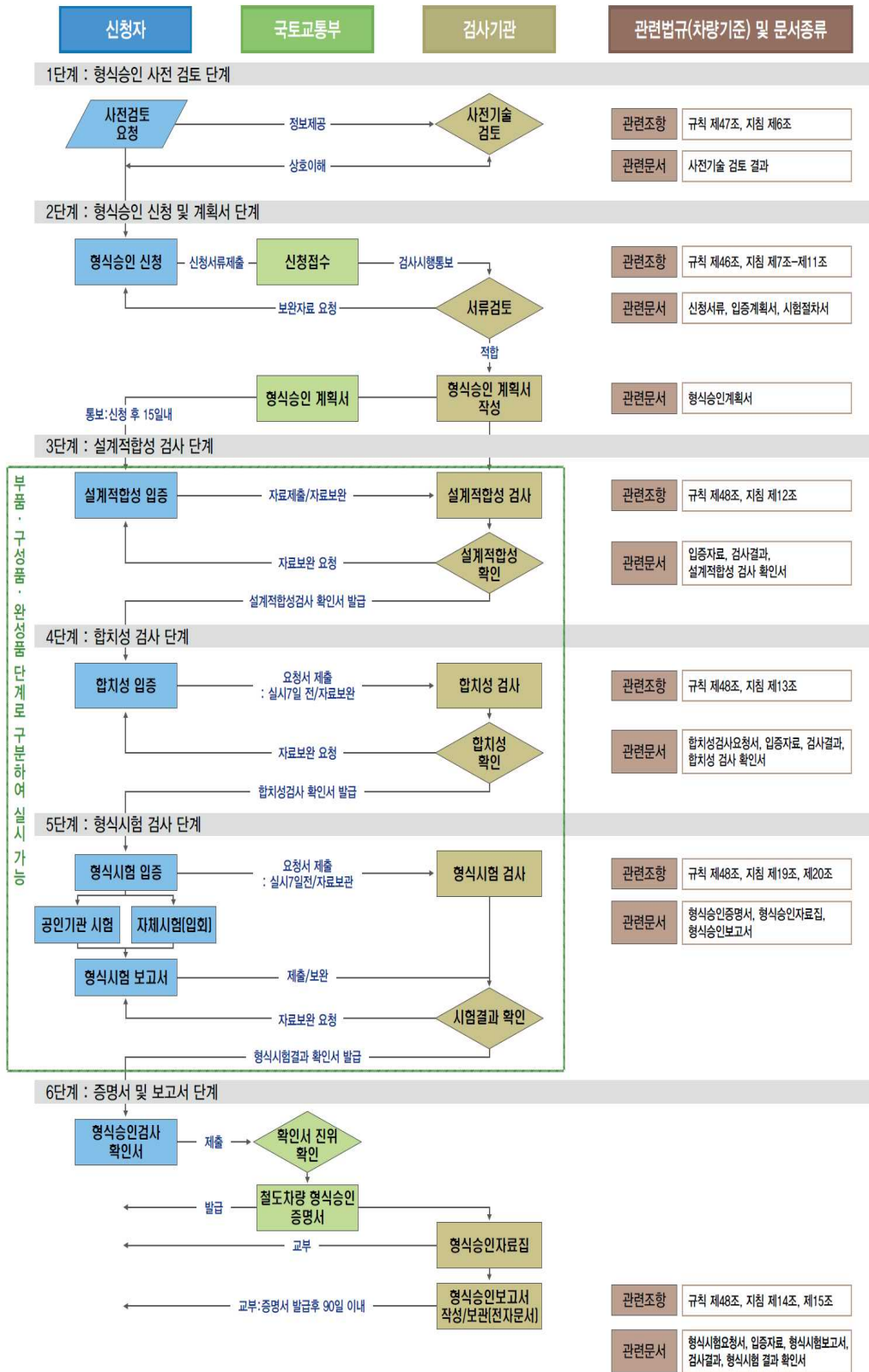
- 철도 용품·차량의 검증 및 검사를 통하여 품질이 저급한 철도용품·차량으로 인한 고장 및 사고를 미연에 방지 가능.
- 국제적 수준에 부합하는 철도용품·차량의 품질검증제도를 마련·운영하여 철도산업의 경쟁력을 높이고, 위법한 철도제품의 유통을 방지하여 소비자 권익을 보호.
- 그림7은 철도용품 및 차량의 기술기준 및 체계 구성도를 나타내며 모두 형식승인 대상에 포함됨. 하지만 시설의 경우 형식승인 대상에 포함되지 않음.



<그림 7> 철도기술기준 체계 및 구성

□ 국내 철도용품·차량 형식승인 제도 실시

- 국내에서 운행하는 철도용품·차량을 제작하거나 수입할 때 안전성과 품질을 확보하기 위하여 국토교통부장관이 해당 철도차량의 설계와 제작자의 품질관리 체계에 대하여 승인하고, 완성된 차량을 검사하도록 하는 제도 <철도안전법 제26조(차량) 및 제27조(용품)>
- 철도용품·차량 형식승인 제도 실행 방법
 - 철도용품·차량 형식승인: 최초로 제작된 철도 용품·차량의 형식(type)이 국가가 규정한 철도기술기준에 적합한지 여부를 확인하기 위하여 설계적합성검사, 합치성검사, 형식시험을 통하여 국토교통부장관이 검사하고 승인하는 것으로, 사유가 있는 경우에는 형식승인을 면제, 취소, 변경승인 가능.
 - 철도용품·차량 제작자승인: 국토교통부장관은 제작자가 형식승인을 받은 철도 용품·차량을 균일한 품질로 제작할 수 있는 능력을 갖추었는지를 확인하기 위하여 인력, 설비, 장비, 기술 및 제작검사 등 철도차량의 적합한 제작을 위한 유기적 체계를 갖추고 있는지에 대하여 검사하고 승인
 - 철도차량 완성검사: 국토교통부장관은 제작자승인을 받은 자가 철도차량을 판매하기 전에 형식승인을 받은 대로 제작 하였는지를 완성검사를 통하여 확인
- 철도안전법 제27조 및 제27조의2에 따른 철도용품 형식승인 및 제작자승인을 위한 용품 기술기준(안) 총 35종 고시를 위한 관계사(차량제작사, 부품제작사, 차량 운영사, 시설 운영사)등의 의견 수렴 중
- 2016년 5월에 행정예고된(2014년 1월) 철도용품 기술기준(안)에 대한 관계사 의견수렴, 공청회, 자문회의 및 전문위원회 개최 등을 통해 철도용품 기술기준(안)의 시행여건을 분석하여 2016년 8월에 35개의 용품 기술기준(안) 중 10개용품에 대해 제정 고시됨.
 - * 형식승인 대상(10개) : 차륜, 차축, 연결장치, 보통레일, 접촉절연레일, PSC 침목, 전자연동장치, AF궤도회로장치, 자동폐색제어장치, 전차선
- 그림8는 철도용품·차량 형식승인의 업무 흐름도를 나타내며 형식승인 신청자와 검사기관 사이에 수행되는 업무의 시간상 순서 및 절차 그리고 관련법규를 나타낸다.
- 그림9는 철도차량 형식승인의 시행 절차를 나타내며 형식승인, 제작사승인 및 완성검사 각각의 절차를 나타낸다.



<그림 8> 철도용품·차량 형식승인의 업무 흐름도



<그림 9> 철도차량 형식승인 시행 절차

- 철도시설 형식승인 제도
 - 「철도안전법」 제25조제1항에 따라 철도시설의 기술기준에 관하여 필요한 사항을 정함을 목적으로 함
 - 철도 용품 및 차량과 같이 형식승인 제도가 마련되어 있지 않음.

□ 국외 인증제도

- 노면전차 유럽 기준 및 표준 등의 인증체계 완성을 통한 유럽 철도 선진국의 기술수준 달성을 목적으로 함.
- 일반적으로 도시 내에서만 운행하는 트램은 국가간 연결하는 철도에 대한 상호 기준인 유럽철도기술기준 (TSI, Technical Specifications for Interoperability)의 적용을 받지 않음.
- 고속철도차량의 경우 TSI에서 유럽 전 회원국에 공통 적용 되는 기술기준을 명시하고 있으나 트램의 경우 국가간 운행되는 차량이 아니므로 운영되는 국가 고유의 철도 관련 법률이 존재.
- 차량 및 시설 유럽 수출 시 회원국 고유의 기술기준 확인 및 달성 필요
- 국내 트램(노면전차) 기술기준은 유럽 일반철도의 기술기준을 참조하여 작성되고 있음.
- 차량 유럽 수출을 위해서는 각 국가 별로 요구하는 기술기준 (NTR, national technical rule) 조사 필요. (non-interoperable vehicles)
- 그림10은 스위스의 TSI 적용을 받지 않는 자국내에서만 운행하는 차량에 대한 형식승인 절차를 나타낸다. 각 국가별로 비슷한 절차 및 기술기준을 갖지만 상이한 점도 있으므로 대상 국가의 기준을 명확히 파악해야 한다.

**Operating license/ type approval
Non-interoperable vehicles**

Safety case
Safe integration
Technical compatibility
Completeness

Safety report **Safety assessment
report**

Safety analysis and risks

<그림 10> 스위스 형식승인 절차

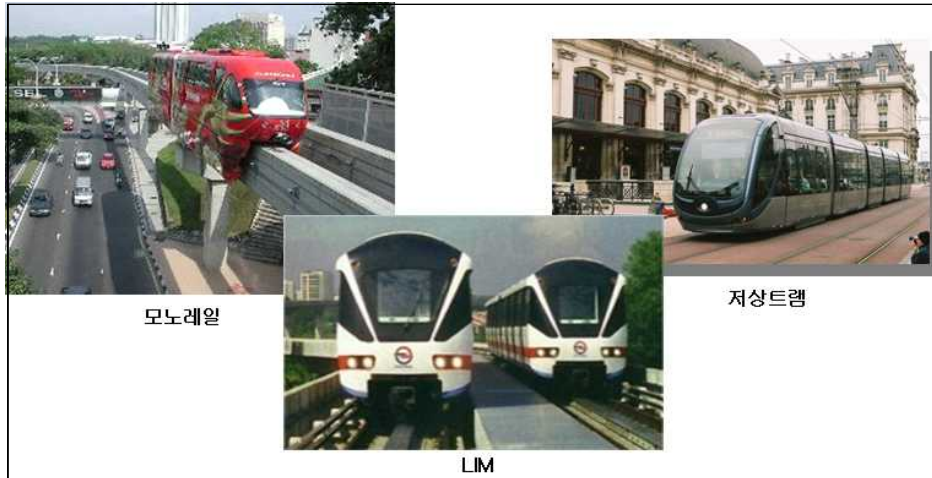
2. 사회적 정책동향

가. 교통약자에 대한 고품질 교통서비스 제공

- 최근 교통약자에 대한 교통 서비스가 사회적 문제로 대두됨에 따라 정부는 다양한 정책적인 수단을 강구
 - '교통약자 이동편의 증진법'에 의하면 교통약자의 이동편의 증진을 위한 교통수단·여객시설 및 이동편의시설의 기준에 관한 사항 등에 대한 연구개발 사업을 추진해야 함
 - '대중교통 육성 및 이용 촉진에 관한 법률'에 의하면 국가 및 지방자치단체는 모든 국민이 편리하고 안전하게 대중교통을 이용할 수 있도록 대중교통서비스 향상을 위한 다양하고 새로운 교통수단의 보급과 시설·장비의 확충 및 지원의 강화, 광역대중교통서비스의 개선 등의 정책을 수립하여야 함
- 이러한 측면에서 무가선 저상트램은 교통약자들에 대한 교통서비스를 획기적으로 개선 가능
 - 지하철, 모노레일, AGT 등이 이용자들의 수직이동을 많이 필요로 하는데 반해, 저상트램은 궤도레벨에서 차량의 바닥면까지의 높이가 불과 20~30cm에 불과하여, 승객들의 접근성이 뛰어나고 유모차 이용자, 고령자 등 교통약자들에게 고품질 서비스 제공이 가능

나. 안전성

- 철도는 수송단위가 큰 공공 교통수단으로 안전성과 정시성을 자랑하지만, 충돌, 탈선, 화재, 테러 등에 의한 사고가 발생할 경우 대형재난으로 확대될 수 있는 위험성으로 인해 안전성의 확보가 무엇보다 중요함
- 다른 교통수단에 비해 열차의 상하 교차나 추월의 자유도가 상당히 낮고, 단 시간에 우회경로를 설정하기도 쉽지 않기 때문에, 부분적인 장애로 인한 영향이 광범위한 운행지장으로 이어질 수 있음



<그림 11> 모노레일, LIM, 저상트램의 비교

- 안전성 측면에서 노면전차는 고가 구조물을 필요로 하는 모노레일 및 LIM과 비교할 수 없는 강점을 가짐
- 노면전차는 지상에 건설되기 때문에 대피로의 확보가 용이하고, 구난을 위한 접근이 용이함

다. 중소도시의 도심지 개발과 연동하여 추진

- 지하 또는 고가에 건설되는 여타의 중량전철 및 경량전철과 비교하여, 노면전차는 지역개발 사업과 효과적으로 병행하여 추진 가능
- 노면전철과 함께 보행로를 활성화하고 주변 상점가와 연계한 트랜짓몰 (Transit Mall)을 조성할 경우, 유동인구의 증가를 통해 도심지의 활성화에 매우 효과적
- 노면전차는 특히, 상점가 등 주변환경과의 조화가 뛰어나고, 넓은 창을 통해 승객들의 조망권 확보 가능



<그림 12> Strasbourg의 저상트램을 이용한 도시재개발 사례

- 노면전차, LIM, 철제차륜 AGT 등 각 시스템의 다양한 특성으로 인해 획일적으로 단정할 수는 없으나, 다음의 국외 사례분석 결과를 통해서 볼 때 노면전

차는 대중교통 이용증진 등의 일반적인 교통효과 이외에도 도심지 개선 및 지역개발 등의 측면에서 매우 큰 장점을 가지고 있음.

- 우리나라에서 경량전철의 도입을 추진하고 있는 상당수의 중소도시들이 침체된 지역경제 또는 도심지 활성화를 부가적인 목적으로 하고 있음을 고려할 때, 노면전차는 대중교통 활성화와 지역개발이라는 두가지 목적을 매우 효과적으로 달성할 수 있는 신교통수단임

<표 5> 세계 주요도시의 경량전철시스템 도입목적 비교

시스템	국가	도시	경량전철 도입 목적						
			대중교통 증진	교통혼잡 완화	환경 개선	도심 개선	개발 촉진	기타	
노면 전차	호 주	Melbourne				•			
		Sydney					•		
	캐나다	Calgary		•	•		•		
	스웨덴	Stockholm	•	•	•			•	
	스위스	Lausanne	•				•		
	영 국	영 국	Croydon	•	•			•	•
			Manchester				•		•
			Nottingham		•		•	•	
			Tyne and Wear	•			•		•
			West Midlands	•	•		•	•	
	미 국	미 국	Baltimore	•	•				•
			Dallas	•	•			•	•
			Kansas City					•	
			Sacramento	•		•			
			San Diego		•	•			•
			San Jose		•				
LIM	캐나다	Scarborough	•			•	•		
		Vancouver						•	
철제차륜 AGT	덴마크	Copenhagen	•	•	•		•		
	영 국	London Docklands					•		

※ 자료 : Macket & Edwards (1998) The Impact of New Urban Public Transport System: Will the Expectations be Met.; 김훈 (2007) 「도시교통 특성을 고려한 도시철도 시스템 평가방안」, 교통연구원 연구보고서, p. 42에서 재인용

3. 해외 노면전차 현황

가. 노면전차의 성공사례

- 지난 30년간 유럽, 아시아, 미국 등 전 세계적으로 136개 노선의 트램(신형 노면전차 포함)이 건설되어 운행 중이고, 현재 50여개 노선이 추가로 건설 중임.
- 역사가 끊이지 않은 전통적인 트램국가인 독일, 호주, 이탈리아 외에 신형 트램국가로 프랑스와 스페인 등을 꼽고 있으며, 아시아권역에서는 일본, 두바이, 말레이시아 등지에서 트램을 건설하거나 계획하고 있음.
- 전 세계적인 현대식 노면전차의 부흥은 1980년대 이후 프랑스 소도시로부터 시작되어 유럽전역 대도시권으로 점차 확대되고 있음
- 1985년 프랑스 낭뜨(Nantes)에서부터 시작된 트램의 부활은 점점 확산되어 프랑스 수도 파리에 T1, T2, T3 등이 대도시권 교외지역 중심지 간 연결과 대규모 신개발지역으로의 접근성을 확보하기 위하여 건설된 사례임.
- 스페인에서는 1988년 발렌시아를 선두로 하여 빌바오, 바르셀로나, 마드리드 등 전역으로 확산되고 있는 트램이 도시대중교통수단으로서의 기능뿐만 아니라 기존에 번성했던 구산업지역의 재활을 촉진하기 위한 기능도 담당하고 있음.



<그림 13> 프랑스 파리 트램의 성공사례

- 전통적인 트램국가인 독일, 호주, 이탈리아의 경우에는 폐지된 기존노선의 복구 및 노후화된 시설의 교체를 중심으로 더욱 활발히 추진하고 있음.
- 독일의 베를린과 뮌헨은 1970년대 이후 메트로의 도입으로 쇠퇴되거나 노후화된 노선을 신식으로 교체하고, 노선을 지속적으로 복구 혹은 신설하며 선로의 녹화사업 등 친환경사업에 투자를 하고 있음.
- 호주의 멜번은 500개의 트램이 245km 연장 28개 노선으로 건설되어 있어 세계에서 가장 광범위한 네트워크를 형성하고 있으며, 도심 내부에는 일부 광역 버스를 제외한 버스의 진입을 금지하여 트램만이 운행되도록 함. 2000년대 이후 민영화되면서 노후 차량 교체 및 수단간 연계기능이 강화되고 있음.
- 이탈리아의 로마는 메트로 도입이후로 기능이 저하되거나 운행이 중단된 기존 트램 노선을 복원하는 방식으로 현대화하면서 새로운 트램 노선을 건설하는데, 메트로와의 연계성을 확보하고 교통기능을 수행하는 방사환상형 지선 네트워크를 구축하고 있음.
- 후행 주자인 미국과 일본은 각각 도시재생 · 지역경제 활성화 촉진과 지속가능한 도시 만들기를 목표로 경량전철(Light Rail Transit : LRT)과 노면전차(Modern Streetcar) 도입에 적극적으로 가세하고 있음.
- 미국은 궤도계 위주의 대중교통 시스템 도입을 위하여 DOT(Department of Transportation)의 전폭적인 후원을 아래 사업을 추진하고 있음. 현재 운행되는 LRT와 노면전차의 노선은 2007년 기준 각 20개씩이며, 장래 도입을 목표로 제안된 노선은 LRT37개, 노면전차 10개에 달함.



<그림 14> 미국 텍사스 휴스턴시의 트램 성공사례

- 일본은 기존 철도역에서 새로운 신칸센역까지의 접근성을 확보하기 위하여 도야마시에서 처음으로 노면전차를 도입하였음. 또한 폐선되거나 비효율적으로 이용되고 있는 기존 철도선의 LRT화를 추진하고, LRT 정비법을 토대로 철도와 도시만들기사업의 연계를 모색하고 있음.



<그림 15> 일본 토야마 트램의 성공사례

나. 해외사례를 통한 노면전차 도입목표와 기능

- 다양한 해외사례를 살펴본 결과, 이들 도시들은 트램 및 노면전차 도입으로 매력적이고 활기있는 도시건설의 지원, 대중교통기능의 확보 및 강화를 목표로 삼고 있음.
- 10가지로 구분할 수 있는 해외 신형 트램의 기능별로 사례도시를 나열해보면 아래 표와 같음.
- 독일에는 기존 철도 인프라를 활용한 사례가 많았으며, 프랑스 소도시에는 간선버스를 전환한 사례, 그리고 이탈리아에는 도심 관광, 메트로의 지선으로 활용한 사례가 있음.

목 표	기능	사례 도시
매력적이고 활기 있는 도시재생의 지원	도심 재생 / 재활 기능	Dublin (아일랜드), Strasbourg (프랑스) , Portland (미국)
	낙후된 산업지역/지구 재개발	Seattle (미국), London (영국), Barcelona (스페인)
친환경 대중교통 기능의 확보·강화	Metro의 Feeder 기능 수행	Roma (이탈리아), Madrid (스페인) , Paris T3/7 (프랑스)
	BRT 기능의 흡수/대체	Reno (미국), Quito (에콰도르), Curitiba(브라질)
	간선버스에서의 전환	Lyon, Grenoble (프랑스) 등 유럽의 소도시
	기존철도의 LRT화	Valencia (스페인), Lyon (프랑스), Toyama (일본)
	기존 철도로의 진입	London (영국), Melbourne (호주), Karlsruhe (독일)
	대규모 개발지역으로의 접근 가능	Paris T2 (프랑스), Dockland (영국), Freiburg (독일)
철도네트워크의 보완 기능	Paris T1, T2 (프랑스), Roma (이탈리아)	
도심지구의 순환 유람/관광	Dallas (미국), Roma (이탈리아), Bordeaux (프랑스)	

<그림 16> 해외 노면전차 도입목표와 기능

다. 국내 신형 트램 도입에서 고려해야 할 기능 검토

- 1900년대 초반 세계적으로 전성기를 누렸던 전통적인 트램은 1950년대 이후 자동차의 급속 보급 및 확산으로 인하여 1960년대 이후부터 차츰 폐선되기 시작함.
- 서울의 경우에도 1899년부터 전차가 운행되었으나 적자가 누적되고 버스 및 승용차가 증가하자 방해물로 판단한 서울시에 의해 1968년 모든 노선이 폐기됨.
- 1980년대 프랑스를 중심으로 대중교통기능의 확보 및 강화를 목표로 교외 도시 중간의 연계, 메트로의 지선 기능, 간선버스에서의 전환, 기존 철도로의 진입 등과 같은 교통수단기능으로서의 역할을 가지고 트램 건설이 촉진되었으나, 2000년대 이후 스페인, 프랑스, 미국 등은 국가 교통정책차원에서 기존 도심의 상권 및 사업 침체지역을 재생시키고, 활성화할 수 있는 촉진 매개체로서의 기능을 중심으로 트램과 노면전차를 건설 및 계획하고 있는 것으로 나타남.
- 신형 노면전차로 도입 가능한 기능으로 도심지구의 순환 유람 및 관광, BRT기능의 흡수 및 대체, 메트로의 지선 기능 수행, 낙후된 산업지역·지구 재개발, 대규모 개발지역으로의 접근 가능, 도심재생 및 재활촉진의 수단적 기능 등을 고려해볼 수 있음.

4. 국내 노면전차 현황

1960년대 후반까지 서울과 부산 등에서 운행되던 구형 노면전차가 사라진 이후 1999년부터 전주시를 시작으로 울산시, 창원시에서도 도입을 추진하였으나 기술적·제도적·사회적 제반 걸림돌을 넘지 못해 모두 중단되어 2016년 5월 현재 아직 국내에는 신형 노면전차가 실제 상업 운행하는 곳은 없다.

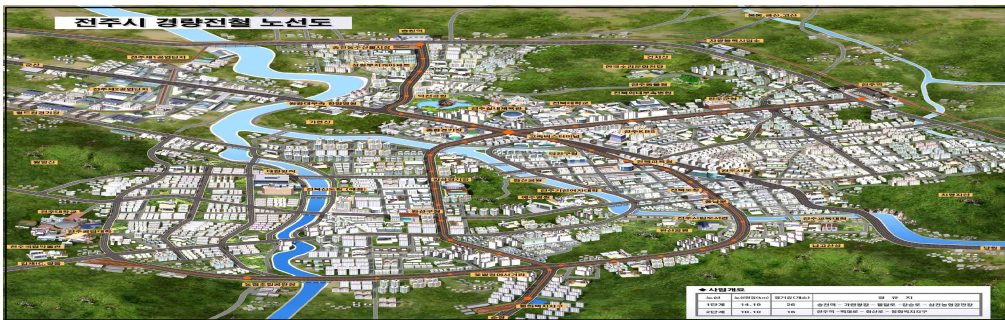
하지만 전 세계적인 도입 붐과 국책사업으로 추진된 무가선티램개발에 힘입어 수원시, 서울시(위례신도시), 화성시(동탄신도시), 대전시, 성남시(판교신도시) 등 약 10여개 지자체에서 도입을 추진하고 있으며 현황은 아래와 같다. 기본적으로 국내지자체들은 100% 저상 및 100% 무가선티램을 원하고 있으나 선례가 없어 모두 도입에 어려움을 겪고 있다.

가. 과거 신형 노면전차 추진 현황

□ 전주시

국내 최초로 신형노면전차 민자 도입을 추진하여 정부승인 및 기본설계까지 완료하였으나 국내 선례가 없어 법제도적 문제, 기술적인 문제, 민원문제 뿐만 아니라 행정 추진과정 장기화에 따른 지자체장 변경 등으로 따라 취소됨.

○ 노선도



○ 사업개요

노선이름	전주경전철
사업상황	사업중단
사업성격	신설
영업기관	민자사업자(30년간)
건설기관	민자사업자
사업구간 (역)	- 1단계 A선 : 송천역~비사벌APT~전북체고~송천1동~송천3거리~가련광장~덕진~전북대~경기장4거리(B선)~금암동~금암광장~서중R~코아백화점~시청~호남객사~풍남문~전주교대~공수내~우정A~평화A~일성A~평화광장(B선)~광장A~양지중학교~거마로4거리~농산물시장(삼천농협 공판장) (26개역)

	<ul style="list-style-type: none"> - 2단계 B선 : 전주역~인후~완주군청~전북의대~소방서~경기장4거리 (A선)~성모병원~한일고~롯데A~빙상경기장~MBC~선너머4거리~효자광장~삼천주공A~평화광장(A선)~평화3택지(전주교도소) (16개역) - A선과 B선은 2개역에서 환승 - 역간 거리: 평균500m - 차량기지: 삼천동(전주박물관) 	
노선연장	총 24.29km : 1단계 14.19km, 2단계 10.10km	
노선규격	전기방식	DC 750V
	신호방식	ATP, 유인운전
	배선	복선, 표준궤, 레일매입형
	차량	<ul style="list-style-type: none"> - 노면경전철(SLRT) (70% 저상, 굴절, 길이 30m, 폭 2.65m) - 1량 200명, 좌석 68명, 1량 1편성 운행 (1량은 굴절을 포함한 전체를 의미함), 향후 증결 고려 - 최대속도 70km/h
개통시기	- 1단계 : 2008년, 2단계 : 2011년	
참고사항	<ul style="list-style-type: none"> - 별도의 역사 없이 노면에서 승하차 (버스정류장 같은 개념) - 차량기지 : 삼천동 2가 (전주박물관) - 개통 시 운전시격(RH): A선 8분, B선 9.5분 - 덕진동(운동장이나 예술회관)에 경전철 홍보관 건립 예정 (160평, 2006년 상반기) - 각종 설계기준 <ul style="list-style-type: none"> · 궤도중심간격 : 3.4m · 대부분 섬식 승강장 계획(승강장 폭 3m, 길이 79m) · 최소곡선반경 25m - 주요지점 설명 <ul style="list-style-type: none"> · 지하: A 경기장 4거리 지하 통과 (상대식 승강장 설치), B선은 노면통과 · 고가: B선 효자광장 고가 통과 (상대식 승강장 설치) · 팔달로 구간 : 코아백화점~팔달로국민은행~풍남문~남부시장 · 재포장: 보도 화강판, 차도 화강암 · 평화4거리 : A, B모두 노면통과 	

○ 추진과정

1999.3~1999.12	○ 교통연 경전철 도입 타당성 조사, 경제적으로나 재정적으로 타당성이 충분하다는 결론도출
2000.7~2001.12	○ 기획예산처 예비타당성 조사 => 추진 판정(사업 규모를 축소하거나 단계적으로 추진할 사업) - 북전주~대정동 우선시행(민자유치) B/C=1.25
2001.12~2002.12	○ 전주시, 도시철도기본계획 수립

2001.12~2003.6	○ (주)삼안기술건설공사, 교통개발연구원 => 전주시청에서 "전주 경전철 건설운용 기본계획" 최종 보고
2003.2	○ 시민공청회
2003.2~2003.9	○ 각계 의견 수렴
2003.10~2004.1	○ 민간투자 사업성 검토 : 국토연구원 민간투자지원센터 (PICKO) 검토결과 추진가능 결론
2004.6	○ 전주경전철 건설사업 전주시민 설문조사 실시 ○ 유효표본 1,559명중 찬성 67.9%, 반대 27.9%, 무응답 4.2% ○ 무응답자 66명 제외시 찬성 70.9%, 반대 29.1%
2004.7	○ 도시철도기본계획 승인 신청 (시⇒전북도)
2004.8	○ 민간투자대상사업 지정신청(시→기획예산처) ○ 전북도 도시철도기본계획 건설교통부 신청시 병행 ○ 전주경전철 기본설계 발주 : 정부 사업신청 직후
2004.12	○ 전주시 >도시철도기본계획을 건교부에 제출
2005.10	○ 건교부 >"전주 경량전철 도시철도기본계획" 승인
2006	○ 기본설계 완료
2007.8	○ 송하진 전주시장 > 경전철 사업 취소 결론, 바이모달 트램 (Bimodal Tram) 이나 초저상 굴절버스 등 새 교통수단 추진 예정

□ 울산시

국내 6대 광역시중 유일하게 도시철도, 경전철 같은 궤도계 공공교통수단이 없었던 울산시가 노면경전철 차량으로 추진하여 2008년 정부승인까지 받았으나 기존 교통방해 및 운송업자 등의 민원 발생 등의 이유로 중단됨. 최근에는 울산 KTX과 시내를 관통하는 구간에 신형노면전차 도입이 다시 기획되고 있다.

○ 노선도



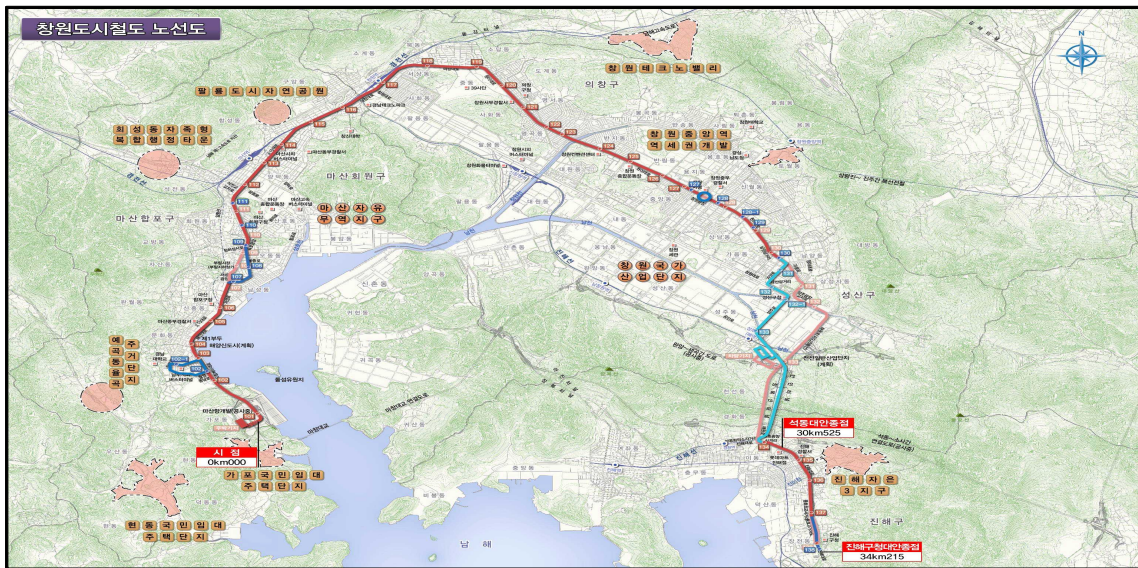
○ 사업개요

노선이름	울산경전철
사업성격	신설
사업구간 (역)	<p>- 노선: 효문역(동해남부선)~효문4,진장·명촌지구(2)~평창리비에르A~울산역,세양청구A~전자랜드~시외TR~UBS방송국~현대해상BD~국민은행~현대투자신탁~공업탑R~신정고,학성중~울주군청~법원검찰청~문수체육장~무거3~울산대~무거전화국~신복R~굴화주공1,2단지~굴화두레마을~(굴화리 차량기지) (21개역) (편도 약40분)</p> <p>- 향후구상</p> <ul style="list-style-type: none"> · 1호선 굴화 연장구간: 굴화지구~천상지구~울산국립대~고속철도울산역~언양 · 1호선 효문역 연장구간: 호계지구~울산공항~북구청~진장지구~효문역 · 2호선: 방어진~현대자동차~진장,명촌지구~학성공원~학성로~다운초교는 방어진~현대자동차~북구청~중구청~북부순환로~다운초교 · 3호선: 중구청~북부순환로~태화교~중양로~시청~수암로~학성공원~중구청 또는 중구청~혁신도시배면~태화교~중양로~시청~수암로~학성공원~중구청
<p>(예전) 울산시 자체타당성조사 노선 (총87.76km) 1호선, 1호선지선 우선 시행</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ·1호선: 북구 농소동~효문역~울산역~달동4거리~삼산로~문수체육공원~무거동~신복R~굴화(25.06km) (정거장 30개) ·2호선: 방어진~양정동~학성공원~다운동(26.10km) ·3호선: 중구청~학성공원~학성교~시청~태화R~성안입구~중구 (13.79km) ·4호선: 효문역~변영로~수암로(7.62km) (경전철 대신 BRT로) 	

	·1호선 지선: 굴화~고속철도 울산역~언양(15.19km)	
노선연장	15.95km (지상11.2km, 교량 550m, 지하 3.83km)	
노선규격	전기방식	DC750V
	신호방식	ATP 기반 차내신호, 버스정보시스템 연계한 교차로 우선신호
	배선	복선
	차량	- 경전철차량(SLRT 신형노면경전철) · 길이 27m, 폭 2.65m · 정원 : 157~236인 · 표정속도 : 25km/h · 최고속도 80km/h · 운행간격: 첨두시 4.5~5분

□ 창원시

○ 노선도



○ 사업개요

노선이름	창원 도시철도	
사업구간 (역)	<ul style="list-style-type: none"> - 창원(마·창·진)노선: 마산회원구 가포동~창원역~창원시청~진해구청 - 창원 남북노선 : 창원중앙역~경남도청~성주동 * 예타기준: 48개역, 차량기지 2개, 주차기지 1개 	
노선연장	<ul style="list-style-type: none"> - 창원(마·창·진)노선: 1단계 30.36km, 2단계 3.24km - 창원 남북노선: 3단계 8.3km 	
노선규격	전기방식	DC 750V
	신호방식	-
	배선	복선
	차량	노면전차(트램)
개통시기	<ul style="list-style-type: none"> - 마창진 노선: 2021~2020년 - 남북 노선: 2021~2025년 	
참고사항	<ul style="list-style-type: none"> - 옛 계획(3) <ul style="list-style-type: none"> · 1단계: 마산합포구 가포동~마산역~창원역~진해구 석동 (30.15km, 총 36개역, 차량기지 2개소) · 2단계: 진해구 석동~진해구청 (3.75km) - 옛 계획(2) <ul style="list-style-type: none"> · 1단계: 마산시 가포동~마산시청~마산역~마산시의외TR~창원역~창원광장~삼정자동 · 2단계: 삼정자동~진해시청 · 3단계: 창원중앙역~경남도청~창원광장~창원병원~삼정자동 - 옛 계획(1) <ul style="list-style-type: none"> · 1단계: 마산시 월영동~마산역~창원역~창원종합운동장~창원 삼정자동 (25.8km) · 2단계: 창원시 삼정자동~진해시 3호 광장~중앙로~진해시 신청사 (12.7km) 	

○ 추진과정

1991년	마창진 연담도시 광역교통망 구축을 위한 예비타당성조사용역
2004.7	경상남도 >마창진 도시철도: 유신코퍼레이션(주)에 타당성 조사용역
2007.1.~2009.1.	도시철도 기본계획 수립 연구용역(경상남도) B/C=1.18
2008.11.11	경상남도 >도시철도 기본계획 도민 공청회 마산~창원~진해, 북창원역~성주사역 43.7km 노면전차
2009.1	도시철도 기본계획(안) 제출(경상남도→국토부)
2009.1.~2009.2.	전문기관 협의(국토연구원외 2개기관)
2008.12	경상남도 -> 국토해양부 >기본계획 승인 신청
2009.7	국토해양부 -> 기획예산처 >예비타당성조사 대상사업 신청
2009 하반기	2009년 하반기 예비타당성조사 대상 사업 선정
2011.4	예비타당성조사 결과 >타당성 있음 B/C=0.88, AHP=0.502
2012.12.28	국토해양부 >경상남도 도시철도 기본계획 고시 (제2012-996호)
2013.5.15	창원시 >'창원도시철도 건설을 위한 시민공청회' 개최 타당성조사: (주)도화엔지니어링 노면전차, 총연장 34.2km(정류소 41곳), B/C=1.05
2014.9	창원도시철도 민관협의회 확대개편
2014.10.28	창원시 >시정조정위원회를 열어 사업 포기를 최종 결정 민관협의회 최종 의견을 수용해 도시철도 건설사업을 포기하기로 결정
2014.12	국토교통부 >경상남도 도시철도 기본계획 승인취소 (제2014-781호)

나. 현재 신형 노면전차 추진 지자체 현황

과거 60년대 후반까지 서울과 부산 등에서 운행되던 노면전차가 사라진 이후 실제 노면전차가 운행되는 곳은 현재까지 없으며, 2017년 6월 현재 국내에서는 트램 도입을 추진하고 있는 지자체 현황은 아래와 같다.

<표 6> 국내 지자체 트램사업 추진현황('17.6기준)

구분	도시/노선명	사업구간	노선연장	비용(억원)	추진경과 및 계획
사업 절차 이행 중	수원 도시철도 1호선	수원역(1호선) ~광교산	6.0km	1,763	'13.07. 경기도 10개년 도시철도 기본계획 승인 '16.03. 민간투자사업 제안서검토 의뢰(KDI PIMAC) '18~'20 설계, 공사, 개통 예정
	대전 도시철도 2호선	진잠~유성온 천역~진잠	36.0km	6,649	'12.11. 예비타당성조사 통과 (B/C:0.91, AHP:0.508, 고가방식) '16.10. 기본계획(차종변경) 승인 신청(대전시→국토부) '18~'24 설계, 공사, 개통 예정
	서울 위례경전 철	마천(서울5호 선)~복정(서 울8호선)	5.4km	1,800	'15.06 서울시 도시철도망구축계획 승인 '15.11 민자적격성 조사 의뢰 (KDI PIMAC) '18~'21 설계, 공사, 개통 예정
	미정 화성	목동일대	미정	미정	자체 검토중
	동탄1호선	반월교차로~ 오산역	22.6km	7,692	'13.07. 경기도 10개년 도시철도기본계획 수립 '16.06. 주민의견 반영 동탄신교통(트램) 노선 건의 (시→도) '16.11. 내사업비 부담방안 협의 예정
	동탄2호선	병점~동탄2	17.1km	2,274	'16.12. 경기도 도시철도망구축계획 변경승인 요청 (경기도→국토부)
계획	성남시				'17.02 경기도 도시철도망 구축계획 변경승인 요청 (경기도→국토부)
	성남1호선	판교역~성남 산업단지	10.4km	2,382	'16.02~'17.03 판교트램 설계(판교역~판교테크노밸리 1.57km)궤도운송법 '17.02 성남1호선에 판교트램 포함 추진
	성남2호선	판교차량기지 ~정자역	13.7km	3,538	
	시흥시 오이도연 결선	오이도역~오 이도	6.55	1,760	'17.02 경기도 도시철도망 구축계획 변경승인 요청 (경기도→국토부)
	부천시 1호선	송내~부천역	9.09	2,381	'17.02 경기도 도시철도망 구축계획 변경승인 요청 (경기도→국토부)
	인천시				'16.07 인천시 도시철도망 구축계획 승인 요청 (경기도→국토부)
	영종내부 순환선 1단계	영종하늘도시 ~공항철도(2 여객터미널)	14.8	4,438	'20~'27 투자계획 (재정)
	송도내부 순환선 1단계	인천글로벌캠 퍼스~송도랜 드마크시티역	7.4	1,590	'18~'25 투자계획 (재정)
	부산시				'16.12 부산시 도시철도망구축계획 승인 요청 (경기도→국토부) '17.06 부산시 도시철도망구축계획 승인 고시
	강서선 C-bay-par k선	대저~명지오 션시티	21.3km	5,241	'19~'23 투자계획 (재정 또는 민자), '23년 및 '25년 단계별 개통 '17.06 예타신청예정 (재정)
정관선	중앙동~부산 시민공원	9.1km	5,002	'20~'25 투자계획 (재정), '27년 개통	
정관선	월평리~좌천 리	12.8km	3,755	계획기간 : '19~'28	
송도선	자갈치역~장 림삼거리	7.3km	5,722	계획기간 : '19~'28	

□ 수원시

수원시는 승용차 수요를 대중교통으로 수단 전환함으로써 도시교통체계의 개선을 통한 도시 경쟁력 강화 및 창조경제 실천에 기여하고자 친환경 교통수단으로 노면 전차(트램)를 도입하여 도시철도 1호선 건설을 추진하고 있다.

○ 사업개요

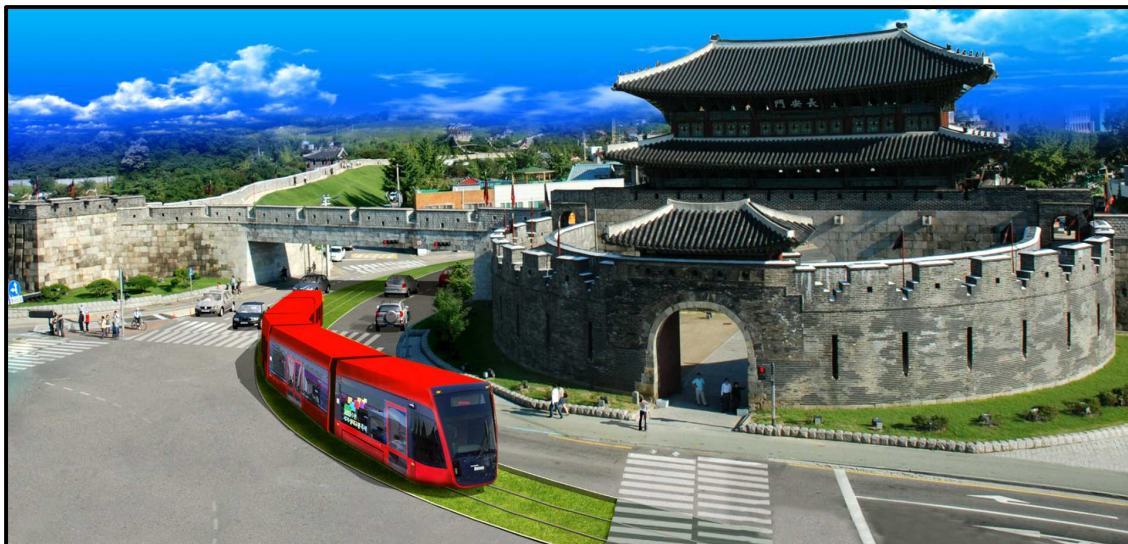
- 사업명 : 수원 도시철도 1호선 노면전차 도입사업
- 사업노선 : 수원역 ~ 화성행궁 ~ 장안문 ~ 수원kt위즈파크 ~ 장안구청
- 사업기간 : 2010년 ~ 2020년
- 사업내용 : 무가선 트램 L = 6.049km, 정거장 9개소
- 사업비 : 167,730백만원(국비 60%, 지방비 40%)
- 연도별 재원투자 계획

(단위 : 백만원)

재원별	총사업비	기 투자 (15년까지)	2016년	2017년	2018년이후
계	167,730	355	-	5,378	161,997
국비	100,526	-	-	-	100,526
도비	3,351	-	-	-	3,351
시비	63,853	355	-	5,378	58,120
기타(민간자본)	-	-	-	-	

※ 2017년 시비예산 53억원은 재정사업 추진을 가정하여 산정한 '설계비'임.

○ 조감도



○ 노선도



○ 현재까지 추진상황

- 2010. 7. 27 : 친환경 교통수단 도입 사업계획 수립
- 2011. 3. 7 : 용역 착수 [도급자 : (주)도화엔지니어링]
- 2012. 1. 18 : 경기도 도시철도기본계획 승인요청(경기도→국토해양부)
- 2012. 6. 22 : 예비타당성조사 대상사업 제출(철도부분 전체 2순위)
- 2013. 1. 2 : 예비타당성조사 대상사업 선정(기획재정부)
- 2013. 2. 15 : 예비타당성조사 착수(KDI)
- 2013. 7. 17 : 경기도 도시철도 기본계획 확정고시(국토교통부)
- 2013. 11. 20 : 노면전차 도입 관련 MOU 체결(한국철도기술연구원)
- 2014. 8. 14 : 예타 대응을 위한 학술용역 착수(한국교통연구원)
- 2014. 9. 17 : 예타기간 연장요청(수원시→국토부, 2015. 2. 28.까지)
- 2015. 3. 16 : 노면전차 조기도입을 위한 전국 자치단체 토론회 개최
- 2015. 5. 11 : 국토교통부 노면전차 제도개선 T/F 참여
- 2015. 7. 23 : 노면전차 정책포럼 개최(수원경실련)
- 2015. 9. 4 ~ 9. 5 : 열린정책 한마당 노면전차 홍보부스 설치
- 2015. 10. 2 : 도시정책 시민계획단 원탁토론회 개최
- 2015. 10. 2 : 수원트램 민간투자사업 제안서 접수
- 2015. 12. 11 : 예비타당성조사 철회 요청(수원시→국토부→기재부)
- 2016. 1. 15 : 도시계획시설(도시철도) 결정용역 착수
- 2016. 3. 2 : 수원트램 민간투자사업 제안서검토 의뢰(KDI PIMAC)

○ 문제점 및 대책

- 현행 예비타당성조사 제도에서는 노면전차 사업의 경제성 확보 어려우며, 접수된 민자 제안서를 바탕으로 민자 검토 추진

- 사업시행 구간 상가, 전통시장 상인회 및 시민단체들과의 대대적인 사전 홍보 등 시민공감대 형성 필요

○ 향후 추진계획

- 2016년 : 제3차 공고 및 우선협상대상자 선정
- 2017년 : 실무협상 완료 및 실시협약 체결
- 2018년 : 실시계획 승인 및 공사 착수
- 2020년 : 개통

○ 협조사항

- 도시철도법, 철도안전법, 도로교통법 등 관련법·제도 개선을 위한 국회, 중앙부처, 경기도 등 상급기관 및 관련 연구기관과 적극 협력 추진
- 적격성조사(제안서검토) 완료 후 국·도비확보를 위한 국회의원, 도의원 및 국토교통부, 경기도 협조 필요

□ 대전광역시

대전시는 도시철도 2호선을 트램으로 계획 중이며 2015 4월부터 기본계획 수립 용역을 진행하고 있으며, 교통수요 예측 및 경제성 분석 등을 검토 중이며 노선과 구간별 통행방법 등을 심도 있게 검토해 기본계획안을 2016년 말 마무리할 예정이다. 또한 2018년까지 국토교통부 등 중앙정부와 협의·승인 등 행정절차를 거쳐서, 2020년까지 기본 및 실시설계를 끝내고 2021년에 공사를 착공해 2025년에 개통할 예정이다.

이에 앞서 시민에 대한 도시철도 2호선 본 사업 추진에 앞서 시민들의 트램에 대한 이해와 증진 및 홍보를 위하여 아래와 같은 스마트 트램 노선을 계획 중에 있다.

<표 7> 대전시 스마트트램 노선

구분	스마트 트램 A-Line	스마트 트램 B-Line
구간	동부4~중리4~동부여성가족원	충남대~유성온천역~원골4
규모	L=2.5km, 정류장 4개소	L=2.1km, 정류장 3개소
사업비	425억 원	380억 원
교통수요	3,895 인/일	10,061 인/일
예상 B/C	0.54	0.94
특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 교통소외지역 우선 배려 ■ 경제성·시범사업 효과 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 경제성·시범사업 효과 증대 ■ 교통소외지역 불만 표출 우려

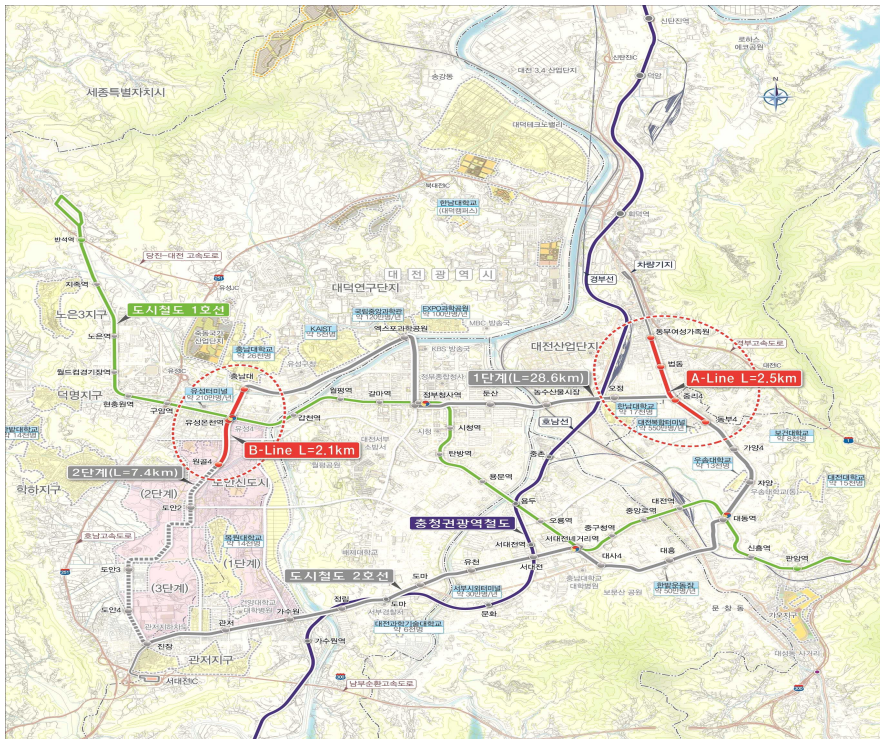
스마트트램의 구체적인 추진계획은 다음과 같다.

○ 전제 조건

- 조기 건설을 위해 사업비 500억원 미만으로 사업계획 수립
 - ※ 500억원 이상 사업은 타당성조사 시행 / 지방재정법 제37조(“14.5.28)
- 건설 후 운영의 편리성을 감안, 2호선 노선과 연계 검토
- 경제성, 장래 확장 가능성 및 국비 시범사업 등 반영 가능노선

○ 추진 방안

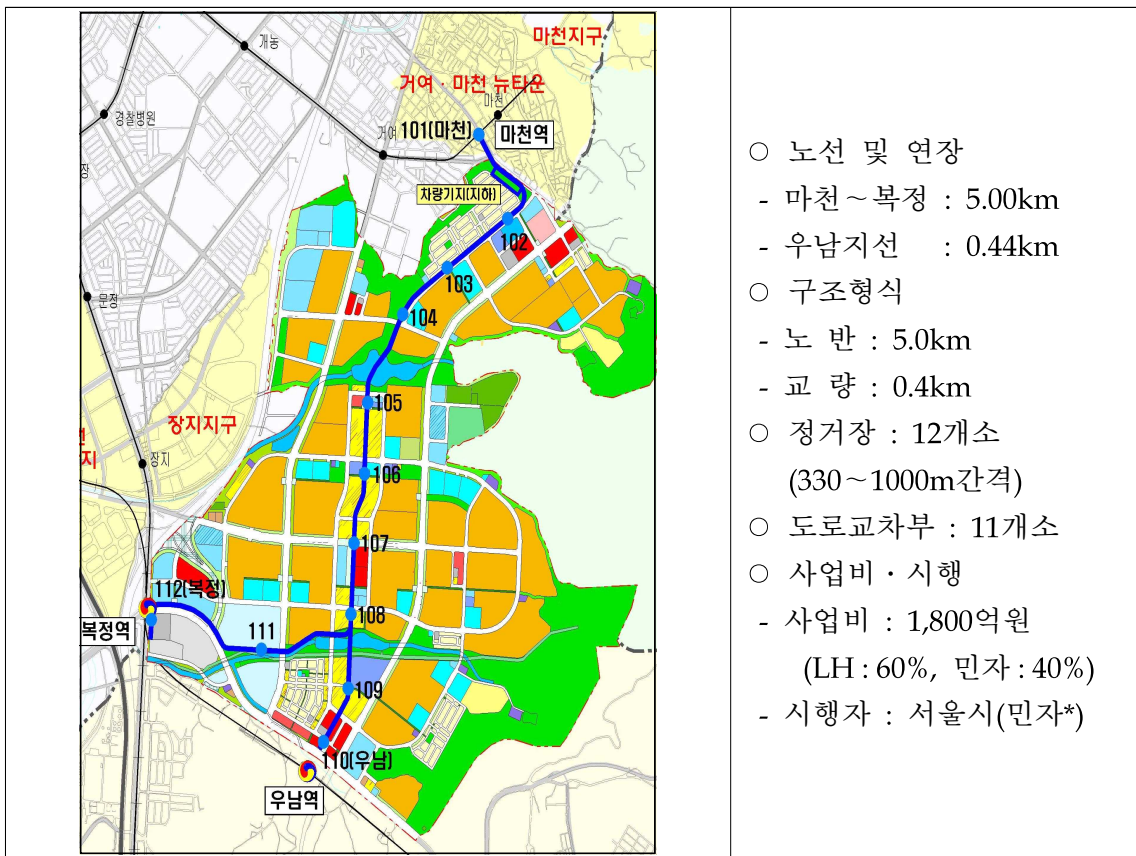
- 사업성과 교통소외지역 등을 고려하여 2개 노선을 선정하고, 대외여건, 행정절차 등을 감안하여 빠른 시일 안에 구체적 추진시기와 방법을 마련
- 2개 노선중 경제성이 높은 노선에 대하여 정부시범사업 등 국비 확보방안을 다각도로 강구하여 시비 투입 최소화
 - ※ 향후 중앙에서 트램 시범사업 추진할 경우 대전 유치 노력
- 기본계획안이 나오면 2017년부터 기본설계 및 실시설계를 추진하면서 중앙정부와 협의 등 필요한 행정절차를 이행
- 2018년 하반기에 공사를 착공, 2020년 상반기에 개통 계획
- 도시철도 2호선 트램 건설의 확고한 추진의지를 다지고, 정책 신뢰도를 확보할 수 있도록 조기에 착공, 당초 계획보다 앞당겨서 2020. 6월 개통 예정



<그림 17> 대전 도시철도 2호선 및 스마트트램 노선안

□ 서울시 위례경전철

국토해양부에 의해 '08.8월 확정된 위례신도시(구 송파신도시)개발계획은 수도권 주택보급의 일환으로 추진되었으며, 신도시 광역교통개선대책의 일부 추진사업(마천역-북정역, 6.0km, 3,200억원)으로 내부교통망을 확충하는 신교통수단(트램) 도입이 결정되었다. 서울과 경기도(성남시)의 행정구역이 걸쳐진 형태의 택지라 본 신교통수단 도입의 추진주체는 서울시로 결정되었고 현재까지 주무관청으로서 사업을 진행하고 있다. 2008년도 포스코건설에 의해 민간제안사업으로 제안된 바 있다. 해당 계획의 특이한 점은 상업지역의 일부 구간을 트랜짓몰(Transit Mall, 대중교통전용지구)로 구상하여 자동차의 진입을 제한하고 노면전차나 버스 등 대중교통수단만을 통행시키는 보행자 위주의 공간을 조성하는 것으로 되어 있다. 2015년 6월 승인된 서울시 10개년 도시철도계획에 의하여 위례선은 최종적으로 트램으로 승인되었으며 현재 새로운 민자제안사업으로 건설 추진 중이다.



<그림 18> 위례선 노선안

□ 성남시 (관교 랜드마크 트램)

성남시는 신분당선 관교역과 관교테크노밸리를 연계하고 지역의 상징물로 관광

자원 활용이 가능한 트램사업을 추진하고 있다. 기본계획을 완료하고 2016년 3월부터 실시설계를 진행 중이며 2017년 3월 실시설계 완료 후 건설을 추진할 예정이었다. 기본계획된 노선은 연장 1.57km로, 4개의 정거장과 부지면적 1,682m²의 소규모 차고지로 1개소로 이루어져 있다. 해당 노선은 도시철도법이 아닌 보행로에 선로를 건설하는 방식의 궤도운송법을 적용하여 사업추진을 신속히 추진하는 것으로 계획되어 있었으나 2016년말에 도시철도망구축계획의 성남1호선에 포함하여 추진하는 것으로 변경되었다.

<표 8> 판교 랜드마크 트램 개요

위 치	- 판교역~테크노밸리
기 간	- 2014~2018년
규 모	- 차량 시스템 : 무가선 트램(노면전차) - 노선연장 : L=1.474km - 정거장 : 4 개소 - 차고지 : 1 개소 (부지면적 : A=2,865m ²) - 교량 : 3 개소 (75m, 61m, 60m) - 도로횡단구간 : 8 개소
추진법령	- 궤도운송법
추진현황	- '14.12.23. : 사전조사 용역 착수 - '15. 8.11. : 사전조사 용역 완료 - '16. 3.25. : 기본 및 실시설계 용역 착수 - '16 7.27. : 기본설계 완료 - '16. 9. 6. : 궤도시설 안전검토 의뢰(교통안전공단)
향후계획	- 2017. 3월 : 기본 및 실시설계 완료 - 2017. 7월 : 공사착공 - 2018.12월 : 공사준공

※ 2016년말 도시철도망구축계획의 성남1호선에 포함하여 추진하는 것으로 변경



<그림 19> 성남시 판교 랜드마크 트램 노선안

□ 화성시

- 구 간 : 동탄 1호선(광교~동탄2~오산) / 동탄 2호선(병점~동탄2)
- 연 장 : 총연장 39.81km [동탄 1호선(22.60km) / 동탄 2호선(17.21km)]
- 총사업비 : 17,700억원 (LH: 9,200억원, 그 외: 민자 및 재정)
- 시행주체 : 경기도 / 민간투자

- 추진현황
 - 2009. 9. : 동탄2지구 광역교통개선대책 확정
 - 2013. 7. : 「경기도 10개년 도시철도기본계획」 수립
 - 2015. 6. : 경기도 도시철도망구축계획 변경 용역 착수
 - ※ 인덕원선과의 중복문제로 동탄신교통 노선변경 추진
 - 2015. 10. : 동탄2신도시 도시철도망 구축 경기도 T/F 구성(도, 시, LH)
 - 2016. 3. 21. : 「동탄트램 추진사업단」 구성(화성시, 민·관·전문가 참여)

- 2016. 5. 26. : 동탄신교통 대안노선 반영을 위한 주민설명회 개최(화성시)
- 2016. 6. 9. : 주민의견 반영한 동탄신교통(TRAM)노선 건의 (시⇒ 도)
 - ※ 건의노선의 타당성 분석 및 인덕원선에 미치는 영향분석을 위한 경기도 추가용역 실시 예정
- 2016. 11. : LH사업비 분담방안 협의 (예정)
 - ※ LH는 사업량 변경에 따라 당초 부담액(9,200억)의 감액 주장
- 2016. 12. : 경기도 도시철도망구축계획 변경승인 요청

□ 부산광역시

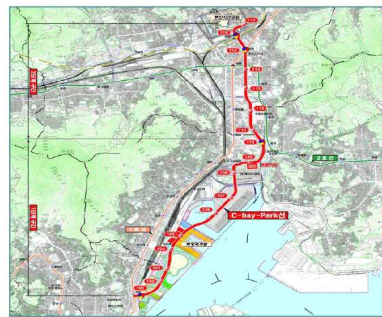
부산광역시는 2016년 4월 3개 노선을 트램으로 선정한 도시철도망 구축계획을 수립하였으며, 시의회 의견청취, 공청회 등을 거쳐 국토교통부 승인을 신청할 예정이다. 계획된 도시철도망에는 3개 노선(강서선, C-Bay~Park선, 정관선)이 트램으로 0.7이상의 B/C를 확보하여 타당성이 있는 것으로 평가되었다.

▶ 강서선 : 21.3km (대저~명지오션시티)



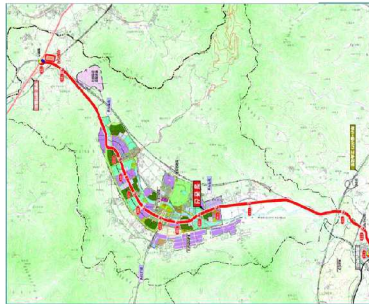
- 시스템/중단선형: 노면전차(Tram) / 노면+고가
- 대안설정: 에코델타시티 최종 계획 반영
- 주요기능: 명지-북부산/김해 연결의 간선 기능, 서부산 대중교통축이 지역성장축 역할, 에코델타시티 사업 활성화에 기여
- 문제점: 연약지반으로 구조물의 지반보강 필요

▶ C-Bay~Park선 : 9.1km (중앙역~부산시민공원)



- 시스템/중단선형: 노면전차(Tram) / 지하+노면+고가
- 대안설정: 초읍선 일부와 C-Bay선 연결 도심 일원 활성화 부산의 명소(시민공원, BIFC, 북항재개발지)를 대중교통으로 연결하여 도시관광 기능
- 주요기능: 서면과 광복동 연결로 도시 균형발전 도모
- 문제점: 동천 이면도로 폭원 부족 일부 구간 복개 필요

▶ 정관선 : 12.8km (기장 일평~좌천역)



- 시스템/중단선형: 노면전차(Tram) / 노면+지하
- 대안설정: 동해남부선과 신정선(부울광역철도)의 연결 노선으로 광역 교통망 구축
- 주요기능: 신개발지와 기존 시가지의 접근성 향상 및 인구분산 촉진으로 균형발전 도모
- 문제점: 교통수요 매우 낮음 부울광역철도의 추진이 전제되어야 추진 가능

<그림 20> 부산시 도시철도망 트램노선 계획안

제2절 국내의 시장현황 및 전망

1. 국내시장 환경

- 일반적으로 연구개발의 경제성은 i)연구개발에 소요되는 직접 비용이라는 측면에서의 경제성과 ii)연구개발 결과의 활용을 통해 창출되는 효과(직/간접효과)라는 측면에서의 경제성으로 구별 가능
- 만약 저상트램, LIM, 모노레일 등의 경량전철시스템들이 동일한 기술적 사양과 성능을 가지고 있다면, 가장 적은 비용으로 개발할 수 있는 시스템이 가장 우수하다고 평가할 수 있음
- 하지만 노면전차, LIM, 모노레일은 서로 다른 기술적 특성, 사양, 성능을 가지고 있으므로 — 일회적인 투입에 불과한 연구개발 예산의 규모 보다는 — 해당 시스템의 확산에 따라 누적적으로 증가하는 건설 및 운영비용을 기준으로 경제성 또는 기술개발의 필요성을 판단하는 것이 합리적임
 - 경량전철의 건설과 운영으로 인한 효과는 이용객들의 통행시간 단축, 교통사고 감소 등의 간접적인 효과를 포함해야 하지만, 이러한 비교를 위해서는 구체적인 노선망을 가정해야 하므로 이하에서는 일반적인 관점에서 서로다른 경량전철 시스템의 경제성을 비교하고자 함
- 이러한 관점에서 무가선 저상트램은 저렴한 건설비로 인해 - 즉, 많은 비용이 소요되는 고가구조물과 역사가 필요없기 때문에 - 재정자립도가 취약한 국내 지방자치단체에 최적의 신교통수단임
 - 최근 지방자치단체를 중심으로 경량전철 수요가 확대되고 있으나, 취약한 재정적 여건 등으로 인해 실제 사업의 추진은 매우 부진
 - '08년 현재 76개 노선(총연장 618Km)의 경량전철이 계획되어 있으나, 실제 사업이 본격적으로 추진되고 있는 곳은 미미할 뿐만 아니라, 시스템 조차 결정하지 못한 곳이 전체의 54.0%에 달함(김정태, 2008)
- 한국교통연구원의 이론적 연구에 따르면, 저상트램은 노면주행을 기본으로 할 경우 km당 건설비가 지하철의 1/15~1/20, 타경량전철 및 모노레일의 1/10 수준에 불과
- 실제 노면전차, LIM, 모노레일의 예비타당성 조사결과 등을 비교해보면, 저상트램이 LIM과 모노레일에 비교하여 차량가격은 다소 비싸지만, km당 총사업비는 LIM의 62%, 모노레일의 78.6%에 불과하며, 운영비도 LIM의 절반수준, 모노레일의 82.3%에 불과한 것으로 나타남

<표 9> 노면전차, LIM, 모노레일의 km당 총사업비, 차량가격, 운영비 비교

구분		년도	연장 (km)	총사업비 (억원)	km당 총사업비 (억원)	차량가격 (억원)	운영비 (억원, 연)
노면전차	성남1호선	2005	7.7	2,508.5	325.8	32.4	70.0
	마산	2004	11.4	4,099.5	360.2	34.2	135.2
	울산1호선	2003	15.6	3,608.6	231.6	30.4	143.3
	평균	-	-	-	294.8	32.3	116.2
LIM	인천2호선	2004	28.9	17,459.6	604.1	21.5	287.7
	용인	2002	18.8	6,265.0	333.2	23.5	104.4
	부천	1999	11.5	4,169.9	362.6	19.6	248.3
	평균	-	-	-	471.2	21.5	213.5
모노레일	대구3호선	2006	24.0	9,083.1	379.3	22.8	233.6
	용호	2004	5.2	2,291.5	441.5	22.8	104.2
	부천	1999	11.5	3,834.2	333.4	12.6	86.2
	평균	-	-	-	374.2	19.4	141.4

※ 자료 : 이연호·이영섭·조택희 (2008) “경량전철 국산화의 파급효과”, 「한국철도학회 논문집」

2. 국외시장 환경

- 전세계 경량전철 시장의 규모는 연간 1조 4천억원 수준으로 매년 6% 내외의 증가율을 나타내고 있음.
- 이러한 국제 경량전철 시장에서 각 시스템별로 차지하는 비중을 살펴보면 AGT는 13.0%, LIM은 1.4%, 모노레일은 9.4%에 불과하며, 나머지 76.2%를 노면전차가 차지 (김정태, 2008: 9)
 - 전세계적으로 경량전철을 운행하고 있는 도시는 400개 이상임

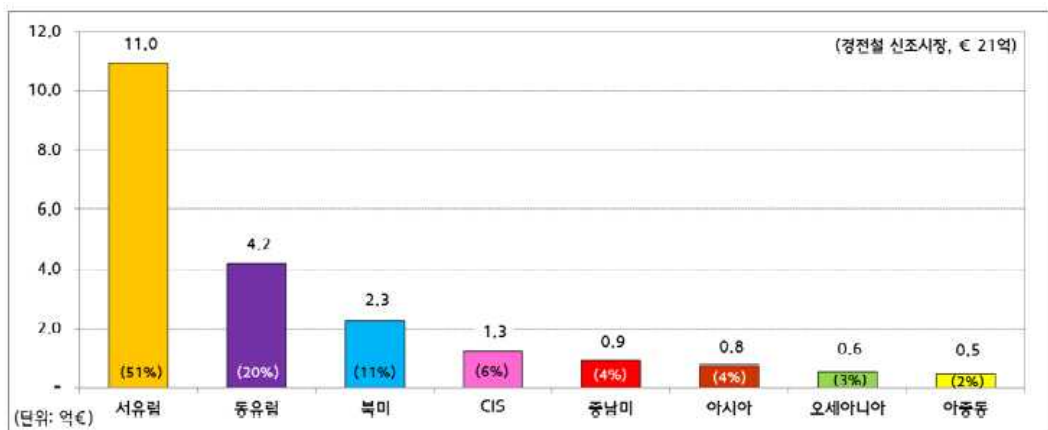
<표 10> 세계 경량전철시장의 시스템별 구성 현황

(단위: 노선 수)

구 분	AGT	LIM	모노레일	노면전차	합계
유 럽	22 (7.0%)	-	8 (2.5%)	287 (90.5%)	317 (100%)
미 주	15 (34.9%)	5 (11.6%)	11 (25.6%)	12 (27.9%)	43 (100%)
아시아	20 (29.8%)	1 (1.5%)	20 (29.9%)	26 (38.8%)	67 (100%)
기 타	-	-	2 (20.0%)	8 (80.0%)	10 (100%)
합 계	57 (13.0%)	6 (1.4%)	41 (9.4%)	333 (76.2%)	437 (100%)

※ 자료 : 김정태 (2008) “도시철도 연구기획과제 추진현황”, 「철도학회 차량 및 정책분과 공동 세미나 자료집」, 8월 28일, p. 9.

- 전세계 약 400개 이상의 도시에서 운행 중인 경전철 시스템은 유럽, CIS, 북미, 아시아를 중심으로 보급되어 있으며, 이 중 절반 이상은 유럽 도시에서, 1/4 이상은 CIS 지역에서 찾아볼 수 있음. 현재 전세계 경전철의 평균 운행년수가 약 22년 정도로, 향후 노후차량 교체를 위한 신조차 발주가 기대되나 일부 국가에서는 재정상의 문제로 기존 차량을 신조물량으로 교체 보다는 차량 개조를 통해 운행해 나갈 것으로 예상됨.

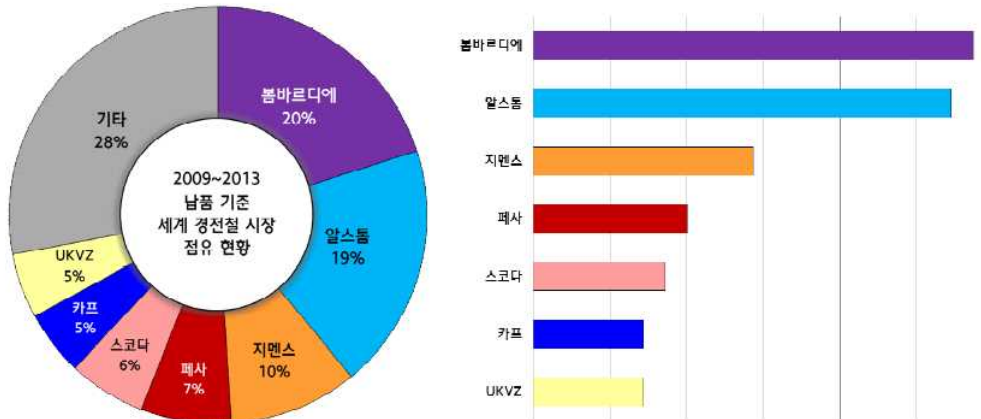


<그림 21> 2012~2014년 지역별 경전철·트램 신규시장 규모

<표 11> 해외 지역별 동향

유럽	서유럽	<ul style="list-style-type: none"> - 세계 경전철 차량의 29% 이상 운행 - 독일을 중심으로 봄바르디에가 시장을 주도하고 있으며, 알스톰, 스테들러, 지멘스, 카프도 활발한 활동 전개 - 장기적으로 서유럽 경전철 시장 성장 예상
	동유럽	<ul style="list-style-type: none"> - 현지 제작사(페사, 스코다, Koncar 등)의 높은 품질과 가격경쟁력을 바탕으로 동유럽 경전철 시장 독자적으로 성장 - 경제적 여건으로 다수의 사업이 개조 사업으로 대체
아메리카	북미	<ul style="list-style-type: none"> - 지난 5년간 지멘스가 북미 경전철 시장 주도 - 북미 경전철 시장에 진출한 차량제작사들은 모두 Buy American Act 준수를 위해 현지 생산기지 보유
	중남미	<ul style="list-style-type: none"> - 시내 교통 수단으로 메트로가 선호되어 경전철 비중이 낮음 - 열악한 재정 환경으로 예정된 사업들의 실행가능성 낮음
아시아		<ul style="list-style-type: none"> - 공공 여객 수송 부문에서 경전철의 역할 미미 - 중국을 비롯하여 일본, 대만, 태국, 필리핀, 베트남 등지에서 신조사업 발주 예상
중동		<ul style="list-style-type: none"> - 가장 높은 성장잠재력을 보유한 지역

- 봄바르디에, 알스톰, 지멘스를 포함하여 다양한 지역별 제작사(스코다, 안살도브레다, 페사 등)가 경전철 시장에서 활약 중이며, 특히 봄바르디에가 세계 시장에서 20%의 점유율을 보이며 그 입지를 다져가고 있음.
- 지멘스는 미국 시장의 높은 수요를 바탕으로 한 영향력 확대가 두드러지나, 북미 시장 외에는 대형 수주건이 전무하다시피 한 형편임.
- 페사와 스코다는 내수 및 동유럽 시장에서의 물량을 기반으로 경전철 시장에서의 입지를 확보해나가고 있으며, 카프 또한 최근 경전철 시장에서 성공적인 수출 활동을 보이고 있음



<그림 22> 세계 경전철 시장 제작사별 점유현황

- 도심지의 교통난이 가중되고 환경 및 에너지 문제가 심각해질수록 건설비와 운영비가 저렴한 노면전차에 대한 관심과 관련 시장 규모는 증가할 것으로 전망
- 무가선 저상트램은 선진국에서 연구개발에 활발한 투자를 진행중인 만큼, 시장이 국소적인 타 경전철(모노레일, LIM)과 비교하여 해외시장 진출 전망이 매우 밝음
- 초저상대차, BMS 등의 핵심기술을 국내기술로 개발하여 무가선 하이브리드 트램의 개발에 성공할 경우, 관련기술의 수출산업화가 가능할 것임
 - 신형 노면전철을 운행하는 334개 도시에 저상트램 또는 무가선 저상트램 수출 가능
- 노면전차의 추정가격은 32m 길이를 기준으로 평균 약 2.2m€ (27.72억원)~2.7m€ (34억원) 정도임. 차량에너지저장 모듈을 설치할 경우 트램 당 200k€ (2.5억원) 정도 추가 소요. (참고 : LRT Rolling Stock, SYSTRA, 2014. 자료, 환율기준 : 1€=1,260원 기준)

제3절 기술동향분석

1. 무가선 트램시스템 기술동향

가. 국내 무가선 저상트램 연구개발 현황

- 한국철도기술연구원을 중심으로 2009년 12월부터 2017년 01월까지 국토교통부의 국가연구개발사업으로 무가선저상트램시스템(차량, 궤도, 신호, 법제도) 개발 완료

- 과 제 명 : 무가선 저상트램 시스템 개발(1단계) / 무가선 저상트램 실용화(2단계)
- 연구목표 : 무가선 저상트램 차량, 궤도, 신호, 법제도 개발
- 연구기간 : 2009.12 ~ 2013.04 (1단계) / 2013.09 ~ 2017.01 (2단계)
- 연구 비 : 363억원 (1단계) / 258억원 (2단계)
- 참여기관 : (주)관철도연, 현대로템, 도로교통공단, 코캠 외 10개 기관

차량



<시제차량> <추진배터리> <성능개선 및 신뢰성 확보>
무가선 트램 **차량** 개발

신호



<운전지원형 트램신호> <트램 신호등>
도로교통연계형 트램 **신호** 개발

궤도



<현장타설 궤도> <급속시공 궤도> <저진동 이중방진 궤도> <매립형 분기기>
수지교정형 매립형 **궤도** 개발

법제도

법령	지침 및 매뉴얼
· 도시철도법, 철도안전법, 도로교통법, 시행령/규칙 · 트램 건설 및 운영 규칙 · 기타 관련 법령	· 안전 매뉴얼 · 시설 매뉴얼 · 운영 매뉴얼 · 운전자관리매뉴얼

트램관련 **법제도** 연구

- » 배터리 구동형 차량시스템**

 - 대용량/고효율 배터리 기술에 의한 세계 최장거리 무가선 주행(35km) 달성
 - 세계수준 저상 대차(탑승 높이 35cm) 국산화 개발
 - 누적주행거리 6만km 달성에 의한 신뢰성 확보
- » 매립형 궤도시스템**

 - 수지교정형 매립형 궤도 국산화 개발
 - 급속시공, 저진동/저소음 매립형 궤도 개발
- » 도로교통연계 신호시스템**

 - 무선통신기반 교차로 우선통과체계 및 분기진로제어체계 개발
 - 도로신호와 철도신호 연계 운전자안전운전 지원 시스템 개발
- » 법제도 연구 및 지자체 지원**

 - 도시철도법 및 철도안전법 개정안 본회의 의결('16.12)
 - 도로교통법 개정안 의원 발의 ('16.11)
 - 지자체 약 150개 기관, 약2천명 시험선 방문 및 기술자문 (수시)



<터키 시행정(13.11.06)>



<국외 국토교통상임위 위원(16.09.29)>

□ 배터리 구동형 차량시스템 개발

- 한국철도기술연구원을 중심으로 2009년 12월부터 2016년 12월까지 국토교통부의 국가연구개발사업으로 무가선저상트램시스템(차량, 궤도, 신호, 법제도)를 개발 중에 있으며 현재 시제차량이 완성되어 시험선에서 성능 시험 중에 있다. 개발된 차량의 주요 제원은 아래표와 같다.



<그림 23> 국내개발 무가선 저상트램

<표 12> 국내 무가선트램 개발차량 제원

차량구성	5모듈 1편성
크기	31.8m(L)×2.45m(W)×3.4m(H)
중량	45 ton
최고속도	70 km/h
최대정원	200명/편성
시스템전원	직류 750V

- 개발된 차량은 차상에 대용량 배터리를 탑재하여 1회 충전 시 만차 조건에서 약 35km의 주행이 가능하며, 무가선 및 유가선 하이브리드 방식으로 운행이 가능하다. 표준궤간을 적용하여 기존 일반철도 구간에서도 운행이 가능하며, 도심 운행을 위하여 최소 곡선반경 25m, 최대 구배 6%의 조건에서 주행이 가능토록 설계 제작되었다.

□ 매립형 궤도시스템 개발

- 트램(노면전차)은 전용선이나 도시 외곽에서는 자갈도상에 묻힌 침목위에 체결된 레일로 구성되는 일반철도에서 운행 될 수도 있으나, 도심에서 운영되

는 경우는 일반철도의 건널목과 같이 포장 내에 레일이 매립되어 있는 형태로 궤도가 시공되어 도로 교통과 동일한 공간을 공유하게 된다. 이 경우에는 트램의 차륜 플랜지가 도로 면에서 충분한 공간을 확보하도록 홈이 있는 레일(Grooved rail)을 사용하는 것이 일반적이나, 일반 레일도 적용이 가능하다. Esveld(2001)는 트램 궤도를 다음의 세 가지 유형으로 분류하였다.

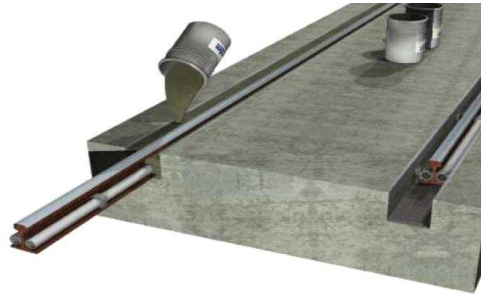
- 트램 전용 궤도
 - 다른 도로 교통은 이용할 수 없는 트램만의 독립적인 선로로 일반 자갈 도상궤도 및 콘크리트궤도가 적용될 수 있으며, 도시 구간에서는 미관을 위하여 매립형 궤도도 적용 될 수 있다.
- 개방 트램 궤도
 - 이 유형의 선로는 포장된 매립형궤도로 건설되며, 버스(공공 교통), 공공 서비스 및 때때로 택시와 같은 특정한 유형의 도로 교통만 통행할 수 있다.
- 보통 트램 궤도
 - 트램과 도로 교통이 같은 공간을 사용할 수 있는 형태로 포장된 매립형궤도가 적용된다.

○ 트램용 궤도는 설치되는 도시의 특성 및 환경에 따라 많은 제작업체에서 다양한 형태로 개발되어 왔다. 보행자의 통행이 많은 도심에는 석재 또는 보도블럭을 적용한 궤도가 많이 적용되고 있고, 도로 교통과 병행하는 구간은 아스팔트 및 콘크리트를 적용한 궤도가 많이 적용되고 있으며, 트램 전용궤도나 시 외곽에서는 잔디나 자갈도상 궤도가 많이 적용되고 있다.

○ 수지고정형 매립형궤도의 개발

- 국내의 경우는 돌출레일형 자갈도상 및 콘크리트 궤도는 큰 어려움 없이 시공이 가능하다. 그러나 트램의 도심지 운행을 위해서는 레일이 도로에 매립되어 자동차 통행이 가능한 매립형궤도의 적용이 필요하다. 매립형궤도는 보행자나 도로교통과 병행하는 도시에 주로 설치되기 때문에 보행자 및 다른 교통수단의 안전을 위하여 누설전류(Stray current)를 방지하기 위한 절연처리가 필요하며, 건물에 매우 근접하여 설치되기 때문에 소음 및 진동에 대한 대책도 일반철도에 비하여 철저히 강구되어야 한다. 유럽에 설치되었던 전통적인 매립형궤도는 레일이 침목에 체결되는 다점지지 방식의 궤도이다. 이 경우 침목간격은 75cm에서 150cm까지 적용되고 있다. 레일 하부는 침목을 고정하고 있는 궤도콘크리트(Track concrete), 노반과 접하는 기초콘크리트(Foundation concrete)로 이루어져 있다. 궤도 콘크리트 상부는 목적에 따라 다양한 재료(콘크리트, 아스팔트, 석재, 잔디, 나무판 등)을 이용하여 레일 상부 높이까지 포장된다. 누설전류에 대한 절연은 레일 매립부를 채우는 재료와 체결장치를 통해 이루어진다. 전통적인 매립

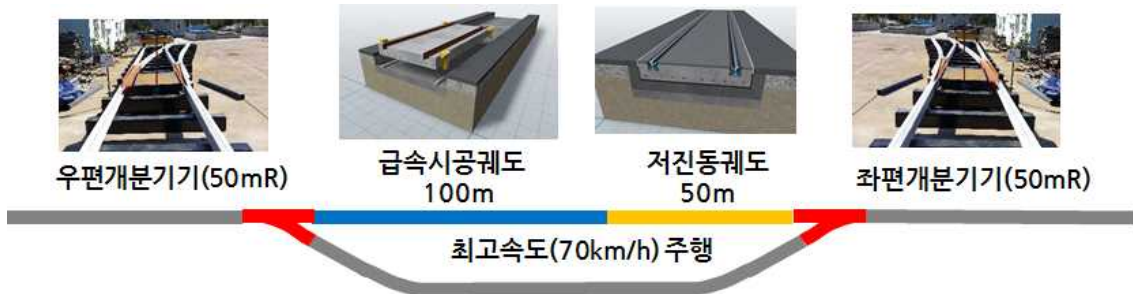
형궤도는 도심지에 설치 시 소음과 일반차량 통과에 따른 잦은 유지보수 등의 문제점을 일으킨다. 따라서 최근에는 레일을 궤도콘크리트에 수지형태의 합성화합물(Corklast, Masterflow, CDM, Polycork 등)을 이용하여 직접 고정하는 방식(그림 2)이 많이 적용되고 있다. 이 방식은 침목을 사용하지 않기 때문에 레일은 궤도콘크리트에 의하여 연속적으로 지지된다.



<그림 24> 수지고정형 매립형궤도(CDM mv)

- 수지고정형 매립형궤도는 레일체결을 위한 고가의 재료로 인해 시공비용이 상대적으로 높으나, 일반적인 다점지지 궤도에 비하여 저소음, 저진동의 성능과 일반차량 운행에 의한 궤도 열화가 적어 유지보수가 거의 필요 없다는 장점을 갖고 있으므로, 특히 도심구간에서 건물이 근접한 경우, 교차로에서 궤도 직각방향 도로교통 통행이 빈번한 경우에 많이 적용되고 있다. 국내에서는 한국철도기술연구원 주관으로 (주)ERS와 포스코건설이 현장타설 방식 콘크리트슬래브에 국내에서 개발된 Polycork라는 합성수지 레일을 고정하는 형태의 매립형궤도가 개발되었다. 개발된 궤도는 무가선 트램용 시험선의 연장 1.0km 선로에 시공되었다(한국철도기술연구원, 2012).
- 급속시공 및 저진동 매립형궤도의 개발
 - 도심지를 운행하는 트램은 기존 구간에 선로 건설 시 교통차단이 불가피 하며 따라서 공사기간을 최소화 하는 것이 필요하다. 또한 도심 특성 상 선로 인근 건물에 근접하여 시공되기 때문에 일부 구간에는 저진동 궤도를 부설하는 것이 필요하다. 이를 위하여 국내에서는 급속시공이 가능한 프리캐스트형 매립형궤도와 노반과 궤도 사이에 충진재를 통해 트램 운행에 의한 진동을 저감할 수 있는 저진동 궤도가 개발되었으며 시험선에 각각 100m, 50m 시공되었다(그림 25).
- 매립형분기기의 개발
 - 도로에 설치되는 트램용 선로전환기는 노면 아래에 매립되어 다른 교통수단의 저해가 되어서는 안된다. 매립형분기기 제작 및 설치 기술은 2013년부터

국내에서 개발되었으며, 2016년 무가선티램 시험선에 2틀이 설치되고, 현차 시험을 통해 그 성능이 검증되었다(그림 25).



<그림 25> 개발예정 급속시공궤도, 저진동궤도 및 매립형분기기의 시험선 시공



<그림 25> 충북 오송에 건설 중인 무가선티램 시험선

□ 트램 신호 및 안전기술

- 대중에게 생소한 트램이 대중교통수단으로 성공적으로 자리잡기 위해서는 도로주행 특성으로 우려되는 안전과 표정속도 확보가 절대적이다. 표정속도 향상을 위한 트램 우선신호체계와 분기구간에서 안전을 위한 도로교통연계 신호연동제어시스템 및 주행안전을 위한 운전자지원경보시스템을 “무가선티램 실용화” 과제에서 '13년 9월부터 개발중에 있으며 '17년 1월까지 시험선에서 시험완료하였다.

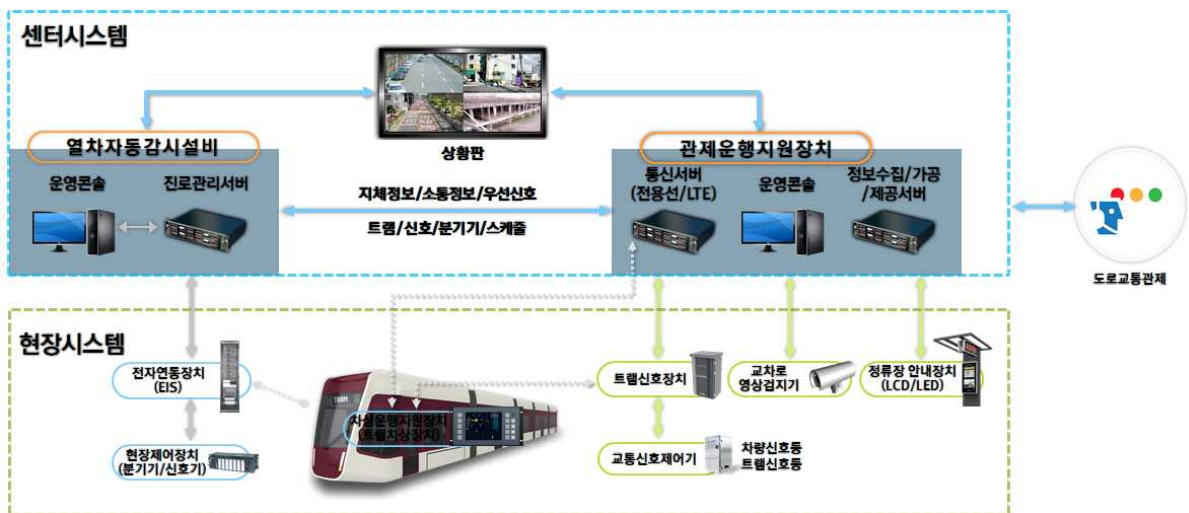
○ 트램 우선신호기술

- 해외에서 버스 또는 트램과 같은 대중교통의 표정속도 향상을 위해 우선신호체계가 적용되고 있으나 한국에서는 학술적인 연구단계에 머무르고 있으며 상용화 사례가 없다. 우선신호체계는 대상체에 대한 위치검지정보를 기반으로 하며 해외 트램 우선신호체계에서는 특정위치에 설치되는 유도루프의 지점검지방식을 활용하고 있다. 유도루프는 보통 교차로 20m~50m 전방에

레일사이에 설치하고 제어기까지 연결해야 하므로 설치 및 유지보수가 어려우며 지점검지에 의한 불연속 위치정보를 제공하기 때문에 우선체계알고리즘 운영상에 한계가 있다. 유도루프방식의 단점을 극복하기 위해, 개발되는 우선신호체계에서는 차상의 타코메타 및 트랜스폰더와 지상 태그를 이용하여 위치를 산정하고, 차상의 위치정보를 실시간 무선통신으로 지상 도로교통 제어기에 전송하는 구조이다. 지상 도로교통제어기는 교통신호제어영역에서 트램의 위치를 실시간으로 추적하고 정확하게 트램 통과시점을 예측할 수 있어 효율적으로 교차로 신호를 제어할 수 있다. 트램과 도로교통제어기간의 무선통신을 통해 트램 위치정보전송뿐만아니라 교차로신호정보를 트램에 전송하여 차량을 제어도록 하여 신호무시와 같은 트램운전자의 부주의를 방지하였다.

○ 트램 분기제어기술

- 분기구간에서 상충되는 진로에 의한 트램 차량 사고를 방지하기 위해 약 100m의 무선통신영역을 설정하고 해당영역에 트램 진입시 트램 차량에서 산출한 위치정보를 지상 연동장치에 실시간 전송하여 분기구간의 상충진로를 방지하였고 속도제한 및 이동권한 부과를 통해 분기부 안전성을 확보하였다.

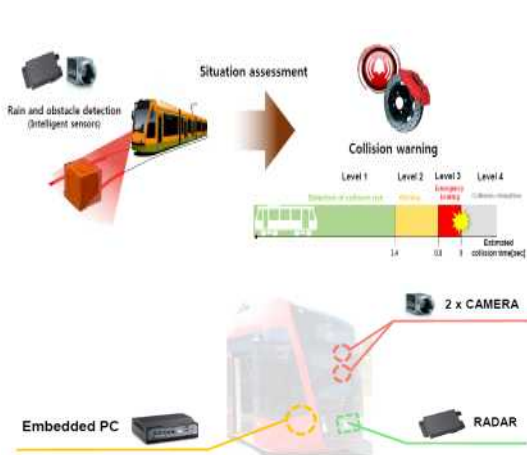


<그림 27> 트램 신호시스템 구성도

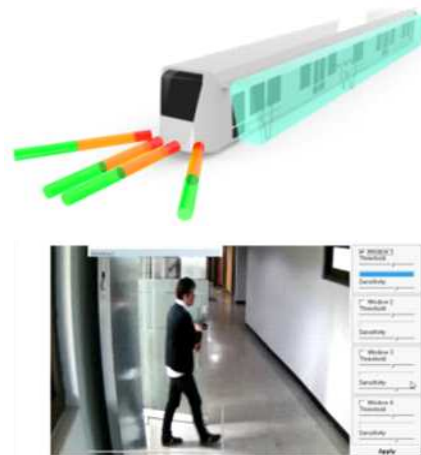
○ 도로주행 안전성 향상을 위한 트램 제어기술

- 트램사고의 70%이상이 교차로에서 일반차량, 보행자, 자전거와의 충돌 사고이다. 사고저감을 위해 “무가선 저상트램 실용화” 연구단 과제(‘13.09~’17.01)에서 지능형자동차의 센서기술을 활용하여 운전자치원형 충돌경보 및 비상제동시스템과 승하차 감시를 위한 디지털펜스를 기초연구로 수행중이며 그 가능성을 검증하고 있다. 운전자치원형 충돌경보시스템은 전방 트램, 일반차

량, 보행자, 자전거를 검지 및 추적하여 위험상황을 인지한 때 트램 운전자에게 경보하고 마지막 수단으로 위험을 회피하기 위해 비상제동을 자동 체결한다. 개발중인 시제품들은 '17년 1월까지 오송시험선에 설치하여 가능성을 시험완료하였다.



<그림 28> 트램 충돌경보 및 긴급제동시스템

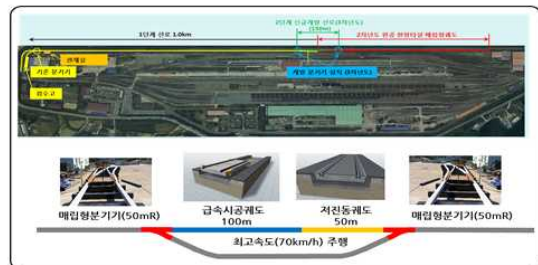


<그림 29> 승객승하차감시 디지털 펜스

□ 무가선 저상트램 전용시험선 구축 (단선, 단일편성)

» 위치 : 충북 청주시 흥덕구 오송읍 정충연제로 384 한국시설공단 시설장비사무소내

구분	규모	비고
시제차량	5모듈 1편성	1회충전 36km주행
검수고	1동, 471m ²	지상1층
변전실	1동, 123m ²	지상1층
관제실	1동, 196m ²	지상1층
매립형궤도	5,400m ² , 1.76km	급속시공궤도 0.1km 이중방진궤도 0.05km
유가선 구간	0.5km	-
트램신호	차상운행제어장치, 트램신호장치, 관제설비 등	가상교차로 3개소, 분기개소 3개소
간이승강장	3개소	-



<매립형 궤도>



□ 단계별 개발현황 요약

<표 13> 무가선 저상트램시스템 개발현황

구분	I 단계(3년 5개월) 시험선 1km(무가선) 검수고, 충전소	II 단계(3년 1.5개월) 시험선 1.5 km(유/무가선) 분기기제어, 신호 및 관제
차량	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시제차량 1편성 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 100% 저상대차 적용 - 차량 스펙 <ul style="list-style-type: none"> · 크기(m): 31.8(L)×3.4(H)×2.45(W) · 탑승출입문 높이: 330mm · 중량: 47.6 ton(공차기준) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시제차량 성능개선 <ul style="list-style-type: none"> - 가/감속 성능(3.5 → 4.0 km/h/s) - 출입문 개선교체 <ul style="list-style-type: none"> · 기밀구조 개선 및 유지보수성 개선 - 차량 스펙: I 단계 동일
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 내장형 배터리시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 약 162kWh(무가선 주행 약 25km) - 충전속도 1C, 수명 2.5년 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 내장형 배터리시스템 성능개선 <ul style="list-style-type: none"> - Module 교체형(유지보수성 개선) - 약 196kWh(무가선 주행 약 35km) - 충전속도 2C, 수명 5년 <ul style="list-style-type: none"> · 충전장치(DC/DC컨버터) 차량 루프 장착 · 전차선 및 판토틀라프를 이용한 충전 I/F
궤도 및 인프라	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장타설식 수지고정형 매립형궤도 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 1.0km 시험선 시공 ○ 시험선 검수고 및 전력공급시설 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 검수고 1동 - 변전실 1동 및 충전설비 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시험선 매립형궤도 선로 600m 확장 ○ 급속시공용 프리캐스트 매립형궤도 개발 (100m 시험선 시공) ○ 이중방진 저진동궤도 개발(50m 시험선 시공) ○ 매립형분기기 개발 (2틀 시험선 시공) ○ 유가선 전력공급시설 500m 구축
신호통신	-	<ul style="list-style-type: none"> ○ 트램 도로신호 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 무선통신기반차상위치검지기반 교차로 무정차통과 신호체계 개발 - 무가선시험선 가상교차로로 시험평가
	-	<ul style="list-style-type: none"> ○ 트램 철도신호 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 무선통신기반차상위치검지기반 관제 또는 차상 진로설정체계 개발 - 차상 제한속도제한, 진로요청 및 교차로무정차통과요청 기능 구현 - 무가선시험선 관제현장 진로연동 시험평가
안전	-	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지능형센서기반 충돌경보 및 긴급제동 기술 기초연구 - 알고리즘H/W 차량탐재 및 시험선 시험
법령		<ul style="list-style-type: none"> ○ 도시철도법 관련 <ul style="list-style-type: none"> - 법 개정(안) 마련 (시행령·시행규칙 해당사항 없음) - 노면전차 건설 및 운전에 관한 규칙 제정(안) 마련 - 도시철도 건설·운전규칙, 정거장 및 환승 등 각 지침별 개정 필요성 및 개정범위 검토
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 철도안전법 관련 <ul style="list-style-type: none"> - 운전면허, 트램 교통사고 대응체계와 관련 법·시행령·시행규칙 개정(안) 마련 - 도시철도 안전관리체계 기술기준 등 규칙/지침 41종 개정 필요성 및 개정 범위 검토
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 도로교통법 관련 <ul style="list-style-type: none"> - 법·시행령·시행규칙 개정(안) 마련 - 교통안전시설 설치 관리 매뉴얼 개정(안) 마련 - 교통신호제어기 규격 개정(안) 마련
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 기타 법률 <ul style="list-style-type: none"> - 교통사고처리특례법

<표 14> 무가선 트램차량의 부품별 국산화율(가격기준)은 78%수준

순번	장치	부품/구성품	국산화 여부	핵심부품 여부	국산화 비율
1	차체	소재(강재, 제작비)	○	하	100.0%
		지그/금형	○	중	
		소계			
2	의장	전두FRP/금형	○	중	83.7%
		바닥재/금형	○	하	
		출입문 double/single	○	상	
		객실/운전실 HVAC	○	상	
		냉난방장치 덕트	○	중	
		전두유리	X	중	
		측 유리	X	중	
		단열재	○	하	
		내장판/금형	○	중	
		객실 의자	○	중	
		운전실 의자	○	중	
		객실 손잡이	○	중	
		갱웨이 & Articulation	X	상	
		도장/Logo	○	하	
		소화기 등 기타	○	하	
		소계			
		3	기기장치	선두 Coupler	
집전장치	○			상	
후드	○			중	
Window Wiper	○			중	
Nose/Cover류	○			중	
배관/기기브라케트류	○			하	
소계					
4	제동	제동시스템	△	상	57.6%
		ADU	○	중	
		밸브류	○	하	
		피팅류	○	하	
		소계			
5	전장품	TCMS	○	상	100.0%
		보조전원장치	○	상	
		추진 인버터	○	상	
		DC/DC Converter	○	상	
		견인전동기	○	상	
		소계			
6	전기장치	운전대	○	상	
		배전반	○	중	

순번	장치	부품/구성품	국산화 여부	핵심부품 여부	국산화 비율		
		고속도차단기	○	중			
		방송/표시기 ASS'Y	○	중			
		열차무선장치	○	중			
		CM STARTING Box	○	중			
		전자 HORN	○	중			
		실내조명	○	중			
		전조등/후미등	○	중			
		T/M 연결 박스	○	중			
		L/T Jumper	○	중			
		H/T Jumper	○	중			
		Insulator(애자류)	○	중			
		Earth Box	○	중			
		화재감지장치	○	중			
		신호 Cable	X	중			
		고압/저압 Cable	X	중			
		단로기/휴즈 박스	○	중			
		전선덕트/배선용 잡자재	○	중			
		소계			83.3%		
		7	대차	Wheel Set	X	상	
				Driving Gear	X	상	
1차 현수장치	X			상			
2차 현수장치	X			상			
Damper, vertical	X			중			
Damper, lateral	X			중			
Bush, traction rod	X			중			
Buffer, lateral	X			중			
Buffer, yaw	X			중			
Lubricator	X			중			
Frame	○			상			
소계					35.5%		
합 계						78.3%	

<표 15> 선진국 대비 분야별 기술수준

분야	세부 분야	선진국대비 기술수준*	미흡부분
차량시스템	차체	85%	EN, 충돌안전, 경량화
	전장품	70%	EN, 에너지효율, 경량화
	제동	40 %	EN, 국산화
	대차	35 %	EN, 국산화
추진용 배터리시스템	셀	100 %	매우우수
	BMS	100 %	우수
	패키징	100 %	보통
매립형 궤도시스템	합성수지 고정형 궤도기술	100 %	우수
	매립형 선로전환장치	50 %	안전성 검증
트램 신호시스템	도로교통연계 신호기술	90 %	다중편성 복선궤도 검증
	트램 분기신호	80%	안전성 검증
	트램 관계기술	90 %	다중편성 복선궤도 검증
트램 운영	법제도	70 %	사고처리 등 안전 및 운영관련 법제도
	운영·유지보수 매뉴얼	50 %	-

* '17.6월 기준, EN(European Normal): EU 기준

- 기본적으로 선진국은 오래 전(구형트램)부터 산업이 형성되어 있고 1990년대 부터 신형트램도입 증대에 따라 최근 기술수준 더욱 향상
- 저상화에 따른 저상 대차(저상화 및 부품고밀도화) 및 차체 기술과 모든 전장 품이 지붕에 적재 됨에 따라 기존기술과 달리 추가적으로 소형화 경량화 효율화가 요구됨에 따라 기술수준 향상이 이루어짐.
- 국내는 국책사업에 따라 처음으로 시제품을 만들어 본 상황이라 배터리 관련 기술과 매립형 수지국산화에 따른 관련 기술 외에는 전반적으로 열세임
- 특히, 해외수출을 위해서는 EN 기술수준을 참고하여 개발 및 제작 할 필요가 있음
- 따라서 열세기술 수준향상도 필요하지만 한국의 장점임 배터리 기술 향상과 자율주행기술을 이용한 운행안전성 향상 같은 기술을 신규개발하여 경쟁력을 확보해야함

나. 무가선 트램 차량 개발 현황

- 기존의 트램은 팬터그래프가 차량 위에 설치된 전차선(OCS : Overhead Contact System)을 통해 전력이 공급하는 방식이 적용되어 왔다. 주로 도심을 운행하는 트램의 특성상 이러한 시스템은 누설전류나 전차선 접촉으로 인한 보행자의 안전문제를 유발할 뿐만 아니라 도시 미관도 크게 저해하게 된다. 또한 약 5km 간격으로 노선 중간에 건설해야 되는 변전소는 협소한 도시공간에 많은 문제점을 야기 시킬 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전차선 없이 주행 가능한 무가선트램에 대한 다양한 기술개발이 이루어져 왔다.
- 도시미관 및 도로 공간(설비, 다리, 교통신호, 고가구조물, 행사 등)을 고려하여 지상전력공급시스템(GLPS : Ground Level Power Supply, 접촉급전방식/무접촉급전방식), 차량에너지 저장시스템(OESS : Onboard Energy Storage System, 배터리방식/슈퍼커패시터방식)과 같은 2가지 전력공급시스템이 개발되어 상업운영 중에 있다.

구분	기관(국가)	개발명/시기	차량	에너지 공급 시스템	특징
배터리 시스템	Alstom (프랑스)	Citadis - Nice (2007 -)			무/유가선 하이브리드 Ni-MH 배터리 (500m x2무가선) 가선을 통한 급전 및 충전
	RTRI (일본)	Hi-Tram LH01 (2003-) LH02 (2005-)			무/유가선 하이브리드(1량 1편성) Li-ion 배터리 +가선을 통한 급전 및 충전
	KRRI (한국)	W Tram (기초기술: 2006-) (국기R&D: 2009-)			무/유가선 하이브리드(5량 1편성) Li-Polymer 배터리 +가선을 통한 접촉 급전 및 충전
접촉급전 시스템	Alstom (프랑스)	Citadis - Bordeaux (2003 -)			3궤도/가선 하이브리드 APS(3궤도 타입) 접촉급전 공사비 5 배/가선공사
무접촉급전 시스템	Bombardier (캐나다)	Primove (2008-)			무접촉 충전 유도급전을 통한 무접촉 충전 슈퍼캡 탑재 인프라공사비 증대
급속충전 시스템	CAF (스페인)	Urbos (2010)			정거장급속충전 슈퍼캡+배터리 최대 1.4km 무가선 인프라공사비 증대

<그림 30> 무가선 구현 기술 비교

- (프로토타입 개발현황) 세계 각국에서 무가선 트램에 대하여 여러 형태의 프로토타입을 개발하였다.봄바르디아는 유도급전을 통합 무접촉급전시스템을 트램에 적용한 Primove라는 시제차량을 제작하였으며, 차상에 슈퍼커패시터를 장착하여 시험 중에 있다. 일본의 철도연구기관인 RTRI(Railway Technical Research Institute)의 경우는 리튬이온 배터리를 장착한 1량 1편성의 시험차량인 Hi-Tram을 개발하였다.

<표 16> 신기술 전력공급시스템에 대한 주요 프로토타입 개발 현황

주 : State of the Art in Light Rail Alternative Power Supplies, John Swanson and Jhon Smatlak, Interfleet Technology Inc., 2015, 자료

장소	연도	공급자	기술	차량
프랑스 라호셀 시험선	1999	알스톰	자석모터 플라이휠	CITADIS
독일 카르슬루흐, 1호선	2001	Duewag	터빈과 플라이휠 하이브리드	VBK GT8
프랑스 마르셀 68호선	2001	La Brugeoise	Innorail 지상접촉시스템	RTM PCC
프랑스 라호셀 시험선	2002	알스톰	Innorail/APS 지상접촉시스템	CITADIS
독일 만하임	2003~2007	봄바르디아	MITRAC 에너지 저장 슈퍼캐패시터	DUWAG GTN6
독일 카르슬루흐	2003~2005	지멘스	디젤과 플라이휠 하이브리드	AVANTO/S70
네델란드 노트르담	2006~2008	알스톰	CCM 플라이휠	CITADIS
일본 삿포로	2007~2008	가와사키	Ni-MH 배터리	SWIMO-X
포르투갈 리스본	2007	지멘스	배터리/슈퍼캐패시터	COMBINO PLUS
이탈리아 나폴리 시험선	2010	안살도브레다	Tramwave 지상접촉시스템	SIRIO
독일 벨텐, 시험선	2011	Stadler	이온배터리	VARIO BAHN
독일 어스브루그 시험선	2011~2012	봄바르디아	Primove 인덕트 전류 집전/배터리	VARIO BAHN
스페인 발렌시아	2011	Fenit Rail	Full Cell /이온 배터리/슈퍼캐패시터	SNCV FABIOLOS 3400
미국 바리우스	2011	긴기샤요	리튬이온배터리	AMERITRAM
이탈리아 피렌체	2012	안살도브레다	슈퍼캐패시터	SIRIO
한국 경기도	2007~2014	현대로템	배터리/OLEV 전력변환시스템	WTRAM
중국 CSR	2014	CSR	슈퍼캐패시터	S70
스페인 빅토리아 가스테츠	2015	CAF	리튬배터리	URBOS 2
중국 쉹다오	2015	CSR	BALLARD FC velocity Fuel cell	ASTRA 15T
폴란드 크라코우	2015	Pesa	슈퍼캐패시터	SOLARIS TRAMNO
일본 가고시마	2015	Alna Sharyo	리튬이온배터리	Little Dancer

- (접촉급전방식) 프랑스 Alstom은 제3궤도 방식의 GLPS를 트램(모델명: Citadis)에 적용하여 무가선주행이 가능한 트램을 개발하였다. 이 시스템은 APS(Alimentation Par Sol, Surface current collection)라고 불리며 이 시스템은 프랑스 보르도, 레임스, 올레앙스, UAE 두바이, 중국 베이징, 주하이 등 10개 노선에서 운영 중에 있고, 3개 노선은 건설 중에 있다. 하지만 눈이 많이 내리는 지역에서는 눈, 소금 등이 미치는 영향에 관해 연구가 필요한 것으로 알려져 있다.



<그림 31> 알스톰 APS(접촉급전방식) 무가선 트램

(자료 : Light Rail Technology Analysis, Rapid Transit, 2009. 4)



<그림 32> 안살도 브레다
Tramwave(접촉급전방식) 무가선 트램

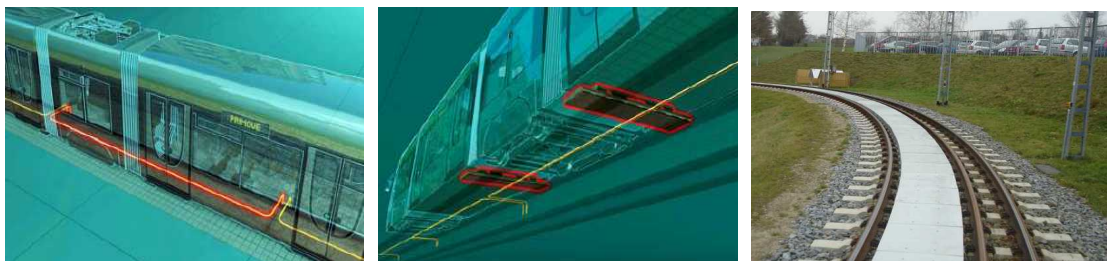
- 현재 10개 노선에서 운영중이며 3개 노선이 신규 공사중이다. 알스톰사에 의해서 APS 시스템이 프랑스 보르도, 아랍에미에이트 두바이, 카타르 루사일, 호주 시드니 등 10개 노선으로 가장 많고, 안살도 부래다의 Tramwave는 중국 베이징, 주하이, 이탈리아 피렌체 등 3개 노선에 도입되었다.

<표 17> 접촉급전방식 무가선 트램 상용노선 현황

주 : State of the Art in Light Rail Alternative Power Supplies, John Swanson and Jhon Smatlak, Interfleet Technology Inc., 2015, 자료

도시명/국가	개통연도	GLPS 구간	총연장	적용 기술	공급자
보르도, 프랑스	2003	13.6km	44km	APS	알스톰
앵거스, 프랑스	2011	1.5km	12km	APS	알스톰
레임스, 프랑스	2011	2km	12km	APS	알스톰
올레앙스, 프랑스	2012	2.1km	12km	APS	알스톰
툴루, 프랑스	2013	2km	15km	APS	알스톰
두바이, 아랍에미에트	2014	10.6km	10.6km	APS II	알스톰
베이징, 중국	2015	4km	9.4km	Tramwave	안살도브래다/CNR
주하이, 중국	2015	8.7km	8.7km	Tramwave	안살도브래다/CNR
커엔카, 에콰도르	2016	1.2km	10.5km	APS	알스톰
리오자네루, 브라질	2016	28km	28km	APS+ OESS (수퍼캐패시터)	알스톰
루사일, 카타르	2018	22.7km	33.1km	APS	알스톰
시드니, 호주	2019	1.5km	12km	APS	알스톰
피렌체, 이탈리아	2019	470m	7.5km	Tramwave	안살도브래다

- (무접촉방식) 봄바르디아 Primove는 유도루프방식으로 전력을 궤도 코일에서 비접촉으로 수전한다. 이 시스템은 궤도에 코일을 설치하여 전류를 유도시켜 집전자로 전력을 수전도록 되어 있다. 전력공급시스템의 보안과 안전을 위하여 차량이 전력공급레일 위에 있을 때만 전력이 공급된다.



<그림 33> 봄바르디아 Primove(무접촉급전방식) 무가선 트램

(자료 : Light Rail Technology Analysis, Rapid Transit, 2009. 4)

□ (배터리방식) 프랑스 니스에서는 Ni-MH 배터리가 장착된 Citadis 차량이 상용 운행 중에 있으나, 무가선 운행구간은 대표적인 관광지역인 Massena-Garibaldi 광장에서 500m 씩 2구간으로 한정되어 있다. 이러한 무가선트램 운영을 통하여 니스는 역사적인 관광도시의 풍광을 보존하게 되었으며, 현재 공항과 시내 중심을 연결하는 신규 노선도 계획 중에 있다. 현재 운영되고 있는 차량 배터리 탑재방식은 유럽 도시에서 운행하는 노면전차 중에는 도시미관을 위하여 도심 일부구간의 0.5~1.5km 정도는 배터리 전원으로 운행하고, 도시 외곽에서는 가공전차선으로 운행하고 있는 하이브리드(Hybrid)방식이 대부분이다. 배터리 형식은 초기에 니켈 카드뮴을 사용하였으나, 현재는 리튬이온형식, 리튬이온폴리머형식 등을 사용하고 있으며, 배터리 팩에는 배터리관리시스템(Battery Management System)을 사용하여 과충전, 과전류, 과전압, 과온도 등을 관리하여 배터리 신뢰성과 유지보수성을 향상시키고 있다.

- 프랑스 알스톰사의 CITADIS, 스페인 CAF사의 URBOS, 독일 Stadler사의 Variobahn, 지멘스사의 AVENIO 등이 있다. 한편 고무차륜을 장착하고 싱글 안내레일을 사용하는 배터리 차량은 Lohr사의 Translohr가 있으며, 이탈리아 파도바, 중국 첸진과 상하이 등에서 상업운영하고 있다.
- 배터리방식은 프랑스 니스, 중국 난징, 미국 달라스, 디트로이트, 시애틀, 터키 콘냐, 브라질 산토스 및 독일 뮌헨의 8개 노선에 주로 리튬이온배터리를 많이 사용하여 운영 중이거나 개통예정이다.
- 한편 하이브리드 형식으로 배터리와 슈퍼캐패시터를 설치하여 겸용으로 사용하는 노선은 스페인 자라고자, 그라나다, 카타르 도아, 프랑스 니스 및 룩셈부르크 5개 노선에서 운영 중이거나 개통예정이다.



<그림 34> 중국 난징 무가선 상용 트램



<그림 35> 프랑스 니스 배터리방식 무가선 트램



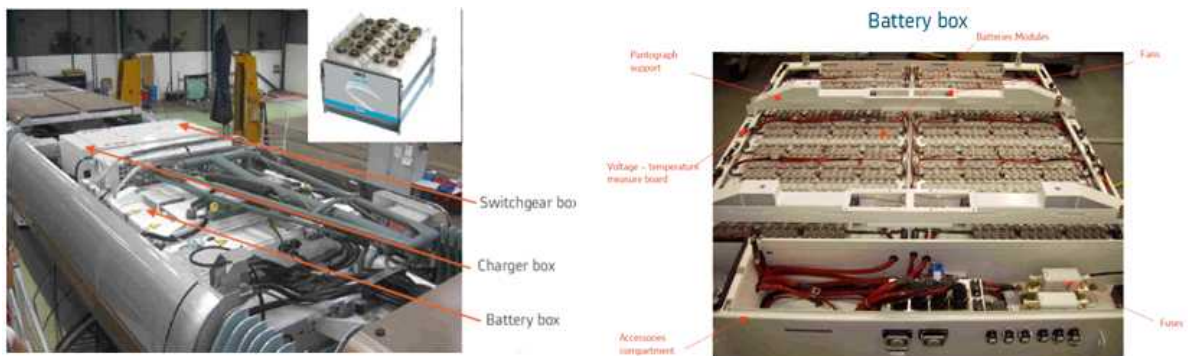
<그림 36> 미국 달라스 배터리방식 무가선 트램



<그림 37> 이탈리아 파도바 배터리방식 무가선 트램



<그림 38> 중국 톈진 배터리겸용 무가선 트램



<그림 39> 프랑스 니스 : Alstom社 트램용 배터리 (루프설치)



<그림 40> 미국 시애틀 : Inekon사의 추진배터리 (루프설치)

<표 18> 배터리방식, 슈퍼커패시터방식, 하이브리드방식 무가선 트램 상용노선 현황

주 : State of the Art in Light Rail Alternative Power Supplies, John Swanson and Jhon Smatlak, Interfleet Technology Inc., 2015, 자료

도시명	개통연도	OEES 구간	총연장	기술	공급자
니스, 프랑스	2007	0.91km	8.7km	배터리(Ni-MH)	알스톰
세빌르, 스페인	2011	0.6km	2.2km	슈퍼커패시터	CAF
선양, 중국	2013	2.5km	69.9km	슈퍼커패시터	CNR 창천
자라고자, 스페인	2013	2km	12.8km	배터리/슈퍼커패시터	CAF
광저우, 중국	2014	7.7km	7.7km	슈퍼커패시터	CSR ZELC
난징, 중국	2014	7.2km	8km	리튬이온 배터리	CSR Pushen
카오슝, 대만	2015	8.2km	8.2km	슈퍼커패시터	CAF
달라스, 미국	2015	1.6km	2.6km	리튬이온 배터리	Brookville
콘냐, 터키	2015	1.8km	21km	라노리튬티타늄 배터리	Skoda
산토스, 브라질	2016	0.4km	11.4km	리튬티타늄 배터리	Vossloh
시애틀, 미국	2016	4km	4km	리튬이온배터리	Inekon
디트로이트, 미국	2016	3km	5.1km	리튬이온배터리	Brookville
도하, 카타르	2016	11.5km	11.5km	배터리/슈퍼커패시터	지멘스
그라나다, 스페인	2017	4.95km	15.9km	배터리/슈퍼커패시터	CAF
니스, 프랑스	2018	11.3km	11.3km	배터리/슈퍼커패시터	알스톰
뮌헨, 독일	201?	1km	8km	리튬이온배터리	Stadler
룩셈부르크	2020	3.6km	16km	배터리/슈퍼커패시터	CAF

- (슈퍼커패시터방식) 슈퍼커패시터(Supper Capacitor)방식은 짧은 구간마다 전력을 충전하여 사용하는 것으로 노면전차에 채용되어 상업운영하고 있다. 지멘스는 Avenio 차량에 슈퍼커패시터를 적용하여 2.5km를 운행하였고, CAF는 Urbos 차량에 1.4km를 이탈리아 자라고자 및 발렌시아에서 운행하였으며, 봄바르디아, 알스툼 등에서는 연구개발 중에 있다. 2016년 말 기준으로 13개 시스템이 운영하고 있고, 4개 노선은 거설 중에 있다.

다. 완전무가선 트램 기술 : 지붕탑재형 배터리 기술 개발 동향 (국내외)

- 이동형 차량에 탑재되어, 사람과 동승하게 되는 추진용 배터리는 현재 대기업 위주의 상용 차량의 추진용으로 사용되는 배터리 시장은 S社와 L社의 국내 및 국외의 대형 자동차 양산 업체를 통하여 납품하고 있는 실정임.
- 버스에 도입하기 위해 몇 번의 과제가 수행되고, 제주도를 중심으로 실증에 집중하였으나, 상업적으로 리튬 배터리가 공공성을 가지고 이동수단에 접목된 케이스를 시범사업용 소수 차량외에는 찾아보기 힘든 상황.
- 따라서, 트램용 추진체 배터리는 지난 몇 년간 국토부 예하 과제로써 개발수행중으로써, 추진체 배터리의 시장이 형성되었다고 설명하기 어려운 실정임.
- 기술적 장벽이 높은 시장으로써, 현재는 기업별로 그 사업성에 대한 자체적인 평가를 수행하고 있는 중.

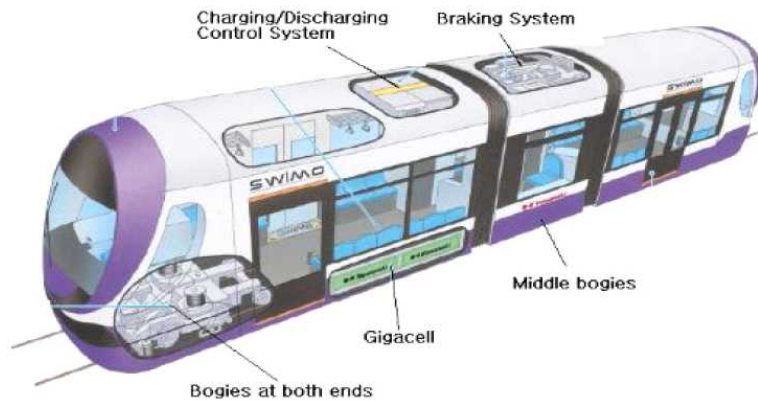


<그림 41> 무가선 트램 시험선에서 시험운행 중인 트램

□ 국외 기술 동향

- (SWIMO System) SWIMO 시스템의 경우, 차량의 좌석 밑에 탑재된 Gigacell (Ni-MH) 니켈수소 전지에 전력을 저장하여 전차선 없이 운행이 가능하도록 제작된 차량시스템으로서, 저장대차를 사용하여 노면선로를 운행하는 차세대 친환경 저소음 노면전차 (트램)를 말한다. 일본의 SWIMO 시스템은 상대적 우위에 있는 Battery기술을 이용하여 무가선 차량을 개발한 경우로 볼 수 있다.

SWIMO 전지구동시스템은 Gigacell (Ni-MH)을 탑재하여 전차선을 통해 전력을 저장하고 공급하는 장치로서 고효율 회생에너지 저장 및 고용량 전력 공급이 가능하도록 구성되어있다. 또한, 충방전 제어 시스템을 이용하여 무급전구간에서 igacell (Ni-MH)로부터 차량에 안정적인 전력공급을 가능하게 하고 Breaking시 발생하는 회생에너지를 효율적으로 이용할 수 있다.



<그림 42> Kawasaki 社의 SWIMO System

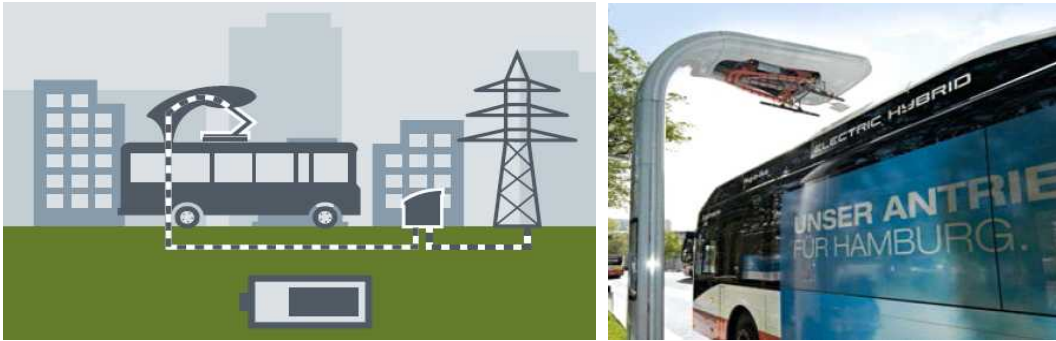
라. 완전무가선 트램 기술 : 무가선 전용 대용량 안전 자동충전장치개발 동향 (국내외)

- 일반적인 HEV, EV 등의 친환경 자동차를 위한 충전장치는 차량-충전장치 간 인터페이스, 장치 간 통신프로토콜 등을 포함한 기술사양에 대하여 각 나라별 그리고 국제 규격별 표준화 활동이 활발하게 진행 중이다. 대부분의 기술표준은 사용자가 직접 충전장치의 커넥터를 차량에 체결하는 형태로 구성되며, 커넥터 형상/통신사양/충전용량 등을 포함한다.
- 하지만 철도분야에 사용되는 에너지 저장장치는 자동차 분야, 특히 승용분야에 비교하여 대용량의 에너지 저장장치가 탑재되며 사용자가 직접 체결하는 일반적인 커넥터 타입의 형태로는 운영되기 힘들어, 해당 분야의 기술규격을 적용하기에 불가하다. 반면, 전기버스의 경우, 무가선트램의 배터리 용량 수준의 시스템이 적용되고 있으며, 아래와 같은 충전 인터페이스가 개발된 사례가 있다.

○ Top-Down Pantograph Type

- 철도차량에 사용되는 판토틀라프가 역 장착된 형태로 충전스테이션에 차량이 정차하면, 충전스테이션에서 차량측으로 판토틀라프가 퍼지면서 접촉이 이뤄지는 원리이며, 차량-충전장치 간 무선통신을 이용한다. 고전압의 접촉이 차량 상부에서 자동으로 이뤄져 상대적으로 안전하며, 차량 내 별도의

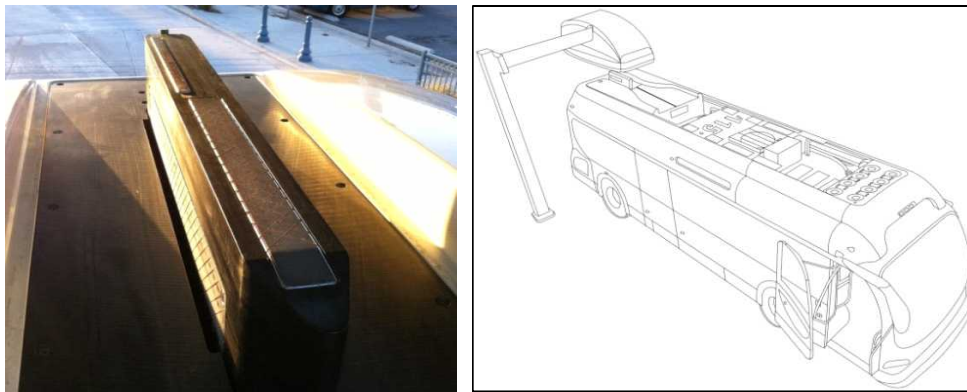
장치없이 집전판만 존재하므로 차량 루프 내 공간사용이 용이하다.



<그림 43> Siemens 社의 Offboard High Power Charger

○ Charging Shoe type

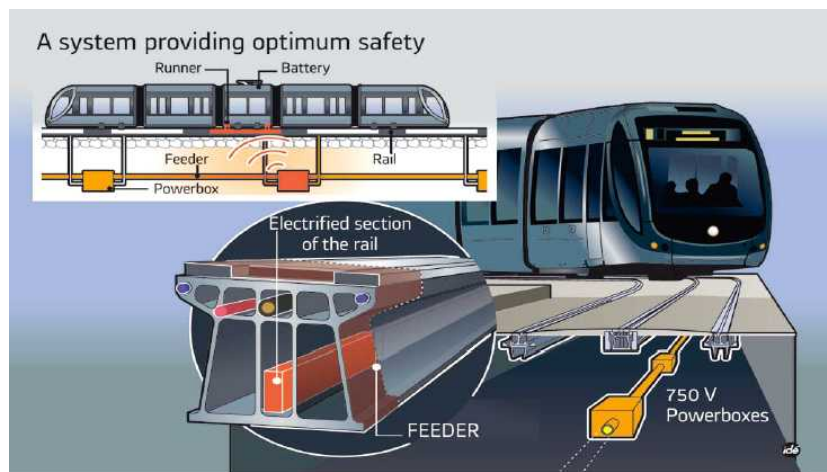
- 차량이 충전위치로 이동함에 따라 차량 상부의 집전판과 충전스테이션의 충전부가접촉되어 충전이 이뤄지며, Top-Down Pantograph Type과 달리 판토틀라프와 같은 구동부가 불필요하다. 차량-충전장치 간 무선통신을 이용하며, 차량 루프 내 공간사용이 용이하다.



<그림 44> Proterra 社의 Overhead Fast Charger

○ APS System

- 알스톰 社에서는 플라이휠(Flywheel)을 장착한 경량전차를 개발하여 적용하였다. 이 플라이휠 방식은 충전을 위해 기계적 운동에너지를 이용하는 방식으로 소모된 전력을 열차가 역에서 정지했을 동안 빠르게 재충전 하도록 설계되어 있다. 그러나 차량이 재충전되기 까지 오랜 시간 정지해야 하는 경우 경량전차의 재출발이 어려울 정도로 에너지를 발산하는 점이 단점으로 지적된다.
- 알스톰사의 APS 시스템은 프랑스의 보르도(Bordeaux)시에서 최초 적용된 방식으로 일반 전철 현수방식(Catenary)에 비해 건설비용이 높으나 가공에 노출되지 않는 특징을 부각시켜 상징성을 갖는 다리위의 선로와 도심 중앙 광장에 처음으로 적용되었다.



<그림 45> Alstom 社의 APS System

마. 상용 무가선 트램시스템 표준설계기술 개발 동향 (국내외)

- 트램은 국내 사례가 없기 때문에 트램시스템(차량, 궤도, 신호)의 설계기술이 전무
 - 국가 R&D로 무가선시험선이 '12.11월 개통되어 연구결과물을 통합 시험중에 있으나 시작품 개발 및 검증이 중점목표임에 따라 상용화에 필요한 전체 시스템에 대한 설계기준이 없는 실정임.
 - 따라서, 배터리 전용 무가선 트램 차량의 배터리 설계기준, 승강장 설계기준 등 상용화 설계기준을 제시하고 표준화 필요

바. 형식승인(EN규정 포함)에 의한 완전 무가선 트램 차량 제작 기술 개발 동향 (국내외)

- 시제차량은 철도안전법 차량형식승인제도(2016년) 이전에 개발된 차량(2012년)으로 국내 제작 및 운영 선례가 없는 첫 시제차량으로 자체적인 검증만이 완료된 상태임.
- 형식승인검사 방법은 설계적합성 검사, 합치성 검사, 차량형식 시험으로 설계단계부터 시운전단계까지 모든 제작공정(부품단계, 구성품단계, 완성차단계)에서 철도차량기술기준의 충족성 검사

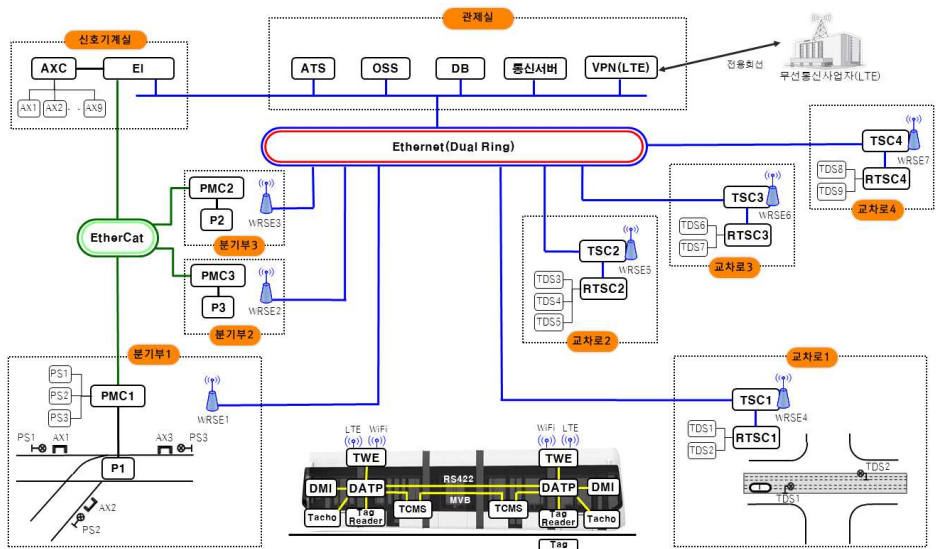
- 최근 차량형식승인제도 법제화 및 지자체 사업추진 가속화에 따라 형식승인에 따른 차량발주·제작을 통해 부품업체의 실적확보와 함께 외산 대비 국내시장 보호 및 외국진출을 활성화 필요
 - 現 시제차량은 배터리를 제외하고 외국 대비 약 60~70% 기술수준으로 형식승인에 의해 100%의 기술수준 달성으로 외국사 대비 경쟁력 확보 필요
 - 터키수출품은 별도 기술기준이 없었으며, 전장품 전부 및 핵심 부품이 외국 제품임
 - 또한 형식승인을 진행하여야만 미처 발견하지 못한 설계 및 제작상의 문제점이 돌출되고 해소되어 쌓인 노하우와 실적을 바탕으로 국내 진입하려는 외국사와 경쟁 가능
 - 철도안전법에 의거하여 형식승인 완료할 경우 트램 도입 희망 지자체에 안전성과 성능에 대한 신뢰를 주어 국산품 도입에 대한 긍정적인 요소로 작용하며 표준모델로 제시
 - 한 번 형식승인을 득하면 기존 설계에서 변경 부분만 형식승인을 실시하고 동일한 부분은 면제. 현재 국내의 전동차에서 변경되는 부분은 주로 차량의 디자인 또는 전두부 정도이며 주요제품은 동일하게 사용되고 있으므로 형식승인 차량이 표준화된 모델로 지자체 도입 용이.
 - 최근 고시된 국내 차량기술기준 대부분 EN규정(신호는 제외)을 따르고 있어 차량기술기준에 부합하는 차량 제작시 해외에 수출 가능한 실적 인정 가능
 - 지붕탑재형 배터리 등은 현재 국내 차량기술기준에 해당 기준이 없어 개발품에 대한 형식승인은 제작자가 제시하는 설계규격을 기준으로 진행
 - 개발품은 형식승인 절차 일정내에서 제작자의 설계규격에 따라 제작 검증하고 이후 신규제작차량에 대한 형식승인이 완료되는 시점에 제작자 설계규격을 바탕으로 철도기준 개정안을 고시

사. 복선궤도 다중편성에 의한 트램 신호관제, 분기기시스템 성능검증 (SIL 인증) 및 안정화 기술 개발 동향 (국내외)

- “무가선 저상트램 실용화(‘13.9~’17.1)” 사업에서 무가선 전용시험선에 가상의 운영조건(단일 편성 및 단일노선, 3개의 가상승강장, 3개의 가상교차로, 3개의 분기기구간)에서 트램신호에 대한 시운전 및 제3기관 검증까지 완료하였으나 상용화를 위해서는 복선궤도 다중편성에 의한 신호교차로 우선신호, 진로경합제어 등을 검증하지 못함에 따라 상용노선의 운영시나리오에 대한 정상 운영 입증 필요



<그림 46> 무가선 저상트램 시험선 트램신호 설비 및 배치도



EI: Electronic Interlocking System PMC: Point Machine Controller TSC: Tram Signal Controller TWE: Tram Wireless Equipment
 ATS: Automatic Train Supervision P: Point Machine RTSC: Road Traffic Signal Controller DATP: Driver Assistant Tram Protection
 OSS: Operation Support System PS: Point Signal TDC: Tram Dedicated Signal DMI: Driver Machine Interface
 AXC: Axle Counter AX: Axle counter sensor WRSE: Wayside Radio Station Equipment

<그림 47> 무가선 트램시험선 트램신호 설비 상세배치도

- 분기구간의 주행안전을 위해 트램 진로제어를 담당하는 분기제어신호와 선로 전환장치는 해외 요구사양에 안전무결성수준 SIL3 이상을 요구하고 있음. 국내의 경우에도 철도신호의 경우 입찰시 SIL인증을 요구사양으로 요구하고 있는 추세임에 따라 안전성 입증 필요. 트램신호(분기제어신호와 도로교통신호로 구분)의 SIL대상은 분기제어신호(분기연동, 선로전환제어장치)에 해당함. SIL은 국내 적용뿐만 아니라 해외수출시 필요함. 최근 대만 카오슝 트램의 신호 발주사양에 분기제어신호에 대해 SIL3이상을 요구하였음.
- 해외에서는 최근 많은 트램에서 ISA활동을 적용하고 있으며, 국제적으로 안전에 대한 많은 필요성을 요구하고 있다. 따라서 해외의 많은 트램 건설사업에서 ISA활동에 따른 설비의 안전성을 강조하고 있다. 또한 최근 국제적으로 입찰공고사항에도 ISA활동에 따른 SIL을 요구하고 있는 실정이다. 최근 입찰 공고된 알제리의 트램건설사업도 트램의 신호설비에 대한 SIL을 요구하고 있다. 해외의 경우 프랑스 (Clemont-Ferrand), Cegelec사 (차량검지 및 연동장치 부분 SIL 4 개발), 체코, Elecktronline사 (궤도회로부분 SIL2, 스위칭 부분 SIL 3 개발), 프랑스 (독일, Vossloh 사) (연동장치 부분 SIL 4, 관제 부분 SIL 2 개발), 네덜란드 (Elecktronline사) (전철기 부분 SIL 3 개발) 등에서 수행하였으며, 1968년부터 트램에 대한 평가가 본격적으로 시작이 되었으며, SIL의 결정은 (통상 2~4) 위험도 분석을 통해서 해당 국가의 위험도 허용기준 혹은 관련 규격 (IEC 61508은 최대 SIL 3까지가 일반적임)에 따라 그 기준이 달라질 수도 있다. 하지만 EN규격에서 SIL 3과 SIL4의 차이는 “위험원 발생률”의 차이 이외에는 특별한 차이가 없다. 그리고 아래와 같이 많은 트램 건설사업에서도 ISA활동을 적용하고 있으며 진로제어장치(철도신호)는 SIL3로 관리되고 있다.

No.	Country	Manufacturer	System(CTC, Interlocking, Point Machine, Signaling, ETC)	Related SIL
1	Czech	Elektroline	RESONANT TRACK CIRCUITS	SIL2
2	Czech	Elektroline	TSC(Automatic Switch Control System)	SIL3(Accordingtothe IEC61508)
3	Czech	Elektroline	Automatic TRAM Signaling System	SIL3
4	Czech	Elektroline	TSH106LC, TSH109LC(Electro-Hydraulic andMechanicalPointmachines)	SIL3
5	France	FERSIL	KFS SIL2(Automatic Train Stop)	SIL2(ECL1462_0005)
6	Spain	ELECTRANS Electro systems BACH S.A	ENCETRANS interlocking	SIL3 (Equivalent to SIL-3)
7	China	Shanghai FTSCOFuxin Intelligent Transportation Solution Co)	ATP controller	SIL4
8	Algeria	모스트가뎀 구간 설치 TRAM	ProcesingcontrolLogic/SIL3, Signalingssystem/SIL4(EN50129) Signalingfordepot/SIL2(EN50129), Utilisersoftware/SIL3(EN50128)	
9	Algeria	세티프(Setif) 구간 설치 TRAM	ProcesingcontrolLogic/SIL3, Signalingfordepot/SIL2	Mainlinesignaling/SIL3,
10	Algeria	시디 벨 압베스(Sidi Bel-Abbs) 구간 설치 TRAM	Utiliser software / SIL3(EN 50128)	
11	Algeria	우아르클라(Ouargla) 구간 설치 TRAM	Whole Railway signaling System / SIL3(EN 50129)	

□ 국내에서 발주되는 철도사업은 안전성활동에 대한 필요성을 요구하지 않았으나, 2010년부터 안전성에 대한 필요성을 강조하고 있다. 2010년의 경춘선속화 사업, 전라선 고속화 사업, 경전선 고속화 사업, 중앙선 고속화 사업에서는 적용되는 신호설비에 대한 ISA활동을 통한 신뢰성 검증 문서의 제출과 SIL에 대한 실적문서를 제출하도록 입찰안내서에 반영하였다. 또한 최근 발주되는 경량전철사업 및 고속철도사업에서도 ISA활동을 통한 신뢰성 및 안전성 검증을 요구하고 있다. 따라서 현재 개발되고 있는 트램설비에 대한 향후 적용 및 국제적인 경력을 확보하기 위해서는 ISA활동을 수행하므로 경쟁력을 증가시키고 제품에 대한 안전성 및 신뢰성을 확보하여야 할 것이다. 또한 개발단계에서 ISA활동을 수행하므로 개발되는 제품에 대한 성능향상 및 위험발생에 대한 대처능력도 확보될 것이다.

아. 트램 사고저감 차량기술기준 개발 동향 (국내외)

- 국내의 경우 1990년대 후반에 G7 고속전철개발사업에서 철도차량의 충돌안전에 대한 연구가 시작되었다. 당시에는 주로 충돌시물레이션 위주의 연구가 수행되었으며, 시험을 통한 해석모델의 검증 등은 이루어지지 않았다. 철도차량 충돌안전에 대한 기준 수립, 충돌안전 성능평가 방법, 실물충돌시험시설 구축 등 철도차량의 충돌안전에 대한 체계적인 연구는 2011년에 종료된 철도종합안전기술개발사업의 '철도차량 충돌 안전성능 평가 및 피해저감 기술 개발'과제에서 이루어졌다.
- 국내의 충돌안전 연구는 일반철도 및 고속철도 차량을 대상으로 하고 있으며, 트램과 같이 도로교통과 함께 운영하는 경우에 대한 충돌안전 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 도로교통과 함께 운행하는 트램차량에 대한 충돌사고 사례 분석, 충돌사고 시나리오 수립, 시물레이션 및 시험을 통한 충돌안전 성능 평가 방법 등에 대한 전반적인 연구가 체계적으로 수행되어야 할 것으로 보인다.
- 트램에 특화된 교통사고 대응관련 연구는 국토부 R&D로 수행된 트램 운영기술 개발과제의 일환으로 아래와 같은 연구목표로 진행되었다.

SYSTEM	INFRA	TECHNOLOGY	PRODUCT
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 철도차량 충돌안전 평가기준으로 활용 ▶ 철도의자 충돌안전 평가기준으로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국가기준 인증장비로 활용 ▶ 선도기술 연구장비로 활용 ▶ 아시아 어브 장비로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국가기준에 따른 시험 및 해석평가 절차에 활용 ▶ 충돌안전 부재, 장치 및 구조 개발에 활용 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국내 신규 철도차량의 충돌안전설계에 활용 ▶ 해외 수출 철도차량의 충돌안전설계에 활용
			

선진국 수준의 열차 충돌안전 기반 조성



위 연구를 통해 트램 사고현황(주로 해외 사례)과 사고 대응체계가 일부 연구된 바있다. 그러나 트램이 국내에 도입된 사례가 없어 국내 실정에 맞는 사고 시나리오 및 대응체계에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 국내 시범적용 예정노선의 실정 및 국내 도로교통 여건을 종합적으로 고려한 트램 교통사고 시나리오를 확립하고 검증하는 연구가 필요한 실정이다.

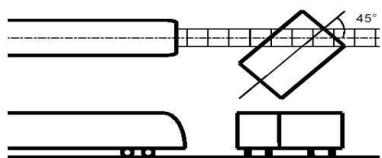
- 유럽에서는 1990년대 후반부터 지금까지 유럽연합기금의 지원 하에 철도차량 충돌안전에 대한 체계적인 연구가 진행되어 왔고, 이러한 연구 결과들은 TSI (유럽철도망 공동운영을 위한 기술 규격)의 충돌안전 조항과 유럽의 철도차량 충돌안전기준인 EN15227을 만드는데 활용되었다. 유럽의 대표적인 충돌안전 연구로는 고속철도 및 일반철도차량의 충돌안전을 다룬 SAFETRAIN 프로젝트(1997-2001)와 도시 근교 및 도시 내를 운행하는 트램차량의 충돌안전을 다룬 SAFETRAM 프로젝트(2001-2004)가 있다.

트램차량의 충돌안전에 관한 연구인 SAFETRAM 프로젝트의 주요 내용은 다음과 같다.

- 프로젝트명: SAFETRAM - Passive Safety of Tramways for Europe
- 연구기간 : 2001. 7 - 2004. 10
- 주관연구기관 : BT/P
- 공동연구기관 : AB, BI/N, ALS, ALC, BVG, CNIK, DB, IST, MIRA, RATP, SNCF, TUB
- 연구내용
 - 사고사례 분석 및 사고시나리오 선정
 - 충돌피해저감 관련 법, 규정 및 요건 분석
 - 충돌과라미터(하중, 변형, 에너지 등) 선정
 - 충돌에너지 흡수구조 설계, 제작 및 수치해석

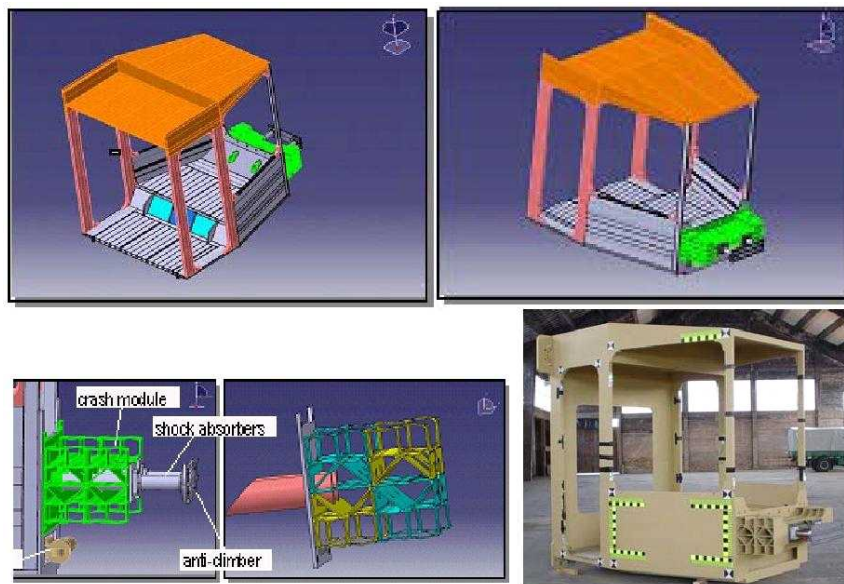
- 충돌안전도 시험평가 - 충돌시험
- 수치해석을 통한 승객상해치 평가

SAFETRAM 보고서에 제시된 도시형 트램의 충돌사고시나리오는 다음과 같다.

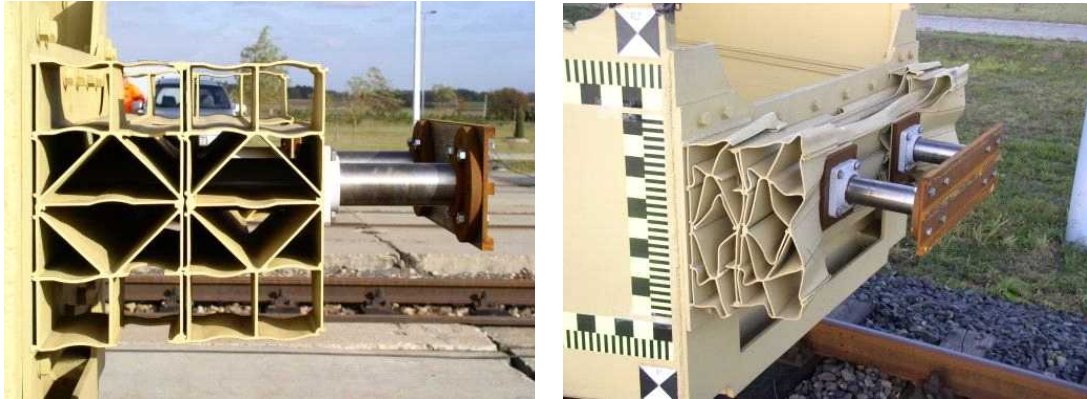
City Tram Scenario	Rel. Speed [km/h]	Total Crash Energy [kJ]	Remarks
C1: No collision – emergency braking	70	-	Mean braking deceleration: 2.73 m/s ²
C2: Frontal collision with an identical city tram	20	270	Each city tram absorbs 50 % of the collision energy
C3: Right corner collision with a 3 t - light truck	25	66	The light truck of 3 tons is defined as a rigid wall that covers the whole corner area surface of the city tram. An angle of 45° is defined as seen in the figure 3. For the simulation a rigid sliding wall has been used (a more precise rigid light truck resulting from the Renault Master Characteristics has been supplied in the project, to verify the influence of the orientation and the impact location). <div style="text-align: center;">  </div>
C4: Frontal collision with a periurban tram (55 t)	10	83	Periurban tram defined as a rigid wall of 55 t covering the whole frontal surface of the city tram. The energy is totally absorbed by the city tram and the coupler is in falling position

<그림 48> 도시형 트램 충돌사고 시나리오(SAFETRAM 최종보고서, 2004)

SAFETRAM 보고서에는 트램의 충돌에너지흡수부재 설계 사례가 제시되어 있는데, 실제 크기의 시험시편을 만들어서 충돌시험으로 검증하였다.



<그림 49> 에너지흡수부재 설계 사례(SAFETRAM 최종보고서, 2004)



<그림 50> 에너지흡수부재 충돌시험 전후 모습(SAFETRAM 최종보고서, 2004)

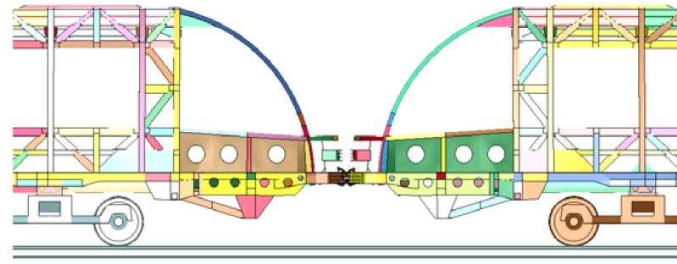
○ 북미의 경우 1990년대 후반에 FRA(미연방철도청)에서 미국 여객철도차량안전을 포괄적으로 다루는 객차안전기준(49CFR238)을 제정하였는데, 당시에는 엔지니어링 데이터의 부족으로 탑승자 보호와 관련된 여러 가지 기술적 조항들이 컴퓨터 시뮬레이션이나 실제사고사례의 검토결과를 바탕으로 결정되었다. 이후 충돌사고 상황에서 객차의 거동에 대한 데이터를 확보하고 컴퓨터 시뮬레이션의 신뢰성을 높이기 위해 실차충돌시험을 수행하기로 하고, 미국 교통부 'Equipment Safety Research Program'의 지원을 받아 FRA 산하 Volpe 국립교통시스템센터의 주도하에 철도차량의 충돌안전에 대한 연구가 진행되었다. 이 연구에서는 기존차량과 충돌에너지 분산흡수를 위한 CEM (Crash Energy Management)장치를 부착한 차량에 대해 정면충돌과 건널목충돌을 재현하는 총 8번의 실차충돌시험을 수행하였으며, 연구결과는 개정된 객차안전기준 충돌안전 조항에 반영되었다.

트램의 충돌안전에 대한 연구는 NRC(미국립연구회) 산하 TRB(교통연구위원회)의 'Transit Cooperative Research Program(TCRP)'지원으로 수행된 "Development of Crash Energy Management Performance Requirements for Light-Rail Vehicles" 연구가 있다. 이 연구에서는 다양한 트램간의 충돌 및 트램과 자동차와의 충돌 시뮬레이션을 통해 트램의 CEM 성능요구조건에 대한 가이드라인을 제시하고 있다.

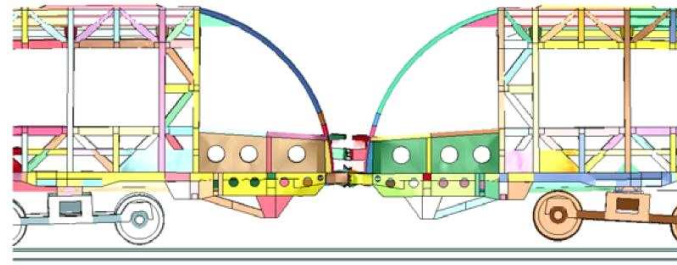
TCRP C-17 프로젝트의 주요 내용은 다음과 같다.

- 프로젝트명: Development of Crash Energy Management Performance Requirements for Light-Rail Vehicles
- 프로젝트번호: TCRP C-17
- 연구기간 : 2005. 9 - 2008. 3
- 주관연구기관 : Applied Research Associates, Inc.
- 연구내용
 - 동종/이종 트램에 대한 충돌해석모델 생성 및 시뮬레이션

- 트램이 승용차의 측면을 충돌하는 충돌해석 시물레이션
- 트램이 SUV의 측면을 충돌하는 충돌해석 시물레이션
- SUV가 트램의 측면을 충돌하는 충돌해석 시물레이션



(a) Time = 0.020 s

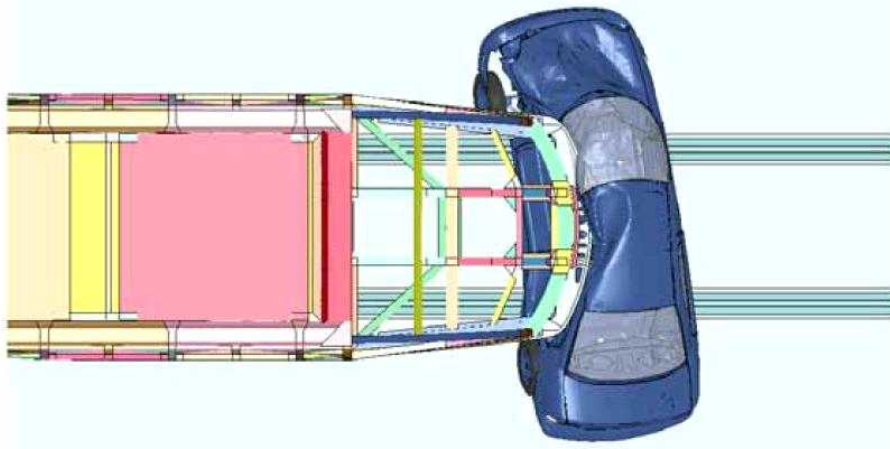


(b) Time = 0.200 s

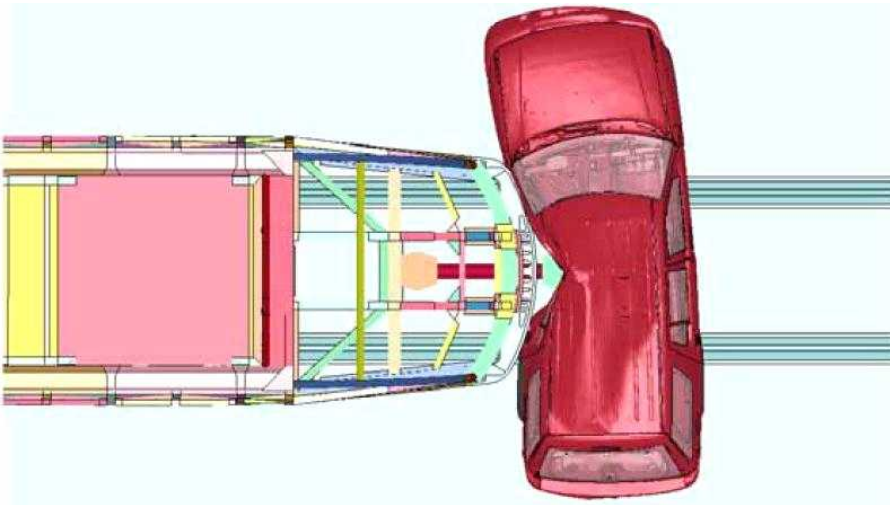
<그림 51> 동중 트램 간의 충돌해석 시물레이션(TCRP C7 보고서, 2008)



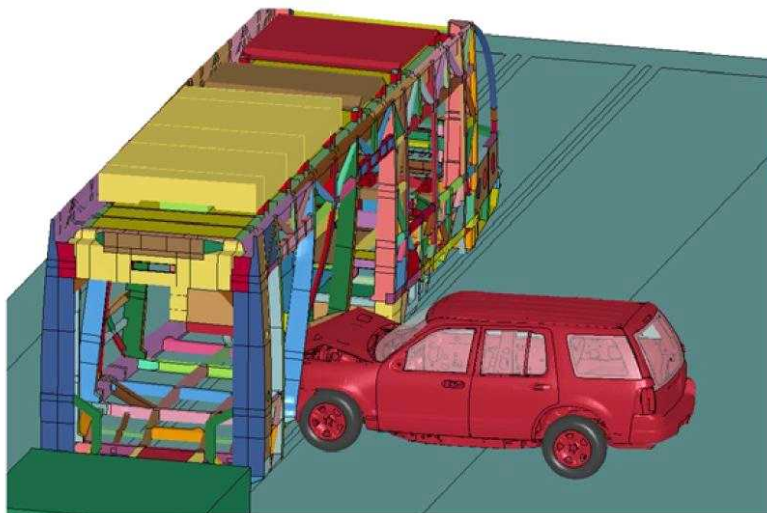
<그림 52> 트램과 승용차 충돌사고 사례(TCRP C-17 보고서, 2008)



<그림 53> 트램과 승용차 충돌사고 시뮬레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)



<그림 54> 연결기가 노출된 트램과 SUV 충돌사고 시뮬레이션(TCRP C17 보고서, 2008)



<그림 55> SUV의 트램 측면 충돌 시뮬레이션(TCRP C17 보고서, 2008)

자. 트램 교통사고 예방기술 개발 동향 (국내외)

- 프랑스, 영국, 호주, 아일랜드의 트램 사고 통계자료를 보면 사고분류, 사상자 수준 등 개별 통계자료의 분류기준이 통일되지 않아 직접적인 비교는 어려우나 개별 보고서의 내용의 주요 공통 내용을 요약하면 다음과 같다.
 - 도로이용자(자동차, 보행자, 자전거 등)와 트램과의 충돌사고 빈도가 높고 중상자와 사망자가 많음.
 - 트램 차량내, 승하차, 정거장에서 승객 사고 빈도가 높으나 경상수준의 사상자 발생
 - 프랑스, 아일랜드, 영국과 같이 노선이 단순한 신형 트램노선에서는 트램간 충돌사고 빈도가 매우 낮으며 사상자가 없음.
 - 호주의 경우, 구형 트램노선으로 복잡한 노선(정거장 2대이상 정차)과 분기연동기능이 없어 트램간 사고가 발생하고 있으며 경상 수준의 사상자 발생

□ 트램 사고사례별 대응 우선순위 검토

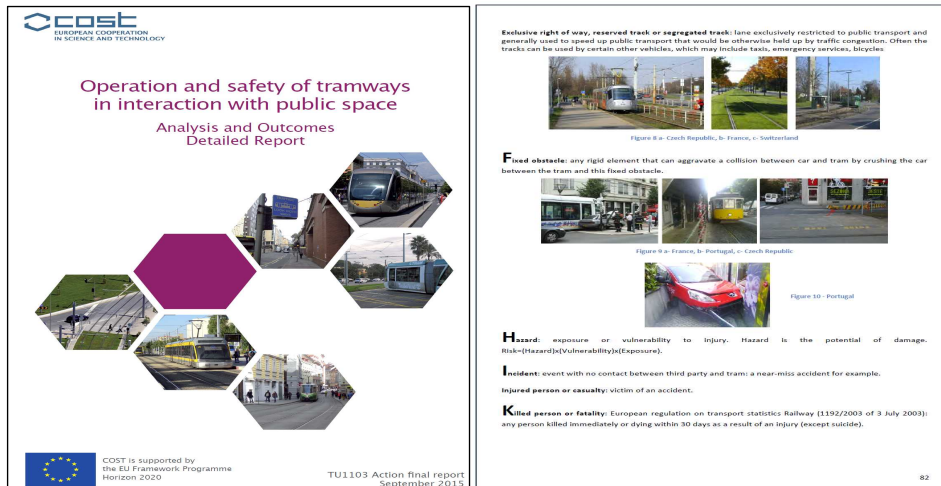
사고유형		사고발생빈도 순위	중상자/사망자 순위	대응 우선 순위	대응 순위 검토의견
충돌	도로자동차, 오토바이, 자전거 충돌	1	2	1	사고발생 빈도가 많고 사상자가 높음
	보행자 충돌	3	1	2	사고발생 빈도는 낮으나 중상이상의 결과 발생
	지장물 충돌	4	0	5	사고발생 빈도가 낮으며 사상자가 없음
	트램간 충돌	6	0	4	사고발생 빈도가 낮으며 사상자가 없음.
승객사고 (미끄러짐, 넘어짐 등)		2	2	3	사고발생 빈도가 높으며 중상이상의 결과 발생
탈선		5	0	4	사고발생 빈도가 낮으며 사상자 없음
화재 또는 폭발		7	0	6	사고발생 빈도가 낮으며 사상자 없음

※ 프랑스 트램 자료 기준

□ 트램 사고 저감관련 연구 동향

- COST TU1103 프로젝트
 - 유럽연합의 재정지원으로 “Operation and Safety of tramway in interaction with public space” 과제를 2012년 착수
 - ※ COST : European Cooperation In Science and Technology
 - 참여기관 : 프랑스, 독일 등 유럽 15개국 34개 트램관련 기관 (UITP 포함)

- 연구기간 : 2012 ~ 2015년
- 목표 : 트램의 사고를 줄이고 안전을 보장하기 위해 트램 사고사례와 대응전략을 유럽차원에서 공유하고 안전을 위한 제도적 장치를 제안
- 추진 전략 : 3개의 작업그룹(WG)으로 나누어 제도, 사고, 인프라설계 측면을 다루고 최종 2개 작업그룹에서 사고기록 수집 및 통계 방법론과 인프라 설계 및 운영 방안을 연구




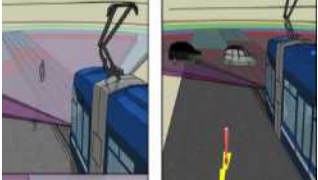


<그림 56> COST의 TU1103프로젝트 보고서

○ 연구결과

- 사고는 도로 자동차 운전자가 트램을 인지 못하거나 트램의 제동거리가 자동차에 비해 길다는 것을 모르기 때문에 발생.
- 주요 사고 발생장소 : 교차로, 좌회전 차로, 횡단보도

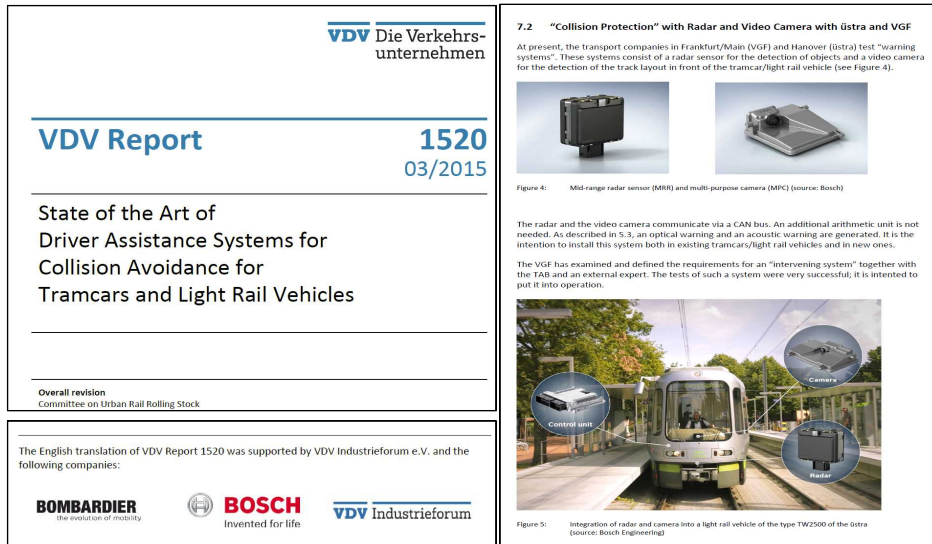
□ 트램 안전시스템 개발 동향

- 해외에서 연구되고 있는 트램운전자지원장치는 지능형자동차에 연구되고 있는 센서기술을 토대로 하나 트램 주행환경 및 운전요구조건은 자동차와 다르기 때문에 최적의 가용센서를 선정하고 센서융합처리에 의해 전방 차량·보행자·트램의 검지기술을 개발하고 있음.
- 봄바르디어나 보쉬는 이미 독일 트램 운영처와 공동으로 개발된 장치를 상용노선에서 시험하였고 전노선에 적용을 협의중에 있음.

개발사	개발 내용	특징	비고
독일 보쉬	- 전방 차량/보행자/트램에 대한 검지/경보 - 하노버 트램에 적용	- 영상, 레이더 센서 융합 - 지능형자동차기술 트램 응용 - 시제품 수준	
독일 IBEO	- 전방 차량/보행자/트램에 대한 검지/경보/제동	- 레이저 스캐너, 디지털 맵 활용 - 지능형자동차기술 트램 응용 - 시제품 수준	
이스라엘 Mobileye	- 전방 지장물 검지 및 경보 - 상용제품 (Mobileye C2-270) 을 호주트램에 장착 및 시험	- 영상 인식기술 활용 - 상용품 수준	
봄바르디아 및 AIT	- 전방 차량/보행자/트램에 대한 검지/경보/제동 - 2013년 프랑크푸르트 트램에서 성공적으로 적용시험 - 트램 74대에 상용 적용 결정	- 3D 스테레오 영상 센서 활용 - 시제품 수준	

- 트램의 도로주행 특성으로 빈번히 발생하는 도로 이용자와의 충돌 사고를 저감하기 위해 지능형자동차의 센서기반 안전기술을 트램에 적용하고자 UITP (세계교통협회) 주최로 관련 기술교류 회의가 개최됨
 - 2015년 비엔나에서 “운전자지원형 트램 안전시스템” 주제로 워크샵이 진행
 - 보쉬, 봄바르디아, 이베오 등의 제작사와 독일 프랑크푸르트 운영사가 참여하여 충돌회피 운전자지원시스템의 트램 적용사례 발표 등 효용성 논의를 통해 사고저감 기술 필요성 공감대 형성

- 독일 철도차량의 기술기준을 제정하는 독일운송업체연합(VDV)은 충돌회피 운전자지원시스템을 검토하고 최신 기술에 대한 보고서를 2015년 내놓음.

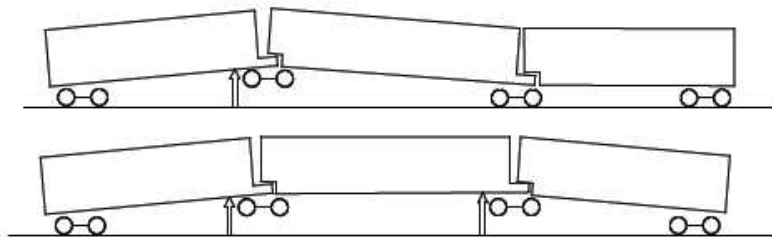


<그림 57> 트램을 위한 충돌회피 운전자지원시스템에 대한 독일VDV 보고서

- 현재 여러 지자체에서 트램 도입을 희망하고 있으나, 국내 도입 실적이 전무한 상황에서 사고저감 기술 적용을 통한 사전 안전성 확보가 필수적임.

차. 트램 교통사고 복구기술 개발 동향 (국내외)

- 대표적인 트램 교통사고 복구기술을 정의하는 예는 EN16404-2 「Railway applications - Re-railing and recovery requirements for railway vehicles」 규정이다.
 - 상기 규정에서는 lifting, re-railing을 위한 지지점을 각 차량별로 정의하고 있으며 차종에 따른 중량에 따라 필요한 크레인 용량 등을 정의하고 있다.



<그림 58> 관절식 차량에 대한 lifting 포인트 예시(EN16404-2)

- 그러나 저상트램의 경우 차체 높이가 낮아 낮은 높이의 re-railing 장비를 필요로 하며 초저상트램의 경우 하부에 re-railing장비를 삽입하여 차량을 옮길 수 없는 경우가 발생하며 그 경우 위 그림과 같이 이동식 크레인 등을 이용하여 복구를 진행하여야 한다.



<그림 59> 화차 Rerailing 장비 예시 <그림 60> 저상트램 복구기술 예시

- 국내의 경우 일반철도 궤도에서 사용가능한 사고복구용 기중기를 보유하고 있으며 아래와 같다.
- 그러나, 트램의 경우 일반철도 노선을 달리는 것이 아니라 도로교통과 혼재하여 달리므로 사고복구 시 공간적 제약이 크며 사고복구용 기중기가 원활히 진입하기 힘들 것으로 판단된다.



<그림 61> 사고복구용 기중기 보관 및 출동시 사진(국토교통진흥원 기획보고서 발췌)

- 탈선차량 인상용 제크키트는 철도차량의 탈선시 유압을 이용하여 차량을 궤도위로 이동시키는 장비이며 부대장비를 포함하여 2억원 미만으로 모든 철도운영기관에서 차량기지별로 배치하여 활용중이다.
- 현재 각 철도운영기관에서 도입한 제크키트는 약 600 kg의 중량으로 유압 펌프를 위한 발전기, 유압으로 작동되는 주제크와 보조제크, 수평이송 장치, 제어장치 및 각종 유압호스 등으로 구성되어 있다.
- 트램과 같이 도심구간을 운행하는 도시철도의 특성상 사고 발생시 해당 선로에 전후 열차가 존재하고 사고장소의 접근이 용이하지 않은경우를 대비하여 복구장비를 도로용 화물차에 탑재하여 사고장소로 즉시 이동하여 사고 복구를 진행하여야 한다.



◁림 62> 열차 탈산소 복구용 제키트 설치 및 복구훈련 시간(국토교통진흥원 기획보고서 발췌)



◁림 63> 도시철도 운영기관의 복구장비탑재한 출동장비(국토교통진흥원 기획보고서 발췌)

사 양	사 진
<ul style="list-style-type: none"> • 1991. 12 미국 ORTON사에서 도입 • 자중 131.8t, 상체길이 10,624mm, 높이 4,142mm, 주후크 150t, 보조후크 32t • 대전차량관리단, 영주, 청량리, 순천, 제천차량사업소 배치 	
<ul style="list-style-type: none"> • 2003 독일 GOTTWALD사에서 4대도입 • 자중 141t, 상체길이 9,400mm, 높이 4,400mm, 주후크 150t • 동해,용산,부산,광주 익산, 동대구, 청량리, 영주, 순천차량사업소 배치 	
<ul style="list-style-type: none"> • 1997 미국 ORTON사에서 도입 • 자중 146.2t, 상체길이 10,719mm, 높이 4,398mm, 주후크 180t, 보조후크 68t • 철암차량사업소 	
<ul style="list-style-type: none"> • 1998 독일 KIROW사에서 도입 • 자중 118t, 연결면간거리 12,000mm, 높이 4,400mm, 주후크 200t, 보조후크 45t • 경주차량사업소 	
<ul style="list-style-type: none"> • 1999 독일 GOTTWALD사에서 도입 • 자중 140t, 연결면간거리 12,000mm, 높이 4,400mm, 주후크 200t, 보조후크 45t • 김천, 마산차량사업소 	
<ul style="list-style-type: none"> • 2004 독일 GOTTWALD사에서 도입 • KTX 용으로 사용 • 기중기의 작업반경이 좁아 방음벽, 터널, 전차선하부에서 작업 가능 • 대전차량사업소 	

<그림 64> 한국철도공사의 사고복구용 주요 기중기 사양(국토교통진흥원 기획보고서 발췌)

카. ICT를 이용한 무임승차 방지기술 개발 동향

- 무임승차를 통한 요금회피는 대중교통 이용정책을 장려하기 위한 법령과 규정에 반하는 행위로, 전 세계 대중교통 유관기관 및 운영기관의 주요관심 사항 중 하나지만 실질적 해결 솔루션 개발은 부재. 특히 국내에서 대중교통 운영기관의 운영 효율화의 일환으로 역사운영 및 관리인력 축소를 통한 무인화 정책이 오히려 무임승차 기회를 제공하는 역효과를 가져오고 있는 실정.
- 무임승차에 대한 도시철도의 심각한 적자현황은 버스, 고속철도 등도 유사한 상황이라 판단되며, 향후 트램을 도입할 지자체의 재정 여건 역시 크게 건전하지 못할 것임을 가정한다면 무임승차는 반드시 예방해야 할 주요 이슈사항임
- 국내에는 아직 ICT를 활용한 무임승차 검지 및 경고 관련 기술은 없음. 다만 단속요원의 현장적발과 더불어 개찰구에 설치된 CCTV 녹화화면을 분석해 부정승차자를 적발하고 있는 실정임.
- 국내 CCTV 이용 상시적발 제도 운영
 - 지하철 무임승차 예방을 위해 지하철 보안요원을 활용한 단속이 일반적으로 시행되고 있고, 해외와 마찬가지로 단속 과정 중 승객과의 마찰과 다툼으로 잦은 민원이 발생되어 효율성의 문제가 대두.
 - 다만 현장 적발과 더불어 개찰구에 설치된 CCTV 녹화화면을 분석해 부정승차자를 적발하고 있으며, 분석결과 상습 부정 승차자의 경우 주로 역무실에서 떨어진 게이트를 이용하고 있으며, CCTV를 관독해 반복적으로 부정승차를 하는 사람에게는 역무원을 대기시켜 현장에서 적발과 더불어 벌금을 부과.
 - 서울도시철도공사는 게이트 CCTV관독에 의해 시간대, 유형별 부정승차 형태를 분석 체계적 단속을 실시하여 적발건수 38% 증가
- 국내 무임승차 단속 법적 근거
 - 현재 무임승차 단속에 관한 법적 근거는 도시철도법 제3조(정의)에서 트램(노면전차)를 도시철도로 정의하고 있으며, 철도사업법 제10조(부가운임의 징수)에서 부정한 승차를 한 경우 운임 외 30배의 범위에서 부가운임을 징수할 수 있도록 규정

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - 도시철도법 제3조(정의) : “도시철도”란 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설, 운영하는 철도, 모노레일, 노면전차, 선형유도 전동기, 자기부상열차 등 궤도에 의한 교통시설 및 교통수단을 말한다. - 철도사업법 제10조(부가운임의 징수) : 철도사업자는 열차를 이용하는 여객이 정당한 승차권을 지니지 아니하고 열차를 이용한 경우에는 승차구간에 해당하는 운임외에 그의 30배의 범위에서 부가운임을 징수할 수 있다. |
|--|

- 해외 트램은 개방형 정거장과 차량내 자율검표에 의해 운영되며 이로 인해 무임승차율은 지하철의 2배~5배에 해당
 - (호주 멜버른 트램) 무임승차자가 20%이상, 2012년까지 무임승차 손실액 17조원



- (스페인 바로셀로나 트램) 무임승차자가 10%이상으로 추정



- (미국 뉴욕 지하철) 무임승차자비율이 1989년 3.9%에서 단속강화에 의해 1994년 2.7%로 하락

- 일본은 지하철 무임승차방지를 위해 ICT를 활용하여 얼굴인식시스템을 운영
 - 개찰구 앞에 설치된 카메라를 이용하여 얼굴을 인식한 후 이전 데이터와 대조하여 상습범인 경우 개찰구를 통과할 때 경고음으로 경보.
 - 계측 제어기 제조업체인 일본 오프론이 자체개발한 시스템 'OKAO Vision'을 응용한 시스템임. 시간대별 지하철 이용자의 연령과 성별 분석 가능



<그림 65> 일본 얼굴인식시스템의 동작원리

※출처 : <http://spygearwholesale.com/okao-vision-recognise-5-million-faces-in-1-sec-diginfo/>

- 미국 콜로라도 경전철의 경우, 무임승객과의 다툼 및 법정문제로 1차 적발시 사진촬영으로 데이터 확보 및 추후 재발시 벌금 부과
 - 콜로라도 지역교통국 RTD(Regional Transportation District)에서는 경전철의 무임승차 단속을 위해 무임승객의 신원과 재범여부를 현장에서 확인할 수 있는 EDA(Enterprise Digital Assistant)라는 현장장비 운영
 - 기존 보안요원들이 직접 무임승차자를 적발하여 RTD 사무실과 무전 연락을 통해 무임승객의 신원과 재범 여부를 확인하는 과정에서 무임승객과의 다툼이 발생하여 재판으로 연결된 사례가 빈번히 발생하는 문제점을 개선하기 위한 시스템임.
 - 2011년부터 첫 번째 위반시 벌금 부과 대신 사진을 찍어 시스템에 DB화하고 있으며, 이 때 EDA라 불리는 손바닥 크기의 모토롤라 장비를 활용. 두 번째 단속되었을 경우 50달러의 벌금을 내고, 3번째 위반자는 100달러의 벌금과 2급 경범죄로 처벌.



<그림 66> 콜로라도 RTD의 무임승차단속시스템(EDA) 단말기

- 트램에 무임승차방지기술(무임승차자 발생정보 생성 및 관제 또는 단속요원 정보 공유체계)을 적용하였을 경우, 경제성분석결과 타당성이 있는 것으로 산출
 - 창원시 트램노선 계획에 예타지침의 철도사업 평가기준을 적용할 때 무임승차 예방과 단속에 따른 수익증대를 요구되는 시스템 도입 및 운영비용 등과 비교할 때 편익비용비율(B/C)은 4.23, 순현재가치(NPV)는 460,856만원, 내부수익률(IRR)은 140.52%로 경제적 타당성이 있음을 확인

강건한 추적모델과 태깅행위 감지모델 개발 또는 이중센서를 활용한 복합감지기술 활용 필요



<그림 67> 트램 무임승차방지시스템(안) 및 효과분석

타. 트램 운영·안전 법제도

□ 법령 및 하위지침

- 무가선트램은 국내에 최초로 도입되는 시스템인 관계로 이의 상용화(상업적 운영)를 지원하기 위한 법제적/행정적 기반 구축 및 실증연구는 미흡한 실정임
 - 트램 상용화를 지원한 법제 및 체계 구축, 매뉴얼 및 시스템 구축의 경우 각국의 트램 운행과 관련한 환경 구축, 상황에 맞추어 개발되어 있으나, 이러한 기술 개발 결과물은 국내 적용시 참고자료로 활용할 수 있을 뿐 그 대로 적용하기에는 한계가 있음
- 트램을 국내에서 도입하기 위해서는 도시철도법, 철도안전법, 도로교통법의 주요 3법 및 하위 지침 등에 대한 제·개정이 필요한 바 무가선트램 실용화 연구에서는 이들 법률 및 시행령, 시행규칙 개정안 및 노면전차의 건설 및 운전 에 관한 규칙(국토부) 제정안을 개발하였으며, 교통신호기 설치관리 매뉴얼, 교통안전표지 설치관리 매뉴얼, 교통노면표시 설치관리 매뉴얼, 교통신호 제어기 표준규격서 개정(안)을 마련하였음

법령명	주요내용	제/개정 범위
도시 철도법	<ul style="list-style-type: none"> • 노면전차 전용로 설치 • 노면전차 시설·안전에 대한 기준 	<ul style="list-style-type: none"> • 도시철도법령 및 하위 기준/규격 개정 • '노면전차 시설, 운행 및 안전에 관한 규칙(가칭)' 제정
철도 안전법	<ul style="list-style-type: none"> • 노면전차 운전자 교육, 운전면허시험 등 운전자 관리 • 철도보호지구에서의 행위제한에 대한 면제 • 노면전차 사고보고 	<ul style="list-style-type: none"> • 철도안전법령 및 하위 기준/규격 개정
도로 교통법	<ul style="list-style-type: none"> • 노면전차 정의 및 전용로 • 노면전차 신호 및 교통안전표지 • 노면전차 운행방법 • 다른 도로이용자와의 관계 • 노면전차 운전자의 권리 및 의무 	<ul style="list-style-type: none"> • 도로교통법령 • 교통신호기 설치관리 매뉴얼, 교통안전표지 설치관리 매뉴얼, 노면표시 설치관리 매뉴얼 개정 • 교통신호제어기 규격 개정 (노면전차 우선신호 적용시)

- 이러한 연구개발물을 토대로 2017년 1월 말 현재 도시철도법, 철도안전법의 운전자 관리부문에 대한 법률 개정이 완료되었고, '노면전차 건설 및 운영 규칙' 제정(안)을 비롯한 하위 시행령, 시행규칙 제·개정이 진행되고 있음
- 관련 법령에 대한 제·개정이 완료된 이후 트램 관련 신호기, 교통안전표지, 노면표시 매뉴얼, 트램 우선신호 적용을 위한 교통신호제어기 규격서 개정 등이 이루어질 예정임
- 그러나, 이러한 주요 3법의 개정만으로는 트램의 상용화에 이르기에는 어려움이 있는 바 후속적인 법령 개정과 제도 개선이 이루어져야 함
 - 다른 철도와 다른 트램 안전승인체계 구축, 종합시험 운행과 관련한 철도안전법령 개정 및 제도 개선, 트램 사고 처리 및 손해배상 관련 자동차손해배상보장법, 교통사고처리특례법 등 관련 법령 개정과 관련한 연구 등이 필요함
- 투자평가지침
 - 트램 도입과 관련한 투자평가체계 개선과 관련한 연구 및 개발 현황은 다음과 같음

구 분	내 용
엄진기 외 3명 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • 바이모달트램의 도입검토를 위해 인구규모를 기준으로 4단계로 구분하고, 트램 수송분담률을 시나리오로 설정하여 교통수요예측 및 경제성 분석 시행 • 바이모달트램의 적정도입지역을 연장 10km이상, 수단분담율 7.5% 이상, 35,000명/15km의 일일 수요가 발생하는 지역으로 제시함.
안정화· 김훈 (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 트램도입 관련 여건을 분석하여 시사점을 도출하고, 트램도입 관련 제도 정비방안을 제시 • 트램사업의 운영비와 교통수요분석 등 경제성 분석 측면과 법/제도 측면의 개선방안을 제시
안정화 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • 트램사업 투자평가시 교통수요추정, 편익산정, 비용산정의 문제점을 제시하고, 프랑스 사례를 통해 트램사업 투자평가방법론의 개선방안을 제시
이상국 외 2명 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • 부산광역시의 철도교통 현황과 장래 경전철 계획 추진의 실효성을 검토하고, 노면전차 도입노선의 최적노선과 경제성을 분석 • 노면전차 도입시 도로교통과의 상충문제, 안전성 확보, 우선신호 도입 등의 문제점을 제시하고 개선방안을 마련
김재영 외 3명 (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 트램 법령체계, 운영사례, 트램 사업 동향 및 평가방법론을 검토하여 신교통수단의 사업 평가방법 개선방안을 마련

- 최근 신교통수단 도입을 통한 도시교통체계 개편 및 기존교통수단과의 연계성 향상 등을 이점으로 트램 도입에 대한 필요성 제기
- 1960년 서울시 노면전차 폐지이후 트램운영사례가 전무하여 투자평가를 위한 기초자료, 운영방안 등의 자료가 부재한 상황이며, 이러한 상황을 고려하여 트램 사업의 평가방법론, 운영상 문제점에 따른 개선방안 등의 연구가 지속되고 있는 상황
- 현재의 투자평가체계가 도로 중심으로 되어 있어 트램을 비롯한 도시철도사업의 경우 상대적인 불이익을 받고 있으며, 트램의 경제성 평가에 부정적인 영향을 미치고 있음
 - 우선 현재의 투자평가체계, 예비타당성조사지침 등이 제도적 측면에서 적합한지에 대한 검토와 전체적인 체계 개선방안 마련이 필요함
 - 편익의 측면에서는 다른 철도 또는 도시철도와 다른 환경적 측면의 편익, 접근성 편익, 도시재생 관련 편익 등이 추가로 개발될 필요가 있음
 - 비용의 측면에서 트램에 관한 기준 모델이 개발되어 있지 않아 도시철도의 관련 항목을 원용하고 있는데, 이는 편익은 줄이고 비용은 늘리게 되어 트램에 적합하지 않음. 트램의 건설, 운영방식에 적합한 표준 비용 모델 마련이 필요함
- 한편, 트램을 운영하는데 있어서 필요한 일부 기술(예를 들면 운영 및 유지보

수 매뉴얼 개발)의 경우 상용화에 있어서 필요한 기술임을 인지하고 있었으나 각 분야에서 개발 중인 기술이 모두 개발된 이후에야 적용될 수 있는 통합적 기술인 경우도 있어 개발을 유예한 경우도 있었는데 상용화 단계에서는 다음과 같은 연구개발도 진행되어야 함

- 트램의 표준 운영모델 및 기준 개발
- 트램 운영유지보수 매뉴얼 정립 항목(운전, 역무, 안전, 관제분야 운영매뉴얼 등), 운영에 필요한 시스템 점검항목(전력, 기계, 정보통신, 관제시스템 등), 트램 유지보수 항목(궤도, 전기설비, 대장 및 도면정비, 신호설비, 주기별 차량점검, 기계설비 등) 등 운영 및 유지보수 매뉴얼
- 트램의 운영 및 유지보수 기준, 매뉴얼 등을 지원하기 위한 지원 시스템 개발

○ 트램사업에 대한 합리적 투자평가를 위해 많은 연구가 진행 중

- 국내에서는 철도기술연구원(2010)에서 트램을 포함한 신교통시스템의 비용 및 편익산정방법에 대한 기초연구를 시작으로, 한국교통연구원(2012)에서 국외 트램도입국가 사례조사와 트램특성을 고려한 운영비, 유지보수비, 그리고 편익항목에 대한 산출방안을 법제도적 측면에서 제시함. 또한, 도로교통공단(2015년)에서 국내·외 트램사업 사례분석(성공 및 실패 요인 검토)과 수요분석 방법(수단분담모형 도출)의 정밀도 제고를 위한 연구가 진행되었으며, 2017년 현재 한국개발연구원에서는 트램투자평가 개선을 위한 편익항목 발굴을 위한 기초연구를 수행하고 있음.
- 국외의 경우 각 국가별 고유의 평가체계를 가지고 있으며 교통수단별 별도의 평가체계를 구축하여 사용하고 있는 나라는 없는 것으로 파악됨. 대부분 BCR(Benefit Cost Ratio)을 이용하여 투자평가가 이루어지며, 일부 국가에서는 MCA(Multi-Criteria Analysis)를 활용하기도 하나, BCR을 최소요구사항으로 하여 환경성과 사회성을 종합적으로 평가. 즉, 해외¹⁾에서 수행된 Tramway 평가보고서를 살펴보면, 사업의 추진여부는 Scottish Transport Appraisal Guidance (STAG)에 따라 환경성(Environment), 안전성(Safety), 경제성(Economy), 통합성(Integration), 그리고 접근성과 사회적 통합성(Accessibility and Social inclusion) 등 5가지 항목²⁾으로 구성. 특히, 경제성 평가를 위해 수행되는 수요분석에서는 경로 및 수단 전환수요, 유발수요, 그리고 기·중점 전환수요 등을 고려하며, 경제성 평가를 위한 편익항목은 금전적 통행비용의 변화, 통행시간절감, 통행시간신뢰성 향상(운송업 종사자들에게는 매우 중요한 항목), 그리고 통행의 질 향상 등을 복합적으로 고려하도록 규정하고 있으며, 추가적으로 광범위한 경제적 편익(WEBS, Wider Economic Benefits)을 필요 시 반영하도록 권고

1) Edinburgh Tram Extension, 2015

2) 각각의 항목은 다시 세부항목으로 이루어지며, 각 세부항목에 대한 분석을 토대로 종합평가표(AST, Appraisal Summary Table)를 이용하여 의사결정이 이루어짐.

- 다른 국가의 경우도 이와 유사하며, 결국 해외에서는 국가 고유의 투자평가 논리를 개발하여, 이를 통해 투자평가체계를 구축하여 의사결정의 합리성을 도모

파. 트램 운영유지보수 기술 동향

□ 해외 운영기술 동향

- 해외의 트램은 대부분 가선을 이용한 트롤리방식의 트램시스템이며, 각 국가 별로 법제도 및 사업자, 운영조직 등 제도적 또는 운영기관의 형태 등에 따라 운영방식이 상이함
- 또한, 전용도로나 전용차로, 혼용도로 등 다양한 형태로 운영되고 있음
- 배터리와 같은 무접촉 급전 기술의 발달로 무가선티램(배터리, 제3궤도, 슈퍼캡 등) 등 도입 시스템에 따라 해당노선에서는 기존 가선방식과는 다른 운영 방식이 적용되기도 함
- 기본적으로 유인운전 방식으로 운영하되, 철도신호와 도로교통연계신호와 같은 최신 기술의 도입에 따라 다소 차이가 있음
- Package type의 유지보수 지원시스템의 개발로 효율화에 기인함
- 결론적으로 유형 분석 및 적용모델 발굴 등 운영기술에 대한 선진사례를 연구하여야 할 필요성이 있음

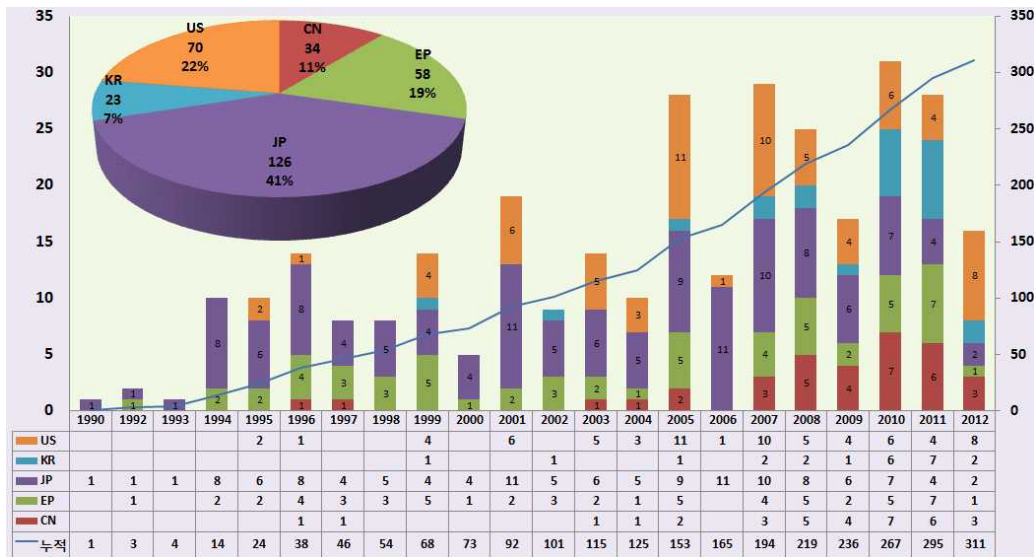
□ 국내 도시철도(경전철) 운영기술 동향

- 철도안전법, 도시철도법 등 관계 법령 및 각종지침 등 제도적 근거아래 도시 철도를 운영하고 있으나, 현재까지 국내는 트램을 도입하고 운영한 사례가 없음
- 대부분의 광역지자체에서 시행되고 있는 국내 도시철도는 지자체 출자 공기업 설립을 통한 유지보수 일괄 시행 형태로 단순업무를 제외한 대부분의 업무를 설립된 기업에서 직접 운영을 시행하고 있고 다음으로 기초자치단체에서 시행하고 있는 형태로서, 기초자치단체의 도시철도는 대부분 민간제안사업으로 진행되었고, 운영 또한 민간사업자(특수목적법인, SPC)가 협약된 기간 동안 시행하는 형태가 있음
- 무가선 트램은 독립된 철도선로만을 사용하는 기존 도시철도와는 달리 도로 위에서 운영되는 형태로 전용도로, 전용차로, 혼용도로에 따라 다른 운영기술이 요구됨
- 기술적 측면에서도 도로교통연계신호 신호, 전력공급방식 등 기존 도시철도와 다른 측면에서 적용된 사례가 없음
- 따라서, 국내도입시 선진 운영사례를 벤치마킹하여 한국형 운영기술에 대한 연구가 필요함

2. 특허동향 분석

□ 무가선 트램차량 기술

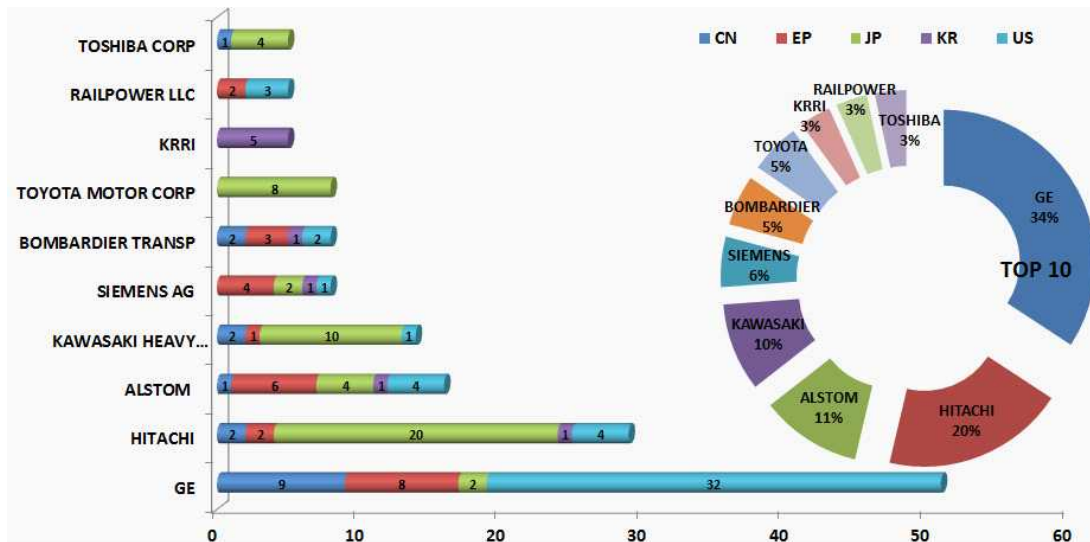
- 무가선 트램 기술의 전체적인 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 311건의 특허가 출원되고 있으며, 2000년대 중반부터 국가별 年 평균 3~6건 이상의 특허가 꾸준히 출원되고 있음
- 기술분류에 따른 유효특허를 살펴본 결과 국가별 출원현황을 보면 일본이 126건(41%)로 최다 출원국이며, 미국, 유럽, 중국, 한국의 순서로 출원이 이루어지고 있음
- 최다 출원국인 일본은 2006년 11건을 정점으로 특허출원이 다소 정체상태에 있는 반면, 중국은 전체 특허의 80%이상을 2007년 이후에 출원하고 있어 최근 기술 상승세가 매우 높게 나타나고 있음
- 우리나라는 출원 건수가 다소 낮은 수준이지만, 최근 들어 특허가 지속적으로 출원되고 있어 관련 분야 관심이 증가하고 있다고 판단할 수 있음



<그림 68> 출원년도 및 국가별 출원추이

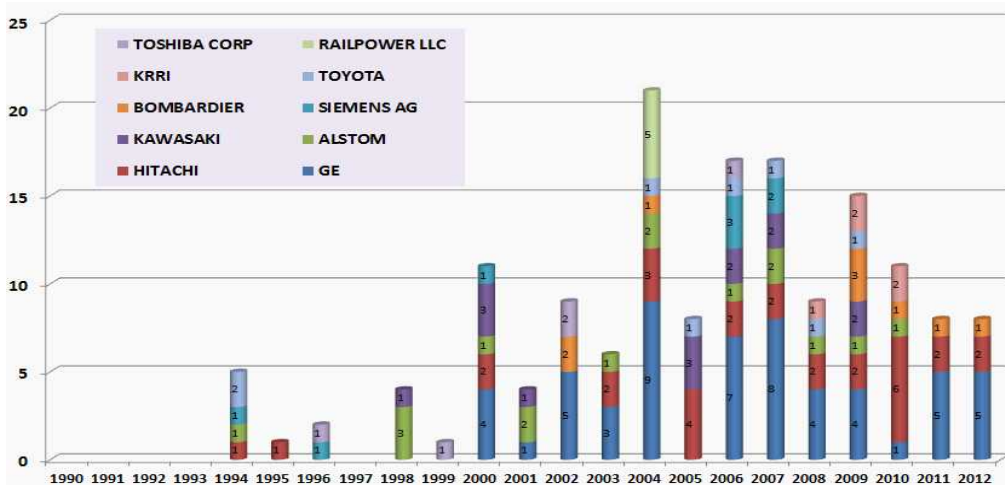
- 특히 차상용 에너지 저장장치 시스템(B기술) 분야가 특허 출원건수가 가장 많으며, 최근에도 他 기술 대비 높은 수준의 특허 출원건수를 유지하고 있음
- 주요 출원인을 분석해 보면 무가선 트램 기술 분야 전반에 걸쳐 많은 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, 美 GE, 日 HITACHI 및 KAWASAKI, 獨 SIEMENS, 佛 Alstom 등의 회사들이 출원을 많이 하고 있음
- 특허 출원 성향을 보면 미국, 프랑스, 독일 회사들은 자국뿐 아니라 유럽, 중국, 일본 등에 다양하게 출원하고 있으나, 일본 회사들은 대부분 자국을 중심

으로 특허를 출원함.



<그림 69> 주요 출원국 및 출원기관 동향

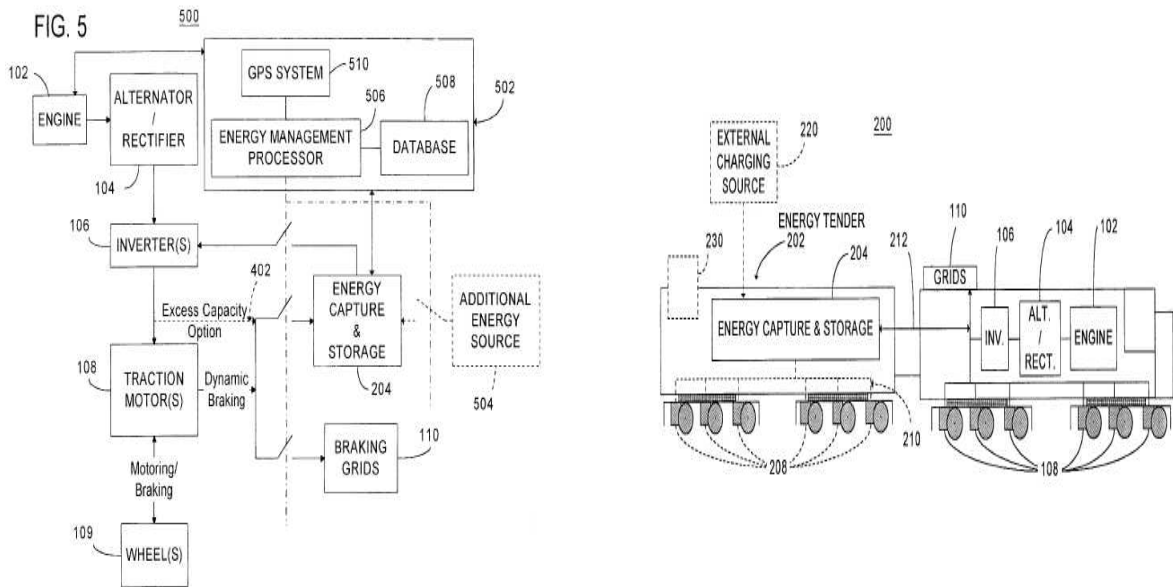
- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면, 가장 많은 출원을 하고 있는 GE와 HITACHI는 2000년 초반부터 꾸준하게 특허를 출원하고 있는 반면, SIEMENS 등은 2000년대 중반 이후 특허출원이 주춤하고 있는 상황임



<그림 70> 연도별 주요 출원인 동향

- 차상용 에너지 저장장치 시스템 분야에 대한 GE사의 미국 등록 특허 “Hybrid energy power management system and method”, US6615118B2건의 피인용 건수가 82건으로 가장 많고, 다음으로 HITACHI사의 하이브리드 철도 차량의 엔진과 에너지 저장장치의 제어 장치에 관련된 일본특허 “ROLLING STOCK”의 피인용건수가 많음
- 핵심특허 심층분석

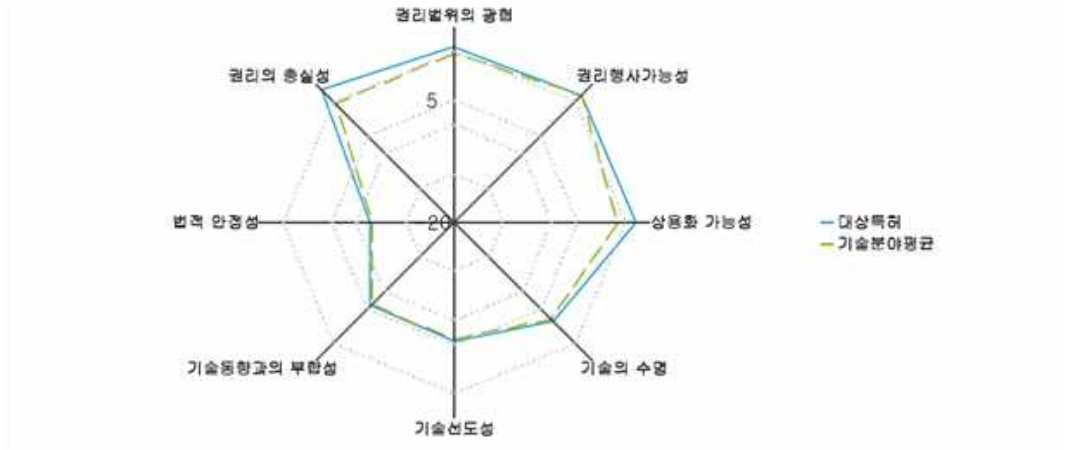
- 피인용수가 가장 많은 GE사의 미국 등록특허 US6615118B2건은 기차의 전기 에너지 저장과 전송을 관리하는 하이브리드 에너지 시스템에 관한 특허임
- 2001년 12월 26일 출원 후 2003년 9월 2일 등록 되어 있으며 패밀리 특허 수 46개로 향후 연구 분야 설정 또는 침해대상특허 조사 등에 있어서 미국 특허를 면밀히 검토하는 것이 필요함.



<그림 71> 핵심특허 도면

- 특허청 발명진흥회의 특허분석 평가시스템(SMART3)를 활용하여, 미국 등록 특허 US6615118B2에 대해 상세분석한 결과, 종합평가점수가 82.6 점으로 AAA로 평가되었음
- 전체 미국 등록특허 기계분야 中 상위 0.7%에 위치하는 우수특허임. 특히 명세서가 우수하게 작성되어 있으며, 청구항 수가 41개로 많아 다양한 기술적 관점을 권리화하였음.
- 미국 內 패밀리특허가 43건, 미국 外의 해외 패밀리특허가 35건으로 시장확보력도 높게 평가됨
- 권리성 31.7점, 기술성 17.0점, 활용성 33.9점으로 기계분야 평균인 권리성 24.7점, 기술성 15.3점, 활용성 29.8점에 비하여 모두 높게 평가되었으며 활용성은 33.9점으로 특히 높게 평가되었으며, 기술성이 17.0점으로 상대적으로 낮게 평가됨

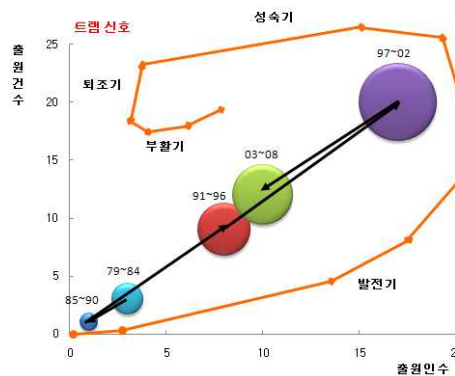
평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)		
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차
권리성 (40점)	31.7	AAA	1.2	24.7	2.7	1.0	24.7	2.6	0.9	24.7	2.5
기술성 (20점)	17	AA	4.4	15.3	0.9	4.1	15.3	0.9	4.1	15.3	0.9
활용성 (40점)	33.9	AAA	1.4	29.8	1.4	1.2	29.8	1.4	0.8	29.8	1.3
총점 (100점)	82.6	AAA	0.7	69.8	4.0	0.5	69.7	3.8	0.5	69.5	3.6



* 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치

<그림 72> 핵심특허(US6615118B2) 평가결과

- 무가선 저상트램과 관련하여 지능형센서 사고예방기술과 관련한 사고방지, 차량검지, 우선신호 알고리즘, 도로교통신호와의 연동 등
- 트램신호 기술에 대한 시장 성숙도 수준을 분석한 결과, 트램신호 기술은 성숙기를 지나 퇴조기에 진입하고 있는 것으로 판단됨



- 국내의 삼성전자는 복수의 이미지에 포함된 움직이는 객체에 대한 정보를 입력하여 회귀 트리(regression tree)를 생성하는 단계, 새로운 이미지가 입력되면, 상기 입력된 새로운 이미지에 포함된 움직이는 객체의 정보를 상기 회귀 트리에 입력하는 단계, 상기 회귀 트리의 결과값을 기초로 상기 새로운 이미지에 포함된 사람의 숫자를 판단하는 단계를 포함하는 카운팅 방법 및 장치에 관한 특허 출원(삼성전자, 등록번호 10-0033800)
- 일본의 기켄트라스템 주식회사는 1976년 세계에서 처음으로 '자동 인원수 계측(피플카운팅)' 시스템을 개발, 공급한 회사로 일본 및 미국, 중국 등에서 특허를 받은 '인체형상 인식기술'을 통해 다수의 인원으로 혼잡한 출입구 및 통로에서도 사람의 움직임을 한명 한명 정확히 카운팅할 수 있음

3. 논문동향 분석

□ 트램 안전관리 전략 개발 및 체계 구축

- 트램 도입에 따른 법/제도적 문제점과 투자의사결정방법의 한계 등 사업추진을 위한 개선방안 제시
 - 최근 신교통수단 도입을 통한 도시교통체계 개편 및 기존교통수단과의 연계성 향상 등을 이점으로 트램 도입에 대한 필요성 제기
 - 1960년 서울시 노면전차 폐지이후 트램운영사례가 전무하여 투자평가를 위한 기초자료, 운영방안 등의 자료가 부재한 상황
 - 이러한 상황을 고려하여 트램 사업의 평가방법론, 운영상 문제점에 따른 개선방안 등의 연구가 지속되고 있는 상황

구분	내용
엄진기 외 3명 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • 바이모달트램의 도입검토를 위해 인구규모를 기준으로 4단계로 구분하고, 트램 수송분담률을 시나리오로 설정하여 교통수요예측 및 경제성 분석 시행 • 바이모달트램의 적정도입지역을 연장 10km이상, 수단분담율 7.5% 이상, 35,000명/15km의 일일 수요가 발생하는 지역으로 제시함.
안정화· 김훈 (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 트램도입 관련 여건을 분석하여 시사점을 도출하고, 트램도입 관련제도 정비방안을 제시 • 트램사업의 운영비와 교통수요분석 등 경제성 분석 측면과 법/제도 측면의 개선방안을 제시
안정화 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • 트램사업 투자평가시 교통수요추정, 편익산정, 비용산정의 문제점을 제시하고, 프랑스 사례를 통해 트램사업 투자평가방법론의 개선방안을 제시
이상국 외 2명 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • 부산광역시의 철도교통 현황과 장래 경전철 계획 추진의 실효성을 검토하고, 노면전차 도입노선의 최적노선과 경제성을 분석 • 노면전차 도입시 도로교통과의 상충문제, 안전성 확보, 우선신호 도입 등의 문제점을 제시하고 개선방안을 마련
김재영 외 3명 (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 트램 법령체계, 운영사례, 트램 사업 동향 및 평가방법론을 검토하여 신교통수단의 사업 평가방법 개선방안을 마련

- 트램이 적용받을 것이라 예측하는 철도종합시험 운행 및 철도안전관리체계 승인/검사체계 관련한 논문 동향은 다음과 같음

구분	제목	저자	연월
철도 안전 관리 체계	철도안전관리체계 비교 연구	정병헌 문대섭	2003.10
	철도안전법에 근거한 철도안전관리 개선방안	손명선	2005.10
	국내 철도 안전관리체계 개선을 위한 국내외 비교 연구	강철 김사길 변승남	2007.5
	철도차량 안전관리체계에 대한 연구	이관섭	2007.11
	안전관리규정과 철도종합안전심사결과분석을 통한 국내 철도안전관리체계 개선에 관한 연구	오인택 팽정광 장성용	2008.6
	철도안전기술개발사업의 추진과 안전관리체계(SMS) 구축 방안	김상암 조연옥	2009.12
	SMS(안전관리체계)에 대한 국내 철도 안전관리자 교육훈련 요구 분석	김정호 김상암 변승남	2009.5
	철도안전관리체계에 대한 교육훈련 요구분석에 관한 연구	김정호 변승남	2009.12
	안전관리체계(SMS)기반의 철도종합안전심사 방안에 관한 연구	이지웅 이종석 박홍규 김만웅	2010.10
	국내 철도안전관리 체계화를 위한 안전승인제도 구축 방안	정일영	2013.12
	철도종합안전심사 결과분석을 통한 철도차량 관리체	송보영 최양규	2014.5

	계 개선	업득종	
	철도안전관리 수준 진단을 위한 평가분야 및 항목설정	임광균 업득종 김선미	2014.10
	철도안전관리 수준진단을 위한 평가 모형 개발	임광균 허남규 업득종	2015.5
철도 종합 시험 운영	철도시스템의 종합시험운행을 통한 철도안전 확보방안	김영우 이희성	2007.2
	인천공항 시범노선 자기부상열차 종합시험운영계획	김봉섭 박정웅 한형석 조귀곤 안효권	2012.5
	도시형자기부상열차 철도종합시험운행을 위한 신호 시험항목 연구	김유호 김진철 이부현 최경선 안효권 이수환	2012.5
	무가선 저상트램을 위한 신호 점검항목 연구	김유호 이수환 이부현 임무열 최경선 황현철	2013.11
	철도종합시험운영 결과검토 도입에 따른 철도노선 안정성 강화에 대한 연구	윤경철 엄범규 허남규 이용상 황현철 김유호	2014.10
	한국형 트램 시험평가를 위한 법규분석	이수환 임무열 박혜란	2014.10
	철도종합시험운영 결과검토 제도의 효율적 추진방안에 대한 연구	엄범규 이화섭 김재학 박홍규 송병호	2015.10
	철도종합시험운영 제도의 추진체계 개선방향 연구	윤경철 이용상	2015.10

제4절 기술수요 및 기술수준분석

1. 기술수요 도출

- 기술수요 도출은 무가선 저장트랩 실증을 위해 기술개발이 필요한 기술 아이
템 도출을 목적으로 함.
 - 트랩개발 참여연구원을 대상으로 기술개발이 필요한 기술아이템을 도출하고
기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발 과제간의 효율적인 자원배분 방안
을 마련
 - 무가선 저장트랩 실증의 기술분류를 제시하고 기술분체계별로 연구개발 기
술을 제안하고 우선순위 도출

- 기술수요 결과
 - 트랩개발 참여연구원을 대상으로 기술수요의 우선순위 우선 결정
 - 기술타당성 위원회 검토결과와 지자체 연계 실증노선 건설 방식을 반영하여
우선순위가 높은 기술수요에 대해 상세기획 추진

<표 21> 무가선 저장트랩 실증 기술 분류 (상: ○, 중: △, 하: ×)

대분류	중분류	소분류	기술수요	우선순위
무가선 트랩시스 템 기술	차량시스템	형식승인 차량설계	· 형식승인 차량설계	○
			· 완전 무가선용 전장품 구조 설계	○
			· 형식승인대상 기술을 반영 한 노면전차 차량기술기준 개정(안) 마련	○
		형식승인 차량제작	· 형식승인 차량제작	○
			· 완전 무가선을 위한 차상집 전장치 개발	○
			· 배터리시스템 I/F 및 관리	○
		추진 배터리시스템 개 발	· 고용량 지붕탑재형 배터리 설계	○
			· 외부환경 IP등급 확보 기술 개발	○
			· 고온 및 저온 외부환경 극 복 배터리 관리 기술 개발	○
		차량충돌 안전기술	차량충돌 안전기술	· 교통사고 충돌 피해저감 차 체 기술 개발
· 교통사고 차량 능동 회피 기술 개발	△			

			· 보행자 지향형 경보기술 개발	△
궤도시스템	실증노선 설계		· 차량성능, 주변여건을 고려한 실증노선 설계	○
			· 신호, 차량, 전기분야 설계 I/F 및 총괄 설계 관리	○
	실증궤도/노반 설계기준 및 시방서		· 실증궤도/노반 설계기준 및 시방서	○
	실증노선 구축		· 실증노선 구축 · 신호, 차량, 전기분야 설계 I/F 및 총괄 구축 관리	○ ○
신호시스템	실증노선 신호설계		· 운영시나리오기반 실증노선 신호설계	○
			· 다중편성 복선운영 신호설계	○
	실증노선 신호구축		· 실증노선 신호구축 및 개선	○
	실증노선 신호 시험평가		· 운영시나리오기반 다중편성 복선 신호 시험평가	○
	안전성 입증		· 분기제어시스템 안전성 입증	○
전기시스템	급속충전 지상충전장치		· 급속충전 지상충전장치 · 급속충전 차상인터페이스 개발	○ ○
	변전설비		· AC/DC 모듈형 급속 충전 설비 개발	△
차고지 및 관제	트랩 배차·스케줄관리, 트랩차량·노선관리		· 트랩 배차·스케줄관리, 트랩차량·노선관리	○
	트랩차량 배터리 관리		· 트랩차량 배터리 관리	○
실증노선 성능 시험 및 평가	무가선티랩 시범운영을 위한 RAMS 보증체계 연구		· 무가선티랩 시범운영을 위한 RAMS 보증체계	×
	노선별 용량선정, 예비편성산정 최적화		· 노선별 용량선정, 예비편성산정 최적화	○
	시험선 완성차 주행성능 평가		· 시험선 완성차 주행성능 평가	○
	시험선 총방전 검증 및 평가		· 시험선 총방전 검증 및 평가	○
	시험선 궤도 인터페이스 평가		· 시험선 궤도 인터페이스 평가	○
승강장	관제 승강장 승객 감시		· 관제 승강장 승객 감시	×
	차량 승강장 승객 감시 및 차량제어		· 차량 승강장 승객 감시 및 차량 능동회피제어	△
	승강장 비상연락장치		· 승강장 비상연락장치	×

무가선 트램 운영 및 유지보수 기술	운영·유지보 수 기술	트램 표준운영모델	· 트램 표준운영모델	○
		정상 운영시나리오	· 정상 운영시나리오	○
		운영·안전관리·유지 보수 매뉴얼	· 운영·안전관리·유지보수 매뉴얼	○
		트램 운영 및 유지보 수 지원 시스템 개발	· 트램 운영 및 유지보수 지 원 시스템 개발	○
		실증노선 운영계획 수 립	· 실증노선 운영계획 수립	○
		트램 요금징수체계	· 트램 요금징수체계 · 무임승차방지 기술개발	× ○
	장애 및 사고 처리 기술	사고 차량 신속복구 기술	· 사고 차량 신속복구 기술	○
		장애설비 신속복구 기 술	· 장애설비 신속복구 기술	×
		운행장애시 운영시나 리오	· 운행장애시 운영시나리오	○
트램 운영·안 전 법제도	도시철도법	트램 건설 운영	· 트램 건설 운영 규칙 개정 안	○
		트램 정거장 및 환승	· 트램 정거장 및 환승 등 지 침 제정안	○
		트램 시설 설계	· 트램 시설 설계 기준 제정 안	○
	철도안전법	안전관리체계	· 안전관리체계 개정안	○
		형식승인제도	· 노면전차 차량기술기준 개 정안	○
		트램 운전면허 체계	· 트램 운전면허 관련 지침 · 교육 프로그램, 운전면허시 험 항목/평가기준 개발	○
	기타법규	교통사고 처리 법제도	· 교통사고 처리 법제도 개정 안	○
		트램 예비타당성관련 제도	· 트램 예비타당성관련 제도 개정안	○

2. 기술수준 분석

- 자체 기술수요조사에 의해 도출된 기술들에 대해 기술동향, 시장동향을 분석하여 기술별 필요성, 기술수준, 기술목표를 제시한다.

가. 형식승인(EN규정 포함)에 의한 완전 무가선 트램 차량 제작 기술

- 필요성 또는 근거

- 現 시제차량은 철도안전법 차량형식승인제도(2016년) 이전에 개발된 차량(2012년)으로 국내 제작 및 운영 선례가 없는 첫 시제차량으로 자체적인 검증만이 완료된 상태임.
- 최근 차량형식승인제도 법제화 및 지자체 사업추진 가속화에 따라 형식승인에 따른 차량발주·제작을 통해 부품업체의 실적확보와 함께 외산 대비 국내시장 보호 및 외국진출을 활성화 필요
 - 現 시제차량은 배터리를 제외하고 외국 대비 약 60~70% 기술수준으로 형식승인에 의해 100%의 기술수준 달성으로 외국사 대비 경쟁력 확보 필요
 - 터키수출품은 별도 기술기준이 없었으며, 전장품 전부 및 핵심 부품이 외국제품임
 - 또한 형식승인을 진행하여야만 미처 발견하지 못한 설계 및 제작상의 문제점이 돌출되고 해소되어 쌓인 노하우와 실적을 바탕으로 국내 진입하려는 외국사와 경쟁 가능
 - 철도안전법에 의거하여 형식승인 완료할 경우 트램 도입 희망 지자체에 안전성과 성능에 대한 신뢰를 주어 국산품 도입에 대한 긍정적인 요소로 작용 하며 표준모델로 제시
 - 한 번 형식승인을 득하면 기존 설계에서 변경 부분만 형식승인을 실시하고 동일한 부분은 면제. 현재 국내의 전동차에서 변경되는 부분은 주로 차량의 디자인 또는 전두부 정도이며 주요제품은 동일하게 사용되고 있으므로 형식승인 차량이 표준화된 모델로 지자체 도입 용이.
- 최근 고시된 국내 차량기술기준 대부분 EN규정을 따르고 있어 차량기술기준에 부합하는 차량 제작시 해외에 수출 가능한 실적 인정 가능
- 지붕탑재형 배터리 등은 현재 국내 차량기술기준에 해당 기준이 없어 개발품에 대한 형식승인은 제작자가 제시하는 설계규격을 기준으로 진행
 - 개발품은 형식승인 절차 일정내에서 제작자의 설계규격에 따라 제작 검증하고 이후 신규제작차량에 대한 형식승인이 완료되는 시점에 제작자 설계규격을 바탕으로 철도기준 개정안을 고시
- 신규 발주제작차량에는 신규 연구개발품인 지붕탑재형 배터리시스템, 차량 충돌안전성설계를 적용 및 검증하고 지상자동충전장치, 복선궤도 다중편성을 통한 신호 운영 검증, 지자체 표준차량모델로 활용가능
- 완전 무가선 트램차량 필요성
 - 해외 신규노선이 무가선 방식으로 전환되고 있어 무가선 트램 수요 확대 적극 대응할 필요('13년 이후 중국, 미국, 스페인 등 13개 무가선이 포함된 신규노선 개통)
 - 국내의 경우 수원시와 성남시는 전구간을 무가선으로 설계
 - 現 시제차량은 유/무가선 시스템으로 전장품 및 판토틀라프의 지붕 공간

배치 등을 고려하여 실내(상운) 배터리시스템으로 개발되어 現 배터리시스템은 승객용 좌석에 인접

- '16.3월 제정된 철도안전법 차량형식승인제도에 따르면 배터리시스템은 승객용 좌석에 인접설치가 불가함에 따라 재배치 필요
 - 철도차량기술기준 Part52 도시철도차량(노면전차)기술기준 4.6.6 축전지 1)항 : 축전지는 발화물질 및 승객용 좌석과 최대한 떨어지게 설치·보관되어야 한다
 - 시제차량 개발시 철도안전법 형식승인제도가 부재
- 철도안전법에 부합하고, 최근 대두되고 있는 배터리 안전문제 등을 극복하기 위해 배터리시스템을 승객으로부터 분리하여 실외(지붕)에 설치 필요
 - 중국 난징 트램(지멘스) 등 무가선 트램의 경우 지붕배치

□ 기술수준 분석

- 現 시제차량은 배터리를 제외하고 외국 대비 약 60~70% 기술수준으로 형식승인에 의해 100%의 기술수준 달성으로 외국사 대비 경쟁력 확보 필요
 - 터키수출품은 별도 기술기준이 없었으며, 전장품 전부 및 핵심 부품이 외국제품임

□ 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)

- 최근 고시된 국내 차량기술기준 대부분 EN규정을 따르고 있어 차량기술기준에 부합하는 차량 제작시 해외 동등수준의 차량 성능 및 기술수준 달성
 - ※ 전문가 검토를 통해 차량개발 연구내용 최종 확정 필요

□ 기존 시제차량 개조 검토 (지자체 연계 실증노선 대상)

- 시제차량은 2012년4월 제작되어 약5년 동안 오송시험선에서 약 6.5만km 주행과 200여건의 시승 행사를 진행함. 또한 2014년 사고발생으로 차체틀림, 갱웨이 처짐, 방송장치 등 장애가 발생, 유지보수품(차륜 삭징 등) 교환주기 도래하고 있고 주요기기 제작업체의 부도 또는 사업철수로 인해 개조 및 유지보수시 차량제작과 유사한 비용발생이 예상됨.
- 실증노선(영업시운전)에서 지자체 발주의 형식승인 차량과 연계 운영시험시 예측불가능한 고장 발생으로 다양한 안전문제 발생 예상
- 형식승인 차량에 투입되는 예산으로 상용화 달성의 기대효과가 있으나 기존 차량 개조에 투입되는 예산은 그 효과를 기대하기 어려움.
- 다만, 새롭게 개발하는 지붕탑재형 배터리시스템을 검증하여 시행착오를 줄이고 성능을 검증할 수 있어 지자체 부담의 형식승인 차량 제작의 완성도를 높일 수 있는 장점이 있음. 개조에 대한 최종 검토결과는 실증사업의

실증노선 추진상세방안 및 전략에서 정리되어야 함.

나. 상용 무가선 트램시스템 표준설계기술

□ 필요성 또는 근거

- 국가 R&D로 무가선시험선이 '12.11월 개통되어 연구결과물을 통합 시험중에 있으나 시작품 개발 및 검증이 중점목표임에 따라 상용화에 필요한 전체 시스템에 대한 설계기준이 없는 실정임.
- 따라서, 배터리 전용 무가선 트램 차량의 배터리 설계기준, 승강장 설계기준 등 상용화 설계기준을 제시하고 표준화 필요

□ 기술수준 분석

- 국내는 트램설계기준이 없으며 지자체 트램설계시 트램경험이 없는 도시철도 및 경전철 설계업체가 수행하며 시행착오가 발생하고 있음.
- 또한 설계업체마다 서로 다른 해외 영업노선을 참조함으로써 지자체별로 상이한 기준으로 설계가 진행되고 있음.
- 트램의 표준설계기준을 제시함으로써 지자체, 트램사업 참여기관의 시행착오를 줄이고 경제적인 건설 유도가 가능함.

□ 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)

- 국내 트램 운영조건을 고려한 표준설계기준

다. 복선궤도 다중편성에 의한 트램 신호관제, 분기기시스템 성능검증 (SIL 인증) 및 안정화 기술

□ 필요성 또는 근거

- “무가선 저상트램 실용화(‘13.9~’17.1)” 사업에서 무가선 전용시험선에 가상의 운영조건(단일편성 및 단일노선, 3개의 가상승강장, 3개의 가상교차로, 3개의 분기구간)에서 트램신호에 대한 시운전 및 제3기관 검증까지 완료하였으나 상용화를 위해서는 복선궤도 다중편성에 의한 신호교차로 우선신호, 진로경합제어 등을 검증하지 못함에 따라 상용노선의 운영시나리오에 대한 정상 운영 입증 필요하다.
- 분기구간의 주행안전을 위해 트램 진로제어를 담당하는 분기제어신호와 선로전환장치는 해외 요구사항에 안전무결성수준 SIL3 이상을 요구하고 있다. 국내의 경우에도 철도신호의 경우 입찰시 SIL인증을 요구사항으로 요구하고 있는 추세임에 따라 안전성 입증이 필요하다. 트램신호(분기제어신호와 도로교통신호로 구분)의 SIL대상은 분기제어신호(분기연동, 선로전환

제어장치)에 해당한다. SIL은 국내 적용뿐만아니라 해외수출시 필요하며 최근 대만 카오슝 트램의 신호발주사양에 분기제어신호에 대해 SIL3이상을 요구한 사례가 있다.

□ 기술수준 분석

- 트램 신호는 도로신호와 철도신호(분기제어신호)로 구분할 수 있으며 국내 개발 사례가 전무하였으나 “무가선 트램 실용화“에서 국내 IT기술, 철도신호기술, 도로신호기술을 융합하여 세계 수준으로 개발하였다.

구분	해외 트램신호 (프랑스, 독일 등)	무가선 저상트램 실용화
시스템 구성	<ul style="list-style-type: none"> · 도로신호장치 (교차로우선신호, 지상) · 철도신호장치 (진로제어, 차지상) · 관제장치 (트램 관제, 지상) 	<ul style="list-style-type: none"> · 도로신호장치 (교차로우선신호, 지상) · 철도신호장치 (진로제어, 차지상) · 관제장치 (트램 관제, 지상)
제작사	<ul style="list-style-type: none"> · 도로신호장치 : Capsys(프) · 철도신호장치 : Hanning&Kahl(독), vossloh Cogifer(프), Electroline(체) · 관제장치 : Cegelec(프) 	<ul style="list-style-type: none"> · 도로신호장치 : 세인 · 철도신호장치 : 로템 · 관제장치 : 세인
구성도		
지상연동방식	· 유도루프 검지 및 통신	· 차상 위치검지(타코, 태그), 무선통신
차상안전운전 지원기능	· 없음	<ul style="list-style-type: none"> · 구간제한속도 경보 및 제동 · 분기구간 제한속도 및 신호위반방지 · 도로교차로 제한속도 및 신호위반방지
유지보수성	△	◎
확장성	△	◎
완성도	· TRL9 (상용화)	<ul style="list-style-type: none"> · 도로신호 : TRL8 · 철도신호 : TRL7

※ 상 : ◎, 중 : ○, 하 : △

- 개발된 트램 신호기술은 지상유도루프에 의존하는 구식 해외 기술을 극복하기 위해 무선통신을 활용하였으며 제어정밀성, 유지보수성 향상, 공사비 저감, 확장성의 장점이 있다.
- 트램 도로신호는 교통제어기 표준규격을 준수하여 개발되었기 때문에 상용화에 어려움이 없으나 트램 철도신호는 해외에서 분기구간의 주행안전을

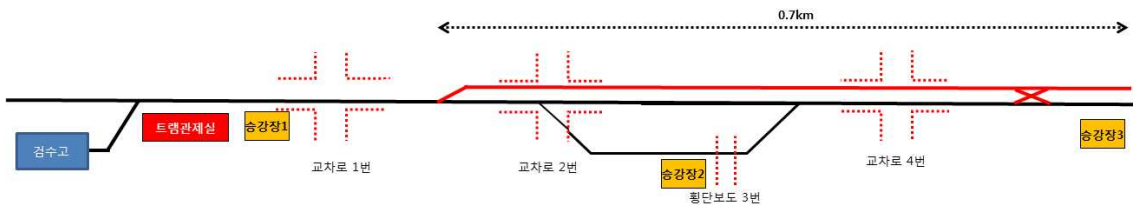
위해 SIL3이상으로 관리하고 있다. 국내외 트램 발주 사례를 보면 시험선 운행실적만으로는 입찰 참가도 어려우며 상용화를 위해서는 SIL3 입증이 필요하다.

□ 기술목표

- 복선궤도, 다중편성에 의한 트램 신호(도로신호, 철도신호) 성능 검증
 - 다중편성 및 복선에 의한 분기부 교행 및 진로경합시험 (두 대의 트램이 분기기를 중심으로 우선순위를 정하여 교행하는 시험)
 - 다중편성 및 복선에 의한 도로교차로 상하선 우선신호처리 알고리즘 확인 및 열차운행스케줄과의 연계성 확인 시험
 - 다중편성에 의한 연속주행시험 (두 대의 트램이 운영스케줄에 의한 연속주행을 통한 교차로 및 분기기 통과시험)
- 트램 철도신호에 대한 SIL3 입증
 - SIL 인증절차에 의한 분기구간 1개소 개량

□ 무가선 시험선 개량 범위

- 복선궤도 : 0.7km, 회차구간 : 1구간 (선로전환장치 : 4틀, 분기신호설비 : 1식), 단선-복선 천이구간 : 1구간 (선로전환장치 : 1틀, 분기신호설비 : 1식)
- 관제설비(ATS, 관제운행제어설비) 복선구간적용 개수



<그림 73> 복선 구축방안

라. 트램 사고저감 차량기술기준

□ 필요성 또는 근거

- 트램은 도로교통과 혼용하여 운행되는 특성상 도로교통수단과의 충돌사고가 빈번하게 발생하는 것으로 보고되고 있음
- 또한 우리나라는 과거 노면전차를 운용한 바 있으나 근대화 이후 현재에 이르기까지 트램이 상용화된 바 없어 대중적 인지도 및 이해가 부족한 바 도로교통과 혼용할 경우 운행 초기 혼란이 발생할 것으로 예상됨
- 따라서, 트램과 도로교통수단의 사고가 발생할 경우 사고피해를 저감하기 위한 차량설계기술을 개발하고 우리나라 실정에 부합하는 차량기술기준 개발

이 필요함

□ 기술수준 분석

○ 유사 기술 여부 및 현황 분석

- 국외 고속철도 및 일반철도에 적용중인 EN15227 충돌안전도 설계조건에 따라 완청차 업계에서는 유사 기술을 기 확보중이며 국내 역시 고속철도, 일반철도, 도시철도차량에 대해 유사 기술을 확보하고 있음
- 트램의 경우 국외는 일반화되어 있는 운송수단으로 규격체계와 기술이 성숙해 있으나 국내의 경우 규격체계는 EN규정을 준용하여 일부 적용이 되었으나 상업운행을 하고 있지 않아 실제 적용된 사례는 없으며 기술적 수준이 성숙해있지 않음

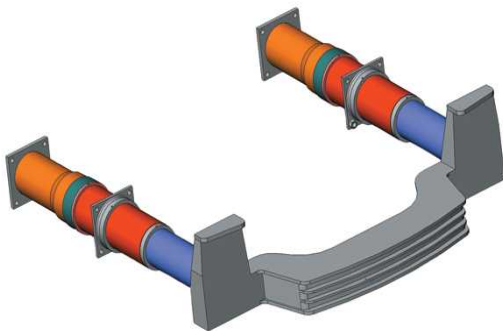
○ 기술 및 시장동향을 분석하여 기술의 기술성 및 사업성 분석

- 트램 사고저감 기술의 경우 국내 기술 수준은 해외 기술 수준 대비 매우 낮은 수준이므로 향후 실용화 및 상업운전을 위하여 기술 개발이 필수적임
- 트램의 사고저감을 위한 장치는 국내에 트램이 적극적으로 도입이 될 경우 철도분야 충돌안전장치의 높은 가격대를 감안할 때 사업성이 우수할 것으로 예상됨

□ 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)

○ 해외 기술 대비 동등 이상의 수준을 목표로 함

요소기술	해외 선진업체 수준	목표성능 수준
EN15227 규정 만족	○	○
가역적 에너지흡수 한도	5 km/h	5 km/h
최대 충돌속도	15 km/h	15 km/h
최대 평균감가속도	5g	5g



<그림 74> 해외 사고피해저감 설계안 사례(OLEO사, Avanto LRV project)

마. 트램 교통사고 복구기술

□ 필요성 또는 근거

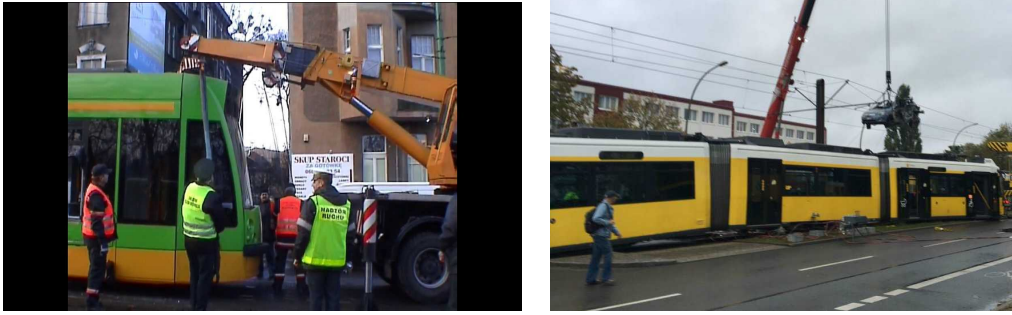
- 트램은 도로교통과 혼용하여 운행되는 특성상 도로교통수단과의 충돌사고가 빈번하게 발생하는 것으로 보고되고 있음
- 도로교통 수단과 충돌 사고가 발생할 경우 탈선으로 인한 운영장애가 예상되며, 트램 및 도로교통 상 심각한 교통정체가 예상되므로 이를 신속하게 복구할 필요가 있음

□ 기술수준 분석

- 유사 기술 여부 및 현황 분석
 - 국외의 경우 EN16404-2와 같은 사고 발생시 선로 안착에 관한 규정이 정비되어 있으며 이에 따른 사고복구장비에 대한 체계가 갖춰져 있음
 - 국내의 경우 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등에 대한 사고복구장비 및 복구체계가 갖춰져 있음
 - 그러나, 트램의 경우 국내에 도입 및 운영된 바 없으므로 이에 대한 사고복구 관련 규정 및 체계가 갖춰져 있지 않아 도입초기 많은 혼란이 예상됨
 - 또한, 저상트램의 경우 사고복구시 낮은 차체 높이로 인하여 re-railing에 보다 주의가 요구되며 이를 위한 복구장비를 필요로 함
- 기술 및 시장동향을 분석하여 기술의 기술성 및 사업성 분석
 - 국내 트램 사고복구관련 기술 성숙도가 낮으며 점차 확대될 것으로 예상되는 트램 시장을 감안할 때 트램의 사고복구장비 및 체계에 대한 수요가 점차 증가할 것으로 예상되어 사업성이 우수할 것으로 보임

□ 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)

- 목표 성능수준은 해외 선진국 수준 동등 이상임
- 사고복구는 특성상 사고의 크기, 발생 위치, 형태 등에 따라 장비를 가용할 수 있는 환경적 제약이 크기 때문에 정량적인 목표수준과 기술기준 제도정비가 연구진행 및 연구결과로 산출됨



<그림 75> 트램 사고복구 예(해외 사례)

바. 트램 교통사고 예방기술

□ 필요성 또는 근거

- 트램은 도시철도와는 다르게 도로를 주행함에 따라서 대부분의 트램 사고는 자동차, 사람 등 도로이용자와의 충돌사고로서 인적오류에 의해 발생. 이러한 사고를 최소화하기 위해서 기존 운전자 인식 및 판단만으로는 다양한 도로상의 충돌사고를 예방하기에는 한계가 있음. 트램의 도로내 사고를 최소화하기 위해서는 지능형센서를 활용하여 사고회피를 돕는 운전자 지원 기능 또는 자율주행 기능이 필요. 특히, 트램의 국내 첫 도입에 따른 도로상의 다양한 사고 예상으로 외국보다 높은 운행안전 기능이 요구됨.
- 노면전차(트램)는 기존 철도차량과는 다르게 자동차 도로, 광장 등을 주로 주행하며, 1인 운전자가 open된 불규칙한 다수(multi variable)의 주변 환경(자동차, 교차로, 보행자 등)에 대해서 동시에 안전 대응을 하는 것은 여러 한계가 존재함.
- 또한 트램은 고무바퀴형 자동차와는 다르게 철제바퀴 마찰한계 및 제동시스템 지연으로 즉각적 제동에도 한계가 있음.
- 트램은 평소 버스보다 낮은 감가속도로 운전하므로 실내는 서있는 승객이 손잡이를 잡지 않는 경우가 빈번하다. 하지만 비상 급제동시 마그네틱 브레이크 작동에 따라 버스수준의 급제동이 가능함. 이런 경우 실내승객의 안전사고 발생자가 버스보다 높아질 수 있음.
- 따라서 지능형 제동제어알고리즘(승객하중, 차량상태 및 날씨조건 등을 고려하는)등의 개발을 통해 외부 및 내부환경을 모두 고려하는 최적화된 감가속력으로 안전을 확보할 필요가 있음.
- 또한 이러한 단점을 극복하고 안전을 극대화하기 위해서는 1인 운전자의 인지 및 대응 능력을 넘어선 차량 내외부의 상태를 고려하는 지능형 제동제어가 가능.

□ 기술수준 분석

- 해외 봄바르디아사, 보쉬 등은 상용트램에 적용하여 상용화 단계이나 국내는 “무가선 저상트램 실용화”사업에서 트램 충돌예방 및 긴급제동 장치를 TRL5수준으로 개발함.
- 국내 자동차업계에서 고급승용차를 중심으로 ADAS(Adaptive Driver Assistant System)은 상용화 수준에 도달함. 이러한 세계수준의 국내 기술 활용하여 대량수송의 트램 안전성을 확보할 수 있도록 기 개발된 트램 충돌예방 및 긴급제동 장치를 상용화 개발 가능함

□ 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)

- 트램 1인 운전자의 인지 및 대응 능력을 넘어선 차량 내외부의 상태를 고려하는 지능형 제동제어장치 개발 : TRL9

구분	해외	무가선 실용화	무가선 실증
특징	- TRL9 수준 - 영상, 레이더 센서 융합 지장물 검지 및 긴급제동	- TRL5 수준 - 영상, 레이더 센서 융합 지장물 검지 및 긴급제동	- TRL9 수준 - 영상, 레이더 센서, 지능형센서 융합 지장물 검지 및 지능형 제동

사. ICT를 이용한 무임승차 방지기술

□ 필요성 또는 근거

- 트램의 요금징수시스템이 개방형이기 때문에 무임승차의 가능성이 매우 높음. 또한 혼잡한 차내에서 단속요원의 무임승차 승객들에 대한 적절한 단속방안이 없어 범적다툼 등 문제 발생 가능. 따라서 무임승차에 따른 경제적 손실이 매우 높을 것으로 예상됨. 따라서 무임승차 방지 기술이 절실히 요구됨.
- 해외 트램은 개방형 정거장과 차량내 자율검표에 의해 운영되며 이로 인해 무임승차율은 지하철의 2배~5배에 해당
 - (호주 멜버른 트램) 무임승차자가 20%이상, 2012년까지 무임승차 손실액 17조원
 - (스페인 바로셀로나 트램) 무임승차자가 10%이상으로 추정
 - (미국 뉴욕 지하철) 무임승차자비율이 1989년 3.9%에서 단속강화에 의해 1994년 2.7%로 하락

□ 기술수준 분석

- 교통 시스템에 대한 장기적인 관점에서 개방형 요금징수시스템은 승객에 대한 대중교통 이용 접근성 향상, 혼잡도 저감 등에 기여하여 승객에 대한 서비스 만족도를 향상시킬 수 있음. 따라서 개방형 요금징수시스템에 필수

적인 무임승차 방지 시스템의 구축은 꼭 필요한 기술임.

- 무임승차자 단속을 위해 별도의 단속인원을 두지 않는 것이 기본 개념이지만, 개인 정보보호법 등의 인권침해 소지가 있어 이러한 문제가 해결되기 전까지는 수요가 많은 권역별로 단속팀을 배치하여 무임승차 단속이 필요함. 무임승차에 관한 모든 정보는 트램운영센터에 실시간으로 전송되고, 무임승차자에 대한 단속은 운영센터에서 현장단속요원에 관련 정보를 제공하여 단속하는 개념이임 무임승차자의 항의를 원천 차단하기 위해 위반 이미지 등의 정보를 확인할 수 있는 시스템 기능과 벌금 납부를 위해 경찰 등 정부기관과의 협력체계 구축이 필요함.
- 기존의 영상을 이용하여 승객의 승하차수를 카운트에 관한 기술이나 승객들의 행동 패턴 인식에 대한 연구를 적극적으로 활용.

<표 22> 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
승차승객 인식속도	인식 속도 500ms 이내	실제 측정	ms	500	실시간성 확보
승하차승객 카운트	정확도 90% 이상	실제 측정 카운트와 비교	%	90%	기술수준을 고려한 정확도 설정
무임승차 징후파악	정확도 90% 이상	실제 측정 카운트와 비교	%	90%	기술수준을 고려한 정확도 설정

아. 완전 무가선 트램 기술 : 지붕탑재형 배터리 기술

- 필요성 또는 근거
 - 국산화 기술 개발
 - 현재까지 국내에 개발되어 시험운영하고 있는 배터리는 객차내에 설치된 입식(立式) 배터리로써, 국외 기업이 추진하고 있는 설치 위치와는 차이가 있음.
 - 트램 차체를 개발할 수 있는 국내 기술은 현재까지 충분한 것으로 판단되나, 추진용 배터리의 국산화는 사업성이 확보되기 전까지는 국내 리튬 배터리 제조업체들이 개발 혹은 사업에 참여하여 시장을 형성할 가능성은 낮을 것으로 판단됨.
 - 국가의 지원 아래 기술 집약형 중소 기업이 국산화 목표를 달성하는 것은 기업의 새로운 비즈니스 모델과 일자리를 창출하며, 이것은 개발 그 자체보다 더 많은 긍정적인 결과를 파생할 수 있을 것으로 예상됨.
 - 안전성 제고

- 객차의 외부에 설치된 해외의 철도차량 추진용 배터리의 경우 대부분 천장에 있으며, 이는 정비의 용이성 및 최소한의 안전을 확보하기 위한 것으로 설치 위치를 고려한 것으로 판단됨.
- S社의 핸드폰 배터리 폭발 사고를 비롯하여, 항공기 배터리 폭발 등 리튬 배터리의 안전성에 대한 의심이 대두되고 있음.
- 이런 상황에서 배터리를 승객과 가까운 객실 내에 배치하여 지속 운영하는 방향으로 개발하는 것은 최종 상용화를 목표로 하는 연구과제의 목적성에 대하여 소비자들로부터 의심을 받을 수 있음.
- 따라서, 발화 및 폭발이 없는 배터리팩의 개발과 더불어, 승객의 최소한의 안전을 보장할 수 있는 추진 배터리의 객차외부 배치가 필요함.
- 객차외부 배터리 배치는 사용 환경에 민감한 리튬배터리의 열거동을 고려한 안전 설계를 필수적으로 수반함. 따라서, 열 해석과 환경 내성 등에 집중한 추진용 배터리의 개발이 필요함.



<그림 76> 폭발한 리튬 배터리 예시

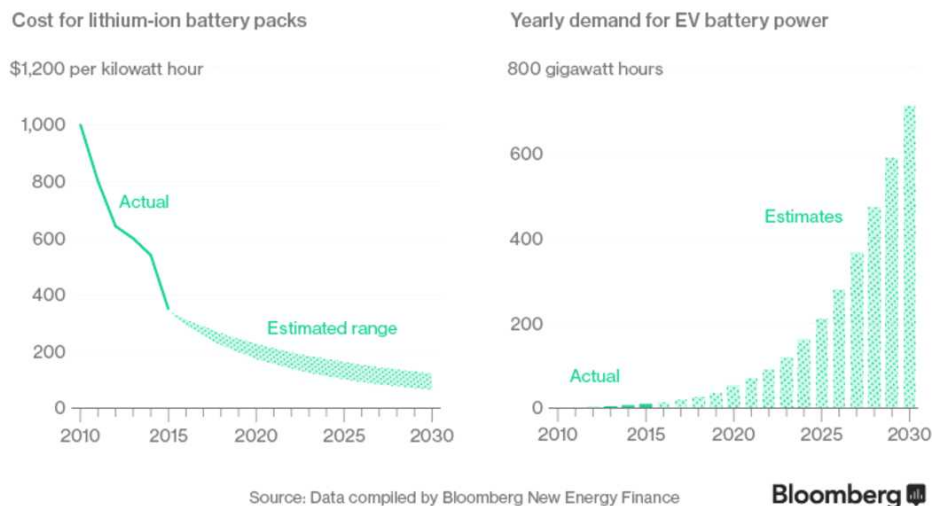
□ 기술수준 분석

- 리튬 이온 배터리의 획기적인 성장과 함께, 트램용 추진용 배터리를 개발하는 추세를 보였으나, Low cost 시스템은 발견되지 못함. 그러나 낮아지는 lithium battery 가격과 long life 에 대한 Total Cost of Ownership의 개념을 적용할 때, 경제성에 대한 유효성이 점점 부가되어 일부 유럽 국가에서 상용화가 추진되고 있음.
- 2013년 2013년 UK Network Rail의 "Network RUS:Alternative Solution (July 2013)"호 에서는 해당 기술로 하여금 기존의 25kV AC 전력선에 대하여 다시 생각해볼 기회가 왔다고 언급했으며, Tram-train, Tram systems 뿐만 아니라 Guided Bus 등까지 생각해볼 수 있는 옵션이, 통근 수요의 증가에 따라 늘어났다고 언급함.

- CAF, Siemens, Saft, Bombardier, Alstom 와 같은 대기업을 중심으로 그 상업 가치를 인정받아 적극적으로 트램용 배터리를 제작 및 적용하고 있음.
- 그러나 순수 배터리 제작 회사는 Saft만이 참여할 뿐, 대부분의 회사들은 차량 차체부터 직접 개발하는 회사로써, 그 시장의 진입에 대한 벽이 여전히 높음을 확인할 수 있음.
- 금액의 수준을 현재의 EV용 추진 배터리 팩과 비슷하다고 가정할 때, 시장 목표액도 비슷하다고 유추한다고 가정하면, 아래와 같이 리튬배터리 금액의 추이를 예측할 수 있음. 그러나 절대 가격은 예측이 어려움.
- Bloomberg.com에 따르면, “1)정부의 인센티브가 금액을 낮출 것이며, 2)생산자는 낮은 이윤을 감당해야하며, 3)고객이 구매할 의사가 있으며, 4)배터리의 원가는 낮아진다는 현상이 이미 발생한 상태이며, 지속될 수 없으나, 배터리의 원가는 낮아지고 있다.”라고 밝힘.

It's All About the Batteries

Batteries make up a third of the cost of an electric vehicle.
As battery costs continue to fall, demand for EVs will rise.



<그림 77> Bloomberg.com이 예측한 배터리 가격

- 철도 차량용 배터리 금액이 언론사의 예측과는 정확하게 일치할 수는 없으나, 현재 \$1,000 / kWh 이상인 철도차량용 배터리는 아직 도입단계에 머물러 있으므로, 철도라는 공공재적 성격을 반영할 때, 1)정부의 지원, 2)공급자의 낮은 마진, 3) 소비자의 구매욕구 등의 조건은 달성될 수 있을 것으로 보며, 이것이 시장의 확산에 도움이 될 것으로 판단됨. 이때, 철도 추진용 배터리도 \$1,000 / kWh 이하로의 달성이 가능할 수 있을 것으로 예상.

- 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)
 - 쉬운 모듈 교체
 - 충/방전 또는 휴지시 배터리 일정한 온도 유지
 - 충전시 배터리 발열량을 최소화 하여 고속 충전이 가능하도록 함
 - Cell 간 온도편차 최소화
 - 철도 진동에 적합한 내진동 설계
 - 옥외형 설치에 따른 내 환경성 설계, 방수 방진 설계, 방수/방진으로 인한 온도 관리 기술
 - 배터리 안전관리를 위한 보호회로 설계

구분	현 배터리시스템	지붕탑재형 배터리시스템	구분	현 배터리시스템	지붕탑재형 배터리시스템
안전성	객실 장착으로 폭발 등 사고시 승객 안전 사고 우려	폭발 등 사고시 승객 안전 확보	모듈		
유지 보수성	모듈 교체 등 유지보수 시 차량 내부에서 작업 필요	차량외부에서 작업 용이	배터리 팩		
실내공간 활용측면	객실 공간 일부 점유	객실 공간 추가 확보 가능	장착위치	차량 실내	차량 지붕
기술적 난이도	IP등급 확보 불필요 및 외부환경 영향 작음	IP등급 확보 필수 및 외부환경 직접영향으로 관리기술별도 필요	용량	약 196 kWh	약 200 kWh
			충전방식	판토그래프 및 차량 내 DC/DC컨버터	지상 충전장치 이용
			IP등급	-	IP67

자. 완전 무가선 트램 기술 : 무가선 전용 대용량 안전 자동충전장치 기술

- 필요성 또는 근거
 - 기존 무가선트램 시제차량에 적용된 판토그래프를 이용한 충전 방식은 충전전류가 높을 시, 판토그래프 및 강체가선/전차선에 접촉부 발열로 인한 소손을 발생할 수 있음.
 - 또한 실제 운영노선에서 100%무가선 운영 시, 판토그래프를 통한 충전을 위해서는 하루 10회 이상 운전자가 수동 조작이 필요하나 기존 판토는 주행 중 급전을 위한 장치이므로 정차 중 대용량 충전에는 부적합한 구조 및 소재(시험선에서 반복 충전시 주습판의 편마모 발생. 급속충전으로 주된 충전시 별도의 소재 및 급전장치 필요)이므로 별도의 강체형 급속충전 인터페이스 장치 필요함. 그리고 판토그래프와 DC/DC컨버터의 적용은 불필요하여 차량가격 상승, 차량 소비에너지 및 유지보수 측면에서 비효율적임.

□ 기술수준 분석

대용량 충전장치의 경우, 300 또는 450kW 정도의 고전력을 충전해야 하기 때문에, 현재의 기술 수준은 판토품을 이용한 가선 충전 방식을 채택하고 있다. 판토품을 이용한 충전 방식 이외에, 정거장에 정차 시 통신을 이용하여 충전이 가능하도록 CSS 표준 무선 통신 프로토콜을 개발 중에 있으며, 무가선/ 가선 방식을 혼용하는 하이브리드 충전 방식의 연구가 활발하게 진행되고 있다.



<그림 78> BYD 社의 Articulated Electric Vehicle

□ 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)

- 운전자 또는 외부의 별도 조작없이 자동 충전 및 안전성 확보가 가능한 무가선트램 전용 자동충전장치 개발(최대충전전류: 4 C-rate)

구분	현행 시스템	목표 시스템
시스템 구성		
특징	<p>- 정차 중 강체가선을 통한 배터리 충전, 주행 중 전차선 급전 방식의 유무가선 복합 방식</p>	<p>- 판토품 및 DC/DC컨버터 제거로 차량 가격 및 중량 저감 - 완전 무가선 방식으로 차량 유지보수성 및 시스템 효율 향상 (소비에너지 저감) 가능</p>

차. 트램 투자평가체계 개선전략

□ 필요성 또는 근거

- 트램을 도입하고자 하는 지자체가 예비타당성 조사를 받는 경우 투자평가체계의 문제로 인해 경제성 평가가 낮게 나타나고 있음
- 이에 트램의 특성을 반영한 편익 및 비용 산정모델, 합리적인 투자평가체계 모델 개발이 요구되고 있음
- 도로와 철도 중심의 투자평가체계가 트램사업 평가과정에 그대로 적용
- 트램사업의 목적은 이동성 중심의 도로와 철도사업의 목적과 상이하기 때문에, 트램특성을 고려한 합리적인 투자평가체계 구축이 필요
- 하지만 현 투자평가제도하에서 트램만을 위한 투자평가체계 구축은 어렵기 때문에 투자평가 단계별 개선사항을 도출하여, 합리적인 의사결정을 위한 방법론 및 평가기준 정립이 필요

□ 기술수준 분석

- 국내에서는 도시철도 관련 투자평가체계가 적용되고 있고 일부 항목의 경우 외국의 트램 건설 및 운영 사례가 적용되고 있을 뿐 국내의 현황을 반영한 투자평가체계가 구축되어 있지 않음
- 일부 선행연구에서 이러한 문제점을 개선하고자 하는 연구가 진행되었으나 미시적이고 단편적인 수준에 머무르고 있음

□ 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)

- 트램의 특성을 반영한 수요분석 및 편익산정 방법 개발
- 트램 사업에 따른 다양한 편익의 계량화 방안
- 트램 사업비 및 운영비 산정기준 개발

카. 트램 운영 및 유지보수 기술

□ 필요성 또는 근거

- 현재 국내는 도시철도 및 경전철을 운영해본 경험은 있지만 트램을 운영해본 실적이 없는 상태로, 트램이 대중교통 수단으로 도입 시 발생할 문제점을 사전에 파악하고 한국적 특수성에 맞는 운영 및 유지보수 기술의 정립이 필요함
- 선진 사례에 대한 분석과 국내 도시철도 사례를 종합하여 국내 실정에 맞는 운영 및 유지보수 기술개발이 요구됨

□ 기술수준 분석

- 현재 국내 운영기술은 일반 도시철도 및 경전철을 운영해본 경험은 있으나, 배터리 방식으로 도입 추진되는 한국형 트램은 실용화된 노선이 없을 뿐만 아니라 타 도로교통수단과의 공존에 따른 운영기술이 없는 상태로서 운영기술 수준은 50% 정도로 판단함
- 유지보수 기술은 도시철도 및 경전철의 오랜 경험을 바탕으로 표준화 및 규격화가 되어 있는 상태이나 운영기술과 마찬가지로 실용화 된 노선이 없는 상태로서 배터리를 이용하여 전용선로가 아닌 전용도로, 전용차로 등으로 운영되는 트램의 유지보수 기술수준은 70% 정도로 판단함

□ 기술목표 (목표 성능수준, 요소기술 등)

- 실증 연구개발이 끝나는 시점을 목표로, 운영기술 및 유지보수 기술이 100% 자립하여 선진국 수준에 도달도록 하는 것을 목표로 함

3. 해외기술 대비 본과제 성과물 목표수준

구분		해외기술	본과제 성과물
무가선 트램차량	충전 방식	- 단거리 배터리구동 무가선트램 - 판토타그래프에 의한 급전	- 장거리 완전 무가선 배터리구동 무가선 트램 - 지상 충전방식에 의한 충전 - 형식승인을 위한 차량기술기준 개정(안) 마련
	전장품	- 유럽 EN규격 준수	- EN규격 수준의 형식승인 인증
	기술수준	- 100%	- 100% (기존 70%)
신호		- 복선궤도, 다중편성 영업운전	- 복선궤도, 다중편성 영업운전 입증
안전		- 트램 충돌 검지/경보/긴급제동장치 상용화 준비(TRL9)	-
		- 트램 충돌안전기준 제정 및 차량설계 반영(TRL9)	- 트램 충돌안전기준 제정 및 노면전차 차량기술기준에 반영 (TRL9) - 충돌안전기준에 의한 형승승인 차량설계 (TRL9)
		- 교통사고 차량 복구 기술 상용화 (TRL9)	- 교통사고 차량 복구기술 국산 차별화개발 (TRL9) (기존 기술없음)
운영		- 자율검표에 의한 요	- 자율검표에 의한 요금징수, 차량내

구분	해외기술	본과제 성과물
	금징수 및 단속요원에 의한 불시 단속 - 트램 상용운영 및 유지보수	무임승차자 검지, 데이터베이스화, 관제/단속요원 정보연계 및 이벤트 기반 단속으로 무임승차 70% 감소 유도 - 국내 표준운영모델 제시 및 시범 운영을 통한 운영유지보수 확보
법제도	- 상용운영 법제도 완비	- 법제도 제도화 (기존 70%수준)

제5절 국내 연구개발 인프라 분석

1. 연구 인력 인프라

□ 무가선티램 차량기술 분야

- 한국철도기술연구원(이하 철도연)은 철도,대중교통, 물류 등 공공교통분야의 연구개발을 담당하고 있는 국가과학기술연구회 산하의 정부출연 연구기관이다. 총 인원 303명(박사 221명)으로 구성된 전문연구인력을 보유하고 있으며, 현재 국토교통부 국가연구개발사업인 “무가선 저장트램 시스템 기술개발”연구(13.4 완료) 및 “무가선 저장트램 실용화”연구(17.1 완료)를 총괄하여 수행하고 있으며, 해당과제의 성과물인 무가선티램 시제차량과 매립형 궤도와 도로교통연계 트램신호가 설치된 국내 유일한 트램 전용시험선(오송 시설공단 부지 내 위치)을 보유하고 있다.
- 또한 철도연은 10년 이상 철도차량 충돌안전에 대한 연구개발을 진행하고 있으며 철도차량 충돌안전도 평가기술, 충돌안전부품 실용화 기술을 보유하고 있는 국내의 대표적인 연구기관으로서 아시아에서는 유일한 철도차량 실물 충돌시험 장비를 운영하고 있음
- 서울과학기술대학교 철도전문대학원은 철도사고 시뮬레이션 분야의 대표적인 연구기관으로 열차 충돌사고 시뮬레이션 기술, 타고오름 시뮬레이션 기술, 충돌 후 탈선 시뮬레이션 기술 등에 대한 연구를 수행하고 있음
- 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부는 교통사고 발생 시 탑승자의 상해를 평가하는 기술을 보유하고 있으며 철도차량 탑승자의 상해평가에 대한 연구를 수행한 실적이 있음

□ ICT를 이용한 무임승차 방지 기술 분야

- ICT를 이용하여 무임승차를 자동으로 검지하고 경고하는 기술에 대한 연구 인력 인프라는 철도, 지하철, 버스 등과 같이 대중교통시스템을 운영하는 기관에 구축되어 있음
- 특히, 무임승차 방지 기술의 요소기술 중에 하나인 CCTV 영상분석을 이용한 피플카운팅 시스템은 민간분야에서도 전문인력을 확충하여 연구개발이 활발히 진행되고 있는 분야임

□ 트램 안전관리 전략 개발 및 체계 구축 분야

- 트램 운영관리 기술, 철도안전관리체계 승인/검사체계 구축 등은 기존에 해당 업무 또는 유사업무를 담당하는 기관 및 인력이 구축되어 있음
 - 철도안전관리체계 승인/검사체계 구축 등은 다른 철도시스템의 안전관리를 담당하는 교통안전공단, 철도 특화 대학 등이 있음

- 트램 투자평가체계 및 재원운용전략은 기존의 철도 또는 도로 투자평가체계 정비에 관여하거나 연구한 인력이 있으며, 이들이 본 과업에 투입될 수 있음
 - 한국교통연구원, 서울과학기술대 등의 연구진이 국토부, 지자체, 한국개발연구원 등의 트램 및 이와 유사한 철도시스템 투자평가체계 개선 및 운영 전략을 개발해 왔으며, 기타 연구기관, 대학 등에서도 도로 및 철도 투자평가체계에 대한 연구를 진행해 왔음
- 트램 유지보수 매뉴얼 및 시스템 개발에 있어서는 도시철도 등 유사 교통수단 운영기관, 해외 트램 운영기관 등이 있으며, 대학교, 국책 연구원 등 관련 전문가도 확충되어 있는 상태임

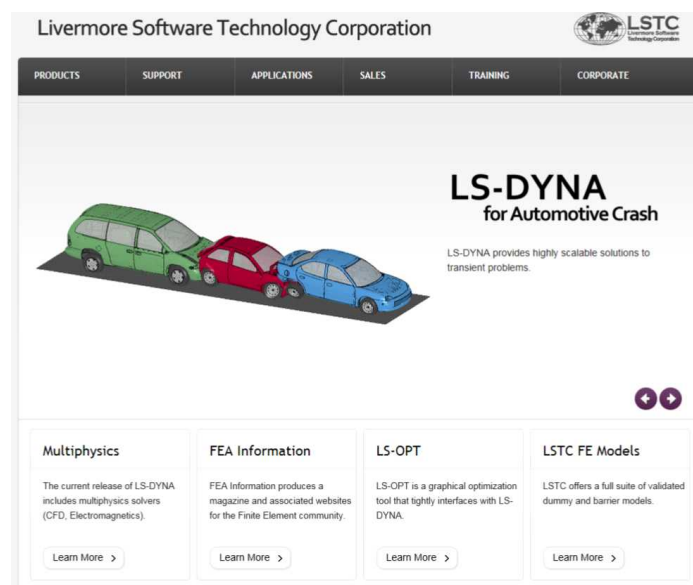
2. 연구 기자재 인프라

가. 연구장비 인프라

- 한국철도기술연구원 보유 S/W

- LS-DYNA

LS-DYNA는 3차원 비탄성 구조물의 동적거동을 모사할 수 있는 외연적 및 내연적 방법에 의한 유한요소해석 프로그램으로 자동차 및 열차 등의 충돌해석에 주로 사용된다. 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 충돌해석용 프로그램으로 우리나라의 철도 충돌분야에도 주된 3차원 충돌해석 프로그램으로 이용하고 있다.



○ Madymo

Madymo 프로그램은 교통사고 등의 발생에 의해 야기되는 탑승객 또는 보행자의 상해치를 평가하기 위한 프로그램이다. 철도차량의 탑승객 및 건널목 사상자 등의 충돌사고에 의한 상해치 평가가 이루어진 사례가 있으며 아래 사례는 건널목 사고를 모사한 예가 된다. Madymo 프로그램은 도로 교통사고가 빈번한 트램 교통사고의 특성상 매우 중요한 요소이다. 트램과 도로 교통수단과의 사고 발생 시 트램의 공격성에 의해 도로 교통수단에 탑승하고 있는 사람의 상해치가 상대적으로 높을 것으로 예상되며 이러한 시나리오를 과학적으로 분석할 필요가 있다.

tassinternational
Leading the Way in Safety
Applications Products & Services Support About us


MADYMO Product Suite



Solver

The MADYMO Solver is a flexible multi-physics simulation engine that uniquely combines the capabilities of multibody (MB), finite element (FE) and computational fluid dynamics (CFD) in a single CAE solver. This makes the MADYMO Solver a highly efficient tool for design and analysis of complex dynamic systems.

READ MORE



Dummy Models

Years of research and development has led to the creation of the most extensive database of crash test dummy models available. MADYMO Dummy Models are famously accurate and also renowned for their computational speed, robustness and user-friendliness.

READ MORE



Human Models

MADYMO human models are CPU efficient, biofidelic and well validated. They provide a tool set capable of human response prediction for a broad range of loading conditions no physical crash test dummy exists for. Recently the MADYMO human model portfolio is extended with so-called active human models, in which spine joint restraints and muscles combine passive stiffness characteristics and active control to realistically represent responses of living human beings.

READ MORE



Workspace

MADYMO Workspace is a suite of pre- and post-processing applications for the complete...



Education & Science

MADYMO is used in the scientific community to solve complex scientific problems where the...



New in MADYMO

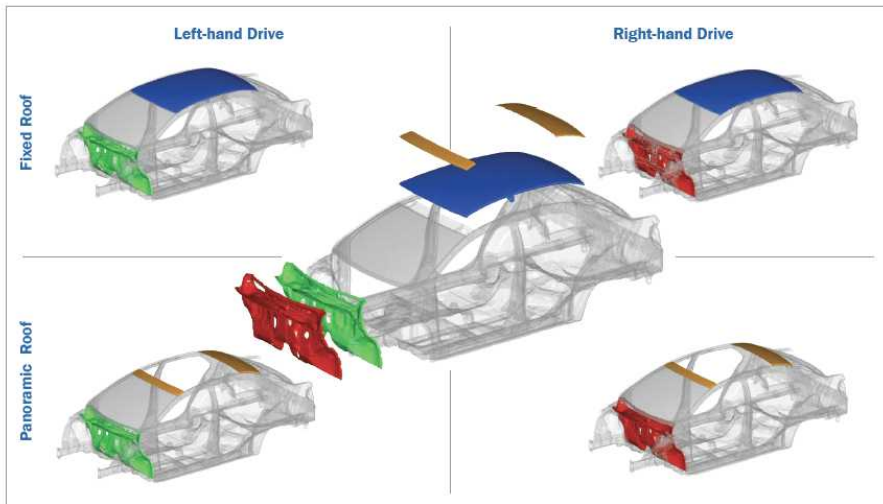
Here you can find information what is new in the latest MADYMO release.

○ Hypermesh

Hypermesh는 유한요소 모델링 프로그램이다. 주로 전처리 중 유한요소 메쉬의 생성 및 연결성 체크등에 활용된다. 유한요소 모델링은 전체 해석의 정확도를 좌우하는 중요한 요소이며 이를 위해 많은 시간과 노력이 소모된다. Hypermesh프로그램은 Ls-dyna 프로그램과 연동하여 유한요소 구조를 모델링하는데 이용한다.

HyperMesh®

Altair | HyperWorks®



Altair HyperMesh is a high-performance finite-element pre-processor that provides a highly interactive and visual environment to analyze product design performance. With the broadest set of direct interfaces to commercial CAD and CAE systems and a rich suite of easy-to-use tools to build and edit CAE models, HyperMesh provides a proven, consistent analysis platform for the entire enterprise.

Product Highlights

- Strong shell and solid meshing algorithms, either fully automatic or with detailed manual control
- Excellent CAD interoperability
- Comprehensive composites modeling support
- Complete interfaces to the industry's most popular solvers
- Management of complex assemblies promoting common model build

Learn more:
altairhyperworks.com/hypermesh

Benefits

Open-Architecture Design

Combining the broadest set of direct CAD and CAE interfaces with user-defined integrations, HyperMesh fits seamlessly within any simulation environment.

High-Speed, High-Quality Meshing

Streamlines the modeling process and provides a suite of tools to model even the most complex geometries.

Model Build and Assembly

HyperMesh provides a part based workflow enabling modular model build. Representation management of different topological variations for the same part speeds up the process to assemble models for different disciplines. Work package distribution for concurrent model generation is available. HyperMesh provides bi-directional communication to PDM for data exchange.

Increases End-User Modeling Efficiency

Using sophisticated batch meshing technology, HyperMesh eliminates the need to perform manual geometry clean-up and meshing, thus accelerating the model development process.

Advanced 3D Model Visualization

3D visualization of all element types (1D, 2D and 3D elements) within an FEA model eases model checking and visual verification.

Model Setup

A variety of sophisticated tools help with efficient model setup. The ID Manager ensures that all entities of a model even across or per include files adhere to a specified numbering scheme of a workgroup or a company to ensure modularity. HyperMesh provides connector technology, a highly automated way for assembly of hundreds of parts with spot-and seam welds, adhesives or bolts. Automated contact management tools are a huge time saver when defining contacts between individual parts.

Composites Modeling

Ply and laminate entities facilitate composites modeling in terms of individual layer shapes and their stacking sequence. CATIA CPD and Fibersim readers extract composite data and map it onto FE meshes automatically. Plies and ply angles can be visualized in 3D for easier model verification.

나. 연구 실험시설 인프라

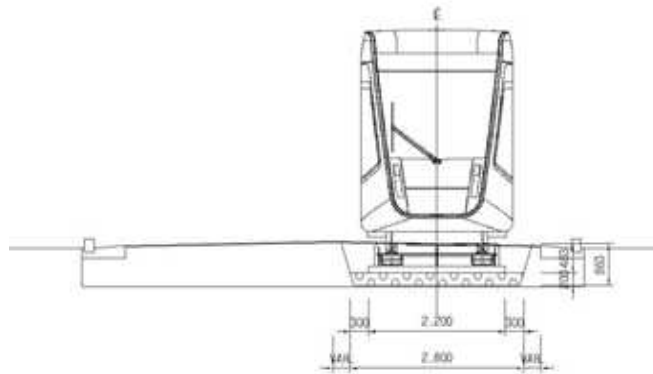
(1) 트램 전용시험선

□ 시설개요

- 무가선트램 시험선은 충북 청원군 오송읍의 한국철도시설공단 시설장비사무소 기지 내에 건설되었다. 2010년부터 후보지선정 및 기본계획을 거쳐 2011년 10월에 입지를 선정하여 설계를 착수하였으며, 2012년 4월에 착공하여 2012년 9월에 완공되었다. 주요 시설물로는 1.0km의 매립형궤도 선로, 검수고 1동, 변전소 1동 및 충전시설, 간이승강장 2개소가 있다. 2013년 9월 착수된 무가선 저상트램 실용화 사업을 통해 600m의 선로가 확장공사가 진행되고 있으며, 500m 길이의 유가선 구간이 설치하여 유무가선 하이브리드 주행 성능시험이 이뤄졌다.

○ 배선계획

트램용 선로는 기지내 2차선 순환도로 중 내측 1차선을 점유하도록 계획되었으며, 전체 길이는 1.0km이다. 주행시험이 수행되는 본선은 총 961.3m로 완화곡선이 고려된 곡선반경 25m(개발된 무가선트램의 최소 곡선반경)의 곡선부 1개소를 포함하고 있다. 종단선형은 본선 전체 구간이 완전 평면이며, 검수고 인입선은 2%의 경사로 계획되었다. 검수고 인입선 38.7m는 곡선반경 25m의 완전 원곡선 구간으로 매립형분기기를 통해 본선으로 부터 분기된다.



<그림 79> 매립형궤도 선로의 표준횡단도

○ 노반조성

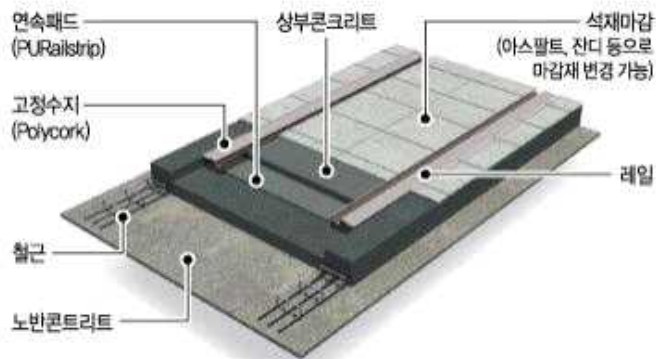
그림 79는 본선 선로의 표준횡단도이다. 궤도 슬래브는 하부노반은 반복평판재하시험 재재하연직강성(Ev2)을 50MPa로 가정하여 설계하였다. 실제 시공에서는 그림 5와 같이 기존 도로를 60cm 깊이로 굴착하고, 일반적인 진동다짐 방법으로 되메운 후 최상부층에 20cm 두께의 강화노반을 포설하여 다짐하였으며, 현장시험결과 강화노반 상부에서 Ev2는 100MPa 정도로 측정되었다.



<그림 80> 매립형궤도 하부 노반의 조성

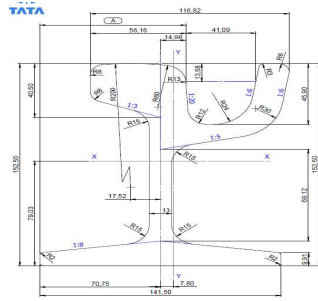
○ 매립형궤도 건설

시험선 선로로 적용된 궤도는 그림 81에 나타난 구조의 수지고정형 매립형궤도로 앞에서 언급한 국가 연구개발사업으로 개발된 것이다.



<그림 81> 국내개발 수지고정 매립형궤도 구조

상부 궤도콘크리트의 경우 직선부는 슬립폼페이퍼(Slip form paver), 곡선부는 일반 거푸집을 이용하여 현장타설방식으로 시공되었다. 레일은 국내 기술로 개발된 polycork라는 코르크를 함유한 합성수지로 레일이 고정된다. 레일로는 전세계적으로 트랩선로에 가장 많이 적용되는 Grooved rail(41GPU, Tata Steel 제조)을 적용하였다.



<그림 82> Grooved rail(41GPU) 단면

선로 구성으로는 자동차의 통행이 예상되는 821.8m의 구간은 아스팔트로 마감하였으며, 도로 주변 녹지구간에 설치된 종점부 승강장 부근에는 석재마감 선로 76.4m와 잔디마감 선로 51.2m를 설치하여 다양한 궤도 형식을 시험 적용하였다.



<그림 83> 마감재료에 따른 매립형궤도 적용

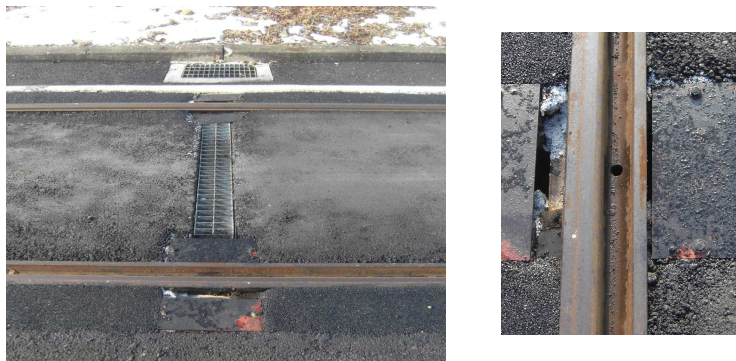
본선 직선구간으로 부터 곡선반경 25m의 완화곡선이 있는 곡선부와 완전 원곡선의 인입선으로 분기하기 위한 분기기로는 매립형제품인 룩셈부르크 KIHN사의 CR2 6011 41GPU Turnout과 독일 HANNING-KAHL사의 HMU42-D 수동형 선로전환장치를 수입 설치하였다(그림 84).



<그림 84> 매립형분기기의 설치

○ 선로 배수시설

그림 42는 시험선 매립형궤도 선로에 설치된 배수시설이다. 기본적으로 도로의 횡방향 배수시설을 공용하고 있으며, 시험선에서는 기존 도로 배수구 위치에 선로길이 56m 마다 설치되었다. 배수구 설치 구간에는 10cm 폭으로 궤도 콘크리트와 레일고정수지가 설치되어 있지 않으며, 스틸그레이팅을 덮고 레일 홈에 구멍을 뚫어 궤도 표면 및 레일에 누적되는 물을 배수할 수 있도록 하였다(그림 85).



<그림 85> 매립형궤도 선로의 배수

○ 승강장

시험선에는 그림 86과 같은 2개소의 승강장이 설치되었으며, 레일 상면으로부터 35cm 높은 보도 형태로 설계되었다. 1개소는 도로에 인접하여 설치되었으며 차량과의 간극 조절을 위해 고무발판을 부착하였다. 다른 한 개소는 도로에서 화단 쪽으로 인입된 전용선(잔디궤도)에 설치하였으며, 차량과의 간극 조절을 위해 목재를 사용하였다. 이와 같이 저상트램용 승강장은 기존 철도시스템과 달리 단순한 구조로 버스 정류장 수준의 공사비로 시공할 수 있다는 장점이 있다.



<그림 86> 저상트램용 승강장(도로 인접)



<그림 87> 저상트램용 승강장(전용선 인접)

□ 보유장비

○ 검수시설

개발 차량의 검수를 위한 검수고는 면적 367.47m², 지상 1층의 철골조 건축물로 건설되었다(그림 88). 주요 검수장비로는 차체를 700mm 이상 인양하여 대차와 분리가 가능한 최대중량 64톤(8포인트, 1포인트당 8톤)의 리프팅잭이 설치되었다.



<그림 88> 검수고 및 검수시설

○ 전력공급 및 충전 시설

전력 공급을 위한 변전소는 면적 86.89m², 지상 1층의 철근콘크리트조 건축물로 건설되었다(그림 89). 변전소는 한전으로부터 3φ AC 22.9KV의 전압을 수전한다. 정류용 변압기에 의해 변환된 직류 750V는 검수고 차량 출입구에 설치된 충전용 전차선에 공급된다.



<그림 89> 변전소 및 변전설비

충전용 변전설비와 강체가선(그림 90)은 162 kWh 용량의 차량 배터리에 4C의 전류(720A)로 충전할 수 있도록 설계되었다. 또한 AC 22.9KV 전압을 AC 380V와 AC 220V 전압으로 강압하여 검수고내 전기설비(리프팅잭, 크레인, 냉난방시설, 조명 등), 변전소/사무실 전기설비(조명, 냉난방시설 등)의 전원으로 이용한다.



<그림 90> 충전용 강체가선

(2) 철도차량 실물충돌시험설비

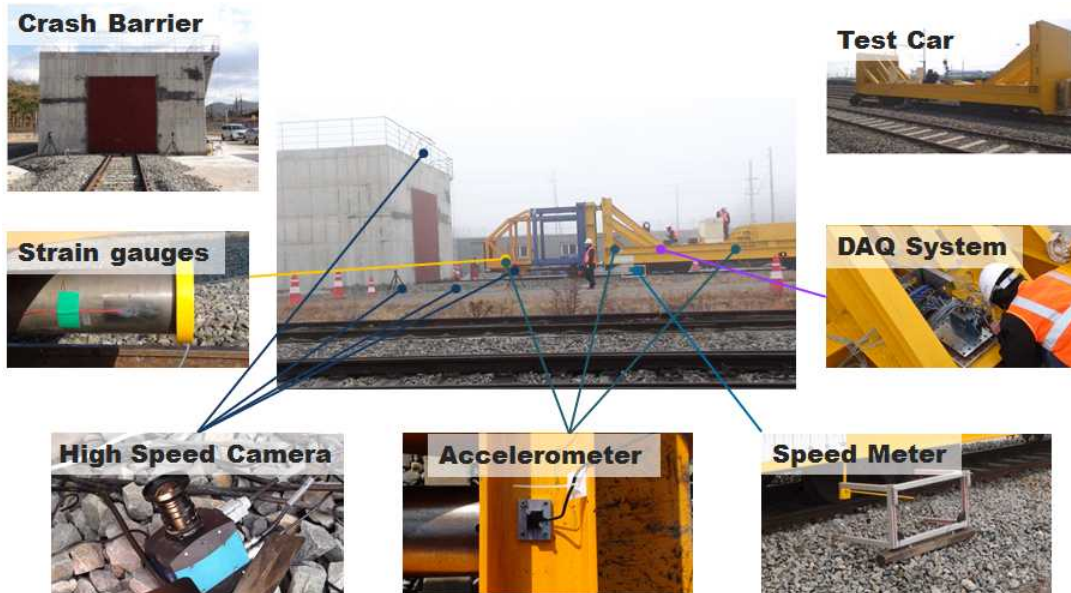
□ 시설개요

- 철도차량 실물충돌시험설비는 국토부 R&D를 통해 2010년 고속철도 영동기지 내에 아시아권 최초로 구축되었음
- 구축된 실물충돌시험설비는 2010년 이래 연간 10 프로젝트 이상, 100회 이상의 충돌시험을 수행하였으며, 철도차량 외에도 도로교통용 충격흡수장치, 탱크컨테이너 충격시험 등 다양한 분야에 걸쳐 활용되고 있음
- 가능한 시험 규격으로 유럽의 EN 15227, 북미의 49 CFR 238, 탱크컨테이너 충격시험 관련 규격인 ISO 1496-3, 철도차량용 버퍼 기준인 EN 15551 등이

있음

□ 보유장비

- 충돌고정벽 : L×W ×H (21m ×13 m ×12 m)의 크기로 강화콘크리트 구조
- 시험차량 : 20톤, 37~47톤, 40~80톤, 80톤 충돌시험 차량 보유
- 궤도모터카 : 최대 40 km/h 의 충돌시험 가능, 자동연결기해방장치 포함
- On-board DAS(Data Acquisition System) : 차량에 탑재하여 하중, 가속도 등을 측정, 내충격 설계
- 고속카메라 : 1000 fps의 성능을 가지며 내충격 설계
- 인체모형(dummy) : 탑승객 인체상해치 평가를 위한 더미로 총 8종 보유
- 가속도계 : 최대 2000g까지 측정 가능한 piezo-type 가속도계
- 로드셀 : 300 tonf dynamic 로드셀 10개



3. 인프라 현황 조사결과

- 현재 국내 트램이 상용화 된 노선은 없어 차량 운영경험 및 연구 실적 등이 다소 부족한 실정이나, 국토교통부의 R&D 사업으로 진행된 무가선 저상트램 연구의 수행으로 인하여 관련 연구시설 및 연구인프라가 충분히 확보되었음.
- 특히 철도분야 종합 연구기관인 한국철도기술연구원은 약 290명의 전문 연구인력을 보유하고 있으며, 차량 충돌해석분야 연구장비 및 시설 인프라는 세계적인 수준으로 판단됨.

4. 선진국 대비 국내연구 인프라 수준

구 분	선진국 대비 인프라 수준				
	부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
관련분야인력			○		
전문인력			○		
연구장비		○			
연구시설			○		
국제공인인증기관		○			
국제기술협력기반			○		

제6절 수요조사 및 활용 방안

1. 국내 트램사업 추진현황

- 과거 60년대 후반까지 서울과 부산 등에서 운행되던 노면전차가 사라진 이후 국내 노면전차가 운행되는 곳은 현재까지 없으며, 2017년 06월 현재 국내에서는 9개 지자체에서 14개 노선에 트램 도입을 추진중.
- 수원시와 위례신도시는 민자 적격성조사(KDI PIMAC)가 진행중이며 대전시는 고가방식에서 노면방식 변경에 따라 국토부에 기본계획변경 신청중임.
- 국토부 지원의 “무가선 저상트램” 개발이후 실제 시험선 운영현장 견학을 통해 트램에 대한 불신이 해소됨으로서 지자체 트램 도입 희망이 증가. 도입 희망 지자체들은 우선적으로 무가선 저상트램 도입을 희망하고 있음.

2. 지자체 실증 가능성 검토

- 트램 사업을 추진 중인 5개 지자체와 실증연구 관련 협의 진행
 - 지자체 실증과 관련하여 대전시(‘16.4.1), 수원시(‘16.4.4), 화성시(‘16.5.18)와 협의 결과 모두 적극참여를 희망함. 대전의 경우는 실증사업 연계를 포함할 수 있는 후보 노선 2개를 발표(‘16.4.28). 수원시는 후보 구간 일부를 참여 희망하였으며 특히 국가R&D의 노하우 협조도 적극 희망함. 화성시의 경우도 1호선 후보구간 일부를 실증연구 참여를 통해 조기 추진 희망.
 - 과거 경험이 없어 실패하였던 전주시, 울산시, 창원시의 전철을 밟지 않을 수 있고 조기추진 탄력을 받을 수 있어 나머지 후보 도시들도 적극 연계를 희망하고 있음.

<표 23> 국내 지자체 트램 사업 협의

협의대상 지자체	협의일자	트램 사업관련 의견
대전시	2016. 4. 1.	<ul style="list-style-type: none"> ○ 추진 중인 스마트트램 노선과 실증연구의 취지가 동일하며, 해당노선에 실증연구 추진 가능 ○ 스마트트램 사업은 2016년 설계를 시작하여 2020년 완공 예정이나, 실증연구 추진을 통해 가속화 할 수 있음
수원시	2016. 4. 4.	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수원 도시철도 1호선에 시범노선을 적용하기 위해서는 현재 추진 중인 민자사업의 적격성이 2016년 하반기에 통과 한 후 이를 바탕으로 실증연구에 지원 가능하며, 실증연구 지자체로 선정 후 민자사업 내용을 변경하는 방식으로 추진 가능 ○ 기존 노선과 연계 가능하고 독립된 1.0km 안팎의 별도노선 검토 가능
화성시	2016. 5. 18.	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 계획 중인 노선과 병행하여 설치 가능한 시범노선 발굴을 위한 기술 협력 추진 필요

□ 지자체 실증에 대한 전문가 자문 실시

- 2016년 10월21일 도시철도사업 추진 경험이 있는 설계사, 시공사, 지자체 실무자를 대상으로 기술자문회의를 개최 하였으며 아래의 주요 자문의견 제시

구분	자문의견
법 제 도	(1) 현재 법제도하에서는 실증노선 구축이나 운영이 어려우므로 이에 대한 충분한 검토 후 사업 진행 필요
	(2) 기존 도시철도법에 따른 실증노선구축은 상당기간이 소요되며 광역시 이상과 이하의 기초 자치단체와 철차상의 기간소요가 달라 기초 자치단체가 불리해지는 문제 발생
	(3) 기존에 계획된 노선의 일부만을 실증노선으로 우선 구축하는 계획 변경에 상당한 기간이 소요되며, 향후 연장으로 인한 간이검수고 및 관제실 건물 등 일부 시설물의 매몰이 불가피함
	(4) 기존 계획 노선에서 일부만 건설하는 경우 시설물 매몰을 최소화하기 위해서는 시중점부에 계획하는 것이 적정하나, 일반적으로 시중점부는 차량기지의 인입선 등으로 수요가 거의 없을 가능성이 큼
	(5) 지자체 부담 부분은 완전 현금 또는 매몰 위험성이 없는 차량이나 설비 등으로 하는 것이 적절함
	(6) 본선 건설 이전 3km 정도의 시범노선을 기존 다른 교통수단과 상관없는 공원부지에 건설한 대만 카오슝 사례를 참조할 필요가 있음
노 선 운 영	(1) 연장계획이 있는 경우 1.0km 안팎의 소규모 독립노선의 우선 구축을 위해서는 시중점부에 구축하는 것이 적절하며, 스페인 등의 사례 참조 필요
	(2) 요금징수가 가능한 1.0km 규모의 영업노선은 찾기 힘들 것으로 판단됨
	(3) 실증노선의 홍보를 위해서는 가능한 많은 사람이 탈 수 있는 노선의 선정이 필요함
	(4) 현실적으로 1.0km 노선의 운영으로 운영비용을 확보하기 어려우며, 필요시 R&D 예산에서 운영비 지원이 필요함

□ 요약

- 지자체는 실증연구를 통해 제도적, 정책적, 기술적 지원을 희망하며 이를 통해 조기 사업화 희망
- 실증연구와 지자체 노선을 연계하기 위해 사업시행절차 등 복잡한 행정절차가 예상되며 중앙정부의 적극적인 지원 필요

3. 지자체 노면전차 애로사항, 실증사업 수요조사

- '16년 11월 23일부터 '16년 12월 06일까지 서울, 대전, 부산, 수원, 성남, 안성, 화성, 울산, 시흥, 경기도 등 국토부 트램 협의체 회의 참석기관을 대상으로 추진현황, 애로사항, 실증사업 수요 조사 실시
- 9개 지자체 중 5개 지자체에서 회신

도시명	애로사항	실증노선 참여의사
대전시	-노면전차(트램)의 조기도입과 안정적인 건설·운영을 위해서는 “노면전차의 건설, 운전, 안전 등에 관한 규칙”이 조속히 제정 필요 -노면전차의 특성을 고려한 편익산정이 전무한 상태는 물론 도로를 잠식한다는 사유로 과도하게 부(-)편익을 적용함으로써 경제성 분석에 어려움이 있음. 노면전차 경제성 분석 기법 개발필요	◎
성남시	-경제성분석 기준 및 지침 미비하여 사업 타당성 확보 어려움 -관련 법령 미비하여 자동차 및 보행자와 혼합시 안전에 대한 사회적 동의 어려움 -중앙정부의 추진의지 부족으로 정책적 지원 없음	◎
수원시	-예비타당성조사로 대표되는 국내 투자평가체계의 불합리성 -사업에 대한 시민 공감대 형성의 어려움 이라고 할 수 있음.	◎
울산시	-트램 건설운영 관련 법체계 조속한 기한내 일괄 정비, 법체계 정비를 진행 중이나 트램의 원래 기능인 수송기능 이외 도시재생 관광자원 기능 수행토록 관련 법령 일괄 정비 필요 -트램 도입 활성화를 위해 재정지원체계 전면 개편 필요 도시철도 시스템이 다양하고 소요비용 차이가 큼에도 불구하고 일률적인 재정지원 분담구조로 인해 트램 도입 활성화 저해 -국산화 트램 차량 성능향상을 위해 지속적인 연구개발, 차량의 주 동력원을 리튬이온 전지와 전기의 하이브리드 형태이나 세계적 경쟁력 확보 필요, 도시철도 시스템별 차등 지원 또는 사업방식별 재정지원체계 개편 -트램 건설 및 운영 전문인력 육성, 국내 최초 도입에 따른 건설 및 운영 전문인력 부족, 시행착오 최소화를 위해 해외 운영사 노하우 확보하고 기술인력 양성을 위한 교육프로그램 개발 및 운영 필요	◎
시흥시	-	◎

□ 요약

- 트램의 장점을 고려한 경제성 분석기법 개발, 안정적인 건설·운영을 위한 건설·운영 관련 법체계 정비 등 트램 건설·운영을 위한 법제도 기반 마련 필요
- 국내 최초 도입에 따른 건설 및 운영 전문인력 부족, 시행착오 최소화를 위해 해외 운영사 노하우 확보하고 기술인력 양성을 위한 교육프로그램 개발 및 운영 필요

4. 연구성과물 활용방안

- 트램 도입을 희망하는 수원시, 대전시, 화성시 등 국내 10여개 지자체를 대상으로 선정·구축예정인 실증노선은 해당 지자체의 상용노선으로 활용될 수 있고 해당지자체의 연장노선 또는 타 지자체의 트램노선의 트램사업표준모델로 활용할 수 있음.
- 실증을 통해 상용실적을 확보한 무가선트램시스템은 '20년전후 계획되어 있는 국내 트램사업에 활용할 수 있음. 또한 상용실적을 기반으로 무가선 트램에 관심을 보이는 베트남, 태국, 온두라스, 중국 등 진출할 수 있음.
- 표준설계기준, 형식승인 차량은 지자체 표준모델로 활용
 - 차량, 궤도, 신호에 대한 표준모델은 트램사업의 표준으로 활용되어 지자체 사업 추진을 가속화하고 안전뿐만아니라 효율성을 제고
 - 지자체 부담의 형식승인 차량은 지자체 상용노선에 바로 투입 활용
- 무가선 저상트램 전용 종합시험선
 - 전략적 국내외 홍보 및 교육시승의 장으로 활용 : 정기적인 트램 교육 및 홍보
 - 도로교통공단 및 교통안전공단 등과 연계한 트램 안전교육장으로 활용
 - 트램 운전면허관련 법적 운전 실무수습에 활용
 - 트램 도입 지자체의 표준모델로 제시
- 완전 무가선 저상트램 기술
 - 지붕탑재형 배터리시스템, 대용량 안전충전장치의 완전 무가선 저상트램 기술은 20년전후로 사업추진 예정인 지자체에 대한 기술 자문을 통해 설계에 반영도록 추진
 - 지붕탑재형 배터리시스템은 현재 해당사항이 없는 노면전차 철도차량기술기준에 반영하고 대용량 안전충전장치는 철도시설기술기준 등에 반영도록 추진

- 개발품에 대하여 기술기준, 규격에 반영하여 표준화 유도
- 트램 교통사고 저감기술 및 복구기술, 무임승차 방지기술은 지자체 트램 사업에 적용 추진
 - 해당기술들은 트램 안전운행 및 운영효율화를 위해 필수기술로서 지자체에서 적극 활용 가능
 - 지자체 및 산업계에 대해 무가선 시험선 견학 및 홍보를 통해 해당 기술의 적극적인 홍보와 트램사업 계획시 설계 반영 추진
 - 기존 노면전차 철도차량기술기준에 규정되어 있지 않은 추진 대용량배터리, 교통사고 피해저감 설계기술을 반영하여 국가적 기준 마련
- 트램 운영에 필요한 법제도 정비를 통해 지자체 트램 사업 활성화 기여
 - 트램 표준운영모델, 운영유지보수 매뉴얼은 트램 운영기관에서 활용
 - 트램 운영관련 법제도 개정(안)은 제도화를 통해 트램 운영을 위한 법제 완성에 활용

제7절 연구성과 실용화를 위한 관련 법령 검토

1. 트램 법제도 추진 현황

□ 주요 추진경과

- '14. 07 : 주요 3법 개정(안) 국토부 광역도시철도과 제출
- '14. 07 ~ '14. 12 : 월 2회 법률 개정안 내용 협의
 - 국토부, 연구단(철도연, 도로교통공단, 교통안전공단)
- '15. 05 ~ : 노면전차 제도개선 T/F 운영(국토부 주관)
 - 국토부, 연구단, 기타 전문가
- '16. 06 : 트램 건설을 위한 입법과제와 추진방안 관련 국회 토론회
 - 국회(이원욱, 정성호, 김태년, 김영진 의원실), 국회 입법조사처
- '16. 06 : 도시철도법 개정안(정성호 의원 대표발의) 발의
- '16. 09 ~ : 노면전차 도입을 위한 협의체 운영 (국토부주관)
 - 국토부, 경찰청, 지자체, 연구단
- '16. 12 : 도시철도법 개정완료
 - 전용로 및 혼용로 관련 규정, '17.12.3 시행 예정
- '17. 01 : 철도안전법·시행령·시행규칙 개정완료
 - 법 : 철도보호구역 노면전차 특례 예외 규정, '18.1.18 시행예정
 - 시행령·시행규칙 : 노면전차 운전자 교육 및 운전면허제도 관련 규정
- '17.02 : 도로교통법 소위 회부('17.02) 및 상반기 의결 예정
 - '16.11 의원입법 발의, '17.04 현재 경찰청 주관 법개정 TF 추진

□ 주요 개정내용

- '17년 상반기 중 개정 주요 3법에 대한 시행령 및 시행규칙 개정을 목표로 하고 있으며 세부적인 추가 지침·규격·매뉴얼 개발은 실증과제에서 연구 추진

관계법령		진행현황
도시 철도법	•도시철도법	•개정 완료('16.12)
	•노면전차 건설 및 운영에 관한 규칙	•제정안 마련 및 법제화를 위한 협의 중(국토부, '17년 내)
	•허위 지침/규격	•실증사업에서 개정연구 추진
철도	•철도안전법, 시행령, 시행규칙	•개정 완료('17.01)

관계법령		진행현황
안전법	•하위 지침/규격	<ul style="list-style-type: none"> •안전관리체계, 종사자 안전관리, 시설안전관리, 운행안전, 사고처리, 안전기반 구축 등 5개 주제별 41개 기준/지침 개정 필요성 및 내용 검토 •실증사업에서 개정연구 추진
도로교통법	•도로교통법, 시행령, 시행규칙	<ul style="list-style-type: none"> •의원입법 발의('16.11), 소위 회부('17.02), 경찰청 주관 법개정IF 추진('17.04), '17년 상반기 개정 계획 •동법 시행령, 시행규칙 '17년내 개정 계획
	•신호기/안전표지/노면표시 설치 관리 매뉴얼	<ul style="list-style-type: none"> •경찰청 소관 3개 매뉴얼 개정(안) 개발 •'17년 하반기 개정 예상

<표 24> 단계별 법·제도 계획(안)

성과구분	II 단계('13~'17) 시험선 1.5 km(유/무가선) 분기기제어, 신호 및 관제	III 단계('17~'20) 실제 도로 1km(무가선) 충전소, 신호관제, 안전승인체계 구축
내용	○ 도시철도법 관련 - 법 개정(국회, 국토부)	○ 도시철도법 관련 - 노면전차 건설 및 운전에 관한 규칙 제정(국토부) - 노면전차 시설 설계지침 제정(국토부) - 도시철도 건설운전규칙, 정거장 및 환승 등 각 지침별 개정(국토부)
	○ 철도안전법 관련 - 법 개정(국회, 국토부)	○ 철도안전법 관련 - 안전관리체계, 형식승인, 종합시험운행관련 시행령·시행규칙 개정(국토부) - 도시철도 안전관리체계 기술기준 등 규칙/지침 41종중 필요 개정(국토부)
	○ 도로교통법 관련 - 법 개정(국회, 경찰청)	- 교통안전시설 설치 관리 매뉴얼 개정(경찰청) - 교통신호제어기 규격 개정(경찰청)
	○ 기타 법률	○ 기타 법률 - 교통사고처리특례법 개정(국회, 경찰청/법무부) - 자동차손해배상보장법(또는 여객자동차운수사업법) 개정(국회, 국토부)

<표 25> 지자체 사업추진 일정을 고려한 관련 법제도별 제도화 기한

구 분		'17년	'18년	'19년	'20년
도시 철도법	법,시행령,시행규칙 (완료)	개정 완료			
	노면전차 건설 및 운영에 관한 규칙				
	노면전차 시설(선로,궤도,선로시 설,정류장 등) 설계지침				
철도 안전법	법,시행령,시행규칙 (완료)	개정 완료			
	트램관련 안전관리체계 기술기 준 등 41종 지침*				
도로 교통법	법,시행령,시행규칙				
	교통안전시설 설치 관리 매뉴 얼				
	교통신호제어기 규격				
교통사고처리특례법, 자동차손해배상보장법					

제8절 종합분석

1. 국내외 정책 및 시장분석

- 트램의 경량전철 세계시장(연1.4조, 연6%성장) 점유율은 80%이며, 400여개 노선에서 운행중이며 150여개 신규 노선이 추진중으로 사업화에 유리
 - 신규 차량시장은 연3.3조원, 전체 시장규모(인프라, 유지보수, 운영)는 약30조원 (SCI Report 2014)
- 유럽을 중심으로 트램의 시장규모는 지속적으로 증가, '12년부터는 CIS(러시아), 아시아(대만, 중국), 남미(브라질), 터키 등 신규 시장 형성
 - (시장규모) 약 '10년과 '11년 350편성 이상, '12년 450편성 이상 발주로 계속 증가 추세
- 무가선 트램 시장은 여러국가에서 개발한 시스템이 혼재되어 있으며, 특히 후발 주자인 중국업체는 해외 선진업체와 제휴를 통해 급속히 성장
 - 중국 난징, 쑤저우 등 5개 도시에서 선진 기술합작을 통해 무가선 트램 도입 추진
- '13년이후 중국, 미국, 스페인 등에서 13개 노선 무가선 개통으로 신규 노선에 대한 무가선 트램수요 확대

» 세계적 도입 붐

- 세계 약 400개 도시에서 운영 중
- 85개 도시에서 건설중, 향후 10년간 180개 도시 도입 예정
- 신규 차량시장은 연3.3조, 전체 시장규모(인프라, 유지보수, 운영)는 약30조 (SCI Report 2014)

» 중국 내수시장 확대 및 무가선트램 시범사업

- 외국 유명 차량제작사와 기술제휴로 내수시장 확대 중 : Zhuhai(안살도브레다, '14), Nanjing(봄바르디아, '14), Guangzhou(지멘스, '15)
- AIB 등 인프라 자금과 자체 브랜드차량을 활용한 공격적 해외시장 진출

» 해외 무가선 트램노선 증대

- '13년 이후 중국, 미국, 스페인 등에서 13개 노선 무가선 개통



〈중국 난징 배터리 트램, '14년〉

▶ 신규 노선에 대한 무가선 트램 수요 확대

- 트램 차량 가격 추정
 - 해외 자료(LRT Rolling Stock, SYSTRA, 2014.)에 의하면, 32m 길이 트램을 기준으로 평균 약 2.2m€ (28억원)~2.7m€ (34억원) 정도로 추정하고 있음. 무가선 트램의 경우 차상에너지저장장치는 200k€ (2.5억원) 정도 추가 소요

추정함.

- 해외차량 구매 시 공급사는 차량가격을 낮게 제시하고, 유지보수 부품가격을 높게 부르는 경향이 있음.
- 외국 수입시 시스템 도입비용의 고가 및 부품 호환 불가, 외국 기술에 의존시 잦은 고장 및 운영·유지의 어려움 발생
- 외국의 차량시스템이 도입되어 운행되고 있는 지자체 노선에서는 열차제어 시스템, 추진/제동장치, 전장품 및 설비품에 운영 및 유지보수 등의 운영 및 기술부족으로 운영상에 어려움을 겪고 있음. 또한 일부 핵심제어장치에 대한 운영 프로그램 및 부품에 대하여 외국 차량공급사의 본사에서 승인없이 차량 및 시스템 보증관계로 보완 및 개선할 수 없으며 고가의 본사 직원만이 교체도록 하고 있음. (ref. 경전철 차량시스템 선정 가이드라인 연구용역 최종보고서, 2014.12)

□ 트램 유지보수비 추정

- 차량 보수품에 대하여 프랑스에서는 경우는 어느 특정 부품에 대한 단가를 개별적으로 활용하지 않고 단순히 연간 운행연장과 노선연장을 기준으로 얼마 정도의 비용이 필요하다는 예측값을 설정하여 보수품에 소요되는 비용을 산출. 차량 유지보수에 필요한 보수품의 경우 운행연장 당 0.7유로, 시설 유지보수에 필요한 보수품의 경우 노선연장 당 20,000유로 수준에서 적용
- 국내 트램은 현재 차량과 시설 관련 부품 소요량에 대한 정확한 데이터가 없으므로 외국에서 적용하고 있는 차량 운행연장 당 비용과 시설연장 당 비용을 적용하는 것도 합리적인 방안으로 판단됨.

2. 기술개발 동향 분석

□ 무가선 기술

- 시장동향 분석결과 무가선 트램노선은 전세계적으로 확대되고 있으며, 차량 제작사마다 구현기술은 상이하며 배터리방식, 슈퍼커패시터방식, 배터리-슈퍼커패시터 혼합방식, 접촉급전방식이 상용화되고 있음.
- 초기 접촉급전방식(APS, 프랑스)과 슈퍼커패시터방식이 먼저 상용화가 되었으나 전기자동차 보급과 배터리기술 에너지밀도, 수명, 전력밀도 향상과 더불어 배터리방식이 다양한 방식으로 적용되고 있음. 향후 배터리방식 무가선 트램이 우세할 것으로 보이며 배터리기술향상으로 상용운영조건에서 1회 충전 50km까지 무가선 주행이 가능할 것으로 판단됨.

□ 트램 안전기술

- 트램 보급 증가로 교차로 타교통수단과의 사고가 이슈화 되고 있으며 유럽 과학기술연합(COST: European Cooperation in Science and Technology)과 세계교통협회(UITP)에서 유럽을 중심으로 사고유형, 원인, 조치결과를 수집 분석하여 저감대책연구를 2010년이후로 추진.
- 교통사고 저감을 위해 외부인식 및 차량능동회피제어기술이 개발되어 상용화 전단계에 있으며 사고피해저감을 위한 차량설계 및 차체기술, 사고 차량 복구기술은 이미 상용차량에 적용되고 있음.
- 자율주행자동차의 안전기술을 적용하여 먼저 운전자의 안전운전을 지원하는 기술이 적용되고 향후 무인 자율주행 트램으로 발전될 것으로 판단됨. 트램은 정해진 궤도를 주행하기 때문에 자동차와 같은 조향이 필요없어 자율주행자동차보다 먼저 상용화가 가능할 것임.

□ 트램 운영기술

- 해외에서 국가별 특성에 따라 트램에 적용되는 관련 법·제도가 상이(유럽의 경우, 도시철도 차량으로 분류하여 관리, 운영은 도로교통의 일부로 정의하여 자유롭게 사용)하나 해외는 트램운영을 위한 법체계가 마련되어 있음.
- 국내는 트램의 특성을 고려하지 않고 단순히 도시철도의 기준을 적용하였으나 국가&D결과에 의해 도로교통법 개정을 추진중. 도시철도에 근간으로 트램 비용이 평가되고 있어 경제성이 떨어지는 것으로 평가되고 있어 트램의 편익을 반영한 투자평가체계 개선이 필요. 이외 사고처리, 보험 등 안전 관련 법령 정비, 법으로 규정하는 영업운전전 종합시험운행 제도 정비, 안전관리체계 정비가 필요
- 해외 트램 요금징수는 대개 차내 자율검표방식으로 운영되고 있으며 트램의 환승편의성, 접근성의 장점을 유지하기 위해서는 국내도 동일한 방식으로

운영이 불가피. 기술동향에서 살펴보았듯이 트램은 무임승차비율이 일반 지하철에 비해 4배이상 높기 때문에 트램 운영사의 수익성 향상을 위해 무임 승차자 관리가 필요하며 IT기술을 이용할 경우 경제성이 있음을 확인.

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표

1. SWOT 분석

1.1 목적

- 내부환경과 외부환경 요인을 명확히 분석하여 기술개발 전략을 수립하기 위한 방향 제시를 목적으로 수행함

1.2 방법

- Brain storming, 기획회의, 워크샵 등의 결과를 근거로 SWOT 분석 실시

1.3 결과 및 분석

- SO전략 : 외부환경에서의 기회를 확보하기 위해 내부역량의 강점을 극대화 할 수 있는 성장 지향적 전략 수립
- WO전략 : 외부환경에서의 기회를 이용하기 위해 내부역량의 약점을 극복 할 수 있는 전략 수립
- ST전략 : 외부환경에서의 위험을 회피하기 위해 내부역량의 강점을 극대화, 확산시킬수 있는 전략 수립
- WT전략 : 외부환경에서의 위험을 회피하기 위해 내부역량의 약점을 할 수 있는 전략 수립

SWOT분석	강점(S)	약점(W)
	<ul style="list-style-type: none"> ◦고속철도, 경량전철 등 세계적 수준의 철도기술 보유 ◦지하철 및 경량전철에 비해 시설비가 저렴하며 전차선 가설구간과 미가설 구간 모두를 운행할 수 있어서 유연성이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> ◦차량, 인프라 등 다분야 공동연구에 대한 인프라 부족 ◦저상트램을 도입·운영한 경험이 전무하고, 저상차량 등의 기반기술이 취약
기회(O)	SO 전략	WO 전략
<ul style="list-style-type: none"> ◦도심지 도로교통 문제를 해결하고자 하는 정부의 강력한 의지 ◦교통약자에 대한 이동편의 증진 등 정책적 배려 ◦일반 경량전철의 건설비를 획기적으로 절감할 수 있는 신교통수단의 필요성 대두 	<ul style="list-style-type: none"> ◦세계수준의 고속철도, 경량전철, IT기술을 결합한다면 국내외 시장에서 경쟁력 있는 제품개발이 가능할 것임 ◦정부나 지자체와의 긴밀한 협조체계 구축을 통하여 대중교통 기본계획 수립 등에 적극 참여 	<ul style="list-style-type: none"> ◦국내에 미비한 기술 분야의 적기 개발과 해외 시장 진출을 위한 연구개발품의 시범노선 적용 ◦저상트램의 운영전략 마련이 중요하며, 이를 위한 세부과제 추진
위협(T)	ST 전략	WT 전략
<ul style="list-style-type: none"> ◦일반 경량전철, 자기부상 열차 등의 타 신교통 수단은 개발 및 실용화 완료 ◦무가선트램 개발품의 상용화가 늦어질 경우 해외 선진국의 저상트램이 국내 시장을 독식 및 해외진출 장애 발생 	<ul style="list-style-type: none"> ◦무가선 저상트램의 운행 전략을 명확히 해야 할 필요가 있음 ◦운영과 인프라비용 최소화를 위한 전략 마련이 중요 <ul style="list-style-type: none"> - 서비스수준별 구성요소 최적화 방안 마련 	<ul style="list-style-type: none"> ◦시범노선 구축을 통한 국내 실용화 및 해외시장 진출 발판마련 ◦트램 도입을 추진 중인 지자체에 대한 기술적/제도적/정책적 기술지원

제2절 기술개발에 따른 미래상

1. 현황 및 미래상

□ 현황

- 우리나라는 2012년까지 - 온실가스 감축 의무없이 - 관련 통계 및 국가 이행사항을 당사국 총회에 제출하는 등 공통 의무사항만 이행하면 되는 개발도상국 지위를 인정받음. 하지만 2013년 부터 시작되는 2차 공약기간에는 부속 국가로 분류되어 온실가스 배출량을 의무적으로 감축해야 할 가능성이 매우 높으므로, 온실가스 저감효가가 탁월한 신교통수단의 개발을 본격적으로 추진해야 함
 - 한국은 2004년 4억 6,500만톤의 이산화탄소를 배출하여 세계에서 9번째로 이산화탄소 배출량이 많음 (UNDP 「2007/2008 인간 개발 보고서」)

□ 미래상

- 접근성, 환승성, 경제성, 도심환경친화성 등을 향상시킨 새로운 도심지 대중교통수단의 도입으로 친환경 녹색도시 구현
 - 무가선, 입체교량 건설의 최소화 및 초저상 차량으로 교통약자를 배려한 편리한 승하차 시스템으로 철도 수송분담률 향상
 - 무가선 저상트램의 개발을 통해 접근성, 환승성, 경제성, 도심환경친화성 등을 향상시킨 새로운 도심지 대중교통수단의 도입할 수 있으며, 이를 통해 정체, 혼잡, 사고로 인한 사회적 비용의 절감과 '대중교통의 육성', '교통약자의 이동편의 증진' 등 국가교통정책 구현 가능
 - 기존 가선방식 전원공급의 문제점인 고비용의 유지보수 비용 문제 해결이 가능하며, 도시미관을 해치는 전선 및 구조물들을 제거하여 경관을 개선할 수 있음
 - 무가선 저상트램은 자가용 수요를 흡수함으로써 도로교통의 혼잡과 환경오염을 줄일 수 있음.
 - ※ 도시철도는 승용차의 1.5%의 CO2배출량을 가지며 무가선 저상트램은 회생제동을 통해 에너지효율을 30%이상 높일 수 있음.
- 트램의 뛰어난 미관으로 도시 가치 상승 및 상업 활동(트랜짓몰)의 증가
 - 매력적이고 활기있는 도시재생 지원, 도심지구의 순환 유람/관광 활성화, 낙후된 산업지역/지구 재개발 촉진



□ 실증체계 구축 및 운영전략기술 개발

- 트램의 상용화함에 있어서 필수적인 제도적 기반요소들을 개발함으로써 철도와 도로가 접목한 바이모달 수단인 트램의 운행으로 인한 사회적 혼란 및 안전 저해요소들을 제거할 수 있음
- 각 지자체가 개별적으로 기술개발 함으로써 발생할 수 있는 중복 투자, 기술요소간의 상충 등으로 인한 비용 및 각 지자체 또는 관계자자 각기 투자하는 비용을 절감할 수 있음
- 트램 운행에 필요한 차량적 요인, 인프라적 요인, 제도 및 시스템적 요인 등을 결합한 기술로서 기술의 완성도를 높이며, 각 요소 기술의 활용도를 높일 수 있음

제3절 연구개발과제 구성(안)

구분	과제명	주요내용
1세부과제	무가선티램 실증노선 구축	※ 지자체 분담금 (선정시 건설비의 40% 이상 분담 예정)
1-1 (주관)	무가선티램 실증노선 구축 및 총괄SE	<ul style="list-style-type: none"> 과제총괄 및 실증노선 구축 SE 무가선 트램 실증노선 상세추진방안 마련 노선인프라(궤도, 노반, 신호 등) 사양 설계 및 건설 지붕탑재형 배터리·차량 설계, 차량 개조, 배터리 통합 및 검증
2세부과제	트램사고 저감·복구 및 무임승차방지 기술개발	
2-1 (협동)	트램교통사고 저감·복구 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 사고 피해저감 차량기술기준 마련 및 검증 사고 차량 신속복구 기술개발 개발품 실차 IF/통합 SE 및 검증
2-2 (공동)	대용량 안전 충전장치 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 대용량 안전 자동충전장치 설계 대용량 안전 자동충전장치 제작 및 실차 적용
2-3 (공동)	ICT를 이용한 무임승차 방지 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 영상처리를 이용한 차상 무임승차 검지 및 판단기술 개발 실시간 통신을 이용한 요금 징수장치-현장단말-센터 연계기술 및 체계개발
2-4 (공동)	지붕탑재형 배터리스스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> 지붕탑재형 배터리스스템 설계, 제작 지붕탑재형 배터리스스템 차량탑재 및 시험평가
3세부과제	트램 안전운영 전략개발 및 체계 구축	
3-1 (협동)	트램 법제관리체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> 무가선티램 영업운영에 필요한 제반 법제 개발 ※ 자동차손해배상보장법, 교통사고처리특례법, 보험제도 등 철도안전관리체계 승인/검사체계 개발
3-2 (공동)	트램 투자평가체계 개선전략 개발	<ul style="list-style-type: none"> B/C 개선을 위한 평가방법 및 편익산정 기준 마련 트램 투자평가제도 개선
3-3 (공동)	국내 표준운영모델 개발 및 시범운영	<ul style="list-style-type: none"> 표준 운영계획 수립, 모델개발 안전관리·유지보수 기준개발, 차량운영매뉴얼 제작, 운영·유지보수 지원시스템 개발 시범운영 (시험선 운영포함)
3-4 (공동)	트램 운전면허체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> 트램 운전면허 관련 지침 개발 교육 프로그램 개발 및 운전면허시험 항목/평가기준 개발

제4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 연구단 총괄

1.1 과제명

“무가선 저상트램 실증 연구개발”

1.2 연구개발 목표

- 무가선 저상트램 국내 상용화 및 해외진출 기반 마련을 위한 실증노선 구축 및 시범운영
 - 영업운영이 가능한 트램노선(궤도 1km 내외, 지자체 부담 차량 1대, 충전소 1식, 신호 및 분기기 1식 등) 구축 및 운영
- 트램 사고 저감·복구 및 무임승차예방 기술개발
 - 트램교통사고 저감·복구 기술, ICT를 이용한 무임승차 방지 기술, 대용량 안전 충전장치 기술, 지붕탑재형 배터리 기술
- 트램 안전운영 전략 개발 및 체계 구축
 - 트램 법 제도화 및 관리체계 구축, 운전면허체계 및 국내 표준 운영·유지보수 모델(안) 개발

1.3 연구개발 필요성

- (세계적인 붐이나 국내 전무) 세계 트램시장은 확대되고 있으나 국내는 사례가 없어 도입 지연. 실증노선은 타지자체에서 트램표준사업모델로 활용 가능.
 - 세계 트램 운영노선 : 404개, 건설중 : 85개, 예정 : 약 200백여개 (향후 10년)
 - 전주, 울산, 창원에서 예타통과후 설계추진과정에서 제반 문제점에 봉착하여 취소. 현재는 서울, 부산, 대전, 수원를 중심으로 약 10여개 지자체에서 추진 중.
- (조기 상용실적 확보 및 세계시장 진출) 국가 R&D사업 최초로 터키에 '14년과 '15년에 수주하였으나 상용실적 미충족으로 주요전장품들이 외산으로 대체됨. 국내업체들이 세계시장으로 조기 진출할 수 있는 상용실적 마련 필요
 - 중국은 '14.9월 봄바르디어 기술 도입하여 무가선트램 시범노선(8km) 운행시작, 고속철과 같이 중국보다 먼저 개발하였으나 세계진출에 뒤처지는 상황 발생 우려
- (영업운영 핵심기술개발 및 제도준비) 국내 적용을 통한 실적확보로 해외 진출을 활성화하고, 트램 영업운업을 위한 필수 핵심기술개발 필요

- 국내 무가선티램 도입 사례가 없어 시범노선 구축·운명을 통한 관련 기준 개발과 상용화를 위한 운전, 역무, 안전, 관제분야 운영매뉴얼, 궤도, 전기설비, 신호설비, 주기별 차량점검 등 유지보수매뉴얼 등 정립 필요
- 1990년대 후반 G7 사업부터 시작된 국내 충돌안전 연구는 전용궤도의 일반 철도 및 고속철도 차량만이 대상이고, 도로교통과 함께 운영하는 경우의 안전연구는 전무. 국내 도입전 도로교통과 함께 운행하는 트램차량의 충돌사고 사례분석, 시나리오 수립, 시뮬레이션 및 시험을 통한 성능평가방안 등 전반적인 연구 수행 필요
- 자동차와 트램이 부딪히는 충돌부위가 기존의 도로 교통수단 관점에서 안전 기준에서 고려되지 못하고 있으며 버스 등이 트램의 측면 등을 충돌시 트램 연결기의 파손으로 차량이 전복될 수 있음. 따라서 사고 및 피해를 저감할 수 있도록 차량안전기준의 보완이 필요
- 트램이 탈선하여 이를 복구하기 위해 기중기 같은 대형구조물은 장소, 시간에 따라 현장에 접근하지 못하는 상황이 발생할 수 있어 신속·안전·정확하게 선로에 안착시키는 수평이동 제어장치 등의 하드웨어적 연구가 시급
- 트램의 승강장은 개방형이기 때문에 무임승차의 가능성이 매우 높음. 선진국의 경우 무임승차비율이 15% 이상으로 무임승차방지 기술개발중. 국내의 경우 관련 기술이 전무함에 따라 운영 효율성에 기여할 수 있는 부정승차 방지를 위한 기술개발 필요

1.4 연구개발 주요내용

- 무가선티램 실증노선 구축
 - 과제 총괄 및 실증노선 구축 SE
 - 무가선티램 실증노선 추진을 위한 “실증전략” 마련
 - 트램 기술의 현장적용 검증을 위한 실증내용(항목) 및 범위, 지자체 공모절차 및 공모시기, 지자체 자격요건 및 지원사항 등 구체적인 추진방안 수립
 - ※ 지자체 공모요건 등 미충족시 오송시험선 실증 방안 포함
 - 실증노선(궤도/노반, 신호/통신 등) 설계 및 구축
 - ※ 실증노선 규모 : 1km 내외 궤도, 검수고, 변전실 및 충전시설 등
 - 지붕탑재형 배터리·차량 설계 및 차량 개조, 배터리 통합 및 검증
 - 지자체 부담의 형식승인 차량 제작 지원
 - ※ 지자체는 철도안전법의 철도차량 형식승인 별도 취득
 - 실증노선 관련기관 협의체 운영 및 인터페이스
- 트램사고 저감·복구 및 무임승차예방 기술개발
 - 트램교통사고 저감·복구 기술개발

- 트램 사고저감 차량기술기준 마련 및 기술검증
- 트램 교통사고 시나리오 정립
- 차량 신속복구 장비 시작품 개발
- ICT를 이용한 무임승차 방지 기술 개발
 - 영상처리를 이용한 차상 무임승차 검지 및 판단기술 개발
 - 실시간 통신을 이용한 요금징수장치-현장단말-센터 연계기술 및 체계 개발
- 대용량 안전 충전장치 기술개발
 - 대용량 안전 자동충전장치 설계 제작 및 실차 적용
 - 대용량 안전 충전장치 차량 인터페이스 기술 개발
- 트램 안전운영 전략 개발 및 체계 구축
 - 트램 법제관리체계 구축
 - 트램 교통사고처리 및 보험제도 개발 등 손해배상 관련 법제 개발
 - 노면전차 운전면허 관련 법제, 교육과정 및 프로그램, 시험항목 및 평가내용 등 운전면허 체계 개발
 - 노면전차 시설 및 시스템 설계지침 개발, 종합시험 제도 및 철도안전관리체계 승인/검사체계 개발 등 건설 및 안전관련 지침 및 체계 개발
 - 트램 투자평가체계 개선전략 개발
 - 트램 투자평가방법 및 체계 개선
 - 트램 수요분석방법 고도화 및 신규편익 개발
 - 트램 건설 및 운영비 기초자료 구축 및 산정 원단위 개발
 - 트램 운전면허체계 구축
 - 운전자 교육 및 운전면허시험 관련 지침, 기준 개발
 - 교육과정 및 교육 프로그램 개발
 - 학과/기능시험 과목별 평가항목 및 내용 개발
 - 국내 표준 운영유지보수 모델 개발
 - 트램 표준 운영 계획 및 모델 개발
 - 트램 운영·유지보수 기준/매뉴얼 및 지원 시스템 개발
 - 실증노선 시범운영

1.5 연구개발 추진전략

- 추진방안
 - 시범노선 구축은 도심지 운영을 위한 도시철도법을 적용하며, 1세부과제에서 법 적용방안을 포함한 시범노선 상세구축방안을 마련하고 국토부, 진흥원, 연구진, 전문가 검토후 추진
 - 시범노선은 도시철도법에 의해 예타 통과 노선 또는 노선별기본계획 승인

- 노선을 우선 검토하되 자격요건을 포함한 실증노선 추진방안에 대한 구체적인 내용은 1세부과제 내에 포함된 “실증전략” 연구를 통해 추진방안을 마련하여 전문기관의 검토 및 국토부 승인을 득한 후 결정
- 시범노선의 상용운행을 위해 트램 운영관련 도로교통법 등 법제도가 완비되는 시점에 시범노선 착공 필요
 - 시범노선 운영을 위한 관계법령 미비, 지자체 트램사업의 선행추진 등의 외부환경변화시 대안 추진 검토
- 노선 연장 계획이 있는 지자체에 대해 타당성 검토에 의해 선정평가지 가점 제공
 - 기 개발된 연구개발물(차량, 궤도, 신호)의 상용화 기회를 우선 부여(가점)하되, 상용실적을 위해 공개입찰 방식으로 구축 추진
 - 사업에 필요한 용지 및 예비차량, 건설비 등 총 사업비의 일정비율 이상 분담, 인허가 등 각종 행정사항 지원 등에 대하여 지자체 역할 및 의무 부과
- 지자체 연계 실증사업 대안
- 지자체 연계 시범노선은 1세부과제의 1차년도에 상세추진방안과 사업추진 위험원을 도출하여 관계기관(국토부, 진흥원, 연구진) 협의 및 전문가 검토 후에 2차년도 실증노선 선정을 추진하는 것이 타당
 - 사업추진 위험원으로는 실증사업 추진을 위한 관계법령 미비, 지자체 트램사업의 선행추진 등의 외부환경변화가 있음.
 - 이러한 위험원을 고려하여 지자체 연계 실증노선의 추진이 어려운 경우 실증의 목표를 달성하기 위한 대안 검토가 필요
 - 지자체 연계 시범노선의 대안으로는 기존 오송시험선을 실증과 유사한 환경으로 고도화하여 상용수준으로 기술을 입증하고 완성하는 것일 수 있음.
 - 기타위에서 제시한 중간검토결과를 반영하여 오송시험선에서 연구개발로 추진할 수 있음.
 - 대안 추진의 연구상세내용과 예산은 변경시점에서 연구개발 정책과 외부환경변화를 고려하여 1세부과제 내에서 국토부, 전문기관, 연구진, 전문가 협의를 통해 구체적인 실증전략을 마련하여 추진

1.6 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 실증사업은 상용화 실적을 위해 기존 “무가선 저상트램”과제의 연구성과물을 우선적으로 시범노선에 적용을 원칙함. 실증사업은 기존 연구와 표13과 같이 차별화됨. 차량은 기존 과제결과물의 기술 향상, 안전은 원천기술 확보, 법제도는 영업운영관련 법제도 정비를 목표로 하고 궤도, 신호분야는 기존 과제결과물을 연계하여 상용화 수준으로 실증함.

<표 26> 기존 연구와의 중복성 검토

성과 구분	I 단계(3년 5개월) 시험선 1km(무가선) 검수고, 충전소	II 단계(3년) 시험선 1.5 km(유/무가선) 분기기제어, 신호 및 관제	III 단계(4년 6개월) 실제 도로 1km (무가선) 충전소, 신호관제, 안전승인체계 구축
차량	○ 시제차량 1편성 제작 - 100% 저상대차 적용 - 차량 스펙 · 크기(m): 31.8(L)×3.4(H)×2.45(W) · 탑승출입문 높이: 330mm · 중량: 47.6 ton(공차기준)	○ 시제차량 성능개선 - 가/감속 성능(3.5 → 4.0 km/h/s) - 출입문 개선교체 · 기밀구조 개선 및 유지보수성 개선 - 차량 스펙: I 단계 동일	○ EN 기술수준의 상용차량 제작 - 철도차량 기술기준 및 형식승인 부합 - 경량형(10%) 및 국제수준 사양 - 목표 사양 · 크기(m): 32.0(L)×3.2(H)×2.65(W) · 탑승출입문 높이: 320mm · 목표 중량: 43 ton(공차기준)
	○ 내장형 배터리스스템 개발 - 약 162kWh(무가선 주행 약 25km) - 충전속도 1C, 수명 2.5년	○ 내장형 배터리스스템 성능개선 - Module 교체형(유지보수성 개선) - 약 196kWh(무가선 주행 약 35km) - 충전속도 2C, 수명 5년 · 충전장치(DC/DC컨버터) 차량 루프 장착 · 전차선 및 판토품을 이용한 충전 I/F	○ 외장형(지붕탑재) 배터리스스템 제작 - 약 200kWh(무가선 주행 약 40km) - 충전속도 4C, 수명 6년 ○ 차량외부 대용량 안전 충전 - 지상 충전장치를 이용한 에너지 효율 향상 - 차량/충전기간 무인 자동충전 I/F적용을 통한 안전성 향상
궤도 및 인프라	○ 현장타설식 수직고정형 매립궤도 개발 - 1.0km 시험선 시공 ○ 시험선 검수고 및 전력공급시설 구축 - 검수고 1동 - 변전실 1동 및 충전설비	○ 시험선 매립궤도 선로 600m 확장 ○ 급속시공용 프리캐스트 매립궤도 개발 (100m 시험선 시공) ○ 이중방진 저진동궤도 개발(50m 시험선 시공) ○ 매립형분기기 개발 (2틀 시험선 시공) ○ 유가선 전력공급시설 500m 구축	○ 개발 매립궤도 및 분기기의 시범노선 적용을 통한 상용 노선 적용 실적 확보
신호통신	-	○ 트램 도로신호 개발 - 무선통신기반·차상위치검지기반 교차로 무정차통과 신호체계 개발 - 무가선시험선 가상교차로로 시험평가	○ 트램 도로신호 개발 - 실도로내 기능 검증 - 실도로내 무정차통과 알고리즘 최적화
	-	○ 트램 철도신호 개발 - 무선통신기반·차상위치검지기반 관제 또는 차상 진로설정체계 개발 - 차상 제한속도제한, 진로요청 및 교차로무정차통과요청 기능 구현 - 무가선시험선 관제·현장 진로연동 시험평가	○ 트램 철도신호 개발 - 실도로내 기능 검증 - 진로설정체계 안전무결성수준 SIL3 이상 입증
안전	-	○ 지능형센서기반 충돌경보 및 긴급제동 기술 기초연구 - 알고리즘H/W 차량탑재 및 시험선 시험	-

		-	○ 트램 사고저감 트램 차량기술기준 마련 및 기술검증 - 사고저감 차량구조 및 장치 검증 - 트램 사고저감 차량기술기준 마련
		-	○ 트램 사고현장 차량신속복구기술 개발 - 교통사고 시나리오 분석에 의한 차량 신속복구 장비 제작
		-	○ ICT를 이용한 무임승차 방지 체계 개발 - 영상처리를 이용한 차상 무임승차 검지 및 판단기술 개발 - 실시간 통신을 이용한 요금징수장치-현장단말-센터 연계기술 및 체계 개발
법령		○ 도시철도법 관련 - 법 개정(안) 마련 (시행령·시행규칙 해당사항 없음) - 노면전차 건설 및 운전에 관한 규칙 제정(안) 마련 - 도시철도 건설·운전규칙, 정거장 및 환승 등 각 지침별 개정 필요성 및 개정범위 검토	○ 도시철도법 관련 - 노면전차 시설 설계지침 제정(안) 마련 - 도시철도 건설·운전규칙, 정거장 및 환승 등 각 지침별 개정(안) 마련
		○ 철도안전법 관련 - 운전면허, 트램 교통사고 대응체계와 관련 법·시행령·시행규칙 개정(안) 마련 - 도시철도 안전관리체계 기술기준 등 규칙/지침 41종 개정 필요성 및 개정 범위 검토	- 안전관리체계, 형식승인, 종합시험운행관련 법·시행령·시행규칙 개정(안) 마련 - 도시철도 안전관리체계 기술기준 등 규칙/지침 41종중 필요 개정(안) 마련
		○ 도로교통법 관련 - 법·시행령·시행규칙 개정(안) 마련 - 교통안전시설 설치 관리 매뉴얼 개정(안) 마련 - 교통신호제어기 규격 개정(안) 마련	- -
		○ 기타 법률 - 교통사고처리특례법	- 교통사고처리특례법 개정(안) 마련 - 자동차손해배상보장법(또는 여객자동차운수사업법) 개정(안) 마련 - 트램 투자평가체계 개선

2. 1세부 과제

2.1 과제명

“무가선트램 실증노선 구축 및 시범운영”

2.2 연구개발 목표

- 무가선 트램 국내 상용화 및 해외진출 기반 마련을 위한 실증노선 구축 및 시범운영

2.3 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

- 세계최고 수준인 배터리(1회 충전시 35km 이상 운행)방식 무가선 트램 상용 실증노선 구축 및 시범운영과 도로주행 안전성 향상을 위한 트램제어기술 지속적 개발 필요
- 해외 수출을 위한 유럽철도기준 트램부품 및 시설 인프라 기준 개발 필요

(2) 정부지원 필요성

- 친환경 교통수단인 트램은 국내 10개 도시 15개 노선에서 도입추진 중이나 적용사례가 없어 관련 기술적·제도적·정책적 열세로 정부지원을 통한 시범노선 구축 필요

2.4 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- “무가선 저장트램”과제의 연구성과물을 우선적으로 시범노선에 적용을 원칙으로 함. 표13의 기존 연구와의 중복성 검토 참조

세부과제명		기존 연구과제(최상위 과제명)			검토결과	
과제명	주요내용	과제명	주요내용	연구기관 (연구기간)	차별성	연계방안
대용량 배터리 신뢰성 확보 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 트램용 단전지 개발 및 성능 실험 트램용 BMS H/W, S/W 개발 및 성능 실험 배터리 모듈 및 Pack 제작 및 성능 실험 	무가선 저상트램 시스템 개발연구	<ul style="list-style-type: none"> 무가선 저상트램 시스템 기술 연구 무가선 저상트램 차량 개발 무가선 저상트램 에너지인프라 개발 	한국철도기술연구원 (‘09.12~’13.4)	<ul style="list-style-type: none"> 기존 과제에서는 전체 시스템 단위의 안전성, 신뢰성을 평가하기에 장비와 시간 측면에서 미흡 이번 과제에서는 장시간 차량 운영을 통한 배터리 시스템 운영 전략과 시스템의 신뢰성을 확보하고자 함 시스템 운용을 통해 철도 차량용 대용량 배터리 시스템의 실험 규격 마련 	<ul style="list-style-type: none"> 트램을 비롯한 철도 차량용 대용량 배터리 시스템을 위한 기반 기술 및 운영 전략 구축 전력저장용 대용량 배터리 시스템에도 적용 가능

2.5 연구개발 주요내용

- 무가선 트램 실증노선 구축
 - 과제 총괄 및 실증노선 구축 SE
 - 실증노선 기능, 성능, 운영요구사항 도출
 - 개발품 목표사양, 공정 및 과제간 I/F 조율
 - 무가선 트램 실증노선 추진을 위한 “실증전략” 마련
 - 트램 기술의 현장적용 검증을 위한 실증내용(항목) 및 범위, 지자체 공모절차 및 공모시기, 지자체 자격요건 및 지원사항 등 구체적인 추진방안 수립
 - ※ 지자체 공모요건 등 미충족시 오송시험선 실증 방안 포함
 - 실증노선(궤도/노반, 신호/통신 등) 설계 및 구축
 - 지자체 연계 실증노선 현장조사, 위험원 도출 및 제시
 - ※ 인허가 및 갈등 해결은 지자체에서 담당
 - 궤도노반, 신호통신 등 기본 및 실시설계
 - 실증노선 구축 및 2세부 개발품 실증노선 통합
 - ※ 실증노선 규모 : 1km 내외 궤도, 검수고, 변전실 및 충전시설 등
 - 지붕탑재형 배터리·차량 설계 및 차량 개조, 배터리 통합 및 검증
 - 지붕탑재형 배터리 사양 설계 및 대용량충전장치(2세부 개발품) I/F 설계
 - 시제차량의 E-모듈 제작, 옥상 기기 배치, 추진장치 등 개조
 - 지붕탑재형 배터리(2세부 개발품)의 시제차량 탑재 및 실차 시험
 - 다중편성에 의한 실증노선의 시운전 시험
 - 지자체 부담의 형식승인 차량 제작 지원
 - ※ 지자체는 철도안전법의 철도차량 형식승인 별도 취득
 - 실증노선 관련기관 협의체 운영 및 인터페이스
 - 협의체 운영방안 수립, 관계기관 조율

2.6 최종성과물 및 성과지표

세부 과제명	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표 치	목표치 설정근거
무가선트램 실증노선 구축	시범노선 구축	기본/실시설계	보고서	식	1	국내 최초 트램 설계 기술 확보
		지붕탑재형 배터리의 무가선 트램의 개조 차량	실물확인	대	1	선진국 대비 기술수준 향상 및 상용화
		1km 궤도 구축	실물확인	km	1	시범노선 운영을 위 한 최소 사양
		차량 검수고	실물확인	식	1	시범노선 운영을 위 한 최소 사양
		변전실 및 충전시설	실물확인	식	1	시범노선 운영을 위 한 최소 사양
	시설기준	차량인프라/표준정거 장 등 시설기준	보고서	식	1	국내 최초 트램 설계 기술 확보

3. 2세부 과제

3.1 과제명

“트램사고 저감·복구 및 무임승차방지 기술개발”

3.2 연구개발 목표

- 국내 최초 운행에 따른 사고 저감 및 최소화를 위한 제반 안전기술 기준 마련 및 개발
- 국내 IT 기술을 활용한 세계 최고수준의 안전 및 운영 기술 확보

3.3 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

□ 연구개발 필요성

○ 트램 교통사고 저감 기술

- 승용차와 트램이 부딪히는 충돌부위가 기존의 도로 교통수단 관점에서 안전기준에서 고려되지 못하고 있으며 버스 등이 트램의 측면 등을 충돌시 트램 연결기의 파손으로 차량이 전복될 수 있음. 따라서 사고를 저감할 수 있도록 차량안전기준의 보완이 필요.
- 자동차가 보행자와의 충돌사고 시 보행자를 보호하기 위한 최소한의 안전기준이 마련되어 있으며, 제조사들도 피해 최소화를 위해 다양한 첨단 기술을 개발하여 적용 확대하고 있는 추세. 철도차량인 트램은 현재 보행자 보호를 위한 안전기준이 마련되어 있지 않아 보행자와 접촉시 크게 다치거나 사망할 수 있으므로 보행자를 보호하기 위한 기술 개발이 요구됨.

□ 트램 사고현장 차량 신속복구기술

- 국내 고속철, 도시철도의 경우 운영사 자체적으로 복구장비 및 복구방식을 마련하였으나 실제 제대로 구실을 못하는 실정인데 이것은 도입단계부터 엔지니어링 검토된 대책이 부족하였기 때문임. 기존 운영되는 철도도 그러한데 트램의 경우는 복구에 대한 준비가 없으면 혼란을 초래할 것으로 판단됨.
- 트램이 탈선하여 이를 복구하기 위해 기중기 같은 대형구조물은 장소, 시간에 따라 현장에 접근하지 못하는 상황이 발생할 수 있음. 또한, 기중기로 차체를 들려고 하면 지붕골조가 꺾이는 현상이 예측되며, 언더프레임을 들려고 할 때도 차체의 손상이 발생할 수도 있음. 대안으로 차량 아래로 자키를 넣어 차량을 궤도상에 정위치시키는 방식이 있으나 트램이 저상이라 일반 작키가 들어가지 않으므로 이에 대한 대응도 필요하고, 특수한 작키를 사용하여

든 상태에서 신속·안전·정확하게 선로에 안착시키는 수평이동 제어장치 등의 하드웨어적 연구가 시급한 상황임.

□ ICT를 이용한 무임승차 방지 기술

- 트램의 승강장은 개방형이기 때문에 무임승차의 가능성이 매우 높다. 또한 혼잡한 차내에서 단속요원이 무임승차 승객들에 대한 적절한 단속방안이 없어 무임승차 단속이 쉽지 않다. 따라서 무임승차에 따른 경제적 손실이 매우 높을 것으로 예상되며 무임승차 방지 기술이 절실히 요구된다.

□ 지붕탑재형 배터리시스템 개발

- 현재 개발된 무가선 저상트램은 유/무가선 시스템으로 전장품 및 판토품의 지붕 배치 등을 고려하여 E모듈 실내 장착 배터리시스템으로 개발됨
- '16.3월 제정된 철도안전법 차량형식승인제도에 따르면 배터리시스템은 승객용 좌석에 인접설치가 불가함에 따라 배터리시스템의 재배치가 필요함
 - * 철도차량기술기준 Part52 도시철도차량(노면전차)기술기준 4.6.6 축전지 1)항 : 축전지는 발화물질 및 승객용 좌석과 최대한 떨어지게 설치·보관되어야 한다
 - * 시제차량 개발시 철도안전법 형식승인제도가 부재
- 철도안전법에 부합하고, 최근 대두되고 있는 배터리 안전문제 등을 극복하기 위해 배터리시스템을 승객으로부터 분리하여 실외(지붕)에 설치 필요

□ 정부지원 필요성

- 고속철도, 일반철도, 도시철도 등과 같은 일반적인 철도차량의 사고대응 기술은 공공적인 성격이 강한 철도분야의 성격상 정부지원이 필수적임. 특히, 트램과 같이 도로를 운행하고 일반 자동차와 혼용하여 운행되는 공공철도의 경우 교통사고에 대하여 합리적으로 대응하고 피해를 저감할 수 있는 연구는 필수적임.
- 트램의 교통사고는 주로 일반 자동차, 버스, 보행자 등과 같은 도로이용자와의 충돌로 발생하는 것으로 이는 개개인의 범주를 넘어 사회적인 이슈가 됨. 따라서 공공적인 성격이 강한 철도이며 일반 도로교통수단과 혼용하는 점을 종합적으로 판단할 때, 정부차원의 지원을 통해 도로교통 사고에 대한 대비와 대응기술 개발이 절실히 필요.
- 교통 시스템에 대한 장기적인 관점에서 개방형 요금징수시스템은 승객에 대한 대중교통이용 접근성 향상, 혼잡도 저감 등에 기여하여 승객에 대한 서비스 만족도를 향상시킬 수 있음. 따라서 개방형 요금징수시스템에 필수적인 무임승차 방지시스템의 구축은 대중교통이용자의 편의성 향상을 위해 정부차원의 지원이 필요.

□ 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 기존 트램 연구와의 중복성은 없음(표13의 기존 연구와의 중복성 검토내용 참조)

세부과제명		기존 연구과제(최상위 과제명)			검토결과	
과제명	주요내용	과제명	주요내용	연구기관 (연구기간)	차별성	연계방안
대용량 배터리 신뢰성 확보 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •트램용 단전지 개발 및 성능 실험 •트램용 BMS H/W, S/W 개발 및 성능 실험 •배터리 모듈 및 Pack 제작 및 성능 실험 	무가선 저상트램 시스템 개발연구	<ul style="list-style-type: none"> 무가선 저상트램 시스템 기술 연구 •무가선 저상트램 차량 개발 •무가선 저상트램 에너지인프라 개발 	한국철도기술연구원 ('09.12~'13.4)	<ul style="list-style-type: none"> •기존 과제에서는 전체 시스템 단위의 안전성, 신뢰성을 평가하기에 장비와 시간 측면에서 미흡 •이번 과제에서는 장시간 차량 운영을 통한 배터리 시스템 운영 전략과 시스템의 신뢰성을 확보하고자 함 •시스템 운용을 통해 철도 차량용 대용량 배터리 시스템의 실험 규격 마련 	<ul style="list-style-type: none"> •트램을 비롯한 철도 차량용 대용량 배터리 시스템을 위한 기반 기술 및 운영 전략 구축 •전력저장용 대용량 배터리 시스템에도 적용 가능

3.5 연구개발 주요내용

□ 트램 사고저감 기술개발

- 트램 사고저감 트램 차량기술기준 마련 및 기술검증
 - 해외 트램 교통사고 사례조사, 시나리오 후보 선정, 표준시나리오 선정
 - 표준시나리오에 따른 사고저감 차량구조 및 장치 검증
 - 트램 사고저감 차량기술기준 마련

□ 트램 사고현장 차량 신속복구기술 개발

- 트램 교통사고 시나리오 확립
 - 해외 트램 교통사고 사례조사, 시나리오 후보 선정, 표준시나리오 선정
- 차량 신속복구 장비 시작품 개발
 - 사양설정, 개념설계, 상세설계, 제작, 검사
 - 기술 실용화

□ ICT를 이용한 무임승차 방지 기술 개발

- 영상처리를 이용한 차상 무임승차 검지 및 판단기술 개발
 - 지능형 영상분석 기반의 승차인원 계수 기술 개발
 - 승차인원 계수값과 요금카드태깅 계수값을 활용한 무임승차자 계수
 - 승차자 추적 및 요금카드태깅 감시에 의한 무임승차자 검지 기술 개발

- 실시간 통신을 이용한 요금징수장치-현장단말-센터 연계기술 및 체계 개발
 - 센터-현장 연계에 의한 무임승차 대응 시나리오 개발
 - 실시간 통신에 의한 무임승차 영상정보의 센터-현장 연동, 등록, 관리 기술 개발

- 대용량 안전 충전장치 기술개발
 - 대용량 안전 자동충전장치 설계 제작 및 실차 적용
 - 대용량 안전 자동충전장치 설계 제작 및 실차 적용
 - 고효율/고안전 충전장치 토폴로지 기술 개발
 - 대용량 안전 충전장치 변전계통 연계구성 기술개발
 - 대용량 안전 충전장치 차량 인터페이스 기술 개발
 - 무인 기동을 위한 차량-충전장치 접촉부 기술개발
 - 차량-충전장치 간 통신 인터페이스 기술 개발

- 지붕탑재형 배터리시스템 개발
 - 지붕탑재형 무가선티램 배터리시스템 설계
 - 배터리시스템 모듈 및 팩 설계
 - 배터리 시스템 온도해석 및 온도관리 시스템 개발
 - 차량 루프 환경 분석 및 배터리시스템 진동충격 해석
 - 지붕탑재형 무가선티램 배터리시스템 제작 및 실차적용
 - 배터리시스템 모듈 및 팩 제작
 - 시제품 환경시험 및 벤치 테스트
 - 시제품 차량 장착 및 실차검증

3.6 최종성과물 및 성과지표

세부 과제명	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
트램사고 저감·복구 및 무임승차방 지 기술개발	트램 사고저감	고정도 교통사고 재현기술 해석정확도	실물시험 비교	%	±10	EN15227
	차량기술기 준 마련 및 기술 검증	안전장치 성능향상 시제품	성능기준 만족	건	2	성능향상 목표치 달성
		철도차량기술기준 개선방안	전문가 검토	건	2	위험도 분석에 따른 우선순위
	트램 사고현장 차량 신속복구 기술 개발	차량 복구장비 시제품 제작	성능기준 만족	여부	만족	EN16404
		시범노선 사고복구 현장 시연회 개최	개최여부	건	1	시범노선 현장 적용성 검증
	대용량 안전충전장 치 기술개발	대용량 안전 충전장치 시제품	시험보고서 및 시제품 제작	건	1	목표 성능 만족여부를 시험보고서를 통하여 검증
대용량 안전충전장치		운용보고서	건	1	시험선 운용보고서를	

	현장운용				통하여 현장운용에 필요한 요구성능 만족여부 검증
지붕탑재형 배터리시스템 개발	지붕탑재형 배터리시스템 시제품	시제품 제작 및 시험보고서	건	200kWh 이상	무가선 35km 주행을 위한 배터리 요구사항
	배터리시스템 급속충전 (가용에너지 70% 기준)	시험보고서	1건	15분 이내	상용노선 적용 시, 요구되는 충전시간
	배터리시스템 온도관리 기술개발	시험보고서	건	(외기 기준) -20도 ~ 최대 50도	배터리시스템이 외부에 노출될 시, 요구되는 성능시양임
	배터리시스템 방수방진 설계	시험보고서	건	IP 67등급	배터리시스템이 외부에 노출될 시, 요구되는 성능시양임
ICT를 이용한 무임승차 방지 기술	승차승객 인식 속도 500ms 이내	실제 측정	ms	500	실시간성 확보
	승하차승객 계수 정확도 90% 이상	실제 측정 카운트와 비교	%	90%	기술수준을 고려한 정확도 설정
	무임승차 징후파악 정확도 90% 이상	실제 측정 카운트와 비교	%	90%	기술수준을 고려한 정확도 설정

4. 세부 과제

4.1 과제명

“트램 안전운영 전략개발 및 체계 구축”

4.2 연구개발 목표

- 무가선티램을 상업적으로 운영하는데 필요한 법제를 정비하고, 이를 지원할 수 있는 운영시스템을 구축함

4.3 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

□ 연구개발 필요성

- ‘무가선티램 실용화 연구’ 등 관련 연구의 결과물은 트램 도입·운영에 필수적인 법령, 제도 정비 등에 대한 큰 틀을 제시하는데 초점을 두고 있어 상용화 단계에서 적용하기에는 미흡한 측면이 있음
- 이전 연구들에서 집적된 기술들을 통합·체계화하는 연구를 통해 실제 트램 상용화에 필요한 제도적 측면의 기술을 개발할 필요가 있음

□ 정부지원 필요성

- 트램 운영에 있어서 필요한 법제, 기반체계 구축 연구들은 정부나 공공부문의 역할이라 규정하여 민가부문에서는 개발의 당위성이나 필요성이 낮은 분야임
- 트램 운영에 필요한 안전측면, 운행측면, 기타 제도적 측면에서의 연구개발은 국가기준을 확립하고 각 지자체의 중복 또는 혼란을 예방하며 정부가 관련 산업 발전을 견인할 수 있는 분야로서 정부의 지원이 필요함

4.4 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 기존 연구와의 중복성은 없음(표13의 기존 연구와의 중복성 검토내용 참조)

□ 트램 상용화 관련 법령 및 매뉴얼

- 기존 기술은 트램의 실용화에 필요한 차량/인프라/법제 및 시스템 부문의 실용화 수준의 연구로서 상용화 단계의 연구를 위한 기초자료로 활용 가능
- 다만 이들 기술의 적용 가능성에 대한 검토, 기술의 체계화 및 고도화가 필요하므로, 이전 연구에서 개발된 기본법령 개정방안 및 제도화 추이를 반영

하여 이와 연계한 후속 연구 진행

- 이와 더불어 이전 연구에서 누락되었던 트램 보험제도 개발 등 다양한 트램 운영지원방안이나 정책방안 개발 필요

□ 트램 운행 및 안전관리체계

- 트램이 운행되기 위해서는 운행 이전에 트램 종합시험 운행 시스템 구축, 철도안전관리체계 승인/검사체계 구축이 요구되는 바, 이에 대한 기존 연구는 전무함
- 따라서, 지하철, 경전철 등 다른 유사시스템의 구축·운영사례를 연계하여 트램에 적합한 시스템을 구축하여야 함

세부과제명		기존 연구과제(최상위 과제명)			검토결과	
과제명	주요내용	과제명	주요내용	연구기관 (연구기간)	차별성	연계방안
	<ul style="list-style-type: none"> •트램 관련 종합 법령 및 지침 정비 •트램 보험제도 개발 	무가선 트램 실용화 연구	<ul style="list-style-type: none"> •트램 관련 법제 정비 및 관련 지침·규격·매뉴얼 개발 	한국철도기술연구원 - 도로교통공단 (3년)	<ul style="list-style-type: none"> •기존 연구과제에서의 법령, 매뉴얼 등에 대한 연구는 도시철도법, 철도안전법, 도로교통법 등 주요 3법과 관련된 법령 및 매뉴얼에 대한 연구이고, 본 연구는 기존 연구에서 누락된 기타 법률 및 지침(손해배상 관련 법령, 시설 설계지침, 선로 보호구역 관리지침 개발 등)에 대한 연구임 	<ul style="list-style-type: none"> •본 연구에서 제안하는 연구는 기존 연구를 바탕으로 수행가능한 연구임 •기존 연구에서 개발 및 기법 법령 및 매뉴얼 개정방안, 이들 개발물의 제도화(제개정) 추이를 반영한 후속 연구 실시
트램 법제 관리 체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> •트램 종합시험 운행방안 •트램 안전관리체계 구축방안 •종합시험운행 및 안전관리체계 적용 및 평가 	일반 (고속화) · 고속철도 등 철도종합시험 기준개선 연구용역	-국내외 철도종합시험 현황 조사 -철도종합시험 운행 시행지침 개선방안	한국철도기술연구원 (2011.12)	일반 및 고속철도에 초점을 맞춘 연구로 트램 운영을 위한 종합시험운행 시험항목 및 평가기준 개발 필요	트램의 도입 및 실제 운행에 반드시 필요한 철도안전법령 및 하위지침 개정(안)과 연계
		철도운영부문 안전관리체계 승인제도 도입에 따른 하위법령/기준 마련 및 추진방안 연구	-운영부문 철도안전관리체계 개편방안 -철도안전기술 기준(안) 및 제도운영방안 마련	교통안전공단 (2013.1)	국가철도망(일반철도, 고속철도) 및 도시철도와는 운영환경이 상이한 트램의 안전관리를 위해 트램 안전관리체계 승인/검사를 위한 기술기준 및 시행지침 도출 필요	
		철도안전관리 체계 세부 운영 기준 연구	-철도안전관리 체계 기술기준(안) 항목별 평가기준 -철도안전관리 체계 철도운영기관 시범적용 등	교통안전공단 (2014.2)		
트램 투자평가 체계 개선	트램 투자평가체 방법 개선 •트램 편익	신교통시스템 투자평가 방법론 개발연구	-신교통시스템(BRT, 바이모달 TRAM 등) 비용산정 방법,	한국철도기술연구원 (2010.6)	- 트램에 국한하여 수요분석과정에서의 부의편익 최소화 방안 도출	- 기존 연구의 편익산정방법 등을 감안하여 트램투자에 따른

전 fir	산정 개선 •트램 사업비 및 운영비 산정기준 개발 •투자평가체계 적용/평가		편익산출방법 제시 - BRT 수단을 중심으로 수단선택모형, 환승시간 및 대기오염 감소편익산정방안을 제시		- 편익항목 중 대중교통운영비용절감편익 반영방안마련 -도심통행특성을 감안한 환경비용절감편익 산정방안을 제시	편익항목발굴 및 산정기준 개발
		신노면 대중교통시스템 도입에 관한 연구 -트램을 중심으로-	-성공적인 트램 도입국가들의 사례를 분석 -트램특성을 고려하여, 운영 및 유지보수비, 편익항목 산출방안 제안	한국교통연구원 (2012, 10)	-비용산정을 위한 기초자료 구축 및 항목별 비용산정 원단위 제시	- 기존 연구에서 도출한 비용항목을 토대로 비용분석을 위한 기초자료구축 및 분석기준을 제시하고 투자평가 적용방안을 마련
		트램교통수요 예측 및 편익산정 개선방안 연구	- 국내외 트램도입현황분석 - 트램수단분담모형 및 통행시간가치 산정 - 사례분석을 통한 적용성 검토 및 지침개정(안) 마련	서울과학기술대학교 (2015, 10)	-트램운영 권역 특성을 감안한 수단분담모형 개발 - 트램에 국한하여 수요분석과정에서의 부의편익 최소화 방안 도출 - 편익항목 중 대중교통운영비용절감편익 반영방안마련 -도심통행특성을 감안한 환경비용절감편익 산정방안을 제시	- 기존 수단분담모형 산정방법론을 준용하되, 필요시 설문조사 등을 보완
트램 운영 및 유지보수 기술	•한국형 표준 운영계획 수립, 모델개발 및 유지보수 기준매뉴얼 제작 •트램 운영 및 유지보수 지원 시스템 개발 •시범운영	-	-	-	해외선진 트램운영 사례 및 국내 경전철운영분석 국내도시철도(경전철) 유지보수 프로그램 분석을 통한 트램용 지원 프로그램 개발 국내 최초도입 실적 및 시범운영을 통한 최적의 시나리오 도출	국내 도입 지자체의 운영방안 가이드 제시 기존 도시철도와 상이한 트램용 유지보수 기술 개발 국내 도입 지자체의 운영방안 가이드 제시

4.5 연구개발 주요내용

□ 트램 법제관리체계 구축

○ 트램 사고 처리 및 손해배상 관련 법제

- 트램 교통사고처리 관련 법령 및 지침 : 철도안전법·도로교통법·교통사고처리특례법 등 관련 법령·지침 제/개정(안), 도로 및 철도 교통사고 보고 및 사고조사·처리 관련 지침 개정(안)
- 트램 교통사고에 대한 손해배상 관련 법제 : 트램 관련 보험제도 개발, 자동차손해상 보장법, 보험업법 등 관련 법령 및 지침 제/개정(안)

○ 노면전차 운전면허체계 구축

- 노면전차 운전면허 적성검사, 시험, 교육훈련 시행지침 관련 개정방안

- 운전자 교육과정 및 교육 프로그램 개발
- 학과시험 및 기능시험 과목별 평가내용
- 트램 건설 및 안전관련 지침 및 체계
 - 노면전차 시설 및 시스템 설계지침 개발
 - 노면전차 종합시험 제도 및 철도안전관리체계 승인·검사체계 개발
- 트램 투자평가체계 개선전략 마련
 - 트램 투자평가방법 및 체계 개선
 - 트램에 적합한 투자평가모델 개발
 - 평가지표별 평가내용 및 평가방법 개발
 - 트램 수요분석방법 고도화 및 신규편익 개발
 - 트램의 특성에 적합한 수요분석모델 구축 및 분석방법 개발
 - 트램 신규편익 도출 및 편익별 원단위 개발
 - 트램 건설 및 운영비 기초자료 구축 및 산정 원단위 개발
 - 트램 건설 및 운영비 기초자료 구축
 - 트램 건설 및 운영비 산정을 위한 원단위 개발
- 국내 표준 운영유지 모델 개발
 - 한국형 표준 운영계획 수립, 모델개발 및 유지보수 기준매뉴얼 제작
 - 안전관리 기준개발 및 매뉴얼 제작
 - 트램 운영 및 유지보수 실증 매뉴얼 개발
 - 트램 운영 및 유지보수 지원 시스템 개발
 - 시범운영
 - 해외 선진운영체계 교육프로그램 개발(연수)

4.6 최종성과물 및 성과지표

세부 과제명	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
트램 안전 관리 전략 개발 및 체계 구축	트램 사고처리 및 기타 안전관련 법령 개정	-법령, 지침 개정(안) -개정활동	-법령, 지침 개정 안 도출건수 -개정활동 건수	건	3	
	트램 보험제도 개발	-법령, 지침 개정(안) -개정활동	-지침 개발건수 -개정활동 건수	건	2	
	트램 종합시험운행 및 안전관리승인/검사 관련 법령, 지침 개정(안)	-법령, 지침 개정(안) -개정활동	-법령, 지침 개정 안 도출건수 -개정활동 건수	건	3	
	트램 운전면허체계 구축 관련 법령, 지침 개정(안)	-법령, 지침 개정(안) -개정활동	-법령, 지침 개정 안 도출건수 -개정활동 건수	건	3	
	트램투자평가를 위한 교통시설투자평가지침 (안) 개발 및 관련 법 령 개정	-법령, 지침 개정(안) -개정활동	-법령, 지침 개정 안 도출건수, 관 련논문 -개정활동 건수	건	4	
	트램 운영/유지보수 상세 매뉴얼	매뉴얼의 개발 및 보급	매뉴얼 개발 건수	식	1	-
	트램 운영/유지보수 지원 시스템	SW 등록건수	SW 등록	건	1	-

5. 기존 연구과제와의 기술적 차별성

구분	선행과제명 (연구연도)	연구자	연구목적	연구방법	주요 연구내용	선행과제와의 차별성		
						연구목적	연구방법	연구내용
1	무가선 저상트램 시스템 연구	곽재호	세계적으로 연구 초기 단계인 무가선 저상트램 기술개발	-세계 최고 용량의 배터리를 탑재한 시제 차량 개발 및 검증	-배터리 기술을 활용, 1회 충전으로 25km를 주행하는 무가선 기술 개발 -교통약자 등의 탑승 편의를 위한 저상대차 (40cm이하) 개발 -저진동·저소음형 매립형 궤도기술 개발	-무가선 트램 국내 상용화 및 해외진출 기반 마련을 위한 실증노선 구축 및 시범운영 *영업운영이 가능한 트램노선(차량 1대, 궤도 1km, 충전소 1식, 신호 및 분기기 1식 등)	-시제차량 개조를 통해 지붕탑재형 배터리시스템 검증 -개조 차량 1대와 지자체 부담의 형식승인 차량 1대를 시범노선 투입 및 종합시운전 -지자체 부담의 형식승인 차량은 EN기술수준의 상용차량 제작하며 기존 실내 배터리시스템을 지붕탑재형 배터리시스템으로 안전성 향상, 편의성 향상을 위한 차량폭 확대, 차량 경량화에 의해 선행과제와 차별화 설계 제작 (R&D에서 제작 지원) -궤도, 신호는 기존 개발품과 연계하여 상용화 실증 제작 및 구축 -국내 운영사례가 없는 트램 정거장기준, 트램 시설기준, 트램 운영·유지보수매뉴얼 및 지원시스템 개발을 통해 영업운전 준비 및 타지자체 트램사업표준모델로 제시 ·영업노선 운영기준마련을 위해 기존 연구의 오송시험선 구축 및 운영 노하우 활용	-실증노선(궤도, 노반 등 인프라) 설계 및 건설 ※ 지자체 시범노선 선정 및 인허가 추진 -무가선 트램차량, 신호통신시스템 설계 및 제작 -무가선 트램 시스템(인프라, 차량, 신호통신 등) 검증 및 시운전 -무가선 트램 시스템 시설·운영 및 유지보수 기준 개발
2	무가선 저상트램 실용화	황현철	무가선 저상트램의 실용화를 위한 차량시스템 신뢰성 확보, 도심지 트램 운영을 위한 인프라, 신호 기술 확보, 트램관련 법 제도 정비	-오송 시험선 테스트베드를 통한 개발품 성능 검증	-실용화를 위한 차량 성능 개선 및 검증 (전장품 개선, 최고속도 70km/h 달성, 누적주행시험 60,000km 달성) -실용화 배터리시스템 개발 (196kwh이상, 35km 주행) -급속시공용 매립형 궤도 및 분기기 개발			

구분	선행과제명 (연구연도)	연구자	연구목적	연구방법	주요 연구내용	선행과제와의 차별성		
						연구목적	연구방법	연구내용
					<ul style="list-style-type: none"> - 도로교통연계 신호기술 및 트램관련 법제도 제개정 	<ul style="list-style-type: none"> - 트램 영업운영 필수기술 개발 * 무임승차예방기술, 사고예방·복구기술 개발, 안전관리체계 및 보험제도 등 제도 정비 	<ul style="list-style-type: none"> - 선행과제에서 다루지 못한 트램의 도로내 교통사고 문제를 해결하기 위해 사고발생 전 예방기술 개발, 사고발생후 사고차량 복구기술 개발, 사고 안전관리체계 및 보험제도 등 법제 정비를 추진 · 사고차량 복구기술은 트램차량분석, 모의실험, 장치제작에 의해 국내 자체 개발하며 사고관련 법제 정비는 해외사례분석, 관계기관 의견수렴과정을 통해 추진 · 사고예방기술은 차량 및 인명 피해 최소화를 위하여 차량구조설계, 피해저감장치 제작 및 검증, 차량기술기준 반영으로 개발 추진. 한편으로 사고발생 빈도를 줄이기 위하여 선행연구에서 기초 연구하는 충돌경보·제동시스템(경보 및 긴급제동)에 대하여 사고회피(경보 및 주변상황적응제어)기능을 갖도록 지능형센서의 트램 최적설계 적용하여 상용수준으로 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 트램 교통사고 저감·복구 및 무임승차예방 기술개발 · 트램 교통사고 저감·복구 기술개발 · ICT를 이용한 무임승차 방지 기술개발 - 트램 안전관리 전략 개발 및 체계 구축 · 무가선트램 영업운영에 필요한 제반 법제(사고처리관련 법제도, 보험제도 등) 정비 · 철도안전관리체계내 트램 안전승인 및 관리체계 구축

제5절 연구추진체계

□ 무가선트램 실증노선 구축 및 시범운영 연구수행 체계



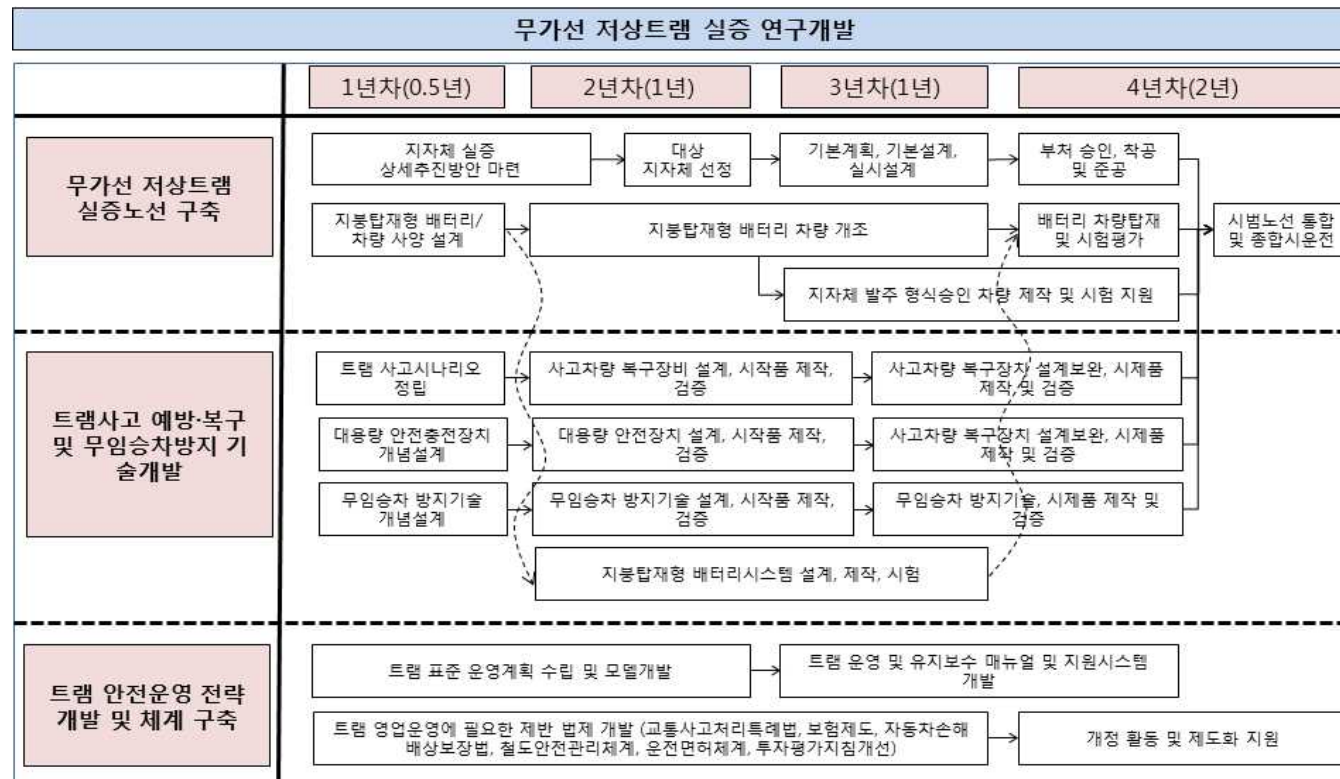
- 시범노선 대상지로 선정된 지자체와 긴밀한 업무협조 관계 유지를 위하여 연구단-지자체 간 상호 업무협력 협약 체결 및 TFT 결성
- 또한 실증노선의 성공적인 구축과 연구개발품의 완성도를 위하여 연구 경험이 풍부한 산/학/연 전문 연구팀을 연구단에 포함시켜 진행
- 각 기관 별 상호 유기적인 협력체계 구축을 위하여 주기적인 공정회의 및 업무협의를 통한 정보 공유 필요
- 기초 자료조사 및 이론적 접근 부분은 위탁연구를 통해서 추진하고, 특정 분야에 대한 심도 있는 조사와 자문을 위해 각 분야의 전문가를 적극 활용하여 추진

제6절 기술/성과 로드맵

1. 기술 로드맵

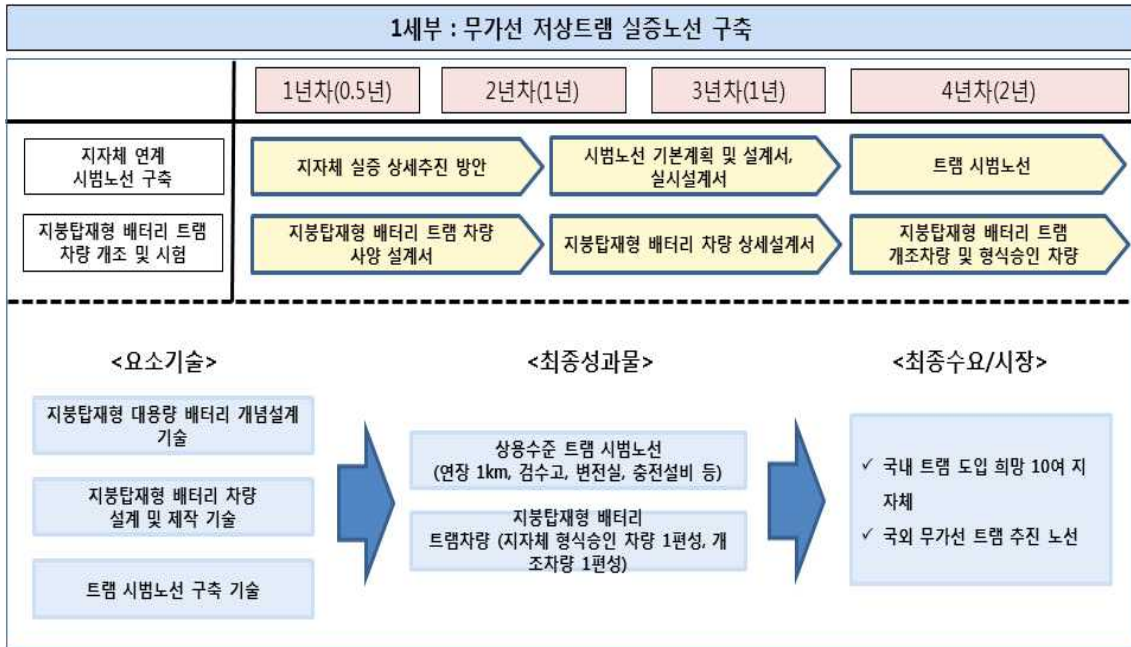
□ 연구단 총괄

<표 27> 연구단 총괄 연차별 세부기술 개발 내용 및 개발 계획

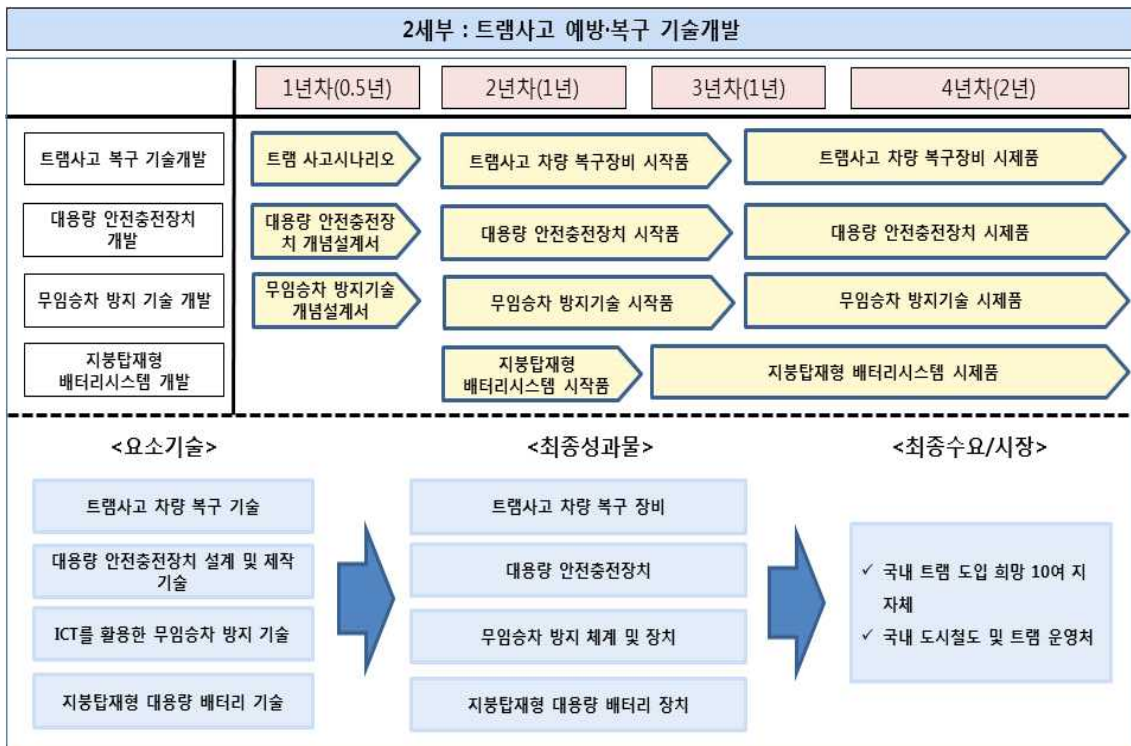


2. 세부과제별 성과 로드맵

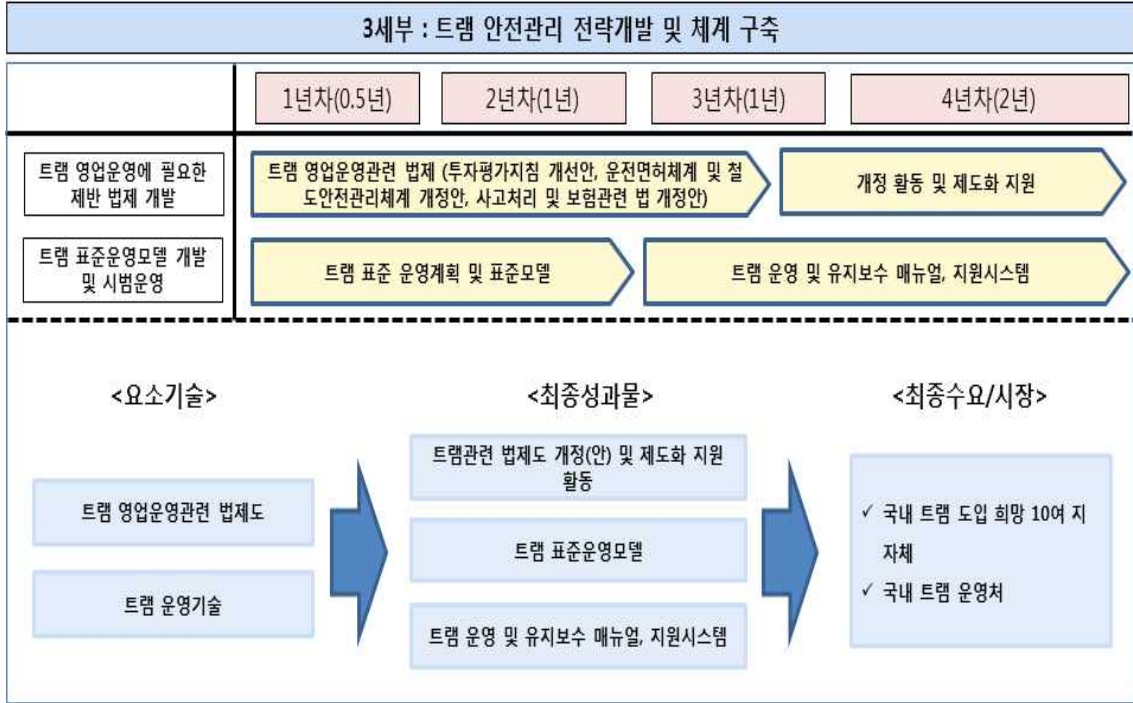
□ 1세부과제



□ 2세부과제



□ 3세 부과제



제7절 지자체 연계 실증 대안 검토

- 지자체 연계 실증노선은 1세부과제의 1차년도에 상세추진방안과 사업추진 위험원을 도출하여 관계기관(국토부, 진흥원, 연구진) 협의 및 전문가 검토후에 2차년도 실증노선 선정을 추진하는 것이 타당
 - 사업추진 위험원으로는 실증사업 추진을 위한 관계법령 미비, 지자체 트램사업의 선행추진 등의 외부환경변화가 있음.
 - 이러한 위험원을 고려하여 지자체 연계 실증노선의 추진이 어려운 경우 실증의 목표를 달성하기 위한 대안 검토가 필요

- 지자체 연계 실증노선의 대안으로는 기존 오송시험선을 실증과 유사한 환경으로 고도화하여 상용수준으로 기술을 입증하고 완성하는 것일 수 있음.
 - 기타위에서 제시한 검토결과를 반영하여 오송시험선에서 연구개발로 추진할 수 있음.
 - 대안 추진의 연구상세내용과 예산은 변경시점에서 연구개발 정책과 외부환경변화를 고려하여 1세부과제 내에서 연구진 및 전문가가 실증전략(안)을 마련한 후 전문기관 검토를 거쳐 국토부 승인을 득한 후 시행

1. 대안 추진(안)

- 1세부에서 추진하는 지자체 연계 실증노선 연구내용과 예산은 오송시험선 고도화 및 상용수준 기술 완성으로 변경 추진
 - 트램 신호시스템, 분기기시스템 안전성 향상 및 성능검증은 2세부 연구내용에 포함
- 2세부의 연구내용은 지자체 연계 실증노선의 추진 여부와 직접적인 관계가 없으며 트램 운영에 반드시 필요한 핵심기술이므로 2차년도 이후 계속 추진하며 1세부의 일부 연구내용을 포함하여 추진
- 3세부의 연구내용중 “트램 표준운영모델 개발 및 시범운영”은 실증노선 시범운영과 운영·유지보수 지원시스템 개발을 제외하고 추진
- 대안의 연구기간은 대안으로 변경시점에서 2년으로 추정

□ 대안 연구내용(안)

[단위 : 억원(정부/민간)]

구분	지자체 연계 실증노선 (연구기간 : 4.5년)			대안 : 오송시험선 활용 실증 방안 (연구기간 : 3년)	
	과제명	주요내용	합계	주요내용	합계
1세부과제	무가선티랩 실증노선 구축	(정부출연금)	161.5/0	(정부출연금)	52/0
1-1 (주관)	무가선티랩 실증노선 구축 및 총괄SE	<ul style="list-style-type: none"> 과제총괄 및 실증노선 구축 SE (21) 무가선 트랩 실증노선 상세추진방안 및 전략 마련 (1) 노선인프라(궤도/노반, 신호/통신 등) 사양 설계 및 건설 (115) 지붕탑재형 배터리·차량 설계, 차량 개조, 배터리 통합 및 검증 (24.5) 	161.5/0	<ul style="list-style-type: none"> 과제총괄 및 시험선 통합 SE (13억) 무가선 트랩 실증노선 상세추진방안 마련 (1억) 지붕탑재형 배터리·차량 설계, 차량 개조, 배터리 통합 및 검증 (27억) 시험선 인프라 개선 및 트랩 분기시스템 성능검증 (11억) 	52/0
2세부과제	트랩사고 저감·복구 및 무임승차방지 기술개발	(정부출연금)	42/10	(정부출연금)	57/15
2-1 (협동)	트랩교통사고 저감·복구 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 사고 피해저감 차량기술기준 마련 및 검증 (5.4) 사고차량 신속복구 기술개발 (4.8) 개발품 실차 IF/통합 SE 및 검증 (5.8) 	16/0	좌동	16/0
2-2 (공동)	대용량 안전 충전장치 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 대용량 안전 자동충전장치 설계 (3) 대용량 안전 자동충전장치 제작 및 실차 적용 (7) 	10/4	좌동	10/4
2-3 (공동)	ICT를 이용한 무임승차 방지 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 영상처리를 이용한 차상 무임승차 검지 및 판단기술 개발 (5) 실시간 통신을 이용한 요금 징수장치-현장단말-센터 연계기술 및 체계개발 (3) 	8/3	좌동	8/3
2-4 (공동)	지붕탑재형 배터리스스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> 지붕탑재형 배터리스스템 설계 (2.3) 지붕탑재형 배터리스스템 제작, 차량탑재 및 시험평가 (5.7) 	8/3	좌동	8/3
2-5 (공동)	트랩 분기신호 안전성 향상 개발	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 트랩 분기신호 SIL3이상의 H/W, S/W 설계 트랩 분기신호 SIL3인증 및 안정화 	12/4
2-6 (공동)	매립형 선로전환장치 안전성 향상 개발	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 매립형 선로전환장치 SIL3이상의 H/W, S/W 설계 매립형 선로전환장치 SIL3인증 및 안정화 	3/1

구분	지자체 연계 실증노선 (연구기간 : 4.5년)			대안 : 오송시험선 활용 실증 방안 (연구기간 : 3년)	
	과제명	주요내용	합계	주요내용	합계
3세부과제	트램 안전운영 전략개발 및 체계 구축	(정부출연금)	24/5	(정부출연금)	15/2
3-1 (협동)	트램 법제관리체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 무가선트램 영업운영에 필요한 제반 법제 개발 (3.3) ※ 자동차손해배상보장법, 교통사고처리특례법, 보험제도 등 • 철도안전관리체계 승인/검사체계 개발 (0.7) 	4/0	좌동	4/0
3-2 (공동)	트램 투자평가체계 개선전략 마련	<ul style="list-style-type: none"> • B/C 개선을 위한 평가방법 및 편익산정 기준 마련 (2.9) • 트램 투자평가제도 개선 (0.6) 	3.5/0	좌동	3.5/0
3-3 (공동)	국내 표준운영모델 개발 및 시범운영	<ul style="list-style-type: none"> • 표준 운영계획 수립, 모델개발 (1.5) • 안전관리·유지보수 기준개발, 차량·운영매뉴얼 제작, 운영·유지보수 지원시스템 개발 (6.3) • 시범운영 (7.2) 	15/5	<ul style="list-style-type: none"> • 표준 모델개발 (1) • 트램 유지보수 매뉴얼 개발 (2) • 시험선 실증 운영계획 수립 및 운영 (3) 	6/2
3-4 (공동)	트램 운전면허체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 트램 운전면허 관련 지침 개발 (0.8) • 교육 프로그램 개발 및 운전면허시험 항목/평가기준 개발 (0.7) 	1.5/0	좌동	1.5/0
총계			227.5/15		124/17

제4장 시범노선 구축 방안

제1절 개요

□ 전제조건

- 시범노선 구축은 도심지 운영을 위한 도시철도법을 적용하고, 상용운영이 가능한 지자체로 제한
 - 지자체는 실증노선 건설이후 즉시 지자체의 후속사업으로 연결되어 도시철도 기능을 유지할 수 있도록 시범노선 자체활용 및 시범노선을 연계한 노선 사업화 필수 (연구종료 후 즉시 노선 사업화 미착수시 정부출연금 전액 반환 조건 등 고려)
 - 시범노선은 도시철도법에 의해 예타 통과 노선 또는 노선별 기본계획 승인 노선을 우선 검토하되 자격요건을 포함한 실증노선 추진방안에 대한 구체적인 내용은 1세부과제 내에 포함된 “실증전략” 연구를 통해 추진방안을 마련하여 전문기관의 검토 및 국토부 승인을 득한 후 결정
 - 연구개발과 도시철도노선 건설이 결합된 무가선 저상트램 실증 사업은 노선별 기본계획 등 일부 조항에 대해 도시철도법을 보완 적용
 - ※ 기획보고서에서는 시범노선 추진방안을 안으로 제시하며 시범노선 상세 추진방안(적용 법, 지자체 선정, 인허가 등)은 실증사업 착수와 더불어 1세부과제의 연구로 도출하고 2차년도 전에 의사결정기관과 협의후 추진
- 기 개발된 연구개발물(차량, 궤도, 신호)의 상용화 기회를 우선 부여(가점)하되, 상용실적을 위해 공개입찰 방식으로 구축 추진
- 사업에 필요한 용지 및 예비차량, 건설비 등 총 사업비의 일정비율 이상 분담, 인허가 등 각종 행정사항 지원 등에 대하여 지자체 역할 및 의무 부과

□ 시범노선 규모

- 차량, 궤도, 신호를 검증하고 단독 상용운영이 가능하도록 복선 노선길이 1km 내외로 계획
 - 전체적으로 차량 1대(1편성 지자체 부담 형식승인차량), 교차로 3개소, 승강장 3개소, 검수고(관제실 포함) 1개소, 변전실 1개소, 신호통신 1식 기본 구축
 - * 검수고 및 관제실은 지자체 연장노선 계획에 따라 위치가 변경될 수 있으므로 간이형태(이전가능형)로 구축 가능
 - * 시범노선 시운전 검증은 1편성 지자체 부담 차량과 개조된 시제차량의 다중편성으로 검증

□ 지자체 재원분담 방안

- 도시철도 사업의 성격을 갖는 시범노선 구축과 관련하여 수익자부담원칙 및 타 도시철도사업과의 형평성을 감안하여 지자체 사업비 분담방안 검토필요

방안	방안 1	방안 2
	시범노선 구축 사업비 일정 비율 이상을 분담하는 방안	시범노선 구축 사업비 분담을 자율적으로 추진하는 방안
특성	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체는 시범노선 건설에 따른 공익 측면의 수혜가 예상되므로 사업비 분담 필요 - 전액 국가부담으로 추진할 경우 향후 교통관련 실증연구의 불합리한 사례가 될 수 있음 - SOC 형태의 도시철도 사업과의 형평성 측면에서 불가피 - 국가의 필요성에 의해 리스크를 갖고 추진되는 부분과 지자체 차원의 목적을 위해 SOC 형태의 도시철도 분담비율의 1/2 수준 적용 (예시: 지방기준 20%) - 재정능력이 취약한 지자체의 사업참여제한에 따른 반발 우려 - 사업수행 과정에서 지자체의 재원조달 이행이 어려울 경우 사업지연 우려 	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체 사업비 분담에 대한 별도의 제약 조건을 규정하지 않되, 사업참여를 희망하는 지자체의 재정 범위 이내에서 비용 분담 도모 - 실용화사업의 목적달성에 부합하는 지자체들의 참여 기회를 제공하는 측면에서 타당하며, 지자체 반발 완화 - 국고 예산이 확보될 경우 사업추진 용이 - 지자체간 담합 등으로 전액 국고지원을 초래할 수 있으며, 이 경우 타 사업과의 형평성 측면에서 문제 발생 등으로 인해 특혜 논란 우려 - 정부 주도 R&D 시설물 건설에 대한 전액 국고지원 사례 명분 제공 우려

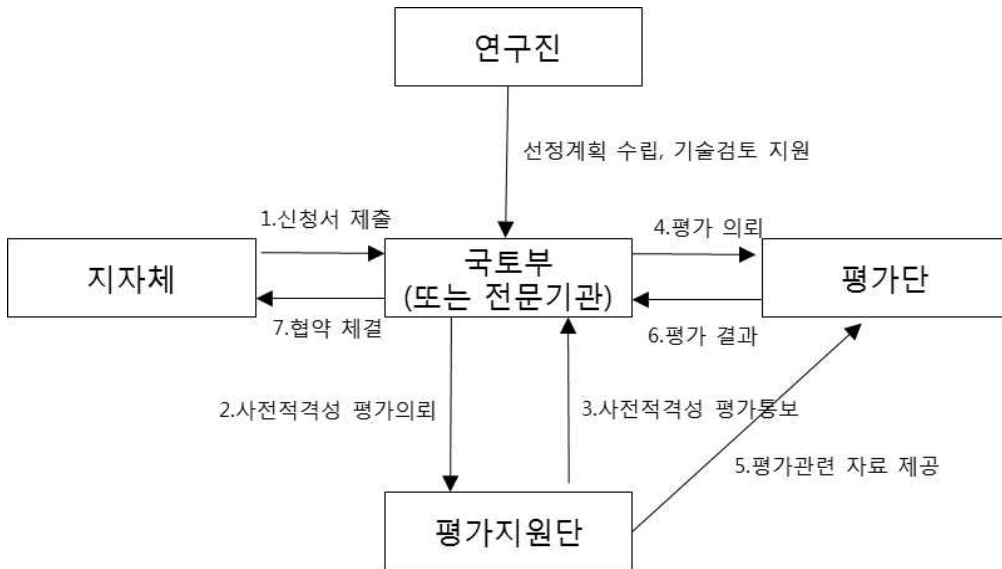
- R&D 사업으로 추진하는 도시철도 사업 성격임을 감안할 때, 지자체의 사업비 분담은 필요할 것으로 판단되며, 용지비를 부담하며, 아울러 상업운영 과정에서 추가 차량구입비 등을 부담하는 것을 감안하여 실질적인 분담비율이 일반 도시철도사업의 분담비율 수준으로 설정 필요

○ 시범노선 지자체 분담(안)

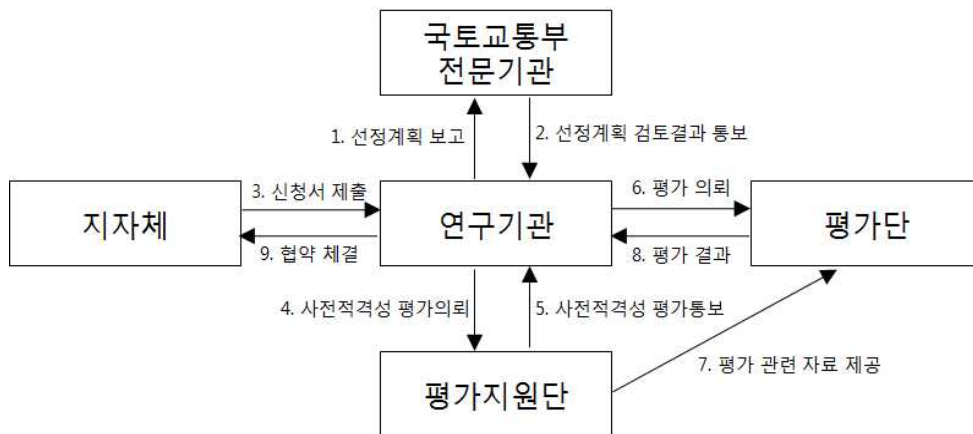
구분	실증사업	지자체
차량	1대 (개조 차량, 실증노선 시운전 검증)	1대 (형식승인 차량)
인프라	1km 매립형궤도, 교차로 3개소, 신호통신 1식 등	승강장 3개소, 변전실 1개소, 검수고(관제실포함) 1개소, 관련용지 및 부대시설 등
기타	-	인허가 등 각종 행정사항

□ 지자체 선정절차

- (선정주체) 정부(또는 전문기관) 또는 주관연구기관 주관으로 선정하되, 세부 방식은 국토부와 진흥원, 연구진이 협의하여 추진



<그림 91> 시범노선 선정절차 및 방법 (국토부 또는 전문기관 주관 선정)



<그림 92> 시범노선 선정절차 및 방법 (연구진 주관 선정)

- 지자체가 적정 노선을 신청하고 선정기관에서 사전적격성평가(서류심사), 본 평가(발표평가 및 현장실사)를 거쳐 선정
 - (사전적격성 평가) 시범노선의 취지와 연구개발에 필요한 기술요건 충족 여부 사전 평가(평가지원단 구성, 현지답사 등 제안서류 서면평가 및 기술적 검토)
 - (본평가) 사전적격성 평가를 통과한 후보지역을 대상으로 분야별 전문가로 구성된 평가단을 구성하여 본 평가(발표평가 및 현장실사) 시행

□ 연구개발물 소유권 및 운영권 방안

- 주관연구기관이 최종 연구개발물을 소유하고 과제종료시 시범노선 구축대상 지자체에 무상대여(또는 기부채납) 또는 양여(기술료 완납시) 방식으로 추진
- ※ 실증사업 착수와 더불어 1세부과제내 법률 검토 및 관계기관 자문을 통해 추진

제2절 시범노선 추진 실행방안(안)

1. 시범노선 관련 적용 법령 검토

가. 지자체 실증관련 법령

- 지자체 실증의 추진, 시범노선 선정 및 확정, 사업계획의 승인, 연구성과물의 인계와 관련된 법제도는 <표 34>와 같음.
- 이들 법령에 대해 시범노선 적용방안을 검토함. 상세적용방안은 1세부과제내에서 시범노선 상세추진방안연구에서 제시되어야 하며 시범노선 성공을 위해 관계기관간에 면밀한 검토가 선행되어야 함.

<표 34> 지자체 실증관련 법령

구분	관련법령
지자체 실증 추진	국토교통과학기술육성법 제11조(시범사업의 실시)
	국가통합교통체계효율화법 제104조(시범사업)
	도시철도법 제2조(정의)
	궤도운송법
시범노선 선정 및 확정	도시철도법 제5조(도시철도망구축계획의 수립 등)
	도시철도법 제6조(노선별 도시철도기본계획의 수립 등)
사업계획의 승인	도시철도법 제7조(사업계획의 승인 등)
연구결과물 인계	국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제20조(연구개발성과의 소유) 4항
	기술의 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률 제30조(국유재산의 대부 등)
	국유재산법 제56조(양여)

나. 지자체 실증 추진관련 법령 검토

- “국토교통과학기술육성법 제11조”와 “국가통합교통체계효율화법 제101조”에 의해 국토교통부장관은 연구개발성과 또는 교통기술의 이용 및 보급의 촉진을 위해 시범사업을 실시할 수 있으며 재정적·행정적·기술적 지원을 할 수 있음. 무가선 트램 실증사업은 연구개발성과로서 또는 교통기술로서 두 법을 모두 적용하여 추진할 수 있으며 중앙정부의 행정지원을 기대할 수 있음.
- 국토교통과학기술육성법의 시행을 위한 하위규정(시행령, 시행규칙)은 마련되

어 있지 않으며 동 법에 따라 시행된 시범사업은 현재까지 조사된 바로는 사례가 없음.

- 국가통합교통체계효율화법 및 하위 시행령·시행규칙에 따라 차세대 ITS(C-ITS) 시범사업 (‘14.04~’ 17.03), 복합환승센터 시범사업(‘10.12~)이 시행된 바 있으나 교통수단에 대한 적용 사례는 없음.
- 노면전차는 도시철도법에서 명시적으로 도시철도 범주에 포함되어 있으므로 실증사업은 연구성과물의 실증뿐 아니라 상용 운영을 목표로 하기 때문에 시범노선은 도시철도법을 적용하여 계획, 건설, 운영할 필요가 있다고 판단됨.
 - 실증사업은 R&D를 실증하며 독립 운영이 가능하므로 도시철도법의 절차를 거칠 필요없이 상기 국토교통과학기술육성법 또는 국가통합교통체계효율화법만을 적용하여 시범노선을 구축할 수 있으나 궁극적 활용성을 높이기 위해 지자체가 확장연계노선을 고려한 개통을 유도하도록 도시철도법 적용이 적절하다고 판단됨.
 - 궤도운송법을 따르는 방안도 있으나 도로 및 교차로에 대한 노선 설치에 문제점이 있어 노선선정에 제약이 많음. 또한 도로교통법의 차마에 포함되어 있지 않아 도로주행 문제가 있으므로 가급적 도시철도법을 이행하여 추진하는 것이 바람직함. (현재 도시철도법의 노면전차 전용로 규정을 준용하여 노면전차의 도로 주행을 허하는 방향으로 도로교통법을 개정추진중임.)

<표 35> 지자체 실증 추진관련 법령 (국토교통과학기술육성법 등)

구분	관련법령
지자체 실증 추진	<p>□ 도시철도법 제2조(정의)</p> <p>2. “도시철도”란 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설·운영하는 철도·모노레일·노면전차(路面電車)·선형유도전동기(線形誘導電動機)·자기부상열차(磁氣浮上列車) 등 궤도(軌道)에 의한 교통시설 및 교통수단을 말한다.</p>
	<p>□ 국토교통과학기술육성법 제11조(시범사업의 실시)</p> <p>① 국토교통부장관은 연구개발성과의 이용 및 보급을 촉진하기 위하여 필요하다고 인정할 때에는 시범사업을 실시할 수 있다.</p> <p>② 국토교통부장관은 제1항에 따른 시범사업에 참여하는 자에 대하여 재정적·행정적·기술적 지원을 할 수 있다.</p>
	<p>□ 국가통합교통체계효율화법 제104조(시범사업)</p> <p>① 국토교통부장관은 개발된 교통기술의 이용·보급을 촉진하기 위하여 필요하다고 인정할 때에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 교통기술의 시범보급사업, 시범지역조성사업, 시범도시 지정 등의 시범사업을 할 수 있다. <개정 2013.3.23.></p> <p>② 국토교통부장관은 제1항에 따른 시범사업에 참여하는 자에 대하여 재정·행정·기술 등 필요한 지원을 할 수 있다. <개정 2013.3.23.></p>
	<p>□ 국가통합교통체계효율화법 시행령 제102조(시범사업의 실시)</p> <p>① 국토교통부장관은 시범사업을 하려는 때에는 다음 각 호의 사항이 포함된 시범사업계획을 수립하여야 한다. 이 경우 미리 관계 행정기관의 장과 협의하여야 한다. <개정 2013.3.23></p> <p>~~~~~</p> <p>② 국토교통부장관은 제1항에 따른 시범사업을 하는 경우 저탄소 교통기술의 개발·보급 및 활성화를 촉진하기 위하여 법 제104조제2항에 따라 연료·동력 공급시설, 운행 지원시설 등 기반시설 구축을 지원할 수 있다. <개정 2013.3.23></p> <p>③ 국토교통부장관은 직접 또는 시·도지사의 요청에 의하여 시범사업을 할 대상지역(이하 “시범지역”이라 한다)을 지정할 수 있다. <개정 2013.3.23></p>

<p>④ 시범지역은 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 시범사업의 목적 달성에 적합한 지역일 것 2. 시범사업에 대한 주민의 호응도가 높을 것 3. 시범사업의 재원 조달계획이 적정하고 실현 가능할 것 4. 법 제94조에 따른 국가교통기술 개발계획과 조화를 이룰 것 <p>⑤ 시·도지사는 제3항에 따라 시범지역의 지정을 요청하려는 경우에는 다음 각 호의 서류를 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. <개정 2013.3.23></p> <p>~~~~~</p> <p>⑥ 특별자치시장·특별자치도지사·시장(특별시·광역시의 시장을 포함하며, 행정시의 시장은 제외한다. 이하 이 조에서 같다)·군수(광역시에 있는 군의 군수는 제외한다. 이하 이 조에서 같다)는 법 제104조제1항에 따른 교통기술의 시범도시(이하 “시범도시”라 한다)의 지정을 국토교통부장관에게 요청할 수 있다. <개정 2013.3.23, 2015.7.6></p> <p>⑦ 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수는 제6항에 따라 시범도시의 지정을 요청하려는 경우에는 다음 각 호의 내용이 포함된 서류를 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. <개정 2013.3.23, 2015.7.6></p> <p>~~~~~</p> <p>⑧ 국토교통부장관은 시범지역 또는 시범도시를 지정하려는 때에는 미리 관계 행정기관의 장과 협의한 후 국가교통위원회 심의를 거쳐야 한다. <개정 2013.3.23></p> <p>⑨ 국토교통부장관은 시범지역 또는 시범도시를 지정하였을 때에는 지정 목적, 지정내용, 지정 대상지역 등을 관보에 공고하고 관계 행정기관의 장에게 통보하여야 한다. <개정 2013.3.23></p> <p>⑩ 이 영에서 규정한 사항 외에 시범사업의 실시에 필요한 사항은 국토교통부장관이 따로 정하여 고시한다</p>
--

다. 시범노선 선정, 확정, 승인 관련 법령 검토

- 지자체가 도시철도를 건설하고자 하는 경우 <그림 93>의 절차에 따라 국토교통부의 승인이 필요함.
 - 지자체는 10년 단위의 도시철도망 구축계획을 수립하여 국토교통부에 제출하고 국토교통부는 경제성 분석결과 B/C가 0.7 이상이거나 AHP 값이 0.5 이상이면 이를 확정 및 고시함. 확정된 도시철도망 구축계획의 타당성을 5년 단위로 재검토하여 그 결과를 도시철도망 구축계획에 반영함.
 - 도시철도망 구축계획에 포함된 노선에 대해 KDI 등의 예비타당성을 통과하면 지자체는 노선별 기본계획을 수립하여 국토교통부에 제출하며 국토교통부는 경제적 타당성이 순현재가치(NPV)가 “0” 이상, 편익/비용비(B/C Ratio)가 “1” 이상, 내부수익율(IRR)이 5.5% 이상(사회적 할인율)인 경우 해당 노선에 대한 기본계획을 승인함.
- 시범노선의 성공을 위해 정책적, 경제적 타당성이 높은 시범노선 선정이 첫 번째로 우선시되어야 하고 두 번째로는 국내표준모델로 제시할 수 있어야 하므로 공정하고 합리적인 지자체 및 시범노선 선정기준 마련이 필요함.

<표 36> 시범노선 선정, 확정, 승인 관련 법령 (도시철도법)

구분	관련법령
시범노선 선정 및 확정	<p>□ 도시철도법 제5조(도시철도망구축계획의 수립 등)</p> <p>① 특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 및 특별자치도지사(이하 “시·도지사”라 한다)는 관할 도시교통권역에서 도시철도를 건설·운영하려면 관계 시·도지사 및 특별자치도지사(이하 “시·도지사”라 한다)와 협의하여 10년 단위의 도시철도망구축계획(이하 “도시철도망계획”이라 한다)을 수립하여야 한다. 이를 변경하려는 경우에도 또한 같다.</p>

구분	관련법령
	<p>② 도시철도망계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.</p> <p>~~~~~</p> <p>③ 도시철도망계획은 다음 각 호의 계획과 조화를 이루도록 수립되어야 한다.</p> <p>~~~~~</p> <p>④ 시·도지사는 도시철도망계획을 수립하거나 변경하려면 국토교통부장관의 승인을 받아야 한다.</p> <p>⑤ 국토교통부장관은 도시철도망계획의 내용 중 필요한 사항을 조정하여 관계 행정기관의 장과 협의한 후 「국가통합교통체계효율화법」 제106조에 따른 국가교통위원회의 심의를 거쳐 승인하고, 이를 관보에 고시하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항의 변경을 승인하는 경우에는 국가교통위원회의 심의 및 관보에의 고시를 생략한다.</p> <p>⑥ 시·도지사는 도시철도망계획이 수립된 날부터 5년마다 도시철도망계획의 타당성을 재검토하여 필요한 경우 이를 변경하여야 한다.</p> <p>□ 도시철도법 제6조(노선별 도시철도기본계획의 수립 등)</p> <p>① 시·도지사는 도시철도망계획에 포함된 도시철도 노선 중 건설을 추진하려는 노선에 대해서는 관계 시·도지사 및 협의하여 노선별 도시철도기본계획(이하 “기본계획”이라 한다)을 수립하여야 한다. 이를 변경하려는 경우에도 또한 같다. 다만, 「사회기반시설에 대한 민간투자법」에 따라 민간투자사업으로 추진하는 도시철도의 경우에는 시·도지사가 국토교통부장관과 협의하여 기본계획의 수립을 생략할 수 있다.</p> <p>② 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 해당 도시교통권역의 특성·교통상황 및 장애의 교통수요 예측 2. 도시철도의 건설 및 운영의 경제성·재무성 분석과 그 밖의 타당성의 평가 3. 노선명(路線名), 노선 연장, 기점(起點)·종점(終點), 정거장 위치, 차량기지 등 개략적인 노선망(路線網) 4. 사업기간 및 총사업비 5. 지방자치단체의 재원 부담비율을 포함한 자금의 조달방안 및 운용계획 6. 건설기간 중 도시철도건설사업 지역의 도로교통대책 7. 다른 교통수단과의 연계 수송체계 구축에 관한 사항 8. 그 밖에 필요한 사항으로서 국토교통부령으로 정하는 사항 <p>③ 시·도지사는 기본계획의 내용 중 대통령령으로 정하는 주요 사항에 대하여는 국토교통부장관과 협의한 후 공청회를 열어 주민 및 관계 전문가 등으로부터 의견을 듣고 해당 지방의회의 의견을 들어 기본계획을 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하려는 경우에는 사전협의, 공청회, 지방의회 의견청취의 절차를 생략할 수 있다.</p> <p>④ 국토교통부장관은 제3항에 따라 기본계획을 제출받으면 건설 노선, 사업기간, 총사업비, 지방자치단체의 재원 부담비율을 포함한 자금의 조달방안 등 필요한 사항을 조정하여 관계 행정기관의 장과 협의를 거쳐 기본계획을 승인하여야 한다.</p> <p>⑤ 국토교통부장관은 제4항에 따라 기본계획을 승인하면 이를 관보에 고시하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항의 변경을 승인하는 경우에는 그러하지 아니하다.</p>
사업계획의 승인	<p>□ 도시철도법 제7조(사업계획의 승인 등)</p> <p>① 기본계획에 따라 도시철도를 건설하려는 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 도시철도사업계획(이하 “사업계획”이라 한다)을 수립하여 국토교통부장관의 승인을 받아야 한다. 이를 변경하려는 경우에도 또한 같다.</p> <p>② 기본계획에 따라 도시철도를 건설하려는 자가 제1항에 따라 사업계획의 승인을 신청할 때에는 미리 그 뜻을 공고(公告)하고 관계 서류의 사본을 20일 이상 일반인이 열람할 수 있게 하여야 한다. 이 경우 도시철도시설 부지에 편입되는 토지의 소유자 및 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률」 제2조제5호에 따른 관계인(이하 “소유자등”이라 한다)에게 그 사실을 통보하여야 한다. 다만, 소유자등을 알 수 없거나 주소 불명(不明) 등 대통령령으로 정하는 경우에는 통보하지 아니할 수 있다.</p> <p>③ 소유자등은 사업계획의 승인을 신청하는 자에게 제2항에 따른 열람 기간에 의견서를 제출할 수 있다.</p> <p>④ 사업계획의 승인을 신청하는 자는 제3항에 따라 제출된 의견이 타당하다고 인정하면 사업계획 승인신청 내용에 이를 반영하여야 하고, 반영하지 아니한 의견은 신청서에 첨부하여야 한다.</p> <p>⑤ 국토교통부장관은 사업계획을 승인할 때 제4항에 따라 첨부된 의견이 타당하다고 인정할 때에는 이를 반영하여야 한다.</p> <p>⑥ 국토교통부장관은 제1항에 따라 사업계획을 승인하면 이를 관보에 고시하여야 한다.</p> <p>⑦ 지방자치단체의 장은 제1항에 따른 사업계획 승인 내용 중 도시·군관리계획 결정사항이 포함되어 있는 경우에는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제32조 및 「토지이용규제 기본법」 제8조에 따라 지형도면의 고시 등 필요한 조치를 하여야 한다.</p> <p>⑧ 제6조제1항 후단에 따라 기본계획 중 사업기간 또는 사업비에 관한 사항을 변경한 경우에는 제1항에 따른 사업계획의 변경승인을 받은 것으로 본다.</p>

[절차]	[내용]	[지자체 현황]
구상 제안	시민, 의원, 정책 등	
▽		
사전 타당성 용역	지자체발주 (예타 동일 기준) 민간/국책연구기관 수행	
▽		
최상위 기본계획 수립	도시철도망구축계획 수립(시·도) 국토교통부 승인·고시	-'15.06 서울시(변경) 국토부 승인 - '16.12. 경기도(화성, 수원, 성남, 시흥, 부천) 승인요청 - '17.06 부산시 국토부승인
▽		
예비타당성 조사	시·도→국토교통부→기획재정부 신청 및 선정 한국개발연구원(KDI) 사업재검토	- '17.현재 수원시 KDI검토중 - '17.현재 서울시 KDI검토중
▽		
노선별 기본계획 수립(본 타당성평가)	사업시행자(지자체) 신청 국토교통부 승인	- '16.10 대전시 기본계획 변경 승인 요청
▽	공청회, 환경영향평가, 교통영향평가 포함	
▽		
기본 및 실시설계	사업시행자(지자체)	- '16.12 성남시(판교 랜드마크랩) 궤도운송법에서 도시철도법 적용하여 추진
▽		
실시계획 승인 및 착공	국토교통부 승인	
▽		
시공 후 시운전 및 개통		

<그림 93> 도시철도 건설사업 절차 및 지자체 진행현황

라. 연구개발물 인계관련 법령 검토

- 시범노선과 같은 유형적 연구개발물은 “국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정”에 의해 주관기관의 소유로 되어 있으며 예외적으로 동 규정 20조 4항에 따라 정부소유로 할 수 있음. 이때 소유기관(주관기관 또는 정부)은 지자체에 양여할 경우 동 규정 20조 5항 1에 따라 투입된 정부출입금 이상의 기술료를 지자체로부터 징수받아야 함.
- 정부가 시범노선을 소유하고 실증사업을 기술의 이전 및 사업화로 본다면

“기술의 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률” 30조에 따라 정부는 기술이전·사업화에 참여하는 기관(지자체)에 무상양여도 가능하다고 판단됨.

- 소유권 이전 방식에 대한 사항은 상기 “국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정”, “기술의 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률”, “국유재산법”에 대하여 법률자문 및 유권해석 등을 통해 실증사업 1세부과제에서 면밀히 검토되어야 함.

<표 37> 연구개발물 인계관련 법령 (국가연구개발사업 규정 등)

구분	관련법령
연구개발물 인계	<p>□ 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제20조(연구개발성과의 소유)</p> <p>④ 중앙행정기관의 장은 법 제11조의3제1항 각 호 외의 부분 단서에 따라 연구개발성과를 국가의 소유로 할 경우에는 협약에서 이를 명확히 하여야 한다. <개정 2014.11.28.></p> <p>⑤ 연구개발성과 소유기관의 장은 다음 각 호에 해당하는 경우에는 참여기업 또는 연구개발성과를 실시하는 기업(이하 “실시기업”이라 한다)의 대표와 협의하여 제1항부터 제3항까지의 규정에 따라 취득한 연구개발성과를 참여기업·실시기업 또는 다른 적절한 기관(국내에 있는 기관을 우선적으로 고려하여야 한다)에 양여할 수 있다. 다만, 연구개발성과 소유기관이 연구개발성과에 대한 권리를 포기하는 경우에는 해당 연구개발과제를 수행한 연구책임자에게 무상(無償)으로 양여할 수 있다. <개정 2014.11.28.></p> <p>1. 제1항에 따른 유형적 성과의 경우에는 연구개발성과 소유기관이 참여기업 또는 실시기업으로부터 해당 성과의 가액 중 정부 출연금 지분에 상당하는 금액을 기술료 등으로 회수한 경우</p> <p>2. 제2항에 따른 무형적 성과의 경우에는 연구개발성과 소유기관이 참여기업 또는 실시기업으로부터 법 제11조의4제1항에 따른 기술료의 징수를 완료한 경우</p> <p>⑥ 주관연구기관·협동연구기관 및 참여기관의 장은 국가연구개발사업에 따른 연구개발성과로서 지식재산권을 출원·등록하거나 포기하는 경우에는 다음 각 호의 조치를 하여야 한다. <개정 2014.8.12., 2014.11.28.></p>
	<p>□ 기술의 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률 제30조(국유재산의 대부 등)</p> <p>① 정부는 기술이전·사업화의 추진을 위하여 필요한 경우에는 기술이전·사업화에 참여하는 기관에 「국유재산법」 및 「물품관리법」에도 불구하고 국유재산을 유상 또는 무상으로 대부·양여하거나 사용·수익하게 할 수 있다.</p> <p>② 제1항에 따른 대부·양여 및 사용·수익의 조건과 절차 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.</p>
	<p>□ 국유재산법 제56조(양여)</p> <p>① 일반재산은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 양여할 수 있다. <개정 2011.3.30., 2012.12.18.></p> <p>1. 대통령령으로 정하는 일반재산을 직접 공용이나 공공용으로 사용하려는 지방자치단체에 양여하는 경우</p> <p>2. 지방자치단체나 대통령령으로 정하는 공공단체가 유지·보존비용을 부담한 공공용재산이 용도폐지됨으로써 일반재산이 되는 경우에 해당 재산을 그 부담한 비용의 범위에서 해당 지방자치단체나 공공단체에 양여하는 경우</p> <p>3. 대통령령으로 정하는 행정재산을 용도폐지하는 경우 그 용도에 사용될 대체시설을 제공한 자 또는 그 상속인, 그 밖의 포괄승계인에게 그 부담한 비용의 범위에서 용도폐지된 재산을 양여하는 경우</p> <p>4. 국가가 보존·활용할 필요가 없고 대부·매각이나 교환이 곤란하여 대통령령으로 정하는 재산을 양여하는 경우</p>

2. 지자체 및 시범노선 기본요건

- 도시철도법 적용할 때 요구되는 실증노선의 사업기간과 국내 처음 시도되는 바를 고려하여 시범노선 신청 지자체의 최소 자격은 도시철도망구축계획이 수립되어 있어야 함.
- 도시철도의 예비타당성조사(민투자사업인 경우 적격성조사)가 통과된 지자체 또는 노선별 기본계획 승인(국토부)을 받은 지자체일 경우, 경제적 타당성 ($B/C \geq 1$)을 공식적으로 확인할 수 있고 지자체는 예타통과한 노선에 대해 지자체 실증 (1km 내외)이후 즉시 후속사업으로 전체노선으로 완공이 가능함. 하지만 현재 대전, 수원, 위례 등이 예타(또는 적격성조사)관련 절차를 추진하고 있으나 통과나 승인 여부가 불확실하여 공모시점까지 지원가능한 지자체가 전무할 가능성이 매우 크고 트랩 사업이 예비타당성이나 기본계획 승인 절차를 통과하지 못하는 문제점을 해결하려는 실증사업의 주요 목적과 어긋남.
- 도시철도망구축계획 승인된 지자체인 경우, 공모시점까지 도시철도망구축계획 승인 지자체가 10여개로 예상되어 지원가능한 지자체가 다수이며 시범 운영을 통해 트랩의 장점을 부각하여 관련 사업을 활성화 하려는 실증사업의 취지에 부합. 다만, 시범노선의 단계별 추진 기본계획에 대한 국토부의 특별 승인 등 중앙정부의 적극적인 행정 필요함. 또한 경제적 타당성을 공식적으로 확인할 수 없고 후속노선에 대한 연계승인이 안 되는 경우 시범노선 매몰 가능성이 있음.
 - 아울러 절차상 KDI의 예비타당성 조사결과를 기대하기는 어렵지만 지자체 선정시 사전타당성 용역결과 등을 포함하여 국내 실증노선 환경적 타당성 등에 대해서 사전 검토를 할 필요가 있음.
 - 사업기간 내 시범노선의 건설을 위해서는 10년단위로 수립되어 있는 도시철도망구축계획에 대한 시범노선의 신규 편입 또는 기존노선의 단계별 분할 등 사업계획 변경과 관련한 지자체의 요청에 대하여 국토부 관련부서의 신속하고 우선적인 행정처리와 장관의 승인이 요구됨
 - 경제성 확보 방안은 다음과 같음
 - 고시된 도시철도망구축계획상 $B/C \geq 0.8$ (망구축계획 통과 기준 : $B/C \geq 0.7$)인 노선으로 한정
 - 후속사업 연계 가능성이 가장 높은 지자체를 평가를 통해 선정

<표 38> 지자체 및 시범노선의 자격요건별 장단점 비교

구분	예비타당성조사(또는 적격성조사)가 통과된 지자체 또는 노선별 기본계획 승인(국토부)을 받은 지자체를 선정하는 경우	망구축계획에 포함된 노선의 일부 구간을 실증사업을 통해 구축 후 향후 전체노선에 대한 승인을 받는 경우
장점	- 지자체 실증 이후 즉시 후속사업으로 전체노선 완공 가능	- 지원 가능한 지자체 다수 - 후속사업 연계 가능성이 가장 높은 지자체를 평가를 통해 선정 가능 - 시범 운영을 통해 트램의 장점을 부각하여 관련 사업을 활성화 하려는 실증사업의 취지에 부합
단점	- 현재 대전, 수원 등이 예비타당성 관련 절차를 추진하고 있으나 통과나 승인 여부가 불확실하여 실증사업 공모에 지원 가능한 지자체가 전무할 가능성이 큼 - 트램 사업이 예비타당성이나 기본계획 승인 절차를 통과하지 못하는 문제점을 해결하려는 실증사업의 주요 목적과 어긋남	- 실증노선의 단계별 추진 기본계획에 대한 국토부의 특별 승인 필요 - 후속노선에 대한 연계승인이 안 되는 경우 실증노선 매몰 가능

□ 기획타당성위원회 검토의견('17.06.16)

- 연구성과물이 사장되지 않기 위하여 시범노선(1km내외) 건설 이후 즉시 후속사업으로 연결되어 도시철도의 기능을 유지할 수 있도록 지자체 공모 지원자격은 해당 노선에 대한 예비타당성조사가 통과된 지자체 또는 노선별 기본계획 승인(국토부)을 받은 지자체를 대상으로 한정

- 시범노선의 경제성 확보 가능성을 우선 고려하고 기타위 검토의견을 고려할 때 지자체 및 시범노선 자격요건은 예비타당성조사(민투자사업인 경우 적격성조사)가 통과된 지자체 또는 노선별 기본계획 승인(국토부)을 받은 지자체를 우선 검토하되 자격요건을 포함한 실증노선 추진방안에 대한 구체적인 내용은 1세부과제 내에 포함된 “실증전략” 연구를 통해 추진방안을 마련하여 전문기관의 검토 및 국토부 승인을 득한 후 결정

3. 도시철도법 적용에 의한 시범노선 구축 절차(안)

- 예비타당성조사(민투자사업인 경우 적격성조사)가 통과된 지자체 또는 노선별 기본계획 승인(국토부)을 받은 지자체에 대하여 시범노선을 구축하는 방안으로써 다음과 같은 절차를 통해 추진
 - 시범노선 선정 : 정부(또는 전문기관) 또는 연구진
 - 시범노선 공고·통보 및 실시 : 국토부장관
 - 노선별 기본계획 수립·조정 (도시철도법 제6조) : 도시철도법의 보완시행, 시·도지사가 국토부장관에게 제출
 - 노선별 기본계획 확정·고시(도시철도법 제6조) : 국토부장관
 - 사업계획의 승인(도시철도법 제7조) : 지자체가 국토부로부터 허가 취득
 - 도시철도의 건설 및 운전 (도시철도법 제18조) : 주관기관이 시행, 지자체 협조
 - 인계 (국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제20조) : 건설 및 시운전 후 협약에 따라 지자체에 시설물 인계

- 예타통과 또는 노선별 기본계획의 대상 노선에 대하여 1km 시범노선 선시공에 대한 노선별 기본계획 조정이 필요하며 지자체의 전체노선에 대한 연계 확장 계획이 지자체 협약에 의해 명확히 해야 함.

- 구체적인 구축절차를 포함한 실증노선 추진방안에 대한 구체적인 내용은 1세 부과제 내에 포함된 “실증전략” 연구를 통해 추진방안을 마련하여 전문기관의 검토 및 국토부 승인을 득한 후 결정

- 도시철도법 적용에 의한 지자체 실증을 추진하고 사업담당 부처가 적극적으로 지원해 줄 경우 사업기간은 3년 10개월로 추정됨.
 - 참고로 철도법을 적용하여 시행한 자기부상열차의 시범사업은 R&D 실용화 사업 자체에 대한 예비타당성 조사를 실시하였으며 지자체의 신청 노선에 대하여 지자체 선정후 사업계획 승인시까지 2년6개월 소요됨.

<자기부상열차 사업 추진 사례>

- 2004.07. ~ : 국가연구개발 실용화사업 추진결정 (대통령주재 국정과제 회의)
- 2005.01.05 : 예비 타당성 대상과제 선정
- 2005.04.30 : 예비 타당성 조사완료
- 2006.02. ~ 08. : 실용화사업 타당성조사 (국토부)
- 2006.11. : 도시형 자기부상열차 실용화 계획 확정 · 공시
- 2006.12.28 : 실용화사업 공단참여 (3 핵심과제 : 시범노선 구축)
- 2007.08.09 : 시범노선 선정 협약체결
(인천시 · 인천공항공사) + 한국건설교통기술평가원
- 2007.11.19 : 시범노선 기본설계 · 실시설계 용역착수
※ 2007.11.19~2010.10.30 (시설분야 : 2009. 1.30 완료)
- 2009.04.09 : 시범노선 기본계획 고시
- 2010.02. 11 : 시범노선 건설공사 계약체결
(GS건설, 계룡건설, 한라건설, 한진 중공업, KCC건설, 경대중건)
- 2010.04.08 : 사업계획 승인 (국토부)
- 2010.08. 10 : 시범노선 기공
- 2016.02. : 시범노선 개통

<표 39> 도시철도법 적용에 의한 지자체 실증 사업기간 산정 (도시철도망구축계획 승인 시범노선기준)

도시철도법 이행 사업기간 최소화 방안	궤도운송법 적용 방안
<pre> graph TD A[지자체 선정 (7개월)] --> B[도시철도망구축계획 조정 및 승인 (6개월)] A --> C[기본계획 및 기본설계 (6개월)] B --> D[기본계획승인·고시 (6개월~1년)] C --> E[실시설계 (6월)] D --> F[실시계획승인·고시 (6개월)] E --> F F --> G[공사입찰 및 계약 (3개월)] G --> H[공사착공 및 준공 (1년)] </pre>	<pre> graph TD A[사업계획 수립] --> B[지자체 선정 (7월)] B --> C[기본설계 (6월)] C --> D[실시설계 (6월)] D --> E[공사입찰 및 계약 (3월)] E --> F[공사착공 및 준공 (1년)] </pre>
<ul style="list-style-type: none"> - 기본계획 승인신청 및 고시 일정이 연구 진행일정과 일치 시 3년 4개월, 불일치 시 3년 10개월 소요 - 도시철도망구축계획 조정에 대한 국토부 협조 요구 	<ul style="list-style-type: none"> - 2년 8개월 소요 - 설계, 시공, 운행은 도로교통법, 철도안전법을 따라 실시

제2절 시범노선 선정절차

1. 노선선정 주관 주체

최근 추진되었던 국책사업의 테스트베드 선정은 선정을 주관하는 주체와 관련하여 아래 표와 같이 5가지 방안을 검토할 수 있다. 시범노선은 상업여건을 갖춘 선로조건에서 트램 성능시험과 개통 이후 영업노선으로서의 실용성 도모를 목적으로 계획하고 있으므로, 국내에 다수의 후보지역이 가능하며, 노선건설 및 운영과정에서 해당지역의 참여가 불가피하므로 지자체 중심의 사업계획이 필요하다. 또한 시범노선 구축은 지자체 내부의 이견이 없는 유치 희망사업이므로 후보지역 선정을 위한 시간 단축을 위해서는 해당 지자체에서 후보지를 선정하여 신청하는 것이 바람직하다.

국가연구개발사업의 일환으로 추진되고 국가 교통정책적 연구성과 달성을 고려하면 정부(또는 전문기관)가 담당하는 것이 유리하나 한편으론 국가연구개발사업의 기술적 목표를 고려하면 연구진이 시행하는 것이 타당하다. 따라서 정부(또는 전문기관) 또는 연구진 모두 최종 선정 주체될 수 있다고 판단된다. 다만, 정책적, 기술적 연구성과를 모두 달성을 위해서는 선정과정에서 정부(또는 전문기관)와 연구진의 긴밀한 상호 협력이 필요하다.

본 기획연구에서는 연구진이 최종선정 주체일 때 요구되는 선정절차를 제시한다. 정부(또는 전문기관)가 선정할 경우는 제시된 선정절차를 보완 적용할 수 있다. 최종 선정주체는 1세부과제 내에서 실증노선 상세추진방안연구에서 관련기관 협의에 의해 최종 결정할 필요가 있다.

<표 32> 시범노선 선정 주관 주체 관련 대안

방안	주체		사례	비고
	후보지 제안	최종 선정		
방안 1	정부	정부	-신행정수도 선정	-후보지역이 제한된 사업에 적합 -정부의 사업추진 특수성 강조
방안 2	지자체	전문기관	-도시형 자기부상열차 시범노선 -One Card All Pass 표준기술 개발 및 테스트베드 운영	-후보지역이 다수인 사업에 적합 -지자체의 특수성 반영 -최종선정 관련 연구진의 기술지원 필요
방안 3	지자체	연구진	-해수담수화플랜트사업	-후보지역이 다수인 사업에 적합 -지자체의 특수성 반영 -연구진의 직접적인 선정으로 연구개발 관련 기술수요 반영에 최적

방안	주체		사례	비고
	후보지 제안	최종 선정		
				-선정절차의 공정성 관련 정부(전문기관)의 추진 필요
방안 4	지자체	지자체	-방폐장 유치지역 선정	-후보지역이 다수인 사업에 적합 -지자체 내부에 이견이 많은 사업
방안 5	연구진	정부	-호남고철 분기역 선정	-연구를 통해 후보지역이 사전에 지정된 사업

2. 선정절차

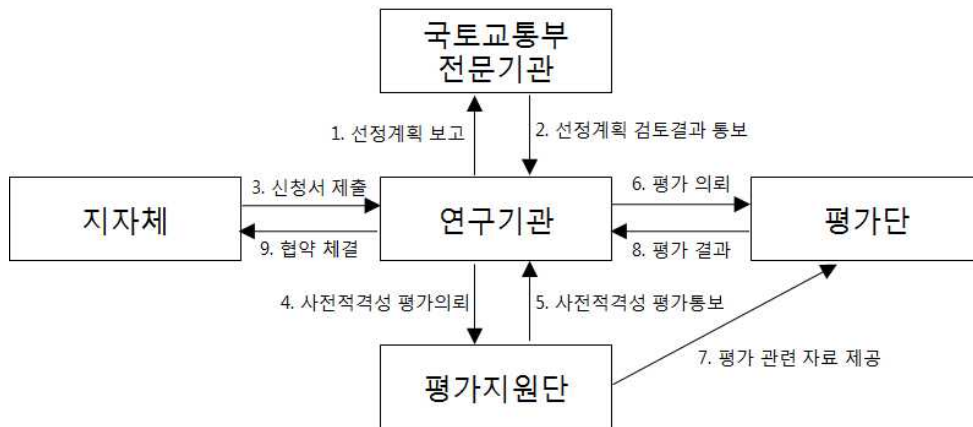
연구진이 선정할 경우 선정계획을 수립하고 전문기관과 국토부에 보고하여 승인 후 그 결과에 따라 시행한다. 시범노선 선정절차는 “사업공고→신청→사전 적격성 평가→본 평가” 과정으로 진행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

시범노선 건설 및 운영과정에 발생할 수 있는 문제점을 사전에 최소화하기 위해, 국책사업으로 추진된 신행정수도 선정, 기업도시 시범사업 등의 사례와 유사하게 사전 적격성 평가를 실시하는 방안이 바람직하다.

사전 적격성 평가는 실용화사업 참여기관을 중심으로 구성된 평가지원단이 시범노선의 시설 및 운영 기본요건 충족 여부를 판단한다. 사전 적격성 평가 과정에서는 후보지역 전체에 대한 현장조사를 통해 적격성 기준 충족 여부를 판단하는 전문 실무진 중심의 평가를 실시한다. 아울러 평가지원단은 지자체 등의 제출 자료 검토 및 본 평가를 위한 평가관련 자료 작성·제공 역할을 수행한다.

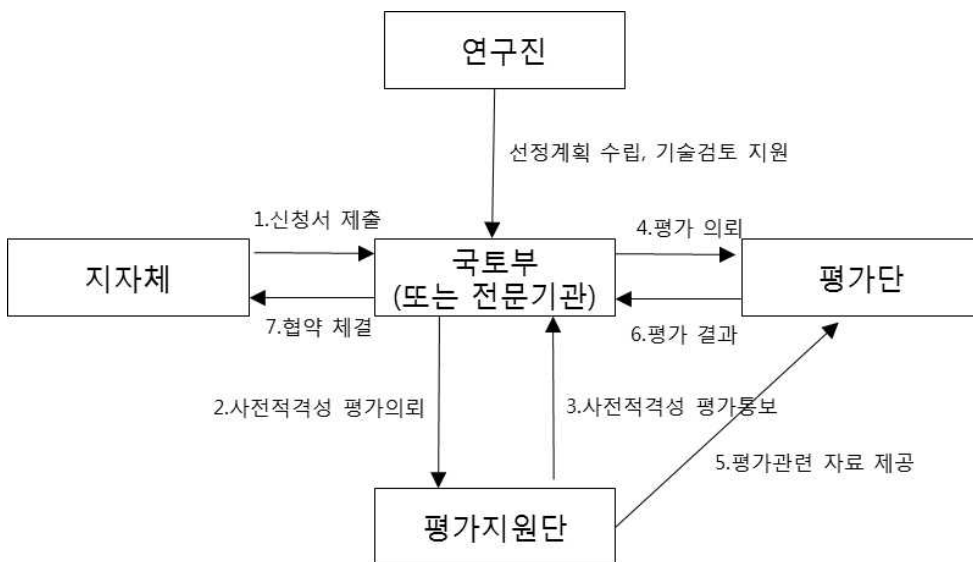
본 평가는 국책연구기관 및 학계 전문가를 중심으로 구성된 평가단이 최종후보지 선정을 위한 비교평가를 실시하는데, 본 평가 과정에서는 사전평가를 통과한 후보지역을 대상으로 하여 분야별 경험이 풍부한 전문가들 중심의 평가를 실시한다.

평가지원단 및 평가단의 구성은 연구기관이 국토교통부와 전문기관의 검토를 거쳐 선정한다. 시범노선 구축은 실용화사업의 일환으로 추진되는 것을 감안하여 평가지원단은 실용화사업단의 전문가들로 구성하는 것이 바람직하나, 선정과정의 효율성 및 전문성을 도모하기 위해 연구진이 주도하여 조정할 필요가 있다. 평가단은 여타 사업의 사례를 감안할 때 국책연구기관 및 학계 전문가로 구성하되, 학계 전문가는 관련 학회장의 추천 등의 형식이 바람직하다.



<그림 94> 시범노선 선정절차 및 방법 (연구진 주관 선정)

정부(또는 전문기관)가 선정할 경우는 연구진에서 선정계획 수립과 기술검토를 지원하고 국토부(또는 전문기관)에서 “사업공고→ 신청→ 사전 적격성 평가→본 평가” 과정의 동일한 절차에 따라 진행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



<그림 95> 시범노선 선정절차 및 방법 (국토부 또는 전문기관 주관 선정)

<표 41> 시범노선 선정절차안 (연구진 주관 선정)

선정절차	추진내용(주체 포함)
① 선정 추진계획서 마련	- 기획 보고서 등을 근거로 하여 평가기준 및 절차 등으로 구성된 ‘시범노선 선정 추진계획서(안)’ 초안작성 및 검토 후 수정 보완 ◇ 추진계획서(안) 초안작성 : 연구단

선정절차	추진내용(주체 포함)
	◇ 추진계획서(안) 검토 및 수정보완 : 전문기관
↓	
② 선정추진위원회 구성	<ul style="list-style-type: none"> - 평가기준 및 절차 등 본공모 추진계획서(안)을 심의·확정하기 위해 전문가 10인으로 구성된 “시범노선 선정추진위원회(이하 ‘선정추진위원회’)” 구성 ◇ 선정추진위원회 위원선정 및 일정계획 수립 : 전문기관 ◇ 선정추진위원회 구성 및 운영 계획보고 : 연구단 ⇨ 전문기관
↓	
③ 선정추진위원회 개최	<ul style="list-style-type: none"> - 선정추진위원회에서 평가기준 및 절차 등 본공모 추진계획서(안) 검토 및 확정 ◇ 선정추진위원회 개최 통보 : 연구단 ◇ 선정추진위원회 준비 및 운영 : 전문기관
↓	
④ 공모	<ul style="list-style-type: none"> - 홈페이지 등에 공모 실시 내용 공고 - 제안서 접수 개시 ◇ 공모 추진 보고 : 연구단 ⇨ 전문기관 ⇨ 국토부 ◇ 일간지 게재 : 연구단 ◇ 홈페이지 게재 : 연구단, 전문기관
↓	
⑤ 공모 설명회	<ul style="list-style-type: none"> - 참여의향 기관을 대상으로 한 공모 설명회 개최 ◇ 설명회 자료 및 개최 준비 : 연구단 ◇ 설명회 장소 마련 : 전문기관
↓	
⑥ 사전적격성 평가지원단 구성	<ul style="list-style-type: none"> - 선정추진위원회를 개최하여 선정추진위원회에서 사전적격성 평가단의 전문분야 및 인원구성안 마련 ◇ 선정추진위원회 개최 보고 : 연구단 ⇨ 전문기관 ◇ 선정추진위원회 개최 통보(위원) : 연구단 ⇨ 추진위원 ◇ 선정추진위원회 개최 준비 : 전문기관
↓	
⑦ 제안서 접수	<ul style="list-style-type: none"> - 제안서 접수 마감 ◇ 제안서 접수 : 연구단, 전문기관 ◇ 제안서 접수처 : 전문기관
↓	
⑧ 사전적격성 평가지원단 위원후보 선정	<ul style="list-style-type: none"> - 선정추진위원회를 개최하여 선정추진위원회에서 사전적격성 평가단 위원 후보안 마련 ◇ 선정추진위원회 개최 통보(위원) : 연구단 ⇨ 추진위원 ◇ 선정추진위원회 개최 준비 : 전문기관

선정절차	추진내용(주체 포함)
↓	
⑨ 사전적격성 평가지원단 위원선정	- 사전적격성 평가지원단 위원 후보안에서 평가단 위원 선정 ◇ 평가단 위원선정 : 전문기관, 연구단
↓	
⑩ 사전적격성 평가를 위한 현장조사	- 사전적격성 평가지원단에 의한 현장조사 실시 ◇ 현장조사 통보 : 연구단 ⇨ 신청기관 ◇ 현장조사 수행 : 전문기관, 연구단
↓	
⑪ 사전적격성 평가	- 사전적격성 평가지원단에 의한 사전적격성 평가 실시 ◇ 사전적격성 평가지원단 개최 통보 : 연구단 ⇨ 평가위원 ◇ 사전적격성 평가지원단 개최 준비 : 전문기관
↓	
⑫ 사전적격성 평가결과 의결 및 최종 평가단 위원후보 선정	- 선정추진위원회를 개최하여 사전적격성 평가결과 의결 및 최종 평가단 위원 후보안 마련 ◇ 선정추진위원회 개최 통보(위원) : 연구단 ⇨ 추진위원 ◇ 선정추진위원회 개최 준비 : 전문기관
↓	
⑬ 사전적격성 평가 결과통보	- 제안기관에 사전적격성 평가 결과통보 ◇ 사전적격성 평가 결과 통보 : 연구단 ⇨ 신청기관
↓	
⑭ 최종 평가단 구성	- 최종 평가단 위원 후보안에서 평가단 위원 선정 ◇ 평가단 위원선정 : 전문기관, 연구단
↓	
⑮ 최종 평가	- 최종 평가단에 의한 발표 평가 실시 ◇ 최종 평가단 개최 통보 : 연구단 ⇨ 평가위원, 신청기관 ◇ 최종 평가단 개최 준비 : 전문기관
↓	
⑯ 최종 평가결과 의결	- 선정추진위원회를 개최하여 최종 평가결과 의결 ◇ 선정추진위원회 개최 통보(위원) : 연구단 ⇨ 추진위원 ◇ 선정추진위원회 개최 준비 : 전문기관
↓	
⑰ 최종 평가결과 통보 및 보고	- 신청기관에 최종 평가 결과통보 ◇ 최종 평가 결과 통보 : 연구단 ⇨ 신청기관 - 최종 평가결과 및 보도자료 보고 ◇ 최종 평가결과 보고 : 선정추진위원회 ⇨ 연구단 ⇨ 전문기관 ⇨ 국토부
↓	
⑱ 협상 및 협약 체결	- 협약서 준비 및 협약 ◇ 협상단 구성 : 연구단, 전문기관

3. 선정일정

선행 국책사업인 기업도시 시범사업의 경우 신청서 접수 후 3개월 이내에 선정을 완료했던 사례를 감안하여 시범노선 선정 일정은 시범노선 사업공고 이후 6개월 이내에 완료하는 일정이 바람직하다.

시범노선 선정과 관련한 사업공고 및 설명회를 연구진이 주관하여 실시하며, 전문기관 인터넷 홈페이지 등을 통해 충분한 홍보를 실시한다. 사업공고 시에는 평가 기준을 명시하는 것이 바람직하며, 이를 위해 시범노선 선정기준 확정, 평가단 및 평가지원단 구성을 위한 인력풀을 사전에 구축한다. 시범노선 선정은 빨리 추진하는 것이 바람직하나, 노선 선정과정에서 발생할 수 있는 잡음들을 최소화하기 위해 이러한 사전 준비를 철저히 한 후 추진해야 할 것이다.

참여 신청의 경우 해당 지자체 또는 기관의 기관장 명의로 신청서 및 사업 제안서를 연구진에 제출하는 것이 바람직하다. 사업제안서 내에는 시범노선 관련 기술적 사항, 교통·경제·재무 관련 사항, 지자체 추진계획 등 시범노선 선정 평가에 활용될 수 있는 항목들을 포함한다. 사업제안서 내용은 향후 시범노선 기본계획 수립의 근간이 되기 때문에, 3개월 이내의 제안서 작성 기간을 확보하도록 추진하는 것이 바람직하다.

연구기관은 평가지원단을 구성하여 접수된 사업제안서에 대한 사전 적격성 평가를 의뢰하며, 평가지원단은 제출서류를 검토하여 사전적격성을 평가하여 제출하고, 본 평가 시 현장조사를 위한 평가항목을 작성·제출토록 추진하는 것이 바람직하다.

평가단은 사전적격성을 통과한 후보지역의 사업제안서 및 평가지원단이 작성한 사전 적격성 검토결과를 토대로 발표평가 및 현장조사를 통하여 최종 후보지를 선정하며, 연구기관은 최종 후보지를 대상으로 사업 참여와 관련된 협약을 체결한다. 협약체결에 관한 일반적 사항은 사전에 공지하며, 협약체결에 관한 특수 사항은 사업제안서에 수록된 사항을 중심으로 작성한다. 최종 후보지 선정을 위한 본 평가 및 협약체결은 1개월 이내에 신속히 처리하는 것이 바람직하다.



<그림 96> 시범노선 선정일정

제3절 시범노선 선정 평가기준

1. 사전 적격성 평가기준

국책사업으로 추진되었던 신행정수도와 기업도시 선정 과정에서 적용된 사전적격성 평가기준은 입지면적과 관련된 계량적 지표들로서, 신행정수도 입지선정의 경우 인구 50만명의 수용이 가능하도록 2,000~2,500만평 규모, 개발 가능지가 전체면적의 50% 이상 되는 지역을 사전적격성 기준으로 제시하였다. 기업도시 입지선정의 경우 기업도시 특별법에 기본적인 충족조건을 다음과 같이 명시하고 있다.

- 입지제한 지역 고시 : 수도권, 광역시, 대규모 개발사업 집중지역 등
- 개발구역의 유형별 최소면적조건 준수 : 혁신도시 330만m² 등
- 가용용지의 주된 용지비율, 주된 용지 중 직접사용비율 등 최소조건 준수

시범노선의 사전적격성 평가기준은 시범노선 건설 및 운영의 기본적 취지를 충족시킬 수 있도록 트램기술, 시설확보, 재원확보, 상업운영 측면에서 필요로 하는 항목들을 선정하여 계량화하도록 추진한다. 철도기술 및 시설확보 측면의 경우는 시범노선 구축의 근본적 목적이므로 반드시 설정하여 추진하며, 재원확보 및 상업운영 측면은 연구개발사업의 추진과정의 여건과 연계하여 구체적인 기준을 검토하는 것이 바람직하다.

<표 42> 시범노선 선정관련 사전 적격성 관련 최소요건

분야	가능 항목	비고
트램기술 측면	신호 시스템 평가	신호시스템 평가를 위한 교차로 3개소 이상 포함
	선로 연장	최소 트램 인프라 포함을 위하여 선로 길이 1.0km 이상
시설확보 측면	트램차량 검수 및 전력공급 시설 확보	본선 기종점에 연결된 500m ² 면적 이상의 검수고 및 변전실 부지 확보
재원확보 측면	사업비 분담	시범노선 용지비 전액분담 및 상업운영 관련 필요시설 구축 사업비 분담
	사업비 규모	빠른 사업 추진을 위하여 총 사업비 500억원 이하
상업운영 측면	이용수요	기준년도(개통 후 3년 이내) 노선연장 대비 수요가 2천인/km 규모 이상

사전 적격성 평가기준과 관련하여 예시한 항목 중 도로-철도 통합신호시스템의 시험적용이 가능한 노선 확보는 시범노선 구축의 근본적 목적에 해당된다. 국내에는

실제 상황에서 도로신호 시스템과 연계된 트램 신호시스템에 대한 성능 확인이 안 된 상태이다. 따라서 국내 트램의 활성화를 위해서는 신호시스템에 대한 시험평가가 가능하도록 지원해야 한다. 또한 전체 노선 길이는 최소한의 트램 관련 인프라가 모두 포함될 수 있도록 1.0km 이상이 되도록 한다.

검수 및 전력공급 시설 구축을 위한 부지 최소면적의 연장 1.5km 무가선티램 오송시험선의 경우 검수고 382m², 변전소 80m²로 운영되고 있는 것을 감안할 때 최소 500m²의 부지를 확보하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

시범노선의 경우 국가의 필요성(연구개발 위험)과 지자체의 수혜(도시교통 개선)가 함께 포함된 사업이므로, 일반 도시철도사업과의 형평성을 고려하여 지자체의 사업비 부담을 추진하는 것이 바람직하다. 시범노선과 관련된 용지 구입비를 지자체가 부담하는 것을 감안하여 부담비율을 산정해야 한다. 시범노선 선정지역에 따라 지자체가 별도로 확보해야하는 용지, 차량 등이 각기 상이하나, 국가와 지자체의 필요성을 양분하여 SOC 형태의 도시철도 사업에서 지자체가 부담하는 비율의 1/2 수준이 바람직 할 것으로 판단된다. 전체 사업비는 빠른 사업 추진을 위하여 500억 원 이하로 하는 것이 바람직하다.

최소 이용수요의 경우 현재 운행 중인 국내 지하철 이용수요 중 2004년 기준 최소수요인 광주지하철 1일 이용수요(1.6천인/km)를 감안할 필요가 있다. 그리고 현재 국내 지하철의 경우 운임수입은 운영비의 50% 내외인 점을 감안할 때, 시범 노선의 운영비 확보 가능 수요 규모인 약 1일 이용수요 4천인/km의 50%를 적용 할 경우 1일 이용수요 2천인/km이 필요할 것으로 판단된다.

외국의 도시철도 시스템의 경우 개통 초기수요는 이용자들의 적응과정 등으로 인해 당초 추정치에 비해 낮으나 점진적으로 추정치에 근접해 가는 (Ramp-Up) 사례를 보이는 것으로 조사된다. 이러한 Ramp-Up 사례를 보면 2~3년째의 실제 이용수요는 당초 추정수요의 100% 수준을 보이는 것으로 조사되고 있다. 도시 기본계획의 대부분이 2016년 또는 2020년을 목표연도로 하고 있기 때문에 시범노선 개통 후 3년 이내의 수요를 기준으로 하는 것이 추정수요의 신뢰성 확보 측면에서 바람직하다. 아울러 개통초기의 수요 규모가 일정 수준 이상 확보되는 것은 실용화사업의 홍보효과 측면에서도 유리하다.

2. 본 평가기준

(1) 타 국책사업 평가기준 사례

시범노선 선정절차와 유사하게 지자체가 유치신청을 하여 정부가 선정하는 기업도시 선정사례를 보면 본 평가기준은 모든 유형의 기업도시 공통기준으로 대분류 항목 5가지, 세부항목 14가지를 설정하였으며, 기업도시 유형별로 추가 항목을 평가하였다.

<표 43> 기업도시 입지 선정 관련 본 평가기준

공통 대분류 항목	공통 세부평가항목
국가균형발전기여도	지역경제 파급효과, 균형발전 필요지역 입지여부
지속발전가능성	자연 및 생태환경 보전, 개략적 환경성 검토 및 환경보전대책의 타당성
지역특성·여건 부합성	국가계획과의 연계성, 접근성
사업실현 가능성	수요추정의 신뢰성, 사업의 재무타당성, 정부재정 부담정도, 투자 계획의 신뢰성, 참여기업의 재무건전성, 토지확보 용이성, 주민의견 및 지자체 추진의 지
안정적인 지가관리	안정적인 지가관리

개별 기준 (400)	산업 교역 형	지역특성 및 여건부합II (173.2)	산업물류거점도시로의 발전가능성	98.8
		실현가능성II (226.8)	지역전략산업과의 부합성	74.4
			사업시행역량	54.4
			환경친화적 개발구상	40.8
			산업교역시설 배치의 적정성	40.8
			복합기능(주거, 교육, 의료 등)의 적정성	44.4
	자족도시 발전 가능성		46.4	
	지식 기반 형	지역특성 및 여건부합II(156.4)	지식기반도시로의 발전가능성	156.4
		실현가능성II (243.6)	사업시행역량	55.6
			환경친화적 개발구상	41.6
			지식기반시설 배치의 적정성	55.6
			복합기능(주거, 교육, 의료 등)의 적정성	45.2
			자족도시 발전 가능성	45.6
	관광 레저 형		지역특성 및 여건 부합II (167.2)	국제적 관광레저도시로서의 발전가능성
		실현가능성II (232.8)	지역전략산업과의 부합성	71.2
			사업시행역량	38.4
			관광수요 창출가능성	39.6
			환경친화적 관광개발 구상	35.2
관광레저시설의 창의성			30.8	
관광레저시설 배분의 적정성 및 연계성	25.6			
복합기능(주거, 교육, 의료 등)의 적정성	29.6			
자족도시 발전 가능성	33.6			

주 : ()안의 숫자는 배점

시범노선과 유사한 교통시설 입지선정 사례인 호남고속철도 분기역 선정을 위해 적용했던 평가기준은 5개 대분류, 19개 소분류로 구분하였다.

<표 44> 호남고속철도 분기역 선정 관련 평가기준

기본평가항목		세부평가항목		
항목명	가중치(%) (A)	항목명	가중치(%) (B)	종합 가중치(%) (A×B)/100
국가 및 지역발전효과	33.28	상위계획과의 연계성	51.83	17.25
		호남권 등 국토균형발전효과	26.83	8.93
		충청권 발전효과	10.74	3.57
		행정중심복합도시의 관문성	10.60	3.53
교통성	27.71	호남권 등 지역간 이동성	60.59	16.79
		충청권내에서의 접근성	10.00	2.77
		국가 간선철도망의 형성 및 정합성	29.41	8.15
사업성	12.23	경제성	71.79	8.78
		재무성	19.65	2.40
		건설 및 유지관리비용	8.56	1.05
환경성	19.47	생태계	26.94	5.25
		수질	17.64	3.43
		소음/진동	14.10	2.75
		문화재/경관	16.05	3.12
		토지이용	13.23	2.58
		지형/지질	12.04	2.34
건설의 용이성	7.31	선형조건	60.35	4.41
		정차장 입지조건	30.42	2.22
		시공의 난이도와 시공기술	9.24	0.68
합계	100.00	-	-	100.00

타 국책사업의 본 평가에서 사용되었던 대분류 중심의 주요 항목들 및 시범 노선 선정과 관련한 반영방안은 다음과 같다.

국가 균형발전 항목은 신행정수도, 기업도시, 호남고속철도 분기역 결정 등에서는 대분류에 포함시키고 있으며, 입지 선정이 국가 전체에 영향을 미칠 수 있는 사업에 적합하다. 시범노선 사업은 해당도시의 지역발전에 주로 영향을 미칠 수 있으나, 궁극적으로는 지역균형개발과 연계되므로 평가항목에 반영하는 것이 바람직하다.

<표 45> 타 국책사업의 본 평가 기준 사례

사례	신행정수도	기업도시	호남고속철도	태권도공원
국가 균형발전	○	○	○	
접근성	○	○	○	○
환경적 영향	○	○	○	○
개발용이성	○	○	○	○
지역여건		○		○
사업실현가능성		○		○
경제성	○	○	○	○
상징성				○

접근성 항목은 신행정수도, 호남고속철도 분기역, 태권도공원, 외국인 카지노 시설 등에서는 대분류 항목으로 설정하고 있으며, 전국적인 교통 접근이 요구되는 사업에 적합하다. 시범노선 사업은 해당도시의 이용수요를 기반으로 하기 때문에 광역적인 접근성보다는 도시 내의 접근성을 근간으로 하는 기준설정이 바람직하다.

환경적 영향에 관한 항목은 검토한 선행 사업 모두에서 대분류 항목으로 반영하고 있다. 시범노선 사업의 경우 노선계획 및 운영 과정에서 환경부문을 고려해야 하므로 기준 설정이 필요하다.

개발 용이성에 관한 항목의 경우 호남고속철도 분기역, 태권도공원 등의 사업에서는 건설과 관련하여 대분류 항목으로 반영하고 있으며, 기업도시 사업에서는 사업추진의 현실성과 관련하여 소분류 항목으로 반영하고 있다. 시범노선 사업은 구체적인 시설물을 건설하기 때문에 행정적 측면과 기술적 측면의 건설 용이성을 평가기준으로 설정할 필요가 있다.

지역 여건에 관한 항목은 기업도시, 태권도공원 사업에서는 해당지역의 특성 및 역량을 포함하는 지역여건을 대분류 항목으로 반영하고 있으나, 신행정수도, 호남고속철도 분기역 사업에서는 해당지역의 역량에 관한 사항을 반영하지 않고 있다. 시범노선은 해당 지역내에서 운영되기 때문에 평가 기준에 포함시키는 것이 바람직하다.

경제성에 관한 항목은 신행정수도, 태권도공원 사업, 호철 분기역 사업에서는 경제성을 대분류 항목으로 반영하고 있으며, 기업도시의 경우 사업추진의 현실성 항목 내에 소분류로 포함하고 있다. 시범노선은 건설과정의 경제성과 운영과정의 재무성 등이 중요하기 때문에 평가기준에 포함시키는 것이 바람직하다.

상징성에 관한 항목은 태권도공원 사업에서는 태권도 발전기여성 내에 소분류 항목으로 반영하고 있으며, 기업도시의 경우 지역여건에서 입지특성 등의 형태로 일부 반영하고 있다. 시범노선은 첨단산업의 결과물을 홍보하는 큰 의의를 갖게 되므로, 선행사례를 볼 때 평가항목에 포함시키는 것이 바람직하다.

사업 실현 가능성에 관한 항목은 기업도시의 경우 사업 실현 가능성을 대분류 항목으로 선정하여 수요추정의 신뢰성, 사업의 재무타당성, 정부재정 부담정도, 투자계획의 신뢰성, 참여기업의 재무건전성, 토지확보 용이성, 주민의견 및 지자체 추진의지 등 세부항목을 평가하고 있다. 시범노선의 경우 기업도시와 유사하게 제안서를 접수한 후 평가를 하게 되므로 제안서의 실현 가능성을 평가하는 것이 필요하다.

(2) 시범노선 선정 본 평가기준 (대분류)

본 평가에서는 사업목적 달성의 적합성, 신청기관 추진의지, 재원조달 및 투자효율성을 대분류 평가기준으로 설정하며, 대분류의 취지에 부합하는 세부 평가항목을 중분류 또는 소분류 평가기준으로 설정하는 것이 바람직하다.

(가) 사업목적 달성의 적합성

실용화사업은 트램 관련 기술을 도시대중교통으로서의 기능을 수행할 수 있고 상용화가 가능하도록 산업경쟁력 확보를 지원하는 것인 만큼 실용화사업의 목적달성의 적합성은 매우 중요하다. 따라서 사업목적 달성의 적정성과 관련된 세부평가기준은 신청기관의 제안 내용과 실용화사업 목적과의 부합 수준을 평가하는 방향으로 설정하는 것이 바람직하다.

세부 평가항목의 예로써 시설계획, 운영계획, 홍보계획, 연계교통계획, 지역 개발 계획 등을 들 수 있다. 이들 항목들은 향후 시범노선 기본계획 수립과 연계할 수 있기 때문에 사업목적 달성 여부를 효과적으로 판단할 수 있는 기준이 될 수 있다. 다만, 지역개발 계획은 실용화사업의 부차적 효과인 점을 감안 할 때 대분류 기준 중 재원조달 및 투자효율성 항목에서 도입 여부를 고려해 볼 수 있다.

시설계획의 기술적합성은 철도기술시험 및 도시철도 기능 확보에 관한 기술 측면의 적합성에 주안점을 두는 것이 바람직하며, 노선 선형, 정거장, 차량기지 등의 시설물이 대표적인 예가 될 수 있다.

운영계획의 기술적 안정성은 신청기관이 운영과정에서 문제발생을 최소화할 수 있도록 열차운행, 시설유지보수 등에 주안점을 두어 평가할 필요가 있다. 그리고 실용화사업의 일환인 것을 감안할 때 트램 시스템의 RAMS 분석 등을 위한 자료 구축과 관련하여 운영과정에서 발생하는 관련자료 확보의 용이성을 포함 하는 방안을 검토해 볼 필요가 있다.

시범노선의 안정적 운영과 광범위한 과급효과의 발생은 실용화사업의 성공을 가능하게 하는 주요 인자이기 때문에 트램 노선 연장계획, 타 수단과의 연계교통계획 등을 통한 시범노선 이용수요 창출 효과와 홍보계획을 통한 국내외 트램 보급 촉진 효과

등을 평가요소로 고려해 볼 필요가 있다.

향후 노선의 확장성은 트램사업의 국내 활성화를 위하여 매우 중요하다. 현재 계획 중인 소규모의 시범노선은 국내 지자체의 트램사업 추진을 위한 프로토콜을 제시하는 것을 목적으로 하고 있으며, 시범노선과 연계하여 5km 이상의 본격적인 영업노선으로 확대된다면 본 사업의 취지에 매우 부합된다고 할 수 있다. 따라서 향후 시범노선을 활용하여 구체적이고 타당성이 큰 노선 확대계획을 계획 중인 지자체에 대한 가점 등을 평가요소로 고려할 수 있다.

(나) 신청기관 추진의지

대분류 평가기준 중 신청기관 추진의지는 시범노선 구축의 조기 추진을 위한 지자체의 협조방안을 평가하기 위한 것이다. 국제경쟁력 확보를 위해 실용화사업은 가능한 빠른 시일 내에 성공적으로 수행되어야 하므로, 실용화사업의 주공정(critical path)에 해당되는 시범노선 건설과 관련된 신청기관의 협조는 매우 중요하다. 신청기관은 시범노선 건설과 관련된 행정절차의 주체이며, 시범 노선 건설 이후 운영주체가 되기 때문에 신청기관의 적극적 추진의지는 중요한 평가 요소가 된다.

신청기관 추진의지와 관련된 세부 평가항목의 예로써 사업시행 행정일정 단축, 용지확보 용이성, 환경문제 최소화, 노선 예정지역 주민 추진동의 등을 고려해 볼만하다.

사업시행 행정일정 단축은 사업일정 준수를 위해 도시철도 관련 행정절차 계획의 준수와 유관기관과의 업무협조 등을 적극적으로 수행할 수 있도록 유도하기 위함이다.

용지확보 용이성은 시범노선 건설에 절대적으로 필요한 노선 및 차량기지 관련 용지확보와 건설과정에서 발생하는 지장물들에 대한 처리계획들을 사전에 검토함으로써 사업추진의 신속성을 확보하기 위함이다.

사업추진과정에서 환경영향평가 등을 거치도록 되어 있기 때문에 신청기관과 공사 관리주체들의 환경문제 관여는 불가피하다. 다만, 사업승인 과정에서 환경과 관련된 일련의 행정절차는 다소 시일이 소요되기 때문에 신청기관의 적극적인 환경관리 계획을 사전에 유도하여 사업을 신속히 추진하기 위함이다.

일반적으로 철도건설 사업과정에서는 지역주민, 환경단체 등과의 갈등이 발생하게 되며, 이로 인해 사업이 지연되는 사례가 많기 때문에 노선 예정지역 주민들의 사업추진에 대한 동의, 사업추진 과정에서 발생하는 갈등들에 대한 신청기관의 대책방안 등은 평가와 관련하여 우선적으로 고려될 수 있는 항목으로 판단된다.

(다) 재원조달 및 투자효율성

시범노선 사업은 특정 지역에 대한 교통시설 투자사업의 성격을 갖고 있기 때문

에 투자사업의 효율성 및 안정성, 타 사업과의 형평성을 고려할 필요가 있다. 대분류 평가기준인 재원조달 및 투자효율성 평가기준은 신청기관이 제안한 시범사업 내용과 규모가 경제적 효율성을 확보하고 있는지 여부와 신청 기관의 사업비 재원조달 방안의 합리성과 실현가능성을 평가하는데 목적을 두고 있다.

투자사업으로서의 효율성 및 안정성의 경우 국가예산의 효율적 집행을 위해 투자효과 개선 도모, 도시교통수단으로서의 지속적인 운영을 도모하기 위한 경영 안정성 확보 등이 필요하다. 이러한 항목을 평가하기 위한 예로서 경제적 효율성, 재원조달 계획의 적정성 등을 고려해 볼 수 있다. 경제적 효율성 등의 자료는 계량화가 가능한 수치이나 수요 등 일부 자료는 미래를 대상으로 예측하기 때문에 장래 추정에 대한 신뢰성 검토를 병행하는 방안을 도입하는 것이 바람직하다.

시범노선 사업은 특정 지역에 수혜가 발생하기 때문에, 유사한 성격의 타 사업과의 형평성을 고려할 필요가 있다. 사전 적격성에서 제시한 사업비 분담은 현재 일반적으로 추진되는 도시철도 사업에 대한 신청기관의 분담비율 보다 낮은 규모이기 때문에, 사업의 형평성과 신청기관의 추진의지를 연계하여 본 평가의 기준으로 도입하는 방안을 모색해 볼 필요가 있다. 이 경우 용지구입비를 신청기관이 분담해야 하는 것을 감안하여 형평성이 경쟁으로 인해 왜곡되지 않도록 주의할 필요가 있다.

대분류 항목의 기초를 유지하는 전제하에서 시범노선 선정 기관이 전문기관 및 국토부와 함께 세부 평가항목을 검토하여, 실용화 사업 추진 여건을 감안한 세부 평가기준을 보완. 확정하는 것이 바람직하다.

<표 46> 본 평가 관련 평가기준 (예시)

대분류 평가항목	세부 평가항목(예시)
사업목적 달성의 적합성	시설계획의 기술시험 적합성
	운영계획의 기술적 안정성
	연계교통계획의 수요창출 효과
	대외 홍보효과
	지역개발 효과
	노선의 확장성
신청기관 추진 의지	사업시행 행정일정 단축
	용지확보 용이성
	환경문제 최소화
	노선 예정지역 주민 추진 동의
재원조달 및 투자효율성	경제적 효율성
	신청기관 사업비분담 규모
	재원조달 계획의 적정성
	수요 추정의 신뢰성

(3) 가중치 설계

타 국책사업의 경우 가중치는 설문조사 결과를 반영하여 설계하였다. 신행정 수도 입지선정의 경우 대분류 가중치는 전 국민을 대상으로 2차례에 걸쳐 각각 2,000인을 표본 추출하여 설문조사 후 평균치를 적용하였으며, 세부평가 가중치는 대분류 분야별 전문가 각각 50인을 대상으로 설문조사를 통해 결정하였다. 호남고속철도 분기역 선정의 경우 전 국민을 대상으로 2000인을 표본 추출하여 전화설문 조사를 통해 대분류 가중치를 설계하였으며, 세부항목의 경우 5개 대분류 항목 분야별 전문가 총 200인 대상 팩스 및 이메일 설문조사를 통해 결정하였다. 기업도시 선정의 경우 600인의 전문가 설문조사를 통해 가중치를 설계하였으며, 혁신도시의 경우 정책적으로 가중치를 설계하였다.

시범노선 선정의 경우 기업도시 또는 혁신도시 선정 사례와 같이 전문가 설문조사를 통해 가중치를 설계하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 시범노선 선정은 전국적인 파급효과가 발생하는 사업이 아니므로 국민적 차원의 설문조사가 반드시 필요한 사항은 아니며, 특정 지자체 후보지역을 대상으로 하는 것이 아니기 때문에 특정 지자체 지역주민을 대상으로 가중치 설계관련 설문조사를 할 필요가 없다.

가중치 설계는 평가항목이 결정된 이후 추진해야하므로 시범노선 선정기관에서 향후 결정하되, 앞서 언급한 바와 같이 일반인을 대상으로 한 설문조사보다는 관련분야 전문가 및 광역지자체 공무원 등을 대상으로 하여 가중치 설계를 하는 것이 바람직하다.

(4) 평가방법

타 국책사업의 평가 방법을 보면, 기업도시 입지선정의 경우 등급에 따라 점수를 부여하는 등급법을 적용하고, 등급척도는 변별력 있는 평가가 가능한 7등급을 적용하였다. 평가위원별 총점을 기준으로 최대치와 최소치에 해당하는 위원의 점수는 제외하고 나머지 위원의 점수를 평균하여 종합점수를 산정하였다. 호남고속철도 분기역 선정의 경우 등급에 따라 점수를 부여하는 등급법을 적용하고, 등급척도는 7등급을 적용하였다.

선행 사업들 대부분은 정성적 평가에 주안점을 두어 평가자 주관에 일임하는 등급법을 적용하였다. 등급제는 평가논리가 명확하고, 이해하기 쉬우나 평가자에 따라 평가 척도가 다르기 때문에 왜곡이 발생할 우려가 있다. 즉, 후보지역간의 작은 차이를 인정하지 않을 경우 동일 등급으로 간주되기 때문에 차별이 발생하지 않을 수 있으며, 작은 차이를 인정할 경우 유사한 내용임에도 불구하고 등급 차별화로 인해 큰 영향력을 나타낼 수 있다. 따라서 시범노선 선정 평가는 평가기준 특성에 따른 우열비교가 가능하도록 계획하되, 평가자의 과도한 주관적 판단에 의한 영향을 최소화하는 방법을 도입하는 방향으로 추진하는 것이 바람직하다.

제4절 시범노선 규모 및 예산(안)

1. 규모

- 차량, 궤도, 신호를 검증하고 단독 상용운영이 가능하도록 복선 노선길이 1km 내외로 계획
 - 전체적으로 차량 1대(1편성 지자체 부담 형식승인차량), 교차로 3개소, 승강장 3개소, 검수고(관제실 포함) 1개소, 변전실 1개소, 신호통신 1식 기본 구축
 - * 검수고 및 관제실은 지자체 연장노선 계획에 따라 위치가 변경될 수 있으므로 간이형태(이전가능형)로 구축 가능
 - * 시범노선 시운전 검증은 1편성 지자체 부담 차량과 개조된 시제차량의 다중편성으로 검증

2. 주요시설

- 매립형궤도 선로 및 매립형분기기
 - 차량과 트램이 동시에 통행할 수 있도록 레일을 도로포장체 내에 매립하는 매립형궤도 설치 (복선 1km, 총연장 2km)
 - 교차로 및 인입선 등 트램 분기를 위한 매립형 분기기 설치



<그림 97> 매립형궤도 및 분기기

- 검수고
 - 차량 정비를 위한 검수고 설치가 필요하며, 2편성 2상의 영업운전을 위해서는 무가선트램 오송시험선 검수고보다 큰 규모(367.47m²)로 구축 필요
 - 향후 노선 확장계획이 있는 경우는 차량기지 입지 및 규모를 고려하여, 검수고 및 검수시설이 매몰되지 않도록 계획 필요



<그림 98> 국외 트램용 검수시설



<그림 99> 오송시험선 검수시설

□ 변전설비 및 충전시설

- 트램에 대한 전력공급(DC 750V)을 위한 변전시설이 필요하며 오송시험선에 적용된 1MW 용량 이상의 전력공급을 위해서는 최소면적 86.89m² 이상의 변전실 건축 필요
- 향후 노선 확장계획이 있는 경우는 이를 고려하여 변전실 규모를 산정하는 것이 바람직



<그림 100> 변전소 및 변전설비

- 오송시험선의 경우는 유/무가선 하이브리드 주행을 위하여 팬터그래프를 이

용한 충전설비가 설치되어 있으나, 선정된 시험노선이 완전 무가선 주행이 가능한 경우에는 팬터그래프를 없애는 다른 형태의 충전방식도 가능할 것으로 판단됨



<그림 101> 오송시험선의 충전용 강체가선

□ 승강장

- 승강장은 차량바닥 높이에 따라 일반보도보다 약 15cm~20cm 정도 높이를 크게 하여 승강대를 설치하고, 완충재를 부착하여 차량과 승강대 사이의 간격을 줄이는 형태로 시공
- 선정된 지자체의 상황에 따라 캐노피의 규모, 노선안내, 요금징수 등을 위한 추가적인 시설물의 설치가 고려되어야 함



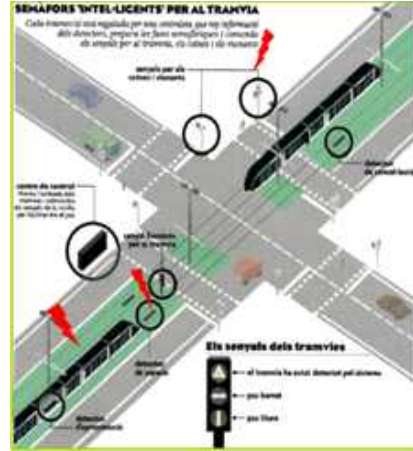
<그림 102> 해외 트램용 승강장

□ 신호시설

- 신호 시스템의 검증을 위하여 교차로 3개 이상의 노선을 권장함
- 우선 신호 등의 도로교통과 연계된 통합신호시스템의 적용 여부는 선정된 시험노선의 상황 및 지자체의 규모를 고려하여 결정함



<해외 트램 관제시스템>



<해외 트램 교차로 신호시스템>

<신호기계실> <관제실>
 <관제실 설비, 관제운영장치 등>
 <차량운행지원장치>
 1단계 선로 1.0km 2단계 선로 : 600m
 관제실 승강장1 승강장2 승강장3
 : 분기구간 : 교차로
 <트래신호등> <분기방향 표시등> <트램신호장치> <매립형 선로전환장치> <현장 제어장치> <무선데이터 전송장치>

<그림 103> 오송시험선 트램신호시스템

3. 시범노선 구축 예산

3.1 시범노선 구축예산 총괄

- 시범노선 구축에 소요되는 예산은 예비타당성 조사 표준지침 6판과 최근 진행 중인 대전시 도시철도 2호선 기본계획 및 무가선티램 오송시험선 구축에 적용된 단가를 적용하여 추정
- 차량은 1대를 연구개발비로 시제차량을 개조하고, 형식승인차량 1대는 지자체에서 부담하는 것으로 계획
- 1.0km의 복선 선로와 3개소의 승강장에 대해서는 기존 도시철도와 같은 별도의 정거장 건축물은 없는 것으로 가정
- 검수고는 2대의 차량에 대한 주박, 간이검수 및 관제를 위한 시설로 계획함

공종	구격	단위	수량	단가 (억원)	금액 (억원)	비고
A. 공사비					132.1	
A-1. 토목					15.2	
A-1-1. 본선	노면	km	1	12.2	12.2	
A-1-2. 정거장	노면	개소	3	1	3	
A-2. 궤도					25	
A-2-1 본선	매립형궤도	km	1	25	25	
A-3. 건축					0	
A-3-1. 정거장	지상	일반	개소	0	2.3	0
	지하	일반	개소	0	2.84	0
A-4. 시스템비				0	65	
A-4-1. 전기		km	1	16.9	16.9	
A-4-2. 신호	본선	km	1	26.3	26.3	
	종합사령실	개소	1	6.2	6.2	
A-4-2. 통신	본선	km	1	10.2	10.2	
	종합사령실	개소	1	5.4	5.4	
A-5. 차량기지					14.9	
A-5-1. 차량기지		량	1	14.9	14.9	주박시설+관제
A-5-3. 인입선		km	0	8.5	0	단선
소계(A-1~A-5)					120.1	
A-6. 부가가치세	(A1-A5)×요율(%)				12.01	10%
B. 시설부대비					24.1	
B-1. 기본설계비	(A1-A5)×요율(%)			식	1.7	1.43%
B-2. 실시설계비	(A1-A5)×요율(%)			식	3.4	2.85%
B-3. (책임)감리비	(A1-A5)×요율(%)			식	10.3	8.58%
B-4. 조사및측량비	(A1-A5)×요율(%)			식	1.2	1%
B-5. 시설부대비	(A1-A6)×요율(%)			식	0.3	0.25%
B-6. SE 비용	(A4)×요율(%)			식	3.3	5%
B-7. 시운전비	최초운영비×요율(%)			식	1.7	25%
소계(B-1~B-7)					21.9	
B-7. 부가가치세	(B1-B6)×요율%			식	2.2	10%
C. 용지보상비					10	
D. 예비비	(A+B+C)×4.8%				8.0	4.8%
E. 차량구입비		편성	1	35	35	지자체부담
F. 차량형식승인비		식	1	10	10	지자체부담
G. 총사업비	(A+B+C+D+E)				219.2	

3.2 지자체 부담금

- 사업비의 약47% 부담 : 104억원
 - 정거장, 전기, 차량기지 : 38.28억
 - 용지보상비, 차량 1대, 차량형식승인비 : 55억
 - 기타 : 10.72억
- ※ 실증사업 1세부과제에서 지자체 부담방식(현물, 현금), 계약안 상세 도출

3.3 공종별 구축예산

- 토목
 - 1.0km의 시범노선을 복선으로 구축하기 위한 매립형궤도 선로 2.0km 구축과 승강장 3개소 건설을 위한 노반공사비용 고려
 - 선로 노반공사의 경우 교량, 터널 등이 없는 일반 도로구간을 가정하였으며, 유사한 조건의 무가선티램 오송시험선의 실시설계 단가인 3.6억원을 적용
 - 승강장의 경우 대전시 기본계획의 지상 노면정거장 단가인 1.0억원을 적용
- 궤도
 - 1.0km의 시범노선을 복선으로 구축하기 위한 매립형궤도 선로 2.0km 구축을 위한 구축비용 산정
 - 교량, 터널 등이 없는 일반 도로구간에 설치되는 현장타설식 수지고정형 매립형궤도를 가정하였으며, 유사한 조건의 무가선티램 오송시험선의 km당 구축단가인 18억원 적용
- 건축 및 검수시설
 - 시험노선은 예비편성 포함 2편성을 운영하는 것으로 계획하고 있으며, 검수고는 현재 1편성의 차량을 운영하고 있는 무가선티램 오송시험선 검수고의 1.5배 규모로 구축하는 것으로 가정하여 오송시험선 검수고 단가인 5.9억원의 2배인 8.9억원의 단가 적용
 - 변전실은 편성수와 상관없이 운영이 가능하므로 오송시험선 적용 단가인 0.9억원 적용
 - 관제실은 1.0km 연장 선로에 대한 관제가 이루어지고 있는 오송시험선의 관제실 단가인 2.0억원 적용
 - 건축설비 및 검수시설에 대해서는 오송시험선에 적용된 차량 인상용 리프팅잭 등을 포함한 경정비를 위한 검수설비 및 건축설비에 대한 구축비용 단가인 4.0억원을 적용
- 전기, 신호, 통신

- 시범노선 구축에 소요되는 예산은 예비타당성 조사 표준지침 6판과 최근 진행 중인 대전시 도시철도 2호선 기본계획 및 무가선티램 오송시험선 구축에 적용된 단가를 적용하여 추정

제5장 사전타당성 검토

제1절 정책적 타당성

1. 국가 전략의 중요성

가. 상위 국정 과제에 따른 추진의 중요성

- 국정과제인 (10. 교통체계·해운 선진화 및 건설·원전산업 해외진출 지원) 도시친화적 대중교통수단 도입으로 도시교통체계 개선, (50. 장애인의 권익보호 및 편익증진) 저상버스 및 특별교통수단 확충에 의한 장애인 이동권 증진 등에 부합
 - ‘교통약자 이동편의 증진법’에 의하면 교통약자의 이동편의 증진을 위한 교통수단·여객시설 및 이동편의시설의 기준에 관한 사항 등에 대한 연구개발 사업을 추진해야 함
 - ‘대중교통 육성 및 이용 촉진에 관한 법률’에 의하면 국가 및 지방자치단체는 모든 국민이 편리하고 안전하게 대중교통을 이용할 수 있도록 대중교통서비스 향상을 위한 다양하고 새로운 교통수단의 보급과 시설·장비의 확충 및 지원의 강화, 광역대중교통서비스의 개선 등의 정책을 수립하여야 함
- “제3차 과학기술기본계획”의 (2. IT 융합 신산업 창출) 스마트 물류·교통시스템 구축 및 “제2차 철도산업발전 기본계획(‘11~‘15)”의 첨단 도시철도 기술개발 및 실용화 추진 지원 필요

나. 국토개발정책적 중요성

- 무가선 저상트램은 자가용 수요를 흡수함으로써 도로교통의 혼잡과 환경오염 등을 줄일 수 있는 획기적인 기술적 대안임
 - 우리나라의 교통수단별 CO₂배출량을 보면 도시철도는 승용차의 1.5%, 승합차의 3.6%, 일반철도의 50.0%에 불과함
 - 무가선 저상트램은 경량화를 통해서 에너지 효율이 높을 뿐만 아니라, 가선을 통한 에너지 손실을 10% 이상 줄일 수 있고, 회생제동을 통하여 에너지효율을 30% 이상 높일 수 있다는 점에서 에너지 효율성과 환경 친화성을 극대화할 수 있는 기술적 대안임
- 지하 또는 고가에 건설되는 여타의 중량전철 및 경량전철과 비교하여, 무가선

저상트램은 도심지 개선 및 지역개발 사업과 연동하여 추진 가능

- 트램과 함께 보행로를 활성화하고 주변 상점가와 연계한 트랜짓몰(Transit Mall)을 조성할 경우, 유동인구의 증가를 통해 도심지의 활성화에 매우 효과적
- 트램은 특히, 상점가 등 주변환경과의 조화가 뛰어나고, 넓은 창을 통해 승객들의 조망권 확보 가능
- 국외 사례분석 결과를 통해서 볼 때 트램은 대중교통 이용증진 등의 일반적인 교통효과 이외에도 도심지 개선 및 지역개발 등의 측면에서 매우 큰 장점을 가지고 있음.
- 우리나라에서 경량전철의 도입을 추진하고 있는 상당수의 중소도시들이 침체된 지역경제 또는 도심지 활성화를 부가적인 목적으로 하고 있음을 고려할 때, 트램은 대중교통 활성화와 지역개발이라는 두가지 목적을 매우 효과적으로 달성할 수 있는 신교통수단임

다. 사회문화적 기여도와 중요성

- 무가선트램은 안전하고 편리한 친환경적 미래 도시대중교통수단으로서 교통약자에 대한 고품질 교통서비스 제공함으로써 교통서비스를 획기적으로 개선
 - 지하철, 모노레일, AGT 등이 이용자들의 수직이동을 많이 필요로 하는데 반해, 저상트램은 궤도레벨에서 차량의 바닥면까지의 높이가 불과 20~30cm에 불과하여, 승객들의 접근성이 뛰어나고 유모차 이용자, 고령자 등 교통약자들에게 고품질 서비스 제공이 가능
 - 저상트램은 소음이 적고, 승차감이 우수하며, 저상차량으로 교통약자 및 장애인 등이 보다 쉽게 이용 가능
- 무가선 저상트램은 도시 이미지 제고 효과가 큼
 - 도시의 경관과 잘 조화되고 첨단기술을 접목한 저상트램이 시민들에게 미래적인 이미지를 심어줄 수 있음. 프랑스 스트라스버그市는 신형 노면전차를 활용하여 10여 년 전 차갑고 어두운 느낌의 내륙지방에서 가장 매력적인 거리가 있는 도시로 탈바꿈

라. 산업발전 기여도와 중요성

- 전세계 경량전철 시장의 규모는 연간 1조 4천억원 수준으로 매년 6% 내외의 증가율을 나타내고 있음. 시스템별로 차지하는 비중을 살펴보면 AGT는 13.0%, LIM은 1.4%, 모노레일은 9.4%에 불과하며, 나머지 76.2%를 트램이 차지 (김정태, 2008: 9)

- 전세계적으로 트램을 운영하고 있는 도시는 50개국 400개 노선임.
- 도심지의 교통난이 가중되고 환경 및 에너지 문제가 심각해질수록 건설비와 운영비가 저렴한 노면트램에 대한 관심과 관련 시장 규모는 증가할 것으로 전망

- 무가선 하이브리드 저상트램은 선진국에서 연구개발에 활발한 투자를 진행중인 만큼, 시장이 국소적인 타 경전철(모노레일, LIM)과 비교하여 해외시장 진출 전망이 매우 밝음

마. 정부지원의 타당성

- 국내기술로 세계최고 수준 배터리방식 트램을 개발하였고 세계 트램시장은 확대 추세이나 상용실적이 없어 국내 도입 및 해외진출이 지연되고 있음에 따라 정부주도의 실증노선 구축 및 운영을 표준 모델로 활용하여 국내적용 확대를 유도하고 세계시장에 조기 진출할 수 있는 실적 확보
 - * 세계 트램 운영노선 : 404개, 현재 건설중 : 85개, 향후 10년 예정 : 약 200백여개 (SCI Report 2015)
 - * 전주, 울산, 창원에서 예타통과후 설계추진과정에서 제반 문제점에 봉착하여 취소. 현재 서울, 부산, 대전, 수원를 중심으로 약 10여개 지자체에서 도입추진 중이나 적용사례가 없어 관련 법·제도 미비로 추진이 지연
- 정부주도형의 국내 지자체 실증을 통해 무가선트램시스템(차량·인프라·운영) 기술수준 향상, 국내지자체 수요대처 및 제반걸림돌 해결, 해외시장 진출기반 마련으로 신성장산업 육성의 1석 3조의 효과
- 국내 트램 운영 사례가 없으므로 국가적인 표준 시스템을 제시하여 업체간 장비 호환성 확보, 도로교통체계 일원화 및 운영효율화, **2020년 전후 10여개 지자체의 노면전차 수요에 대응이 필요함.**
- 대중교통수단인 무가선 저상트램의 국내 도입을 위해 공공이익 실현을 추구하는 정부지원 사업으로 추진하는 것이 타당함
- 국민에게 편리하고 친환경적인 대중교통수단을 제공하고 복지교통의 실현을 위해 국가지원이 요구됨.

바. 사업 추진의 시급성

- 세계적 도입 붐이 일고 있는 트램 시장 선점을 위한 상용실적 마련 필요
 - * 중국은 '14.9 봄바르디어 기술을 적극 도입하여 무가선 트램 시범노선 운영을 시작함으로써 중국보다 세계시장 진출이 늦어질 수 있는 상황 발생 우려
 - ** 향후 45조원 이상의 국내시장을 형성할 것으로 전망되는 경량전철 시장에 적극적으로 대응하고, 기술 선도를 통한 수출 추진
- 해외 트램업체가 이미 국내 트램 도입예정 지자체와 접촉중에 있는 바, 국내 개발업체의 실적요건 미충족으로 기존 용인경전철*, 의정부경전철** 사례와 같이 해외 시스템 도입시 비호환성, 운영·유지보수 및 비용 문제 발생 우려
 - * 용인경전철 : 캐나다 봄바르디어사 ART(Advanced Rapid Transit)
 - ** 의정부경전철 : 독일 지멘스사의 고무차륜경전철(VAL 208)

3. 정책적 추진 의지

- 대전, 동탄, 수원 등 약 10여개 지자체가 도입을 추진중에 있으며 5여개의 지자체의 국토부 도시철도망구축계획에 트램이 반영됨.
 - 설문조사 결과 5개의 지자체가 실증연구 참여를 희망함
- 무가선 트램은 '17년에 “고부가가치 창출 미래형 신산업”과 “철도공공성 강화, 세계3위 고속철 육성”의 정부정책에 반영
 - “철도공공성 강화, 세계3위 고속철 육성”의 일환으로 “무가선 트램을 수도권에서 시범 도입 추진하고 단계적 확대 실시” 추진
 - “고부가가치 창출 미래형 신산업”의 일환으로 “무가선트램 등 친환경 교통 육성” 추진

제2절 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

- (국가 R&D 해외 수출차량의 한계점) 국가 R&D사업 최초로 차량은 터키에 '14년과 '15년에 수주 계약을 체결하였으나 無가선이 아닌 有가선 수출이며, 주요 전장품 및 부품들이 상용실적 미달로 모두 외국제품으로 대체
 - 터키 이즈미르시 ('14.8, 38편성, 837억)와 안탈리아시('15.10, 18편성, 386억) 각각 有가선으로 수주계약.

- 해외는 이미 30년 이상의 트램시스템 생산 및 운영실적을 가지고 있으나 국내는 관련산업이 전무. 현재는 국가 R&D 덕에 기술수준이 선진국대비 약 60% 수준으로 판단됨.
- 1단계 결과물인 차량부문은 대기업 역량으로 첫발을 내딛었으나 기술수준(사용실적)부족으로 적자형 수주이며, 인프라(신호, 궤도 등) 및 운영은 더욱 열악한 상황임.
- 현재 유럽과 일본 등 교통선진국을 중심으로 운영되는 저장트램은 에너지 저장장치를 탑재한 무가선 트램 개발 진행 중
 - (프랑스 알스톰) 이차전지 방식/접촉식 전원공급 방식, (캐나다 봄바르디어) 무접촉 전원공급 방식, (일본 RTRI 및 가와사키) 이차전지 방식으로 개발
 - 트램의 경량전철 세계시장(연1.4조, 연6%성장) 점유율은 80%이며, 400여개 노선에서 운행중이며 150여개 신규 노선이 추진중으로 사업화에 유리
 - 일본, 프랑스를 중심으로 무가선 트램을 경쟁적으로 기술 개발 중이며 중국, 독일, 카자흐스탄, 카메룬 등에서 국산차량 도입에 관심을 보임
- (배터리기술을 제외하고 대부분 열세) 국내 배터리 기술과 융합하여 도심지내 전력 인프라(가선, 전신주, 1.6km 마다의 변전소 등) 제거로 전체건설비 및 인프라 제거와 회생제동으로 에너지를 30% 절약하므로 기존 유가선 대비 건설비 및 운영비 대폭 절감 가능
 - 배터리 기술은 현재 세계최고 (총용량 196kWh, 1회 충전 35km 무가선 주행)
 - 매립형궤도기술 국산화 등으로 시공비용 선진국 대비 가격 30% 절감 가능
- (자율주행 기능을 활용한 주행안전 신기술 등 추가 개발 필요) 국내 배터리 기술을 접목하여 기존 트램의 단점으로 지적되었던 머리 위 가선을 제거하듯이, 국내 자율주행 IT 기술과 접목하면 도로주행시 필연적으로 발생하는 자동차, 보행자 등과의 안전문제를 극소화 가능
 - 제한된 궤도를 운행하는 특성상 일반 자동차 보다 빠른 상용화가 기대되며, 배터리에 이은 또 하나의 한국만의 강점 신기술로 자리매김 가능

2. 기술개발의 성공 가능성

가. 기존 기술 개발의 성과 및 기술력

- 1, 2단계 사업에서 배터리 구동형 트램 차량시스템, 매립형 궤도시스템, 도로교통연계 트램신호시스템, 트램관련 법제도 등 무가선 트램의 운영을 위한 기반기술 개발하고 성능 검증을 완료하였으며 법령을 제도화함.
 - 국내 배터리 기술은 세계 최고 수준이며 이를 활용하여 개발된 무가선 트램은 1회 충전 세계최장거리 35km를 달성함으로써 개발된 대용량 추진배터리 기술을 입증함.

- 참여기업은 터키 이즈미르시와 안탈리아시에 트램(유가선 방식) 납품하여 저상트램 차체기술을 입증하였으나 국내 전장품에 대한 불신으로 주요전장품들이 해외 제작사 제품으로 대체되어 기술수준 향상 및 입증이 요구됨. 실증사업을 통해 형식승식 절차에 의해 차량이 개발될 경우 부족한 기술을 완성할 수 있음.
- 매립형 궤도시스템은 신교통기술 인증, 시험선 현장 구축 및 시험, 철도시설공단 성능시험을 완료하여 상용화가 단계에 있음.
- 도로교통연계 트램신호시스템은 시험선 현장 구축 및 철도/도로 연계 종합시험평가, 3기관 시운전 시험으로 성능시험을 완료함. 실증사업에서 실도로내 검증으로 확보된 상용실적으로 국내외 시장 진출이 가능
- 트램 관련 3법중 도시철도법, 철도안전법·시행령·시행규칙이 개정이 '17년 6월 현재 완료되었고 도로교통법은 의원입법 및 경찰청 법제도 개선 TF가 착수되어 '17년 하반기에 개정될 예정임. 3법 하위 지침 및 규칙 개정과 교통사고관련 법제도 개정, 투자평가지침 개선은 실증사업에서 마련되어 시범노선과 타 지자체 트램노선의 개통전까지 제개정이 가능할 것으로 판단됨.

□ 1, 2단계 사업을 통하여 무가선 트램 기술을 확보함으로써 국내 도입을 위한 기술적 기반이 마련됨.

나. 시범노선의 성공 가능성

- 지자체 실증에 대해 도시철도망구축계획을 득한 지자체뿐만 아니라 계획하고 있는 지자체들이 많은 관심을 가지고 있음. 트램 도입을 고려중인 지자체를 대상으로 실시한 설문조사에서 5개 지자체가 참여 희망을 보일 정도로 지자체 실증에 대한 관심도는 높음.

다. 위험 요인에 대한 극복방안

- 사업기간 내 시범노선의 건설을 위해서는 도시철도망구축계획에 대한 시범노선의 신규 편입 또는 기존노선의 단계별 분할 등 사업계획 변경과 관련한 지자체의 요청에 대하여 국토부 관련부서의 신속하고 우선적인 행정처리와 장관의 승인이 요구됨
- 도시철도망구축계획의 트램 계획노선이 승인된 지자체를 후보로 지자체를 선정할 경우 트램 계획노선을 시범노선과 잔여노선을 분리하여 도시철도망구축계획 변경승인을 받아야 하며 시범노선에 대한 노선별기본계획 승인이 이루어져야 함. 지자체 선정절차에서 시범노선에 대한 예비타당성과 타당성검토가 모두 이루어져야 함.
- 노선별기본계획 승인된 지자체를 후보로 대상 지자체를 선정할 경우 상기 문제를 사전에 해결할 수 있으나 현행 투자평가체계로는 지자체의 예타통과가

어려워 지자체 실증 지원요건을 만족하는 지자체가 없을 수 있음. 또한 승인 까지 1년이상 소요됨에 지자체 실증 일정에 맞춰 승인받을 수 있는 지자체의 가능성이 더욱 희박함.

- 따라서 시범사업의 취지가 현행 제도를 개선하여 국내 트램 도입 문제를 해결 하는 것임을 고려하여 시범노선 후보 조건으로 도시철도망구축계획 승인을 전제로 하되 시범사업에서 관계기관의 면밀한 검토후에 시범노선의 상세 실행방안을 도출하여 추진
 - 지자체 연계 시범사업의 추진이 어려운 경우 오송시험선을 활용한 실증을 고려할 수 있음. 이 경우 지자체 연계 시범사업의 파급효과를 기대하기 어렵고 국내 트램보급이 늦어질 있으나 상용수준의 기술력 확보와 트램 법제도 완비를 통해 국내 보급 기반 완성으로 그 의미가 있음.

3. 기존 사업과의 중복

- 무가선 트램 실증은 “무가선저상트램 시스템 개발”, “무가선 저상트램 실용화”의 1,2단계 사업에서 개발한 무가선 트램의 기술적 완성 및 상용화가 목표로서 기존 연구와 차별화 됨.
- 상세 비교자료 참조 : 표 56

제3절 경제적 타당성

1. 실증 노선 경제성 분석

- 실증노선의 경제성 분석은 도시철도망구축계획에 승인된 노선과 신청중인 노선들의 경제성 분석 현황 자료로 같음.

<표 47> 국내 지자체 트램사업 추진현황('17.6기준)

도시/노선명	노선연장	비용(억원)	현황	NPV(억원)	IRR(%)	B/C	AHP
수원 도시철도 1호선	6.0km	1,763	-도철구축망계획승인 -민자제안 PIMAC 검토	-	-	0.85	-
대전 도시철도 2호선	36.0km	6,649	-노선별기본계획 변경신청	3.5	5.06	1.001	-
서울 위례경전철 화성	5.4km	1,800	-도철구축망계획승인 -민자제안 PIMAC 검토	-186	4.1	0.92	-
동탄1호선	22.6km	7,692	-도철구축망계획 변경 신청	-	-	1.09	-
동탄2호선	17.1km	2,274		-	-	0.86	-
성남시 성남1호선	10.4km	2,382	-도철구축망계획 변경 신청	-	-	0.7	-

도시/ 노선명	노선 연장	비용 (억원)	현황	NPV(억원)	IRR(%)	B/C	AHP
성남2호선	13.7km	3,538		-	-	1.02	-
시흥시 오이도연결선	6.55	1,760	-도철구축망계획 신청	-	-	0.74	-
부천시 1호선	9.09	2,381	-도철구축망계획 신청	-	-	0.92	-
인천시			-				
영종내부순환선 1단계	14.8	4,438	-도철구축망계획 신청	-	-	1.03	0.494
송도내부순환선 1단계	7.4	1,590	-도철구축망계획 신청	-	-	0.76	0.422
부산시			-				
강서선	21.3km	5,241	-도철구축망계획 심의통과 (국토위)	314	5.7	1.047	0.5
C-bay-park선	9.1km	5,002	-도철구축망계획 심의통과 (국토위)	-439	4.3	0.920	0.43
정관선	12.8km	3,755	-도철구축망계획 심의통과 (국토위)	-461	3.9	0.896	0.31
울산시 도시철도1호선	16km	-	-도철구축망계획 용역	-	-	1.18	-

2. R&D 과제 경제성 분석

가. 경제성 타당성 분석방법 도출³⁾

(1) 비용의 추정

- ‘과학기술기본법’ 제 12조에 의하면 사업성격 또는 비목에 따라 비용을 분류할 수 있다. 하지만 국가 R&D 사업도 중앙정부기관을 대행하는 전문기관과 주관연구기관과의 계약이 성립되므로 국가계약체계에 따른 ‘국가 R&D 관리 규정’에 따라 사업비용이 산출되므로 본 보고서에서 제시되는 기술개발 투입 예정치를 비용으로 간주한다.

(2) 편익항목 도출 및 고려사항

- 연구개발사업의 편익으로 인정되기 위해서는 그 효과가 해당사업의 핵심목표와 부합하여야 하고 사업결과로부터 직접적으로 얻어지는 것이어야 한다. 이러한 편익은 <표 42> 와 같이 크게 정(+)의 편익인 가치창출 편익과 부(-) 편익인 비용저감 편익으로 구분된다.

3) KISTEP(2016), 연구개발부분 사업의 예비타당성 조사 표준지침(제2-1판)

<표 48> 연구개발부분 예비타당성조사의 편익항목 구분

구분	세부 편익항목	설명
가치창출 편익	소비자 중심 편익	연구개발사업의 효과가 소비자에게 영향을 주는 경우, 후생경제학에 근거
	생산자 중심 편익	연구개발사업의 효과가 생산자에게 영향을 주는 경우, 시장수요접근법이 대표적
비용저감 편익	생산비용저감 편익	자원비용, 공정비용, 연구장비 사용비용, 출장비용 등 각종 생산비용의 저감
	피해비용저감 편익	재난·재해, 사고, 질병 등으로 인해 발생하는 피해비용의 저감

- 연구개발 사업은 사업 추진과정 및 예산 집행의 변동, 목표 달성 및 실제편익 발생 가능성 등 다양한 불확실성이 존재하여 사전 편익의 추정이 매우 어렵다. 따라서, 편익 추정은 목표가 무엇인지, 수혜 대상은 누구인지, 가용 자료가 얼마나 있는지 등에 따라 달라지므로 사업의 특성과 자료의 한계를 우선적으로 고려하여 최선의 방법을 택해야 한다. <그림 101>는 편익항목에 따른 추정 방법의 선택과정을 도식화 한 것이다.
- (편익 회임기간) 연구개발투자가 이루어진 후 경제적 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 편익 회임기간이라 정의한다. KDI에서는 사업주관 부처가 사업계획서에 편익 회임기간을 제시하는 경우에는 이를 준용하되, 별도의 언급이 없는 경우 기초연구는 5년, 응용개발 연구는 3년을 기본으로 사업특성을 고려하여 반영하고 있다.
- (편익기간) 연구개발 활동에 근거한 경제적인 효과로는 신기술적용에 의한 생산량 증가, 기술료 수입, 비용저감 등이 있으며, 이러한 효과들은 어느 시점에 일시적으로 발생하기 보다는 다년도에 걸쳐서 발생하는 것이 일반적이다. 일반적으로 기존 철도 부품 및 시스템의 경우 10년⁴⁾으로 설정하고 있는데, 트램 도입이 국내에는 아직 전무한 점과 본 사업이 지자체의 수요를 창출하고 있다는 점을 근거로 15년으로 가정하였다.
- (사업기여율) 연구개발사업의 편익을 추정하기 위해서는 미래 시장규모의 예측뿐만 아니라, 전체 시장 규모 중에서 어느 부분까지를 해당사업의 기여분으로 고려해야하는지가 중요한 고려 사항이다. 미래시점 기준의 연구개발 활동 중 조사대상 사업이 차지하는 비중만을 적용한다는 개념이다.
 - 실제로 연구개발사업의 경제성 분석을 수행하는 과정에서 해당 산업분야의 미래 편익 발생시점의 전체 연구개발투자 규모에 대한 예측 자료를 구할

4) 양희승(2010)의 'R&D 예비타당성조사에서의 편익추정의 정형화 가능성에 관한 고찰' 연구에 따르면 사업마다 다르다고 제시하고 있으나, 철도부품 및 시스템 산업의 특성을 감안하여 10년으로 설정

수 있는 경우에는 이를 활용할 수 있다. 또한 해 당산업에서 유사한 성격의 정부투자나 민간투자 규모에 대한 자료가 이용 가능한 경우에도 이를 최대한 활용하는 것이 바람직하다.

- 반면, 이러한 상세자료의 활용이 어려운 경우에는 기본적으로 KISTEP에서 매년 발간하는 『연구개발 활동보고서』에 제시된 정부와 민간의 연구개발 투자 비율에, 해당 사업의 정부투자액 및 민간매칭 금액을 적용하여 추산할 수도 있으며 본 연구에서는 이를 활용하였다.
- 무가선 트램시스템 개발(1, 2, 3단계)에 투입될 연구비와 연구기간은 다음 표와 같다.

<표 49> 무가선 트램 단계별 투입 연구비 [단위 : 억원]

구분	기간	정부	민간	총액
1단계사업	2019~2012	214	148.8	362.8
2단계사업	2013~2016	171.1	60.2	231.3
3단계사업	2017~2021	230	12	242
총액		615.1	221	836.1

- 무가선 트램에 적용되는 연구개발사업(1,2,3단계)의 총 연구개발비인 836.1 억원중 무가선트램 실증(3단계)에 투입되는 연구비는 242억원으로 3단계 사업이 차지하는 비중은 28.9%이다.

□ (R&D기여율) 국가연구개발 사업의 직접적 경제적 편익을 추정하기 위해서는 해당 시장에서 창출된 부가가치 중에서 연구개발이 기여한 정도를 고려할 필요가 있다. 즉, R&D기여율은 연구개발 성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때, 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도인지를 나타내는 지표이며, 해당 사업의 경제적 가치를 합리적으로 추정하기 위해 적용한다. 일반적으로 R&D 기여율은 세부 기술분야 별로 산정하는 것이 어려워 거시적 관점의 기여율이 일반적으로 활용된다. 이러한 부분을 예측하기 위해 에 다양한 연구가 진행되었지만 근거가 불충분한 경우가 많기 때문에 거시적으로 추정된 수치를 적용할 수 밖에 없는 경우가 대부분이며 본 연구도 동일한다. 따라서 최근에 발표된 공신력 있는 수치(35.4%)⁵⁾를 적용하였다.

□ (R&D사업화 성공율) 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화 과정을 거치게 되는데, 이러한 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 R&D사업화성공률 변수를 고려한다. 실증사업은 지자체와 연계한 실증을 목표로 하고 있으며

5) 현 연구진행시점에서 가장 최근 기준으로 '제 3차 과학기술기본계획'에서 구한 권고 수치(35.4%)를 제시

트랩 도입을 계획하는 지자체에서 적극적인 참여를 표명하고 있어 그 만큼 성공가능성이 높으므로 사업화 성공률을 100%로 설정한다.

- (부가가치율) 편익은 사업수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 추정되기 때문에 부가가치율을 적용해야 한다. 부가가치율은 매출액 중에서 실제 새롭게 창출된 경제적 효과가 차지하는 비율을 의미하며, 일반적으로 업종 또는 기업의 일정기간 부가가치액을 동일기간의 매출액으로 나눈 비율로 정의된다.

한국은행에서 발간한 '2012년 산업연관표'를 기준으로 철도차량과 철도건설의 평균 부가가치율은 30.2%로 이 값으로 설정한다.



<그림 104> 연구개발부문 예비타당성 조사의 편익 추정방법 선택과정

(3) 시장수요 접근법

- 시장수요 접근법은 시장가치 창출을 목적으로 하는 많은 연구개발 사업의 경제성 분석에 대표적으로 활용되는데 본 연구는 국내 각 지자체에서 추진 중인 시장자료의 확보가 가능 장점이 있다. 이를 수식화하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{기술개발 편익} = \text{미래시장규모} \times \text{국산점유율} \times \text{사업기여율} \\ \times \text{R\&D 기여율} \times \text{R\&D사업화 성공율} \times \text{부가가치율}$$

□ (미래시장규모) 해당 연구사업과 직접으로 관련된 국내산업의 미래 총생산액으로 가정하였으며 해외로 수출되는 국내외생산분은 제외하였다. 아울러 <표 44>와 같이 각 지자체가 도시철도 상위기본계획에 반영된 노선을 기초로 국내 미래시장을 예측하였다.

<표 50> 국내 미래시장 규모

[단위 : 억원]

구분	수원		대전	서울		화성		성남		시흥	부천	인천		부산			미래 시장 규모	
	1호선	2호선	위례선	1호선	2호선	1호선	2호선	1호선	2호선	1호선	1호선	영종	송도	강서	City	저산		
2017																		0
2018																		0
2019																		0
2020	600	604																1,204
2021	600	604	600	1,533														3,337
2022	563	604	600	1,533		794												4,094
2023		604	600	1,533		794												3,531
2024		604		1,533	758	794	885						1,048					5,622
2025		604		1,560	758		885					530	1,048					5,385
2026		604			758		885				887	530	1,048	1,000				5,712
2027		604					883	587			887	530	1,048	1,000				5,539
2028		604						587	794	887			1,049	1,000				4,921
2029		604						586	794	887				1,000	939			4,810
2030		609								793	890				1,002	939		4,233
2031																939		939
2032																938		938
합계	1,763	6,649	1,800	7,692	2,274	2,382	3,538	1,760	2,381	4,438	1,590	5,241	5,002	3,755			50,265	

(4) 비용편익 분석 지표

- 비용편익 분석에 의한 결과지표는 비용편익 비율(benefit-cost ratio, BCR), 순현재가치(net present value, NPV), 내부수익율(internal rate of return, IRR) 등으로 제시 가능하며 다음 <표 51> 와 같은 장단점을 가지고 있다.

<표 51> 경제성 분석기준의 장단점 비교

분석기법	판 단	장 점	단 점
비용편익 비율 (BCR)	$BCR \geq 1$	<ul style="list-style-type: none"> • 이해 용이, 사업 규모 고려 가능 • 투자 규모 대비 편익의 비율을 직접적으로 표시 	<ul style="list-style-type: none"> • 상호배타적 대안 선택의 오류 발생 가능 • 투자액이 작은 사업의 수익성이 과장되기 쉬움 • 비용과 편익의 구분이 명확하지 않은 경우에 B/C비율이 적절한 수치가 되지 못할 수 있음
순현재가치 (NPV)	$NPV \geq 0$	<ul style="list-style-type: none"> • 투자의 순가치를 직접적으로 표시 • 대안 선택 시 명확한 기준 제시 • 장래 발생 편익의 현재가치 제시 • 한계 순현재가치 고려 • 타 분석에 이용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 이해가 어려움 • 대안 우선순위 결정 시 오류 발생 가능 • 사업 규모가 클수록 크게 나타나지만 자본투자의 효율성이 드러나지 않음
내부수익률 (IRR)	$IRR \geq r$ (r : 사회적 할인율)	<ul style="list-style-type: none"> • 사업의 수익성 측정 가능 • 타 대안과 비교가 용이 • 평가과정과 결과 이해가 용이 • NPV나 B/C 적용 시 할인율이 분명할 경우에 이용 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> • 사업의 절대적 규모를 고려하지 않아 투자액이 작은 사업의 수익성이 과장되기 쉬움 • 복수의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재

- 비용편익 비율(BCR)이란 사업의 진행으로 인한 총편익과 총비용을 현재가치로 환산하여 총편익의 현재가치를 총비용의 현재가치로 나눈 것이다. 이의 공식은 다음과 같으며 수식에서 보는 바와 같이 소규모 사업이 상대적으로 높은 비율을 받기에 유리한 점이 있다.

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

B_t : t 시점의 편익, C_t : t 시점의 비용, r : 할인율, n : 분석기간

- 순현재가치(NPV)는 투자사업 전 기간에 걸쳐 발생하는 순편익의 합계를 현재 가치로 환산한 값을 의미하며 양수로 나타나면 조사 대상 사업이 경제적으로 타당성이 있는 것으로 평가된다. 보편적 기준으로 사용되지만 대규모 사업이 소규모 사업에 비해 통상 유리하게 평가되는 점이 존재한다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 내부수익율(IRR)은 투자사업이 원만하게 진행된다는 전제하에 기대되는 예상 수익율로서 투자사업 전기간에 걸쳐 발생하는 편익의 현재가치와 비용의 현재 가치를 일치시켜 순현재가치가 0 이 되게 하는 할인율로 계산된다. 사업으로부터 기대되는 예산수익율과 비용으로서의 이자율이 서로 일치하는 상황까지 사업규모를 계속 확대시키는 것이 합리적이라는 투자의 한계효율 개념에 토대를 두고 있다. 다음의 공식에서 R이 내부수익율이 된다.

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+R)^t}$$

나. 비용 및 편익 산정

(1) 경제성 분석을 위한 주요전제

- 경제적 타당성 평가를 위한 지표를 BCR, NPV, IRR로 설정
- 사회적 할인율 : 5.5%로 설정
- 회임기간은 3년 기술개발로 인한 편익기간은 15년으로 설정
- 국내시장규모 : 각 지자체에서 공식발표하여 도시철도 상위기본계획에 반영된 노선을 전제하여 추정
- 국산점유율 : 80%, 국내에 도입 예가 없다는 점 및 기존 시장조사 등을 통해 80% 로 추정
- 사업기여율 : (동사업 투자규모)/(무가선 저상트램 투입 연구개발비 총액)
- 부가가치율 : 31%, 한국은행 '기업경영분석'
- R&D 사업화 성공률: 100%, 지자체 연계한 상용노선이 목표이므로 성공률을 100%로 설정, 70% 및 50%에 대한 타당성도 참고로 제시
 - ※ 참조 : 산업기술개발사업의 성공률 - 산자부 32.7%, 과기부 13.0%, 정통부 17.0%
- R&D 기여율 : 35.4%, 제 3차 과학기술기본계획'에서 구한 권고 수치

<표 52> 비용 및 편익산정 평가표 및 결과 (사업성공율 : 100%)

구분	연구개발비용	기술개발편익	현재가	
			연구개발비용	기술개발편익
2017년	13.1	0.0	13.1	0.0
2018년	82.1	0.0	77.8	0.0
2019년	85.1	0.0	76.5	0.0
2020년	31.6	29.8	26.9	25.3
2021년	30.0	82.5	24.2	66.6
2022년		101.2	0.0	77.4
2023년		87.3	0.0	63.3
2024년		139.0	0.0	95.5
2025년		133.1	0.0	86.7
2026년		141.2	0.0	87.2
2027년		136.9	0.0	80.2
2028년		121.6	0.0	67.5
2029년		118.9	0.0	62.5
2030년		104.6	0.0	52.2
2031년		23.2	0.0	11.0
2032년		23.2	0.0	10.4
합계	241.9	1,242.4	218.5	785.8
B/C = 3.6				
NPV= 56,729백만원				
IRR= 32.34%				

<표 53> 비용 및 편익산정 평가표 및 결과 (사업성공율 : 70%)

구분	연구개발비용	기술개발편익	현재가	
			연구개발비용	기술개발편익
2017년	13.1	0.0	13.1	0.0
2018년	82.1	0.0	77.8	0.0
2019년	85.1	0.0	76.5	0.0
2020년	31.6	20.8	26.9	17.7
2021년	30.0	57.7	24.2	46.6
2022년		70.8	0.0	54.2
2023년		61.1	0.0	44.3
2024년		97.3	0.0	66.9
2025년		93.2	0.0	60.7
2026년		98.8	0.0	61.0
2027년		95.8	0.0	56.1
2028년		85.1	0.0	47.2
2029년		83.2	0.0	43.8
2030년		73.2	0.0	36.5
2031년		16.2	0.0	7.7
2032년		16.2	0.0	7.3
합계	241.9	869.7	218.5	550.1
B/C = 2.52				
NPV= 33,155백만원				
IRR= 23.36%				

<표 54> 비용 및 편익산정 평가표 및 결과 (사업성공율 : 50%)

구분	연구개발비용	기술개발편익	현재가	
			연구개발비용	기술개발편익
2017년	13.1	0.0	13.1	0.0
2018년	82.1	0.0	77.8	0.0
2019년	85.1	0.0	76.5	0.0
2020년	31.6	14.9	26.9	12.7
2021년	30.0	41.2	24.2	33.3
2022년		50.6	0.0	38.7
2023년		43.6	0.0	31.6
2024년		69.5	0.0	47.8
2025년		66.6	0.0	43.4
2026년		70.6	0.0	43.6
2027년		68.5	0.0	40.1
2028년		60.8	0.0	33.7
2029년		59.4	0.0	31.3
2030년		52.3	0.0	26.1
2031년		11.6	0.0	5.5
2032년		11.6	0.0	5.2
합계	241.9	621.2	218.5	392.9
B/C = 1.8				
NPV= 17,439 백만원				
IRR= 16.03 %				

다. 경제성 분석 결과

- 경제성 분석을 위한 기본적인 방법과 절차는 KISTEP(2016)에서 발간한 ‘연구 개발부분 사업의 예비타당성 조사 표준지침(제2-1판)’을 준용
- 분석결과 BCR 3.6(사업성공율 100%), BCR 2.52(사업성공율 70%), BCR 1.8(사업성공율 50%)으로 경제적 타당성이 높은 것으로 예측됨.
- 무가선 실증사업은 단순한 경제성 분석결과를 토대로 판단하기 보다는 국가 철도기술의 발전과 국내 수요 대처 및 해외진출을 위한 필수적인 사업임
- 경제성 분석시 가장 중요한 지표인 BCR 의 편익으로 해당사업의 기대효과를 기대할 수 있으나 기획연구단계에서 구체적 파급효과를 추정하기에는 다소 무리가 있는 것으로 사료됨.
- 따라서 화폐가치가 가능한 사업효과만을 편익항목으로 선정하여 경제적 분석에 반영하였음. 끝으로 사업효과가 발생하지만 편익으로 고려되지 않은 사회적 항목들이 크게 예측되므로 본 연구의 경제적 타당성은 매우 높다고 판단됨.

제6장 인력투입계획 및 소요예산 산정

제1절 인력투입계획

1. 1세부과제 인력투입계획

□ 1세부과제 공정표

주요 Activity		시행기간(4.5년)																					
		1	2	3	4																		
과제 총괄 및 SE	1.1 과제총괄 및 시범노선 구축 SE	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	1.2 지자체 실증 상세추진방안 마련	■	■	■	■																		
시범노선 구축	1.3 지자체 시범노선 선정			■	■																		
	1.4 국토부, 지자체, 연구진 협의체 운영					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	1.5 시범노선 기본계획 및 기본설계					■	■	■															
	1.6 시범노선 실시설계								■	■													
	1.7 시범노선 공사 착공 및 준공													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
지붕탑재형 배터리시스템 차량개조, 배터리 통합	1.8 차량배터리 사양 및 개조범위 설계	■																					
	1.9 차량 개조 및 배터리통합시험		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	1.10 개조 차량 실증노선 통합시험																					■	■
형식승인 차량제작(지자체) 지원	1.11 차량배터리 사양 설계 및 발주준비	■	■	■	■																		
	1.12 형식승인 차량 제작 및 시험 지원					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

□ 1세부과제 주요 Activity에 대한 인력투입계획

주요 Activity	연도	인원수	참여개월	참여율
1.1 과제총괄 및 시범노선 구축 SE	1차년도	15	6	60%
	2차년도	7	12	30%
	3차년도	7	12	30%
	4차년도	7	24	30%
1.2 지자체 실증 상세추진방안 마련	1차년도	10	6	30%
	2차년도	1	12	30%
1.3 지자체 시범노선 선정	2차년도	1	12	30%
1.4 국토부,지자체,연구진 협의체 운영	3차년도	1	12	30%
	4차년도	1	24	30%
1.5 시범노선 기본계획 및 기본설계	3차년도	1	12	30%
1.6 시범노선 실시설계	3차년도	1	12	30%
	4차년도	1	24	30%
1.7 시범노선 공사 착공 및 준공	4차년도	1	24	30%
1.8 지붕탑재형 배터리 차량 사양 설계	1차년도	1	6	30%
1.9 차량 개조 및 배터리통합시험	2차년도	1	12	30%
	3차년도	1	12	30%
	4차년도	1	24	30%
1.10 개조 차량 실증노선 통합시험	4차년도	1	24	30%
1.11 차량배터리 사양 설계 및 발주준비	1차년도	1	6	30%
	2차년도	1	12	30%
1.12 형식승인 차량 제작 및 시험 지원	3차년도	1	12	30%
	4차년도	1	24	30%

2. 2세부과제 인력투입계획

□ 2세부과제 공정표

주요 Activity		시행기간(4.5년)											
		1		2		3		4					
트램사고 저감복구 기술개발	2.1 차량 IF 및 실차 적용 SE												
	2.2 트램 사고피해저감을 위한 장치 설계, 제작, 검증												
	2.3 트램 사고피해저감 차량기술기준 마련												
	2.4 트램 사고차량 신속복구 장비 설계												
	2.5 트램 사고차량 신속복구 장비 제작, 검증												
충전장치 기술개발	2.6 ICT기반 무임승차방지기술 설계												
	2.7 ICT기반 무임승차방지기술 제작, 검증												
무임승차 방지 기술개발	2.8 대용량 안전 자동충전장치 설계												
	2.9 대용량 안전 충전장치 제작, 실차 적용												
지붕탑재 형 배터리시 스템 개발	2.10 지붕탑재형 배터리시스템 설계												
	2.11 지붕탑재형 배터리시스템 제작, 실차적용												

□ 2세부과제 주요 Activity에 대한 인력투입계획

주요 Activity	연도	인원수	참여개월	참여율
2.1 차량/F및실차적용SE	1차년도	5	12	20%
	2차년도	5	12	20%
	3차년도	5	12	20%
	4차년도	5	12	20%
2.2 트램 사고피해저감을 위한 장치 설계, 제작, 검증	1차년도	5	12	20%
	2차년도	3	12	20%
	3차년도	3	12	20%
	4차년도	3	12	20%
2.3 트램 사고피해저감 차량기술기준 마련	2차년도	3	12	15%
	3차년도	3	12	15%
2.4 트램 사고차량 신속복구 장비 설계	1차년도	5	12	15%
	2차년도	5	12	15%
2.5 트램 사고차량 신속복구 장비 제작, 검증	3차년도	4	12	15%
	4차년도	3	12	15%
2.6 ICT기반 무임승차방지기술 설계	1차년도	6	12	20%
	2차년도	5	12	20%
2.7 ICT기반 무임승차방지기술 제작, 검증	3차년도	5	12	20%
	4차년도	5	12	20%
2.8 대용량 안전 자동충전장치 설계	1차년도	8	12	35%
	2차년도	8	12	35%
2.9 대용량 안전 충전장치 제작, 실차 적용	3차년도	7	12	35%
	4차년도	5	12	35%
2.10 지붕탑재형 배터리시스템 설계	2차년도	3	12	35%
2.11 지붕탑재형 배터리시스템 제작, 실차적용	2차년도	2	12	35%
	3차년도	6	12	35%
	4차년도	5	12	35%

3. 3세부과제 인력투입계획

□ 3세부과제 공정표

주요 Activity		시행기간(4.5년)											
		1		2		3		4					
트램 법제관리 체계	31 주요 법령 하위지침 및 기준 개발	■	■										
	32 트램 시설 및 시스템 설계지침 개발			■	■	■							
	33 트램 사고 및 손해배상 관련 법령안					■	■		■	■			
	34 트램보험제도개발					■	■	■					
	35 트램 종합시험제도 개발								■	■			
	36 철도안전관리체계 승인/검사체계 개발									■	■		
	37 적용 및 평가, 피드백											■	■
트램 투자평가 체계	38 최적사업화 모델 및 계획수립 가이드라인 개발	■	■										
	39 트램 건설비 산정기준 및 방법 개발			■	■								
	310 유지관리비 원단위 및 기준 개발				■	■							
	311트램수요예측고도화					■	■						
	312 편익산정방법 개선 및 신규편익 개발						■	■					
	313 의사결정기준 및 관련 제도 개선							■	■				
	314 개선안 적용 및 피드백									■	■	■	■
트램 운전면허 체계	315 운전자 교육과정 및 교육 프로그램 개발			■	■	■							
	316 학과/기능시험 과목별 평가내용 개발				■	■	■						
	317 교육 및 시험 관련 지침, 기준 개발						■	■					
표준운영 모델 및 시범운영	318 한국형 트램 운영모델 개념 도출	■	■										
	319 한국형 트램 운영 상세 모델 개발			■	■	■							
	320 트램 운영 및 유지보수 매뉴얼 개발				■	■	■	■	■	■	■		
	321 트램 운영 및 유지보수 지원시스템 개발				■	■	■	■	■	■	■	■	
	322 시범운영	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

□ 3세부과제 주요 Activity에 대한 인력투입계획

주요 Activity	연도	인원수	참여개월	참여율
3.1 주요 법령 하위지침 및 기준 개발	1차년도	6	6	30%
3.2 트램 시설 및 시스템 설계지침 개발	2차년도	4	12	30%
3.3 트램 사고 및 손해배상 관련 법령안	2차년도	2	12	30%
	3차년도	2	12	30%
	4차년도	1	24	30%
3.4 트램보험제도개발	3차년도	2	12	30%
3.5 트램 종합시험제도 개발	4차년도	2	24	30%
3.6 철도안전관리체계 승인/검사체계 개발	4차년도	2	24	30%
3.7 적용 및 평가, 피드백	4차년도	2	24	30%
3.8 최적사업화 모델 및 계획수립 가이드라인 개발	1차년도	6	6	30%
3.9 트램 건설비 산정기준 및 방법 개발	2차년도	2	12	30%
3.10 유지관리비 원단위 및 기준 개발	2차년도	2	12	30%
3.11 트램수요예측고도화	3차년도	2	12	30%
3.12 편익산정방법 개선 및 신규편익 개발	3차년도	2	12	30%
3.13 의사결정기준 및 관련 제도 개선	3차년도	2	12	30%
3.14 개선안 적용 및 피드백	4차년도	2	24	30%
3.15 운전자 교육과정 및 교육 프로그램 개발	2차년도	2	12	30%
3.16 학과기능시험 과목별 평가내용 개발	2차년도	2	12	30%
	3차년도	2	12	30%
3.17 교육 및 시험 관련 지침, 기준 개발	4차년도	2	24	30%
3.18 한국형 트램 운영모델 개념 도출	1차년도	4	6	30%
3.19 한국형 트램 운영 상세 모델 개발	2차년도	2	12	30%
3.20 트램 운영 및 유지보수 매뉴얼 개발	2차년도	3	12	30%
	3차년도	2	12	30%
	4차년도	2	24	30%
3.21 트램 운영 및 유지보수 지원시스템 개발	2차년도	3	12	30%
	3차년도	3	12	30%
	4차년도	2	24	30%
3.22 시범운영	1차년도	3	6	30%
	2차년도	3	12	30%
	3차년도	3	12	30%
	4차년도	7	24	30%

제2절 소요예산 산정

1. 전체사업 소요예산

[단위: 천원]

세부과제		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계	구성비 (%)
1세부	총액	399,991	5,640,493	6,334,906	3,774,610	16,150,000	66.6%
	정부	399,991	5,640,493	6,334,906	3,774,610	16,150,000	71.0%
2세부	총액	662,684	1,804,814	1,712,872	1,019,630	5,200,000	21.4%
	정부	632,009	1,500,507	1,253,094	814,390	4,200,000	18.5%
3세부	총액	304,282	684,227	555,767	1,355,724	2,900,000	12.0%
	정부	228,000	609,000	412,000	1,151,000	2,400,000	10.0%
합계	총액	1,366,957	8,129,534	8,603,545	6,149,964	24,250,000	100%
	정부	1,260,000	7,750,000	8,000,000	5,740,000	22,750,000	100%

2. 세부과제별 소요예산

2.1 1세부과제

□ 1세부과제 연구비 총괄표

[단위: 천원]

비목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계	구성비(%)	
인건비	내/외부 인건비	250,776	204,336	222,912	520,128	1,198,152	7.4%	
직접비	연구장비 재료비	연구기자재및시설비	-	4,000,000	4,600,000	2,900,000	11,500,000	71.2%
		시작품 제작비	-	1,200,000	1,250,000	-	2,450,000	15.2%
		재료비	8,133	9,713	7,864	5,926	31,635	0.2%
	연구 활동비	여비	25,078	18,390	20,062	46,812	110,341	0.7%
		수용비및수수료	22,570	12,260	13,375	31,208	79,412	0.5%
		기술정보활동비	32,601	26,564	28,979	57,214	145,357	0.9%
	연구수당		50,155	40,867	44,582	104,026	239,630	1.5%
간접비		10,678	128,363	147,133	109,297	395,472	2.4%	
합계		399,991	5,640,493	6,334,906	3,774,610	16,150,000	100.0%	

□ 1세부과제 Activity별 연구비

[단위: 천 원]

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
1.1 과제총괄 및 시범노선 구축 SE	212,807	337,619	348,595	525,988	1,425,009
1.2 지자체 실증 상세추진방안 마련	167,184	33,437	-	-	200,621
1.3 지자체 시범노선 선정	-	33,437	-	-	33,437
1.4 국토부, 지자체, 연구진 협의체 운영	-	-	33,437	66,874	100,311
1.5 시범노선 기본계획 및 기본설계	-	-	233,437	-	233,437
1.6 시범노선 실시설계	-	-	433,437	166,874	600,311
1.7 시범노선 공사 착공 및 준공	-	4,000,000	4,000,000	2,866,874	10,866,874
1.8 차량/배터리 사양 및 개조범위 설계	10,000				10,000
1.9 차량 개조 및 배터리통합시험		1,218,000	1,268,000	37,000	2,523,000
1.10 개조 차량 실증노선 통합시험				37,000	37,000
1.11 차량/배터리 사양 설계 및 발주준비	10,000	18,000		37,000	65,000
1.12 형식승인 차량 제작 및 시험 지원			18,000	37,000	55,000
합 계 (정부출연금)	399,991	5,640,493	6,334,906	3,774,610	16,150,000

□ 1세부과제 인건비 집계표

[단위: 천원]

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계
1.1 과제총괄 및 시범노선 구축 SE	139,320	130,032	130,032	260,064	659,448
1.2 지자체 실증 상세추진방안 마련	92,880	18,576	0	0	111,456
1.3 지자체 시범노선 선정	0	18,576	0	0	18,576
1.4 국토부, 지자체, 연구진 협의체 운영	0	0	18,576	37,152	55,728
1.5 시범노선 기본계획 및 기본설계	0	0	18,576	0	18,576
1.6 시범노선 실시설계	0	0	18,576	37,152	55,728
1.7 시범노선 공사 착공 및 준공	0	0	0	37,152	37,152
1.8 차량/배터리 사양 및 개조범위 설계	9,288	0	0	0	9,288
1.9 차량 개조 및 배터리통합시험	0	18,576	18,576	37,152	74,304
1.10 개조 차량 실증노선 통합시험	0	0	0	37,152	37,152
1.11 차량/배터리 사양 설계 및 발주준비	9,288	18,576	0	37,152	65,016
1.12 형식승인 차량 제작 및 시험 지원	0	0	18,576	37,152	55,728
합 계	250,776	204,336	222,912	520,128	1,198,152

□ 1세부과제 주요 연구시설 및 장비비

[단위: 천원]

연차	주요내역	금액
2차년도	(1.5) 시범노선 기본계획 및 기본설계(1)	100,000
	(1.7) 시범노선 공사 계약	4,000,000
3차년도	(1.5) 시범노선 기본계획 및 기본설계(2)	100,000
	(1.6) 시범노선 실시설계(1)	400,000
	(1.7) 시범노선 공사 착공 및 준공(1)	4,000,000
4차년도	(1.6) 시범노선 실시설계(1)	100,000
	(1.7) 시범노선 공사 착공 및 준공(2)	2,800,000

□ 1세부과제 주요 시작품 제작비

[단위: 천원]

연차	주요내역	금액
2차년도	(1.9) 지붕탑재형 배터리 탑재를 위한 차량 개조(1)	1,200,000
3차년도	(1.9) 지붕탑재형 배터리 탑재를 위한 차량 개조(2)	1,250,000

2.2 2세 부과제

□ 2세 부과제 연구비 총괄표

[단위: 천원]

비목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계	구성비(%)	
인건비	내/외부 인건비	417,960	526,320	520,128	405,576	1,869,984	36%	
직접비	연구장비 재료비	연구기자재및시설비	45,000,000	341,092	85,000	89,092	560,184	11%
		시작품 제작비	0	112,500	318,000	156,000	586,500	11%
		재료비	0	490,500	490,570	116,000	1,097,070	21%
	연구 활동비	여비	33,436	42,105	41,610	32,446	149,598	3%
		수용비및수수료	25,077	31,579	31,207	24,334	112,199	2%
		기술정보활동비	45,975	57,895	57,214	44,613	205,698	4%
	연구수당		62,694	78,948	78,019	60,836	280,497	5%
간접비		32,540	123,874	91,122	90,731	338,268	7%	
합계		662,684	1,804,814	1,712,872	1,019,630	5,200,000	100%	

□ 2세부과제 Activity별 연구비

[단위: 천 원]

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
2.1 차량/F 및 실차 적용 SE	109,598	109,598	109,598	109,598	438,392
2.2 트램 사고피해저감을 위한 장치 설계, 제작, 검증	154,598	120,759	100,759	110,759	486,875
2.3 트램 사고피해저감 차량기술기준 마련	0	49,319	49,319	0	98,638
2.4 트램 사고차량 신속복구 장비 설계	82,199	138,639	40,000	0	260,838
2.5 트램 사고차량 신속복구 장비 제작, 검증	0	0	215,759	99,496	315,255
2.6 ICT기반 무임승차방지기술 설계	151,518	159,598	0	0	311,116
2.7 ICT기반 무임승차방지기술 제작, 검증	0	100,000	206,518	182,365	488,883
2.8 대용량 안전 자동충전장치 설계	134,096	172,156	0	0	306,252
2.9 대용량 안전 충전장치 제작, 실차 적용	0	200,000	298,516	195,233	693,749
2.10 지붕탑재형 배터리시스템 설계	0	215,016	0	0	215,016
2.11 지붕탑재형 배터리시스템 제작, 실차적용	0	235,422	232,625	116,939	584,986
합 계 (정부출연금)	632,009	1,500,507	1,253,094	814,390	4,200,000

□ 2세부과제 인건비 집계표

[단위: 천원]

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계
2.1 차량/F 및 실차적용 SE	61,920	61,920	61,920	61,920	247,680
2.2 트램 사고피해저감을 위한 장치 설계, 제작, 검증	61,920	37,152	37,152	37,152	173,376
2.3 트램 사고피해저감 차량기술기준 마련	-	27,864	27,864	-	55,728
2.4 트램 사고차량 신속복구 장비 설계	46,440	55,728	-	-	102,168
2.5 트램 사고차량 신속복구 장비 제작, 검증	-	-	37,152	27,864	65,016
2.6 ICT기반 무임승차방지기술 설계	74,304	61,920	-	-	136,224
2.7 ICT기반 무임승차방지기술 제작, 검증	-	-	74,304	61,920	136,224
2.8 대용량 안전 자동충전장치 설계	173,376	173,376	-	-	346,752
2.9 대용량 안전 충전장치 제작, 실차 적용	-	-	151,704	108,360	260,064
2.10 지붕탑재형 배터리시스템 설계	-	65,016	-	-	65,016
2.11 지붕탑재형 배터리시스템 제작, 실차적용	-	43,344	130,032	108,360	281,736
합 계	417,960	526,320	520,128	405,576	1,869,984

□ 2세부과제 주요 연구시설 및 장비비

[단위: 천 원]

연차	주요내역	금액
1차년도	(2.2) 충돌해석용소프트웨어 임차	45,000
	(2.8) 개발 서버 및 개발장비 등	20,000
2차년도	(2.2) 충돌해석용소프트웨어 임차	45,000
	(2.8) CCTV외 기타 장비	30,000
	(2.12) 열화상 카메라	3,500
	(2.12) 컴파일러	2,000
	(2.12) BMS 검증 개발용 tool	2,000
3차년도	(2.2) 충돌해석용소프트웨어 임차	45,000
	(2.12) 제작 전용 작업대 5개	6,000
	(2.13) 온도 변화 측정 레코딩 장비	4,000
4차년도	(2.2) 충돌해석용소프트웨어 임차	45,000
	(2.13) 진동 측정 및 로그 장비	25,000

□ 2세부과제 주요 시작품 제작비

[단위: 천 원]

연차	주요내역	금액
2차년도	(2.4) rerailling 장치 설계(1)	30,000
	(2.10) 시스템 조립 전용 지그	30,000
3차년도	(2.4) rerailling 장치 설계(2)	50,000
	(2.5) rerailling 장치 제작 및 검증(1)	150,000
	(2.7) 승객계수기	75,000
	(2.7) 탑승객 추적카메라	75,000
	(2.11) 시스템 합 제작 지그	30,000
4차년도	(2.5) rerailling 장치 제작 및 검증(2)	50,000

□ 2세부과제 주요 재료구입비

[단위: 천원]

연차	주요내역	금액
2차년도	(2.11) Lower Frame	30,000
	(2.11) Chiller Frame	30,000
	(2.11) Chiller	27,000
	(2.11) 배터리 모듈	120,000
	(2.11) Upper Cover	30,000
3차년도	(2.11) Lower Frame	29,170
	(2.11) Chiller Frame	30,000
	(2.11) Chiller	20,000
	(2.11) 배터리 모듈	110,000
	(2.11) Upper Cover	10,000

2.3 3세 부과제

□ 3세 부과제 연구비 총괄표

[단위: 천원]

비목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계	구성비(%)	
인건비	내/외부 인건비	176,472	464,400	371,520	817,344	1,829,736	63%	
직접비	연구장비 재료비	연구기자재및시설비	2,850	3,750	3,750	13,750	24,100	1%
		시작품 제작비	-	-	-	150,000	150,000	5%
		재료비	24,000	24,000	24,000	24,000	96,000	3%
	연구 활동비	여비	21,177	37,152	29,722	65,388	153,438	5%
		수용비및수수료	21,177	27,864	22,291	49,041	120,372	4%
		기술정보활동비	26,471	51,084	40,867	89,908	208,330	7%
	연구수당		17,647	46,440	37,152	81,734	182,974	6%
간접비		14,489	29,537	26,465	64,560	135,050	5%	
합계		304,282	684,227	555,767	1,355,724	2,900,000	100%	

□ 3세부과제 Activity별 연구비

[단위: 천원]

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
3.1 주요 법령 하위지침 및 기준 개발	55,728	0	0	0	55,728
3.2 트램 시설 및 시스템 설계지침 개발	0	74,304	0	0	74,304
3.3 트램 사고 및 손해배상 관련 법령안	0	37,152	34,152	31,152	102,456
3.4 트램보험제도개발	0	0	37,152	0	37,152
3.5 트램 종합시험제도 개발	0	0	0	69,304	69,304
3.6 철도안전관리체계 승인/검사체계 개발	0	0	0	64,304	64,304
3.7 적용 및 평가, 피드백	0	0	0	46,752	46,752
3.8 최적사업화 모델 및 계획수립 가이드라인 개발	55,728	0	0	0	55,728
3.9 트램 건설비 산정기준 및 방법 개발	0	37,152	0	0	37,152
3.10 유지관리비 원단위 및 기준 개발	0	37,152	0	0	37,152
3.11 트램수요예측고도화	0	0	37,152	0	37,152
3.12 편익산정방법 개선 및 신규편익 개발	0	0	37,152	0	37,152
3.13 의사결정기준 및 관련 제도 개선	0	0	37,152	0	37,152
3.14 개선안 적용 및 피드백	0	0	0	58,512	58,512
3.15 운전자 교육과정 및 교육 프로그램 개발	0	37,152	0	0	37,152
3.16 학과/기능시험 과목별 평가내용 개발	0	37,152	37,152	0	74,304
3.17 교육 및 시험 관련 지침, 기준 개발	0	0	0	38,544	38,544
3.18 한국형 트램 운영모델 개념 도출	55,728	0	0	0	55,728
3.19 한국형 트램 운영 상세 모델 개발	0	55,728	0	0	55,728
3.20 트램 운영 및 유지보수 매뉴얼 개발	0	83,592	55,728	111,456	250,776
3.21 트램 운영 및 유지보수 지원시스템 개발	0	83,592	83,592	261,456	428,640
3.22 시범운영	41,796	83,592	83,592	500,148	709,128
합 계 (정부출연금)	228,000	609,000	412,000	1,151,000	2,400,000

□ 3세부과제 인건비 집계표

[단위: 천원]

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계
3.1 주요 법령 하위지침 및 기준 개발	55,728	-	-	-	55,728
3.2 트램 시설 및 시스템 설계지침 개발	-	74,304	-	-	74,304
3.3 트램 사고 및 손해배상 관련 법령안	-	37,152	37,152	37,152	111,456
3.4 트램보험제도개발	-	-	37,152	-	37,152
3.5 트램 종합시험제도 개발	-	-	-	74,304	74,304
3.6 철도안전관리체계 승인/검사체계 개발	-	-	-	74,304	74,304
3.7 적용 및 평가, 피드백	-	-	-	74,304	74,304
3.8 최적사업화 모델 및 계획수립 가이드라인 개발	55,728	-	-	-	55,728
3.9 트램 건설비 산정기준 및 방법 개발	-	37,152	-	-	37,152
3.10 유지관리비 원단위 및 기준 개발	-	37,152	-	-	37,152
3.11 트램수요예측고도화	-	-	37,152	-	37,152
3.12 편익산정방법 개선 및 신규편익 개발	-	-	37,152	-	37,152
3.13 의사결정기준 및 관련 제도 개선	-	-	37,152	-	37,152
3.14 개선안 적용 및 피드백	-	-	-	74,304	74,304
3.15 운전자 교육과정 및 교육 프로그램 개발	-	37,152	-	-	37,152
3.16 학과/기능시험 과목별 평가내용 개발	-	37,152	37,152	-	74,304
3.17 교육 및 시험 관련 지침, 기준 개발	-	-	-	74,304	74,304
3.18 한국형 트램 운영모델 개념 도출	37,152	-	-	-	37,152
3.19 한국형 트램 운영 상세 모델 개발	-	37,152	-	-	37,152
3.20 트램 운영 및 유지보수 매뉴얼 개발	-	55,728	37,152	74,304	167,184
3.21 트램 운영 및 유지보수 지원시스템 개발	-	55,728	55,728	74,304	185,760
3.22 시범운영	27,864	55,728	55,728	260,064	399,384
합 계	176,472	464,400	371,520	817,344	1,829,736

- 3세부과제 주요 연구시설 및 장비비
- 해당사항 없음.

- 3세부과제 주요 시작용품 제작비

[단위: 천원]

연차	주요내역	금액
4차년도	(3.21) 트램 운영 및 유지보수 지원시스템	150,000

제3절 지자체 분담 금액(안) 검토

- 시범노선 구축 예산(4장 5절)은 219.2억원으로 추정됨. 실증사업을 위해 확보된 예산을 감안하면 지자체에서 47% 수준(104억원)을 분담해야 함. 따라서 본 연구에서는 104억원에 대한 지자체 분담으로 기획함.
- 지자체 분담수준은 재정사업의 지방 지자체 분담율인 40%수준보다 높은 수준임. 향후 정부정책과 지자체 참여의사, 예산확보 상황에 따라 40% 수준으로 조정 필요함.

제5절 공모조건

- 무가선 트램 실증사업은 실도로에서 상용운영을 전제로 하기 때문에 기술개발, 법제도 완성, 체계적인 사업관리를 수행할 수 있는 각 분야의 전문기관들로 컨소시엄 구성이 필요
- 무가선 트램 실증사업은 1, 2, 3세부가 유기적으로 관련되어 있어 과제계획단계에서부터 업무범위, 개발일정이 체계적으로 조율되어야 하기에 분리공모 방식보다는 컨소시엄 구성에 의한 연구단 구성이 바람직함.

제6절 평가기준 설정

- 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원의 일반 지침을 준수하되, 무가선 저상트램 실증 연구개발 특성을 반영하여 일부 조정하여 설정함

기준항목		세부평가항목	점수
연구개발 계획평가 (60점)	연구개발 목표 (10점)	최종 목표/성과목표의 명확성, 타당성	10
		연차별 연구목표/성과목표(지표) 설정의 적절성	10
	연구개발 내용 (20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
		목표달성을 위한 연구내용의 적절성	5
		세부과제 구성의 타당성 및 연계성	5
		연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
	추진전략 및 계획 (15점)	연구개발 추진전략 및 방법의 적정성, 구체성, 타당성	5
		연구수행체계 구성의 타당성 및 연구진 전문성 ¹⁾	10
		연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성	5
	활용방안 및 실용화(정책제안) 가능성 (15점)	연구성과 활용방안의 적절성 및 구체성	5
		연구성과 실용화 및 정책제안 가능성	5
		개발 기술의 기대효과(기술적, 경제적) 및 파급효과	5
연구단장 평가 (40점)	연구책임자 기획·관리 능력 (10점)	연구수행체계 관리 능력	5
		연구개발과제 성과도출 능력	5
	연구수행실적 및 가치 (30점)	해당분야 연구수행 실적	15
		해당분야 홍보 활동 실적	15

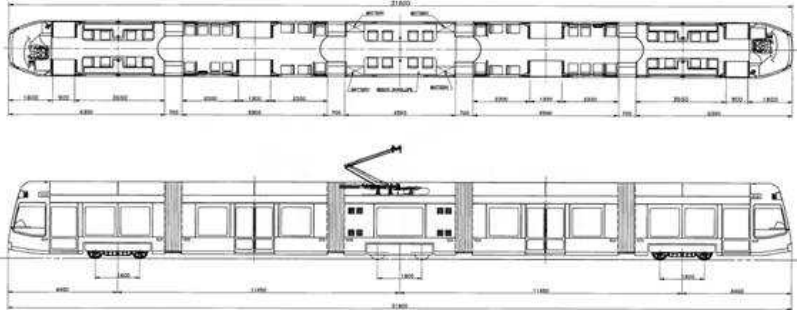
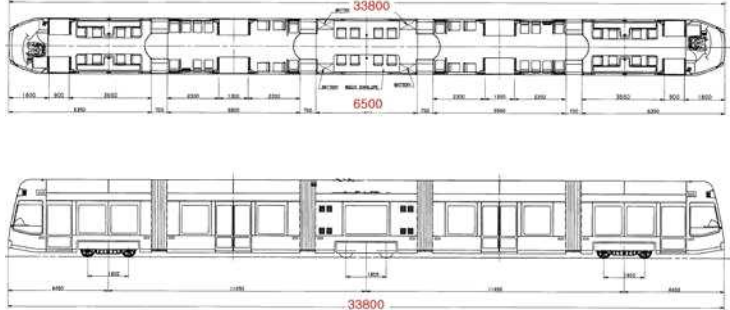
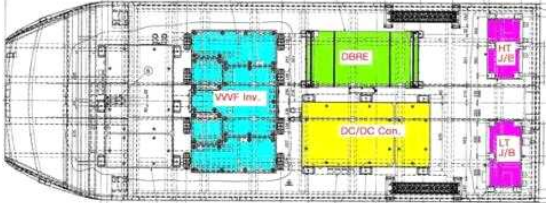
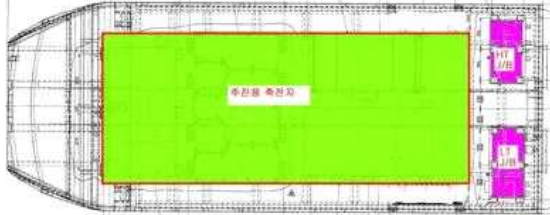
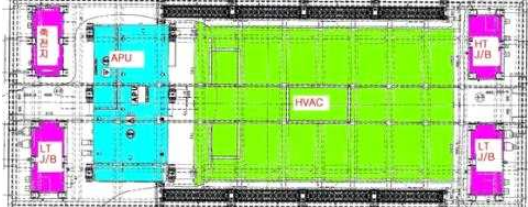
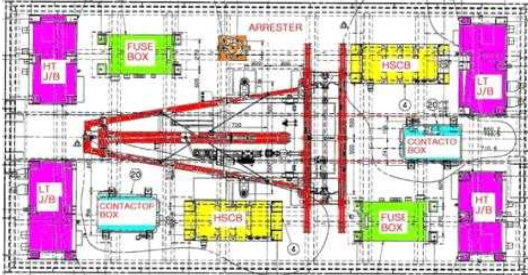
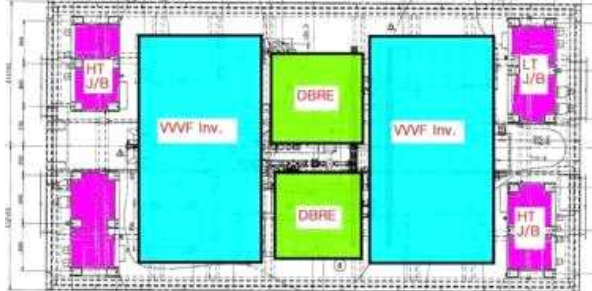
※ 총점 및 연구개발계획, 연구단장 평가 점수 중 하나라도 만점의 60% 미만인 경우는 탈락

- 1) 연구신청자는 참여기관 수 과다편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모하여야 함. 또한, 과제 특성상 토목, 전기, 기계, 전자, 교통 분야의 관련 기술의 전문가들이 연구진에 포함되어야 함

<표 55> 무가선 트램차량 신규제작 vs. 개조 비교

구분	내용	문제점	비고
신규제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신규제작 비용 : 35억 <ul style="list-style-type: none"> - 배터리비용 포함 ※ 형식승인비용 : 10억(지자체 부담) ○ R&D 정부출연금 예상비용 : 35억 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지붕탑재 배터리 장착에 따른 철저한 차량·충전장치 인터페이스 및 제작 관리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 두산에서 수원1호선 민자제안 시 체코 SKODA사로부터 1편성 기준 약25억원을 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 해외차량 구매 시 공급사는 차량가격을 낮게 제시하고, 유지보수 부품가격을 높게 부르는 경향이 있음 ○ 트램 추정가격 (불입2) <ul style="list-style-type: none"> - 32m 길이를 기준으로 평균 <u>약 2.2m€(28억원)~2.7m€(34억원) 정도</u> - <u>1편성 기준 배터리 200k€(2.5억원) 정도 추가 소요</u>
개조	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개조 사항 (불입1) <ul style="list-style-type: none"> - E 모듈 차량 재제작(차량길이 4.5 => 6.5m) - A/B 모듈 옥상 기기 취부 브라켓 정리 - A, B, C, D, E 차량 배/결선 ○ 개조 비용 : 총 30.5억원 <ul style="list-style-type: none"> - 차량 분해/조립 비용 : 2억 - E 모듈 엔지니어링 비용 : 3억 - E 모듈 제작 비용 : 12억 - 옥상 기기 재배치 및 배/결선 : 3억 - 기타 스텝거, 삭정 등 비용 : 2억 - 인버터 개조비용 : 0.5억 - 배터리 신규개발 비용 : 8억 ※ 추진용 축전지 요구사항, 곡선통과, 축중 등 개선 필요성 등 상세 검토에 따라 변동 가능 ○ 차량 수리비용 : 2억원 <ul style="list-style-type: none"> - 방송장치 수리 비용 : 3억 (제외) - 출입문 신규제작 비용 : 2억 (제외) - 갱웨이 수리 비용 : 2억 ○ R&D 정부출연금 예상비용 : 32.5억원 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부품 및 장치들이 시작품으로 다수 고장이 예상되며 유지보수비용 과다 예상 (시제차량으로 5년 경과) <ul style="list-style-type: none"> - 하부 갱웨이 지면 접촉 : 외자(휴브너)로 수리시 비용 과다 예상 - 방송장치 미동작 : 참여기관(한국전기통신) 사업 철수 - 출입문 고장 : 참여기관(디유앤아이, 소명) 부도로 미대응 - 대차 휠 찰상으로 삭정 필요 - HVAC 고장 : 참여기관 법정관리로 대응 어려움 - 사고로 인해 차체 틀림 발생 (현재 출입문 밀폐 불가) ○ 차량 개조와 신규 차량 제작의 병행추진으로 사업 비효율성 발생 ○ VWF에 Converter 일부기능을 포함한 기능개선 필요 ○ 추진배터리를 형식승인에 의한 상용실적이 가능한 형태가 아닌 시제차량용으로 제작할 경우 개발비 요구 가능성 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개조차량은 추후 활용성 미비 ○ 실증노선(영업운전)에서 지자체 발주 차량과 연계 운영 시험시 잦은 고장발생으로 전체 사업 지연 발생 우려 ○ 시제차량은 표준화된 대량생산형 모델이 아니므로 지붕탑재형으로 차량 개조시 신규제작 이상의 비용이 발생. 특히, 시제차량은 첫 제작에 따른 완성도 한계, 시험선 탈선사고 등으로 실증노선 운행시 예측불가능한 고장 발생으로 다양한 안전문제 발생 예상

[붙임 1] 추진배터리 옥상배치 개조 범위 (전장품 제외)

구분	개조전 (31.8m)	개조후 (32.8m)
차량길이		
A/B모듈		 <p data-bbox="1783 703 2069 778">- 크기 : 3,970 x 1,700 x 500 - 중량 : 1,600 kg</p>
C/D모듈		<p data-bbox="1615 951 1671 978">좌동</p>
E모듈	 <p data-bbox="909 1214 1081 1241">- 길이 : 4.5m</p>	 <p data-bbox="1854 1214 2027 1241">- 길이 : 6.5m</p>

[붙임 2] 차량 신규제작 추정 자료

<LRT Rolling Stock, SYSTRA, 2014.>



SYSTRA
AALBORG HIGH-CLASS TRANSIT SYSTEM 29/29
TRAMWAY ROLLING STOCK BENCHMARK

6.3 Purchase costs

An analysis of the tramway contracts around the world enables to estimate the costs of a 32m tramway from 2.2m€ to 2.7m€ as an average.

Special requirements, the catenary free solution and of course the volume ordered could influence the above mentioned price.

In the particular case of a tramway fitted with on-board energy storage allowing running on catenary-free systems, the purchase cost is lightly more expensive than an ordinary one, but the difference is not very important: an extra-cost about 200 k€ per tramway can be expected for one on-board energy storage module.

<현대로템 견적서>

	현대로템주식회사 철도영업본부 철도시스템사업실 16082 경기도 의왕시 철도박물관로 37 TEL: (031)8090-8341 / FAX: (031)596-9759				
한국철도기술연구원 원장 貴下					
납품일자 유효기간	별도 협의 90일	인도장소 지불조건	별도 협의 현금 지급조건		
일금 팔십칠억칠천사백만원정 (단위 : 원)					
No.	품명	단가	수량	단위	금액
1	철도연 시범노선 트램 2편성 (5모듈)	4,387,000,000	2	편성	8,774,000,000
	이	하	여	백	
합 계					8,774,000,000
특 기 사 항	1. 부가가치세 포함 2. 상기 금액은 2016년 12월 1일 불변가 기준 3. 대금지급조건 : 선금(20%), 주요 자재 발주(20%), 차량 제작 원료(20%), 차량 납품(30%), 시운전 완료(10%) 4. 차량 크기 : 32m(L) * 3.4m(H) * 2.65m(W) 5. 차상장치(신호 및 통신) 제외 6. 추진 배터리, DC/DC Converter, BMS 제외 7. 하자보증 : 개통 후 24개월 8. 10편성 공급시 36.17억/편성 (부가가치세 포함) 9. 상기 견적금액은 사양에 따라 변경될 수 있음				
1. 회와 같이 견적을提出합니다. <div style="text-align: right;"> 2016. 12. 21 현대로템주식회사 대표이사 김 승 탁 </div>					
본 사 : 경상남도 창원시 대원동 85번지 전화 055) 269 - 2114				담당 : 철도시스템영업팀 차장 반 용	

<표 56> 무가선트램시스템 기술수준 및 단계별 비교

대분류	중분류	소분류		1단계 ('09.12~13.04, 3년 5개월) - 유·무가선(25km) 주행가능한 시제 차량, 실내 탑재 배터리 팩개발, 매립형 궤도 단선 1km				2단계('13.9~' 17.01, 3년 1.5개월) - 35 km 무가선 주행 및 수명연장(2.5 → 5년) 배터리 팩 개발, 차량성능 개선, 신호 및 분기기 시스템 개발				3단계(4.5년) - 형식승인에 따른 지붕탑재형 배터리팩 및 100% 무가선 트램차량 개발 - 실증이 가능한 복선궤도 및 다중 차량 교차 시험운행 검증			
		Major	Minor	시험선 1km(무가선), 검수고, 충전설비, 변전실, 승강장 2개소, 분기부 1개소				시험선 1.5km(가선 0.5km), 검수고, 충전설비, 변전실, 승강장 3개, 신호관제(가상교차로 3개, 횡단보도 1개), 분기부 3개				실증선 1km 검수고, 충전설비, 변전실, 승강장 3개 내외, 호관제(교차로 3개 내외), 분기부 3개 내외, 화차 1개소			
				연구내용	국산 화율%	TRL	기술 수준%	연구내용	국산 화율%	TRL	기술 수준%	연구내용	국산 화율%	TRL	기술 수준%
차량	차체	-	지그/금형, 소재	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유/무가선 시제차량 1편성 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 100% 저상대차 적용 - 크기(m): 31.8(L)×3.4(H)×2.45(W) - 탑승출입문 높이: 330mm - 중량: 47.6 ton(공차기준) ○ 배터리 인터페이스 <ul style="list-style-type: none"> · DC/DC컨버터 차량 지붕장착 · 전차선 및 판토틀라프를 이용한 충전 I/F 	78	6	60	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유/무가선 시제차량 성능개선 <ul style="list-style-type: none"> - 누적주행거리 6만km 주행 - 가속 성능(3.5 → 4.0 km/h/s) - 출입문 개선교체 - DC/DC컨버터, VVVF인버터, APU 용량증대 - 차량운행기록 무선전송 장치의 TCMS 통합 	78	7	70	<ul style="list-style-type: none"> ○ 형식승인에 따른 무가선전용 1편성 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 100% 저상대차 적용 - 폭 2.65(W) - 중량: (5 ton 감소) ○ 배터리 인터페이스 <ul style="list-style-type: none"> · DC/DC컨버터, 판토틀라프 제거 · 지상급속충전장치 I/F 장치 · 대용량 안전 급속충전장치 (에너지 효율 향상, 무인 자동 충전 I/F적용을 통한 안전성 향상) 	90	9	100
	대차	휠, 기어, 현수장치, 프레임 등	-												
	전장품	TCMS, 보조전원장치, VVVF인버터, DC-DC컨버터, 견인전동기	-												
	제동시스템	유압제어장치, 트랙제동장치, 유압발판	-												
	기기장치	커플러, 집전장치 등	-												
	전기장치		열차무선장치, 방송표시기 등												
	의장	출입문, 갱웨이, 아티클레이션	의자, HVAC												
	배터리시스템	셀, BMS, 배터리팩	-												
궤도	매립형궤도	매립형궤도 레일 체결장치, 궤도 지지 슬래브, 프리캐스트궤도, 저진동궤도	-	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장타설식 수지고정형 매립형궤도 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 1.0km 시험선 시공 	95 (레일 수입)	7	95	<ul style="list-style-type: none"> ○ 매립형궤도 선로 600m 확장 ○ 급속시공용 프리캐스트 매립형궤도 개발 (100m 시험선 시공) ○ 이중방진 저진동궤도 개발(50m 시험선 시공) 	95 (레일 수입)	8	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발 매립형궤도 및 분기기의 복선 적용을 통한 상용노선 수준의 신뢰성 확보 	95 (레일 수입)	9	100
	분기기	선로 전환 장치, turnout	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ○ 매립형분기기 개발 (1틀 시험선 적용) 	100	6	60	<ul style="list-style-type: none"> ○ 매립형분기기 5틀내외 실증노선 적용 ○ 안전성 향상 기술보완 	100	9	100	
인프라	차고지		검수고, 관제실	<ul style="list-style-type: none"> ○ 검수고 1동 	100	9	100	-	-	-	-	-	-	-	
	전기	충전설비, 유가선 설비	SCADA, 변전실	<ul style="list-style-type: none"> ○ 변전실 1동 및 충전설비 	100	9	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유가선 전력공급시설 500m 구축 	60	9	100	-	-	-	-
	승강장	캐노피	-	<ul style="list-style-type: none"> ○ 간이승강장 2개소 	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

대분류	중분류	소분류		1단계 ('09.12~13.04, 3년 5개월) - 有•無가선(25km) 주행가능한 시제 차량, 실내 탑재 배터리 팩개발, 매립형 궤도 단선 1km				2단계('13.9~' 17.01, 3년 1.5개월) - 35 km 무가선 주행 및 수명연장(2.5 → 5년) 배터리 팩 개발, 차량성능 개선, 신호 및 분기기 시스템 개발				3단계(4.5년) - 형식승인에 따른 지방탐색형 배터리팩 및 100% 무가선 트램차량 개발 - 실증이 가능한 복선궤도 및 다중차량 교차 시험은행 검증			
				시험선 1km(무가선), 검수고, 충전설비, 변전실, 승강장 2개소, 분기부 1개소				시험선 1.5km(가선 0.5km), 검수고, 충전설비, 변전실, 승강장 3개, 신호관제(가상교차로 3개, 횡단보도 1개), 분기부 3개				실증노선 1km 검수고, 충전설비, 변전실, 승강장 3개 내외, 호관제(교차로 3개 내외), 분기부 3개 내외, 화차 1개소			
		Major	Minor	연구내용	국산 화율%	TRL	기술 수준%	연구내용	국산 화율%	TRL	기술 수준%	연구내용	국산 화율%	TRL	기술 수준%
신호 통신	도로신호	도로교통제어기, 트램신호장치, 트램신호기	-	-	-	-	○ 무선통신·차상위치검지기 기반 교차로 무정차통과 신호체계 개발 ○ 무가선시험선 가상교차로로 시험평가	100	7	100	○ 복선궤도 다중편성에 의한 교차로 상하선 우선신호처리 시험, 열차운행스케줄 연계성 확인 시험, 다중편성 연속주행시험	100	9	100	
	철도신호	현장제어장치, 연동장치, 분기표시기, 차상운행지원장치, 태그, 트랜스폰더	-	-	-	-	○ 무선통신·차상위치검지기 기반 관제 또는 차상 진로설정체계 개발 ○ 차상 제한속도제한, 진로요청 및 교차로무정차통과요청 기능 구현	90 (태그 등)	7	70	○ 복선궤도 다중편성에 분기부 교행 및 진로경합시험 ○ 진로설정체계 안전무결성수준 SIL3 이상 입증	90	9	100	
	관제설비	관제운행지원장치, 열차자동감시장치	-	-	-	-	○ 무가선시험선 관제현장 진로연동 시험평가	100	7	90	○ 다중편성 열차운행스케줄, 진로연동시험	100	9	100	
	통신기술	무선통신설비 (WiFi, LTE 등)	유선통신설비	-	-	-	○ 데이터전송용 유무선통신 시험선 구축	100	9	100	-	-	-	-	
운영/ 안전	교차로 안전	제한속도 및 신호무시 방지(트램신호)	-	-	-	-	○ 제한속도 및 신호무시방지	100	7	90	○ 다중편성 제한속도 및 신호무시 방지	100	9	100	
	분기부 안전	제한속도 및 신호무시 방지(트램신호)	-	-	-	-	○ 제한속도 및 신호무시방지	100	7	90	○ 다중편성 제한속도 및 신호무시 방지	100	9	100	
	승강장 안전	차상승객감시 및 차량제어	지상영상감시장치, 승객안내설비, 비상연락장치	-	-	-	○ 차상센서에 의한 가상스크린도어 기초 연구 - 알고리즘H/W 차량탐재 및 시험선 시험	90	5	50					
	차량충돌 안전	교통사고 피해저감 차량설계, 충돌감지 및 차량제어	-	-	-	-	○ 충돌경보 및 긴급제동 기술 기초 연구 - 알고리즘H/W 차량탐재 및 시험선 시험	90	5	70	○ 트램 사고저감 트램 차량기술기준 마련 및 기술검증 - 사고저감 차량구조 및 장치 검증 - 트램 사고저감 차량기술기준 마련	90	9	100	
	장애 및 사고처리	사고차량, 장애설비 복구 기술, 신속 정상화 기술	-	-	-	-	-	-	-	-	○ 트램 사고현장 차량신속복구기술 개발 - 교통사고 시나리오 분석에 의한 차량 신속복구 장비 제작	100	9	100	
운영유지보수	표준 운영모델 안전관리·유지보수기술, 운영유지보수 지원시스템, 요금징수체계·무임승차방지 기술	-	-	-	-	-	-	5	50	○ ICT를 이용한 무임승차 방지 체계 개발 - 영상처리를 이용한 차상 무임승차 감지 및 판단기술 개발 - 실시간 통신을 이용한 요금징수장치-현장단말-센터 연계기술 및 체계 개발 ○ 표준운영모델 개발 - 안전관리유지보수기술, 운영유지보수 지원시스템	100	9	100		
법제도	도시철도법	법사항명·시행규칙 노면전차시설 설계지침, 노면전차 건설운영규칙 정거장 및 환승지침	-	-	-	-	○ 법 개정(안) 마련 (시행령·시행규칙 해당사항 없음) ○ 노면전차 건설 및 운전 관련 규정 제정(안) 마련 ○ 도시철도 건설·안전규칙, 정거장 및 환승 등 각 지침별 개정 필요성 및 개정범위 검토	-	9	-	○ 노면전차 시설 설계지침 제정(안) 마련 ○ 정거장 및 환승 등 각 지침별 개정(안) 마련	-	9	-	

대분류	중분류	소분류		1단계 ('09.12~13.04, 3년 5개월) - 有•無가선(25km) 주행가능한 시제 차량, 실내 탑재 배터리 팩개발, 매립형 궤도 단선 1km				2단계('13.9~' 17.01, 3년 1.5개월) - 35 km 무가선 주행 및 수명연장(2.5 → 5년) 배터리 팩 개발, 차량성능 개선, 신호 및 분기기 시스템 개발				3단계(4.5년) - 형식승인에 따른 지방탐제형 배터리팩 및 100% 무가선 트램차량 개발 - 실증이 가능한 복선궤도 및 다중차량 교차 시험운행 검증			
				시험선 1km(무가선), 검수고, 충전설비, 변전실, 승강장 2개소, 분기부 1개소				시험선 1.5km(가선 0.5km), 검수고, 충전설비, 변전실, 승강장 3개, 신호관제(가상교차로 3개, 횡단보도 1개), 분기부 3개				실증노선 1km 검수고, 충전설비, 변전실, 승강장 3개 내외, 호관제(교차로 3개 내외, 분기부 3개 내외, 화차 1개소)			
		Major	Minor	연구내용	국산 화율%	TRL	기술 수준%	연구내용	국산 화율%	TRL	기술 수준%	연구내용	국산 화율%	TRL	기술 수준%
	철도안전법	법시행령시행규칙 안전관리체계 형식승인 종합시험운행	-	-	-	-	○ 운전면허, 트램 교통사고 대응체계와 관련 법시행령·시행규칙 개정(안)마련 ○ 도시철도 안전관리체계 기술기준 등 규칙/지침 41종 개정 필요성 및 개정 범위 검토	-	8	-	○ 안전관리체계, 형식승인, 종합시험운행관련 법시행령·시행규칙 개정(안)마련 ○ 도시철도 안전관리체계 기술기준 등 규칙/지침 41종중 필요 개정(안) 마련	-	9	-	
	도로교통법	법시행령시행규칙, 교통안전시설 설치 관리 매뉴얼 교통신호 제어기 규격	-	-	-	-	○ 법시행령·시행규칙 개정(안)마련 ○ 교통안전시설 설치 관리 매뉴얼 개정(안) 마련 ○ 교통신호제어기 규격 개정(안) 마련	-	7	-	○ 개정 지원	-	9	-	
	교통사고처리특례법	법 개정안	-	-	-	-	-	-	-	-	○ 교통사고처리특례법 개정(안) 마련	-	9	-	
	자동차손해배상보장법	법 개정안	-	-	-	-	-	-	-	-	○ 자동차손해배상보장법(또는 여객자동차운수사업법) 개정(안) 마련	-	9	-	
	트램 투자평가체계	예타지침, 투자평가지침	-	-	-	-	○ 트램 투자평가체계 개선 방안 기초연구	-	3	-	○ 트램 투자평가체계 개선안	-	9	-	
	트램노선 설계매뉴얼	시설설치, 승강장, 차로설계	-	-	-	-	-	-	-	-	○ 노면전차 시설 설계지침 제정(안) 마련	-	9	-	

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 무가선 저상트램 실증 연구개발 기획연구의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 기획연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 안됩니다.