

국토교통연구기획사업

자율주행 기반 스마트철도 핵심기술 개발 기획 최종보고서
[PART I] 지능형 열차 자율주행
핵심기술 개발

2017. 11.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

Land · Infrastructure and Transport
R&D Report

자율주행
기반
스마트철도
핵심기술
개발기획
최종보고서 (I)

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

<제목 차례>

제1장 기술의 정의 및 필요성	1
1절 기술의 정의 및 분류체계	1
1. 기술의 정의	1
2. 기술 분류체계	2
3. 세부 기술내용	5
2절 기술개발의 필요성	10
1. 기술개발의 배경	10
2. 수송능력(Capacity) 측면	11
3. 설비투자비(Cost) 측면	12
4. 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면	13
5. 기술개발을 하지 않았을 경우 발생하는 문제점	14
6. 4차 산업혁명과의 연계성	15
제2장 국내외 동향 및 환경분석	17
1절 국내외 정책동향	17
1. 국내 정책동향	17
2. 해외 정책동향	18
3. 정책동향 분석 시사점	22
2절 국내외 시장현황 및 전망	23
1. 세계 철도 열차제어시스템 시장현황	23
2. 신규 개발 및 업그레이드 시장	25
3. 개량 및 유지보수 시장	27
4. 서유럽철도 CBTC 시장	28
5. 열차제어시스템 주요 제작사	31
6. 시장분석 결론	33
3절 기술(특허, 논문 등) 동향	34
1. 특허동향	34
2. 기술동향	41
3. 국내외 연구개발 동향	44
4. 기술동향 분석 결론	57

4절 기술수준 분석	58
1. 기술수요조사	58
2. 기술예측조사	63
3. 우선순위조사	70
5절 유사과제분석 및 기존기술(연구)와의 차별성	76
1. 유사과제 분석	76
2. 유사과제 연계성	78
6절 국내 연구개발 인프라 분석	81
1. 기술개발 SWOT 분석	81
2. 연구진의 연구개발 역량	82
3. 인프라 설비	82

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략 86

1절 비전 및 목표	86
1. 열차제어시스템 로드맵	87
2. 목표수준 설정의 근거	89
3. 성공가능성	90
2절 기술개발에 따른 미래상	91
3절 연구개발 과제구성	97
1. 기술개발 로드맵	97
2. 연구단 과제구성	98
4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략	106
1. 세부과제 1: 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발	106
2. 세부과제 2: 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발	114
3. 세부과제 3: 열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발	121
4. 세부과제 4: 가상열차편성 기술개발	128
5. 세부과제 5: 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발	132
5절 연구추진체계	137
6절 기술/성과 로드맵	139
1. 세부 과제별 연차별 기술로드맵	139
2. 세부 과제별 성과목표 및 성과지표	148
3. 성과물 검증방안	153

제4장 사전타당성 검토	156
1절 정책적 타당성	156
1. 상위계획과의 부합성	156
2. 사업추진의지	158
2절 기술적 타당성	159
1. 사업 논리모형	159
2. 장기연구의 타당성	161
3. 차세대 열차제어 및 통신기술 확보	162
4. 기술적 파급효과	162
5. 기술개발 성공 가능성	163
3절 경제적 타당성	164
1. 비용 추정	164
2. 편익 추정	173
3. 경제성 분석	180
4절 타당성 검토 종합	183
1. 기술개발투자의 시급성	183
2. 정부 상위계획과의 부합성	183
3. 경제적 타당성 검토	184
4. 정부투자 미지원시 문제점	184
제5장 자원투입계획	185
1절 연구시설 및 장비 투입계획	185
2절 인력 투입계획	189
3절 소요예산 투입계획	190
4절 정부지원조건	194
제6장 과제공모 방안	195
1절 핵심기술개발 단계 과제제안요구서	196
1. 연구단 총괄	196
2. 1세부 과제 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발	204
3. 2세부 과제 : 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발	209

4. 3세부 과제 : 열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발	214
5. 4세부 과제 : 가상열차편성 기술개발	218
6. 5세부 과제 : 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발	223
2절 실용화연구개발 단계 과제제안요구서	228
1. 연구단 총괄	228
2. 1세부 과제 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발	236
3. 2세부 과제 : 열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발	241
4. 3세부 과제 : 열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발	246
5. 4세부 과제 : 가상열차편성 기술개발	250
6. 5세부 과제 : 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발	255
3절 공모조건	260
4절 선정평가 방법	262

<표 차례>

[표 1.1] 지능형 열차자율주행 세부기술	2
[표 1.2] 기술적 해결방안	10
[표 2.1] 영국 철도기술의 지속성장을 위한 핵심 요구조건과 도전목표	18
[표 2.2] 미국의 철도분야 연구개발 프로그램	21
[표 2.3] Control Command and signalling (New development and upgrade Market 2013) ·	25
[표 2.4] Control command and signalling (Renewal and Maintenance Market 2013)	27
[표 2.5] Control Command and Signalling : Results for the Top 20 Manufactures	32
[표 2.6] 지능형열차 자율주행 핵심기술 특허분석 기준	34
[표 2.7] 지능형열차 자율주행 핵심기술별 검색 조합식 및 대상특허건수	34
[표 2.8] 주요 핵심특허 현황 - 지능형열차 자율주행분야	40
[표 2.9] 기술논문 분석 기준 - 지능형열차 자율주행분야	41
[표 2.10] 주요 논문 현황 (피인용 順) - 지능형열차 자율주행분야	43
[표 2.11] 국가연구개발 및 시범사업 현황	44
[표 2.12] 주요 조사 내용 및 질의 형태	58
[표 2.13] 열차자율주행 분야 기술수요조사 제안과제 리스트	62
[표 2.14] 기술예측조사 평가항목	63
[표 2.15] 유사·중복 제안 과제 통합	64
[표 2.16] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과	65
[표 2.17] 기술예측조사를 위한 최종 후보과제 선정	66
[표 2.18] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과	68
[표 2.19] 우선순위조사 평가지표 항목	71
[표 2.20] 열차자율주행 분야 우선순위 조사 과제 리스트	72
[표 2.21] 우선순위조사 평가지표 항목	73
[표 2.22] 열차자율주행 분야 우선순위 조사 결과	74
[표 2.23] 열차자율주행 분야 최종 연구 과제	75
[표 2.24] 유사과제 분석	76
[표 2.25] 스마트 스케줄링 및 관제 유사과제 분석	77
[표 2.26] SWOT 분석	81
[표 2.27] 차세대전동차 개발사양	83
[표 2.28] 한국형 틸틸열차 개발사양	84
[표 3.1] 지능형 열차 자율주행 기술개발에 따른 미래철도 변화	91
[표 3.2] 지능형 열차자율주행시스템 기술개발 연구설계도	102
[표 3.3] 세부과제 1-열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 TRM	108

[표 3.4] 세부과제 1-열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 연차별 성과지표	110
[표 3.5] 세부과제 1-열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 산출지표별 검증방안	112
[표 3.6] 세부과제 2-열차자율주행기반 통신 및 보안기술개발 기존연구와의 중복성	115
[표 3.7] 세부과제 2-열차자율주행기반 통신 및 보안기술개발 TRM	116
[표 3.8] 세부과제 2-열차자율주행기반 통신 및 보안기술개발 연차별 성과지표	117
[표 3.9] 세부과제 2-열차자율주행기반 통신 및 보안기술개발 산출 지표별 검증방안	119
[표 3.10] 세부과제 3-열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 중복성 검토	122
[표 3.11] 세부과제 3-열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 TRM	123
[표 3.12] 세부과제 3-열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 연차별 성과지표	125
[표 3.13] 세부과제 3-열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 산출 지표별 검증방안	126
[표 3.14] 세부과제 4-가상열차편성 기술개발 TRM	129
[표 3.15] 세부과제 4-가상열차편성 기술개발 연차별 성과지표	130
[표 3.16] 세부과제 4-가상열차편성 기술개발 성과물 검증방안	131
[표 3.17] 세부과제 5-열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 TRM	133
[표 3.18] 세부과제 5-열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 연차별 성과지표	134
[표 3.19] 세부과제 5-열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 성과물 검증방안	135
[표 3.20] 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 성과목표 및 성과지표	148
[표 3.21] 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발 성과목표 및 성과지표	149
[표 3.22] 열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 성과목표 및 성과지표	150
[표 3.23] 가상열차편성 기술개발 성과목표 및 성과지표	151
[표 3.24] 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 성과목표 및 성과지표	152
[표 4.1] 사업 논리모형	159
[표 4.2] 서울메트로 2호선 개요	164
[표 4.3] 서울메트로 2호선 혼잡도 현황 (2015년, 내선)	165
[표 4.4] 서울메트로 2호선 혼잡도 현황 (2015년, 외선)	167
[표 4.5] 서울메트로 2호선 혼잡도 대비 증편량	169
[표 4.6] 서울메트로 2호선 열차제어시스템 개량 및 추가 열차편성	170
[표 4.7] 열차 개량비용 산정	170
[표 4.8] 열차 재편성 대안	171
[표 4.9] 열차제어시스템 상용화 비용 기준값 산출	171
[표 4.10] 개발목표 달성시 비용산출	172
[표 4.11] 편익의 구성 및 내용	173
[표 4.12] 운영비용 절감편익 분석	174
[표 4.13] 철도차량산업의 부가가치율	175
[표 4.14] 우리나라 R&D 스톡의 성장기여도	175

[표 4.15] 서울메트로 2호선 시간대별 이용인원	176
[표 4.16] 서울메트로 2호선 시간 절감량	177
[표 4.17] 시간가치 원단위	177
[표 4.18] 통행시간 절감편익	178
[표 4.19] 유지보수 절감편익	178
[표 4.20] 인건비용 절감편익	178
[표 4.21] 동력비용 절감편익	179
[표 4.22] 총 운영비용 절감편익	179
[표 4.23] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산, CBTC 기준비용)	180
[표 4.24] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산, 목표 달성시 비용)	180
[표 4.25] 경제성 분석 결과 (연구개발 부문)	181
[표 4.26] 경제성 분석 결과 (상용화 부문)	182
[표 5.1] 세부과제별 연구시설 및 장비 투입계획	185
[표 5.2] 세부과제별 연차·단계별 인력투입계획	189

<그림 차례>

[그림 1.1] 열차제어시스템 기술개발 동향	1
[그림 1.2] 지능형 열차 자율주행제어시스템	2
[그림 1.3] 기존 지상중심 열차제어시스템	6
[그림 1.4] 신규 열차자율주행제어시스템	6
[그림 1.5] ITX 새마을 열차의 물리적 연결기	7
[그림 1.6] 기존 열차제어시스템에서 선행열차와 후행열차간 안전간격	7
[그림 1.7] 열차간 간격제어를 통한 가상열차편성	8
[그림 1.8] 열차자율주행기반 스케줄링 및 경로설정 개념	9
[그림 1.9] 열차자율주행기반 스케줄링 및 경로설정 개념	9
[그림 1.10] 기존 지상중심 열차제어시스템 열차간격제어경로(Triangular-path)	11
[그림 1.11] 신규 열차자율주행시스템에서의 열차간격제어경로(Direct-path)	12
[그림 1.12] 열차편성간 가상연결 제어	12
[그림 1.13] 열차자율주행기반 스케줄링 및 동적 경로생성	13
[그림 1.14] 개인 및 대중교통 이동성 향상 방향	14
[그림 1.15] 개인 및 대중교통 이동성 핵심어	14
[그림 2.1] 철도 열차제어시스템의 전체 年 평균시장규모(EUR m)	23
[그림 2.2] 지역별 열차제어 시장의 현재 규모와 성장 (EUR m)	24
[그림 2.3] 분야별 연간 열차제어 시장 발전	24
[그림 2.4] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 점유율(지역별), 신규/개량 시장 (2013)	26
[그림 2.5] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 성장율(지역별), 신규/개량 시장 (2013)	26
[그림 2.6] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 점유율(업체별), 신규/개량 시장 (2013)	27
[그림 2.7] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 점유율(지역별), 유지보수/교체 시장 (2013)	28
[그림 2.8] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 성장율(지역별), 유지보수/교체 시장 (2013)	28
[그림 2.9] Market Overview : Urban Rail CBTC Market, Western Europe, 2011	29
[그림 2.10] Urban Rail Market : Expected Completion of Radio-based CBTC Projects, ...	29
[그림 2.11] Urban Rail Market : CBTC Network Length Forecast by Stage, ...	30
[그림 2.12] Urban Rail Market : CBTC Network Length Forecast by Transmission Type, ...	30
[그림 2.13] Urban Rail Market : CBTC Revenue Forecast, ...	31
[그림 2.14] Control Command and Signalling – Top 10 Manufactures	32
[그림 2.15] 출원년도 및 국가별 출원추이 – 지능형열차 자율주행 분야	35
[그림 2.16] 출원년도별 출원추이 – 스마트 스케줄링 및 스마트 관제 분야	35
[그림 2.17] 주요 출원인 동향 - 지능형열차 자율주행분야	36
[그림 2.18] 연도별 주요 출원인 동향 – 지능형열차 자율주행분야	36

[그림 2.19] 국가별 특허 점유현황 – 지능형열차 자율주행분야	37
[그림 2.20] 국가별 출원특허 대비 우선권특허 현황 – 지능형열차 자율주행분야	37
[그림 2.21] 출원국별 출원추이 – 스마트 스케줄링 및 스마트 관제 분야	38
[그림 2.22] 국가별 인용도지수 – 지능형열차 자율주행분야	38
[그림 2.23] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 – 지능형열차 자율주행분야	39
[그림 2.24] 논문 발표 주요 저널 – 지능형열차 자율주행분야	42
[그림 2.25] 논문발표 주요 국가 – 지능형열차 자율주행분야	42
[그림 2.26] 대불시험선 구성도	46
[그림 2.27] 무선통신기반 열차제어시스템 지상시스템 구성도	47
[그림 2.28] 무선통신기반 열차제어시스템 차상시스템 구성도	47
[그림 2.29] ETRMS/ETCS 개발체계	49
[그림 2.30] ETCS Level 1	50
[그림 2.31] ETCS Level 2	50
[그림 2.32] ETCS Level 3	51
[그림 2.33] ETCS-1과 CTCS-2 간 유사성	52
[그림 2.34] ETCS-2와 CTCS-3 간 유사성	53
[그림 2.35] Closer Running 프로젝트의 컨셉	54
[그림 2.36] Closer Running 프로젝트 주요연구내용	55
[그림 2.37] Alstom Urbalis Fluence	55
[그림 2.38] 가상연결 예시	56
[그림 2.39] 가상연결을 이용한 분리결합 시나리오	56
[그림 2.40] 열차자율주행 분야의 철도차량 신기술 활용 여부	59
[그림 2.41] 열차자율주행 분야의 연구 시급성이 높은 분야	60
[그림 2.42] 열차자율주행 분야의 적합 적용 차량 유형	60
[그림 2.43] 열차자율주행 분야의 현장 적용 시 애로사항	61
[그림 2.44] 열차자율주행 분야의 핵심요구사항	61
[그림 2.45] 열차자율주행 분야 기술 및 사회·경제 측면의 중요 요소	67
[그림 2.46] 열차자율주행 분야의 기술 성숙도 수준	67
[그림 2.47] 열차자율주행 분야의 최고기술 보유국 및 국내 기술 수준	68
[그림 2.48] 열차자율주행 분야의 장애요인 현황	70
[그림 2.49] 열차자율주행 분야의 우선순위 평가기준 가중치	73
[그림 2.50] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템	79
[그림 2.51] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템과의 차별성	80
[그림 2.52] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템과의 연계방안	80
[그림 2.53] 철도종합시험선로 노선도	82

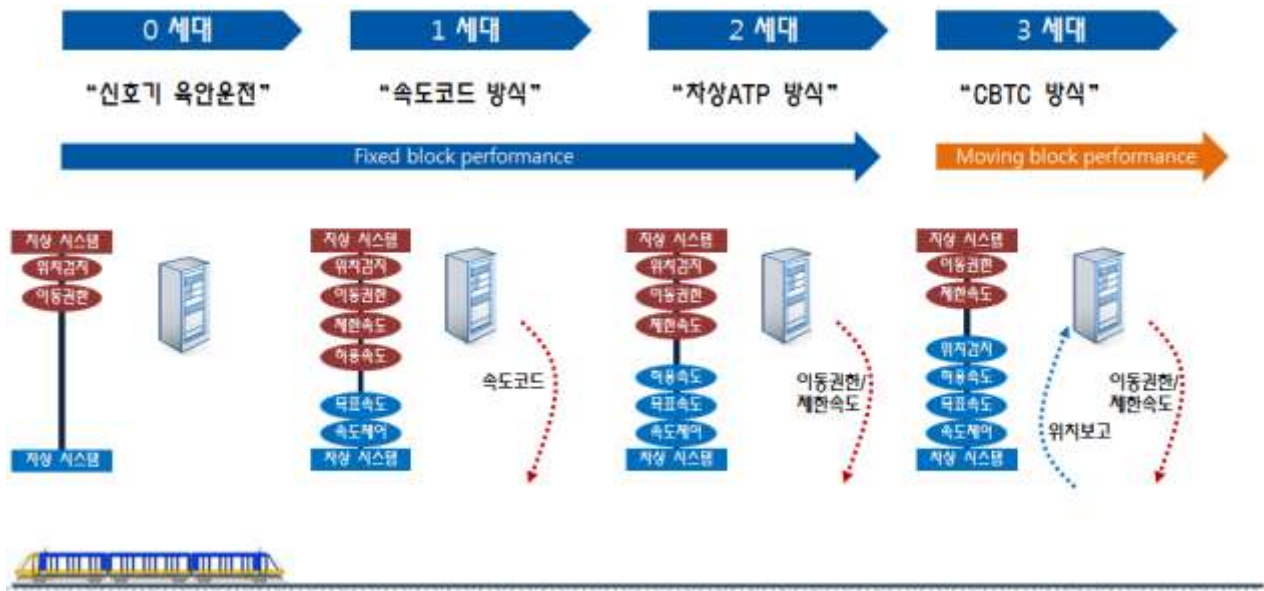
[그림 2.54] 한국형 틸팅열차	84
[그림 3.1] 열차자율주행시스템 연구의 비전	86
[그림 3.2] 궤도회로기반 열차위치검지	87
[그림 3.3] 국내 열차제어시스템 기술동향	88
[그림 3.4] 지능형 열차 자율주행의 미래상	95
[그림 3.5] 스마트 스케줄링/관제기술의 미래상	96
[그림 3.6] 열차자율주행시스템 기술개발 로드맵	98
[그림 3.7] 세부과제 구성기준	99
[그림 3.8] 열차자율주행시스템 연구단 과제의 구성	101
[그림 3.9] 열차자율주행시스템 연구개발 추진체계	138

제1장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의 및 분류체계

1. 기술의 정의

열차제어시스템은 “지상·전기·HW 중심”에서 “차상·통신·SW 중심”으로의 변화가 이루어지고 있다. 제어의 효율성 향상과 운전시각 단축을 위해 지상 중심에서 차상 중심으로 차상의 기능이 확대되고 있으며 설비투자비용 및 유지보수비용 절감을 목표로 지상의 제어 설비를 단축시키는 방향으로 시스템 연구개발이 이루어지고 있다.



[그림 1.1] 열차제어시스템 기술개발 동향

최신의 열차제어시스템인 CBTC¹⁾ 방식은 차상과 지상 제어시스템 간 양방향 무선통신을 통해 운전시각을 최소 90초로 단축이 가능하지만 여전히 지상이 제어의 중심이 되고 있기 때문에 하나의 지상제어시스템에 허용 가능한 열차의 투입 대수가 제한되고 제어흐름이 차상-지상-차상의 cyclic-path로 인하여 운전시각 단축에 한계가 발생된다.

이러한 한계를 극복하기 위해서는 근본적인 제어 패러다임의 변화에 대한 연구개발이 필요하다. 즉, 기존의 지상 ATP²⁾나 EI³⁾와 같은 지상의 제어시스템 없이 열차 간 통신기반의 완

1) Communication based Train Control: 무선통신기반열차제어

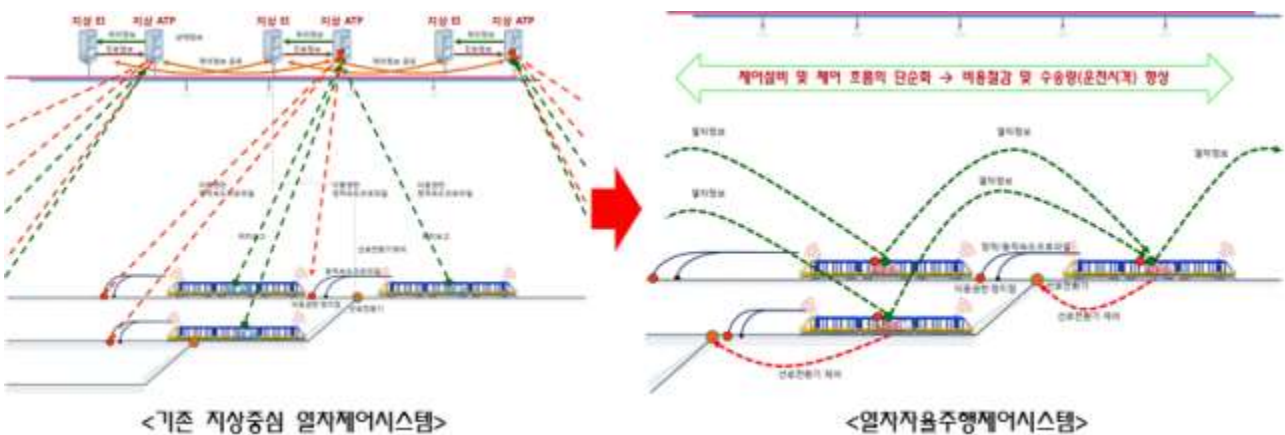
2) Automatic Train Protection: 자동열차방호

3) Electronic Interlocking: 연동장치

전한 차상중심의 지능화된 열차자율주행시스템에 대한 연구개발이 필요하다.

열차자율주행시스템이란 지상제어시스템의 제어명령에 의존하지 않고 열차간 상호협업을 통해

- 열차 스스로 안전한 주행을 수행하고
- 주행 중 자유로운 분리결합을 수행하며
- 이례상황 발생 시 열차 스스로 상황을 인지하고 판단하여 대응이 가능한 지능형 열차제어시스템이다.



[그림 1.2] 지능형 열차 자율주행제어시스템

열차자율주행시스템은 기존의 CBTC와 같은 무선통신기반 열차제어시스템의 간격제어 한계를 넘어서 수송력 향상과 설비투자비용의 절감을 기대할 수 있다. 또한 열차의 지능화에 따른 한 차원 높은 수준의 서비스와 안전성 향상을 기대할 수 있다.

2. 기술 분류체계

지능형 열차자율주행에 대한 기술 분류체계는 아래와 같다.

[표 1.1] 지능형 열차자율주행 세부기술

	구분	요소기술	기술개발 내용
열차 자율주행 기술	열차간 협업기반 자율주행 제어기술	열차간 무결성 (Inter-train Integrity) 확보기술	• 다양한 운영상황(분기 합류 상황 등) 선행열차 인 지에 대한 무결성 확보기술개발
		차상중심 분산형 열차 간격제어 및 방호 기술	• 열차간 협업기반 열차간격제어 및 방호기술개발

	구분	요소기술	기술개발 내용
		차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술	• 열차스스로 진로를 구성하고 선로변 분기기를 제어하는 기술개발
		네트워크 구조 가상화 기술개발	• 전송지연 절감을 위한 네트워크 구조개발
	열차간 협업기반 가상열차 편성기술	가상연결제어기술	• 가상 연결/해제 제어프로파일 및 안전마진 설계기술개발
		고정밀 속도추종기술	• 열차제동거리 이하로 근접주행제어 기술개발
		고정밀 추진제동기술	• 높은 응답특성을 가지는 추진제동시스템 기술개발
		편성내 열차무결성(Intra-train Integrity) 확보기술	• 가상편성된 열차간 무결성 확보기술개발
		열차간 직접통신기술	• 전송지연 절감을 위해 지상의 기지국을 경유하지 않는 열차간 직접통신기술 개발
	열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제 어기술	상황인지를 위한 가상인터페이스 기술	• 열차 및 선로 사고고장 정보, 재난정보를 열차제어 시스템에서 수신하기 위한 가상인터페이스 기술개발
		상황인지 및 판단기술	• 수신된 정보를 통해 사고/고장상황에 대한 정확한 인지기술 개발 • 안전한 열차제어를 위한 열차의 이동경로 판단 및 제어기술 개발
		열차간 협업기반 동적 경로/스케줄링 기술	• 스케줄 회복을 위한 열차간 협업기술개발 • 동적 경로설정 및 스케줄 기술개발
	스마트 스케줄링 기술	실시간 수요변화 대응 열차시격 조정 최적화 기술	• 수요변동 패턴을 실시간으로 파악하여 시간대별 열차시격을 최적으로 조정 • 기존 2단계 열차시격(첨두 및 비첨두)의 다변화 및 단변화 시간대별 시격의 미세 조정 • 철도의 좌석 제공 능력을 최적화하여 ‘Lost Sales’ 최소화
		스케줄링 핵심알고리즘 성능 향상 기술	• 기존 열차, 차량, 승무원 스케줄링 핵심 알고리즘의 성능 향상 • AI 및 최적화 알고리즘 활용
		열차-차량-승무원 통합 스케줄링 기술	• 기존 열차, 차량, 승무원 스케줄링 알고리즘의 개별적 구성을 통합한 통합형 피드백 알고리즘 개발로 스케줄링 소요기간을 단축
		동적 용량조정 최적화 기술	• 수요변동 패턴을 실시간으로 파악하여 시간대별 편성용량을 동적으로 조정 • 열차시격 조정 최적화 기술과 연동 작용

	구분	요소기술	기술개발 내용
		가상편성 차량운영 최적화 기술	• 차량 편성의 분리/결합 운영체계를 고려한 가상편성 차량의 운영 스케줄링 최적화
		연계스케줄 동기화 기술	• 간선 및 지선 열차의 연계편 스케줄링 최적화 기술
		환승불편 최소화 좌석할당 기술	• 동적 용량조정 및 가상편성 차량운영 체계에서 승객의 환승불편을 최소화하는 좌석할당 기술
	스마트 관제기술	임시 스케줄링 기반 운행조정 최적화 기술	• 열차운행과 차량반복을 통합적으로 고려한 관제 기술 • 열차지연시간 및 사고처리시간의 전역적 최소화
		실시간 열차 경합 검지 및 해소 기술	• 기존 관제사의 경험과 직관을 중심으로 한 업무형태 (Local solution)에서 벗어나 스케줄링 이론을 접목 • 열차 경합의 실시간 검지와 검지된 경합에 대한 최적 해 도출
		열차 지연확산 예측 관제 기술	• 기존 현행 및 근시안적 관제 체계 극복 • 열차 지연의 장래 확산 상황을 예측하고 예측된 상황의 영향을 최소화하기 위한 선제적 대응 관제
		적응형 운전자 지원시스템 기술	• 운전자에게 적정 운행속도 및 도착시간을 실시간 안내하여 열차운행 및 에너지 소모의 효율성 확보 (차상장치) • 운전자 지원시스템 및 지능형 관제시스템 연계 기술
		승객환승 최적화 관제 기술	• 기존 열차중심 관제 대상을 장래 개인중심 관제 대상으로 세분화 • 장래 개인별 만족도 중심 통행패턴 변화에 부응 • 간선-지선 열차 등 동기화된 연계운행 열차 대기·환승시간 최적화 관제 • 의사결정지원 : 지연된 후속 연계열차를 더 기다려서 환승 승객을 수용할 것인가? 아니면 더 이상 기다리지 않고 출발할 것인가? 에 대한 판단 지원
		개인별 만족기반 관제 기술	• 연계/환승 철도이용 승객의 개별적 통행시간 및 환승대기시간 기록관리 • 개인별 기록관리 데이터 기반 서비스 개선 방향 피드백
		자율주행 차량 관제 기술	• 장래 자율주행 차량 도입 및 운행에 따른 관제시스템 개선

	구분	요소기술	기술개발 내용
			• 자율주행 차량과 비 자율주행 차량간 통합 관리 • 임의 차량의 사고/고장에 대한 대처
		가상편성 차량 분리/결합 관제 기술	• 가상편성 차량이 동적으로 분리/결합되는 운영체계에 대한 관제

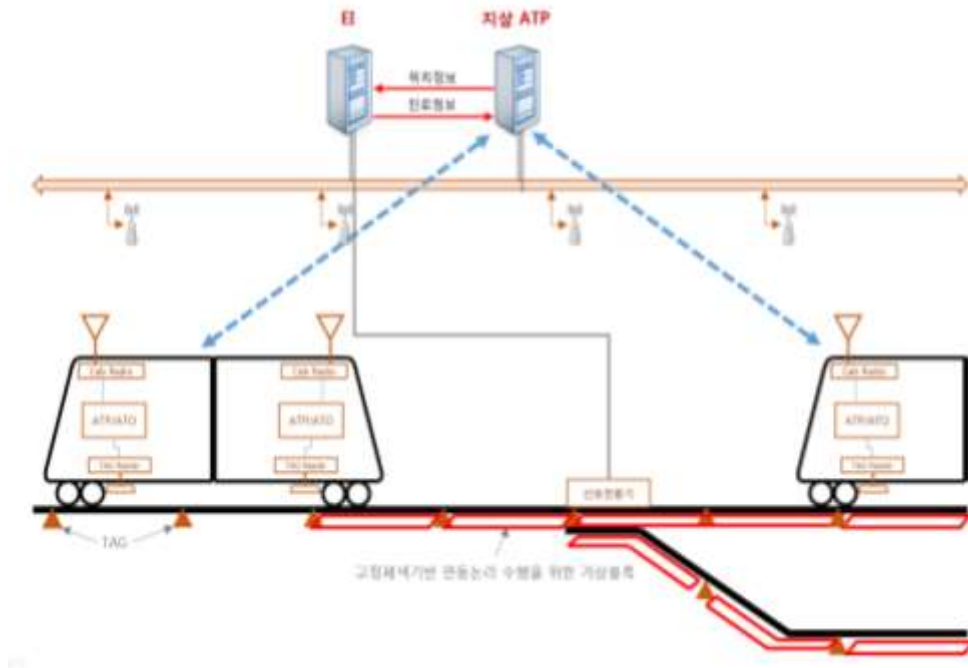
3. 세부 기술내용

지능형 열차자율주행의 신호, 차량, 통신분야에 대한 세부기술 내용은 다음과 같다.

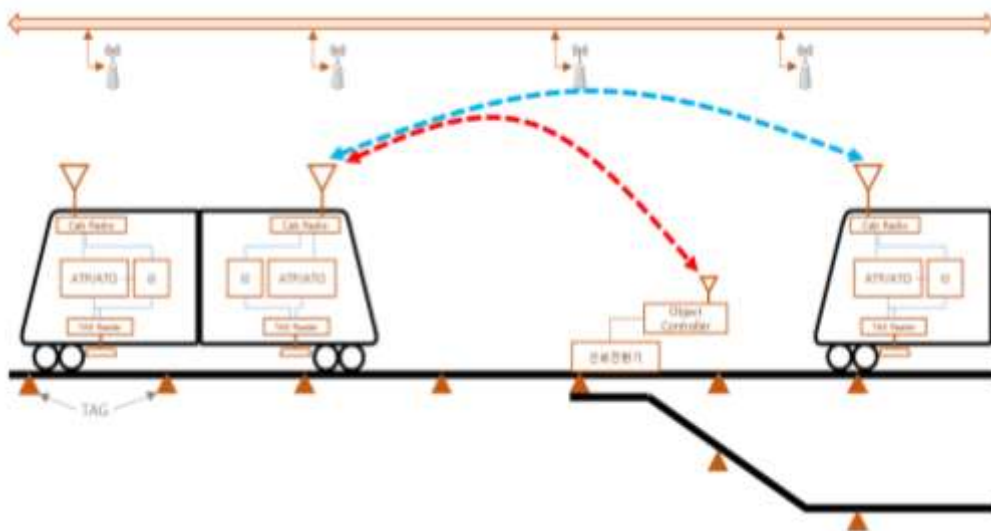
가. 열차간 협업기반 자율주행제어 기술

기존의 지상중심 열차제어시스템의 경우 EI와 지상 ATP의 제어명령에 의존하여 열차의 운행제어가 이루어진다. 지상 ATP는 자신의 관할영역 내에 존재하는 모든 열차의 위치와 상태 정보를 수신하고 해당열차에게 이동할 수 있는 권한의 한계 즉, 거리기반의 이동권한을 제공한다. 이동권한은 선행열차의 위치정보를 기반으로 생성하게 되는데 선행열차에서 제공한 이동권한을 지상에서 수신하고 이동권한과 속도프로파일을 계산하여 다시 후행열차로 제공하는 제어 흐름을 갖는다. 따라서 후행열차가 수신한 이동권한에는 과거의 선행열차의 위치 및 상태정보를 기반으로 생성되어 있기 때문에 간격제어에 한계가 발생된다. 또한 지상의 제어시스템의 제어명령에 의존하므로 노선에 투입되는 열차가 증가되는 경우 지상제어시스템을 함께 증설하여야 한다는 단점이 존재한다.

반면 열차자율주행제어시스템은 지상제어시스템(지상 ATP, EI)의 제어명령에 의존하지 않고 열차↔열차, 열차↔선로변 설비와의 직접적인 통신을 통해 열차 스스로 영업선 출고부터 영업운영 그리고 다시 기지에서의 주박까지 무인자동운행이 가능한 지능형 제어시스템이다. 열차자율주행제어시스템은 선·후행 열차간 실시간 정보공유를 기반으로 간격제어를 수행함으로써 상태정보의 불확실성에 따른 안전마진을 줄일 수 있으며 열차스스로 선로전환기를 제어함으로써 간격제어의 효율성을 높일 수 있다.



[그림 1.3] 기존 지상중심 열차제어시스템



[그림 1.4] 신규 열차자율주행제어시스템

나. 가상열차편성 기술개발

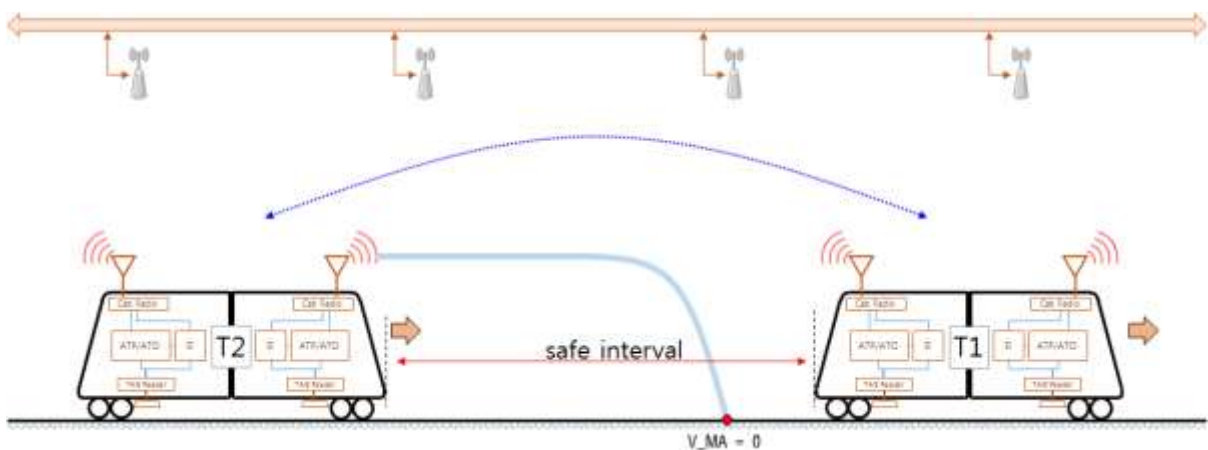
열차는 차량과 차량이 연결되어 편성이 되고 편성 단위로 운행을 하게 된다. 편성은 하나의 차량으로 시작하여 다수의 차량으로 구성이 가능하다. 또한 운행 중인 편성과 편성이 연결되어 중편편성으로 운영이 가능하다. 그러나 열차의 차량과 차량, 편성과 편성 사이에는 물리적인 연결 장치가 존재하며 열차의 연결을 수행하기 위해서는 직선 선로에서 정지된 선행열차를 후행열차가 5km/h 이하 속도로 전진하여 연결이 이루어져야 한다. 열차의 결합과정은 열차제어 시스템의 관점에서 열차간 안전간격이 제로와 더불어 추돌상황을 의미하므로 열차제어시스템

의 제어 하에 있지 않고 완전히 열차 내 기관사의 수동운전에 의존한다. 이러한 제약 때문에 영업 운영중 연결과 분리작업은 지정된 선로구간(역사 플랫폼)에서만 이루어지며 엄격한 절차에 의거하여 관제 운영자, 역무원 및 기관사의 수신호에 의해 수행하게 된다.



[그림 1.5] ITX 새마을 열차의 물리적 연결기

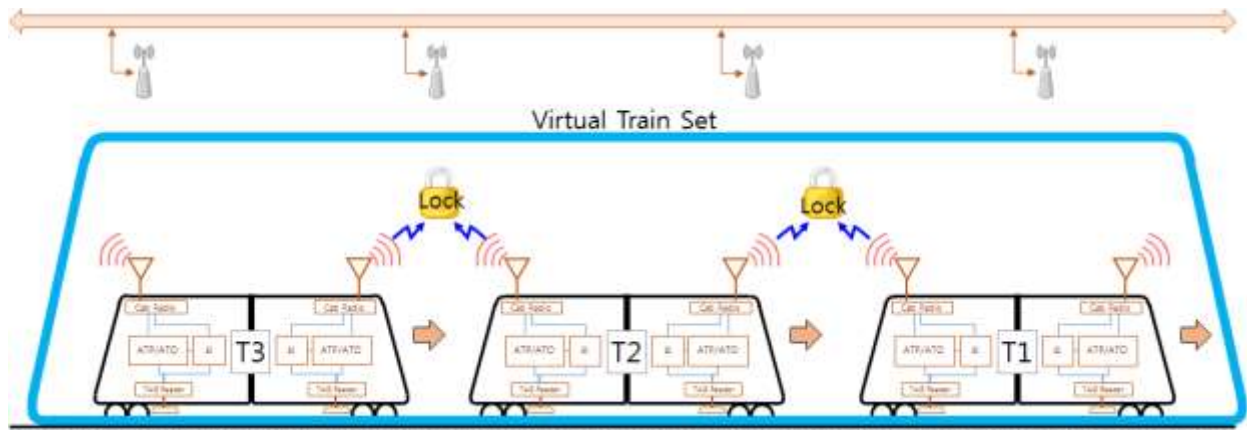
만약 곡선인 선로에서 벗어나거나 5km/h 이하의 연결속도를 초과하는 경우 연결기의 손상으로 인해 운영에 지장을 주게 된다. 이와 같은 이유로 열차의 편성조성은 대부분이 기지 내에서 수작업으로 이루어지며 연결과 분리에 많은 시간이 소요되며 인적 오류로 인한 사고가 빈번하게 발생된다. 기존의 열차제어시스템에서 열차의 편성은 독립적인 선로주행 단위으로써 편성과 편성사이에는 안전간격(safe interval)이 존재하게 된다. 안전간격은 주행속도의 제곱에 비례하기 때문에 주행속도가 높을수록 열차간 이격거리는 증가하여 선로의 용량을 저하시킨다.



[그림 1.6] 기존 열차제어시스템에서 선행열차와 후행열차간 안전간격

열차자율주행기반 가상열차편성(Virtual Train Set) 기술은 주행중 열차편성간 결합과 분리를 물리적 커플러(coupler)에 의존하지 않고 주행 중 선행열차와 후행열차 간 분리 결합을 수행할 수 있는 열차간 직접통신 및 제어기술을 의미한다. 열차사이의 안전간격을 줄이기 위해서 선행열차의 프로파일을 수신함으로써 해당 열차의 제동거리를 활용하여 열차간 직접통신 거리 내로 안전간격을 단축시킨다. 안전간격을 단축시킴으로써 열차간 직접통신 거래 내에 선행열차와 후행열차가 주행 중인 경우 선행열차와의 직접통신을 통해 열차의 프로파일 뿐만 아니라

추진제동 명령을 실시간으로 수신함으로써 제어의 불확실성을 최소화하여 안전거리를 최소화한다. 가상 연결된 편성간 간격에 열차의 제동거리가 반영되지 않았으므로 가상 연결된 열차의 편성은 하나의 가상열차로 간주되어 편성간 안전간격을 크게 줄이면서 운영이 가능하다.



[그림 1.7] 열차간 간격제어를 통한 가상열차편성

다. 열차간 협업기반 상황인지/판단 제어 기술개발

열차는 정시성을 보장하는 대중교통이므로 모든 열차는 정차하는 역마다 도착시간이 정해져 있다. 뿐만 아니라, 열차가 이동하는 주행경로 또한 사전에 정해져 있으며 이러한 정보는 노선의 관제에서 열차로 제공하게 된다. 즉, 관제의 ATS⁴⁾는 노선의 모든 열차의 상태를 감시하고 정시성을 보장하기 위한 스케줄과 열차의 이동 경로를 포함한 진로 정보를 제공한다.

종래에는 사전에 정의된 고정된 형태의 데이터를 기반으로 열차의 스케줄과 이동경로를 포함한 진로정보를 관제의 ATS에서 지상 EI로 제공함으로써 열차의 운행을 감시하고 제어하였다. 스케줄을 관리하기 위해 관제의 운영자는 열차의 기관사와 음성통신을 통해 다음 정차에 있어서 정시성을 유지하도록 지령을 보내며 출입문 개폐시간 또는 역 출발시간을 조정하는 등의 일련의 작업을 관제의 운영자 또는 기관사의 수작업에 의해서 행해진다. 열차의 이동경로 또한 정해진 이동경로 내에 선로의 일부가 파손 또는 고장열차에 의해서 점유되고 있는 상황인 경우 더 이상 고정정보에 의한 자동경로 설정이 불가능하므로 관제 운영자의 개입이 불가피하다. 따라서 운영자의 수작업에 의한 인적오류로 인한 2차 사고의 위험성이 높으며 신속한 대응이 불가능하다.

열차자율주행기반 스케줄링 및 경로설정 기술개발은 관제 ATS 및 운영자의 개입 없이 열차 스스로 열차의 정시성을 유지하고 최적의 경로설정이 가능한 자율협업기반의 상황인지 및 판단기술과 스케줄링 및 동적경로 설정기술, 그리고 상황인지 정보전달을 위한 네트워킹 기술을 의미한다.

철도에서 가능한 사고 및 고장정보는 크게 열차내 사고 및 고장정보, 선로 사고 및 고장정보, 기타 재난정보로 분류할 수 있다. 이러한 정보는 다양한 종류의 감지설비를 통해 구현이

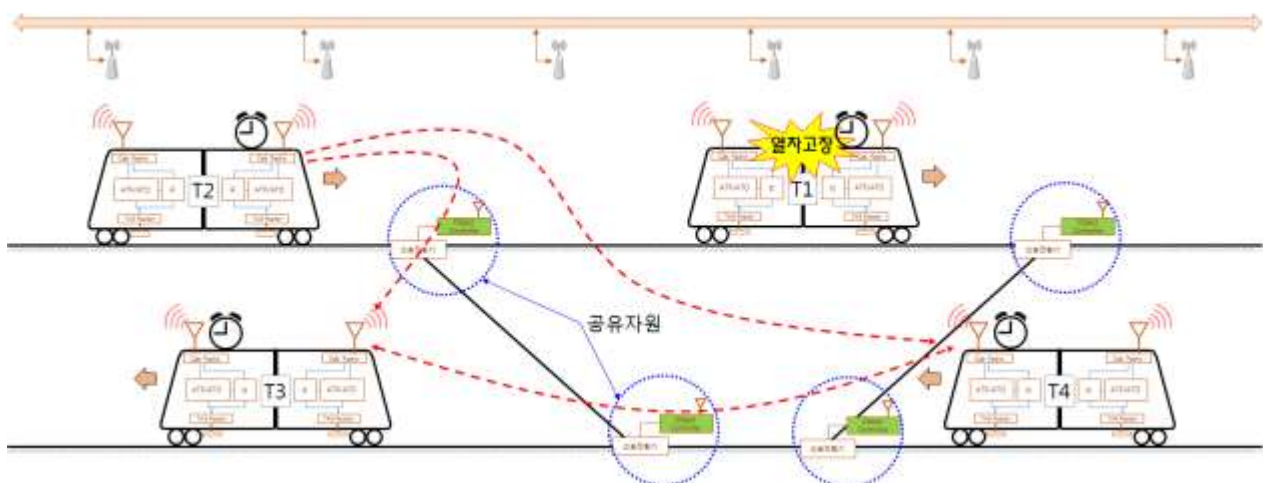
4) Automatic Train Supervision: 자동열차감시

가능하며 해당 정보를 열차가 유동적으로 수신 가능하도록 표준 인터페이스를 제공한다. 또한 수신된 정보를 통해 상황을 인지하고 열차 스스로 안전한 열차운행이 가능하도록 제어하고 또 스케줄과 경로를 판단한다.



[그림 1.8] 열차자율주행기반 스케줄링 및 경로설정 개념

열차 T3의 전방에 사고구간이 발생된 경우 T3는 주변열차와의 협업을 통해 자신의 주행경로를 스스로 우회함으로써 사고로 인한 운행지장을 최소화 할 수 있다.



[그림 1.9] 열차자율주행기반 스케줄링 및 경로설정 개념

2절 기술개발의 필요성

1. 기술개발의 배경

오늘날 전 세계적으로 철도 이용자 및 운영자들은 극심한 혼잡도, 설비 유지보수비용 증가, 첨단 IT의 접목에 대한 요구 등 다수의 문제에 직면해 있으며 이를 해결하기 위해 다음과 같은 사항을 고려한다.

- 교통 혼잡도(최대 수송량에 도달한 기존시스템 한계)
- 높은 수송력
- 높은 안전성 수준
- 정시성 향상
- 탄력적이고 높은 신뢰성 수준
- 최신 IT 기술의 접목요구

이러한 철도 이용자 및 운영자의 요구사항에 대응 하는 주요 접근법은 아래 표와 같이 정리할 수 있다.

[표 1.2] 기술적 해결방안

	승객 및 운영자의 요구					
주요 접근법.	수송력 증대	안전성 향상	운영 및 편의성 향상	탄력적 운행	혼잡도 개선	IT 기능 최신화
신규 열차제어시스템 개발 (열차자율주행시스템)	F	F	F	F	F	P
신규 열차개발	P	P	P	F		P
지능형 교통 시스템	P		P			F
승객 유동량 해석	P				F	
운전모드 변경	F		F			
승강장/차량 연장(증설)	F					

※ F=요구를 완벽히 다룸, P=요구를 선택적 혹은 부분적으로 다룸

언급된 모든 접근법 중에서 신규 열차제어시스템(열차자율주행제어시스템)에 대한 개발이 이용자 및 운영자의 요구사항에 가장 부합하는 기술임을 확인할 수 있다.

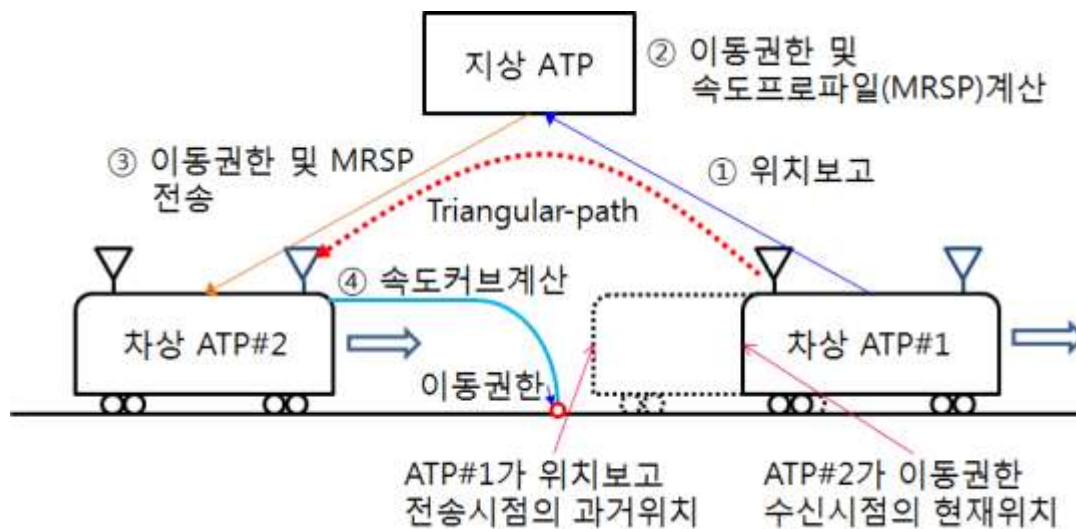
2. 수송능력(Capacity) 측면

가. 차상 중심으로의 제어 패러다임 변화 필요

- 기존의 CBTC와 같은 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시격을 90초까지 단축 가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시격의 단축에 있어서 한계를 가짐.

<< 한계 극복을 위해서는 제어 패러다임의 변화가 필요!! >>

- 아래 그림과 같이 ①선행열차의 위치보고를 지상 ATP가 수신하여 후행열차의 ②이동권한과 속도프로파일(MRSP⁵⁾)을 계산하고 ③계산된 이동권한 및 MRSP를 후행열차로 전송하여 열차간격을 제어하는 방식으로써 후행열차가 수신한 이동권한은 이미 triangular-path를 통한 과거의 선행열차 위치가 반영된 결과이므로 이로 인해 간격제어에 한계가 발생함.

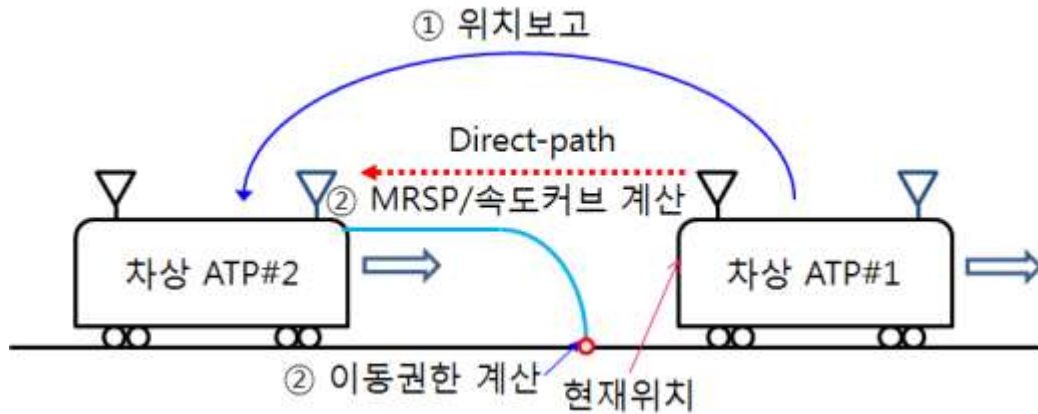


[그림 1.10] 기존 지상중심 열차제어시스템 열차간격제어경로(Triangular-path)

- 이를 개선하기 위해서는 선행열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함.
- 기존의 지상중심 열차제어시스템의 최소 열차운전시격을 90초라 할 때 신규 열차자율주행시스템은 선행열차와 후행열차 간 direct-path를 통한 열차자율주행제어기술로 열차운전시격을 60초⁶⁾까지 단축이 가능함.

5) Most Restrictive Speed Profile: 가장 제한적인 속도프로파일

6) Alstom Urbalis Fluence, <http://www.alstom.com>



[그림 1.11] 신규 열차자율주행시스템에서의 열차간격제어경로 (Direct-path)

나. 열차 편성간 안전간격의 획기적인 단축 필요

- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 후행열차와 선행열차 간 충돌방지를 위해 반드시 확보해야하는 안전간격의 대부분은 열차의 제동거리이며 열차의 속도가 높을수록 확보해야하는 안전간격이 증가하여 노선의 수송량 증대에 한계가 발생함.
- 따라서 열차 편성 간 안전간격을 열차의 제동거리 이하로 줄임으로써 노선의 수송량을 극대화 할 수 있도록 주행 상황에서 자유로운 열차편성간 가상연결 및 분리 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.



[그림 1.12] 열차편성간 가상연결 제어

3. 설비투자비 (Cost) 측면

가. 차상중심의 열차제어를 통한 지상설비 최소화

- 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상 ATP, EIS 등의 지상설비가 반드시 필요하며 지상에서 관할 영역의 모든 열차를 관리하게 되므로 일정 수의 투입열차 이상에서는 처리용량에 한계가 발생됨. 따라서 일정구간 또는 처리용량에 따라 설비의 증설이 필요함 (IEEE 1474.1 CBTC FRS⁷⁾의 경우 지상 ATP 최대 처리용량을 10에서 40편성으로 규정하였으며 이를 초과시 지상 ATP를 증설하여야 함).

7) Functional Requirement Specification: 기능요구사항

- 기존 지상중심 무선통신열차제어시스템의 지상 ATP, EI 등의 지상설비 없이 열차간 제어정보 교환을 통해 안전한 열차운행이 가능한 열차자율주행기술개발이 필요함

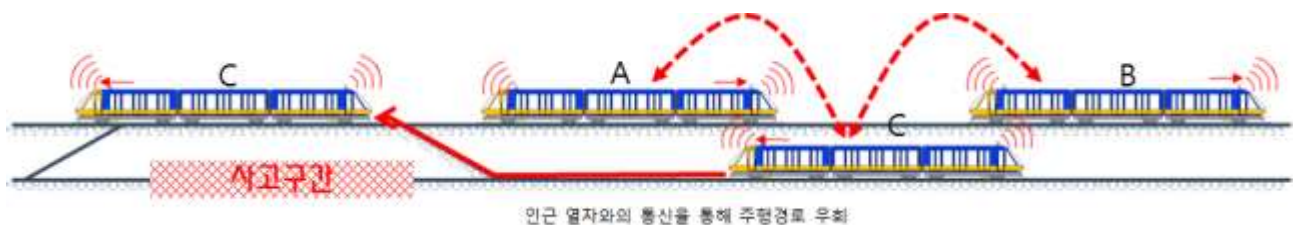
4. 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면

가. 열차 편성간 자유로운 연결과 분리를 통한 유연한 수송수요에 대응필요

- 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상제어시스템의 처리 용량으로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성 또한 열차와 열차사이 연결과 분리는 물리적 연결기를 통해서만 가능하여 유동적인 수송수요에 대응하기 어려운 구조임.
- 특히 기존의 물리적 연결기의 경우 선행열차가 정차된 상태에서 후행열차가 접근하여 연결기간 접촉에 의해서 연결이 이루어지게 되며 속도 5km/h 이상에서는 연결기가 파손될 수 있기 때문에 엄격한 운영절차에 의거하여 운영자의 수신호 등의 수작업에 의해서 연결과 분리가 이루어지고 있는 상황임. 또한 연결과 분리에 상당한 소요시간이 발생되며 운영자 인적 오류에 의한 사고발생이 빈번하게 발생됨.
- 따라서 노선의 확장 또는 투입열차의 증대 및 유동적인 수송수요 등의 운영상의 변화에 대응이 가능하도록 주행 중 가상 연결기(virtual coupler)를 통해 열차 간 편성의 연결과 분리가 자유로운 열차자율주행 기술개발이 필요함.

나. 열차간 협업기반 상황인지 및 판단을 통한 신속한 대응 필요

- 기존의 지상중심 열차제어시스템의 경우 열차의 운행 중 사고 및 고장 등의 이례상황 발생 시 관제의 운영자가 수동으로 열차 운행을 조작함으로써 신속한 대응이 불가능하고 인적오류의 위험이 존재함.
- 따라서 주행상황에서 발생되는 여러 가지 이례상황 발생 시 열차 간 자율협업기반 상황인지 및 판단을 통해 열차 스스로 자신의 주행경로를 재설정하여 정시성 보장 및 스케줄을 준수하기 위한 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.



[그림 1.13] 열차자율주행기반 스케줄링 및 동적 경로생성

다. 이동편의성 향상을 위한 실시간 수요대응 필요

- 개인 이동성 향상 중심의 대중교통(철도 및 버스) 발전방향 부각



[그림 1.14] 개인 및 대중교통 이동성 향상 방향

- 장래 철도 이용자들의 통행패턴(Future Mobility)은 개인적 만족(Personalization)의 극대화를 위한 맞춤형 (On Demand) 서비스를 추구하는 방향으로 형성될 것으로 전망



[그림 1.15] 개인 및 대중교통 이동성 핵심어

- On Demand 서비스 : 승객이 원하는 시간 및 원하는 장소에 빠르고, 편하고, 안전하게 여행하는 서비스
- 실시간 개별적 수요에 대응하기 위한 가변편성 및 자율주행 운영체계를 수용하기 위해서는 스마트 스케줄링 시스템 및 이와 연계된 스마트 관제시스템 개발은 필수적 요소임
- 열차간 통신기반 자율주행 운영체계를 감안한 반영하기 위해서는 자동화율이 95%이상으로 실시간에 가까운 열차 스케줄링 기술이 필요
- 현재 노선상에 운행하는 열차 중심의 관제시스템은 이례사태 발생 이후 장래 상황에 대한 예측 능력 부족으로 신속한 상황종료가 어려움. 스마트 관제기술은 가변편성 및 자율주행 운영체계에서 이례사태 발생시 스케줄 동기화, 이탈에 따른 열차시각의 최적 조정 및 승객 환승 조정

5. 기술개발을 하지 않았을 경우 발생하는 문제점

- 인구의 도시집중화가 지속되고 있으며 통계학자들의 예측에 따르면 2030년에 전세계 인구의 60%가 도시에 집중하게 되며 이로 인해 도시와 도시 간 또는 도시내에서 철도 이용객의 증가가 요구됨.

※ 출처: United Nations, World Urbanization Prospects: The 2005 Revision (2006) and Carl Haub, 2007 World Population Data Sheet.

- 하지만 현재의 열차제어시스템은 지상중심의 제어방식으로 인해 일정 수준이상의 수송력 증가에는 한계가 발생되며 결국 막대한 비용을 투자하여 노선 증축이 필요한 상황임.
- 현재의 열차제어시스템은 지상중심의 제어방식이므로 지상제어설비의 구축비용이 상대적으로 크며 노선의 증축 또는 추가 열차 투입이 발생하는 경우 지상제어설비의 증설이 불가피함.
- 열차의 분리결합시 운영자 수동 취급으로 인한 시간소요와 사고발생 위험성이 증가됨.
- 열차의 운영중 이례상황 발생시 운영자 수동취급으로 인한 2차사고 발생의 위험성이 증가됨.
- 지선의 열차투입이 상대적으로 적음으로 인해 승객의 편의성 저하
- 새로운 열차제어시스템은 단기간에 개발이 어렵기 때문에 적기에 기술개발을 하지 않았을 경우 국외의 선진 제작사의 기술종속이 불가피하며 막대한 구축비용 및 유지보수비용이 발생함.

6. 4차 산업혁명과의 연계성

가. 4차 산업혁명 기술

4차 산업혁명은 로봇 공학, 인공 지능, 나노 기술로 규정지을 수 있으며 이러한 기술은 수십억 명의 사람들을 계속해서 웹에 연결하고 비즈니스 및 조직의 효율성을 획기적으로 향상시키며 더 나은 자산 관리를 통해 자연 환경을 재생산 할 수 있는 커다란 잠재력을 가지고 있다. 4차 산업혁명의 주요 기술을 Consumer Electronics Show에서 다루어진 기술을 중심으로 언급하면 다음과 같다.

- 인공지능(AI) : 작게는 장치가 더 똑똑해져서 나의 생활 패턴을 이해하고, 스스로 알아서 동작하는 약한 인공지능부터, 생태계 전체의 생활 및 환경으로부터 최적의 해법을 제시하는 강한 인공지능을 이용하여 인간의 생산성을 최대한 올려주는 기술임
- 로봇공학 : 사람을 도와주는 로봇(예 청소 로봇; 노인 보조 로봇 등)에 의해 사회 전체의 생산성을 높여주는 기술임
- 양자암호 : 기존에 있던 대부분의 암호체계가 대부분 수학적 복잡성에 기반하는데 비해, 양자암호는 자연현상에 기반하고 있는 특징을 띄며, 암호에 사용되는 원타임 패드를 생성하는 이상적인 암호기술임
- 사물인터넷 : 실생활에 해당하는 offline의 모든 정보를 online으로 넘기는 O2O를 통해, 인공지능을 이용한 최적의 해법을 제시하고, 시행하게 하여 생산성을 최대한으로 올리는 기술임
- 무인운송수단 : 인간이 운전을 직접 하지 않음에 의해 그 사이에 다른 일을 더 할 수 있고, 안전하게 이동할 수 있기에 생산성을 높여주는 기술임
- 3D Printing : 대부분 자기에게 맞지 않는 기성품을 구입하여 그 기성품에 맞추어 제작/

생활해왔으나 이제는 개인 맞춤형 시대로, 3차원 프린터를 이용하여 싸고 빠르게 본인에게 맞는, 본인만의 장치를 만들 수 있도록 해주는 기술임.

- 나노기술 : 나노 기술은 의학, 전자 공학, 생체재료학 에너지 생산 및 소비자 제품처럼 광대한 적용 범위를 가진 새로운 물질과 기계를 만들 수 있는 기술임.
- 연결 및 표시 기술 : 연결 기술은 매체와 매체를 보다 효율적으로 연결하는 것으로, 5G와 LTE(4G) 등이 있음. 그리고 눈으로 보는 표시 기술은 고정형으로 보는 UHD-TV와 이동형으로 보는 VR, AR등이 있으며, 이를 통해 좀 더 빠르게, 좀 더 편리하게, 좀 더 많이 접속(access)할 수 있어 생산성을 향상시킬 수 있음.

나. 4차 산업혁명과 지능형 열차자율주행시스템과의 연계성

- 인공지능(AI)
 - 지능형 열차자율주행시스템은 열차의 인지와 판단능력을 부여함으로써 지능화된 열차와 이들 열차간의 협업을 통해 수송력, 비용절감, 편의성 및 안전성 향상을 목표로 함.
 - 특히 열차 스스로 전방상황을 인지하고 안전하고 편리한 주행여부를 판단하여 제어하는 기술을 개발하고자 함.
- 사물인터넷
 - 지능형 열차자율주행시스템은 열차내 여러 센서 또는 모니터링 장치와 통신을 수행할수 있으며 선로변의 여러 센서 또는 모니터링 장치와 정보를 주고 받을 수 있기 때문에 4차 산업의 주요기술 중 하나인 사물인터넷과 연관이 있음.
- 무인운송수단
 - 지능형 열차자율주행시스템은 열차의 무인자동운전을 넘어서 무인자율운행을 목표로함. 즉, 열차의 기관사가 없는 무인자동운전을 넘어서 관제 운영자의 수동적인 제어에 의존하지 않고 열차 스스로 주행에 필요한 판단을 수행하기 때문에 무인운송수단과 밀접한 연관이 있음.
- 연결기술
 - 지능형 열차자율주행시스템은 열차와 선로변 설비간, 열차와 열차간 효율적인 정보전달 체계를 개발하고자 하므로 4차 산업혁명의 연결 기술과 연관이 있음.

제2장 국내외 동향 및 환경분석

1절 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

가. 제3차 과학기술기본계획('13~'17)

- (1. ICT 융합 신사업 창출) 1)SW 인터넷 신산업 창출: 하드웨어, 제조업에서 SW, 지식서비스 등으로 급격히 이동하고 있는 산업 패러다임의 변화에 대응
→ 기존의 HW 중심의 중앙집중식 제어패러다임에서 SW 중심의 분산처리 기반의 차세대 열차제어기술과 정보보안기술 개발을 통한 열차제어 패러다임의 근본적인 변화와 고부가가치 시장진출 가능
- (1. ICT 융합 신사업 창출) 4)스마트 물류·교통시스템 구축: 기존 교통체계와 첨단 ICT 기술의 접목을 통해 교통시스템의 편리성 향상 및 안전성 확보, 철도 등 국가 기반 인프라 구조물의 효율적 관리·운영을 위해 경제성 있는 최첨단 인프라로 개선
→ 열차간 통신기반 열차자율주행이라는 최선의 ICT 기술 접목과 지상설비 제거를 통한 인프라 구조물의 경제성 확보

나. 국정과제('13.5.28)

- (10. 교통체계·해운 선진화 및 건설·원전사업 해외진출 지원) 교통체계 선진화: 철도 병목구간 개선, 혼잡권역 고속도로망 확충, 대도시권 광역철도망 구축
→ 운전시각 향상을 통한 철도병목구간 개선가능

다. 건설교통 R&D 중장기계획안('13~'17)

- (1. 지구온난화에 대비한 에너지·자원의 효율적 이용) 철도시스템 성능 및 수송력 향상
→ 운전시각향상을 통한 수송력 향상가능
- (3. 미래 경제가치 창출) 철도 운영 효율화 및 에너지 비용 저감을 통한 경제가치 실현
→ 지상설비 제거를 통한 비용절감 가능
- (4. 융복합 첨단기술 확보) 세계시장 선도 첨단 교통물류 원천기술 확보
→ 첨단 열차자율주행시스템 핵심기술에 대한 원천기술 확보가능

라. 국토교통과학기술진흥원 미래철도기술 로드맵 2040('15.1)

- (3. 대용량·고밀도·고속화 기술) 고밀도 열차제어운영 및 대용량 여객·화물 수송에 대한 기술

- 운전시각 향상을 통한 고밀도 여객·화물 수송가능
- (5. 저비용 건설·제작 기술) 저비용의 신개념 철도 인프라 건설기술
 - 지상설비 제거를 통한 저비용의 신개념 인프라 기술

2. 국외 정책동향

가. 영국의 철도기술 정책

2009년 영국정부(교통부)는 30년 후에도 철도가 지속적인 성장을 하기 위한 비전을 담은 백서 "Delivering a Sustainable Railway" 작성하였다. 영국정부는 4C(Capacity, CO2, Customer, Cost)를 철도가 지속적으로 성장·발전하기 위한 핵심적인 요구조건으로 정하고, 30년 후인 2040에 달성하여야 할 도전적 4C 목표를 다음과 같이 설정하였다.

[표 2.1] 영국 철도기술의 지속성장을 위한 핵심 요구조건과 도전목표

핵심 요구조건	내용	도전적 목표(2040)
용량확대 (Capacity)	증가하는 철도수요를 수용할 수 있도록 용량 확대	필요 노선의 용량을 100%P 증가
탄소배출량 저감 (CO2)	철도산업 전반의 탄소배출량 저감	‘50년까지 50% 감소 (정부목표)
고객만족 (Customer)	지속적으로 늘어나는 고객들의 안정성, 편안함, 안전, 보안, 정보 등에 대한 기대 충족	고객 불만요인 90% 감소
비용감소 (Cost-effective)	비용대비 효과에 대한 지속적인 개선	운영비용 50% 절감

영국 철도의 지속적 성장·발전을 위한 8대 핵심기술과제 선정하였다.

- 최적화된 궤도-열차 간 인터페이스 개발
 - 궤도의 정밀한 설계와 정확한 관리
 - 가볍지만 강한 차량 개발
 - 이를 통한 에너지 소비와 궤도 유지보수 비용 및 소음 감소
- 철도의 용량과 신뢰성 향상
 - 인프라 및 차량에 대한 세계적 수준의 신뢰성 확보
 - 궤도시설은 최소화하는 방향으로 신속히 추진 (LEAN 원칙 적용)
 - 차량과 궤도상태를 상호간에 실시간으로 모니터링 하여 장애를 예방하는 지능형 차량

및 궤도 시스템 개발

※ LEAN 원칙 : 가치와 가치흐름의 정의, 가치흐름의 생성, 가치에 대한 고객의 요구, 완벽 추구의 5 원칙을 통하여 목표 달성기간을 신속하게 50% 감축하는 프로젝트 관리 기법

- 단순하고, 유연하고, 정확한 제어 시스템
 - 통신기반의 차상신호시스템 도입을 통하여 인프라의 유연성을 높이고, 복잡성과 비용 저감
 - 지능형 네트워크 관리시스템 구축과 정밀한 열차제어를 통하여 네트워크 전체의 에너지 효율 향상과 네트워크 잠재용량 극대화
- 최적화된 견인력과 에너지
 - 모든 열차에서 회생제동 시 발생하는 전기 에너지는 전차선을 통하여 다른 열차가 이용하도록 하거나 열차 내 에너지 저장장치에 저장하여 손실 없이 재사용
- 안전, 보안, 건강에 대한 통합적인 관리
 - 시스템의 모든 영역에 대하여 방해나 침입, 비정상적인 행동에 대한 개선된 탐지능력과 보다 향상된 보안 및 안전관리
 - 승객의 건강을 고려한 차량 내장재 선정 및 관리
 - 차량과 승강장, 대합실에 대한 공조 및 공기질 관리
- 승객중심의 운영
 - 예약 및 발권, 고객흐름, 열차위치, 차내 혼잡상태 등 열차이용 전반에 걸쳐 고품질의 실시간 정보 수집 및 제공
 - 수집정보를 이용하여 이례상황에 대한 신속한 검지와 최적화된 시스템 대응
- 자산의 합리화, 표준화
 - 차량 및 인프라에 대한 모듈화와 기성품 사용 확대, 표준화 등을 통하여 비용관점에서 산업 전반에 대한 합리성 향상
- 차별적 기술기준과 표준화
 - 교통형태와 수요에 따라 비용대비 효율이 최적화 되도록 여객열차와 화물열차의 상호 운용성 확보

나. 프랑스의 철도기술 정책

(1) 프랑스 철도산업의 과제

- 철도차량 설계(모델링, 신 재료, eco-design)와 유지보수, 교육훈련 측면에서 경쟁력 확보
- 내수와 수출에서 가격, 품질, 서비스 측면에서 매력적인 사업제안기술 개발
- 에너지소비 감소, 대기오염 감소, 전자기파와 소음진동 등의 환경오염 감소기술 개발

- 기차여행의 만족도(소음, 안전, 위험성, 지연, 정보 등) 향상을 위한 기술 개발

(2) 프랑스 철도기술 및 서비스에 대한 로드맵

- 철도차량 설계(모델링, 신 재료, eco-design)와 유지보수, 교육훈련 측면에서 경쟁력 확보
- 각 분야 전문가들이 모여 철도분야에 대한 기술과 서비스에 대한 중기(2020년)와 장기(2050년) 과제 도출

(3) 철도산업의 중기(2020년) 과제

- 철도로 승객이 유입될 수 있도록 철도의 매력도 향상 기술
- 철도 승객을 늘리기 위한 첫 번째 과제는 철도의 용량 증대

철도산업의 장기(2050년) 비전에 가장 영향을 많이 미치는 핵심적인 요인으로 다음 두 가지를 선정

- 철도 네트워크에 대한 접근성
 - 국가별 기술적 특성
 - 법과 규정을 통한 제약
 - 경제적 장벽 등
- 철도 운영방식(통합 또는 상하분리)
 - 미국, 캐나다, 중국, 한국 등과 같이 상(서비스 운영자) 하(인프라 관리자)가 통합된 형태의 운영체제
 - 유럽 국가들처럼 인프라관리와 철도운영, 시장이 분리된 형태의 운영체제
 - 유럽위원회에서 제안한 방식으로 인프라와 운송서비스가 법적으로 분리된 형태의 운영체제

다. 미국의 철도분야 연구개발 정책

(1) 철도교통 부문 개발방향

- 미 연방철도국은 철도 시스템의 안전성 향상에도 불구하고 많은 종류의 사고가 발생하고 있어, 철도사고와 사상자를 획기적으로 줄이는 것을 목표로 전 기술 분야에서 안전문제를 검토
- 연구개발 계획에서도 안전규정 절차에 대한 개발을 우선적으로 지원

(2) 추진전략

- 철도 안전은 종사자, 하부구조물, 장비, 제어시스템, 교차로 등 여러 요인과 연결되어 있

으므로 이러한 복합적인 문제 해결을 위한 연구, 해석, 모의시험, 현장시험 등에 대해 우선순위를 두고 다음과 같이 10가지 연구 분야 제시

[표 2.2] 미국의 철도분야 연구개발 프로그램

연구분야	연구내용
철도시스템 문제	안전 연구개발 필요성에 영향을 주는 철도산업 내 기술/운영 개발 화물, 통근, 도시 간 여객 및 고속철도 시스템 안전문제 철도시스템의 물리적 안전 및 사이버 상의 안전 철도운영과 관련한 환경문제
인적요인	운영업무는 구내, 터미널 및 차량 운영에서의 인적 요소 사고를 줄이기 위한 기관사, 시각 및 청각 경고, 건널목 차단기 및 신호기 기술 문제
차량 및 구성요소	지상 및 차상검지를 통한 장비결함 검지/제어 개발, 성능향상 탈선, 장비결함, 예기치 않은 비상정지 사전예방
궤도 및 구조물	기반시설의 고장과 관련된 사고, 사상, 부상, 재산손실을 줄이기 위한 안전기준 최고수준의 유지보수, 검사 및 운영업무에 관한 분석적이고 기술적인 기준
궤도-차량 간 동적 안전성	궤도구조 및 철도차량 현가시스템의 비정상적 상호작용으로 인한 탈선위험을 평가하는 실험적 분석방법의 개선 고하중 및 고속상태에서 최적의 차륜-레일 접촉 및 대차 조향장치가 가능하도록 선로마모 또는 마찰에 대한 개선기준 철도차량/궤도시스템의 동적 인터페이스 모델링 및 시험을 위한 S/W 개발
열차제어	열차제어를 통한 원활한 소통, 위험분석, 테스트 및 평가, 개발지원 시스템
건널목 안전	고속도로와 철도교차로의 기술적 측면 평가 방법론, 시각 및 청각적 경고, 전동차 및 차량 존재 검지, 건널목 구조, 건널목 차단기 및 신호기, 국가 ITS 표준 개발
위험물질	탱크차 운영 및 사고환경을 확인하기 위한 사업 향상된 공학 디자인의 수학적 모델링 및 유효성 평가 및 개발 민감성, 정확성, 적시성 및 응용성에 대한 피해 평가지침 미연방 철도국에 검사 및 유지보수 기준 제공
승무원 및 승객보호	기관차 충돌 및 인테리어 안전, 사고 시 승객 및 승무원 희생 최소화 시스템 안전 및 화재 예방 도시 간 승객 및 통근열차 서비스의 안전성 향상
연구개발 시설 및 장비	전체 철도관련 연구목적을 달성하기 위한 시설 및 장비의 획득, 업그레이드 및 유지보수

3. 정책동향 분석 시사점

국내의 경우 여러 정책동향에서 추구하는 목표는 철도와 첨단 ICT 기술을 접목하여 비용절감과 수송력 향상 그리고 안전성과 편리성 향상으로 볼 수 있다. 한편 국외의 경우 미래 철도 기술에서 수송량 향상과 승객 중심의 서비스 향상 그리고 비용절감은 공통된 중장기적 목표임을 확인할 수 있다.

열차제어시스템 기술은 기존의 지상/전기/HW 중심의 열차제어기술에서 차상/통신/SW 중심으로 변화되고 있으며 개발하고자 하는 열차자율주행시스템 기술은 열차간 통신기반으로 완전한 차상중심의 열차제어기술로써 지능화된 열차간 협업을 통해 수송력 향상, 승객서비스 향상, 비용절감, 안전성 향상을 목표로 한다. 따라서 국내외 정책동향에서 추구하고자 하는 중장기적 목표와 부합하고 있음을 확인할 수 있다.

2절 국내외 시장현황 및 전망

1. 세계 철도 열차제어시스템 시장현황

- 세계 철도 열차제어시스템 시장은 앞으로 3.1%의 年 평균 성장률(CAGR⁸⁾)이라는 상당한 성장을 지속할 것으로 예측됨. 철도 열차제어시스템 시장의 규모는 2011년~2013년 기간에 127억 유로(약 16.3조원)로 평가되고 2017년~2019년 사이에는 150억 유로(약 19.3조원)를 초과하는 규모를 이룰 것으로 예상됨. 접근 가능한 시장은 전체 시장 중 88%에 해당하는 약 134억 유로(약 17.2조원)의 규모를 달성할 것으로 예측됨 (※ 출처 :World Rail Market forecast 2014 to 2019, Unife).



[그림 2.1] 철도 열차제어시스템의 전체 年 평균시장규모(EUR m)

- 특히 아시아 태평양 지역은 2017년에서 2019년까지 7억 7천만 유로(약 1조원)로 연간 시장 규모가 가장 높은 시장의 성장이 이루어지는 지역이 될 것으로 예측됨. 2011년~2013년 사이에 38억 유로(약 4.9조원)의 시장규모, 이것은 3.1%의 年 평균 성장률에 해당하므로 상대적으로 시장규모와 같은 속도로 성장함.
- 6.1%의 年 평균 성장률이라는 상대적으로 가장 높은 성장률을 가지는 동유럽은 연간 3.7억 유로(약 4.7천억원)까지 시장규모가 성장할 것으로 예측됨. 세계에서 가장 큰 철도 열차제어시스템 시장인 서유럽은 1.5%의 年 평균 성장률을 가질 것으로 예측됨. 그러나 그것의 시장규모는 4.34억원 유로(약 5.6천억원)의 절대연간시장규모 증가에 대응함.

8) Compound Annual Growth Rate: 연평균 성장률



[그림 2.2] 지역별 열차제어 시장의 현재 규모와 성장 (EUR m)

- 적용분야 즉, 경량전철, 도시철도, 일반고속철도의 관점에서 열차제어시스템 시장의 성장률은 모두 유사한 성장속도를 가질 것으로 예측됨. 여기서 주목할 만한 것은 도시철도에서 열차제어 제품에 대한 수요가 급격히 증가할 것으로 예측됨. 2009년~2011년을 통해 2011년~2013년 기간에 시장의 규모에서 높은 증가는 이미 달성하였고 보다 더 높은 2.8%의 年 평균 성장률을 지속할 것으로 예측됨.



[그림 2.3] 분야별 연간 열차제어 시장 발전

- 미래 시장규모의 2/3에 해당하는 대부분은 도시간 수송분야를 위한 제어시스템 제품이 줄기가 될 것으로 예측됨. 그 중 연동장치 및 ATP는 수요의 대부분을 차지할 것으로

예측됨.

- 여기서 ERTMS⁹⁾ 표준에 의해 특히 ATP 기술은 핵심적인 역할을 할 것으로 예측됨. ERTMS ATP 제품에 대한 시장은 2017년~2019년 사이 연간 약 17억 유로(약 2.1조 원)에 달할 것으로 예측됨.
- 마찬가지로 CBTC는 도시교통에서의 열차제어 및 보호를 위한 중요한 기술이 되고 있음. CBTC 시스템에 의해 열차의 정확한 위치는 기존 열차제어시스템보다 정확하다고 알려져 있으며 이는 철도 교통관리를 위한 더욱 효과적이고 안전한 방법을 가져옴. 유럽은 CBTC 공급에 있어서 선도적인 공급업체이며 전 세계적으로 도시철도 CBTC 시장은 앞으로도 확대될 것으로 예측됨.

2. 신규 개발 및 업그레이드 시장

- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 신규 개발 및 업그레이드 (New development and upgrade market) 시장은 2013년 약 74.85억 유로(약 9.631조원)이며, 2018년까지 年 평균 3.5% 증가할 것으로 예측됨(※ 출처 : Worldwide Market for Railway Industries, 2014, 독일 SCI).

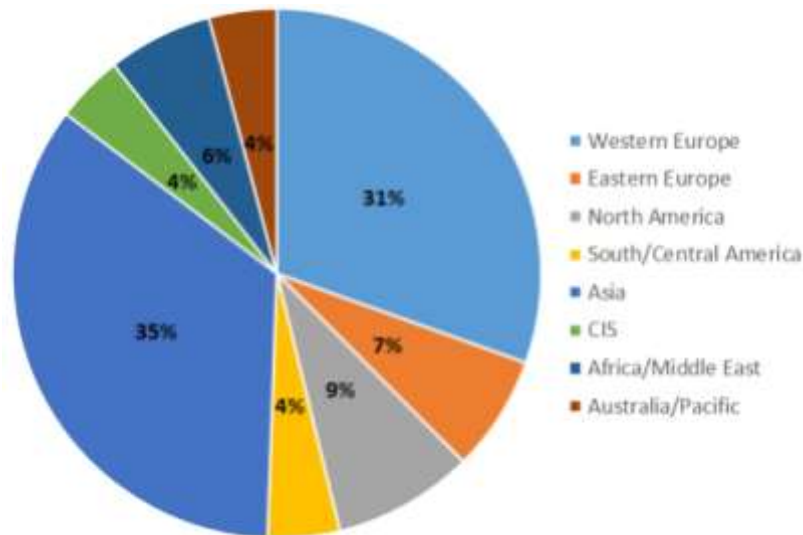
[표 2.3] Control Command and signalling (New development and upgrade Market 2013)

Region	Current Market Volume (EUR million/십억원)	연평균성장률(%) (2013~2018)	시장 변동률(%) (2013~2018)
Western Europe	2,280 (2,933)	+3.2	1.7
Eastern Europe	530 (682)	+0.3	11.9
North America	645 (830)	+4.5	14.5
South/Central America	330 (425)	-0.6	17.0
Asia	2,600 (3,345)	+3.5	2.7
CIS	310 (399)	+4.2	15.8
Africa/Middle east	480 (618)	+11.4	13.7
Australia/Pacific	310 (399)	-3.2	13.8
Total	7,485 (9,631)	+3.5	3.4

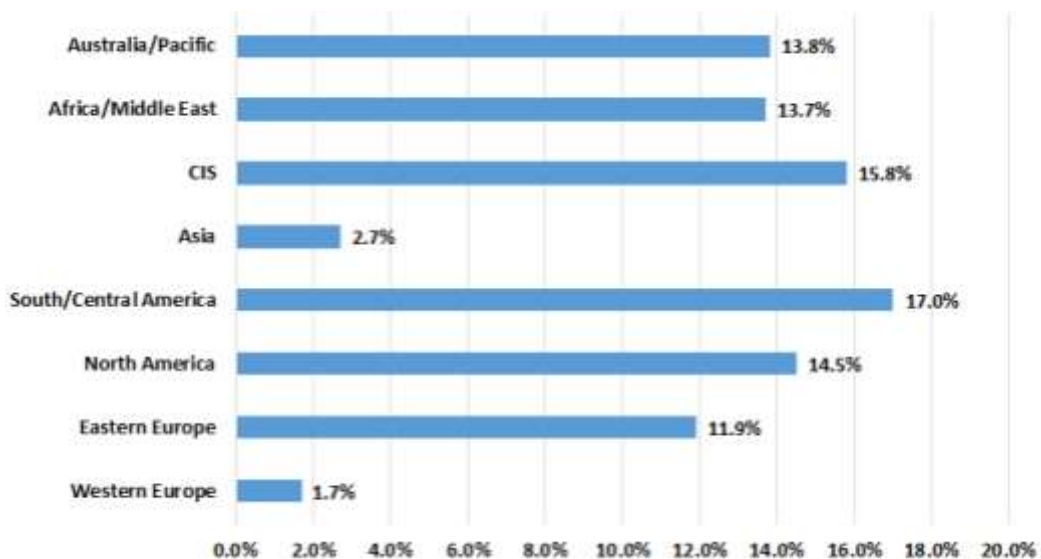
- 세부적으로 보면, 서유럽의 경우 세계시장 규모의 약 31%에 해당하며 2018년까지 年 평균 3.2% 성장을 지속할 것으로 예측됨. 서유럽과 마찬가지로 세계시장 규모의 약 7%에 해당하는 동유럽의 경우 現 시장 규모를 2018년까지 유지할 것으로 예측됨. 북미는

9) European Rail Traffic Management System: 유럽 철도 교통 관리시스템

약 9%의 시장규모를 가지며 향후 가장 높은 성장률을 유지할 것으로 예측됨. 중남미의 경우 단 4%의 규모를 가지고 있으며 점차 점유율이 하향세를 가질 것으로 예측됨. 아시아의 경우 현재 35%의 시장규모에서 앞으로도 2018년까지 年 평균 3.5% 성장을 지속할 것으로 예측됨. 아프리카와 중앙아시아의 경우 현재는 약 7% 수준의 시장규모를 가지지만 향후 가장 높은 성장세를 유지할 것으로 예측됨.

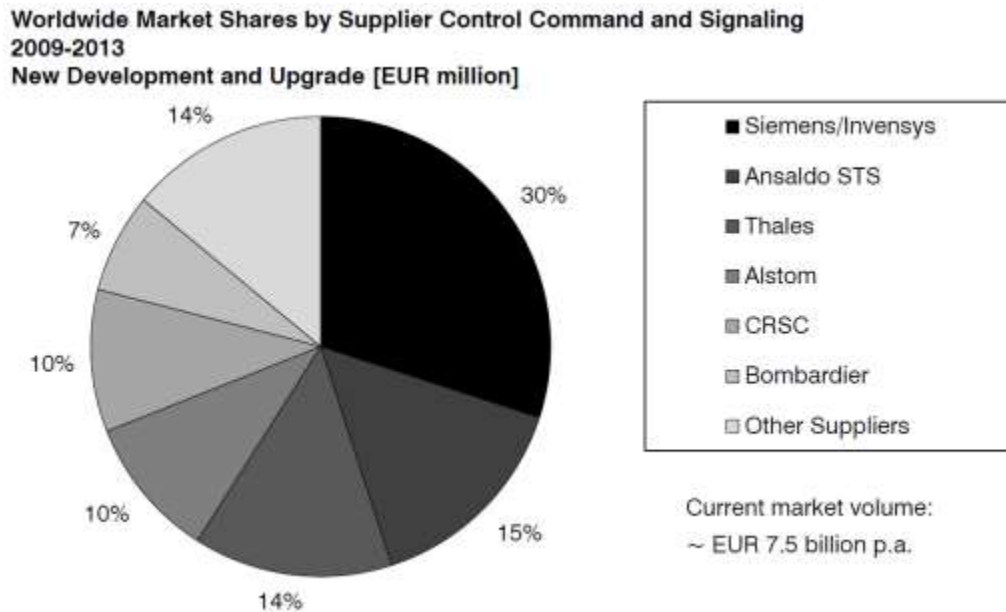


[그림 2.4] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 점유율(지역별), 신규/개량 시장 (2013)



[그림 2.5] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 성장율(지역별), 신규/개량 시장 (2013)

- 또한 신규 및 업그레이드 시장에서의 업체별 점유율을 보면 Siemens/Invensys, Ansaldo STS, Thales, Alstom 그리고 Bombardier와 같이 전통적으로 유럽과 캐나다의 전체 철도차량을 비롯한 인프라에 대한 솔루션을 보유하고 있는 선진제작사들의 점유율이 높게 나타나고 있음. 최근 중국의 CRSC는 자국 노선에 열차제어시스템을 적용하면서 점차 점유율이 높아지고 있음.



[그림 2.6] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 점유율(업체별), 신규/개량 시장 (2013)

3. 개량 및 유지보수 시장

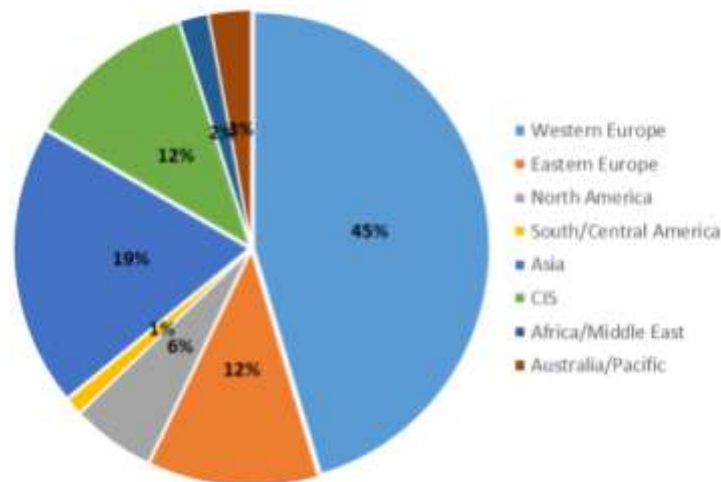
- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 개량 및 유지보수(Renewal and Maintenance) 시장의 경우 2013년 약 75.2억 유로(약 9.678조원)이며, 2018년까지 年 평균 3.0% 증가할 것으로 예측됨(※ 출처 : Worldwide Market for Railway Industries, 2014, 독일 SCI)

[표 2.4] Control command and signalling (Renewal and Maintenance Market 2013)

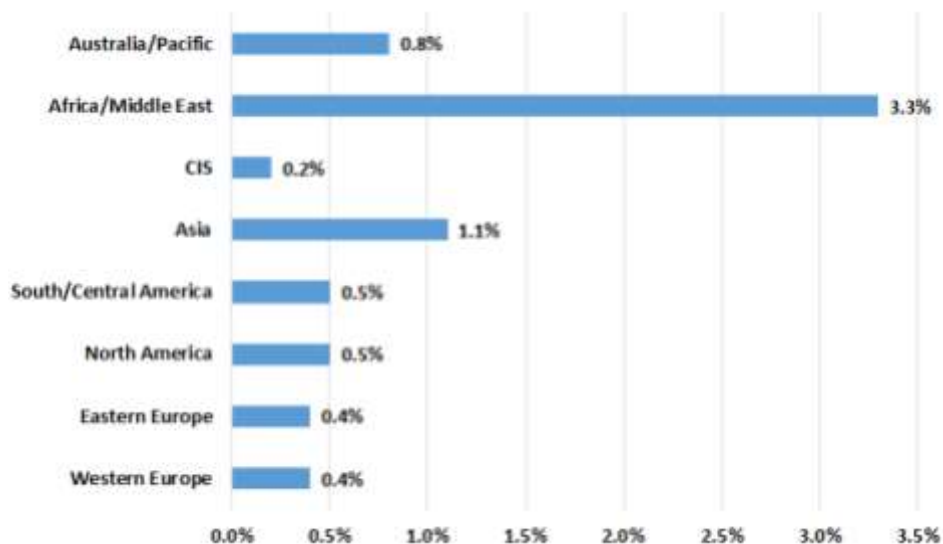
Region	Market Volume (EUR million/십억원)	연평균성장률(%) (2013~2018)	시장 변동률(%) (2013~2018)
Western Europe	3,410 (4,388)	+2.7	0.4
Eastern Europe	880 (1,133)	+2.5	0.4
North America	430 (553)	+3.4	0.5
South/Central America	90 (116)	+4.3	0.5
Asia	1,450 (1,866)	+3.9	1.1
CIS	880 (1,133)	+2.4	0.2
Africa/Middle east	150 (193)	+5.0	3.3
Australia/Pacific	220 (283)	+2.9	0.8
Total	7,520 (9,678)	+3.0	0.5

- 세부적으로 보면, 서유럽의 경우 전세계 개량 및 유지보수 시장의 45%를 차지하며

2018년까지 年 평균 2.7% 성장을 지속할 것으로 예측됨. 동유럽의 경우 현재는 12% 수준의 시장규모가 매년 2.5% 성장을 지속할 것으로 예측됨. 북미의 경우 2018년까지 매년 3.4% 정도 시장규모가 커질 것으로 예측되며, 중남미의 경우 매년 4.3%의 성장으로 높은 성장이 예측됨. 아시아의 경우 현재 시장규모는 약 19%정도 이지만 앞으로 3.9%에 달하는 높은 성장을 지속할 것으로 예측됨. 아프리카와 중앙아시아의 경우 현재 시장규모는 2% 수준이지만 향후 2018년까지 매년 5.0%의 가장 높은 성장이 예측됨.



[그림 2.7] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 점유율(지역별), 유지보수/교체 시장 (2013)



[그림 2.8] 철도 신호통신 분야 전세계 시장 성장율(지역별), 유지보수/교체 시장 (2013)

4. 서유럽철도 CBTC 시장

- 유럽 도시철도 CBTC 시장은 성장기(Growth)에 있으며 총 350km 구간에서 운영되고 있음. 시장 규모는 2011년 9.9억 유로에서 2021 까지 年 평균 14.4%씩 높은 성장을 통해 35.9억 유로 수준까지 증가할 것으로 예측됨. CBTC 구축에 km당 120만 유

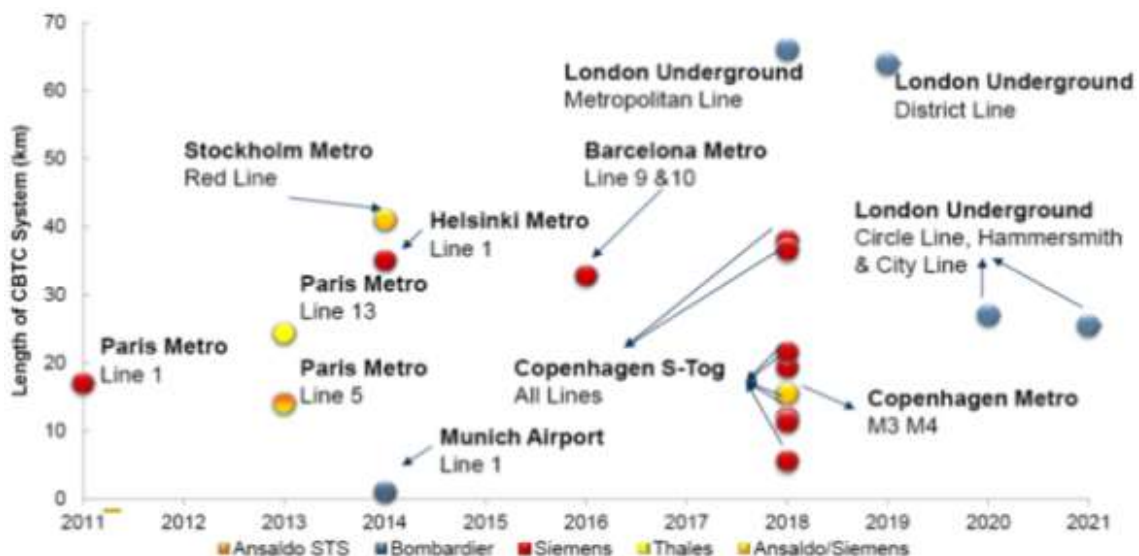
로~470만 유로가 소요되며, 평균 240만 유로가 소요되는 것으로 추정됨(※ 출처 : Strategic Analysis of CBTC in the Western European Urban Rail Market, Frost & Sullivan, 2013).

MEASUREMENT NAME	MEASUREMENT	TREND
Market Stage (Nascent, Growth, Mature)	Growth	—
Market Value	€993.0 Million	▲
Market Volume (Total Length Operational, 2011)	350 km	▲
Average Price per km*	€2.4 Million	▲
Market Value at End of Forecast Period (2021)	€3.59 Billion	▲
Base Year Market Growth Rate	N/A	—
Compound Annual Growth Rate (CAGR) Total Operational Network Length, 2011–2021	14.4%	—
Market Concentration (% of base year market controlled by top three competitors)	78.3%	▲
Number of Competitors (active market competitors from 2001–2011)	6	▼
Average R&D Spend by Product	N/A	—

TREND Decreasing Stable Increasing
 *Signalling has a very custom approach. Each contract has to be tailored accounting for various factors. CBTC prices vary from €1.2 to €4.7 million per km. Hence we assume average cost of €2.37 million per km. Note: All figures are rounded. The base year is 2011. Source: Frost & Sullivan

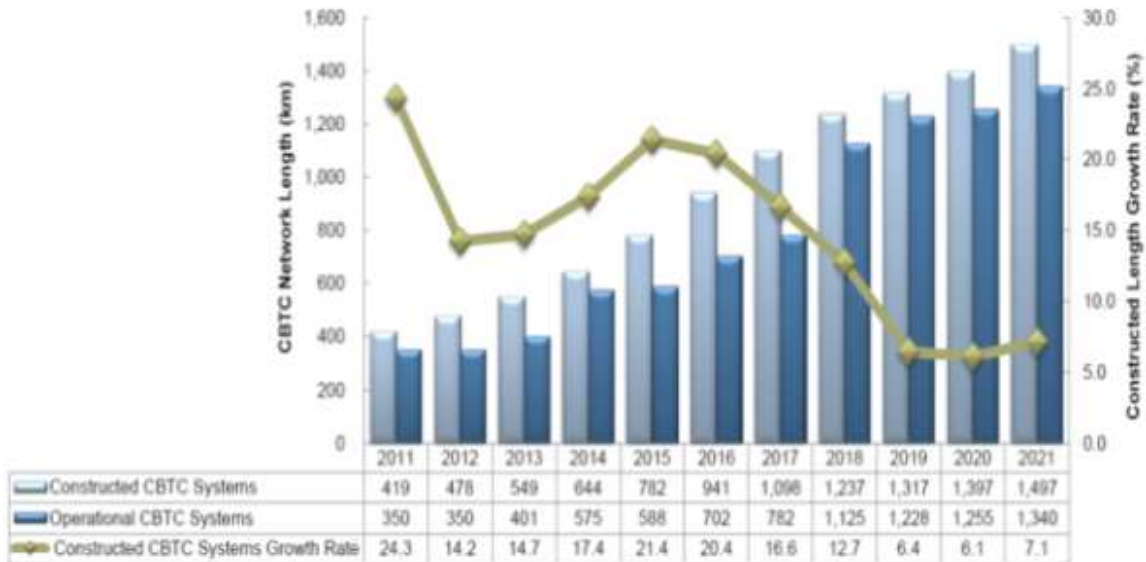
[그림 2.9] Market Overview : Urban Rail CBTC Market, Western Europe, 2011

- 서유럽에서 무선 기반 CBTC 네트워크는 2011년에 127km구간에서 운영 중이며, 2021년 까지 年평균 20.2%씩 증가하여 988km에 달할 것으로 전망됨. 2017년에 완성되는 London지하철의 CBTC 프로젝트가 서유럽에서의 Induction-based CBTC의 마지막 시스템이 될 전망이다(※ 출처 : Strategic Analysis of CBTC in the Western European Urban Rail Market, Frost & Sullivan, 2013).



[그림 2.10] Urban Rail Market : Expected Completion of Radio-based CBTC Projects, Western Europe, 2011~2021

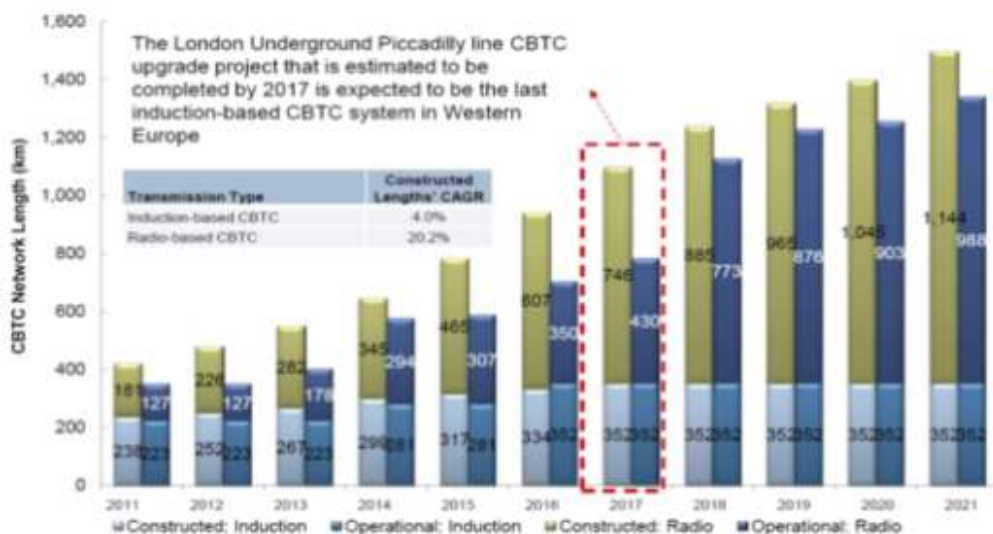
- 서유럽에서 무선 기반 CBTC 네트워크는 2018년까지 500km가 넘게 구축될 것으로 보임. Thales는 파리 지하철 13호선 사업을 통해 무선 기반 CBTC 시장에 진입할 것으로 예측되며, 최근 유럽 경제위기로 인하여 스페인 CBTC 사업은 다소 지연될 것으로 전망됨.



[그림 2.11] Urban Rail Market : CBTC Network Length Forecast by Stage, Western Europe, 2011~2021

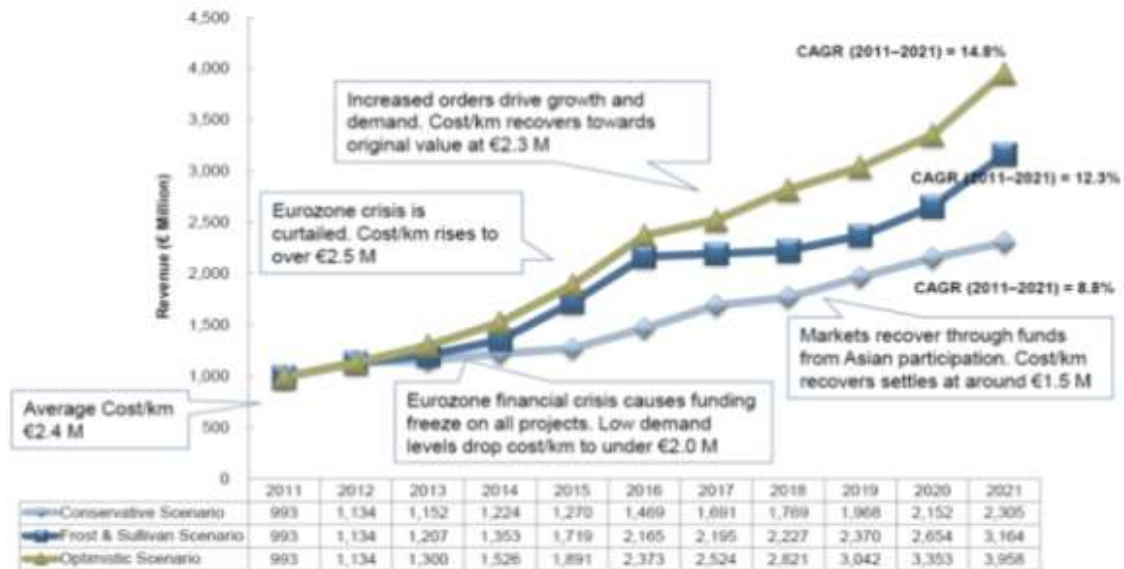
- 서유럽에서 무선 기반 CBTC 네트워크는 2011년에 127km구간에서 운영 중이며, 2021년 까지 年평균 20.2%씩 증가하여 988km에 달할 것으로 전망됨. 2017년에 완성되는 London지하철의 CBTC 프로젝트가 서유럽에서의 Induction-based CBTC의 마지막 시스템이 될 전망이다.

(※ 출처 : Strategic Analysis of CBTC in the Western European Urban Rail Market, Frost & Sullivan, 2013)



[그림 2.12] Urban Rail Market : CBTC Network Length Forecast by Transmission Type, Western Europe, 2011~2021

- 서유럽에서 CBTC 매출(Revenue) 규모는 유럽 경제상황 등을 고려하여 전망하면, 2021년까지 年평균 8.8~14.8%의 성장을 보일 것이며, 2021년 수입액이 23억~39억 유로 수준까지 확대될 것으로 예측됨.



[그림 2.13] Urban Rail Market : CBTC Revenue Forecast,
Western Europe, 2011~2021

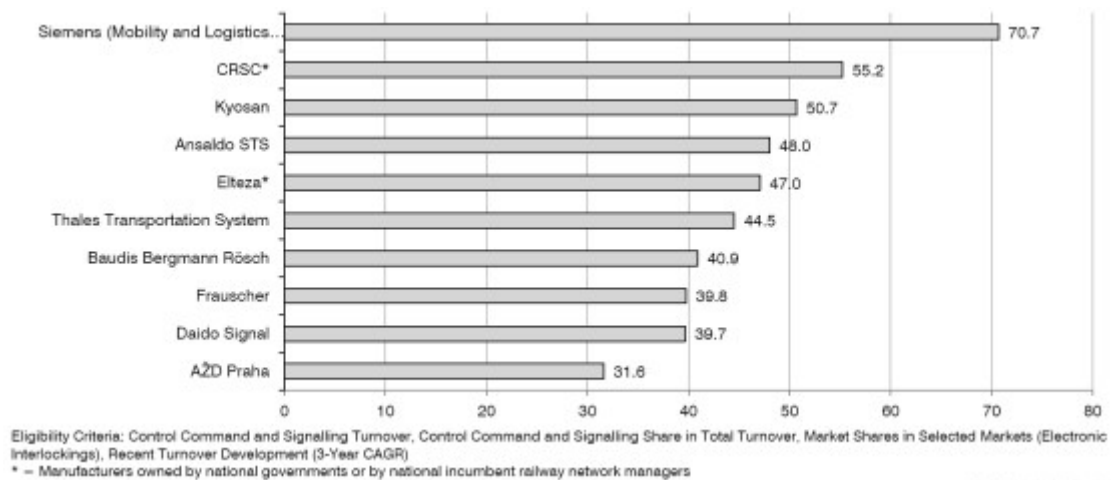
5. 열차제어시스템 주요 제작사

- 철도 열차제어에 대한 5대 글로벌 기업 중에서, Siemens, Ansaldo, Thales 등 3개 기업이 Top 10에 들어가 있음. Alstom과 Bombardier는 각각 10위와 15위 수준을 나타냄. 이외에도 중국 CRSC, 러시아 Elteza, 체코 AZD Paraha 등의 국영기업, 일본 Kyosan, Daido Signal이 높은 경쟁력을 나타냄. Siemens가 17억 유로/年 이상의 열차제어 매출규모를 보이는 등 가장 높은 경쟁력을 갖는 것으로 판단됨 (* 출처 : SCI Verkehr GmbH (2014), Worldwide Manufactures of Rail Infrastructure 2014).
- ①열차제어 매출액 규모(40%), ②전체 매출액 대비 열차제어 매출 비중(30%), ③핵심 품목 시장점유율(20%), ④최근 3년간 매출액 평균증가율(10%)을 가중 평균하여 경쟁력 지수를 도출하고, 상위 10개 글로벌 기업의 순위를 제시하면 다음 그림과 같음. Siemens의 경쟁력이 월등히 높게 나타남 (* 출처 : SCI Verkehr GmbH (2014), Worldwide Manufactures of Rail Infrastructure 2014).

[표 2.5] Control Command and Signalling : Results for the Top 20 Manufactures

Rank	Criteria:	Control Command and Signalling Turnover		Control Command and Signalling Turnover Share in Total Turnover		Market Shares in Core Product Markets [2]	Recent Turnover Development		Total Score	
		[EUR million]	Score	[%]	Score	Score	3-Year CAGR [%]	Score	Before	After
		Weighting [3]:		none	40%	none	30%	20%	none	10%
1.	Siemens (Mobility and Logistics)	1 710e	40.0	26e	7.8	20.0	+1.5	2.9	70.7	70.7
2.	CRSC [1]	500e	11.7	100	30.0	8.0	-	-	49.7	55.2
3.	Kyosan	500e	11.7	91e	27.3	0.0	-3.7	1.6	40.5	50.7
4.	Ansaldo STS	760	17.8	61	18.3	9.6	-0.9	2.3	48.0	48.0
5.	Elteza [1]	330	7.8	100	30.0	2.4	+17.5	6.9	47.0	47.0
6.	Thales Transportation Systems	890e	20.9	15e	4.5	16.0	+2.4	3.1	44.5	44.5
7.	Baudis Bergmann Rosch	25	0.6	100	30.0	0.8	+28.0	9.5	40.9	40.9
8.	Frauscher	35	0.8	100	30.0	0.8	+22.6	8.1	39.8	39.8
9.	Daido Signal	210	4.9	100	30.0	0.8	n/a	0.0	35.7	39.7
10.	Alstom Transport	820e	19.2	15e	4.5	5.6	-0.9	2.3	31.6	31.6
11.	AZD Praha	140e	3.2	85e	25.5	0.8	-1.6	2.1	31.6	31.6
12.	Kapsch CarrierCom	130e	3.1	70e	21.0	0.0	-6.9	0.8	24.9	31.1
13.	Nippon Signal Co. Ltd.	300e	7.0	65e	19.5	1.6	+1.3	2.8	30.9	30.9
14.	Mont-Ele	10e	0.2	80e	24.0	0.0	-8.4	0.4	24.6	30.7
15.	Bombardier Transportation	700e	16.3	11e	3.3	6.4	-	-	26.0	28.9
16.	MERMEC	60e	1.3	70e	21.0	0.0	-7.2	0.7	23.0	28.8
17.	GE Transportation	650e	15.3	15e	4.5	0.8	+18.5	7.1	27.8	27.8
18.	Prysmian	220e	5.2	15e	4.5	0.0	+47.8	10.0	19.7	24.6
19.	LS Industrial Systems	120e	2.9	30e	9.0	1.6	+8.4	4.6	18.1	18.1
20.	Hitachi	500e	11.6	4e	1.2	1.6	+4.3	3.6	18.0	18.0

[1] = Manufacturers owned by national governments or by national incumbent rail infrastructure managers
[2] = Core Product Market: Electronic interlockings.
[3] = Weighting: In order to reflect the different significance of the different criteria used, a comparative weighting between them was established. It occurs when the relative assessment of the respective values, which ranges between 100.0 for the best and 0.0 for the worst of them, is transferred into score points. On this occasion, the respective weighting is multiplied. Thus, e.g. valuation of 100.0 for the best track system turnover (see Siemens) results in 40.0 score because infrastructure turnover is weighted 40% of all criteria.
[4] = Extrapolation: In cases where data was not available, or core product market shares not existent, the respective criteria or market shares have been omitted and the remaining criteria's' or market shares' weighted values taken as the total score.
e = estimated; - = unknown



※ ①~④항목별 1위 기업을 만점으로 하여 각 기업별 상대점수를 부여하고, 항목별 가중치에 따라 합산하여 경쟁력지수 도출

[그림 2.14] Control Command and Signalling - Top 10 Manufactures

6. 시장분석 결론

- 세계적으로 철도 열차제어시장의 규모는 3.1%의 年 평균 성장률 이라는 상당한 성장을 지속적으로 유지할 것으로 예측됨. 열차제어시스템 시장을 신규개발 및 업그레이드 시장과 개량 및 유지보수로 구분할 때 두 가지 시장모두 매년 각각 3.5%, 3.0% 성장이 예측되어 시장전망이 밝다고 볼 수 있음.
- 무선통신기반 열차제어시스템 즉, CBTC는 현재까지 가장 진화한 열차제어시스템으로써 全 세계적으로 빠르게 확산되고 있으며 특히 서유럽의 경우 CBTC의 도입은 2021년 까지 年평균 20.2%씩 증가를 예측할 수 있음.
- 따라서 차세대 CBTC 기술로써 본 과제에서 개발하고자 하는 열차자율주행시스템 기술 또한 시장 전망이 밝을 것으로 예상됨.
- 하지만 글로벌 기업의 열차제어시스템 세계 시장 점유율을 볼 때 국내 기업은 매우 낮은 수준의 시장점유율을 면치 못하고 있음.
- 국내 열악한 철도산업 여건을 고려할 때 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 미래 차세대 CBTC 기술인 열차자율주행시스템에 대한 원천기술에 대한 연구개발이 이루어지도록 장기적인 정부차원의 투자와 지원이 필요한 상황임.

3절 기술(특허, 논문 등) 동향

1. 특허동향

가. 개요

- 특허분석 기준

[표 2.6] 지능형열차 자율주행 핵심기술 특허분석 기준

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~현재				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

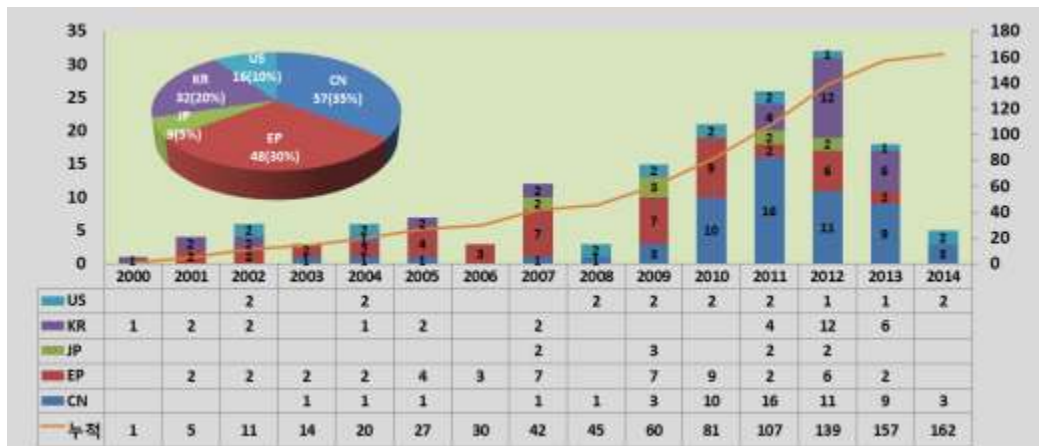
- 특허 검색조합식

[표 2.7] 지능형열차 자율주행 핵심기술별 검색 조합식 및 대상특허건수

기술구분	검색 조합식	대상특허
도시철도 열차운영시스템 관련	TAB=((CBTC or (communication ADJ based ADJ train ADJ control ADJ system) or ETCS or (European ADJ Train ADJ Control ADJ system) or (Chinese ADJ Train ADJ Control ADJ System) or (CBTC or ETCS ADJ (resignaling or re-signaling or migration))));	166건

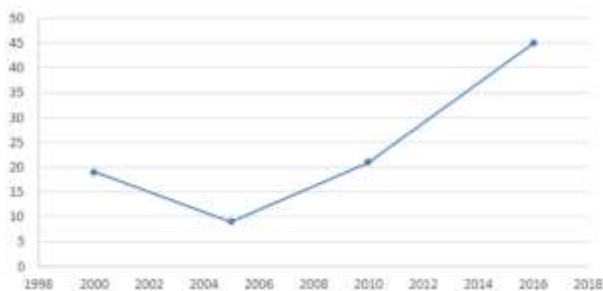
나. 출원년도 및 국가별 특허출원 동향

- 열차자율주행제어시스템과 관련하여 현재까지 열차제어시스템 분야의 특허동향을 살펴 보면, 1990년부터 현재까지 총 162건의 관련 유효특허가 출원되고 있음.
- 국가별로는 중국이 35%(57건)로 최다이며, 유럽, 한국, 미국, 일본의 순으로 출원되고 있음
- 우리나라는 2010년 이후 출원 특허가 전체 특허의 60%이상을 차지하는 등 최근 관련 분야 관심이 크게 증가하고 있다고 보여짐.
- 중국 역시 2010년 이후 특허출원이 급격히 증가하고 있는 추세이며, 2010년부터 이 분야 특허 기술을 주도하고 있는 것으로 보여짐.

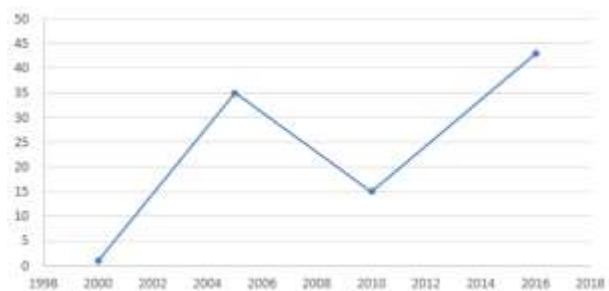


[그림 2.15] 출원년도 및 국가별 출원추이 - 지능형열차 자율주행 분야

- 스마트 스케줄링 특허분석 결과 2000년 초에 감소하던 관련특허가 2000년대 중반부터 고속철도 중심의 국가간 경쟁이 심화됨에 따라 급격하게 다시 증가하게 되었음. 특히 이 시기에 관련특허가 중국에서 집중적으로 출원됨. 이는 이 분야의 기술이 신규 교통시스템의 도입에 따라 발전하고 있다고 판단해 볼 수 있음



<스마트 스케줄링>

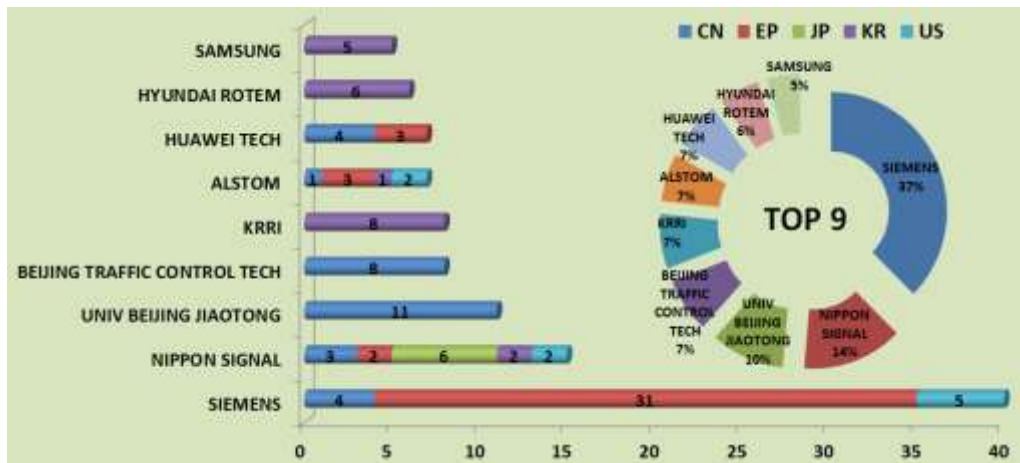


<스마트 관제>

[그림 2.16] 출원년도별 출원추이 - 스마트 스케줄링 및 스마트 관제 분야

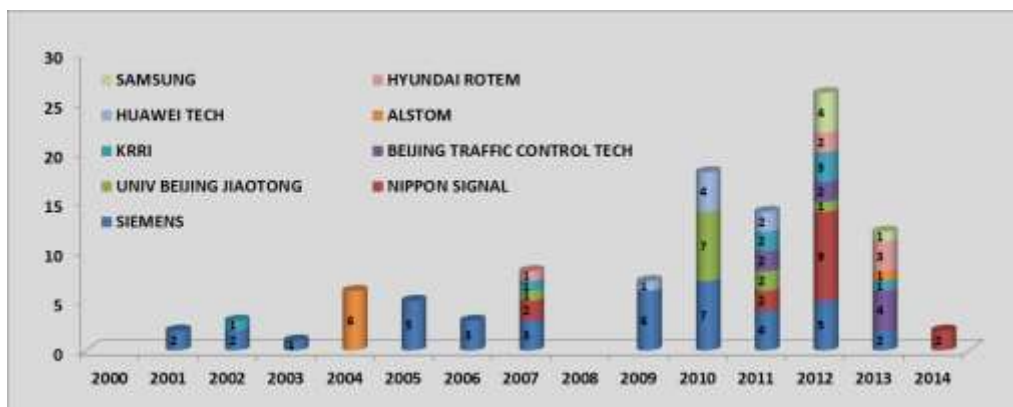
다. 주요 출원인 분석

- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(Top Assignee)을 살펴보면, 독일 Siemens, 일본 Nippon Signal, 북경 교통대 등이 있음.
- Siemens, Nippon Signal, Alstom 등의 다출원 기관은 3개 국가 이상에 특허를 출원함으로써 글로벌 기술경쟁에 참여하고 있는 것으로 보여 지지만, 북경 교통대, KRRI, 현대 로템 등은 자국에 한정하여 특허를 출원한 것으로 나타남.



[그림 2.17] 주요 출원인 동향 - 지능형열차 자율주행분야

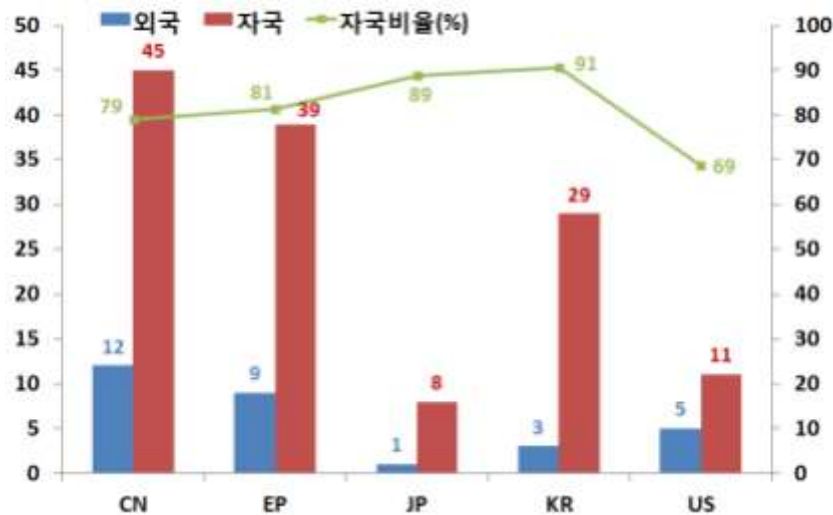
- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 Siemens, Nippon Signal이 2011년 이후에도 지속적으로 많은 특허출원이 이루어지는 것을 확인할 수 있고, Alstom, HUAWEI TECH는 2010년 이후 특허출원이 주춤하는 것으로 나타남.



[그림 2.18] 연도별 주요 출원인 동향 - 지능형열차 자율주행분야

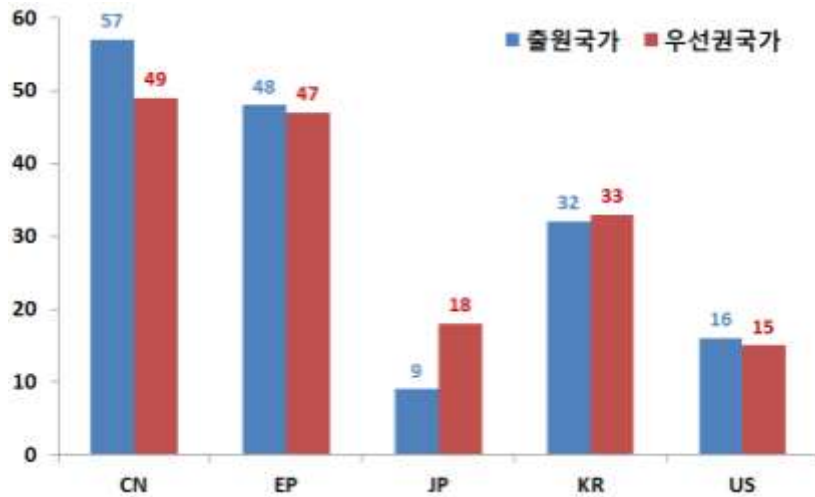
라. 국가별 특허현황

- 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있음.
- 5개 국가 모두가 자국특허 비중이 더 높게 나타나고 있음. 모든 국가들이 자국 특허를 중심으로 기술개발을 추진하고 있는 것으로 보여짐(기술폐쇄성 및 자국의존도 높음).



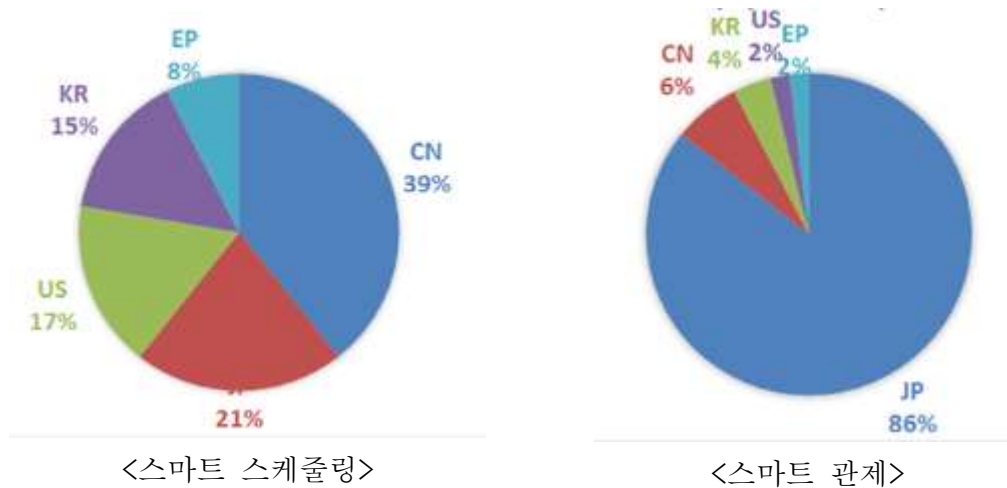
[그림 2.19] 국가별 특허 점유현황 - 지능형열차 자율주행분야

- 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있음.
- 상대적으로 특허건수는 작지만, 일본이 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 자국 시장보다 해외시장 진출노력을 더 하는 것으로 추정됨. 반면에, 중국은 출원특허 건수가 더 높게 나타나서 해외 기관들의 중국 시장진입이 높은 것으로 판단됨.



[그림 2.20] 국가별 출원특허 대비 우선권특허 현황 - 지능형열차 자율주행분야

- 스마트 스케줄링 관련 국가별 특허분석 결과 중국, 일본, 미국, 한국 중심으로 특허출원 두드러짐.
- 중국은 2010년 이후 이 분야에 대한 집중적인 실용화의 영향으로 해당분야 특허출원 비율이 세계적으로 선도적인 수준에 있는 것으로 판단됨

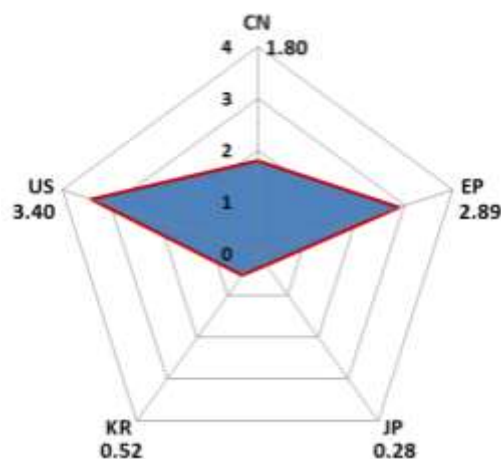


[그림 2.21] 출원국별 출원추이 - 스마트 스케줄링 및 스마트 관제 분야

마. 우선권 국가(Priority Country)별 특허분포 지수분석

(1) 인용도지수 (CPP: Cites Per Patent)

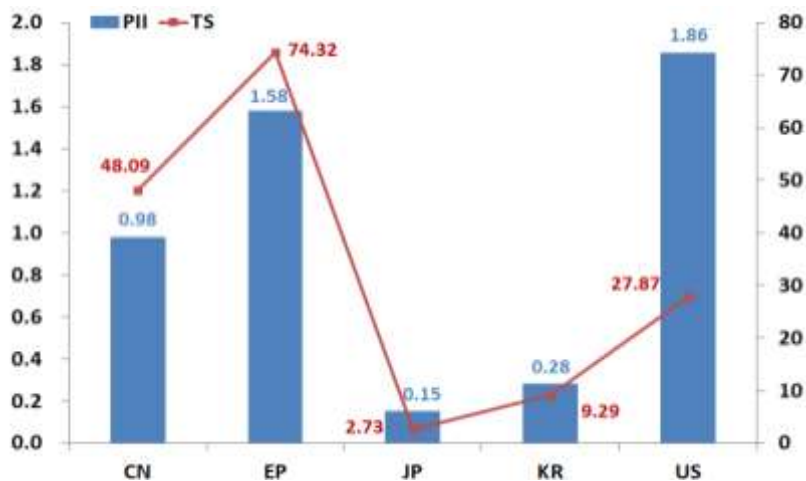
- 지표설명: 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용함.
- 계산식: 가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허별 피인용수) / 해당국가 특허건수.
- 분석결과
 - 미국의 인용도지수(CPP)가 3.40으로 가장 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음.
 - 이에 반해, 중국, 한국은 특허건수에 비해 인용도 지수(CPP)가 매우 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음.



[그림 2.22] 국가별 인용도지수 - 지능형열차 자율주행분야

(2) 영향력 지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

- 지표설명: 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)을 함께 나타냄.
- 계산식
 - 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수/전체(모든국가) 특허인용도지수.
 - 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수×해당국가 영향력 지수.
- 분석결과
 - 미국의 영향력지수(PII)가 1.86으로 높게 나타나 질적 수준에서 가장 우수하였으나, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 유럽이 74.32로 가장 우수함.
 - 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 낮게 나타나 기술개발이 시급한 것으로 판단 됨.



[그림 2.23] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 - 지능형열차 자율주행분야

바. 주요 핵심특허 현황

- 중국 열차신호통신 시스템(CTCS)를 통한 열차 모니터링체계와 관련된 BEIJING LIUJIE TECH의 중국 공개특허 CN101574975A의 피인용 건수가 28건으로 가장 많으며, CBTC, TCS와 관련된 특허들이 피인용 건수가 많아 이러한 특허들을 중심으로 주요 특허를 선정하여 핵심특허 권리 분석을 할 수 있음.

[표 2.8] 주요 핵심특허 현황 - 지능형열차 자율주행분야

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
CN101574975A	Vehicle monitoring system based on CTCS-3 level train control system and terminal thereof	BEIJING LIUJIE TECHNOLOGY CO	28
US20040267415A1	Method and apparatus for controlling trains, in particular a method and apparatus of the ERTMS type	ALSTOM	27
CN101009679A	Communication-based interconnected and intercommunicated I-CBIT train operation control system	UNIV BEIJING JIAOTONG	18
EP1897781A2	Automatic train control	SIEMENS	16
EP1232926A1	Train safety system	SIEMENS	14
EP1681222A1	Train control system	SIEMENS	13
US6666411B1	Communications-based vehicle control system and method	CIT ALCATEL	12
EP1498338A1	Train control process and system, especially of the ERTMS type	ALSTOM	12
EP1370054A1	Data communication method	SIEMENS	10
CN102019944A	Train operation control method, automatic train protection (ATP) system and China train control system 3 (CTCS-3) control unit	HUAWEI TECH CO LTD	10

사. 특허분석 결론

- 열차자율주행제어시스템과 관련하여 현재까지 열차제어시스템 분야의 특허동향을 살펴 보면, 1990년부터 현재까지 총 162건의 관련 유효특허가 출원되고 있으며, 중국이 35%(57건)로 최다이며, 유럽, 한국, 미국, 일본의 순으로 출원되고 있음. 우리나라는 2010년 이후 출원 특허가 전체 특허의 60%이상을 차지하는 등 최근 관련 분야 관심이 크게 증가하고 있다고 보여짐.
- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(Top Assignee)을 살펴보면, 독일 Siemens, 일본 Nippon Signal, 북경 교통대 등이 있음. Siemens, Nippon Signal, Alstom 등의 다출원 기관은 3개 국가 이상에 특허를 출원함으로써 글로벌 기술경쟁에 참여하고 있는 것으로 보여지지만, 북경교통대, KRRI, 현대로템 등은 자국에 한정하여 특허를 출원한 것으로 나타남.
- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 Siemens, Nippon Signal이 2011년 이후에도 지속적으로 많은 특허출원이 이루어지는 것을 확인할 수 있고, Alstom, HUAWEI TECH는 2010년 이후 특허출원이 주춤하는 것으로 나타남.

- 지수 분석을 통해 국가별 경쟁력을 비교해보면, 원천/핵심 특허 보유와 관련이 높은 인용도지수(CPP) 및 영향력지수(PII)에서는 미국이 가장 높은 경쟁력을 나타내고 있음. 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 유럽이 가장 우수한 것으로 나타남. 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 낮게 나타나 기술개발이 시급한 것으로 판단됨.
- 스마트 관제 분야 국가별 특허분석 결과 운전자 지원 기능 (DAS) 관련분야는 유럽에서 이미 선도적으로 기술개발이 이루어지고 있는 분야임. 따라서 이 분야에서는 원천 특허 확보가 곤란하고 세부기술분야에서 구체적인 차별화 전략을 세워야할 필요성 있음.

아. 특허회피 전략

- 현재까지 무선통신기반 열차제어시스템 분야 특허 동향을 검토한 결과 지상중심의 열차제어시스템에 대한 방식이 주를 이루고 있음을 알 수 있음.
- 특히 중국의 CTCS, 유럽의 ETCS 및 CBTC와 같은 지상중심의 무선통신기반 열차제어시스템과 관련된 열차제어 프로세스와 시스템, 열차의 방호시스템과 차량 모니터링 시스템, 데이터 전송방법 등의 방법이 발명되고 있음.
- 본 과제에서 제안하고자 하는 열차간 협업기반의 열차자율주행과 관련하여는 아직 기술개발이 진행 중에 있으므로 상대적으로 특허에 있어서는 공백기술로 분류될 수 있음.
- 따라서 지상제어시스템에 의존하지 않는 향상된 열차간격제어기술, 주행중 물리적 연결기 없이 가상으로 열차의 분리결합을 제어하는 기술, 무선통신기반 열차간 무결성을 확보하는 기술, 열차간 협업을 통한 상황인지 및 판단기술 등은 새로운 특허로써 기존 특허기술을 회피 할 수 있음.
- 스마트 스케줄링 분야 국가별 특허분석 결과 대부분 응용(Application) 관련 특허로서 별도의 회피전략 마련의 필요성 없음.

2. 기술동향

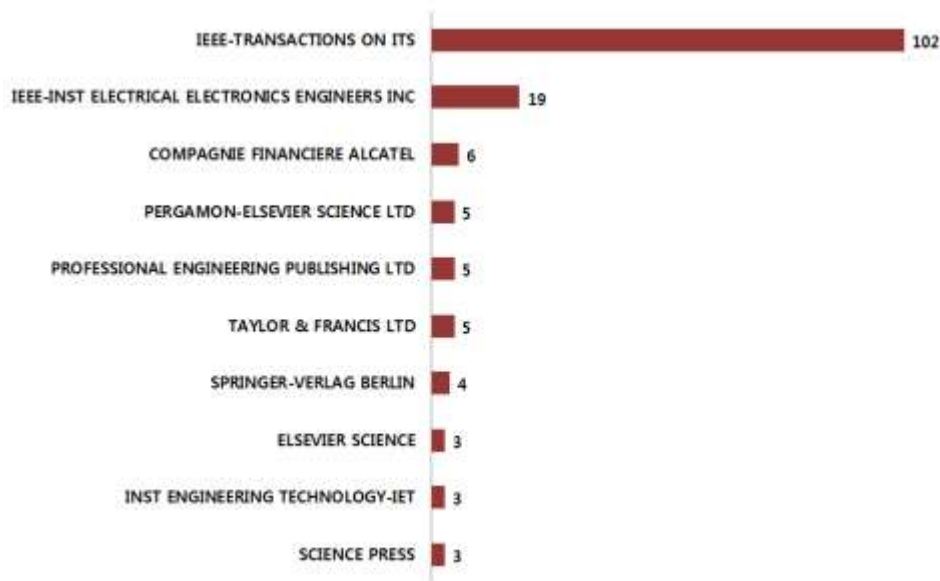
가. 개요

[표 2.9] 기술논문 분석 기준 - 지능형열차 자율주행분야

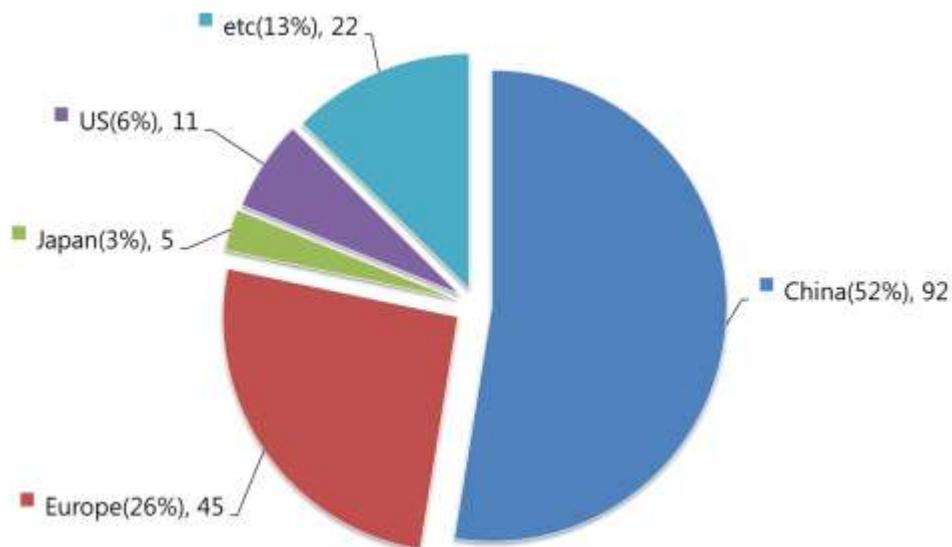
구 분	분석 기준
논문검색 DB	Web of Science, Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~현재
검색범위	Title, Abstract

나. 연도별 기술논문 발표 추이 및 주요 등재저널 현황

- 열차자율주행제어시스템과 관련하여 현재까지 열차제어시스템 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 181건의 관련 논문이 발표되고 있음.
- 저널별로는 미국 IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS, 프랑스 COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL 등 미국, 유럽의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음.
- 열차자율주행제어시스템과 관련하여 현재까지 열차제어시스템 분야 논문은 중국 기관(52%)이 가장 많이 발표하고 있었으며, 유럽(26%)의 기관에서도 많이 발표되고 있으며, 한국은 논문발표 실적이 매우 낮은 상황임.



[그림 2.24] 논문 발표 주요 저널 - 지능형열차 자율주행분야



[그림 2.25] 논문발표 주요 국가 - 지능형열차 자율주행분야

다. 주요 기술논문현황

- 열차제어시스템의 실시간 경합해소 방법에 대한 IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS 저널의 논문이 피인용도 146건으로 가장 많으며, 피인용도를 기준으로 주요 논문 목록을 제시하면 아래와 같음.

[표 2.10] 주요 논문 현황 (피인용 順) - 지능형열차 자율주행분야

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	Conflict Resolution and Train Speed Coordination for Solving Real-Time Timetable Perturbations	IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS	2007	146
2	A Cooperative Scheduling Model for Timetable Optimization in Subway Systems	IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS	2013	78
3	Optimizing train movements through coast control using genetic algorithms	INST ENGINEERING TECHNOLOGY-IET	1997	75
4	A Subway Train Timetable Optimization Approach Based on Energy-Efficient Operation Strategy	IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS	2013	69
5	Challenges Toward Wireless Communications for High-Speed Railway	IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS	2014	69
6	Single-Train Trajectory Optimization	IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS	2013	49
7	Optimal driving strategy for traction energy saving on DC suburban railways	INST ENGINEERING TECHNOLOGY-IET	2007	46
8	An Introduction to Parallel Control and Management for High-Speed Railway Systems	IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS	2011	41
9	Pareto-optimal set based multiobjective tuning of fuzzy automatic train operation for mass transit system	IEE-INST ELEC ENG	1999	37
10	Stochastic Optimization Model and Solution Algorithm for Robust Double-Track Train-Timetabling Problem	IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS	2010	36

라. 기술논문분석 결론

- 열차자율주행제어시스템과 관련하여 현재까지 열차제어시스템 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 181건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 전체적인 논문건수가 작아 일반화된 동향분석을 수행하기는 어려움
- 저널별로는 미국 IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS, 프랑스 COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL 등 미국, 유럽의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음
- 열차자율주행제어시스템과 관련하여 현재까지 열차제어시스템 분야 논문은 중국 기관(52%)이 가장 많이 발표하고 있었으며, 유럽(26%)의 기관에서도 많이 발표되고 있으며, 한국기관은 논문발표 실적이 매우 낮은 상황임

3. 국내외 연구개발 동향

가. 국내 연구개발 동향

- 1989년 이후 국내에서 추진되었던 열차제어시스템 개발 또는 시스템 도입 타당성 연구와 관련하여 진행된 과제는 IT기반, 첨단화, 고속화, 표준화 연구로 광역도시철도를 비롯한 일반고속철도의 신규 시스템 도입을 위한 과제 위주로 다양하게 진행되었음.
- 그간 수행된 국가연구개발 및 시범사업 현황은 아래 표와 같음.

[표 2.11] 국가연구개발 및 시범사업 현황

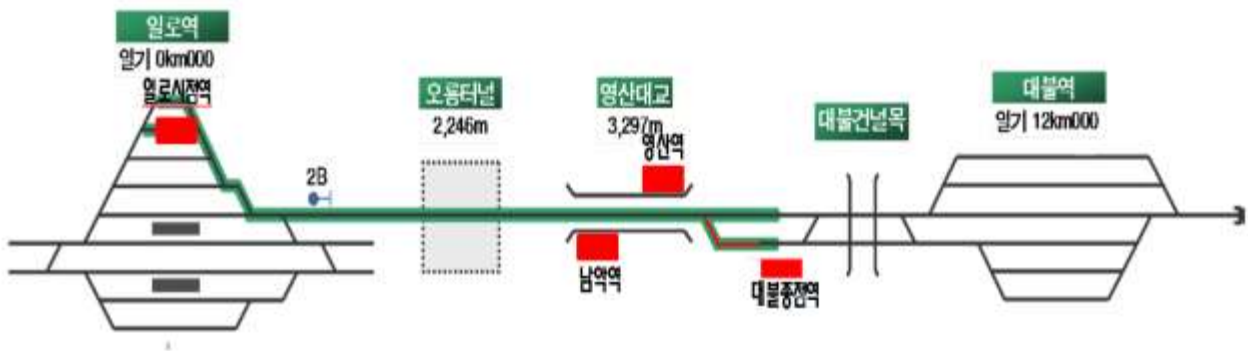
사업(과제)명	수행내용	
	기간 및 주관기관	내 용
도시형 자기부상열차 개발사업 1단계 (과학기술부)	-기간: 1989.12 ~ 1993. 7 -주관: 해사연구소+ 전기연구소	-개발내용 ·기본개념 정립 ·축소형 및 실차형 부상추진 시스템 ·100m 시험선로, 대차개발 ·소형 시작모델 개발
도시형 자기부상열차 개발사업 2단계 (과학기술부)	-기간: 1994. 5 ~ 1998. 8 -주관: 한국기계연구원	-개발내용 ·한국기계연구원에 시험선 구축 ·2량 1편성 시제차량 개발 ·일본 HSST의 패턴벨트방식을 적용하여 열차속도 및 위치를 추적하는 기술개발

사업(과제)명	수행내용	
	기간 및 주관기관	내 용
도시형 자기부상열차 개발사업 3단계 (과학기술부)	-기간: 1998.11 ~ 1999. 8 -주관: 한국기계연구원	-개발내용 ·실용화 연구 ·무인자동운전시스템 개발 ·고속분기기개발 ·기술개선 및 성능 향상
도시철도차량 표준화·국산화	-기간: 1995. 8 ~ 2001. 12 -주관: ROTEM	-개발내용 ·시험선 운행을 위한 신호시스템(ATC) 차상장치 개발 ·시험선 자동운전을 위한 자동열차운전장치(ATO) 개발 ·열차내 전장품을 제어하는 종합제어장치(TCMS) 개발
경량전철시스템 기술개발사업 (경량전철 신호제어시스템 기술개발)	-기간: 1999. 1 ~ 2005.12 -주관: KRRI + 포스콘	-개발내용 ·무인자동운전이 가능한 열차제어시스템기술개발 ·2.4(GHz)를 사용하는 무선LAN 통신방식을 적용하여 열차위치추적, 열차속도제어 및 열차진로제어 수행
고속철도 자동열차제어장치 기술개발	-기간: 1999.10 ~ 2001. 9 -주관: LS산전	-개발내용 ·고속철도용 자동열차제어장치(AF궤도회로, 차상장치) 개발 -개발결과 ·G7고속차량에 차상장치 설치 및 현장(오송기지) 시험완료
도시철도표준화 연구개발사업 (도시철도 신호시스템 표준화 연구)	-기간: 2001. 1 ~ 2006.12 -주관: ROTEM	-개발내용 ·표준사양을 확인하기 위한 열차제어시스템 차상핵심장치 개발 및 MBS사업에 적용하여 시험 -개발결과 ·도시철도 시설물 표준규격, 성능시험기준 및 안전기준 고시
고속철도 열차제어시스템 안정화 기술개발	-기간: 2002.12 ~ 2007.10 -주관: LS산전	-개발내용 ·열차제어시스템안정화 및 RAMS검증
중기거점기술개발사 업(자기부상열차실 용화를 위한 차량모델개발) (산업자원부)	-기간: 2003.10 ~ 2006. 9 -주관: ROTEM	-개발내용 ·실용화 수준의 무인자동 자기부상열차 신호시스템 개발 ·차상과 지상간 정보전송을 위해서 무선LAN 개발 -개발결과 ·대전 국립과학관 자기부상철도에 적용
지능형 열차제어시스템 (MBS) 시범구축 (한국철도공사)	-기간: 2002.12 ~ 2007.10 -주관: 삼성SDS	-사업내용 ·새로운 신호시스템의 광역철도망 도입 타당성 검증을 위해서 Thales사의 CBTC시스템 도입하여 분당선에 설치 ·지상과 차상간 정보전송장치인 무선 LAN을 국산화함.

사업(과제)명	수행내용	
	기간 및 주관기관	내 용
차세대 고속철도 기술개발사업 (통합차상신호시스 템개발)	-기간: 2007. 7 ~ 2013. 7 -주관: LS산전	-개발내용 ·경부고속철도의 지상신호를 수신하여 처리하는 호환성을 갖는 차상신호장치 개발(ATS/ATC/ATP통합) ·최고시속 400[km/h]의 열차주행속도 제어 ·운전자 정보표시장치 개발
도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가	-기간: 2010.12 ~ 2014. 7 -주관: KRRRI	-개발내용 ·도시철도용 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가 ·철도무선통신망 개발 ·대불선 약 11km 구간을 시험선으로 구축하여 열차제어시스템 및 통신망 시험
일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화	-기간: 2014.11 ~ 2017.12 -주관: 한국철도시설공단	-개발내용 ·일반 및 고속철도용 무선통신기반 열차제어시스템 개발 및 시험평가 ·철도전용 무선통신망 표준화 연구

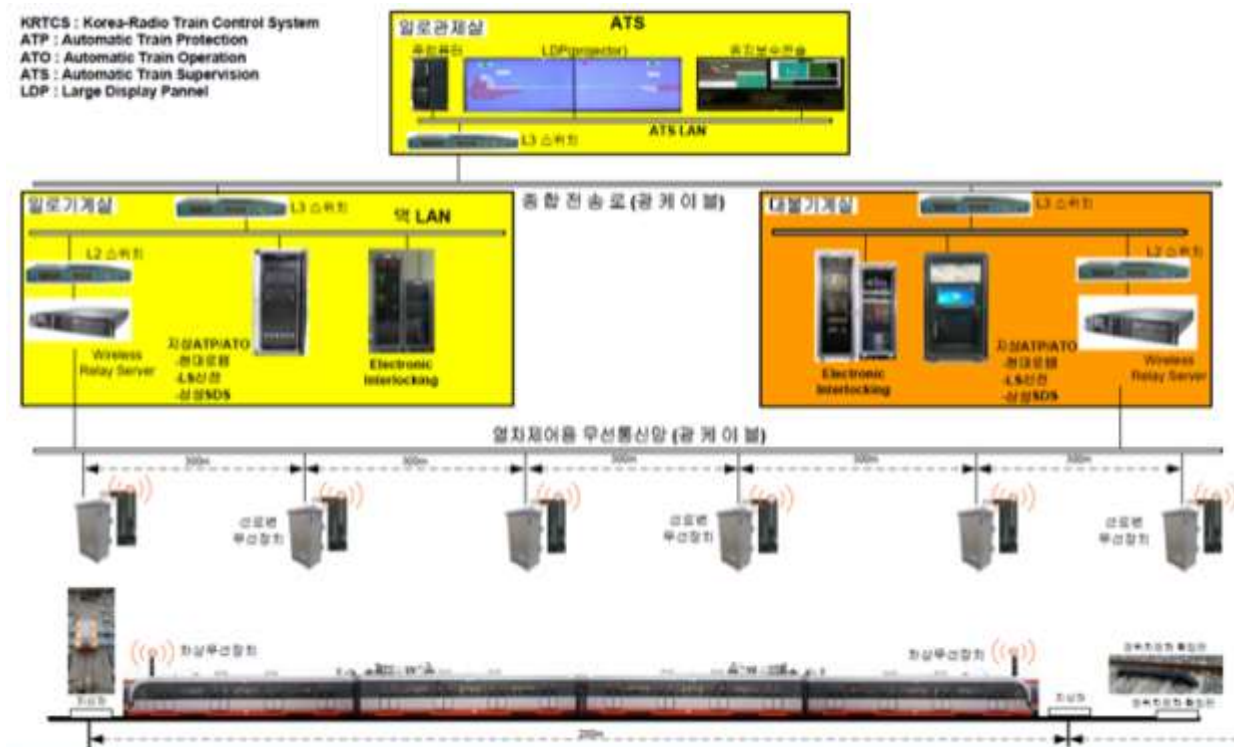
○ 도시철도형 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가

- 국내의 CBTC관련 연구개발은 여러 국가연구개발 사업을 통해 기반 기술을 확보
- 2010년 12월부터 3년 6개월간 국가R&D로 수행된 「도시철도형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS¹⁰⁾) 표준체계 구축 및 성능평가」 사업은 국내 CBTC의 표준이라 할 수 있는 KRTCS에 대한 표준체계 구축 및 안전성 평가, 도시철도전용 무선통신시스템 확보 및 시험평가를 목표로 수행
- 열차제어시스템의 하부시스템인 ATP/ATO 제작사 선정
- 열차제어시스템개발사양서, 하부시스템 개발사양서 작성, 하드웨어 및 소프트웨어 제작
- 열차제어시스템 안전성평가자로서 영국의 Lloyd's Register를 선정하여 ATP/ATO제작사가 수행한 안전성활동 평가

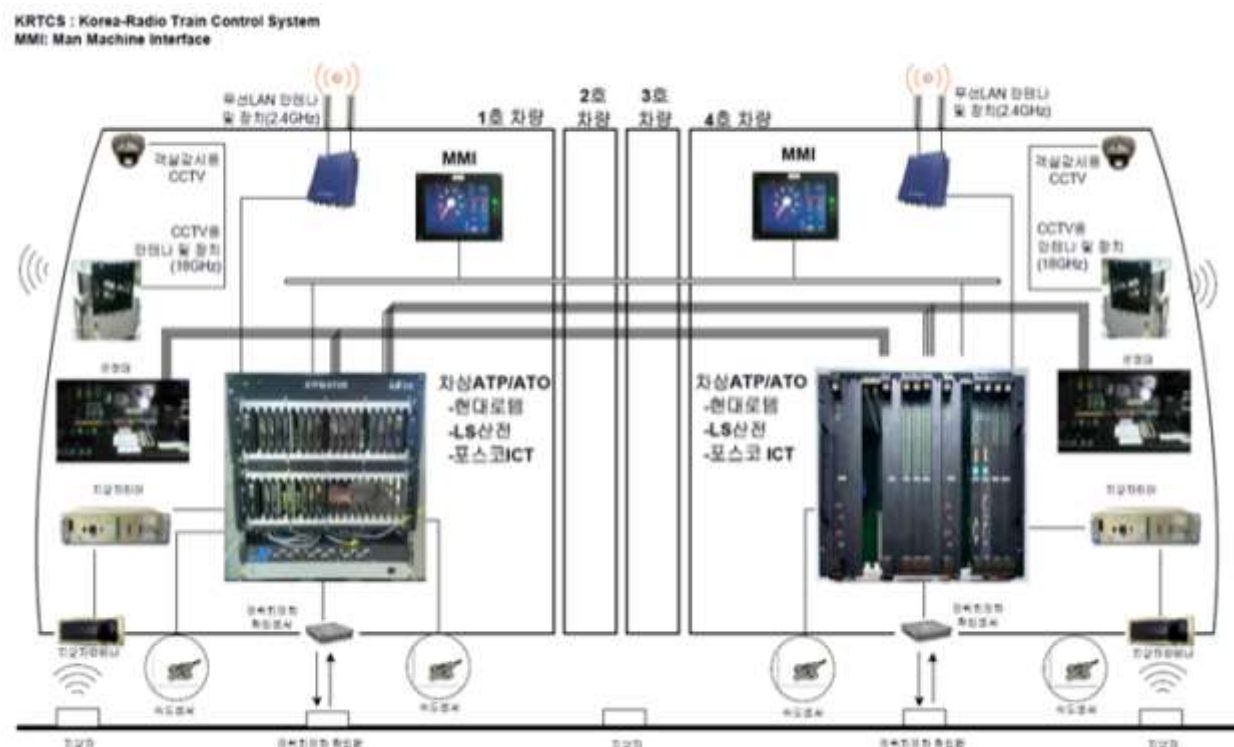


[그림 2.26] 대불시험선 구성도

10) Korean Radio-based Train Control System: 한국형 무선통신기반 열차제어시스템



[그림 2.27] 무선통신기반 열차제어시스템 지상시스템 구성도



[그림 2.28] 무선통신기반 열차제어시스템 차상시스템 구성도

나. 국외 연구개발 동향

(1) 미국의 CBTC 프로젝트

CBTC란 Communication Based Train Control 시스템의 약어로, 현재 철도신호기술 중 도시철도 및 경량전철에 적극적으로 검토되고 있거나 이미 선정되어 설치·시공되고 있으며 또한 이미 설치완료 되어 상업운전이 시행중이다. 초기 CBTC는 무선통신의 발전 이전인 1980년대로 거슬러 올라가 이미 Inductive Loop를 이용하여 열차의 위치검지 및 양방향 통신으로 열차를 제어하였으나, 무선통신의 발전으로 1990년 말부터 Radio Frequency를 이용한 RF-CBTC가 시작되었으며, NYCT¹¹⁾의 CBTC 프로젝트가 대표적이다.

뉴욕지하철의 신호시스템은 자동폐색장치를 사용하는 지상신호방식으로 이 신호시스템은 연동장치를 중심으로 열차운행에 필요한 열차검지, 열차안전간격 및 여러 가지 제어를 처리한다. 그런데 1991년 8월 28일 열차가 선로전환기 통과속도보다 빠른 속도로 통과하는 과정에서 발생한 열차탈선 사고내용을 조사분석한 결과 신호시스템은 설계에 맞추어 정상적으로 작동한 것으로 확인되었으나, 법적 사고의 주요인의 해소를 위해서는 신호기 설치와 관제요원의 승인 등의 조치방안이 필수적으로 마련되어야 할 것으로 조사되었다. 이런 연유로 최신 신호시스템의 설치에 관한 조사와 연구를 실시한 결과, 이 연구에서 뉴욕지하철에 가장 최적의 시스템은 CBTC인 것은 결론이 났으며, 다음과 같은 전략을 고려하도록 하였다.

- 20년 구축전략
- Pilot선에 시스템구축 - Canarsie선
- 시스템공급자를 다양화

3개사를 선정하여 RF를 기반으로 한 CBTC시스템을 pilot라인에서 성공적으로 구현하였으며, 이후 프로젝트를 주도할 기업으로 Siemens를 선정하였다. Siemens의 역할은 상호 운영성을 주도하는 것이며, 나머지 2개사는 Siemens가 제시하는 시스템과 호환성을 갖는 시스템을 구축하는 것이다.

(2) 유럽의 ERTMS/ETCS 프로젝트

유럽은 EU를 중심으로 정치, 경제의 통합을 추진하고 있으며, 이 통합에는 유럽 각국의 상이한 열차제어시스템의 통합도 포함하고 있다. 현재까지 활발히 진행되고 있는 열차제어시스템의 통합은 상호운영성(Interoperability)을 목적으로 하는 ETCS(European Train Control System)개발이며, 현재는 완성된 시스템의 기능사양서와 요구사양서를 토대로 개발한 몇 개의 시스템에 대한 현장시험을 거쳐 여러 노선에서 건설하고 영업을 개시하고 있다.

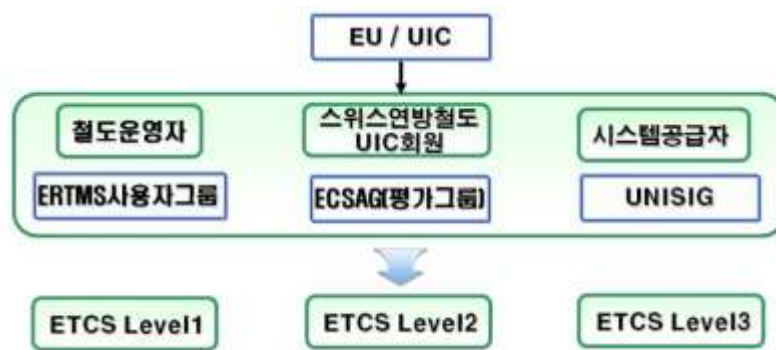
1990년대에 UIC(International Union of Railways)에서 ETCS의 검토·개발을 처음 시작하였으며, 1996년에 200km/h 이상의 고속선에서 상호운전성을 구현하는 것을 목적으로 하는 유럽지침(Directive 96/48/EC)이 공포되었다. 이미 UIC A200 위원회는 ETCS 기능요구사

11) New York City Transit

양서 (FRS : Functional Requirements Specification)와 시스템요구사항서 (SRS : System Requirements Specification)를 작성하였다.

또한, 독일, 프랑스, 이탈리아의 국영철도회사는 EU법규에서 인증하는 EEIG (European Economic Interest Grouping)조직 내부에 ERTMS (European Railway Traffic Management System)사용자 그룹을 구성하였다. ERTMS 사용자그룹은 고속선을 대상으로 하여 보다 간단한 열차제어시스템사양서 작성을 목적으로 1997년 스페인 국철 등이 그룹에 추가로 참가하였다. ERTMS 사용자그룹은 ETCS의 SRS를 기본으로 고속선을 대상으로 하는 SRS(version 4A : 1997년, 5A : 1998년)를 작성하였다.

이와 병행하여 독일, 프랑스, 이탈리아에서는 ERTMS 사용자그룹의 SRS에 대한 제작사측의 입장을 반영하기 위한 검토를 진행하였으며, 유럽위원회에서는 상호운전성을 구현하기 위해서 1998년 7월 검토에 참여한 4개 제작사와 version 4를 기준으로 하여 새로운 SRS작성에 합의하였다. 그 이후에 새로운 2개의 제작사가 추가로 합세하여 ERTMS/ETCS에 관한 신호제작사 단체 UNISIG(Union Industry of Signaling)를 조직하고 제작사측의 개발시스템을 정의하였다.



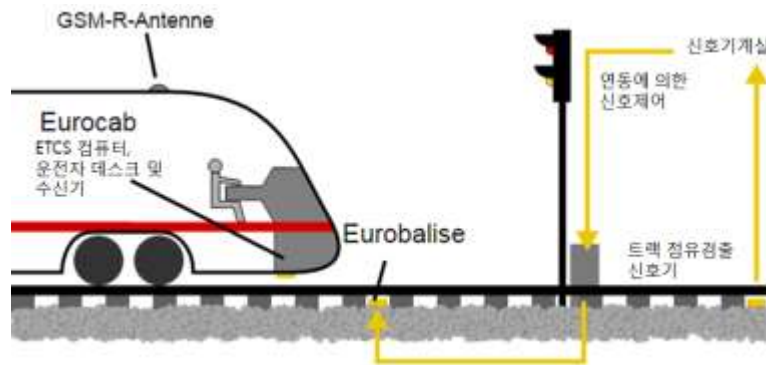
[그림 2.29] ETRMS/ETCS 개발체계

한편, ERTMS 사용자그룹에서는 적절한 SRS를 제작사측에 제시할 수 없었기 때문에 ERTMS 사용자 그룹에서 작성한 SRS에 구속되지 않게 하기 위해 ERTMS 사용자 그룹과는 별도의 회원과 스위스 연방철도 및 UIC의 회원으로 구성된 ECSAG (ERTMS Core SRS Assessment Group)를 1998년 8월에 설치하였다. 또한, UNISIG와 ERTMS 사용자그룹에서 새로운 SRS 작성을 시작하였다 구체적으로는 UNISIG는 기술적인 부분을 ECSAG는 주로 기능적인 부분을 검토하고 UIC와 EU측에서 참석하여 ERTMS 사용자그룹 총회와 UNISIG 각사의 책임자에 의한 결과를 인정하였다. 기능요구사항서는 UNISIG에서 개발하는 열차제어시스템의 상호 운영성을 확보하기 위해서 시스템을 3단계로 구분하여 제안되었다.

(가) Level 1

- 열차에 대한 정보전송과 위치검지를 위한 Balise (Euro-Balise)
- 안전속도에 대한 연속적인 감시
- 차상신호(cab signaling : 운전자에 의한 신호현시 확인/준수 필요)

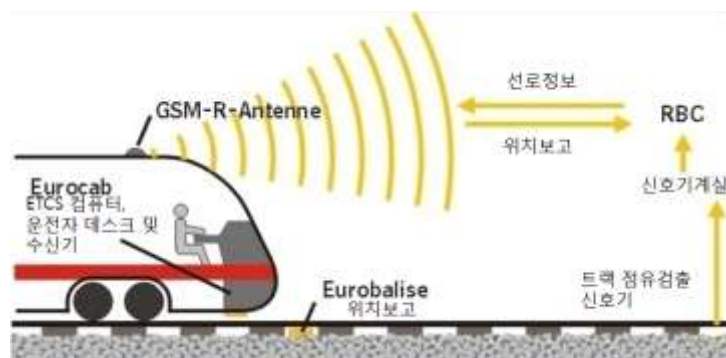
- 기존의 궤도회로(track circuit) 또는 선로 비점유 indication을 이용하여 선로점유 및 train integrity 확인
- Block section을 활용한 열차간 안전간격 확보
- Euro-loop나 통신장비를 추가로 설치하여 해당 balise에 열차가 도착하기 전에 신호현시 변화정보를 전송받음(추가사항)



[그림 2.30] ETCS Level 1

(나) Level 2

- GSM-R(Global System for Mobile Communications-Railway)을 이용하여 열차와 중앙사령실(RBC: Radio Block Center)사이의 양방향 정보전송
- 열차는 자신의 위치를 실시간으로 RBC에 전송하고 RBC는 열차의 움직임을 연속적으로 모니터링
- 열차의 이동권한과 속도정보 그리고 선로정보는 GSM-R을 통해 열차로 전송
- 열차위치확인 목적으로 balise 사용
- 연속적으로 열차의 안전속도(제한속도)를 감시함.
- 차상신호(cab signaling)
- 기존의 선로 비점유 indication을 이용하여 선로점유 및 train integrity 확인
- Block section의 기술적 메커니즘을 통하여 열차간 안전시각 확보

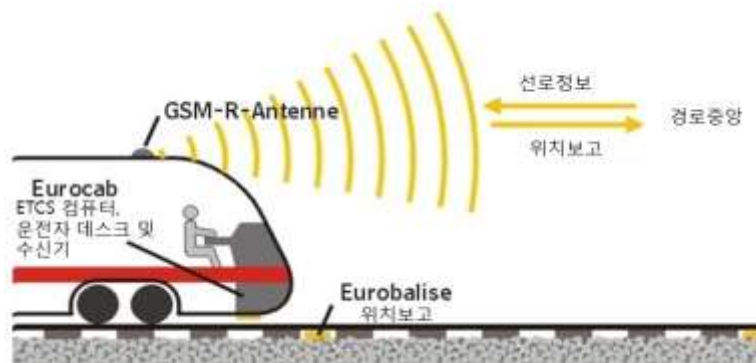


[그림 2.31] ETCS Level 2

(다) Level 3

ETCS Level 3은 Level 2에 대해서 다음과 같은 차이점이 있다.

- 열차와 지상간 양방향 통신을 통해 전체적인 무선기반 열차간격제어를 수행, 열차는 자신의 위치를 실시간으로 RBC에 전송하고 RBC는 열차의 움직임을 연속적으로 모니터링
- 차상신호장치의 열차위치정보를 토대로 선로점유상태 파악(열차는 내장된 train integrity 감시장치를 이용할 수 있어야 함)
- 신뢰성 있는 train integrity 확보방안은 매우 복잡하고 오래된 화물차량에는 적용이 어려움
- 중앙사령실(RBC)을 통하여 열차간 안전간격 확보
- ETCS의 차상장치를 장착한 열차만이 Level 3 선로에서 운행될 수 있음



[그림 2.32] ETCS Level 3

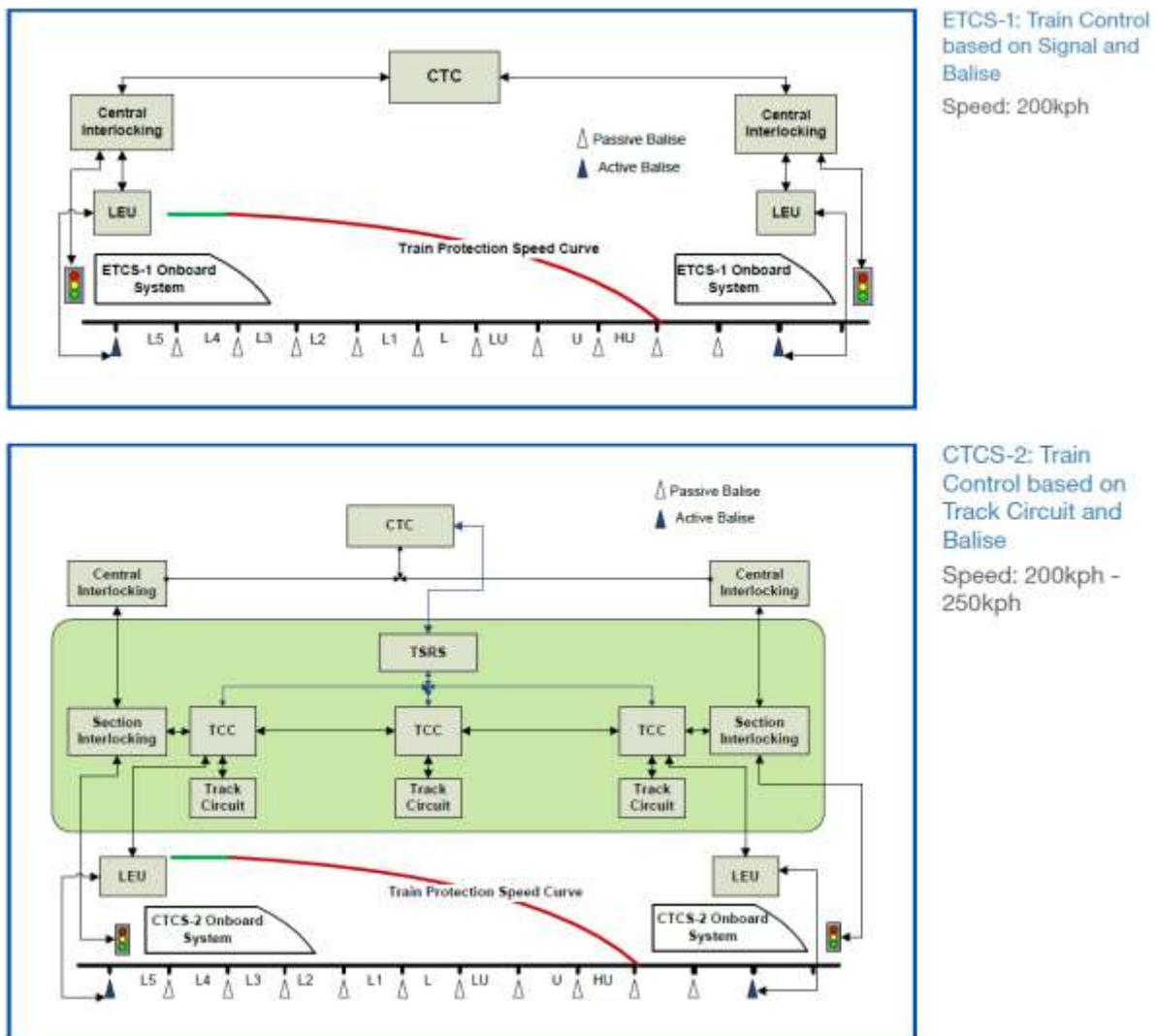
(3) 중국의 CTCS(Chinese Train Control System)

중국철도의 영업거리는 세계의 6%, 철도수송량은 세계의 24%, 평균수송밀도는 세계 1위 수준에 이르고 있지만, 중국은 많은 인구와 국토면적에 따른 정치, 경제적인 통합을 촉진하고 성수기 열차운영난을 해소하기 위해서 다음과 같이 철도망의 증장기 구축계획을 수립하였다.

일찍부터 유럽이동통신망 GSM을 도입한 중국은 GSM을 자국내의 철도망에 적용하기 위한 중국열차제어시스템(CTCS)체계를 구축하고, 각각의 적용 대상 기술에 따라 Level 0, Level 1, Level 2, Level 3D, Level 3, Level 4로 분류하여 규정화하였다.

- CTCS-0: Track Circuit + Cab Signalling + LKJ2000
- CTCS-1: Track Circuit + Cab Signalling + LKJ2000 + Balise
- CTCS-2: Track Circuit + Balise + ATP, 궤도회로는 궤도 점유정보를 검지하고 이 동권한에 사용됨
- CTCS-3D: Track Circuit + Balise + ATP, CTCS-3D ETCS Level-1과 동일
- CTCS-3: Balise + GSM-R + ATP, CTCS-2를 백업시스템으로 사용, CTCS-3는 ETCS Level-2 + CTCS-2와 동일
- CTCS-4: Balise + GSM-R + ATP, 이동폐색
- Levels 2, 3과 4는 낮은 수준으로 호환이 가능

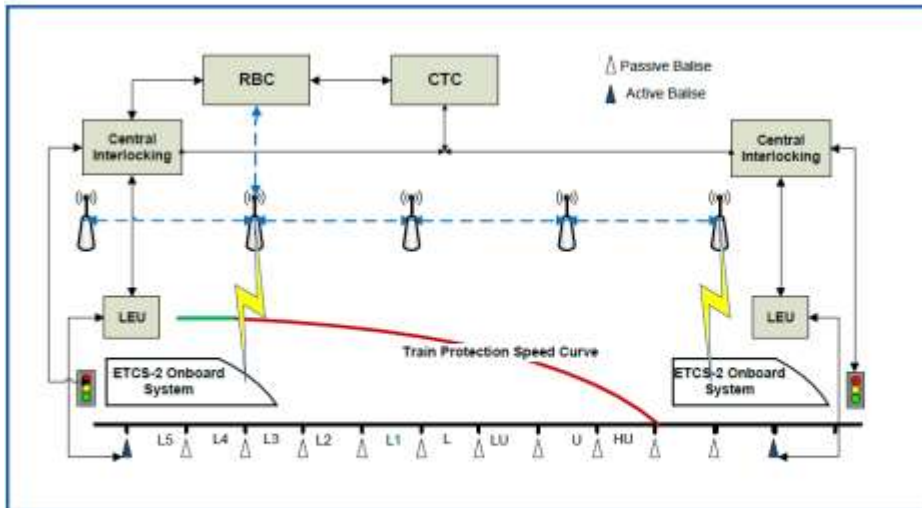
CTCS-2 시스템에서 TC(Track Circuit)는 선로의 점유구간, 코드를 검출하고 차상 시스템의 주행 전방의 휴지 구간의 개수를 전송할 책임이 있다. 발리스 또는 트랜스폰더는 임시 속도제한 정보, 역사 진입, 선로제한속도, 구배, 길이 등을 제공할 책임이 있다. 임시 속도제한이 필요할 때, 명령은 관제센터에 의해서 임시 속도제한서버(Temporary Speed Restrictive Server: TSRS)에 전송되고 다음으로 열차제어센터(Train Control Center: TCC)로 전송되어 실행하게 된다. TCC는 임시속도정보가 발리스를 거쳐 차상시스템으로 전달되도록 제어한다.



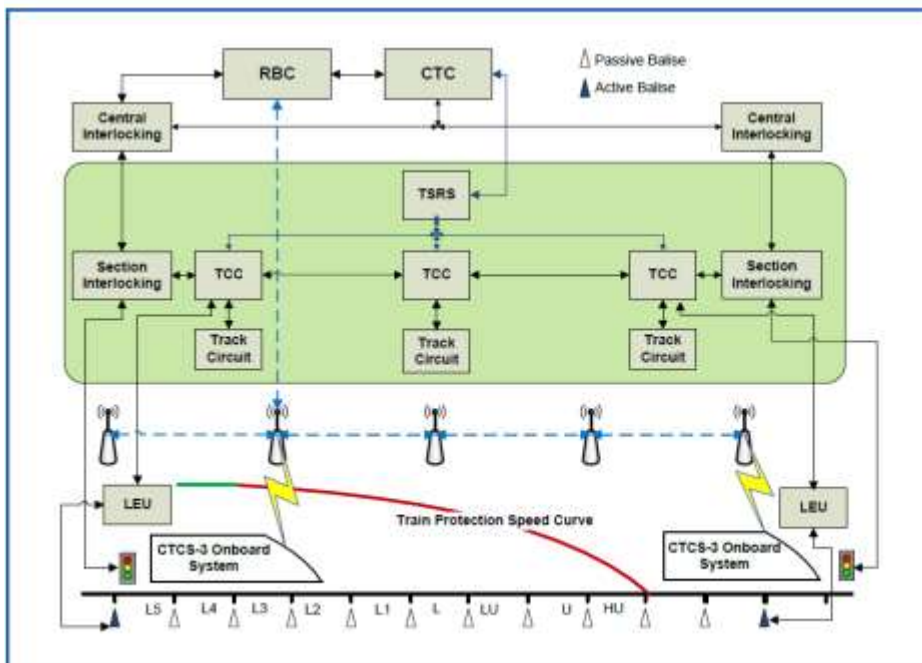
[그림 2.33] ETCS-1과 CTCS-2 간 유사성

CTCS-3 시스템에서 그것의 솔루션은 ETCS-2를 CTCS-2와 결합한 것과 동일하다. TC로부터 수신된 정보를 바탕으로 RBC는 진로를 생성하고 이동권한을 생성한다. 생성된 MA를 따라서 진로 파라미터와 임시속도정보가 CTCS-3 차상장치에 GSM-R 통신시스템을 통해 보내진다.

차상시스템은 수신된 MA, 선로 파라미터, 임시속도정보, 차량 파라미터, 실시간 열차위치 계산과 보고를 기준으로 안전 운전을 위한 열차제어를 수행한다.



ETCS-2: Train Control based on MA received via Radio Communication
Speed: 300kph



CTCS-3: Train Control based on Track Circuit and Balise
Speed: 300kph - 350kph

[그림 2.34] ETCS-2와 CTCS-3 간 유사성

(4) 유럽의 차세대 열차제어 프로젝트

(가) 영국의 Closer Running 프로젝트

영국의 RSSB는 2017년 열차의 수송량(capacity) 증대를 위해 Closer Running 프로젝트를 착수하였으며 다음과 같은 주요연구개발을 포함한다.

○ 열차 대 열차간 통신기반 열차제어기술

: 열차간 직접통신을 통해 전송지연 절감 및 시격 단축

○ 지능형 자율주행 열차기술

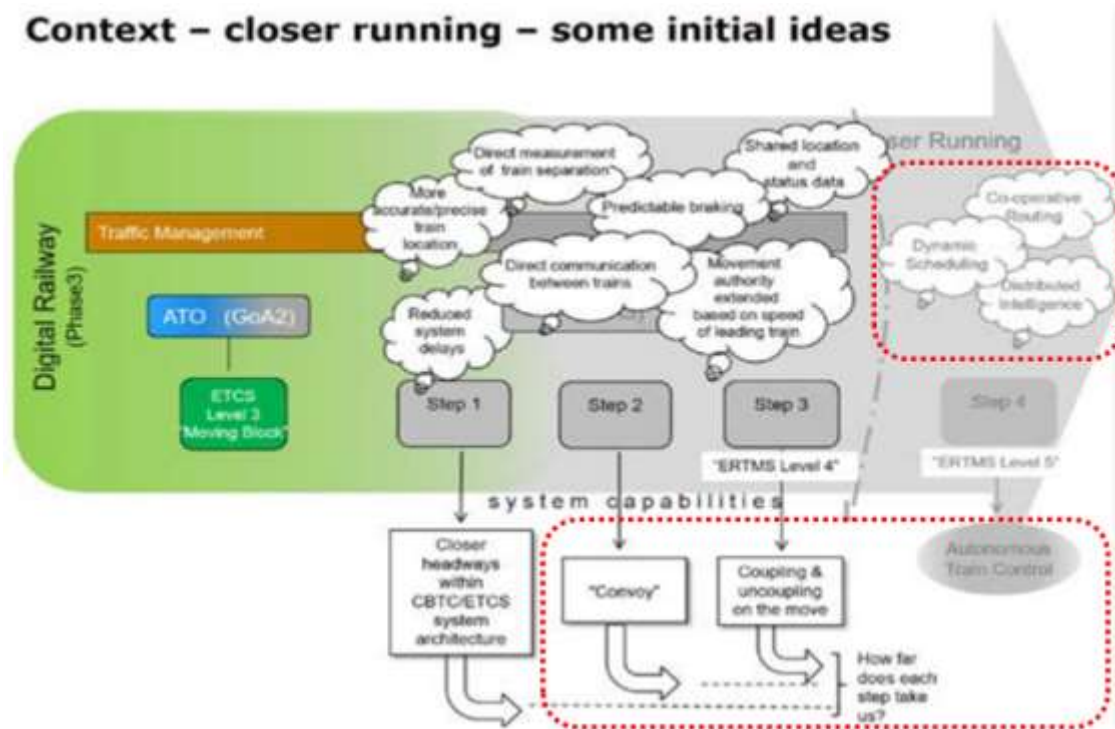
: 열차가 스스로 주변의 상황인지, 열차간 상호 협상을 통해 정체 상황을 해결

○ 주행중 열차의 가상결합 및 분리기술

: 수송량 극대화

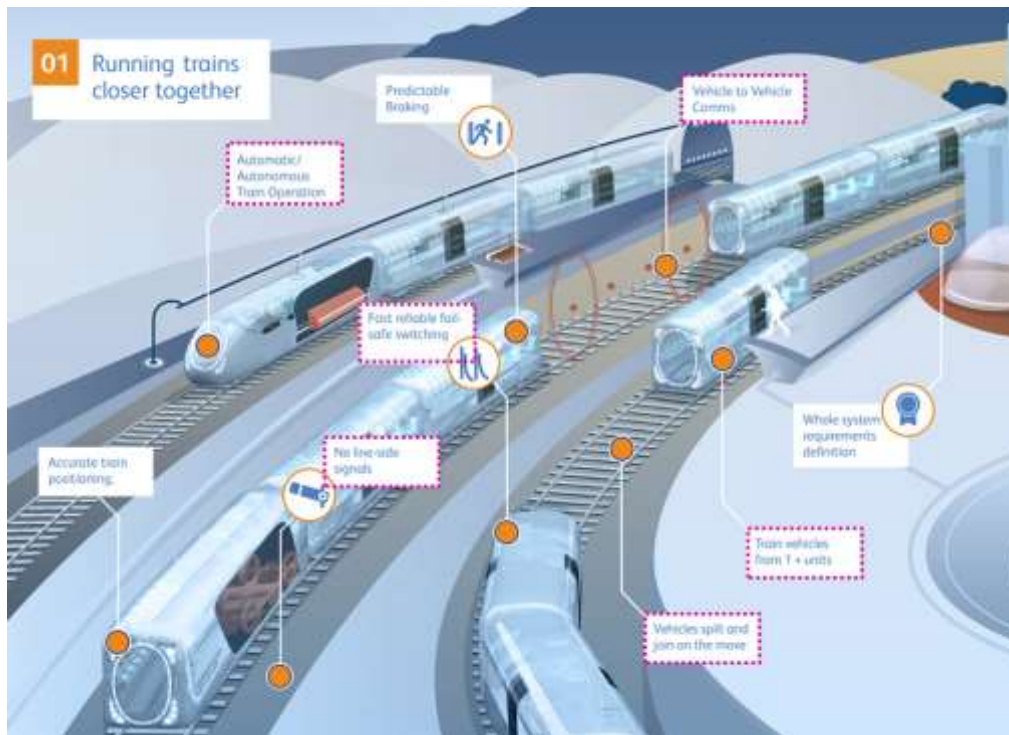
○ 빠르고 신뢰성 있는 선로전환기술

Closer running의 컨셉은 운전시격 단축을 위한 Convoy와 ETCS L3를 넘어서 ETCS L4에 해당하는 주행 중 Coupling /Uncoupling 기술, 더 나아가 ETCS L5에 해당하는 자율주행 기술을 포함하고 있다.



[그림 2.35] Closer Running 프로젝트의 컨셉

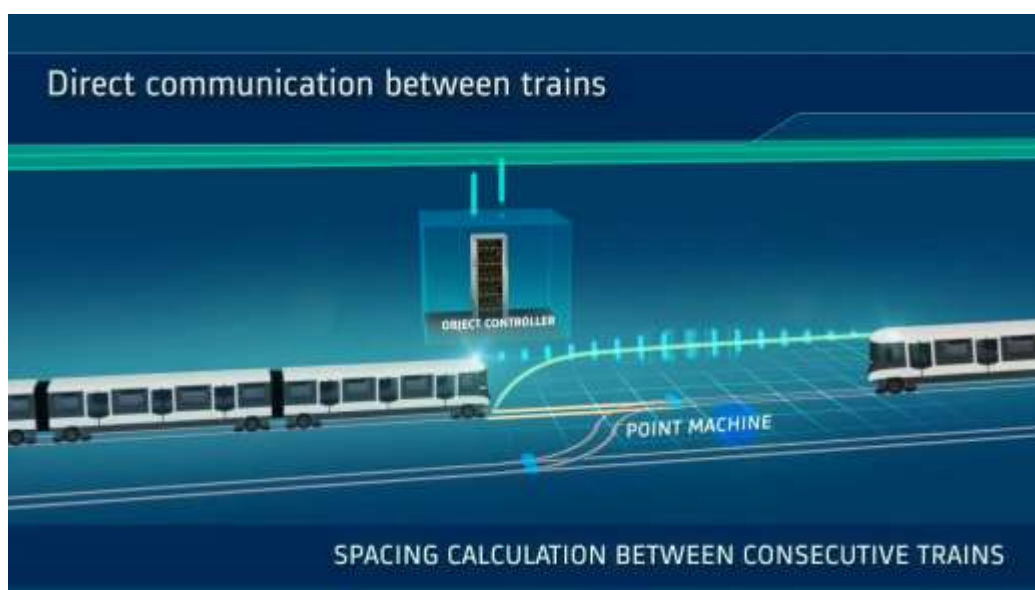
Closer running 프로젝트는 자율주행기반 열차제어기술과 그와 연관된 차량분야의 예측가능한 제동시스템 기술개발, 열차간 통신기술개발, 빠르고 신뢰성 높은 선로전환기술, 열차의 주행중 분리결합 기술을 동시에 개발함으로써 철도시스템 전체의 변화를 기대할 수 있는 대규모의 프로젝트이다.



[그림 2.36] Closer Running 프로젝트 주요연구내용

(가) Alstom Urbalis Fluence

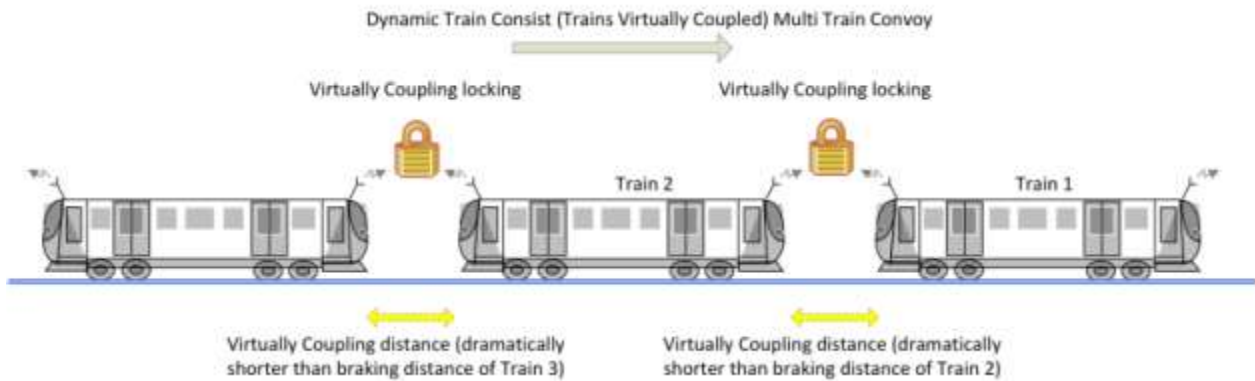
최근 유럽 Alstom의 경우 지난 2014년부터 기존의 CBTC와 같은 지상중심 무선통신기반열차제어시스템의 한계를 극복하기 위해 차세대 CBTC Solution인 Urbalis Fluence를 개발 중에 있으며 이는 세계최초 train-centric CBTC로서 열차 간 통신을 통해 최소 운전시격을 60초까지 단축이 가능하다.



[그림 2.37] Alstom Urbalis Fluence

(나) European Joint Project - Shift2Rail

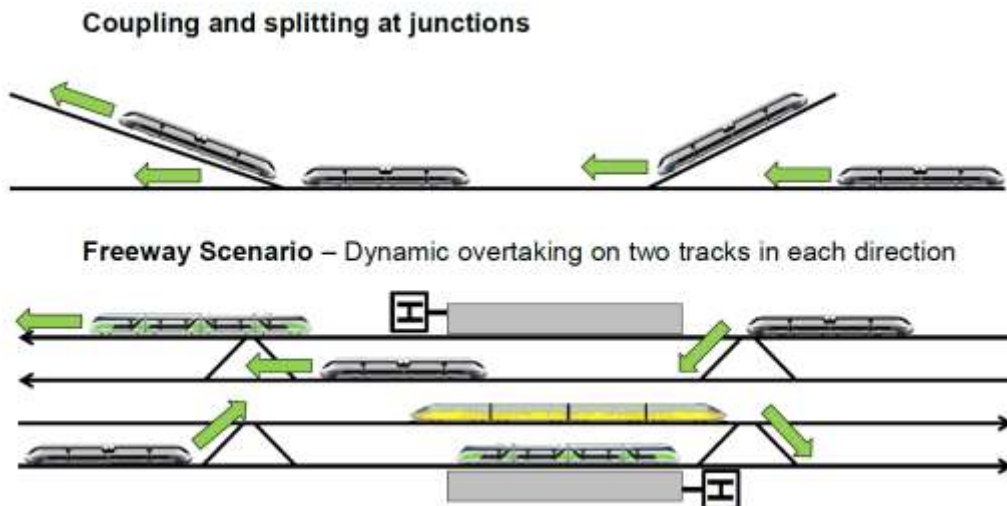
Shift2Rail은 유럽의 선진제작사 공동 프로젝트로 열차제어시스템 외에도 다양한 분야에 대한 연구를 진행하고 있다. 특히 선로의 용량 즉, 수송량을 획기적으로 증대하면서 노선의 운영자 또는 승객에게 높은 수준의 서비스를 목표로 열차 가상연결(Virtual Coupling)에 대한 연구를 2018년부터 수행예정이다.



[그림 2.38] 가상연결 예시

(다) DLR - Next Generation Train Project

독일 Aerospace Center - DLR에서는 차세대 열차 프로젝트의 일환으로 열차 가상연결에 대한 연구를 수행 중에 있다. DLR에서 주장하는 가상연결의 장점은 열차의 연결과 분리가 정차 중 또는 운행 중에도 이루어질 수 있으며 물리적 연결기가 필요하지 않고 수송량을 극대화시킬 수 있다.



[그림 2.39] 가상연결을 이용한 분리결합 시나리오

4. 기술동향 분석 결론

- 특허와 논문 분석결과 우리나라는 국외 선진국에 비해 낮은 수준임을 확인할 수 있었으나 최신의 열차간 협업기반의 열차자율주행과 관련된 기술은 아직 국외에서도 기술개발이 진행 중에 있으므로 아직은 공백기술로 분류될 수 있음.
- 국내연구개발 동향의 경우 현재까지 국외 기술을 국산화 하는 방향으로 진행되어 왔으며 이로 인해 국내 시장의 상당부분이 외산시스템을 도입하여 운영될 수밖에 없음.
- 또한 그 동안 연구개발이 실용화 중심의 단기과제에 집중하고 있어 분야별 핵심원천기술 확보에 어려움이 존재함.
- 따라서 차세대 CBTC 기술인 열차자율주행 관련 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심원천기술개발이 시급히 필요한 실정임.
- 현재의 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 CBTC 기술은 이미 30년전에 고안된 기술임.
- 하지만 신규 개발하고자 하는 열차자율주행제어기술의 경우 아직 국외에서도 연구개발을 일부 진행 중이거나 계획 중에 있는 최신의 기술로서 연구개발이 완료되는 경우 세계 최고 수준의 차세대 열차제어기술을 확보할 수 있음.

4절 기술수준 분석

1. 기술수요조사

가. 조사 개요

(1) 조사 목적

- 국내 열차자율주행 기반 철도차량 기술의 적용 분야를 조사하고, 관련 산업계에서 필요로 하는 기술의 필요성 및 활용성, 요구사항, 기대효과, 애로사항 등 파악

(2) 조사 기간

- 2017년 2월 27일(월) ~ 3월 10일(금) 약 2 주간 진행

(3) 조사 대상

- 열차자율주행 기반 철도차량 분야와 관련된 산학연 전문가 24인을 대상으로, 방문 또는 온라인을 통한 설문조사 실시

(4) 조사 절차 및 내용

- (조사 절차) 조사 및 설계, 수요조사, 분석 3단계로 구성
 - － (조사 및 설계) 기술일반사항 및 과제제안 설문 항목으로 구성된 설문지 설계 및 적합 대상자 선정
 - － (수요조사 및 분석) 기 설계된 설문지를 바탕으로 온/오프라인 기반 수요조사 실시 및 정량·정성 항목에 대한 분석을 바탕으로 시사점 도출
- (조사 내용 및 질의 형태) 기술의 중요성, 기술 개발의 필요성, 개발 시 문제점 등 기술 일반사항 및 제안하는 연구과제, 기대효과 등 과제 제안 분야로 구분하여 조사 수행

[표 2.12] 주요 조사 내용 및 질의 형태

구분	주요 내용	
기술 일반사항	1. 산업기술분야에서의 업무수행 분야 2. 기술의 중요성 3. 기술 또는 유사기술의 활용 여부 4. 활발히 적용되고 있는 기술 5. 시급한 연구가 필요한 기술 분야 6. 기술 개발의 필요성 7. 기술 적용 적합 차량 유형 8. 성능요구사항 주요 항목	9. 핵심 성능요구사항 10. 기술 개발 시 문제점과 사유 11. 국내외 관련 기술 보유기관 또는 제작사 12. 국내외 관련 기술관련 전문가 13. 기술 활용 시 기대효과 14. 기술 분야별 활용 시 세부 활용방안 15. 적정 연구개발 예산 및 기간
과제 제안	16. 제안하는 연구과제 17. 기술개발 필요성	18. 기대효과 및 파급효과 19. 예산 및 기간

나. 조사 결과 분석

(1) 철도차량 신기술 도입의 중요성

- 조사 대상 전원(24인)이 ‘신기술 도입이 중요하다’ 고 응답
- 미래 산업의 ICT화 추세에 따라 열차자율주행 기반 철도차량 산업의 혁신이 필요하고, 이에 따라 핵심 기술 도입의 중요성이 높아지는 상황인 것으로 분석 가능

(2) 철도차량 신기술의 현재 업무 활용 여부

- 총 24인의 조사 대상자 중 19명이 현재 업무에 본 기술을 활용하고 있지 않는 것으로 조사됨에 따라, 현재 기술 활용률이 상당히 낮은 것으로 분석
- 4개의 분과 중 가장 낮은 활용률을 보임에 따라, 철도차량 분야에서 가장 상용화가 미흡한 분야로 분석



[그림 2.40] 열차자율주행 분야의 철도차량 신기술 활용 여부

(3) 기술 개발 필요성

- 조사 대상 전원(24인)이 ‘기술 개발이 필요하다’ 고 응답
- 열차자율주행 기반 철도차량 산업의 신기술 도입 중요성과 함께 기술 개발 필요성 또한 높은 것으로 분석

(4) 연구의 시급성이 높은 분야(중복선택)

- ‘열차 간 협업기반 상황판단 제어기술’ 연구가 가장 시급한 것으로 조사되었으며, ‘차상중심 열차 제어기술’ 또한 중요 연구 분야인 것으로 분석
- 기타 분야로서 ‘열차 간 통신 및 안전성 확보 기술’, ‘차상 중심 지원이 가능한 관제 및 스케줄링 기술’ 등 제안



* 열차 간 통신 및 안전성 확보 기술, 차량 중심을 지원할 수 있는 관제(스케줄링) 기술 등

[그림 2.41] 열차자율주행 분야의 연구 시급성이 높은 분야

(5) 적합한 적용 차량 유형(중복선택)

- ‘도시철도’, ‘경전철’ 유형이 가장 적합한 것으로 조사되었으며, ‘고속철도’, ‘디젤동차’ 유형은 상대적으로 적합성이 떨어지는 것으로 분석
- 기타 유형으로서 ‘광역철도’ 등 제안



* 광역철도 등

[그림 2.42] 열차자율주행 분야의 적합 적용 차량 유형

(6) 기술의 현장 적용 시 애로사항(중복선택)

- ‘실용화 문제’가 현장 적용 시 가장 큰 애로사항인 것으로 조사
- 기 운행되고 있는 철도차량이 대부분임에 따라, 현장의 적용이 힘들 것으로 예상
- 기타 애로사항으로 ‘안전성 등 테스트 환경 조성 미흡’ 제안



[그림 2.43] 열차자율주행 분야의 현장 적용 시 애로사항

(7) 핵심요구사항(우선순위 고려)

- ‘시스템 안전성’ 이 가장 중요한 핵심요구사항인 것으로 조사되었으며, ‘시스템 구축 비용 절감’ 사항의 우선순위는 다소 떨어지는 것으로 분석
- 열차 스스로 판단하는 지능형 시스템의 특성 상, 승객들의 안전 및 열차 간 협업 기반 간격 조정에 대한 이슈사항이 중요한 것으로 예상



[그림 2.44] 열차자율주행 분야의 핵심요구사항

(8) 기대효과

- 주로 열차운행의 효율화 측면, 운영비 및 건설비 등 비용지출 측면에서의 효과를 기대하는 것으로 분석
 - (응답 내용) 수송용량 및 화물 운송/수송 효율성 증대 등 열차운행 측면의 효율화, 유지보수비, 인건비, 운영비 등 비용지출에 대한 감소 효과 기대

다. 제안과제 도출

- 열차자율주행 분야의 기술수요 조사 결과, 총 38개의 관련 연구개발이 필요한 것으로 파악
- － 차상중심 분산형 열차간격제어 및 분기제어, 관제, 통신, 스케줄링, 이상상태 및 에러 검출 등 기술 기반의 38개 제안과제 도출

[표 2.13] 열차자율주행 분야 기술수요조사 제안과제 리스트

구분	제안과제(38개)
1	빠른 응답특성을 가지는 고성능 추진제동시스템 개발
2	운행 중 사고 및 고장에 신속한 대응을 위한 구원운전시스템 기술
3	지능형 고장진단제어 기능을 가지는 차량시스템(TCMS) 개발
4	열차 내 사고 및 승하차 사고에 대한 무인감시체계 기술개발
5	열차 주요 부품상태의 실시간 확인 기술개발
6	차량의 가감속 응답시간을 단축하기 위한 차량설계기술개발
7	차량별 실시간 가용 전력량 제공시스템 개발
8	실용화 확산을 위한 제도 및 법률지원 연구
9	차상중심 분산형 열차간격제어 및 방호기술
10	차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술
11	열차가상연결제어 기술
12	고정밀 속도추종 제어기술
13	편성 내 열차무결성(Intra-train Integrity) 확보기술개발
14	무선통신기반 열차제어 시뮬레이터 기술개발
15	빅데이터를 이용한 열차 운행패턴 모델링 기술개발
16	AI기반 열차운행정보 모델링 기술개발
17	열차 간 무결성(Inter-train Integrity) 확보기술개발
18	상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발
19	상황인지 및 판단기술개발
20	동적 경로/스케줄링 기술개발
21	열차 간 협업 오류 시 방호기술 개발
22	스케줄링 기반 분기제어 기술개발
23	통신보안 기술개발
24	열차 간 직접적인 통신기술 개발
25	전송지연 절감을 위한 네트워크 구조 가상화 기술개발
26	선로구간 위험상황 감시시스템 기술개발
27	실시간 선로 이상상태 판단기술개발
28	빅데이터를 이용한 시설물 이력관리 시스템 개발
29	사고발생시 신속한 조치를 위한 시설물 수치지도 개발
30	승객 승하차 효율화 기술개발
31	승강장 혼잡도 실시간 측정기술 개발
32	에너지 절감 운행관리기술개발
33	스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발
34	클라우드 관제시스템 기술개발
35	열차-차량-승무원 통합스케줄 조정기술 개발
36	승객기반 열차관제 기술개발
37	사용자 중심의 실시간 편성조성 및 스케줄링 기술개발
38	수요 감응형 제어시스템 기술개발

2. 기술예측조사

가. 조사 개요

(1) 조사 목적

- 철도 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여, 이를 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용

(2) 조사 기간 및 장소

- 2017년 3월 22일(수) ~ 24일(금), 한국철도기술연구원

(3) 조사 대상

- 열차자율주행 분야 산학연 전문가 6인

(4) 조사 절차 및 내용

- 기술 예측조사 대상기술 선정, 기술예측조사 수행, 후보과제 도출 프로세스에 따라 기술 예측조사 실시
 - (대상기술 선정) 유사·중복 과제 통합, 과제 적합성 평가 과정을 통해 기술예측 설문 조사 수행을 위한 대상기술 선정
 - (조사 수행) FGI를 통한 기술예측조사 실시 후 기술예측조사 결과 분석 수행
 - (후보과제 도출) 기술예측조사 결과를 바탕으로 후보과제 도출

[표 2.14] 기술예측조사 평가항목

조사 항목	내용
전문도	응답자의 해당 분야(기술)에 대한 기술적 전문도
중요도	해당 기술의 철도차량 실용화 기술, 사회경제 등의 발전에 미치는 영향 정도
기술 성숙도	해당 기술의 기술성숙도를 태동, 성장, 핵심, 기반 4단계로 구분
기술실현 예측시기	해당 기술의 실현 예측시기를 응답자가 직접 년도 선택
최고기술보유국	해당 예측기술에 대한 현재 기술수준이 가장 앞서있는 국가 선정
국내기술 수준	최고 기술 보유국 기술수준(100%) 대비 국내의 현재 기술수준의 정도
기술획득 방식	기술을 획득하기 위한 추진 방식 선택
실현상의 장애요인	해당기술을 실현하는데 장애가 되는 요인을 모두 선택

나. 대상기술 선정

(1) 유사·중복 과제 통합

- 열차자율주행 분야는 유사·중복 과제 통합 과정을 거쳐 1차 도출 제안과제 수 38개에서 최종 제안 과제 수 22개로 축소
- － 응답특성, 사고 및 고장 대응, 가상열차연결제어, 스케줄링, 열차 간 협업, 관제 등 공통 기술로 통합

[표 2.15] 유사·중복 제안 과제 통합

제안 과제	통합 과제명	통합 이유
빠른 응답특성을 가지는 고성능 추진제동시스템 개발	빠른 응답특성을 가지는 고성능 추진제동시스템 개발	추진제어시스템의 응답특성을 향상시키는 동일한 과제
차량의 가감속 응답시간을 단축하기 위한 차량설계기술개발		
지능형 고장진단제어 기능을 가지는 차량시스템(TCMS) 개발	열차 사고 및 고장상황 실시간 감시 및 대응기술개발	열차내 사고와 고장상황에 대한 감시 및 대응기술로 표현이 가능
열차 주요 부품상태의 실시간 확인 기술개발		
열차내 사고 및 승하차 사고에 대한 무인감시체계 기술개발		
운행중 사고 및 고장에 신속한 대응을 위한 구원운전시스템 기술		
빅데이터를 이용한 열차 운행패턴 모델링 기술개발	빅데이터 기반 열차 운행패턴 모델링 기술개발	열차의 운행패턴을 모델링하여 최적의 제어를 수행하고자 하는 동일한 과제
AI기반 열차운행정보 모델링 기술개발		
열차간 무결성(Inter-train Integrity) 확보기술개발	차상중심 분산형 열차간격제어 및 방호기술	열차간 무결성 확보를 포함
차상중심 분산형 열차간격제어 및 방호기술		
편성내 열차무결성(Intra-train Integrity) 확보기술개발	가상열차연결제어 기술	편성내 무결성 확보를 포함
열차가상연결제어 기술		
상황인지 및 판단기술개발	열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발	협업 오류상황에 대한 판단기술 및 동적 경로/스케줄링 기술개발을 포함
열차간 협업 오류 시 방호기술 개발		
동적 경로/스케줄링 기술개발		
스케줄링 기반 분기제어 기술개발	차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술	스케줄링 기반 분기제어기술이 차상중심 분산형 진로 및 분기제어기술에 포함
차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술		

제안 과제	통합 과제명	통합 이유
선로구간 위험상황 감시시스템 기술개발	선로구간 실시간 이상상태 감시기술 개발	선로구간 이상상태에 대한 실시간 감시기술
실시간 선로 이상상태 판단기술개발		
스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발	스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발	ICT 기술을 관제시스템 도입하여 열차운영의 안정성 및 정시성을 향상시키는 동일한 과제
클라우드 관제시스템 기술개발		
승객기반 열차관제 기술개발		
승객 승하차 효율화 기술개발	차내 및 승강장 혼잡도 관리 기술개발	차내 및 승강장 혼잡도 관리기술로 표현 가능
승강장 혼잡도 실시간 측정기술 개발		
에너지 절감 운행관리기술개발	수요 감응형 제어시스템 기술개발	에너지 절감 운행관리기술개발을 포함
수요 감응형 제어시스템 기술개발		
열차-차량-승무원 통합스케줄 조정기술 개발	스마트 스케줄링 시스템 개발	열차-차량-승무원 통합스케줄 조정기술 개발, 실시간 편성조성 및 스케줄링 기술개발을 포함
사용자 중심의 실시간 편성조성 및 스케줄링 기술개발		

(2) 과제 적합성 평가

- 최종 후보과제 선정을 위해 각 제안과제에 대해 목표 부합성 및 인프라 적정성에 대한 평가를 수행

[표 2.16] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과

제안 과제명	평가 결과		최종 선정여부
	목표 부합성	인프라 적정성	
빠른 응답특성을 가지는 고성능 추진제동시스템 개발	상	하	선정
열차 사고 및 고장상황 실시간 감시 및 대응기술개발	중	상	선정
차량별 실시간 가용 전력량 제공시스템 개발	중	상	선정
실용화 확산을 위한 제도 및 법률지원 연구	하	상	제외
차상중심 분산형 열차간격제어 및 방호기술	상	상	선정
차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술	상	상	선정
빅데이터 기반 열차 운행패턴 모델링 기술개발	하	중	제외
고정밀 속도추종 제어기술	상	상	선정
가상열차연결제어 기술	상	상	선정
무선통신기반 열차제어 시뮬레이터 기술개발	하	하	제외
열차 간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발	상	상	선정
상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발	중	상	선정

제안 과제명	평가 결과		최종 선정여부
	목표 부합성	인프라 적정성	
통신보안 기술개발	중	상	선정
열차 간 직접적인 통신기술 개발	상	중	선정
전송지연 절감을 위한 네트워크 구조 가상화 기술개발	중	중	선정
선로구간 실시간 이상상태 감시기술 개발	중	중	선정
빅데이터를 이용한 시설물 이력관리 시스템 개발	중	하	제외
사고발생시 신속한 조치를 위한 시설물 수치지도 개발	하	중	제외
스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발	중	중	선정
차내 및 승강장 혼잡도 관리 기술개발	중	상	선정
수요 감응형 제어시스템 기술개발	중	중	선정
스마트 스케줄링 시스템 개발	상	중	선정

- 열차자율주행 분야는 평가를 거쳐 총 22개의 제안과제 중 17개의 최종 후보과제를 선정하였으며, 이후 후보과제를 대상으로 기술예측조사를 수행

[표 2.17] 기술예측조사를 위한 최종 후보과제 선정

과제번호	후보 과제
A-01	빠른 응답특성을 가지는 고성능 추진제동시스템 개발
A-02	열차 사고 및 고장상황 실시간 감시 및 대응기술개발
A-03	차량별 실시간 가용 전력량 제공시스템 개발
A-04	차상중심 분산형 열차간격제어 및 방호기술
A-05	차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술
A-06	고정밀 속도추종 제어기술
A-07	가상열차연결제어 기술
A-08	열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발
A-09	상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발
A-10	통신보안 기술개발
A-11	열차간 직접적인 통신기술 개발
A-12	전송지연 절감을 위한 네트워크 구조 가상화 기술개발
A-13	선로구간 실시간 이상상태 감시기술 개발
A-14	스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발
A-15	차내 및 승강장 혼잡도 관리 기술개발
A-16	수요 감응형 제어시스템 기술개발
A-17	스마트 스케줄링 기술

다. 조사 결과 분석

(1) 철도차량 기술 및 사회·경제 발전 측면의 중요 요소(중복선택)

- ‘관련 원천기술 독자적 확보’가 가장 중요 요소로 분석됨에 따라, 핵심이 될 수 있는 산업 기반 기술 연구가 필요한 상황인 것으로 분석

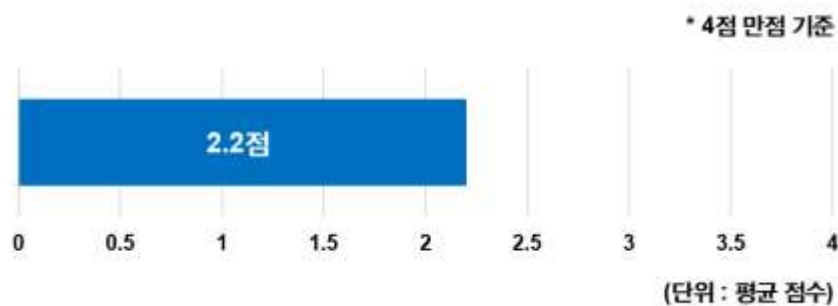


[그림 2.45] 열차자율주행 분야 기술 및 사회·경제 측면의 중요 요소

(2) 기술성숙도 수준(4점 척도 기준 평가)

1점 : 태동 단계, 2점 : 성장 단계, 3점 : 핵심 단계, 4점 : 기반 단계

- 평균 2.2점으로 조사됨에 따라, 초기 성장단계인 것으로 분석



[그림 2.46] 열차자율주행 분야의 기술 성숙도 수준

(3) 기술 예상 실현 시기

- 평균 2023년에 실현 가능할 것으로 조사됨에 따라, 타 분과 대비 기술 구현을 위한 적극 노력이 필요할 것으로 예상

(4) 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준(중복선택)

- 열차자율주행 분야의 최고기술 보유국은 독일이라는 응답이 가장 많았으며, 독일 대비 국내기술수준은 71%에 불과한 것으로 응답
 - 독일(52%) 다음으로 일본(29%), 미국(14%) 등의 응답 순



[그림 2.47] 열차자율주행 분야의 최고기술 보유국 및 국내 기술 수준

- 세부 과제별 최고기술 보유국 또한 독일이 가장 많은 1순위로 나타났으며, 최고기술 보유국 대비 국내기술수준은 ‘열차간 직접적인 통신기술’이 84%로 가장 근접
 - 반면 ‘가상열차연결제어 기술’은 47%로서 가장 취약한 것으로 조사

[표 2.18] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과

과제 번호	후보과제	최고기술 보유국		국내 기술수준 (평균)
		1순위	2순위	
A-01	빠른 응답특성을 가지는 고성능 추진제동시스템 개발	독일	일본, 프랑스	80%
A-02	열차 사고 및 고장상황 실시간 감시 및 대응기술개발	독일	일본, 프랑스	73%
A-03	차량별 실시간 가용 전력량 제공시스템 개발	일본	독일, 프랑스	82%
A-04	차상중심 분산형 열차간격제어 및 방호기술	독일	프랑스	54%
A-05	차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술	독일	일본, 프랑스	57%
A-06	고정밀 속도추종 제어기술	독일	프랑스	58%
A-07	가상열차연결제어 기술	독일	일본, 프랑스	47%
A-08	열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발	독일	일본, 프랑스	51%
A-09	상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발	독일	미국, 프랑스, 일본	73%
A-10	통신보안 기술개발	미국	프랑스, 독일	77%

과제 번호	후보과제	최고기술 보유국		국내 기술수준 (평균)
		1순위	2순위	
A-11	열차간 직접적인 통신기술 개발	독일, 미국	프랑스	84%
A-12	전송지연 절감을 위한 네트워크 구조 가상화 기술개발	미국	-	81%
A-13	선로구간 실시간 이상상태 감시기술 개발	독일, 프랑스, 일본	-	74%
A-14	스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발	일본, 독일	프랑스	78%
A-15	차내 및 승강장 혼잡도 관리 기술개발	일본	-	77%
A-16	수요 감응형 제어시스템 기술개발	일본	독일	73%
A-17	스마트 스케줄링 기술	일본	-	82%
평균				70.65

- 기술수준 분석결과 국내 기술수준 평균은 최고기술 보유국의 약 71%정도 수준으로 분석되었음.
- 한편 2015년도 국토교통 기술수준조사 보고서¹²⁾에 의하면 철도신호통신 분야의 기술수준은 선진국 대비 약 75% 수준으로 분석되었음.
- 본 기술수준의 경우 완전히 새로운 철도신호통신 기술에 대한 기술수준을 분석하였으며 특히, 가상열차연결제어기술과 열차간 협업기반 상황인지 기술의 경우 최고기술 보유국에 비해 상당히 낮은 수준으로 분석되었기 때문에 이를 제외한다면 설득력을 가지는 분석결과로 판단됨.

(5) 기술획득 선호 방식

- 총 6명의 전문가 중 평균 3.6명이 ‘민간정부협력’을 선택함으로써, 민간과 정부의 공동노력을 통한 기술연구의 필요성이 높은 것으로 분석

(6) 장애요인 현황(중복선택)

- 인프라 부족으로 인한 연구비용 문제가 가장 큰 장애요인으로 조사됨에 따라, 연구비 지원사업 등 국가 측면의 지원 정책 필요성이 높은 것으로 분석
- ‘산업화(제품화)’, ‘경제성(시장수익성)’ 등 요인도 큰 장애요인으로 분석

12) 국토교통 기술수준조사 보고서, 국토교통과학기술진흥원, 2015.



[그림 2.48] 열차자율주행 분야의 장애요인 현황

3. 우선순위조사

가. 조사 개요

(1) 목적

- 본 연구과제에 부합하는 과제의 기획 및 발굴을 위해 전략성과 기술성, 경제성과 파급성 등을 감안하여 우선적으로 연구·개발 되어야 할 기획과제 선정

(2) 평가지표

- 우선순위 도출을 위해 본 연구과제의 특성을 감안하여 전략성, 기술성, 경제성, 파급성 등 4대 항목으로 평가지표 구성
 - － 4대 평가항목에 대해 각각 2개의 세부 평가지표로 구성

[표 2.19] 우선순위조사 평가지표 항목

평가항목	평가지표	소항목 개념
전략성	전략과의 부합성	정부의 중장기 R&D 전략 및 본 기획과제 추진전략에 부합되는 정도
	전략적 시급성	사회적, 정책적, 기술적 변화에 의해 해당 기술의 수요가 증가할 것으로 예상됨에 따른 해당 기술 개발의 시간적 시급 정도
기술성	기술 실현성	현재 기술수준, 연구개발역량 등을 고려할 때 해당 기술의 실현 가능성
	기술 우위성	해당 기술의 독창성 및 연구분야에의 기여 수준
경제성	사업화 가능성	해당 기술이 개발된 후 실제 철도에 도입되는 사업화 가능 정도
	수익성	해당 기술의 개발투자비 대비 기술로 인한 수익 창출 정도
파급성	과학기술적 파급성	과학적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면에서의 기여도
	사회공공적 파급성	사회문제 해결 및 공익 측면에서의 기여도

(3) 조사 방법 및 절차

- 최종 확정된 후보과제에 대한 평가를 통해 후보과제별 우선순위 조사
 - (1단계) 평가지표에 대한 가중치 선정을 위해 AHP 기법을 적용
 - AHP : 정확한 결과 도출을 위해 과제별 우선순위 결과에 쌍대비교를 통한 가중치를 적용하는 기법
 - (2단계) 후보과제에 대한 평가지표 항목에 대한 7점 척도 평가 수행
 - 7점 척도 기준 : 매우 크다(7점), 크다(6점), 다소 크다(5점), 보통(4점), 다소 작다(3점), 작다(2점), 매우 작다(1점)
 - (3단계) 2단계 후보과제 평가 결과에 평가지표 가중치를 반영하여 7점 만점으로 환산
 - (4단계) 평가결과 7점 만점 중 5.5점 이상인 과제를 최종 연구과제로 선정

(4) 조사 대상 과제 목록

- 기술수요조사 및 기술예측조사를 통해 도출된 총 17개의 열차자율주행 분야 후보과제에 대한 우선순위 조사를 수행

[표 2.20] 열차자율주행 분야 우선순위 조사 과제 리스트

과제번호	후보과제명
A-01	빠른 응답특성을 가지는 고성능 추진제동시스템 개발
A-02	열차 사고 및 고장상황 실시간 감시 및 대응 기술개발
A-03	차량별 실시간 가용 전력량 제공시스템 개발
A-04	차상중심 분산형 열차간격제어 및 방호 기술개발
A-05	차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발
A-06	고정밀 속도추종 제어 기술개발
A-07	가상열차연결제어 기술개발
A-08	열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발
A-09	상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발
A-10	통신보안 기술개발
A-11	열차간 직접적인 통신기술 개발
A-12	전송지연 절감을 위한 네트워크 구조 가상화 기술개발
A-13	선로구간 실시간 이상상태 감시기술 개발
A-14	스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발
A-15	차내 및 승강장 혼잡도 관리 기술개발
A-16	수요 감응형 제어시스템 기술개발
A-17	스마트 스케줄링 기술개발

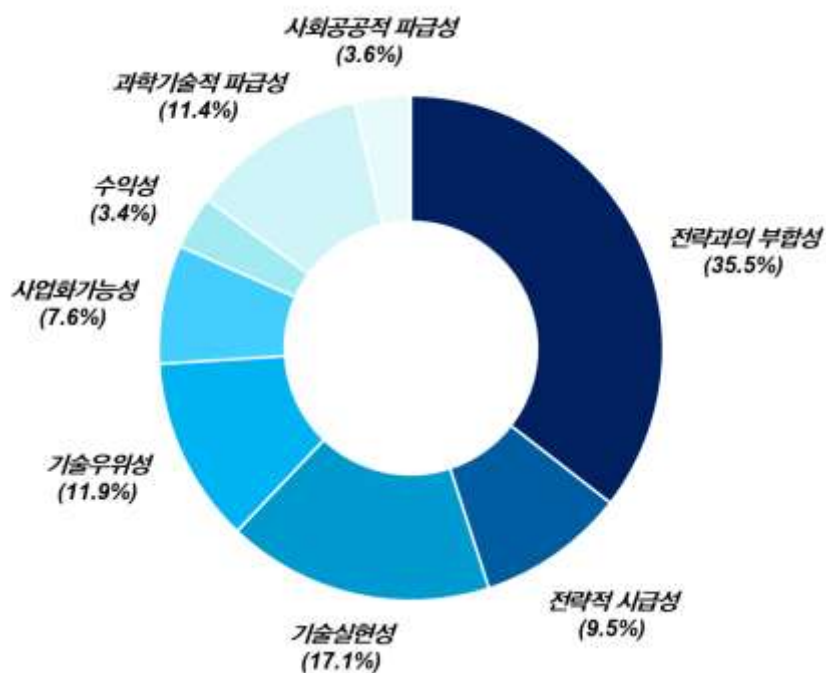
나. 조사 결과

(1) 평가지표 가중치

- 우선순위 평가기준 가중치 중 전략성이 45.0%로 가장 높은 것으로 조사됨
 - 전략성 이외에 기술성(29.0%), 파급성(15.0%), 경제성(11.0%) 순으로 도출
- 세부 평가지표 중에서는 전략과의 부합성이 35.5%로 매우 중요한 것으로 조사됨
 - 전략과의 부합성 외 세부 평가지표 중에서는 기술 실현성(17.1%), 기술 우위성(11.9%), 과학기술적 파급성(11.4%)의 순으로 중요한 것으로 조사됨
- 본 과제의 특성상 중장기적 관점에서 철도 분야의 경쟁력 확보를 위한 전략 및 기술 차원의 접근이 보다 중요한 것으로 분석

[표 2.21] 우선순위조사 평가지표 항목

평가항목	전략성		기술성		경제성		파급성		합계
평가지표	전략과의 부합성	전략적 시급성	기술 실현성	기술 우위성	사업화 가능성	수익성	과학기술적 파급성	사회공공적 파급성	
가중치	35.5%	9.5%	17.1%	11.9%	7.6%	3.4%	11.4%	3.6%	100%
소계	45.0%		29.0%		11.0%		15.0%		100%



[그림 2.49] 열차자율주행 분야의 우선순위 평가기준 가중치

(2) 우선순위 조사 결과

- 열차자율주행 분야 17개 후보과제에 대한 평가지표별 절대평가(7점 척도) 점수에 평가지표별 가중치(AHP)를 반영하여 다음과 같이 최종 평가점수 및 순위를 도출

[표 2.22] 열차자율주행 분야 우선순위 조사 결과

평가 지표 과제 번호	전략성		기술성		경제성		파급성		결과	
	전략과의 부합성	전략적 시급성	기술 실현성	기술 우위성	사업화 가능성	수익성	과학기술적 파급성	사회공공적 파급성	합계	순위
A-01	1.5	0.4	0.9	0.6	0.4	0.2	0.6	0.2	4.7	13
A-02	1.7	0.4	1.0	0.6	0.4	0.2	0.6	0.2	5.1	10
A-03	1.1	0.3	0.9	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	3.7	17
A-04	2.3	0.6	0.8	0.8	0.4	0.2	0.7	0.2	6.0	1
A-05	2.2	0.6	0.8	0.8	0.4	0.2	0.7	0.2	5.7	3
A-06	1.7	0.4	0.8	0.7	0.3	0.2	0.6	0.2	4.8	11
A-07	2.0	0.5	0.7	0.8	0.4	0.2	0.7	0.2	5.5	9
A-08	2.1	0.6	0.8	0.7	0.4	0.2	0.6	0.2	5.5	7
A-09	2.0	0.5	0.9	0.7	0.4	0.2	0.6	0.2	5.5	8
A-10	2.0	0.5	1.1	0.6	0.5	0.2	0.6	0.2	5.6	5
A-11	2.0	0.5	1.0	0.7	0.5	0.2	0.7	0.2	5.7	4
A-12	1.5	0.4	0.9	0.6	0.4	0.1	0.6	0.2	4.7	14
A-13	1.5	0.4	1.1	0.5	0.4	0.2	0.6	0.2	4.8	12
A-14	2.1	0.5	1.0	0.7	0.5	0.2	0.7	0.2	5.9	2
A-15	1.3	0.3	0.9	0.5	0.3	0.2	0.5	0.2	4.2	16
A-16	1.5	0.4	0.9	0.5	0.3	0.2	0.5	0.2	4.5	15
A-17	2.0	0.6	0.9	0.6	0.4	0.2	0.7	0.2	5.5	6

- 평가결과 5.5점 이상인 9개 후보과제를 최종 연구과제로 선정
- 가상열차연결제어 기술개발의 효과를 극대화하기 위해서는 차량의 고성능 추진제동시스템, 전력의 실시간 가용전력량 제공시스템, 궤도의 빠른 선로전환기 등 다양한 분야의 연구개발이 필요하나 가장 통신과 제어에 대한 핵심요소기술 개발을 먼저 수행함으로써 타 분야의 개발에 필요한 목표수준을 정의 하고자함.

[표 2.23] 열차자율주행 분야 최종 연구 과제

순위	과제번호	후보과제명	과제 내용
1	A-04	차상중심 분산형 열차간격 제어 및 방호 기술개발	• 차상중심 분산형 열차방호시스템 개발 • 열차 간 연결 무결성 확보기술개발
2	A-14	스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발	• 스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발 • 클라우드 관제시스템 기술개발 • 승객기반 열차관제 기술개발
3	A-05	차상중심 분산형 진로 및 분기 제어 기술개발	• 차상중심 분산형 진로제어기술 개발 • 차상중심 분산형 분기제어기술 개발
4	A-11	열차간 직접적인 통신기술 개발	• 열차 간 직접통신기술 개발
5	A-10	통신보안 기술개발	• 물리적 통신보안 기술개발 • 사이버 통신보안 기술개발
6	A-17	스마트 스케줄링 기술개발	• 열차-차량-승무원 통합스케줄 조정기술 개발 • 사용자 중심의 실시간 편성조성 및 스케줄링 기술개발
7	A-08	열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발	• 상황인지 및 판단기술개발 • 판단에 따른 제어기술개발
8	A-09	상황인지를 위한 가상 인터페이스 기술개발	• 상황인지를 위한 가상인터페이스 개발
9	A-07	가상열차연결제어 기술개발*	• 열차 간 가상연결제어 기술개발 • 편성 내 열차 무결성 확보기술개발

* 해당기술은 본 과제와의 전략 부합성은 매우 높으나 선진국에서도 TRL 4~5수준 달성에 15년 이상을 예상하고 있을 만큼 장기간 개발이 필요함¹³⁾.

본 기획과제에서는 기술선점과 선도를 위해 1단계 기초원천기술개발(5년)을 통해 TRL 4 수준을 달성하고, 2단계 핵심기술개발(5년)을 통해 TRL 5수준 달성을 목표로 추진

13) Technology and Innovation Roadmaps, ERRAC, 2016

5절 유사과제분석 및 기존기술(연구)와의 차별성

1. 유사과제 분석

- 기존의 국가연구개발과제를 통해 개발된 열차제어시스템은 지상제어시스템이 중심이며 이전에 미국과 유럽에서 개발을 통해 표준화된 열차제어시스템 체계를 벤치마킹하여 국내 기술로써 국산화 개발한 것으로 볼 수 있음.
- 최근 열차제어시스템 개발과 관련된 국가연구개발과제와의 차별성은 아래와 같이 분석이 가능함.

[표 2.24] 유사과제 분석

구분	도시철도용 무선통신 기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가	일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화	무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템	지능형 열차자율주행시스템 기술개발
연구목표	-한국형 무선통신 기반 열차제어시스템의 실용화 기반을 마련하기 위해 열차제어시스템 표준체계를 구축하고 시스템의 안전성 및 성능평가 수행	-일반 및 고속철도용 한국형 무선통신 기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가 수행	-차상과 지상제어시스템 간 양방향 무선통신을 기반으로 열차의 간격제어와 진로제어를 수행하는 기술개발을 목표	-열차간 상호 협업을 통해 열차 스스로 안전한 이동을 보장하며 주행 중 분리결함을 통해 자유로운 편성조성이 가능하고 이례 상황 발생시 스스로 상황을 인지하고 판단하여 대응이 가능한 지능형 열차제어 및 통신 보안 핵심기술 개발
과제기간 (수행기관)	2010-2014 (한국철도기술연구원)	2014-2017 (한국철도시설공단)	기획연구 수행중	기획연구 수행중
연구내용	-도시철도용 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가 -철도무선통신망 개발 -대불선 약 11km 구간을 시험선으로 구축하여 열차제어시스템 및 통신망 시험	-개발내용 ·일반 및 고속철도용 무선통신 기반 열차제어시스템 개발 및 시험평가 ·철도전용 무선통신망 표준화 연구	-열차위치검지기술 (열차무결성 및 선로무결성 검지기술 포함) -열차안전간격제어 기술 -열차진로제어기술 -열차자동운전제어 기술	-세계최초 완전한 차상중심의 지능형 열차제어와 열차간 협업기반의 열차자율주행 핵심요소기술 도출 1)열차간 협업기반 자율주행제어 기술 2)열차간 협업기반 가상열차편성

구분	도시철도용 무선통신 기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성 능평가	일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시 스템 실용화	무궤도회로방식의 고 속철도용 열차제어시 스템	지능형 열차자율주행시스템 기술개발
				(Virtual Coupler) 기술 3)열차간 직접통신기 술(Direct T2T Communication) 4)열차간 협업기반 상황인지 및 판단/ 제어 기술 5)열차자율주행기반 통신보안기술
차별성	-열차는 기존의 CBTC와 같은 지상 중심(지상 ATP, 지 상 ET)의 제어명령 에 의존함 -열차는 스스로 인 지/판단/제어가 불 가능함.	-열차는 기존의 ETCS와 같은 지상 중심(radio block center, ET)의 제어 명령에 의존함 -열차는 스스로 인 지/판단/제어가 불 가능함.	-기존의 ETCS와 같 은 지상중심의 제 어명령에 의존함. -열차는 스스로 인 지/판단/제어가 불 가능함.	-기존의 가장 진보 된 열차제어기술인 무선통신기반 열차 제어시스템이 가지 는 기능과 성능한 계를 극복하기 위 해서는 제어패러다 임의 근본적인 변 화 -지상제어시스템의 제어명령에 의존하 지 않음. -지능형 열차와 열 차간 협업을 통해 스스로 자신의 주 행상황을 인지하고 판단함.

[표 2.25] 스마트 스케줄링 및 관제 유사과제 분석

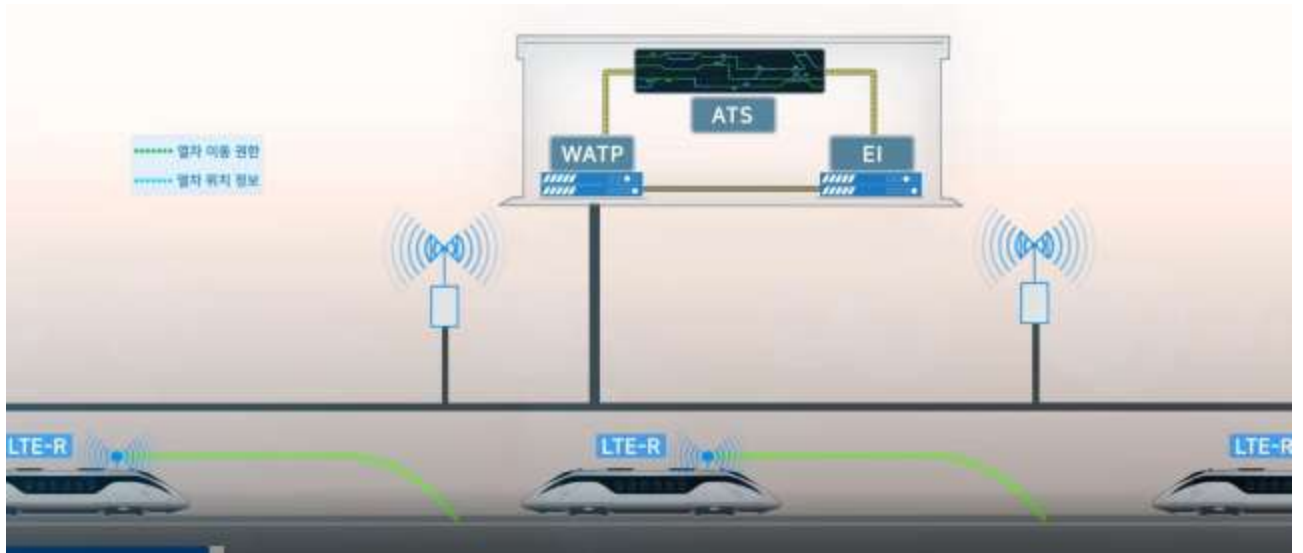
구분	열차운영계획시스템 (TOPS) 개발	철도운영 및 유지보수 효율 화 기술개발	스마트 스케줄링 및 관제
연구목표	열차계획 수립 소요시간 단축 전면개정: 45일, 부분개정 15일 소요 (50% 단축)	기획연구과제 신규과제 발굴	통합 스케줄링 작업 실시 간화로 스마트 서비스 체 계구현 지원 전반적으로 2주일 이내로 단축
과제기간 (수행기관)	2011.9.30-2014.7.29 (한국철도공사)	2012.12.26-2013.6.25 (한국철도공사)	-

구분	열차운영계획시스템 (TOPS) 개발	철도운영 및 유지보수 효율화 기술개발	스마트 스케줄링 및 관제
연구내용	열차계획 중심으로만 개발 (승무원 스케줄링의 소요 기간 단축이 핵심이나 이 부분에 대한 내용 미개발)	-3D진단 기반 철도차량 부품이력관리 시스템 개발 -도시철도 전기시설물 유지보수 향상 기술개발 -철도 역사관리 표준화/자동화 기술개발	열차 - 차량 - 승무원 통합 스케줄링
차별성	-열차운영계획 시스템개발 과제는 스마트 스케줄링 기술개발 과제와 목표가 유사하나 한국철도공사 단독으로 수행하여 한국 철도공사만 사용할 수 있는 프로그램이 개발된 것으로 판단됨 -타 운영기관이 범용으로 사용하기가 거의 불가능함 -개발 범위에 있어서 열차 스케줄링에 집중되어 있어 가장 많은 시간이 소요되는 승무원 스케줄링 분야 문제 해결 불가	-철도운영 및 유지보수 효율화 기술개발은 과제 제 목상으로 유사한 것처럼 보이나 실제 내용에 있어서는 기획과제로서 차별화됨.	

2. 유사과제 연계성

가. 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템

- 기획중인 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템('16.12~' 17.11)의 경우 차상과 지상제어시스템 간 양방향 무선통신을 기반으로 열차의 간격제어와 진로제어를 수행하는 기술개발을 목표로 함.
- 무궤도회로방식에서 개발하는 연구내용은 다음과 같다.
 - 열차위치검지기술(열차무결성 및 선로무결성 검지기술 포함)
 - 열차안전간격제어기술
 - 열차진로제어기술
 - 열차자동운전제어기술



[그림 2.50] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템

나. 차별성

무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템과 지능형 열차자율주행시스템은 다음과 같은 차별성을 가진다.

- 지능형 열차자율주행시스템은 지상제어시스템이 존재하지 않으며 열차와 열차, 열차와 설로변 설비간 직접적인 통신을 기반으로 1) 열차스스로 간격제어와 진로제어를 수행하는 기술개발을 목표로 하며,
- 더 나아가 2) 열차스스로 주행 중 가상연결을 통한 분리결합을 수행하며 자동운전을 넘어서 3) 열차스스로 주변상황을 인지하고 판단하여 안전한 주행경로와 열차의 이동을 제어하는 기술개발을 목표로 함.
- 따라서 무궤도회로방식의 차상-지상제어시스템 기반의 열차안전간격제어 및 진로제어기술과는 근본적인 차별성을 가짐.
- 또한 기존의 사전에 정해진 패턴대로 움직이는 자동운전제어기술과는 달리 이례상황 발생시 열차스스로 판단하여 더 나은 판단과 그에 따른 제어를 스스로 함으로써 보다 지능화된 운전을 수행하게 됨.

무궤도회로기반 고속철도용 열차제어시스템

- 지상중심(Wayside-centric)
- 지상제어명령에 의존
- 지상과 차상의 연결기반
- Triangular-path 제어흐름
- 간격제어와 분기/진로제어가 분리
- 열차자동운전기술
- 물리적연결기



지능형 열차자율주행시스템

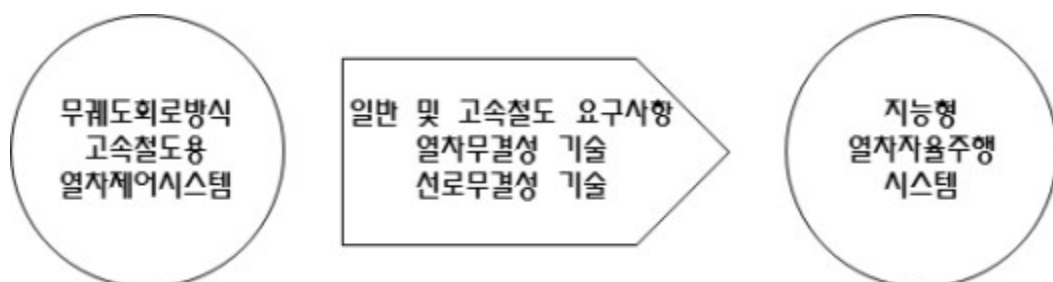
- 차상중심(Train-centric, Waysideless)
- 열차스스로 판단/제어
- 열차간 연결기반(Connected Train)
- Direct-path 제어흐름
- 간격제어와 분기/진로제어가 통합
- 열차자율주행기술
- 가상연결기

[그림 2.51] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템과의 차별성

다. 연계방안

무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템에서 도출한 고속 및 일반철도용 열차제어시스템 요구사항과 궤도회로를 사용하지 않음으로써 발생하는 열차무결성 및 선로무결성에 대한 기술개발 결과는 지능형 열차자율주행시스템 개발에 연계하여 활용이 가능하다.

- 지능형 열차자율주행시스템은 단계적으로 기술개발을 수행할 계획이며 1단계 핵심기술 개발단계에서는 도시철도를 비롯하여 일반 및 고속철도용 열차제어시스템에 적용 가능한 핵심기술개발을 수행하며 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템에서 도출한 고속 및 일반철도용 열차제어시스템 요구사항을 활용할 계획임.
- 지능형 열차자율주행시스템 역시 궤도회로를 이용하지 않기 때문에 열차무결성 및 선로무결성에 대한 검지기술이 요구되며 이러한 기술은 앞서 선행된 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템에서 개발된 기술을 활용하여 연구를 수행할 계획임.



[그림 2.52] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템과의 연계방안

6절 국내 연구개발 인프라 분석

1. 기술개발 SWOT 분석

기술 동향, 기술 수준, 연구 인프라 및 연구개발 역량, 지적재산권 확보 가능성 등을 종합적으로 분석하여 Strength(강점), Weakness(약점), Opportunity(기회), Threat(위험) 요인을 분석하였다.

[표 2.26] SWOT 분석

강점(Strength)	약점(Weakness)
○ 본 과제를 수행함으로써 해외선진국과 동등 또는 그 이상의 차세대 열차제어시스템에 대한 핵심기술 및 개발노하우 확보 ○ 차상중심의 ATP, 분산형 ET 및 분기제어기, 지능형 ATO 등 첨단 열차자율주행기반 제어 핵심기술 확보 ○ 가상연결 및 해제 제어프로파일 설계기술, 고정밀 속도추종제어 설계기술 등 가상열차편성 핵심기술 확보 ○ 자율협업기반 상황인지 및 판단, 스케줄링 및 동적경로설정 기술개발 등 열차자율주행기반 스케줄링 및 경로설정 핵심기술 확보 ○ 열차자율주행시스템에 대한 체계적인 성능평가 기술 확보 ○ 열차자율주행시스템의 전송지연 저감을 위한 통신기술 및 통신보안 기술확보	○ 국내 운영노선에 운영되고 있는 열차제어시스템은 대부분이 외산기술에 의존하여 실용화 및 관련 운영경험 미흡 ○ 단기 실용화 위주 연구개발로 인해 열차제어시스템 분야의 핵심 원천기술 확보 부족 ○ 국외 선진국의 열차제어시스템 기술을 모방 및 추종하는 방향의 연구개발 수행으로 핵심기술의 종속 및 시장 진출에 어려움 발생 ○ 열차제어시스템 개발과 관련된 경험과 제작사 등 관련 기술수준 및 연구 인프라 부족 ○ 국내 열차제어시스템 관련 부품설계 및 제작과 요소기술에 대한 산업기반 취약 ○ 국내의 열악한 연구 인프라 및 산업기반으로 인하여 열차제어시스템 핵심기술에 대한 노하우 부족
기회요인(Opportunity)	위험요인(Threat)
○ 장기적인 연구개발이 가능하므로 차세대 열차제어시스템인 열차자율주행시스템에 대한 핵심 원천기술 확보 가능 ○ 국내 철도운영기관에서 외산 열차제어시스템의 설치부터 유지보수에 이르기까지 막대한 비용과 소요시간 등의 문제로 인해 국산 열차제어시스템에 대한 필요성이 증대되고 있으므로 연구개발 성과물에 대한 수요 및 파급효과가 높을 것으로 기대 ○ 국가 연구개발 사업을 통해 무선통신기반 열차제어시스템의 시스템 설계 제작에 대한 기반기술 보유 ○ 전 세계적으로 열차제어시스템 관련 시장이 점차 늘 것으로 예상됨에 따라 관련기술의 국내 시장뿐만 아니라 해외진출 가능성 제고 ○ 철도통합무선망 주파수 확보에 따라 무선통신을 활용한 다양한 연구개발 가능 ○ 신문당선 및 경량전철의 무선통신기반 열차제어시스템의 운영경험 보유	○ 연구개발 투자의 중단으로 인한 차세대 열차제어시스템 핵심기술 개발에 대한 기회 상실 ○ 해외 선진국의 막대한 자본력과 연구 인프라를 바탕으로 하는 기술개발로 인해 또 다시 차세대 열차제어시스템 기술에 대한 기술종속 우려 ○ 해외 선진기업들의 특허장벽 강화 및 기술 개발 이전에 대한 높은 견제 ○ 투자 및 시장점유를 감안한 국내시장공략 가능성 ○ 국내기술에 대한 막연한 불안감 ○ 해외 선진국 제품의 시장 선점에 따른 국내외 시작에 대한 진입장벽 높음 ○ 중국 등 후발 국가의 기술도약, 투자 및 시장점유 확대 (선진국과 개도국 사이 샌드위치 신세)

2. 연구진의 연구개발 역량

- 본 연구의 열차자율주행기반 제어와 통신의 핵심알고리즘의 성공적인 개발을 위해서는 무엇보다도 관련분야의 경험을 필요로 함.
- 열차제어시스템의 경우 철도 차량, 궤도, 시설, 운영 등 철도 전반적인 지식이 없이는 개발이 불가능하며 이러한 지식은 단기간에 습득이 불가능함. 더욱이 새로운 컨셉의 제어시스템의 개발을 성공적으로 수행하기 위해서는 관련 개발경험이 필수적임.
- 국내 연구소 및 산업계의 경우 국가 연구개발과제를 통해 열차제어시스템 설계제작 및 시험평가 기술을 확보하고 있음.
- 특히 한국철도기술연구원을 주관으로 삼성SDS, 현대로템, LS산전, 포스코 ICT, 삼성전자가 참여한 국가 연구개발과제, 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가(2010~2014)를 통해 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS: Korean Radio-based Train Control System)과 LTE 기반으로 철도전용 통합무선망을 성공적으로 개발하였으며 관련 기술을 보유하고 있는 상황임.
- 스마트 스케줄링 분야의 경우 한국철도기술연구원에서 관련된 유사 프로그램(Dr.METRO)를 직접 개발하여 실용화 실적을 가지고 있음

3. 인프라 설비

가. 시험선

- 신규 열차제어시스템 개발에 있어서 가장 주요한 인프라 요소는 시험선로의 확보임.
- 본 연구개발의 시험선은 현재 건설 중인 12.9km 규모의 철도종합시험선(2014-2018)을 활용할 수 있을 것으로 예상됨.
- 특히 차량의 정차시험과 승강장 연계시험을 고려한 부 본선과 시험선로 착발 및 유치선 등을 확보하고 있어 향후 본 과제수행에 있어서 테스트 베드 구축이 용이할 것으로 판단됨.



[그림 2.53] 철도종합시험선로 노선도

나. 시험열차

- 열차제어시스템 테스트 베드 구축을 위해 최소 2편성 이상의 시험열차가 확보되어야 함.
- 시험열차의 확보를 위해 기존 국가연구개발 사업을 통해 개발된 시제차량을 활용하는 방법과 운영기관에서 보유하고 있는 유허편성을 임대하여 활용하는 방법 등이 있으며 시제차량의 노후화 정도, 시험선 구축 시기, 시험환경 등을 종합적으로 고려하여 시험열차를 확보함.

(1) 차세대전동차

- 차세대전동차는 국토해양부 국가연구개발과제 「차세대첨단도시철도시스템기술개발사업」(‘05년~’11년)에 의해 개발되어 신뢰성, 안전성, 운영효율성 등을 획기적으로 향상시킨 새로운 도시철도 차량시스템을 의미함.



[그림 2.53] 차세대 전동차 개발 컨셉

- 차세대전동차의 주요 특징으로는 추진제어시스템 개선을 통한 속도 및 가속도 향상, CBTC 신호시스템 적용, 직접구동형 견인전동기(DDM) 개발을 통한 유지보수성 3배연장(기존 3년→9년), 정지시까지(0 Km/h) 완전전기제동시스템 개발, 분산제어시스템(1C1M)을 통한 신뢰성 향상을 들수 있음.

[표 2.27] 차세대전동차 개발사양

항 목	개발목표 사양
차량 형식	도시철도용 직교류 전동차
차량 편성	6량 1편성
속 도	설계최고속도 130Km/h, 최고운행속도 110Km/h
견인전동기	직접구동형 견인전동기(DDM)

항 목	개발목표 사양
가·감속도	가속도:3.3km/h/s, 감속도:상용3.5km/h/s, 비상4.5km/h/s
접전 방식	Single Arm Pantograph
전원 전압	AC 25kV / DC 1500V
속도제어방식	개별제어(1C1M) VVVF 인버터제어, 벡터제어
제동 방식	완전전기제동(M-Car), 공기제동(T-Car)
저크 한계	0.8m/s ³
신호 방식	통신기반 신호방식(CBTC)

(2) 한국형 틸팅열차

- 한국형 틸팅열차(Tilting Train eXpress, TTX)는 2000년 8월부터 국가연구개발과제 「철도기술연구개발사업」 과 「기존선 고속화 실용기술개발사업」 의 일환으로 개발완료한 대한민국 최초의 틸팅 열차임.



[그림 2.54] 한국형 틸팅열차

[표 2.28] 한국형 틸팅열차 개발사양

항 목	개발목표 사양
차량 형식	일반철도용 교류전용 전동차
차량 편성	6량 1편성
속 도	설계최고속도 200Km/h, 최고운행속도 180Km/h
최대 출력	2,400kW 이상(M1+M2)
가·감속도	가속도:0.5m/s ² , 감속도 1.0m/s ²
최대 틸팅각도	8°
전원 전압	AC 25kV 60Hz
궤간	표준궤간(1,435mm)
저크 한계	0.8m/s ³
신호 방식	ETCS

(3) 활용 가능성

- 톨팅차량 및 차세대전동차의 경우 철제차륜형 열차이고 열차최고속도가 130, 200[km/h]이기 때문에 도시철도와 일반철도용 열차제어시스템을 구성하여 신뢰성과 안전성을 평가하는 것이 가능함. 다만 시험선 구축시기를 고려했을 때 차량의 상태여부가 변수가 될 것으로 판단됨.
- 차량에 탑재된 차상신호장치의 경우 시험선 구축시기를 고려했을 때 교체작업이 필요할 것으로 판단됨.

다. 기타 장비

(1) 주요 S/W

- SCADE : 열차제어시스템 SW 개발 TOOL
- VxWorks/Pike OS : Realtime OS
- LDRA : SW 테스트 TOOL
- PCB Designer with Pspice : PCB 설계 TOOL
- Matlab&Simulink : 제어 알고리즘 개발 및 특성 분석 TOOL
- Workbench : SW 개발 TOOL(컴파일러)
- Trace32 : 통신분야 SW 개발장비

(2) 주요 H/W

- Balise/TAG programmer : 발리스/태그 프로그램용
- Oscilloscope : H/W 설계 측정용
- Spectrum Analyzer : H/W 설계 측정용
- Logic Analyzer : 제어시스템 로직 계측 및 분석용
- Protocol Analyzer : 제어시스템 프로토콜 계측 및 분석용
- DC Power Analyzer : 제어시스템 전원 분석용
- System Server : 임베디드 시스템
- CMW500 : 무선통신 단말검증을 위한 기지국 시뮬레이터

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

- 제4차 산업혁명 시대에서 철도와 대중교통에 요구되는 On Demand 서비스 제공으로 개인화된 철도 및 대중교통 서비스의 새로운 가치 창출
- 기존의 제어 패러다임의 근본적인 변화를 통해 미래 철도기술이 추구하고자하는 비용절감(Cost), 승객 및 운영자에게 제공하는 서비스(Service), 수송력(Capacity) 및 안전성(Safety) 향상이 가능한 열차자율주행시스템을 구현함에 있어 필요한 핵심요소기술 개발

비전	제어 패러다임의 근본적인 변화를 통해 2S2C 향상이 가능한 열차자율주행시스템 구현
목표	○ 지상제어설비 절감을 통한 설비투자비용 20% 절감 ○ 열차간 직접적인 간격제어 흐름을 통한 운전시각 30% 단축 ○ 가상열차편성을 통한 수송량 극대화 및 서비스 향상 ○ 열차 스스로 주변상황 인지 및 판단/제어를 통한 안전성 향상



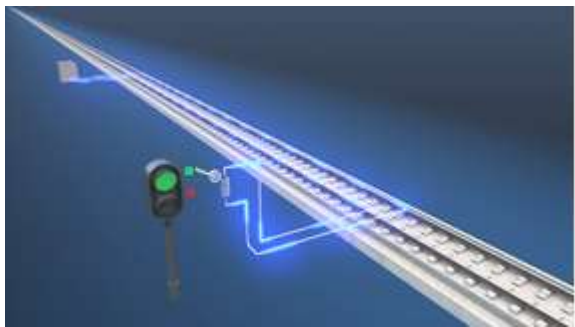
[그림 3.1] 열차자율주행시스템 연구의 비전

1. 열차제어시스템 로드맵

가. 열차제어시스템 동향 분석

지금까지 열차제어시스템의 기술개발은 지상/전기/HW 중심에서 차상/통신/SW 중심으로 변화되고 있다. 열차제어시스템은 크게 열차를 검지하는 방식에 따라 궤도회로기반 열차제어시스템과 무선통신기반 열차제어시스템으로 구분할 수 있다.

궤도회로기반 열차제어시스템의 열차검지방식은 선로를 특정구간으로 분할하고 회로를 구성하여 열차가 회로 내에 점유시 회로의 전류가 열차의 차축으로 흐르게 됨으로써 열차를 검지한다. 궤도회로기반 열차제어시스템은 ATS(Automatic Train Stop), ATC(Automatic Train Control), ATP(Automatic Train Protection), ETCS(European Train Control System) Level 1/2가 이에 해당된다.



< 열차 비점유시 : 녹색 >



< 열차 점유시 : 적색 >

[그림 3.2] 궤도회로기반 열차위치검지

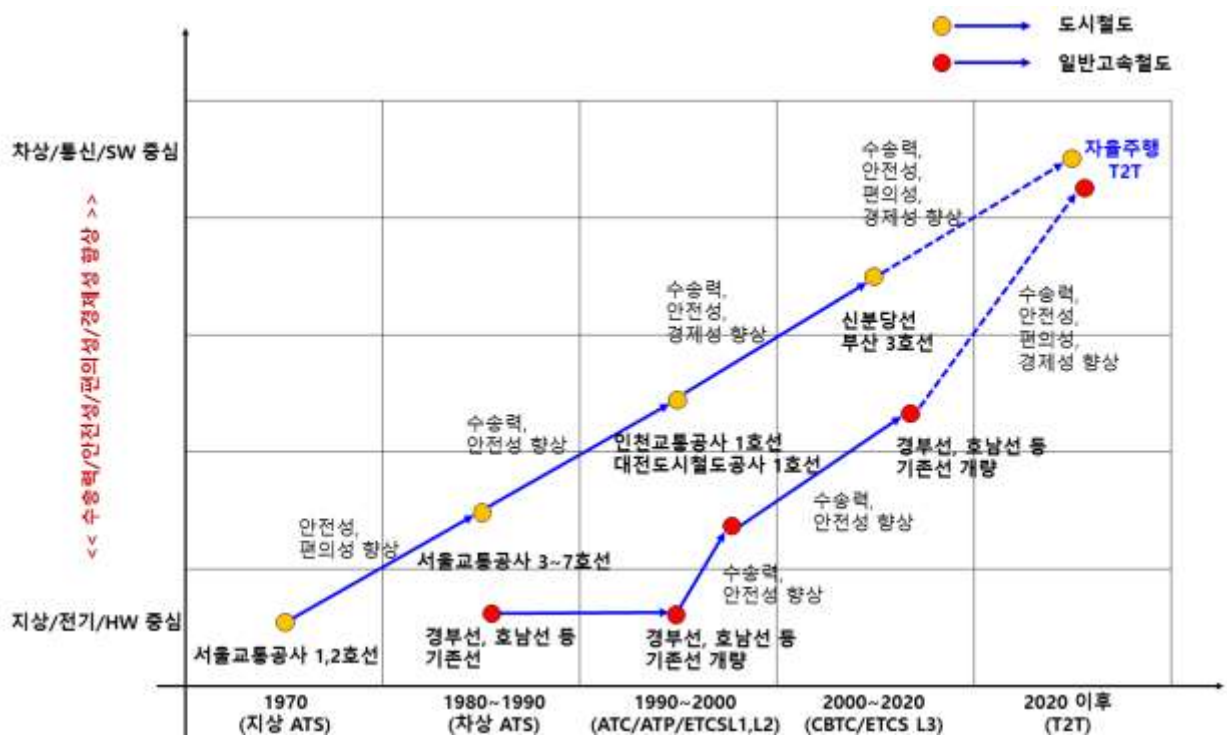
무선통신기반 열차제어시스템의 열차검지방식은 열차 스스로 자신의 위치를 차륜의 회전수를 측정하여 계산하고 선로에 설치된 지상자를 읽어 누적 오차를 보상한다. 계산된 열차의 위치는 기준 지상자 ID와 함께 지상제어 서버에 전송한다. 무선통신기반 열차제어시스템은 CBTC(Communication Based Train Control)과 ETCS Level3가 이에 해당된다.



무선통신기반 열차제어시스템은 지상제어서버에서 인지하는 열차의 점유구간이 궤도회로 방식의 그것보다 작기 때문에 선로를 더 효율적으로 이용할 수 있어 운전시격 단축이 가능하다.

아래 그림에서와 같이 열차제어시스템은 지속적으로 운전시격을 단축하고 열차제어시스템이 관할하는 범위를 확대함으로써 안전성을 향상시키고 운영자와 승객의 편의성을 향상시키고 지상의 설비를 단축하면서 비용을 절감하는 방향으로 발전하고 있다.

가장 최신의 열차제어시스템인 CBTC와 ETCS L3의 경우 1980년대 후반에 착안된 기술이며 무선통신을 이용한 실시간 열차위치추적과 제어를 통해 이전의 궤도회로기반의 열차제어시스템 대비 간격제어 효율을 향상시켰다. 하지만 여전히 지상의 제어서버를 중심으로 차상-지상-차상의 간격제어 흐름을 갖고 있기 때문에 그 이상의 성능향상을 위해서는 열차간 통신(T2T: Train-to-Train) 기반으로 제어패러다임을 변화시키는 방향으로 기술개발 방향이 이루어지고 있다.



[그림 3.3] 국내 열차제어시스템 기술동향

나. 선행과제와의 연계성, 중복성 분석

열차제어시스템과 관련하여 기존에 국가 연구개발사업을 통해 수행한 “도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가(2010-2014)”는 CBTC를 국산화 및 표준화 개발한 과제이며, “일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화(2014-2017)”는 ETCS L2의 국산화 연구개발과제 이므로 열차간 통신기반 열차자율주행시스템과는 중복성이 없다. 또한 현재 기획중인 “무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템” 역시 ETCS L3 수준의 국산화 연구개발 과제에 대한 기획이므로 중복성이 없다.

열차간 통신(T2T)기반 열차자율주행시스템은 CBTC와 ETCS L3보다 한 단계 진보된 열차 제어시스템이며 국외의 경우도 아직 연구 중에 있다. 국외의 경우 열차간 통신기반 자율주행시스템을 도시철도의 경우 CBTC 2.0 또는 일반 및 고속철도의 경우 ETCS L4 또는 L5 수준으로 보고 있다.

열차간 통신(T2T)기반 열차자율주행시스템은 CBTC와 ETCS L3보다 한 단계 진보된 열차 제어시스템이며 국외의 경우도 아직 연구 중에 있다. 국외의 경우 열차간 통신기반 자율주행시스템을 도시철도의 경우 CBTC 2.0 또는 일반 및 고속철도의 경우 ETCS L4 또는 L5 수준으로 명명하고 있다.

다. 국내 도입계획 분석

열차간 통신기반 열차자율주행시스템은 단계적으로 추진하며 1단계는 분야별 핵심요소기술 개발을 목표로 도시철도와 일반 및 고속철도분야에 모두 적용이 가능한 요소기술을 개발한다. 2단계는 실용화연구개발을 목표로 우선 도시철도에 적용을 위한 실용화 연구개발을 수행하며 일반 및 고속철도분야의 연구과제는 이후에 별도의 기획을 통해 수행하는 것이 바람직하다.

따라서 국내의 경우 KRTCS가 현재 필리핀 마닐라 3호선에 적용중이고 서울 신림선에 도입예정임에 따라 향후 10년 정도 KRTCS의 도입이 예상된다. 이후에 개량 또는 신규 건설예정인 도시철도 노선의 경우 개발된 T2T 기반의 자율주행기술이 적용이 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 목표수준 설정의 근거

- 열차자율주행시스템은 지상의 간격제어 서버(지상 ATP)와 분기제어 서버(연동장치)와 같은 제어서버를 사용하지 않기 때문에 지상설비의 단축으로 인한 설비투자비용 절감이 기대됨. 특히 간격제어 서버는 열차의 투입량에 따라 증설이 불가피하고 분기제어 서버는 선로전환기 수에 따라 용량이 결정됨.
- 이러한 지상의 제어서버는 전체 노선의 열차제어시스템 비용의 약 30% 정도로 예상되나, 차상시스템의 기능추가에 따른 비용을 감안할 때 전체 설비투자비용은 약 20% 절감될 것으로 기대됨.
- 열차간 직접적인 통신기반 간격제어를 통해 간격제어 측면에서 두 가지 효과를 기대할 수 있음.
 - 선행열차와 후행열차간 직접적인 통신을 통해 선행열차의 위치를 실시간으로 수신할 수 있으므로 선행열차의 후미부에 가능한 가깝게 이동권한을 설정할 수 있음.
 - 또한 기존의 열차제어시스템은 선행열차의 위치를 기반으로 간격제어를 수행하여 왔지

만 선행열차와 후행열차간 직접적인 정보를 공유하게 되어 선행열차의 상태정보를 후행열차가 이용할 수 있으며 구체적으로 선행열차의 속도를 이용한 향상된 간격제어가 가능할 것으로 판단됨.

- 차상중심의 분기 및 진로제어를 통해 분기구간에서의 간격제어 효율을 향상시킬 수 있음.
- 열차간 직접적인 통신기반 간격제어는 위에서 언급한 간격제어와 분기제어 효과를 효율적으로 구현한다면 수송력 30% 향상을 달성할 것으로 예상됨.
- 가상열차편성의 경우 위치기반의 간격제어에서 더 나아가 속도와 가속도 기반으로 선행열차와의 간격제어를 수행하는 개념임. 따라서 이론적으로 후행열차의 제동거리 이내로 선행열차와의 간격을 좁힐 수 있게 되므로 수송량의 극대화가 가능함.
- 또한 열차의 분리와 결합에 소요되는 시간을 절감할 수 있으며 지선에 투입되는 열차의 투입량을 증대시킬 수 있으므로 승객의 서비스 향상이 가능함.
- 열차가 스스로 주변상황을 인지하여 주행여부를 판단하고 제어함으로써 기존의 운영자 휴먼에러를 줄 일수 있으므로 안전성 향상이 가능함.

3. 성공가능성

- 열차자율주행시스템은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템으로서 성공적인 연구개발 수행을 위해서는 무엇보다도 무선통신기반 열차제어시스템과 철도무선통신망에 대한 개발 경험이 요구됨.
- 국가연구개발과제를 통해 도시철도 및 일반·고속철도 분야에서 무선통신기반 열차제어시스템 개발을 수행한 경험을 토대로 열차자율주행시스템에 필요한 신규 제어패러다임 설계와 개발이 성공적으로 가능하다고 판단됨.
- 특히 무선통신기반 열차제어시스템의 경우 열차의 속도와 위치계산, 출입문 제어, 정위치 정차 등의 일부 기술은 그대로 적용이 가능하며 새롭게 개발이 필요한 속도와 가속도 기반의 열차간격제어, 차상중심의 분기제어 등의 기술 등의 경우 기존의 과제수행을 통해 확보한 설계 및 검증기술과 인력을 충분히 활용한다면 성공할 수 있을 것으로 판단됨.
- 또한 열차간 직접적인 통신기술의 경우 도시철도 및 일반·고속철도 분야에서 무선통신기반 열차제어시스템 개발을 통해 보유하고 있는 LTE-R 기반의 통신망 설계기술을 토대로 직접적인 통신기술을 개발한다면 충분히 달성 가능할 것으로 판단됨.

2절 기술개발에 따른 미래상

지능형 열차자율주행시스템을 통해 기대할 수 있는 효과는 설비투자비 절감, 수송력 향상, 승객 및 운영자 서비스 향상, 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술의 확보이다.

[표 3.1] 지능형 열차 자율주행 기술개발에 따른 미래철도 변화

현황 (As-Is)	1) 설비투자비(Cost) 측면 ○ 지상제어시스템(지상 ATP, EI)의 제어명령에 의존 ○ 지상제어시스템의 제어용량의 한계가 존재하며 열차 투입량이 한계를 초과하면 지상시스템의 증설이 불가피 함. 2) 수송력(Capacity) 측면 ○ 차상-지상-차상 간 이루어지는 cyclic-path 형태의 열차간격제어 경로를 가지므로 열차가 수신한 지상제어시스템의 제어정보는 과거의 선행열차의 정보를 토대로 생성된 것임. ○ 선행열차와 후행열차 간 열차간격제어에 한계발생 3) 서비스(Service) 측면 ○ 지상제어시스템의 처리용량의 한계로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성은 열차와 열차사이 물리적 연결기를 통해서만 가능하며 연결과 분리절차는 운영자의 수신호 등의 수작업을 통해서 이루어지고 있음. ○ 열차간 편성조성이 자유롭지 못하므로 유동적인 수송수요에 대한 대응이 불가능함. ○ 기존 열차의 스케줄 및 경로는 관제에서 제공하는 고정된 형태의 정보임. 따라서 사고 및 고장 등 이례상황 발생시 운영자가 수동으로 열차의 운행을 조작함으로써 신속한 대응이 불가능하며 인적오류로 인한 2차사고 발생의 위험이 존재함. 4) 기술적 측면 ○ 열차제어시스템의 기술은 그 중요성이 갈수록 높아지는 반면 국내의 열차제어기술 수준은 아직 국외 선진제작사의 기술을 추종하는데 그치고 있음. ○ 현재 국내 운영기관에 도입된 열차제어시스템 중에서 일부를 제외하고는 대부분이 외산이며 시스템 유지보수에 막대한 시간과 비용이 소요되고 있는 실정임.
-----------------------	---

--	--



주요 연구 내용	1) 열차자율주행제어 기술개발 ○ 열차간 통신연결 무결성(Inter-train Integrity) 확보 알고리즘 개발 ○ 자율주행기반 제어핵심기술 개발 - 차상중심 ATP(Automatic Train Protection) 개발 - 차상중심 분산형 EI(Electronic Interlocking) 및 분기 제어기(Object Controller) 개발 2) 열차자율주행기반 가상열차편성(Virtual Train Set) 기술개발 ○ 가상연결제어(Virtual Coupling/Decoupling Control) 기술개발 - 가상 Lock/Unlock 제어프로파일 설계기술 - 고정밀 속도추종제어 설계기술 ○ 가상연결제어 기반 고성능 제동시스템 개발 ○ 통신기반 열차무결성(Intra-train Integrity) 모니터링 기술개발 ○ 열차간 직접통신(T2T) 기술개발 3) 열차자율주행기반 상황인지 및 판단/제어기술 ○ 자율협업기반 상황인지 및 판단기술 ○ 자율협업기반 스케줄링 기술개발 ○ 자율협업기반 동적경로 설정기술 및 검증기술 개발 ○ 상황인지 정보전달을 위한 자율협업 네트워킹 기술개발
----------------	--



미래상 (To-Be)	1) 설비투자비(Cost) 측면 ○ 지상중심의 지상↔차상 기반의 제어가 아닌 열차↔열차 기반의 새로운 제어 패러다임을 통해 지상의 제어시스템(지상 ATP, EI)의 제거함으로써 설비 단순화에 따른 설치 및 유지보수비용 절감가능. “설치 및 유지보수 비용 20% 절감” 2) 수송력(Capacity) 측면 ○ 열차↔열차간 이루어지는 direct-path 형태의 제어흐름 및 가상연결 제어 기술을 통해 선행열차와 후행열차 간 안전간격을 단축시킴으로써 노선의 수송량 향상 가능. “열차 운전시각 30% 향상”
----------------	---

	3) 서비스(Service) 측면 ○ 열차간 가상연결 제어기술을 통해 기존의 공급자 중심의 철도서비스가 아니라 수요자 중심의 철도운영 서비스 가능 ○ 지상제어시스템의 제거를 통해 노선에 열차 투입의 용량제한이 없으며 열차간 분리결합이 가상 연결기(virtual coupler)를 통해 이루어지므로 자유로운 편성조성이 가능. ○ 열차↔열차 간 제어패러다임 및 가상연결 제어기술을 통해 목적지까지의 소요시간 단축가능 ○ 사고 및 고장 발생시 열차간 협업을 통한 자율스케줄 및 자율경로설정으로 신속하고 정확한 대응이 가능. “유연하고 탄력적인 승객서비스, 안전성 향상 기대” 4) 기술적 측면 ○ 차세대 열차제어기술인 열차자율주행기술 개발을 통해 선진국 수준의 기술적 도약 가능 “차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 기대”
--	---

지능형 열차자율주행시스템의 적용효과를 철도산업 생태계 측면에서 공급자(운영자)와 수요자(이용자), 그리고 시스템 제작사의 변화상을 다음과 같이 기대할 수 있다.

○ 공급자(운영자) 측면

- 열차자율주행제어기술을 확보함으로써 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감가능
- 열차자율주행제어 및 가상열차편성 기술개발을 통해 수송량을 증가시킴으로써 철도운영기관 운영수입 증대가능
- 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대
- 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이레상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
- 철도통신보안 핵심기술을 확보함으로써 열차 운영중 발생할 수 있는 여러 사이버 테러에 대한 안전성 확보 가능.
- 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능

- 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능.
- 스마트 스케줄링 기술은 기존 (열차) - (차량) - (승무원) 스케줄링 소요기간을 실시간에 근사하도록 단축 (2주 → 4일 이내) 하여 다양한 수요변화를 세부적으로 수용할 수 있는 기반을 구축하고 동적인 편성 용량 조정 (Dynamic Capacity Adjustment)을 통하여 철도 좌석 공급량을 수요변화에 속응할 수 있도록 함

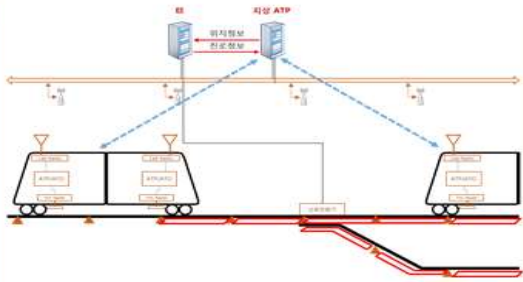
○ 수요자(이용자) 측면

- 열차자율주행제어 및 가상열차편성 기술개발을 통해 운전시각 단축이 가능하며 이는 철도 승객의 통행시간 절감효과 측면에서의 서비스 향상 효과 기대.
- 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대.
- 연계 열차간 동기화 스케줄링 (Schedule Synchronization)을 통한 환승 대기시간을 최소화하여 승객의 철도 서비스 만족도 향상을 제고함
- 스마트 스케줄링 기술은 연계 열차간 동기화 스케줄링 (Schedule Synchronization)을 통한 환승 대기시간을 최소화하여 승객의 철도 서비스 만족도 향상을 제고함

○ 제작사 측면

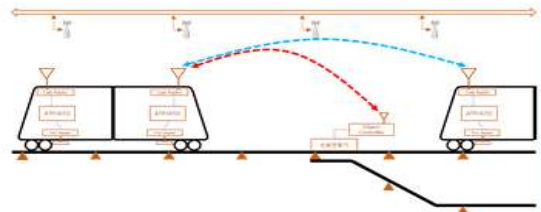
- 국내외 열차제어시스템 신규 및 개량시장에 진출하기 위한 기술적 우위 선점 가능
- 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능
- 열차간 전송지연 절감을 위한 네트워크 설계기술, 열차간 직접통신 기술, 자율협업 네트워킹 등 열차자율주행시스템 통신 핵심기술 확보

AS-IS



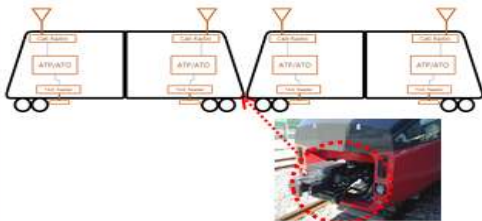
- 자상-지상-자상 cyclic-path 제어흐름
→ 간격제어에 한계발생
- 지상의 제어설비(EI, 지상 ATP)에 의존하여 투입열차 증가시 지상 제어설비의 증설이 불가피 → 비용증가
- 노선의 확장과 투입열차 증대시 지상-지상, 지상-자상간 복잡한 정보교환 필요 → 유동적인 운영이 어려움

TO-BE



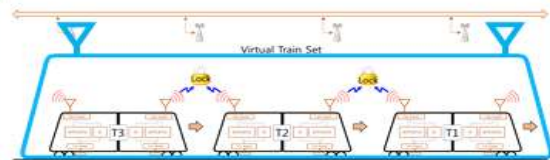
- 자상-자상 direct-path 제어흐름
→ 간격제어 효율향상
- 별도의 자상설비 증축없이 지상 제어설비 단축 가능
→ 비용절감
- 노선의 확장과 투입열차 증대시 지상의 제약 없이 대응 가능 → 유동적인 운영가능

AS-IS



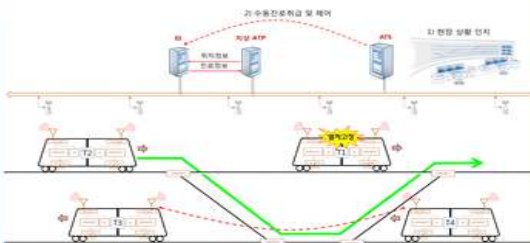
- 열차편성 조성 변경시 물리적 커플러에 의존, 선두열차 정차후 후행열차가 운영자 수신호에 의거하여 45m-15m-5m로 접근 및 정차를 반복하여 연결
→ 조성시 시간소요 발생
→ 조성시 인적오류에 의한 사고발생
→ 운영중 조성에 제약 발생
- 지선에 열차 투입, 선로용량 증대 등에 제약 발생

TO-BE



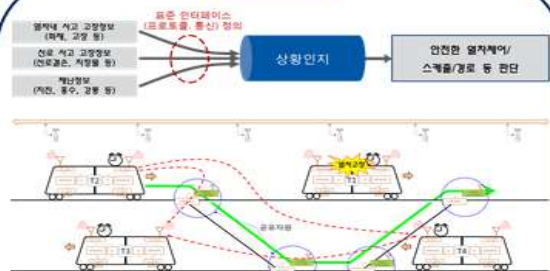
- 가상열차의 연결기에 의한 분리결합, 주행중 자유로운 연결과 분리 가능 (주행선로에 영향을 받지 않음)
→ 조성시 소요 시간단축 가능
→ 인적오류에 의한 사고예방 가능
→ 운영중 자유로운 편성조성과 선로용량 증대 가능
- 지선에 열차 투입 및 선로용량 증대(50% 이상) 가능

AS-IS



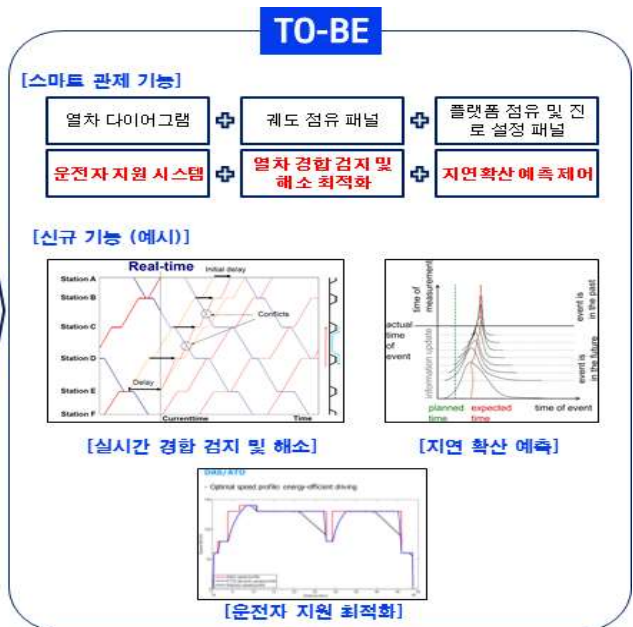
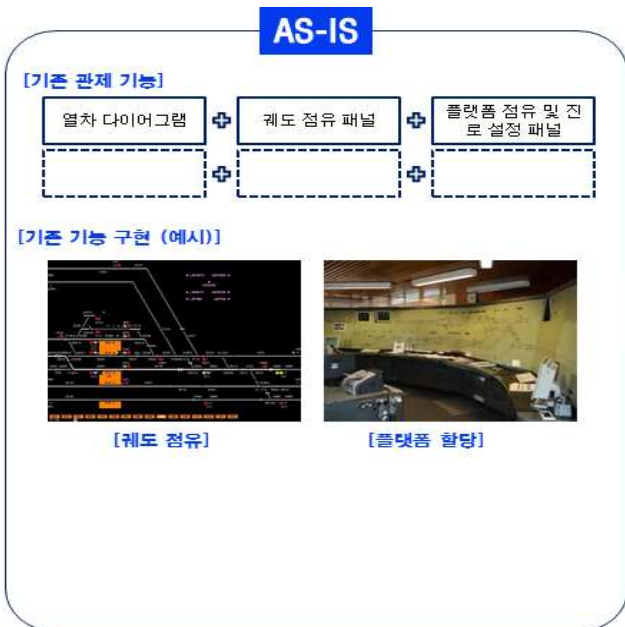
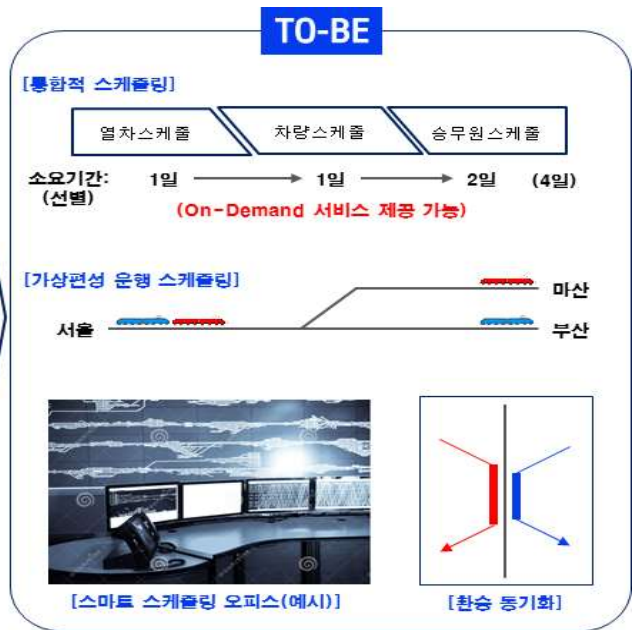
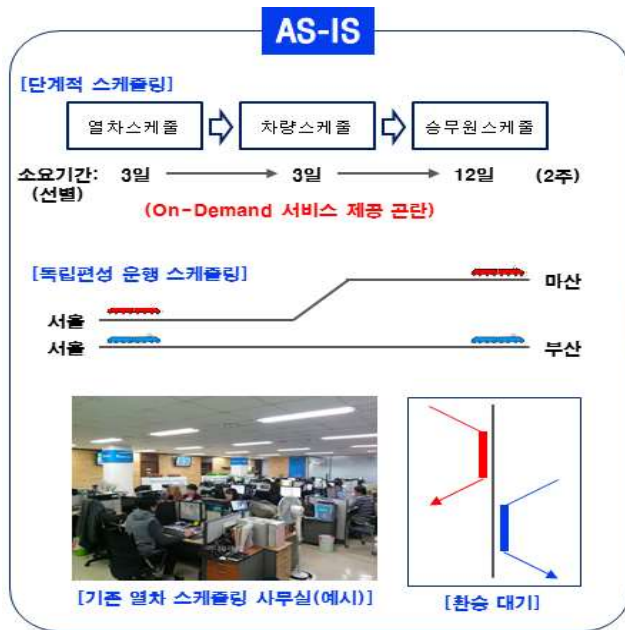
- 운행중 발생하는 이상상황을 관제 운영자가 인지하여 수동으로 진로취급 등의 제어를 수행
→ 운영자 인지 및 판단, 제어까지 시간 소요발생
→ 인적오류에 의한 2차사고 발생가능

TO-BE



- 운행중 발생하는 사고 고장 정보를 기반으로 열차 스스로 상황을 인지하고 판단하여 안전한 제어명령 수행, 주변열차와 협업하여 스케줄/경로를 동적으로 설정
→ 신속한 인지 및 제어 가능
→ 인적오류에 의한 2차사고 예방 가능

[그림 3.4] 지능형 열차 자율주행의 미래상



[그림 3.5] 스마트 스케줄링/관제기술의 미래상

3절 연구개발 과제구성

1. 기술개발 로드맵

국내 철도신호통신 산업의 기술성숙도와 본 연구과제에서 개발하고자하는 기술의 도전성과 개발규모를 고려했을 때 1단계 핵심요소기술개발(5년) 이후 2단계 실용화 연구개발(5년)과 같이 단계적으로 추진함이 바람직하다.

1단계 핵심요소기술개발은 TRL¹⁴⁾ 5수준에 해당하는 기술을 확보하여 최종 유사환경에서의 working model 검증하거나 프로토타입 개발을 목표로 한다. 1단계는 도시철도 및 일반·고속 철도에 적용이 가능한 열차자율주행 분야별 핵심요소기술을 개발하고 실험실 환경에서 프로토타입을 검증한다. 1단계에서 도출된 열차자율주행 핵심요소기술은 향후 2단계 실용화 연구개발에 활용된다.

2단계 실용화 연구개발은 TRL 7수준에 해당하는 기술을 확보하여 최종 실제환경에서의 시제품 데모 또는 시제품 인증을 목표로 한다. 따라서 국제 표준규격에 따라 시스템을 개발하고 관련 안전성 활동과 함께 실용화에 필요한 인증을 획득한다. 1단계에서 개발된 분야별 핵심요소기술을 기반으로 실용화 수준의 시스템 기능과 성능 확보를 목표로 시스템 개발을 수행한다.

단, [그림 3.4]에서 과제번호 A-07 가상열차편성 기술개발의 경우 1단계 기초원천기술개발을 통해 TRL 4수준에 해당하는 기술을 확보하며, 2단계 핵심기술개발을 통해 TRL 5수준 개발을 목표로 추진한다. 가상열차편성 기술개발의 실용화 기술개발에 대한 기획은 1단계 기초원천기술개발(5년)과 2단계 핵심요소기술개발(5년) 추진하여 관련기술 확보 이후에 별도로 도출한다.

2단계 실용화 우선대상으로 도시철도에 적용을 목표로 한다. 도시철도의 경우 열차의 자동운전이 널리 적용되고 있기 때문에 이러한 자동운전을 넘어서 자율주행 개념의 우선적용 대상으로 도시철도에 우선 적용하는 것이 적용효과가 높을 것으로 판단된다. 또한 새로운 제어패러다임의 경우 도시철도와 같이 독립된 노선에서 실용화 기술을 확보하고 운영경험을 축적하는 것이 바람직하다.

향후 일반 및 고속철도를 대상으로 실용화 연구개발에 대한 기획은 1단계 핵심요소기술개발(5년)과 2단계 실용화 연구개발(5년) 이후에 별도로 도출한다.

14) Technical Readiness Level : 기술성숙도



[그림 3.6] 열차자율주행시스템 기술개발 로드맵

2. 연구단 과제구성

기술수요조사 및 우선순위조사결과 총 9개의 연구과제를 대상으로 5개의 세부과제로 구성된 연구단 과제를 구성하였다. 여러 세부과제의 단계별 산출물에 대한 시험평가 연구내용을 별도의 세부과제로 도출하였다.

세부과제의 구분은 다음의 기준을 고려하여 구성하였다.

- ① 연구내용의 독립성
- ② 연구개발을 통한 목표 기술확보수준(TRL)
- ③ 세부과제별 업무의 형평성

세부과제의 연구내용의 독립성을 기준으로 세부과제 1과 세부과제 2 그리고 세부과제 3을 구분하였다. 세부과제 4 가상열차편성 기술개발의 경우 세부과제 1에서 함께 수행이 가능하나

세부과제 1의 연구내용과 범위가 다른 세부과제에 비해서 집중되고 목표 TRL 수준이 상이하므로 별도의 세부과제로 분류하는 것이 타당하다. 세부과제 5의 경우 전체 세부과제의 내용을 통합 시험평가 하는 과제이며 특정 세부과제에서 수행하기에는 업무가 과중되는 문제가 발생한다. 특히 테스트베드 구축의 경우 시험열차의 확보 시험선 구축 등의 업무를 특정 연구개발과 병행하여 수행하기에는 본연의 연구개발에 집중도가 낮아 질수 있는 문제가 있으므로 별도의 세부과제로 분리하는 것이 타당하다고 판단된다.



[그림 3.7] 세부과제 구성기준

세부과제 1은 열차제어시스템의 안전한 운전과 함께 자율운전기능을 수행하도록 세세부연구내용을 구성하였고 세부과제 2의 경우 통신과 통신보안과 관련된 연구내용을 수행하도록 구성하였다. 세부과제 3의 경우 관제와 관련된 기능을 수행하도록 관련 연구내용을 구성하였다. 세부과제 4의 경우 기술개발을 통한 기술확보 수준이 타 세부과제와 달리 1단계 기초원천기술개발(TRL 4), 2단계 핵심요소기술개발(TRL 5)로써 별도의 세부과제로 구성하였다. 세부과제 5의 경우 타 세부과제를 통합하고 시험평가하기 위해 필요한 시험평가 기술과 함께 향후 테스트 베드 구축에 필요한 여러 관련기관과의 인터페이스가 필요하므로 특정 세부과제에서 이를 수행하기에는 업무가 과다하게 편중될 우려가 있기 때문에 별도의 세부과제로 구성하는 것이 바람직하다. 특히 세부과제 5에 대한 2단계 실용화 기술개발과제의 경우 과제종료 후 현장에 구축되는 설비들을 소유하고 관리하는 측면에서 실제 기술의 수요처가 세부과제에 참여하는 것이 바람직하다.

세부과제별 구체적인 연구내용은 다음과 같다.

세부과제 1은 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발이며 다시 4개의 세세부과제로 구성된다. 1.1 차상중심 분산형 열차방호 기술개발은 열차와 열차간 직접적인 정보공유를 통해 선로라는 공유자원을 서로 분배하여 선행열차와 후행열차 간 간격제어를 수행하는 기술개발을 의미한다. 1.2 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발은 열차가 선로전환기 제어를 담당하는 분기제어기와 직접적인 통신을 통해 자신의 진로에 해당하는 선로전환기를 확보하고 제어를 결정하는 기술개발을 의미한다. 1.3 상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발은 열차

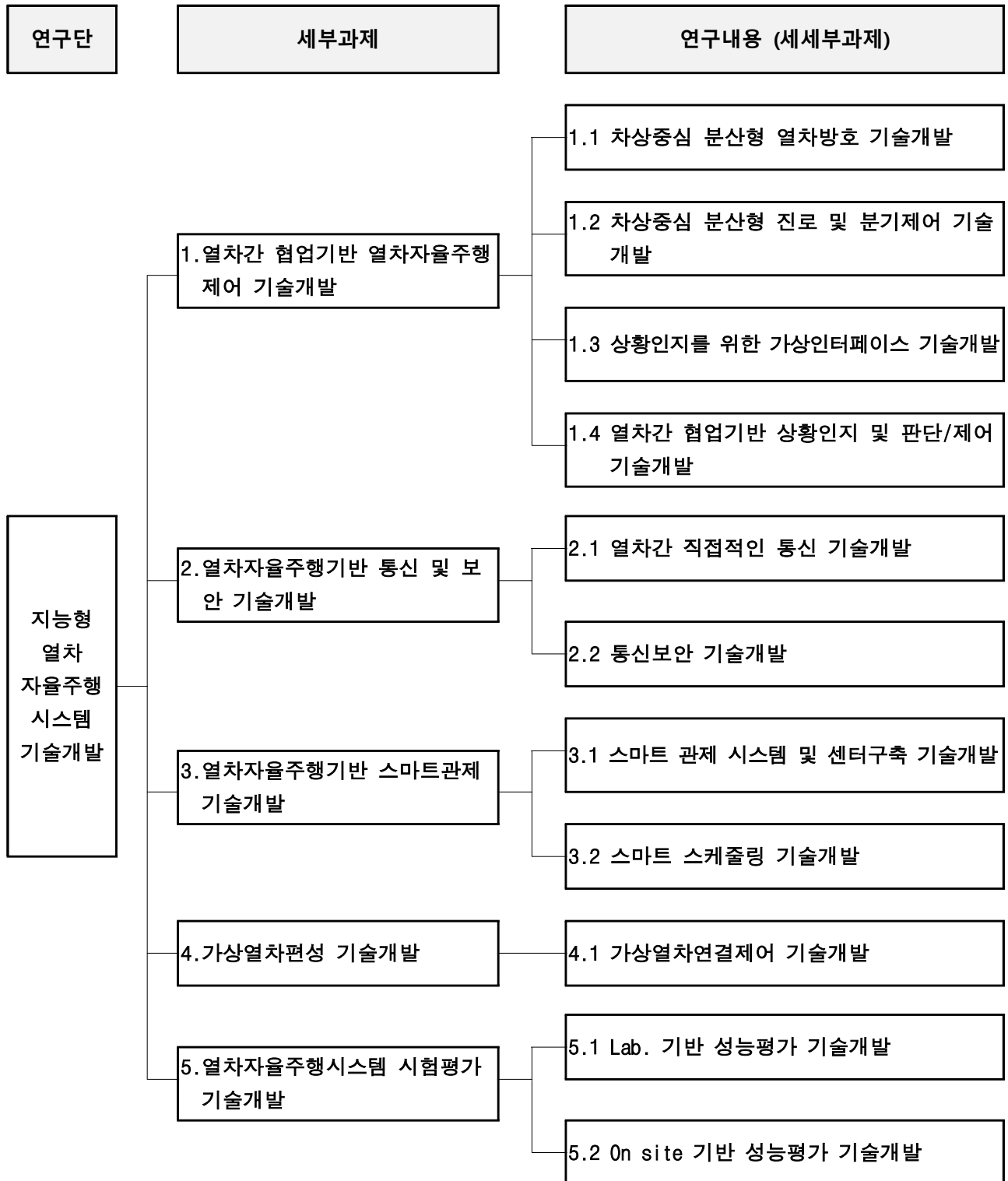
의 운행과정에서 발생할 수 있는 여러 사고 및 고장 정보를 열차제어시스템이 인지할 수 있도록 운영시나리오에 기반하여 통신 및 프로토콜 체계에 대한 기술개발을 의미한다. 마지막으로 1.4 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발은 수신된 여러 사고 및 고장정보를 토대로 열차의 운행상황을 인지하고 안전하면서도 운행스케줄에 지장이 없도록 주변의 열차와 협업을 통해 판단과 제어를 수행하는 기술개발을 의미한다.

세부과제 2는 열차자율주행기반 통신 및 보안기술개발이며 다시 2개의 세세부과제로 구성된다. 2.1 열차간 직접적인 통신 기술개발은 간격제어 효율을 향상을 위해 이동 중인 열차와 열차 간 전송지연을 최소화하는 기술개발을 의미한다. 2.2 통신보안 기술개발은 열차와 열차간 그리고 열차와 선로변 설비간 직접적인 무선통신에 있어서 전자파공격과 사이버 공격에 강인한 보안 기술개발을 의미한다.

세부과제 3은 열차자율주행기반 스마트관제 기술개발이며 다시 2개의 세세부과제로 구성된다. 3.1은 스마트 관제시스템 및 센터구축 기술개발은 열차와 열차간의 분산제어에 필요한 실시간 열차경합검지 및 해소기술과 승객환승에 최적화된 관제기술개발을 의미한다. 3.2 스마트 스케줄링 기술개발은 다양한 승객 수요변화를 수용하도록 가상열차편성 기술에 대응한 동적인 열차 편성 조정이 가능한 스케줄링 기술개발을 의미한다.

세부과제 4는 가상열차편성 기술개발이며 1개의 세세부과제로 구성된다. 4.1 가상열차연결 제어 기술개발은 열차의 간격제어 기술을 이용하여 열차와 열차간 물리적 연결기 없이 하나의 편성과 같이 열차와 열차사이 간격을 가깝게 유지시킨 채로 운영하는 기술개발을 의미한다.

세부과제 5는 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발이며 2개의 세세부과제로 구성된다. 5.1 Lab. 기반 성능평가 기술개발은 1단계(5년)에 여러 세부과제에서 개발된 여러 신규 산출물(프로토타입)을 통합하고 실험실 환경에서 성능과 기능을 검증하기 위해 통합시뮬레이션 환경을 구축하고 시험평가를 수행하는 기술개발을 의미한다. 5.2 On site 기반 성능평가 기술개발은 2단계(5년)에 여러 세부과제에서 개발된 산출물(시제품)을 현장에서 시험평가하기 위해 테스트 베드를 구축(시험노선 10km 이상, 시험열차 2편성 확보)하고 여러 신규 시스템을 통합하고 성능평가를 수행하는 기술개발을 의미한다.



[그림 3.8] 열차자율주행시스템 연구단 과제의 구성

지능형 열차자율주행시스템 기술개발을 위한 연구설계도는 [표 3.2]과 같다. 각 세부과제별 세부기술과 목표성능, TRL 유형과 TRL 단계 그리고 세부 연구활동별 산출물과 연구기간을 제시하였다.

[표 3.2] 지능형 열차자율주행시스템 기술개발 연구설계도

세부과제명	세부기술	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구활동	산출물	연구기간
1.열차간 협업기반 열차자율주행 제어 기술개발	1-1. 차상중심 분산형 열차방호 기술개발	운전시각 30% 향상, 설비20%절감	시스템	1단계(5년) : TRL 5 2단계(5년) :TRL7	O	1-1-1. 분산형 열차방호시스템 프로토타입 설계	요구사항 정의서, 프로토타입설계사양서	2년
	1-1-2. 분산형 열차방호시스템 프로토타입 개발					도면, 프로토타입H/W및S/W	2년	
	1-1-3. 분산형 열차방호시스템 프로토타입 검증 및 보완					시험결과 보고서, 보완된프로토타입H/W및S/W	1년	
	1-1-4. 분산형 열차방호시스템 시제품 설계					시스템 개발요구사항서, 시제품설계사양서	1년	
	1-1-5. 분산형 열차방호시스템 시제품 개발					시제품 도면, 시제품H/W및S/W	2년	
	1-1-6. 분산형 열차방호시스템 시제품 시험평가					시제품 시험성적서, 보완된시제품H/W및S/W	2년	
	1-2. 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발					1-2-1. 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 설계	요구사항 정의서, 프로토타입설계사양서	2년
						1-2-1. 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 개발	도면, 프로토타입H/W및S/W	2년
						1-2-3. 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	시험결과 보고서, 보완된프로토타입H/W및S/W	1년
						1-2-4. 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 설계	시스템 개발요구사항서, 시제품설계사양서	1년
						1-2-5. 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 개발	시제품 도면, 시제품H/W및S/W	2년
						1-2-6. 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 시험평가	시제품 시험성적서, 보완된시제품H/W및S/W	2년
	1-3. 상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발					1-3-1. 상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 설계	요구사항 정의서, 프로토타입설계사양서	1년
						1-3-2. 상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 개발	프로토타입 H/W 및 S/W	1년

세부과제명	세부기술	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구활동	산출물	연구기간
						1-3-3. 상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 검증 및 보완	시험결과 보고서, 보완된프로토타입H/W및S/W	1년
						1-3-4. 상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 설계 및 개발	시제품 H/W 및 S/W	1년
						1-3-5. 상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 시험평가	시제품 시험성적서, 보완된시제품H/W및S/W	1년
	1-4. 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발					1-4-1. 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 설계	요구사항 정의서, 프로토타입설계사양서	2년
						1-4-2. 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 개발	도면, 프로토타입H/W및S/W	2년
						1-4-3. 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	시험결과 보고서, 보완된프로토타입H/W및S/W	1년
						1-4-4. 상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 설계	시스템 개발요구사항서, 시제품설계사양서	1년
						1-4-5. 상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 개발	시제품 도면, 시제품H/W및S/W	2년
						1-4-6. 상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 시험평가	시제품 시험성적서, 보완된시제품H/W및S/W	2년
2.열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발	2-1. 열차간 직접적인 통신 기술	전송거리 : 1km 이상 패킷오류율:0.01이하 이동속도:500 km/h이하 통신latency:50ms이하	시스템	1단계(5년) : TRL 5 2단계(5년) :TRL7	O	2-1-1. T2T 통신 표준화 연구	표준기고문 T2T통신원천기술	5년
						2-1-2. T2T 통신 프로토타입 제작	프로토타입 제품	5년
						2-1-3. 열차자율주행 기반 T2T 통신 프로토콜 S/W 개발	T2T 통신 프로토콜 S/W	5년
						2-1-4. 열차자율주행 기반 T2T 통신을 위한 망 인프라 기술 개발	T2T 통신을 위한 기지국, 코어망	5년
						2-1-5. T2T 통신을 위한 차상 단말 모듈 제작	T2T 통신을 위한 차상 단말 모듈	3년
						2-1-6. 열차자율주행을 위한 T2T 통신 현장 통합 시험 및 보완	기지국, 코어망, 단말 모듈 시제품	2년

세부과제명	세부기술	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구활동	산출물	연구기간				
	2-2. 통신보안 기술					2-2-1. 물리적 신호교란에 강인한 보안 원천기술 개발	물리적 신호교란 대응 보안 원천기술	5년				
						2-2-2. 물리적 신호교란에 강인한 보안 시스템 제작 및 검증	물리적 신호교란 대응 보안시스템	5년				
						2-2-3. 사이버 공격에 강인한 보안 원천 기술 개발	사이버 공격 대응 보안 원천기술	5년				
						2-2-4. 사이버 공격에 강인한 보안 모듈 제작	사이버 공격 대응 보안 모듈	5년				
1. 열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발	1-1. 스마트 관제 시스템 및 센터구축 기술개발	총 열차지연 확산 25% 개선, 통합스케줄링 (열차-차량-승무원)소요 시간1주일이 내	시스템	1단계(5년) : TRL 5 2단계(5년) :TRL7	O	1-1-1. 스마트 관제 시스템 핵심 알고리즘 개발	핵심 알고리즘	3년				
	1-1-2. 스마트 관제 시스템 프로토 타입 개발					시스템 프로토 타입	3년					
	1-1-3. 스마트 관제 시스템 시험/평가 및 보완					시험/평가서	5년					
	1-2. 스마트 스케줄링 기술개발									1-2-1. 스마트 스케줄링 S/W 기본 및 상세 설계	S/W 설계서	1년
										1-2-2. 스마트 스케줄링 핵심 알고리즘 개발	핵심 알고리즘	2년
										1-2-3. 스마트 스케줄링 S/W 프로그램 개발	S/W 프로그램	2년
4.가상열차편성 기술개발	4-1. 가상열차연결제어 기술개발	수송량 50% 증대	시스템	1단계(5년) :TRL 4 2단계(5년) :TRL5	O	4-1-1. 가상열차편성 연결제어 운영환경 및 기초 알고리즘 연구	시스템 개념사양	2년				
						4-1-2. 가상열차편성 연결제어 알고리즘 정의 및 구현	가상열차편성 연결제어 알고리즘	2년				
						4-1-3. 가상열차편성 연결제어 알고리즘 시뮬레이션 및 보완	시뮬레이션 프로그램, 보완된알고리즘	1년				

세부과제명	세부기술	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구활동	산출물	연구기간			
						4-1-4. 가상열차편성 연결제어시스템 프로토타입 설계	요구사항 정의서, 프로토타입설계사양서	1년			
						4-1-5. 가상열차편성 연결제어시스템 프로토타입 개발	도면, 프로토타입H/W및S/W	2년			
						4-1-6. 가상열차편성 연결제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	시험결과 보고서, 보완된프로토타입H/W및S/W	2년			
5.열차자율주행시스템 시험평가 기술개발	5-1. Lab. 기반 성능평가 기술개발	시스템 기능 및 성능검증	시스템	1단계(5년) : TRL 5 2단계(5년) :TRL7	O	5-1-1. Lab. 기반 성능평가 방안 및 계획 수립	성능평가 계획서	1년			
	5-1-2. Lab. 기반 성능평가 항목 및 방법 도출					성능평가 절차서	1년				
	5-1-3. Lab. 기반 성능평가 통합 시뮬레이터 설계					시뮬레이터 설계서	1년				
	5-1-4. Lab. 기반 성능평가 통합 시뮬레이터 개발					시뮬레이터 H/W 및 S/W	1년				
	5-1-5. 시스템 통합 및 시뮬레이션 기반 시험평가					시험평가 결과보고서	1년				
	5.2 On site 기반 성능평가 기술개발								5-2-1. On site 기반 성능평가 방안 및 계획 수립	성능평가 계획서	1년
									5-2-2. On site 기반 성능평가 항목 및 방법 도출	성능평가 절차서	1년
									5-2-3. On site 기반 차상 및 지상 테스트베드 설계	차상 및 지상 테스트 베드 설계서	1년
									5-2-4. On site 기반 차상 및 지상 테스트베드 구축	차상 및 지상 테스트 베드	1년
									5-2-5. 시스템 통합 및 현장 시험평가	시험평가 결과 및 시험성적서	1년

4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 세부과제 1: 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

가. 연구개발 목표

열차간 직접적인 협업을 통한 수송력 향상 및 비용절감 그리고 편의성 향상이 가능한 열차 자율주행제어 기술개발

- 열차의 최소운전시각 30% 향상
- 제어설비 단순화를 통한 비용 20% 절감

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

- 기존의 CBTC와 같은 지상중심의 무선통신기반 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시각을 90초까지 단축 가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시각의 단축에 있어서 한계를 가짐.
- 이를 개선하기 위해서는 선행열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함.
- 또한 설비투자비용 측면에서 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상 ATP, EIS 등의 지상설비가 반드시 필요하며 지상에서 관할 영역의 모든 열차를 관리하게 되므로 일정수의 투입열차 이상에서는 처리용량에 한계가 발생됨. 따라서 일정구간 또는 처리용량에 따라 설비의 증설이 필요함.
- 따라서 기존 지상중심 무선통신열차제어시스템의 지상 ATP, EI 등의 지상설비 없이 열차간 제어정보 교환을 통해 안전한 열차운행이 가능한 열차자율주행기술개발이 필요함
- 기존의 지상중심 열차제어시스템의 경우 열차의 운행 중 사고 및 고장 등의 이례상황 발생 시 관제의 운영자가 수동으로 열차 운행을 조작함으로써 신속한 대응이 불가능하고 인적오류의 위험이 존재함.
- 따라서 주행상황에서 발생하는 여러 가지 이례상황 발생 시 열차 간 자율협업기반 상황인지 및 판단을 통해 열차 스스로 자신의 주행경로를 재설정하여 정시성 보장 및 스케줄을 준수하기 위한 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.

(2) 정부지원 필요성

- 새로운 열차제어시스템을 개발하기 위해서는 장기간 막대한 비용이 소요되며 국내의 열악한 철도산업기반을 고려할 때 기업주도로 추진하기에는 어려움이 발생됨.
- 유럽의 경우 EU 공동 프로젝트로 열차제어시스템 개발에 대한 연구를 지속적으로 추진하고 있으며 최근 Shift2rail(2014-2020)의 경우 신규 열차제어 및 철도통신시스템 분야 개발에 약 2억유로(약 2,500억)에 달하는 연구개발비를 투자함으로써 지속적으로 철도분야의 기술력을 선도하기위해 투자를 아끼지 않고 있음.
- 따라서 열차제어 및 통신분야에서 국내 철도의 경쟁력강화와 글로벌 철도산업의 선도를 위해서는 정부의 투자가 필요함.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 국가연구개발 및 시범사업 현황에서 살펴본 바와 같이 기존의 국가연구개발과제를 통해 개발된 열차제어시스템은 지상제어시스템이 제어의 중심적인 역할을 수행하였음.
- 특히 “도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가(2010-2014)” 과제의 경우 이전에 미국과 유럽에서 개발을 통해 표준화된 열차제어시스템 체계를 벤치마킹하여 국내 기술로써 국산화 개발하였음.
- 열차자율주행시스템의 경우 완전한 차상중심의 열차제어시스템으로써 국내 개발사례는 전무하며 국외에서도 개발 중에 있거나 또는 개발을 계획 중인 미래 선도형 기술임.

라. 연구개발 주요내용

(1) 차상중심 분산형 열차방호 기술개발

- 열차간 연결 무결성 확보기술 개발
- 차상중심 분산형 열차간격제어 기술개발
- 안전성 활동 및 평가

(2) 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발

- 차상중심 분산형 진로 기술개발
- 차상중심 분산형 분기제어 기술개발
- 안전성 활동 및 평가

(3) 상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발

- 가상인터페이스 유무선 통신체계 개발
- 가상인터페이스 통신프로토콜 개발

(4) 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발

- 상황인지 운영시나리오 개발
- 상황인지에 따른 판단/제어 기술개발
- 안전성 활동 및 평가

마. 연구개발의 TRM

[표 3.3] 세부과제 1-열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 TRM

세부기술	연구활동	1단계					2단계				
		1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
1-1.차 상 중 심 분산형 열차방호 기술개발	1-1-1.분산형 열차방호시스템 프로토타입 설계										
	1-1-2.분산형 열차방호시스템 프로토타입 개발										
	1-1-3.분산형 열차방호시스템 프로토타입 검증 및 보완										
	1-1-4.분산형 열차방호시스템 시제품 설계										
	1-1-5.분산형 열차방호시스템 시제품 개발										
	1-1-6.분산형 열차방호시스템 시제품 시험평가										
1-2.차 상 중 심 분산형 진로 및 분기 제어 기술개발	1-2-1.분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 설계										
	1-2-1.분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 개발										
	1-2-3.분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 검증 및 보완										
	1-2-4.분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 설계										
	1-2-5.분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 개발										
	1-2-6.분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 시험평가										
1-3.상황인지를 위한 가상 인터페이스 기술개발	1-3-1.상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 설계										
	1-3-2.상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 개발										
	1-3-3.상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 검증 및 보완										

세부기술	연구활동	1단계					2단계				
		1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
	1-3-4.상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 설계 및 개발										
	1-3-5.상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 시험평가										
1-4.열차간 협상 업기반 황인지 판단/제어 기술개발	1-4-1.상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 설계										
	1-4-2.상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 개발										
	1-4-3.상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 검증 및 보완										
	1-4-4.상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 설계										
	1-4-5.상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 개발										
	1-4-6.상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 시험평가										

바. 최종성과물 및 성과지표

(1) 최종성과물

- 차상중심 분산형 열차방호 시스템 시제품
- 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 시스템 시제품
- 상황인지를 위한 가상인터페이스 시스템 시제품
- 상황인지 및 판단/제어 시스템 시제품

(2) 성과지표

[표 3.4] 세부과제 1-열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 연차별 성과지표

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	6차(년) 목표	7차(년) 목표	8차(년) 목표	9차(년) 목표	10차(년) 목표	최종목표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	1-1.차상중심 분산형 열차방호 기술개발	-시스템 운영 시나리오 개발 -시스템 프로토타입 위험 분석 및 요구사항 설계	-프로토타입 H/W, S/W 및 안전요구 사항 할당 -프로토타입 H/W, S/W 설계	-시스템 프로토타입 검증 -시스템 프로용 H/W, S/W 설계	-시스템 프로토타입 H/W, S/W 구현완료 -시스템 프로토타입 검증 -시스템 프로용 H/W, S/W 구현	-시스템 프로토타입 시험 및 보완	-시스템 시제품 H/W, S/W 설계 -시스템 인증을 위한 설계단계 안전성 활동	-시스템 시제품 H/W, S/W 구현 -시스템 인증을 위한 제작단계 안전성 활동	-시스템 시제품 H/W, S/W 구현완료 -시스템 인증을 위한 시험단계 안전성 활동	-시스템 시제품 현장설치 및 시험 -시스템 인증을 위한 시험단계 안전성 활동	-시스템 시제품 현장설치 및 시험평가 -시스템 인증을 위한 시험단계 안전성 활동 및 인증	차상중심 분산형 열차방호 시제품 개발
		1-2.차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발	-시스템 운영 시나리오 개발 -시스템 프로토타입 위험 분석 및 요구사항 설계	-시스템 프로토타입 H/W, S/W 및 안전요구 사항 할당 -시스템 프로용 H/W, S/W 설계	-프로토타입 H/W, S/W 구현 -시스템 프로토타입 검증 -시스템 프로용 H/W, S/W 설계	-프로토타입 H/W, S/W 구현완료 -시스템 프로토타입 검증 -시스템 프로용 H/W, S/W 구현	-프로토타입 시험 및 보완	-시스템 시제품 H/W, S/W 설계 -시스템 인증을 위한 설계단계 안전성 활동	-시스템 시제품 H/W, S/W 구현 -시스템 인증을 위한 제작단계 안전성 활동	-시스템 시제품 H/W, S/W 구현완료 -시스템 인증을 위한 시험단계 안전성 활동	-시스템 시제품 현장설치 및 시험 -시스템 인증을 위한 시험단계 안전성 활동	-시스템 시제품 현장설치 및 시험평가 -시스템 인증을 위한 시험단계 안전성 활동 및 인증	차상중심 분산형 진로 및 분기제어 시제품 개발
		1-3.상황인지를 위한 가상 인터페이스 기술개발	-시스템 운영 시나리오 개발 -시스템 위험 분석 및 요구사항 설계 -프로토타입 H/W, S/W 설계	-시스템 프로토타입 H/W, S/W 구현완료 -시스템 프로토타입 검증 -시스템 프로용 H/W, S/W 설계	-시스템 프로토타입 시험 및 보완 -시스템 프로토타입 검증 -시스템 프로용 H/W, S/W 구현	-시스템 시제품 H/W, S/W 설계 및 구현	-시스템 시제품 시험 및 보완						상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 개발
		1-4.열차간 협업기반 상황인지 및 판단	-시스템 운영 시나리오 개발	-시스템 프로토타입 H/W, S/W	-시스템 프로토타입 H/W, S/W	-시스템 프로토타입 H/W, S/W	-시스템 프로토타입 시험	-시스템 시제품 H/W, S/W	-시스템 시제품 H/W, S/W	-시스템 시제품 H/W, S/W	-시스템 시제품 현장설치	-시스템 시제품 현장설치	열차간 협업기반

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	6차(년) 목표	7차(년) 목표	8차(년) 목표	9차(년) 목표	10차(년) 목표	최종목표
		/제어 기술개발	발 시스템 프로 토타입 위험 원 분석 및 요구사항 설 계	S/W 및 안 전 요구 사항 할당 시스템 프로 토타입 H/W, S/W 설계	S/W 구현	S/W 구현완 료	및 보완	S/W 설계 -시스템 인증 을 위한 설 계단계 안전 성 활동	S/W 구현 -시스템 인증 을 위한 제 작단계 안전 성 활동	S/W 구현완 료 -시스템 인증 을 위한 제 작단계 안전 성 활동	및 시험 -시스템 인증 을 위한 시 험단계 안전 성 활동	및 시험평가 -시스템 인증 을 위한 시 험단계 안전 성 활동 및 인증	상황인지 및 판단제어 시제품 개발
	표준 지표	논문 학술지 발표/게 재	3/0	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	30/18
		특허 출원 건수	5	6	7	7	7	5	4	3	3	3	50
		소프트웨어 개발건수	-	-	2	2	2	1	1	1	-	-	9
		시제품 개발 건수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
산출 (Outcome) 지표	과제의 궁극적 목표	차상중심 분산형 열차방호시스템 개발	프로토타입 설계	프로토타입 설계완료	프로토타입 구현	프로토타입 구현완료	프로토타입 시험 및 보완	시제품 설계	시제품 구현	시제품 구현완료	시제품 현장설치 및 시험	시제품 시험평가 및 인증	차상중심 분산형 열차방호 시제품 개발
		차상중심 분산형 진로 및 분기제어 시스템 개발	프로토타입 설계	프로토타입 설계완료	프로토타입 구현	프로토타입 구현완료	프로토타입 시험 및 보완						차상중심 분산형 진로 및 분기제어 시제품 개발
		상황인지를 위한 가상인터페이스 시스템 개발	프로토타입 설계	프로토타입 구현완료	프로토타입 시험 및 보완 시제품 설계	시제품 설계 및 구현	시제품 시험 및 보완	시제품 설계	시제품 구현	시제품 구현완료	시제품 현장설치 및 시험	시제품 시험평가 및 인증	상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 개발
		열차간 협업기반 상황인지 및 판단제어 시스템 개발	프로토타입 설계	프로토타입 설계완료	프로토타입 구현	프로토타입 구현완료	프로토타입 시험 및 보완	시제품 설계	시제품 구현	시제품 구현완료	시제품 현장설치 및 시험	시제품 시험평가 및 인증	열차간 협업기반 상황인지 및 판단제어 시제품 개발
		표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	90%	90%	90%	90%	100%	100%	100%	100%	110%	110%

사. 성과물 검증방안

(1) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가들의 자문회의를 통한 검증
- 국내·외 학술대회 및 논문 발표를 통한 결과 검증

(2) 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증

- 랩규모 테스트, 현장 테스트 등을 이용하여 결과 검증
- 개발된 제품을 실제 운영 노선에 시범 설치하여 결과 검증

(3) 산출 지표별 검증 방안

[표 3.5] 세부과제 1-열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 산출지표별 검증방안

유형	지표구분	성과지표	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표	기술적목표	열차운전시격 30% 단축	최소운전시격은 열차제어시스템 성능평가의 주요지표임.	최소운전시격 시뮬레이션
		시스템 구축비용 20% 절감	시스템 시제품 제작비용을 토대로 구축비용 분석	시스템 제작단가 비교분석
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	핵심 기술 개발 및 검증	소프트웨어 제시
		시제품 개발 건수	사양 대비 성능검증	시제품 제시
산출 (Outcome) 지표	과제의 궁극적 목표	차상중심 분산형 열차방호시스템 개발	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
		차상중심 분산형 진로 및 분기제어 시스템 개발	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
		상황인지를 위한 가상인터페이스 시스템 개발	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
		열차간 협업기반 상황인지 및 판단제어 시스템 개발	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	세계최고의 수준 목표	전문가 자문 및 검증

아. 기술수요처 및 실용화 방안

(1) 기술수요처 및 실용화 방안

- 개발 기술은 국내외 도시철도 및 일반·고속철도제어시스템에 적용가능하며 기술의 수요처는 철도시설 관리기관 및 철도운영기관임.
- 개발된 열차간 간격제어기술은 타 교통분야의 자율주행제어 기술에 활용이 가능함.

(2) 기대효과 및 파급효과

- 열차간 직접적인 간격제어로 운전시각 단축을 통한 운영수익 증대 및 이용자 통행시간 절감효과 기대
- 지상설비 절감을 통해 설비투자비용 절감효과 기대
- 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적으로 확보가 가능하며 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.
- 열차자율주행제어 기술개발을 통해 운전시각 단축이 가능하며 이는 철도 승객의 통행시간 절감효과 측면에서의 서비스 향상 효과 기대.
- 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
- 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능.

2. 세부과제 2: 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발

가. 연구개발 목표

열차자율주행을 위한 T2T 통신 및 보안기술 개발

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

- 본 과제는 지상 중심의 열차 신호 시스템을 차상 중심의 시스템으로 변경하고 선로 용량 증가 및 효율적인 열차자율주행을 위해서는 차량 간 통신(T2T) 통신이 필요함
- T2T통신은 현재 전세계 어디에도 존재하지 않는 통신 기법임
- T2T와 유사한 통신 기법으로서 현재 V2X가 연구 중에 있으며, V2X는 크게 IEEE WLAN 계열의 WAVE와 3GPP의 LTE 기반 통신으로 나누어져 있음
- 현재 V2X 기법의 WAVE나 3GPP LTE 기반 통신 모두, 도로 주행 중심으로 연구가 진행 중에 있으며, 열차와 관련된 요구사항은 아직 고려되지 않고 있음
- 이에 따라 표준화 활동 등을 통해 열차와 관련된 요구사항 및 통신 알고리즘 등을 새로운 표준에 포함시키는 것과 함께, 이미 완성된 V2X 표준에 철도와 관련된 요구사항 및 통신 기법 등을 적용시킨 새로운 통신 시스템을 개발할 필요가 있음
- 무선통신 사용의 증가에 따라, 전파간섭 및 전파방해를 통한 해킹 위험에 노출될 가능성이 높아지고 이로 인해, T2T 통신 개발과 함께, 보안기술 개발의 필요성도 높아지고 있음
- 특히 철도의 제어신호 전송은 안전과 직접적인 관련이 있기 때문에 다른 분야보다도 훨씬 높은 보안기술이 필요함

(2) 정부지원 필요성

- 철도 시장은 도로 교통 시장 보다 훨씬 규모가 작으며 이에 따라 통신 사업자 및 제조사가 철도 시장에는 큰 관심이 없기 때문에 통신 표준에 크게 고려되고 있지 않음
- 통신을 위해서는 통신 모뎀 칩이 필요하며 철도 시장 규모가 작기 때문에 퀄컴, 삼성 등 세계적인 모뎀 칩 제작사들은 철도만을 위한 모뎀 칩을 따로 개발하지 않고 있음
- 열차 요구사항이 포함되어 있는 새로운 V2X 표준이 제정되었다고 하더라도, 모뎀 칩 제작사들이 그에 대한 모뎀 칩을 개발할지는 시장상황에 따라 결정되기 때문에 제작 가능성이 불투명함
- 따라서 철도와 같은 시장의 규모가 작고 공공성이 강한 분야는 정부의 지원을 통해 제품을 개발할 필요가 있음

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

[표 3.6] 세부과제 2-열차자율주행기반 통신 및 보안기술개발 기존연구와의 중복성

기존 연구과제(최상위 과제명)			검토결과	
과제명	주요내용	연구기관 (연구기간)	차별성	연계방안
저지연 및 고신뢰 V2X 통신을 위한 자원할당 기술 개발	자율주행과 안전주행 지원을 위해 V2X 통신에서 가장 중요한 요구조건인 저지연성(low latency)과 고신뢰성(high reliability)을 확보하기 위한 자원할당 프레임워크 및 알고리즘 개발	송실대학교 (2016-2019)	V2X 알고리즘 개발 수준의 실용화 단계가 매우 낮은 과제이며 철도와는 무관함	V2X를 위한 저지연 고신뢰성 알고리즘의 철도적용 및 수정 가능성 검토
자율주행차량을 위한 V2X 서비스 통합 보안 기술 개발	자율주행차량을 위한 V2X 보안 상세 설계 및 테스트 베드 구축	한국정보인증(주) (2016-2018)	철도와 관련성이 없음	자율주행차량을 위한 V2X 보안설계의 철도 적용 방안 검토
V2X 기반 철도 이동통신 및 스마트 교통 ICT 융합 서비스를 위한 국제 표준화	V2V, V2P 및 V2I/N 기반 철도 이동통신 표준기술 개발 스마트 교통 ICT 융합 서비스를 위한 표준기술 개발	한국철도기술연구원	통신 표준화 연구로서 실용화 목적이 아님	철도 관련 요구사항이 표준에 포함되면 그와 관련된 표준을 가지고 바로 개발 착수 가능함

라. 연구개발 주요내용

(1) 열차간 직접적인 통신 기술개발

- 열차자율주행 기반 T2T 통신 표준화 연구
- 열차자율주행 기반 T2T 통신 기술개발

(2) 통신보안 기술개발

- 물리적 신호교란에 강인한 보안기술 개발
- 사이버 공격에 강인한 보안기술 개발

마. 연구개발의 TRM

[표 3.7] 세부과제 2-열차자율주행기반 통신 및 보안기술개발 TRM

세부기술	연구활동	1단계					2단계				
		1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
2-1.열차간 직접적인 통신 기술	2-1-1.T2T 통신 표준화 연구										
	2-1-2.T2T 통신 프로토타입 제작										
	2-1-3.열차자율주행 기반 T2T 통신 프로토콜 S/W 개발										
	2-1-4.열차자율주행 기반 T2T 통신을 위한 망 인프라 기술 개발										
	2-1-5.T2T 통신을 위한 차상 단말 모델 제작										
	2-1-6.열차자율주행을 위한 T2T 통신 현장 통합 시험 및 보완										
2-2.통신보안 기술	2-2-1.물리적 신호교란에 강인한 보안 원천기술 개발										
	2-2-2.물리적 신호교란에 강인한 보안시스템 제작 및 검증										
	2-2-3.사이버 공격에 강인한 보안 원천 기술 개발										
	2-2-4.사이버 공격에 강인한 보안 모듈 제작										

바. 최종성과물 및 성과지표

(1) 최종성과물

- 열차자율주행 기반 T2T 차상 단말 모델
- 열차자율주행 기반 T2T 망 인프라 시제품(망, 기지국, 코어망)
- 물리적 신호교란에 강인한 보안시스템
- 사이버 공격에 강인한 보안 모듈

(2) 성과지표

[표 3.8] 세부과제 2-열차자율주행기반 통신 및 보안기술개발 연차별 성과지표

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	6차(년) 목표	7차(년) 목표	8차(년) 목표	9차(년) 목표	10차(년) 목표	최종목표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	열차간 직접적인 통신 기술개발	-T2T 통신 요 구사항 도출 -T2T 관련 표 준 선정 및 분석 -T2T 프로토 콜 전체 계 층 구조 설 계 및 계층 간 인터페이 스 정의 -T2T 통신 표 준화 활동 진행	-T2T 통신 L1 물리계층 알 고리즘 개발 -T2T L1 표준 및 알고리즘 기본 구현 -T2T 통신 표 준화 활동 진행	-T2T 통신 상 위계층 프로 토콜 개발 -T2T 상위계 층 표준 및 프로토콜 기 본 구현 -T2T 통신 표 준화 활동 진행	-T2T L1 물리 계층 표준 및 알고리즘 상세 구현 -T2T 통신 표 준화 활동 진행	-T2T 프로토 타입 제작 및 검증 -T2T 통신 표 준화 활동 진행	-프로토 타입 을 통한 차 상 단말 모 뎀 기본 설 계 -T2T 통신을 위한 망 인 프라 개발	-프로토 타입 을 통한 차 상 단말 모 뎀 상세 설 계 -T2T 통신을 위한 망 인 프라 개발	-차상 단말 모뎀 구현 및 검증 -T2T 통신을 위한 망 인 프라 개발	-개발된 차상 단말 모뎀 및 망 인프 라 현장 통 합 시험 진 행 -현장 통합 시험을 통한 제품 보완	-개발된 차상 단말 모뎀 및 망 인프 라 현장 통 합 시험 진 행 -현장 통합 시험을 통한 제품 보완	-열차 자율주행 을 위한 T2T 차상 단말 및 망 인프라 시 제품 개발
		통신보안 기술개발	-물리적 신호 교란 취약성 분석 -사이버 공격 시나리오 분 석	-물리적 신호 교란 검지 알고리즘 개 발 및 검증 -제어/통신 시스템을 위 한 보안 프 로토콜 설계	-물리적 신호 교란 보호알 고리즘 개발 및 검증 -제어/통신 시스템을 위 한 보안 프 로토콜 개발	-물리적 신호 교란 검지 알고리즘 구 현 -사이버 공격 및 방어 시 뮬레이터 제 작 및 검증	-물리적 신호 교란 보호 알고리즘 구 현 -사이버 공격 및 방어 시 뮬레이터 제 작 및 검증	-물리적 신호 교란 검지 시스템 제작 -제어/통신 시스템을 위 한 보안 모 뎀 제작	-물리적 신호 교란 보호 시스템 제작 -제어/통신 시스템을 위 한 보안 모 뎀 제작	-물리적 신호 교란 검지 시스템 시험 및 보완 -사이버 공격 및 방어 시 뮬레이터 시 험 및 보완	-물리적 신호 교란 보호 시스템 시험 및 보완 -제어/통신 시스템을 위 한 보안 모 뎀 시험 및 보완	-제어/통신 시스템을 위 한 보안 모 뎀 시험 및 보완	-철도 환경을 고 려한 고신뢰성 통신보안 기술 개발
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	3/0	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	30/18
		특허 출원 건수	2	3	4	4	4	3	3	3	2	2	30
		소프트웨어 개발건수	-	-	2	2	2	1	1	1	-	-	9
		시제품 개발 건수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	6차(년) 목표	7차(년) 목표	8차(년) 목표	9차(년) 목표	10차(년) 목표	최종목표
산출 (Outcome) 지표	과제의 공국적 목표	열차간 직접적인 통신 기술개발	T2T 구조 설 계 및 계층 간 인터페이 스 정의	T2T 통신 L1 물리계층 알 고리즘 개발 및 기본구현	T2T 통신 상 위계층 프로 토콜 개발 및 기본구현	T2T L1 물리 계층 표준 및 알고리즘 상세 구현	T2T 프로토 타입 제작 및 검증	차상 단말 모뎀 기본 설계 및 T2T 통신을 위한 망 인프라 개발	차상 단말 모뎀 상세 설계 및 T2T 통신을 위한 망 인프라 개발	차상 단말 모뎀 구현 및 검증 및 T2T 통신을 위한 망 인 프라 개발	현장 통합 시험 진행 및 제품 보 완	현장 통합 시험 진행 및 제품 보 완	열차 자율주행 을 위한 T2T 차상 단말 및 망 인프라 시 제품 개발
		통신보안 기술개발	신호교란 취 약성분석 및 사이버 공격 분석	신호교란 검 지 알고리즘 개발 및 검 증 보안 프로토 콜 설계	신호교란 보 호 알고리즘 개발 및 검 증 보안 프로토 콜 개발	신호교란 검 지 알고리즘 구현 사이버 공격 및 방어 시 뮬레이터 제 작 및 검증	신호교란 보 호 알고리즘 구현 사이버 공격 및 방어 시 뮬레이터 제 작 및 검증	신호교란 검 지 시스템 제작 보안 모듈 제작	신호교란 보 호 시스템 제작 보안 모듈 제작	신호교란 검 지 시스템 시험 및 보 완 공격 및 방 어 시뮬레이 터 시험 및 보완	신호교란 보 호 시스템 시험 및 보 완 보안 모듈 시험 및 보 완	보안 모듈 시험 및 보 완	철도 환경을 고려한 고신뢰 성 통신보안 기술 개발
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	90%	90%	90%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	110%	110%

사. 성과물 검증방안

(1) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가들의 자문회의를 통한 검증
- 국내·외 학술대회 및 논문 발표를 통한 결과 검증

(2) 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증

- 랩규모 테스트, 현장 테스트 등을 이용하여 결과 검증
- 개발된 제품을 실제 운영 노선에 시범 설치하여 결과 검증

(3) 산출 지표별 검증 방안

[표 3.9] 세부과제 2-열차자율주행기반 통신 및 보안기술개발 산출 지표별 검증방안

유형	지표구분	성과지표	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표	기술적목표	열차간 직접적인 통신 기술개발	열차간 제어신호 전송의 효율성 증대를 위해서는 반드시 필요한 기술	랩규모 및 현장 검증
		통신보안 기술개발	보안의 중요성이 급격히 증가하고 있음	랩규모 및 현장 검증
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	핵심 기술 개발 및 검증	시제품 제시
		시제품 개발 건수	사양 대비 성능검증	시험성적서
산출 (Outcome) 지표	과제의 궁국적 목표	열차자율주행을 위한 T2T 차상 단말 및 망 인프라 시제품 개발	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
		철도 환경을 고려한 고신뢰성 통신보안 기술 개발	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	세계최고의 수준 목표	전문가 자문 및 검증

아. 기술수요처 및 실용화 방안

(1) 기술수요처 및 실용화 방안

- 고속철도, 도시철도 및 일반철도차량에 적용
- 기타 일반 대중교통에도 적용 가능
- 개발 기술과 제품이 철도와 기타 일반 대중교통에 모두 적용가능하기 때문에 실용화 가능성이 높음
- 특히 철도는 시장의 규모가 작기 때문에 모뎀 제작사가 관심을 가지지 않고 있고, 이로 인해 철도공사와 철도시설공단과 긴밀한 협조를 통해 사업화가 가능할 것으로 예상됨

(2) 기대효과 및 파급효과

- 철도의 요구사항을 만족하는 차량 간 통신시스템 개발
- 기지국을 통한 일반적인 셀룰러 통신과 비교하여 차량 간 직접통신을 통한 데이터 전송 지연 시간 감소
- 데이터 전송 지연 시간 감소에 따른 선로 용량 증대
- 개발 제품의 해외 수출 가능성 확보

3. 세부과제 3: 열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발

가. 연구개발 목표

열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

- 장래 철도 이용자들의 통행패턴(Future Mobility)은 개인적 만족(Personalization)의 극대화를 위한 맞춤형 (On Demand) 서비스를 추구하는 방향으로 형성될 것으로 전망



(자료: Deloitte University Press)

※ On Demand 서비스 : 승객이 원하는 시간 및 원하는 장소에 빠르고, 편하고, 안전하게 여행하는 서비스

- 스마트 스케줄링 기술은 장래 철도 이용자들의 통행패턴 변화 요구에 부응하기 위해
 - 기존 (열차) - (차량) - (승무원) 스케줄링 소요시간을 실시간에 근사하도록 단축 (2주 이내) 하여 다양한 수요변화를 세부적으로 수용할 수 있는 기반을 구축하고,
 - 동적인 편성 용량 조정(Dynamic Capacity Adjustment)을 통하여 철도 좌석 공급량을 수요변화에 대응할 수 있도록 함
 - 뿐만 아니라, 연계 열차간 동기화 스케줄링(Schedule Synchronization)을 통한 환승 대기시간을 최소화하여 승객의 철도 서비스 만족도 향상을 제고함
- 최근 철도분야 R&D 정책에서는 첨단 ICT 기술의 접목으로 새로운 부가가치와 일자리 창출, 첨단 인프라로의 개선을 통한 철도 운영 효율성 향상, 융복합 첨단기술의 확보를 중점 R&D 요소로 정의하고 있음.
- 또한, ICT 기술융합을 통한 자동화 및 지능화된 지능형 교통시스템의 보급이 전세계적으로 가속화되고 있어 신규 철도시장 창출/선점과 신(新)국부 창출을 위해서는 최적화된 철도시스템과 새로운 철도 패러다임 제안 필요함.

(2) 정부지원 필요성

- 국정과제(13.5.28)에서 ‘과학기술을 통한 창조경제 기반 조성’을 위해 기존 산업에

과학기술·ICT를 융합하여 새로운 부가가치와 일자리 창출이 가능한 범부처 공동 프로젝트 발굴·추진하기로 함.

- “제3차 과학기술기본계획(’13~’17)”에서 창조경제 비타민 프로젝트(과학기술과 ICT를 접목하여 기존 산업에 활력을 불어 넣고 국민편익을 증진하기 위한 범정부 프로젝트)의 주요과제로 지능형 철도를 제시함.
- “건설교통 R&D 중장기계획(’13~’17)”에서 융복합 첨단기술 확보(세계시장 선도 첨단 교통물류 원천기술 확보)를 중점추진분야로 선정함.
- 인구구조의 변화 및 지속적 저성장 시대 진입에 따라 스마트 철도 기술(Smart Rail Move Tech.)을 접목한 고품격 철도 서비스 제공을 통해 지속가능한 철도수요 창출 및 철도 수송분담 향상 구조 확립을 위한 연구기획 필요

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 열차운영계획 시스템개발 과제는 스마트 스케줄링 기술개발 과제와 목표가 유사하나 한국철도공사 단독으로 수행하여 한국철도공사만 사용할 수 있는 프로그램이 개발된 것으로 판단됨
 - 타 운영기관이 범용으로 사용하기가 거의 불가능함
 - 개발 범위에 있어서 열차스케줄링에 집중되어 있어 가장 많은 시간이 소요되는 승무원 스케줄링 분야 문제 해결 불가

[표 3.10] 세부과제 3-열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 중복성 검토

구분	열차운영계획시스템(TOPS) 개발	철도운영 및 유지보수 효율화 기술개발	스마트 스케줄링 및 관제
발주(기간)/수행	정부 (2011.9.30-2014.7.29) 한국철도공사 (단독)	정부 (2012.12.26-2013.6.25) 한국철도공사외 3기관	산·학·연 협동 전문가 그룹 중심으로 추진 (계획)
목적	열차계획 수립 소요시간 단축	기획연구과제	통합 스케줄링 작업 실시간화로 스마트 서비스 체계구현 지원
목표	전면개정: 45일, 부분개정 15일 소요 (50% 단축)	신규 과제 발굴	전반적으로 2주일 이내로 단축
범위	- 열차계획 중심으로만 개발 (승무원 스케줄링의 소요기간 단축이 핵심이나 이 부분에 대한 내용 미개발)	- 3D진단 기반 철도차량 부품이력관리 시스템 개발 - 도시철도 전기시설물 유지보수 향상 기술개발 - 철도 역사관리 표준화/자동화 기술개발	- 열차 - 차량 - 승무원 통합 스케줄링

- 철도운영 및 유지보수 효율화 기술개발은 과제 제목상으로 유사한 한것 처럼 보이나 실제 내용에 있어서는 기획과제로서 차별화 됨

라. 연구개발 주요내용

○ 스마트 관제 시스템 개발 및 센터 구축

- 임시 스케줄링 기반 운행조정 최적화 기술
- 실시간 열차 경합 검지 및 해소 기술
- 열차 지연확산 예측 관제 기술
- 승객환승 최적화 관제 기술
- 개인별 만족기반 관제 기술
- 자율주행 차량 관제 기술
- 가상편성 차량 분리/결합 관제 기술

○ 스마트 스케줄링 기술개발

- 실시간 수요변화 대응 열차시격 조정 최적화 기술
- 스케줄링 핵심알고리즘 성능 향상 기술
- 열차-차량-승무원 통합 스케줄링 기술
- 동적 용량조정 최적화 기술
- 가상편성 차량운영 최적화 기술
- 연계스케줄 동기화 기술
- 환승불편 최소화 좌석할당 기술

마. 연구개발의 TRM

[표 3.11] 세부과제 3-열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 TRM

세부기술	연구활동	1단계					2단계				
		1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
3-1.스마트 관제 시스템 및 센터구축 기술개발	3-1-1.스마트 관제 시스템 핵심 알고리즘 개발										
	3-1-2.스마트 관제 시스템 프로토타입 개발										
	3-1-3.스마트 관제 시스템 시험/평가 및 보완										

세부기술	연구활동	1단계					2단계				
		1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
3-2.스마트 스케줄링 기술개발	3-2-1.스마트 스케줄링 S/W 기본 및 상세 설계										
	3-2-2.스마트 스케줄링 핵심 알고리즘 개발										
	3-2-3.스마트 스케줄링 S/W 프로그램 개발										

바. 최종성과물 및 성과지표

(1) 최종성과물

- 스마트 관제시스템 시제품
- 스마트 스케줄링 시제품

(2) 성과지표

[표 3.12] 세부과제 3-열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 연차별 성과지표

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	6차(년) 목표	7차(년) 목표	8차(년) 목표	9차(년) 목표	10차(년) 목표	최종목표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	스마트 관제시스템 개발	스마트 관제 문제/기능 정 의	스마트 관제 수리과학 모 델 개발	스마트 관제 핵심 알고리 즘 개발 · 지 연 확 산 15% 개선	스마트 관제 핵심 알고리 즘 및 데이터 베이스 코드 구현	스마트 관제 시스템 프로 토타입 개발 · 지 연 확 산 20% 개선	스마트 관제 핵심 알고리 즘 성능 평가	스마트 관제 핵심 알고리 즘 성능 보완 · 지 연 확 산 25% 개선	스마트 관제 핵심 기능 시 험 및 평가	스마트 관제 시스템 현실 조건 적용시 험 기능 보완	스마트 관제 시스템 시제 품 개발	스마트 관제 시 스템 시제품 개발 · 지연확산 25% 개선
		스마트 스케줄링 프로그램 개발	스마트 스케 줄링 프로그 램 설계	스마트 스케 줄링 열차-차 -승무원 스케 줄링 통합 모 델 개발 · 스케줄링 소 요기간 1주일 내 단축 모델 개발	스마트 스케 줄링 통합 알 고리즘 개발	스마트 스케 줄링 통합 알 고리즘 및 데 이 터 베 이 스 코드 구현	스마트 스케 줄링 시제품 구현	-	-	-	-	-	스마트 스케줄 링 시제품 구 현 · 스케줄링 소 요기간 1주일 내로 단축
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	2/1	2/1	2/1	1/1	1/1	2/1	2/1	1/1	2/1	2/1	17/10
		특허 출원 건수	2	1	1	-	-	1	-	-	-	-	5
		소프트웨어 개발건수	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	2
		시제품 개발 건수	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	2
	산출 (Outcome) 지표	과제의 공국적 목표	스마트 관제시스템 시제품 개발	스마트 관제 문제/기능 정 의	스마트 관제 수리과학 모 델 개발	스마트 관제 핵심 알고리 즘 개발	스마트 관제 핵심 알고리 즘 및 데이터 베이스 코드 구현	스마트 관제 시스템 프로 토타입 개발	스마트 관제 핵심 알고리 즘 성능 평가	스마트 관제 핵심 알고리 즘 성능 보완	스마트 관제 핵심 기능 시 험 및 평가	스마트 관제 시스템 현실 조건 적용시 험 기능 보완	스마트 관제 시스템 시제 품 개발
스마트 스케줄링 프로그램 개발			스마트 스케 줄링 프로그 램 설계	스마트 스케 줄링 열차-차 -승무원 스케 줄링 통합 모 델 개발	스마트 스케 줄링 통합 알 고리즘 개발	스마트 스케 줄링 통합 알 고리즘 및 데 이 터 베 이 스 코드 구현	스마트 스케 줄링 시제품 구현	-	-	-	-	-	스마트 스케줄 링 시제품 구 현
표준 지표		세계최고수준대비 기술수준	70%	75%	80%	85%	90%	92%	94%	95%	97%	99%	100%

사. 성과물 검증방안

(1) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기관, 시스템 제작업체 및 학계 전문가들의 자문회의를 통한 검증
- 국내·외 학술회의 참석 및 논문발표를 통한 검증

(2) 테스트베드에서 시뮬레이션 시험에 의한 검증

- 국내 운영기관에서 발생하는 열차 운행 중 이례 상황 재현 시뮬레이션 상황에서 스마트 관제 기능에 의한 총 지연시간 단축시간 검증
- 반복 시뮬레이션을 통한 시스템 및 소프트웨어 성능의 통계적 신뢰도 입증

(3) 산출 지표별 검증 방안

[표 3.13] 세부과제 3-열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 산출 지표별 검증방안

유형	지표 구분	성과지표	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표	기술적목표	총 열차 지연시간(사고처리시간) 25% 단축	총 열차 지연시간에 대해 관제처리 절차에 의해 개선할 수 있는 최대치	운영사 및 전문가 자문/검증
		통합 스케줄링 소요시간 1주일 이내로 단축	열차-차량-승무원 통합 스케줄링의 실질적으로 단축 가능한 최소 시간	운영사 및 전문가 자문/검증
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	핵심 기술 개발 및 검증	소프트웨어 제시
		시제품 개발 건수	사양 대비 성능검증	시제품 제시
산출 (Outcome) 지표	과제의 궁극적 목표	스마트 관제시스템 시제품 개발	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	소프트웨어 제시
		스마트 스케줄링 프로그램 개발	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	세계최고의 수준 목표	전문가 자문 및 검증

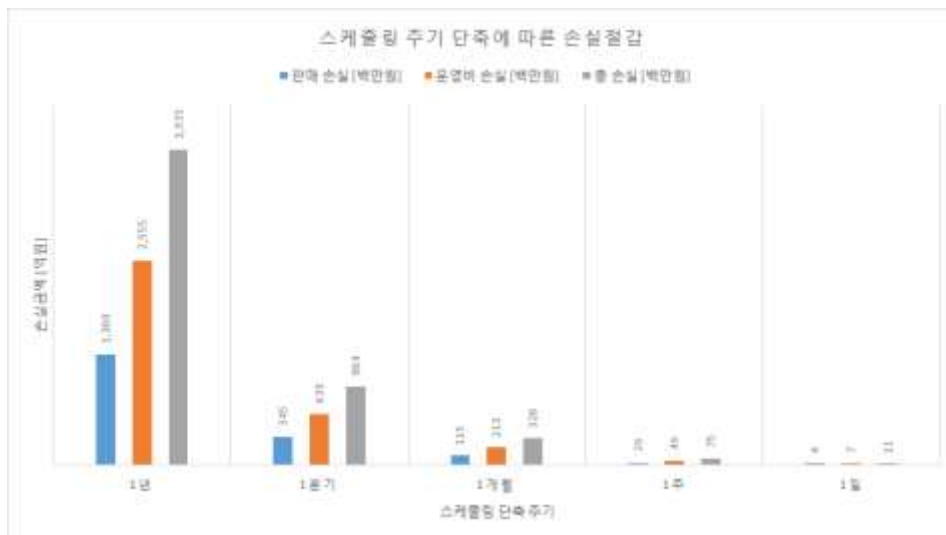
아. 기술수요처 및 실용화 방안

(1) 기술수요처 및 실용화 방안

- 스마트 관제 시스템 - 관제 시스템 개발 및 제작업체 등에서 기술 수요가 발생하며 해당 업체에 기술이전함으로써 실용화 함. 최종적인 수요기관은 철도시설 관리기관 및 철도운영기관.
- 스마트 스케줄링 프로그램 - 스케줄링 소프트웨어 개발 업체 등에서 기술 수요가 발생하며 해당 업체에 기술이전함으로써 실용화 함. 최종적인 수요기관은 철도운영기관.

(2) 기대효과 및 파급효과

- 스마트 스케줄링 프로그램에 의해 스케줄링 주기 단축에 따라 연간 승차권 판매손실 절감 및 운영비 손실 절감 총액 약 40억원.



- 스마트 관제 시스템에 의한 총 지연시간을 25% 개선 - (전제조건) 이레사태 발생시 연쇄지연 열차 수 = 5, 지연시간 = 4시간 인경우, 5 열차 × 4 시간 × 500명/열차 × 0.25 = 2500 시간 절감

4. 세부과제 4: 가상열차편성 기술개발

가. 연구개발 목표

열차간 가상연결제어를 통한 수송력 극대화 및 편의성 향상이 가능한 가상열차편성 기술개발

- 열차 수송량 50% 이상 향상
- 분리결합 시간 단축 1분 이내

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 후행열차와 선행열차 간 충돌방지를 위해 반드시 확보해야하는 안전간격의 대부분은 열차의 제동거리이며 열차의 속도가 높을수록 확보해야하는 안전간격이 증가하여 노선의 수송량 증대에 한계가 발생함.
- 따라서 열차 편성 간 안전간격을 열차의 제동거리 이하로 줄임으로써 노선의 수송량을 극대화 할 수 있도록 주행 상황에서 자유로운 열차편성간 가상연결 및 분리 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.

(2) 정부지원 필요성

- 새로운 열차제어시스템을 개발하기 위해서는 장기간 막대한 비용이 소요되며 국내의 열악한 철도산업기반을 고려할 때 기업주도로 추진하기에는 어려움이 발생됨.
- 유럽의 경우 EU 공동 프로젝트로 열차제어시스템 개발에 대한 연구를 지속적으로 추진하고 있으며 최근 Shift2rail(2014-2020)의 경우 신규 열차제어 및 철도통신시스템 분야 개발에 약 2억유로(약 2,500억)에 달하는 연구개발비를 투자함으로써 지속적으로 철도분야의 기술력을 선도하기위해 투자를 아끼지 않고 있음.
- 따라서 열차제어 및 통신분야에서 국내 철도의 경쟁력강화와 글로벌 철도산업의 선도를 위해서는 정부의 투자가 필요함.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 가상열차편성 기술은 국내외 연구개발이 진행된 사례가 없는 선도형 기술임. 국외의 경우도 가상열차편성 기술은 장기적인 로드맵으로 접근하고 있음.
- 유럽의 선진 철도제작사의 경우 2030년 초까지 TRL 4~5를 목표로 기술개발 중에 있음. 특히 EU의 공동프로젝트인 Shift2rail에서는 2018년도부터 약 3년간 480만 유로(약 60억)을 투자하여 기술개발의 영향력에 대한 연구를 수행할 예정임.

라. 연구개발 주요내용

(1) 가상열차편성 기술개발

- 가상열차편성내 열차무결성 확보기술 개발
- 가상열결제어 기술개발
 - 가상연결/해제 제어기술개발
 - 고정밀 속도추종제어 기술개발
- 안전성 활동 및 평가

마. 연구개발의 TRM

[표 3.14] 세부과제 4-가상열차편성 기술개발 TRM

세부기술	연구활동	1단계					2단계				
		1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
4-1.가상 열차 연 결 제 어 기술개발	4-1-1.가상열차편성 연결제어 운영환경 및 기초 알고 리즘 연구										
	4-1-2.가상열차편성 연결제어 알고리즘 정의 및 구현										
	4-1-3.가상열차편성 연결제어 알고리즘 시뮬레이션 및 보완										
	4-1-4.가상열차편성 연결제어 시스템 프로토타입 설계										
	4-1-5.가상열차편성 연결제어 시스템 프로토타입 개발										
	4-1-6.가상열차편성 연결제어 시스템 프로토타입 검증 및 보완										

바. 최종성과물 및 성과지표

(1) 최종성과물

- 가상열차연결제어 시스템 프로토타입

(2) 성과지표

[표 3.15] 세부과제 4-가상열차편성 기술개발 연차별 성과지표

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	6차(년) 목표	7차(년) 목표	8차(년) 목표	9차(년) 목표	10차(년) 목표	최종목표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	4-1.가상열차연결제어 기술개발	-가상열차결 제어 운영시 나리오 개발 -가상열차결 제어 요구사 항 설계 -가상열차결 제어 기초알 고리즘 분석	-가상열차결 제어 요구사 항 설계 -가상열차결 제어 기초알 고리즘 도출	-가상열차연 결제어 알고 리즘 정의 및 구현	-가상열차연 결제어 알고 리즘 정의 및 구현완료	-가상열차연결 제어 알고리 즘 분석을 위 한 시뮬레이 션	-시스템 위험 원 분석 및 요구사항 설 계	-프로토타입 H/W, S/W 및 안전요구 사항 할당	-시스템 프로 토타입 H/W, S/W 구현	-시스템 프로 토타입 H/W, S/W 구현완 료	-시스템 프로 토타입 시험 및 보완	-가상열차연결제 어 프로토타입 개발
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	3/0	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	30/18
		특허 출원 건수	3	5	5	5	5	3	3	3	3	2	37
		소프트웨어 개발건수	-	-	2	2	2	2	2	2	-	-	9
		시제품 개발 건수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4
산출 (Outcome) 지표	과제의 공국적 목표	가상열차연결제어시스 템 개발	요구사항 설계 기초알고리즘 분석	기초알고리즘 설계	알고리즘 정의 및 구현	알고리즘 구현완료	알고리즘 시뮬레이션 및 보완	프로토타입 설계	프로토타입 설계완료	프로토타입 구현	프로토타입 구현완료	프로토타입 시험평가	가상열차연결제 어 프로토타입 개발
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	80%	80%	80%	80%	90%	90%	90%	90%	90%	100%	100%

사. 성과물 검증방안

[표 3.16] 세부과제 4-가상열차편성 기술개발 성과물 검증방안

유형	지표구분	성과지표	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표	기술적목표	수송량 50% 향상	가상열차편성의 주요 성능지표임.	시뮬레이션을 통한 수송량 분석
		분리결합시간 1분 이내	가상열차편성에 따른 분리결합 시간단축은 주요 성능지표임.	시뮬레이션을 통한 분리결합시간 분석
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	핵심 기술 개발 및 검증	소프트웨어 제시
		프로토타입 개발 건수	사양 대비 성능검증	프로토타입 제시
산출 (Outcome) 지표	과제의 궁극적 목표	가상열차연결제어시스 템 개발	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	프로토타입 제시
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	세계최고의 수준 목표	전문가 자문 및 검증

아. 기술수요처 및 실용화 방안

(1) 기술수요처 및 실용화 방안

- 개발 기술은 국내외 도시철도 및 일반·고속철도제어시스템에 적용가능하며 기술의 수요처는 철도시설 관리기관 및 철도운영기관임.
- 개발된 열차간 간격제어기술은 타 교통분야의 자율주행제어 기술에 활용이 가능함.

(2) 기대효과 및 파급효과

- 가상열차편성을 통해 수송량 50% 향상가능
- 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대.
- 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
- 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능.

5. 세부과제 5: 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발

가. 연구개발 목표

열차자율주행시스템 기술개발 단계별 시험평가 기술개발

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 연구개발 필요성

- 신규 열차제어시스템 및 철도통신시스템 개발을 성공적으로 수행하기 위해서는 확보된 기술에 대한 시험평가 기술이 수반되어야 함.
- 특히 열차제어시스템의 경우 철도의 여러 운영상황과 결부되어있어 그 기능과 성능을 확인하는 방법과 절차에 대해에 대한 연구가 필요함.
- 신규 열차자율주행시스템의 경우 기존의 열차제어패러다임의 변경과 함께 열차 스스로 상황을 인지하고 판단/제어하는 기능이 추가됨에 따라 연구개발 단계별로 종합적인 시험평가 방안이 새롭게 도출되어야함.

(2) 정부지원 필요성

- 새로운 열차제어시스템을 개발하기 위해서는 장기간 막대한 비용이 소요되며 국내의 열악한 철도산업기반을 고려할 때 기업주도로 추진하기에는 어려움이 발생됨.
- 유럽의 경우 EU 공동 프로젝트로 열차제어시스템 개발에 대한 연구를 지속적으로 추진하고 있으며 최근 Shift2rail(2014-2020)의 경우 신규 열차제어 및 철도통신시스템 분야 개발에 약 2억유로(약 2,500억)에 달하는 연구개발비를 투자함으로써 지속적으로 철도분야의 기술력을 선도하기위해 투자를 아끼지 않고 있음.
- 따라서 열차제어 및 통신분야에서 국내 철도의 경쟁력강화와 글로벌 철도산업의 선도를 위해서는 정부의 투자가 필요함.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 열차자율주행시스템에 대한 시험평가 기술개발에 대한 기존연구 사례는 존재하지 않음.

라. 연구개발 주요내용

(1) Lab. 기반 시험평가 기술개발

- Lab. 기반 시험평가 방안 및 절차서 도출
- Lab. 기반 시험평가를 위한 통합 시뮬레이터 개발

(2) On site 기반 시험평가 기술개발

- On site 기반 시험평가 방안 및 절차서 도출
- On site 기반 시험평가 테스트 베드 구축
 - － 시험열차 2편성 확보 및 개조
 - － 테스트 노선 구축

마. 연구개발의 TRM

[표 3.17] 세부과제 5-열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 TRM

세부기술	연구활동	1단계					2단계				
		1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
5-1.Lab. 기반 성능평가 기술개발	5-1-1.Lab. 기반 성능평가 방안 및 계획 수립										
	5-1-2.Lab. 기반 성능평가 항목 및 방법 도출										
	5-1-3.Lab. 기반 성능평가 통합 시뮬레이터 설계										
	5-1-4.Lab. 기반 성능평가 통합 시뮬레이터 개발										
	5-1-5.시스템 통합 및 시뮬레이션 기반 시험평가										
5-2.On site 기반 성능평가 기술개발	5-2-1.On site 기반 성능평가 방안 및 계획 수립										
	5-2-2.On site 기반 성능평가 항목 및 방법 도출										
	5-2-3.On site 기반 차상 및 지상 테스트베드 설계										
	5-2-4.On site 기반 차상 및 지상 테스트베드 구축										
	5-2-5.시스템 통합 및 현장 시험평가										

바. 최종성과물 및 성과지표

(1) 최종성과물

- Lab. 기반 성능평가 시스템
 - － 통합 시뮬레이터
 - － 성능평가 계획서 및 결과
- On site 기반 성능평가 시스템
 - － 차·지상 테스트 베드
 - － 성능평가 계획서 및 공인기관 시험성적서

(2) 성과지표

[표 3.18] 세부과제 5-열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 연차별 성과지표

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	6차(년) 목표	7차(년) 목표	8차(년) 목표	9차(년) 목표	10차(년) 목표	최종목표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	5-1.Lab. 기반 성능평가 기술개발	Lab. 기반 성능평가 방안 및 계획수립	Lab. 기반 성능평가 항목 및 방법 도출	Lab. 기반 성능평가 통합 시뮬레이터 설계	Lab. 기반 성능평가 통합 시뮬레이터 개발	시스템 통합 및 시뮬레이션 기반 시험평가						Lab. 기반 성능평가 기술개발
		5-2. On site 기반 성능평가 기술개발						On site 기반 성능평가 방안 및 계획 수립	On site 기반 성능평가 항목 및 방법 도출	On site 기반 차상 및 지상 테스트 베드 설계	On site 기반 자상 및 지상 테스트 베드 구축	시스템 통합 및 현장 시험평가	On site 기반 성능평가 기술개발
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	3/0	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	30/18
		특허 출원 건수	1	1	2	3	3	2	2	2	1	1	18
		소프트웨어 개발건수	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	3
		시제품 개발 건수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
산출 (Outcome) 지표	과제의 공국적 목표	Lab. 기반 성능평가 기술개발	Lab. 기반 성능평가 방안 및 계획수립	Lab. 기반 성능평가 항목 및 방법 도출	Lab. 기반 성능평가 통합 시뮬레이터 설계	Lab. 기반 성능평가 통합 시뮬레이터 개발	시스템 통합 및 시뮬레이션 기반 시험평가						가상열차연결제어 프로토타입 개발
		On site 기반 성능평가 기술개발						On site 기반 성능평가 방안 및 계획 수립	On site 기반 성능평가 항목 및 방법 도출	On site 기반 차상 및 지상 테스트 베드 설계	On site 기반 자상 및 지상 테스트 베드 구축	시스템 통합 및 현장 시험평가	On site 기반 성능평가 기술개발
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	80%	80%	80%	80%	90%	90%	90%	90%	90%	100%	100%

사. 성과물 검증방안

[표 3.19] 세부과제 5-열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 성과물 검증방안

유형	지표구분	성과지표	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표	기술적목표	Lab. 기반 시스템 통합 성능평가	Lab.기반 성능평가는 과제 주요성과 지표임.	전문가 자문을 통한 시험평가 계획수립 시뮬레이션을 통한 기능 및 성능평가
		On site 기반 시스템 통합 성능평가	On site 기반 성능평가는 과제 주요성과 지표임.	전문가 자문을 통한 시험평가 계획수립 현장시험을 통한 기능 및 성능평가 공인기관 시험성적서 획득
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	핵심 기술 개발 및 검증	소프트웨어 제시
산출 (Outcome) 지표	과제의 궁극적 목표	Lab. 기반 시스템 통합 성능평가	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시뮬레이션 시험계획서 및 시험결과서 제시
		On site 기반 시스템 통합 성능평가	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	현장성능시험계획서 및 시험결과서, 공인기관시험성적서 제시
	표준 지표	세계최고수준대비 기술수준	세계최고의 수준 목표	전문가 자문 및 검증

아. 기술수요처 및 실용화 방안

(1) 기술수요처 및 실용화 방안

- 개발 기술은 국내외 도시철도 및 일반·고속철도제어시스템에 적용가능하며 기술의 수요처는 철도시설 관리기관 및 철도운영기관임.
- 개발된 열차간 간격제어기술은 타 교통분야의 자율주행제어 기술에 활용이 가능함.

(2) 기대효과 및 파급효과

- 열차간 직접적인 간격제어로 운전시각 단축을 통한 운영수익 증대 및 이용자 통행시간 절감효과 기대
- 지상설비 절감을 통해 설비투자비용 절감효과 기대
- 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적으로 확보가 가능하며 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.
- 열차자율주행제어 및 가상열차편성 기술개발을 통해 운전시각 단축이 가능하며 이는 철도 승객의 통행시간 절감효과 측면에서의 서비스 향상 효과 기대.
- 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
- 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능.
- 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대.
- 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
- 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능.

5절 연구추진체계

연구개발 추진체계는 과제 규모를 고려하여 연구단 형태로 추진하는 것이 바람직하다.

1단계 핵심기술개발(5년)의 경우 전문연구원과 학계를 중심으로 연구추진체계를 구성한다. 따라서 1단계 핵심기술개발에 소요되는 연구개발비는 전액 정부출연금에 의해서 수행하는 것이 바람직하다. 2단계 실용화기술개발(5년)의 경우 추가로 제작사와 운영기관을 참여시켜 실용화를 위한 시스템 개발과 테스트 베드구축을 통한 시스템 성능과 안전성을 검증한다. 따라서 2단계 실용화기술개발에 참여하는 참여기업은 해당 세부과제에 책정된 출연금에 대한 매칭을 부담한다.

연구단은 연구개발 총괄과 함께 세부과제 1의 주관연구기관으로서 전체 열차자율주행제어시스템의 기반 플랫폼 기술인 “열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발” 과제를 수행한다. 세부과제 1은 1단계에서 최종 열차자율주행제어시스템 프로토타입을 개발하여 세부과제 5에서 개발한 통합시뮬레이터를 통해 기능과 성능을 확인한다. 2단계에서 최종 시험열차 2편성에 설치 가능하도록 열차자율주행제어시스템 시제품을 개발하고 현장시험을 통해 기능과 성능을 확인하고 관련 인증과 시험성적서를 획득한다.

세부과제 2 주관은 “열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발” 과제를 수행한다. 1단계에서 최종 열차자율주행기반 통신 및 보안시스템 프로토타입을 개발하여 세부과제 5에서 개발한 통합시뮬레이터를 통해 기능과 성능을 확인한다. 2단계에서 최종 시험열차 2편성에 설치 가능하도록 열차자율주행기반 통신 및 보안시스템 시제품을 개발하고 현장시험을 통해 기능과 성능을 확인하고 관련 시험성적서를 획득한다.

세부과제 3 주관은 “열차자율주행기반 스마트관제 기술개발” 과제를 수행한다. 1단계에서 최종 스마트스케줄링 S/W 개발과 스마트관제시스템 프로토타입을 개발하여 세부과제 5에서 개발한 통합시뮬레이터를 통해 기능과 성능을 확인한다. 2단계에서 최종 스마트 관제시스템 시제품을 개발하고 현장시험을 통해 기능과 성능을 확인하고 관련 시험성적서를 획득한다.

세부과제 4 주관은 “가상열차편성 기술개발” 과제를 수행한다. 1단계에서 최종 가상열차연결제어 알고리즘 개발하고 해당 알고리즘을 세부과제 5에서 개발한 통합시뮬레이터에 반영하여 기능과 성능을 확인한다. 2단계에서 최종 가상열차편성시스템 프로토타입을 개발하여 통합시뮬레이터에서 확인과 함께 현장시험환경에서 기능과 성능을 확인한다. 세부과제 4의 경우 1단계와 2단계 모두 핵심기술개발을 위해 전문연구원과 학계를 중심으로 연구를 수행하며 소요되는 연구개발비에 대한 매칭은 부여하지 않는다.

세부과제 5 주관은 “열차자율주행시스템 시험평가 기술개발” 과제를 수행한다. 1단계에서 최종 여러 세부과제에서 개발된 프로토타입에 대한 성능평가를 위해 통합시뮬레이터를 개발하고 성능평가를 수행한다. 2단계에서 최종 여러 세부과제에서 개발된 시제품에 대한 성능평가를 위해 성능평가 계획 수립과 테스트 베드를 구축하고 성능평가를 수행한다. 세부과제 5의 연구개발 특성을 고려할 때 1단계와 2단계 연구사업 모두 출연금에 대한 매칭을 부여하지 않

는다.



[그림 3.9] 열차자율주행시스템 연구개발 추진체계

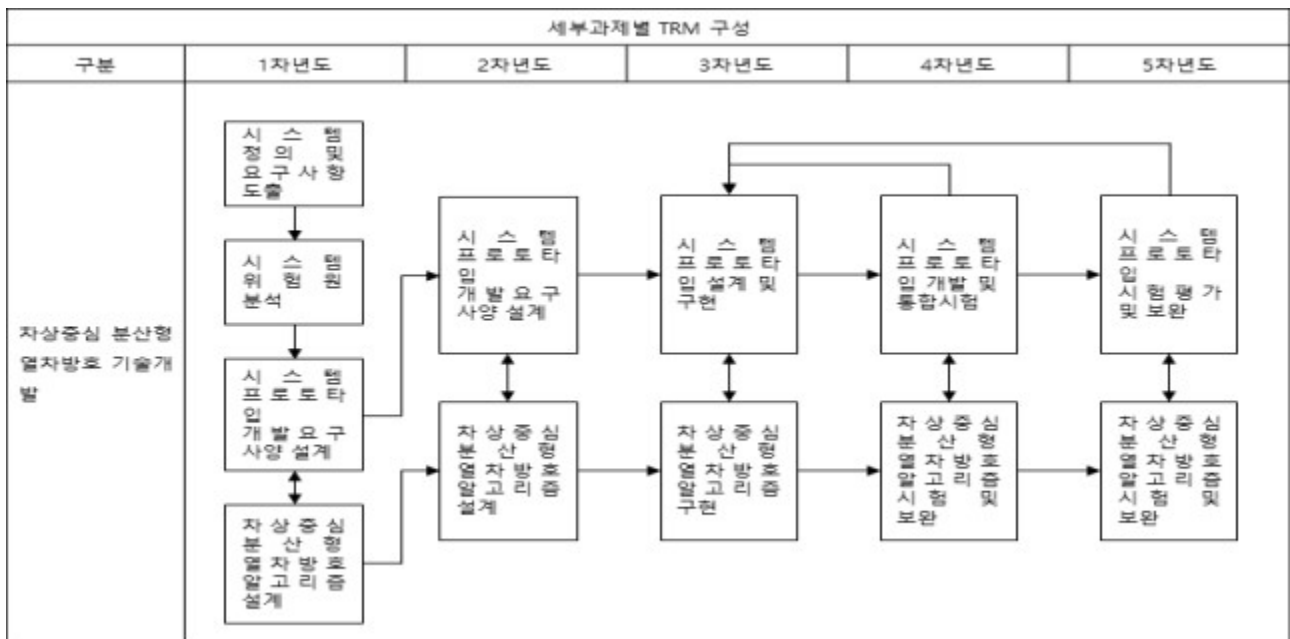
6절 기술/성과 로드맵

1. 세부 과제별 연차별 기술로드맵

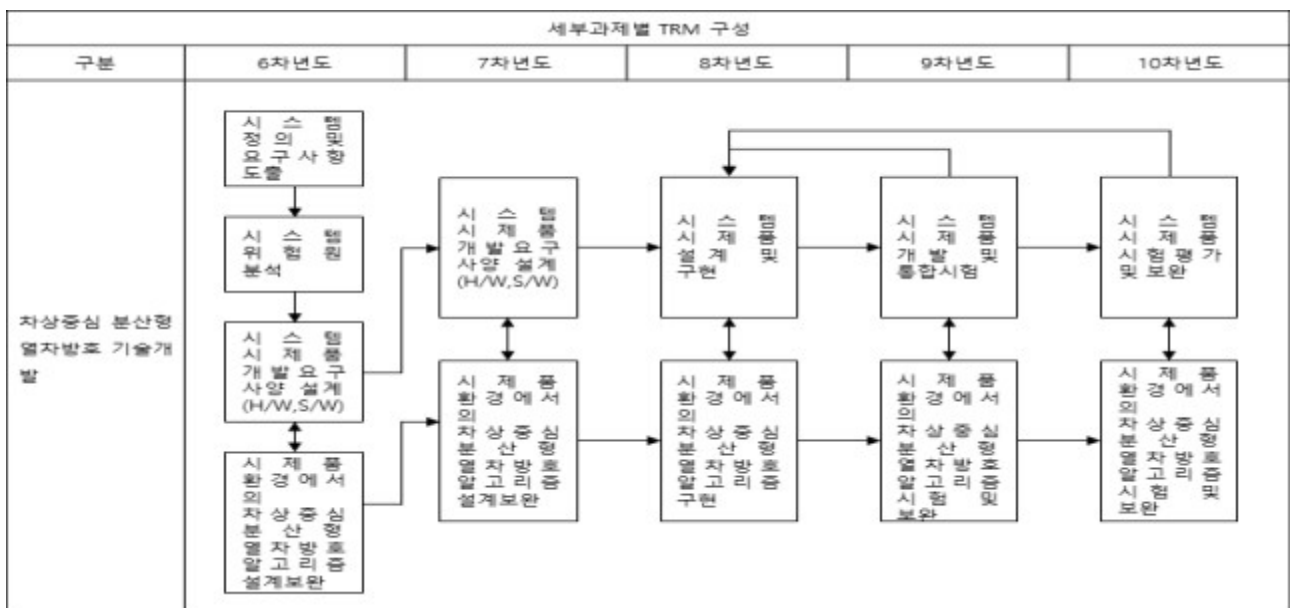
가. 세부과제 1: 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

(1) 차상중심 분산형 열차방호 기술개발

(가) 핵심기술개발 단계

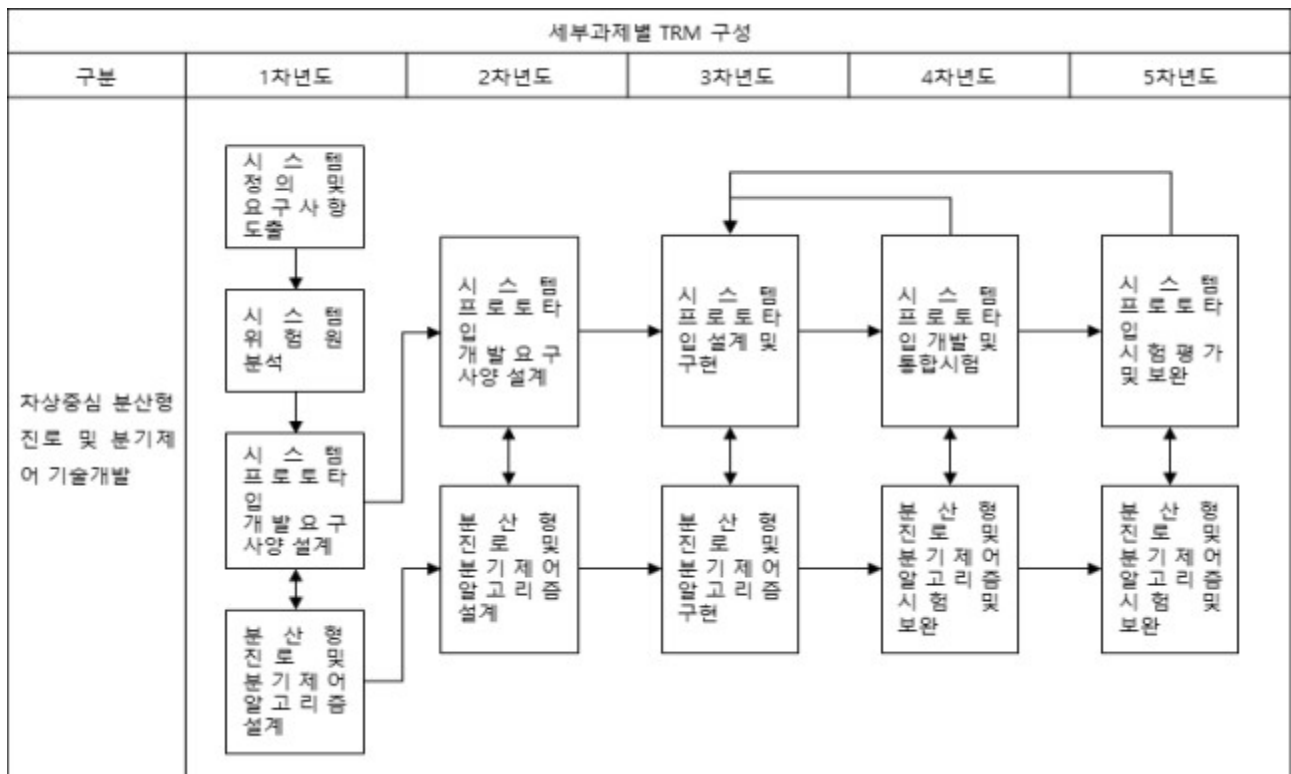


(나) 실용화 기술개발 단계

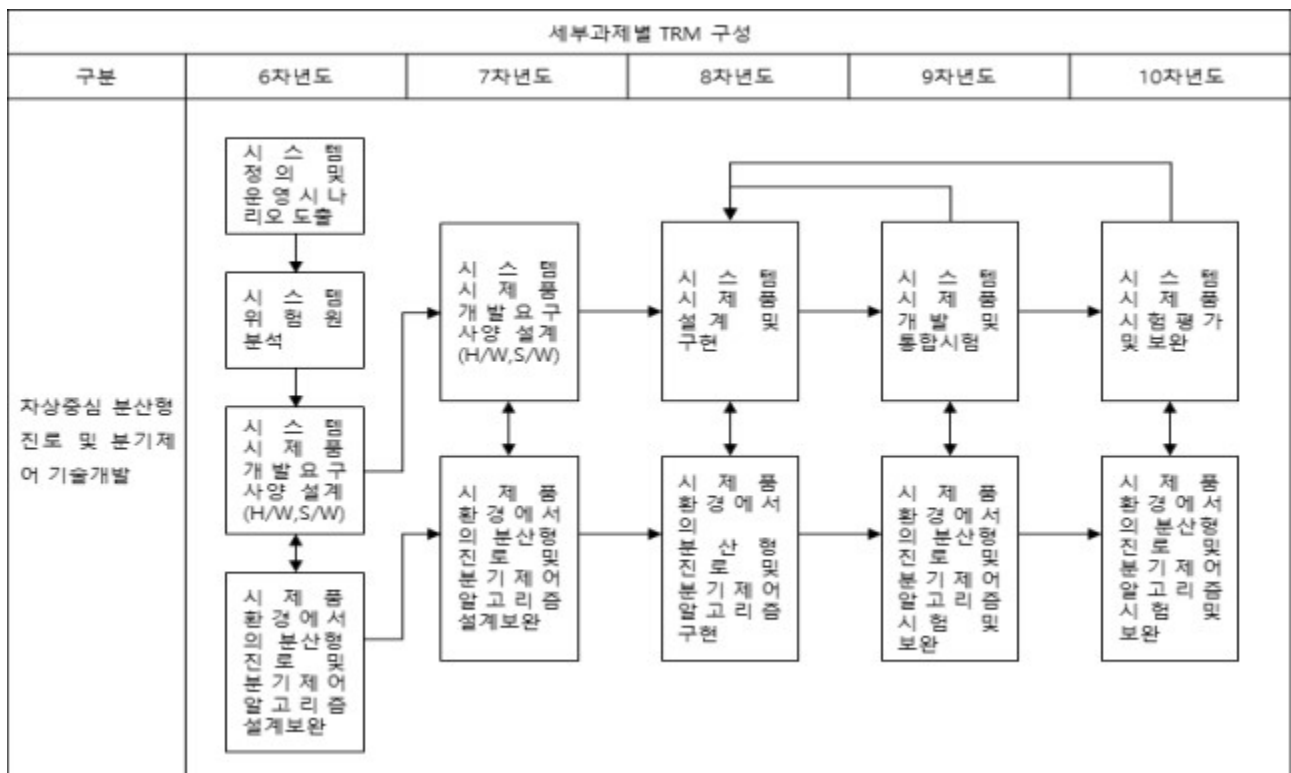


(2) 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발

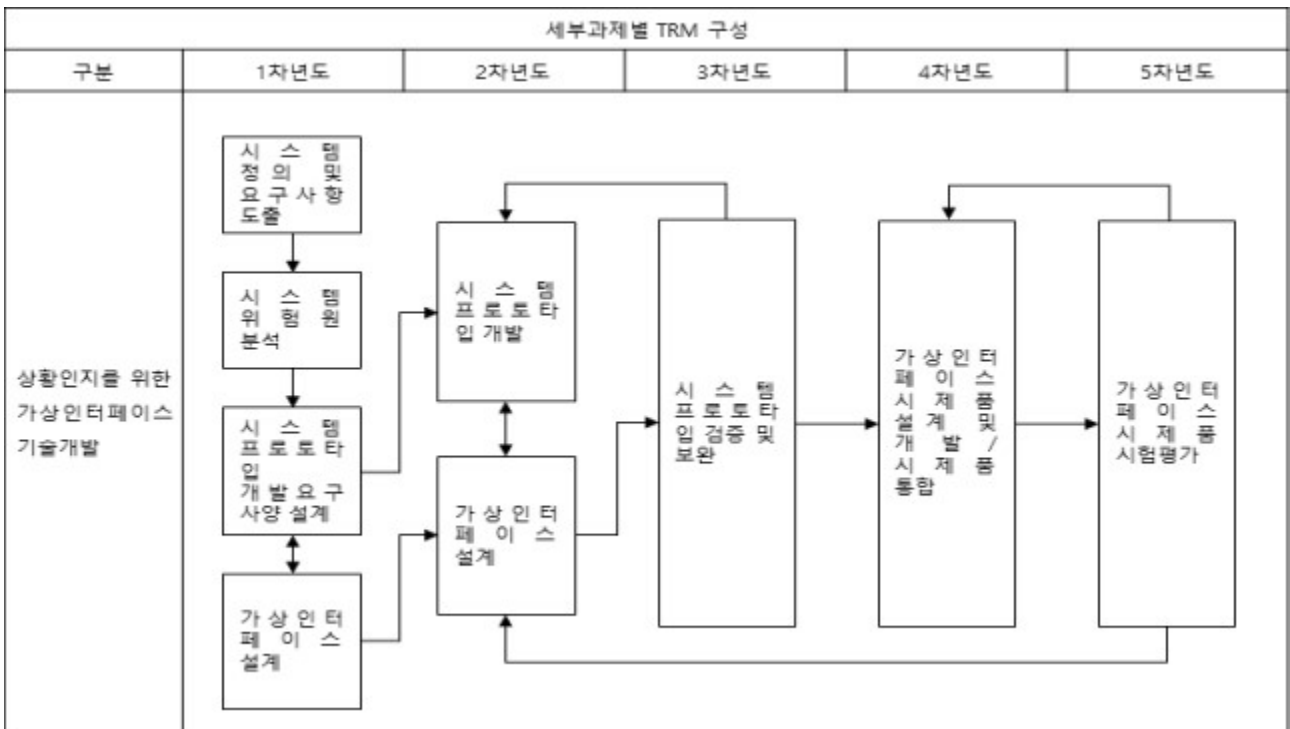
(가) 핵심기술개발 단계



(나) 실용화 기술개발 단계

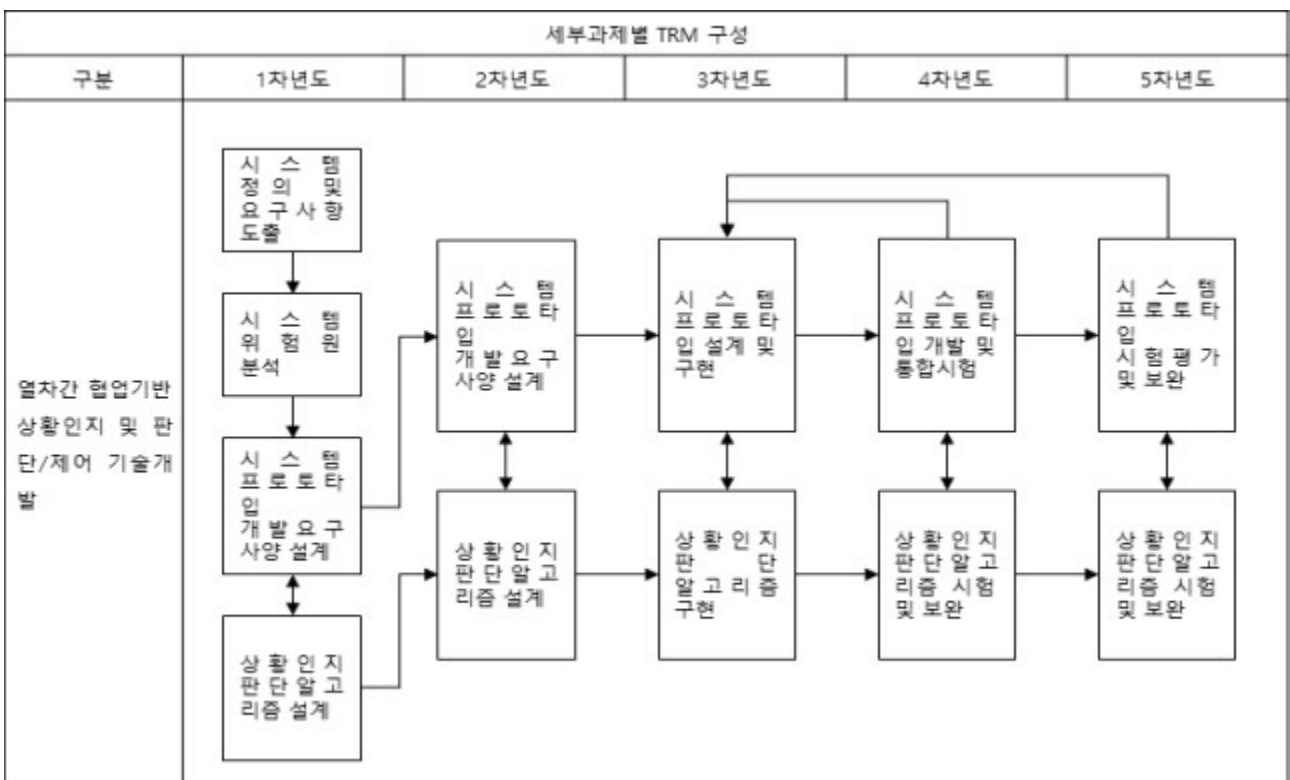


(3) 상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발

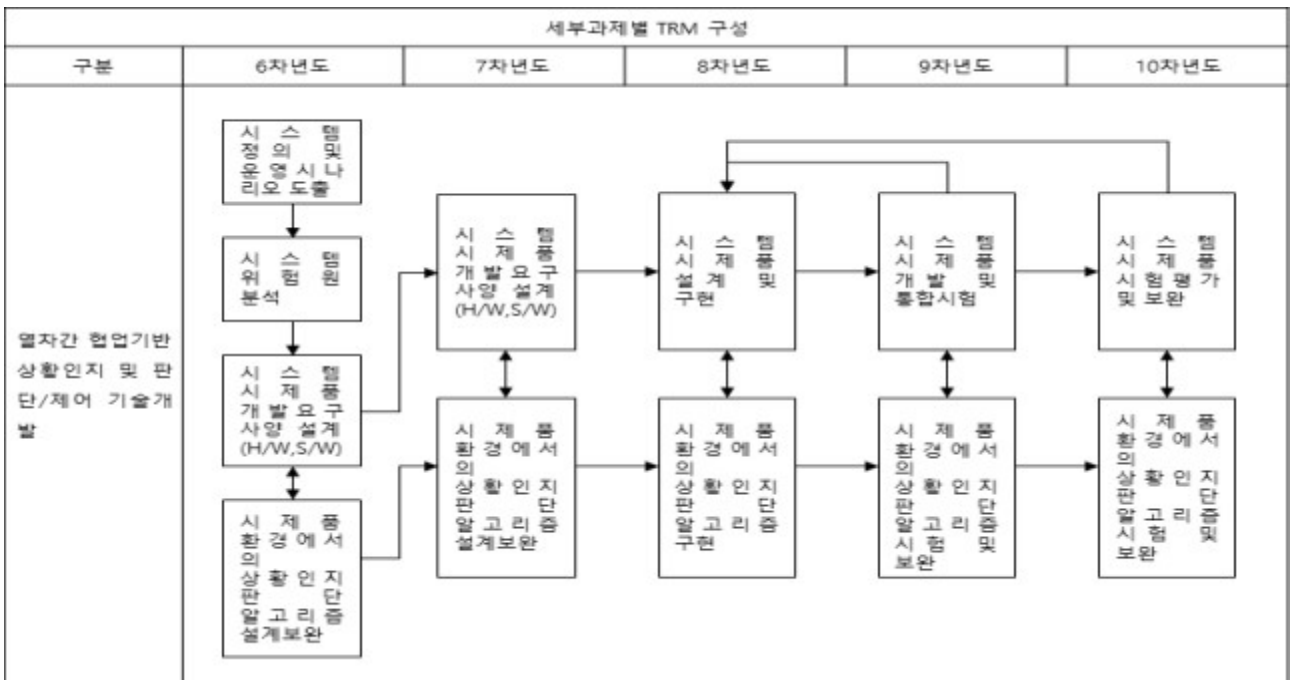


(4) 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발

(가) 핵심기술개발 단계



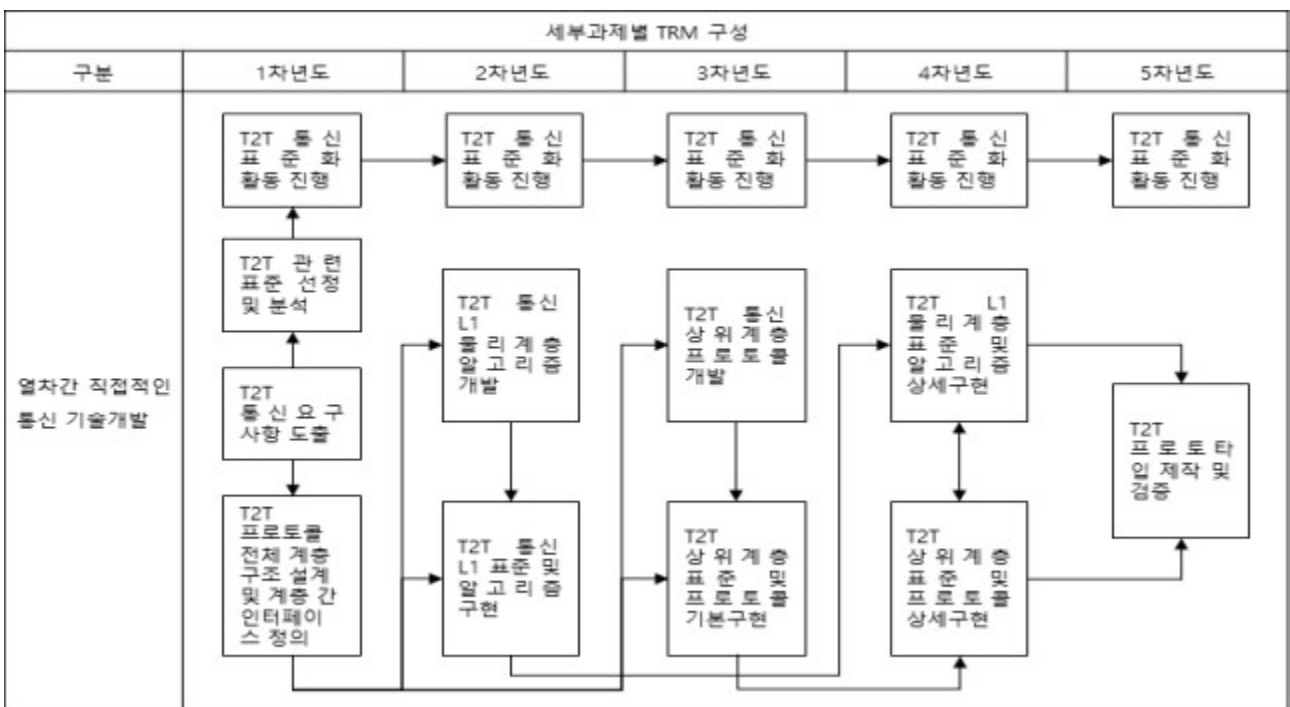
(나) 실용화 기술개발 단계



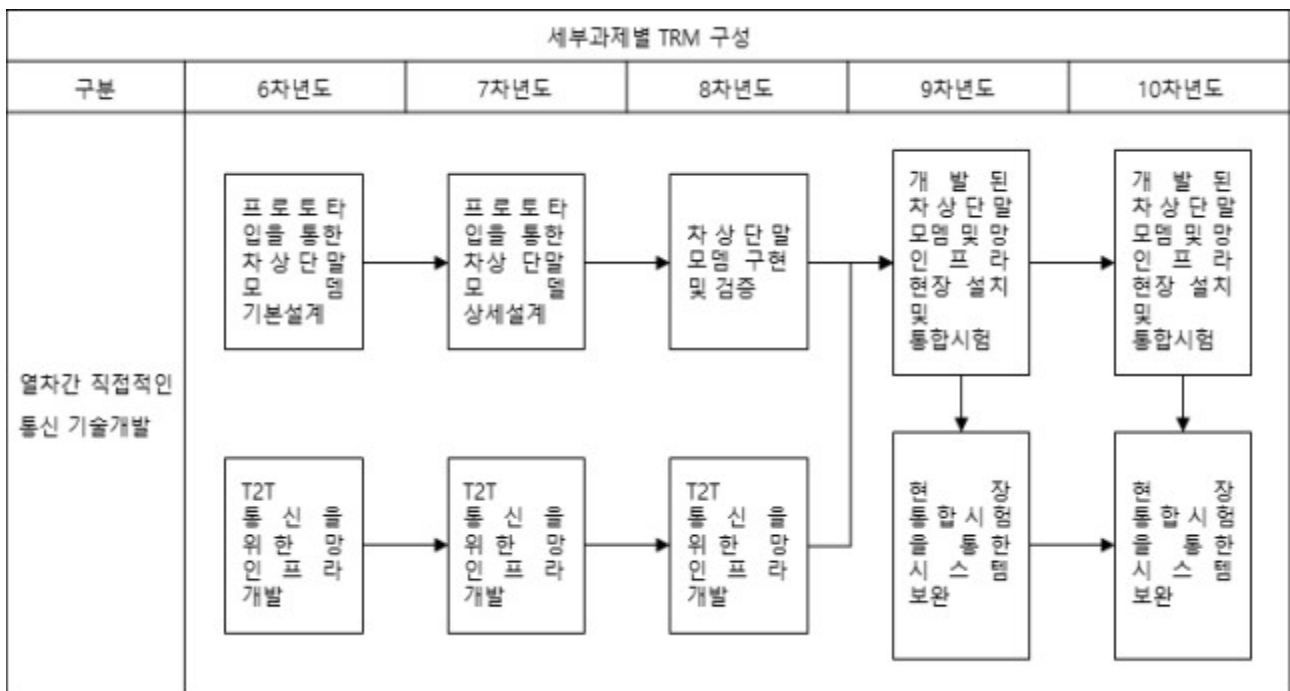
나. 세부과제 2: 열차자율주행기반 통신 및 통신보안 기술개발

(1) 열차간 직접적인 통신 기술개발

(가) 핵심기술개발 단계

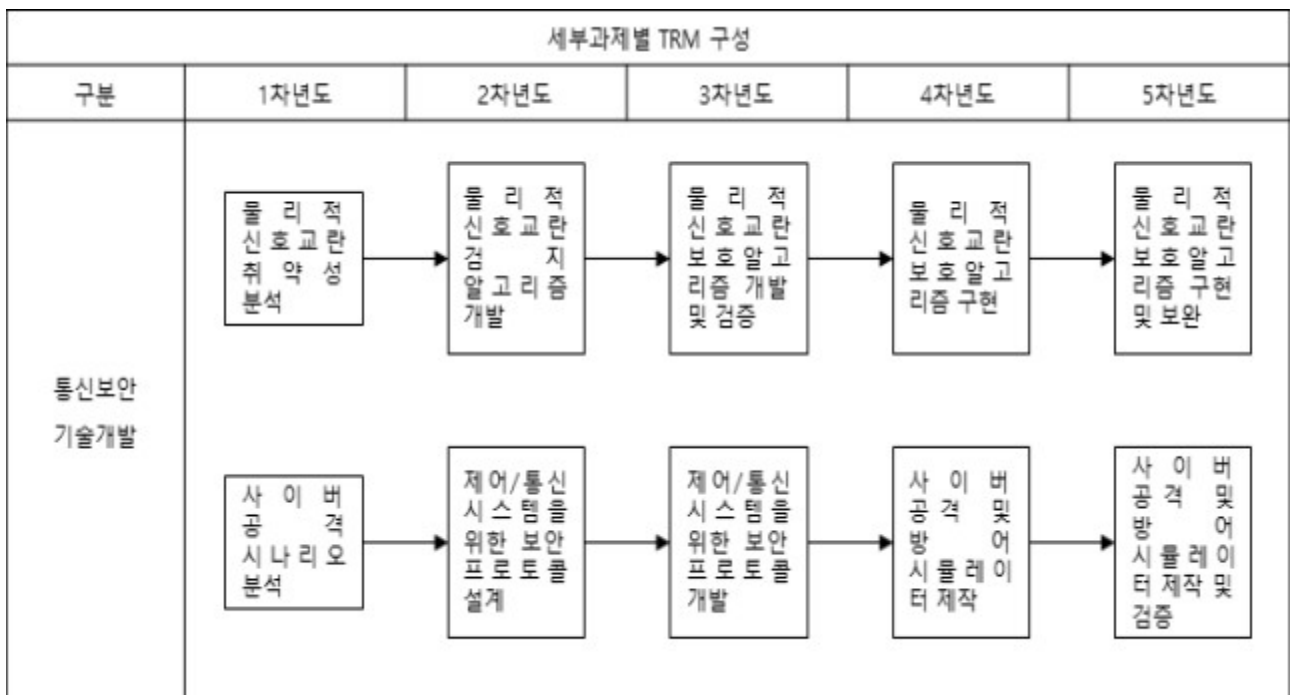


(나) 실용화 기술개발 단계

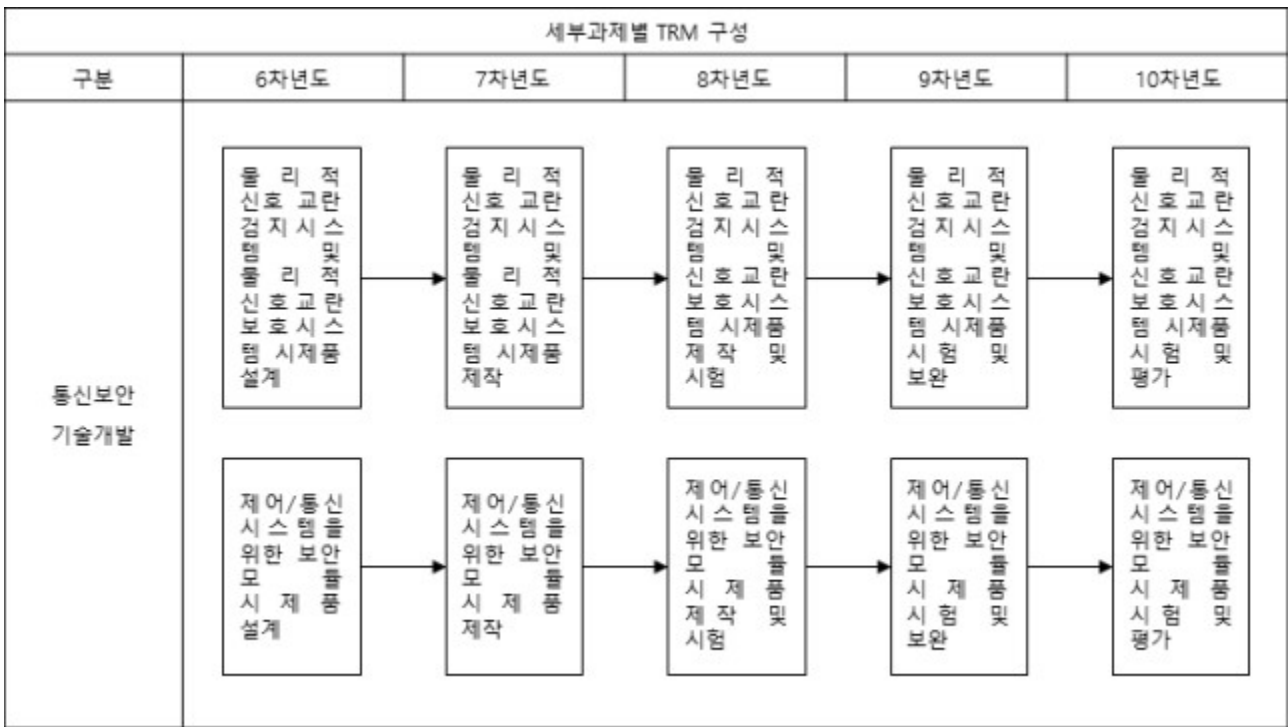


(2) 통신보안 기술개발

(가) 핵심기술개발 단계



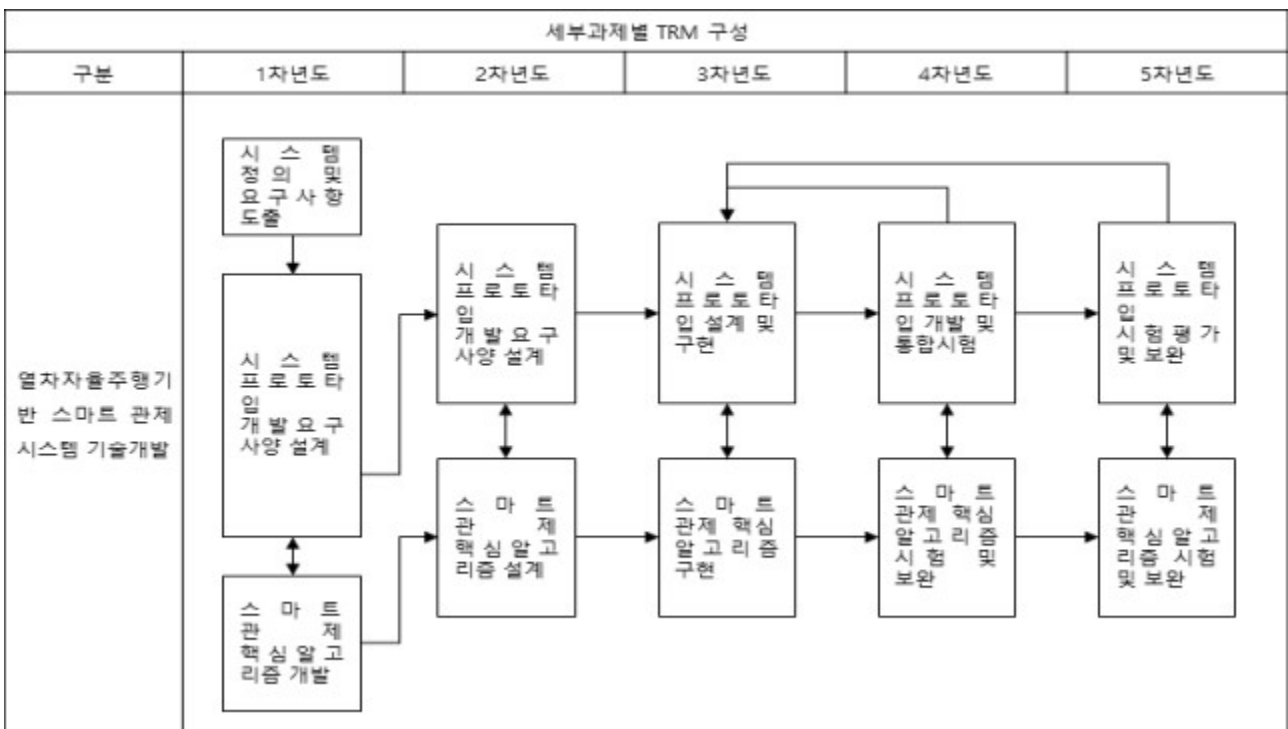
(나) 실용화 기술개발 단계



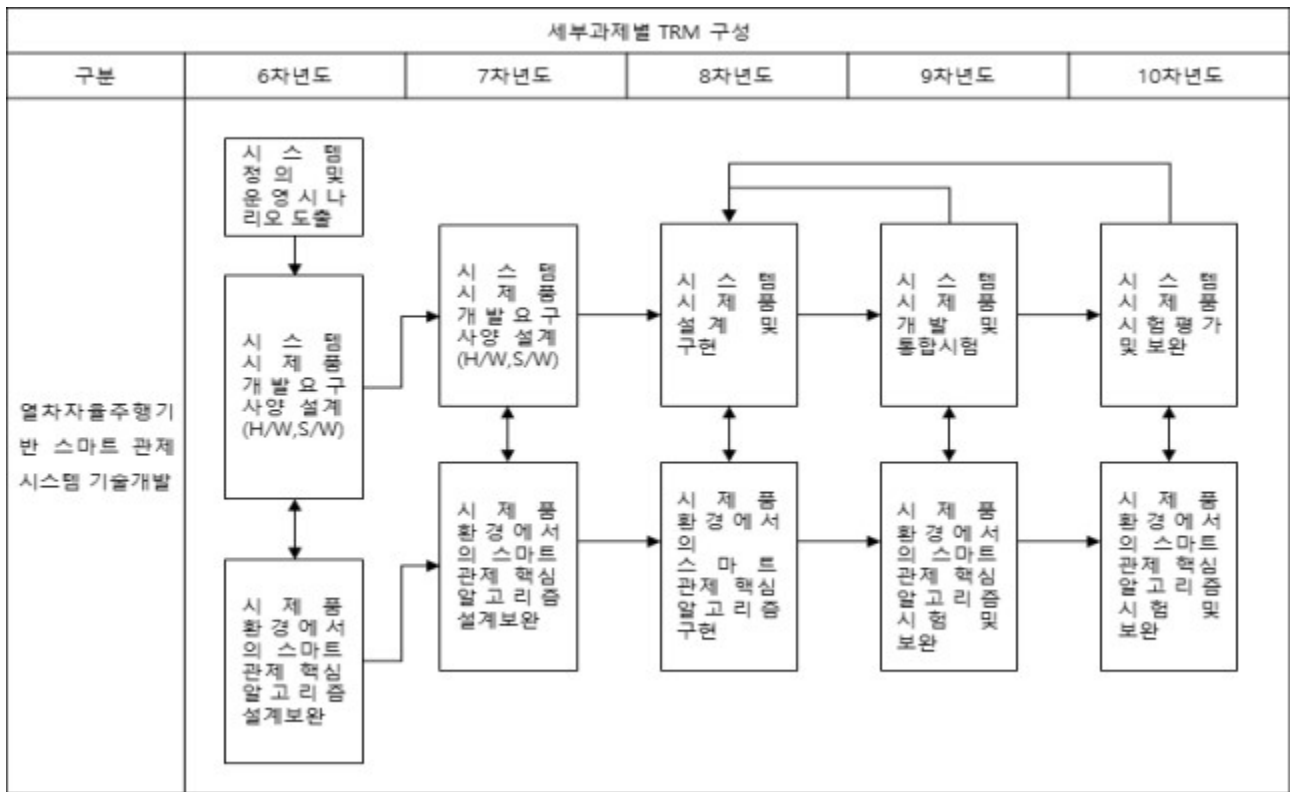
다. 세부과제 3: 열차자율주행기반 스마트관제 기술개발

(1) 스마트 관제 시스템 및 센터구축 기술개발

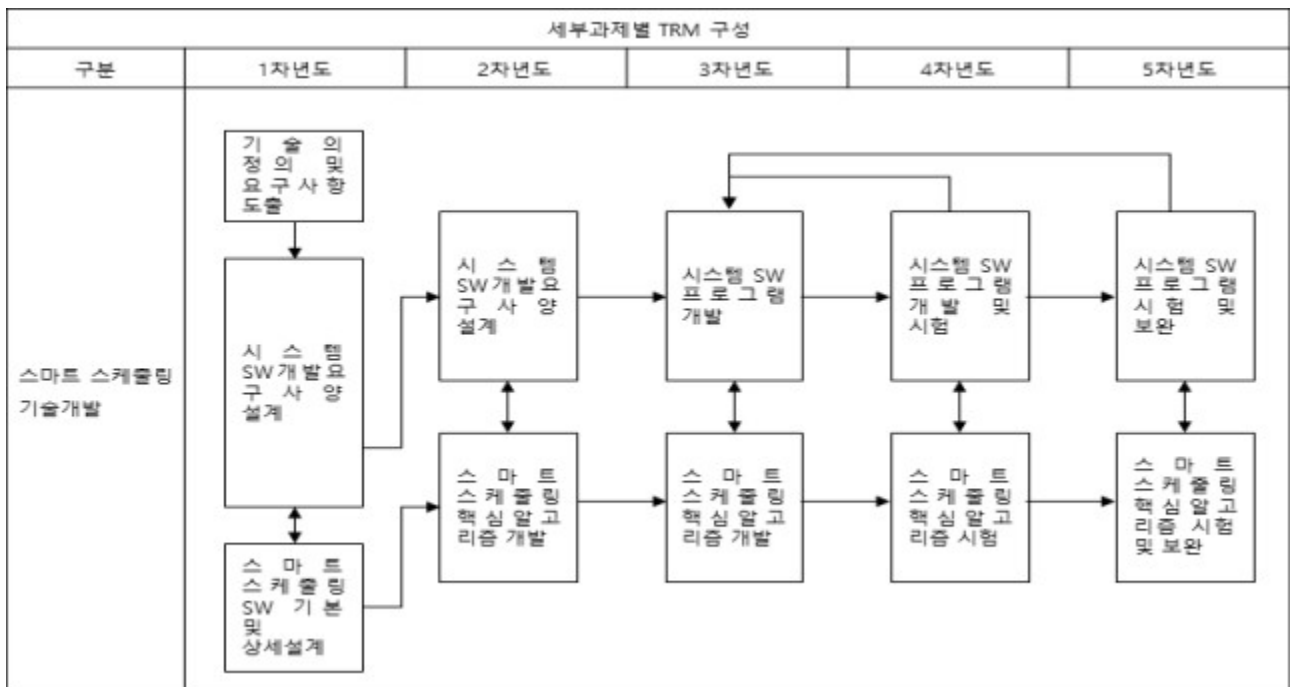
(가) 핵심기술개발 단계



(나) 실용화 기술개발 단계



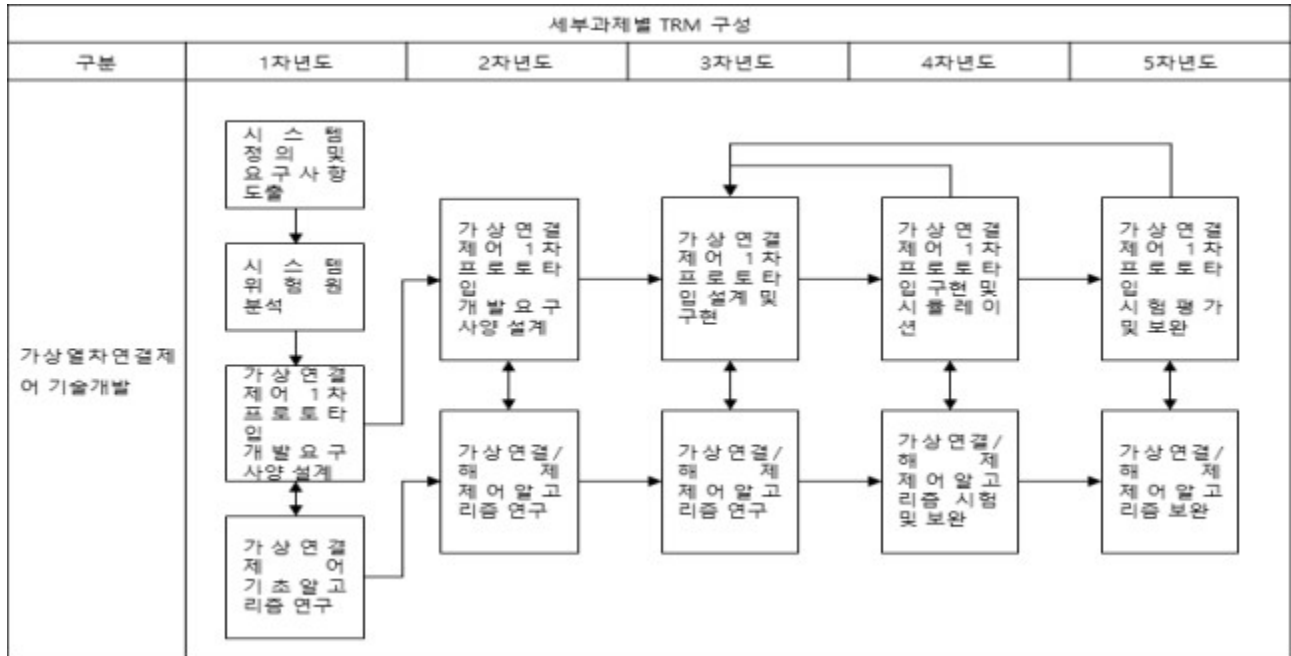
(2) 스마트 스케줄링 기술개발



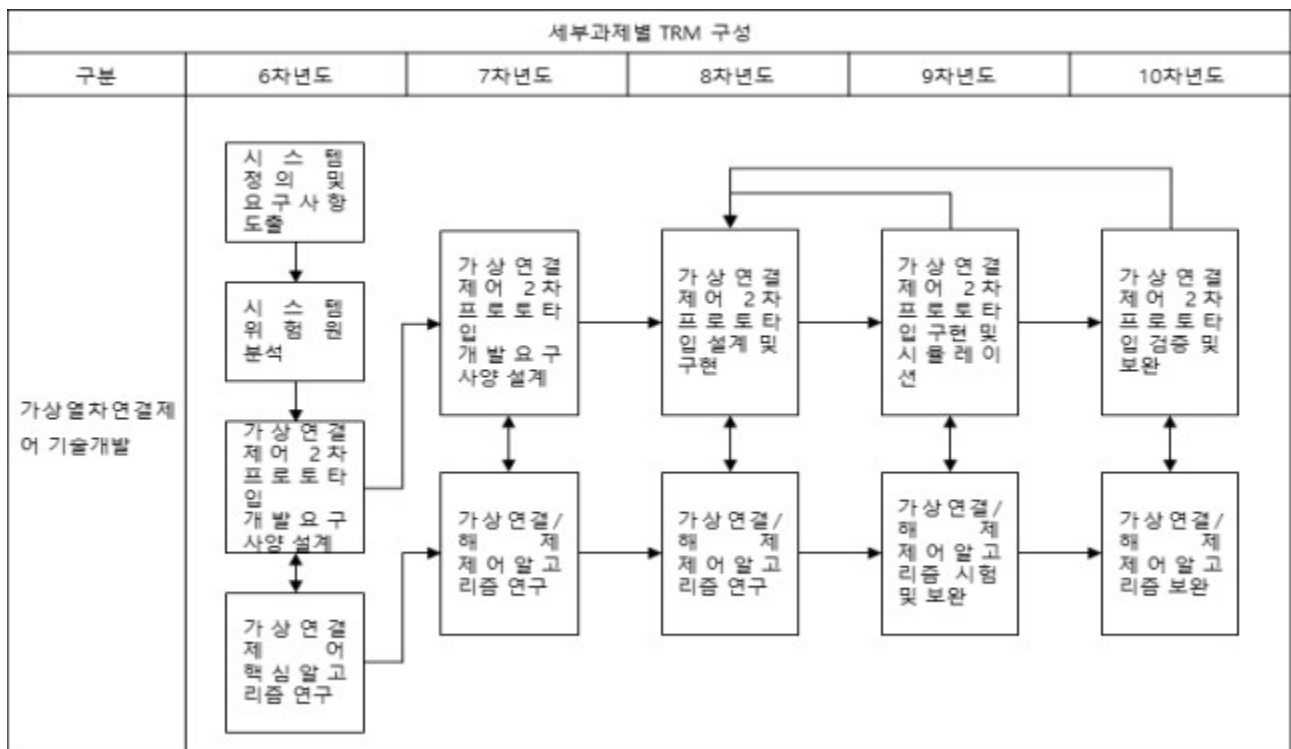
라. 세부과제 4: 가상열차편성 기술개발

(1) 가상열차연결제어 기술개발

(가) 기초원천기술개발 단계

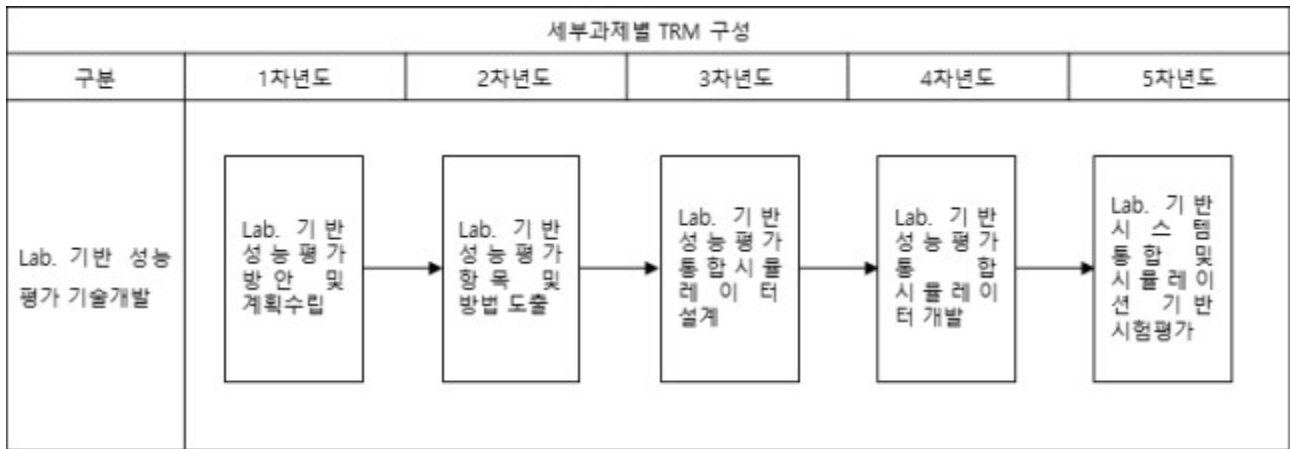


(나) 핵심기술개발 단계

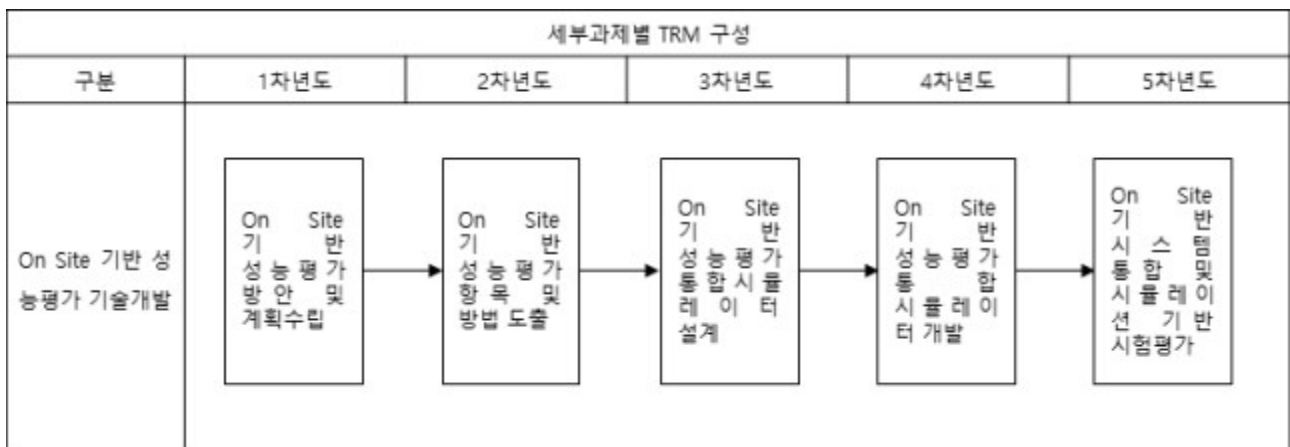


마. 세부과제 5: 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발

(1) Lab. 기반 성능평가 기술개발



(2) On Site 기반 성능평가 기술개발



2. 세부 과제별 성과목표 및 성과지표

가. 세부과제 1: 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

[표 3.20] 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 성과목표 및 성과지표

성과목표	지표구분	성과지표	가중치 (0~1)	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표 산출 (Outcome) 지표	기술적목표	열차운전시격 30% 단축	0.2	최소운전시격은 열차제어시스템 성능평가의 주요지표임.	최소운전시격 시뮬레이션
		시스템 구축비용 20% 절감	0.2	시스템 시제품 제작비용을 토대로 구축비용 분석	시스템 제작단가 비교분석
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	소프트웨어 제시
		시제품 개발 건수	0.05	사양 대비 성능검증	시제품 제시
	과제의 궁극적 목표	차상중심 분산형 열차방호시스템 개발	0.1	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
		차상중심 분산형 진로 및 분기제어 시스템 개발	0.1	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
		상황인지를 위한 가상인터페이스 시스템 개발	0.1	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
		열차간 협업기반 상황인지 및 판단제어 시스템 개발	0.1	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시

나. 세부과제 2: 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발

[표 3.21] 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발 성과목표 및 성과지표

성과목표	지표구분	성과지표	가중치 (0~1)	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표 산출 (Outcome) 지표	기술적목표	열차간 직접적인 통신 기술개발	0.2	열차간 제어신호 전송의 효율성 증대를 위해서는 반드시 필요한 기술	랩규모 및 현장 검증
		통신보안 기술개발	0.2	보안의 중요성이 급격히 증가하고 있음	랩규모 및 현장 검증
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	시제품 제시
		시제품 개발 건수	0.05	사양 대비 성능검증	시험성적서
	과제의 궁극적 목표	열차자율주행을 위한 T2T 차상 단말 및 망 인프라 시제품 개발	0.2	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시
		철도 환경을 고려한 고신뢰성 통신보안 기술 개발	0.2	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시

다. 세부과제 3: 열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발

[표 3.22] 열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 성과목표 및 성과지표

성과목표	지표구분	성과지표	가중치 (0~1)	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표 산출 (Outcome) 지표	기술적목표	총 열차 지연시간(사고처리 시간) 25% 단축	0.2	총 열차 지연시간에 대해 관제처리 절차에 의해 개선할 수 있는 최대치	운영사 및 전문가 자문/검증
		통합 스케줄링 소요기간 1주일 이내로 단축	0.2	열차-차량-승무원 통합 스케줄링의 실질적으로 단축 가능한 최소 시간	운영사 및 전문가 자문/검증
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	소프트웨어 제시
		시제품 개발 건수	0.05	사양 대비 성능검증	시제품 제시
	과제의 궁극적 목표	스마트 관제시스템 시제품 개발	0.2	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	소프트웨어 제시
		스마트 스케줄링 프로그램 개발	0.2	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시제품 제시

라. 세부과제 4: 가상열차편성 기술개발

[표 3.23] 가상열차편성 기술개발 성과목표 및 성과지표

성과목표	지표구분	성과지표	가중치 (0~1)	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표 산출 (Outcome) 지표	기술적목표	수송량 50% 향상	0.3	가상열차편성의 주요 성능지표임.	시뮬레이션을 통한 수송량 분석
		분리결합시간 1분 이내	0.3	가상열차편성에 따른 분리결합 시간단축은 주요 성능지표임.	시뮬레이션을 통한 분리결합시간 분석
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	소프트웨어 제시
		프로토타입 개발 건수	0.05	사양 대비 성능검증	프로토타입 제시
	과제의 궁극적 목표	가상열차연결제어 시스템 개발	0.2	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	프로토타입 제시

마. 세부과제 5: 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발

[표 3.24] 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 성과목표 및 성과지표

성과목표	지표구분	성과지표	가중치 (0~1)	도출근거	평가(검증)방안
산출 (Output) 지표 산출 (Outcome) 지표	기술적목표	Lab. 기반 시스템 통합 성능평가	0.2	Lab.기반 성능평가는 과제 주요성과 지표임.	전문가 자문을 통한 시험평가 계획수립 시뮬레이션을 통한 기능 및 성능평가
		On site 기반 시스템 통합 성능평가	0.25	On site 기반 성능평가는 과제 주요성과 지표임.	전문가 자문을 통한 시험평가 계획수립 현장시험을 통한 기능 및 성능평가 공인기관 시험성적서 획득
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	논문게재확인
		특허 출원 건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	특허 출원증 제시
		소프트웨어 개발건수	0.05	핵심 기술 개발 및 검증	소프트웨어 제시
	과제의 궁극적 목표	Lab. 기반 시스템 통합 성능평가	0.2	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	시뮬레이션 시험계획서 및 시험결과서 제시
		On site 기반 시스템 통합 성능평가	0.2	세부과제 핵심 목표에 따른 성과목표 설정	현장성능시험계획서 및 시험결과서, 공인기관시험성적서 제시

3. 성과물 검증방안

가. 세부과제 1: 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

(1) 1단계: 핵심요소기술개발

(가) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
- 국내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증

(나) 통합 시뮬레이터 개발 및 프로토타입 기능과 성능 검증

- 시험평가를 위한 test case 개발 및 통합 시뮬레이터 개발
- 통합시뮬레이션을 통한 프로토타입의 기능과 성능 검증

(2) 2단계: 실용화연구개발

(가) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
- 국내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증

(나) 테스트베드 구축 및 시험을 통한 기능과 성능 검증

- 과제에서 구축하는 Test Bench를 통하여 검증
- 개발된 시스템들을 실제 개조차량에 설치하여 안전성/운용성 검증

나. 세부과제 2: 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발

(1) 1단계: 핵심요소기술개발

(가) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
- 국내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증

(나) 통합 시뮬레이터 개발 및 프로토타입 기능과 성능 검증

- 시험평가를 위한 test case 개발 및 통합 시뮬레이터 개발
- 통합시뮬레이션을 통한 프로토타입의 기능과 성능 검증

(2) 2단계: 실용화연구개발

(가) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
- 국·내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증

(나) 테스트베드 구축 및 시험을 통한 기능과 성능 검증

- 과제에서 구축하는 Test Bench를 통하여 검증
- 개발된 시스템들을 실제 개조차량에 설치하여 안전성/운용성 검증

다. 세부과제 3: 열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발

(1) 1단계: 핵심요소기술개발

(가) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
- 국·내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증

(나) 통합 시뮬레이터 개발 및 프로토타입 기능과 성능 검증

- 시험평가를 위한 test case 개발 및 통합 시뮬레이터 개발
- 통합시뮬레이션을 통한 프로토타입의 기능과 성능 검증

(2) 2단계: 실용화연구개발

(가) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
- 국·내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증

(나) 테스트베드 구축 및 시험을 통한 기능과 성능 검증

- 과제에서 구축하는 Test Bench를 통하여 검증
- 개발된 시스템들을 실제 개조차량에 설치하여 안전성/운용성 검증

라. 세부과제 4: 가상열차편성 기술개발

(1) 1단계: 핵심요소기술개발1

(가) 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
- 국·내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증

- (나) 통합 시뮬레이션을 통한 알고리즘 기능과 성능 검증
 - 시험평가를 위한 test case 개발 및 통합 시뮬레이터 개발
 - 통합시뮬레이션을 통한 알고리즘의 기능과 성능 검증

(2) 2단계: 핵심요소기술개발2

- (가) 전문가 자문에 의한 검증
 - 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
 - 국내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증
- (나) 통합시뮬레이터 개발 및 시험을 통한 기능과 성능 검증
 - 시스템 프로토타입 및 통합시뮬레이터 개발
 - 통합시뮬레이션을 통한 프로토타입의 기능과 성능 검증

마. 세부과제 5: 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발

(1) 1단계: 핵심요소기술개발

- (가) 전문가 자문에 의한 검증
 - 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
 - 국내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증
- (나) 통합 시뮬레이터 개발 및 프로토타입 기능과 성능 검증
 - 시험평가를 위한 test case 개발 및 통합 시뮬레이터 개발
 - 통합시뮬레이션을 통한 통합시뮬레이터 자체의 기능과 성능 검증

(2) 2단계: 실용화연구개발

- (가) 전문가 자문에 의한 검증
 - 운영기간, 제작사, 학계 전문가 등의 산학연 전문가를 통한 검증
 - 국내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증
- (나) 테스트베드 구축 및 시험을 통한 기능과 성능 검증
 - 시험평가를 위한 test case 개발 및 테스트베드 구축
 - 개발된 시스템들을 실제 개조차량에 설치하여 안전성/운용성 검증

제4장 사전타당성 검토

1절 정책적 타당성

1. 상위계획과의 부합성

가. 제3차 과학기술기본계획

제3차 과학기술기본계획은 5대 분야와 20개 추진과제 그리고 30개 중점 국가전략기술로 구성되어 있다.

(1) IT 융합 신사업창출 분야

(가) SW 인터넷 신사업 창출 과제

- 하드웨어, 제조업에서 SW, 지식서비스 등으로 급격히 이동하고 있는 산업 패러다임의 변화에 대응해 국내 역량 확충을 목표로 하고 있음.
- 지능형 열차자율주행기술은 기존의 전기/HW/지상 중심의 제어패러다임에서 통신/SW/차상 중심의 차세대 열차제어시스템과 제어패러다임의 근본적인 변화를 통해 고부가가치 시장진출이 가능함.

(나) 스마트 물류·교통시스템 구축 과제

- 기존 교통체계와 첨단 ICT 기술의 접목을 통해 교통시스템의 편리성 향상 및 안전성 확보, 철도 등 국가 기반 인프라 구조물의 효율적 관리·운영을 위해 경제성 있는 최첨단 인프라로 개선을 목표로 하고 있음.
- 열차간 직접적인 통신기반 열차자율주행이라는 최선의 ICT 기술 접목과 지상설비 제거를 통한 인프라 구조물의 경제성 확보가 가능함.

나. 국정과제

(1) 교통체계·해운 선진화 및 건설·원전사업 해외진출 지원

- 교통체계 선진화: 주요 추진계획으로 철도병목구간 개선, 혼잡권역 고속도로망 확충, 대도시권 광역철도망 구축을 목표로 하고 있음.
- 열차간 통신기반 열차자율주행 기술개발로 운전시각 향상을 통한 철도병목구간 개선이 가능.

다. 건설교통 R&D 중장기계획안

건설교통 R&D 중장기계획안은 건설교통 미래 메가트랜드에 따른 이슈 및 5대 목표 실현을 위해 친환경·첨단 융복합 기술 확보 등 건설교통 32대 전략프로젝트 추진을 목표로 한다.

(1) 지구 온난화에 대비한 에너지·자원의 효율적 이용

- 철도시스템 성능 및 수송량 향상
- 열차간 통신기반 열차자율주행 기술개발로 운전시각 향상을 통한 수송력 향상 가능

(2) 미래 경제가치 창출

- 철도 운영 효율화 및 에너지 비용 저감을 통한 경제가치 실현
- 열차자율주행 기술개발로 지상설비 단축을 통해 비용절감 가능.

(3) 융복합 첨단기술 확보

- 세계시장 선도 첨단 교통물류 원천기술 확보
- 첨단 열차자율주행시스템 핵심기술에 대한 원천기술 확보가능

라. 국토교통과학기술진흥원 미래철도기술 로드맵 2040

국토교통과학기술진흥원 미래철도기술 로드맵은 국가 상위계획과 국내외 철도R&D 정책을 참조하여, 미래철도기술의 5대 발전방향과 이를 위한 6개 중점추진기술을 도출하였다.

(1) 대용량·고밀도·고속화 기술

- 고밀도 열차제어운영 및 대용량 여객·화물 수송에 대한 기술
 - 고밀도 열차운영 기술분야에서 초근접 열차제어기술(도시철도) 개발을 2030년까지, 초근접 열차제어기술(일반·고속철도)은 2035년까지, 초근접 열차제어 기술(초고속철도)은 2040년까지 확보를 목표로 함.
- 열차자율주행 기술개발은 열차간 통신기반 간격제어기술을 통해 2030년까지 초근접 열차제어기술(도시철도) 상용화를 목표로 함.

(2) 저비용 건설·제작 기술

- 저비용의 신개념 철도 인프라 건설기술
 - 철도 인프라 설계 및 시공기술 개발을 통해 2030년까지 건설비 20% 절감을, 2040년까지 건설비 30% 절감을 목표로 함.
- 열차자율주행 기술개발은 비용절감 가능 및 저비용의 신개념 인프라 기술이며 2030년 실용화 개발을 통해 열차제어시스템 시설투자비 20% 절감을 목표로 함.

2. 사업추진의지

가. 국토교통부 한국형 철도신호시스템 구축계획

국토교통부 한국형 철도신호시스템 구축계획(2017.05.16.)에는 국내 철도산업의 대외 경쟁력 강화를 위해 수송능력·경제성·서비스·안전성이 향상된 차세대 신호시스템 개발추진을 포함하고 있으며 방침으로 철도유관기관에 배포하였다.

특히 차세대 신호시스템 추진전략은 열차간 무선통신 및 IoT, 인공지능을 활용하여 자율주행이 가능한 신호시스템 개발을 추진하고자 하는 국토교통부의 의지가 표현되어 있다.

(1) 차세대 신호시스템 개발

○ T2T 기반의 열차제어시스템 개발('18~' 30)

－ 열차간 무선통신 및 IoT, 인공지능을 활용하여 자율주행이 가능한 신호시스템 개발

○ 열차자율주행 기술개발은 열차간 무선통신을 기반으로하여 인공지능 및 IoT를 활용한 첨단 열차제어시스템 개발을 목표로 함.

2절 기술적 타당성

1. 사업 논리모형

[표 4.1] 사업 논리모형

1. 이슈 / 문제				
① 통계에 의하면 2030년 전세계 인구의 60%가 도시에 집중하게 되며 이에 따라 도시 내에서 또는 도시간 대규모의 철도 이용객이 예상됨에 따라 높은 수송효율을 갖는 차세대 열차제어시스템의 개발이 필요함. (※ 출처: United Nations, World Urbanization Prospects: The 2005 Revision (2006) and Carl Haub, 2007 World Population Data Sheet.) ② 기존의 열차제어시스템은 특정 관할영역마다 지상의 제어서버가 존재하며 노선이 확장되거나 열차투입이 증가되는 경우 지상의 제어서버의 증설이 불가피하여 설비투자비 측면에서 비효율적임. (CBTC IEEE 1474의 경우 하나의 지상ATP가 최대 관할할 수 있는 열차편성수는 40편성 이하임) ③ 기존의 열차운영은 분리결합에 있어서 운영자의 수동 개입에 의해 시간소요와 사고발생 위험성이 높으며 이로 인해 승객의 수요에 따른 유동적인 운영이 불가능함. ④ 신규 열차제어시스템은 단기간에 개발이 어렵기 때문에 적기에 기술개발을 하지 않았을 경우 국외의 선진 제작사의 기술종속이 불가피하며 막대한 구축비용 및 유지보수비용이 발생함. ⑤ 국외 철도선진국의 경우 차세대 열차제어시스템 개발을 활발히 수행하고 있으며 이는 열차간 통신기반의 열차제어와 열차간 직접적인 통신기술, 가상연결기술, 열차자율주행기술에 대한 원천기술 확보를 포함.				
2. 목표		3. 수혜자		
① 지상제어설비 절감을 통한 설비투자비용 20% 절감 ② 열차간 직접적인 간격제어 흐름을 통한 운전 시격 30% 단축 ③ 가상열차편성을 통한 수송량 극대화 및 서비스 향상 ④ 열차 스스로 주변상황 인지 및 판단/제어를 통한 안전성 향상		① 철도 서비스 공급자(운영자) ② 철도 서비스 이용자(승객) ③ 시스템 제작사(기업)		
4. 투입		5. 활동		6. 산출
① 1단계 핵심기술개발(5년)의 경우 핵심요소기술 개발에 필요한 장비 및 프로토타입 개발비를 책정함. 소요인력은 약 257명, 소요예산은 총 260억원 임. ② 2단계 실용화연구개발(5년)의 경우 시제품 제작과 테스트 베드 구축 및 시		① 국내 철도 신호통신의 기술성숙도와 본 연구과제에서 개발하고자하는 기술의 도전성과 개발규모를 고려했을 때 1단계 핵심요소 기술개발(5년) 이후 2단계 실용화 연구개발(5년)과 같이 단계적으로 추진 ② 1단계 핵심요소기술개발은 TRL 5수		① 열차간 협업기반 열차 자율주행제어 기술개발 -차상중심 분산형 열차방호 시스템 시제품 -차상중심 분산형 진로 및 분기제어 시스템 시제품 -상황인지를 위한 가상인터페이스 시스템 시제품 -상황인지 및 판단/
				7. 성과 / 영향
				① 설비투자비 측면 -지상중심의 지상↔차상 기반의 제어가 아닌 열차↔열차 기반의 새로운 제어 패러다임을 통해 지상의 제어 시스템(지상 ATP, ETI)의 제거함으로써 설비 단순화에 따른 설치 및 유지보수비용 절감가능. ② 수송력 측면

험평가비를 책정함. 소요인력은 약 268명, 투입예산은 총 450억원 임.	준에 해당하는 기술을 확보하여 최종 유사환경에서의 working model 검증하거나 프로토타입 개발. 도시철도 및 일반·고속철도에 적용이 가능한 열차자율주행 분야별 핵심요소기술을 개발하고 실험실 환경에서 프로토타입을 검증 ③2단계 실용화 연구 개발은 TRL 7수준에 해당하는 기술을 확보하여 최종 실제환경에서의 시제품 데모 또는 시제품 인증을 목표로 한다. 따라서 국제 표준규격에 따라 시스템을 개발하고 관련 안전성 활동과 함께 실용화에 필요한 인증을 획득	제어 시스템 시제품 ②열차자율주행 기반 통신 및 보안기술 개발 -열차자율주행 기반 T2T 차상 단말 모듈 -열차자율주행 기반 T2T 망 인프라 시제품(망, 기지국, 코어망) -물리적 신호교란에 강인한 보안시스템 -사이버 공격에 강인한 보안 모듈 ③열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발 -스마트 관제시스템 시제품 -스마트 스케줄링 시제품 ④가상열차편성 기술 개발 -가상 열차연결제어 시스템 프로토타입 ⑤열차자율주행시스템 시험평가 기술 개발 -통합 시뮬레이터 -성능평가 계획서 및 결과 -차·지상 테스트 베드 -성능평가 계획서 및 공인기관 시험 성적서	-열차↔열차간 이루어지는 direct-path 형태의 제어흐름 및 가상연결 제어 기술을 통해 선행 열차와 후행열차간 안전간격을 단축시킴으로써 노선의 수송량 향상 가능. ③서비스 측면 -열차간 가상연결 제어기술을 통해 기존의 공급자 중심의 철도서비스가 아니라 수요자 중심의 철도운영 서비스 가능 -노선에 열차 투입의 용량제한이 없으며 열차간 분리 결합이 가상 연결을 통해 이루어지므로 자유로운 편성조성이 가능. -열차↔열차 간 제어패러다임 및 가상연결 제어기술을 통해 목적지까지의 소요시간 단축가능 -사고 및 고장 발생시 열차간 협업을 통한 자율스케줄 및 자율경로설정으로 신속하고 정확한 대응이 가능. ④기술적 측면 -차세대 열차제어기술인 열차자율주행 기술 개발을 통해 선진국 수준의 기술적 도약 가능
--	--	---	---

8. 가정	
①	정부의 지원이 장기적으로 이루어지는 경우 차세대 열차제어시스템인 열차자율주행시스템에 대한 핵심원천기술 확보 및 성공적인 연구개발 가능
②	국내 철도운영기관에서 국내기술에 대한 막대한 불안감을 떨치고 개발시스템을 적용하게 되면 외산 열차제어시스템 적용으로 인한 막대한 비용과 소요시간 등의 문제 해결이 가능할 뿐만 아니라 연구개발 성과물에 대한 수요 및 파급효과가 높을 것으로 기대
③	성공적인 개발이 이루어지는 경우 전 세계적으로 열차제어시스템 시장이 늘 것으로 예상됨에 따라 관련 기술의 국내 시장뿐만 아니라 해외진출 가능성 제고

2. 장기연구의 타당성

- 열차자율주행시스템은 기존에 존재하지 않았던 새로운 철도운영을 비롯한 제어 패러다임에 대한 장기적인 관점에서의 연구개발을 추진하는 것이 타당함.

가. 신규 운영 패러다임 설계 측면

- 기존의 열차운영의 경우 다음과 같은 특징을 가짐
 - 열차의 스케줄과 경로에 대한 정보는 전적으로 관제가 관할.
 - 열차번호에 해당하는 열차의 스케줄과 경로(진로)는 고정되어 있으며 열차가 특정 영역에 도달하는 경우 관제의 ATS¹⁵⁾에서 다음 진로정보를 제공함으로써 운행이 이루어짐.
 - 열차는 고정된 편성으로 운행되며 열차의 운행 번호는 운전 스케줄 뿐 만 아니라 매 정차역의 도착 및 출발시간과도 연동되어 수행됨.
 - 열차의 스케줄은 관제의 운영자와 기관사(기관사가 존재하는 경우)가 지속적으로 인터랙션하면서 이루어짐.
- 반면 열차자율주행시스템은 다음과 같은 특징을 가짐
 - 주행 중 가상연결기를 통한 유동적인 열차편성 조성이 가능, 즉 하나의 열차가 운행 중 여러 대로 분리가 가능하고 여러 대의 열차가 하나의 열차로 결합이 가능함.
 - 주행 중 열차의 운행 번호가 동적으로 변경되며 매 정차역의 도착 및 출발시간과 연동되어 수행되어야 함.
 - 열차 스스로 스케줄의 회복 노력과 동적 경로설정이 가능함.
- 따라서 기존의 운영체계 하에서는 열차자율주행시스템의 운영의 효율성을 발휘하기에 한계가 있으므로 새로운 운영 패러다임의 설계가 요구됨.
- 과거로부터 현재에 이르기까지 오랜 기간 존재해 왔던 기존의 운영 패러다임을 새로운 운영 패러다임으로 변경에 따른 운영시나리오의 설계와 여러 사고 및 고장 등의 이례상황에 대한 대응책, 그리고 이에 대한 검증에 이르기까지 일련의 과정이 필요하므로 장기간의 연구와 검증의 과정이 필요함.

나. 신규 열차제어 패러다임 설계 측면

- 새로운 컨셉의 열차제어시스템의 개발에는 장기간의 연구개발이 이루어져야 함.
- CBTC(Communication Based Train Control)
 - CBTC는 기존의 궤도회로기반 열차제어시스템에서 사용하는 고정폐색 방식이 아닌 차상과 지상간의 양방향 데이터 송수신을 통해 이동폐색 방식이라는 새로운 제어패러다임을 제시하였음.

15) Automatic Train Stop: 자동열차정지

- CBTC의 연구개발은 1980년대부터 진행하였으나 개발이후 첫 적용은 약 20년이 지난 2003년 샌프란시스코 공항철도임.
- ETCS¹⁶⁾ (European Train Control System)
 - ETCS는 유럽 국가간 열차이동을 보장하기 위해 여러 레벨별로 정의하였으며 하위호환이 가능하도록 새로운 열차제어 컨셉을 정의하였음.
 - ETCS 역시 1980년대 말부터 Ansaldo, Bombardier, Invensys, Siemens, Thales와 같은 유럽의 선진 철도제작사의 공동 프로젝트로 10년 이상의 연구개발 끝에 1999년 첫 시험을 시작으로 점차 전 세계적으로 도입이 확산되고 있음.
 - ETCS 프로젝트는 현재 진행형이며 몇몇 제작사의 공동 프로젝트로 진행 중에 있음.
- 위의 사례에서 알 수 있듯이 열차제어시스템은 승객의 안전을 다루기 때문에 기존과는 다른 새로운 열차제어시스템 컨셉을 개발하는 것은 단기간에 이루어질 수 없으며 열차 자율주행시스템과 같은 차세대 CBTC 기술에 대한 연구개발 역시 장기간에 연구개발과 검증이 요구됨.

3. 차세대 열차제어 및 통신기술 확보

- 완전한 차상중심 간격제어 및 분기제어기술 등 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능
- 열차 주행중 편성간 가상연결 및 해제 제어기술 및 가상열차편성 기반 편성간 열차무결성 확보기술, 고정밀 속도추종제어기술 등 열차자율주행기반 가상열차편성 제어핵심기술 확보
- 열차간 자율협업기반의 상황인지 및 판단기술, 스케줄링 및 동적경로 설정기술 등 열차자율주행기반 스케줄 관리 및 제어, 열차간 협업기반 상황별 대응기술 등 제어핵심기술 확보
- 열차간 전송지연 절감을 위한 네트워크 설계기술, 열차간 직접통신 기술, 자율협업 네트워킹 등 열차자율주행시스템 통신 핵심기술 확보
- 열차자율주행을 비롯한 무선통신기반 열차제어시스템과 철도 통합무선망 설계 및 운용에 필요한 철도통신보안 핵심기술 확보

4. 기술적 파급효과

- 열차자율주행제어시스템의 자율주행기반 열차 운영시나리오는 향후 타 대중교통의 자율주행 운영시나리오 및 상위개념의 시스템 설계에 활용 가능.
- 열차자율주행제어시스템의 고정밀 위치 및 속도 추정기술, 방호(protection) 프로파일 설

16) European Train Control System: 유럽열차제어시스템

계 기술, 안전 마진 추정 및 설계기술은 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.

- 열차간 전송지연 절감을 위한 네트워크 설계기술, 직접통신 기술은 고속주행을 목표로 하는 가능한 타 교통 분야의 제어시스템에 활용 가능.
- 자율협업기반의 상황인지 및 판단 기술은 타 대중교통의 자율주행시스템 개발에 있어 이례상황 발생시 승객의 안전한 대피 등의 대응시스템 설계에 활용 가능.
- 열차자율주행기반 통신보안 기술은 타 대중교통 또는 국가 기반시설에 대한 보안체계 구축에 활용 가능.

5. 기술개발 성공 가능성

- 열차자율주행시스템은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템으로서 성공적인 연구개발 수행을 위해서는 무엇보다도 무선통신기반 열차제어시스템과 철도무선통신망에 대한 개발 경험이 요구됨.
- 국가연구개발과제를 통해 도시철도 및 일반·고속철도 분야에서 무선통신기반 열차제어시스템 개발을 수행한 경험을 토대로 열차자율주행시스템에 필요한 신규 제어패러다임 설계와 개발이 성공적으로 가능하다고 판단됨.

3절 경제적 타당성

1. 비용 추정

가. 연구개발비용

본 사업의 연구개발기간은 핵심기술개발을 2018년에서 2022년까지 5년간, 상용화기술개발을 2023년에서 2027년까지 5년간 총 10년으로 계획하였으며 핵심기술개발 단계에서는 총 370억원의 연구비를 제시하였다.

연차별 투입계획은 다음과 같다.

(단위: 백만원)

년도	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	합계
핵심기술개발	3,400	4,900	6,650	5,950	5,100	26,000
년도	2023년	2024년	2025년	2026년	2027년	합계
상용기술개발	6,950	11,100	10,400	12,550	4,000	45,000

나. 상용화비용

(1) 대상구간 선정

본 사업의 상용화는 서울시 지하철 2호선의 본선구간을 대상으로 가정하였다. 서울메트로 2호선은 침두 시 현재 기술수준의 한계에 가까운 최소 3분 시격으로 열차를 운행하고 있음에도 불구하고 일부 구간에서 기준 승차율인 150%를 초과한 혼잡을 기록하고 있는 실정이다. 이에 본 사업의 상용화 대상노선으로 적합한 노선으로 판단되어 분석을 수행하였다.

노선의 개요는 다음과 같다.

[표 4.2] 서울메트로 2호선 개요

구분	서울메트로 2호선			
	본선	성수지선	신정지선	합계
연장	48.8km	5.4km	6.0km	60.2km
편성수	78편성	4편성	5편성	87편성
편성량수	10량1편성	4량1편성	6량1편성	826량

※ 자료 : 서울교통공사

서울메트로 2호선의 기준치 이상 혼잡발생구간은 내선 교대~사당 구간(18시~19시, 162%), 외선 봉천~서초 구간(08시~9시, 191%)로 나타났으며 각각의 지속시간은 1시간으로 열차증편 대책이 필요하다.

[표 4.3] 서울메트로 2호선 혼잡도 현황 (2015년, 내선)

(단위: %)

시간대	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
성수(2)	11	15	23	45	30	26	28	38	39	40	43	46	40	64	50	37	49	47	33	25
건대입구(2)	11	22	31	66	42	30	33	39	42	42	45	45	41	51	42	34	44	45	30	26
구의	14	23	33	70	45	29	34	36	40	40	43	43	39	48	38	30	40	40	27	22
강변	19	22	39	81	51	31	35	38	40	35	43	41	37	45	36	27	34	36	24	20
잠실나루	19	22	41	81	51	31	35	37	39	35	43	41	37	44	33	26	32	34	23	17
잠실(2)	22	24	60	113	68	43	41	42	47	40	46	44	46	52	37	30	37	35	17	12
신천	24	26	64	120	70	43	42	41	46	40	45	42	45	50	34	28	35	34	17	11
종합운동장	27	25	62	117	70	43	42	41	46	40	44	43	46	51	35	28	35	35	18	11
삼성	19	23	55	100	65	41	43	44	50	45	53	52	61	75	52	40	53	50	23	15
선릉(2)	21	24	56	96	69	48	51	54	62	59	70	69	81	104	74	53	71	66	31	20
역삼	23	23	47	76	54	46	47	54	64	64	75	77	94	129	90	63	84	81	36	22
강남(2)	27	22	41	64	44	42	47	57	69	69	87	88	111	142	104	80	116	117	51	32
교대(2)	27	21	41	65	40	44	47	54	68	68	88	92	112	155	114	89	125	136	63	35
서초	26	21	39	58	37	40	46	55	68	68	89	94	116	162	116	91	129	140	63	35
방배	28	21	40	57	36	39	45	54	67	68	91	93	118	167	120	93	129	141	66	37
사당(2)	26	22	39	62	38	39	39	50	61	63	83	87	111	144	114	85	118	141	73	39
낙성대	28	23	40	63	38	36	38	49	58	63	81	87	107	136	108	82	108	131	67	35
서울대입구	20	23	40	64	36	31	35	46	54	58	74	82	102	123	97	73	97	117	61	31
봉천	26	25	43	68	37	31	35	46	54	57	72	79	99	119	93	69	90	113	61	28
신림	40	30	53	83	44	32	35	46	54	54	65	71	91	100	77	58	73	93	51	22
신대방	52	33	58	93	49	34	37	49	53	56	62	71	90	97	76	55	68	85	47	19
구로디지털	72	39	67	91	49	35	38	52	57	57	62	72	90	107	80	56	66	83	46	17

(단위: %)

시간대	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
대림(2)	91	48	69	98	53	37	40	53	57	56	58	68	86	98	73	50	58	68	40	14
신도림(2)	24	36	74	132	74	63	58	57	62	55	51	52	58	78	64	45	53	53	45	22
문래	24	37	70	126	75	60	58	56	61	54	50	55	59	79	65	43	54	52	44	20
영등포구(2)	29	34	74	130	72	60	56	56	57	53	46	50	52	71	58	37	46	43	36	17
당산(2)	29	35	75	130	78	62	60	61	61	53	47	52	55	77	60	36	43	42	35	15
합정(2)	25	31	64	114	69	55	53	55	53	46	39	43	45	56	43	26	30	29	27	10
홍대입구(2)	21	29	66	117	66	54	53	51	50	45	38	39	40	48	34	23	32	34	32	10
신촌	22	29	66	115	58	46	48	46	49	43	39	40	41	46	32	24	36	41	38	10
이대입구	23	28	61	114	54	41	46	43	49	44	42	42	44	46	34	26	38	42	37	10
아현	20	28	61	118	55	41	47	44	49	44	43	43	45	46	33	26	38	42	38	10
충정로(2)	21	28	59	110	53	40	47	44	49	44	44	44	45	47	35	24	37	40	37	10
시청(2)	19	25	49	94	48	36	43	41	45	42	44	44	46	53	39	26	39	42	36	10
을지입구	15	19	34	66	37	31	39	37	45	43	46	47	49	69	50	36	52	52	42	12
을지3가(2)	13	18	27	54	31	28	34	33	40	39	41	44	47	67	49	35	50	51	44	12
을지4가(2)	13	16	25	49	27	26	31	31	39	38	41	43	47	69	50	35	48	50	42	12
동대문운(2)	15	24	34	65	34	29	35	37	45	43	47	50	55	70	52	34	47	50	41	12
신당(2)	18	25	37	71	37	30	36	40	44	45	48	50	57	68	52	33	44	48	41	14
상왕십리	20	24	39	72	37	30	36	40	44	44	48	50	57	68	51	32	43	47	39	13
왕십리(2)	22	23	39	78	38	31	36	37	42	42	43	43	49	57	42	26	35	40	33	12
한양대	22	23	36	69	31	23	33	34	38	40	42	45	51	57	42	27	36	41	34	12
독섬	23	22	35	62	29	22	32	33	37	39	42	45	51	60	43	27	36	42	32	11

주: 열차 1량의 승차인원 = 160명 = 100%

※ 자료: 서울교통공사, 역별 혼잡도 현황

<http://data.seoul.go.kr/openinf/fileview.jsp?infd=OA-12928>

[표 4.4] 서울메트로 2호선 혼잡도 현황 (2015년, 외선)

(단위: %)

시간대	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
성수(2)	9	16	43	54	38	33	33	34	33	33	35	30	34	54	43	38	33	41	23	10
건대입구(2)	29	24	56	69	36	26	34	36	34	33	36	36	43	46	37	31	33	40	23	8
구의	24	21	49	55	33	26	35	36	36	35	38	41	46	59	49	38	42	48	25	10
강변	16	18	42	48	30	25	33	34	34	34	38	40	46	59	51	40	44	52	27	12
잠실나루	18	17	37	41	25	23	29	32	34	34	39	42	48	64	54	43	50	55	31	12
잠실(2)	16	17	33	38	24	22	29	31	33	33	38	40	48	63	55	44	53	58	33	14
신천	18	27	31	37	27	22	31	35	38	39	44	48	53	83	71	55	66	75	51	21
종합운동장	15	24	27	33	24	21	30	35	38	39	44	49	53	86	74	56	68	74	51	23
삼성	14	25	28	34	25	23	30	35	38	38	44	50	52	87	75	58	71	74	50	22
선릉(2)	33	31	44	61	45	33	39	41	47	43	48	51	51	81	70	51	65	68	49	20
역삼	60	36	62	92	68	47	49	52	59	52	56	61	57	88	74	58	72	76	56	22
강남(2)	69	41	77	121	89	57	56	58	64	55	58	60	54	76	67	53	66	72	47	22
교대(2)	82	50	101	148	110	71	64	65	71	59	61	59	56	75	66	48	50	51	39	21
서초	82	60	118	175	120	81	70	68	74	62	63	60	56	73	66	46	51	51	41	23
방배	85	64	127	186	122	85	71	65	73	60	59	59	55	71	60	45	48	50	40	24
사당(2)	85	65	129	191	120	87	73	65	75	60	59	59	55	71	59	43	47	50	40	25
낙성대	82	68	131	179	105	81	65	62	68	55	53	56	53	71	58	45	50	53	41	23
서울대입구	77	64	124	165	99	75	62	60	65	53	51	54	52	70	58	45	54	53	43	24
봉천	76	59	111	150	92	71	58	55	60	50	47	48	47	65	58	44	52	50	41	23
신림	70	56	104	141	85	67	56	54	58	48	48	48	47	67	61	46	54	52	44	25
신대방	53	45	85	111	69	60	51	50	54	44	46	47	48	77	71	50	63	61	54	33
구로디지털	48	41	81	104	63	58	50	48	54	45	48	47	51	84	74	56	72	64	58	36
대림(2)	38	39	79	115	66	60	51	47	54	48	50	50	54	85	76	59	77	72	64	43
신도림(2)	29	32	69	102	60	56	48	46	52	47	51	55	61	91	77	62	85	79	71	46
문래	37	50	85	98	40	35	41	42	50	47	50	59	75	112	76	66	79	93	61	24

(단위: %)

시간대	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
영등포구(2)	35	48	82	100	39	36	41	42	49	47	50	58	73	110	75	67	78	94	60	22
당산(2)	26	38	66	79	32	32	35	37	45	43	47	56	69	104	75	68	80	100	64	24
합정(2)	23	35	64	82	31	29	36	38	46	45	50	58	70	108	79	73	86	106	73	28
홍대입구(2)	19	21	38	47	21	21	30	31	39	40	45	51	60	96	68	68	75	92	60	25
신촌	18	15	25	35	19	19	31	34	40	43	47	51	61	101	71	71	69	79	51	20
이대입구	15	14	27	37	22	23	33	34	39	42	44	47	58	104	70	65	61	66	45	19
아현	13	13	27	38	27	26	37	36	40	42	43	46	57	106	70	63	58	67	42	20
충정로(2)	10	13	28	38	27	26	36	35	40	42	43	45	57	106	68	64	59	68	41	21
시청(2)	10	13	30	38	28	27	36	34	40	41	43	45	57	104	67	63	58	67	41	21
을지입구	8	14	37	48	30	27	34	33	38	37	39	41	49	86	57	57	50	58	36	18
을지3가(2)	13	19	50	73	38	33	39	36	39	38	39	39	45	72	47	40	37	44	25	13
을지4가(2)	14	21	54	73	40	32	38	33	35	34	35	34	40	59	39	35	33	40	24	13
동대문운(2)	13	20	60	78	42	34	39	34	36	34	35	33	40	54	36	33	31	40	22	11
신당(2)	17	21	63	79	47	37	45	40	41	41	41	37	44	63	46	43	39	47	25	12
상왕십리	15	20	57	78	46	38	45	41	42	41	42	37	45	66	49	47	40	50	27	13
왕십리(2)	14	19	54	76	44	38	43	41	41	40	41	39	42	64	49	47	41	51	28	14
한양대	13	15	43	49	35	28	36	34	35	35	37	36	40	62	47	44	39	48	26	12
독섬	10	16	43	52	37	31	35	34	34	34	35	30	35	57	45	40	34	42	23	10

주: 열차 1량의 승차인원 = 160명 = 100%

※ 자료: 서울교통공사, 역별 혼잡도 현황

<http://data.seoul.go.kr/openinf/fileview.jsp?infd=OA-12928>

(2) 상용화 시나리오

서울메트로 2호선의 혼잡 해소를 위해서는 첨두시간대에 현재 대비 최대 27.3%의 공급 증대가 필요하며 이를 위해서는 현재 2호선에 운영 중인 열차제어기술(ATS/ATO)의 최소배차시격 및 보유편성(78편성)을 고려하여 증편 계획을 수립하여야 한다.

[표 4.5] 서울메트로 2호선 혼잡도 대비 증편량

(단위: %)

방향	내선			외선					
구간	교대	서초	방배	서초	방배	사당	낙성대	서울대	봉천
혼잡도 (A)	155	162	167	175	186	191	179	165	150
증대 필요량 (A-150/150)	3.3	8.0	11.3	16.7	24.0	27.3	19.3	10.0	0.0

주: 열차 1량의 승차인원 = 160명 = 100%

※ 자료: 서울교통공사, 역별 혼잡도 현황

<http://data.seoul.go.kr/openinf/fileview.jsp?infId=OA-12928>

도시철도 노선의 소요편성 수 산정 공식은 다음과 같다.

$$N = (2 \times (60 \frac{L}{V} + t) \times \frac{1}{P}) \times (1 + a)$$

여기서, N: 운영 편성수 (편성)

L: 운행연장 (km)

V: 표정속도 (km/h)

t: 반복시분 (분)

P: 최소운전시격 (분)

a: 예비율

※ 자료: 한국개발연구원(2015.3), 도로 및 철도부문 비용 추정 개정안

여기에 서울메트로 2호선 노선의 연장(48.8km), 표정속도(30km/h), 운전시격(3분), 반복시간(5분x2회), 예비율 12%를 고려한 소요 편성수는 총 78편성(예비 9편성 포함)으로 현 보유 편성수와 동일하게 나타났다. 또한 현 운전시격은 열차제어시스템(ATS)의 한계인 3분에 다다른 실정이다. 따라서 추가 열차편성의 투입과 열차제어시스템의 개량이 동시에 이루어져야 할 것으로 판단된다.

이에 본 연구개발 성과를 도입하는 방안으로 다음의 대안을 제시하였다.

(가) 차량 추가구매 대안

현황 대비 25%의 공급 증대 (시간당 20회X10량 = 200량 → 시간당 25회X10량 = 250량)를 목표로 열차제어시스템의 개량 및 추가 열차편성을 구매하는 대안이다. 필요 편성수는 총 97편성으로 19편성 (190량)의 추가 차량 구매가 필요하다.

[표 4.6] 서울메트로 2호선 열차제어시스템 개량 및 추가 열차편성

구분	시행전	시행후	증감	비고
편성수	78편성	97편성	+19편성	+24.3%
편성량수	10량 1편성	10량 1편성	.	.
보유량수	780량	970량	+190량	+24.3%
시간당 최대운행회수	20회	25회	+5회	+25.0%
최소배차시격	3.0분	2.4분	-0.6분	-20.0%

열차제어시스템의 개량을 위한 비용은 자율주행 열차제어 시스템과 기능적으로 가장 유사한 CBTC의 설치비용을 기준으로 상용화 비용의 기준값을 산출하였다.

[표 4.7] 열차 개량비용 산정

(단위: 억원)

구분		단위	비용 원단위 (억원)		도입비용 총액	
			'13년기준가격	'16년기준가격	도입물량	총액 (억원)
차량	중량전철	량 당	15.5	15.8	190 량	3,002.00
열차 제어	지상장치	1km 당	17.63	17.96	48.8 km	876.45
	차상장치 및 개조비용	편성 당	9.75	9.93	97 편성	973.14
합 계						4,851.59

※ 자료: 한국개발연구원(2015.3), 도로 및 철도부문 비용 추정 개정안

(나) 열차 재편성 대안

현황 대비 20%의 공급 증대 (시간당 20회X10량 = 200량 → 시간당 30회X8량 = 240량)를 목표로 열차제어시스템의 개량 및 보유차량 재편성을 추진하는 대안이다. 780량의 보유차량을 8량 1편성으로 재편성하여 총 97편성(776량)을 확보한다.

[표 4.8] 열차 재편성 대안

구분		시행전	시행후	증감	비고
편성수		78편성	97편성	+19편성	+24.3%
편성량수		10량 1편성	8량 1편성	-2량	-20.0%
보유량수		780량	776량	-4량	-0.005%
시간당 최대운행회수	최소(강북구간)	20회	20회	+0회	+0.0%
	최대(강남구간)		30회	+10회	+50.0%
	평균		25회	+5회	+25.0%
최소배차시격	최소(강북구간)	3.0분	3.0분	-0분	+0.0%
	최대(강남구간)		2.0분	-1.0분	-33.0%
	평균		2.4분	-0.6분	-20.0%

열차제어시스템의 개량을 위한 비용은 자율주행 열차제어 시스템과 기능적으로 가장 유사한 CBTC의 설치비용을 기준으로 상용화 비용의 기준 값을 산출하였다.

[표 4.9] 열차제어시스템 상용화 비용 기준값 산출

(단위: 억원)

구분		단위	비용 원단위 (억원)		도입비용 총액	
			'13년기준가격	'16년기준가격	도입물량	총액 (억원)
열차 제어	지상장치	1km 당	17.63	17.96	48.8 km	876.45
	차상장치 및 개조비용	편성 당	9.75	9.93	97 편성	973.14
합 계						1,849.59

※ 자료: 한국개발연구원(2015.3), 도로 및 철도부문 비용 추정 개정안

(3) 비용추정 시나리오 및 종합

본 개발사업의 목표는 기존 지상장치 중심 CBTC신호체계와 비교하여 차상장치의 자율주행 능력을 확대함으로써 지상장치의 기능 및 설치물량을 최소화하고 하는 데 있으며, 프랑스 Alstom사의 경쟁기술인 Urbalis Fluence는 이와 같은 설계로 기존 자사 CBTC 솔루션인 Urbalis 400 대비 총 설치·유지보수 비용의 20%를 절감하였다.

이에 본 평가에서는 사업화비용의 시나리오를 도로철도부문의 예비타당성조사 표준지침 연구에 제시된 CBTC기준으로 산출된 비용과, 개발목표 달성 시 비용으로 구분하여 제시한다.

개발목표 달성 시 비용은 Urbalis Fluence의 사례를 고려하여 표준지침 열차제어 시스템 비용의 20%를 절감한 금액으로 설정하였다.

[표 4.10] 개발목표 달성시 비용산출

(단위: 억원)

구분		대안1		대안2	
		CBTC기준 산출비용	개발목표 달성시 비용	CBTC기준 산출비용	개발목표 달성시 비용
차량	중량전철	3,002.00	3,002.00	0	0
열차제어	지상장치 및 차상장치	1,849.59	1,479.67	1,849.59	1,479.67
합계		4,851.59	4,481.67	1,849.59	1,479.67

※ 자료: 한국개발연구원(2015.3), 도로 및 철도부문 비용 추정 개정안

산출결과 대안1의 경우 추가차량 구매물량이 과도하여 대안2 대비 약 3천억 원 이상의 비용이 추가로 필요하다. 또한 추가 차량 유치를 위한 도심지역 차량기지 설치비용을 고려할 경우 상용화 비용이 과다하게 발생될 우려가 있다.

이에 본 평가에서는 추가차량의 구매 없이 채편성만을 진행하는 대안2를 최적대안으로 판단하여 평가를 수행하였다.

2. 편익 추정

가. 편익항목의 식별 및 추정방법

(1) 편익항목의 식별

본 사업의 편익항목은 기술개발사업 성공에 따른 부가가치 창출로서 수입대체 편익과 관련 수출편익이 있으며, 또한 제품 상용화를 통해 철도운행비용의 절감 및 배출가스 저감 등의 사회적 편익을 포함한다.

[표 4.11] 편익의 구성 및 내용

구성	내용	비고
기술개발 사업을 통한 부가가치 창출 편익	수입대체편익	기술개발로 인해 국내 시장에서 수입제품이 아닌 국내 제품을 도입함에 따른 편익
	수출편익	기술개발로 인해 국제 시장에 제품을 수출함에 따른 편익
제품 상용화를 통한 편익	통행시간절감편익	제품 상용화를 통해 열차대기시간 등 통행시간이 절감됨에 따른 편익
	운영비용절감편익	제품 상용화를 통해 신호시스템 유지보수비용, 인건비, 동력비 등이 절감됨에 따른 편익

(2) 편익항목별 추정방법

① 수입대체 편익

기술개발로 인해 국내 시장에서 수입제품이 아닌 국내제품을 도입함에 따른 수입대체편익은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{수입대체편익} = & \text{국내 업체의 생산대수} \\ & \times \Sigma(\text{개별 가격} \times \text{기술개발 성공률} \times \text{사업화 성공률}) \\ & \times \text{연도별 국내시장 점유율} \times \text{부가가치율} \times \text{R\&D기여율} \end{aligned}$$

② 수출편익

기술개발로 인해 국제 시장에 제품을 수출함에 따른 수출편익은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{수출편익} = & \Sigma(\text{해외 수출규모} \times \text{기술개발 성공률} \times \text{사업화 성공률}) \\ & \times \text{부가가치율} \times \text{R\&D기여율} \end{aligned}$$

③ 통행시간 절감편익

통행시간 절감편익은 사업시행으로 열차 배차시격이 단축됨에 따라 열차이용승객이 경험하는 열차 대기시간이 단축됨에 따른 편익을 정량적으로 산출한다. 단 배차시격의 변화량은 시간대에 따라 다르게 나타나므로 시간대별 변화량과 승객 비율을 이용하여 실제 대기시간의 단축량을 산출한다.

$$\text{통행시간절감편익} = \Sigma(0.5 \times \Delta \text{배차시격} \times \text{승차인원}) \times \text{시간대별 승객비율}$$

④ 운영비용 절감편익

신호시스템 유지보수비용의 절감 편익은 Alstom Urbalis Fluence의 사례를 고려하여 전체 유지보수비 중 열차제어 시스템 관련 비용의 20%가 내구연한 기간인 20년간에 걸쳐 나누어 발생하는 것으로 가정한다.

인건비용 절감 편익은 자동운전 도입에 따라 현 2인승무 체제인 2호선에 1인승무 도입이 가능한 것으로 가정하고 이 비용이 매년 절감되는 것으로 가정한다.

승무인원 산정기준은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{총 승무시간} &= \text{일일 운행횟수} \times \text{왕복 운전시격(회차포함)} / 60 \\ \text{소요 승무원 수} &= \text{총 승무시간} / 1\text{인당 승무시간}(4.5\text{시간}) \times \text{승무인원} \times 1.10 \\ &\quad \times 0.7 \\ &\quad (\text{비상예비율 } 10\%, \text{ 출근율 } 70\%) \end{aligned}$$

※ 자료: 한국개발연구원(2015), 도로 및 철도부문 비용 추정 지침 변경

동력비용 절감 편익은 열차 재편성에 따라 편성 당 중량이 20% 감소(10량→8량)하게 되므로 이를 고려하여 운행횟수 당 동력비용의 20%가 절감되는 것으로 가정한다. 단 첨두시간대의 경우 열차 운행횟수가 증편됨에 따라 동력비용이 절감되지 않는다.

[표 4.12] 운영비용 절감편익 분석

편익항목	시간대		
	첨두	준첨두	비첨두
통행시간 절감	◎	○	×
신호시스템 유지보수 절감	◎	◎	◎
인건비용 절감	◎	◎	◎
동력비용 절감	×	○	◎
주: ◎=편익발생, ○=편익일부발생, ×=편익미발생			

나. 기술 수요 전망

(1) 산업 전망

철도 신호통신 분야 전세계 신규개발 및 업그레이드 시장은 2013년 약 74.85억 유로 (9.631조원)이며 2018년까지 연평균 3.5% 증가할 것으로 예측된다. 주요 제작사는 Siemens, Ansaldo, Alstom 등이 있으며 국내기업(LS산전)의 시장점유율은 1.6%로 나타났다.

(2) 부가가치율 및 R&D 기여율

한국은행과 통계청에서 발표한 철도차량산업의 업종 부가가치율의 평균을 본 사업을 통해 발생하는 철도차량산업의 추가적인 매출에서 부가가치가 차지하는 비중으로 가정하였다. 한국은행 및 통계청이 발표한 철도차량산업의 업종 부가가치율의 평균은 29.3% 정도이다.

[표 4.13] 철도차량산업의 부가가치율

	2007년	2008년	2009년	2010년	평 균
부가가치율	32.20%	31.95%	26.98%	25.91%	29.26%

※ 자료: 한국은행

또한 본 사업의 기술개발 활동이 부가가치의 창출에 어느 정도 기여하였는가를 추정하기 위하여 R&D 기여율을 추정한다. 이전의 유사 사업에 대한 예비타당성조사에서 가정하였던 방법론을 원용하였다. 평균은 26.2% 정도이다.

[표 4.14] 우리나라 R&D 스톡의 성장기여도

연구자	STEPI(2007)	신태영(2004)	하준경(2005)	문소상(2004)	평 균
연구기간	1971~2004	1981~2002	1991~2000	1981~2002	26.2%
성장기여도	30.6%	28.1%	22.7%	23.3%	

※ 자료: 각 연구

다. 편익추정 결과

(1) 기술개발사업에 따른 편익

(가) 수입대체 편익

서울2호선 상용화 사업 수행 시 국내기술 활용으로 수입대체 편익 발생.

(나) 수출편익

철도 신호통신 분야 전세계 신규개발 및 업그레이드 시장은 2018년 이후 11조 4천억원대에 이를 것으로 전망되며 국내 업체인 LS산전의 시장 점유율인 1.6%를 고려하면 연평균 1,830억원 대의 수출이 가능할 것으로 전망된다.

(2) 기술도입에 따른 편익

개발된 시스템을 서울메트로 2호선 대상으로 상용화할 시 발생하는 편익은 다음과 같이 전망된다.

① 통행시간 절감편익

서울메트로 2호선의 연간 수송인원은 2016년 기준 7억6천만 인/년으로 집계되었다.

시간대별 이용인원을 살펴보면 첨두시간(2시간) 동안 전체 승객의 19.3%가, 준첨두시간(7시간) 동안 41.3%가 이용하고 있는 것으로 나타났다.

[표 4.15] 서울메트로 2호선 시간대별 이용인원

시간대	인원(명)			비율(%)			비고
	승차	하차	승차+하차	승차	하차	승차+하차	
4	406743	5662	412405	0.0%	0.0%	0.0%	
5	16498684	4383080	20881764	1.2%	0.3%	0.8%	
6	29026020	25748748	54774768	2.1%	1.9%	2.0%	
7	77605877	64000689	141606566	5.7%	4.7%	5.2%	준첨두
8	102704219	155800314	258504533	7.6%	11.3%	9.5%	첨두
9	68935039	107937675	176872714	5.1%	7.9%	6.5%	준첨두
10	50759966	64689150	115449116	3.7%	4.7%	4.2%	
11	52734582	59736207	112470789	3.9%	4.3%	4.1%	
12	57905951	61462394	119368345	4.3%	4.5%	4.4%	
13	65154886	68762438	133917324	4.8%	5.0%	4.9%	
14	64934852	66553043	131487895	4.8%	4.8%	4.8%	
15	71640148	67896988	139537136	5.3%	4.9%	5.1%	
16	80495978	73075159	153571137	5.9%	5.3%	5.6%	
17	99590650	86438405	186029055	7.3%	6.3%	6.8%	준첨두
18	150950744	119188009	270138753	11.1%	8.7%	9.9%	첨두

시간대	인원(명)			비율(%)			비고
	승차	하차	승차+하차	승차	하차	승차+하차	
19	100642153	108508560	209150713	7.4%	7.9%	7.7%	준첨두
20	77177859	66331905	143509764	5.7%	4.8%	5.3%	준첨두
21	79697894	60189691	139887585	5.9%	4.4%	5.1%	준첨두
22	71871735	60050360	131922095	5.3%	4.4%	4.8%	준첨두
23	34593152	39340822	73933974	2.5%	2.9%	2.7%	
24	5311967	13040627	18352594	0.4%	0.9%	0.7%	

※ 자료: 서울교통공사, 시간대별 승하차실적 (2016년)

첨두시간대의 배차시격을 3분(시간당 20회)에서 2.4분(시간당 25회)으로 0.6분 단축함으로써 인당 대기시간이 0.3분 단축되며, 준첨두시간대의 배차시격을 4분(시간당 15회)에서 3분(시간당 20회)로 1.0분 단축함으로써 인당 대기시간이 0.5분 단축된다. 총 시간 절감량은 다음과 같이 연간 335만 시간으로 나타난다.

[표 4.16] 서울메트로 2호선 시간 절감량

	이용인원 (인/년)	대기시간 (분)			총 시간절감량 (시간/년)
		미시행	시행	증감	
첨 두	147,028,751	3.0	2.4	-0.6	735,144
준첨두	314,626,291	4.0	3.0	-1.0	2,621,886
비첨두	300,151,958	6.0	6.0	0.0	0
합계	761,807,000				3,357,030

※ 자료: 서울교통공사, 시간대별 승하차실적 (2016년)

예비타당성조사 지침에 제시된 시간가치 원단위는 다음과 같다.

[표 4.17] 시간가치 원단위

구분	단위	비용	
		2013년 기준가격	2016년 기준가격
도시철도	1인x시당	5920 원/인/시	6096 원/인/시

※ 자료: 한국개발연구원(2013), 통행시간가치 재산정 가이드라인

총 통행시간 절감편익은 매년 204.66억원/년으로 추정되었다.

[표 4.18] 통행시간 절감편익

(단위: 억원)

구분	이용인원	비용	
		원단위	합계
첨 두	735,144	6096 원/인/시	44.82억원
준첨두	2,621,886	6096 원/인/시	159.84억원
합계			204.66억원

라. 운영비용 절감편익

신호시스템 유지보수비용 절감편익은 지상장치비용의 20%가 20년 간 발생하는 것으로 가정하여 매년 8.76억원/년으로 추정되었다.

[표 4.19] 유지보수 절감편익

(단위: 억원)

사업비	총 절감금액(20%)	연간
876.45억원	175.29억원	8.76억원

인건비용 절감편익의 원단위는 공공기관 경영정보 공개시스템이나 클린아이지방공기업 경영정보시스템에 제시된 서울메트로의 2015년 평균인건비 6,188만원을 적용하였다. 2인승무를 1인승무로 전환하여 승무원 1인 절감 시 2호선 기준 167인의 인력절감이 가능하여 연간 103.34억원의 인건비 절감효과가 있을 것으로 예측되었다.

총 승무시간 = 540회 x 108분/60 = 972시간
 소요 승무원 수 = 972 / 4.5 x 1 x 1.10 x 0.7 = 약 167인
 (비상예비율 10%, 출근율 70%)

※ 자료: 철도통계연보

[표 4.20] 인건비용 절감편익

(단위: 억원)

절감 승무원 수	인건비	연간
167인	6,188만원	103.34억원

동력비용 절감편익은 혼잡이 발생하지 않는 평시에는 열차운행 편수를 현재와 같이 유지하는 것으로 가정하여 운행편당 2량 분의 절감편익으로서 연간 17.08억원의 절감편익이 발생할 것으로 추정되었다.

[표 4.21] 동력비용 절감편익

(단위: 억원)

영향 열차 횟수 (회/일)	1회 주행 거리 (km)	일간 주행 거리 (km)	연간 주행 거리 (km)	절감 차량 (량)	전력 소모 (kWh/량km)	총 동력소모 (kWh)	동력비 (원/kWh)	총 동력비 (억원)
270	48.8	13,176	4,809,240	2	1.85	17,779,418	96	17.08

※ 자료: 한국개발연구원(2015), 철도부문 사업의 예비타당성조사 운영비 추정 개정안

총 운영비용 절감편익은 129.2억원/년이 발생할 것으로 추정되었다.

[표 4.22] 총 운영비용 절감편익

(단위: 억원)

유지보수비	인건비	동력비	합계
8.76	103.34	17.08	129.18

3. 경제성 분석

가. 경제성 분석의 전제

경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였다. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2028년에서 2037년까지 10년 간으로 분석하였으며, 상용화에 의한 편익발생기간은 내구연한을 고려하여 2028년에서 2048년까지 20년 간으로 분석하였다.

나. 경제성 분석 결과

분석 결과 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타났다.

[표 4.23] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산, CBTC 기준비용)

(단위: 억원)

구분	비용 (억원)	편익 (억원)	B/C	NPV (억원)
연구개발 부문	506.38	963.44	1.90	457.06
상용화 부문	992.72	2085.53	2.10	1,092.81
합 계	1,499.1	3,048.97	2.03	1,549.87

[표 4.24] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산, 목표 달성시 비용)

(단위: 억원)

구분	비용 (억원)	편익 (억원)	B/C	NPV (억원)
연구개발 부문	506.38	963.44	1.90	457.06
상용화 부문	794.17	2085.53	2.63	1,291.36
합 계	1,300.55	3,048.97	2.34	1,748.42

[표 4.25] 경제성 분석 결과 (연구개발 부문)

연차	할인율	연도	개발비	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	수입대체 편익	수출증대 편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
1	0.9450	2018	34	34	32.13	0		0	0
2	0.8930	2019	49	49	43.76	0		0	0
3	0.8439	2020	66.5	66.5	56.12	0		0	0
4	0.7975	2021	59.5	59.5	47.45	0		0	0
5	0.7536	2022	51	51	38.44	0		0	0
6	0.7122	2023	69.5	69.5	49.50	0		0	0
7	0.6730	2024	111	111	74.70	0		0	0
8	0.6360	2025	104	104	66.14	0		0	0
9	0.6010	2026	125.5	125.5	75.43	0		0	0
10	0.5680	2027	40	40	22.72	0		0	0
11	0.5367	2028		0	0	141.82	210.46	352.28	189.08
12	0.5072	2029		0	0	0	210.46	210.46	106.75
13	0.4793	2030		0	0	0	210.46	210.46	100.87
14	0.4529	2031		0	0	0	210.46	210.46	95.33
15	0.4280	2032		0	0	0	210.46	210.46	90.08
16	0.4045	2033		0	0	0	210.46	210.46	85.13
17	0.3822	2034		0	0	0	210.46	210.46	80.45
18	0.3612	2035		0	0	0	210.46	210.46	76.02
19	0.3414	2036		0	0	0	210.46	210.46	71.84
20	0.3226	2037		0	0	0	210.46	210.46	67.89

[표 4.26] 경제성 분석 결과 (상용화 부문)

연도	지상자 설치비용	차상자 설치비용	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	통행시간 절감편익 (첨두)	통행시간 절감편익 (준첨두)	운영비용 절감편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2028	876.448	973.14	1849.588	992.72				0	0
2029					44.82	159.84	129.18	333.84	169.32
2030					44.82	159.84	129.18	333.84	160.01
2031					44.82	159.84	129.18	333.84	151.21
2032					44.82	159.84	129.18	333.84	142.89
2033					44.82	159.84	129.18	333.84	135.04
2034					44.82	159.84	129.18	333.84	127.61
2035					44.82	159.84	129.18	333.84	120.59
2036					44.82	159.84	129.18	333.84	113.96
2037					44.82	159.84	129.18	333.84	107.69
2038					44.82	159.84	129.18	333.84	101.77
2039					44.82	159.84	129.18	333.84	96.17
2040					44.82	159.84	129.18	333.84	90.88
2041					44.82	159.84	129.18	333.84	85.88
2042					44.82	159.84	129.18	333.84	81.16
2043					44.82	159.84	129.18	333.84	76.69
2044					44.82	159.84	129.18	333.84	72.48
2045					44.82	159.84	129.18	333.84	68.49
2046					44.82	159.84	129.18	333.84	64.72
2047					44.82	159.84	129.18	333.84	61.16
2048					44.82	159.84	129.18	333.84	57.80

4절 타당성 검토 종합

1. 기술개발투자의 시급성

- 국내 열차제어시스템의 개발은 국외 기술을 국산화 하는 방향으로 진행되어 왔으며 이로 인하여 연구개발 시점에서 이미 상당한 국내 시장이 국외기술로 도입하여 운영되고 있는 상황이며 때문에 연구개발 종료이후에도 실용화가 어려운 실정임.
- 또한 그 동안 연구개발이 실용화 중심의 단기과제에 집중하고 있어 분야별 핵심원천기술 확보에 어려움이 존재함.
- 신규 열차제어시스템의 개발은 기존에 존재하지 않았던 새로운 철도운영을 비롯한 제어 패러다임에 대한 장기적인 관점에서의 핵심원천기술에 대한 연구개발을 추진하는 것이 타당함.
- 국외의 경우 이미 축적된 기술과 경험을 바탕으로 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 연구개발을 활발히 진행 중에 있으며 체계적인 단계별 연구개발 로드맵을 수립하고 장기적인 관점에서 천문화적인 연구개발비와 인력에 대한 집중적인 투자를 계획하고 있음.
- 미래 차세대 열차제어시스템 분야에서 국외 선진국의 기술중속으로부터 벗어나기 위해서는 차세대 CBTC 기술인 열차자율주행 관련 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심원천기술개발이 시급히 필요한 실정임.
- 현재의 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 CBTC 기술은 이미 30년전에 고안된 기술임.
- 반면 신규 개발하고자 하는 열차자율주행제어기술의 경우 아직 국외에서도 연구개발을 일부 진행 중이거나 계획 중에 있는 최선의 기술로서 연구개발이 완료되는 경우 세계 최고 수준의 차세대 열차제어기술을 확보할 수 있음.
- 미래 차세대 CBTC 기술인 열차자율주행시스템에 대한 원천기술에 대한 선점과 함께 성공적인 연구개발이 이루어지도록 장기적인 정부차원의 투자와 지원이 시급히 필요한 상황임.

2. 정부 상위계획과의 부합성

- 국내의 경우 여러 정책동향에서 추구하는 목표는 철도와 첨단 ICT 기술을 접목하여 비용절감과 수송력 향상 그리고 안전성과 편리성 향상으로 볼 수 있음.
- 열차제어시스템 기술은 기존의 지상/전기/HW 중심의 열차제어기술에서 차상/통신/SW 중심으로 변화되고 있으며 개발하고자 하는 열차자율주행시스템 기술은 열차간 통신기반으로 완전한 차상중심의 열차제어기술로써 지능화된 열차간 협업을 통해 수송력 향상, 승객서비스 향상, 비용절감, 안전성 향상을 목표로 함.

- 따라서 국내외 정책동향에서 추구하고자 하는 중장기적 목표와 부합하고 있음을 확인할 수 있다.

3. 경제적 타당성 검토

- 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였다. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2028년에서 2037년까지 10년 간으로 분석하였으며, 상용화에 의한 편익발생기간은 내구연한을 고려하여 2028년에서 2048년까지 20년 간으로 분석하였음.
- 경제성 분석 결과, B/C는 연구개발 부문과 상용화 부문을 고려하여 분석을 수행하였으며 관련 B/C가 각각 2.11과 2.45로 분석되었음

4. 정부투자 미지원시 문제점

- 인구의 도시집중화가 지속되고 있으며 통계학자들의 예측에 따르면 2030년에 전세계 인구의 60%가 도시에 집중하게 되며 이로인해 도시와 도시 간 또는 도시내에서 철도 이용객의 증가가 요구됨.
 ※ 출처: United Nations, World Urbanization Prospects: The 2005 Revision (2006) and Carl Haub, 2007 World Population Data Sheet.
- 하지만 현재의 열차제어시스템은 지상중심의 수동적인 제어방식으로 인해 다음과 같은 한계를 가짐.
 - 지상중심의 제어방식으로 인해 일정 수준이상의 수송력 증가에는 한계가 발생되며 결국 막대한 비용을 투자하여 노선 증축이 필요한 상황임.
 - 지상제어설비의 구축비용이 상대적으로 크며 노선의 증축 또는 추가 열차 투입이 발생하는 경우 지상제어설비의 증설이 불가피함.
 - 열차의 분리결합시 운영자 수동 취급으로 인한 시간소요와 사고발생 위험성이 증가됨.
 - 열차의 운영중 이례상황 발생시 운영자 수동취급으로 인한 2차사고 발생의 위험성이 증가됨.
 - 지선의 열차투입이 상대적으로 적음으로 인해 승객의 편의성 저하
- 새로운 열차제어시스템은 단기간에 개발이 어렵기 때문에 장기적인 정부차원의 투자와 지원이 요구됨.
- 만약 적시에 새로운 열차제어시스템에 대한 기술개발을 하지 않았을 경우 기존의 열차 제어시스템의 경우에서와 같이 또 다시 국외의 선진 제작사의 기술종속이 불가피하며 막대한 구축비용 및 유지보수비용이 발생함.

제5장 자원투입계획

1절 연구시설 및 장비 투입계획

지능형 열차자율주행시스템 기술개발과 관련하여 총 5세부 11개 제안기술 도출하여 인력, 장비 및 소요예산 산정을 연구개발의 단계, 과제성격, 연구기간, 연구내용, 개발목표의 수준을 고려하여 연구비 분배를 수행하였다.

1단계(5년)는 핵심기술개발에 필요한 연구시설 및 장비비 구입과 프로토타입 제작을 위한 시제품 제작비의 비중이 상대적으로 높게 책정하였다. 반면 2단계(5년)는 실용화기술개발에 필요한 시제품 제작과 테스트 베드 구축비의 비중이 높다. 테스트 베드는 열차제어시스템의 간격제어 시험이 용이하도록 최소 시험열차 2편성 확보 및 개조와 시험노선 10km 이상을 대상으로 차·지상 설비구축을 포함한다.

[표 5.1] 세부과제별 연구시설 및 장비 투입계획

(백만원)

투입계획			연구시설 및 장비목록		용도	비용		비고
과제	단계	연차	품명			수량	단가	
1세부	1-1	1	1	열차제어시스템 설계 TOOL	시스템 설계용	1	50	
			2	시스템 분석 TOOL	시스템 알고리즘 분석용	2	10	
			3	열차제어시스템 개발TOOL	시스템 개발용	2	200	
				프로토타입 제작	프로토타입 H/W, S/W	1	200	
			4	프로토타입 제작	프로토타입 H/W, S/W	1	200	
			5	열차제어시스템 테스트 TOOL	시스템 테스트용	2	50	
				프로토타입 검증용 테스터	프로토타입 시험용	1	100	
		2	6	열차제어시스템 시제품 개발 TOOL	임베디드 시스템 개발용	3	30	
			6~9	열차제어시스템 안전성 평가비용	안전성 평가 및 인증용	1	600	
			7	열차제어시스템 OS	임베디드 시스템 탑재용	1	200	
				시제품 단품 시험비	공인기관 시험용	1	10	
			8	시스템 시제품	시제품 H/W, S/W 제작	2	300	
			9	시스템 시제품	시제품 H/W, S/W 제작	2	300	

투입계획			연구시설 및 장비목록		용도	비용		비고
과제	단계	연차	품명			수량	단가	
	1-2	1	1 열차제어시스템 설계 TOOL		시스템 설계용	1	50	
			2 시스템 분석 TOOL		시스템 알고리즘 분석용	2	10	
			3 열차제어시스템 개발TOOL		시스템 개발용	2	200	
			프로토타입 제작		프로토타입 H/W, S/W	1	300	
			4 프로토타입 제작		프로토타입 H/W, S/W	1	300	
			5 열차제어시스템 테스트 TOOL		시스템 테스트용	2	50	
		2	프로토타입 검증용 테스트		프로토타입 시험용	1	100	
			6 열차제어시스템 시제품 개발 TOOL		임베디드 시스템 개발용	3	30	
			6~9 열차제어시스템 안전성 평가비용		안전성 평가 및 인증용	1	600	
			7 열차제어시스템 OS		임베디드 시스템 탑재용	1	200	
			시제품 단품 시험비		공인기관 시험용	1	10	
			8 시스템 시제품		시제품 H/W, S/W 제작	2	200	
			9 시스템 시제품		시제품 H/W, S/W 제작	2	200	
	1-3	1	1 열차제어시스템 설계 TOOL		시스템 설계용	1	50	
			2 열차제어시스템 개발TOOL		시스템 개발용	1	200	
			프로토타입 제작		프로토타입 H/W, S/W	1	300	
			3 열차제어시스템 테스트 TOOL		시스템 테스트용	1	50	
			4 열차제어시스템 시제품 개발 TOOL		임베디드 시스템 개발용	1	30	
			시스템 시제품		시제품 H/W, S/W 제작	2	50	
			5 시스템 시제품		시제품 H/W, S/W 제작	2	50	
	1-4	1	1 열차제어시스템 설계 TOOL		시스템 설계용	1	50	
			2 열차제어시스템 개발TOOL		시스템 개발용	2	200	
			3 시스템 분석 TOOL		시스템 알고리즘 분석용	2	20	
			프로토타입 제작		프로토타입 H/W, S/W	1	50	

투입계획			연구시설 및 장비목록		용도	비용		비고
과제	단계	연차	품명			수량	단가	
			4	프로토타입 제작	프로토타입 H/W, S/W	1	50	
			5	프로토타입 검증용 테스터	프로토타입 시험용	1	50	
		2	6	열차제어시스템 시제품 개발 TOOL	임베디드 시스템 개발용	2	30	
			6~9	열차제어시스템 안전성 평가비용	안전성 평가 및 인증용	1	400	
			7	열차제어시스템 OS	임베디드 시스템 탑재용	1	200	
				시제품 단품 시험비	공인기관 시험용	1	10	
			8	시스템 시제품	시제품 H/W, S/W 제작	2	100	
			9	시스템 시제품	시제품 H/W, S/W 제작	2	100	
2세 부	2-1	1	1	T2T 형상관리 TOOL	T2T 프로토타입 형상관리용	10	2.5	
			2	채널 에뮬레이터	T2T 프로토타입 운영용	1	200	
				T2T 형상관리 TOOL	T2T 프로토타입 형상관리용	10	2.5	
			3	기지국 에뮬레이터	T2T 프로토타입 운영용	1	200	
		2	6	기지국	기지국 운영용	2	400	
				T2T 통신 기지국	기지국 개발	1	250	
				T2T 차상 모뎀 칩 제작	T2T 차상 모뎀 칩 개발	1	1,000	
			7	EPC	EPC 운영용	1	800	
				T2T 통신 기지국	기지국 개발	1	250	
				T2T 차상 모뎀 칩 제작	T2T 차상 모뎀 칩 개발	1	1,500	
			8	T2T 차상 모뎀 칩 제작	T2T 차상 모뎀 칩 개발	1	1,500	
	2-2	2	6	신호교란 검지 시스템	시스템 제작	1	100	
				제어/통신 보안 모듈	모듈 제작	1	100	
			7	신호교란 검지 시스템	시스템 제작	1	100	
				제어/통신 보안 모듈	모듈 제작	1	100	
3세 부	3-1	1	1	스마트 관제 시스템 최적화 라이브러리	시스템 최적화용	2	20	
			3	스마트 관제 시스템 서버	스마트 관제 시스템 프로토타입 관리 서버	1	35	
				시스템 시제품	시제품 제작	1	250	
			4	스마트 관제 시스템 단말	관제 시스템 운영용	2	4	
				시스템 시제품	시제품 제작	1	250	

투입계획			연구시설 및 장비목록		용도	비용		비고
과제	단계	연차	품명			수량	단가	
			5	스마트 관제 시스템 DBMS	관제 시스템 데이터베이스 관리 서버	2	10	
				시스템 시제품	시제품 제작	1	300	
		2	6	스마트 관제 시스템 미들웨어	관제 시스템 미들웨어 서버	2	5	
	3-2	1	2	스마트 관제 시스템 최적화 라이브러리	시스템 최적화용	2	20	
				시스템 시제품	시제품 제작	1	100	
			3	시스템 시제품	시제품 제작	1	100	
			4	시스템 시제품	시제품 제작	1	300	
	4세 부	4-1	1	1	시스템 분석 TOOL	시스템 알고리즘 분석용	2	10
2				운영시뮬레이션 프로그램	시뮬레이션 S/W	1	100	
3				알고리즘 S/W	제어 알고리즘 S/W	1	100	
4				알고리즘 분석 프로그램 설계	알고리즘 분석용	1	50	
5				알고리즘 분석 프로그램 제작	알고리즘 분석용	1	150	
2			6	시스템 설계 TOOL	시스템 설계용	2	50	
			6~9	가상열차편성 안전성 평가비용	안전성 평가 및 인증용	1	600	
			7	프로토타입 제작	프로토타입 H/W, S/W	1	150	
			8	프로토타입 제작	프로토타입 H/W, S/W	1	150	
			9	프로토타입 검증용 테스터	프로토타입 시험용	1	300	
	10	프로토타입 테스트	프로토타입 시험용	1	150			
5세 부	5-1	1	3	통합 시뮬레이션 프로그램	시스템 통합 시뮬레이션용	1	150	
			4	HILS 장비	시스템 통합 시뮬레이션용	1	200	
			5	계측센서	통합 시스템 계측용	10	2	
	5-2	2	7	시험차량 확보 및 개조	성능평가용 차량	1	2,000	
			8	시험차량 확보 및 개조	성능평가용 차량	1	2,000	
			9	설비 구축	통합 시스템 테스트베드용	1	5,500	
				계측 시스템	통합 시스템 현장 계측용	1	150	
			10	시험선 운영	시험 차량 운영용	1	400	
시험 평가	시험 차량 평가용	1		50				

2절 인력 투입계획

본 과제의 단계별 추진전략에 따라 인력 투입계획을 수립하였다. 1단계는 핵심요소기술개발에 필요한 알고리즘 개발과 프로토타입 제작 측면에서 소요인력을 분석하였으며, 2단계는 실용화기술개발에 필요한 시스템 시제품 제작과 테스트베드 구축과 시험평가 측면에서 소요인력을 분석하였다.

세부적으로 1단계의 경우 알고리즘 설계와 프로토타입 제작기간에 투입인원을 집중하여 연구개발을 수행하고 2단계의 경우 시스템 시제품 제작과 테스트베드 구축 및 시험평가 기간에 많은 투입인원을 배정하였다.

세부과제별 인력투입계획은 [표 5.2]에 제시하였다. 책임연구원급(교수급) 투입인원을 가정하여 연차·단계별 인력투입계획을 수립하였다.

[표 5.2] 세부과제별 연차·단계별 인력투입계획

구분	연구내용	1단계					2단계				
		1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
1세부	1-1	3	5	5	5	5	7	7	7	5	5
	1-2	3	3	5	5	3	5	5	5	3	3
	1-3	2	3	3	3	3					
	1-4	3	3	3	3	3	5	5	5	3	3
1세부 소계		71					73				
2세부	2-1	11	11	11	11	11	12	12	12	15	15
	2-2	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8
2세부 소계		85					106				
3세부	3-1	5	5	10	5	6	7	7	7	6	6
	3-2	4	4	4	5	5					
3세부 소계		53					33				
4세부	4-1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4세부 소계		23					25				
5세부	5-1	5	5	5	5	5					
	5-2						5	5	7	7	7
5세부 소계		25					31				
합계		257					268				

3절 소요예산 투입계획

본 과제의 연차·단계별 연구개발 소요예산을 세부과제별로 제시하였다. 1단계 총 예산은 260억 원이며 2단계 총 예산은 450억 원이 소요되는 것으로 분석되었다. 1단계는 핵심기술에 대한 연구개발 성격이므로 연구개발 소요예산은 정부출연금으로 진행한다. 2단계는 실용화 기술에 대한 연구개발 성격이므로 참여기업을 대상으로 출연금에 해당하는 매칭을 부여한다.

1. 총 연구비

[단위:백만원]

과제명 \ 연차	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	총 연구비
지능형 열차 자율주행시스템 기술개발	3,400	4,900	6,650	5,950	5,100	6,950	11,100	10,400	12,550	4,000	71,000
	1단계 : 26,000					2단계 : 45,000					

2. 세부과제별 연구비

[단위:백만원]

세부과제명 \ 연차	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	총 연구비 (민간부담)
1세부 열차간 협업기반 열차자 율주행제어 기술개발	1,000	1,500	2,500	2,000	1,500	1,800 (450)	2,700 (675)	3,200 (800)	3,000 (750)	1,300 (325)	20,500 (3,000)
2세부 열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발	800	1,200	1,200	1,000	1,000	3,500 (875)	4,000 (1,000)	2,800 (700)	500 (125)	500 (125)	16,500 (2,825)
3세부 열차자율주행기반 스마 트관제 기술개발	800	1,100	1,600	1,500	1,300	600 (150)	600 (150)	600 (150)	600 (150)	600 (150)	9,300 (750)
4세부 가상열차편성 기술개발	400	600	650	650	700	700 (175)	1,000 (250)	1,000 (250)	1,000 (250)	600 (150)	7,300 (1,075)
5세부 열차자율주행시스템 시 험평가 기술개발	400	500	700	800	600	350	2,800	2,800	7,450	1,000	17,400
계	3,400	4,900	6,650	5,950	5,100	6,950 (1,650)	11,100 (2,075)	10,400 (1,900)	12,550 (1,275)	4,000 (750)	71,000 (7,650)

3. 세부기술별 소요예산

□ 1세부과제 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

[단위:백만원]

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산	
A	열차간 협 업기반 열 차자율주 행제어 기 술개발	A-1	차상중심 분산형 열차방호 기술개발	A-1-1	분산형 열차방호시스템 프로토타입 설계	572.5	
				A-1-2	분산형 열차방호시스템 프로토타입 개발	1,455.0	
				A-1-3	분산형 열차방호시스템 프로토타입 검증 및 보완	482.5	
				A-1-4	분산형 열차방호시스템 시제품 설계	683.3	
				A-1-5	분산형 열차방호시스템 시제품 개발	2,280.0	
				A-1-6	분산형 열차방호시스템 시제품 시험평가	1,713.3	
		A-1 소계					7,186.6
		A-2	차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발	A-2-1	분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 설계	512.5	
				A-2-2	분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 개발	1,655.0	
				A-2-3	분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	422.5	
				A-2-4	분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 설계	623.3	
				A-2-5	분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 개발	1,960.0	
				A-2-6	분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 시험평가	1,393.3	
		A-2 소계					6,566.6
		A-3	상황인지를 위한 가상인터페이스 기 술개발	A-3-1	상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 설계	227.5	
				A-3-2	상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 개발	495.0	
				A-3-3	상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 검증 및 보완	285.0	
				A-3-4	상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 설계 및 개발	430.0	
				A-3-5	상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 시험평가	322.5	
				A-3 소계			
		A-4	열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발	A-4-1	상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 설계	692.5	
				A-4-2	상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 개발	675.0	
				A-4-3	상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	272.5	
				A-4-4	상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 설계	493.3	
				A-4-5	상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 개발	1,660.0	
				A-4-6	상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 시험평가	1193.3	
		A-4 소계					4,986.6

□ 2세부과제 : 열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발

[단위:백만원]

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산	
B	열차자율 주행기반 통신 및 보안 기술개발	B-1	열차간 직접적인 통신기술개발	B-1-1	T2T통신표준화연구	1,090.2	
				B-1-2	T2T통신프로토타입제작	1,365.0	
				B-1-3	열차자율주행기반T2T통신프로토콜S/W개발	916.8	
				B-1-4	열차자율주행기반T2T통신을위한망인프라기술개발	3,335.0	
				B-1-5	T2T통신을위한차상단말모뎀제작	5,043.0	
				B-1-6	열차자율주행을위한T2T통신현장통합시험및보완	378.0	
		B-1 소계					12,128.0
		B-2	통신보안기술개발	B-2-1	물리적신호교란에강인한보안원천기술개발	914.0	
				B-2-2	물리적신호교란에강인한보안시스템제작및검증	1,284.0	
				B-2-3	사이버공격에강인한보안원천기술개발	914.0	
				B-2-4	사이버공격에강인한보안모듈제작및시험	1,260.0	
		B-2 소계					4,372.0

□ 3세부과제 : 열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발

[단위:백만원]

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산	
C	열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발	C-1	열차간 직접적인 통신기술개발	C-1-1	스마트관제시스템핵심알고리즘개발	1,385.0	
				C-1-2	스마트관제시스템프로토타입개발	2,279.0	
				C-1-3	스마트관제시스템시험/평가및보완	3,000.0	
		C-1 소계					6,664
		C-2	통신보안기술개발	C-2-1	스마트스케줄링S/W기본및상세설계	350.0	
				C-2-2	스마트스케줄링핵심알고리즘개발	1,055.0	
				C-2-3	스마트스케줄링S/W프로그램개발	1,231.0	
		C-2 소계					2,636

□ 4세부과제 : 가상 열차편성 기술개발

[단위:백만원]

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산	
D	가상열차편성기술개발	D-1	가상열차연결제어기술개발	D-1-1	가상열차편성 연결제어 운영환경 및 기초 알고리즘 연구	1,000.0	
				D-1-2	가상열차편성연결제어알고리즘정의및구현	1,300.0	
				D-1-3	가상열차편성연결제어알고리즘시물레이션및보완	700	
				D-1-4	가상열차편성연결제어시스템프로토타입설계	700	
				D-1-5	가상열차편성연결제어시스템프로토타입개발	2,000	
				D-1-6	가상열차편성연결제어시스템프로토타입검증및보완	1,600	
				D-1 소계			

□ 5세부과제 : 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발

[단위:백만원]

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산	
E	열차자율주행 시스템 시험평가 기술개발	E-1	Lab.기반성능평가 기술개발	E-1-1	Lab.기반성능평가방안및계획수립	400	
				E-1-2	Lab.기반성능평가항목및방법도출	500	
				E-1-3	Lab.기반성능평가통합시물레이터설계	700	
				E-1-4	Lab.기반성능평가통합시물레이터개발	800	
				E-1-5	시스템통합및시물레이션기반시험평가	600	
		E-1 소계					3,000
		E-2	Onsite기반성능평가 기술개발	E-2-1	Onsite기반성능평가방안및계획수립	350	
				E-2-2	Onsite기반성능평가항목및방법도출	2,800	
				E-2-3	Onsite기반차상및지상테스트베드설계	2,800	
				E-2-4	Onsite기반차상및지상테스트베드구축	7,450	
				E-2-5	시스템통합및현장시험평가	1,000	
		E-2 소계					14,400

4절 정부지원조건

본 연구개발과제는 차세대 무선통신기반 열차제어시스템인 열차자율주행시스템에 대한 기술을 선도를 목표로 단계별로 추진한다. 즉, 국내 철도신호통신 산업의 기술성숙도와 본 연구개발과제에서 개발하고자하는 기술의 도전성과 개발규모를 고려했을 때 1단계는 핵심요소기술개발 이후 2단계 실용화 연구개발을 추진한다.

1단계 핵심기술개발(5년)의 경우 전문연구원과 학계를 중심으로 연구추진체계를 구성하여 1단계 핵심기술개발에 소요되는 연구개발비는 전액 정부출연금으로 수행한다. 2단계 실용화기술개발(5년)의 경우 실용화를 위한 시스템 개발을 위해 추가로 제작사와 운영기관을 참여시켜 연구를 진행하며 2단계 연구개발에 참여하는 참여기업은 해당 세부과제에 책정된 출연금에 대한 매칭을 부담한다.

본 연구개발과제에서 열차자율주행시스템 안전성 평가 및 인증에 필요한 평가비는 정부출연금으로 지원하되 안전성 활동과 관련된 컨설팅 비용은 해당 참여기업의 기술수준에 따라 달라질 수 있으므로 자체적으로 부담하는 것이 바람직하다.

제6장 과제공모 방안

본 연구개발 과제의 도전적인 연구내용을 감안할 때 1단계 핵심기술개발(5년) 과제의 성공적인 연구성과 도출 이후 별도의 2단계 실용화기술개발(5년)을 진행하는 것이 바람직하다. 따라서 각 단계별 과제공모를 위해 핵심기술개발 단계의 과제제안요구서와 실용화기술개발 단계 과제제안요구서를 제시하였다.

1단계 핵심기술개발 단계는 도전적인 연구내용에 대한 핵심적인 원천기술개발을 수행하며 과제의 성격을 감안할 때 과제의 참여기관은 전문연구원과 학계를 중심으로 연구추진체계를 구성하는 것이 바람직하다.

1단계 핵심기술개발을 성공적으로 수행하기 위해서는 다양한 분야의 전문인력이 참여하는 연구단을 구성하고 국내 기술수준과 해외의 기술동향을 고려해 연구개발을 수행한다. 특히 개발하고자 하는 핵심기술분야에 국내 전문가 자문 및 의견수렴은 물론 국외 연구기관과의 공동 연구를 수행할 수 있도록 협력체계를 구축한다. 1단계 핵심기술개발의 경우 도전적인 연구내용과 당장의 실용화를 기대할 수 없다는 점을 고려하여 소요되는 연구개발비는 전액 정부출연금으로 수행하는 것이 바람직하다.

2단계 실용화기술개발 단계는 개발된 기술의 실용화를 위해 과제 수행체계에 추가로 제작사와 운영기관을 참여시켜 연구추진체계를 구성하는 것이 바람직하다.

2단계 실용화기술개발을 성공적으로 수행하기 위해서는 연구개발 초기단계부터 개발 성과물의 실 수요자인 운영기관의 사용자 요구사항을 반영하여 기술 개발을 수행하며 운영기관에서 개발된 성과물을 시험하고 평가할 수 있도록 세부과제 5에 참여함이 바람직하다. 특히 세부과제 5의 경우 테스트 베드를 구축하고 시험평가계획의 수립과 시험평가계획에 따른 개발품의 시험평가를 수행하게 되므로 운영기관이 세부과제 5의 주관기관으로 참여함이 바람직하다.

2단계 실용화기술개발에 참여하는 참여기업은 해당 세부과제에 책정된 출연금에 대한 매칭을 부담한다. 하지만 2단계 실용화기술개발 단계에서 세부과제 4의 가상열차편성 기술개발의 경우 예외적으로 목표 TRL이 5수준으로 실용화 가능단계가 아니므로 해당 세부과제는 국고지원으로 수행함이 바람직하다. 또한 세부과제 5의 경우도 테스트 베드구축과 시험평가를 담당하는 세부과제 성격상 국고지원으로 수행함이 바람직하다.

또한 본 연구개발과제에서 열차자율주행시스템 안전성 평가 및 인증에 필요한 평가비는 정부출연금으로 지원하되, 안전성 활동과 관련된 컨설팅 비용은 해당 참여기업의 기술보유수준에 따라 달라질 수 있으므로 자체적으로 부담하는 것이 바람직하다.

1절 핵심기술개발 단계 과제제안요구서

1. 연구단 총괄

연구과제명	지능형 열차자율주행시스템 핵심기술개발
1. 연구 개발목표	○ 열차간 협업기반 열차자율주행제어 핵심기술개발(TRL 5) - 열차 최소 운전시격 30% 단축기술 개발 - 지상설비 단순화를 통한 비용 20% 절감기술 개발 - 차세대 무선통신기반 열차제어 핵심원천기술 확보 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증 ○ 열차자율주행기반 통신 및 보안 핵심기술개발(TRL 5) - T2T 최대 통신 지연시간 < 50 ms - 전송 거리 : 1 km 이상 - 최소 수신 신뢰도 : 99% 이상 - IEC 62443 기반 철도보안체계 구축 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증 ○ 열차자율주행기반 스마트관제 핵심기술개발(TRL 5) - 열차 지연확산 20% 개선 - 실시간 수요변화 대응 열차시격 조정 최적화기술 확보 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증 ○ 가상열차편성 기초원천기술 개발(TRL 4) - 가상결합을 통한 수송량 50% 증대기술 개발 - 열차분리결합 시간 단축 : 1분 이내 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증 ○ 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발(TRL 5) - Lab 기반 성능평가 핵심기술개발
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
□ 연구개발 필요성	○ 수송력(Capacity) 측면 - 기존의 CBTC와 같은 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시격을 90초까지 단축 가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시격의 단축에 있어서 한계를 가짐. - 이러한 한계를 극복하기 위해서는 제어 패러다임의 변화가 필요하며 선행

열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함.

- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 후행열차와 선행열차 간 추돌 방지를 위해 반드시 확보해야하는 안전간격의 대부분은 열차의 제동거리이며 열차의 속도가 높을수록 확보해야하는 안전간격이 증가하여 노선의 수송량 증대에 한계가 발생함.
- 따라서 열차 편성 간 안전간격을 열차의 제동거리 이하로 줄임으로써 노선의 수송량을 극대화 할 수 있도록 주행 상황에서 자유로운 열차편성간 가상연결 및 분리 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.

○ 설비투자비(Cost) 측면

- 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상 ATP, EIS 등의 지상설비가 반드시 필요하며 지상에서 관할 영역의 모든 열차를 관리하게 되므로 일정 수의 투입열차 이상에서는 처리용량에 한계가 발생됨. 따라서 일정구간 또는 처리용량에 따라 설비의 증설이 필요함
- ※ IEEE 1474.1 CBTC FRS¹⁷⁾의 경우 지상 ATP 최대 처리용량을 10에서 40편성으로 규정하였으며 이를 초과시 지상 ATP를 증설하여야 함
- 기존 지상중심 무선통신열차제어시스템의 지상 ATP, EI 등의 지상설비 없이 열차간 제어정보 교환을 통해 안전한 열차운행이 가능한 열차자율주행 기술개발이 필요함

○ 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면

- 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상제어시스템의 처리 용량으로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성 또한 열차와 열차사이 연결과 분리는 물리적 연결기를 통해서만 가능하여 유동적인 수송수요에 대응하기 어려운 구조임.
- 특히 기존의 물리적 연결기의 경우 연결과 분리에 상당한 소요시간이 발생되며 운영자 인적 오류에 의한 사고발생이 빈번하게 발생됨.
- 따라서 노선의 확장 또는 투입열차의 증대 및 유동적인 수송수요 등의 운영상의 변화에 대응이 가능하도록 주행 중 연결과 분리가 자유로운 열차자율주행 기술개발이 필요함.
- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템의 경우 열차의 운행 중 사고 및 고장 등의 이례상황 발생 시 관제의 운영자가 수동으로 열차운행을 조작함으로써 신속한 대응이 불가능하고 인적오류의 위험이 존재함.
- 따라서 주행상황에서 발생하는 여러 가지 이례상황 발생 시 열차 간 자율협업기반 상황인지 및 판단을 통해 열차 스스로 자신의 주행경로를 재설정하여 정시성 보장 및 스케줄을 준수하기 위한 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내 열차제어시스템 기술개발은 국내철도산업의 한계로 인해 정부주도의 연구개발사업을 통해 수행되고 있으며 최근 한국형 무선통신기반 열차제어시스템을 성공적으로 개발하였음.
- 하지만 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 열차자율주행기술과 같은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심기술개발 단계에서부터 장기적인 지원이 필요함.

○ 국외 기술동향

- 유럽은 일찍이 선진 제작사를 중심으로 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 기술을 확보하였으며 이러한 기술력을 바탕으로 전세계 철도신호시장을 점유하고 있음. 최근에는 세계 철도시장에서의 입지를 계속해서 굳히기 위해 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 활발한 연구개발을 수행 중에 있음.
- (Alstom Urbalis Fluence) 최근 유럽 Alstom의 경우 지난 2014년부터 기존의 CBTC와 같은 지상중심 무선통신기반열차제어시스템의 한계를 극복하기 위해 차세대 CBTC Solution인 Urbalis Fluence를 개발 중에 있으며 이는 세계최초 train-centric CBTC로서 열차 간 통신을 통해 최소 운전시격을 60초까지 단축이 가능함.
- (Shift2Rail) Shift2Rail은 유럽의 선진제작사 공동 프로젝트로 열차제어시스템 외에도 다양한 분야에 대한 연구를 진행하고 있으며 특히 선로의 용량 즉, 수송량을 획기적으로 증대하면서 노선의 운영자 또는 승객에게 높은 수준의 서비스를 목표로 열차 가상연결(Virtual Coupling)에 대한 연구를 2018년부터 수행예정임.
- (중국 NGCTCS) 유럽의 NGTCS를 기초로하여 중국은 자국의 열차제어시스템 개발방향으로 NGCTCS를 수립하였으며 열차간 통신기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 반영하고 있음.
- (DLR Next Generation Train) 독일 Aerospace Center DLR에서는 차세대 열차 프로젝트의 일환으로 열차 가상연결에 대한 연구를 수행 중에 있음.
- (Thales Autonomous Train) 유럽의 Thales는 열차스스로 전방상황을 인지하고 주행여부를 판단할 수 있는 자율주행 열차에 대한 연구개발을 수행 중에 있음.

3. 연구개발 내용

○ 열차간 협업기반 열차자율주행제어 핵심기술개발

- 차상중심 분산형 열차방호 핵심기술개발
- 열차간 연결 무결성 확보기술 알고리즘 개발

- 차상중심 분산형 열차간격제어 알고리즘 개발
- 차상중심 분산형 열차방호시스템 프로토타입 개발 및 검증
- 국제 개발규격에 따른 안전성 활동
- 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 핵심기술개발
- 차상중심 분산형 진로 기술개발
- 차상중심 분산형 분기제어 기술개발
- 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 개발 및 검증
- 국제 개발규격에 따른 안전성 활동
- 상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발
- 가상인터페이스 유무선 통신체계 개발
- 가상인터페이스 통신프로토콜 개발
- 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 핵심기술개발
- 상황인지 운영시나리오 개발
- 상황인지에 따른 판단/제어 기술개발
- 국제 개발규격에 따른 안전성 활동
- 적용성 향상을 위한 차량 및 인프라 목표성능사양 제시

○ 열차자율주행기반 통신 및 보안 핵심기술개발

- T2T 통신 관련 표준화 활동 진행
 - T2T 통신 요구사항 도출
 - T2T 관련 표준 선정 및 분석
 - T2T 관련 표준회의 참석 및 활동 진행
- T2T 통신 프로토타입 개발 및 검증
 - T2T 프로토콜 전체 계층 구조 설계 및 계층 간 인터페이스 정의
 - T2T 통신 물리계층 알고리즘 개발
 - T2T 통신 물리계층 표준 및 알고리즘 기본 구현
 - T2T 통신 상위계층 프로토콜 개발
 - T2T 통신 상위계층 표준 및 프로토콜 기본 구현
 - T2T 통신 물리계층 표준 및 알고리즘 상세 구현
 - T2T 통신 상위계층 표준 및 프로토콜 상세 구현
 - T2T 통신 프로토타입 제작 및 검증
- 통신 보안 프로토타입 개발 및 검증
 - 물리적 신호교란 취약성 분석
 - 사이버 공격 시나리오 분석
 - 물리적 신호 교란 검지 알고리즘 개발 및 검증
 - 물리적 신호 교란 보호 알고리즘 개발 및 검증
 - 제어/통신 시스템을 위한 보안 프로토콜 설계
 - 제어/통신 시스템을 위한 보안 프로토콜 개발
 - 사이버 공격 및 방어 시뮬레이터 제작 및 검증

- 열차자율주행기반 스마트 관제 핵심기술개발
 - 스마트 관제 시스템 프로토타입 개발
 - 임시 스케줄링 기반 운행조정 최적화 기술
 - 실시간 열차 경합 검지 및 해소 기술
 - 열차 지연확산 예측 관제 기술
 - 승객환승 최적화 관제 기술
 - 개인별 만족기반 관제 기술
 - 자율주행 차량 관제 기술
 - 가상편성 차량 분리/결합 관제 기술
 - 스마트 스케줄링 기술개발
 - 실시간 수요변화 대응 열차시격 조정 최적화 기술
 - 스케줄링 핵심알고리즘 성능 향상 기술
 - 열차-차량-승무원 통합 스케줄링 기술
 - 동적 용량조정 최적화 기술
 - 가상편성 차량운영 최적화 기술
 - 연계스케줄 동기화 기술
 - 환승불편 최소화 좌석할당 기술
- 가상열차편성 기초원천기술 개발
 - 가상열차 연결/해제 기초원천기술개발
 - 가상열차 연결/해제 제어기술개발
 - 고정밀 속도추종제어 기술개발
 - 가상열차편성내 열차무결성 확보 기초원천기술 개발
 - 가상열차편성내 안전간격 확보기술
 - 가상열차편성내 안전간격 보상기술
 - 가상열차편성 기초원천기술 프로토타입 개발 및 검증
 - 가상열차편성 알고리즘 검증을 위한 프로토타입 개발
 - 테스트 case에 따른 알고리즘 성능평가
 - 국제규격에 따른 안전성 활동
 - 적용성 향상을 위한 차량 및 인프라 목표성능사양 제시
- 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발
 - Lab. 기반 시험평가 기술개발
 - 통합시험평가 요구사항도출
 - 국제 개발규격에 따른 Lab. 기반 시험평가 방안 및 절차서 도출
 - Lab. 기반 시험평가를 위한 통합 시뮬레이터 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략	○ Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증 ○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 ○ 새로운 열차제어 및 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
□ 추진체계	○ 국내 철도, 열차제어, 통신 및 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행 ○ 원천기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영기관의 참여 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축
5. 최종성과물	
□ 주요 최종 성과물	○ 열차간 협업기반 열차자율주행제어 핵심기술개발 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 프로토타입 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 - 상황인지를 위한 가상인터페이스 - 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 - 개발관련 국제규격(IEC 62278, IEC 62279)에 따른 설계문서 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 보고서 ○ 열차자율주행기반 통신 및 보안 핵심기술개발 - T2T 통신 관련 표준화 활동보고서 - T2T 통신 프로토타입

- 통신 보안 프로토타입
- 열차자율주행기반 스마트 관제 핵심기술개발
 - 스마트 관제시스템 프로토타입
 - 스마트 스케줄링 기술
 - 개발관련 국제규격(IEC 62278, IEC 62279)에 따른 설계문서
- 가상열차편성 기초원천기술 개발
 - 가상열차편성 연결제어 핵심알고리즘
 - 가상열차편성 기초원천기술 검증용 프로토타입
 - 개발관련 국제규격(IEC 62278, IEC 62279)에 따른 설계문서
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 보고서
- 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발
 - Lab. 기반 시험평가 기술 및 시험평가 결과
 - Lab. 기반 시험평가를 위한 통합시뮬레이터

6. 기대효과 및 파급효과

- 기대효과
 - (운전시격 단축) 열차간 직접적인 간격제어로 운전시격 30% 단축과 이로 인해 철도 운영기관 운영수익 증대효과 및 이용자 통행시간 절감효과 기대
 - (설비투자비용 절감) 지상설비 절감을 통해 설비투자비용 및 유지보수비용 20% 절감기대
 - (운영자 편의성 향상) 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율 협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대. 또한 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
 - (안전성 향상) 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능. 또한 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능.
 - (승객 서비스 향상) 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대
- 파급효과
 - (타 분야 기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적 확보를 통해 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.
 - (4차산업 핵심기술 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을

선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련 - (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음 - (차세대 기술 확보) 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능 - (경쟁력향상) 세계 최초로 열차간 통신기반 열차자율주행제어 기술을 기술적으로 가능케 함으로써 국내 열차제어기술이 세계선도기술라는 인식과 함께 해외 경쟁력 확보 - (기타) 철도 이용객의 운전시각 단축을 통한 통행시간 절감에 따른 통행시간의 가치와 도로 이용객 수 감소로 인한 에너지 절감효과 안전성 향상을 통한 인적·물적 피해감소 등의 직간접 효과를 가짐.	
7. 연구개발기간 및 소요예산	
○ 총 연구기간 : 5년 ○ 총 연구개발비 : 26,000 백만원 - 1차년도 연구개발비 : 3,400 백만원 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능	
8. 기 타	

2. 1세부 과제 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

연구과제명	열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발
1. 연구 개발목표	○ 열차간 협업기반 열차자율주행제어 핵심기술개발(TRL 5) - 열차 최소 운전시격 30% 단축기술 개발 - 지상설비 단순화를 통한 비용 20% 절감기술 개발 - 차세대 무선통신기반 열차제어 핵심원천기술 확보 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발 필요성 ○ 수송력(Capacity) 측면 - 기존의 CBTC와 같은 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시격을 90초까지 단축 가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시격의 단축에 있어서 한계를 가짐. - 이러한 한계를 극복하기 위해서는 제어 패러다임의 변화가 필요하며 선행열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함. ○ 설비투자비(Cost) 측면 - 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상 ATP, EIS 등의 지상설비가 반드시 필요하며 지상에서 관할 영역의 모든 열차를 관리하게 되므로 일정 수의 투입열차 이상에서는 처리용량에 한계가 발생됨. 따라서 일정구간 또는 처리용량에 따라 설비의 증설이 필요함 ※ IEEE 1474.1 CBTC FRS¹⁸⁾의 경우 지상 ATP 최대 처리용량을 10에서 40편성으로 규정하였으며 이를 초과시 지상 ATP를 증설하여야 함 - 기존 지상중심 무선통신열차제어시스템의 지상 ATP, EI 등의 지상설비 없이 열차간 제어정보 교환을 통해 안전한 열차운행이 가능한 열차자율주행 기술개발이 필요함 ○ 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면 - 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상제어시스템의 처리 용량으로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성 또한 열차와 열차사이 연결과 분리는 물리적 연결기를 통해서만 가능하여 유동적인

수송수요에 대응하기 어려운 구조임.

- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템의 경우 열차의 운행 중 사고 및 고장 등의 이례상황 발생 시 관제의 운영자가 수동으로 열차 운행을 조작함으로써 신속한 대응이 불가능하고 인적오류의 위험이 존재함.
- 따라서 주행상황에서 발생하는 여러 가지 이례상황 발생 시 열차 간 자율협업기반 상황인지 및 판단을 통해 열차 스스로 자신의 주행경로를 재설정하여 정시성 보장 및 스케줄을 준수하기 위한 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내 열차제어시스템 기술개발은 국내철도산업의 한계로 인해 정부주도의 연구개발사업을 통해 수행되고 있으며 최근 한국형 무선통신기반 열차제어시스템을 성공적으로 개발하였음.
- 하지만 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 열차자율주행기술과 같은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심기술개발 단계에서부터 장기적인 지원이 필요함.

○ 국외 기술동향

- 유럽은 일찍이 선진 제작사를 중심으로 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 기술을 확보하였으며 이러한 기술력을 바탕으로 전세계 철도신호시장을 점유하고 있음. 최근에는 세계 철도시장에서의 입지를 계속해서 굳히기 위해 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 활발한 연구개발을 수행 중에 있음.
- (Alstom Urbalis Fluence) 최근 유럽 Alstom의 경우 지난 2014년부터 기존의 CBTC와 같은 지상중심 무선통신기반 열차제어시스템의 한계를 극복하기 위해 차세대 CBTC Solution인 Urbalis Fluence를 개발 중에 있으며 이는 세계최초 train-centric CBTC로서 열차 간 통신을 통해 최소 운전시격을 60초까지 단축이 가능함.
- (중국 NGCTCS) 유럽의 NGTCS를 기초로하여 중국은 자국의 열차제어시스템 개발방향으로 NGCTCS를 수립하였으며 열차간 통신기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 반영하고 있음.
- (Thales Autonomous Train) 유럽의 Thales는 열차스스로 전방상황을 인지하고 주행여부를 판단할 수 있는 자율주행 열차에 대한 연구개발을 수행 중에 있음.

3. 연구개발 내용

- 차상중심 분산형 열차방호 핵심기술개발
 - 열차간 연결 무결성 확보기술 알고리즘 개발
 - 차상중심 분산형 열차간격제어 알고리즘 개발
 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 프로토타입 개발 및 검증
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동
- 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 핵심기술개발
 - 차상중심 분산형 진로 기술개발
 - 차상중심 분산형 분기제어 기술개발
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 개발 및 검증
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동
- 상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발
 - 가상인터페이스 유무선 통신체계 개발
 - 가상인터페이스 통신프로토콜 개발
- 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 핵심기술개발
 - 상황인지 운영시나리오 개발
 - 상황인지에 따른 판단/제어 기술개발
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동
- 적용성 향상을 위한 차량 및 인프라 목표성능사양 제시

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
- Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발
 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증
 - 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
 - 새로운 열차제어 및 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도
 - 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용
 - 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
- 추진체계
- 국내 철도, 열차제어, 통신 및 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
 - 원천기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영기관의 참여
 - 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시

- 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
- 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음
- 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모
- 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고
- 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축
- 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물

- 주요 최종 성과물
- 열차간 협업기반 열차자율주행제어 핵심기술개발
 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 프로토타입
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입
 - 상황인지를 위한 가상인터페이스
 - 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입
 - 개발관련 국제규격(IEC 62278, IEC 62279)에 따른 설계문서

6. 기대효과 및 파급효과

- 기대효과
 - (운전시각 단축) 열차간 직접적인 간격제어로 운전시각 30% 단축과 이로 인해 철도 운영기관 운영수익 증대효과 및 이용자 통행시간 절감효과 기대
 - (설비투자비용 절감) 지상설비 절감을 통해 설비투자비용 및 유지보수비용 20% 절감기대
 - (운영자 편의성 향상) 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율 협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
 - (안전성 향상) 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능.
- 파급효과
 - (타 분야 기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적 확보를 통해 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.
 - (4차산업 핵심기술 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련
 - (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음

	- (차세대 기술 확보) 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능 - (경쟁력 향상) 세계 최초로 열차간 통신기반 열차자율주행제어 기술을 기술적으로 가능케 함으로써 국내 열차제어기술이 세계선도기술라는 인식과 함께 해외 경쟁력 확보 - (기타) 철도 이용객의 운전시각 단축을 통한 통행시간 절감에 따른 통행시간의 가치와 도로 이용객 수 감소로 인한 에너지 절감효과 안전성 향상을 통한 인적·물적 피해감소 등의 직간접 효과를 가짐.
7. 연구개발기간 및 소요예산	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 총 연구개발비 : 8,500 백만원 - 1차년도 연구개발비 : 1,000 백만원 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
8. 기 타	

3. 2세부 과제 : 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발

연구과제명	열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발
1. 연구 개발목표	○ 열차자율주행을 위한 T2T 통신기술 개발(TRL 5) - 최소사양(안) · T2T 최대 통신 지연시간 < 50 ms · 전송 거리 : 1 km 이상 · 최소 수신 신뢰도 : 99% 이상 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증 ○ 열차자율주행을 위한 T2T 보안기술 개발(TRL 5) - 최소사양(안) · IEC 62443 기반 철도보안체계 구축 · 철도제어시스템 통신망 공격에 대한 보안체계 구축 · 물리적 신호교란에 강인한 보안기술 개발 · 철도 보안 검증체계 개발 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발 필요성 ○ 차상중심 열차제어시스템으로의 변화를 위해 기존 통신 시스템과 다른 통신 시스템이 필요함 - 현재 대중교통을 위한 통신 표준으로서 D2D, V2X, V2V 등이 3GPP, IEEE 등에서 논의되고 있지만 대부분 도로교통 중심으로 표준화가 진행되고 있음 - 열차는 도로교통과는 또 다른 요구사항을 가지고 있지만 열차간 직접 통신을 위한 통신시스템은 현재 존재하지 않음 ○ 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 차상중심 열차제어시스템으로의 변화와 선로용량 증대 및 열차 운행의 자유도를 높이기 위해서는 차량 통신(T2T)의 전송지연 시간을 절감할 필요가 있음 - 기존 셀룰러 통신은 차량 통신을 위해서 기지국, EPC망 등을 거쳐서 통신을 진행하기 때문에 전송지연 시간이 수백 ms 단위임 - 차상중심 열차제어시스템으로의 변화를 위해서는 기존의 통신 시스템 방식보다 전송지연 시간을 최대한 줄일 필요가 있음 - 따라서 기지국, EPC망 등의 사용을 최대한 줄여서 전송지연 시간을 최소화하고 이를 통해 선로용량 증대 및 열차운행의 자유도를 극대화 시킬 필요가 있음

○ 통신 보안 필요성 증대

- 최근 국가 사회 인프라에 해당하는 열차제어시스템이 업무망과 인터넷망 간의 연결이 증가하고 외부 협력업체와의 협업 등의 문제로 인해 각종 사고가 증가하고 있음
- 2014년 7월 서울메트로 핵심서버 보안사고, 8월 코레일 핵심직원의 PC 보안사고, 2016년 1월 신분당선 열차제어장치 보안 사고 등이 그 예임
- 열차와 열차, 열차와 선로변 설비와의 직접적인 무선통신을 이용한 열차 자율주행 기반 열차제어시스템을 위해서는 통신 보안 강화를 위한 기술 개발이 필요함

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 현재 열차간 직접통신을 위한 통신 표준과 연구는 거의 진행되지 않고 있으며 주로 도로교통을 위한 통신 연구가 활발히 진행 중임
- 국토교통부는 스마트하이웨이사업을 통해 WAVE 통신 기반의 V2X 통신 시스템을 개발하였으며, 이를 바탕으로 경부고속도로 서울TG-수원IC의 10km 구간에 시범도로와 대전-세종간의 87.8km 구간에 시범사업을 진행하고 있음
- 전자부품연구원은 국산 WAVE 통신 기술 및 시스템을 개발하여 스마트하이웨이 R&D 및 C-ITS 시범사업에 적용하여 다양한 서비스 개발 및 테스트를 진행함
- 전자부품연구원은 국토부 사업인 '스마트 자율협력주행 도로시스템 개발' 과제를 통해 WAVE 통신과 이동통신을 융합한 V2X 복합통신을 개발 중에 있음
- 우리나라는 자동차, 도로교통 분야 ITS 계획 2020을 통해 스마트 하이웨이 전략을 가지고 있음
- ※ 스마트 하이웨이 : 달리는 차량에 각종 도로 교통 정보, 위험 경보 신호 등을 자동으로 전달하여 각종 사고를 줄이고 소통을 원활하게 하는 지능형 교통 서비스(ITS) 기술
- 한국전자통신연구원은 VANET 관련 기술 연구개발 진행 중
- 현대모비스는 6개의 V2X 어플리케이션 개발을 포함하는 'UTIS 연동 통신 기술 및 도심형 교통안전지원 서비스 개발 사업'에 참여하고 있음

○ 해외 기술동향

- LTE 기반 V2X 통신기술에 대한 표준은 3GPP Release 14 버전에서 작업 중에 있으며, 우선적으로 2016년 9월에 LTE-V2V에 대한 표준화가 완료되었고 최종적인 LTE-V2X에 대한 표준화는 2017년도에 완료될 예정임
- 2015년 화웨이, 노키아 등에서 LTE 기반 주요 V2X 서비스 시연
- 미국은 현재 IntelliDrive라는 프로젝트를 진행하고 있고 'Safety Pilot'이라 불리는 실제 도로 현장에서의 테스트를 통해 V2X 관련 기술을 검증
- ※ IntelliDrive 프로젝트 : 미국 전역에 V2X 통신시스템 및 인프라를 구축

하여 안정성, 이동성 등을 극대화하기 위한 새로운 서비스 실현을 목적으로 추진

- 유럽에서는 SAFESPOT이라는 프로젝트를 통해 스마트 도로상의 스마트 차량이라는 슬로건을 바탕으로 차량과 도로상의 인프라를 활용해 안전한 교통시스템을 구축하는 것을 진행 중임
- C2CCC(CAR-2-CAR Communication Consortium)는 V2V 및 V2I 기반의 C-ITS(Cooperative-ITS) 구현을 통해 도로 교통의 안전성 및 효율성을 높이고, 차량 통신 관련 유럽 산업 표준을 제정하는 것을 목표로 관련 사업 진행 중임
- 일본의 경우 V2X 통신용 주파수를 할당하고 혼다의 경우 V2X 통신 기술 개발을 위해 ASV-3이라는 프로젝트를 진행 중임
- 도요타의 경우 V2I 통신기술의 필드 테스트를 아이치현 도요타시의 도로에서 진행하였고 일본 국토교통성은 첨단 기술 보급을 위한 ASV(Advanced Safety Vehicle) 사업을 추진하고 경찰청·총무성 등과 연계하여 V2I 통신기반 'ITS Japan' 전략을 수립하였음

3. 연구개발 내용

- T2T 통신 관련 표준화 활동 진행
 - T2T 통신 요구사항 도출
 - T2T 관련 표준 선정 및 분석
 - T2T 관련 표준회의 참석 및 활동 진행
- T2T 통신 프로토타입 개발 및 검증
 - T2T 프로토콜 전체 계층 구조 설계 및 계층 간 인터페이스 정의
 - T2T 통신 물리계층 알고리즘 개발
 - T2T 통신 물리계층 표준 및 알고리즘 기본 구현
 - T2T 통신 상위계층 프로토콜 개발
 - T2T 통신 상위계층 표준 및 프로토콜 기본 구현
 - T2T 통신 물리계층 표준 및 알고리즘 상세 구현
 - T2T 통신 상위계층 표준 및 프로토콜 상세 구현
 - T2T 통신 프로토타입 제작 및 검증
- 통신 보안 프로토타입 개발 및 검증
 - 물리적 신호교란 취약성 분석
 - 사이버 공격 시나리오 분석
 - 물리적 신호 교란 검지 알고리즘 개발 및 검증
 - 물리적 신호 교란 보호 알고리즘 개발 및 검증
 - 제어/통신 시스템을 위한 보안 프로토콜 설계
 - 제어/통신 시스템을 위한 보안 프로토콜 개발
 - 사이버 공격 및 방어 시뮬레이터 제작 및 검증

4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증 ○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 ○ 새로운 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
□ 추진체계	○ 국내 철도, 통신, 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행 ○ 원천기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영기관의 참여 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축
5. 최종성과물	
□ 주요 최종 성과물	○ T2T 통신 표준 특허 및 기고문 ○ T2T 프로토콜 전체 계층 구조 및 인터페이스 ○ T2T 통신 물리계층 알고리즘 ○ T2T 통신 상위계층 프로토콜 ○ T2T 통신 프로토타입 ○ T2T 통신 랩규모 성능 결과 및 보고서 ○ 물리적 신호 교란 취약성 분석 결과 ○ 사이버 공격 시나리오 분석 결과

	○ 물리적 신호 교란 검지 알고리즘 ○ 물리적 신호 교란 보호 알고리즘 ○ 제어/통신 시스템을 위한 보안 프로토콜 ○ 사이버 공격 및 방어 시뮬레이터
6. 기대효과 및 파급효과	○ 기대효과 - 기존 셀룰러 통신의 지연시간 감소 - 통신 지연 감소에 따른 선로용량 증대 및 열차 운행 자유도 향상 - 셀룰러 통신 위주인 기존 통신시스템에서 T2T 직접 통신 개발 및 실용화를 통한 통신 패러다임 변화 - 기존 통신 시스템보다 수신 신뢰도를 향상시킴에 따른, 열차 간 통신 가용성, 신뢰성 향상 및 사고 발생 가능성 감소 - 통신 보안 기술 개발에 따른 열차 운행 안전성 향상 ○ 파급효과 - 과제 종료 후 차상중심 열차제어신호시스템이 상용화 될 때, 적용 - 도로교통 서비스에도 적용 가능 - 열차 간 직접통신 개발을 통해 기지국 및 망이 붕괴되는 재난 상황에도 직접 적용 가능 - 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출 - T2T 통신 및 보안 원천 및 실용화 기술 확보 및 실용화 준비 - T2T 통신 및 보안 기술 개발에 따른 개발 노하우 축적 및 특허, 논문 확보 - 기존의 다양한 철도 통신 및 산업계예의 기술 적용을 위한 실용화 사업 계획에 활용 - 세계 최초 T2T 통신 개발에 따른 제품 및 기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척
7. 연구개발기간 및 소요예산	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 총 연구개발비 : 5,200 백만원 - 1차년도 연구개발비 : 800 백만원 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
8. 기 타	

4. 3세부 과제 : 열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발

연구과제명	열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발
1. 연구 개발목표	○ 열차자율주행기반 스마트관제 핵심기술개발(TRL 5) - 열차 지연확산 20% 개선 - 실시간 수요변화 대응 열차시격 조정 최적화기술 확보 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발 필요성 ○ (On-Demand) 장래 철도 이용자들의 통행패턴(Future Mobility)은 개인적 만족(Personalization)의 극대화를 위한 맞춤형 (On Demand) 서비스를 추구하는 방향으로 형성될 것으로 전망됨 ※ On Demand 서비스 : 승객이 원하는 시간 및 원하는 장소에 빠르고, 편하고, 안전하게 여행하는 서비스 ○ (비효율적 스케줄링) 기존의 열차, 차량 및 승무 스케줄링으로 이어지는 단계적 스케줄링은 2주 이상 소요됨 ○ (통합적 스케줄링) 승객의 On-Demand 서비스를 제공하기 위해서 단계적 스케줄링이 아닌 통합적 스케줄링이 필요함. 통합적 스케줄링은 동적인 편성 용량 조정(Dynamic Capacity Adjustment)을 통하여 철도 좌석 공급량을 수요변화에 대응할 수 있도록 함. 뿐만 아니라, 연계 열차간 동기화 스케줄링(Schedule Synchronization)을 통한 환승 대기시간을 최소화하여 승객의 철도 서비스 만족도 향상을 제고함 ○ (스마트 관제) 현재의 궤도 점유 및 진로 설정 패 널을 통한 모니터링 중심의 기존 관제시스템에서는 실시간 경합 검지 및 해소, 지연확산 예측, 운전자 지원기능 등이 부실함. 기존 관제시스템에서 자율주행열차시스템에 대한 지원 및 연계는 사실상 불가능할 것으로 판단됨. 따라서, 빅 데이터를 기반으로 하여 상기 기능들을 탑재한 스마트 관제시스템은 자율주행시스템의 효율 저하를 막고 안전을 확보하는데 필수적임 ○ (기술발전) 최근 철도분야 R&D 정책에서는 첨단 ICT 기술의 접목으로 새로운 부가가치와 일자리 창출, 첨단 인프라로의 개선을 통한 철도 운영 효율성 향상, 융복합 첨단기술의 확보를 중점 R&D 요소로 정의하고 있음. 또한, ICT 기술융합을 통한 자동화 및 지능화된 지능형 교통시스템의 보급이 전세계적으로 가속화되고 있어 신규 철도시장 창출/선점과 신(新)국부창출을 위해서는 최적화된 철도시스템과 새로운 철도 패러다임 제안 필요함

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- (한국철도공사) 열차운영계획 시스템개발 과제(2011-2014)에서 스케줄링 프로그램이 개발하였으나 타 운영기관이 범용으로 사용하기가 거의 불가능하고 개발 범위에 있어서 열차스케줄링에 집중되어 있어 가장 많은 시간이 소요되는 승무원 스케줄링 분야 문제 해결 불가

○ 해외 기술동향

- (유럽) 유럽에서는 COMBINE(enhanced COntrol centres for fixed and Moving Block sigNalling systEms) 프로젝트 1차(1998~2001) 및 2차(2002~2004)를 통해서 ERTMS/ETCS Level 3에 해당하는 이동폐색기반 신호시스템 하에서의 수리적 모델에 기반한 TMS(Traffic Management System)을 Bombardier Transportation 등이 중심이 되어 개발하였음. 하지만, 열차를 중심으로하는 자율주행상황을 반영하고 있지는 않음
- (중국) 특허분석 결과 2000년대 중반부터 고속철도 건설 및 운영이 증가함에 따라 중국에서는 스케줄링 관련 특허가 급증하고 있음. 특히 Information, Control, Monitoring 및 Device, Realtime 분야 특허출원 두드러지며 최적화(Optimization), 시뮬레이션(Simulation) 등 기존의 스케줄링 방법론 자체의 특허보다는 정보전달, 실시간 위치파악 등의 제어기능을 가진 Device형태의 특허 출원이 많아지고 있음
- (일본) 기존의 관제의 주요 기능인 운전정리(Dispatch) 뿐만 아니라 향후 열차운행에 대한 예측(Prediction)과 클라우드 등을 통한 정보전달에 대한 기술을 개발하고 있음. 특히, Toshiba에서는 TrueLineTM이라는 클라우드 기반의 열차, 차량 및 승무 스케줄링 시스템을 상용화 하였음
- (전문가시스템) 유럽에서는 AUTONOM(Integrated through-life support high-value systems) 프로젝트를 통해 철도산업분야 중 특히 운영 및 계획 분야에서 적용되는 기술 및 향후 적용될 기술의 수준을 분석하였음.
- 기술 분야는 다음과 같이 자율분산시스템(Autonomous systems), 데이터마이닝(Data mining), 지식기반시스템(Knowledge engineering frameworks), 전문가의사결정시스템(Expert and decision support systems) 및 시멘틱기술(Semantic technologies)로 나누었으며 특히 이중에서도 49%가 스케줄링 및 관제시스템과 같은 전문가의사결정시스템에 집중되어 있음.
- 전문가의사결정시스템(Expert and decision support systems)분야에서의 적용된 주요한 기술로는 최적화(Optimisation, 20%), 진화연산(Evolutionary computing, 11%)온톨로지(9%), 탐색알고리즘(Search algorithm, 9%), Rule기반분석(Rule based expert system, 8%), 휴리스틱(Heuristic, 6%) 순으로 나타났음.

3. 연구개발 내용

○ 스마트 관제 시스템 프로토타입 개발 - 임시 스케줄링 기반 운행조정 최적화 기술 - 실시간 열차 경합 감지 및 해소 기술 - 열차 지연확산 예측 관제 기술 - 승객환승 최적화 관제 기술 - 개인별 만족기반 관제 기술 - 자율주행 차량 관제 기술 - 가상편성 차량 분리/결합 관제 기술 ○ 스마트 스케줄링 기술개발 - 실시간 수요변화 대응 열차시격 조정 최적화 기술 - 스케줄링 핵심알고리즘 성능 향상 기술 - 열차-차량-승무원 통합 스케줄링 기술 - 동적 용량조정 최적화 기술 - 가상편성 차량운영 최적화 기술 - 연계스케줄 동기화 기술 - 환승불편 최소화 좌석할당 기술	
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 연구개발 결과의 수요처인 운영기관의 연구 참여 ○ 정부 및 관련 기관들의 유기적 협조체제 구축 - 연구성과의 활용성 제고 등을 위해 각계의 전문가 의견 수렴 ○ 국내외 전문가 자문위원회를 구성하여 정기적 자문을 통한 연구 결과 품질 향상 - 해외 대학·연구기관과의 협력 네트워크를 구축하여 학술교류를 통한 해외 연구 및 기술 동향 파악
□ 추진체계	○ 철도운영, 교통, 정책 분야와 신호 및 궤도시스템의 기술분야 간 융합연구 체계로 추진 될 수 있도록 참여연구진 구성 ○ 연구성과의 실효성 확보 및 정부정책 부합 등을 위하여 관련기관 (국토교통부, 지방자치단체, 철도건설·운영기관 등)과 협력체계 구축 추진
5. 최종성과물	
□ 주요 최종 성과물	○ 스마트 관제 시스템 핵심 알고리즘 ○ 스마트 관제 시스템 프로토 타입 ○ 스마트 스케줄링 S/W 설계문서 ○ 스마트 스케줄링 핵심 알고리즘 ○ 스마트 스케줄링 S/W 프로그램
6. 기대효과 및 파급효과	

○ 기대효과

- (지연시간 감소) 스마트 관제시스템에 의한 총 지연시간을 20% 개선
- (비용절감) 스마트 스케줄링 프로그램에 의해 스케줄링 주기 단축에 따라 연간 승차권 판매손실 절감 및 운영비 손실 절감 총액 약 40억원.
- (4차산업 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련

○ 파급효과

- (철도 수송분담 향상) 인구구조의 변화 및 지속적 저성장 시대 진입에 따라 스마트 철도 기술(Smart Rail Move Tech.)을 접목한 고품격 철도 서비스 제공을 통해 지속가능한 철도수요 창출 및 철도 수송분담 향상
- (품질향상) 서비스 지연시간 감소 및 정시성 향상을 통해 안정적 철도운영 가능
- (경쟁력향상) 운영/관제 시스템 개발 및 제작업체 등에서 기술 수요가 발생하며 해당 업체에 기술이전 등을 통해 해당 산업의 철도경쟁력 향상 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 5년

○ 총 연구개발비 : 6,300 백만원

- 1차년도 연구개발비 : 800 백만원

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

8. 기 타

5. 4세부 과제 : 가상열차편성 기술개발

연구과제명	지능형 열차자율주행시스템 기술개발
1. 연구 개발목표	○ 가상열차편성 핵심기술 개발(TRL 4) - 가상결합을 통한 수송량 50% 증대기술 개발 - 열차분리결합 시간 단축 : 1분 이내 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발 필요성 ○ 수송력(Capacity) 측면 - 기존의 CBTC와 같은 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시격을 90초까지 단축가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시격의 단축에 있어서 한계를 가짐. - 이러한 한계를 극복하기 위해서는 제어 패러다임의 변화가 필요하며 선행열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함. - 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 후행열차와 선행열차 간 충돌방지를 위해 반드시 확보해야하는 안전간격의 대부분은 열차의 제동거리이며 열차의 속도가 높을수록 확보해야하는 안전간격이 증가하여 노선의 수송량 증대에 한계가 발생함. - 따라서 열차 편성 간 안전간격을 열차의 제동거리 이하로 줄임으로써 노선의 수송량을 극대화 할 수 있도록 주행 상황에서 자유로운 열차편성간 가상연결 및 분리 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함. ○ 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면 - 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상제어시스템의 처리 용량으로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성 또한 열차와 열차사이 연결과 분리는 물리적 연결기를 통해서만 가능하여 유동적인 수송수요에 대응하기 어려운 구조임. - 특히 기존의 물리적 연결기의 경우 연결과 분리에 상당한 소요시간이 발생되며 운영자 인적 오류에 의한 사고발생이 빈번하게 발생됨. - 따라서 노선의 확장 또는 투입열차의 증대 및 유동적인 수송수요 등의 운

영상의 변화에 대응이 가능하도록 주행 중 연결과 분리가 자유로운 열차 자율주행 기술개발이 필요함.

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내 열차제어시스템 기술개발은 국내철도산업의 한계로 인해 정부주도의 연구개발사업을 통해 수행되고 있으며 최근 한국형 무선통신기반 열차제어시스템을 성공적으로 개발하였음.
- 하지만 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 열차자율주행기술과 같은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심기술개발 단계에서부터 장기적인 지원이 필요함.

○ 국외 기술동향

- 유럽은 일찍이 선진 제작사를 중심으로 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 기술을 확보하였으며 이러한 기술력을 바탕으로 전세계 철도신호시장을 점유하고 있음. 최근에는 세계 철도시장에서의 입지를 계속해서 굳히기 위해 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 활발한 연구개발을 수행 중에 있음.
- (Alstom Urbalis Fluence) 최근 유럽 Alstom의 경우 지난 2014년부터 기존의 CBTC와 같은 지상중심 무선통신기반열차제어시스템의 한계를 극복하기 위해 차세대 CBTC Solution인 Urbalis Fluence를 개발 중에 있으며 이는 세계최초 train-centric CBTC로서 열차 간 통신을 통해 최소 운전시격을 60초까지 단축이 가능함.
- (Shift2Rail) Shift2Rail은 유럽의 선진제작사 공동 프로젝트로 열차제어시스템 외에도 다양한 분야에 대한 연구를 진행하고 있으며 특히 선로의 용량 즉, 수송량을 획기적으로 증대하면서 노선의 운영자 또는 승객에게 높은 수준의 서비스를 목표로 열차 가상연결(Virtual Coupling)에 대한 연구를 2018년부터 수행예정임.
- (중국 NGCTCS) 유럽의 NGTCS를 기초로하여 중국은 자국의 열차제어시스템 개발방향으로 NGCTCS를 수립하였으며 열차간 통신기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 반영하고 있음.
- (DLR Next Generation Train) 독일 Aerospace Center DLR에서는 차세대 열차 프로젝트의 일환으로 열차 가상연결에 대한 연구를 수행 중에 있음.
- (Thales Autonomous Train) 유럽의 Thales는 열차스스로 전방상황을 인지하고 주행여부를 판단할 수 있는 자율주행 열차에 대한 연구개발을 수행 중에 있음.

3. 연구개발 내용

- 가상열차 연결/해제 기초원천기술개발
 - 가상열차 연결/해제 제어기술개발
 - 고정밀 속도추종제어 기술개발
- 가상열차편성내 열차무결성 확보 기초원천기술 개발
 - 가상열차편성내 안전간격 확보기술
 - 가상열차편성내 안전간격 보상기술
- 가상열차편성 기초원천기술 프로토타입 개발 및 검증
 - 가상열차편성 알고리즘 검증을 위한 프로토타입 개발
 - 테스트 case에 따른 알고리즘 성능평가
- 국제규격에 따른 안전성 활동
- 적용성 향상을 위한 차량 및 인프라 목표성능사양 제시

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발
 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증
 - 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
 - 새로운 열차제어 및 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도
 - 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용
 - 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
- 추진체계
 - 국내 철도, 열차제어, 통신 및 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
 - 원천기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영기관의 참여
 - 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시
 - 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
 - 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음
 - 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모
 - 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고

- 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축
- 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물

- 주요 최종 성과물
- 가상열차편성 기초원천기술 개발
 - 가상열차편성 연결제어 핵심알고리즘
 - 가상열차편성 기초원천기술 검증용 프로토타입
 - 개발관련 국제규격(IEC 62278, IEC 62279)에 따른 설계문서

6. 기대효과 및 파급효과

- 기대효과
 - (수송량 증대) 열차간 가상연결제어로 수송량 50% 증대와 이로 인해 철도 운영기관 운영수익 증대효과 및 이용자 통행시간 절감효과 기대
 - (운영자 편의성 향상) 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
 - (안전성 향상) 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능.
 - (승객 서비스 향상) 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대
- 파급효과
 - (타 분야 기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적 확보를 통해 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.
 - (4차산업 핵심기술 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련
 - (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음
 - (차세대 기술확보) 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능
 - (경쟁력향상) 세계 최초로 열차간 통신기반 열차자율주행제어 기술을 기술적으로 가능케 함으로써 국내 열차제어기술이 세계선도기술라는 인식과 함께 해외 경쟁력 확보
 - (기타) 철도 이용객의 운전시각 단축을 통한 통행시간 절감에 따른 통행시간의 가치와 도로 이용객 수 감소로 인한 에너지 절감효과 안전성 향상을 통한 인적·물적 피해감소 등의 직간접 효과를 가짐.

7. 연구개발기간 및 소요예산	
	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 총 연구개발비 : 3,000 백만원 - 1차년도 연구개발비 : 400 백만원 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
8. 기 타	

6. 5세부 과제 : 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발

연구과제명	열차자율주행시스템 시험평가 기술개발
1. 연구 개발목표	○ 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발(TRL 5) - Lab 기반 성능평가 핵심기술개발 - 국제 개발규격에 따른 시험평가
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발 필요성 ○ 수송력(Capacity) 측면 - 기존의 CBTC와 같은 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시격을 90초까지 단축가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시격의 단축에 있어서 한계를 가짐. - 이러한 한계를 극복하기 위해서는 제어 패러다임의 변화가 필요하며 선행열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함. - 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 후행열차와 선행열차 간 추돌방지를 위해 반드시 확보해야하는 안전간격의 대부분은 열차의 제동거리이며 열차의 속도가 높을수록 확보해야하는 안전간격이 증가하여 노선의 수송량 증대에 한계가 발생함. - 따라서 열차 편성 간 안전간격을 열차의 제동거리 이하로 줄임으로써 노선의 수송량을 극대화 할 수 있도록 주행 상황에서 자유로운 열차편성간 가상연결 및 분리 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함. ○ 설비투자비(Cost) 측면 - 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상 ATP, EIS 등의 지상설비가 반드시 필요하며 지상에서 관할 영역의 모든 열차를 관리하게 되므로 일정 수의 투입열차 이상에서는 처리용량에 한계가 발생됨. 따라서 일정구간 또는 처리용량에 따라 설비의 증설이 필요함 ※ IEEE 1474.1 CBTC FRS¹⁹⁾의 경우 지상 ATP 최대 처리용량을 10에서 40편성으로 규정하였으며 이를 초과시 지상 ATP를 증설하여야 함 - 기존 지상중심 무선통신열차제어시스템의 지상 ATP, EIS 등의 지상설비 없이 열차간 제어정보 교환을 통해 안전한 열차운행이 가능한 열차자율주행

기술개발이 필요함

○ 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면

- 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상제어시스템의 처리 용량으로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성 또한 열차와 열차사이 연결과 분리는 물리적 연결기를 통해서만 가능하여 유동적인 수송수요에 대응하기 어려운 구조임.
- 특히 기존의 물리적 연결기의 경우 연결과 분리에 상당한 소요시간이 발생되며 운영자 인적 오류에 의한 사고발생이 빈번하게 발생됨.
- 따라서 노선의 확장 또는 투입열차의 증대 및 유동적인 수송수요 등의 운영상의 변화에 대응이 가능하도록 주행 중 연결과 분리가 자유로운 열차 자율주행 기술개발이 필요함.
- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템의 경우 열차의 운행 중 사고 및 고장 등의 이례상황 발생 시 관제의 운영자가 수동으로 열차 운행을 조작함으로써 신속한 대응이 불가능하고 인적오류의 위험이 존재함.
- 따라서 주행상황에서 발생하는 여러 가지 이례상황 발생 시 열차 간 자율협업기반 상황인지 및 판단을 통해 열차 스스로 자신의 주행경로를 재설정하여 정시성 보장 및 스케줄을 준수하기 위한 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내 열차제어시스템 기술개발은 국내철도산업의 한계로 인해 정부주도의 연구개발사업을 통해 수행되고 있으며 최근 한국형 무선통신기반 열차제어시스템을 성공적으로 개발하였음.
- 하지만 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 열차자율주행기술과 같은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심기술개발 단계에서부터 장기적인 지원이 필요함.

○ 국외 기술동향

- 유럽은 일찍이 선진 제작사를 중심으로 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 기술을 확보하였으며 이러한 기술력을 바탕으로 전세계 철도신호시장을 점유하고 있음. 최근에는 세계 철도시장에서의 입지를 계속해서 굳히기 위해 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 활발한 연구개발을 수행 중에 있음.
- (Alstom Urbalis Fluence) 최근 유럽 Alstom의 경우 지난 2014년부터 기존의 CBTC와 같은 지상중심 무선통신기반 열차제어시스템의 한계를 극복하기 위해 차세대 CBTC Solution인 Urbalis Fluence를 개발 중에 있으며 이는 세계최초 train-centric CBTC로서 열차 간 통신을 통해 최소 운전시

	격을 60초까지 단축이 가능함. - (Shift2Rail) Shift2Rail은 유럽의 선진제작사 공동 프로젝트로 열차제어시스템 외에도 다양한 분야에 대한 연구를 진행하고 있으며 특히 선로의 용량 즉, 수송량을 획기적으로 증대하면서 노선의 운영자 또는 승객에게 높은 수준의 서비스를 목표로 열차 가상연결(Virtual Coupling)에 대한 연구를 2018년부터 수행예정임. 개발된 시스템에 대한 테스트를 위하여 현장시험을 최소화하는 방향으로 Lab. 환경에서의 시험평가 방법에 대한 연구개발을 수행하고 있음. - (중국 NGCTCS) 유럽의 NGTCS를 기초로하여 중국은 자국의 열차제어시스템 개발방향으로 NGCTCS를 수립하였으며 열차간 통신기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 반영하고 있음. - (DLR Next Generation Train) 독일 Aerospace Center DLR에서는 차세대 열차 프로젝트의 일환으로 열차 가상연결에 대한 연구를 수행 중에 있음. - (Thales Autonomous Train) 유럽의 Thales는 열차 스스로 전방상황을 인지하고 주행여부를 판단할 수 있는 자율주행 열차에 대한 연구개발을 수행 중에 있음.
3. 연구개발 내용	
	○ Lab. 기반 시험평가 기술개발 - 통합시험평가 요구사항도출 - 국제 개발규격에 따른 Lab. 기반 시험평가 방안 및 절차서 도출 - Lab. 기반 시험평가를 위한 통합 시뮬레이터 개발
4. 연구개발 추진방법	
☐ 추진전략	○ Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증 ○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 ○ 새로운 열차제어 및 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
☐ 추진체계	○ 국내 철도, 열차제어, 통신 및 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행 ○ 원천기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영

기관의 참여 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축	
5. 최종성과물	
□주요 최종 성과물	○ 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 - Lab. 기반 시험평가 기술 및 시험평가 결과 - Lab. 기반 시험평가를 위한 통합시뮬레이터
6. 기대효과 및 파급효과	
○ 기대효과 - (운전시각 단축) 열차간 직접적인 간격제어로 운전시각 30% 단축과 이로 인해 철도 운영기관 운영수익 증대효과 및 이용자 통행시간 절감효과 기대 - (설비투자비용 절감) 지상설비 절감을 통해 설비투자비용 및 유지보수비용 20% 절감기대 - (운영자 편의성 향상) 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대. 또한 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대. - (안전성 향상) 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능. 또한 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능. - (승객 서비스 향상) 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대	

○ 파급효과

- (타 분야 기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적 확보를 통해 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.
- (4차산업 핵심기술 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련
- (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음
- (차세대 기술확보) 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능
- (경쟁력향상) 세계 최초로 열차간 통신기반 열차자율주행제어 기술을 기술적으로 가능케 함으로써 국내 열차제어기술이 세계선도기술라는 인식과 함께 해외 경쟁력 확보
- (기타) 철도 이용객의 운전시각 단축을 통한 통행시간 절감에 따른 통행시간의 가치와 도로 이용객 수 감소로 인한 에너지 절감효과 안전성 향상을 통한 인적·물적 피해감소 등의 직간접 효과를 가짐.

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 5년
- 총 연구개발비 : 3,000 백만원
 - 1차년도 연구개발비 : 400 백만원
- ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음
- ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

8. 기 타

2절 실용화연구개발 단계 과제제안요구서

1. 연구단 총괄

연구과제명	지능형 열차자율주행시스템 기술개발
1. 연구 개발목표	○ 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발(TRL 7) - 열차 최소 운전시각 30% 단축기술 개발 - 지상설비 단순화를 통한 비용 20% 절감기술 개발 - 차세대 무선통신기반 열차제어 핵심원천기술 확보 - 현장시험을 통한 성능 검증 ○ 열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발(TRL 7) - T2T 최대 통신 지연시간 < 50 ms - 전송 거리 : 1 km 이상 - 최소 수신 신뢰도 : 99% 이상 - IEC 62443 기반 철도보안체계 구축 - 현장시험을 통한 성능 검증 ○ 열차자율주행기반 스마트관제 기술개발(TRL 7) - 열차 지연확산 25% 개선 - 실시간 수요변화 대응 열차시각 조정 최적화기술 확보 - 현장시험을 통한 성능 검증 ○ 가상열차편성 핵심요소기술 개발(TRL 5) - 가상결합을 통한 수송량 50% 증대기술 개발 - 열차분리결합 시간 단축 : 1분 이내 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증 ○ 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발(TRL 7) - On Site 기반 시험평가 테스트 베드구축 - On Site 기반 성능평가 기술개발
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
☐ 연구개발 필요성	○ 수송력(Capacity) 측면 - 기존의 CBTC와 같은 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시각을 90초까지 단축 가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시각의

단축에 있어서 한계를 가짐.

- 이러한 한계를 극복하기 위해서는 제어 패러다임의 변화가 필요하며 선행 열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함.
- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 후행열차와 선행열차 간 충돌 방지를 위해 반드시 확보해야하는 안전간격의 대부분은 열차의 제동거리이며 열차의 속도가 높을수록 확보해야하는 안전간격이 증가하여 노선의 수송량 증대에 한계가 발생함.
- 따라서 열차 편성 간 안전간격을 열차의 제동거리 이하로 줄임으로써 노선의 수송량을 극대화 할 수 있도록 주행 상황에서 자유로운 열차편성간 가상연결 및 분리 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.

○ 설비투자비(Cost) 측면

- 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상 ATP, EIS 등의 지상설비가 반드시 필요하며 지상에서 관할 영역의 모든 열차를 관리하게 되므로 일정 수의 투입열차 이상에서는 처리용량에 한계가 발생됨. 따라서 일정구간 또는 처리용량에 따라 설비의 증설이 필요함
- ※ IEEE 1474.1 CBTC FRS²⁰⁾의 경우 지상 ATP 최대 처리용량을 10에서 40편성으로 규정하였으며 이를 초과시 지상 ATP를 증설하여야 함
- 기존 지상중심 무선통신열차제어시스템의 지상 ATP, EI 등의 지상설비 없이 열차간 제어정보 교환을 통해 안전한 열차운행이 가능한 열차자율주행 기술개발이 필요함

○ 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면

- 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상제어시스템의 처리 용량으로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성 또한 열차와 열차사이 연결과 분리는 물리적 연결기를 통해서만 가능하여 유동적인 수송수요에 대응하기 어려운 구조임.
- 특히 기존의 물리적 연결기의 경우 연결과 분리에 상당한 소요시간이 발생되며 운영자 인적 오류에 의한 사고발생이 빈번하게 발생됨.
- 따라서 노선의 확장 또는 투입열차의 증대 및 유동적인 수송수요 등의 운영상의 변화에 대응이 가능하도록 주행 중 연결과 분리가 자유로운 열차자율주행 기술개발이 필요함.
- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템의 경우 열차의 운행 중 사고 및 고장 등의 이례상황 발생 시 관제의 운영자가 수동으로 열차운행을 조작함으로써 신속한 대응이 불가능하고 인적오류의 위험이 존재함.
- 따라서 주행상황에서 발생하는 여러 가지 이례상황 발생 시 열차 간 자율협업기반 상황인지 및 판단을 통해 열차 스스로 자신의 주행경로를 재설정하여 정시성 보장 및 스케줄을 준수하기 위한 제어가 가능한 열차자율

주행시스템 기술개발이 필요함.

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내 열차제어시스템 기술개발은 국내철도산업의 한계로 인해 정부주도의 연구개발사업을 통해 수행되고 있으며 최근 한국형 무선통신기반 열차제어시스템을 성공적으로 개발하였음.
- 하지만 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 열차자율주행기술과 같은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심기술개발 단계에서부터 장기적인 지원이 필요함.

○ 국외 기술동향

- 유럽은 일찍이 선진 제작사를 중심으로 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 기술을 확보하였으며 이러한 기술력을 바탕으로 전세계 철도신호시장을 점유하고 있음. 최근에는 세계 철도시장에서의 입지를 계속해서 굳히기 위해 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 활발한 연구개발을 수행 중에 있음.
- (Alstom Urbalis Fluence) 최근 유럽 Alstom의 경우 지난 2014년부터 기존의 CBTC와 같은 지상중심 무선통신기반열차제어시스템의 한계를 극복하기 위해 차세대 CBTC Solution인 Urbalis Fluence를 개발 중에 있으며 이는 세계최초 train-centric CBTC로서 열차 간 통신을 통해 최소 운전시격을 60초까지 단축이 가능함.
- (Shift2Rail) Shift2Rail은 유럽의 선진제작사 공동 프로젝트로 열차제어시스템 외에도 다양한 분야에 대한 연구를 진행하고 있으며 특히 선로의 용량 즉, 수송량을 획기적으로 증대하면서 노선의 운영자 또는 승객에게 높은 수준의 서비스를 목표로 열차 가상연결(Virtual Coupling)에 대한 연구를 2018년부터 수행예정임.
- (중국 NGCTCS) 유럽의 NGCTCS를 기초로하여 중국은 자국의 열차제어시스템 개발방향으로 NGCTCS를 수립하였으며 열차간 통신기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 반영하고 있음.
- (DLR Next Generation Train) 독일 Aerospace Center DLR에서는 차세대 열차 프로젝트의 일환으로 열차 가상연결에 대한 연구를 수행 중에 있음.
- (Thales Autonomous Train) 유럽의 Thales는 열차스스로 전방상황을 인지하고 주행여부를 판단할 수 있는 자율주행 열차에 대한 연구개발을 수행 중에 있음.

3. 연구개발 내용

○ 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

- 차상중심 분산형 열차방호 기술개발
 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 시제품 설계
 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 시제품 개발
 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 시제품 시험평가
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 및 평가
- 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 설계
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 개발
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 시험평가
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 및 평가
- 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 핵심기술개발
 - 상황인지에 및 판단/제어 시스템 시제품 설계
 - 상황인지에 및 판단/제어 시스템 시제품 개발
 - 상황인지에 및 판단/제어 시스템 시제품 시험평가
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 및 평가
- 열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발
 - 차상 단말 모뎀 제작
 - 프로토타입을 통한 차상 단말 모뎀 기본 설계
 - 프로토타입을 통한 차상 단말 모뎀 상세 설계
 - 차상 단말 모뎀 구현 및 검증
 - T2T 통신을 위한 망 인프라 개발
 - T2T 통신을 위한 망 인프라 기본 설계
 - T2T 통신을 위한 망 인프라 상세 설계
 - T2T 통신을 위한 망 인프라 기본 구현
 - T2T 통신을 위한 망 인프라 상세 구현
 - 차상 단말 모뎀 및 망 인프라 통합 테스트 진행
 - 망 인프라 현장 성능 평가
 - 차상 단말 모뎀 현장 성능 평가
 - 망 인프라 및 차상 단말 모뎀 현장 통합 테스트 진행
 - 시제품 보완
 - 통신 보안 시제품 제작
 - 물리적 신호 교란 검지 시스템 제작 및 보완
 - 물리적 신호 교란 보호 시스템 제작 및 보완
 - 제어/통신 시스템을 위한 보안 모듈 제작
 - 사이버 공격 및 방어 시뮬레이터 시험 및 보완
 - 제어/통신 시스템을 위한 보안 모듈 시험 및 보완
- 열차자율주행기반 스마트 관제 기술개발

- 임시 스케줄링 기반 운행조정 시뮬레이션 시험 및 검증
- 실시간 열차 경합 검지 및 해소 시뮬레이션 시험 및 검증
- 열차 지연확산 예측 시뮬레이션 시험 및 검증
- 승객환승 최적화 시험 및 검증
- 개인별 만족기반 시뮬레이션 시험 및 검증
- 자율주행 차량 시뮬레이션 시험 및 검증
- 가상편성 차량 분리/결합 시뮬레이션 시험 및 검증
- 스마트 관제센터 테스트베드 선정 및 구축

- 가상열차편성 핵심기술 개발
 - 가상열차 연결제어시스템 프로토타입 설계
 - 시스템 요구사항 설계
 - 가상열차 연결/해제 제어기술
 - 고정밀 속도추종제어 기술
 - 가상열차편성내 안전간격 확보 및 보상기술
 - 가상열차편성제어시스템 프로토타입 개발
 - 가상열차편성제어시스템 프로토타입 검증 및 보완
 - 국제규격에 따른 안전성 활동 및 평가
- 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발
 - On Site 기반 성능평가 방안 및 계획수립
 - On Site 기반 성능평가 항목 및 방법 도출
 - On Site 기반 차상 및 지상 테스트베드 설계
 - On Site 기반 차상 및 지상 테스트베드 구축
 - 시스템 통합 및 현장 시험평가

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발
 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증
 - 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
 - 새로운 열차제어 및 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도
 - 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용
 - 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력

- 추진체계
- 국내 철도, 열차제어, 통신 및 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
 - 원천기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영 기관의 참여
 - 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시
 - 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
 - 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음
 - 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모
 - 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고
 - 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축
 - 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물

- 주요 최종 성과물
- 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발
 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 시제품
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품
 - 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어시스템 시제품
 - 개발관련 국제규격(IEC 62278, IEC 62279)에 따른 설계문서
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 및 평가 보고서
 - 열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발
 - T2T 통신 망 인프라
 - T2T 통신 차상 단말 모듈
 - T2T 통신 현장 통합 테스트 결과
 - 물리적 신호 교란 검지 시스템
 - 물리적 신호 교란 보호 시스템
 - 물리적 신호 교란 검지 및 보호 시스템 시험결과
 - 사이버 공격 및 방어 시뮬레이터 시험결과
 - 제어/통신 시스템을 위한 보안 모듈
 - 열차자율주행기반 스마트 관제 핵심기술개발
 - 스마트 관제 시스템 시험/평가 및 보완
 - 스마트 관제 시스템 시제품
 - 스마트 관제 시스템 테스트베드
 - 가상열차편성 핵심요소기술 개발
 - 가상열차편성 연결제어시스템 프로토타입

- 개발관련 국제규격(IEC 62278, IEC 62279)에 따른 설계문서
- 가상열차편성 프로토타입 시험평가결과
- 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 보고서
- 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발
 - On Site 기반 시험평가 방안 및 시험절차서
 - On Site 기반 시험평가 테스트 베드
 - On Site 기반 시험평가 결과보고서 및 시험성적서

6. 기대효과 및 파급효과

- 기대효과
 - (운전시격 단축) 열차간 직접적인 간격제어로 운전시격 30% 단축과 이로 인해 철도 운영기관 운영수익 증대효과 및 이용자 통행시간 절감효과 기대
 - (설비투자비용 절감) 지상설비 절감을 통해 설비투자비용 및 유지보수비용 20% 절감기대
 - (운영자 편의성 향상) 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율 협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
또한 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
 - (안전성 향상) 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능.
또한 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능.
 - (승객 서비스 향상) 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대
- 파급효과
 - (타 분야 기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적 확보를 통해 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.
 - (4차산업 핵심기술 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련
 - (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음
 - (차세대 기술확보) 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능
 - (경쟁력향상) 세계 최초로 열차간 통신기반 열차자율주행제어 기술을 기

	술적으로 가능케 함으로써 국내 열차제어기술이 세계선도기술라는 인식과 함께 해외 경쟁력 확보 - (기타) 철도 이용객의 운전시각 단축을 통한 통행시간 절감에 따른 통행시간의 가치와 도로 이용객 수 감소로 인한 에너지 절감효과 안전성 향상을 통한 인적.물적 피해감소 등의 직간접 효과를 가짐.
7. 연구개발기간 및 소요예산	
	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 총 연구개발비 : 45,000 백만원(민간부담금 7,650 백만원 포함) - 1차년도 연구개발비 : 6,950 백만원(민간부담금 1,650 백만원 포함) ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
8. 기 타	

2. 1세부 과제 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

연구과제명	지능형 열차자율주행시스템 기술개발
1. 연구 개발목표	○ 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발(TRL 7) - 열차 최소 운전시격 30% 단축기술 개발 - 지상설비 단순화를 통한 비용 20% 절감기술 개발 - 차세대 무선통신기반 열차제어 핵심원천기술 확보 - 현장시험을 통한 성능 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발 필요성 ○ 수송력(Capacity) 측면 - 기존의 CBTC와 같은 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시격을 90초까지 단축 가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시격의 단축에 있어서 한계를 가짐. - 이러한 한계를 극복하기 위해서는 제어 패러다임의 변화가 필요하며 선행열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함. ○ 설비투자비(Cost) 측면 - 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상 ATP, EIS 등의 지상설비가 반드시 필요하며 지상에서 관할 영역의 모든 열차를 관리하게 되므로 일정 수의 투입열차 이상에서는 처리용량에 한계가 발생됨. 따라서 일정구간 또는 처리용량에 따라 설비의 증설이 필요함 ※ IEEE 1474.1 CBTC FRS²¹⁾의 경우 지상 ATP 최대 처리용량을 10에서 40편성으로 규정하였으며 이를 초과시 지상 ATP를 증설하여야 함 - 기존 지상중심 무선통신열차제어시스템의 지상 ATP, EI 등의 지상설비 없이 열차간 제어정보 교환을 통해 안전한 열차운행이 가능한 열차자율주행 기술개발이 필요함 ○ 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면 - 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상제어시스템의 처리 용량으로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성 또한 열차와 열차사이 연결과 분리는 물리적 연결기를 통해서만 가능하여 유동적인

수송수요에 대응하기 어려운 구조임.

- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템의 경우 열차의 운행 중 사고 및 고장 등의 이례상황 발생 시 관제의 운영자가 수동으로 열차 운행을 조작함으로써 신속한 대응이 불가능하고 인적오류의 위험이 존재함.
- 따라서 주행상황에서 발생하는 여러 가지 이례상황 발생 시 열차 간 자율협업기반 상황인지 및 판단을 통해 열차 스스로 자신의 주행경로를 재설정하여 정시성 보장 및 스케줄을 준수하기 위한 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내 열차제어시스템 기술개발은 국내철도산업의 한계로 인해 정부주도의 연구개발사업을 통해 수행되고 있으며 최근 한국형 무선통신기반 열차제어시스템을 성공적으로 개발하였음.
- 하지만 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 열차자율주행기술과 같은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심기술개발 단계에서부터 장기적인 지원이 필요함.

○ 국외 기술동향

- 유럽은 일찍이 선진 제작사를 중심으로 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 기술을 확보하였으며 이러한 기술력을 바탕으로 전세계 철도신호시장을 점유하고 있음. 최근에는 세계 철도시장에서의 입지를 계속해서 굳히기 위해 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 활발한 연구개발을 수행 중에 있음.
- (Alstom Urbalis Fluence) 최근 유럽 Alstom의 경우 지난 2014년부터 기존의 CBTC와 같은 지상중심 무선통신기반 열차제어시스템의 한계를 극복하기 위해 차세대 CBTC Solution인 Urbalis Fluence를 개발 중에 있으며 이는 세계최초 train-centric CBTC로서 열차 간 통신을 통해 최소 운전시격을 60초까지 단축이 가능함.
- (중국 NGCTCS) 유럽의 NGTCS를 기초로하여 중국은 자국의 열차제어시스템 개발방향으로 NGCTCS를 수립하였으며 열차간 통신기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 반영하고 있음.
- (Thales Autonomous Train) 유럽의 Thales는 열차스스로 전방상황을 인지하고 주행여부를 판단할 수 있는 자율주행 열차에 대한 연구개발을 수행 중에 있음.

3. 연구개발 내용

○ 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

- 차상중심 분산형 열차방호 기술개발
 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 시제품 설계
 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 시제품 개발
 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 시제품 시험평가
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 및 평가
- 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 설계
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 개발
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 시험평가
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 및 평가
- 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 핵심기술개발
 - 상황인지에 및 판단/제어 시스템 시제품 설계
 - 상황인지에 및 판단/제어 시스템 시제품 개발
 - 상황인지에 및 판단/제어 시스템 시제품 시험평가
 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 및 평가

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
- Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발
 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증
 - 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
 - 새로운 열차제어 및 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도
 - 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용
 - 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
- 추진체계
- 국내 철도, 열차제어, 통신 및 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
 - 원천기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영기관의 참여
 - 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시
 - 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
 - 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축	
5. 최종성과물	
□주요 최종 성과물	○ 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 - 차상중심 분산형 열차방호시스템 시제품 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 - 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 - 개발관련 국제규격(IEC 62278, IEC 62279)에 따른 설계문서 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 및 평가 보고서
6. 기대효과 및 파급효과	
○ 기대효과 - (운전시격 단축) 열차간 직접적인 간격제어로 운전시격 30% 단축과 이로 인해 철도 운영기관 운영수익 증대효과 및 이용자 통행시간 절감효과 기대 - (설비투자비용 절감) 지상설비 절감을 통해 설비투자비용 및 유지보수비용 20% 절감기대 - (운영자 편의성 향상) 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대. - (안전성 향상) 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능. ○ 파급효과 - (타 분야 기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적 확보를 통해 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능. - (4차산업 핵심기술 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련 - (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음 - (차세대 기술확보) 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능 - (경쟁력향상) 세계 최초로 열차간 통신기반 열차자율주행제어 기술을 기술적으로 가능케 함으로써 국내 열차제어기술이 세계선도기술라는 인식	

	과 함께 해외 경쟁력 확보 - (기타) 철도 이용객의 운전시각 단축을 통한 통행시간 절감에 따른 통행시간의 가치와 도로 이용객 수 감소로 인한 에너지 절감효과 안전성 향상을 통한 인적.물적 피해감소 등의 직간접 효과를 가짐.
7. 연구개발기간 및 소요예산	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 총 연구개발비 : 12,000 백만원(민간부담금 3,000 백만원 포함) - 1차년도 연구개발비 : 1,800 백만원(민간부담금 450 백만원 포함) ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
8. 기 타	

3. 2세부 과제 : 열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발

연구과제명	열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발
1. 연구 개발목표	○ 열차자율주행을 위한 T2T 통신 실용화 기술 개발(TRL 7) - 최소사양(안) · T2T 최대 통신 지연시간 < 50 ms · 전송 거리 : 1 km 이상 · 최소 수신 신뢰도 : 99% 이상 - 시제품 제작 의한 성능 검증 ○ 열차자율주행을 위한 T2T 보안 실용화 기술 개발(TRL 7) - 최소사양(안) · IEC 62443 기반 철도보안체계 구축 · 철도제어시스템 통신망 공격에 대한 보안체계 구축 · 물리적 신호교란에 강인한 보안기술 개발 · 철도 보안 검증체계 개발 - 시제품 제작에 의한 성능 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발 필요성 ○ 차상중심 열차제어시스템으로의 변화를 위해 기존 통신 시스템과 다른 통신 시스템이 필요함 - 현재 대중교통을 위한 통신 표준으로서 D2D, V2X, V2V 등이 3GPP, IEEE 등에서 논의되고 있지만 대부분 도로교통 중심으로 표준화가 진행되고 있음 - 열차는 도로교통과는 또 다른 요구사항을 가지고 있지만 열차간 직접 통신을 위한 통신시스템은 현재 존재하지 않음 ○ 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 차상중심 열차제어시스템으로의 변화와 선로용량 증대 및 열차 운행의 자유도를 높이기 위해서는 차량 통신(T2T)의 전송지연 시간을 절감할 필요가 있음 - 기존 셀룰러 통신은 차량 통신을 위해서 기지국, EPC망 등을 거쳐서 통신을 진행하기 때문에 전송지연 시간이 수백 ms 단위임 - 차상중심 열차제어시스템으로의 변화를 위해서는 기존의 통신 시스템 방식보다 전송지연 시간을 최대한 줄일 필요가 있음 - 따라서 기지국, EPC망 등의 사용을 최대한 줄여서 전송지연 시간을 최소화하고 이를 통해 선로용량 증대 및 열차운행의 자유도를 극대

화 시킬 필요가 있음

○ 통신 보안 필요성 증대

- 최근 국가 사회 인프라에 해당하는 열차제어시스템이 업무망과 인터넷망간의 연결이 증가하고 외부 협력업체와의 협업 등의 문제로 인해 각종 사고가 증가하고 있음
- 2014년 7월 서울메트로 핵심서버 보안사고, 8월 코레일 핵심직원의 PC 보안사고, 2016년 1월 신분당선 열차제어장치 보안 사고 등이 그 예임
- 열차와 열차, 열차와 선로변 설비와의 직접적인 무선통신을 이용한 열차자율주행 기반 열차제어시스템을 위해서는 통신 보안 강화를 위한 기술개발이 필요함

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 현재 열차간 직접통신을 위한 통신 표준과 연구는 거의 진행되지 않고 있으며 주로 도로교통을 위한 통신 연구가 활발히 진행 중임
- 국토교통부는 스마트하이웨이사업을 통해 WAVE 통신 기반의 V2X 통신 시스템을 개발하였으며, 이를 바탕으로 경부고속도로 서울TG-수원IC의 10km 구간에 시범도로와 대전-세종간의 87.8km 구간에 시범사업을 진행하고 있음
- 전자부품연구원은 국산 WAVE 통신 기술 및 시스템을 개발하여 스마트하이웨이 R&D 및 C-ITS 시범사업에 적용하여 다양한 서비스 개발 및 테스트를 진행함
- 전자부품연구원은 국토부 사업인 '스마트 자율협력주행 도로시스템 개발' 과제를 통해 WAVE 통신과 이동통신을 융합한 V2X 복합통신을 개발 중에 있음
- 우리나라는 자동차, 도로교통 분야 ITS 계획 2020을 통해 스마트 하이웨이 전략을 가지고 있음
- ※ 스마트 하이웨이 : 달리는 차량에 각종 도로 교통 정보, 위험 경보 신호 등을 자동으로 전달하여 각종 사고를 줄이고 소통을 원활하게 하는 지능형 교통 서비스(ITS) 기술
- 한국전자통신연구원은 VANET 관련 기술 연구개발 진행 중
- 현대모비스는 6개의 V2X 어플리케이션 개발을 포함하는 'UTIS 연동 통신기술 및 도심형 교통안전지원 서비스 개발 사업'에 참여하고 있음

○ 국외 기술동향

- LTE 기반 V2X 통신기술에 대한 표준은 3GPP Release 14 버전에서 작업 중에 있으며, 우선적으로 2016년 9월에 LTE-V2V에 대한 표준화가 완료 되었고 최종적인 LTE-V2X에 대한 표준화는 2017년도에 완료될 예정임
- 2015년 화웨이, 노키아 등에서 LTE 기반 주요 V2X 서비스 시연

- 미국은 현재 IntelliDrive라는 프로젝트를 진행하고 있고 ‘Safety Pilot’이라 불리는 실제 도로 현장에서의 테스트를 통해 V2X 관련 기술을 검증
- ※IntelliDrive 프로젝트 : 미국 전역에 V2X 통신시스템 및 인프라를 구축하여 안정성, 이동성 등을 극대화하기 위한 새로운 서비스 실현을 목적으로 추진
- 유럽에서는 SAFESPOT이라는 프로젝트를 통해 스마트 도로상의 스마트 차량이라는 슬로건을 바탕으로 차량과 도로상의 인프라를 활용해 안전한 교통시스템을 구축하는 것을 진행 중임
- C2CCC(CAR-2-CAR Communication Consortium)는 V2V 및 V2I 기반의 C-ITS(Cooperative-ITS) 구현을 통해 도로 교통의 안전성 및 효율성을 높이고, 차량 통신 관련 유럽 산업 표준을 제정하는 것을 목표로 관련 사업 진행 중임
- 일본의 경우 V2X 통신용 주파수를 할당하고 혼다의 경우 V2X 통신 기술 개발을 위해 ASV-3이라는 프로젝트를 진행 중임
- 도요타의 경우 V2I 통신기술의 필드 테스트를 아이치현 도요타시의 도로에서 진행하였고 일본 국토교통성은 첨단 기술 보급을 위한 ASV(Advanced Safety Vehicle) 사업을 추진하고 경찰청·총무성 등과 연계하여 V2I 통신기반 ‘ITS Japan’ 전략을 수립하였음

3. 연구개발 내용

- 차상 단말 모뎀 제작
 - 프로토타입을 통한 차상 단말 모뎀 기본 설계
 - 프로토타입을 통한 차상 단말 모뎀 상세 설계
 - 차상 단말 모뎀 구현 및 검증
- T2T 통신을 위한 망 인프라 개발
 - T2T 통신을 위한 망 인프라 기본 설계
 - T2T 통신을 위한 망 인프라 상세 설계
 - T2T 통신을 위한 망 인프라 기본 구현
 - T2T 통신을 위한 망 인프라 상세 구현
- 차상 단말 모뎀 및 망 인프라 통합 테스트 진행
 - 망 인프라 현장 성능 평가
 - 차상 단말 모뎀 현장 성능 평가
 - 망 인프라 및 차상 단말 모뎀 현장 통합 테스트 진행
 - 시제품 보완
- 통신 보안 시제품 제작
 - 물리적 신호 교란 검지 시스템 제작 및 보완
 - 물리적 신호 교란 보호 시스템 제작 및 보완

- 제어/통신 시스템을 위한 보안 모듈 제작 - 사이버 공격 및 방어 시뮬레이터 시험 및 보완 - 제어/통신 시스템을 위한 보안 모듈 시험 및 보완	
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 ○ 새로운 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
□ 추진체계	○ 국내 철도, 통신, 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행 ○ 개발품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영기관의 참여 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축
5. 최종성과물	
□ 주요 최종 성과물	○ T2T 통신 망 인프라 ○ T2T 통신 차상 단말 모뎀 ○ T2T 통신 현장 통합 테스트 결과 ○ 물리적 신호 교란 검지 시스템 ○ 물리적 신호 교란 보호 시스템 ○ 물리적 신호 교란 검지 및 보호 시스템 시험결과

	○ 사이버 공격 및 방어 시뮬레이터 시험결과 ○ 제어/통신 시스템을 위한 보안 모듈
6. 기대효과 및 파급효과	○ 기대효과 - 기존 셀룰러 통신의 지연시간 감소 - 통신 지연 감소에 따른 선로용량 증대 및 열차 운행 자유도 향상 - 셀룰러 통신 위주인 기존 통신시스템에서 T2T 직접 통신 개발 및 실용화를 통한 통신 패러다임 변화 - 기존 통신 시스템보다 수신 신뢰도를 향상시킴에 따른, 열차 간 통신 가용성, 신뢰성 향상 및 사고 발생 가능성 감소 - 통신 보안 기술 개발에 따른 열차 운행 안전성 향상 ○ 파급효과 - 과제 종료 후 차상중심 열차제어신호시스템이 상용화 될 때, 적용 - 도로교통 서비스에도 적용 가능 - 열차 간 직접통신 개발을 통해 기지국 및 망이 붕괴되는 재난 상황에도 직접 적용 가능 - 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출 - T2T 통신 및 보안 원천 및 실용화 기술 확보 및 실용화 준비 - T2T 통신 및 보안 기술 개발에 따른 개발 노하우 축적 및 특허, 논문 확보 - 기존의 다양한 철도 통신 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 계획에 활용 - 세계 최초 T2T 통신 개발에 따른 제품 및 기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척
7. 연구개발기간 및 소요예산	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 총 연구개발비 : 11,300 백만원(민간부담금 2,825 백만원 포함) - 1차년도 연구개발비 : 3,500 백만원(민간부담금 875 백만원 포함) ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
8. 기 타	

4. 3세부 과제 : 열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발

연구과제명	열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발
1. 연구 개발목표	○ 열차자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발(TRL 7) - 열차 지연확산 25% 개선 - 열차자율주행기반 스마트 관제센터 시범/평가 및 테스트베드 구축
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발 필요성 ○ (On-Demand) 장래 철도 이용자들의 통행패턴(Future Mobility)은 개인적 만족(Personalization)의 극대화를 위한 맞춤형 (On Demand) 서비스를 추구하는 방향으로 형성될 것으로 전망됨 ※ On Demand 서비스 : 승객이 원하는 시간 및 원하는 장소에 빠르고, 편하고, 안전하게 여행하는 서비스 ○ (비효율적 스케줄링) 기존의 열차, 차량 및 승무 스케줄링으로 이어지는 단계적 스케줄링은 2주 이상 소요됨 ○ (통합적 스케줄링) 승객의 On-Demand 서비스를 제공하기 위해서 단계적 스케줄링이 아닌 통합적 스케줄링이 필요함. 통합적 스케줄링은 동적인 편성 용량 조정(Dynamic Capacity Adjustment)을 통하여 철도 좌석 공급량을 수요변화에 대응할 수 있도록 함. 뿐만 아니라, 연계 열차간 동기화 스케줄링(Schedule Synchronization)을 통한 환승 대기 시간을 최소화하여 승객의 철도 서비스 만족도 향상을 제고함 ○ (스마트 관제) 현재의 궤도 점유 및 진로 설정 패 널을 통한 모니터링 중심의 기존 관제시스템에서는 실시간 경합 검지 및 해소, 지연확산 예측, 운전자 지원기능 등이 부실함. 기존 관제시스템에서 자율주행열차시스템에 대한 지원 및 연계는 사실상 불가능할 것으로 판단됨. 따라서, 빅 데이터를 기반으로 하여 상기 기능들을 탑재한 스마트 관제 시스템은 자율주행시스템의 효율 저하를 막고 안전을 확보하는데 필수적임 ○ (기술발전) 최근 철도분야 R&D 정책에서는 첨단 ICT 기술의 접목으로 새로운 부가가치와 일자리 창출, 첨단 인프라로의 개선을 통한 철도 운영 효율성 향상, 융복합 첨단기술의 확보를 중점 R&D 요소로 정의하고 있음. 또한, ICT 기술융합을 통한 자동화 및 지능화된 지능형 교통시스템의 보급이 전세계적으로 가속화되고 있어 신규 철도시장 창출/선점과 신(新)국부 창출을 위해서는 최적화된 철도시스템과 새로운 철도 패러다임 제안 필요함
□ 기술동향	○ 국내 기술동향

- (한국철도공사) 열차운영계획 시스템개발 과제(2011-2014)에서 스케줄링 프로그램이 개발하였으나 타 운영기관이 범용으로 사용하기가 거의 불가능하고 개발 범위에 있어서 열차스케줄링에 집중되어 있어 가장 많은 시간이 소요되는 승무원 스케줄링 분야 문제 해결 불가

○ 국외 기술동향

- (유럽) 유럽에서는 COMBINE(enhanced COntrol centres for fixed and Moving Block sigNalling systEms) 프로젝트 1차(1998~2001) 및 2차(2002~2004)를 통해서 ERTMS/ETCS Level 3에 해당하는 이동폐색기반 신호시스템 하에서의 수리적 모델에 기반한 TMS(Traffic Management System)을 Bombardier Transportation 등이 중심이 되어 개발하였음. 하지만, 열차를 중심으로하는 자율주행상황을 반영하고 있지는 않음
- (중국) 특허분석 결과 2000년대 중반부터 고속철도 건설 및 운영이 증가함에 따라 중국에서는 스케줄링 관련 특허가 급증하고 있음. 특히 Information, Control, Monitoring 및 Device, Realtime 분야 특허출원 두드러지며 최적화(Optimization), 시뮬레이션(Simulation) 등 기존의 스케줄링 방법론 자체의 특허보다는 정보전달, 실시간 위치파악 등의 제어기능을 가진 Device형태의 특허 출원이 많아지고 있음
- (일본) 기존의 관제의 주요 기능인 운전정리(Dispatch) 뿐만 아니라 향후 열차운행에 대한 예측(Prediction)과 클라우드 등을 통한 정보전달에 대한 기술을 개발하고 있음. 특히, Toshiba에서는 TrueLineTM이라는 클라우드 기반의 열차, 차량 및 승무 스케줄링 시스템을 상용화하였음
- (전문가시스템) 유럽에서는 AUTONOM(Integrated through-life support high-value systems) 프로젝트를 통해 철도산업분야 중 특히 운영 및 계획분야에서 적용되는 기술 및 향후 적용될 기술의 수준을 분석하였음.
- 기술 분야는 다음과 같이 자율분산시스템(Autonomous systems), 데이터마이닝(Data mining), 지식기반시스템(Knowledge engineering frameworks), 전문가의사결정시스템(Expert and decision support systems) 및 시맨틱기술(Semantic technologies)로 나누었으며 특히 이중에서도 49%가 스케줄링 및 관제시스템과 같은 전문가의사결정시스템에 집중되어 있음.
- 전문가의사결정시스템(Expert and decision support systems)분야에서의 적용된 주요한 기술로는 최적화(Optimisation, 20%), 진화연산(Evolutionary computing, 11%)온톨로지(9%), 탐색알고리즘(Search algorithm, 9%), Rule기반분석(Rule based expert system, 8%), 휴리스틱(Heuristic, 6%) 순으로 나타났음.

3. 연구개발 내용	○ 스마트 관제시스템 개발 및 테스트베드 구축 - 임시 스케줄링 기반 운행조정 시뮬레이션 시험 및 검증 - 실시간 열차 경합 검지 및 해소 시뮬레이션 시험 및 검증 - 열차 지연확산 예측 시뮬레이션 시험 및 검증 - 승객환승 최적화 시험 및 검증 - 개인별 만족기반 시뮬레이션 시험 및 검증 - 자율주행 차량 시뮬레이션 시험 및 검증 - 가상편성 차량 분리/결합 시뮬레이션 시험 및 검증 - 스마트 관제센터 테스트베드 선정 및 구축
4. 연구개발 추진방법	☐추진전략 ○ 연구개발 결과 실용화를 위한 테스트베드 선정 및 확보 ○ 국내 운영기관에서 발생하는 열차 운행 중 이례 상황 재현 시뮬레이션 상황에서 스마트 관제 기능에 의한 총 지연시간 단축시간 검증 ○ 반복 시뮬레이션을 통한 시스템 및 소프트웨어 성능의 통계적 신뢰도 입증 ☐추진체계 ○ 철도운영, 교통, 정책 분야와 신호 및 궤도시스템의 기술분야 간 융합 연구체계로 추진 될 수 있도록 참여연구진 구성 ○ 연구성과의 실효성 확보 및 정부정책 부합 등을 위하여 관련기관 (국토교통부, 지방자치단체, 철도건설·운영기관 등)과 협력체계 구축 추진
5. 최종성과물	☐주요 최종 성과물 ○ 스마트 관제 시스템 시험/평가 및 보완 ○ 스마트 관제 시스템 시제품 ○ 스마트 관제 시스템 테스트베드
6. 기대효과 및 파급효과	○ 기대효과 - (지연시간 감소) 스마트 관제시스템에 의한 총 지연시간을 25% 개선 - (비용절감) 스마트 스케줄링 프로그램에 의해 스케줄링 주기 단축에 따라 연간 승차권 판매손실 절감 및 운영비 손실 절감 총액 약 40억원. - (4차산업 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련 ○ 파급효과

- (철도 수송분담 향상) 인구구조의 변화 및 지속적 저성장 시대 진입에 따라 스마트 철도 기술(Smart Rail Move Tech.)을 접목한 고품격 철도 서비스 제공을 통해 지속가능한 철도수요 창출 및 철도 수송분담 향상
- (품질향상) 서비스 지연시간 감소 및 정시성 향상을 통해 안정적 철도운행 가능
- (경쟁력향상) 운영/관제 시스템 개발 및 제작업체 등에서 기술 수요가 발생하며 해당 업체에 기술이전 등을 통해 해당 산업의 철도경쟁력 향상 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 5년
- 총 연구개발비 : 3,000 백만원(민간부담금 750 백만원 포함)
 - 1차년도 연구개발비 : 600 백만원(민간부담금 150 백만원 포함)
- ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음
- ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

8. 기 타

5. 4세부 과제 : 가상열차편성 기술개발

연구과제명	지능형 열차자율주행시스템 기술개발
1. 연구 개발목표	○ 가상열차편성 핵심요소기술 개발(TRL 5) - 가상결합을 통한 수송량 50% 증대기술 개발 - 열차분리결합 시간 단축 : 1분 이내 - 프로토타입 구현을 통한 성능 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발 필요성 ○ 수송력(Capacity) 측면 - 기존의 CBTC와 같은 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시격을 90초까지 단축 가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시격의 단축에 있어서 한계를 가짐. - 이러한 한계를 극복하기 위해서는 제어 패러다임의 변화가 필요하며 선행열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함. - 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 후행열차와 선행열차 간 충돌방지를 위해 반드시 확보해야하는 안전간격의 대부분은 열차의 제동거리이며 열차의 속도가 높을수록 확보해야하는 안전간격이 증가하여 노선의 수송량 증대에 한계가 발생함. - 따라서 열차 편성 간 안전간격을 열차의 제동거리 이하로 줄임으로써 노선의 수송량을 극대화 할 수 있도록 주행 상황에서 자유로운 열차편성간 가상연결 및 분리 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함. ○ 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면 - 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상제어시스템의 처리 용량으로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성 또한 열차와 열차사이 연결과 분리는 물리적 연결기를 통해서만 가능하여 유동적인 수송수요에 대응하기 어려운 구조임. - 특히 기존의 물리적 연결기의 경우 연결과 분리에 상당한 소요시간이 발생되며 운영자 인적 오류에 의한 사고발생이 빈번하게 발생됨. - 따라서 노선의 확장 또는 투입열차의 증대 및 유동적인 수송수요 등의 운

영상의 변화에 대응이 가능하도록 주행 중 연결과 분리가 자유로운 열차 자율주행 기술개발이 필요함.

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내 열차제어시스템 기술개발은 국내철도산업의 한계로 인해 정부주도의 연구개발사업을 통해 수행되고 있으며 최근 한국형 무선통신기반 열차제어시스템을 성공적으로 개발하였음.
- 하지만 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 열차자율주행기술과 같은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심기술개발 단계에서부터 장기적인 지원이 필요함.

○ 국외 기술동향

- 유럽은 일찍이 선진 제작사를 중심으로 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 기술을 확보하였으며 이러한 기술력을 바탕으로 전세계 철도신호시장을 점유하고 있음. 최근에는 세계 철도시장에서의 입지를 계속해서 굳히기 위해 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 활발한 연구개발을 수행 중에 있음.
- (Alstom Urbalis Fluence) 최근 유럽 Alstom의 경우 지난 2014년부터 기존의 CBTC와 같은 지상중심 무선통신기반열차제어시스템의 한계를 극복하기 위해 차세대 CBTC Solution인 Urbalis Fluence를 개발 중에 있으며 이는 세계최초 train-centric CBTC로서 열차 간 통신을 통해 최소 운전시격을 60초까지 단축이 가능함.
- (Shift2Rail) Shift2Rail은 유럽의 선진제작사 공동 프로젝트로 열차제어시스템 외에도 다양한 분야에 대한 연구를 진행하고 있으며 특히 선로의 용량 즉, 수송량을 획기적으로 증대하면서 노선의 운영자 또는 승객에게 높은 수준의 서비스를 목표로 열차 가상연결(Virtual Coupling)에 대한 연구를 2018년부터 수행예정임.
- (중국 NGCTCS) 유럽의 NGTCS를 기초로하여 중국은 자국의 열차제어시스템 개발방향으로 NGCTCS를 수립하였으며 열차간 통신기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 반영하고 있음.
- (DLR Next Generation Train) 독일 Aerospace Center DLR에서는 차세대 열차 프로젝트의 일환으로 열차 가상연결에 대한 연구를 수행 중에 있음.
- (Thales Autonomous Train) 유럽의 Thales는 열차스스로 전방상황을 인지하고 주행여부를 판단할 수 있는 자율주행 열차에 대한 연구개발을 수행 중에 있음.

3. 연구개발 내용

- 가상열차편성 핵심기술 개발
 - 가상열차 연결제어시스템 프로토타입 설계
 - 시스템 요구사항 설계
 - 가상열차 연결/해제 제어기술
 - 고정밀 속도추종제어 기술
 - 가상열차편성내 안전간격 확보 및 보상기술
 - 가상열차편성제어시스템 프로토타입 개발
 - 가상열차편성제어시스템 프로토타입 검증 및 보완
 - 국제규격에 따른 안전성 활동 및 평가

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발
 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증
 - 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
 - 새로운 열차제어 및 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도
 - 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용
 - 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
- 추진체계
 - 국내 철도, 열차제어, 통신 및 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
 - 원천기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영기관의 참여
 - 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시
 - 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함
 - 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음
 - 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모
 - 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고
 - 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축
 - 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물	
□주요 최종 성과물	○ 가상열차편성 핵심요소기술 개발 - 가상열차편성 연결제어시스템 프로토타입 - 개발관련 국제규격(IEC 62278, IEC 62279)에 따른 설계문서 - 가상열차편성 프로토타입 시험평가결과 - 국제 개발규격에 따른 안전성 활동 보고서
6. 기대효과 및 파급효과	
	○ 기대효과 - (수송량 증대) 열차간 가상연결제어로 수송량 50% 증대와 이로 인해 철도 운영기관 운영수익 증대효과 및 이용자 통행시간 절감효과 기대 - (운영자 편의성 향상) 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대. - (안전성 향상) 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능. - (승객 서비스 향상) 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대 ○ 파급효과 - (타 분야 기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적 확보를 통해 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능. - (4차산업 핵심기술 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련 - (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음 - (차세대 기술확보) 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능 - (경쟁력향상) 세계 최초로 열차간 통신기반 열차자율주행제어 기술을 기술적으로 가능케 함으로써 국내 열차제어기술이 세계선도기술라는 인식과 함께 해외 경쟁력 확보 - (기타) 철도 이용객의 운전시각 단축을 통한 통행시간 절감에 따른 통행시간의 가치와 도로 이용객 수 감소로 인한 에너지 절감효과 안전성 향상을 통한 인적·물적 피해감소 등의 직간접 효과를 가짐.
7. 연구개발기간 및 소요예산	
	○ 총 연구기간 : 5년 ○ 총 연구개발비 : 4,300 백만원(민간부담금 1,075 백만원 포함)

- 1차년도 연구개발비 : 700 백만원(민간부담금 175 백만원 포함)
- ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음
- ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

8. 기 타

6. 5세부 과제 : 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발

연구과제명	지능형 열차자율주행시스템 기술개발
1. 연구 개발목표	
	○ 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발(TRL 7) - On Site 기반 시험평가 테스트 베드구축 - On Site 기반 성능평가 기술개발
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	
□ 연구개발 필요성	○ 수송력(Capacity) 측면 - 기존의 CBTC와 같은 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행함. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 최소 운전시격을 90초까지 단축 가능하나 후행열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic-path 제어경로를 가지기 때문에 운전시격의 단축에 있어서 한계를 가짐. - 이러한 한계를 극복하기 위해서는 제어 패러다임의 변화가 필요하며 선행열차와 후행열차 간 direct-path 형태의 직접적인 제어경로를 통해 열차의 안전한 간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템 개발이 필요함. - 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템에서 후행열차와 선행열차 간 충돌방지를 위해 반드시 확보해야하는 안전간격의 대부분은 열차의 제동거리이며 열차의 속도가 높을수록 확보해야하는 안전간격이 증가하여 노선의 수송량 증대에 한계가 발생함. - 따라서 열차 편성 간 안전간격을 열차의 제동거리 이하로 줄임으로써 노선의 수송량을 극대화 할 수 있도록 주행 상황에서 자유로운 열차편성간 가상연결 및 분리 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함. ○ 설비투자비(Cost) 측면 - 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상 ATP, EIS 등의 지상설비가 반드시 필요하며 지상에서 관할 영역의 모든 열차를 관리하게 되므로 일정 수의 투입열차 이상에서는 처리용량에 한계가 발생됨. 따라서 일정구간 또는 처리용량에 따라 설비의 증설이 필요함 ※ IEEE 1474.1 CBTC FRS22)의 경우 지상 ATP 최대 처리용량을 10에서 40편성으로 규정하였으며 이를 초과시 지상 ATP를 증설하여야 함 - 기존 지상중심 무선통신열차제어시스템의 지상 ATP, EI 등의 지상설비 없이 열차간 제어정보 교환을 통해 안전한 열차운행이 가능한 열차자율주행

기술개발이 필요함

○ 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면

- 기존의 지상중심 열차제어시스템은 지상제어시스템의 처리 용량으로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며, 열차의 편성조성 또한 열차와 열차사이 연결과 분리는 물리적 연결기를 통해서만 가능하여 유동적인 수송수요에 대응하기 어려운 구조임.
- 특히 기존의 물리적 연결기의 경우 연결과 분리에 상당한 소요시간이 발생되며 운영자 인적 오류에 의한 사고발생이 빈번하게 발생됨.
- 따라서 노선의 확장 또는 투입열차의 증대 및 유동적인 수송수요 등의 운영상의 변화에 대응이 가능하도록 주행 중 연결과 분리가 자유로운 열차 자율주행 기술개발이 필요함.
- 또한 기존의 지상중심 열차제어시스템의 경우 열차의 운행 중 사고 및 고장 등의 이례상황 발생 시 관제의 운영자가 수동으로 열차 운행을 조작함으로써 신속한 대응이 불가능하고 인적오류의 위험이 존재함.
- 따라서 주행상황에서 발생하는 여러 가지 이례상황 발생 시 열차 간 자율협업기반 상황인지 및 판단을 통해 열차 스스로 자신의 주행경로를 재설정하여 정시성 보장 및 스케줄을 준수하기 위한 제어가 가능한 열차자율주행시스템 기술개발이 필요함.

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내 열차제어시스템 기술개발은 국내철도산업의 한계로 인해 정부주도의 연구개발사업을 통해 수행되고 있으며 최근 한국형 무선통신기반 열차제어시스템을 성공적으로 개발하였음.
- 하지만 국내 기술수준은 유럽과 일본, 미국, 중국에서 이미 개발한 CBTC 기술을 확보한 수준이며 열차자율주행기술과 같은 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 핵심기술의 선점을 위해서는 핵심기술개발 단계에서부터 장기적인 지원이 필요함.

○ 국외 기술동향

- 유럽은 일찍이 선진 제작사를 중심으로 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 기술을 확보하였으며 이러한 기술력을 바탕으로 전세계 철도신호시장을 점유하고 있음. 최근에는 세계 철도시장에서의 입지를 계속해서 굳히기 위해 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 활발한 연구개발을 수행 중에 있음.
- (Alstom Urbalis Fluence) 최근 유럽 Alstom의 경우 지난 2014년부터 기존의 CBTC와 같은 지상중심 무선통신기반 열차제어시스템의 한계를 극복하기 위해 차세대 CBTC Solution인 Urbalis Fluence를 개발 중에 있으며 이는 세계최초 train-centric CBTC로서 열차 간 통신을 통해 최소 운전시

	격을 60초까지 단축이 가능함. - (Shift2Rail) Shift2Rail은 유럽의 선진제작사 공동 프로젝트로 열차제어시스템 외에도 다양한 분야에 대한 연구를 진행하고 있으며 특히 선로의 용량 즉, 수송량을 획기적으로 증대하면서 노선의 운영자 또는 승객에게 높은 수준의 서비스를 목표로 열차 가상연결(Virtual Coupling)에 대한 연구를 2018년부터 수행예정임. - (중국 NGCTCS) 유럽의 NGTCS를 기초로하여 중국은 자국의 열차제어시스템 개발방향으로 NGCTCS를 수립하였으며 열차간 통신기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 반영하고 있음. - (DLR Next Generation Train) 독일 Aerospace Center DLR에서는 차세대 열차 프로젝트의 일환으로 열차 가상연결에 대한 연구를 수행 중에 있음. - (Thales Autonomous Train) 유럽의 Thales는 열차 스스로 전방상황을 인지하고 주행여부를 판단할 수 있는 자율주행 열차에 대한 연구개발을 수행 중에 있음.
3. 연구개발 내용	
	○ 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 - On Site 기반 성능평가 방안 및 계획수립 - On Site 기반 성능평가 항목 및 방법 도출 - On Site 기반 차상 및 지상 테스트베드 설계 - On Site 기반 차상 및 지상 테스트베드 구축 - 시스템 통합 및 현장 시험평가
4. 연구개발 추진방법	
☐ 추진전략	○ Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증 ○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 ○ 새로운 열차제어 및 통신시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
☐ 추진체계	○ 국내 철도, 열차제어, 통신 및 보안 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행 ○ 원천기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 철도운영

	기관의 참여 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완 사항에 대한 자문 실시 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계 구축 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축
5. 최종성과물	
□주요 최종 성과물	○ 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 - On Site 기반 시험평가 방안 및 시험절차서 - On Site 기반 시험평가 테스트 베드 - On Site 기반 시험평가 결과보고서 및 시험성적서
6. 기대효과 및 파급효과	
	○ 기대효과 - (운전시격 단축) 열차간 직접적인 간격제어로 운전시격 30% 단축과 이로 인해 철도 운영기관 운영수익 증대효과 및 이용자 통행시간 절감효과 기대 - (설비투자비용 절감) 지상설비 절감을 통해 설비투자비용 및 유지보수비용 20% 절감기대 - (운영자 편의성 향상) 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율 협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대. 또한 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대. - (안전성 향상) 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능. 또한 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능. - (승객 서비스 향상) 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대

○ 파급효과

- (타 분야 기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 선도적 확보를 통해 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.
- (4차산업 핵심기술 선점) 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련
- (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음
- (차세대 기술확보) 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능
- (경쟁력향상) 세계 최초로 열차간 통신기반 열차자율주행제어 기술을 기술적으로 가능케 함으로써 국내 열차제어기술이 세계선도기술라는 인식과 함께 해외 경쟁력 확보
- (기타) 철도 이용객의 운전시각 단축을 통한 통행시간 절감에 따른 통행시간의 가치와 도로 이용객 수 감소로 인한 에너지 절감효과 안전성 향상을 통한 인적·물적 피해감소 등의 직간접 효과를 가짐.

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 5년
- 총 연구개발비 : 14,400 백만원
 - 1차년도 연구개발비 : 350 백만원
- ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음
- ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

8. 기 타

3절 공모조건

공모조건	
	○ 1차년도 연구성과에 대한 중간평가 결과에 따라 2차년도 계속지원여부 결정 ○ 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조하여 작성 - 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시 ○ 과제 신청자는 연구개발 성과목표.지표 등을 연구개발계획서에 제시 - 연구개발 성과목표.지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함 - 제시한 성과지표에 건설기술혁신사업의 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약시 조정(추가) 가능 ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검.관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용 - 연구성과의 실용화(정책제안)로 예상되는 기술, 경제, 사회.문화적 파급효과 및 산출근거 제시 - 연구성과의 실용성 검증 계획을 반드시 제시해야 함 ○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료.기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함 ○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함 ○ 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인

연계.통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kictep.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

4절 선정평가 방법

기준항목	세부평가항목	배점
연구개발 목표(20점)	최종 목표/성과목표의 명확성, 타당성, 창의성	10
	연차별 연구목표/성과목표(지표) 설정의 적절성, 구체성	10
연구개발 내용(20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성	15
추진전략 및 계획 (30점)	연구개발 추진전략 및 연차별 추진체계의 합리성	10
	연구수행 방법의 적합성, 구체성, 타당성	10
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등)	10
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	연구성과 활용방안의 적절성 및 구체성	10
	개발 기술의 기대성과(기술적·경제적) 및 파급효과	10
연구책임자의 연구수행능력 (10점)	연구책임자의 연구수행·관리능력 및 관련분야 연구경험	5
	참여연구인력의 적정성 및 전문성	5
소계		100

[별첨] 소요예산 투입계획 - 지능형 열차 자율주행 핵심기술 개발

가. 총 연구비

(단위 : 백만원)

구분	세부과제명	1단계					2단계					총연구비
		1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	
1세부	1. 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발	1,000	1,500	2,500	2,000	1,500	1,800 (450)	2,700 (675)	3,200 (800)	3,000 (750)	1,300 (325)	20,500 (3,000)
2세부	2. 열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발	800	1,200	1,200	1,000	1,000	3,500 (875)	4,000 (1,000)	2,800 (700)	500 (125)	500 (125)	16,500 (2,825)
3세부	3. 열차자율주행기반 스마트관제 기술개발	800	1,100	1,600	1,500	1,300	600 (150)	600 (150)	600 (150)	600 (150)	600 (150)	9,300 (750)
4세부	4. 가상열차편성 기술개발	400	600	650	650	700	700 (175)	1,000 (250)	1,000 (250)	1,000 (250)	600 (150)	7,300 (1,075)
5세부	5. 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발	400	500	700	800	600	350	2,800	2,800	7,450	1,000	17,400
합 계		3,400	4,900	6,650	5,950	5,100	6,950 (1,650)	11,100 (2,075)	10,400 (1,900)	12,550 (1,275)	4,000 (750)	71,000 (7,650)

나. 세부과제별 연구비

(1) 1세부과제 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발

(가) 1세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1단계						2단계						합계
	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	소계	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	소계	
인건비	330	420	480	480	420	2,130	510	510	510	330	330	2,190	4,320
연구장비재료비	220	520	1,470	710	580	3,500	763	1,153	1,522	1,522	15	4,975	8,475
기타경비 및 간접비	450	560	550	810	500	2,870	527	1,037	1,168	1,148	955	4,835	7,705
세부과제 연구비(소계)	1,000	1,500	2,500	2,000	1,500	8,500	1,800 (450)	2,700 (675)	3,200 (800)	3,000 (750)	1,300 (325)	12,000 (3,000)	20,500 (3,000)

(나) 1세부과제 인건비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
1-1. 차상중심 분산형 열차방호 기술개발		소계		54					1,620
1-1-1. 분산형 열차방호시스템 프로토타입 설계		2년	1차년도	3	12	50	18	5	90
			2차년도	5	12	50	30	5	150

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행 연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
	1-1-2. 분산형 열차방호시스템 프로토타입 개발	2년	3차년도	5	12	50	30	5	150
			4차년도	5	12	50	30	5	150
	1-1-3. 분산형 열차방호시스템 프로토타입 검증 및 보완	1년	5차년도	5	12	50	30	5	150
	1-1-4. 분산형 열차방호시스템 시제품 설계	1년	6차년도	7	12	50	42	5	210
	1-1-5. 분산형 열차방호시스템 시제품 개발	2년	7차년도	7	12	50	42	5	210
			8차년도	7	12	50	42	5	210
	1-1-6. 분산형 열차방호시스템 시제품 시험평가	2년	9차년도	5	12	50	30	5	150
			10차년도	5	12	50	30	5	150
1-2. 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발		소계		40					1,200
	1-2-1. 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 설계	2년	1차년도	3	12	50	18	5	90
			2차년도	3	12	50	18	5	90
	1-2-1. 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 개발	2년	3차년도	5	12	50	30	5	150
			4차년도	5	12	50	30	5	150
	1-2-3. 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	1년	5차년도	3	12	50	18	5	90
	1-2-4. 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 설계	1년	6차년도	5	12	50	30	5	150
	1-2-5. 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 개발	2년	7차년도	5	12	50	30	5	150
			8차년도	5	12	50	30	5	150
	1-2-6. 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 시험평가	2년	9차년도	3	12	50	18	5	90
			10차년도	3	12	50	18	5	90

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행 연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
1-3. 상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발		소계		14					420
	1-3-1. 상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 설계	1년	1차년도	2	12	50	12	5	60
	1-3-2. 상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 개발	1년	2차년도	3	12	50	18	5	90
	1-3-3. 상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 검증 및 보완	1년	3차년도	3	12	50	18	5	90
	1-3-4. 상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 설계 및 개발	1년	4차년도	3	12	50	18	5	90
	1-3-5. 상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 시험평가	1년	5차년도	3	12	50	18	5	90
1-4. 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발		소계		36					1,080
	1-4-1. 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 설계	2년	1차년도	3	12	50	18	5	90
			2차년도	3	12	50	18	5	90
	1-4-2. 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 개발	2년	3차년도	3	12	50	18	5	90
			4차년도	3	12	50	18	5	90
	1-4-3. 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	1년	5차년도	3	12	50	18	5	90
	1-4-4. 상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 설계	1년	6차년도	5	12	50	30	5	150
	1-4-5. 상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 개발	2년	7차년도	5	12	50	30	5	150
			8차년도	5	12	50	30	5	150
	1-4-6. 상황인지 및 판단/제어시스템 시제품 시험평가	2년	9차년도	3	12	50	18	5	90
			10차년도	3	12	50	18	5	90

(다) 1세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

(단위:백만원)

세부기술별연구활동			연구 기간	수행 연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)					연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장 비재료 비합계
					품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
1-1.차상중심분산형열차방호기술개발									1,440					20				1,710					3,170		
1-1-1. 분산형 열차방호시스템 프로토타입 설계	2년	1차 년도	시스템설 계TOOL	SCADE-S YSTEM	1	50	50											전산관 리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	55		
		2차 년도						시스템분 석TOOL	Matlab등	2	10	20						전산관 리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	25		
	2년	3차 년도	시스템개 발TOOL	SCADE-S UITE	2	200	400						열차방호시스템프 로토타입H/W및S/ W	sub-rack systemH/ W및S/W	1	200	200	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	607.5		
		4차 년도										열차방호시스템프 로토타입H/W및S/ W	sub-rack systemH/ W및S/W	1	200	200	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	207.5			
	1년	5차 년도	시스템테 스트TOOL	SCADE-TE ST	2	50	100						열차방호시스템프 로토타입검증용H/ W및S/W	SystemR ackH/W 및S/W	1	100	100	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	207.5		
		6차 년도	시스템개 발TOOL	임베디드개 발TOOL	3	30	90											전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	97.5		
	2년	안전성평 가비용		평가비	1	200	200																200		
		7차 년도	시스템O S	임베디드시 스템OS 및라이선스	1	200	200											전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	207.5		
		8차 년도	안전성평 가비용	평가비	1	200	200						공인기관시험성적 비용	시험비용	1	10	10						210		
	2년	9차 년도	안전성평 가비용	평가비	1	100	100						열차방호시스템시 제품H/W및S/W	sub-rack systemH/ W및S/W	2	300	600	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	707.5		
		10차 년도											열차방호시스템시 제품H/W및S/W	sub-rack systemH/ W및S/W	2	300	600	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	707.5		
1-1-6. 분산형 열차방호시스템 시제품 시험평가																	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	5			

(단위:백만원)

세부기술별연구활동			연구기간	수행연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)					연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장비재료비합계
					품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
1-2.차상중심분산형진로및분기제어기술개발									1,440					20				1,770				-		3,230	
1-2-1. 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 설계	2년	1차년도	시스템설계TOOL	SCADE-SYSTEM	1	50	50											전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	55		
		2차년도						시스템분석TOOL	Matlab 등	2	10	20						전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	25		
1-2-1. 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 개발	2년	3차년도	시스템개발TOOL	SCADE-SUITE	2	200	400						진로및분기제어시스템프로토타입H/W및S/W	sub-rack systemH/W및S/W	1	300	300	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	707.5		
		4차년도										진로및분기제어시스템프로토타입H/W및S/W	sub-rack systemH/W및S/W	1	300	300	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	307.5			
1-2-3. 분산형 진로 및 분기제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	1년	5차년도	시스템TESTTOOL	SCADE-TEST	2	50	100						열차방호시스템프로토타입검증용H/W및S/W	SystemRackH/W및S/W	1	100	100	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	207.5		
1-2-4. 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 설계	1년	6차년도	시스템개발TOOL	임베디드시스템개발TOOL	3	30	90										전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	97.5			
			안전성평가비용	컨설팅및평가비용	1	200	200																200		
1-2-5. 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 개발	2년	7차년도	시스템OS	임베디드시스템OS 및라이선스	1	200	200										전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	207.5			
			안전성평가비용	평가비	1	200	200						공인기관시험성적비용	시험비용	1	10	10	전산관리비				210			
		8차년도	안전성평가비용	평가비	1	100	100						진로및분기제어시스템시제품H/W및S/W	sub-rack systemH/W및S/W	2	200	400	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	507.5		
1-2-6. 분산형 진로 및 분기제어시스템 시제품 시험평가	2년	9차년도	안전성평가비용	평가비	1	100	100						진로및분기제어시스템시제품H/W및S/W	sub-rack systemH/W및S/W	2	200	400	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	507.5		
		10차년도															전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	5			

(단위:백만원)

세부기술별연구활동			연구기간	수행연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)					연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장비재료비합계
					품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
1-3.상황인지를위한가상인터페이스기술개발									330							260							590		
1-3-1. 상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 설계	1년	1차년도	시스템설계TOOL	SCADE-SYSTEM	1	50	50										전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	55			
1-3-2. 상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 개발	1년	2차년도	시스템개발TOOL	SCADE-SUITE	1	200	200					가상인터페이스시스템프로토타입H/W및S/W	sub-rack systemH/W및S/W	2	30	60	전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	265			
1-3-3. 상황인지를 위한 가상인터페이스 프로토타입 검증 및 보완	1년	3차년도	시스템테스트TOOL	SCADE-TEST	1	50	50										전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	57.5			
1-3-4. 상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 설계 및 개발	1년	4차년도	시스템개발TOOL	임베디드시스템개발TOOL	1	30	30					진로및분기제어시스템시제품H/W및S/W	sub-rack systemH/W및S/W	2	50	100	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	137.5			
1-3-5. 상황인지를 위한 가상인터페이스 시제품 시험평가	1년	5차년도										진로및분기제어시스템시제품H/W및S/W	sub-rack systemH/W및S/W	2	50	100	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	107.5			
1-4.열차간협업기반상황인지및판단/제어기술개발									910					40									1,510		
1-4-1. 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 설계	2년	1차년도	시스템설계TOOL	SCADE-SYSTEM	1	50	50										전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	55			
		2차년도	시스템개발TOOL	SCADE-SUITE	1	200	200										전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	205			
1-4-2. 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 개발	2년	3차년도						시스템분석TOOL	빅데이터및시분석TOOL	2	20	40	상황인지및판단시스템프로토타입H/W및S/W	sub-rack systemH/W및S/W	1	50	50	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	97.5		
		4차년도										상황인지및판단시스템프로토타입H/W및S/W	sub-rack systemH/W및S/W	1	50	50	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	57.5			
1-4-3. 상황인지 및 판단/제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	1년	5차년도										상황인지및판단시스템프로토타입검증용H/W및S/W	SystemRackH/W및S/W	1	50	50	전산관리비	재료구입및전산처리비	15	0.5	7.5	57.5			

(단위:백만원)

세부기술별연구활동		연구 기간	수행 연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)					연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장 비재료 비합계
				품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
1-4-4. 상황인지 및 판단/ 제어시스템 시제품 설 계	1년	6차 년도	시스템개 발TOOL	임베디드시 스템개발T OOL	2	30	60											전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	67.5	
			안전성평 가비용	평가비	1	100	100															-		100
1-4-5. 상황인지 및 판단/ 제어시스템 시제품 개 발	2년	7차 년도	시스템O S	임베디드시 스템OS 및라이선스	1	200	200											전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	207.5	
			안전성평 가비용	평가비	1	100	100						공인기관시험성적 비용	시험비용	1	10	10					-		110
		8차 년도	안전성평 가비용	평가비	1	100	100						상황인지및판단시 스템시제품H/W및 S/W	sub-rack systemH/ W및S/W	2	100	200	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	307.5	
1-4-6. 상황인지 및 판단/ 제어시스템 시제품 시 험평가	2년	9차 년도	안전성평 가비용	평가비	1	100	100						상황인지및판단시 스템시제품H/W및 S/W	sub-rack systemH/ W및S/W	2	100	200	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	15	0.5	7.5	307.5	
		10차 년도																전산관 리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	5	

(2) 2세부과제 : 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발

(가) 2세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1단계						2단계						합계
	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	소계	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	소계	
인건비	300	300	300	300	300	1,500	300	300	300	300	300	1,500	3,000
연구장비재료비	31	231	206	6	6	480	2,254	2,754	1,504	4	4	6,520	7,000
기타경비 및 간접비	469	669	694	694	694	3,220	946	946	996	196	196	3,280	6,500
세부과제 연구비(소계)	800	1,200	1,200	1,000	1,000	5,200	3,500 (875)	4,000 (1,000)	2,800 (700)	500 (125)	500 (125)	11,300 (2,825)	16,500 (2,825)

(나) 2세부과제 인건비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
2-1. 열차간직접적인통신기술개발		소계		121					1,956
2-1-1.T2T통신표준화연구		5년	1차년도	5	12	29%	17.52	5	87.6
			2차년도	5	12	29%	17.52	5	87.6
			3차년도	5	12	29%	17.52	5	87.6
			4차년도	5	12	29%	17.52	5	87.6

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행 연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
	2-1-2.T2T통신프로토타입제작	5년	5차년도	5	12	29%	17.16	5	85.8
			1차년도	3	12	29%	10.44	5	52.2
			2차년도	3	12	29%	10.44	5	52.2
			3차년도	3	12	29%	10.44	5	52.2
			4차년도	3	12	29%	10.44	5	52.2
			5차년도	3	12	29%	10.44	5	52.2
	2-1-3.열차자율주행기반T2T통신프로토콜S/W개발	5년	1차년도	3	12	29%	10.44	5	52.2
			2차년도	3	12	29%	10.44	5	52.2
			3차년도	3	12	29%	10.44	5	52.2
			4차년도	3	12	29%	10.44	5	52.2
			5차년도	3	12	30%	10.8	5	54
	2-1-4.열차자율주행기반T2T통신을위한망인프라기술개발	5년	6차년도	5	12	25%	15	5	75
			7차년도	5	12	25%	15	5	75
			8차년도	5	12	25%	15	5	75
			9차년도	5	12	30%	18	5	90
			10차년도	5	12	30%	18	5	90
	2-1-5.T2T통신을위한차상단말모뎀제작	3년	6차년도	7	12	25%	21	5	105
			7차년도	7	12	25%	21	5	105
			8차년도	7	12	25%	21	5	105
	2-1-6.열차자율주행을위한T2T통신현장통합시험및보완	2년	9차년도	10	12	23%	27.6	5	138

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행 연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
			10차년도	10	12	23%	27.6	5	138
2-2. 통신보안기술개발		소계		70					1,044
	2-2-1. 물리적 신호 교란에 강인한 보안원천 기술 개발	5년	1차년도	3	12	30%	10.8	5	54
			2차년도	3	12	30%	10.8	5	54
			3차년도	3	12	30%	10.8	5	54
			4차년도	3	12	30%	10.8	5	54
			5차년도	3	12	30%	10.8	5	54
	2-2-2. 물리적 신호 교란에 강인한 보안 시스템 제작 및 검증	5년	6차년도	4	12	30%	14.4	5	72
			7차년도	4	12	25%	12	5	60
			8차년도	4	12	25%	12	5	60
			9차년도	4	12	15%	7.2	5	36
			10차년도	4	12	15%	7.2	5	36
	2-2-3. 사이버 공격에 강인한 보안원천 기술 개발	5년	1차년도	3	12	30%	10.8	5	54
			2차년도	3	12	30%	10.8	5	54
			3차년도	3	12	30%	10.8	5	54
			4차년도	3	12	30%	10.8	5	54
			5차년도	3	12	30%	10.8	5	54
	2-2-4. 사이버 공격에 강인한 보안 모듈 제작 및 시험	5년	6차년도	4	12	20%	9.6	5	48
			7차년도	4	12	25%	12	5	60
			8차년도	4	12	25%	12	5	60
			9차년도	4	12	15%	7.2	5	36
			10차년도	4	12	15%	7.2	5	36

(다) 2세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

(단위:백만원)

세부기술별연구활동		연구 기간	수행 연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)					연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
				품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
2-1. 열차간직접적인통신기술개발								2,000					50					4,500					50	6,600
2-1-1. T2T 통신 표준화 연구	5년	1차 년도																전산소 모품	10	0.2	2	2		
		2차 년도																전산소 모품	10	0.2	2	2		
		3차 년도																전산소 모품	10	0.2	2	2		
		4차 년도																전산소 모품	10	0.2	2	2		
		5차 년도																전산소 모품	10	0.2	2	2		
2-1-2. T2T 통신 프로토 타입 제작	5년	1차 년도						T2T프로토타입 형상관리S/W	개	10	2.5	25						전산소 모품	10	0.2	2	27		
		2차 년도	채널emu lator	개	1	200	200	T2T프로토타입 형상관리S/W	개	10	2.5	25						전산소 모품	10	0.2	2	227		
		3차 년도	기지국e mulator	개	1	200	200										전산소 모품	10	0.2	2	202			
		4차 년도															전산소 모품	10	0.2	2	2			
		5차 년도															전산소 모품	10	0.2	2	2			
2-1-3. 열차자율주행 기반 T2T 통신 프로토콜 S/W 개발	5년	1차 년도															전산소 모품	10	0.2	2	2			
		2차 년도															전산소 모품	10	0.2	2	2			
		3차 년도															전산소 모품	10	0.2	2	2			
		4차 년도															전산소 모품	10	0.2	2	2			
		5차 년도															전산소 모품	10	0.2	2	2			

(단위:백만원)

세부기술별연구활동		연구기간	수행연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)				연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
				품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	
2-1-4. 열차자율주행 기반 T2T 통신을 위한 망 인프라 기술 개발	5년	6차 년도	기지국	개	2	400	800						T2T 통신용기지국개발	개	1	250	250		전산소 모품	10	0.2	2	1,052
		7차 년도	EPC	개	1	800	800						T2T 통신용기지국개발	개	1	250	250		전산소 모품	10	0.2	2	1,052
		8차 년도																	전산소 모품	10	0.2	2	2
		9차 년도																	전산소 모품	10	0.2	2	2
		10차 년도																	전산소 모품	10	0.2	2	2
	3년	6차 년도											T2T 차상모뎀칩개발	개	1	1,000	1,000		전산소 모품	10	0.2	2	1,002
		7차 년도											T2T 차상모뎀칩개발	개	1	1,500	1,500		전산소 모품	10	0.2	2	1,502
		8차 년도											T2T 차상모뎀칩개발	개	1	1,500	1,500		전산소 모품	10	0.2	2	1,502
	2년	9차 년도																	전산소 모품	10	0.2	2	2
		10차 년도																	전산소 모품	10	0.2	2	2
2-2. 통신보안기술개발																4,500					50	6,600	
2-2-2. 물리적 신호교란에 강인한 보안시스템 제 작 및 검증	1년	6차 년도											물리적신호교란검 지시스템제작	개	1	100	100						100
2-2-4. 사이버 공격에 강 인한 보안 모듈 제작 및 시험	2년	6차 년도											제어/통신시스템을 위한보안모듈제작	개	1	100	100						100
		7차 년도											제어/통신시스템을 위한보안모듈제작	개	1	100	100						100

(3) 3세부과제 : 열차 자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발

(가) 3세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1단계						2단계						합계
	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	소계	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	소계	
인건비	540	540	840	600	660	3,180	420	420	420	360	360	1,980	5,160
연구장비재료비	45	140	385	558	320	1,448	10					10	1,458
기타경비 및 간접비	215	420	375	342	320	1,672	170	180	180	240	240	1,010	2,682
세부과제 연구비(소계)	800	1,100	1,600	1,500	1,300	6,300	600 (150)	600 (150)	600 (150)	600 (150)	600 (150)	3,000 (750)	9,300 (750)

(나) 3세부과제 인건비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
3-1.스마트관제시스템및센터구축기술개발		소계		64					3,840
3-1-1.스마트관제시스템핵심알고리즘개발		3년	1차년도	5	12	100%	60	5	300
			2차년도	5	12	100%	60	5	300
			3차년도	5	12	100%	60	5	300

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행 연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
	3-1-2.스마트관제시스템프로토타입개발	3년	3차년도	5	12	100%	60	5	300
			4차년도	5	12	100%	60	5	300
			5차년도	6	12	100%	72	5	360
	3-1-3.스마트관제시스템시험/평가및보완	5년	6차년도	7	12	100%	84	5	420
			7차년도	7	12	100%	84	5	420
			8차년도	7	12	100%	84	5	420
			9차년도	6	12	100%	72	5	360
			10차년도	6	12	100%	72	5	360
	3-2.스마트스케줄링기술개발		소계		22				1,320
	3-2-1.스마트스케줄링S/W기본및상세설계	1년	1차년도	4	12	100%	48	5	240
	3-2-2.스마트스케줄링핵심알고리즘개발	2년	2차년도	4	12	100%	48	5	240
			3차년도	4	12	100%	48	5	240
	3-2-3.스마트스케줄링S/W프로그램개발	2년	4차년도	5	12	100%	60	5	300
			5차년도	5	12	100%	60	5	300

(다) 3세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

(단위:백만원)

세부기술별연구활동		연구 기간	수행 연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)					연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
				품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
3-1. 스마트관제시스템 및 센터구축기술 개발								75					38					800						3,313
3-1-1. 스마트 관제 시스템 핵심 알고리즘 개발	3년	1차 년도	최적화프로그 램라이브러리	서버용라 이선스		2	20	40											S/W 개발도구	PC용	3	800	2,400	2,440
		2차 년도																						-
		3차 년도																						-
	3년	3차 년도	관제시스템서 버	서버		1	35	35						시작품 제작비	용역	1	250	250						285
		4차 년도							관제시스 템단말	PC	2	4	8	시작품 제작비	용역	1	250	250						258
		5차 년도							DBMS	서버용라 이선스	2	10	20	시작품 제작비	용역	1	300	300						320
	5년	6차 년도							미들웨어	서버용라 이선스	2	5	10											10
		7차 년도																						-
		8차 년도																						-
		9차 년도																						-
		10차 년도																						-

(단위:백만원)

세부기술별연구활동			연구 기간	수행 연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)					연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
					품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
3-2. 스마트스케줄링 기술개발								40					-				500						2,940		
	3-2-1. 스마트 스케줄링 S/W 기본 및 상세 설계	1년	1차 년도														S/W 개발도구	PC용	3	800	2,400	2,400			
	3-2-2. 스마트 스케줄링 핵 심 알고리즘 개발	2년	2차 년도	최적화프로그 램라이브러리	서버용라이선스	2	20	40					시작품 제작비	용역	1	100	100						140		
			3차 년도											시작품 제작비	용역	1	100	100						100	
	3-2-3. 스마트 스케줄링 S/W 프로그램 개발	2년	4차 년도										시작품 제작비	용역	1	300	300						300		
			5차 년도																				-		

(4) 4세부과제 : 가상열차편성 기술개발

(가) 4세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1단계						2단계						합계
	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	소계	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	소계	
인건비	90	150	150	150	150	690	150	150	150	150	150	750	1,440
연구장비재료비	25	106	106	56	156	449	306	306	306	406	155	1,479	1,928
기타경비 및 간접비	285	344	394	444	394	1,861	244	544	544	444	295	2,071	3,932
세부과제 연구비(소계)	400	600	650	650	700	3,000	700 (175)	1,000 (250)	1,000 (250)	1,000 (250)	600 (150)	4,300 (1,075)	7,300 (1,075)

(나) 4세부과제 인건비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
4-1.가상열차연결제어기술개발				48	120				1,440
4-1-1. 가상열차편성 연결제어 운영환경 및 기초 알고리즘 연구		2년	1차년도	3	12	50	18	5	90
			2차년도	5	12	50	30	5	150
4-1-2.가상열차편성연결제어알고리즘정의및구현		2년	3차년도	5	12	50	30	5	150
			4차년도	5	12	50	30	5	150

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
	4-1-3.가상열차편성연결제어알고리즘시뮬레이션및보완	1년	5차년도	5	12	50	30	5	150
	4-1-4.가상열차편성연결제어시스템프로토타입설계	1년	6차년도	5	12	50	30	5	150
	4-1-5.가상열차편성연결제어시스템프로토타입개발	2년	7차년도	5	12	50	30	5	150
			8차년도	5	12	50	30	5	150
	4-1-6.가상열차편성연결제어시스템프로토타입검증및보완	2년	9차년도	5	12	50	30	5	150
			10차년도	5	12	50	30	5	150

(다) 4세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별연구활동		연구 기간	수행 연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)					연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
				품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
4-1.가상열차연결제어기술개발								700					20					1,150					58	1,928
4-1-1. 가상열차편성 연결제어 운영환 경 및 기초 알고 리즘 연구	2년	1차 년도							시스템 분석TOOL	Matla b등	2	10	20						전산관 리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	25
		2차 년도												가상연결기운영시 뮬레이션프로그램 S/W제작	시스템S/W	1	100	100	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	12	0.5	6	106
4-1-2. 가상열차편성 연결제어 알고리 즘 정의 및 구현	2년	3차 년도												가상연결기알고리 즘S/W제작	시스템S/W	1	100	100	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	12	0.5	6	106
		4차 년도												가상연결기알고리즘 분석용프로그램설계	시스템S/W	1	50	50	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	12	0.5	6	56
4-1-3. 가상열차편성 연결제어 알고리즘 시뮬레이션 및 보완	1년	5차 년도												가상연결기알고리 즘분석용프로그램 제작	시스템S/W	1	150	150	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	12	0.5	6	156
4-1-4. 가상열차편성 연결제어시스템 프로토타입 설계	1년	6차 년도	시스템설 계TOOL	SCADE- SYSTEM	2	50	100										-		전산관 리비	재료구입및 전산처리비	12	0.5	6	106
			안전성평 가비용	평가비	1	200	200											-				-		200
4-1-5. 가상열차편성 연결제어시스템 프로토타입 개발	2년	7차 년도	안전성평 가비용	평가비	1	150	150							가상연결기프로토 타입H/W및S/W	sub-racksyste mH/W및S/W	1	150	150	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	12	0.5	6	306
		8차 년도	안전성평 가비용	평가비	1	150	150							가상연결기프로토 타입H/W및S/W	sub-racksyste mH/W및S/W	1	150	150	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	12	0.5	6	306
4-1-6. 가상열차편성 연결제어시스템 프로토타입 검증 및 보완	2년	9차 년도	안전성평 가비용	평가비	1	100	100							가상연결기프로토 타입검증용H/W및 S/W(HILS포함)	SystemRackH/ W및S/W	1	300	300	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	12	0.5	6	406
		10차 년도												프로토타입시험비 용	시험비용	1	150	150	전산관 리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	155

(5) 5세부과제 : 열차자율주행시스템 시험평가

(가) 5세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1단계						2단계						합계
	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	소계	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	소계	
인건비	150	150	150	150	150	750	150	150	210	210	210	930	1,680
연구장비재료비			150	200	20	370		2,000	2,000	5,680	470	10,150	10,520
기타경비 및 간접비	250	350	400	450	430	1,880	200	650	590	1,560	320	3,320	5,200
세부과제 연구비(소계)	400	500	700	800	600	3,000	350	2,800	2,800	7,450	1,000	14,400	17,400

(나) 5세부과제 인건비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
5-1. Lab.기반성능평가기술개발				25	60				750
5-1-1.	Lab.기반성능평가방안및계획수립	1년	1차년도	5	12	50	30	5	150
5-1-2.	Lab.기반성능평가항목및방법도출	1년	2차년도	5	12	50	30	5	150
5-1-3.	Lab.기반성능평가통합시뮬레이터설계	1년	3차년도	5	12	50	30	5	150
5-1-4.	Lab.기반성능평가통합시뮬레이터개발	1년	4차년도	5	12	50	30	5	150
5-1-5.	시스템통합및시뮬레이션기반시험평가	1년	5차년도	5	12	50	30	5	150

(단위 : 백만원)

세 부 기술 별 연구 활동		연구기간	수행 연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
5-2. Onsite기반성능평가기술개발		소계		31	60				930
	5-2-1. Onsite기반성능평가방안및계획수립	1년	6차년도	5	12	50	30	5	150
	5-2-2. Onsite기반성능평가항목및방법도출	1년	7차년도	5	12	50	30	5	150
	5-2-3. Onsite기반차상및지상테스트베드설계	1년	8차년도	7	12	50	42	5	210
	5-2-4. Onsite기반자상및지상테스트베드구축	1년	9차년도	7	12	50	42	5	210
	5-2-5. 시스템통합및현장시험평가	1년	10차년도	7	12	50	42	5	210

(다) 5세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별연구활동		연구기간	수행연도	연구시설및장비비 (3천만원이상)					연구시설및장비비 (3천만원이하)					시작품제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
				품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	품명	규격	수량	단가	소계	
5-1. Lab기반 성능평가 기술개발													20				350							370
	5-1-1. Lab. 기반 성능평가 방안 및 계획 수립	1년	1차 년도																					
	5-1-2. Lab. 기반 성능평가 항 목 및 방법 도출	1년	2차 년도																					
	5-1-3. Lab. 기반 성능평가 통 합 시뮬레이터 설계	1년	3차 년도										통합시물 레이터	통합시물레이 터H/W,S/W	1	150	150							150
	5-1-4. Lab. 기반 성능평가 통 합 시뮬레이터 개발	1년	4차 년도										HILS장비	시뮬레이션HIL S장비	1	200	200							200
	5-1-5. 시스템 통합 및 시물레 이션 기반 시험평가	1년	5차 년도						계측센 서	계측용 센서	10	2	20											20
5-2.On site 기반 성능평가 기술개발								9,900					50				150						50	10,150
	5-2-1. On site 기반 성능평가 방안 및 계획 수립	1년	6차 년도																					
	5-2-2. On site 기반 성능평가 항목 및 방법 도출	1년	7차 년도	시험차 량확보	시험차량임대 및개조(2편성)	1	2,000	2,000																2,000
	5-2-3. Onsite 기반 차상 및 지 상 테스트베드 설계	1년	8차 년도	시험차 량확보	시험차량임대 및개조(2편성)	1	2,000	2,000																2,000
	5-2-4. Onsite 기반 자상 및 지 상 테스트베드 구축	1년	9차 년도	설비구 축	유무선통신망, 지상지등	1	5,500	5,500					계측시스 템	현장계측시스 템구축	1	150	150	현장기자 재구입	현장기자 재구입	1	30	30		5,680
	5-2-5. 시스템 통합 및 현장 시 험평가	1년	10차 년도	시험선 운영비	기관사인건비, 차량동력비	1	400	400	공인기 관시험	시험평 가비	1	50	50					시험장비 구입	시험기자 재구입	1	20	20		470