Land Infrastructure and Transport R&D Report

발간등록번호
11-1613000-002116-01

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )
국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D / 16RDPP-C123567-01

무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 기획 최종보고서

2018. 1.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템개발 기획" 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2018년 1월 일

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 윤 용 기
연 구 원 : 이 재 호
" : 김 용 규
" : 김 정 태
" : 최 돈 범
" : 김 성 진
" : 오 세 찬
" : 김 민 수
" : 박 성 수

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td colspan="2"></td><td>해당단계
연구기간</td><td>2016.12.26.
~
2017.12.25.</td><td>단계구분</td><td>최종보고서</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>세부 사업명</td><td colspan="5">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>세부 과제명</td><td colspan="5">무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">윤 용 기</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총 : 9명
내부: 9명
외부: 0명</td><td>해당단계
연구비</td><td colspan="2">정부: 69,000천원
민간: 천원
계: 69,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총 : 9명
내부: 9명
외부: 0명</td><td>총 연구비</td><td colspan="2">정부: 69,000천원
민간: 천원
계: 69,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속부서명</td><td colspan="3">한국철도기술연구원</td><td colspan="2">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자: 윤용기</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td colspan="2">보고서 면수 : 337</td></tr>
<tr><td colspan="6">하기 요약문 참조</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색인어
(각 5개 이상)</td><td>한글</td><td colspan="5">이동폐색, 열차제어, 자동운전, 신호시스템, 고속철도</td></tr>
<tr><td>영어</td><td colspan="5">Moving block, Train control, Autonomous operation,
Signalling system, High speed train</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제목

무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템개발 기획

Ⅱ. 기술의 정의 및 필요성

열차제어시스템은 열차의 위치를 검지하고 이를 바탕으로 열차를 안전하고 효율적으로 운행하도록 하는 안전설비이다. 기존의 궤도회로 대신 무선통신 방식으로 열차의 위치를 정밀하게 검지함으로써 열차간 안전간격을 단축하여 열차수송용량을 높일수 있고, 지상설비를 최소화하여 유지관리비용 절감 등을 기대할 수 있다. 이러한 무궤도회로 방식의 고속철도용 열차제어시스템을 개발하기 위해서는 열차위치검지기술, 이동폐색기반의 열차안전간격제어기술, 열차진로제어기술, 열차자동운전제어기술 및 열차운행관제기술 등의 개발이 요구된다.

최근 유럽은 철도산업혁신전략을 추진하고 있는데, 이는 고속철도에도 자동(무인)운전과 이동폐색기술을 적용하고, 철도노선간 상호운영성을 지원하여 철도신호시장을 단일화하는 것이다. 이를 통해서 유럽의 철도신호시스템의 시장규모를 확대할 수 있고, 이 같은 철도신호시장을 바탕으로 유럽이 철도산업주도권을 계속 유지하는 것을 목적으로 한다.

국내의 열차제어시스템 연구는 철도교통에 있어서 열차제어의 중요성을 인식하고 '철도 신호시스템 표준화방안(국토부, 2010.11)'의 KRTCS개발 및 실용화 전략을 수립한 이후 체계적으로 진행되었고, 이에 맞추어 무선통신을 이용하는 도시철도용 열차제어시스템(KRTCS 1, 무인운전지원, 이동폐색 적용)과 일반·고속철도용 열차제어시스템(KRTCS 2, 수동운전지원, 고정폐색 적용)을 개발을 완료하였다. KRTCS 1은 신림경전철 및 동북경전철에 적용되어 2022년부터 영업운행을 개시할 계획이고, KRTCS 2는 단계적으로 일반철도와 고속철도에 구축될 예정이다. 따라서 KRTCS 개발 및 실용화 전략은 성공적으로 완료될 것이며, 이를 통해서 국내·외에서 해외선진국과 경쟁할 수 있는 경쟁력을 확보하였다.

KRTCS 상용화가 진행되는 상황에서 차세대 열차제어시스템 개발을 연속적으로 추진하는 것이 관련 기관에 많은 어려움이 있을 수 있으나, 대외환경변화에 능동적으로 대응하여 국내 철도신호산업의 경쟁력을 높이기 위해서는 선제적 연구개발전략을 마련하여 시행하는 것이 필요하다.

Ⅲ. 국내외 동향 및 환경분석

유럽, 중국, 일본에서 경쟁력 강화 및 글로벌 철도산업 선도를 위해 각각 연구개발 및 혁신로드맵을 수립하고 차세대 신호통신시스템(열차제어시스템)의 연구개발을 추진하고 있다.

철도의 열차제어시스템 시장(약16조원, 2011~2013)은 연평균 3.1% 성장하고 있으며, 이를 세부화하면 신규노선 및 개량시장은 연평균 3.5%, 개수 및 유지보수시장은 연평균 3.0% 으로 성장이 예상된다. 현재 국내기업의 세계시장 점유율은 매우 미미하며, 지멘스 등 5개 기업이 시장의 70%를 과점한 상태이다.

이러한 차세대 신호통신시스템과 관련되어 이동폐색, 가상폐색, 열차위치검지, 차상제어장치 분야에서 다양한 특허와 논문이 산출되고 있으며, 특히 이동폐색, 가상폐색은 유럽과 일본

의 다국적 기업에서 보유한 기술이 많고, 열차위치검지는 중국과 일본에서 대부분의 기술을 보유하고 있다. 한국의 경우 출원 건수는 많으나 피인용 건수가 부족하여 양질의 기술을 시급히 확보할 필요가 있다.

유럽은 일반·고속철도의 상호운영을 확보하기 위해서 열차제어시스템개발을 체계적으로 진행하여 ETCS L1, ETCS L2를 상용화하고 있고, Shift2Rail프로젝트에서 CBTC시스템과 ETCS시스템을 통합한 NGTC시스템개발을 진행하고 있다. 국내는 한국형 철도신호시스템(KRTCS) 구축계획을 통해서 KRTCS1과 KRTCS2개발을 완료하였으나, 차세대열차제어시스템개발은 기획단계에 머무르고 있다.

철도신호분야에 대한 지속적인 연구개발을 통해서 연구경험이 풍부한 연구인력을 확보하였으나, 열차제어시스템의 완성도를 높일 수 있는 인프라는 부족한 것으로 판단된다. 철도형식승인 실시로 고속철도차량기술에 의한 형식승인을 고려해야 할 것으로 판단되나, 연구개발성과를 상용화하기 위한 제도마련은 아직 미비한 것으로 판단된다.

Ⅳ. 연구개발과제 구성 및 추진전략

연구단 과제로 구성하며 연구단과 3개의 세부과제로 구성하는 것이 적절할 것으로 판단하며, 궤도회로를 사용하지 않는 고속철도용 열차제어시스템 개발의 비전, 목표, 핵심기술은 다음과 같이 정의하였다.

- 비전 : 차세대 열차제어시스템 개발을 통한 국내 철도산업 경쟁력 강화 및 세계시장 선도
- 목표 : 수송능력, 경제성, 서비스, 안전성 향상
- 핵심기술 : 이동폐색, 자동운전, 위치검지, 철도무선통신, 무결성

열차제어시스템의 목표와 핵심기술을 개발하기 위해서 연구개발과제(주제)는 열차운행 실시간 제어관리기술, 열차위치검지기술, 이동폐색제어기술을 토대로 하는 열차안전간격제어기술, 기존 연동로직을 사용하는 열차진로제어기술, (무인)자동운전을 지원하는 자동열차운전기술, 도시철도를 포함한 기존 신호시스템의 지상설비와 연계하는 상호운영성기술, 통신망의 신뢰성을 높이는 기술, 시험현장 및 인프라구축, 안전성인증, 실용화 지원을 포함하고 있다.

본 기획과제의 열차제어시스템을 개발하고 이를 상용화하기 위해서 추진전략을 2단계로 제안하였다. 1단계는 4년(299억원, 상호운영성기술 개발비용 60억원 미포함)동안 진행되며 오송종합시험선을 포함하여 시험인프라를 구축하여 열차제어시스템의 성능, 기능 및 안전성을 검증한다. LTE-R통신망과 단말(휴대, 차상)는 KRTCS2에서 개발한 것을 활용한다. 2단계에서는 2년간 시범노선을 운영하면서 시스템의 완성도를 높인 후 영업운전으로 전환하고 상호운영기술 개발을 추진한다. 2단계 사업은 1단계에서 차상ATP/ATO장치를 개발한 참여기관을 중심으로 진행을 한다.

- 1세부 : 열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발
  - · 시스템통합 및 규격 개발
  - · 열차무결성검지장치 개발
  - · 레일절손검지장치 개발
  - · 무선통신망 안정성 및 가용성 향상
  - · 실용화 지원

- 2세부 : 이동폐색기반 ATP/ATO기수 및 장치 개발
  · ATP/ATO규격 개발 및 차상-지상통합
  · 이동폐색용 지상ATP개발
  · 자동운전을 지원하는 차상ATP/ATO개발
- 3세부 : 종합성능시험인프라 구축 및 시험
  · 종합성능시험인프라 구축 및 시험
  · 실시간 열차운행관리기술 개발
  · 열차진로제어기술 개발
- 열차제어시스템 상호운영기술 개발

Ⅴ. 자원투입 계획

본 기획과제의 목표를 달성하기 위해서 2개의 사업을 분리하여 추진하는 것을 제안한다. 즉 먼저 시스템 개발을 수행하고 다음 일반철도 및 도시철도로의 확장성을 구현한다. 1단계 사업인 궤도회로를 사용하지 않는 차세대 고속철도용 열차제어시스템 개발에는 299억원의 예산을 투입하고 총 228명이 참여하며, 2단계 사업인 고속 · 일반 · 도시철도 간 직결운행을 위한 열차제어기술개발(공간통합)에는 60억원의 예산을 투입하고 30명이 참여한다.

시스템기술개발을 담당하는 1세부에는 97억원, 핵심장치개발 및 통합을 담당하는 2세부는 84억원, 인프라구축 및 종합시험을 담당하는 3세부는 118억원을 투입한다. 공간통합을 위한 열차제어기술 개발에서는 세부과제를 나누지 않고 별도의 단일과제로 수행한다.

Ⅵ. 과제공모 방안

본 연구개발은 우선적으로 1단계 기술개발(4년)과제를 수행하고, 후속으로 2단계 시범운영(2년)을 진행하는 것이 적절한 것으로 사료된다. 본 보고서에는 1단계의 과제제안요구서와 시범운영을 위한 제언을 제시하였다.

1단계는 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신을 적용한 고속철도용 열차제어시스템을 개발하는 것으로서 과제의 참여기관은 전문연구원, 철도운영기관 및 신호전문기업이 참여하는 연구추진체계를 구성하는 것이 바람직하다.

1단계를 성공적으로 수행하기 위해서는 실수요자인 운영기관의 사용자 요구사항을 반영하여 기술 개발을 수행하고, 운영기관에서 개발된 성과물을 시험하고 현장하는 것이 바람직하다.

세부과제 1과 세부과제 2의 참여기업은 해당 세부과제에 책정된 출연금에 대한 매칭을 부담한다. 세부과제는 열차제어시스템의 핵심장치인 ATP/ATO장치를 개발하는 것이며 안전성인증과 관련된 연구내용이 포함되며 참여기업도 관련 비용을 부담한다.

세부과제 2에 포함된 '열차제어시스템 상호운영성개발'은 상호운영에 필요한 차상ATP/ATO장치의 개발규격서 및 기본설계를 수행하하며, 2단계(시범운영단계)에서 차상ATP/ATO장치 개발, 시험인프라 구축 및 종합성능시험현장을 실시한다.

세부과제 3은 종합성능시험인프라를 구축하고 시험현장계획의 수립과 시험평가를 수행하는 것으로, 운영기관이 협동기관으로 참여함이 바람직하다. 세부과제 3의 성격상 기술실시권이 발생하는 것이 없기 때문에 협동기관의 비용부담(맷칭펀드)은 적절하지 않다.

<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 ····· 7
2절 기술개발의 필요성 ····· 17
1. 기술개발의 배경 ····· 17
2. 수송능력(Capacity) 측면 ····· 19
3. 비용(Cost) 측면 ····· 23
4. 안전(Saferty) 측면 ····· 23
5. 편의성(Service) 측면 ····· 24
6. 기술개발을 하지 않았을 경우 발생되는 문제점 ····· 25

제2장 국내외 동향 및 환경분석 ····· 27

1절 국내외 정책동향 ····· 27
1. 국내 정책동향 ····· 27
2. 국외 정책동향 ····· 28
3. 국내 철도 · 교통관련 주요 정책과제 및 세부 추진내용 ····· 32
4. 정책동향 분석 시사점 ····· 33
2절 국내외 시장현황 및 전망 ····· 34
1. 시장관련 환경분석 ····· 34
2. 국내 · 외 열차제어시스템 시장현황 ····· 35
3. 시장분석 결론 ····· 40
3절 기술(특허, 논문 등) 동향 ····· 41
1. 특허동향 ····· 41
2. 열차 위치검지 특허동향 상세분석 ····· 44
3. 이동 · 가상폐색 특허 상세분석 ····· 50
4. 국내 · 외 연구개발동향 ····· 58
5. 기술동향 분석 결과 ····· 82
4절 기술수준 분석 ····· 83
1. 기술수요조사 ····· 83
2. 기술예측조사 ····· 90
3. 우선순위조사 ····· 96
5절 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성 ····· 101
6절 국내 연구개발 인프라 분석 ····· 106
1. 개요 ····· 106

2. 기술개발 SWOT 분석 ·····106
3. 연구진의 연구개발 역량 ·····108
4. 기 확보한 연구개발성과의 활용 ·····108
5. 인프라 설비 ·····110
7절 활용 가능성 ·····117
1. 활용성 전략 ·····117
2. 기대효과 ·····117
8절 연구성과 실용화를 위한 관련 법령 검토 결과 ·····120
1. 철도안전법 ·····120
2. 철도산업발전기본법 ·····122
3. 철도건설법 ·····122
4. 실용화를 위한 제도 개선 ·····123

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략 ·····125

1절 비전 및 목표 ·····125
1. 비전 및 목표 수립 ·····125
2. 연구개발목표 ·····126
2절 기술개발에 따른 미래상 ·····128
1. 시스템개발에 따른 미래상 ·····128
2. 핵심기술개발에 따른 미래상 ·····128
3절 연구개발 과제구성 ·····133
1. 열차제어시스템 개발요구사항 ·····133
2. LTE-R 개발요구사항 ·····154
3. 기술개발 로드맵 ·····155
4. 연구단 과제구성 ·····157
4절 세부과제별 주요 내용 및 추진전략 ·····161
1. 세부과제 1: 열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발 ·····162
2. 세부과제 2: 이동폐색기반 ATP/ATO 기술 및 장치 개발 ·····182
3. 세부과제 3: 종합성능시험 인프라구축 및 시험 ·····198
4. 열차제어시스템 상호운영성기술 개발 ·····210
5절 연구개발과제 추진체계 ·····215

제4장 사전타당성 분석 ·····217

1절 정책적 타당성 ·····217
1. 상위계획과의 부합성 ·····217
2. 사업추진의지 ·····218
2절 기술적 타당성 ·····220
1. 사업 논리모형 ·····220

2. 차세대 열차제어기술 확보 ·····221
3. 기술적 파급효과 ·····221
4. 기술개발 성공 가능성 ·····222
3절 경제적 타당성 ·····223
1. 분석 전제 ·····223
2. 비용 및 편익항목 도출 ·····223
3. 편익산정 ·····224
4. 경제성 분석 결과 ·····227
5. 결론 및 정책제언 ·····229
4절 타당성 검토 종합 ·····230
1. 기술개발투자의 시급성 ·····230
2. 정부 상위계획과의 부합성 ·····230
3. 경제적 타당성 검토 ·····230

제5장 자원투입계획 ·····233

1절 연구시설 및 장비 투입계획 ·····233
2절 인력투입계획 ·····236
3절 소요예산투입계획 ·····237
1. 총 연구비 ·····237
2. 세부과제별 연구비 ·····238
3. 연구개발 상세 소요내역 ·····240
4절 정부지원조건 ·····242

제6장 과제공모 방안 ·····243

1절 과제제안요구서 ·····244
1. 연구단 과제 ·····244
2. 공간통합과제 ·····257

첨부 1. 소요예산 투입계획 ·····267

첨부 2. 유럽의 철도혁신 프로젝트 ·····285

첨부 3. 도시철도용 열차제어시스템의 성능명세 및 기능명세 ·····303

첨부 4. 경제성 분석 ·····313

<표 차례>

[표 1.1] 무궤도회로방식의 열차제어시스템 세부기술 ·····5
[표 1.2] 열차제어시스템별 열차제어 세부기술 비교 ·····6
[표 2.1] Control, command, communication의 세부연구주제 ·····28
[표 2.2] NGTC의 WP 및 업무내용 ·····29
[표 2.3] SHIFT2RAIL의 IP2의 세부연구주제 ·····30
[표 2.4] Control Command and signalling (New development and upgrade Market 2015) ·····38
[표 2.5] Control Command and signalling (Renewal and Maintenance Market 2015) 39
[표 2.6] 특허분석 기준 ·····41
[표 2.7] 특허 검색 조합식 ·····41
[표 2.8] 특허분석 기준 ·····42
[표 2.9] 특허 검색 조합식 ·····42
[표 2.10] 주요 핵심특허 현황 (피인용순) ·····49
[표 2.11] 주요 핵심특허 현황 (피인용순) ·····57
[표 2.12] 국토해양부의 국가연구개발사업 및 시범사업 현황 ·····58
[표 2.13] ETCS Level별 구성 장치 ·····69
[표 2.14] CTCS와 ETCS Level의 비교 ·····73
[표 2.15] 중국내 CTCS 구축현황 ·····74
[표 2.16] 주요 조사 내용 및 질의 형태 ·····84
[표 2.17] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표 ·····89
[표 2.18] 기술예측조사 평가항목 ·····91
[표 2.19] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 요소기술 및 연구성과표 ·····92
[표 2.20] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표 ·····93
[표 2.21] 우선순위조사 평가지표 항목 ·····96
[표 2.22] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표 ·····97
[표 2.23] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표 ·····98
[표 2.24] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표 ·····99
[표 2.25] 기존과제와의 차별성 ·····101
[표 2.26] 도시철도와 일반 · 고속철도 비교 ·····102
[표 2.27] 기존 열차제어시스템 및 관련 기술 활용 가능성 분석 ·····102
[표 2.28] SWOT 분석 ·····107
[표 2.29] 현재 확보된 기술 · 장치 및 활용가능성 ·····108
[표 2.30] 구축 예정 인프라 설비 ·····110
[표 3.1] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표 ·····127
[표 3.2] 무궤도회로 방식의 고속열차제어시스템개발에 따른 철도 기술 및 운영환경 변화 129
[표 3.3] 열차제어시스템 개발 방향 및 개발기술 ·····136
[표 3.4] 연구단 및 세부과제별 주요 업무 ·····158

[표 4.1] 사업 논리모형 ·····220
[표 4.2] 경제적 타당성 분석 전제 ·····223
[표 4.3] 주요 연구내용 ·····224
[표 4.4] 차상장치 개량비 절감비용 ·····225
[표 4.5] 지상장치 개량비 절감비용 ·····225
[표 4.6] 유지보수비 절감비용 ·····225
[표 4.7] 연간 KTX 승객1인당 총 연착시간 ·····226
[표 4.8] 열차 연착 원인 비율 ·····226
[표 4.9] 선로용량 확충에 따른 4대편익 ·····227
[표 4.10] 편익산정 결과 ·····227
[표 4.11] 경제성 분석결과 ·····227
[표 4.12] 경제성 분석 결과 ·····228
[표 4.13] 철도 운행제어시장 규모 ·····229

<그림 차례>

[그림 1.1] 열차제어시스템 구성 ····2
[그림 1.2] 열차제어시스템 요소기술의 관계도 ····3
[그림 1.3] 연구개발범위 및 기술 ····5
[그림 1.4] 궤도회로를 이용한 열차검지 ····8
[그림 1.5] 무선통신을 이용한 열차위치검지 방법 ····8
[그림 1.6] 열차무결성기술의 열차충돌 방지 개요 ····9
[그림 1.7] 열차분리사고 검지방법 개요도 ····10
[그림 1.8] 레일절손 검지장치(DAS)원리(그림 좌) 및 DAS가 검지한 신호(그림 우) ····10
[그림 1.9] 레일절손 검지장치와 열차제어시스템간 인터페이스 개념도 ····11
[그림 1.10] 고정폐색(그림 상)과 이동폐색(그림 하)의 열차안전간격거리 비교 ····12
[그림 1.11] 무선통신을 이용한 이동폐색제어개념도 ····12
[그림 1.12] 열차속도제어기능 및 속도프로파일 ····13
[그림 1.13] 열차제어시스템의 자동화수준(IEC 62290-1) ····14
[그림 1.14] 궤도회로가 없는 고속철도용 열차제어시스템 구성도 ····15
[그림 1.15] 열차제어시스템과 열차운행편성수(TPH)관계 ····19
[그림 1.16] 열차제어시스템 열차간격제어경로(Triangular-path) ····20
[그림 1.17] 고속선에서 ETCS의 선로용량 ····20
[그림 1.18] 무선통신방식과 기존방식의 안전성 분석 ····24
[그림 2.1] ERTMS Regional 구성도(참조 Bombardier Transport) ····31
[그림 2.2] 철도 열차제어시스템의 전체 年 평균시장규모 ····35
[그림 2.3] 지역별 열차제어 시장의 현재 규모와 성장 ····36
[그림 2.4] 분야별 연간 열차제어 시장 발전 ····36
[그림 2.5] 지역 및 노선별 열차제어시스템 성장률(2017) ····37
[그림 2.6] 철도 신호업체별 세계 시장 2015년도 점유율(신규 및 개량) ····38
[그림 2.7] 철도 신호통신 분야 全세계 시장 점유율(지역별), 유지보수/교체 시장 (2013) ·39
[그림 2.8] 이동 · 가상폐색 특허맵 ····42
[그림 2.9] 열차위치검지 특허맵 ····43
[그림 2.10] 주요국(한국, 미국, 일본, EU) 연도별 특허 출원 건수 ····43
[그림 2.11] 출원인원수와 출원건수와의 관계로 판단한 산업 성장 단계 ····44
[그림 2.12] 출원년도 및 국가별 출원 추이 ····44
[그림 2.13] 주요 출원인 동향 ····45
[그림 2.14] 연도별 주요 출원인 동향 ····46
[그림 2.15] 국가별 주요 출원인 ····46
[그림 2.16] 국가별 특허 점유 현황 ····47
[그림 2.17] 국가별 출원특허/우선권 특허 현황 ····47
[그림 2.18] 주요 국가 별 시장확보지수 ····48
[그림 2.19] 국가별 인용도지수 ····48

[그림 2.20] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 ·····49
[그림 2.21] 출원년도 및 국가별 출원추이 ·····50
[그림 2.22] 세부기술별 특허출원동향 ·····51
[그림 2.23] 주요 출원인 동향 ·····52
[그림 2.24] 연도별 주요 출원인 동향 ·····52
[그림 2.25] 주요출원인의 기술별 출원 분포 ·····53
[그림 2.26] 기술별/국가별 기술분포(버블형) ·····53
[그림 2.27] 국가별 주요 출원인 ·····54
[그림 2.28] 국가별 특허 점유현황 ·····54
[그림 2.29] 국가별 출원특허/우선권 특허현황 ·····55
[그림 2.30] 국가별 출원건수 및 시장확보지수 ·····55
[그림 2.31] 국가별 인용도지수 ·····56
[그림 2.32] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 ·····56
[그림 2.33] 무선통신기반 열차제어시스템 지상시스템 구성도 ·····63
[그림 2.34] 무선통신기반 열차제어시스템 차상시스템 구성도 ·····63
[그림 2.35] ETCS 차상장치와 지상장치간 상호운영 개요 ·····69
[그림 2.36] ETCS Level_1(참조 Siemens사의 Trainguard) ·····70
[그림 2.37] ETCS Level_2(참조 Siemens사의 Trainguard) ·····70
[그림 2.38] ETCS Level_3(참조 Siemens사의 Trainguard) ·····71
[그림 2.39] Network Rail ETCS Level 3구축 로드맵 ·····76
[그림 2.40] 열차의 자동화 등급별 시스템이 수행하는 기능 ·····77
[그림 2.41]ETCS의 ATO 구성도 ·····78
[그림 2.42]멕시코 Toluca선의 ETCS/ATO 구성도 ·····79
[그림 2.43]GPS를 이용한 열차분리검지 개요 ·····80
[그림 2.44] DAS를 이용해서 열차길이, 레일상태를 검지한 예 ·····81
[그림 2.45] 오송 시험선 테스트 베드 구성도 ·····110
[그림 2.46] 고속열차 해무 ·····115
[그림 2.47] 고속열차 해무 ·····115
[그림 2.48] 철도용품 형식승인 기술분류 ·····120
[그림 2.49] 철도차량 형식승인 기술분류 ·····121
[그림 3.1] 열차제어시스템 개발방향 및 기술개발 분야 ·····126
[그림 3.2] 무선통신 방식의 고속열차제어시스템의 미래상 ·····128
[그림 3.3] 열차제어시스템의 시스템 구성 및 기능 블록도 ·····141
[그림 3.4] 열차제어시스템 구성(안) ·····141
[그림 3.5] 열차제어시스템의 열차제어 프로세스 및 기능 분담 ·····142
[그림 3.6] 전자연동장치 구성도(안) ·····146
[그림 3.7] 열차위치값 및 열차속도값이 갖는 오차 설명도 ·····147
[그림 3.8] 열차속도프로파일 관계도 ·····149
[그림 3.9] ETCS의 자동화 등급(ATO OVER ETCS OPERATIONAL REQUIREMENTS, 2016) ·····150

[그림 3.10] ETCS의 ATO 구성도(ATO OVER ETCS OPERATIONAL REQUIREMENTS, 2016) ……150
[그림 3.11] 기술개발 로드맵 ……155
[그림 3.12] 연구단 체계도 ……157
[그림 3.13] 연구단 체계도 ……215

<용어 및 약어>

· ATC : Automatic Train Control
· ATO : Automtic Train Operation
· ATP : Automatic Train Protection
· ATS : Automatic Train Supervision
· BRM : Balise Reader Module
· CBTC : Communications Based Train Control
· CTC : Centralized Traffic Control
· CTCS : Chines Train Control System
· DAS : Distributed Acoustic Sensing
· EB : Emergency Braking
· EI : Electronic Interlocking
· ETCS : European Train Control System
· FOSTER : Future Of Surface Transport Research Rail
· FSB : Full Service Braking
· GA : General Application
· GoA : Grade of Automation
· KRTCS : Korean Radio based Train Control System
· LCC : Life Cycle Cost
· MRSP : Most Restricted Speed Profile
· NGTC : Next Generation of Train Control
· RBC : Radio Block Center
· RI : Rail Integrity
· S2R : Shift2Rail
· SA : Specific Application
· SIL : Safety Integrity Level
· SWOT : Strength, Weakness, Opportunity, Threat
· TI : Train Integrity
· TOSCA : Technology Opportunities and Strategies toward Climate-friendly trAnsport
· TRL : Technical Readness Level

제1장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의 및 분류체계

1. 기술의 정의

○ 열차제어시스템(또는 철도신호시스템)은 열차의 위치를 검지하고, 이를 토대로 열차를 안전하고 효율적으로 이동하도록 제어하는 철도안전설비임

○ 현재 운영중인 고속철도 및 일반철도에 적용된 열차제어시스템은 **궤도회로를 이용하고** 있으며, 열차가 제한된 속도를 초과하는 과속상태를 지속하는 경우 열차에 상용제동 또는 비상제동을 인가하는 수동운전(GoA 1, Grade of Automation 1)을 지원함

○ 최근에는 도시철도에서 적용하고 있는 CBTC와 같이 무선통신망(GSM, TRS 등)을 이용하여 열차의 이동을 제어하는 열차제어시스템(예: ETCS L2)이 상용화 되었음

○ 유럽은 세계철도시장의 주도권을 지속하기 위해서 철도혁신사업을 추진하고 있으며, 이를 위한 연구개발로드맵을 작성하였음

○ 따라서 **본 기획과제**는 유럽 등 철도선진국과의 기술격차를 해소하기 위한 차세대 열차제어시스템(무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템)을 개발하여 2025년까지 고속철도에 (시범)적용하는 것으로 목표로 설정하였으며, 이를 달성하기 위한 **연구개발방향과 개발대상기술**을 아래와 같이 설정하였음

- (**연구개발방향 1**)고속철도 및 일반철도의 선로용량 증대
  - · 열차운행속도 증속과 기존 철도인프라의 증설(또는 개량)없이 열차안전간격을 줄여서 열차운행편성수를 높이는 방법을 적용함
  - · 따라서 도시철도용 CBTC와 같이 이동폐색기술과 자동열차운전기술(ATO)을 고속철도와 일반철도에 맞게 개발하여 적용할 수 있는 기술을 확보하여야 함
  - · 또한 이동폐색기술과 기존 연동기술이 연계하여 열차진로를 안전하게 제어할 수 있는 연계기술을 확보하여야 함
- (**연구개발방향 2**)고속철도 및 일반철도의 운영신뢰성 향상
  - · 새로운 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하지 않기 때문에 열차안전과 관련된 vital 기능을 소프트웨어로 처리하여야 하고, 소프트웨어로 인하여 발생되는 오차를 보정하여야 함
  - · 또한 무선통신망의 장애, 차상장치 장애 또는 지상장치 장애 시 열차운행중단을 최소화하기 위한 대응방안을 확보하여야 함
  - · 따라서 열차제어시스템용 소프트웨어개발에 대한 안전성 평가기술과 새로운 시험평가기술을 확보하여야 하고, 장애시 열차위치를 검지할 수 있는 대체(redundancy)기

술을 확보하여야 함

– (**연구개발방향 3**)고속철도 및 일반철도의 LCC절감

· ICT, IoT 기술을 철도산업 특히 열차제어시스템에 접목되어 신호인프라구축비용, 시스템유지관리비용을 절감하는 효과를 도출하고 있으며, 열차운행관리최적화를 통하여 에너지효율향상을 기대할 수 있음

· 따라서 우선적으로 선로변에 설치되는 전기장치, 기계장치에 자동진단기술을 적용하고, 무선통신기술을 통해서 실시간 원격감시를 하여 유지보수작업을 최소화할 수 있는 기술을 확보하여야 함

· 또한 자동열차운전기술(ATO)과 열차운행관리기술(ATS)을 결합하여 철도에서 소비하는 전기에너지 효율을 높일 수 있는 기술을 확보하여야 함

– (**연구개발방향 4**)도시철도와 일반철도(또는 고속철도)의 직결운행(공간통합)효율성 향상

· 현재는 도시철도노선과 일반 · 고속철도노선이 분리되어 운영되고 있으나, 도시광역화에 따라 일반 · 고속철도가 도시를 관통하게 되었고, 신노선건설비용을 절감하기 위해서 일반철도가 도시철도 노선을 공용하는 프로젝트가 진행되고 있음

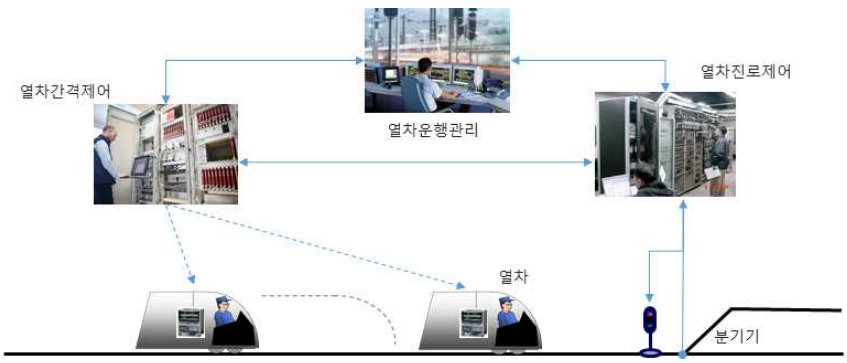
· 그러나 도심구간의 요구사항인 짧은 운행시격을 보장하기 위해서는 일반철도에 탑재된 열차제어시스템 차상장치가 도시철도용 열차제어시스템의 지상설비와 적절하게 연계하는 것이 필요함

· 따라서 새로운 열차제어시스템의 차상장치가 기존 시스템의 지상신호설비와 연결할 수 있는 상호운영성기술을 확보하여야 함

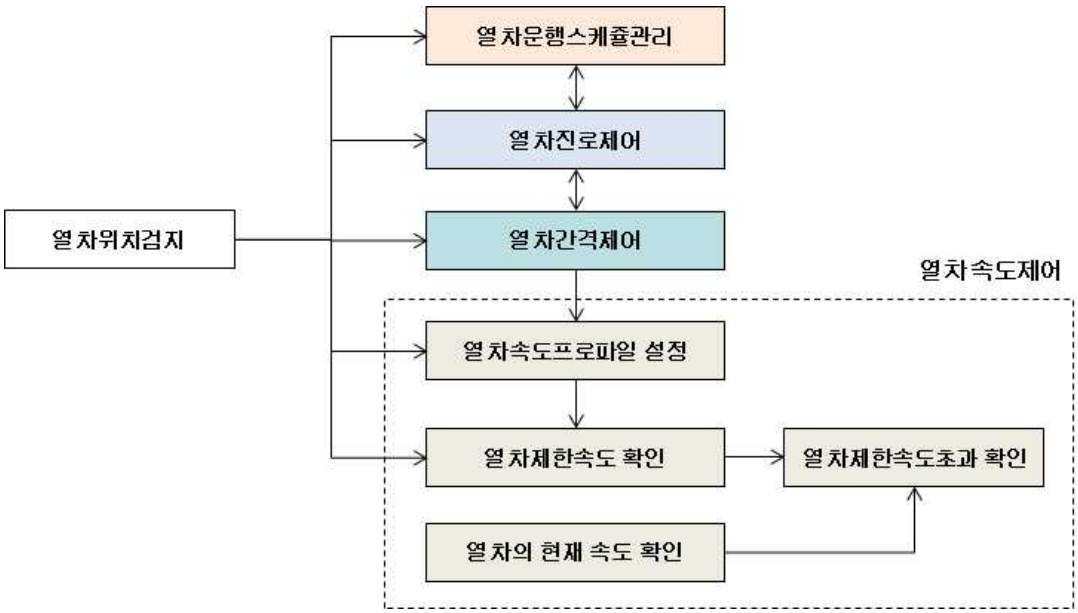
2. 기술 분류체계

가. 열차제어시스템 요소기술의 특징

○ 열차제어시스템은 지상장치와 차상장치로 구성되며, 지상장치는 **열차운행관리**, **열차진로제어** 및 **열차간격제어** 등을 수행하며, 차상장치는 열차간격제어명령에 맞추어 열차가 제한속도를 초과하지 않도록 **열차속도감시**를 수행함



[그림 1.1] 열차제어시스템 구성



[그림 1.2] 열차제어시스템 요소기술의 관계도

○ 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하는 기존 열차제어기술과 무선통신을 적용한 새로운 열차제어기술로 구분할 수 있으며, 주요 열차제어기술에 대한 특징은 다음과 같음

- (열차위치검지)열차제어시스템이 위 기능을 수행하기 위해서 요구되는 첫 번째 기술은 열차위치를 검지하여야 함

  · (궤도회로)현재는 지상에 설치되어 있는 궤도회로를 이용하여 열차위치를 검지하고 있으나, 선로와 기계실에 많은 전기장치를 설치하기 때문에 초기 설치비용과 유지관리비용이 많이 소요됨

  · (무궤도회로)CBTC, 도시철도용 KRTCS에 적용된 기술로, 열차에 설치된 차상장치가 속도센서를 이용하여 열차위치를 연산하여 무선통신을 이용하여 주기적으로(예:0.5초) 지상의 제어장치로 전송하며, 궤도회로를 사용하지 않기 때문에 **시스템구조가 매우 단순화됨**

- (열차간격제어)열차위치검지정보를 토대로 선행열차와 후속열차간 안전간격을 제어하여 열차충 · 추돌 사고를 방지하여야 함

  · (궤도회로)궤도회로가 검지한 열차위치정보를 바탕으로 열차안전간격을 제어하며, 열차에 ATS장치, ATC장치 또는 ATP장치를 설치하고 있으며, 최근에는 ATP를 주로 채택하고 있음

  · (무궤도회로)무선을 이용해서 열차에서 실시간으로 전송한 열차위치정보를 토대로 지상에서 해당 열차로 이동권한(주행할 수 있는 목표지점, 목표지점까지의 제한속도)을 전송함

- (열차속도제어)열차간격제어기능에 의해서 지상에서 전송된 목표지점까지 열차속도를 감시하고, 열차감시속도를 초과하면 제동을 인가함

  · (궤도회로)궤도회로구역에 설정된 제한속도를 초과하지 않도록 열차속도를 감시함

· (무궤도회로)목표지점까지 열차위치와 열차속도를 확인하고 제한속도를 초과하지 않도록 감시함

– (열차진로제어)열차위치정보로 분기구간에서 열차진로를 제어하여 열차의 충돌사고를 방지하여야 함

· 현재까지는 궤도회로용으로 개발된 열차진로제어로직을 사용함

– (열차운행관리)열차위치정보와 열차운행스케쥴을 비교하고, 열차지연이 발생하지 않도록 관리함

· (궤도회로)궤도회로에서 검지한 열차위치정보를 토대로 열차스케쥴을 관리함

· (무궤도회로)열차에서 무선으로 전송한 실시간 열차위치정보를 토대로 열차스케쥴을 작성할 수 있어서 **에너지사용효율을 높일 수 있는 열차운행관리가 가능함**

– (장애대응) 다양한 철도사고로 인하여 열차제어시스템이 정상적으로 운용되지 못할 경우에 최소한으로 열차운행을 지속할 수 있도록 대안을 마련하여야 함

· (궤도회로)궤도회로에서 검지한 열차위치정보를 토대로 장애구간에서 운전자, 역무관리자 및 관제요원이 협업하여 열차운행을 최소한으로 유지할 수 있음

· (무궤도회로)무선통신장애, 열차의 차상장치 장애, 지상의 제어장치장애 등이 발생하여 열차위치를 추적할 수 없는 경우, 궤도회로처럼 지상에서 열차위치를 추적할 수 있는 설비를 구축하여 **최소한의 열차운행을 보장하여야 함**

나. 고속철도용 열차제어시스템의 기술체계

○ 본 기획연구는 2025년까지 유럽의 차세대 열차제어시스템과 경쟁할 수 있는 열차제어시스템 및 관련 장치를 개발하는 것이며, 연구개발목표와 연구개발방향은 다음과 같음

– 연구개발목표

· 선로용량증대, 철도운영신뢰성 향상, 철도운영관리비용 절감

– 연구개발방향

도시철도, 일반철도 및 고속철도를 구분하지 않는 차세대 열차제어시스템 개발

· 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신기술을 이용하여 열차이동을 관리함

· 도시철도수준의 자동운전(또는 무인운전)을 적용하여 열차이동을 관리함

· 도시철도 KRTCS, ETCS L1 및 ETCS L2의 지상설비와 연계할 수 있는 상호운영 기술을 적용하여 열차이동을 관리함

· 시스템 및 관련 설비의 장애가 발생하여도 최소한의 열차이동을 보장함

○ 또한 본 기획연구에서 정의하고 있는 연구개발범위(대상)은 다음과 같음

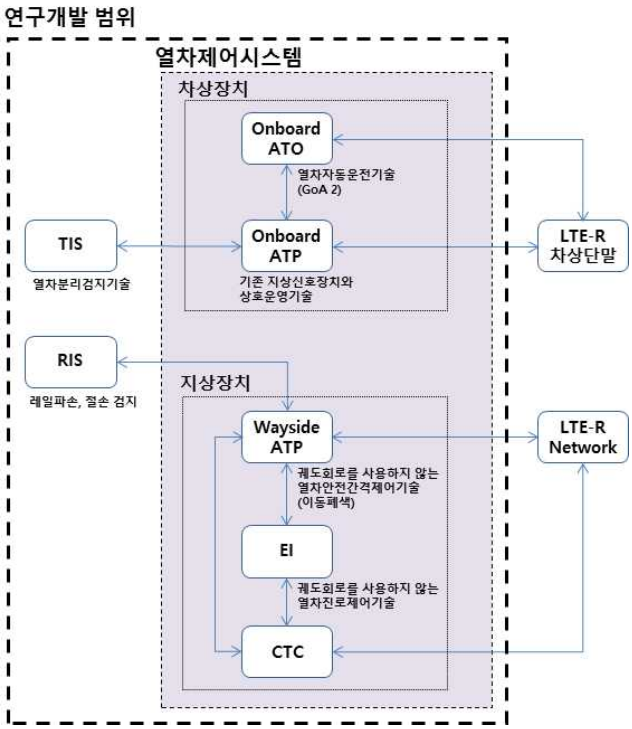
– 열차제어시스템

· 하부시스템인 CTC, 지상ATP, 차상ATP, 차상ATO 및 EI

– 열차제어시스템 보완장치

· 열차무결성검지장치 TIS

· 레일무결성검지장치 RIS



[그림 1.3] 연구개발범위 및 기술

○ 열차제어시스템 및 보완장치의 기술개발내용은 다음과 같음

[표 1.1] 무궤도회로방식의 열차제어시스템 세부기술

	구분	요소기술	기술개발 내용
열차제어 시스템	열차위치 검지기술	열차위치 검지기술	• 절대위치보정용 지상자(또는 유로발리스)와 무선통신기술을 적용하여 고속열차위치를 실시간으로 추적하는 기술개발
	열차안전 간격제어 기술	이동폐색 제어기술	• 절대제동거리를 적용한 이동폐색제어기술 - 시스템의 지상설비에서 제어영역에 있는 모든 열차위치를 토대로 각각의 열차에 대해서 열차이동권한과 열차제한속도를 실시간으로 설정하는 기술
		열차속도 제어기술	• 시스템의 차상장치에서 수행하는 기능이며, 고속으로 주행하는 열차가 열차제한속도를 초과하지 않도록 감시하고 경고하는 기술
	열차진로	열차진로	• 궤도회로를 사용하지 않고 분기지역(건넘선)과 승강장에서

	구분	요소기술	기술개발 내용
	제어기술	제어기술	열차진로를 제어하는 기술 - 고속선과 일반선에 사용중인 기존 연동장치와 연계하는 인터페이스기술 개발
	열차운행 스케쥴관 리기술	열차운행스케쥴 관리기술	• 무선으로 전송된 실시간 열차위치정보를 토대로 열차운행 스케쥴의 만족정도를 확인하고, 지연이 발생하는 경우 열차의 출발과 정차시간을 조정하여 지연시간을 복구하는 기술
	열차자동 운전기술	열차자동 제어기술	• 열차제한속도를 초과하지 않도록 열차속도를 자동으로 제어하는 기술 • 시스템의 지상설비와 차상장치가 연계하여 열차의 자동출발 및 출입문 개 · 폐 제어기술 • 시스템의 지상설비와 차상장치가 연계하여 승강장에 설정된 정지선에 자동으로 정차하는 제어기술
	상호운영성기술		• 무궤도회로방식의 열차제어시스템의 차상장치와 기존 신호시스템의 지상설비와 연계하는 기술
열차제어 시스템 보완장치	무결성 기술	열차무결성기술	• 열차무결성기술(Train Integrity) - 궤도회로가 없는 조건에서 열차가 끊어진 경우, 이를 검지하여 열차를 방호하는 기술개발 - 열차를 조성하는 경우, 열차길이를 자동으로 검지하여 열차방호구역을 설정하는 기술개발
		레일무결성기술	• 레일절손검지기술(Rail Integrity) - 궤도회로가 없는 조건에서 레일이 끊어진 경우, 이를 검지하여 열차의 접근을 금지하는 기술개발

○ 고속 · 일반철도에 적용된 열차제어시스템, 도시철도용 열차제어시스템(KRTCS)에 적용된 기술과 본 기획을 통한 신규 고속철도용 열차제어시스템을 비교하면 다음과 같음

[표 1.2] 열차제어시스템별 열차제어 세부기술 비교

요소기술	시스템구분	기술개발내용
열차위치검지기술	도시철도용 KRTCS	• 궤도회로를 사용하지 않고 차상신호장치에서 열차위치를 연산하고, 지상에서 열차이동을 실시간으로 검지
	일반 · 고속철도용 KRTCS	• 열차검지용도로 궤도회로를 사용함
	(신규)고속철도용 열차제어시스템	• 도시철도와 같은 방식을 적용하고 있음
열차간격제어기술	도시철도용 KRTCS	• 선행열차의 실시간 열차위치정보에 따라 후속열차의 열차이동권한이 변경되는 이동폐색기술 적용
	일반 · 고속철도용 KRTCS	• 선행열차의 궤도회로 점유정보에 따라 후속열차의 열차이동권한이 변경되는 고정폐색기술 적용
	(신규)고속철도용 열차제어시스템	• 도시철도와 같은 방식을 적용하고 있음

요소기술	시스템구분	기술개발내용
열차자동운전기술	도시철도용 KRTCS	• 무인운전 지원(GO4를 구현할 수 있도록 하드웨어와 소프트웨어 구현)
	일반 · 고속철도용 KRTCS	• 수동운전 지원(열차과속상태 감시 및 제동인가)
	(신규)고속철도용 열차제어시스템	• 자동운전 지원(자동출발, 자동주행, 정지선 정차, 출입문 개폐제어)
열차무결성기술	도시철도용 KRTCS	• 중계 구조인 차상신호장치를 이용하여 차상에서 열차분리 검지하며, 별도의 장치를 설치하지 않음
	일반 · 고속철도용 KRTCS	• 궤도회로를 이용하여 열차분리를 지상에서 검지하고 있어서 별도의 열차분리검지장치가 요구되지 않음
	(신규)고속철도용 열차제어시스템	• 열차분리검지장치를 열차에 설치하고, 차상신호장치와 연계함
레일무결성기술	도시철도용 KRTCS	• 반영하지 않음
	일반 · 고속철도용 KRTCS	• 궤도회로를 이용하여 궤도절손을 검지함
	(신규)고속철도용 열차제어시스템	• 궤도회로를 개량하거나 대체하는 신기술 개발이 요구됨

3. 세부 기술내용

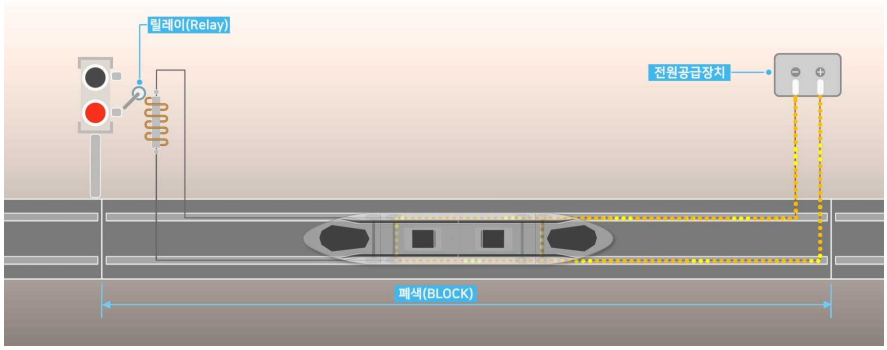
본 기획과제의 대상인 새로운 고속철도용 열차제어시스템의 요소기술은 열차위치검지기술, 열차안전간격제어기술, 열차진로제어기술 및 열차자동운전기술 등으로 구성되며, 각 세부기술에 대한 상세한 내용은 아래에 기술하였다.

가. 열차위치검지기술

본 기획의 고속철도용 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하지 않고, 지상자와 무선통신을 이용하여 지상에서 열차위치를 실시간으로 추적한다. 열차에 있는 차상장치(또는 OATP, On-board ATP)는 속도센서와 지상자 검지정보를 이용하여 열차의 주행방향, 열차의 현재위치, 열차의 현재속도 등의 정보를 무선통신망을 통해 지상장치(또는 WATP, Wayside ATP)로 전송하며, 이를 통해서 지상장치는 제어영역에 있는 모든 열차의 위치를 실시간으로 추적할 수 있다.

○ 열차위치검지기술(절대위치보정용 지상자 사용)

- 궤도회로는 선로에 일정한 간격으로 설치된 전기회로이며, 열차위치를 검지하는 기능, 열차제한속도(속도코드)를 전송하는 기능, 레일절손을 검지하는 기능을 수행하며, 궤도회로의 길이는 고속철도 1,500m, 일반철도 800m, 도시철도 200m임.



[그림 1.4] 궤도회로를 이용한 열차검지

- 열차가 궤도회로에 진입을 하면 궤도회로가 단락(short)되고, 신호기용 릴레이가 빨간 램프를 점등하여 열차가 궤도회로로 진입한 것을 현시함

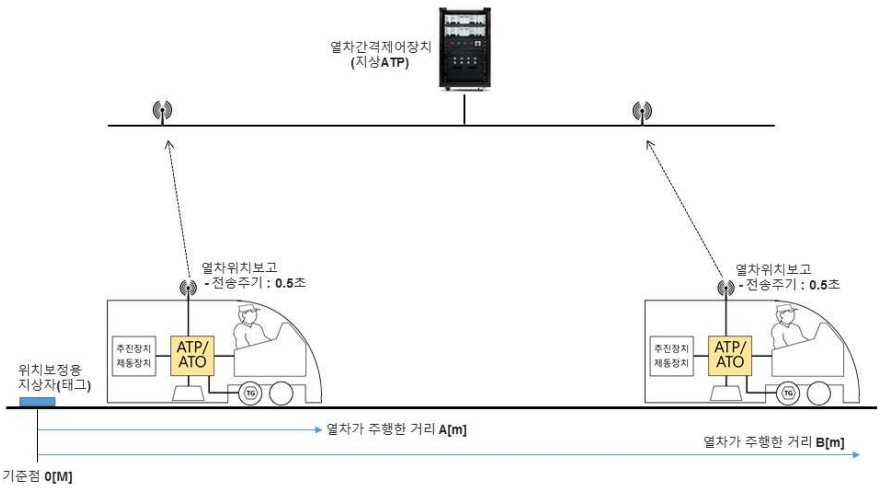
– 새로운 고속철도용 열차제어시스템은 차상ATP에서 열차위치를 연산하고 무선통신을 이용하여 지상ATP에 0.5초 주기로 전송하면, 지상ATP가 열차위치를 정밀하게(m단위로) 확인할 수 있음

- 차상의 ATP는 선로에 설치된 위치보정용지상자(태그)를 기준점으로 하여 TG에서 전송한 차륜회전수를 검지하여 열차가 주행한 거리를 연산함

- 차상의 ATP는 지상자번호와 주행한 거리를 0.5초마다 지상ATP로 전송함

- 지상ATP는 지상자번호와 열차가 주행한 거리를 확인하여 열차의 현재위치를 설정함

- 도시철도용 KRTCS의 경우, 지상자의 설치간격은 200[m]로 설정했으며, 고속철도의 경우는 지상자 간격을 1,500[m]로 설정하는 것을 고려중



[그림 1.5] 무선통신을 이용한 열차위치검지 방법

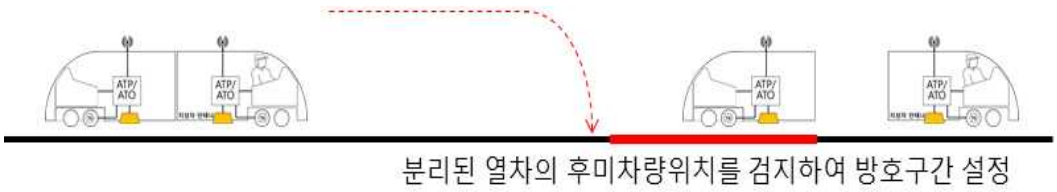
나. 열차제어시스템 보완기술(무결성기술)

○ 열차무결성(Train Integrity) 검지기술

본 기획의 고속철도용 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하지 않기 때문에 주행중인 열차(또는 열차를 조성중일 때)의 일부 차량이 분리되는 사고가 일어난 경우, 이를 검지하고 열차방호구역을 설정하는 것이 요구된다. 현재까지 열차무결성을 검지하는 다양한 방법이 제시되고 있으나, 현재까지 검증되거나 표준화된 방식이 없는 상태이다.

- ETCS L3는 열차분리사고가 발생하면 이를 검지하는 열차분리검지장치(TI, Train Integrity)를 열차에 설치할 것을 명시하고 있음

  · 열차에 설치되는 TI장치는 열차에 설치된 ATP장치와 연계되어 있으며, 열차분리사고를 검지하면 지상ATP에서 이를 검지하여 후속열차의 접근을 금지함



[그림 1.6] 열차무결성기술의 열차충돌 방지 개요

- 궤도회로를 사용하지 않은 도시철도 CBTC는 검증된 열차분리검지방법을 적용하고 있으나, 일반철도와 고속철도는 검증된 열차분리검지방법이 없는 상황임

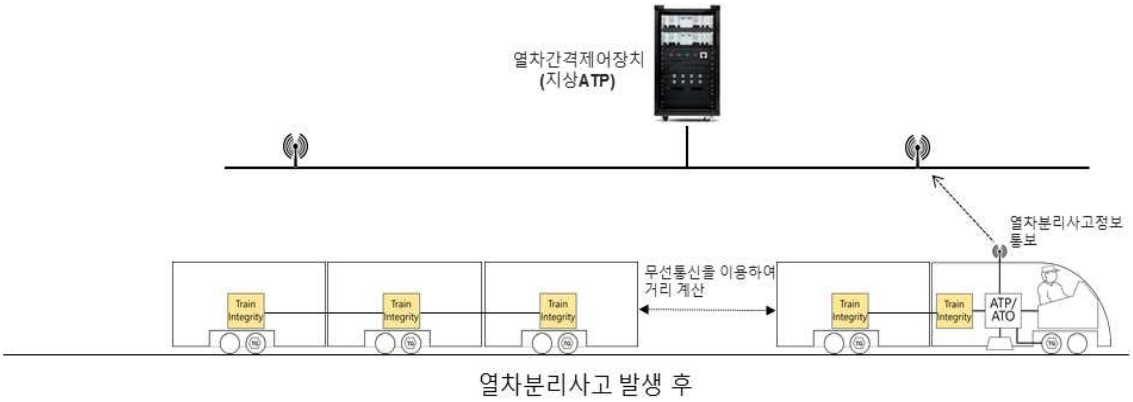
  · 일반철도는 여러 형식의 열차가 운행중이고, 화물열차의 경우 기관차에서 화차로 전원이 공급되지 않는 상황이기 때문에 열차분리검지장치개발에 장애로 작용하고 있음

  · Wireless sensor network, GPS를 이용한 열차분리검지방법을 개발하고 있으나, 복잡한 기술 적용, 낮은 신뢰성(화차에 실리 화물에 의한 검지장치 고장 발생), 개발된 로직(소프트웨어)의 검증 등으로 상용화에 많은 시간이 소요될 것으로 예상됨

- 새로운 열차제어시스템은 동일한 구조의 열차분리검지장치를 모든 차량에 설치하며, 열차분리사고가 발생하면 차상ATP와 연결된 열차분리검지장치가 관련 정보를 통지하여 다른 열차의 접근을 차단함

  · 열차분리검지장치는 무선통신장치를 내장하고 있으며, 열차분리사고가 발생하면 유선통신선이 끊어진 차량의 열차분리검지장치의 무선통신장치가 동작을 시작하며, 무선통신 과정에서 발생되는 지연시간을 이용하여 끊어진 열차길이(거리)를 계산하고, 선두차량의 열차분리검지장치로 전송함

  · 선두차량의 열차분리검지장치는 차상ATP로 끊어진 차량번호, 끊어진 길이정보를 전송하며, 차상ATP는 전송된 정보를 토대로 열차분리사고, 후미차량의 위치정보를 지상ATP로 전송하여 다른 열차의 접근차단을 요청함



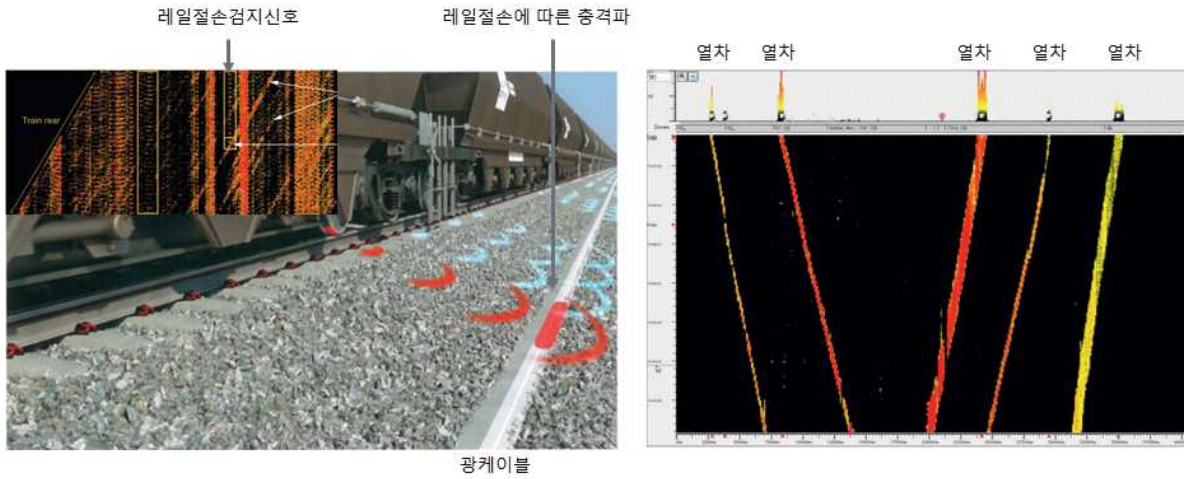
[그림 1.7] 열차분리사고 검지방법 개요도

○ 레일절손검지기술(Rail Integrity)

본 기획의 고속철도용 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하지 않기 때문에, 열차가 주행중인 레일의 절손이 발생한 경우, 이를 신속히 검지하고 해당 구역을 열차방호구역으로 설정하는 것이 요구되나, 검증되거나 표준화된 방식이 없는 상태이다.

- 현재 사용중인 궤도회로를 레일절손검지용도로 전환하는 방법, 전철화 구간에서 귀선전류를 활용하는 방법, 광케이블을 이용하는 방법 등이 있음

- 본 과제에서는 광케이블을 이용하여 열차위치, 열차속도, 레일절손 등을 검지하는 기술을 개발하는 것을 고려하고 있음



[그림 1.8] 레일절손 검지장치(DAS)원리(그림 좌) 및 DAS가 검지한 신호(그림 우)

- 열차가 레일과 레일의 연결지점, 레일과 침목간 연결 지점을 주행할 때 발생되는 기계적인 충격을 선로변에 설치된 광케이블이 검지하고 이를 신호로 변환하여 분석하는 방식으로 외국에서는 다음 표와 같이 시범구축하고 있음

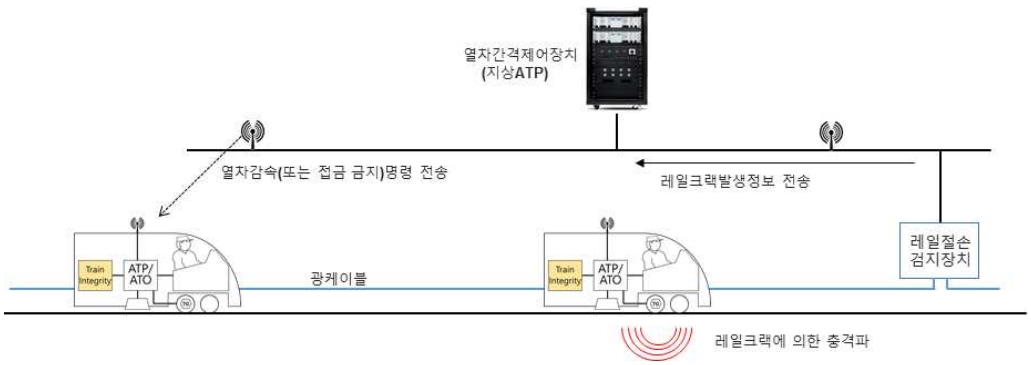
프로젝트명	설치목적
Washington BNSF (2017)	차륜마모, 레일절손, 시설물 검지
Pennsylvania CSX waterline(2016)	열차추적, 레일절손
Colorado TTCI(2016)	레일파손
DB VDE(2017)	열차추적, 레일절손
DB Zwickau - Bridge Security(2017)	침입감지,
SNCF Villefranche(2015)	침입감지, 레일절손
Queenslan Kuranda Range(2016)	낙석검지

▪ 철도통신을 목적으로 현재 선로변에 설치(포설)되어 있는 광케이블을 사용할 수 있어 레일절손검지시스템을 단기간에 저렴한 비용으로 용이하게 구축할 수 있음

: 레일절손이 발생한 지점을 높은 정밀도로 확인할 수 있어 유지보수점검 시간을 궤도회로와 비교해서 많이 줄일 수 있음(현재 국내는 궤도회로를 이용하여 레일절손을 검지하고 있음에 따라, 레일절손이 발생한 정확한 위치를 확인할 수 없으므로 고속철도의 경우 레일절손이 검지되면 궤도회로에 해당하는 레일 1,500m를 모두 확인하여야 하는 단점이 있음)

: 궤도회로를 활용한 레일절손 검지시에는 궤도회로 설치 후 바로 레일절손검지가 가능하나, 광케이블을 이용한 경우는 레일절손검지정보의 신뢰도를 높이기 위해서 열차별로 갖는 진동, 계절별 진동을 축적하고 분석하는 작업이 필요함

: 또한 해외에서는 광케이블을 이용하여 분기구간이 있는 역구내, 차량기지 등에서의 궤도절손을 검지하기 위해서 액슬카운터를 같이 사용하고 있음



[그림 1.9] 레일절손 검지장치와 열차제어시스템간 인터페이스 개념도

다. 열차안전간격제어기술

○ 이동폐색(moving block)

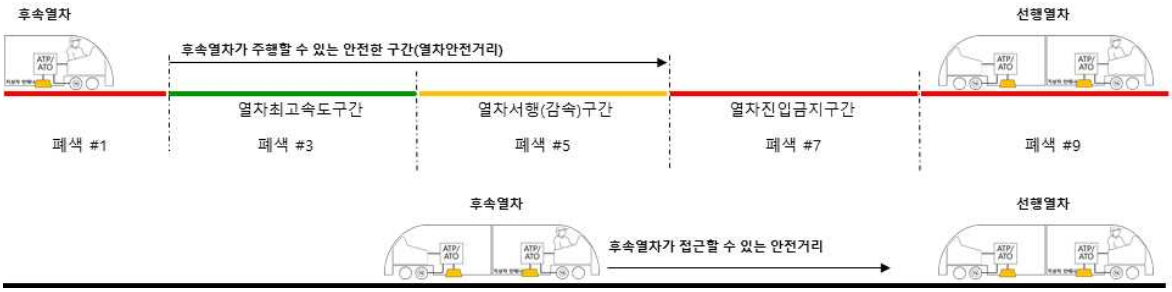
본 기획과제의 열차제어시스템의 지상ATP는 이동권한을 설정하기 위해서 이동폐색을 사용하여 선행열차와 후속열차간 열차안전간격을 줄이는 성과를 갖는다.

- 열차제어시스템은 폐색(block*)을 설정하여 열차간격제어와 열차진로제어 시 열차간 충·추돌사고가 발생하지 않도록 열차를 방호함

- 폐색 1개에는 열차 1편성만이 진입하게 하여 열차의 이동을 제한하고 있음

- 궤도회로를 이용하면 궤도회로의 길이에 폐색의 길이가 고정되지만(fixed block), 무선통신기술을 사용하면 열차의 속도에 따라 폐색의 위치와 길이가 변경(moving block)되기 때문에 열차간 안전거리를 짧게할 수 있음

  · 이동폐색을 이용하면 같은 선로에 고정폐색보다 많은 열차를 투입할 수 있어서 선로수송용량을 높일 수 있음



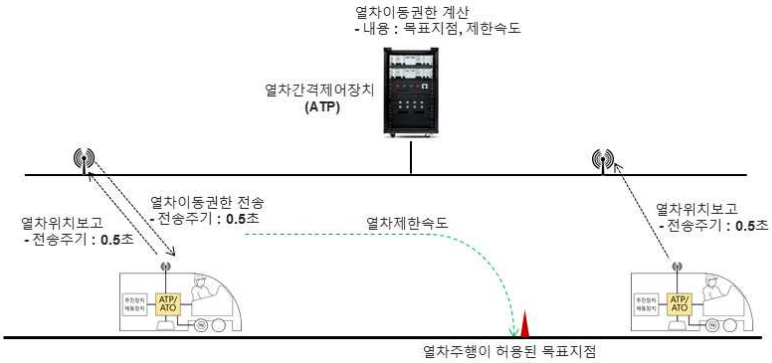
[그림 1.10] 고정폐색(그림 상)과 이동폐색(그림 하)의 열차안전간격거리 비교

- 이동폐색제어는 열차제어시스템의 지상ATP가 선행열차와 후속열차의 실시간 열차위치정보를 토대로 열차간 안전거리를 설정하고, 이를 반복하여 수행함

  · 선행열차의 차상ATP는 주기적(예:0.5초)으로 열차위치정보를 지상ATP로 전송하며, 후속열차의 차상ATP도 주기적으로 열차위치정보를 지상ATP로 전송함

  · 지상ATP는 선행열차와 후속열차의 안전간격을 확인하고, 후속열차가 안전하게 접근할 수 있는 이동권한(목표지점, 정적속도프로파일)을 설정하고, 이를 후속열차에 주기적으로 전송함

  · 후속열차의 차상ATP는 지상ATP가 전송한 이동권한을 토대로 목표지점을 갱신함

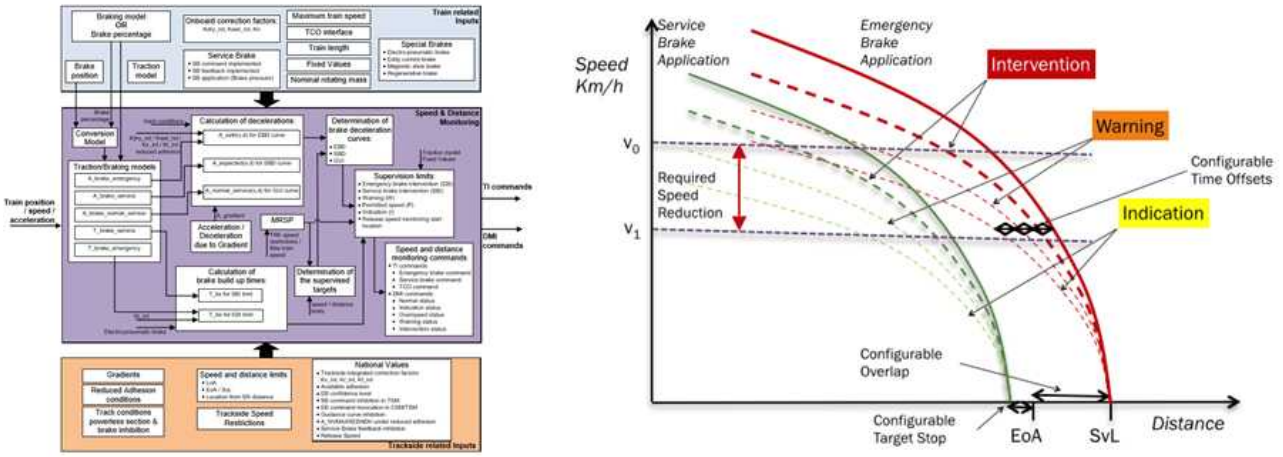


[그림 1.11] 무선통신을 이용한 이동폐색제어개념도

○ 열차속도제어기술

본 기획과제의 열차제어시스템의 차상ATP에서 수행하는 기능이며, 지상ATP가 전송한 이동권한의 열차제한속도를 초과하지 않도록 열차속도를 감시하고, 열차가 제한속도를 초과하면 제동을 인가하여 열차속도를 감속시킨다.

- 현재 개발중인 KRTCS 2의 열차속도제어기술을 일부 활용할 수 있음



[그림 1.12] 열차속도제어기능 및 속도프로파일

라. 열차진로제어기술 및 열차운행스케쥴관리기술

○ 열차진로제어기술

◦ 본 기획과제는 열차제어시스템의 ATP와 ATO의 핵심기술을 개발하는 것이며, 기존 인프라인 전자연동장치는 변경없이 사용하는 것을 원칙으로 하고, 필요한 경우 최소한으로 수정하는 방향으로 개발방향을 설정함

- 종합시험을 실시하는 노선 또는 시범운영을 실시하는 노선에 구축된 전자연동장치를 대상으로 열차제어시스템을 구성함

- 전자연동장치에 기 구축된 연동로직(열차진로제어로직)은 수정하지 않음

- 궤도회로를 사용하지 않기 때문에 연동로직에 필요한 열차검지정보는 지상ATP에서 제공함

- 지상ATP와 기존 전자연동장치간에 인터페이스 모듈(하드웨어 또는 소프트웨어)을 설치하여 지상ATP에서 전송한 열차위치정보를 연동로직이 사용할 수 있는 열차검지정보로 전환함

○ 열차운행스케쥴관리기술

◦ 본 기획과제는 열차제어시스템의 ATP와 ATO의 핵심기술을 개발하는 것이며, 기존 인프

라인 열차운행스케쥴과리장치와 연계하는 것을 원칙으로 하고, 필요한 경우 최소한으로 수정하는 방향을 개발방향을 설정함

- 종합시험을 실시하는 노선 또는 시범운영을 실시하는 노선을 관리대상으로 선정함
- 궤도회로를 사용하지 않기 때문에 열차위치추적에 필요한 열차검지정보는 지상ATP에서 제공함
  - 인터페이스 모듈(하드웨어 또는 소프트웨어)을 설치하여 지상ATP에서 전송한 열차위치정보를 열차검지정보로 전환함
- 개발이 완료된 도시철도용 KRTCS의 열차관제기술을 일부 활용할 수 있음

마. 자동열차운전기술

○ 일반철도 및 고속철도는 여러 형식의 열차를 운행하고 있고, 승강장에서의 정차위치가 열차길이에 따라 다르기 때문에 열차자동운전(ATO, Automatic Train Operation)기능을 적용하지 않고 있음

- 열차형식과 열차길이를 반영하여 선행열차와 후속열차간 안전간격을 제어하는 ATP를 적용하는 경우, 열차자동운전기능을 적용하기 위한 연구개발이 수행되고 있음

○ 본 기획에서는 고속철도의 자동화 수준을 GOA2(Grade of Automation 2)로 고려하고 있음

Basic functions of train operation		On-sight	Non-Automated	Semi-Automated	Driverless	Unattended
		GOA0	GOA1	GOA2	GOA3	GOA4
Ensure safe movement of trains	Ensure safe route	Ops Staff (route by systems)	Systems	Systems	Systems	Systems
	Ensure safe separation of trains	Ops Staff	Systems	Systems	Systems	Systems
	Ensure safe speed	Ops Staff	Ops Staff (partial by system)	Systems	Systems	Systems
Drive train	Control acceleration and braking	Ops Staff	Ops Staff	Systems	Systems	Systems
Supervise guideway	Prevent collision with obstacles	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Systems	Systems
	Prevent collision with persons on tracks	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Systems	Systems
Supervise passenger transfer	Control passengers doors	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Systems
	Prevent injuries to persons between cars or between platform and train	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Systems
	Ensure safe starting conditions	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Systems
Operate a train	Put in or take out of operation	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Systems
	Supervise the status of the train	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Systems
Ensure detection and management of emergency situations	Detect fire/smoke and detect derailment, detect loss of train integrity, manage passenger requests (call/evacuation, supervision)	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Ops Staff	Systems and/or staff in OCC

[그림 1.13] 열차제어시스템의 자동화수준(IEC 62290-1)

- 열차제어시스템은 열차이동의 안전성, 열차의 가·감속제어를 수행
- 선로상태 감시, 승객의 승·하차 감시, 비상상황 검지와 조치 등은 수행하지 않음

○ 최근 유럽과 중국은 고속철도의 자동운전을 검토하고 있으며, 2050년까지 일반철도 및 화물열차를 무인운전하는 목표로 하고 있음

– 무인운전(GOA3)을 지원하기 위해서는 선로, 승강장, 건널목 등의 장애물을 검지할 수 있어야 함

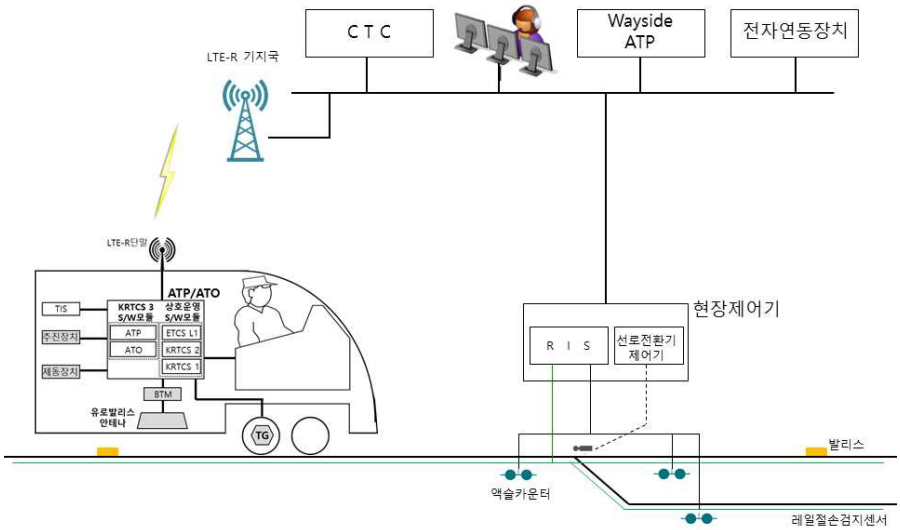
– 선택적으로 열차제어시스템이 출입문 개폐제어를 직접 처리할 수 있어야 함

○ 개발이 완료된 도시철도용 KRTCS의 무인운전기술을 일부 활용할 수 있을 것으로 판단됨

바. 상호운영성기술(공간통합기술)

○ 일반적으로 도시철도, 일반철도, 고속철도는 고유한 열차운영특성을 갖고 있었기 때문에 선로를 독립적으로 사용하고 있으며, 고속철도를 건설할 경우 특정 구간에서 일반철도와 고속철도가 선로를 한시적으로 공유하는 하지만, 고속철도의 효율성을 높이기 위해서 전용선로를 추가적으로 구축하고 있음(대전역, 동대구역)

○ 도시가 확대되면서 기존에 구축된 간선철도가 도심지에 위치하게 되었고, 효율적인 철도망을 운영하기 위해서 분리되어 있던 철도를 서로 연결하여 간선철도가 도심지를 관통할 수 있도록 하여야 하며, 도심지를 관통하는 간선철도구간은 충분한 경제성을 확보하여야 하기 때문에 도시철도와 같이 수송용량을 획기적으로 높이는 것이 요구됨



[그림 1.14] 궤도회로가 없는 고속철도용 열차제어시스템 구성도

○ 간선철도의 수송용량을 높이기 위해서는 열차운전시격을 단축하는 것이 필요하지만, 현재 간선철도에서 사용하는 궤도회로방식의 열차제어시스템으로는 한계가 있기 때문에 CBTC를 추가하거나 ETCS L2에 ATO를 추가하는 방법을 선택하고 있음

– ATO가 추가된 ETCS L2는 시간당 24편성까지 운행 가능한 것으로 분석되고 있으나,

Crossrail과 같이 시간당 25편성 이상의 열차가 도심구간을 운행하기 위해서는 궤도회로를 적용하지 않는 열차제어시스템이 요구됨

○ 도심지 간선철도구간을 효과적으로 건설하는 방법으로서 도시철도와 간선철도를 서로 연결하는 것을 고려할 수 있으나, 구간별로 상이한 열차제어시스템을 설치하고 있어서 열차에는 지상설비와 연계하기 위해서 2개 이상의 시스템을 설치해야 함

- 이러한 접근 방법을 개선하기 위해서 유럽은 새로운 열차제어시스템 NGTCS(Next Generation Train Control System)을 개발하기 위한 프로젝트를 진행하고 있음

○ 본 기획과제의 열차제어시스템의 차상ATP는 현재 지상에 설치된 ETCS L1, 구축예정인 ETCS L2, 개발이 완료된 도시철도용 KRTCS와 연계할 수 있도록 함

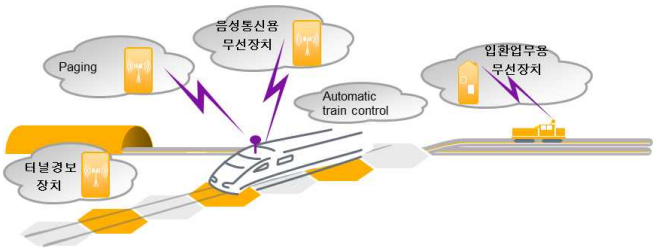
- 차상ATP에 ETCS L1과 연계하는 모듈(하드웨어 또는 소프트웨어), ETCS L2와 연계하는 모듈, 도시철도용 KRTCS와 연계하는 상효운영모듈을 독립적으로 설치함

- 열차위치정보를 토대로 차상ATP가 지상에 구축된 설비상태에 맞추어 자동으로 절체하도록 함

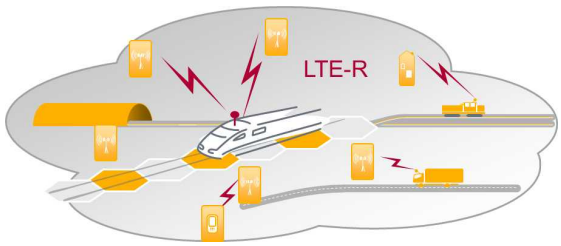
2절 기술개발의 필요성

1. 기술개발의 배경

○ 열차제어시스템(또는 철도신호시스템)은 효율적인 열차운행계획관리, 선행열차와 후속열차간 열차안전간격제어, 분기구역에서의 안전한 열차진로제어를 담당하며, 열차제어시스템과 연계되는 타 설비가 증가하고 있는 추세임



철도설비 통합전



철도설비 통합

○ 열차제어시스템에 대한 안전요구수준이 높기 때문에 검증된 해외시스템을 도입·운영하고 있으나, 장애조치, 유지관리, 시스템 개량 등에 상당한 비용과 시간이 소요되고 있음

○ 또한 급속도로 진행되는 도시화, 철도승객의 급격한 증가, 디지털기술 도입 등 빠르게 변화하고 있는 철도운영환경에 대응할 수 있는 새로운 열차제어시스템 개발이 요구됨

- 1996년 이후 철도승객이 2배로 증가하였고, 향 후 25년 이내에 다시 2배로 증가할 것으로 예상되며, 기존 열차제어기술을 적용해서는 승객수요증가에 대응할 수 없음

- 도시가 확대되면서 도심지를 통과하는 일반·고속철도의 운행편 확대, 교외로 도시철도 연장 등 도시철도와 일반·고속철도를 연결하기 위한 프로젝트가 증가하고 있으나, 연계운행 효과를 극대화하는데 기존 열차제어기술은 적용하는 것은 적합하지 않음

○ 1990년대에 시작된 유럽의 ERTMS/ETCS전략은 유럽철도망 통합, 기술 규격화 등을 통해서 많은 기술적, 경제적 성과를 도출하였으며, 세계철도산업의 주도권을 계속 유지하기 위해서 새로운 철도산업혁식전략을 수립하여 진행하고 있다.

- ERTM/ETCS전략은 열차제어시스템에 극한된 프로젝트이었지만 전세계 일반·고속철도 노선 8.5만km, 기관차 3,500여대에 시스템을 구축하였으며, 지속적으로 증가가 예상됨

- 철도운영환경의 변화, AI를 포함한 새로운 디지털기술의 상용화 등에 따라 모든 철도분야(인프라, 차량, 신호·통신, 에너지, 운영 등)를 대상으로 한 철도산업혁신프로젝트(FORSTER-RAIL, SHIFT2RAIL, NGTC)를 시작하였으며 2050년까지 완료할 계획임

- 중국은 철도신호·통신에 극한된 NGCTCS전략을 검토중에 있으며, 일본은 유럽의 철도신호업체(ANSALDO STS)를 매입하여 유럽의 철도산업혁신프로젝트에 참여하고 있음

○ 무선기반의 한국형 신호통신시스템(KRTCS)을 개발하여 외국에 종속되었던 국내 철도신호통신 산업의 자립 기반을 마련하였으며, 일반·고속선을 대상으로 '한국형 철도신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)'을 마련하였음

- 도시철도용 KRTCS는 개발을 완료하였고, 현재는 일반·고속철도용 열차제어시스템(KRTCS 2)을 개발중에 있음(2018년 6월 완료예정)

특징	도시철도용 KRTCS (KRTCS 1)	일반·고속철도용 KRTCS (KRTCS 2)	고속철도용 열차제어시스템
열차속도	150km/h 이하	350km/h 이하	350km/h 이하
열차위치검지	무선통신 (열차에서 지상으로 전송)	궤도회로 (지상에서 직접 검지)	무선통신 (열차에서 지상으로 전송)
열차분리검지 (TIS)	간단하게 구성 (별도장치 필요 없음)	궤도회로 사용	검증장치 개발 필요
궤도절손검지 (RIS)	개발하지 않음	궤도회로 사용	검증장치 개발 필요
열차간 안전간격	이동폐색	고정폐색	이동폐색
자동운전	GoA4 지원 (ATO장치 설치)	GoA1 지원	GoA2 지원 (ATO장치 설치)
열차진로제어	기존 연동장치 활용 (I/F규격 표준제정)	기존 연동장치 활용	기존 연동장치 활용
상호운영	기존 시스템과의 상호운영 지원하지 않음	ATP(ETCS L1)과 상호운영	ATP(ETCS L1)과 상호운영 KRTCS 2와 상호운영 KRTCS1과 상호운영

- 「한국형 철도신호시스템 구축계획」은 실용화 검증결과를 토대로 신설 및 개량시기가 도래하는 노선에 단계적으로 설치하여 '29년까지 全 신호시스템을 KRTCS_2로 교체하는 것을 목표로 하고 있음

  · (차상장치) KRTCS_2가 기존 신호설비(ATS·ATP)와 상호운영성을 가지므로 '18년 이후 신규로 도입되거나 내구연한이 도래한 차상장치부터 개량

  · (지상장치) 노선 간 연계운행을 할 수 있도록 국가 철도망 및 국가 철도망과 연계되는 모든 철도노선에 KRTCS_2 지상장치 적용

  · (추진전략) 실용화 검증결과 및 중장기 구축계획(안)을 토대로 매년 철도공단·공사가 사업시행계획을 수립하고 우리 부 승인 후 추진('18~)

○ 개발된 한국형 신호시스템인 KRTCS의 실용화도 매우 중요한 업무이지만, 유럽을 중심으로 한 대외적인 환경변화에서 국내 철도신호통신 산업의 대외 경쟁력을 높이기 위해서는 철도 수송용량 증대, 비용절감, 안전성 향상 및 편의성 향상 등을 지원할 수 있는 차세대 철도신호통신시스템을 선제적으로 개발하는 것이 요구됨

2. 수송능력(Capacity) 측면

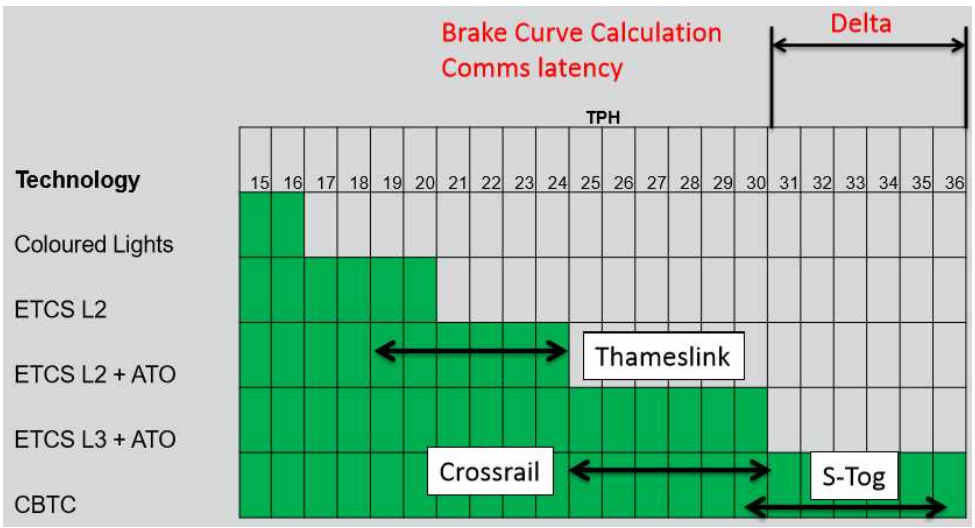
가. 무궤도회로방식의 열차제어기술 적용

'국가 철도망 구축 계획'은 전국 주요 도시를 1시간30분대로 연결하는 것을 목표로 하고 있으나 다음과 같은 현안사항을 갖고 있다.

○ 경부 및 호남고속철도는 최고속도 350km/h로 설계되었으나 선로용량의 한계 등으로 인하여 300km/h로 운영 중

- 직통 고속열차운영의 경우, 서울·수서~부산은 2시간 이내, 용산·수서~광주송정은 1시간 25분 소요(선로배분 기본 계획, 2017.3)

여러 방안을 적용하여 이 같은 현안사항을 해결할 수 있으나, 짧은 시간에 저렴한 비용으로 해결하는 방안은 선행열차와 후속열차간 안전간격을 현재 보다 단축하는 것이다. 열차간 안전간격을 단축하기 위해서는 열차위치를 정밀하게 실시간으로 추적하는 것이다. 또한 자동열차운전기능(ATO)을 적용하면 효과를 보다 높일 수 있다. 아래 그림과 같이 궤도회로를 사용하는 ETCS L2보다 ATO를 적용하면, 열차를 시간당 4편성 증편할 수 있으며, 궤도회로를 사용하지 않는 ETCS L3에 ATO를 적용하면 열차를 시간당 10편성 증편할 수 있는 것으로 분석되었다(Benefits and Barriers to CBTC and ETCS Convergence, MetroRail 2021).

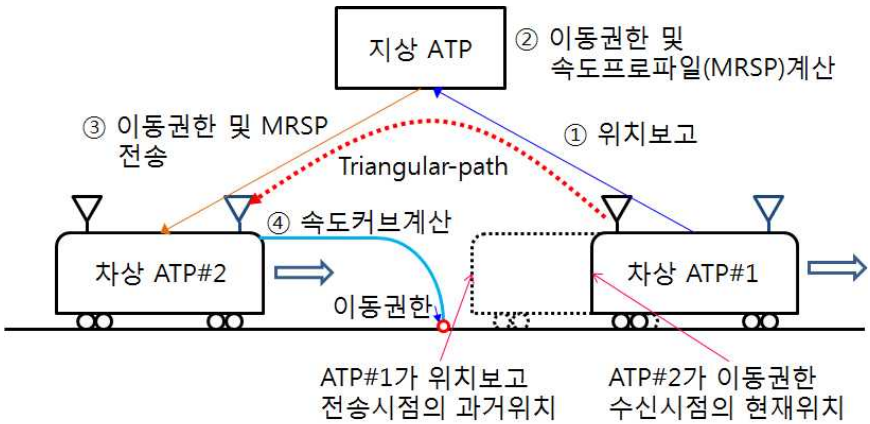


[그림 1.15] 열차제어시스템과 열차운행편성수(TPH)관계

궤도회로를 사용하지 않고 무선통신기술을 적용하는 열차제어시스템은 차상시스템과 지상시스템 간 이루어지는 제어정보를 기반으로 지상중심(wayside-centric)의 간격제어를 수행한다. 즉, 실시간 열차위치를 추적하여 역간 운전시격을 최소화 하는 것으로 도시철도의 경우는 90초까지 단축하는 것이 가능하며, 후속열차와 선행열차 간격제어를 지상시스템에 의존하는 triangular-path 형태의 cyclic -path 제어경로를 갖는다.

○ 아래 그림과 같이 ①선행열차의 위치보고를 지상 ATP가 수신하여 후행열차의 ②이동권

한과 속도프로파일(MRSP)을 계산하고 ③계산된 이동권한 및 MRSP를 후행열차로 전송하여 열차간격을 제어하는 방식으로써 후행열차가 수신한 이동권한은 이미 triangular-path를 통한 과거의 선행열차 위치를 반영하여 열차간격을 제어함



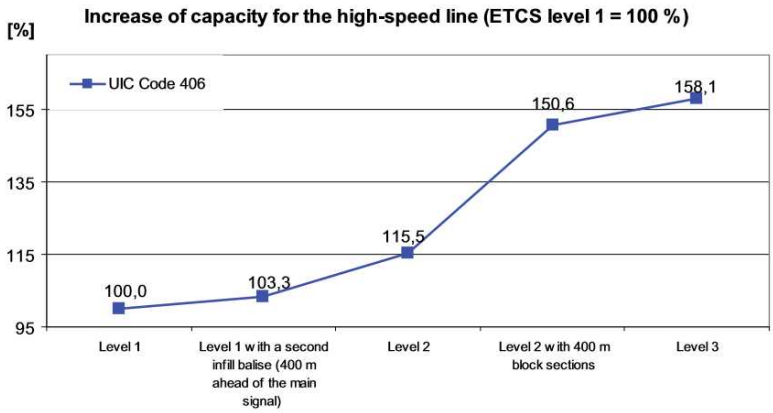
[그림 1.16] 열차제어시스템 열차간격제어경로(Triangular-path)

○ 현재까지 고속선에 ETCS L3를 적용한 사례가 없기 때문에 시스템이 수송용량에 미치는 영향이 검증된 사례가 없어 유럽의 분석사례를 활용하였음

· 아래 그림과 같이 무선통신기술과 궤도회로를 사용하지 않는 ETCS L3를 고속선에 적용하는 경우 선로용량(line capacity)이 58% 증가하고, 일반철도에 적용할 경우에는 선로용량이 42% 증가하는 것으로 분석됨

· 이미 운영중인 노선에 ETCS L3를 적용할 경우(개량할 경우), 운영중인 열차의 종류, 선로구성 등에 따라 선로용량은 15~60%내에서 변동될 것으로 예상하고 있음

· 궤도회로의 길이를 최적화하는 경우, ETCS L2와 ETCS L3간 수송용량에 차이가 없는 것을 확인할 수 있으나, 지상에 설치되는 신호설비(궤도회로)의 수량이 증가함에 따라 신뢰성 저감, 설치비용 상승, 유지관리비용 상승 등이 발생됨



[그림 1.17] 고속선에서 ETCS의 선로용량

○ 또한 미국 FTA의 “Rail Transit Capacity” 에서 제공하는 tool을 이용하여 국내 고속철 운행여건을 적용하여 speed code 방식과 moving block방식을 비교하였음

– 기존 속도코드방식은 시간당 12편성, 이동폐색방식은 시간당 19편성이 운영할 수 있어 기존 속도코드방식 대비 58%로 수송용량 증대효과가 있을 것으로 분석되었음

· Braking safety factor와 시스템 safety factor에 의해서 운전시격이 민감하게 반응하며, Braking safety factor는 50%를 반영하였음

· Speed code방식의 열차간 안전간격 설정

$$t_{cs} = \sqrt{\frac{2(L_t + d_{eb})}{a}} + \frac{L_t}{v_a} + \left(\frac{100}{f_{br}} + b\right)\left(\frac{v_a}{2d}\right) + \frac{at_{os}^2}{2v_a}\left(1 - \frac{v_a}{v_{max}}\right) + t_{os} + t_{jl} + t_{br}$$

· Moving block 방식의 열차간 안전간격 설정

$$t_{cs} = \frac{L_t + P_e}{v_a} + \left(\frac{100}{f_{br}} + b\right)\left(\frac{v_a}{2d}\right) + \frac{at_{os}^2}{2v_a}\left(1 - \frac{v_a}{v_{max}}\right) + t_{os} + t_{jl} + t_{br}$$

Term	Description
t_{cs}	train control separation
L_t	length of the longest train
d_{eb}	distance from front of stopped train to start of station exit block in meters
v_a	station approach speed
v_{max}	maximum line speed (27.8 m/s = 100 km/h)
f_{br}	braking safety factor—worst-case service braking is f_{br}% of specified normal rate—typically 75%
b	separation safety factor—equivalent to number of braking distances (surrogate for blocks) that separate trains
t_{os}	time for overspeed governor to operate on automatic systems—driver sighting and reaction times on manual systems
t_{jl}	time lost to braking jerk limitation
t_{br}	brake system reaction time
a	initial service acceleration rate
d	service deceleration rate
P_e	positioning error—moving block only

1. Variables			
Type of control system		Cab signals	Moving block
2. Inputs			
2.1 GENERAL PARAMETERS			
L_t	Longest train length (m)	388	388
d_{eb}	Distance from front of stopped train to start of exit block (m)	800	800
V_{max}	Maximum line speed (km/h)	305	305
V_a	Station approach speed (km/h)	200	200
f_{br}	Braking safety factor (percent service braking rate)	60%	60%
t_{os}	Driver sighting and reaction time (manual system) (s)	3.0	3.0
t_{jl}	Time lost to braking jerk limitation (s)	0.5	0.5

t_{br}	Brake system reaction time (s)	1.5	1.5
a	Initial service acceleration rate (m/s2)	0.44	0.44
d	Service deceleration rate (m/s2)	1.06	1.06
a_g	Acceleration due to gravity (m/s2)	9.8	9.8
G_i	Percent grade into station (%)	0%	0%
G_o	Percent grade out of station (%)	0%	0%
l_v	Percent of specification line voltage (%)	90%	90%
2.2 PARAMETERS SPECIFIC TO THE CONTROL SYSTEM			
b	Cab separation safety factor	1.2	
b	Moving block separation safety factor		1.0
P_e	Positioning error (moving block only) (m)		80.0
S_{mb}	Safety distance (moving block only) (m)		250.0
3. Calculations			
t_{cs}	Minimum train control separation – cab signals (s)	169.6	
t_{cs}	Minimum train control separation – moving block FSD (s)		66.0
4. Output			
t_{cs}	Minimum train control separation (s)	**169.6**	**66.0**

– 정차장에서의 정차시간

1. Variables			
Type of control system		Cab signals	Moving block
2. Inputs			
2.1 GENERAL PARAMETERS			
$t_{d,crit}$	Average dwell time at the controlling station (s)	75	75
t_{om}	Operating margin (s)	45	45

– Train throughput

1. Variables			
Type of control system		Cab signals	Moving block
2. Inputs			
2.1 GENERAL PARAMETERS			
h	Controling headway (s)	290	187
3. Output			
T	Line capacity (trains/h)	**12**	**19**

○ 또한 2개 이상의 노선이 연결되어 열차경합지역에서도 30% 내외의 선로용량을 높이는 효과가 기대됨(Influence of the European Train Control System ETCS on the capacity of nodes, UIC, 2010.5)

	경합지역 선로용량	
	독일 뮌헨의 경우	독일 베른의 경우
ETCS L1 - 변경사항 없음	100 %	100 %
ETCS L1 - Radio infill 적용	102.6 %	104.9 %
ETCS L2 - 분기부에서 속도변경	105.1 %	104.2 %
ETCS L2 - 분기부에서 속도변경, 폐색 최적화	106.5 %	106.2 %
ETCS L3	134 %	128.6 %

3. 비용(Cost) 측면

새로운 열차제어시스템의 개발은 시스템 도입비용과 시스템 운영비용의 분석이 요구된다. 본 과제에서의 비용 분석은 ETCS L3의 상용화 사례가 없는 관계로 관련 비용분석 보고서를 근거로 하였다.

○ 영국은 일반·고속선에 ETCS 도입을 분석하였으며, ETCS L1을 기준으로 했을 때 ETCS L3는 구축비용을 25~40%정도 절감할 수 있는 것으로 기되었음

· 궤도회로대신 무선통신방식으로 열차를 제어할 경우 열차운영조건에 따라 유지보수 비용을 10~50%정도 절감할 수 있음

○ TOSCA에서 특정조건에 ETCS L3의 기대효과를 분석한 결과 시설관리비용을 25% 절감하는 것으로 기대되었음(Transport Infrastructure Capacity Assessment, TOSCA, 2008).

대상노선의 특징	ETCS L3의 기대효과
- 운행편성 : 12~15 trains/h - 열차용량 : 1020석 - 수송용량 : 15,300석/시간 - 운영비용 : 0.063유로/승객-km	- 수송용량 : +35%(향상) - 지상구축비용 : 1,000유로/km - 차상장치비용 : 280,000유로/열차 - 시설관리비용 : -25%(절감)

4. 안전(Saferty) 측면

○ 무선통신을 사용하는 열차제어시스템이 궤도회로방식의 열차제어시스템 에 비해서 수송용량과 비용 측면에서 상당한 장점을 확보하고 있으며, 높은 안전성을 확보하고 있음

○ 궤도회로가 수행하던 레일절손검지 및 열차분리사고 검지에 대한 보완이 요구됨

Safety Features	Conventional	CBTC
Speed Supervision	Limited	Yes
Train Localization	Yes	Yes
Safe Train Separation	Yes	Yes
Rollback Protection	Limited	Yes
Parted Consist	Yes	Yes
Train Door Interlocks	Yes	Yes
Departure Interlocks	Yes	Yes
Route Interlocks	Yes	Yes
Protection against passing a signal at danger	Yes	Yes
Broken rail detection	Yes	No
Protection against human error	No	Yes

[그림 1.18] 무선통신방식과 기존방식의 안전성 분석

5. 편의성(Service) 측면

1) 운영환경변화에 대한 신속한 대응

선로를 변경하거나 연장하는 경우, 궤도회로방식의 열차제어시스템은 지상에 궤도회로를 포함한 신호장치를 설치(또는 변경)해야 하기 때문에 많은 작업시간이 필요하지만, 무선통신방식의 열차제어시스템은 선로에 설치할 신호장치는 지상자(트랜스폰더), 무선장치로 제한되기 때문에 짧은 시간내에 작업을 완료할 수 있다. 따라서 운영 편의성을 향상시킬 수 있다.

2) 정시성 보장

수송능력 관점과 마찬가지로 수요가 많은 노선에 보다 많은 열차를 투입할 수 있다는 것은 운영 편의성 외에도 승객 편의성(주행시간 단축, 역대기시간 단축, 정시성 등)이 향상된다는 것을 의미한다. 이외에도 부득이하게 열차 지연이 발생하는 경우에도 이 후 열차를 최대한으로 근접시켜 운행할 수 있으므로 회복 운전을 하는 데에도 유리하다.

3) 열차자동운전

일반 · 고속철도운영이 수동운전중심이나, 철도운영기관은 열차에 자동운전을 부가하여 다음과 같은 효과를 기대하고 있다.

· 운행스케쥴에 최적화된 열차주행을 통해서 승객에게 편의성 제공

· 계획된 패턴 주행을 통하여 기계적인 마모를 최소화

· 적은 열차를 이용하여 통일한 서비스 제공(수송용량 증대)

· 경합해소, 주행시간단축, 운전곡선 최적화를 통한 에너지 절감

· 다양한 서비스 패턴 등을 효율적으로 처리

6. 기술개발을 하지 않았을 경우 발생되는 문제점

○ 인구의 도시집중화가 지속되고 있으며 통계학자들의 예측에 따르면 2030년에 전세계 인구의 60%가 도시에 집중하게 되며 이로 인해 도시와 도시 간 또는 도시 내에서의 철도 이용객의 증가가 예상됨

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

– 궤도회로방식의 열차제어시스템은 일정 수준이상의 수송력 증가에 한계가 있으므로 이러한 철도 이용객 증가 수요에 대처하지 못하게 되며 결국 막대한 비용을 투자하여 노선 증축이 필요하게 됨

○ 검증된 국내 기술을 활용하여 새로운 열차제어시스템을 개발하여 국외시스템 도입에 따른 막대한 구축비용 및 유지보수비용을 절감

○ 열차제어시스템의 통합과 효율화는 세계적인 추세이며 이를 충족하기 위해 그림과 같이 유럽, 중국, 일본 등에서 중장기 로드맵을 구축하고 기술개발을 경주하고 있는 상황임

– 유럽의 철도산업혁신전략에 대응하지 않을 경우 수송용량, 가격, 승객서비스 등의 경쟁력 부족으로 과거와 같이 외국시스템이 국내 철도시장을 주도할 것임

– 현재는 외산시스템의 영향이 철도신호시스템(시장)에 극한되어 있지만, 유·무선통신으로 철도설비가 모두 통합되고 있는 상황에서는 철도운영, 승객서비스, 유지·관리 등 철도의 모든 분야가 외산시스템에 종속될 것임

○ 일반·고속철도용으로 개발하고 있는 ETCS Level 3와 도시철도용으로 무인운전을 지원하는 상용화된 CBTC를 융합한 새로운 시스템으로서 도시철도와 일반·고속철도를 구분하지 않음

– 기 확보한 한국형 열차제어시스템KRTCS(도시철도용, 일반·고속철도용)을 기반으로 자동운전을 지원하는 일반·고속철도용 열차제어시스템을 개발하고, 추가적으로 기존 신호설비와의 상호운영성을 확보하면 유럽의 기술동향을 만족할 것으로 판단됨

· 열차제어시스템은 2025년 이전에 적용(시범노선 운영 포함)해야 해외 기술과 경쟁할 여건을 확보할 것임

· 따라서 열차제어시스템 개발에 요구되는 제반기술(열차분리검지, 궤도절손검지)는 현재 검토되고 있는 최소 2개 이상의 기술을 선정·개발·검증하여 유럽의 표준화 전략에 대응하는 것이 적절할 것 같음

· 특히 열차제어시스템의 열차위치검지는 도시철도용 KRTCS 및 ETCS L2에서 적용하고 있는 무선통신기술을 사용하는 것이 적절할 것임

제2장 국내외 동향 및 환경분석

1절 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

○ 국토교통부는 철도노선별 연계운행 강화 및 운행시격 단축을 통한 철도수송능력증대, 세계 기술시장 변화에 대응한 철도안전을 확보하고자 무선통신을 기반으로 하는 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS: Korean Radio-based Train Control System)을 개발하고 국산 신호시스템 도입의 필요성 강조

○ 국내 설치된 신호시스템의 노선별·시기별로 서로 상이한 기종 도입의 문제점과 노선간 연계운행이 제한되고 경제성·안전성도 저하될 뿐 아니라, 신호시스템 핵심기술의 해외의존 및 국내 상용화 한계로 시스템 국산화가 미흡하여 국내 철도 신호산업 성장을 저해되는 등의 문제점 극복하고자 국토부를 중심으로 한국형 철도시스템 구축계획을 수립(2017.4)하였음

ㅇ(**개발계획**) '18년부터 **ETCS Lv3급**(무궤도회로방식) **이상**의 **자율주행**이 가능한 **차세대 신호시스템 기술개발** 및 **실용화** 추진('18~'30)

- (**1단계 : T2I 방식**) 기존 시스템과의 **상호운영성 확보** 및 **해외시장** 진출을 위해 **ETCS Lv3** 기반 신호시스템 우선 개발('18~'21, 약 290억)

- (**2단계 : T2T 방식**) 열차 간 무선통신 및 IoT, 인공지능(AI)을 활용하여 **자율주행**이 가능한 신호시스템 개발('18~'30, 약 520억)

○ 집중 국정운영과제 ('13.5)에서 중 교통체계 선진화에서는 대도시권 광역철도망 구축과 함께 운전시격 향상을 통한 철도병목구간 개선으로 철도신호시스템에 대한 과제 필요성 제기

○ 건설교통 R&D 중장기 계획안('13~'17)에서는 철도시스템 성능 및 수송력 향상 운전시격향상을 통한 수송력 향상가능과 지상설비 제거를 통한 비용절감과 세계시장 선도 첨단 교통물류 원천기술 확보를 제시하였음

○ 국토교통과학기술진흥원 미래철도기술 로드맵 2040('15.1)에서는 고밀도 열차제어운영 및 대용량 여객·화물 수송에 대한 기술과 신개념 인프라 기술 개발의 필요성이 제시되었음

2. 국외 정책동향

○ 2009년 영국 교통부는 30년 후에도 철도가 지속적인 성장을 하기 위한 비전을 담은 백서 "Delivering a Sustainable Railway" 작성하고 용량확대, 탄소배출량감소, 고객만족, 비용감소를 철도가 지속적으로 성장·발전하기 위한 핵심적인 요구조건으로 정하고, 30년 후인 2040에 달성하여야 할 도전 목표를 설정하였음

○ 영국은 세부 실천과제로 8대 핵심기술과제 선정하였으며 최적화된 궤도-열차 간 인터페이스 개발, 철도의 용량과 신뢰성 향상, 단순하고, 유연하고, 정확한 제어 시스템, 최적화된 견인력과 에너지 등 신호시스템과 연관된 분야에 집중적인 실천계획 수립

○ 프랑스는 철도차량 설계(모델링, 신 재료, eco-design)와 유지보수, 교육훈련 측면에서 경쟁력 확보하고 환경오염, 고객만족도 향상기술 개발과 함께 2020년까지 철도 용량 증대 방안에 대한 연구 수행

○ 미국의 철도분야는 주로 안전성 향상 부분에 초점을 맞추고 있으며 종사자, 하부구조물, 장비, 제어시스템, 교차로 등 여러 요인과 연결되어 있으므로 제어시스템 등 관련 분야에 연구가 수행되고 있음

○ 유럽이 주도하고 있는 철도산업의 경쟁력을 지속적으로 유지하고, 유럽철도시장규모를 확대하기 위한 Forster Rail, Shift2Rail을 추진하고 있음[첨부 1. 유럽의 철도혁신 프로젝트 참조]

○ 유럽은 ETCS를 이용하여 철도신호산업을 주도하고 있으나, 철도산업의 경쟁력을 지속적으로 유지하고, 유럽철도시장규모를 확대하기 위한 Forster Rail, NGTC 및 Shift2Rail을 추진하고 있음

- FOSTER-RAIL(Future of Surface Transport Research Rail)은 유럽철도의 연구개발 및 혁신전략을 강화할 수 있도록 지원하는 것이 목적임

· 열차제어시스템과 관련하여 선정한 세부연구주제는 다음과 같음

[표 2.1] Control, command, communication의 세부연구주제

분류	세부연구주제
Capacity	· Intelligent traffic management · Automatic Train operation · Develop and validate a high capacity, low cost, highly reliable signalling system based on moving block principles · New train localization/integrity : satellite based rail positioning · Virtual coupling
Reliability &	· New radio-based control systems that allow for less signal failures

punctuality	
Interoperability	· Trains that have on-board databases stored should be able to run autonomously
Safety	· Keep or increase current level of rail safety while increasing interconnections · Achieve a gsmR improvement for safety relevant commu- nication links
Energy efficiency and sustainability	· Cost-effective standard design, test, installation and maintenance of signalling infrastructure and onboard equipment
Affordability	· Control command systems modularized : on-line tests minimized to almost zero
Cybersecurity	· Achieve the optimal level of cybersecurity against any significant threat for the signalling and telecommunications systems

- NGTC는 ETCS와 CBTC시스템을 통합하여 신호시스템 공급자에게는 보다 큰 신호시장을 제공하고, 시스템 사용자에게는 경쟁을 강화해서 시스템구매비용을 낮추는 것이 목적임

  · 프로젝트에 신호시스템 공급사, 간선철도운영자, 철도시설관리자, 도시철도운영자 참여

  · NGTC에서 도출된 성과물은 SHIFT2RAIL의 Innovation Platform 2(Traffic Management and Control Systems)에 적용되었음

  · NGTC는 WP를 9개로 구성하여 본 프로그램의 목표를 달성하였음

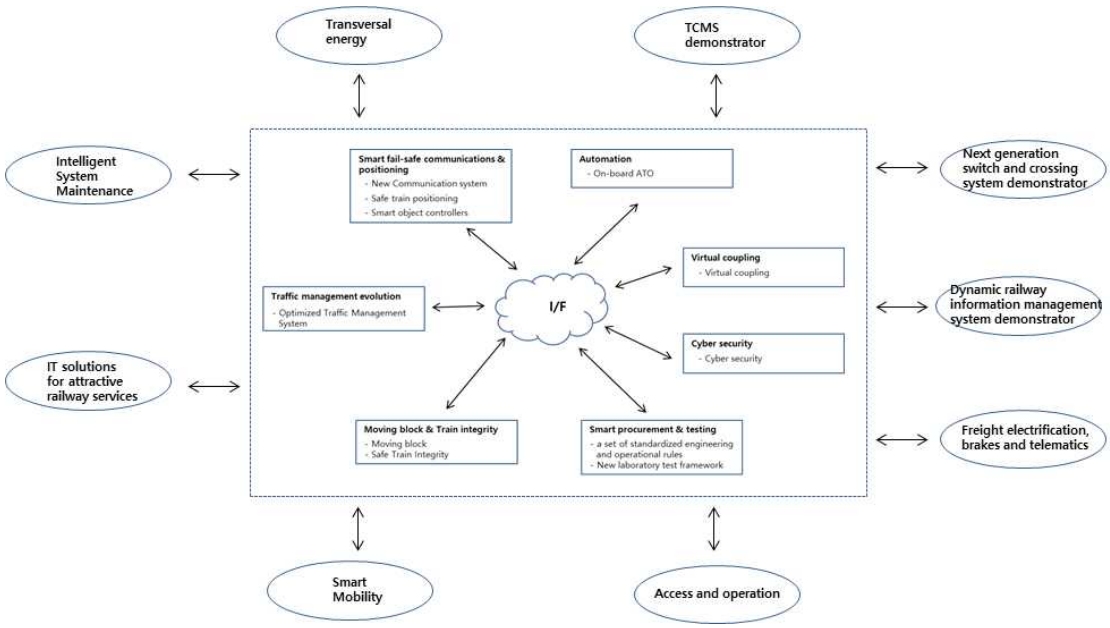
[표 2.2] NGTC의 WP 및 업무내용

분류	세부연구주제
WP 1	· 프로젝트 관리
WP 2	· ETCS와 CBTC시스템의 운영사항과 기능사항의 공통 및 고유사항 분석
WP 3	· 시스템 구조, 시스템 요구명세서 정립
WP 4	· NGTC의 메시지 분석과 메시지 규격서 작성
WP 5	· 이동폐색의 원칙 및 검증
WP 6	· 무선통신시스템의 일반요구명세 및 적용 가능한 무선통신기술 검증
WP 7	· 위성을 이용한 열차위치검지
WP 8	· 용어 및 성과물 관리
WP 9	· 성과물의 전파 및 사용자 관리

- Shift2Rail은 단일화된 유럽철도망 구축, 유럽철도시스템의 장점과 경쟁력을 획기적으로 높임, 유럽철도산업의 글로벌 시장 주도를 목표로 진행되고 있음

  · FOSTER-RAIL, NGTC 프로젝트와 달리 본 프로젝트는 연구개발을 실행하는 사업으로서 매년 연구과제를 공모하고 선정된 과제에 예산을 지원하고 있음

· 본 프로젝트는 5개의 혁신프로그램 IP(Innovation Programme)와 1개의 Cross Cutting Activities로 구성되어 있으며, 신호·통신부분은 IP 2 (Advanced Traffic Management and Control Systems)에서 이루어지고 있음



[표 2.3] SHIFT2RAIL의 IP2의 세부연구주제

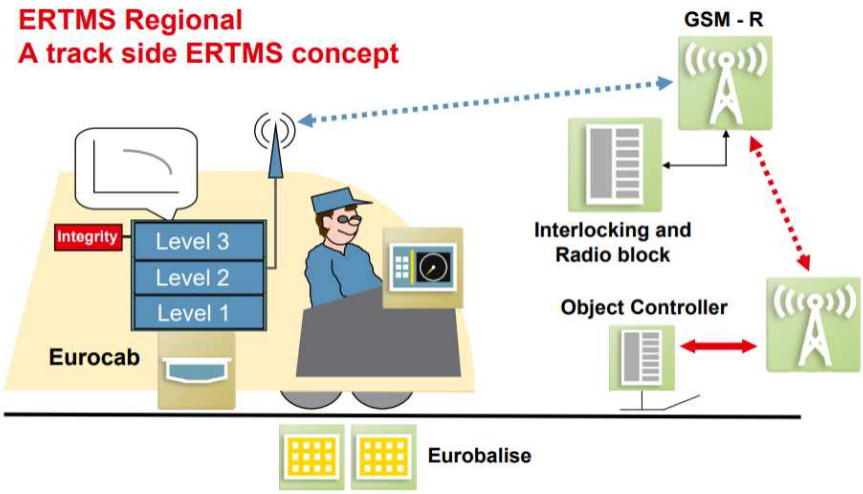
분류	세부연구주제
TD2.1	철도에 적용하기 위한 통신(QoS, 신호시스템과 인터페이스)
TD2.2	· 철도의 수송용량 향상(ATO적용) : ETCS용 ATO(GOA2) : ETCS용 ATO(GOA4)
TD2.3	· 이동폐색Moving Block
TD2.4	· Fail-Safe Train Positioning (including satellite technology)
TD2.5	· 열차분리검지(열차무결성)
TD2.6	·현장시험 대체기술(실험실 검증)
TD2.7	· 정형기법 및 인터페이스 표준화
TD2.8	· 열차군집주행
TD2.9	· 열차운행관리시스템 개선

TD2.10	· Smart radio-connected all-in-all wayside objects
TD2.11	· 철도용 cyber-security system 정의 · Cyber-security방법을 신호시스템에 적용 · Railway Cyber Security Experts망 개발

○ 또한 기존 열차제어시스템이 갖는 문제점을 해결하기 위해서 CBTC시스템과 같이 궤도회로를 사용하지 않는 시스템 등을 개발하여 시험 중인 것으로 확인

– 북유럽은 궤도회로를 사용하지 않고 이동폐색 원리를 지원하는 ETCS (European Train Control System) Level3의 일부 기능을 포함하는 시스템을 구현 중에 있으며, 궤도회로를 사용하는 ETCS Level1 및 Level2를 기본으로 선로변 장치를 최소화한 ETCS Regional 시스템을 개발하여 시험중

○ (ETCS Regional)ETCS level 3 적용성 연구와 함께 한산선구 또는 지방철도의 신호시스템을 개량할 때 소요비용을 절감하기 위해서 ETCS Regional을 개발하여 시범운행을 실시하고 있음



[그림 2.1] ERTMS Regional 구성도(참조 Bombardier Transport)

– 일반적으로 주요 선로에 사용되는 지상장치(궤도회로 포함)는 한산선 또는 지방철도에서 사용하기에는 상당히 고가이기 때문에 이를 설치하고 운영하는 적절하지 않음

– ETCS Regional은 ETCS 차상장치와 동일한 것(동일급)을 사용하고, 지상장치의 비용을 획기적으로 줄이는 것으로 구성되었으며, 운영비용을 20~35% 절감할 수 있음

– ETCS Regional이 사용하는 ETCS 차상장치의 가격이 고가이기 때문에 ETCS Regional을 한산선구에 적용하는데 장애물로 작용하고 있으며, ETCS Regional 규격이 합의되지 않은 상황임

– 또한 네덜란드의 ProRail사와 영국의 NetworkRail이 ETCS Level 3의 구성품에 대한 시

험을 실시하였으며, ETCS Level 3를 효율적으로 구축하기 위한 MOU(2016)체결하여 관련 사업계획을 마련하였음

3. 국내 철도·교통관련 주요 정책과제 및 세부 추진내용

가. 철도정책

○ 우리나라의 2016년 철도정책(계획)은 크게 안전, 정책지원, 운영지원, 이동편의시설설치 지원, 정보화, 기술연구 및 기타 지원(철도건설지원, 지하철개통지원, 공단 지원, 물류산업 지원) 등

○ 안전부문은 철도의 운영 및 시설관리, 사고 대응 등 철도와 관련된 각종 안전에 대한 부문으로서 세부 사업으로는 일반철도시설 유지보수위탁, 일반철도안전 및 시설개량사업, 고속철도 안전 및 시설개량사업, 철도교통 관제시설 운영위탁, 철도사고조사·체계 구축, 철도시설위탁 및 관리, 철도안전관리제도 운영 등 7개의 세부 사업

○ 이 중 4개의 사업은 안전한 시설(일반철도시설 유지보수위탁, 일반철도 안전 및 시설개량사업, 고속철도 안전 및 시설개량사업, 철도시설위탁 및 관리)과 관련이 있으며, 2개의 사업은 안전관리(철도교통관제시설 운영위탁, 철도안전관리제도 운영), 1개의 사업은 철도관련 사고대응을 위한 사업임

○ 정책지원부문은 철도기본계획수립, 철도산업발전지원, 철도역 환승동선 개선 및 척도핵심인력 양성 등 4개의 세부 사업

○ 철도기본계획수립은 국가의 효율적인 철도망 구축을 위하여 국가철도망구축계획에 따라 추진 중인 사업의 타당성 조사 및 기본계획을 수립하는 것으로, 철도건설 사업별로 철도기본 계획 수립

○ 철도산업발전지원은 철도관련 정책수립 및 철도산업 경쟁력 강화를 위한 연구와 철도산업 해외진출 활동을 지원하기 위한 사업으로서 철도가 글로벌 시장에서 경쟁력 확보 지원

나. 교통정책

○ 우리나라의 2016년 교통정책(계획)은 크게 정보화, 대중교통 체계 구축, 연구, 계획 및 평가, 국제협력, 도시 BRT, 환승체계구축, 주차환경개선사업 등 구분

○ 철도교통 경쟁력 향상을 통한 수송 분담률 제고를 통해야 국민 행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도개발 및 철도산업을 고부가가치 창조형 신성장 동력으로 육성하여 세계 일류 철도기술의 확보 및 일자리 창출을 통해 국가 경제에 기여 방안 연구

○ 철도신호시스템(이하 열차제어시스템)은 안전하고 효율적인 철도운영을 보장하는 철도설비로서 고속철도의 수송용량을 높여서 고속철도를 중심으로 교통체계를 구축하는데 핵심

적인 역할을 수행

○ 현재 고속철도에서 사용 중인 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하고 있어서 수송용량을 획기적으로 높이거나 선로에 설치되는 장치(또는 구성품)을 획기적으로 줄이는 것이 어려움

○ 전국 주요 도시를 1시간30분대로 연결하기 위한 '국가 철도망 구축 계획' 정책의 실현을 지원하고, 해외에서 추진하고 있는 기존 신호 및 타 선로장치에 대한 의존도를 저감하는 기술 개발 등에 대응하기 위해서는 궤도회로를 사용하지 않는 고속철도 및 일반철도용 열차제어기술을 개발하는 것이 요구

○ 국내의 경우 현행 경부 및 호남고속철도는 최고속도 350km/h로 설계되었으나 선로용량의 한계 등으로 인하여 300km/h로 운영하는 한계를 갖고 있는데, 최고속도로 운행하기 위해서는 선행열차와 후속열차간 열차안전간격을 최소로 단축하는 정밀한 열차제어기술 개발이 필요

○ 국내의 경우 국토교통부에서 열차 신호시스템 표준화방안(2010.11)을 마련하고, 궤도회로를 사용하지 않는 한국형 무선기반 신호시스템 KRTCS(Korean Radio based Train Control System)을 개발하고 국내 철도에 적용하기 위한 단계별 추진전략을 제시

4. 정책동향 분석 시사점

○ 철도 신호시스템 분야의 주요 정책 목표는 철도와 첨단 ICT 기술을 접목하여 비용절감과 수송력 향상 그리고 안전성과 편리성 향상이 요구되고 있으며 해외 철도 선진국에서도 미래 철도기술에서 수송량 향상과 승객 중심의 서비스 향상 그리고 비용절감은 공통된 중장기적 목표임을 확인할 수 있음

○ 열차제어시스템 기술은 기존의 지상/전기/HW 중심의 열차제어기술에서 차상/통신/SW 중심으로 변화되고 있으며 지상신호 중심에서 차상중심으로 열차제어기술로 지능화, 열차간 협업화를 통해 수송력 향상, 승객서비스 향상, 비용절감, 안전성 향상을 목표로 함

○ 국내 열차제어시스템 제작사의 경우 국가연구개발사업을 통해 무선통신기반 열차제어시스템 기반기술은 확보한 상태이나 현실적으로 열차제어시스템 모듈화 개발에 따른 개발비용 및 인력을 감당하기 어려운 실정임

○ 대기업 위주의 열차제어시스템 제작사에서 열차제어시스템 인터페이스 장치를 개발 주도하였으나 열차제어시스템과 접목 가능한 다양한 종류의 안전장치 개발과 관련 산업의 활성화를 위해서는 중소기업이 참여가능도록 열차제어시스템을 중심으로 표준 인터페이스 체계 수립 필요

○ 열차제어시스템을 중심으로 모듈화에 필요한 표준 인터페이스체계 수립이 요구되므로 정부주도의 표준인터페이스 체계 수립이 필요함

2절 국내외 시장현황 및 전망

1. 시장관련 환경분석

가. 저출산 및 고령화

○ 세계인구 구조는 급격한 고령화의 진행으로 인해 전 세계적으로 60세 이상 고령 인구는 2050년에는 지금의 세 배 이상이 될 것으로 전망

○ 우리나라는 고령화 사회에서 고령사회, 초고령사회로 진전되는 속도는 대표적인 고령국가인 일본(24년, 12년), 프랑스(115년, 39년) 등에 비해 현저히 빠름

○ 저출산· 고령화로 노동력의 감소에 따라 잠재 성장률도 둔화될 것으로 전망되며, 이러한 고령인구의 증가는 이들을 고려한 정책의 설계 필요성 및 요구 증가

○ 교통 분야에서도 가구 규모의 소규모 및 교통약자의 이동성 향상을 위한 수단개발의 방향으로 변모

나. 도시화

○ 세계적으로 도시화(urbanization)는 급격히 가속화되어 2030년에는 전세계 인구의 53.6%가 도시에 살 것으로 전망 (국내 도시화는 2050년까지 약 90% 예상)

○ 도시화 및 도시이주 등으로 인하여 국토의 효과적 이용이 요구되고, 인구밀집으로 인한 삶의 질 저하가 심화되는 등의 문제점들이 예상되며 도시의 발달에 따라 대도시를 유기적으로 연계하는 거대 도시권역(Mega-City-Region) 형성이 가속화 예상

○ 거대 도시권간 유기적 연계와 규모의 경제를 창출하고 시너지효과를 불러올 수 있도록 고속교통망 연결에 대한 투자가 증대될 것으로 전망

○ 미래사회는 도시화로 인해 도시인구가 더욱 집중되면서 도시간, 지역간 이동이 더욱 활발해짐에 따라 여객 · 화물의 대용량을 고속으로 안전하게 이동시킬 수 있는 첨단 교통시스템과 교통수단의 보급 예상

다. 기후 및 환경변화

○ 지구온난화 및 기후변화, 개발도상국의 산업화에 따른 화석연료 사용 증가와 급속한 도시화 등으로 환경오염 더욱 심화 전망

○ 교토의정서에 따라 온실가스 감축 이행 의무대상국들은 2020년 이후부터는 모든 온실가스 배출국들이 참여하는 새로운 기후체제 출범을 세계적으로 합의

○ 인구의 지속적인 증가에 따라 2035년에는 세계 에너지 수요가 약 30%로 이상 증가할 것으로 예상되며 고효율 · 저비용 에너지 체계를 갖춘 교통수단 개발 예상

○ 철도는 대량수송, 에너지효율, 친환경성 측면에서 타 교통수단에 비하여 친환경 녹색교통수단으로 전세계적으로 지속적인 수요 증가

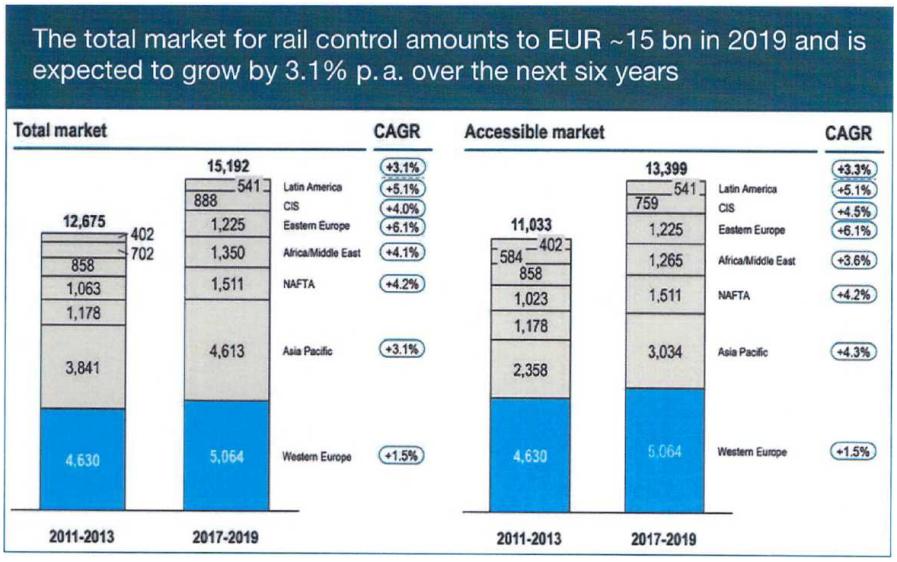
○ 우리나라는 '저탄소 녹색성장 기본법' 을 제정(2010)하면서 전 분야에 걸쳐 기후변화에 대한 대응의 노력을 하고 있으며, 적극적으로 대비하기 위한 영향성의 연구 및 포괄적 적응 기술을 개발 중

○ 친환경 · 고효율 교통수단의 선호에 따라 철도산업의 세계 시장규모는 2023년에 약 610조원으로 더욱 확대

2. 국내 · 외 열차제어시스템 시장현황

○ 궤도회로를 사용하는 열차제어시스템과 무선통신망을 고속선, 일반선, 광역철도 신선 및 개량선에 적용할 경우 10년간 7조 2,900억원 시장 예상(철도신호통신시스템 R&D추진현황, 철도국, 2016.6)

○ 세계 철도 열차제어시스템 시장은 앞으로 3.1%의 年 평균 성장률(CAGR[1])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(약17.2조원)의 규모를 달성할 것으로 예측됨 (※ 출처 :World Rail Market forecast 2014 to 2019, Unife).

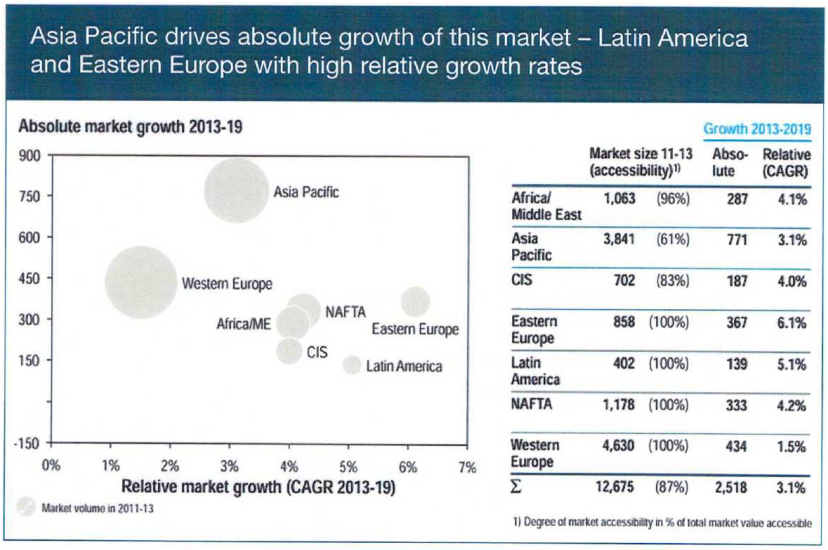


[그림 2.2] 철도 열차제어시스템의 전체 年 평균시장규모

1) Compound Annual Growth Rate: 연평균 성장률

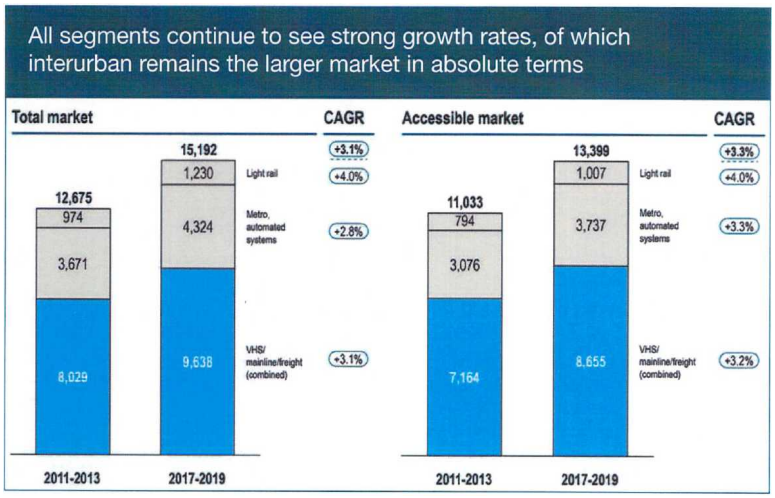
○ 특히 아시아 태평양 지역은 2017년에서 2019년까지 7억 7천만 유로(약 1조원)로 연간 시장 규모가 가장 높은 시장의 성장이 이루어지는 지역이 될 것으로 예측됨. 2011년~2013년 사이에 38억 유로(약 4.9조원)의 시장규모, 이것은 3.1%의 年 평균 성장률에 해당하므로 상대적으로 시장규모와 같은 속도로 성장함.

○ 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.



[그림 2.3] 지역별 열차제어 시장의 현재 규모와 성장

○ 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.

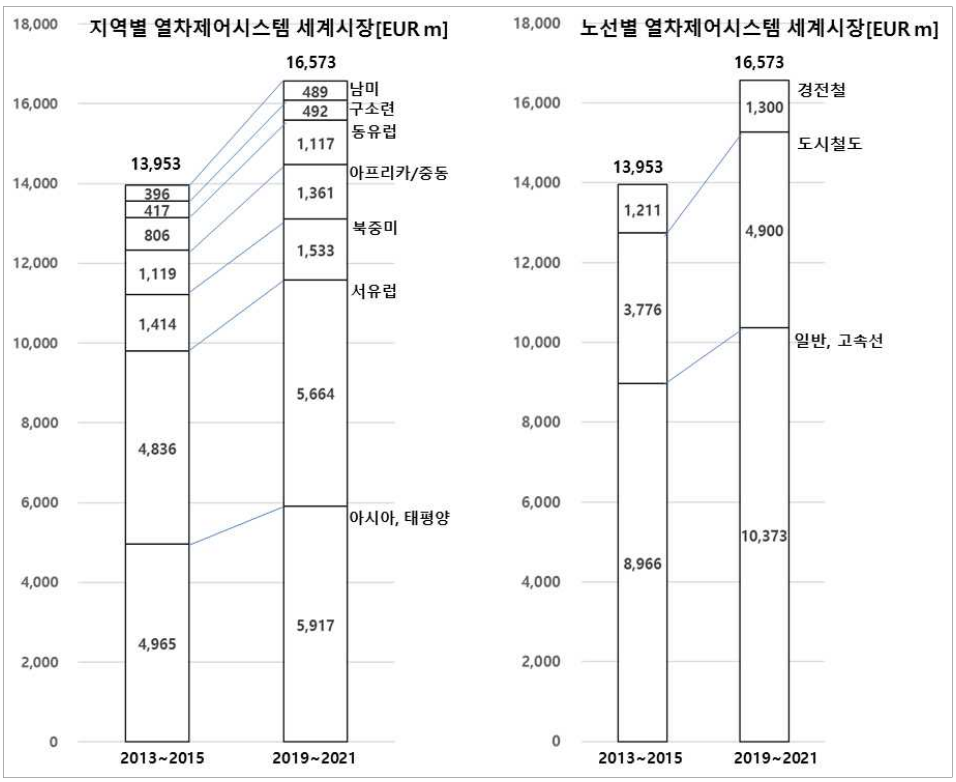


[그림 2.4] 분야별 연간 열차제어 시장 발전

○ 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 ERTMS[2] 표준에 의해 특히 ATP 기술은 핵심적인 역할을 할 것으로 예측됨. ERTMS ATP 제품에 대한 시장은 2017년~2019년 사이 연간 약 17억 유로(약 2.1조원)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.



[그림 2.5] 지역 및 노선별 열차제어시스템 성장률(2017)

가. 신규 개발 및 업그레이드 시장

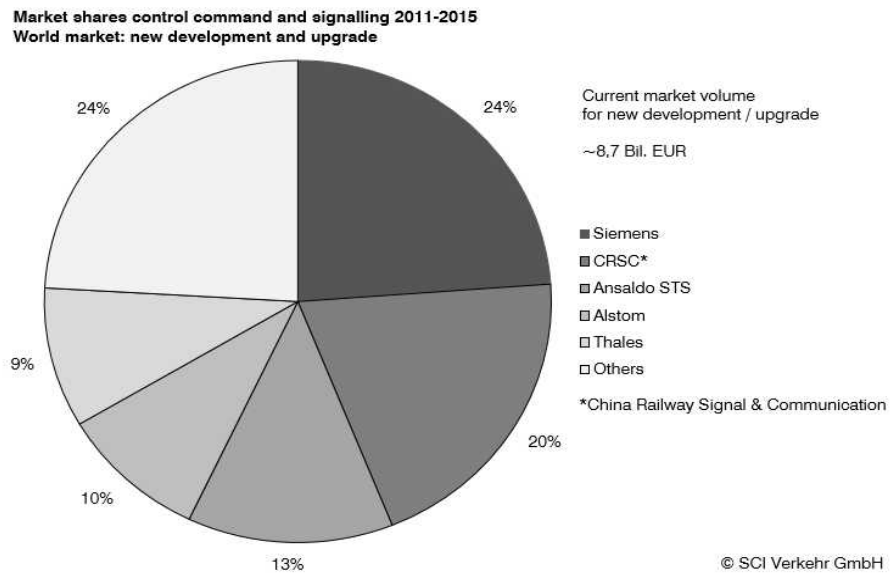
○ 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 全세계 신규 개발 및 업그레이드 (New development and upgrade market) 시장은 2015년 약 81.70억유로(약 10.661조원)이며, 2020년까지 年 평균 2.93% 증가할 것으로 예측됨(※ 출처 : Worldwide Market for Railway Industries, 2017, 독일 SCI).

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

[표 2.4] Control Command and signalling (New development and upgrade Market 2015)

Region	연평균성장률(%)	Market Volume (EUR million)	
		2015	2020
Western Europe	2.1	2,600	2,884.7
Eastern Europe	-1.1	500	473.1
North America	5.4	660	8,58.5
South/Central America	1.2	260	275.98
Asia	1.6	3,130	3,388.5
CIS	2.6	260	295.6
Africa/Middle east	9.6	550	869.8
Australia/Pacific	2	210	231.9
Total	2.93	8,170	9,278.1

○ 신규 및 업그레이드 시장에서의 업체별 점유율은 Siemens/Invensys, Ansaldo STS, Thales, Alstom 및 Bombardier 등 선진제작사들의 점유율이 높게 나타나고 있으나, 자국 노선에 열차제어시스템을 적용하면서 중국의 CRSC 점유율이 2위로 높아졌음.



[그림 2.6] 철도 신호업체별 세계 시장 2015년도 점유율(신규 및 개량)

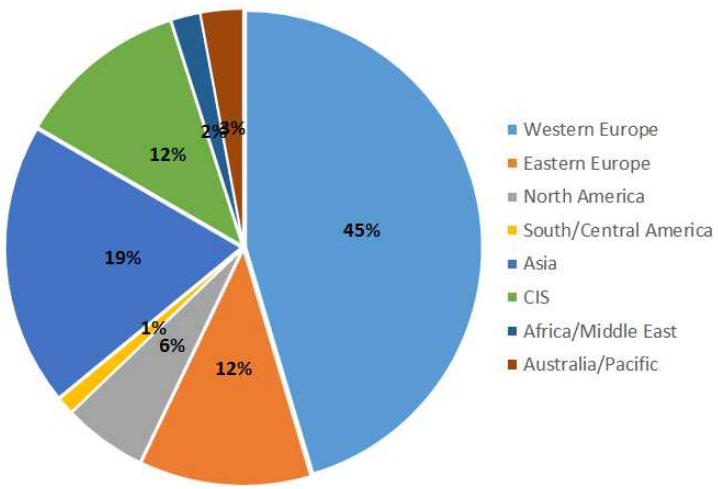
나. 개량 및 유지보수 시장

○ 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 全세계 개량 및 유지보수(Renewal and Maintenance) 시장의 경우 2015년 약 83.7억유로(약 10.923조원)이며, 2020년까지 年 평균 3.0% 증가할 것으로 예측됨(※ 출처 : Worldwide Market for Railway Industries, 2017, 독일 SCI)

[표 2.5] Control Command and signalling (Renewal and Maintenance Market 2015)

Region	연평균성장률(%)	Market Volume (EUR million)	
		2015	2020
Western Europe	2.1	3,550	4,036.1
Eastern Europe	-1.1	930	1,047.1
North America	5.4	520	602.81
South/Central America	1.2	210	255.5
Asia	1.6	1,850	2,283.5
CIS	2.6	920	1,025.8
Africa/Middle east	9.6	160	188.2
Australia/Pacific	2	230	260.2
Total	2.93	8,370	9,699.2

○ 세부적으로 보면, 서유럽의 경우 全세계 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 全세계 시장 점유율(지역별), 유지보수/교체 시장 (2013)

3. 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 무선통신(무궤도회로) 방식의 차세대 열차제어시스템을 개발하여 실용화를 수행할 경우 국외 진출에 대한 기대치를 높일 수 있음

○ 다만 현재 국내 기업은 세계 열차제어시스템 시장점유율은 매우 낮은 수준이며 이는 대형 글로벌 기업의 기술적 선도성과 확장성 때문으로 사료됨

○ 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 무선통신(무궤도회로) 방식의 차세대 열차제어시스템을 개발하고 실용화하여 국내의 열악한 철도산업 여건을 극복할 수 있도록 정부차원의 투자와 지원이 필요함

3절 기술(특허, 논문 등) 동향

1. 특허동향

가. 개요

○ 유럽 철도의 경쟁력 강화 및 글로벌 철도산업 선도 등을 위해 철도 연구개발 및 혁신 로드맵(FOSTER-RAIL*)을 수립하고, 열차↔선로*(T2I), 열차↔열차(T2T) 간 무선통신을 기반으로 열차간격과 속도를 제어하는 차세대 신호통신시스템 연구개발(Shift2Rail, NGTC) 추진

○ 신호통신 분야는 서비스 향상, 비용절감, 상호운영성 향상 등을 목적으로 T2I 및 T2T 기반의 시스템 구현을 위해 11개 기술* 선정(~ '50, 2억 유로)

○ 일본은 Ansaldo STS 인수('16, 히타치그룹)를 통해서 유럽의 차세대 신호시스템 개발 전략(Shift2Rail)에 간접적으로 참여

나. 이동·가상폐색 특허 동향

[표 2.6] 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.~ 2017.03.01				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

[표 2.7] 특허 검색 조합식

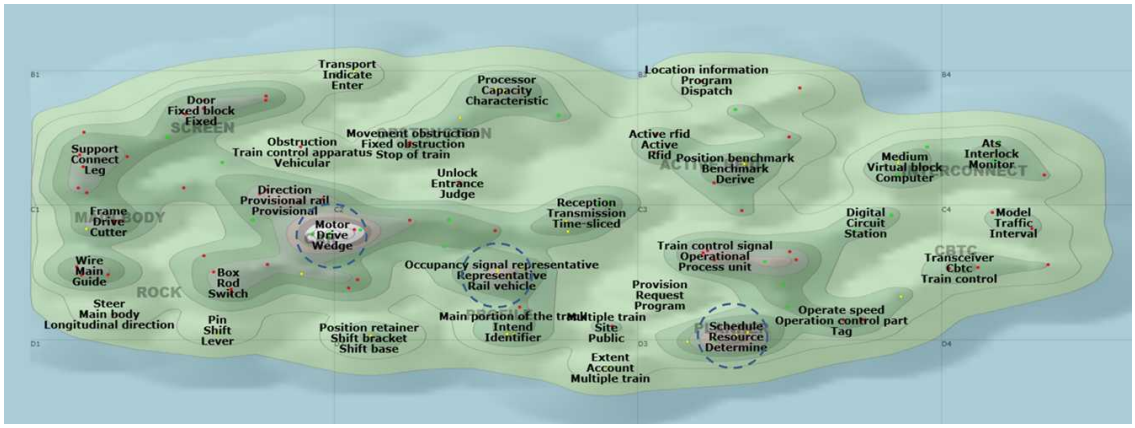
기술구분	검색 조합식	유효특허
AA 이동폐색	CTB=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and (moving adj block) and control*) and AD>=(19900101);	96
AB 가상폐색	CTB=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and (virtual adj block) and control*) and AD>=(19900101);	16

○ 열차 제어 시스템(이동·가상폐색 장치) 기술분야 관련 검색결과 최종 112건의 관련 유효특허기술이 분포하고 있음

○ 이 분야의 특허기술 영역은 전반적으로 CAR, PLANNER, PROFILE과 관련된 기술들이

많이 포함되어 있음

○ 등고선 꼭지점이 높은 Motor/Drive/Wedge, Occupancy signal representative/ Rail vehicle, Schedule/Resource/Determine 등의 기술에 대한 키워드를 갖는 특허가 많이 분포하고 있어 관련 분야의 기술 집중도가 높은 것으로 판단 할 수 있음.



[그림 2.8] 이동 · 가상폐색 특허맵

다. 열차위치검지 특허 동향

[표 2.8] 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.~ 2017.03.01				
검색범위	Title, Abstract				

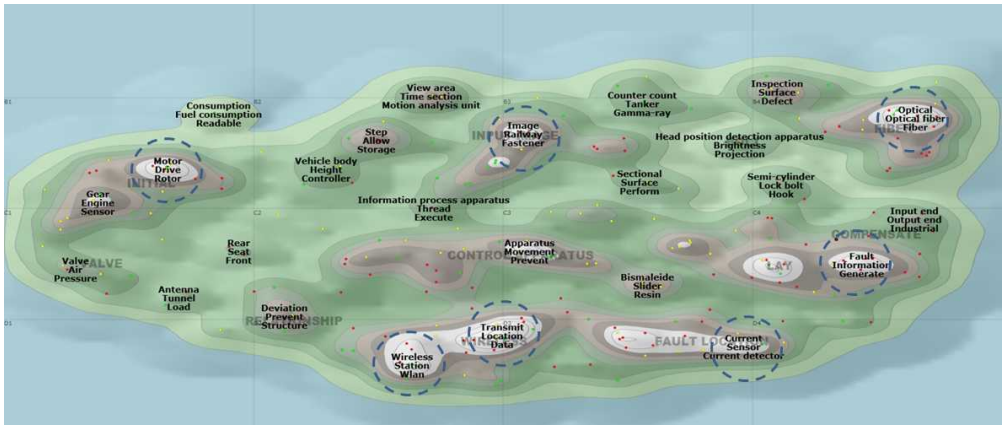
[표 2.9] 특허 검색 조합식

기술구분	검색 조합식	유효 특허
열차위치 검지	TAB=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and (detect* near3 (position* or loca*)) and (hsr or (high*speed) or (high adj speed))) and AD>=(19900101);	264

○ 열차 제어 시스템(위치검지) 기술분야 관련 검색결과 최종 264건의 관련 유효특허기술이 분포하고 있음

○ 이 분야의 특허기술 영역은 전반적으로 INITIAL, INPUT IMAGE, CONTROL APPARATUS, WIRELESS, FAULT LOCATION, LAY, FIBER와 관련된 기술들이 많이 포함되어 있음

○ 등고선 꼭짓점이 높은 Motor/Drive/Rotor, Image Railway Fastener, Transmit/location/Data, Fault/Information,/Generate, Optical/Optical fiber/Fiber, Current/Sensor/Current detector 등의 기술에 대한 키워드를 갖는 특허가 많이 분포하고 있어 관련 분야의 기술 집중도가 높은 것으로 판단 할 수 있음.



[그림 2.9] 열차위치검지 특허맵

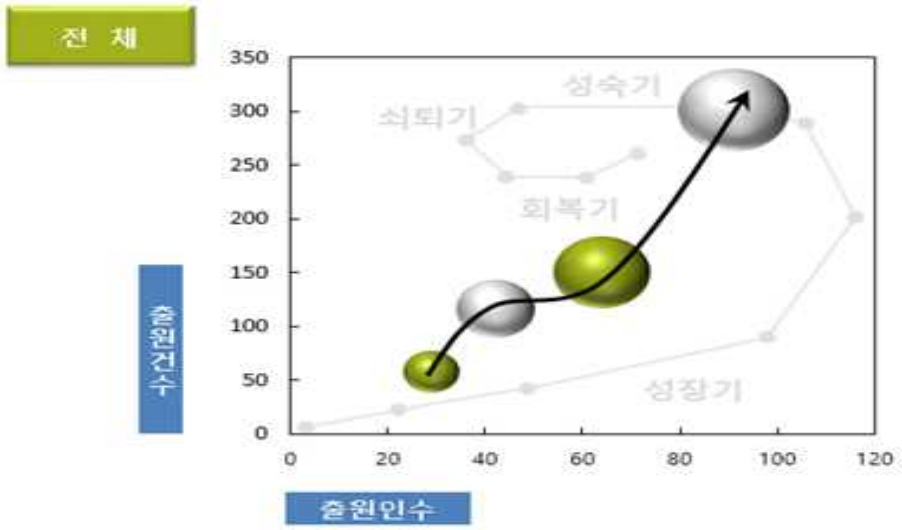
라. 차상제어장치 특허 동향

○ 차상제어장치도 전세계적으로 지속적으로 증가하는 추세이며 미국, 일본, 유로연합 등을 중심으로 출원수가 많아지고 있음

○ 출원을 살펴보면 출원인원수와 출원건수가 모두 증가하고 있어 철도분야에서 성장기에 해당함을 알 수 있음



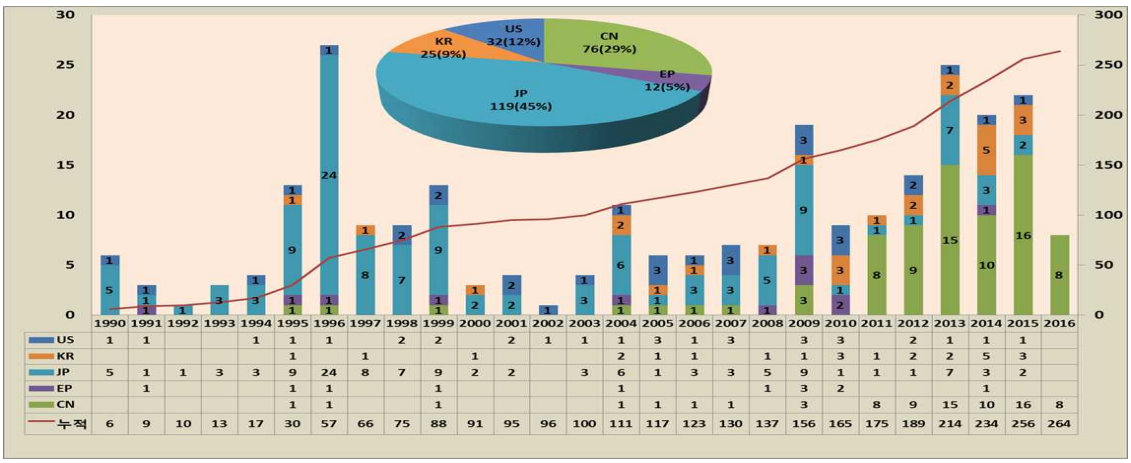
[그림 2.10] 주요국(한국, 미국, 일본, EU) 연도별 특허 출원 건수



[그림 2.11] 출원인원수와 출원건수와의 관계로 판단한 산업 성장 단계

2. 열차 위치검지 특허동향 상세분석

가. 출원년도 및 국가별 특허출원 동향



[그림 2.12] 출원년도 및 국가별 출원 추이

○ 열차 제어 시스템(위치검지)의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 264건의 관련 유효특허가 출원되고 있음.

○ 국가별로는 일본이 45%(119건)로 최다이며, 중국, 미국, 한국, 유럽 순으로 출원되고 있음

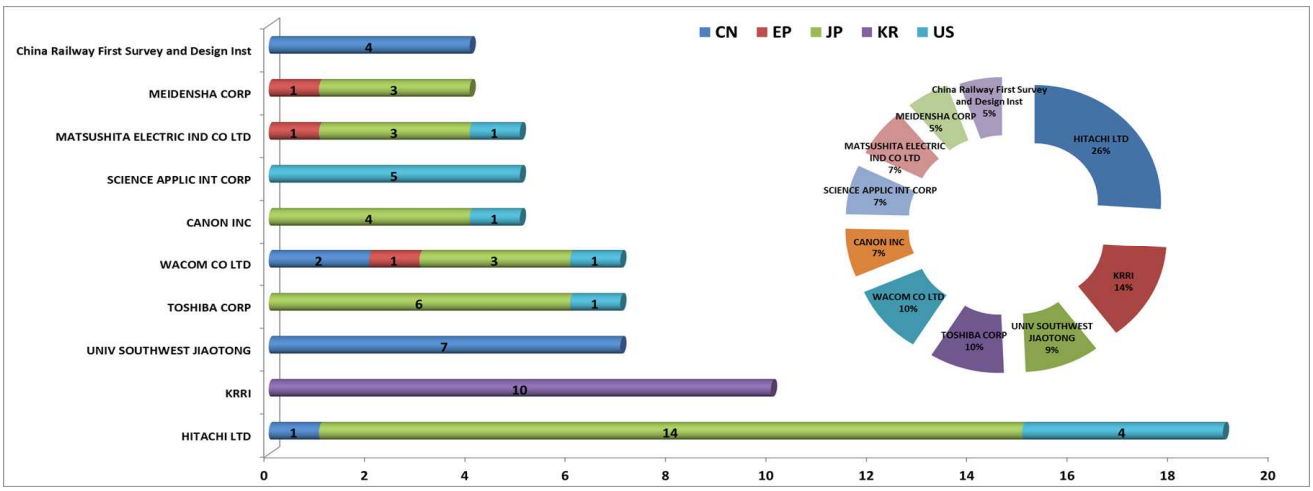
○ 일본에서의 특허출원은 2000년 이전에 집중되어 있으며 2010년 이후 출원활동이 소폭 감소한 것으로 나타남

○ 중국에서 2010년이후 특허 출원이 두드러지게 증가하고 있는 추세이며, 한국은 비교적 꾸준한 출원활동이 보여짐

나. 주요 출원인 분석

○ 특허를 많이 출원한 상위 10개의 출원인(TOP 10 Assignee)를 분석해 보면, HITACHI LTD가 최다 출원인이며, KRRI는 차순위 최다 출원인으로 나타남

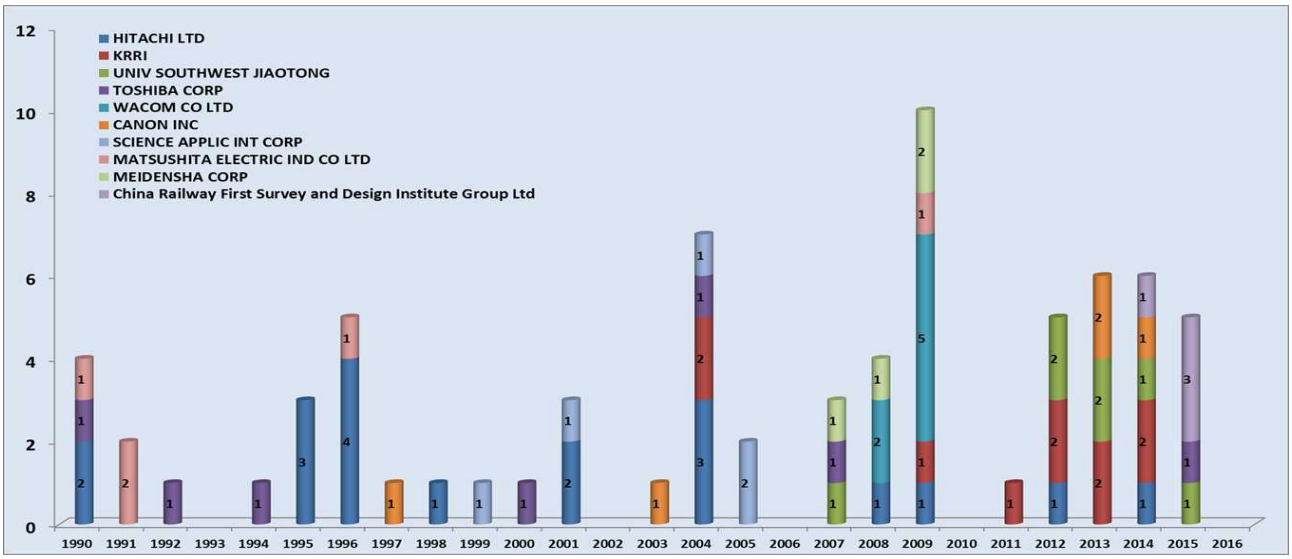
○ 그 외 주요 출원인으로 UNIV SOUTHWEST JIAOTONG, TOSHIBA CORP, WACOM CO LTD, CANON INC, SCIENCE APPLIC INT CORP, MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD, MEIDENSHA CORP, China Railway First Survey and Design Inst, PACIFIC BIOSCIENCES CALIFORNIA, ISEKI & CO LTD 등의 다국적 기업이 주를 이루고 있음



[그림 2.13] 주요 출원인 동향

○ 최다출원인 HITACHI LTD는 2000년 중반 이전의 특허활동이 2010년 전후의 특허출원 활동보다 높게 나타남. 2010년 이후 출원빈도가 많지 않으나 최근까지 출원활동이 나타나고 있고, 최다 출원인이라는 점에서 유효 출원인으로 관심있게 눈여겨 볼만 함.

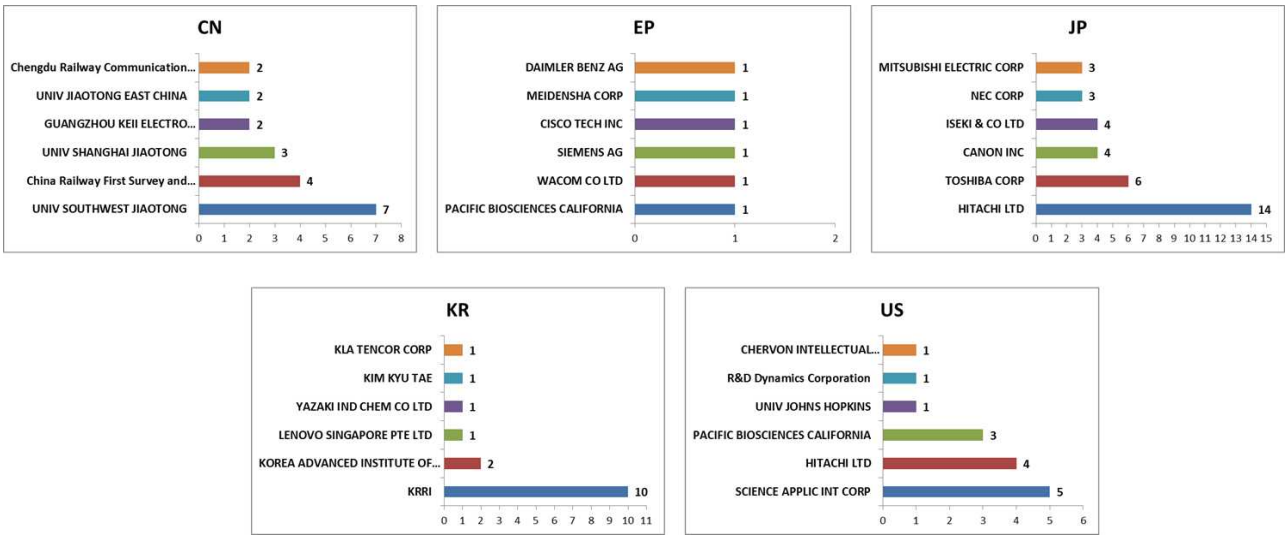
○ UNIV SOUTHWEST JIAOTONG, KRRI, China Railway First Survey and Design Institute Group 는 2010년 이후의 출원비중이 높게 나타나고 있어 해당분야의 최근기술을 선도할 가능성이 높음



[그림 2.14] 연도별 주요 출원인 동향

다. 국가별 주요 출원인

○ 출원국가별 주요 출원인 분포를 살펴본 결과 중국에서는UNIV SOUTHWEST JIAOTONG과 China Railway First Survey and Design Institute Group, 일본은 HITACHI LTD와 TOSHIBA CORP, 한국은 KRRI와 KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, 미국은 SCIENCE APPLIC INT CORP, HITACHI LTD이 주를 이루고 있음



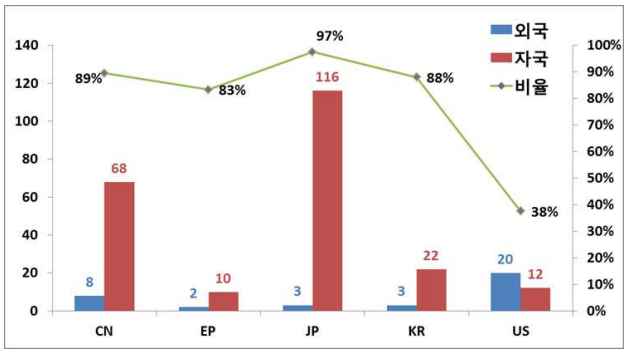
[그림 2.15] 국가별 주요 출원인

라. 국가별 특허현황

○ 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있음

○ 대부분 국가에서 자국 특허를 중심으로 기술개발을 추진하고 있는 것으로 보여짐에 따라 기술폐쇄성 및 자국의존도가 높은 것으로 평가할 수 있음

○ 단, 미국은 자국 대비 해외특허의 비율이 높게 나타나고 있음

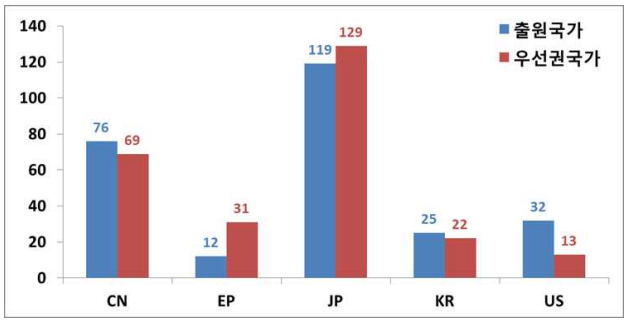


[그림 2.16] 국가별 특허 점유 현황

○ 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있음

○ 유럽과 일본의 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 자국시장보다 해외시장 진출노력을 더 하는 것으로 추정됨.

○ 반면, 중국과 미국, 한국에서는 출원된 특허 건수가 더 높게 나타나서 해외 기관들의 시장진입이 높은 것으로 판단됨



[그림 2.17] 국가별 출원특허/우선권 특허 현황

마. 우선권 국가 (Priority Country)별 특허분포 지수분석

(1) 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

○ (지표 설명) 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 數가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함

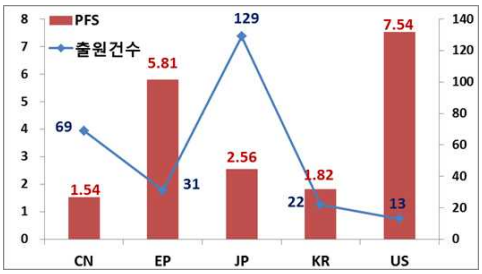
○ (계산식)

– 국가별 시장확보지수(PFS) = (Σ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수

○ 미국의 시장확보지수(PFS)가 7.54로 가장높고, 다음으로는 유럽, 일본, 한국, 중국 순으로 나타남

○ 미국과 유럽 지역시장 선점을 위해 관련 업체들이 패밀리 특허를 많이 출원하였기 때문으로 판단됨

○ 중국과 일본은 특허 건수에 비해 시장 확보력이 상대적으로 낮게 나타나고 있음



[그림 2.18] 주요 국가 별 시장확보지수

(2) 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

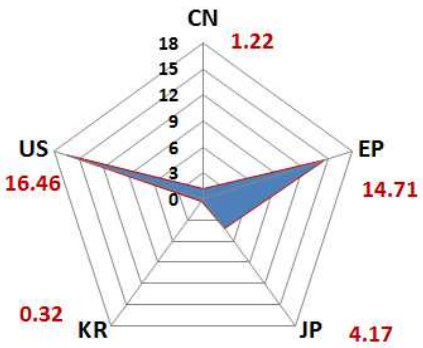
○ (지표 설명) 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용함

○ (계산식)

– 국가별 인용도 지수(CPP) = (Σ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수

○ 미국의 인용도지수(CPP)가 58.25으로 가장 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음

○ 이에 반해, 한국은 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 가장 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음



[그림 2.19] 국가별 인용도지수

(3) 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

○ (지표 설명) 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)을 함께 나타냄

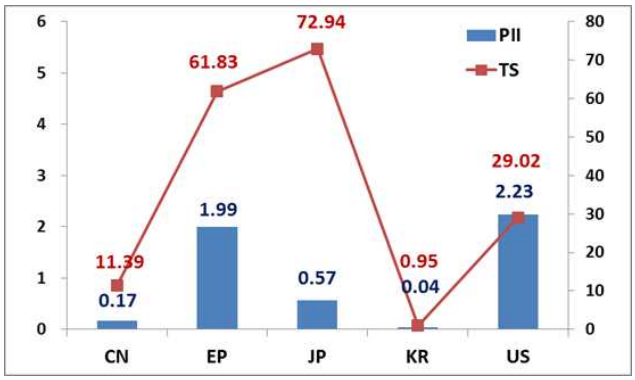
○ (계산식)

– 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수

- 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

○ 미국의 영향력지수(PII)가 2.23로 가장 높고, 유럽이 1.99 나타나 질적 수준에서 우수하며, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 일본이 가장 우수함

○ 한국은 인용도지수(CPP)와 기술력지수 모두 최저 수준으로 나타나, 원천특허/핵심특허 비중은 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있으며, 기술개발이 시급한 것으로 판단됨



[그림 2.20] 국가별 영향력지수 및 기술력지수

바. 주요 핵심특허 현황

○ 열차 제어와 관련된 HARRIS CORP의 미국 공개특허 Automatic train control system and method 건의 피인용 건수가 290건으로 가장 많으며, 자동차 전자 제어와 관련된 특허의 피인용 수가 많아 이러한 특허들을 중심으로 주요 특허를 선정하여 핵심특허 권리 분석을 할 수 있음

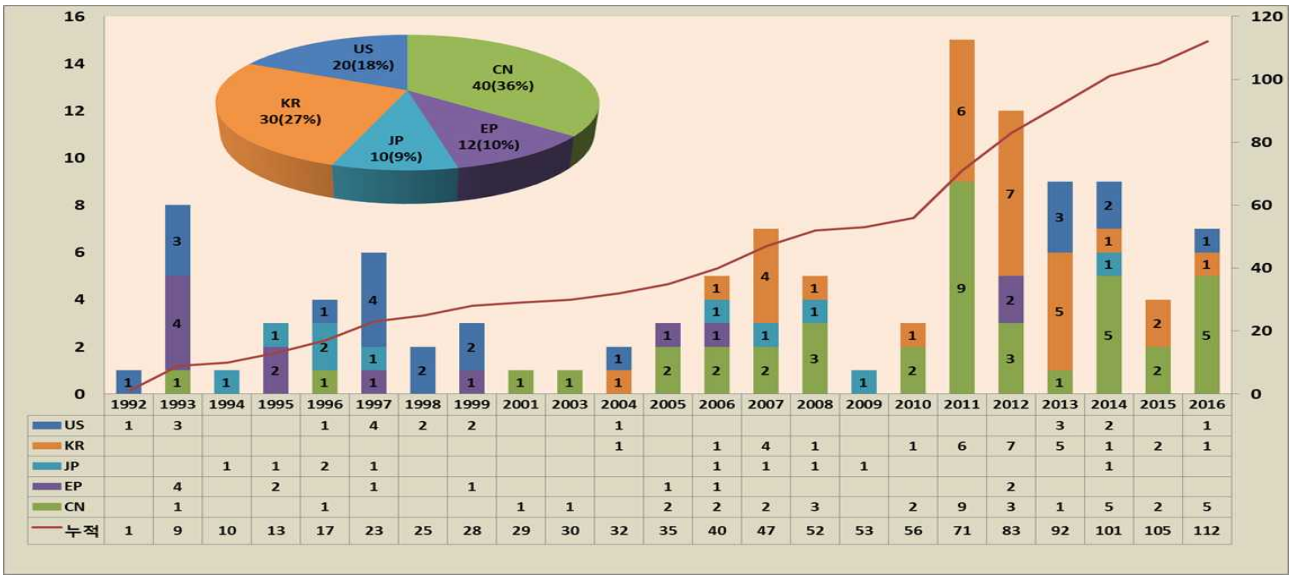
[표 2.10] 주요 핵심특허 현황 (피인용순)

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
US6507025B1	Density detection using real time discrete photon counting for fast moving targets	SCIENCE APPLIC INT CORP	200
US5721692A	Moving object detection apparatus	HITACHI LTD	88
US5530550A	Optical wafer positioning system	TENCOR INSTRUMENTS	79
US7045787B1	Density detection using real time discrete photon counting for fast moving targets	SCIENCE APPLIC INT CORP	63
US5144209A	BRUSHLESS DC MOTOR	MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD	53
US20080277595A1	Highly multiplexed confocal detection systems and methods of using same	PACIFIC BIOSCIENCES CALIFORNIA	43
US5862508A	Moving object detection apparatus	HITACHI LTD	38
US20040003662A1	Laser-air, hybrid, ultrasonic testing	UNIV JOHNS HOPKINS	31

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
	of railroad tracks		
US5672947A	Automatic guide method for vehicles	YAZAKI IND CHEM CO LTD	29
US20020030739A1	Moving object detection apparatus	HITACHI LTD	26
US5125347A	POWER SUPPLY SYSTEM FOR A LINEAR MOTOR TYPE TRANSPORTATION SYSTEM	HITACHI LTD	23
JP10089939A	METHOD AND EQUIPMENT FOR MEASURING SURFACE PROFILE	KAWASAKI HEAVY IND LTD	19
JP9101114A	MEASUREMENT SYSTEM FOR IMAGE OF AERIAL ELECTRIC LINE FOR ELECTRIC RAILCAR	HITACHI LTD	18
US7408160B2	Density detection using real time discrete photon counting for fast moving targets	SCIENCE APPLIC INT CORP	17
JP2001176000A	OUT-OF-LANE SUPPRESSING DEVICE	MITSUBISHI MOTORS CORP	16

3. 이동·가상폐색 특허 상세분석

가. 출원년도 및 국가별 특허출원 동향



	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
US	1	3			1	4	2	2			1									3	2		1
KR											1		1	4	1		1	6	7	5	1	2	1
JP			1	1	2	1							1	1	1	1					1		
EP		4		2		1		1				1	1						2				
CN		1			1				1	1		2	2	2	3		2	9	3	1	5	2	5
누적	1	9	10	13	17	23	25	28	29	30	32	35	40	47	52	53	56	71	83	92	101	105	112

[그림 2.21] 출원년도 및 국가별 출원추이

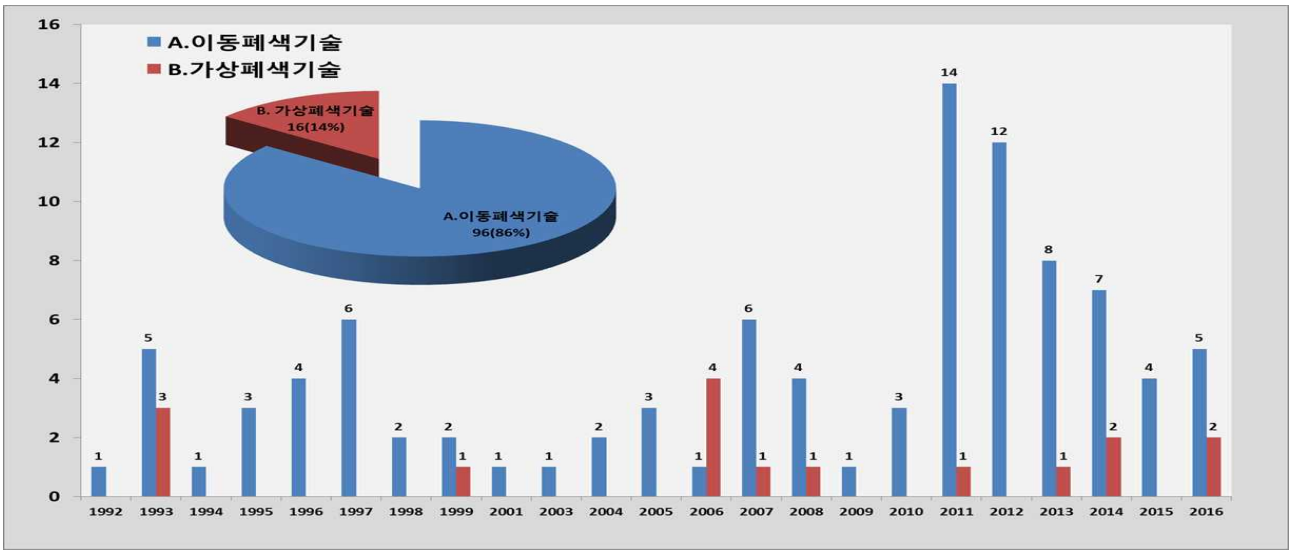
○ 열차 제어 시스템(이동·가상 폐색 장치)의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 112건의 관련 유효특허가 출원되고 있음.

○ 국가별로는 중국이 40%(36건)로 최다이며, 한국, 미국, 유럽, 일본 순으로 출원되고 있음

○ 일본에서의 특허출원은 2010년 이후 출원 활동이 줄어든 것으로 나타남

○ 중국과 한국에서 2000년대 중반 이후 특허 출원이 증가하고 있는 추세이며, 특히 2010년도 이후의 특허출원증가가 두드러짐

나. 세부기술별 특허출원 동향



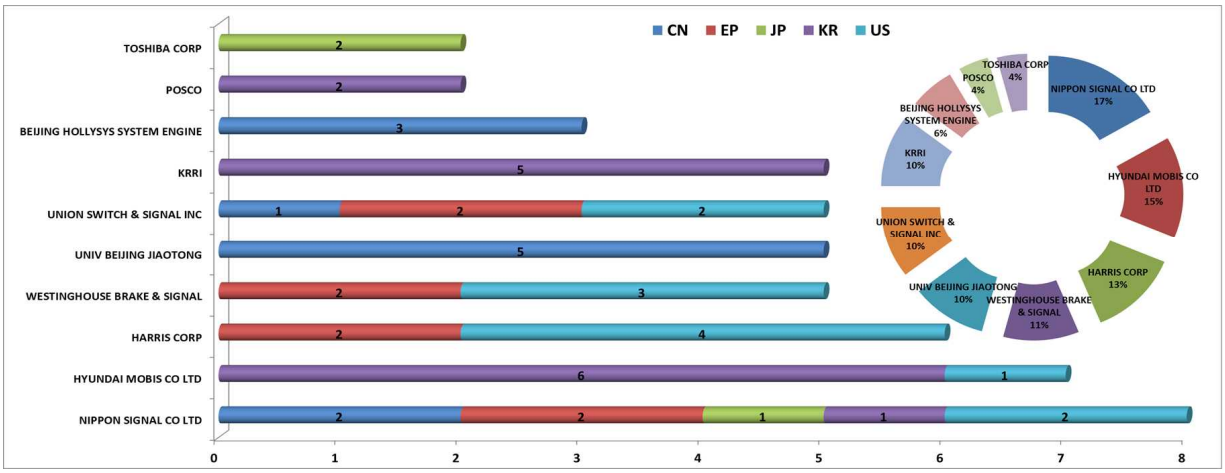
[그림 2.22] 세부기술별 특허출원동향

○ 세부기술별 특허출원 동향을 보면, 이동폐색(A기술) 분야가 86건으로 16건의 가상폐색(B기술)보다 많은 특허출원이 이루어진 것으로 나타남

○ 이동폐색(A기술)은 2011년 출원이 집중되었으나 그 이후 소폭 감소하는 추세임

다. 주요 출원인 분석

○ 특허를 많이 출원한 상위 10개의 출원인(TOP 10 Assignee)를 분석해 보면, NIPPON SIGNAL CO LTD가 최다 출원인이며, HYUNDAI MOBIS CO LTD, HARRIS CORP, WESTINGHOUSE BRAKE & SIGNAL, UNIV BEIJING JIAOTONG, UNION SWITCH & SIGNAL INC, KRRI, BEIJING HOLLYSYS SYSTEM ENGINE, POSCO, TOSHIBA CORP로 다국적 차량 및 신호시스템 관련 기업이 주를 이루고 있음

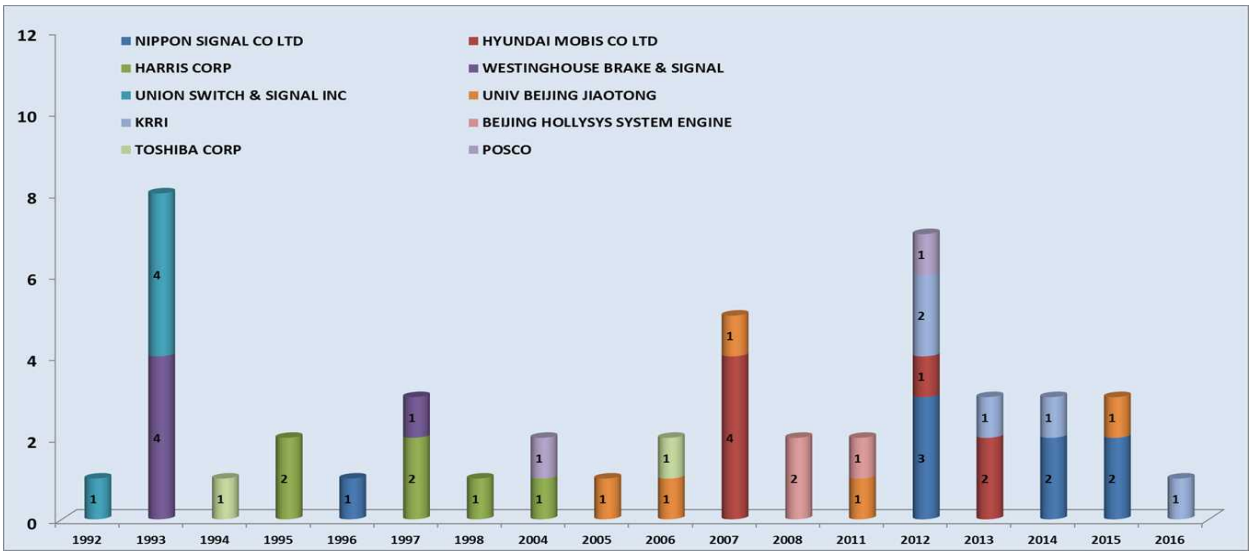


[그림 2.23] 주요 출원인 동향

○ 주요출원인의 특허출원활동을 보면 대체로 매년 3건 내외의 특허를 출원한 것으로 나타남

○ 이 기술분야 최다 출원인인 NIPPON SIGNAL CO LTD와 KRRI는 2012년 이후의 출원이 주를 이루고 있어 해당분야의 최근기술을 선도할 가능성이 높음

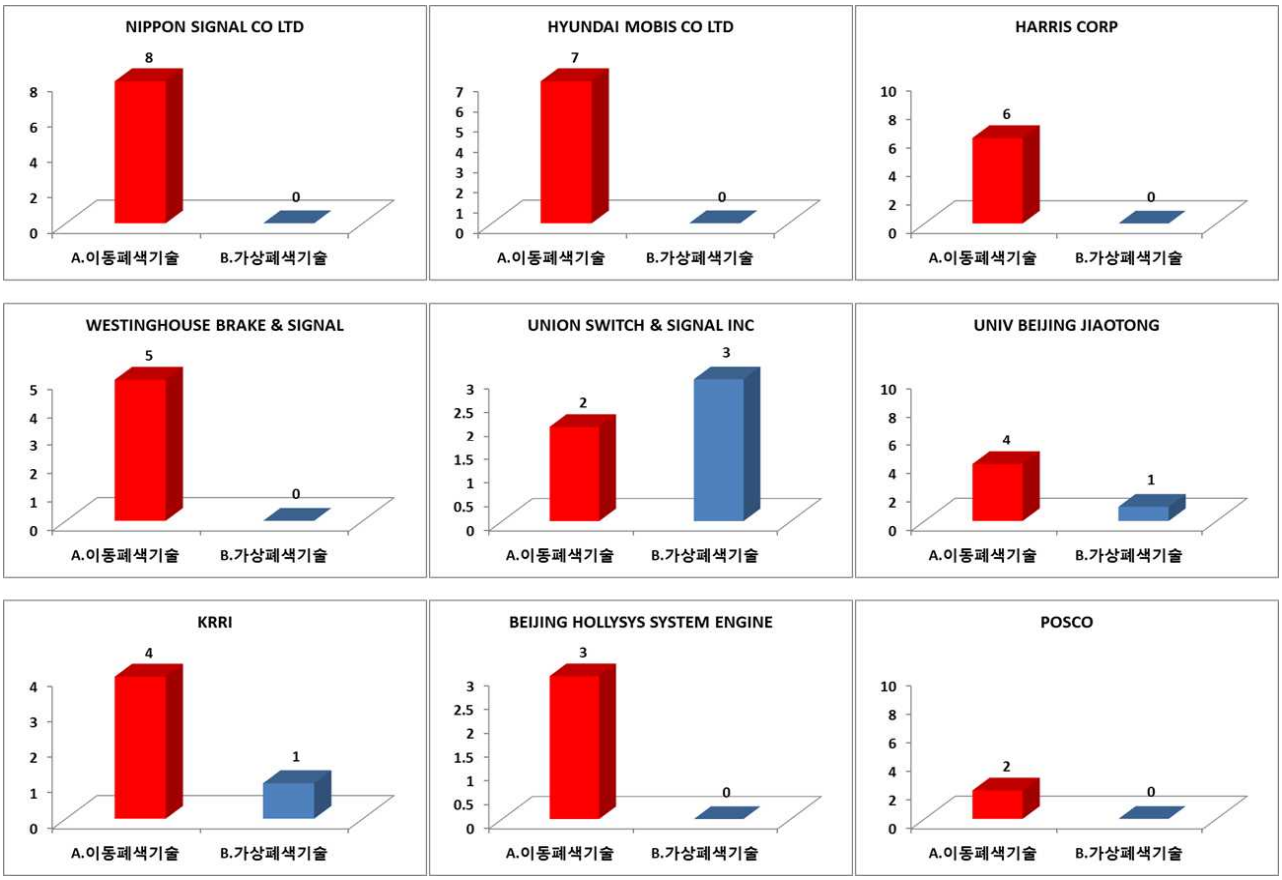
○ TOSHIBA CORP, UNION SWITCH & SIGNAL INC, WESTINGHOUSE BRAKE & SIGNAL는 2005년 이후의 특허출원 활동이 없는 것으로 나타남



[그림 2.24] 연도별 주요 출원인 동향

○ 이 기술분야 대부분의 주요 출원인들은 이동폐색(A기술) 분야에 대한 연구활동에 집중하고 있는 것으로 판단됨

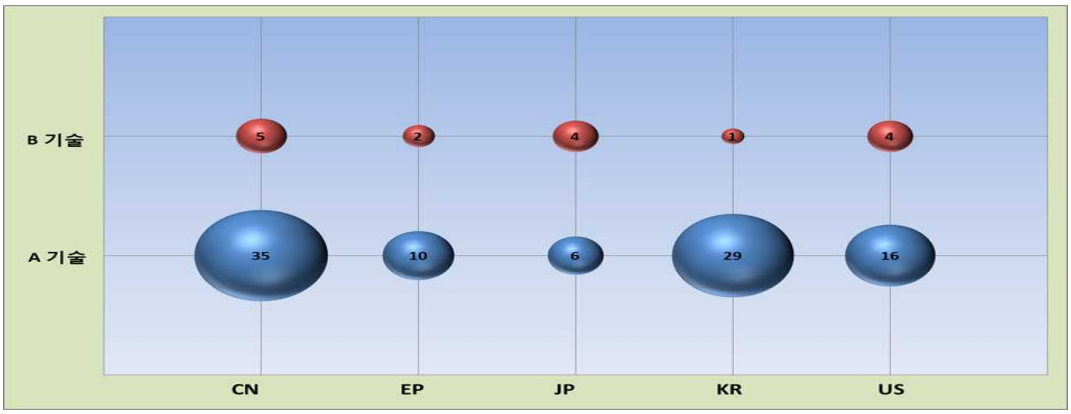
○ UNION SWITCH & SIGNAL INC는 가상폐색(B기술)에 대한 관심도가 높은 것으로 보여짐



[그림 2.25] 주요출원인의 기술별 출원 분포

라. 국가별 기술 분포

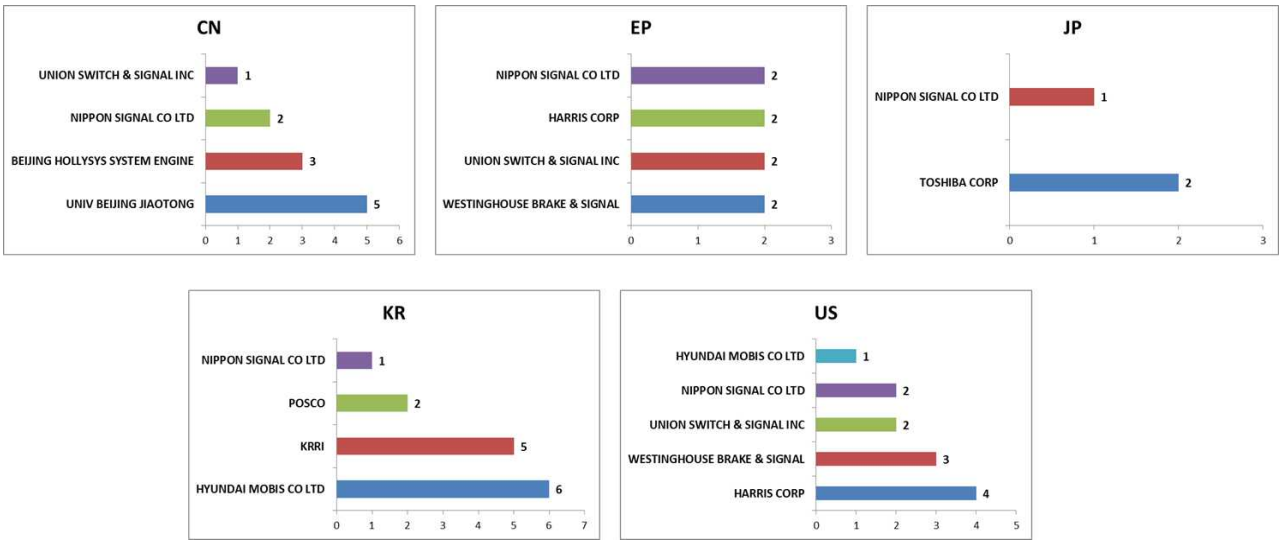
○ 출원국가별 세부기술(중분류) 특허분포를 살펴본 결과 중국을 제외한 한국, 일본, 미국, 유럽, 중국 에서 이동폐색(A기술) 분야에 대한 출원 비중이 가상폐색(B기술)보다 높게 나타나고 있음. 한국은 가상폐색기술에 대한 연구비중(비율)이 가장 낮음



[그림 2.26] 기술별/국가별 기술분포(버블형)

마. 국가별 주요 출원인

○ 출원국가별 주요 출원인 분포를 살펴본 결과 중국에서는 UNIV BEIJING JIAOTONG과 BEIJING HOLLYSYS SYSTEM ENGINE, 일본은 TOSHIBA CORP, 한국은 HYUNDAI MOBIS CO LTD와 KRRI, 미국은 HARRIS CORP와 WESTINGHOUSE BRAKE & SIGNAL이 주를 이루고 있음



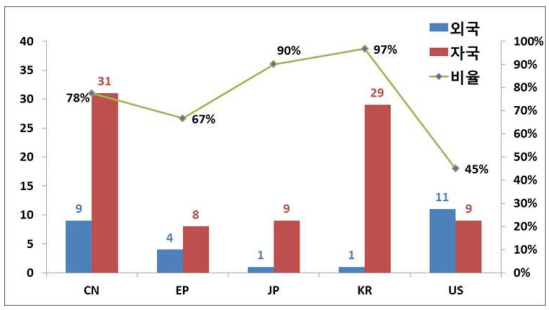
[그림 2.27] 국가별 주요 출원인

바. 국가별 특허현황

○ 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있음

○ 대부분 국가에서 자국 특허를 중심으로 기술개발을 추진하고 있는 것으로 보여짐에 따라 기술폐쇄성 및 자국의존도가 높은 것으로 평가할 수 있음

○ 단, 미국은 자국 대비 해외특허의 비율이 높게 나타나고 있음



[그림 2.28] 국가별 특허 점유현황

○ 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있음

○ 유럽의 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 자국시장보다 해외시장 진출노력을 더 하는 것으로 추정됨.

○ 반면, 중국과 미국에 출원된 특허 건수가 더 높게 나타나서 해외 기관들의 시장진입이 높은 것으로 판단됨



[그림 2.29] 국가별 출원특허/우선권 특허현황

사. 우선권 국가 (Priority Country)별 특허분포 지수분석

(1) 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

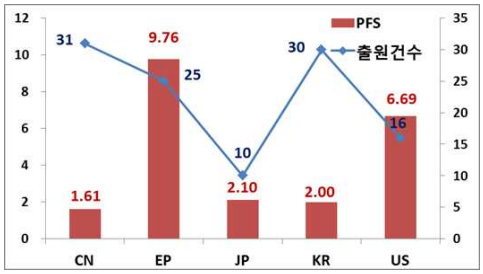
○ (지표 설명) 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 數가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함

○ (계산식) 국가별 시장확보지수(PFS) = (Σ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수

○ 유럽의 시장확보지수(PFS)가 9.76로 가장높고, 다음으로는 미국, 일본, 한국, 중국 순으로 나타남

○ 이는 유럽 지역시장 선점을 위해 관련 업체들이 패밀리 특허를 많이 출원하였기 때문으로 판단됨

○ 중국과 한국은 특허 건수에 비해 시장확보력이 상대적으로 낮게 나타나고 있음



[그림 2.30] 국가별 출원건수 및 시장확보지수

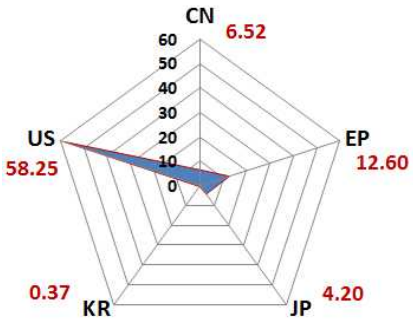
(2) 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

○ (지표 설명) 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) 국가별 인용도 지수(CPP) = (Σ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수

○ 미국의 인용도지수(CPP)가 58.25으로 가장 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음

○ 이에 반해, 한국은 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 가장 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음



[그림 2.31] 국가별 인용도지수

(3) 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

○ (지표 설명) 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)을 함께 나타냄

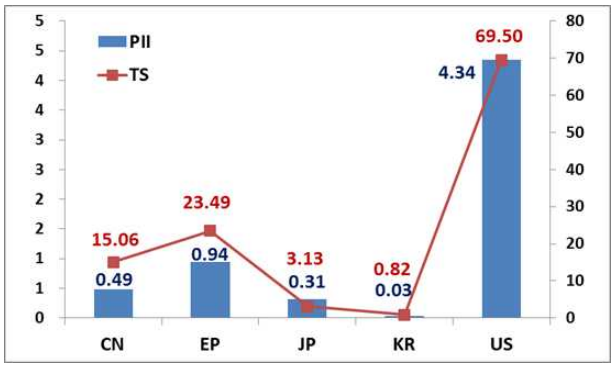
○ (계산식)

– 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수

– 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

○ 미국의 영향력지수(PII)가 4.34로 가장 높게 나타나 질적 수준에서 우수하며, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 미국이 87.62로 가장 우수함

○ 한국은 인용도지수(CPP)와 기술력지수 모두 최저 수준으로 나타나, 원천특허/핵심특허 비중은 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있으며, 기술개발이 시급한 것으로 판단됨



[그림 2.32] 국가별 영향력지수 및 기술력지수

아. 주요 핵심특허 현황

○ 열차 제어와 관련된 HARRIS CORP의 미국 공개특허 Automatic train control system and method 건의 피인용 건수가 290건으로 가장 많으며, 자동차 전자 제어와 관련된 특허의 피인용 수가 많아 이러한 특허들을 중심으로 주요 특허를 선정하여 핵심특허 권리 분석을 할 수 있음

[표 2.11] 주요 핵심특허 현황 (피인용순)

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
US5828979A	Automatic train control system and method	HARRIS CORP	290
US5794172A	Scheduling system and method	HARRIS CORP	227
US6154735A	Resource scheduler for scheduling railway train resources	HARRIS CORP	179
US5332180A	Traffic control system utilizing on-board vehicle information measurement apparatus	UNION SWITCH & SIGNAL INC	165
US5803411A	Method and apparatus for initializing an automated train control system	ABB Daimler Benz Transportation	137
US6775298B1	Data transfer mechanism for handheld devices over a wireless communication link	IBM	53
US5947423A	Vehicle control system	WESTINGHOUSE BRAKE & SIGNAL	50
CN101254791A	Rail transit train automatic monitoring system based on communication	BEIJING HOLLYSYS SYSTEM ENGINE	45
CN101009679A	Communication-based interconnected and intercommunicated I-CBIT train operation control system	UNIV BEIJING JIAOTONG	44
EP605848A1	Traffic control system utilizing on-board vehicle information measurement apparatus.	UNION SWITCH & SIGNAL INC	36
JP8002416A	RUNNING CONTROL METHOD OF MOVING BLOCK TRAIN AND CONTROL SYSTEM USED THERETO	TOSHIBA CORP	30
US6003578A	Portable electrical wrapping apparatus	CHANG J C H	27
CN1959753A	Virtual block system based on radio signal of locomotive	UNIV BEIJING JIAOTONG	26
US7558740B2	System and method for scheduling and train control	HARRIS CORP	24
CN101254790A	Computer interlocking control system	BEIJING HOLLYSYS SYSTEM ENGINE	23

자. 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 열차제어

시스템과 관련된 열차제어 프로세스와 시스템, 열차의 방호시스템과 차량 모니터링 시스템, 데이터 전송방법 등의 방법이 발명되고 있음.

○ 유럽의 철도산업혁신전략에 따르면 고속철도 · 일반철도용 자동열차운전기술, 이동폐색제어기술, 무선통신기반 열차간 무결성을 확보하는 기술 등의 개발을 목표로 삼고 있으나, 이에 대해서 공개되고 검증이 되지 않은 상황임

○ 이러한 기술은 응용과 관련된 내용으로서 별도의 회피전략을 마련해야 할 것으로 판단됨

4. 국내 · 외 연구개발동향

가. 국내 연구개발 현황

(1) 국내 연구개발 개요

○ 국내 철도신호는 G7고속철도기술개발사업, 도시철도표준사업, 경량전철시스템개발사업, 자기부상철도기술개발사업 등 국가연구개발사업을 수행하면서 관련 핵심기술과 시스템엔지니어링기술을 확보하였음

- 1995년 이후 국내에서 추진되었던 열차제어시스템 개발 또는 시스템 도입 타당성 연구와 관련하여 다수의 국가연구개발사업을 진행하였음

- 국가연구개발사업의 목적은 차량시스템을 개발하는 것이었으며, 개발차량의 성능시험을 검증하는데 필요한 열차제어시스템의 차상장치를 개발하였기 때문에 **일관성 없는** 기술을 개발하였음

- 국가연구개발사업을 통해서 개발된 철도관제설비, 사령설비, 전자연동장치 등은 영업노선에 적용되고 있으나, ATP 등 핵심기술은 해외철도신호기업의 제품을 도입하거나 기술협력을 하고 있는 상황이었음

○「도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가」,「일반 · 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화」를 통해서 계획화된 열차제어시스템 개발이 진행되고 있음

-「도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가」과제를 통해서 ATP 등 열차제어기술, 무인운전기술, 무선통신망(LTE-R)기술 등 핵심기술을 개발하였고, 상용화 성과를 도출하였음

- 현재는「일반 · 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화」과제를 진행중이며, 이를 통해서 고속철도에 적용할 수 있는 ETCS L2급의 열차제어기술과 무선통신망(LTE-R)기술을 확보할 것을 예상됨

[표 2.12] 국토해양부의 국가연구개발사업 및 시범사업 현황

사업(과제)명	수행내용	
	기간 및 주관기관	내 용
도시철도차량 표준화·국산화	-기간 : 1995.8 ~ 2001.12 -주관 : ROTEM	-개발내용 ·시험선 운행을 위한 신호시스템(ATC) 차상장치, 자동열차운전장치(ATO) 개발 ·열차내 전장품을 제어하는 종합제어장치(TCMS) 개발
도시철도표준화 연구개발사업 (도시철도 신호시스템 표준화 연구)	-기간 : 2001.1 ~ 2006.12 -주관 : ROTEM	-개발내용 ·표준규격을 확인하기 위한 열차제어시스템 차상장치 개발 ·MBS사업의 신호시스템 I/F점검 -개발결과 ·도시철도 시설물 표준규격, 성능시험기준 및 안전기준 고시
경량전철시스템 기술개발사업 (경량전철 신호제어시스템 기술개발)	-기간 : 1999.1 ~ 2005.12 -주관 : 철도연 + 포스콘	-개발내용 ·무인자동운전이 가능한 열차제어시스템기술 개발 ·무선LAN 통신방식을 적용하여 열차위치 추적, 열차속도제어 및 열차진로제어 수행 (미국의 특허기술 적용한 특정기술) ·경북경산에 전용시험선 구축 및 시험열차 제작
고속철도 자동열차제어장치 기술개발	-기간 : 1999.10 ~ 2001.9 -주관 : LS산전	-개발내용 ·고속철도용 자동열차제어장치(AF궤도회로, 차상장치) 개발 -개발결과 ·G7고속차량에 차상장치 설치 및 현장(오송기지) 시험완료
고속철도 열차제어시스템 안정화 기술개발	-기간 : 2002.12 ~ 2007.10 -주관 : LS산전	-개발내용 ·열차제어시스템안정화 및 RAMS검증
지능형 열차제어시스템 (MBS) 시범구축 (철도청)	-기간 : 2002.12 ~ 2007.10 -주관 : 삼성SDS	-사업내용 ·새로운 신호시스템의 광역철도망 도입 타당성 검증을 위해서 Thales사의 CBTC시스템 도입하여 분당선에 설치
차세대 고속철도 기술개발사업 (통합차상신호시스	-기간 : 2007.7 ~ 2013.7 -주관 : LS산전	-개발내용 ·경부고속철도의 지상신호를 수신하여 처리하는 상호운영성을 갖는 차상신호

사업(과제)명	수행내용	
	기간 및 주관기관	내 용
템개발)		장치 개발(ATS/ATC/ATP통합) ·최고시속 400[km/h]의 열차주행속도 제어 ·운전자 정보표시장치 개발
도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가	-기간 : 2010.12 ~ 2014.7 -주관 : 철도연	-개발내용 ·무인자동운전 및 상호운영성을 지원하는 열차제어시스템기술개발 ·무선LAN 및 LTE를 적용하여 열차위치추적, 열차간격제어 및 열차진로제어 수행 ·대불선에 시험선 구축 및 시험열차운행(2편성) -개발결과 ·한국철도표준규격(KRS)제정 ·필리핀 마닐라3호선 공급계약 ·부산교통공사 1호선 무선통신망 교체
일반·고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화	-기간 : 2014.12 ~ 2017.12 -주관 : 한국철도시설공단	-개발내용 ·ETCS L1, L2와 상호운영이 되는 열차제어시스템 및 LTE-R 개발 ·호남고속선 및 원주-강릉에서 시험평가
도시형 자기부상열차 개발사업 (과학기술부)	-기간 : 1994.5 ~ 1999.8 -주관 : 한국기계연구원	-개발내용 · 한국기계연구원에 시험선 구축 · 2량 1편성 시제차량 개발 · 일본 HSST의 패턴벨트방식을 적용하여 열차속도 및 위치를 추적하는 기술개발
중기거점기술개발사업 (자기부상열차실용화를 위한 차량모델개발) (산업자원부)	-기간 : 2003.10 ~ 2006.9 -주관 : ROTEM	-개발내용 ·무인운전을 지원하는 자기부상열차 신호시스템 개발 ·차상과 지상간 정보전송을 위해서 무선 LAN 개발 -개발결과 ·대전 국립과학관 자기부상철도에 적용하였으나, 운행이 중단되었음

○ 경부고속철도건설과 함께 ETCS L1의 구축사업을 진행하였으며, 이를 통해서 다음과 같은 효과를 얻을 수 있었으나, 구축비용절감, 선로용량 향상, 비용절감 등의 효과는 미미함

- 고속철도의 기존선 운행에 따른 안전확보 및 열차속도 향상

· 기존 신호설비 ATS의 열차속도한계는 160[km/h]이하로 기존선에서 고속철도의 운행 속도를 제한하고 있음

· 고속선은 차상신호방식이고, 기존선은 지상신호방식으로 고속철도 기관사의 취급오류에 따른 철도사고 발생 가능

– 노후 신호설비 ATS의 개량시기 도래

· 기존선 신호설비인 ATS의 설치시기가 1969~1985년으로 지상장치와 차상장치의 내구연한이 도래함

– 병목구간 해결

· 주요 간선구간에서의 병목현상이 존재하고 있으며, 이로 인한 물류비용손실이 발생하고 있음

· 열차의 양방향 운전을 지원하여 선로공사 또는 사고발생 시에 우회진로를 확보하여 열차운행을 지속할 수 있음

(2) 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가

○ 연구개발 핵심 내용

– 표준체계 구축

<열차제어시스템>

· 무인운전을 지원하는 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템규격서, 프로토콜규격서 작성

: 국내 도시철도운영기관 및 시스템공급사의 열차제어시스템 개발 요구사항 조사 및 반영

: 대불선에서 규격서 검증을 위한 열차제어시스템 설계, 제작 및 구축

· 기존 상용품인 ATS장치와 EI를 시험선에 적합하게 개량

· 지상ATP, 차상ATP/ATO의 H/W 및 열차제어 프로그램 국산화

· 대불시험선에서 성능을 검증한「도시철도시설 표준규격」개정(안)을 KRS(한국철도표준규격)로 제정(2015.12)

<철도전용 무선통신망>

· LTE-R의 국내 상용화를 위한 요구사항 도출 및 표준(안) 작성

: 국제철도연합(UIC)이 제정한 국제규격인 GSM-R 표준규격을 기준으로 LTE 기반의 철도통신에 필요한 기능 및 사용자 요구사항 정립

- LTE-R 지상장치 및 단말장치 설계, 제작 및 구축

: 철도서비스 우선순위 및 QoS 관리방안 수립

: 기지국, 응용서버, 지령장치, 차상 단말, 휴대 단말 설계·제작 및 구축

- 대불선 및 호남선에서 표준안 검증 및 TTA 표준문서 제정

: 표준문서에서 제시한 기능 및 성능 요구사항의 실효성 확인

– 성능검증

<열차제어시스템>

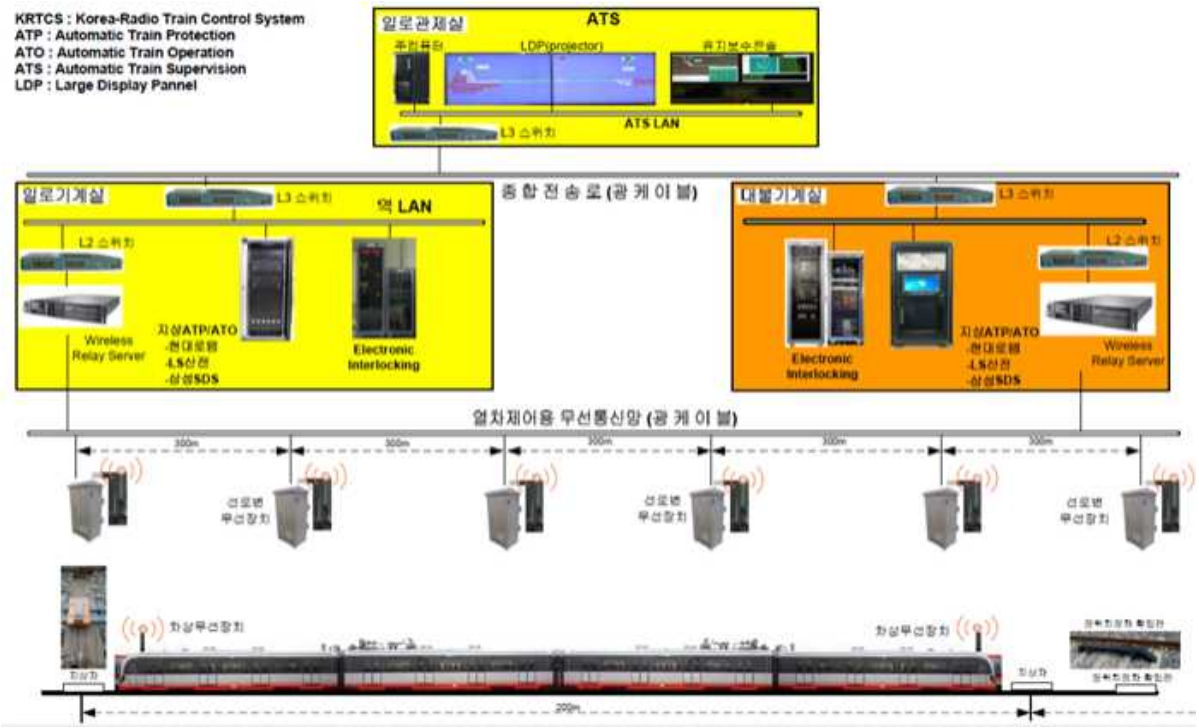
○열차제어시스템의 목표성능 범위는 다음과 같음

WATP가 제어할 수 있는 열차 최대 편성수	10 ~ 40 [편성]*)
ATP용 열차위치 측정의 정확도(역간 주행시)	± 5 ~ 10 [m]
ATO용 열차위치 측정의 정확도(정위치정차용)	± 0.35 [m] 이하
ATP용 열차속도측정의 정확도	± 3.0 [km/h] 이하
차상에서 지상으로 전송할 때 메시지 지연시간	0.5 [s] 미만
지상에서 차상으로 전송할 때 메시지 지연시간	0.5 [s] 미만
열차 롤백 검지기준	2 [m] 미만
영속도 검지기준	3 [km/h]미만 (2초 동안)

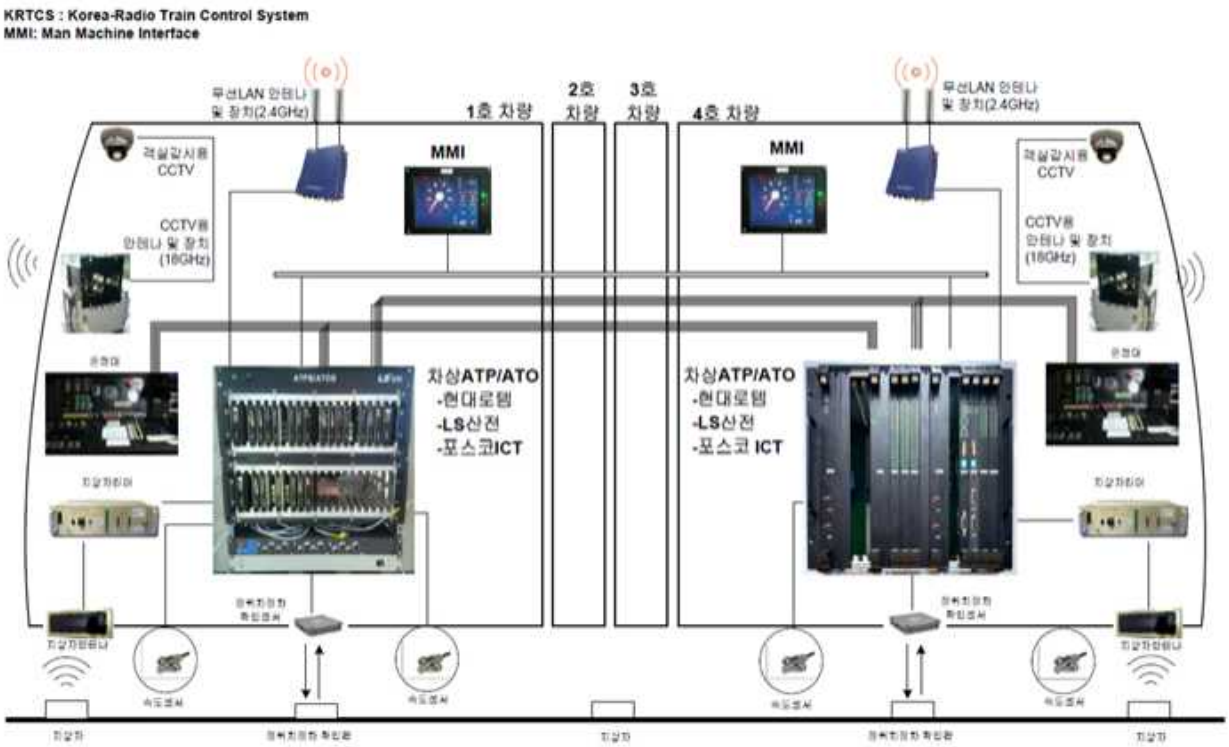
*) 발주자가 열차운행계획에 맞추어 적절한 WATP를 선택할 수 있도록 지원하기 위하여 운행편성수가 적은 노선의 WATP 열차제어용량은 10편성을 초과하여야 하며, 운행편성수가 많은 노선의 WATP 열차제어용량은 40편성까지 지원하여야 함

- 대불선에서 열차운행(운행최고속도 94km/h)을 통하여 성능시험을 수행할 수 있는 인프라 구축

: 대불시험선 11.25km(터널 2.2km 1개소, 교량 3.3km 1개소), 역사 5개소(1개소에 플랫폼 스크린도어 설치), 시험열차 2편성(경의선 전동차, 차세대도시철도차량), 자동회차지역 1개소



[그림 2.33] 무선통신기반 열차제어시스템 지상시스템 구성도



[그림 2.34] 무선통신기반 열차제어시스템 차상시스템 구성도

- 철도연 철도안전인증센터를 통한 열차제어시스템 종합성능시험 및 상호운영성 평가 및 도시철도무인운전운영기관(네오트랜스)의 이례사항 점검

- 국제기준 IEC62278 적용 및 유럽의 ISA기관을 통한 ATP/ATO장치에 대한 안전성확

동 수행(SIL4인증 획득)

<철도전용 무선통신망>

- 대불선 및 호남선에서의 열차운행을 통하여 기능 및 성능 검증 인프라 구축

: 대불시험 선 11.25km(일로역 ~ 대불역 구간), 시험열차 1편성(경의선 전동차), 운행최고속도 94km/h, 2.6GHz 대역 무선국 10개 설치

: 호남시험선 54.2km(광주송정역 ~ 일로역), 시험열차 1편성(경의선 전동차), 운행최고속도 160km/h, 700MHz 대역 무선국 51개 설치

- GSM-R 시험절차 및 기준을 참고로 LTE 기반의 철도통신 시험절차서 작성

- 철도연 철도안전인증센터 주관으로 LTE 기반 철도통신 기능 및 성능 검증 수행

: 차상 및 휴대단말에 대한 기능 및 성능 요구사항 만족 여부 점검

○ 연구개발 성과

국내·외 규격을 적용하여 시스템 설계, 제작, 설치, 성능시험, 안전성활동 등 일련의 모든 업무를 국내 기업이 수행하여 시스템 국산화 및 기술자립을 하였음

<열차제어시스템>

- 무인운전을 지원하는 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템규격서, 프로토콜규격서 및 표준규격서(안) 작성

: IEEE1474.1에 포함되지 않은 무인운전을 규격서에 추가

: 열차제어시스템 지상설비와 차상설비간 상호운영성을 지원하기 위한 KRS(철도표준규격) 제정완료(2015년 12월 제정)

- 열차제어시스템 설계·제작역량 확보

: ATS장치와 EI는 운영기관의 요구사항에 맞게 공급할 수 있으며, 지상ATP장치, 차상ATP/ATO장치의 H/W, S/W의 설계·제작 능력 확보

: 통신방식(무선LAN, LTE-R)에 종속되지 않는 시스템 구현

- 열차제어시스템 성능시험절차서, 상호운영성 시험절차서 작성, 성적서 발급

: 종합성능시험 : 총 49개 항목에 대하여 '만족'

: 상호운영성시험 : 총 18개 항목에 대하여 '만족'

: 도시철도무인운전운영기관(네오트랜스)에서 열차제어시스템의 이례사항을 점검하고 결과보고서 제출(14개 항목을 제안하고 점검결과는 적합판정)

- ATP/ATO장치의 GA(Generic Application)활동에 대한 SIL4인증서를 획득하였으며, 이를 통하여 안전성활동인력 확보

- 특허

: 무선통신기반 열차제어시스템의 열차무결성 확보시스템 및 그 방법

: 열차위치보조검지장치를 활용한 열차제어시스템 및 열차의 방호방법

: 영상을 이용한 철도차량 위치검지시스템

<철도전용 무선통신망>

- 철도전용 무선통신망의 국내 실용화를 위한 LTE-R 요구사항 표준문서 제정(TTA)

- 그룹 및 영상, 긴급통화, 단문 메시지 전송, 열차제어데이터 전송 등 철도서비스에 특화한 LTE-R 장치 설계·제작 역량 확보

: 철도서비스를 위한 우선순위 관리 S/W, Call 서버, PTT 서버 및 지령 장치

: 700MHz 및 2.6GHz 대역의 기지국, 차상 단말 및 휴대 단말

- LTE-R 성능검증 및 철도안전인증센터 성적서 발급

: 단말장치별로 우선순위, 대역폭 제어 등 다양한 QoS 정책 적용, 2.6GHz 대역에서의 총 185개 및 700MHz 대역에서의 총 78개 기능/성능 시험 항목에 대하여 '만족' 판정

- 특허

: 무선통신 열차 제어시스템에서의 열차의 이동패턴에 최적화된 핸드오버 방법

: 무선통신 철도환경에 적용되는 기지국 장치의 배치구조

(3) 일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화

○ 연구개발 핵심 내용

– 열차제어시스템의 기술규격

- 국내 운영중인 시스템(ATS, ATP)와 상호운영 및 연계운행 가능

- LTE-R로 열차제어정보 송수신 (열차 위치보고, 이동권한, 임시속도제한 등)

- 열차제어시스템 지상장치와 차상장치 간 및 기존 운영 중인 설비와 KRTCS-2 장치 간의 인터페이스 규격을 표준화하여 상호운영성(TIS) 확보

- 철도통합무선망(LTE-R)의 기술규격

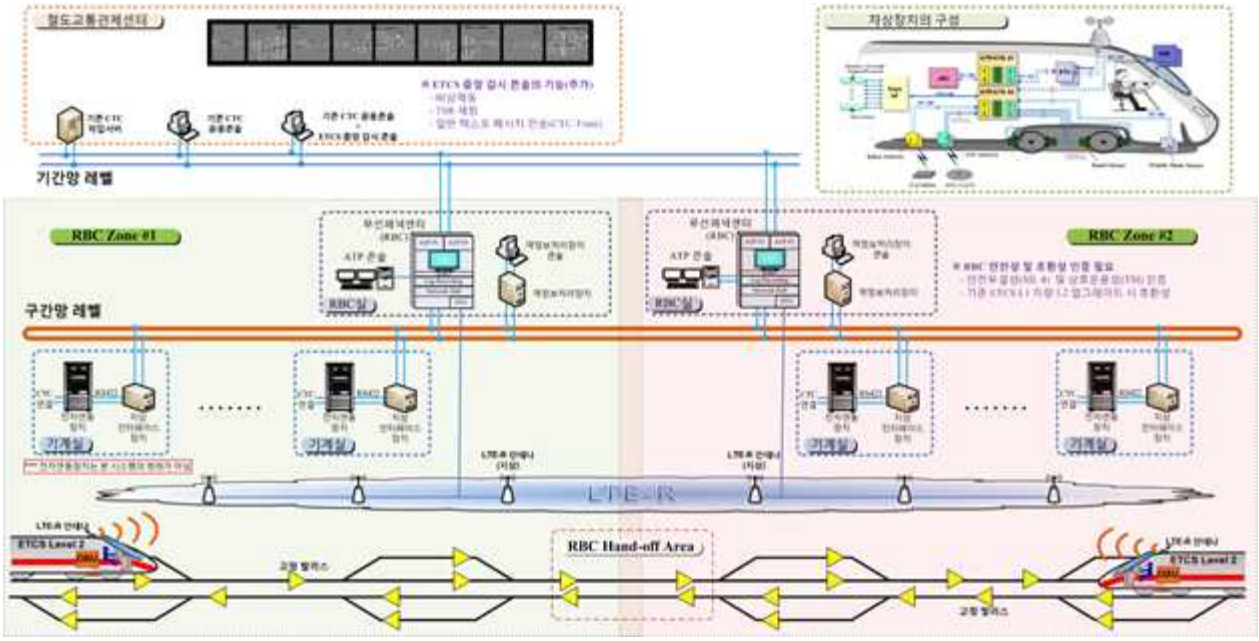
  ▪ 사용자 요구사항 및 성능 요구사항을 정의

  : 운행 목표속도 350㎞/h

  : 기존 철도통신망(VHF, TRS) 및 재난안전통신망(PS-LTE)과 연동

  ▪ 음성은 물론 영상 등 대용량 데이터의 신속·정확한 송수신 (열차제어 포함)

장치명	주요기능
지상 ATP장치 (RBC: Radio Block Center)	지상의 연동장치로부터 열차 점유정보 및 진로정보 등을 전송받아 열차의 이동권한 및 제한속도를 연산하는 장치
차상 ATP장치 (KVC: Korean Vital Computer)	지상의 무선폐색센터로부터 열차의 이동권한 및 제한속도를 수신받아 열차를 안전하게 제어하고 방호하는 장치
운전자표시장치(DMI)	차상ATP와 연계되어 기관사에게 열차운행 정보를 표시하는 장치
속도거리연산장치(SDU)	차량에 설치되는 타코미터 및 도플러센서의 정보를 수신받아 열차의 이동 속도 및 이동거리를 연산하는 장치
주행기록장치(JRU)	열차 운행정보 기록하는 장치 (일종의 블랙박스 기능)
발리스 정보변환장치(BTM)	발리스 안테나로부터 전송받은 지상 정보를 변환하여 차상 ATP장치로 전송
발리스 안테나	지상 발리스와 열차운행에 필요한 데이터 송·수신하는 장치 (BTM과 한 셋트)
안전전송모듈(STU)	지상장치와 차상장치간 무선으로 송·수신되는 정보의 신뢰성 및 보안도 확보를 위한 장치 (LTE-R로 전송되는 신호정보를 암·복호화)
타코미터, 도플러센서	차량운행속도, 거리를 계산하는 장치



○ 인프라 구축내역

– 설치대상 : 철도통합무선망(LTE-R) 센터설비 및 현장설비

– 설치장소 : 호남고속철도 익산~정읍, 노령터널

– 설치내역



구분	설치대상	구성	장소
센터설비	EPC	Core 장비 1식	정읍시험센터
현장설비	DU	DU 1식	정읍시험센터
		DU 3식	시험선
	RRU	RRU 40기	시험선

○ 각 세부과제별 시험계획 및 결과

- 열차제어시스템(KRTCS-2)

시험항목	시험기준	시험결과
통합시험	유럽 신호시스템(ETCS)의 기술규격(공개규격) - 기능요구사항(FRS)/ 성능요구사항(SRS)	합격
현차시험	유럽 신호시스템(ETCS)의 기술규격(공개규격) - 기능요구사항(FRS) / 성능요구사항(SRS)	성능 및 기능 확인

※ 통합시험 : 유럽'Multitel 社(벨기에)'검증장비를 활용하여 시행

※ 호남고속선 시나리오 : 호남고속 환경 (최고속도 350㎞/h, 차량 기밀, 절연구간 등)

※ 원주~강릉 시나리오 : 원주~강릉 노선 환경 (다종의 차량 속도, 진로제어 등)

- 철도통합무선망(LTE-R)

시험항목	시험기준	시험결과
지상인프라	철도무선통신망 TTA 표준	합격 (3자 검증 예정)
단말기 (차상/휴대)	철도무선통신망 TTA 표준	합격 (3자 검증 예정)

나. 해외 연구개발 현황

(1) ETCS 운영현황

○ 해외의 경우 무선통신기술을 열차제어기술에 적용한 새로운 열차제어시스템인 ETCS, ATACS(Advanced Train Administrations and Communication System), CTCS (Chinese Train Control System) 등을 개발하여 상용화하고 있으며, 최근 유럽은 철도산업의 경쟁력을 지속적으로 유지하고, 유럽철도시장규모를 확대하기 위한 Forster Rail, NGTC 및 Shift2Rail을 추진하고 있음

- FOSTER-RAIL프로젝트는 유럽철도의 연구개발 및 혁신을 위한 로드맵(~2050)을 작성하는 것으로 10개 분야로 구성(인프라, 차량, 신호 · 통신 · 제어, 안전 · 보안, 교육 등)

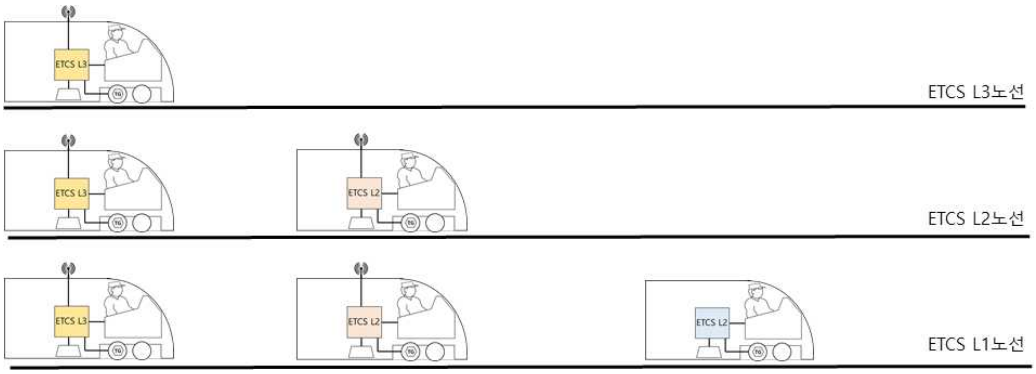
- NGTC는 철도신호시장 확대 및 경쟁력 강화를 위해 도시 · 일반 · 고속철도에서 사용이 가능한 무선방식의 신호시스템 연구개발 시행하였음

- Shift2Rail은 연구개발실행 프로그램으로 신호통신 분야는 서비스 향상/비용절감/상호운영성 향상/인증절차 간소화를 목적으로 11개 기술을 선정하여 개발 추진(~ '50, 약 2

억 유로(약 2,451 억원))하고 있음

○ 열차제어시스템의 상호운영성을 확보하기 위해서 시스템을 3단계로 구분하고 있음

- ETCS는 다음 그림과 같이 상위레벨의 차상장치가 설치된 열차는 하위레벨의 신호설비가 구축된 노선을 주행할 수 있도록 하여 상호운영성을 지원하고 있으며, 이에 필요한 ETCS 장치도 일관성을 갖고 있음



[그림 2.35] ETCS 차상장치와 지상장치간 상호운영 개요

[표 2.13] ETCS Level별 구성 장치

구분	궤도회로 (열차검지)	신호기	LEU	데이터전용장치			RBC (지상제어장치)	열차분리검지 장치
				발리스	인필	무선장치		
ETCS L1	◎	◎	◎	◎	◎	×	×	×
ETCS L2	◎	×	×	◎	×	◎	◎	×
ETCS L3	×	×	×	◎	×	◎	◎	◎

- ETCS level 1

· 열차에 대한 정보전송과 위치검지를 위한 Balise (Euro-Balise)설치

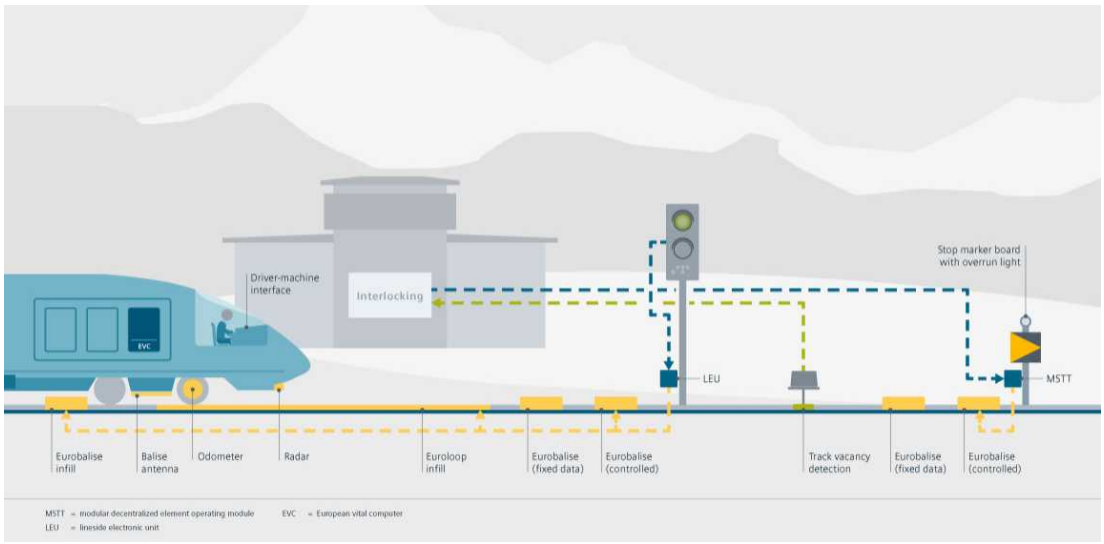
· 열차속도프로파일을 이용하여 열차속도를 연속적으로 감시

· 차상신호(cab signaling : 운전자에 의한 신호현시 확인/준수 필요)

· 궤도회로(trackt circuit)를 이용하여 열차의 선로점유 및 열차 끊어짐(train integrity) 확인

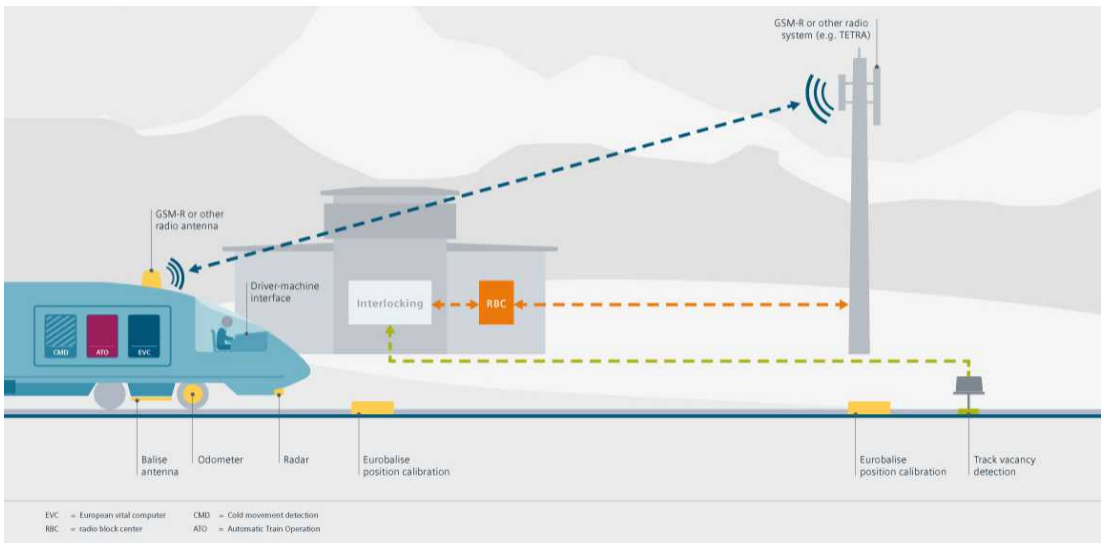
· 고정폐색을 적용용하여 열차간 안전간격 확보

· Euro-loop나 통신장비를 추가로 설치하여 해당 balise에 열차가 도착하기 전에 신호현시 변화정보를 전송받음(추가사항)



[그림 2.36] ETCS Level_1(참조 Siemens사의 Trainguard)

- ETCS level 2



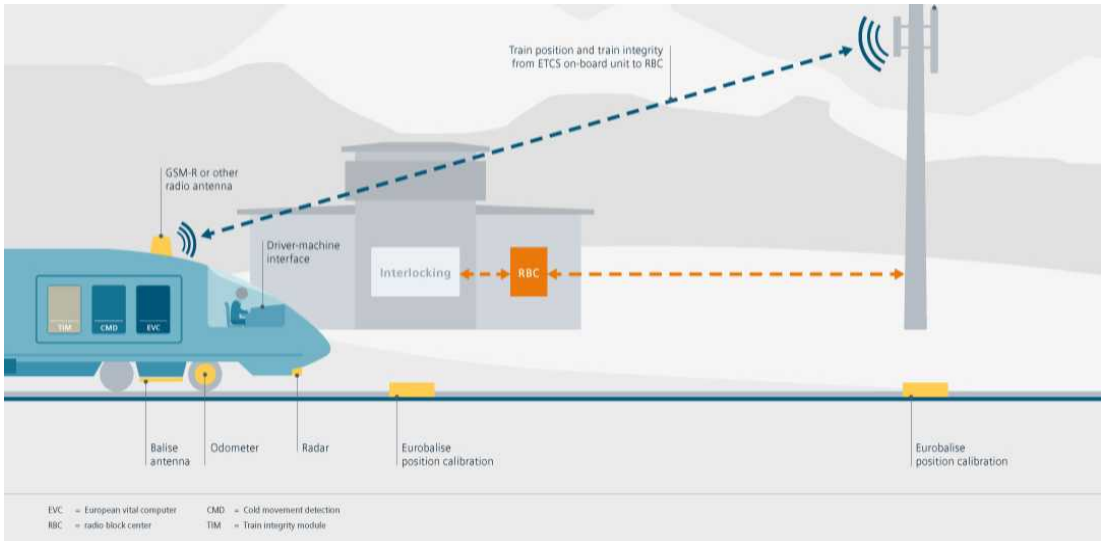
[그림 2.37] ETCS Level_2(참조 Siemens사의 Trainguard)

- GSM-R을 이용하여 열차와 중앙사령실(RBC: Radio Block Center)사이에 양방향 정보전송
- 열차위치확인(또는 열차위치 보정)목적으로 balise 사용
- 연속적으로 열차의 안전속도(제한속도)를 감시함.
- 차상신호(cab signaling)
- 궤도회로(trackt circuit) 또는 액슬카운터 등을 이용하여 열차의 선로점유 및 열차끊어짐(train integrity) 확인

· 고정폐색을 적용하여 열차간 안전간격 확보

– ETCS level 3

Level 3은 Level 2에 대해서 다음과 같은 차이점이 있음



[그림 2.38] ETCS Level_3(참조 Siemens사의 Trainguard)

· 차상신호장치의 열차위치정보 및 열차분리정보(train integrity)를 토대로 선로점유상태 파악(열차는 내장된 train integrity감시장치를 이용할 수 있어야 함)

· 중앙사령실(RBC)에서 열차안전간격 보장(고정 블록, 가상 블록, Moving Block)

· ETCS의 차상장치를 장착한 열차만이 Level 3 선로에서 운행될 수 있음

○ 「1999년에 불가리아의 Sofia~Burgas(42km)구간에 ETCS L1을 공급계약을 체결한 후 ETCS는 유럽을 중심으로 도입되고 있으며, 아시아는 중국이 ETCS도입을 활발하게 추진하고 있음

– 현재까지 ETCS를 운영중이거나 계약이 완료된 프로젝트(차상장치 공급계약 제외)는 193건이며, ETCS L2가 시장을 주도하는 것으로 분석됨

	아프리카	미주	아시아	유럽	계
ETCS L1	17	3	22	34	76
ETCS L1/2	6	–	5	25	36
ETCS L2	3	1	24	53	81
ETCS L3	–	–	–	–	–
계	26	4	51	112	**193**

– 노선길이 : 총 84,394km

	아프리카	미주	아시아	유럽	계
ETCS L1	3,392	468	7,838	20,683	32,381
ETCS L1/2	2,378	–	1,601	5,809	9,788
ETCS L2	1,458	154	23,430	17183	42,225
ETCS L3	–	–	–	–	–
계	7,228	622	32,869	43,675	**84,394**

(2) 중국의 CTCS 운영현황

○ GSM을 도입한 중국은 자국 내의 철도망에 대한 검토와 분석을 통해 중국열차제어시스템 CTCS(Chinese Train Control System) 체계를 구축하고, 각각의 적용 대상 기술에 따라 Level 0, Level 1, Level 2, Level 3, Level 4로 분류하여 규정화하였음

– 중국 철도망의 분석은 네트워크화, 정보화, 지능화, 표준화, 안전설계 및 평가, 종합 시험 및 시운전을 대상으로 수행되었음

· (네트워크화) 운영자는 관할 구역내의 각종 상황을 전체적으로 파악하고 시스템 자원을 유연하게 배치함으로서 열차 운행을 안전하고 효율적으로 실행할 수 있도록 함

· (정보화) 철도망에 있어서 정확하게 정보전송을 구현해야만, 고속으로 운행하는 열차의 안전이 보장됨에 따라, 철도신호시스템은 광통신, 위성통신, 무선통신 등의 다양한 통신 기술을 이용하여야 함

· (지능화) 시스템 지능화는 상층 관리 부문이 철도시스템을 실제 상황에 근거하여 지능적으로 통제하도록 하며, 제어시스템의 지능화는 운영자에게 필요로 하는 정보를 정확하고 빠르게 인지하도록 하여 운영자의 명령에 따라 열차 운행을 지시하고 제어함

· (표준화) 통일된 표준을 제정, 사용하고 양호한 설비의 상호 운용에 대한 가능성을 실현하고 상호운영성을 만족하게 함

· (안전설계 및 평가) 관련된 안전 표준에 따라 설계함으로서 신호설비의 안전을 향상시키며 동시에 시스템의 생명주기에 따라서 설계를 규정화함으로서 설비 원가를 감소함은 물론, 특히 안전 평가 이론의 구축과 보급은 고속철도 운행제어시스템의 신뢰도 및 안전성을 정량 평가하는데 중요한 수단으로 작용함

· (종합시험, 조정 및 시운전) 열차제어시스템이 매우 복잡한 종합시스템으로 구성됨에 따라 개통 전에 엄격한 종합시험, 조정 및 시운전을 실시하여야 함

– (CTCS level_0 & level_1) 기존의 일반적으로 사용하는 열차신호와 열차운행제어장치를 가지고 열차 운행을 하는 노선의 신호시스템

· 불연속 제어를 통해 과속보호기능이 없는 노선은 CTCS Level 0, 연속제어를 통해 과속

보호가 가능한 노선은 CTCS Level 1로 분류함

- CTCS Level 0은 열차 제어의 기본 모드로, 120km/h 이하에만 적용하며, 지상신호가 설치되어 있는 노선으로 주어진 반면, CTCS Level 1은 120~160km에 적용

- 차상ATP에 의해 작동되고, 선로에는 발리스가 설치되어 있음

[표 2.14] CTCS와 ETCS Level의 비교

CTCS		ETCS	
Level	구성	Level	구성
Level 0	궤도회로(열차검지) + 지상신호	Level 0	궤도회로 또는 차축계수기(열차검지) +차상신호(또는 지상신호)
Level 1	기존 궤도회로 + 차상 신호		
Level 2	궤도회로(열차운행정보전송) + 발리스(선로변 정보)	Level 1	궤도회로 또는 차축계수기(열차검지) +발리스(열차운행정보 및 선로변 정보)
Level 3	궤도회로(열차검지) + 발리스(선로변 정보) + GSM-R(열차이동권한)	Level 2	궤도회로 또는 차축계수기(열차검지) + 발리스(열차운행정보 및 선로변 정보) + GSM-R(열차이동권한)
Level 4	발리스(선로변 정보) + GSM-R + 이동폐색	Level 3	발리스(선로변 정보) + GSM-R + 이동폐색

- (CTCS Level 2)ETCS leve 1과 같은 방식으로 궤도회로가 열차 검지를 실현하며, 열차 운행에 연관된 정보의 전송은 발리스를 이용함

- 고정 발리스는 주로 선로변 환경에 연관된 불변의 정보를 입력하여 차량의 운행시 관련 구간에 대한 감속 또는 주의 정보 등을 전송함

- 가변 발리스 대신에 지상에서 차상으로의 열차 운행 정보 전송이 가능한 디지털 궤도회로 또는 다중 정보 전송이 가능한 아날로그 궤도회로를 사용하여 열차 운행 속도 제어에 필요한 명령을 지상에서 차상으로 연속적으로 정보를 전송함

- 160km/h 이상으로 열차운행을 감시

- (CTCS Level 3) ETCS leve 2와 같은 방식으로 궤도회로에 근거하여 열차 점유/완전성 검사를 실현하고 발리스가 열차정위 정보를 제공하며, GSM-R 네트워크를 통하여 열차 운행허가를 전송하고 목표거리 모드를 채용하여 열차의 안전운행을 감시하고 제어함

- 최고운행속도 300~350km/h.

- 최소운전간격 3min

- (CTCS Level 4) ETCS Level 3와 동일한 특성을 갖고 있으며, 완전한 무선정보 전

송에 근거한 열차운행제어시스템으로, 선로 궤도회로를 사용하지 않을 수 있으며, RBC와 차상장치가 공동으로 열차위치 추적 및 무결성 검사를 완성함으로서 가상 폐색 또는 이동폐색 원리를 적용할 수 있는 시스템

○ 중국은 현재까지 CTCS 구축을 위해서 22개의 프로젝트를 추진하고 있으며, 대부분 CTCS Level 3(ETCS Level2와 동일)를 구축하고 있음

- 중국 철도신호시스템 공급사인 CRSCD 또는 CRCS 독자로 진행하는 프로젝트는 없으며, 해외업체와 공동으로 진행하고 있음

[표 2.15] 중국내 CTCS 구축현황

사업명	공급사	ERTMS Level	선로길이 (km)
Beijing - Shanghai	Alstom/Bombardier/CRSCD	Level 2	2636
Beijing - Tianjin	Siemens	Level 1	234
Beijing-Shijiazhuang	Alstom/Bombardier/CRSCD	Level 2	938
Changsha-Huaihua	Bombardier/CRCS	Level 2	600
Chengdu -Chongqing	Bombardier/CRSCD	Level 2	618
Guangzhou - Shengzhen - Hong Kong	Hitachi/Hollysis	Level 2	200
Hangzhou - Changsha	Bombardier/CRCS	Level 2	1866
Hangzhou - Ningbo	Bombardier/CRSCD	Level 2	300
Hangzhou-Nanchang	Bombardier/CRCS	Level 2	1182
Harbin - Dalian	Alstom/Bombardier/CRSCD	Level 2	1842
Hefei - Bengbu	Bombardier/CRCS	Level 2	264
Huaihua-Kunming	Bombardier/CRSCD	Level 2	1734
Nanjing - Hangzhou	Bombardier/CRCS	Level 2	498
Panjin - Yingkou	Bombardier/CRCS	Level 2	180
Shanghai - Hangzhou	Alstom/Bombardier/CRSCD	Level 2	404
Shanghai - Nanjing	Alstom/Bombardier/CRSCD	Level 2	602
Shijiazhuang-Wuhan	Alstom/Bombardier/CRSCD	Level 2	1520
Tianjin-Qinhuangdao	Bombardier	Level 2	574
Tianjin-Tanggu	Bombardier/CRSCD	Level 2	80
Wuhan - New Guangzhou	Alstom/Bombardier/CRSCD	Level 2	2138
Xi'an-Baoji	Ansaldo STS/Hollysis	Level 2	360
Zhengzhou - Xi'an	Ansaldo STS/Hollysis	Level 2	916

(3) ETCS Level 3 개발 및 운영현황

○ (**특징**)ETCS Level 3는 ETCS Level 2와 달리 열차를 검지하는 궤도회로를 사용하지 않고, 무선통신(GSM-R)을 사용하여 수송용량 향상, 비용절감, 효율성 향상, 신뢰성 향상 등이 기대됨

○ (**개발현황-시범사업**)ETCS Level 3는 현재까지 스웨덴, 카자흐스탄, 잠비아에 구축되어 시범운영되고 있으나, 열차운행편성이 적은 노선이고, 시범운영을 통해서 **많은 개선과 개발이 요구**되고 있음

- 현재까지 스웨덴의 West Dalarna 노선(Malung~Borlange, 143km, 단선), 카자흐스탄의 Uzen-Bolashak노선(146km), Korgas-Zhetygen노선(293km), 잠비아 Chingola--Livingstone line(980km)이 확인되었음

- 위 사업에서 시스템 공급사는 BT(Bombardier Transport)에서 공급하고 있으나, 이동폐색제어, 열차분리검지기능 등 주요 기능을 적용하지 않고 있어서 많은 논란이 있기 때문에 저비용 시스템인 ETCS Regional로 부르고 있음

○ (**개발현황-구축기술개발**)네덜란드의 ProRail사와 영국의 NetworkRail이 ETCS Level 3의 **구성품에 대한 시험***을 실시하였으며, ETCS Level 3를 효율적으로 구축하기 위한 MOU(2016)체결

* 네널란드의 Lelystad(2013), 영국의 국립 ERTMS종합시험시설(2014)

○ (**상용화를 위한 제한사항**)ETCS Level 3를 상용화하기 위해서는 열차분리검지기능과 열차위치정보의 신뢰성검증을 요구하고 있음

- 열차분리검지기능은 운행중인 열차의 끊어짐을 검지하여 다른 열차가 접근하는 것을 금지하여 열차충돌사고를 방지하는 것으로서 **상용화에 반드시 요구되는 기술임**

  · 고속여객열차, 일반여객열차, 일반화물열차, 장대화물열차 등에 모두 적용하는데 있어서 신뢰성과 운영가능성 등이 검증된 기술이 없음(열차에 Train Integrity장치 설치)

- 정차중인 열차의 전원을 차단하거나, 지상에 있는 열차제어장치(RBC)를 재기동할 경우에도 열차위치를 실시간으로 확인할 수 있는 **검증된 운영절차**를 확보하여야 함

  · 무선통신망의 장애가 발생할 경우, 열차제어시스템이 열차운행의 안전성을 보장할 수 있기 때문에 열차운행지연 등을 초래할 뿐 심각한 철도사고는 발생하지 않음

  · 열차를 조성하기 위해서 입환구역에 있는 열차의 전원을 차단하고 열차를 분리하는 작업을 수행하면 관제실의 열차제어장치가 열차위치를 확인할 수 없고, 입환구역에 접근하는 열차와 충돌하는 사고가 발생할 수 있음

○ (**ETCS Level 3 적용단계**)ETCS Level 3를 적용하는데 필요한 제한사항을 해소할 때까지 ETCS Level 3 적용하는 단계를 4단계로 구분하여 사업전략을 마련함

- (1단계 : Level 3 Overlay)ETCS가 장착된 열차와 미장착된 열차가 혼용되어 운영되는 경우

  · 기존선을 대상으로 하며, 혼합열차운영을 위해서 열차운전규칙을 새로이 마련해야 함

  · ETCS 장착된 열차가 열차분리검증기능, 입환구역 등에서의 열차위치검지기능을 요구하지 않음

- (2단계 : Level 3 Hybrid)모든 열차가 ETCS를 장착했으며, **선로변에 설치되어 있는 열차검지장치**의 열차검지정보를 활용함

  · 기존선을 대상으로 하며, 유럽의 시범사업인 ETCS Regional에 적용되고 있는 것으로 예상됨

  · 영국의 Network Rail과 네덜란드의 ProRail에서 적용할 방식임

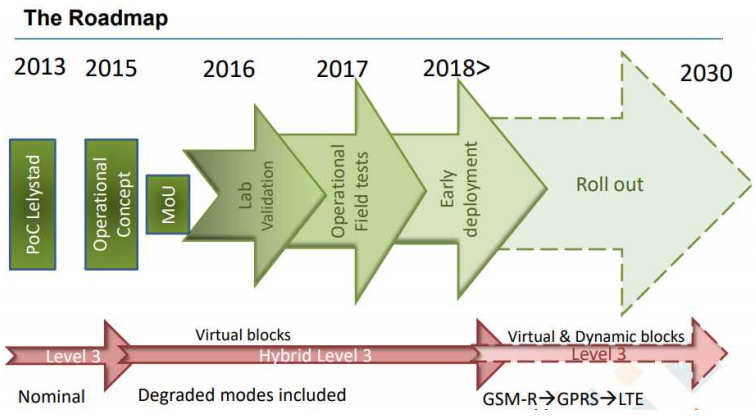
  · 지상에 설치되어 있는 열차검지장치의 정보를 사용할 수 있어 열차분리검증기능, 입환구역에서의 열차검지기능을 요구하지 않음

- (3단계 : Level 3 Virtual Block)열차운행시격에 따라 **폐색의 길이를 조정**할 수 있으며, 모두 열차가 ETCS를 장착했으며, 열차에서 열차분리검지기능을 수행하고, 입환구역 등에서 열차위치를 관리하기 위한 열차운전규칙을 마련함

  · 현재까지 일반·고속철도용으로 개발된 사례가 없으며, 궤도회로와 같은 열차검지장치를 선로에 설치하지 않음

- (4단계 : Level 3 Moving Block)선행열차와 후속열차간 안전간격에 따라 **폐색의 위치와 폐색의 길이가 조정**되며, 모두 열차가 ETCS를 장착했으며, 열차에서 열차분리검지기능을 수행하고, 입환구역 등에서 열차위치를 관리하기 위한 열차운전규칙을 마련함

  · 현재까지 일반·고속철도용으로 개발된 사례가 없으며, 궤도회로와 같은 열차검지장치를 선로에 설치하지 않음



[그림 2.39] Network Rail ETCS Level 3구축 로드맵

(4) ETCS의 ATO 개발 및 운영현황

○ (**ATO정의**)자동열차운전(automatic train operation)은 non-safety분야로서 열차에 장착된 ATP의 감시하에 열차출발, 열차주행(열차속도를 자동제어), 열차정차, 열차출입문 개폐 등을 담당함

- 열차에서 ATO기능을 수행하기 위해서는 열차에 ATP장치가 반드시 설치되어야 하고 ATO가 열차이동제어를 수행하여도 최종적으로 열차의 안전은 ATP가 담당함

○ (**ATO등급**)철도에서 정의하고 있는 자동열차운전등급(GoA: Grade of Automation)은 4개 등급이며, 현재 ETCS는 GoA 1을 지원하고 있음

- 무인운전은 GoA3과 GoA4를 지칭하며, 자동운전은 GoA2를 지칭함

자동화 단계 (GoA)	운영종류/ 명칭	열차 시동	열차 운행 (가속 및 제동)	출입문	비상시 운영
GoA 1	ATP with driver (NTO)	기관사	기관사	기관사	기관사
GoA 2	ATP and ATO with driver (STO)	자동	자동	기관사	기관사
GoA 3	DTO	자동	자동	안전요원	안전요원
GoA 4	UTO	자동	자동	자동	자동

[그림 2.40] 열차의 자동화 등급별 시스템이 수행하는 기능

○ (**ATO기대효과**)열차의 자동운전은 수송용량, 에너지, 승차감, 유지보수, 정시성 등에 긍정적인 효과를 갖음

- 정규화된 운행패턴을 유지할 수 있어서 정시성을 높일 수 있음
- 열차간 운행시격을 단축할 수 있어서 선로용량을 높일 수 있음
- 에너지사용량을 최소화할 수 있는 속도패턴을 적용하여 에너지를 절감할 수 있음
- 열차의 가속과 감속패턴을 정규화하여 승객의 승차감을 향상할 수 있음
- 추진장치와 제동장치의 스트레스를 저감하여 유지보수시간을 단축할 수 있음

○ (**ETCS의 ATO요구사항**)ETCS제작자 모임인 UNISIG에서 ATP장치구성과 시스템개발 규격서(Subset 125)를 제안하고 있으나, **현재까지 공개되지 않고 있음**

- (ATO지침)ATO를 개발함에 있어서 확정된 요구사항은 다음과 같음

·ATO는 ERTMS의 규격서를 만족하여야 함

·철도운영을 위해서 ATO를 추가할 수 있으나, ATO가 열차운행을 방해해서는 안됨

·열차에 설치되는 ATP장치와 ATO장치는 개발장치이며, 인터페이스규격을 만족해야 함

·ATO장치와 관제설비(TTC)간 인터페이스는 계속적인 연구개발을 진행해야 함

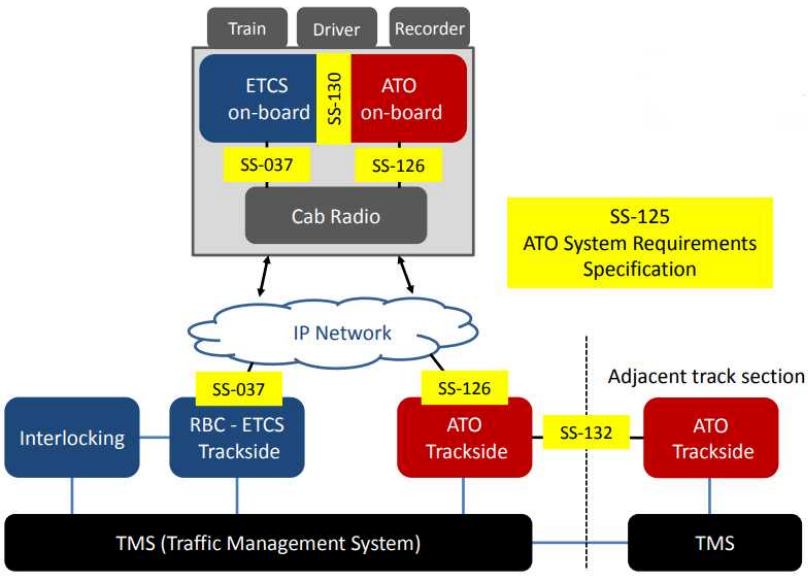
○ (**ETCS의 ATO구축단계**)ETCS에 ATO기능을 적용하는 것은 2단계로 구분하여 진행되며, 최종적으로 GoA4를 구현함

– (1단계)2019년까지 GoA 2를 지원하는 ETCS를 개발하고, 2022년까지 상용화함

– (2단계)GoA 3/4를 지원하는 자율주행 ATO를 개발하며, Shift2Rail의 개발공정에 맞춤

·Ten-T프로젝트와 NGTC프로젝트를 통해서 ATO 운전개념, 상호운영요구사항을 정립(현재 완료)

·Shift2Rail프로젝트를 통해서 GoA 2 및 GoA 4 시범운영노선을 구축하고 운영함



[그림 2.41]ETCS의 ATO 구성도

○ (**ETCS의 ATO개발현황**)일부 노선에서 ATO기능을 탑재한 ETCS개발 프로젝트를 추진하고 있으나, 모든 고속철도 및 간선철도에 적용할 수 있는 ATO개념*, 성능, 기능이 확정된 개발규격서가 없는 상황**(Shift2Rail을 통해서 완료할 예정)**

*도시철도는 폐쇄된 노선이기 때문에 노선별로 특화된 ATO개발이 필요하지만, 일반·고속철도는 모든 노선이 연결되어 있어서 ATO를 개발하기 위해서는 다양한 운영조전이 반영되어야 함

– (런던의 Thamslink)기존 신호설비를 자동운전을 지원하는 ETCS L2/ATO로 개량하며,

2018년 1월부터 Kentish Town과 Elephant&Castle구간에서 운행시작

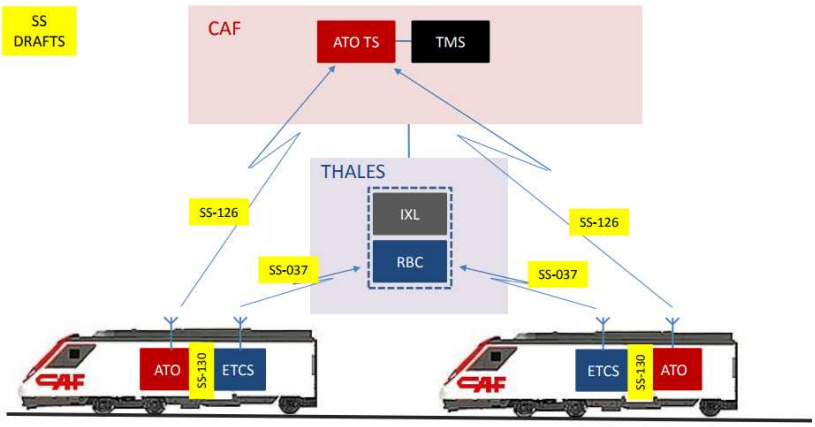
·모든 구간의 열차운행편성수를 24tph로 높이고, 피그시간대에 30tph로 높이기 위해서 GoA 2를 지원하는 ATO를 도입

- (런던의 CrossRail)기존 신호설비를 자동운전을 지원하는 ETCS L2/ATO로 개량하고 있으며, 운행구간은 Portobello Junction에서 Pudding Mill Lane/Abbey Wood구간

·Thamslink와 같이 열차운행편성수를 24tph로 높이고, 피그시간대에 30tph로 높이기 위해서 GoA 2를 지원하는 ATO를 도입(Whitechapel - Paddington구간)

- (멕시코의 Toluca interurban선)멕시코의 광역도시철도(58km)이며, 신호설비를 자동운전을 지원하는 ETCS L2/ATO로 구축하였으며, 2018년에 영업운전 계획

·열차운전시격이 2.5분이고, GoA 2를 지원하는 ATO를 도입하고 있으나, 적용한 ATO 규격은 draft규격서를 적용해서 개발한 것임(Thales사)



[그림 2.42]멕시코 Toluca선의 ETCS/ATO 구성도

(5) ETCS의 열차분리검지 (Train Integrity, 열차무결성) 개발현황

○ (**열차분리검지**)매우 제한적이지만 열차분리사고가 발생하면 궤도회로를 이용하여 분리된 열차가 있는 위치를 검지하고 있으나, 궤도회로를 사용하지 않는 경우에는 열차에서 열차분리사고를 검지하여야 함

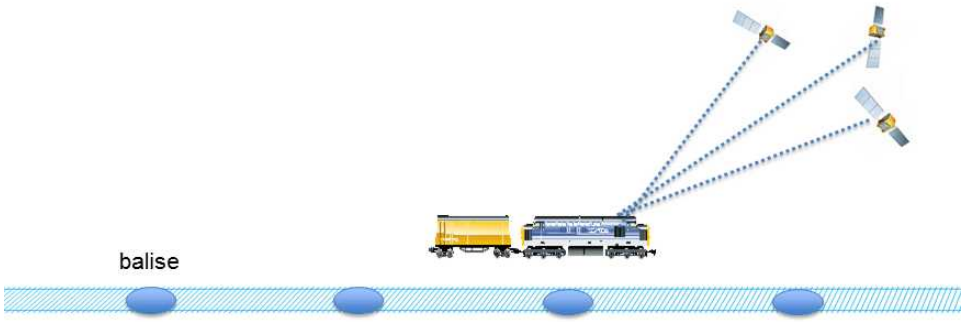
- ETCS L3는 열차분리사고가 발생하면 이를 검지하는 열차분리검지장치(TI, Train Integrity)를 열차에 설치하고 있으며, 열차에 설치되어 있는 ATP장치와는 독립된 장치임

· 열차에 설치되는 TI장치는 열차에 설치된 ATP장치와 연계되어 있으며, 열차분리사고를 검지하면 지상의 RBC(지상ATP)에서 이를 검지하여 후속열차의 접근을 금지함

- (**개발현황**)궤도회로를 사용하지 않은 도시철도 CBTC는 검증된 열차분리검지방법을 적용하고 있으나, 일반철도와 고속철도는 **검증된 열차분리검지방법이 없는 상황임**

- 일반철도는 여러 형식의 열차가 운행중이고, 화물열차의 경우 기관차에서 화차로 전원이 공급되지 않는 상황이기 때문에 열차분리검지장치개발에 장애로 작용하고 있음

- Wireless sensor network, GPS를 이용한 열차분리검지방법을 개발하고 있으나, 복잡한 기술 적용, 낮은 신뢰성(화차에 실리 화물에 의한 검지장치 고장 발생), 개발된 로직(소프트웨어)의 검증 등으로 상용화에 많은 시간이 소요될 것으로 예상됨



[그림 2.43]GPS를 이용한 열차분리검지 개요

- (Shift2Rail)개발할 기술분야로 열차분리검지(TD2.5)를 지정하고 있으며, 연구내용은 다음과 같음

: 열차무결성 개념정립 및 요구사항*정의

*「Report o the request for information on ERTMS cold movement detection and ERTMS train integrity monitor, 2015」에 요구사항 기술

: 연구개발기술항목 정의

: 기존 기술 최적화 및 검증

: 규격서 작성

– (**차량개발**)현재 열차분리사고는 발생빈도가 매우 작으며, 철도차량분리사고원인은 기계적인 것으로서, 차량개발과 유지관리를 통해서 문제를 해결할 수 있음

- 열차분리사고 발생시 기관사(또는 승무원)이 이를 확인할 수 있고, 무선통신망을 이용하여 사령실 등 관련 조직에 신속히 전파될 수 있음

- 열차조성에 따른 열차길이 변동, 열차조성구역에서의 열차분리 · 결합 작업 등에서의 철로사고를 방지하기 위한 제한적인 투자(작업구역에 열차검지장치 설치 등), 열차운전규칙 개정 등의 작업이 필요함

(6) 레일절손 및 열차검지 개발현황

○ (**개발현황**)매우 제한적이지만 레일이 완전하게 절단되는 사고가 발생되면 궤도회로를 이

용하여 간단하게 이를 검지할 수 있으나, 궤도회로를 사용하지 않을 경우 이에 대한 대안을 확보하여야 함

- 현재 사용중인 궤도회로를 레일절손검지용도로 전환하는 방법, 전철화 구간에서 귀선전류를 활용하는 방법, 광케이블을 이용하는 방법 등이 검토되고 있음

  · 궤도회로나 귀선전류는 레일절손위치를 확인하는데 상대적으로 많은 시간을 필요로 함

○ (**광케이블을 이용한 방식**)열차가 레일과 레일의 연결지점, 레일과 침목간 연결 지점을 주행할 때 발생되는 기계적인 충격을 선로변에 설치된 광케이블이 검지하고 이를 신호로 변환하여 분석하는 방식으로 레일파손과 열차차륜을 검지함

- 이 방식은 DAS(Distributed Acoustic Sensing)기술을 사용한 초기단계이지만, 독일 Frauscher사에서 제품화하여 철도에 적용하고 있음

  · 제품 FTS-FAS는 10m 이내의 정밀도로 열차이동, 열차가 이동하는 레일, 궤도의 상태, 장애물 침입 등을 검지할 수 있음

  : CBTC, ETCS 등 무선통신을 사용하는 열차제어시스템의 백업장치로 활용할 수 있음

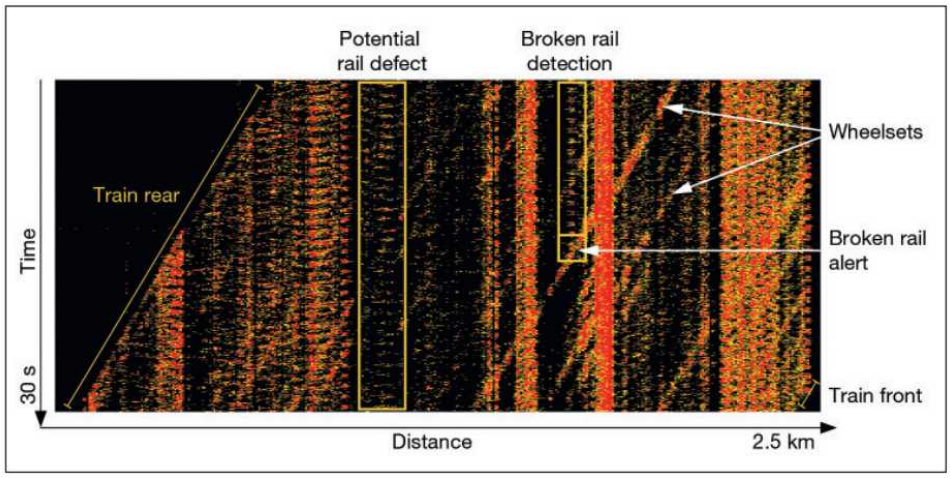
  : 검지할 수 있는 최대길이는 40km

  · 제품 FTS-FAdC는 선로가 여러 개 설치되는 역구내에 서는 광케이블을 이용해서 열차위치를 검지하는 것이 불가하기 때문에 이를 보완하기 위한 액스카운터를 추가한 제품

- DAS는 광케이블을 통과하는 광파(laser pulse)가 외부의 음파에 의해서 변화가 발생하고, 이를 검지하여 간섭이 발생된 위치를 검지할 수 있음

  · DAS를 철도에 적용해서 6년 정도 시험한 결과, 광섬유의 길이가 40km에서도 열차를 5m의 정밀도로 검지할 수 있었음

  · 아래 그림과 같이 열차의 길이, 레일결함 개소, 레일절손개소를 확인할 수 있음



[그림 2.44] DAS를 이용해서 열차길이, 레일상태를 검지한 예

5. 기술동향 분석 결과

○ 무궤도회로용 열차제어시스템에 요구되는 기술에 대한 특허분석결과 특허가 증가하고, 기술집중도가 높은 것으로 판단되며, 논문은 의미있는 내용이 없는 것으로 분석됨

○ 중국과 일본이 주요기술에 대한 특허를 주로 출원하고 있으며, 미국, 유럽, 국내에서 특허를 출원하고 있음

○ 국내 특허는 인용도지수, 기술력지수, 영향력지수가 모두 낮게 나타나고 있으며, 원천특허와 핵심특허의 비중이 낮은 것으로 분석되며 연구개발이 시급한 것으로 판단됨

○ 지속적인 국가연구개발사업을 통해서 철도선진국의 기술개발에 보조를 맞출 수 있는 주요 기술은 확보한 것으로 판단되나, 시범운영을 통한 충분한 검증을 통하여 기술의 완성도를 높이는 과정이 부족함

○ 현재 철도선진국도 무궤도회로방식의 열차제어시스템 적용에 필요한 주요 기술의 검증과 규격화, 시스템 구축 노하우를 확보하지 못한 상황이어서 국가연구개발을 조속히 수행하면 충분한 기술경쟁력을 확보할 것으로 분석됨

4절 기술수준 분석

1. 기술수요조사

가. 국토교통부의 한국형 철도신호시스템 구축계획

○ 차세대 신호시스템의 개발방향

– 신호시스템의 고속화 · 지능화 · 운행효율화 · 상호운영 · 지상설비 Zero화를 통해 철도의 2C2S(Capacity, Cost, Service, Safety) 향상

· 보다 빠르고 고밀도로 여객을 수송하고, 위험요인을 사전에 감지하여 사고를 예방할 수 있는 네트워킹 기술을 개발하여 안전운행 확보

· 기존 신호시스템과의 상호운영성 확보 및 해외시장을 선점하기 위해 유럽철도 기술기준(ETCS)을 기본바탕으로 선도적인 기술 개발

○ 차세대 신호시스템의 핵심기술

– 궤도회로 없이 열차↔선로, 열차↔열차 간 직접 통신을 통해 자율주행이 가능하도록 7개의 핵심기술 개발 분야 선정

· 이동폐색기술

· 자율주행기술(자동운전기술)

· 실시간 열차위치검지(열차무결성, 열차위치검지, 레일절손검지)

· 철도무선통신(통신시스템, 지상장치 무선연결)

· 군집주행(가상중련편성)

· 사이버 보안

· Traffic Management(운영규정, 운행관리, 인증간소화)

나. 전문가그룹의 기술수요조사

○ 차세대 신호시스템의 개발방향

– 국토부 정책이 반영된 열차제어시스템 개발규격서를 새로이 작성하여야 함

· 기준 시스템을 선정하거나 시스템개발방안을 새로이 정의함

· ETCS L3의 개발동향을 지속적으로 확인하고, 확정된 사항을 시스템개발규격서에 반영함

– 개발자그룹을 구성하여 열차제어시스템 개발규격서 작성방법을 도출

· 열차자동운전기술, 이동폐색기술, 무선통신제어기술, 기존 신호설비와 상호운영기술을 개

발규격서에 반영하기 위한 기술분석 실시

다. 철도신호분야 산학연 전문가 수요조사

(1) 조사개요

- 조사목적

· 국내 무선통신기반의 고속철도용 열차제어시스템 기술의 적용 분야를 조사하고, 관련 산업계에서 필요로 하는 기술의 필요성 및 활용성, 요구사항, 기대효과, 애로사항 등 파악

- 조사대상

· 국내 열차제어기술 분야와 관련된 산학연 전문가를 대상으로 설문지를 활용한 조사 실시(필요시 방문)

- 조사절차 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 2.16] 주요 조사 내용 및 질의 형태

구분	주요 내용	
기술 일반사항	1. 업무수행 분야	8. 기술 개발 시 문제점(사유)
	2. 신기술 도입의 중요성	9. 국내 관련 기술 보유기관 또는 제작사
	3. 기술 또는 유사기술의 활용 가능성	10. 국내 관련 기술관련 전문가
	4. 시급한 연구개발이 필요한 기술 분야	11. 기술실용화를 위한 요구사항
	5. 기술 개발의 필요성	12. 기술 활용 시 기대효과
	6. 기능요구사항 주요 항목	13. 기술 분야별 활용 시 세부 활용방안
	7. 성능요구사항 주요 항목	14. 적정 연구개발 예산 및 기간
과제 제안	15. 제안하는 연구과제	17. 기대효과 및 파급효과
	16. 연구과제의 주요 내용	18. 예산 및 기간

(2) 조사대상

○ 열차자율주행 기반 철도차량 분야와 관련된 산학연 전문가 46명(연구원, 대학 15명, 철도건설·운영기관 14명, 시스템공급사 9명, 엔지니어링사 8명)을 대상으로 온라인을 통

한 설문조사 실시

(3) 조사내용

- 새로운 기술 도입의 중요성
  · KRTCS 연구개발(2010~2017)을 지속적으로 수행하고 있는 상황에서 차세대 열차제어기술(궤도회로를 사용하지 않는 고속철도용 열차제어기술, 고속열차의 자동열차운전기술, 도시철도와 일반철도의 직결운행기술(공간통합기술))의 도입의 필요성을 조사
- 기존 기술의 활용 가능성
  · KRTCS 연구개발(2010~2017)을 지속적으로 수행하고 있는 상황이고, 이를 통해서 이동폐색기술, 열차자동운전기술, 열차위치검지기술 등을 개발하였음. 현재 확보된 기술을 본 기획의 열차제어기술에 적용할 수 있는지를 조사
  · 또한 확보된 기술을 활용하기 위해서 보완이 요구되는 내용을 조사
- 기술 개발 필요성 필요한 기술
  · 국토부 정책의 적절성(필요성)과 국토부에서 명시한 핵심기술을 포함하여 시급히 개발이 요구되는 기술을 조사
- 기능요구사항의 주요 항목
  · 국토부에서 명시한 기능(열차자동운전, 기존 신호설비와의 상호운영성)을 포함하여 본 기획의 열차제어시스템이 수행해야 할 기능을 조사
- 성능요구사항의 주요 항목
  · 본 기획의 열차제어시스템의 성능을 평가할 수 있는 성능요구사항 조사
- 기술개발 시 애로사항
  · 기술개발의 목표인 충분한 인프라 구축, 인증, 실용화 전략 등을 포함하여 기술을 개발하고 적용하는데 필요한 사항을 조사
  · 또한 해외기술을 상용화는 것이 아니고(fast follower) 기술선진국과 경쟁하는 상황에서(first leader) 고려해야 하는 사항을 조사

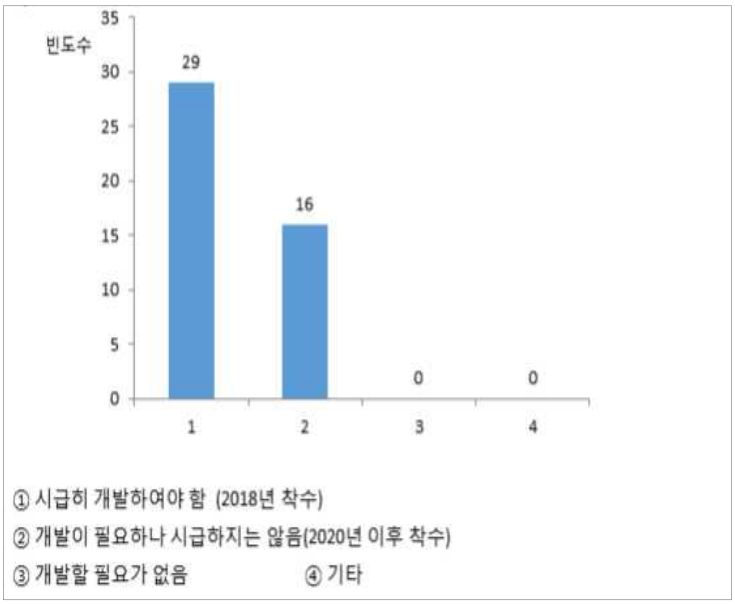
라. 조사결과 분석

(1) 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신기술을 이용한 고속철도용 열차제어시스템의 개발필요성

현재 국내의 열차신호시스템 프로젝트 진행 상황을 고려하였을 때 (도시철도용 KRTCS 개발완료, 일반·고속철도용 KRTCS 완료 예정), 유럽의 NGTC, Shift2Rail과 같은 고속철도용 차세대 열차제어시스템 개발의 필요성과 시급성

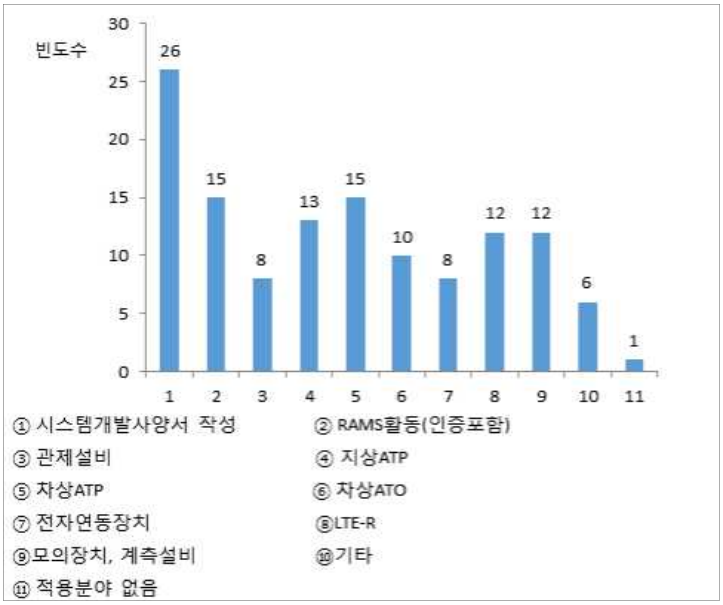
○ 조사대상의 대부분(45명)이 개발필요성에 응답하였으나, 시급성에 대해서 의견을 달리하고 있음

○ 철도신호분야에 대한 R&D를 지속적으로 실시하였으나, 성과물에 대한 실용화가 성과가 미진하여 R&D투자 명분을 확보하는 것이 어려운 것으로 판단됨



(2) 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신기술을 이용한 고속철도용 열차제어시스템의 개발에 활용할 수 있는 기술의 확보 여부(복수로 답변)

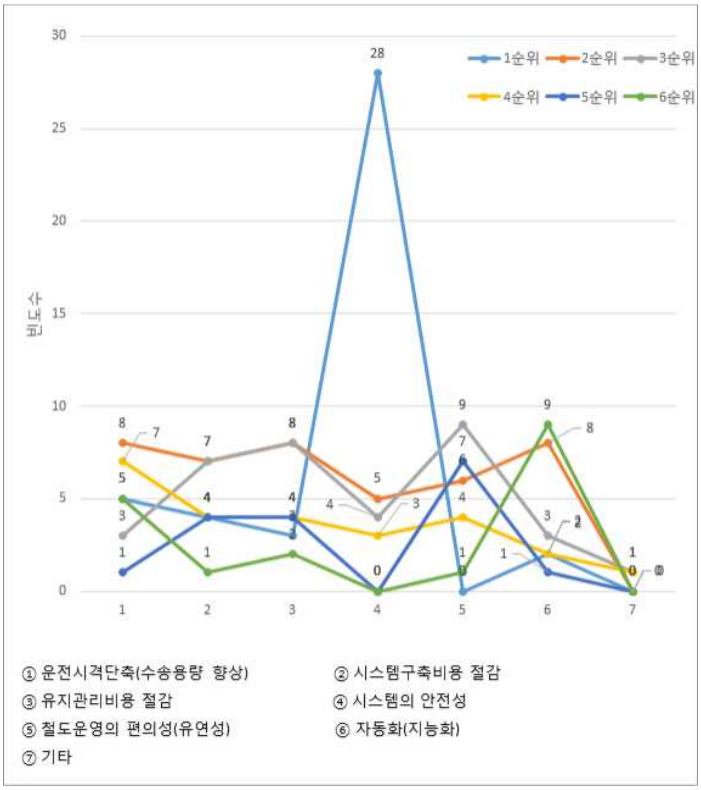
○ 시스템개발규격서 작성, RAMS활동, 차상ATP, 지상ATP, LTE-R 등 새로운 열차제어시스템 개발에 필요한 기술을 활용할 수 있는 것으로 분석됨



(3) 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신기술을 이용한 고속철도용 열차제어시스템을 개발하는데 있어서 요구사항(우선순위로 답변)

○ 시스템 안전성이 가장 중요한 요구사항인 것으로 조사되었으며, 열차운전시격단축, 유지관리비용절감, 자동화 등이 다음 순위에서 요구되고 있음

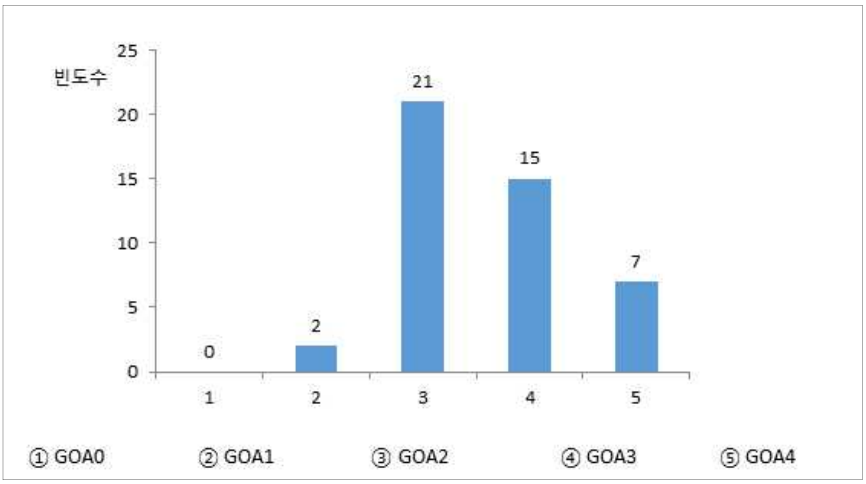
○ 고속철도와 일반철도에도 자동화 지원을 요구하고 있음



(4) 고속철도 및 일반철도용 열차제어시스템이 지원해야 할 자동열차운전수준

○ 자동화 단계에 대해서는 GoA2(유인운전)과 GoA3(driverless운전)을 요구하는 것으로 조사되었음

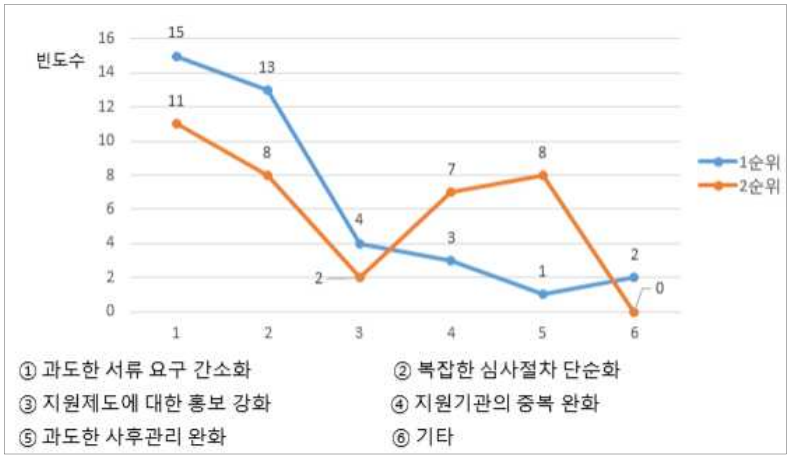
○ 열차자동운전을 위해서 열차자동출발, 열차자동속도제어, 열차정위치정차, 열차출입문제어 등은 개발되어야 할 것으로 분석됨



(5) 국가R&D의 지원제도 개선사항(우선순위로 답변)

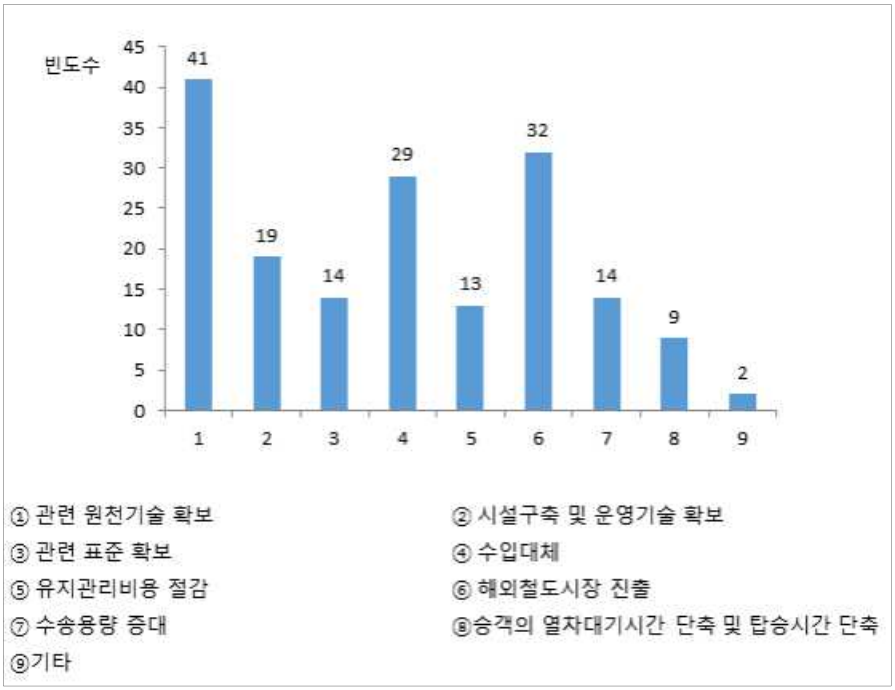
○ 정부에서 관리를 위해서 요구하는 심사절차, 제출서류, 사후관리를 과도하게 하는 것으로 조사되었음

○ 열차제어시스템 개발과 관련되어 조사한 자료에 의하면, 실용화문제가 성과활용에 큰 애로사항인 것으로 조사되었음



(4) 고속철도용 열차제어시스템 개발의 기대효과

○ 열차제어시스템 관련 원천기술확보, 시스템 유지관리비용 절감, 수입대체 등이 주요 기대효과로 조사되었음



마. 제안된 연구내용

○ 국토부의 한국형 열차제어시스템 구축계획, 유럽의 Shift2Rail사업 등에 제시된 연구내용을 토대로 전문가에게 수행해야 할 연구내용을 조사한 결과 총24건이 다음과 같이 제시되었음

[표 2.17] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표

구분		요소기술	제시자
열차운행관리기술		(1)기존 철도인프라(자원)의 이용율 극대화 기술	5
		(2)지능화를 통한 열차운행 실시간 제어관리기술	10
		(3)승강장에서의 승하차시간 단축기술	2
열차제어기술	열차위치검지기술	(4)열차무결성기술(Train Integrity)	16
		(5)레일절손검지기술(Rail Integrity)	12
		(6)절대위치보정용 지상자(또는 유로발리스)를 사용한 열차위치검지기술	13
		(7)지상자를 사용하지 않는 열차위치검지기술	13
	열차안전간격제어기술	(8)이동폐색제어기술	19
		(9)열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h)	17
	열차진로제어기술	(10)지상제어장치와의 열차위치정보 인터페이스 기술	11
	열차자동운전제어기술	(11)열차자동운전제어기술	19
		(12)열차자동출발제어기술	4
		(13)열차정차제어기술	10
		(14)열차자동운전을 위한 고속열차 개조기술	10
상호운영성기술		(15)도시철도를 포함한 기존 신호설비(KRTCS, ETCS L1, ATS 등)과의 연계기술	16
		(16)기존 지상신호설비와의 연계없이 차상장치 독자적으로 운영하는 기술 -관제 또는 열차에 구축된 DB를 활용하여 기존 노선을 운행함	7
고신뢰성 저비용 기술		(17)기능이 집중되는 차상장치비용을 저감하는 기술 -Open ETCS 프로젝트와 같이 설계, 제작, 시험 등의 내용을 공유	6
		(18)무선통신망의 신뢰성을 높이는 기술 -고신뢰 및 초저지연 무선 통신 기술 -무선커버리지이중화기술 -무선통신단절시열차제어기능연속성확보기술	20

	-초고속 환경에서의 고신뢰성 통신 기술	
	(18-1) 각종센싱정보전달을위한저전력통신기술	1
	(19)철도에너지 효율 향상을 위한 열차운행계획 관리기술	3
시험평가기술	(20)계측 및 분석 시스템 기술 -시험항목, 시험절차, 평가기준 작성과 이에 필요한 인프라 확보	7
	(21)현장시험을 최소화(또는 제로화)하는 on-line시험기술	5
안전성인증기술	(22)안전성인증기술	20
사이버보안기술	(23)사이버보안기술 - 유무선네트워크보안기술	10
기타	(24)실용화를 위한 법체계 지원	7
	(25)사용자에 대한 교육 및 훈련 시스템	2

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 7월 28일(금), 한국철도기술연구원

(3) 조사 대상

○ 전문가 그룹 6인

(4) 조사 절차 및 내용

○ 기술 예측조사 대상기술 선정, 기술예측조사 수행, 후보과제 도출 프로세스에 따라 기술예측조사 실시

– (대상기술 선정) 유사·중복 과제 통합, 과제 적합성 평가 과정을 통해 기술예측 설문조사 수행을 위한 대상기술 선정

– (조사 수행) FGI를 통한 기술예측조사 실시 후 기술예측조사 결과 분석 수행

– (후보과제 도출) 기술예측조사 결과를 바탕으로 후보과제 도출

[표 2.18] 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

(5) 조사결과

○ 자동운전, 이동폐색, 무선통신제어, 기존 신호설비와의 상호운영성 등을 만족하는 시스템 개발 방안과 각 하부시스템 및 구성품의 규격을 도출하여야 함

- 지상자를 이용한 열차위치검지기술은 이동폐색제어기술에 포함하는 것으로 함
- 열차자동운전제어기술, 열차자동출발제어기술, 열차정차제어기술은 열차자동운전제어기술로 통합

○ 상호 운영성은 별도로 분리된 도시철도노선까지 대상으로 할 필요는 없고 국가 철도망과 연결된 노선만을 대상으로 하는 것이 바람직함.

- 국가 철도망은 KRTCS 2를 설치하는 것이 방침으로 정해져 있으나 점진적으로 설치하는 것이므로 과도기적으로 KRTCS 1이 설치된 노선과 연계할 수 있는 상호 운영성 기술이 필요함(따라서 KRTCS 1, ETCS L1, ETCS L2와 상호운영성이 있어야 함)
- 상호운영기술은 S/W로 구현하는 것이며, 외산 CBTC와는 연계하지 않음

○ 철도무선통신망의 안정화, 가용성 향상을 위한 연구는 필요하며, 별도 세부과제로 추진하는 것은 추후 결정하는 것이 적절

○ 레일절손 관련하여 궤도회로를 사용하지 않고 axle counter만 사용하는 노선(유럽, 동남아)에서 절손을 어떻게 검지하는 지 확인할 필요가 있음

- 신호측면에서 레일검지정보를 신호에서 취합하여 관련 분야에 제공할 수 있도록 신호에 적합한 레일절손검지기술을 개발함(신호영역확대)

○ 상기 의견을 반영하여 요소기술 설명 표에서 일부 모호한 문구 수정(첨부. 20170728_무궤도 설문조사결과.hwp 참조)

나. 대상기술 선정

(1) 유사 · 중복 과제 통합

○ 지상자를 이용한 열차위치검지기술은 이동폐색제어기술에 포함하는 것으로 함

○ 열차자동운전제어기술, 열차자동출발제어기술, 열차정차제어기술은 열차자동운전제어기술로 통합

(2) 과제 적합성 평가

○ 철도무선통신망의 안정화, 가용성 향상을 위한 연구는 필요하며, 별도 세부과제로 추진하는 것은 추후 결정하는 것이 적절

○ 상호 운영성은 별도로 분리된 도시철도노선까지 대상으로 할 필요는 없고 국가 철도망과 연결된 노선만을 대상으로 하는 것이 바람직함.

[표 2.19] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 요소기술 및 연구성과표

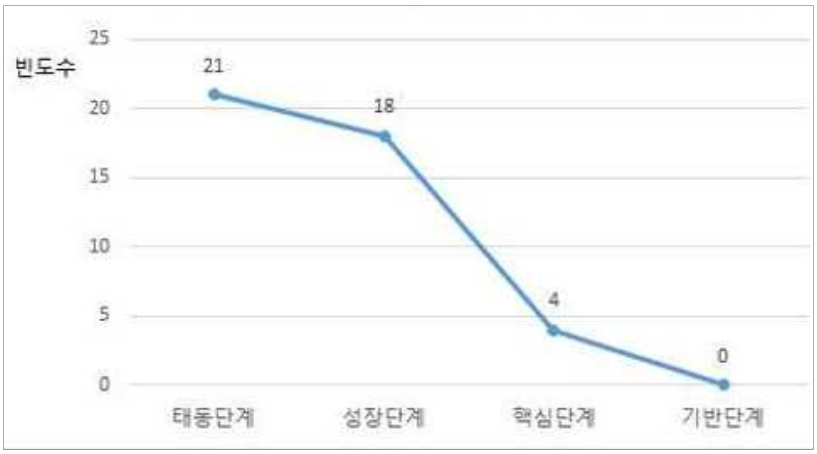
구분		요소기술
열차운행관리기술		기존 철도인프라(자원)의 이용률 극대화 기술
		지능화를 통한 열차운행 실시간 제어관리기술
		승강장에서의 승하차시간 단축기술
열차제어기술	열차위치검지기술	열차무결성기술(Train Integrity)
		레일절손검지기술(Rail Integrity)
		지상자를 사용하지 않는 열차위치검지기술
	열차안전간격제어기술	이동폐색제어기술
		열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h)
	열차진로제어기술	지상제어장치와 전자연동장치간 인터페이스 기술
	열차자동운전제어기술	자동열차운전제어기술
상호운영성기술		도시철도를 포함한 기존 신호설비와의 상호운영성 기술
		기존 지상신호설비와 연계않는 상호운영성 기술
고신뢰성 저비용 기술		기능이 집중되는 차상장치비용을 저감하는 기술
		철도무선통신망의 안정화, 가용성을 높이는 기술
		각종 센싱정보 전달을 위한 저전력 통신기술
		철도에너지 효율 향상을 위한 열차운행계획 관리기술
시험평가기술		계측 및 분석 시스템 기술
		현장시험을 최소화(또는 제로화)하는 on-line시험기술
안전성인증기술		안전성인증기술
사이버보안기술		유무선네트워크보안기술
기타		실용화를 위한 법체계 지원
		사용자에 대한 교육 및 훈련 시스템

다. 조사 결과 분석

(1) 기술성숙도 수준(4점 척도 기준 평가)

0~1점 : 태동 단계, 1~2점 : 성장 단계, 2~3점 : 핵심 단계, 3~4점 : 기반 단계

○ 평균 1.6점으로 조사됨에 따라, 초기 성장단계인 것으로 분석



(2) 요소기술별 최고기술 보유국 및 국내기술수준(중복)

○ 대부분의 기술이 70%이상으로 다소 뒤쳐진 기술수준을 보유한 것으로 조사되었음

구분	설명
100%	세계 최고 기술 수준 보유
90~99%	최고 기술보유국과 동등한 기술수준 보유
80~89%	최고 기술보유국에 근접한 기술수준 보유
70~79%	최고 기술보유국보다 다소 뒤쳐진 기술수준 보유
60~69%	최고 기술보유국보다 낮은 기술수준 보유
59% 이하	최고 기술보유국보다 현저히 낮은 기술수준 보유

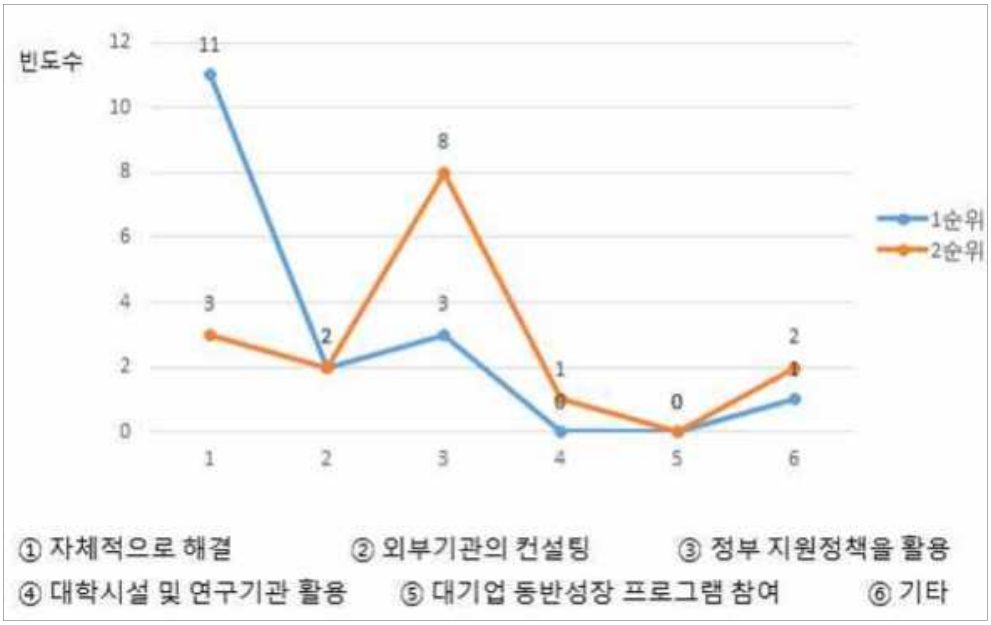
[표 2.20] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표

응답 순위	요소기술	1순위	2순위	기술수준평균 (%)
1	이동폐색제어기술	프랑스	일본	77
2	안전성인증기술	독일	일본	70
3	열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h)	프랑스	독일, 일본	78

4	열차자동운전제어기술	프랑스	독일, 일본	78
5	열차무결성기술(Train Integrity)	프랑스	독일,일본	73
6	도시철도를 포함한 기존 신호설비과의 연계기술	독일	프랑스	63
7	지상자를 사용하지 않는 열차위치검지기술	프랑스	일본	71
8	무선통신망의 신뢰성을 높이는 기술	프랑스	독일	82
9	레일절손검지기술(Rail Integrity)	유럽	일본	69
10	지능화를 통한 열차운행 실시간 제어관리기술	일본, 유럽	미국, 독일	70
11	절대위치보정용 지상자(또는 유로발리스)를 사용한 열차위치검지기술	독일	프랑스	74
12	지상제어장치와의 열차위치정보 인터페이스 기술	프랑스	일본	73
13	열차자동운전을 위한 고속열차 개조기술	프랑스	독일	64
14	사이버보안기술(유무선네트워크보안기술)	유럽	없음	75
15	실용화를 위한 법체계 지원	-	없음	50
16	기존 지상신호설비와의 연계없이 차상장치 독자적으로 운영하는 기술	독일	프랑스	66
17	기능이 집중되는 차상장치비용을 저감하는 기술	프랑스	독일	75
18	기존 철도인프라(자원)의 이용율 극대화 기술	독일	프랑스	60
19	계측 및 분석 시스템 기술	독일	일본	70
20	철도에너지 효율 향상을 위한 열차운행계획 관리기술	유럽	프랑스	73
21	현장시험을 최소화(또는 제로화)하는 on-line시험기술	프랑스	일본	60
22	사용자에 대한 교육 및 훈련 시스템	-	-	60
23	승강장에서의 승하차시간 단축기술	-	-	-

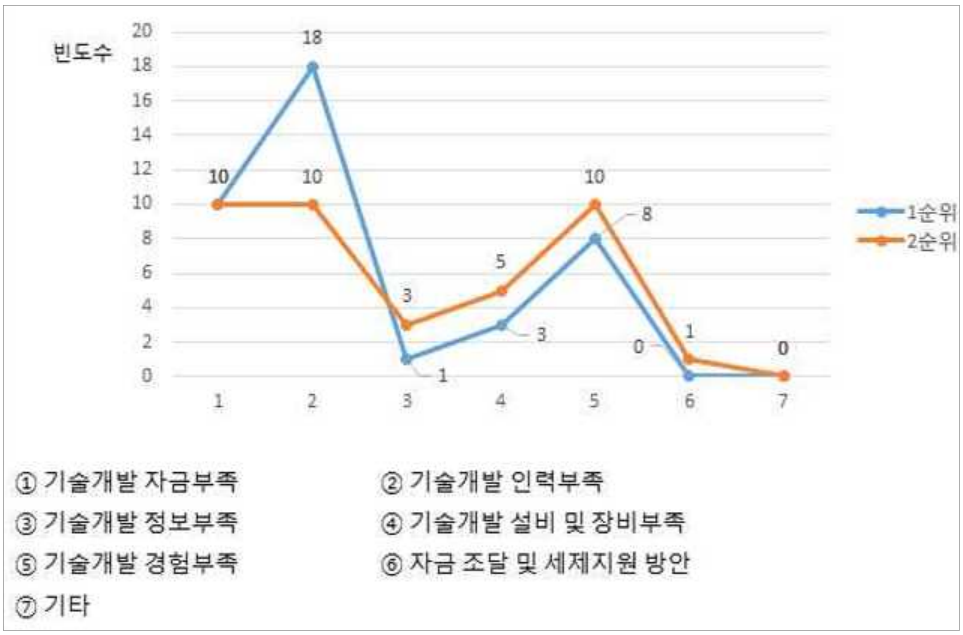
(3) 기술획득 선호 방식

○ 자체적으로 해결하는 방법을 선호하고 있으나, 정부지원정책이 있는 경우 이를 활용하는 방법도 선호하는 것으로 조사되었음



(4) 기술개발의 장애요인

○ 연구개발을 수행함에 있어서 충분한 경험을 확보한 기술개발인력이 부족한 것이 가장 큰 장애로 작용하고 있으며, 자금부족, 정부부족 등이 장애요인으로 작용하는 것으로 조사되었음



3. 우선순위조사

가. 조사 개요

(1) 목적

○ 본 과제의 기획에 맞추어 전략성, 기술성, 경제성 및 파급성 등을 감안하여 우선적으로 연구·개발 되어야 할 연구내용 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 2.21] 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 상대비교를 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

나. 조사 결과

(1) 평가지표 가중치

○ 우선순위 평가기준 가중치 중 전략성, 기술성, 파급성, 경제성 순으로 가중치를 설정

- 전략성 40%, 기술성 30%, 경제성 20%, 파급성 10%

[표 2.22] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표

번호	요소기술	평가지료							
		전략성		기술성		경제성		파급성	
		부합성	시급성	실현성	우위성	가능성	수익성	기술성	사회성
1	이동폐색제어기술	2.8	2.8	2.1	2.1	1.4	1.4	0.5	0.7
2	안전성인증기술	2.8	2.8	2.1	1.8	1.4	1.4	0.5	0.7
3	열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h)	2.8	2.8	2.1	2.1	1.4	1.4	0.5	0.6
4	열차자동운전제어기술	2.4	2.4	2.1	2.1	1.4	1.4	0.5	0.7
5	열차무결성기술(Train Integrity)	2	2.8	1.8	2.1	1.4	1.2	0.5	0.5
6	도시철도를 포함한 기존 신호설비과의 연계기술	2	2.8	2.1	1.8	1.2	1	0.5	0.7
7	지상자를 사용하지 않는 열차위치검지기술	1.6	1.6	1.2	1.5	0.8	0.8	0.6	0.5
8	무선통신망의 신뢰성을 높이는 기술	2.4	2.8	1.8	1.8	1.4	1.4	0.5	0.7
9	레일절손검지기술(Rail Integrity)	1.6	2.4	1.8	1.5	1.2	1.2	0.5	0.5
10	지능화를 통한 열차운행 실시간 제어관리기술	1.6	2	1.5	1.5	1	1.4	0.6	0.6
11	지상제어장치와의 열차위치정보 인터페이스 기술	2.4	2.4	2.1	1.8	1.4	1.4	0.4	0.5
12	열차자동운전을 위한 고속열차 개조기술	2	2	2.1	1.2	1	1	0.4	0.5
13	사이버보안기술(유무선네트워크보안기술)	1.6	1.6	1.5	1.5	1	0.8	0.6	0.4
14	실용화를 위한 법체계 지원	1.6	1.6	2.1	1.2	0.8	1	0.4	0.5
15	기존 지상신호설비와의 연계없이 차상장치 독자적으로 운영하는 기술	1.2	1.2	1.2	1.2	0.6	0.6	0.6	0.4
16	기능이 집중되는 차상장치비용을 저감하는 기술	1.2	1.2	0.9	1.2	0.6	0.6	0.6	0.4

17	기존 철도인프라(자원)의 이용율 극대화 기술	1.6	2	2.1	1.2	1.2	1	0.4	0.5
18	계측 및 분석 시스템 기술	2.4	2.8	2.1	1.5	1.4	1.4	0.5	0.4
19	철도에너지 효율 향상을 위한 열차운행계획 관리기술	1.6	2	1.5	1.5	1.2	1	0.5	0.6
20	현장시험을 최소화(또는 제로화)하는 on-line시험기술	1.2	1.2	0.9	1.2	0.6	0.6	0.4	0.4
21	사용자에 대한 교육 및 훈련 시스템	1.2	1.6	1.2	1.2	1.4	1	0.4	0.3
22	승강장에서의 승하차시간 단축기술	1.2	1.6	1.2	1.2	0.6	0.6	0.4	0.3

(2) 우선순위 조사

○ 평가기준 가중치 중 전략성, 기술성, 파급성, 경제성 순으로 가중치를 설정한 후 우선순위를 조사하였음

[표 2.23] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표

우선순위	요소기술	합계
1	이동폐색제어기술	13.8
2	열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h)	13.7
3	안전성인증기술	13.5
4	열차자동운전제어기술	13
5	무선통신망의 신뢰성을 높이는 기술	12.8
6	계측 및 분석 시스템 기술	12.5
7	열차무결성기술(Train Integrity)	12.3
8	도시철도를 포함한 기존 신호설비과의 연계기술	12.1
9	레일절손검지기술(Rail Integrity)	10.7
10	지상제어장치와의 열차위치정보 인터페이스 기술(연동기술)	12.4
11	지능화를 통한 열차운행 실시간 제어관리기술	10.2
12	열차자동운전을 위한 고속열차 개조기술	10.2
13	기존 철도인프라(자원)의 이용율 극대화 기술	10
14	철도에너지 효율 향상을 위한 열차운행계획 관리기술	9.9
15	실용화를 위한 법체계 지원	9.2
16	사이버보안기술(유무선네트워크보안기술)	9
17	지상자를 사용하지 않는 열차위치검지기술	8.6

18	사용자에 대한 교육 및 훈련 시스템	8.3
19	승강장에서의 승하차시간 단축기술	7.1
20	기존 지상신호설비와의 연계없이 차상장치 독자적으로 운영하는 기술	7
21	기능이 집중되는 차상장치비용을 저감하는 기술	6.7
22	현장시험을 최소화(또는 제로화)하는 on-line시험기술	6.5

○ 우선순위가 결정된 연구내용을 토대로 연구개발과제를 결정하였음

– 연구개발과제는 우선순위점수가 8점 이상인 연구내용으로 구성하였음

[표 2.24] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표

번호	연구과제명	비고
1	지능화를 통한 열차운행 실시간 제어관리기술 - 열차운행 실시간 제어관리기술 - 기존 철도인프라(자원)의 이용율 극대화 기술	
2	열차위치검지기술 - 열차무결성기술(Train Integrity) - 레일절손검지기술(Rail Integrity) - 지상자를 사용하지 않는 열차위치검지기술	
3	열차안전간격제어기술 - 이동폐색제어기술 - 열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h)	
4	열차진로제어기술 - 지상제어장치와의 열차위치정보 인터페이스 기술(연동기술)	
5	열차자동운전제어기술 - 자동열차운전기술 - 열차자동운전을 위한 고속열차 개조기술	
6	도시철도를 포함한 기존 신호설비와와 연계기술(상호운영성기술)	
7	고신뢰성 저비용기술 - 무선통신망의 신뢰성을 높이는 기술 - 사이버보안기술(유무선네트워크보안기술) - 철도에너지 효율 향상을 위한 열차운행계획 관리기술	
8	시험평가기술 - 계측 및 분석 시스템 기술	
9	안전성인증기술	
10	실용화 지원기술	

	- 실용화를 위한 법체계 지원 - 사용자에 대한 교육 및 훈련 시스템	
-	승강장에서의 승하차시간 단축기술	제외
-	기존 지상신호설비와의 연계없이 차상장치 독자적으로 운영하는 기술	제외
-	기능이 집중되는 차상장치비용을 저감하는 기술	제외
-	현장시험을 최소화(또는 제로화)하는 on-line시험기술	제외

5절 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성

○ 기존의 국가연구개발과제를 통해 개발된 열차제어시스템 및 관련 기술은 지상제어시스템이 중심이었으며, 이것은 미국과 유럽의 표준화된 열차제어시스템을 국산한 것으로 볼 수 있음.

※ 제2장 3절의 '4. 국내외 연구개발동향' 참조

○ 철도 신호시스템 표준화 방안(국토부, 2010) 이후 진행된 열차제어시스템 개발과 관련된 국가연구개발과제의 특성은 아래와 같음

- 도시철도노선, 일반 · 고속철도노선으로 대상을 명확히 하였음
  · 도시철도용 열차제어시스템(KRTCS 1) 개발완료(2010.12 ~ 2014.6)
  · 일반 · 고속철도용 열차제어시스템(KRTCS 2) 개발중(2014.12 ~ 2017.12)

[표 2.25] 기존과제와의 차별성

구분	도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가	일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화	비고
연구목표	-한국형 무선통신기반 열차제어시스템의 실용화 기반을 마련하기 위해 열차제어시스템 표준체계를 구축하고 시스템의 안전성 및 성능평가 수행	-일반 및 고속철도용 한국형 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가 수행	
연구내용	-도시철도용 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가 -철도무선통신망 개발 -대불선 약 11km 구간을 시험선으로 구축하여 열차제어시스템 및 통신망 시험	-개발내용 ·일반 및 고속철도용 무선통신기반 열차제어시스템 개발 및 시험평가 ·철도전용 무선통신망 표준화 연구	
차별성	-열차는 CBTC와 같은 지상중심(지상 ATP, 지상 EI)의 제어명령에 의존함 -도시철도의 운영조건에 맞게 기능과 성능을 설정하였음 -궤도회로를 사용하지 않음 -무인운전지원	-열차는 기존의 ETCS L2와 같은 지상중심(radio block center, EI)의 제어명령에 의존함 -일반철도 및 고속철도의 운영조건에 맞는 기능과 성능을 설정하였음 -궤도회로를 사용함 -수동운전지원	

- KRTCS 1 및 KRTCS 2는 다음 표와 같이 각 노선의 특징이 반영된 기능과 성능을 설정하였음

[표 2.26] 도시철도와 일반 · 고속철도 비교

	도시철도	일반·고속철도
서비스	열차운행패턴의 변경이 거의 없음	열차의 진로, 정차위치의 변동이 잦음
주행거리	단거리	장거리
열차	단일편성 열차가속과 감속율이 높음 승객의 승하차시간을 최소화할 수 있도록 출입문을 배치 승객이 많이 수송할 수 있도록 열차설계	여러 형식의 열차편성이 운영 열차의 가속율이 낮음 좌석을 최대한 배치할 수 있도록 열차출입문과 열차내부를 설계
운영	운행시격단축에 중점 출발조건이 만족되면 바로 출발	운행시간표준수에 중점 운행시간이 되어야 출발
수송용량	매우 높음	구간 및 진로에 따라 수송용량이 변동
선로	지선연결(건설)이 제한됨 역에서 본선과 지선의 연결이 이루어짐	지선 또는 연결선이 매우 많음 승강장에서 지선 또는 연결선 설치를 금지
승강장	승하차시간, 정차시간을 **초단위**로 관리	승하차시간, 정치시간을 **분단위로** 관리

○ 본 기획과제의 열차제어시스템은 고속철도를 대상으로 할 것이며, 가능한 기존 국가연구개발과제의 연구성과를 최대한 활용할 것임

– 열차제어시스템은 다음과 같은 특징을 갖고 있음

· 궤도회로를 사용하지 않고, 무선통신을 이용하여 열차의 이동을 제어하고 관리함

· 고속철도 및 일반철도에 적용할 수 있는 이동폐색방식의 열차안전간격제어기술 개발

· 고속철도 및 일반철도의 열차운전조건(복잡한 역 선로구조, 열차조성구역(입환작업 등)을 반영한 자동열차운전기술(ATO : Automatic Train Operation) 개발

· 기존 지상신호설비와의 상호운영성기술 개발

:도시철도용 KRTCS, 일반 · 고속철도용 KRTCS 및 일반철도용 ATP(ETCS L1)

· 열차무결성 및 레일무결성기술 개발 등

– 연구개발은 열차제어시스템의 ATP/ATO개발에 집중할 것이며, 관제설비(CTC), 전자연동장치(EI)는 기존 설비를 최대한 활용할 것임

· 또한 무선통신망(LTE-R)과 단말(차상단말, 휴대단말 등)은 KRTCS 2개발을 통해서 확보한 것을 활용할 것임

[표 2.27] 기존 열차제어시스템 및 관련 기술 활용 가능성 분석

	활용 가능한 기술 및 내용	비고
궤도회로	- 열차검지용으로는 활용하지 않음 - 궤도절손 검지용으로 활용할 수 있음(UWB기술 적용) - 지상설비제로화에 맞는 궤도절손 검지기술 개발 필요	
지상자 지상자 리더기	- KRTCS 2에서 열차위치보정용으로 개발한 지상자를 활용 - 또한 개발한 BRM(Balise Reader Module)도 활용함	
무선통신(LTE-R) 및 단말기	- KRTCS 2에서 구축한 무선통신망 LTE-R 활용 : 호남고속선(익산~정읍역)에 구축된 LTE-R 활용함 *호남고속선의 무선통신망 개량은 2020년 이후로 예상 - KRTCS 2에서 개발한 LTE-R용 단말기 활용 : 차상단말 및 휴대단말	열차제어용으로 사용
전자연동장치	- 기존 궤도회로(또는 가상폐색)의 열차검지정보를 이용한 연동 논리 활용 : KRTCS 1의 WATP와 전자연동장치간 인터페이스 규격 적용(KRS 규격 제정)	
관제설비(CTC)	- KRTCS1 및 KRTCS2의 실시간 열차위치정보 활용 : 지상제어장치의 실시간 열차위치정보를 이용한 열차추적 : 열차진로 요청 : 열차운전패턴 생성 : 열차운행스케쥴 생성 및 갱신 : 열차상태 실시간 감시 및 원격제어 등 활용 - 새로이 개발해야 할 기술 : 열차운행스케쥴을 초단위로 관리하는 기술 : 열차조성에 따른 역정차시간 및 역정차위치 관리기술	
지상제어장치 (ATP 또는 RBC)	- KRTCS 2의 이동권한 설정원칙 활용 - KRTCS2의 정적속도프로파일(MRSP) 활용 - 새로이 개발해야 하는 기술 : 다양한 열차조성에 대한 이동폐색방식의 이동권한 설정 : 열차 자동분리 및 결합**(장치제작 및 시험은 제외)** : 열차조성에 따른 열차정차위치 관리기술	
차상제어장치 (ATP/ATO)	- KRTCS2의 열차속도프로파일 작성원칙 활용 - KRTCS1의 자동열차운전속도프로파일 작성원칙 활용 - 새로이 개발해야 하는 기술 : 열차출발지연시간을 회복하기 위한 ATO프로파일 생성 : 열차조성 변경에 따라 ATP 및 ATO프로파일 자동 생성 : 역진입 최고속도에서의 정위치정차제어	

- 현재 유럽의 Shift2Rail의 신호·통신분야에서 정의한 연구주제에 대한 국내기술수준을 검토한 결과는 다음과 같음

Shift2Rail 연구주제 및 내용	국내 기술수준
Adaptable communications for all railways(모든 철도노선에 적용 가능한 통신) - User requirements - Business model - Specification of the Communication System Guideline for a choice of Tech. mid-term impl. - Dev. of prototypes; test definition and Lab test - Field test	-도시철도와 일반·고속선에 적용할 수 있는 LTE-R통신망 및 서비스기술을 시험선에서 검증하였음 -확보한 기술에 대한 국제표준화활동을 진행하고 있음 -적절한 사업모델발굴은 진행되어야 할 것으로 판단됨
Smart radio-connected all-in-all wayside objects(선로변에 설치된 신호설비의 무선연결) - Analyses of existing lines and economic models - Analyses of railway requirements / standards - Definition of system architecture - Development and verification of PDs (Prototypes) - Validation (incl. Integration and Validation at SPD Level – paperwork at P1 / real integration P2 - Optimisation Works	-선로변 신호설비는 최소화하는 기술이 개발되고 있으나, 선로전환기, 건널목장치, 안전설비 등을 운영하여야 함 -무선통신(LTE-R, 무선LAN)을 적용해서 열차 또는 지상에서 선로전환기, 건널목을 제어하고 관리하는 기술을 개발하였음 -상용화를 위해서 열차제어시스템과 연계하고 안전성을 인증하는 등의 개발이 요구됨
Fail-Safe Train Positioning (including satellite technology) (안전측 동작을 지원하는 열차위치검지 방식-위성방식 포함) - General Specification - On site GNSS performance tests - Analysis of the results of the GNSS Performance test activities - Analysis of the technical solutions for optimizing the GNSS performances in railway environment and proposal for the demonstrators - Proof of concept GNSS based localisation devices - Process for validation in lab and on field - Lab tests - Update of the technical specifications according to the full test campaign results - Development of Prototypes - Field activities: integration and commissioning tests, validation and certification of the prototypes	-GPS, 발리스, 관성센서를 이용하여 열차위치를 확인하는 기술을 확보하였음(상용화를 위한 안정화 연구 필요) -열차분리사고가 발생하는 화물열차용으로 열차위치를 검지하는 기술은 확보하지 못한 상태(유럽과 비슷한 상황) -열차위치검지방식선정, 개발규격서 작성, 시작품개발 등 전반적인 연구개발이 요구됨
Traffic management evolution(혁신적인 열차운행관리) - Integration Layer - Shell for Applications in the TMS (Application Layer) - Framework for Traffic Management Business Service - Applications - Standardized Operator Workstation - Functionalities and Interfaces for Dynamic Demand and Information Management - Integrated Demonstrator	-도시철도, 일반철도, 고속철도용 열차운행관리기술을 확보해서 상용화하고 있음 -이동폐색, 무선통신망 적용에 따른 실시간 열차위치정보, 열차상태정보를 활용하여 새로운 서비스 발굴, 승객에 대한 실시간 정보제공 등 연구개발이 요구됨(유럽과 유사한 상황)
Railway network capacity increase (ATO up to GoA4 – UTO)(철도망의 수송능력 향상-GoA4포함) - ATO over ETCS – GOA2 Specification - ATO over ETCS – GOA2 Prototype Development	-도시철도에 적용할 수 있는 무인운전기술을 개발하였으며, 상용화를 준비하고 있음(신림선, 동북선 등) -일반철도와 고속철도에 적용하기 위한

- GOA2 Reference Test Bench Demonstration - GOA2 Pilot Line Demonstration - ATO over ETCS – GOA3/4 Feasibility Study - ATO over ETCS – GOA3/4 Specification - ATO over ETCS – GOA3/4 Prototype Development - GOA3/4 Reference Test Bench Demonstration - GOA3/4 Pilot Line Demonstration	자동열차운전기술의 연구·개발사례 없음(유럽은 GOA2수준의 ATO기술을 개발하였으며, 규격마련중) -도시철도의 ATO기술을 일반·고속철도에 활용할 수 있으나, 복잡한 운영조건을 만족하기 위해서는 연구개발이 요구됨
Moving Block(이동폐색) - Moving Block Operational and Engineering Rules - Moving Block System Specifications - Product Specifications - Safety and Security Analysis - Prototype Developments - Test Specifications - Technology Demonstrators	-도시철도를 대상으로 이동폐색기술을 개발하였고, 시험선에서 기능과 성능을 검증하였음(현재 상용화 준비) -일반철도와 고속철도용 이동폐색을 확보하기 위해서 도시철도용 이동폐색기술의 적용가능성을 연구하였음 -도시철도, 일반·고속철도, 한산선에 공통으로 적용하기 위한 하드웨어개발이 필요함(비용절감)
On-board Train Integrity(열차무결성) - Train Integrity Concept - Definition of Requirements - Technology Research and Development - Adaptation of existing solutions - Demonstration and Assessment - Standardisation proposal	-화물열차와 여객열차로 구분하여 방식을 선정하고 제반 연구개발을 진행하여야 함(유럽과 비슷한 상황)
Zero on-site testing (control command in lab demonstrators) (현장시험 최소화) - Assessment of status quo in field test and benchmarking - Definition of test process - Define general architecture for test environment - Define generic communication model - Develop/ validate test environment	-개념이 정립되지 않은 단계이며, 관련 기관의 필요성(요구사항)에 대한 조사도 미비한 수준으로 판단됨
Virtually – Coupled Train Sets (VCTS) (열차군집주행) - Virtual Coupling Concept - Safety and Performance Analysis - Feasibility Analysis - Functional Architecture SAS and FRS - Functional Architecture FIS - Impact analysis	-원천연구를 진행중(철도연 자체사업) -연구개발범위에서 제외
Formal methods and standardisation for smart signalling systems(열차제어시스템에 적용하기 위한 정형기법과 표준화) - Formal methods - Standardized interfaces	-도시철도용 열차제어시스템 SIL4인증을 통해서 formal method를 지원하는 개발툴 구축, 프로그램개발 등 수행 -열차제어시스템에 적용하기 위한 Formal method의 규격화(제도화)작업이 요구됨
Cyber Security(싸이버 보안) - Definition of a cyber-security system dedicated to railways - Application of the cyber-security methodology to signalling system - Develop a network of Railway Cyber Security Experts	-일반·고속철도용 열차제어시스템(KRTCS 2)의 암호화기술을 개발중 -전파장애(재밍), 침입 등에 강인한 보안기술을 개발중

6절 국내 연구개발 인프라 분석

1. 개요

○ KRTCS 국가 R&D 산업을 바탕으로, 철도 통신에서 이제는 기존의 GSM 또는 TETRA 방식에서 4세대 이동통신인 LTE 방식으로 변화하고 있는 여건이 조성

○ 중국을 비롯한 세계 여러 나라에서도 이미 LTE를 기반으로 한 열차 통신 시스템을 구축하는 가운데 있음

2. 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 2.28] SWOT 분석

강점(Strength)	약점(Weakness)
○ 국토부의 철도신호시스템의 R&D장기전략 수립에 의한 정책지원 확보 ○ 지속적인 KRTCS 연구개발사업추진을 통하여 관련 핵심기술 및 개발인력 확보 ○ 세계적인 수준의 IT 및 무선통신기술, 소프트웨어기술 확보 ○ 관계부처 중심의 신속한 전략, R&D방향 합의	○ 국내 신호업체의 실용화 실적 부족 -시스템단위 연구개발성과품에 대한 실용화 지원정책이 미진함 (지자체와 관련된 경우, 지자체의 재원확보문제로 실용화 지연) ○ 국내 신호시장이 협소한 관계로 전문기업의 체계적인 연구개발 추진역량 부족 -국내 전문기업이 장기간의 연구개발을 수행하였으나, 상용화 성과가 적은 상태 -전문기업 참여를 위한 충분한 연구개발비 지원 필요 ○ 사용자, 대기업, 중소기업간 협력체계 부족 -유사장치 중복제작을 통한 과당경쟁 ○ 안전성과 신뢰성을 검증하기 위한 인프라 부족 ○ 정부의 R&D장기전략에 개발시스템을 상용화하기 위한 정부의 구체적인 계획 부족
기회요인(Opportunity)	**위협요인(Threat)**
○ 전 세계적으로 열차제어시스템 관련 시장이 점차 늘 것으로 예상됨에 따라 관련기술의 국내 시장뿐만 아니라 해외진출 가능성 제고 ○ 고속철도중심의 국가교통망 구축 ○ 고속철도신호설비 및 일반철도 신호설비의 교체시기 도래 -한국형 철도신호시스템 구축계획 수립(국토교통부, 2017.5) ○ 철도통합무선망 주파수 확보에 따라 무선통신을 활용한 다양한 연구개발 가능 -원주~강릉, 김포경전철 등 LTE-R구축사업 진행	○ 연구개발 투자의 중단(또는 감액)으로 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 -개발인프라확보의 제한(시험선, 시험차량, 시험시간 등)으로 연구개발지연, 종합성능시험평가의 완성도 부족, 충분한 시범운행 실적 확보 등이 곤란 ○ 해외 선진국 제품의 시장 선점에 따른 국내외 시작에 대한 진입장벽 높음 ○ 중국 등 후발 국가의 기술도약, 투자 및 시장 점유 확대 ○ 국내기술에 대한 막연한 불안감(불신)

3. 연구진의 연구개발 역량

○ 신호시스템의 철도차량, 궤도, 시설, 운영 등 철도 전반적인 지식이 없이는 개발이 불가능하며 이러한 지식은 단기간에 습득이 불가능하며 신규 제어시스템의 개발을 성공적으로 수행하기 위해서는 관련 개발경험이 필수적임

○ 국내 연구원 및 산업계의 경우 국가 연구개발과제를 통해 열차제어시스템 설계제작 및 시험평가 기술을 확보하고 있음

○ 특히, 국내에서는 한국철도기술연구원을 주관으로 삼성SDS, 현대로템, LS산전, 포스코ICT, 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 상황

- 최근 일부 기업 경영전략 수정으로 철도사업분야 철수, 보류 등의 변화가 있음

○ 한국철도기술연구원은 실용화된 KRTCS 도시철도용을 활용하여 고속철도와 일반철도로 확대적용하기 위한 연구를 수행하였고, 현재 고속열차해무를 활용하여 시험하고 있음

4. 기 확보한 연구개발성과의 활용

○ 차세대 열차제어시스템개발성과는 조속한 상용화가 요구되며, 이를 위해서는 현재까지 확보한 기술의 활용도를 높이는 것이 요구됨

○ 무인운전을 지원하는 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 기술은 고속철도 자동운전기술확보에 활용할 수 있으며, 일반·고속철도용 열차제어시스템 기술은 고속열차의 속도제어기술을 활용하는데 충분히 사용할 수 있을 것으로 판단

[표 2.29] 현재 확보된 기술·장치 및 활용가능성

기술 및 장치		도시철도용 KRTCS	일반·고속철도용 KRTCS	비고
하드웨워	지상자동열차보호장치	WATP장치 개발	RBC장치 개발	SIL4인증장치 활용
	자동열차감시장치	ATS개발	모의장치 개발	ATS활용
	열차위치보정용 지상자	Tag구입	유로 Balise 개발	유로balise
	정위치 정차용 검지기	주문제작	-	주문제작
	연동장치	EI제작	인터페이스장치 개발	EI활용
	무선통신망	무선LAN / LTE-R	LTE-R	LTE-R
	차내자동열차보호장치	OATP	ATP	SIL4인증장치 활용
	차내무선통신장치	무선LAN / LTE-R	LTE-R	LTE-R
	운전자표시장치	ADU	ADU	ADU

	열차위치검지용 지상자안테나	Tag안테나	BTM	BTM
	속도검지기	엔코더 구매	엔코더 구매	엔코더 구매
	자동열차운전장치	OATP	-	OATP 활용
	가속도센서	-	-	-
	정위치정차용검지장치	초음파센서 구매	-	센서선정 및 구매
ATP 기능	장치기동	개발	개발	활용
	열차운전관리	개발	확인중	활용
	열차출발승인	개발	확인중	활용
	열차위치결정	개발	개발	활용
	열차이동권한결정	개발	개발	활용
	열차목표지점결정	개발	-	활용
	정적속도프로파일결정	개발	개발	일반,고속용 활용
	동적속도프로파일결정	개발	개발	일반,고속용 활용
	열차속도결정	개발	개발	일반,고속용 활용
	열차실속도 및 방향 결정	개발	개발	일반,고속용 활용
	열차속도감시	개발	개발	일반,고속용 활용
	열차출입문제어연동	개발	-	활용
	열차내 비상상황 조치	개발	-	미적용
	자동열차보호영역관리	개발	개발	활용
ATO 기능	열차 awake/sleep	개발	-	미적용
	ATO프로파일 결정	개발	-	활용
	인칭제어	개발	-	미적용
	열차속도제어	개발	-	활용
	출입문제어	개발	-	활용
CTC 기능	열차시각표 관리	개발	-	활용
	열차실시간추적	개발	개발	활용
	열차진로제어	개발	-	활용
	열차출발조정	개발	-	활용
	열차속도제어	개발	-	활용
	열차출발금지	개발	-	활용
	승강장스크린도어제어	개발	-	미적용
	인칭제어	개발	-	미적용
	출입문제어	개발	-	미적용
	열차 awake/sleep제어	개발	-	미적용
연동 기능	연동기능	인터페이스기능개발	-	활용
열차분리검지장치		-	-	개발
레일절손검지장치		-	-	개발
기존 신호설비 상호운영기술		-	-	개발

5. 인프라 설비

가. 시험선로

○ 신규 열차제어시스템 개발에 있어서 가장 주요한 인프라 요소는 시험선로의 확보이며 연구개발의 시험선은 현재 건설 중인 12.9km 규모의 철도종합시험선(2014-2018)을 활용할 수 있을 것으로 예상

○ 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 2.45] 오송 시험선 테스트 베드 구성도

○ 신호분야에서 총26개 항목, 40종을 시험하고, 통신분야에서 총12개 항목, 12종을 시험할 수 있도록 아래 표와 같은 설비를 구축할 예정임(LTE-R망 구축)

[표 2.30] 구축 예정 인프라 설비

시험대상체	세부시험 항목	시험항목관련 시설계획
전기 선로전환기	전기선로전환기 성능시험	기설치 시설 활용 교체 시험
	전자크러치 시험 -전자크러치가 슬립하는전류값을 측정하는 시험	
	인터페이스 시험 -궤도부근 접속하여 선로전환기의 동작 확인	
선로전환기 기능감시장치	전기선로전환기 전원전압, 전류검지시험	제어회선 등 케이블 포설
	전기선로전환기 동작 성능 시험	
신호기	신호현시상태시험 -일정거리에서 신호기의 현시상태 확인시험	폐색신호기주 활용
	작동시험 -신호기 동작시험	
	소등검지시험	
	주,야간 자동 밝기 조정 시험	

자동열차 정지장치 (ATS)	전기적 특성시험 -공진주파수, 차상응동, 현장성능시험	선로사이 활용
	주파수 응동시험 -ATS지상자 코일의 공진주파수를 측정기로 측정 시험	
	열차증속시험 -열차운행속도에 따른 ATS지상자의 동작여부 확인시험	
자동열차제어장치 (ATC) 자동열차운전장치 (ATO)	지상-차상 속도코드전송시험 -지상에서 25km/h 45km/h등 자동열차 제어용 속도코드를 전송하면 차상에서 수신하여 열차를 제어하는 동작을 확인	·정차표시등 설치 ·선로변 및 실내 설치공간 확보 ·기기실과 현장간 제어회선, 전원회선 케이블 확보
	속도제어로직 실내설비와 현장설비 전송 시험 -선행열차의 위치에 따른 속도코드 생성 내용 확인시험	
	열차증속시험	
	정위치정차제어 -정거장의 플랫홈에 정해진 위치에 열차가 자동으로 정차하는 것 확인, 위치 오차 확인	
	불연속정보 전송시험	
	EMI/EMC시험	
자동열차방호장치 (ATP) ERTMS Level1	발리스응동시험 -열차가 지상에 설치된 발리스를 통과할 때 발리스가 전송하는 텔레그램을 정확히 수신하여 MMI에 표시 하는가 여부 시험	기기실 설비 교체 활용
	신호기와 LEU 연계시험 -신호기의 현시상태(G,Y,R)에 따라 LEU가 텔래그램을 전송하는지 여부시험	
	상호운영성 시험 -차상장치, 지상장치를 다른 제조업체의 제품을 혼합 설치하고 확인, 상호 이상 유무 확인	
ERTMS Level2	·RBC-차상 연계시험 ·관제실-RBC간 연계시험 -RBC(Radio Block Center)에서 무선으로 운행중인 열차에 열차제어 정보를 전송하면 열차는 이 정보를 수신하여 정확히 동작하는 확인시험	·실내설비 설치공간 확보 ·통신분야 무선설비 활용
	상호운영성 시험 -자상장치, 지상장치를 다른 제조업체의 제품을 혼합 설치하고 확인, 상호 이상 유무 확인	
KRTCS	정적시험 -관련제품들의 차상-지상-무선통신설비 간 현장에 조립 설치 후 열차 정지 상태에서 시험	·실내설비 설치공간 확보 ·통신분야 무선설비 활용
	열차운행시험 -KRTCS설치 열차를 운행하면서 각 속도대별 동작 확인 시험	

	영업모의시험 -실제 영업 상황을 고려한 열차 운행시험 안전성과 신뢰성 시험 및 영상을 포함한 여객 서비스 내용도 함께 시험	
연동장치	궤도회로, 선로전환기, 신호기, 폐색장치등 신호 연쇄조건 확인	• 실내설비 설치공간 확보 • 기기실 현장설비 활용
	연동시험 -연동도표에 의한 각종 쇄정시험	
	전자파 적합성시험 -각 모듈의 전자기기에서 발생하는 전자파시험 및 외부 전자파의 영향 시험	
CTC 열차집중제어장치	정보전송시험	·실내설비 설치공간 확보 ·통신분야 무선설비 활용
	인터페이스 시험 -관제설비 컴퓨터와 주변기기간의 인터페이스 전기시계,행선안내 안내방송장치 등 타분야 기기간의 인터페이스 확인	
건널목 장치	건널목경보장치 시험 -시험선로 횡단개소에 설치하여 열차접근경보동작시험	•건널목1개소 설치 • 설치공간 확보 • 케이블 포설
	건널목전동차단기 시험 -시험선로 횡단개소에 전동기를 사용한 건널목 전동차단기 동작시험	
	건널목제어유니트 시험 -시험선로 횡단개소에 설치하여 보안시설을 제어하는 건널목제어유니트 성능시험	
자동폐색장치(ABS)	각부 성능시험 -궤도회로의 정보에 의해 신호 현시 확인	• 기설치 시설 활용 교체시험
	현시계열별 신호현시시험 -역간폐색분할에 따른 현시계열시험	
	정보전송시험 -고장정보 등의 전송시험	
궤도회로	성능시험 -실제궤도상에 열차가 주행 할 때 궤도회로의 단락 여부확인	• 궤도에 터미널 부착 • 별도 케이블 포설
	단락감도시험 -열차가 궤도를 점유 했을때 차축저항에 의한 동작 여부 시험	
	진동시험 및 인터페이스 시험	
	종합모의시험	
차축온도검지장치 (HBD)	열차검지시험 -열차의 차축(Axle Box)온도를 측정하기 위한 적외선 센서의 셔터를 열기 위해 차륜이 일정구간 도달 한 것을 정확히 검지하는지 확인	• 궤도부분에 설치를 위한 터미널 부착 • 제어회선 등 케이블 포설

	온도검출시험 -Axle Box의 의 온도를 적외선 센서로측정	
	정보전송시험 -측정된 Data를 중앙 처리장치로오류 없이 전송 및 Data처리를 하는지 여부확인	
밀착검지기	밀착간격시험	• 기설치 시설 활용 교체시험
	진동시험 -분기기 첨단레일과 기본레일 간 밀착도 시험	
Axle Counter (차축계수기)	열차검지시험 -레일에 부착하여 열차가 통과할때 정확히 차축의 수를 세는지 확인시험 -차륜의 형태에 따른 오류발생 여부시험	• 제어회선 등 케이블 포설
	정보전송시험 -현장센서의 검지 data를 중앙처리장치에 정확히 누락없이 전송하는지 여부시험	
	진동시험	
터널경보장치	경보확인	• 제어회선 등 케이블 포설
지장물검지장치	-검지선 검지시험 -전송시험 -종합성능시험	• 제어회선 등 케이블 포설
	진동시험	
선로횡단안전장치	종합성능시험	• 제어회선 등 케이블 포설
열차접근경보장치	종합성능시험	• 제어회선 등 케이블 포설
	진동시험	
끌림물체 검지장치	검지성능시험	• 제어회선 등 케이블 포설
	진동시험	
분기기히팅장치	원격조작시험 소비전력시험	• 기시설 설비 교체 활용 • 1개소반영
	인터페이스시험 -궤도에 히터접속하여융설동작확인	
레일온도검지장치	온도편차확인시험 데이터 전송시험	• 제어회선 등 케이블 포설
기상검지장치	강우검지시험 풍속검지시험 적설량검지시험	• 제어회선 등 케이블 포설
지진감시장치	종합성능시험	• 제어회선 등 케이블 포설
PSD (스크린도어)	PSD 인터페이스 시험	• 제어회선 등 케이블 포설
전송설비	시스템 백업 및 복구기능 확인	기설치 시설 활용 교체시험
	고속부SNCP 망구성 및 보호절체 확인	
	운용S/W를 통한 경보/제어/절체/성능감시	

	DS1E 유니트는보호절체를 지원	
	장비는 이중화된 전원을 사용하며 안정적 동작	
	데이터 백업 및 복원기능 확인	
	경보 및 성능 감시 기능 확인	
	DS1U 유니트절체 기능 확인	
	장비는 이중화된 전원을 사용하며 안정적 동작	
	출력 유니트 이중화 구조로 절체 확인	
	입력 동기원 절체 및 복귀 확인	
	시스템 구성 정보 GUI를 통해 확인	
열차무선설비	장비는 이중화된 전원을 사용하며 안정적 동작	기설치 시설 활용 교체시험
	광 송수신기 검출 시험	
	경보 및 성능 감시 기능 확인	
	장비는 이중화된 전원을 사용하며 안정적 동작	
	광 송수신기 검출 시험	
	경보 및 성능 감시 기능 확인	
	장비는 안정된 전원을 사용하며 정상적 동작	
	휴대무선단말기 정상적으로 동작	
	LTE-R기지국 기준 무선신호 커버리지 수신 및 송신 성능시험	**LTE-R 기지국 장비의 효율적 활용을 위한 안테나폴과 전원 및 광선로단자함 설치**
	LTE-R기지국 기준 상향링크 주파수대역 성능시험	
	LTE-R기지국 기준 하향링크 주파수대역 성능시험	
	LTE-R기지국 기준 현장성능 시험	
역무용통신설비	장비에 안전한 전원 사용 및 동작상태 확인	기설치 시설 활용 교체시험
	영상설비의 망관리 감시(NMS, TNMS) 기능 확인	
	장비에 안전한 전원 사용 및 동작상태 확인	
	방송설비 성능 감시 기능 확인	
	장비에 안전한 전원을 사용 및 동작상태 확인	
	교환설비 경보 및 성능 감시 기능 확인	
	장비에 안전한 전원을 사용 및 동작상태 확인	
	정보통신설비 망관리감시(NMS, TNMS) 기능 확인	

나. 시험차량

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

(1) HEMU-430

○ 동력집중식 고속열차 KTX나 KTX-산천 차량과는 달리, 큰 점착력이 요구되는 300㎞/h 이상의 고속 주행에 적합한 동력분산식으로 설계되었음



[그림 2.46] 고속열차 해무

· 전기 방식 : 교류 25,000V 60Hz
· 제어 방식 : VVVF-IGBT
· 영업 최고 속도 : 405 km/h
· 설계 최고 속도 : 475 km/h
· 전동기 출력 : 410 kW
· 편성 출력(시제차) : 410 x 20 = 8,200 kW(1만마력)
· 영업차 : 410 x 24 = 9,840(1만1천640마력) kW
· 구동 장치 : 유도전동기, 영구자석 동기전동기
· 제동 방식 : 회생제동 병용 전기지령식 공기제동
· MT비 : 시제차 5M1T, 영업차 6M2T

(2) KTX-산천

○ KTX-산천(KTX-山川) 및 SRT는 시험차량 HSR-350x의 기술을 바탕으로 현대로템에서 제작하고 한국철도공사와 에스알티(SRT)에서 운용하는 고속철도 차량으로 동력 집중식임



[그림 2.47] 고속열차 해무

· 동력 방식　　동력집중식 · 전기 방식　　교류 25,000V 60Hz · 제어 방식　　VVVF-IGBT 1C2M 제어 · 영업 최고 속도　　305 km/h · 설계 최고 속도　　110000호대~130000호대: 330 140000호대: 350 km/h · 전동기 출력　1,100 kW · 편성 출력　　8,800 kW · 견인력　　210 kN · 구동 장치　　농형 3상 유도전동기 · 제동 방식　　회생제동, 발전제동, 마찰제동, 답면제동 · MT비　　2M 8T · 신호보안 장치　　ATS(ATP), TVM430(ATC) [수동운전]

다. 시범노선

○ 열차제어시스템의 완성도를 높이고, 상용화 실적을 확보하기 위해서는 영업노선과 영업열차에 개발시스템을 구축하여 시범운영할 수 있는 시범노선을 확보하는 것이 필요함

○ 시범노선을 운영하기 위해서는 무선통신망(LTE-R)이 구축되어 있어야 함

- 현재 구축된 노선(구간)

  : 경강선 원주~강릉 고속화 구간

  : 호남고속선 익산~정읍구간(KRTCS 2단계 시험노선)

- 2018년 이후 구축계획 노선

  : 경부고속철도 1단계 구간(서울~동대구)

○ 현 단계에서 시범노선으로 고려할 수 있는 노선은 호남고속철도노선이 적절한 것으로 판단되며, 다음과 같은 보완작업이 필요함

- ATP지상장치와의 상호운영성검증을 위해서는 LTE-R을 광주송정역까지 연장설치

  : ATP지상장치 설치구간은 정읍역, 광주송정역~목포역구간임



7절 활용 가능성

1. 활용성 전략

○ ‘한국형 철도신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)’에 따라 신설 및 개량시기가 도래하는 노선에 단계적으로 설치하여 ‘29년까지 모든 신호시스템을 KRTCS_2로 교체함

- KRTCS_2의 차상장치는 기존 신호설비(ATS, ATP)와 상호운영성을 가지므로 ‘18년 이후 신규로 도입되거나 내구연한이 도래한 차상장치부터 개량
- 노선 간 연계운행을 할 수 있도록 국가 철도망 및 국가 철도망과 연계되는 모든 철도노선에 KRTCS_2 지상장치를 적용함
- 실용화 검증결과 및 중장기 구축계획(안)을 토대로 매년 철도공단·공사가 사업시행계획을 수립하고 국토교통부의 승인을 받은 후 추진(‘18~)

○ 본 기획과제의 열차제어시스템의 차상장치가 KRTCS_2를 포함한 기존 신호설비(ATS, ATP)와 상호운영성을 검증한 후, 차상장치부터 적용함

- 상용화를 위한 시범운행을 실시하고, 국토부에서 중장기 구축계획(안)을 조정한 후 철도공단·공사가 사업시행계획을 수립하도록 지시함

2. 기대효과

○ 차상장치 개량비 절감비용

- 시스템 A는 현재 고속철도차량에 탑재된 차상ATC장치이며, 대당 단가가 7억원이며, 총 285량에 1,999억원이 설치되었음
- 시스템 B는 개발될 차세대 열차제어시스템의 차상ATP/ATP이며, 대당 단가가 5%정도 높은 7.35억원이며, 총 285량에 설치할 경우, 99.75억원의 비용상승이 예상됨

(단위 : 백만원)

구분	차량대수	시스템 A*		시스템 B**		절감비용 (A-B)
		대당 단가	구축비(A)	대당 단가	구축비(B)	
고속차량	285	700	199,500	735	209,475	-9,975

* 한국형 신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)

** ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways(TRL, 2010)에서는 현 시스템 대비 5%비용증대가 예상되며, 열차자동운전장치는 포함하지 않음

○ 지상장치 개량비 절감비용

- 시스템 A는 현재 개발중인 KRTCS-2의 지상설비(연동장치 및 주변장치 포함)이며, km당 구축비가 22.25억원이며, 총 645km에 1조4,262억원의 구축비가 소요됨

- 시스템 B는 개발될 차세대 열차제어시스템의 지상ATP(연동장치 및 주변장치 포함)며, km당 구축비가 25%정도 낮은 16.69억원이며, 총 641km에 설치할 경우, 3,563억원의 비용절감이 예상됨

(단위 : 백만원)

구분	노선길이* (단위:Km)	시스템 A**		시스템 B***		절감비용 (A-B)
		km당 단가	구축비(A)	km당 단가	구축비(B)	
고속철도	641	2,225	1,426,225	1,669	1,069,829	356,396

* 경부고속철도, 호남고속철도, 수서-평택구간

** 한국형 신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)의 KRTCS-2(ETCS L2)구축비용 반영

*** ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways(TRL, 2010), ETCS L2비용의 25%비용절감 반영

○ 유비보수비 절감비용

- 시스템 A는 현재 개발중인 KRTCS-2의 지상설비(연동장치 및 주변장치 포함)이며, km당 유지보수비가 13.28억원이며, 총 581km에 104억원이 소요됨

- 시스템 B는 개발될 차세대 열차제어시스템의 지상ATP(연동장치 및 주변장치 포함)며, km당 유지보수비가 50%정도 낮은 8.95억원이며, 총 581km에 적용할 경우, 52억원의 비용절감이 예상됨

(단위 : 백만원)

구분	노선길이* (단위:Km)	시스템 A**		시스템 B***		절감비용 (A-B)
		km당 단가	유지비(A)	km당 단가	유지비(B)	
고속철도	581	17.90	10,400	8.95	5,200	5,200

* 경부고속철도, 호남고속철도('15년 유지보수비를 기준으로 하여 수서-평택구간 제외)

** 한국형 신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)의 KRTCS-2(ETCS L2) 유지보수비용 반영

** CBTC before/after cost effectiveness study(미국 FTA, 2011), 궤도회로방식 대비 철도신호설비 유지관리 시간 및 유지관리비 50%이상 단축

○ 선로수송용량 확대

- 시스템 A는 ETCS L1이고, 시스템 B는 차세대 열차제어시스템이며, 고속전용선에서 58.1%의 선로용량 증가가 예상됨

구분	시스템 A의 선로용량(A)	시스템 B의 선로용량(B)	용량증가율(B-A)
고속철도	100 %(고속선 전용)	158.1 %*(고속선 전용)	58.1

* 'Compendium on ERTMS(UIC, 2009), 고속전용선에서 차세대 열차제어시스템과 유사한 ETCS L3와 ETCS L1간의 선로용량 비교결과 적용

○ 차상장치 및 지상장치 중장기 구축계획

– 차상장치 개량계획(철도공사)

구분		합계	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
합계	**대수**	**1,648**	**149**	**177**	**313**	**293**	**204**	**106**	**92**	**131**	**135**	**48**
	예산(억원)	**8,240**	**745**	**885**	**1,565**	**1,465**	**1,020**	**530**	**460**	**655**	**675**	**240**
고속 차량	대수	285	6	7	24	14		46	46	46	48	48
	예산(억원)	1,425	30	35	120	70	0	230	230	230	240	240
전기 기관차	대수	1,089	143	170	189	179	130	60	46	85	87	
	예산(억원)	5,445	715	850	945	895	650	300	230	425	435	0
디젤 기관차	대수	274			100	100	74					
	예산(억원)	1,370	0	0	500	500	370	0	0	0	0	0

– 지상장치 개량계획(철도시설공단)

유형	노선	총연장 (km)	구간		개통예정	사업비 (억원)	비고 (단계/개통)
			시작	종료			
개량 노선	경부선	441.7	서울	부산	2021	663	2011
	경부2단계	130.7	동대구	부산	2024	2,908	2010
	호남고속선	182.4	오송	광주송정	2026	4,058	2015
	수서고속선	61.1	수서	지제연결	2028	1,359	2016
	호남2단계	66.8	광주송정	목포		100	2010
	경부1단계	267.5	금천구청	동대구	2029	5,950	2019

* 노선 신설·개량 일정 등에 따라 변동 가능

8절 연구성과 실용화를 위한 관련 법령 검토 결과

1. 철도안전법

○ 본 기획과제의 연구성과물인 열차제어시스템을 고속철도(및 일반철도)에 적용하기 위해서는 철도안전법에서 규정한 철도차량 형식승인과 철도용품 형식승인을 준수하여야 함

○ 철도용품의 형식승인은 철도용품기술기준에서 지정한 용품에 대해서 적용되며, 철도신호용품중 전자연동장치, 자동폐색제어장치, AF궤도회로장치가 해당되며, 본 기획과제에서 개발하는 ATP는 철도용품의 형식승인 대상이 아님

분류		주요 분야
시설 (지상설치) 용품	용품/궤도	보통레일, 접착절연레일, PSC침목
	용품/신호통신	전자연동장치, 자동폐색제어장치, AF궤도회로장치
	용품/전력	-
	용품/전차선	전차선
공통적용기술 (전자제어장치, 시운전)	전자파환경	
	소음	
	진동/충격	
	온도환경	
	공력특성	
제작자 승인	품질관리체계	차량 및 차량용품, 궤도용품, 신호통신용품, 전력용품, 전차선용품

[그림 2.48] 철도용품 형식승인 기술분류

○ 고속철도차량의 형식승인은 고속철도차량에 철도차량기술기준을 적용하여 진행되며, 고속철도차량에 설치된 신호장치는 형식승인대상에 해당됨

- 철도차량기술기준의 주요내용은 다음과 같음
  : 안전 · 운행성능 · 인터페이스 · 운영 및 유지관리 · 운용한계
  : 주요장치별 설계 및 구조 요구사항
  : 부품 · 구성품 · 완성차 · 시운전에 대한 시험규격 등

분류		주요 분야
차량 시스템	차량/안전	차량한계, 주행안전, 충돌안전, 화재안전, 전기안전, 위험도분석, 소프트웨어
	차량/성능	운행조건, 운행성능
	차량/인터페이스	차량-전력, 차량-신호, 차량-통신, 차량-궤도, 차량-기관사
	차량/운영 유지관리	유지보수기준, 유지보수성, 유지보수자료
	차량/운용한계	안전운행, 신뢰성 및 가용성, 보건, 소음, 구원운전, 공기역학적특성
차량주요장치	차량/차체·설비	구조체설계, 구조체안전, 실내기압변화, 리프팅, 장애물제거기, 부식억제, 출입문, 승무원출입문, 출입문-스크린도어, 차량간 통로문, 냉난방 환기장치, 등구류, 의자 및 선반, 전면 유리창, 측면 유리창 및 기타, 운전실 및 비상탈출구, 승객용 비상출구, 경적, 열차비상용품, 고압가스운송차량특수장치
	차량/주행장치	주행장치설계, 주행장치틀, 윤축및차륜특성, 축상조립장치, 현가장치, 차체지지장치, 구동장치
	차량/제동장치	제동장치설계, 제동요구사항, 비상제동, 상용제동, 주차제동, 기초제동, 압축공기공급장치, 활주방지, 구원운전시제동, 제동상태표시
	차량/추진장치	설계요구사항, 인버터/컨버터, 견인전동기, 내연기관구조, 내연기관장치, 보호기능, 집전장치, 비상운전, 피뢰기, 주퓨즈, 차단기, 필터리액터
	차량/보조전원장치	보조전원장치설계, 보호기능, 연장급전, 유도장애의억제, 보조전원용인버터, 축전지
	차량/신호	시스템일반, 자동열차정지장치, 자동열차방호장치, 자동열차제어장치, 자동열차운전장치
	차량/종합제어	종합제어장치설계, 운전상태확인장치, 열차운행기능, 출입문제어, 무인운전
	차량/연결장치	연결기, 통로연결장치
공통적용기술 (전자제어장치, 시운전)	전자파환경	
	소음	
	진동/충격	
	온도환경	
	공력특성	
제작자 승인	품질관리체계	차량 및 차량용품, 궤도용품, 신호통신용품, 전력용품, 전차선용품

[그림 2.49] 철도차량 형식승인 기술분류

○ 철도운영자 및 철도시설관리자는 철도안전법에 의하여 철도안전관리체계 기술기준을 마

련하여야 하며, 이 기준은 철도안전관리시스템, 열차운행체계, 유지관리체계로 구성됨

- 유지관리체계는 철도차량 및 철도시설의 안전을 확보하기 위해 철도차량 노반 궤도 건축 전철전력 신호 통신 분야의 점검 보수 **교체 및 개량** 등 유지관리에 대한 유기적인 체계를 말함

- 노후신호설비를 개량할 경우, 운영기관이 마련하고 있는 철도안전관리체계에 따라 진행되어야 하며, 다음 사항을 만족하여야 함

  · 철도차량 및 철도시설의 기술기준

  · 철도차량 형식승인 및 제작자승인

  · 철도차량 완성검사

  · 철도용품 형식승인 및 제작자승인

  · 종합시험운행

○ 또한 철도시설기술기준규정하고 있는 기술기준을 준수하여야 하며, 한국철도표준규격(KRS)에 대해서는 적용규격이 없음

2. 철도산업발전기본법

○ 철도산업발전기본법 제5조(철도산업발전기본계획의 수립)

- 국토교통부장관은 철도산업의 육성과 발전을 촉진하기 위하여 5년 단위로 철도산업발전기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)을 수립하여 시행하여야 하며, 본 기본계획에는 '철도기술의 개발 및 활용에 관한 사항' 을 포함하여야 함

- 관계행정기관의 장은 수립·고시된 기본계획에 따라 연도별 시행계획을 수립·추진하고, 당해 연도의 계획 및 전년도의 추진실적을 국토교통부장관에게 제출하여야 함

○ 철도산업발전기본법시행령 제11조(철도산업구조개혁기획단의 구성 등)

- 철도산업의 구조개혁 그 밖에 철도정책과 관련되는 업무를 지원·수행하기 위하여 국토교통부장관소속하에 철도산업구조개혁기획단을 두며, '철도산업구조개혁추진에 따른 전기·신호·차량 등에 관한 철도기술개발정책의 수립' 을 지원함

3. 철도건설법

○ 철도건설법 제5조(철도망계획의내용)

- 철도망계획에는 철도의 중장기 건설계획, 다른 교통수단과 연계한 교통체계의 구축, 소요재원의 조달방안 및 환경친화적인 철도의 건설방안을 포함함

- 그 밖에 국토교통부장관이 체계적인 철도건설사업을 위하여 필요하다고 인정하는 사항을 포함할 수 있음

4. 실용화를 위한 제도 개선

○ 철도안전법은 철도용품과 철도차량에 대하여 형식승인을 규정하고 있으며, 철도에 설치되는 차상신호장치는 철도용품에 포함되지 않고 있음

- 철도신호전문업체가 시스템을 개발·공급할 수 있도록 본 철도용품 형식승인 대상에 개발시스템을 반영하는 방안

  · 유럽의 경우, 상호운영을 지원하는 기술기준(TSI)에 적용해야할 시스템개발규격을 명시하고 있으며,

  · 위와 같이 시스템개발성과물(규격서, 프로토콜, 시험절차서 등)을 KRS로 우선 제정하고, 철도용품기술기준에 관련 KRS를 명시하여 철도건설·운영자가 개발품을 적용할 수 있는 근거를 마련함

- 또한 철도차량과 철도신호설비의 분리발주를 유도하여 철도신호전문업체가 시스템을 공급할 수 있는 여건 마련

○ 철도산업발전기본법은 철도산업발전기본계획을 수립하여야 하며, 철도건설사업을 체계적으로 구축해야 할 경우 필요한 사항을 기본계획에 반영할 수 있음

- 일반·고속철도의 수송용량향상, 안전성 향상, 운영비용 절감을 위해서 철도신호시스템을 체계적으로 구축하는 정책을 마련하여 발주처에서 해당 성과물을 발주할 수 있도록 함

○ 철도건설법에 의하여 국가철도망건설계획을 수립하여야 하며, 본 계획에는 철도기술의 개발과 활용에 관한 사항을 포함하도록 하고 있음

- 본 기본계획을 수립시 철도R&D과제의 성과물, 시범구축·운영 등을 포함하여 발주처에서 해당 성과물을 발주할 수 있도록 지원함

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

1. 비전 및 목표 수립

○ 무궤도회로 기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 통한 국내 철도산업의 대외 경쟁력 강화 및 세계 시장 선도

- 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 개발(2010.12~2014.6), 일반·고속철도용 열차제어시스템 개발(2014.12~2017.6)을 통하여 '열차 신호시스템 표준화방안 통보(국토부, 2010.11)'의 KRTCS 구축 단계별 추진전략을 완료하였음

- 유럽의 철도산업혁신전략 등 외부환경의 변화에 선제적으로 대응하기 위해서는 고속철도의 자동운전을 포함한 차세대 열차제어시스템을 개발하기 위한 연구개발사업의 지속적인 추진이 요구됨

○ 이를 위하여 수송능력(효율성), 경제성, 서비스, 안전성을 열차제어시스템의 핵심 성능 지표로 설정

- 보다 빠르고 보다 높은 밀도로 승객을 수송하고, 위험요인을 사전에 감지하여 사고를 예방할 수 있도록 무궤도회로 기반의 열차제어기술을 개발하여 효율성과 안전성을 확보

- 해외시장 선점과 국내 기존 신호설비와의 연계를 위해 기존 시스템과의 상호운영성 확보

- 무선통신망 및 제어장치에 심각한 장애가 발생하여도 최소한의 열차운행을 보장하는 장애대응기술 적용

○ 성능지표를 달성하기 위한 시스템 목표는 고속화, 지능화, 고밀도운행, 상호운영성, 지상설비 축소로 설정

비전	**차세대 열차제어시스템 개발을 통한 국내 철도산업 경쟁력 강화 및 세계시장 선도**
성능지표	○ 수송능력, 경제성, 서비스, 안전성 향상
목표	○ 열차제어시스템의 고속화, 지능화, 고밀도 운행, 상호운영성 향상, 지상설비 축소 추진

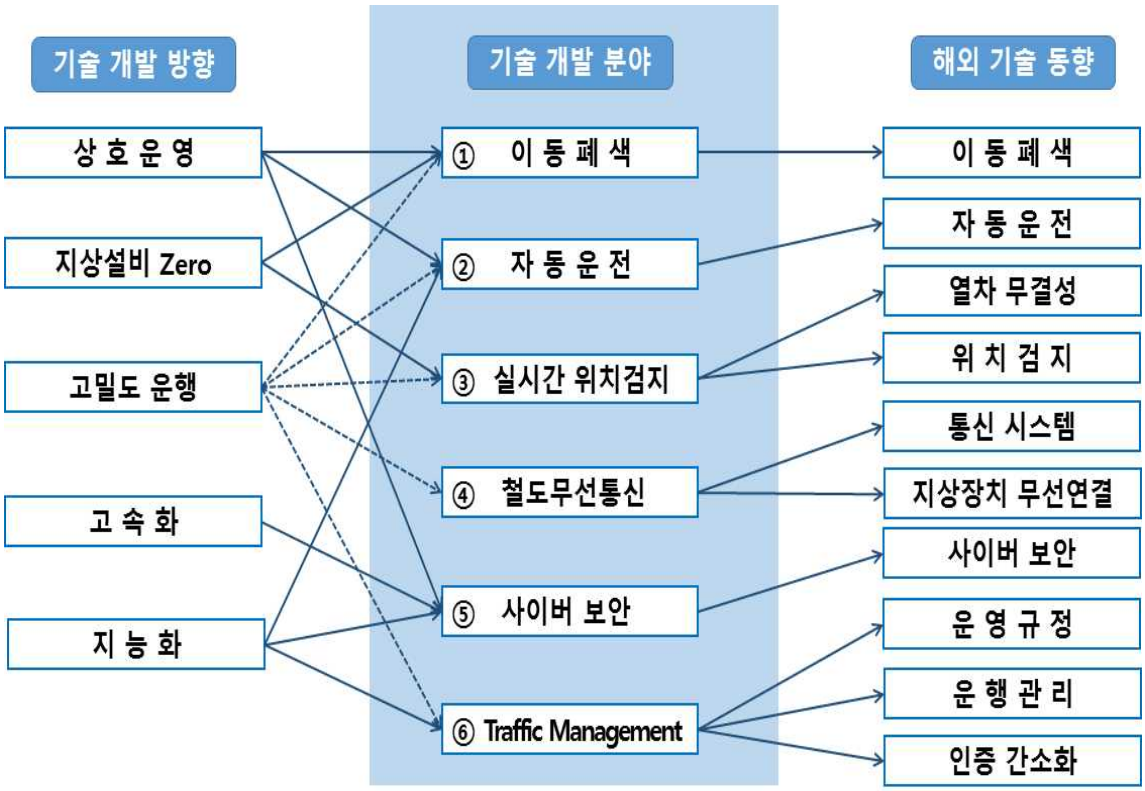
2. 연구개발목표

○ 차세대 열차제어시스템(무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템) 개발목표는 철도의 수송능력, 경제성, 서비스, 안전성 향상을 달성하는데 필요한 고속화, 지능화, 고밀도 운행화, 상호운영성 향상, 지상설비 최소화를 지원하는 것임

- 또한 무선통신망 및 제어시스템의 심각한 장애 발생시 열차운행을 최소한으로 보장하는 장애대응도 지원함

○ 이를 위해서 개발이 요구되는 기술개발분야는 다음과 같이 6개로 구성됨

- 이동폐색
- 자동운전(IEC 62290-1d의 GoA)
- 실시간 위치검지(레일 및 열차 무결성 포함)
- 철도무선통신
- 사이버보안
- 열차운행관리



[그림 3.1] 열차제어시스템 개발방향 및 기술개발 분야

○ 이상의 기술개발분야와 기술수요조사결과를 포함하는 연구개발과제 10개를 선정하였음

[표 3.1] 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 기술수요조사표

번호	연구과제명	비고
1	**열차운행 실시간 제어관리기술** - 열차운행 실시간 제어관리기술	
2	**열차위치검지기술** - 열차무결성기술(Train Integrity) - 레일절손검지기술(Rail Integrity) - 지상자를 사용하는 열차위치검지기술	
3	열차안전간격제어기술 - **이동폐색제어기술** - 열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h)	
4	열차진로제어기술 - 지상제어장치와의 열차위치정보 인터페이스 기술(연동기술)	
5	**자동열차운전기술** - 자동열차운전기술 - 열차자동운전을 위한 고속열차 개조기술	
6	도시철도를 포함한 기존 신호설비와와 연계기술(상호운영성기술) - 상호운영성기술	
7	통신망 고신뢰성 및 저비용기술 **- 무선통신망의 신뢰성을 높이는 기술** **- 사이버보안기술(유무선네트워크보안기술)** - 철도에너지 효율 향상을 위한 열차운행계획 관리기술	
8	시험평가기술 - 계측 및 분석 시스템 기술 - 시험인프라 구축 기술	
9	안전성인증기술	
10	실용화 지원기술 - 실용화를 위한 법체계 지원 - 사용자에 대한 교육 및 훈련 시스템	

2절 기술개발에 따른 미래상

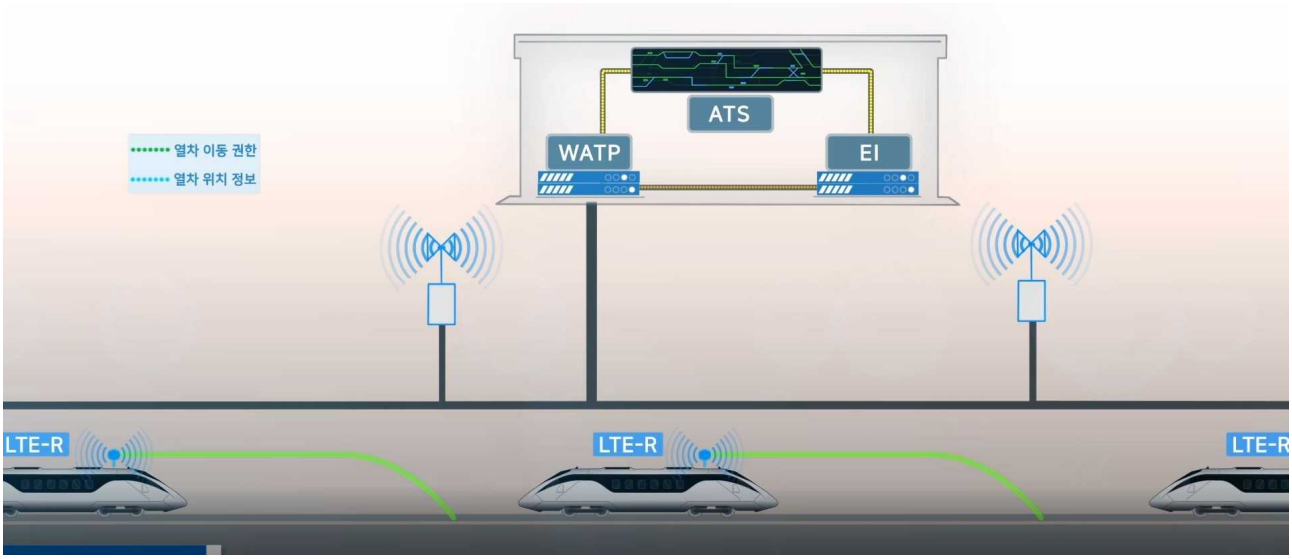
1. 시스템개발에 따른 미래상

○ 차세대 고속철도용 열차제어시스템을 개발하여 철도의 수송능력(효율성), 경제성, 서비스 및 안전성을 향상하여 국내 철도산업의 대외 경쟁력 강화 및 세계 시장 선도

- 무선통신(무궤도회로) 방식을 적용하여 고속으로 주행하는 열차위치를 정밀하게 검지함으로써 효율적이고 경제적인 열차 운행 제어 수행 가능

- 현재 수동운전중인 고속철도차량에 자동운전기능을 지원하여 열차운전의 안전성을 높이고, 운영비용도 절감함. 인적오류를 배제하여 최대한 열차를 근접시킬 수 있는 효율성 및 배차간격 단축을 통한 서비스 향상도 이룰 수 있음

○ 기존 시스템(도시철도용 KRTCS, 일반·고속철도용 KRTCS, 현재 일반선에서 운용하고 있는 ATP)과의 상호운영성을 유지함으로써 탄력적이고 통합적인 열차운영을 통한 서비스 향상에 기여하고 궁극적으로는 구축 및 유지보수 비용 절감 가능. 또한 국제 규격에 바탕을 두고 개발함으로써 기술 표준화를 선도하고 세계 시장에 진출할 수 있는 기반 마련



[그림 3.2] 무선통신 방식의 고속열차제어시스템의 미래상

2. 핵심기술개발에 따른 미래상

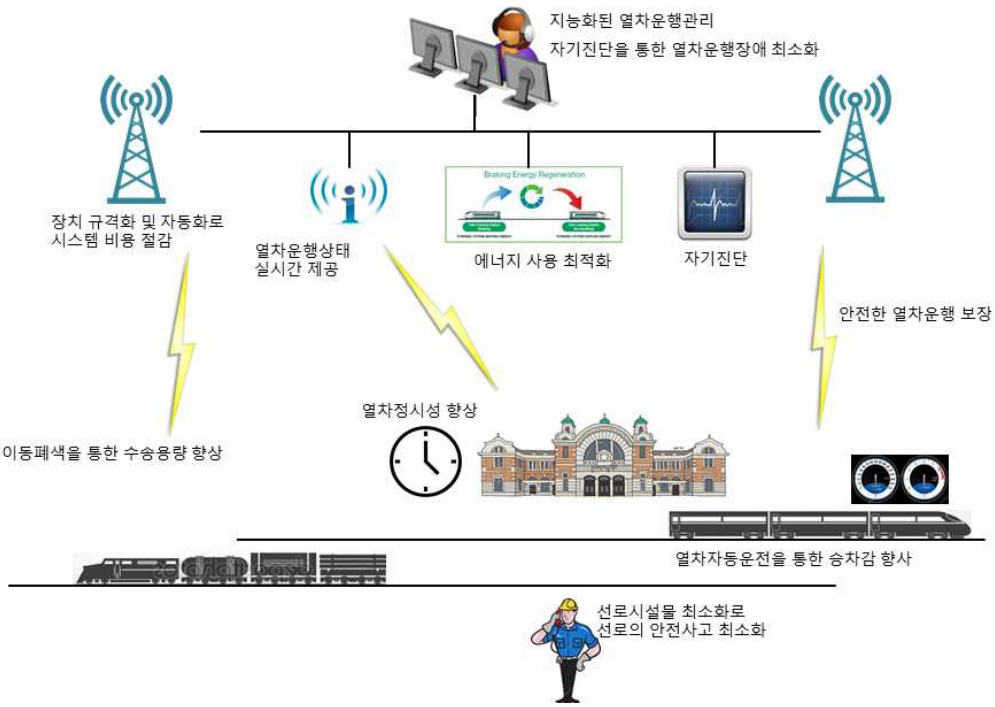
○ 지상 설비 중 궤도회로를 사용하지 않게 되어 철도시스템 건설비용과 유지보수 비용을 절감할 수 있음. 또한 기존 재래식 열차제어시스템을 신규 시스템으로 개량하는 경우 기존 궤도회로 시스템과의 혼용운행이 가능하여 개량 프로세스 적용이 용이함. 따라서 신규

열차 시스템 구축뿐만 아니라 기존 시스템의 개량에도 진출할 수 있는 경쟁력 확보

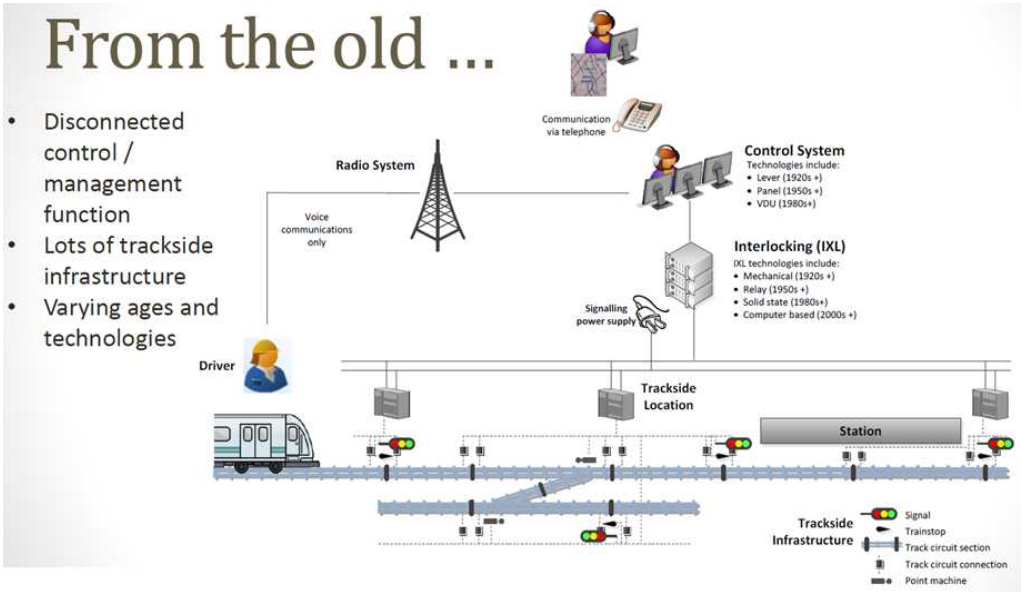
○ 열차의 운행을 자동적으로 수행함으로써 운영비용을 절감하고 인적오류를 방지하여 안전성을 향상시킴. 열차의 근접 배치가 가능해지고 운행 상황에 따른 자동 배치를 통해 서비스와 효율성을 향상함

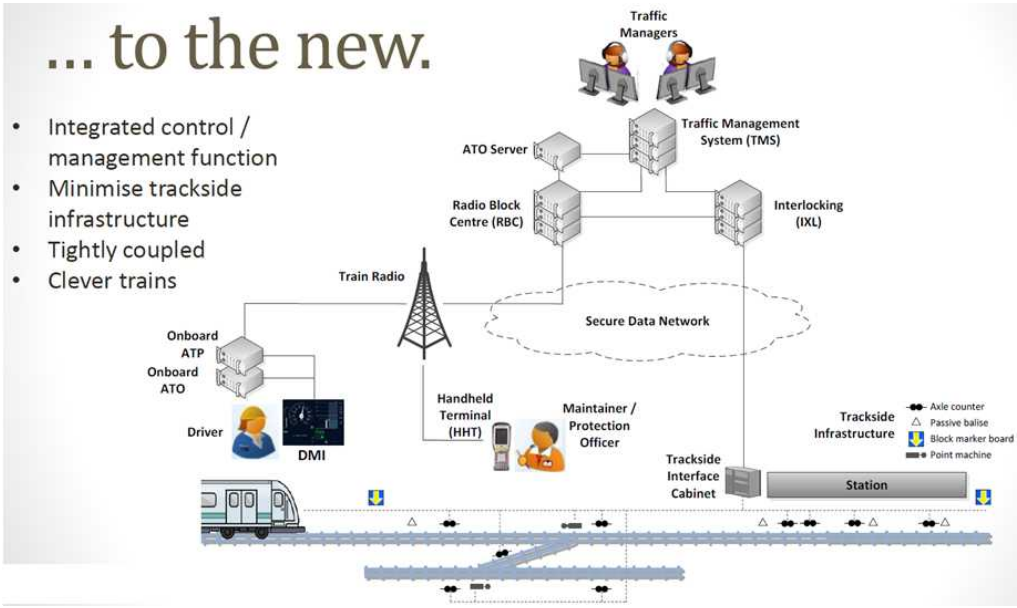
○ 무선통신, IoT기반의 센서, 위성위치정보시스템 등을 통해 궤도 회로 없이 열차의 위치와 속도를 실시간으로 정확하게 검지 가능. 이를 바탕으로 효율적인 열차 간격 설정 및 이를 위한 제어 명령 전송 가능. 각종 센서로부터 수집되는 데이터 처리를 통해 철도분야에서의 빅데이터 활용 기술을 확보하며 궤도회로 없이도 안전성이 확보된 열차위치검지 기술 확보

○ 고속으로 이동하는 열차의 차상시스템에서 열차의 위치정보가 실시간으로 지상시스템으로 전송되도록 하며 열차의 이동권한이 차상시스템으로 실시간으로 전송되도록 기존 통신기술(LTE-R)을 철도환경에 맞도록 최적화하여 적용함. 이를 위해 필요 시 상향(uplink) 접속 신뢰성 향상 기술, 다중 안테나 구현 기술, 고속 핸드오버 기술, 상용 통신망 활용을 통한 통신망 이중화 기술을 개발함. 열차제어를 위한 무선통신의 성능지표에 대한 기준을 수립하여 향후 차세대 통신 표준 적용 시 활용할 수 있도록 하며 고속 이동체에서의 통신 기술에 대한 실증을 통하여 통신 표준화 활동에도 기여함



[표 3.2] 무궤도회로 방식의 고속열차제어시스템개발에 따른 철도 기술 및 운영환경 변화

현황 (As-Is)	1) 수송력(Capacity) 측면 ○ 궤도회로 기반의 이산형 열차위치 정보를 바탕으로 제어를 수행하므로 위치정보 해상도(resoluiton)의 한계로 인하여 선행열차와 후행열차 간 최소간격에 한계발생 2) 비용(Cost) 측면 ○ 철도시스템 구축 시 궤도회로 구축에 의한 비용발생 ○ 열차최소간격의 한계에 의한 제어용량의 한계로 열차 투입 요구량이 한계를 초과하면 지상시스템의 증설이 불가피 함 ○ 궤도회로를 유지하고 보수하기 위한 비용발생 3) 서비스(Service) 측면 ○ 열차 간격한계로 인해 노선에 열차의 최대 투입량이 정해져 있으며 승객 수요가 열차 투입 요구량을 초과하는 경우에도 최대 투입량 이상의 투입이 불가능하여 고객 만족 달성이 불가능함 ○ 일반·고속철도의 경우 수동운전을 수행하고 있으며 인적오류 발생 혹은 파업과 같은 기관사 부족 시 사업자와 승객의 불편을 야기할 수 있음 4) 안전성(Safety) 측면 ○ 궤도회로 자체는 안전성이 확보된 기술이나 기존 열차제어시스템을 궤도회로 기반의 신규 열차제어시스템으로 개량할 경우 상호 간섭 등으로 의하여 안전사고 등이 발생할 가능성이 있음(예: 서울2호선 상왕십리역 추돌사고) 

미래상 (To-Be)	1) 수송력(Capacity) 측면 ○ 무궤도회로 방식의 정밀한 열차위치정보를 기반으로 고정밀 열차제어를 통한 고밀도 열차운행 가능 **“열차 수송능력 30% 향상”** 2) 비용(Cost) 측면 ○ 궤도회로를 제거함으로써 신규 노선 구축 및 기존 노선에서의 유지보수 비용을 절감함 ○ 자동운전을 통한 운영 비용 절감 ○ 상호운영을 통한 노선간 연계운행이 가능하여 승객수요변화에 열차를 효율적으로 활용할 수 있어 운영비용 절감에 기여 **“설치 및 유지보수, 운영 비용 20% 절감”** 3) 서비스(Service) 측면 ○ 고밀도 열차운행을 통하여 승객 수요가 증가하는 경우에도 열차 투입을 통한 고객 만족 달성 ○ 자동운전을 통한 일관적인 운행으로 고객 서비스 향상. 이례 사항 발생 시 종합적이고 즉각적인 대처 가능 ○ 상호운영을 통한 노선간 연계운행이 가능하고, 승객 수요변화에 열차운행을 탄력적으로 대응할 수 있어 고객 만족 달성 **“높은 수요대처 및 일관적인 운행으로 서비스 향상”** 4) 안전성(Safety) 측면 ○ 궤도회로를 제거할 경우에도 관련 기술 개발을 통하여 안전성이 확도된 열차위치검지 및 운행 가능 ○ 열차제어시스템 개량 시 안전성이 확보된 개량프로세스 적용 가능 **“열차 운영 및 개량 추진 시 안전성 확보”** 

■ 궤도회로를 사용하지 않는 ETCS L3 구축시 기대효과 분석 예

○ 유럽의 TOSCA 프로젝트의 연구보고서(2008)

- Corridor line(고속선) 6개 노선에 적용할 경우의 기대효과 분석
  - · 선로용량은 15 ~ 60%까지 향상되는 것으로 분석(UIC code 406 적용)
  - · 차상장치설치비용은 10만 ~ 30만유로, 지상장치구축비용은 km당 3만~30만유로
- 분석결과(6개 노선에 대한 평균치)
  - · 상용화 목표 : 2030년대
  - · 선로용량 : 35% 향상
  - · 유지관리비용 : 25% 절감
  - · 지상설비 구축비용 : 10만유로 / km

○ 영국의 ERTMS Level 3 Risks and benefits to UK railway(2010)

- 영국의 5개 노선을 대상으로 선로용량과 비용을 분석하였음
  - · 밀도가 높은 노선 : Lea Valley Main Line, South West Main Line
  - · 고속을 주행하고 밀도가 높은 노선 : West Coast Main Line
  - · 한산선구(고속화물차운영) : Ely-Peterborough Line
  - · 한산선구 : Cumbian Coast Line
- 분석결과(UIC code 406적용)
  - · 선로용량 : 30% 향상(기존 궤도회로 조정이 없는 조건)
    - * 분기구간에 열차검지장치(궤도회로, 액슬카운터 등)를 설치시 선로용량 향상
  - · 개량비용 : ETCS L2를 개량시 25%이상 절감(신호기방식 개량 시 50%이상 절감)
    - * 분석툴(PRIME)의 입력변수

PRIME 변수	Better	Norminal	Worse
Train Integrity(seconds)	0	2	10
EOA to supervised location(m)	10	100	183
Odometry error(%)	1	5	20
Balise spacing(m)	10	500	5000
Position report time(seconds)	1	5	10
MA update cycle time(seconds)	1	5	10

3절 연구개발 과제구성

1. 열차제어시스템 개발요구사항

가. 개요

○ 본 기획과제는 도시철도용 KRTCS, 일반·고속철도용 KRTCS 이후 철도선진국과 경쟁할 수 있는 차세대 열차제어시스템을 개발하는 것을 목표로 함

○ 열차제어시스템의 제어대상(차량)

- 일반철도 및 고속철도에만 적용
- 일반철도, 고속철도 및 도시철도에 모두 적용

○ 열차제어시스템의 특징

- 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신기술과 이동폐색기술을 적용하여 고속철도차량의 이동을 제어하여야 함

  *** 지상은 열차위치와 열차간 안전간격을 결정할 때 궤도회로 등과 같은 열차검지장치를 사용하지 않으며, 열차가 보내온 열차위치정보만 사용함**

- 고속철도와 일반철도에도 열차자동운전(ATO, GoA 2이상)을 지원하여야 함

  · GoA 2는 반드시 지원하여야 하고, GoA 3&4는 시스템개발규격서 작성 시 확정함

- 열차제어시스템은 지상과 차상에서 vital 기능과 non vital 기능을 처리할 수 있어야 함

  · 지상장치와 차상장치는 무선통신으로 연결됨(의무사항)

  · 필요시 차상장치와 차상장치가 무선으로 직접 연결됨(선택사항)

- 기존 열차제어시스템보다 높은 안전성을 보장하여야 함

  · 궤도회로의 기능(열차분리사고 및 궤도절손사고 검지)을 대체할 수 있는 장치와 연계하여야 함

- 기존 열차제어시스템과의 상호운영성을 지원하여야 함

  · 일반철도용 신호시스템 ATP(ETCS L1)의 지상설비와 상호운영

  : 고속철도차량(또는 일반철도차량)에 설치된 차세대 열차제어시스템의 차상장치는 일반철도노선에 기 설치된 ATP의 지상설비(가변발리스 및 고정발리스)에서 전송된 정보를 토대로 열차의 이동을 제어하여야 함

· 개발 중인 일반 · 고속철도용 KRTCS의 지상설비와 상호운영

: 고속철도차량(또는 일반철도차량)에 설치된 차세대 열차제어시스템의 차상장치는 일반철도노선에 구축 예정인 ATP의 지상설비가 LTE-R을 통해서 전송한 정보를 토대로 열차의 이동을 제어하여야 함

· 또한 개발 완료된 도시철도용 KRTCS의 지상신호설비와 상호운영**(공간통합)**

: 고속철도차량(또는 일반철도차량)에 설치된 차세대 열차제어시스템의 차상장치는 도시철도용 KRTCS의 지상설비가 LTE-R을 통해서 전송한 정보를 토대로 열차의 이동을 제어하여야 함

· 고속철도차량(또는 일반철도차량)에 설치된 차세대 열차제어시스템의 차상장치와 기존 열차제어시스템의 지상설비와의 상호운영성은 소프트웨어적으로 구현되어야 하며, 별도의 독립적인 차상장치를 설치하지 않음

○ 열차제어시스템 종류

열차제어시스템은 사용자의 요구조건에 맞추어 1가지 이상의 시스템구성을 지원할 수 있어야 한다.

– 철도운영요원의 참여를 최소화하고 열차운행스케쥴에 따라 열차가 자동으로 이동하기 위해서 ATP, ATO, ATS 및 EI로 구성되는 경우

*** ETCS는 자동열차운전기능, 열차진로제어기능과 열차관제기능을 지원하지 않음**

· 열차제어시스템이 지원하는 열차진로제어기능의 특징은 다음과 같음

: 열차진로제어는 고정폐색을 적용한 연동로직을 적용함

: 열차진로제어는 열차에서 전송한 열차위치정보를 이용함

: 열차진로제어는 분기구간에 궤도회로, 액슬카운터 등 열차검지장치가 설치된 경우, 검지장치의 열차점유정보를 활용함(선택사항)

: 열차진로제어는 현재 사용중인 기존 전자연동장치와 연계함

· 열차제어시스템이 지원하는 열차관제기능의 특징은 다음과 같음

: 열차관제는 열차에서 전송한 열차위치정보(이동폐색)을 적용하여 열차이동을 관리함

: 열차관제는 열차자동운전(자동출발 등)을 지원함

: 열차관제는 열차원격관리(awake/sleep, 비상제동 등)를 지원함(선택사항)

: 열차관제는 현재 사용중인 기존 관제설비와 연계함

– 열차의 자동운전을 지원하기 위해서 ATP장치와 ATO장치로만 구성되는 경우

· 자동운전수준을 높이는 경우 CTC장치를 추가할 필요성이 있음

○ 열차제어시스템의 인터페이스

- 열차제어시스템은 표준 이더넷을 적용하여 장치와 장치를 연결하며, 타 설비와의 연결도 이더넷을 적용함
- 열차제어시스템의 지상설비와 차상장치의 연결은 무선통신망(LTE-R)을 적용함
- 열차제어시스템에만 연결되는 센서류, 검지장치는 고유의 연결방식을 적용할 수 있음

나. 열차제어시스템 요구사항

(1) 기존 열차제어시스템의 특징

○ 일반철도 및 고속철도는 도시철도와 다른 열차운행특성을 갖고 있으며, 열차제어시스템도 일반·고속철도용 시스템과 도시철도용 시스템으로 구분되어있음

- 도시철도의 특징은 열차운영이 매우 단순하고, 매우 많은 여객수요를 효율적으로 처리하고, 자동화수준이 매우 높으며, 시스템 단위로 개량함
- 일반·고속철도의 특징은 복수의 사업자가 철도운영에 참여하는 복잡한 구조이고, 자동운전을 적용하는 것이 어려우며, 열차운행 패턴이 비효율적이고, 부분적으로 설비를 개량함

	도시철도	일반·고속철도
승객 서비스	· 열차형식 단일 · 영업패턴의 조정이 거의 없음 · 단일 사업자가 운영	· 열차종류가 다양 · 진로종류, 주행패턴이 매우 다양함
주행거리	· 정차역간 거리가 짧음	· 정차역간 거리가 매우 김
열차편성	· 단일편성 · 열차의 가감속도가 높음 · 승객의 승하차 시간이 짧음 · 승객수송밀도(최대200%)를 높일 수 있도록 차량내부 설계	· 혼합편성 · 열차의 가감속도가 낮음 · 열차좌석을 최대로 확보할 수 있도록 출입문배치 및 차량내부를 설계함 -승객의 승하차에 많은 시간 소요
운영	· 출발조건을 만족하면 바로 출발 - 주행횟수를 최대화	· 열차운행시각표에 맞추어 열차운행
수송용량	· 매우 높음	· 구간 또는 지역에 따라 수송용량에 많은 차이를 갖고 있음
선로	· 분기구간을 없애거나 최소화 · 역에서 선로를 분기함	· 많은 지선을 갖고 있음 · 역(승강장)에서 선로를 분기하지 않음
승강장	· 승객의 승하차시간을 관리 - 초단위로 관리	· 분단위로 승강장을 관리

(2) 열차제어시스템에 대한 요구사항 및 개발

○ 도시철도에 무선통신기술을 적용하고, 일반·고속철도가 도심지를 관통하면서 새로운 열차제어시스템 요구사항이 생성되고 있음

○ 유럽은 도시, 일반 및 고속철도에서 공통으로 사용할 수 있는 열차제어시스템 개발을 추진하고 있으며(NGTC, Shift2Rail), 자동열차운전을 지원함

- NGTC는 시스템 요구사항을 도시철도용 요구사항, 일반·도시철도 요구사항 및 공통요구사항으로 구분함

○ 새로운 열차제어시스템개발을 통해서 선로용량 증대, 운영신뢰성 향상 및 LCC절감을 기대하고 있으며, 열차제어시스템에 요구되는 기술은 다음과 같음

[표 3.3] 열차제어시스템 개발 방향 및 개발기술

방향	성과(목표)	개발기술
선로용량 증대	열차운행편수 증대	-절대제동거리를 적용한 이동폐색기술 -자동열차운전기술
운영신뢰성 향상	신뢰성 높은 기술(장치) 적용	-정형기법적용 -새로운 시험절차/설비
	시스템 단순화 장애발생시 열차운행 유지 (가용도)	-시스템제작에 표준기술 및 신기술 적용 :단순한 물리적 구조 :성능저하상태에서 열차운행을 최소한 유지
LCC 절감	시스템 구축비용 절감	-모든 열차에 적용할 수 있는 공동플랫폼 확보
	시스템 유지비용 절감	-선로에 설치되는 구성품을 최소화 -주요 핵심 장치에 자동진단기능을 적용하여 유지보수작업을 최소화(최적화)
	에너지효율 향상	-열차자동운전기술 -열차운행관리 고도화 기술

다. 열차제어시스템의 개발방향 및 소요기술

(1) 열차제어시스템의 개발방향

국내·외 철도기술개발동향 및 철도운영의 변화를 고려하여 열차제어시스템의 개발방향을 다음과 같이 정의하였다.

- 열차제어시스템을 고속철도, 일반철도 및 도시철도에 모두 적용할 수 있도록 함

· 시설과 차량측면에서 도시철도와 일반·고속철도를 분리할 수 있으나, 도시가 확대되면서 철도를 구분하는 것이 모호해짐

· 특히 무선통신기술을 적용하고, 지상설비가 감소하고, 소프트웨어적으로 구현되면서 열차제어시스템은 단일화될 것으로 예상

- 열차제어시스템은 이동폐색기술을 고속철도 및 일반철도차량에 적용하여 열차이동을 제어하여야 함

· 짧은 주기로 전송되는 열차의 현재위치정보와 선행열차의 현재속도(0속도로 설정)를 이용하여 열차의 이동을 제어함(이동권한 설정)

- 열차제어시스템은 고속철도 및 일반철의 자동운전 또는 무인운전을 지원하여야 함

· (광역)도시구간을 운행하는 일반·고속철도는 자동운전을 지원하여 열차운행횟수(수송용량)을 높여야 함

· 일반·고속철도는 관제요원(사령, 역무)의 참여를 최소화할 수 있도록 무인운전을 지원할 필요가 있음

: 열차제어시스템은 무인운전을 지원하기 위해서 고정폐색방식의 전자연동장치를 적용함

: 열차제어시스템은 무인운전을 지원하기 위해서 관제설비에 열차자동출발, 열차원격제어 등의 기능을 적용함

- 열차제어시스템은 노선간 상호운영성을 지원하여야 함

· 철도운영효율을 높이기 위해서는 철도망을 연계하는 것이 필요하며, 이를 위해서는 노선간 상호운영성을 확보하여야 함

*** 고속철도노선과 일반철도노선간의 상호운영성, 일반철도노선과 (광역)도시철도노선간의 상호운영성도 지원하여야 함**

· 열차제어시스템 차상장치가 기존 시스템의 지상설비와 연계할 수 있도록 함

: 차상장치(ATP/ATO)에 기존 지상신호설비와 연계할 수 있는 소프트웨어 모듈을 설치하며, 지상에 설치된 예고발리스 검지에 맞추어 ATP(ETCS L1)용 S/W, KRTCS-2용 S/W 및 KRTCS-1용 S/W중 1개를 선정하여 활성화 하도록 함

- 열차제어시스템은 열차제어기술주기가 짧아지고 사용자의 요구사항이 다양해지는 것에 유연성 있게 대응할 수 있어야 함

· 열차제어시스템을 개량할 때 하드웨어의 변경을 최소화하고, 사용자의 요구사항에 맞는

소프트웨어(모듈 또는 기능)를 추가하여 시스템을 구성함

*** SIL4인증을 받은 KRTCS용 하드웨어에 대한 설계 기술을 최대한 활용함**

- 열차제어시스템은 기존 고속철도용 열차제어시스템 및 일반철도용 열차제어시스템보다 높은 안전성을 보장하여야 함

  · 시스템 구조를 단순화하고 핵심장치에 대한 자동진단기능을 적용하여 시스템 상태를 실시간으로 감시하고 유지보수작업을 최적화함

  · 궤도회로의 역할인 열차분리검지, 레일손상(절손)검지를 대체할 수 있는 검지장치와 연계하여 열차의 안전한 이동을 보장하여야 함

2018년에 개발이 완료될 일반·고속철도용 열차제어시스템(KRTCS 2)과 본 기획과제의 고속철도용 차세대 열차제어시스템의 기술적 특징을 비교하면 다음과 같다.

		고속철도용 차세대 열차제어시스템	일반·고속철도용 열차제어시스템 (KRTCS 2)
궤도회로		사용하지 않음	사용함
지상자(발리스)		사용함(1500m간격으로 고정발리스)	사용함(고정발리스)
무선통신망		LTE-R	LTE-R
열차최고속도		350km/h	350km/h
열차위치검지		열차에서 검지하여 지상으로 전송 -주기적으로 전송	궤도회로를 이용하여 지상에서 직접 검지 *열차에서 지상으로 열차위치 전송 가능
이동권한설정		이동폐색방식 적용 -선행열차 후미에 이동권한 설정 (안전마진 반영)	고정폐색방식 적용 - 궤도회로경계에 이동권한 설정
		이동권한을 주기적으로 전송	이동권한의 유효시간을 설정하고 유효시간 종료에 앞서 차상에서 이동권한을 요청
자동운전		자동운전 지원(GoA 2이상)	수동운전 지원(GoA 1)
		열차조성변경시 열차속도프로파일 갱신	-
시스템 구성	ATP	필수 장치 -이동폐색 적용	필수 장치 -고정폐색 적용
	ATO	필수 장치 -GoA2 지원 -GoA3이상 지원(선택사항)	시스템 구성에 포함되지 않음 -기능구현은 가능하나 개발규격서 없음
	EI	필수 장치 -기존 고정폐색방식의 연동논리 적용 *진흥원의 실용화 문턱과제 '연동장치 개발' 과제내용 검토 후 연계	시스템 구성에 포함되지 않음 -기 구축된 연동장치와 연계해야 함
	CTC	필수 장치 -이동폐색 적용 -GoA2 지원	시스템 구성에 포함되지 않음

		-GoA3이상 지원(선택사항)	
	장치연결	이더넷방식 -국제규격방식	고유방식 -LTE-R은 이더넷 적용
열차분리검지		TIS(열차무결성검지장치) 추가	궤도회로 활용
궤도절손검지		RIS(레일무결성검지장치) 추가	궤도회로 활용
기존 지상신호설비와의 상호운영		KRTCS 2와의 상호운영 지원 ATP(ETCS L1)과의 상호운영 지원 도시철도용 KRTCS와의 상호운영 지원	ATP(ETCS L1)과의 상호운영 지원

(2) 열차제어시스템 구축에 필요한 기술

○ 열차제어시스템의 개발방향과 몇 가지 열차운행특징을 고려했을 때 필요한 기술 중 새로이 개발해야 할 기술과 활용할 수 있는 기존 기술을 정리하면 다음과 같음

- 고려해야 할 열차운행특징

· 임시열차 투입 등 열차운행스케쥴 변경

· 역간 주행거리가 단거리, 중거리 및 장거리로 다양함

· 열차조성을 자주 변경하거나 여러 형식의 열차가 운행하는 복잡한 열차운행상황에서 효율적인 열차운행 지원

· 열차운행환경에 따라 열차출발시간 탄력적으로 조정

* 역정차시간을 초단위로 관리하고, 열차길이에 맞추어 역정차위치 가변

· 시간 또는 공간(지역)적으로 수송수요편차가 많은 상황에 대응할 수 있도록 열차의 분리(증렬편성 해제) 및 결합(증렬편성)을 자동화함

· 일반 · 고속철도용 연동장치 활용

- 열차제어시스템에 요구되는 열차제어기술

		기존 개발 기술 활용		개발이 요구되는 기술
		도시철도	일반 · 고속철도	
지상장치	관제설비	-	· 열차스케쥴 조정기술	· 열차조성 및 승객수요에 따른 역정차시간 및 승강장 조정기술 · 승객의 승하차에 따라 열차운행스케쥴을 초단위로 관리하는 기술
	지역제어기	· WATP와 CTC간 연계기술 · 열차이동권한 생성기술	-	· 투입열차에 대한 열차속도 프로파일 생성(또는 갱신) · 열차조성변경에 따라 이

				동폐색용 열차이동권한 생성기술 · 열차조성에 따른 열차정지위치를 조정하는 기술
	연동장치	· EI와 WATP간 연계기술	· 열차진로제어기술 · EI와 RBC간 연계기술	-
차상장치	차상제어장치	-	· ETCS의 동적속도프로파일 생성 기술 · 350km/h급의 열차동적속도프로파일 생성기술	· 투입열차에 대한 열차속도프로파일 생성(또는 갱신) · 열차조성에 맞는 정적속도프로파일, 동적속도프로파일 생성기술 개발 · 열차조성에 맞는 역정차 최소시간 보장
	자동운전	· ATO속도프로파일 생성기술 · 역정위치정차기술 활용	-	· 열차조성에 따른 ATO프로파일 생성기술 개발 · 열차출발지연을 회복하기 위하여 목표시간(초단위)까지 다음 역에 도착하기 위한 ATO프로파일 생성기술 · 열차정차위치 조정에 따른 역정위치정차기술

라. 열차제어시스템 구성 및 보완장치

○ 시스템 구성(또는 기능블록)

– 본 기획과제에서 정의한 시스템은 구성은 다음과 같이 정의함

· 시스템은 지상설비와 차상장치로 구성됨

· 지상설비는 Wayside ATP, EI, CTC로 구성됨

· 차상장치(Onboard ATP, Onboard ATO)로 구성됨

: 차상장치는 운전실 2중계를 원칙으로 함

: 차상장치는 다른 신호시스템의 지상신호설비와 상호운영성을 지원하여야 함

– 양방향 연속 무선통신장치는 시스템에 포함되지 않음

○ 시스템 보완장치

– 궤도회로를 사용하지 않음에 따라 궤도회로 임무를 대체하는 시스템보완장치(TI, RI)를 추가적으로 설치함

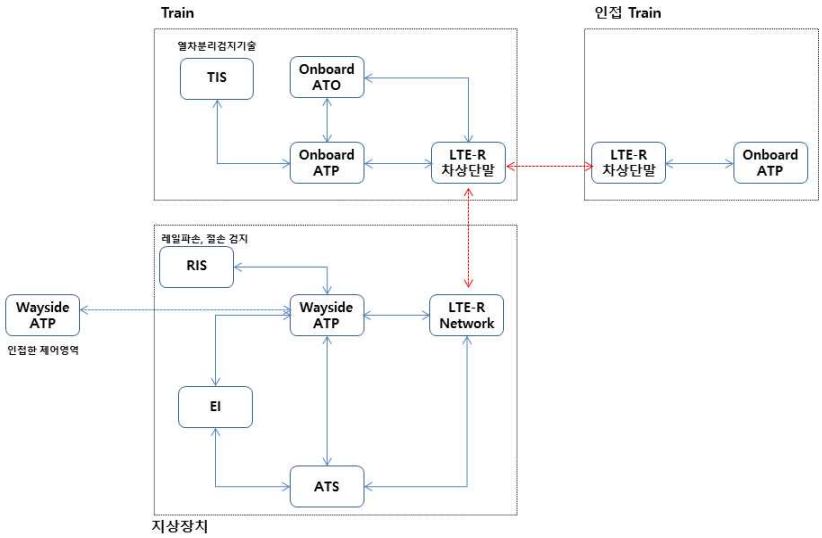
– 시스템 보완장치 TI 및 RI는 열차제어시스템에 포함되지 않음

· 시스템의 차상장치는 열차분리를 검지하는 열차무결성검지장치(TI)와 연계함

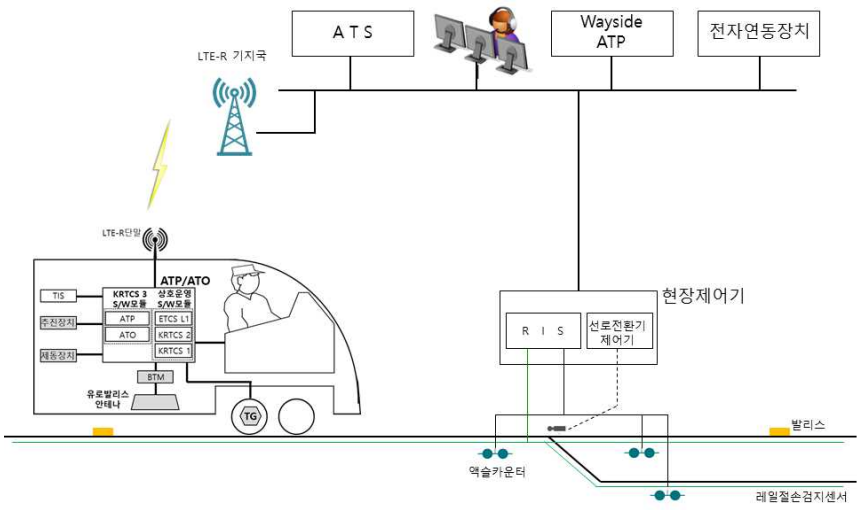
· 시스템의 지상설비는 레일파손 또는 절손을 검지하는 레일무결성검지장치(RI)와 연계함

– 레일무결성검지장치는 역구내, 차량기지 등 선로구조가 복잡한 구간에서는 궤도회로 또는 액슬카운터 등을 설치하여 레일절손검지의 신뢰도를 높이도록 함

· 역구내 및 차량기지는 여러 개의 선로가 설치되어 있기 때문에 레일무결성검지장치가 검지한 신호만을 이용하여 레일절손지점을 확인할 경우 오류가 발생할 수 있음



[그림 3.3] 열차제어시스템의 시스템 구성 및 기능 블록도



[그림 3.4] 열차제어시스템 구성(안)

마. 열차제어시스템 지상장치와 차상장치간 데이터 전송주기

○ 주기적인 정보는 0.5초마다 전송하며, 비주기적인 정보는 이벤트가 발생하면 전송함

○ 주기적인 정보의 전송주기는 별도로 지정할 수 있음

바. 열차운전모드

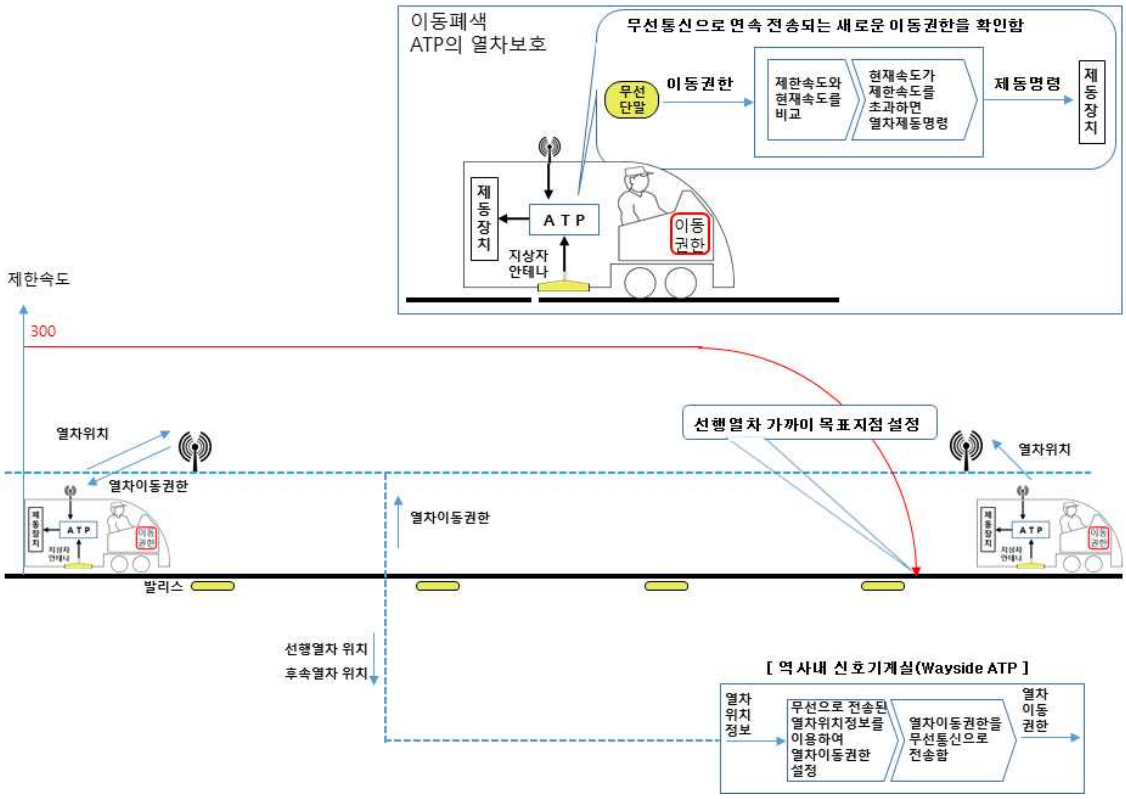
○ 열차제어시스템은 (무인)자동운전을 지원함

○ 열차운전조건에 따라 수동운전 또는 개방운전을 선택할 수 있음

사. 열차제어시스템의 열차제어규칙

○ 열차위치 검지(본 보고서 '제1장 1절 3. 세부기술내용'의 열차위치검지기술 참조)

- 열차위치검지는 차상의 Onboard ATP가 열차에 있는 속도센서(TG)의 신호를 이용하여 기준점(마지막으로 읽은 지상자 위치)으로부터 열차가 주행한 거리를 계산함
- Onboard ATP는 계산한 열차주행거리를 0.5초 주기로 지상의 Wayside ATP로 전송함
  : 열차의 현재속도도 같이 전송함
- Wayside ATP는 선로정보, 지상자 위치정보를 이용하여 제어영역에 있는 모든 열차의 위치를 추적함



[그림 3.5] 열차제어시스템의 열차제어 프로세스 및 기능 분담

○ 열차간 안전간격 설정

- Wayside ATP는 실시간으로 추적한 열차위치를 토대로 제어영역에 있는 모든 열차에 대한 이동권한을 설정함(안전간격 설정)
- Wayside ATP는 연속적으로 생성되는 열차이동권한을 해당 열차의 Onboard ATP에 0.5초 주기로 전송함
- 열차이동권한은 열차가 주행할 수 있는 목표지점, 목표지점까지의 열차제한속도 등을 포함함

○ 열차속도제어

- Onboard ATP는 열차이동권한에 포함된 정보를 토대로 동적 속도프로파일을 생성함
  · 속도프로파일의 종류 비상제동, FSB 및 경고 프로파일이 있음
  · 필요한 경우 속도프로파일의 종류 및 생성주기는 별도로 정의함
- Onboard ATP는 현재위치에서 열차제한속도와 실속도를 비교하고, 열차가 제한속도를 초과하면 제동을 인가하여 열차를 감속함

○ 장애시 열차운행을 유지하기 위한 예비설비(fallback system)

예상치 못한 원인으로 인하여 통신설비, 제어시스템에 발생된 장애를 복구하는데 상당한 시간을 요하는 경우, 열차운행을 최소한으로 유지하기 위한 예비설비를 구축한다.

- 예비설비는 지상에 설치되며, 이동중인 열차의 위치, 속도 및 진행방향을 검지함
- 예비설비는 열차제어시스템이 정상적으로 동작할 때는 레일 파손, 레일절손 등을 검지하고, 해당 정보를 열차제어시스템에 제공하여 철도사고발생을 예방함
- 시스템 운영자는 발생된 장애가 지속되면, 예비설비에서 제공하는 열차검지정보를 이용하여 열차운행을 최소한으로 유지함
  · 예비설비를 이용하여 열차운영에 활용할 경우, 역구내에는 궤도회로 또는 액슬카운터를 추가적으로 설치하고 예비설비와 연계함(SIL4인증 요구)

아. 열차제어시스템 하부장치 요구사항

본 사업을 통해서 개발해야 할 열차제어시스템의 하부장치와 각 하부장치에 대한 성능 및 기능 요구사항을 정의하였다.

○ 열차관제설비(CTC, 지상장치) : 종합성능시험인프라용도로 개발

열차제어시스템의 하부장치이며, 열차운행상태를 감시하고 각 열차가 계획표를 유지하도록 성능을 조절하며, 열차운행관련 데이터를 제공하여 여개수송 및 화물수송에 불편함이 최소화되도록 조정한다.

구분	내용
기능요구사항	**- 일반사항** · 열차운행스케쥴 작성(열차시간표 추출 및 수정 포함) · 열차운행장애 조치 · 선로상태 또는 열차상태에 따라 열차제한속도를 결정(현장작업자 보호 포함) · 열차입환이동 관리 · 열차정보 수동 입력 · 유지관리 지원 · 선로상태정보 관리 및 조치(대형 지장물 검지정보 포함) · 인터페이스 관리 : 열차제어시스템 타 하부장치와의 인터페이스 관리 : 승객정보시스템과의 인터페이스 관리 : 외부 연동장치와의 인터페이스 · 차상장치가 장착되지 않은 열차의 무허가 이동에 대한 조치 · 승강장에서 비상제동 요청 시 대응 · 열차출입문 비상개방 시 대응 · 열차 긴급배치 · 승강장내 승객 감시 및 관리 · 열차승무원 배치 · 비상탈출(소개)상황 감시 및 관리 **- 자동운전 및 무인운전을 적용할 경우 반영해야 할 기능** · 비상제동명령 및 해제(무인) · 열차출입문과 승강장출입문 개폐 제어 · 열차주행방향 자동변경(무인) · 열차내 화재/연기정보 관리 및 조치 · 열차내 승객 감시(무인) · 차상장치 Awakening / De-energizing **- 이동폐색운행을 지원하기 위한 기능** · 차상장치 장애를 조치한 후 열차위치를 강제로 초기화 : 보조검지장치를 이용한 열차위치정보 관리 · 열차주행관리(시간단축주행, 에너지효율 최적화 주행)
성능요구사항	- 열차위치정보를 강제로 초기화할 시의 열차위치정보 오차 : 100m(참조자료가 없으며, 개발규격서 작성과정에서 조정 필요) - 열차정시성 확보율 : 97% 이상(또는 열차지연율 3% 이하) * : 열차의 역도착시간을 sec단위로 관리(열차의 역도착시간 만족을 판단하는 기준은 개발규격서 작성시 결정) * High Level Comparison between Operational models(NGTC, 2013)

○ 전자연동장치(EI, 지상장치) : 종합성능시험인프라용도로 개발

열차제어시스템의 하부장치이며, CTC의 열차운행계획과 지상ATP의 열차위치정보에 맞추어 열차진로를 제어하여 열차충돌과 탈선을 방지하며, 열차진로제어는 기존 고정폐색방식의 연동로직을 활용하며, 위험한 상황에 대해서 안전동작 보호기능을 유지한다.

구분	내용
기능요구사항	**- 일반사항** · 열차입환이동 관리 · 열차위치정보 관리 : 이동폐색정보를 고정폐색(또는 가상블록)점유정보로 전환 · 선로상태정보 · 진로 적합성 · 진로설정 · 관제설비와 인터페이스 관리 : 열차운행스케쥴에 따른 열차진로설정 · 신호기 제어 · 차상장치가 장착되지 않은 열차의 무허가 이동에 대한 조치 **- 자동운전 및 무인운전을 적용할 경우 반영해야 할 기능** · 관제설비(CTC)와의 인터페이스 관리 : 검지한 화재/연기에 대한 조치 : 승객정보시스템과의 인터페이스 관리 **- 이동폐색운행을 지원하기 위한 기능** · 지상ATP와의 인터페이스 관리 : 열차점유정보 보고(열차위치정보로 전환) · 보조검지장치에서 전송한 열차위치정보 활용 : 궤도회로, 액슬카운터 등 열차검지장치의 열차검지정보와 연계
성능요구사항	- 열차진로설정시간 : 10[s]* - 선로전환기 동작완료시간 : 8[s]* * High Level Comparison between Operational models(NGTC, 2013)

- 연동장치는 분산형 구조로 구성됨

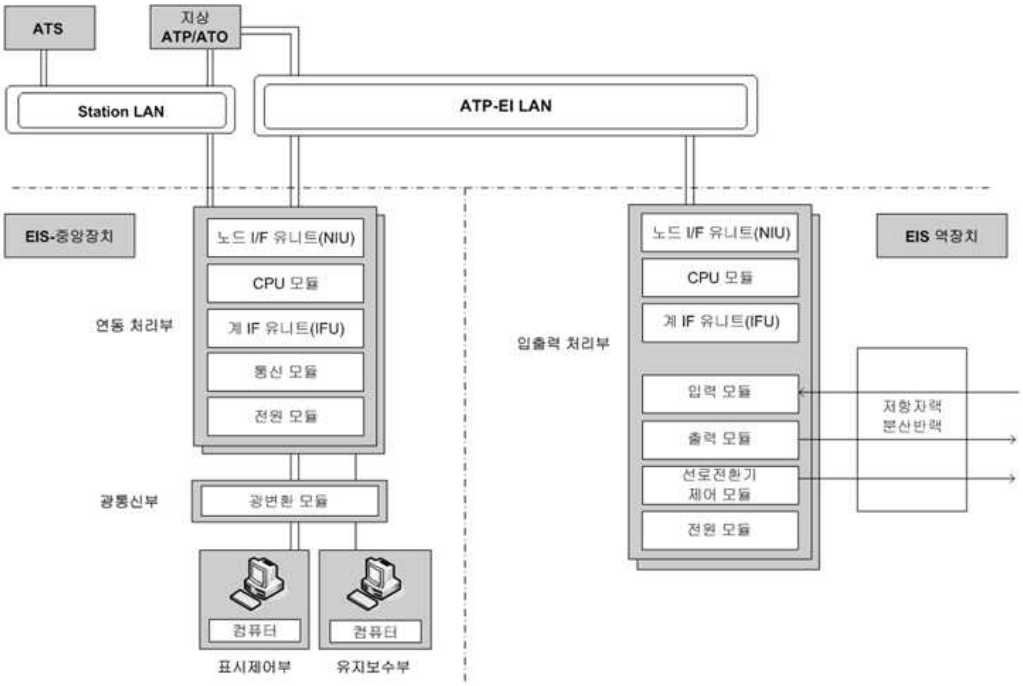
  · ATP 및 CTC와 연계되는 연동처리부와 신호기와 선로전환기를 제어하는 입출력 처리부로 구성됨

- 연동처리부는 ATP에서 전송한 열차위치정보를 토대로 고정폐색방식의 열차진로제어를 처리함

  · 연동처리부는 ATP의 실시간 열차위치정보를 열차의 궤도회로(또는 가상폐색) 점유정보로 변환하는 소프트웨어 모듈을 추가하여야 함

  · 또한 위 모듈은 열차의 궤도회로(또는 가상폐색) 점유정보를 ATP의 실시간 열차위치정보로 변환할 수 있어야 함

- 단, 고속철도 및 일반철도에 적용된 연동장치 구조 및 기능이 매우 상이한 경우, 연동장치 개발규격서를 별도로 구성할 수 있음



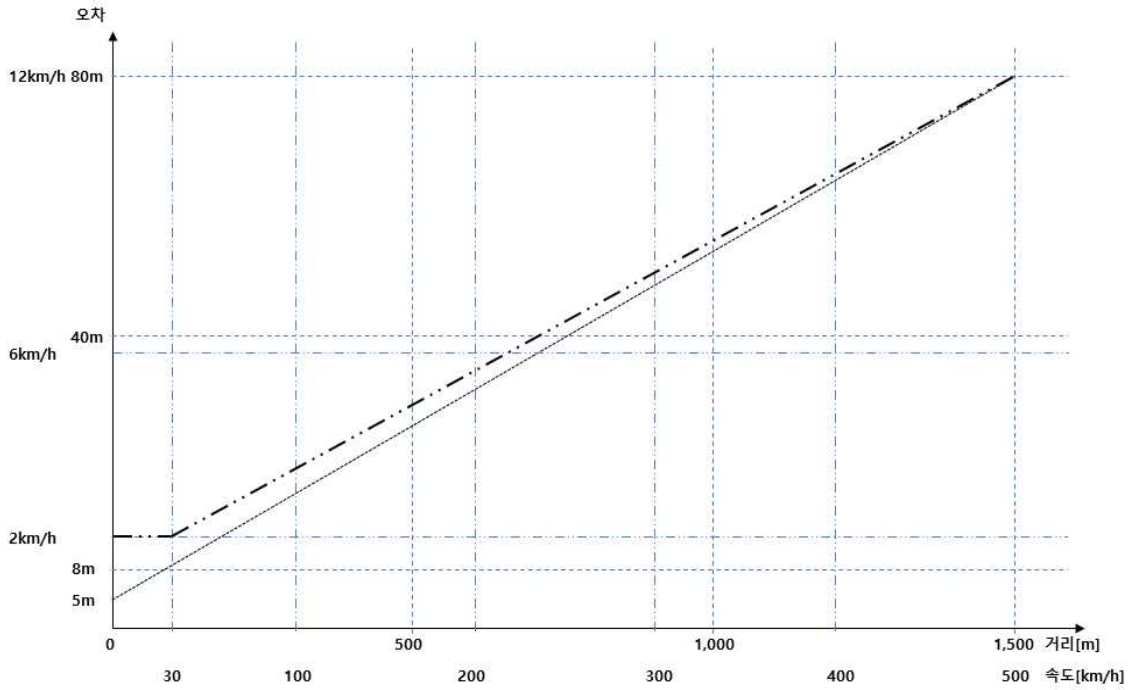
[그림 3.6] 전자연동장치 구성도(안)

○ 지상ATP(WATP, 지상장치)

열차제어시스템의 하부 장치이며, 제어영역에서 이동하는 열차의 위치를 검지하여 열차간 충돌 또는 다른 위험한 상황에 대해서 안전동작 보호기능을 유지한다.

구분	내용
기능요구사항	**- 일반사항** · 열차허용속도 결정 · 열차방호곡선 결정(MRSP) · 열차이동권한 결정 · 비상제동명령 및 해제 · 열차출입문과 승강장출입문 개폐 제어 연동 : 승강장발판과 유사한 장치를 설치할 경우, 감시 · 선로 장애물 검지장치 감시 · 열차운행모드 관리 · 입환이동 관리 · 열차운전모드 변경 · 열차주행방형 변경 승인 · 열차위치보고(CTC 및 EI에 열차위치를 주기적으로 보고) · 열차탈선에 대한 조치 · 선로상태정보 관리 및 조치

	· 건널목상태정보 관리 및 조치 · 역방향 이동 방호(단선선로 양방향주행) · 열차위치보정용 발리스 정보관리(링킹) · 기능 차단 · 인터페이스 관리 : 열차제어시스템 타 하부장치와의 인터페이스 관리 : 외부 연동장치와의 인터페이스 · 승강장에서 비상제동 요청 · 열차출입문 비상개방시 대응 **- 자동운전 및 무인운전을 적용할 경우 반영해야 할 기능** · 열차주행방향 자동변경 · 검지한 화재/연기에 대한 조치 **- 이동폐색운행을 지원하기 위한 기능** · 열차위치 초기화(재초기화) · 열차의 선두 및 후미위치 결정(오차 반영)
성능요구사항	- 열차운행최고속도 : 350㎞/h - 열차운전최소시격 : 180초* - 열차위치검지정밀도 : ±80m(지상자간 거리 최대 1,500m 적용)** :열차위치검지허용오차(±m) = 5 + 주행거리(m)*5%(1,500주행시 80m) - 열차속도검지정밀도 : ±12㎞/h(열차최고속도 500㎞/h)** :열차속도검지허용오차(±㎞/h) = 열차속도(㎞/h)/47+64/47 (속도 30㎞/h 이상일 경우, 속도 30㎞/h 미만이면 오차는 2㎞/h로 설정) - 열차위치정보전송주기 : 최소 0.5[s]이며, 전송주기 조정 가능* - 열차이동권한정보전송주기 : 최소 0.5[s]이며,전송주기 조정 가능* * IEEE 1474.1 ** Performance Requirements for Interoperability(ERTMS/ETCS subset-041)

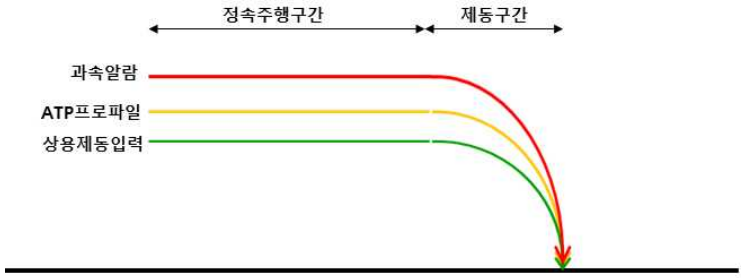


[그림 3.7] 열차위치값 및 열차속도값이 갖는 오차 설명도

○ 차상ATP(OATP, 차상장치, 상호운영성 지원)

열차제어시스템의 하부 장치이며, 열차의 과속, 도어상태 감시 또는 다른 위험한 상황에 대해서 안전동작 보호기능을 유지한다.

구분	내용
기능요구사항	**- 일반사항** · 열차의 선두 및 후미위치 연산 · 열차허용속도 결정 · 열차속도프로파일 결정(동적속도프로파일 결정) · 현재위치에서의 열차속도결정 · 열차안전속도감시 · 운전자 경보 · 상용제동/비상제동 투입 및 해정 · 열차구름방호 · 운전모드 변경(Modifying driver modes) · WATP로 열차위치보고 · 열차정보 수동입력(MMI활용) · 차상장치 자체시험 · 상이한 열차제어시스템 level로 전환 또는 관리 · 제동곡선 계산 · 열차위치보정용 발리스정보 검증(링킹) · 열차출입문과 승강장출입문 개폐 제어 연동 : 승강장발판과 유사한 장치를 설치할 경우, 감시 · 비상제동성능시험 · 열차출입문 비상개방시 대응 **- 자동운전 및 무인운전을 적용할 경우 반영해야 할 기능** · 열차출입문과 승강장출입문 개폐 제어 · 차상장치 Awakening / De-energizing · 열차자동 awakening · 검지한 화재/연기에 대한 조치 **- 이동폐색운행을 지원하기 위한 기능** · 열차위치 초기화(재초기화) · 열차의 선두 및 후미위치 결정(오차 반영)
성능요구사항	- 열차운행최고속도 : 350km/h - 열차위치검지정밀도 : ±80m(지상자간 거리 최대 1,500m 적용)** - 열차속도검지정밀도 : ±12km/h(열차최고속도 500km/h)** - ATP속도프로파일 작성시 속도마진 설정*** :ATP속도프로파일과 열차과속경고알람간 속도마진 5km/h :상용제동입력과 ATP속도프로파일간 속도마진 5km/h - 열차위치정보전송주기 : 최소 0.5[s]이며, 전송주기 조정 가능* - 열차이동권한정보전송주기 : 최소 0.5[s]이며,전송주기 조정 가능* * IEEE 1474.1 ** Performance Requirements for Interoperability(ERTMS/ETCS subset-041) *** High Level Comparison between Operational models(NGTC, 2013)



[그림 3.8] 열차속도프로파일 관계도

○ 차상ATO(OATO, 차상장치)

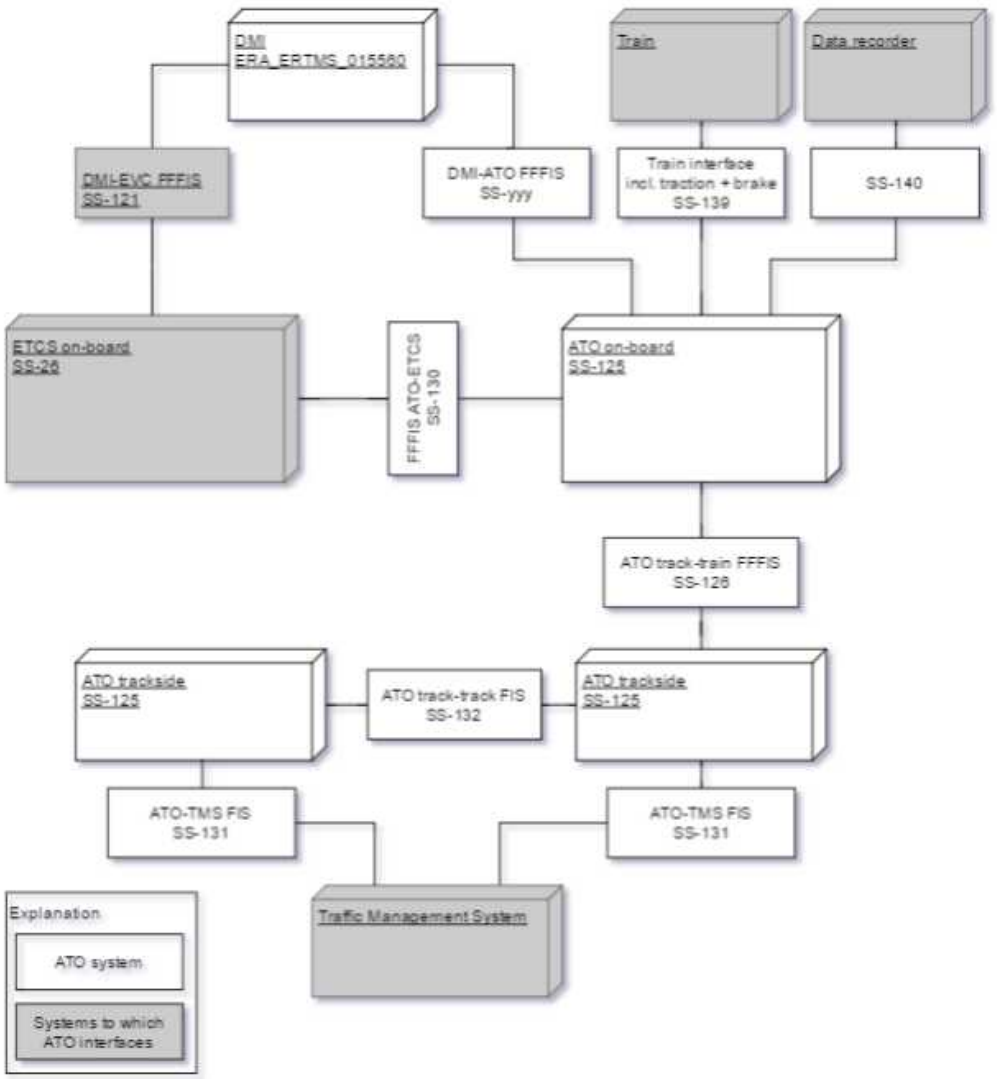
열차제어시스템의 하부 장치이며, 차상ATP의 감시하에 열차속도 조절, 정위치 정차, 도어 제어, 성능 수준 조절 등에 대한 기능이나 열차 운전자에 주어진 다른 기능들을 수행한다.

구분	내용
기능요구사항	**- 일반사항** · 열차속도결정 · 자동열차주행을 위한 주행속도프로파일 결정 · 열차주행속도프로파일에 맞추어 열차주행제어 · 열차출입문과 승강장출입문 개폐 제어 : 승강장발판과 유사한 장치의 제어 포함 · 차상장치 Awakening / De-energizing · 열차의 추진력 제어 · 차상장치 자체시험 · 제동곡선 계산 **- 무인운전을 적용할 경우 반영해야 할 기능** · 관제설비(CTC)와의 인터페이스 관리 : 검지한 화재/연기에 대한 조치 : 승객정보시스템과의 인터페이스 관리 · 열차자동 awakening **- 이동폐색운행을 지원하기 위한 기능**
성능요구사항	- 열차운행최고속도 : 350km/h - 자동운전모드에서 열차운행최고속도 : 300km/h(개발규격서 작성 시 조정 필요)** : 열차운행최고속도(120km/h)대비 자동운전속도를 100km/h로 낮춘 것(16% 감속)을 참조하여 자동운전모드에서의 열차운행최고속도를 300km/h로 설정 - 열차위치검지정밀도 : ±80m(지상자간 거리 최대 1,500m 적용)* - 열차속도검지정밀도 : ±12km/h(열차최고속도 500km/h)* - 정위치정차 정밀도 : ±2.5[m](개발규격서 작성과정에서 조정 필요) * Performance Requirements for Interoperability(ERTMS/ETCS subset-041) ** High Level Comparison between Operational models(NGTC, 2013)

현재 유럽도 ETCS에 ATO기능을 지원하기 위한 작업을 진행하고 있으며, 자동화 등급(GoA)을 정의하고, GoA 1&2에 대한 인터페이스 구성안을 제시하고 있다.

GoA	GoA Name	Train Operator	Description
GoA1	**Non automated train operation**	Train driver in the cab	The train is driven manually; but protected by automatic train protection (ATP). This GoA can also include providing advisory information to assist manual driving.
GoA2	**Semi-automated train operation**	Train driver in the cab	The train is driven automatically, stopping is automated but a driver in the cab is required to start automatic driving of the train, the driver can operate the doors (although this can also be done automatically), the driver is still in the cab to check the track ahead is clear and carry out other manual functions. The driver can take over in emergency or degraded situations.
GoA3	**Driverless train operation**	Train attendant on-board the train	The train is operated automatically including automatic departure, a train attendant operates the train doors (although this can also be done automatically) and can assume control in case of emergency or degraded situations.
GoA4	**Unattended train operation**	No staff on-board competent to operate the train	Unattended train operation; all functions of train operation are automatic with no staff on-board to assume control in case of emergencies or degraded situations.

[그림 3.9] ETCS의 자동화 등급(ATO OVER ETCS OPERATIONAL REQUIREMENTS, 2016)



[그림 3.10] ETCS의 ATO 구성도(ATO OVER ETCS OPERATIONAL REQUIREMENTS, 2016)

자. 열차제어시스템 보완장치 요구사항

○ 열차무결성검지장치(TI)

열차제어시스템에 포함되지 않는 열차내 별도장치이며, 열차분리사고를 검지하여 차상ATP로 열차무결성정보를 제공하며 위험한 상황에 대해서 안전동작 보호기능을 유지한다(IEEE 1474.1은 철도운영자가 시스템장애 시 최소한의 열차운전을 위하여 보완장치설치를 요구하고 있음).

구분	내용
기능요구사항	**- 일반사항** · 열차길이 자동계산 · 열차의 차량과 차량간 분리 검지 : 열차분리사고가 발생한 차량위치 확인이 가능 · 열차무결성검지장치와 지상ATP장치와 인터페이스 관리 : 열차무결성상태 또는 분리상태 전송(분리차량정보 전송) : 열차무결성장치 상태정보 전송 · 자기진단기능 **- 장치구조** · 여객열차, 전동차 및 화물차에 적용할 수 있는 구조 : 화물차의 경우 대차에 설치하여야 함 : 화물차의 경우 전원공급이 불가할 수 있음 · 장치는 단순한 구조일 것 : 열차(또는 차량)에 취부(설치) 및 설정이 용이할 것 : 장치의 유지보수작업이 최소화되어야 하고, 교체가 용이할 것 : 모듈의 크기는 개발규격서 작성시 확정
성능요구사항	- 열차무결성장치 상태정보 주기 전송 : 5초(참조자료가 없으며, 개발규격서 작성시 조정 필요) - 열차분리검지정보 전송 : 이벤트 전송

○ 레일무결성검지장치(RI)

열차제어시스템에 포함되지 않는 별도장치이며, 레일의 파손 및 절손을 검지하여 지상ATP로 레일무결성정보를 제공하며 위험한 상황에 대해서 안전동작 보호기능을 유지한다(IEEE 1474.1은 철도운영자가 시스템장애 시 최소한의 열차운전을 위하여 보완장치설치를 요구하고 있음).

구분	내용
기능요구사항	**- 일반사항** · 레일의 파손지점을 검지 · 레일의 절손지점을 검지 · 자기진단 · 지상ATP장치 등과의 인터페이스 관리 : 레일무결성상태 정보 * 역구내, 차량기지 등 선로구조가 복잡한 구역은 궤도회로 또는 액슬카운터 등

	을 설치하여 레일절손검지정보의 신뢰성을 확보함 **- 장치구조** · 현장 선로에 설치되는 구성품은 최소화함 : 선로에 관련 구성품이 설치될 경우 설치간격은 1,500m 이상이어야 함 · 장치는 단순한 구조일 것 : 장치는 센서부와 센서의 신호를 받아 정보를 생성하는 신호처리부로 구성 : 신호처리부는 레일절손검지와 인터페이스기능을 처리함 : 선로에 설치되는 구성품은 설치와 설정이 용이할 것 : 선로에 설치되는 구성품은 유지보수작업이 최소화되어야 하며, 교체가 용이할 것 : 모듈의 크기는 개발규격서 작성시 확정
성능요구사항	- 레일 파손 및 절손 위치 검지오차 : 100m 이내(일반철도 선로변에 설치하는 키로정 표기간격 200m의 중간값으로 설정하였으며, 개발규격서 작성 시 조정 필요) - 레일무결성상태정보 주기 전송 : 1초(개발규격서 작성 시 조정 필요)

차. 열차제어시스템 안전성 인증 요구사항

○ 열차제어시스템의 안전프로그램 요구사항

- 안전프로그램은 시스템의 개발, 종합성능시험 및 시범사업동안 진행되어야 함
- 안전프로그램은 안전관리체계, 안전관련 활동 및 승인된 마일스톤을 포함함
- 안전프로그램은 하드웨어 및 소프트웨어를 포함하여 시스템/하부시스템/장비의 모든 것을 포함함
- 안전프로그램은 시스템/하부시스템/장비의 변경사항 또는 추가사항이 발생할 경우에는 안전에 미치는 영향 평가를 포함하여 갱신됨
- 안전프로그램은 Safety Case plan을 포함함
- 안전프로그램은 IEC62278 또는 이에 상응하는 요구사항에 따라 준비되어야 하며, 관계기관의 합의를 필요로 함

○ 열차제어시스템의 위험원 확인 및 위험평가 절차

- 열차제어장치 설계단계에서 사고 발생 가능성과 심각도를 평가하는 위험원 분석을 실시하여 잠재적 위험원을 확인·평가하고, 대책을 문서화함
- 안전프로그램에 포함된 하부시스템의 위험원 분석, 고장모드, 영향과 심각도 분석, 결함트리분석, 운영·지원 위험원 분석 등을 포함하여 위험원 분석의 종류를 고려함
- 안전프로그램에서 확인된 위험원은 위험원의 심각도 및 발생빈도로 평가됨
- 리스크평가는 위험원의 제거, 완화 또는 수용 여부를 결정하기 위한 기준으로 사용됨

- 설계단계에서의 위험원 대책은 위험원을 제거하는데 집중함
- 시스템에 변경이 있을 때마다, 새로운 위험원을 확인하고 해결하기 위해 분석을 시행함
- 열차제어장치는 자동열차보호기능을 실행하는데 치명적이라고 확인된 위험원중 최소한 다음을 고려하여야 함

사고	ATP 기능과 관련된 위험원
열차간 충돌	열차안전이격거리, 열차구름방지, 열차진로연동장치 및 주행방향
열차-구조물간 충돌	선로종단 보호, 제한진로 보호
유지보수자-열차간 충돌	열차제어장치 작업구역 보호
열차-장애물간 충돌	장애물 검지
탈선	열차과속보호, 열차진로연동
열차탑승객의 추락	출입문 개방제어 보호, 영(제로)속도 보호, 출발연동
건널목 충돌	건널목 장애물 검지
기타 안전설비	비상수문 등 안전설비의 설치위치 및 동작여부

○ 열차제어장치의 바이탈 기능

- 리스크평가를 통해서 수용불가 또는 부적당한 것으로 판단 될 경우 수용할 수 있는 수준까지 통제함
- 리스크 평가과정을 통해 열차제어장치의 위험원을 허용할 수 있는 수준까지 안전측 동작원칙에 따라 설계함

○ 안전 성능의 요구사항

- 안전측 동작 원칙과 방법을 확인할 수 있어야 함
- 평균위험요인 발생시간 요구사항을 확인할 수 있어야 함

○ 안전설계의 기본 원칙

- 열차제어장치는 안전하게 반응하고, 정상적인 입력범위, 다른 운영조건 및 환경조건에서 모든 자동열차보호기능을 정확하게 수행하여야 함
- 열차제어장치의의 상태를 계속적으로 감시하여 성능의 이상 유무를 확인할 수 있도록 설계하여야 함

- 단순히 돌발 상황의 수정이나 취급자의 실수에 의하여도 시스템의 안전이 확보되도록 설계하여야 함

- 열차제어장치는 비정상적 시스템 부하, 비정상적(또는 부적절한) 입력 및 비정상적인 외부 영향(전기 · 기계 · 환경적 요인) 하에서도 안전하게 동작하여야 함

- 열차제어장치는 예측 가능 하드웨어 오작동이 발생한 경우 안전하게 동작하여야 함

- 논리처리부가 고장 나거나 논리적인 입출력의 부재 또는 결정이 불안전한 상황이 발생하여도 안전하게 동작하여야 함

- 열차제어장치 자체의 기능적인 요소, 보조 지상시스템, 그리고 작동절차는 고장 상황 시에 고장회복을 포함하여 열차가동의 안전을 위해 제공하여야 함

2. LTE-R 개발요구사항

○ 본 기획과제에서는 열차제어시스템용의 LTE-R개발을 포함하지 않고, KRTCS 2과제를 통해서 개발된 LTE-R설비를 활용하는 것을 가정함

○ LTE-R이 사용하는 주파수대역이 LTE-M 및 PS-LTE와 공동으로 사용함에 따라 통화간섭이 발생할 가능성이 있고, 이로 인하여 열차운행지연을 초래할 수 있음

○ 고속(350km/h)으로 이동하는 열차간 안전간격제어에 이동폐색을 적용함에 따라 양방향 연속(최소주기 0.5초)의 열차제어정보전송이 보장이 되어야 함

○ 따라서 본 기회과제에서는 열차제어의 신뢰성과 안정성을 확보하기 위해서 LTE-R은 다음과 같은 기능을 제공할 것을 요구함

- LTE-R은 주파수 이중화기능을 지원하여야 함

  : LTE-R 열차무선통신에 사용되는 700MHz대역 주파수 단절시 선로변에 구축되어 있는 상용주파수로 자동 천이함

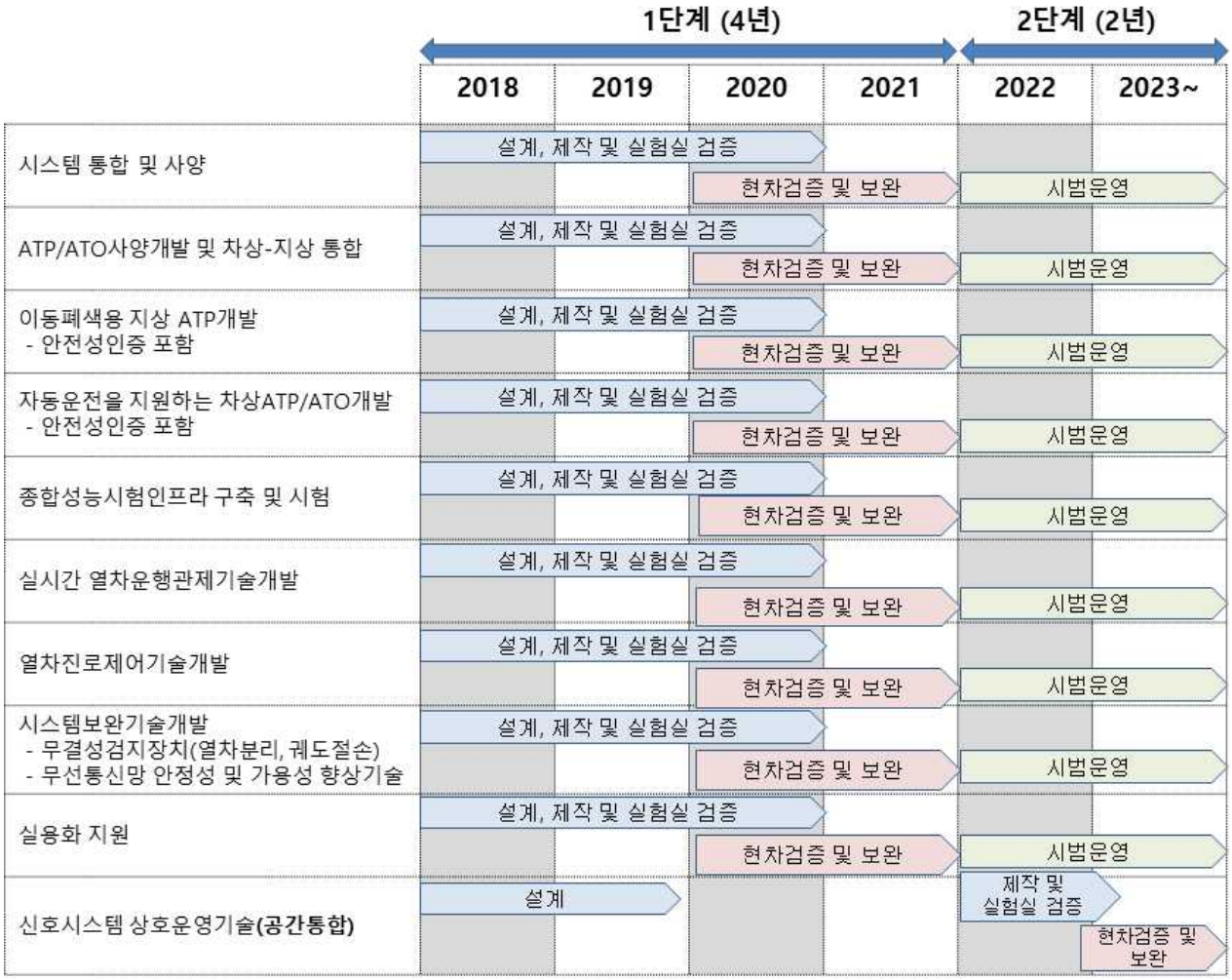
- LTE-R은 양방향 연속통신을 지원하여야 함

  : 열차에 탑재된 LTE-R 차상단말은 최소 전송주기 0.5초마다 열차위치정보 등을 지상의 LTE-R망으로 전송하여야 함

  : 지상의 LTE-R망은 지상제어장치에서 생성한 열차이동권한 등을 차상의 LTE-R 차상단말로 최소 전송주기 0.5초마다 전송하여야 함

3. 기술개발 로드맵

○ 국내 철도신호통신 산업의 기술성숙도, 해외 철도선진국의 철도산업혁신전략, 기술개발의 도전성 및 상용화를 고려하여 열차제어시스템 개발을 1단계 핵심요소기술개발(4년, 299억원) 및 2단계 시범사업(2년, 연구비 미정)과 같이 단계적으로 추진하는 것이 요구됨



[그림 3.11] 기술개발 로드맵

○ 1단계 핵심요소기술개발은 TRL[3] 7수준에 해당하는 기술을 확보하여 실제 철도환경에서의 시제품 인증을 목표로 함

- 1단계는 일반·고속철도에 적용 가능한 분야별 핵심요소기술을 개발하여 현차검증과 보완을 실시하는 것이며, 국제규격(IEC)을 시스템 개발과 안전성 활동에 적용하여 실용화에 필요한 인증을 획득함
- 선행연구를 통해서 확보한 LTE-R, 지상설비, 차상설비 등을 활용하고, 관제설비와 전자연동장치는 구매·발주함(발주사양서 작성)

3) Technical Readiness Level : 기술성숙도

- 오송종합시험선을 활용하여 종합성능시험, 안전성 인증(GA를 대상으로 한 SIL4)을 실시하고, 영업선에서 적용 가능성 검증

○ 2단계 실용화 연구개발은 1단계에서 TRL 7까지 개발한 열차제어시스템을 TRL 8이상으로 완성도를 높여 영업운전으로 전환하는 것을 목표로 함

- 1단계에서 개발한 열차제어시스템을 시범노선과 시범열차에 구축하여 시범운영을 실시하고, 시범운영과정에서 도출되는 보완사항을 확인하고 개선함

  · 국제규격(IEC)을 적용한 1단계의 안전성 인증(GA)결과를 토대로 시범운영을 대상으로 한 안전성 인증(SA)을 실시함

  · 시범노선에서의 시범운영을 완료한 후 영업운전으로 전환하기 위해서 한국철도시설공단, 한국철도공사 등과 추진함

- 또한 2단계에서는 도시철도용 KRTCS, 일반·고속철도용 KRTCS 및 현재 사용중인 일반철도용 ATP와 1단계에서 개발한 열차제어시스템간 상호운영기술을 확보함(공간통합)

  · 1단계에서 개발한 열차제어시스템의 차상장치가 고속철도, 일반철도 및 도시철도용 열차제어시스템의 지상설비와 연계하여 직결운행할 수 있도록 하여 열차제어시스템의 적용범위를 확대함

  · 1단계에서 열차제어시스템 개발규격서 작성시 상호운영성에 필요한 기능, 성능 등을 반영하고, 2단계에서는 개발규격서를 기준으로 상호운영성에 필요한 기능을 구현함

    : 1단계에서 개발한 열차제어시스템의 차상장치가 도시철도용 KRTCS가 구축된 구간을 진입할 경우, 열차제어권을 도시철도용 KRTCS의 지상제어장치로 이관하는 기능(일반·고속철도용 KRTCS, 일반철도용 ATP가 설치된 구간에 진입할 경우에는 열차제어권을 각각 일반·고속철도용 KRTCS 및 일반철도용 ATP의 지상제어장치로 이관)

    : 도시철도용 KRTCS가 구축된 구간을 진입시, 차상장치는 이를 인지하고 현재의 열차제어모드를 도시철도용 KRTCS 제어모드로 전환하는 기능(일반·고속철도용 KRTCS, 일반철도용 ATP가 설치된 구간 진입시에는 각각 일반·고속철도용 KRTCS 및 일반철도용 ATP 제어모드로 전환)

  · 1단계에서 작성한 열차제어시스템 시험계획서, 종합성능시험인프라 설계서 등을 토대로 2단계에서는 직결운행과 관련된 종합성능인프라 구축 및 종합성능시험을 실시함

    : 1단계에서 구축한 LTE-R 활용. 1단계에서 개발한 차상ATP/ATO에 상호운영관련 기능을 추가 구현하여 시험열차에 설치하고, 도시철도용 KRTCS 지상설비, 일반·고속철도용 KRTCS 지상설비, 일반철도용 ATP를 계획된 장소(종합시험선, 영업노선 등)에 구축함

4. 연구단 과제구성

○ 기술개발 로드맵의 1단계에 해당하는 사항으로서 기술수요조사 및 우선순위조사결과 총 10개의 연구과제를 대상으로 3개의 세부과제로 구성된 연구단 과제를 구성함

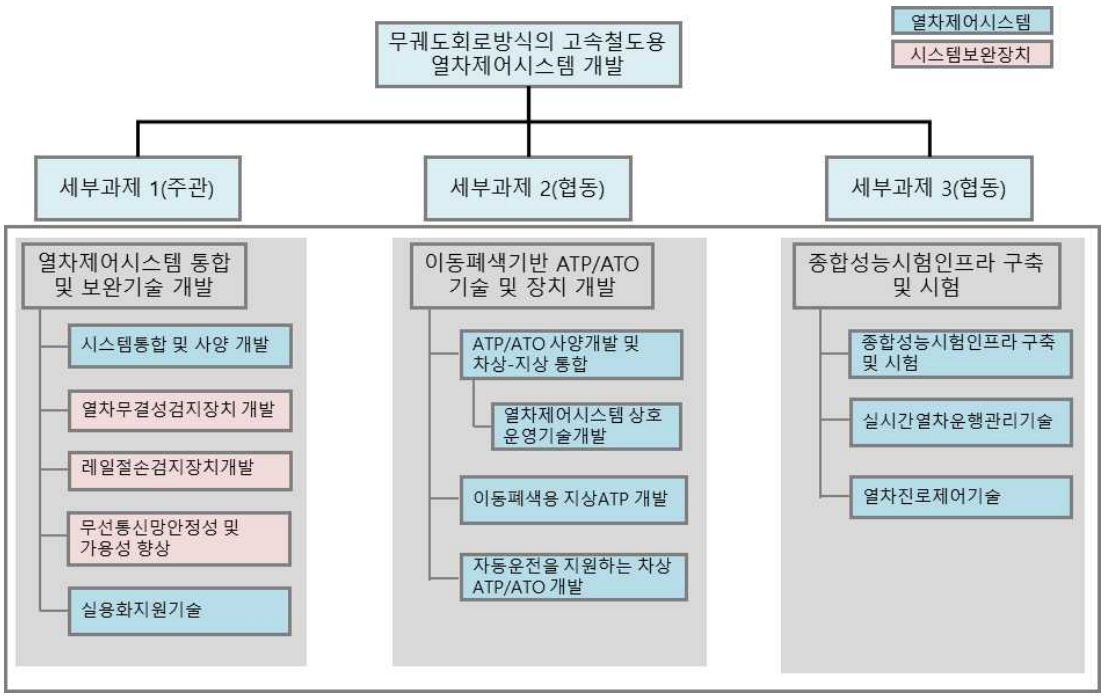
○ 연구단은 본 사업을 차년도별 사업계획을 수립하고, 이에 맞추어 연구개발내용, 연구개발일정, 연구개발성과 등을 종합관리하고, 유관기관의 요구사항에 대응하고, 2단계사업계획을 수립하고 추진전략을 마련함

○ 세부과제 1은 본 사업을 종합관리하고, 시스템개발에 필요한 통합기술을 개발하고 각 하부 시스템의 규격서를 작성, 궤도회로와 같은 동등한 수준의 열차무결성 기술개발, 시스템통합 등 기반기술을 개발함

○ 세부과제 2는 세부과제 1에서 작성한 ATP/ATO에 대한 규격서를 바탕으로 해당 하부시스템의 규격서 작성, 제작 및 통합, 설치, 기능점검 및 시험지원 등을 수행함

– 추가적으로 열차제어시스템 상호운영을 위한 규격서 개발을 한시적으로 담당함

○ 세부과제 3은 시스템의 기능과 성능을 점검하고 종합성능시험을 수행하기 위한 종합성능시험인프라 구축 및 운영을 담당함



[그림 3.12] 연구단 체계도

◯ 세부과제 1은 열차제어시스템개발에 필요한 성능과 기능을 포함하는 시스템개발규격서를 작성하고, 이를 토대로 개발된 하부시스템을 통합하며, 시스템통합에 필요한 시스템보완기술, 무선통신망 안정화 기술 및 실용화 지원기술 등을 수행함

– 열차무결성기술(Train Integrity)

· 궤도회로를 사용하지 않음에 따라, 열차분리사고시 열차의 후미위치를 정확히 추적하는 것이 요구되고 있으며, 국내상황에 적합한 기술을 개발함

– 레일절손검지기술(Rail Integrity)

· 궤도회로를 사용하지 않음에 따라, 레일절손 위치를 검지할 수 있는 새로운 기술의 개발이 요구되며, 유지관리에 적합한 기술을 개발함(파손된 레일의 위치를 빠르게 확인하고, 레일교체를 신속히 할 수 있어야 함)

– 철도무선통신망의 (안정화, 가용성 향상)을 높이는 기술

· 철도의 정시성을 보다 높이기 위해서 KRTCS 1단계 및 2단계에서 개발한 요소기술에 대한 신뢰성 또는 안정성을 높이는 기술이 계속 요구됨

· 유무선네트워크에 대한 사이버보안기술

– 실용화를 위한 법체계 지원

[표 3.4] 연구단 및 세부과제별 주요 업무

세부과제	세부과제의 주요 임무
연구단	1) 임무 ○ 사업총괄관리 ○ 2단계사업계획 및 전략 수립 2) 연구개발과제 ○ 차년도별 사업계획서 작성 ○ 시범운영을 위한 2단계사업계획서 작성
1세부과제	1) 임무 ○ 세부과제 관리 및 사업총괄관리 지원 ○ 시스템개발규격서 등 각종 규격서 작성 ○ 시스템 통합 및 시스템 보완장치 개발 2) 연구개발과제 ○ 시스템개발규격서 작성 - 2세부에서 수행한 상호운영성 내용을 규격서에 반영 ○ 열차무결성검지장치 개발 ○ 레일절손검지장치 개발 ○ 무선통신망 안정성 및 가용성 향상 ○ 실용화 지원기술 개발
2세부과제	1) 임무 ○ 세부과제 관리 및 사업총괄관리 지원 ○ 하부시스템 ATP/ATO 개발규격서 등 각종 규격서 작성

	○ 하부시스템 ATP/ATO 제작, 설치 ○ 하부시스템 ATP/ATO 기능 및 성능 점검 ○ 차상 및 지상장치 통합 2) 연구개발과제 ○ ATP/ATO 규격개발 및 지상-차상 통합 - 기존 지상신호설비와 연계하기 위한 상호운영성기술 개발(60억)에서 수행한 규격서내용 반영 ○ 이동폐색용 지상ATP 개발(안전성인증 포함) ○ 자동운전을 지원하는 차상ATP/ATO개발(안전성인증 포함)
	*** 1단계에서는 규격서 개발 및 기본설계를 수행하고, 2단계에서 제작과 종합시험평가를 실시함(예산 60억원)** 1) 임무 ○ 세부과제 관리 및 사업총괄관리 지원 ○ 상호운영성을 지원하는 열차제어시스템 개발규격서 작성 ○ 상호운영성을 지원하는 차상 ATP/ATO 개발규격서 작성 ○ 상호운영성을 지원하는 차상 ATP/ATO 제작, 설치 ○ 상호운영성을 지원하는 차상 ATP/ATO 기능 및 성능 점검 ○ 차상ATP/ATO의 상호운영성 종합시험평가 2) 연구개발과제 ○ 상호운영을 지원하는 차상 ATP/ATO 개발 및 성능시험(안전성인증 포함)
3세부과제	1) 임무 ○ 세부과제 관리 및 사업총괄관리 지원 ○ 시스템 및 하부시스템 기능 및 성능점검을 위한 종합성능시험인프라 구축 및 운용 2) 연구개발과제 ○ 시험평가기술 개발 및 시험인프라 구축 ○ 열차운행 실시간 제어관리기술 개발(규격서 작성 및 검증) ○ 열차진로제어기술 개발(규격서 작성 및 검증)

○ 세부과제 2는 시스템개발규격서와 하부시스템 요구명세서를 토대로 하부시스템인 ATP, ATO를 개발하여 시험노선인 현장에 구축하고, 이에 필요한 핵심장치개발을 수행함

– 이동폐색용 지상 ATP 개발(이동폐색제어기술, 안전간격제어기술)

· 고속철도 운전환경(고속주행), 일반철도 운전환경(복잡한 역사선로, 입환구역에서의 작업, 역간에서의 회차(turn back), 화물열차 주행 등)이 반영된 기술을 개발함

· General Application에 대한 SIL4인증을 통해서 시스템 상용화를 위한 기반기술을 확보하고, 2단계사업을 수행할 시에는 Specific Application에 대한 SIL4인증을 통해서 시스템 상용화 실적을 마련함(상호운영성 포함)

· 다양한 노선과 열차 특성에 맞게 주어진 열차 위치 정보 및 위치 오차, 시간 오차를 바탕으로 이동권한을 설정하고 전송하는 기술을 개발. 이 때 전송하기 위한 인터페이스 및 프로토콜 제정 작업도 수행

- 열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h)

· 열차형식, 열차속도구간별로 지정되는 열차감속도, 열차가속도를 생성하고, ETCS에서 제시하는 열차속도정밀도내로 열차속도를 감시하고 제어함

- 자동열차운전제어기술

· 현재 ETCS는 ATO를 지원하지 않고 있으며, ATO개발에 필요한 규격서가 확정되지 않은 상태이나, 필요한 규격서 작성과 개발을 진행하고 있음

- 도시철도를 포함한 기존 신호설비와의 연계기술

· 차세대 열차제어시스템을 탑재한 열차는 운전자의 간섭이 최소화된 상태에서 기존 신호설비(ETCS L1(ATP), ETCS L2(KRTCS-2)가 구축된 노선을 안전하게 주행할 수 있어야 하며, 특히 수도권 도심지의 도시철도를 통과하는 일반철도도 도시철도용 KRTCS가 구축된 노선을 최소한 자동운전이 지원된 상태에서 안전하게 주행할 수 있는 기술을 개발함

○ 세부과제 3은 시스템개발규격서를 토대로 개발된 시스템의 기능과 성능에 필요한 인프라를 구축하고, 개발하고, 기존 신호설비를 사용하기 위한 요소기술 개발도 같이 수행함

- 시험평가 및 시험인프라 구축

· 시험항목, 시험절차, 평가기준 작성과 이에 필요한 시험계획서 작성

· 종합성능시험인프라 구축, 종합성능시험평가

- 실시간 열차운행관리기술

· 선행열차의 현재위치, 선로의 상태(미확인 물체의 침입, 건널목 사고 등)를 실시간으로 추적하고, 이를 토대로 열차운행계획조정 등을 실시간으로 처리함

- 열차진로제어기술

· 기존 전자연동장치의 연동논리(궤도회로기반의 연동논리)를 사용할 것이며, 궤도회로가 아닌 지상제어장치에서 연동장치로 열차위치정보를 전송해야 하며, 연동장치에서 열차위치정보를 사용할 수 있도록 개조하는 것이 필요함

4절 세부과제별 주요 내용 및 추진전략

○ 열차제어시스템을 구성하는 하부장치별 연구개발내용(범위)를 간략히 정리하면 다음과 같음

구 분		연구개발 범위
시스템 엔지니어링		· 시스템통합 및 규격 개발 : 열차제어시스템 개발요구명세서 작성(상호운영반영) : 열차제어시스템 통합 · 지상ATP-차상ATP-차상ATO통합 및 규격 개발 : ATP, ATO장치 개발요구명서 작성(상호운영반영) : ATP, ATO장치 통합
열차제어 시스템	관제설비	- 관제설비 개념설계, 기능설계, 인터페이스 설계 - 관제설비 발주· 구매
	전자연동장치	- 전자연동장치 개념설계, 기능설계, 인터페이스 설계 - 전자연동장치 발주· 구매
	지상ATP	- 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 개념설계 - 소프트웨어 모듈 상세설계 및 제작(프로그래밍) - 지상ATP장치 제작(하드웨어) - 지상ATP장치와 프로그램 통합 및 검증 - 안전성 인증(SIL4 인증)
	차상ATP/차상ATO	- 열차속도감시 및 자동열차운전제어기술 개념설계 - 소프트웨어 모듈 상세설계 및 제작(프로그래밍) - 차상ATP, 차상ATO 제작(하드웨어) - 차상ATP/차상ATO장치와 프로그램 통합 및 검증 - 안전성 인증(SIL4인증)
궤도회로 대체장치	열차무결성검지장치	- 열차무결성검지 개념설계 - 열차무결성검지 소프트웨어 모듈 상세설계 및 제작 - 열차무결성검지장치 제작, 프로그램 통합 및 검증
	레일무결성검지장치	- 레일무결성검지 개념설계 - 레일절손검지용 센서 설계, 제작 - 레일절손검지 소프트웨어 모듈 상세설계 및 제작 - 레일절손검지장치 제작, 프로그램 통합 및 검증
무선통신		- 이동폐색제어를 위한 양방향연속통신 무선접속 알고리즘 및 주파수자동천이 알고리즘 개발 - KRTCS 2에서 개발한 LTE-R망을 활용하여 알고리즘 검증

1. 세부과제 1: 열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발

가. 시스템 통합 및 규격 개발

구분	내용
연구과제명	시스템통합 및 규격 개발
연구개발목표	열차제어시스템개발규격서 작성(상호운영내용 반영) 열차제어시스템 통합 및 운영관리 열차제어시스템개발 주관
연구기간 및 지원예산	4년(30억)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - 무선통신을 이용한 고속철도용 열차제어시스템은 자동운전을 지원하는 차세대시스템으로서 유럽, 중국 등에서 진행하고 있음 - 고속철도에 적용하기 위해서는 ETCS L3의 ATP기술과 CBTC의 ATO기술을 활용하는 것이 적절할 것으로 판단되나, 이에 대한 개발결과물이 공개되지 않고 있음 - 차세대 열차제어시스템의 개발동향, 국내 열차제어시스템 개발역량 및 실용화 전략을 토대로 외국과 경쟁할 수 있는 시스템을 확보하는 것이 요구됨 - 차세대 열차제어시스템에 요구되는 개발사항은 다음과 같음 · 이동폐색제어기술 및 자동운전(또는 무인운전)을 지원 · 고속철도, 일반철도 및 도시철도에 모두 적용할 수 있음 · 기존 신호시스템의 지상신호설비와 상호운영성 확보 등 - 특히 철도노선간 연계체계를 용이하게 구축하기 위해서는 ETCS처럼 공동의 시스템규격서를 적용하는 것이 필요함 - 차세대 열차제어시스템은 하부장치인 관제설비(CTC), 전자연동장치, 지상ATP, 차상ATP, 차상ATO로 구성되고, 또한 LTE-R망, 안전설비(끌림검지장치, HBD, 장애물검지장치 등) 등 타설비와 연계됨 · 차세대 열차제어시스템을 구성하는 하부장치(또는 하부시스템)가 수행하여야 하는 기능, 성능 등을 체계적으로 할당하고, 하부장치간 인터페이스 등을 정의하여함 함 · 열차를 안전하고 효율적으로 운영하기 위해서는 차세대 열차제어시스템과 연계되는 타설비의 기능과 성능을 정의하고, 열차제어시스템과 타설비간 인터페이스 등을 정의하여야 함 · 또한 하부장치와 타설비별로 설계, 제작, 시험을 하는 과정에서 도출되는 보완사항이 발생되면 이를 확인하고 시스템규격에 반

	영하는 것이 요구됨 - 따라서 시스템엔지니어링 개발절차를 열차제어시스템개발에 적용할 것이며, 시스템 안전성 인증과 종합성능시험에 활용함 · 열차제어시스템 개발사항 조사 및 분석 · 열차제어시스템 개념 정립(시스템 구성, 주요 제어원리 정립 등) · 열차제어시스템 개발규격서 정립 : 시스템 구성, 시스템 성능, 시스템 기능, 시스템 인터페이스 · 열차제어시스템 통합 및 규격서 검증(보완) · 열차제어시스템 개발요구사항 검증
	정부지원의 필요성 - 열차제어시스템은 공공인프라인 철도의 안전하고 효율적인 운영을 보장하는 핵심설비이나, 현재까지 외산시스템을 도입운용하고 있음 - 철도의 스마트화, 지능화에 따라 열차제어시스템의 중요성이 커지고 있으며, 높은 부가가치를 창출할 수 있음 - 열차제어시스템에 요구되는 높은 안전성과 공공인프라 특성상 정부정책의 영향을 많이 받고 있으며, 현재까지 외산과 경쟁할 수 있는 실적과 기술완성도가 미흡한 상황임 - 열차제어시스템의 기술완성도를 높이기 위해서는 시험선(또는 영업선)에서 시험열차를 운영하는 것이 요구되나, 이러한 인프라를 구축운영하는데 많은 비용이 소요되어 기업이 독자적으로 추진하기에는 무리가 있음 - 또한 차세대 열차제어시스템을 개발하여 기술을 선도하고, 이를 실용하기 위해서는 많은 위험이 있어 정부와 기업이 이를 분담하는 전략이 요구됨
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - 해당사항 없음
연구개발내용	연구개발 주요내용 - 열차제어시스템 개발요구명세서 작성(상호운영내용 반영) · 열차제어시스템 요구사항 조사 및 분석 · 열차제어시스템 구성, 성능 및 기능 정립 · 열차제어시스템 하부장치별 요구사항 작성 : 관제설비, 지상제어장치(ATP), 전자연동장치 : 차상제어장치(ATP/ATO) - 열차제어시스템 인터페이스규격서 작성 · 열차제어시스템 하부장치간 인터페이스 규격서 · 열차제어시스템과 타시스템간 인터페이스 규격서 : 궤도절손검지장치, 열차분리검지장치, 안전설비, LTE-R 등 - 열차제어시스템 통합 · 열차제어시스템 현장 구축

	· 열차제어시스템 통합 및 하부장치별 요구사항 점검 - 열차제어시스템 개발규격서 검증 및 보완 · 열차제어시스템 단계별 점검(성능, 기능) · 열차제어시스템 개발규격서 보완
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 및 제작 실험실 검증 - 2020년 ~ 2021년 : 현차검증 및 보완 - 2022년 ~ 2023년 : 시범운용
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사, 서울교통공사 등 - 도시철도용 KRTCS가 구축되는 신림경전철, 신분당선 등의 시범운용을 통해서 실적확보
	기대효과 및 파급효과 - 국내 최초로 고속철도용 열차자동제어기술을 확보하는 것이며 이를 통한 열차제어시스템의 기능 범위 확대 및 성능 향상으로 수출경쟁력 제고 - ATP 핵심기술인 이동폐색제어기술, 열차속도제어기술은 세계적으로 지속적으로 요구되는 기술이며 ATP 차상장치 및 지상장치에 탑재하여 제품의 성능 증진에 기여할 수 있음 - 열차자동제어기술 확보를 통해 유사 시 지속적인 열차운행을 수행할 수 있도록 하여 국민 편의 향상에도 기여함 - 국내 표준 제정과 함께 필요시 유럽 등의 동향에 맞춰 상호운영성을 확보하기 위한 개정과정까지 포함함으로써 개발 시스템 상호간 및 향후 국제 표준과의 호환성을 유지하며 이를 통한 수출 경쟁력 확보
연구개발 성과물	최종성과물 - 열차제어시스템규격서(상호운영내용 반영) · 시스템규격서 · 시스템인터페이스규격서 · 하부시스템단위 개발요구사항 - 열차제어시스템 검증보고서 - 연구개발 성과물 ·논문 6건 ·특허 6건
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도(7억원) : 연구내용별 성과물 · 열차제어시스템 개발요구사항 조사 및 분석서(상호운영내용 반영)

	▶열차제어시스템 자동화수준 정의 ▶열차제어시스템 성능요구사항 정의 ▶열차제어시스템 기능요구사항 정의 · 열차제어시스템 개발규격서(상호운영 반영) ▶열차제어시스템 개념 및 구성 정립 ▶열차제어시스템 성능명세 ▶열차제어시스템 기능명세 작성 및 기능배치(기본설계) · 열차제어시스템 인터페이스 규격서 ▶열차제어시스템 하부장치간 인터페이스 규격서 ▶열차제어시스템과 타시스템간 인터페이스 규격서 · 열차제어시스템 하부장치간 개발요구사항 ▶관제설비(CTC), 전자연동장치(EI), 지상 및 차상제어장치(ATP/ATO) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 2건 · 특허출원 2건 - 2차년도(7억원) : 연구내용별 성과물 · 열차제어시스템 개발요구사항(보완) ▶열차제어시스템 하부시스템 개발(상세설계)과정에서 발생된 보완사항 반영 · 열차제어시스템 개발규격서(보완) ▶열차제어시스템 개념, 구성 및 성능명세(최소화) ▶열차제어시스템 기본설계내용 보완 * 열차제어시스템 하부시스템 상세설계에 따른 기능명세 및 기능배치 보완 · 열차제어시스템 인터페이스 규격서(보완) * 열차제어시스템 하부시스템 및 타시스템의 상세설계에 따른 인터페이스 규격 보완 ▶열차제어시스템 하부시스템간 인터페이스 규격서 ▶열차제어시스템과 타시스템간 인터페이스 규격서 · 열차제어시스템 하부장치간 개발요구사항(보완) ▶관제설비(CTC), 전자연동장치(EI), 지상 및 차상제어장치(ATP/ATO) 개발요구사항 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 2건 · 특허 출원 2건 - 3차년도(8억원) : 연구내용별 성과물

	· 열차제어시스템 하부시스템 개발요구사항(검증) ▶관제설비(CTC), 전자연동장치(EI), 지상 및 차상제어장치(ATP/ATO)의 개발요구사항 검증 · 열차제어시스템 인터페이스규격서(검증) ▶열차제어시스템 하부시스템간 인터페이스 규격서 검증 ▶열차제어시스템과 타시스템간 인터페이스 규격서 검증 · 열차제어시스템 하부시스템 개발요구사항 검증보고서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원/등록 1건 - 4차년도(8억원) : 연구내용별 성과물 · 열차제어시스템 개발규격서(검증) ▶열차제어시스템의 성능 및 기능명세 검증 ▶열차제어시스템의 인터페이스규격 검증 ▶열차제어시스템 개발규격서 검증보고서 작성 · 열차제어시스템규격서 * 열차제어시스템의 종합성능시험 및 안전성평가 후 최종적으로 확인된 각종 기술자료를 규격서로 작성 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원/등록 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고, 주기적 회의를 통하여 규격, 알고리즘 및 시험계획서 등의 타당성에 대한 검증 수행 - 테스트베드 시험 및 운영에 따른 검증 · 1, 2차년도 실험실 레벨 단독시험 및 연동시험 : 세부과제2 및 세부과제3의 실험실 단위 시험결과 확인 ▶실험실단위 시험지그, 시험절차서 및 평가기준의 적절성을 검증 ▶실험실 단위 시험결과를 시스템 및 하부시스템의 개발규격서를 보완함 · 3, 4차년도 장치 환경 시험 후 현차시험을 통해 기능 및 성능 검증 : 세부과제3에서 구축한 시험인프라, 계측설비 및 시험용 지그의 적절성을 검증

	: 시험계획서(시험항목, 시험절차, 시험평가기준 등)에 대하여 전문가 및 운영기관의 자문 실시 : 시험선에서의 시험결과를 토대로 시스템 및 하부시스템의 개발규격서 보완 - 성과지표별 검증방안 · 논문 발표/게재: 발표 및 게재 논문 복사본 또는 확인서 · 특허 출원: 특허 출원서 및 특허 등록증 · S/W 개발: S/W 등록 확인증 · 시제품 개발: 시제품 목록, 시험 성적서 및 SIL4인증서
기타	

나. 열차무결성 검지장치 개발(열차제어시스템 보완기술)

구분	내용
연구과제명	열차무결성 검지장치 개발
연구개발목표	열차무결성검지장치 개발 및 검증
연구기간 및 지원예산	4년(8억)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - 열차무결성기술(Train Integrity, TI 기술) · 무선통신을 이용하여 열차이동을 제어하는 기술은 열차의 선두위치와 열차길이정보를 이용하여 열차이동권한을 결정하고 있음 · 궤도회로를 사용할 경우, 열차가 분리되는 사고가 발생하여도 지상에서 분리된 열차를 검지할 수 있기 때문에 다른 열차의 접근을 차단할 수 있음 · 궤도회로를 사용하지 않는 경우, 지상에서 분리된 열차를 검지할 수 없기 때문에 다른 열차의 이동을 통제하기 위한 방호구역을 정확히 설정할 수 없음 · 따라서 열차분리사고를 검지하고 분리된 열차의 위치를 계산할 수 있는 열차무결성장치를 개발하는 것이 요구됨 · 열차무결성장치는 **열차에 설치되어** 차상신호장치와 연계하여 열차충돌사고 또는 탈선사고를 방지함 · 유럽은 위성통신을 이용하여 TI기술을 개발하고 있으나, 현재까지 검증되거나 합의된 TI기술은 없는 상태임
	정부지원의 필요성 - 차세대 열차제어시스템을 상용화하기 위해서는 궤도회로의 임무를

	대체하는 장치가 궤도회로와 동등 또는 그 이상의 안전성을 확보하고 있는 것이 확인되어야 함 - 열차무결성검지장치는 단일장치로서 제작사가 독자적으로 개발과 상용화를 추진할 수 있는 규모이나, 독자적으로 운용되지않고 차세대 열차제어시스템과 연계되어야 함 - 차세대 열차제어시스템을 개발할 때 같이 개발하면 기능조건, 성능조건 및 인터페이스조건을 적절하게 설정할 수 있고, 검증을 통한 후 표준규격을 제정하여 차세대 열차제어시스템 상용화 여건을 마련할 수 있음 - 기업과 정부가 개발비용을 공동분담하는 방식으로 개발진행
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - 해당사항 없음
연구개발내용	연구개발 주요내용 - 열차분리사고를 검지하는 열차무결성검지기술 개발 · 열차무결성검지기술 요구사항 및 개념설계 · 열차무결성검지장치 설계 및 제작 · 열차무결성검지장치 기능 및 성능검증(실차검증)
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 및 제작 실험실 검증 - 2020년 ~ 2021년 : 현차검증 및 보완 - 2022년 ~ 2023년 : 시범운용
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사, 서울교통공사 등 - 도시철도용 KRTCS가 구축되는 신림경전철, 신분당선 등의 시범운용을 통해서 실적확보
	기대효과 및 파급효과 - 열차무결성기술, 레일절손검지기술의 상용화를 통해서 궤도회로를 사용하지 않는 열차제어시스템의 도입을 촉진 · 열차제어시스템 구축비용, 시스템 유지관리비용 등을 저감하고, 열차수송용량을 높여 철도운영개선에 기여
연구개발 성과물	최종성과물 - 열차무결성검지기술 개발 · 열차무결성검지기술 설계서 · 열차무결성검지장치 시작품(하드웨어, 소프트웨어) · 열차무결성검지장치 종합성능시험 성적서(실차검증) - 연구개발 성과물 ·논문 6건 ·특허 6건

	·소프트웨어 2건 ·시제품 1건
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도(0.8억) : 연구내용별 성과물 · 열차무결성 검지기술 요구사항 분석서 및 개념설계서 · 열차무결성 검지기술 기능 및 성능명세서 · 열차무결성 검지기술 기본설계서 · 열차무결성검지장치와 차상ATP장치와의 인터페이스규격서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 2건 · 특허출원 2건 - 2차년도(1.8억) : 연구내용별 성과물 · 열차무결성검지장치 상세설계서 ▶ 하드웨어 설계 ▶ 소프트웨어 설계(열차분리검지모듈, 인터페이스모듈) · 열차무결성검지장치 시작품 · 열차무결성검지장치 시험계획서 · 열차무결성 검지장치 기능시험보고서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 2건 · 특허 출원 2건 · 소프트웨어 개발 1건 - 3차년도(4.7억) : 연구내용별 성과물 · 열차무결성 검지장치 시작품(보완) · 열차무결성 검지장치용 (현장)시험장치 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원/등록 1건 · 소프트웨어 개발 1건 · 시작품제작 1건 - 4차년도 (0.7억) : 연구내용별 성과물 · 열차위치검지장치 현장구축 및 점검

	· 열차위치검지장치 종합성능시험평가(성적서) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원/등록 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고, 주기적 회의를 통하여 규격, 알고리즘 및 시험계획서 등의 타당성에 대한 검증 수행 - 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증 · 1, 2차년도 실험실 레벨 단독시험 및 연동시험 · 3, 4차년도 장치 환경 시험 후 현차시험을 통해 기능 및 성능 검증 - 성과지표별 검증방안 · 논문 발표/게재: 발표 및 게재 논문 복사본 또는 확인서 · 특허 출원: 특허 출원서 및 특허 등록증 · S/W 개발: S/W 등록 확인증 · 시제품 개발: 시제품 목록, 시험 성적서
기타	

다. 레일절손검지장치 개발(시스템보완기술)

구분	내용
연구과제명	레일절손검지장치 개발
연구개발목표	레일절손검지장치 개발 및 검증
연구기간 및 지원예산	4년(12억원)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - 레일절손검지기술(Rail Integrity) · 기존선의 신호시스템을 무선통신방식의 열차제어시스템으로 개량하는 경우, 기존 인프라인 궤도회로를 활용하여 레일절손을 검지할 수 있음 · 신선의 경우 궤도회로를 설치하지 않으므로 레일파손, 레일절손이 발생된 구역으로 열차가 접근하는 것을 차단할 수 없음 · 궤도회로를 사용하지 않음에 따라, 끊어진 레일의 위치를 검지할

	수 있는 새로운 기술의 개발이 요구됨 · 레일절손검지장치는 **지상에 설치되며**, 지상신호장치와 연계하여 레일절손으로 인한 열차사고를 방지함 · 최신 철도기술을 선도하고 있는 유럽의 경우 Axle Counter를 이용한 기술, 궤도회로를 개량한 방법, 광케이블 이용한 DAS(Distributed Acoustic Sensing) 등이 검토되고 있음
	정부지원의 필요성 - 차세대 열차제어시스템을 상용화하기 위해서는 궤도회로의 임무를 대체하는 장치가 궤도회로와 동등 또는 그 이상의 안전성을 확보하고 있는 것이 확인되어야 함 - 레일절손검지장치는 단일장치로서 제작사가 독자적으로 개발과 상용화를 추진할 수 있는 규모이나, 독자적으로 운용되지않고 차세대 열차제어시스템과 연계되어야 함 - 차세대 열차제어시스템을 개발할 때 같이 개발하면 기능조건, 성능조건 및 인터페이스조건을 적절하게 설정할 수 있고, 검증을 통한 후 표준규격을 제정하여 차세대 열차제어시스템 상용화 여건을 마련할 수 있음 - 기업과 정부가 개발비용을 공동분담하는 방식으로 개발진행
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - 해당사항 없음
연구개발내용	연구개발 주요내용 - 레일파손, 절손을 검지하는 레일절손검지기술 개발 · 레일절손검지기술 요구사항 및 개념설계 · 레일절손검지장치 설계 및 제작 · 레일절손검지장치 기능 및 성능검증(현장검증)
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 및 제작 실험실 검증 - 2020년 ~ 2021년 : 현차검증 및 보완 - 2022년 ~ 2023년 : 시범운용
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사, 서울교통공사 등 - 도시철도용 KRTCS가 구축되는 신림경전철, 신분당선 등의 시범운용을 통해서 실적확보
	기대효과 및 파급효과 - 열차무결성기술, 레일절손검지기술의 상용화를 통해서 궤도회로를 사용하지 않는 열차제어시스템의 도입을 촉진 · 열차제어시스템 구축비용, 시스템 유지관리비용 등을 저감하고, 열차수송용량을 높여 철도운영개선에 기여

<table>
<tr><td rowspan="2">연구개발 성과물</td><td>최종성과물
- 레일절손검지기술 개발
· 레일절손검지기술 설계서
· 레일절손검지장치 시작품(하드웨어, 소프트웨어)
· 레일절손검지장치의 검지센서
· 레일절손검지장치 종합성능시험 성적서(현장검증)
- 연구개발 성과물
·논문 6건
·특허 6건
·소프트웨어 2건
·시제품 1건</td></tr>
<tr><td>연차별 연구내용별 성과지표
- 1차년도(1.7억원)
: 연구내용별 성과물
· 레일절손검지장치 요구사항 분석서
· 레일절손검지장치의 센싱개념 설계서
· 레일절손검지장치의 기능 및 성능 명세서
· 레일절손검지장치의 기본설계서
· 레일절손검지장치와 타장치와의 인터페이스규격서
: 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수
· 논문 발표/게재 2건
· 특허출원 2건

- 2차년도(5.2억원)
: 연구내용별 성과물
· 레일절손검지장치 센서 설계서
· 레일절손검지장치 시작품
▶ 하드웨어 설계
▶ 소프트웨어 설계(레일절손검지모듈, 인터페이스모듈)
· 레일절손 검지장치 시험계획서
· 레일절손 검지장치 기능시험보고서
: 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수
· 논문 발표/게재 2건
· 특허 출원 2건
· 소프트웨어 개발 1건

- 3차년도(3.3억원)
: 연구내용별 성과물
· 레일절손 검지장치 센서 시작품 시험보고서</td></tr>
</table>

	▶ 장치 환경시험 ▶ 장치 기능시험(레일절손검지, 인터페이스 등) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원/등록 1건 · 소프트웨어 개발 1건 · 시작품제작 1건 - 4차년도(1.8억원) : 연구내용별 성과물 · 레일절손검지장치 현장구축 및 보완 · 레일절손검지장치 종합성능시험평가서 · 레일절손검지장치 센서 보완 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원/등록 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고, 주기적 회의를 통하여 규격, 알고리즘 및 시험계획서 등의 타당성에 대한 검증 수행 - 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증 · 1, 2차년도 실험실 레벨 단독시험 및 연동시험 · 3, 4차년도 장치 환경 시험 후 현차시험을 통해 기능 및 성능 검증 - 성과지표별 검증방안 · 논문 발표/게재: 발표 및 게재 논문 복사본 또는 확인서 · 특허 출원: 특허 출원서 및 특허 등록증 · S/W 개발: S/W 등록 확인증 · 시제품 개발: 시제품 목록, 시험 성적서
기타	

라. 무선통신망 안정성 및 가용성 향상 기술

구분	내용
연구과제명	철도무선통신망의 안정성 및 가용성 향상 기술

연구개발목표	- 무선통신망의 신뢰성을 높이는 기술 - 사이버보안기술(유무선네트워크보안기술)
연구기간 및 지원예산	- 4년(20억원)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - KRTCS 1단계 및 2단계 등을 통해서 철도전용무선통신망 구축과 운용에 필요한 요소기술을 확보된 것으로 판단됨 - 열차무선통신용에 사용하는 주파수인 700MHz 대역을 "초고속해상무선통신망(LTE-M)" 및 “재난안전망(PS-LTE)"과 공동 사용함에 따라 철도전용무선통신망(LTE-R)의 주파수 간섭, 혼용 등이 발생할 수 있고, 열차운행지연사고 및 사고조치의 지연 등을 초래할 수 있어, 이를 최소화하기 위한 방안을 마련하는 것이 요구됨 ·유럽은 철도용으로 GSM-R을 구축·운용하고 있으며, GSM-R의 심각한 장애 또는 통화량 폭주 시, 상용GSM망을 대안망으로 운용할 수 있는 체계를 마련하였음 ·철도운영자의 LTE-R망 구축전략 및 운영전략에 따라 상용망 활용 여부가 결정되겠으나, LTE-R을 구축하고 있는 단계에서 다양한 어려움이 발생될 것이며, 이를 해결하는데 필요한 기술을 선도적으로 확보할 필요가 있음 - 열차제어 무선통신망의 신뢰성과 안전성을 위한 주파수 이중화 기능을 위해서 LTE-R 열차무선통신용에 사용하는 전용주파수인 700MHz 대역 주파수 단절시 기차 선로 주변의 상용주파수로 천이하는 자동 주파수 변경 기능 구현 - 또한, ETCS L2와 달리 이동폐색을 적용하기 위해서는 지상과 열차간에 양방향 연속통신(최소 전송주기 0.5초)을 적용하여야 하며, 이를 위한 무선접속제어기술 개발이 필요하며 이는 기존 과제에서는 확보되지 않음 ·도시철도용KRTCS는 열차속도 150km/h에서 양방향 연속통신을 위한 무선접속제어기술을 확보하였고, 일반·고속철도용KRTCS는 이벤트방식(불연속) 통신을 위한 무선접속제어기술을 확보하였음
	정부지원의 필요성 - 무선 통신은 그 특성상 주파수 간섭, 단절현상을 피할 수 없고, 악의적인 전파 방해 및 사이버 기만 공격 등에 취약함. 국민의 생명과 안전을 보장하고 철도 무선 통신에 최적화된 고신뢰 보안 통신 기술 개발이 시급함 - 철도 통신 보안 시스템은 철도 통신 장비 중 가장 중요한 장비로써 공공성 유지를 위해서는 독점성을 배제해 호환성을 갖춰야 할 필요가 있음. 표준화되지 않은 보안장비를 설치할 경우 철도 통신 장비의 독점성이 발생하고 철도 통신시스템 규격의 호환성

	이 저해되기 때문에 정부 주도 개발이 필요함
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안)
연구개발내용	연구개발 주요내용 - LTE-X(PS-LTE, LTE-)간의 통화 간섭 방지 기술 개발 . 열차통합무선 주파수 소요량 산정 기술 . 열차무선통화와 열차신호제어 주파수의 배치 기술 및 계획 . 동일주파수내 LTE-R 간섭 회피 기술 방안 - 열차제어의 안전성 확보를 위한 주파수 이중화 기능 구현 .LTE-R 열차무선통신용에 사용하는 주파수인 700MHz 대역 주파수 단절시 기차 선로 주변의 상용주파수로 천이 하는 자동 주파수 변경 기능 구현(TRL 7) - 고속으로 주행하는 열차의 이동폐색제어를 위한 양방향 연속 무선접속제어 기술 연구 .고속열차의 이동폐색제어에 필요한 지상과 차상간 양방향 연속통신(전송주기 최소 0.5초)을 위한 무선 접속 제어 기능 구현(일반고속철도용 열차제어시스템개발을 위해서 구축된 LTE-R 분석을 토대로 연구개발기술 선정)
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 및 제작 실험실 검증 - 2020년 ~ 2021년 : 현차검증 시험 참여 및 알고리즘 보완
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사, 서울교통공사 등
	기대효과 및 파급효과 - 테스트베드 구축 및 성능 평가로 인프라 핵심부품 국산화에 기여 - 철도 통신 보안 알고리즘 등 핵심 시스템 상용화 개발에 기여 - LTE-R 알고리즘의 성능 검증 및 안정성/호환성 인증을 통한 실용화 신뢰성 확보 - 미래 고속철도 통신 및 보안 기준 개발에 기여 - LTE-R 신뢰성 및 가용성 향상 기술 기반으로 해외 수출 경쟁력 강화
연구개발 성과물	최종성과물 - 철도무선통신망의 안정화, 가용성 향상 검증 테스트베드 : LTE-X간의 통화 간섭 방지 알고리즘 및 시뮬레이션 프로그램 :열차제어 주파수 신뢰성과 안전성을 위한 전용주파수 단절시 상용주파수로 천이 하는 자동 주파수 변경 알고리즘 및 시뮬레이션 프로그램 :고속열차 이동폐색지원을 위한 LTE-R 양방향 연속 무선접속 제어 알고리즘 및 프로그램 - 철도무선통신망의 안정화, 가용성 향상 관련 연구 결과물

	: 논문 6건 : 특허 8건 : S/W 6건 : 시제품 1건
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도 (3.5억) : 연구내용별 성과물 · LTE-X간의 통화 간섭 방지 알고리즘 기술연구 · 열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 설계서 · 고속열차 이동폐색제어를 위한 LTE-R 양방향 연속 무선접속제어 알고리즘 설계서(일반고속철도용 열차제어시스템개발을 위해서 구축된 LTE-R 분석을 토대로 제어기술 연구) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표 2건 · 특허 출원 2건 - 2차년도 (13억) : 연구내용별 성과물 · LTE-X간의 통화 간섭 방지 알고리즘 프로그램(시험보고서) · 열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 프로그램(시험보고서) · 고속열차 이동폐색제어를 위한 LTE-R 양방향 연속 무선접속제어 프로그램(시험보고서) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표 2건 · 특허 출원 2건 · S/W 개발 3건 · 시뮬레이션 시제품 1건 - 3차년도 (2억) : 연구내용별 성과물 · LTE-X간의 통화 간섭 방지 알고리즘 프로그램 현차 검증 (현장시험보고서) · 열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 기술 이전 및 현장시험(현장시험보고서) · 고속열차 이동폐색제어를 위한 LTE-R 양방향 연속 무선접속제어 기술 알고리즘 현장 검증 지원(현장검증보고서) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수

	· 논문 발표 1건 · 특허 출원 2건 · 3세부과제 통신업체에 기술이전 관련 TM 문서 3건 - 4차년도 (1.5억) : 연구내용별 성과물 · LTE-X간의 통화 간섭 방지 알고리즘 프로그램 현차검증 (현장검증보고서) · 열차제어 주파수 자동 천이 기술 알고리즘 현장검증(현장검증보고서) · 고속열차 이동폐색제어를 위한 LTE-R 양방향 연속 무선접속제어 기술 알고리즘 및 현장검증(현장검증보고서) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표 1건 · 특허 출원 2건 · 보완 S/W 개발 3건 . 보완 시제품 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 . 주파수 이중화를 위한 자동 주파수 변경 기능 알고리즘은 열차제어 통신 주파수 검토 위원회에서 검토 . 열차제어 신뢰성과 가용성 향상을 위한 무선 접속 제어 기능 알고리즘은 철도운영기관으로 구성된 위원회에서 검토 - 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증 . 1, 2차년도 시뮬레이션 레벨 테스트 베드 시험 후 3차년도에 3세부과제 인프라구축 공동 개발 설치 업체에 기술 이전 및 현장지원 및 4차년도 현장실험으로 개발된 알고리즘 적용 예정 - 성과지표별 검증방안
기타	

마. 실용화지원기술개발

구분	내용
연구과제명	실용화 지원기술
연구개발목표	- 규격 및 기술기준 등 관련기술의 제도화 체계 확립

연구기간 및 지원예산	- 4년(27억원)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - 실용화를 위한 관련기술 제도화 지원 · 본 연구의 기술수준목표는 7(TRL 7)이상으로 현장에 적용함에 있어 안전성과 신뢰성을 보장하고 있음 · 이러한 연구성과의 실용화를 촉진하기 위해서는 관련 성과의 기술내용을 KSR, 설계편람, 운전규칙, 형식승인 기술기준 등에 반영하는 것이 필요함 · 지상설비와 차상설비간 상호운영성을 효율적이고 객관적으로 검증하기 위한 설비를 확보할 필요가 있음(예:ETCS의 TSI를 검증하기 위해서 유사한 장치를 활용하고 있음) - 지상설비와 차상설비간 인터페이스 검증 및 관리 · KSR의 인터페이스 규격, 설계편람의 기술기준, 운전규칙의 개정사항에 대한 차상장치 및 지상설비의 규격 및 기준 등의 준수를 검증하고 개선하기 위해서 요구됨 · 또한 현재까지의 신호시스템은 도입·운용기간이 상당히 길어 기술변화의 속도가 늦지만, 최근의 시스템은 정보통신기술을 적용하면서 기술변화속도가 계속 높아지고 있음 · 따라서 현장에 운용중인 설비를 활용한 교육과 훈련으로 기술변화속도를 쫓아가는 것이 어려운 상황이며, 자동화를 지원함에 따라 기존보다 시스템 이 고도화됨에 따라 새로운 시스템을 운용하는데 많은 교육과 훈련이 요구됨
	정부지원의 필요성 - 열차제어시스템은 공공인프라인 철도의 안전하고 효율적인 운영을 보장하는 핵심설비이나, 현재까지 외산시스템을 도입운용하고 있음 - 철도의 스마트화, 지능화에 따라 열차제어시스템의 중요성이 커지고 있으며, 높은 수준의 시스템 운영능력을 필요로 하는 열차제어시스템이 도입되어 운용되고 있음 - 상당수의 노선은 노후화되어 개량이 필요한 열차제어시스템을 사용하고 있으나, 시스템 운영자(유지보수자 포함)는 새로운 시스템에 대한 이해부족, 기존 시스템에 대한 높은 신뢰성 등으로 인하여 새로운 시스템으로 개량하는 것에 대해서 소극적임 - 새로운 차세대시스템의 실용화를 촉진하기 위해서는 철도운영자에 대한 적극적인 교육과 훈련을 통해서 새로운 시스템에 대한 이해와 신뢰성을 높이는 것도 매우 중요함 · 차세대 시스템이 상용화되어 시스템 공급사가 운영기관에 교육·훈련설비를 공급하기 전까지 개발성과물을 활용하여 교육·훈련설비를 구축하고, 이를 운영할 수 있도록 지원이 필요함
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안)

	- 해당사항 없음
연구개발내용	연구개발 주요내용 - 실용화를 위한 법체계 지원 · 시스템 개발규격서를 토대로 표준규격서(안) 작성 · 시스템 형식승인을 위한 기술기준(안) 작성 - 지상설비 및 차상설비의 인터페이스 검증 및 관리 · “인터페이스 검증, 교육 및 훈련시스템”에 대한 사용자 요구사항 분석 · 인터페이스 검증, 교육 및 훈련 계획서 작성 :(교육·훈련)새로운 시스템의 열차위치검지, 열차간견제어원리, 자동운전원리, 열차이동제어절차 등을 철도신호시스템을 운영하고 유지관리자에게 전파함 :(인터페이스검증)개발사업을 완료한 후 본 사업에 참여하지 않은 제3자가 열차제어시스템의 하부장치를 제작하였을 경우, 인터페이스규격을 만족하고 있는지 검증함 · “인터페이스 검증, 교육 및 훈련시스템” 설계 및 제작 :시제품과 동일하게 제작하고, 철도운영과 유사한 환경을 구현하는 것이며, 3차년도와 4차년에 제작비용, 검증비용을 집중 투입함 · 인터페이스 검증, 교육 및 훈련을 통한 시스템 보완
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 관련규격 검토 및 제안서 작성 - 2020년 ~ 2021년 : 보완 및 제도화 지원
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사 등 - 주기적인 홍보와 교육·훈련 실시
	기대효과 및 파급효과 - 새로운 열차제어시스템의 상용화 연건 마련 - 신시스템에 대한 교육과 훈련을 통하여 시스템 실용화에 대한 긍정적인 여건 마련
연구개발 성과물	최종성과물 - 시스템 표준규격서(안) - 시스템 기술기준(안) - 시스템의 교육·훈련 메뉴얼 - “인터페이스 검증 및 교육·훈련 시스템” 1식
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도 (1억원) : 연구내용별 성과물 · 관련기술의 기술기준 및 규격 검토 및 제/개정안(초안)

	· 열차제어시스템 인터페이스 검증 및 교육·훈련설비 요구사항 조사 및 분석서 · 열차제어시스템 인터페이스 검증 및 교육·훈련설비 개념설계서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 해당사항 없음 - 2차년도 (3억원) : 연구내용별 성과물 · 관련기술의 기술기준 및 규격 제/개정안(보완) · 열차제어시스템 인터페이스 검증 및 교육·훈련설비 설계서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 해당사항 없음 - 3차년도 (7억원) : 연구내용별 성과물 · 관련기술의 기술기준 및 규격 제/개정안(보완) · 열차제어시스템 표준규격(안) · 열차제어시스템 기술기준(안) · 열차제어시스템 인터페이스 검증 및 교육·훈련설비(제작) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 시작품 1식 - 4차년도 (16억원) : 연구내용별 성과물 · 관련기술의 기술기준 및 규격 제/개정안 · 열차제어시스템 표준규격(안) 보완 · 열차제어시스템 기술기준(안) 보완 · 열차제어시스템 인터페이스 검증 및 검증보고서 · 열차제어시스템 교육 및 훈련 메뉴얼 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 해당사항 없음
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고, 주기적 회의를 통하여 규격 및 교육·훈련계획서 등의 타당성에 대한 검증 수행 - 공청회 및 홍보

	· 공청회를 통해서 표준규격(안)과 기술기준(안)에 대한 관계자 의견 반영 · 관계 기관에 대한 교육·훈련 홍보와 시험선에서 시범운영을 통한 검증 - 성과지표별 검증방안 · 해당사항 없음
기타	

2. 세부과제 2: 이동폐색기반 ATP/ATO 기술 및 장치 개발

가. ATP/ATO 규격개발 및 차상-지상 통합

구분	내용
연구과제명	ATP/ATO 규격개발 및 차상-지상 통합
연구개발목표	ATP/ATO 개발규격서 작성(상호운영내용 반영) ATP/ATO 차상장치와 지상장치 통합 *세부과제 1의 '시스템통합 및 규격 개발'의 연구성과를 토대로 하부장치(지상에 설치되는 ATP 차상에 설치되는 ATP/ATO)의 규격 개발 및 통합을 수행함 *차상장치는 열차안전간격제어를 위해서 시험열차 2편성에 설치할 수 있는 수량 확보
연구기간 및 지원예산	4년(14억원)
연구개발 필요성 및 기술동향	기술동향 - 무선통신을 이용한 고속철도용 열차제어시스템은 자동운전을 지원하는 차세대시스템으로서 유럽, 중국 등에서 진행하고 있음 - 고속철도에 적용하기 위해서는 ETCS L3의 ATP기술과 CBTC의 ATO기술을 활용하는 것이 적절할 것으로 판단되나, 이에 대한 개발결과물이 공개되지 않고 있음 연구개발 필요성 - 차세대 열차제어시스템의 개발동향, 국내 열차제어시스템 개발역량 및 실용화 전략을 토대로 외국과 경쟁할 수 있는 열차제어시스템을 확보하는 것이 요구됨 - 차세대 열차제어시스템에 요구되는 개발사항은 다음과 같음 · 이동폐색제어기술 및 자동운전(또는 무인운전)을 지원 · 고속철도, 일반철도 및 도시철도에 모두 적용할 수 있음 · 기존 신호시스템의 지상신호설비와 상호운영성 확보 등 - 특히 열차제어시스템의 핵심장치는 지상에 설치되는 지상ATP, 열차에 설치되는 차상ATP, 차상ATO이며, 상호운영성을 확보하는데 있어서 중요한 역할을 담당함 · 지상ATP, 차상ATP, 차상ATO의 경우, 이동폐색제어기술, 자동운전 기술을 새로이 개발하여야 하므로 각 장치에 대한 기능, 성능, 인터페이스 사항 등을 정의하고, 이를 검증하는 것이 필요함 · 특히 기존 열차제어시스템(일반·고속철도용 KRTCS, 현재 일반선에서 운용중인 ATP)의 지상설비와 연계하기 위한 기능, 성능, 인터페이스 등을 정의하고 검증하는 것이 요구됨 · 차상ATP, 차상ATP 및 차상ATO의 통합을 체계적으로 관리하는 것이 요구됨

- 따라서 지상에 설치되는 ATP와 차상에 설치되는 ATP/ATO개발에 필요한 개발규격서를 공유하는 것이 필요하며, 이에 시스템엔지니어링 절차를 적용하고, 안전성 인증과 종합성능시험에 활용함
  · ATP/ATO장치의 개발요구사항 조사 및 분석
  · ATP/ATO장치의 개발규격서 정립
  : 장치구성, 성능, 기능 및 인터페이스
  · ATP/ATO 지상장치와 차상장치 통합 및 규격서 검증(보완)
- 세부과제 1의 '시스템통합 및 규격 개발'의 연구성과를 토대로 하부장치(지상에 설치되는 ATP 차상에 설치되는 ATP/ATO)의 규격개발 및 통합을 수행하며, 개발 및 통합과정에서 보완사항이 발생되면 세부과제 1의 '시스템통합 및 규격 개발'과 공유하고, 조치결과를 반영함

구분	내용
(1세부)시스템통합 및 규격 개발	-열차제어시스템의 임무를 수행하기 위해서 열차제어시스템의 하부장치(CTC, EI, 지상ATP, 차상ATP, 차상ATO) 및 타설비(끌림검지장치, 지장물검지장치, HBD 등)을 서로 연결하여 통합하는데 필요한 시스템개발규격, 장치간 인터페이스규격, 시스템시험규격 등을 작성함 -1세부에서 생성된 각종 규격은 하부장치를 개발(또는 발주)하기 위한 기준자료로 사용되며, 하부장치개발(또는 발주)과정에서 보완사항이 도출되면 규격의 갱신이 이루어짐 -또한 하부장치와 타설비가 현장에 설치되면, 1세부에서 생성된 각종 규격을 기준으로 장치연결, 시스템 통합, 시스템 검증 등을 실시함
(2세부)ATP/ATO 규격개발 및 차상-지상 통합	-열차제어시스템 하부장치중 지상ATP, 차상ATP, 차상ATO의 하드웨어와 소프트웨어를 개발할 것이며, 하드웨어와 소프트웨어 제작, 하드웨어-소프트웨어 통합, 차상ATP와 차상ATO 연결, 지상ATP와 차상ATO 연결 등에 필요한 각종 규격 등을 작성함(CTC와 EI는 발주사양서를 작성 후 전문기업에 제작의뢰) -지상장치개발자와 차상장치개발자를 분리할 계획이며, 개발된 장치를 통합하는 과정에서 발생되는 문제를 최소화하기 위해서 각 장치와 입·출력장치 사양, 각 장치에 설치되는 소프트웨어 모듈종류와 입·출력사양, 소프트웨어 모듈의 동작절차 등 상세한 내용이 규격으로 작성됨 -또한 과제완료 후 상호운영성을 지원하기 위해서 생성된 각종 자료를 규격으로 제정하여 공개할 계획임 -각종 규격개발은 1세부에서 작성된 규격을 기준으로 이루어짐

	정부지원의 필요성 - 열차제어시스템은 공공인프라인 철도의 안전하고 효율적인 운영을 보장하는 핵심설비이나, 지상설비와 차상설비간 상호운영성이 필요함 - 열차제어시스템의 핵심장치인 지상ATP, 차상ATP, 차상ATO가 적절하게 연계되어야 효율적인 열차운영과 상호운영이 가능해짐 - 열차제어시스템에 요구되는 효율적인 열차운영을 확보하기 위해서는 시험선(또는 영업선)에서 시험열차를 운영하는 것이 요구되나, 이러한 인프라를 구축운영하는데 많은 비용이 소요되어 기업이 독자적으로 추진하기에는 무리가 있음 - 또한 차세대 열차제어시스템을 개발하여 기술을 선도하고, 이를 실용하기 위해서는 많은 위험이 있어 정부와 기업이 이를 분담하는 전략이 요구됨
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - 해당사항 없음
연구개발내용	연구개발 주요내용 - ATP/ATO장치 개발요구명세서 작성(상호운영 반영) · 장치 요구사항 조사 및 분석 · 장치 구성, 성능 및 기능 정립 · 장치 인터페이스규격서 작성 - ATP/ATO 통합 · 지상장치 및 차상장치 현장 구축 · 지상장치 및 차상장치별 요구사항 점검 · 지상장치와 차상장치간 인터페이스규격 점검 - ATP/ATO 개발규격서 검증 및 보완 · 단계별 점검(성능, 기능) · 개발규격서 보완 - ATP/ATO 장치사양서
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 및 제작 실험실 검증 - 2020년 ~ 2021년 : 현차검증 및 보완 - 2022년 ~ 2023년 : 시범운용
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사, 서울교통공사 등 - 오송종합시험선 및 호남고속선의 시범운영을 통해서 실용화 실적 확보
	기대효과 및 파급효과 - 국내 최초로 고속철도용 열차자동제어기술을 확보하는 것이며 이를 통한 열차제어시스템의 기능 범위 확대 및 성능 향상으로 수출경쟁력 제고 - ATP 핵심기술인 이동폐색제어기술, 열차속도제어기술은 세

	계적으로 지속적으로 요구되는 기술이며 ATP 차상장치 및 지상장치에 탑재하여 제품의 성능 증진에 기여할 수 있음 - 열차자동제어기술 확보를 통해 유사 시 지속적인 열차운행을 수행할 수 있도록 하여 국민 편의 향상에도 기여함 - 국내 표준 제정과 함께 필요시 유럽 등의 동향에 맞춰 상호운영성을 확보하기 위한 개정과정까지 포함함으로써 개발 시스템 상호간 및 향후 국제 표준과의 호환성을 유지하며 이를 통한 수출 경쟁력 확보
연구개발 성과물	최종성과물 - ATP/ATO장치규격서(상호운영 반영) · 장치규격서 · 인터페이스규격서 · 지상장치 및 차상장치별 개발요구사항 - ATP/ATO장치 검증보고서 - 연구개발 성과물 ·논문 6건 ·특허 6건
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도(3억원) : 연구내용별 성과물 · ATP/ATO장치 개발요구사항 조사 및 분석서(상호운영내용 반영) * 열차제어시스템의 개발요구명세서 자료를 기반으로 진행 ▶ATP/ATO장치 성능요구사항 정의 ▶ATP/ATO장치 기능요구사항 정의 · ATP/ATO장치 개발규격서 작성(상호운영 반영) ▶ATP/ATO장치 구성 ▶ATP/ATO 성능명세 작성 ▶ATP/ATO 기능명세 작성 및 기능배치(기본설계) · ATP/ATO장치 인터페이스 규격서 ▶차상장치와 지상장치간 인터페이스 규격서 ▶열차내 타장치와의 인터페이스 규격서 ▶지상의 타장치와의 인터페이스 규격서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원 1건 - 2차년도(4억원) : 연구내용별 성과물 · ATP/ATO장치 개발규격서(보완) * ATP/ATO 차상장치 및 지상장치 상세설계에 따른 개발규격서 보완

	▶ATP/ATO장치 구성 및 성능명세(최소화) ▶ATP/ATO 기능명세 및 기능배치 · ATP/ATO장치 인터페이스 규격서(보완) * ATP/ATO 차상장치 및 지상장치 상세설계에 따른 인터페이스 규격 보완 ▶차상장치와 지상장치간 인터페이스 규격서 ▶열차내 타장치와의 인터페이스 규격서 ▶지상의 타장치와의 인터페이스 규격서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 2건 · 특허 출원 2건 - 3차년도(4억원) : 연구내용별 성과물 · ATP/ATO장치 개발요구사항 검증보고서 ▶지상장치 및 차상장치별 개발요구사항 검증 · ATP/ATO장치 인터페이스규격서 검증보고서 ▶차상장치와 지상장치간 인터페이스 규격서(보완) ▶열차내 타장치와의 인터페이스 규격서(보완) ▶지상의 타장치와의 인터페이스 규격서(보완) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원/등록 2건 - 4차년도(3억원) : 연구내용별 성과물 · ATP/ATO장치 개발규격서 검증보고서 ▶ATP/ATO장치의 성능 및 기능명세 검증 ▶ATP/ATO장치의 인터페이스규격 검증 ▶ATP/ATO장치 개발규격서 검증보고서 작성 · ATP/ATO 장치규격서 * 열차제어시스템의 종합성능시험 및 안전성평가 후 최종적으로 확인된 각종 기술자료를 규격서로 작성 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고, 주기적 회의를 통하여 규격, 알고리즘 및 시험계획서 등의 타당성에 대한 검증 수행

	- 테스트베드 시험 및 운영에 따른 검증 · 1, 2차년도 실험실 레벨 단독시험 및 연동시험 : 세부과제2 및 세부과제3의 실험실 단위 시험결과 확인 ▶실험실단위 시험지그, 시험절차서 및 평가기준의 적절성을 검증 ▶실험실 단위 시험결과를 시스템 및 하부시스템의 개발규격서를 보완함 · 3, 4차년도 장치 환경 시험 후 현차시험을 통해 기능 및 성능 검증 : 세부과제3에서 구축한 시험인프라, 계측설비 및 시험용 지그의 적절성을 검증 : 시험계획서(시험항목, 시험절차, 시험평가기준 등)에 대하여 전문가 및 운영기관의 자문 실시 : 시험선에서의 시험결과를 토대로 시스템 및 하부시스템의 개발규격서 보완 - 성과지표별 검증방안 · 논문 발표/게재: 발표 및 게재 논문 복사본 또는 확인서 · 특허 출원: 특허 출원서 및 특허 등록증 · S/W 개발: S/W 등록 확인증 · 시제품 개발: 시제품 목록, 시험 성적서 및 SIL4인증서
기타	

나. 이동 폐색용 지상 ATP 개발

구분	내용
연구과제명	이동 폐색용 지상 ATP 개발
연구개발목표	이동폐색제어알고리즘 개발 및 안전성 검증 열차안전간격제어기술 개발 및 안전성 검증
연구기간 및 지원예산	4년(35억원)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 · 이동폐색제어기술은 중앙에서 무선통신을 기반으로 선행열차와 후속열차의 위치를 실시간으로 추적하고, 이 위치 정보를 이용하여 선행열차와 후속열차의 열차간격을 실시간으로 제어하는 기술임 · 무선통신기술의 발달에 따라 이러한 무선기반 이동폐색제어기술

	의 구현이 가능하게 되었으며 현재는 도시철도에서 우선적으로 적용되고 있음 :절대위치보정용 지상자(또는 유로발리스)를 사용하여 보정한 실시간 열차위치정보를 기반으로 열차이동권한설정, 정적속도프로파일 등을 설정함 · 도시철도는 선로구성이 단순하고, 철도차량형식이 단순하여 이 기술을 우선적으로 적용할 수 있었으나, 일반철도와 고속철도의 경우는 상대적으로 복잡한 선로구조와 다양한 차량형식으로 현재까지는 적용하지 않고 있음 · 일반철도와 도시철도에서도 효율성과 안전성 제고를 위하여 이동폐색제어기술을 적용할 필요가 있으며, 특히 도시철도와 일반철도가 일부 노선을 공통으로 사용하는 프로젝트가 진행되고 있어서 일반철도노선에 진입한 도시철도에 안전한 간격과 진로를 보장할 수 있도록 상호운영성도 확보되어야 함 · 고속철도 운전환경(고속주행), 일반철도 운전환경(복잡한 역사선로, 입환구역에서의 작업, 역간에서의 회차(turn back), 화물열차 주행 등)이 반영되어야 함
	정부지원의 필요성 - 지상ATP는 열차제어시스템을 구성하는 하부장치이며, 제어영역에 있는 모든 열차의 위치를 추적하고 이동을 제어하는 핵심설비임 - 따라서 핵심설비인 지상ATP가 수행하는 기능과 달성해야 하는 성능 등에 대한 완성도를 검증하는 것이 요구됨 - 이를 검증하기 위해서는 시험선(또는 영업선)에서 시험열차를 운영하는 것이 요구되나, 이러한 인프라를 구축운영하는데 많은 비용이 소요되어 기업이 독자적으로 추진하기에는 무리가 있음 - 국내 철도신호산업의 경쟁력을 높이기 위해서는 새로운 시스템의 도입을 촉진해야 하며, 핵심장치인 지상ATP개발과 검증이 요구됨 - 기업과 정부가 지상ATP개발에 소요되는 비용을 서로 분담하여 개발을 진행하는 전략이 요구됨
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - 해당사항 없음
연구개발내용	연구개발 주요내용 - 이동폐색제어 및 안전간격제어에 요구되는 기능 · 지상ATP에서 궤도회로를 사용하지 않고 양방향 연속 무선통신기술을 적용해서 구현해야 하는 기능은 다음과 같음 : 열차제한속도설정(Most Restricted Speed Profile연산) : 열차이동권한 결정(선행열차와 후속열차간 안전간격 설정) : 제어영역에서 운행중인 열차위치 결정 : 관제설비 및 전자연동장치로 열차위치정보 전송 : 레일절손, 선로지장물검지 등 안전설비 감시 등

	· 차상ATO의 자동운전을 지원하는 기능은 다음과 같음 : 열차운전모드변경 관리 : 열차출입문과 승강장 출입문 개폐제어(필요시) - 이동폐색제어 및 안전간격제어기술 개발 내용 · 고속철도 및 일반철도용 이동폐색제어를 위한 요구사항 분석 · 고속철도 및 일반철도용 이동폐색제어기능 개념 정립 : 열차제한속도설정, 열차이동권한 결정, 열차위치결정 등 주요 기능 개념 : 열차운전모드변경, 출입문개폐제어 등 차상ATO지원기능 개념 · 고속철도 및 일반철도용 이동폐색제어기능 설계(소프트웨어 제작) · 지상ATP장치 설계 및 제작 · 지상ATP 하드웨어 및 소프트웨어 통합 및 검증
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 및 제작 실험실 검증 - 2020년 ~ 2021년 : 현차검증 및 보완 - 2022년 ~ 2023년 : 시범운용
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사, 서울교통공사 등 - 오송종합시험선 및 호남고속선의 시범운영을 통해서 실용화 실적 확보
	기대효과 및 파급효과 - 국내 최초로 고속철도용 열차자동제어기술을 확보하는 것이며 이를 통한 열차제어시스템의 기능 범위 확대 및 성능 향상으로 수출경쟁력 제고 - ATP 핵심기술인 이동폐색제어기술, 열차속도제어기술은 세계적으로 지속적으로 요구되는 기술이며 ATP 차상장치 및 지상장치에 탑재하여 제품의 성능 증진에 기여할 수 있음 - 열차자동제어기술 확보를 통해 유사 시 지속적인 열차운행을 수행할 수 있도록 하여 국민 편의 향상에도 기여함 - 국내 표준 제정과 함께 필요시 유럽 등의 동향에 맞춰 상호운영성을 확보하기 위한 개정과정까지 포함함으로써 개발 시스템 상호간 및 향후 국제 표준과의 호환성을 유지하며 이를 통한 수출 경쟁력 확보
연구개발 성과물	최종성과물 - 이동폐색용 지상 ATP 설계서 및 S/W - 이동폐색제어기능과 안전간격제어기능이 설치되는 하드웨어 · 지상장치 설계 및 제작 : 기확보 KRTCS의 지상 ATP장치 및 하부장치 설계 기술 활용

	- 연구개발 성과물 ·논문 6건 ·특허 6건 ·소프트웨어 2건 ·시제품 1건
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도(1억) : 연구내용별 성과물 · 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 요구사항 분석서 및 개념설계서 · 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 기본설계서 · ATP지상장치 상세설계서 · 안전성인증활동(1) ▶ RAMS관리계획서 ▶ 사전위험원 분석서 등 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원 1건 - 2차년도(25.5억) : 연구내용별 성과물 · 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 상세설계서 ▶ 열차위치결정 소프트웨어모듈 ▶ 열차이동권한설정 소프트웨어모듈 ▶ 열차제한속도설정 소프트웨어 모듈 등 · ATP 지상장치(제작) · 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 시험계획서 · 실험실단위 시험장치(제작) · 장치 단위 시험보고서(이동폐색제어기능 및 열차속도제어기능) · 안전성인증활동(2) ▶ 소프트웨어 RAMS관리계획서 ▶ 소프트웨어 사전위험원 분석서 ▶ 소프트웨어 품질관리계획서 등 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 2건 · 특허 출원 2건 · 시작품 1건 - 3차년도(6억) : 연구내용별 성과물

	· ATP 지상장치 시제품 · 타장치와의 연동을 통한 인터페이스 보완 · 안전성인증활동(3) ▶ 하드웨어 및 소프트웨어 설계서 평가 ▶ 하드웨어 및 소프트웨어 시험 등 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원/등록 2건 · 소프트웨어 개발 2건 · 시제품 1건 - 4차년도(2.5억) : 연구내용별 성과물 · ATP 지상장치 현장구축 및 점검 · 이동폐색제어기능 및 열차속도제어기능 현장시험보고서 · 안전성인증활동(4) ▶ 하드웨어 및 소프트웨어 통합 시험보고서 ▶ 지상ATP의 safety case 및 인증서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 1건 · 특허 출원 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고, 주기적 회의를 통하여 규격, 알고리즘 및 시험계획서 등의 타당성에 대한 검증 수행 - 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증 · 1, 2차년도 실험실 레벨 단독시험 및 연동시험 · 3, 4차년도 장치 환경 시험 후 현차시험을 통해 기능 및 성능 검증 - 성과지표별 검증방안 · 논문 발표/게재: 발표 및 게재 논문 복사본 또는 확인서 · 특허 출원: 특허 출원서 및 특허 등록증 · S/W 개발: S/W 등록 확인증 · 시제품 개발: 시제품 목록, 시험 성적서 및 SIL4인증서
기타	

다. 자동운전을 지원하는 차상 ATP/ATO 개발

구분	내용
연구과제명	자동운전을 지원하는 차상 ATP/ATO 개발
연구개발목표	- 열차자동운전제어(출발, 운행, 정차) 기술 및 장치 개발 - 열차속도제어알고리즘 개발 및 안전성 검증 - 고속철도(상호운영성 고려 시 일반철도 포함)에서 GoA2 수준의 자동화 수준 확보(추후 GoA4 수준으로 향상) -정확성과 경제성을 충족시키는 제어기술 확보 및 구현 *차상장치 ATP는 열차안전간격제어를 위해서 시험열차 2편성에 설치할 수 있는 수량 확보
연구기간 및 지원예산	- 4년(35억원)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 및 기술동향 - 자동열차운전제어기술은 도시철도분야에서 무인운전까지 지원하고 있는 검증된 기술임 - 현재 대부분의 열차에서는 자동열차운전제어기술을 ATO (Automatic Train Operation, 열차자동운전장치)라는 별도의 장치에서 구현하고 있음 - ETCS(European Train Control System)에서는 ATO에 대한 사항이 기술되어 있지 않음. 즉 열차의 간격과 진로 제어를 담당하는 ATP 및 EI 등에 대한 내용만 기술되어 있으며, ATO 규격에 대한 내용은 생략되어 있음 · 상호운영성을 유지하기 위해 ATO는 ATP와 독립된 모듈로 제공되어야 하며, ATO 탑재를 위해 ATP의 변경을 요구해서는 안 됨 · 유럽에서는 ETCS에 추가하여 ATO on ETCS라는 주제로 ETCS를 기반으로 GoA4까지 지원하기 위한 기술을 지속적으로 연구하고 있음 - ATO 기술에는 다양한 상황에 맞게 열차의 자동제어를 담당하는 기술과 정위치정차제어기술, 경제적운행기술이 포함되어 있음. 이 중 정위치정차제어기술과 경제적운행기술은 기술수준이 정량적으로 명시될 수 있는 기술이며 선진 세계적 철도기업에서 이에 대한 기술 수준 확보를 위해 경주하고 있음 · 도시철도의 경우 봄바르디어와 알스톰에서는 ±15cm의 정위치정차제어기술을 확보하고 있다고 브로셔에 홍보하고 있음. 이 기술은 제어기뿐만 아니라 차량과 선로의 상태와도 연관이 있으므로 ±15cm의 정확성이 항상 충족되는 것은 아님. 그러나 최신 열차에서 직선 선로의 경우 이를 만족하며 이는 열차제어의 정밀성을 나타내는 지표임. 고속철도의 경우 도시철도 만큼 이에 대한 중요성이 크지는 않으나 안전

	성 및 승객편의성 확보차원에서 ±75cm의 정위치정차제어기술은 확보하여야 함 - 열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h) · 이동폐색을 적용한 열차속도제어기술은 도시철도에 적용하고 있으며, 이 기술의 핵심은 확인된 선행열차와 당 열차의 위치에 따라 주어진 열차의 이동권한을 바탕으로 현재 위치에서 적용할 수 있는 열차제한속도를 설정하고, 열차의 현재속도를 확인하여 열차의 과속여부를 판단하는 것임. 이는 차상 ATP에서 수행됨 · 도시철도는 열차속도는 제한하는 것은 비상제동속도, 상용전제동속도로 단순하고, 열차주행속도가 150km/h이기 때문에 제동인가타이밍을 엄격하게 제한하지 않고 있음 · 고속철도는 열차운행최고속도가 300km/h 이상이기 때문에 제동인가시점이 열차의 과속현상 발생에 심각한 영향을 초래하고 있음 · 이에 따라 ETCS SRS에서는 열차속도를 감시하고 과속이 발생하지 않도록 많은 속도프로파일과 파라메터를 설정하고 있음 : Traction/braking model, Brake build up time 계산 : 비상제동, 상용제동용 감속률 계산 : 열차속도 및 주행거리 감시 등 · 위 항목은 고정폐색에서 구현되고 검증된 사항이며, 이동폐색에서 변경없이 적용할 수 있는지 또는 추가사항이 필요한지에 대한 검증이 요구됨 · 도시바에서는 지상신호장치, 차상신호장치, 각종 계측시스템의 통합과 효율적 열차제어를 통한 열차에너지 소비량 감축 방안에 대한 연구를 수행하였으며 9.4%의 감소를 구현함(포르투갈 철도)
	정부지원의 필요성 - 열차자동제어기술 및 속도제어기술은 선진기술확보라는 의의와 함께 유사 시 지속적인 열차운행을 수행할 수 있도록 하는 국민 편의 향상에도 그 뜻이 있음. 또한 일자리와도 연관이 있음. 그러므로 정부지원을 통하여 국민 편의 증진과 일자리 다변화라는 국가적 목표를 제시하고 기술확보 추진이 필요함 - ETCS에 ATO에 대한 기술적 표준이 기술되어 있지 않으므로 우리나라 전용의 ATO 표준 제정과 함께 유럽 등의 동향에 맞춰 상호운영성을 확보하기 위한 개정이 필요함. 민간회사에서는 개별적으로 이를 수행할 수가 없으며 혹 수행한다 하더라도 개발 시스템 상호간 및 향후 국제 표준과의 호환성을 유지할 수 없음. 따라서 정부지원을 통하여 열차자동제어기술의 국가적 표준 제정이 필요함
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - ‘도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및

	성능평가’ 과제에서는 도시철도용 ATO를 개발하였음. 본 과제와는 대상 시스템이 도시철도와 고속철도라는 차이가 있으나 무선통신기반 열차제어시스템이라는 시스템 구현 방법의 동질성이 있으므로 상기 과제에서 도출한 ATO의 시스템 구성 체계는 유지하고 구현 알고리즘을 이용하거나 발전시킨 다면 당 과제의 수행을 보다 용이하게 할 수 있음 - 중소기업청 과제인 ‘5호선 및 7,8호선 전동차 ATO Unit 국산개발’ 과제에서는 도시철도인 서울 5, 7, 8호선 ATO에 대한 개발을 수행하였으나 본 과제와는 도시철도/고속철도라는 차이가 있으며 또한 현차 장착할 수준까지 개발이 되어 있지는 않음. 이에 반하여 한국철도기술연구원 주요사업인 ‘하위호환성을 고려한 열차자동운전장치의 최신화 및 모듈화 개발연구’ 과제에서는 서울 5호선 ATO에 대한 인터페이스 호환 구현까지 완료함. 또한 여기에서는 정위치정차성능을 개선하기 위한 알고리즘 연구도 수행함. 이를 이용하되 대상 열차를 도시철도에서 고속철도에 맞도록 동특성 분석을 수행하고 이에 따른 제어 모델 수정을 하여 적합한 제어기 알고리즘을 구현할 수 있음
연구개발내용	연구개발 주요내용 - 열차자동운전제어기술 : ETCS에서 GoA2 수준 구현을 위하여 ATO에서 지원해야 하는 기능은 다음과 같으며 본 연구에서도 구현해야함 · 동적 속도 프로파일 계산 · 정위치 정차 · 출입문 자동 여닫힘 · 정차역 건너뜀/정차역 유지/즉시 출발 · ATO 기능 중지 및 수동운전 전환 · 점착력 저하 시(강우, 강설 등) 이를 고려한 제어 · 자동 귀환 · PSD(플랫폼스크린도어)와의 인터페이스 관리 - 이를 구현하기 위한 기술적 요소는 다음과 같음 · ATO 모드 설정 및 관리 기술 · 정차역 관리 및 동적 속도 프로파일 도출을 통한 열차제어 기술 (에너지소비 저감을 위한 경제적운행기술 포함) · 정위치정차제어기술 (열차, 선로 특성 변화 시 맞춤형 제어 기술 포함) · 출입문 및 PSD 인터페이스 및 관리 기술 · 기술 통합 구현 및 검증 기술(타 장치간 인터페이스 기술 포함) - 열차속도제어기술(열차운행최고속도 350km/h) · 이동폐색제어를 지원하는 일반철도 및 고속철도용 열차속도 제어를 위한 요구사항 분석

	· 열차속도제어기술 개념 정립 · 열차속도제어기능 설계 및 검증 - 열차속도제어기능이 설치되는 하드웨어 · 지상장치 및 차상장치 설계 및 제작
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 및 제작 실험실 검증 - 2020년 ~ 2021년 : 현차검증 및 보완 - 2022년 ~ 2023년 : 시범운용
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 고속철도용 열차제어시스템 기술 확보와 시스템 구현으로 향후 국내 수요에 대한 대응 및 수출 경쟁력 확보(신호시스템 단독 수출 혹은 고속열차와 연계한 통합 수출 모두 고려) - ATO의 핵심기술인 정위치정차제어기술, 에너지 소비 저감을 위한 효율적, 경제적 운행기술은 세계적으로 지속적으로 요구되는 기술이며 ATO 및 열차제어시스템에 탑재하여 제품의 성능 증진에 기여함과 동시에 또는 기술 단독으로 기술이전 등을 추진할 수 있음
	기대효과 및 파급효과 - 국내 최초로 고속철도용 열차자동제어기술을 확보하는 것이며 이를 통한 열차제어시스템의 기능 범위 확대 및 성능 향상으로 수출경쟁력 제고 - ATO의 핵심기술인 정위치정차제어기술, 효율적·경제적 운행기술은 세계적으로 지속적으로 요구되는 기술이며 ATO 및 열차제어시스템에 탑재하여 제품의 성능 증진에 기여할 수 있음 - 열차자동제어기술 확보를 통해 유사 시 지속적인 열차운행을 수행할 수 있도록 하여 국민 편의 향상에도 기여함 - 우리나라 전용의 ATO 표준 제정과 함께 필요시 유럽 등의 동향에 맞춰 상호운영성을 확보하기 위한 개정과정까지 포함함으로써 개발 시스템 상호간 및 향후 국제 표준과의 호환성을 유지하며 이를 통한 수출 경쟁력 확보
연구개발 성과물	최종성과물 - 열차자동제어기술 및 속도제어장치 장치 구현 및 검증용 테스트베드 : 차상 ATP 장치 시제품, ATO 장치 시제품 : 자동제어 및 속도제어 알고리즘 : 차상 ATP 및 ATO 검증용 시뮬레이터(시뮬레이션 프로그램 포함) : 안전성인증활동 - 열차자동제어기술 및 속도제어기술 연구 및 개발 관련 연구 결과물 : 논문 10건 : 특허 10건

	: S/W 7건 : 시제품 1건
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도(1억) : 연구내용별 성과물 · 열차속도감시 및 자동열차운전제어기술 요구사항 분석서 및 개념설계서 · 열차속도감시 및 자동열차운전제어기술 기본설계서 · 차상 ATP 및 ATO장치 상세설계서 · 열차자동제어 및 속도제어 알고리즘 · 안전성인증활동(1) ▶ RAMS관리계획서 ▶ 사전위험원 분석서 등 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 3건 · 특허 출원 3건 · S/W 개발 2건 - 2차년도(25.5억) : 연구내용별 성과물 · 열차속도감시 및 자동열차운전제어기술 상세설계서 ▶ ATP속도프로파일 및 ATO속도프로파일 생성 S/W모듈 ▶ 열차속도감시 및 제동출력 S/W모듈 ▶ 자동열차운전제어 S/W모듈 ▶ 승강장 정위치정차 S/W모듈 등 · 차상 ATP 및 ATO 시작품 제작(2set) ▶ 각 알고리즘에 대한 코드화 및 프로그램 탑재 포함 · 열차속도감시 및 자동열차운전제어기술 시험계획서 작성 · 실험실단위 시험장치 제작 ▶ ATP 및 ATO 검증용 시뮬레이션 프로그램 및 시뮬레이터 등 · 장치단위 시험보고서 · 안전성인증활동(2) ▶ 소프트웨어 RAMS관리계획서 ▶ 소프트웨어 사전위험원 분석서 ▶ 소프트웨어 품질관리계획서 등 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 3건 · 특허 출원 3건 · S/W 개발 2건 · 시작품 1건 - 3차년도(6억)

	: 연구내용별 성과물 · 현차 탑재 및 타장치와의 연동을 통한 인터페이스 보완 · 차상 ATP, ATO 시제품 환경시험 성적서 · 보완된 차상 ATP, ATO 프로그램 및 시뮬레이션 프로그램 · 안전성인증활동(3) ▶ 하드웨어 및 소프트웨어 설계서 ▶ 하드웨어 및 소프트웨어 시험보고서 등 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 2건 · 특허 출원 2건 · S/W 개발 2건 - 4차년도(2.5억) : 연구내용별 성과물 · 차상 ATO 및 ATO 시제품 현장 점검 · 현장시험을 통한 알고리즘(보완) · 현장시험을 통한 시뮬레이터용 열차 모델(보완) · 안전성인증활동(4) ▶ 하드웨어 및 소프트웨어 통합 시험 ▶ 지상ATP의 safety case 및 인증서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표/게재 2건 · 특허 출원 2건 · S/W 개발 1건 · 시제품 개발 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고 주기적 회의를 통하여 규격 및 알고리즘의 타장성에 대한 검증 수행 - 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증 · 1, 2차년도 실험실 레벨 단독시험 및 연동시험 · 3, 4차년도 장치 환경 시험 후 현차시험통해 기능 및 성능 검증 - 성과지표별 검증방안 · 논문 발표/게재: 발표 및 게재 논문 복사본 또는 확인서 · 특허 출원: 특허 출원서 및 특허 등록증 · S/W 개발: S/W 등록 확인증 · 시제품 개발: 시제품 목록, 시험 성적서
기타	

3. 세부과제 3: 종합성능시험 인프라구축 및 시험

가. 종합성능시험인프라 구축 및 시험

구분	내용
연구과제명	종합성능시험인프라 구축 및 시험
연구개발목표	열차제어시스템 종합성능시험을 위한 시험계획서 * 시스템 상호운영성 종합성능시험 포함 열차제어시스템 종합성능시험 인프라 구축 * KRTCS2에서 구축한 LTE-R망(익산~정읍)과 단말(차상단말, 휴대단말)을 활용함 열차제어시스템 종합성능시험 * 열차간 안전간격제어의 경우 시험열차 2편성(해무 및 타 열차)을 투입하며, 차상장치를 확보함
연구기간 및 지원예산	4년(108억원)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - 열차제어시스템은 지상제어설비, 차상제어설비, 유·무선통신설비 및 기타 장치 등으로 구성되어 자동운전을 지원하는 철도안전설비임 - 열차가 주행하는 철도노선은 주변 환경으로부터 많은 영향을 받고 있으며, 이러한 영향이 예측하지 못하는 상황을 초래할 수 있기 때문에 단순히 기능과 성능이 정확하게 동작하는 것을 확인하는 것도 중요하지만 주변 환경의 변화에 열차제어시스템이 적절하게 동작하는 것을 확인하는 것도 중요함 - 또한 자동운전을 지원함에 따라, 열차의 다양한 운영조건에 따라 운영요원, 시스템, 열차 및 기타설비가 유기적으로 동작하는 것을 확인하는 것도 매우 중요함 - 따라서 자동운전을 지원하는 열차제어시스템이 다양한 환경과 많은 운영조건(운영시나리오)에서 정상적으로 동작하여 안전과 운영효율성을 보장하는 것을 검증하기 위해서는 시험계획서 개발, 열차운영조건과 매우 유사한 인프라 구축, 종합성능시험평가 및 이례상황 등에 대한 연구개발이 요구됨 - 특히 시스템 상용화를 촉진하기 위해서는 영업노선, 영업차량, 실영업투입 등을 고려한 시험평가기술이 요구됨
	정부지원의 필요성 - 열차제어시스템은 공공인프라인 철도의 안전하고 효율적인 운영을 보장하는 핵심설비이나, 현재까지 외산시스템을 도입운용하고

	있음 - 철도의 스마트화, 지능화에 따라 열차제어시스템의 중요성이 커지고 있으며, 높은 부가가치를 창출할 수 있어 많은 일자리와도 연관이 있음 - 열차제어시스템에 요구되는 높은 안전성과 공공인프라 특성상 정부정책의 영향을 많이 받고 있으나, 이를 상용화하기 위한 제도적인 여건이 많이 부족한 상황임 - 또한 시험평가에 필요한 종합성능시험인프라는 국내 시스템 전문기업이 확보하기에는 경제적으로 많은 부담이 되며, 시험인프라는 안전법에 의한 형식시험, 개발품의 성능시험 등에 활용하기 위해서는 정책적으로 확보해야 하는 공공설비임 - 개발된 첨단 시스템의 실용화를 통한 국민편익증진과 일자리 창출이라는 국가적 목표달성을 위해서는 정부의 지원이 필요함
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - 해당사항 없음
연구개발내용	연구개발 주요내용 - 열차제어시스템 종합성능시험을 위한 시험계획서 작성 - 열차제어시스템 종합성능시험 인프라 구축 - 열차제어시스템 종합성능시험
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 시험계획서 작성 및 설계 - 2020년 ~ 2021년 : 시험인프라구축 및 종합성능시험
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사 등 철도건설운영기관 및 국내 철도신호시스템 공급사 등에 시험계획서 및 시험인프라 활용 지원 - 열차제어시스템 형식시험, 시스템 구성품의 성능시험을 위한 인프라로 활용
	기대효과 및 파급효과 - 새로운 열차제어시스템 조기 상용화에 따른 외국과의 기술경쟁력 확보를 통하여 국내외 시장 선점 - 고속철도 및 일반철도의 자동운전 적용으로 열차운영효율성 향상, 수송용량 향상 등으로 철도운영기관의 수익성 제고 및 국민서비스 향상
연구개발 성과물	최종성과물 - 자동운전을 지원하는 열차제어시스템 시험계획서(상호운영성 포함) : 종합성능시험을 위한 요구사항 분석서 : 시스템 기능의 단계별 점검계획서 : 시험선 안전관리 및 운영관리 계획서 : 종합성능시험 항목, 방법 절차 등 작성

	- 열차제어시스템 종합성능시험인프라 : 시험계획서를 토대로 종합성능시험인프라 설계 : 시험계획서를 토대로 계측설비 설계 : 종합성능시험인프라 구축 - 종합성능시험성적서 : 종합성능시험 실시 및 시험성적서 발급 : 이례사항 점검 - 관련 연구 결과물 : 논문 2건 : 특허 2건 : 시험인프라 1식
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도(3억원) : 연구내용별 성과물 · 종합성능시험을 위한 관련 요구사항 조사 및 분석서 ▶시험결과 인증과 관련한 국내 철도관련 법령 분석 포함 ▶열차제어시스템 상호운영성 관련 사항 포함 · 시스템 단계별 기능점검을 위한 시험계획서 ▶위 요구사항을 토대로 시스템 종합시험 추진체계(안) ▶기능점검단계 및 점검항목 ▶기능점검 방법, 절차(1) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 해당사항 없음 - 2차년도(9억원) : 연구내용별 성과물 · 시스템 단계별 기능점검을 위한 계획서(보완, 상호운영성 포함) ▶기능점검 방법, 절차 작성(2) · 종합성능시험을 위한 시험항목, 방법, 절차 등 작성(상호운영성 포함) ▶수동운전단계에서의 종합성능시험 ▶자동운전단계에서의 종합성능시험 · 종합성능시험인프라 설계서(상호운영성 포함) ▶시험열차(고속열차 해무) 개조설계 ▶지상인프라 설계 · 종합계측설비 설계서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 1건 · 특허 출원 1건

	- 3차년도(73억원) : 연구내용별 성과물 · 종합성능시험 인프라(구축) ▶시험열차(고속열차 해무) 개조 및 차상장치 설치 ▶지상인프라 구축(관제설비, 지상제어장치, 연동장치 등) ▶유선 및 LTE-R 연결(시험선 LTE-R 망 구축 포함(8억원), 기 구축되어 있을 경우 비용절감 가능) · 시스템 단계별 기능점검보고서 ▶장치별 기능점검 ▶장치통합 점검 ▶개방모드에서 기능점검 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 특허 출원 1건 - 4차년도(23억원) : 연구내용별 성과물 · 시스템 단계별 기능점검보고서(완료) ▶수동모드에서의 기능점검 ▶자동모드에서의 기능점검 · 시스템에 대한 종합성능시험(시험성적서) · 시스템에 대한 이례사항(시험성적서) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 1건 · 특허 등록 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 ·시험계획서 작성 시 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고 주기적 회의를 통하여 검증계획의 객관성 확보 ·시험계획서에 의하여 구축되는 시험인프라, 계측장비, 시험용 지그의 적절성 검증 ·시험계획서의 시험항목, 시험절차 및 시험평가기준의 적절성 검증 ·철도운영기관이 주관하는 이례사항 점검을 실시하여 시스템의 완성도를 객관적으로 검증 - 공인인증기관을 통한 종합성능시험 실시 ·철도연 등 공인인증기관을 통하여 종합성능시험계획서를 검증하고, 시험성적서를 발급

	- 시스템의 신뢰성 검증을 위한 열차주행거리 또는 주행시간 확보 ·단계별 기능점검을 완료한 후 일일 목표 주행시간 또는 주행거리를 설정하고, 달성여부를 점검(시스템동작상태 로깅 포함) - 성과지표별 검증방안 · 인증기관의 종합성능시험성적서 발급
기타	

나. 실시간 열차운행관리기술

구분	내용
연구과제명	실시간 열차운행관리기술
연구개발목표	이동폐색을 지원하는 열차운행 실시간 제어관리장치 규격서 개발
연구기간 및 지원예산	4년(5억원)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - 열차운행 실시간 제어관리기술 · 현재 사용중인 일반·고속철도의 운행관리는 궤도회로를 이용하여 검지한 열차위치정보를 사용하고 있으며, 제한되지만 열차상태정보를 활용하고 있음 · 열차제어에 무선통신을 이용한 이동폐색제어기술을 적용하고, 열차의 자동운전을 지원하고 있어 일반·고속철도의 수송용량(운행회수)이 증가하면서 도시철도와 유사하게 열차운전시격을 단축해서 운행하여야 함 · 또한 무선통신 LTE-R을 사용함에 따라 상당히 많은 열차상태정보를 지상의 운영요원(관제요원)이 실시간으로 확인하고 적절한 조치를 취할 수 있음 · 무선통신을 이용함에 따라 열차운행관리시스템(또는 관제설비)는 열차위치를 정밀하게 실시간 추적, 열차상태정보 실시간 확인 및 선로의 상태(미확인 물체의 침입, 건널목 사고 등)를 실시간으로 추적할 수 있어 열차운행관리에 많은 변화를 갖게됨 · 이러한 장점을 극대화하여 열차운행효율(수송용량 확대, 유지관리 최적화를 통한 높은 가용성 보장 등)을 높일 수 있는 기술을 개발하고, 실용화할 수 있도록 검증할 필요가 있음
	정부지원의 필요성 - 철도의 스마트화, 지능화에 따라 열차제어시스템의 중요성이 커지고 있으며, 높은 부가가치를 창출할 수 있어 많은 일자리와도 연

	관이 있음 - 열차제어시스템의 하부장치인 관제설비는 국내기업이 충분한 경쟁력을 갖고 있으며, 사용자의 요구사항을 만족하는 관제설비를 공급하고 있음 - 열차제어시스템 개발을 위해서 관제설비가 요구되나, 기술개발내용이 적은 관계로 기업과 공동연구를 수행하는 것은 적절하지 않음 - 단지 종합성능시험설비의 인프라 구축에 필요한 설비로서 발주구매하여 구축하는 것이 적절함
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - 무인운전을 지원하는 도시철도용 KRTCS의 CTC에 적용된 기술을 토대로 일반·고속철도의 운영요구사항을 반영하여 개발함
연구개발내용	연구개발 주요내용 - 열차운행 실시간 제어관리기술 · 일반·고속철도의 열차운행 실시간 제어관리 요구사항 및 개념설계 · 열차운행 실시간 제어기능 설계 및 보완
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 - 2020년 ~ 2021년 : 설계 보완 - 2022년 ~ 2023년 : 시범운용
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사 등 - 영업선에 시범설치하여 운용하여 실용화에 필요한 실적을 확보함
	기대효과 및 파급효과 - 새로운 열차제어시스템 조기 상용화에 따른 외국과의 기술경쟁력 확보를 통하여 국내외 시장 선점 - 열차운행편성수 증대, 열차상태확인 후 신속한 유지보수고속철도 및 일반철도의 자동운전 적용으로 열차운영효율성 향상, 수송용량 향상 등으로 철도운영기관의 수익성 제고 및 국민서비스 향상
연구개발 성과물	최종성과물 - 열차운행 실시간 제어관리기술 · 일반·고속철도의 열차운행 실시간 제어관리 요구사항 및 개념설계 · 열차운행 실시간 제어기능 설계 및 보완 - 관련 연구 결과물 : 논문 4건 : 특허 4건 : SW 2건 : 시작품 1식

	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도(1억원) : 연구내용별 성과물 · 이동폐색을 지원하는 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어 요구사항 분석서 및 개념설계서 ▶관제설비(CTC)의 구성, 성능명세서 및 기능명세서 ▶관제설비와 지상제어장치 및 전자연동장치와의 인터페이스규격서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 특허 출원 1건 - 2차년도(1억원) : 연구내용별 성과물 · 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 설계서 ▶관제설비를 구성하는 각 장치별 기능설계 ▶관제설비를 구성하는 각 장치간 인터페이스(프로토콜) 설계 · 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 시험계획서 · 관제설비 발주규격서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표 2건 · 특허 출원 2건 - 3차년도(2억원) : 연구내용별 성과물 · 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 기능시험보고서 ▶관제설비를 구성하는 각 장치 통합 ▶실험실단위에서 관제설비의 각 장치별 단품시험 ▶실험실단위에서 관제설비 통합시험 · 시험선 현장 설치 ▶현장설치 및 점검 ▶타 장치와의 인터페이스 점검 및 시스템 통합시험(1) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표 1건 · 특허 출원/등록 1건 · S/W 등록 1건 - 4차년도(1억원) : 연구내용별 성과물 · 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 현장 구축 및 검증

	보고서 ▶타 장치와의 인터페이스 점검 및 시스템 통합시험(2) · 종합시험검증, 이례사항검증 지원업무 보고서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표 1건 · 특허 출원/등록 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고 주기적 회의를 통하여 규격 및 알고리즘의 타당성에 대한 검증 수행 - 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증 · 1, 2차년도 실험실 레벨 단독시험 및 연동시험 · 3, 4차년도 장치 환경 시험 후 현장시험을 통해 기능 및 성능 검증 - 공인인증기관을 통한 성능시험 실시 ·철도연 등 공인인증기관을 통하여 종합성능시험과 연계한 성능시험을 실시하고, 시험성적서를 발급 - 시스템의 신뢰성 검증을 위한 열차주행거리 또는 주행시간 확보 ·단계별 기능점검을 완료한 후 일일 목표 주행시간 또는 주행거리를 설정하고, 달성여부를 점검(시스템동작상태 로깅 포함) - 성과지표별 검증방안 · 논문 발표/게재: 발표 및 게재 논문 복사본 또는 확인서 · 특허 출원: 특허 출원서 및 특허 등록증 · S/W 개발: S/W 등록 확인증 · 시제품 개발: 시제품 목록, 시험 성적서
기타	

다. 열차진로제어기술

구분	내용
연구과제명	열차진로제어기술
연구개발목표	이동폐색제어기능과 연계하는 연동장치 개발

연구기간 및 지원예산	4년(5억원)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - 현재 사용중인 일반·고속철도의 전자연동장치는 궤도회로를 이용하여 검지한 열차위치정보를 사용하고 있음 - 열차제어에 무선통신을 이용한 이동폐색제어기술을 적용하고, 열차의 자동운전을 지원하면, 일반·고속철도의 수송용량(운행회수)이 증가하면서 도시철도와 유사하게 열차운전시격을 단축해서 운행하여야 하며, 기존보다 많은 연동임무를 처리하여야 함 - 이동폐색을 지원하는 새로운 연동장치(또는연동논리)의 개발이 요구되지만, 기존 전자연동장치의 연동논리(궤도회로기반의 연동논리)를 사용하여도 증가한 수송용량을 충분히 처리할 것으로 판단되므로, 현재 사용중인 전자연동장치와 지상제어장치(RBC 또는 WATP)와 연계할 수 있도록 기존 전자연동장치를 개량하는 연구를 수행함
	정부지원의 필요성 - 철도의 스마트화, 지능화에 따라 열차제어시스템의 중요성이 커지고 있으며, 높은 부가가치를 창출할 수 있어 많은 일자리와도 연관이 있음 - 열차제어시스템의 하부장치인 전자연동장치는 국내기업이 충분한 경쟁력을 갖고 있으며, 사용자의 요구사항을 만족하는 전자연동장치를 공급하고 있음 - 열차제어시스템 개발을 위해서 열차진로제어장치와의 연계가 요구되나, 기술개발내용이 적은 관계로 기업과 공동연구를 수행하는 것은 적절하지 않음 - 단지 종합성능시험설비의 인프라 구축에 필요한 설비로서 발주구매하여 구축하는 것이 적절함
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - 무인운전을 지원하는 도시철도용 KRTCS의 전자연동장치에에 적용된 기술을 토대로 일반·고속철도의 운영요구사항을 반양하여 개발함
연구개발내용	연구개발 주요내용 - 일반·고속철도의 전자연동장치 요구사항 및 개념설계 - 열차운행 실시간 제어기능 설계 및 제작 - 열차운행 실시간 제어장치 구축 및 검증
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 및 실험실 검증

	- 2020년 ~ 2021년 : 현차 검증 및 보완 - 2022년 ~ 2023년 : 시범운용
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사 등 - 영업선에 시범설치하여 운용하여 실용화에 필요한 실적을 확보함
	기대효과 및 파급효과 - 새로운 열차제어시스템 조기 상용화에 따른 외국과의 기술경쟁력 확보를 통하여 국내외 시장 선점 - 열차운행편성수 증대, 일반철도의 자동운전 적용으로 열차운영효율성 향상, 수송용량 향상 등으로 철도운영기관의 수익성 제고 및 국민서비스 향상
연구개발 성과물	최종성과물 - 이동폐색제어기술과 연계한 일반·고속철도용 전자연동장치 : 열차진로제어장치 요구사항 및 개념설계서 : 열차진로제어기능 설계서 - 관련 연구 결과물 : 논문 4건 : 특허 4건 : SW 2건 : 시작품 1식
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도(1억원) : 연구내용별 성과물 · 이동폐색을 지원하는 일반·고속철도용 전자연동장치의 요구사항 분석서 및 개념설계서 ▶전자연동장치의 구성, 성능명세서, 기능명세서 ▶전자연동장치와 관제설비 및 지상제어장치와의 인터페이스 규격서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 특허 출원 1개 - 2차년도(1억원) : 연구내용별 성과물 · 일반·고속철도 전자연동장치 상세설계서 ▶ 연동장치의 이동폐색정보 처리를 위한 소프트웨어모듈설계 ▶ 연동장치와 관제설비 및 지상제어장치와의 인터페이스 설계 · 일반·고속철도 전자연동장치 시험계획서 ▶ 연동장치 시험항목, 시험방법, 시험절차서 · 발주규격서 작성

	: 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표 2건 · 특허 출원 2건 · S/W 등록 1건 - 3차년도(2억원) : 연구내용별 성과물 · 일반·고속철도 전자연동장치 기능시험보고서 ▶ 실험실단위에서 전자연동장치 단품시험 ▶ 실험실단위에서 전자연동장치 인터페이스 시험 · 시험선 현장 설치 ▶ 현장설치 및 점검 ▶ 타 장치와의 인터페이스 점검 및 시스템 통합시험(1) : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표 1건 · 특허 출원/등록 1건 · S/W 등록 1건 · 시제품 1식 및 개량장치 - 4차년도(1억원) : 연구내용별 성과물 · 일반·고속철도 전자연동장치 현장 구축 및 검증보고서 ▶ 타 장치와의 인터페이스 점검 및 시스템 통합시험(2) · 종합시험검증, 이례사항검증 지원업무 보고서 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 발표 1건 · 특허 출원/등록 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고 주기적 회의를 통하여 규격 및 알고리즘의 타당성에 대한 검증 수행 - 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증 · 1, 2차년도 실험실 레벨 단독시험 및 연동시험 · 3, 4차년도 장치 환경 시험 후 현장시험을 통해 기능 및 성능 검증 - 공인인증기관을 통한 성능시험 실시

	·철도연 등 공인인증기관을 통하여 종합성능시험과 연계한 성능 시험을 실시하고, 시험성적서를 발급 - 시스템의 신뢰성 검증을 위한 열차주행거리 또는 주행시간 확보 ·단계별 기능점검을 완료한 후 일일 목표 주행시간 또는 주행거리를 설정하고, 달성여부를 점검(시스템동작상태 로깅 포함) - 성과지표별 검증방안 · 논문 발표/게재: 발표 및 게재 논문 복사본 또는 확인서 · 특허 출원: 특허 출원서 및 특허 등록증 · S/W 개발: S/W 등록 확인증 · 시제품 개발: 시제품 목록, 시험 성적서
기타	

4. 열차제어시스템 상호운영성기술 개발

구분	내용
연구과제명	도시철도를 포함한 기존 신호설비와의 연계기술(상호운영성기술)
연구개발목표	- 일반·고속철도용 열차제어시스템(KRTCS 2)의 지상신호설비와의 인터페이스기술 개발 :일반선의 차상신호장치(ATP)의 지상신호설비와의 인터페이스기술 개발 - 도시철도용 열차제어시스템(KRTCS 1)의 지상신호설비와의 인터페이스기술 개발(GoA2지원)
연구기간 및 지원예산	- 2년(60억)
연구개발 필요성 및 기술동향	연구개발 필요성 - 도시가 확대되면서 도시철도와 일반·고속철도의 운전특성을 구분하는 것이 매우 모호하게 되었으며, 유럽은 도시철도의 ATO기술과 일반·고속철도의 ATP기술을 융합한 NGTC시스템 개발프로젝트를 진행하고 있음(Shift2Rail) ·도시철도노선과 일반·고속철도노선이 독립적으로 건설·운용되고 있으며, 이에 맞추어 열차제어시스템도 독립된 시장을 형성하고 있으며, 도시철도는 무인운전까지 지원하고 있음 ·도시가 확대되면서 일반철도가 도심을 관통하게 되는 상황을 맞고 있으나, 철도건설비용을 최소화하기 위해서 일반철도와 도시철도가 노선을 공유하는 사업이 유럽에서 진행되고 있으며, 국내의 경우 대곡~원시, 월곶~판교선 등이 고려대상임 ·노선을 공유하면서 기존의 열차운행편성수 또는 열차운전시격 등에 부정적인 영향을 주지 않도록 열차에 탑재된 차상시스템과 지상의 신호설비와 긴밀하게 연계되어야 함 ·이를 위해서 유럽은 일반·고속철도용 열차제어시스템을 ETCS로 규격화(단일화)하고 있으며, 효율적인 노선공유를 위해서 ETCS에 ATO기능을 추가하기 위한 NGTC프로젝트를 수행하였으며, 현재 Shift2Rail프로젝트를 통해서 도시철도용 열차제어시스템과 일반·고속철도용 열차제어시스템을 단일시스템으로 통합하는 과제를 체계적으로 진행하고 있음 - 차세대 열차제어시스템을 탑재한 열차는 운전자의 간섭이 최소화된 상태에서 기존 신호설비(ETCS L1(ATP), ETCS L2(KRTCS 2)가 구축된 노선을 안전하게 주행할 수 있어야 함 ·현재 국내에 도입·운영중인 열차제어시스템은 일반선의 ETCS L1이 있으며, 2018년 이후 KRTCS 2가 도입될 예정임(차량우선) ·도시철도는 여러 종류의 외산시스템이 도입되었으나, CBTC시스템

	및 국산시스템인 KRTCS가 주류를 이를 것임 - 특히 수도권 도심지의 도시철도를 통과하는 일반철도도 도시철도용 KRTCS가 구축된 노선을 최소한 자동운전이 지원된 상태에서 안전하게 주행할 수 있어야 함
	정부지원의 필요성 - 열차제어시스템은 공공인프라인 철도의 안전하고 효율적인 운영을 보장하는 핵심설비이나, 현재까지 외산시스템을 도입운용하고 있음 - 철도의 스마트화, 지능화에 따라 열차제어시스템의 중요성이 커지고 있으며, 높은 부가가치를 창출할 수 있음 - 열차제어시스템에 요구되는 높은 안전성과 공공인프라 특성상 정부정책의 영향을 많이 받고 있으며, 도시철도, 일반철도 및 고속철도가 서로 연계하여(공간통합 또는 상호운영성)하는 경우 철도건설비용 절감, 승객수요변화에 대한 탄력적인 대응을 기대함 - 열차제어시스템의 공간통합기술 완성도를 높이기 위해서는 시험선(또는 영업선)에서 시험열차를 운영하는 것이 요구되나, 이러한 인프라를 구축운영하는데 많은 비용이 소요되어 기업이 독자적으로 추진하기에는 무리가 있음 - 또한 차세대 열차제어시스템을 개발하여 기술을 선도하고, 이를 실용하기 위해서는 많은 위험이 있어 정부와 기업이 이를 분담하는 전략이 요구됨
	기존 연구와의 중복성 및 연계방안(활용방안) - 2010년부터 ‘도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가’, ‘일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화’과제를 수행중어 있음 - ‘일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화’과제의 ATP 기술과 ‘도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가’의 무인제어기술을 활용함
연구개발내용	연구개발 주요내용 -기존 신호설비(ETCS L1(ATP), ETCS L2(KRTCS 2)가 구축된 노선의 지상신호설비와 연계할 수 있는 인터페이스기술을 개발하고, 종합성능시험을 통해서 관련 기술을 검증함
	연차별 연구내용(연구일정) - 2018년 ~ 2019년 : 설계 - 2020년 : 현차검증 및 보완 - 2020년 : 시범운용
연구개발추진방법	기술수요처 및 실용화 방안 - 한국철도시설공단, 한국철도공사, 서울교통공사 등 - 현재 ETCS L1(ATP)가 구축된 노선에 적용 ·대곡~소사~원시 노선을 주행하는 열차가 일반철도 연장구간에 설치된 지상신호설비(ETCS L1)과 도시철도용 KRTCS와 연계하도록 함

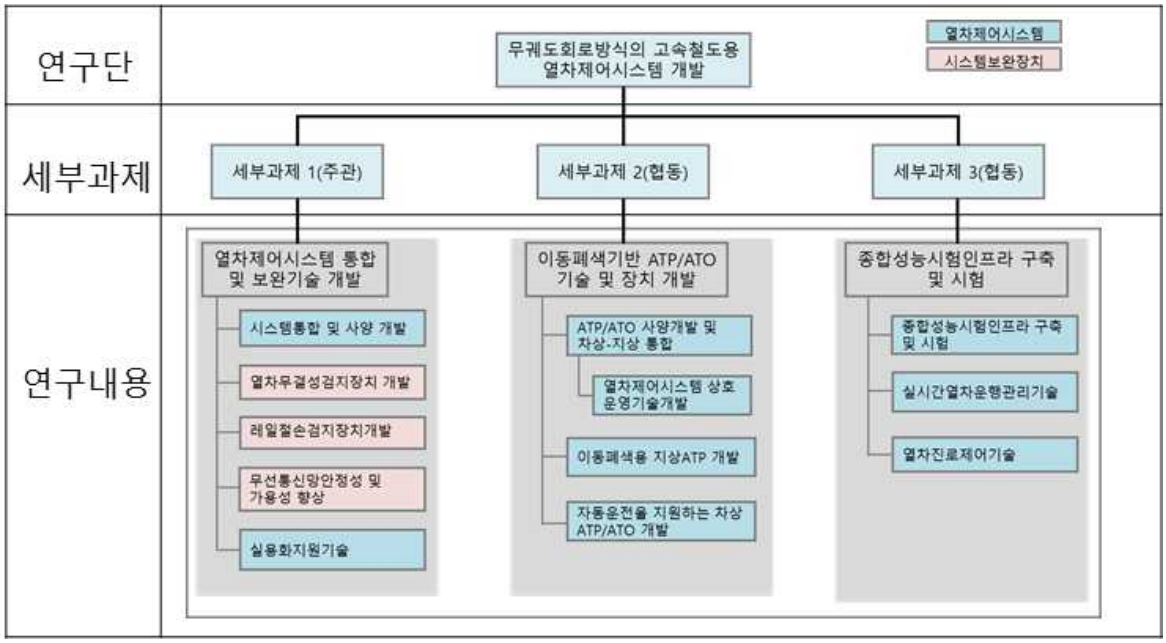
	- 추후 경부선, 호남선 등에 KRTCS 2가 구축된 경우, 지상신호설비와 연계하도록 함
	기대효과 및 파급효과 - 철도노선을 공동으로 사용함에 따라 철도노선 구축비용을 획기적으로 감축함 - 일반철도차량에 ATO기능을 지원함에 따라 열차수송용량(운행횟수)을 높임으로서 도시철도구간의 운행효율성을 높일 수 있음
연구개발 성과물	최종성과물 - 상호운영성을 지원하는 열차제어시스템시작품 및 시험인프라 ·상호운영성을 지원하는 열차제어시스템 개발규격서(인터페이스규격 포함) ·상호운영을 지원하는 열차제어시스템 차상장치(STM포함) 및 인터페이스 알고리즘 ·상호운영 검증용 모의장치 ·상호운영 검증용 시험계획서 및 검증인프라 ·상호운영 종합성능시험성적서 및 SIL4인증서 - 상호운영 연구 및 개발 관련 연구 성과물 ·논문 3건 ·특허 3건 ·소프트웨어 1건 ·시제품 1식
	연차별 연구내용별 성과지표 - 1차년도(-억) : 1단계에 포함하여 진행 : 연구내용별 성과물 · 상호운영을 위한 열차운영시나리오 · 상호운영을 지원하는 열차제어시스템 개발규격서(성능 및 기능) ▶ 상호운영을 위한 핸드오버 및 절체 개념(방법) 정립 ▶ 상호운영을 위한 핸드오버 및 절체 프로세스(절차) 정립 ▶ 시스템의 성능 및 기능 작성 · 상호운영을 지원하는 열차제어시스템 인터페이스규격서 · 안전성인증활동(1) ▶ RAMS관리계획서 ▶ 사전위험원 분석서 등 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 게재/발표 -건 · 특허 출원 -건 - 2차년도(-억) : 1단계에 포함하여 진행 : 연구내용별 성과물 · 상호운영을 지원하는 열차제어시스템 차상ATP 설계서

	▶ 하드웨어 설계 ▶ 소프트웨어 설계 · 열차제어시스템 차상장치 시험계획서 작성 · 열차제어시스템 차상장치의 상호운영성 검증을 위한 시험평가인프라 설계 · 안전성인증활동(2) ▶ 소프트웨어 RAMS관리계획서 ▶ 소프트웨어 사전위험원 분석 ▶ 소프트웨어 품질관리계획서 작성 등 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 게재/발표 -건 · 특허 출원 -건 · 소프트웨어 개발 -건 - 5차년도(40억) : 연구내용별 성과물 · 열차제어시스템 차상장치 설계서 및 제작(H/W와 S/W통합) · 열차제어시스템 실험실 단위 시험장치(제작) · 열차제어시스템 차상장치의 상호운영성 시험보고서 · 시험열차에 열차제어시스템 차상장치 설치 · 열차제어시스템 차상장치의 상호운영성 검증을 위한 시험평가인프라(구축) · 안전성인증활동(3) ▶ 하드웨어 및 소프트웨어 설계서 ▶ 하드웨어 및 소프트웨어 시험 등 : 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 게재/발표 2건 · 특허 출원/등록 2건 · 소프트웨어 개발 1건 - 6차년도(20억) : 연구내용별 성과물 · 열차제어시스템 차상장치 현차시험보고서(차상장치 상호운영성 점검) · 열차제어시스템 차상장치 상호운영성 종합성능시험평가(시험성적서) · 안전성인증활동(4) ▶ 하드웨어 및 소프트웨어 통합 시험 ▶ 지상ATP의 safety case 작성 및 인증

	: 논문 발표/게재, 특허출원, S/W개발건수, 시제품 개발건수 · 논문 게재/발표 1건 · 특허 출원/등록 1건
	성과물 검증방안 - 전문가에 의한 검증 · 규격서 작성 단계에서 유사기술 개발 및 연구 경험이 있는 전문가 자문위원회를 구성하고, 주기적 회의를 통하여 규격, 알고리즘 및 시험계획서 등의 타당성에 대한 검증 수행 - 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증 · 1차년도 실험실 레벨 단독시험 및 연동시험 · 2차년도 장치 환경 시험 후 현차시험을 통해 기능 및 성능 검증 - 성과지표별 검증방안 · 논문 발표/게재: 발표 및 게재 논문 복사본 또는 확인서 · 특허 출원: 특허 출원서 및 특허 등록증 · S/W 개발: S/W 등록 확인증 · 시제품 개발: 시제품 목록, 시험 성적서 및 SIL4인증서
기타	

5절 연구개발과제 추진체계

○ 연구개발 추진체계는 과제 규모를 고려하여 연구단 형태로 추진함



[그림 3.13] 연구단 체계도

○ 제작사와 운영기관을 참여시켜 실용화를 위한 시스템 개발과 테스트 베드구축을 통한 시스템 성능과 안전성을 검증하고, 참여기업은 해당 세부과제에 책정된 출연금에 대한 매칭을 부담함

- 참여기업의 맷칭부담이 높은 3세부(종합성능시험 인프라 구축 및 시험)는 기술실시권 협약 가능성이 없는 것을 고려하여 운영기관이 담당하고 매칭을 부담하지 않도록 함

○ 연구단은 본 사업을 차년도별 사업계획을 수립하고, 이에 맞추어 연구개발내용, 연구개발일정, 연구개발성과 등을 종합관리하고, 유관기관의 요구사항에 대응하고, 2단계사업계획을 수립하고 추진전략을 마련함

- 일반적으로 연구단이 세부과제 1을 담당하고 있으나, 실용화를 위해서 운영기관과의 전략수립, 2단계사업계획 수립을 위해서 연구단과 1세부는 분리하여 운영하는 것을 고려

○ 세부과제 1은 본 사업을 종합관리하고, 시스템개발에 필요한 시스템규격서 작성, 궤도회로와 같은 동등한 수준의 열차무결성 기술개발, 시스템통합 등을 수행함

- 2세부의 열차제어시스템 상호운영성기술개발(60억원)에서 작성한 상호운영성과 관련한 내용을 시스템개발규격서를 작성하는데 반영함

○ 세부과제 2는 세부과제 1에서 작성한 각종 규격서를 바탕으로 하부시스템인 ATP/ATO 제작, 설치, 기능점검 및 시험지원 등을 수행함

- 또한 2세부에서 수행하는 '열차제어시스템 상호운영성기술개발(60억원)'는 1단계와 2단계로 진행함
  - · 1단계에서는 열차제어시스템 상호운영을 포함한 개발규격서와 기본설계를 실시하고, 관련 성과를 주관기관 및 참여기관과 공유함
  - · 2단계는 독자적으로 수행되며, 시스템의 제작, 구축, 종합시험평가 및 안전성인증을 포함함

○ 세부과제 3은 시스템의 기능과 성능을 점검하고 종합성능시험을 수행하기 위한 종합성능시험인프라 구축 및 운영을 담당함

- 세부과제 3은 철도건설 · 운영기관이 주관하여 개발품의 기능과 성능을 직접 확인할 수 있도록 시험인프라 구축과 시험을 직접실시 할 수 있도록 함
- 또한 종합성능시험에 필요한 인프라를 구축하는 것으로 기술실시권 등 참여기업이 갖는 기술적 장점과 시장창출효과도 매우 적기 때문에 참여기업의 맷칭이 없는 것으로 함
- 종합인프라 구축시 필요한 무선통신망(LTE-R) 및 단말(휴대단말, 차상단말)은 KRTCS2에서 개발한 LTE-R망과 단말을 사용함(활용할 수 있는 단말수량 확인 필요)

제4장 사전타당성 분석

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.

○ 차세대 열차제어시스템은 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.

○ 무선통신기반 열차제어시스템은 제한된 철도인프라를 효율적으로 활용(수송용량 증대, 유지관리비용 감소 등)하여 철도운영기관의 경영개선에 기여할 수 있음

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.

○ 무선통신기반 열차제어기술개발로 운전시격 향상을 통한 철도수송용량향상 및 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

(2) 미래 경제가치 창출

○ 철도 운영 효율화 및 에너지 비용 저감을 통한 경제가치 실현

(3) 융복합 첨단기술 확보

○ 세계시장 선도 첨단 교통물류 원천기술 확보

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)는 2035년까지, 초근접 열차제어 기술(초고속철도)는 2040년까지 화보를 목표로 함

○ 2025년까지 무선통신기반 열차제어시스템기술을 고속철도 및 일반철도에 적용함

(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

2. 사업추진의지

가. 국토교통부 한국형 철도신호시스템 구축계획

국토교통부 한국형 철도신호시스템 구축계획(2017.05.16.)에는 국내 철도산업의 대외 경쟁

력 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

○ T2I 기반의 열차제어시스템 개발('18 ~ '21, 290억원)

- 기존 신호시스템과의 상호운영성 확보 및 해외시장 진출을 위해 ETCS Lv3기반의 신호시스템 우선 개발

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 고속철도 및 일반철도는 궤도회로를 이용한 열차제어시스템으로서 시스템구축비용, 유지보수비용을 절감하는데 한계가 있으며, 시스템이 처리할 수 있는 선로용량에 한계가 있어 노선을 추가로 건설하여야 하나, 많은 재원과 시간을 필요로 하기 때문에 효율적이지 못함 ③ 새로운 고속철도용 열차제어시스템은 단기간에 적용하는 것이 어렵기 때문에 적기에 기술개발을 하지 않았을 경우 기존과 같이 외산시스템을 도입해야 할 것이며, 국내 철도신호산업이 상당기간 외국에 종속될 것임 ④ 국외 철도선진국의 경우 차세대 열차제어시스템 개발을 활발히 수행하고 있으며 이는 고속철도의 자동운전, 이동폐색을 적용한 열차간격제어 등을 포함하고 있음

2. 목표	3. 수혜자
① 지상제어설비(궤도회로) 절감을 통한 유지관리 비용 20% 절감 ② 이동폐색방식의 열차간격제어를 통하여 선로용량 30% 증대 ③ 상호운영성을 통한 노선간 연계운행의 효율 향상	① 철도 서비스 공급자(운영자) ② 철도 서비스 이용자(승객) ③ 시스템 제작사(기업)

4. 투입	5. 활동	6. 산출	7. 성과 / 영향
①1단계(4년)의 경우 시스템개발, 종합성능시험인프라 구축 및 시험평가를 실시하며, 소요인력은 약 440명, 소요예산은 총 290억원 임.	①1단계 연구개발은 TRL 7수준에 해당하는 열차제어시스템을 확보하여 영업노선환경에서 종합성능시험과 안전성인증을 실시함 ②2단계(2년)은 영업선에 시범노선을 구축하여 영업실적을 확보함(1단계에서 사업화 추진)	①이동폐색기반 고속철도용 열차제어시스템 개발 -이동폐색과 자동운전을 지원하는 실시간 열차운행관제설비(CTC)시제품 -이동폐색을 지원하는 지상제어장치(WATP) 시제품 -CTC와 WATP와 연계하는 전자연동장치(EIS) 시제품 -자동운전을 지원하는 차상ATP/ATO 시제품	①설비투자비 측면 -궤도회로 및 신호기를 철거로 시스템 설치 및 유지보수비용 20% 절감 가능. ②수송력 측면 -열차수송용량 30% 증대 ③서비스 측면 -열차의 정시성 향상 및 열차운행정보제공으로 승객서비스 향상 -상호운영성 지원으로 노선간 열차운

		㉡열차제어시스템 보완장치 개발 -열차무결성검지장치 시제품 -레이절손검지장치 시제품 ㉢열차제어시스템 상호운영성을 지원 -차상ATP시제품	행이 가능하여 승객수요에 탄력적으로 대응할 수 있어 승객서비스 향상

8. 가정
㉠ 정부의 지원이 적시에 이루어지는 경우 자동운전을 지원하는 고속철도용 차세대 열차제어시스템 확보
㉡ 국내 철도운영기관에서 국내기술에 대한 막연한 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
㉢ 세계적으로 열차제어시스템 시장이 늘 것으로 예상됨에 따라 관련 기술의 국내 시장뿐만 아니라 해외진출 가능성 제고

2. 차세대 열차제어기술 확보

○ 궤도회로를 사용하지 않고 무선통신을 이용한 고속철도용 열차제어시스템 확보

- 이동폐색기술을 적용한 고속철도의 열차간 간격제어기술 확보
- 무선통신을 이용하여 고속철도의 실시간 열차위치 추적기술 확보
- 자동운전(또는 무인운전)을 지원하기 위한 고속철도용 열차운행관제기술 확보
- 고속철도의 자동속도제어, 승강장에서의 정위치정차, 자동출발 등 자동운전기술 확보
- 기존 신호시스템의 지상설비와 연계할 수 있는 차상ATP의 상호운영성기술 확보

3. 기술적 파급효과

○ 열차자율주행제어시스템의 고정밀 위치 및 속도 추정기술, 방호프로파일 설계 기술, 안전마진 추정 및 설계기술은 고속철도 및 일반철도의 T2T 열차제어기술(자율주행기술) 개발에 활용 가능

○ 열차간 전송지연 절감을 위한 네트워크 설계기술, 직접통신 기술 등을 개발하는데 활용

○ 열차제어에 적용된 통신보안 기술은 타 대중교통 또는 국가 기반시설에 대한 보안체계 구축에 활용 가능.

4. 기술개발 성공 가능성

○ 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 필요한 무선통신기반 열차제어시스템(도시철도용 KRTCS)과 철도무선통신망(LTE-R)에 대한 개발경험을 갖고 있음

○ 오송종합시험선 건설(2018년 완료), LTE-R 통신망 구축, 고속시험열차 해무 및 안전성 평가경험 등 개발인프라를 확보하고 있어 기술개발의 성공 가능성이 매우 높다고 판단됨

3절 경제적 타당성

1. 분석 전제

○ 본 연구에서 수행하는 경제성 분석은 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발을 대상으로 함.

○ 경제성 분석은 비용-편익, 순현재가치 그리고 내부수익률 등의 지표를 활용하여 수행

○ 분석기간은 철도부품 및 시스템 개발 및 개발이후 적용을 감안하여 현재 철도부문 SOC 사업의 경제성분석기간과 동일한 40년으로 설정함.

○ 사회적 할인율은 일반적인 교통SOC사업에서 적용하는 30년까지 4.5%, 이후 3.5%를 준용

○ 이러한 사항을 정리하면 <표 8>과 같음.

[표 4.2] 경제적 타당성 분석 전제

구분	내용
경제성 분석대상	- 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 사업효과에 대한 경제성 평가
경제성 분석방법	- 비용편익분석법
분석기간	- 철도부문 SOC사업과 동일한 40년 설정
사회적 할인율	- 구축 후 30년까지 4.5%, 이후 3.5% 적용
사업화율	- 100%

2. 비용 및 편익항목 도출

가. 비용검토

○ 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 내용은 궤도회로 없이 열차와 선로, 열차와 열차 간 직접 통신을 통해 자율주행이 가능한 열차제어시스템을 개발하고, 이 중 고속철도용

○ 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발에 따른 비용과 편익을 추정하여 경제성 분석을 수행

- 합리적 경제성 분석수행을 위해 연구기간, 비용, 그리고 편익산정을 위한 기초자료는 한국철도기술연구원에서 협조를 받아 활용

[표 4.3] 주요 연구내용

구분	내용	적용사항
연구기간	· 2014년 1월~2017년 12월(4년)	· 4년
비용추정	· 기술개발비용 · 차상장치 구축비용 · 지상장치 구축비용 · 유지보수비용	· 23,000 백만원 · 142,500 백만원 · 1,427,500 백만원 · 연간 5,200 백만원
분석기간	· 기술개발 및 적용으로 인해 편익이 발생하는 기간	· 40년
회임기간	· 기술개발 후 편익발생 까지 소요 기간	· 미적용
사업효과 및 편익항목	· 기술적 파급효과 - 무궤도회로 열차제어시스템 기술력 확보[1)] · 경제적 파급효과 - 수입에 의존하는 열차제어시스템의 국산화로 수입대체 효과 - 열차운행효율 및 안전성 증대 효과 - 기술개발에 따른 선로용량 증대효과 - 대외 경쟁력화보를 통한 해외시장 진출효과[2)]	· 편익항목 -유지보수비용절감편익 -차상장치개량비절감편익 -지상장치개량비절감편익 -연착율감소편익 -선로용량 증대에 따른 4대편익
기초자료	· 현 시스템 차상장치 개량비 · KRTCS-2[3)] 차상장치 개량비 · 현 시스템 지상장치 개량비 · KRTCS-2[3)] 지상장치 개량비 · 현 시스템 유지관리비용 · KRTCS-2[3)] 유지관리비용	· 199,500 백만원 · 142,500 백만원 · 1,923,000 백만원 · 1,427,500 백만원 · 10,400 백만원 · 7,716 백만원

주 1) 한국철도공사 및 한국철도시설공단에서 장래 차상 및 지상장치 구축계획을 수립하였기에 이를 반영하여 회임기간은 반영하지 않음.
2) 이러한 파급효과의 경우 향후 대내외적 여건의 불확실성과 기술수준의 불명확성으로 계량화는 어려운 항목으로 경제성 분석 시 편익항목으로 반영하지 않음.
3) 현 개발사업은 KRTCS-3에 해당하며, KRTCS-3의 개량비 및 유지관리비가 구체적으로 정해지지않아 KRTCS-2의 비용을 이용하여 편익값을 산출

3. 편익산정

가. 차상장치 및 지상장치 개량비 절감

○ 차상장치 및 지상장치의 개량비는 현 시스템 개량비와 본 사업의 구축비용의 차이를 통해 개량비 절감편익을 산출함.

○ 현재 본 연구를 통해 개발될 시스템 구축비용을 명확히 제시되지 않았으며, 이를 현재 개발 및 상용화 단계에 있는 KRTCS-2의 구축비용을 기준으로 산출함.

○ 이를 통해 차상장치 개량비의 경우 총 42,750백만원, 지상장치 개량비의 경우 총 853,331 백만원의 절감효과가 발생되는 것으로 검토됨.

[표 4.4] 차상장치 개량비 절감비용

(단위:백만원)

구분	차량 대수	현 시스템(A)		KRTCS-2(B)		본 연구(C)		절감 비용 (A-C)
		대당 단가	구축비	대당 단가	구축비	대당 단가	구축비	
고속차량(ATC)	285	700	199,500	500	142,500	550	156,750	42,750

주) 본 사업의 대당 단가는 「ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways-Final Report」에 제시된 ERTMS-Level2 대비 ERTMS-Level3의 설비장치 비용이 10% 높다는 전문가의견을 반영하여 이를 적용

[표 4.5] 지상장치 개량비 절감비용

(단위:백만원)

구분	노선 길이 (단위: Km)	현 시스템(A)		KRTCS-2(B)		본 연구(C)		절감 비용 (A-C)
		km당 단가	구축비	km당 단가	구축비	km당 단가	구축비	
고속철도(ATC)	641	3,000	1,923,000	2,225	1,427,500	1,669	1,069,669	853,331

주) 본 사업의 대당 단가는 「ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways-Final Report」에 제시된 ERTMS-Level2 대비 ERTMS-Level3의 설비장치 비용 비율 75%를 적용하여 산출함.

나. 유지보수비 절감

○ 유지보수비의 경우 본 기술개발의 km당 유지보수비 단가가 없어 KRTCS-2의 유지보수비와 유사한 수준이라 가정*하고 현 시스템과 KRTCS-2의 유지보수비 차이를 본 연구의 유지보수비 절감 편익으로 준용함.

* 열차분리검지, 궤도절손검지를 목적으로 기존 설치된 궤도회로를 사용함.

○ 유지보수비 절감비용 산출결과 연간 약 2,962백만원이 산출됨.

[표 4.6] 유지보수비 절감비용

(단위:백만원)

구분	노선길이 (단위:Km)	현 시스템		KRTCS-2		절감비용 (A-B)
		km당 단가	구축비	km당 단가	구축비	
고속차량(ATC)	641	17.90	11,474	13.28	8,512	2,962

다. 열차 연착율 감소

○ 열차 연착율 감소 편익의 경우 연간 열차 연착건수를 토대로 연간 1인당 총 연착시간을 도출

○ 이후 열차 연착원인 중 신호/전기에 따른 연착비율 2.06%와 KTDB에서 제공하는 철도 1인당 시간가치 8,572원을 적용하여 최종 연착율 감소편익을 도출함.

○ 열차 연착율 감소 편익 산출결과 연간 약 7.6억원이 산출됨.

[표 4.7] 연간 KTX 승객1인당 총 연착시간

구분	연착건수 (2007년 상반기)	연간 연착건수	지연시간	연평균 연착시간	열차1편성당평균 고객수	연간 총 연착시간
10분이내	1,809	3,618	18,090	498시간	885명	440,583시간
10~20	295	590	8,850			
20~30	19	38	950			
30분이상	22	44	1,980			
합계	2,145건	4,290건	29,870시간			

[표 4.8] 열차 연착 원인 비율

구분	영업관계	차량관계	선로관계	신호전기	운전관계	기타	합계
2010년	1,253	500	459	241	2,625	1,424	6,502
2011년	1,832	612	533	186	3,572	1,845	8,580
2012년	3,798	837	1,851	192	5,064	3,291	15,033
합계	6,883	1,949	2,843	619	11,261	6,560	30,115
비율	22.86%	6.47%	9.44%	2.06%	37.39%	21.78%	100.00%

라. 선로용량 확충에 따른 편익

○ 본 연구개발 시 선로용량 증대효과를 고려하여 교통수요예측 프로그램인 Emme/3를 이용해 선로용량확충에 따른 장래 열차운행횟수 증가로 인한 편익을 산정함.

○ 선로용량 확충에 따른 편익항목으로는 교통SOC사업의 타당성평가시 일반적으로 적용되는 통행시간절감, 운행비용감소, 교통사고절감, 환경비용절감 등 4대편익을 적용.

○ 산출결과 선로용량 확충에 따른 4대편익의 경우 연간 3,073 ~ 3,207억원 수준으로 검토됨.

[표 4.9] 선로용량 확충에 따른 4대편익

구분	통행시간절감	운행비용절감	교통사고절감	환경비용절감	합계
2030년	177,685	105,472	15,369	11,482	310,008
2035년	183,713	108,776	15,797	12,381	320,667
2040년	182,441	105,186	15,217	12,903	315,747
2045년	177,427	102,246	15,044	12,600	307,317

마. 편익 산정 결과

○ 편익 산정결과 연간 약 97,287백만원이 발생되는 것으로 검토됨.

[표 4.10] 편익산정 결과

과제명	차상장치 개량비 절감편익	지상장치 개량비 절감편익	유지 보수비 절감편익	열차 연착율 감소편익	선로용량 확충에 따른 편익	합계
무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 효과	4,275	213,332	2,962	760	315,747	537,076

4. 경제성 분석 결과

○ 분석결과 B/C는 3.07로 경제적 타당성을 확보하는 것으로 검토됨.

[표 4.11] 경제성 분석결과

구 분	B/C	NPV(백만원)	IRR(%)
무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발	3.65	27,992	22.56

[표 4.12] 경제성 분석 결과

년도	비용				편익					현재가	
	기술개발비용	차상장치개량비	지상장치개량비	유지보수비	차상장치개량비절감	지상장치개량비절감	유지보수비절감	연착율감소	선로용량확충효과	비용	편익
2016년											
2017년											
2018년	20.0	30.0			9.0					45.8	8.2
2019년	60.0	35.0			10.5					83.2	9.2
2020년	100.0	120.0			36.0					184.5	30.2
2021년	50.0	70.0			21.0					96.3	16.9
2022년		30.0			0.0					0.0	0.0
2023년		265.0			69.0					169.0	50.7
2024년		350.0	2908.0		69.0	1740.0				2206.6	1272.1
2025년		300.0			69.0					154.8	46.4
2026년		240.0	4058.0		72.0	2430.0				2767.6	1611.1
2027년		240.0			72.0					147.9	44.4
2028년			1359.0			814.6				801.4	480.4
2029년			5950.0			3571.8				3357.4	2015.5
2030년				52.0			29.6	7.6	3,100.1	28.1	1694.0
2031년				52.0			29.6	7.6	3,121.4	26.9	1632.1
2032년				52.0			29.6	7.6	3,142.7	25.7	1572.4
2033년				52.0			29.6	7.6	3,164.0	24.6	1514.7
2034년				52.0			29.6	7.6	3,185.4	23.5	1459.2
2035년				52.0			29.6	7.6	3,206.7	22.5	1405.6
2036년				52.0			29.6	7.6	3,196.8	21.6	1341.0
2037년				52.0			29.6	7.6	3,187.0	20.6	1279.3
2038년				52.0			29.6	7.6	3,177.2	19.7	1220.5
2039년				52.0			29.6	7.6	3,167.3	18.9	1164.4
2040년				52.0			29.6	7.6	3,157.5	18.1	1110.8
2041년				52.0			29.6	7.6	3,140.6	17.3	1057.4
2042년				52.0			29.6	7.6	3,123.8	16.6	1006.5
2043년				52.0			29.6	7.6	3,106.9	15.8	958.0
2044년				52.0			29.6	7.6	3,090.0	15.2	911.8
2045년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	14.5	867.8
2046년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	13.9	830.5
2047년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	13.3	794.7
2048년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	12.7	760.5
2049년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	12.2	727.7
2050년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	11.6	696.4
2051년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	11.1	666.4
2052년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	10.7	637.7
2053년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	10.2	610.3
2054년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	9.8	584.0
2055년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	9.3	558.8
2056년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	8.9	534.8
2057년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	8.6	511.7
2058년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	8.2	489.7
2059년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	7.8	468.6
2060년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	7.6	452.8
2061년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	7.3	437.5
2062년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	7.1	422.7
2063년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	6.8	408.4
2064년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	6.6	394.6
2065년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	6.4	381.2
2066년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	6.2	368.3
2067년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	5.9	355.9
2068년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	5.7	343.8
2069년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	5.6	332.2
B/C = 3.65											
NPV= 27,992백만원											
IRR= 22.56%											

5. 결론 및 정책제언

가. 결론

○ 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발에 대한 경제석 타당성분석을 수행

○ 합리적 분석을 위해 기본적으로 한국철도기술연구원에서 제공한 관련 자료를 토대로 경제성 분석을 수행

○ 경제성 분석을 위한 기본적 방법과 절차는 한국과학기술기획평가원에서 발간한 「연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제1판)」, 「도로 · 철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정 · 보완 연구(제5판)」을 준용

○ 분석결과 B/C는 3.65로 경제적 타당성을 확보하는 것으로 검토됨.

○ 본 연구에서 수행한 경제성 분석결과에서는 구득 가능한 자료를 토대로 한정된 편익만을 반영하였으나, 향후 면밀한 분석을 토대로 추가 자료를 얻을 수 있다면 분석결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨.

나. 정책제언

○ R&D사업을 통한 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 연구는 단순한 경제성 분석 결과를 토대로 판단하기보다는 국가 철도신호시스템 분야의 발전과 해외시장 진출 등을 위해 필수적인 사업임.

○ 2017년 세계 철도운행제어시장 규모는 약 18조 2,546억원이며, 국내 철도운행제어시장 규모는 약 1,145억원으로 세계시장대비 약 0.63% 수준

○ 본 열차제어시스템 개발에 따라 세계시장 점유율을 약 10% 수준으로 증가할 경우 연간 약 1조 7천억원의 수출증대효과가 발생될 것으로 기대함.

[표 4.13] 철도 운행제어시장 규모

구 분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
세계 철도운행제어시장	143,576	159,112	164,673	170,419	176,373	182,546
국내 철도운행제어시장	720	805	890	975	1,060	1,145
세계시장대비 국내시장 규모	0.50%	0.51%	0.54%	0.57%	0.60%	0.63%

자료) 「중소기업 기술로드맵 2015-2017」, 중소기업청

○ 본 개발사업의 경우 경제적 타당성을 확보하였으나, 편익에 반영된 기대효과 이외에 기타 기대효과를 감안한다면, 본 사업의 필요성은 충분할 것으로 사료됨.

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

○ 이러한 문제점을 해결하기 위해서 '열차 신호시스템 표준화방안(국토부,2010.11)' 을 마련하고 한국형 열차제어시스템 개발을 추진하였음

- 이에 따라 도시철도용 열차제어시스템, 일반 · 고속철도용 열차제어시스템 개발을 완료하였고, 상용화를 추진하고 있음.

○ 그러나 유럽 등 철도선진국은 이미 축적된 기술과 경험을 바탕으로 차세대 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 연구개발을 활발히 진행 중에 있으며 체계적인 단계별 연구개발 로드맵을 수립하고 장기적인 관점에서 천문학적인 연구개발비와 인력에 대한 집중적인 투자를 계획하고 있음.

○ 미래 차세대 열차제어시스템 분야에서 국외 선진국과 경쟁하기 위해서는 차세대 열차제어시스템의 개발이 요구되는 상황임

- 이에 적절히 대응하지 못할 경우, 기존 고속철도 신호시스템을 개량할 경우, 외산시스템을 도입해야 할 것이고, 국내 철도산업은 지속적으로 해외기술에 종속될 것임

○ 지속적인 연구개발을 통해서 확보한 연구개발경험과 인프라를 지속적으로 활용할 수 있도록 정부차원의 투자와 지원이 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 열차제어시스템은 이동폐색을 이용한 열차간격제어와 자동운전을 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 2030년에서 2065년까지를 고려하였음

○ 경제성 분석 결과 B/C는 3.65로 분석되었음

제5장 자원투입계획

1절 연구시설 및 장비 투입계획

○ 총 3세부 12개 제안기술 도출하여 인력, 장비 및 소요예산 산정을 연구개발의 단계, 과제 성격, 연구기간, 연구내용, 개발목표의 수준을 고려하여 연구비 분배를 수행하였음

○ 1차년도와 2차년도는 핵심기술개발에 필요한 연구시설 및 장비 구입과 프로토타입 제작을 위한 시제품 제작비의 비중이 상대적으로 높게 책정하였음(1단계 사업 1차 연구)

○ 3차년도와 4차년도는 실용화기술개발에 필요한 시제품 제작과 테스트 베드 구축비의 비중을 높였으며, 종합시험선은 열차제어시스템의 고속운전과 간격제어 시험이 용이하도록 최소 시험열차 2편성 확보 및 개조와 시험노선 40km 이상을 대상으로 차·지상 설비구축을 포함함(1단계 사업 2차 연구)

- 현재 진행중인 KRTCS 2의 시험인프라를 최대한 사용하는 것으로 하여 소요연구비를 최소화하였음

○ 3절에 기술한 바와 같이 상호운영성 기술은 본 연구(1차년도~4차년도) 이후 5차년도와 6차년도에 진행하는 것으로 기획함(2단계 사업)

세부과제별 연구시설 및 장비 투입계획

(백만원)

투입계획			연구시설 및 장비목록	용도	비용		비고
과제		연차	품명		수량	단가	
1 세부	1-1 시스템 통합 및 규격 개발	1	열차제어시스템 설계 TOOL(SCADE 등)	시스템 설계용	2	100	
		2	시스템 분석 TOOL (MATLAB 등)	시스템 알고리즘 분석용	2	20	
		3	열차제어시스템 개발 TOOL	시스템 개발용	2	200	
		4	열차제어시스템 테스트 TOOL	시스템 테스트용	2	50	
	1-2 열차 무결성 검지장치 개발	1	열차무결성검지장치 설계 Tool	장치 알고리즘 설계용	1	100	
		2	열차무결성검지장치 분석 Tool	장치 알고리즘 분석용	1	50	
		2	열차무결성검지장치 프로토타입제작	프로토타입 H/W, S/W	1	100	
		3	열차무결성검지장치 시험장치	시험장치	1	100	
		4	열차무결성검지장치 시제품 제작	시제품 H/W, S/W 제작	1	100	

투입계획			연구시설 및 장비목록	용도	비용		비고
과제		연차	품명		수량	단가	
	1-3 레일절손검지장치 개발	1	레일절손검지장치 설계 Tool	장치 알고리즘 설계용	`2	100	
		2	레일절손검지장치 분석 Tool	장치 알고리즘 분석용	1	50	
		2	레일절손검지장치 프로토타입 제작	프로토타입 H/W, S/W	1	200	
		2	레일절손검지장치 시험장치	시험장치	1	100	
		3	레일절손검지장치 시제품 제작	시제품 H/W, S/W 제작	1	200	
	1-4 무선통신망 안정성 및 가용성 향상기술 개발	1	주파수천이 알고리즘 개발 Tool	시스템 설계용	1	100	
		2	통화간섭방지 알고리즘 개발 TOOL	시스템 개발용	1	100	
		2	신뢰성향상 알고리즘 개발 TOOL	시스템 개발용	1	100	
		2	알고리즘 검증용 시작품 제작	프로토타입	3	120	
		3	알고리즘 검증용 시험장치 제작	시험장치	2	120	
		3	통신망 안정성 및 가용성 검증 시제품	시제품	1	200	
	1-5 실용화 지원기술	4	교육훈련시스템 시제품	시제품	1	1500	
2세부	2-1 ATP/ATO 규격개발 및 차상-지상 통합	1	열차제어시스템 설계 TOOL	하부시스템 설계용	2	95	
		2	시스템 분석 TOOL	하부시스템 알고리즘 분석용	2	10	
		2	열차제어시스템 개발 TOOL	하부시스템 개발용	1	200	
		4	열차제어시스템 테스트 TOOL	하부시스템 테스트용	2	100	
	2-2 이동 폐색용 지상 ATP 개발	2	지상 ATP 설계 Tool	프로그램 설계용	2	100	
		2	지상 ATP 분석 Tool	프로그램 분석용	1	50	
		2	지상 ATP 프로토타입 제작	프로토타입 H/W, S/W	2	500	
		2	지상 ATP 시험장치	시험장치	1	240	
		3	지상 ATP 장치 시제품 제작	시제품 H/W, S/W 제작	1	400	

투입계획			연구시설 및 장비목록	용도	비용		비고
과제		연차	품명		수량	단가	
	2-3 자동운전을 지원하는 차상 ATP/;ATO 개발	2	차상 ATP/ATO설계 Tool	프로그램 설계용	1	100	
		2	차상 ATP/ATO 설계 분석 Tool	프로그램 분석용	1	50	
		2	차상 ATP/ATO 프로토타입 제작	프로토타입 H/W, S/W	2	500	
		2	차상 ATP/ATO 시험장치	시험장치	1	240	
		3	차상 ATP/ATO 장치 시제품 제작	시제품 H/W, S/W 제작	1	400	
	2-4 신호시스템 상호운영성 기술	5	상호운영성프로그램 개발Tool	프로그램 설계용	1	200	
			상호운영성프로그램 분석Tool	프로그램 분석용	1	100	
			상호운영성을 지원하는 차상장치 프로토타입 제작	프로토타입 H/W, S/W	1	500	
		6	상호운영성을 지원하는 차상장치 시작품 제작	시작품 H/W, S/W	1	500	
3세부	3-1 종합성능시험인프라 구축 및 시험	2	시험선 설계 Tool	시험선 설계	1	80	
		2	시험선 건설 사전작업	건설을 위한 기초작업	1	400	
		3	시험열차 개조(2편성)	시험열차 개조	2	500	
			시험선 건설(LTE-R망, 계측설비 구축 및 복구포함)	시험선 건설(40km)	1	4,280	
		3	시험선 운영	시험선 운영	1	500	
		4	시험선 운영	시험선 운영	1	1,300	
	3-2 실시간 열차운행관리기술 개발	1	열차운행관리장치 설계 Tool	프로그램 설계용	1	100	
		2	열차운행관리장치 분석 Tool	프로그램 분석용	1	10	
	3-3 열차진로제어기술 개발	1	열차진로제어장치 설계 Tool	프로그램 설계용	1	100	
		2	열차진로제어장치 분석 Tool	프로그램 분석용	1	10	

2절 인력투입계획

○ 본 과제의 추진전략과 연차별 연구내용에 따라 인력 투입계획을 수립하였음

○ 1차년도와 2차년도는 핵심요소기술개발에 필요한 알고리즘 개발과 프로토타입 제작 측면에서 소요인력을 분석하였으며, 3차년도와 4차년도는 실용화기술개발에 필요한 시스템 세제품 제작과 테스트베드 구축과 시험평가 측면에서 소요인력을 분석하였음

○ 1세부 1-1연구내용 중 총괄부분은 2세부 및 3세부를 총괄하여 관리하는 것도 포함하므로 이는 연구단으로 편성하여 추진하는 것이 바람직함. 따라서 이에 관한 인력을 연구단으로 분리하여 투입하는 것으로 계획 수립

세부과제별 연차 · 단계별 인력투입계획

구분	연구내용				
		1차	2차	3차	4차
1세부	1-1	3	4	3	4
	1-2	3	4	3	3
	1-3	3	8	3	2
	1-4	5	8	5	3
	1-5	1	6	4	4
1세부 소계		**79**			
2세부	2-1	3	9	7	8
	2-2	3	14	4	3
	2-3	3	14	4	3
	2-4				(5차:15, 6차:15)
2세부 소계		**105**			
3세부	3-1	7	7	11	13
	3-2	2	2	3	3
	3-3	2	2	3	3
3세부 소계		**58**			
연구단		4	4	4	4
연구단 소계		**16**			
합계		**258**			

3절 소요예산투입계획

○본 과제의 연차별 연구개발 소요예산을 세부과제별로 제시하였음

○총 예산은 아래와 같이 예산을 2개로 분리하였음

- (예산1) 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 소요예산 : 299억원(4년)

  · 공간통합형 열차제어시스템 개발규격서 작성 업무 포함

- (예산2) 고속 · 일반 · 도시철도간 직결운행을 위한 열차제어기술개발 소요예산 : 60억원(2년)

  · 고속 · 일반 · 도시철도간 직결운행을 위한 열차제어기시스템 시제품 제작, 검증업무로 연구내용 제한

  · 연구업무의 집중을 위해서 예산1의 연구내용이 완료된 후 공간통합의 연구개발을 수행하는 것이 소요예산 절감효과가 있음. 예산 1의 2단계(3차, 4차년도) 사업과 통합하는 방안도 검토 가능. 이 경우 현차 시험을 통합하여 수행

  · 과제 종료 후 시험원 철거 및 원상복구는 예산1의 3세부 과제인 시험평가기술 및 인프라구축에 소요비용을 배정함

1. 총 연구비

○무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템개발의 연차별 소요예산

(단위:백만원)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	계
인건비	950	2,940	1,920	1,800	-	-	7,610
연구장비 재료비	1,042	5,028	7,874	3,261			17,205
기타경비 및 간접비	408	1,632	2,006	1,039			5,085
합계	2,400	9,600	11,800	6,100			29,900

○고속 · 일반 · 도시철도간 직결운행을 위한 열차제어기술개발 소요예산

(단위:백만원)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	계
인건비	-	-	-	-	1,200	600	1,800
연구장비 재료비	-	-	-	-	2,309	1,155	3,464
기타경비 및 접비	-	-	-	-	491	245	736
합계	-	-	-	-	4,000	2,000	6,000

2. 세부과제별 연구비

○ 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템개발의 연차별 소요예산

(단위:백만원)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	계
1세부-열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발	1,400	3,000	2,500	2,800	0	0	9,700
2세부-이동폐색기반 ATP/ATO 기술 및 장치 개발	500	5,500	1,600	800	0	0	8,400
3세부-인프라구축 및 종합시험	500	1,100	7,700	2,500	0	0	11,800
합계	2,400	9,600	11,800	6,100	-	-	29,900

○ 고속 · 일반 · 도시철도간 직결운행을 위한 열차제어기술개발 소요예산

(단위:백만원)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	계
고속·일반·도시철도간 직결운행을 위한 열차제어기술개발	-	-	-	-	4,000	2,000	6,000
합계	-	-	-	-	4,000	2,000	6,000

가. 1세부 연차별 연구개발 소요예산

(단위:백만원)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	계
인건비	550	1,200	800	700			3,250
연구장비 재료비	612	1,290	1,275	1,622			4,799
기타경비 및 간접비	238	510	425	478			1,651
합계	1,400	3,000	2,500	2,800	0	0	9,700

나. 2세부 연차별 연구개발 소요예산

(단위:백만원)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	계
인건비	200	1,340	520	400			2,460
연구장비 재료비	215	3,225	808	264			4,512
기타경비 및 간접비	85	935	272	136			1,428
합계	500	5,500	1,600	800	0	0	8,400

다. 3세부 연차별 연구개발 소요예산

(단위:백만원)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	계
인건비	200	400	600	700	0	0	1,900
연구장비 재료비	215	513	5,791	1,375	0	0	7,894
기타경비 및 간접비	85	187	1,309	425	0	0	2,006
합계	500	1,100	7,700	2,500	0	0	11,800

라. 고속·일반·도시철도간 직결운행을 위한 열차제어기술개발 연차별 연구개발 소요예산

(단위:백만원)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	계
인건비	-	-	-	-	1,200	600	1,800
연구장비 재료비	-	-	-	-	2,309	1,155	3,464
기타경비 및 간접비	-	-	-	-	491	245	736
합계	-	-	-	-	4,000	2,000	6,000

3. 연구개발 상세 소요내역

가. 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템개발

○각 세부별 세세부 연구내용에 대해서는 첨부 1에 기술되어 있음

○본 사업(무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템개발)을 2차로 나누어 추진할 경우를 고려하여 1차(1차년도, 2차년도)와 2단계(3차년도, 4차년도)에 대한 중간합계를 명시함

(단위: 백만원)

구분	1차년	2차년	중간합	3차년	4차년	중간합	합계
총괄	2,400	9,600	12,000	11,800	6,100	17,900	29,900
1세부	1,400	3,000	4,400	2,500	2,800	5,300	9,700
1-1	700	700	1,400	800	800	1,600	3,000
1-2	80	180	260	470	70	540	800
1-3	170	520	690	330	180	510	1,200
1-4	350	1,300	1,650	200	150	350	2,000
1-5	100	300	400	700	1,600	2,300	2,700
2세부	500	5,500	6,000	1,600	800	2,400	8,400
2-1	300	400	700	400	300	700	1.400
2-2	100	2,550	2,650	600	250	850	3,500
2-3	100	2,550	2,650	600	250	850	3,500
2-4	0	0	0	0	0	0	0
3세부	500	1,100	1,600	7,700	2,500	10,200	11,800
3-1	300	900	1,200	7,300	2,300	9,600	10,800
3-2	100	100	200	200	100	300	500
3-3	100	100	200	200	100	300	500

나. 고속·일반·도시철도간 직결운행을 위한 열차제어기술개발

○ 고속·일반·도시철도간 직결운행을 위한 열차제어기술개발 상세 소요내역

(단위: 백만원)

구분	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	합계
총괄	-	-	-	-	4,000	2,000	6,000
1세부	-	-	-	-	-	-	-
1-1	-	-	-	-	-	-	-
1-2	-	-	-	-	-	-	-
1-3	-	-	-	-	-	-	-
1-4	-	-	-	-	-	-	-
1-5							
2세부	-	-	-	-	-	-	-
2-1	-	-	-	-	-	-	-
2-2	-	-	-	-	-	-	-
2-3	-	-	-	-	-	-	-
2-4	-	-	-	-	4,000	2,000	6,000
3세부	-	-	-	-	-	-	-
3-1	-	-	-	-	-	-	-
3-2	-	-	-	-	-	-	-
3-3	-	-	-	-	-	-	-

4절 정부지원조건

○본 연구개발과제는 차세대 무선통신기반 열차제어시스템기술 선도를 목표로 단계별로 연구개발을 추진함

- 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 개발(2010.12~2014.6), 일반·고속철도용 열차제어시스템 개발(2014.12~2017.6)을 통하여 '열차 신호시스템 표준화방안 통보(국토부, 2010.11)'의 KRTCS 구축 단계별 추진전략을 완료하였음

- 유럽의 철도산업혁신전략 등 외부환경의 변화에 선제적으로 대응하기 위해서는 고속철도의 자동운전을 포함한 차세대 열차제어시스템을 개발하기 위한 연구개발사업의 지속적인 추진이 요구됨

○국내 철도신호통신 산업의 기술성숙도와 본 연구개발과제에서 개발하고자하는 기술의 도전성과 개발규모를 고려했을 때 1단계는 요소기술개발, 시제품 제작 및 시험선 검증을 시행하고, 2단계에서 시험노선을 선정하여 시범운영을 추진함

- 2단계사업 추진 및 상용화를 위해서 연구단 별도 운영

○본 기획과제의 대상인 1단계(4년)는 3세부로 진행을 하며, 실용화를 위해서 제작사와 철도건설·운영기관이 과제에 참여를 하며, 참여기업은 해당 세부과제에 책정된 출연금에 대한 매칭을 부담함

○세부과제 3의 경우는 시험평가와 인프라 구축이며, 기술실시권 계약 대상인 매우 제한되는 관계로 매칭을 부담하지 않는 것으로 함

○본 기획과제의 주요 개발성과를 실용화하기 위해서 정부의 추가적인 지원요구사항은 다음과 같음

- 시스템 또는 주요 장치의 철도용품기술기준으로 지정

- 영업선에서 실시하는 2단계 시범사업에 철도운영기관이 참여하고, 시범사업에 필요한 사업비를 운영기관이 편성할 수 있도록 사업비 지원

제6장 과제공모 방안

본 연구개발의 연구내용과 적시성을 1단계 기술개발(4년)과제를 수행하고, 2단계 시범운영(2년)을 진행하는 것이 적절한 것으로 예상된다. 본 보고서에는 1단계의 과제제안요구서와 시범운영을 위한 제언을 제시하였다.

1단계는 무선통신을 적용한 고속철도용 열차제어시스템을 개발하는 것으로서 과제의 참여기관은 전문연구원, 철도운영기관 및 신호전문기업이 참여하는 연구추진체계를 구성하는 것이 바람직하다.

1단계를 성공적으로 수행하기 위해서는 실 수요자인 운영기관의 사용자 요구사항을 반영하여 기술 개발을 수행하고, 운영기관에서 시험선을 구축한 후 개발된 성과물을 시험(시험운영)하고 평가하는 것이 바람직하다.

세부과제 1과 세부과제 2에 참여하는 참여기업은 해당 세부과제에 책정된 출연금에 대한 매칭을 부담한다. 세부과제는 열차제어시스템의 핵심장치인 ATP/ATO장치를 개발하는 것이며 안전성인증과 관련된 연구내용이 포함되며 참여기업도 관련 비용을 부담한다.

세부과제 2에서 진행되는 '열차제어시스템 상호운영성개발'은 1단계에서 상호운영을 담당하는 차상ATP/ATO장치의 개발규격서 및 기본설계를 2년 수행하여 성과물을 관련 연구내용에 제공하고, 2단계(시범운영단계)에서 차상ATP/ATO장치 개발, 시험인프라 구축 및 종합성능시험평가를 실시한다.

세부과제 3은 종합성능시험인프라를 구축하고 시험평가계획의 수립과 시험평가를 수행하는 것으로, 운영기관이 협동기관으로 참여함이 바람직하다. 세부과제 3의 성격상 기술실시권이 발생하는 것이 없기 때문에 운영기관이 비용부담(맷칭펀드)은 적절하지 않다.

1절 과제제안요구서

1. 연구단 과제

연구과제명	무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발
1. 연구 개발목표	

○ 시스템 통합 및 규격 관리(TRL 7)
- 이동폐색기술 및 자동운전기술을 적용하여 열차수송용량 30% 증대기술 개발
- 궤도회로 등 지상설비 감축으로 유지관리비용 20% 절감기술 개발

○ 열차무결성검지장치 개발(TRL 7)

*열차제어시스템의 안전성과 가용성 향상을 지원하는 시스템 보완장치
- 열차분리검지정보 전송 : 이벤트 전송
- 프로토타입 구현을 통한 성능 및 기능 검증

○ 레일절손검지장치개발(TRL 7)

*열차제어시스템의 안전성과 가용성 향상을 지원하는 시스템 보완장치
- 레일파손 및 절손 위치 검지 : 100m 이내
- 레일상태정보 전송 주기 : 1초
- 프로토타입 구현을 통한 성능 및 기능 검증

○ 무선통신망 안정성 향상 및 가용성 향상 기술 개발(TRL 7)
- 주파수 이중화 기능 구현
- 열차제어정보의 보완기능 구현
- 프로토타입 구현을 통한 성능 검증

○ 실용화지원기술 개발(TRL 7)
- 열차제어시스템 표준규격(안)
- 열차제어시스템 형식승인을 위한 기술기준(안)
- 시스템 인터페이스검증 및 교육·훈련자료

○ 이동폐색용 지상ATP개발(TRL 7)
- 열차운행최고속도 : 350km/h
- 열차위치검지정밀도 : ±80m(지상자간 거리 최대 1,500m 적용)
- 열차이동권한정보전송주기 : 최소 0.5[s]이며,전송주기 조정 가능

○ 자동운전을 지원하는 차상ATP/ATO개발(TRL 7)
- 열차운행최고속도 : 350km/h
- 열차위치검지정밀도 : ±80m(지상자간 거리 최대 1,500m 적용)
- 열차속도검지정밀도 : ±12km/h(열차최고속도 500km/h)
- 동적속도프로파일(ATP프로파일)과 알람프로파일간 속도여유 : 5km/h
- 동적속도프로파일(ATP프로파일)과 상용제동프로파일간 속도여유 : 5km/h
- 열차위치정보전송주기 : 최소 0.5[s]이며, 전송주기 조정 가능
- 열차이동권한정보전송주기 : 최소 0.5[s]이며,전송주기 조정 가능

- 자동(무인)운전모드에서 열차운행최고속도 : 300km/h
- 정위치정차 정밀도 : ±2.5[m] (개발규격서 작성과정에서 조정)

○ 종합성능시험인프라 구축 및 시험
- 종합시험선로 구축
- 열차제어시스템 단계별 검증 및 종합성능시험 평가

○ 실시간 열차운행관제기술 개발(TRL 7)
- 열차위치정보를 강제로 초기화할 시의 열차위치정보 오차 : 100m
- 열차정시성 확보율 : 97% 이상(또는 열차지연율 3% 이하)
  : 열차의 역도착시간을 sec단위로 관리
  *열차의 역도착시간 만족을 판단하는 기준은 개발규격서 작성시 결정

○ 열차진로제어기술 개발(TRL 7)
- 고정폐색 또는 가상폐색방식의 연동로직 적용
- 열차진로설정시간 : 10[s]
- 선로전환기 동작완료시간 : 8[s]

2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향

□ 연구개발 필요성

○ 배경
- 열차제어시스템은 효율적인 열차운행계획관리, 선행열차와 후속열차간 열차안전간격제어, 분기구역에서의 안전한 열차진로제어를 담당하고 있으며, 표준통신기술(이더넷)을 적용하여 열차제어시스템과 연계되는 타 설비가 증가하고 있는 추세임
- '열차 신호시스템 표준화방안'에 따라 도시철도 및 일반·고속철도 한국형 신호통신시스템(KRTCS)을 개발을 완료하였고, 일반·고속선을 대상으로'한국형 철도신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)'을 마련하였음
- 유럽은 철도산업혁신프로젝트(FORSTER-RAIL, SHIFT2RAIL, NGTC)을 진행하고 있으며, 이를 통해서 세계철도산업의 주도권을 유지하는 전략과 로드맵을 마련하였음
- '열차 신호시스템 표준화방안'에 의한 KRTCS개발은 종료되었으나, 대외환경변화에 선제적으로 대응하여 국내철도산업의 경쟁력을 높이기 위해서는 차세대 열차제어시스템을 조속히 진행하여야 함

○ 수송력(Capacity) 측면
- 궤도회로를 이용한 고속철도용 열차제어시스템(ATC와 ETCS L1, L2)은 궤도회로가 갖는 물리적인 한계로 인하여 고속철도 승객증가를 감당할 수 없음
- ETCS L2는 무선통신을 적용하여 선로용량이 15%(고속선)정도 높아지지만, 경합구역에서의 선로용량증가가 5%로 미미한 것으로 분석되고 있음
- 특히 고속철도와 일반철도가 거대해진 도심을 운행하면서 선로용량 증대가 다시 요구되고 있으며, ETCS L2에 ATO를 추가하는 사업을 진행중
- 수송량을 결정하는 것은 선행열차와 후속열차간 안전거리이며, 열차의 속도가 높을수록 확보해야하는 안전거리가 증가하여 노선의 수송량 증대에 한계가 발생하므로, 열차간 안전거리를 보다 단축하는 방안이 필요함
- 고속선에서 사용중인 궤도회로는 길이가 1,500m이며, 실시간 열차위치정보를 제공하지 못하고 있어 안전거리단축이 불가능하고, 무선통신을 이용하면 열차위치정보(오차 ±80m)를 실시간으로 검지할 수 있어 열차간 안전거리를 줄일 수 있으며, 고

속선에 적용할 경우 58%의 용량증대가 예상됨
- 또한 자동운전(ATO)기술을 적용할 경우, 고속선의 열차출발, 열차주행, 열차정위치 정차를 초(sec)단위로 관리할 수 있어 추가적으로 수송용량이 증대할 것으로 기대됨
- 따라서 자동운전기술과 이동폐색제어기술을 지원하는 차세대열차제어시스템은 고속철도 수송용량한계를 용이하게 해결할 것으로 기대됨

○ 비용(Cost) 측면
- 궤도회로를 사용하는 ETCS L1의 구축비용을 기준으로 했을 때, 이동폐색제어기술을 지원하는 차세대 열차제어시스템은 지상설비를 최소화하였기 때문에 구축비용을 25%정도 절감할 수 있을 것으로 기대됨
- 또한 지상설비 최소화에 따른 유지보수작업이 감소하여 10~50%의 유지보수비용 절감이 기대됨
  * 열차제어시스템이 고도화되기 때문에 기관사, 정비요원, 관제요원에 대한 높은 수준의 교육과 훈련이 요구되기 때문에 운영조건에 따라 유지관리비용의 편차가 크게 발생함

○ 운영의 편의성(Service) 및 안전성(Safety) 측면
- 열차제어시스템은 자동운전기술을 지원하며, 이를 위해서 열차제어시스템은 관제설비(CTC), 전자연동장치(EI) 및 제어장치(ATP/ATO)가 유기적으로 연결되며, 기관사 및 운영요원(관제요원)의 간섭을 최소화하고 열차운행스케쥴에 따라 자동으로 열차가 이동을 함(초단위로 열차운행관리)
  * ETCS는 수동운전을 지원하는 ATP를 지칭하는 것이며, CTC와 EI는 독자적으로 구축됨
- 이를 통해서 열차운행의 정시율을 보다 높일 수 있고, 상세한 열차운행정보를 승객에게 제공할 수 있어 승객서비스수준을 높일 수 있음
- 선로상에 설치되는 지상설비를 최소화하였기 때문에 선로연장, 중간역 추가 등 열차운행계획에 큰 변화가 발생하여도 신속하게 대응할 수 있어서 철도운영자의 탄력적인 열차운영을 지원할 수 있음
- 궤도회로방식은 검증된 시스템이라고 인식되고 있으나, 열차이동에 운영요원이 직접 간여하고 있으며, 궤도회로의 문제로 인한 열차미검지 등으로 철도사고가 발생되고 있음
- 개발할 열차제어시스템은 열차이동에 자동운전기술을 적용하고, 열차이동을 실시간으로 추적하고, 열차운행상태도 실시간으로 관리할 수 있어 궤도회로방식보다 안전성이 높아짐
- 그러나 궤도회로를 통해서 확인할 수 있었던 열차분리사고 검지, 궤도절손검지를 위한 기술개발이 수행되어야 함

□ 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 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 수행중에 있음.
- (FOSTER-RAIL) 유럽철도의 연구개발 및 혁신전략을 강화할 수 있도록 지원하는 것이 목적이며, 2050년까지의 기술로드맵을 마련하였음
- (NGTC) ETCS와 CBTC시스템을 통합하여 신호시스템 공급자에게는 보다 큰 신호시장을 제공하고, 시스템 사용자에게는 경쟁을 강화해서 시스템구매비용을 낮추는 것이 목적이며, 사업을 종료하고 Shift2Rail에서 관련 성과를 활용하고 있음
  · ETCS와 CBTC시스템의 운영사항과 기능사항의 공통 및 고유사항 분석
  · 시스템 구조, 시스템 요구명세서 정립
  · NGTC의 메시지 분석과 메시지 규격서 작성
  · 이동폐색의 원칙 및 검증
  · 무선통신시스템의 일반요구명세 및 적용 가능한 무선통신기술 검증
  · 위성을 이용한 열차위치검지
- (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 연구를 진행하고 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 열차스스로 전방상황을 인지하고 주행여부를 판단할 수 있는 자율주행 열차에 대한 연구개발을 수행중에 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.

3. 연구개발 내용

< 연구단 >

○ 사업총괄관리

- 과제총괄 관리계획 작성, 조정 및 관리
- 열차제어시스템 구축 지원

○ 시범사업 추진 및 실용화를 위한 성과확산

< 세부과제 1: 열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발 >

○ 시스템 통합 및 규격개발

- 열차제어시스템 개발요구사항 조사 및 분석(상호운영내용 반영)
  · 열차제어시스템 자동화수준 정의
  · 열차제어시스템 성능요구사항 정의
  · 열차제어시스템 기능요구사항 정의
  · 열차제어시스템 하부시스템 개발요구사항 검증
  *열차제어시스템 하부시스템 개발(상세설계)과정에서 발생된 보완사항 반영
- 열차제어시스템 개발규격서 작성(상호운영내용 반영)
  · 열차제어시스템 개념 및 구성 정립
  · 열차제어시스템 성능명세 작성
  · 열차제어시스템 기능명세 작성 및 기능배치(기본설계)
  · 열차제어시스템 개발규격서 작성
  *열차제어시스템 하부시스템 상세설계에 따른 기능명세 및 기능배치 보완
- 열차제어시스템 인터페이스 규격서 작성
  · 열차제어시스템 하부장치간 인터페이스 규격서 작성
  · 열차제어시스템과 타시스템간 인터페이스 규격서 작성
  · 열차제어시스템 인터페이스 규격서 검증
  *열차제어시스템 하부시스템 및 타시스템의 상세설계에 따른 인터페이스 규격보완
- 열차제어시스템 하부장치간 개발요구사항 작성
  · 관제설비(CTC), 전자연동장치(EI), 지상 및 차상제어장치(ATP/ATO)
  · 관제설비(CTC), 전자연동장치(EI), 지상 및 차상제어장치(ATP/ATO)의 개발요구사항 검증
- 열차제어시스템규격서 작성
  *열차제어시스템의 종합성능시험 및 안전성평가 후 최종적으로 확인된 각종 기술자료를 규격서로 작성

○ 열차무결성검지장치개발

- 열차무결성 검지기술 요구사항 분석 및 개념설계
- 열차무결성 검지기술 기능명세 및 성능명세 정의
- 열차무결성 검지기술 기본설계
- 열차무결성검지장치와 차상ATP장치와의 인터페이스규격 작성
- 열차무결성검지장치 상세설계

· 하드웨어 설계
· 소프트웨어 설계(열차분리검지모듈, 인터페이스모듈)
- 열차무결성검지장치 시작품 제작(보완)
- 열차무결성검지장치 시험계획서 작성
- 열차무결성 검지장치용 실험실단위 시험장치 제작
- 열차무결성 검지장치 시험
· 장치 환경시험
· 장치 기능시험
- 열차위치검지장치 현장구축 및 점검
- 열차위치검지장치 종합성능시험평가

○ 레일절손 검지장치 개발
- 레일절손검지장치 요구사항 분석
- 레일절손검지장치의 센싱개념 설계
- 레일절손검지장치의 기능명세 및 성능명세 정의
- 레일절손검지장치의 기본설계
- 레일절손검지장치와 타장치와의 인터페이스규격 작성
- 레일절손검지장치 센서 설계
- 레일절손검지장치 시작품 제작
· 하드웨어 설계
· 소프트웨어 설계(레일절손검지모듈, 인터페이스모듈)
- 레일절손검지장치 시험계획서 작성
- 레일절손검지장치 현장구축 및 보완
- 레일절손검지장치 종합성능시험평가
- 레일절손검지장치 센서 보완

○ 무선통신망 안정성 및 가용성 향상기술 개발
- LTE-X간의 통화 간섭 방지 알고리즘 기술 연구
- LTE-X간의 통화 간섭 방지 알고리즘 프로그램 구현 및 시험
- LTE-X간의 통화 간섭 방지 알고리즘 기술 이전 및 현장시험 지원(수정보완)
- LTE-R 무선접속제어 알고리즘 설계 및 제작
- LTE-R 무선접속제어 알고리즘 현장 검증 지원(수정보완)
- 열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 기술 연구
- 열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 프로그램 구현 및 시험
- 열차제어 주파수 자동 천이 알고리즘 기술 이전 및 현장시험 지원(수정보완)

○ 실용화지원기술
- 관련기술의 기술기준 및 규격 제/개정안
- 열차제어시스템 표준규격(안) 작성 및 보완

- 열차제어시스템 기술기준(안) 작성 및 보완
- 열차제어시스템 인터페이스검증 및 교육·훈련 설비 설계 및 제작
- 열차제어시스템 인터페이스(지상설비와 차상장치간) 검증
- 열차제어시스템 교육 및 훈련 매뉴얼

< 세부과제 2: 이동폐색기반 ATP/ATO기술 및 장치 개발 >

○ ATP/ATO규격 개발 및 차상-지상 통합

- ATP/ATO장치 개발요구사항 조사 및 분석(상호운영내용 반영)
  * 열차제어시스템의 개발요구명세서 자료를 토대로 진행
  · ATP/ATO장치 성능요구사항 정의
  · ATP/ATO장치 기능요구사항 정의
  · 지상장치 및 차상장치별 개발요구사항 검증
- ATP/ATO장치 개발규격서 작성(상호운영 반영)
  · ATP/ATO장치 구성
  · ATP/ATO 성능명세 작성
  · ATP/ATO 기능명세 작성 및 기능배치(기본설계)
  · ATP/ATO장치 개발규격서 검증
  * ATP/ATO 차상장치 및 지상장치 상세설계에 따른 개발규격서 보완
- ATP/ATO장치 인터페이스 규격서 작성
  · 차상장치와 지상장치간 인터페이스 규격서 작성
  · 열차내 타장치와의 인터페이스 규격서 작성
  · 지상의 타장치와의 인터페이스 규격서 작성
  · ATP/ATO장치 인터페이스규격서 검증
  * ATP/ATO 차상장치 및 지상장치 상세설계에 따른 인터페이스 규격 보완
- ATP/ATO 장치규격서 작성
  * 열차제어시스템의 종합성능시험 및 안전성평가 후 최종적으로 확인된 각종 기술자료를 규격서로 작성

○ 이동폐색용 지상ATP개발

- 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 요구사항 분석 및 개념설계
- 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 기본설계
- 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 상세설계 및 H/W 제작
  · 열차위치결정 소프트웨어모듈
  · 열차이동권한설정 소프트웨어모듈
  · 열차제한속도설정 소프트웨어 모듈 등
- ATP지상장치 상세설계
- ATP 지상장치 제작
- 이동폐색제어기술 및 안전간격제어기술 시험계획서 작성
- 실험실단위 시험장치 제작
- 이동폐색제어기능 및 열차속도제어기능 시험

- ATP 지상장치 H/W 보완 및 S/W 제작
- ATP 지상장치 현장구축 및 점검
- 이동폐색제어기능 및 열차속도제어기능 현장시험
- 안전성인증활동
  · RAMS관리계획서 작성
  · 사전위험원 분석 등
  · 소프트웨어 RAMS관리계획서 작성
  · 소프트웨어 사전위험원 분석
  · 소프트웨어 품질관리계획서 작성 등
  · 하드웨어 및 소프트웨어 설계서 평가
  · 하드웨어 및 소프트웨어 시험 등
  · 하드웨어 및 소프트웨어 통합 시험
  · 지상ATP의 safety case 작성 및 인증

○ 자동운전을 지원한 차상ATP/ATO개발
- 차상 ATP 개발 규격서
- ATO 개발 규격서
- ATO 인터페이스 통제 문서
- 열차자동제어 및 속도제어 알고리즘
- 차상 ATP 시작품(1차 및 2차)
- ATO 시작품(1차 및 2차)
- 차상 ATP 및 ATO 검증용 시뮬레이션 프로그램 및 시뮬레이터
- 각 알고리즘에 대한 코드화 및 탑재 프로그램
- 현차 탑재 및 타장치와의 연동을 통한 인터페이스 보완
- 차상 ATP, ATO 시작품 환경시험 성적서
- 차상 ATP 및 ATO 시제품 현장 설치
- 시운전을 통한 알고리즘 보완
- 시운전을 통한 시뮬레이터용 열차 모델 보완
- 안전성인증활동
  · RAMS관리계획서 작성
  · 사전위험원 분석 등
  · 소프트웨어 RAMS관리계획서 작성
  · 소프트웨어 사전위험원 분석
  · 소프트웨어 품질관리계획서 작성 등
  · 하드웨어 및 소프트웨어 설계서 평가
  · 하드웨어 및 소프트웨어 시험 등
  · 하드웨어 및 소프트웨어 통합 시험
  · 지상ATP의 safety case 작성 및 인증

< 세부과제 3: 종합성능시험 인프라 구축 및 시험>

○ 종합성능시험 인프라 구축 및 시험

- 종합성능시험을 위한 관련 요구사항 조사 및 분석
  · 시험결과 인증과 관련한 국내 철도관련 법령 분석 포함
  · 열차제어시스템 상호운영성 관련 사항 포함
- 시스템 단계별 기능점검을 위한 시험계획서 작성
  · 위 요구사항을 토대로 시스템 종합시험 추진체계(안)
  · 기능점검단계 및 점검항목
  · 기능점검 방법, 절차
- 종합성능시험을 위한 시험항목, 방법, 절차 등 작성(상호운영성 포함)
  · 수동운전단계에서의 종합성능시험
  · 자동운전단계에서의 종합성능시험
- 종합성능시험인프라 설계(상호운영성 포함)
  · 시험열차(고속열차 해무) 개조설계
  · 지상인프라 설계
- 종합계측설비 설계
- 종합성능시험 인프라 구축
  · 시험열차(고속열차 해무) 개조 및 차상장치 설치
  · 지상인프라 구축(관제설비, 연동장치 등)
  · 종합계측설비 구축
  · 유선 및 LTE-R 연결
- 시스템 단계별 기능점검
  · 장치별 기능점검
  · 장치통합 점검
  · 개방모드에서 기능점검
  · 수동모드에서의 기능점검
  · 자동모드에서의 기능점검
- 시스템에 대한 종합성능시험 완료(시험성적서)
- 시스템에 대한 이례사항 점검(시험성적서)

○ 실시간 열차운행관제기술 개발

- 이동폐색을 지원하는 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어 요구사항 분석 및 개념설계
  · 관제설비(CTC)의 구성, 성능명세서 및 기능명세서
  · 관제설비와 지상제어장치 및 전자연동장치와의 인터페이스규격서
- 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 설계
  · 관제설비를 구성하는 각 장치별 기능설계
  · 관제설비를 구성하는 각 장치간 인터페이스(프로토콜) 설계
- 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 시험계획서 작성

- 관제설비 발주규격서 작성
- 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 기능시험 점검
  · 관제설비를 구성하는 각 장치 통합
  · 실험실단위에서 관제설비의 각 장치별 단품시험
  · 실험실단위에서 관제설비 통합시험
- 시험선 현장 설치 점검
  · 타 장치와의 인터페이스 점검 및 시스템 통합시험
- 일반·고속철도 열차운행 실시간 제어관리장치 현장 구축 및 검증
- 종합시험검증, 이례사항검증 지원

○ 열차진로제어기술 개발
- 이동폐색을 지원하는 일반·고속철도용 전자연동장치의 요구사항 분석 및 개념 설계
  · 전자연동장치의 구성, 성능명세서, 기능명세서
  · 전자연동장치와 관제설비 및 지상제어장치와의 인터페이스 규격서
- 일반·고속철도 전자연동장치 상세설계
  · 연동장치의 이동폐색정보 처리를 위한 소프트웨어모듈설계
  · 연동장치와 관제설비 및 지상제어장치와의 인터페이스 설계
- 일반·고속철도 전자연동장치 시험계획서 작성
  · 연동장치 시험항목, 시험방법, 시험절차서
- 발주규격서 작성
- 일반·고속철도 전자연동장치 기능시험 점검
  · 실험실단위에서 전자연동장치 단품시험
  · 실험실단위에서 전자연동장치 인터페이스 시험
- 시험선 현장 설치 점검
  · 현장설치 및 점검
  · 타 장치와의 인터페이스 점검 및 시스템 통합시험
- 일반·고속철도 전자연동장치 현장 구축 및 검증
- 종합시험검증, 이례사항검증 지원

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발
- 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 규격 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 열차제어시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운

	영기관 참여 유도 ○ 일반·고속철도용 KRTCS에서 개발한 LTE-R 지상설비, 차상단말, 휴대단말 활용 - 현재 호남고속선(익산역 ~ 정읍구간)에 구축된 지상설비 등을 활용할 수 있도록 소유자와 협조체계를 구축함 ○ 종합성능시험선은 현재 건설중인 오송종합시험선과 호남고속선(익산역 ~ 정읍구간)에 구축하며, 시험열차는 고속열차 해무를 개조하여 사용함 ○ 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력 - 전용 홈페이지를 구축하여 유관기관과 연구추진현황 및 성과를 공유 - 또한 영문자료를 작성하여 해외 유관기관과 연구성과를 공유함
□ 추진체계	○ 개발사업의 상용화를 촉진하기 위해서 세부과제 1의 주관기관과는 별도로 연구단을 구성하여 운영함 ○ 국내 열차제어, 통신 및 보안 전문가로 참여연구원을 구성하고 산·학·연이 참여하는 연구체계를 구성 - 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모 - 연구개발 성과를 적용하는 과정에서 설계사항 변경 가능성을 최소화할 수 있도록 철도전문기술을 보유한 기관의 참여를 도모함 - 시스템기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성을 확보하기 위해서 철도운영기관의 참여를 도모함 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문 실시 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음
5. 최종성과물	
□주요 최종 성과물	**< 세부과제 1: 열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발 >** ○ 시스템 통합 및 규격 개발 - 열차제어시스템규격서(상호운영내용 반영) · 시스템규격서 · 시스템인터페이스규격서 · 하부시스템단위 개발요구사항 - 열차제어시스템 검증보고서 ○ 열차무결성검지장치 개발

- 열차무결성검지기술 설계서
- 열차무결성검지장치 시작품(하드웨어, 소프트웨어)
- 열차무결성검지장치 종합성능시험 성적서(실차검증)

○ 레일절손검지장치 개발
- 레일절손검지기술 설계서
- 레일절손검지장치 시작품(하드웨어, 소프트웨어)
- 레일절손검지장치의 검지센서
- 레일절손검지장치 종합성능시험 성적서(현장검증)

○ 무선통신망 안정성 및 가용성 향상기술 개발
- 열차제어 주파수 신뢰성과 안전성을 위한 전용주파수 단절시 상용주파수로 천이 하는 자동 주파수 변경 알고리즘 및 시뮬레이션 프로그램
- LTE-R 열차무선통화 보안 기술로 기지국 인증 및 확인 알고리즘 및 프로그램

○ 실용화기술지원
- 시스템 표준규격서(안)
- 시스템 기술기준(안)
- 시스템 인터페이스 검증 및 교육·훈련자료

< 세부과제 2: 이동폐색기반 ATP/ATO기술 및 장치 개발 >

○ ATP/ATO규격개발 및 차상-지상 통합
- ATP/ATO장치규격서(상호운영 반영)
  · 장치규격서
  · 인터페이스규격서
  · 지상장치 및 차상장치별 개발요구사항
- ATP/ATO장치 검증보고서

○ 이동폐색용 지상ATP 개발
- 이동폐색용 지상 ATP 설계서 및 S/W
- 이동폐색제어기능과 안전간격제어기능이 설치되는 하드웨어
  · 지상장치 설계 및 제작
- 안전성인증 및 활동 보고서

○ 자동운전을 지원하는 차상ATP/ATO 개발
- 열차자동제어기술 및 속도제어장치 장치 구현 및 검증용 테스트베드
  · 차상 ATP 장치 시제품
  · ATO 장치 시제품
  · 자동제어 및 속도제어 알고리즘
  · 차상 ATP 및 ATO 검증용 시뮬레이터(시뮬레이션 프로그램 포함)
- 안전성인증 및 활동 보고서

< 세부과제 3: 종합성능시험 인프라 구축 및 시험>

○ 종합성능시험 인프라 구축 및 시험

- 자동운전을 지원하는 열차제어시스템 시험계획서(상호운영성 포함)
  : 종합성능시험을 위한 요구사항 분석서
  : 시스템 기능의 단계별 점검계획서
  : 시험선 안전관리 및 운영관리 계획서
  : 종합성능시험 항목, 방법 절차 등 작성
- 열차제어시스템 종합성능시험인프라
  : 시험계획서를 토대로 종합성능시험인프라 설계
  : 시험계획서를 토대로 계측설비 설계
  : 종합성능시험인프라 구축
- 종합성능시험성적서
  : 종합성능시험 실시 및 시험성적서 발급
  : 이례사항 점검

○ 실시간 열차운행관제기술 개발

- 일반·고속철도의 열차운행 실시간 제어관리 요구사항 및 개념설계서
- 열차운행 실시간 제어기능 설계서
- 발주규격서

○ 열차진로제어기술 개발

- 열차진로제어장치 요구사항 및 개념설계서
- 열차진로제어기능 설계서
- 발주규격서

6. 기대효과 및 파급효과

○ 기대효과

- (운전시격 단축) 열차수송용량 30% 증대와 이로 인해 철도 운영기관 운영수익 증대효과 및 이용자 통행시간 절감효과 기대
- (설비투자비용 절감) 지상설비 절감을 통해 설비투자비용 및 유지보수비용 20% 절감기대
- (승객 편의성 향상) 자동운전기술과 이동폐색기술 적용으로 열차 운영중 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생을 최소화하여 승객에게 높은 정시성을 제공하고, 열차운행정보를 실시간으로 제공하여 편의성 향상 효과 기대
- (운영 편의성 향상) 지상시설물을 최소화하여 노선연장, 역 추가 등의 열차운행계획편경시 짧은 기간내에 시스템을 조정할 수 있어 운영자 편의성 향상 효과 기대
- (안전성 향상) 열차운행스케쥴에 맞추어 열차이동을 자동으로 처리하여

운영자의 간섭을 최소화하였고, 열차위치를 정밀하게 추적하고, 열차상태 정보를 실시간으확인할 수 있어 인적오류나 장치오류로 인한 사고를 예방할 수 있음

단. 궤도회로가 수행하던 열차분리사고검지, 레일절손사고 검지는 검증이 요구됨

○ 파급효과

- (차세대 제어기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 열차자율주행기술, 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계에 활용 가능.
- (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음
- (경쟁력향상) 현재까지 상용화되지 않은 차세대 열차제어기술을 검증함으로서 철도선진국과 경쟁할 수 있는 기술력 확보
- (기타) 철도 이용객의 운전시격 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 : 4년

○ 총 연구개발비 : 29,900 백만원(정부출연금)

- 1차년도 연구개발비 : 2,400 백만원(정부출연금)

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

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

※ 2세부 협동기관 및 공동기관은 '열차제어시스템 상호운영성기술개발'과제가 후속과제로 진행될 경우에 해당 과제에 참여하여야 함

※ 3세부는 종합시험선의 구축·운영과 종합시험평가를 담당하므로 참여기관의 민간부담금은 적용하지 않는 것을 원칙으로 함(연구개발과정에서 지적재산권이 발생되고, 참여기관이 이를 활용하고자 하는 경우 연구단(또는 전문기관)과의 협의에 따름)

· LTE-R구축 및 단말(차상, 휴대) 개발은 수행하지 않으며, KRTCS 2(일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화)의 개발성과를 활용하며, 이를 위해서 세부과제3 협동기관은 LTE-R 및 단말의 사용권 확보 또는 소유권 이전 등에 필요한 행정절차를 완료하여야 함

8. 기 타

2. 공간통합과제

연구과제명	고속·일반·도시철도간 직결운행을 위한 열차제어기술개발

1. 연구 개발목표

○ 과제 총괄관리

○ 시스템 통합 및 규격관리(TRL7)

- 기존 신호시스템의 지상설비와 상호운영기술 개발
- 열차제어시스템 표준규격(안) 및 기술기준(안)

○ 상호운영을 지원하는 차상ATP장치개발(TRL7)

- ATP(ETCS L1)의 지상설비와 상호운영 검증
- KRTCS 2의 지상설비와 상호운영 검증
- KRTCS 1의 지상설비와 상호운영 검증

○ 종합성능시험인프라 확보

- 종합시험선로 구축
- 열차제어시스템의 상호운영성 단계별 평가

2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향

□ 연구개발 필요성

○ 배경

- 열차제어시스템은 효율적인 열차운행계획관리, 선행열차와 후속열차간 열차안전간격제어, 분기구역에서의 안전한 열차진로제어를 담당하고 있으며, 표준통신기술(이더넷)을 적용하여 열차제어시스템과 연계되는 타 설비가 증가하고 있는 추세임
- '열차 신호시스템 표준화방안'에 따라 도시철도 및 일반·고속철도 한국형 신호통신시스템(KRTCS)을 개발을 완료하였고, 일반·고속선을 대상으로'한국형 철도신호시스템 구축계획(국토교통부, 2017.4)'을 마련하였음
- '열차 신호시스템 표준화방안'에 의한 KRTCS개발은 종료되었으나, 대외환경변화에 선제적으로 대응하여 국내철도산업의 경쟁력을 높이기 위해서는 차세대 열차제어시스템을 조속히 진행하여야 이에 따라 차세대 열차제어시스템 개발이 수행될 예정임
- 그러나 차세대 열차제어시스템 개발과제에서는 열차제어시스템의 수송력 증가, 비용 절감, 안전성 증가를 이룰 수 있으나 기존 시스템과의 연계 등 확장성에 대한 것은 고려하고 있지 않음
- 유럽은 철도산업혁신프로젝트(FORSTER-RAIL, SHIFT2RAIL, NGTC)을 진행하고 있으며, 이를 통해서 세계철도산업의 주도권을 유지하는 전략과 로드맵을 마련하였음. Shift2Rail사업을 통해서 유럽의 광역도시철도, 일반철도 및 고속철도를 단일 시스템으로 운영하는 것을 목표로 하고 있음
- 현재 ETCS 규격에서는 상위시스템인 ETCS L2는 하위시스템인 ETCS L1과 상호운영성을 확보하고 있음
- 따라서 고속철도용 차세대 열차제어시스템 개발 후 이에 대한 확장성을 확보함과 동시에 선진 열차제어시스템 대비 경쟁력을 확보하기 위해서는 기존 시스템(ATP,

KRTCS2 및 KRTCS 1)의 지상신호설비와 상호운영할 수 있어야 함
- 이는 열차제어시스템이 탑재된 열차가 기존의 지상설비(ATP, KRTCS2 및 KRTCS 1)가 설치된 노선을 운행할 수 있음을 의미함(공간통합)
- 지상신호설비를 짧은 기간에 교체하는 것이 어렵기 때문에 공간통합 기능은 차세대 열차제어시스템의 가용성과 확장성을 높이는데 기여할 수 있음

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내 열차제어시스템 기술개발은 국내철도산업의 한계로 인해 정부주도의 연구개발사업을 통해 수행되고 있으며 최근 한국형 무선통신기반 열차제어시스템을 성공적으로 개발하였음(KRTCS1, KRTCS2).
- 그러나 CBTC 기반의 KRTCS1과 ETCS2 기반의 KRTCS2는 상호운영되지 않음. 시스템 적용 대상이 각각 도시철도와 일반·고속철도로 다르므로 상호운영성이 크게 요구되지 않았으나 KTX의 공항철도노선 운행 등 점차 상호운영에 대한 필요성이 증가됨

○ 국외 기술동향

- (FOSTER-RAIL) 유럽철도의 연구개발 및 혁신전략을 강화할 수 있도록 지원하는 것이 목적이며, 2050년까지의 기술로드맵을 마련하였음. 이는 개발 프로젝트인 NGTC와 기술연구 프로젝트인 Shift2Rail로 구성됨
- (NGTC) ETCS와 CBTC시스템을 통합하여 신호시스템 공급자에게는 보다 큰 신호시장을 제공하고, 시스템 사용자에게는 경쟁을 강화해서 시스템구매비용을 낮추는 것이 목적이며, 사업을 종료하고 Shift2Rail에서 관련 성과를 활용하고 있음
  · ETCS와 CBTC시스템의 운영사항과 기능사항의 공통 및 고유사항 분석
  · 시스템 구조, 시스템 요구명세서 정립
  · NGTC의 메시지 분석과 메시지 규격서 작성
  · 이동폐색의 원칙 및 검증
  · 무선통신시스템의 일반요구명세 및 적용 가능한 무선통신기술 검증
  · 위성을 이용한 열차위치검지
- (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 연구를 진행하고 있음. 다양한 연구분야가 있으며 이중 ATO부문에서는 다양한 열차 타입에 대한 통합적인 ATO 프로토 타입을 개발하는 것을 목표로 함
- (중국 NGCTCS) 유럽의 NGTCS를 기초로하여 중국은 자국의 열차제어시스템 개발방향으로 NGCTCS를 수립하였으며 열차간 통신기반의 차세대 열차제어시스템 개발을 반영하고 있음.

3. 연구개발 내용

○ 상호운영을 위한 열차운영시나리오 작성
○ 상호운영을 지원하는 열차제어시스템 개발규격서 작성(성능 및 기능)
· 상호운영을 위한 핸드오버 및 절체 개념(방법) 정립
· 상호운영을 위한 핸드오버 및 절체 프로세스(절차) 정립
· 시스템의 성능 및 기능 작성
○ 상호운영을 지원하는 열차제어시스템 인터페이스규격서 작성
○ 상호운영을 지원하는 열차제어시스템 차상ATP 설계 및 제작
· 하드웨어 설계 및 제작
· 소프트웨어 설계 및 제작
· 열차제어시스템 실험실 단위 시험장치 제작
· 열차제어시스템 차상장치의 상호운영성 시험
○ 시험열차에 열차제어시스템 차상장치 설치
○ 열차제어시스템 차상장치 시험계획서 작성
· 열차제어시스템 차상장치의 상호운영성 검증을 위한 시험평가인프라 설계
· 열차제어시스템 차상장치의 상호운영성 검증을 위한 시험평가인프라 구축
· 열차제어시스템 실험실 단위 시험장치 제작
· 열차제어시스템 차상장치의 상호운영성 시험
· 열차제어시스템 차상장치 현차시험(차상장치 상호운영성 점검)
· 열차제어시스템 차상장치 상호운영성 종합성능시험평가
○ 열차제어시스템 실용화 지원
· 열차제어시스템 표준규격(안) 및 기술기준(안)
○ 안전성인증활동
· RAMS관리계획서 작성
· 사전위험원 분석
· 소프트웨어 RAMS관리계획서 작성
· 소프트웨어 사전위험원 분석
· 소프트웨어 품질관리계획서 작성
· 하드웨어 및 소프트웨어 설계서 평가
· 하드웨어 및 소프트웨어 시험
· 하드웨어 및 소프트웨어 통합 시험
· 지상ATP의 safety case 작성 및 인증 등

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략
○ Top-down 방식으로 핵심원천기술 개발
- 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 규격 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 열차제어시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 일반·고속철도용 KRTCS에서 개발한 LTE-R 지상설비, 차상단말, 휴대단말 활용 - 현재 호남고속선(익산역 ~ 정읍구간)에 구축된 지상설비 등을 활용할 수 있도록 소유자와 협조체계를 구축함 ○ 종합성능시험선은 현재 건설중인 오송종합시험선과 호남고속선(익산역 ~ 정읍구간)에 구축하며, 시험열차는 고속열차 해무를 개조하여 사용함 ○ 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력 - 전용 홈페이지를 구축하여 유관기관과 연구추진현황 및 성과를 공유 - 또한 영문자료를 작성하여 해외 유관기관과 연구성과를 공유함 ○ 연구업무의 집중을 위해서 연구단과제의 연구내용이 완료된 후 공간통합의 연구개발을 수행 - 예산 1의 2단계(3차, 4차년도) 사업과 통합하는 방안으로 수행할 수 있으며, 이 경우 현차시험을 통합하여 진행. 차상장치는 공간통합버전과 고속전용 버전 두 가지로 구현하고 각 버전에 대한 현차시험 수행
□ 추진체계	○ 국내 열차제어, 통신 및 보안 전문가로 참여연구원을 구성하고 산·학·연이 참여하는 연구체계를 구성 - 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모 - 연구개발 성과를 적용하는 과정에서 설계사항 변경 가능성을 최소화할 수 있도록 철도전문기술을 보유한 기관의 참여를 도모함 - 시스템기술의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성을 확보하기 위해서 철도운영기관의 참여를 도모함 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회를 구성 및 운영하고 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문 실시 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음
5. 최종성과물	
□주요 최종 성과물	○ 기존 지상신호설비와 차상ATP/ATO 규격서 - 상호운영을 지원하는 차상ATP/ATO 규격서 - 상호운영을 지원하는 차상ATP/ATO 인터페이스규격서

- 상호운영을 지원하는 차상ATP/ATO 규격서 검증보고서

○ 기존 지상신호설비와 차상ATP/ATO장치 개발
- 상호운영을 지원하는 차상ATP/ATO 설계서 및 S/W
- 상호운영을 지원하는 차상ATP/ATO 하드웨어
(차상하드웨어는 모듈형으로 개발되어 기 개발된 차세대열차제어시스템 차상장치에 추가되어 동작할 수 있어야 함)
- 안전성인증서 및 활동보고서

○ 종합성능시험 인프라 구축 및 시험
- 상호운영을 지원하는 열차제어시스템 시험계획서
· 종합성능시험을 위한 요구사항 분석서
· 시스템 기능의 단계별 점검계획서
· 시험선 안전관리 및 운영관리 계획서
· 종합성능시험 항목, 방법 절차 등 작성
- 열차제어시스템 종합성능시험인프라
· 시험계획서를 토대로 종합성능시험인프라 설계서
· 시험계획서를 토대로 계측설비 설계서
· 종합성능시험인프라 구축
- 종합성능시험성적서
· 종합성능시험 실시 및 시험성적서 발급
· 이례사항 점검보고서

6. 기대효과 및 파급효과

○ 기대효과
- (설비투자비용 절감) 신조차량 및 개조차량에 상호운영성을 지원하는 차상장치를 설치하여 증복투자 방지
- (승객 편의성 향상) 환승역에서의 열차환승없이 열차운행을 지속할 수 있어 승객의 열차탑승시간 단축
- (운영 편의성 향상) 열차운행노선을 효율적으로 연계할 수 승객수요의 변화 또는 특정구역에서의 승객과밀화에 대응할 수 있어 운영기관의 운영효율향상에 기여
- (안전성 향상) 궤도회로를 이용하여 열차분리사고검지, 레일절손사고를 검지할 수 있어서 개발중인 열차분리사고검지장치와 레일절손검지장치의 완성도를 높이는데 필요한 운영실적을 확보할 수 있음

○ 파급효과
- (차세대 제어기술파급) 차세대 무선통신기반 열차제어기술을 열차자율주행기술, 타 교통 분야의 주행안전기술 및 지능형주행 자동화기술 등 설계

에 활용 가능.

- (유지보수비용 절감) 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감을 도모할 수 있음
- (경쟁력향상) 현재까지 상용화되지 않은 차세대 열차제어기술을 검증함으로서 철도선진국과 경쟁할 수 있는 기술력 확보
- (기타) 철도 이용객의 운전시격 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 : 2년

- 연구단 과제에서 수행한 규격서 개발 및 기본설계 성과를 활용함

○ 총 연구개발비 : 6,000 백만원(정부출연금)

- 1차년도 연구개발비 : 4,000 백만원(정부출연금)
- LTE-R구축 및 단말(차상, 휴대) 개발은 수행하지 않으며, 연구단 과제의 개발성과를 활용하며, 이를 위해서 LTE-R 및 단말의 사용권 확보 또는 소유권 이전 등에 필요한 행정절차를 완료하여야 함

※ 차상ATP장치개발은 2세부과제의 차상ATP/ATO개발자로 참여하여야 함

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

※ '종합성능시험 인프라 구축 및 시험'에 대해서는 기업부담금은 포함하지 않는 것을 원칙으로 함(연구개발과정에서 지적재산권이 발생되고, 참여기관이 이를 활용하고자 하는 경우 별도 협의에 따름)

8. 기 타

참고자료

1. 한국철도표준규격 KRS SG 0069-15, 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템
2. ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways, TRL, 2010
3. Research and innovation – advancing the european railway, ERRAC, 2016
4. Compendium on ERTMS, UIC, 2009
5. 한국형 철도신호시스템 구축계획, 국토교토부, 2017.5
6. 철도형식승인, http://krts,krri.re.kr/, 2017.6
7. National ERTMS Business Requirements, ERTMS Strategy Group, 2012.12
8. Transport Infrastructure Capacity Assessment, TOSCA, 2008
9. Benefits and Barriers to CBTC and ETCS Convergence, MetroRail 2012, 2012.3
10. Influence of the European Train Control System ETCS on the capacity of nodes, UIC, 2010.5
11. Transport Infrastructure Capacity Assessment, TOSCA, 2008
12. World rail market study forecast 2016 to 2021, UNIFE
13. Worldwid market railway industries, SCI. 2016
14. IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements, IEEE. 2004
15. Performance Requirements for Interoperability(ERTMS/ETCS subset-041), UNISIG

16 High Level Comparison between Operational models, NGTC, 2013

첨부 1. 소요예산 투입계획

가. 총 연구비

(단위 : 백만원)

구분	세부과제명	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	총연구비
1세부	1. 열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발	1,400	3,000	2,500	2,800	9,700
2세부	2. 이동폐색기반 ATP/ATO 기술 및 장치 개발	500	5,500	1,600	800	8,400
3세부	3. 종합성능시험 인프라 구축 및 시험	500	1,100	6,900	2,500	11,000
합 계		2,400	9,600	11,000	6,100	29,100

나. 세부과제별 연구비

(1) 1세부과제 : 열차제어시스템 통합 및 보완기술 개발

(가) 1세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	합계
인건비	550	1,200	800	700	3,250
연구장비재료비	612	1,290	1,275	1,622	4,799
기타경비 및 간접비	238	510	425	478	1,651
세부과제 연구비(소계)	1,400	3,000	2,500	2,800	9,700

(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. 시스템 통합 및 규격 개발	소계		30					1,027

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
1-1-1. 열차제어시스템 개발규격서 작성(상호운영 반영)	2년	1차년도	4	12	43	20.64	6	123.84
		2차년도	4	12	52	24.96	6	149.76
1-1-2. 시스템 개발 주관 및 관리	4년	1차년도	3	12	30	10.8	6	64.8
		2차년도	4	12	50	24	6	144
		3차년도	7	12	51	42.84	6	257.04
		4차년도	8	12	50	48	6	288
1-2. 열차 무결성 검지장치 개발	소계		13					375
1-2-1. 요구사항 분석	1년	1차년도	1	12	30	3.6	6	21.6
1-2-2. 기능 분석 및 할당	1년	1차년도	1	12	50	6	6	36
1-2-3. 설계 및 제작	3년	1차년도	1	12	50	6	6	36
		2차년도	4	12	50	24	6	144
		3차년도	1	12	50	6	6	36
1-2-4. 실험실 단위 시험장치 제작	1년	3차년도	2	12	50	12	6	72
1-2-5. 현장 시험 및 검증	1년	4차년도	3	12	41	14.76	6	88.56
1-3. 레일절손 검지장치 개발	소계		16					382
1-3-1. 요구사항 분석	1년	1차년도	1	12	30	3.6	6	21.6
1-3-2. 기능 분석 및 할당	1년	1차년도	1	12	50	6	6	36

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
1-3-3. 설계 및 제작	3년	1차년도	1	12	50	6	6	36
		2차년도	4	12	50	24	6	144
		3차년도	1	12	50	6	6	36
1-3-4. 실험실 단위 시험장치 제작	2년	2차년도	4	12	50	24	6	144
		3차년도	2	12	50	12	6	72
1-3-5. 현장 시험 및 검증	1년	4차년도	2	12	50	12	6	72
1-4. 무선통신망 안정성 및 가용성 향상기술 개발	소계		21					613
1-4-1. 요구사항 분석	1년	1차년도	3	12	30	10.8	6	64.8
1-4-2. 기능 분석 및 할당	1년	1차년도	1	12	50	6	6	36
1-4-3. 설계 및 제작	3년	1차년도	1	12	50	6	6	36
		2차년도	4	12	50	24	6	144
		3차년도	5	12	50	30	6	180
1-4-4. 실험실 단위 시험장치 제작	1년	2차년도	4	12	50	24	6	144
1-4-5. 현장 시험 및 검증	1년	4차년도	3	12	50	18	6	108
1-5. 실용화 지원기술 개발	소계		15					259

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
1-5-1. 실용화를 위한 법체계 지원	3년	2차년도	2	12	30	7.2	6	43.2
		3차년도	1	12	55	6.6	6	39.6
		4차년도	1	12	50	6	6	36
1-5-2. 교육 및 훈련시스템 개발	4년	1차년도	1	12	50	6	6	36
		2차년도	4	12	50	24	6	144
		3차년도	3	12	50	18	6	108
		4차년도	3	12	50	18	6	108

(다) 1세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

(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	
1-1.시스템 통합 및 규격 개발							700					40										32.5	772.5
1-1-1. 열차제어시스템 개발규격서 작성(상호운영 반영)	2년	1차년도	시스템설계TOOL	SCADE-SYSTEM	2	100	200											전산관리비	재료구입및전산처리비	10	1	10	210
		2차년도						시스템분석TOOL	Matlab등	2	20	40						전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	45
1-1-2. 시스템 개발 주관 및 관리	4년	1차년도																전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	5
		2차년도																전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	5
		3차년도	시스템개발TOOL	SCADE-SUITE	2	200	400											전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	405
		4차년도	시스템TESTTOOL	SCADE-TEST	2	50	100											전산관리비	재료구입및전산처리비	5	0.5	2.5	102.5
1-2.열차무결성 검지장치 개발							150					0					300				-	35	485
1-2-1. 요구사항 분석	1년	1차년도																전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	105
1-2-2. 기능 분석 및 할당	1년	1차년도																전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	55

(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	
1-2-3. 설계 및 제작	3년	1차년도																전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	5
		2차년도	시스템설계 및 분석TOOL	주파수 분석기 등	2	75	150											전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	105
		3차년도											열차무결성검지장치 프로토타입H/W및S/W	SystemRackH/W및S/W	1	100	100	전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	105
1-2-4. 실험실 단위 시험장치 제작	1년	3차년도											열차무결성검지시험장치	SystemRackH/W및S/W	1	100	100	전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	105
1-2-5. 현장 시험 및 검증	1년	4차년도											열차무결성검지장치 시제품H/W및S/W	SystemRackH/W및S/W	1	100	100	전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	5
1-3.레일절손 검지장치 개발							250					0					500				-	35	785
1-3-1. 요구사항 분석	1년	1차년도																전산관리비	재료구입및전산처리비	10	1	10	210
1-3-2. 기능 분석 및 할당	1년	1차년도	시스템분석TOOL		1	50	50											전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	55
1-3-3. 설계 및 제작	3년	1차년도	시스템설계TOOL	SCADE-SYSTEM	2	100	200											전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	5
		2차년도																전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	205
		3차년도											레일절손검지장치 프로토타입H/W및S/W	SystemRackH/W및S/W	1	200	200	전산관리비	재료구입및전산처리비	10	0.5	5	105
1-3-4. 실험실 단위 시험장치 제작	1년	3차년도											레일절손검지시험장치	SystemRackH/W및S/W	1	100	100	전산관리비	재료구입및전산처리비	5	0.5	2.5	202.5

(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	
1-3-5. 현장 시험 및 검증	1년	4차년도											레일절손검지장치 시제품H/W및S/W	SystemRackH/W및S/W	1	200	200	전산관리비	재료구입및 전산처리비	5	0.5	2.5	2.5
1-4.무선통신망 안정성 및 가용성 향상 기술 개발							300										800					29	1,129
1-4-1. 요구사항 분석	1년	1차년도	주파수천이 알고리즘 개발 툴		1	100	100											전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	5
1-4-2. 기능 분석 및 할당	1년	1차년도																전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	105
1-4-3. 설계 및 제작	3년	1차년도																전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.9	9	109
		2차년도	통화간섭 및 신뢰성 향상 알고리즘 개발 툴		2	100	200											전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	465
		3차년도											알고리즘 검증용 시작품		3	120	360	전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	245
1-4-4. 실험실 단위 시험장치 제작	1년	3차년도											시험장치		2	120	240	전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	205
1-4-5. 현장 시험 및 검증	1년	4차년도											통신 안정성 및 가용성 향상 시제품		1	200	200	전산관리비	재료구입및 전산처리비	5	0.4	2	2
1-5.실용화 지원기술							0					0					1,500					34.5	1534.5

(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	
1-5-1.실용화 지원기술 개발	3년	2차년도																전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	5
		3차년도																전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	5
		4차년도																전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	5
1-5-2. 교육 및 훈련시스템 개발	4년	1차년도																전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	1.2	12	12
		2차년도																전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	5
		3차년도																전산관리비	재료구입및 전산처리비	5	0.5	2.5	2.5
		4차년도											교육훈련시스템		1	1,500	1,500	전산관리비	재료구입및 전산처리비	10	0.5	5	1505

(2) 2세부과제 : 이동폐색기반 ATP/ATO 기술 및 장치 개발

(가) 2세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	합계
인건비	200	1,340	520	400	2,460
연구장비재료비	215	3,225	808	264	4,512
기타경비 및 간접비	85	935	272	136	1,428
세부과제 연구비(소계)	500	5,500	1,600	800	8,400

(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. ATP/ATO 규격개발 및 차상-지상 통합	소계		27					832.8
2-1-1. ATP/ATO 개발규격서 작성(상호운영 반영)	1년	1차년도	3	12	39.3	14.2	6	84.9
2-1-2. ATP/ATO 차상장치와 지상장치 통합	3년	2차년도	5	12	50	30	6	180
		3차년도	5	12	44.4	26.6	6	159.8
		4차년도	5	12	22	13.2	6	79.2

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
2-1-3.ATP/ATO 개발규격서 검증 및 보완	3년	2차년도	4	12	52.8	25.3	6	152.1
		3차년도	2	12	50	12	6	72
		4차년도	3	12	48.5	17.5	6	104.8
2-2. 이동폐색용 지상 ATP 개발	소계		24					813.6
2-2-1.기능 분석 및 할당	1년	1차년도	1	12	30	3.6	6	21.6
2-2-2 설계 및 제작	3년	1차년도	2	12	25	6	6	36
		2차년도	9	12	50	54	6	324
		3차년도	2	12	50	24	6	72
2-2-3.실험실 단위 시험장치 제작	2년	2차년도	5	12	50	30	6	180
		3차년도	2	12	50	24	6	72
2-2-4.현장 시험 및 검증	1년	4차년도	3	12	50	18	6	108
2-3. 자동운전을 지원하는 차상 ATP/ ATO 개발	소계		24					813.6
2-3-1.기능 분석 및 할당	1년	1차년도	1	12	30	3.6	6	21.6
2-3-2 설계 및 제작	3년	1차년도	2	12	25	6	6	36
		2차년도	9	12	50	54	6	324
		3차년도	2	12	50	24	6	72
2-3-3.실험실 단위 시험장치 제작	1년	2차년도	5	12	50	30	6	180
		3차년도	2	12	50	24	6	72
2-3-4.현장 시험 및 검증	1년	4차년도	3	12	50	18	6	108

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
2-4. 도시철도를 포함한 기존 신호설비와의 연계기술(상호운영성기술)	소계		30					2,667
2-4-1.시나리오 수립 및 인터페이스 보완	1년	5차년도	3	12	50	18	6	108
2-3-2 설계 및 제작	2년	5차년도	2	12	50	12	6	72
		5차년도	10	12	50	60	6	360
		6차년도	5	12	50	30	6	180
2-3-3.실험실 단위 시험장치 제작	1년	6차년도	5	12	50	30	6	180
2-3-4.현장 시험 및 검증	1년	6차년도	5	12	50	30	6	180

(다) 2세부과제 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	
2-1. ATP/ATO 규격개발 및 차상-지상 통합							590					20					0					23	633
2-1-1. ATP/ATO 개발규격서 작성(상호운영 반영)	1년	1차년도	설계툴		2	95	190												전산소모품	10	0.5	5	195
2-1-2. ATP/ATO 차상장치와 지상장치 통합	3년	2차년도	개발툴		1	200	200	분석툴	MATLAB등	2	10	20							전산소모품	10	0.5	5	225
		3차년도																	전산소모품	3	0.5	1.5	1.5
		4차년도	테스트툴		2	100	200												전산소모품	10	0.5	5	205
2-1-3.ATP/ATO 개발규격서 검증 및 보완	3년	2차년도																	전산소모품	10	0.5	5	5
		3차년도																	전산소모품	3	0.5	1.5	1.5
		4차년도																	전산소모품	10	3.9	39	39
2-2. 이동폐색용 지상 ATP 개발							250										1,640					30	1920
2-2-1.기능 분석 및 할당	1년	1차년도																	전산소모품	10	0.5	5	5
2-2-2 설계 및 제작	3년	1차년도																	전산소모품	10	0.5	5	5
		2차년도	설계및분석툴		21	10050	250						프로토타입		2	500	1,000		전산소모품	10	0.5	5	1205
		3차년도											시제품		1	400	400		전산소모품	2	0.5	1	401
2-2-3.실험실 단위 시험장치 제작	2년	2차년도											시험장치		1	240	240		전산소모품	5	0.5	2.5	242.5
		3차년도																	전산소모품	3	0.5	1.5	1.5
2-2-4.현장 시험 및 검증	1년	4차년도																	전산소모품	10	1	10	10

(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	
2-3. 자동운전을 지원하는 차상 ATP/ATO 개발							250										1,640					30	1,920
2-3-1.기능 분석 및 할당	1년	1차년도																	전산소모품	10	0.5	5	5
2-3-2 설계 및 제작	3년	1차년도																	전산소모품	10	0.5	5	5
		2차년도	설계및분석툴		2 1	100 50	250						프로토타입		2	500	1,000		전산소모품	10	0.5	5	1205
		3차년도											시제품		1	400	400		전산소모품	2	0.5	1	401
2-3-3.실험실 단위 시험장치 제작	2년	2차년도											시험장치		1	240	240		전산소모품	5	0.5	2.5	242.5
		3차년도																	전산소모품	3	0.5	1.5	1.5
2-3-4.현장 시험 및 검증	1년	4차년도																	전산소모품	10	1	10	10
2-4. 도시철도를 포함한 기존 신호설비와의 연계기술(상호운영성기술)							200					100					1,000					60	1,360
2-4-1.시나리오 수립 및 인터페이스 보완	1년	5차년도																					
2-3-2 설계 및 제작	2년	5차년도																					
		6차년도	설계툴		1	200	200	분석툴		1	100	100	프로토타입		1	500	500		전산소모품	10	1.5	15	815
		6차년도											시작품		1	500	500		전산소모품	10	1.5	15	515
2-3-3.실험실 단위 시험장치 제작	1년	6차년도																	전산소모품	10	1.5	15	15
2-3-4.현장 시험 및 검증	1년	6차년도																	전산소모품	10	1.5	15	15

(3) 3세부과제 : 종합성능시험 인프라 구축 및 시험

(가) 3세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	합계
인건비	200	400	600	700	1,900
연구장비재료비	215	513	5,791	1,375	7,894
기타경비 및 간접비	85	187	1,309	425	2,006
세부과제 연구비(소계)	500	1,100	7,700	2,500	11,800

(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. 종합성능시험인프라 구축 및 시험	소계		38					1266.0
3-1-1. 종합성능시험 시험계획 수립	1년	1차년도	7	12	28.2	23.7	6	142.1
3-1-2. 종합성능시험 인프라 구축	2년	2차년도	7	12	50.8	42.7	6	256.0
		3차년도	7	12	47.6	40.0	6	240
3-1-3.종합성능시험 수행	2년	3차년도	4	12	50	24	6	144
		4차년도	13	12	51.7	80.6	6	483.9

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
3-2.실시간 열차운행관리기술 개발	소계		10					316.8
3-2-1.설계 및 제작	3년	1차년도	2	12	20	4.8	6	28.8
		2차년도	2	12	50	12	6	72
3-2-2 기능 시험	1년	3차년도	3	12	50	18	6	108
3-2-3.현장 구축 및 검증	1년	4차년도	3	12	50	18	6	108
3-3. 열차 진로제어기술 개발	소계		10					316.8
3-2-1.설계 및 제작	3년	1차년도	2	12	20	4.8	6	28.8
		2차년도	2	12	50	12	6	72
3-2-2 기능 시험	1년	3차년도	3	12	50	18	6	108
3-2-3.현장 구축 및 검증	1년	4차년도	3	12	50	18	6	108

(다) 3세부과제 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	
-1. 종합성능시험인프라 구축 및 시험							80					0					6,900					68	7628
3-1-1. 종합성능시험 시험계획 수립	1년	1차년도																전산소모품		10	0.5	5	5
3-1-2. 종합성능시험 인프라 구축	2년	2차년도	설계툴		1	80	80						시험선 건설사 전작업	용역	1	400	400	전산소모품		6	0.5	3	483
		3차년도											시험열차개조	용역	2	500	1,000	전산소모품		4	0.5	2	1002
													시험선 건설	용역	1	4,280	4,280	전산소모품		3	0.5	1.5	4281.5
3-1-3.종합성능시험 수행	2년	3차년도											시험선 운영	용역	1	500	500	전산소모품		3	0.5	1.5	501.5
		4차년도											시험선 유지보수	용역	1	1,300	1,300	전산소모품		10	5.5	55	1355
3-2.실시간 열차운행관리기술 개발							100					10						500				23	133
3-2-1.설계 및 제작	3년	1차년도	설계툴		1	100	100											전산관리비		10	0.5	5	105
		2차년도						붙석툴		1	10	10						전산관리비		10	0.5	5	15
3-2-2 기능 시험	1년	3차년도																전산관리비		6	0.5	3	3
3-2-3.현장 구축 및 검증	1년	4차년도																전산관리비		10	1	10	10

(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	
3-3.열차 진로제어기술 개발							100					10					500					23	133
3-3-1.설계 및 제작	3년	1차년도	설계툴		1	100	100											전산관리비		10	0.5	5	105
		2차년도						붙석툴		1	10	10						전산관리비		10	0.5	5	15
3-3-2 기능 시험	1년	3차년도																전산관리비		6	0.5	3	3
3-3-3.현장 구축 및 검증	1년	4차년도																전산관리비		10	1	10	10

첨부 2. 유럽의 철도혁신 프로젝트

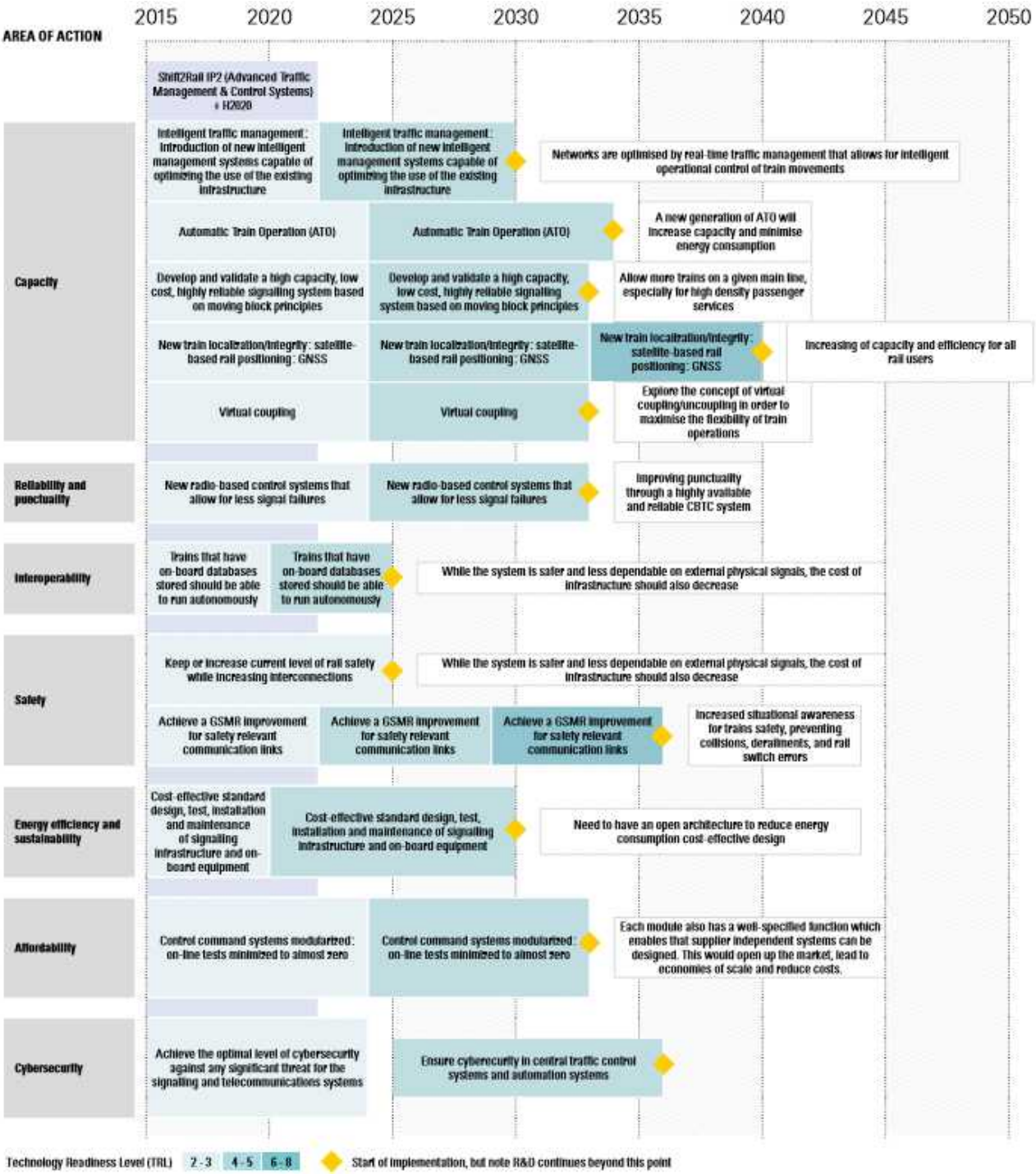
□ FORSTER-RAIL

○ 프로그램 개요

- 기간 : 2013.5.1. ~ 2016.4.31.
- 주관기관 : ERRAC(the European Research Advisory Council)
- 목적
  - · 유럽 철도산업의 연구개발 및 혁신전략을 강화할 수 있도록 지원함
- 프로젝트 추진방향
  - · Capacity, performance and competitiveness
  - · Energy and environment
  - · Safety(including certification) and security
- 프로젝트 구성(Working Package)
  - · WP1 Cooperation, Communication and Coordination with other ETPs and national technology platforms
  - · WP2 Rail Business Scenarios
  - · WP3 Strategic Rail Research and Innovation Agenda (SRRIA)
  - · WP4 Technology Roadmaps, Exploitation & Implementation
  - · WP5 Fostering innovation and partnerships: ERRAC and SHIFT² RAIL
  - · WP6 Monitoring to improve rail research innovation
  - · WP7 Dissemination
  - · WP8 Administrative, financial and technical management and coordination
- Shift2Rail과의 관계
  - · ERRAC와 협의하여 Shift2Rail의 마스터플랜을 작성
  - · Shift2Rail의 성과물을 규격 및 표준화에 반영



○ 신호통신분야의 기술개발로드맵



□ NGTCS(Next Generation of Train Control System)

○ 프로그램 개요

- 프로그램 기간 : 2013년 9월 ~ 2016년 8월

- 연구비 : 1,096만유로(한화 132억원)

- 주관기관 : UNIFE(the European rail manufacturing industry)

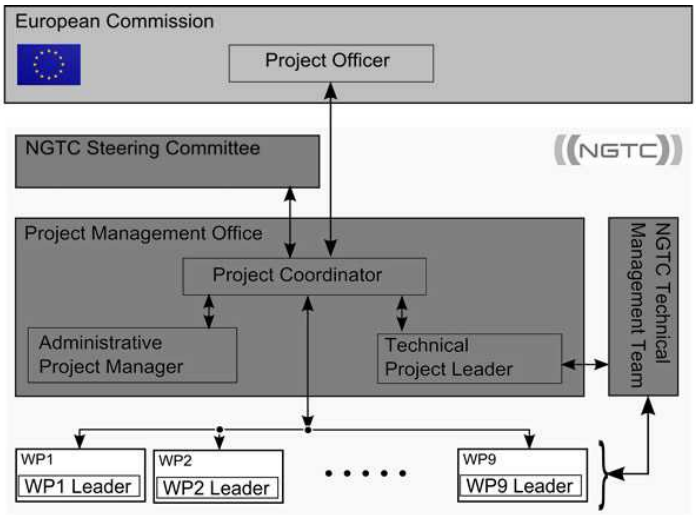
- 참여기관(신호시스템 공급사, 간선철도운영자, 철도시설관리자, 도시철도운영자)
  · 시스템 공급사
    :Alstom, Ansaldo STS, AŽD Praha, Bombardier Transportation, CAF Signalling(Spain), NAVECOM(France), Siemens, THALES
  · 철도시설관리자
    :D'Appolonia(Italy), Ineco(Spain), RATP(France), SNCF(France)
  · 철도운영자
    :London Underground, RATP, SNCF, TMB(Spain)
  · 기타
    :ERTMS Users Group, Technische Universitat Dresden, UITP

- NGTCS 목적
  · ETCS와 CBTC시스템이 요구하는 기능의 공통사항과 특이사항을 분석
  · 시스템구조, 하드웨어 플랫폼 및 시스템설계의 공통수준을 결정
    :시스템 공급자에게 큰 시장을 제공
    :시스템 사용자는 표준화된 기능과 인터페이스를 통해서 시스템공급자간 경쟁을 유도하고, 이를 통해서 저렴한 시스템을 구매
  · 이동폐색원칙을 보다 강화하고 단일화함
  · IP기반의 무선통신망을 적용하고 개발함
  · 위성을 활용한 기술의 활용방안 등

- NGTCS 활용
  NGTC의 결과는 SHIFT2RAIL의 Innovation Platform 2(Traffic Management and Control Systems)에 적용됨

○ 프로그램 체계

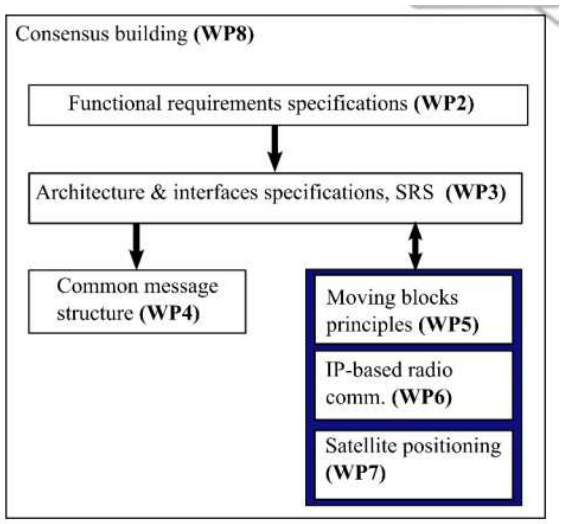
EC에서 연구비를 지원하고, 연구업무(WP:Work Packages)를 9개로 구분하고 있음



- WP1 : Project Management
- WP2 : ETCS/CBTC investigation of operational and functional consistencies & differences
  · 간선철도와 도시철도의 기능요구사항 분석
  · 미래의 열차제어시스템에 대한 기능요구명세
- WP3 : Technical Coherence
  · 시스템구조, 시스템요구명세서
- WP4 : Common Message Sturcture for Urban and Mainline
  · NGTC 메시지 분석 및 NGTC메시지구조 규격서
- WP5 : Moving Block Principles
  · 이동폐색의 원칙의 정의와 검증
- WP6 : IP Based Radion Communication
  · 무선통신시스템에 대한 일반요구명세과 적용 가능한 무선통신기술의 검증
- WP7 : Satellite Positioning
- WP8 : Consensus building
  · 성과물 점검 및 용어집
- WP9 : Dissemination and transfer
  · 성과물을 관계자에게 전파 및 사용자 관리

○ 프로그램 수행 내용

WP의 기술적인 관계는 아래 그림과 같으며, 현재 WP2, WP6의 경우 구체적인 내용을 공개하고 있으나, WP3, WP4, WP5 등의 내용은 확인할 수 없음



Structure of the technical WPs

1. WP2 내용

– 도시철도 및 일반철도의 기능요구사항 분석

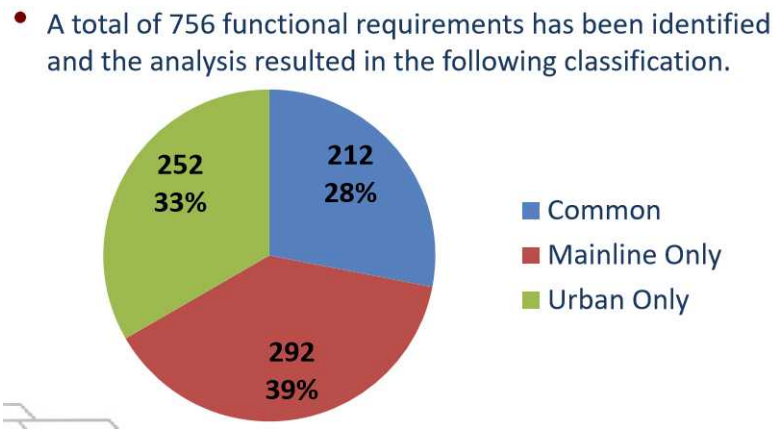
· 도시철도의 기능요구사항 분석(IEC 62290-1과 2, MODURBAN D80)

· 일반철도의 기능요구사항 분석(ERTMS Baseline 3(SRS 3.4.0))

– NGTC의 기능요구명세서 작성(NGTCS FRS)

· 일반철도와 도시철도에 공통으로 적용할 기능요구사항(212개), 도시철도에만 적용될 기능요구사항(252개), 일반철도에만 적용될 기능요구사항(292개)를 정의하였음

· 일반철도의 대표적인 기능요구사항은 ATO기능을 적용하는 것임



2. WP3 내용

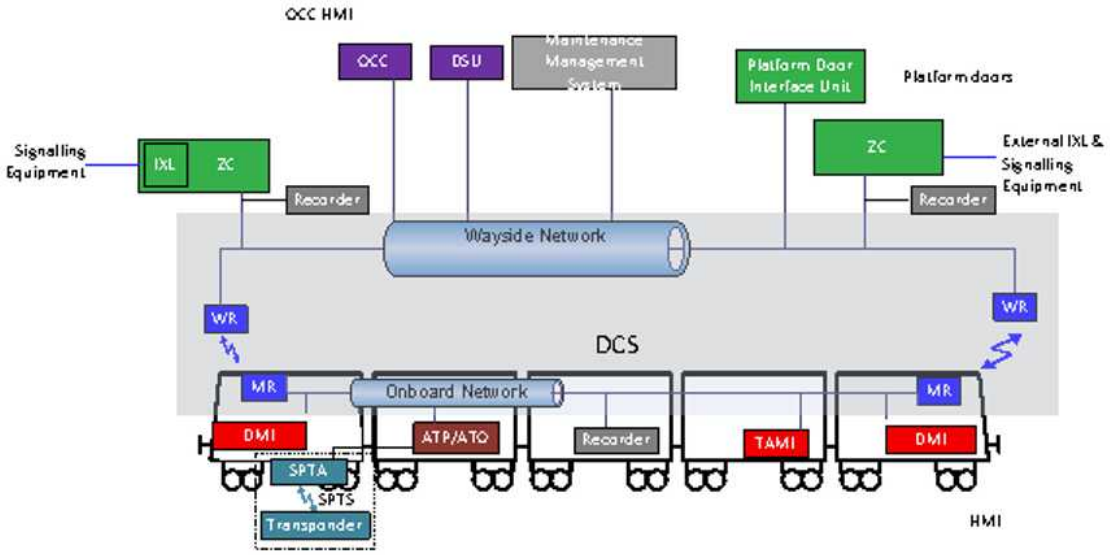
– NGTC의 기능요구명세서를 토대로 NGTCS의 아키텍쳐 정의, 기능설계 및 기능배치를 진행

· Platform Doors Mangement

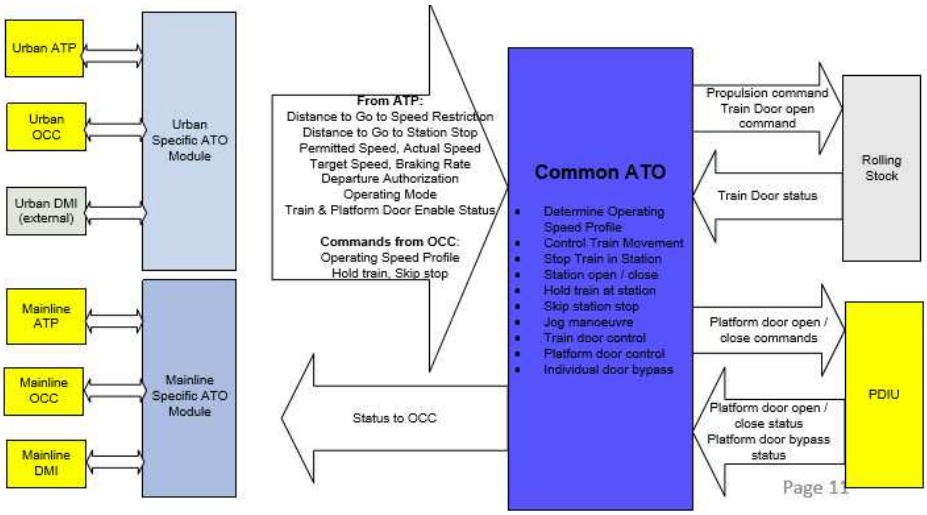
· Automatic Turn-back Operation

· Automatic Coupling & Splitting

- NGTC 시스템요구명세서(NGTC SRS)는 자동화 수준을 GoA4까지 지원함
  · 도시철도영역은 GoA4, 일반철도는 GOA2까지 지원할 수 있도록 작성함



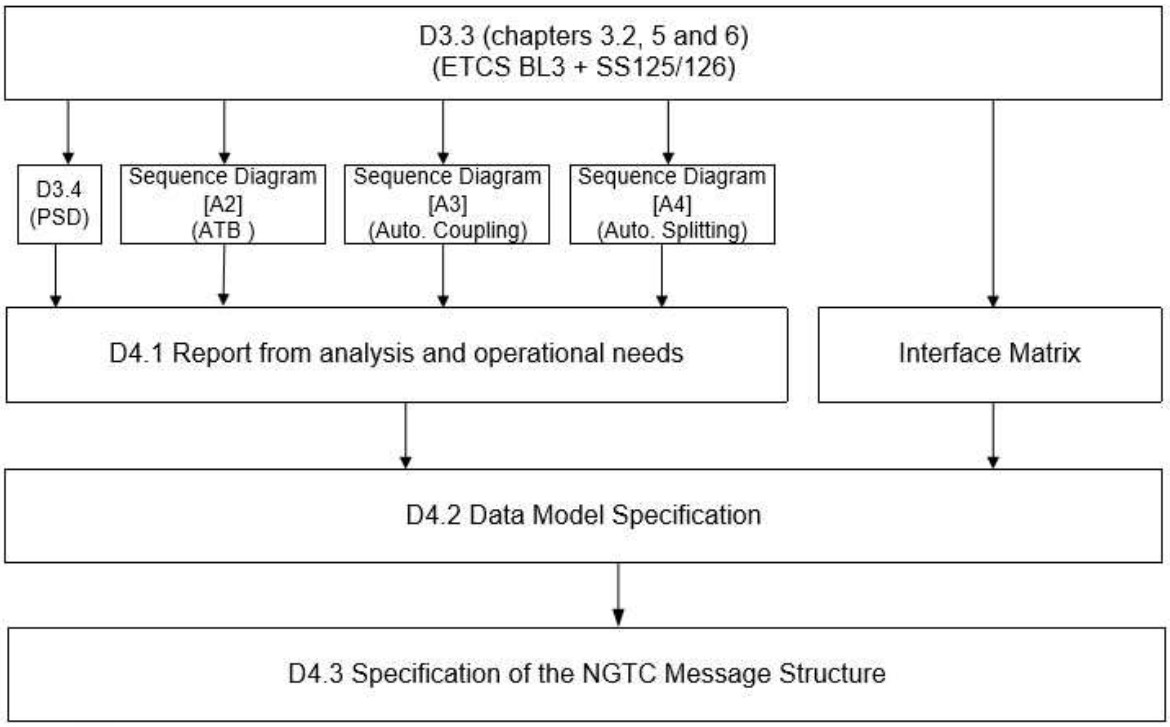
[NGTC 구조 - 간선철도]



[NGTC의 common ATO 구조]

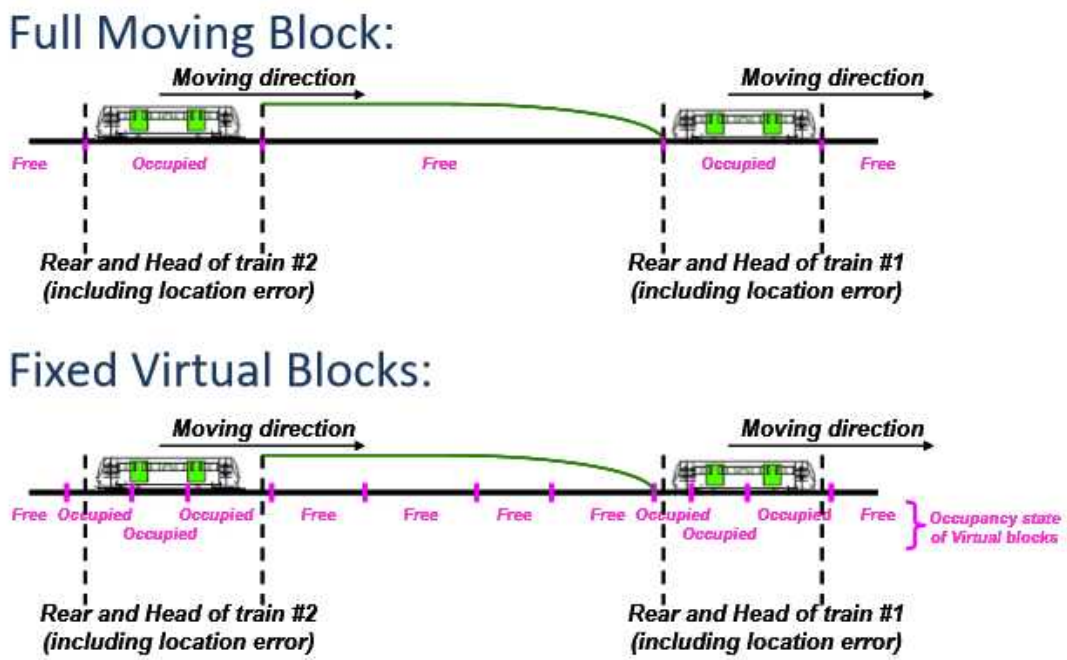
3. WP4 내용

- NGTC message structure는 일반철도에서 다음과 같은 기능을 수행할 수 있도록 반영
  · Platform Doors Mangement
  · Automatic Turn-back Operation
  · Automatic Coupling & Splitting

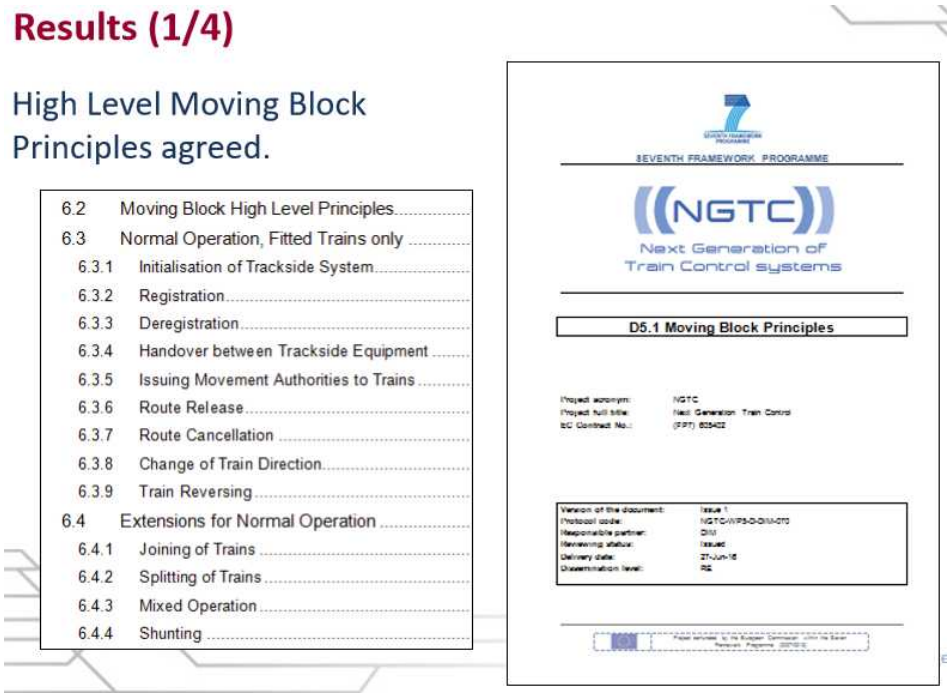


3. WP5 내용

- Generic Moving Block Principles에 Full Moving Block, Fixed Virtual Blocks을 포함



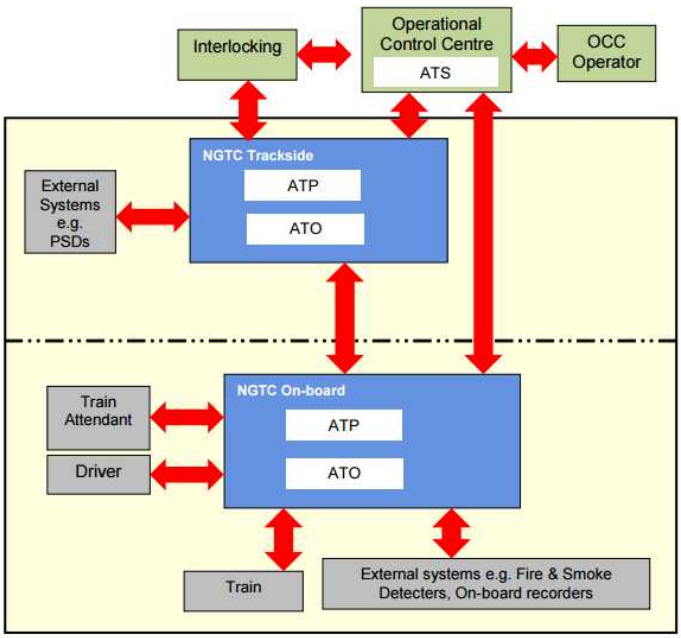
- 합의된 Generic Moving Block Principles을 작성하고, 내용을 검증하였음
- Sift2Rail 프로그램에 제공



○ NGTC의 기능요구명세서(FRS)

1. 기능구조

- NGTC의 기능구조는 그림과 같이 지상에서 CTC, ATP, ATO기능을 수행하고 차상에서 ATP, ATO기능을 수행함
- 지상의 CTC, ATP, ATO는 PSD 등의 설비와 연계하고, 차상의 ATP, ATO는 열차내 연기·화재검지기 등의 장치와 연계함
- 차상의 ATP, ATO는 지상의 CTC와 직접 연계할 수 있음



[NGTC의 기능구조]

2. 기능요구명세의 내용

- 기능요구명세서는 열차운행, 열차운행관리 · 감시로 구성되었음
- 열차운행(Train Operation)에 있어서 38개의 세부사항을 요구하고 있으며 다음과 같이 6가지로 구분하고 있음
  - · 열차의 안전한 이동(세부사항 9개)
  - · 열차운전(세부사항 3개)
  - · 선로변 감시(세부사항 3개)
  - · 승객의 승하차 감시(세부사항 3개)
  - · 열차운행(세부사항 14개)
  - · 응급상황에 대한 검지 및 대처(세부사항 7개)
- 열차운행관리 및 감시의 경우 31개의 세부사항을 요구하고 있으며, 다음과 같이 12가지로 구분하고 있음
  - · 열차운행스케쥴 관리(세부사항 1개)
  - · 열차운행시간표 관리(세부사항 3개)
  - · 열차영업(train service)관리(세부사항 6개)
  - · 열차운행상태 감시(세부사항 3개)
  - · 열차전력제어(세부사항 3개)
  - · HMI인터페이스 관리(세부사항 3개)
  - · 열차운행기록장치(세부사항 1개)
  - · 통신시스템인터페이스(세부사항 6개)
  - · 승객안내장치와의 인터페이스(세부사항 1개)
  - · 승객감시장치와의 인터페이스(세부사항 1개)
  - · 유지관리지원(세부사항 1개)
  - · 차량 및 운영요원 관리(세부사항 1개)
  - · 차량운영투입관리(세부사항 1개)
  - · 열차승무관리(세부사항 1개)

□ Shift2Rail

○ 프로그램 개요

– 프로그램 배경

· The European Commission의 2011년도 교통백서 (“Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system”)

: 경쟁력이 보다 높고, 자원을 효율보다 적으로 사용하는 유럽철도 건설

– 프로그램 협약(S2R JU)

· The Shift2Rail Joint Undertaking (S2R JU), a new public–private partnership

· 협약일 : 2014년 7월 7일

– 프로그램 예산(2014~2020) : 9억2천만유로(1조1,100억원)

· EU투자금(EUR 450million), 철도산업계 투자금(EUR 470million)

– 참여기관

· the European Union

· 철도산업계 : Alstom, Ansaldo STS, Bombardier, Construccionesy Auxiliar de Ferrocarriles (CAF), Siemens and Thales

· 철도시설물관리자 : Network Rail and Trafikverket

– 프로그램 목표

· 단일 유럽철도 구축

· 유럽철도시스템의 장점과 경쟁력을 획기적으로 높임

· 유럽의 철도산업이 글로벌 마켓을 주도

– 프로그램 구성(연구내용)

철도시스템은 다양한 하부시스템과 다양한 관계자 상호연계된 복잡한 시스템이며, Shift2Rail은 프로그램은 기술적으로 시스템(또는 서브시스템)을 구분하면서, 공통적인 사항을 관리할 수 있도록 프로그램을 구성

· IP(Innovation Programmes) – 기술적으로 구분

: Cost–efficient and reliable trains, including High–Speed and high–capacity trains

: Advanced traffic management & control systems

: Cost-efficient and reliable high capacity infrastructure

: IT Solutions for Attractive Railway Services

: Technologies for Sustainable & Attractive European Freight

· Cross-cutting activities - 공통적인 관리사항

: Long-term needs and socio-economic research

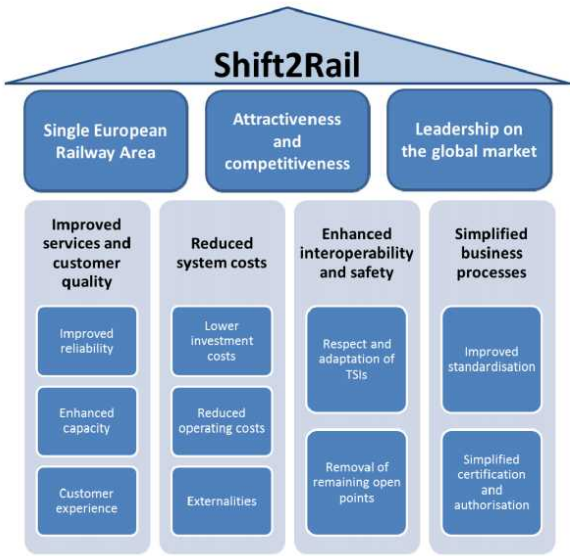
: Smart materials and processes

: System integration, safety and interoperability

: Energy and sustainability

: Human capital

Figure 1: Intervention logic of Shift2Rail



- 프로그램 기대효과

· 라이프 사이클 코스트 절감(약 50%)

· 철도선로용량 배가(Doubling railway capacity);

· 신뢰성과 정시성의 향상(약 50%)

○ 프로그램 조직

S2R JU는 the Governing Board와 the Executive Director에서 운영하며, 2개의 지원 그룹으로 구성(Scientific Committee, States' Representatives Group)

- 5개의 IP(Innovation Programme)를 통하여 S2R의 목표(System integration, safety, interoperability포함 5개)를 달성하고 있음

- S2R은 연구개발수준(TRL) 7을 목표로 하며, 연구개발과정은 다음과 같음

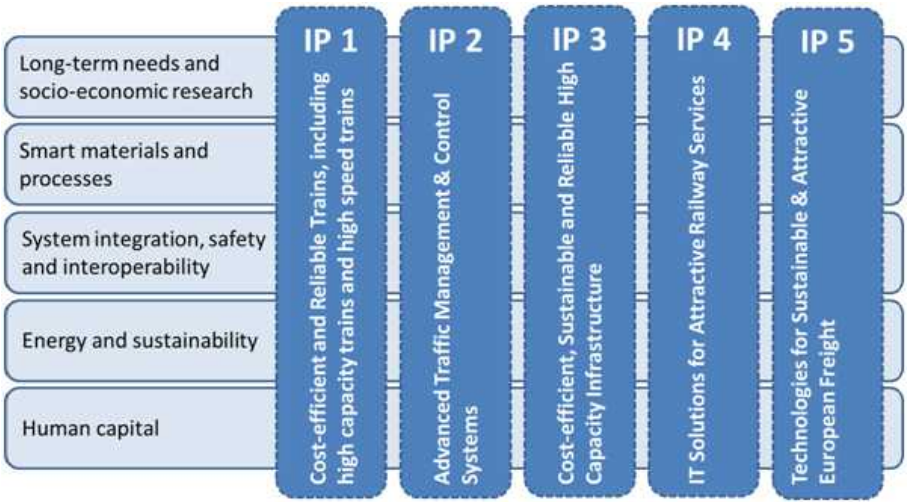
· TD(Technology Demonstration)단계

· ITD(Integrated Technology Demonstration)단계

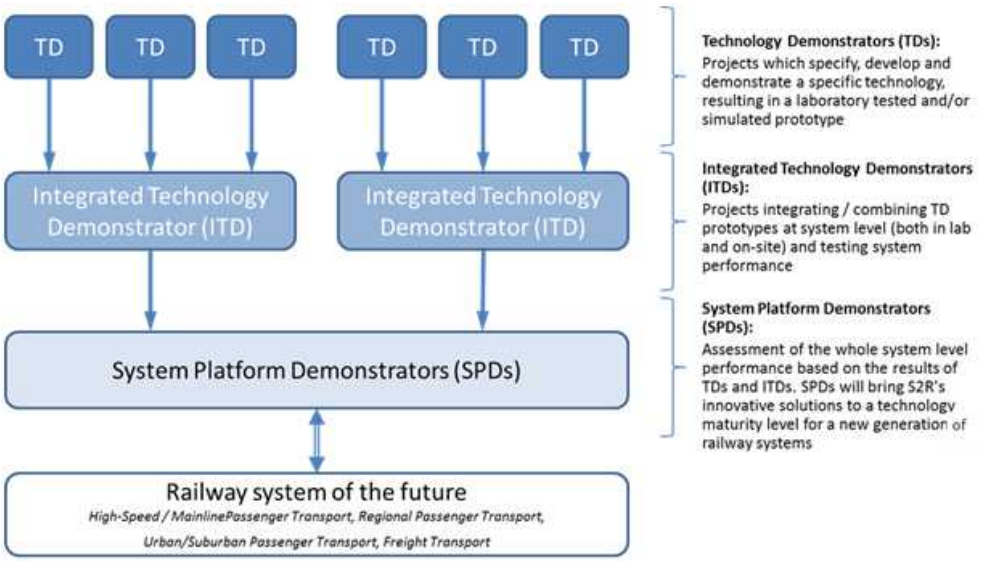
· SPD(System Platform Demonstration)단계



[프로그램조직도]



[S2R의 IP조직]



[S2R의 시스템개발공정]

○ IP(Innovation Programme) 및 TD(Technology Demonstration)

IP	TD
■ Innovation Programme 1 Cost-efficient & reliable trains, including high-capacity trains and high-speed trains	TD 1.1 : Traction system **TD 1.2 : Train control and monitoring system (TCMS)** TD 1.3 : The new generation of car body shells TD 1.4 : Running gear TD 1.5 : New braking systems TD 1.6 : Innovative doors TD 1.7 : Train modularity in use
■ Innovation Programme 2 Advanced Traffic Management and Control Systems	TD 2.1 : The development of a new Communication System TD 2.2 : Automatic Train Operation (ATO) TD 2.3 : Moving Block TD 2.4 : Safe Train Positioning TD 2.5 : Train Integrity TD 2.6 : The development of a new laboratory test framework TD 2.7 : The development of a set of standardised engineering and operational rules TD 2.8 : Virtual Coupling TD 2.9 : An optimised Traffic Management System TD 2.10: Smart radio-connected all-in-all wayside objects TD 2.11: Cyber Security
■ Innovation Programme 3 Cost-Efficient and Reliable High-Capacity Infrastructure	TD 3.1 : The Enhanced Switch & Crossing System **TD 3.2 : The Next Generation Switch & Crossing System** TD 3.3 : The Optimised Track System TD 3.4 : The Next-Generation Track System TD 3.5 : The Proactive Bridge and Tunnel Assessment, Repair and Upgrade **TD 3.6 : The Dynamic Railway Information Management System (DRIMS)** TD 3.7 : The Railway Integrated Measuring and Monitoring System (RIMMS) TD 3.8 : The Intelligent Asset Management Strategies (IAMS) TD 3.9 : The Smart Power Supply TD 3.10: The Smart Metering for Railway Distributed Energy Resource Management System TD 3.11: The Future Stations
■ Innovation Programme 4 IT Solutions for Attractive Railway Services	TD 4.1 : The Interoperability Framework TD 4.2 : The Travel Shopping TD 4.3 : The Booking & Ticketing TD 4.4 : The Trip-tracker TD 4.5 : The Travel Companion TD 4.6 : The Business Analytics

IP	TD
■ Innovation Programme 5 Technologies for Sustainable & Attractive European Rail Freight	TD 5.0 : The Implementation Strategies and Business Analytics **TD 5.1 : The Freight Electrification, Brake and Telematics** **TD 5.2 : The Access & Operations** TD 5.3 : The Wagon Design TD 5.4 : The Novel Terminal, Hubs, Marshalling yards, Sidings TD 5.5 : The New Freight Propulsion Concepts **TD 5.6 : The Autonomous train operation**
■ Cross-Cutting Activities	

○ IP2의 연구내용

- IP2(Advanced Traffic Management and Control Systems)의 목적

IP2는 철도신호 · 통신분야로서 개발대상(목적)은 다음과 같음

· Improved services and customer quality(영업 및 승객서비스 향상)

: 신뢰성 향상, 수송용량 증대

: 승객에 대한 정시성, 실시간 정보 제공

· Reduced system costs(시스템비용절감)

: 투자비용절감, 운영비용 절감

: 오염물질배출 절감

· Enhanced Interoperability(상호운영성 향상)

: TSIs를 적용하며, 합의되지 않은 사항에 대한 합의 도출

· Simplified business process(열차절차를 단순화)

: 표준화 강화

: 검증 및 승인절차를 간소화

- IP2의 TD(Technology Demonstration)별 연구내용

· TD 2.1: Adaptable communications for all railways(quality of service, interfaces to signalling

: T2.1.1 User requirements

: T2.1.2 Business model

: T2.1.3 Specification of the Communication System

: T2.1.4 Guideline for a choice of Technology for midterm implementation

: T2.1.5 Development of prototypes; test definition and Lab test

: T2.1.6 Field test

· TD 2.2: Railway network capacity increase (ATO up to GoA4 - UTO)
: T2.2.1. ATO over ETCS - GOA2 Specification
: T2.2.2. ATO over ETCS - GOA2 Prototype Development
: T2.2.3. GOA2 Reference Test Bench Demonstration
: T2.2.4. GOA2 Pilot Line Demonstration
: T2.2.5. ATO over ETCS - GOA3/4 Feasibility Study
: T2.2.6. ATO over ETCS - GOA3/4 Specification
: T2.2.7. ATO over ETCS - GOA3/4 Prototype Development
: T2.2.8. GOA3/4 Reference Test Bench Demonstration
: T2.2.9. GOA3/4 Pilot Line Demonstration

· TD 2.3 Moving Block
: Task 2.3.1 Moving Block Operational and Engineering Rules
: Task 2.3.2 Moving Block System Specifications
: Task 2.3.3 Product Specifications
: Task 2.3.4 Safety and Security Analysis
: Task 2.3.5 Prototype Developments
: Task 2.3.6 Test Specifications
: Task 2.3.7 Technology Demonstrators

· TD 2.4: Fail-Safe Train Positioning (including satellite technology)
: T2.4.1 General Specification
: T2.4.2 On site GNSS performance tests
: T2.4.3 Analysis of the results of the GNSS Performance test activities
: T2.4.4 Analysis of the technical solutions for optimizing the GNSS performances in railway environment and proposal for the demonstrators
: T2.4.5 Proof of concept GNSS based localisation devices
: T2.4.6 Process for validation in lab and on field
: T2.4.7 Lab tests
: T2.4.8 Update of the technical specifications according to the full test campaign results
: T2.4.9 Development of Prototypes
: T2.4.10 Field activities: integration and commissioning tests, validation and certification of the prototypes

· TD 2.5: On-board Train Integrity
: T2.5.1 Train Integrity Concept
: T2.5.2 Definition of Requirements
: T2.5.3 Technology Research and Development
: T2.5.4 Adaptation of existing solutions
: T2.5.5 Demonstration and Assessment
: T2.5.6 Standardisation proposal

· TD 2.6: Zero on-site testing (control command in lab demonstrators)
: TD2.6.1 Assessment of status quo in field test and benchmarking
: TD2.6.2 Definition of test process
: TD2.6.3 Define general architecture for test environment
: TD2.6.4 Define generic communication model
: TD2.6.5 Develop/ validate test environment

· TD 2.7: Formal methods and standardisation for smart signalling systems
: T2.7.1 Formal methods
: T2.7.2 Standardized interfaces

· TD 2.8: Virtually - Coupled Train Sets (VCTS)
: T2.8.1 Virtual Coupling Concept
: T2.8.2 Safety and Performance Analysis
: T2.8.3 Feasibility Analysis
: T2.8.4 Functional Architecture SAS and FRS
: T2.8.5 Functional Architecture FIS
: T2.8.6 Impact analysis

· TD 2.9: Traffic management evolution
: Task 2.9.0 Technical Coordination
: Task 2.9.1 Integration Layer
: Task 2.9.2 Shell for Applications in the TMS (Application Layer)
: Task 2.9.3 Framework for Traffic Management Business Service
: Task 2.9.4 Applications
: Task 2.9.5 Standardized Operator Workstation
: Task 2.9.6 Functionalities and Interfaces for Dynamic Demand and

Information Management

: Task 2.9.7 Integrated Demonstrator

· TD 2.10: Smart radio-connected all-in-all wayside objects

: Task 2.10.1: Analyses of existing lines and economic models

: Task 2.10.2: Analyses of railway requirements / standards

: Task 2.10.3: Definition of system architecture

: Task 2.10.4: Development and verification of PDs (Prototypes)

: Task 2.10.5: Validation (incl. Integration and Validation at SPD Level - paperwork at P1 / real integration P2

: Task 2.10.6: Optimisation Works

· TD 2.11: Cyber Security

: T2.11.1 Definition of a cyber-security system dedicated to railways

· T2.11.1.1 Security assessment limited to ETCS and CBTC system

· T2.11.1.2 Threat Detection, Prevention and Response for ERTMS and CBTC

· T2.11.1.3 Guidelines/standards limited to standardised systems (ERTMS + CBTC)

· T2.11.1.4 Technical demonstrator

: TD2.11.2 Application of the cyber-security methodology to signalling system:

· TD2.11.2.1 Define profile protection, cyber security standard to be used and the assurance level requested for railway applications.

· TD2.11.2.2/3 Infrastructure access protection (station level) + profile remote management;

· TD2.11.2.4 Demonstrator limited on On-board-Trackside or trackside-trackside application

: TD2.11.3 Develop a network of Railway Cyber Security Experts (CERT)

· TD2.11.3.1 Combining expertize - Designing a holistic knowledge base

· TD2.11.3.2 Prototype of CERT model dedicated to railway:

· TD2.11.3.3 Prototype of CERT collaborative environment

첨부 3. 도시철도용 열차제어시스템의 성능명세 및 기능명세 (KRS SG 0069 - 15)

○ 성능조건

– 열차제어시스템은 아래에 제시된 목표성능 범위에 적합하도록 설계되고 제작되어야 한다. 최대 성능은 장애 없이 정상모드(mode)에서 달성되어야 한다. 발주자는 운영조건, 기상조건 등을 고려한 특정한 기능과 성능을 추가 지정할 수 있다.

WATP가 제어할 수 있는 열차 최대 편성수	10 ~ 40 [편성]*)
ATP용 열차위치 측정의 정확도(역간 주행시)	± 5 ~ 10 [m]
ATO용 열차위치 측정의 정확도(정위치정차용)	± 0.35 [m] 이하
ATP용 열차속도측정의 정확도	± 3.0 [km/h] 이하
차상에서 지상으로 전송할 때 메시지 지연시간	0.5 [s] 미만
지상에서 차상으로 전송할 때 메시지 지연시간	0.5 [s] 미만
열차 롤백 검지기준	2 [m] 미만
영속도 검지기준	3 [km/h]미만 (2초 동안)

*) 발주자가 열차운행계획에 맞추어 적절한 WATP를 선택할 수 있도록 지원하기 위하여 운행편성수가 적은 노선의 WATP 열차제어용량은 10편성을 초과하여야 하며, 운행편성수가 많은 노선의 WATP 열차제어용량은 40편성까지 지원하여야 함

○ 기능조건

4.3 열차제어시스템 하부장치의 기본기능

4.3.1 열차제어시스템의 기본기능

1) 본선 및 사용자가 달리 지정한 구간에는 자동열차보호기능, 자동열차운전기능, 자동열차감시기능 및 열차진로제어기능을 갖춘 열차제어시스템을 설치하여야 하며, 열차제어시스템은 그림 2.열차제어시스템 구성도를 참조하여 구성되어야 한다.

2) 열차제어시스템은 무인으로 운전하는 정상적인 상태에서 다음과 같은 열차운전모드를 지원하여야 하며, 사용자가 요구하는 경우 무인회차모드, 대기모드, OFF모드 등도 지원할 수 있어야 한다.

가) 완전자동운전모드

나) 자동운전모드

다) 수동운전모드

라) 비상운전모드

마) 기지운전모드

3) 열차제어시스템의 차상설비는 열차에 전원을 투입하면 자동으로 활성화되어야 하며, 자기진단 절차를 자동으로 시작해야 한다.

4) 열차가 정차 중일 때, 열차운전자는 필요시 열차운전대 시험을 수행하는 것이 가능해야 한다.
5) 열차제어시스템 차상설비는 열차 운전 중 지상설비로부터 열차이동권한정보와 열차제한속도를 받아 표시장치에 이를 현시하고, 열차목표속도를 결정하여 열차속도를 제어하여야 한다.
6) 열차 운전 중 제한속도와 주행속도를 계속 비교하여 실제 주행속도가 제한속도를 초과하면 제동을 지령하기 위한 속도감시기능을 가져야 한다.
7) 자동열차보호장치의 보호아래 출입문 개폐제어 기능을 가져야 한다.
8) 열차 운전 중 출입문이 개방되면 제동을 지령하는 출입문감시기능을 가져야 한다.
9) 역전기 위치와 열차운전방향이 일치되지 않으면 즉시 제동을 지령하는 운전방향 감시기능을 가져야 한다.
10) 실제 주행속도의 정확한 정보를 위하여 속도검지장치의 감시기능을 가져야 한다.

4.3.2.2 지상자동열차보호장치 기능

지상자동열차보호장치는 열차위치검지, 열차간 안전간격 설정, 정지위치 확인, 열차속도제한 등의 기능을 수행하여야 한다.

1) 열차등록

열차에 전원이 투입되어 차상자동열차보호장치가 기동하여 절차에 따라 지상자동열차보호장치에 보고하면 열차를 등록하고, 이를 자동열차감시장치에 보고하는 기능이다.

2) 열차삭제

열차가 운행을 종료한 후 절차에 따라 열차전원을 차단하면 열차를 삭제하고, 이를 자동열차감시장치에 보고한다. 단, 절차에 의하지 않고 열차전원이 차단되는 경우 지상자동열차보호장치는 열차를 삭제하지 않고 마직막으로 확인한 열차위치정보를 유지하는 기능이다.

3) 열차운전방향변경

자동열차감시장치의 운전방향변경 명령을 받아 차내에 설치된 차상자동열차보호장치로 전송해야 하는 기능이다.

4) 열차상태보고

차상자동열차보호장치로부터 열차상태 및 제어정보를 수신하여 자동열차감시장치로 전송해야 하는 기능이다.

5) 열차위치결정

차상열차보호장치가 실시간으로 전송한 열차위치, 열차길이, 열차이동 방향 및 열차무결성에 따라 지상자동열차보호장치의 제어영역내에서 열차제어장치를 장착한 모든 열차의 전두부 및 실제위치(열차길이가 반영하여 열차가 점유하고 있는 위치)를 결정해야하는 기능이다.

6) 열차위치정보를 상실한 열차 보호

열차위치 회복 관련 부분에 대한 것을 제외하고 열차위치검지 실패에 대응하는 것이다. 지상자동열차보호장치는 열차위치가 주기적으로 보고되지 않는 열차를 검지하면 최종적으로 확인된 열차위치정보를 기준으로 열차방호구역을 설정하여 다른 열차가 접근하는 것을 차단하는 기능이다.

7) 열차이동권한한계 결정

열차의 안전한 이동을 보장하기 위해서 열차 전방에 있는 최초의 위험 지점에 해당하는 각 열차별 이동권한의 한계를 결정하는 기능이다.

8) 프로파일 결정

가) 선로최고속도

(1) 선로 형상과 품질, 인프라 제약사항(터널, 교량, 승강장 등)과 같은 인프라 데이터에 기반을 두는 정적속도프로파일을 결정하는 기능이다.

(2) 지상자동열차보호장치는 모든 선로 위치별로 최대 허용속도를 결정해야 한다.

나) 차량최고속도

(1) 철도차량의 각 유형별로 최대 허용속도를 결정하는 기능이다.

(2) 지상자동열차보호장치는 철도차량의 각 형식별로 최대 허용속도를 결정해야 한다.

다) 선구제한속도

(1) 열차이동권한까지의 선구데이터를 관리하는 기능이다.

(2) 관할 영역 내의 모든 지상자에 대한 데이터와 선구의 구배 데이터를 관리하는 기능이다.

라) 시설물의 임속한계

자동열차감시장치로부터 나온 운행명령에 의해 선택된 구역에 대한 임시속도제한을 설정하고 제거하는 기능이다.

마) 열차의 임속한계

열차고장 및 운전모드로 인한 임시 철도차량 속도제한을 결정하는 기능이다.

바) 열차속도한계 결정

차량의 성능저하 상황 발생시 차상자동열차보호장치가 전송한 정보를 토대로임시속도제한을 설정하는 기능이다.

(사) 정적속도프로파일 결정(MRSP)

열차데이터 및 인프라 데이터를 기반으로 정적 열차속도 프로파일을 계산하는 기능이다.

9) 승강장 스크린도어 개방 연동

열차가 해당 역에 진입하도록 허가 받을 때, 안전한 승객 이동을 보장하기 위해 승강장 스크린도어 개방을 허가하는 기능이다.

10) 승강장 스크린도어 개방 금지

지상에 설치된 지상자동열차보호장치가 열차 출입문 닫힘 상태를 수신한 이후에 승강장 스크린도어가 열리지 못하도록 하는 기능이다.

11) 승강장 스크린도어 상태정보 분실 대응

가) 개방요청을 받지 않은 승강장 스크린도어의 폐쇄 및 쇄정상태를 감시하는 기능이다.

나) 역에 정차한 열차가 없을 때 승강장 스크린도어가 개방되어 있다고 검지되면, 지상자동열차보호장치는 즉시 해당 역을 보호영역으로 설정해야 한다.

12) 출입문 개방명령 연동 오버라이드(무효화)

자동열차감시장치의 출입문 개방관련 데이터를 차상자동열차보호장치로 바이패스 하는 것이 목적이다.

13) 보호구역 설정/해제

안전설비, 자동열차감시장치, 전자연동장치와 연계하여 보호영역을 설정/해제하는 기능이다.

14) 장애물과의 충돌 방지

가) 선로상의 장애물 검지를 담당하는 외부기기가 설치되었을 경우, 이를 감시하는 것이다.

나) 자동열차감시장치가 선로의 장애물을 검지하는 외부기기의 장애물 검지정보를 받아 해당의 보호구역 설정정보가 전송되면, 지상자동열차보호장치는 해당 구역을 보호영역으로 설정해야한다.

15) 승강장의 비상제동요청에 대한 대응

승강장의 승객이나 직원이 요청한 비상정지 요청에 반응하는 것으로, 자동열차감시장치로부터 승강장의 비상정지 요청을 받은 경우, 지상자동열차보호장치는 승강장을 포함한 방호영역을 설정하여야 한다.

16) 선로에 있는 작업자 보호

가) 선로상의 직원을 보호하기 위해 작업영역을 설정하고 그 후에 제거하는 기능이다.

나) 자동열차감시장치가 작업자의 작업구간정보를 지상자동열차보호장치로 전송한다.

17) 운영자에 의한 보호

자동열차감시장치 또는 전자연동장치로부터 보호영역을 수신하면, 해당 보호영역을 보호하는 기능이다.

18) 제어구역관리

지상자동열차보호장치와 인접한 지상자동열차보호장치간 열차보호권의 안전한 이관을 정의한다.

19) 비상제동요청 감시

자동열차감시장치 및 지상자동열차보호장치의 열차 비상제동 설정 또는 해제 명령을 수신하여 비상제동 체결 또는 해제를 수행한다.

4.3.3.2 자동열차감시장치 기능

1) 열차 시각표의 생성과 실시간 편집을 위한 설비를 제공해야 한다.

2) 미리 설정된 열차 시각표에 따라 본선과 차량기지에 있는 열차이동을 제어 및 감시해야 한다.

3) 자동진로설정 기능을 제공해야 하며, 다음의 경우에 진로제어 명령을 내려야 한다.

가) 선로 비점유 구간으로 열차의 운행에 영향을 주지 않을 경우

나) 진로제어 명령에 영향을 줄 수 있는 부적절한 진로가 없을 경우

4) 자동열차감시장치 운영자가 다음의 열차조정제어를 수행할 수 있도록 해야 한다.

가) 시각표 조사

나) 열차출발모드의 선택

다) 열차출발 조정

5) 자동열차조정기능을 수행하기 위해서 차상자동열차운전장치로 필요한 속도제어정보를 자동적으로 전송할 수 있어야 한다.

6) 다음의 경우 열차가 역에서 출발하지 못하게 하여야 한다.

가) 열차가 역에 진입하여 정차하기 위해서 감속 중인 경우

나) 선로를 부분적으로 운행할 경우

다) 견인력이 손실된 경우

7) 자동열차감시장치의 자동기능에 장애가 발생할 경우에 운영자가 진로 제어, 시발역에서의 열차 출발, 열차 보류 제어, 승객 정보 등을 수동으로 처리할 수 있어야 한다.

8) 운영자는 사고가 났을 때 승강장 스크린 도어를 수동으로 조작할 수 있어야 한다.

9) 차상자동열차운전기능이 자동인칭에 실패한 후, 운영자는 해당 열차에 대한 원격 인칭 제어가 가능하여야 한다.

10) 차상장치에 의한 출입문 자동 열림/닫힘과는 별도로, 운영자에 의한 해당 차내장치에 대한 원격 출입문 제어가 가능하여야 한다.

11) 대기모드상태의 열차기동을 위한 Awake제어와 열차의 대기모드 전환을 위한 Sleep제어가 가능하여야 한다.

12) 운영자가 고장상황을 빨리 인식할 수 있도록 열차제어장치, 열차 및 기타 시스템의 상태를 감시하고 운영자에게 현시하여야 한다.

13) 운영자의 개입이 필요한 열차제어장치 고장 및 허용범위를 초과하는 현상 등의 정보가 전송되면 이를 진단한 정보를 현시하여야 하며, 관련된 정보는 최소한 다음 사항을 포함하여야 한다.

가) 지상 및 차내장치의 고장

나) 확인되지 않은 열차가 제어영역으로 진입

다) 열차이동권한 위반

라) 데이터통신채널 손실

마) 야간 작업지원(모터카 운행) 등

14) 열차이동 및 승강장과 열차에 있는 승객안전이 관련된 사항에 대하여 운영자가 적절한 조치를 취할 수 있도록 하여야 한다.

15) 실시간 제어, 열차가속, 열차타행 및 열차제동의 협조를 통하여 전력에너지 최적화를 지원하여야 한다.

16) 열차위치정보를 토대로 한 열차도착정보 등을 정차장 및 열차에 설치된 승객안내장치가 이용할 수 있도록 인터페이스를 제공하여야 한다.

17) 열차에 탑승하여 열차운전을 관리할 운영자를 확인 후 열차운행을 할 수 있도록 승인하여야 한다.

4.3.3.2 전자연동장치 기능

1) 진로제어 및 연동기능의 조건은 전자연동장치에 대한 한국철도표준규격을 따른다.

2) 선로전환기의 전환 확인과 신호취급의 확인 등 열차 진로 제어시의 안전을 확보하여야 한다.

3) 진로상의 선로전환기 설정, 선로전환기 쇄정, 해당 신호의 현시, 입환 영역에 대한 열차의 안전운행 보장 기능을 수행하여야 한다.

4) 지상자동열차보호장치의 실시간 열차위치정보를 이용하여 진로제어 및 연동기능을 수행하여야 한다.

5) 열차위치보조검지장치를 설치할 경우, 진로제어 및 연동기능은 열차위치보조검지장치의 열차검지정보를 이용하여야 한다.

4.3.5.2 차상자동열차보호장치 기능

차상자동열차보호장치는 열차 위치 및 속도 결정, 구름방지, 영속도 측정, 과속검지, 속도제한 등의 자동열차보호 기능을 수행하여야 한다.

1) 장치기동 및 시험

전원을 인가하는 동안 또는 열차제어시스템의 제어영역에 진입하기 전에 바이탈 장비에 대해 필요한 모든 시험을 수행하는 기능이다.

2) 운행종료

열차가 영업서비스 종료 후에 운영요원의 조치에 의해 안전한 위치에서 차상에 설치된 차상자동열차보호장치를 종료(전원차단)시키는 것으로 열차위치정보를 전송하지 않는다. 열차가 운행을 종료한 후 안전한 주박위치에 열차를 장시간 정차는 sleep모드로 전환하는 경우, 다른 장치의 전원은 모두 차단되지만 차상자동열차보호장치는 전원을 계속 공급하여 열차위치정보를 전송하여야 한다.

3) 열차운전모드 변경

열차의 운전 모드를 관리하는 기능이다.

4) 열차운전방향변경연동

가) 열차제어장치의 제어구역에서 열차의 이동방향을 변경하기 위한 조건과 과정을 규정하는 것이다.

나) 요청된 열차 이동방향을 할당하는 기능이다.

5) 역출발 승인(안전조건)

안전한 역 출발을 위해 필요한 모든 필요조건을 확인하는 기능이다.

6) 역출발 승인(운전조건)

역 출발을 인가하기 위해 작동상의 제약사항으로 인해 필요한 모든 필요조건을 확인하는 기능이다.

7) 역출발 명령

요구된 운영 및 안전조건이 충족될 때 열차에게 역 출발 명령을 하는 기능이다.

8) 역간에 정차한 열차의 출발 승인

정상상태에서 역간에 열차가 정차하였을 때 차량의 기능을 점검 후 차상자동열차운전장치에 출발을 명령하는 기능이다.

9) 열차위치초기화

다음과 같은 열차를 보고하는 위치를 초기화하는 기능이다.

가) 주박위치에서 정차하고 있는 열차,

나) 열차제어장치 제어영역으로 진입하는 열차

다) 열차위치검지 실패 후 다시 복구 중인 열차

10) 열차길이결정

열차에서 입력받은 열차길이를 관리하는 기능으로 고정데이터이다.

11) 열차위치계산

일단 열차위치가 초기화 되면, 열차의 물리적 방위 및 선로의 정의된 방위와 관련된 위치의 불확실성을 결정하는 기능이다.

12) 열차분리(끊어짐) 검지(Train integrity)

열차무결성(열차의 끊어짐)을 감시하는 것으로서, 열차에 장치된 열차무결성장치는 무결성 정보를 검지하면 차상자동열차보호장치에게 보고하는 기능이다.

13) 목표지점 결정

설정된 열차이동권한한계에 기반하여 열차가 정지해야 할 목표지점을 설정하는 기능이다.

14) 동적속도프로파일

지상자동열차보호장치로부터 수신한 MRSP와 선로데이터 및 열차정보를 이용하여 목표지점까지의 동적속도프로파일을 생성하는 기능이다.

15) 열차허용속도결정

열차의 현재위치에서 인가된 허용속도를 결정하는 기능이다.

16) 열차속도결정

실제 열차속도를 결정하는 것으로 불확실성을 포함한다.

17) 영속도상태 결정

열차 영속도를 결정하는 기능이다.

18) 열차주행방향 결정

열차의 이동방향을 결정하는 기능이다.

19) 열차속도감시

동적속도프로파일의 열차제한속도와 실제 열차속도를 비교하여 열차의 과속상태를 감시하는 기능이다.

20) 열차구름보호 및 역방향이동방향 감시

열차가 롤백의 경우를 감시하는 기능이다.

21) 이동권한 미갱신 대응

미리 정의된 시간 내에 열차이동권한을 수신하지 못하면 열차이동의 안전성을 위해서 상용전제동을 인가하여 열차를 정차시키는 안전조치가 취하여야 한다. 열차가 정차하는 동안에 새로운 이동권한을 수신하면 인가된 제동을 해제한다.

22) 비상제동해제

일단 열차가 정차하면 원격으로 비상제동 적용을 해제하는 기능이다. 이는 시스템이 시작한 비상제동은 물론 직원 조치에 따른 비상제동도 해제하는 것을 포함한다.

23) 열차출입문 개방연동

열차가 해당역에 진입하도록 허가 받을 때, 안전한 승객 이동을 보장하기 위해 필요한 모든 상태를 고려하여 열차출입문 개방을 허가하는 기능이다.

24) 열차출입문 개방금지

열차출입문을 개방할 수 없는 조건에서 열차출입문 개방명령이 있을 시 이 명령이 작용하지 않도록(disable) 하는 기능이다.

25) 출입문 개방연동 오버라이드(무효화)

고장복구 등의 목적으로 지상에서 원격명령으로 출입문 개방을 명령하면 출입문 개방조건을 만족하지 않은 상태에서서 출입문을 개방하는 기능이다.

26) 출발연동 오버라이드(무효화)

고장복구 등의 목적으로 지상에서 원격명령으로 출발을 명령하면 출발조건을 만족하지 않은 상태에서 열차를 출발시키는 기능이다.

27) 역간에 정차중인 열차의 출입문 상태정보 상실 대응

열차가 제공한 출입문 닫힘(또는/및 쇄정)상태를 감시하고 열차를 정차시키는 기능이다.

28) 열차 정위치정차위치 정차 확인

정위치 정차 여부를 판별하기 위한 기능으로 열차는 정차지점의 허용한계 내에 하여야 한다.

29) 검지된 차내장치 장애 대응

운행에 영향을 미치는 열차장비 고장에 반응하는 것이다.

30) 화재/연기 검지 대응

화재 또는 연기 발생을 자동열차감시장치에 보고하고 열차를 다음 역 또는 선택적으로 다음 대피 지점에 정차하기 위해 차내 화재/연기 검지기를 감시하는 기능이다.

31) 비상제동명령 대응

지상자동열차보호장치로부터 비상제동 및 비상제동해제 명령을 수신하여 적용하고, 비상제동 관련 상태정보를 지상자동열차보호장치로 전송하는 기능이다.

32) 데이터 입력 및 현시

MMI를 이용하여 운전대에서 운영자가 취급한 정보를 입력받거나, 차상자동열차보호장치가 수행한 상태정보를 MMI를 이용하여 운영자에게 표시하는 기능이다.

4.3.5.3 차상자동열차운전장치 기능

차상자동열차운전장치는 열차 awake/sleep, ATO 프로파일 결정, 인칭제어, 열차속도조절, 출입문 제어 및 차내(장치) 현시 데이터 인터페이스를 수행하여야 한다.

1) 열차 기동(Awake)

안전한 위치에 정차하고 있는 열차가 영업운전에 들어가기 전에 자동열차감시장치의 원격조치에 의해 열차의 장비에 동력을 공급하고 운전대를 기동하는 기능이다.

2) 열차 sleep

열차가 영업운행을 마친 후 안전한 지역에 정차하고 있으면 자동열차감시장치의 원격조치에 의해 열차를 슬립모드로 대기시키는 기능이다.

3) ATO 프로파일 결정

가) 다음 요소를 고려하여 자동운전을 위한 속도프로파일을 결정하는 기능이다.

(1) 정차 지점(목표 지점)

(2) 운전모드

(3) 제동성능(속도 및 반응시간)

(4) 저크제한

(5) 열차 시격조정 및 운전 전략

(6) 철도차량 반응시간을 포함한 시스템 반응시간

나) ATO 프로파일 작성 시에는 열차 길이, 열차 유형에 따른 최대안전속도 등의 모든 관련 열차의 특성과 구배, 레일점착 등의 궤도특성을 고려하여야 한다.

다) 속도제어 알고리즘을 설계할 경우, 저크는 최소로 유지되어야 하며, 속도조정, 시격조정, 신호점검 혹은 역 정지로 인한 모든 제동 요구명세을 고려하여 저크를 설정하여야 한다.

4) 자동인칭

가) 선로에 설치된 위치검지용 지상자에서 수신한 지점 신호와 열차속도 및 정지 목표점까지의 거리 등을 평가하여 정위치에 정지하도록 추진 및 제동장치에 역행 및 제동지령을 출력하며, 목표제어 정도는 정위치 정지점 기준을 목표치로 한다.

나) 정위치정차에 실패(미주, 과주)하였을 경우, 운전자의 개입없이 자동으로 열차를 정위치 정지점에 정차하도록 재시도하는 기능이다.

5) 수동인칭

자동인칭 실패 시 자동열차감시장치 운영자의 지령에 의하여 인칭동작을 수행하는 기능이다.

6) 열차속도 조절

열차의 현재속도와 열차운행프로파일을 비교하여 추진 및 제동 신호를 송출하는 기능이다.

7) 출입문 열림명령

출입문 열림 조건이 충족될 때 열차 출입문과 승강장 스크린도어(설치된 경우)에 출입문 열림을 명령하는 것이다.

8) 출입문 닫음명령

역에서 열차 출입문과 승강장 스크린도어(설치된 경우) 닫음을 명령(요청)하는 것이다.

9) 열차출입문 개방금지

승강장 스크린도어 설치여부에 따라 열차출입문 일부 고장에 대처하는 기능이다.

10) 데이터 입력 및 현시

MMI를 이용하여 운전대에서 운영자가 취급한 정보를 입력받거나, 차상자동열차운전장치가 수행한 상태정보를 MMI를 이용하여 운영자에게 표시하는 기능이다.

첨부 4. 경제성 분석

1. 연구개요

가. 연구의 배경 및 목적

○ 현재 국내에서 운영 중인 신호시스템은 대부분 외국에서 도입한 시스템으로 노선별 상이한 기종과 기술이 적용되어 있음.

○ 신호기술의 경우 핵심기술에 대한 해외의존도가 높고, 국내 철도망 특성에 따른 시스템 표준화가 미흡함에 따라 노선간 연계운행이 곤란하고 철도산업의 경쟁력도 약화되는 등 많은 문제점이 제기되고 있음.

○ 이를 개선하기 위해 현재 유럽의 신호시스템 표준규격(ETCS Lv2)과 LTE기술을 활용한 무선기반의 신호시스템(KRTCS_2)가 개발 및 실용화 단계에 있음.

○ 하지만 유럽의 경우 기존 시스템보다 진보한 신호시스템 표준규격(ETCS Lv3)이 운영중에 있으며, 국내 신호시스템 부분의 해외시장 선점, 선도기술확보 등을 위해선 차기 신호시스템 개발이 필요함.

○ 본 과제에서 경제성분석을 수행한 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 연구는 현 KRTCS_2를 보완 개발하는 연구로 유럽의 신호시스템 표준규격(ETCS Lv3)급 이상의 차세대 신호시스템에 대한 기술개발 연구임.

○ 이에 본 과제는 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 연구가 향후 어떠한 기대효과를 가져오는 지, 경제적 타당성은 어떠한지에 대해 분석하고 검토함.

나. 연구의 내용 및 방법

○ 본 연구는 연구기획 단계에 있는 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 효과에 대한 경제적 타당성을 평가하기 위함임.

○ 이에 연구의 기술내용을 검토하고 경제성평가 관련 문헌을 검토하여 본 연구의 기대효과를 검토함.

○ 연구개발 비용 및 기대효과에 따른 편익을 바탕으로 경제성 분석을 수행하여 본 연구의 경제적 타당성을 검토

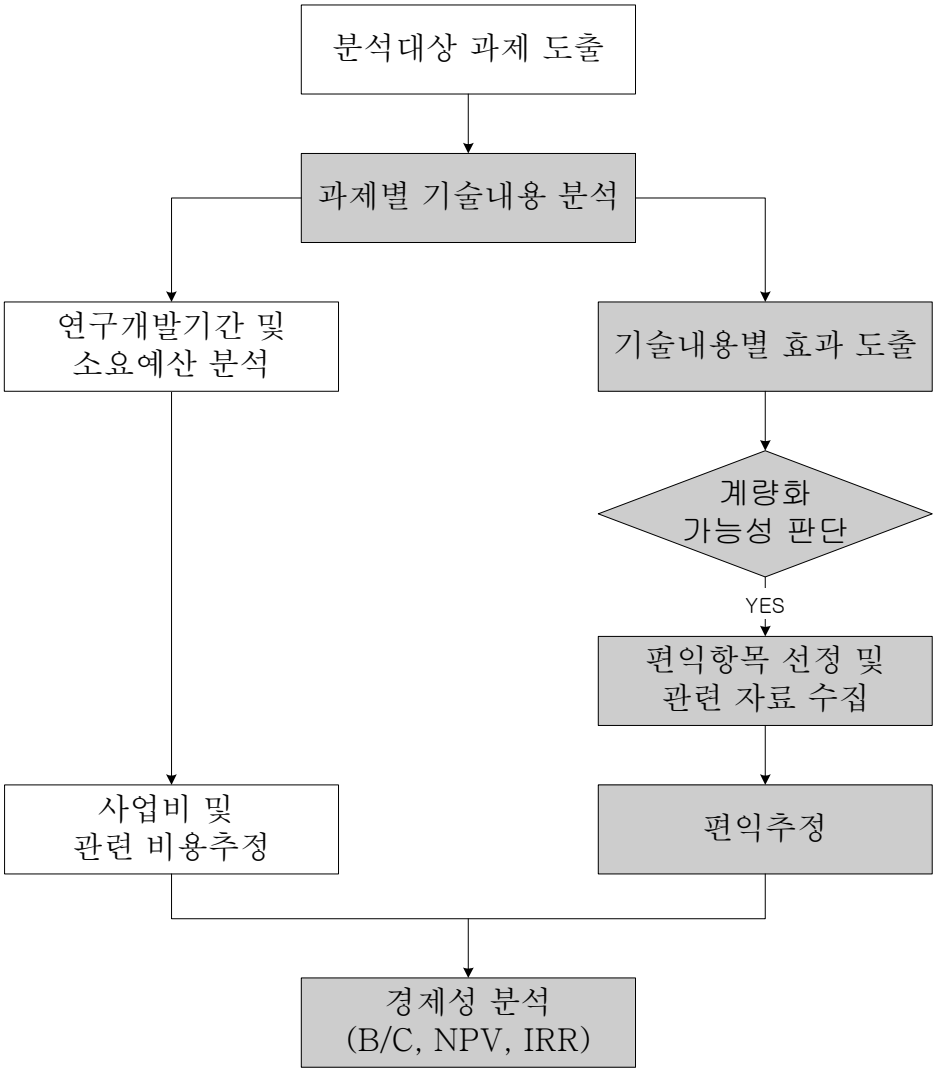
다. 연구 수행 절차

○ 본 연구의 수행절차는 [그림 2]에서 음영부분이 본 연구에서 수행하는 내용이며, 음영이 없는 부분은 한국철도기술연구원에서 도출된 내용을 활용하여 분석에 반영함.

---

4) KISTEP(2011), 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)을 참조

5) Jaffe(2004), Powell(2006), Tassey(2003)



[그림 1] 편익항목 도출 및 경제성 분석절차

2. 경제적 타당성 분석방법론 개발

가. 타당성 분석 방법론 설정[4)]

○ 2011년 상반기까지 진행된 국가연구개발사업의 예비타당성조사 사례 중 참고할 내용과 조사를 수행함에 있어 고려할 선행연구를 정리

○ KISTEP(2011)의 지침연구에서는 다음과 같은 항목을 중심으로 공평한 의사결정을 위한 표준화된 방향을 설정

- 의사결정 구조 및 방식(AHP, 가중치)
- 항목별 분석요소
- 최종 결과(종합결론, 항목별 결론)
- 분석방법
- 기초자료

○ 합리적 의사결정을 위해 지침 세부내용을 기술적 타당성, 정책적 타당성, 경제적 타

당성 그리고 종합분석의 순서로 구성

- 추상적 내용에 대한 이해를 돕기 위해 예비타당성 조사 실무사례를 소개

○ 이 외에도 평점체계의 표준화, 연구개발과제의 표준단가 제시, 편익추정의 표준화를 위한 기초연구 등을 제시

○ 편익의 개념과 유형

- 예비타당성조사 일반지침에 따르면 편익은 다양한 유형으로 분류 가능함.

· 첫째, 실질적인(Real) 편익과 금전적인(Pecuniary) 편익으로 구분할 수 있는데, 실질적인 편익은 공공사업에 의해 발생한 진정한 편익으로, 국민생산 또는 사회후생의 증가를 통해 국민들이 실제로 받는 혜택을 의미. 금전적 편익은 공공사업에 의해 발생한 화폐적 가격의 변화 때문에 발생한 편익으로 화폐가치로 측정될 수 있다는 의미가 아니라, 순전히 화폐적 현상에 의한 효과라는 의미로 '실질적'인 의미와는 구별되는 개념. 통상적으로 예비타당성 조사에서는 실질적인 편익만을 고려하며, 금전적인 편익을 계산에 포함시키면 이중계산 또는 과대계산의 착오를 범하게 될 가능성이 존재

- 둘째, 편익의 발생형태가 내부적(Internal)으로 발생하느냐 혹은 외부적(External)으로 발생하느냐에 따른 구분으로 두 가지 경우 모두 실질적인 편익일 경우 예비타당성 조사의 편익추정 범위에 포함

- 마지막으로 해당 사업의 일차적인 목적과 관련된 직접적 편익과 2차적인 효과, 즉 부산물적 성격을 가지고 있는 간접적 편익으로 구분됨. 앞에서 언급한 실질적 편익은 직접적일수도 있고 간접적일 수도 있음에 유의

○ 주요 사업에 따른 경제적 편익의 형태는 다음과 같이 3가지로 구분

- 첫째, 농업사업 및 공업사업과 같이 최종산출물의 형태가 확실하고 이것이 소비자들에게 최종소비재로서 사용될 경우 부가가치가 사업편익으로 포함될 수 있음.

- 둘째, 교통사업이나 공익사업과 같이 산출물이 최종소비재의 성격보다는 중간재(Intermediary goods)의 성격을 가질 경우 이 산출물에 의해 발생한 비용절감효과(cost-saving effects)가 사업의 편익이 될 수 있음.

- 마지막으로 사회정책사업처럼 산출물이 질적 개념일 경우에는 비용효과분석을 이용하여 편익측정 문제를 해결할 수 있음.

○ 예비타당성 조사에서 고려되는 편익은 재무적 편익이 아닌 경제적 편익이며 일반적으로 다음과 같은 효과는 고려대상에서 제외

- 금전적 편익에 해당하는 파급효과

- 계량화가 곤란하거나 측정방법론이 정립되지 않은 편익

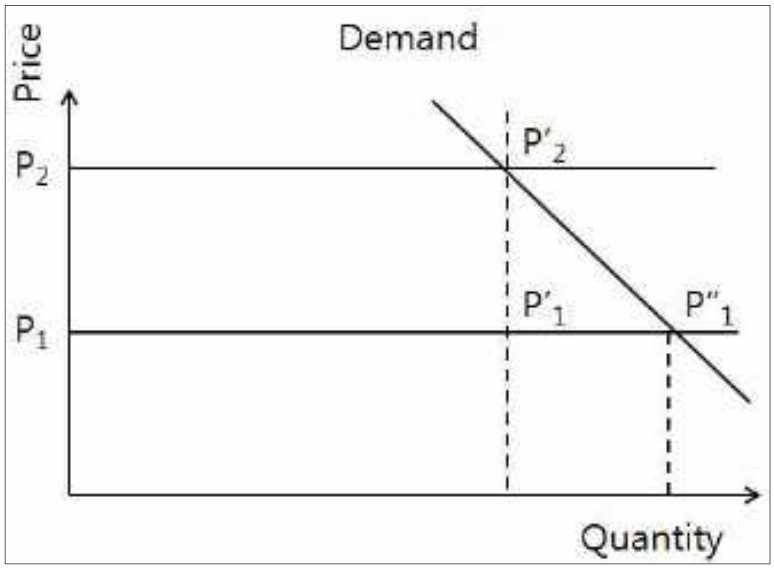
- 편익의 기준이 부재하거나 편익의 산정에 논란이 있는 경우

○ 국가 R&D 사업의 편익은 연구개발투자로 인한 경제적 수익 또는 효과라는 측면에서 접근

- Griliches(1958)는 연구개발투자로 인하여 발생하는 소비자 잉여의 증가분을 편익으로 정의하였으며, 이러한 소비자 잉여의 증가분은 연구개발사업으로 인하여 발생한 혁신 또는 기술이 새롭게 형성하는 시장균형(시장규모)를 토대로 정의.

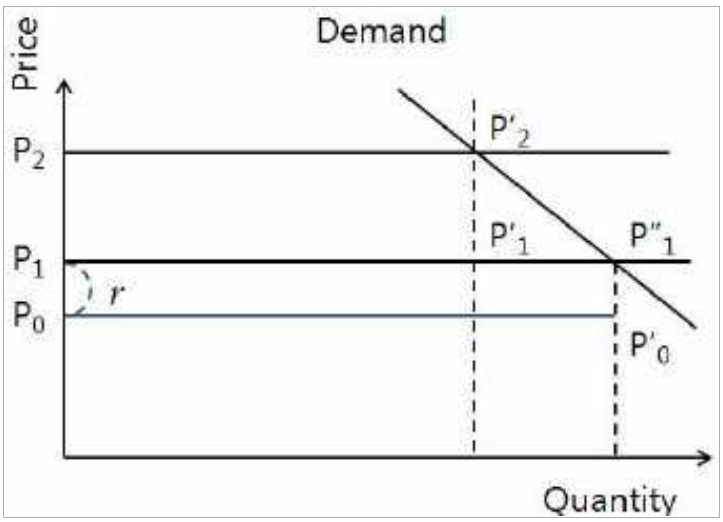
· 구체적으로 연구개발사업을 통한 혁신 또는 기술에 의하여 시장의 평균가격이 하락($P_2 \rightarrow P_1$)하게 되며, 평균가격의 하락으로 인하여 새롭게 발생하는 시장균형(P_1'')과 기존의 시장균형(P_2')의 차이에 의해 소비자 잉여의 증가분이 발생

· 추가적으로 발생한 소비자 잉여의 증가분은 [그림]에서 $\square P_2 P_2' P_1'' P_1$의 넓이를 계산하여 구할 수 있으며, 이렇게 증가한 소비자 잉여의 증가분을 연구개발사업의 사회적인 편익으로 정의



〔그림 2〕 Griliches(1958)에서 제시하고 있는 R&D 편익

- Mansfield et al.(1977)은 Griliches의 연구에서 추가적으로 혁신으로 인해 발생하는 생산자 잉여(Producer surplus)를 편익으로 정의함.



[그림 3] Mansfield et al.(1977)의 R&D 편익산정범위

· Griliches와 달리 Mansfield et. al.은 기업은 국가연구개발사업으로 인하여 발생한 혁신과 기술에 의하여 시장내에서 경쟁력을 얻게 되며, 이를 통하여 생산자 잉여가 발생함을 강조. 혁신을 이용하여 생산자가 획득하는 기술 혹은 제품 단위당 이익은 완전경쟁시장이 아니라는 가정이 있어야만 가능. 이렇게 발생한 생산자 잉여를 민간편익(Private Benefit)라는 개념으로 전체 편익에 포함하여 추정

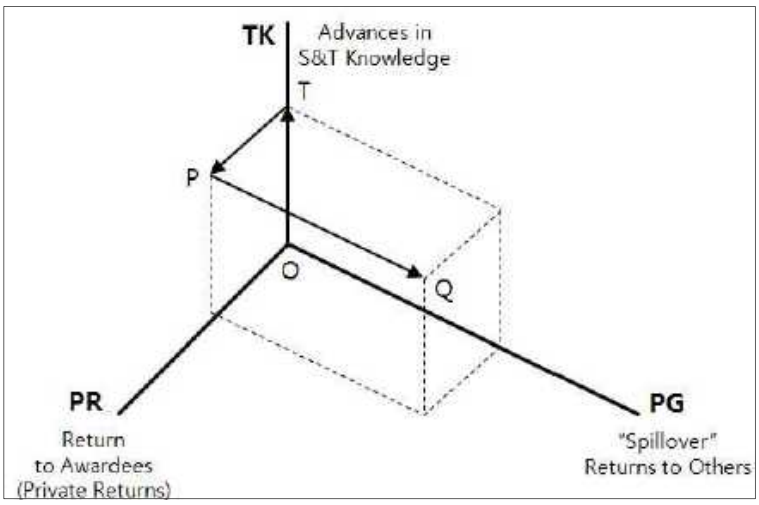
· [그림]에서 Mansfield et. al.은 Griliches의 소비자잉여에 r이라는 단위 당 이익의 개념을 추가하여 생산자잉여($\square P_2 P_1'' P_0' P_0$)를 정의

- Hall(1995)은 R&D의 효과를 사회적 수입과 사회적 비용의 차이로 정의하고, 사회적 수익은 연구개발투자로 인해 사회에 발생하는 이익으로 정의.

· Griffith et al.(2001)은 OECD International Sectoral Database의 자료를 활용하여 연구개발사업으로 인한 파급효과를 사회적 수익을 추정하기 위한 효과로 제시한 바 있으며, Griffith et al.(2003)은 기업 연구개발사업 설문자료와 연간생산자료를 활용하여 영국제조산업의 생산성에 연구개발사업이 미치는 영향과 이로 인한 파급효과를 분석

· Spender(1996)는 국가연구개발투자사업의 편익을 과학기술 지식, 민간의 수익, 파급효과 등의 세가지로 구분하여 정의

· Spender가 소개한 국가연구개발투자편익은 미국 Advance Technology Program(이하 ATP)에서 적용하고 있는 편익의 정의에 기반([그림] 참조)



[그림 4] Spender에 의해 정의된 R&D투자 편익추정 범위

- 미국 ATP의 경제성 분석[5]에서는 연구개발 추진을 통한 수혜를 파급의 관점에서 지식파급, 시장파급, 네트워크 파급으로 구분하여 설명

○ 연구개발부문 예비타당성조사 편익항목

<표 1> 연구개발부문 예비타당성조사 편익항목

구분	반영	미반영
정(+)의 가치증가	· 부가가치 증대 - 신기술 적용을 통한 생산량 증가 · 기술거래 - 기술이전에 의한 로열티 수입	· 과학기술지식, 지역개발효과, 시장권 확대, 생산유발효과, 고용유발효과 등
부(-)의 가치감소	· 비용절감 - 생산투입 자원 및 시간의 절감 - 연구기간, 출장회수 등의 연구수행비용 절감 - 물류비용 절감 · 피해비용감소 - 자연재해로 인한 피해 감소 · 질병비용절감 · 환경비용절감	-

○ 국가R&D사업 편익항목 분류

<표 2> 국가R&D사업 편익항목 분류

편익항목 분류	설명
기술개발에 의한 편익	· 연구개발사업으로 인하여 발생하는 기술과 제품으로부터 발생하는 부가가치 또는 비용절감분
시설구축에 의한 편익	· 건물/시설/연구소 건립에 투입되는 연구개발투자를 통해 발생하는 부가가치
장비구축에 의한 편익	· 연구개발사업의 장비 구입 및 인프라 구축으로 인하여 운영자 입장에서 발생하는 사용료 수입, 이용자 입장에서 발생하는 비용절감분, 기초 연구의 체질개선과 관련된 과학기술적 편익 등

○ R&D사업 편익추정 방법

<표 3> R&D 사업 편익추정방법 분류

대분류	세부분류	비고
가치 창출	시장수요접근법	· 미래시장 또는 수요에 의해 발생하는 부가가치 중 해당 R&D에 따른 비율 적용
	로열티수입접근법	· 로열티로 인하여 발생하는 편익 계산
비용 감소	생산비용접근법	· 생산(내수, 수출)과 관련된 모든 과정에 투입되는 비용의 절감액 추정
	피해비용접근법	· R&D에 따른 효과로 사회적 피해비용 절감액 추정

○ 고려사항

- 기초자료

· 국가통계자료를 기본

· 다만, 예비타당성 조사 목적에 적합한 사업별 세부자료가 구축되어 있고 연구진이 국가통계자료 및 NTIS자료 대신 해당자료를 활용하는 것이 적합하다고 판단할 경우 예외적으로 해당자료 사용 가능. 이 경우 해당 자료가 기본자료에 비하여 예비타당성조사 분석에 적합하다고 판단하는 근거, 해당 자료와 기본 자료를 비교한 결과를 모두 보고서에 기술

- 분석범위 설정

· 시간적 범위의 경우 조사 착수 직년 연도 말로 설정

· 공간적 범위는 연구개발투자효과의 비배재성을 반영하여 국내 전체로 설정. 다만, 해당 지식 및 기술의 특성으로 인해 특정 지역으로 한정하여 편익분석을 수행할 수 있으나 이에 대한 근거를 보고서에 기술

- 기준선 설정

· 사업시행효과를 분석하기 위해 사업 시행과 미시행시 각각에 대한 분석을 하여 차이를 비교

- 성장규모의 예측

· 미래 성장규모를 추정함에 있어 시장 성장에 대한 예측이 필요하며, 기존 분석에서는 연평균성장률(Compund Annual Growth Rate, CAGR)을 사용

· 연평균성장률은 관련 산업의 최근 몇 년 동안의 성장률을 기하평균한 값으로 기하평균 성장률이 미래에도 지속된다는 가정을 전제로 함

· 과거 혹은 최근 시장 자료가 있을 경우(각 자료의 특성 분석 필요) 성장규모 예측을 위해 이동평균법, 지수평활법, 성장 및 확산모형, 시계열모형, 그리고 신경망 모형 등을 적용할 수 있음.

<표 4> 자료 특성에 따른 시장규모 예측방법

시장자료 개수	시장자료의 성격	제품/서비스의 수명주기	적용가능모델
충분한 과거 시장 자료 (낮은 성장 이후 급격한 성장)	급격한 성장 이후 감소 혹은 안정화 단계	짧은 수명주기, 긴 수명주기	CAGR, 이동평균, 시계열모형
	급격한 성장 추이	짧은 수명주기	성장 및 확산 모형
		긴 수명주기	지수평활
초기 시장 자료	3개 이상의 자료	짧은 수명주기, 긴 수명주기	성장 및 확산모형
제한적 초기 시장자료	3개 미만의 자료	짧은 수명주기, 긴 수명주기	성장 및 확산모형+전문가 설문이나 컨조인트 설문

<표 5> 자료가 없는 경우 시장규모 예측방법

제품의 특성	유사한 과제제품 데이터 유무	방법론	주의사항
일반적인 제품/서비스	있음	유사추론방법	유사성의 기준
융합제품	많음	유사추론방법 +기술분석	유사성의 기준 가중치 산정
모든제품/서비스	있음, 없음	AHP, 델파이	잠재시장 규모 추정일 뿐 분기별 시장규모 추정이 아님
		컨조인트	

- 기술의 불확실성과 시장의 불확실성

· 연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 편익창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화의 과정이 필요

· 기술의 불확실성은 객관적 계측이 불가능하기 때문에 편익산출 시 반영하지 않는 것을 원칙으로 함

· 상용화를 목표로 하는 사업의 경우에는 관련 분야의 과거 통계자료를 활용하여 R&D사업화 성공률을 산정

- 부가가치율

· 부가가치율은 매출액 중에서 실제 새롭게 창출된 경제적 편익이 차지하는 비율

· 일반적으로 유사 업계 혹은 기업의 일정 기간 부가가치액을 동일기간의 매출액으로 나눈 비율로 정의

- 기타 고려사항

· 편익이 발생하기 시작하는 시점

· 편익 지속기간

나. 편익항목 도출 및 계량화 방법론 관련

○ KISTEP(2006)의 『국가연구개발사업 사전타당성조사에 관한연구』에서는 국가연구개발사업을 기초원천, 산업기술, 그리고 공공복지 등 3가지 사업으로 구분하고, 각 사업별 편익항목을 제시

○ 본 과제의 경우 3가지 분류기준 중 산업기술개발사업에 해당

<표 6> 국가연구개발사업 사전타당성조사에 관한연구의 분석방법(KISTEP, 2006)

구분	편익항목	파급효과 항목	비고
기초원천기술개발사업	1) 유용한 정보축적량의 증가 2) 새로운 방법론의 개발 3) 숙련된 대학원 인력의 배출 4) 전문 네트워크 형성 5) 기술적 문제의 해결 6) 새로운 기업 창출	1) 신산업 창출 토대마련: 기업의 연구개발 투자 촉진, 새로운 기업창출 가능성 2) 국가 위상 제고: 국가 과학기술 수준 향상 기여가능성, 국제적 연구개발활동 기여도 증가	- 구체적인 산출물이 제시되지 않은 사업의 경우 경제성 분석을 수행하지 않고 비용의 적정성만 검증
산업기술개발사업	1) 생산비용 절감: 기술개발 전후의 공정분석(생산 원가 및 시간 측정)을 통해 편익 추정 2) 매출증대: 기존 시장 확대 및 신규 시장 창출로 인한 매출액 증대로서 국내외 시장규모 및 성장률, 예상 점유율 등 추정	1) 고용창출: 유사 공장 규모, 관련 산업 규모 2) 무역수지 개선: 수출액 및 수입액 추이, 기술이전비용, 로열티 3) 기타효과: 경영마인드 제고, 사기 진작 및 생산율 제고	- 산업기술개발사업의 경우 최종산출물이 구체적이므로 비용-편익 분석을 수행함
공공복지기술개발사업	1) 연료비 절감효과 2) 오염물질 감소 3) 교통비용 감소 4) 재해방지 5) 의료비용 감소	1) 국민행복지수(생활만족도): 사망 및 사고 감소, 수명연장, 사회적 불균형 해소, 작업환경 개선, 국민적 자긍심 고취 2) 국가안전 보장: 에너지 안보, 자원 확보, 식량 안보	- 최종산출물이 구체적이어서 계량적 추산이 가능한 경우 비용-편익 분석을 수행함

다. 기존 연구 사례조사

(1) 사업별 분석사례

□ 철도 통합무선망 구축(정보화)사업(예비타당성 조사 보고서, 2006, KDI)

○ 이 사업은 국가통합지휘무선통신망과 연동하여 재해·재난 발생시 신속하고 일사분란한 현장지휘체계를 확립하는 기술

- 또한, 열차운전사령통화방식을 단일화하여 효율적 운전지령 및 열차안전운행 확보
- 고속열차와 지상간 차상시스템 운전정보를 실시간 통신함으로써 고속열차 고장시 신속한 대처 및 여객서비스 향상

○ 본 사업의 세부 사업내용으로는 전국철도구간 열차무선설비를 개량하는 사업으로 기존 ASTRO, VHF 방식에서 TETRA 방식으로 전환

○ 타당성 검토를 위해 효과로는 무선통신망활용에 따른 상용업무 개선효과와 재난대응

업무 개선효과로 검토

- 상용업무 개선효과로는 BSC모형의 인과관계틀에 따라 편익은 사고예방으로 인한 손실감소, 연착에 의한 기회비용감소효과, 열차증편에 의한 수익증대효과로 구분
- 재난대응에 의한 피해감소효과는 충돌과 같은 순간적인 사고에서 효과적인 재난대응으로 사망자감소효과, 화재 등의 진행형 재난에서 피해의 감소효과로 구분

○ 경재성분석은 기술의 기여율에 따라 구분하였으며, 각각 1, 2, 4, 6, 8, 10%에 기여율에 따른 B/C를 도출함.

- 기여율 10%일대 B/C 1.01로 가장 높은 것으로 나타났으나, 현실적으로 기여율 10%까지는 힘들다고 검토되었으며, 사업의 타당성은 확보되지 않는 것으로 검토됨.

□ 하이브리드 담수화 플랜트 기술기획 보고서(한국건설교통기술평가원, 2012)

○ 이 과제는 신개념 탈염기술을 역삼투 공정과 조합함으로써 에너지와 환경부하 문제를 동시에 해결할 수 있는 미래선도형 기술

○ 해당 기술과 관련 정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술, 정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발, 신소재 정·역삼투 막제조 기술, 그리고 저비용 전처리 기술개발 등 4가지 세부기술로 구성

○ 본 사업의 타당성을 검토하기 위해 정책적/기술적/경제적 타당성을 검토

- 이와 관련 경제적 타당성 분석 시 편익산출을 위해 해당 R&D에 의한 부가가치의 증대를 편익으로 고려
- 이러한 부가가치 증대를 환산하기 위해, 시장규모, 시장점유율, 기술기여도, R&D기여도, 그리고 할인율 등 5가지 요소를 고려하여 경제성 분석을 수행
- 특히, 시장점유율의 경우 해당 사업의 전략목표치(세계 시장 10% 점유)를 이용하였으며, 기술기여도를 측정하기 위해 4분법(25%)을 일괄 적용하였으며, R&D기여도는 KISTEP(2006)의 『R&D분야 예비타당성 조사 수행을 위한 지침연구』 내용을 준용하여 10.9%를 적용. 할인율은 10년만기 국고채 금리인 4.3%를 적용
- 분석기간은 기술개발 후 10년동안 편익이 발생하는 것으로 가정하였으며, 분석결과 B/C는 4.7로 경제적 타당성을 확보하는 것으로 제시

□ 지능형자동차 상용화 연구기반구축 및 기술개발사업(예비타당성 조사 보고서, 2008, KISTEP)

○ 이 사업은 지능형 자동차 핵심부품산업을 집중 육성할 수 있는 상용화연구기반을 구축하고 중소부품업체의 기술개발 지언을 통해 국내 자동차 부품업체의 경쟁력 확보를 통해 글로벌 부품 공급기지화를 목적으로 함.

○ 사업내용은 연구기반구축과 연구개발로 구분되며, 연구기반구축의 경우 3가지 세부사업, 연구개발사업의 경우 지능형 자동차 핵심요소 부품기술, 지능형 자동차 모듈

및 시스템 기술, 그리고 ITS지능형 자동차 표준화 선도기술 등 3가지 세부사업으로 구성

- 하지만, 실질적으로 이 예비타당성 조사에서는 기반구축 사업에 한해서만 이루어짐.

□ **한국항공정책연구소, 공항시설 안전관리 기술 개발에 대한 경제적 타당성 및 파급효과**

○ 경제성 분석은 비용편익분석법 적용: 순현재가치(NPV), 편익/비용 비율(B/C), 내부수익률(IRR)

○ 기술의 편익은 수익접근법 적용

○ 민감도 분석 수행: 비용, 편익, 할인율

○ 분석기간: 20년

○ 할인율: 6.5%

○ 편익항목: 항공사고 감소비용, 공항운영비 감소비용, 공항내사고 감소비용, 공항운영비 감소비용, 기술기여도를 이용하여 공항시설 안전관리 시스템개발로 인한 편익 산출, 과주 및 사전착지사고 감소비용, 활주로 폐쇄기간 감소비용, 기술기여도를 이용하여 항공기 이탈/손상방지 시스템개발로 인한 편익 산출

○ 경제적 파급효과는 산업연관분석법 적용

○ 연구개발 투자에 따른 파급효과, 시스템 설치 및 운영에 따른 파급효과 산출

(2) 분석방법별 사례검토

□ **시장수요접근법 적용 사례1**

○ [사업개요] 전기차/에너지저장용 이차전지와 관련 부품/소재 공급기반을 구축하고자 함

○ [편익항목설정] 편익의 범위는 핵심부품소재개발, 전지제조기술개발로 인한 편익이며 이는 기술개발에 의한 편익으로 분류 가능함

○ [해당 편익추정분석 방법론] 본 사업에서 기술개발에 의한 편익항목을 추정하기 위하여 시장수요접근법을 적용하고 있음

○ 기술개발에 의한 편익

= 추가창출시장규모 × 국내 예상시장 점유율 × 사업기여율 × 부가가치율 × R&D사업화성공률 × R&D 기여율

○ [해당 편익추정분석 구성 요소 및 근거]

- 추가창출시장규모: 세부과제별로 시장규모를 추정. 1.핵심부품소재 개발부문의 경우 사업계획서에 기재된 2008, 2011, 2015, 2020년의 추정치 기준 CAGR을 이용하여 추정(CAGR를 50%할인). 2.전지제조기술분야의 경우 리튬이온전지, 커패시터 등의 세계시장 전체 자료(Hiedge, IIT)를 적용(CAGR를 50%할인)

- 국내 예상시장 점유율: 3%, 4%, 5%로 가정하여 분석

- 사업기여율: 동사업 투자규모 / (민간 이차전지 연구개발 투자규모 + 정부 이차전지 연구개발 투자규모 + 동사업 투자규모) 로 계산
- 부가가치율: 26.0%, 한국은행 '산업연관표'의 '발전기, 전동기 및 전기변환장치'산업분류 계산 값 적용
- R&D사업화성공률: 산업기술개발분야의 '전기전자'분류 항목 내 '전지'에 해당하는 사업화성공률 25.0% 이용
- R&D기여율: 28.1%, 신태영(2004) 적용

○ [경제적 타당성 분석결과] 전체적으로 본 사업의 편익-비용 비율(B/C ratio)은 0.87~1.04에 이르는 것으로 분석됨

□ 시장수요접근법 적용 사례2

○ [사업개요] 방사선융합 기술분야의 연구 활성화와 관련 국내산업 보호를 위하여, 국내 주요 방사선 기기의 원천기술 확보 및 관련 제품의 산업화와 인프라를 구축함으로써 거점화를 추진하고자 함

○ [편익항목설정] 본 사업의 편익은 R&D에 의한 부가가치의 증대, 장비사용에 의한 수수료, 그리고 잔존가치로 구분 할 수 있으며, R&D에 의한 부가가치의 증대는 기술개발에 의한 편익으로 분류가 가능함

○ [해당 편익추정분석 방법론] 본 사업에서 기술개발에 의한 편익항목을 추정하기 위하여 시장수요접근법을 적용하고 있음

○ 기술개발에 의한 편익

= 국내시장규모 × 국산점유율 × 사업기여율 × 부가가치율 × R&D사업화성공률 × R&D 기여율

○ [해당 편익추정분석 구성 요소 및 근거]

- 국내시장 규모: 동위원소산업협회의 통계자료, 무역협회의 수출입통계, 의료기기산업협회의 관련기기 생산 및 수출입 통계자료 이용하여 추정
- 국산점유율: 국내생산과 수입의 합을 국내시장규모로 정의, 기존 자료를 기반으로 가정(시나리오분석)
- 사업기여율: [동사업 투자규모 / (민간 연구개발 투자규모+정부 연구개발 투자규모+동사업 투자규모)] 로 계산
- 부가가치율: 31%, 한국은행 '기업경영분석' 적용
- R&D사업화성공률: 32.7%, 산업기술개발사업의 평균성공률 적용 (산자부 32.0%, 과기부 13.0%, 정통부 17.0%)
- R&D기여율: 28.1%(신태영), 10.9%(하준경)를 차등 적용

○ [경제적 타당성 분석결과] 시나리오 몇 민감도분석 별 경제적 타당성 분석 결과, 전

체적으로 본 사업의 편익-비용

○ 비율(B/C ratio)은 0.14~0.62에 이르는 것으로 분석됨

□ 시장수요접근법 적용 사례3

○ [사업개요] 배출가스 규제를 만족하고 2012년 지구 온난화가스 규제에 대응할 수 있는 클린 디젤자동차의 핵심부품 개발 및 관련 기반 구축을 목표로 함

○ [편익항목설정] 본 사업의 편익은 기술개발사업에 의한 편익(수입대체/수출증대)과 기반구축사업에 의한 편익으로 구분 함

○ [해당 편익추정분석 방법론] 본 사업에서 기술개발에 의한 편익항목을 추정하기 위하여 시장수요접근법을 적용하고 있음

○ 기술개발에 의한 편익

= 시장규모[긍정, 중도, 보수 시나리오 구분] × 국내시장점유율 × 적합도 × 부가가치율 × R&D사업화성공률 × R&D 기여율

○ [해당 편익추정분석 구성 요소 및 근거]

- 시장규모: 국내자동차 생산대수-Global Production Summary(CSM), World Car Industry Forecast Report(IHS), Bosch Technical Forum(Bosch), 디젤하이브리드 부품분야-'16년 2%에서 '25년 15%로 로그함수 형태 성장(전문가 자문), A/S 수요-한국자동차공업협동조합
- 국내시장점유율: 5년간 6%점증 후 30.5% 고정, 부품소재 상용화 촉진 및 사업화지원방안에 관한 연구(2008, 한국부품소재산업진흥원)
- 적합도: 전문가설문을 통해 5점 중 평균 3에 미달하는 값은 0을 부여하여 총사업비 및 편익추정에서 제외, 그 외 직접연결가능 시장이 부재한 분야의 경우 편익 및 비용에서 제외
- 부가가치율: 29.5%, 한국은행 및 통계청 자료의 7개년(2002~2008년)평균을 가중 평균한 값
- R&D사업화성공율: 20.2~44.1%, 분야별 전문가설문
- R&D기여율: 26.2%, R&D 스톡 성장기여도 관련논문(STEPI(2007), 신태영(2004), 하준경(2005), 문소상 외 (2004))의 평균값

○ [경제적 타당성 분석결과] 각 시나리오 별 경제적 타당성 분석 결과, 전체적으로 본 사업의 편익-비용 비율(B/C ratio)은 0.87~1.24에 이르는 것으로 분석됨

□ 수익률 가정 접근법 적용 사례1

○ [사업개요] 연구개발을 통해 미래 원천기술개발의 기반을 구축하고, 중입자 치료시스템 기술자립으로 난치성 질환을 치료하고자 함

○ [편익항목설정] 편익항목은 크게 중입자 치료 편익과 연구개발 편익으로 구분함. 이 중 연구개발 편익은 중입자가속기 연구 편익, 임상/의학연구 편익, 생명과학연구 편익으로 구분됨. 이런 연구개발 편익이 기술개발에 의한 편익항목에 해당됨

○ [해당 편익추정분석 방법론] 본 사업에서 연구개발 편익(기술개발에 의한 편익항목)을 추정하기 위하여 투자 대비 수익률 접근법을 적용하고 Mansfield의 연구에서 인용한 '사회적 수익률'을 활용함

○ 기술개발에 의한 편익 = 경상연구비 × 편익유발계수 × 선진국 대비 기술수준

○ [해당 편익추정분석 구성 요소 및 근거]

- 편익유발계수: Mansfield의 연구 결과 도출된 '사회적 수익률' 28%를 기반으로 절반 값인 14% 가정

※ 본 사업에서의 연구개발 활동은 중입자 치료시스템을 기반으로 하여 환자 치료효과 제고 및 치료 효율 향상을 목표로 하고 있으며 그 연구결과가 산업화로 직접 이어지는 것은 아니며, 또한 이와 같은 연구 성과의 상당부분은 치료효과와 치료생산성에 매우 긍정적인 영향을 미치게 되어, 이미 원정치료 편익 및 생존자 경제활동 편익에 일부 반영되어 있다고 볼 수 있어 사회적 수익률을 수정 반영

○ 선진국 대비 기술수준: 가정, 연도별 비율 증가(40% → 75%, 60% → 90%).

○ [경제적 타당성 분석결과] 편익-비용 비율(B/C ratio)은 0.62~1.02로 분석됨

□ 수익률 가정 접근법 적용 사례2

○ [사업개요] 과학기술과 인체가 하나가 되는 미래의 인류를 구현하고, BIT융합 기술분야의 차세대 Global 인재양성과 저탄소 녹색성장을 위한 BIT융합기술연구개발을 목적으로 함

○ [편익항목설정] 본 사업의 편익항목은 추가 연구개발 투자로 인하여 발생하는 편익, 전임상 및 임상시험 장비구축에 의한 편익, 그리고 산학협력단지구성으로 인하여 발생하는 편익으로 구분된. 본 사업의 편익 중 추가 연구개발 투자로 인하여 발생하는 편익이 기술개발에 의한 편익항목으로 정의가 가능함

○ [해당 편익추정분석 방법론] 본 사업에서 추가 연구개발 투자 편익(기술개발에 의한 편익항목)을 추정하기 위하여 투자 대비 수익률 접근법을 적용하고 R&D투자대비 매출액 비율을 활용함

○ 기술개발에 의한 편익

= 추가적 R&D 연구개발비 투자 × 사업화성공률 × R&D 투자대비 매출액 비율 × 부가가치율

○ [해당 편익추정분석 구성 요소 및 근거]

- 사업화성공률: 28.94%, 2008년도 산업기술개발사업 성과활용현황조사 결과보고서(한

국산업기술평가원), 중단/실패 과제를 전체에 포함

- R&D 투자대비 매출액 비율: 19.96%, 연구비투입 5년차 시점 매출발생, 2008년도 산업기술개발사업 성과활용현황조사 결과보고서(한국산업기술평가원)
- 부가가치율: 37.91%, 2007년 기업경영분석(한국은행)

○ [경제적 타당성 분석결과] 각 시나리오 및 민감도분석 별 경제적 타당성 분석 결과, 전체적으로 본 사업의 편익-비용 비율(B/C ratio)은 0.82~1.23에 이르는 것으로 분석됨

라. 시사점 및 연구방향 설정

○ 기존 연구 고찰결과 본 연구의 경제성 분석을 위해서 결정되어야 하는 사항은 다음과 같음

- 본 연구에서 수행하는 경제성 분석은 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발을 대상으로 함.
- 경제성 분석은 비용-편익, 순현재가치 그리고 내부수익률 등의 지표를 활용하여 수행
- 분석기간은 분석대상 사업이 R&D를 통한 기술개발 사업이므로 기술수명기간을 파악 가능할 경우 이를 활용. 또한, 기술개발이후 사업효과가 발생하는 회임기간에 대해서는 사업추진 측에서 5년으로 제시하였기 때문에 이를 감안하여 5년으로 설정
- 사회적 할인율은 일반적인 교통SOC사업에서 적용하는 5.5%를 준용

○ 이러한 사항을 정리하면 <표 10>과 같음.

<표 7> 본 연구개발사업의 경제적 타당성 분석 전제

구분	내용	비고
경제성 분석대상	- 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 사업효과에 대한 경제성 평가	-
경제성 분석방법	- 비용편익분석법	- 경제성 분석 지표로 순현재가치, 비용편익비율, 내부수익률을 활용
분석기간	- 일반적인 교통사업의 경우는 30년을 가정 - R&D예타 표준지침(제1판, 2011)에서는 구체적인 분석기간에 대한 내용은 부재 - 사업효과가 발생하는 회임기간에 대해서는 기초연구는 5년, 개발·응용연구는 3년을 적용	- 필요시,기술수명기간을 도입하여 편익 발생 기간을 산정하도록 제시 - 사업추진 측이 사업계획서에서 별도의 회임기간을 제시할 경우 이를 활용하도록 하고 있음.
사회적 할인율	- 5.5%	- 사회적 할인율에 대한 구체적인 언급은 없음
사업화율	- 기술개발 성공 가능성과 사업화(상용화) 성공 가능성 비율을 적용	- R&D예타 표준지침(제1판, 2011) 참고

○ 분석대상 과제의 경우 비정형 R&D사업이므로 세부과제별 기술개발효과 분석을 통해 합리적인 편익항목을 도출해야 함.

- 이를 위해 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발의 주요 기술내용 및 기술개발 효과를 판단하고, 이를 토대로 계량화가능 여부를 따져 경제성 분석을 위한 편익항목 반영여부를 결정하는 과정이 요구
- 한국철도기술연구원에서 기획하고 있는 R&D의 경우 이미 도시철도용으로 기술개발이 이루어져 상용화단계에 있으며, 해외시장에서 상용중인 기술임에 따라 본 경제성 분석 시 사업성공률은 100%로 가정

3. 관련 기술 검토

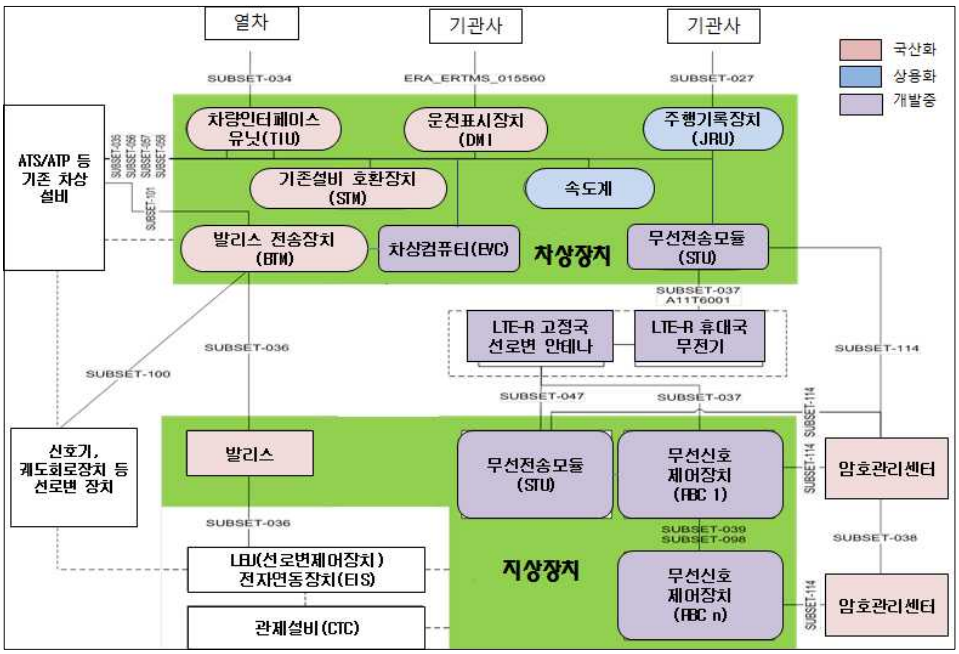
가. 기술개발 내용

○ 무선통신이 발달함에 따라 기존 아날로그 형식의 열차제어시스템을 보완한 무궤도회로방식의 열차제어시스템 개발

- 무선을 이용하여 실시간 열차위치·속도 파악, 충·추돌 방지 등이 가능한 시스템
- 2014년 도시철도용 KRTCS(Korea Radio based Train Control System)개발이 완료되었으며, 현재 고속철도용 KRTCS 연구개발 진행 중

○ 현재 차상·지상장치를 구성하는 부품中, 국산화 또는 상용화된 부품을 제외한 5개 부품*과 차상장치, 지상장치를 개발

- 차상컴퓨터, 무선전송모듈, 무선신호제어장치, LTE-R 고정국・이동국



[그림 5] KRTCS_2 차상/지상장치 구성도

나. 기술개발 효과

○ 노선별로 상이한 신호시스템을 단일 시스템으로 통합함으로써 노선 간 연계운행이용이

- 고속선 ⇔ 일반선 ⇔ 광역철도 간 연계운행 가능하여 운행안전성 향상

○ 무선통신을 기반으로 열차위치를 검지·제어함에 따라, 열차운행효율이 향상되어 수송능력이 증대되고, 유지보수 비용도 절감

- 본 사업의 이전단계인 KRTCS_2 구축 시 약 16%의 수송용량 증대가 가능하며, 유지보수비는 연간 30%(67억원) 절감되는 것으로 검토되어 본 사업 시행시 KRTCS_2 보다 큰 효과를 가져올 것으로 야기됨.
- 열차 운행의 자동화로 기관사의 신호기 오인사고 등 휴먼에러로 인한 사고위험 요인을 감소시켜 열차운행 안전성을 강화

○ 한국형 신호시스템의 실용화를 통해 사업비를 절감하고, 수입대체 효과로 국내 철도신호산업 활성화 기대

- 수입 의존적인 신호시스템의 수입대체 및 무선기반 신호 시스템 도입에 따른 지상설비 최소화로 약 1.7조원 이상의 설치비용 절감
- 기존 KRTCS_2 교체시 고속철도(641km) : km당 30억→22억(ATC가 연동장치 및 기존 설비 철거비 포함)
- 기존 KRTCS_2 교체시 일반철도(4,512km) : km당 3.5억→ 1.5억, 광역철도(727km) : km당 7억→ 3억

○ 국제적인 표준규격을 적용하고 국제인증기관에서 성능·안전성 인증을 획득하여 해외시장 진출 기반 마련 기대

- 세계 시장규모는 년간 17.3조원이며 연평균 증가율은 4.4%('09～'14)
- 아직까지 개념 및 표준체계가 정립되어 있지 않은 완전무선방식 및 자율주행 시스템을 선제적으로 개발하여 신호시장 및 기술 선도

4. 경제성 분석

가. 분석 전제

○ 본 연구에서 수행하는 경제성 분석은 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발을 대상으로 함.

○ 경제성 분석은 비용-편익, 순현재가치 그리고 내부수익률 등의 지표를 활용하여 수행

○ 분석기간은 철도부품 및 시스템 개발 및 개발이후 적용을 감안하여 현재 철도부문 SOC사업의 경제성분석기간과 동일한 40년으로 설정함.

○ 사회적 할인율은 일반적인 교통SOC사업에서 적용하는 30년까지 4.5%, 이후 3.5%를 준용

○ 이러한 사항을 정리하면 <표 8>과 같음.

<표 8> 경제적 타당성 분석 전제

구분	내용
경제성 분석대상	- 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 사업효과에 대한 경제성 평가
경제성 분석방법	- 비용편익분석법
분석기간	- 철도부문 SOC사업과 동일한 40년 설정
사회적 할인율	- 구축 후 30년까지 4.5%, 이후 3.5% 적용
사업화율	- 100%

나. 비용 및 편익항목 도출

(1) 비용 검토

○ 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 내용은 궤도회로 없이 열차와 선로, 열차와 열차 간 직접 통신을 통해 자율주행이 가능한 열차제어시스템을 개발하고, 이 중 고속철도용

○ 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발에 따른 비용과 편익을 추정하여 경제성 분석을 수행

- 합리적 경제성 분석수행을 위해 연구기간, 비용, 그리고 편익산정을 위한 기초자료는 한국철도기술연구원에서 협조를 받아 활용

다. 편익산정

(1) 차상장치 및 지상장치 개량비 절감

○ 차상장치 및 지상장치의 개량비는 현 시스템 개량비와 본 사업의 구축비용의 차이를 통해 개량비 절감편익을 산출함.

○ 현재 본 연구를 통해 개발될 시스템 구축비용을 명확히 제시되지 않았으며, 이를 현재 개발 및 상용화 단계에 있는 KRTCS-2의 구축비용을 기준으로 산출함.

○ 이를 통해 차상장치 개량비의 경우 총 42,750백만원, 지상장치 개량비의 경우 총 853,331백만원의 절감효과가 발생되는 것으로 검토됨.

<표 9> 주요 연구내용

구분	내용	적용사항
연구기간	· 2014년 1월~2017년 12월(4년)	· 4년
비용추정	· 기술개발비용 · 차상장치 구축비용 · 지상장치 구축비용 · 유지보수비용	· 23,000 백만원 · 142,500 백만원 · 1,427,500 백만원 · 연간 5,200 백만원
분석기간	· 기술개발 및 적용으로 인해 편익이 발생하는 기간	· 40년
회임기간	· 기술개발 후 편익발생 까지 소요 기간	· 미적용
사업효과 및 편익항목	· 기술적 파급효과 - 무궤도회로 열차제어시스템 기술력 확보[1)] · 경제적 파급효과 - 수입에 의존하는 열차제어시스템의 국산화로 수입대체 효과 - 열차운행효율 및 안전성 증대 효과 - 기술개발에 따른 선로용량 증대효과 - 대외 경쟁력화보를 통한 해외시장 진출효과[2)]	· 편익항목 -유지보수비용절감편익 -차상장치개량비절감편익 -지상장치개량비절감편익 -연착율감소편익 -선로용량 증대에 따른 4대편익
기초자료	· 현 시스템 차상장치 개량비 · KRTCS-2[3)] 차상장치 개량비 · 현 시스템 지상장치 개량비 · KRTCS-2[3)] 지상장치 개량비 · 현 시스템 유지관리비용 · KRTCS-2[3)] 유지관리비용	· 199,500 백만원 · 142,500 백만원 · 1,923,000 백만원 · 1,427,500 백만원 · 10,400 백만원 · 7,716 백만원

주 1) 한국철도공사 및 한국철도시설공단에서 장래 차상 및 지상장치 구축계획을 수립하였기에 이를 반영하여 회임기간은 반영하지 않음.
2) 이러한 파급효과의 경우 향후 대내외적 여건의 불확실성과 기술수준의 불명확성으로 계량화는 어려운 항목으로 경제성 분석 시 편익항목으로 반영하지 않음.
3) 현 개발사업은 KRTCS-3에 해당하며, KRTCS-3의 개량비 및 유지관리비가 구체적으로 정해지지않아 KRTCS-2의 비용을 이용하여 편익값을 산출

<표 10> 차상장치 개량비 절감비용

(단위:백만원)

구분	차량 대수	현 시스템(A)		KRTCS-2(B)		본 연구(C)		절감 비용 (A-C)
		대당 단가	구축비	대당 단가	구축비	대당 단가	구축비	
고속차량(ATC)	285	700	199,500	500	142,500	550	156,750	42,750

주) 본 사업의 대당 단가는 「ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways-Final Report」에 제시된 ERTMS-Level2 대비 ERTMS-Level3의 설비장치 비용이 10% 높다는 전문가의견을 반영하여 이를 적용

<표 11> 지상장치 개량비 절감비용

(단위:백만원)

구분	노선 길이 (단위: Km)	현 시스템(A)		KRTCS-2(B)		본 연구(C)		절감 비용 (A-C)
		km당 단가	구축비	km당 단가	구축비	km당 단가	구축비	
고속철도(ATC)	641	3,000	1,923,000	2,225	1,427,500	1,669	1,069,669	853,331

주) 본 사업의 대당 단가는 「ERTMS Level 3 Risks and Benefits to UK Railways-Final Report」에 제시된 ERTMS-Level2 대비 ERTMS-Level3의 설비장치 비용 비율 75%를 적용하여 산출함.

(2) 유지보수비 절감

○ 유지보수비의 경우 본 기술개발의 km당 유지보수비 단가가 없어 KRTCS-2의 유지보수비와 유사한 수준이라 가정*하고 현 시스템과 KRTCS-2의 유지보수비 차이를 본 연구의 유지보수비 절감 편익으로 준용함.

* 열차분리검지, 궤도절손검지를 목적으로 기존 설치된 궤도회로를 사용함.

○ 유지보수비 절감비용 산출결과 연간 약 2,962백만원이 산출됨.

<표 12> 유지보수비 절감비용

(단위:백만원)

구분	노선길이 (단위:Km)	현 시스템		KRTCS-2		절감비용 (A-B)
		km당 단가	구축비	km당 단가	구축비	
고속차량(ATC)	641	17.90	11,474	13.28	8,512	2,962

(3) 열차 연착율 감소

○ 열차 연착율 감소 편익의 경우 연간 열차 연착건수를 토대로 연간 1인당 총 연착시간을 도출

○ 이후 열차 연착원인 중 신호/전기에 따른 연착비율 2.06%와 KTDB에서 제공하는 철도 1인당 시간가치 8,572원을 적용하여 최종 연착율 감소편익을 도출함.

○ 열차 연착율 감소 편익 산출결과 연간 약 7.6억원이 산출됨.

(4) 선로용량 확충에 따른 편익

○ 본 연구개발 시 선로용량 증대효과를 고려하여 교통수요예측 프로그램인 Emme/3를 이용해 선로용량확충에 따른 장래 열차운행횟수 증가로 인한 편익을 산정함.

○ 선로용량 확충에 따른 편익항목으로는 교통SOC사업의 타당성평가시 일반적으로 적용되는 통행시간절감, 운행비용감소, 교통사고절감, 환경비용절감 등 4대편익을 적용.

○ 산출결과 선로용량 확충에 따른 4대편익의 경우 연간 3,073 ~ 3,207억원 수준으로 검토됨.

<표 13> 연간 KTX 승객1인당 총 연착시간

구분	연착건수 (2007년 상반기)	연간 연착건수	지연시간	연평균 연착시간	열차1편성당평균 고객수	연간 총 연착시간
10분이내	1,809	3,618	18,090	498시간	885명	440,583시간
10~20	295	590	8,850			
20~30	19	38	950			
30분이상	22	44	1,980			
합계	2,145건	4,290건	29,870시간			

<표 14> 열차 연착 원인 비율

구분	영업관계	차량관계	선로관계	신호전기	운전관계	기타	합계
2010년	1,253	500	459	241	2,625	1,424	6,502
2011년	1,832	612	533	186	3,572	1,845	8,580
2012년	3,798	837	1,851	192	5,064	3,291	15,033
합계	6,883	1,949	2,843	619	11,261	6,560	30,115
비율	22.86%	6.47%	9.44%	2.06%	37.39%	21.78%	100.00%

<표 15> 선로용량 확충에 따른 4대편익

(단위 : 백만원/년)

구분	통행시간절감	운행비용절감	교통사고절감	환경비용절감	합계
2030년	177,685	105,472	15,369	11,482	310,008
2035년	183,713	108,776	15,797	12,381	320,667
2040년	182,441	105,186	15,217	12,903	315,747
2045년	177,427	102,246	15,044	12,600	307,317

(5) 편익 산정 결과

○ 편익 산정결과 연간 약 97,287백만원이 발생되는 것으로 검토됨.

<표 16> 편익산정 결과

(단위 : 백만원/년)

과제명	차상장치 개량비 절감편익	지상장치 개량비 절감편익	유지 보수비 절감편익	열차 연착율 감소편익	선로용량 확충에 따른 편익	합계
무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 효과	4,275	213,332	2,962	760	315,747	537,076

3. 경제성 분석 결과

○ 분석결과 B/C는 3.07로 경제적 타당성을 확보하는 것으로 검토됨.

<표 17> 경제성 분석결과

구 분	B/C	NPV(백만원)	IRR(%)
무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발	3.65	27,992	22.56

4. 결론 및 정책제언

가. 결론

○ 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발에 대한 경제석 타당성분석을 수행

○ 합리적 분석을 위해 기본적으로 한국철도기술연구원에서 제공한 관련 자료를 토대로 경제성 분석을 수행

○ 경제성 분석을 위한 기본적 방법과 절차는 한국과학기술기획평가원에서 발간한 「연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제1판)」, 「도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」을 준용

○ 분석결과 B/C는 3.65로 경제적 타당성을 확보하는 것으로 검토됨.

○ 본 연구에서 수행한 경제성 분석결과에서는 구득 가능한 자료를 토대로 한정된 편익만을 반영하였으나, 향후 면밀한 분석을 토대로 추가 자료를 얻을 수 있다면 분석결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨.

<표 18> 경제성 분석 결과

(단위 : 억원)

년도	비용				편익					현재가	
	기술개발비용	차상장치개량비	지상장치개량비	유지보수비	차상장치개량비절감	지상장치개량비절감	유지보수비절감	연착율감소	선로용량확충효과	비용	편익
2016년											
2017년											
2018년	20.0	30.0			9.0					45.8	8.2
2019년	60.0	35.0			10.5					83.2	9.2
2020년	100.0	120.0			36.0					184.5	30.2
2021년	50.0	70.0			21.0					96.3	16.9
2022년		30.0			0.0					0.0	0.0
2023년		265.0			69.0					169.0	50.7
2024년		350.0	2908.0		69.0	1740.0				2206.6	1272.1
2025년		300.0			69.0					154.8	46.4
2026년		240.0	4058.0		72.0	2430.0				2767.6	1611.1
2027년		240.0			72.0					147.9	44.4
2028년			1359.0			814.6				801.4	480.4
2029년			5950.0			3571.8				3357.4	2015.5
2030년				52.0			29.6	7.6	3,100.1	28.1	1694.0
2031년				52.0			29.6	7.6	3,121.4	26.9	1632.1
2032년				52.0			29.6	7.6	3,142.7	25.7	1572.4
2033년				52.0			29.6	7.6	3,164.0	24.6	1514.7
2034년				52.0			29.6	7.6	3,185.4	23.5	1459.2
2035년				52.0			29.6	7.6	3,206.7	22.5	1405.6
2036년				52.0			29.6	7.6	3,196.8	21.6	1341.0
2037년				52.0			29.6	7.6	3,187.0	20.6	1279.3
2038년				52.0			29.6	7.6	3,177.2	19.7	1220.5
2039년				52.0			29.6	7.6	3,167.3	18.9	1164.4
2040년				52.0			29.6	7.6	3,157.5	18.1	1110.8
2041년				52.0			29.6	7.6	3,140.6	17.3	1057.4
2042년				52.0			29.6	7.6	3,123.8	16.6	1006.5
2043년				52.0			29.6	7.6	3,106.9	15.8	958.0
2044년				52.0			29.6	7.6	3,090.0	15.2	911.8
2045년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	14.5	867.8
2046년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	13.9	830.5
2047년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	13.3	794.7
2048년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	12.7	760.5
2049년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	12.2	727.7
2050년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	11.6	696.4
2051년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	11.1	666.4
2052년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	10.7	637.7
2053년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	10.2	610.3
2054년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	9.8	584.0
2055년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	9.3	558.8
2056년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	8.9	534.8
2057년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	8.6	511.7
2058년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	8.2	489.7
2059년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	7.8	468.6
2060년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	7.6	452.8
2061년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	7.3	437.5
2062년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	7.1	422.7
2063년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	6.8	408.4
2064년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	6.6	394.6
2065년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	6.4	381.2
2066년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	6.2	368.3
2067년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	5.9	355.9
2068년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	5.7	343.8
2069년				52.0			29.6	7.6	3,073.2	5.6	332.2

B/C = 3.65

NPV= 27,992백만원

IRR= 22.56%

나. 정책제언

○ R&D사업을 통한 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 연구는 단순한 경제성 분석 결과를 토대로 판단하기보다는 국가 철도신호시스템 분야의 발전과 해외시장 진출 등을 위해 필수적인 사업임.

○ 2017년 세계 철도운행제어시장 규모는 약 18조 2,546억원이며, 국내 철도운행제어시장 규모는 약 1,145억원으로 세계시장대비 약 0.63% 수준

○ 본 열차제어시스템 개발에 따라 세계시장 점유율을 약 10% 수준으로 증가할 경우 연간 약 1조 7천억원의 수출증대효과가 발생될 것으로 기대함.

<표 19> 철도 운행제어시장 규모

(단위 : 억원)

구 분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
세계 철도운행제어시장	143,576	159,112	164,673	170,419	176,373	182,546
국내 철도운행제어시장	720	805	890	975	1,060	1,145
세계시장대비 국내시장 규모	0.50%	0.51%	0.54%	0.57%	0.60%	0.63%

자료) 「중소기업 기술로드맵 2015-2017」, 중소기업청

○ 본 개발사업의 경우 경제적 타당성을 확보하였으나, 편익에 반영된 기대효과 이외에 기타 기대효과를 감안한다면, 본 사업의 필요성은 충분할 것으로 사료됨.

○ 하지만 경제적 분석 시 가장 중요한 지표인 B/C분석에서 편익의 경우 해당 사업으로 인한 기대효과를 토대로 추정할 수 있으나, 아직 기술개발이나 상용화가 되지 않은 기획연구 단계에서 구체적인 파급효과를 추정하기에는 다소 무리가 있는 것으로 사료됨.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 기획과제의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 무궤도회로방식의 고속철도용 열차제어시스템 개발 기획과제의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 안됩니다.

ISBN 979-11-88058-87-7