

국토교통연구기획사업

자율주행 기반 스마트철도
핵심기술 개발 기획
최종보고서

2017. 11.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

Land · Infrastructure and Transport
R&D Report

자율주행
기반
스마트철도
핵심기술
개발기획
최종보고서

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "자율주행기반 스마트철도 핵심기술 도출 기획" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017년 11월 3일

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

주관연구책임자 : 이 장 무

연 구 원 :	한 성 호,	김 재 원
" :	김 경 태,	창 상 훈
" :	오 세 찬,	오 석 문
" :	박 준 혁,	신 유 정
" :	오 혁 근,	전 현 규
" :	권 석 진,	이 동 형
" :	이 강 원,	이 준 석
" :	한 문 섭,	이 수 길
" :	김 경 희,	김 경 민
" :	허 현 무,	최 성 훈
" :	백 승 구,	옥 민 환
" :	박 기 준,	김 주 략
" :	강 석 원,	이 한 민
" :	윤 혁 진,	김 정 국
" :	옥 민 환	

보고서 요약서

과제 고유번호		해당단계 연구기간	2016.09.20. ~ 2017.09.19.	단계구분	(해당단계) / (총단계)
연구사업명	중사업명				
	세부 사업명	국토교통연구기획사업			
연구과제명	대과제명				
	세부 과제명	자율주행기반 스마트철도 핵심기술 개발 기획			
연구책임자	이 장 무	해당단계 참여 연구원 수	총 : 41명 내부: 28명 외부: 13명	해당단계 연구비	정부: 200,000천원 민간: 천원 계: 200,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총 : 41명 내부: 28명 외부: 13명	총 연구비	정부: 200,000천원 민간: 천원 계: 200,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국철도기술연구원			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:서울대학교 산학협력단 아주대학교 산학협력단			연구책임자:이성모 이교범	
요약				보고서 면수 :	

□ 기술의 정의 및 필요성

- 철도시스템 스마트화 기술개발의 필요성
- 개발기술 정의 및 기술분류체계 작성(지능형열차 자율주행기술, 주행환경 감응형 스마트 주행장치 (VDC) 기술, 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술, 자립형 신재생에너지 추진기술)

□ 국내외 동향 및 환경분석

- 스마트철도 시장 및 국내외 철도 정책 동향 조사
- 세계 철도차량 동향 및 개발 기술별 국내외 시장현황 및 전망 조사
- 개발기술의 특허, 논문 동향 조사
- 기술수요 조사, 기술수준 분석 및 활용가능성 검토
- 국내 연구개발 인프라 분석, 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성 검토

□ 연구개발 과제 구성 및 추진전략 제시

- 연구개발 분야별 개발범위, 비전 및 목표 설정, 미래상 도출
- 연구개발 분야별 연구개발 과제 구성
- 연구개발 분야별 세부과제별 주요내용 및 추진전략 작성
- 연구개발 분야별 세부과제별 성과목표, 성과지표 및 성과맵 제시
- 연구개발 분야별 연구추진체계 제시

□ 사전 타당성 검토

- 연구개발 분야별 정책적/기술적/경제적 타당성 분석

□ 자원투입계획 제시

- 연구개발 분야별 연구시설 및 장비 투입계획 제시
- 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립
- 연구개발분야별 과제별 소요예산 작성

색인어 (각 5개 이상)	한글	스마트철도, 열차자율주행제어시스템, 능동제어, 스마트센싱, 신재생에너지
	영어	Smart railway, Autonomous train control system, Active control, Smart sensing, New and renewable energy

요 약 문

I. 제목

자율주행기반 스마트철도 핵심기술 개발 기획

II. 자율주행기반 스마트철도 핵심기술

1. 기술의 정의 및 필요성

□ 기술의 정의

- “자율주행기반 스마트철도”란 기존의 철도시스템 기술에 정보통신기술(ICT)·인공지능(AI)·사물인터넷기술(IoT), 신재생에너지기술 등 신기술을 융합하여 철도시스템이 운행되는데 필요한 사람과 인프라(신호시스템, 선로, 전력설비 등)의 영향이 최소화되는 자율주행기반의 철도시스템으로 승객의 편의성(혼잡도완화, 속도향상, 승차감 개선 등)과 안전성을 향상시키고 운영의 효율성이 향상되는 4차 산업혁명시대의 철도시스템을 의미함.
- 자율주행기반 스마트철도 시스템의 구성기술은 다음과 같음.
 - － 실시간 승객 수요에 따라 추가적인 열차투입이 가능하게 하는 스마트 스케줄링 기술 및 열차간 직접통신기반의 열차자율주행 기술
 - － 승차감 향상을 위하여 선로 취약구간에서의 승차감 향상 및 고속열차의 정시성 향상을 위한 고속열차 스마트 주행장치 기술
 - － 센서기반의 IoT기술을 이용한 철도차량 지능형 자가진단 및 능동유지보수기술
 - － 전력인프라(전차선, 변전소 등)가 필요 없는 신재생에너지 동력원을 갖는 수소연료전지 하이브리드 철도차량핵심기술

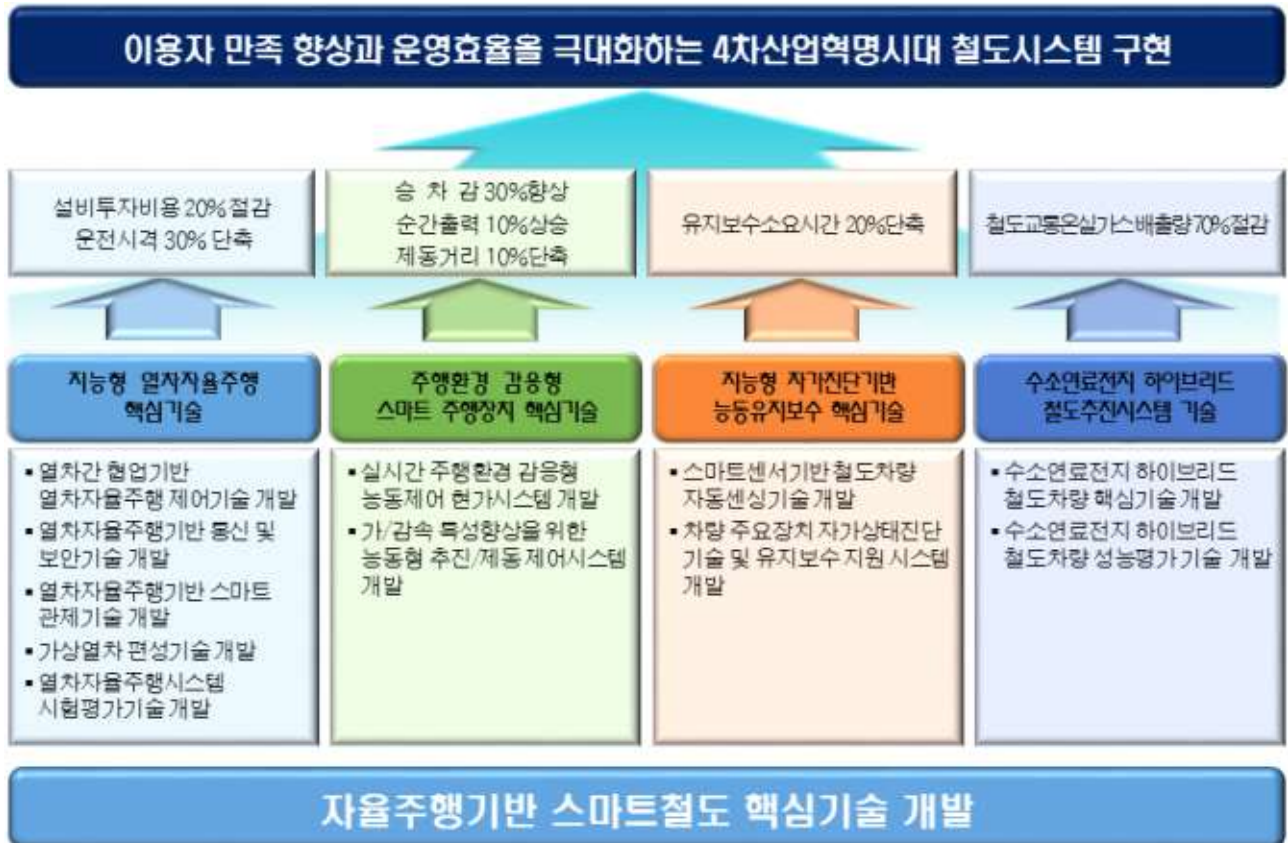


자율주행기반 스마트철도 핵심기술

- 자율주행기반 스마트철도 이용환경은 승객이 철도를 이용하는 전 과정, 즉 열차예약에서부터 최종 목적지 역 도착에 이르기까지의 모든 과정에서 기존 철도시스템에 ICT, IoT 등 첨단기술이 융복합하여 필요한 인력과 인프라의 개입이 최소화되는 자율주행기반의 철도로 승객 서비스가 향상되며 철도시스템 운영효율을 향상하고, CO₂배출을 최소화될 것임.

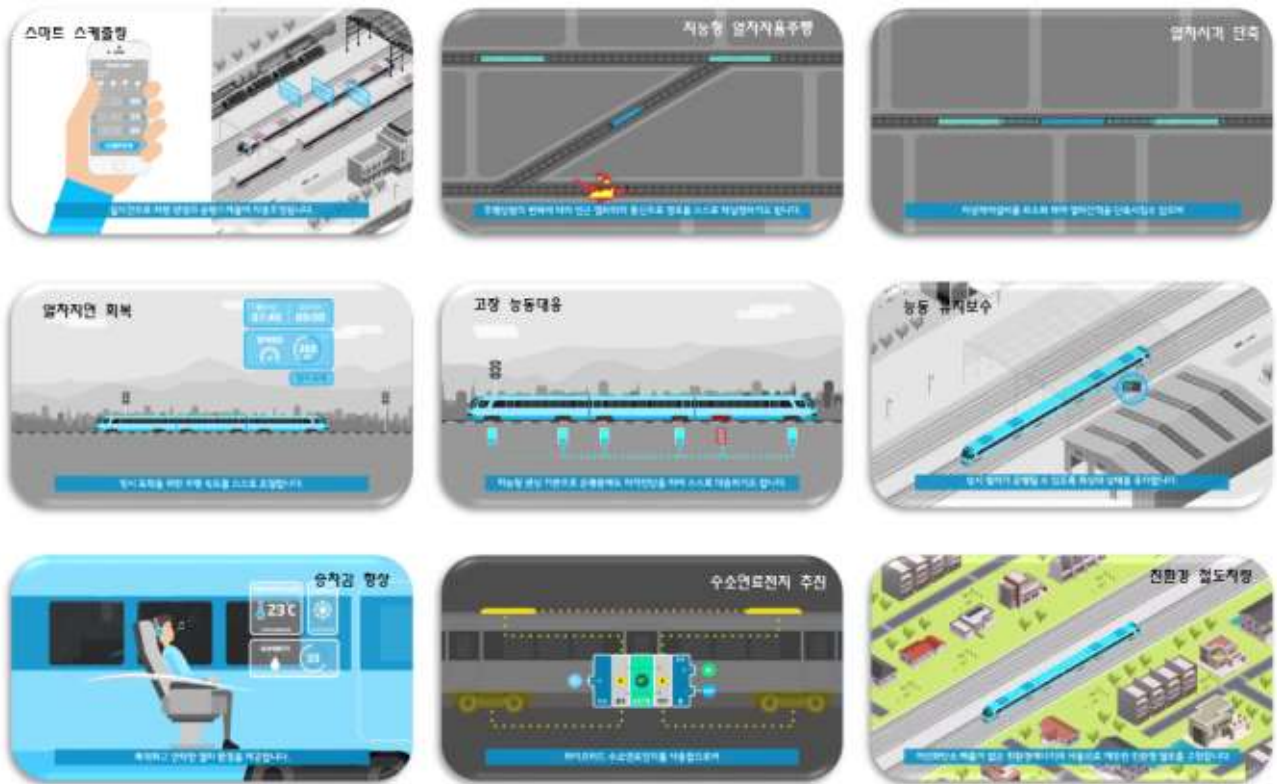
2. 스마트철도 핵심기술 비전 및 목표

□ 연구과제의 범위, 비전 및 목표



□ 기술개발에 따른 미래상

- 사람들의 이동수단에 대한 변화(비행기, 차량 → 철도), 철도시스템의 하드웨어 및 연결 비용의 감소, 고급 솔루션의 등장, 인구의 증가 및 대도시화로 철도시스템의 스마트화 요구가 증가하고 있음.
- 이에 따라 기존의 철도시스템을 기반으로 첨단기술(ICT, IoT, AI, Big Data 등)을 융복합함으로써 철도의 운영환경이 철도 운영자 위주의 운영방식에서 철도 이용승객 중심의 운영방식으로 변화할 것임



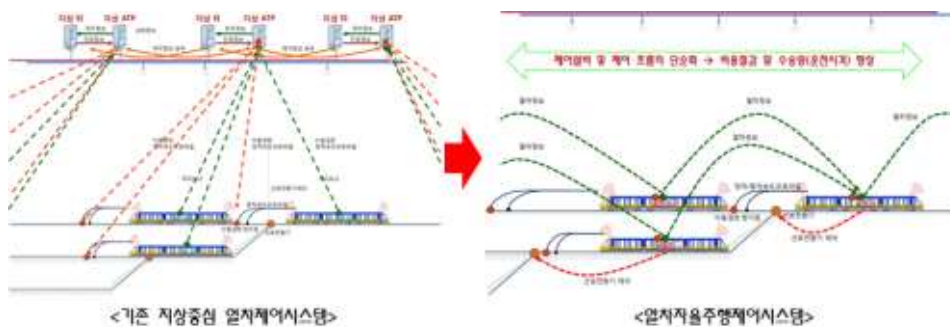
스마트철도 미래상

Ⅲ. 지능형 열차자율주행 핵심기술

1. 기술의 정의 및 필요성

□ 기술의 정의

- 열차자율주행시스템이란 지상제어시스템의 제어명령에 의존하지 않고 열차간 상호협업을 통해
 - 열차 스스로 안전한 주행을 수행하고
 - 주행 중 자유로운 분리결합을 수행하며
 - 이례상황 발생 시 열차 스스로 상황을 인지하고 판단하여 대응이 가능한 지능형 열차 제어시스템이다.



지능형 열차 자율주행제어시스템

2. 연구개발과제 구성

□ 연구과제의 범위, 비전 및 목표

- 비전 : 이용자 만족 향상과 운영 효율을 극대화하는 4차산업혁명시대의 철도기술 구현
 - 제4차 산업혁명 시대에서 철도와 대중교통에 요구되는 On Demand 서비스 제공으로 개인화된 철도 및 대중교통 서비스의 새로운 가치 창출
 - 기존의 제어 패러다임의 근본적인 변화를 통해 미래 철도기술이 추구하고자하는 비용 절감(Cost), 승객 및 운영자에게 제공하는 서비스(Service), 수송력(Capacity) 및 안전성(Safety) 향상이 가능한 열차자율주행시스템을 구현
- 목표 : 세계최초 열차자율주행제어 및 스케줄링 핵심요소기술 확보
 - 열차자율주행시스템 적용을 통한 설비투자비용 20% 절감
 - 열차자율주행시스템 적용으로 운전시각 30% 단축

□ 연구개발 과제구성

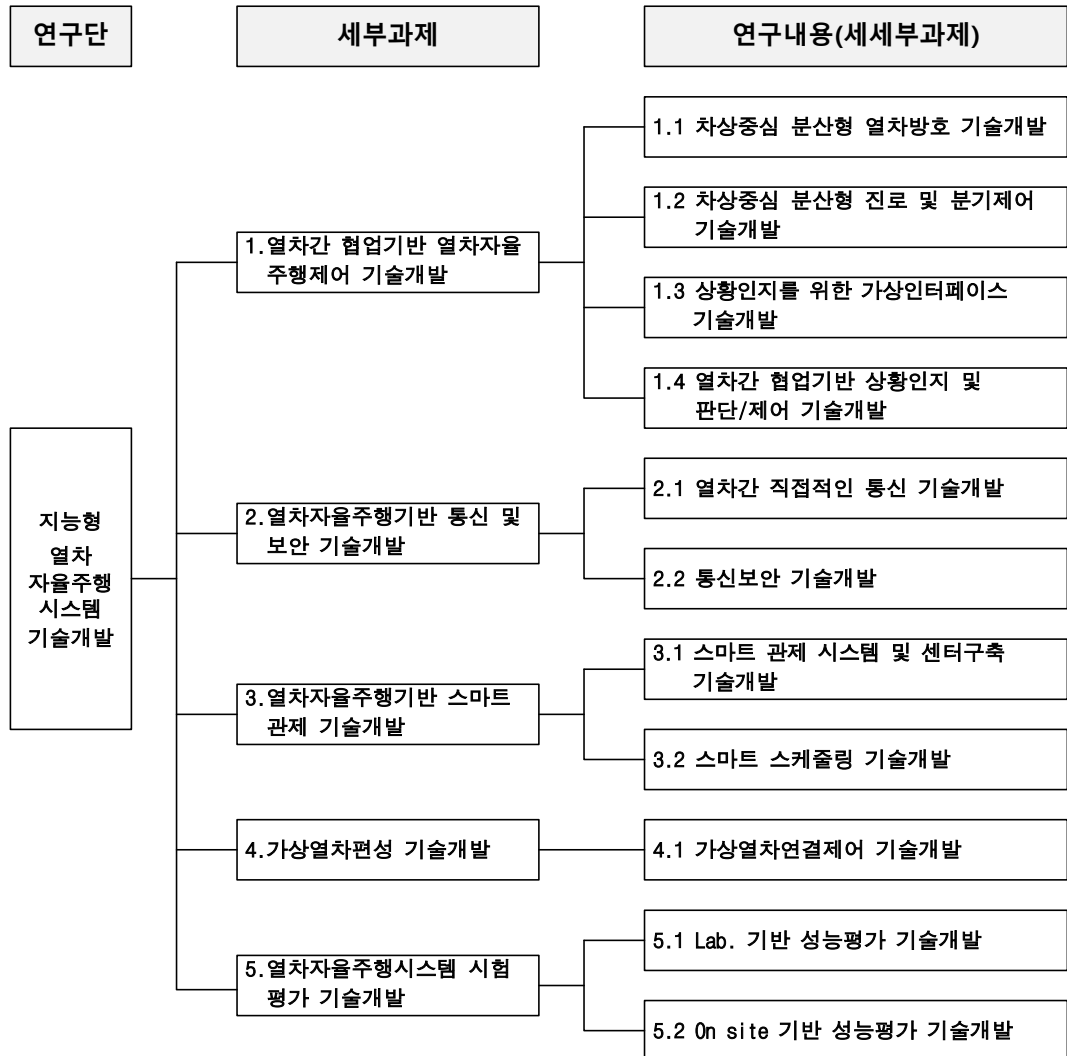
- 기술개발 로드맵
 - 국내 철도신호통신 산업의 기술성숙도와 본 연구과제에서 개발하고자하는 기술의 도전성과 개발규모를 고려했을 때 1단계 핵심요소기술개발(5년) 이후 2단계 실용화 연구개발(5년)과 같이 단계적으로 추진



※ Technology Readiness Level(TRL) TRL 3-4 TRL 5-6 TRL 7

○ 연구단 과제구성

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



3. 사전타당성 검토

□ 정책적 타당성

○ 국정과제

- 교통체계 · 해운 선진화 및 건설 · 원전사업 해외진출 지원

: 교통체계 선진화: 주요 추진계획으로 철도병목구간 개선, 혼잡권역 고속도로망 확충, 대도시권 광역철도망 구축을 목표로 함.

: 열차간 통신기반 열차자율주행 기술개발로 운전시각 향상을 통한 철도병목구간 개선이 가능.

○ 국토교통부 한국형 철도신호시스템 구축계획(2017.05.16.)

- 차세대 신호시스템 개발 “T2T 기반의 열차제어시스템 개발(‘18~’ 30)”
- : 열차간 무선통신 및 IoT, 인공지능을 활용하여 자율주행이 가능한 신호시스템 개발
- : 열차자율주행 기술개발은 열차간 무선통신을 기반으로하여 인공지능 및 IoT를 활용한 첨단 열차제어시스템 개발을 목표로 함.

□ 기술적 타당성

○ 장기연구의 타당성

- 신규 운영패러다임 설계 측면
- : 과거로부터 현재에 이르기까지 오랜 기간 존재해 왔던 기존의 운영 패러다임을 새로운 운영 패러다임으로 변경에 따른 운영시나리오의 설계와 여러 사고 및 고장 등의 이례상황에 대한 대응책, 그리고 이에 대한 검증에 이르기까지 일련의 과정이 필요하므로 장기간의 연구와 검증의 과정이 필요함.
- 신규 열차제어 패러다임 설계 측면
- : 열차제어시스템은 승객의 안전을 다루기 때문에 기존과는 다른 새로운 열차제어시스템 컨셉을 개발하는 것은 단기간에 이루어질 수 없으며 열차자율주행시스템과 같은 차세대 CBTC 기술에 대한 연구개발 역시 장기간에 연구개발과 검증이 요구됨.

○ 차세대 열차제어 및 통신기술 확보 측면

- 완전한 차상중심 간격제어 및 분기제어기술과 주행중 편성간 가상연결 및 해제 제어기술, 상황인지 및 판단기술 및 열차간 직접적인 통신기술 등 차세대 무선통신기반 열차제어 및 통신 핵심원천기술 확보

□ 경제적 타당성

○ 경제성 분석

- 연구개발 부분의 B/C는 2.14, 상용화 부분의 B/C는 2.62이며 종합하여 B/C 2.45로 본 연구개발이 경제성이 있는 것으로 분석되었음.

4. 자원투입계획

□ 소요예산 투입계획

- 본 과제의 연차·단계별 연구개발 소요예산을 세부과제별로 제시하였음.
- 1단계 총 예산은 260억 원이며 2단계 총 예산은 450억 원이 소요되며, 핵심기술에 대한 연구개발 성격이므로 연구개발 소요예산은 정부출연금으로 진행함.
- 2단계는 실용화 기술에 대한 연구개발 성격이므로 참여기업을 대상으로 출연금에 해당하는 매칭을 부여함.

[단위:백만원]

세부과제명		연차	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	총 연구비
1세부	열차간 협업기반 열차자 율주행제어 기술개발		1,000	1,500	2,500	2,000	1,500	1,800 (360)	2,700 (540)	3,200 (640)	3,000 (600)	1,300 (260)	20,500 (2,400)
2세부	열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발		800	1,200	1,200	1,000	1,000	3,500 (700)	4,000 (800)	2,800 (560)	500 (100)	500 (100)	16,500 (2,260)
3세부	열차자율주행기반 스마 트관제 기술개발		800	1,100	1,600	1,500	1,300	600 (120)	600 (120)	600 (120)	600 (120)	600 (120)	9,300 (600)
4세부	가상열차편성 기술개발		400	600	650	650	700	700 (70)	1,000 (100)	1,000 (100)	1,000 (100)	600 (60)	7,300 (430)
5세부	열차자율주행시스템 시 험평가 기술개발		400	500	700	800	600	350	2,800	2,800	7,450	1,000	17,400
계			3,400	4,900	6,650	5,950	5,100	6,950	11,100	10,400	12,550	4,000	71,000 (5,690)

IV. 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 기술

1. 기술의 정의 및 필요성

□ 기술의 정의

- 주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어(Vehicle Dynamic Control, VDC) 기술은 **고속 철도 고객(승객)편의성 향상**을 목표로 하는, **차량 핵심 성능의 지능형 제어기술**로서 다음과 같이 정의
 - 고속철도 차량의 승객편의성 향상을 위한 핵심 요구사항인 **승차감 및 정시성 향상**을 위하여, 관련 핵심성능인 추진, 제동, 진동 특성을 주행환경을 감응하여 능동적으로 제어하는 기술
 - 선로 취약구간 승차감 향상(동일차종 대비 30%)을 위한 스마트 현가시스템 기술
 - 고속열차 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 기술 (순간출력 10% 상승, 제동거리 10% 감소)

2. 연구개발과제 구성

□ 연구개발 범위, 비전 및 목표

- 비전 : 고속철도 승객편의성 향상을 통한 국내 고속철도기술의 고부가가치화
- 목표 : 승객편의성 향상(승차감 개선 및 정시성 향상)을 위한 고속열차 지능형 주행장치(VDC) 기술개발
 - 선로 취약구간 승차감 향상(동일차종 30%)을 위한 스마트 현가시스템 기술개발

- 고속열차 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 개발 (순간출력 10% 상승, 제동거리 10% 감소)

○ 연구개발 편익 수혜자

- 국내 고속철도 이용승객
- 국내 고속철도 차량 및 부품 업체
- 정부/지자체 및 철도 운영사 등 공공기관

□ 연구개발과제 구성

- “주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 기술개발”은 연구단 과제로 구성하며 세부과제는 아래의 2가지로 구분하여 구성하였음.

- 실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발
- 가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발

○ 1세부과제 연구내용

- 능동형 1차 상하방향 현가장치 개발
- 능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발
- 승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합제어시스템 개발

○ 2세부과제 연구내용

- 감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술
- 가속특성 및 신뢰성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술
- 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술

○ 기술로드맵 구성

- 과제는 총 5년간 진행되며 승차감 향상을 위한 스마트 현가장치 기술개발과 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어 기술개발로 구분하여 추진



- 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발 기술로드맵

- 능동형 1차 상하방향 현가장치, 능동형 2차 현가장치, 스마트 현가 제어시스템으로 구성

- 가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 기술로드맵

- 능동형 추진 제어장치/제동제어장치, 최적 운행속도 제어를 위한 통합 제어장치로 구성

3. 사전타당성 검토

□ 정책적 타당성

- 국내 철도차량 기술은 다년간의 추적형 연구개발을 통하여 선진국 동등수준을 달성하였으나, 철도차량산업의 지속가능성 및 해외경쟁력 확보를 위하여 승객편의 향상을 중심으로 한 철도차량의 고부가가치 기술개발이 필요
- 또한 미래부 「2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」의 기술분야별 투자전략 중 철도교통 분야 투자방향에 따르면, 차세대 철도차량·시스템 구축과 운행 안정성 향상 기술에 투자한다고 명시하고 있음. 스마트 VDC 기술은 차세대 철도차량 기술일 뿐 아니라 고속철도차량의 기본 운행성능인 추진/제동/진동 특성을 주행환경에 따라 제어하여 정시성 및 주행안전성 향상을 도모할 수 있는 기술로서 미래부 철도교통 투자방향에 잘 부합한다고 볼 수 있음

□ 기술적 타당성

- 기존 고속열차의 승차감 향상을 위한 기술은 현가시스템을 최적화하는데 초점이 맞춰져 있으며, 능동제어 기술로 횡방향의 진동저감을 위한 요소기술을 개발하여 성능을 확인한 바 있으나 횡방향을 비롯한 상하방향의 진동까지 통합하여 제어하는 연구는 미흡한 상태임
- 제동/추진 등의 능동제어기술은 기본적인 연구역량은 갖추고 있으나 진동/제동/추진 등 전반적인 차량 능동제어 시스템 기술개발은 미흡한 상황임
- 반면에 실시간 주행환경 감응형 제동/추진/진동 스마트 제어기술은 기존 철도차량의 성능한계를 극복하여 진동저감, 안전성, 정시성 등을 혁신적으로 향상시킬 수 있는 철도차량 주행장치 핵심기술임
- 본 연구의 총괄목표는 스마트 현가시스템, 능동형 추진/제동 제어 기술 등 “주행환경 감응형 스마트 주행장치(Vehicle Dynamic Control) 기술 개발”을 총괄목표로 설정하였음
- 본 연구의 목표는 각 기획과제에 속해 있는 세부 기술개발 과제별로 개발 목표가 설정되어 있으며, 과제별로 구체적으로 정의하여 적절하다고 판단됨
 - 본 연구의 목표는 세부 기술개발 과제별로 정의되어 있으며, 각 세부 과제별로 최종 개발기술의 산출물을 구체적으로 명시하였음

□ 경제적 타당성

- 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였으며, 연구개발에 의한 편익발생기간은 2023년에서 2033년까지 10년간으로 분석하였음
- 상용화 사업기간은 2023년에서 2025년까지 3년으로 가정하였으며, 편익발생기간은 차량 내구연한을 고려하여 상용화 사업종료 후 30년인 2055년까지 30년간으로 분석하였음. 분석기간 종료시점에 차량의 잔존가치는 최종년도 비용에 음의 값 형태로 반영하여 감가상각비를 반영할 수 있도록 하였음
- 경제성 분석 결과, B/C는 연구개발 부분과 상용화 부분을 고려하여 분석을 수행하였으며 전체 B/C가 1.46으로 분석되었음

4. 자원투입계획

□ 소요예산 투입계획

- 인건비 및 연구장비 재료비를 반영하여, 연구비 표준식(시스템)을 바탕으로 세부과제 연구비 및 기타경비/간접비 산정

- 총 연구비(정부+민간) : 373.4억원(1세부 : 190.7억원, 2세부 : 182.7억원)

※정부출연금 : 280억원 (1세부 : 143억원, 2세부 : 137억원)

(단위 : 백만원)

구분	세부과제명		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총연구비
1세부	1. 실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발	정부	2,080	3,450	4,700	3,180	890	14,300
		민간	694	1,150	1,567	1,061	297	4,769
		소계	2,774	4,600	6,267	4,241	1,187	19,069
2세부	2. 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제 동 제어시스템 개발	정부	1,130	3,152	4,100	4,254	1,064	13,700
		민간	377	1,052	1,368	1,419	355	4,571
		소계	1,507	4,204	5,468	5,673	1,419	18,271
합계			4,281	8,804	11,735	9,914	2,606	37,340

V. 지능형 자가진단기반 능동유지보수 핵심기술

1. 기술의 정의 및 필요성

□ 기술의 정의

- 지능형 자가진단 및 능동유지보수 기술은 차상모니터링 시스템과 지상 자동화검측시스템 등으로부터 취득된 방대한 센싱데이터(빅데이터)를 바탕으로 사람의 손길을 최소화하고, 컴퓨터가 스스로 시스템 구조, 과거 유지보수 이력, 시스템의 열화진전모델 등을 활용하여 빅데이터를 분석하고 유용한 정보를 산출하여, 시스템의 상태를 스스로 진단하고 이에 대응하는 유지보수를 능동적으로 가능하게 하는 기술임



2. 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 연구과제의 범위, 비전 및 목표

○ 비전

- IoT, ICT 등 첨단기술을 활용한 스마트 철도기술을 기반으로 하여 차량의 상태를 스스로 진단하고 적기에 적절한 유지보수 조치를 취함으로써 철도차량의 장애를 예방하고 유지보수 비용의 절감을 통한 철도신뢰성 향상 및 가격경쟁력을 제고하고자 함

○ 목표

- 실시간 센싱을 기반으로 한 상태진단주기 단축(상태진단주기 3일, 3달 → 수시)
- 검측 및 진단자동화를 통한 진단→조치소요시간 단축(현행대비 20% 단축)



□ 연구개발과제 구성

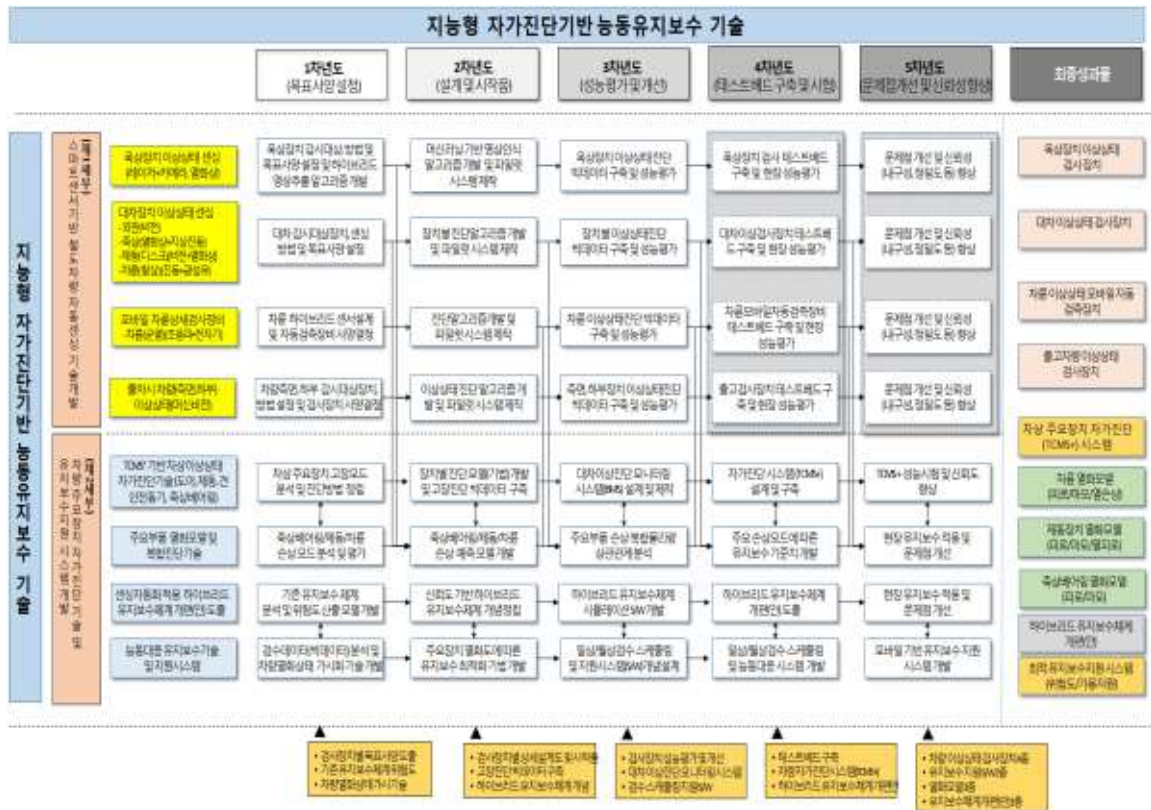
○ 연구단 과제구성

“지능형 자가진단 기반 능동유지 보수 기술개발”의 1세부과제는 유지보수시간 단축 및 효율화를 위하여 스마트 센서를 이용하여 복합물리량을 측정하는 기술이고, 2세부과제는 측정된 물리량 뿐 만아니라 다양한 검수 데이터를 이용하여 주요부품의 손상을 정확하게 평가하고 예측하기 위한 기술 개발임

- 1세부과제 : 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발

- 옥상장치 이상상태 센싱기술 개발
- 대차장치 이상상태 센싱기술 개발
- 이동식 자동검측 장비 개발
- 출차시 차량 이상상태 검지장치 개발

- ## ○ 기술/성과 로드맵



3. 사전타당성검토

□ 기술개발투자의 시급성

- 일반철도 및 도시철도는 운행 차량 중에 노화된 차량이 많아지고 있으며, 유지보수시간 및 비용이 증가하고 있음. 노후화되는 차량의 유지보수는 신뢰성이 가장 우선시 되어야 하며, 신뢰성 있는 유지보수는 철도차량의 안전운행으로 연결되기 때문에 관련 필요기술과 기술도출이 시급히 필요한 실정임
- 경영효율 측면에서 검수주기 연장과 유지보수비용의 절감에 대한 요구를 만족시킴과 동시에 안전성을 확보하기 위한 신뢰성 있는 진단 및 검사 기술 개발이 필요함. 제4차 산업혁명에 따른 인공지능, 빅데이터, IoT 등을 철도차량 유지보수에 접목시킨 국내 고유 기술개발이 시급함.

□ 정부 상위계획과의 부합성

- 제3차 국가교통기술개발계획의 중점 추진과제로써 “빠르고 지능적인 철도”, “안전하고 편리한 철도”, “정확하고 경제적인 철도”로 구분하고 있으며, 외국기술 의존 심화, 고장원인 분석과 해결지연으로 인한 운행 차질 초래 등 장기적인 관점에서 철도의 안정성 확보를 위한 근본적인 기술개발 필요함.
- 국토교통 연구개발 중장기 전략(2014-2023)에서는 미래가치 창출을 위한 10대 중점 프로젝트를 발굴·제시하고 있으며, 철도교통시스템의 안전성 및 경제성을 위한 기술로 “철도차량 및 인프라 상태를 자동으로 실시간 모니터링, 진단 및 유지보수 기술을 개발하여 안전사고 예방 기술”에 부합한 과제임.
- 제3차 철도안전종합계획(2016~2020)에서는 비전으로는 “국민이 안심하고 신뢰하는 인명중시 철도안전 구현”과 목표로써 대형철도사고 ZERO화, 철도사고 30%감소(2020년까지)를 설정하고 있으며 이에 부합한 과제임.

□ 경제적 타당성

- 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행함. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2023년에서 2033년까지 10년간으로 분석하였으며, 상용화 사업기간은 2023년에서 2025년까지 3년으로 가정하였음. 편익발생기간은 상용화 사업완료 후 20년 인 2045년까지 20년간으로 분석하였음.
- 개발된 기술을 상용화하여 유지보수인력 투입비용이 절감됨에 따른 편익을 산출하였음. 량당 평균 약 0.1억원/년씩이 절감되어 총 5,934량에 대해 도입 시 연간 편익이 587.88억원에 이를 것으로 추정되었음.
- 분석 결과 B/C는 1.20으로 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타남.

4. 자원투입계획

□ 소요예산 투입계획

- 연구비

[단위:억원]

세부과제명		연차		1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		총연구비	
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
1세부	스마트센서기반 철도차량 자동센싱기술 개발	15	4.0	28	8.0	32	8.0	35	8.0	30	7.0	140	35		
	소계	19.0		36.0		40.0		43.0		37.0		175.0			
2세부	자가진단 및 능동유지보수기술 개발	15	3.5	25	5.25	25	6.25	20	5.75	15	4.25	100	25		
	소계	18.5		30.25		31.25		25.75		19.25		125.0			
합계		37.5		66.25		71.25		68.75		56.25		300			

VI. 수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템 개발

1. 기술의 정의 및 필요성

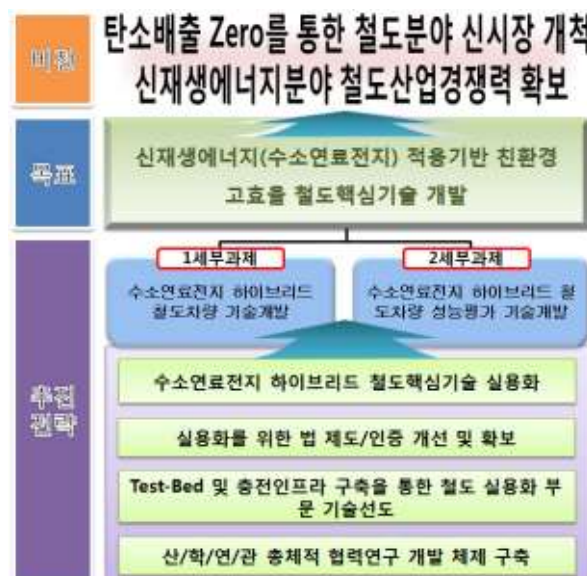
□ 기술의 정의

- 수소연료전지를 이용한 수송용 전원은 기존 에너지 효율이 30%인 내연기관보다 높은 50%이상의 효율을 나타내고 공해배출이 전혀없는 친환경 전원으로서 수소연료전지와 배터리를 조합한 하이브리드 기술을 적용하면 화물 또는 승객 수송용 철도차량에서 요구하는 부하조건하에서 1회 수소충전시 주행거리를 충족시킬 수 있을 것으로 기대됨.
- 수소연료전지를 적용한 하이브리드형 철도차량의 주요 핵심기술은 배터리를 결합한 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 및 관련 제어기, 발전된 에너지 또는 회생 에너지에 대한 에너지 흐름을 용이하게 제어하기 위한 전력변환시스템, 전동기를 효율적으로 제어하기 위한 추진제어시스템 그리고 이들 시스템들을 실시간 통합적으로 관리하기 위한 스마트에너지관리시스템 등으로 구성됨.

2. 연구개발과제 구성

□ 연구개발 범위, 비전 및 목표

- (비전) 친환경 연료인 수소를 원료로 사용하는 수소연료전지 및 2차전지를 하이브리드 동력원으로 적용한 철도핵심기술을 이용하여 탄소배출을 없애고 관련기술의 실용화를 통한 기업참여기회 확대를 통하여 철도분야에 새로운 시장을 개척하고 국내시장의 확대에 따른 경쟁력확보로 해외시장으로의 진출을 위한 초석이 되고자 함.
- (연구개발목표) 비전을 달성하기 위하여 실용화를 위한 적용대상으로서 정격출력이 1.2MW(1,500마력)급 철도차량에 적합하고 1회 충전시 약 500km이상 주행이 가능하며 주행최고속도 110km/h가 가능한 수소연료전지 하이브리드 철도핵심기술을 연구 개발 목표로 하며 성과지표로 에너지 효율 20% 증가과 미세먼지 20 mg/km 저감 제시



- 본 사업으로 인한 혜택: CO₂ 최대 361,113 톤/년 저감 및 미세먼지 저감 효과(국가, 국민), 전력인프라비용 일반지역 24.3억원/km 및 도시지역 29.1억원/km 저감(건설사, 지방자치단체), 유지보수비용 5억원/년km 저감(운행사), 기존 디젤기관차 대비 2배 연비 향상 가능(운행사), 전력피크시간 최대 165.2MWh 대응(국가, 국민) 가능

□ 연구개발과제 구성

- ‘1500마력급(1.2MW) 수소연료전지 하이브리드 철도핵심기술 개발’은 2개의 세부 과제로 이루어진 연구단과제로 추진
 - 세부과제 1: 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발
 - 세부과제 2: 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발

□ 연구개발 추진전략 및 추진체계

- 수소연료전지 하이브리드 철도차량내 핵심기술별 독립적 개발추진 및 철도차량 탑재를 위한 유기적인 연계성을 고려한 1세부과제와 수소충전인프라와 관련 법규 및 제도에 대한 정립 그리고 핵심기술들에 대한 조합적 성능평가에 의한 개조차량을 통한 실차검증 등에 의해 실용화방안 수립을 위한 2세부과제로서 개발목표를 충실히 달성할 수 있도록 연구단 형태로 추진하는 것이 바람직함.
- 세부과제별 개발성격이 상이하나 하나의 개발목표 달성을 위해 두 개의 세부과제를 총괄적으로 관리 운영하여 효율적인 계획 수립 및 추진될 수 있을 있도록 연구단 형태를 갖는 것이 바람직함.

□ 기술/성과 로드맵



3. 사전타당성 검토

□ 정책적 타당성

- 국제적으로 에너지 자원고갈, 환경오염, 기후변화 등 당면과제 해결을 위해 수소연료전지의 보급을 위한 정부 주도 프로그램을 확대 및 제도적 규제를 강화하고 있음에 따라 현 정부는 온실가스 배출전망 대비 감축 실현을 위하여 다양한 대책을 검토 중에 있음
 - － ‘20년까지 공공기관의 온실가스 배출량 30% 감축, 제로에너지 건물 확대, 중·대형차 온실가스 기준 신설, 배출권거래제 정상화 등의 다양한 정책을 추진하고 있음
- 2030년까지 신재생에너지 발전량 20%를 달성하기 위한 ‘신재생에너지 3020 이행계획’ 이 ‘17. 8월 중 마련될 예정임
 - － 현 정부의 친환경에너지 진흥정책은 기존 화석연료에서 수소, LNG 등의 친환경 연료로 전환을 통해 환경 연료의 이용률을 현행 20%에서 60%까지 증가 목표
- 수송 및 산업부문의 공약으로는 2030년까지 개인용 경유 승용차 퇴출 중장기 계획 추진과 청정연료 지원금 강화 등의 정책이 발표된 바 있으며, 현 정부 ‘국정 운영 5개년 계획’의 58. 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성, 34. 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴/육성 과제에 미세먼지 저감을 위한 친환경 에너지원의 활용 산업 육성 계획

□ 기술적 타당성

- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술과 관련된 국내외 정책동향, 시장동향, 기술개발동향에 대한 분석을 수행했으며, 세부 요소기술 조사, 기술개발 인프라, 차량제조업체 및 운영사의 수요, 세부기술의 중요도, 기술개발 성공가능성, 기술의 난이도 등을 종합적으로 고려하여 세부과제의 개발대상 기술 도출과 개발계획을 체계적으로 수립
- 본 연구의 최종목표는 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발을 총괄목표로 설정하였으며 최종 목표 달성을 위해 2개의 세부과제로 연구내용을 분리하여 개별 개발목표를 구체적으로 설정함

□ 경제적 타당성

- 비용추정은 연구개발비용을 5년간 정부출연금 280억원으로 제시하였고 상용화 비용은 수소연료전지 기관차의 도입가격은 기관차당 150억/량으로 추정하였고, 제작일정을 고려하여 연간 40량씩 5년에 걸쳐 발주하는 것으로 가정
- 편익추정은 기술개발사업에 따른 편익으로서 수입대체편익과 수출편익으로 구분하여 추정하였고 기술도입에 따른 편익으로서 환경비용절감편익, 운행비용 절감편익, 기관차비축편익으로 구분하여 추정함
- 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였다. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2028년에서 2038년까지 10년간으로 분석하였으며, 상용화 사업기간은 2028년에서 2032년까지 5년으로 가정하였다. 편익발생

기간은 차량내구연한을 고려하여 상용화 사업종료 후 30년인 2062년까지 30년간으로 분석하여 BC는 1.05로 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타남.

4. 자원투입계획

□ 소요예산 투입계획

[단위:백만원]

세부과제명			연차	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총연구비
수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템 개발			정부	1,504.9	1,0613.1	8,208.6	1,789.0	1,184.4	23,300
			민간	508.3	3,544.4	2,742.9	603.0	401.5	7,800
1 세부	수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	정부	761.4	7,447.9	5681	899.7	710	15,500	
		민간	260.5	2,489.3	1,900.3	306.6	243.3	5200	
2 세부	수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가 기술 개발	정부	743.6	3,165.2	2,527.5	889.4	474.4	7800	
		민간	247.9	1,055.1	842.5	296.5	158.1	2600	
계			2,013.4	14,157.5	10,951.3	2,392.2	1,585.8	31,100	

<제목 차례>

제1장 기술의 정의 및 필요성	1
1절 기술의 정의	1
2절 기술개발의 필요성	2
제2장 국내외 동향 및 환경분석	16
1절 세계 스마트철도시스템 시장	16
2절 국내외 정책동향	29
3절 국내외 시장현황 및 전망	42
제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략	48
1절 비전 및 목표	48
2절 기술개발에 따른 미래상	49
3절 스마트철도 세부기술의 구성	52
제4장 지능형 열차자율주행 핵심기술분야 요약	56
1절 기술의 정의 및 필요성	56
2절 국내외 동향 및 환경분석	57
3절 연구개발과제 구성 및 추진전략	61
4절 사전타당성 검토	69
5절 자원투입계획	73
6절 과제공모 방안	75
제5장 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 기술분야 요약	77
1절 기술의 정의 및 필요성	77
2절 국내외 동향 및 환경분석	78
3절 연구개발과제 구성 및 추진전략	84
4절 사전타당성 검토	88

5절 자원투입계획	90
6절 과제공모방안	92

제6장 지능형 자가진단기반 능동유지보수 핵심기술분야 요약 93

1절 1. 기술의 정의 및 필요성	93
2절 국내외 동향 및 환경분석	94
3절 연구개발과제 구성 및 추진전략	104
4절 사전타당성검토	111
5절 자원투입계획	114
6절 과제공모방안	115

제7장 수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템 개발분야 요약 116

1절 기술의 정의 및 필요성	116
2절 국내외 동향 및 환경분석	117
3절 연구개발과제 구성 및 추진전략	125
4절 사전타당성 검토	133
5절 자원투입계획	136
6절 과제공모방안	137

<표 차례>

[표 1.1] 이용자 만족도 향상의 문제점 및 해결방안	9
[표 1.2] 운영자 효율성 향상의 문제점 및 해결방안	10
[표 1.3] 자율주행기반 스마트철도 논리모형	15
[표 2.1] 스마트철도 시장의 주요사항	16
[표 2.2] 철도기술연구사업의 추진전략	29
[표 2.3] 영국 철도기술의 지속성장을 위한 핵심 요구조건과 도전목표	35
[표 2.4] 미국의 철도분야 연구개발 프로그램	37
[표 4.1] 지능형 열차자율주행 핵심기술 논리모형	69
[표 4.2] 지능형 열차자율주행 핵심기술 소요예산	74
[표 5.1] 300km/h 주행시 주요 고속열차의 진동특성 비교	80
[표 5.2] 주요국가 고속철도 정시성 수준	81
[표 5.3] 스마트 현가시스템 핵심 성과지표	87
[표 5.4] 능동형 추진/제동 제어시스템 핵심 성과지표	87
[표 5.5] 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 논리모형	88
[표 5.6] 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 소요예산	91
[표 6.1] 능동유지보수기술 유사과제 분석 및 기존연구 차별성	97
[표 6.2] 철도 모니터링/유지보수 관련 인프라 수준 비교	98
[표 6.3] 국내외 기술수준 분석	99
[표 6.4] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과	101
[표 6.5] 능동유지보수기술 분야 우선순위 조사 결과	102
[표 6.6] 목표부합성과 인프라 적정성에 의한 선정 과제리스트	103
[표 6.7] 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발 성과지표 및 최종목표	109
[표 6.8] 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템개발 성과지표 및 최종목표	109
[표 6.9] 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술 논리모형	111
[표 6.10] 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술 소요예산	114
[표 7.1] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과	121
[표 7.2] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야 최종 연구 과제	122
[표 7.3] 기존연구와의 중복성 및 연계방안	123
[표 7.4] 연구추진체계 구성 (1세부과제)	128
[표 7.5] 연구추진체계 구성 (2세부과제)	129
[표 7.6] 세부과제별 성과목표	131
[표 7.7] 수소연료전지 하이브리드 철도추진기술 논리모형	133
[표 7.8] 수소연료전지 하이브리드 철도추진기술 소요예산	136

<그림 차례>

[그림 1.1] 자율주행기반 스마트철도 핵심기술	1
[그림 1.2] 산업혁명과 교통의 발달	2
[그림 1.3] 수행중인 Shift2Rail Program의 구조	5
[그림 1.4] 국내 철도기술의 발전 추이	8
[그림 1.5] 스마트철도 구현 기술 도출	11
[그림 1.6] 스마트철도 구현 기술	11
[그림 2.1] 세계 스마트철도시스템 시장 2015-2020 (십억\$)	17
[그림 2.2] 세계 스마트철도시스템 시장 유형별 매출 백분율(좌:2015년, 우:2020년)	18
[그림 2.3] 세계 스마트철도시스템 유형별 시장규모(좌:매출액-십억불, 우:백분율)	18
[그림 2.4] 글로벌 스마트철도 시장 분류	19
[그림 2.5] 스마트철도 솔루션 시장의 라이프 사이클	19
[그림 2.6] 스마트철도 솔루션 시장 규모(단위:십억불)	20
[그림 2.7] 글로벌 스마트철도 장치 및 부품시장 분류	20
[그림 2.8] 스마트철도 장치 및 부품시장의 라이프 사이클	21
[그림 2.9] 스마트철도 장치 및 부품시장 규모(단위:십억불)	21
[그림 2.10] 글로벌 스마트철도 서비스시장 분류	22
[그림 2.11] 스마트철도 서비스시장 규모(단위:십억불)	22
[그림 2.12] 지역별 글로벌 스마트철도 시장 매출비율(좌:2015년, 우:2020년)	23
[그림 2.13] 지역별 글로벌 스마트철도 시장 매출(좌:매출액, 우:비율, 단위:십억불)	23
[그림 2.14] 유럽의 스마트철도 시장규모(단위:십억불)	24
[그림 2.15] 북미지역의 스마트철도 시장규모(단위:십억불)	24
[그림 2.16] 아시아의 스마트철도 시장규모(단위:십억불)	25
[그림 2.17] 기타지역의 스마트철도 시장규모(단위:십억불)	25
[그림 2.18] China Railway Corporation	40
[그림 2.19] 인도의 철도기관 구조	41
[그림 2.20] 인도의 철도개발 계획	41
[그림 2.21] 글로벌 철도시장동향(여객수요 측면)	42
[그림 2.22] 지역별 고속열차 수요에 대한 글로벌 전망	43
[그림 2.23] 개인별 만족도 향상을 위한 스마트 Mobile 앱 개발	43
[그림 2.24] Siemens 통합 모빌리티 개념도	44
[그림 2.25] Rail Market : Rolling Stock OEM Acquisitions	46
[그림 2.26] 지능형 관제시스템 기술개발 방향 (자료: UK Future Strategy)	47

[그림 3.1] 자율주행기반 스마트철도 비전 및 목표	48
[그림 3.2] 스마트철도의 미래상	51
[그림 3.3] 지능형 열차자율주행시스템 기술개발 과제구성	52
[그림 3.4] 주행환경 감응형 스마트 주행장치 기술개발 과제구성	53
[그림 3.5] 지능형 자가진단기반 능동유지보수 기술개발 과제구성	54
[그림 3.6] 자립형 신재생에너지 추진 핵심기술개발 과제구성	55
[그림 4.1] 지능형 열차 자율주행제어시스템 기술 정의	56
[그림 4.2] 지능형 열차 자율주행핵심기술 로드맵	63
[그림 4.3] 지능형 열차 자율주행 핵심기술 과제 구성	64
[그림 5.1] 주행환경 감응형 스마트주행장치 추진전략	85
[그림 5.2] 스마트 현가시스템 개발 기술로드맵	86
[그림 5.3] 능동형 추진/제동 제어시스템 기술로드맵	86
[그림 6.1] 지능형 자가진단 능동유지보수기술의 개념	93
[그림 6.2] 철도차량 유지보수 시장 규모	95
[그림 6.3] 유지보수 기술이 시급하게 적용되어야 하는 차량 기기	101
[그림 6.4] 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술 비전 및 목표	104
[그림 6.5] 지능형 센서기반 철도차량 자동센싱 기술의 미래상	105
[그림 6.6] 자진진단 및 능동유지보수 기술의 미래상	105
[그림 6.7] 연구개발과제 구성	106
[그림 6.8] 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술 연구추진체계	110
[그림 6.9] 능동유지보수기술 기술/성과 로드맵	111
[그림 7.1] 국내 연료전지 설치량 추이	118
[그림 7.2] 리튬이온 커패시터의 구조와 작동 원리	118
[그림 7.3] 분리판 형태 및 이를 이용한 스택적층 부피 저감 형태	119
[그림 7.4] 차세대 전력반도체 소자(SiC)를 이용한 추진 인버터	119
[그림 7.5] 지하 먼지 및 분진의 외부공기 흡입 냉각	120
[그림 7.6] 이중 능동브리지방식 양방향 DC/DC 컨버터	120
[그림 7.7] 연구개발 세부과제 도출 과정	120
[그림 7.8] 수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템 비전 및 목표	125
[그림 7.9] 신재생에너지 추진기술의 미래상	126
[그림 7.1] 수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템기술 연구추진전략	127
[그림 7.11] 연차별 세부과제 연구 로드맵	130
[그림 7.12] 수소연료전지 하이브리드 철도차량핵심기술 성과지표	132
[그림 7.13] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 성과지표	132

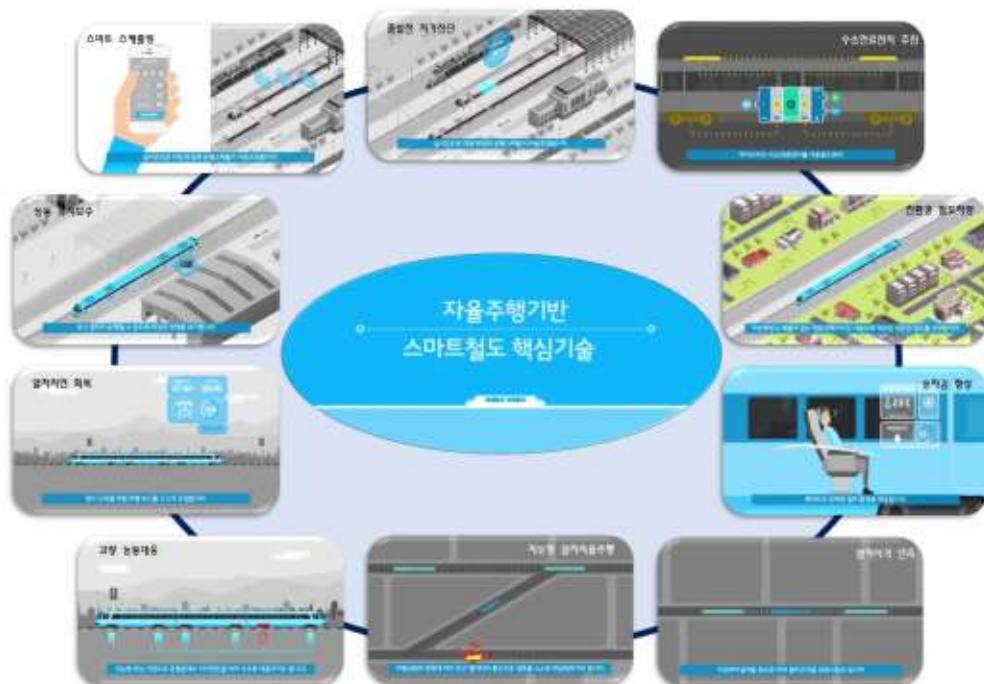
제1장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의

□ “자율주행기반 스마트철도”란 기존의 철도시스템 기술에 정보통신기술(ICT)·인공지능(AI)·사물인터넷기술(IoT), 신재생에너지기술 등 신기술을 융합하여 철도시스템이 운행되는데 필요한 사람과 인프라(신호시스템, 선로, 전력설비 등)의 영향이 최소화되는 자율주행기반의 철도시스템으로 승객의 편의성(혼잡도완화, 속도향상, 승차감 개선 등)과 안전성을 향상시키고 운영의 효율성이 향상되는 4차 산업혁명시대의 철도시스템을 의미함.

○ 자율주행기반 스마트철도 시스템의 구성기술은 다음과 같음.

- 실시간 승객 수요에 따라 추가적인 열차투입이 가능하게 하는 스마트 스케줄링 기술 및 열차간 직접통신기반의 열차자율주행 기술
- 승차감 향상을 위하여 선로 취약구간에서의 승차감 향상 및 고속열차의 정시성 향상을 위한 고속열차 스마트 주행장치 기술
- 센서기반의 IoT기술을 이용한 철도차량 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술
- 전력인프라(전차선, 변전소 등)가 필요 없는 신재생에너지 동력원을 갖는 수소연료전지 하이브리드 철도차량핵심기술



[그림 1.1] 자율주행기반 스마트철도 핵심기술

○ 자율주행기반 스마트철도 이용환경은 승객이 철도를 이용하는 전 과정, 즉 열차예약에서부터 최종 목적지 역 도착에 이르기까지의 모든 과정에서 기존 철도시스템에 ICT, IoT 등 첨단기술이 융복합하여 필요한 인력과 인프라의 개입이 최소화되는 자율주행기반의 철도로 승객 서비스가 향상되며 철도시스템 운영효율을 향상하고, CO₂배출을 최소화될 것임.

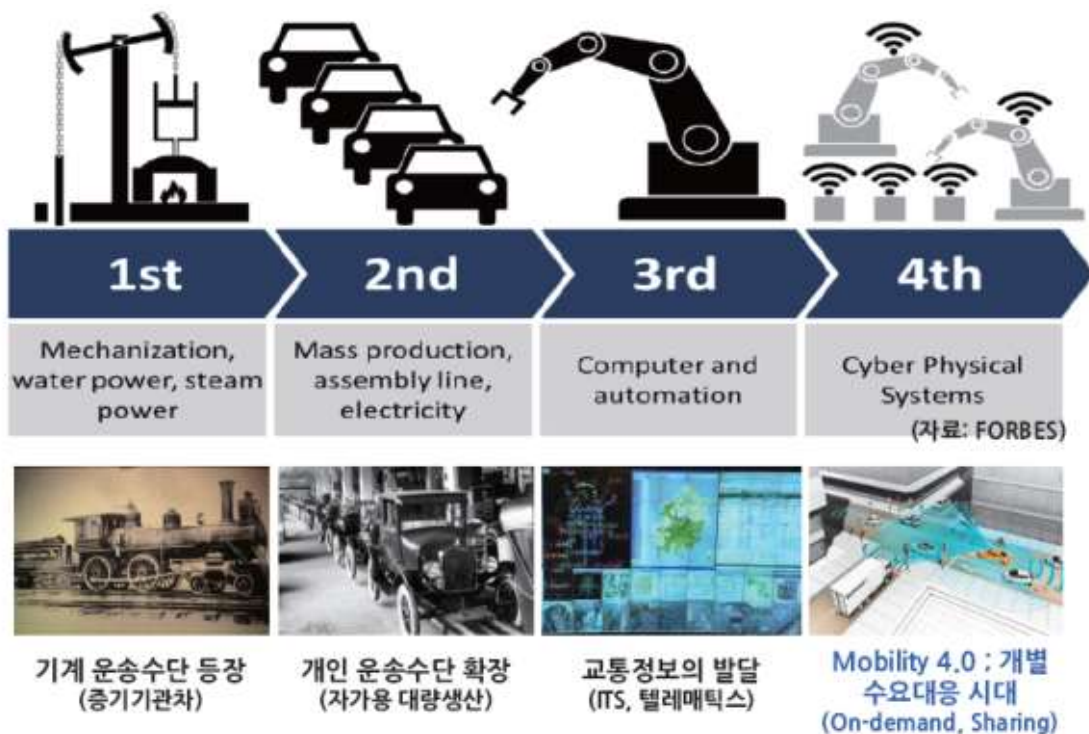
2절 기술개발의 필요성

1. 미래사회 및 대내외 환경변화에 따른 능동적 대응

□ 4차 산업혁명에 따른 교통의 방향

○ 4차 산업혁명의 도래

- ‘4차 산업혁명’이란 3차 산업혁명을 기반으로 한 디지털과 바이오, 물리학 등의 경계를 융합하는 기술혁명으로, 모든 것이 연결되고 보다 지능적인 사회로의 진화하는 것을 의미
- IoT와 인공지능을 기반으로 사이버 세계와 물리적 세계가 네트워크로 연결돼 하나의 통합 시스템으로서 지능형 CPS(cyber-physical system)을 구축하여 각각의 하드웨어들은 데이터를 축적해 필요에 따라 해석해가며 스스로 자동갱신함으로써 제조업과 인간을 둘러싼 시스템 운용방식의 대폭적인 변화가 예상됨



[그림 1.2] 산업혁명과 교통의 발달

○ 한국의 4차산업혁명 대응전략

- 4차 산업혁명의 본질로 : 제조의 확장에서 사회의 혁명(초생명사회)로 전환함으로써 기존의 하드웨어, 소프트웨어, 데이터중심에서 서비스 혁명으로 전환
- O2O(Online to offline) 중심의 기술 융합 : IoT, Big Data, 인공지능, Cloud 등 개별 기술 차원의 O2O 융합적 접근

- 기술과 법제도 혁신의 병행 : 데이터 활용 관련제도 혁신 및 서비스 융합과 관련된 오프라인 규제의 네거티브화
- 경제사회와 철학의 융합 : 생산과 분배의 균형의 거버넌스, 4차 산업혁명의 선도를 위한 철학 제시

○ 4차 산업혁명에 따른 교통의 방향

- 계획과 건설에서 운영 중심으로 변화 ⇨ 차량-인프라-운영의 능동적 연계
운영주체간 운행정보 개방 및 연계운송 현실화
- 키워드 : 인공지능(AI), 자율주행, IoT, OpenData, Big Data
- AI 기반 교통수요 예측
- AI 기반 수요분석 및 예측 플랫폼 개발
- 실시간 교통 수단간 연계운영 효율화 기술
- 맞춤형 이동 서비스 확산 ⇨ 공급중심에서 개별수요 중심의 맞춤형 서비스
- 키워드 : On-Demand, Seamless, Sharing, Customer
- Car-sharing 서비스의 진화
- O2O(Online to Offline) 서비스 진화
- 스마트 모빌리티 통합 플랫폼
- Seamless & Safe 보행 최적화 기술
- 대중교통의 유연성 증가 ⇨ 소형화, 초고속화, 노선 비정형화
- 자율주행의 대중교통 적용을 위한 기술
- C-ITS사업 연계 미래 대중교통환경 구축

□ 사회 경제적 여건 변화

○ 인구구조의 변화와 삶의 질 중시

- 저출산에 따른 장기적 인구 감소가 예상되어 '25년까지 인구 및 통행량은 증가하나 이후 감소 추세로 전환
- 고령화의 급속한 진행(고령인구 증가비율 : '00년 7%, '26년 20%)에 따라 고령자 통행의 안전문제 대두 ⇨ 비교적 안전한 철도 등 대중교통 이용선호
- 그간 높은 경제성장에도 불구하고 삶의 질은 하위권 수준
- 한국의 행복지수는 OECD 36개 국가 중 27위,
- 통근시간(OECD 평균:38분, 대한민국:50분)은 OECD23개 국가 중 두 번째로 많이 소요
- 소득수준 향상 및 시간가치 중시에 따라 서비스의 질을 강조하고 신속성에 대한 선호가 증가 ⇨ 교통서비스는 신속성 · 안전성 · 편리성 · 쾌적성 등을 중시

○ 국토공간구조 변화 대응 및 신성장동력 확보

- ' 20년까지 산·학·연이 정착하는 혁신도시 조성 등으로 국토공간구조가 분산화 되어 지역간 통행 수요 증가
- 지역별 GRDP 비중은 큰 변화가 없이 격차가 지속되고 있으며, 수도권과 접근성이 좋은 충청권만 비중이 일부 증가
 - 정부·호남 축을 제외한 내륙·해안지역은 낮은 대중교통 접근성으로 인하여 지역발전 기회 확보가 어려움
 - 특히, 저성장시대 진입과 연계하여 자연·문화관광 등을 활용한 지역발전 필요성이 제기되며 이를 위한 철도서비스 요구 증가
- 도시발전 및 광역권 확대에 따른 광역권 통행량의 지속적 증가
 - 현재도 통근시간대 도로 정체, 도시철도 혼잡문제 등이 심각한 상황에서 향후에는 더욱 심각해질 것으로 예상

○ 기후변화 리스크 경감과 교통비용 감축 노력

- 新기후체제 출범으로 온실가스 감축이 국가적 과제 등장, 저탄소 체제 구축이 시급(2030년까지 국가온실가스 감축목표를 30→37%로 상향, '15.12, 파리 기후변화정상회의)
- 교통부분(온실가스 배출 12.6% 차지)도 친환경차 보급과 함께 환경친화적인 철도(승용차 대비 온실가스 배출: 17.7%)로 교통체계의 전환 필요
- 높은 도로 의존도(지역간: 여객 85%, 화물 82%)에 따라 증가하는 교통비용 감축을 위한 철도수송분담률 제고 필요

○ 안전 중시 및 강화

- 교통부분의 안전사고는 지속적 감소하고 있으나, 선진국 수준에는 미흡
- 철도시설 구조물의 노후화로 개량 등을 통한 안전성 확보 필요

□ 미래철도의 역할

○ (철도 수송 경쟁력 확보) 철도 운영 효율성을 확보(용량부족 등 수송 장애요인 해결, 운영비용 감축)하는 등 철도 수송분담률 제고

- 수송분담률을 선진국 수준으로 증가(지역 간 30%*, 도시부 광역통행 60%)
 - * 중거리(~200km) 30%→50%, 장거리(200km~) 50~70% → 70~90%로 제고
 - * 철도 이용 확대 위해 철도연장 확충 필요(간선철도: 사회경제여건 고려 적정스톡(6,000km), 도시부 광역철도: 면적 유사한 파리권 기준 1,660km)
- 新기후체제 등에 대비한 온실가스 감축과 교통비용 감축을 위한 철도의 주도적 역할 수행

○ (지역 성장능력 확대) 전국 주요도시권 간 접근성 제고, 지역의 성장 잠재력을 확대

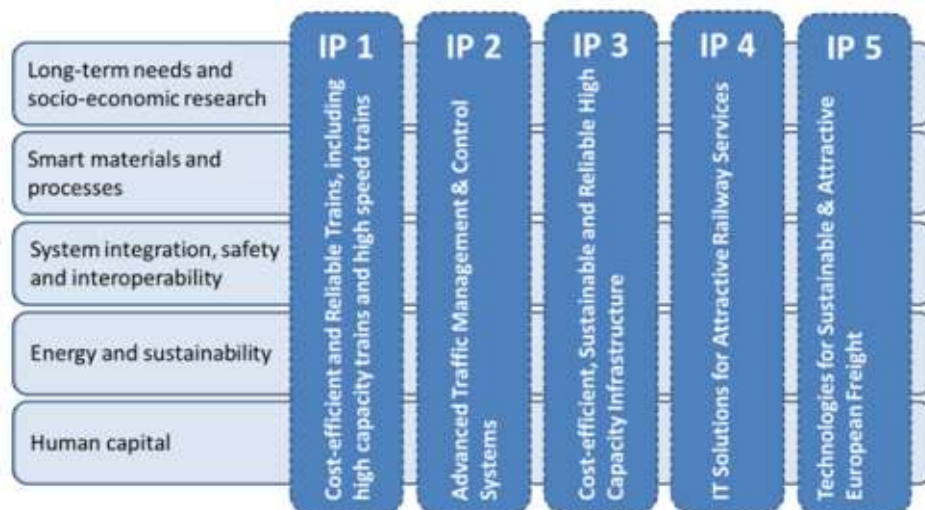
- 전국 주요도시권간을 2시간대로 단축(고속철도 서비스지역 확대, 일반철도 고속화)

- 주요 산업단지와 항만 간 화물수송을 4시간대로 단축
- (국민의 삶의 질 개선) 대도시권 통행시간 대폭 단축, 안전하고 편리한 서비스 제공
 - 대도시권 통근시간을 OECD 평균수준(38분) 이하인 30분대로 개선
 - 국민의 요구수준에 맞는 안전 확보와 이용 편리성 제고
- (대륙 연계 국제수송네트워크) 통일·유라시아 시대를 대비하여 남북철도 연결, 대륙철도 (TSR, TCR 등) 연계 추진

2. 해외 미래철도 연구동향

□ Shift2Rail Project(EU)

- 목표 : 철도수송LCC비용 50% 절감, 수송능력 2배 확대, 신뢰성 및 정시성 50%증가
- 연구개발 프로젝트 구성
 - 철도시스템의 모든 구조적(기술적) 및 기능적(프로세스) 하위시스템을 다루는 5개의 분야의 자산별 혁신프로그램(IP)으로 구성
 - IP1 : 대용량 열차 및 고속 열차를 포함하여 비용 효율적이고 신뢰할 수 있는 열차
 - IP2 : 개선된 교통 관리 및 제어 시스템
 - IP3 : 비용 효율적이고 지속 가능하며 신뢰할 수 있는 대용량 인프라
 - IP4 : 매력적인 철도 서비스를 위한 IT 솔루션
 - IP5 : 지속가능하고 활용성있는 유럽내 화물 운송을 위한 기술



[그림 1.3] 수행중인 Shift2Rail Program의 구조

- Shift2Rail 주요 지킴과제(Lighthouse Project)

- Roll2Rail : IP1의 프로젝트로 차량성능개선을 통한 미래차량 구현
- IT2Rail : IP4의 프로젝트로 여행서비스 개선을 통한 승객만족도 향상
- In2Rail : IP2 및 IP3의 프로젝트로 인프라설비, 지능형모바일 관리 및 전력분야에서의 효율적이고 대용량의 디지털화된 철도 네트워크 기술 개발
- Smart-Rail : IP5의 프로젝트로 철도화물서비스의 개선

□ SmartRail World

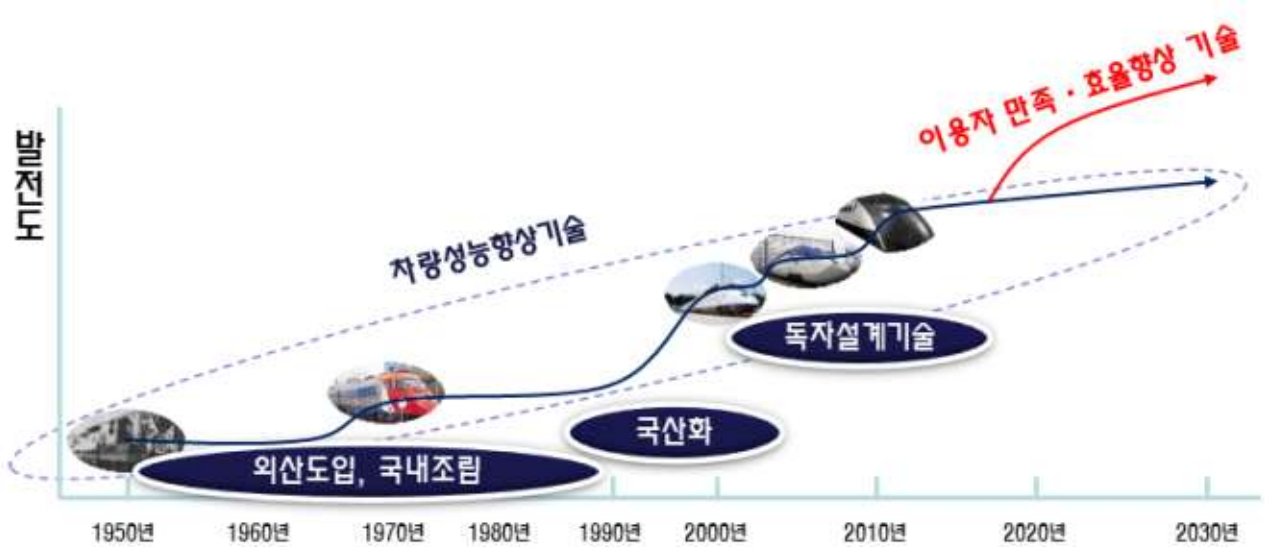
- 미래의 디지털 철도 창출을 목적으로 철도 인프라 관리자, 열차 운영 회사, 시스템 및 데이터 통합 업체 및 기술 공급 업체가 참여하는 포럼과 전시회
- 철도 및 지하철이 빠르게 변화하는 산업을 형성하고 방해하는 솔루션, 프로젝트 및 기술 개발에 대하여 관련 업계의 가이드 공유
- 디지털 산업의 성장으로 운영, 신호 및 열차제어에서부터 자산관리, 유지보수 및 보안에 이르기까지 철도의 모든 측면에서 독창적인 보고서, 데이터 분석 및 통찰력을 통해 IT 및 자산관리, 신호, 통신, 승객 집중형 서비스 등을 통해 철도업계 혁신의 최첨단 진행사항을 공유하며, 새로운 도전과제 해결을 위하여 새로운 아이디어, 기술 등에 대한 필요성을 공유하며 공동연구 진행
- 주요 분야
 - Smart Communication & Control Network
 - ERTMS 비전 실현 및 ETCS 레벨 3 로의 전환.
 - GSM-R, TETRA 및 LTE 이상으로의 진화
 - 네트워크 용량 극대화, 안전성을 높이기 위한 Big Data 솔루션의 역할.
 - 미래의 디지털 철도를위한 필수적인 백본.
 - Smart Journey
 - 현대 승객의 이해 및 요구사항 도출
 - 승객 및 승객데이터 수집관리를 통한 승객서비스 최적화
 - 탑승객 수를 늘리기 위한 요금징수 및 매출관리 솔루션
 - 매출 및 ROI 증대를 위한 상업 플랫폼 구축
 - Smart Analytics : Data & Asset Management
 - IT 자산 및 Big Data를 이용한 자산의 최대화
 - 예방 및 예측 유지보수로의 전환 촉진
 - 총 소유비용 절감을 위한 기술 및 데이터 활용
 - 자산 가용성 및 네트워크 용량 증가
- 주요 개선 사례
 - Big Data를 활용한 지연 예측 및 예방 프로그램

- 스웨덴 스톡홀름의 통근열차를 대상으로 Big Data를 이용하여 미래 2시간까지의 지연을 예측하는 새로운 알고리즘 개발
 - Big Data를 통한 예측프로그램을 통해 서비스 단절을 예측하며, 교통관제센터에서 대부분의 지연을 발생시키는 과급 효과(ripple effect)를 예방하게 됨
 - 열차가 정시운행을 못하는 경우, 과거 data를 사용하여 전체 네트워크의 지연위험도 예측 수행
- IBM Watson 슈퍼컴 도입을 통한 SNCF의 디지털 철도 구현
- SNCF에서 IBM Cloud에서 IBM Watson IoT(Internet of Things)를 사용하여 일일 1,350만명의 승객을 대상으로 고객경험을 개선하고 운영효율성을 향상시키며 철도의 안전을 강화함.
 - IBM Watson은 AI(인공지능) 및 정교한 분석 소프트웨어를 결합하여 "질문 응답"시스템으로 최적의 성능을 발휘 하는 IBM 슈퍼 컴퓨터로 SNCF와 협력하여 대중교통 분야에 처음 적용함.
 - SNCF는 현재의 트랙과 열차에 설치되는 특수산업센서를 개발하고, 이를 활용하여 수 천만개의 데이터 포인트를 IBM Cloud의 IBM Watson IoT Platform에 안전하게 실시간으로 전송함.
 - 예를 들어 파리의 메트로라인에서 신세대열차에 2,000개의 센서가 장착되어 있으며 한 달에 70,000개의 데이터 포인트를 전달함. SNCF 엔지니어는 각 열차를 수동으로 검사하지 않고 한 번에 최대 200대의 열차를 원격으로 모니터링하여 문 고장 또는 에어컨과 같은 잠재적 인 문제를 파악할 수 있음.
 - 유지 보수가 필요한 시점을 예측함으로써 SNCF는 열차의 서비스 중단을 방지하고 비용이 많이 드는 수리를 피할 수 있음. SNCF는이 열차 및 궤도 유지 보수 방법이 비용을 절감하고 신호 및 열차의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다고 추정. 철도 인프라 상태에 대한 최신 정보를 지속적으로 업데이트하고 필요할 경우 기능 장애의 위험이 있는 경우 담당 전문가 팀에게 조기 경보 제공이 가능함.

3. 국내 철도의 발전 방향

□ 국내 철도의 발전

- 속도 측면 : 디젤기관차(105km/h) ⇨ 새마을호(150km/h) ⇨ KTX-I,II(350km/h) ⇨ 차세대고속열차(420km/h)
- 기술 측면 : 외산도입 ⇨ 국내조립기술 ⇨ 국산화기술 ⇨ 시스템설계기술
- 운영자/공급자 위주의 성능향상 기술로써 기술발전의 한계에 도달



[그림 1.4] 국내 철도기술의 발전 추이

□ 향후 철도의 기술개발 방향성

- 인프라 건설 측면에서 건설 및 운영비를 줄 일수 있는 기술과 공사기간을 단축시킬 수 있는 기술
 - 건설비 저감을 위하여 터널 내공 단면적을 작게 할 수 있는 기술 개발
 - 전두부 형상 최적화, 차량 기밀도 향상 기술, 터널 입출입구의 미기압과 저감 기술
- 차량제조 측면에서 동력 분산식이, 수송력 증대 측면에서 차량 차체단면은 크게 하면서 축중은 작아지는 경량화 기술, 고속화에 따른 차내 및 차외 소음문제 해결 기술
- 여행시간 단축 측면에서 속도향상에 더불어 최고속도로 지속가능성이 높은 기술
- 동일 성능수준의 철도용품을 값싸게 제공할 수 있는 기술
- 전력소모를 최소화할 수 있도록 에너지 효율성이 높은 기술
- 열차운전시격을 최소화(3분 이내)함으로서 대량 수송에 직결되는 무선 통신 기반 열차 제어 기술
- 경량화를 위한 신소재 기술
- 소음저감 등 친환경성 기술
- 해외진출을 용이하게 하기 위하여 상호호환성 높은 기술 개발 및 표준화를 통한 국제화 관련 규정 연구

□ 향후 철도기술의 발전 방향

- 4차산업혁명시대에 맞추어 이용객 개개인의 On-Demand 서비스 확대를 위하여 ICT, IoT 등 첨단기술 융복합을 통한 이용자의 만족도 향상 및 철도 효율향상 추구 필요

4. 철도시스템의 스마트화 방향

- 디지털 산업의 성장으로 운영, 신호 및 열차제어에서부터 자산관리, 유지보수 및 보안에 이르기까지 철도의 모든 측면에서 독창적인 보고서, 데이터 분석 및 통찰력을 통해 IT 및 자산관리, 신호, 통신, 승객 집중형 서비스 등을 통해 철도의 최첨단화 방향으로 진행.
- 스마트철도기술은 현재 진행 중인 4차 산업혁명시대의 흐름에 맞추어 기존 철도시스템의 성능향상기술을 기반으로 ICT, IoT 등 첨단기술을 융복합하여 철도시스템이 운행되는데 필요한 사람과 인프라(신호시스템, 선로, 전력설비 등)의 영향이 최소화되는 자율주행기반의 철도시스템으로 철도를 이용하는 승객의 만족도를 향상시키고 철도시스템 운영자의 운영 효율성을 높이는 기술로서
 - 이용자의 만족도(원하는 시간에, 빠르고, 편하고, 안전하게)를 향상시키며
 - 운영자의 효율성(수요대응, 효율적, 안전, 지속가능)을 높이기 위함이다.
- 이용자의 만족도를 향상시키며, 운영자의 효율성을 높이기 위하여 각각에 대한 문제점 및 해결방안을 아래 표와 같이 도출하였다.

[표 1.1] 이용자 만족도 향상의 문제점 및 해결방안

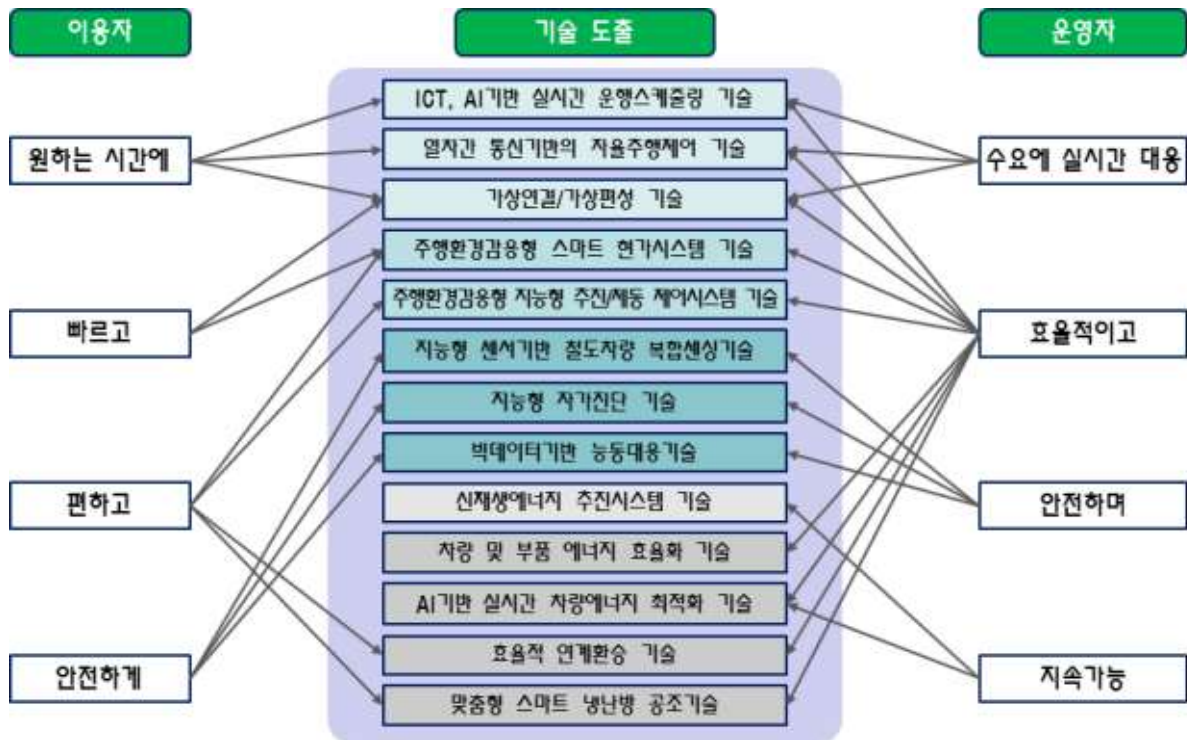
이용자 만족도	문 제 점	해결방안
원하는 시간에 (On Demand)	•열차시각표와 열차 편성이 항상 고정되어 있어, 이용량이 많은 시간대에 열차표를 구하기 어렵다. •출퇴근 시간에 열차가 너무 혼잡하다	•이용자 수요에 따라 열차 증편(운행편수 및 운행량수) ⇨ 실시간 스케줄링, 가상연결개념의 열차다편성주행 •출퇴근 시간 열차의 추가투입 필요하나 현 신호시스템의 한계 도달로 열차 시격을 줄일 수 있는 새로운 신호방식 필요⇨ 열차간통신방식의 자율주행기술
빠르고	•고속철도 혜택 지역이 고속선 정차역 인근으로 한정되어, 기존선 운행구간에서도 준고속화가 필요함 •열차 운행 중 지연이 종종 발생함 •고속선에서의 정차역이 많아 운행시간이 증가됨(1개역 정차시마다 운행시간 6.5분 증가)	•선로(노반)의 속도한계를 차량에서 흡수하여 고속화 ⇨ 스마트 Vehicle Dynamic Control 기술 •열차 운행지연을 회복할 수 있도록 열차 추진제동성능 향상 •운행차량을정차역별로 분리 ⇨가상편성 열차기술활용
편하고	•운행 중 소음, 진동, 이명 발생함. •환승 경로가 복잡하고 환승대기시간이 길다 •차량 실내온도가 덥거나 춥다.	•소음, 진동, 이명 감소 ⇨ 소음/진동/기압의 능동제어를 통한 감소 기술 •수평환승구조의 승강장, 노선별연계환승 최적화 •승객탑승량 및 차량내 구간별 실내온도 감지를 통한 휴먼 친화적 냉난방 공조 자동화

이용자 만족도	문 제 점	해결방안
안전하게	•운행 중 차량고장 발생. •고장 발생후 정상화에 많은 시간 소요 •승강장 안전사고 발생	•차량고장 최소화를 위한 예방/예지적 유지보수 ⇨ 주요장치 실시간 상태모니터링 및 이를 이용한 고장예측기술 •다양한 고장 상황 묘사 및 대응 시나리오 기반 사고복구훈련, 복구장비 확보

[표 1.2] 운영자 효율성 향상의 문제점 및 해결방안

운영 효율향상	문 제 점	해결방안
수요 실시간 대응	•운행스케줄 작성에 많은 경험과 시간이 소요됨 •특정시간 및 구간에서 선로용량한계에 도달하여 추가적인 열차 투입이 어려움 •고정된 편성차량과 운행차량수의 한계로 수요에 따른 능동적인 대응에 많은 한계가 있음	•ICT, AI기반의 실시간운행스케줄링 기술 개발 •새로운 열차제어시스템 도입을 통한 열차 간격 최소화로 선로용량 증대 ⇨ 열차간 통신기반 열차자율주행제어 기술 •소량편성차량(2량/4량1편성) 기반 가상열차편성기술 개발을 통한 열차운영
효율적	•대량 고정편성(10량/20량편성)으로 승객 수요에 따른 탄력적인 열차운영에 한계가 있음. •에너지효율화 차량에 대한 기준이 없음. •시간/속도 중심의 운행체계로 차량의 사용에너지 최적화 관점의 열차제어가 이루어지지 않음. •지상제어설비 설치 및 유지보수비용 크다	•소량편성차량 운영으로 수요대응 탄력적 운행 ⇨ 수요多:대량편성+소량편성, 수요小:소량편성 •차량 에너지 효율등급을 통한 에너지 절감 유도 ⇨ 철도차량 에너지 효율 인증기준 •열차 및 선로의, 도착시간 등을 고려한 AI기반의 실시간 에너지최적화 열차제어 수행 •지상제어설비를 차상으로 옮겨 기반제어수행⇨열차간통신기반 열차자율주행 기술
안전	•인력/육안검사 위주TBM유지보수로 유지보수 첨단화 필요 •차량 도입시 외국의 유지보수체계 도입 및 유지로 기술 발달에 따른 유지보수 선진화가 필요함 •이례상황발생시 운영자의 인적오류에 의한 2차사고 발생위험이 크다.	•자가진단 및 CBM 유지보수체계 수립 •LCC기반의 유지보수 체계 도입 •인적오류 해소를 위한 AI기반 복구대응체계 수립
지속가능	•교통분야 온실가스 배출량 저감이 요구되고 있음. •노후화된 디젤기관차 사용으로 매연 및 CO2발생에 따라 온실가스 감축 추세에 반하고 있음. •전기철도 인프라설비(변전소, 전차선로)는 위해시설로 간주되어 민원 요소가 되고 있음.	•화석연료 운행차량 중단 ⇨ 전기차량, 신재생에너지차량 확대 •차량자체에서 전기를 생산하여 운영하는 자립형 차량 개발 ⇨ 신재생에너지원 탑재 차량

□ 위의 문제점과 해결방안으로부터 스마트철도 구현을 위한 기술을 아래 그림과 같이 도출하였다.



[그림 1.5] 스마트철도 구현 기술 도출



[그림 1.6] 스마트철도 구현 기술

- 스마트철도 구현을 위한 도출기술로부터 기획범위에 따라 스마트철도 핵심기술을 아래와 같이 구성한다.
 - 실시간 승객 수요에 따라 추가적인 열차투입이 가능하게 하는 스마트 스케줄링 기술 및 열차간 직접통신기반의 열차자율주행 기술
 - 승차감 향상을 위하여 선로 취약구간에서의 승차감 향상 및 고속열차의 정시성 향상을 위한 고속열차 스마트 주행장치 기술
 - 센서기반의 IoT기술을 이용한 철도차량 지능형 자가진단 및 능동유지보수기술
 - 전력인프라(전차선, 변전소 등)가 필요 없는 신재생에너지 동력원을 갖는 수소연료전지 하이브리드 철도차량핵심기술

- 철도의 스마트화 기술을 구현함으로써 이용자 및 운영자 측면에서 얻을 수 있는 기대효과는 아래와 같다.
 - 이용자 측면
 - 열차간 협업 기반의 향상된 간격제어 기술개발을 통해 운전시각 단축이 가능하고 승객의 통행시간 단축이라는 측면에서 원하는 시간에 빠르고 편안한 철도 이용이 가능
 - 열차간 협업기반 가상열차편성 기술개발을 통해 지선의 열차투입 증가효과를 가져올 수 있으며 이로써 원하는 시간에 빠르고 편안한 철도 이용이 가능
 - 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발을 통해 사고, 고장 등 여러 이례상황 발생시 운영자의 수동개입 없이 열차간 협업으로 신속하고 정확한 대응이 가능하므로 안전한 철도이용이 가능
 - 실시간 열차 스케줄링 기술을 통해 이용자가 탑승하고자 하는 시간에 열차 이용이 가능
 - 승차감 30%, 제동/추진성능 10% 향상으로 선로 개량을 최소화하면서 증속 및 정시성 향상
 - 대도시권의 통근시간을 단축하여 외곽의 도시들이 개발되어 지역의 균등 발전에 기여하고, 철도물류를 활성화하여 산업경쟁력 강화
 - 차량의 능동제어기술(VDC)을 통해 열차의 승차감이 향상되고, 예정된 도착시간에 목적지까지 이동할 수 있으며, 기존선 구간에서의 준고속화 서비스를 통해 빠르고 편안한 철도이용이 가능
 - 지능형 자가진단 기술을 통해 열차 이용 중 발생 가능한 고장의 사전예방으로 안전한 철도 이용이 가능
 - 운영자 측면
 - 열차간 협업기반 향상된 간격제어 기술개발 및 가상열차 편성기술 개발을 통해 수송량이 증대되므로 효율적인 철도운영 가능
 - 열차간 협업기반 가상열차 편성기술개발을 통해 주행중 자유로운 편성조성이 가능함으

로써 운영자 측면에서 안전하고 효율적이며 수요에 실시간 대응이 가능

- 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발을 통해 이례상황 발생시 운영자 개입 없이 열차스스로 신속한 대응이 가능하므로 효율적이고 안전한 철도운영 가능
- 실시간 열차 스케줄링 기술을 통해 실시간 수용에 대응하는 열차 편성 및 조성을 통해 수송량이 증대됨으로 효율적인 철도 운영 가능
- 스마트 진동제어를 통한 선로 관리기준 완화, 추진/제동 시스템의 실시간 모니터링/제어를 통한 고장예방 등 유지보수 비용 감소 및 운임 감소
- 국내 고속열차 기술의 해외시장 경쟁력 확보 및 시장진출을 통해 글로벌 시장 점유율 확대
- 차량 운행 신뢰성 확보를 통해 막대한 시설투자 없이 최소개량을 통한 실질적인 표정 속도 향상 및 추가편성 투입으로 수송력 향상에 따른 이익 창출 가능
 - ※ 경부고속철도 대전-대구 도심구간 건설사업(2조 8,8851억원)으로 거리 6.5km, 시간 평균 5분 단축('15년 7월 31일 보도자료)
- 정시성 향상으로 인한 승객 시간 편익 효과 : 연간 약 980억원
 - ※ 철도 1인당 시간가치 산출기준 7,618원/인(「철도투자평가편람 개정연구」, 철도공단, 교통연, 2010)
 - ※ KTX 승객수송실적 2015년 기준(「철도통계」, 철도산업정보센터)
 - ※ 서울-부산 현재 운행시간 대비 21분 단축 가정
- 주행환경 감응형 고속열차 주행 핵심장치(현가/추진/제동) 지능형 제어기술개발을 통하여 국내 고속열차 기술의 고부가가치화 및 해외시장 경쟁력 확보가 가능할 것으로 예상
- 지능형 차량 주행핵심장치 능동제어기술은 유럽 선진업체만이 가지고 있거나 아직 기술개발이 이루어지지 않은 고도의 기술로서 본 기술개발을 통하여 한국만의 독자기술 확보 및 세계시장 선도 가능
- 「철도산업발전기본법」에 따라 수립된 제 3차 철도산업발전기본계획의 철도 수송분담률 27% 달성 및 철도수송 효율 15% 향상, 철도건설 및 운영유지비 5% 절감 등의 중기목표를 달성하는데 크게 기여할 수 있으며, 또한 제2차 국가철도망 구축계획과 연계하여 국토 주요거점의 고속철도 연결 정책강화 및 철도중심 국가기간망 구축정책 기여
- 검수업무 자동화로 매 3~7일마다 인력에 의존하여 이루어지고 있는 일상 또는 월상검수를 자동화 기기로 대체함으로써 유희인력을 경정비 및 중정비에 투입하여 정비외주화를 줄일 수 있음
- 자동화 기기에 의한 온라인 모니터링으로 데이터의 축적이 용이하게 되며, 장기간에 걸친 상태변화를 분석함으로써 고장예방을 통한 안전성 및 가용성 향상
- 상태변화 및 유지보수 자원의 최적화를 통한 철도차량 정비체계의 개선 및 상태기반유지보수(CBM) 적용을 통한 유지보수비용 절감
- 4차산업을 대표할 수 있는 IoT, AI, AR 기술을 선점함으로써 기술발전을 리드할 수 있는 토대 마련
- 신재생에너지 추진기술을 통해 철도분야 CO₂ 감축목표 달성에 기여함으로써 환경친화

적인 철도시스템 구축에 기여

- 수소연료전지 기술의 선박, 비행기 등 타교통수단으로의 확대 적용이 가능한 핵심 기술의 확보로 국가 신성장동력 확보
- 버스, 오토바이, 유람선, 지게차 등 모든 종류의 운송기기 분야로 수소연료전지 적용분야 확대 추세 (미국 에어로바이런먼트社(사)는 무인 수소비행기 시험비행에 성공, 독일 HDW는 수소연료전지 잠수함 상용화)
- 차량 내부에 내연기관과 같은 자체 동력원을 두어 별도의 전력공급설비가 불필요하여, 건설비의 절감이 가능하고, 특히 자연재해, 전쟁 등으로 인해 전원공급 중단시에도 독립적으로 운행이 가능하고 기존노선은 물론 비전철화 구간의 운행도 가능하여 철도망의 유연한 확장성 확보 가능

5. 자율주행기반 스마트철도 논리모형

[표 1.3] 자율주행기반 스마트철도 논리모형

1. 이슈 / 문제			
□ 4차 산업혁명의 도래에 따른 교통 이용객의 변화된 요구사항에 대응 필요 □ 인구의 대도시 집중화에 따른 도시내 및 도시간 교통수요 증대에 따른 수송효율 향상 필요 □ 소득수준 향상 및 시간가치 중시에 따른 교통서비스 품질 향상요구 □ 국토공간구조 분산화에 따른 지역간 통행 수요 증가 □ 기후변화 리스크 경감 및 교통비용 감축			
2. 목표		3. 수혜자	
□ 열차운전시격 30% 단축 □ 신호설비투자비 20%절감 □ 승차감 30% 향상 □ 순간출력 10%상승, 제동거리 10%단축 □ 유지보수 소요시간 20% 단축 □ 에너지효율 20% 향상 □ 철도부분 온실가스배출 70% 저감		□ 철도 서비스 공급자(운영자) □ 철도 서비스 이용자(승객) □ 제작사(기업)	
4. 투입	5. 활동	6. 산출	7. 성과 / 영향
□사업비 : 1,017억원 □인적자원 ○ 정부출연기관 ○ 철도운영기관 ○ 관련기업 ○ 전문학계	□지능형 열차자율주행 핵심기술개발 □주행환경감응형 스마트주행장치 핵심기술 개발 □지능형 자가진단 기반 능동유지보수 핵심기술 개발 □수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템 기술 개발	□열차간 협업기간 자율주행제어통신기술 □스마트 관제시스템 □실시간 주행환경감응형 스마트현가시스템, 능동/추진제어시스템 □철도차량 이상상태 자동센싱장치 4종 □자동센싱적용 하이브리드 유지보수체계(안) □수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심 기술 5건	□열차 운전시격단축에 따른 수송량 향상 □수요자 중심의 철도서비스 제공 □주행성능 고도화로 고부가가치철도차량기반 기술 확보 □운행중 철도차량 장애 예방 및 유지보수비용 절감을 통한 철도신뢰성 향상 □파리기후협약에 따른 온실가스감축목표달성에 기여
8. 가정			
□ 4차산업혁명이 가속화되어 사회 전 분야에 파급되며, 첨단 ICT 및 IoT 기술이 일반화되어 이를 활용한 기술제품의 단가가 지속적으로 하락할 것임. □ 도시 내 및 도시간 이동이 크게 증가할 것이며, 교통서비스에 대한 수요자 중심의 요구(원하는 시간에/빠르고/편하고/안전하게)가 지속적으로 증가할 것임. □ 온실가스 감축을 위한 정부의 정책이 지속적으로 유지되어, 신재생에너지에 대한 기술투자가 가속화되어 신재생에너지 적용비용이 지속적으로 하락할 것임.			

제2장 국내외 동향 및 환경분석

1절 세계 스마트철도시스템 시장

1. 스마트철도 시장 주요 중점사항

- 도로 및 항공기의 교통정체로 철도의 교통수요가 증가하고 있음. 열차는 합리적인 가격으로 더 빠른 서비스를 제공함으로 다른 운송수단에 비해 접근성이 좋으며 편리하며 도로에 비해 빠르고 안전함. 철도 운송에 대한 수요가 증가함에 따라 철도시스템을 더욱 발전되고 자동화된 시스템으로 만들어야함.
- 스마트철도시스템은 고급 기능을 수행하기 위해 철도 인프라의 사용을 자동화하고 최적화하는 솔루션, 장치 및 구성요소 및 서비스로 구성되며, 승객예약 및 정보시스템, 화물 운영정보시스템, 철도교통관리, 운영 및 자산 관리, IP기반 보안모니터링, 통신, 발권 및 철도 분석과 같은 여러 구성 요소가 있음.
- 스마트철도 시장의 주요 사항

[표 2.1] 스마트철도 시장의 주요사항

○ 주요 고객 • 정부 관계당국 • 철도 운영자	○ 주요 시장 창출 요인 • 사람들의 이동에 대한 요구사항 변화 • 하드웨어 및 연결비용 감소 • 진보된 해결방안의 등장 • 인구성장 및 초고속화
○ 주요 시장 과제 • 제한된 용량의 제약 • 높은 운영 및 유지보수비용 • 느린 인프라의 성장과 제한된 연구비용 • 안전 및 보안문제	○ 주요 시장 동향 • 분석과 빅데이터의 활용 증가 • 첨단 기술의 해결방안 등장 • 철도교통 이용의 증가 • 스마트철도 인프라의 요구

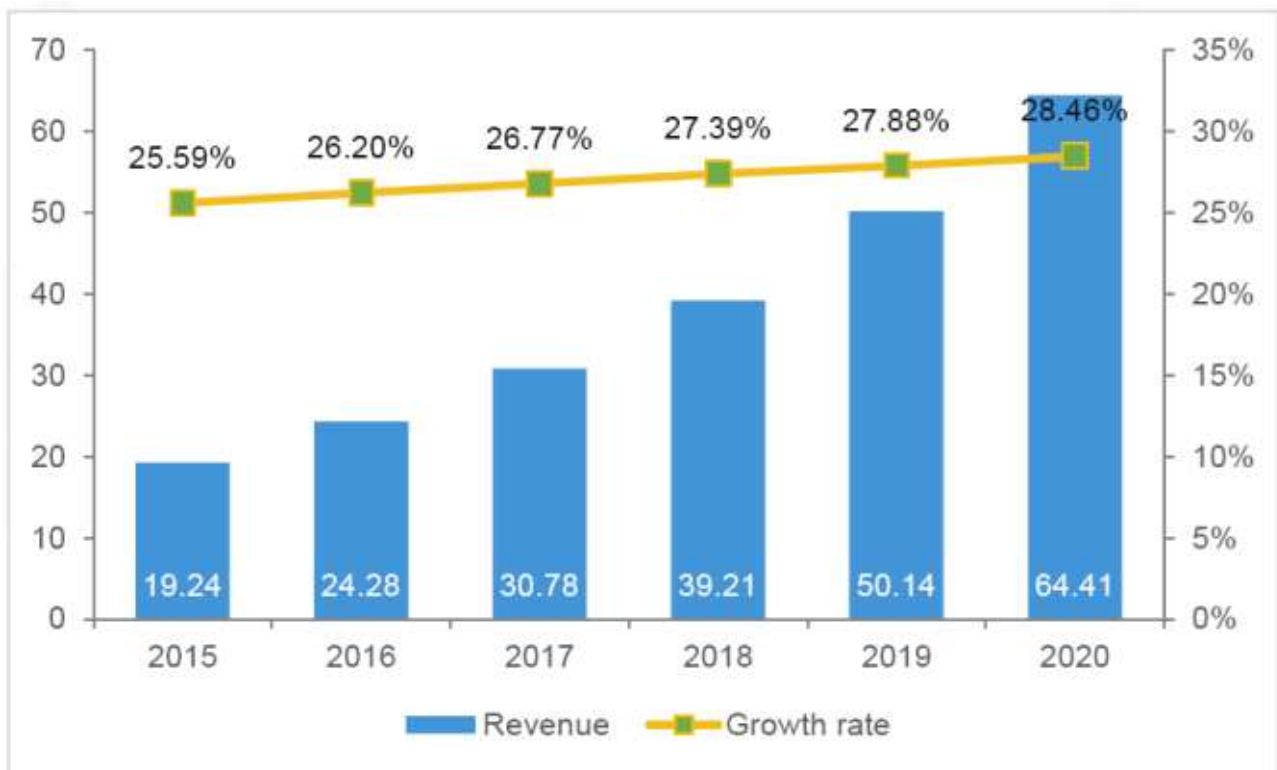
2. 시장현황

가. 시장예측

- 글로벌 스마트 철도 시스템 시장은 2015년 192억4천만 달러로 평가되었으며 2020년까지 644억 1천만 달러에 도달할 것이며, 연 평균성장율이 27.34%로 이를 것임.
- 글로벌 스마트 철도 시스템 시장은 신흥 시장이며 예측 기간 동안 상당한 성장을 보일 것입니다. 개발도상국의 시장이 완만한 속도로 성장하고 있지만, 미국과 유럽 등 선진국의 성장세는 상당한 수준임. 스마트 철도 시스템은 철도 네트워크 및 인프라의 효율적

인 관리를 위해 고도의 자동화가 진행되고 있음.

- 선진국 시장은 이미 성숙단계로 접어들어 포화상태에 이르렀으며, 중국,일본, 러시아는 철도시스템이 매우 발달하였음.



[그림 2.1] 세계 스마트철도시스템 시장 2015-2020 (십억\$)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

- 반대로 중동국가와 인도는 여전히 성장단계에 있으며, 새로운 장치와 구성요소를 설치하고 더 많은 솔루션과 서비스를 제공하고 있음. 고장을 예측하고 예방하는데 사용되는, 데이터를 수집하는 센서가 장착 된 열차와 같은 대규모로 철도 시스템을 업그레이드 할 것으로 예상됨. 승객에게 사고를 방지하고 안전하고 효과적인 여정을 제공하기 위해 수집된 데이터는 브레이크 마모, 또는 크랙이 생긴 휠의 진동을 이해하는데 사용됨. IBM 과 같은 회사는 효율적인 철도 시스템을 만들기 위해 Smart Vision Technologies를 제공하고 있음.

나. 글로벌 스마트 철도 시스템 시장의 세분화

- 글로벌 스마트 철도 시스템 시장은 솔루션, 장치 및 부품, 서비스의 세 가지 유형으로 나눌 수 있음.
- 새로운 기술은 통합 서비스, 클라우드 호스팅, 분석 도구 및 자산 관리 소프트웨어로 구성되어, 철도 관리 공급 업체가 열차의 경로를 최적화하고, 승객 역량을 실시간으로 관리하고, 적절한 일정을 수립하도록 지원함. 철도에서 스마트 기술의 사용이 증가함에 따라 솔루션 및 서비스 시장은 빠른 속도로 성장할 것임. 철도 분석, 스마트 트래픽, 스마

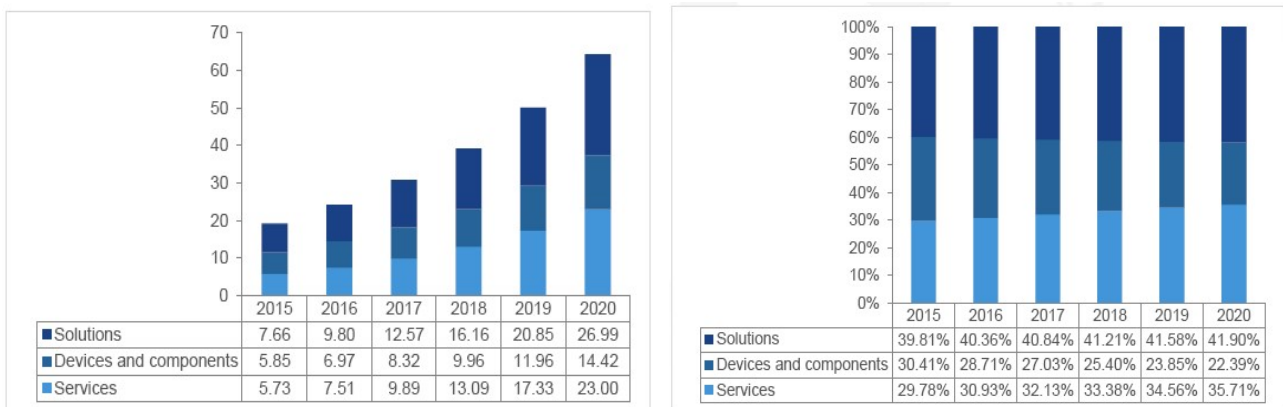
트 발권 및 기타 통합 서비스와 같은 글로벌 스마트 철도 시스템 시장에서 진화하는 기술은 효과적이고 향상된 철도 인프라를 제공 할 것임.

- 많은 국가들이 서비스를 향상시키기 위해 철도 관리 시스템에 막대한 금액을 투자하고 있습니다. 예를 들어, 유럽에서 가장 바쁜 철도 네트워크 중 하나로 여겨지는 네덜란드 철도는 하루에 5,000 대 이상의 기차를 조성하고 예약하는 데 도움이 되는 IBM의 고급 최적화 소프트웨어를 사용하고 있으며, 이로 인해 운영 효율성이 6% 향상되고 연간 227억 6천만 달러의 절감 효과를 거두었음.
- 보다 효과적이고 효율적인 철도 시스템의 필요성은 자동화 된 시스템에 대한 수요를 촉진 할 것임. 서비스 시장은 기기 및 부품 시장 및 솔루션 시장에 비해 가장 높은 성장을 경험할 것임. 이는 서비스를 개선하고 새롭고 혁신적인 서비스를 구현할 수 있지만, 장치 및 구성 요소와 솔루션이 자주 변경되지 않기 때문임.



[그림 2.2] 세계 스마트철도시스템 시장 유형별 매출 백분율(좌:2015년, 우:2020년)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio



[그림 2.3] 세계 스마트철도시스템 유형별 시장규모(좌:매출액-십억불, 우:백분율)

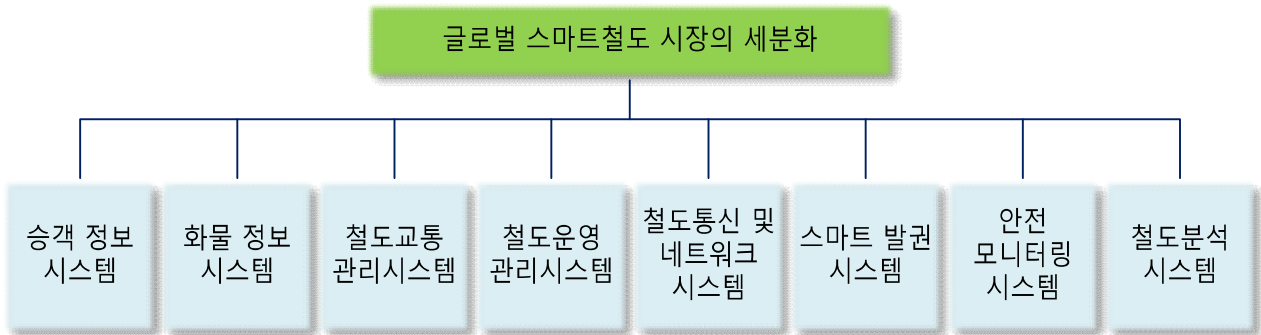
※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

3. 스마트철도 시장 전망

가. 스마트철도 솔루션 시장 전망

○ 글로벌 스마트철도 솔루션시장 분류

- 글로벌 스마트철도 솔루션 시장을 아래와 같이 분류될 수 있음.

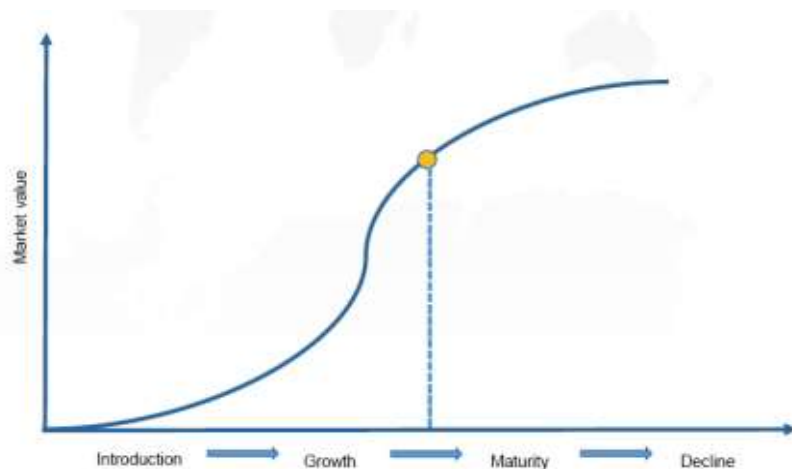


[그림 2.4] 글로벌 스마트철도 시장 분류

- 스마트 철도 시스템에는 ICT를 기반으로 하는 일련의 차세대 솔루션과 서비스가 포함됨. 선로에서부터 차량까지 철도 자산을 지능적으로 사용할 수 있도록 다양한 소프트웨어 제품을 결합함으로써 철도회사가 점점 더 효율적이고 안전한 서비스에 대한 소비자의 요구를 충족시킬 수 있음.

○ 글로벌 스마트철도 솔루션시장 규모 및 향후 전망

- 글로벌 스마트 철도 솔루션 시장은 2015년 76억6천만달러로 평가되었으며, 연평균 성장률이 28.29%로 성장하여 2020년까지 26억9천9백만 달러에 이를 것으로 예상됨.



[그림 2.5] 스마트철도 솔루션 시장의 라이프 사이클

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

- 대부분의 철도당국은 철도 시스템을 업그레이드하고 있음. 따라서 예측기간동안 시장은 포화상태가 되어 성장률이 정체 될 것임. 따라서 예측기간 동안 시장수익이 증가하더라도 세계 여러지역의 성장범위가 제한되어 시장성장은 둔화 될 것임.
- ICT는 글로벌 스마트 철도 솔루션 시장에서 핵심 솔루션 중 하나로 화웨이(Huawei)는 전 세계적으로 철도에 이 ICT 솔루션을 공급하는 선도 업체임. 화웨이는 GSM-R, eLTE, 광대역 솔루션 및 전송 솔루션과 같은 다양한 ICT 솔루션을 보유하고 있음



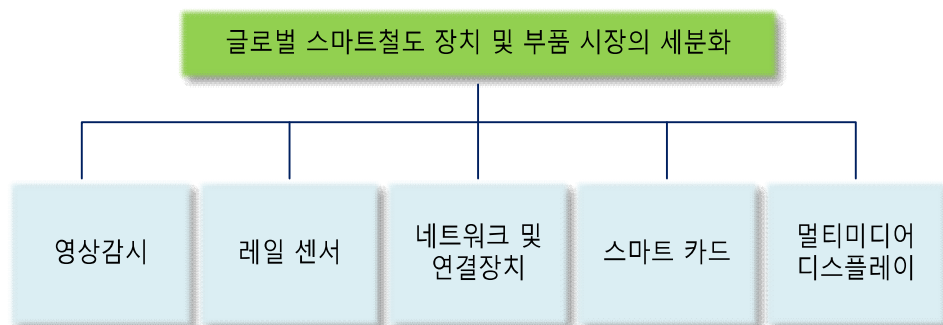
[그림 2.6] 스마트철도 솔루션 시장 규모(단위:십억불)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

나. 스마트철도 장치 및 부품 시장 전망

○ 글로벌 스마트철도 장치 및 부품시장 분류

- 글로벌 스마트철도 장치 및 부품시장은 아래와 같이 분류될 수 있음.

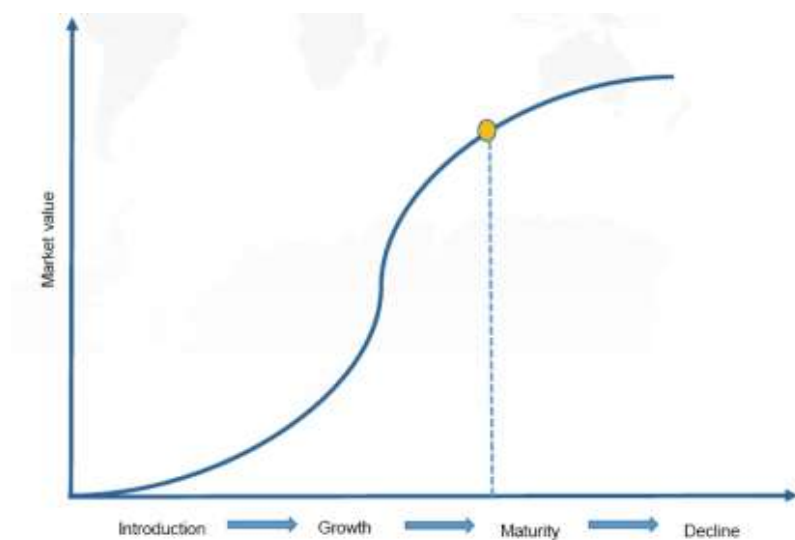


[그림 2.7] 글로벌 스마트철도 장치 및 부품시장 분류

○ 글로벌 스마트철도 장치 및 부품시장 규모 및 향후 전망

- 세계 스마트철도 장치 및 부품시장은 2015년에 5.85 달러로 평가되었으며 연평균성장률 19.39%로 2020년까지 14.42억 달러에 도달할 것으로 예상됨.

- 글로벌 스마트철도 장치 및 부품 시장은 향후 성장이 둔화 될 것으로 예상됨. 예측기간에는 시장이 포화되어 성장을 둔화될 것임. 미국과 일본과 같은 선진국에서는 고객에게 더 나은 서비스를 제공하기 위해 이미 이 장치를 설치하였음. 그러나 중동과 같은 개발도상국은 철도장치 및 부품에 막대한 투자를 하고 있음. 중동과 같은 개발도상국은 이제 철도를 보다 스마트하게 만들고 철도 시스템에 새로운 장치를 설치하여 효율적인 작업을 수행하고 있음.
- 지멘스는 철도 산업에 전기 부품을 공급하는 선도 업체로 SIRIUS와 SENTRON이라는 이름의 두 가지 제품을 보유하고 있으며, 전세계 수많은 철도 차량에 사용되고 있음. 또한 자동열차제어시스템, 전자인터로킹시스템, 운영제어시스템, 철도통신시스템, 온보드 전원공급시스템 및 견인모터와 같은 다양한 자동화 서비스를 철도에 제공하고 있음.



[그림 2.8] 스마트철도 장치 및 부품시장의 라이프 사이클

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio



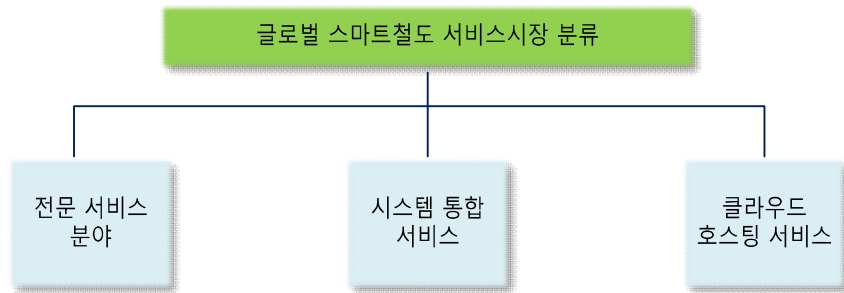
[그림 2.9] 스마트철도 장치 및 부품시장 규모(단위:십억불)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

다. 스마트철도 서비스 시장 전망

○ 스마트철도 서비스 시장 개요

- 스마트 자동 서비스는 정보에 입각 한 의사 결정을 내리고 고객에게 더 나은 서비스를 제공함. 글로벌 스마트철도 서비스 시장은 다음과 같이 분류 될 수 있음.
- 철도의 전문 서비스 : 컨설팅, 법률, 설치 감독, 물류, 중장비 유지 보수



[그림 2.10] 글로벌 스마트철도 서비스시장 분류

- 통합서비스 : 철도 운영자는 고객 및 직원 안전을 향상시키고, 서비스를 유지하며, 통제 하에 비용을 유지하면서 통신 네트워크의 복잡성이 증가되고 있음. 이를 위해 기존 네트워크시스템을 차세대 IP 기반기술로 업그레이드 해야함. 이를 통해 철도 운영자는 수동작업비용을 절감하고 효율성을 향상시킬 수 있음.
- 클라우드 호스팅 서비스 : 공유 호스팅인프라에서 한 단계 업그레이드 된 것으로 클라우드 컴퓨팅을 통해 철도예약 및 기차추적 등 다양한 방법으로 철도당국 및 고객을 지원함. 클라우드 컴퓨팅 솔루션은 IT관리효율성을 높이고 보안 및 작업 환경을 개선함.

○ 글로벌 스마트철도 서비스시장 규모 및 향후 전망



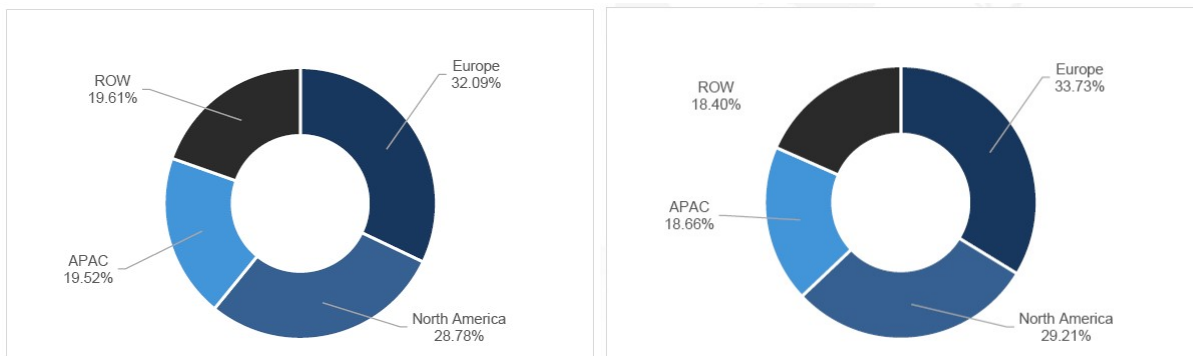
[그림 2.11] 스마트철도 서비스시장 규모 (단위:십억불)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

- 글로벌 스마트철도 서비스시장은 2015년에 57억 3000만 달러 수준으로 2020년까지 232억 달러에 이를 것이며 연평균 31.62% 성장할 것임
- 글로벌 스마트철도 서비스 시장은 2015년에 29.78%의 점유율을 차지하는 세계 스마트철도 시장에서 가장 큰 시장임. 2020년까지 스마트철도 서비스시장의 점유율은 철도 시스템의 자동화 사용율이 높기 때문에 35.71%로 증가 할 것임.
- 글로벌 스마트 철도 서비스 시장은 대부분의 철도당국이 철도시스템을 업그레이드하기 때문에 장치 및 부품요소뿐만 아니라 솔루션 시장에 비해 가장 높은 성장을 할 것임. 예측기간동안 시장수익이 증가하더라도 전 세계 많은 지역에서 성장의 한계가 있기 때문에 시장 성장은 정체 될 것임.

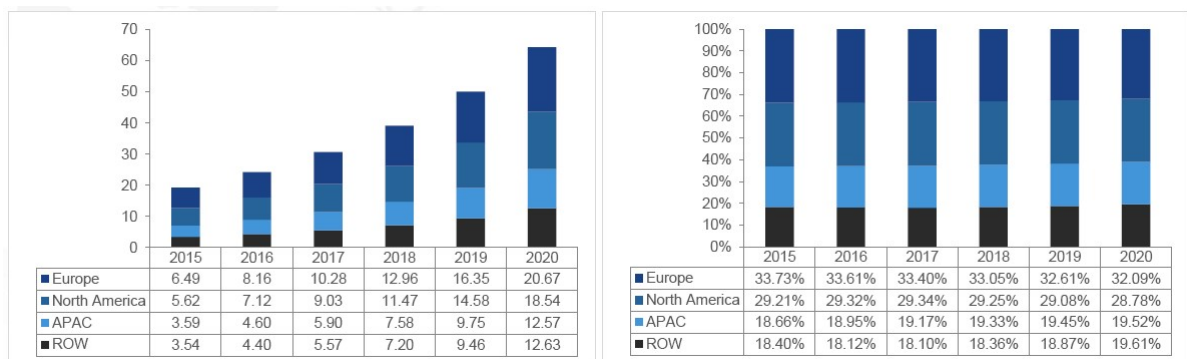
라. 세계 지역별 스마트철도 시장전망

- 전 세계의 지리적 위치에 따라 철도시장은 유럽(Europe), 아시아(APAC), 북미지역, 기타(ROW, 아프리카, 중동, 남미지역)로 구분될 수 있음.
- 철도 선진국 : 기존 철도 인프라를 극대화하는 비용 효율적인 방법으로 분석 시스템을 사용하여 혁신적인 철도 시스템 및 분석을 위한 막대한 시장 창출



[그림 2.12] 지역별 글로벌 스마트철도 시장 매출비율(좌:2015년, 우:2020년)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio



[그림 2.13] 지역별 글로벌 스마트철도 시장 매출(좌:매출액, 우:비율, 단위:십억불)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

- 신흥 및 저개발 지역 : 선진 철도시스템 및 분석시스템을 채택하여 고객을 위한 도시 간 및 도시내 서비스 개선

○ 유럽의 스마트철도시스템 시장 규모 및 전망

- 유럽의 스마트철도시스템 시장은 2015년에 64억9천만달러로 평가되었으며 2020년까지 267.7억달러에 이를 것으로 예상되며 연평균 26.07%로 성장할 것임.

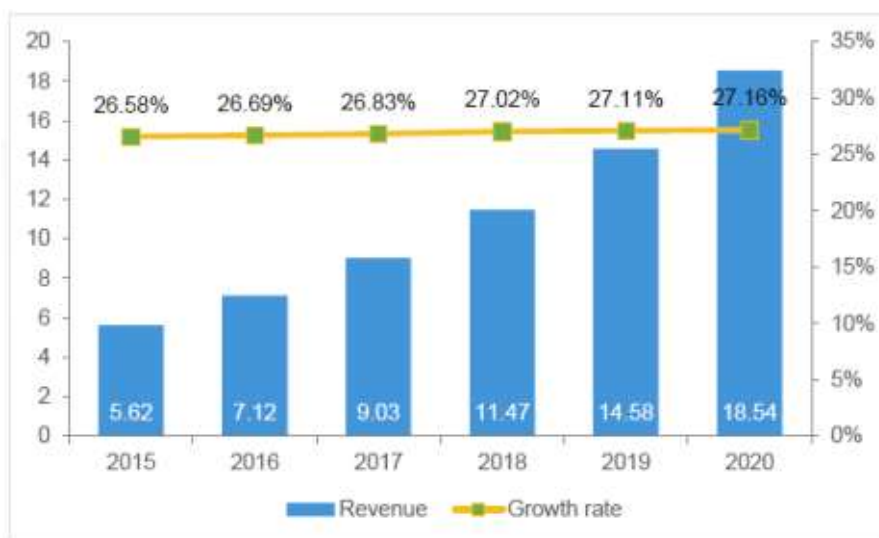


[그림 2.14] 유럽의 스마트철도 시장규모(단위:십억불)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

○ 북미지역의 스마트철도시스템 시장 규모 및 전망

- 북미지역의 스마트철도 시스템 시장은 2015년 56억2천만달러로 평가되었으며 2020년까지 185억4천만달러에 달할 것으로 예상되며 연평균 26.96%로 성장할 것입니다.

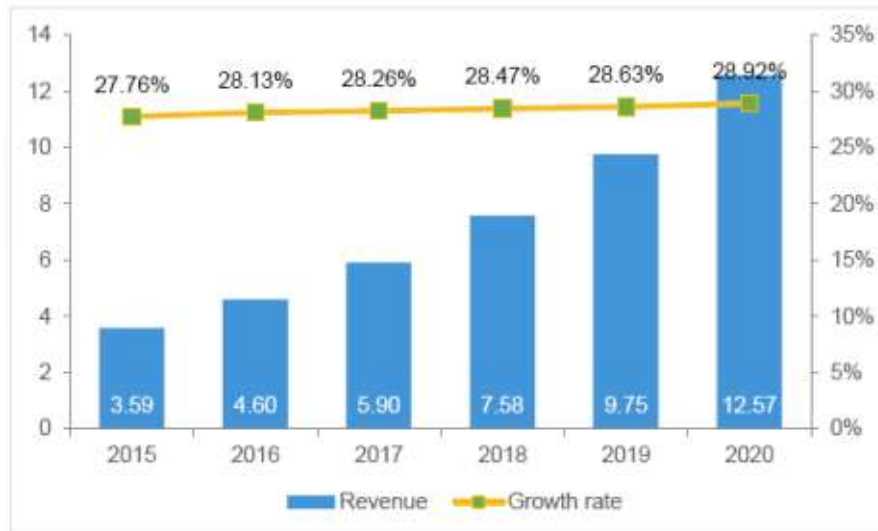


[그림 2.15] 북미지역의 스마트철도 시장규모(단위:십억불)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

○ 아시아지역의 스마트철도시스템 시장 규모 및 전망

- 아시아의 스마트철도시스템 시장은 2015년에 35억9000만달러에 달하며 2020년까지 285.8억달러에 이를 것으로 예상되며 연평균 28.48 %로 성장할 것임.



[그림 2.16] 아시아의 스마트철도 시장규모(단위:십억불)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

○ 기타지역(아프리카, 중동, 남미지역)의 스마트철도시스템 시장 규모 및 전망

- 아프리카, 중동 및 남미지역의 스마트철도시스템 시장은 2015년 35억4천만달러에 달하며 2020년까지 126억3,000만 달러에 달할 것으로 예상되며 연평균 28.97 %로 성장할 것임.



[그림 2.17] 기타지역의 스마트철도 시장규모(단위:십억불)

※출처 : 세계 스마트철도 시장보고서 2016-2020 , Technavio

4. 스마트철도로의 변화요인

- 사람들의 여행 요구사항 변화
 - 철도는 대부분 지역에서 비행기 다음으로 가장 빠른 운송수단으로 간주되며, 철도산업은 국가 경제성장에 중요한 역할을 담당함.
 - 대부분의 국가에서 많은 사람들이 도로와 항공에서 철도로의 전환으로 인하여 철도의 통행량을 증가시켜 스마트철도시스템에 대한 수요가 증가됨.
- 하드웨어 및 연결비용의 감소
 - 하드웨어 구성요소 및 인터넷연결비용이 감소함에 따라 철도시스템이 더욱 발전되고 자동화되었음. 급속한 기술적 진보의 결과로 새로운 장치, 구성 요소, 서비스 및 솔루션이 출시되고 있음.
 - 자동화시스템을 설치하면 하드웨어 요구사항이 줄어들어 하드웨어 및 연결 장비 비용이 절감됨.
- 고급 해결책의 등장
 - 서비스를 효율적이고 효과적으로 수행하기 위해 고객에게 더 나은 서비스를 제공하기 위해 시스템, 솔루션 및 장치를 자동화하고 있음.
 - 철도는 운영시간을 줄이기 위해 시스템을 업데이트하고 자동화하고 있으며, 시장에서 첨단 솔루션의 출현으로 스마트 철도에 대한 수요가 증가하고 있음.
 - 가장 빠르게 부상하는 솔루션으로 클라우드 컴퓨팅을 철도 업계에 적용함으로써 승객의 요구사항을 반영하고 철도 수익을 증가시키며, 철도가 제 시간에 열차를 운행하고 승객에게 실시간 정보를 제공할 수 있음.
- 인구의 증가 및 대도시화
 - 대도시화 및 인구증가는 더 나은 교통 시스템을 필요로 함.
 - 사람들은 더 좋고 효율적인 철도서비스에 대해 비용지불을 용인하며, 대도시화로 인하여 통근자의 교통량이 증가하여 스마트 철도 시장의 성장을 가속화 할 것임.

5. 스마트철도 시장의 과제

- 제한된 용량 제약
 - 정체 및 용량 제약은 시점 중점간 속도 및 안전문제의 감소를 초래할 수 있어 시장 성장에 대한 가장 큰 장애물임.
 - 더 많은 사람들이 기차여행을 선호함에 따라 철도에서 많은 교통 혼잡이 발생하나, 인프라가 부족하기 때문에 철도는 스마트 철도 시스템을 설치할 수 없어서 용량 부족이 발생함.
 - 따라서 혼잡없이 충분한 용량으로 대규모 승객을 처리하는 것이 스마트철도시스템 시장

의 성장에 큰 도전임.

○ 높은 운영 및 유지보수 비용

- 새로운 철도시스템 및 서비스는 많은 설치비용과 높은 운영 및 유지보수 비용은 글로벌 스마트철도시스템시장에 큰 문제가 되고있음.
- 새로운 시스템 도입에 따른 직원교육, 시스템의 유지보수 및 소프트웨어 업그레이드 비용이 큰 부담이 되며, 시스템의 고장은 서비스 최종사용자인 승객에게 막대한 손실을 가져올 수 있으므로 정기적으로 점검하고 적절하게 유지관리해야 함으로 세계철도시장에서 이러한 시스템의 채택이 낮은 상태임.

○ 인프라의 느린 성장 및 제한된 프로젝트 비용

- 많은 국가에서 인프라가 제한되어 있기 때문에 최신의 시스템과 장치를 지원하지 않으며, 이러한 요소는 글로벌 스마트철도시스템 시장의 성장에 장애가 되고 있음.

○ 안전과 보안 문제

- 기차 여행객의 수가 버스, 자동차 또는 항공기 여행객보다 훨씬 많기 때문에 안전과 보안 문제는 철도가 직면한 가장 중요한 문제임.
- 더 많은 사람들이 철도를 선호함에 따라 승객, 직원 및 물품의 안전과 보안을 보장하는 것이 중요하며, 승객에게 적절한 안전과 보안을 제공하기 위해 모든 철도역에는 CCTV 카메라와 같은 보안 시스템이 설치되어야함.

6. 스마트철도 시장 향후 추세

○ 분석 및 빅데이터 채택 증가

- 실시간 데이터를 수집하면 열차의 현재 상태 및 좌석 가용성 상태를 업데이트하는 것과 같은 많은 이점이 있으며 이를 통해 승객에게 편의를 제공할 수 있음.
- 많은 철도당국은 고객의 요구에 대한 더 나은 정보를 얻기 위해 운영의 일환으로 클라우드 컴퓨팅 및 대용량 데이터 분석을 사용해 왔음(슬로베니아 철도는 비즈니스 운영 및 고객 서비스를 개선하기 위해 IBM의 클라우드 솔루션을 채택, Hitachi는 클라우드 컴퓨팅과 많은 데이터 서비스를 많은 철도운영자에 제공)
- 새로운 클라우드 기반 시스템을 채택하면 철도가 물류, 승객 및 화물 운영 전반에 걸쳐 보다 폭 넓은 시각을 갖게 되어 네트워크 전반에 걸친 철도 트래픽을 보다 효율적으로 유지 관리 할 수 있음.(승객이 좌석 가용성, 가장 바쁜 기차 노선, 기차 지연 및 경로상의 모바일 네트워크 범위)

○ 첨단 기술 솔루션의 등장

- 첨단 기술솔루션, 인터넷 보급률 증가, 스마트폰 사용증가로 인해 시장이 성장할 것임
- 고품질의 안전한 서비스를 제공하기 위하여 철도시스템을 더욱 자동화 하여야 하며, 첨단 솔루션과 장치로 시스템을 업그레이드하여야 함.
- 인터넷의 확대와 사람들의 바쁜 일정으로 첨단 솔루션의 필요성이 커지며, 고객만족도

를 향상시키기 위하여 철도시스템을 혁신적이고 신뢰할 수 있게 만들어야 하며, 이러한 추세는 시장성장에 지속적인 영향을 미칠 것임.

○ 철도운송의 사용 증가

- 도로교통량 증가로 교통체증이 심해지면서 사람들은 차선택으로 철도로 전환하고 있음. 또한 철도가 도로보다 빠른 서비스를 제공하고 보다 저렴함으로 철도교통으로 전환하고 있음. 따라서 철도운송의 사용증가로 인해 시스템을 더욱 효율적이고 고객 친화적이며 안전하게 만들어야 함.
- 이를 위해 시스템자동화와 스마트철도 관리시스템 구축을 통해 한 번에 많은 양의 트래픽을 처리 할 수 있는 철도교통관리시스템 설치가 필요함.

○ 스마트철도 인프라의 필요

- 기존 철도시스템에는 기존의 신호, 추적 및 유지보수시스템이 장착되어 있으며 이러한 시스템을 지원하는 인프라가 있음.
- 이러한 인프라를 변경하고 기존 시스템을 갱신함으로써 철도시스템과 서비스를 향상시켜 고급 시스템으로 업데이트 할 수 있음.

2절 국내외 정책동향

1. 국내 철도정책

가. 철도시스템 분야

(1) 철도산업발전 기본계획

- 「철도산업발전기본법」에 따라 ‘철도산업의 육성과 발전을 촉진하기 위한 ‘5년 단위의 철도산업발전 기본계획 수립하여 고시하고 있음
 - － 이 기본계획은 철도산업의 경쟁력을 높이고 발전기반을 조성함으로써 철도산업의 효율성 및 공익성의 향상과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 하며 1차(2006년)와 2차(2011년) 계획이 발표된 바 있음
- 제 3차 철도산업발전기본계획 수립을 위한 정책과제¹⁾를 통해 철도산업을 고부가가치 창조형 신성장 동력으로 육성하기 위한 ‘철도기술 연구사업’의 중장기 목표와 추진 전략을 제안
 - － 중기목표(2014~2018)
 - 철도 수송분담률 27% 달성, 철도수송 효율 15% 향상
 - 열차운행 100만 km당 사고 건수 10% 저감
 - 철도건설·운영유지비 5% 절감
 - 철도부품 강소기업 3개 육성, 양질의 일자리 1천개 이상 창출
 - － 장기목표(2019~2023)
 - 철도 수송분담률 30% 달성, 세계시장 점유율 4% 달성
 - 열차운행 100만 km당 사고 건수 20% 저감
 - 철도건설·운영유지비 10% 절감
 - 철도부품 강소기업 5개 육성, 세계 일등 철도부품 5개 이상 확보

[표 2.2] 철도기술연구사업의 추진전략

중점분야	세부기술
철도 수송력 향상기술	· 철도 수송분담률 제고를 위해 고속철도 속도향상을 위한 차량 및 인프라 핵심기술 개발 및 실증 · 고밀도 운행을 통한 철도 수송력 향상을 위해 ICT기반 열차 제어 시스템 실용화 · 자기부상 및 배터리 방식 등 신교통시스템 실용화

1) 제3차 국가철도망 구축계획 및 철도산업발전기본계획 수립 연구(교통연구원, 2015)

중점분야	세부기술
철도 안전·편의 향상기술	· 철도사고 예방을 위한 실시간 안전감시 체계 · 철도안전/인증 체계 구축을 위한 철도차량·용품 형식인증 기반 마련 · 철도이용 편의성·접근성 개선 및 소음진단 저감 등 철도 이용자의 쾌적성 향상
철도 건설·운영비 절감 기술	· ICT 기술 융복합을 통한 철도운영 및 유지보수 관리와 철도 인프라 최적화 및 건설비 저감을 통해 경제적인 철도 건설 · 친환경 철도 차량·인프라 기술 개발을 통해 환경비용 부담을 저감할 수 있는 친환경 철도기술 개발
철도 소재·부품·장치 고도화 기술	· 철도 핵심부품·장치 설계 및 제작기술, 신뢰성 확보 기술 등의 국산화 및 성능개선

(2) 국가 철도망 구축계획

- 국가 철도망 구축계획은 효율적이고 체계적인 철도투자를 위한 10년 단위의 계획으로 “철도건설법”에 따라 매 5년마다 수립됨
 - 철도의 중장기 건설계획, 소요재원의 조달방안, 환경친화적인 철도 건설방안 등을 주요 내용으로 하고 있음
 - 2016년 6월 향후 10년간(‘16~’25년) 국가철도망에 대한 투자계획을 담은 「제3차 국가철도망구축계획(안)」을 마련, ‘철도산업위원회’의 심의를 거쳐 최종 확정
- 제3차 국가철도망구축계획은 “효율적이고 경쟁력 있는 철도”, “지역발전을 선도하는 철도”, “안전하고 편리한 철도”를 목표로 다음과 같은 6대 추진방향을 설정
 - 용량부족 해소, 단절구간 연결 등 철도운영 효율성 대폭 제고
 - 기 추진 중인 고속철도 사업을 적기에 완공하고 일반철도 고속화를 통해 고속·준고속 철도 서비스를 전국으로 확대
 - 고속열차의 원활한 운행을 위한 병목구간을 해소하여 철도망 전체의 이용률 제고
 - 전국 주요거점을 2시간대로 연결
 - 고속철도 서비스 지역 확대를 위한 연결선 사업 추진
 - 철도서비스가 제공되지 않는 지역에 고속화철도(200km/h 이상)를 건설하고, 낙후된 기존 일반철도를 고속화(230km/h)
 - 대도시권 통근시간을 30분 이내로 단축
 - 광역 교통체계의 혁신을 위한 광역철도(급행노선 포함)를 구축하여 주요 도시에 광역 철도 서비스 제공을 확대
 - 외곽의 주요 개발지역과 서울 간 생활교통 서비스 제공을 위해 기존 철도망 등과 연계한 광역철도 확충

- 안전하고 이용하기 편리한 시설 조성
 - 노후철도 시설을 적기에 개량하여 철도운행의 안전성을 강화
 - 복합환승센터 설치 등 연계교통체계를 강화하고 교통약자 등 다양한 이용자의 이동 편의성 제고를 위한 시설을 지속 확충
- 산업경쟁력 강화를 위한 철도물류 활성화
 - 철도화물 수요가 많은 지역에 인입선을 신설하여 산업 활동을 지원
- 통일시대를 대비한 한반도 통합철도망 구축 대비
 - 남북철도(TKR) 및 유라시아 대륙 철도망(TSR, TCR 등) 연결을 위해 남측 단절구간 연결을 우선 추진
 - 남북철도 통합운영을 위해 북한철도 개보수 및 구축방안을 마련하고, 대륙철도 운송을 위한 기반도 조성

○ 제3차 국가철도망구축계획의 기대 효과

- 철도 영업거리는 3,729km에서 5,364km로, 전철화 연장은 2,595km에서 4,421km로 확대
- 고속·고속화철도 운행용량 확보로 수도권과 지역 간, 주요거점 간의 교류 확대
- 지역간 및 수도권 내 철도 고속통행 실현으로 광역권 내 통행에 철도 경쟁력 확보
- 사업완료시 고속철도, 고속화철도(200km/h 이상) 서비스가 전국으로 확대

(3) 창조경제 실현을 위한 국토교통 R&D 중장기 전략

○ 국토교통 미래 여건변화에 대응하고, 일자리·성장엔진 창출 등 창조경제 국정기조 실현에 적극 기여하기 위한 전략 수립

- 국토교통 연구개발에 관한 10년단위 중장기 목표, 추진전략 및 중점 프로젝트 등을 반영하여 추진
- 비전 : 국토교통기술을 통한 국민행복 및 글로벌 가치창조
- 목표 : `23년까지 7만5천개 일자리 창출, 11개 세계 선도기술 및 8개 글로벌 기업 육성, 재해 및 사고 20% 저감 등
- 추진전략 : 비전 실현을 위한 국토교통기술 4대 전략 및 10대 중점프로젝트 발굴 및 집중지원

※ 스마트 철도교통시스템 개발을 통해 글로벌시장 선도 및 안전하고 편리한 국토공간 조성에 기여

○ 철도분야 중점프로젝트 : 스마트 철도교통시스템

- 추진 목표 : 도시간, 도시내 이동수단으로서 수송성·정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도 시스템이 생활교통수단으로써 보다 안전하고, 경제적이며 효율적으로 구축·운영될 수 있도록 제반기술 확보

－ 기술개발 방향

- 무선통신기반 정밀 열차 신호제어를 통한 선로당 수송량 증대기술 개발
- 철도차량 및 인프라 상태를 자동으로 실시간 모니터링, 진단 및 유지보수 기술을 개발하여 안전사고 예방
- 소음,진동, 공기질 등 환경개선 기술개발을 통해 편의성 증진
- 철도 에너지 절감, 인프라 성능 대비 건설운영비 최적화 기술 및 철도운영 효율화 기술 등 개발
- 철도핵심부품 고장 등에 따른 유지보수비 절감을 위해 부품 및 장치 국산화 추진

(4) 철도 차량산업 육성 방안

- 국토부는 2016년 6월 대내외적으로 어려움에 직면해있는 우리나라 철도차량산업의 새 활로를 찾아 미래 성장산업으로 키우기 위한 「철도차량산업 육성방안」을 발표
 - － 한국형 고속차량(KTX) 개발경험을 토대로 철도차량 산업을 미래 성장산업으로 육성하고, 연간 140조원의 세계 철도 차량시장(차량구매 70조원, 차량정비 등 유지관리 70조원)에 적극 진출하기 위하여 8대 분야의 육성방안을 제시
 - 제작사의 차종별 특화 육성
 - 신호시스템 및 부품산업 집중 육성
 - 부품 공급망 구축(Supply Chain Management)
 - 글로벌 분업·협업체계구축
 - 선도형 연구개발(R&D) 추진
 - 철도차량애프터마켓(After Market) 조성,
 - 해외수주지원,
 - 전문인력양성및제도정비
- 수송분담률 제고(수송인Km) : 15.9%('08) → 24%('15) 철도사고 감축(백만Km당) : 0.108건('10) → 0.100건('15) 철도 기술력 제고(선진국 대비) : 74%('09) → 95%('15) 해외진출 확대(차량시장 점유율) : 2%('09) → 4%('15)
 - － 주요 추진계획으로는 KTX 고속철도 중심의 국가철도망 구축, 고객 지향적 서비스 제공 및 철도운영의 경쟁력 제고, 녹색철도물류 활성화 기반 마련, 세계 최고수준의 철도안전 확보, 미래성장동력 확충 및 해외철도 진출기반 강화가 있음
 - － 향후 5년간 철도산업에 총 48.6조원을 투자할 계획을 수립하였으며, 이를 통해 철도 인프라 확충, 고부가가치 수출전략산업으로의 육성, 친환경/에너지 고효율/안전 중심의 철도교통 서비스 제공 등을 계획하고 있음
- 선제적·혁신적 투자(Early Starter)와 시장 선점(First Mover)을 R&D의 기본 전략으로, 세계시장 선도형 연구개발을 추진하며 스마트철도·초고속철도·핵심부품 등 3대 핵심 연구개발 사업을 집중 지원

- 스마트철도 : 정보통신기술 (ICT) · 사물인터넷 (IOT)기술을 융합하여 자가진단·치유, 원격감시·제어, 위험감지·대응, 지능형 통합관제 기능 등을 갖춘 지능형 철도시스템
- 초고속철도('Super Train') : 통일 · 유라시아 철도 시대를 대비하는 600km/h 이상의 철도로 진공튜브형(Hyperloop), 자기부상형 등 다양한 방식 검토
- 핵심부품 : 부품 공급망 구축 및 품질안전 제고를 위한 철도부품 · 소재 핵심기술 개발

2. 국외 철도정책

가. 해외 국가별 철도 정책

(1) 유럽연합의 철도정책

- 유럽의 FP7의 후속 R&D 프로그램인 Horizon2020에서는 녹색 및 스마트한 통합 교통 구현을 위해 철도분야의 에너지효율화, 스마트기술, 차세대차량 기술개발을 추진중
- 운송부문의 에너지 효율화 기술개발의 세부영역으로는 철도를 선정하고 3대 세부 방향으로 지능형 인프라(Intelligent Infrastructure)는 철도 운용 및 유지보수 비용 감소를 위하여 비용 효율화, 지능형 이동관리, 에너지 관리 관련 연구가 진행중에 있으며, 스마트 철도 서비스(Smart rail services)는 스마트 기술을 철도와 연계하여 다양한 여객서비스 및 효율적이고 이동성이 향상된 물류서비스 연구가 진행 중, 차세대 철도차량(New generation of rail vehicles)는 열차의 수명, 용량, 환경을 고려한 장기적 관점에서의 철도차량 개발에 대한 연구가 진행 중
- 유럽연합의 철도 정책 결정
 - 유럽위원회(European Commission)에서 교통분야의 연구개발 현안은 DG Research & Innovation과 DG MOVE가 담당. 유럽이사회(European Council)에서 28개 회원국의 교통 분야 장관들이 관련 정책에 대한 의사 결정을 함
- 유럽의 철도섹터
 - 유럽의 철도섹터는 운영기관(Railway Undertakings), 시설물관리기관(Infrastructure Managers), 그리고 제조업체라는 세 분야의 이해관계자로 구성되어 있음
 - 아직까지 많은 유럽국가의 철도 운영기관과 시설물 관리기관은 국가가 소유하고 있음
 - 하지만 프랑스의 SNCF와 알스톰, 독일의 DB와 Siemens처럼 국가 기관과 제조업체가 밀접한 관계를 형성하고 있음. 이들은 국가의 철도발전 전략을 공유하면서 연구개발 우선 순위를 결정하며 공동으로 과제를 추진하는 경우가 많음
- European Railway Agency(ERA)
 - ERA는 안전 확보와 상호연계운행을 통해 통합된 철도를 구현하기 위하여 설립됨
 - ERA는 European Rail Traffic Management System(ERTMS) 프로젝트의 감독기관으로의 역할을 수행

- 유럽 철도에 대한 강제 규정인 Technical Specifications for Interoperability(TSIs)를 제정
- 유럽 철도에 대한 안전 목표 및 안전 기준을 수립
- 철도 차량 및 안전에 대한 인증기관 역할 수행
- ERRAC (European Rail Research Advisory Council)
 - 유럽의 철도 연구개발 진흥을 위해 유럽 집행위원회의 후원으로 철도관련 기관들이 공동으로 구성된 위원회. 철도 운영기관, 시설물 관리기관, 제조업체, 학계 및 유럽 집행위원회와 멤버 국가에서 참여
 - ERRAC의 주요 임무는 다음과 같음
 - 유럽의 철도분야 연구개발 전략 수립
 - 유럽내 연구개발 협력체계 구축 - 철도운영사, 시설물관리자, 제조업체, 대학, 연구기관간의 시너지 극대화
 - 연구개발 로드맵 작성 및 우선순위 도출
 - EU의 차세대 연구개발 프로그램인 Horizon 2020에 대한 자문 및 과제 제안
 - 기 완료된 연구개발 프로젝트 평가
- Shift2Rail Project
 - 철도분야의 신기술 및 개선기술의 통합을 촉진하기 위한 다자간 대규모 통합 연구계획으로 Shift2Rail을 '14년부터 운영 중
 - Shift2Rail 운영을 위해 프로그램 15개의 주요 철도산업체 및 운영기관간 MOU를 체결하였으며, 주요 혁신프로그램으로는 '대용량 철도를 위한 에너지 및 고효율 기술', '최신 철도운영 및 신호제어 시스템', '비용 효율적인 고용량 인프라시설물', '단절없는 철도를 위한 IT기술', '지속가능하고 매력적인 유럽 화물철도 기술', 등 5개로 구성되어 있으며 다양한 철도시스템 및 관련 시스템의 통합의 관리를 위한 프로그램을 구축

(2) 영국의 철도기술 정책

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

[표 2.3] 영국 철도기술의 지속성장을 위한 핵심 요구조건과 도전목표

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

○ 영국 철도의 지속적 성장·발전을 위한 8대 핵심기술과제 선정하였다.

- 최적화된 궤도-열차 간 인터페이스 개발
 - 궤도의 정밀한 설계와 정확한 관리
 - 가볍지만 강한 차량 개발
 - 이를 통한 에너지 소비와 궤도 유지보수 비용 및 소음 감소
- 철도의 용량과 신뢰성 향상
 - 인프라 및 차량에 대한 세계적 수준의 신뢰성 확보
 - 궤도시설은 최소화하는 방향으로 신속히 추진 (LEAN 원칙 적용)
 - 차량과 궤도상태를 상호간에 실시간으로 모니터링 하여 장애를 예방하는 지능형 차량 및 궤도 시스템 개발
 - ※ LEAN 원칙 : 가치와 가치흐름의 정의, 가치흐름의 생성, 가치에 대한 고객의 요구, 완벽 추구의 5 원칙을 통하여 목표 달성기간을 신속하게 50% 감축하는 프로젝트 관리 기법
- 단순하고, 유연하고, 정확한 제어 시스템
 - 통신기반의 차상신호시스템 도입을 통하여 인프라의 유연성을 높이고, 복잡성과 비용 저감
 - 지능형 네트워크 관리시스템 구축과 정밀한 열차제어를 통하여 네트워크 전체의 에너지 효율 향상과 네트워크 잠재용량 극대화
- 최적화된 견인력과 에너지
 - 모든 열차에서 회생제동 시 발생하는 전기 에너지는 전차선을 통하여 다른 열차가 이용하도록 하거나 열차 내 에너지 저장장치에 저장하여 손실 없이 재사용
- 안전, 보안, 건강에 대한 통합적인 관리

- 시스템의 모든 영역에 대하여 방해나 침입, 비정상적인 행동에 대한 개선된 탐지능력과 보다 향상된 보안 및 안전관리
- 승객의 건강을 고려한 차량 내장재 선정 및 관리
- 차량과 승강장, 대합실에 대한 공조 및 공기질 관리
- 승객중심의 운영
 - 예약 및 발권, 고객흐름, 열차위치, 차내 혼잡상태 등 열차이용 전반에 걸쳐 고품질의 실시간 정보 수집 및 제공
 - 수집정보를 이용하여 이례상황에 대한 신속한 검지와 최적화된 시스템 대응
- 자산의 합리화, 표준화
 - 차량 및 인프라에 대한 모듈화와 기성품 사용 확대, 표준화 등을 통하여 비용관점에서 산업 전반에 대한 합리성 향상
- 차별적 기술기준과 표준화
 - 교통형태와 수요에 따라 비용대비 효율이 최적화 되도록 여객열차와 화물열차의 상호 운용성 확보

(3) 프랑스의 철도기술 정책

- 프랑스 철도산업의 과제
 - 철도차량 설계(모델링, 신 재료, eco-design)와 유지보수, 교육훈련 측면에서 경쟁력 확보
 - 내수와 수출에서 가격, 품질, 서비스 측면에서 매력적인 사업제안기술 개발
 - 에너지소비 감소, 대기오염 감소, 전자기파와 소음진동 등의 환경오염 감소기술 개발
 - 기차여행의 만족도(소음, 안전, 위험성, 지연, 정보 등) 향상을 위한 기술 개발
- 프랑스 철도기술 및 서비스에 대한 로드맵
 - 철도차량 설계(모델링, 신 재료, eco-design)와 유지보수, 교육훈련 측면에서 경쟁력 확보
 - 각 분야 전문가들이 모여 철도분야에 대한 기술과 서비스에 대한 중기(2020년)와 장기(2050년) 과제 도출
- 철도산업의 중기(2020년) 과제
 - 철도로 승객이 유입될 수 있도록 철도의 매력도 향상 기술
 - 철도 승객을 늘리기 위한 첫 번째 과제는 철도의 용량 증대
- 철도산업의 장기(2050년) 비전에 가장 영향을 많이 미치는 핵심적인 요인으로 다음 두 가지를 선정
 - 철도 네트워크에 대한 접근성
 - 국가별 기술적 특성

- 법과 규정을 통한 제약

- 경제적 장벽 등

－ 철도 운영방식(통합 또는 상하분리)

- 미국, 캐나다, 중국, 한국 등과 같이 상(서비스 운영자) 하(인프라 관리자)가 통합된 형태의 운영체계
- 유럽 국가들처럼 인프라관리와 철도운영, 시장이 분리된 형태의 운영체계
- 유럽위원회에서 제안한 방식으로 인프라와 운송서비스가 법적으로 분리된 형태의 운영체계

(4) 미국의 철도분야 연구개발 정책

- 연방철도청은 철도 인프라 구축 및 복구, 안정성 향상, 경제회복을 위한 교통수단 투자 프로그램을 진행중이며, 미국의 철도 인프라 구축 및 복구를 위한 프로그램으로 철도노선 재배치 및 개선, 철도 재건 및 보수 프로그램을 수립하였으며, 2008년~2011년까지 9,000만 달러를 지원
- 철도 안정성 향상을 위한 프로그램으로는 철도 안전 기술 그랜트 프로그램, 철도-도로 횡단 위험 저감 프로그램을 수립하였으며 철도 안전기술 그랜트 프로그램은 철도안전향상법(Rail Safety Improvement Act of 2008)을 근거로 철도의 안전과 효율성 강화를 목적으로 추진 중
- 철도산업의 장기(2050년) 비전에 가장 영향을 많이 미치는 핵심적인 요인으로 다음 두 철도교통 부문 개발방향
 - － 미 연방철도국은 철도 시스템의 안전성 향상에도 불구하고 많은 종류의 사고가 발생하고 있어, 철도사고와 사상자를 획기적으로 줄이는 것을 목표로 전 기술 분야에서 안전 문제를 검토
 - － 연구개발 계획에서도 안전규정 절차에 대한 개발을 우선적으로 지원
- 추진전략
 - － 철도 안전은 종사자, 하부구조물, 장비, 제어시스템, 교차로 등 여러 요인과 연결되어 있으므로 이러한 복합적인 문제 해결을 위한 연구, 해석, 모의시험, 현장시험 등에 대해 우선순위를 두고 다음과 같이 10가지 연구 분야 제시

[표 2.4] 미국의 철도분야 연구개발 프로그램

연구분야	연구내용
철도시스템 문제	안전 연구개발 필요성에 영향을 주는 철도산업 내 기술/운영 개발 화물, 통근, 도시 간 여객 및 고속철도 시스템 안전문제 철도시스템의 물리적 안전 및 사이버 상의 안전 철도운영과 관련한 환경문제

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

(5) 일본의 철도정책

- 일본은 14년 교통정책기본계획을 발표. 철도분야에서는 경량철도 보급확대, 공항 접근성 향상, 노후 차량 및 인프라 대응을 목표로 제시
- 일본 정부는 2030년 온실가스 발생량을 2013년 기준 2억 7900만톤에서 1억 6800만톤으로 39.7% 줄인다고 계획을 하였으며, 그 중 철도를 포함한 수송 부문에서 27.4%를 낮추겠다고 계획
- 풍요로운 국민 생활에 기여하는 편리한 교통 실현을 위해 공유 민영 방식 상하분리 경영 도입, 역사 개량, 도로 교통을 보완·대체하는 교통수단으로 LRT와 BRT의 도입을 추진 중이며 성장과 번영의 기반이 되는 국제·지역간 교통 네트워크 구축을 위해 20년도쿄 올림픽·장애인 올림픽에 대비한 공항과 철도의 접근성 향상, 신칸센의 정비, 리니어 중앙 신칸센과 JR 도쿄와의 연계 정비, 궤간 가변 열차(프리 게이지 트레인)의 실용

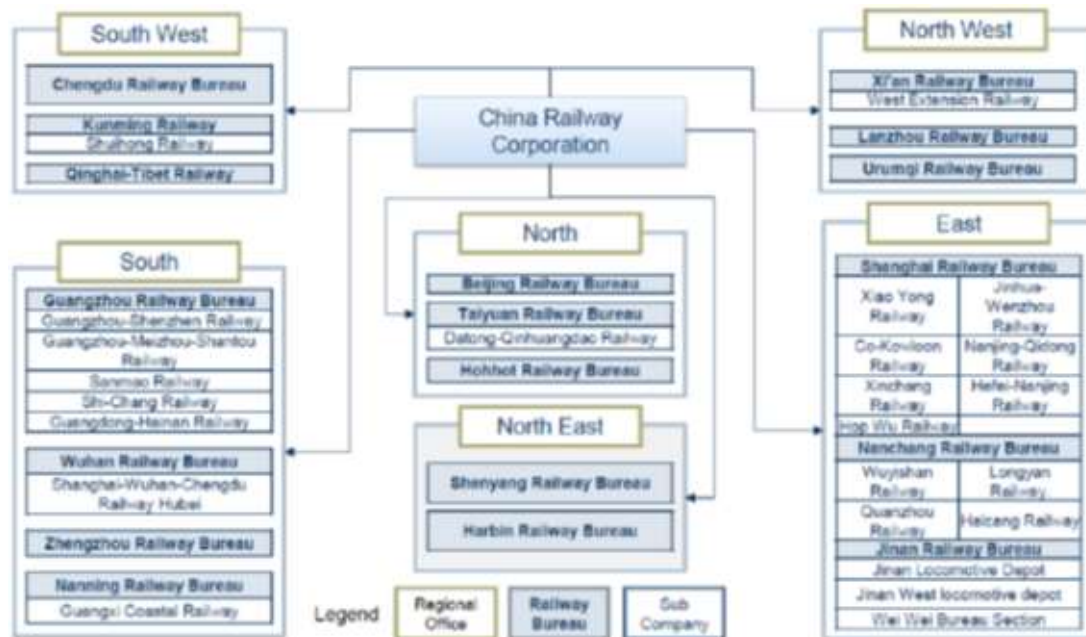
화 기술 개발을 추진 중

- 정부 중심 Top-sale 전략적 대응 및 전개
 - 관련 부서 개별 대응에서 상위 부처 중심으로 체제 강화
 - 아시아 등은 낙후된 인프라를 주요 타겟으로 관련 민간 기업간 협력체계 지원 및 정부 부처 상호간 협력, 해외 진출을 위한 국무회의를 통한 정책 조정 및 전체 전략 검토 등을 수행
 - 정부 각료가 필요시 민간기업 사장과 함께 상대국 방문, 세미나 개최, 정상회담, 국제회의를 통하여 해외 각료와 만남 기회를 추진
- 공적 금융기관등 지원 기능 강화
 - 과거는 단품 수출 등이 대다수였지만, 현재 시스템적 발주가 증가함에 따라 금융 지원 규모가 증가 강화
 - 2010년 국제협력은행(JBIC) 설립 및 일본투자보험(NEXI) 수출 보증보험제도 충실, 국제협력기구(JICA)에 의한 개발도상국 채투자 등 공적기관 금융지원 기능 강화를 위한 정부 지원
- 일본 철도 기술 및 규격의 국제 표준화
 - 철도기술총합연구소(RTRI)내 철도국제규격 센터 설립을 통한 철도분야 국제규격 초안 작성, 국제표준화 제안 추진 및 ISO, IEC 등 에 정보 제공등 적극적 대응
 - 미국 고속철도 기준설립을 위하여 연방철도국과 월 1회 회의를 통하여 신간선 장점(경량화, 에너지절감, 유지보수 절감)을 채택할 수 있도록 활동 중임. 타 국가에도 유사 활동 추진
- 해외 철도 조건 형성 및 발주 컨설팅 능력 육성 관련 지원
 - 해외 프로젝트에 대하여 구상, 계획 등이 책정되는 초기 단계부터 정부가 민간과 연합하여 조건 형성 조사를 실시하여, ODA 및 Feasibility Study 실시 등을 통하여 대상국에 적극적으로 제안토록 함
 - 새로운 프로젝트 스타일에 대응하는 경영, 재정, 법률 등 다양한 분야에서 노하우를 갖고 있는 국내외 관계자가 협력하여 발주 컨설턴트를 형성하도록 지원

(6) 중국의 철도정책

- 중국은 제 13차 5개년 계획(2016~2020년)에서 6% 중반대의 새로운 성장전략을 제시하였으며, 이를 통해 서비스업 비중 확대, 도시화율 상승 등을 꾀하는 한편 GDP 대비 R&D 투자 비중을 확대하며 고부가 제조업 육성을 위한 기초 여건을 강화할 계획을 수립
- 특히 지역균형발전 전략과 함께 육·해상 실크로드 경제권을 결합하는 개혁을 추진할 계획이며, 이와 더불어 중국 정부는 생태환경 개선을 위해 친환경 저탄소 순환발전 시스템 구축을 강조
- 중국의 개혁추진전략의 일환으로 철도산업 분야는 여객 및 화물노선을 분리하여 복선화

을 및 전철화율을 향상시켜 국가경제와 사회발전에 필요한 운송능력을 선진국 수준으로 끌어올리려고 추진되고 있음



[그림 2.18] China Railway Corporation

(7) 인도의 철도정책

○ 인도 철도 행정 · 운영

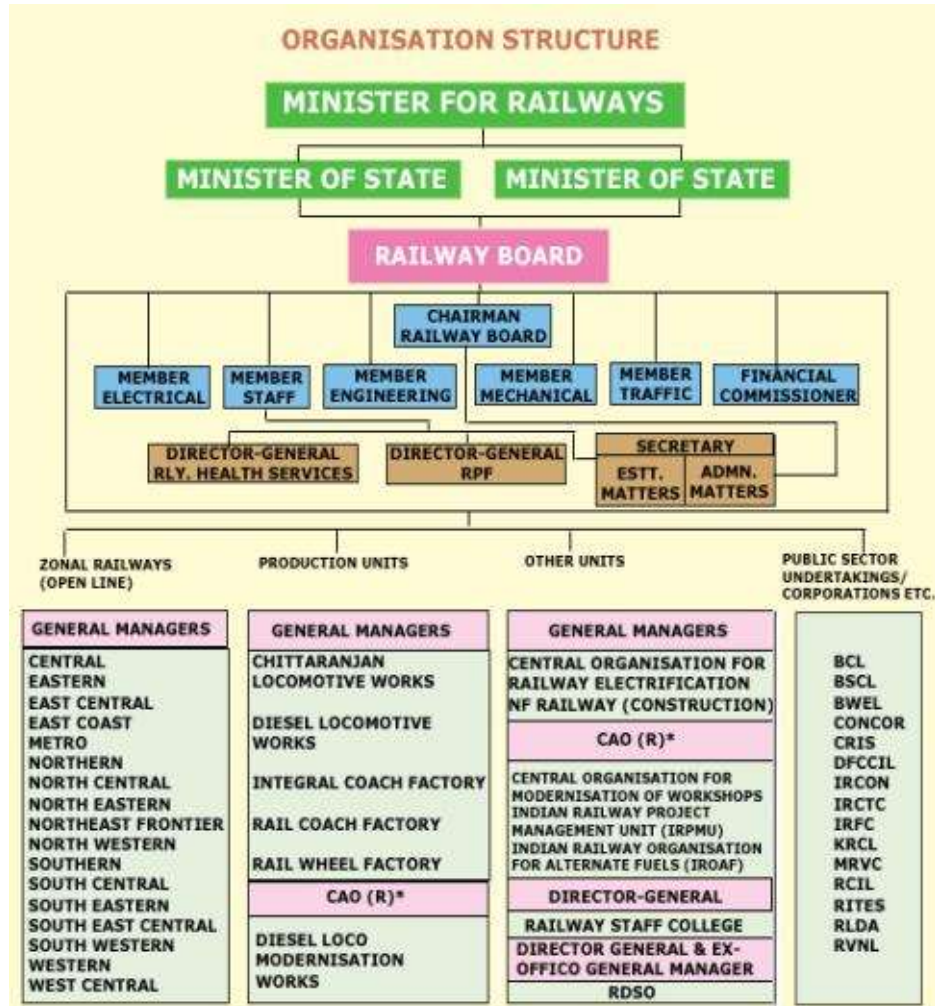
- IR(Indian Railway, 인도철도부)은 인도의 모든 철도관련 활동을 관리하는 국영기업 (최근 민영화 압박 받고 있음)
- IR은 정부에 의해 제어되기 때문에 이론적으로 통제/실행이 쉬움
- 국영기관에 의해 운영되는 철도 특성상 여객열차의 운송수익은 크지 않은 편(최근 자금 확보를 위해서 계속 인상 중)
- 인도 철도부는 중앙 부서와 16개의 지역 철도로 나뉘어 있음

○ 인도 철도의 문제점과 해결방향

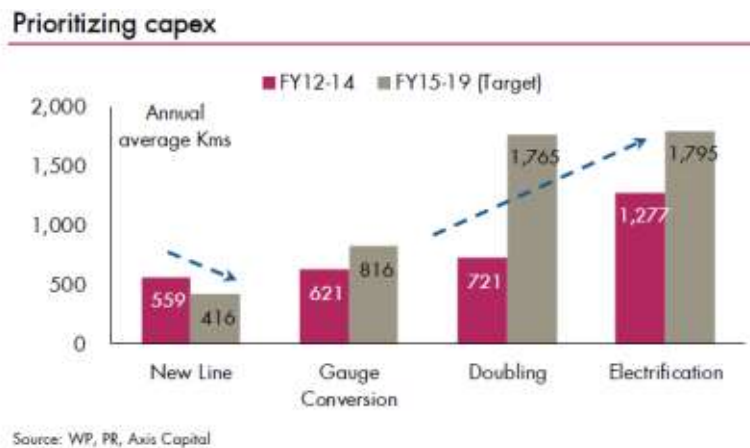
- 인도철도의 악순환 : 투자부족 → 혼잡 → 서비스질 악화 → 경쟁력/관세 → 낮은 내부 수익
- 해결방안 우선순위 : 새 노선 건설 보다는 복선화와 전력화와 같은 혼잡완화에 집중
- 처리량을 향상시키기 위하여 5년 동안 10,000km 전력화 목표(현재까지 ~25,000km)이며, 전체 레일 길이는 65,000km)
- 속도, 효율성, 용량을 개선하는 방향으로 계획 추진
- 최근 기존 철로의 고속화 진행
 - 기존 라즈다니 익스프레스 노선에 Talgo 차량을 도입하여 2016년 8월 2일 첫 시험운

행 (Delhi-Mumbi 구간)

- 시험운행 결과, 기존 라즈다니 익스프레스 대비 2시간 단축(시험성적- 평균속도 106km/h(라즈다니 89km/h 대비 20%증속), 최고속도 180km/h 기록



[그림 2.19] 인도의 철도기관 구조

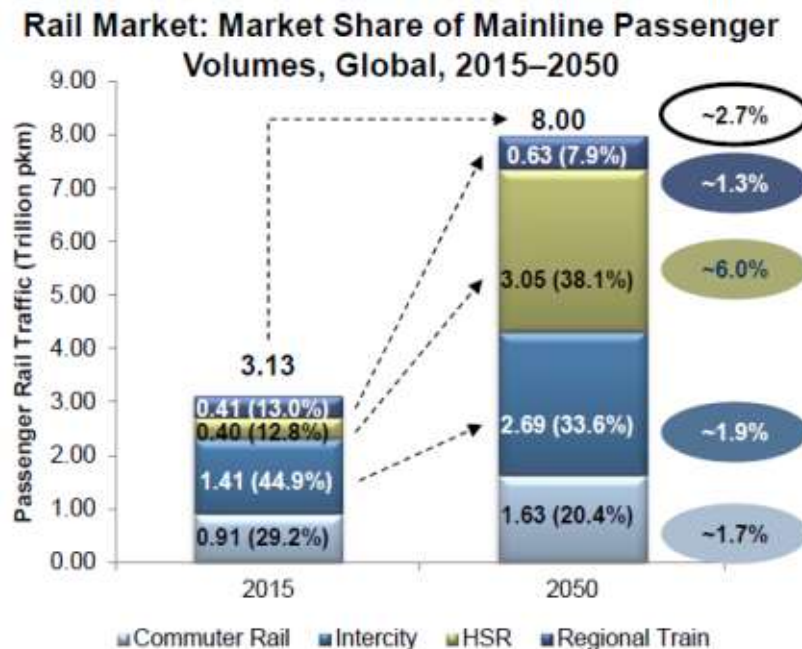


[그림 2.20] 인도의 철도개발 계획

3절 국내외 시장현황 및 전망

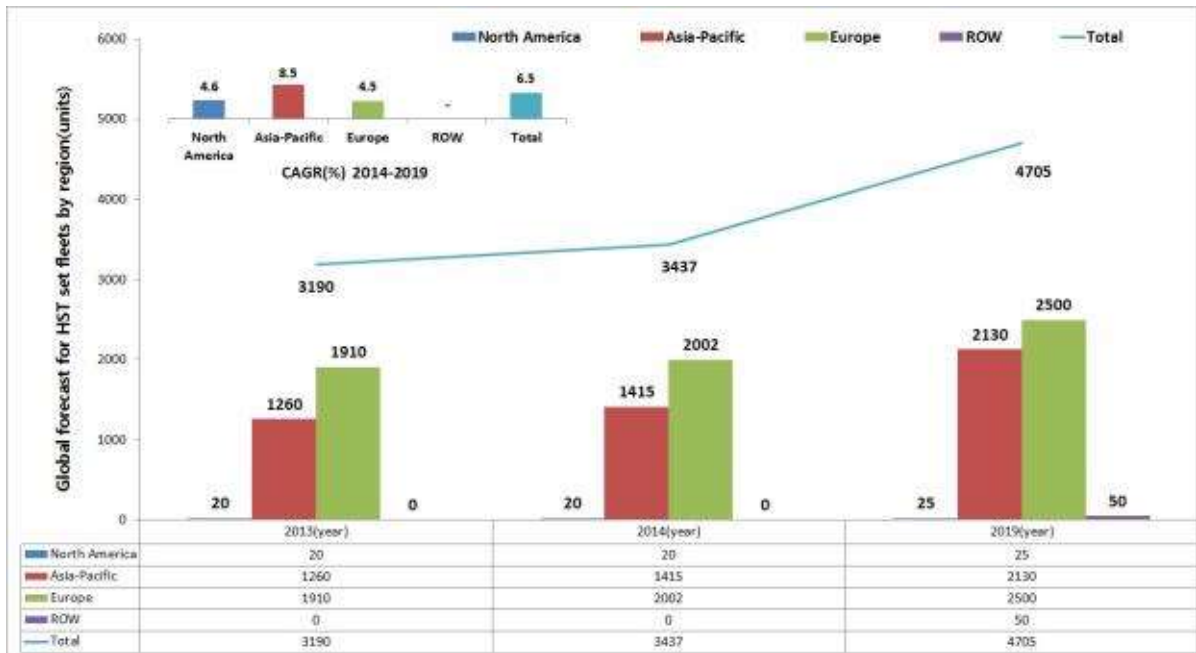
1. 세계 철도시장 동향

- 2015년 글로벌 경제 성장이 2.4% 둔화됨에도 불구하고, 철도산업은 화물과 여객 분야에서 2.9%의 성장이 예상됨
 - 탄소규제에 따른 수송수단 변화(Modal shift)와 북미와 유럽 지역의 대규모 인프라 투자가 원인
 - 여객 수요는 2050년까지의 연평균 성장률(CAGR)이 2.7%에 이를 것임
 - 여객차량 시장에서는 도시간 간선열차와 고속열차가 성장을 이끌 것으로 예상



[그림 2.21] 글로벌 철도시장동향(여객수요 측면)

- 고속열차에 대한 수요 전망은 아시아와 유럽 시장에서 상당한 속도로 증가하고 있음
 - 2013년 유럽은 전체 고속철도 차량의 60%를 차지하고 뒤를 이어 아시아 지역이 39%를 점유하는 것으로 나타났으며 2014~2019년까지 연평균 6.5%의 성장률을 보일 것으로 전망
 - 고속철도 차량의 성장은 유럽의 경우 스페인, 아시아는 중국 위주의 성장이 예상되며, 독일/일본/프랑스 등에서 차량의 교체주기가 도래하여 2015년~2020년간 약 9000량의 고속차량의 증가가 예상



출처 : BCC Research, International Union of Railway(UIC)

[그림 2.22] 지역별 고속열차 수요에 대한 글로벌 전망

- 개인별 만족도 향상을 위해 다양한 철도 및 대중교통 서비스를 제공 ← IT 및 Mobile 기술을 융합, 스마트 Mobility 앱등 활용



[그림 2.23] 개인별 만족도 향상을 위한 스마트 Mobile 앱 개발

- 다양한 대중교통 수단을 통합하여 연계서비스를 제공하는 방법론 (Integrated Mobility) 개발



[그림 2.24] Siemens 통합 모빌리티 개념도

- (국내시장규모) 국내 시장은 소규모 센서네트워크 서비스에서 광대역 무선망을 활용한 사물통신 서비스로 발전을 모색중이며, 2013년 하반기 기준 200만 회선이 사물인터넷 용으로 사용 중
 - 국내 IoT융합 시장 규모는 2013년에 2조 2,827억원에서 2022년에 22조 8,200억원 규모로 연평균 약 29% 성장할 것으로 전망(Machina Research, 2013)
- (해외시장규모) 교통시스템과 IoT 융합은 이미 3차 산업혁명이자 인터넷이 이은 2차 디지털 혁명이 될 것으로 예상되고 있으며, 또한 시장의 성장 가능성도 다방면에서 무궁 무진한 것으로 전망됨
 - 스마트 자동차는 높은 성장성과 기존 시장을 빠른 속도로 대체할
 - 글로벌 IoT 시장규모는 2013년 1.92조 달러(약 2,070조 4,300억원)에서 2020년 7.1조 달러(7,736조 8,700억원)로 성장할 것으로 전망
 - 사물인터넷 시장은 연평균 31.4%씩 성장할 전망이며(가트너), 2025년 IoT로 인한 경제효과가 11조달러에 달할 것으로 추정(맥킨지).
- 철도기술 분야별 시장규모
 - SCI/Verkehr에서 2009년 발간한 철도시장 보고서에 따르면 전 세계 철도기술 관련 시장규모는 197조원 규모이며 인프라 부문이 61조원, 시스템 부문이 20조원, 철도차량 부문은 115조원인 것으로 파악하고 있음
 - 인프라 구조물(Infrastructure) 분야에서는 일반토목에 해당하는 부분은 제외하고 철도와 직접 관련성이 높은 궤도 및 전철화 등의 부문을 포함하고 있음
 - 시스템기술(System Technology) 분야에서는 열차제어, 통신 및 여객서비스를 위한 정보통신기술을 포함하고 있음
 - 철도차량(Rolling Stock) 분야에서는 고속 및 일반 철도차량과 신교통시스템을 포함하는 도시철도차량으로 구성하고 있음
 - 글로벌 경제 활성화 및 저탄소 녹색교통수단 확대를 위한 대규모 철도사업의 계획 및

추진으로 인하여 향후에도 인프라구조물에 대한 시장성장이 지속될 것으로 예상 되고 있음

- 지역별 시장규모를 살펴보면, 서유럽이 2009년 현재 60.8조원으로 가장 큰 시장을 형성하고 있으며 그 다음으로 아시아가 49.5조원, 북미가 36.7조원 규모이나 향후 시장 성장률 측면에서는 남미/중미(7.1%), 아프리카/중동(5.8%), 아시아(5.2%) 순임
- 세계 철도플랜트 지역별 시장규모는 서유럽, 아시아, 북미 순이며 서유럽의 현대화작업, 중국시장의 확대, 미주지역의 고속철도 발주계획이 시장확대의 주요인임
 - 서유럽지역 : 2014년까지 28개 유로스타열차 현대화, 44개의 ICE2 열차 현대화(독일), 2020년까지 TGV파리-남동부 열차 현대화(프랑스) 등 1세대 고속철도열차에 대한 교체와 철도차량 현대화 추진
 - 북미지역 : 미국 캘리포니아 및 플로리다 고속철도 건설, 도시간 철도건설 투자 등 철도인프라투자로 약 568억 달러가 투입될 것으로 추정되고 있음
 - 아시아지역 : 중국의 4중 4형 광역철도망구축계획으로 인하여 시장이 확대되고 있으며 2025년까지 러시아대륙횡단철도, 중앙아시아횡단철도, 동남아연결철도를 합한 유라시아연결고속철도망을 추진할 계획임
 - 러시아지역 : 2009년 모스크바-상트페테르부르크 연결 고속철도를 교체하였으며 시베리아횡단철도의 노후화가 진행되어 현대화의 필요성이 높음
- 경제적 철도운영 및 유지보수 관련 시장규모 추정
- 철도운영 효율화 관련 시장규모를 추정하기 위해서 철도유지보수 시스템 관련 시장 정보를 취합하였으며 이를 바탕으로 해당 시장규모 및 향후 전망치를 제시하였음
- 세계철도연맹(International Union of Railways)의 자료에 따르면, 2010년 전세계 고속철도의 운영구간은 13,414Km로 한국은 전체의 2.5% 수준인 330km가 운영 중임
- 독일 철도통계 회사인 SCI/Verkehr(2009)의 시장전망에 따르면, 철도차량 부분의 2009~2014년 평균시장성장률은 3.7%로 추정
- SCI/Verkehr의 시장자료에 따르면 철도시스템 중 열차제어와 관련된 신호/제어 분야의 시장규모를 2009년 17.4조원으로 추정하였으며, 연평균 시장성장률 4.1%를 적용할 경우 2017년 24조원 규모로 성장할 것으로 예측하고 있음 신호/제어 분야는 철도의 차량간 운행거리, 운행속도, 시간 등 철도운행을 제어하는 분야로서 열차집중제어시스템(Centralized Traffic Control System), 무선통신기반 열차 제어시스템(Communication Based Train Control System), 자동열차제어시스템(Automatic Train Control), 자동열차방호시스템(Automatic Train Protection) 등에서 IT기술과의 결합을 통해 발전해나가고 있음

2. 세계 철도차량 산업 동향

- '08년 미국발 금융위기에 이어 최근 유가폭락, BRICs국가의 성장 침체 등 세계경제가 본격적인 저성장 국면으로 자국 내수시장 보호 및 내수시장 활성화에 대한 수요가 증가

- 세계 철도시장에서는 자국산업 보호 정책(현지화 요구 등)이 대규모 철도차량 발주 국가들로 확대/확산되는 경향
- 미국, 중국, 브라질, 터키, 인도, 이집트 외에 러시아, 우크라이나, 남아프리카공화국 등의 사업에서도 현지화를 요구, 최근에는 중동, 동남아시아 국가에서도 현지화에 대한 관심이 높아지고 있음
- 현지화는 사업수주에 있어서 선택이 아닌 필수적인 평가요소가 되었으며 점점 확대될 것으로 예상

미 국	브라질	중 국	터 키	인 도	이집트
현지제작 60% 이상 (자재비 기준)	현지제작 60% 이상 (계약금액 및 중량기준)	현지제작 70% 이상 (금액기준)	현지제작 25%~51% 이상 (금액기준)	현지제작 20 ~ 30% (금액기준)	현지제작 20% 이상 (금액기준)

- 글로벌 차량제작사의 대형화 및 국가의 전략적 지원

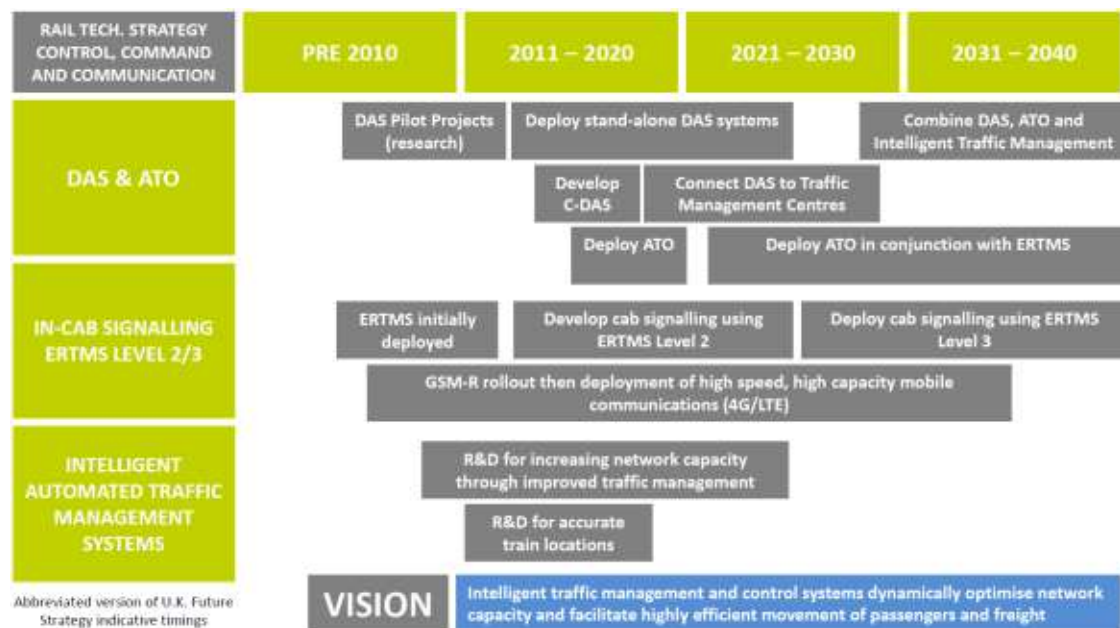


<글로벌 차량 제작사>



[그림 2.25] Rail Market : Rolling Stock OEM Acquisitions

- 글로벌 업계간 M&A가 일어나는 것은 자연스러운 현상이나 문제는 치열한 수주환경에 따라 수익성이 악화됨
- 알스톰사는 프랑스의 자존심인 TGV를 살리기 위해 주력분야인 발전전력부문의 매각을 단행, 수익성 높은 신호사업을 강화함
- 캐나다 봄바르디에 역시 자금확보를 위한 자구책으로 지분 매입권을 가진 펀드를 조성하여 경영정상화를 추진 중
- 일본 Hitachi는 영국에 공장을 건설하고 본사도 영국으로 이전했을 뿐 아니라 이태리 Ansaldo(차량 및 신호업체) 인수를 통해 본격적인 글로벌 플레이어로 도약하고자 하고 있음
- 스위스 스테틀러사는 최근 보슬로의 스페인공장을 인수하여 생산규모를 확대하는 등 글로벌 철도업계의 무한 생존경쟁이 시작됨
- 중국은 동종기업간 합병과 같은 형태로 해외시장에서의 자국업체간 경쟁을 막고 수익성 확보 및 기술개발 역량을 집중시키기 위해 ‘15년 자국 철도차량 제작 국영기업인 CNR(중국북차집단)과 CSR(중국남차집단)을 통합하여 CRRC(중국중차집단)을 탄생시킴
- 중국 CRRC의 압도적인 시장 점유율(50%) 및 성장 지속 예상
 - 고속차량 점유율 : CRRC (50%), 일본제작사 (18%), Alstom(12%), Siemens(6%)
 - 전동차 점유율 : Bombardier (18%), Alstom (17%), 일본제작사 (12%)
 - 경전철 점유율 : Bombardier (20%), Alstom (19%), Siemens (10%)
- 지능형 관제시스템 기술개발에 대한 장기 로드맵 : 운전자 지원시스템 (Driver Advisory System, DAS)과 연계

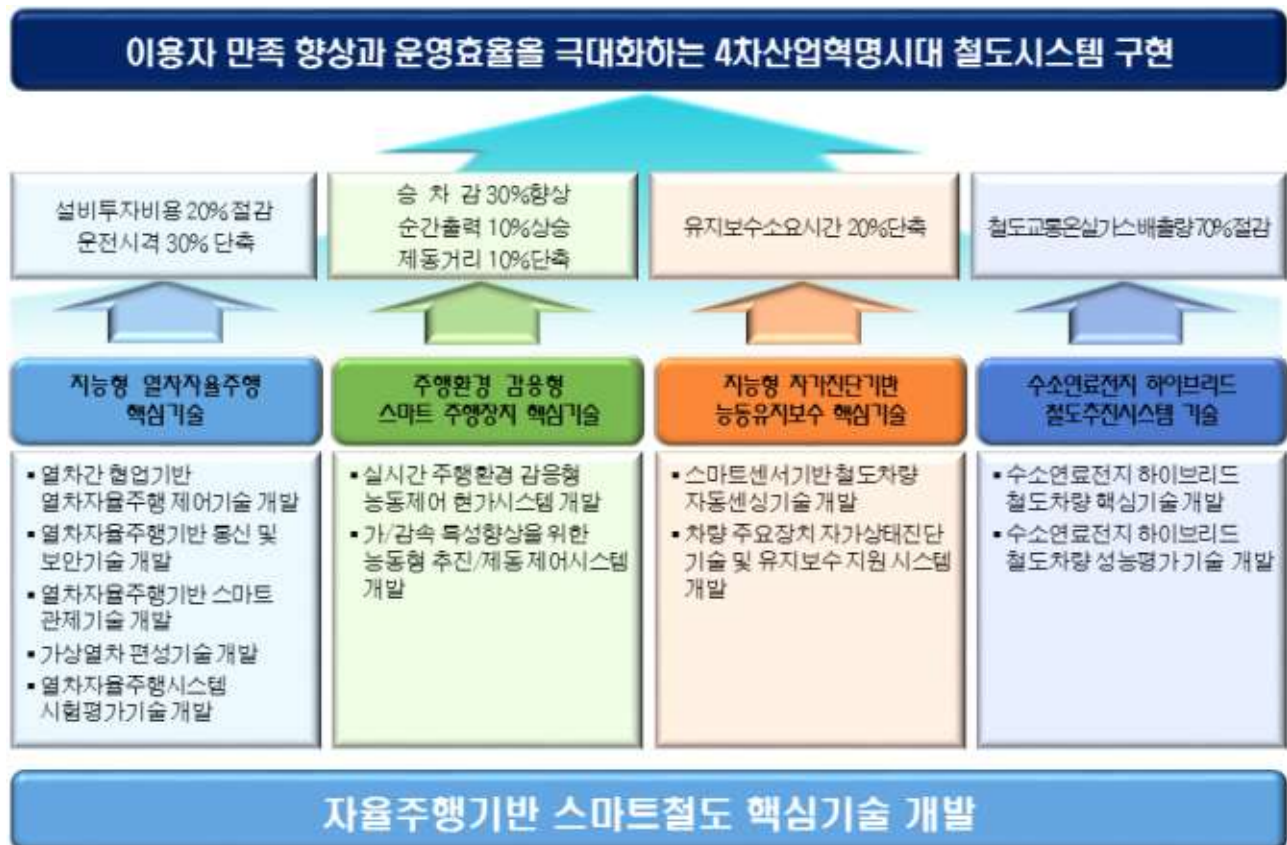


[그림 2.26] 지능형 관제시스템 기술개발 방향 (자료: UK Future Strategy)

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

- 철도 선진국들은 기존의 철도시스템 기술에 IoT, ICT, Big Data, AI등의 기술을 활용하여 승객서비스 향상과 철도시스템의 운영효율 향상을 꾀하고 있으며, 친환경 교통수단으로서 CO₂배출을 최소화하는 철도시스템 기술을 개발하고 있음.
- 4차산업혁명시대의 교통은 계획과 건설 중심에서 운영중심으로 차량-인프라-운영이 능동적으로 연계되는 방향으로 변화하며, 공급중심의 교통서비스에서 개별수요 중심의 맞춤형 교통서비스를 제공하는 방향으로 변화하고 있음.
- 이에 철도시스템도 승객이 철도를 이용하는 전 과정, 즉 열차예약에서부터 최종 목적지 역 도착에 이르기까지의 모든 과정에서 승객 서비스와 철도시스템 운영효율을 향상하고, CO₂배출을 최소화하도록 기존 철도시스템에 ICT, IoT 등 첨단기술이 융복합된 자율주행기반의 스마트철도 기술이 필요함.



[그림 3.1] 자율주행기반 스마트철도 비전 및 목표

2절 기술개발에 따른 미래상

- 사람들의 이동수단에 대한 변화(비행기, 차량 → 철도), 철도시스템의 하드웨어 및 연결비용의 감소, 고급 솔루션의 등장, 인구의 증가 및 대도시화로 철도시스템의 스마트화 요구가 증가하고 있음.
 - 이에 따라 기존의 철도시스템을 기반으로 첨단기술(ICT, IoT, AI, Big Data 등)을 융복합함으로써 철도의 운영환경이 철도 운영자 위주의 운영방식에서 철도 이용승객 중심의 운영방식으로 변화할 것임
- 지능형 열차 자율주행기술 적용의 미래
 - 지능형 열차자율주행기술 개발을 통해 설비투자비 20%절감, 열차운전시각 30%향상을 통한 수송력 향상, 유연하고 탄력적인 승객서비스 제공 및 안전성 향상이 가능한 차세대 무선통신기반 열차자율주행 열차제어시스템 기술 선도할 것임.
 - 지능형 열차자율주행제어기술의 경우 아직 국외에서도 연구개발을 일부 진행 중이거나 계획 중에 있는 최선의 기술로서 연구개발이 완료되는 경우 세계 최고 수준의 차세대 열차제어기술을 확보하여 세계 열차제어시스템시장을 주도할 수 있을 것임.
- 스마트 주행장치 기술 적용의 미래
 - 능동현가시스템 기술을 통해 고속철도는 주행속도를 증속하거나 태풍과 같은 환경, 열차 간 교행 등 주행환경 변화에 강건하게 대응하여 승차감을 향상시켜 고객만족도를 높일 수 있음
 - 능동 추진/제동 기술을 통해 열차지연 발생 시 지연을 만회할 수 있도록 스스로 출력특성 및 제동특성을 능동적으로 제어하여, 고속열차의 정시성 및 표정속도를 향상시켜 승객편의성을 향상시킬 뿐 아니라, 추가편성 투입 가능성 제고를 통한 운영사 수익 및 국가 고속철도망 효율성을 극대화할 것임.
- 능동유지보수 기술 적용의 미래
 - 능동 추진/제동 기술을 통해 고속철도는 열차지연 발생 시 지연을 만회할 수 있도록 스스로 출력특성 및 제동특성을 능동적으로 제어하여, 고속열차의 정시성 및 표정속도를 향상시켜 승객편의성을 향상시킬 뿐 아니라, 추가편성 투입 가능성 제고를 통한 운영사 수익 및 국가 고속철도망 효율성을 극대화할 수 있음
 - 현재 수작업에 의존하고 있는 철도차량의 도착, 일상, 월상검수 등 검수업무의 50%를 차지하고 있는 단순하고 반복적인 검수작업이 첨단 센싱을 기반으로 한 검수작업으로 점진적으로 대체될 것임
 - 철도차량 자동센싱 기술개발에 의해 상태 기준(condition-based) 유지보수가 수행될 수 있으며, 검사 및 진단업무 자동화에 따라 철도차량 유지보수 시간을 줄이고, 비정량적 평가항목을 정량적으로 평가하여 유지보수 효율 및 품질을 높일 수 있을 것임
 - 철도운영처에 있어서는 수작업에 의존하고 있는 검수업무의 상당부분이 자동화로 대체

되므로 열차의 가동율이 상대적으로 높아지게 되며, 간헐적인 검수의 불확실성으로 인하여 일률적으로 교체되던 유지보수 부품들을 상시 검수로 바뀌면서 좀 더 오래 사용할 수 있게 되어 전체적으로 비용이 절감을 이룰 수 있음

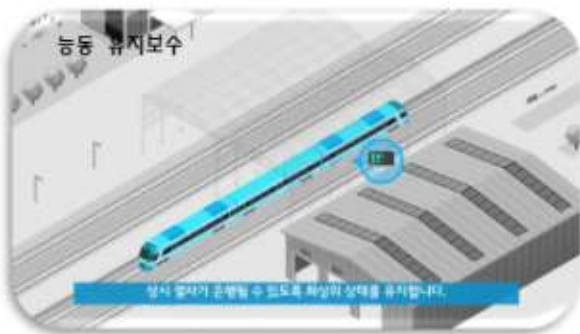
- 일반 국민들에게 있어서는 유지보수를 위해 소요되던 시간이 단축되어 열차의 회전성이 높아짐으로 인하여 보다 짧은 간격으로 늦은 시간까지 대중교통을 이용할 수 있으며, 대중교통의 신뢰성이 높아짐에 따라 대중교통을 이용하고자 하는 욕구가 높아짐. 또한 장애 발생시 대처하는 시간이 단축됨에 따라 장애로 인한 혼란을 방지할 수 있음

□ 수소연료전지 하이브리드 철도 추진기술 적용의 미래상

- 수소연료전지 추진기술을 통하여 탄소배출 Zero의 친환경 교통수단을 제공하게 되어 공기환경을 개선하고, 국가적 에너지 고갈 우려를 불식할 수 있음.
- 외부전력공급이 없는 에너지 독립형 시스템으로 비전철구간 운영을 통해 이용객의 편의성을 증진시키며, 기존의 전차선 등 급전설비가 불필요하게 되어 운영사의 유지보수비 절감 및 철도경관을 크게 개선할 것임.

□ 자율주행 스마트철도 기술 적용의 미래

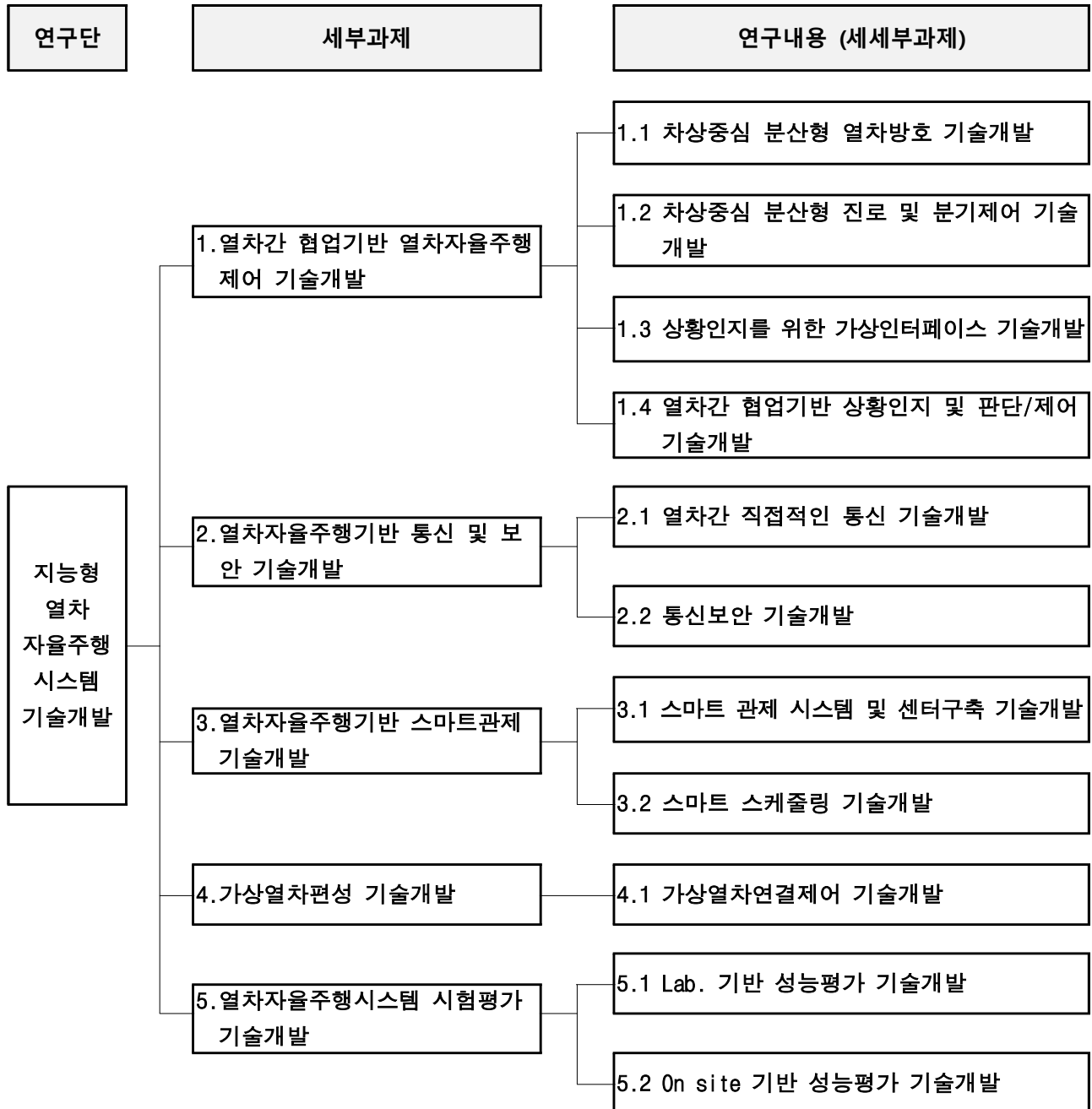
- 글로벌 스마트철도 시장은 솔루션, 장치 및 부품, 서비스의 세가지 유형으로 분류됨.
- 개발하고자 하는 자율주행기반 스마트철도 기술은 다음과 같이 글로벌 스마트철도 시장 유형으로 분류될 수 있음.
- 열차자율주행기술분야 최고기술보유국 대비 약 71%의 기술 수준에서 기술 개발을 통해 최고기술보유국과 동등한 기술 수준을 보유하게 되어, 글로벌 스마트철도 솔루션시장 및 서비스 시장을 주도할 것임.
- 스마트 주행장치 최고기술보유국 대비 약 67%수준에서 기술 개발을 통해 세계 최고기술 동등의 기술을 보유하게 되어 글로벌 스마트철도 장치 및 부품시장의 주행장치 및 고부가가치 고속철도 차량 시장을 주도할 것임.
- 능동유지보수 최고기술보유국 대비 약 74%수준에서 기술 개발을 통해 최고기술보유국 대비 약 90%의 기술수준을 보유하게 되어 유지보수 분야의 경쟁력을 확보할 것임.
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 최고기술보유국 대비 약 59%의 낮은 기술수준에서 기술개발을 통해 최고기술보유국 대비 약85%의 기술 수준을 보유하게 되어 최고기술 보유국과의 기술격차를 크게 줄일 수 있을 것임.



[그림 3.2] 스마트철도의 미래상

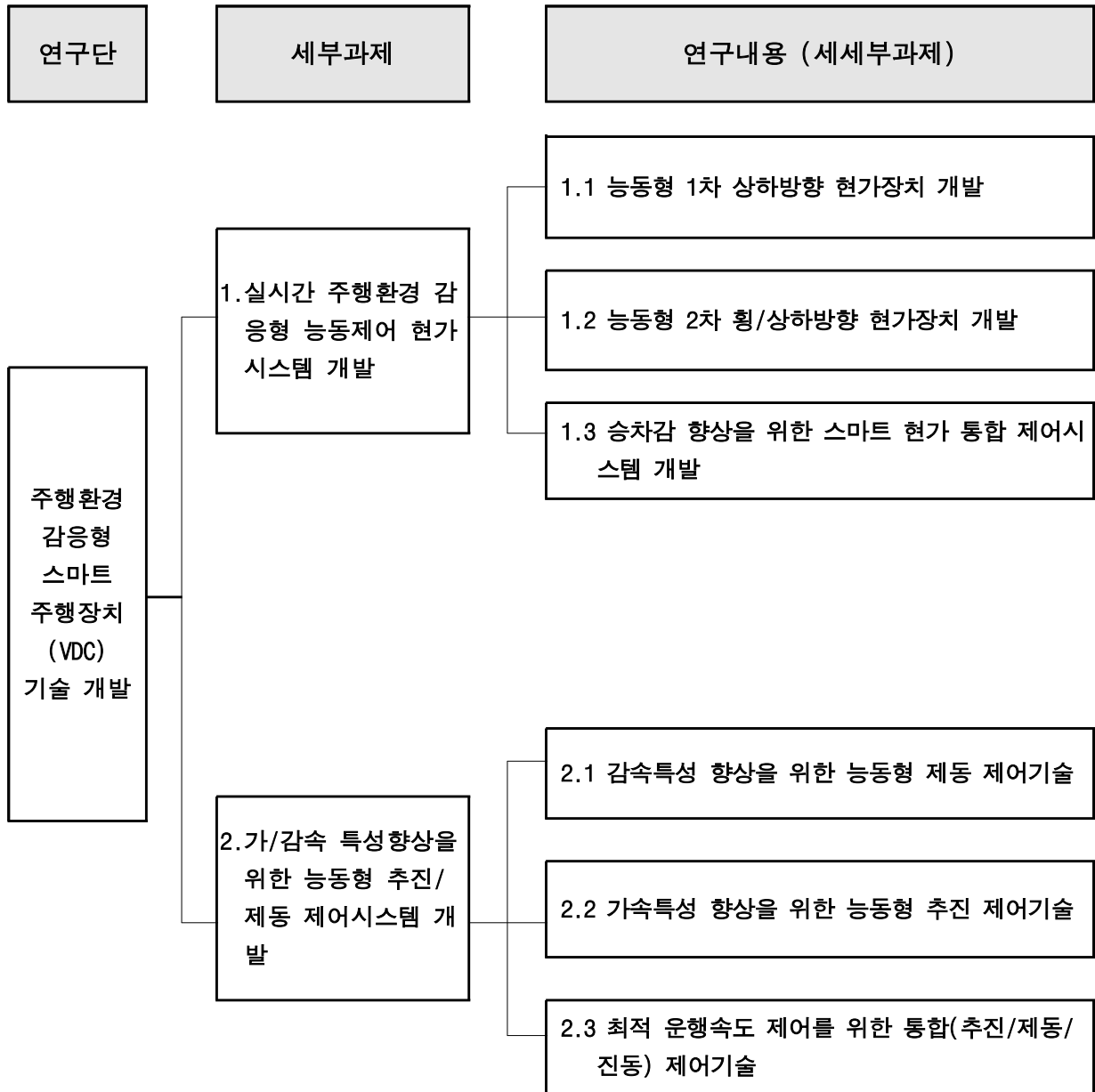
3절 스마트철도 세부기술의 구성

1. 지능형열차 자율주행 기술 분야



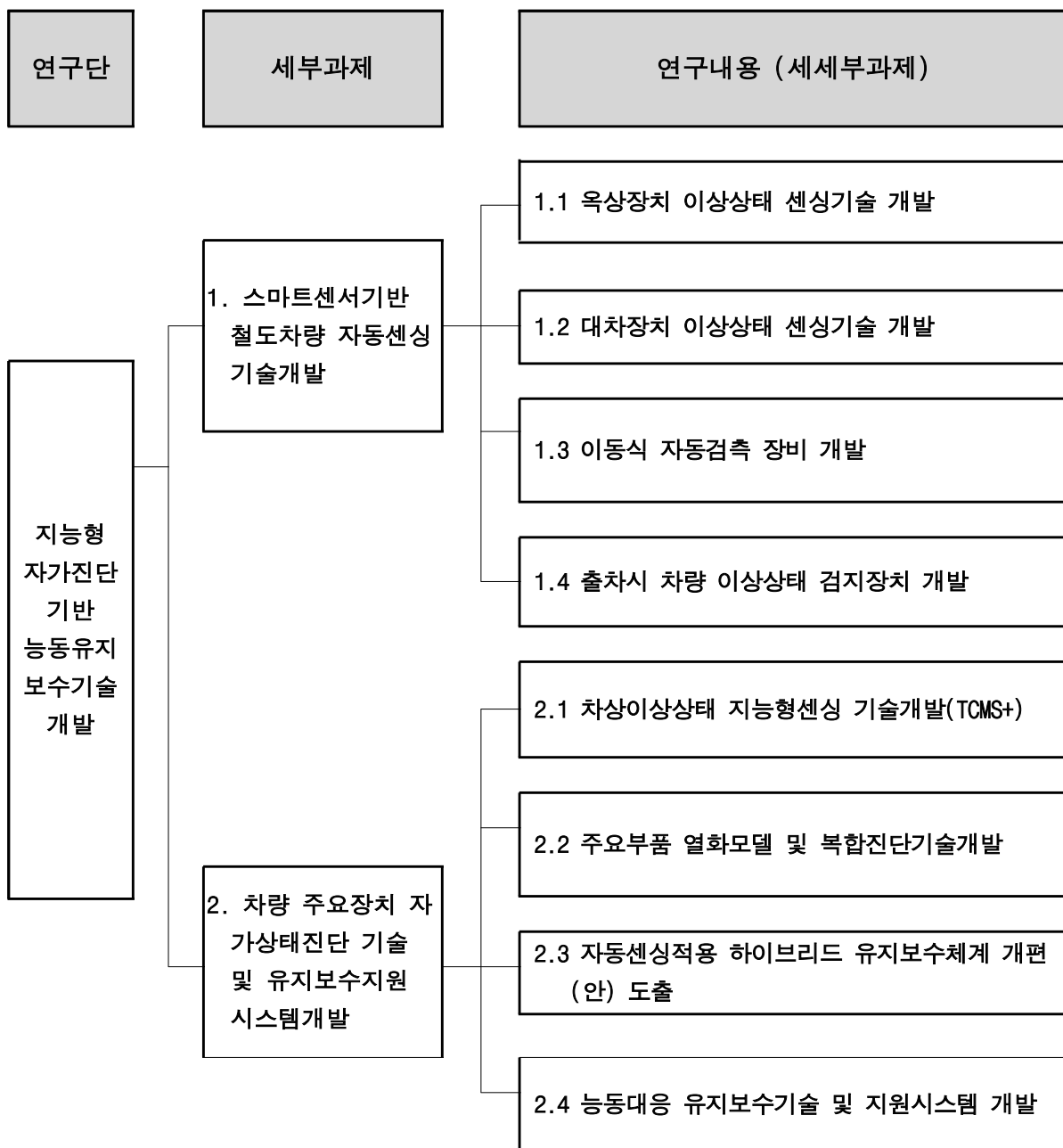
[그림 3.3] 지능형 열차자율주행시스템 기술개발 과제구성

2. 주행환경 감응형 스마트 주행장치 기술 분야



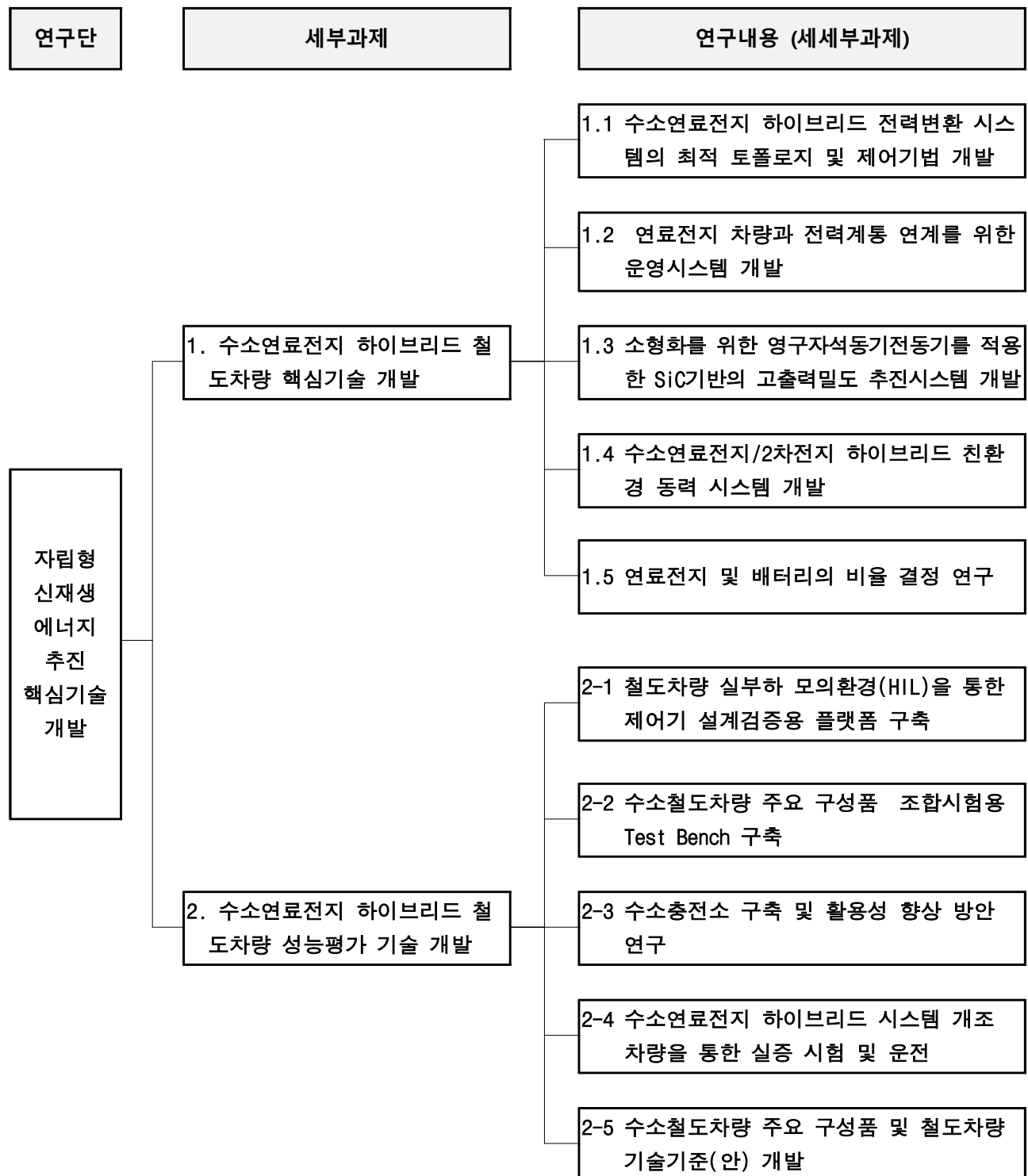
[그림 3.4] 주행환경 감응형 스마트 주행장치 기술개발 과제구성

3. 지능형 자가진단 기반 능동유지보수기술 분야



[그림 3.5] 지능형 자가진단기반 능동유지보수 기술개발 과제구성

4. 자립형 신재생에너지 추진 핵심기술 분야



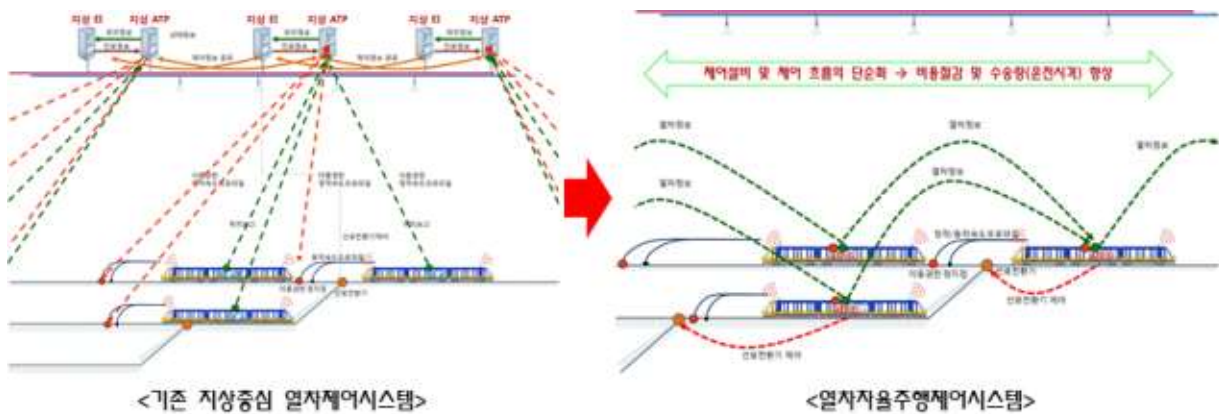
[그림 3.6] 자립형 신재생에너지 추진 핵심기술개발 과제구성

제4장 지능형 열차자율주행 핵심기술분야 요약

1절 기술의 정의 및 필요성

1. 기술의 정의

- 열차자율주행시스템이란 지상제어시스템의 제어명령에 의존하지 않고 열차간 상호협업을 통해
 - 열차 스스로 안전한 주행을 수행하고
 - 주행 중 자유로운 분리결합을 수행하며
 - 이례상황 발생 시 열차 스스로 상황을 인지하고 판단하여 대응이 가능한 지능형 열차 제어시스템이다.



[그림 4.1] 지능형 열차 자율주행제어시스템 기술 정의

2. 기술의 필요성

- 지상제어시스템의 제어명령에 의존하지 않고 열차간 상호 협업을 통해, 열차 스스로 안전한 주행을 하고, 주행 중 자유로운 분리결합을 수행하며, 이례상황 발생시 열차 스스로 상황을 인지/판단/대응이 가능한 지능형 열차자율주행 기술 개발 필요
 - 수송능력(Capacity) 측면
 - 차상-지상-차상의 Cyclic-path 제어경로로 인해 운전시각 단축에 한계가 발생 ⇨ 한계 극복을 위해 열차 제어방식의 패러다임 변화 필요
 - 열차편성간 안전간격의 대부분은 제동거리임(KTX 6.6km, 상용제동 기준) ⇨ 열차편성간 안전간격의 획기적인 단축 필요
 - 설비투자비(Cost) 측면
 - 투입열차 증대 시 지상설비(지상ATP, EI)의 증설이 불가피 ⇨ 지상설비의 제어명령에

의존하지 않은 열차제어기술 필요

– 운영의 편리성(Service) 및 안전성(Safety) 측면

- 열차편성 조성시 운영자의 수신호에 기반하여 선행열차 정차상태에서 후행열차 순차적 이동으로 분리결합 수행함으로 시간소요 및 인적오류에 의한 사고가능성 ⇨ 물리적 연결기 없이 분리결합이 가능한 제어기술 필요
- 주행중 발생하는 사고고장에 대해 관제 및 현장운영자의 수동조작에 의해 신속한 사고 대응 불가능 및 인적오류에 의한 2차사고 위험 발생가능 ⇨ 열차간 협업에 의한 대응 기술이 필요

2절 국내외 동향 및 환경분석

1. 국내외 정책동향

○ 국내 정책동향

– 제3차 과학기술기본계획('13~'17)

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

– 국정과제('13.5.28)

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

– 건설교통 R&D 중장기계획안('13~'17)

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

율주행시스템 핵심기술에 대한 원천기술 확보가능

— 국토교통과학기술진흥원 미래철도기술 로드맵 2040('15.1)

- (3. 대용량·고밀도·고속화 기술) 고밀도 열차제어운영 및 대용량 여객·화물 수송에 대한 기술 → 운전시각 향상을 통한 고밀도 여객·화물 수송가능
- (5. 저비용 건설·제작 기술) 저비용의 신개념 철도 인프라 건설기술→ 지상설비 제거를 통한 저비용의 신개념 인프라 기술

○ 국외 정책동향

— 영국의 철도기술 정책

- 2009년 영국정부(교통부)는 30년 후에도 철도가 지속적인 성장을 하기 위한 비전을 담은 백서 "Delivering a Sustainable Railway"에 철도가 지속적으로 성장·발전하기 위한 핵심적인 요구조건으로 달성하여야 할 도전적 목표 4C(Capacity, CO2, Customer, Cost)를 수립하였음.

— 프랑스의 철도기술 정책

- 프랑스 철도기술의 중기과제로 철도에 승객이 유입될 수 있도록 철도의 용량증대와 함께 철도의 매력도 향상기술을 중점과제로 선정하였음.

— 미국의 철도기술 정책

- 미 연방철도국은 철도 시스템의 안전성 향상에도 불구하고 많은 종류의 사고가 발생하고 있어, 철도사고와 사상자를 획기적으로 줄이는 것을 목표로 전 기술 분야에서 안전 문제를 검토하며 10대 연구개발 분야에 열차제어 및 승무원/승객보호, 건널목 안전 등의 기술이 포함되어 있음.

2. 기술(특허, 논문) 동향,

○ 특허 동향

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

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

- 본 과제에서 제안하고자 하는 열차간 협업기반의 열차자율주행과 관련하여는 아직 기술개발이 진행 중에 있으므로 상대적으로 특허에 있어서는 공백기술로 분류될 수 있음.
- 따라서 지상제어시스템에 의존하지 않는 향상된 열차간격제어기술, 주행중 물리적 연결기 없이 가상으로 열차의 분리결합을 제어하는 기술, 무선통신기반 열차간 무결성을 확보하는 기술, 열차간 협업을 통한 상황인지 및 판단기술 등은 새로운 특허로써 기존 특허기술을 회피 할 수 있음. 아울러 스마트 스케줄링 분야 국가별 특허분석 결과 대부분 응용(Application) 관련 특허로서 별도의 회피전략 마련의 필요성 없음.

○ 논문 동향

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

3. 기술수준분석, 연구개발과제관련 요소기술 조사 결과

- 기술수요조사 설문은 지능형 열차자율주행 제어시스템 핵심기술과 관련된 일반사항과 관련 수요조사로 나누어 관련분야 전문가 설문조사를 실시함.
- 국내 열차자율주행 기반 철도차량 기술의 적용 분야를 조사하고, 관련 산업계에서 필요로 하는 기술의 필요성 및 활용성, 요구사항, 기대효과, 애로사항 등 파악을 위해 수행.
- 기술의 중요성, 기술 개발의 필요성, 개발 시 문제점 등 기술 일반사항 및 제안하는 연구과제, 기대효과 등 과제 제안 분야로 구분하여 조사 수행.
- 열차자율주행 분야 기술수요 조사 결과, 총 38개의 관련 연구개발이 필요한 것으로 파악
• 차상중심 분산형 간격제어 및 분기제어, 관제, 통신, 스케줄링, 이상상태 및 에러 검출 등 기술 기반의 38개 제안과제 도출
- 기술예측조사 수행
- 철도 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여, 이를 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립
- 열차자율주행 분야는 유사·중복 과제 통합 과정을 거쳐 1차 도출 제안과제 수 38개에

서 최종 제안 과제 수 22개로 축소

- 응답특성, 사고 및 고장 대응, 가상열차연결제어, 스케줄링, 열차 간 협업, 관제 등 공통 기술로 통합
- 열차자율주행 분야는 평가를 거쳐 총 22개의 제안과제 중 17개의 최종 후보과제를 선정 하였으며, 이후 후보과제를 대상으로 기술예측조사를 수행
- 우선순위조사 수행
- 본 연구과제에 부합하는 과제의 기획 및 발굴을 위해 전략성과 기술성, 경제성과 파급성 등을 감안하여 우선적으로 연구·개발 되어야 할 기획과제 선정
- 우선순위 도출을 위해 본 연구과제의 특성을 감안하여 전략성, 기술성, 경제성, 파급성 등 4대 항목으로 평가지표 구성
- 열차자율주행 분야 17개 후보과제에 대한 평가지표별 절대평가(7점 척도) 점수에 평가지표별 가중치(AHP)를 반영하여 다음과 같이 최종 평가점수 및 순위를 도출
- 아래 평가결과 5.5점 이상인 9개 후보과제를 최종 연구과제로 선정함.
- A-04 : 차상중심 분산형 열차간격 제어 및 방호 기술개발
- A-14 : 스마트 관제 시스템 및 센터 구축 기술개발
- A-05 : 차상중심 분산형 진로 및 분기 제어 기술개발
- A-11 : 열차간 직접적인 통신기술 개발
- A-10 : 통신보안 기술개발
- A-17 : 스마트 스케줄링 기술개발
- A-08 : 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발
- A-09 : 상황인지를 위한 가상 인터페이스 기술개발
- A-07 : 가상열차연결제어 기술개발

4. 유사과제 분석 및 기존기술(연구)와의 차별성

- 기존의 국가연구개발과제를 통해 개발된 열차제어시스템은 지상제어시스템이 중심이며 이전에 미국과 유럽에서 개발을 통해 표준화된 열차제어시스템 체계를 벤치마킹하여 국내 기술로써 국산화 개발한 것으로 볼 수 있음.
- 개발 예정인 열차자율주행시스템의 경우 완전한 차상중심의 열차제어시스템으로써 국내 개발사례는 전무하며 국외에서도 개발 중에 있거나 또는 개발을 계획 중인 미래 선도형 기술임.
- 열차자율주행시스템은 자율주행자동차와 달리 대중 교통수단으로 정시성과 높은 수준의 안전성을 보장하여야 함.
- 열차자율주행시스템은 정시성을 보장하기 위한 스케줄 회복에 대한 노력과 함께 시스템 고장 또는 사고 발생의 경우 승객의 안전을 보장하기 위해 이에 대한 신속한 대응

방안도 개발에 포함이 되어야 함.

- 자율주행자동차의 개발목표는 자동운전을 통한 운전자 편의성 향상이며 이로 인해 차량금액은 증가하게 됨. 반면 열차자율주행시스템은 기존대비 경제성, 수송력, 안전성, 편의성 향상이 가능한 완전무인자동운전을 목표로 하고 있음.
- 열차는 항공기와 마찬가지로 사고발생시 대규모의 인명사고가 발생되므로 가장 높은 수준의 안전성 수준을 확보하여야 함. 열차자율주행시스템의 목표안전성은 SIL²⁾-4 수준으로 즉 10^{-9} 의 오류확률을 가져야 함. 반면 자율주행자동차의 경우 사고발생시 소규모의 인명사고가 발생되며 이에 따라 목표 안전성 수준이 철도에 비해 현저히 낮음을 알 수 있음.

5. 국내 연구개발 인프라 분석

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

3절 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 연구과제의 범위, 비전 및 목표

- 비전 : 이용자 만족 향상과 운영 효율을 극대화하는 4차산업혁명시대의 철도기술 구현
- 제4차 산업혁명 시대에서 철도와 대중교통에 요구되는 On Demand 서비스 제공으로 개인화된 철도 및 대중교통 서비스의 새로운 가치 창출
- 기존의 제어 패러다임의 근본적인 변화를 통해 미래 철도기술이 추구하고자하는 비용 절감(Cost), 승객 및 운영자에게 제공하는 서비스(Service), 수송력(Capacity) 및 안전성(Safety) 향상이 가능한 열차자율주행시스템을 구현

2) Safety Integrity Level: 안전무결수준

- 목표 : 세계최초 열차자율주행제어 및 스케줄링 핵심요소기술 확보
 - 열차자율주행시스템 적용을 통한 설비투자비용 20% 절감
 - 열차자율주행시스템 적용으로 운전시각 30% 단축
- 이해자
 - 철도 서비스 공급자(운영자)
 - 철도 서비스 이용자(승객)
 - 시스템 제작사(기업)

2. 기술개발에 따른 미래상

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

- 공급자(운영자) 측면
 - 열차자율주행제어기술을 확보함으로써 지상설비 절감을 통한 철도 운영사의 설치비용 및 유지보수비용 절감가능
 - 열차자율주행제어 및 가상열차편성 기술개발을 통해 수송량을 증가시킴으로써 철도운영기관 운영수입 증대가능
 - 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 운영자의 개입이 불필요함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대
 - 열차 운영중 빈번히 발생하는 열차 스케줄 지연과 이례상황 발생시 열차경로의 우회 등 운영자 개입이 필요한 상황을 자율협업기반으로 열차스스로 수행함으로써 운영자 편의성 향상 효과 기대.
 - 철도통신보안 핵심기술을 확보함으로써 열차 운영중 발생할 수 있는 여러 사이버 테러에 대한 안전성 확보 가능.
 - 가상열차편성 기술을 통해 열차의 분리와 결합시 발생하는 인적 오류로 인한 안전사고를 예방가능
 - 열차 운행중 여러 이례상황 발생시 열차스스로 대응이 가능함으로써 운영자 수작업을 통한 사고 대응시 발생할 수 있는 2차사고 예방가능.
 - 스마트 스케줄링 기술은 기존 (열차) - (차량) - (승무원) 스케줄링 소요기간을 실시간에 근사하도록 단축 (2주 → 4일 이내) 하여 다양한 수요변화를 세부적으로 수용할 수 있는 기반을 구축하고 동적인 편성 용량 조정(Dynamic Capacity Adjustment)을 통하여 철도 좌석 공급량을 수요변화에 대응할 수 있도록 함
- 수요자(이용자) 측면

- 열차자율주행제어 및 가상열차편성 기술개발을 통해 운전시각 단축이 가능하며 이는 철도 승객의 통행시간 절감효과 측면에서의 서비스 향상 효과 기대.
 - 가상열차편성 기술개발을 통해 열차편성 조성이 열차의 운행 중 이루어질 수 있으므로 유동적인 승객의 수송수요(지선에 열차의 투입 횟수 증가 등)에 대응이 가능함으로써 승객 서비스 향상 효과 기대.
 - 연계 열차간 동기화 스케줄링(Schedule Synchronization)을 통한 환승 대기시간을 최소화하여 승객의 철도 서비스 만족도 향상을 제고함
 - 스마트 스케줄링 기술은 연계 열차간 동기화 스케줄링(Schedule Synchronization)을 통한 환승 대기시간을 최소화하여 승객의 철도 서비스 만족도 향상을 제고함
- 제작사 측면
- 국내외 열차제어시스템 신규 및 개량시장에 진출하기 위한 기술적 우위 선점 가능
 - 차세대 무선통신기반 열차제어시스템 기술인 열차자율주행기반 열차제어시스템 핵심기술 확보 가능
 - 열차간 전송 지연 절감을 위한 네트워크 설계기술, 열차간 직접통신 기술, 자율협업 네트워킹 등 열차자율주행시스템 통신 핵심기술 확보

3. 연구개발 과제구성

○ 기술개발 로드맵

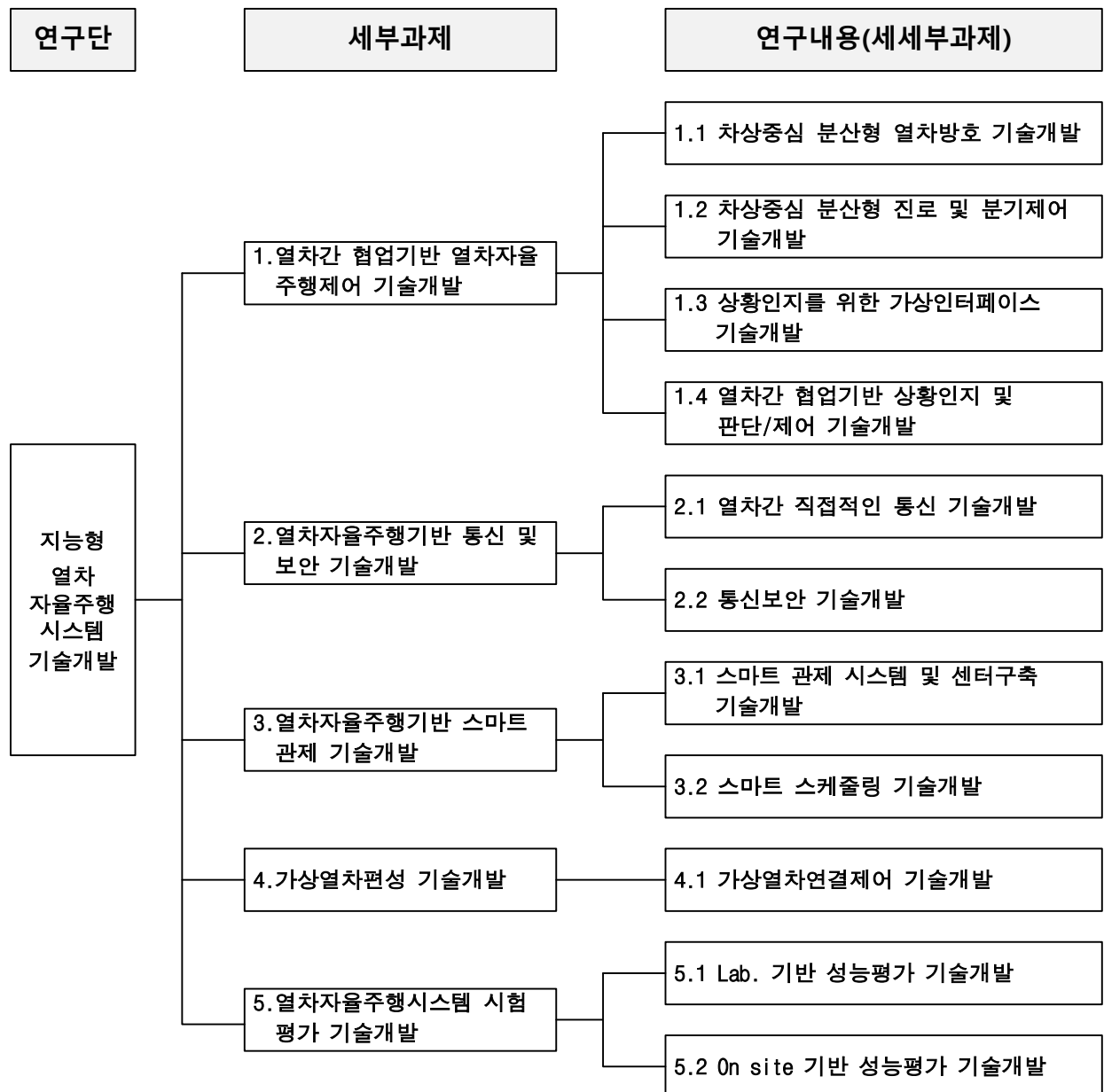


[그림 4.2] 지능형 열차 자율주행핵심기술 로드맵

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

○ 연구단 과제구성

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



[그림 4.3] 지능형 열차 자율주행 핵심기술 과제 구성

4. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

- 세부과제 1 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발
 - － 열차간 직접적인 협업을 통한 수송력 향상 및 비용절감 그리고 편의성 향상이 가능한 열차자율주행제어 기술개발
 - 열차의 최소운전시각 30% 향상
 - 제어설비 단순화를 통한 비용 20% 절감
 - － 연구개발 주요내용
 - 차상중심 분산형 열차방호 기술개발
 - (1) 열차간 연결 무결성 확보기술 개발
 - (2) 차상중심 분산형 열차간격제어 기술개발
 - (3) 안전성 활동 및 평가
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발
 - (1) 차상중심 분산형 진로 기술개발
 - (2) 차상중심 분산형 분기제어 기술개발
 - (3) 안전성 활동 및 평가
 - 상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발
 - (1) 가상인터페이스 유무선 통신체계 개발
 - (2) 가상인터페이스 통신프로토콜 개발
 - 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발
 - (1) 상황인지 운영시나리오 개발
 - (2) 상황인지에 따른 판단/제어 기술개발
 - (3) 안전성 활동 및 평가
- 세부과제 2 : 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발
 - － 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발
 - － 연구개발 주요내용
 - 열차간 직접적인 통신 기술개발
 - (1) 열차자율주행 기반 T2T 통신 표준화 연구
 - (2) 열차자율주행 기반 T2T 통신 기술개발
 - 통신보안 기술개발
 - (1) 물리적 신호교란에 강인한 보안기술 개발
 - (2) 사이버 공격에 강인한 보안기술 개발

○ 세부과제 3 : 열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발

－ 열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발

－ 연구개발 주요내용

• 지능형 관제시스템

(1) 임시 스케줄링 기반 운행조정 최적화 기술

(2) 실시간 열차 경합 검지 및 해소 기술

(3) 열차 지연확산 예측 관제 기술

(4) 적응형 운전자 지원시스템 기술

• 개인별 통행관제

(1) 승객환승 최적화 관제 기술

(2) 개인별 만족기반 관제 기술

• 가상편성/자율주행 차량 관제

(1) 자율주행 차량 관제 기술

(2) 가상편성 차량 분리/결합 관제 기술

○ 세부과제 4 : 가상열차편성 기술개발

－ 열차간 가상연결제어를 통한 수송력 극대화 및 편의성 향상이 가능한 가상열차편성 기술개발

• 열차 수송량 50% 이상 향상

• 분리결합 시간 단축 1분 이내

－ 연구개발 주요내용

• 가상연차평성내 열차무결성 확보기술 개발

• 가상연결제어 기술개발

(1) 가상연결/해제 제어기술개발

(2) 고정밀 속도추종제어 기술개발

• 안전성 활동 및 평가

○ 세부과제 5 : 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발

－ 열차자율주행시스템 기술개발 단계별 시험평가 기술개발

－ 연구개발 주요내용

• Lab. 기반 시험평가 기술개발

• 가상연결제어 기술개발

(1) Lab. 기반 시험평가 방안 및 절차서 도출

(2) Lab. 기반 시험평가를 위한 통합 시뮬레이터 개발

- On site 기반 시험평가 기술개발

(1) On site 기반 시험평가 방안 및 절차서 도출

(2) On site 기반 시험평가 테스트 베드 구축

5. 연구추진체제

- 연구개발 추진체제는 과제 규모를 고려하여 연구단 형태로 추진하는 것이 바람직하며, 1단계 핵심기술개발(5년)의 경우 전문연구원과 학계를 중심으로 연구추진체제를 구성함. 2단계 실용화기술개발(5년)의 경우 추가로 제작사와 운영기관을 참여시켜 실용화를 위한 시스템 개발과 테스트 베드구축을 통한 시스템 성능과 안전성을 검증함.
- 연구단은 연구개발 총괄과 함께 세부과제 1의 주관연구기관으로서 전체 열차자율주행 제어시스템의 기반 플랫폼 기술인 “열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발” 과제를 수행하고, 세부과제 1,2,3,4,5 각 최종성과물 및 성과지표에 따라 수행함.

6. 기술/성과 로드맵

- 세부 과제별 기술로드맵
 - － 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발
: 아래의 세부 연구내용에 대해 각각 핵심기술개발 단계와 실용화 기술개발 단계에 대한 기술로드맵을 도출함.
 - 차상중심 분산형 열차방호 기술개발
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 기술개발
 - 상황인지를 위한 가상인터페이스 기술개발
 - 열차간 협업기반 상황인지 및 판단/제어 기술개발
 - － 열차자율주행기반 통신 및 통신보안 기술개발
: 아래의 세부 연구내용에 대해 각각 핵심기술개발 단계와 실용화 기술개발 단계에 대한 기술로드맵을 도출함.
 - 열차간 직접적인 통신 기술개발
 - 통신보안 기술개발
 - － 열차자율주행기반 스마트 관제 기술개발
: 아래의 세부 연구내용에 대해 각각 핵심기술개발 단계와 실용화 기술개발 단계에 대한 기술로드맵을 도출함.
 - 스마트 관제 시스템 및 센터구축 기술개발
 - 스마트 스케줄링 기술개발

- 가상열차편성 기술개발
: 아래의 세부 연구내용에 대해 각각 기초원천기술개발 단계와 핵심기술개발 단계에 대한 기술로드맵을 도출함.
- 가상열차연결제어 기술개발
- 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발
: 아래의 세부 연구내용에 대해 각각 단계별 성능평가에 대한 기술로드맵을 도출함.
- Lab. 기반 성능평가 기술개발
- Oh Site 기반 성능평가 기술개발
- 과제별 성과목표 및 성과지표
- 세부과제별 성과목표 및 성과지표, 각 지표별 가중치와 평가(검증) 방안을 도출하였음.

7. 최종성과물 및 성과지표

- 세부과제 1 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발
 - 차상중심 분산형 열차방호 시스템 시제품
 - 차상중심 분산형 진로 및 분기제어 시스템 시제품
 - 상황인지를 위한 가상인터페이스 시스템 시제품
 - 상황인지 및 판단/제어 시스템 시제품
 - 논문 학술지 발표/게재 : 30/18건
 - 특허출원 건수: 50건
 - 소프트웨어 개발 건수 : 9건
 - 시제품 개발 건수 : 4건
- 세부과제 2 : 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발
 - 열차자율주행 기반 T2T 차상 단말 모델
 - 열차자율주행 기반 T2T 망 인프라 시제품(망, 기지국, 코어망)
 - 물리적 신호교란에 강인한 보안시스템
 - 사이버 공격에 강인한 보안 모듈
 - 논문 학술지 발표/게재 건수: 30/18건
 - 특허출원 건수: 30건
 - 소프트웨어 개발 건수 : 9건
 - 시제품 개발 건수 : 4건
- 세부과제 3 : 열차자율주행기반 스마트 관제시스템 기술개발

- 스마트 관제시스템 시제품
- 스마트 스케줄링 시제품
- 논문 학술지 발표/게재 : 17/10건
- 특허출원 건수: 5건
- 소프트웨어 개발 건수 : 2건
- 시제품 개발 건수 : 2건
- 세부과제 4 : 가상열차편성 기술개발
 - 가상열차연결제어 시스템 프로토타입
 - 논문 학술지 발표/게재 : 30/18건
 - 특허출원 건수: 37건
 - 소프트웨어 개발 건수 : 9건
 - 시제품 개발 건수 : 4건
- 세부과제 5 : 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발
 - Lab. 기반 성능평가 시스템
 - On site 기반 성능평가 시스템
 - 논문 학술지 발표/게재 : 30/18건
 - 특허출원 건수: 18건
 - 소프트웨어 개발 건수 : 3건

4절 사전타당성 검토

1. 지능형 열차자율주행 핵심기술 논리모형

[표 4.1] 지능형 열차자율주행 핵심기술 논리모형

1. 이슈 / 문제
□ 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. □ 기존의 열차제어시스템은 특정 관할영역마다 지상의 제어서버가 존재하며 노선이 확장되거나 열차투입이 증가되는 경우 지상의 제어서버의 증설이 불가피하여 설비투자비 측면에서 비효율적임. □ 기존의 열차운영은 분리결합에 있어서 운영자의 수동 개입에 의해 시간소요와 사고발생 위험성이 높으며 이로 인해 승객의 수요에 따른 유동적인 운영이 불가능함. □ 신규 열차제어시스템은 단기간에 개발이 어렵기 때문에 적기에 기술개발을 하지 않았을 경우 국외의 선진 제작사의 기술종속이 불가피하며 막대한 구축비용 및 유지보수비용이 발생함. □ 국외 철도선진국의 경우 차세대 열차제어시스템 개발을 활발히 수행하고 있으며 이는 열차간 통신기반의 열차제어와 열차간 직접적인 통신기술, 가상연결기술, 열차자율주행기술에 대한 원천기

술 확보를 포함.

2. 목표

- 설비투자비용 20% 절감
- 운전시각 30% 단축
- 수송량 극대화 및 서비스 향상
- 주변상황 인지 및 판단/제어를 통한 안전성 향상

3. 수혜자

- 철도 서비스 공급자(운영자)
- 철도 서비스 이용자(승객)
- 시스템 제작사(기업)

4. 투입

- 1단계 핵심기술개발(5년)의 경우 핵심요소기술 개발에 필요한 장비 및 프로토타입 개발비를 책정함. 소요인력은 약 257명, 소요예산은 총 260억원 임.
- 2단계 실용화연구개발(5년)의 경우 시제품 제작과 테스트 베드 구축 및 시험평가비를 책정함. 소요인력은 약 268명, 투입예산은 총 450억원 임.

5. 활동

- 국내 철도 신호통신의 기술성숙도와 본 연구과제에서 개발하고자하는 기술의 도전성과 개발규모를 고려했을 때 1단계 핵심요소기술개발(5년) 이후 2단계 실용화 연구개발(5년)과 같이 단계적으로 추진

6. 산출

- 시스템 프로토타입
- 시스템 시제품
- 테스트 베드
- 통합 시뮬레이터
- 테스트 케이스 및 공인기관 시험성적서

7. 성과 / 영향

- 설비투자비 측면
 - 설치 및 유지보수 비용 절감가능.
- 수송력 측면
 - 안전간격을 단축시킴으로써 노선의 수송량 향상 가능.
- 서비스 측면
 - 수요자 중심의 철도 운영 서비스 가능
 - 가상 연결을 통해 자유로운 편성조성이 가능.
 - 목적지까지의 소요시간 단축가능
 - 사고 및 고장 발생시 신속하고 정확한 대응이 가능.
- 기술적 측면
 - 차세대 열차제어기술인 열차자율주행 기술 개발

8. 가정

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

2. 정책적 타당성

- 제3차 과학기술기본계획
 - SW 인터넷 신사업 창출 과제

: 지능형 열차자율주행기술은 기존의 전기/HW/지상 중심의 제어패러다임에서 통신/SW/차상 중심의 차세대 열차제어시스템과 제어패러다임의 근본적인 변화를 통해 고부가가치 시장진출이 가능함.

－ 스마트 물류 · 교통시스템 구축 과제

: 열차간 직접적인 통신기반 열차자율주행이라는 최선의 ICT 기술 접목과 지상설비 제거를 통한 인프라 구조물의 경제성 확보가 가능함.

○ 국정과제

－ 교통체계 · 해운 선진화 및 건설 · 원전사업 해외진출 지원

: 교통체계 선진화: 주요 추진계획으로 철도병목구간 개선, 혼잡권역 고속도로망 확충, 대도시권 광역철도망 구축을 목표로 함.

: 열차간 통신기반 열차자율주행 기술개발로 운전시각 향상을 통한 철도병목구간 개선이 가능.

○ 건설교통 R&D 중장기계획안

－ 지구 온난화에 대비한 에너지 · 자원의 효율적 이용

: 철도시스템 성능 및 수송량 향상을 목표로 함.

: 열차간 통신기반 열차자율주행 기술개발로 운전시각 향상을 통한 수송력 향상 가능

－ 미래 경제가치 창출

: 철도 운영 효율화 및 에너지 비용 저감을 통한 경제가치 실현을 목표로 함.

: 열차자율주행 기술개발로 지상설비 단축을 통해 비용절감 가능.

－ 융복합 첨단기술 확보

: 세계시장 선도 첨단 교통물류 원천기술 확보를 목표로 함.

: 열차자율주행 기술개발로 첨단 열차자율주행시스템 핵심기술에 대한 원천기술 확보가능

○ 국토교통과학기술진흥원 미래철도기술 로드맵 2040

－ 대용량 · 고밀도 · 고속화 기술

: 고밀도 열차운영 기술분야에서 초근접 열차제어기술(도시철도) 개발을 2030년까지, 초근접 열차제어기술(일반 · 고속철도)는 2035년까지, 초근접 열차제어 기술(초고속철도)는 2040년까지 확보를 목표로 함.

: 열차자율주행 기술개발은 열차간 통신기반 간격제어기술을 통해 2030년까지 초근접 열차제어기술(도시철도) 상용화를 목표로 함.

－ 저비용 건설 · 제작 기술

: 철도 인프라 설계 및 시공기술 개발을 통해 2030년까지 건설비 20% 절감을, 2040년까지 건설비 30% 절감을 목표로 함.

: 열차자율주행 기술개발은 비용절감 가능.저비용의 신개념 인프라 기술이며 2030년 실용화 개발을 통해 열차제어시스템 시설투자비 20% 절감을 목표로 함.

- 국토교통부 한국형 철도신호시스템 구축계획(2017.05.16.)
 - 차세대 신호시스템 개발 “T2T 기반의 열차제어시스템 개발(‘18~’ 30)”
 - : 열차간 무선통신 및 IoT, 인공지능을 활용하여 자율주행이 가능한 신호시스템 개발
 - : 열차자율주행 기술개발은 열차간 무선통신을 기반으로하여 인공지능 및 IoT를 활용한 첨단 열차제어시스템 개발을 목표로 함.

3. 기술적 타당성

- 장기연구의 타당성
 - 신규 운영패러다임 설계 측면
 - : 과거로부터 현재에 이르기까지 오랜 기간 존재해 왔던 기존의 운영 패러다임을 새로운 운영 패러다임으로 변경에 따른 운영시나리오의 설계와 여러 사고 및 고장 등의 이례상황에 대한 대응책, 그리고 이에 대한 검증에 이르기까지 일련의 과정이 필요하므로 장기간의 연구와 검증의 과정이 필요함.
 - 신규 열차제어 패러다임 설계 측면
 - : 열차제어시스템은 승객의 안전을 다루기 때문에 기존과는 다른 새로운 열차제어시스템 컨셉을 개발하는 것은 단기간에 이루어질 수 없으며 열차자율주행시스템과 같은 차세대 CBTC 기술에 대한 연구개발 역시 장기간에 연구개발과 검증이 요구됨.
- 차세대 열차제어 및 통신기술 확보 측면
 - 완전한 차상중심 간격제어 및 분기제어기술과 주행중 편성간 가상연결 및 해제 제어기술, 상황인지 및 판단기술 및 열차간 직접적인 통신기술 등 차세대 무선통신기반 열차제어 및 통신 핵심원천기술 확보
- 기술적 파급효과
 - 열차자율주행시스템의 분산형 제어기술, 상황인지 및 판단기술, 가상열차 편성기술은 철도 뿐만 아니라 타 교통시스템의 자율주행 및 제어시스템에 활용가능
- 기술개발 성공 가능성
 - 국가연구개발과제를 통해 도시철도 및 일반·고속철도 분야에서 무선통신기반 열차제어시스템 개발을 수행한 경험을 토대로 열차자율주행시스템에 필요한 신규 제어패러다임 설계와 개발이 성공적으로 가능하다고 판단됨.

4. 경제적 타당성

- 상용화 대상노선 선정
 - 서울메트로 2호선은 침두 시 현재 기술수준의 한계에 가까운 최소 3분 시격으로 열차를 운행하고 있음에도 불구하고 일부 구간에서 기준 승차율인 150%를 초과한 혼잡을

기록하고 있어 2호선을 상용화 대상노선으로 선정함.

○ 상용화 시나리오

- 편성의 재조정 10량 -> 8량 개조를 통해 추가적인 열차구입 없이 열차제어시스템 개량으로 혼잡도를 해소하는 방향으로 분석하였음.

○ 편익 추정

- 수입대체 편익 : 기술개발로 인해 국내 시장에서 수입제품이 아닌 국내제품을 도입함에 따른 수입대체편익
- 수출편익 : 기술개발로 인해 국제 시장에 제품을 수출함에 따른 수출편익
- 통행시간 절감편익 : 통행시간 절감편익은 사업시행으로 열차 배차시격이 단축됨에 따라 열차이용승객이 경험하는 열차 대기시간이 단축됨에 따른 편익을 정량적으로 산출
- 운영비용 절감편익 : 신호시스템 유지보수비용의 절감 편익은 Alstom Urbalis Fluence의 사례를 고려하여 전체 유지보수비 중 열차제어 시스템 관련 비용의 20%가 내구연한 기간인 20년간에 걸쳐 나누어 발생하는 것으로 가정

○ 경제성 분석

- 연구개발 부분의 B/C는 2.14, 상용화 부분의 B/C는 2.62이며 종합하여 B/C 2.45로 본 연구개발이 경제성이 있는 것으로 분석되었음.

5절 자원투입계획

1. 연구시설 및 장비 투입계획

- 지능형 열차자율주행시스템 기술개발과 관련하여 총 5세부 11개 제안기술 도출하여 인력, 장비 및 소요예산 산정을 연구개발의 단계, 과제성격, 연구기간, 연구내용, 개발목표의 수준을 고려하여 연구비 분배를 수행함
- 1단계(5년)는 핵심기술개발에 필요한 연구시설 및 장비비 구입과 프로토타입 제작을 위한 시제품 제작비의 비중이 상대적으로 높게 책정.
- 2단계(5년)는 실용화기술개발에 필요한 시제품 제작과 테스트 베드 구축비의 비중이 높다. 테스트 베드는 열차제어시스템의 간격제어 시험이 용이하도록 최소 시험열차 2편성 확보 및 개조와 시험노선 10km 이상을 대상으로 차·지상 설비구축을 포함함.

2. 인력 투입계획

- 본 과제의 단계별 추진전략에 따라 인력 투입계획을 수립함.
- 1단계는 핵심요소기술개발에 필요한 알고리즘 개발과 프로토타입 제작 측면에서 소요인력을 분석함.

- 2단계는 실용화기술개발에 필요한 시스템 시제품 제작과 테스트베드 구축과 시험평가 측면에서 소요인력을 분석함.
- 세부적으로 1단계의 경우 알고리즘 설계와 프로토타입 제작기간에 투입인원을 집중하여 연구개발을 수행하고 2단계의 경우 시스템 시제품 제작과 테스트베드 구축 및 시험평가 기간에 많은 투입인원을 배정함.

3. 소요예산 투입계획

- 본 과제의 연차·단계별 연구개발 소요예산을 세부과제별로 제시하였음.
- 1단계 총 예산은 260억 원이며 2단계 총 예산은 450억 원이 소요되며, 핵심기술에 대한 연구개발 성격이므로 연구개발 소요예산은 정부출연금으로 진행함.
- 2단계는 실용화 기술에 대한 연구개발 성격이므로 참여기업을 대상으로 출연금에 해당하는 매칭을 부여함.

[표 4.2] 지능형 열차자율주행 핵심기술 소요예산

[단위:백만원]

세부과제명		연차	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	총 연구비
1세부	열차간 협업기반 열차자 율주행제어 기술개발		1,000	1,500	2,500	2,000	1,500	1,800 (360)	2,700 (540)	3,200 (640)	3,000 (600)	1,300 (260)	20,500 (2,400)
2세부	열차자율주행기반 통신 및 보안 기술개발		800	1,200	1,200	1,000	1,000	3,500 (700)	4,000 (800)	2,800 (560)	500 (100)	500 (100)	16,500 (2,260)
3세부	열차자율주행기반 스마 트관제 기술개발		800	1,100	1,600	1,500	1,300	600 (120)	600 (120)	600 (120)	600 (120)	600 (120)	9,300 (600)
4세부	가상열차편성 기술개발		400	600	650	650	700	700 (70)	1,000 (100)	1,000 (100)	1,000 (100)	600 (60)	7,300 (430)
5세부	열차자율주행시스템 시 험평가 기술개발		400	500	700	800	600	350	2,800	2,800	7,450	1,000	17,400
계			3,400	4,900	6,650	5,950	5,100	6,950	11,100	10,400	12,550	4,000	71,000 (5,690)

4. 정부지원조건

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

개발을 추진

- 1단계 핵심기술개발(5년)의 경우 전문연구원과 학계를 중심으로 연구추진체계를 구성하여 핵심기술개발에 소요되는 연구개발비는 전액 정부출연금으로 수행.
- 2단계 실용화기술개발(5년)의 경우 실용화를 위한 시스템 개발을 위해 추가로 제작사와 운영기관을 참여시켜 연구를 진행하며 기술개발에 참여하는 참여기업은 해당 세부과제에 책정된 출연금에 대한 매칭을 부담.
- 본 연구개발과제에서 열차자율주행시스템 안전성 평가 및 인증에 필요한 평가비는 정부출연금으로 지원하되, 안전성 활동과 관련된 컨설팅 비용은 해당 참여기업이 자체적으로 부담함.

6절 과제공모 방안

- 본 연구개발 과제의 도전적인 연구내용을 감안할 때 1단계 핵심기술개발(5년) 과제의 성공적인 연구성과 도출 이후 별도의 2단계 실용화기술개발(5년)을 진행하는 것이 바람직함.
- 1단계 핵심기술개발 단계는 도전적인 연구내용에 대한 핵심적인 원천기술개발을 수행하며 과제의 성격을 감안할 때 과제의 참여기관은 전문연구원과 학계를 중심으로 연구추진체계를 구성함.
- 특히 개발하고자 하는 핵심기술분야에 국내 전문가 자문 및 의견수렴은 물론 국외 연구기관과의 공동연구를 수행할 수 있도록 협력체계를 구축함.
- 1단계 핵심기술개발의 경우 도전적인 연구내용과 당장의 실용화를 기대할 수 없다는 점을 고려하여 소요되는 연구개발비는 전액 정부출연금으로 수행하는 것이 바람직함.
- 2단계 실용화기술개발 단계는 개발된 기술의 실용화를 위해 과제 수행체계에 추가로 제작사와 운영기관을 참여시켜 연구추진체계를 구성함.
- 2단계 실용화기술개발을 성공적으로 수행하기 위해서는 연구개발 초기단계부터 개발 성과물의 실 수요자인 운영기관의 사용자 요구사항을 반영하여 기술 개발을 수행하며 운영기관에서 개발된 성과물을 시험하고 평가할 수 있도록 세부과제 5에 주관기관으로 참여함이 바람직 함.
- 2단계 실용화기술개발에 참여하는 참여기업은 해당 세부과제에 책정된 출연금에 대한 매칭을 부담함. 단, 세부과제 4의 가상열차편성 기술개발의 경우 예외적으로 목표 TRL이 5수준으로 실용화 가능단계가 아니므로 해당 세부과제는 국고지원으로 수행함이 바람직하며 세부과제 5의 경우도 테스트 베드구축과 시험평가를 담당하는 세부과제 성격상 국고지원으로 수행함이 바람직함.
- 본 연구개발과제에서 열차자율주행시스템 안전성 평가 및 인증에 필요한 평가비는 정부출연금으로 지원하되, 안전성 활동과 관련된 컨설팅 비용은 해당 참여기업의 기술보유수준에 따라 달라질 수 있으므로 자체적으로 부담함.

1. 핵심기술개발 단계 과제제안요구서

- 연구단 총괄 RFP
- 1세부 과제 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 RFP
- 2세부 과제 : 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발 RFP
- 3세부 과제 : 열차자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발 RFP
- 4세부 과제 : 가상열차편성 기술개발 RFP
- 5세부 과제 : 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 RFP

2. 실용화연구개발 단계 과제제안요구서

- 연구단 총괄 RFP
- 1세부 과제 : 열차간 협업기반 열차자율주행제어 기술개발 RFP
- 2세부 과제 : 열차자율주행기반 통신 및 보안기술 개발 RFP
- 3세부 과제 : 열차자율주행기반 스마트관제 시스템 기술개발 RFP
- 4세부 과제 : 가상열차편성 기술개발 RFP
- 5세부 과제 : 열차자율주행시스템 시험평가 기술개발 RFP

3. 공모조건

- 과제 공모조건 제시

4. 선정평가방법

- 선정평가 기준 및 세부평가항목과 배점 제시

제5장 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 기술분야 요약

1절 기술의 정의 및 필요성

1. 기술의 정의

- 주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어(Vehicle Dynamic Control, VDC) 기술은 고속철도 고객(승객)편의성 향상을 목표로 하는, 차량 핵심 성능의 지능형 제어기술로서 다음과 같이 정의
 - 고속철도 차량의 승객편의성 향상을 위한 핵심 요구사항인 승차감 및 정시성 향상을 위하여, 관련 핵심성능인 추진, 제동, 진동 특성을 주행환경을 감응하여 능동적으로 제어하는 기술
 - 선로 취약구간 승차감 향상(동일차중 대비 30%)을 위한 스마트 현가시스템 기술
 - 고속열차 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 기술 (순간출력 10% 상승, 제동거리 10% 감소)

2. 기술개발의 필요성

- 4차 산업혁명의 도래에 따른 인간중심 기술발전의 중요성이 강조
 - 4차 산업혁명의 핵심가치는 ‘인간’으로 산업 기술개발에 대한 패러다임이 인간중심의 스마트 사회로 가고 있으며, 무인/전기 자동차 등의 운송수단 기술개발도 인간의 편의 향상을 목표로 진행 중
 - 4차 산업 혁명은 ICT 기술과 기존기술과의 융합을 통한 기술혁신 추구
 - 기계적인 요소 위주의 기존 철도차량 설계방식으로는 주행성능 고도화 한계에 도달하였으며 전기전자기술, 정보통신 기술과 융합한 지능형 차량제어 기술개발 필요
- 세계고속철도 시장의 지속적 성장 및 국내 고속철도 산업의 샌드위치 상황
 - 세계 고속철도 시장은 2020년까지 연평균 7.3%의 성장이 기대되는 고성장 산업이며, 이에 따른 고속철도 차량 시장 역시 지속 성장 예상(2020년까지 9,000량 신규수요)
 - 글로벌 차량제작사들은 공격적 인수합병 등을 통한 시장지배력 강화 및 첨단기술을 바탕으로 한 기술기준 강화로 세계시장 독식 중. 중국의 고속철도차량업체는 막대한 내수 시장규모 및 가격을 무기로 시장점유율 급속 확대 중(2015년 현재 50%)
 - 반면 국내 고속철도 차량 산업은 선진국 대비 낮은 기술수준, 중국 대비 높은 원가로 현재 한계상황에 도래하였으며 이를 탈피하기 위한 전략 수립 필요
- 승객편의성 향상 중심의 신기술 개발을 통한 철도차량 고부가가치화
 - 고속철도차량분야 세계시장 흐름이 운영비용 저감 및 승객편의성 향상으로 변화하고 있으며, 첨단기술을 갖춘 소수의 업체가 시장을 독식하고 있음
 - 글로벌 경쟁이 극심한 자동차 시장의 경우 전체 자동차 시장의 성장률은 1.9%인 반면

에, 고급차 시장의 성장률은 5% 이상으로 급격하게 성장을 하고 있음. 이는 자동차 업체들이 차량의 고급화 전략(승객 편의성 향상)을 통하여 판매물량 지탱 및 수익성 강화를 추구하기 때문임

- 국내 고속철도 역시 승객편의성을 향상(원하는 시간, 빠르고, 편하고 안전하게) 중심의 세계 선도기술 개발을 통한 경쟁력 강화 필요

○ 고속철도 산업의 시스템화 가속화 및 기술선진국에 대한 기술의존도 강화

- 고속철도는 시스템 산업으로 막대한 국가 예산이 투입되는 융합기술 산업
- 신규 고속철도 도입국가 중 기술자립 없이 시스템 방식 턴키계약을 체결한 국가들(모로코, 대만 등)은 선진국(프랑스, 일본)에 종속되어 막대한 비용 지불 중
- 고속철도 산업 중 국내 경쟁력이 떨어지는 분야(차량 등)의 집중 육성을 통한 고속철도 시스템 계약 수주 경쟁력 강화 필요

2절 국내외 동향 및 환경분석

1. 국내외 시장현황 및 전망

○ 국내외 관련 시장 동향

- 국내 고속철도 시장은 신규 및 연장노선뿐만 아니라 초기 KTX 내구연한에 따른 차량 교체가 2025년 이후 순차적으로 도래하여 수요가 증가할 것으로 예측됨
 - 최고속도 300km/h 이상 원강선 개통과 수원발, 인천발 고속철도 확대 등 총 550량(총 1조 8,471억)
 - 최고속도 200km/h 이상, 300km/h 미만 : 경전선 등 신규노선에 EMU-250 총 114량(총 3,853억)
- 글로벌 고속철도 시장은 중국, 인도, 미국, 터키, 동남아, 브라질 등 전 세계적으로 고속철도 신선 건설이 진행되고 있고, 독일/일본/프랑스 등에서 초기 고속철도 차량의 교체주기가 도래하고 있어 지속적으로 고속차량의 수요가 증가할 것으로 예상됨
 - 2015~2020년 약 9000량의 신규 고속차량 증가 예상, 2015 Frost & Sullivan
- 최근 확대되는 고속철도 차량 시장에 발맞추어 중국 CSR 및 NSR, 독일의 지멘스, 봄바르디어, 프랑스 알스톰, 일본 신칸센 등은 다양한 모델라인업 구축 및 기술개발을 통하여 시장선점을 위한 마케팅을 강화하고 있음
 - 자동차 시장과 철도시장이 동일하지는 않으나, 대략 고급 자동차 시장규모에 해당하는 10%를 고부가가치 고속차량 시장으로 가정한다면, 5년에 약 900량 정도로 볼 수 있으며 3,600억원 규모의 추가 부가가치 발생

○ 국내외 관련 산업 동향

- 고속열차 차량의 경우 최근 5년간 상위 3개 제작사가 50% 이상의 시장점유율을 보유

하였으나 향후 차량조달기업이 미정인 시장이 45%를 차지하여 이에 따른 치열한 경쟁이 예견되고 있으며 승객편의성 향상은 시장점유율 확대를 위한 중요한 마케팅 포인트가 될 것으로 판단 됨

- 고속철도 시장은 전세계 고속철도 수요증가에 따라 중국업체의 저가 공세 및 글로벌 업체 간의 치열한 경쟁이 예상되고 있으며, 이에 대한 대응책으로서 향후 고부가가치 고속철도 차량에 대한 수요가 지속 증가할 것으로 예상
- 국내의 경우 신규 노선 건설에 따른 고속철도의 수요는 지속적으로 증가하고 있으나 (광주송정역 예측 대비 수요 55% 증가 : 조선일보 '16.12.26), 현재 선로용량으로는 대응이 불가능한 상황이며, 각 지자체의 고속철도 건설 수요 역시 매우 큰 상황임
- 그러나 고속철도 건설은 막대한 예산이 투입되는 국가현안으로, 정부는 시설투자 없는 선로용량 확보를 정책적으로 추진하고 있으며, 이를 달성하기 위한 국내 철도차량의 기술개발 및 수요가 지속적으로 발생할 것으로 예상

2. 국내외 정책동향

○ 국내 정책동향

- 국토교통 연구개발 중장기 전략(2014~2023)
 - 국토교통부는 2014년 7월 “국토교통 기술을 통한 국민행복 및 국제적 가치 창조”라는 목표 아래 국토교통 연구개발 중장기전략('14~23)을 발표
 - 철도교통 분야에서는 스마트 철도교통시스템이 중점 프로젝트로 선정되었으며, 추진 목표는 도시 간, 도시 내 생활교통수단으로서 수송성·정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도교통시스템의 안전성·경제성 및 효율성을 제고하기 위한 제반 기술 확보
- 제3차 국가 교통기술 개발계획(2014~2018)
 - 제 3차 국가교통기술개발계획은 제 2차 수정 국가기간교통망계획(2001~2020)에서 제시한 중장기 계획을 효율적으로 달성하기 위해 필요한 기술개발 계획으로 2014년 7월에 고시됨
 - 철도분야의 중점 추진 분야로는 빠르고 지능적인 철도(Smart Railroad), 안전하고 편리한 철도(Safe Railroad), 정확하고 경제적인 철도(Economical Railroad)를 설정
- 철도차량산업 육성방안
 - 국토교통부는 2016년 6월 대내외적으로 어려움에 직면해있는 우리나라 철도차량산업의 새 활로를 찾아 미래 성장산업으로 키우기 위한 「철도차량산업 육성방안」을 발표
 - 선제적·혁신적 투자(Early Starter)와 시장 선점(First Mover)을 R&D의 기본 전략으로, 세계시장 선도형 연구개발을 추진하며 스마트철도·초고속철도·핵심부품 등 3대 핵심 연구개발 사업을 집중 지원

○ 해외 정책동향

- 유럽연합(EU) 철도정책

- 프랑스의 SNCF와 알스툼, 독일의 DB와 Siemens처럼 국가 기관과 제조업체가 밀접한 관계를 형성하고 있음. 이들은 국가의 철도발전 전략을 공유하면서 연구개발 우선 순위를 결정하며 공동으로 과제를 추진하는 경우가 많음
- ERA는 European Rail Traffic Management System(ERTMS) 프로젝트의 감독기관으로의 역할을 수행하고 있으며, 유럽 철도에 대한 강제 규정인 Technical Specifications for Interoperability (TSIs)를 제정하여 기술장벽을 구축 중
- 일본 철도정책
 - 정부 중심 Top-down 전략적 대응 및 전개하고 있으며, 관련 부서 개별 대응에서 상위부처 중심으로 체제 강화
 - 철도기술총합연구소(RTRI)내 철도국제규격 센터 설립을 통한 철도분야 국제규격 초안 작성, 국제표준화 제안 추진 및 ISO, IEC 등 에 정보 제공 등 적극적 대응
 - 해외 프로젝트에 대하여 구상, 계획 등이 책정되는 초기 단계부터 정부가 민간과 연합하여 조건 형성 조사를 실시하여, ODA 및 Feasibility Study 실시 등을 통하여 대상국에 적극적으로 제안토록 함
- 중국 철도정책
 - 중국은 제 13차 5개년 계획(2016~2020년)에서 6% 중반대의 새로운 성장전략을 제시하였으며, 이를 통해 서비스업 비중 확대, 도시화율 상승 등을 꾀하는 한편 GDP 대비 R&D 투자 비중을 확대하며 고부가 제조업 육성을 위한 기초 여건을 강화할 계획을 수립
 - 중국의 개혁추진전략의 일환으로 철도산업 분야는 여객 및 화물노선을 분리하여 복선화율 및 전철화율을 향상시켜 국가경제와 사회발전에 필요한 운송능력을 선진국 수준으로 끌어올리려고 추진되고 있음

3. 기술수준분석, 연구개발과제 관련 요소기술 조사

(1) 기술수준 분석

○ 해외 선진 열차 대비 진동수준 열위

- 세계 시장에서의 주요 경쟁지표인 승차감 분야에서 국내 수준은 해외 최고수준 대비 미흡하여 이를 극복할 수 있는 기술개발 필요
- 300km/h 주행 시 경쟁 고속열차 진동특성 비교

[표 5.1] 300km/h 주행시 주요 고속열차의 진동특성 비교

대상	차량 제작사	측정구간	차량진동(m/s ²)		주행속도 (자갈궤도)	비고
			횡방향	상하방향		
AGV 575	Alstom	나폴리-로마	0.20	0.30	300km/h	동력분산식 관절형 대차
ETR 500	Trevi	로마-나폴리	0.18	0.24	300km/h	동력집중식 독립 대차
KTX-산천	현대로템	광명-대전	0.27	0.45	300km/h	동력집중식 관절형 대차
KTX	Alstom	광명-대전	0.13	0.32	300km/h	동력집중식 관절형 대차

○ 세계 최고수준 대비 매우 낮은 정시성 수준

- 국내 고속철도의 정시성은 대체적으로 유럽과 동등한 수준이나 해외 최고수준과는 격차가 발생
- 주요국가 고속철도 정시성 수준

[표 5.2] 주요국가 고속철도 정시성 수준

대상	정시성	비고
일본	신간선 1분 이내 정시운행률 95%	13분 이내 정시운행률 100%
프랑스	TGV 13분 이내 정시운행률 91%	1분 이내 (추정)정시운행률 10.4%
한국	15분 이내 정시운행률 99.7%(2012년 기준)	1분 이내 (추정)정시운행률 15.9%

111

(2) 국내외 관련 요소기술 조사 결과

○ 국내 관련 요소기술

- 스마트 현가시스템
 - 2010년부터 5년간 산업통상자원부의 지원을 받아 저속 및 준고속 열차용 능동 2차 횡댐퍼에 대한 단위 구성품 개발 및 적용 타당성 검토에 초점
- 지능형 추진/제동 시스템
 - 추진시스템 : 해외기술 추격형 연구 및 H/W 위주 기술개발 위주로 개발이 진행되었으며 추진시스템 허용제어, 운행 최적화 등 고부가가치 제어기술에 대한 연구개발 동향 없음
 - 제동시스템 : 국가 R&D인 HEMU-430X 기술개발을 통하여 분산형고속열차의 제동시스템에 대한 국산화 및 기본성능은 확보하였으나, 제어기술 부족으로 인하여 일정 제동거리 유지에 한계가 있으며, 제동력 능동제어와 같은 고부가가치 기술에 대한 연구는 현재 전무한 상태

○ 국외 관련 요소기술

- 스마트 현가시스템
 - (일본) '95년부터 부분적으로 횡방향 능동현가시스템을 적용하여 운행하였으며, '14년부터는 다양한 노선의 전 차량에 능동현가시스템을 적용한 편성이 도입되기 시작. 상하방향 능동현가장치 역시 세계 최초 개발하여 '13년 10월에 실용화
 - (프랑스)알스톰에서 AGV 개발시제에 상하방향 능동현가장치를 적용하여 350km/h 주행 시의 진동수준을 300km/h 주행수준으로 유지하는데 성공하였으나 상용화 모델에는 미적용
 - (독일) 독일 Bombardier는 능동조향, 능동현가, HOD 등이 적용된 Flexx-Tronic 대차 개발에 성공, 스위스연방철도(SBB)에 436량 2019년 말까지 납품 예정
- 지능형 추진/제동 시스템
 - (추진시스템) 미국 GE는 Industrial Internet 기술의 일환인 'Railconnect 360'으로 열차 계측데이터 분석을 통한 열차 추진시스템 효율화 솔루션을 2014년부터 제공하고 있

으며, 프랑스 SNCF와 일본 JR은 최근에 운행환경 감응형 견인력 최적화 로직을 시험 열차에 적용하는 Eco-driving 기술을 개발 중

- (제동시스템) EU는 제동성능의 비약적인 향상을 위하여 점착력 무관 선형 와전류 제동 시스템 개발 집중하고 있으며, 세계적인 제동시스템 업체인 Knorr는 EWB154R 이라는 실용화모델을 개발하였으나 신호시스템 적합성 등의 문제로 인하여 실용화는 지연. 또한 일본과 중국은 Closed-loop 기반 제동제어시스템 기술개발 진행 중

4. 유사과제 분석 및 기존기술(연구)와의 차별성

- 분산형고속열차 진동성능 및 활주방지장치 고도화 기술개발('17~'19)
 - 상과제의 진동성능 개선은 분산형고속열차의 현가시스템을 최적화하여 승차감을 개선하는 설계기술로서, 국내 고속열차기술의 해외진출을 위한 조속한 실용화('20)에 초점
 - 주행환경 감응형 스마트 현가시스템은 현가시스템의 능동제어를 통하여 선로상태에 상관없이 일정한 주행안정성/승차감 특성을 확보하는 것을 목표로 함
 - 통합 스마트 차량동적제어(Vehicle Dynamic Control) 기술은 철도 선진국에서 아직 시도된 바가 없는 선도 기술로서, 기술개발 및 실용화를 위한 준비 시간 필요
- 철도차량용 능동현가장치 기술개발('10~'15)
 - 중·고속 철도차량의 기존대비 승객 체감진동 40% 저감을 목표로 능동현가장치를 개발하여 실제 선로환경에서 주행시험을 마치고 목표성능 검증 완료
 - 본 과제는 스마트 차량동적제어(Vehicle Dynamic Control)를 위한 여러 요소장치와 통합제어기술 개발을 목표로 하며, 개발된 횡방향 능동현가장치는 여러 요소기술 중에 일부로서 활용 예정

5. 국내 연구개발 인프라 분석

- 연구인력 인프라
 - 철도기술 연구개발 인력
 - 국책 연구소인 철도기술연구원의 경우, 독자적 연구능력을 갖춘 263인의 연구인력을 포함하여 304인의 정규직을 보유하고 있으며, 도시형자기부상열차 실용화사업을 주도하는 한국기계연구원의 경우 294명의 연구인력 중 자기부상열차 분야에 종사하는 연구인력은 10여명 수준
 - 민간업체의 철도 연구개발 인력 규모는 전체 종사자(약 4천인으로 추정)의 10~15% 수준인 4백~6백인으로 추정
 - 연구인력 양성 현황
 - 우리나라에서 철도전공을 개설하는 고등교육기관은 전문대 7개, 일반대학 4개, 대학원 2

개이나 대부분 단순 기능인력 양성 위주로 운영되고 있으며, 철도 연구 인력을 양성하는 대학교는 관련 전문 대학원을 운영하고 있는 서울산업대학교, 우송대학교, 한국 철도대학 이 유일하나, 국내 유일의 철도전문연구기관인 한국철도기술연구원의 경우 국내외 다양한 전공의 박사인력을 흡수하여 상대적으로 열악한 국내 철도 연구인력 수급을 보충

○ 연구기자재 인프라

－ 추진시스템 연구 인프라

- 한국철도기술연구원은 추진장치시험장비 및 견인전동기 시험장비 등 대형 시험장비를 운영하고 있어 관련 연구를 수행할 수 있는 충분한 인프라를 보유하고 있다고 판단

－ 제동시스템 연구 인프라

- 한국철도기술연구원은 제동성능 시험기 및 고속레일 차륜 접촉시험기 등 제동 관련 대형 시험장비를 운영하고 있어 관련 연구를 수행할 수 있는 충분한 인프라를 보유
- 유진기공산업 국내 철도차량의 제동관련 시스템을 납품하는 종합 제동장치 회사로서 기초제동시험용 최고속도 430km/h급 다이내모미터, 대차취부 제동장치의 신뢰성을 평가하는 진동신뢰성 시험기, 제동제어장치의 고온/저온 신뢰성을 테스트하는 대형 환경 챔버 등을 보유

－ 현가시스템 연구 인프라

- 한국철도기술연구원은 철도차량의 현가장치에 대한 단품 성능시험이 가능한 철도차량용 스프링/댐퍼 시험기를 보유하고 있으며, 현가장치의 단품 성능 인증관련 시험 및 연구를 수행
- 한국철도기술연구원은 철도차량의 주행안정성, 진동성능, 승차감 등 기본적인 동적특성을 시험 평가하는 대차동특성주행시험기(Bogie Dynamic Simulator)를 보유하고 있어 실제 선로에서의 시험이 어려운 여러 동적성능시험을 수행하기 위한 충분한 인프라를 구축

－ 종합 차량 시험 인프라

- 한국철도기술연구원은 현재 국내유일의 400km/h 주행이 가능한 고속시험차량인 HEMU-430X 시험차량(6량 1편성)의 시운전 업무를 수행하고 있으며, 이를 통하여 본선 시운전을 통한 성능검증이 필요한 다양한 국가 R&D 과제의 수행을 지원하고 있으며, 전용 시험열차를 보유하고 있다는 점에서 고속철도 선진국인 프랑스, 일본, 독일에 뒤지지 않는다고 판단됨
- 한국철도기술연구원은 현재 국내 유일의 400km/h 고속 인프라 테스트베드를 호남고속선 상하행선 각각 28km에 부설하여 궤도/교량 등 선로구축물, 전차선, 환경소음 등을 지속적으로 모니터링 및 관련 DB를 구축하고 있으며, 전용 400km/h급 테스트베드를 보유하고 있다는 점에서 세계 최고 수준

3절 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 연구개발 범위, 비전 및 목표

- 비전 : 고속철도 승객편의성 향상을 통한 국내 고속철도기술의 고부가가치화
- 목표 : 승객편의성 향상(승차감 개선 및 정시성 향상)을 위한 고속열차 지능형 주행장치 (VDC) 기술개발
 - 선로 취약구간 승차감 향상(동일차종 30%)을 위한 스마트 현가시스템 기술개발
 - 고속열차 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 개발 (순간출력 10% 상승, 제동거리 10% 감소)
- 연구개발 편익 수혜자
 - 국내 고속철도 이용승객
 - 국내 고속철도 차량 및 부품 업체
 - 정부/지자체 및 철도 운영사 등 공공기관

2. 기술개발에 따른 미래상

- 연구개발사업의 예상성과
 - 국내 고속철도 서비스 질적 향상(승차감 30% 향상, 향상된 고속철도 정시성: 일본수준)
→ 통행시간 절감편익 연간 약 262억원
 - 국내철도차량 시장 방어 및 해외 경쟁력 확보 : 200억원 수입대체, 5,000억원 수출효과
 - 철도차량 분야 기술경쟁력 강화를 통한 해외고속철도 턴키시장 진입 가능성 상향
- 연구개발사업의 파급효과
 - 인프라 유지보수 및 신규 건설비용 최소화를 통한 고속철도 운임 저감
 - 철도수송분담율 및 철도수송 효율 향상을 통한 국토의 철도중심 기간망 구축에 기여
 - 전 국토의 이동시간 단축을 통한 국토 균형 발전 및 지역 삶의 질 향상
 - 국가 철도산업 및 4차 산업혁명 관련 산업 발전으로 국가 경제 지속 성장

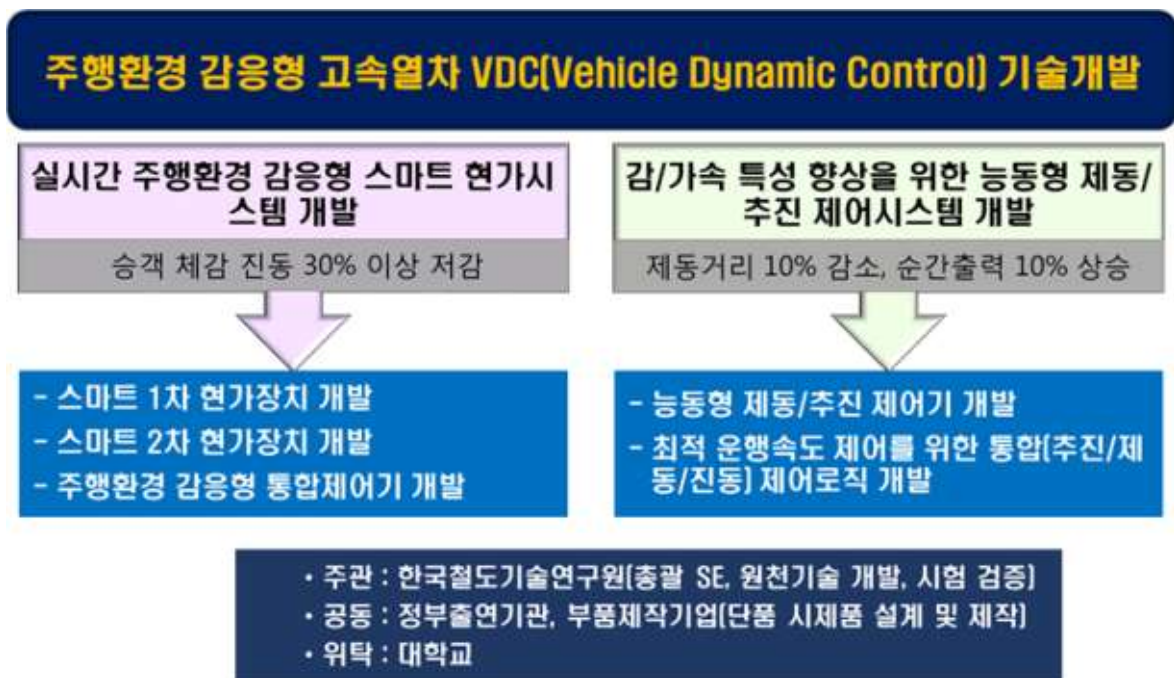
3. 연구개발과제 구성

- “주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 기술개발”은 연구단 과제로 구성하며 세부과제는 아래의 2가지로 구분하여 구성하였음.
 - 실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발
 - 가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발
- 1세부과제 연구내용

- 능동형 1차 상하방향 현가장치 개발
- 능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발
- 승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합제어시스템 개발
- 세부과제 연구내용
 - 감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술
 - 가속특성 및 신뢰성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술
 - 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술

4. 연구개발 추진전략 및 추진체계

- 연구단 과제로 진행되며, 민간업체 공동참여를 통한 실용화 및 사업성 확보
 - 승차감 향상과 정시성 향상을 목표로 분리하여 세부과제 구성 및 시스템 총괄 연구단 운영
 - 철도운행사 및 핵심 부품업체 참여를 통한 조기 실용화 기반 구축



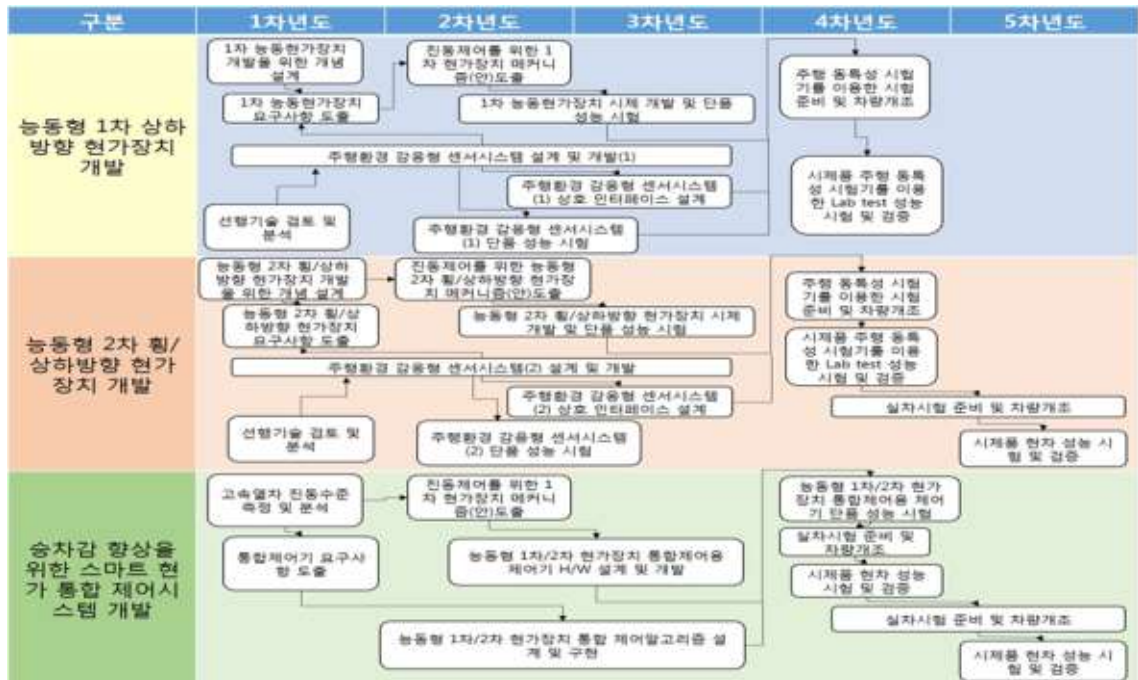
[그림 5.1] 주행환경 감응형 스마트주행장치 추진전략

5. 기술/성과 로드맵

- 기술로드맵 구성
 - 과제는 총 5년간 진행되며 승차감 향상을 위한 스마트 현가장치 기술개발과 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어 기술개발로 구분하여 추진

○ 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발 기술로드맵

- 능동형 1차 상하방향 현가장치, 능동형 2차 현가장치, 스마트 현가 제어시스템으로 구성



[그림 5.2] 스마트 현가시스템 개발 기술로드맵

○ 가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 기술로드맵

- 능동형 추진 제어장치, 능동형 제동제어장치, 최적 운행속도 제어를 위한 통합 제어장치로 구성



[그림 5.3] 능동형 추진/제동 제어시스템 기술로드맵

6. 최종성과물 및 성과지표

(1) 최종성과물

- 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발
 - 보고서 16건, 핵심 시제품 5종, 국내외 학술논문 게재 10건, 특허 출원/등록 32건
- 가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발
 - 보고서 18건, 핵심 시제품 3종, 국내외 학술논문 게재 10건, 특허 출원/등록 31건

(2) 핵심 성과지표

- 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발

[표 5.3] 스마트 현가시스템 핵심 성과지표

연구개발 목표	단위	개발목표치	최종성과물	TRL
1-1. 능동형 1차 상하방향 현가장치 개발	dB	3dB 이상 저감 (기존 능동현가 미적용 차량 대비)	능동형 1차 현가시스템	TRL 6
1-2. 능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발	dB	3dB 이상 저감 (기존 능동현가 미적용 차량 대비)	능동형 2차 현가시스템	TRL 7
1-3. 승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합 제어시스템 개발	-	SIL #2	능동형 1차 및 2차 현가장치 통합 제어시스템	TRL 6

- 가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발

[표 5.4] 능동형 추진/제동 제어시스템 핵심 성과지표

연구개발 목표	단위	개발목표치	최종성과물	TRL
2-1. 감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술	%	300km/h 비상제동거리 2,970m(10% 저감)	능동형 제동 전자제어시스템 (ECU)	TRL 7
2-2. 가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술	%	가변 DC 링크전압 적용 시 순간출력 10% 상승	능동형 추진 제어시스템 (C/I)	TRL 7
2-3. 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술	-	SIL #2	능동형 통합(추진/제동/진동) 제어 시스템 (Train Control Unit)	TRL 7

4절 사전타당성 검토

1. 동 사업의 추진 당위성

- 동 사업의 추진 당위성을 점검하기 위한 논리모형 도구로 이론접근 모형을 사용하였으며, 다음의 표와 같이 총 7가지 사항으로 구분하여 기술함으로서 추진 논리의 오류 가능성을 점검하였고, 검토결과 각 사항별 내용의 근거와 작동 논리 모두 전반적으로 적절한 것으로 분석되었음

[표 5.5] 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 논리모형

1. 이슈/문제	
① 4차 산업혁명의 도래에 따른 인간중심 기술발전의 중요성이 강조 ② 세계고속철도 시장의 지속적 성장 및 국내 고속철도 산업의 샌드위치 상황 ③ 승객편의성 향상 중심의 신기술 개발 및 이를 바탕으로 한 제품의 고부가가치화 ④ 고속철도 산업의 시스템화 가속화 및 기술선진국에 대한 기술의존도 강화	
2. 목표	3. 수혜자
○ 승객편의성 향상을 위한 고속열차 VDC (Vehicle Dynamic Control)기술 개발 - 선로 취약구간 승차감 30% 향상 - 정시성 향상 (순간출력 10%, 제동거리 10% 감소)	① 국내 고속철도 이용 승객(서민/중산층) ② 국내 고속철도 차량 및 부품 업체 ③ 정부/지자체 및 공공기관(철도 운영사)
4. 자원 투입	5. 연구 활동 및 산출물
① 사업비 - 5개년 연구개발사업 (373억원, 정부: 280억원, 민간 93억원) ② 인적자원 - 5년간 총 592명이 투입(2,295 m-m) ③ 시설 및 장비 - 고속시험열차, 테스트 선로, 성능시험 장비	○ 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 - 능동형 1차 상하방향 현가장치 - 능동형 2차 현가장치 - 스마트 현가 제어시스템 ○ 가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발 - 능동형 제동 전자제어기(ECU) 및 제어로직 - 능동형 추진제어시스템(C/I 포함) 및 제어로직 - 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동)제어기(Train control Unit) ○ 보고서 34건, 논문 20건, 특허 출원/등록 63건
6. 성과/영향	
① 연구개발사업의 예상성과 - 국내 고속철도 서비스 질적 향상(승차감 30% 향상, 향상된 고속철도 정시성: 일본수준) - 국내철도차량 시장 방어 및 해외 경쟁력 확보 ② 연구개발사업의 파급효과	

- 고속철도 운임 저감 및 철도중심 국가 교통 기간망 구축에 기여
- 국토 균형 발전 및 지역 삶의 질 향상
- 4차 산업혁명 관련 산업 발전으로 국가 경제 지속 성장 및 일자리 창출

7. 가정

- ① 세계 고속철도 시장 성장세 유지 및 고부가가치 고속차량 수요 증가
- ② 4차 산업혁명은 가속화 및 이에 첨단 ICT 기술제품의 단가 지속 하락
- ③ 철도 선진국들은 기술기준 강화 및 국내 철도차량 기술기준에 VDC 기술 반영

2. 정책적 타당성

- 「철도산업발전기본법」에 따라 수립된 제 3차 철도산업발전기본계획의 철도 수송분담률 27% 달성 및 철도수송 효율 15% 향상, 철도건설 및 운영유지비 5% 절감 등의 중기목표를 달성하는데 크게 기여
- 또한 제 2차 국가철도망 구축계획과 연계하여 국토 주요거점의 고속철도 연결 정책강화 및 철도중심 국가기간망 구축정책에 기여
- 국내 철도차량 기술은 다년간의 추적형 연구개발을 통하여 선진국 동등수준을 달성하였으나, 철도차량산업의 지속가능성 및 해외경쟁력 확보를 위하여 승객편의 향상을 중심으로 한 철도차량의 고부가가치 기술개발이 필요
- 또한 미래부 「2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」의 기술분야별 투자전략 중 철도교통 분야 투자방향에 따르면, 차세대 철도차량·시스템 구축과 운행 안정성 향상 기술에 투자한다고 명시하고 있음. 스마트 VDC 기술은 차세대 철도차량 기술일 뿐 아니라 고속철도차량의 기본 운행성능인 추진/제동/진동 특성을 주행환경에 따라 제어하여 정시성 및 주행안전성 향상을 도모할 수 있는 기술로서 미래부 철도교통 투자방향에 잘 부합한다고 볼 수 있음

3. 기술적 타당성

- 기존 고속열차의 승차감 향상을 위한 기술은 현가시스템을 최적화하는데 초점이 맞춰져 있으며, 능동제어 기술로 횡방향의 진동저감을 위한 요소기술을 개발하여 성능을 확인한 바 있으나 횡방향을 비롯한 상하방향의 진동까지 통합하여 제어하는 연구는 미흡한 상태임
- 제동/추진 등의 능동제어기술은 기본적인 연구역량은 갖추고 있으나 진동/제동/추진 등 전반적인 차량 능동제어 시스템 기술개발은 미흡한 상황임
- 반면에 실시간 주행환경 감응형 제동/추진/진동 스마트 제어기술은 기존 철도차량의 성능한계를 극복하여 진동저감, 안전성, 정시성 등을 혁신적으로 향상시킬 수 있는 철도차량 주행장치 핵심기술임
- 본 연구의 총괄목표는 스마트 현가시스템, 능동형 추진/제동 제어 기술 등 “주행환경 감응

형 스마트 주행장치(Vehicle Dynamic Control) 기술 개발”을 총괄목표로 설정하였음

- 본 연구의 목표는 각 기회과제에 속해 있는 세부 기술개발 과제별로 개발 목표가 설정되어 있으며, 과제별로 구체적으로 정의하여 적절하다고 판단됨
- － 본 연구의 목표는 세부 기술개발 과제별로 정의되어 있으며, 각 세부 과제별로 최종 개발기술의 산출물을 구체적으로 명시하였음

4. 경제적 타당성

- 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였으며, 연구개발에 의한 편익발생기간은 2023년에서 2033년까지 10년간으로 분석하였음
- 상용화 사업기간은 2023년에서 2025년까지 3년으로 가정하였으며, 편익발생기간은 차량내구연한을 고려하여 상용화 사업종료 후 30년인 2055년까지 30년간으로 분석하였음. 분석기간 종료시점에 차량의 잔존가치는 최종년도 비용에 음의 값 형태로 반영하여 감가상각비를 반영할 수 있도록 하였음
- 경제성 분석 결과, B/C는 연구개발 부문과 상용화 부문을 고려하여 분석을 수행하였으며 전체 B/C가 1.46으로 분석되었음

5절 자원투입계획

1. 연구시설 및 장비 투입계획

- 차량의 능동제어를 위한 연구개발 위주로서, 제어로직 설계 및 해석을 위한 S/W 위주의 장비가 주로 투입 예정
 - － 3천만원 이상 연구시설/장비비 : 2,590 백만원
 - － 3천만원 이하 연구시설/장비비 : 273 백만원
- 개발연구성과의 실용화를 위한 시작품 및 시제품 제작비 반영
 - － 1세부과제 시작품/시제품 제작비 : 1,480 백만원
 - － 2세부과제 시작품/시제품 제작비 : 1,440 백만원
- 세부과제별 연구장비/재료비 합계
 - － 1세부과제 : 6,429 백만원
 - － 2세부과제 : 5,687 백만원

2. 인력 투입계획

- 5년간 총 592명 투입하여 진행되며, 총 2,295의 man-month 투입하여, 5년간 인건비는 183억 61백만원 소요 예상
- 각 세부과제별 인력투입 계획
 - 1세부과제 : 5년간 245명, 1,155 man-month 투입
 - 2세부과제 : 5년간 347명, 1,140 man-month 투입
- 소요인건비
 - 1세부과제 : 9,240 백만원
 - 2세부과제 : 9,121 백만원

3. 소요예산 투입계획

- 인건비 및 연구장비 재료비를 반영하여, 연구비 표준식(시스템)을 바탕으로 세부과제 연구비 및 기타경비/간접비 산정
 - 총 연구비(정부+민간) : 373.4억원(1세부 : 190.7억원, 2세부 : 182.7억원)
 - ※정부출연금 : 280억원 (1세부 : 143억원, 2세부 : 137억원)

[표 5.6] 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 소요예산

(단위 : 백만원)

구분	세부과제명		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총연구비
1세부	1. 실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발	정부	2,080	3,450	4,700	3,180	890	14,300
		민간	694	1,150	1,567	1,061	297	4,769
		소계	2,774	4,600	6,267	4,241	1,187	19,069
2세부	2. 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제 동 제어시스템 개발	정부	1,130	3,152	4,100	4,254	1,064	13,700
		민간	377	1,052	1,368	1,419	355	4,571
		소계	1,507	4,204	5,468	5,673	1,419	18,271
합계			4,281	8,804	11,735	9,914	2,606	37,340

6절 과제공모방안

1. 연구단 과제제안요구서(RFP)

- 1세부 과제 : 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발 RFP
- 2세부 과제 : 가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발 RFP

2. 공모조건

- 과제 공모조건 제시

3. 선정평가 방법

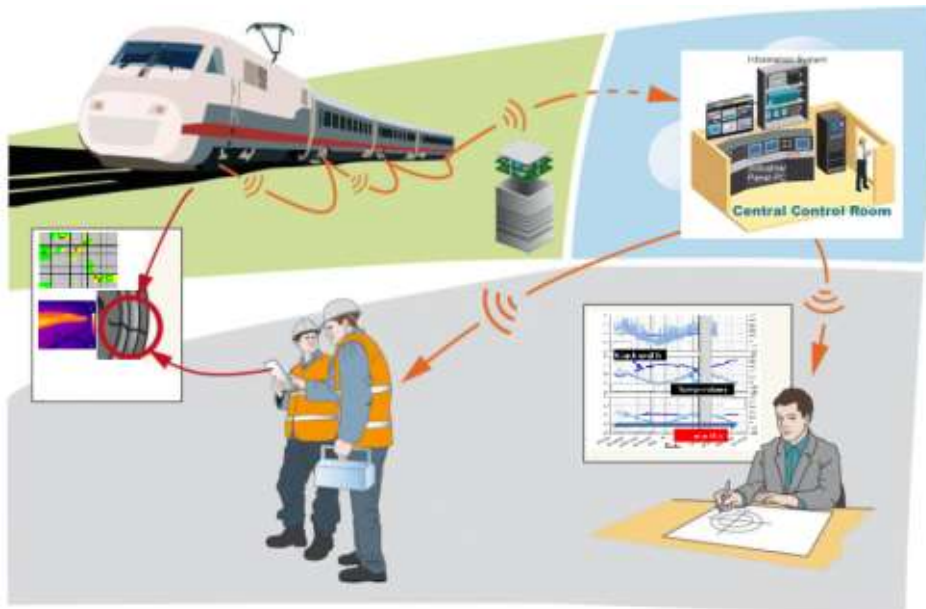
- 선정평가 기준 및 세부평가항목과 배점 제시

제6장 지능형 자가진단기반 능동유지보수 핵심기술분야 요약

1절 기술의 정의 및 필요성

1. 기술의 정의

- 지능형 자가진단 및 능동유지보수 기술은 차상모니터링 시스템과 지상 자동화검측시스템 등으로부터 취득된 방대한 센싱데이터(빅데이터)를 바탕으로 사람의 손길을 최소화하고, 컴퓨터가 스스로 시스템 구조, 과거 유지보수 이력, 시스템의 열화진전모델 등을 활용하여 빅데이터를 분석하고 유용한 정보를 산출하여, 시스템의 상태를 스스로 진단하고 이에 대응하는 유지보수를 능동적으로 가능하게 하는 기술임



[그림 6.1] 지능형 자가진단 능동유지보수기술의 개념

2. 기술의 필요성

- (국가적 이슈: 열차노후화 대응) 고속철도는 국내에 도입된지 10여년 이상을 운행하면서 점차 노후화되고 있음. 또한 도시철도의 경우에도 20년 이상된 철도차량이 상당수로 매우 심각한 상황임
- － 열차의 노후화·고밀도·고속화 및 유지보수를 위한 자원(인력, 예산 등) 부족이 심각해짐에 따라 저비용으로 열차의 신뢰성과 안전성을 확보할 수 있는 기술개발이 절대적으로 요구되고 있으며, 이에 따른 시스템 유지보수 비용의 절감이 필요함
- ※ 서울 지하철 1-4호선 노후전동차 현황(연합뉴스 2017.2.18.), 21년 이상 장기사용 현황(21년 이상 량수/전체량수), 1호선(64량/160량), 2호선(500량/834량), 3호선(150량/470량), 4호선(418량/470량)

- (사회적 이슈: 지자체 철도 재정악화) 국내 지자체에서 운영하고 있는 도시철도의 경우 규모의 측면에서 유지보수 인력 및 장비운용비용은 운영처에 큰 비용부담이 되고 있으며, 일부 지자체의 경우 파산의 위기에까지 내몰리고 있음.
 - ※ 엉터리 예측이 만든 의정부 경전철, 6,767억 쓰고 파산 신청(중앙일보 2017.1.12)
- (경제적 이슈: 유지보수시장 개척) 철도차량 유지보수 시장은 '11년 385억 유로(46.2조)에서 년평균 약 3.4%씩 성장할 것으로 예측되며 이를 선점할 수 있는 기술이 필요함.
 - ※ 철도차량 유지보수는 운영처에서 63%, 제조사 25% 및 제 3의 업체에서 12% 수행되고 있으나, 점차 운영처에서 수행되던 유지보수업무가 제조사 및 제 3의 업체에서 수행되는 방향으로 전환되고 있음(출처: Rail vehicle maintenance-Global market trends in after-sales service, SCI 보고서)
- 차상 및 지상에서의 지능형 센싱, 빅데이터기반 분석 및 진단기술, 최적 유지보수 기술 등을 활용하여 상태기반 유지보수 (CBM: Condition Based Maintenance)를 기반으로 한 능동형 유지보수 기술을 개발을 통해 철도유지보수에 소요되는 자원(시간, 비용 등)의 활용성을 극대화하기 위한 고 신뢰성 스마트 유지보수 및 자가 진단 관리를 할 수 있는 지능형 자가진단 및 능동대응 기술개발 필요
- (과학기술적 이슈: 첨단기술발전에 대응)첨단 IoT·ICT 기술 융합을 통하여 총 수명주기 관점에서 철도시스템의 획기적인 비용절감 및 지능화 필요하며, 스마트 철도 시장은 년평균 약 14.4% 성장하여 '21년 약 206억 달러(23.7조) 규모로 성장할 것으로 예측됨
 - 센싱자동화, 분석자동화, 최적 유지보수전략 수립 등 첨단 ICT, IoT, Big data, Machine learning, Robot 등을 기술을 이용한 신개념의 철도차량 유지보수기술개발이 필요

2절 국내외 동향 및 환경분석

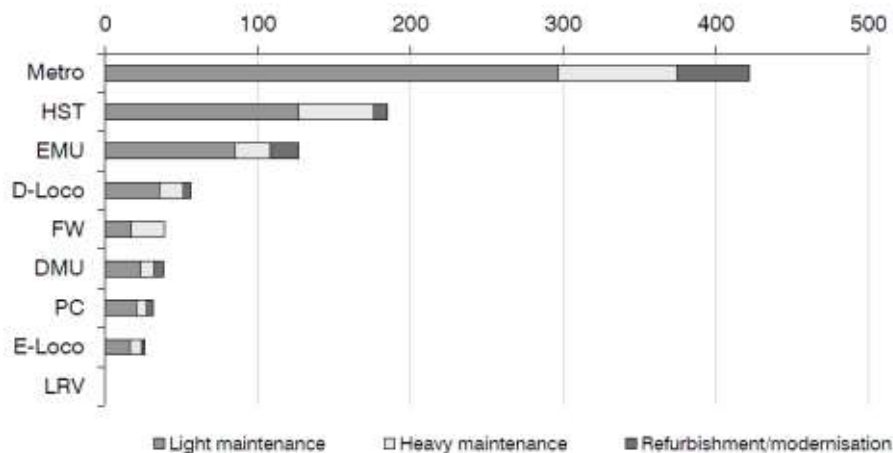
1. 국내외 정책동향

- 국내의 철도기술관련 정책은 첨단 기술을 접목하여 더 안전하고 편리한 철도시스템을 구축하려는 방향으로 투자가 진행되고 있음
 - 국토교통연구개발 발전계획에서는 “스마트 철도시스템”을 통하여 철도차량 및 인프라의 자동진단 및 유지보수하는 기술을 구현하고자 함
 - 국토교통 미래기술에는 첨단 IT, 인공지능을 이용한 철도사고 모니터링 시스템, 인공지능형 관제시스템의 기술을 개발하고 함
 - 국가교통기술개발 계획에서는 중점 추진과제로써 빠르고 지능적인 철도를 위하여 ICT 기반 철도시스템 개발을 추진하고 있음

- 철도선진국인 유럽을 포함한 해외에서는 ICT를 기반으로 철도 차량의 고속화·경량화·대용량화, 신호 및 제어기술 고도화 등 추진하고 있음
 - 유럽에서는 새로운 철도 재료 및 모니터링 시스템 개발, 철도 유지보수를 위한 IT 기반 확충 및 관련 기술개발, 유지보수 기계에 대한 신기술 개발, 센서개발 등이 추진되고 있음
 - 신뢰성 있는 차세대 고용량 차량개발, 지능형 교통 제어시스템개발, 혁신적인 IT 솔루션 결합 등을 목표로 다음과 같은 과제를 수행 중에 있음
 - 중국에서는 2020 중장기 철도 네트워크 구축 계획에 따라 속도향상 프로젝트를 적극 추진하고, 중국 철도차량 회사의 세계시장 진출 확대를 위해 철도 기술개발 추진 중
 - 일본에서는 국민생활에 필요한 교통, 지역 및 국제 교통네트워크 구축, 지속 가능하고 안전한 교통시설 정비에 중점을 둔 철도 정책을 수립하고 있으며, 신칸센 정비와 재래선의 고속화 추진으로 경쟁력 확보

2. 국내외 시장현황 및 전망

- 철도차량 유지보수 세계시장 규모는 2013년 기준으로 490억유로 수준이며, 2018년까지 연 평균 3.7%씩 성장할 것으로 예측됨. 이중 경정비는 290억유로, 중정비는 155억유로로서 전체시장의 59%, 32%를 차지하고 있음



South Korea: Market volume of After-Sales services by vehicle segment and maintenance level 2013 [in EUR million]

[그림 6.2] 철도차량 유지보수 시장 규모

- 국내 철도차량 유지보수시장은 2013년 기준 약 9.2억 유로(약 1조 1000억원)이며, 전동차 유지보수 시장이 약 4.2억 유로 (약 5,000억원)로 전체 시장의 약 46%를 차지하고 있음. 국내 전동차 유지보수 시장 중 경정비는 전체 전동차 유지보수 시장의 약 70%를 차지하고 있음

3. 기술(특허, 논문) 동향,

○ 국가별/기술별 특허동향분석

- 지능형 자가진단 및 능동대응 기술 관련 특허는 90년대 후반부터 특허 출원이 급격히 증가되고 있음
- 국가별 출원현황을 보면 미국이 최대 출원국이며, 일본, 유럽, 한국, 중국의 순서로 출원이 이루어지고 있음
- 중국은 2000년대 중반이후부터 출원 비중은 낮지만 출원 활동은 꾸준히 증가하고 있음
- 우리나라는 2000년대 초반부터 특허의 출원이 지속적으로 상승추세인 것으로 보아 관련분야의 관심도가 높음을 알 수 있음

○ 국가별 특허분포 지수분석

- 미국의 인용도지수(CPP)가 가장 높게 나타남, 미국이 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음. 미국 다음으로 일본, 유럽, 한국, 중국 순으로 나타남
- 특허 영향력지수(PII)는 미국이 가장 높게 나타나 질적수준에서 가장 경쟁력 있는 것으로 보임
- 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 미국이 다른 나라에 비해 월등하게 높게 나타남
- 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 최하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요함

4. 기술수준분석, 연구개발과제관련 요소기술 조사 결과

○ 지능형 센싱기술

- 전 세계적으로 철도 서비스 품질 및 안전에 대한 요구가 증가함에 따라 철도 구성품 상태 정보를 모니터링하고 처리하는 기능 요구가 증대하고 있으며, 각국에서는 모니터링 시스템 및 이를 활용한 유지보수 시스템 개발에 앞장서고 있음
- 머신러닝 기법을 적용한 머신 비전 기술은 철도 차량 외관 검사 및 영상기반 안전진단에 널리 적용될 수 있는 기술임. 이를 활용할 경우 철도차량 유지보수 시간을 줄이고, 효율 및 품질을 높일 수 있을 뿐만 아니라 모니터링 및 데이터 분석을 통한 예방 정비를 수행할 수 있으므로 차량의 가용성이 증대됨

○ 모바일 자동검측기술

- 전 세계적으로 이동이 가능한 로봇기술을 기반으로 하여 검측을 자동화하기 위한 시도가 다양한 분야에서 이루어지고 있으며, 특히 배관, 송전선, 자동차 등의 분야에서는 실용적 수준까지 완성된 상태임
- 고성능의 로봇기술을 기반으로 여기에 첨단 센싱시스템(비전, 레이저 측정 등)을 탑재함으로써 수작업에 의존하던 검수작업을 로봇으로 일부 대체가 가능할 것으로 판단되며, 이러한 경우 데이터의 축적, 위험한 작업에의 노출빈도 저하, 3D 작업으로부터의 탈출 등 여러 가지 긍정적 효과가 나타날 것으로 기대됨

○ 자가진단기술

- 철도차량 안전성 향상 및 유지보수 효율화를 위하여 모니터링 및 진단기술의 향상을 위한 기술개발에 노력을 하고 있으며, 특히 차량의 각종 상태를 모니터링하고 진단하기 위하여 Wireless 통신을 도입한 새로운 개념의 TCMS 개발 중에 있음.
- 차량의 상태를 모니터링하기 위해서는 차량에 설치된 수 많은 센서와 지상에 설치된 진단장비에 데이터는 문자 뿐만아니라 영상도 포함되어 있는 빅 데이터로써 이를 이용하면 정확한 진단을 할 수 있음. 최근에 철도차량의 유지보수에 효율성을 높이기 위하여 인공지능, 빅 데이터 분석 기술을 적용하고 있음.

○ 능동 유지보수기술

- 차량 센서로부터 또는 지상으로부터 수신된 센싱 데이터를 고장 진단에만 국한되어 사용하던 경향에서 벗어난 축적된 빅데이터로부터 차량 부품 고장예측과 발생추이, 사용 주기 및 점검시기 등에 폭넓게 이용하는 기술이 적용되고 있음

5. 유사과제 분석 및 기존기술(연구)와의 차별성

[표 6.1] 능동유지보수기술 유사과제 분석 및 기존연구 차별성

구분	선행과제명 (연구연도)	연구자	연구목적	연구방법	주요 연구내용	선행과제와의 차별성		
						연구목적	연구방법	연구내용
1	철도시스템 건전성 모니터링 기초연구 (2009-2011)	김정국	안전확보 및 유지보수비용 절감을 위한 건전성 모니터링 기술 개발	하드웨어 및 소프트웨어 기술 개발	적외선 열화상기술을 이용한 철도차량 건전성평가기술 개발 무전원 SAW센서를 이용한 철도차량 이상상태 실시간 모니터링 기술개발 Opto-Laser 터널 스캐닝 시스템 핵심기술 개발 광섬유 센서를 이용한 철도구조 모니터링 기술개발	대상과제는 원천 기술 개발이 목적이었으며, 본 과제는 실제 정비 기지에서 실용적으로 사용할 수 있는 기술 개발	하드웨어 개발 및 소프트웨어 개발	실제 차량 및 제륜자등의 검수를 자동화하기 위한 목표를 가지고 연구수행
2	상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 개발 (2013-2017)	이관섭	도시철도차량 상태기반 유지보수 체계 방향 수립 유지보수 전문가 시스템 개념 설계 예비품 등 유지보수자원에 대한 소요량 산출 시스템 개념 설계	CBM 체계 구축 및 주요장치 CM B 모델 개발	상태기반 유지보수체계 실행방안 연구 빅데이터 기반 유지보수전문가시스템 개발 동력전달계통 주요장치 CBM 모델 연구	CBM을 실제 적용하기 위한 센싱시스템 및 진단 모델 개발	하드웨어 장비개발	구체적으로 정비에 소요되는 유지보수 시간을 단축하기 위한 기술개발
3	기존	김상암	첨단 IT와 네트	철도안전관리 고	실시간 철도 안전관	대상과제	안전관련	유지보수

구분	선행과제명 (연구연도)	연구자	연구목적	연구방법	주요 연구내용	선행과제와의 차별성		
						연구목적	연구방법	연구내용
	안전검지장치 및 현장 운영데이터 기반 실시간 철도안전 통합 감시제어시스 템 개발 (2014-2019)		워크 기술을 적용하여, 철도 관제시스템을 중심으로 철도차량, 철도역사 및 시설 등에 대한 안전관련 정보를 실시간으로 감시(모니터링)하고 사고위험을 조기 예측/진단하여 제어할 수 있는 실시간 철도안전 통합 감시/제어 시스템 개발	도화를 위한 ICT 기반 철도 안전관제 플랫폼 개발 및 테스트베드 구축 세계 일류 철도안전 국제경쟁력 확보를 위한 사고위험예측 기술 개발 철도사고 제로화 및 유지보수비용 절감을 위한 철도안전 의사결정 지원시스템 개발	제 시스템 개발 실시간 철도안전 의사결정 지원시스템 개발 기존 안전검지장치 성능개선 및 고도화 개발 실시간 철도안전 통합 감시/제어시스템 현장적용 및 검증	는 철도 안전을 목적으로 과제수행한 것이나 본 과제는 유지보수의 관점에서 차별화됨	체계 구축에 주안점을 두고 있으나 본 과제는 유지보수를 위한 장비개발로 차이가 있음	와 안전은 연계가 가능하므로 개발결과를 상호 활용할 수 있을 것으로 판단됨

6. 국내 연구개발 인프라 분석

○ 철도 모니터링/유지보수 관련 인프라 분석

- 철도 모니터링/유지보수 관련 인프라 현황을 선진국과 비교하면 전문인력, 연구기반시설, 산학연 공동연구 기반은 동등한 수준을 나타내며, 기술이전 및 국제기술협력 분야는 다소 부족한 상황임

[표 6.2] 철도 모니터링/유지보수 관련 인프라 수준 비교

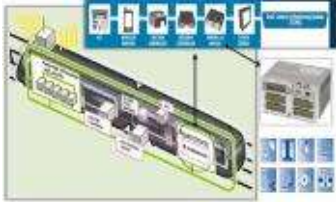
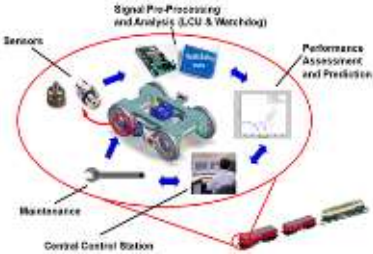
기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소부족	동등	우월	보다우월
철도 모니터링/유 지보수 관련	전문인력 보유현황			○		
	연구기반시설 구축현황			○		
	산학연 공동연구기반			○		
	기술이전 및 거래		○			
	국제기술협력	○				
	관련 업체현황		○			

- 철도 모니터링/유지보수 관련 기술 개발은 최근 운영처 및 철도 관련 연구기관에서 활발히 이루어지고 있으나, 발전하는 IT 기술을 접목한 유지보수 관련기술을 발전시키기 위하여 장기적인 계획과 꾸준한 연구개발이 추진될 필요 있음

7. 기술수준분석 시사점

[표 6.3] 국내외 기술수준 분석

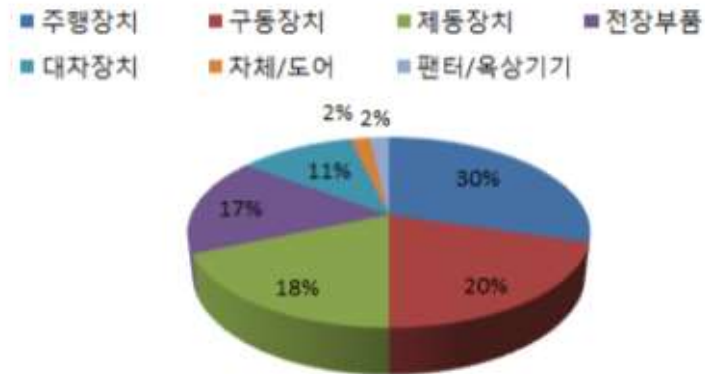
기술분야	국외기술수준	국내기술수준(개발전)	국내기술수준(개발후)
지능형 센싱기술	·미국에서는 화차의 제동시스템을 모니터링하기 위한 스마트 센서를 개발하였으며 스마트 센서는 자가발전이면서 무선통신이 가능하도록 개발함. ·머신비전센싱는 터널의 결함검사, 금속표면 결함검출 등에 대한 연구가 진행되고 있으며, 의료 영상을 바탕으로 진단 수행을 돕는 영상기반 진단분야에도 활용되고 있음 	선진기술의 70% 수준 ·지능형 센싱 기술은 미국, 일본, 독일이 세계시장 70% 이상 점유하고 있으며 국내기술은 세계 7위 수준을 보유하고 있음(2107년 차세대 스마트 센서기술 및 산업 전망 세미나, 2017.1.18.) ·한국철도기술연구원에서는 차량 중요장치의 상태를 자동으로 센싱, 측정된 데이터를 무선으로 전송하는 ‘철도시스템 미래형 무선 스마트 autonomous 센싱기술’을 개발하고 있음	선진기술의 90% 수준 ·지능형 센싱기술은 무선전송기술과 전력기술의 핵심기술이 요구되는 분야로서 스마트 센서 기술은 비약적으로 발전되고 있으며 철도분야 적용을 위한 발빠른 기술대응이 요구되는 분야이며 이러한 기술이 접목되어 기술완료되면 선진기술 대비 90% 수준
자동검측 기술	·미국 교통기술센터과 독일의 KleinTech에서는 Machine Vision, Infrared Vision, 3D 레이저 스캐너를 이용하여 철도차량의 주요부분을 자동으로 검사하는 시스템을 개발 ·Bombardier에서는 자동 차량 검사시스템을 개발, 차량장치측정 시스템과 의사결정 지원S/W로 구성하여 자동검측하고 있음 ·중국과 일본에서는 차량 주요 부품의 외관 검사 및 주행장치에 대한 자동 검측시스템을 개발하여 운영하고 있음 	선진기술의 60% 수준 ·국내 차량기지에는 차륜, 차축, 제륜자, 팬터그래프에 대한 자동검사장치가 구축되어 있으며 일상검사 장치의 고도화를 노력을 하고 있음 ·차륜/제륜자/팬터그래프의 하부와 옥상기기의 검사 및 모니터링 분야는 IT와 신기술을 융합하여 연구개발이 요구됨 	선진기술의 80% 수준 ·머신러닝 기법을 적용한 스마트 센싱 기술은 철도 차량 외관 검사 및 영상기반 안전진단에 널리 적용될 수 있는 기술이며 이를 적용 개발할 경우 철도차량 유지보수 시간을 줄이고, 차량가용성 증대 효과 ·차량 주요 부품에 대한 축적된 검측기술을 활용하여 기술개발 완료 후 선진 기술대비 80% 이상 수준
자가진단 기술	·유럽의 Shift2Rail 프로젝트에서는 차량의 안전과 신뢰성 수준을 높이기 위하여 차량과 구성품 사이의 무선 정보전달을 기본으로 하고 있는 차세대	선진기술의 70% 수준 ·차량상태의 실시간 정보시스템을 이용하여 고장 상태를 전송하는 TCM 기술이	선진기술의 90% 수준 ·최근에 철도차량의 유지보수에 효율성을 높이기 위하여 인공지능,

기술분야	국외기술수준	국내기술수준(개발전)	국내기술수준(개발후)
	TCMS개발을 수행 중에 있음 	적용되고 있음 	빅 데이터 분석 기술을 적용하여 자가진단 기술을 도입하고 있음 ·제한적인 정보전송과 고장 상태 전송의 연계 방안을 고려하여 기술 개발 완료할 경우 선진 기술 대비 90% 수준
능동유지보수기술	·RTRI와 JR동일본에서는 ICT를 활용한 저비용 유지보수기술 개발을 진행하고 있음. 스마트한 의사 결정은 더 지며 유지 보수 수준과 비용 간의 관계를 명확하게 시각화 할 수 있어 정확한 유지보수시기의 결정을 내릴 수 있음. ·Bombardier에는 'Oribita' 차량 유지보수 데이터분석 및 계획 수립 프로세스를 가지고 유지보수데이터 검측, 분석, 계획 수립, 부품관리 계획 등의 종합적인 유지보수 지원시스템을 운영하고 있음 	선진기술의 60% 수준 ·국내에서 고속철도와 도시철도에 대한 차량유지보수 관리 시스템이 각 운영기관에 구축되어 있음 ·상태기반 유지보수체계 실행방안과 빅데이터 기반 유지보수전문가시스템에 대한 연구개발이 수행되고 있음 ·실시간 철도 안전관제 시스템에 의한 철도안전 의사결정 지원시스템이 구축될 예정임 	선진기술의 80% 수준 ·차량의 이상발생 또는 점검 필요시에는 모바일 기기를 가진 현장작업자 또는 접근이 어렵고 힘든 사이트에서는 자동화된 기기에게 즉시 전달하여 대응하는 능동적인 유지보수 기술 개발 개념이 유지보수의 미래상으로 제시되고 있으며 기술개발 완료후 선진 기술대비 80% 이상 수준

8. 수요조사 및 활용가능성

- R&D 기획 과제로 추진할 관련 기술을 발굴하고, 개발 우선순위를 도출하기 위해 수요조사, 기술 수준 분석, AHP 방법론을 활용한 과제 우선 순위 도출 프로세스를 수립, 본 연구의 목적에 부합하면서 산업 내의 개발 수요가 있는 기술을 발굴하기 위해 수요조사 및 기술 수준 분석, 우선순위 조사 등 3단계 조사 체계를 구축
- 자가진단 유지보수 기술이 시급하게 요구되는 차량기기는 주행장치, 구동장치, 제동장치, 전장부품, 대차장치 순서로 나타났으며 차량의 안전운행에 관련된 핵심장치 순서로 설문조사 결과가 나타남

적용대상의 시급성



[그림 6.3] 유지보수 기술이 시급하게 적용되어야 하는 차량 기기

- 자가진단 유지보수기술의 성능 요구사항으로는 신뢰성, 안전성, 안정성, 효율성 순서로 나타남. 구축될 유지보수 장비에 대한 최우선 고려사항은 고신뢰성이 수반되어야 할 것으로 조사됨
- 기술수요조사 결과 후보과제 33개에 대하여 목표부합성/인프라 적정성 평가를 “상/중/하”의 3단계로 수행하고, “중중” 이상의 제안과제를 최종적으로 선정

[표 6.4] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과

제안 과제명	평가 결과		최종 선정여부
	목표 부합성	인프라 적정성	
기존유지보수체계와 자가진단을 통한 유지보수 활동의 통합화 기술	상	중	선정
육상장치 이상상태 센싱 기술 개발	상	중	선정
대차장치 이상상태 센싱 기술 개발	중	상	선정
이동식 자동검측장비 기술 개발	중	중	선정
전동차 고장 능동적 예측 프로그램 개발 및 전장품 수요기준 정립	중	하	제외
압전재 기술을 활용한 차륜-레일 인터페이스 측정 및 제작 기술	중	중	선정
차량 진단 데이터의 대용량 전송 및 영상화 이미지 처리 기술	중	중	선정
출차시 차량(측면,하부) 이상 상태 기술 개발	중	상	선정
차상 이상상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발	중	중	선정
신뢰성이 확보된 계측장비 시스템 개발	상	중	선정
가상시뮬레이션을 이용한 세부고장 진단 및 조치방법 현시 기술	상	중	선정
센싱 데이터를 이용하여 고정여부판단 알고리즘 개발	하	하	제외
추진제어용 전력변환장치 자가진단기반 유지보수기술 개발	상	중	선정
차륜/제동디스크 손상상태(전자기 기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발	중	중	선정

제안 과제명	평가 결과		최종 선정여부
	목표 부합성	인프라 적정성	
주요 부품 열화모델 및 복합진단 기술 개발	중	상	선정
자동센싱 적용 하이브리드 유지보수체계 개편(안)도출	중	중	선정
능동대응 유지보수 기술 및 지원 시스템 개발	중	상	선정
다변/다점 측정 물리량을 통한 진단 기술 개발	하	중	제외
차지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합 진단시스템 구축 기술	중	중	선정

- 능동유지보수기술 분야 16개 후보과제에 대한 평가지표별 절대평가(7점 척도) 점수에 평가지표별 가중치(AHP)를 반영하여 다음과 같이 최종 평가점수 및 순위를 도출

[표 6.5] 능동유지보수기술 분야 우선순위 조사 결과

평가 지표 과제 번호	전략성		기술성		경제성		파급성		결과	
	전략과의 부합성	전략적 시급성	기술 실현성	기술 우위성	사업화 가능성	수익성	과학기술적 파급성	사회공공적 파급성	합계	순위
C-01	2.4	0.5	1.4	0.3	0.5	0.1	0.3	0.1	5.6	6
C-02	2.6	0.5	1.3	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	5.8	2
C-03	2.5	0.6	1.1	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	5.6	7
C-04	2.3	0.6	1.3	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	5.5	8
C-05	2.6	0.5	1.2	0.4	0.5	0.1	0.4	0.1	5.8	3
C-06	2.6	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.7	5
C-07	2.7	0.6	1.2	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	5.9	1
C-08	2.7	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.8	4
C-09	2.0	0.4	1.1	0.3	0.4	0.1	0.3	0.1	4.7	16
C-10	2.4	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.3	10
C-11	2.4	0.5	1.0	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.2	13
C-12	2.0	0.5	1.0	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	4.8	15
C-13	2.3	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.3	0.1	5.2	12
C-14	2.5	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.4	9
C-15	2.2	0.5	1.0	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	4.9	14
C-16	2.3	0.5	1.1	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	5.3	11

[표 6.6] 목표부합성과 인프라 적정성에 의한 선정 과제리스트

분야	제안과제명	연구개발 내용
지능형 자가진단 기반 능동유지보 수 기술분야	능동대응 유지보수기술 및 지원시스템 개발	주요장치의 상태 기반 적기 유지보수를 위해 가용자원 및 스케줄 최적화 지원시스템 개발
	차상 상태 지능형센싱(TCMS+) 기술 개발	지능형 센싱기술 통하여 차량 고장여부 진단하고 점검 여부를 판단하는 기술 개발
	손상진단 및 예측 정확성 향상을 위한 복합진단기술 개발	진동, 온도, 전류 등 복합데이터 처리 및 손상진단예측의 정확성을 향상하기 위한 복합진단기술 개발
	모바일 로봇기반 상세검측(외관/마모) 기술 개발	손상 상세검측을 위해 이동이 가능한 로봇을 이용한 상세검측 기술 개발
	주요부품 정량적 손상평가를 위한 열화모델 개발	차륜, 제륜자 등 손상의 진행 상태를 정확히 파악하기 위한 열화모델 개발 기술개발
	차륜/제륜자 마모상태(레이저/비전기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발	차륜과 제륜자의마모상태/한도를 자동측정 평가하는 고도화된 시스템 개발
	기존유지보수체계와 자가진단을 통한 유지보수 활동의 통합화 기술	현재 도차, 일상, 월상 검수 중 자동화가 가능한 항목에 대하여 유지보수 활동을 통합하는 기술
	차지상센싱 데이터를 이용한 차량 종합 진단시스템 구축 기술	차지상 센싱 획득데이터에서 차량상태를 종합적으로 판단하는 통제 시스템 구축 기술 개발
	차량 외관상태(비전기술) 센싱 자동화 및 장치 기술 개발	차량외관(차체/연결부의 변형/손상/이완을 고속화된 비전기술과 AI알고리즘으로 평가하는 기술 개발
	차륜/제동디스크 손상상태(전자기 기술) 센싱 자동화 및 장치 기술개발	전자기어레이 센싱기술을 이용하여 차륜과 디스크의 손상도를 평가하는 자동화 시스템 개발

3절 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 연구과제의 범위, 비전 및 목표

□ 비전

- IoT, ICT 등 첨단기술을 활용한 스마트 철도기술을 기반으로 하여 차량의 상태를 스스로 진단하고 적기에 적절한 유지보수 조치를 취함으로써 철도차량의 장애를 예방하고 유지보수 비용의 절감을 통한 철도신뢰성 향상 및 가격경쟁력을 제고하고자 함



[그림 6.4] 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술 비전 및 목표

□ 목표

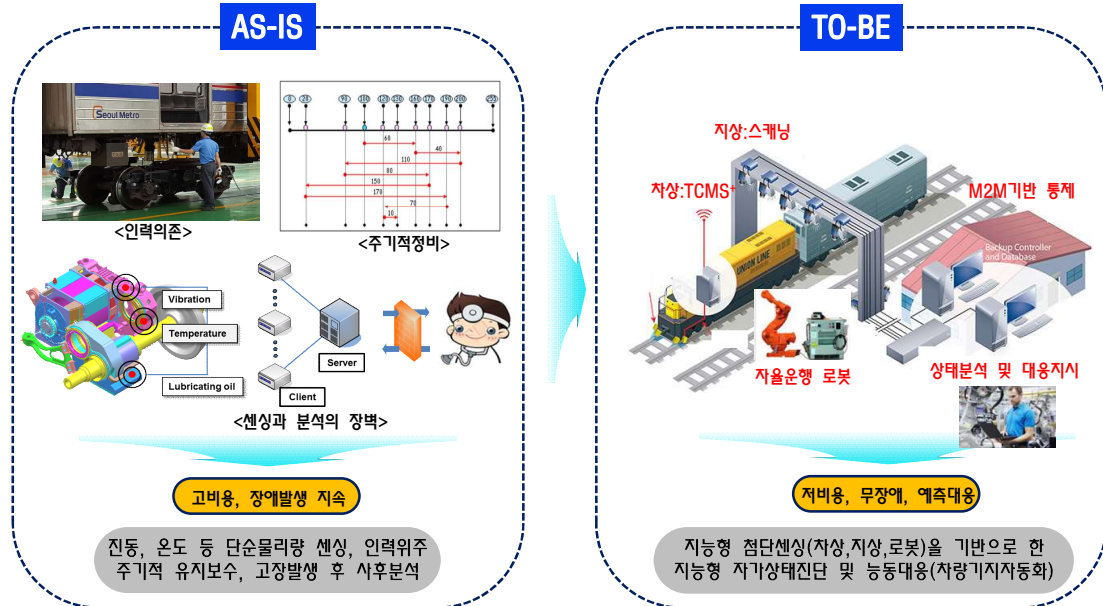
- 실시간 센싱을 기반으로 한 상태진단주기 단축(상태진단주기 3일, 3달 → 수시)
- 검측 및 진단자동화를 통한 진단→조치소요시간 단축(현행대비 20% 단축)

2. 기술개발에 따른 미래상

- 철도차량 자동센싱 기술개발 분야
 - 차상, 지상 자동센싱 및 검측장비 기술개발을 통한 유지보수 검측 자동화
 - 상태기반 유지보수 스케줄 조정에 따른 차량의 가용성 증가
 - 주요부품 상태를 실시간으로 모니터링, 진단함으로써 이상유무를 사전에 인지하여 고장

발생 전 이상원인 파악 및 고장 예방

- 주요부품 상태 모니터링 데이터를 활용한 빅데이터 분석, 최적의 유지보수 계획 수립



[그림 6.5] 지능형 센서기반 철도차량 자동센싱 기술의 미래상

○ 자가진단 및 능동유지보수기술개발 분야

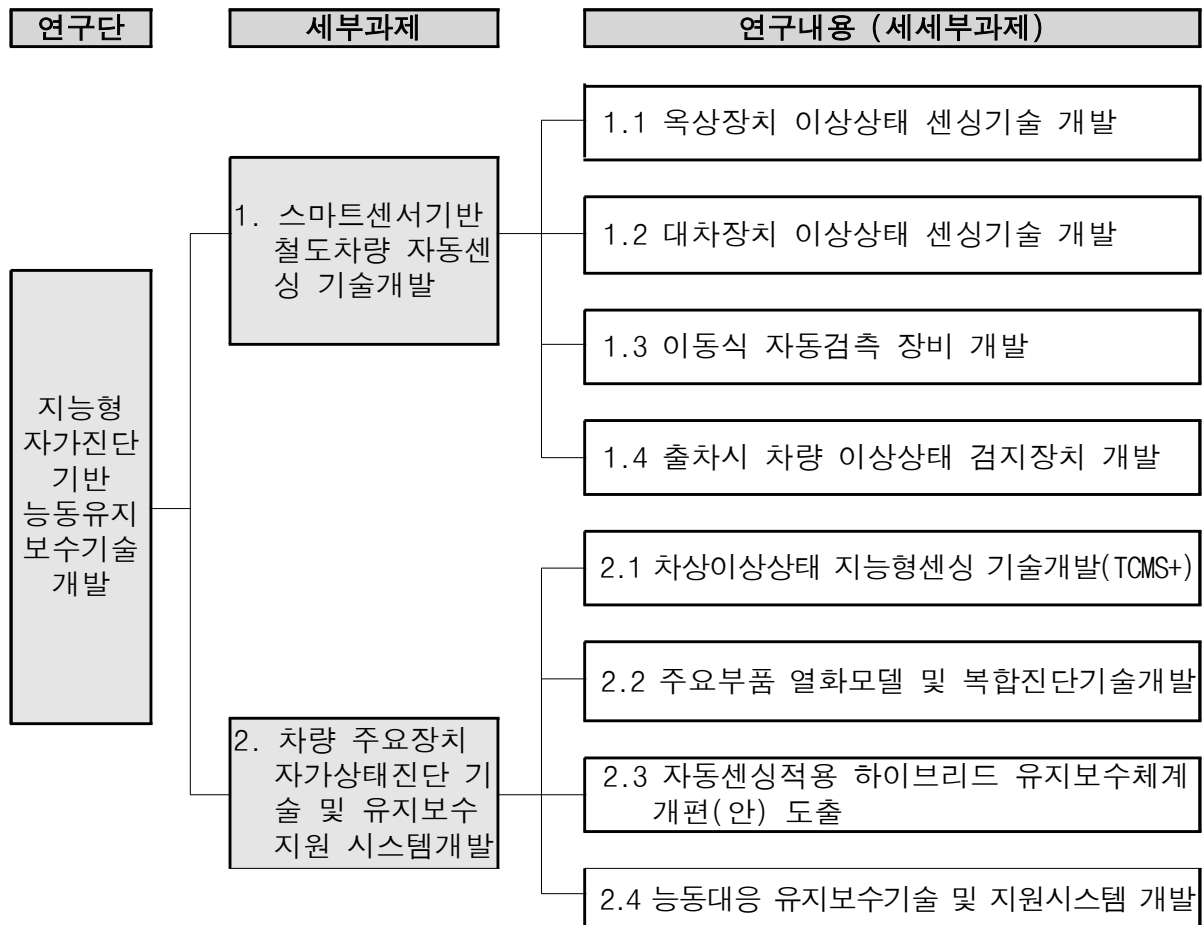
- 스마트 센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발에 의해 차량 주요부품의 상태 모니터링 및 데이터 분석을 통한 예방 정비를 수행할 수 있으므로 차량 가용성 증대
- 복합 물리량 데이터 분석을 이용하여 고장진단의 정확성 향상을 통하여 사전경고기능을 강화하고 운행 장애를 감소
- 주요부품의 열화모델을 통한 손상진단 및 잔존수명 예측으로 최적의 교체주기를 통한 유지보수비용 감소



[그림 6.6] 자가진단 및 능동유지보수 기술의 미래상

3. 연구개발과제 구성

- “지능형 자가진단 기반 능동유지 보수 기술개발”의 1세부과제는 유지보수시간 단축 및 효율화를 위하여 스마트 센서를 이용하여 복합물리량을 측정하는 기술이고, 2세부과제는 측정된 물리량 뿐 만아니라 다양한 검수 데이터를 이용하여 주요부품의 손상을 정확하게 평가하고 예측하기 위한 기술 개발임
- － 1세부과제 : 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발
 - 옥상장치 이상상태 센싱기술 개발
 - 대차장치 이상상태 센싱기술 개발
 - 이동식 자동검측 장비 개발
 - 출차시 차량 이상상태 검지장치 개발
- － 2세부과제: 차량 주요장치 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템개발
 - 차상이상상태 지능형센싱 기술개발(TCMS+)
 - 주요부품 열화모델 및 복합진단기술개발
 - 자동센싱적용 하이브리드 유지보수체계 개편(안) 도출
 - 능동대응 유지보수기술 및 지원시스템 개발



[그림 6.7] 연구개발과제 구성

4. 연구추진체계

○ 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발의 TRM

일련 번호	기술확보		추진 일정 (연도별)																			
			1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
			1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
1	옥상장치 이상상태 센싱기술 개발	옥상장치 감시대상, 방법 및 목표사양 설 정 및 하이브리드 영 상추출 알고리즘 개발																				
2		머신러닝 기반 영상인 식 알고리즘 개발 및 파일럿 시스템 제작																				
3		옥상장치 이상상태 진단 빅데이터 구축 및 성능평가																				
4		옥상장치 검사 테 스트베드 구축 및 현장 성능평가																				
5		문제점 개선 및 신 뢰성 (내구성, 정밀 도 등) 향상																				
6	대차장치 이상상태 센싱기술 개발	대차 감시대상장치, 센싱방법 및 목표사 양 설정																				
7		대차장치 진단알고 리즘 개발 및 파일 럿 시스템 제작																				
8		대차장치 이상상태 진단 빅데이터 구축 및 성능평가																				
9		대차이상검사장치 테스트베드 구축 및 현장 성능평가																				
10		문제점 개선 및 신 뢰성 (내구성, 정밀 도 등) 향상																				
11	이동식 차륜상세 검사장비- 차륜(균열) (초음파+ 전자기)	차륜 하이브리드 센서설계 및 자동 검측장비 사양결정																				
12		진단알고리즘개발 및 파일럿 시스템 제작																				
13		차륜 이상상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가																				
14		차륜 이동식 자동검측 장비 테스트베드 구축 및 현장 성능평가																				
15		문제점 개선 및 신 뢰성 (내구성, 정밀 도 등) 향상																				
16	출차시 차량(측면, 하부)	차량측면, 하부 감시 대상장치, 방법 설정 및 검사장치 사양결정																				
17	하부)	이상상태 진단 알고 리즘 개발 및 파일 럿 시스템 제작																				
18	이상상태(	측면, 하부장치 이상																				

일련 번호	기술확보		추진 일정 (연도별)																			
			1차년도					2차년도					3차년도					4차년도				
			1/4	2/4	3/4	4/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	4/4
		상태진단 빅데이터 구축 및 성능평가																				
19	머신비전)	출차검사장치 테스트 트베드 구축 및 현 장 성능평가																				
20		문제점 개선 및 신 뢰성(내구성, 정밀도 등) 향상																				

○ 차량 주요장치 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템개발의 TRM

일련 번호	기술확보		추진 일정 (연도별)																			
			1차년도					2차년도					3차년도					4차년도				
			1/4	2/4	3/4	4/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	4/4
1	차상이상 상태	차상주요장치 고장 모드 분석 및 진단 기술																				
2	지능형 센싱 (TCMS+)	대차 이상상태 모니 터링 기술																				
3	기술개발	차량자가진단 시스 템(TCMS+) 기술																				
4	손상역학 기반	차륜의 열화 모델 및 진단 기술																				
5	주요부품 열화모델 및	제동장치 열화모델 및 진단 기술																				
6	복합진단 기술 개발	축상베어링 열화모 델 및 진단 기술																				
7	자동센싱 적용 하이브리	기존 유지보수 체계 분석 및 위험도 산 출 기술																				
8	드 유지보수 체계	하이브리드 유지보 수체계 시뮬레이션 S/W 개발																				
9	개편(안) 도출	하이브리드 유지보 수체계 개편(안)도출																				
10	능동대응 유지보수 지원시스 템 개발	검수데이터 분석 및 차량상태 가시화 기술																				
11		일상/월상 유지보수 스케줄링 기술																				
12		최적유지보수 지원 시스템 개발																				

5. 최종성과물 및 성과지표

- 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발

[표 6.7] 스마트센서기반 철도차량 자동센싱 기술개발 성과지표 및 최종목표

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	최종목표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	옥상장치 이상상태 센싱기술 개발	옥상장치 감시대상, 방법 및 목표사양 설정 및 하 이브리드 영 상추출 알고 리즘 개발	머신러닝 기 반 영상인식 알고리즘 개 발 및 파일 럿 시스템 제작	옥상장치 이 상상태 진단 빅데이터 구 축 및 성능 평가	옥상장치 검 사 테스트 베드 구축 및 현장 성 능평가	문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정 밀도 등) 향상	옥상장치 이상 상태 센싱시스 템
		대차장치 이상상태 센싱기술 개발	대차 감시대 상장치, 센싱 방법 및 목 표사양 설정	장치별 진단 알고리즘 개 발 및 파일 럿 시스템 제작	장치별 이상 상태진단 빅 데이터 구축 및 성능평가	대차이상검 사장치 테스 트베드 구축 및 현장 성 능평가	문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정 밀도 등) 향상	대차장치 이상 상태 센싱시스 템
		이동식 차륜상태검 사장비	차륜 하이 브리드 센서 설계 및 자동검측장 비 사양결정	진단알고리 즘개발 및 파일럿 시스 템 제작	차륜 이상상 태진단 빅데 이터 구축 및 성능평가	차륜 이동식 자동검측장 비 테스트베 드 구축 및 현장 성능평 가	문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정 밀도 등) 향상	이동식 차륜상 세검사장비
		출차시 차량(측면, 하부) 이상상태(머 신비전)	차량측면, 하부 감시 대상장치, 방법 설정 및 검사장치 사양결정	이상상태 진 단 알고리즘 개발 및 파 일럿 시스템 제작	측면, 하부 장치 이상상 태진단 빅데 이터 구축 및 성능평가	출차검사장 차 테스트베 드 구축 및 현장 성능평 가	문제점 개선 및 신뢰성 (내구성, 정 밀도 등) 향 상	출차시 차량(측 면,하부) 이상상 태 센싱시스템
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	3/0	3/2	3/2	3/2	3/2	15/8
		특허 출원 건수	-	2	1	2	2	7
		소프트웨어 개발건수	-	-	2	1	2	5
		시제품 개발 건수	-	-	-	1	3	4

- 차량 주요장치 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템개발

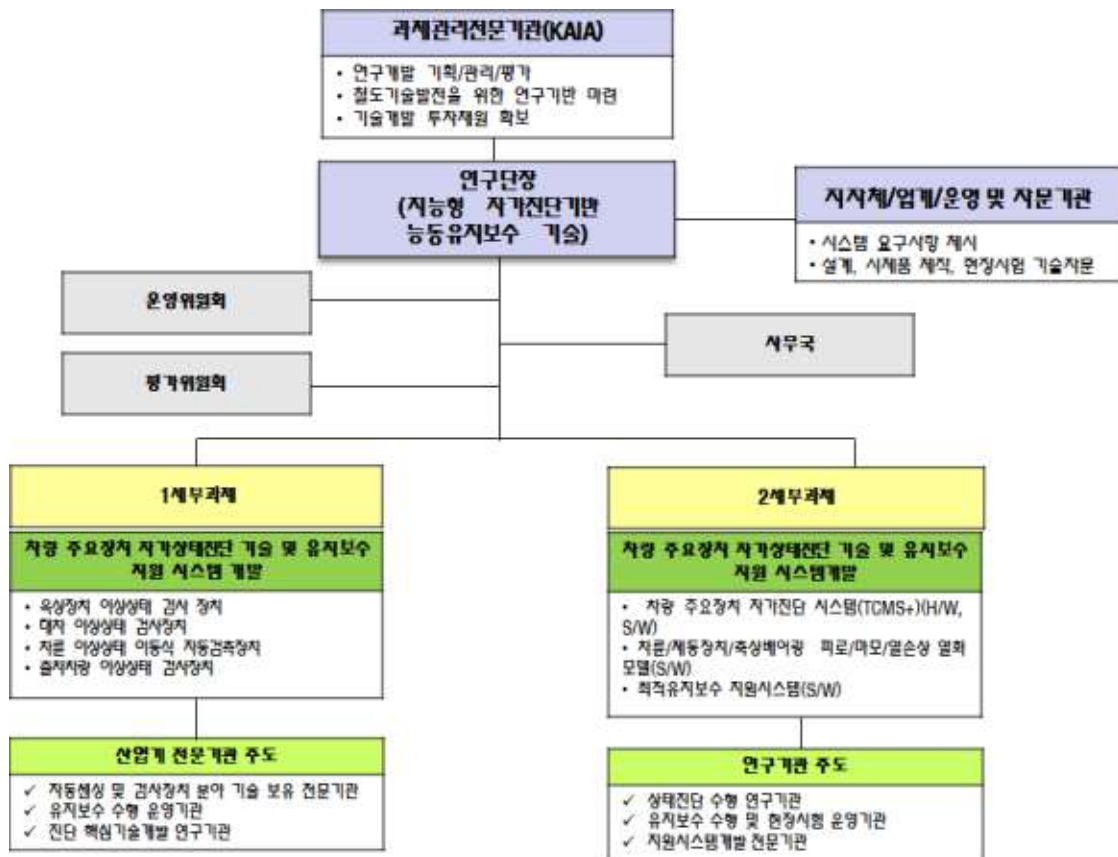
[표 6.8] 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템개발 성과지표 및 최종목표

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	최종목표
산출 (Output) 지표	기술적 목표	차상주요장치 자가 진단 시스템	차상주요장 치고장분석/ 진단 방법 정립	장치별진단 모델개발 및 고장진단 빅 데이터 구축	대차이상 진 단모니터링 시스템 설계 및 제작	자가진단시스 템 (TCMS+)설 계 및 구축	TCMS+성능 시험 및 신 뢰도향상	TCMS+ 개발을 통한 차량 자가 진단 기술 확보
		차륜/제동장치/축 상배어링 열화모델 및 복합진단시스템	차륜/제동자 치/축상배어 링손상모드 분석/평가	차륜/제동/ 축상배어링 손상예측 모 델 개발	주요부품손 상복합물리 량상관관계 분석	주요손상모 드에 따른 유지보수 기 준치개발	현장유지보 수적용 및 문제점 개선	손상역학기반 주 요부품열화 모델 개발 및 복합진 단기술 확보

유형	지표 구분	성과지표	1차(년) 목표	2차(년) 목표	3차(년) 목표	4차(년) 목표	5차(년) 목표	최종목표
		하이브리드 유지보수체계(안)	기존유지보수체계 분석 및 위험도 산출	신뢰도기반 하이브리드 유지보수체계 개념정립	하이브리드 유지보수체계 시뮬레이션 S/W개발	하이브리드 유지보수체계 개편(안) 도출	현장유지보수 적용 및 문제점 개선	자동센싱기반 하이브리드 유지보수체계 확립
		최적유지보수 지원 시스템	검수관련 빅데이터 분석 및 차량열화 가시화 기술 개발	주요장치 열화도에 따른 유지보수 최적화 기법 개발	일상/월상 검수 스케줄링 및 지원 시스템개념 설계	일상/월상 검수스케줄링 및 능동 대응시스템 개발	모바일기반 유지보수지원 시스템 개발	빅데이터기반 유지보수 최적화 기술 확보
	표준 지표	논문 학술지 발표/게재	3/0	3/2	3/2	3/2	3/2	15/8
		특허 출원 건수	-	2	1	2	2	7
		소프트웨어 개발건수	-	-	2	1	2	5
		시제품 개발 건수	-	-	-	1	3	4

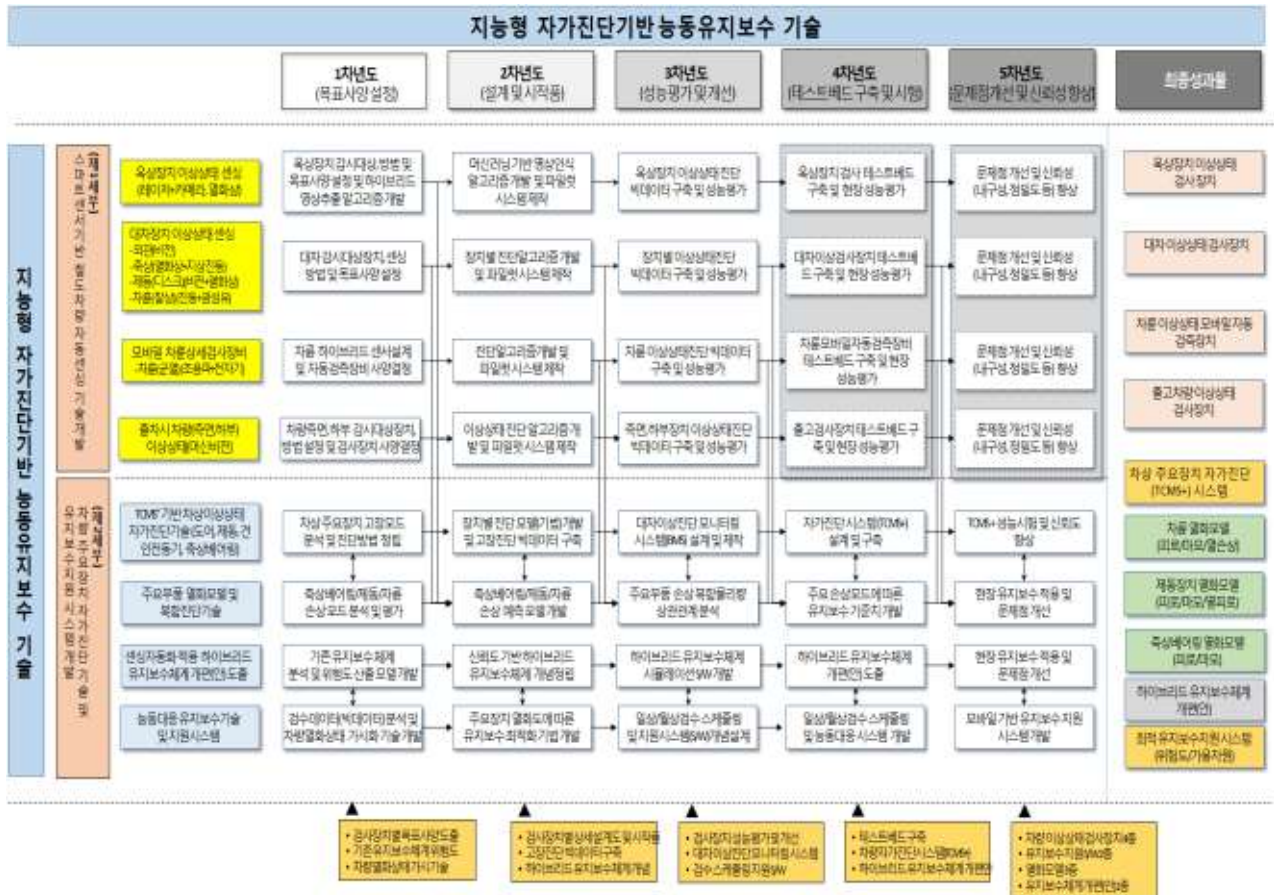
6. 연구추진체계

- 자동센싱 및 검측장치 개발 업체, 프로그램 개발 업체, 운영기관, 연구기관 등의 참여를 통한 신속한 기술 개발 및 연구 결과의 신뢰성 확보가 필요함. 유지보수 관련 자동검사장치 및 유지보수 지원시스템 개발과 상태 진단 및 수명평가 예측기술은 상호 유기적으로 연계되어 개발 되어야 하므로 이를 위해 연구단 과제로 추진되어야 함



[그림 6.8] 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술 연구추진체계

7. 기술/성과 로드맵

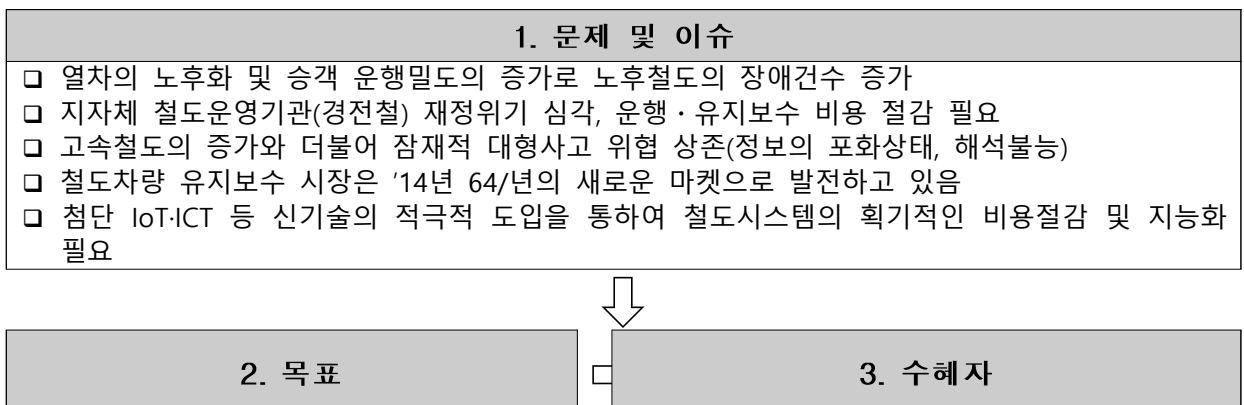


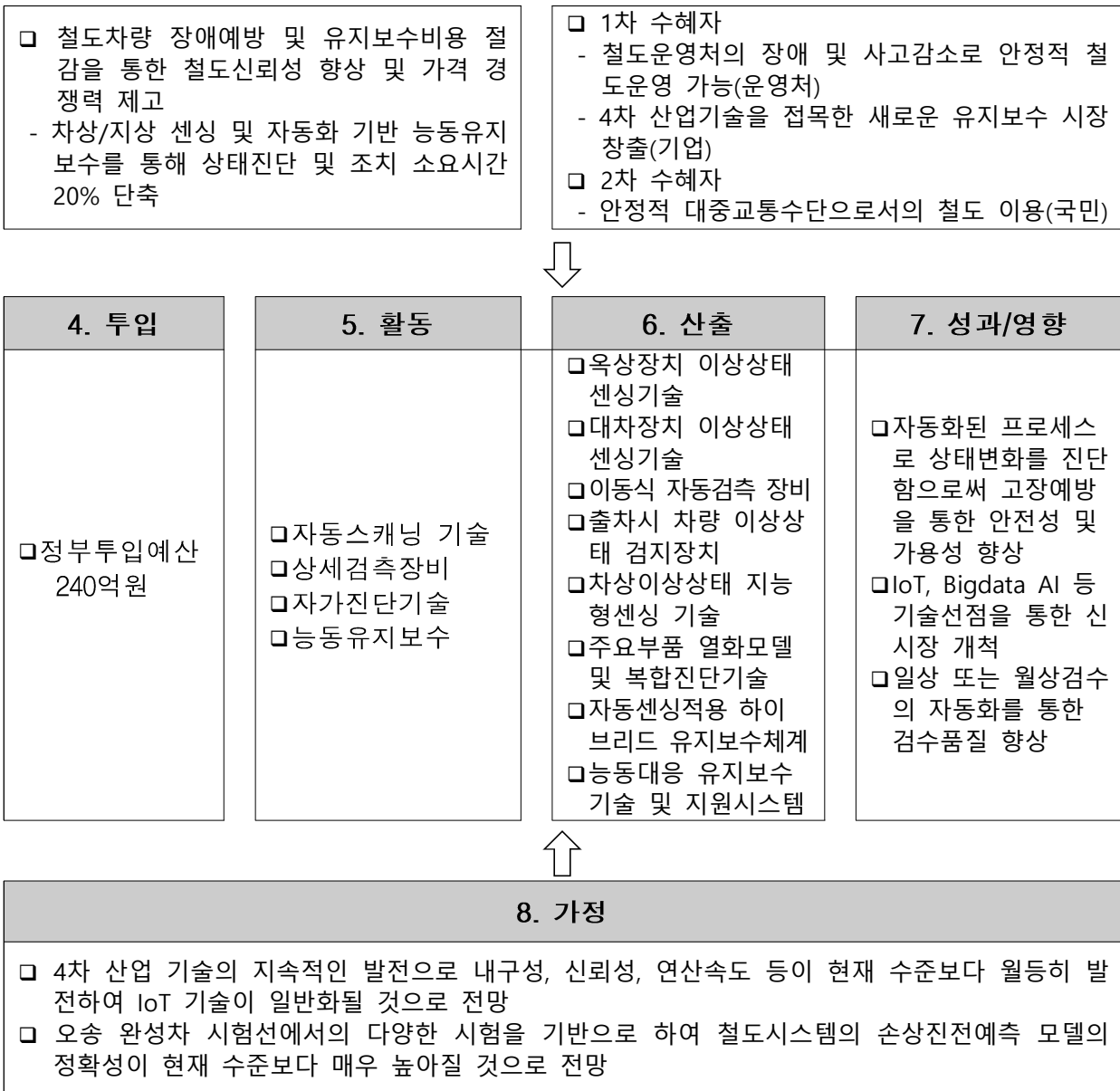
[그림 6.9] 능동유지보수기술 기술/성과 로드맵

4절 사전타당성검토

1. 논리모형

[표 6.9] 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술 논리모형





2. 기술개발투자의 시급성

- 일반철도 및 도시철도는 운행 차량 중에 노화된 차량이 많아지고 있으며, 유지보수시간 및 비용이 증가하고 있음. 노후화되는 차량의 유지보수는 신뢰성이 가장 우선시 되어야 하며, 신뢰성 있는 유지보수는 철도차량의 안전운행으로 연결되기 때문에 관련 필요기술과 기술도출이 시급히 필요한 실정임
- 최근 해외철도시장은 단순히 차량, 인프라 등의 개별적 공급에서 벗어나 운용을 포함한 전체 철도시스템을 요구하는 추세이므로, IoT 기술을 철도 시스템 전체에 적용하여 세계 시장에서 경쟁력을 갖춘 지능형 자가진단 및 능동대응 기술 개발이 시급이 요구됨. 중국의 저가공세와 철도 선진국의 기술력에 밀려 존폐의 위기에 있는 철도산업의 해외 진출을 위해서는, 정부가 주도하는 기술 개발이 시급함
- 경영효율 측면에서 검수주기 연장과 유지보수비용의 절감에 대한 요구를 만족시킴과 동

시에 안전성을 확보하기 위한 신뢰성 있는 진단 및 검사 기술 개발이 필요함. 제4차 산업혁명에 따른 인공지능, 빅데이터, IoT 등을 철도차량 유지보수에 접목시킨 국내 고유 기술개발이 시급함.

3. 정부 상위계획과의 부합성

- 제3차 국가교통기술개발계획의 중점 추진과제로써 “빠르고 지능적인 철도”, “안전하고 편리한 철도”, “정확하고 경제적인 철도”로 구분하고 있으며, 외국기술 의존 심화, 고장원인 분석과 해결지연으로 인한 운행 차질 초래 등 장기적인 관점에서 철도의 안정성 확보를 위한 근본적인 기술개발 필요함.
- 국토교통 연구개발 중장기 전략(2014-2023)에서는 미래가치 창출을 위한 10대 중점 프로젝트를 발굴·제시하고 있으며, 철도교통시스템의 안전성 및 경제성을 위한 기술로 “철도차량 및 인프라 상태를 자동으로 실시간 모니터링, 진단 및 유지보수 기술을 개발하여 안전사고 예방 기술”에 부합한 과제임.
- 제3차 철도안전종합계획(2016~2020)에서는 비전으로는 “국민이 안심하고 신뢰하는 인명중시 철도안전 구현”과 목표로써 대형철도사고 ZERO화, 철도사고 30%감소(2020년까지)를 설정하고 있으며 이에 부합한 과제임.

4. 경제적 타당성

- 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행함. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2023년에서 2033년까지 10년간으로 분석하였으며, 상용화 사업기간은 2023년에서 2025년까지 3년으로 가정하였음. 편익발생기간은 상용화 사업완료 후 20년 인 2045년까지 20년간으로 분석하였음.
- 개발된 기술을 상용화하여 유지보수인력 투입비용이 절감됨에 따른 편익을 산출하였음. 량당 평균 약 0.1억원/년씩이 절감되어 총 5,934량에 대해 도입 시 연간 편익이 587.88억원에 이를 것으로 추정되었음.
- 분석 결과 B/C는 1.20으로 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타남.

5. 정부 미지원시 문제점

- 첨단 IoT·ICT 기술을 융합한 모니터링 및 진단기술 미개발로 인하여 선진국의 첨단 유지보수기술 및 유지보수장비의 종속화, 관련기술 경쟁력 저하, 관련분야 해외 시장 진출 불가 등의 문제점 발생이 예상됨

5절 자원투입계획

1. 연구시설 및 장비투입계획

- 1세부 장비 및 하드웨어 개발이 필요한 기술 개발과제의 경우 시제품 제작비 등을 반영함
- 2세부 분석평가 기준 소프트웨어 및 유지보수 체계 기술 개발에 관한 과제는 프로그램 개발의 특성을 고려하여 연구시설 및 장비투입계획에 낮은 연구비가 배분됨

2. 인력투입계획

- 1세부과제는 2~4차년도가 집중소요기간이며, 1~2차년도에 상세제원 및 시제품 설계제작에 관한 연구개발을 집중 수행하고 3~5차년도에 기술수요자, 실무자의 피드백을 받아 현장 적용성 측면에서 연구를 수행함
- 2세부과제는 1~3차년도가 집중소요기간이며, 3~4차년도에 연구개발을 집중 수행하고 5차년도에 기술수요자, 실무자의 피드백을 받아 활용성, 경제성 측면에서 연구를 수행함

3. 소요예산 투입계획

- 연구비

[표 6.10] 지능형 자가진단기반 능동유지보수기술 소요예산

[단위:억원]

세부과제명		연차		1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		총연구비	
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
1세부	스마트센서기반 철도차량 자동센싱기술 개발	15	4.0	28	8.0	32	8.0	35	8.0	30	7.0	140	35		
	소계	19.0		36.0		40.0		43.0		37.0		175.0			
2세부	자가진단 및 능동유지보수기술 개발	15	3.5	25	5.25	25	6.25	20	5.75	15	4.25	100	25		
	소계	18.5		30.25		31.25		25.75		19.25		125.0			
합계		37.5		66.25		71.25		68.75		56.25		300			

6절 과제공모방안

1. 연구단 과제제안요구서(RFP)

- 연구단 총괄 RFP
- 1세부 과제 : 스마트 센서기반 철도차량 자동센싱기술 개발 RFP
- 2세부 과제 : 차량 주요장치 자가상태진단 기술 및 유지보수지원 시스템개발 RFP

2. 공모조건

- 과제 공모조건 제시

3. 선정평가 방법

- 선정평가 기준 및 세부평가항목과 배점 제시

제7장 수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템 개발분야 요약

1절 기술의 정의 및 필요성

1. 기술의 정의

- 신재생에너지 가운데 외부로부터 전력을 공급받지 않고 독립적으로 철도차량의 추진동력을 발생시키기 위해 적합한 에너지원으로서 철도차량의 제한된 공간 및 중량, 연료공급의 용이성 및 안정성 등을 고려해 보면, 바이오 디젤, 수소에너지, 연료전지 등이 적합하다고 분석되었으나 바이오 디젤은 환경과 품질에 대한 문제점(경유대비 NOx배출량 22% 증가 및 연비 8% 수준)과 공급 안정성 문제 등에 의해 친환경을 요구하는 대중교통 등에 적용하기는 어려움.
- 신재생에너지를 통해 발생이 가능한 수소를 적용한 연료전지는 자동차 및 버스등의 수송용 전원으로서 이미 상용화되어 있고 미국, 일본, 중국을 비롯한 유럽에서 철도차량의 수송용 전원으로서 적용하려는 연구 및 실용화가 빠르게 진행되고 있음.
- 수소연료전지를 이용한 수송용 전원은 기존 에너지 효율이 30%인 내연기관보다 높은 50%이상의 효율을 나타내고 공해배출이 전혀없는 친환경 전원으로서 수소연료전지와 배터리를 조합한 하이브리드 기술을 적용하면 화물 또는 승객 수송용 철도차량에서 요구하는 부하조건하에서 1회 수소충전시 주행거리를 충족시킬 수 있을 것으로 기대됨.
- 수소연료전지를 적용한 하이브리드형 철도차량의 주요 핵심기술은 배터리를 결합한 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 및 관련 제어기, 발전된 에너지 또는 회생 에너지에 대한 에너지 흐름을 용이하게 제어하기 위한 전력변환시스템, 전동기를 효율적으로 제어하기 위한 추진제어시스템 그리고 이들 시스템들을 실시간 통합적으로 관리하기 위한 스마트에너지관리시스템 등으로 구성됨.
- 주요 핵심기술 중 전력변환시스템은 발생된 전력을 필요시 철도전력망 또는 외부 전력망등으로 계통 연계시킬 수 있는 소규모 독립전원으로서 사용이 가능하도록 개발되므로 철도망이 유지된 지역등에서 재해·재난 등에 의해 전력이 끊긴 지역에 신속하게 비상전력을 공급할 수 있을 것으로 기대됨.
- 개발 예정인 주요 핵심기술이 적용된 철도차량은 다양한 형식의 철도차량에 적용이 가능할 것으로 보이며, 특히 디젤 내연기관을 동력원으로 하는 철도차량의 대체차량으로서 적합할 것으로 예상됨.

2. 기술의 필요성

- (국가정책 부합) 프랑스 파리에서 2015년 12월 12일 195개국, 모든 국가가 기후변화 대응노력에 참여한다는 큰 틀의 “파리협정”에 따라 온실가스 유엔기후변화협약(UNFCCC) 이행

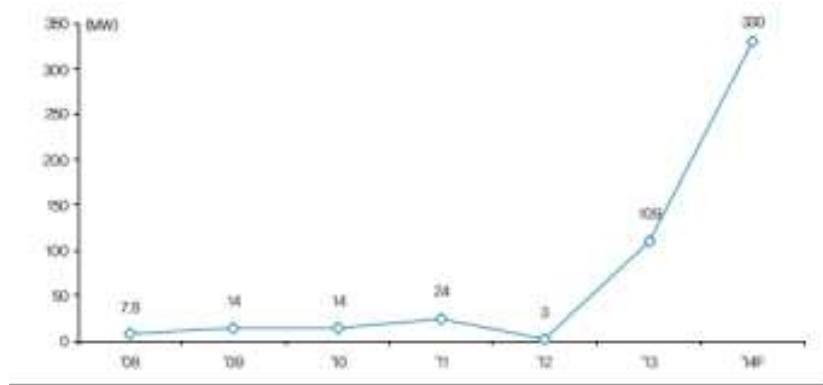
- **(철도인프라 구축비용 저감 및 사고원인 제거)** 기존 전차선을 통한 전력공급 방식은 변전소, 전차선 등 전력인프라가 필요하고 그에 따른 건설비용등이 수반되고 전력인프라 관련사고의 발생될 수 있으나 별도의 외부 전력설비로부터 에너지를 공급받지 않는 에너지 자립형 철도시스템인 대용량 수소연료전지를 활용한 철도차량 추진시스템 기술의 확보가 필요함.
- **(배출가스 및 미세먼지 저감)** 2016년 교통연구원 및 환경부의 조사에 따르면 디젤기관차 233대가 연간 운행하면서 배출하는 오염물질 배출량은 질소산화물 5,303톤 및 미세먼지 970톤에 달할 것으로 예상
- **(에너지 분야의 4차 산업혁명)** 수소연료전지의 철도교통분야 적용은 4차 산업혁명의 에너지 분야 에너지 4.0의 대부분 주요기술이 활용되는 대표적인 시스템으로서 국가적 미래를 선도할 고부가가치의 고급기술임에 따라 연구개발사업이 필요함.
- **(에너지 자립기반 구축)** 국내에서 사용하는 에너지의 95.2%(2014년도 기준)를 해외에 의존하고 있고 에너지원 중 석유에 대한 의존도는 38.1%를 차지하고 있어 에너지의 해외의존도를 줄이고 국내 에너지 자립의 필요성이 높아지고 있음.
- **(사업 미수행으로 인한 문제 대두)** 수소연료전지 하이브리드 철도차량 연구개발사업 미수행시 계속적으로 철도시스템의 에너지 대외의존도 상승, 철도시스템 노후화에 따른 공해 유발문제 잔존, 국내 철도차량 기술의 국제경쟁력 확보 실패, 수소경제사회로의 진입 기회 상실 등의 문제 발생.

2절 국내외 동향 및 환경분석

1. 국내외 시장현황

- 세계 여러 국가각 신재생에너지원의 확대를 정부정책의 중요한 기조로 삼고 있기 때문에 태양광, 풍력, 수력등에 대한 비중을 높여가고 있고 이에 따라 관련 시장도 확대되고 있는 실정임.
- 수소연료전지는 탄화수소계 원료를 사용하여, 전기화학반응을 통해 전기와 열을 생산하는 친환경, 고효율 에너지 생산기기이므로 각 나라의 에너지 가격 체제(전기요금, 열요금, 가솔린 등의 연료요금)가 연료전지 초기시장 형성 규모 및 산업화에 커다란 영향을 미침
- 수송 분야의 연료전지는 각국의 친환경 자동차 정책에 의해 시장이 형성되는 분야로, 충전 인프라를 포함할 경우 시장에 미치는 파급력이 매우 클 것으로 기대됨.
- 대형 트럭, 소형 선박, 비행체, 지게차, 캠퍼, 요트 등의 보조 전원 시장은 연도별 100% 이상의 시장성장을 이루고 있으며 연료전지 연료 다변화 기술을 통한 단기 시장 진입시 고수명, 친환경, 저소음이라는 장점으로 인해 신규 시장 창출과 동시에 고부가가치 산업으로의 성장 가능성이 높음
- 정부는 2003년 8월 연료전지 분야를 차세대 성장 동력의 하나로 선정하고 2011년 세계 3위 기술 보유국 및 시장 점유율 20% 달성을 목표로 본격적인 투자를 계획³⁾

- 국내 연료전지 시장은 2014년을 기준으로 총 보급량 199.4천 톤 규모로 최근 5년간 연료전지 보급량은 빠르게 증가⁴⁾
- － 그 비중은 신재생에너지 전체 보급량의 2013년 1.2%에서 2014년 1.7%로 비중이 전년대비 62.9% 증가하였으며, 2011년 전체 신재생에너지 공급량의 0.8%에서 103% 증가하고 발전량의 경우 2013년 전체 신재생에너지 발전량의 2.7%에서 2014년 3.5%로 증가

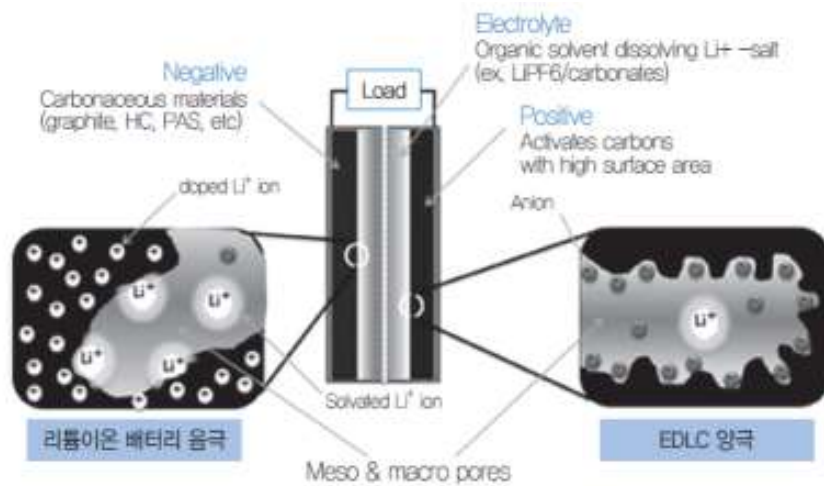


출처: 산업통상부, 메리츠증권증권 리서치센터

[그림 7.1] 국내 연료전지 설치량 추이

2. 연구개발과제 관련 요소기술 조사

- 전력기반 수송시스템 구동용 에너지저장장치에 대한 기술로 리튬이온전지, 리튬-유황전지, 슈퍼커패시터 등의 요소기술 조사 수행



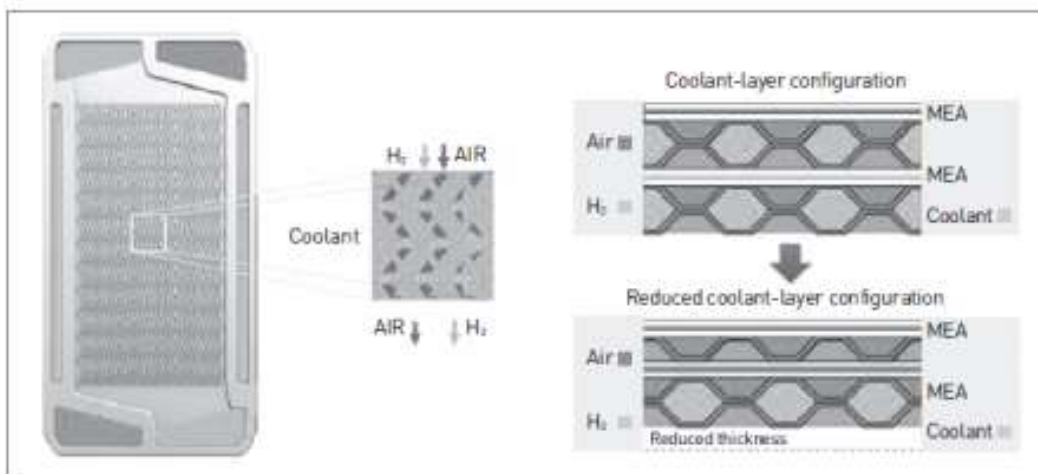
[그림 7.2] 리튬이온 커패시터의 구조와 작동 원리

- 리튬이온 커패시터는 리튬이온전지와 슈퍼커패시터의 장점을 모두 갖춘 새로운 개념의 에너지 저장기기로 리튬이온전지의 음극과 슈퍼커패시터의 양극을 결합하여 충·방전 과

3) 연료전지 시장현황과 전망, 한국에너지공단
4) 2016 신재생에너지 백서

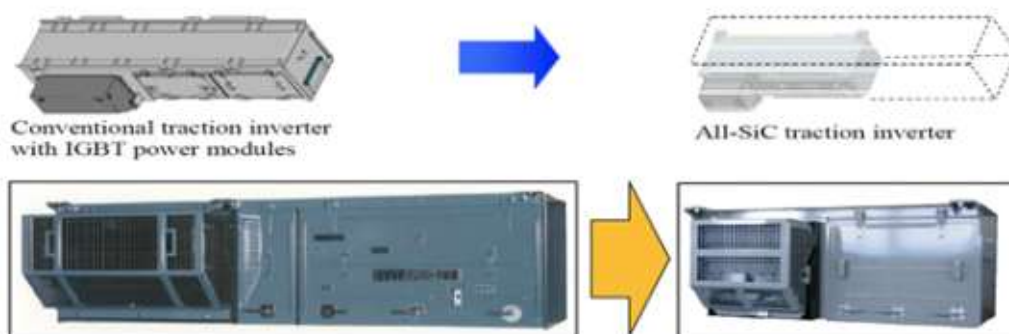
정동안 슈퍼커패시터의 전기이중층 반응으로 고출력을 얻고, 반대 전극에서 리튬이온전지의 화학반응으로 높은 에너지 저장을 구현할 수 있는 장점을 갖춘

- 수송용 수소연료전지는 기존 수송시스템의 엔진에 해당하는 연료전지시스템과 전장장치, 수소저장장치로 구성되어 있으며 연료전지시스템에는 연료전지 스택과 수소, 공기, 물을 관리하는 운전장치로 분류되며 관련 요소기술 조사 수행
- 연료전지 스택과 수소, 공기, 물을 관리하는 운전장치로 분류되는 수송용 수소연료전지는 미국 GM, 독일 Daimler, 일본 Toyota, Honda, Nissan, 현대자동차 등에서 연구가 진행되었으며, 최근 소형화, 내구성/신뢰성, 품질관리 등에 대한 요소기술 연구 수행



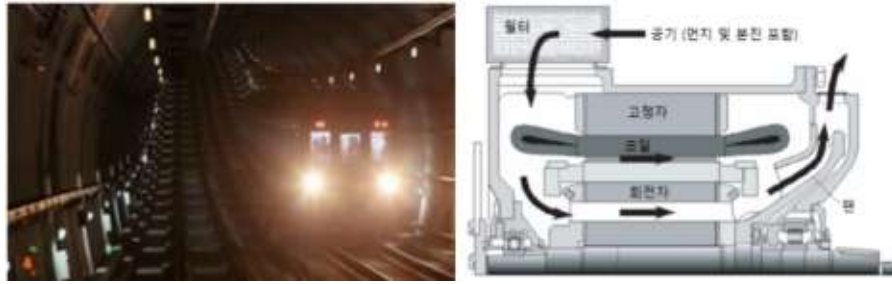
[그림 7.3] 분리판 형태 및 이를 이용한 스택적층 부피 저감 형태

- 수송용 수소저장탱크는 사용재료와 강도보강법에 따라 고압수소저장용기는 Type 1,2,3 및 4로 나타내며 저장압력 증가를 위해 사용 재료에 대한 연구가 진행 중
- 추진시스템의 전력변환장치(C/I) 관련 요소기술은 차세대 전력반도체 소자를 이용한 소형화, 경량화에 초점을 맞추고 있으며, 효율증가를 통한 에너지 소비 개선도 연구 중임.



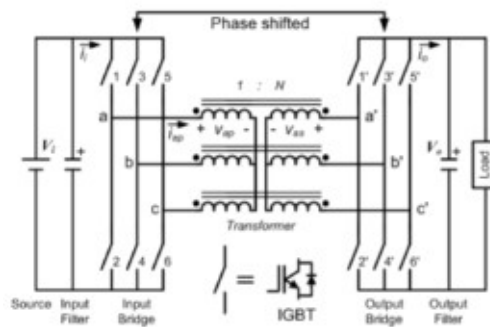
[그림 7.4] 차세대 전력반도체 소자(SiC)를 이용한 추진 인버터

- 추진시스템의 전인전동기는 에너지 효율이 높고 회생 효율이 높은 영구자석동기전동기 적용에 대한 연구 및 설계 최적화를 통해 유지보수향상 기술들이 개발되고 있음



[그림 7.5] 지하 먼지 및 분진의 외부공기 흡입 냉각

- 에너지저장장치를 비롯한 여러 장치들간의 전력흐름을 위한 전력제어는 DC/DC컨버터를 통해수 수행되며, 고압, 대용량의 양방향 DC/DC 컨버터의 소형화, 효율화 등에 대한 연구가 진행됨



[그림 7.6] 이중 능동브리지방식 양방향 DC/DC 컨버터

3. 기술수준 분석

- 에너지저장장치, 소송용 연료전지시스템, 추진시스템, 전력제어시스템, 수소연료전지 발생 및 충전 기술들을 관련 선정된 요소기술대한 연구 동향에 대해 분석함.
- 2번의 자문회의를 진행하였으며, 설문지 조사방법을 통해 기술분석 결과 도출
- 조사기간은 2017년 2월 27일(월) ~ 3월 10일(금) 약 2 주간 22인의 전문가를 대상으로 국내 수소연료전지 기반 철도차량 기술의 적용 분야를 수요 조사하고, 관련 산업계에서 필요로 하는 기술의 필요성 및 활용성, 요구사항, 기대효과, 애로사항 등 파악
- 수료조사를 위한 4단계의 절차의 연구개발 세부과제 도출 방법과 기술수준 분석 방법 제시



[그림 7.7] 연구개발 세부과제 도출 과정

○ 기술 일반사항에 대한 결과는 다음과 같이 조사됨



수소연료전지 분야의 연구 시급성이 높은 분야 수소연료전지 분야의 적합 적용 차량 유형



수소연료전지 분야의 현장 적용 시 애로사항 수소연료전지 분야의 핵심요구사항

- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야는 유사·중복 과제 통합 과정을 거쳐 1차 도출 제안과제 수 34개에서 최종 제안 과제 수 24개로 축소
 - 스마트 에너지관리 시스템, 수소연료전지 전장품의 소형화 및 경량화, 친환경 동력시스템 및 제어알고리즘 등 공통 기술로 통합
- 최종 후보과제 선정을 위해 각 제안과제에 대해 목표 부합성 및 인프라 적정성에 대한 평가를 수행해 18개의 후보과제 도출하고 후보과제를 대상으로 기술수준분석 조사를 수행

[표 7.1] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과

과제 번호	후보과제	최고기술 보유국		국내 기술수준 (평균)
		1순위	2순위	
D-01	수소연료전지 발전을 위한 모듈형 DC/DC 컨버터 개발	독일	일본	75%
D-02	수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	독일, 일본	스위스	71%
D-03	영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발	일본	독일	57%
D-04	비상전력공급을 위한 상용계통연계형 전력변환시스템 개발	독일, 일본	프랑스, 미국	77%
D-05	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	독일, 일본	스위스	50%
D-06	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	일본	독일	88%
D-07	철도차량 주요 구성품 기술기준 개발	일본	독일	66%
D-08	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 및 제어 알고리즘 개발	일본	독일, 미국	55%
D-09	연료전지 및 배터리의 비율 결정(cost, size, 주행거리 등 고려) 연구	일본	독일, 미국	52%

과제 번호	후보과제	최고기술 보유국		국내 기술수준 (평균)
		1순위	2순위	
D-10	수소연료전지와 배터리의 하이브리드 운용 최적화	일본	독일	54%
D-11	수소연료전지 하이브리드 시스템 조합시험용 test bench구축	일본	독일, 영국, 미국	48%
D-12	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	일본	독일	47%
D-13	수소연료전지 하이브리드 철도차량 안전성확보를 위한 기술기준마련	일본	독일	47%
D-14	태양광/풍력 연계 수전해 등 친환경 수소 생산 기술이 일부 적용된 수소충전소 실증 연구	일본	독일	47%
D-15	수소안전성 및 신뢰성확보를 위한 법규/제도 검토	일본	독일	60%
D-16	유지보수 기술 정립 및 정비 전문가 육성	독일	일본, 미국	55%
D-17	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증 시험 및 운전	일본	독일	56%
D-18	1회 충전으로 영업 다이어 운영 가능 연구	일본	독일	52%

- 수소연료전지 분야 18개 후보과제에 대한 평가지표별 절대평가(7점 척도) 점수에 평가
지표별 가중치(AHP)를 반영하여 다음과 같이 최종 평가점수 및 순위를 도출하였으며
평가결과 5.5점 이상인 10개 후보과제를 최종 연구과제로 선정

[표 7.2] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야 최종 연구 과제

순위	과제번호	후보과제명	과제 내용
1	D-08	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 및 제어 알고리즘 개발	• 수소연료전지/2차전지 하이브리드 동력시스템 개 발 및 설계
2	D-04	비상전력공급을 위한 상용계통 연계형 전력변환시스템 개발	• 상용계통연계형 전력변환장치 개발
3	D-02	수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템 의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	• 수소연료전지 발전, 배터리 충/방전, 추진인버터를 포함하는 전력변환장치 및 제어기법 개발
4	D-05	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제 어기 설계검증용 플랫폼 구축	• 철도차량 제어기 설계 및 제작검증을 위한 모의환 경 플랫폼 개발
5	D-07	철도차량 주요 구성품 기술 기준 개발	• 새롭게 철도차량에서 사용되는 수소연료전지관련 기술기준 개발
6	D-17	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차 량을 통한 실증 시험 및 운전	• 철도차량의 주행특성에 따른 수소연료전지 하이브 리드 시스템의 검증을 위해서 기존차량 개조를 통 한 운전 및 데이터 획득
7	D-03	영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반 의 추진시스템 개발	• 영구자석동기전동기 구동을 위한 SiC 소자 기반 전력변환장치 개발
8	D-06	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	• 수소연료전지/배터리, 추진시스템의 실험을 Test Bench 구축
9	D-12	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	• 수소충전인프라 설계기술 개발 및 활용방안 연구
10	D-09	연료전지 및 배터리의 비율 결정 (cost, size, 주행거리 등 고려) 연구	• 철도차량의 운행특성을 고려해 최적 효율 달성을 위 한 수소연료전지와 배터리의 최적 효율 도출 연구

4. 유사과제 분석 및 기존기술(연구)와의 차별성

[표 7.3] 기존연구와의 중복성 및 연계방안

과제명 (연구기간)	주관	수행기관	내용	구분
차세대 수소연료전지 Fuel Processing 핵심 원천기술 개발 (2014-2017)	교육부	서울시립대 학	저부가가치 바이오연료 부산물을 수소연료전지 연료로서 전환, 공급하는 차세대 촉매 및 분리막 반응기(반응공학기술) 원천기술 개발	연료전지 촉매개발 관련 연계가능
On-Board 개질형 수소연료전지 하이브리드 자동차 연구 (2015-2020)	미래창조 과학부	전남대학	DME 개질 및 수소 정제 시스템, 부품/시스템의 전산해석 및 설계기술 개발, 초소형/고감도 복합센서 개발 및 집적화, 하이브리드 동력시스템의 통합제어를 위한 개질시스템	연료종류에 따른 개질기술 필요시 연계가능
수소연료전지 핵심요소 기술개발 (2012-2015)	미래창조 과학부	한국에너지 기술연구원	고효율, 저가형 연료전지용 핵심소재 원천 기술 개발 및 탄화수소 개질 시스템 및 수소저장 소재 기술 개발	연료전지 개질시스템개 발시 연계가능
고효율,경량,고내구성 수소연료전지(PEMFC)용 장섬유/나노탄소복합소재분리판개발 (2011-2013)	미래창조 과학부	한국과학기술원	경량, 고효율의 PEMFC 제작과 혁신적 구조를 가진 레독스 흐름전지의 구조를 최적화하여 기존 연구 대비 높은 효율과 출력, 낮은 재료원가 달성	연료전지 스택 개발시 연계가능
수소연료전지차용 400V 스택의 적층수 감소를 위한 스택 및 부품설계 기술개발 (2015-2020)	산업통상 자원부	자동차부품 연구원	수소연료전지차용 400V 스택의 적층수 감소를 위한 스택 및 부품설계 기술개발	연료전지 스택 개발시 연계가능
수소연료전지 부품 및 응용기술 지역혁신센터 (2008-2018)	산업통상 자원부	우석대학	신재생에너지분야와 자동차 부품 및 기계분야를 융합하여 성장 잠재력이 큰 수소연료전지 부품 및 응용기술 확보와 산업화를 통한 지역산업구조 개선과 중소기업 육성	연료전지 스택 개발시 연계가능
100kW급 고온 연료전지-엔진 하이브리드발전시스템 엔지니어링 기술개발(2014-2017)	산업통상 자원부	한국기계연 구원	발전효율 향상을 위한 100kW 분산발전용 고온 연료전지(SOFC) 기술 개발	SOFC 선정시 연계가능
수소연료전지분야 국제표준화 체계구축 (2013-2015)	산업통상 자원부	포항공과대 학	국제표준화에 대응하는 국내 표준화/부합화 계획 및 체계 확립 - 국내 개발 기술의 국제표준화 제안	관련표준 구축시 연계가능
수소연료전지자동차 안전성평가 기술개발 (2007-2012)	한국건설 교통기술 평가원	교통안전공 단	현행 안전기준에 포함되어 있지 않는 분야인 수소연료전지에 대한 평가기술 개발과 함께 안전기준(안) 및 시행세칙(안)을 도출 및 반영	관련표준 구축시 연계가능
수소연료전지 기초트랙 (2013-2015)	한국산업 기술평가 관리원	경일대학	대경권 수소연료전지 선도전략 산업 및 포항의 연료전지 테스트 베드의 활성화를 위한 수소연료전지 인력 양성	중복없음

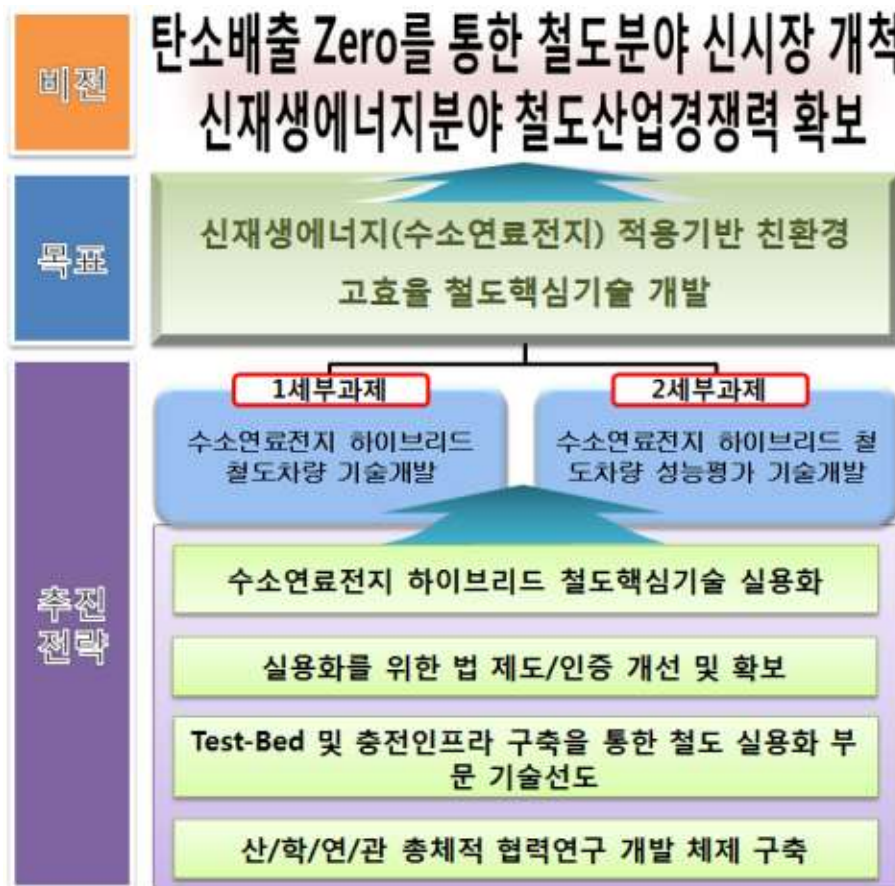
5. 국내 연구개발 인프라 분석

- 우리나라에서 철도전공을 개설하는 고등교육기관은 전문대 7개, 일반대학 4개, 대학원 2개이나 대부분 단순 기능인력 양성 위주로 운영되고 있으며, 국내 유일의 철도전문연구기관인 한국철도기술연구원의 경우 국내외 다양한 전공의 박사인력을 흡수하여 상대적으로 열악한 국내 철도 연구인력 수급을 보충하고 있음
- 국책 연구소인 한국과학기술연구원 민간업체인 현대자동차, 모비스등에서 수소연료전지 관련 연구인력을 다수 보유하고 있음
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발에 있어 실제 차량제작을 수행하진 않았으나, 차량구성의 요소기술에 대한 연구는 부분적으로 진행되어 초기단계로 볼 수 있음
- 무가선 하이브리드 저장트램 개발을 통해 배터리를 이용한 철도차량의 운행기술에 대한 기술확보가 되었으며, 수소연료전지 하이브리드 철도차량에도 활용 가능할 것으로 판단
- 무가선 하이브리드 저장트램 개발에 적용된 운행모드별 전력관리 개념이 본 프로젝트에서도 필요한 만큼 기 연구된 사례를 바탕으로 시행착오 최소화 가능
- 수소차 개발을 꾸준히 진행한 현대자동차가 버스용 200kW급 수소연료전지 스택을 구성하고 있음에 따라 이를 활용하여 철도차량에 적합한 수소연료전지 스택 구축이 가능
- 현대자동차는 연료전지스택뿐만 아니라 수소탱크도 국내기업들과 함께 개발하여 기술을 확보하고 있고, 철도차량에 적용되는 수소탱크 기술은 수소차에서 사용된 것과 동일하기 때문에 그대로 활용가능
- 한국철도기술연구원에서는 수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술과 관련하여 3년에 걸쳐 연구를 진행하였으며, 전력시스템에 적용될 여러 토폴로지의 장/단점을 분석하고 이를 바탕으로 최적의 구성으로 가선전압을 수소연료전지로 하는 축소모델을 구축하여 수소연료전지부터 전동기까지 기본적인 동작 확인과 모드별 제어 전략 수립
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발을 국외연구사례와 비교해볼 때 연구의 시작이 늦다고는 할 수 있으나 본 프로젝트의 바탕이 되는 기본 기술들은 이미 국제수준에 근접해 있으므로 관련 기술진을 활용하는 경우 성공적으로 연구를 진행할 수 있음
- 과제의 성공적 수행을 위한 연구인프라는 21년동안 철도분야 연구를 꾸준히 수행해오는 동안 한국철도기술연구원에 구축된 각종 장비들을 비롯하여 차량제작사별 구축된 장비 및 차량의 시운전을 위한 오송시험선이 2018년도에 준공이 됨에 따라 충분하다고 평가됨.

3절 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 연구개발 범위, 비전 및 목표

- (비전) 친환경 연료인 수소를 원료로 사용하는 수소연료전지 및 2차전지를 하이브리드 동력원으로 적용한 철도핵심기술을 이용하여 탄소배출을 없애고 관련기술의 실용화를 통한 기업참여기회 확대를 통하여 철도분야에 새로운 시장을 개척하고 국내시장의 확대에 따른 경쟁력확보로 해외시장으로의 진출을 위한 초석이 되고자 함.
- (연구개발목표) 비전을 달성하기 위하여 실용화를 위한 적용대상으로서 정격출력이 1.2MW(1,500마력)급 철도차량에 적합하고 1회 충전시 약 500km이상 주행이 가능하며 주행최고속도 110km/h가 가능한 수소연료전지 하이브리드 철도핵심기술을 연구 개발 목표로 하며 성과지표로 에너지 효율 20% 증가와 미세먼지 20 mg/km 저감 제시



[그림 7.8] 수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템 비전 및 목표

- 본 사업으로 인한 혜택: CO₂ 최대 361,113 톤/년 저감 및 미세먼지 저감 효과(국가, 국민), 전력인프라비용 일반지역 24.3억원/km 및 도시지역 29.1억원/km 저감(건설사, 지방자치단체), 유지보수비용 5억원/년km 저감(운행사), 기존 디젤기관차 대비 2배 연비 향상 가능(운행사), 전력피크시간 최대 165.2MWh 대응(국가, 국민) 가능

2. 기술개발에 따른 미래상

As is	To be
○ (내연기관철도) 급전설비는 불필요하나 탄소배출 및 낮은 효율 - 전기철도 대비 내연기관의 낮은 효율 - 복잡한 배기 조절 시스템 필요 - 화석연료의 사용과 탄소배출 ○ (전기철도) 전차선, 변전소 등 급전설비 필요 - 높은 건설비, 유지보수 비용 - 비전철화 구간 운행 불가 - 외부 전기공급 불능시 운행불가 ○ (무선급전방식) 무선급전 인프라 필요 - 무선급전을 위한 급전 인프라 필요 - 낮은 유도급전 효율(80%수준) - 외부 전기공급 불능시 운행불가 ○ (배터리방식) - 전기배터리의 낮은 충전효율 - 전기배터리의 큰 부피&무게 - 이동범위(주행거리) 한계	→ <Efficiency> - 내연기관 대비 높은 에너지 효율 * 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36% (연료생산효율 및 차량효율 종합 고려시 총괄효율 기준) <Eco-Friendly> - 운영사의 탄소/미세먼지 배출 Zero - 친환경교통 제공 * 수소연료전지의 경우 수소와 산소 반응을 통한 H₂O(물) 배출 - 유한한 화석연료가 아닌 무한한 수소를 사용하여 국가적 에너지 고갈 우려 불식 - 이동식 공기청정 효과로 공기환경 개선 (미세먼지 저감) * 수소연료전지의 깨끗한 산소확보를 위한 공기필터 사용 <Energy Stand-alone> - 외부 전력공급 없는 에너지독립형 시스템 - 비전철화 구간 운행을 통한 이용객 편의성 증진, 1회 수소충전시 긴 주행거리 확보 * 쓰나미, 전쟁 등에 의한 정전시도 운행하여 이용 편의성 제공 <Low Cost with High Safety> - 국가,운영자: 전차선 등 급전설비 불필요로 건설 및 운영사의 유지보수비 절감 및 급전설비관련 사고 원인 제거



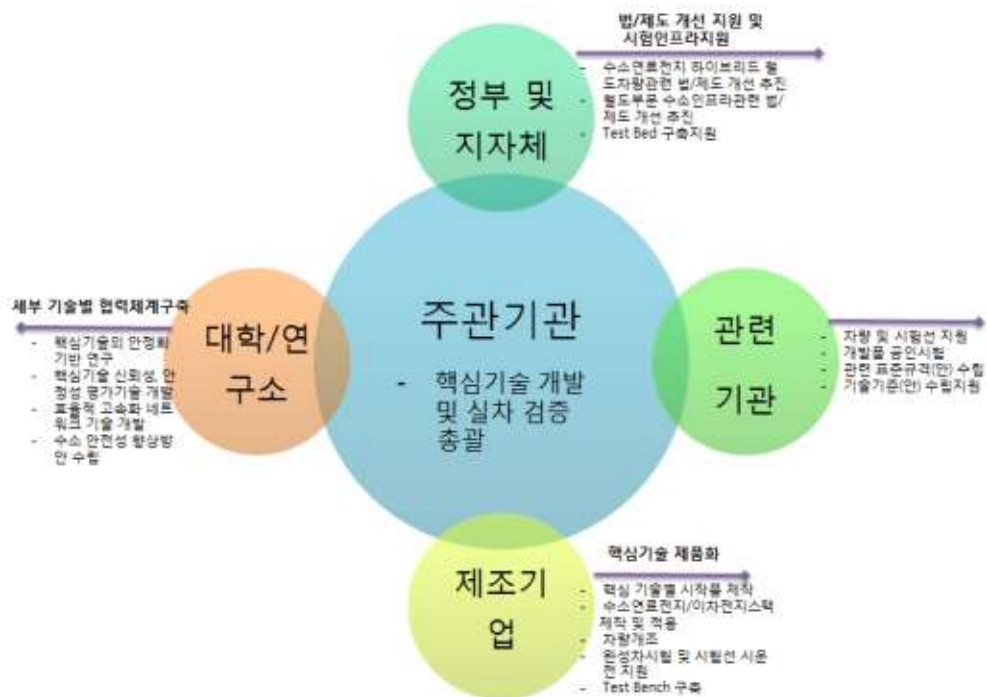
[그림 7.9] 신재생에너지 추진기술의 미래상

3. 연구개발과제 구성

- ‘1500마력급(1.2MW) 수소연료전지 하이브리드 철도핵심기술 개발’은 2개의 세부 과제로 이루어진 연구단과제로 추진
 - 세부과제 1: 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발
 - 세부과제 2: 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발

4. 연구개발 추진전략 및 추진체계

- 국가 철도전문연구소 및 학교, 전문 기관에서 기 확보된 주요 핵심 기술의 성능 보완 및 최적화를 추진하고 기업체에서 제품화를 추진할 수 있도록 산학연 공동연구 추진
- 공인 인증기관과의 공동 협력 개발을 통해 조속한 시일내에 국내외 공인기관의 시험성적서 확보 및 주요 핵심기술별 개발품의 신뢰성 확보

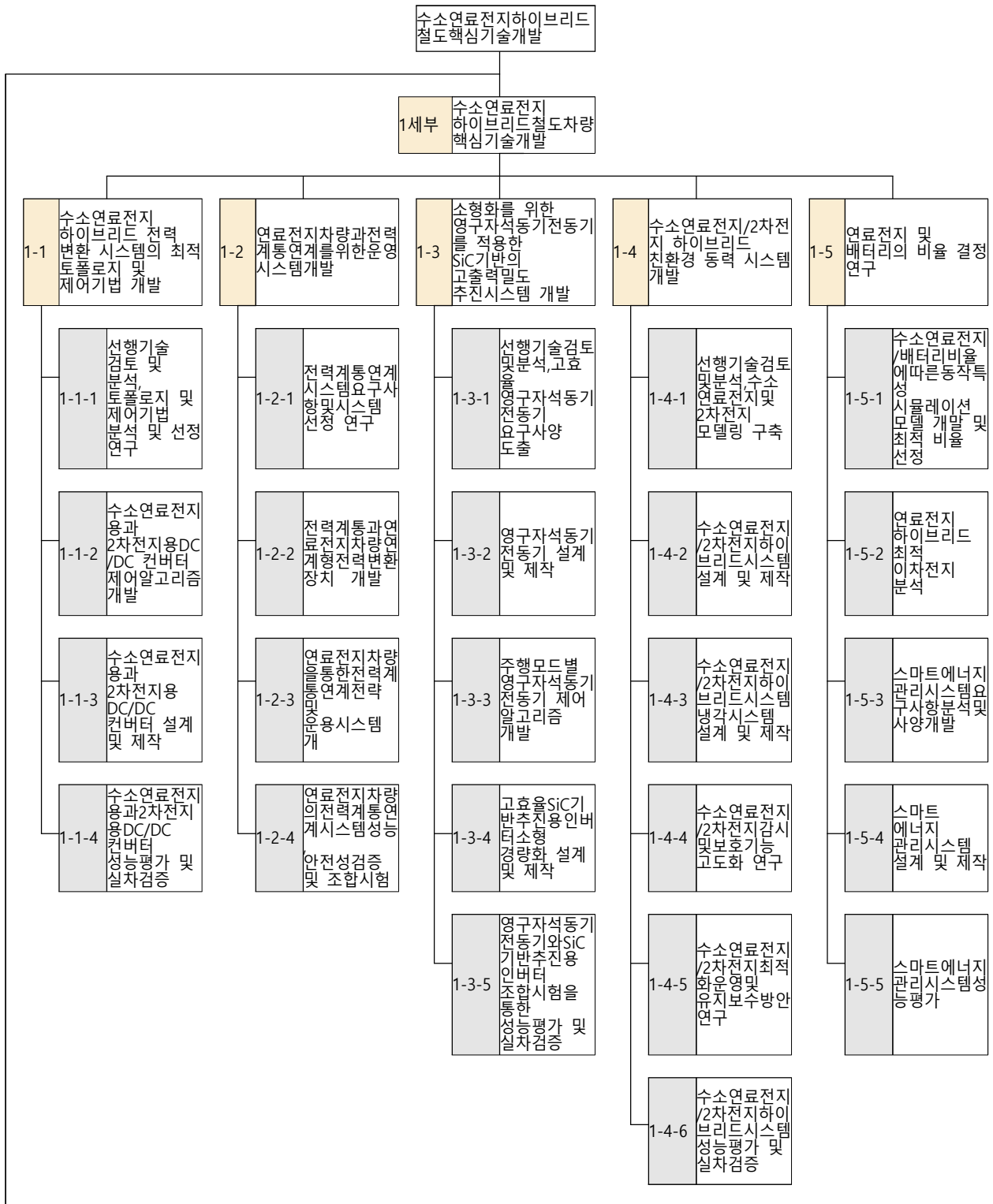


[그림 7.10] 수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템기술 연구추진전략

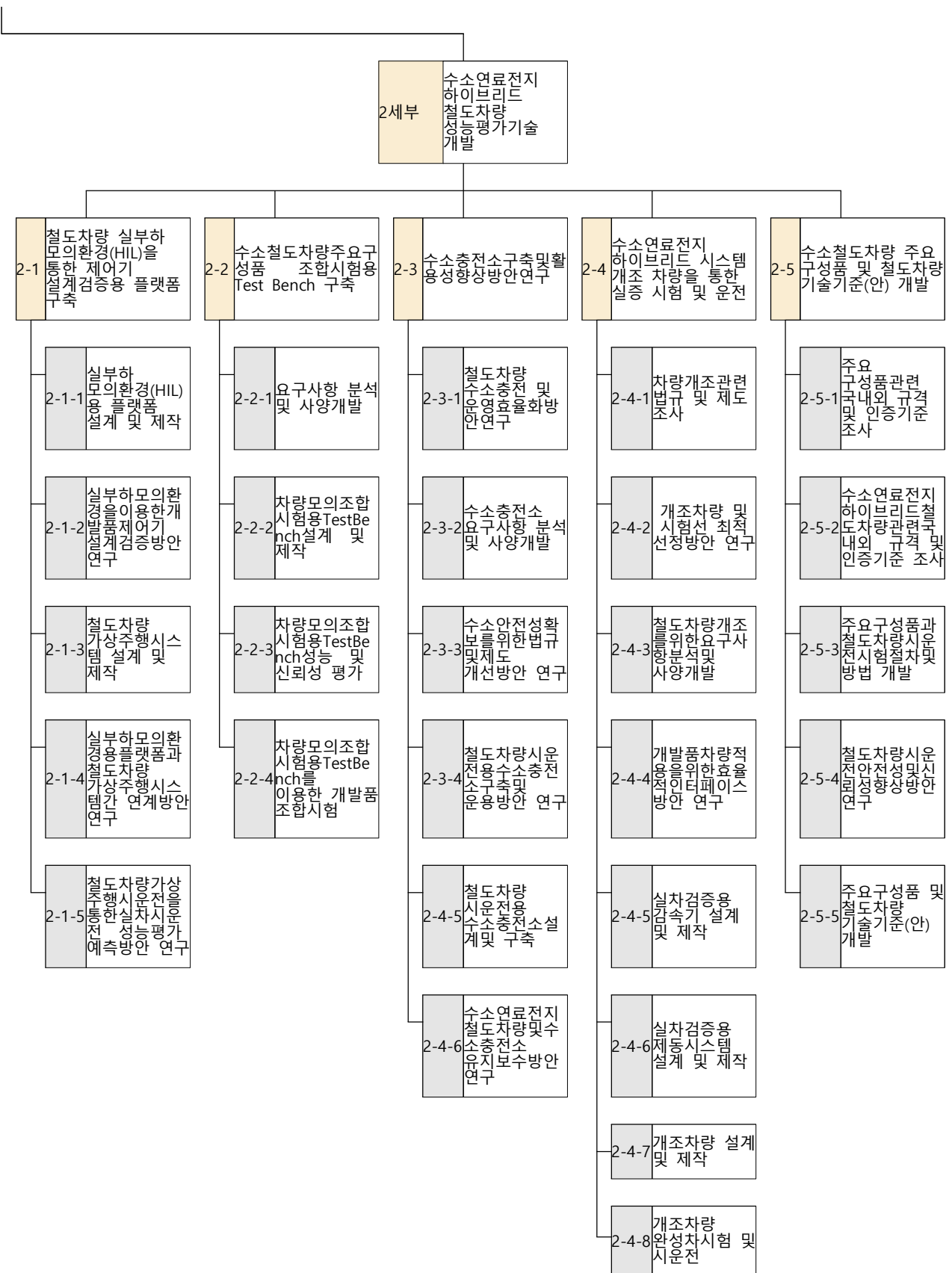
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량내 핵심기술별 독립적 개발추진 및 철도차량 탑재를 위한 유기적인 연계성을 고려한 1세부과제와 수소충전인프라와 관련 법규 및 제도에 대한 정립 그리고 핵심기술들에 대한 조합적 성능평가에 의한 개조차량을 통한 실차검증 등에 의해 실용화방안 수립을 위한 2세부과제로서 개발목표를 충실히 달성할 수 있도록 연구단 형태로 추진하는 것이 바람직함.
- 세부과제별 개발성격이 상이하나 하나의 개발목표 달성을 위해 두 개의 세부과제를 총

괄적으로 관리 운영하여 효율적인 계획 수립 및 추진될 수 있을 있도록 연구단 형태를 갖는 것이 바람직함.

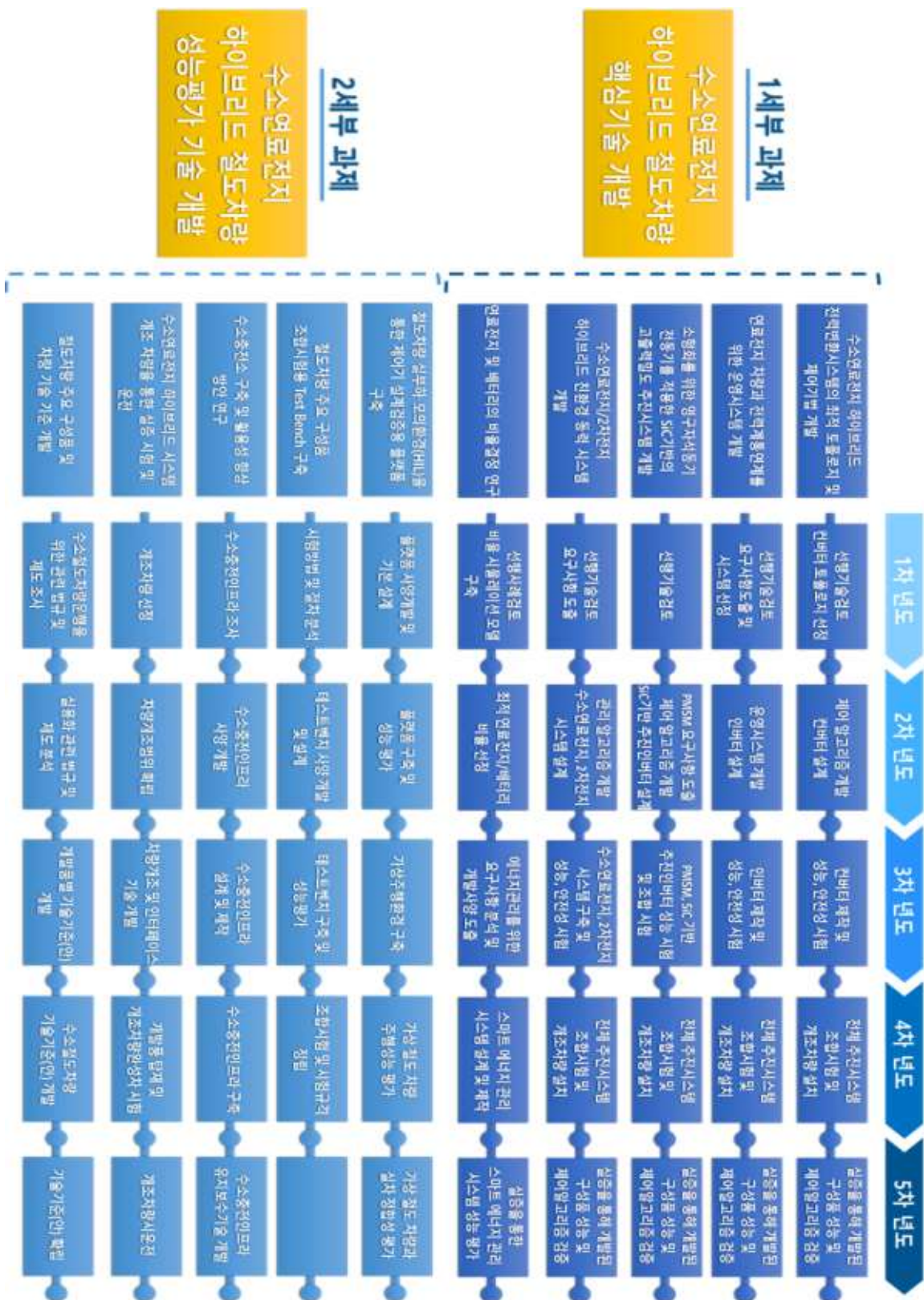
[표 7.4] 연구추진체계 구성 (1세부과제)



[표 7.5] 연구추진체계 구성 (2세부과제)



5. 기술/성과 로드맵



[그림 7.11] 연차별 세부과제 연구 로드맵

6. 최종성과물 및 성과지표

[표 7.6] 세부과제별 성과목표

세부과제명	세부기술	성 과
수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어 기법 개발	- 수소연료전지 단방향 DC/DC 컨버터 설계/제작 기술 2차전지용 양방향 DC/DC 컨버터 설계/제작 기술 - 수소연료전지와 2차전지의 DC/DC 컨버터 발전 성능 시뮬레이션 모델 - 수소연료전지/2차전지 운용제어 알고리즘 - DC/DC 컨버터 스택 및 냉각구조 설계/제작 기술
	연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	- 차량용 계통연계 전력변환시스템 설계/제작 기술 - 계통연계 시뮬레이션 모델 - 차량용 계통연계 운영시스템 및 시나리오
	소형화를 위한 영구자석 동기 전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발	- 고출력 밀도 영구자석동기전동기 설계기술 - 영구자석동기전동기 특성해석 시뮬레이션 모델 - 고출력 밀도 SiC기반 인버터 설계/제작기술 - 운행 모드별 영구자석동기전동기 운영 및 제어 알고리즘 - 추진시스템 성능 시뮬레이션 모델
	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발	- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 설계 및 제작 기술 - 하이브리드 시스템의 구조 및 냉각 시스템 설계 기술 - 수소연료전지와 2차전지의 제어 알고리즘 - 하이브리드 시스템의 성능 시뮬레이션 모델
	연료전지 및 배터리의 비율결정 연구	- 국내 대표 노선의 운행에 따른 에너지 팩턴 - 운행 팩턴에 따른 연료전지/배터리 비율 최적 선정 알고리즘 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 스마트 에너지 관리시스템 설계 기술 및 시뮬레이션 모델
수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	- 철도차량 실부하 모의환경(HIL) 플랫폼 설계 및 제작기술 - 제어기 설계검증 매뉴얼 - 실차수준의 가상주행시스템 설계 및 제작기술
	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	- 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 설계 및 제작기술 - 조합시험 성능평가 매뉴얼
	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	- 수소충전소 설계 및 설비구축기술 - 철도차량 및 수소충전소 운영매뉴얼 및 유지보수 매뉴얼 - 철도차량 수소안전성관련 법/제도 개선안
	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증시험 및 운전	- 개조차량 설계 및 제작기술 - 감속기 설계 및 제작기술 - 제동시스템 설계 및 제작기술 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 완성차 및 시운전 시험절차서 및 기록서 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 운영매뉴얼
	주요 구성품 및 철도차량기술기준 개발	주요 구성품 및 수소연료전지 하이브리드 철도차량 기술기준(안)

세부과제명	세부기술	성과목표
수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	• 전력변환시스템의 최적도플로지 및 제어기 개발	• 전력변환시스템 설계 및 시제품 제작, 성능평가
	• 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	• 계통연계형 운영시스템 설계 및 시제품 제작, 성능평가
	• 수소연료전지 철도차량용 추진시스템 개발	• 추진시스템 설계 및 시제품 제작, 성능평가
	• 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 개발	• 동력시스템 설계 및 시제품 제작, 성능평가 • 동력원비용 최적화 기법구축 • 스마트 에너지 관리시스템 설계 및 시제품 제작, 성능평가

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0 ~ 1)	목표치 설정근거
보고서	관련보고서	작성 건수	건	5	0.1	적용기술 확보 및 연구
시제품	제작품 구축,설계(안)	구축,제작 건수	건	5	0.3	구축 및 활용 기술 확보
학술성과	국내외 학술지 논문 게재	게재 건수	건	15	0.1	적용기술의 학술가치, 발표/게재를 통한 검증
지식재산권	특허 출원/ 소프트웨어개발건수	출원 및 개발건수	건	8/6	0.2	개발기술의 실용성 확보
기술성능 목표달성	조합시험 및 Test Bed 실차 시운전 검증	조합시험성적서 및 실차 완성차/시운전 성적서	%	100	0.3	개발 결과 성능평가

[그림 7.12] 수소연료전지 하이브리드 철도차량핵심기술 성과지표

세부과제명	세부 기술	성과목표
수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발	• HIL을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	• 제어기 설계검증용 플랫폼 설계 및 시제품 제작, 성능평가
	• 주요 구성품 조합시험용 시험설비 구축	• 시험설비 설계 및 제작, 성능평가 메뉴얼
	• 수소충전소 구축 및 활용성 향상방안 연구	• 수소충전소 설계사양서 및 임시충전소 운영메뉴얼 • 운영 및 유지보수 메뉴얼, 수소안전관련 법/제도 개선안
	• 실차 시운전 검증 및 관련 기술기준안 개발	• 검증용 실차 설계, 제작 및 시운전 • 주요 구성품 및 수소연료전지 하이브리드 철도차량 기술기준안

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0 ~ 1)	목표치 설정근거
보고서	관련보고서	작성 건수	건	5	0.1	적용기술 확보 및 연구
시제품	제작품 구축,설계(안)	구축,제작 건수	건	3	0.3	구축 및 활용 기술 확보
학술성과	국내외 학술지 논문 게재	게재 건수	건	5	0.1	적용기술의 학술가치, 발표/게재를 통한 검증
지식재산권	특허 출원/ 소프트웨어개발건수	출원 및 개발건수	건	6/4	0.2	개발기술의 실용성 확보
기술성능 목표달성	Test Bed 실차 시운전 검증 및 기술기준안	실차 완성차/시운전 성적서 및 기술기준안	%	100	0.3	개발 결과 성능평가 및 기술기준안

[그림 7.13] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 성과지표

4절 사전타당성 검토

1. 수소연료전지 하이브리드 철도추진기술 논리모형

[표 7.7] 수소연료전지 하이브리드 철도추진기술 논리모형

1. 이슈 / 문제				
□ 프랑스 파리의 “파리협정”의 온실가스 유엔기후변화협약(UNFCCC) □ 디젤기관차 233대가 연간 오염물질 배출량은 질소산화물 5,303톤 및 미세먼지 970톤, 2017년 디젤기관차에 대한 배출허용기준 마련 및 점차적 기준 강화 □ 친환경, 미세먼지저감, 에너지 독립성등에 대한 경제사회적 요구의 증가에 따라 대량수송용 수소연료전지 시장은 증가 예상되나 수소연료전지관련 국내산업의 기반붕괴 위험성이 증대				
2. 목표		3. 수혜자		
□ 수소연료전지 하이브리드 철도 추진시스템 핵심기술 개발 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능검증 기술 개발		□ 수소연료전지 및 철도차량 관련 기업 □ 국가 및 국민 □ 운영사 및 지방자체단체		
4. 투입	5. 활동	6. 산출	7. 성과 / 영향	
□(사업비) 정부출연금 280억원 □(연구인력) 연구기관, 운영사, 학교, 기업.	□(1세부) 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 -수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발 -연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발 -소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 고출력밀도 추진 시스템 개발 -수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발 □(2세부) 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능검증 기술 개발 -철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한	□수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 시제품 □차량용 보조전원 검용 계통연계형 전력변환시스템 □영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 추진시스템 □수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 □스마트 에너지 관리 시스템 □철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축 □철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축 □수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	□공해유발요인제거 □신개념 철도모델도입 □온실가스 감축 □국가 신성장 동력확보 □철도운영 유연성 증대 □국내 기술경쟁력 확보 □시장개척 및 고용증대	

	제어기 설계검증용 플랫폼 구축 -수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축 -수소충전소구축 및 활용성향상방안연구 -수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전	□수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증시험 및 기술기준 개발	
--	--	---	--

8. 가정			
□ 승객과 화물을 대량으로 수송하는 철도분야에 대한 수소연료전지의 적용을 통한 신산업강화 및 선진국대비 기술경쟁력 향상은 국가 발전의 원동력으로 작용할 것임 □ 수소경제사회로의 진입에 대한 기반을 마련하고 침체된 관련 산업들에 대한 참여 시장 확대를 통해 기업의 자발적 기술투자를 유도하게 되면 국가경제가 활성화되고 고용이 확대되며, 이에 따라 수소를 이용하는 에너지 분야에서 국가의 종합적인 기술경쟁력이 선진국을 추월할 수 있을 것임			

2. 정책적 타당성

- 국제적으로 에너지 자원고갈, 환경오염, 기후변화 등 당면과제 해결을 위해 수소연료전지의 보급을 위한 정부 주도 프로그램을 확대 및 제도적 규제를 강화하고 있음에 따라 현 정부는 온실가스 배출전망 대비 감축 실현을 위하여 다양한 대책을 검토 중에 있음
 - `20년까지 공공기관의 온실가스 배출량 30% 감축, 제로에너지 건물 확대, 중·대형차 온실가스 기준 신설, 배출권거래제 정상화 등의 다양한 정책을 추진하고 있음
- 2030년까지 신재생에너지 발전량 20%를 달성하기 위한 ‘신재생에너지 3020 이행계획’ 이 `17. 8월 중 마련될 예정임
 - 현 정부의 친환경에너지 진흥정책은 기존 화석연료에서 수소, LNG 등의 친환경 연료로 전환을 통해 환경 연료의 이용률을 현행 20%에서 60%까지 증가 목표
- 수송 및 산업부문의 공약으로는 2030년까지 개인용 경유 승용차 퇴출 중장기 계획 추진과 청정연료 지원금 강화 등의 정책이 발표된 바 있으며, 현 정부 ‘국정 운영 5개년 계획’ 의 58. 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성, 34. 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴/육성 과제에 미세먼지 저감을 위한 친환경 에너지원의 활용 산업 육성 계획
 - 2016년 6월 국민안전과 건강보호를 위한 미세먼지 관리 특별대책이 수립되었으며, 미세먼지 원인 분석 및 규제강화에 대한 내용을 다룸. 현 정부도 이어서 2017년 9월 미세먼지 관리 종합대책을 발표
 - 현 정부의 미세먼지 관리 종합 대책에 미세먼지 사각지대인 경유철도차량에 대한 배출허용기준 실설에 대한 내용 포함
- 정부의 수소충전소 보급계획에 따르면 2020년까지 80곳, 2030년까지 520곳이 설치되

며 충전소 설치에 소요되는 보조금은 초기에는 1곳당 15억원이 지원되나, 장기적인 융자방식으로 전환됨. 또한 현 정부에서는 수소충전소 운영비와 충전소의 시설용량 증설 비용을 지원하는 방안을 검토하고, 친환경 정책 실현을 위한 LNG, 수소 등의 청정에너지 충전 인프라 확충과 안전기준 마련을 위해 검토 중

- 국토부는 2025년까지 LNG와 수소, 전기차를 모두 충전할 수 있는 복합휴게소를 200기 설치하겠다는 목표를 세웠으며, 국토부 산하기관의 승용차로 수소차를 도입하는 방안을 검토 중에 있음

3. 기술적 타당성

- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술과 관련된 국내외 정책동향, 시장동향, 기술개발동향에 대한 분석을 수행했으며, 세부 요소기술 조사, 기술개발 인프라, 차량제조업체 및 운영사의 수요, 세부기술의 중요도, 기술개발 성공가능성, 기술의 난이도 등을 종합적으로 고려하여 세부과제의 개발대상 기술 도출과 개발계획을 체계적으로 수립
- 수송용 연료전지 시스템의 핵심기술은 2011년 최고선진기술과 비교적 적은 격차를 보였으며, 2017년 현재는 현대자동차에서 세계최초의 수소자동차 양산인프라를 보유할 만큼 핵심기술이 확보되었으며, 세계최고 수준임
- 전기자동차는 철도차량과 비교하여 상대적으로 요구되는 에너지량이 적은 만큼 대용량의 연료전지 시스템 구축에 대한 연구가 필요하며, 현재 현대자동차에서 친환경버스용 대용량 연료전지 시스템 구축을 위한 연구가 막바지에 이른만큼 이를 활용할 경우 철도차량용 연료전지 시스템 구축이 가능할 것으로 판단됨
- 수소 안전성 확보를 위해 현재 상용화 되어 있는 수소저장용기는 총 14가지 항목(파열, 극한 반복가압, 화염, 충격, 낙하 등)에 대한 수소저장용기 안전성 인증을 수행하고 있으며, 수소차와 결합하여 총 13가지 항목(정면, 후방, 측면 충돌시험 및 고 전압, 수소 누출 등)의 충돌 및 수소누출 등에 대한 완성차의 안전성 테스트를 수행하고 있음
- 본 연구의 최종목표는 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발을 총괄목표로 설정하였으며 최종 목표 달성을 위해 2개의 세부과제로 연구내용을 분리하여 개별 개발목표를 구체적으로 설정함
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발에 있어 기존 연구과제 내용들을 검토하여 유사성이 있는 연구내용들을 분석하였으며, 무가선 하이브리드 저장트램에서 수행된 운행모드분석 및 배터리 운영기술과 수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술개발에서 수행된 수소연료전지 축소모형 테스트 결과는 본 과제에서 활용 가능

4. 경제적 타당성

- 비용추정은 연구개발비용을 5년간 정부출연금 280억원으로 제시하였고 상용화 비용은

수소연료전지 기관차의 도입가격은 기관차당 150억/량으로 추정하였고, 제작일정을 고려하여 연간 40량씩 5년에 걸쳐 발주하는 것으로 가정

- 편익추정은 기술개발사업에 따른 편익으로서 수입대체편익과 수출편익으로 구분하여 추정하였고 기술도입에 따른 편익으로서 환경비용절감편익, 운행비용 절감편익, 기관차비축편익으로 구분하여 추정함
- 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였다. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2028년에서 2038년까지 10년간으로 분석하였으며, 상용화 사업기간은 2028년에서 2032년까지 5년으로 가정하였다. 편익발생기간은 차량내구연한을 고려하여 상용화 사업종료 후 30년인 2062년까지 30년간으로 분석하여 BC는 1.05로 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타남.

5절 자원투입계획

1. 연구시설 및 장비투입계획

- 수소연료전지 하이브리드 철도핵심기술개발과 관련하여 총 2세부 10개 제안기술 도출하여 인력, 장비 및 소요예산 산정을 과제성격, 연구기간, 연구내용, 개발목표의 수준을 고려하여 연구비 분배를 수행하였음. 그리고 세부과제 중 핵심기술 개발부문과 개조차량을 통한 실차검증부문은 본 과제의 핵심이므로 그 중요도에 따라 많은 연구예산을 책정함.

2. 인력투입계획

- 1차년도에는 목표사양결정 및 설계, 2차년도에는 시제품 제작, 3차년도에는 시제품의 성능평가 및 개선, 4차년도에는 개조차량 제작 및 완성차시험, 5차년도에는 실차검증 시운전을 통한 수소연료전지의 사용에 따른 안전성과 신뢰성을 확인하고 이를 바탕으로 향후 실용화를 위한 토대를 마련하는 연구개발을 수행함
- 아래 표에서 제시된 인원은 관련 전문성이 인정된 인력들의 참여율을 100%로 산정. 또한 용역 및 위탁과제가 수행되는 경우는 본 표의 참여인원에 포함시키지 않았음.

3. 소요예산 투입계획

[표 7.8] 수소연료전지 하이브리드 철도추진기술 소요예산

[단위:백만원]

세부과제명			연차	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총연구비
수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템 개발			정부	1,504.9	1,0613.1	8,208.6	1,789.0	1,184.4	23,300
			민간	508.3	3,544.4	2,742.9	603.0	401.5	7,800
1 세부	수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	정부	761.4	7,447.9	5681	899.7	710	15,500	
		민간	260.5	2,489.3	1,900.3	306.6	243.3	5200	
2 세부	수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가 기술 개발	정부	743.6	3,165.2	2,527.5	889.4	474.4	7800	
		민간	247.9	1,055.1	842.5	296.5	158.1	2600	
계				2,013.4	14,157.5	10,951.3	2,392.2	1,585.8	31,100

4. 정부 지원조건

- 사업비: 311 억원 (정부출연금 233억원)
- 시설 및 장비: NFEC 등록 시설 및 장비 활용 (오송시험선 등)

6절 과제공모방안

1. 연구단 과제제안요구서(RFP)

- 연구단 총괄 RFP
- 1세부 과제 : 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 RFP
- 2세부 과제 : 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가 기술개발 RFP

2. 공모조건

- 과제 공모조건 제시

3. 선정평가 방법

- 선정평가 기준 및 세부평가항목과 배점 제시