

17RDPP
-C13494
6-01

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(11-B552989-000450-01)

국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D / 17RDPP-C134946-01

철도
종사자의
인적오류
분석·평가·예방 기술
개발
기획

최
종
보
고
서

2019

국
토
교
통
부
국토교통과학기술진흥원

철도 종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술개발 기획 최종보고서

(스마트 철도안전시스템 기술개발 사업 기획 별첨)

2019.9.20.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

‘철도 종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술 개발 기획’(스마트 철도안전시스템 기술개발 사업
기획 별첨, 연구개발 기간 : 2017.07.21. ~ 2019.09.20) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 09. 20.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원 나희승

주관연구기관 책임자:	한국철도기술연구원	김진호
공동연구기관 책임자:	한국철도공사	윤차중
	서울교통공사	박정욱
	(주)날리지웍스	김우리
위탁연구기관책임자:	성균관대학교 산학협력단	이지형

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17RDP-C13496-01	해당 단계 연구 기간	2017.07.21. ~ 2019.09.20	단계구분	1/1
연구사업명	중사업명	국토교통연구기획사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	스마트 철도안전시스템 기술개발 사업 기획			
	세부과제명	철도 종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술개발 기획			
연구책임자	김진호	해당단계 참여연구원 수	총: 69명 내부: 69명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부:380,000천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:380,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 21명 내부: 21명 외부: 0명	총 연구비	정부:380,000천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:380,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국철도기술연구원			참여기업명: 한국철도공사, 서울교통공사, (주)날리지웍스	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 성균관대학교			연구책임자:이지형	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
-------------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)
스마트 철도안전시스템 기술개발 사업 기획의 일환으로 4차 산업혁명 기술 기반 철도 종사자 인적오류 분석·평가·예방 기술 개발·보급을 통해 철도종사자 인적오류 기인 열차사고 및 사상사고 저감에 기여할 수 있는 ‘철도 종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술’을 기획함.

보고서 면수 250페이지

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 철도 종사자의 인적오류 분석·예방·평가 기술 개발을 위한 사업 기획 - 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발 기획 연구 - AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발 기획 연구 - 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저가를 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발 기획 연구				
연구개발성과	○ 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 시스템 - AI 기반 실시간 인적요소 모니터링 및 운행안전 지원 시스템 - 철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 시스템 ○ AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 시스템 - 철도종사자 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 CPS시스템 - Big Data & AI 활용 종사자 자격능력 검증관리 시스템 ○ 철도종사자 합동 가상훈련 시스템 - 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 시스템 - 철도종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가검사 제도				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 철도안전법, 철도종합안전계획 등 정부정책을 지원하고, 국민이 안심하고 신뢰하는 지능형 철도안전 구현에 활용 ○ 철도 종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술개발 사업의 연구성과는 스마트 철도안전 정책 및 제도, 표준화, 스마트 철도안전 생태계 조성, 사업화 등에 널리 활용 ○ 본 사업의 연구성과 실용화를 촉진하기 위하여 분야별 제도화 방안 도출하며, 실증 단계를 거쳐 관련 규정에 반영 제도 개선 추진				
국문핵심어 (5개 이내)					
영문핵심어 (5개 이내)					

< 목 차 >

제1장 기술의 정의 및 필요성	1
제1절 기술의 정의 및 분류체계	1
1. 기술의 정의	1
2. 기술의 분류	2
제2절 기술개발의 필요성	3
1. 기술개발 추진 배경	3
2. 기술개발 필요성	4
제3절 기술 미개발시 예상되는 문제점	6
 제2장 국내·외 동향 및 환경 분석	 7
제1절 국내·외 정책 동향	7
1. 해외 정책 동향	7
2. 국내 정책 동향	16
3. 시사점	21
제2절 국내·외 시장 현황	22
1. 철도안전산업 시장 동향	22
2. 빅데이터 및 AR·VR 관련 시장 동향	27
3. 시사점	30
제3절 국내·외 기술 동향	31
1. 국내·외 기술개발 동향	31
2. 특허 동향	40
3. 기술수준 분석	42
4. 정부 R&D 투자 동향	48
5. 시사점	50
제4절 기술수요 조사	51
1. 기술수요조사 개요	51
2. 기술수요조사 결과	52
제5절 유사과제 분석 및 기존 기술과의 차별성	54
1. 유사과제 현황	54
제6절 국내 연구개발 역량 및 SWOT 분석	55
1. 국내 연구개발 역량 분석	55
2. SWOT 분석	72
 제3장 연구개발 과제구성 및 추진전략	 73

제1절 비전 및 목표	73
제2절 기술개발에 따른 미래상	74
제3절 연구개발 과제 구성	75
제4절 세부과제별 주요 내용	76
1. 세부과제1 : 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발	76
2. AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발	76
3. 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발	77
제5절 세부과제별 추진계획	78
1. 세부과제1 : 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발	78
2. AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발	79
3. 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발	80
제6절 연구추진체계	81
제7절 연구개발로드맵	83
1. 연차별 로드맵	83
2. 단계별 성과목표 및 지표	84

제4장 사전 타당성 분석 86

제1절 정책적 타당성 분석	86
1. 법·제도적 위험요인의 검토	86
2. 국가 정책 및 상위계획과의 부합성	92
제2절 기술적 타당성 분석	98
1. 사업 논리모형	98
제3절 경제적 타당성 분석	99
1. 분석 개요	99
2. 비용 산출	103
3. 편익 산출	104
4. B/C 산출 결과	111

제5장 자원투입계획 112

제1절 소요예산 투입계획	112
---------------------	-----

1장 기술의 정의 및 필요성

제1절 기술의 정의 및 분류체계

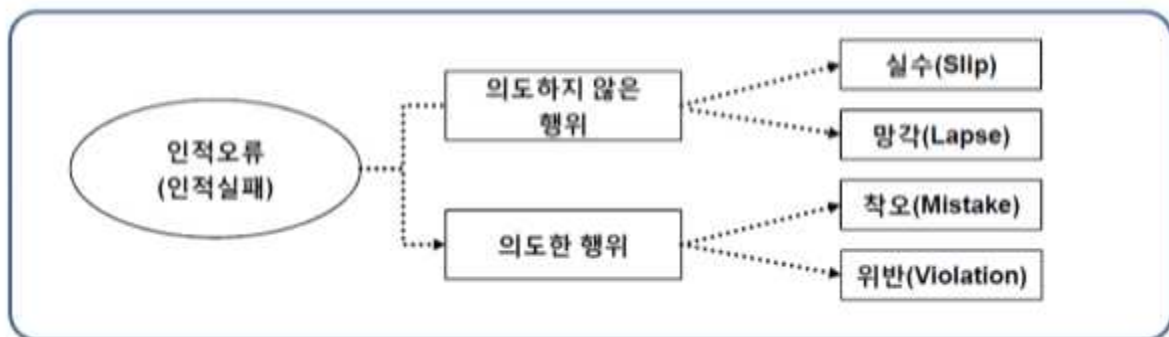
1. 기술의 정의

□ 철도종사자의 정의 및 범위

- 철도종사자란 운전업무종사자(기관사), 관제업무종사자(관제사), 여객승무원, 여객역무원, 선로작업자 등으로 구분 (철도안전법 제2조 제10항)

□ 철도종사자 인적오류의 정의

- 인적오류(Human Error)란 의도한 목적을 이루기 위해 계획한 어떤 행위가 실패하여 의도하지 않은 결과를 야기한 경우를 의미



- 철도종사자 인적오류란 ‘철도사고 및 장애에 개입된 인적오류 행위’를 의미
 - － 인적오류 행위들의 발생 경위 및 원인들에 대한 체계적 분석을 통해 유사 인적오류에 의한 사고 재발 방지 필요

□ 철도종사자 인적오류의 분석·평가·예방 기술의 정의

- 철도종사자 인적오류의 분석·평가·예방 기술이란, 철도 종사자 인적오류의 분석·평가·예측 기술과 가상훈련기술을 통하여 인적요인에 인한 사고·장애를 사전 예방하고, 이례상황 시 종사자의 비상대응능력 강화하는 기술

2. 기술의 분류

- 철도종사자 인적오류의 분석·평가·예방 기술은 ① 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술 ② AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발 ③ 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발로 구분

<표 8> 동 사업 기술의 분류

세부기술	세부과제
① 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발	1-1 철도종사자 인적요소 특성항목 설정 및 데이터 관리 기술개발
	1-2 AI기반 실시간 인적요소 특성 데이터 분석 및 안전운행 지원 기술개발
	1-3 철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 기술 개발
② AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발	2-1. 철도종사자 안전필수 직무 및 안전영향척도 분석 기술개발
	2-2. 철도종사자의 인적오류 발생 메커니즘 모델링, 분석 및 평가 기술개발
	2-3. 철도종사자 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 가상물리체계(CPS) 기술개발
	2-4. Big Data 및 AI를 활용한 위험도 기반 종사자 자격능력 검증관리 시스템 개발
③ 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발	3-1. AI 기반 철도 이례상황 시나리오 자동생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술개발
	3-2. 증강현실 및 웨어러블 기술을 활용한 이례상황 조기대응 합동 가상훈련 시스템 기술개발
	3-3. 인적오류 특성 데이터 기반 가상훈련시스템 운용기술 개발
	3-4 철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가검사 제도화

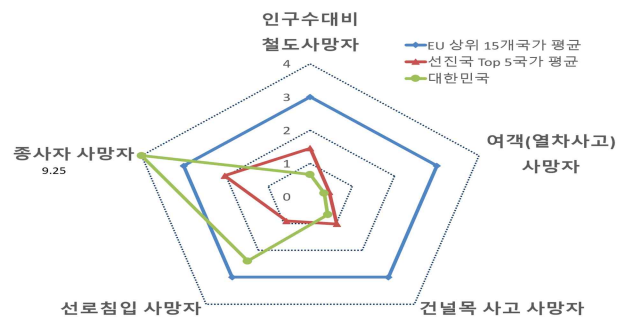
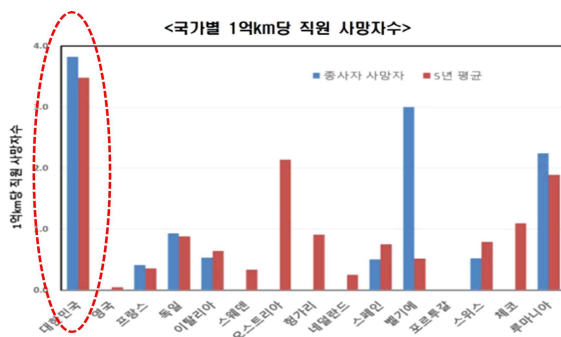
제2절 기술개발의 필요성

1. 기술개발 추진 배경

- (인적요인에 의한 사고 지속발생) 열차 충돌, 탈선, 화재 등 열차사고의 47%는 기관사, 관제사 등 철도 인적오류(Human Error)으로 발생하며, 종사자 사상사고 발생률은 선진국 대비 5배 이상

* 열차사고 요인 : 시설·차량요인 51%, 인적요인 47%, 외적요인 2%

* 국가별 1억Km당 종사자 사망자수(명, 5년 평균) : 한국 3.8, 독일 0.9, 프랑스 0.4, 영국 0



<국가별 철도종사자 사망자 수 비교>

- (인적요인 예방관리 미흡) 철도안전법 제정 이후 안전관리체계(SMS) 도입 등 철도안전관리가 강화되어 왔으나, 인적오류 관리는 여전히 취약
 - 단순 교육에 의존하는 방식이 아닌 과학적 시스템적 분석을 통한 사전적 오류예측 및 획기적 저감 대책마련이 필요하나 인적오류를 사전에 탐색·분석·평가·예방해야 하는 기술적 난제 존재
 - 「산업안전보건법」 작업자 안전 강화('20.1 시행), 「중대재해처벌법」 도입('22.1 시행) 등 종사자 안전에 대한 사회적 요구가 증대되고 있어 개선 시급
- (체계적·과학적 관리기술 확보 필요) 철도 종사자 업무에 대한 체계적인 분석을 통한 사전적 오류예측 및 획기적 저감 대책마련 필요
 - 문제의 근원을 파악하고 예방조치를 취하기 위해서는 인적오류 전조요인, 인적오류 배경요인 등 인적오류 데이터 분석 및 예지진단 기술 필요
 - 이례상황 발생 시 효과적 초기대응을 위한 안전교육 및 비상대응훈련의 실효성 제고를 위한 종사자 합동훈련시스템 필요

2. 기술개발 필요성

2.1 기술개발 필요성

- '03년 대구지하철 화재사고 이후 국가는 철도안전법의 제정과 철도안전종합계획 및 철도안전관리체계등을 시행하고 있으나, '11년 이후 철도안전수준의 개선율이 감소되고 있는 상황으로 기술적 대안 모색이 필요
 - 국가는 철도안전법의 개정과 3차 철도안전종합계획을 통하여 자발적 안전관리 체계의 정착과 사전예방체계 전환을 추진하고, '18년 스마트 철도안전관리체계 구축 기본계획을 수립하였으나 기본계획의 현장 시행을 위하여 요구되는 인적요소 개선 등에 필요한 기술력은 부족한 상황이며 기술개발은 미흡한 상황
- 인적오류 평가검증 미흡, 안전수칙 위반, 교훈훈련 미흡 등으로 철도종사자의 사망자수가 선진국 대비 매우 높은 수준으로 인적요소에 관한 체계적인 연구가 부족
 - 인적요소에 대한 관리 및 검증이 이루어지지 않아 인적오류로 인한 사고 우려는 상존
 - 또한, 철도종사자 안전교육 및 비상대응훈련 등을 실시하고 있으나, 인적오류 관리를 위한 비상 시 종사자간 합동훈련체계 등은 미흡

2.2 사업추진 시급성

- 철도시스템이 자동화·복잡화되면서 기관사, 관제사 등의 인적오류 발생 위험성이 증대되고 있고, 「중대재해처벌법」 시행으로 종사자 안전관리에 대한 사회적 요구가 강화되고 있어 종사자 안전관리 개선을 위한 기술확보 시급
- 철도 선진국 대비 국내 철도종사자 사망률이 높아, 철도종사자의 안전확보 시급
 - 열차운행 1억km당 종사자 사망자(5년 평균값) : 대한민국 3.8, 영국 0, 프랑스 0.4, 독일 0.9, 이탈리아 0.5, 스웨덴 0, 스위스 0.5, 스페인 0.5
- 종사자 안전교육 및 비상대응훈련 등을 실시하고 있으나, 비상상황에 대비한 철도종사자 맞춤형 합동훈련시스템은 미흡한 실정으로 잠재적 인적요인에 인한 대형사고 예방을 위해 시급한 사업착수 필요

2.3 정부지원 필요성

- 철도는 대표적인 대중교통수단임에 따라 국민의 안전을 확보하여야 하며, 사고발생 시 사회적 파급효과가 매우 크므로 사고의 주요 원인인 인적오류에 관한 정부차원의 적극적인 지원 필요
- 국가는 철도안전의 관련 법령에 따라 국민의 생명 및 재산을 보호하여야 하며, 최고수준의 철도 안전확보를 위해 혁신적인 철도종사자의 인적요인 관리기술이 전제되어야 하므로 국가 주도하에 지원되어야 함
 - 철도산업발전기본법| 철도안전에필요한 법적/제도적 장치 마련
 - 철도안전법|철도안전시책 마련 및 추진, 철도안전종합계획 수립(철도안전관련 연구 및 기술개발 포함)
- 철도안전관리 기술개발은 장시간의 투자재원이 필요하나 시장 창출에 어려움이 있어 단기 투자 성과 위주 민간주도 기술개발에 그치고 있으므로 국가지원이 필요함
 - 정부, 지자체의 안전 투자비율이 55% 이상인 반면 민간부문은 불과 1.1%에 지나지 않으며, 특히 철도운영기관은 경영악화 심화로 철도안전 기술개발에 대한 투자가 어려운 상황

2.4 추진 근거

- 과학기술기본법 제11조 제1항(국가연구개발사업의 추진)
- 국토교통과학기술육성법 제8조(연구개발사업의 추진)
- 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(국토교통부 훈령 676호)
- 철도산업발전기본법 제11조(철도기술의 진흥 등)
- 철도안전법 제68조(철도안전기술의 진흥), 제3장(철도종사자의 안전관리)

제3절 기술 미개발시 예상되는 문제점

□ 열차사고의 주요 요인이 기관사, 관제사 등의 인적오류인 열차사고 지속 발생

- 종사자 작업환경·구체적 행동·조치사항 모니터링 부족
- 종사자 자격 및 적성관리 미흡
- 인적오류 진단기술 부족

□ 열차사고의 주요 요인이 기관사, 관제사 등의 인적오류로 발생

- 종사자 작업환경·구체적 행동·조치사항 모니터링 부족
- 종사자 자격 및 적성관리 미흡
- 인적오류 진단기술 부족

□ 효과적인 철도 사고·장애 예방 교육훈련 및 대책 미흡

- 철도 종사자 교육수준, 인프라, 교육 콘텐츠 부족
- 종사자간 합동훈련체계 미흡

제2장 국내·외 동향 및 환경 분석

제1절 국내·외 정책 동향

1. 해외 정책 동향

1.1 유럽연합(EU)

- 국제철도연맹(UIC)은 미래 철도시스템의 수용력, 접근성, 안전성, 지속성, 보안성, 연결성 등 9대 혁신방향을 설정 및 추진
 - UIC는 철도기술에 관한 국제적 표준의 확립이나 국제열차 운행 추진, 철도운영에 관한 지원 등을 수행하는 국제기구
 - － UIC는 Challenge 2050을 수립하여 철도시스템의 기술적, 정책적, 서비스 분야의 비전 및 목표를 제시

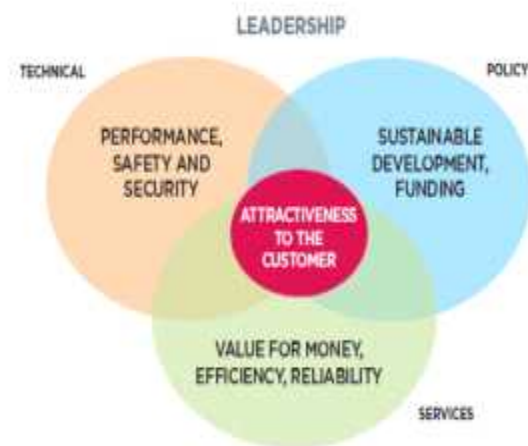


그림 5 UIC Challenge 2050 목표

- － 미래 철도시스템의 설계, 운영 및 유지보수 관리 등의 기반으로 활용하기 위해 혁신 방향을 9가지 항목(수용력, 접근성, 안전성, 지속성, 보안성, 연결성, 경제적 가치, 지속 가능한 개발, 성과)으로 설정



그림 6 철도시스템의 미래 혁신방향

- UIC의 유럽 철도기술전략(rail technical strategy Europe)에서는 철도시스템의 세부 요소로써 철도신호제어(CCC), 인프라, 에너지 공급 및 소비, 정보관리, 철도인력, 보안, 안전의 7가지를 구성하고, 각각의 목표 및 세부 기술을 설정

표 10 유럽 철도기술전략 내 철도시스템 요소별 목표(비전)

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ CCC : 상호 운용이 가능한 실시간 교통 운영으로 수송력 증대 및 에너지 절감 ▪ 철도 인프라 : 기술 및 운영혁신을 통한 타 운송수단 대비 경쟁력 강화 ▪ 에너지 공급 및 소비 : 에코 디자인을 통한 에너지 효율 향상 및 온실가스 저감 ▪ 정보 관리 : 효율적인 철도운영 및 승객 철도정보 제공 ▪ <u>철도 인력</u> : <u>효율적인 철도운영을 위한 체계적이고 전문성을 갖춘 철도 종사자 육성</u> ▪ <u>보안</u> : <u>승객 보안</u> ▪ <u>안전</u> : <u>승객의 안전 보장</u> |
|--|

표 11 유럽 철도기술전략의 요소별 세부기술

철도 시스템 요소	세부 기술
철도 신호 제어 (Control Command and Communication) (CCC)	- 열차 위치검지를 위한 위성기반 서비스 - 글로벌 적용 시스템을 위한 CCC요소의 표준화 - CCC서브 시스템을 위한 인터페이스 향상 - IoT 기반 스마트 네트워크 <u>유지보수비용 및 운영비용 절감을 위한 장거리 장애물 검지기술 표준화</u>
인프라 (Infrastructure)	<u>스마트한 철도 운영, 유지보수, 승객지원을 위한 무선통신 기술 및 운영방식 최적화</u> - 기능성과 쾌적성을 갖춘 통합 환승 기반시설 - 혁신적인 자갈 및 비자갈 선로 설계 - 모듈화된 플러그 앤 플레이 시스템 - 최적화된 소음진동 저감
에너지공급 및 소비 (Energy Supply and Consumption)	- 재생 및 대체에너지 기반 지속가능한 에너지 공급 기술 - 스마트그리드 에너지 저장 기술 - 통합 전력공급 운영 인프라 - 에너지 소모 절감을 위한 green driving 기술 - 높은 수준의 재활용을 위한 closed cycle waste system - 전자기파 침입 감소 기술
정보관리 (Information Management)	- 정보 플랫폼과 IT tool공유를 통한 철도서비스 제공자와 타 운송수단 간의 실시간 정보교환 - 지속적인 높은 속도의 데이터 제공으로 승객 서비스 향상 - 대기 없는 발권 시스템
철도 인력 (Railway People)	- 전문가 양성 프로그램 제공을 위한 유럽 전역에 걸친 훈련플랫폼 구축 - 철도정보 제공 및 협업 구성을 위한 IT기반 지식 매니지먼트
보안 (Security)	- IoT기반 응급상황 대처 시스템 - 테러 및 사이버 공격 대비 지속적인 경계 시스템
안전 (Safety)	<u>운영효율 향상, 안전, 승객 만족을 위한 CCC요소의 지속적인 성능 향상 및 자동화</u> - 안전 인증을 위한 유럽 간 동의 절차 <u>철도 중요 요소들의 노후화에 대비한 지속적인 안전 대비책</u>

자료 : UIC, RAIL TECHNICAL STRATEGY EUROPE, 2014

□ 유럽연합 역내 국가 간 철도안전과 관련된 주요지표/정보의 투명한 공개 추진

- 공통안전목표(CST), 공통안전지표(CSI)를 2008년부터 운영 및 국가별 사고통계자료를 공개

□ 유럽 철도기술자문위원회(ERRAC)는 철도안전을 포함하여 10개 분야의 기술로드맵 수립

- ERRAC는 유럽 차원의 혁신적 철도 기술개발 연구를 지원하고 경쟁력 강화를 위해 철도 이해관계자 각 45명 대표로 구성되어 설립된 유럽 기구로 2001년 설립

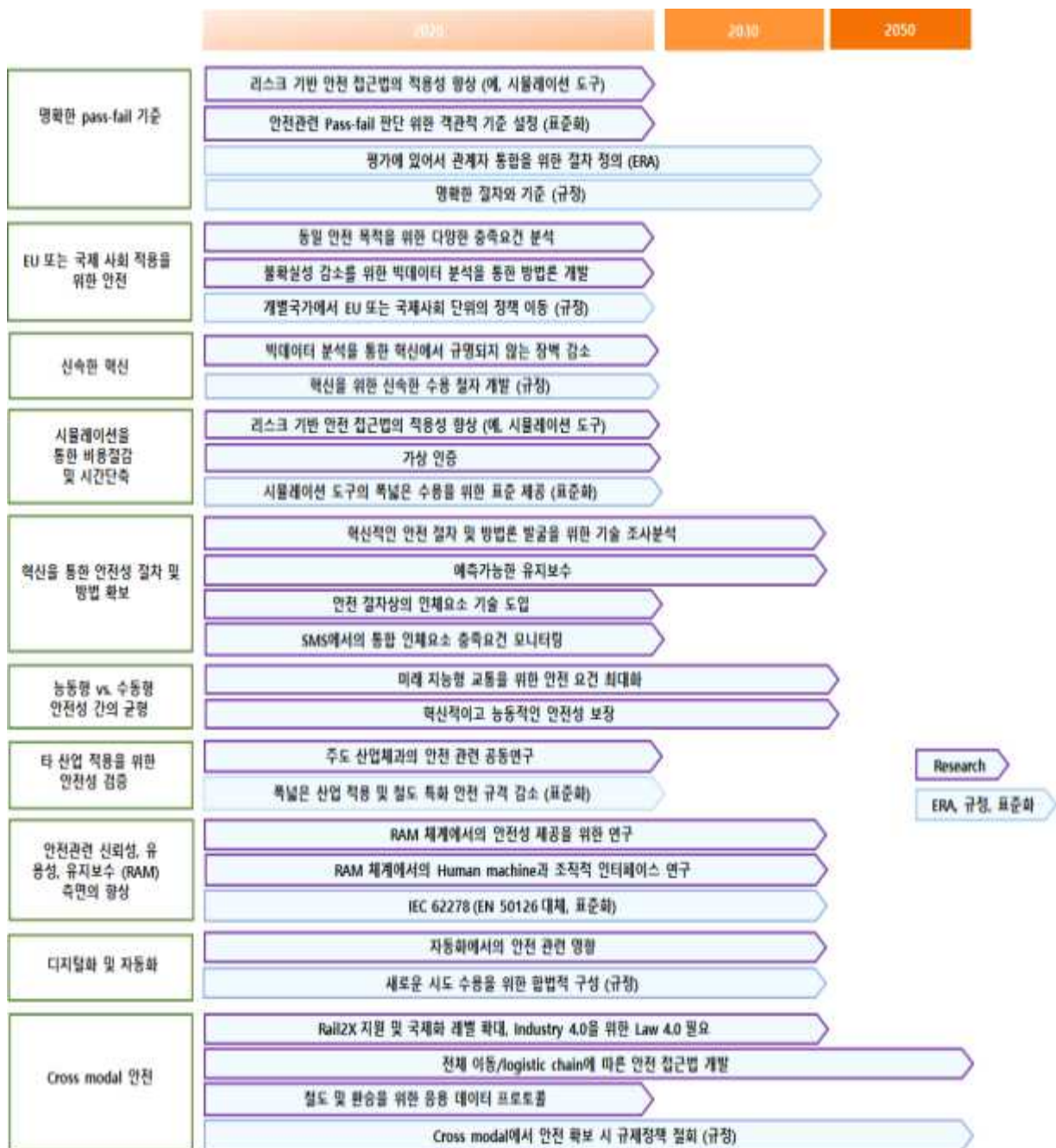


그림 7 ERRAC의 2050기술로드맵 중 안전 분야 로드맵

1.2 영국

- 영국철도는 철도 안전핵심 종사자에 대한 자격능력 개발과 인적성능 관리를 제도화하였고, 인적 자원관리시스템(CRM)을 개발하여 다양한 교육훈련 센터나 전문기관을 통해 적용
- 위험도 평가, 철도운영기관 안전관리(SMS), 철도사고조사 및 인적오류관리, 인적자원관리, 철도에서의 비-기술적 능력(NTS) 등 연간 교육훈련 코스를 상시 운영하고, 철도시스템 운영, 관리상의 다양한 위험요인이 복합된 이례상황이나 사고 상황에서의 안전업무수행도와 자격능력 개발을 위해 시뮬레이터를 활용하여 이상대응 훈련 및 진단평가를 수행
- EU 유럽철도 안전지침과 별도로 2006년 철도감독국(ORR)에서 제정한 영국 철도 및 기타 궤도 교통시스템 안전규정(ROGS)을 실행¹⁾
 - 영국의 모든 철도운영기관은 ROGS 규정에 따라 안전관리체계를 유지해야 하며, ORR의 안전 인증 또는 안전승인을 받아야 운영 가능
 - 간선철도, 지하철, 경전철 등 모든 철도를 대상으로 적용하고 있으나, 위험도가 상대적으로 낮은 트램과 40km/h 속도 이하의 철도의 경우 문서화된 안전관리시스템만 유지

표 12 영국 ROGS 관리체계 분야별 세부 요구사항

분야	세부 요구사항
안전관리체계	철도운영기관, 철도시설관리기관은 사업의 규모 및 특성에 따라 요구되는 안전관리체계 보유
안전검증	철도운영기관 등은 전문가를 통한 안전검증을 실시하여 철도 차량 및 철도시설이 안전에 대해 증명
안전인증 및 허가	철도운영기관, 안전인증기관, 철도시설관리기관은 안전승인 (유효기간은 5년 이내)
위험도 평가	철도운영 중 발생할 수 있는 위험을 방지(통제)하는 데 필요한 안전수단들을 확인하기 위해 적합하고 충분한 위험도 평가를 요구
연차 안전보고서	안전인증과 안전승인을 받은 모든 철도운영기관은 안전 관련 활동에 대한 연차 안전성능보고서를 ORR에게 제출해야 함
협력	여러 가지 인터페이스를 관리하기에 충분한 정보의 운행 협력체계 요구
안전 주요업무	안전 관련 주요 업무 종사자 대상 직무수행능력 적합성 확인 및 건전한 근무환경 제공에 대한 철도운영기관에 의무

1) 선진국 철도 안전관리제도 사례를 통한 국내 철도안전관리체계 실효성 확보 방안, 김홍기(서울과학기술대학교 철도전문대학원), 2018

1.3 프랑스

□ 프랑스 철도기술정책은 5년 단위로 시행되는 육상교통 기술혁신정책 PREDIT 프로그램을 중심으로 전개되어 지속 가능한 운송, 안전 향상, 환경 보존 등을 목표로 기술개발 추진²⁾

○ PREDIT1 (1990~1994), PREDIT2 (1996~2000), PREDIT3 (2002~2006), PREDIT4 (2008~2012)까지 수립 진행³⁾

표 13 PREDIT 3~4단계 프로그램 세부내용

단계	내용	철도안전 프로젝트 ⁴⁾
PREDIT3	• 화물수송기술: 철도생산성 제고, 혁신적 교통기술 및 시스템의 실용화, 기반기술 (전동기, 제동장치), 철도 차량, 차량-인프라 시스템 간의 정보화 기술 • 이동성 서비스: 단거리 운송, 인터모달 서비스, 도시 교통 및 도시간 교통의 정보화기술 서비스, 멀티모달 정보화 • 에너지 및 환경: 깨끗하고 에너지 효율이 높은 철도 차량 개발, 소음저감 및 전력 효율화 • 물류 및 화물운송: 경제와 물류시스템 관계 • <u>안전: 철도관제 및 제어시스템, 규제시스템, 노선 최적화시스템 개발</u> • 이동성 및 지속가능한 발전: 이동성 결정요인, 교통 경제학	Global approach of the components of the comfort and their interaction for main line trains (2002~2009) Safe access systems on rail vehicles for disabled travellers (2005~2011)
PREDIT4	• 에너지와 환경: 추진기술, 온실효과와 평가방법 • 수송 품질 및 안전: <u>철도안전, 교통관리</u>, 편의성 및 접근성 연구 • 도시내 이동성: 새로운 교통시스템 및 서비스 연구 • 물류 및 화물운송: 서비스 품질, 화물추적기술, 인프라 최적화 등 • 교통분야 산업의 경쟁력: 운송 산업의 효율성 제고를 위한 고안 도구 및 프로세스, ICT 통합 등 연구 • 교통정책: 규제 목적, 방법 및 도구(자금 조달 및 관세) 연구	

□ 프랑스 SNCF는 인적오류를 예방하기 위해 운전 방법의 개선, 운전실 환경개선 등을 연구하기 위한 다목적 시뮬레이터, 분기기 고장 대처 훈련용 시뮬레이터를 개발하였음

2) 미래철도 전망 2040, 국토교통과학기술진흥원, 2014

3) 제2차 국가교통기술개발계획(2009~2013) 수립 연구, 한국교통연구원, 2008

4) <https://trimis.ec.europa.eu/>

1.4 일본

□ 교통정책기본계획(2014-2020)을 통해 철도부문은 철도인프라의 안전성 강화, 복합 연계 운송 등에 대한 정책을 수립하고 추진

○ 3대 기본 방향

- 풍요로운 국민 생활에 이바지하는 사용하기 쉬운 교통 실현
- 성장과 번영의 기반이 되는 국제·지역간 여객 교통·물류 네트워크 구축
- 지속 가능하고 안심·안전한 교통을 위한 기반 조성

○ 철도 관련 정책은 LRT와 BRT의 도입, 공항 및 철도 접근력 강화, 철도 인프라의 안전성 강화 등을 추진⁵⁾

- 철도 분야에서의 곡선 구간의 속도제한 기능 자동 열차 정지 장치의 정비를 2016년 6월까지 100% 달성을 목표로 제시

□ 제5기 과학기술기본계획(2016~2020)을 통해 4차 산업혁명기술과의 융합을 토대로 정부연구개발의 방향성을 제시

- 과학기술정책의 로드맵인 제5기 과학기술기본계획에서 국민 협력으로 제4차 산업혁명을 추진
- 정부 연구개발비 비중을 순차적으로 끌어올려 GDP 대비 1%, 5년간 총액 26조 엔을 투자 목표로 설정 예정

○ 중점사항 및 주요 내용

- 이노베이션 창출 기반의 강화 : 인재시스템의 개혁, 학술연구와 기초연구의 추진, 공통기반기술과 연구기반의 강화, 산학관 연계의 혁신, 벤처 및 중소기업 지원 강화, 이노베이션을 촉진할 인재의 육성과 확보 등
- 과학기술 이노베이션에 의한 사회 건인 : '초 스마트 사회'의 실현, 국가전략핵심기술의 추진, 과학기술외교, 공동 창조적인 과학기술 이노베이션 등
- 과학기술 이노베이션 창출 기능의 최적화 : 대학과 국립연구개발법인의 기능 강화, 경쟁적 연구비 개혁 등
- 과학기술 이노베이션 정책의 추진체제의 강화 : 컨트롤타워 기능 강화, PDCA 사이클의 실효화, 정부의 연구개발 투자 확충 등

○ 주요 전략

- 세계에 앞서나가는 「초 스마트 사회*」의 실현 (Society 5.0) : 제조업 분야에 IoT, 네트워크를 활용하여 사회개혁에 연결, 「초 스마트 사회」를 미래의 모습으로 공유하고 실현을 향한 「Soc

5) 2015 국토교통 R&D 동향조사 총괄보고서

iety 5.0**」으로 강력히 추진, 서비스, 사업의 시스템화를 통해 산학연의 공통적인 플랫폼 구축

표 14 제5기 과학기술기본계획(일본)의 주요내용

구분	주요 내용
생활	- 로봇과 IT가 다양한 서비스를 제공하는 사회(소사이어티 5.0)를 실현 - 인공지능과 빅데이터 해석, 사이버 시큐리티 등을 강화 - 안전보장 관련 기술개발
연구	- 정부의 연구개발투자를 GDP대비 1%(약 26조엔), 관민 합쳐 동 4% 이상 - 국가의 종합전략에 기초한 연구 추진
산업	- 연구개발형 벤처의 신규 상장건수를 배증 - 중소기업의 특허출원건수를 국내 전체의 15%로 높임
인재	40세 미만의 대학교원의 수를 10% 늘림 (장래에는 전 교원의 30% 이상) - 대학, 기업, 공적연구기관간 인재의 유동화 - 여성연구자의 채용비율을 30%로 향상

□ 제4차 국토교통성 기술기본계획(2017년~2021년)

- 국토교통성의 기술관련 부서 및 관련 정책 수립을 위한 기본적인 가이드라인 제공
- 기본방향
 - 국가가 목표로 해야 할 사회의 모습을 명확히 함으로써 실현을 위해 취해야 할 과학기술 이노베이션 정책의 방향을 제시하고 "분야별"로부터 "과제 달성형"으로의 전환을 수행
 - 후쿠시마 제1원자력 발전소의 사고를 계기로 정부의 위기관리에 미비가 있었던 점을 반성하며, 과학기술 이노베이션 정책에 대해 국민의 이해와 신뢰와 지지를 얻는 대응을 진행
- 중점 추진 과제
 - 지진 재해로부터의 부흥, 재생의 실현
 - 그린 이노베이션 및 라이프 이노베이션의 추진

□ JR 동일본 그룹의 혁신 중장기 비전⁶⁾

- 안전은 동일본 철도회사의 첫 번째 주요정책으로 인식하고 종사자들과 공감하며, 궁극적 안전 수준에 도달하고자 지속적인 평가 수행
 - ‘안전·안정 수송의 레벨업’을 가장 중점에 두고 안전 수준의 변화에 추종하기 위하여 IoT와 빅데이터, AI 등을 활용으로 사고의 전조를 파악하고, 또한 경험 지식에서 위험을 발굴해 선점한 대책을 추진
 - ITS와 로봇, 휴먼팩터 등의 기술을 조합하여 "최고의 안전"을 목표로 세움
- 운영 및 유지 보수 “생산 연령 인구 20% 감소를 고려한 업무 구조”

6) JR East group management vision “Move Up” 2027, 2018

- 차량 및 장비의 데이터를 높은 빈도로 수집·분석하여 그 안전성을 확인하면서 최적의 타이밍에서 수선을 실시하는 등 효율적인 관리가 가능
- 자동운전기술이나 로봇화, AI에 의한 업무 지원 등을 진행



그림 8 동일본철도회사 철도안전에 대한 비전

2. 국내 정책 동향

2.1 관련 법

□ 과학기술기본법

- 제11조(국가연구개발사업의 추진) ① 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가 연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다.

□ 국토교통과학기술육성법 제8조

- 제8조(연구개발사업의 추진) ① 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업(이하 “연구개발사업”이라 한다)을 할 수 있다.

□ 철도산업발전기본법

- 제11조(철도기술의 진흥 등) ① 국토교통부장관은 철도기술의 진흥 및 육성을 위하여 철도기술전반에 대한 연구 및 개발에 노력하여야 한다.

□ 철도안전법 제68조(철도안전기술의 진흥), 제3장(철도종사자의 안전관리)

- 철도종사자의 안전관리 사항, 철도차량 운행안전 및 철도보호를 위한 철도종사자 의무사항, 철도안전 확립을 위한 기반 구축 사항 등을 법적으로 규정

표 15 「철도안전법」 중 철도종사자 인적오류 관련 내용

조항	내용
제3장 철도종사자의 안전관리	· 제10조 철도차량 운전면허 · 제11조 운전면허의 결격사유 · 제12조 운전면허의 신체검사 · 제13조 신체검사 실시 의료기관 · 제15조 운전적성검사 · 제16조 운전교육훈련 · 제17조 운전면허시험 · 제21조 운전업무 실무수습 - 제21조의2 무자격자의 운전업무 금지 등 - 제21조의3 관제 자격증명 - 제21조의4 관제 자격증명의 결격사유 - 제21조의5 관제 자격증명의 신체검사 - 제21조의6 관제 적성검사 - 제21조의7 관제 교육훈련 - 제21조의8 관제 자격증명시험 · 제22조 관제업무 실무수습 - 제22조의2 무자격자의 관제업무 금지 등 · 제23조 운전업무종사자 등의 관리 · 제24조 철도종사자에 대한 안전 및 직무교육
제5장 철도차량 운행안전 및 철도보호	· 제39조의3 영상기록장치의 설치·운영 등 · 제40조의2 철도종사자의 준수사항 · 제41조 철도종사자의 음주 제한 등

	· 제49조 철도종사자의 직무상 지시 준수
제7장 철도안전기반 구축	· 제68조 철도안전기술의 진흥 · 제70조 철도안전 지식의 보급 등 · 제71조 철도안전 정보의 종합관리 등

□ 중대재해처벌법

제4조(사업주와 경영책임자등의 안전 및 보건 확보의무) ① 사업주 또는 경영책임자등은 사업주나 법인 또는 기관이 실질적으로 지배·운영·관리하는 사업 또는 사업장에서 **종사자의 안전·보건상 유해 또는 위험을 방지하기 위하여** 그 사업 또는 사업장의 특성 및 규모 등을 고려하여 다음 각 호에 따른 조치를 하여야 한다.

1. 재해예방에 필요한 인력 및 예산 등 안전보건관리체계의 구축 및 그 이행에 관한 조치
2. 재해 발생 시 재발방지 대책의 수립 및 그 이행에 관한 조치
3. 중앙행정기관·지방자치단체가 관계 법령에 따라 개선, 시정 등을 명한 사항의 이행에 관한 조치
4. 안전·보건 관계 법령에 따른 의무이행에 필요한 관리상의 조치

2.2 관련 상위 계획

□ 「제3차 철도안전종합계획 수정계획(‘16~’22)」의 철도종사자 역량 강화, 철도안전기술 개발 등

- 제3차 철도안전종합계획은 ‘대형철도사고 Zero, 사상자 50% 감소(2022년까지)’를 목표로 5대 분야 33개 추진과제를 제시

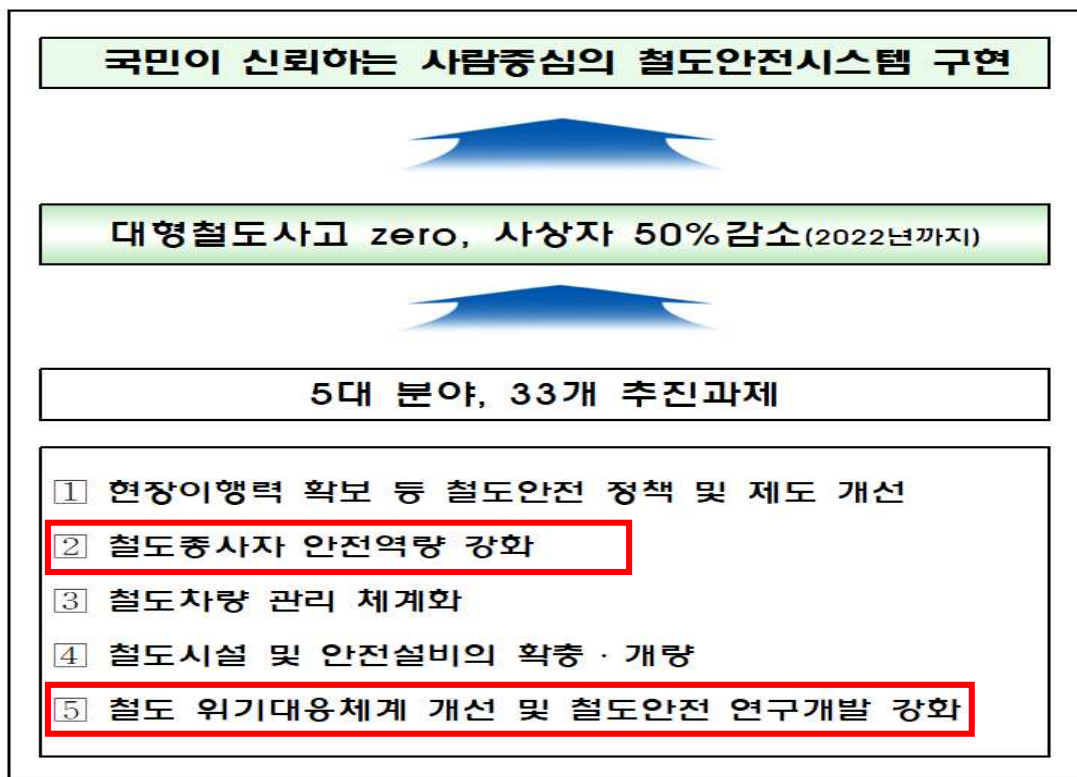


그림 9 제3차 철도안전종합계획 수정계획(‘16~’22) 비전·목표 체계도

- 5대 분야 중 하나로 ‘2. 철도종사자 안전역량 강화’를 포함하고 있으며 ‘5. 철도 위기대응체계 개선 및 철도안전 연구개발 강화’ 역시 5대 분야 중 하나로 제시
 - ‘2. 철도종사자 안전역량 강화’ 분야에서는 종사자 자격제도, 안전확보, 교육훈련 내실화, 비상대응 능력 향상 등을 추진과제로 제시
 - ‘5. 철도 위기대응체계 개선 및 철도안전 연구개발 강화’ 분야에서는 철도안전 개발, 위기대응체계 운영 등을 추진과제로 제시
- 「제8차 국가교통안전 기본계획(‘17~’21)」의 “철도 운행선로 작업 안전강화 및 인적과실 예방”, “대형사고 비상대응 및 철도재난 대응능력 향상” 등
- 제8차 국가교통안전 기본계획(‘17~’21)은 ‘대형교통사고 Zero, 철도사고 33.3% 감소, 1억 km당 열차사고 발생건수 감소, 1억 km당 사망자수(자살자제외) 유지’ 등을 목표로 제시
 - 철도안전관리를 위한 6대 방향과 13개 추진전략을 제시하고 있으며, 추진전략에는 ‘철도종사자 역량 강화’, ‘안전시스템 진단’ 등을 포함

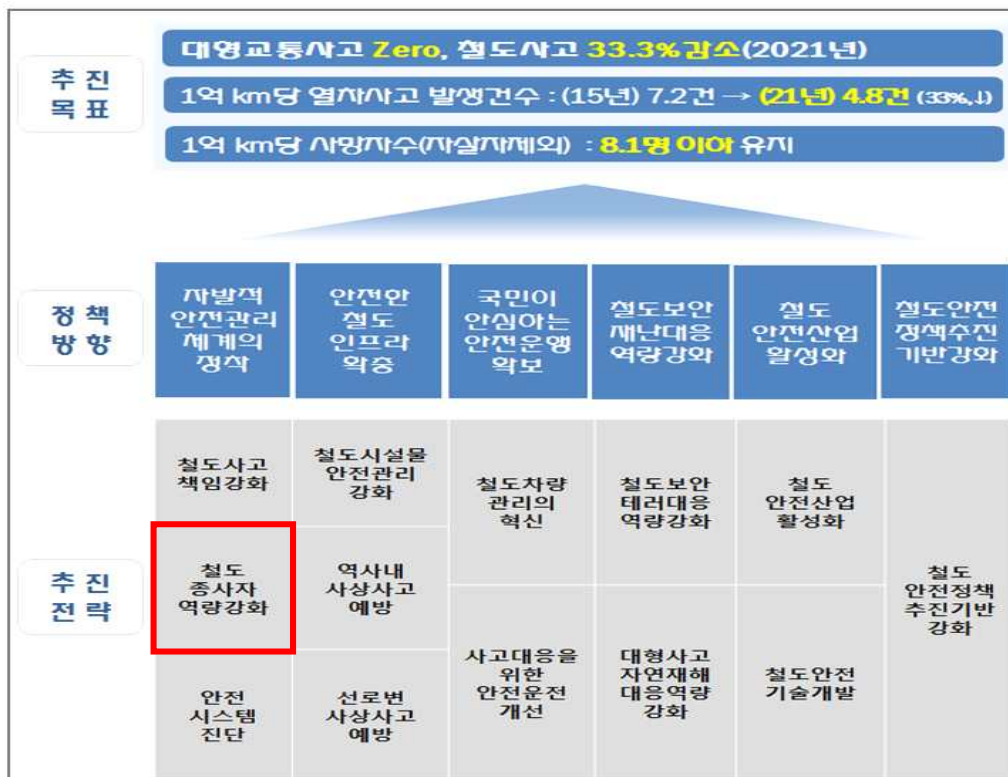


그림 10 제8차 국가교통안전 기본계획(‘17~’21) 목표/정책방향/추진전략

- ‘철도 운행선로 작업 안전강화 및 인적과실 예방’

- 운행선로 작업 안전확보
- 안전업무 종사자 역량검증 강화 및 인적요인 관리제도 개선
- 운행기록장치 분석 등 과학적 안전운행 관리 확대
- ‘철도안전 전문인력 양성 및 자격제도 확대’ 정부정책에 부합
 - 기관사 교육훈련용 시뮬레이터 활용 확대 및 개발
 - 재직자 교육 확대와 검증 강화
- ‘철도안전 원천기술개발 등 R&D 확대’ 정부정책에 부합
 - 종사자·환경 요인에 대한 종합적인 관리와 감시를 통한 중대사고 예방과 대응
 - 철도안전관리체계에 대한 모니터링과 체계 고도화 연구

□ 「스마트 철도안전관리체계구축 기본계획(’18~’27)」의 “운행기록 분석 등 인적오류 예방”, “VR·AR 활용 비상대응 역량강화”, “평가·교육 등을 통한 종사자 역량 강화” 등

- ‘운행거리 1억 km당 사고건수 및 사망자수’ 감축을 위한 6개 분야별 세부목표와 중점 추진과제를 제시하고 있으며, 6대 분야 중 인적관리, 위험관리, 운행관리 등 3개 분야는 동 사업과 밀접한 관계가 있음
- (인적관리) 인적오류로 인한 철도사고(건)을 ‘16년 6건에서 ’27년 3건으로 감축하는 세부 목표를 설정하고 이의 중점 추진 과제를 아래와 같이 제시
 - 운행기록 분석 등 인적오류 예방
 - VR·AR 활용 비상대응 역량강화
 - 평가·교육 등을 통한 종사자 역량 강화
 - 4차 산업혁명 시대 전문인력 양성
- (위험관리) 안전현황 실시간 관리 및 위험 원인 사전예방을 세부 목표로 설정하고 이의 중점 추진 과제를 아래와 같이 제시
 - 빅데이터 기반의 안전관리
 - 과학적 유지관리체계 도입
 - 체계적 위험도 평가 도입
 - 감독지원시스템 구축
- (운행관리) 1억 km당 작업자 사망자수를 ‘16년 2.2명에서 ’27년 0.1명으로 축소시키는 세부 목표를 설정하고 이의 중점 추진 과제를 아래와 같이 제시
 - 실시간 철도안전관제 구축

- 실시간 운행안전 모니터링
- 스마트 열차운행제어
- 운행사건 비상대응체계 개선

□ 「철도현장 작업자 안전대책(‘17)」의 “작업 적합성 검사”, “종사자 우선 매뉴얼 마련”, “종사자 안전수칙 확대”, “종사자 안전교육 강화” 등

- ‘17년 발표되었던 철도현장 작업자 안전대책은 ‘운행거리 1억 km 당 사망자 수’를 ‘16년 2.2건에서 ‘22년 0.5건으로 감축시키는 목표를 설정하고 4대 추진 방향 중 하나로 ‘작업자 안전 중심 절차 확립’을 포함

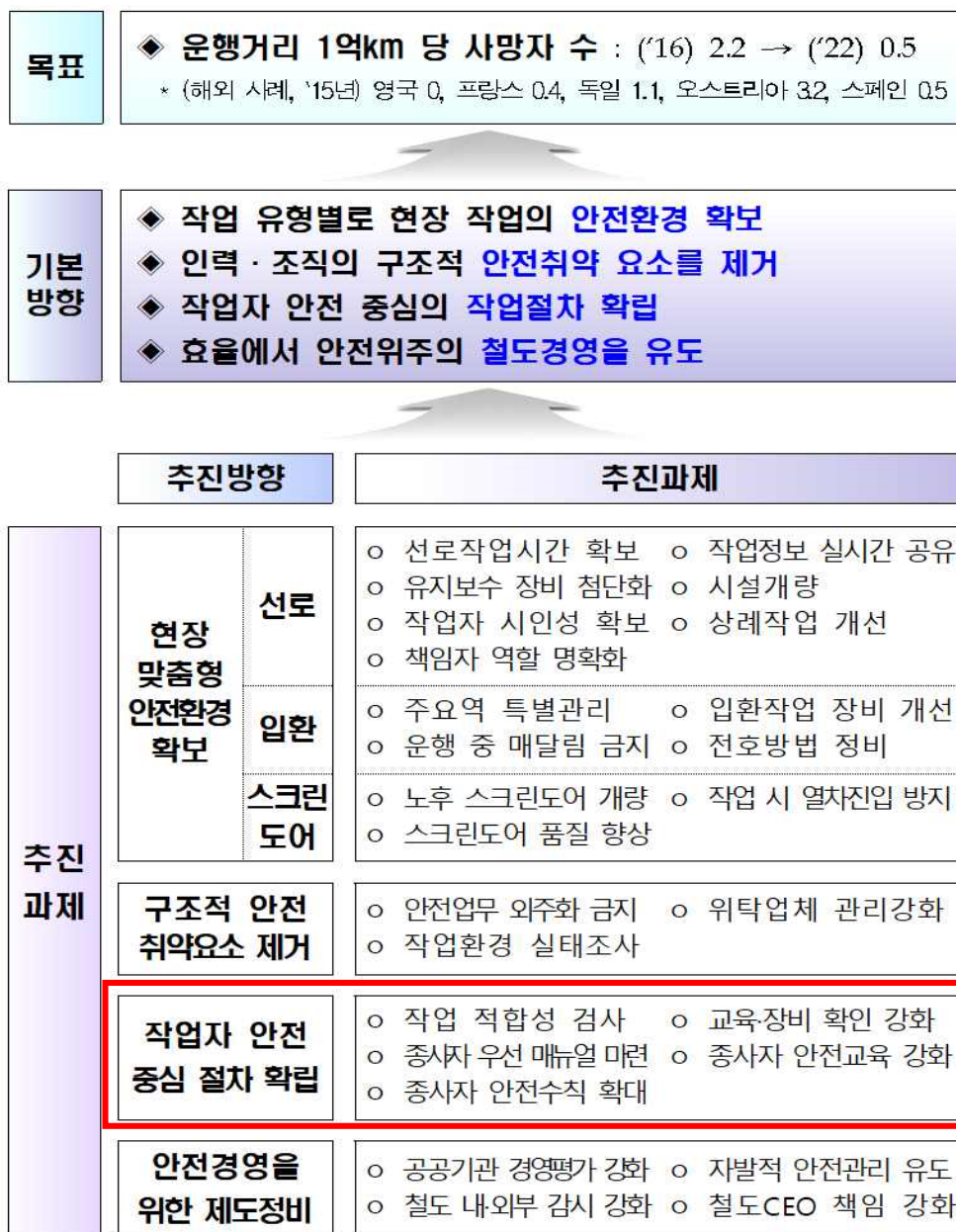


그림 11 철도현장 작업자 안전대책(‘17)

○ 작업자 안전 중심 절차 확립을 위해 아래와 같이 5개 추진과제를 제시

- 작업 적합성 검사
- 종사자 우선 매뉴얼 마련
- 종사자 안전수칙 확대
- 교육·장비 확인 강화
- 종사자 안전교육 강화

3. 시사점

□ 주요국들은 철도시스템 안전성을 위한 국가 차원의 중장기 계획 혹은 기술개발 전략을 수립하여 추진 중

○ 특히 종사자 안전관리와 관련해서는 자격능력 개발, 인적성능 관리를 제도화하고, 다양한 교육·훈련을 제공하며, 종사자들의 안전이 궁극적인 수준에 도달할 수 있도록 비전을 제시하여 지속적으로 평가를 수행하는 등 종사자 안전관리 관련 정책 이행 강화

□ 국내에서는 철도안전법 등을 통해 철도종사자의 안전관리를 명문화하여 관리하고 있으며, 최근 중대재해처벌법 시행으로 종사자 관리가 더욱 강화되고 있는 추세

○ 이를 위해 철도종사자 역량 강화, 안전 평가·교육 등을 강화시키고 있는 중

□ 주요국 철도안전관리 계획 및 추진전략, 정부 정책 기조 등 국내·외 철도안전관리 정책 기조를 고려할 때 철도 종사자 인적오류 분석·예방·평가 기술개발 확보가 시급

제2절 국내·외 시장 현황

1. 철도안전산업 시장 동향

- (국내) 국내 안전산업 시장규모는 2018년 말 기준 ‘산업안전’ 분야가 21.0%로 가장 높게 나타났고, 철도안전산업과 관련한 교통안전 분야는 안전산업 매출액 가운데 16.7%를 차지함

<표 3-1> 안전산업 분야별 매출액 비중(%)

구 분	재난안전	교통안전	산업안전	보안	기타	계
예방산업	28.4	18.9	42.5	1.2	9.0	100.0
대응산업	2.4	35.0	18.5	3.0	41.1	100.0
복구산업	2.9	2.4	29.1	1.1	64.5	100.0
기타 관련 서비스업	18.8	1.8	14.8	11.8	52.8	100.0
총계	8.0	16.7	21.0	2.9	51.4	100.0

- 2020년 철도안전 관련 정부 예산은 전년도 대비 49.6% 증가한 15,501억 원임⁷⁾

<표 3-2> 2020년 철도국 분야별 예산 정부안²⁰⁾

(단위 : 억 원)

구분		‘19년(A)	‘20년(B)	증감(B-A)
철도부문	고속철도	400	596	196
	일반철도	26,212	28,819	2,607
	광역철도	3,650	4,405	755
	도시철도	414	566	152
	철도안전 및 운영	21,539	28,161	6,622
		안전	10,360	15,501
운영	11,179	12,660	1,481	
非철도부문	정보화 등 기타	896	791	△105
합 계		53,111	63,337	10,226

7) ‘전국으로 촘촘하게 철도망을 확충하고 노후한 시설을 개량하여 철도안전을 강화하겠습니다’, 국토교통부 보도자료, 2019.09.25

□ (국외) 철도선진국에서는 철도인프라, 자동화, 최적화 등이 요구되는 스마트 철도시스템 시장이 신흥시장으로 대두되고 있으며, 스마트 철도안전 시장은 2019년 205억 4,000만 달러에서 2024년 309억 4,000만 달러로 성장할 것으로 전망

○ 유럽, 일본 등 주요 선진국은 ‘안전’을 미래철도의 최우선 가치 중 하나로 설정하여 4차 산업혁명의 첨단기술을 도입하고 있음⁸⁾

– (미국) TRB는 ‘New IDEAS for Rail Safety’ Project 통해 운행 중 차측균열감지 등 추진

– (일본) RTRI가 안전 DB 분석·의사결정 지원 시스템, VR 활용 안전교육 등을 추진

– (유럽) ERA는 ‘Capacity4Rail’ 프로젝트 통해 실시간 모니터링 기반 유지보수 등 추진



그림 12 전 세계 주요국가 스마트 철도안전 시장규모 전망(2019-2024)

출처: Markets and Market



그림 13 전 세계 스마트 철도 안전 산업 예측 성장률(2019-2024)

출처: Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis, 2020

8) 스마트 철도안전 기본계획, 국토개발부, 2017.12

□ (스마트 철도안전 시장) 솔루션, 서비스 시장으로 세분화되며 솔루션 시장은 스마트 철도안전 시장을 주도할 것으로 예측⁹⁾

- 서비스 부문은 스마트 철도 솔루션의 성능 유지에 대한 필요성이 증가하였기 때문에 솔루션 부문과 비교하여 예측기간동안 8.3%의 높은 CAGR 성장률을 보일 것으로 예측



그림 14 스마트 철도안전 시장 분야별 비중

출처: MarketsandMarkets Analysis, 2020

표 18 스마트 철도 시장규모(2017-2024)

Offering	2017	2018	2019-e	2024-p	CAGR (2019-2024)
Solutions	10,534	12,212	14,048	25,597	12.7%
Services	4,566	5,468	6,492	13,443	15.7%
합계	15,100	17,680	20,540	39,040	13.7%

* e: estimated, p: projected

** 출처: Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis, 2020

표 19 스마트 철도안전산업 주요국가 시장규모 (2017-2024)

Region	2017	2018	2019-e	2024-p	CAGR (2019-2024)
Europe	514	588	666	1,121	11.0%
APAC	351	424	508	1,099	16.7%
North America	348	414	488	988	15.1%
MEA	142	164	188	335	12.3%
Latin America	82	97	113	220	14.3%
합계	1,437	1,686	1,963	3,763	13.9%

* e: estimated, p: projected

** 출처: Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis, 2020

9) SMART RAILWAYS MARKET(GLOBAL FORECAST TO 2024), MarketsandMarkets, 2020

□ (스마트관리 솔루션 시장) 주요 기업은 화웨이와 지멘스로 다양한 솔루션과 제품을 제공하고 있음

- 화웨이(Huawei)는 전 세계적으로 철도에 ICT 솔루션을 공급하는 선도 업체로 GSM-R, eLTE, 광대역 솔루션 및 전송 솔루션과 같은 다양한 ICT 솔루션을 보유하고 있음
- 지멘스는 철도 산업에 전기 부품을 공급하는 선도 업체로 SIRIUS와 SENTRON이라는 이름의 두 가지 제품을 보유하고 있으며, 전 세계 수많은 철도차량에 적용하고 있으며, 또한 자동열차 제어시스템, 전자인터로킹시스템, 운영제어시스템, 철도통신시스템, 온보드 전원공급시스템 및 견인모터와 같은 다양한 자동화 서비스를 철도에 제공하고 있음

표 20 지역별 유지관리 시장규모, 2017~2024년 (단위 : 백만 달러)

Region	2017	2018	2019-e	2024-p	CAGR (2019-2024)
Europe	431	508	592	1,122	13.6%
APAC	241	297	362	828	18.0%
North America	117	147	183	451	19.8%
MEA	100	120	142	286	15.1%
Latin America	47	58	70	156	17.3%
합계	937	1,130	1,349	2,843	16.1%

* e: estimated, p: projected

** 출처: Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis, 2020

□ (철도안전 물리보안) 글로벌 철도안전 물리보안 시장규모는 연평균 10.31%로 꾸준히 성장하고 있으며, 국내 물리보안 산업도 13.31%로 글로벌 성장률 대비 높은 성장률을 유지

- 글로벌 물리보안 시장은 1,068억 달러(약 124.7조원 규모)로 동일 년도 국내 물리보안 시장은 3조원대의 규모 예상되며 2.4%를 차지

<세계 보안 산업 시장 동향(단위:억 달러)> <국내 보안 산업 시장 동향(단위:억 원)>



그림 15 국내외 보안산업 시장 규모 비교

자료: 물리보안산업이란 무엇인가, DIGIECO(www.digieco.co.kr)

- 글로벌 전체 물리적 보안장비 시장은 '14년 265억달러(31조5천억원)에서 '19년 418억달러(41조7천억원)로 성장하였으며, '14년부터 '19년까지 84%의 성장을 기록하였음¹⁰⁾

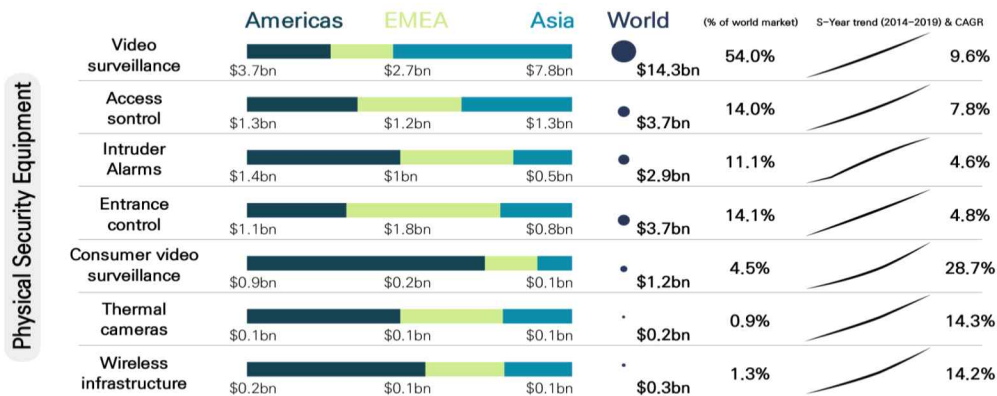


그림 16 물리적 보안장비 시장규모

- 국가별 보안장비 시장은 중국(70억달러), 미국(68.3억달러), 영국(10.4억달러), 독일(10.8억달러), 일본(11.4억달러), 우리나라(5.1억달러) 수준임

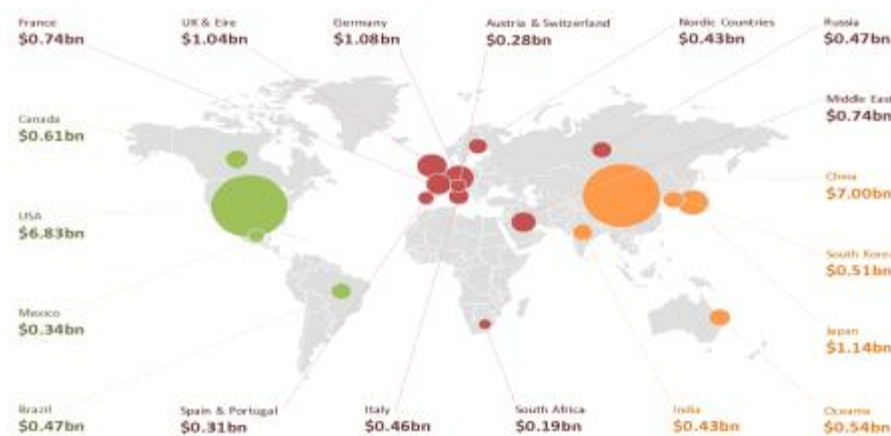


그림 17 국가별 보안장비 시장규모, * 출처 : IHS

10) Physical security equipment and services report 2015, iHS report, 2015

2. 빅데이터 및 AR·VR 관련 시장 동향

- (IoT 및 첨단 측정자동화 장비) 2018년 8월 공개된 IoT 분야 시장전문 조사기관 IoT Analytics의 State of the IoT 2018 자료에 따르면, 해외 IoT 시장의 매출규모는 2017년 1,100억 달러 규모에서 2018년 1,510억 달러 규모로 연평균 39% 성장하였으며, 동 CAGR 적용 시 2025년에는 1조 5,670억 달러 규모가 될 것으로 예측¹¹⁾

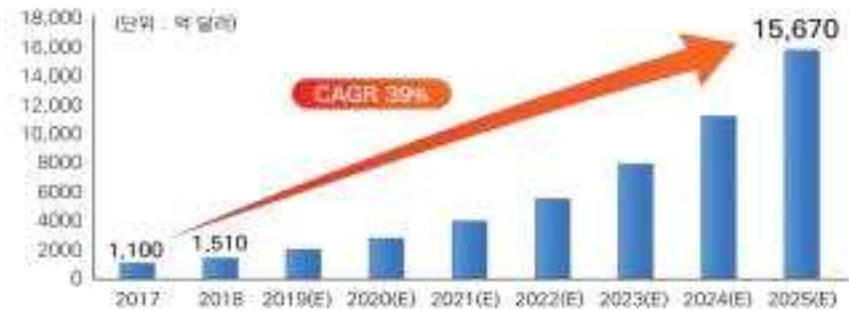


그림 18 해외 IoT 시장 매출규모

출처: IoT Analytics, "State of the IoT 2018", NICE평가정보 재가공

- (빅데이터 기술 및 데이터 시장) Wikibon에서 발표한 자료에 따르면 세계 빅데이터 시장규모는 2016년 280억 달러에서 2018년 1.5배 성장한 420억 달러로 2022년까지 5년간 연평균 11.1%의 성장세를 유지하며 710억 달러로 시장규모가 확대될 것으로 예측¹²⁾
 - 2022년까지 유망한 분야는 소프트웨어 시장으로 연평균 14.0%의 성장률을 보이며 270억 달러로 시장이 성장할 것으로 예상. 빅데이터를 이용한 비즈니스가 활성화될수록 하드웨어보다는 소프트웨어, 서비스 분야의 성장세가 높게 나타날 것으로 전망
 - 2027년에는 소프트웨어 460억 달러, 서비스 330억 달러, 하드웨어 240억 달러로 전체 시장은 1천억 이상으로 성장할 것으로 전망



그림 19 세계 빅데이터 시장전망, 2016-2027 (단위 : 십억 달러)

출처 : Wikibon, SiliconANGLE, Statista estimates and reported by Statista

11) IoT 소프트웨어, NICE 평가정보, 2019.07

12) 2018 빅데이터 시장현황 보고서, 한국정보화진흥원, 2019.4

- 중국의 2018년 빅데이터산업 규모는 4,385억 위안에 달하였으며, 2021년에는 8,071억 위안에 이를 전망이다. 이에 따라 빅데이터산업이 경제 성장동력으로 작용하여 새로운 스마트 시티 및 디지털 경제 구축이 활발해질 것으로 전망



그림 20 중국 빅데이터 시장규모

출처 : 2019 중국빅데이터산업발전백서(2019 中国 大数据产业发 展白皮书)

- 2018년 일본 빅데이터 시장규모는 267억 7,200만 유로 전년 대비 9.65% 성장한 것으로 추정되며, 빅데이터 관련 전문인력 규모는 411만 명으로 2017년의 404만 명에 비해 1.63% 증가한 것으로 조사됨¹³⁾
 - EU 28개국의 빅데이터 시장규모는 2017년 652억 8,600만 유로에서 2018년 715억 9,300만 유로로 9.7% 증가한 것으로 추정됨¹⁴⁾
- (AI 기술) AI 도입으로 운송·교통 분야의 위험도 분석, 취약점 분석을 통해 안전성, 신뢰성과 예측 가능성, 효율성, 환경 관련 문제해결¹⁵⁾
- 독일에서는 성능관리 소프트웨어를 통해 기관차 고장률 25% 감소하였으며 영국에서는 항공분야에서 중장비 정비예측, 엔진 교체시기, 착륙 기어 점검 등의 유지보수 자동화

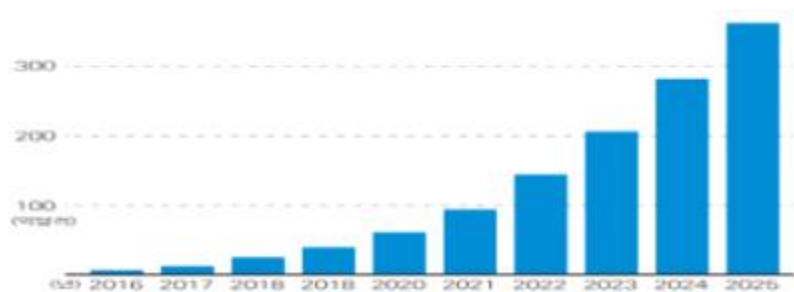


그림 21 인공지능 세계 시장규모 전망

출처: Tractica, 현대경제연구원 재인용, 2016

13) IDC, 2019

14) IDC, 2019

15) AI를 통한 운송과 교통 분야의 서비스 개선, KIAT, 2019.12.

□ (디지털트윈 기술) 공간정보를 플랫폼으로 통합하고, 교통, 재난 등 다양한 분야에서 구축되고 있는 사이버 물리시스템을 통합 및 구현을 통해 교통문제 해결, 재난구조 지원 등 다양한 문제를 해결¹⁶⁾

- 시장조사 기관인 마켓스 앤 마켓스(Markets and Markets)에 따르면 2016년의 2조원 시장규모가 2023년에는 18조 원이 될 것이며 2017~2023년 동안에 연평균 성장률이 37.87%나 될 것으로 전망
- 세계시장 조사 보고서에서 언급되는 디지털 트윈의 주요업체로 제너럴 일렉트릭(GE), 다쏘(Dassault), PTC, Ansys, Cosmo Company Sas, Autodesk, SimScale, DIGITAL TWIN, Concurus, Computer Science Corporation, Bosch 등이 있으며 국내업체는 전무한 실정

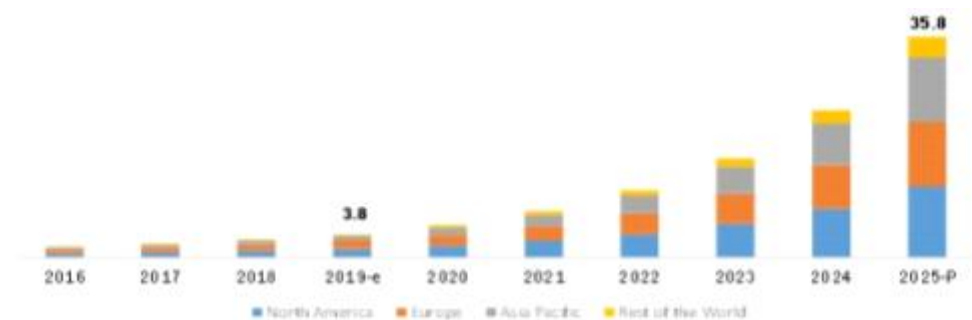


그림 22 세계 디지털 트윈 시장규모(단위 : 십억 달러)

□ (AR, VR 기술) 2019년 세계시장에서 VR·AR 서비스에 대한 시장 수요는 105억 달러(한화 약 12조 3천억 원)로 추산되며 2020년에는 199억 달러(한화 약 22조 500억 원)로 크게 상승할 것으로 예측되며, 2019년부터 2023년까지 연평균 성장률(CAGR)이 77%로 강한 성장세가 지속될 것으로 예측

- 세계시장에서 VR·AR의 수요는 공공 영역보다는 상업적 영역이 주도할 것으로 보이는데, 2020년에는 상업적 영역의 비중이 전체 시장에서 50% 미만이지만 2023년에는 68.8%까지 성장할 것으로 예측
- Digi-Capital에 의하면 AR/VR 분야의 세계 시장규모는 2017년 97억 달러에서 연평균 149.0%씩 급증해 2022년에는 5,567억 1,700만 달러에 이를 것으로 전망¹⁷⁾

표 21 AR/VR 분야의 세계 시장규모 및 전망

(단위: 백만 달러, %)

구분	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	CAGR
세계시장	9,712	24,187	60,233	150,000	373,549	930,137	149.0

출처: Digi-Capital, 2015, 22년은 '17~'21까지의 CAGR로 대체

16) 재난안전(2019 가을호), 국립재난안전연구원, 2019

17) 국내외 사물인터넷(IoT) 산업의 시장 분석과 비즈니스 전략, 산업경제리서치, 2019.12

3. 시사점

- 국내·외 안전요구 및 수요의 증가로 인해 안전성 향상을 위한 산업·시장규모는 지속적인 성장이 전망되며, 국내 안전산업 관련 정부 예산도 지속적으로 증가 추세였음
 - 국내 안전산업 예산은 2019년 기준 20조 227억 원으로 전년 대비 4.9% 증액되었으며, 2020년 철도안전관련 정부예산은 전년 대비 49.6% 증가함
 - 세계 안전사업 시장규모는 2013년 기준 2,809억 달러이며, 2023년에는 5,300억 달러 상회 전망(연평균 6.7% 성장 예측)되며, 세계 교통안전 시장규모는 2018년 기준 27억 달러이며, 2019년부터 2025년까지 연평균 10.5% 증가할 것으로 예상됨
- 국내 철도안전관리와 관련하여 민간이 주도하는 시장은 형성되지 않은 상황이며, 국가가 주도하여 투자하는 노후 차량 및 시설 개량, 안전성 향상을 위한 시설투자 등에 의존하고 있음
 - 국가철도(일반철도 및 고속철도) 기준 철도건설을 목적으로 연간 5조원 내외의 국고가 투입되었으며, 철도인프라 개량을 목적으로는 2017년 5,684억 원까지 투자 확대
 - 국내 철도차량 유지보수 시장은 약 1조 1,000억원이며, 전동차 유지보수 시장이 약 46%를 차지하고 있으나, 국내 철도운영체가 투입하는 예산은 정부로부터의 예산으로 민간주도의 시장은 미미함
- 정부투자의 효율화 및 글로벌 안전관리 마켓확보를 위해 철도안전분야에서도 IoT, 빅데이터, AI 등의 스마트 기술의 적용을 통해 스마트 철도시장이라는 신규시장 창출 필요
 - 글로벌 스마트 철도안전 시장은 2019년 205억 4,000만 달러에서 2024년 309억 4,000만 달러로 성장할 것으로 전망되고 있음
 - 스마트 기술을 이용한 철도시설 관리 및 유지관리 솔루션 전체 시장규모는 2019년 7억 2400만 달러에서 2024년 12억 4,100만 달러로 성장 전망
 - 철도차량 유지관리 솔루션 부문의 전체 시장규모는 2019년 21억 1,600만 달러에서 2024년 34억 8,500만 달러로 성장 전망
- 결과적으로 다양한 산업분야서 안전산업에 대한 중요성과 가치가 높아지면서 시장규모가 확대되고 안전산업에 4차 산업기술 융합이 강조되고 있는 상황으로 철도안전관리에서의 4차 산업기술을 활용한 선제적 대응이 요구됨

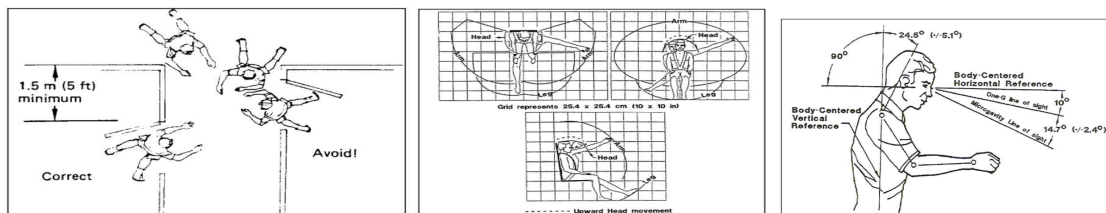
제3절 국내·외 기술 동향

1. 국내·외 기술개발 동향

1.1 해외 기술개발 동향

□ 인간공학적 측면에서의 철도 종사자 대상 안전성 평가 연구 활발

- 영국 RSSB, 미국 FRA, 호주 철도는 철도차량 운전실 인간공학 평가 가이드라인 개발하였고, 철도차량 운전실의 환경, 철도차량 운전실의 배치, 워크스테이션 디자인의 요소에 대한 자국 철도에 적합한 종합적인 규정 및 지침을 제시하였고, 철도차량 운전실 인간공학 평가에 관한 연구를 활발히 수행 중임
 - 국제철도연맹 UIC는 철도차량의 수출 및 철도의 국가 간 이동시 회원 국가 간의 권고사항으로 철도차량 운전실 인간공학 평가 가이드라인을 제시함
 - 스웨덴 고속철도 X2000, 일본 고속철도 신칸센, 프랑스 TGV, 독일 고속철도 ICE(Inter City Express)의 경우 철도차량 운전실의 인간공학적 인테리어 및 계기판의 인간공학적 설계를 실시
- 인간공학은 산업체뿐만 아니라 미국을 중심으로 하여 군사적인 목적에 활발한 연구가 진행 중이며, 미 국방성 Mil-Std 1472G에서는 Military 시스템 및 장비에 대해 인간공학적 디자인 기준을 제시
 - 미 항공우주국에서는 인간의 피로를 관리하기 System Engineering 접근의 항공기 및 우주선의 운전실 디자인 제시



[그림 23] 인간공학을 바탕으로 하는 항공기 및 우주선의 운전실 디자인의 개념도

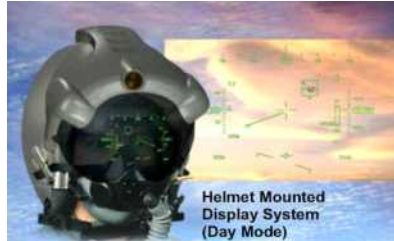
- 인간공학은 직업병의 방지를 위한 인체역학 및 안전공학의 일부를 이루며, 자동차산업과 항공 산업에도 크게 이용되고 있음. 자동차의 의자, 패널 등의 내장설계에 이용되어 보다 안락한 실내공간을 제공하기 위한 연구가 수행되고 있으며, 항공기 내장(Cockpit) 설계와 부대시

설(Airbag, Ejection seat, Helmet 등) 설계에도 중요한 역할을 담당

- 지금까지의 상업용 비행기로서 가장 안락하게 설계되었다는 Boeing 747 등이 그 예이며, F/A-18 전투기의 HUD(Head Up Display: 시야의 움직임에 맞추어 표시장치나 계기를 움직여주는 장치), F-35의 Helmet Mounted Display 등은 신체적 자유를 주면서도 효율적으로 정보를 제공해 주는 역할을 하고 있음



F/A-18 HMD



F-35 Helmet Mounted Display



[그림 24] 전투기 및 헬멧에 적용되는 HUD

- 군용 탱크, 전투기, 잠수함, 우주선 등 좁은 공간에서 엄청난 양의 정보를 처리하고 그에 따른 임무를 수행하여야 할 때, 인간의 적정 정보 처리 능력과 합리적인 작업부하(Mental and Physical Stresses)를 연구하는 것이 요구됨에 따라 미 공군, 해군 및 NASA에서 이에 관한 연구가 활발하며 최근에는 우주공간에서 장기체류임무 시에 조종사의 업무능력에 관한 연구가 진행 중임

□ (영국) Network Rail(철도시설관리자)과 RSSB(Rail Safety and Standards Board)는 인간공학에 관련된 대형 프로젝트 수행하여 인간공학 기초연구 및 응용 기술을 개발

- Network Rail(철도시설관리자)과 RSSB (Rail Safety and Standards Board)는 대학연구소, 정부기관 등이 참여하는 인간공학에 관련된 대형 프로젝트 수행하여 인적공학 기초연구 및 응용 기술을 개발하였음
- Network Rail(철도시설관리자)는 객차에서의 승객안전을 위한 공간설계, 인간중심적 신호체계 개발, 인체적, 공학적 안전설계를 위한 가이드라인 개발을 하였음
- RSSB는 기관차 운전실, 사령실, 신호센터 등에 대한 인간공학 평가 및 설계 기술개발, 철도 종사자 선발, 평가, 역할 정의 및 훈련체계 개발, 기관사의 주의력 향상 프로그램 등을 개발하였음

□ (영국) 철도 안전핵심 종사자에 대한 자격능력 개발과 인적성능 관리를 제도화하였고, 철도운영 기관은 자기 특성을 반영한 인적자원관리시스템(CRM)을 자체적으로 개발하여 다양한 교육훈련 센터나 전문기관을 통해 적용

- 영국 RSSB는 위험도 평가, 철도운영기관 안전관리(SMS), 철도사고조사 및 인적오류관리, 인적자원관리, 철도에서의 비-기술적 능력(NTS) 등 연간 교육훈련 코스 상시 운영 및 철도시스

템 운영, 관리상의 다양한 위험요인이 복합된 이례상황이나 사고 상황에서의 안전업무 수행도 (인적 성능)와 자격능력 개발을 위해 시뮬레이터를 활용하여 이상대응 훈련 및 진단평가 수행

- 영국 Arriva Trains Wales(ATW)는 기관사와 차장의 안전훈련 전달, 지속적 자격능력 개발 및 동적 학습문화 형성을 위해 2개의 시뮬레이터 센터 운영



[그림 7-1] 영국 ATW의 시뮬레이터를 활용한 기관사 안전훈련

- 영국 런던지하철(London Underground)은 자격능력의 개발, 관리를 위해 모든 직원에 대하여 e-Learning 학습관리시스템(LMS) 온라인으로 운영, 개인들은 자신의 경력 개발을 위한 학습 코스를 선택하여 학습계획을 작성하고 노선에 접근
 - RSSB는 영국 교통부의 지원을 받아 ‘The Industry’s Rail Technical Strategy 2012’를 수립하여 기존 기술 혁신 문화를 기반으로 새로운 기술을 구현하고 테스트 할 수 있도록 필수적인 연구 및 개발 투자를 위한 프레임 워크를 제공하였으며, 인적오류 빅데이터 구축하고 인적 요인을 기초연구분야의 지속적인 연구개발 수행
- (미국) 교통부 산하 TSI(Transportation Safety Institute)에서 철도를 포함한 교통수단의 “안전 및 보안”에 관한 Training Course 및 Seminar를 연간 교육일정에 따라 25개 과정 운영
- 군용 탱크, 전투기, 잠수함, 우주선 등 좁은 공간에서 엄청난 양의 정보를 처리하고 그에 따른 임무를 수행하여야 할 때, 인간의 적정 정보 처리 능력과 합리적인 작업부하(Mental and Physical Stresses)를 연구하는 것이 요구됨에 따라 미 공군, 해군 및 NASA에서 이에 관한 연구가 활발하며 최근에는 우주공간에서 장기체류임무 시에 조종사의 업무능력에 관한 연구 진행
 - 미국 플라이인사이드사와 프랑스 고터치 VR사가 협력하여 훈련 중 사용자가 플립, 스위치, 손잡이를 터치해 누를 수 있는 새로운 VR 훈련체계를 2018 유로사토리(Eurosatory) 국제 방산 전시회에서 공개
 - 최근 엔지니어링 기반의 제조업에서는 현실세계를 바탕으로 정보를 시각화하는 증강현실 기술이 주목받고 있으며 생산성과 업무 효율을 높이기 위하여 작업자에게 정비 지원을 위한 데이터를 제공하는 기술이 정비 및 교육분야에 적용되어 활용
 - 마이크로소프트의 홀로렌즈는 HMD(Head Mounted Display)반투명 디스플레이를 이용해 증강현실 영상이 사용자 환경과 상호작용하여 재생 및 이용자의 손동작을 통해 증강현실 영상

을 조작 가능

- 구글글래스는 한쪽 눈에 정보를 제공하는 단안식 프로젝션 디스플레이를 탑재하여 농업용 장비, 물류, 자동차, 방위산업 등 다양한 산업체에 활용
- 보잉사는 증강현실기술을 이용하여 항공기의 전선조립을 보조하는 시스템을 개발 운영



[그림 7-1] 증강현실을 적용한 정비 적용 사례

- 위험도가 높은 직무 훈련, 고가의 장비나 특수한 환경에서만 가능한 교육을 가상현실/증강현실로 구축하여 비용과 시간의 절감하고 교육 효과를 향상하기 위하여 의료, 군사 분야에서 활용되고 있으며 자동차, 제조업 등 다양한 산업으로 확대되고 있음.
- (미국) 미국연방철도청(FRA)는 철도차량 운전실 인간공학 평가 가이드라인, 기관사 부주의감지 시스템, 기관사 훈련 시뮬레이터 등 인간공학 기초연구 및 응용 기술을 개발
- (미국) 미국연방철도청(FRA)은 상원세출위원회(Senate Appropriations Committee)의 요청을 받고 철도연구개발 사업에 대한 5개년의 전략계획을 수립하고 열차 운전자의 경각심을 연속적으로 실시간 감시할 수 있는 기술 개발, 시뮬레이터를 이용한 시험환경 구축 요건 개발, 인간공학 실험 및 교육 훈련용 시뮬레이터 개발 등 주요 기술을 개발하였음
- FRA, 기술개발전략(2020~2024) : ‘Emerging Technology and Strategy’로 Human Factor 개선을 위한 AR/VR 훈련시스템 개발 등 제시
- (일본) 차량운행 기술 리뷰, 기관사 상태파악을 통한 운전보조, 자연재해 시 위험개소 및 피해 예측, 열차운전 시뮬레이터 기술 등을 개발



[그림 27] 일본 철도종사자 안전시스템 사례

- (프랑스) SNCF는 인적오류를 예방하기 위해 운전 방법의 개선, 운전실 환경개선 등을 연구하기 위한 다목적 시뮬레이터, 분기기 고장 대처 훈련용 시뮬레이터를 개발하였음.
- 프랑스 Alstom社는 철도 운전사의 안전성, 편안함 등을 고려한 인체공학적(Ergonomics) 디자인을 반영한 고속철도(TGV-NG)운전실(Cabin)을 설계, 제작하여 시험, 평가하였음 Sagot J. C, Gouin V, Gomes S, Ergonomics in product design:safety factor, Elsevier, Vol4 1, 2003



[그림 28] 프랑스 Alstom社에서 개발한 철도운전사 인체공학적 설계안

자료 : Philippe Hugen

1.2 국내 기술개발 동향

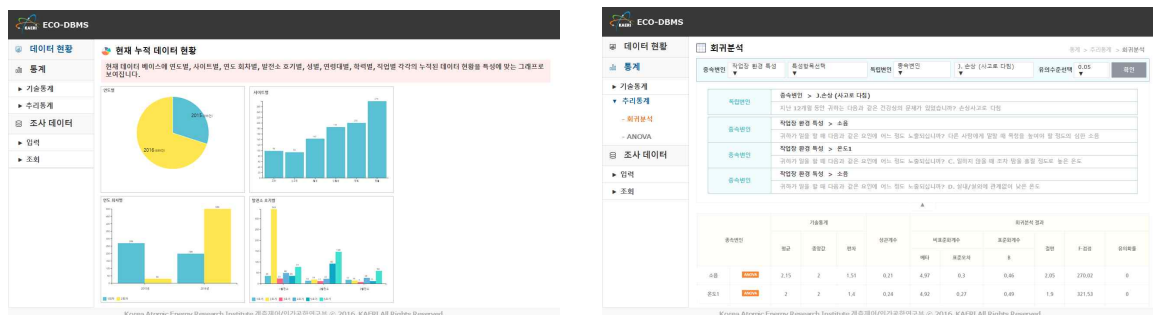
- (철도 운영처) 인적오류를 줄이기 위한 제도적 관리체계 중 인적오류를 줄이는데 필요한 세부 시행지침을 개발하고, 종사자의 행동, 근무여건 등에 대한 과학적 분석에 기초한 직무별 자격능력 검증 및 체계적 인적관리 기술 개발 중
 - 국철/도시철도 운전업무종사자에 대한 운전업무종사자 자격관리 항목 및 상위 기술기준 초안을 개발하고, 개발된 자격관리 기술기준 초안에 대한 관련 조직 협의를 통한 보완. 운전업무종사자 자격관리 상위 기술기준 제시
 - 국철/도시철도 운전업무종사자에 대응하는 자격관리 시행지침 항목 및 초안 개발하고, 개발된 시행지침 항목 및 초안에 대한 관련 조직 협의하여, 운전업무종사자 자격관리에 대한 세부시행지침 제시
 - 일본, 미국, 프랑스 등 철도 선진국과의 협조를 통한 운전업무종사자의 자격요건 평가기준 및 절차분석, 국내 철도분야로의 적용가능성 검토 및 세부방안 제시
 - 원자력 및 항공분야 등 타 산업분야의 운전업무종사자 자격요건의 벤치마킹 및 비교분석을 수행하고, 국내 철도분야로의 적용가능성 검토 및 세부방안 제시
- 국방분야는 무기체계 지능화 및 훈련체계 고도화를 위한 인공지능 시범사업을 진행하고 있으며 4차 산업혁명 기술을 활용한 군사기술 혁신을 위한 마스터 플랜을 마련
- 한국전자통신연구원(ETRI)는 영상에 나타나는 다양한 사물과 행동을 인식하고 위험을 예측하는 시각인공지능 기술인 “딥뷰(Deep View)” 개발



[그림 29] ETRI에서 개발한 “Deep View” 개념도

□ 한국원자력연구원은 원자력 시설의 운영과정에서 인적오류 특성항목의 측정 및 평가/분석을 위한 인적오류 특성 DB 시작품(ECO-DBMS)을 개발

- 수집된 데이터들에 대한 다양한 통계적 추론 방법을 통하여 인적오류 발생가능성 등을 평가할 수 있도록 하였으며, 데이터베이스를 통하여 인적오류 특성항목들을 지속적으로 관리함으로써 인적오류 발생에 대한 선제적 대응 및 조치가 가능하도록 하였음



[그림 30] 한국원자력연구원 ECO-DBMS 누적 데이터 현황 및 회귀분석 화면 예시

□ (도로분야) 국내 도로분야의 경우 사업용 자동차 운전자 대상으로 시뮬레이터를 이용한 상황지각검사와 위험판단검사 시스템 개발하여 정밀적성검사에 적용하여 종사자 교육·평가를 위한 기술 개발하고 있음



[그림 31] 사업용 자동차 운전자 대상 위험판단 검사의 구성

- 도로주행 시뮬레이터 실험센터는 가상현실(Virtual-Reality) 기법을 이용하여 실제 운전상황을 모의하는 가상주행 실험시설로, 2015년 국가 연구개발(R&D) 사업으로 시작하여 실시간 운전자 생체신호 측정을 통해 운전자의 불안감 주행안전성, 주시행태 등을 분석 운전자 시각에서 보는 도로주행 시뮬레이터 실험센터, 19일 문 연다, 국토교통부 보도자료, 2018.12.19



[그림 34] 훈련수행 시스템 및 절차 개념도

- 국방분야에서 HMD AR기반 전자식 기술 교범 플랫폼 개발
- 가상현실 시뮬레이션 환경에서 금속 형상을 가상 제작 및 평가하는 용접 훈련 시뮬레이터



[그림 35] 가상현실 및 증강현실을 활용한 훈련 시뮬레이터

- (원자력) 원자력 시설의 운영과정에서 인적오류 특성항목의 측정 및 평가·분석을 위한 인적오류 특성 DB 시작품(ECO-DBMS)을 개발

2. 특허 동향

□ 분석 목적

- 국내·외 출원된 특허 동향을 분석하여 동 사업 추진방향 도출 시 참고자료로 활용하고자 함.
 - 스마트 철도안전 기술 분야의 △철도 운행 안전관리, △철도현장 위험 사전예방, △통합 철도 안전관리 관련 국내·외 특허를 분석

□ 분석 대상

- 20년간(2000~2019) 관련 분야 출원 공개된 한국, 미국, 유럽, PCT 특허 대상 분석

표 22 특허 분석 대상

대상 종류	내용
특허 DB	위즈도메인 (Wisdomain)
검색조건	[국문] 국내 출원 공개 특허 [해외] 미국, 유럽, 국제(PCT) 출원 공개 특허
검색기간	2000.01.01. ~ 2019.12.31. (총 20년)

□ 분석 방법

- 철도안전분야는 기술 전체를 3가지 중점추진 분야별로 구분하여 특허 동향을 분석
 - 각 분야별로 전문가의 검수를 받은 기술분야 및 키워드를 조합하여 기술분야 별로 검색식을 작성하고 수정 보완
 - 확정된 검색식을 특허 DB에 적용하여 원본데이터(Raw Data)를 확보하였으며, 기술 특성에 맞지 않는 노이즈를 제거함으로써 분석대상 유효특허를 선별
 - 유효특허를 대상으로 출원연도별, 국가별, 출원인별, 출원국가별로 분류하여, 각 중점추진 기술별로 특허건수, 점유율 등으로 구분하여 분석 수행

표 23 특허분석을 위한 기술트리

중분류	기술정의
종사자 인적오류 데이터 분석 및 대응 기술	철도 종사자 인적오류 전조요인 및 배경요인 관련 특성 데이터를 센싱, 수집, 분류, 가공하고 이를 분석하여 위험을 평가하고, 빅데이터 기반 사고 위험을 사전에 예측하는 기술
종사자 인적오류 사전 예방 교육·훈련 지원 기술	인적오류 사고 및 장애 사전예방과 조기대응을 위한 교육훈련(합동훈련 가상시스템, 증강 현실 기반 차량/시설 정비(훈련) 및 인적오류 회복·대응 기술) 기술

표 24 철도안전분야 국/영문 특허 검색식

구분	검색식	
A. 종사자 인적오류 데이터 분석 및 대응 기술	국문	(철도 OR 열차 OR 지하철 OR 전철) AND ((종사자 OR 작업자 OR 기관사 OR 관제사 OR 역무원 OR 인적*) AND (오류 OR 과실 OR 실수 OR 착오 OR 인지실패 OR “인지 실패” OR 아차사고 OR 인적오류 OR 기억실패 OR 위반 OR 사고 OR 낙하 OR 추락 OR 미끄러짐 OR 발빠짐 OR 발판 OR 보호 OR 스크린도어 OR 안전문 OR PSD OR 치안 OR 테러 OR 위협 OR 위험 OR 폭발 OR 공격)) AND (측정 OR 센싱 OR 감지 OR 모니터링 OR 분석 OR 평가 OR 예측) AND (data OR 데이터 OR 데이터 OR 빅데이터 OR 빅데이터 OR DB) AND (AD=20000101:20191231)
	영문	(railway OR railroad OR “train” OR subway) AND ((driver OR staff OR worker OR engineer* OR controller) NEAR/5 (“cognitive failure” OR near-miss OR error OR mistake OR failure OR accident OR slip OR lapse OR violation OR fall* OR slip* OR platform OR PSD OR “screen door” OR terror OR danger* OR bomb OR blast)) AND (detect* OR inspect* OR measur* OR sens* OR monitor* OR forecast*) AND (data OR “big-data” OR “big data”) AND (AD=20000101:20191231)
B. 종사자 인적오류 사전 예방 교육·훈련 지원 기술	국문	(철도 OR 열차 OR 지하철 OR 전철) AND ((교육 OR 훈련 OR 트레이닝) NEAR/5 (사고 OR 과실 OR 실수 OR 인적오류 OR 오류 OR 회복 OR 모의 OR 사전 OR 체험)) AND (AD=20000101:20191231)
	영문	((railway OR railroad OR “train” OR subway) NEAR/5 (driver OR staff OR worker OR engineer* OR controller)) AND ((train* OR simulat*) NEAR/5 (accident OR error OR “human error” OR mistak*)) AND (AD=20000101:20191231)

<표 4-1> 분석대상 특허 및 유효 건수

분류체계	검색결과				국내·외 유효건수 합계
	국문		영문		
	검색건수	유효건수	검색건수	유효건수	
A. 종사자 인적오류 데이터 분석 및 대응 기술	93	57	277	31	88
B. 종사자 인적오류 사전 예방 교육·훈련 지원 기술	13	29	48	31	60
합계	106	86	325	62	148

3. 기술수준 분석

□ KISTEP에서는 국제비교를 통해 우리나라 국가 중요 기술수준을 진단하고 과학기술시책 수립에 필요한 기초자료를 제공하기 위해 120대 국가전략기술에 대해 기술수준평가를 수행¹⁸⁾

○ 과학기술기본법 제14조 2항 및 과학기술기본법 시행령 제24조 2항에 의거하여 매 2년마다 국가중점기술에 대한 현황 및 발전 추이를 파악하고 과기 정책의 성과를 점검

○ 「제4차 과학기술기본계획」에 포함된 중점과학기술에 대해 미국, EU, 일본, 중국과의 기술격차 등을 분석

- 120개 전략기술별로 기술수준평가를 실시하고 10대 기술 분야별*로 구분하여 종합분석을 추진

* ①전자·정보·통신, ②의료, ③바이오, ④기계·제조·공정, ⑤에너지·자원·극한기술, ⑥항공·우주, ⑦환경·지구·해양, ⑧나노·소재, ⑨건설·교통, ⑩재난·재해·안전

- 기술 트렌드, 기술발전정도, 기술 간 유사·중복 등을 고려하여 기존 국가전략기술들의 기술명, 기술범위, 세부기술 등을 정비

※ 인공지능, 스마트 홈, 스마트 시티, 3D 프린팅, 대기오염 대응 등 12개 기술 신규 반영

□ 본 기획사업의 철도안전관리와 관련된 기술 분야는 120대 전략기술 중 하나의 기술로 선정하기가 어려우나, 건설·교통분야와 재난 안전분야, ICT 및 SW분야의 일부 전략기술이 해당

○ 본 기획범위의 주요 핵심기술은 IoT 등 첨단 계측시스템을 활용하여 다양한 위험요인의 빅데이터 구축, AI 기술을 활용한 위험 진단·분석·예측, 디지털 트윈 기반의 의사결정 및 선제대응기술이 해당

○ 건설·교통에서는 철도안전관리와 관련하여 8. 빅데이터 기반 국가 인프라 예방적 유지관리 기술이 직접적으로 해당

○ 재난안전에서는 철도안전관리와 관련하여 12 복합재난 스마트 예측·대응기술, 13 범죄·테러 통합 지능형 예측·대응시스템 기술 2개 기술이 해당

○ ICT 및 SW 분야에서는 108. 지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술을 포함한 6개 기술이 해당하며 표에 각 기술의 개요가 제시

<표 4-1> 120대 국가전략기술 중 철도안전관리 기술 관련 핵심 기술(KISTEP, 2019)

분야	번호	전략기술명	전략기술 설명
1. 건설·교통	8	빅데이터 기반 국가 인프라 예방적	• 국가 인프라 상세 정보(이력, 상태, 환경 등)를 활용하여 인프라 안전 수준 및 미래 수명을 예측 하고, 인프라 맞춤형 조치 방안을 제시하기 위한 기술

18) 과학기술정보통신부, KISTEP, 2018년 기술수준평가, 2019.04

분야	번호	전략기술명	전략기술 설명
		유지관리 기술	30년 이상 노후시설물이 향후 15년 이내 9배 이상 증가가 예상되며, 막대한 인력 및 예산 투입이 불가피한 바, 이에 <u>사전 대비</u>하기 위한 무인·자동화·고효율 인프라 유지관리 기술 - 예시로, 인프라 <u>자가진단·점검기술, 빅데이터 기반 시설물 성능 평가·예측기술, 예방적 유지관리 조치·대응 기술</u> 등
2. 재난 안전	12	복합재난 스마트 예측·대응기술	- 사회공학(social engineering)적 지식과 빅데이터 등을 활용하여 <u>인적·기술적·사회적 요인들로 인해 발생하는 재난을 예측하고 선제적 으로 대응할 수 있는 기술</u>로, 복합적 요인들에 의한 재난, 다수의 재난들이 동시 또는 순차적으로 발생하는 재난 등 <u>기존 재난과 발생 및 확산 양상이 다른 재난들에 대해서도 효과적으로 대응할 수 있는 기술</u> - 재난피해자에 대한 대피 및 물리적 생존기술을 포함하여 구조·구급, 심리치료 등을 통해 사회서비스 기능을 조속히 회복하고, 피해자로 하여금 사회에 복귀할 수 있도록 지원하는 기술을 포함
	13	범죄·테러 통합 지능형 예측·대응시스템 기술	- 인명살상, 시설과괴, 사회혼란 및 공포심 유발 등을 목표로 하는 모든 <u>범죄와 테러 시도를 사전에 적발 또는 차단할 수 있는 정보 수집·분석, 감시 및 예방 기술</u> - 다양한 범죄, 대량살상용 화생방 테러 및 소프트 타겟 대상의 물리적 공격 등으로부터 <u>인적·물적 피해를 최소화하는 대응기술</u>
11. ICT·SW	108	지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술	<u>데이터 특성에 적합한 빅데이터 분석 방법</u>(통계, 딥러닝·기계학습, 그래프 분석 등)을 연구하고, 이를 <u>공공과 산업분야에 융합·활용 하여 가치를 창출하는 기술</u> * 의료, 공공정부, <u>도시 인프라(교통, 환경)</u>, 도소매업, 공장, 과학 분야 등 - 빅데이터 분석 방법의 고도화를 통하여 적시에 필요한 통찰력 (Insight) 과 예지력(Foresight)을 확보하는 분석기반 기술 <u>사물인터넷(IoT) 센서의 Fast Data 분석 기술, 딥러닝 기반의 심층 분석 기술, 멀티 모달 데이터 통합 분석 기술, 예측 분석 기술</u> 등을 포함
	109	초고속·대용량 데이터 플랫폼 기술	- 기존 데이터베이스로 처리하기 어려운 <u>비정형·대용량 데이터를 빠르고 확장성 있게 관리하고 처리 할 수 있는 소프트웨어 플랫폼* 기술</u> * 스토리지, 데이터베이스, 클라우드 서비스 플랫폼, 분산 처리 구조, 연산처리 등 - 기존의 데이터베이스로 처리할 수 없는 대용량 데이터를 빠르고 편리하게 서비스로 제공할 수 있도록 하는 <u>데이터 플랫폼과 컴퓨팅 인프라 기술</u> <u>인공지능의 정확성 향상을 위해서는 데이터의 품질과 데이터 처리성 능이 전제되어야</u> 하므로 이를 이루기 위한 기반기술 - 인메모리 기반 데이터 저장, GPGPU(General-Purpose computing on Graphics Processing Units) 기반 데이터 처리, 양자컴퓨팅 이나 뉴로컴퓨팅 등 새로운 컴퓨팅 인프라 기술
	110	다중 인공지능 공통 플랫폼 기술	- 언어·시각·음성 등 인공지능 요소기술 고도화를 넘어 공통 플랫폼에 필요한 기술을 제공하여, <u>다양한 인공지능 응용 서비스에서 공통적 으로 활용할 수 있는 기술</u> - 추론 및 학습 기술, 언어·시각·음성·복합 지능 플랫폼 기술 등을 포함
	114	가상·혼합현실 기술	- 실시간으로 계산된 감각 정보들을 통한 가상 환경이나, 현실세계에 가상 사물이나 정보가 증강 및 혼재하는 <u>혼합현실의 세계를 사용자가 현실감 있게 지각(perception)하고 경험하며 상호작용할 수 있게 하는 기술</u> - 실제 공간이나 사용자 행위를 인식하는 영상처리 및 컴퓨터 비전 기술 과, 현실맥락 인지에 기반해 일관성 있는 가상 정보의 공존감 합성을 통

분야	번호	전략기술명	전략기술 설명
			한 혼합 공간 생성 기술(특히, 혼합현실의 경우)이 중요 하며, 이에 대한 사용자의 경험 및 상호작용으로부터 맥락을 인지하는 지능 기술, 콘텐츠 도메인에 기반한 가상·혼합 정보 표현과 상황 시뮬레이션에 따른 다중 감각 피드백 기술 등을 포함
	117	지식정보 보안기술	• 암호, 인증, 인식, 감시 등의 보안기술이 적용된 제품을 생산하거나 관련 <u>보안기술을 활용하여 개인, 기업, 국가의 안전과 신뢰를 보장 하는 서비스를 제공하는 기술</u> • 다양한 ICT 기술이 공격자의 존재 유무에 상관없이 의도한대로 서비스를 제공하는 것을 보장하는 기술
	119	초연결 사물인터넷 기술	• <u>인공지능 기반의 지능체계와 연계하여 상황인지 및 최적 자율 제어 기반의 지능 서비스를 제공하고, 물리적 세상과 가상공간을 초연결 하는 지능형 사물인터넷(IoT) 및 디지털 사이버 인프라 기술</u>

자료: KISTEP, 2018년 기술수준평가, 2019, 일부 발췌

1.1 복합재난 스마트 예측·대응 기술¹⁹⁾

□ 중점과학기술 개요

- 사회공학(social engineering)적 지식과 빅데이터 등을 활용하여 인적·기술적·사회적 요인들로 인해 발생하는 재난을 예측하고 선제적으로 대응할 수 있는 기술로, 복합적 요인들에 의한 재난, 다수의 재난들이 동시 또는 순차적으로 발생하는 재난 등 기존 재난과 발생 및 확산 양상이 다른 재난들에 대해서도 효과적으로 대응할 수 있는 기술
- 재난피해자에 대한 대피 및 물리적 생존기술을 포함하여 구조·구급, 심리치료 등을 통해 사회 서비스 기능을 조속히 회복하고, 피해자로 하여금 사회에 복귀할 수 있도록 지원하는 기술을 포함

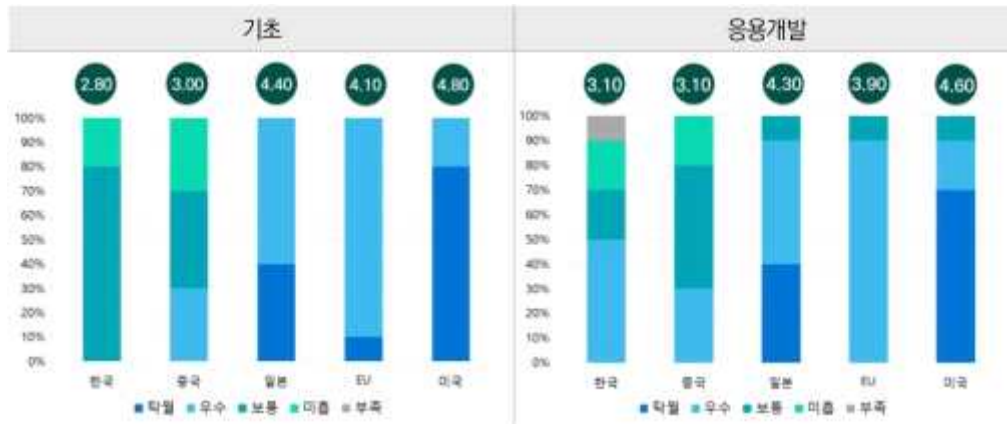
□ 주요국 기술수준 및 격차

<표 4-2> ‘복합재난 스마트 예측·대응 기술’ 전문가 델파이 조사결과

국가	기술수준·격차			연구단계역량		연구개발 활동경향
	수준(%)	격차(년)	그룹	기초	응용개발	
한국	70.5	5.0	추격	보통	보통	상승
중국	65.0	6.5	추격	보통	보통	상승
일본	90.0	0.5	선도	우수	우수	유지
EU	92.5	1.5	선도	우수	우수	상승
미국	100.0	0.0	최고	탁월	탁월	유지

19) 과학기술정보통신부, KISTEP, 2018년 기술수준평가, 2019.04

□ 주요국 연구단계 역량 평가



[그림 36] ‘복합재난 스마트 예측·대응 기술’ 연구단계 역량

□ 한국의 기술수준 및 격차 판단

- 기술 개발 수준이 선도 그룹에 비해서 다소 침체되어 있으나, 재난 안전 전 주기에 대한 연구 개발 추진 중
- 현재 벤치마킹, 기초연구 등으로 기술수준이 많이 향상되어 있으나 선도그룹 수준에 미치지 못함
- ICT 기술은 세계를 선도하나 재난 관련 정보 인프라는 낮은 수준
- 종합적이고 장기적인 연구체계가 잘 갖춰져 있지 않음
- 재난관련 피해지역과 규모, 대처 방안 등에 대한 문자알림 등 통신 서비스 분야는 발달되어 있지만 실제 우리나라에서 발생할 가능성이 높은 재난에 대한 기초 연구 부족

1.2 지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술²⁰⁾

□ 중점과학기술 개요

- 데이터 특성에 적합한 빅데이터 분석 방법(통계, 딥러닝·기계학습, 그래프 분석 등)을 연구하고, 이를 공공과 산업분야(의료, 공공정부, 도시 인프라(교통, 환경) 등)에 융합·활용하여 가치를 창출하는 기술
- 빅데이터 분석 방법의 고도화를 통하여 적시에 필요한 통찰력(Insight)과 예지력(Foresight)을 확보하는 분석기반 기술

20) 과학기술정보통신부, KISTEP, 2018년 기술수준평가, 2019.04

- 사물인터넷(IoT) 센서의 FastData 분석 기술, 딥러닝 기반의 심층분석 기술, 멀티 모달 데이터 통합 분석 기술, 예측 분석 기술 등을 포함

□ 주요국 기술수준 및 격차

<표 4-3> ‘지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술’ 전문가 델파이 조사결과

국가	기술수준·격차			연구단계역량		연구개발 활동경향
	수준(%)	격차(년)	그룹	기초	응용개발	
한국	70.0	2.3	추격	미흡	우수	유지
중국	83.0	1.0	추격	우수	탁월	급상승
일본	77.0	1.8	추격	보통	보통	유지
EU	85.0	1.3	선도	우수	우수	상승
미국	100.0	0.0	최고	탁월	탁월	상승

□ 주요국 연구단계 역량 평가



[그림 37] ‘지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술’ 연구단계 역량

□ 한국의 기술수준 및 격차 판단

- 글로벌 서비스가 약하고, 기술개발을 위한 플랫폼 구축 및 인프라 구축 속도가 다소 약함
- 정부규제로 발전이 어려움

1.3 가상, 혼합현실 기술²¹⁾

□ 중점과학기술 개요

- 실시간으로 계산된 감각 정보들을 통한 가상 환경이나, 현실세계에 가상 사물이나 정보가 증강 및 혼재하는 혼합현실의 세계를 사용자가 현실감 있게 지각(perception)하고 경험하며 상호작용할 수 있게 하는 기술

21) 과학기술정보통신부, KISTEP, 2018년 기술수준평가, 2019.04

- 실제 공간이나 사용자 행위를 인식하는 영상처리 및 컴퓨터 비전 기술과, 현실맥락 인지에 기반해 일관성 있는 가상 정보의 공존감 합성을 통한 혼합 공간 생성 기술(특히, 혼합현실의 경우)이 중요하며, 이에 대한 사용자의 경험 및 상호작용으로부터 맥락을 인지하는 지능 기술, 콘텐츠 도메인에 기반한 가상·혼합 정보 표현과 상황 시뮬레이션에 따른 다중 감각 피드백 기술 등을 포함

□ 주요국 기술수준 및 격차

<표 4-4> ‘가상, 혼합현실 기술’ 전문가 델파이 조사결과

국가	기술수준·격차			연구단계역량		연구개발 활동경향
	수준(%)	격차(년)	그룹	기초	응용개발	
한국	80.0	2.0	추격	보통	우수	상승
중국	80.0	2.0	추격	보통	우수	급상승
일본	90.0	1.0	선도	우수	우수	상승
EU	87.0	1.3	선도	우수	우수	상승
미국	100.0	0.0	최고	탁월	탁월	상승

□ 주요국 연구단계 역량 평가



[그림 38] ‘가상, 혼합현실 기술’ 연구단계 역량

□ 한국의 기술수준 및 격차 판단

- 최고기술 보유국에 비해 기반기술 연구가 저조하고 수준도 상당수 낮음. 또한 상업적인 결과물도 기존기술 응용에 치우침
- 최고기술 보유국 대비 정부 및 민간 투자 비율이 10% 수준 이하이며, 특정 기업 및 연구소 위주의 기술개발 편중

4. 정부 R&D 투자 동향

4.1 분석 개요

□ 기술분류에 따른 철도안전 분야 관련 국가연구개발(R&D) 투자 동향분석을 통해 국내 연구개발 역량 진단 및 향후 R&D 방향성을 위한 참고자료로 활용하고자 함.

○ (조사범위) 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)의 DB를 통해, 최근 5년('15~'19)간 추진된 국가연구개발사업 및 과제 검색

－ 연구목표, 연구내용 등에 관련 키워드로 DB를 추출하여 철도 교통분야 과제를 조정

* 철도교통 관련 키워드로 '철도', '열차', '전철'을 입력 후 과제 DB를 추출

－ 전 부처 소관 R&D 사업중 철도교통분야에 해당되는 R&D 과제를 대상으로 함

－ 국토교통부 철도기술연구사업은 최근 5년간 해당 R&D 전체 과제를 대상으로 도출함

○ (분석대상) NTIS를 통해 총 873개가 검색되었으며, 전문가 검토를 통해 최종 238개의 관련 과제를 선별하고, 다시 종사자 관련 과제로 추려 철도 종사자 안전관리 관련 R&D투자 현황 및 추이 분석에 활용

4.2 분석 결과

□ 철도안전분야 R&D 중 철도 종사자 인적오류 관리 관련 R&D 투자액은 118.2억원으로 철도안전분야 R&D 전체 투자액의 5%에 불과

○ 철도안전분야 R&D 전체 투자액의 70%이상이 차량 및 시설 안전관리 기술개발에 집중되었고, 종사자 대상 안전관리 기술개발에 대한 투자는 상대적으로 매우 저조

표 30 철도안전분야 R&D 중 안전관리 대상 분야별 투자 현황 ('15~'19년)

구분	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	합 계 (비율,%)
차량 안전관리	132.1	134.2	109	57.5	90.3	523 (23%)
시설 안전관리	264.4	230.8	213.1	228.1	183.4	1,119.9 (50%)
종사자 안전관리	14.9	9.1	24.1	34.4	35.6	118.2 (5%)
통합 안전관리	71.6	91.8	146.8	100.8	71.8	483.3 (22%)
합 계	483	465.9	493	420.8	381.1	2,244.4 (100%)

○ 종사자 인적오류 관리 관련 R&D 중 ‘인적오류데이터 센싱/분석/진단 기술’ 투자액은 92.4억 원, ‘인적오류 사전예방 지원기술’ 투자액은 25.8억원 규모

– ‘인적오류데이터 센싱/분석/진단기술’ 분야는 분석대상기간 동안 꾸준히 투자가 이루어져 온 반면, ‘인적오류 사전예방 지원기술’은 최근 2017년부터 투자가 이루어지기 시작함

표 31 종사자 안전관리 분야 투자 현황 ('15~'19년)

구분	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	합 계 (비율,%)
인적오류데이터 센싱/분석/진단기술	14.9	9.1	13.7	26.9	27.8	92.4 (4%)
AR/VR 기반 인적오류 사전예방 지원기술	—	—	10.4	7.5	7.8	25.8 (1%)
합 계	14.9	9.1	24.1	34.4	35.6	118.2 (5%)

□ 최근 5년간('15~'19년) 철도분야 R&D에 투입된 정부 예산은 총 7,071.8억 원이며, 이 중 철도 안전분야 비중은 31.7%(총 2,244.3억 원), 철도종사자 안전관리 비중은 0.17% 수준

○ 최근 5년간 철도분야 R&D 투자비(7,071억원)는 국가 R&D 투자비(97.7조원)에 비해 평균 0.72% 규모에 해당하는 수준임

– 국가 R&D 투자비는 5년간 지속적으로 증가하는 추세인 반면, 철도분야 R&D 투자비는 2017년 대비 -14.9%('18년), -27.4%('19년)으로 감소하는 추세임.

○ 철도분야 R&D 중 철도안전 R&D 연구비는 최근 5년간 평균 31.7% 규모이며, 연 최대 494억원('17년)이 투자됨

– 연간 철도분야 연구비 대비 철도안전 연구비 비중을 확인하면 2019년에 33.8%으로 최근 5년간 제일 높은 철도안전 연구비 비중을 가지고 있으나, 투자된 연구비만을 검토하면 2019년에 381억원으로 가장 낮은 규모('17년 대비 -22.8%)의 철도안전 R&D가 투자됨.

표 32 국가 R&D 및 철도분야 R&D 투자규모 (단위: 억 원)

분 류	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	합 계
국가 R&D ²²⁾ (A)	188,747	190,044	193,927	197,759	206,254	976,731
철도분야 R&D (B)	1,538	1,529	1,554	1,322	1,128	7,072
철도분야 연구비 비중 (A/B)	0.81%	0.80%	0.80%	0.67%	0.55%	0.72%
철도안전 R&D (C)	483	466	494	421	381	2,244
철도안전 외 R&D	1,055	1,063	1,060	902	747	4,828
철도안전 연구비 비중 (C/B)	31.4%	30.5%	31.8%	31.8%	33.8%	31.7%

5. 시사점

- 영국 RSSB, 미국 FRA, 호주 철도 등 주요국에서는 철도 종사자를 대상으로 하는 인간공학 연구가 활발
 - 영국 Network Rail(철도시설관리자)과 RSSB(Rail Safety and Standards Board)는 인간공학에 관련된 대형 프로젝트 수행하여 인간공학 기초연구 및 응용 기술을 개발하고 자체 인적자원관리시스템을 개발하여 다양한 교육훈련에 적용
 - 미국은 철도를 포함한 교통수단의 안전 및 보안에 관한 교육을 철저히 이행하고 있으며, 최근 증강현실을 이용한 교육훈련 시스템 활용이 활발
- 국내에서는 항공, 국방, 원자력, 도로 분야 등 각 교통수단별 종사자 인적오류 관리를 위한 다양한 기술이 개발되고 있는 중이나 철도 분야에서는 관련 기술 개발 사례가 미흡한 상황

제4절 기술수요 조사

1. 기술수요조사 개요

※ 본 사업기획 기술수요조사 결과는 1차 기획단계('19)에서 추진되었던 기술수요조사결과를 다시 검토하여 최종 반영한 것임

□ 한국철도학회 등 철도 분야 주요 전문가 39명을 대상으로 조사 실시

- (조사 대상) 한국철도학회, 한국도시철도학회 회원 및 철도 분야 주요 전문가
- (조사 기간) 2019년 1월 30일 ~ 3월 15일
- (조사 방법) 학회 홈페이지 게재 및 이메일 회신, 전문가 자문회의 개최
 - 1월 30일부터 7주간 학회 홈페이지 게재 및 이메일 배포, 회신 독려
 - 4번에 걸쳐 철도 분야별 산·학·연·관 전문가 대상 기술수요 발굴 자문회의 개최
 - ※ 2019년 1월 31일, 2019년 2월 15일, 2019년 2월 19일, 2019년 2월 20일
 - ※ 한국철도공사 등 철도운영사와 산업계, 학계, 연구계에서 총 39명의 전문가를 대상으로 자문회의 개최
- (응답자 회신 현황) 기술수요조사의 응답자 소속을 산·학·연으로 구분한 결과, 100건(51.3%)의 응답자가 연구계였으며, 산업계(한국철도공사 등 철도운영기관 포함)에서 53건(27.2%), 학계에서 42건(21.5%)을 회신
 - 연구계의 기술수요조사 100건 중 85건(85%)은 한국철도기술연구원에서 회신하였으며, 그 외 한국원자력연구원, 건설기계부품연구원 등에서도 회신

<표 6-1> 기술수요조사 응답자 분석 결과

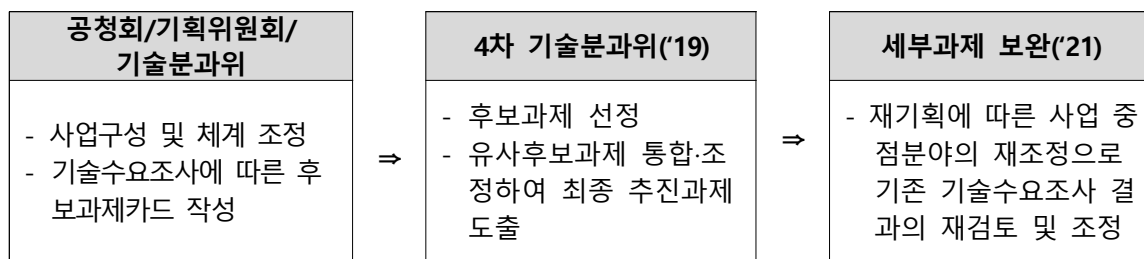
응답자 소속	회신 건수	비율 (%)
산	53	27.2
학	42	21.5
연	100	51.3
합계	195	100

2. 기술수요조사 결과

□ 철도 종사자 인적오류 분석·평가·예방 기술과 관련하여 총 3건의 수요기술이 제안되었으며, 평가 절차 체계와 기준을 설정하여 우선순위 평가를 실시하였음

- 예방 및 조기 대응을 위한 합동훈련 가상시스템 개발, 인적오류 저감 스마트 기술 개발, 차량 시설 정비훈련 및 정비지원 기술개발 등 3건의 기술이 제안됨
- 평가 전문성과 객관성을 고려하여 다음과 같이 전문가 그룹을 구성·운영하여 평가 절차를 이행함

<표 34> 우선순위 평가 절차



- 우선순위 평가는 공공성, 기술성, 편익을 기준으로 실시
 - 후보과제 설명자료를 참고하여 기술분과위원회에서 평가 항목별 배점은 1~5점의 점수부여
 - 선정기준은 전체 합계 점수가 20점 이상인 경우 선정
- 평가기준에 따른 평가 결과, 철도 종사자 관련 제안기술 3건 모두 기준 점수인 20점 이상을 획득하였으므로 후보기술로 채택

<표 35> 기술수요조사 결과 평가 결과

과제명	공공성			기술성			편익	합계
	사업 목적과의 부합성	정부 투자 적절성	현안 문제 해결 가능성	기술 개발 성공 가능성	기술 개발 시급성	기술 개발 신규성	비용 대비 효과성	
철도 사고·장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동훈련 가상시스템개발	3.91	4.00	4.00	4.00	3.82	3.73	3.64	27.09
철도종사자 인적오류 저감 스마트 기술 개발	4.00	3.82	4.00	3.64	3.73	4.45	3.18	26.82
증강현실 기반 철도 차량·시설 정비훈련 및 정비지원 기술 개발	3.45	4.18	3.82	3.55	3.82	3.27	3.00	25.09

□ 우선순위평가를 통해 선정된 후보 기술들을 대상으로 기술분과위원회 논의를 통해 최종 추진 과제를 도출

- 후보기술 중 '① 철도 사고·장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동훈련 가상시스템개발'과 '③ 증강현실 기반 철도 차량시설 정비훈련 및 정비지원 기술 개발'은 모두 철도종사자 가상훈련 시스템 개발이라는 측면에서 유사하므로 '3. 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발'로 통합하여 추진
- 후보기술 중 '② 철도종사자 인적오류 저감 스마트 기술 개발'은 관련 데이터 취합, 분석, 운행 안전 지원 등의 내용을 포함하고 있는데, 과제 수행의 효율성을 고려하여 이를 '1. 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발'과 '2. AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적 오류 평가·예측 기술개발'로 분리하여 추진

<표 36> 세부과제 도출 과정

후보 기술 과제명	세부과제명
① 철도 사고·장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동 훈련 가상시스템개발	1. 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발
② 철도종사자 인적오류 저감 스마트 기술 개발	2. AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적 오류 평가·예측 기술개발
③ 증강현실 기반 철도 차량시설 정비훈련 및 정비 지원 기술 개발	3. 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발

제5절 유사과제 분석 및 기존 기술과의 차별성

1. 유사과제 현황

- 철도종사자의 인적요인과 관련하여 직무교육 시행지침, 작업수칙 및 매뉴얼 등 제도 개선이 수행되었으나, 인적요인에 관한 체계적·과학적 연구는 미흡하였음

수행 기관	과제명	주요내용 및 특징	예산 (억원)	본과제와 차별성/연계성
KAIST	안전업무종사자 교육훈련 체계 구축 (2005.5~2010.9)	기관사 직무수행능력 시험 설비 개발, 기관사 수행능력평가 시뮬레이터 개발, 기관사 인적오류 저감 및 예방을 지원하는 교육훈련 체계 구축	74	• (차별성) 기존과제는 기관사의 인적오류 예방을 위한 교육훈련 기술개발로, 동 사업의 운전업무종사자, 관제업무종사자, 승무원, 선로작업자 등 다중 사용자 합동 가상훈련 기술 개발의 결과물이 상이함 • (연계성) 기관사의 인적오류 교육훈련 기술 및 교육훈련 체계는 기반 기술로 연계 활용 가능함

제6절 국내 연구개발 역량 및 SWOT 분석

1. 국내 연구개발 역량 분석

1.1 국내 연구인력 현황

- (산업계) 철도안전 관련 국내 산업계는 약 30여개 기업으로 조사되며, 모니터링 및 진단, 유지관리, 관제, 위험도 평가 등 다양한 기반기술을 보유

표 38 철도안전 관련 산업계 현황

NO	업체명	주요 보유 기술	사원수(명)
1	Ricardo Rail	독립안전평가, 위험도 평가, 안전관리 기술 등	
2	TUV Rheinland	독립안전평가, 위험도 평가, 안전관리 기술 등	
3	글로비즈	철도차량 상태진단 모니터링 기술 등	13
4	네모시스	철도 RAMS 시뮬레이션 기술 등	3
5	대보정보통신	고속 궤도검측시스템 통합운영 소프트웨어 등	1,217
6	대아티아이	열차집중제어시스템, 도시철도RAMS 시스템, 실시간 안전관제 플랫폼, 신호어김 방지시스템, 승강장안전문감시시스템, 열차제어시스템 등	286
7	대우정보시스템	철도시설 이력관리 종합정보시스템	658
8	범아기전	실시간 안전관제 열차상태정보 실시간 전송장치	27
9	살롬엔지니어링	열차무선방호장치, 장애물 및 탈선감지장치, 전동차종합자동검사장치, 레일탐상장치, 열차모의 운전 연습기 등	37
10	세화	철도 전기설비 기술지원시스템, 철도전기설비 통합감시 시스템, 선로전환기 기능 감시 장치, 차축발열검지장치, 철도신호설비의 실시간 활선 절연저항 측정시스템, 차세대 자가진단형 선로전환기 등	134
11	아이티베인	철도사고통계 및 안전성능 분석	11
12	에이알텍	실시간 안전관제, 열차접근확인장치	82
13	에코마이스터	일상자동 검사장치, 차량진착기	122
14	위세아이텍	실시간 안전관제 빅데이터 분석 도구	144
15	인터콘시스템즈	열차진단제어 기술	98
16	카이엠	도시철도 RAMS 통합시스템, 철도운용 시뮬레이션, 철도차량 센싱 기술	20
17	케이티엠엔지니어링	철도차량 주요부품 결함발생 차상 조기검출 기술	16
18	코너스	장대철도터널 피난유도 기술	16
19	테크빌	자동열차감시장치, 통합유지보수지원시스템, 차상검측시스템, 고속철도 ATC 차상신호 분석기 등	42
20	투아이시스	철도시설물 측정 및 결함검사(전차선 습동면, 가동브래킷 변형, 전차선로 시설물 변형, 아크 충격 검측, 레일 표면 체결구 침묵 검사, 레일 마모 검측)	15
21	파워닉스	실시간 안전관제 지장물검지장치, 전력기기 성능진단	24
22	파이버프로	궤도선형 측정기술	75
23	팬타시큐리티시스템	사이버 보안 기술	228
24	퓨처로봇	철도경찰로봇 기술	27
25	한국신뢰성기술	실시간 안전관제 리스크 감시 기술, RAMS 분석, 신뢰성 분석	11
26	한방유비스	장대철도터널 피난유도 기술, 방재, 내진	176
27	현대로템	철도차량 상태진단 기술	3,540
28	효성중공업	전력설비 예방진단 및 자산관리 기술	3,497
총 계			10,519

출처: KRIC 철도통계, 철도산업정보센터(2019.2.), 각 회사별 홈페이지 참조(2019.2.)

□ (학계) 국내 철도 관련 대학 및 대학원은 총 14개 대학, 33개 학과로 구성되어 있으며 매년 모집 정원은 총 5,945명에 해당

- 관련학과 주요 전공분야는 철도경영, 철도기관사, 철도전기, 철도시설, 철도차량, 철도토목, 철도통신, 운송물류 등으로 세분화되어 있음
- 대학별 지리적 분포 및 모집정원 특성 상 대전(52%), 경북(34%), 경기(5%), 충북(5%), 광주(3%), 서울(0.3%) 순으로 철도기술 관련 인력 양성
- 철도기술 관련 대학 및 대학원 연구인력은 일부 지역(강원, 제주 등)을 제외한 나머지 권역에 분포하고 있으며 대학별 세부 교육과정에 따라 우수인력이 배출되고 있어 학계의 연구인력은 충분한 것으로 판단됨

표 39 철도 관련 대학 및 대학원 인력 현황

지역	대학명	관련 학과	모집정원(명)
서울 (15)	서울과학기술대학교	철도전문대학원	15
경기 (280)	한국교통대학교	철도경영·물류·컴퓨터학부	62
		철도공학부	123
	국제대학교	철도전기과	95
충북 (265)	대원대학교	철도건설과	161
		철도경영과	104
경북 (2,047)	경북전문대학교	철도경영과	145
		철도전기기관사과	231
		철도건설과	34
	경북보건대학교	철도경영과	129
	동양대학교	철도경영학과	350
		철도운전제어학과	396
		철도기계시스템학과	258
		철도건설안전공학과	86
		철도전기융합학과	75
		철도운전시스템과	29
	가톨릭상지대학교	철도전기과(3년제)	165
		철도학과	142
	경일대학교	철도전기공학	7
전남 (64)	순천제일대학교	철도운수설비과	64
대전 (3,101)	우송대학교	철도경영학과	568
		철도전기시스템학과	514

지역	대학명	관련 학과	모집정원(명)
		철도차량시스템학과	427
		철도건설시스템학부	418
		물류시스템학과	280
		철도시스템학과(대학원)	17
		철도전기시스템공학과(대학원)	34
		철도건설시스템학과(대학원)	35
	우송정보대학	철도교통학부	414
		철도토목과	228
	배재대학교	건설환경·철도공학과	166
광주 (173)	송원대학교	철도운수경영학과	117
		철도운전시스템학과	56
총 계			6,258

출처: KRIC 철도통계, 철도산업정보센터(2018.5.), 각 대학별 홈페이지 참조(2018.5. 기준)

□ (연구기관) 철도안전 관련 국내 연구기관은 정부출연연구기관, 준정부기관 등으로 구분되며, 한국철도기술연구원, 한국교통연구원 외에도 분야 특성에 따라 타 분야 연구계와 융합연구가 가능

- 철도산업 이외에도 전자통신, 표준 등 유사한 분야 연구기관과의 유기적 연계를 통해 R&D 사업 추진이 가능할 것으로 기대

표 40 철도안전 관련 연구기관 및 연구분야

구분	기관명	기관 역할	관련 사업 분야	연구인력 현황
공공기관 (정부출연 연구기관)	한국철도 기술연구원	• 철도안전, 표준화 기술 연구개발 • 철도 시험평가 및 인증	- 철도 인프라 고속 종합검측 기술 - 실시간 철도안전 통합 감시제어 기술 - 철도차량 일탈방호 기술 - 고속철도 자갈궤도 개량 기술 - 궤도 상태평가 및 유지보수 기술	328
	한국교통 연구원	• 철도안전 정책 및 기술 연구개발	- 철도 안전투자공시제 도입방안 연구 - 교통사고 비용추정 연구 - 로프형 상하스크린도어 기술 개발	131
	한국전자 통신연구원	• IT기반 융·복합분야 연구개발	- 일반 및 고속철도용 무선 통신 및 제어 시스템 기술 등	2,230
	한국표준과학연 구원	• 측정과학기술 연구개발	- 시설물/구조물 내부결함 비파괴 검출/측정기술	478

구분	기관명	기관 역할	관련 사업 분야	연구인력 현황
			- 시설물/구조물 비파괴 물성 측정기술 - 시설물/구조물 건전성 모니터링 기술	
준정부기관	교통안전공단	• 철도안전사업	- 철도안전정보관리 (철도안전정보 종합관리시스템) - 철도안전 지식보급 - 철도차량 운전면허 및 종사자 관리 - 철도안전관리체계 승인 및 검사 - 철도 종합시험운행 결과 확인	1,615
총 계				4,782

출처: 공공기관 경영정보 공개시스템 (<http://www.alio.go.kr/>), 일반현황, 직급별 인원수 현황 (2019.02.)

□ (철도운영 및 건설기관) 국내 철도운영 및 시설관리기관은 총 14곳으로 종사자 78,582명(2018년 기준)으로 구성

○ 국내 철도운영 및 시설관리기관은 총 14곳으로 종사자 78,582명(2018년 기준)으로 구성

－ 공사, 공단, 지자체 등 다양한 철도운영기관이 존재함에 따라 R&D 추진 시 관련 연구인력 확보가 충분히 가능할 것으로 기대

표 41 철도운영 및 건설 기관별 인력현황

기관	2014년(명)	2015년(명)	2016년(명)	2017년(명)	2018년(명)
한국철도시설공단	1,385	1,376	1,428	1,435	1,440
한국철도공사	27,816	27,129	27,127	27,682	27,524
서울교통공사	9,136	9,135	9,507	16,048	16,013
부산교통공사	6,539	6,506	6,542	17,489	22,928
대구도시철도공사	3,763	3,732	3,823	3,860	3,911
대전도시철도공사	2,307	2,381	2,456	2,521	2,505
광주도시철도공사	565	573	578	584	581
인천교통공사	545	542	880	878	889
공항철도	1,144	1,147	1,445	1,534	1,527
서울메트로9	521	521	510	510	510
서울9호선운영	12	12	17	17	18
부산김해경전철	562	562	590	626	626
용인경량전철	0	0	0	103	103
의정부경전철	0	0	0	7	7
합 계	54,295	53,616	54,903	73,294	78,582

출처: KRIC 철도통계, 철도산업정보센터(2018.5.)

1.2 국내 관련 인프라 현황

- 동 기술개발사업을 통해 창출된 기술개발성과물은 기존에 구축된 시설 및 장비 등을 활용하여 검증할 수 있는지 관련 인프라 구축 현황을 조사
- 국가연구시설장비 표준분류별 3천만원 이상 활용범위(구축수)를 보면, 최근 5년간('14년~'18년) 공동활용허용률은 화합물전처리/분석장비 66.1%(3,211점), 광학/전자영상장비 61.6%(2,018점), 임상의료장비 58.8%(365점) 순으로 나타났으며, 데이터처리장비가 38.6%(729점)로 상대적으로 낮게 나타남²³⁾

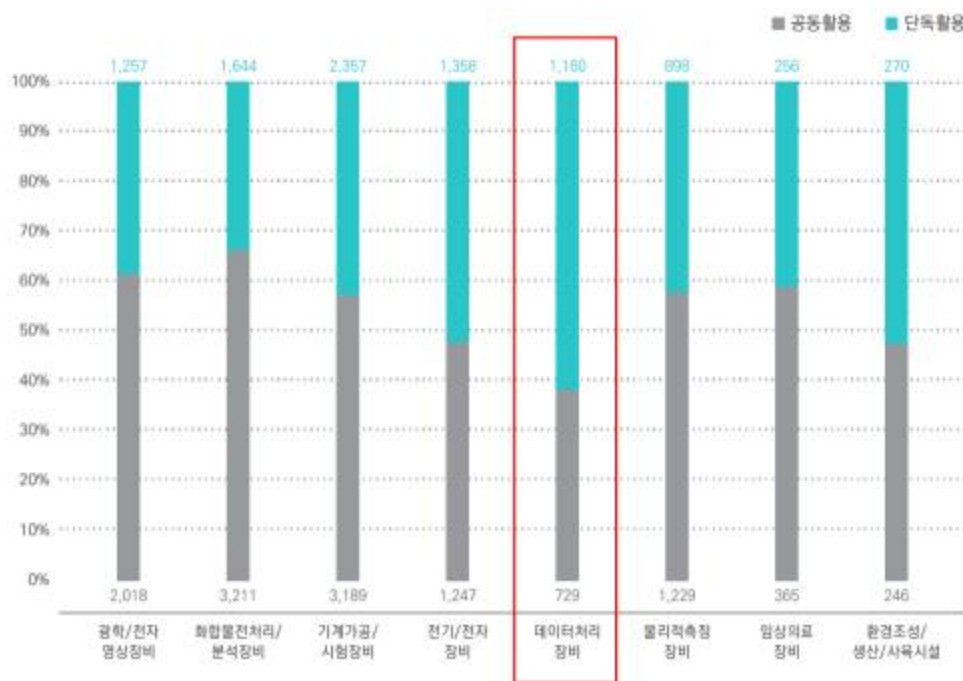


그림 39 국가연구시설장비 표준분류별 활용범위(구축수)

[그림 4-1] 국가연구시설장비 표준분류별 활용범위(구축수)

23) 과학기술정보통신부, 국가연구시설장비진흥센터, 2018년도 국가연구시설장비 조사·분석 보고서, 2019.08.



그림 40 국가연구시설장비 표준분류별 활용범위(구축수)

- 최근 5년간('14년~'18년) 국가연구시설장비 표준분류별 투자현황(구축수)을 보면, 기계가공/시험장비가 25.9%(5,546점), 화합물전처리/분석장비가 22.7%(4,855점), 광학/전자영상장비가 15.3%(3,275점) 순이며, 데이터처리장비가 8.8%(1,889점)으로 상대적으로 낮게 나타남
- 국가연구시설장비 표준분류별 3천만원 이상 활용범위(구축액)를 보면, 최근 5년간('14년~'18년) 공동활용 시설장비 투자율은 광학/전자영상장비 81.2%(6,809억원), 환경조성/생산/사육시설 77.9%(3,240억원), 임상의료장비 71.9%(616억원) 순으로 나타났으며, 전기/전자장비 45.6%(2,313억원), 데이터처리장비 53.5%(1,610억원)로서 공동활용 시설장비에 대한 투자율이 낮게 나타남

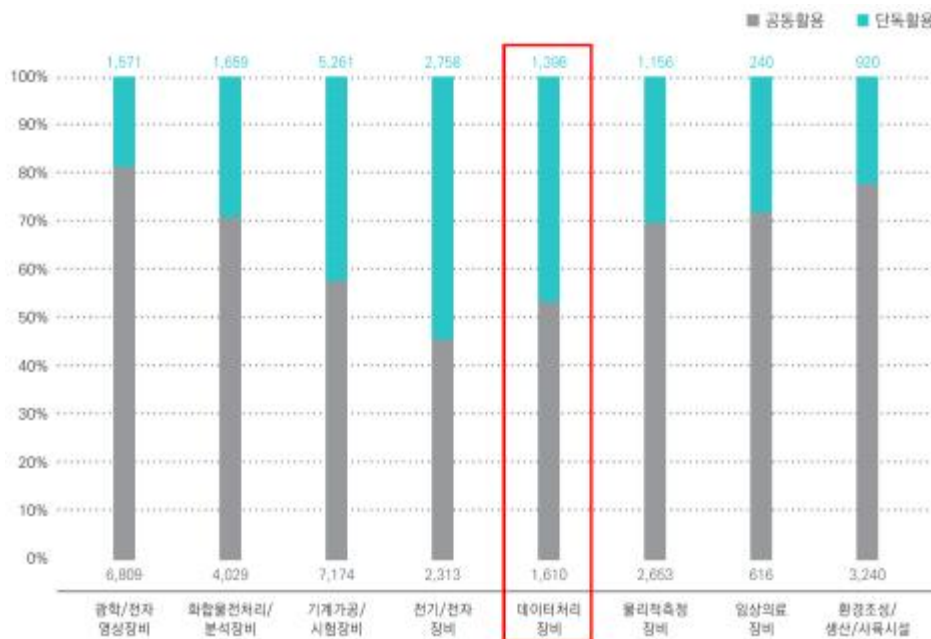


그림 41 국가연구시설장비 표준분류별 활용범위(구축액)



그림 42 국가연구시설장비 표준분류별 투자현황(구축액)

- 최근 5년간('14년~'18년) 국가연구시설장비 표준분류별 투자현황(구축액)을 보면, 기계가공/시험장비가 28.6%(1조 2,435억원)으로 가장 높았으며, 광학/전자영상장비 19.3%(8,381억원), 화합물전처리/분석장비 13.1%(5,688억원) 순으로 나타났음
- 데이터처리 장비가 6.7%(3,008억원)로 상대적으로 낮게 나타났으나 5년간 투자액이 약 2배 (530억 → 1,044억)가 증가함

표 42 국가연구시설 데이터처리 장비 세부 구축 내역('14년~'18년)

분류		구축수		구축액		평균단가 (억원)
		점수	비중	금액(억원)	비중	
하드웨어	고성능컴퓨터	132	7.7%	189	7.4%	1.4
	슈퍼컴퓨터	12	0.7%	574	22.5%	47.8
	서버	677	39.5%	669	26.2%	1
	저장장치	217	12.7%	244	9.5%	1.1
	입/출력장치	112	6.5%	105	4.1%	0.9
	네트워크장치	128	7.5%	112	4.4%	0.9
	기타 하드웨어	180	10.5%	316	12.4%	1.8
	소계	1,458	85.1%	2,209	86.4%	1.5
장비 소프트웨어	데이터처리장비기반 소프트웨어	51	3.0%	61	2.4%	1.2
	연구장비기반 소프트웨어	60	3.5%	89	3.5%	1.5
	기타 장비 소프트웨어	145	8.5%	197	7.7%	1.4
	소계	256	14.9%	347	13.6%	1.4
합 계		1,714	100.0%	2,556	100.0%	1.5

□ 철도분야의 기술개발 결과물을 실제 운영환경에서 검증하기 위하여 2019년 개통 예정인 철도중 합시험선로를 활용 가능

○ 철도중합시험선로 건설현황

- 사업기간 : 2014. 09. ~2018. 12. (51개월)
- 총사업비 : 2,399억원 [국고 100%]
- 시 공 사 : 지에스건설(주) 외 9개사
- 건설위치 : 충청북도 청원군 오송읍~세종시 전동면 (노선연장 : 12.99km)

○ 시험선로 건설 개요

- 시험선로 총 연장 : 총 13km (AC구간 : 13km, DC 구간 : 6.5km)



그림 43 중합시험선로 노선도

표 43 시험선로 건축 및 구조물 현황

구 분		현 황	비 고
노선연장		12km990	
정거장		4개소	오송역, 오송기지, 급전구분, 정동역
변전소 / 급전소		3개소 / 1개소	전철변전소 1, DC변전소 2, 급전구분소
기타 건축물		2동	통합통제센터, 시험편의동
선형조건	최소곡선반경	R=250m	
	최급기울기	35‰	
노반구성	토공	7km124	기존선 활용구간 포함
	교량	1km597	8개소(복선교량 2개소)
	터널	4km269	6개소(복선터널 1개소-제4터널)

- 노선도



그림 44 종합시험선로 지형노선도

- 건축물 현황



그림 45 종합시험선로 건축물 현황

- 신호현황



그림 46 종합시험선로 신호장치 배치도

- 교량현황

표 44 종합시험선로 교량 현황

구 분	교 량 현 황			
	연장(m)	경간구성	상부형식	하부형식
시험 제1교	70	2@35	RPF	교대:역T형 /교각: T형
시험 제2교	380	9@30 + 2@35 + 1@40	IPC, IT	교대:역T형 /교각: T형
시험 제3교	60	2@30	IPC	교대:역T형 /교각: T형
시험 제4교	80	2@40	IT	교대: 역T형 /교각: II형
TEST-BED	155	1@30+1@35+1@40+1@45+1@55	WIPC, HPS, ART, RPF, SPC	교대: 역T형 /교각: T형
시험 제5교	440	10@30 + 4@35	IPC	교대: 역T형 /교각: II형, T형
시험 제6교	25	1@35	합성형라멘(SPC)	라멘교
시험 제7교	272	7@30.25 + 2@30.1	APC	교대: 역T형 /교각: T형
시험 제8교	35	1@35	EDGE	교대: 역T형

- 터널현황

표 45 종합시험선로 터널 현황

구 분		시험 1터널	시험 2터널	시험 3터널	시험 4터널	시험 5터널	시험 6터널
터널시점		시험선(현) 3km710	시험선(현) 4km372	시험선(현) 4km875	시험선(현) 6km588	시험선(현) 7km625	시험선(현) 9km080
NATM 시점		3km720	4km377	4km885	6km598	7km630	9km090
NATM 종점		4km256	4km596	6km115	6km854	8km525	10km090
터널종점		4km261	4km601	6km120	6km859	8km530	10km100
연장 (M)	개착	15	10	15	15	10	20
	NATM	536	219	1,230	256	895	1,000
	합계	551	229	1,245	271	905	1,020
개문	시점	원통절개식	면벽식	원통절개식	원통절개식	돌출형 면벽	원통절개식

구 분		시험 1터널	시험 2터널	시험 3터널	시험 4터널	시험 5터널	시험 6터널
형식	중점	면벽식	면벽식	면벽식	면벽식	돌출형 면벽	원통절개식
평면선형		R=10,000	R=10,000	R=10,000 ~ R=3,500 ~ 직선	직선	직선	R=400 ~ R=250
종단구배		(-)3%, (-)12%	(-)12%	(+)10%, (-)3%	(-)3%	(+)3%, (-)5%	(-)5%
선로중심간격		-	-	-	4.5, 5.8, 7.8	-	-
도상형식		자갈 도상	자갈 도상	자갈 도상	자갈 도상	자갈, 콘크리트 도상	자갈 도상

○ 현장검증시험 Test-bed 부설 현황

- 철도종합시험선로 실시설계에서 아래와 같이 궤도, 노반, 교량, 전철전력, 신호, 소음 및 공력 분야의 다양한 시험이 가능하도록 TEST-BED를 설치하도록 계획됨

- 궤도분야 TEST-BED



그림 47 궤도분야 TEST-BED 현황도

표 46 궤도분야 TEST-BED 세부현황

구분	시설계획
궤도 TEST-BED 1	토공구간 콘크리트궤도 부설시험 가능
궤도 TEST-BED 2	터널 내 콘크리트궤도 부설시험 가능
궤도 TEST-BED 3	F26 고속분기기 부설시험 가능

- 노반, 교량분야 TEST-BED

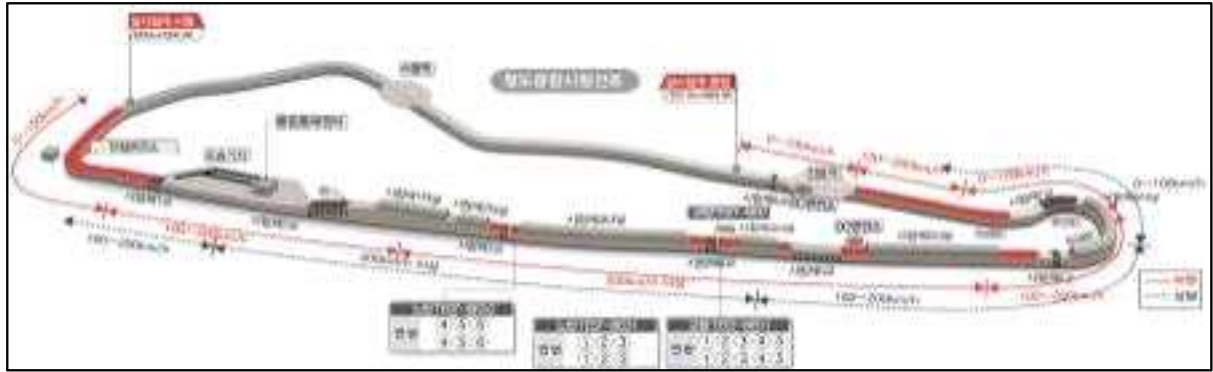


그림 48 노반, 교량분야 TEST-BED 현황도

표 47 노반, 교량분야 TEST-BED 세부현황

구분	시설계획
노반 TEST-BED 1	노반구조 지지력, 내구성, 반복재하 시험 가능
노반 TEST-BED 2	토류구조물 지지력, 내구성, 반복재하 시험 가능
교량 TEST-BED 3	교량상부구조 교체시험 가능

- 전철전력분야 TEST-BED



그림 49 전철전력분야 TEST-BED 현황도

표 48 전철전력분야 TEST-BED 세부현황

구분	시설계획
변전 TEST-BED 1	교류급전 장비 부설시험 가능
변전 TEST-BED 2	직류급전 장비 부설시험 가능
전차선 TEST-BED 1	중속장제 부설시험 가능
전차선 TEST-BED 2	고속장제 부설시험 가능

- 신호/통신분야 TEST-BED

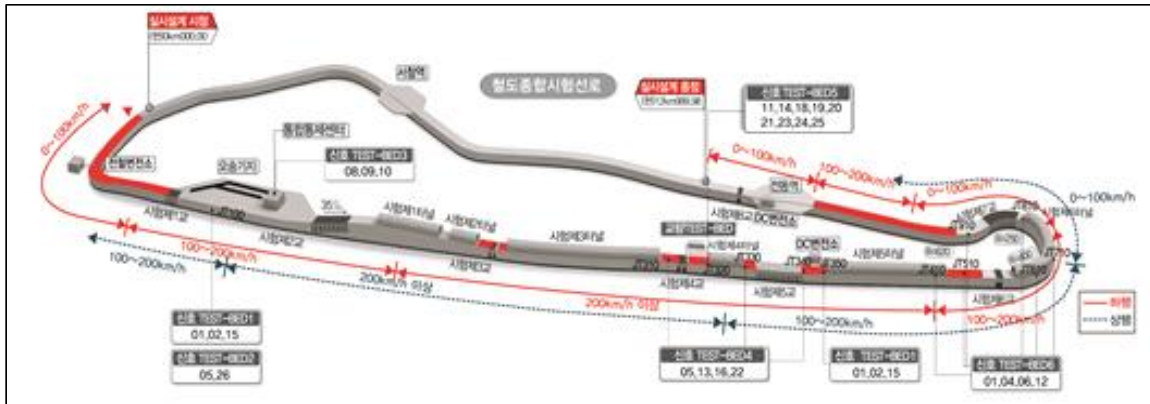


그림 50 신호, 통신분야 TEST-BED 현황도

표 49 신호, 통신분야 TEST-BED 세부현황

구분	시설계획
신호 TEST-BED 1	선로전환기 부설시험 가능
신호 TEST-BED 2	승강장구간 열차정지시험 가능
신호 TEST-BED 3	연동장치 부설시험 가능
신호 TEST-BED 4	ATC장치 부설시험 가능
신호 TEST-BED 5	건널목장치 부설시험 가능
신호 TEST-BED 6	폐색제어유니트 부설시험 가능

- 소음/공력분야 TEST-BED



그림 51 소음/공력분야 TEST-BED 현황도

표 50 소음/공력분야 TEST-BED 세부현황

구분	시설계획
방음벽 TEST-BED	방음벽 부설시험 가능
공력 TEST-BED	미기압 저감장치 부설시험 가능

○ 시험선로의 분야별 시험가능 시설 구축 현황

- 종합시험선로에는 139개항목의 시설물 현장검증시험이 가능하도록 11개소에 시험관련 인프라를 구축하고 있음.
- 시험제4교는 3개선이 존재하는 구간으로 단선인 시험선로 1선과 우회선로 상/하선 2개선으로 구성되어 있으며, 우회선로에 교량 test-bed가 구축되어 있음.
- 종합시험선로에 구축된 위치별 시험가능 항목을 정리하면 다음 표와 같음.

표 51 시험선로 위치별 시험가능 항목

지점	위치 특성	Test-bed 종류	시험가능항목	비고
0km	DC변전소	변전	교류급전장비시험	
2km	TS2 승강장	신호	PSD 연동시험, ATO 정위정차시험, 선로전환기 시험	
3km	오송차량기지 북쪽	궤도	궤도구조시험, 차량소음시험 소음저감시설시험	콘크리트 궤도
3km	시험제2교 35% 구배	차량	구배기동시험, 구원시험	
4km	시험제1터널	전차선	터널내 증속강제 시험	
5km	시험제3교 북단	노반	토류구조물시험	
6.5km	시험제4교 북쪽	교량	교량을 개조 및 변경시험	
		노반	노반재료시험, 구조시험	
6.5km	시험제4터널 남쪽 입구	신호	건널목장치시험	
7km	시험제4터널	전차선	고속R-Bar시험, 저속강제 시험	복선터널
7.5km	복선 종단부	궤도	고속분기기시험	F26까지
7.5km	시험제5터널 남쪽 입구	공력	터널 미기압과 저감후드시험	
8km	시험제5터널	궤도	소음진동시험	콘크리트 궤도
9km~11km	시험제6터널과 시험제7교	차량	급곡선시험, 연속곡선 통과시험 진동/승차감/횡압 평가 시험	400R, 250R 그리고 620R
10km	시험제6터널	신호	신호기시험,ATS연동시험, ATP 연동시험,ABS 연동시험	
12.5km	DC변전소	신호	직류급전장비시험	



그림 52 철도종합시험선로의 시험분야별 시설 현황

○ 시험선로의 분야별 현장검증시험 항목

－ 차량분야 59개항목을 포함하여 시험선로에 시험가능한 현장검증시험 항목은 총 198개 항목

이며 시험대상을 고려한 시험종류는 총 447종임.

표 52 종합시험선로 현장검증시험 가능 항목

분야	시험항목(개)	시험대상(종)	비고
차량분야	59	170	
궤도분야	37	74	
노반분야	9	15	
교량분야	5	10	
전철전력분야	37	73	
신호분야	26	40	
소음분야	8	43	
공력분야	5	10	
통신분야	12	12	
계	198개	447종	

1.3 시사점

- (인력) 철도안전분야의 R&D 가능 인력 규모는 연간 1,800여명으로 산업계, 학계, 연구계 등 분야별 동 사업 추진에 필요한 연구인력이 충분히 확보 가능 할 것으로 판단
 - 최근 10년간 국가 연구개발사업 내 철도안전분야에 참여한 연구인력은 연간 1,800여명으로 조사
 - 국가연구개발사업 전체 분야대비 연구계의 참여 규모(68%) 및 역량이 높게 조사되나 이는 정부출연연구기관으로 철도기술연구원이 있으며, 철도분야의 특성(시스템 기술) 상 특정분야 연구계의 참여가 아닌 다양한 분야간 연계가 가능한 것으로 인한 현상으로 조사
 - * 국가연구개발사업 연구수행주체별 집행 현황(2017년 기준) : 출연(연) 40.7%, 대학 22.7%, 중소기업 16.3% 순임²⁴⁾
 - 또한 운영 및 시설관리기관이 포함되는 산업계의 경우 연간 연구개발비 10억원 규모에 해당하는 기업이 다수 보유하고 있으며, 기업 내 연구원 규모 또한 50여명 수준으로 적극적인 정부 연구 참여가 가능할 것으로 파악
- (인프라) 그간 국가연구시설장비로서 철도안전관리 분야 인프라가 꾸준히 구축되어 왔고, 철도안전관리 시스템 실증을 위한 테스트베드, 철도기술연구원 내 각종 실험/설비 등이 갖추어져 있어 동 사업추진에 필요한 인프라도 충분히 확보 가능할 것으로 판단

24) 과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원, 2017 국가연구개발사업 조사분석보고서, 2018.8

2. SWOT 분석

철도 종사자 인적오류 분석·평가·예방 기술개발사업 추진전략 도출을 위한 SWOT 분석	Strength	Weakness
	• AI, AR/VR 등 기반기술 활용 역량 우수 • 원자력, 항공 등 타분야 인적오류 연구 성과 축적 • 철도안전 및 철도종사자 안전관리 기술개발 전담 연구기관 운영	• 철도종사자 인적오류 관리를 위한 선행 R&D사업 부재 • 철도종사자에 대한 인간공학적 접근/마인드 미흡
Opportunity	S-O	W-O
• ‘철도안전’ ‘근로자안전’ 강화에 대해 정부 정책 의지 표명 • 선진국 지위 확보에 따라 안전에 대한 국제적 요구수준 증대 • ‘안전’에 대한 국민요구수준 향상 • 종사자 안전사고 예방에 대한 철도 운영 현장 니즈 증대 • 스마트 철도안전관리 기술개발사업 재기획 추진	• 안전관리 거버넌스 체계를 고려하여 중점분야 구성 • 핵심 연구기관 중심 컨소시엄 형태로 연구 역량 결집 • 스마트 철도안전관리사업과의 성과 연계·활용 체계 구축	• 컨소시엄 추진, 시스템 적 접근
Threat	S-T	T-W
• 새로운 철도교통수단 및 첨단환경에 따른 리스크 예측 어려움 • 운영시간 서로 다른 시스템 운영 • 철도안전 선진국은 인적오류 예방 R&D 적극 추진, 기술격차 증대	• 현장 데이터 통합 관리 영역을 별도로 두어 관리 • 철도종사자 특성을 고려한 사전 대응 방안 도출	• 실용화 지향 성과 도출 : TRL8까지 지원

SWOT 전략	사업 추진 방향
• 안전관리 거버넌스 체계를 고려하여 중점분야 구성 – 현장 데이터 통합 관리 영역을 별도로 두어 관리 • 핵심 연구기관 중심 컨소시엄 형태로 연구 역량 결집 • 스마트 철도안전관리사업과의 성과 연계·활용 체계 구축 • 실용화 지향 성과 도출 • 철도종사자 특성을 고려한 사전 대응 방안 도출	• (중점분야) 현장/운영기관/국가로 구분 – 현장 데이터 센싱 및 위기상황 대응 – 인적오류 빅데이터 분석 및 의사결정 지원 – 통합 관리 • (추진형태) 연구단 • (추진기간) 5년 (2023~2027) • (지원범위) ~TRL8단계 • (안전관리방향) 사전대응 강화를 위한 교육·훈련체계 고도화

제3장 연구개발 과제구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표

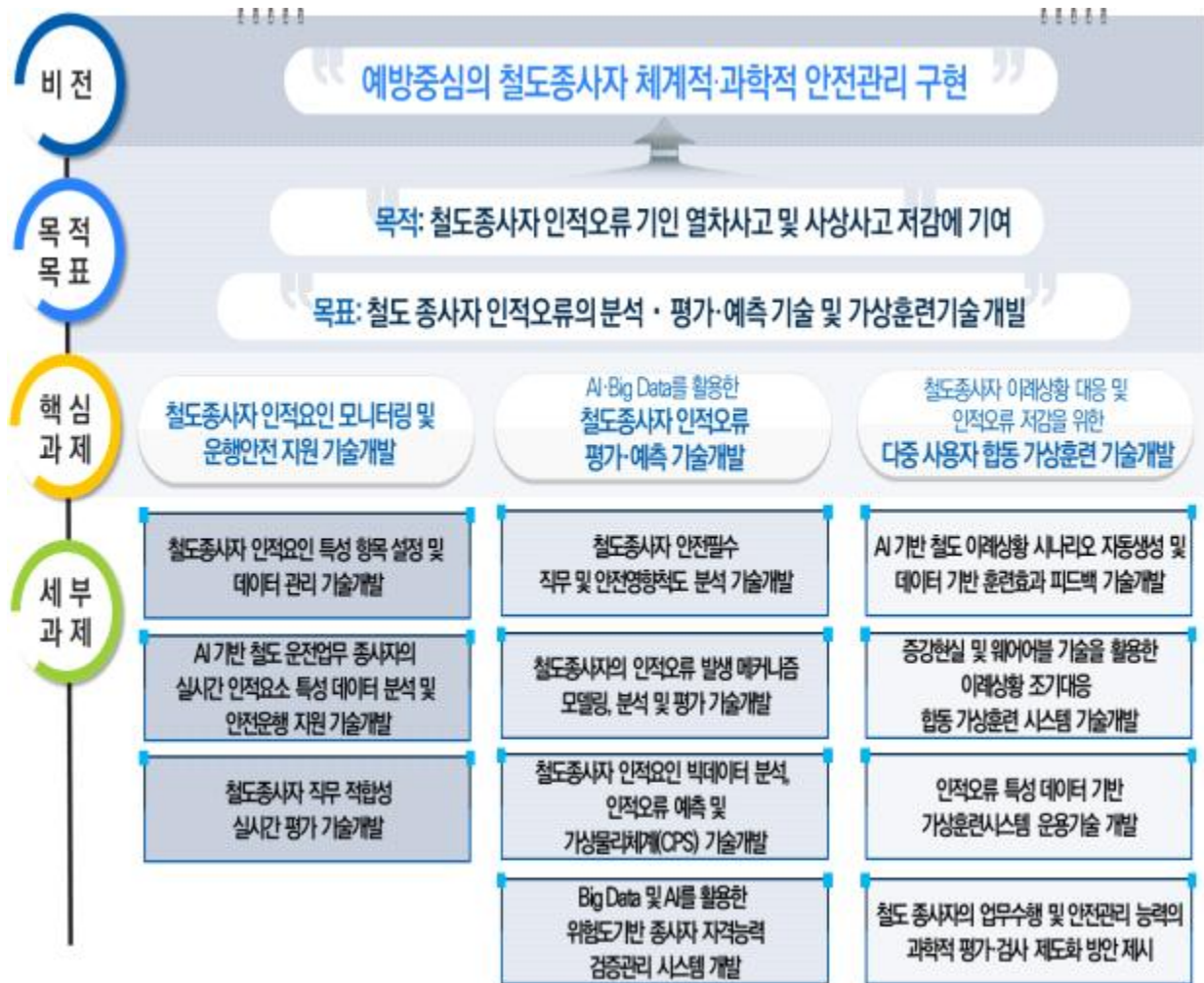
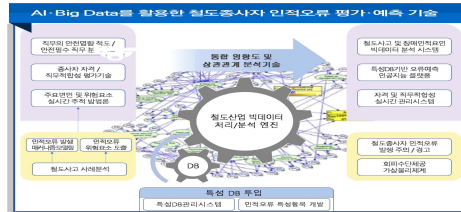


그림 53 사업 비전 및 목표

제2절 기술개발에 따른 미래상

핵심 항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'23년 수준	최종 목표수준	
	~'22	'23~'24	'27(종료년도)	'28~(종료이후)
철도 종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술	철도종사자의 이상상태·잘못된 습관 등을 감지하여 인적오류를 사전에 탐지하여 예방할 수 있는 기술 부족	철도종사자 인적요인 특성항목 설정 및 데이터 관리 기술개발	- AI 기반 실시간 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 시스템 개발 완료 - 철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 시스템 개발 완료	- AI 기반 실시간 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 시스템 현장보급 및 운영 - 철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 시스템 현장보급 및 운영
AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술	철도종사자의 인적오류의 근본원인을 과학적으로 분석하고 개선할 수 있는 기술적 대안 부재	AI 기반 철도 이례상황 시나리오 자동생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술개발	- 철도종사자 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 CPS 시스템 개발 완료 - Big Data & AI 활용 종사자 자격능력 검증관리 시스템 개발 완료	- 철도종사자 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 CPS 시스템 현장보급 및 운영 - Big Data & AI 활용 종사자 자격능력 검증관리 시스템 현장보급 및 운영
철도종사자 이례상황 조기대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술	종사자 안전교육 및 비상대응훈련 등을 실시하고 있으나, 비상상황에 대비한 종사자 합동훈련시스템 미흡	철도종사자 안전필수 직무 및 안전영향척도 분석 기술 개발	- 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 시스템 개발 완료 - 철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 제도 개발 완료	- 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 현장보급 및 운영 - 철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 제도 운영



제3절 연구개발 과제 구성

□ 3개 세부기술과 11개 세부과제로 구성

<표 56> 중점분야(세부기술)별 과제 구성

세부기술	세부과제
1. 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발	1-1 철도종사자 인적요소 특성항목 설정 및 데이터 관리 기술개발
	1-2 AI기반 실시간 인적요소 특성 데이터 분석 및 안전운행 지원 기술개발
	1-3 철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 기술 개발
2. AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발	2-1. 철도종사자 안전필수 직무 및 안전영향척도 분석 기술개발
	2-2. 철도종사자의 인적오류 발생 메커니즘 모델링, 분석 및 평가 기술개발
	2-3. 철도종사자 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 가상물리체계(CPS) 기술개발
	2-4. Big Data 및 AI를 활용한 위험도 기반 종사자 자격능력 검증관리 시스템 개발
3. 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발	3-1. AI 기반 철도 이례상황 시나리오 자동생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술개발
	3-2. 증강현실 및 웨어러블 기술을 활용한 이례상황 조기대응 합동 가상훈련 시스템 기술개발
	3-3. 인적오류 특성 데이터 기반 가상훈련시스템 운용기술 개발
	3-4 철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가검사 제도화

제4절 세부과제별 주요 내용

1. 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발

세부기술명	연구활동	예상 산출물
1-1. 철도종사자 인적요소 특성 항목 설정 및 데이터 관리 기술 개발	- 철도종사자 인적요소 특성항목 설정 기술 - 인적오류 특성항목 기반 위험요소 도출 기술 - 인적오류 특성 항목 관리를 위한 데이터 처리 기술 및 빅데이터 플랫폼 설계	철도종사자 인적요소 특성항목 설정 및 데이터 관리 기술 (TRL 4 → TRL 6)
1-2. AI기반 실시간 인적요소 특성 데이터 분석 및 안전운행 지원 기술개발	- IoT기반 철도 종사자 신체적 상태, 물리적 환경 등에 대한 실시간 데이터 수집 및 측정 기술 - IoT 기반 운전업무종사자 위험요인 이상 탐지 및 정량화를 위한 AI모델 진단 및 안전운행 지원 기술 - 철도 사고·장애 인적 위험요인 빅데이터 플랫폼 구축	AI기반 실시간 인적요소 모니터링 및 운행안전 지원 시스템 (TRL 4 → TRL 8)
1-3. 철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 기술 개발	철도종사자 실시간 자격/직무 적합성 평가 기술개발	철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 시스템 (TRL 4 → TRL 8)

2. AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발

세부기술명	연구활동	예상 산출물
2-1. 철도종사자 안전필수 직무 및 안전영향척도 분석 기술개발	- 철도종사자 안전필수 직무 분석 기술 - 철도종사자 직무의 안전영향 척도 분석 기술	철도종사자 안전필수 직무 및 안전영향척도 분석 기술 (TRL 4 → TRL 6)
2-2. 철도종사자의 인적오류 발생 메커니즘 모델링, 분석 및 평가 기술개발	- 시스템 다이내믹스 기반 철도종사자의 인적오류 발생 메커니즘 모델링 및 분석기술 - 철도종사자 인적오류 특성 데이터 분석 기술	철도종사자 인적오류 발생 메커니즘 모델링 분석 및 평가 기술 (TRL 4 → TRL 8)
2-3. 철도종사자 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 가상물리체계(CPS) 기술개발	- 철도사고·장애 인적요인 빅데이터 분석시스템 개발 - 인적오류 특성 DB 기반 오류 예측 인공지능 통합 플랫폼 기술 - 철도종사자 인적오류 발생 주의/경고 및 회피수단을 제공하는 가상물리체계(CPS; Cyber Physical System) 구축	철도종사자인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 CPS 시스템 (TRL 4 → TRL 8)
2-4. Big Data 및 AI를 활용한 위험도 기반 종사자 자격능력 검증관리 시스템 개발	- 위험도기반 종사자 자격능력 검증관리(CMS, Crew Mangement System) 시스템 구축 - 측정방법, 평가기준, 훈련요건, 능력유지 등	Big Data & AI 활용 종사자 자격능력 검증관리 시스템 (TRL 4 → TRL 8)

3. 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발

세부기술명	연구활동	예상 산출물
3-1. AI 기반 철도 이례상황 시나리오 자동생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술개발	- 경험지식 DB 기반 철도 사고·장애 훈련용 시나리오 제작 및 자동생성 기술 - 장소, 작업환경, 작업특성 등에 따라 훈련효과 분석을 통한 훈련 요구사항을 콘텐츠에 지속 반영 가능한 Feedback 기술	AI 기반 철도 이례상황 시나리오 자동생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술 (TRL 4 → TRL 6)
3-2. 증강현실 및 웨어러블 기술을 활용한 이례상황 조기대응 합동 가상훈련 시스템 기술개발	- 피훈련자의 생체신호 기반의 훈련효과 실증 기술 - 철도 사고·장애 시나리오별 VR 콘텐츠 제작 기술 - 인적오류 특성 DB 및 가상훈련 피드백 데이터 기반 가상훈련시스템 구축 기술 - 가상훈련시스템의 몰입감 증대 및 상호작용 기술 - 몰입감 극대화를 위한 시각/청각/촉각 일치 Visual-Haptic Collocation 기술 - 머신러닝 등을 통한 손의 일부가 가상환경에 투입된 Virtual Embodiment 기술	증강현실 및 웨어러블 기술을 활용한 이례상황 조기대응 합동 가상훈련 시스템 (TRL 4 → TRL 8)
3-3. 인적오류 특성 데이터 기반 가상훈련시스템 운용기술 개발	- Passive Prop을 사용한 가상체현 운용기술 - 철도종사자 인적오류 통합 스마트 모니터링 시스템 구축 - 철도종사자 위험 및 상태기반 빅데이터 플랫폼 및 실시간 이상결합 진단시스템 실증	인적오류 특성 데이터 기반 가상훈련시스템 운용 기술 (TRL 4 → TRL 8)
3-4. 철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 제도화	철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 의무화 적용을 위한 법·제도 개선방안 도출 및 관계법령 정비 지원	철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 제도

제5절 세부과제별 추진계획

1. 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발

세부기술명	연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	예산 (백만원)
1-1. 철도종사자 인적요인 특성항목 설정 및 데이터 관리 기술개발	철도종사자 인적요인 특성항목 설정 기술	----					777.3
	인적요인 특성항목 기반 위험요인 도출 기술		----				
	인적요인 특성 항목 관리를 위한 데이터 처리 기술 및 빅데이터 플랫폼 설계	----	----				
1-2. AI기반 실시간 인적요인 특성 데이터 분석 및 안전운행 지원 기술개발	IoT기반 철도 종사자 신체적 상태, 물리적 환경 등에 대한 실시간 데이터 수집 및 측정 기술		----	----			1,841.1
	IoT 기반 운전업무종사자 위험요인 이상 탐지 및 정량화를 위한 AI모델 진단 및 안전운행 지원 기술			----	----		
	철도 사고·장애 인적 위험요인 빅데이터 플랫폼 구축				----	----	
1-3. 철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 기술 개발	철도종사자 실시간 자격/직무 적합성 평가 기술개발		----	----	----	----	1,186.4
합계							3,804.8

2. AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발

세부기술명	연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	예산 (백만원)
2-1. 철도종사자 안전필수 직무 및 안전영향척도 분석 기술개발	• 철도종사자 안전필수 직무 분석 기술	----	----				818.3
	• 철도종사자 직무의 안전영향척도 분석 기술		----	----			
2-2. 철도종사자의 인적오류 발생 메커니즘 모델링, 분석 및 평가 기술개발	• 시스템 다이내믹스 기반 철도종사자의 인적오류 발생 메커니즘 모델링 및 분석기술	----	----				1,022.8
	• 철도종사자 인적오류 특성 데이터 분석 기술			----	----	----	
2-3. 철도종사자 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 가상물리체계(CPS) 기술개발	• 철도 사고·장애 인적요인 빅데이터 분석시스템 개발		----	----	----		1,513.7
	• 인적오류 특성 DB 기반 오류 예측 인공지능 통합 플랫폼 기술			----	----	----	
	• 철도종사자 인적오류 발생 주의/경고 및 회피수단을 제공하는 가상물리체계(CPS; Cyber Physical System) 구축			----	----		
2-4. Big Data 및 AI를 활용한 위험도 기반 종사자 자격능력 검증관리 시스템 개발	- 위험도기반 종사자 자격능력 검증관리(CMS, Crew Mangement System) 시스템 구축 - 측정방법, 평가기준, 훈련요건, 능력유지 등			----	----	----	818.3
합계							4,173.1

3. 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발

세부기술명	연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	예산 (백만원)
3-1. AI 기반 철도 이례상황 시나리오 자동생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술개발	• 경험지식 DB 기반 철도 사고·장애 훈련용 시나리오 제작 및 자동생성 기술	----	----				818.3
	• 장소, 작업환경, 작업특성 등에 따라 훈련효과 분석을 통한 훈련 요구사항을 콘텐츠에 지속 반영 가능한 Feedback 기술		----	----			
3-2. 증강현실 및 웨어러블 기술을 활용한 이례상황 조기대응 합동 가상훈련 시스템 기술 개발	• 피훈련자의 생체신호 기반의 훈련효과 실증 기술		----	----			1,656.9
	• 철도 사고·장애 시나리오별 VR 콘텐츠 제작 기술		----	----			
	• 인적오류 특성 DB 및 가상훈련 피드백 데이터 기반 가상훈련시스템 구축 기술		----	----			
	• 가상훈련시스템의 몰입감 증대 및 상호작용 기술		----	----			
	• 몰입감 극대화를 위한 시각/청각/촉각 일치 Visual-Haptic Collocation 기술			----	----		
3-3. 인적오류 특성 데이터 기반 가상훈련 시스템 운용기술 개발	• 머신러닝 등을 통한 손의 일부가 가상환경에 투입된 Virtual Embodiment 기술			----	----		1,125.1
	• Passive Prop을 사용한 가상체현 운용기술			----	----		
	• 철도종사자 인적오류 통합 스마트 모니터링 시스템 구축			----	----		
3-4. 철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가검사 제도화	• 철도종사자 위험 및 상태기반 빅데이터 플랫폼 및 실시간 이상결함 진단시스템 실증			----	----		81.9
	• 철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가검사 의무화 적용을 위한 법·제도 개선방안 도출 및 관계법령 정비 지원				----	----	
합계							3,682.2

제6절 연구추진체계

- 본 연구는 국토교통부, 전문기관은 국토교통과학기술진흥원으로 하며, 사업의 효율적인 운영과 성과실용화 제고를 위해 총 3개의 연구내용으로 구성되는 연구단 사업으로 추진함
 - 각 연구내용(1, 2, 3)이 유기적으로 관련되어 있어 계획 단계부터 업무 범위, 개발 및 검증 일정이 체계적으로 조율되어야 하기에 분리 공모 방식보다는 컨소시엄 구성에 의한 연구단 구성이 바람직함
 - 본 연구개발 사업은 연구단(주관기관)에서 3개의 연구내용이 서로 연계될 수 있도록 총괄관리를 수행하며, 주관기관에서 각 세부 연구내용에 적합한 전문가와 관련 기업이 컨소시엄 형태로 참여하는 연구단을 구성하여 사업을 추진토록 함
- 본 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 연구단을 중심으로 '전략수립→사업관리→성과관리' 3단계의 사업운영 체계를 구축하여 운영함



표 63 추진 주체별 주요 역할 및 기능

주체	역할 및 기능
주관부처 (국토교통부)	• 사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업 기본시행계획 수립, 관련 부처간 협의 등 수행 • 데이터 기반의 철도안전관리 체계 구축을 위하여 데이터 제공, 보안, 공유 등과 관련된 제도개선 및 정책수립
전문기관 (국토교통과학기술진흥원)	• 사업추진 전담 관리기관으로 사업 기획·평가·운영과 관련된 위원회를 구성 및 운영하고, 연구단/세부과제 선정·평가, 연구단 진도점검 및 성과확산 지원 등을 수행
운영위원회	• 사업 세부시행계획, 주요 변경내용, 지원 우선순위 등 국토교통부 및 전문기관의 요청사항에 대한 검토·심의·조정 수행
운영기관 협의체	• 철도 운영기관의 유기적 협조를 위함으로 수요처의 요구사항 검토 및 의견제시, 형식승인 체계의 현장 운영을 위한 협의 및 협조, 연구성과의 수요처 소개 등을 수행
연구단	• 사업수행을 총괄하는 주체와 동시에 주요 연구내용의 통합연계가 가능하도록 연구개발을 주관하며, 세부과제 기획·연차평가, 진도관리 및 연구내용간 예산조정, 연구성과 관리 및 제도화 지원 등을 수행 • 본 사업은 각 연구내용(1, 2, 3)이 유기적으로 관련되어 있기에, 단일 연구단에서 계획 단계부터 통합적으로 업무 범위, 개발 및 검증 일정을 체계적으로 조율하고 연구내용간 긴밀한 상호연계와 협력지원을 수행하도록 산·학·연 전문가와 관련 기업은 컨소시엄 형태로 참여
연구단 참여기관	• 사업 내 중점 연구분야별로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가 및 관련 기업이 컨소시엄 형식으로 연구단에 참여하여 기술개발을 수행

제7절 연구개발로드맵

1. 연차별 로드맵

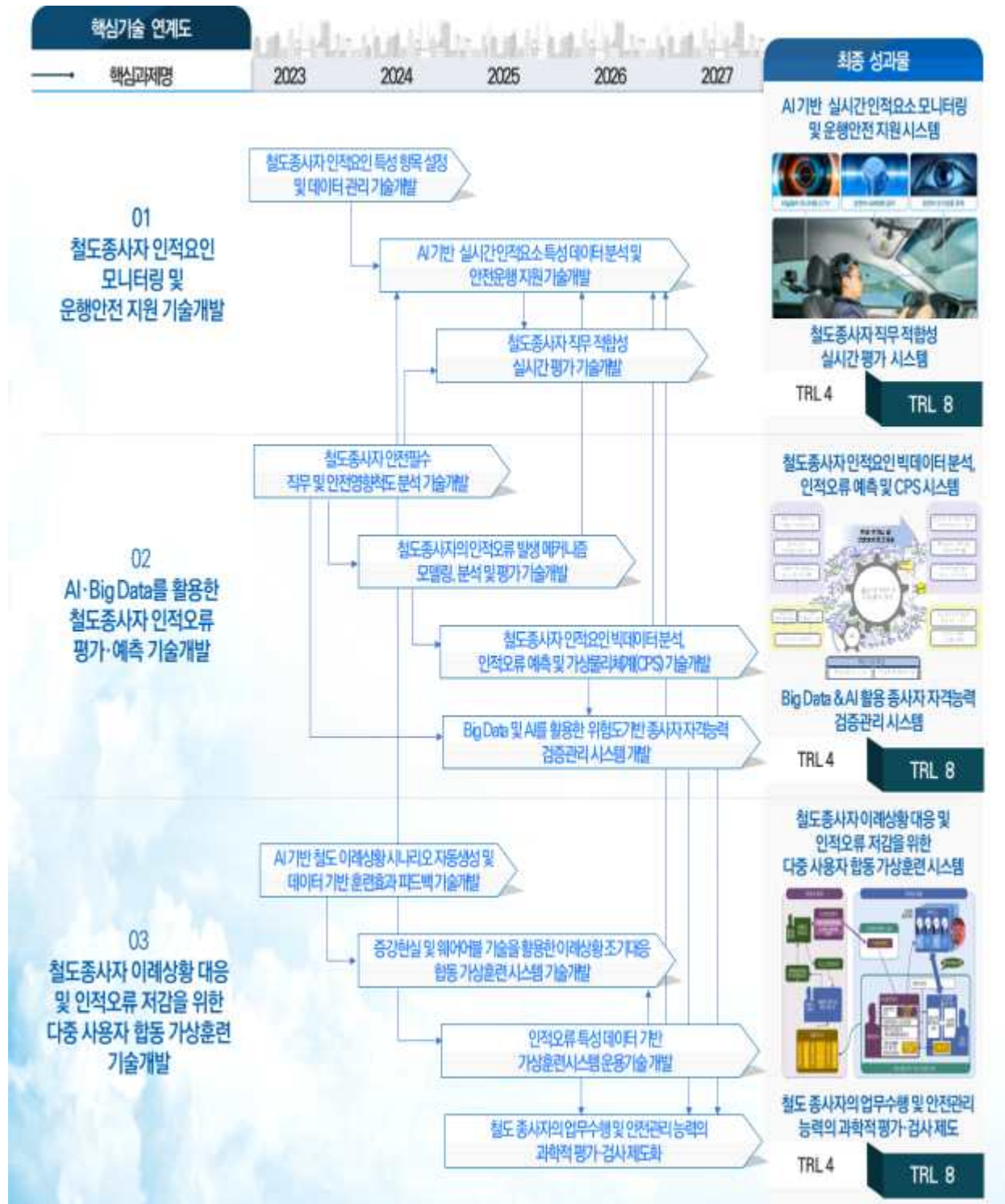


그림 58 철도 종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술개발 로드맵

2. 단계별 성과목표 및 지표

□ 전략목표

- 4차 산업 기술 기반 철도 종사자 인적오류 분석·평가·예방 기술 개발·보급을 통해 철도종사자 인적오류 기인 열차사고 및 사상사고 획기적 저감에 기여
 - － 종사자 인적오류로 인한 열차사고와 사상사고를 50% 저감할 수 있는 기술개발
 - * 철도종사자: 운전업무종사자, 관제업무종사자, 승무원, 선로작업자 등

□ 단계별 목표

- 1단계(1~2차년도) : 철도종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술 분야별 핵심기술 개발
- 2단계(3~4차년도) : 철도종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술 통합운영 기술개발
- 3단계(5차년도) : 철도종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술의 시범사업을 통한 현장 적용성 검증

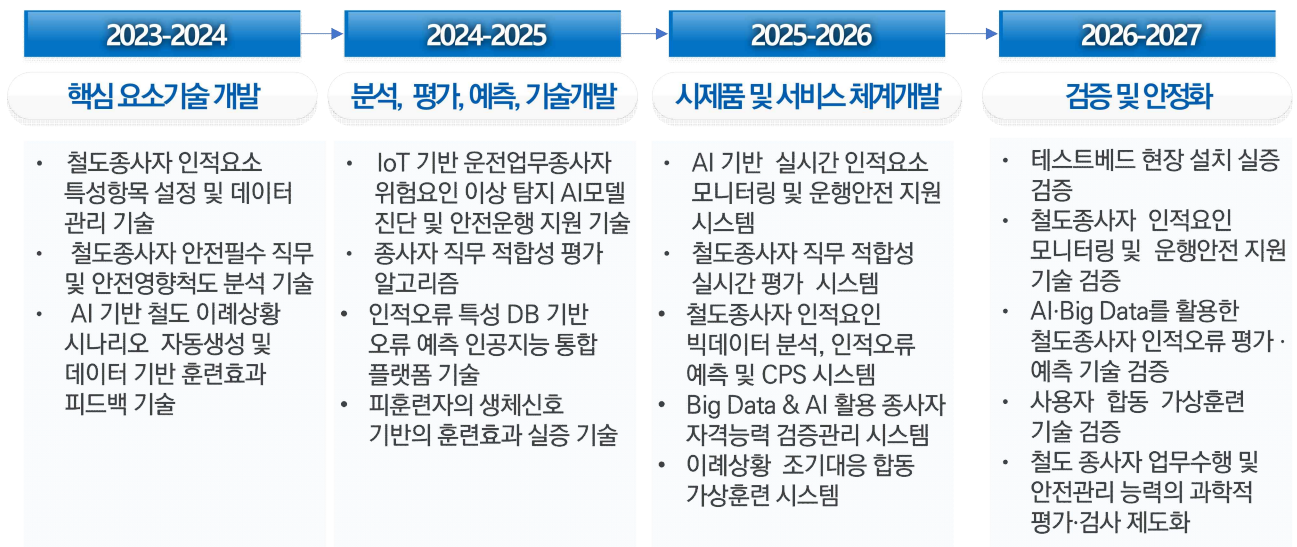


그림 59 단계별 목표

□ 성과 지표

성과지표명		목표치					측정 방법
		'23	'24	'25	'26	'27	
1	AI 기반 실시간 인적요소 특성 데이터 분석 및 안전운행 지원 기술개발	모델링	알고리즘	사제품	80%	90%	핵심 성능달성 기준 (연산처리속도, 시의성, 예지진단 정확도 등)
	철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 기술개발	-	설계	사제품	80%	90%	실시간 직무 적합성 성능지표 기준 (정확성, 신속성, 정시성, 등 정량적 지표에 따른 통합점수)
2	철도종사자 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 가상물리체계(CPS) 기술개발	모델링	알고리즘	사제품	80%	90%	예측 및 안전대책의 성능달성 기준 (예측 정확성, 안전대책의 적합성 등 정량적 지표에 따른 통합점수)
	Big Data 및 AI를 활용한 위험도기반 종사자 자격능력 검증관리 시스템 개발	-	설계	사제품	80%	90%	종사자 자격능력 검증 성능지표 기준 (검증 적합성, 정확성, 정시성 등 정량적 지표에 따른 통합점수)
3	철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발	설계	알고리즘	사제품	80% C (보통)	100% A (만족)	핵심 성능평가 기준 (훈련 콘텐츠 분량, 가상현실 렌더링 속도 등) 이용자 안전 만족도 조사 (조사결과, AF 등급 환산 적용)
	철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 제도화	-		50%	70%	제도 (100%)	법제도 마련 절차 기준 진행율 (%)

제4장 사전 타당성 분석

제1절 정책적 타당성 분석

- 정책적 타당성 분석은 아래와 같이 법·제도적 위험요인의 검토, 국가 정책 및 상위계획과의 부합성, 국가 R&D 사업추진의 타당성 분석을 수행하였음

1. 법·제도적 위험요인의 검토

- 국가연구개발 사업에 대한 기획연구에서 법·제도적인 제약으로 인해 사업추진이나, 성과물의 활용에 제약이 발생할 수 있으나 동 사업의 경우 관계 기존 법·제도 상에서 위험요인이 없어 개정 없이 추진이 가능
 - 철도 종사자의 인적오류 분석·예방·평가 기술개발사업은 시행 중인 관계 법령의 개정 없이 추진이 가능한 사항으로서 철도안전법 제4장 철도종사자의 안전관리에 따라 철도종사자 안전 관리가 의무화되어 있어 법·제도적인 위험요인은 없음

철도안전법 제4장 철도종사자의 안전관리

제10조(철도차량 운전면허) ① 철도차량을 운전하려는 사람은 국토교통부장관으로부터 철도차량 운전면허(이하 “운전면허”라 한다)를 받아야 한다. 다만, 제16조에 따른 교육훈련 또는 제17조에 따른 운전면허시험을 위하여 철도차량을 운전하는 경우 등 대통령령으로 정하는 경우에는 그러하지 아니하다. <개정 2013. 3. 23.>

② 「도시철도법」 제2조제2호에 따른 노면전차를 운전하려는 사람은 제1항에 따른 운전면허 외에 「도로교통법」 제80조에 따른 운전면허를 받아야 한다. <신설 2018. 2. 21.>

③ 제1항에 따른 운전면허는 대통령령으로 정하는 바에 따라 철도차량의 종류별로 받아야 한다. <개정 2018. 2. 21.> [전문개정 2012. 6. 1.]

제11조(운전면허의 결격사유) 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사람은 운전면허를 받을 수 없다. <개정 2014. 5. 21., 2017. 8. 9., 2020. 6. 9.>

1. 19세 미만인 사람

2. 철도차량 운전상의 위험과 장애를 일으킬 수 있는 정신질환자 또는 뇌전증환자로서 대통령령으로 정하는 사람

3. 철도차량 운전상의 위험과 장애를 일으킬 수 있는 약물(「마약류 관리에 관한 법률」 제2조제1호에 따른 마약류 및 「화학물질관리법」 제22조제1항에 따른 환각물질을 말한다. 이하 같다) 또는 알코올을 중독자로서 대통령령으로 정하는 사람

4. 두 귀의 청력 또는 두 눈의 시력을 완전히 상실한 사람

5. 운전면허가 취소된 날부터 2년이 지나지 아니하였거나 운전면허의 효력정지기간 중인 사람

[전문개정 2012. 6. 1.][제목개정 2015. 7. 24.]

제12조(운전면허의 신체검사) ① 운전면허를 받으려는 사람은 철도차량 운전에 적합한 신체상태를 갖추고 있는지를 판정받기 위하여 국토교통부장관이 실시하는 신체검사에 합격하여야 한다. <개정 2013. 3. 23.>

② 국토교통부장관은 제1항에 따른 신체검사를 제13조에 따른 의료기관에서 실시하게 할 수 있다. <개정 2013. 3. 23.>

③ 제1항에 따른 신체검사의 합격기준, 검사방법 및 절차 등에 관하여 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. <개정 2013. 3. 23.>[전문개정 2012. 6. 1.][제목개정 2015. 7. 24.]

제15조(운전적성검사) ① 운전면허를 받으려는 사람은 철도차량 운전에 적합한 적성을 갖추고 있는지를 판정받기 위하여 국토교통부장관이 실시하는 적성검사(이하 “운전적성검사”라 한다)에 합격하여야 한다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 7. 24.>

② 운전적성검사에 불합격한 사람 또는 운전적성검사 과정에서 부정행위를 한 사람은 다음 각 호의 구분에 따른 기간 동안 운전적성검사를 받을 수 없다. <개정 2015. 7. 24.>

1. 운전적성검사에 불합격한 사람: 검사일부터 3개월

2. 운전적성검사 과정에서 부정행위를 한 사람: 검사일부터 1년

③ 운전적성검사의 합격기준, 검사의 방법 및 절차 등에 관하여 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 7. 24.>

④ 국토교통부장관은 운전적성검사에 관한 전문기관(이하 “운전적성검사기관”이라 한다)을 지정하여 운전적성검사를 하게 할 수 있다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 7. 24.>

⑤ 운전적성검사기관의 지정기준, 지정절차 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. <개정 2015. 7. 24.>

⑥ 운전적성검사기관은 정당한 사유 없이 운전적성검사 업무를 거부하여서는 아니 되고, 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 운전적성검사 판정서를 발급하여서는 아니 된다. <개정 2015. 7. 24.>

[전문개정 2012. 6. 1.][제목개정 2015. 7. 24.]

제15조의2(운전적성검사기관의 지정취소 및 업무정지) ① 국토교통부장관은 운전적성검사기관이 다음 각 호의 어느 하나에 해당할 때에는 지정을 취소하거나 6개월 이내의 기간을 정하여 업무의 정지를 명할 수 있다. 다만, 제1호 및 제2호에 해당할 때에는 지정을 취소하여야 한다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 7. 24.>

1. 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 지정을 받았을 때

2. 업무정지 명령을 위반하여 그 정지기간 중 운전적성검사 업무를 하였을 때

3. 제15조제5항에 따른 지정기준에 맞지 아니하게 되었을 때

4. 제15조제6항을 위반하여 정당한 사유 없이 운전적성검사 업무를 거부하였을 때

5. 제15조제6항을 위반하여 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 운전적성검사 판정서를 발급하였을 때

② 제1항에 따른 지정취소 및 업무정지의 세부기준 등에 관하여 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. <개정 2013. 3. 23.>

③ 국토교통부장관은 제1항에 따라 지정이 취소된 운전적성검사기관이나 그 기관의 설립·운영자 및 임원이 그 지정이 취소된 날부터 2년이 지나지 아니하고 설립·운영하는 검사기관을 운전적성검사기관으로 지정하여서는 아니 된다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 7. 24.>

[본조신설 2012. 6. 1.][제목개정 2015. 7. 24.]

제16조(운전교육훈련) ① 운전면허를 받으려는 사람은 철도차량의 안전한 운행을 위하여 국토교통부장관이 실시하는 운전교육훈련에 필요한 지식과 능력을 습득할 수 있는 교육훈련(이하 “운전교육훈련”

이라 한다)을 받아야 한다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 7. 24.>

- ② 운전교육훈련의 기간, 방법 등에 관하여 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 7. 24.>
- ③ 국토교통부장관은 철도차량 운전에 관한 전문 교육훈련기관(이하 “운전교육훈련기관”이라 한다)을 지정하여 운전교육훈련을 실시하게 할 수 있다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 7. 24.>
- ④ 운전교육훈련기관의 지정기준, 지정절차 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. <개정 2015. 7. 24.>
- ⑤ 운전교육훈련기관의 지정취소 및 업무정지 등에 관하여는 제15조제6항 및 제15조의2를 준용한다. 이 경우 “운전적성검사기관”은 “운전교육훈련기관”으로, “운전적성검사 업무”는 “운전교육훈련 업무”로, “제15조제5항”은 “제16조제4항”으로, “운전적성검사 판정서”는 “운전교육훈련 수료증”으로 본다. <개정 2015. 7. 24.>[전문개정 2012. 6. 1.][제목개정 2015. 7. 24.]

제17조(운전면허시험) ① 운전면허를 받으려는 사람은 국토교통부장관이 실시하는 철도차량 운전면허시험(이하 “운전면허시험”이라 한다)에 합격하여야 한다. <개정 2013. 3. 23.>

- ② 운전면허시험에 응시하려는 사람은 제12조에 따른 신체검사 및 운전적성검사에 합격한 후 운전교육훈련을 받아야 한다. <개정 2015. 7. 24.>
- ③ 운전면허시험의 과목, 절차 등에 관하여 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. <개정 2013. 3. 23.> [전문개정 2012. 6. 1.]

제20조(운전면허의 취소·정지 등) ① 국토교통부장관은 운전면허 취득자가 다음 각 호의 어느 하나에 해당할 때에는 운전면허를 취소하거나 1년 이내의 기간을 정하여 운전면허의 효력을 정지시킬 수 있다. 다만, 제1호부터 제4호까지의 규정에 해당할 때에는 운전면허를 취소하여야 한다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 7. 24., 2018. 6. 12., 2020. 12. 22.>

- 1. 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 운전면허를 받았을 때
- 2. 제11조제2호부터 제4호까지의 규정에 해당하게 되었을 때
- 3. 운전면허의 효력정지기간 중 철도차량을 운전하였을 때
- 4. 제19조의2를 위반하여 운전면허증을 다른 사람에게 빌려주었을 때
- 5. 철도차량을 운전 중 고의 또는 중과실로 철도사고를 일으켰을 때
- 5의2. 제40조의2제1항 또는 제5항을 위반하였을 때
- 6. 제41조제1항을 위반하여 술을 마시거나 약물을 사용한 상태에서 철도차량을 운전하였을 때
- 7. 제41조제2항을 위반하여 술을 마시거나 약물을 사용한 상태에서 업무를 하었다고 인정할 만한 상당한 이유가 있음에도 불구하고 국토교통부장관 또는 시·도지사의 확인 또는 검사를 거부하였을 때
- 8. 이 법 또는 이 법에 따라 철도의 안전 및 보호와 질서유지를 위하여 한 명령·처분을 위반하였을 때
- ② 국토교통부장관이 제1항에 따라 운전면허의 취소 및 효력정지 처분을 하였을 때에는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 그 내용을 해당 운전면허 취득자와 운전면허 취득자를 고용하고 있는 철도운영자등에게 통지하여야 한다. <개정 2013. 3. 23.>
- ③ 제2항에 따른 운전면허의 취소 또는 효력정지 통지를 받은 운전면허 취득자는 그 통지를 받은 날부터 15일 이내에 운전면허증을 국토교통부장관에게 반납하여야 한다. <개정 2013. 3. 23.>
- ④ 국토교통부장관은 제3항에 따라 운전면허의 효력이 정지된 사람으로부터 운전면허증을 반납받았을 때에는 보관하였다가 정지기간이 끝나면 즉시 돌려주어야 한다. <개정 2013. 3. 23.>
- ⑤ 제1항에 따른 취소 및 효력정지 처분의 세부기준 및 절차는 그 위반의 유형 및 정도에 따라 국토교통부령으로 정한다. <개정 2013. 3. 23.>

⑥ 국토교통부장관은 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 운전면허의 발급, 갱신, 취소 등에 관한 자료를 유지·관리하여야 한다. <개정 2013. 3. 23.> [전문개정 2012. 6. 1.]

제21조의3(관제자격증명) ① 관제업무에 종사하려는 사람은 국토교통부장관으로부터 철도교통관제사 자격증명(이하 “관제자격증명”이라 한다)을 받아야 한다. <개정 2022. 1. 18.>

② 관제자격증명은 대통령령으로 정하는 바에 따라 관제업무의 종류별로 받아야 한다. <신설 2022. 1. 18.> [본조신설 2015. 7. 24.] [시행일: 2023. 1. 19.] 제21조의3

제21조의7(관제교육훈련) ① 관제자격증명을 받으려는 사람은 관제업무의 안전한 수행을 위하여 국토교통부장관이 실시하는 관제업무에 필요한 지식과 능력을 습득할 수 있는 교육훈련(이하 “관제교육훈련”이라 한다)을 받아야 한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사람에게는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 관제교육훈련의 일부를 면제할 수 있다. <개정 2022. 1. 18.>

1. 「고등교육법」 제2조에 따른 학교에서 국토교통부령으로 정하는 관제업무 관련 교과목을 이수한 사람

2. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 업무에 대하여 5년 이상의 경력을 취득한 사람

가. 철도차량의 운전업무

나. 철도신호기·선로전환기·조작관의 취급업무

3. 관제자격증명을 받은 후 제21조의3제2항에 따른 다른 종류의 관제자격증명을 받으려는 사람

② 관제교육훈련의 기간 및 방법 등에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다.

③ 국토교통부장관은 관제업무에 관한 전문 교육훈련기관(이하 “관제교육훈련기관”이라 한다)을 지정하여 관제교육훈련을 실시하게 할 수 있다.

④ 관제교육훈련기관의 지정기준 및 지정절차 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

⑤ 관제교육훈련기관의 지정취소 및 업무정지 등에 관하여는 제15조제6항 및 제15조의2를 준용한다. 이 경우 “운전적성검사기관”은 “관제교육훈련기관”으로, “운전적성검사”는 “관제교육훈련”으로, “제15조제5항”은 “제21조의7제4항”으로, “운전적성검사 판정서”는 “관제교육훈련 수료증”으로 본다. [본조신설 2015. 7. 24.] [시행일: 2023. 1. 19.] 제21조의7

제21조의8(관제자격증명시험) ① 관제자격증명을 받으려는 사람은 관제업무에 필요한 지식 및 실무 역량에 관하여 국토교통부장관이 실시하는 학과시험 및 실기시험(이하 “관제자격증명시험”이라 한다)에 합격하여야 한다.

② 관제자격증명시험에 응시하려는 사람은 제21조의5제1항에 따른 신체검사와 관제적성검사에 합격한 후 관제교육훈련을 받아야 한다.

③ 국토교통부장관은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사람에게는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 관제자격증명시험의 일부를 면제할 수 있다. <개정 2022. 1. 18.>

1. 운전면허를 받은 사람

2. 삭제 <2022. 1. 18.>

3. 관제자격증명을 받은 후 제21조의3제2항에 따른 다른 종류의 관제자격증명에 필요한 시험에 응시하려는 사람

④ 관제자격증명시험의 과목, 방법 및 절차 등에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다.

[본조신설 2015. 7. 24.] [시행일: 2023. 1. 19.] 제21조의8

제21조의9(관제자격증명서의 발급 및 관제자격증명의 갱신 등) 관제자격증명서의 발급 및 관제자격증명의 갱신 등에 관하여는 제18조 및 제19조를 준용한다. 이 경우 “운전면허시험”은 “관제자격증명시험”으로, “운전면허”는 “관제자격증명”으로, “운전면허증”은 “관제자격증명서”로, “철도차량의 운전업무”는 “관제업무”로 본다. [본조신설 2015. 7. 24.]

제21조의11(관제자격증명의 취소·정지 등) ① 국토교통부장관은 관제자격증명을 받은 사람이 다음 각 호의 어느 하나에 해당할 때에는 관제자격증명을 취소하거나 1년 이내의 기간을 정하여 관제자격증명의 효력을 정지시킬 수 있다. 다만, 제1호부터 제4호까지의 어느 하나에 해당할 때에는 관제자격증명을 취소하여야 한다. <개정 2020. 12. 22.>

1. 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 관제자격증명을 취득하였을 때
2. 제21조의4에서 준용하는 제11조제2호부터 제4호까지의 어느 하나에 해당하게 되었을 때
3. 관제자격증명의 효력정지 기간 중에 관제업무를 수행하였을 때
4. 제21조의10을 위반하여 관제자격증명서를 다른 사람에게 빌려주었을 때
5. 관제업무 수행 중 고의 또는 중과실로 철도사고의 원인을 제공하였을 때
6. 제40조의2제2항을 위반하였을 때
7. 제41조제1항을 위반하여 술을 마시거나 약물을 사용한 상태에서 관제업무를 수행하였을 때
8. 제41조제2항을 위반하여 술을 마시거나 약물을 사용한 상태에서 관제업무를 하였다고 인정할 만한 상당한 이유가 있음에도 불구하고 국토교통부장관 또는 시·도지사의 확인 또는 검사를 거부하였을 때

② 제1항에 따른 관제자격증명의 취소 또는 효력정지의 기준 및 절차 등에 관하여는 제20조제2항부터 제6항까지를 준용한다. 이 경우 “운전면허”는 “관제자격증명”으로, “운전면허증”은 “관제자격증명서”로 본다. [본조신설 2015. 7. 24.]

제23조(운전업무종사자 등의 관리) ① 철도차량 운전·관제업무 등 대통령령으로 정하는 업무에 종사하는 철도종사자는 정기적으로 신체검사와 적성검사를 받아야 한다.

② 제1항에 따른 신체검사·적성검사의 시기, 방법 및 합격기준 등에 관하여 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. <개정 2013. 3. 23.>

③ 철도운전자등은 제1항에 따른 업무에 종사하는 철도종사자가 같은 항에 따른 신체검사·적성검사에 불합격하였을 때에는 그 업무에 종사하게 하여서는 아니 된다.

④ 제1항에 따른 업무에 종사하는 철도종사자로서 적성검사에 불합격한 사람 또는 적성검사 과정에서 부정행위를 한 사람은 제15조제2항 각 호의 구분에 따른 기간 동안 적성검사를 받을 수 없다. <신설 2020. 6. 9.>

⑤ 철도운전자등은 제1항에 따른 신체검사와 적성검사를 제13조에 따른 신체검사 실시 의료기관 및 운전적성검사기관·관제적성검사기관에 각각 위탁할 수 있다. <개정 2020. 6. 9.>

[전문개정 2012. 6. 1.]

제24조(철도종사자에 대한 안전 및 직무교육) ① 철도운전자등 또는 철도운전자등과의 계약에 따라 철도운영이나 철도시설 등의 업무에 종사하는 사업주(이하 이 조에서 “사업주”라 한다)는 자신이 고용하고 있는 철도종사자에 대하여 정기적으로 철도안전에 관한 교육을 실시하여야 한다. <개정 2020. 6. 9.>

② 철도운전자등은 자신이 고용하고 있는 철도종사자가 적정한 직무수행을 할 수 있도록 정기적으로 직무교육을 실시하여야 한다. <개정 2020. 4. 7.>

③ 철도운전자등은 제1항에 따른 사업주의 안전교육 실시 여부를 확인하여야 하고, 확인 결과 사업주가 안전교육을 실시하지 아니한 경우 안전교육을 실시하도록 조치하여야 한다. <신설 2020. 6. 9.>

④ 제1항 및 제2항에 따라 철도운전자등 및 사업주가 실시하여야 하는 교육의 대상, 내용 및 그 밖에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. <신설 2020. 4. 7., 2020. 6. 9.>

[본조신설 2017. 10. 24.][제목개정 2020. 4. 7.]

- 제24조의4(철도차량정비기술교육훈련)** ① 철도차량정비기술자는 업무 수행에 필요한 소양과 지식을 습득하기 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 국토교통부장관이 실시하는 교육·훈련(이하 “정비교육훈련”이라 한다)을 받아야 한다.
- ② 국토교통부장관은 철도차량정비기술자를 육성하기 위하여 철도차량정비 기술에 관한 전문 교육훈련기관(이하 “정비교육훈련기관”이라 한다)을 지정하여 정비교육훈련을 실시하게 할 수 있다.
- ③ 정비교육훈련기관의 지정기준 및 절차 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.
- ④ 정비교육훈련기관은 정당한 사유 없이 정비교육훈련 업무를 거부하여서는 아니 되고, 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 정비교육훈련 수료증을 발급하여서는 아니 된다.
- ⑤ 정비교육훈련기관의 지정취소 및 업무정지 등에 관하여는 제15조의2를 준용한다. 이 경우 “운전적성검사기관”은 “정비교육훈련기관”으로, “운전적성검사 업무”는 “정비교육훈련 업무”로, “제15조제5항”은 “제24조의4제3항”으로, “제15조제6항”은 “제24조의4제4항”으로, “운전적성검사 판정서”는 “정비교육훈련 수료증”으로 본다. [본조신설 2018. 6. 12.]

2. 국가 정책 및 상위계획과의 부합성

1.1 국가 정책과의 부합성

□ 새정부 출범에 따른 향후 5년간 국정과제와 동 사업간의 부합성을 검토하였음

- 다만, 기획보고서 작성 시점(2022.4.29.) 국정과제가 발표되지 않은 상태이므로 당선인의 공약집에 제시된 공약으로 대체하여 검토함

표 66 새정부 국정과제와 동 사업간 부합성 검토 결과

분야	과제	세부 내용	부합성
08. 안심 대한민국, 모두가 안전한 나라	(국민안전) 신속·정확한 디지털 국가재난관리체계 구축/	▪ AI·데이터 기반의 실시간 ‘재난안전 디지털 플랫폼 정부’ 실현 - 분산된 재난안전 데이터를 연계·통합·확산, 증거기반 예방정책 수립 - 재난 예측, 대비, 대응, 복구, 완화 또는 개선 등 재난관리 단계별 데이터 기반 의사결정 구조의 제도화 및 기술적 구현	부합

1.2 상위계획과의 부합성

□ 상위 계획과의 부합성은 철도안전 분야의 과학기술 정책과 관련된 다음과 같은 국가 차원의 상위 계획을 분석하였음

표 67 상위 계획과 동 사업간 부합성 검토 결과

분야	중장기 계획명	소관부처 (근거법령)	부합성
과학기술분야	제4차 과학기술기본계획 (2018~2022)	과학기술정보통신부 과학기술기본법, 제7조	부합
과학기술분야	제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027)	국토교통부 국토교통과학기술육성법, 제4조	부합
교통안전분야	제8차 국가교통안전기본계획 (2017~2021)	국토교통부 교통안전법, 제15조	부합
철도안전분야	제3차 철도안전종합계획[수정계획] (2016~2022)	국토교통부, 철도안전법, 제5조	부합
철도안전분야	제3차 철도산업발전기본계획 (2016~2020)	국토교통부	부합
철도안전분야	제4차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2018~2022)	국토교통부 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 제3조	부합

□ 제4차 과학기술기본계획(2018~2022)-2040년을 향한 국가과학기술 혁신과 도전

- 국가과학기술 혁신과 도전(제4차. `18-`22)의 4대 전략 중 '전략 3-과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출', '전략 4-과학기술로 모두가 행복한 삶 구현'을 위한 중점 추진과제 중 철도 안전과 관련하여 다음 내용과의 부합성이 존재함
- (과제17) 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현 과제의 추진 내용에서 국민 맞춤형 재난·안전 교육 및 생활 체감 서비스 확대, 재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보에 부합함

표 68 제4차 과학기술기본계획 중 동 사업 관련 추진 내용

제4차 과학기술기본계획(2018~2022)		
전략	과제	추진 내용
전략 4. 과학기술로 모두가 행복한 삶 구현	과제17-안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현	02 국민 맞춤형 재난·안전 교육 및 생활 체감 서비스 확대 •국민 안전복지 확대를 위한 안전사고 예방·대비 서비스 개발 -생활안전 체감 서비스 제공을 위한 생활안전 정보를 공유·연계할 수 있는 IoT 기반의 지능형 플랫폼 개발 03 국민생활과 밀접한 문제에 대한 R&D 역할 강화 •건강·안전·편의 등 사회적 이슈 해결 관련 R&D투자 확대

□ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027)

- 4대 추진전략 중 '사람 중심의 국토교통 기술개발'의 추진 내용에서 친환경 스마트 철도를 전략목표의 하나로 설정하고, 철도 부품·장치 산업 육성 및 수출 확대 추진, 철도/항공 이용자 보호 시스템, 철도 인프라 성능 및 안전성 향상 등과의 부합성이 존재함

제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027))		
전략	과제	추진 내용
사람 중심의 국토교통 기술개발	기존 수송시스템 혁신기술 도입	- (전략목표) 여객·화물 운송 수단·인프라 혁신을 위하여 "친환경 스마트 철도", "차세대 항공 교통", "고부가가치 자동화 물류" - 철도차량 및 인프라를 혁신하는 "친환경 초고속 철도 시스템"과 철도 운영·유지보수를 자동화하는 "무인 자율철도시스템" 개발 - 철도·항공 제작·인증을 통한 "철도·항공 전략산업화"

□ 제8차 국가교통안전기본계획 (2017~2021)

- 국가교통안전기본계획은 철도, 항공, 해양, 도로를 총괄하고 있으며, 철도분야의 안전대책은 철도안전종합계획의 내용을 반영함
- ‘국민이 신뢰하는 선진 교통안전 구현’이라는 비전을 바탕으로 교통수단 이용자, 관리자(종사자), 운영자, 제도 등을 포함하는 시스템 차원에서의 체계적인 관리가 필요함을 제시하고 철도 부문에 관한 내용을 포함하고 있어 추진내용과 연계성이 존재함
- 철도부문의 정책방향은 자발적 안전관리체계를 정착 등을 통한 대형교통사고 발생 제로화 및 철도사고 33%이상 감소 목표 설정하고 있음

□ 제3차 철도안전종합계획[수정계획] (2016~2022)

- 철도안전 정책방향을 제시하는 종합계획으로 철도종사자의 안전역량 강화, 철도 위기대응체계 개선 및 철도안전 연구개발 강화 등을 포함하고 있으며, 본 개발사업의 추진내용과 연계성이 존재함
- (철도종사자 안전역량 강화) 철도종사자의 안전관리 전문조직 역량 강화, 철도종사자 자격제도 고도화 및 지속적 개선, 철도종사자 안전확보 방안, 철도종사자 교육훈련 내실화, 철도종사자 비상대응 능력 향상 등을 추진
- (철도 위기대응체계 개선 및 철도안전 연구개발 강화) 철도안전 원천기술 개발 및 검증인프라 구축, 철도사고 위기대응체계 운영 등을 추진

3. 사업추진의 타당성

□ 동 사업기획에 대한 국가연구개발사업 추진의 타당성을 아래와 같이 검토하였음

항목	질 문	답	답변근거 및 자료
1	사업목적이 명확하며 추진근거가 있는가?	예	○ (사업목적) 4차 산업혁명 기술 기반 철도 종사자 인적오류 분석·평가·예방 기술개발·보급을 통해 철도종사자 인적오류 기인 열차사고 및 사상사고 저감에 기여 ○ 사업목표 달성을 위한 세부 사업내용은 다음과 같음 ▪ (철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원) 철도종사자 인적요소 데이터관리, 데이터 분석 및 안전운행 지원기술, 철도종사자 직무적합성 실시간 평가기술 등 개발 ▪ (AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발) 철도종사자 직무 및 안전영향정도 분석기술, 인적오류 발생 메커니즘 모델링 분석 및 평가기술, 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 가상물리체계 기술, 위험도 기반 종사자 자격능력 검증관리 시스템 등 개발 ▪ (철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발) 철도 이례상황 시나리오 자동생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술, 이례상황 조기대응 합동 가상훈련 시스템 기술, 인적오류 특성 데이터 기반 가상훈련시스템 운용기술, 철도종사자 업무 수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 제도화 기술 등 개발 ○ (상위계획과의 부합성) ▪ (국가 기본계획) 국가과학기술 혁신과 도전(제4차, '18-'22) (과제17) 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현의 추진과제에 부합 ▪ (당선인 공약집) '08. 안심 대한민국, 모두가 안전한 나라'를 위한 '신속·정확한 디지털 국가재난관리체계구축'에 기여 ▪ ('22년도 정부연구개발 투자방향 - 국가교통체계 혁신) 철도, BRT 등 광역간선 대중교통수단의 유지보수 스마트화와 성능개선 촉진에 대응
2	중앙정부가 해야 하는 일인가?	예	○ 철도는 대표적인 대중교통수단임에 따라 국민의 안전을 확보하여야 하며, 사고발생 시 사회적 파급효과가 매우 크므로 사고의 주요 원인인 인적오류에 관한 정부차원의 적극적인 지원 필요 ○ 국가는 철도안전의 관련 법령에 따라 국민의 생명 및 재산을 보호하여야 하며, 최고수준의 철도안전확보를 위해 혁신적인 철도종사자의 인적요인 관리기술이 전제되어야 하므로 국가 주도하에 지원되어야 함 ○ 철도안전관리 기술개발은 장시간의 투자재원이 필요하나 시장 창출에 어려움이 있어 단기 투자성과 위주 민간주도 기술개발에 그치고 있으므로 국가 지원이 필요함 ▪ 정부, 지자체의 안전 투자비율이 55% 이상인 반면 민간부문은 불과 1.1%에 지나지 않으며, 특히 철도운영기관은 경영악화 심화로 철도안전 기술개발에 대한 투자가 어려운 상황
3	재정지출이 효율적인가?	예	○ 본 사업은 공공재인 철도의 안전확보 기반인 종사자 인적오류 분석·평가·예방 기술개발을 추진하는 것으로서, 관련 기술 확보 및 활용을 위한 유일한 사업이므로 재정지출이 효율적임
4	다른 사업 및 조세지출과 중복 또는	예	○ 본 사업 관련 조세 지출, 중복, 유사 사업 없음. ▪ 본 사업은 국내 선도기술로 개발되어 국가적인 품질, 안전, 성능 검증이 필요한 신기술, 신교통수단에 대한 형식승인 적용을 확대하려는 것으로서, 이들

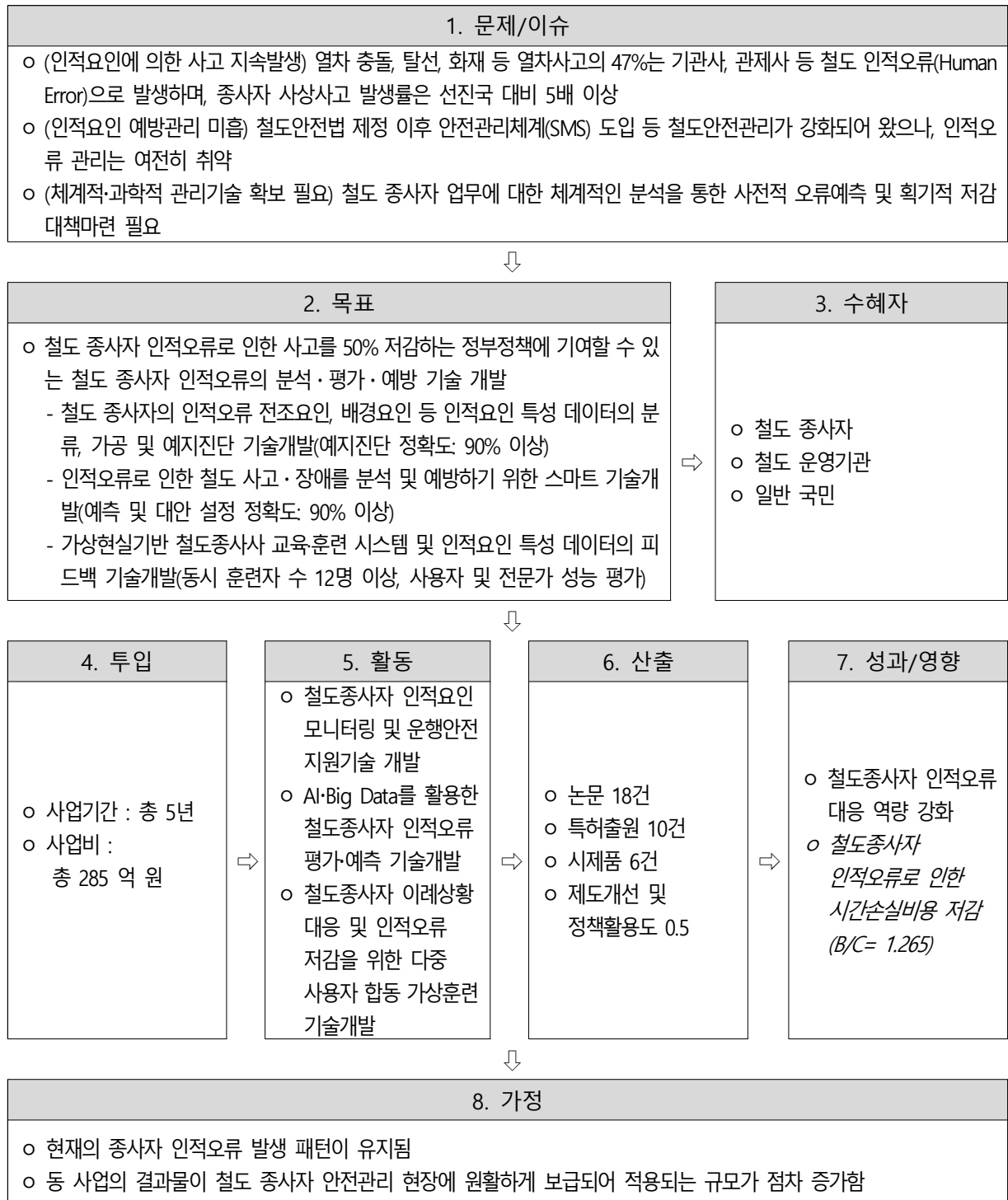
항목	질 문	답	답변근거 및 자료
	유사하게 사업이 설계되지 않았는가?		신기술, 신교통수단에 대한 국가 형식승인 검사에 필요한 기술기준과 기반 철도표준을 개발, 검증하는 것임 * 선행연구 : 철도용품 인증을 위한 실내/현장 시험규격 정비 및 인증체계 개선방안 연구('11.11-'14.09), 철도차량 형식승인을 위한 시험규격 정비 및 기술기준 개발('13.05-'17.05)
5	사업의 타당성을 객관적으로 검증하는 절차를 거쳤는가?	예	○ 2020년 '데이터 기반 스마트 철도안전관리 기술개발사업' 예비타당성조사를 통해 철도안전관리 및 종사자 인적오류 관리 기술개발 타당성을 검증 ⇒ 기획 구체화 미흡으로 미시행 판정 받았으나, 사업추진 필요성에 대해서는 충분한 공감대를 형성
6	현재의 사업방식이 가장 효율적인가?	예	○ 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 신기술 대응 형식승인 기술기준 및 철도표준의 실증과 형식승인 제도의 고도화 개선을 포함한 연구개발 활동을 주관하는 연구단 사업으로 추진 ▪ 사업의 효율적인 운영과 성과실용화 제고를 위해 3개의 세부 과제로 구성하고, 체계적인 사업관리와 세부과제(1, 2, 3)간 연계를 위해 분리공모 방식보다는 주관기관이 각 세부과제에 참여하는 컨소시엄 구성에 의한 연구단 사업으로의 추진이 효율적임
7	현재 추진해야 할 시급성이 있는가?	예	○ 철도시스템이 자동화·복잡화되면서 기관사, 관제사 등의 인적오류 발생 위험성이 증대되고 있고, 「중대재해처벌법」 시행으로 종사자 안전관리에 대한 사회적 요구가 강화되고 있어 종사자 안전관리 개선을 위한 기술 확보 시급 ○ 철도 선진국 대비 국내 철도종사자 사망률이 높아, 철도종사자의 안전 확보 시급 ▪ 열차운행 1억km당 종사자 사망자(5년 평균값) : 대한민국 3.8, 영국 0, 프랑스 0.4, 독일 0.9, 이탈리아 0.5, 스웨덴 0, 스위스 0.5, 스페인 0.5 ○ 종사자 안전교육 및 비상대응훈련 등을 실시하고 있으나, 비상상황에 대비한 철도종사자 맞춤형 합동훈련시스템은 미흡한 실정으로 잠재적 인적요인에 의한 대형사고 예방을 위해 시급한 사업착수 필요
8	사업여건은 성숙되어 있는가?	예	○ 한국원자력연구원, 한국철도기술연구원 등 인적오류 관련 연구를 지속적으로 추진해오고 있어 관련 지식과 연구 인프라가 축적되어 있는 상태 ○ 사회적으로 '안전'이 최우선 가치로 인식되고 있으며, 동 사업 성과를 연계·활용할 스마트철도 안전기술개발사업이 예타 통과를 위한 재기획을 추진 중
9	투입비용 대비 효과성은 높은가?	예	○ 동 사업 추진시 철도 종사자 인적오류로 인한 시간손실 비용을 감소시켜 B/C 1.265의 경제적 효과를 기대
10	재원조달계획 구체적 마련?	예	○ 국토교통부 R&D 예산에 의한 집행 예정
11	집행계획이 세부적으로 마련되어 있는가?	예	○ 본 사업 집행계획 관련 실용화 기술개발 기획연구 추진 ○ 사업목표 달성을 위한 세부 사업내용별 연차별 집행계획 수립 ▪ (철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원) 철도종사자 인적요소 데이터관리, 데이터 분석 및 안전운행 지원기술, 철도종사자 직무적합성 실시간 평가기술 등 개발 ▪ (AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발) 철도종사자 직무 및 안전영향적도 분석기술, 인적오류 발생 메커니즘 모델링 분

항목	질 문	답	답변근거 및 자료
			석 및 평가기술, 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 가상물리체계 기술, 위험도 기반 종사자 자격능력 검증관리 시스템 등 개발 ▪ (철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발) 철도 이례상황 시나리오 자동생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술, 이례상황 조기대응 합동 가상훈련 시스템 기술, 인적오류 특성 데이터 기반 가상훈련시스템 운용기술, 철도종사자 업무 수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가검사 제도화 기술 등 개발
12	집행가능성이 높은가?	예	○ 본 사업의 추진을 위한 투입인력 및 소요 예산규모는 기획과제의 수행과정에서 체계적인 산출절차를 적용하여 적절한 예산규모로 산정하여 이월·불용 발생 가능성을 사전에 해소하였음 ○ 본 사업 완료 후에도, 신기술 출현에 대응하여 관련 시스템의 지속적인 개선, 스마트 통합 철도안전관리시스템과의 연계·활용 등이 필요하므로 예산집행 가능성이 높음
13	민간투자사업 방식으로 추진하는 것이 적합한가?	아니오	○ 국민안전 확보 등 삶의 질 향상, 스마트 건설, 미래이동수단 등 건설·교통 분야 성장동력 강화는 국가 중점투자 대상임 ▪ 국가교통체계 혁신(광역교통수단의 성능·편의성 개선, ICT·IoT 기술을 접목한 4차 산업혁명 대응 능력 강화)을 위한 미래 신기술 안전기준 및 친환경·교통 기술개발은 정부 중점투자 대상

제2절 기술적 타당성 분석

1. 사업 논리모형

표 71 동 사업 추진 논리모형



제3절 경제적 타당성 분석

1. 분석 개요

□ 동 사업의 편익은 철도종사자 인적오류 저감을 통한 열차지연 시간손실비용 저감 편익을 산출하여 도출하며, 이때 사고/장애가 각각 60%, 50%씩 저감하는 것을 전제로 함

○ 동 사업 발생 편익 = (시간손실비용 저감액) x 사업기여율 x R&D 기여율 x R&D 사업화 성공률

※ 사고/장애 저감 비용도 고려할 수 있으나 사고/장애 추이 전망의 한계로 본 분석에서는 제외함

□ 편익 추정 지표들은 다음과 같이 설정함

○ 회임기간 : 3년

– 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 수행 세부지침(2020)에 따르면 연구개발사업에 대한 투자가 이루어진 후 경제적인 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 편익 회임기간이라고 정의

* 한국개발연구원에서는 사업 주관부처가 사업계획서에 편익 회임기간을 제시하는 경우에는 이를 준용하되, 별도의 언급이 없을 경우에 기초연구는 5년, 개발·응용 연구는 3년을 기본으로 사업특성을 고려하여 반영

– 본 사업을 통해 추진되는 과제들은 대부분 TRL 7~8단계까지 진행되어 성과물을 창출하며, 이는 실제 환경에서 시스템 시작품 검증을 하거나 시제품의 인증 및 표준화까지 달성하는 목표를 설정하고 있어 개발단계에 해당됨

○ 편익기간 : 8년

– 동 사업의 중점분야별 인용특허수명(Cited Patent Life-Time : CLT)를 기준으로 관련 특허별 특허인용수명(TCT) 중앙값의 평균을 산출하여 중점분야의 편익 기간으로 산정

* 각 중점분야별 특허인용수명 중앙값들의 종합 평균값을 산출하면 7.6년이므로, 이를 반올림하여 동 사업의 편익기간은 8년으로 산정

표 72 철도안전분야 기술분야별 특허인용수명 중앙값

대분류	중분류	특허인용수명(TCT) 중앙값의 평균
A. 현장 철도운행 안전관리	AA. 인적오류 대응 안전관리 기술	7.5
	AB. 철도시설 안전관리 기술	7.7
	AC. 차량 안전관리 기술	8.2
	AD. 현장 위험요인 통합관리 기술	7.4
B. 현장위험 사전예방	BA. 인적오류 사전예방 훈련 및 인적오류 회복 지원기술	7.2
	BB. 철도시설 사고 사전예방 관리/개량 기술	7.9
	BC. 차량안전 위험사고 사전예방/완화 기술	8.1
C. 통합 철도안전 관리	CA. 통합 데이터 수집·생성·분석 및 의사결정	6.9
	CB. 통합 철도안전관리 시스템 관리	7.3
전체 평균		7.6

* 특허인용수명 중앙값은 '산업통상자원부, 기술가치평가 실무가이드, 2017.12'를 참고하여 적용

○ 사회적 할인율 : 4.5%

– 한국개발연구원 예비타당성조사 수행 총괄지침(2017.9)에 근거하여 기준년도는 2020년도, 수치는 4.5% 적용

○ 사업 기여율 : 61%

$$\begin{aligned}
 \text{사업기여율} &= \frac{\text{동 사업 연간 연구개발비}}{\text{동 사업 연구개발비} + \text{국내철도안전연구개발비(정부 + 민간)}} \\
 &= \frac{\text{동 사업 연간 연구개발비}}{\text{동 사업 연구개발비} + \text{국내철도안전연구개발비}(1 + \text{민간/정부 비율})}
 \end{aligned}$$

– 동 사업 연간 연구개발비는 57억 원

– 최근 5년간(2015~2019) 국내 철도안전관리 분야 정부 유사연구개발 투자규모는 총 2,244억 원으로, 연간 투자액은 448억원이며 이 중 철도조사자 관련 투자규모는 이의 5% 수준인 22.4억 원('20년 기준, '22년 현재 적용시 20.7억 원)

* 정부 대 민간 투자 규모의 비율은 2018년 철도교통 분야 국가연구개발사업 투자 규모 비율인 0.76 값을 적용

표 73 철도안전분야 정부 유사연구개발과제 투자 현황

(단위 : 억 원)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	합계
국토교통부	310.95	278.17	306.66	321.54	259.17	1,512.49
과학기술정보통신부	164.05	183.47	176.92	83.63	76.76	684.83
중소벤처기업부	6.95	4.35	8.12	10.59	5.88	35.89
산업통상자원부	—	—	1.56	3.36	1.74	6.66
행정안전부	0.95	—	—	—	—	0.95
교육부	—	—	0.38	1.61	1.47	3.46
합계	482.9	465.99	493.64	420.73	381.02	2,244.28

* 자료 : 동 보고서 R&D투자분석 결과

표 74 정부 및 민간 R&D 투자규모 비교 (2018)

(단위 : 억 원)

구분	사회기반 시설물	건축구조물	국토공간	도로교통	철도교통	물류
정부투자(A)	1,481	1,209	479	3,367	1,072	108
민간투자(B)	7,981	9,532	1,584	6,963	820	38
B/A	5.39	7.88	3.31	2.07	0.76	0.35

* 자료 : 2021년도 정부연구개발 투자방향 및 기준 (원자료 : 연구개발활동조사보고서, KISTEP, 2019)

표 75 철도안전분야 R&D 중 안전관리 대상 분야별 투자 현황 ('15~'19년)

구분	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	합 계 (비율,%)
차량 안전관리	132.1	134.2	109	57.5	90.3	523 (23%)
시설 안전관리	264.4	230.8	213.1	228.1	183.4	1,119.9 (50%)
종사자 안전관리	14.9	9.1	24.1	34.4	35.6	118.2 (5%)
통합 안전관리	71.6	91.8	146.8	100.8	71.8	483.3 (22%)
합 계	483	465.9	493	420.8	381.1	2,244.4 (100%)

- 따라서 동 사업의 기여율은 61%

※ 차량 안전관리, 시설 안전관리, 종사자+차량+시설 통합관리 등 철도안전관리를 위한 기술개발 활동들이 모두 구현되었을 때의 효과를 100이라고 하였을 때 이에 대한 철도 종사자 인적오류 관리 기술개발사업의 기여도를 고려할 필요가 있는데, 이 부분은 편익 산출 시 전체 편익에서 안전관리 요소 중 철도 종사자 관리 부분의 기여도를 별도 산정하는 방식으로 반영하였음

□ R&D 사업화 성공률 : 45%

- 본 사업을 통해 추진되는 과제들은 대부분 TRL 7~8단계까지 진행되어 기술개발성과물을 창출하며, 이는 실제 환경에서 시스템 시제품 검증을 하거나 시제품의 인증 및 표준화까지 달성하는 목표를 설정하고 있음
- 기존 국토교통부 R&D사업 중 철도분야 R&D사업인 철도기술연구사업의 기존 추진 과제에서 사업화 성과를 창출한 과제의 비중을 계산하여 이를 적용
 - 최근 3년(2015~2017년) 철도기술연구사업으로 추진된 과제 중 성과분석 대상 과제를 대상으로 하고
 - 국토교통과학기술진흥원에서 관리하는 성과DB 중 사업화 매출액 성과와 기술이전 성과를 달성한 대상 과제를 추출
 - 하단 표와 같이 최근 3년 정보를 분석한 결과, R&D사업화 성공률을 45%로 도출
 - 다만, 철도기술연구사업은 기초-응용-개발 각 연구개발단계의 과제가 같이 추진된 것에 비해 본 사업의 경우 TRL 7~8 단계까지의 기술개발 목표를 설정함에 따라 45%보다 더 높은 성공률을 보일 것으로 기대

표 76 철도기술연구사업의 R&D 사업화 성공률 도출

구분		2015년	2016년	2017년	평균
철도기술연구사업 추진 과제 수(A)*		28	32	36	32.0
성과**	사업화/제품화 창출 과제 수	5	5	6	5.3
	기술이전 창출 과제 수	8	9	10	9.0
	소계 (B)	13	14	16	15.0
R&D 사업화 성공률 (B/A)		46%	44%	44%	45%

* 자료 : 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 2018년 국토교통연구개발사업 성과조사분석(철도연구사업), 2019.3

** 자료 : 국토교통과학기술진흥원 성과DB

□ R&D 기여율 : 35.4%

- 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 수행 세부지침(2020)에서 제시한 가이드에 따라 「제3차 과학기술기본계획」에서 제시된 R&D 경제성장 기여율 35.4%를 적용

2. 비용 산출

□ 동 사업 투입 예산을 토대로 산출 : 총 338.3억 원

※ 동 사업 기여도 산출 시에는 전체 사업과 동 사업 투자규모 산출 방식의 일관성을 위해 기평비를 반영하지 않았었음

(단위 : 억원)

내역사업명	구분	'23	'24	'25	'26	'27	합계
철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행 안전 지원 기술개발	국비	3.3	22.8	23.0	22.2	8.9	80.2
	지방비						
	민자	0.7	5.7	5.5	6.0	2.1	19.8
AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발	국비	6.0	23.0	31.0	29.7	8.1	97.8
	지방비						
	민자	1.8	6.0	7.8	7.2	2.0	24.9
철도종사자 이례상황 조기대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발	국비	5.7	21.2	29.0	28.1	8.0	92.0
	지방비						
	민자	1.2	6.1	7.1	7.4	2.1	23.5
합계(기평비 포함)	국비	15.0	67.0	83.0	80.0	25.0	270.0
	지방비						
	민자	3.7	17.8	20.4	20.5	6.2	68.3
	계	18.7	84.8	103.4	100.5	31.2	338.3

3. 편익 산출

□ 철도사고/운행장애로 인한 열차지연 시 철도이용자들의 시간손실비용을 추정

- 철도유형별 1인당 평균 시간가치와 이용객 규모, 지연건수 발생 규모를 반영하여 사업 미시행 시와 사업 시행시 간의 비용차이를 통해 동 사업 추진 편익을 산출
- 이 때 평균 시간가치와 재차인원은 사고유형의 영향을 받지 않으나, 지연건수 발생 규모는 사고유형별 영향을 받으므로 각각 산출

철도이용자의 시간손실비용 저감편익 산출식

$$VOTS_{\text{철도}} = VOTS_{\text{사업미시행}} - VOTS_{\text{사업시행}}$$

시간손실비용 산출식

$$VOTS = \sum_{t=1}^3 P_t \times H_t \times \left[\sum_{s=1}^2 (R_{ts} \times D_{ts} \times C_{ts} \times RD_t) \right]$$

P_t = 철도유형 t 의 1인당 평균 시간가치 (원/인.시)

H_t = 철도유형 t 의 평균 재차인원 (인)

R_{ts} = 철도유형 t 의 사고유형 s 발생 건당 평균 지연 대수

D_{ts} = 철도유형 t 의 사고유형 s 발생 건당 평균 지연 시간

C_{ts} = 철도유형 t 의 사고유형 s 발생 건수 (건/억인 - km)

RD_t = 철도유형별 교통량(억인 - km)

t = 철도유형 (1: 고속철도, 2: 일반철도, 3: 광역도시철도)

s = 사고유형 (1: 사고, 2: 장애)

□ 철도유형별 1인당 평균시간가치 (P_t) (원/인.시)

- 철도유형별 1인당 평균시간가치는 「교통시설 투자평가지침(2017)」에서 제시하고 있는 2013년 평균시간가치 값을 인용하였으며, 연도별 평균시간가치는 소비자물가지수를 반영하여 산출 후 활용
- 2020년 이후의 소비자물가지수는 기존 5년(2016~2020)간 소비자물가지수의 연평균증가율 추세에 따라 변화할 것으로 가정하여 추정하였고, 추정된 소비자물가지수를 반영하여 2020년 이후의 1인당 평균시간가치를 산출함
- 1인당 평균시간가치는 각 철도유형별 탑승 목적(업무/비업무)에 따라 상이하며, 각 철도유형별 평균시간가치는 탑승 목적별 통행비율을 가중평균하여 산출된 것임 (교통시설 투자평가지침)
- * 2013년 기준 1인당 평균시간가치는 고속철도 10,197원, 일반철도 6,830원, 광역도시철도 5,768원

표 78 철도 1인당 시간가치 (2013년 기준)

구분	고속철도		일반철도		광역도시철도		철도(평균)	
	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무
통행비용	0.2570	0.7430	0.1013	0.8987	0.0414	0.9586	0.19	0.81
시간가치 (원/인.시)	5,853	4,344	2,307	4,523	943	4,825	4,327	4,077
2013년 기준 평균시간가치 (원/인.시)	10,197		6,830		5,768			

* 자료 : 교통시설 투자평가지침(2017.6.22. 일부개정)

표 79 철도유형별 1인당 시간가치 산출 (~2039년) (원/인,시)

구분	고속철도	일반철도	도시철도	비고
2013	10,197	6,830	5,768	지참 2017
2014	10,327	6,917	5,842	지참 2017 기준, 2020년까지의 소비자물가지수 반영
2015	10,400	6,966	5,883	
2016	10,501	7,034	5,940	
2017	10,705	7,170	6,055	
2018	10,863	7,276	6,145	
2019	10,904	7,304	6,168	
2020	11,013	7,377	6,230	
2021	11,124	7,451	6,292	‘21~’39년까지 기준(‘15~’20년) 소비자물가지수 연평균증가율 추세가 지속되는 것으로 가정하여 산출
2022	11,235	7,525	6,355	
2023	11,347	7,600	6,419	
2024	11,461	7,676	6,483	
2025	11,575	7,753	6,548	
2026	11,691	7,831	6,613	
2027	11,808	7,909	6,679	
2028	11,926	7,988	6,746	
2029	12,045	8,068	6,813	
2030	12,166	8,149	6,882	
2031	12,287	8,230	6,950	
2032	12,410	8,312	7,020	
2033	12,534	8,396	7,090	
2034	12,660	8,480	7,161	
2035	12,786	8,564	7,233	
2036	12,914	8,650	7,305	
2037	13,043	8,736	7,378	
2038	13,174	8,824	7,452	

□ 철도유형별 평균 재차인원 (H_t) (인)

- 2018년 기준 각 철도유형별 평균 재차인원을 산출 후, 이후 2039년까지 재차인원이 유지되는 것으로 가정하였음

－ (고속철도 재차인원) 운영사별 여객수송인원과 연간 운행횟수를 반영하여 연간 여객수송인원을 산정 후 KTX와 SRT 운영사별 가중치를 반영하여 산출한 결과, 고속철도 재차인원은 631명

* KTX 재차인원은 668명, SRT 재차인원은 518명이며 운영사별 가중치(75.4%, 24.6%)를 각각 반영한 결과 고속철도 재차인원은 631명

표 80 고속철도(KTX+SRT) 운영사별 재차인원

(단위 : 명)

구분	여객수송인원(명) (a)		연간 운행횟수(회) (b)		운영사별 재차인원 (a/b)	
	KTX	SRT	KTX	SRT	KTX	SRT
2018	67,041,194	2,2687,196	100,375	43,800	667.9072877	517.9725114

표 81 고속철도(KTX+SRT) 운영사별 가중치

구분	인거리(km.인)		가중치	
	KTX	SRT	KTX	SRT
2018	16,130,187,822	5,259,508,935	75.41%	24.59%

* 자료 : 2018 철도통계연보 > 지역간철도 - 4.수송(여객)(완) - 4. 선별여객 수송실적(인거리)

표 82 고속철도(KTX+SRT) 재차인원

(단위 : 명)

구분	운영사별 재차인원(명) (a)		운영사별 가중치(%) (b)		고속철도 재차인원(명) (a×b)
	KTX	SRT	KTX	SRT	
2018	667.9072877	517.9725114	75.41	24.59	631.0398508

－ (일반철도 재차인원) 운영사별 여객수송인원과 연간 운행횟수를 반영하여 연간 여객수송인원을 산정 후 각 운영사별 가중치를 반영하여 일반철도 재차인원을 산출한 결과, 일반철도 재차인원은 573명

표 83 일반철도 차량별 재차인원 (명)

구분	여객수송인원(명) (a)			연간 운행횟수(회) (b)			일반철도 차량별 재차인원 (a/b)		
	새마을	무궁화	통근	새마을	무궁화	통근	새마을	무궁화	통근
2018	10,751,916	56,602,006	389,693	18250	99280	10220	589.1460822	570.1249597	38.13043053

표 84 일반철도 차량별 가중치

구분	인거리(km.인)			가중치		
	새마을	무궁화	통근	새마을	무궁화	통근
2018	1,331,724,378	5,433,438,100	11,780,241	19.65%	80.18%	0.17%

* 자료 : 2018 철도통계연보 > 지역간철도 - 4.수송(여객)(완) - 4. 선별여객 수송실적(인거리)

표 85 일반철도 재차인원 (명)

구분	차량별 재차인원(명) (a)			차량별 가중치(%) (b)			일반철도 재차인원(명) (a×b)
	새마을	무궁화	통근	새마을	무궁화	통근	
2018	589.1460822	570.1249597	38.13043053	19.6%	80.2%	0.17%	572.9380082

- (도시광역철도 재차인원) 도시철도와 광역철도는 주중/주말(토,일)로 구분하여 운영횟수를 가중
평균한 결과 도시광역철도 재차인원은 843명

표 86 도시철도 여객수송 인원 (명)

구분	도시철도	광역철도
2018	2,587,003	857,585

표 87 도시철도 열차 운영횟수 (회)

구분	서울교통 공사	9호선	부산교통 공사	대구도시 철도공사	인천교통 공사	광주광역시 도시철도 공사	대전광역시 도시철도 공사	부산-김 해 경전철	의정부 경전철	용인경량 전철	우이신설 경전철	합계
주중 운영 횟수 (a)	2,378	458	1,331	904	772	240	242	394	440	390	516	8,065
토요일	2,118	388	1,257	856	648	206	218	364	354	330	424	7,163
일요일	2,062	388	1,180	816	648	202	218	364	354	330	424	6,986
2018 운영 횟수	838,018	159,890	474,115	322,888	268,884	83,856	85,834	140,690	151,656	136,110	178,772	284,0713

* 2018년 철도통계연보 - 도시철도 - 3.광역철도 - 도시광역철도 현황(완)

* 2018년 주중 일수 : 261일, 토요일 : 52일, 일요일 : 52일

표 88 광역철도 열차 운영횟수 (회)

구분	한국철도공사	신분당선(주) 네오토헤스	경기철도	공항철도	합계
주중 운영 횟수	2,571	326	318	367	3,582
토요일	2,106	270	264	341	2,981
일요일	2106	270	264	341	2,981
2018 운영횟수	890,055	113,166	110,454	131,251	1,244,926

* 2018년 철도통계연보 - 도시철도 - 3.광역철도 - 도시광역철도 현황(완)

* 2018년 주중 일수 : 261일, 토요일 : 52일, 일요일 : 52일

표 89 도시광역철도 재차인원 (명)

구분	여객수송인원(명) (a)		열차 운영횟수(회) (b)		광역도시철도 재차인원(명) (a/b)
	도시	광역	도시	광역	
2018	2,587,003,000	857,585,000	2,840,713	1,244,926	843.0965144

- (종합) 차량유형별 재차인원 산출 결과 고속철도는 631명, 일반철도는 573명, 광역도시철도는 843명

표 90 도시광역철도 재차인원 (명)

구분	고속철도 재차인원	일반철도 재차인원	광역도시철도 재차인원
2018	631.0398508	572.9380082	843.0965144

□ 철도사고 및 운행장애 발생 건당 평균지연대수(R_{ts})

- 철도사고 DB의 철도사고 및 운행장애 시 평균지연대수를 활용하여 10년 평균값을 원단위로 설정

표 91 최근 10년간 철도사고 및 운행장애 건당 열차지연대수

(단위 : 건)

구분	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	평균
사고											
고속철도	1.07	4.00	0.47	2.59	1.07	9.50	1.67	2.90	3.63	2.00	2.89
일반철도	1.04	1.00	1.07	3.65	2.54	2.05	2.86	3.48	3.25	1.80	2.27
도시철도	3.83	5.61	4.43	5.88	5.78	4.85	4.10	6.66	1.38	3.91	4.64
장애											
고속철도	3.12	2.63	2.17	3.15	2.67	1.65	3.04	4.25	5.81	3.46	3.20
일반철도	2.35	2.23	2.40	1.96	3.26	2.96	4.31	2.57	3.08	2.80	2.79
도시철도	7.00	5.96	5.18	5.28	7.28	9.04	5.94	7.78	7.06	3.80	6.43

* 자료 : 철도안전DB를 활용하여 연구진이 직접 산출

□ 철도사고 및 운행장애 발생 건당 평균지연시간(D_{ts})

- 철도사고 DB의 철도사고 및 운행장애 시 지연시간을 활용하여 10년 평균값을 원단위로 설정
- 2012~2016년 서울교통공사 DB분석 결과, 규정지연시간 10분을 넘지 않아 보고되지 않은 소규모 지연 건수가 지연장애 총 160건 중 131건으로 82%에 달함
 - 2012~2016년 총 지연시간 1,697분 중 10분 미만 소규모 지연시간의 합계는 651분으로 보고된 지연시간 합계(1,046분)의 62.2%를 차지
 - 따라서 공식 통계상에 포함되지 않은 소규모 지연시간의 편익을 추가적으로 고려하기 위해, 공식 통계상의 지연시간 총합에 62.2%의 소규모 지연시간을 추가적으로 반영하였음

표 92 최근 10년간 철도사고 및 운행장애 건당 열차지연시간

(단위 : 시간)

구분	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	평균
사고											
고속철도	0.43	0.73	0.35	0.57	0.43	0.80	0.88	0.63	0.64	0.77	0.62
일반철도	0.66	0.62	0.78	0.80	1.02	1.20	0.79	0.83	0.75	0.85	0.83
도시철도	0.57	0.40	0.51	0.43	0.43	0.53	0.41	0.55	0.57	0.69	0.51
장애											
고속철도	0.48	0.37	0.34	0.37	0.29	0.35	0.50	0.46	0.57	0.47	0.42
일반철도	0.81	0.79	0.69	0.63	0.71	0.68	0.79	0.75	0.76	0.64	0.73
도시철도	0.83	0.46	0.93	0.69	0.49	0.50	0.64	0.57	0.63	0.76	0.65

* 자료 : 철도안전DB를 활용하여 연구진이 직접 산출

표 93 열차 평균 지연시간 원단위

(단위 : 시간)

구분	최근 10년간 열차지연시간 평균 (a)	소규모 지연시간을 반영한 열차 평균 지연시간 원단위 (a×62.2%)
사고		
고속철도	0.62	1.01
일반철도	0.83	1.35
도시철도	0.51	0.83
장애		
고속철도	0.42	0.68
일반철도	0.73	1.18
도시철도	0.65	1.05

* 자료 : 철도안전DB를 활용하여 연구진이 직접 산출

□ 철도사고 및 운행장애 발생 규모($C_{ts} \times RD_t$)

- 철도사고 및 운행장애 발생비율 원단위는 기존 10년간 주행거리당 철도사고 및 운행장애 건수의 평균을 산출하여 활용하고, 주행거리는 철도통계연보의 철도유형별 주행거리를 반영
- 이때 향후 주행거리 추정값은 인적/물적 피해비용 저감 편익 산출시의 주행거리 산출결과를 그대로 적용하였음

표 94 최근 10년간 주행거리당 철도사고 및 운행장애 발생비율

(단위 : 건/억인.km)

구분	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	평균
사고											
고속철도	0.13	0.16	0.12	0.12	0.09	0.06	0.04	0.05	0.07	0.03	0.09
일반철도	2.09	1.94	1.53	1.60	1.42	0.95	0.75	0.60	0.71	0.59	1.22
도시철도	0.74	0.21	0.22	0.15	0.14	0.09	0.10	0.09	0.06	0.04	0.18
장애											
고속철도	0.78	0.83	0.72	0.52	0.31	0.42	0.34	0.39	0.35	0.51	0.52
일반철도	2.19	2.24	2.25	1.97	1.81	1.33	1.08	1.12	1.27	1.55	1.68
도시철도	0.27	0.12	0.11	0.16	0.15	0.15	0.17	0.15	0.12	0.17	0.16

* 자료 : 철도안전DB를 활용하여 연구진이 직접 산출

□ 시간손실비용 저감 편익 (VOTS)

- 철도사고/운행장애의 열차지연으로 인한 시간손실비용을 각 철도유형별 및 사업 시행 여부에 따라 추정하여 시간손실비용 저감 편익을 산출
- 그 결과 사업 미시행시 대비 사업 추진에 따른 시간손실비용 저감 편익이 2032년 75.7억원부터 2039년 88.1억원까지 편익 발생

<표 9-1> 시나리오별 편익 (백만원)

(단위 : 백만원)

구분	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
철도안전기술 적용시 편익	7,400	7,570	7,742	7,916	8,091	8,269	8,448	8,629
철도종사자 관리기술 기여도(13.7%) 반영 편익	1,014	1,037	1,061	1,084	1,108	1,133	1,157	1,182

4. B/C 산출 결과

□ 동 사업의 B/C ratio는 1.578로, 사업 추진 경제성을 확보하고 있는 것으로 판단

- 2023~2027년까지 동 사업에 투입되는 예산은 현가기준 총 303억 원
- 2032~2039년까지 시간지연비용을 통해 산정한 피해저감 비용은 현가기준 총 5,063억 원
- 총 저감액 5,063억 원에 사업기여율 61%, R&D기여율 35.4%, R&D사업화 성공률 45%를 순차적으로 반영하였을 때 총 편익 492억원
- 따라서 동 사업의 비용편익(B/C) 비율은 1.624

제5장 자원투입계획

제1절 소요예산 투입계획

□ 총 예산 (국고+민간)

(단위 : 억원)

내역사업명	구분	'23	'24	'25	'26	'27	합계
철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발	국비	3.3	22.8	23.0	22.2	8.9	80.2
	지방비						
	민자	0.7	5.7	5.5	6.0	2.1	19.8
AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발	국비	6.0	23.0	31.0	29.7	8.1	97.8
	지방비						
	민자	1.8	6.0	7.8	7.2	2.0	24.9
철도종사자 이례상황 조기대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발	국비	5.7	21.2	29.0	28.1	8.0	92.0
	지방비						
	민자	1.2	6.1	7.1	7.4	2.1	23.5
합계(기평비 포함)	국비	15.0	67.0	83.0	80.0	25.0	270.0
	지방비						
	민자	3.7	17.8	20.4	20.5	6.2	68.3
	계	18.7	84.8	103.4	100.5	31.2	338.3

□ 과제별/연차별 예산 (국고 기준)

표 97 과제별/연차별 예산 (국고 기준)

[단위: 억원]

연구내용	연구개발 세부내용	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1. 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발 (5년, 93억원)	1-1. 철도종사자 인적요소 특성항목 설정 및 데이터 관리 기술개발	1.9	11.5	2.5	1.0	1.0	17.9
	1-2. AI기반 실시간 인적요소 특성 데이터 분석 및 안전운행 지원 기술개발	1.0	10.1	10.5	11.2	3.7	36.5
	1-3. 철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 기술 개발	0.4	1.2	10.0	10.0	4.2	25.8
2. AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발 (5년, 102억원)	2-1. 철도종사자 안전필수 직무 및 안전영향척도 분석 기술개발	3.0	10.0	5.0	3.0	1.0	22.0
	2-2. 철도종사자의 인적오류 발생 메커니즘 모델링, 분석 및 평가 기술개발	1.5	9.5	7.0	6.9	1.8	26.7
	2-3. 철도종사자 인적요인 빅데이터 분석, 인적오류 예측 및 가상물리체계(CPS) 기술개발	1.2	2.0	10.0	11.8	3.5	28.5
	2-4. Big Data 및 AI를 활용한 위험도 기반 종사자 자격능력 검증관리 시스템 개발	0.3	1.5	9.0	8.0	1.8	20.6
3. 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발 (5년, 90억원)	3-1. AI 기반 철도 이례상황 시나리오 자동생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술개발	2.4	9.0	9.0	8.8	1.5	30.7
	3-2. 증강현실 및 웨어러블 기술을 활용한 이례상황 조기 대응 합동 가상훈련 시스템 기술개발	2.5	9.7	13.5	13.3	3.5	42.5
	3-3. 인적오류 특성 데이터 기반 가상훈련시스템 운용기술 개발	0.4	1.0	5.0	5.0	2.0	13.4
	3-4. 철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 제도화	0.4	1.5	1.5	1.0	1.0	5.4
합계		15.0	67.0	83.0	80.0	25.0	270.0

2.2 항목별 예산

□ 예산항목별 예산

표 98 예산항목별 예산

[단위: 백만원]

비목	세 목	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
직 접 비	인건비	522	2,328	2,946	2,868	834	9,498
	연구장비재료비	477	2,132	2,642	2,546	796	8,594
	연구과제추진비	153	686	775	713	297	2,623
	연구수당 (인건비의 20%)	104	466	589	574	167	1,900
	직접비 소계	1,256	5,612	6,952	6,701	2,094	22,615
간접비 (직접비의 14.8%)		186	831	1,029	992	310	3,347
기획평가관리비 (연구비의 4%)		58	258	319	308	96	3,533
연구비 총액		1,500	6,700	8,300	8,000	2,500	27,000

□ 인건비

표 99 인건비

[단위 : man year, 백만원]

구분	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		합계	
	MY	인건비	MY	인건비	MY	인건비	MY	인건비	MY	인건비	MY	인건비
책임급	3	288	8	768	12	1,152	12	1,152	3	288	38	3,648
선임급	3	234	20	1,560	23	1,794	22	1,716	7	546	75	5,850
합계	6	522	28	2,328	35	2,946	34	2,868	10	834	113	9,498

※ 책임급 1인 8백/월, 선임급 1인 6.5백/월 기준

2.3 연구내용별 소요예산

□ 연구내용1: 철도종사자 인적요인 모니터링 및 운행안전 지원 기술개발

표 100 연구내용1의 소요예산

[단위: 백만원]

연구개발 세부내용	연구활동	소요예산		
		연구장비 재료비	연구과제 추진비	합계
1-1. 철도종사자 인적 요소 특성항목 설정 및 데이터 관리 기술개발	- 철도종사자 인적요소 특성항목 설정 기술 - 인적오류 특성항목 기반 위험요소 도출 기술 - 인적오류 특성 항목 관리를 위한 데이터 처리 기술 및 빅데이터 플랫폼 설계	570	174	744
1-2. AI기반 실시간 인 적요소 특성 데이터 분 석 및 안전운행 지원 기술개발	- IoT기반 철도 종사자 신체적 상태, 물리적 환경 등에 대한 실시간 데이터 수집 및 측정 기술 - IoT 기반 운전업무종사자 위험요인 이상 탐지 및 정량화를 위한 AI모델 진단 및 안전운행 지원 기술 - 철도 사고·장애 인적 위험요인 빅데이터 플랫폼 구축	1,162	355	1,517
1-3. 철도종사자 직무 적합성 실시간 평가 기 술 개발	철도종사자 실시간 자격/직무 적합성 평가 기술개발	821	251	1,072
연구내용1 총액(연구장비재료비 및 연구과제추진비)		2,553	780	3,333

□ 연구내용2: AI·Big Data를 활용한 철도종사자 인적오류 평가·예측 기술개발

표 101 연구내용2의 소요예산

[단위: 백만원]

연구개발 세부내용	연구활동	소요예산		
		연구장비 재료비	연구과제 추진비	합계
2-1. 철도종사자 안전 필수 직무 및 안전영향 척도 분석 기술개발	- 철도종사자 안전필수 직무 분석 기술 - 철도종사자 직무의 안전영향 척도 분석 기술	700	214	914
2-2. 철도종사자의 인 적오류 발생 메커니즘 모델링, 분석 및 평가 기술개발	- 시스템 다이내믹스 기반 철도종사자의 인적오류 발생 메커니즘 모델링 및 분석기술 - 철도종사자 인적오류 특성 데이터 분석 기술	850	259	1,109
2-3. 철도종사자 인적 요인 빅데이터 분석, 인 적오류 예측 및 가상물리 체계(CPS) 기술개발	- 철도 사고·장애 인적요인 빅데이터 분석시스템 개발 - 인적오류 특성 DB 기반 오류 예측 인공지능 통합 플랫폼 기술 - 철도종사자 인적오류 발생 주의/경고 및 회피수단을 제공하는 가상물리체계(CPS; Cyber Physical System) 구축	907	277	1,184
2-4. Big Data 및 AI를 활용한 위험도 기 반 종사자 자격능력 검 증관리 시스템 개발	- 위험도기반 종사자 자격능력 검증관리(CMS, Crew Mangement System) 시스템 구축 - 측정방법, 평가기준, 훈련요건, 능력유지 등	656	200	856
연구내용2 총액(연구장비재료비 및 연구과제추진비)		3113	950	4,063

□ 연구내용3: 철도종사자 이례상황 대응 및 인적오류 저감을 위한 다중 사용자 합동 가상훈련 기술개발

표 102 연구내용3의 소요예산

[단위: 백만원]

연구개발 세부내용	연구활동	소요예산		
		연구장비 재료비	연구과제 추진비	합계
3-1. AI 기반 철도 이례상황 시나리오 자동 생성 및 데이터 기반 훈련효과 피드백 기술개발	- 경험지식 DB 기반 철도 사고·장애 훈련용 시나리오 제작 및 자동생성 기술 - 장소, 작업환경, 작업특성 등에 따라 훈련효과 분석을 통한 훈련 요구사항을 콘텐츠에 지속 반영 가능한 Feedback 기술	977	298	1,275
3-2. 증강현실 및 웨어러블 기술을 활용한 이례상황 조기대응 합동 가상훈련 시스템 기술개발	- 피훈련자의 생체신호 기반의 훈련효과 실증 기술 - 철도 사고·장애 시나리오별 VR 콘텐츠 제작 기술 - 인적오류 특성 DB 및 가상훈련 피드백 데이터 기반 가상훈련시스템 구축 기술 - 가상훈련시스템의 몰입감 증대 및 상호작용 기술 - 몰입감 극대화를 위한 시각/청각/촉각 일치 Visual-Haptic Collocation 기술 - 머신러닝 등을 통한 손의 일부가 가상환경에 투입된 Virtual Embodiment 기술	1,353	413	1,766
3-3. 인적오류 특성 데이터 기반 가상훈련시스템 운용기술 개발	- Passive Prop을 사용한 가상체현 운용기술 - 철도종사자 인적오류 통합 스마트 모니터링 시스템 구축 - 철도종사자 위험 및 상태기반 빅데이터 플랫폼 및 실시간 이상결함 진단시스템 실증	426	130	556
3-4. 철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 제도화	철도 종사자의 업무수행 및 안전관리 능력의 과학적 평가·검사 의무화 적용을 위한 법·제도 개선방안 도출 및 관계법령 정비 지원	172	52	224
연구내용3 총액(연구장비재료비 및 연구과제추진비)		2928	893	3,821

참 고 문 헌

- 1) 2015 국토교통 R&D 동향조사 총괄보고서
- 2) 2019 중국빅데이터산업발전백서(2019 中国 大数据产业发 展白皮书)
- 3) AI를 통한 운송과 교통 분야의 서비스 개선, KIAT, 2019.12.
- 4) KRIC 철도통계, 철도산업정보센터(2018.5.), 각 대학별 홈페이지 참조(2018.5. 기준)
- 5) Tractica, 현대경제연구원 재인용, 2016
- 6) 과학기술정보통신부, KISTEP, 2018년 기술수준평가, 2019.04
- 7) 공공기관 경영정보 공개시스템 (<http://www.alio.go.kr/>), 일반현황, 직급별 인원수 현황 (2019.02.)
- 8) 국내외 사물인터넷(IoT) 산업의 시장 분석과 비즈니스 전략, 산업경제리서치, 2019.12
- 9) 국토교통부 보도자료, 2019.09.25.
- 10) 미래철도 전망 2040, 국토교통과학기술진흥원, 2014
- 11) 선진국 철도 안전관리제도 사례를 통한 국내 철도안전관리체계 실효성 확보 방안, 김흥기 (서울과학기술대학교 철도전문대학원), 2018
- 12) 스마트 철도안전관리체계구축 기본계획('18~'27)」
- 13) 재난안전(2019 가을호), 국립재난안전연구원, 2019
- 14) 제2차 국가교통기술개발계획(2009~2013) 수립 연구, 한국교통연구원, 2008
- 15) 제3차 철도안전종합계획 수정계획('16~'22)
- 16) 제8차 국가교통안전 기본계획('17~'21)
- 17) 전국으로 촘촘하게 철도망을 확충하고 노후한 시설을 개량하여 철도안전을 강화하겠습니다',
- 18) 물리보안산업이란 무엇인가, DIGIECO(www.digieco.co.kr)
- 19) 철도현장 작업자 안전대책('17)
- 20) IDC, 2019
- 21) IoT Analytics, "State of the IoT 2018", NICE평가정보 재가공
- 22) JR East group management vision "Move Up" 2027, 2018
- 23) Markets and Market
- 24) MarketsandMarkets Analysis, 2020
- 25) Philippe Hugen
- 26) Physical security equipment and services report 2015, iHS report, 2015
- 27) Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis, 2020
- 28) SMART RAILWAYS MARKET(GLOBAL FORECAST TO 2024), MarketsandMarkets, 2020
- 29) UIC, RAIL TECHNICAL STRATEGY EUROPE, 2014
- 30) Wikibon, SiliconANGLE, Statista estimates and reported by Statista
- 31) <https://trimis.ec.europa.eu/>

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업 “철도 종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술개발” 사업의 최종보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.