17RDPP-C134946-01

스마트 철도안전시스템 기술개발사업 기획 최종보고서 2019 국토교통부 국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(●) / 공개(●), 비공개( )발간등록번호()

국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D / 17RDPP-C134946-01

스마트 철도안전시스템 기술개발사업 기획 최종보고서

2019.09. .

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
협동연구기관 / 한국철도공사
서울교통공사
㈜날리지웍스
위탁연구기관 / 성균관대학교

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘스마트 철도안전시스템 기술개발 사업 기획’ (연구개발 기간 : 2017.07.21 ~ 2019.09.20) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 09. .

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원 나희승

주관연구기관책임자 : 한국철도기술연구원 김진호
공동연구기관책임자 : 한국철도공사 윤차중
서울교통공사 조영수
㈜날리지웍스 김우리
위탁연구기관책임자 : 성균관대학교 이지형

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17RDPP-C134946-01	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				
연구책임자	김진호	해당단계 참여연구원 수	총 : 69 명 내부: 69 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 380,000천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:
		총 연구기간 참여연구원 수	총 : 69 명 내부: 69 명 외부: 명	총 연구비	정부: 380,000천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국철도기술연구원 첨단철도기술기획실			참여기업명 한국철도공사, 서울교통공사, ㈜날리지웍스	
국제공동연구	상대국명: -			상대국 연구기관명: -	
위탁연구	연구기관명: 성균관대학교			연구책임자: 이지형	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

현행 철도안전관리를 개선하기 위하여 4차산업기술을 활용한 사전예방 위주의 안전관리 체계를 구축함으로써 철도사고 및 운행장애 감소, 안전관리 단계별 데이터 활용 극대화, 안전비용의 효율화를 달성하기 위한 기술개발 기획안을 작성함. 이를 위한 4개의 중점분야(안전관리시스템, 종사자 인적오류의 선제적 사고예방 기술, 철도차량 및 철도시설의 사전예방)와 18개의 세부과제를 상세기획함.	310면

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 현행 문서수준의 안전관리기술 대비 상시간 데이터기반의 안전관리 단계별 디지털화 및 사전예방이 가능한 플랫폼 구축을 통한 철도안전관리 기술의 역량 증진 - 스마트 통합철도안전관리시스템 기술 개발 - 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술 개발 - 철도시설 사고/운행장애 사전예방 스마트 기술 개발 - 사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응 기술 개발
연구개발성과	○ (총괄 방향) 철도안전관리의 실효성 향상을 위한 데이터 기반의 철도안전 계획/실행/평가 및 개선 피드백이 가능한 SMS 구축 및 운용 기술 개발 방향 제시 - 스마트 철도안전관리기술 관련 동향(정책, 산업/시장, 사회 및 기술), - 스마트 철도안전관리기술 개발 계획 및 수요조사(185건)•분석 - 스마트 철도안전관리기술 목록 도출 및 중점 추진과제 선정 ○ (중점추진분야 도출) 스마트 철도안전관리기술의 4대 중점분야 및 17개 세부과제 도출  - 스마트 통합철도안전관리시스템 기술개발 분야 (4개 세부과제 도출) - 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술개발 분야(3개 세부과제) - 철도시설 사고/운행장애 사전예방 스마트 기술개발 분야(7개 세부과제 도출) - 사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발 분야(3개 세부과제) ○ 스마트 철도안전시스템 기술개발 기획보고서 도출 ○ 에비타당성조사 기획보고서 “데이터 기반 철도안전관리기술개발” 도출
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 제3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획에서 제시한 빅데이터 기반 재난 안전정보 활용 기술개발 정책 실현 ○ 국내 철도시스템에 대한 성능기반 예측 가능, 위험도 예측 분석 가능 기술 역량 향상 ○ 현행 철도시스템에 대한 기술개발 성과물 적용으로 운행장애 발생 저감 ○ 데이터기반의 국내 철도안전관리체계로 철도 사고/장애 사전예방 실현 ○ 기존 회피되던 안전관리 분야 일자리에서 안전관리 분석 등 고부가가치 일자리 창출 ○ 통합적 안전관리로 철도 운행 상 사고 및 운행장애로 인한 국민 피해 저감 ○ 4차 산업혁명 기술의 적용 등 철도안전관리기술분야 고급 연구개발 인력 양성

국문핵심어 (5개 이내)	철도안전관리	사고예방 기술 및 체계	스마트기술	위험도 평가	기획연구
영문핵심어 (5개 이내)	Railway safety management	Prevention technology and system	Smart technology	Risk assessment	Planning research

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

제 1 장 사업개요 ····· 1
제1절 기술의 정의 ····· 1
제2절 사업추진 배경 및 필요성 ····· 19
제3절 사업추진 근거 ····· 39

제 2 장 대내·외 환경분석 ····· 43
제1절 정책적 환경분석 ····· 43
제2절 국내·외 산업/시장 환경분석 ····· 73
제3절 국내·외 사회 환경분석 ····· 89
제4절 기술개발 동향분석 ····· 100

제 3 장 사업 추진 계획 ····· 203
제1절 사업 추진 방향 ····· 203
제2절 SWOT 분석을 통한 사업 추진전략 ····· 208
제3절 사업 비전 및 목표 ····· 211

제 4 장 중점분야별 추진계획 ····· 221
제1절 스마트 통합철도안전관리시스템 기술 ····· 221
제2절 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술 ····· 233
제3절 철도시설 사고·운행장애 사전예방 스마트 기술 ····· 241
제4절 사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응 기술 ····· 250

제 5 장 사업추진체계 및 관리방안 ····· 257
제1절 사업추진체계 및 성과목표·지표 설정 ····· 257
제2절 사업 및 성과 관리방안 ····· 263
제3절 성과 활용 방안 ····· 273
제4절 재원 조달 계획 ····· 274

제 6 장 사전타당성 분석 및 기대효과 ····· 283
제1절 기술적 타당성 분석 ····· 285
제2절 정책적 타당성 분석 ····· 292
제3절 경제적 타당성 분석 ····· 301
제4절 기대효과 및 파급효과 ····· 310

〈 표 목차 〉

표 1-1 철도안전법의 조항 및 주요 내용 ····· 1
표 1-2 국내 철도안전관리 범위 ····· 2
표 1-3 철도안전관련 국제규격 ····· 5
표 1-4 유럽철도안전지침(Directive (EU) 2016/798)의 조항 ····· 8
표 1-5 영국 RM³ 모델기반 철도안전관리 범위 및 주요 내용 ····· 12
표 1-6 영국 RM³ 모델과 국내의 철도안전 관리체계 비교 ····· 13
표 1-7 교통수단 및 연도 별 수송량 및 분담률 ····· 19
표 1-8 국내에서 발생한 철도 대형사고 사례 ····· 20
표 1-9 국외에서 발생한 철도 대형사고 사례 ····· 21
표 1-10 데이터 기반 철도안전관리의 주요기술 분류 및 제4차 산업혁명기술 ····· 27
표 1-11 국가 철도시설 개량 비용 추이 ····· 33
표 1-12 국내에서 발생한 대형철도사고 사례 ····· 35
표 2-1 철도안전법 주요 제·개정 이력 ····· 45
표 2-2 국가 상위 계획 및 기본계획 분석 대상 목록 ····· 49
표 2-3 철도안전 강화대책 주요 내용 ····· 60
표 2-4 유럽 철도기술전략 내 철도시스템 요소별 목표(비전) ····· 63
표 2-5 유럽 철도기술전략의 요소별 세부기술 ····· 63
표 2-6 영국 ROGS 관리체계 분야별 세부 요구사항 ····· 66
표 2-7 PREDIT 3~4단계 프로그램 세부내용 ····· 67
표 2-8 제5기 과학기술기본계획(일본)의 주요내용 ····· 70
표 2-9 보안산업 내 물리보안 및 정보보안의 정의 ····· 75
표 2-10 궤도시스템분야 신설 및 개량과 유지보수 및 교체 권역별 시장규모·성장률 ····· 81
표 2-11 전철/전력분야 신설 및 개량과 유지보수 및 교체 권역별 시장규모·성장률 ····· 81
표 2-12 신호제어분야 신설 및 개량과 유지보수 및 교체 권역별 시장규모·성장률 ····· 82
표 2-13 여객정보시스템분야 신설 및 개량과 유지보수 및 교체 권역별 시장규모·성장률 ····· 83
표 2-14 국내 철도차량산업 관련 기업 현황 ····· 86
표 2-15 KISTEP 제5회 과학기술예측조사 메가트렌드(철도 안전 관련 분야) ····· 90
표 2-16 정부부처별 4차 산업혁명 정책 추진 방향 ····· 96
표 2-17 데이터 기반 철도위험관리 기술트리 ····· 100
표 2-18 철도안전법 상 철도안전관리체계의 범위 ····· 102
표 2-19 안전관리성숙도(MMM) 모델 평가분야 ····· 115
표 2-20 2018년도의 철도교통 안전에 관한 시책 등 ····· 123
표 2-21 철도인프라의 구성요소별 기술의 정의 ····· 140
표 2-22 한국 전력예방진단시스템 설치 현황 ····· 159
표 3-1 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업 SWOT 분석 결과 ····· 208
표 3-2 SWOT 분석에 따른 사업추진전략 도출 ····· 209

표 3-3 영국철도와 여객열차 운행거리 비교 ····· 215
표 6-1 국가 노후철도시설 개량비 추이 ····· 243
표 6-2 도시철도 운영기관 노후 철도차량(25년 이상) 현황 ····· 250
표 6-3 판토그래프 자동검사장치 기술개발 및 설치 사례 ····· 252
표 6-4 일상 월상검수 자동화를 통한 유지보수비용 절감 예측 ····· 253
표 6-5 '위험전조기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발 사업' 단계별 목표 ····· 254
표 5-1 사업추진체계 내 주체별 주요 역할 및 기능 ····· 258
표 5-2 R&D 사업 유형 분류 ····· 259
표 5-3 사업 유형별 성과지표 ····· 259
표 5-4 성과 유형별 공통 지표 ····· 260
표 5-5 단계별 성과 유형별 성과지표 ····· 261
표 5-6 성과지표 측정산식 및 측정방법(논문 mrnIF) ····· 261
표 5-7 성과지표 측정산식 및 측정방법(특허 SMART 등급) ····· 261
표 5-8 성과지표 측정산식 및 측정방법(철도안전정보(DB) 표준화 및 구축) ····· 262
표 5-9 성과지표 측정산식 및 측정방법(안전정보 모니터링, 수집 S/W 등록) ····· 262
표 5-10 성과지표 측정산식 및 측정방법(안전정보 위험도 평가 및 상태평가 분석 S/W 등록) ···· 262
표 5-11 성과지표 측정산식 및 측정방법(통합관리시스템 검증) ····· 262
표 5-12 성과지표 측정산식 및 측정방법(정책활용도) ····· 262
표 5-13 성과지표 측정산식 및 측정방법(기술규격 마련) ····· 262
표 5-14 선정평가 절차 ····· 265
표 5-15 선정평가 항목 및 내용(안) ····· 266
표 5-16 연차(단계)평가 절차 ····· 267
표 5-17 중간모니터링 절차 ····· 269
표 5-18 중간모니터링 항목(성과 달성도) ····· 270
표 5-19 중간모니터링 항목(계획의 적정성) ····· 270
표 5-20 최종평가 절차 ····· 271
표 5-21 최종평가 평가항목 ····· 272
표 8-22 중점분야별 세부과제별 소요예산 ····· 274
표 8-23 중점분야별 연차별 소요예산 ····· 276
표 8-24 재원분담 현황 ····· 277
표 8-25 최근 5개년 국토교통 R&D 예산 현황 ····· 278
표 8-26 2017년도 대비 2018년도 국토교통 R&D 사업 및 부문별 투자현황 ····· 278
표 8-27 국토교통부 R&D 예산운용 계획 ····· 279
표 8-28 국토교통부 신규 R&D사업 가용예산 규모 ····· 280
표 8-29 국토교통 R&D 가용 예산 예측 ····· 280
표 8-30 4대 중점분야별 참여의향 기업 결과 ····· 281
표 6-1 '문제/이슈 도출의 적절성' 평가항목의 평가질의 ····· 285
표 6-2 '사업목표의 적절성' 평가항목의 평가질의 ····· 288
표 6-3 '세부활동 및 추진전략의 적절성' 평가항목의 평가질의 ····· 289

표 8-4 중점분야별 세부과제별 적용대상 ····· 290
표 6-5 단계별 성과 유형별 성과지표 ····· 291
표 6-6 국가 상위 계획 및 기본 계획 분석 대상 목록 ····· 292
표 6-7 제3차 철도안전종합계획(2016~2020)과 본 사업범위 비교 ····· 295
표 6-8 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획과 본 사업범위 비교 ····· 296
표 6-9 '사업 추진체제 및 추진의지' 평가항목의 평가질의 ····· 297
표 6-10 유사사업과의 차별성 및 연계방안 ····· 297
표 6-11 '재원조달가능성' 평가항목의 평가질의 ····· 299
표 6-12 '법제도적 위험요인' 평가항목의 평가질의 ····· 300
표 6-13 본 사업의 연차별 소요예산 ····· 301
표 6-14 유사과제 연도별 정부연구비 투자규모 ····· 304
표 6-15 철도기술연구사업의 R&D 사업화 성공율 도출 ····· 305
표 6-16 철도안전 시행계획을 통한 연간 집행 결과(2011년~2019년) ····· 306
표 6-17 종합계획 내 본 사업성과물 적용분야 분석 ····· 306
표 6-18 철도안전 사업 정부 투자 규모 비용 효율화 ····· 308
표 6-19 철도사고 및 운행장애로 인한 피해/손실비용 저감 ····· 309

〈 그림 목차 〉

그림 1-1 국내 철도안전관리 기관별 역할 및 범위 ····· 4
그림 1-2 철도 RAMS 요소 간의 상호 관계 ····· 6
그림 1-3 철도안전 수명주기 ····· 6
그림 1-4 영국 RM3 모델 평가분야 및 항목 ····· 11
그림 1-5 영국 철도시설관리자인 Network Rail의 RM³ 평가결과 ····· 12
그림 1-6 일본의 철도관련 법 및 기술기준의 체계 ····· 16
그림 1-7 유럽 철도의 안전성 평가 프로세스 ····· 18
그림 1-8 코레일의 전철 및 간선철도 여객수송량 현황 ····· 19
그림 1-9 국가별 여객밀도 및 열차운행 밀도 비교 ····· 20
그림 1-10 최근 철도사고에 대한 언론보도 사례 ····· 21
그림 1-11 강릉선 KTX 탈선사고 후 철도사고 관련 국민적 관심에 대한 빅데이터 분석 ····· 21
그림 1-12 열차의 대형철도사고 추이 ····· 22
그림 1-13 철도 운행장애 발생 현황 (2009 ~ 2018) ····· 22
그림 1-14 열차운행 1억km당 발생건수 변화 ····· 23
그림 1-15 국가별 열차운행 1억km당 철도사고 사망자수 비교 ····· 23
그림 1-16 국가별 1억km당 종사자 사망자수 비교 ····· 24
그림 1-17 데이터 관련 확장 하인리히법칙과 영국의 단계별 데이터 피드백 체계 ····· 24
그림 1-18 국내 철도 재해현장 사례 ····· 25
그림 1-19 철도안전 투자비용 비율 ····· 26
그림 1-20 스마트 철도안전관리 기본계획 구성도 ····· 26
그림 1-21 국가 주도의 통합안전관리 체계 ····· 28
그림 1-22 철도안전관리 기술 관련 국가차원의 기술개발 기본계획 목표 및 추진전략 ····· 29
그림 1-23 영국의 철도안전 데이터의 관리체계 ····· 30
그림 1-24 스마트 통합안전관리시스템 1단계 : 현장 위험요인 데이터 수집 ····· 30
그림 1-25 국내 철도 운영기관, 관리기관 등의 안전담당자 의견 수렴 ····· 31
그림 1-26 철도차량 위험 사전징후에 대한 대응체계 ····· 32
그림 1-27 스위스 ABB사의 전력시설 위험도기반 유지관리 플랫폼 개요 ····· 32
그림 1-28 연도별 철도시설 노후율 감축 목표 ····· 33
그림 1-29 SNCF의 생애주기비용 기반 유지보수 ····· 33
그림 1-30 알스톰 HealthHub 운영화면 ····· 34
그림 1-31 NR의 유지보수 의사결정지원시스템 구축 ····· 34
그림 1-32 국가별 여객밀도 및 열차운행 밀도 비교 ····· 36
그림 1-33 철도안전의 국민적 우려에 대한 언론기사 및 정책토론회 ····· 36
그림 1-34 SNCF 빅데이터 기반 안전관리 개요도 및 일본의 스마트기술 개발 ····· 37
그림 1-35 국고지원의 타당성 ····· 38
그림 2-1 제4차 과학기술기본계획 비전 및 중점 추진과제 ····· 50

그림 2-2 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 비전 및 목표 ····· 51
그림 2-3 재난안전 R&D 환경 분석을 통한 패러다임 전환 ····· 53
그림 2-4 제3차 재난 및 안전관리 기술개발종합계획(2018-2022) 비전 및 목표 ····· 53
그림 2-5 제8차 교통안전기본계획 통합비전 및 정책방향 ····· 55
그림 2-6 제8차 교통안전기본계획 철도부문 비전 및 정책 추진방향 ····· 56
그림 2-7 철도안전종합계획 중점추진내용 ····· 57
그림 2-8 제3차 철도종합안전계획 중점 추진목표 ····· 58
그림 2-9 철도안전 정책 혁신패러다임 전환 방향 ····· 59
그림 2-10 철도안전 혁신대책(2015) 주요 추진전략 ····· 59
그림 2-11 국토교통 4차 산업혁명 대응 전략(2017.4) 비전체계도 ····· 61
그림 2-12 UIC Challenge 2050 목표 ····· 62
그림 2-13 철도시스템의 미래 혁신방향 ····· 63
그림 2-14 ERRAC의 2050기술로드맵 중 안전 분야 로드맵 ····· 65
그림 2-15 국토교통성의 교통정책 기본계획 요약 ····· 69
그림 2-16 제4차 국토교통성 기술기본계획의 위상 ····· 71
그림 2-17 동일본철도회사 철도안전에 대한 비전 ····· 72
그림 2-18 수요에 대응하는 안전의 구분 ····· 73
그림 2-19 안전산업시장의 구조 ····· 73
그림 2-20 철도안전산업/시장 분석 구조 ····· 74
그림 2-21 국가별 보안장비 시장규모 ····· 76
그림 2-22 분야별 보안장비 시장규모 ····· 76
그림 2-23 보안서비스 시장규모 ····· 77
그림 2-24 국가철도 기준 철도건설 및 철도시설개량 투자 규모(2010-2017) ····· 78
그림 2-25 도로와 철도 유지보수 투자 전망 ····· 80
그림 2-26 철도인프라 구조물 시장 분야별 비중 ····· 80
그림 2-27 철도시스템기술 시장 분야별 비중 ····· 82
그림 2-28 2020 세계 철도시장 규모 예상 비율 ····· 84
그림 2-29 유지보수시장 부문별 비율 ····· 84
그림 2-30 작업차량 및 소규모장비 시장예측 ····· 85
그림 2-31 스마트 철도 시스템 시장 분야별 비중 ····· 87
그림 2-32 글로벌 위험요인간의 연계도(Global Risk 2018) ····· 89
그림 2-33 철도안전 분야의 메가트렌드 분석 ····· 92
그림 2-34 우리나라 인구구조(1965년-2065년) ····· 93
그림 2-35 우리나라 연령별 인구구성비(1965년-2065년) ····· 93
그림 2-36 광역급행철도(GTX)의 노선 ····· 94
그림 2-37 전세계 도시인구 비율 ····· 97
그림 2-38 세계의 장래 도시 및 지방 인구 ····· 97
그림 2-39 국내·외 데이터기반 철도안전관리 기술개발 동향 분석 범위 ····· 101
그림 2-40 철도안전정보종합관리시스템 구성도 ····· 105

그림 2-41 국립재난안전연구원은 스마트 재난관리 플랫폼 ····· 108
그림 2-42 RAFIS 표준모델 개요도 ····· 109
그림 2-43 서울교통공사 VOF 시스템 개념도 ····· 110
그림 2-44 RM3의 평가분야 및 항목 ····· 111
그림 2-45 RSSB에서 제시하는 BRDA ····· 113
그림 2-46 영국철도의 위험도 정보 산출을 위한 개발 로드맵 ····· 113
그림 2-47 영국철도의 위험정보 산출과 지역별 위험정보 제공 ····· 114
그림 2-48 프랑스 SNCF Big Data 기반 안전관리 콘셉트 ····· 114
그림 2-49 MMM 모델의 평가분야 및 결과의 예 ····· 116
그림 2-50 유럽 ERA 철도안전관리체계 실효성 평가 SW ····· 116
그림 2-51 실시간 철도안전 통합 감시제어시스템 ····· 119
그림 2-52 일본 건널목 차단기 및 경보기 개념도 ····· 122
그림 2-53 동일본 철도회사 실시간 안전운영 개념도 ····· 123
그림 2-54 동일본 철도회사 ATOS 개요도 ····· 124
그림 2-55 중국 동적 안전모니터링 정보시스템 구성도 ····· 125
그림 2-56 사업용 자동차 운전자 대상 위험판단 검사의 구성 ····· 128
그림 2-57 자동차 운전 시뮬레이터 ····· 129
그림 2-58 국방분야 상시훈련 체계 사례 ····· 129
그림 2-59 국방분야 가상현실 시뮬레이터 기반 교육훈련 체계 ····· 130
그림 2-60 가상현실 기반 교육훈련 사례 ····· 130
그림 2-61 영국 London Underground e-Learning 학습관리 시스템(LMS) 사례 ····· 132
그림 2-62 가상 및 증강현실 적용사례 ····· 133
그림 2-63 지능형 종합감시시스템 표준 구성도 ····· 135
그림 2-64 역사 스크린도어 및 장애물 감지 경보 시스템 ····· 135
그림 2-65 독일 수평이동이 가능한 다구간 이동시스템 ····· 136
그림 2-66 ITS/HRI 시스템 구성도 ····· 136
그림 2-67 일본 IHI Engineering Review, 2008 ····· 137
그림 2-68 카메라를 이용한 승강장 추락검지 시스템 ····· 137
그림 2-69 일본 JR EAST는 장애인용 에스컬레이터 ····· 138
그림 2-70 철도인프라의 분류 ····· 140
그림 2-71 철도인프라 안전위협요인 사전관리의 단계별 기술 ····· 141
그림 2-72 철도인프라 위험요인 감지기술 범위 ····· 142
그림 2-73 자갈궤도의 열화로 인한 불량개소 ····· 144
그림 2-74 KTX 차량진동 및 승차감 계측시스템 개요도 ····· 144
그림 2-75 GPS를 이용한 교량변위 계측 ····· 146
그림 2-76 영상기반 변위계측법 ····· 146
그림 2-77 터널 스캐닝 시스템 및 측정결과 ····· 146
그림 2-78 전기기술지원시스템의 기능 개요 ····· 148
그림 2-79 전기기술지원시스템과 주요 신호제어 감시설비와의 인터페이스 ····· 148

그림 2-80 변압기 모니터링 센서 및 구성 ····· 149
그림 2-81 GIS 모니터링 센서 및 구성 ····· 149
그림 2-82 V/TI시스템(ENSCO) ····· 150
그림 2-83 해외 주요 트롤리형 궤도선형 검측장비 ····· 150
그림 2-84 RSMV 전경사진 및 측정 원리 ····· 151
그림 2-85 미국 GPR을 이용한 도상층 탐사기법과 탐사장비 ····· 152
그림 2-86 일본도로공단 Paint View 동작원리 ····· 152
그림 2-87 변압기 및 개폐기 상태·진단 감시 개념도 ····· 154
그림 2-88 SENTINEL 개념도 ····· 154
그림 2-89 광케이블을 이용한 계측 센서 ····· 157
그림 2-90 동일본철도회사 철도시설 유지관리 플랫폼 기술 개요 ····· 160
그림 2-91 의사결정트리에 의한 유지보수 의사결정 체계 예시 ····· 161
그림 2-92 (영국)NetworkRail의 ePCM expert system 개념도 ····· 161
그림 2-93 Schneider 4차 산업혁명 관련 솔루션 개념도 ····· 162
그림 2-94 철도인프라 위험요인 완화/해소 기술 ····· 163
그림 2-95 철도공사 선로점검 체계 ····· 164
그림 2-96 BIM모델 기반의 유지관리 플랫폼 개발 연구 ····· 165
그림 2-97 자갈궤도 개량 개발 장비 ····· 165
그림 2-98 현재 운영 중인 선로측면 법면의 보강기술 ····· 166
그림 2-99 인천 1호선의 기계 설비 관제 개요도 ····· 167
그림 2-100 나노복합재료 코팅 모식도 ····· 167
그림 2-101 전자연동장치 구성도(일반철도) ····· 168
그림 2-102 한국전력 자산관리 & 예방진단 구축 추진 단계 ····· 169
그림 2-103 한국전력 종합예방진단 및 자산관리 시스템 체계 ····· 169
그림 2-104 철도시설 이력관리 종합정보시스템 개념도 (한국철도시설공단) ····· 170
그림 2-105 Frame sleeper 형상 및 부설궤도 ····· 170
그림 2-106 Full frame sleeper 및 Half frame ····· 171
그림 2-107 RSZ 형상 및 부설궤도 ····· 171
그림 2-108 Goldshcimidt 용접디지털 플랫폼 및 자동화 기술 ····· 172
그림 2-109 침목교환장비(독일) 및 Ballast cleaner(독일) ····· 172
그림 2-110 협소공간 굴삭 자동화 굴삭 및 흡입장치(일본) ····· 172
그림 2-111 RRR-C공법을 적용한 철도법면 급구배화 시공사례 ····· 173
그림 2-112 일본의 SIP 체계 ····· 174
그림 2-113 일본의 영상이미지 기반 3차원 교량 유지관리모델 사례 ····· 174
그림 2-114 국외 교량 유지관리 기술 ····· 175
그림 2-115 워터젯 기술을 이용한 콘크리트 제거 기술 ····· 175
그림 2-116 프로텍터를 이용한 터널 개량 기술 ····· 176
그림 2-117 TunConst에서 개발된 검측장비 ····· 176
그림 2-118 TunConst 장비내 보수보강 장비 ····· 176

그림 2-119 상방향 라이닝 커팅 ····· 177
그림 2-120 하방향 노반 굴착 ····· 177
그림 2-121 특수장비를 이용한 상방향 개량 ····· 177
그림 2-122 (독일)지멘스의 스마트 유지관리 플랫폼(Railigent) ····· 178
그림 2-123 철도차량 차ㆍ지상 모니터링 장치 개념도 ····· 180
그림 2-124 상태분석 및 진단기술 개요도 ····· 186
그림 2-125 시뮬레이션 기반 상태분석 및 진단기술 개요도 ····· 186
그림 2-126 철도 HILS 시스템 개념도 ····· 188
그림 2-127 철도 실시간 하이브리드 시스템 적용사례 ····· 188
그림 2-128 철도차량 형식승인 주요 프로세스 ····· 189
그림 2-129 다물체 동역학으로 구성된 철도차량 동적거동 해석모델 ····· 192
그림 2-130 일본 RTRI HILS 시스템 구성도 ····· 192
그림 2-131 일본 히다찌 Lumada 프로세스 ····· 195
그림 2-132 유럽 TrioTRAIN 프로젝트 구성도 ····· 195
그림 2-133 유럽 AeroTRAIN 프로젝트 구성도 ····· 196
그림 2-134 하드페이싱 및 레이저클래딩을 이용한 마모면 복원 기술(예) ····· 198
그림 2-135 3D 프린팅으로 제작된 철도차량용 공기압축기 ····· 199
그림 2-136 철도 유지보수 의사결정 과정 ····· 200
그림 2-137 대차프레임 취약부 결함평가 사례 ····· 201
그림 2-138 3D 프린팅으로 제작된 철도차량 부품(DB) ····· 202
그림 3-1 사업 추진 방향 도출 과정 ····· 203
그림 3-2 철도 인적요인에 의한 위험사건 ·사고전조 예시 ····· 206
그림 3-3 철도 시설요인에 의한 위험사건 ·사고전조 예시 ····· 207
그림 3-4 철도 차량요인에 의한 위험사건 ·사고전조 예시 ····· 207
그림 3-5 4대 사업 추진 전략 ····· 210
그림 3-6 비전 수립 Framework ····· 212
그림 3-7 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업 비전 및 목표 ····· 213
그림 3-8 사업목표 1 철도사고 및 운행장애 건수 저감 ····· 214
그림 3-9 사업목표 2 철도안전관리체계의 데이터 수집 • 활용 ····· 214
그림 3-10 SWOT 분석을 통한 중점분야 도출 ····· 216
그림 3-11 4대 중점분야 및 세부과제간 연계도 ····· 219
그림 6-1 스마트 통합안전관리시스템 기술 개발 로드맵 ····· 229
그림 6-2 국가통합 철도안전 시스템 ····· 230
그림 6-3 스마트 철도안전 다자간 현장종합대응 데이터 허브 플랫폼 ····· 231
그림 6-4 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술 개발 로드맵 ····· 238
그림 6-5 코레일 철도여객 수송추이 ····· 241
그림 6-6 출퇴근 이용 교통수단 비율 ····· 242
그림 6-7 스마트 통합철도안전관리시스템 기술개발 로드맵 ····· 247
그림 6-8 사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발 로드맵 ····· 255

그림 5-1 동 사업 추진체계 ····· 258
그림 5-2 사업목표, 단계별 성과목표 및 성과지표 ····· 260
그림 5-3 사업 추진 절차 ····· 263
그림 5-4 사업평가 및 관리 방향 ····· 264
그림 6-5 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)상의 편익 추정방법 과정 ····· 284
그림 6-6 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업의 편익항목 도출 ····· 302
그림 6-7 본 사업의 비용저감(안전관리사업비용) 편익 산출법 ····· 303
그림 6-8 본 사업의 비용저감(피해비용) 편익 산출법 ····· 303

제 1 장 사업개요

제1절 기술의 정의

1. 철도안전관리 범위 및 기술

1.1 국내 철도안전관리 범위

❑ 국내 철도안전은 「철도안전법」을 통해 국가, 지방자치단체, 철도운영자 및 시설관리자가 연계하여 철도안전관리체계에 따라 제도 및 정책 시행 및 관련 행위 및 기술이 포함되어 관리됨

○ 「철도안전법」의 목적은 철도안전을 확보하기 위하여 필요한 사항을 규정하고 철도안전 관리체계를 확립함으로써 공공복리의 증진에 이바지함임

○ 이에 따라, 철도안전에 관하여 이 법을 따르도록 되어있으며, 국가와 지방자치단체는 철도안전 시책을 마련하여 추진하고, 철도운영자 및 철도시설관리자는 법령에 따라 철도안전을 위한 조치 및 안전시책에 대한 협조를 하도록 되어있음

○ 동 법 기반으로 철도안전 관리체계에 대해 국토교통부는 철도안전관리체계 기술기준을 마련하여 제시

표 1-1 철도안전법의 조항 및 주요 내용

구분	주요 내용
제1장 총칙	• 목적, 정의, 타 법률과의 관계 및 국가 등의 책무를 규정
제2장 철도안전 관리체계	• 안전종합계획, 시행계획의 승인 및 유지, 철도안전투자의 공시, 철도운영자등에 대한 안전관리 수준평가 등으로 구성
제3장 철도종사자의 안전관리	• 철도차량 운전, 관제, 차량정비기술자 등에 대한 자격, 교육훈련 등에 관련 규정
제4장 철도시설 및 철도차량의 안전관리	• 철도시설의 기술기준 • 철도차량 및 철도용품의 형식승인, 사후관리, 종합시험운행, 표준화, 정밀안전진단 등을 규정
제5장 철도차량 운행안전 및 철도보호	• 운행안전을 위한 제반사항과 종사자의 준수사항, 행위제한 등을 규정
제6장 철도사고조사 • 처리	• 사고의 발생 시 조치 및 보고 등을 규정
제7장 철도안전기반 구축	• 철도안전기술 진흥, 전문기관 육성, 철도안전 정보의 종합관리 등을 규정
제8장 보칙	• 보고 및 검사방법, 수수료, 청문, 권한의 위임 · 위탁 등을 규정
제9장 벌칙	• 벌칙, 양벌규정, 과태료 등을 규정

출처 : 철도안전법, 법률 제16395호, 2019. 4. 23., 일부개정

❑ 「철도안전법」 조항에 따라 철도안전관리체계 기술기준[1]에서 제시하고 있는 철도안전 관리는 철도안전관리체계, 열차운행체계 및 유지관리체계로 구성

○ (적용범위) 고속철도, 일반철도, 도시철도를 운영하거나 시설을 관리하는 대상

○ 철도안전관리체계란 철도안전관리를 국가차원에서 효과적으로 관리하고 수행하기 위하여 철도안전법에서 정의하고 있으며, 철도안전경영, 문서화, 위험관리, 요구사항 준수, 사고조사 및 보고, 내부점검, 비상대응, 교육훈련, 안전정보 및 안전문화로 구성되어 있음

- 철도안전관리체계는 철도운행 및 철도시설관리는 국민안전에 직접적인 영향을 주며, 철도의 운영 및 철도시설을 관리하기 위한 인력, 시설, 장비, 운영절차 및 비상대응계획 등의 유기적 체계로 정의하고 있음

※ "철도안전관리체계(Safety Management System, 이후 SMS)" 정의: 명확하고 체계적으로 예방적인 철도안전관리 활동을 시행하기 위한 안전관리의 조직구조, 역할과 책임, 절차, 준비, 관리, 경영 및 규정 등에 관한 유기적인 체계

○ 열차운행체계란 열차의 안전운행을 위한 열차운행 조직·인력, 열차운행 방법·절차·계획, 승무 및 역무, 철도관제, 철도보호, 질서유지 및 운영기록 등에 관한 유기적인 체계로 정의하고 있음

○ 유지관리체계란 철도차량 및 철도시설의 안전을 확보하기 위한 철도차량, 노반, 궤도, 건축, 전철전력, 신호, 통신 분야의 점검, 보수, 교체 및 개량 및 개조 등 유지관리에 관한 유기적인 체계로 정의하고 있음

표 1-2 국내 철도안전관리 범위

체계	대 분 류	소 분 류	항목	소계
철도안전 관리 체계 (SMS)	1. 철도 안전경영	1.1 철도안전관리시스템(SMS) 프로그램	1	17
		1.2 안전경영방침	3	
		1.3 안전목표	2	
		1.4 안전계획	2	
		1.5 안전경영검토	3	
		1.6 역할과 책임	6	
	2. 문서화	2.1 문서화 및 관리	3	3
	3. 위험관리	3.1 위험도 평가 및 관리	5	12
		3.2 안전대책	5	
		3.3 변경관리	2	
	4. 요구사항 준수	4.1 요구사항 파악	1	8
		4.2 요구사항 변경관리	3	
		4.3 요구사항 준수	4	
	5. 사고 조사 및 보고	5.1 사고 및 장애 보고	2	6
		5.2 사고 및 장애 조사	2	
		5.3 재발방지대책	2	
	6. 내부점검	6.1 심사	1	5

1) 철도안전관리체계 기술기준, 국토교통부고시 제2019-368호, 2019. 7. 10., 일부개정]

체계	대 분 류	소 분 류	항목	소계
		6.2 점검 및 모니터링	2	
		6.3 심사, 점검 및 모니터링 결과관리	2	
	7. 비상대응	7.1 비상대응계획	3	5
		7.2 비상대응훈련	1	
		7.3 사이버 테러	1	
	8. 교육훈련	8.1 인적자원관리 프로그램	3	6
		8.2 교육훈련	3	
	9. 안전정보	9.1 안전정보 관리	3	4
		9.2 위험보장	1	
	10. 안전문화	10.1 안전 지도력	1	2
		10.2 안전문화 증진	1	
열차운행 체계	11. 운행안전관리	11.3 열차운행 조직 및 인력	5	31
		11.4 열차운행 방법 및 절차	6	
		11.5 열차운행계획	2	
		11.6 승무 및 역무	2	
		11.7 철도관제	6	
		11.8 철도보호 및 질서유지	2	
		11.9 열차운행 기록관리	2	
		11.10 계약자 관리	4	
유지관리 체계	12. 유지관리	12.1 유지관리 프로그램	1	33
		12.2 유지관리 조직 및 인력	4	
		12.3 유지관리 방법 및 절차	7	
		12.4 유지관리 이행계획	1	
		12.5 유지관리 기록관리	3	
		12.6 유지관리 설비 및 장비	4	
		12.7 유지관리 부품	4	
		12.8 철도차량 제작 감독	5	
		12.9 계약자 관리	4	
합계			132	132

❑ 국내에서 철도안전관리를 수행하는 주요기관은 국토교통부, 한국교통안전공단, 한국철도기술연구원, 철도시설공단 및 운영처 등을 들 수 있음

○ 국내 철도안전관리는 국토교통부를 주관기관으로 하여 철도안전감독관, 철도특별사법경철, 항공철도사고조사위원회, 교통안전공단, 한국철도기술연구원, 철도운영자 및 시설관리자가 유기적인 역할을 수행하면서 안전을 관리하고 있음

○ 국토교통부: 안전정책 및 제도를 수립하고 예산을 확보 · 지원 함으로써 철도안전관리가 체계적으로 이루어질 수 있도록 하고 있음

- 국토교통부 산하 항공철도사고조사위원회는 '항공 · 철도사고조사에 관한 법률' 제4조의 규정에 철도사고의 조사 및 예방을 목적으로 동 법률에서 규정한 사고조사 대상[2]에 대해 정보 · 자료

2) "철도사고조사 대상"은 철도(도시철도를 포함한다)에서 철도차량 또는 열차의 운행 중에 사람의 사상이나 물자의 파손이 발생한 사고로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사고를 말한다.(항공 · 철도사고조사에 관한 법률 제2조 제1항 제6호)
①열차의 충돌·탈선사고

등의 수집 · 분석 · 원인규명, 철도안전에 관한 안전권고 등을 수행

○ 한국교통안전공단: 정부로부터 기능을 위탁받아 안전관리체계 기술기준을 관리하며, 안전관리체계의 검사 및 승인을 함으로써 시설공단 및 운영처의 안전관리가 잘 이루어질 수 있도록 하고 있음

○ 한국철도기술연구원: 철도차량 및 시설의 기술기준을 관리하고, 차량용품에 대한 제작자 검사, 형식승인 및 완성차 검사를 수행하고 차량 표준규격의 관리 및 차량 개조승인에 대한 검사를 하고 있음

○ 철도시설 및 운영기관: 철도안전정책을 이행하고 안전관리체계를 유지하며, 안전정보 및 안전서비스를 제공하고 있음

○ 차량 · 용품 제작자; 차량용품을 제작하고 용품에 대한 안전성을 입증함으로써 실제 철도운영시 사용되도록 하고 있음

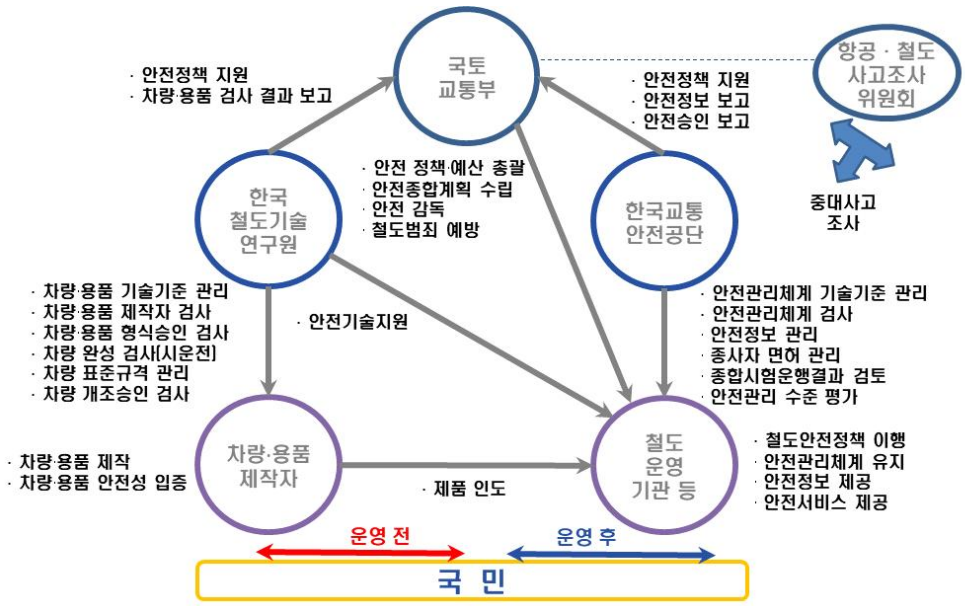


그림 1-1 국내 철도안전관리 기관별 역할 및 범위

②철도차량 또는 열차에서 화재가 발생하여 운행을 중지시킨 사고
③철도차량 또는 열차의 운행과 관련하여 3인 이상의 사상자가 발생한 사고
④철도차량 또는 열차의 운행과 관련하여 5천만원 이상의 재산피해가 발생한 사고

1.2 국외 철도안전관리 범위

1.2.1 국제규격

❑ 철도안전과 관련된 국제규격은 다음과 같이 5개로 구성

표 1-3 철도안전관련 국제규격

철도안전 관련 국제표준	규격의 개요
IEC 62278 (EN 50126)	대상제품종별을 한정하지 않고, 대상철도용품의 R(신뢰성), A(가능성), M(보수성), S(안전성)에 관한 목표의 설정, 목표달성의 증거와 달성 프로세스의 증거제시를 라이프 사이클의 단계마다 요구
IEC 62425 (EN 50129)	IEC 62278의 생각을 베이스로 안전에 관계되는 철도용 장치, 시스템의 안전성 증명 수속을 상세하게 규정
IEC 62279 (EN 50128)	안전에 관계되는 철도용 소프트웨어의 요구되는 보안도에 응해서 개발조건을 규정
IEC 62280-1.2 (EN 5019-1.2)	안전에 관계되는 철도용 데이터전송에 관한 시스템구성, 수순을 규정 IEC 62280-1은 폐쇄 통신계, IEC 62280-2는 개방통신계가 대상
IEC 62236-1~5 (EN 50121.1~5)	철도쪽으로의 EMC(전자 양립성:Electromagnetic Compatibility)

❑ IEC 62278[3](EN 50126[4]) "철도적용-RAMS 사양 및 입증"으로서 안전관리에 대한 프로세스를 제안하는 유일한 표준임

- ㅇ 일반적인 안전관리는 범위 및 사고정의-허용수준결정-위험원도출-위험도평가-안전대책수립-확인 및 검증 단계를 총칭하는 단어이며, 이러한 단계별 안전관리활동을 규정한 유일한 표준이 IEC 62278이기 때문에 IEC 62278을 통상적으로 철도안전국제표준이라 언급함
- ㅇ IEC 62278에서는 안전성과 가용성 중 어느 하나라도 취약하거나 또는 안전성과 가용성 요구조건 간의 경합을 잘 관리하지 못하면 신뢰할 수 있는 시스템을 얻지 못함을 정의하고 있음

3) IEC 62278: Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintain ability and safety (RAMS), International Electrotechnical Commission (IEC), 2002

4) EN 50126: Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintain ability and safety (RAMS), International Electrotechnical Commission (European Standard), 2002

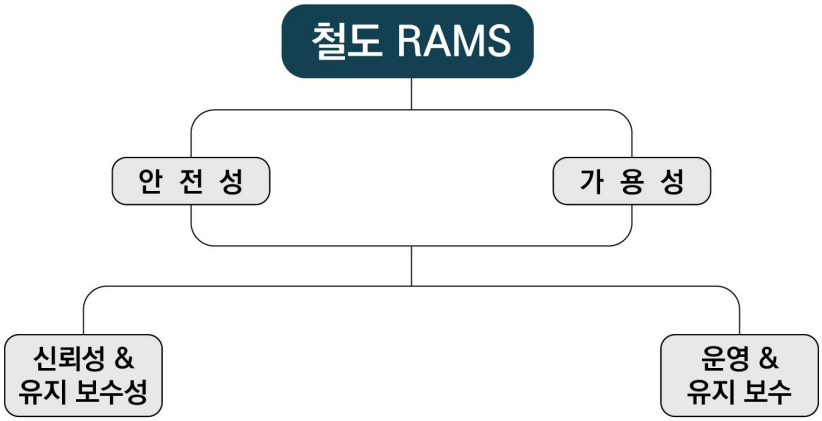


그림 1-2 철도 RAMS 요소 간의 상호 괸계

* 출처 : IEC 62278

○ IEC 62278[5](EN 50126[6])에 따르면 철도안전의 수명주기는 총 14단계로 구성되어 있으며, 크게 운영 전 단계의 안전활동과 운영단계의 안전활동으로 구분하고 있음

- 운행 전 단계의 안전관리: 제1단계(구상)부터 제10단계(시스템의 인수)까지로 구성
- 운영단계의 안전관리: 제11단계(운용과 보전)부터 제13단계(개수와 추가)까지로 구성

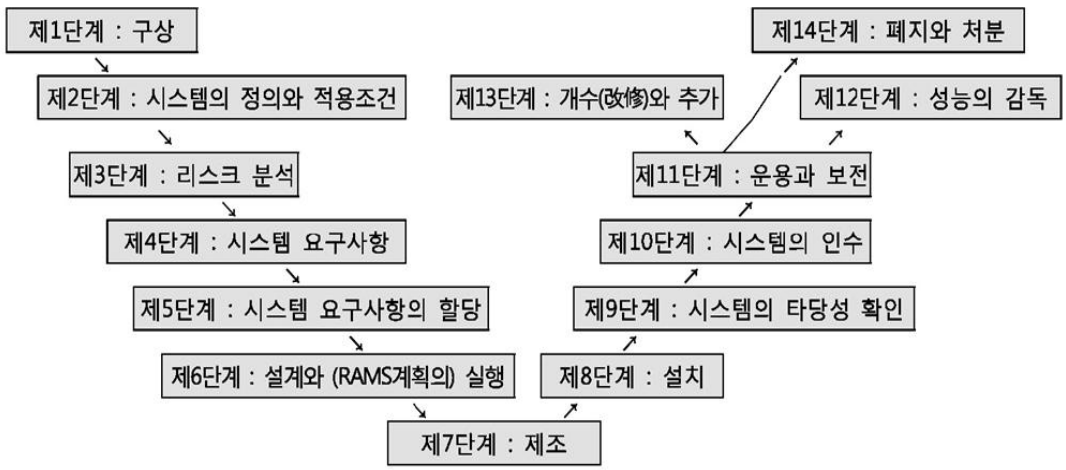


그림 1-3 철도안전 수명주기

* 출처 : IEC 62278

○ 국내 「철도안전법」 제5장(철도차량 운행안전 및 철도보호)에서 규정하는 철도 시설안전 기준, 철도 차량·용품 형식승인, 제작자 승인, 완성검사를 제외하고는 철도안전국제표준 IEC 62278의 수명주기 단계 11, 12, 13에 해당됨

- 철도 형식승인, 제작자 승인, 완성검사 등 시설·차량·용품의 운영 전 안전활동에 대해서는 기술기준[7]으로 작성되어 전문기관에 의해 시행되고 있음

5) IEC 62278: Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintain ability and safety (RAMS), International Electrotechnical Commission (IEC), 2002

6) EN 50126: Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintain ability and safety (RAMS), International Electrotechnical Commission (European Standard), 2002

- 또한, 제14단계(폐지와 처분)와 관련된 세부적인 내용은 철도안전법에서는 다루고 있지 않으며, 폐기 전 정밀진단 등을 수행하도록 규정

1.2.2 EU

❑ EU는 각 회원국별로 관리하던 철도안전 규정을 2004년 유럽철도안전지침(Railway Safety Directive) 제정 이후 2016년 개정으로 통해 일원화된 관리를 추진

○ EU는 철도운송서비스에 관한 단일시장 설립을 지속적으로 추진하였으나, 각 국가별 국가 기술 및 운영 개념에 근거한 국가별 안전규칙 및 기준을 제정하여 시행

- 철도운송의 최적 기능 및 안전향상을 위한 안전규칙, 안전기관의 직무, 역할 및 사고조사 등을 조화시키는 것이 특히 중요

○ 이에 따라, EU 철도의 안전을 발전·개선시키고, 회원국들의 규제 구조를 조화시켜 관계자간의 책임소재를 명확히 하며, 국가 규칙을 조화시켜 공통 안전목표와 안전방법을 개발하여, 철도운송서비스 시장에 대한 접근을 개선을 위해 유럽철도안전지침(Directive 2004/49/EC)을 2004년 제정[8)]

○ 이후 2016년 기존 지침대비 철도서비스의 질과 효율성 확대를 위해 공통 유럽철도안전지침(Directive (EU) 2016/798)를 개정하여 2018년 하반기부터 전면 시행 중

- EU는 기존 철도교통 관련법들을 통해 철도교통의 안전성을 높이고, 해당시장을 개방함으로써 철도교통의 경쟁력과 상호운용성을 제고하는 정책들을 추진해 왔으며, 이 새로운 지침을 통해 철도서비스의 질과 효율성을 확대하고자 함[9)]

○ 회원국은 해당 지침의 발효에 따라 회원국들이 자체 운용하고 있던 철도안전제도를 수정하여 사용하고 있음

❑ 유럽철도안전지침은 유럽내 이동하는 일반철도, 고속철도, 화물철도를 의무적 적용대상으로 하여 철도안전관리 외에도 인증, 허가, 사고조사 등에 대한 내용을 구성

○ (적용 대상) 국가간 이동이 있는 일반철도, 고속철도, 화물철도에 의무적으로 적용

- 도시철도나 전용 철도는 회원국 판단에 따라 자율적으로 결정

- 다만, 해당 내용이 대부분 도시철도 등에도 적용이 되는 사항이라 많은 국가에서 모든 철도에 적용중

○ 유럽철도안전지침(2016)은 철도안전 관리, 철도안전 인증 및 허가, 철도안전전담기구 및 철도사고·징후의 조사에 대한 항목으로 구성

○ 이 중 철도안전관리에 대해서는 각 주체별 역할 뿐만 아니라 공통안전지표(CSIs), 방법론(CSMs), 공통안전목표(CSTs) 및 안전관리시스템에 대한 내용을 제시

---

7) 철도형식승인 안내서, 국토교통부, 2015
8) 국토교통부, 교통안전관리공단, 철도운영부문 안전관리체계 승인제도 도입에 따른 하위법령/기준 마련 및 추진방안 연구, 2013
9) 국회법률도서관, 주요국의 최신법령판례 정보, http://law.nanet.go.kr/lawservice/lawpreced/lawPrecedList.do

표 1-4 유럽철도안전지침(Directive (EU) 2016/798)의 조항

구분	주요 내용	비고
제1장 총칙		
제2장 철도안전의 발전과 관리		
	제4조 유럽연합, 국가의 규제기관, 철도시설관리자, 운영기관의 역할과 책임	
	제5조 공통안전지표(CSIs, Common Safety Indicator)	부속서 Ⅰ
	제6조 공통안전방법론(CSMs, Common Safety Method)	
	제7조 공통안전목표(CSTs, Common Safety Target)	
	제8조 안전관련 국가별 규정 적용	
	제9조 안전관리시스템	
제3장 철도안전 인증 및 허가		
	제10조 단일 안전 인증	
	제11조 단일 안전 인증서 발급에 대한 기관과 국가 안전 당국간 협력	
	제12조 철도시설관리자의 안전 승인	
	제13조 교육시설 이용	
	제14조 차량유지보수	
	제15조 유지보수 기관의 인증	
제4장 국가단위 철도안전전담기구		
	제16조 국가 안전규제 기관의 업무	
	제17조 안전감독	
	제18조 의사결정 원칙	
	제19조 연간 안전보고서 발간	
제5장 철도사고·징후의 조사		
	제20조 사고조사의 의무	
	제21조 사고조사 현황	
	제22조 사고조사관	
	제23조 사고조사 과정	
	제24조 사고조사 보고서	
	제25조 사고조사 보고	
	제26조 사고조사 권고안	
제6장 이행규정		

출처 : DIRECTIVE (EU) 2016/798 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 May 2016 on railway safety, 번역 및 재구성

❑ 유럽철도안전지침은 다음과 같은 철도안전규제 집행체계를 운영하도록 규정하고 있음

○ 국가안전권한당국(NSA, National Safety Authority)

- 운영적합성에 대한 체계 승인·인증 업무
- 감독 및 모니터링 업무
- 기술적합성에 대한 허가(Authorization) 업무

○ 국가사고조사기관(NIB, National Investigation Body)

- 철도 사고 및 사건을 관계된 모든 기관과 독립적으로 조사

○ 적합성평가기관(CAB, Conformity Assessment Body)

- 교정, 테스트, 검사, 인증 등을 실시하는 적합성 평가 담당 기관
- NoBo(Notified Body): 국가간 상호운영성에 대한 기술 사양(TSI)에 대해 충족의 적합성을 인증을 하는 기관
- DeBo(Designated Body): 인정된 국가기술규칙(NNTR)에 대한 충족의 적합성을 인증을 하는 기관
- AsBo(Assessment Body, 안전성평가기관): 신청자(철도운영자, 시설관리자, 제조사 등)가 CSM-RA[10]따라 수행한 위험도 평가결과를 검사하는 기관

1.2.3 영국

❑ 영국은 2006년 ROGS(영국 철도 및 기타 궤도 교통시스템 안전규정: The Railways and Other Guided Transport Systems Safety Regulations: 이하 ROGS) 발효

○ ROGS는 EU 회원국 간에 열차를 운행하기 위하여 기술적 장벽을 제거하기 위한 목적으로 제정된 유럽철도안전지침의 요구사항을 실행에 옮기기 위해 도입

○ ROGS는 모든 철도운영자에게 적용되며 계층별로 차별화된 안전관리 활동을 요구

○ ROGS의 중요 내용은 다음과 같음

- 안전관리체계(SMS) : 철도운영자 및 철도시설관리자는 사업특성 및 규모에 따라 요구되는 안전관리체계를 보유해야 함

10) CSM-RA: 위험도평가에 대한 공통안전기법(Common Safety Method for Risk evaluation and Assessment)

- 안전검증(Safety Verification) : 철도운영자 및 철도시설관리자는 독립적인 전문가에 의한 안전검증을 통하여 새로운 또는 변경된 철도차량과 철도시설이 안전하다는 것을 증명하여야 함
- 안전인증 및 안전승인 : 철도운영자는 안전인증, 철도시설관리자는 안전승인을 받아야 하며, 유효기간은 5년 이내임
- 위험도평가 (Risk Assessment) : 철도운영자는 안전한 운영을 보장하기 위해 운영위험을 통제하는 데 필요한 안전수단을 확인하기 위한 적절하고 충분한 위험도평가를 요구
- 연차 안전성능보고서 : 안전인증과 안전승인을 받은 모든 철도운영자는 안전활동에 대한 연차 안전성능보고서를 ORR에 제출하여야 함
- 협력 : 여러 가지 인터페이스를 관리하기 충분한 정도의 운행 협력체계 요구
- 안전 주요업무(Safety Critical Works) : 안전관련 주요업무 종사자들이 능력을 갖추고 피로하지 않도록 하는 철도운영자 및 계약자에게 의무를 부여하고, 직무 수행능력과 적합성을 확인하여야 함

○ ROGS는 SMS를 교통시스템이 안전하게 운영되는지를 부장하기 위한 기초가 되는 것으로, SMS 전체적인 구성은 유럽철도안전지침에서 정의한 SMS 기본요소와 거의 동일하며, 주요내용은 다음과 같음

- 안전정책
- 안전목표
- 표준, 프로세스 및 절차
- 위험도 평가 및 통제
- 직원 훈련 및 적격성
- 안전 정보의 제공
- 사고보고 및 조사
- 비상대응
- 내부심사

○ 영국내 모든 철도운영자는 SMS를 개발하여 국가안전권한당국(NSA)인 ORR에게 승인받도록 요구하고 있으며, ORR은 ROGS 규정을 구체화하여 철도기관의 안전인증 또는 안전승인을 위해 평가기준(Assessment Criteria for Safety Certificate and Authorisation)을 제시하였고, 이는 국내「철도안전법」의 철도안전관리체계 기술기준에 해당

- 안전인증 기준은 Part A, B로 구분되며, Part A는 유럽에서 통용되는 안전관리체계에 대한 인증기준이며, Part B는 영국 안전규정의 적합성에 대한 기준에 해당

❑ ORR 은 철도안전관리체계 기술기준의 이행 적설성과 실효성을 평가하기 위해 철도안전관리성숙도평가모델(Railway Management Maturity Model: RM^3)을 개발하여 실체철도안전감독에 활

용하고 있으며, 체계적인 안전관리와 감독을 수행

○ RM³ 모델은 철도안전규제기관인 ORR의 철도안전감독관들이 철도종사자들의 안전관리에 대한 이해와 인식, 태도를 검사관들이 직접 인터뷰를 통하여 그 수준을 정성적으로 평가하며, 이러한 성숙도 모델은 조직의 SMS(Safety Management System: 안전관리 시스템)가 위험도 통제에서 우수성(excellence)을 이행할 수 있는지 결정하기 위해 사용됨

○ RM³ 모델은 5점 척도(a five-point maturity scale)를 이용하며, 이는 철도 운영기관이 안전 성숙도 모델의 어느 단계에 해당되는지를 파악

- Level 5 우수 (Excellent): 사전적/지속적인 개선이 이루어짐(Proactive/Continual Improvement)
- Level 4 예측 가능함 (Predictable): 관리시스템에 따라 산출결과가 예측 가능함, 변화가 통제됨
- Level 3 표준화 (Standardised): 우수관행이 표준화된 프로세스 내로 통합됨
- Level 2 관리수준 (Managed): 일부 그룹에서 반복되는 성과를 관리하고 있음, 작업 그룹별 유사 과업을 다르게 수행함
- Level 1 초기-임시방편 (Initial-ad hoc): 임시방편적이고 협조되지 않음

○ RM³ 모델에서는 한 부분의 안전관리에 대한 검토결과를 전체 평가로 확장하지 않으며, 다양한 안전관리 수준을 진단하기 위하여 광범위한 종사자들과 시간을 갖고 면담을 통하여 평가를 수행하고 있음

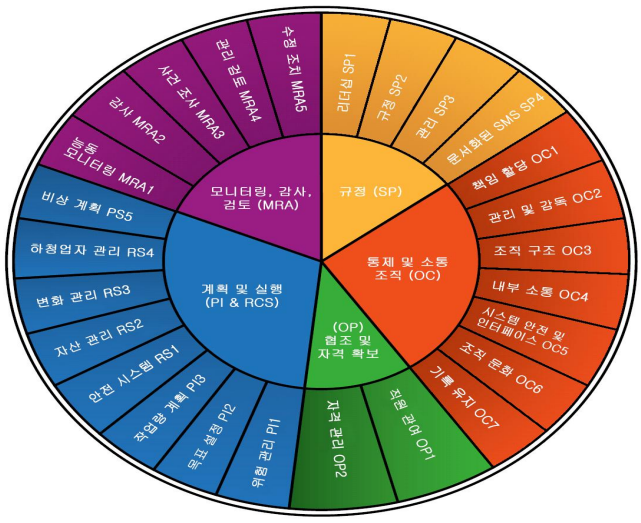


그림 1-4 영국 RM³ 모델 평가분야 및 항목

(출처: RM3 Railway Management Maturity Mode, ORR)

- 아래의 결과는 영국 철도시설관리자인 Network Rail의 RM³ 모델을 활용한 평가결과를 나타내며, 매우 엄격한 평가를 수행

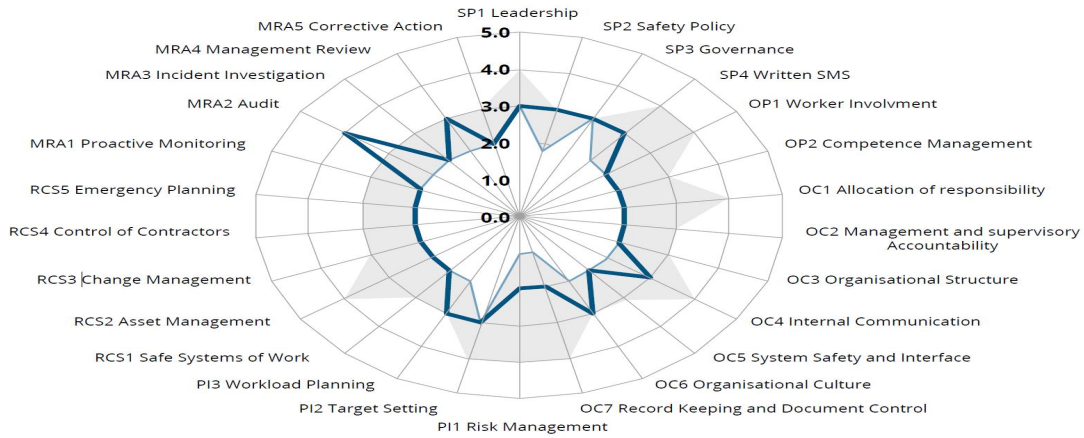


그림 1-5 영국 철도시설관리자인 Network Rail의 RM³ 평가결과

(출처: Annual Report of Heath and Safety Performance on Britain's Railways(2018-19), ORR)

❑ RM³ 모델에서 제시하는 철도안전관리 범위는 정책, 통제 및 소통조직, 협조 및 자격확보, 계획 및 실행, 모니터링, 감사 및 검토의 5개 구조로 구성

표 1-5 영국 RM³ 모델기반 철도안전관리 범위 및 주요 내용

구분	분류	주요 내용
정책 (Policy: SP)	• 리더십(SP1)	규정 관리와 리더십에 대한 안전관리를 정의
	• 안전 규정(SP2)	
	• 이사회 관리(SP3)	
	• 문서화된 안전 관리 시스템(SP4)	
통제 및 소통조직 (Organising for Control and Communication: OC)	• 책임 할당(OC1)	통제 및 소통 구성에 대한 안전관리를 정의
	• 관리 자격 및 감독 성과(OC2)	
	• 조직 구조(경영 캐스캐이딩 등)(OC3)	
	• 소통 조치(OC4)	
	• 시스템 안전 및 인터페이스 조치(OC5)	
	• 문화 관리(OC6)	
	• 기록 유지, 문서 관리, 지식 관리(OC7)	
협조 및 자격 확보 (Securing Cooperation and Competence: OP)	• 직원 관여 및 내부 협조(OP1)	모든 수준에서 직원의 협조, 자격, 개발 확보를 정의
	• 자격 관리 시스템(OP2)	
계획 및 실행 (Planning and Implementing: PI & RCS)	• 위험 평가 및 관리(PI1)	통합 관리 조치를 통한 위험 통제 계획 및 실행으로 정의
	• 목적/목표 설정(PI2)	
	• 작업량 계획(PI3)	
	• 안전 필수 업무 포함 업무 안전 시스템(RCS1)	
	• 자산 관리(시설 안전 설계 포함)(RCS2)	
	• 변화 관리(엔지니어링 및 조직 프로세스) (RCS3)	
	• 하청업자 통제(RCS4)	
	• 비상 계획(RCS5)	
모니터링, 감사 및 검토 (Monitoring, Audit and Review: MRA)	• 능동 모니터링 조치(MRA1)	
	• 감사(MRA2)	
	• 사건 조사 및 관리(MRA3)	
	• 적정 수준에서의 검토(MRA4)	
	• 수정 조치/변화 관리(MRA5)	

출처 : RM3 Railway Management Maturity Mode, ORR

표 1-6 영국 RM³ 모델과 국내의 철도안전 관리체계 비교

철도안전 관리체계 기술기준		영국 RM3 가이드	
ID	범주	ID	범주
1	철도안전경영	SP	보건 안전 규정, 관리, 리더십
1.1	철도안전관리시스템(SMS)	SP1	리더십
1.2	안전경영방침	SP2	보건 안전 규정
1.3	안전목표	SP3	이사회 관리
1.4	안전계획	SP4	문서화된 보건 안전 관리 시스템
1.5	안전경영검토		
1.6	역할과 책임	OC	통제 및 소통 구성
2	문서화	OC1	책임 할당
2.1	문서화 대상	OC2	관리 및 감독 책임
3	위험관리	OC3	조직 구조
3.1	위험도 평가 및 관리	OC4	내부 소통 조치
3.2	안전대책	OC5	시스템 안전 및 인터페이스 조치
3.3	변경관리		
4	요구사항 준수	OC6	조직 보건 안전 문화
4.1	요구사항 파악	OC7	기록 유지, 문서 관리, 지식 관리
4.2	요구사항 변경관리		
4.3	요구사항 준수		
5	사고 조사 및 보고		
5.1	사고 및 운행 장애 보고		
5.2	사고 및 운행 장애 조사	OP	협조 확보, 모든 직원의 자격 및 개발
5.3	재발방지 대책	OP1	직원 관여 및 내부 협조
6	내부점검		
6.1	심사		
6.2	점검 및 모니터링		
6.3	심사, 점검 및 모니터링 결과관리		
7	비상대응	OP2	자격 관리 시스템
7.1	비상대응계획		
7.2	비상대응훈련		
7.3	사이버 테러		
8	교육훈련		
8.1	인적자원관리 프로그램		
8.2	교육훈련		
9	안전정보		
9.1	안전정보 관리	PI 및 RCS	통합 관리 조치를 통한 위험 통제 계획 및 실행
9.2	위험보장	PI1	위험 평가 및 관리
10	안전문화	PI2	목적/목표 설정
10.1	안전 지도력	PI3	작업량 계획
10.2	안전문화 증진		
11	운행안전관리		
11.1	열차운행체계		
11.1.1	열차운행 프로그램의 수립	RCS1	작업의 안전 시스템(안전 필수 작업 포함)
11.2	철도사업면허		
11.2.1	철도사업면허 취득		

철도안전 관리체계 기술기준		영국 RM3 가이드	
ID	범주	ID	범주
11.3	열차운행 조직 및 인력		
11.3.1	열차운행 조직		
11.3.2	열차운행 인력		
11.3.3	철도종사자 자격 등		
11.3.4	철도종사자 관리		
11.3.5	열차운행 인력의 적격성		
11.4	열차운행 방법 및 절차		
11.4.1	열차운전		
11.4.2	폐색방식		
11.4.3	철도신호		
11.4.4	사고 시 안전조치		
11.4.5	승객 대피		
11.4.6	화물운송		
11.5	열차운행계획		
11.5.1	열차운행계획의 수립		
11.6	승무 및 역무		
11.6.1	승무		
11.6.2	역무		
11.7	철도관제	RCS2	자산 관리
11.7.1	관제업무		
11.7.2	관제지원		
11.7.3	운행정보의 제공	RCS3	변화 관리(조직 및 엔지니어링 프로세스)
11.7.4	운행정보의 공유		
11.7.5	철도차량 또는 열차 운행의 일시중지	RCS4	하청업자 통제
11.7.6	운행선 작업 또는 공사		
11.8	철도보호 및 질서유지		
11.8.1	철도보호지구 안에서의 행위 제한		
11.8.2	여객안전	RCS5	비상 계획
11.9	열차운행 기록관리		
11.10	위탁계약자 감독 등 위탁업무 관리에 관한 사항		
11.10.1	계약자	MRA	모니터링, 감사, 검토
11.10.2	계약자의 선정	MRA1	능동 모니터링 조치
11.10.3	계약자 시정조치	MRA2	감사
11.10.4	계약자의 지속적 확인		
12	유지관리		
12.1	유지관리체계	MRA3	사건 조사
12.1.1	유지관리 프로그램의 수립		
12.2	유지관리 조직 및 인력	MRA4	관리 검토
12.2.1	유지관리 조직		
12.2.2	유지관리 인력		
12.2.3	유지관리 책임자		
12.2.4	유지관리 인력의 적격성		
12.3	유지관리 방법 및 절차		

철도안전 관리체계 기술기준		영국 RM3 가이드	
ID	범주	ID	범주
12.3.1	안전기준의 준수		
12.3.2	유지관리 기준	MRA5	수정 조치
12.3.3	유지관리 이행절차		
12.3.4	노후 철도차량 및 철도시설		
12.4	유지관리 이행계획		
12.4.1	유지관리 이행계획의 수립		
12.5	유지관리 기록관리		
12.5.1	유지관리 기록		
12.5.2	유지관리 결과의 활용		
12.5.3	유지관리 기록의 보존		
12.6	유지관리 설비 및 장비		
12.6.1	설비 및 장비의 확보		
12.6.2	설비 및 장비의 관리		
12.6.3	교체 계획		
12.6.4	시험·검사 및 측정 장비의 교정		
12.7	유지관리 부품		
12.7.1	유지관리 부품의 확보		
12.7.2	유지관리 부품의 품질 확보		
12.8	철도차량 제작 감독		
12.8.1	제작자 감독		
12.8.2	전문기관 선정		
12.8.3	제작자 시정조치		
12.8.4	제작자의 지속적 확인		
12.9	위탁계약자 감독 등 위탁업무 관리에 관한 사항		
12.9.1	계약자		
12.9.2	계약자의 선정		
12.9.3	계약자 시정조치		
12.9.4	계약자의 지속적 확인		

- 국내 철도안전 관리체계의 주요 범주는 12개 분야 47개 세부항목으로서 국외 철도안전 관리체계의 5개 분야 26항 세부항목보다 대략 2배 이상 많음
- 비교 분석 결과, 국내 철도안전 관리체계의 주요 범주에 속해 있는 대부분의 항목이 영국 철도안전 관리체계와 연관되어 있음을 알 수 있음
- 영국 RM3 모델은 각 평가 항목별로 증거, 평가기준 등을 세부적인 평가내용을 제시하고 있으나, 철도안전 관리체계 기술기준에서는 평가항목별 세부내용 부족한 실정임

❑ 영국철도는 1999년 Ladbroke Grove 분기기에서 발생한 열차충돌사고[11] 이후 철도안전을 전문으로 연구하는 RSSB(Rail Safety Standard Board) 수립

○ RSSB는 국가안전권한당국과 독립적으로 연구·개발을 통해 철도안전에 관한 지침, 표준, 가이

11) 1999년 영국 Ladbroke Grove 분기기에서 발생한 열차충돌사고로 31명 사망, 258명 중상 발생

드라인 등의 제정 및 관리

○ 또한 철도안전정보를 통해 안전성능 모니터링하고 철도안전전략을 수립

1.2.4 일본

❑ 일본은 국내와 유럽과 같은 별도의 철도안전법이 없으며, 국토교통성에서 관리 중인 철도사업법과 철도영업법 내에 안전 및 기술관련 사항이 포함[12)]

○ 철도기술안전과 관련된 사항은 “철도에 관한 기술상의 기준을 정하는 성령”에 기술되어 있음

○ 과거에는 철도안전성이 우수했으나, 현재는 국내보다 4배 정도 높은 사고율을 유지하고 있음

○ 전체 철도사고 중 철도건널목사고 비중이 90%로 건널목 안전관리 강화 중심대책 시행 중

○ ‘05년 효고현 열차탈선사고 이후 철도사업법에 SMS 의무화 등 제도개선 시행 중이며, ‘11년 쓰나미로 인한 열차와 시설피해 대책이 ‘13년 완료됨

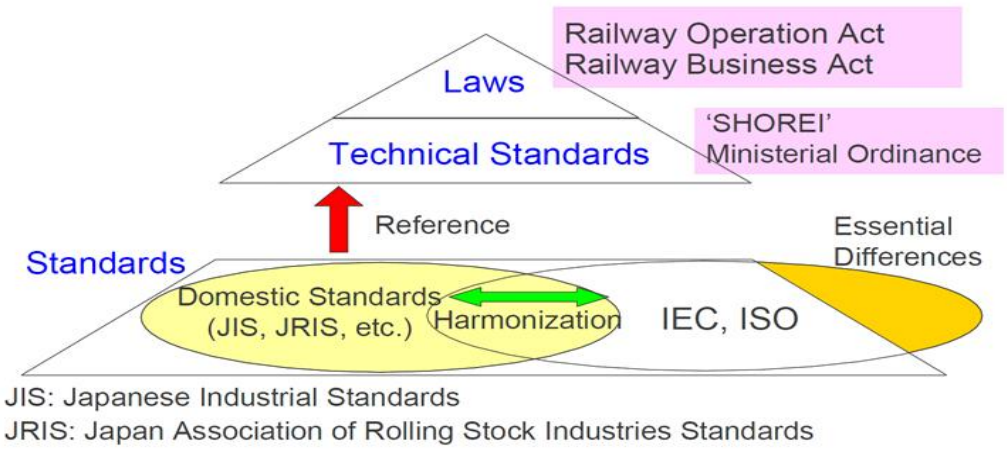


그림 1-6 일본의 철도관련 법 및 기술기준의 체계

(출처: 국가철도망의 상호운영체계 마련 연구 용역 보고서, 2018)

1.3 시사점

❑ (현장이행력 부족) 국내 철도안전 관련 제도는 선진국의 제도를 참고하여 강화하고 있으나, 종사자의 현장 안전활동에 반영 부족

○ 사고건수와 사망자수는 감소하였으나, 오송역 단전장애(‘18.11), 강릉선 KTX 탈선사고(‘18.12) 등 철도사고・장애 지속 발생

- 사고결과 위주의 사후안전대책으로 강릉선 탈선사고와 같은 선로전환기 결함, 신호 오작동 등 위험 상황에 의한 대형 참사 가능성이 높음

12) 제3차 철도안전계획(2016~2020) 수립연구 최종보고서

- 예방중심의 안전관리를 위한 안전문화, 보고체계 정착에 시간소요 됨에 따라 국가 안전정책의 현장 이행력 강화를 위한 기술적 해결방안 필요

○ 『철도현장 작업자 안전대책』과 『운행선로 인접작업 안전대책』 마련에도 불구, 작업자 사상사고가 지속 발생

- `18.7월 분당선 터널 보수공사 작업자 사망, `18.9월 오봉역 입환 작업자 부상 등

❑ (안전제도) 안전관리체계 운영 실효성을 확보하기 위해 보완 필요

○ 안전관리체계와 관련하여 위험도 평가, 종사자의 안전교육 시간 등 「철도안전관리체계 기술기준」의 구체성 및 안전감독 기술 부족

- 영국의 RM3와 유럽철도의 MMM(Management Maturity Model) 등 철도선진국은 지속적으로 안전관리체계의 구체성을 강화하고 관련 감독기술을 개발

○ 철도운영기관, 차량, 시스템 등의 다양화를 고려한 제도시행 필요

- 소규모 운영기관, 트램 등 신교통수단, 무인운전 시스템 도입 등 운영기관 특징을 반영한 안전제도 및 기술 정비 필요

❑ 경험 및 관행기반에서 관리체계의 변화 요구

○ 철도안전 정보의 분석, 철도안전 대책·정책 제언, 철도안전 지침·표준 제정 및 관리 등 연구·분석을 통해 지속적으로 철도안전 개선을 제언하는 제도적으로 보증된 철도안전제도 시행

- 영국 철도는 Ladbroke Grove 사고 이후 RSSB를 통해 지속적인 안전성능 모니터링과 전문적인 분석 시행 중

- 유럽철도에서는 유럽철도안전지침에 따라 각 국가의 철도사고 및 잠재위험원을 보고하도록 하고 있으며, 전문적인 분석기술 개발을 위한 준비 작업 중

○ 정보시스템을 위탁 관리 중인 교통안전공단의 국토교통부의 위탁 업무내용은 '정보체계 구축 및 관리'로만 한정되어 전문분석 및 안전정책 개선제언 등 한계

- 사고·장애 결과 중심의 제한적인 정보만 보고하고 있는 상황

- 이로 인하여 위험도 분석, 정책 수립, 안전대책의 효과 분석, 예산투자 연계 분석 등 데이터 기반의 안전정책 및 대책 수립이 어려운 상황

- 특히, 잠재적 사고 위험원 등 사고예방을 위한 통계 관리 등은 미흡

❑ (철도안전 컨트롤 한계) 전문성 및 안전기술 부족으로 철도의 운영단계에서 발생하는 다양한 문제를 종합적으로 컨트롤 기능 한계

○ 철도안전의 철도주무부처인 국토교통부의 전문성 및 안전기술 부족으로 철도안전 컨트롤에 한계

○ 교통안전공단이 위탁업무를 수행 중이나 검사, 평가, 관리에 한정되며, 철도전문 연구·분석 인력 부족으로 전문분석 및 안전정책 개선제언 등 한계

○ 유럽 경우 NSA, NoBo, DeBo, AsBo 등 전문성 철도안전 전문기술을 통한 다자간 검증과

인증을 수행하고 있음

- 유럽의 NSA, NoBo, DeBo, AsBo의 경우 안전성확보를 위해 위험도 평가를 시행하고, 이를 검증하고 인증을 수행

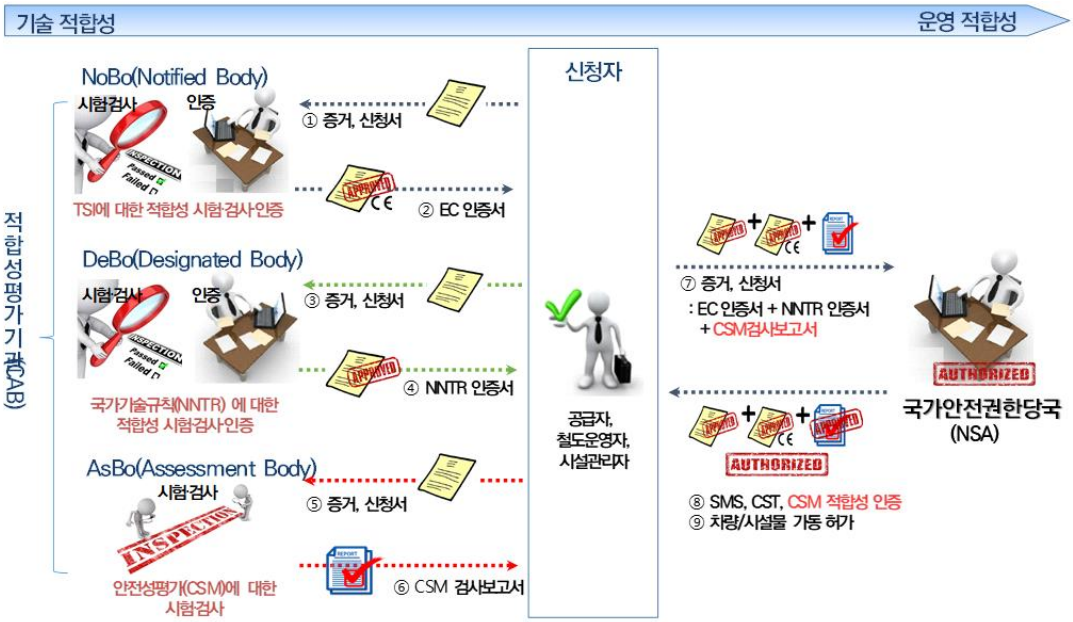


그림 1-7 유럽 철도의 안전성 평가 프로세스

제2절 사업추진 배경 및 필요성

1. 사업추진 배경

❑ 국민의 주요 대중교통수단인 철도는 국가가 관리하는 공공재이며 노선과 이용객이 지속적으로 증가하고 있으나, 사고 시 철도의 특성상 대규모 피해가 발생하여 사회적 파장이 큼

○ 철도 여객 수송량은 매년 증가 추세에 있으며, 특히 일일 천만명 이상의 국민이 이용하는 도시철도의 경우 수송분담율이 타 교통수단 대비 크게 증가

※ 2025년까지 철도연장은 '16년 3,729km에서 5,364km로 144% 확대 예정(3차 철도망구축계획[13])

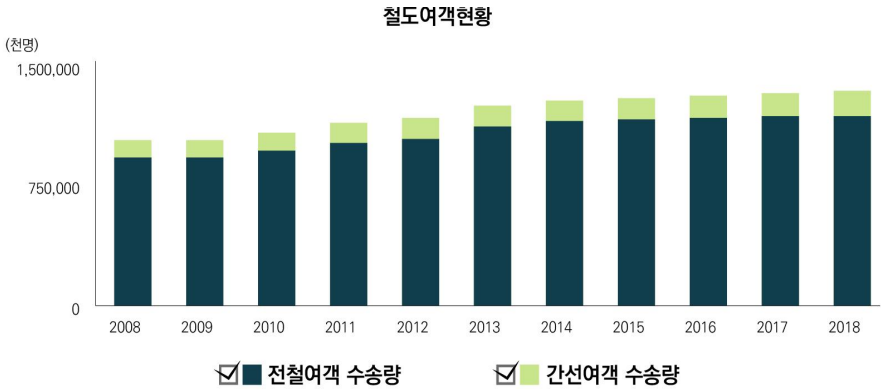


그림 1-8 코레일의 전철 및 간선철도 여객수송량 현황

(출처 : e나라지표, 철도여객수송추이, 국토교통부, 2019)

표 1-7 교통수단 및 연도 별 수송량 및 분담률

(단위: 천명/년, %)

구 분		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
국가철도	수송량	1,118,621	1,149,340	1,224,820	1,263,472	1,269,417	1,449,534	1,490,257
	분담률	3.8%	3.9%	4.1%	4.1%	4.1%	4.4%	4.5%
도시철도	수송량	2,358,758	2,410,931	2,476,394	2,526,167	2,522,900	3,572,127	3,604,710
	분담률	8%	8.2%	8.2%	8.3%	8.1%	10.8%	10.9%
도로	수송량	25,943,079	25,982,998	26,327,678	26,678,513	27,193,794	28,090,714	5,968,577
	분담률	88%	87.7%	87.5%	87.4%	87.6%	84.7%	84.4%
해운	수송량	14,266	14,538	16,063	14,271	15,381	15,423	15,162
	분담률	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
항공	수송량	20,981	21,602	22,353	24,648	27,980	30,913	32,406
	분담률	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%

(출처 : 철도통계연보, 국토교통부, 2018)

○ 국내 철도는 해외 선진국 대비 높은 여객밀도와 운행밀도로 인하여, 사고 발생 시 대규모 사고 또는 장시간 지연 발생 가능성이 큼

※ 여객밀도(여객수/선로연장)는 450명으로 150~200명 수준인 영국, 프랑스, 독일, 이탈리아 등 선진국 대비 2~3배 수준[14]

13) "제3차 국가철도망구축계획('16~'25), 국토교통부, 2016

※ 운행밀도(열차운행거리/선로연장) : 한국 38.9, 영국 34.7, 프랑스 16.2, 이탈리아 21.7



그림 1-9 국가별 여객밀도 및 열차운행 밀도 비교

표 1-8 국내에서 발생한 철도 대형사고 사례

발 생	사고내용	피 해
'03년 대구지하철 화재사고	객실 방화로 인해 인근 정차한 열차와 역사의 화재 확산	사망 192명, 실종 21명, 부상 148명
'11년 광명역 고속열차 탈선사고	노후화로 인한 선로전환기의 부품교체 작업 오류로 고장 발생, 이후 긴급 보수작업의 오류와 관제사의 대응 미흡으로 결함 선로전환기 구간에 진입하던 고속열차 탈선	30시간 열차지연
'14년 상왕십리역 열차 추돌사고	신호설비 오동작(정지신호를 진행신호로 표시)으로 선행 열차가 있는 상태에서 후속 열차가 신호를 통과하여 충돌	부상 22명 경상 455명
'18년 강릉선 고속열차 탈선사고	선로전환기의 고장 발생 후 신호기 결선오류로 인하여 결함 선로전환기의 위치파악이 안된 상황에서 고속열차가 결함 선로전환기에 진입하여 고속열차 탈선(사고조사 진행 중)	3일간 열차운행 중단

14) 유럽 철도국 ERA(European Railway Agency), https://erail.era.europa.eu/safety-indicators.aspx

표 1-9 국외에서 발생한 철도 대형사고 사례

발 생	사고내용	피 해
'05년 일본 여객열차 탈선사고	기관사의 제한속도 초과운행으로 여객열차 탈선	사망 107명, 부상 562명
`11년 중국 고속열차 충돌사고	낙뢰로 인한 신호시스템 고장으로 고속열차가 교량에 정차해 있던 일반 열차와 후방 충돌	사망 40명, 부상 210명
'13년 스페인 고속열차 탈선사고	기관사의 제한속도 초과운행으로 열차 탈선	사망 80명, 부상 130명
'16년 독일 여객열차 충돌사고	기관사의 신호제어 취급 부주의로 여객열차 정면충돌	사망 11명, 부상 85명

❑ 세월호 사건 이후 국민의 안전과 생명을 지키는 안심사회 구현을 위한 국가적 책무에 대한 요구 수준이 높아지는 상황이며, 철도교통은 타 교통수단 대비 상대적으로 안전한 수단으로 인식되어 왔으나 철도사고 및 운행장애가 반복적이고 연속적으로 발생하여 철도안전에 대한 국민의 우려와 불편함이 증가

○ 강릉선 KTX 탈선사고, 오송역 단전사고, 밀양역 철도작업자 사망 등 사고와 운행장애가 지속적이고 반복적으로 발생



그림 1-10 최근 철도사고에 대한 언론보도 사례



그림 1-11 강릉선 KTX 탈선사고 후 철도사고 관련 국민적 관심에 대한 빅데이터 분석

※ https://www.bigkinds.or.kr, BigKinds 빅데이터 분석 활용, 키워드: '철도사고'

※ 2018년 12월 8일 강릉역 인근에서 발생한 탈선사고는 승객 198명을 태운 강릉선 KTX 열차가 출발 5분 만에 탈선해 승객과 직원을 포함 총 16명 부상 발생

※ 강릉선 탈선사고, 오송역 단전사고 등 최근 2018년 12월에서 2019년 2월까지 3개월간 코레일 운영 구간에서 12건의 사고 발생

※ 2019년 10월 22일 밀양역 인근에서 발생한 작업자 사상사고는 밀양역 유지관리 현장의 작업소음으로 인하여 무전경고가 전달되지 않아 작업자가 새마을호와 접촉사고로 사망 1인, 중상 2인 발생

- 열차의 충돌, 탈선, 화재 등과 같이 인명사고를 동반하는 철도사고가 지속해서 발생

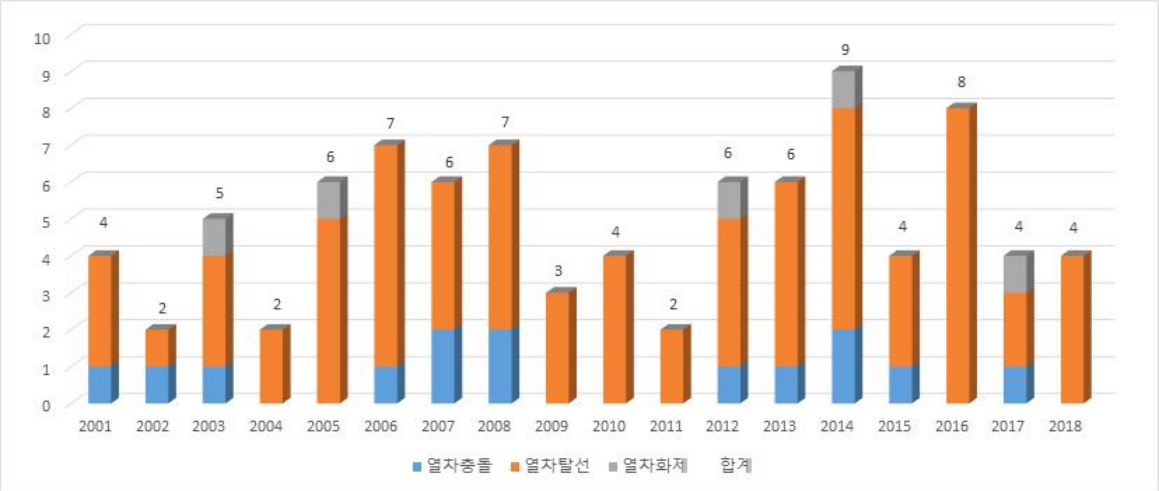


그림 1-12 열차의 대형철도사고 추이

(출처: 철도통계, 한국교통안전공단 철도안전정보포탈)

- 국민의 철도이용에 불편을 초래하거나 철도사고로 발전할 수 있는 운행장애는 2015년 이후 발생건수 감소추세가 정체되어 지속적으로 발생

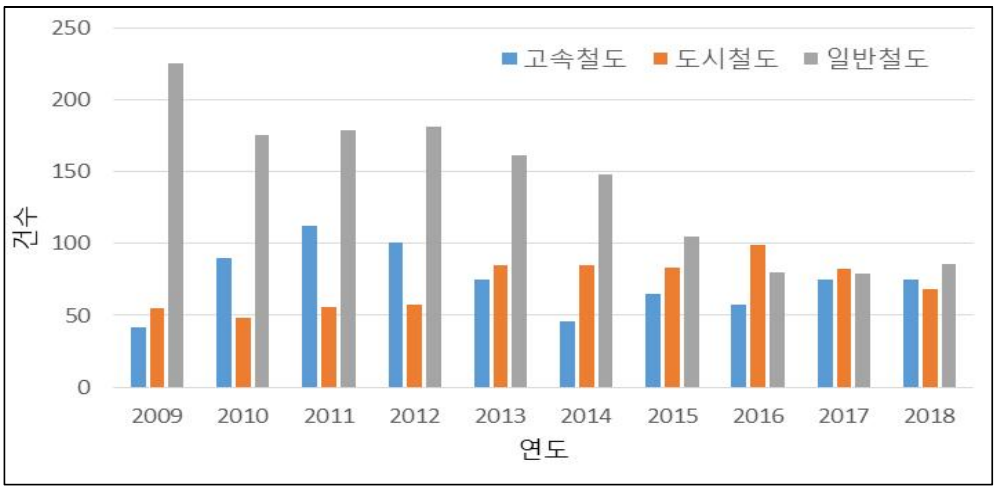


그림 1-13 철도 운행장애 발생 현황 (2009 ~ 2018)

(출처: 철도통계, 한국교통안전공단 철도안전정보포탈)

❑ 국가는 철도안전 관련 법령 및 정책 수립·시행을 통하여 철도안전 수준 향상을 위해 노력해왔으나 2014년 이후 사고, 운행장애 발생이 줄지 않고 있으며, 특히 중대사고의 경우 여전히 위험도가 높은 수준으로 새로운 방식의 접근과 시도가 필요한 상황

○ 2003년 대구도시철도 대형 화재사고 이후 국가는 철도안전법[15]을 제정하고 철도안전종합계획 및 철도안전관리체계[16]를 수립 및 시행

○ 철도사고 사망자 수 및 사고발생 건수 등은 전반적으로 감소추세이나 2014년 이후 감소율은 정체 상황임

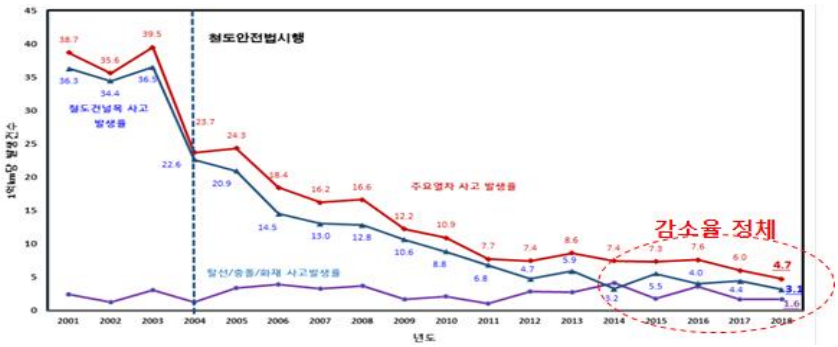


그림 1-14 열차운행 1억km당 발생건수 변화

(출처: 제3차 철도안전종합계획(수정계획))

○ 철도안전 수준을 평가하기 위하여 국제적으로 통용되고 있는 중대사고 지표는 여전히 국내 철도안전의 위험도가 높은 수준을 나타냄

※ 중대사고는 유럽의 ERA에서 제시된 지표로 1인 이상의 사망이나 중상자 발생, 손상 유발 금액 2억원 이상, 환경 영향 금액 2억원 이상, 6시간 이상 지연 경우가 포함

- 최근 5년간 평균 1억 km당 사망자 수의 경우 11위 수준이고 특히 종사자의 경우 5년 평균 사망자 수는 타 국가와 비교하면 매우 높음[17]

※ '18.7월 분당선 터널 보수공사 작업자 사망, '18.9월 오봉역 입환 작업자 부상 등

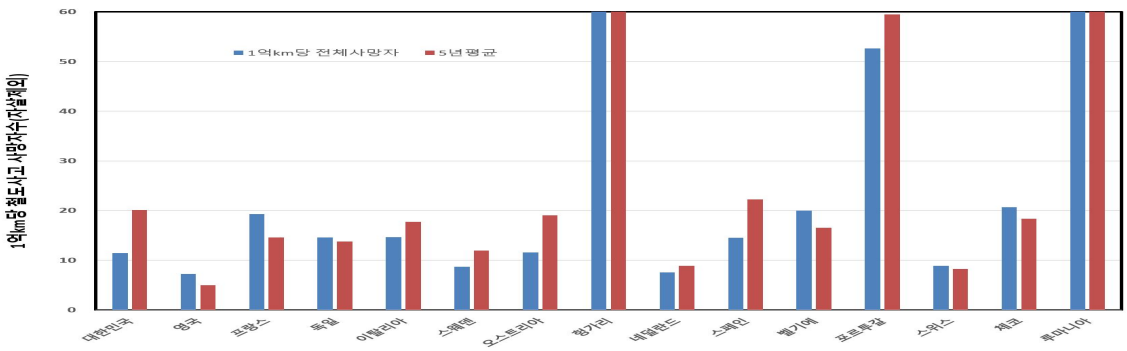


그림 1-15 국가별 열차운행 1억km당 철도사고 사망자수 비교

(출처: 철도안전종합계획(수정계획))

15) 철도안전법, 법률 제16395호, 2019. 4. 23., 일부개정
16) 철도안전관리체계 기술기준, 국토교통부 고시 제2015-477호
17) 제3차 철도안전종합계획(수정계획) 중간보고서, 2019.3,

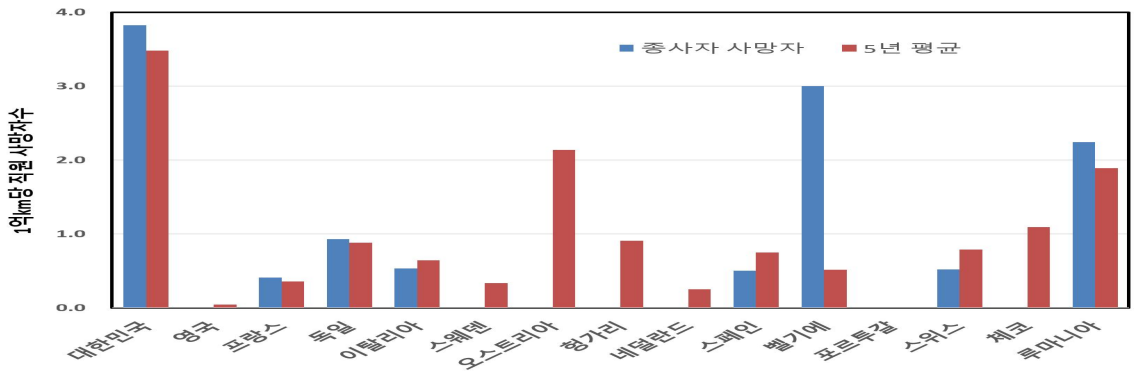


그림 1-16 국가별 1억km당 종사자 사망자수 비교

(출처: 철도안전종합계획(수정계획))

❑ 이에 인력과 경험에 기반한 사후대응 위주의 현행 철도안전관리의 문제점과 다양한 안전 위험요인에 대하여 선제적 대응을 통한 사고와 운행장애 건수를 줄이기 위해, 4차 산업혁명기술 등의 첨단기술이 접목된 데이터 기반의 철도안전관리 기술의 개발이 필요한 상황

○ **(안전정보 데이터의 부족 및 활용 미흡)** 국내 철도안전관리는 사고 또는 운행장애가 발생 후 사후복구, 결과데이터의 분석과 통계를 위한 수작업 등으로 시행

※ 철도사고 등의 보고에 관한 지침에 의거 매월 15일 19개 운영사가 철도사고(7종), 위험사건(10종), 운행장애(9종) 등을 입력하며, 사고 개요 등은 수기 입력

- 사고 발생 전 나타나는 위험징후 현상에 대한 데이터의 수집과 종합적인 시스템적 상황을 고려한 데이터의 가공 등은 거의 이루어지고 있지 않으며, 사전·사후 데이터를 활용한 과학적 분석 및 예측 등의 기술은 매우 낙후되어 사전예방을 위한 선제대응이 어려움

- 철도안전 분야 세계최고 수준인 영국의 경우, 사고 발생 전·후의 다양한 데이터를 현장단계에서부터 수집 및 가공하고, 결과데이터를 활용하여 위험도기반의 Plan-Do-Check-Act 단계별 피드백이 가능한 철도안전관리를 시행하여 높은 안전도를 확보

※ 영국은 사고전조 관련 연간 약 75,000건의 데이터와 위험상황 관련 연간 약 175,000건의 비정형 데이터를 수집 및 가공

※ 국내는 사고와 운행장애에 대하여 연간 약 300건의 사후데이터 수집

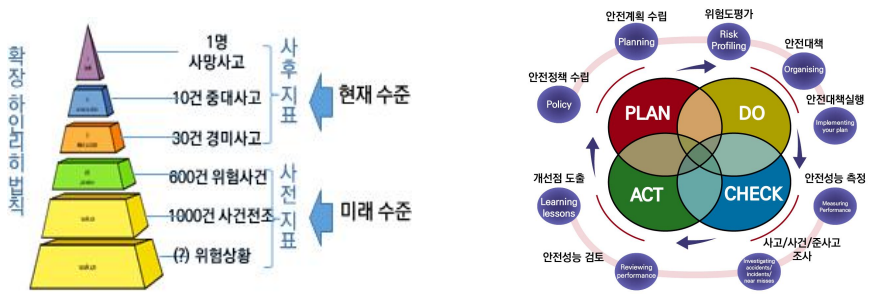


그림 1-17 데이터 관련 확장 하인리히법칙과 영국의 단계별 데이터 피드백 체계

○ **(철도 차량과 시설의 노후화)** 철도안전의 주요 위험원인 중 하나인 차량과 시설의 노후화에 대하여, 국가 차원에서 이를 해결하기 위하여 유지관리 및 개량투자를 확대함에도 불구하고 노후화의 개선이 미진한 상황

- 타 교통시설에 비하여 개통 후 30년이 넘은 국가 철도시설의 노후도가 상대적으로 높음

  ※ 준공 후 30년이 경과하고 시특법상 안전등급이 C등급 이하인 시설의 비중 : 교량(도로 0.2% vs. 철도 9%), 터널(도로 0.3% vs. 철도 6%)

  ※ 개통시기 : 서울1호선('74), 2호선('80), 3·4호선('85) / 부산1호선('85)

- 또한, 현재 운행 중인 25년 이상 경과한 철도차량[18]은 한국철도공사 2,224량(13.5%), 서울교통공사 441량(12.2%), 부산교통공사 176량(19.0%)('18.12.31기준)

  ※ 철도차량의 설계수명은 통상 25년으로 25년 사용 후 폐기

○ **(기후변화에 따른 재난·재해 증가)** 폭우, 폭설, 지진 등 자연재해로 인해 예상치 못한 철도사고 및 운행장애가 발생하고 있으며, 향후 기후변화에 따른 기상의 급격한 변화 및 대규모 지진 발생에 대한 가능성도 증가



고속열차 서행(경주지진) 포항역 파손 (포항지진) 폭우로 인한 노반 붕괴

그림 1-18 국내 철도 재해현장 사례

- 지구온난화에 따른 폭우(우기), 폭설, 한파 등의 영향으로 침수, 낙석·산사태, 사면·옹벽 붕괴 등의 우려개소가 지속적으로 증가하고 있으며 인력에 의한 현장점검 중심의 안전관리는 한계가 있음

○ **(천문학적 규모의 안전관리 비용투입)** 국가가 최근 10년간 철도안전을 위하여 투자한 비용은 시설과 차량의 유지관리에 편중되어 안전관리의 효율성이 부족하며, 철도운영기관은 경영악화 심화로 철도안전관리 및 기술개발에 대한 투자가 어려운 상황

  ※ 운영기관 누적부채 : 코레일(152,677억원), 서울메트로(29,532억), 부산교통공사(8,885억원) 등

- 국가의 철도안전관리 관련 투입된 비용은 시설과 차량의 노후화 개선을 위해 전체의 91%에 달하며, 장기적인 관점에서 안전관리의 향상을 위한 종사자 역량 강화, 기술개발 등에 9% 남짓 투자되어 안전관리 투자비용의 효율성 제고 필요

18) 2019년도 철도안전 시행계획, 국토교통부, 2019

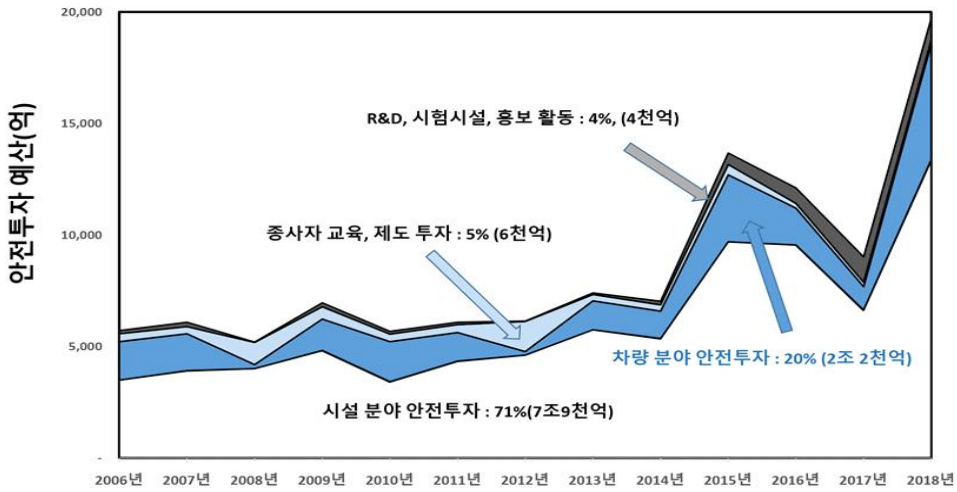


그림 1-19 철도안전 투자비용 비율

○ **(기존 철도안전관리 기술의 한계 극복 방안)** 이에 기존 철도안전관리 기술의 한계 극복을 위하여 스마트기술이 접목된 데이터 기반의 철도안전 관리기술이 대안으로 제시

- 최근 국토교통부는 기존 안전관리의 한계를 극복하고자 4차 산업혁명 기술을 철도안전 분야에 선제적으로 도입하여 철도안전 수준을 향상하기 위한 스마트 철도안전관리체계 기본계획('18~'27)[19]을 수립하였고, 제시된 목표를 달성하기 위하여 기술개발을 통한 지원 필요

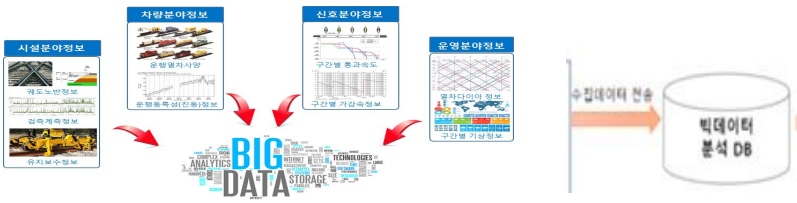
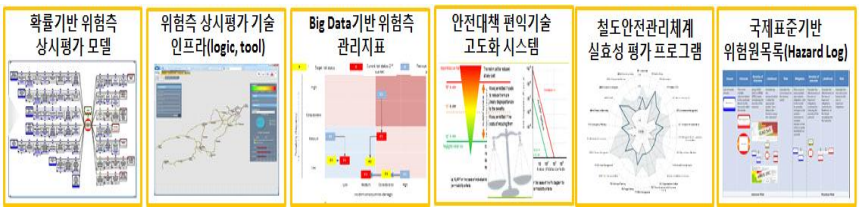
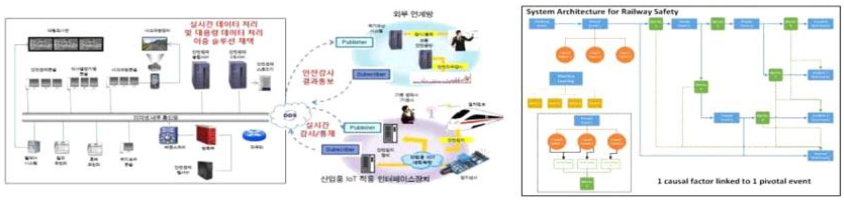


그림 1-20 스마트 철도안전관리 기본계획 구성도

- 사전예방 체계 구축을 위하여 요구되는 데이터 기반 철도안전관리 기술은 사고·장애 발생 전 단계에서, ①철도 구성요소(인적, 차량, 시설 등)의 성능상태 및 위험요인 데이터 진단·수집·가공, ②데이터 기반의 위험도 분석 및 평가, ③위험 예측 및 의사결정, ④위험요인의 사전 완화 또는 해소 분야로 구성되고 다양한 4차 산업혁명 기술이 접목됨

19) 스마트 철도안전관리체계 구축 기본계획, 국토교통부, 2017

표 1-10 데이터 기반 철도안전관리의 주요기술 분류 및 제4차 산업혁명기술

구분	스마트 안전관리 기술
철도 구성요소 (인적, 차량, 시설 등)의 성능상태 및 위험요인 데이터 수집·가공	- IoT, 드론 등 첨단장비를 활용한 데이터 계측, 데이터의 정합성, 신뢰성 바탕의 사고·장애 전조현상 진단  - 방대한 철도운영데이터의 빅데이터 기법을 활용한 철도구성 요소별 위험분석 목적에 적합한 데이터의 가공 및 융합 
데이터 기반의 위험도 분석 및 평가	- AI기술을 활용한 사고·장애·위험사건의 원인을 데이터의 체계적 분석 및 평가 
위험 예측 및 의사결정	- AI기반 사고·장애 및 위험 예측, 의사결정 도출 등을 위한 안전관리 플랫폼 기술 
위험요인의 사전 해소 또는 완화	- 디지털 플랫폼 기반 유지관리 및 자산관리, 개량기술 자동화 

2. 사업추진 필요성

❑ (환류형 통합안전관리 체계 구축) 철도안전의 위험요인에 대하여 운영기관의 선제적 사전대응과 국가차원의 통합적 대응이 다시 철도현장으로 적용되는 환류(Feedback)체계를 통하여 사전예방 체계를 구축함으로써 철도 사고, 운행장애의 감축이 가능

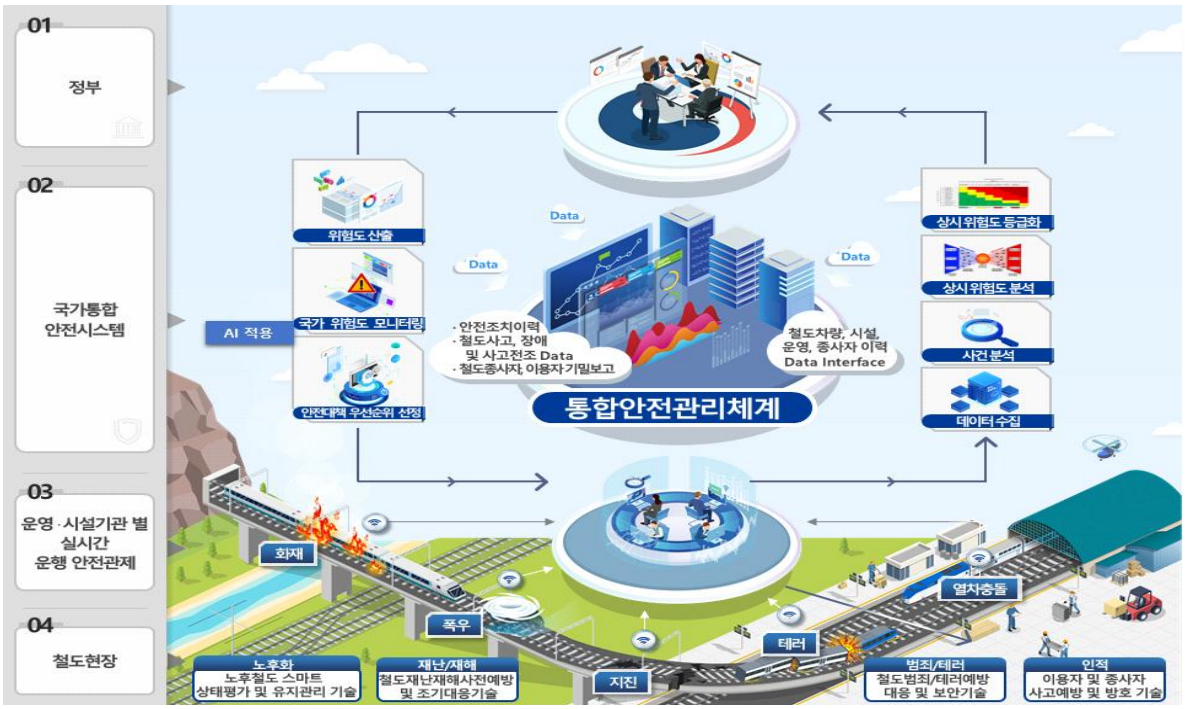


그림 1-21 국가 주도의 통합안전관리 체계

○ 환류형 통합안전관리 체계는 현장관리 주체에 따른 시행결과에 대한 데이터가 연속적으로 활용되는 체계

- 철도운영 현장에서 인적 위험요인, 시설 위험요인, 차량 위험요인 등의 분야별 다양한 데이터 수집 및 진단, 현장 상황에서 가능한 조치 시행

- 현장의 사전·사후 안전정보 데이터를 활용하여 운영기관 차원의 분석, 예측이 가능한 위험도 기반 디지털 안전관리를 통하여 최적의 안전대책 수립과 시행

- 전체 운영기관 현장의 안전관리 대응결과 및 위험도 분석에 필요한 데이터가 국가차원의 통합안전관리시스템으로 수집, 가공되어 분석, 예측을 통한 최적의 의사결정 결과 도출

- 데이터 기반의 결과를 활용한 국가의 정책, 예산 수립, 통합적인 현장 대응방안을 시행 또는 시행결과의 검증

○ 국토교통부는 기존 안전관리 방식의 한계를 극복하기 위하여 스마트기술을 활용한 사전예방체계로 전환하는 정책을 수립하였고, 또한 행정안전부 주도의 범부처 차원의 재난 및 안전관리 기술개발을 4차 산업혁명 등을 통한 구현으로 제시함에 따른 기술개발 및 지원 정책 실현이 필요

- 국토교통부의 「제3차 철도안전종합계획 수정(안)」(2016-2020)에서는 대형철도사고 zero, 사상자 50% 감소를 목표로 철도안전체계 고도화를 위한 정책 및 제도 개선을 포함하여 5개 분

야 추진과제 설정

- 2017년 수립된 국토교통부의 「스마트 철도안전관리체계 기본계획」은 스마트기술을 접목한 사전예방체계를 차량, 시설 등 6개 분야로 구성한 세부목표와 추진과제를 설정

- 행정안전부 주관 범부처 차원의 「재난 및 안전관리 기술개발에 대한 종합계획」(2018-2022)의 추진전략은 재난 및 안전관리 기술 선진화를 설정하고 추진과제로 위험요소 예측·평가기술, 빅데이터 기반 정보활용 기술, AI기반 관리지원 기술개발 등을 설정

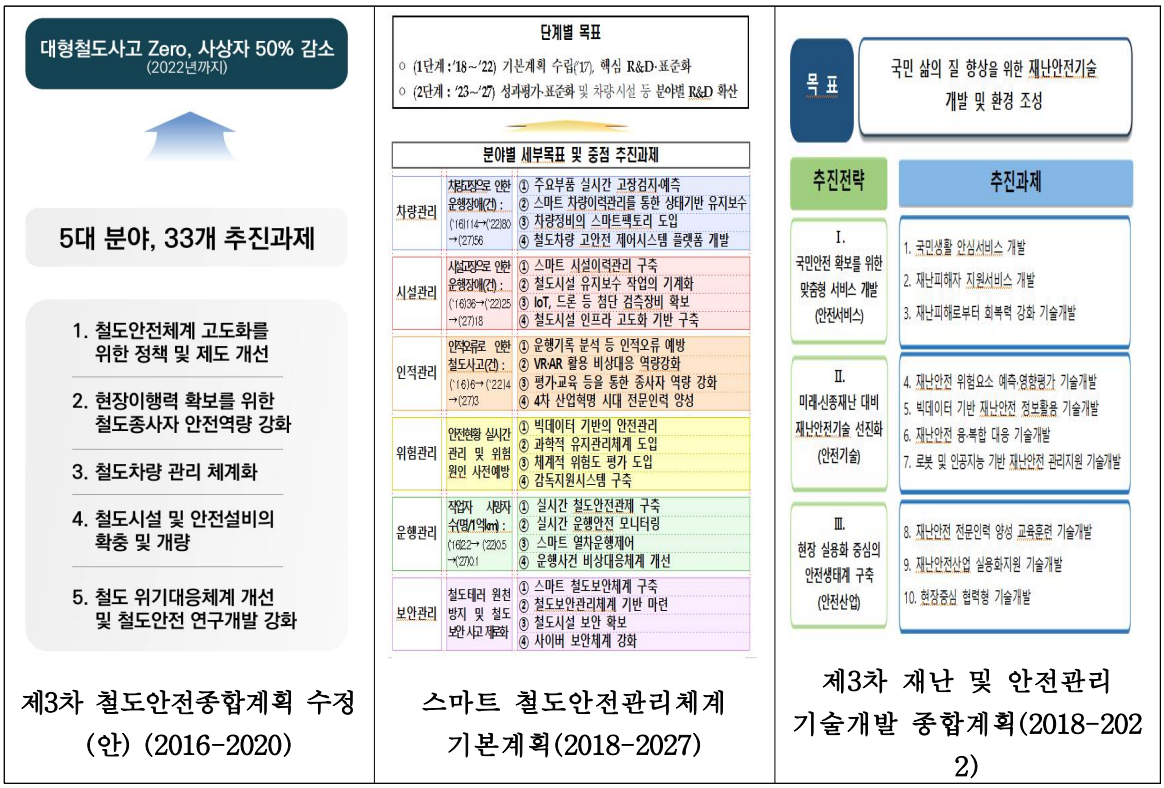


그림 1-22 철도안전관리 기술 관련 국가차원의 기술개발 기본계획 목표 및 추진전략

○ 철도안전기술 분야의 선진국인 영국을 포함한 유럽에서는 다양한 현장의 안전정보를 기반으로 대응 및 평가, 시행 및 검증이 환류되는 체계를 구축하여 시행하고 있으며, 현재 영국의 철도안전 수준은 국내 대비 3배 이상 안전수준 확보

※ 2015년 기준 사고 건은 한국 7.2건 영국은 1.6건, 사망자 수는 한국은 13.1명 영국은 4.0명 수준

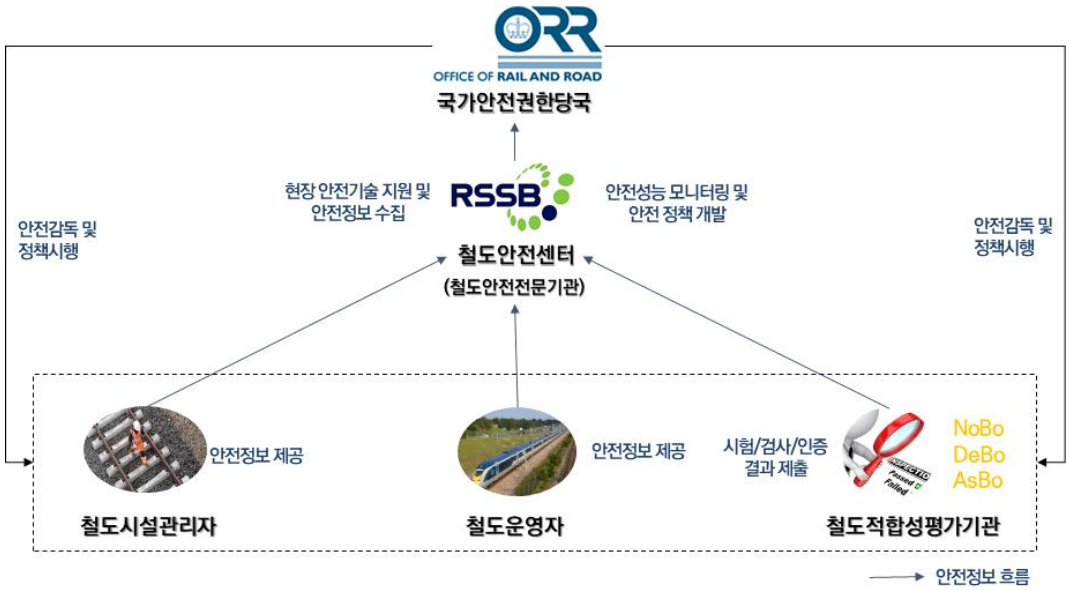


그림 1-23 영국의 철도안전 데이터의 관리체계

❑ (스마트 통합안전관리시스템) 환류형 통합안전관리 구현을 위하여, 안전관리의 단계별 결과데이터의 연속적 환류를 가능케 하는 통합안전관리시스템이 필요

○ (**1단계: 현장 위험요인 데이터 수집**) IoT 등 첨단 측정장비를 활용하여 철도 종사자 또는 이용객, 철도차량, 철도시설에 대한 상태와 안전 위험요인의 상시간 측정 등을 통한 데이터 수집

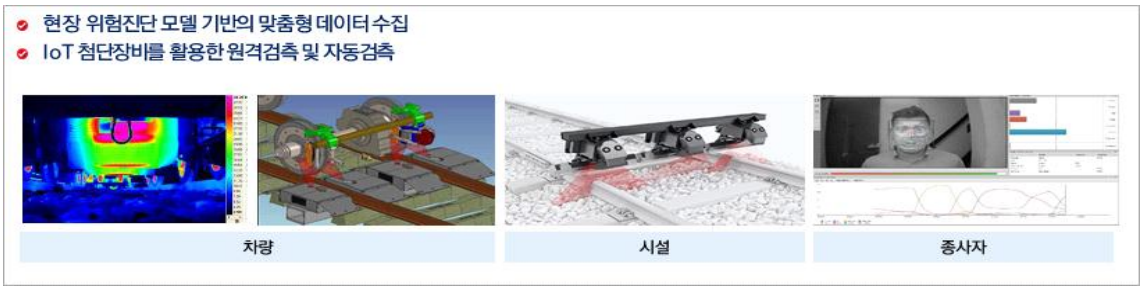


그림 1-24 스마트 통합안전관리시스템 1단계 : 현장 위험요인 데이터 수집

○ (**2단계: 안전정보 데이터의 가공 및 위험요인 분석**) 철도현장의 다양한 데이터와 시스템적 종합정보를 생성하고 실시간 현장 안전위험 상태 및 요인을 분석·평가, 상황에 따라 현장에서 즉각 대응 결정 및 시행

○ (**3단계: 운영사 위험도 기반 안전관리**) 빅데이터 기반으로 2단계 결과데이터를 위험분석에 활용할 수 있게 가공하고, 운영사의 위험도기반 평가 및 예측, 최적의 의사결정을 통하여 유지관리 또는 개량 등 위험요인 해소 또는 완화 조치 시행

○ (**4단계: 국가차원의 안전정보 수집 및 통합**) 국가 차원의 안전관리를 위한 운영사 별 안전관리 데이터를 수집 및 가공, 데이터의 신뢰성 검증

○ **(5단계: 국가 철도안전 통합위험도 평가 및 대응)** 운영사 별 취합된 데이터를 활용하여 위험도 모형을 지속적으로 개선하고, 국가 전체 철도시스템의 위험도 정보를 산출하여 종합적 대책과 정책, 예산투자 계획 등을 수립하여 시행

❑ (국내 통합안전관리의 현황) 현재 국내 운영기관 및 국가 차원의 안전관리는 충분하지 못한 안전정보 데이터, 디지털 기반의 위험도모형 부재 및 분석·예측 기술 낙후, 전문인력의 부족 등으로 인하여 안전관리 기술의 패러다임 전환이 요구되는 상황

○ 최근 일부 운영사에서는 상태기반 차량, 시설에 대한 데이터 모니터링체계를 구축하여 성능 중심의 유지관리를 위한 이력 데이터를 수집하고 있으나, 사전 위험징후 또는 위험도분석을 위한 데이터와 시스템의 관점에서의 융합데이터 가공 등의 작업은 미흡

※ KOVIS(Korail) : 차량과 시설의 일부 구성요소 및 구간에 대하여 유지관리를 목적으로 모니터링 및 이력데이터 수집이 시행되고 있으나, 데이터 공유 부족 및 위험 사전징후 등의 데이터 수집 및 분석 기능 부재

※ RAFIS(한국철도시설공단) : 철도시설의 유지관리 효율화를 위한 데이터 기반의 이력관리 플랫폼을 구축 중이나(~2020), 위험 사전징후와 위험도 분석 기능 미흡

- 현재 국내 운영사는 데이터 기반 통합안전관리 시스템이 필요하나, 경영악화로 안전분야 투자가 매우 저조하여 기술개발의 투자 여력이 없으며 기술의 전문성 및 전문인력이 부족한 상황



그림 1-25 국내 철도 운영기관, 관리기관 등의 안전담당자 의견 수렴

❑ (사전 위험요인 해소와 비용절감) 사고 또는 운행장애로 발전할 수 있는 안전 위험요인에 대하여 안전관리 기술의 적용을 통하여 얻어진 결과에 따라 사전에 해소 또는 완화하는 기술이 필요하며, 이에 따라 안전관리 비용의 가장 큰 부분을 차지하는 차량과 시설의 유지관리 비용절감이 가능

○ 철도 사고 또는 운행장애 발생의 사전 위험요인에 대한 분석과 예측을 통하여 원인을 사전에

해소 또는 완화함으로써 사고, 운행장애 발생 건수를 줄일 수 있는 사전예방 체계가 가능

- 미국 교통연구위원회(TRB)는 'New IDEAS for Rail Safety' Project[20]를 통해 기관사의 부주의감지 시스템과 기관사 훈련 시뮬레이터를 개발하였고, 일본 철도종합기술연구소(RTRI)는 차량운행 기술 리뷰, 기관사 상태파악을 통한 운전보조 등을 개발

※ IDEA(Innovation Deserving Exploratory Analysis Programs) : '16년 28개 과제 추진

- 일본 동일본철도회사는 열차운행 중 실시간 모니터링을 통하여 고장 징후, 열화 진행추세 예측, 유지보수 시점, 장애발생 시 최적 대응 등을 위하여 최신 IT 기술을 이용한 철도차량(E235계)[21] 개발을 통해 운행장애 사전예방

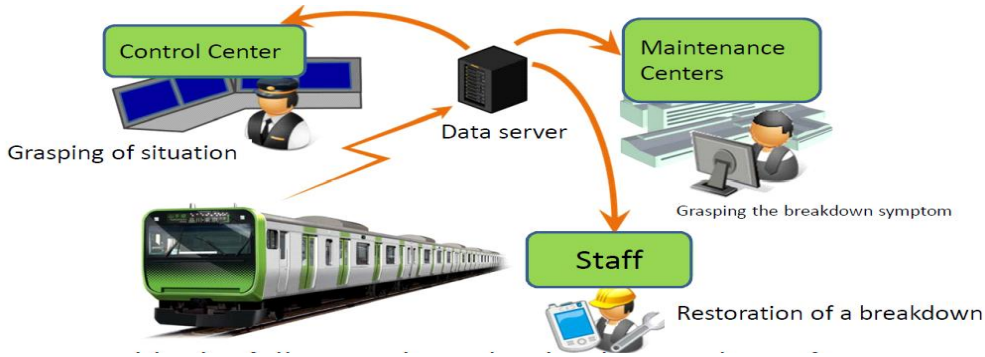


그림 1-26 철도차량 위험 사전징후에 대한 대응체계

- 스위스 ABB사는 전력시설의 자산관리 시스템 구축을 통해 Risk 평가 알고리즘을 탑재한 S/W와 변전소 AM시스템을 개발 및 AEP의 변전소에 적용하여 전력시설의 위험요인을 사전에 탐지하고 사전예방

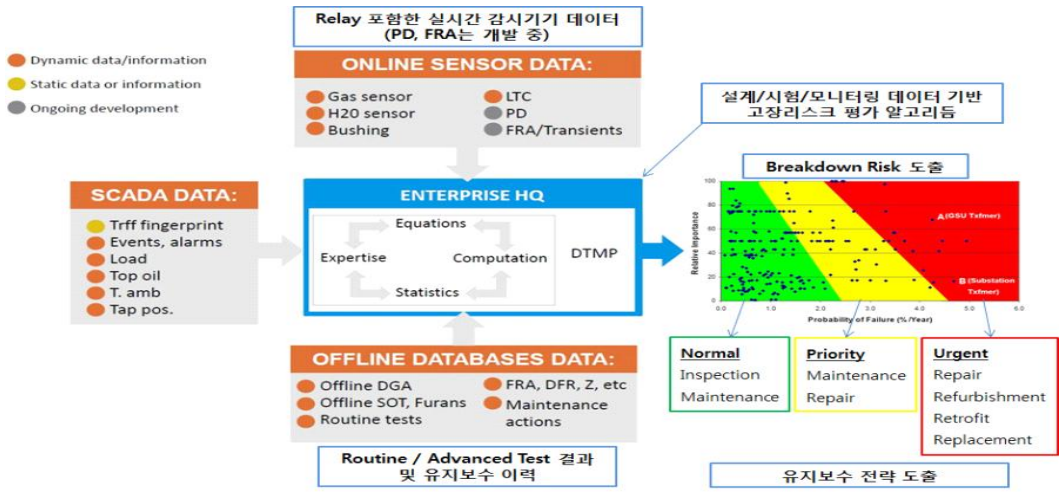


그림 1-27 스위스 ABB사의 전력시설 위험도기반 유지관리 플랫폼 개요

○ 차량과 시설의 노후화는 사고 및 운행장애의 주요 요인으로 국가가 투자하는 안전관리 비용의 90% 이상을 차지하며 매년 지속적으로 투자를 확대하고 있으며, 철도시설의 노후화 비율은 2018년 기준 38% 수준으로 목표치 24% 수준을 달성하기 위하여 막대한 재원 소요

20) IDEA(Innovation Deserving Exploratory Analysis Programs) : '16년 28개 과제 추진
21) Series E235 rolling stock new EMU commuter train in Tokyo area, East JR company, 2016

표 1-11 국가 철도시설 개량 비용 추이

(단위: 억원, 국고기준)

구분	13년	14년	15년	16년	17년
국가철도	3,332	3,050	4,694	4,750	5,684
도시철도	2,864	3,116	3,294	3,687	3,272

- 국토교통부에서는 철도시설의 효율적이고 체계적인 유지관리를 통한 철도안전을 확보하기 위하여 중장기 철도시설 개량 투자계획(2018-2022)을 수립하고 노후율을 2027년까지 24%로 낮추는 것을 목표로 함[22)]

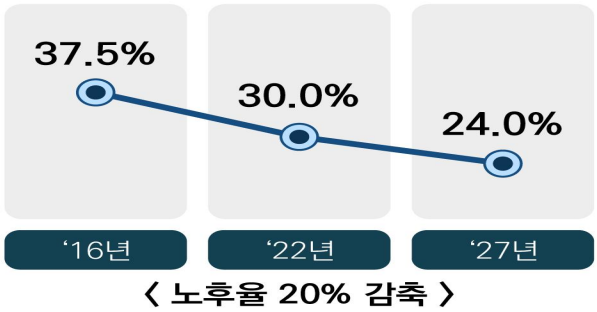


그림 1-28 연도별 철도시설 노후율 감축 목표

(출처: 중장기 철도시설 개량 투자계획)

○ 철도 선진국의 경우, 데이터 기반 모니터링을 활용한 선제적 유지관리를 통하여 노후화에 대한 유지관리 비용을 절감

- 프랑스 SNCF는 검측한 데이터 및 생애주기비용에 기초한 레일 교체 시기 예측시스템을 운영중이며, 위험 시나리오 작성 및 의사결정 지원체계 운영을 통해 전체 LCC 비용 약 30% 절감



그림 1-29 SNCF의 생애주기비용 기반 유지보수

· 알스톰 Healthhub의 열차스캐너(train scanner)[23)]는 주요 소모품인 휠, 브레이크패드, 판토그라프(집전장치) 카본스트립의 상태를 자동 측정 및 진단하여 적기에 소모품을 교체하는 상

22) 중장기 철도시설 개량투자 계획, 국토교통부 2018

23) Case study: West coast main line HealthHub for Trains, Alstom

태기반 정비로 자재비용을 최대 15%까지 절감

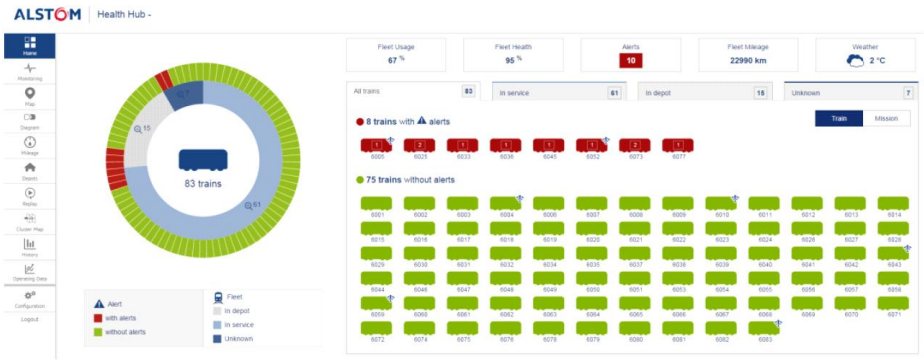


그림 1-30 알스톰 HealthHub 운영화면

- 영국 Network Rail(NR)은 빅데이터 기반의 시설물 RCM(Remote Condition Monitoring)시스템 운영을 통해 주기적으로 시설물의 상태평가 하여 유지보수 절감 목표 약 30% 달성을 위한 시행 중



그림 1-31 NR의 유지보수 의사결정지원시스템 구축

- 독일 SIEMENS는 러시아 열차(Sapsan train)에 실시간 예방정비체계(PHM, Prognostics and Health Management)를 적용하여 정비비 20% 이상 절감, 정시율 99.4% 실현[24)]

  · SIEMES의 Railigent 플랫폼[25)]은 예상치 못한 차량고장을 방지함으로써 전체적으로 시스템의 안전과 운영효율을 높이며, 유지보수비용 10% 감소, 유지보수품 재고량 10% 감소, 재료비용 및 인건비 각각 5% 감소 달성

  · 독일연방철도회사(DB)[26)]는 플랫폼을 통해 차량의 가용성 향상 및 장애시간(downtime) 감소로 유지보수비용 25% 절감 달성

- 이탈리아 철도청(Trenitalia)은 SAP Leonardo 플랫폼[27)]을 철도운영에 접목하여 유지보수비용 최대 10% 절감(약 1,731억원/년) 달성

- 아일랜드 철도는 드론, 원격 모니터링, 빅데이터 등 4차 산업기술을 활용하여, 연간 2만 고정 시설물의

24) 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획 수립 연구용역, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2017
25) Focus on digitalization: Manage your assets smarter with Railgent, Siemens, 2016
26) Predictive maintenance investing in railways for the world of tomorrow, DB, 2016
27) Creating a system of maintenance management powered by SAP HANA, Trenitalia

유지보수와 안전개선 활동을 수행 중

· 기존 약 11년간(3,990일) 소요되는 안전활동을 1년 안에 할 수 있는 효율성을 확보하고, 위험도 16% 감축 등 효율성과 안전성에서 높은 성과 도출

※ Kay Doyle, Digitalisation Reducing Risk in Irish Rail, IRSC 2019

3. 사업추진 시급성

❑ 철도환경의 변화에 따른 철도안전의 잠재적 위험요인이 다양화되고 이에 따른 장애 및 사고발생이 지속적으로 발생하여 시급한 대응 필요

○ 철도안전은 대책 마련부터 현장적용까지 오랜 기간이 소요되므로 철도차량 및 시설의 노후화, 자연재해, 무인시스템 운영, 테러·범죄 등 미래철도환경 변화에 따른 안전 위험요소에 적극적으로 대응하기 위한 방안 마련이 시급

- 철도차량, 시설의 노후화에 대한 비용 투자한계로 노후화 해소가 미흡하여 잠재적 대형사고 발생 우려 해소

- 기상이변으로 인한 폭우, 폭염, 지진 등에 대비 철도안전을 위한 사전예방이 필요

- 열차운행은 점차적으로 무인화, 자동화로 전환되는 추세이며, 변화되는 무인시스템 운영으로 인하여 발생할 수 있는 이전에 경험하지 못한 위험요인 발생

- GTX 등 대심도, 초고속화 철도추진에 따라 사고발생시 피해규모가 기하급수적으로 커질 수 있으므로 이에 대한 대응방안 마련 시급

○ 대형 철도사고의 위험요인은 상시 잠재되어 있으며, 대형사고로의 확산을 막기 위한 단계적 방어벽을 설치함으로써 대형철도사고 연결고리 제거 필요

표 1-12 국내에서 발생한 대형철도사고 사례

발 생	내 용	피 해
'03.2.18 대구 지하철 중앙로역	객실 내 방화로 인해 인근에 정차한 열차와 역사로 화재가 확산된 사고	사망 192명 부상 151명
'93.3.28 경부선 구포역 부근	선로 하부에서 전력설비공사 중(타공사) 철도 노반함몰로 운행 중인 열차 탈선	사망 78명 부상 200명
'81.5.14 경부선 경산역	신호를 무시하고 역으로 진입한 열차가 후진 중이던 열차와 충돌	사망 57명 부상 243명
'77.11.11 호남선 익산역	화물 운송원이 켜놓은 촛불이 위험물에 옮겨 붙어 역사에 대기 중인 열차 폭발	사망 59명 부상 1,300명

○ 철도안전을 위한 인적 및 물적자원 투입의 한계에 반해, 철도망의 지속적 확대 및 고밀도 열차운행으로 인한 대형사고위험 증가로 이에 대한 대책마련 시급

- 세계 최고수준의 이용객 운행밀도로 사고 발생 시 2차 사고 또는 대형 참사 발생 가능


<국가별 여객 밀도/열차운행 밀도 비교>

그림 1-32 국가별 여객밀도 및 열차운행 밀도 비교

- 3차 철도망구축계획[28]에 따라 철도연장은 '16년 3,729km에서 5,364km로 144% 증가하며, 전철화 연장은 2,595km에서 4,421km로 확대 예정

❑ 무결점(Seamless) 철도안전관리체계의 구현을 위해서는 기존 인력중심의 안전관리프로세스에서 탈피하고 4차 산업기술(IoT, 빅데이터, AI 등)의 적극적 도입을 통한 안전관리체계 스마트화 필요

○ 철도는 국가주도의 공공성과 국민생활 삶의 질에 영향을 주는 교통수단임에도 불구하고, 최근 잦은 사고와 장애로 사회적 우려 증가



그림 1-33 철도안전의 국민적 우려에 대한 언론기사 및 정책토론회

- 철도 사고·장애는 경제적 사회적 파장효과가 큼에 따라 국민의 안전과 불편을 최소화하기 위한 지속 지원 필요

- 국가의 지속적인 철도안전 수준 향상을 위한 법령, 제도의 개선에 따라 이를 뒷받침할 수 있는 기술개발 및 지원이 필요

○ 반복되는 철도사고·장애 발생을 줄이기 위해 사전예방과 상시간 효율적 안전관리가 가능한 데이터 기반의 철도안전관리기술의 시급한 개발 필요

28) "제3차 국가철도망구축계획('16~'25), 국토교통부, 2016

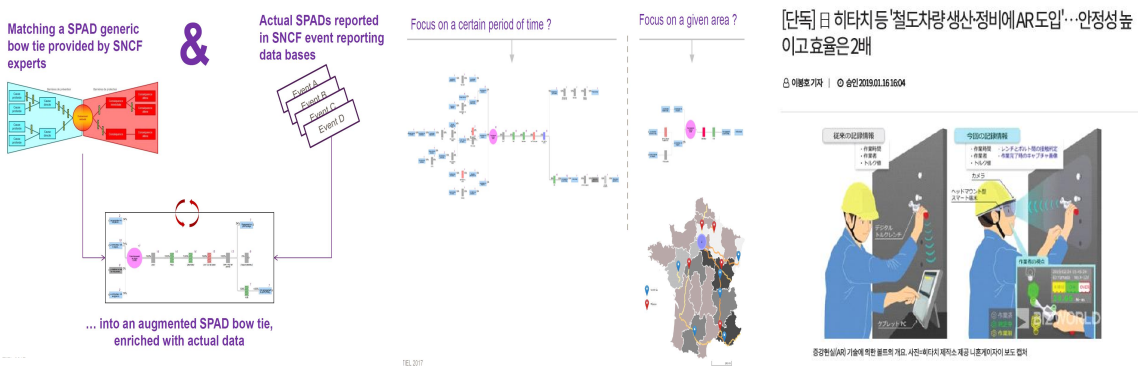


그림 1-34 SNCF 빅데이터 기반 안전관리 개요도 및 일본의 스마트기술 개발

- 영국은 현장단계부터 안전관련 데이터를 활용하여 위험도 기반의 철도안전관리체계의 개발과 시행을 수행
- 프랑스는 기존 분산된 철도안전관련 정보를 빅데이터기반 모델을 통해 처리하여 위험도 기반의 안전관리를 시행
- 독일 SIEMENS는 러시아 열차(Sapsan train)에 실시간 예방정비체계(PHM)를 적용하여 정비비 20% 이상 절감, 정시율 99.4% 실현
- 일본은 안전데이터를 실시간으로 분석하여 의사결정을 지원하는 철도종합 안전관리 지원시스템을 2020년까지 구축할 계획
- 반면 데이터를 기반으로 한 국내 철도안전관리기술은 여전히 답보상태에 있음

❑ 철도안전 투자비용의 한계에 따라 효율적 안전관리 및 정책 시행

○ '18년 철도안전 예산 집행계획에 따르면, 차량 및 시설의 노후화를 해소하기 위하여 투자되고 안전관리와 관련된 예산은 총 안전투자 예산 2.4조에서 1% 미만으로 투자되고 있음

○ 대부분 철도운영기관의 경영악화로 사고·장애 사전예방에 투자 여력 부족

- 운영기관의 경영악화의 가중으로 철도안전기술 분야 투자는 대부분 후순위

※ 누적부채 : 코레일(152,677억원), 서울메트로(29,532억), 부산교통공사(8,885억원) 등

- 민간이 운영하는 경전철의 경우, 안전관리 분야에의 예산은 거의 전무한 수준

※ 국민안전처의 무인경전철에 대한 안전감찰한 결과 17건의 안전미흡 지적(2018)

○ 차량, 시설의 노후화는 철도안전의 가장 큰 위험요소임에 따라 적기의 경제적, 효율적 개선 시급함

- 철도사고 예방을 위한 철도시설에 대한 개량예산은 증가하고 있으나, 누적된 노후시설의 비중이 높아 소요예산 대비 투입가능한 예산은 부족
- 철도시설의 노후화 진행속도를 감안할 경우 개량완료까지 약 20년이 소요(2034년 완료)될 것으로 추정되며 개량 지연에 따른 운행장애 발생과 시설수명 단축이 예상됨

※ 연도별 개량예산 : 2010년 1,211억원, 2012년 2,300억원, 2014년 3,050억원, 2016년 4,750억원,

2018년 6,501억원

※ 노후시설 비중 : 교량(42%), 터널(44%), 신호설비(46%), 신호설비(46%), 전기설비(34%)

※ 연간 노후시설 발생률 : 구조물(2.5%), 궤도(4.0%), 건축(2.7%), 전기(7.9%)

4. 국고추진의 타당성

❑ 철도교통은 버스교통과 함께 가장 이용률이 높은 대중교통수단으로서 장애발생시 사회적 파급효과가 매우 크나, 공공 마켓 형태로 국가 지원 없이 민간주도의 기술개발 및 마켓 형성이 어려움

- ○ 철도교통은 도시철도 천만명/일, 간선철도 백만명/일이 이용하는 중요 대중교통수단으로서 철도사고·장애로 인한 사회적 파급효과는 막대함
- ○ 국가 철도망의 지속적 확대에 따라 안전관리 범위는 점차 넓어지고 있으며, 이에 따라 철도안전 사고 증가 우려
- ○ 국내 철도안전시장은 규모가 크지 않아 민간주도로 기술개발 및 시장창출을 하기에는 역부족이며, 초기 시장진입장벽이 높아 시장의 활성화를 기대하기도 어려워 국가지원 없이는 기술향상을 기대하기 어려움
- ○ 또한, 철도안전은 특성상 철도시스템 전반에 대해 통합적으로 고려해야 효과를 볼 수 있으므로 국가주도의 통합관리체계로 전환하기 위해서는 국고지원 및 기술 · 정책 리드가 반드시 필요
- ○ 철도안전의 경제적 효과는 시차를 두고 발생하며, 현재 시장규모가 미미하여 기업이 장기적 관점에서 투자가 어려움
- ○ 국가주도의 시장창출을 통한 기업의 시장진입 유도가 필요하며, 마중물로써 기술개발을 위한 국고지원 반드시 필요



그림 1-35 국고지원의 타당성

제3절 사업추진 근거

❑ 관련 법

○ 동 사업은 과학기술관련법(「국토교통과학기술 육성법」, 「철도산업발전기본법」 등)외에도 「철도안전법」, 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」 등 연구개발사업의 추진계획에 근거함

○ 「국토교통과학기술 육성법[29]」 제4조(종합계획의 수립·시행), 제8조(연구개발사업의 추진) 및 제9조(융·복합 연구개발의 추진)

〈국토교통과학기술 육성법〉

- 제4조(종합계획의 수립·시행)에 따르면 국토교통과학기술의 효율적·체계적 육성을 위하여 10년 단위의 국토교통과학기술 연구개발 종합계획을 5년마다 수립·시행하고 국토교통과학기술의 융·복합 연구개발 추진 등의 내용을 종합계획에 포함하여야 함
- 제8조(연구개발사업의 추진)에 따르면 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업(이하 "연구개발사업" 이라 한다)을 할 수 있음
- 제9조(융 · 복합 연구개발의 추진)에 따르면 국토교통부장관은 전문분야가 다른 기술과 경영 등을 결합하여 신기술 · 신제품 등을 개발하고 새로운 분야의 사업화 능력을 높이는 국토교통과학기술의 융 · 복합 연구개발을 추진할 수 있음

○ 「철도산업발전기본법[30]」 제11조(철도기술의 진흥 등)

〈철도산업발전기본법〉

- 제11조(철도기술의 진흥 등) 국토교통부장관은 철도기술의 진흥 및 육성을 위하여 철도기술전반에 대한 연구 및 개발에 노력하도록 함

○ 「철도안전법[31]」 제5조(철도안전 종합계획) 및 제68조(철도안전기술의 진흥)

〈철도안전법〉

- 제5조(철도안전 종합계획) 국토교통부장관은 5년마다 철도안전에 관한 종합계획을 수립하고 해당 계획에 철도안전 관련 연구 및 기술개발에 관한 사항을 포함하여야 함
- 제68조(철도안전기술의 진흥) 국토교통부장관은 철도안전에 관한 기술의 진흥을 위하여 연구 · 개발의 촉진 및 그 성과의 보급 등 필요한 시책을 마련하여 추진하여야 함
-「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」 제24조(철도시설의 유지관리 기본계획의 수립 등)
- 제24조(철도시설의 유지관리 기본계획의 수립 등) 국토교통부장관은 철도시설이 안전하게 유지관리될 수 있도록 하기 위하여 철도시설의 유지관리 기본계획을 5년마다 수립·시행하고 철도시설의 유지관리에 필요한 기술의 연구개발에 관한 사항을 포함함

○ 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률[32]」 제24조(철도시설의 유지관리 기본계획의 수립 등)

29) 국토교통과학기술 육성법, 법률 제13680호, 2015
30) 철도산업발전기본법, 법률 제14547호, 2017
31) 철도안전법, 법률 제15683호, 2018
32) 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률, 법률 제15460호, 2018

〈철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률〉

- 제24조(철도시설의 유지관리 기본계획의 수립 등) 국토교통부장관은 철도시설이 안전하게 유지관리될 수 있도록 하기 위하여 철도시설의 유지관리 기본계획을 5년마다 수립·시행하고 철도시설의 유지관리에 필요한 기술의 연구개발에 관한 사항을 포함함

❑ 관련 계획

○ 과학기술분야 국가 계획, 철도안전 관련 종합계획 등에서 동 사업의 추진 근거를 조사하여 제시함

○ 「제4차 과학기술기본계획(2018-2022)[33]」 상의 철도안전 관련 R&D 내용

- 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현을 중점추진과제로 설정하고 생활 속 위협요인, 스마트 재난 안전관리 등 사전예방적, 효과적 대응을 위한 기술개발 계획 추진

〈제4차 과학기술기본계획(2018-2022)〉

○ 전략 : 과학기술로 모두가 행복한 삶 구현
○ 과제 17. 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현
- 생활 속 위협요인에 대한 예방 및 관리 : 사회적 위협에 효과적 대응 위한 기술개발 확대(범죄, 테러, 사이버 보안 등)
- 재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보 : 노후 및 신설 도시 인프라(철도 포함)의 지진 취약성 진단, 내진보강기술 개발 및 예방적 유지관리 시스템 개발 등

○ 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018-2027)[34]」

- (삶의 질 중시) 각종 사회·환경변화에 대응, 다양한 사회문제에 대한 기술적 해법 제시 등 기술의 사회적 역할 증대 필요

- (기술 융복합) 건설·운수·물류 등 전통적 국토교통 산업 분야에도 신기술이 결합되어 고부부가치 산업으로의 도약계기 마련

- (4차 산업혁명 대응) 경제·산업구조가 근본적으로 변화하는 상황에서 미래 시장을 선점하기 위한 각국의 경쟁이 치열하게 전개

- (전략 3) 사람중심의 국토교통기술 개발

  • (예방형 재난대응 시스템) 지진·테러·화재 상시대비를 위해 내진·방호·방폭·내화기술 등을 개발하고 건설현장 안전을 위한 사고예방 대응 기술 개발

  • (철도·항공 이용자 보호 시스템) 공항·역사 보안시스템 등 운영부문과 인프라 급속 개량·교체 장비 등 인프라부문 기술개발로 철도·항공분야 이용자 보호시스템 구현

  • (다양한 사회이슈 해결) 국민의 실생활과 밀접하게 관련 있는 사회이슈 해결 기술 개발로 국토교통 R&D 추진에 대한 시의성과 국민 체감도 향상

○ 「제3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획(2018-2022)[35]」

33) 제4차 과학기술기본계획(2018~2022), 과학기술정보통신부, 2018
34) 제1차 국토교통과학기술연구개발 종합계획(2018~2027), 국토교통부, 2018
35) 제3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획(안), 국가과학기술심의회, 2018

- (미래 · 신종재난 대비 재난안전기술 선진화) 전략으로 '재난안전 위험요소 예측영향평가 기술개발', '빅데이터 기반 재난안전 정보활용 기술개발', '재난안전 융복합 대응 기술개발' 및 '로봇 및 인공지능 기반 재난안전 관리지원기술개발' 과제 추진

- (현장 실용화 중심의 안전생태계 구축) 전략으로 '재난안전 전문인력 양성 교육훈련 기술개발', '재난안전산업 실용화지원 기술개발' 및 '현장중심 협력형 기술개발' 과제 추진

○ 「문재인정부 국정운영 5개년 계획[36]」

- (국민안전과 생명을 지키는 안심사회) 전략으로 '안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축', '통합적 재난관리체계 구축 및 현장 즉시대응 역량 강화' 등 과제추진

- (SOC 안전 강화) '17년 노후 철도차량 · 시설 개선을 위한 중장기 개량 계획 수립, 성능기반의 철도시설 관리체계 마련 및 노후도로 개선

- (교통안전) 범정부 교통안전 추진체계 구축, 보행자 우선 및 교통약자 보호, 취약계층 배려 중심의 교통정책 추진

  • 국토교통부는 「스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획」을 수립하였고 철도보안과 관련하여 4차 산업혁명 기술을 활용한 스마트 보안관리체계 구축을 추진

○ 「제3차 철도안전종합계획(2016-2020)[37]」

- (시설과 차량의 생애주기 관리방식 도입 · 확대) 생애주기를 고려한 선제적 예방적 안전관리, 운행 전반의 안전확보를 위한 기반조성 등 정책 방향으로 설정하여 제도적 개선, 기술개발 등을 추진

- (철도 종사자 역량 강화) 전략으로 '철도운행선로 작업 안전강화', '인적과실 예방 및 교육여건 개선' 및 '철도안전 전문인력 양성 및 자격제도 확대' 등 과제 추진

- (철도시설물 안전관리 강화) 전략으로 '철도 사고예방을 위한 노후시설 개량', '철도시설물 생애주기별 안전관리 강화', '안전하고 투명한 유지보수 체계 구축', '시설 유지보수 효율화 등 추진' 및 '휴먼에러 예방을 위한 안전설비 확대설치' 등 과제 추진

- (철도차량 관리의 혁신) 전략으로 '철도차량 이력관리제 도입', '철도차량 정비제도 선진화' 및 '노후 철도차량의 관리 강화' 등 과제 추진

- (사고 대응을 위한 운행안전 개선) 전략으로 '철도차량내 사고대응설비 설치 확대', '국가안전 컨트롤타워로서의 관제확립', '철도차량 안전설비 표지 표준화' 및 '철도 화물안전운송 방안 마련' 등 과제 추진

- (철도안전기술 개발) 전략으로 '철도안전기술 개발 및 국가 R&D 확대' 등 과제 추진

36) 문재인정부 국정운영 5개년 계획, 국정자문위회원회, 2017
37) 제3차 철도안전 종합계획(안)(2016~2020), 국토교통부, 2016

제 2 장 대내·외 환경분석

제1절 정책적 환경분석

1. 국내 정책

1.1 국내 철도안전관리 관련 법

❑ 철도 안전과 직접적으로 연관되는 법령은 「철도안전법」이며 그 외 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」에서 철도의 안전과 관련된 건설, 운영관리 등에 대한 근거 마련

○ 「철도안전법」은 철도차량·철도시설의 안전기준 마련, 철도종사자의 체계적인 육성 등을 통한 철도에서 발생가능한 위험 방지, 사고 발생시 신속 대응 등 철도의 안전관리체계를 구축하고자 2004년 제정

○ 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」은 고속철도건설촉진법과 공공철도건설촉진법을 통합·정비하고 고속철도와 일반철도의 건설사업의 효율적 추진기반을 조성하기 위해 2004년 「철도건설법」이 제정되고 이후 유지관리 강화로 2018년 개정

- 현재 국토교통부의 안전관리(안전 및 유지관리)에 대한 역할 변화로 철도시설의 유지관리에 대한 중요성 강조됨에 따라 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」으로 개정 및 2019년 3월 14일 시행

- 이전 「철도건설법」에는 완공된 철도시설의 유지관리에 관한 사항을 규정하지 않고 있으며, 철도운영기관별로 독자적인 규정을 운영하여 관리하고 있음

- 그로 인해 우리나라는 철도교량, 터널, 신호, 전기설비와 같은 철도시설의 노후화가 심각한 상황이며, 만약 철도시설이 손상되거나 붕괴될 경우 국민 생명과 안전에 큰 피해로 이어질 수 있기에 체계적인 철도시설 유지관리를 할 필요성이 제기

- 이에 기존 「철도건설법」을 「철도의 건설 및 시설 유지관리에 관한 법률」로 바꾸고, 철도시설의 체계적 유지관리, 상호운영성 확보, 철도역 관리 강화, 생애주기 관리 등 철도시설 안전에 필요한 사항을 규정하여 공중의 안전과 국민의 복리증진에 기여하고자 개정됨[38)]

1.1.1 철도안전법[39)]

❑ 동 법을 통해 고속철도, 일반철도, 도시철도의 철도안전은 철도안전관리체계를 기반으로 분야별(종사자, 시설, 차량 등) 안전관리, 정보기반의 종합관리 연계 등 국토교통부의 관리 강화

○ (목적) 철도안전을 확보하기 위하여 필요한 사항을 규정하고 철도안전 관리체계를 확립함으로써 공공복리의 증진에 이바지함

38) 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률 개정이유(법제처)
39) 법률 제16395호, 2019. 4. 23., 일부개정

○ (적용범위) 고속철도 및 일반철도, 도시철도의 안전

- 도시철도의 안전은 도시철도법 제4조에 따라 철도안전법에 따름

○ (철도안전관련 주요 내용) 철도안전과 관련하여 철도운영자 등의 자발적 안전관리가 추가된 방향으로 제도가 확대되고 있으며, 각 분야별(종사자, 시설, 차량 등) 안전관리, 정보기반 시스템 등에 대한 국토교통부의 관리 강화 추진

- (철도안전종합계획) 국토교통부는 철도안전종합계획 수립 시 철도안전에 관한 시설의 확충, 개량 및 점검 등에 관한 사항, 철도차량의 정비 및 점검 등에 관한 사항, 관련 연구 및 기술개발 등에 대한 내용을 포함함

- (안전관리체계) 철도운영자 등은 인력, 시설, 차량, 장비, 운영절차, 교육훈련 및 비상대응계획 등 철도 및 철도시설의 안전관리에 관한 유기적 체계를 갖추어 국토교통부 승인을 받고 국토교통부는 안전관리체계가 안전관리기준에 적합여부 검사후 승인, 이에 대한 기술기준 고시

- (안전관리 수준평가) 국토교통부는 철도운영자 등의 자발적인 안전관리를 통한 철도안전 수준의 향상을 위하여 안전관리 수준에 대한 평가를 실시할 수 있는 제도가 2018년 도입

- (철도종사자 안전관리) 철도차량 운전, 관제, 차량정비기술자 등은 국토교통부가 인정하는 자격인증을 받아야 하며, 국토교통부에서 실시하는 교육훈련, 실무실습 등을 수행하여야 하며, 철도종사자에 대한 안전교육은 철도운영자가 정기적으로 실시해야함

- (철도시설 안전관리) 철도시설의 기술기준에 맞게 설치, 점검보수 등 유지관리 해야하며, 신설, 기존노선 개량 운영시 종합시험운행을 해야함

- (철도차량 안전관리) 철도차량 기술기준에 적합한지 철도차량 형식 승인, 완성검사를 받아야 하며, 철도용품 또한 품질관리체계에 따른 승인을 받도록 되어있으며, 운행 중(사후)에도 지속적인 조사를 통해 관리함

  ※ 2019년부터 철도차량의 이력관리, 철도차량정비, 정밀안전진단 등에 대해 강화된 제도가 시행

- (철도차량 운행안전 및 철도보호) 위해물품의 휴대금지, 위험물운송, 여객의 안전/보안 등에 대한 제도 시행

- (철도사고조사/처리) 철도운영자 등은 철도사고 등을 보고하도록 되어있음

- (철도안전기술의 진흥) 국토교통부는 철도안전에 관한 기술 진흥을 위하여 연구·개발 촉진 및 그 성과의 보급에 필요한 시책을 마련·추진

- (철도안전 정보 종합관리) 국토교통부는 철도안전에 관한 정보를 종합관리하고 철도관계기관등에 정보를 제공

❑ 2005년 철도안전법 제정 이후, 철도안전을 강화하기 위하여 지속적인 개정을 추진

○ 2003년 대구지하철 화재 참사를 기반으로 2005년 철도안전법이 제정됨에 따라 이후 대상범위 확대 등을 통한 규제 강화를 추진

○ 2014년 사전적 상시적 관리체제 도입을 위해 안전관리체계 제도를 신설하고 운영자 및 시설관리자는 안전관리체계를 마련하고 국토교통부는 관리감독하도록 강화

○ 2018년 12월 운영자 및 시설관리자의 자발적 안전관리 유도를 위하여 안전관리 수준평가 도입, 차량 이력관리 의무화 등 제도적으로 강화하고 이에 따른 관리감독을 수행 역할이 국토교통부에 요구

표 2-1 철도안전법 주요 제·개정 이력

법령 시행 일자	주요 변화	주요 내용
시행 2005. 1. 1.	■ 법 신설	○ 철도안전종합계획, 시행계획 수립·시행 ○ 철도운영자 및 철도시설관리자는 자체 안전관리규정 제정 및 비상대응계획* 수립·시행 * 비상대응계획은 철도에서 화재·폭발·열차탈선 등 비상사태에 대비한 계획임 ○ 철도차량운전면허 요건 도입 ○ 철도시설 및 철도차량 안전기준 도입 ○ 철도용품의 품질인증제도 도입 ○ 철도차량의 성능시험 및 제작검사 시행 ○ 열차 내 유해물질 휴대금지
시행 2012. 12. 2	■ 대상범위 확대 ■ 규제 강화	○ 전용철도 운영자도 자체 안전관리규정 제정 및 비상대응계획 수립·시행 ○ 열차 내 금지행위, 철도 보호 및 질서유지를 위한 금지행위 등을 추가 ○ 철도시설·차량의 안전 및 범죄·테러예방을 위한 보안검색 등 가능 ○ 안전전문기관 지정(철도안전 전문인력 양성 및 자격관리 기능)
시행 2014. 3. 19	■ 사후적 · 제한적 관리체제 → 사전적 · 상시적 관리체제로 전면 개편 ■ 시장경쟁 대응을 위한 제도 도입	○ 철도운영자 등에 대한 안전관리체계의 승인제도 신설 - 철도운영자 및 철도시설관리자는 종합적·유기적 안전관리체계를 마련, 이후 국토교통부의 승인 - 국토교통부는 안전관리체계의 지속적 유지에 대한 검사, 감독 ○ 철도차량 및 철도용품에 대한 형식승인제도 도입 ○ 철도차량 및 철도용품의 제작자승인제도 도입
시행 2017. 1. 20	■ 사고 등 발생 정보 확보 위한 장치 설치 도입	○ 철도차량 운전실에 범죄 예방 및 교통사고 상황 파악을 위한 영상기록장치를 장착하도록 의무화
시행 2017. 7. 25	■ 철도관제에 대한 제도 정비	○ 철도교통관제사 자격인증을 위한 관제자격증명시험 등 자격취득 절차 신설
시행 2018. 1. 18	■ 대상범위 확대	○ 노면열차 도입 확대에 따른 법 적용범위 확대
시행 2018. 10. 25	■ 철도차량 개조 시 안전기준 확인 ■ 안전교육 의무화	○ 철도차량을 개조하는 경우 안전기준 적합 여부 등에 대한 국토교통부의 승인 ○ 철도운영자등의 철도종사자에 대한 안전교육 실시 의무

법령 시행 일자	주요 변화	주요 내용
시행 2018. 12. 13	■ 자발적 안전강화 유도 ■ 철도차량 정비의 품질 제고 등	○ 철도안전투자의 공시 및 안전관리 수준평가를 도입 ○ 철도차량 정비조직에 관한 인증제와 정비인력에 대한 자격제를 도입 ○ 철도운영자가 보유한 차량에 대해 제작, 정비, 운용, 폐차 등 이력관리를 의무화 ○ 노후된 철도차량은 전문기관의 정밀안전진단을 통해 계속 사용여부를 검증 ○ 철도보안 · 치안업무의 체계적인 수행을 위하여 철도보안정보체계 구축 · 운영

자료: 법제처, 철도안전법 제·개정 이유

1.1.2 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률[40)]

❑ 최근 철도시설의 노후화 등 요인에 의해 안전 확보를 포함한 유지관리 중요성이 강조되어 현행 「철도건설법」에서 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」로 개정 (2018.3.13.일부개정 및 2019.3.14. 시행)

○ 현행 「철도건설법」에는 완공된 철도시설의 유지관리에 관한 사항을 규정하지 않고 있으며 철도운영기관별 독자적인 규정을 운영하여 관리함

○ 이에 따라 철도시설의 노후화에 대한 시기적절한 대응이 부족하여 노후화가 점차 심각해지고 있는 상황으로 판단

○ 철도시설의 체계적 유지관리, 상호운영성 확보, 철도역 관리 강화, 생애주기 관리 등 철도시설 안전에 필요한 사항을 신설

❑ 동 법에 따라 철도시설을 생애주기 관리(설치, 점검, 유지보수, 개량)로 강화하고 체계적 이력정보 관리체계를 구축·운영하여 철도시설의 안전 확보를 위한 유지관리 추진

○ (목적) 철도망의 신속한 확충과 철도시설의 체계적인 관리를 위하여 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 사항을 규정함으로써 공중의 안전을 확보하고 국민의 복리증진에 기여함

○ (적용범위) 철도(전용철도 제외)의 건설과 철도시설의 유지관리

※ 전용철도란 다른 사람의 수요에 따른 영업을 목적으로 하지 아니하고 자신의 수요에 따라 특수 목적을 수행하기 위하여 설치하거나 운영하는 철도를 말함

○ (철도안전관련 주요 내용) 철도시설의 생애주기관리를 위해 정기점검 등 실시, 기술기준 적용 및 호환성·안전성 확보를 위한 유지관리/개량 추진 및 체계적 이력정보관리가 시행

- (철도시설의 기술기준) 철도시설관리자는 기술기준에 맞게 철도시설을 유지관리하여야하며 철도개량시 철도시설의 호환성과 안전성을 확보하여야함

40) 법률 제15460호, 2018.3.13., 일부개정, 2019.3.14., 시행, 舊 철도건설법

- (철도시설 유지관리기본계획 수립 등) 국토교통부는 기본계획 수립·시행 시 유지관리에 관한 목표, 추진방향, 목표달성에 필요한 보수·보강, 점검 및 성능평가, 정보관리체계 구축·운영, 필요 기술 연구·개발 등에 대한 내용을 포함해야함

- (철도시설의 생애주기관리) 철도시설관리자는 소관 철도시설의 설치, 점검, 유지보수, 개량 등을 한 때에 철도시설의 생애주기관리를 위해 철도시설 이력정보를 철도시설정보관리체계에 등록, 보존 및 분석, 활용함

- (철도시설정보관리체계 구축·운영) 철도시설관리자는 철도시설의 설치, 점검, 유지보수, 개량 등 전 생애주기에 걸친 이력정보* 관리를 위해 철도시설정보관리체계 구축·운영 및 제출하며, 국토교통부는 매년 제출된 정보를 체계적으로 보존·관리해야함

  * 시행계획, 이력정보, 정기점검 결과, 긴급점검 결과, 정밀진단 결과, 사용제한·사용금지, 보수·보강 등 안전조치 내용, 성능평가 결과

- (정기점검) 철도시설관리자는 안전과 성능 유지를 위해 국토교통부가 고시한 정기점검에 관한 지침에 따라 철도시설관리자는 기준을 마련하고 해당 기준에 따라 정기점검을 실시

- (긴급점검) 철도시설관리자는 철도시설의 붕괴·전도 등 재난이 발생할 우려가 있다고 판단하는 경우 긴급점검에 관한 기준에 따라 긴급점검을 실시

- (정밀진단) 철도시설관리자는 설치 후 10년 이상 경과된 소관 철도시설에 대하여 정기적으로 정밀진단을 실시

- (안전조치) 철도시설관리자는 정기점검, 긴급점검, 정밀진단 등을 통하여 결함 등 공중의 안전한 이용에 미치는 영향이 중대한 결함이 발견되는 경우에는 철도시설의 사용제한·사용금지 등의 안전조치 및 위험표지 설치, 보수·보강함

- (성능평가) 철도시설관리자는 철도시설의 성능을 유지하기 위하여 성능평가 지침에 따라 소관 철도시설에 대한 성능평가를 시설별로 지정 기간마다 실시

- (철도역사의 안전 및 이용편의 수준평가) 국토교통부는 철도역사 이용자의 안전을 확보하고 이용편의 수준을 향상시키기 위하여 5년마다 철도역사의 안전 및 이용편의 수준을 평가함

- (보수·보강·교체 등 조치) 철도시설관리자는 소관 철도시설의 안전과 성능을 유지하기 위하여 시행계획에 따른 보수·보강·교체 등 필요한 조치를 해야함

1.1.3 소결

❑ 각 법령의 주요 내용을 검토 결과, 철도안전관리는 철도안전관리체계를 기반으로 종사자, 철도차량, 철도시설 등에 따른 안전관리가 요구

○ 철도안전법에 따라 철도운영자 및 철도시설관리자는 사전적, 상시적 안전관리체제를 수행하여야 하고, 최근 자발적 안전관리를 하도록 하며, 이에 대한 관리, 감독으로 국토교통부의 역할이 중요

- ㅇ 철도안전관리체계를 기반으로 종사자, 철도차량, 철도시설에 대한 안전관리를 하도록 제도화되어있으며, 노후 차량에 대한 적극적 안전관리 대응 문제를 위한 이력관리 제도 도입 등 현안 문제 해결을 위해 노력
- ㅇ 기존 신설 철도시설에 대해 제도화된 법 개정을 통해 구축된 시설 유지관리, 특히 구축된 후 내구연한이 도래한 노후 시설에 대한 법제도 강화 추세

❑ 특히, 철도안전을 위한 정보 종합관리 뿐만 아니라 철도차량 및 철도시설의 생애주기 관리를 위한 이력정보 기반 관리 제도 도입 추진

- 철도운영자 및 시설관리자는 철도안전정보 뿐만 아니라 철도차량, 철도시설의 이력관리 정보 구축・운영 및 제출이 요구
- 국토교통부는 이에 대한 종합관리를 하도록 제도 상 역할이 부여

1.2 국내 철도안전관리 관련 계획

❑ 국내 국가 상위 계획 및 기본계획 분석은 정책적 타당성 분석 항목 중 상위계획과의 부합성에 대해 해당하는 내용으로 동 사업 추진 방향이 정책에 담겨있는지를 제시하는 부분임

- ㅇ KISTEP 예타지침(2018)에 따르면, 상위계획과의 부합성은 국가정책을 구체적으로 실현하기 위해 계획된 해당 사업이 정책적 일관성을 가지고 추진될 것인지를 평가하기 위한 항목이므로 국가계획의 내용과 조사 대상사업의 목적 및 목표를 비교분석하여 평가함
- ㅇ 또한, 공공투자(R&D)에 대한 사전분석을 위하여 다양한 부처 및 기관의 임무영역에 대한 파악이 필요하며, 이는 주요 국가계획에 대한 검토를 통해 가능
- ㅇ 이에 따라, 과학기술분야의 국가계획 기반으로 예비타당성조사에서 평가를 하므로, 동 사업 정책 분석 또한 과학기술분야의 국가계획을 중심으로 하되, 필요시 동 사업 분야가 포함되는 국가계획(정책)을 제시함

❑ KISTEP 예타지침(2018)에 명시된 보고서[41]에 따라 과학기술분야 4개 국가계획 및 그외 국가계획 4개에 대해 추가 분석함

41) KISTEP, 2016년 과학기술분야 중장기계획 조사·분석 및 심층분석 연구

표 2-2 국가 상위 계획 및 기본계획 분석 대상 목록

구분 (위상계획유형)	분야	중장기계획 명	소관부처
총괄	과학기술분야	제4차 과학기술기본계획(2018-2022)	과기부 과학기술기본법 제7조
종합	과학기술분야	제1차 국토교통과학기술 연구개발종합계획(2018~2027) * 건설교통 R&D 중장기 계획, 국토교통 R&D 중장기 전략, 국가교통기술개발계획 폐지	국토교통부 국토교통과학기술 육성법
종합	과학기술분야	제3차 재난 및 안전관리 기술개발종합계획(2018-2022)	행정안전부 재난 및 안전관리 기본법 제71조
-	-	문재인정부 국정운영 5개년 계획	-
종합	-	제8차 국가교통안전기본계획 (2017-2021)	교통안전법 제15조
종합	-	제3차 철도안전종합계획 (2016~2020)	철도안전법 제5조 및 제6조
		철도안전 혁신대책 (2015.08.12.)	국토교통부
		철도안전 강화대책 (2018.12.27.)	국토교통부
		국토교통 4차 산업혁명 대응 전략(2017.04.21)	국토교통부

1.2.1 제4차 과학기술기본계획 (2018-2022)

❑ (개요) 과학기술기본법 제7조(과학기술기본계획)에 따라 과학기술발전에 관한 '중·장기 정책목표와 방향' 설정·공표하였고, 중·장기 정책목표와 방향에 따른 '과학기술기본계획'을 수립

○ 2040년까지의 장기비전을 실현하기 위한 우리의 준비정도를 분석하여 향후 5년간 추진해야 할 전략과 구체적인 추진과제를 도출

○ 비전은 '과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여'로 설정하여 온난화, 환경오염 심화, 고령화 등 인류사회 문제해결에 기여

- 4대 전략은 미래도전을 위한 과학기술역량 확충, 혁신이 활발히 일어나는 과학기술 생태계 조성, 과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출, 과학기술로 모두가 행복한 삶 구현으로 설정

❑ 4대 전략 중 안전과 관련 '과학기술로 모두가 행복한 삶 구현'을 위한 중점추진과제에서 안전, 철도 등과 관련하여 스마트 재난안전관리 시스템 확보, 생활안전 정보 공유, 재난안전사고 예측 및 대응지원체계 등의 기술개발이 추진 계획

○ 중점추진과제인 '안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현'을 위해 국민 맞춤형 재난·안전 교육 및 생활 체감 서비스 확대, 재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보 추진

○ 국민 맞춤형 재난·안전 교육 및 생활 체감 서비스 확대를 위해 생애주기별 안전역량 강화를 위한 분야별 안전문화체험 콘텐츠 개발, 생활안전 체감 서비스 제공*을 위한 생활안전 정보를

공유 · 연계할 수 있는 IoT 기반의 지능형 플랫폼 개발

* 안전취약 지역, 보행환경, 교통사고 등 국민 참여형 생활안전 서비스 개발

○ 재난현장 지원 · 대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보를 위해 빅데이터, 인공지능형 로봇 · 드론 등을 활용한 재난안전사고 예측 및 대응지원체계를 마련

- 기상, 지변 등으로 인한 자연재해 예측 및 조기경보 시스템 구축과 복합재난 예측 및 신속 대응기술 개발

- 노후 및 신설 도시 인프라의 예방적 유지관리 시스템 개발

※ 도로, 철도, 교량, 하천시설물, 지하시설물, 항만, 공항 등

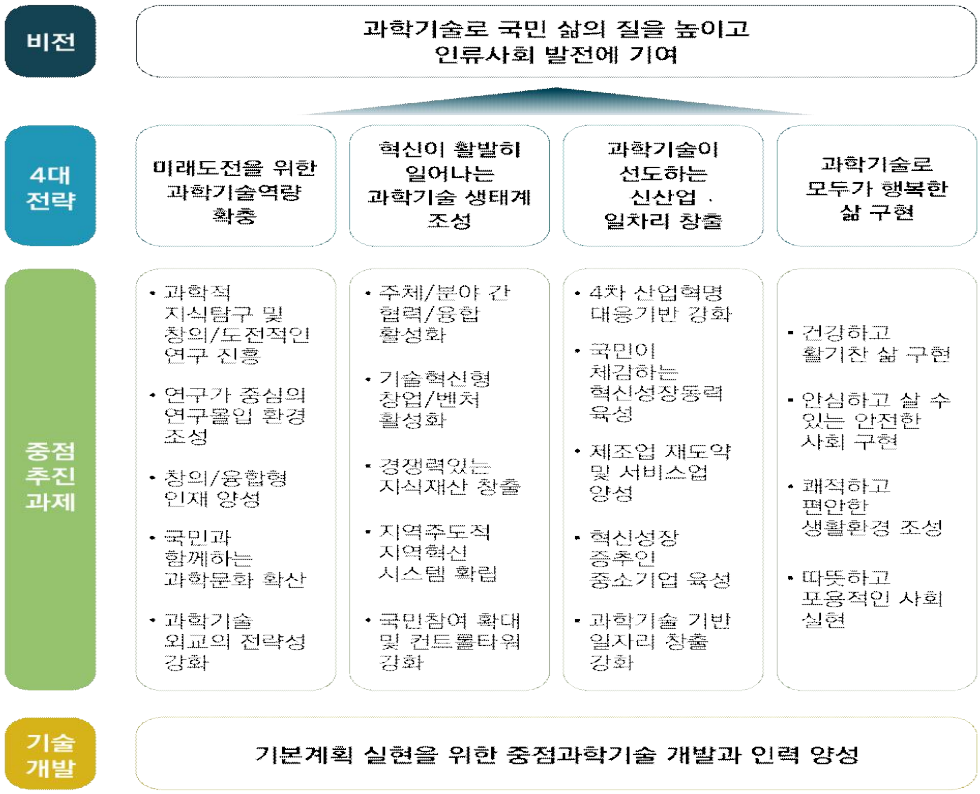


그림 2-1 제4차 과학기술기본계획 비전 및 중점 추진과제

❑ 또한, 120대 중점과학기술과 관련하여 (유형2) 실용화기술을 개발하여 시장에 공급하는 기술공급자 역할 수행하는 기술로 빅데이터 기반 국가 인프라 예방적 유지관리 기술이 선정

○ 시장과 민간역량을 고려한 정부 역할 정립을 4개 유형*으로 제시하고 이 중 (유형2)는 산업화 속도가 빠르지만 민간의 기술경쟁력이 낮아 공공연구기관 등을 통해 시장 진입에 필요한 실용화 기술 개발 • 공급 및 기업지원을 위한 공공연구기관과 민간의 인력교류 확대를 역할로 정립

* (유형1) 민간주도 기술개발, 정부는 조력자로 협력, (유형2) 기술을 시장에 공급하는 기술공급자 역할 수행
(유형3) 장기적 관점에서 시장조성 및 생태계 구축, (유형4) 정부가 주도적으로 기술개발자 역할 수행

○ 철도안전관리와 관련하여 빅데이터기반 국가 인프라 예방적 유지관리 기술이 직접적 연계 가능

1.2.2 제1차 국토교통과학기술 연구개발종합계획 (2018-2027)

❑ (개요) 「국토교통과학기술 육성법」제정(2015.12.29)에 따라 '국가교통기술개발계획' 등 기존 계획*을 통합한 국토교통 R&D 법정 종합계획 수립

* 건설교통 R&D 중장기 계획, 국토교통 R&D 중장기 전략, 국가교통기술개발계획 통합·폐지

○ 국토교통 과학기술에 관한 장기적·종합적 정책방향을 설정하고 중장기 투자전략을 정하는 최상위 법정 종합계획임

○ 비전은 '혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통'이며, 4대 전략 및 실천과제를 제시

- 4대 전략 중 안전과 관련된 것은 '사람 중심의 국토교통 기술개발'이며, 재난·재해 사전예방 및 신속대응을 통해 국민의 생명과 재산이 보호되는 "안전한 생활환경"과 "안전한 교통환경"을 전략목표로 설정

- 안전한 교통환경을 위해 보안체계, 인프라 개량을 통한 "철도·항공 이용자 보호시스템"과 교통사고 최소화를 위한 "도로교통 이용자 보호시스템" 개발



그림 2-2 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 비전 및 목표

❑ 동 계획에서는 철도·항공 이용자 보호시스템은 공항·역사 보안시스템 등 운영부문과 인프라 급속 개량·교체 장비 등 인프라부문 기술개발로 철도·항공분야 이용자 보호시스템 구현 제시

○ 운영 부문에서는 지능형 CCTV 도입 등으로 공간정보, AI 기술 등을 활용한 보안기술 개발로

공항·역사 이용객 편의 확보 및 범죄 예방을 위한 기술개발

○ 인프라 부문에서는 노후화된 철도 및 도로 인프라에 대한 급속 개량·교체 기술 개발 등으로 안전성능을 제고하고 중단없는 교통서비스 제공

- 모듈러 방식 철도 인프라 교체, 급속 경화궤도 기술 개발 등으로 열차운행 중단없는 인프라 개량·교체를 실현하고 북한 내 철도 인프라 노후화 개량 등을 대비

1.2.3 제3차 재난 및 안전관리 기술개발종합계획 (2018-2022)

❑ (개요) 「재난 및 안전관리 기본법」제71조의2에 따라 재난 및 안전관리 과학기술을 활용한 국민안전 확보를 위하여 향후 5년간('18~'22) 비전, 목표 및 추진전략 등을 반영한 「제3차 재난 및 안전관리기술개발 종합계획」을 수립·추진

○ 재난발생 현황, 국내외 기술동향, 과거 종합계획 성과 및 한계, 재난안전 주요정책 동향 등 환경분석을 통해 수립방향 설정

- 「재난 및 안전관리기술」의 개념 : 「재난 및 안전관리기본법」제3조(정의)에서 명시된 자연재난, 사회재난과 함께 재난 및 안전관리를 위한 모든 활동을 의미

○ 재난안전 R&D 환경 분석을 통한 패러다임 전환

- 국민 안전확보를 위한 체감형 서비스 기술 개발

※ 취약계층 등 국민의 기본적인 안전권을 확보하기 위한 기술, 재난의 피해로부터 국민의 고통을 덜어주기 위한 서비스 제공 등

- 미래 신종재난에 대비한 융·복합 기술 개발

※ 선제적 재난예방을 위한 스마트 재난관리 시스템 개발, 극한 재난발생시 현장의 위험을 대신하기 위한 로봇 등 무인기술 개발

- 고부가 가치 재난안전 안전산업 육성 및 지원 확대

※ 취약한 재난안전 산업을 육성하기 위한 최소한의 정부지원 확대, 재난안전산업 기술경쟁력 강화를 위한 실용화 지원 정책 마련

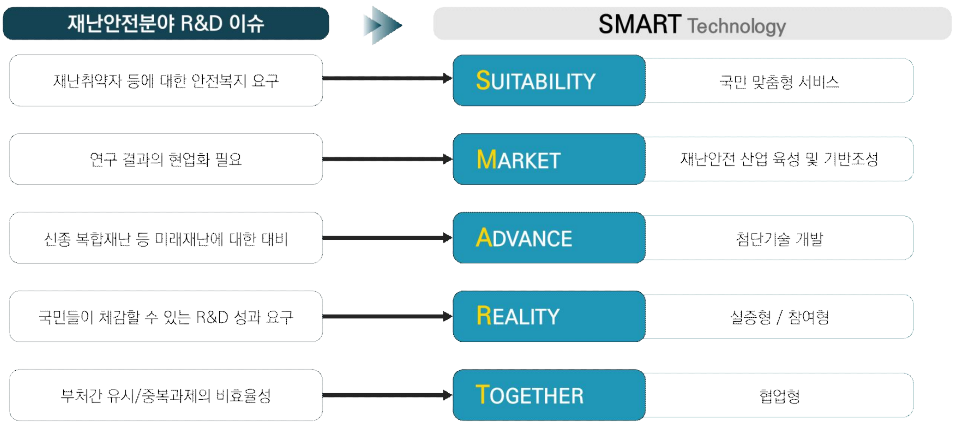


그림 2-3 재난안전 R&D 환경 분석을 통한 패러다임 전환

❑ 추진전략 2 미래·신종재난 대비 재난안전기술 선진화에서 추진과제 5번을 통해 빅데이터 기반 재난안전 정보활용 기술개발을 추진 계획하고 있으며, 이 중 국토교통부는 실시간 철도안전 통합감시제어시스템 개발을 추진

○ 빅데이터 등의 정보를 활용한 재난 모니터링 강화와 재난안전 정보 조기 감시 및 예·경보 기술 개발을 방향으로 철도분야에 대해 분산된 철도 안전정보를 통합관리 · 분석, 사고예방을 위한 안전관제시스템을 개발하고자 함

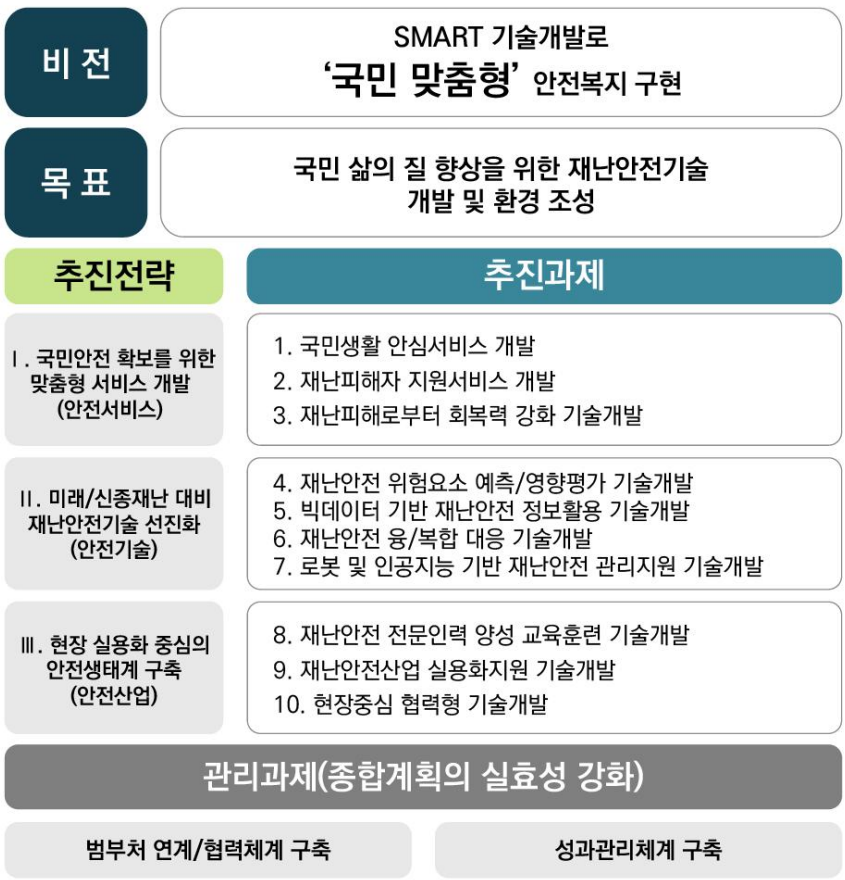


그림 2-4 제3차 재난 및 안전관리 기술개발종합계획(2018-2022) 비전 및 목표

1.2.4 문재인정부 국정운영 5개년 계획

❑ 문재인정부 국정운영 5개년 계획에 따라 국토교통부는 「스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획」을 수립하였고 철도보안과 관련하여 4차 산업혁명 기술을 활용한 스마트 보안관리체계 구축을 추진하고 있음

○ 국정운영 5개년 계획은 문재인정부가 나아갈 방향을 보여주는 설계도이자 향후 정책집행의 로드맵 역할을 할 국정운영의 최상위 계획임

- '국민이 주인인 정부','더불어 잘사는 경제', '내 삶을 책임지는 국가', '고르게 발전하는 지역', '평화와 번영의 한반도'의 5대 국정목표를 바탕으로 이를 실현하기 위한 20대 국정전략, 100대 국정과제 및 487개 실천과제로 구성됨

- 부문별 정책들이 국가목표와 국정목표에 따라 일관되고 합리적·효율적·통합적으로 수행되고 있는지를 평가하는 기준

- '과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명'전략 중 '소프트웨어 강국, ICT 르네상스로 4차 산업혁명 선도 기반 구축'과제에서는 4차 산업혁명의 인프라 구축, 규제 개선, 핵심 기술력 확보, 소프트웨어 기업 육성·양성 및 ICT 역기능에 선제적으로 대응하는 것을 목표로 함

- 특히 ICT 역기능에 선제적으로 대응하기 위해 AI 기반 사어버 보안 위협 대응체계를 구축함

○ '국민안전과 생명을 지키는 안심사회' 전략 중 '안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체계 구축'과제에서는 교통사고, 승강기 사고, 지진, 화재 등 **각종 재난과 안전사고로부터 국민생명 보호 강화를 추진**함

- 교통안전분야에서는 범정부 교통안전 추진체계 구축, 보행자 우선 및 교통약자 보호, 취약계층 배려 중심의 교통정책을 추진함

- 특히, ´17년에 **스마트 철도안전 기본계획 수립,** ´22년까지 항공안전 빅데이터 플랫폼 구축 등 **철도**와 항공의 **안전을 강화**함

1.2.5 제8차 국가교통안전기본계획 (2017-2021)

❑ 교통안전법 제15조 규정에 따라 국가 교통안전을 체계적으로 관리하기 위해 교통안전에 관한 중장기 종합계획(5년 단위)을 수립하여 시행

○ 정부는 '83년 이후 7차례의 교통안전기본계획을 수립하여 교통안전 개선을 위한 지속적인 노력을 수행하였고, 그간 도로교통사고 사망자수의 지속적 감소와 철도 · 항공 · 해양부문의 교통안전 수준을 선진국 수준으로 향상하는 성과를 창출

○ 그러나 여전히 철도 · 항공 · 해양부문의 인적오류 등 사고취약부문에 대한 대책 강화 필요하며, 국제적 교통안전정책 패러다임인 **인간중심의 교통안전관리 및 교통안전책임의식 형성 등에 초점을 맞춘 안전정책 추진 필요**

❑ 통합비전으로 도로, 철도, 항공, 해양부문을 포함하는 국가교통안전기본계획의 비전은 "국민이 신뢰하는 선진 교통안전 구현"으로 설정

○ 교통안전에 대한 책임은 교통수단 이용자에 국한된 것이 아니라 이용자, 관리자(종사자), 운영자, 제도 등을 포함한 시스템 차원에서 체계적인 관리가 필요

○ 비전 달성을 위한 통합목표는 교통수단 이용시 발생하는 사망자에 대한 관리를 목적으로 “교통사고 사망자수”로 설정

※ 2015년 기준 4,741명의 교통사고 사망자를 2021년까지 2,796명 수준으로 약 41% 감소

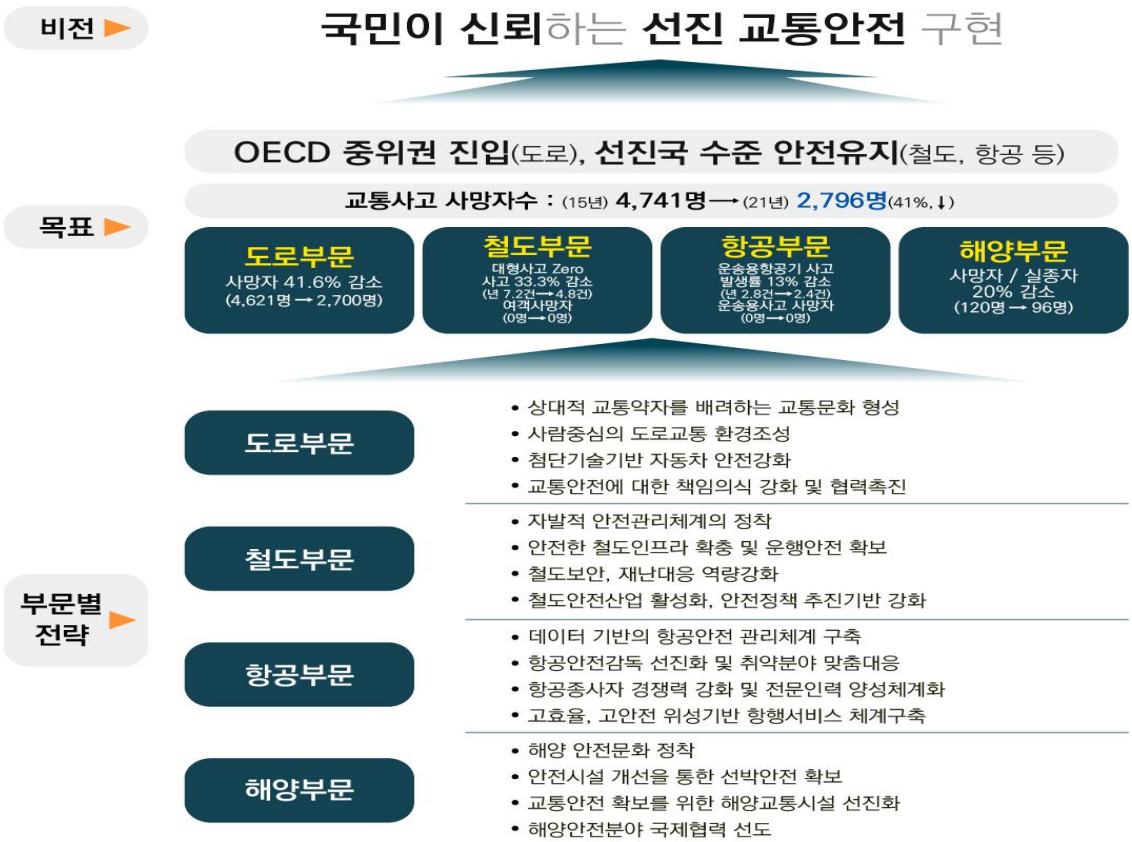


그림 2-5 제8차 교통안전기본계획 통합비전 및 정책방향

❑ 철도부문은 자발적 안전관리체계 정착 등을 통한 대형교통사고 발생 제로화, 철도사고 감소를 목표로 정책 방향을 설정

○ (목표) 국민신뢰 강화를 위해 철도안전 체질개선으로 대형교통사고 발생 제로화 및 철도사고를 33%이상 감소 목표 설정

○ (정책방향) 자발적 안전관리체계를 정착시키고 지속적인 인프라 확충하는 방향으로 총 6개 정책방향 설정

- 6개(안전관리체계, 철도인프라, 운행안전, 보안 및 재난대응, 철도안전산업, 정책추진기반)로 구분하여 총 30개 추진대책 구성

○ 부분별 정책 추진방향

- (안전관리체계) 운영자의 자발적 안전관리 등 안전시스템 작동 강화

- (인프라확충) 철도시설 및 차량의 생애주기 관리방식 도입 · 확대
- (운행안전) 생활안전사고 저감 등 환경변화에 선제적 대응
- (보안 및 재난대응) 보안 및 테러 등 새로운 안전위험 요소에 대한 관리 강화
- (철도안전산업) 안전투자 공시제 등을 통해 계획과 재원의 연계 강화
- (정책추진기반) 연차별 시행계획 평가 등 계획이행의 선순환 구조 확립



그림 2-6 제8차 교통안전기본계획 철도부문 비전 및 정책 추진방향

1.2.6 제3차 철도안전종합계획 (2016-2020)

❑ 국토교통부는 철도안전혁신대책으로 철도안전종합계획을 수립

○ 철도안전법 제5조 및 제6조에 근거하여 국토교통부장관은 5년마다 수립하는 법정계획

○ 철도안전정책 방향을 제시하는 국가종합계획으로 철도안전정책의 수립과 추진에 대한 기본방향 설정, 광역 · 기초단체, 철도운영사의 시행에 대한 가이드라인 제시

- 「국가안전관리기본계획」(재난 및 안전관리기본법 제22조)의 대형철도사고(탈선, 충돌, 화재, 테러 등), 자연재난 대응 등과 연계
- 「국가교통안전기본계획」(교통안전법 제15조)의 철도이용객(여객) 안전 중심, 탑승중 여객 사망자 목표와 연계
- 「철도산업발전기본계획」(철도산업발전기본법 제5조)의 시설유지보수, 인력양성 및 기술개발 등

과 연계

❑ 철도안전종합계획은 대형참사 예방 목표(제1차)부터 시작하여 철도사고 사망자수 감소 목표(제2차)를 거쳐 세계 일류 철도 안전국에 도달하기 위한 목표(제3차)를 지속적으로 추진

※ 제1차 계획기간('06 -'10) : 대형참사 예방 (열차사고 감소), 철도 사고율 감소

※ 제2차 계획기간('11 -'15) : 철도사고 사망자 수 감소, 선진국 수준의 안전성 달성

※ 제3차 계획기간('16 -'20) : 세계 일류 철도 안전국, 이용객에 대한 높은 안전성 제공



그림 2-7 철도안전종합계획 중점추진내용

* 출처 : 2016 철도안전백서

❑ 국토교통부는 철도 안전목표 달성에 핵심적인 부분을 안전수준의 정량화를 통한 사고로 이르는 사슬(chain)의 체계적 관리와 자발적 안전관리 정착을 위한 안전관리체계의 완성도 평가로 보고 있음

○ 이러한 목표를 달성하기 위하여 안전관리체계 및 평가관리 기술의 고도화가 요구됨

○ 철도안전종합계획에는 KTX 주요 역 및 열차에 대한 보안강화, 철도운영기관별 보안 취약구간 관리 및 감시 강화 등을 추진하고 있음

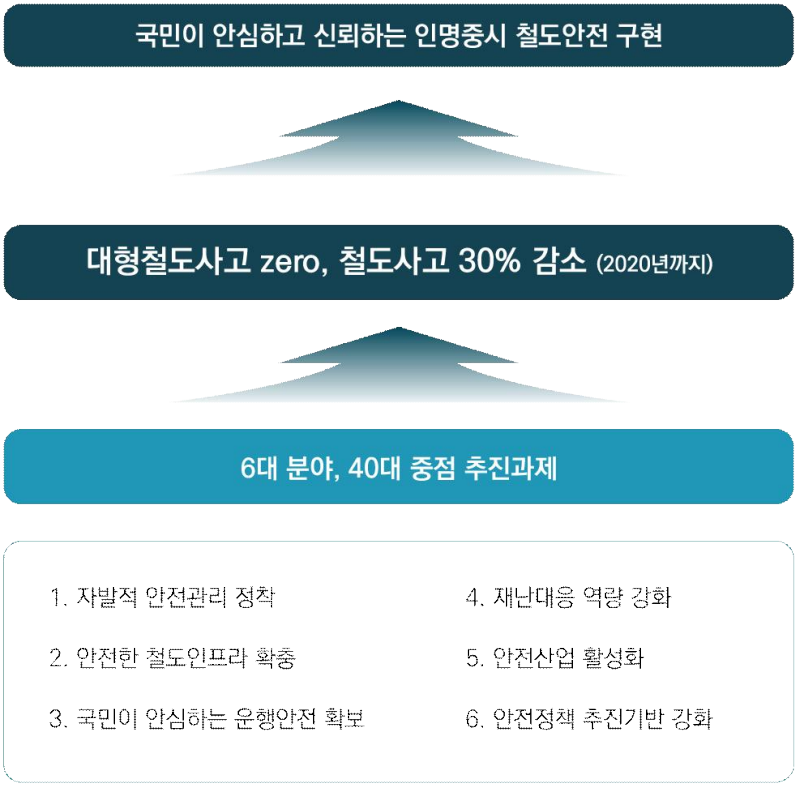


그림 2-8 제3차 철도종합안전계획 중점 추진목표

1.2.7 철도안전 혁신대책 (2015.08.)

❑ 세월호 사고 이후 높아진 안전에 대한 국민적 기대에 부응하고, 과도기적 체계의 제도적 미비점을 보완하고 철도안전의 근본적인 체질을 개선하기 위한 철도안전 3.0 시대의 혁신정책이 필요성에 의해 수립

○ 높아진 국민 눈높이에 맞는 지속가능 경영을 위해 안전을 최우선하는 운영자의 자발적 안전관리 유도를 위한 제도개선 추진

○ 또한, 환경변화에 대비한 차량·시설의 체계적 관리, 휴먼에러 예방 등 운행전반의 안전을 확보할 수 있는 제도적 기반 조성도 함께 추진

❑ 6대 추진전략 하에 현 상황을 진단하고 해결방안을 마련하기 위한 대책 제안으로 자발적 안전관리체계 정착, 대형사고 기준 강화(제도화), 통계 관리 강화, 철도차량, 시설 등 생애주기의 단계별 정부 모니터링, 관리 추진 등 제도 추진 방향 제시

○ 특히, 철도차량, 시설의 단편적, 분야별 관리 추진에 따른 안전성/효율성 저하 등 문제 제기로 이력관리 강화 및 투자 예산 효율화 등이 요구되고 있음

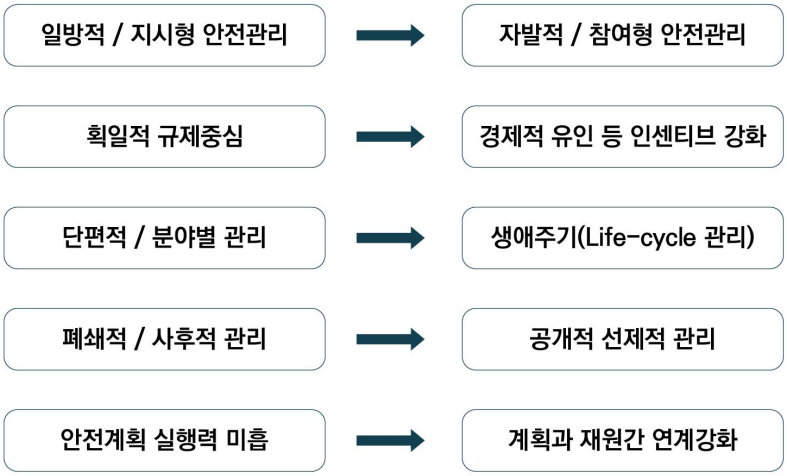


그림 2-9 철도안전 정책 혁신패러다임 전환 방향



그림 2-10 철도안전 혁신대책(2015) 주요 추진전략

1.2.8 철도안전 강화대책 (2018.12.27)

❑ KTX 강릉선 탈선(2018.12), KTX 오송역 단전사고 (2018.11) 등 최근 발생한 12건의 사고·장애가 시공불량, 작업 기본원칙 미준수, 차량 정비소홀 등 대부분 인적과실로 발생했다고 분석됨에 따라 안전 대책의 현장 이행력 강화 중심으로 마련 추진

○ 2018년 말 발생한 주요 철도사고 및 운행장애를 중심으로 대책마련을 추진한 내용으로 크게 5대 방향을 설정하여 현재 구체적인 세부집행대책을 마련하고 있는 중

○ 정책, 제도적으로 안전관리 강화하는 방향에 실제 현장에서의 이행력이 부족하다는 방향을 근간으로 구체적인 이행계획을 수립하고자 함

표 2-3 철도안전 강화대책 주요 내용

철도안전 강화대책	주요 내용 요약
철도안전대책 현장 이행력 제고	현장종사자의 책임성 강화, 자발적 동참, 감독체계 개선 및 처벌강화를 통해 철도 안전대책의 현장 이행력 제고
철도공단·공사 간 상호협력 강화	건설→성능검사→유지관리 全 단계에서 철도시설 관리에 대한 공단/공사 간 협력체계 강화
철도차량 관리강화	차량정비 후 전문 기술자 확인, 유지보수 투자 확대를 통해 차량 정비품질 확보 및 안전과 직결되는 부품 적기교체 등 부품관리 강화
사람중심의 사고 대응체계 구축	신속한 사고복구를 위해 대응매뉴얼을 현장 중심으로 정비하고, 사고·장애시 '철도이용자 보호기준' 마련 등 여객서비스도 개선
구조적 안전문제 등 개선 추진	건설/유지보수 이원화, 관제 독립성 부족, 열차內 안전인력 부족 등 구조적 불안전 요인에 대한 합리화 방안 마련을 검토

1.2.9 국토교통 4차 산업혁명 대응 전략 (2017.4)

❑ 2017년 4차 산업혁명 대응에 대한 각 부처별 대책 수립을 위하여 국토교통부는 국토교통 분야에 미치는 영향을 분석하여 관련 대응 전략을 제시함

○ 특히 철도분야가 포함되는 교통서비스는 안전성, 편의성이 증대될 수 있는 영향을 분석하여 IoT · AI를 활용, SOC 실시간 모니터링 · 판단 · 제어가 가능해지며, 효율성, 편의성이 향상된다고 도출함

○ 이에 따라 4차 산업혁명을 통해 국토교통 서비스를 국민체감형으로 혁신하는 비전을 설정하고 이에 따른 중점 추진과제를 제시

❑ 철도안전관리와 연관된 중점 추진과제는 중점추진과제 2. 교통서비스 산업혁신에 해당하는 내용으로 ③ 도로, 철도, 항공 운영 서비스 효율화 및

○ 철도부문의 경우 스마트한 철도 서비스를 제공하기 위하여 철도 시설물 정보를 통합관리*하고 빅데이터 분석을 통해 열차운행 안전관리 및 유지관리 최적화 등에 활용

○ 구체적인 내용은 국토교통 연구개발 종합계획에 포함하여 중장기 R&D 추진방향을 설정하고 이에 따른 R&D 실행화

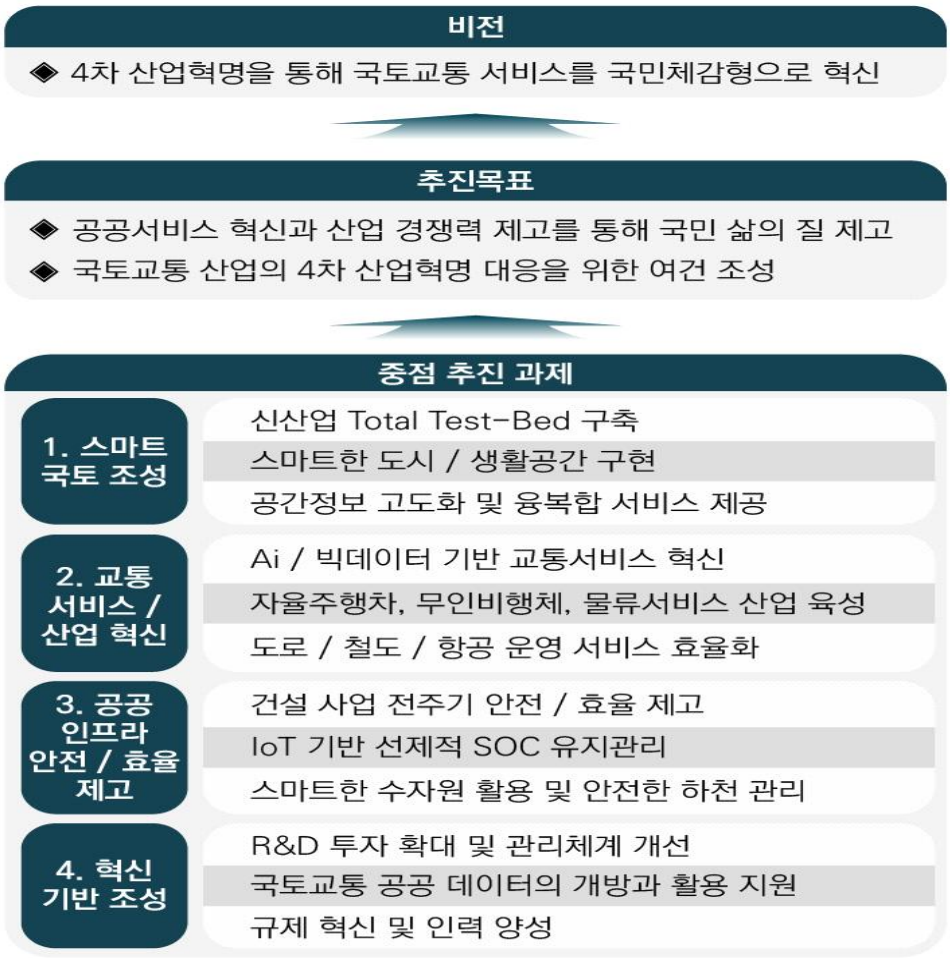


그림 2-11 국토교통 4차 산업혁명 대응 전략(2017.4) 비전체계도

2. 국외 정책

2.1 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

- 제1차 세계대전 후인 1922년에 국제열차 운행의 원활화와 철도기술의 표준화를 목적으로, 주로 유럽 각국의 철도사업자(22개국 51개 철도사업자)가 중심이 되어 발족

- 유럽, 아시아, 아메리카, 아프리카 각국의 철도사업자 및 관련기관 171개사가 가입 중

※ 대한민국 대표로 한국철도공사(KORAIL), 한국철도시설공단(KRNA), 한국철도기술연구원(KRRI), 한국교통대학교(KNUT)가 가입

- 철도기술 및 영업 관련 표준을 제정하고, UIC 차륜 배치 표기법을 비롯하여 차량번호 표기법, 객화차 분류법 등도 정하고 있음

○ UIC는 Challenge 2050을 수립하여 철도시스템의 기술적, 정책적, 서비스 분야의 비전 및 목표를 제시

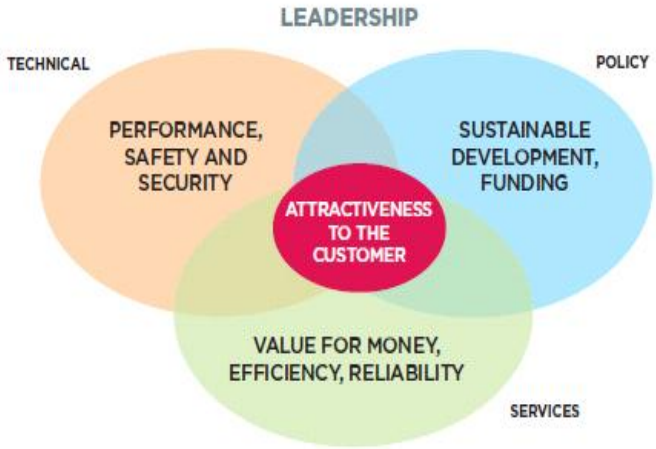


그림 2-12 UIC Challenge 2050 목표

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

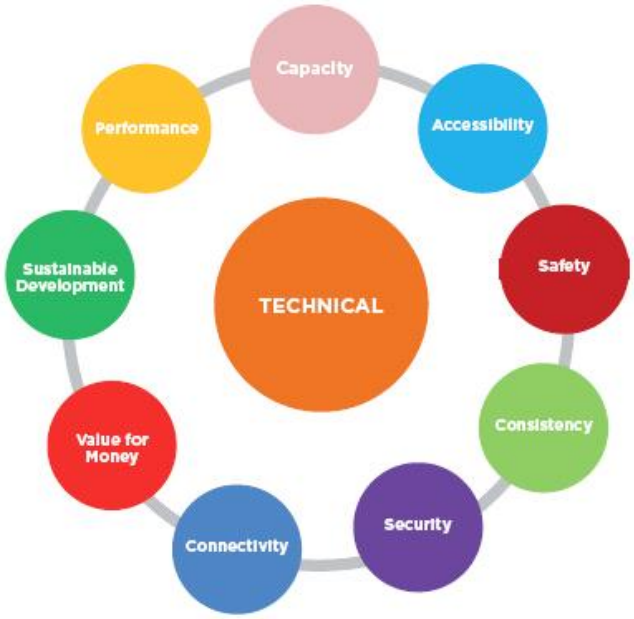


그림 2-13 철도시스템의 미래 혁신방향

❑ UIC 의 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 2-4 유럽 철도기술전략 내 철도시스템 요소별 목표(비전)

- 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
- 철도 인력 : 효율적인 철도운영을 위한 체계적이고 전문성을 갖춘 철도 종사자 육성
- 보안 : 승객 보안
- **안전 : 승객의 안전 보장**

표 2-5 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 ▪ **유지보수비용 및 운영비용 절감을 위한 장거리 장애물 검지기술 표준화**
인프라 (Infrastructure)	▪ **스마트한 철도 운영, 유지보수, 승객지원을 위한 무선통신 기술 및 운영방식 최적화** ▪ 기능성과 쾌적성을 갖춘 통합 환승 기반시설 ▪ 혁신적인 자갈 및 비자갈 선로 설계

철도 시스템 요소	세부 기술
	▪ 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 ▪ 차량에너지 회수기술 ▪ 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)	▪ **운영효율 향상, 안전, 승객 만족을 위한 CCC요소의 지속적인 성능 향상 및 자동화** ▪ 안전 인증을 위한 유럽 간 동의 절차 ▪ **철도 중요 요소들의 노후화에 대비한 지속적인 안전 대비책**

자료 : UIC, RAIL TECHNICAL STRATEGY EUROPE, 2014

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

○ 해당 국가 여행자에게 교통수단에 대한 선택 시 안전을 고려할 수 있는 권리 부여

○ 통일된 기준에 따른 안전목표, 안전지표, 사고통계 산출

○ 공통안전목표(CST), 공통안전지표(CSI)를 2008년부터 운영 및 국가별 사고통계자료를 철도안전성능보고서에 공개 중

❑ 유럽 철도기술자문위원회(ERRAC)는 유럽차원의 혁신적 철도기술개발을 달성하기 위해 장기적 철도연구 비전인 'Rail Route 2050'과 기술로드맵을 수립

○ 유럽 철도기술자문위원회(ERRAC)는 유럽 차원의 혁신적 철도 기술개발 연구를 지원하고 경쟁력 강화를 위해 철도 이해관계자가 모여 설립된 유럽 기구로 2001년 설립

- 기존의 고속 및 화물 운송 애플리케이션부터 도시 및 지역 서비스에 이르기까지 모든 형태의 철도 운송을 포함

- 제조업체, 운영 업체, 인프라 관리자, 유럽 집행위원회(European Commission), EU 회원국, 학계 및 사용자 그룹과 같이 주요 유럽 철도연구 이해관계자 각 45명 대표로 구성

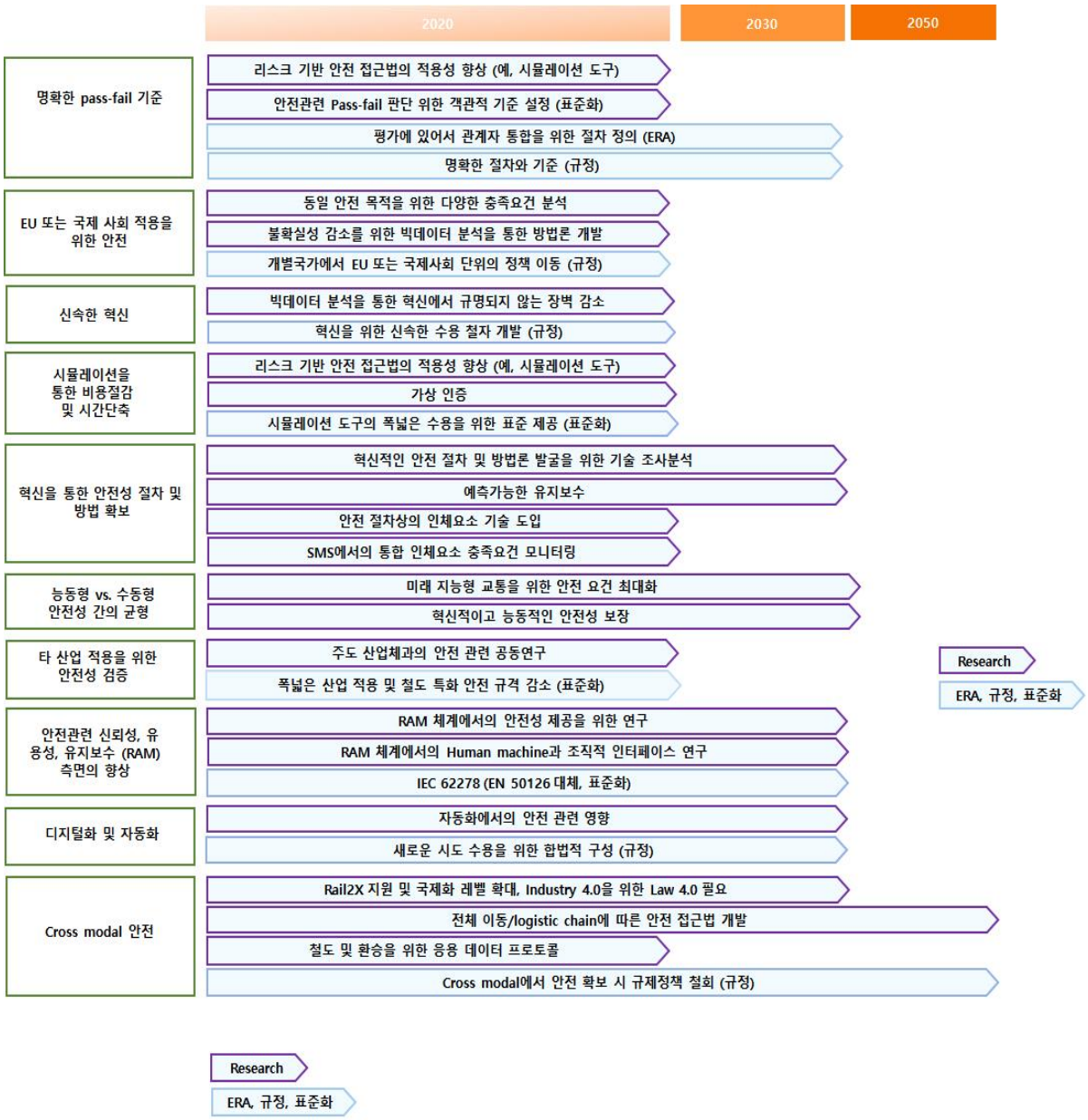


그림 2-14 ERRAC의 2050기술로드맵 중 안전 분야 로드맵

○ 유럽 철도연구 자문위원회에서 'Rail Route 2050'이라는 장기적 철도연구 비전을 수립

- 미래 교통 시스템 공급 전략 달성을 위해 2050년까지 안전·지속가능·환경 친화적 교통시스템 구축, 철도 중심 도시 교통체계 확립 추진
- 2020년까지의 철도연구 아젠다인 'Strategic Rail Research Innovation Agenda'를 발표하여 철도차량과 철도 시스템적 측면에서의 혁신을 강조
- 2050년까지 화물운송 부담률과 승객 운송 부담률 22.2%, 15.3%로 높이는 것을 목표
- FOSTER-RAIL 프로젝트[42]를 통해 유럽 철도부문의 혁신 협력전략을 강화하고 지원하기 위한 기술로드맵을 작성[43]

42) FOSTER RAIL 프로젝트 기간 : 2013.05.01.~2016.04.31.

- 작성된 기술로드맵은 향후 Horizon 2020 프로그램 및 SHIFT² RAIL사업의 공동연구에 활용
- 해당 로드맵은 전략 및 경제, 에너지 및 환경, 안전, 보안, CCC, 인프라, IT 및 기타 기술의 7개 분야로 각 분야별 기술개발 외 표준화를 포함하여 로드맵 수립

2.2 영국

❑ EU 유럽철도안전지침과 별도로 2006년 철도감독국(ORR)에서 제정한 영국 철도 및 기타 궤도 교통시스템 안전규정(ROGS)을 실행[44)]

○ 영국의 모든 철도운영기관은 ROGS 규정에 따라 안전관리체계를 유지해야 하며, ORR의 안전인증 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

○ ROGS는 안전관리체계, 안전검증, 안전인증과 허가, 위험도 평가, 연차 안전보고서, 협력, 안전업무에 대해 중요 분야로 두고 있음

표 2-6 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

43) ERRAC, Research and Innovation -Advancing the European Railway Future of Surface Transport Research Rail Technology and Innovation Roadmaps, 2016

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

❑ ‘Future Railway’ 프로젝트(2012~2040년)를 통해 철도 관제 및 통신, 시설, 차량, 정보 등 6개 분야에 대한 첨단기술 개발 및 적용을 추진 중[45)]

- 교통부, ORR, RSSB, Transport Scotland, Transport for London, Network Rail, Crossrail, ALSTOM, Bombardier 등 16개 기관이 참여

2.3 프랑스

❑ 프랑스 철도기술정책은 육상교통 기술혁신정책 PREDIT 프로그램을 중심으로 전개되어 지속 가능한 운송, 안전 향상, 환경 보존 등을 목표로 기술개발 추진[46)]

○ PREDIT는 5년 단위로 시행되는 중장기 계획으로, 철도수송을 포함한 육상수송 전체의 연구개발 진행[47)]

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

표 2-7 PREDIT 3~4단계 프로그램 세부내용

단계	내용	철도안전 프로젝트[48)]
PREDIT3	• 화물수송기술: 철도생산성 제고, 혁신적 교통기술 및 시스템의 실용화, 기반기술 (전동기, 제동장치), 철도차량, 차량-인프라 시스템 간의 정보화 기술 • 이동성 서비스: 단거리 운송, 인터모달 서비스, 도시교통 및 도시간 교통의 정보화기술 서비스, 멀티모달 정보화 • 에너지 및 환경: 깨끗하고 에너지 효율이 높은 철도차량 개발, 소음저감 및 전력 효율화 • 물류 및 화물운송: 경제와 물류시스템 관계 • **안전: 철도관제 및 제어시스템, 규제시스템, 노선 최적화시스템 개발** • 이동성 및 지속가능한 발전: 이동성 결정요인, 교통경제학	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 travelers (2005~2011)
PREDIT4	• 에너지와 환경: 추진기술, 온실효과와 평가방법 • 수송 품질 및 안전: **철도안전, 교통관리,** 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	

45) 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획 수립 연구용역 보고서, 한국철도기술연구원, 2017
46) 미래철도 전망 2040, 국토교통과학기술진흥원, 2014
47) 제2차 국가교통기술개발계획(2009~2013) 수립 연구, 한국교통연구원, 2008
48) https://trimis.ec.europa.eu/

○ 민영철도가 운영하는 영국, 일본과 달리 프랑스철도공사(SNCF) 운영을 통해 9개 기술에 대한 주요 연구분야* 주제를 정하고 있음[49)]

- 9개 주요 연구분야는 화물, 소음, 괘적성, 선로사용 최적화, 생산품에 대한 운영 모니터링, 차세대 유지보수 기술, 궤도/플랫폼, 정보화 기술, 인적요인으로 차세대 유지보수에 대한 내용을 포함하고 있음

2.4 일본

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

○ (개요) 일본 국토교통성에서는 교통정책기본법(법률 제92호)에 의거하여, 2014년~2020년까지 일본 교통정책의 장기적인 방향을 제시하는 교통정책 기본계획을 수립·책정

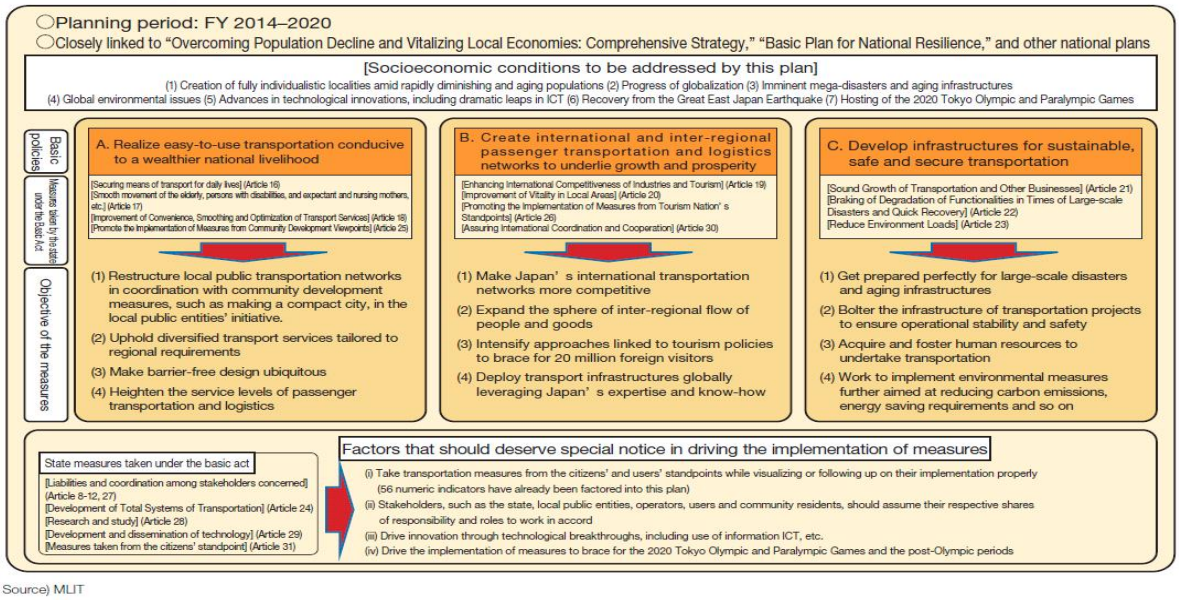
○ 3대 기본 방향

- 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

○ 교통정책기본 계획 내의 철도 관련 정책은 LRT와 BRT의 도입, 공항 및 철도 접근력 강화, 철도 인프라의 안전성 강화 등을 추진[50)]

- 간선철도의 고속화를 위해 재래선을 고속화하고 신칸센을 건설하는 두 가지 방식 추진
- 철도 분야에서의 곡선 구간의 속도제한 기능 자동 열차 정지 장치의 정비를 2016년 6월까지 100% 달성을 목표로 제시

49) 2014~2017 한국철도기술연구원 경영성과계획서, 한국철도기술연구원, 2014
50) 2015 국토교통 R&D 동향조사 총괄보고서



Source) MLIT

그림 2-15 국토교통성의 교통정책 기본계획 요약

❑ 제5기 과학기술기본계획(2016~2020)을 통해 4차 산업혁명기술과의 융합을 토대로 정부연구개발 이 방향성을 제시

○ 일본은 앞으로 5년간 일본 과학기술정책의 로드맵인 제5기 과학기술기본계획 하에, 관민 협력으로 제4차 산업혁명을 추진할 방침

- 최신 정보통신기술(ICT)과 로봇 등을 활용, 제조업 외에 물류, 의료·간병 등 모든 분야에서의 신산업 창출과 초 스마트사회 실현을 목표로 하고 있음

- 동 계획은 5년마다 정하는 과학기술정책의 지침으로서, 아베 정권이 2020년을 목표로 한 명목 GDP 600조엔을 달성하기 위해 신산업으로 이어지는 실용성이 높은 연구나 제도개혁에 중점을 두고 있음

○ 중점사항

- 미래 산업 창조와 사회 변혁을 향한 새로운 가치 창출을 위한 대책 마련

- 경제·사회적 과제에 대한 대응

- 과학기술 이노베이션의 기반 강화

- 이노베이션 창출을 위해 인재·지(知)·재화의 선순환 시스템 구축

○ 정부 연구개발비 비중을 순차적으로 끌어올려 GDP 대비 1%, 5년간 총액 26조 엔을 투자 목표로 설정 예정

※ 제1기 목표치(실적) : 17조엔(17.6조엔), 제2기 목표치(실적) : 24조엔(21.1조엔), 제3기 목표치(실적) : 25조엔(21.7조엔), 제4기 목표치(실적) : 25조엔(22.8조엔) (출처: 종합과학기술·이노베이션회의, 2015.12.10.)

○ 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 견인 : '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

- 미래에 과감하게 도전하는 연구개발과 인재 강화 : 참신한 아이디어 및 경제·사회적 영향을 중시한 연구개발에 도전 촉진, 우수 인재에게 창조적인 아이디어의 시행 기회를 제공

- 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 「Society 5.0**」으로 강력히 추진, 서비스, 사업의 시스템화를 통해 산학연의 공통적인 플랫폼 구축

  * 필요한 물건, 서비스를 필요한 사람에게, 필요한 때에, 필요한 만큼 제공하며, 연령, 성별, 지역, 언어 등을 초월해 모든 사람에게 질 높은 서비스가 제공 가능한 사회

  ** 수렵사회, 농경사회, 공업사회, 정보사회의 뒤를 잇는 새로운 사회의 등장

표 2-8 제5기 과학기술기본계획(일본)의 주요내용

구분	주요 내용
생활	○ 로봇과 IT가 다양한 서비스를 제공하는 사회(소사이터티 5.0)를 실현 ○ 인공지능과 빅데이터 해석, 사이버시큐리티 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

- 연구개발 및 인재 육성 등을 위해 연구기관, 산업체, 대학 및 학회와 정부와의 협력을 통해 기술 연구개발을 추진

○ 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, 지금까지의 과학기술 정책을 진지하게 재검토해, 과학기술 이노베이션 정책에 대해 국민의 이해와 신뢰와 지지를 얻는 대응을 진행

○ 중점 추진 과제

- 지진 재해로부터의 부흥, 재생의 실현

- 그린 이노베이션의 추진

- 라이프 이노베이션의 추진

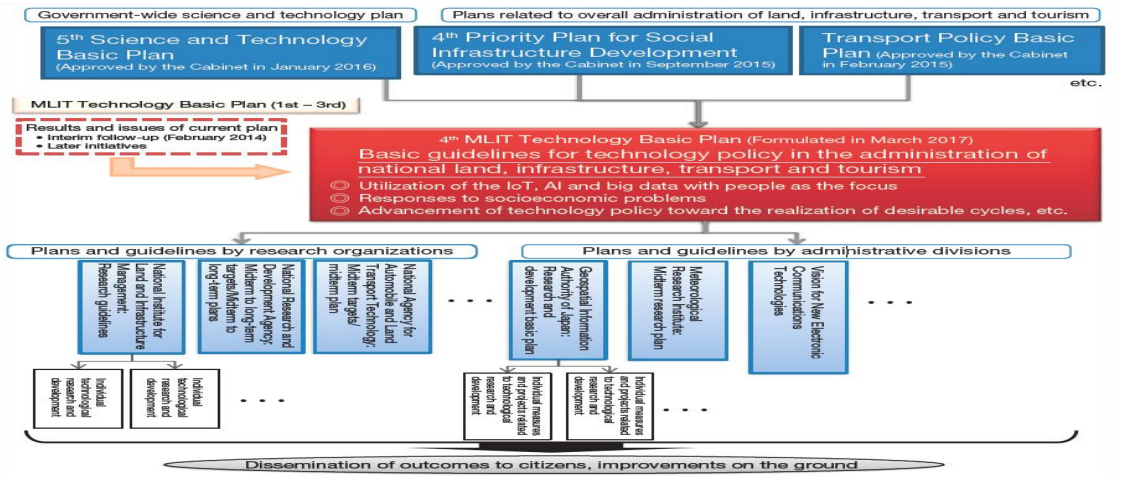


그림 2-16 제4차 국토교통성 기술기본계획의 위상

❑ JR 동일본 그룹의 혁신 중장기 비전[51)]

○ 안전은 동일본 철도회사의 첫 번째 주요정책으로 인식하고 종사자들과 공감하며, 궁극적 안전수준에 도달하고자 지속적인 평가 수행

- 동일본철도 그룹은 철도시스템 체인지, 수평 분업, 직원의 급속한 세대교체 등 내외부에서 새로운 "전환점"에 직면

- '안전·안정 수송의 레벨업'을 가장 중점에 두고 이러한 전환점에 있어서의 과제를 극복하기 위해 관계 시설의 강화 및 안전교육·훈련의 재검토, 또한 그에 필요한 연구개발 진행

- 한편, 앞으로 사회가 기대하는 안전 수준의 변화에 추종하기 위하여 IoT와 빅데이터, AI 등을 활용으로 사고의 전조를 파악하고, 또한 경험 지식에서 위험을 발굴해 선점한 대책을 추진

51) JR East group management vision "Move Up" 2027, 2018

- 따라서 연구개발을 추진함과 동시에 ITS와 로봇, 휴먼팩터 등의 기술을 조합하여 "최고의 안전 "을 목표로 세움

○ 운영 및 유지 보수 “생산 연령 인구 20% 감소를 고려한 업무 구조”

- 차량 및 장비의 데이터를 높은 빈도로 수집·분석하여 그 안전성을 확인하면서 최적의 타이밍에서 수선을 실시하는 등 효율적인 관리가 가능
- 야마노테선의 신형 차량 E235 계 등에 의해 그 실용화를 위한 노력을 꾸준히 진행
- 또한, 자동운전기술이나 로봇화, AI에 의한 업무 지원 등을 진행시켜 나감
- 생산 연령 인구의 감소를 대비해서 혁신을 통해 비용 구조를 혁신하고 '사람'과 '시스템'의 베스트 믹스에 의한 업무 방식을 실현해 나감

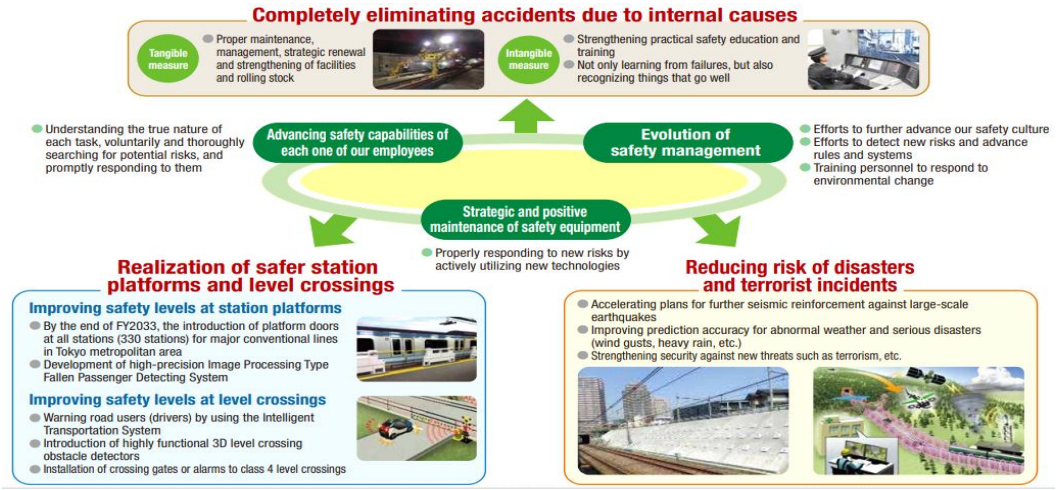


그림 2-17 동일본철도회사 철도안전에 대한 비전

제2절 국내·외 산업/시장 환경분석

1. 철도안전산업/시장 개요

❑ 안전산업에 대한 분석 또는 재난안전산업에 대한 국내 실태조사가 진행되고 있으나, 철도안전분야 산업에 대한 별도의 정의 및 범위가 부재

○ 안전산업은 “안전(Safety & Security) 수요에 대해 유·무형의 재화 생산과 서비스 제공을 동반하는 산업”으로 정의하고 산업안전, 교통안전, 방재, 보건위생, 보안, 시설안전의 6개 분야로 구분[52)]

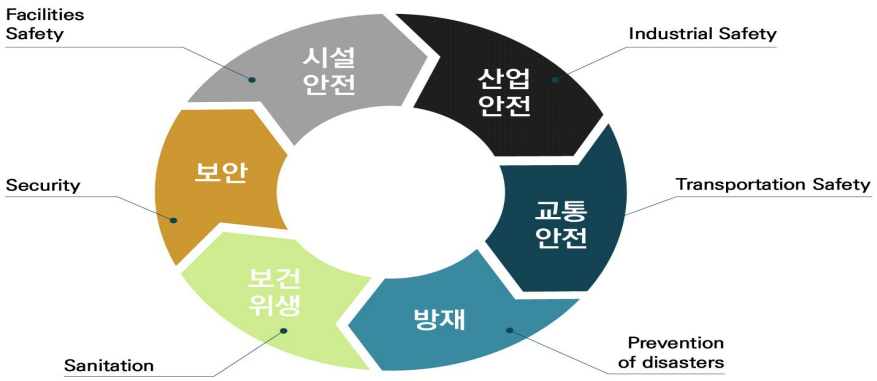


그림 2-18 수요에 대응하는 안전의 구분

* 출처 : 안전산업 국내외 시장분석 및 향후 과제, 산업연구원, 2014

○ ‘안전’에 대한 국가별 환경이 달라 시장 규모 산정이 어려우며 안전시장은 민간의 자생적인 공급 유인이 어려워 공공부문이 개입할 수 밖에 없는 구조임

- ‘안전’은 개념이 광범위하고 국가별로 달라 시장의 전체규모를 특정하기 어려우며, 국가별로 자국의 자연환경, 사회구조, 산업구조 등에 따라 인식되는 개념, 대응이 다름
- 안전시장의 구조는 공급자가 제품을 생산하면, 서비스 실행자가 집행하여, 직접적인 수요자뿐만 아니라 간접적인 수요자도 혜택을 누리는 구조로 잠재적인 전체 수요에 비해 직접적 공급을 요청하는 수요가 적어 민간의 자생적인 공급 유인을 저해하고 기술발전을 더디게 만드는 구조
- 따라서 안전 시장은 민간에서 적정한 가격에 수요와 공급이 이루어지기 힘든 구조이며, 필연적으로 공공부문이 개입할 수 밖에 없는 상황

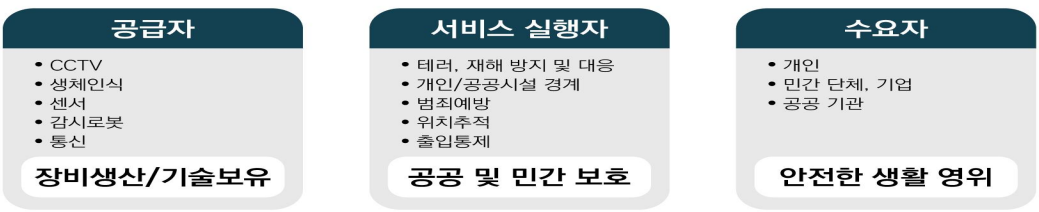


그림 2-19 안전산업시장의 구조

* 출처 : 안전산업 국내외 시장분석 및 향후 과제, 산업연구원, 2014

52) 산업연구원, 안전산업 국내외 시장분석 및 향후 과제, 2014

○ 이에 따라 안전 시장은 정부가 주요 구매자로 나서면서 안전 재화와 서비스의 공급에 대해 정부규제와 공공수요에 의존하게 됨

○ 또한 행정안전부에서는 “재난안전산업”에 대한 특수분류를 통계청에 승인, 등록하여 2016년부터 재난안전산업 실태조사를 실시하고 있으며 매년 실시 중이나 철도안전에 대한 내용은 미미

- 해당 분류는 5개 대분류(자연재난 예방산업, 사회재난 예방산업, 재난대응산업, 재난 복구산업, 기타 재난 관련 서비스업)으로 구성되어 사회재난 내에 교통사고 관련 사회재난 예방산업이 포함되어 보이나,

- 실제 철도분야에 대한 예방, 대응, 복구, 관련 서비스업에 대한 내용은 거의 부재

❑ 특히 철도안전관리의 범위는 철도산업 전반에 직접적으로 연관되며, 관련 시장을 조사 분석하여 정리함

○ 본 절에서는 물리적 보안 및 서비스시장, 철도시설 및 차량 유지관리 및 개량시장, 스마트 철도 시장의 규모를 조사 분석함으로써 전체 철도안전시장을 간접적으로나마 예측하였음



그림 2-20 철도안전산업/시장 분석 구조

2. 물리보안 산업/시장[53)]

❑ 보안산업은 보안을 위해 제품을 생산하거나 서비스를 제공함을 의미하며, 철도시스템의 안전한 운영을 위한 물리보안 관점의 시장이 철도안전분야과 관련

○ 타 산업의 인프라의 역할을 수행하고 안전(Safety), 헬스 케어, 에너지 관리 등 다른 산업과의 결합을 통해 영역이 확대

○ 보안산업은 물리보안과 정보보안으로 분류되며, 특히, 철도안전과 직접적인 연관이 되는 산업은 물리보안분야로 철도시설의 안전한 운영 및 그외 재난 방지 등을 위한 보안 제품 및 서비스가 해당

53) issue & trend, 물리보안산업이란 무엇인가, DIGIECO(www.digieco.co.kr)

표 2-9 보안산업 내 물리보안 및 정보보안의 정의

분류	정의
물리보안	주요 시설의 안전한 운영과 재난, 재해, 범죄 등의 방지를 위한 보안제품 및 서비스
정보보안	컴퓨터 또는 네트워크 상의 정보의 훼손, 변조, 유출 등을 방지하기 위한 보안제품 및 서비스

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

❑ 글로벌 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

○ 최근 2018 국내정보보호산업 실태조사에 따르면 물리보안산업은 6.84조원 규모로 조사[54)]

❑ 물리적 보안장비 시장[55)] 또한 높은 성장률을 보이며 규모가 확대 전망

○ 대표적인 장비인 전문비디오감시(video surveillance), 접근 제어(access control), 침입자경고(intruder alarms), 출입통제(entrance control), 소비자 비디오감시(consumer video surveillance), 열화상(thermal camera) 및 무선통신장비(wireless infrastructure) 등의 시장이 있음

○ 글로벌 전체 물리적 보안장비 시장은 ’14년 265억달러(31조5천억원)에서 ‘19년 418억달러(41조7천억원)로 성장하였으며, ’14년부터 ‘19년까지 84%의 성장을 기록하였음

- 전문비디오감시장비 시장규모는 전체 물리적 보안장비 시장규모의 약 54%를 차지(143억 달러, 약 17조원 규모)하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 9.6%의 성장률을 보이고 있음
- 접근제어장비 시장규모는 전체 물리적 보안장비 시장규모의 약 14%를 차지(37억 달러, 약 4조4천억원 규모)하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 7.8%의 성장률을 보이고 있음
- 침입자경고장비 시장규모는 전체 물리적 보안장비 시장규모의 약 11.1%를 차지(29억 달러, 약 3조4천억원 규모)하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 4.6%의 성장률을 보이고 있음
- 출입통제장비 시장규모는 전체 물리적 보안장비 시장규모의 약 14.1%를 차지(37억 달러, 약 4조4천억원 규모)하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 4.8%의 성장률을 보이고 있음
- 소비자비디오감시장비 시장규모는 전체 물리적 보안장비 시장규모의 약 4.5%를 차지(12억 달러, 약 1조4천억원 규모)하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 28.7%의 성장률을 보이고 있음
- 열화상카메라장비 시장규모는 전체 물리적 보안장비 시장규모의 약 0.9%를 차지(2억 달러, 약 2천3백억원 규모)하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 14.3%의 성장률을 보이고 있음

54) 보도자료, 국내 정보보안·물리보안 산업 규모 10조원 돌파…전년비 5.3%↑, 2019.01.30, https://byline.network/2019/01/30-42/
55) Physical security equipment and services report 2015, iHS report, 2015

- 무선통신장비 시장규모는 전체 물리적 보안장비 시장규모의 약 1.3%를 차지(3억 달러, 약 3천5백억원 규모)하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 14.2%의 성장률을 보이고 있음

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

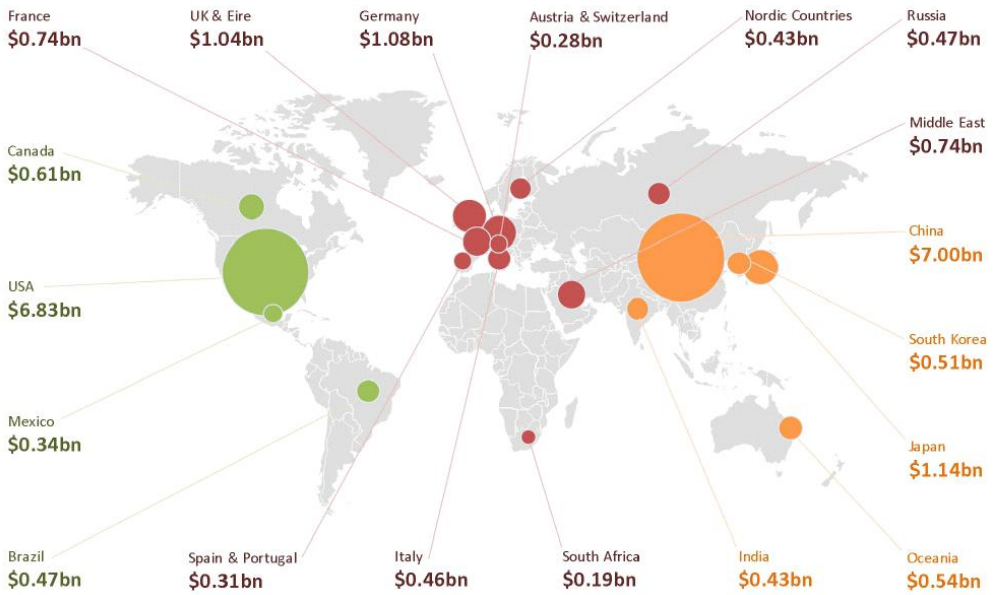


그림 2-21 국가별 보안장비 시장규모

* 출처 : IHS

○ 전체 글로벌 장비시장 규모(41조7천억원)중 교통용 장비는 14.1%(약 5조9천억원)에 해당

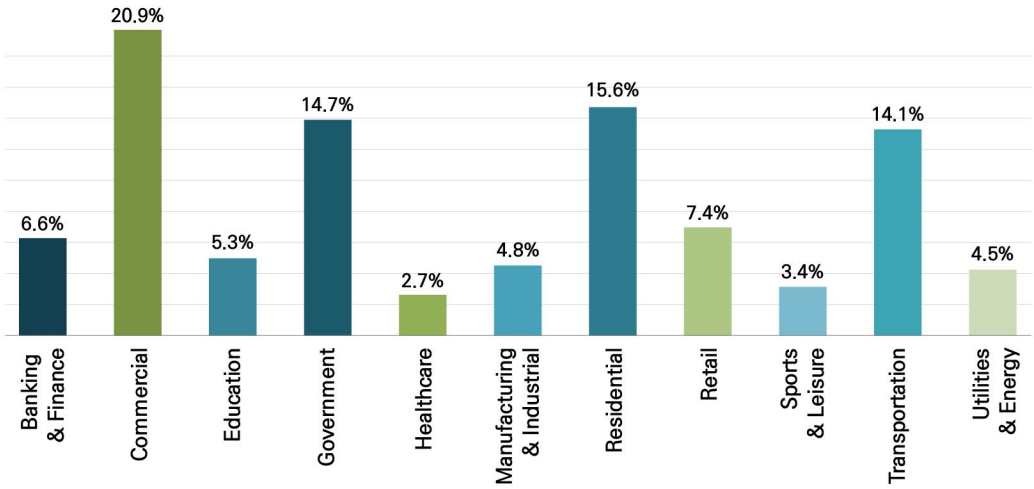


그림 2-22 분야별 보안장비 시장규모

❑ 보안서비스 시장은 비디어감시 서비스, 출입통제 서비스, 원격 모니터링 서비스 및 보안시스템통합 서비스 등의 시장으로 구성

○ 글로벌 전체 보안서비스 시장은 ’14년 1,027억 달러(120조1천 억원)에서 ‘19년 1,552억 달러

(181조5천 억원)로 성장하였으며, ’14년부터 ‘19년까지 연평균 8.6% 성장률을 기록하였음

- 비디어감시 서비스 시장규모는 전체 보안서비스 시장규모의 약 0.7%를 차지하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 17.5%의 성장률을 보이고 있음. 세계 시장규모는 7억달러(8천3백억원)로 미주 2억, 아시아 5억달러 규모로 분석됨

- 출입통제 서비스 시장규모는 전체 보안서비스 시장규모의 약 0.3%를 차지하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 20.8%의 성장률을 보이고 있음. 세계 시장규모는 3억달러(3천5백억원)로 미주 2억, 유럽 1억달러 규모로 분석됨

- 원격 모니터링 서비스 시장규모는 전체 보안서비스 시장규모의 약 36.7%를 차지하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 6.3%의 성장률을 보이고 있음. 세계 시장규모는 377억달러(44조8천억원)로 미주 205억, 유럽 78억달러, 아시아 95억달러 규모로 분석됨

- 보안시스템 통합 서비스 시장규모는 전체 보안서비스 시장규모의 약 62.3%를 차지하고 있으며, ’14년부터 ‘19년까지 년평균 9.7%의 성장률을 보이고 있음. 세계 시장규모는 640억달러(76조원)로 미주 244억, 유럽 165억달러, 아시아 231억달러 규모로 분석됨

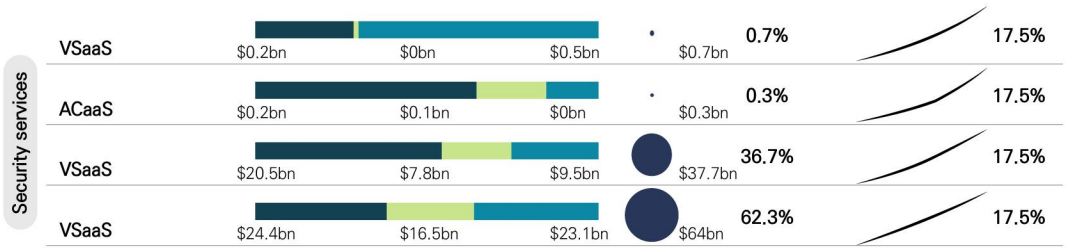


그림 2-23 보안서비스 시장규모

* 출처 : IHS

❑ 물리보안산업의 주요 트렌드 중 철도안전과 관련된 주요 내용은 기존 보안 감지 등의 아날로그 기반에서 수집된 Data 통합관제, 움직이는 이동체 보안 산업 및 사회기반 시설로의 확장 등이 포함

○ 아날로그 기반에서 IP기반으로 변화 추세

- 보안감지와 Controller 영역이 아날로그 기반에서 IP 기반으로 전환되면서 CCTV, DVR 등 제품의 지속적 교체 수요 창출

- IT의 발달로 수집된 Data를 한 곳에서 통합 관제하고 있음

- 보안서비스 제공시 스마트 디바이스의 어플리케이션을 활용

○ 고정된 공간(빌딩, 사무실, 집)을 넘어 움직이는 이동체 (개인, 차량 등) 보안산업으로 확대되고, 홈/개인에서 사회적 기반 시설(학교, 사회안전망 등)로 영역 확장

3. 철도시설 유지관리 개량시장

❑ 국내 철도인프라는 신선 건설과 철도시설 개량사업 등 사업 추진을 통해 지속적으로 증가할 전망

○ 철도인프라는 국가 기반 시설로서 법적 소유권은 국가(지자체)로 되어있어 철도건설사업계획에 의해 시장의 규모가 형성됨

○ 국가철도(일반철도 및 고속철도) 기준 철도건설을 목적으로 연간 5조원 내외의 국고가 투입되었으며, 철도인프라 개량을 목적으로는 지속적으로 증가하여 2017년 5,684억원까지 투자 확대

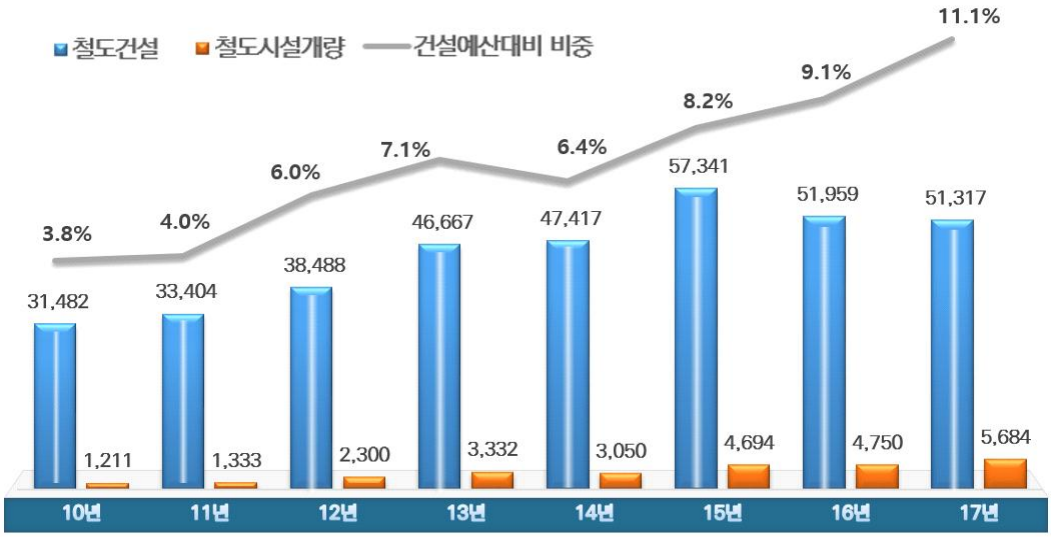


그림 2-24 국가철도 기준 철도건설 및 철도시설개량 투자 규모(2010-2017)

○ 제3차 철도시설 개량 종합계획(2018-2022)에 따르면, 2018년부터 5년간 노후도가 높은 철도시설에 대해 7.3조원을 투자 계획

- 계획기간 동안 부문별로는 노후시설 개량(4조 1천억원), 자연재해 안전(1조 2천억원), 인프라 고도화(1조45백억원), 편의성 증진(39백억원) 분배

❑ 우리나라는 선진국에 비해 짧은 기간(1970~1990년대)에 집중적으로 구축된 인프라로 인해 향후 집중적인 노후 관리 수요가 예상됨

○ 1990년대에 본격적으로 건설되었던 많은 SOC 시설들의 노후화가 빠르게 진행되고 있으며, 특히 2020년 이후에는 준공 후 30년이 경과한 SOC 시설이 급증하면서 시설물 유지보수에 대한 수요가 증가할 것으로 예상됨

❑ 국가철도시설에 대한 개량 예산은 증가하고 있으나, 그간 누적된 노후시설의 비중이 높아 소요에 비해 부족한 실정임[56]

○ 2017년 예산 5,684억원은 2009년(1,365억원) 대비 4.2배로 개량예산이 비약적으로 증가

○ 매년 새로 발생하는 노후시설 감안 시 개량완료에 약 20년이 소요될 것으로 예상됨 (2034년 완료)

56) 제3차 철도안전종합계획

※ 노후시설 비중: 교량(42%), 터널(44%), 신호설비(46%), 전기설비(34%)

※ 연간 노후시설 발생률: 시설 2.5%, 궤도 4.0%, 건축 2.7%, 전기 7.9%

❑ 한정된 시설 개량 예산으로 인해 철도안전에 큰 영향을 미치는 노후시설 개량과 안전시설 확충 위주로 우선순위 투자되어 일부 시설에 대한 개량 또는 성능향상 개량 투자는 미흡

○ 철도안전에 큰 영향을 미치는 노후시설 개량(44.3%)과 안전시설 확충(37.7%) 위주로 투자를 집중

- 노후 철도시설 및 안전취약시설 개량, 관련 법령 등 외부 지적사항 개선, 국민편의 증진 등을 위해 24개의 내역사업을 추진

○ 내구연한이 짧은 전기·통신시설에 대한 투자가 부진하고, 기술발전, 성능향상 등에 따른 미래에 대비한 투자도 부족

❑ 도시철도 노후시설 개량의 경우 안전기준 강화 중심의 개량이 예상되나, 도시철도운영자의 재정여건이 열악하여 시설노후화에 대한 선제적 개량투자는 미흡한 것으로 평가[57)]

○ 승강장안전문 및 안전보호벽 설치, 내진보강 등 안전기준 강화에 따른 시설설치·보완에 필요한 비용을 국고 지원(2,305억원)

- 특히, 2018년 도시철도 노후시설 개량지원 예산 570억원을 신규 반영

○ 낮은 운임, 무임수송 등으로 지자체와 도시철도운영자의 재정여건이 열악하여 시설노후화에 대한 선제적 개량투자는 미흡

❑ 한국교통연구원에서 분석한 정부의 SOC 유지보수 분야 추이에 의하면 철도의 경우 정부의 SOC 투자가 지속적으로 증가하더라도 철도 차량 및 시설물의 노후화에 따라 훨씬 더 많은 비용이 필요할 것으로 예상됨[58)]

○ 추세선에 기반한 장래 철도 유지보수 투자는 2010~2015년에는 1.3조~1.4조원 수준인데, 점차 증가해 2020년에 1.6조원, 2025년에 1.8조원, 2030년에 2.0조원을 기록할 것으로 전망됨

○ 노후 시설물을 감안한 철도 유지보수 투자 전망치는 2020년에 2.1조원, 2025년에 2.6조원, 2030년에 3.1조원을 기록할 것으로 보임

57) 제3차 철도시설 개량 종합계획(2018-2022)
58) 교통 SOC유지관리 투자 현황 및 소요재원 전망, 한국교통연구원, 2015.12

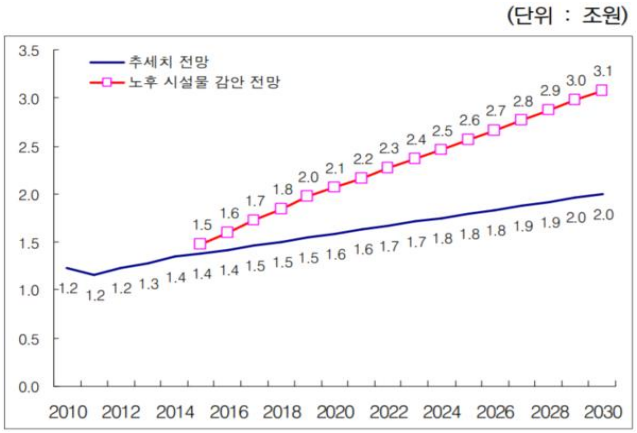


그림 2-25 도로와 철도 유지보수 투자 전망

❑ 신규(신설·개량) 및 기존(유지보수·교체)를 포함한 글로벌 철도인프라 관련 시장은 전세계 철도산업의 40%를 차지하며 평균 성장률보다 빠르게 성장

○ 철도인프라 관련 시장은 2015년 기준 약 657억 유로로 전세계 철도산업 시장의 40%를 차지하며 연간 2.8% 이상의 성장률을 보임

○ (철도인프라구조물 시장) 철도인프라구조물시장 중 궤도시스템시장은 기존(유지보수·교체) 시장의 시장규모 및 성장률이 높으나, 전철·전력시장은 신규시장의 시장규모가 높은반면 성장률은 기존(유지보수·교체)시장의 성장률이 높아 유지보수·교체에 대한 수요는 지속 확대될 것으로 전망

- 철도인프라 구조물시장은 궤도시스템분야와 전철전력분야로 구분되며, 궤도시스템시장은 전체 81%를 차지함

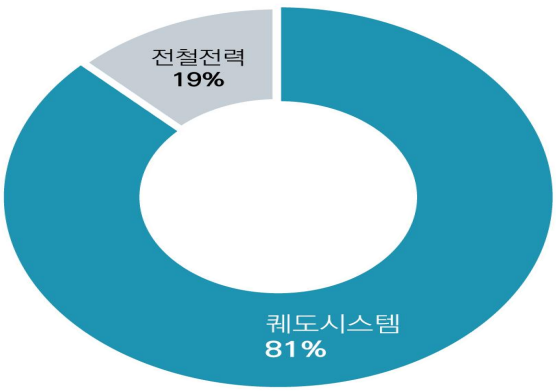


그림 2-26 철도인프라 구조물 시장 분야별 비중

- 궤도시스템 시장은 신규(신설 및 개량)시장보다 기존(유지보수 및 교체)시장 규모 및 성장률이 높으며, 유지보수 및 교체 시장은 각 권역별 3%~5%의 성장률로 모든 권역이 성장 추세

표 2-10 궤도시스템분야 신설 및 개량과 유지보수 및 교체 권역별 시장규모·성장률

권역	신설 및 개량 분야(신규)		유지보수 및 교체 분야(판매 후)	
	시장규모 (백만 유로, 2015년 기준)	성장률 (2015년-2020년)	시장규모 (백만 유로, 2015년 기준)	성장률 (2015년-2020년)
서유럽	3,120	+0.2%	8,720	+3.1%
동유럽	1,320	-7.5%	1,440	+3.1%
북미	940	-1.9%	4,900	+2.8%
중남미	580	-10.1%	780	+3.0%
아시아	5,330	+1.4%	4,060	+5.2%
CIS	560	+2.5%	2,470	+3.1%
아프리카/중동	1,580	+9.1%	930	+5.0%
오스트레일리아/ 태평양	300	+4.3%	630	+3.1%
합계	13,730	+1.0%	23,930	+3.5%

* 자료 : The Worldwide Market for Railway Industries 2016, SCI Verkehr GmbH

- 전철/전력 시장은 신규(신설 및 개량)시장이 기존(유지보수 및 교체) 시장보다 규모가 크고 성장률은 상대적으로 낮으나, 전체적으로 모든 권역별 분야별 시장에서 성장 추세를 보임

※ 전철/전력의 신설 및 개량 분야 시장은 2015년 기준 48억 유로, 3.9%의 성장률을 보이며, 아시아 권역이 가장 시장규모가 큰 반면, 성장률은 2.2%로 상대적으로 낮은편

※ 유지보수 및 교체 시장은 2015년 기준 38억 유로로 신규 시장 대비 규모는 작으나, 성장률은 평균 5.0%를 보이고 있어 향후 빠르게 성장할 것으로 전망

표 2-11 전철/전력분야 신설 및 개량과 유지보수 및 교체 권역별 시장규모·성장률

권역	신설 및 개량 분야(신규)		유지보수 및 교체 분야(판매 후)	
	시장규모 (백만 유로, 2015년 기준)	성장률 (2015년- 2020년)	시장규모 (백만 유로, 2015년 기준)	성장률 (2015년- 2020년)
서유럽	1,380	+4.2%	1,710	+4.5%
동유럽	310	+5.9%	300	+3.4%
북미	340	+4.5%	110	+6.0%
중남미	150	+2.5%	20	+7.4%
아시아	2,080	+2.2%	950	+6.3%
CIS	270	+3.6%	650	+4.6%
아프리카/중동	160	+14.3%	50	+6.4%
오스트레일리아/태 평양	100	+6.6%	40	+2.9%
합계	4,790	+3.9%	3,830	+5.0%

* 자료 : The Worldwide Market for Railway Industries 2016, SCI Verkehr GmbH

○ (철도시스템기술 시장) 신호제어시장은 기존(유지보수·교체)시장의 규모 및 성장이 높으며, 여객

정보시스템 시장은 신규시장에 대한 규모가 높음

- 철도시스템기술 시장은 신호제어분야와 여객정보시스템분야로 구분되며, 신호제어시장은 전체 86%를 차지함

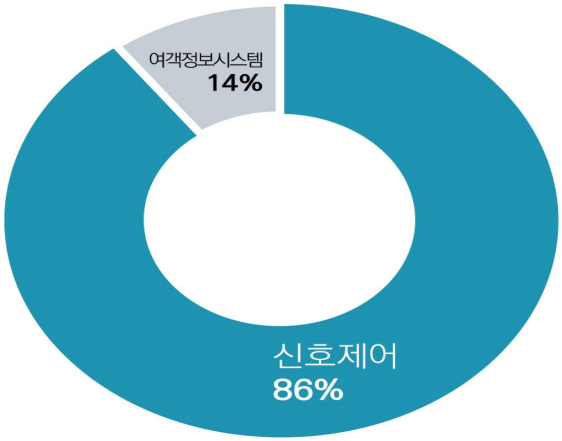


그림 2-27 철도시스템기술 시장 분야별 비중

- 신호제어 시장은 신규(신설 및 개량)시장보다 기존(유지보수 및 교체)시장 규모 및 성장률이 높으며, 유지보수 및 교체 시장은 모든 권역이 성장 추세

표 2-12 신호제어분야 신설 및 개량과 유지보수 및 교체 권역별 시장규모·성장률

권역	신설 및 개량 분야(신규)		유지보수 및 교체 분야(판매 후)	
	시장규모 (백만 유로, 2015년 기준)	성장률 (2015년-2020년)	시장규모 (백만 유로, 2015년 기준)	성장률 (2015년-2020년)
서유럽	2,600	+2.1%	3,550	+2.6%
동유럽	500	-1.1%	930	+2.4%
북미	660	+5.4%	520	+3.0%
중남미	260	+1.2%	210	+4.0%
아시아	3,130	+1.6%	1,850	+4.3%
CIS	260	+2.6%	920	+2.2%
아프리카/중동	550	+9.6%	160	+3.3%
오스트레일리아/태평양	210	+2.0%	230	+2.5%
합계	8,170	+2.6%	8,370	+3.0%

* 자료 : The Worldwide Market for Railway Industries 2016, SCI Verkehr GmbH

- 여객정보시스템 시장은 신규(신설 및 개량)시장이 기존(유지보수 및 교체) 시장보다 규모가 크고 전체적으로 모든 권역별 시장에서 성장 추세를 보임

표 2-13 여객정보시스템분야 신설 및 개량과 유지보수 및 교체 권역별 시장규모·성장률

권역	신설 및 개량 분야(신규)		유지보수 및 교체 분야(판매 후)	
	시장규모 (백만 유로, 2015년 기준)	성장률 (2015년- 2020년)	시장규모 (백만 유로, 2015년 기준)	성장률 (2015년- 2020년)
서유럽	840	+2.8%	160	-1.2%
동유럽	240	+2.1%	90	+2.8%
북미	180	+2.9%	30	+1.8%
중남미	30	+1.6%	〈5	+3.4%
아시아	1,000	+3.0%	180	+5.6%
CIS	90	+1.7%	20	+3.4%
아프리카/중동	30	+2.8%	10	+3.3%
오스트레일리아/태평양	30	+1.7%	〈5	+3.0%
합계	2,440	+2.7%	490	+2.7%

* 자료 : The Worldwide Market for Railway Industries 2016, SCI Verkehr GmbH

4. 철도차량 유지관리 시장

❑ 철도차량산업의 특징[59)]

○ 철도차량은 다른 수송기관과 달리 철도 선로 위에서만 주행하는 것이고 철도차량부품 또한 그 철도차량에만 소요되는 것이므로, 철도차량부품에 대한 수요도 기본적으로 철도라는 사회간접자본에 의해 제약을 받음

○ 철도차량은 구조나 용도, 시스템에 따라 그 종류가 여러 가지로 세분화되고 경우에 따라 그 설계사양이 서로 다양하며, 철도차량부품의 경우도 그에 따라 사양이 달라지므로 다품종 소량생산 위주의 산업으로써 규모의 경제를 달성하기가 어려움

○ 부품이 다양하고 시장 규모가 제한적인 특성 때문에 철도차량부품의 생산 비중이 80% 이상인 업체는 대체로 영세한 기업일 뿐만 아니라, 철도차량부품 생산에만 특화한 기업은 거의 없는 실정임

- 고도의 기술력이 필요한 전장부품, 신호제어시스템, 특수소재분야는 독점 또는 과점체제이나 기계부품인 경우 경쟁이 상대적으로 치열한 구조를 이룸

○ 철도차량산업은 막대한 자본과 기술이 요구되는 기간산업으로 일반적으로 주문과 입찰에 의해 시장이 형성되게 되며 철도차량은 인명과 재산을 안전하게 수송하기 위한 수단이므로 주요 기능 부품의 경우 복잡한 공정과 높은 정밀도 외에 고도의 기술적 신뢰도와 안전성이 요구됨

❑ 2020년 예상되는 글로벌 철도차량시장 규모 중 유지관리 시장은 53%으로 신규 개발 시장(47%)보다 6%p 클 것으로 전망됨[60)]

59) 2010지식경제백서, 철도차량산업 산업정책
60) The World Wide Market for Railway Technology 2011-2016, SCI

○ 철도차량 유지보수 등 차량 판매후서비스(After-Sales Services)에 대한 세계시장 규모는 2015년 기준으로 890억 유로 수준으로, 2020년까지 연 평균 3.2%씩 성장할 것으로 예측되며, 신차 시장의 규모를 초과하였음[61)]

○ 시장의 예상 연평균성장률 역시 유지관리 시장이 3.2%, 신규개발 시장이 1.3%로 유지관리 시장이 높게 나타남

- 기관유형별로 살펴보면 철도운영기관이 소유하는 차량의 유지보수는 시장규모가 60~70%를 차지하고 있으나, 철도차량 제작사나 공급자를 통해 유지보수하는 시장비율이 점차 증가하는 추세임

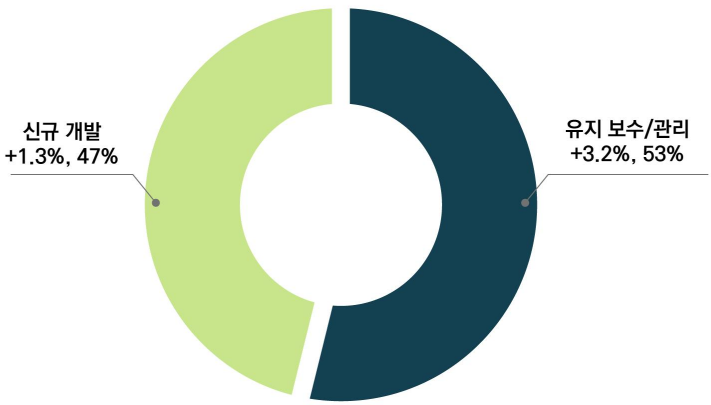


그림 2-28 2020 세계 철도시장 규모 예상 비율

○ 유지보수 유형별로 살펴보면 차량 운영 중(running)의 경정비(light maintenance) 시장규모가 290억 유로(59%)로서 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 중정비(Heavy maintenance) 및 대수선(Refurbishment) 시장규모는 각각 160억 유로(32%)와 45억 유로(9%)로 나타나고 있음.

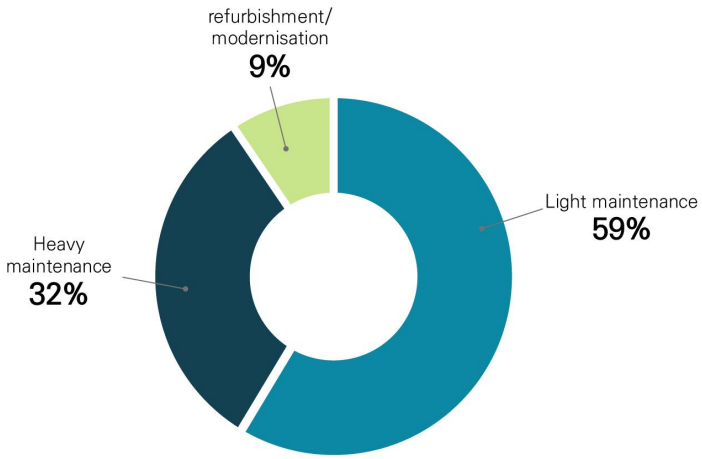


그림 2-29 유지보수시장 부문별 비율

61) SCI 보고서: Worldwide market for railway industries, 2016.9

○ 국가별 유비관리시장의 규모는 화물수송 비중이 높은 미국의 시장규모가 가장 크게 나타나고 있으며, 러시아, 중국 순임

- 중국은 미국, 러시아에 비해 시장규모의 약 50%가 여객 및 도시철도 차량에 의해 형성되고 있으며, 고속철도 및 도시철도 차량의 경우 연 15% 이상의 성장률을 예상

- 일본은 약 95%가 고속철도 및 도시철도 차량으로 시장이 형성

❑ 유지보수장비 시장은 2016년 3조 4천억원에서 2021년 4조 5천억원 규모로 성장할 것으로 예측됨[62)]

○ 유지보수 작업차량 시장은 2016년 2조9천 억원에서 2021년 4조 6천 억원으로 성장할 것으로 예측되며, 소규모 유지보수 장비시장은 2016년 8천 억원에서 2021년 1조 2천 억원으로 성장할 것으로 예측됨



그림 2-30 작업차량 및 소규모장비 시장예측

○ 현재 유지보수장비 시장을 주도하는 글로벌 업체로는 CRCC High-Tech사, Harsco사, Loram Maintenance of Way사, Plasser & Theurer사, ROBEL Bahnbaumaschinen사, Speno 사 등이 있음

❑ 국내 철도차량 산업 구조 및 현황[63)]

○ 한국철도차량공업협회 회원사 현황[64)]을 살펴보면 차량제작사로는 현대로템(주), 우진산전, 다원시스, 로윈, 성신 RST 등 5개 업체가 있으며, 기장, 대차, 신호, 의장, 전기, 전장, 제동 7개 부문의 총 208개 업체가 있음

62) 출처: Global railway maintenance machinery market 2017-2021보고서, TECHNAVIO
63) 오윤식 외, 국내 철도산업 소재 부품기업 현황조사, 2015년 한국철도학회 춘계학술대회 논문집
64) 양정무 외, 철도차량 부품호환 및 표준모듈연구 기획보고서, 국토교통부 국토교통과학기술진흥원, 2016

표 2-14 국내 철도차량산업 관련 기업 현황

구분	업체명(업체수)	제조내용
차량제작사	현대로템	고속전철, 전동차, 경전철, 기관차, 자기부상열차
	다원시스	도시철도차량
	우진산전	고무차륜 경전철 제작
	로윈	도시철도차량, 모노레일
	성신RST	특수차, 화차, 객차
기장부문	(21개)	1,2,3차 부품
대차부문	(45개)	1,2,3차 부품
신호부문	(13개)	1,2,3차 부품
의장부문	(43개)	1,2,3차 부품
전기부문	(49개)	1,2,3차 부품
전장부문	(26개)	1,2,3차 부품
제동부문	(7개)	1,2,3차 부품
소계	**(208개)**	**소계**

○ 국내 철도 유지관리는 운영처 위주로 수행되고 있으며, 최근 중소도시의 경전철의 경우 위탁 형태로 운영되는 경우도 있으나, 아직까지 유지관리시장은 차량 및 부품 공급업체 위주로 수행되고 있음

○ 다만, 국내 유지관리시장에 대해 관련 업체들이 매출을 유지관리분야로 별도 산정하지 않아, 차량 유지관리시장에 대한 구체적인 시장규모 산정이 어려움

❑ 차량고장은 제작 상 결함도 있지만 사후 유지·관리의 측면 중요[65)]

○ 주행장치 고장 등 차량고장으로인한 열차사고가 지속 발생

○ 철도차량은 차량일반, 주행장치, 동력장치, 차체, 부속장치, 제어장치, 제동장치 등으로 구분

- 주행장치(Running Gear)는 차체를 지지하는 장치로서, 차량의 주행을 담당하는 부분의 총칭을 의미

- 일반적으로 주행장치는 대차, 윤축, 액슬박스 및 부속품, 스프링장치, 대차보조구조부, 기초 제동장치 등으로 구성되며 주행장치가 고장났다는 것은 차체 하부의 대차나 차륜 등에 문제가 발생했음을 의미함

○ 업계에서는 철도 안전을 확보하는데 있어 차량 제작 자체에 오류나 결함이 발생하지 않았는지 검증하는 것도 당연히 중요하지만, 그에 못지않게 차량을 지속적·체계적으로 유지·보수할 수 있는 인력과 기술도 충분히 확보되어야 한다고 말함

65) http://m.pmnews.co.kr/88847

5. 스마트 철도 시장[66)]

❑ 최근 철도산업에는 철도인프라 자동화, 최적화 등이 요구되는 스마트 철도 시스템 시장이 신흥시장으로 대두되었으며, 2015년 기준 192억 달러로 27%의 성장률을 보이며 급성장

○ 스마트 철도시스템 시장은 철도 인프라의 운영 최적화, 자동화의 요구에 따라 ICT기반으로 하는 다양한 신규 시장이 형성

- 타 운송수단 대비 접근성, 편리성, 신속성, 안전성 등의 요인으로 철도 운송에 대한 수요가 증가하고 있으며 이에 대한 철도 인프라의 운영 최적화, 자동화가 요구됨

- 이에 대한 수요로 스마트 철도 시스템은 철도 인프라의 사용을 자동화하고 최적화하는 솔루션, 장치 및 구성요소 및 서비스로 구성되며, 승객예약 및 정보시스템, 화물 운영정보시스템, 철도 교통관리, 운영 및 자산 관리, IP기반 보안모니터링, 통신, 발권 및 철도 분석과 같은 여러 구성 요소가 있음

- 또한 스마트 철도 시스템에는 ICT를 기반으로 하는 차세대 솔루션과 서비스가 포함

○ 글로벌 스마트 철도 시스템 시장은 솔루션, 장치 및 부품, 서비스 시장으로 세분화 되며 2015년 기준 각 분야별 유사한 시장 규모를 가짐

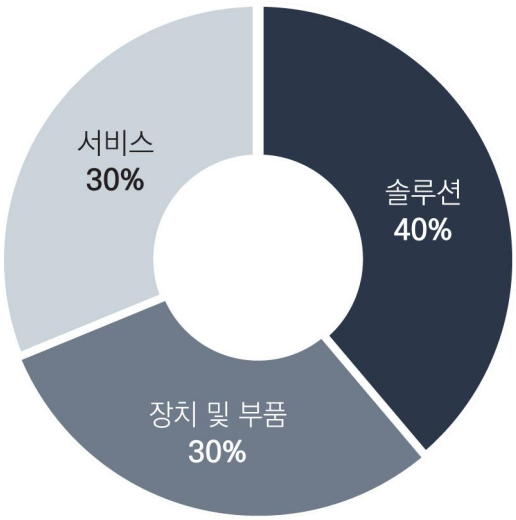


그림 2-31 스마트 철도 시스템 시장 분야별 비중

* 자료 : Global Smart Railways Systems Market 2016-2020, Technavio

○ 스마트 철도 시스템 시장은 선진국의 경우 기존 철도 인프라를 극대화하는 비용 효율적인 방법으로 분석 시스템을 적용하여 혁신적인 철도 시스템 및 분석을 위한 막대한 시장을 창출 할 것으로 전망

❑ 스마트 철도 시스템 시장의 주요 기업은 화웨이와 지멘스로 다양한 솔루션과 제품을 제공하고 있음

66) Global Smart Railways Systems Market 2016-2020, Technavio

- 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, 전세계 수많은 철도 차량에 적용하고 있으며, 또한 자동열차제어시스템, 전자인터로킹시스템, 운영제어시스템, 철도통신시스템, 온보드 전원공급시스템 및 견인모터와 같은 다양한 자동화 서비스를 철도에 제공하고 있음

제3절 국내·외 사회 환경분석

❑ 철도안전과 관계되는 사회환경을 분석하기 위해 미래전망 보고서의 트렌드에 따라 변화하고 있는 국내·외 사회환경 동향에 대해 구체적으로 살펴봄

○ 국내·외 주요 기관의 미래전망 예측·분석 보고서에서 제시하고 있는 철도안전 분야의 미래환경 트렌드를 분석

- Global Risk 2018, NIC Global Trends 2030 미래예측 보고서, KISTEP 제4회 과학기술예측조사(2012~2035) 보고서를 토대로 철도안전과 관련된 트렌드를 도출

○ 도출된 미래 트렌드에 따라 철도안전분야에서 변화되고 있는 사회환경 동향을 살펴봄

❑ Global Risk 2018에서 제시한 발생 가능성과 영향력이 큰 10대 글로벌 위험요인 중에 8개 항목이 철도 안전과 관련됨

○ 'Extreme weather events', 'Man-made environmental disaster', 'Failure of climate-change mitigation and adaptation', 'Failure of regional or global governance', 'Energy price shock', 'Interstate conflict', 'Fiscal crises', 'Adverse consequences of technological advances'로 구성[67]

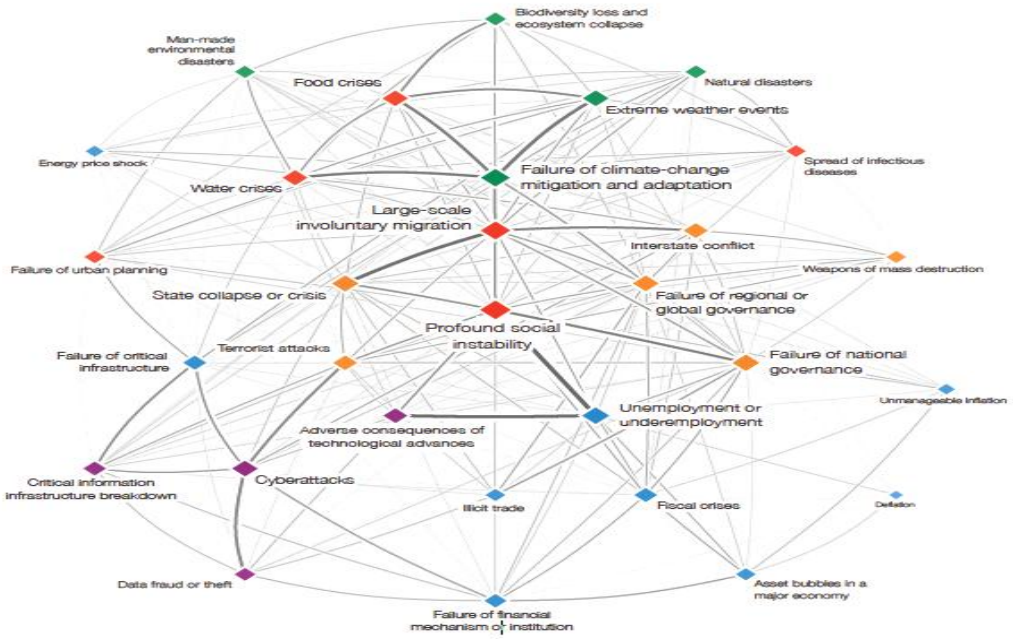


그림 2-32 글로벌 위험요인간의 연계도(Global Risk 2018)

❑ NIC Global Trends 2035 미래예측 보고서에서는 7대 메가트렌드를 설정하였는데, 이중 '기술에 따른 발전과 부작용', '기후 변화, 환경 및 건강 문제'의 2개 메가트렌드가 관련됨

○ '기술에 따른 발전과 부작용'에서는 기술 발전은 빠른 변화와 새로운 기회를 가져오지만 승자와 패자 간 분열이 심화

67) World Economic Forum, The Global Risks Report 2018(13th edition), 2018

- 자동화와 인공지능은 빠르게 산업을 변화시킬 것이며, 잠재적으로 노동자를 대체하고 빈곤국의 성장을 제한할 것으로 예상

○ '기후 변화, 환경 및 건강 문제'로 인하여 이상기후, 불안정한 식량 상황, 해수면 상승, 오염 등 기후변화에 대한 글로벌 협력이 요구됨

❑ KISTEP 제5회 과학기술예측조사(2016~2040)에서 발표한 메가트렌드 중 철도 안전과 관련된 5개 메가트렌드 구성

표 2-15 KISTEP 제5회 과학기술예측조사 메가트렌드(철도 안전 관련 분야)

메가트렌드	트렌드	주요 내용
휴먼 임파워먼트	▪ 인공지능과 자동화 ▪ 초고속 이동	▪ 무인 이동체로 인한 물류 및 교통 체계 개편 ▪ 인구 이동성 확대로 인한 도시 집중화(새로운 거대 도시 출현) ▪ 급속한 도시화로 인한 대형 도시재난 발생(재난재해 취약성 증가, 피해 규모 증가 등) ▪ 초고속 이동 수단의 도입 및 활용을 위해 기존의 교통항공시스템을 재구성
초연결에 의한 혁신	▪ 초연결 기술 ▪ 디지털 네트워크 사회	▪ 무인시스템, 지능형 교통시스템 등 오작동으로 인한 사고 문제 ▪ 네트워크로 연결된 사물의 기계적 오류로 인한 문제 ▪ 남북간 격차의 지속적 심화로 통일 후 상황 대응을 위한 비용 증가 (재건, 인프라, 통합, 행정체제 등)
환경 리스크 심화	▪ 에너지 수급 불균형 ▪ 자연재난 증가	▪ 에너지 안보 위기(에너지 생산 및 수송에 대한 테러와 강탈) ▪ 사회적 재난 증가로 인한 재난 대응 체계 및 공공안전 인프라에 대한 사회적 관심 고조 ▪ 미세먼지 등 환경오염에 대한 사회적 경각심 증가 ▪ 자연재해로부터의 피해를 가능한 저감하기 위한 대응 ▪ 기후변화 및 자연재해의 발생가능성과 영향에 대한 예측의 중요성
사회 복잡성의 진화	▪ 경제·사회적 불평등 심화 ▪ 사회적 재난 증가 ▪ 융합을 통한 창조 ▪ 기술발전에 따른 부작용 증가 ▪ 사회적 재난 증가 ▪ 통일 이슈 증가 ▪ 안보 위협요소의 진화	▪ 노약자 및 소회계층 대상 사회 보장 증가 ▪ 메가 시티 또는 거대 주거 건물을 대상으로 하는 새로운 거버넌스 출현 ▪ 공공안전 인프라에 대한 사회적 관심 고조 ▪ 과학기술의 융복합 가속화 ▪ 통일 후 상황 대응을 위한 비용 증가 (재건, 인프라, 통합, 행정체제 등)

메가트렌드	트렌드	주요 내용
경제시스템의 재편	▪ 도시화 확대 ▪ 글로벌 인구 이동 ▪ 세계 인구 증가 ▪ 글로벌 경제의 연결성 강화	▪ 인구 이동성 확대로 인한 도시 집중화 (새로운 거대 도시 출현) ▪ 급속한 도시화로 인한 대형 도시재난 발생(재난재해 취약성 증가, 피해 규모 증가 등)

자료 : KISTEP, 제5회 과학기술예측조사(2016-2040), 2016

○ 특히, 도시·건설·교통 분야의 메가트렌드 내용으로 자동차 억제정책으로 도시철도의 역할 및 기술발전 증대, 도시간의 신속성 및 안전성 추구, 환경오염 및 유가인상 문제해결 필요성 증대, 에너지 효율 향상 및 신재생에너지 적용 추구와 같은 항목 도출

❑ 2040 국토교통 미래기술예측조사 보고서에 따르면 7대 메가트렌트 및 14개 관련 트렌드를 도출하였고 교통분야에서의 변화를 살펴봄

○ 인구구조 및 사회환경의 변화

- 저출산·고령화사회, 도시인구의 증가로 고령자 등 교통약자의 이동성 향상 등 개인교통수단 보급, 고밀도시나 대공간내 효율적 이동을 위한 이동수단의 변화가 전망

○ 과학기술의 발전

- 첨단 국토교통 기술 발전에 따라 보다 효율적이고 창의적인 도시내/지역간 교통시스템, 교통수단 보급될 전망

○ 기술 융복합

- 교통과 ICT 접목을 통한 고효율 운영의 필요에 따라 실시간 교통상황, 소요시간, 대체 우회경로, 돌발 특별상황 등의 교통상황 제공 등 지속적인 발전이 이루어지고 있음

- 나노기술의 발달로 형상기억 소재 등은 철도레일 등에 도입되어 영하 30~80℃ 극한 일교차에도 변형 없는 신소재, 신공법 철도 레일기술이 등장할 것이며, 초고강도, 내식성, 무오염 나노소재 표면 처리 기술 개발되어 교통시스템에 활용될 것임

○ 글로벌 경제사회

- 세계시장의 통합, 인력이동의 글로벌화로 초고속열차 시스템과 물류 효율화 기술, 글로벌 철도 연계를 위한 철도차량 및 인프라에 대한 국제표준 대응 필요

○ 지구온난화 및 기후변화

- 지구온난화 심화, 환경오염의 증가로 친환경 기술 분야에 대한 연구개발 지속으로 정책적 규제와 유도로 인해 철도 등 친환경 이동수단 활성화

○ 안보 및 안전

- 재해·재난 대비하여 철도사고 저감을 위해 관련 검측기술의 정확성과 신뢰성을 제고하고, 한반도 통일 시대 대비하여 열악한 북한의 도로, 철도 교체 시 대응방안 마련 필요

❑ 앞서 분석한 미래예측보고서를 토대로 철도안전 분야의 핵심 트렌드를 요약하고, STEEP 관점에서 주요 미래 이슈를 구조화

○ STEEP 분석 틀에 따라 사회(Social), 기술(Technology), 경제(Economic), 환경(Environment), 정책(Political) 5가지 관점에서 철도안전 분야의 미래 이슈 도출

- 교통분야 철도 안전 수준 향상 기대
- 정보통신기술 등 과학기술 발달로 인한 기술 융·복합 추세
- 도시간 이동 활발, 물류증가에 따른 효율성, 안전성 추구
- 기후변화에 따른 폭염, 한파 등의 기상이변 대비한 철도안전성 제고
- 4차 산업혁명 정책 패러다임 전환에 따른 철도기술개발 요구

○ 다음절에서는 5가지 이슈에 따른 철도안전분야의 변화를 국내·외 사회환경적인 측면에서 살펴봄



그림 2-33 철도안전 분야의 메가트렌드 분석

1. 국내 사회환경

❑ 철도를 이용하는 이용객이 점차 고령화될 것이며, 이에 따라 인프라 안전 수준 향상 기대

○ 우리나라는 2000년에 이미 고령화 사회(65세 이상 고령자 비율 7%)에 진입하였으며 2018년 고령사회(14%), 2025년 초고령사회(20%)에 도달할 전망

- 보건복지부(2012)에 따르면, 2026년 초고령사회(20%)에 이어 2049년에는 전체 인구의 40%가 노인이 될 전망으로, 고령화 사회에서 고령사회, 초고령사회로 진전되는 속도는 17년과 8년으로 대표적인 고령국가인 일본(24년, 12년)이나 프랑스(115년, 39년) 등에 비해 현저히 빠

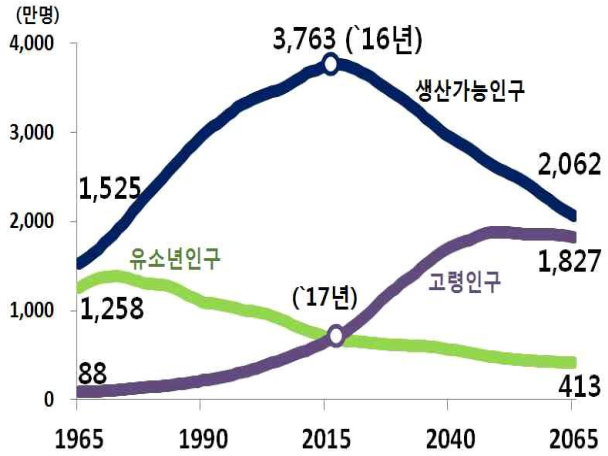
르게 진행될 것으로 보임[68)]

- 우리나라 인구성장률은 2015년 0.53%에서 감소, 2032년에 인구가 줄어드는 마이너스 인구성장을 시작, 2065년에는 -1.03% 수준에 이를 전망

- 생산가능인구는 2016년을 정점으로 감소하고 있으며, 2065년에는 생산가능인구는 47.9%, 고령인구는 42.5%, 유소년인구는 9.6%를 차지

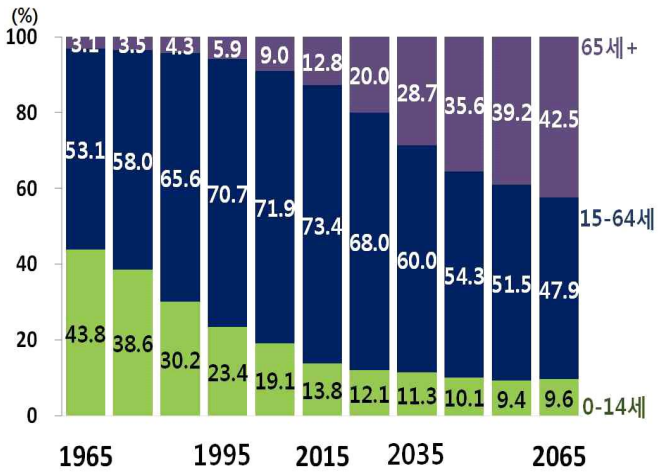
○ 이에 따라, 교통을 이용하는 이용객이 점차 고령화될 것이며, 개별 자동차 이용보다는 대중교통의 하나인 도시철도 등 철도 이용객이 고령화될 것으로 예상

- 고령자, 장애자 등 사회적 약자에 대한 교통편의 제공이 새로운 과제로 대두될 것으로 보여 기존의 교통체계를 획기적으로 개선한 안전하고 편리한 새로운 교통물류시스템의 개발이 이루어질 것으로 기대



자료: 통계청, 장래인구추계 2015-2065년, 2016

그림 2-34 우리나라 인구구조(1965년-2065년)



자료: 통계청, 장래인구추계 2015-2065년, 2016

그림 2-35 우리나라 연령별 인구구성비(1965년-2065년)

68) 보건복지부(2012), 보도자료

❑ 정보통신기술 등 과학기술 발달 및 메가시티 내, 지역 간 이동을 위한 첨단 기술이 적용된교통수단이 필요해짐에 따라 이와 관련하여 안전관리 측면에서의 관심도 급부상

○ ICT 기술 융합으로 지능형 교통체계 및 자율주행 자동차, 지능형 인프라 및 주택 등 다양한 국토교통 분야와의 접목이 가능하나 단전, 통신장애 발생 시 대응 매뉴얼 여전히 부실

- 첨단 정보통신기술(ICT)과 결합되어 체계적인 도시관리가 이루어지게 될 것이며 이를 통해 안전, 의료, 교통, 문화, 레저 등 각종 생활정보를 제공하여 편의성을 높이고, 삶의 질 향상을 도모하는 기술에 대한 관심이 증대

- ICT 기술융합을 통한 자동화, 지능화 과정은 국토교통기술 전반에 적용될 수 있으나, 2018년 11월 20일 KTX 오송역 단전(斷電) 사고, 11월 24일 KT 화재 등의 사고로 인한 통신장애 발생 시 대응할 수 있는 안전관리 대응 매뉴얼 작동이 부실, 무인운전, 무인역사* 도입에 대응한 사이버 보안** 등 미흡

* 무인간이역 : '15년 200개소이나 경영 효율화 등으로 매년 증가 추세

** (주요 사례) 서울메트로('14.7), 한국수력원자력('14.12) 해킹 등

○ 도시로의 인구 집중 및 지속적 도시화로 미래도시 이동수요 증대

- 유엔 경제사회국(DESA) '2018 세계 도시화 전망' 보고서에는 한국의 도시인구 비율은 현재 81.5%에서 2050년 86.2%로 증가할 것으로 전망

- 2010년 기준으로 수도권에 전체 인구의 49%가 거주하고 있으며, 수도권 인구의 비중은 점차 확대되며, 도시화 지속에 따라 2050년 전 세계 미래도시 이동수요는 약 67조km로 2010년 26조km 대비 1.6배 증가할 것으로 전망됨[69)]

- 이로 인해 특히 서울 수도권을 중심으로 도시화가 급진전되며, 열악한 수도권 통근 인프라, 기존 교통수단의 한계 등으로 광역급행철도(GTX)를 추진

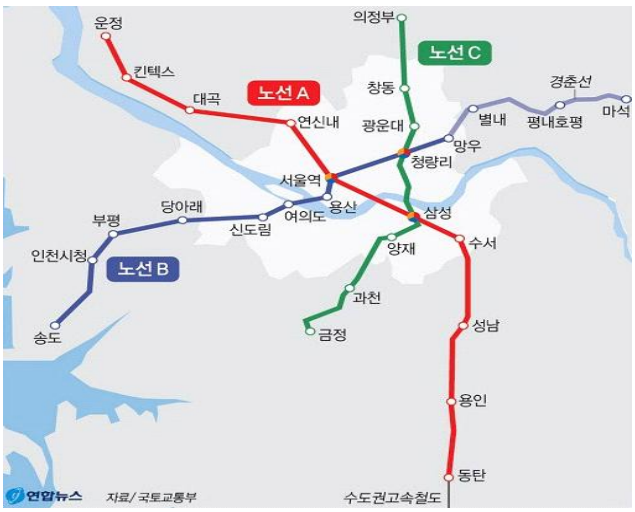


그림 2-36 광역급행철도(GTX)의 노선

69) Arthur D. Little(2014), The Future of Urban Mobility 2.0.

❑ 국내 기후변화에 따른 폭염, 폭우, 한파 등에 대비한 정시성, 수송 및 유지비용을 고려한 철도인프라 구축 요구

○ 우리나라는 세계 평균보다 온난화가 빠르게 진행되는 '기후변화 민감지역'으로 1991~2000년 한반도 연평균 기온은 13.5℃로 1912~1990년에 비해 1.5℃ 상승하여75), 동기간 세계 평균 기온 상승폭(0.6℃)의 2.5배에 달하고 있음

○ 지구온난화로 인한 예상치 못한 자연재난의 발생과 피해규모가 대형화될 것으로 예상됨에 따라 재해 예측 및 사전경보 시스템 건설 등 기존 SOC의 성능 향상 및 X-event에 대응하기 위한 안전기술 적용이 증가할 것으로 전망

○ 폭염으로 레일의 온도가 오르면 레일이 늘어나 뒤틀리는 현상 발생 때문에 64℃이상 상승하면 열차 운행이 중지되며, 2018년 7월 계속되는 폭염으로 국토부와 코레일은 폭염대책본부를 운영한 사례가 있음

- 따라서 2018년 여름 잦은 폭염으로 인한 레일변형에 대비해 레일온도 관리, 선로 살수작업, 주요 전기설비에 대한 기능점검, 작업자 안전 확보 등이 주요 이슈로 대두됨

❑ 정부 정책 패러다임이 기존시설 개량 및 운영 효율화, 국토교통 4차 산업혁명에 대비한 기술개발 추진으로 교통 관련 정책 패러다임이 전환

○ 정부는 교통 SOC신설 및 확장에서 교통망 운영 효율화 및 시설개량으로 국토교통 정책 패러다임 전환됨에 따라 관련 안전관리 측면도 우려

- 이러한 패러다임 변화는 제2차 도로정비기본계획(2011~2020)에서도 드러나는데 기존 건설 및 개발, 신설 및 확장에서 효율성/환경/안전, 시설개량으로 기본방향을 변경

- 국가기간교통망계획 제2차 수정계획(2001~2020)에서는 최근 교통여건 변화를 반영하여 효율적인 교통체계 구축을 위한 미래지향적 목표와 비전 설정, 교통 SOC 최상위계획으로서의 기능 및 위상강화, 교통 SOC 투자 패러다임을 반영한 우선순위 조정 등으로 비전 및 목표를 재설정

- 신규 글로벌 교통망 건설보다는 기존 교통망의 개량을 통한 활용이 예상

- 이에 따라 투자 우선순위가 기존 시설물의 효율적 운영 및 개량 중심으로 이동할 것으로 예상

○ 기존 연구자 중심의 ICT 기반 추진에서 현재는 정부 정책 방향에 강력한 추진으로 인해 대부분의 산업에서는 4차 산업혁명에 대비한 기술개발 추진이 요구

표 2-16 정부부처별 4차 산업혁명 정책 추진 방향

주무부처	정책 명칭	발표 시기
관계부처 합동	4차 산업혁명에 대응한 지능정보사회 중장기 종합대책	2016.12
기획재정부	미래변화에의 선제적 대응(2017업무계획 中)	2017.01
	4차 산업혁명 대응을 위한 중장기 정책과제	2017.03
산업통상 자원부	4차 산업혁명 시대 신산업 창출을 위한 정책과제	2016.12
	4차 산업혁명 선도하는 스마트 공장, 올해까지 5,000개 보급	2017.02
미래창조 과학부	9대 국가전략 프로젝트 선정	2016.08
	10년 후 대한민국, 4차 산업혁명 시대의 생산과 소비	2017.04
고용노동부	4차 산업혁명에 대비한 직업능력개발훈련 제도개편(안)	2016.10
국토교통부	국토교통 4차 산업혁명 대응전략	2017.04

자료 : KIEP, 주요국의 4차 산업혁명과 한국의 성장전략, 2017

2. 국외 사회환경

❑ 세계 인구 고령화로 인한 사회적 약자에 대한 교통편의 제공 및 도시 고밀화 가속에 따른 유동인구 증가로 새로운 교통시스템 개발 요구

○ UN '2015년 세계인구전망(World Population Prospects: the 2015 Revision)'에 따르면 향후 수십년간 전 세계적으로 60세 이상 노년층이 급격히 증가할 것이며, 증가 속도도 지속적으로 가속화될 전망

- 특히 65세이상 고령인구 비율은 1970년 3.1%에서 2013년 12.2%로 지속적으로 증가했으며, 2030년 24.3%, 2050년 37.4% 수준에 이를 전망

※ 2040년 고령인구비율: 미국 21.2%, 독일 31.8%, 프랑스 25.4%, 일본 34.5%

- 스웨덴의 Home Help 프로그램은 고령인구를 위해 시간에 제한 없이 다양한 지원을 받을 수 있는 프로그램으로서 음식서비스, 대중교통을 이용할 수 없는 사람들을 위한 택시 서비스, 치매나 정신질환자를 위한 주간활동(daytime activities) 등을 포함

- 따라서 고령자 등 교통약자의 이동성 향상을 위한 개인교통수단으로 초경량, 초강도, 초소형 자율주행 차량 등의 보급과 경제적이고 에너지를 적게 쓰도록 교통수단의 소형화가 예상됨



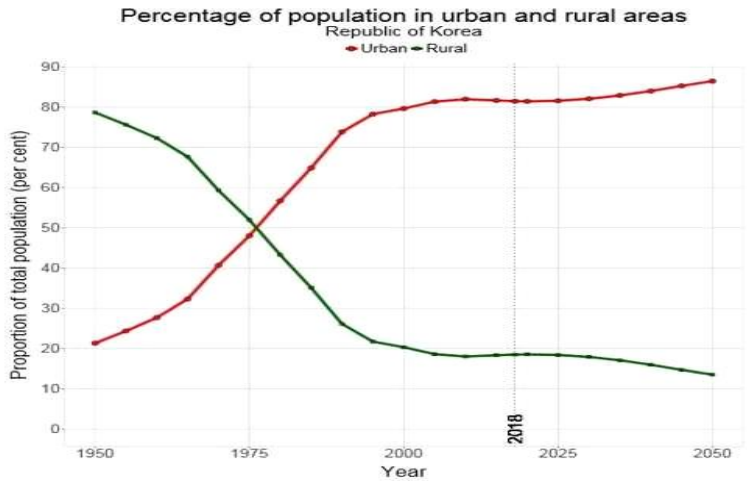
그림 2-37 전세계 도시인구 비율

○ 유엔 경제사회국(DESA)의 2018 세계 도시화 전망 보고서에서 전 세계적으로 인구가 도시에 쏠리는 현상이 심화하고 있는 가운데, 앞으로 약 30년 후 세계인구 10명 중 7명은 도시에 살게 될 것이란 전망

- 현재 도시인구 비율이 55%인 것과 비교하여 2050년까지 25억명의 인구가 도시지역에 새로 정착하면서 지구촌의 도시인구 비율은 68%에 달할 것으로 관측

※ 특히 이 기간 도시인구 증가의 90%는 아시아와 아프리카에 집중

- 도시인구 증가와 지속적 도시화에 대응할 수 있는 안전한 고밀 도시의 보급이 가능하도록 공간 활용을 극대화하는 메가시티가 증가함에 따라 고밀도시나 대공간내에서의 효율적 이동뿐 아니라 대형도시 및 지역 간 이동을 위한 첨단 기술이 적용된 육상, 항공 교통수단이 필요



자료 : World Urbanization Prospects: 2018 Revision, UN, 2018

그림 2-38 세계의 장래 도시 및 지방 인구

❑ 과학기술의 발전에 따라 보다 효율적이고 창의적인 도시내/지역간 교통시스템이나 교통수단이 보

급될 것이나, 열차 운행의 안정성 제고 지속 필요

○ 미래 메가시티 내/메가시티 간 교통체계에 대한 수요가 대두됨에 따라 창의적 아이디어를 활용한 다차원의 Multimodal 교통시스템이 필요할 것으로 전망

- 대표적인 자동차 산업국인 미국, 일본 등은 첨단 무인 소형 교통수단인 도심용 운송수단 'ENV(Electric Networked Vehicle)', 미래 교통수단인 'ETT(Evacuated Tube Transport)' 캡슐형 자기부상차량 등 에너지 소모가 적고 환경오염이 거의 없는 새로운 운송수단을 개발 중

- 유럽에서는 열차 운행의 안정성 제고를 위한 통신기술개발 등을 통해 차량 운행에 대한 모니터링 활동을 강화하는 추세

❑ 최근 세계적인 테러 위협 증가 및 위험요인으로부터 이어지는 대형사고* 가능성은 상존하며, 최악 상황을 예측**·제거하여 안전성 위협으로부터 국민 불안감 해소 필요

** 다양한 사고 시나리오의 사전 과학적 분석을 기반으로 사고전조 요인에 대한 위험도 평가 및 관리

○ 9.11테러 이후 세계적으로 다중시설에 대한 테러가 증가 추세이며 열차 탈선, 충돌 등으로 인한 대형사고 지속 발생

※ 테러 : ('16.3.22) 벨기에 브뤼셀 지하철 폭탄테러(사망 15명, 부상 55명)

※ 대형사고 : 대만 열차탈선 22명 사망('18년), 이탈리아 열차탈선 3명 사망('18년), 이탈리아 열차충돌 23명 사망('16), 스페인 열차탈선 80명 사망('13년), 프랑스 열차탈선 7명 사망('13년), 독일 열차충돌 35명 부상('14년), 독일 열차테러('16)

○ 위험관리 기반의 안전관리체계·제도 및 이를 지원하는 기술을 개발하고, 사전예방부터 사후관리까지의 통합 안전관리를 위한 환류체계 구축 필요

- 선진국의 경우 제도, 데이터, 정보생성 도구를 연계·발전하여 철도안전관리의 지속적인 개선을 환류체계(PDCA, Plan-Do-Check-Act) 구축

❑ 최근 기후변화로 인한 폭우, 폭설 등 기상이변, 지진과 쓰나미, 화산폭발 등은 도로망을 직접적으로 단절시키는 대규모 교통재난과 교통혼잡으로 이어짐

○ 온실가스 배출량 증가로 지구 온난화가 빠르게 지속되고 있으며, 전 세계적으로 온실가스 배출량을 줄이기 위한 노력을 기울이고 있음

- 온실가스 배출량의 증가로 인해서 최근 100년간(1906~2005년) 지구평균 기온은 약 0.74℃ ±0.18 정도 증가하였고, 최근 50년을 고려하면 더욱 커진다고 보고(0.13℃±0.03/10년)

○ 기후변화 관련 기술은 기후변화 원인 관련 시나리오 기술 중심이었으나, 향후 기후변화에 따른 사회 인프라 시설의 대응기술 개발로 전환이 예상

- 과거의 기후변화 관련 기술은 기후변화의 원인이 되는 탄소배출 저감 방안과 재해방지와 관련된 시나리오 기술에 치중하였으나, 향후 기후변화에 따른 도시건축 SOC 철도 교통물류 물관리 항공 플랜트 적응 기술로 기후변화 대응 패러다임이 전환될 것으로 예상

- 도시 교통시스템은 대중 교통중심의 친환경 교통체계로 개편될 것이며, 철도 자전거 보행 등 친환경 이동수단이 활성화될 것이고, 수송부문의 온실가스 발생량 감소로 인해 열섬효과, 대기

오염 등 주요 도시문제들이 개선될 것이며, 이에 따라 안전하고 쾌적한 거주환경이 기대됨

○ 교통소통개선 및 과속운전방지 등을 통해 에너지 소비 및 배기가스를 감소시킴으로써 최근 철도사고를 저감을 위해 관련 검측기술의 정확성과 신뢰성을 제고

- 유럽에서는 열차 운행의 안정성 제고를 위한 통신기술개발 등을 통해 차량 운행에 대한 모니터링 활동을 강화하는 추세

- 컴퓨팅 능력의 향상에 따라 대규모 화재 및 피난해석이 가능하게 됨에 따라 사양중심의 안전관리 절차를 각 대상의 특성에 맞는 성능중심의 관리체계로 전환

❑ AI, IoT, 빅데이터 등 지능정보기술이 사회 전 분야에 적용되어 경제 · 사회 구조의 근본적 변화를 촉발하는 기술혁명을 의미하는 4차 산업혁명이 대두됨에 따라 철도 등 교통서비스 및 교통안전 분야의 효율성 향상 기대

○ 단 정보통신기술(ICT)과 결합되어 체계적인 도시관리가 이루어지게 될 것이며 이를 통해 안전, 의료, 교통, 문화, 레저 등 각종 생활정보를 제공하여 편의성을 높이고, 삶의 질 향상을 도모하는 기술에 대한 관심이 증대

- 지능정보기술 활용 기반인 공간 · 교통 등 빅데이터 중요성 증가하고, IoT · AI를 활용, SOC 실시간 모니터링 · 판단 · 제어가 가능해지며, 자연재해, 싱크홀, 테러 · 안보 위협 등으로부터 안전성 제고 가능

- 또한 데이터 트래픽 급증, 원격조정 확대로 국가 주요시설 관련 데이터 관리 · 사이버 보안의 중요성 더욱 증대

○ 공공서비스에 지능정보기술 적용으로 IoT · AI를 활용, SOC 실시간 모니터링 · 판단 · 제어가 가능해지며, 자연재해, 싱크홀, 테러 · 안보 위협 등으로부터 안전성 제고, door to door 교통서비스의 발달로 교통약자의 이동권이 강화 되고, 철도 · 항공 등 교통서비스의 효율성 향상을 기대할 수 있음

제4절 기술개발 동향분석

❑ 국내 · 외 철도안전관리기술 및 인적, 시설물 및 차량에 대한 데이터 기반 위험관리 기술개발 동향에 대해 조사함

표 2-17 데이터 기반 철도위험관리 기술트리

대분류	중분류	
데이터 기반 스마트 통합철도안전관리시스템 기술	철도안전관리체계 기술	
	실시간 철도안전운영 기술	
위험전조 기반 종사자·이용자 오류 · 사고 선제적 대응기술 개발	철도 종사자 인적요인 저감 기술	감지
		분석
		완화
	철도 이용자 안전사고 예방 기술	감지
		분석
		완화
위험전조 기반 시설물 장애 · 사고 선제적 대응기술 개발	위험요인 감지 기술	
	위험요인 분석판단 기술	
	위험요인 완화 · 해소 기술	
위험전조 기반 차량 장애 · 사고 선제적 대응기술 개발	위험요인 감지 기술	
	위험요인 분석판단 기술	
	위험요인 완화 · 해소 기술	

❑ 데이터기반 철도안전관리기술에 대한 국내 및 영국, 유럽연합 및 북미 기술동향에 대해 분석함

○ 각국으로부터 발간된 정책 및 프로젝트 수행계획 등의 자료를 수집 분석함

○ 각종 논문 특허 등에서 발표된 기술개발 동향을 수집 분석함

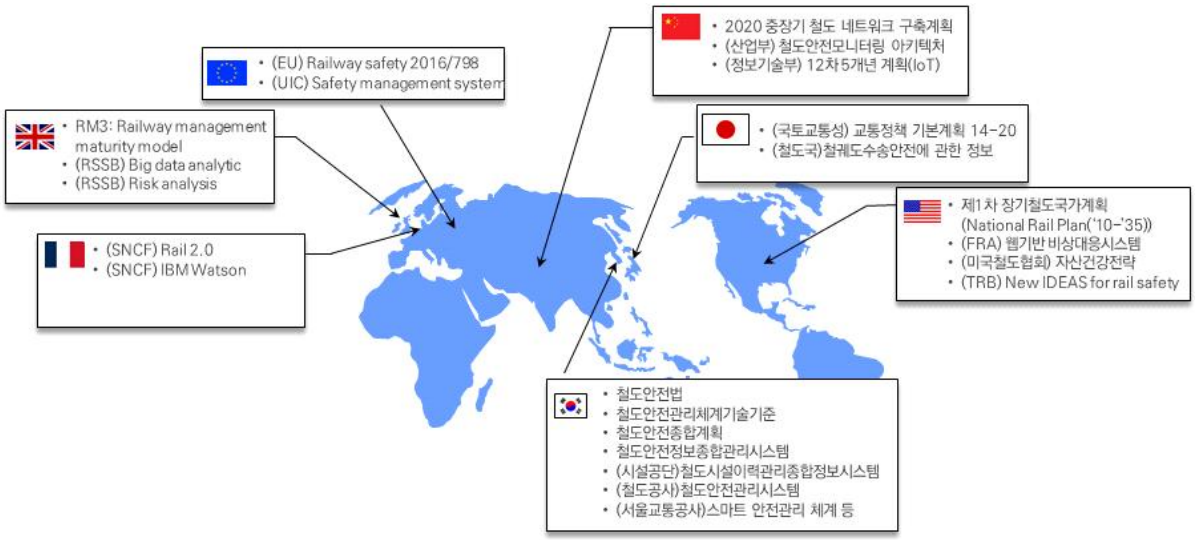


그림 2-39 국내 · 외 데이터기반 철도안전관리 기술개발 동향 분석 범위

1. 안전관리체계 기술

1.1 철도안전시스템 기술

1.1.1 기술정의

❑ 철도안전관리체계란 철도자산(차량, 인프라 등) 및 운영을 관리하기 위한 인력, 장비, 운영절차 및 비상대응 및 사고복구 등의 유기적 체계로 정의하며, 철도안전관리시스템(Safety Management System: SMS), 열차운행체계 및 유지관리체계[70]로 구성됨

- ㅇ "철도안전관리시스템(SMS)"이란 명확하고 체계적으로 사전적·예방적인 철도안전관리 활동을 시행하기 위해 안전관리의 조직구조, 역할과 책임, 절차, 준비, 관리, 경영 및 규정 등에 대한 유기적인 체계를 말함
- ㅇ "열차운행체계"란 열차의 안전운행을 위해 열차운행 조직·인력, 열차운행 방법·절차·계획, 승무 및 역무, 철도관제, 철도보호, 질서유지 및 운영기록 등에 대한 유기적인 체계를 말함
- ㅇ "유지관리체계"란 철도차량 및 철도시설의 안전을 확보하기 위해 철도차량, 노반, 궤도, 건축, 전철전력, 신호, 통신 분야의 점검, 보수, 교체 및 개량 및 개조 등 유지관리에 대한 유기적인 체계를 말함

표 2-18 철도안전법 상 철도안전관리체계의 범위

체계	대 분 류	소 분 류	항목	소계
철도안전 관리 시스템 (SMS)	1. 철도 안전경영	1.1 철도안전관리시스템(SMS) 프로그램	1	17
		1.2 안전경영방침	3	
		1.3 안전목표	2	
		1.4 안전계획	2	
		1.5 안전경영검토	3	
		1.6 역할과 책임	6	
	2. 문서화	2.1 문서화 및 관리	3	3
	3. 위험관리	3.1 위험도 평가 및 관리	5	12
		3.2 안전대책	5	
		3.3 변경관리	2	
	4. 요구사항 준수	4.1 요구사항 파악	1	8
		4.2 요구사항 변경관리	3	
		4.3 요구사항 준수	4	
	5. 사고 조사 및 보고	5.1 사고 및 장애 보고	2	6
		5.2 사고 및 장애 조사	2	
		5.3 재발방지대책	2	
	6. 내부점검	6.1 심사	1	5
		6.2 점검 및 모니터링	2	
		6.3 심사, 점검 및 모니터링 결과관리	2	
	7. 비상대응	7.1 비상대응계획	3	5

70) 철도안전관리체계 기술기준, 국토교통부고시 제2017-945호

체계	대 분 류	소 분 류	항목	소계
		7.2 비상대응훈련	1	
		7.3 사이버 테러	1	
	8. 교육훈련	8.1 인적자원관리 프로그램	3	6
		8.2 교육훈련	3	
	9. 안전정보	9.1 안전정보 관리	3	4
		9.2 위험보장	1	
	10. 안전문화	10.1 안전 지도력	1	2
		10.2 안전문화 증진	1	
열차운행 체계	11. 운행안전관리	11.3 열차운행 조직 및 인력	5	31
		11.4 열차운행 방법 및 절차	6	
		11.5 열차운행계획	2	
		11.6 승무 및 역무	2	
		11.7 철도관제	6	
		11.8 철도보호 및 질서유지	2	
		11.9 열차운행 기록관리	2	
		11.10 계약자 관리	4	
유지관리 체계	12. 유지관리	12.1 유지관리 프로그램	1	33
		12.2 유지관리 조직 및 인력	4	
		12.3 유지관리 방법 및 절차	7	
		12.4 유지관리 이행계획	1	
		12.5 유지관리 기록관리	3	
		12.6 유지관리 설비 및 장비	4	
		12.7 유지관리 부품	4	
		12.8 철도차량 제작 감독	5	
		12.9 계약자 관리	4	
항 목 계			132	132

○ 철도안전관리시스템은 철도안전경영, 문서화, 위험관리, 요구사항준수, 사고조사 및 보고, 내부점검, 비상대응, 교육훈련, 안전정보, 안전문화 등으로 구성되어 있으며, 철도안전관리시스템 기술은 이를 좀 더 효율적으로 추진하는 데 필요한 기술로 정의됨

- (철도 안전경영 기술) 철도안전경영 기술은 안전목표 및 안전계획 등을 수립하고, 안전경영을 효율적으로 수행하기 위한 기술로 정의됨

- (문서화 기술) 문서화 기술은 안전과 관련된 사고위험전조, 사고사례 등 수집된 정보를 디지털화하고 이로부터 정보를 추출하고 방대한 자료를 효과적으로 관리하여 적시 적소에서 이를 참조하고 사용하기 위한 기술로 정의됨

- (위험관리 기술) 위험관리 기술은 철도시스템 시스템 단위, 장치 단위, 부품 단위 등 시나리오에 따른 위험도를 모델링하고 평가하기 위한 기술과 이를 비용, 기술 등을 고려하여 효과적으로 관리하기 위한 기술 및 안전대책을 개발·적용하고 이에 따른 변경관리를 지속적으로 수행하기 위한 기술로 정의됨

- (요구사항 준수 기술) 요구사항 준수 기술은 철도안전관리를 위한 요구사항을 파악하고 이를 추적·관리하는 기술 및 요구사항 준수에 따른 효과도를 정량적으로 평가하기 위한 기술로 정의됨

- (사고조사 및 보고 기술) 사고조사 및 보고기술은 사고 및 장애를 표준화된 절차 및 방법으로

조사하고 이를 명확하고 알기 쉽게 보고하기 위한 기술로 구성되며, 디지털화된 DB를 구축하여 관리자 및 종사자 등 필요한 사람한테 적시 적소에 공급하기 위한 기술 및 사고의 재발을 방지하기 위한 기술로 정의됨

- (내부점검 기술) 내부점검 기술은 철도안전관리시스템에 명확한 규칙 및 규정에 의거하여 구성 운영되고 있는지에 대한 심사 및 모니터링 기술과 이러한 과정을 지속적으로 추적·관리하기 위한 기술로 정의됨
- (비상대응 기술) 비상대응 기술은 현장의 조건 등을 고려하여 비상대응계획을 수립하고 이러한 계획을 효율적으로 점검하고 습득하기 위한 시뮬레이션 기술, 가상현실, 증강현실, 혼합현실 등의 기술을 이용한 비상대응훈련 및 사이버 테러에 대응하기 위한 기술로 정의됨
- (교육훈련 기술) 교육훈련 기술은 종사자의 인적자원을 효율적으로 관리하는 데 필요한 관리 프로그램 기술 및 효과적인 교육 컨텐츠 등을 개발하는데 필요한 기술로 정의됨
- (안전정보 기술) 안전정보 기술은 안전정보를 관리하고 사이버 테러 등으로부터의 위험을 보장하기 위한 기술로 정의됨
- (안전문화 기술) 안전문화 기술은 안전에 대한 지도력을 강화하고 안전문화를 중시하기 위한 기술로 정의됨

1.1.2 국내 기술환경

❑ 철도는 공중을 위한 대량운송수단으로써 국가주도의 안전관리는 매우 중요하므로 다양한 정책 및 제도를 통해 안전관리가 이루어지고 있으며, 관련 기술도 지속해서 개발되고 있음

○ 대구 도시철도 사고 이후 국가 주도의 철도종합안전기술개발('04~'11)[71] 사업이 수행되었으며, 국가 철도안전관리에 관한 매뉴얼, 철도 안전관리자용 교재 등 제도적 연구성과 및 충돌, 탈선, 화재 등 철도중대사고 예방을 위한 기술을 개발하는 등 안전관리 기술의 발판이 마련되었음

○ 최근에는 선제적 예방을 목적으로 유럽의 철도안전관리 기법인 철도안전관리체계(SMS) 제도[72]를 도입하여 적용하고 있으며, 아직까지 시작단계로써 안전관리에 필요한 일부 정보를 취합하는 수준임

○ 국내에서는 철도안전정보관리를 국가가 직접 수행하기 어려우므로 교통안전공단에 위탁하여 수행하고 있으며, 교통안전공단의 철도안전정보포탈[73]은 철도안전정보 종합관리를 통한 국가의 철도안전관리 활동의 체계적인 지도 및 감독을 지원하고, 철도사고의 예방/재발방지 및 철도안전관리대책의 수립을 지원하여 철도사고 예방 및 철도안전정책의 효율적 추진을 위하여 구축, 운영되고 있음

- 철도안전정보 종합관리스템에서는 철도사고, 운행장애 현황을 각 철도운영자들로부터 정기적으로 보고받아 게시하고 있으며, 10년간의 철도사고에 대한 분기별 사망자, 부상자, 재산피해를

71) 철도안전 시스템 엔지니어링 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2011
72) 철도안전관리체계 기술기준, 국토교통부고시 제2016-1017호
73) 철도안전정보종합관리시스템, 국토교통부, 한국교통안전공단, https://www.railsafety.or.kr/index.do

반영하여, 사고위험도를 산출하고, 다른 분기와 비교하여 사고위험을 예보하는 철도위험 예보제도 시행하고 있음

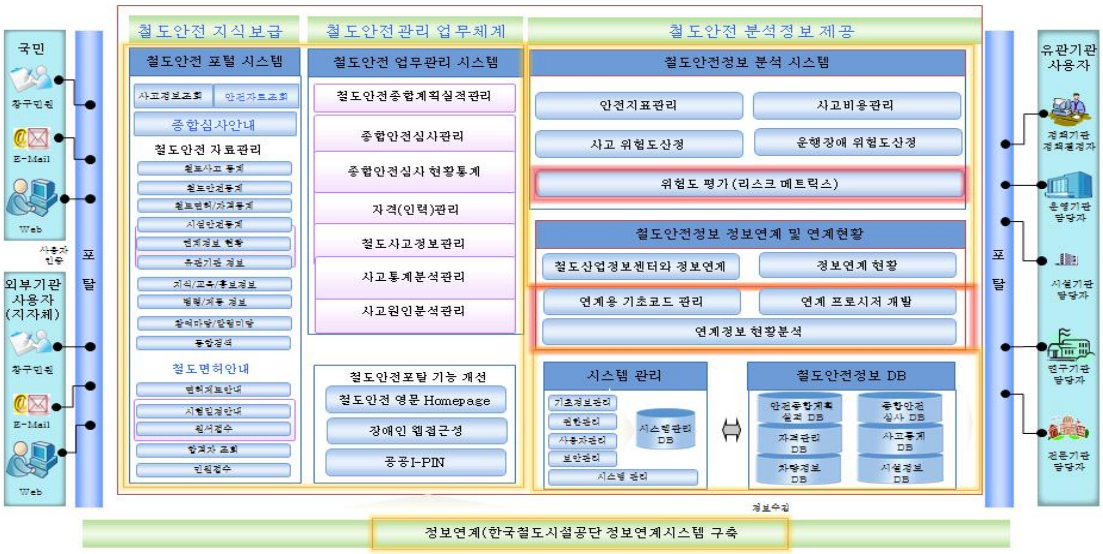


그림 2-40 철도안전정보종합관리시스템 구성도

- 철도안전법 「철도사고등의 보고에 관한 지침」에 의거 철도사고와 운행장애로 구분하여 철도안전정보종합관리시스템에서 취합

  ※ 운행장애는 위험사건과 지연운행으로 구분

  ※ 위험사건(10종): 철도사고로 발전될 가능성이 높은 사건

  ※ 지연운행(9종): 고속·전동 10분, 일반여객 20분, 화물·기타 40분 지연 시 보고

- 매월 15일까지 19개 운영사가 사고발생원인 및 근본원인 등의 입력사항을 선택·입력하면 시스템상에서 자동으로 분류·취합됨

- 근본원인·위험요인은 시스템상에서 구성되어 입력하며 사고개요 등은 수기로 입력함

- 제공서비스

  ※ (사고통계) 철도사고 및 운행장애의 월 단위 통계 수치자료

  ※ (빅보드) 위험요인을 중·대분류로 그룹화하여 빅보드 항목을 구성하고 월별 추세선 예측치 대비 30% 이상 발생 시 위험 경고

  ※ (철도안전지도) 사고 다발지역·사고현황 등을 지도에 결합하여 표현

  ※ (안전성능보고서) 년 단위 안전성능보고서 작성

- 그러나, 현재 수준에서 구축된 데이터의 분석을 통한 철도안전관리의 활용은 저조하며, 정보공유채널 및 수집범위 또한 선진국 및 항공 등 타 분야에 비해 부족하고, 철도안전정보시스템 내 위험도 평가를 포함한 다양한 기능을 포함할 계획이었으나 현재는 단순 사고통계만 제공

  ※ 해외 항공: 종사자 안전문화 보고, 주요 부품결함 공유·알람, 위험요인 보고 등

- 최근에는 철도운영기관과 시설관리기관의 자발적 안전관리 유도를 위해 국토부장관이 철도운영기관 등의 사고 · 장애, 안전투자, 안전관리 수준을 평가할 수 있도록 철도안전법을 개정[74]하여 적용하고 있음

- 현재 국가에서는 국가차원의 철도안전관리지표를 개발하여 운영하고 있으며, 현재 관리되고 있는 철도안전관리지표는 철도사고 건수와 인명피해 건수로 구성되어 있음

  • 세부적으로 철도사고는 유형별로 철도교통사고와 철도안전사고로 구분되며, 철도교통사고는 열차사고, 건널목사고, 교통사상사고 등으로 세분되고, 철도안전사고는 화재사고, 사상사고, 시설물파손사고, 기타 안전사고 등으로 세분됨

- 이처럼 국가차원의 안전관리는 사고건수 및 인명피해 건수 등 사후 통계적인 관점에서 이루어지고 있으며, 이를 기반으로 국가 차원의 정책마련, 예산투입이 결정되고 있음. 따라서 국가차원의 안전관리를 위한 기술개발은 사후 통계데이터의 취합, 분석 등의 관점에서만 이루어지고 있음

❑ 국내 철도안전관리에서는 「철도안전관리체계 기술기준」에 따라 위험도 평가를 시행('14~)하도록 규정하였으나. 안전 예측·평가 분석을 위한 기술 및 방법이 축적되지 않아 내실 있는 평가 및 활용에 부족

○ 철도종합안전기술개발사업('04~'11)은 위험도평가 매뉴얼, 사고 시나리오 등 체계기술 중심으로 기술개발이 이루어졌으나,[75] 예제 중심의 위험도 평가모형 및 초기 단계의 시스템 개발 이후 지속적으로 기술이 개량되지 못하여 철도현장에서의 활용 저조

○ "철도안전관리체계 기술기준을 지원하는 도시철도 RAMS 통합시스템 연구('16~'18)"를 통해 도시철도 차량 유지보수 중심의 RAMS 통합시스템 시스템 구축을 시도하였으나, 개별 도시철도 운영사의 차량부품의 고장 분석에 집중하여 국가 및 전체 시스템 차원에서 안전관리체계를 개선할 수 있는 기술개발은 부족

○ 한국철도기술연구원은 주요사업으로 "위험도 기반 안전관리체계 평가기술 개발('16-'19)"을 통해 사고유형 별 위험도 평가모형을 일부 개발하였으나, 사고전조 데이터의 부족 및 비정형 데이터의 분석 등의 한계로 사후관리 위주로 모형을 개발하였고, 추가적인 연구개발을 통해 사고예방을 위한 모델 개발로 개량 필요

○ 코레일, 서울교통공사 등 대형 철도운영기관은 철도시스템 부품을 연계한 분류체계를 이용하여 위험원에 대한 데이터 수집 중

- 사고예방을 위한 통계관리, 사고·장애 부품별 분석, 취약요인 진단 등 전문기술 부족으로 각 운영자의 철도안전 정보관리에 대한 단순한 데이터 집계작업을 수행 중이며,

- 전문성이 요구되는 과학적 분석을 위한 위험도 분석 전문가 양성과 표준화된 전산 프로그램 개발·보급을 요청

❑ 선제적 예방차원 목적으로 유럽의 철도안전관리 기법인 'SMS' 제도를 국내 일부 철도운영기관

74) 철도안전법, 법률 제15404호, 2018.2.21. 일부개정
75) 한국철도기술연구원, 철도 사고 위험도분석 및 평가체계 구축 최종보고서(2011.06.)

에 적용(‘14)하였으나, 실효성 한계

○ 철도종합안전기술개발(‘04~’11)을 통해 국가 철도안전관리에 관한 매뉴얼 및 철도 안전관리자용 교재 개발 등 제도적 연구성과를 이루었으나,

- 위험요인과 안전과의 연계성 및 지속적인 SMS 개선을 위한 R&D 투자 부족 등으로 리스크 기반의 예방적 SMS 기능은 제대로 발휘되고 있지 못함

- 안전보다는 경영 이익을 우선시하는 문화와 철도종사자들의 낮은 현장 안전인식, 우수기관의 인센티브 제공과 같은 자발적 동기 유발 정책의 부족, 기술적 SMS 지원 부족 등은 제도 실효성의 한계를 보여주고 있음

○ 최근 철도운영기관과 시설관리기관의 자발적 관리 유도를 위해 철도운영기관 등의 사고 · 장애, 안전투자, 안전관리 수준을 평가할 수 있도록 철도안전법 개정(‘18.6 공포)

- 국가차원에서 사고 · 장애, 안전투자, 안전관리 수준을 평가하고, 철도운영자 등의 자율적인 안전개선을 지원하여 철도안전을 개선하기 위한 기술개발 필요

○ 한국교통안전공단에서는 철도안전정보관리시스템 內 철도사고 및 장애정보를 메인으로, 이외 철도안전관리체계, 종합시험운행 결과검토 업무 등 관리시스템을 개발(‘16년)하였으나, 신청서류 및 결과관리, 검사인력관리, 증명서 관리, 시정조치 이행현황 관리 등 검사기록 이력 저장만으로 활용되고 있음.

❑ 현재 국내에서는 국민의 철도안전 정보에 대한 접근성이 낮고, 철도서비스의 사용자로부터 철도안전정보를 수집하는 채널 부족

○ SNS, 쇼셜 미디어 등 국민들의 다양한 정보 소통 채널이 활성화되고 있으나, 철도안전분야에서는 사용자인 국민으로부터 철도안전정보를 수집하는 연구는 존재하지 않음

○ 철도안전문화 및 철도안전정보서비스와 관련된 국내연구개발은 규모 및 적용범위 측면에서 한계점 존재

- 사용자 관점에서 철도안전문화 확산을 위한 R&D 투자가 절대적으로 부족한 실정

○ 국립재난안전연구원은 스마트 재난관리 플랫폼(Smart Big Board; SBB)을 통해 재난 및 안전사고 시 현장중심으로 모든 가용한 정보를 이용하여 현장의 상황을 모니터링하고 분석하는 기술 개발



그림 2-41 국립재난안전연구원은 스마트 재난관리 플랫폼

※ *출처 : Smart Big Board; SBB

❑ 한편, 철도시설공단 및 철도운영처에서도 철도안전법에서 제시하고 있는 안전관리체계를 준용하기 위한 기술개발이 추진되고 있음

○ 한국철도시설공단은 “철도건설 등 안전관리규정”을 제정[76]하여 철도시설의 건설 및 유지관리 시에 필요한 안전관리 사항을 규정하고 있으며, 이러한 맥락 하에 철도시설 이력관리 종합정보시스템[77] RAFIS를 구축하고 있음

- RAFIS는 유지보수 이력정보시스템, LAM(Linear Asset Management)과 의사결정지원시스템, DSS(Decision Support System)로 구성되어 있음

· LAM은 시설물 대장관리, 유지보수 이력관리, 자재관리, GIS/도면관리, 통계/분석 모듈로 구성되어 있음

· DSS는 열화모형 분석, RCM 분석, LCC 분석, 시설물 상태분석, 예방유지보수의 5개 모듈로 구성되어 있어, 시설물에 대한 상태분석 및 기능별 분석모델에 대한 알고리즘관리, 예방 유지보수 대상선정 및 예상비용 산출 등을 수행할 수 있음

- RAFIS는 현장으로부터의 각종 검사정보, 유지보수 정보, GIS 정보와 한국철도공사의 KOVIS, KTMSYS 등과도 연계되어 안전에 관한 각종 정보가 취합되고 분석됨

76) 철도건설 등 안전관리규정, 한국철도시설공단, 2009
77) 철도시설 이력관리 종합정보시스템 구축에 관한 연구, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2017

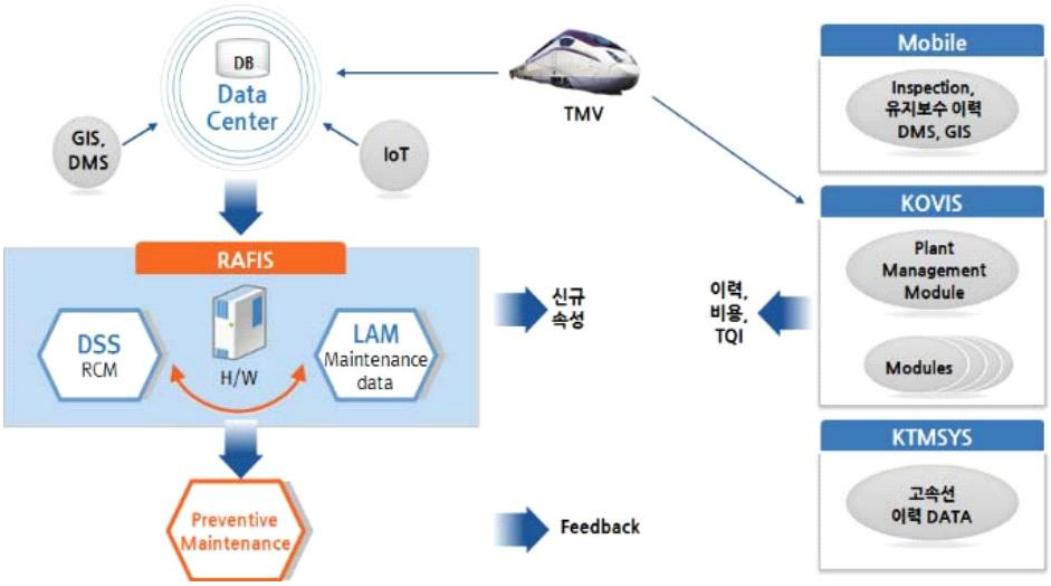


그림 2-42 RAFIS 표준모델 개요도

※ * 출처 : 한국철도학회 춘계학술대회 논문집

○ 한편, 국가철도운영처인 한국철도공사는 안전정보를 수집하여 위험도 분석 및 평가를 시행하며, 안전목표 및 지표를 설정하고 안전대책을 수립 · 검토함으로써 안전계획을 수립 · 시행하며 안전심사를 평가하는 위험도 기반의 철도안전관리체계를 구축하고 있음

- 안전정보의 수집 및 분석활동으로 철도사고 및 장애정보, 철도사고 및 장애 분석보고서, 안전점검활동 결과보고서 등을 수집하여, 안전정보의 체계적 관리를 위한 안전경영시스템을 운영[78] 하고 있음

- 또한, 한국철도공사에서는 철도안전법을 준용하는 안전관리체계를 구축[79]하여 운영하고 있음

※ 한국철도공사 안전관리체계(예) 정의: 철도안전관리시스템 프로그램은 철도안전법 제7조(안전관리체계의 승인) 및 철도안전관리체계 기술기준에 부합하는 한국철도공사의 사전적 · 예방적 중심의 안전관리체계를 구축하고 실행하는 지침

○ 서울교통공사[80]는 안전우선을 위한 3대 전략과제로써 “스마트 안전관리 체계강화”, “비상대응 역량 강화” 및 ‘시설 안전성 강화“를 추진하고 있음

- 이를 위한 안전혁신 마스터플랜 4대 추진전략 중 하나로 첨단기술과 접목한 Smart Connected Metro를 추진하고 있으며, 빅데이터 기반 지하철 안전예보시스템, 공사장 안전관리 앱 개발, 스마트 안전 통합상황실 구축 및 선로검측시스템 등을 구축하고 있음

- 또한, 과학적 선제적 위험관리(Risk Management) 체계 구축의 일환으로 지하철에 내재되어 있는 위험요인을 사전에 확인하여 관리하고, 전사적 위기대응체계를 마련하여 재난상황 발생시 신속 정확한 대응으로 시민안전 확보 및 피해 최소화를 위해 노력하고 있음

- 서울교통공사는 데이터 기반의 위험도 평가시스템 구축을 통해 위험요인을 사전에 통제하고 예

78) 코레일의 안전관리 및 사고사례 분석, 한국철도공사 안전실
79) 철도안전관리체계 프로그램, 한국철도공사, 2018
80) 서울교통공사 2017 안전보고서, 서울교통공사, 2018

방안전을 강화하고 있음

- 기존 노선은 매년 정기위험도 평가를 통해 위험요인의 위험도를 허용 가능한 수준으로 관리하고 있음
- 신설 노선에 대해서는 개통 초기 위험요인을 종합적으로 분석하여 대응책을 마련하고 위험을 최소화하고 있음
- 중대한 변경사항 발생시에는 변경관리 절차에 따른 변경 위험도 평가를 통해 변화에 따른 새로운 위험 또는 변경되는 위험을 파악하고 관리함

- 또한, 지하철 관련 시설의 상태정보를 실시간으로 모니터링하고 전 직원이 공유하기 위한 VOF(Voice of Facility) 시스템을 구축하고 있음



그림 2-43 서울교통공사 VOF 시스템 개념도

※ * 출처 : 서울교통공사

- 도시철도 RAMS 통합시스템 구축[81]을 통해 시설물 장비 등의 실시간 고장데이터 기반 선제적 대응 및 최적의 정비주기를 결정하고 있음
- 또한, IEC 62278 등 국제규격을 적용한 통합시스템을 표준화를 추구하고 있으며, 선로시설 검측 시스템 구축을 통해 선로시설물 변형 탈락 등 미세변화 자동검출, 작업자 인적오류 원천 제거, 운행 중 선로시설물 점검을 기반으로 한 상시 유지보수 및 검측을 추구하고 있음

1.1.3 국외 기술환경

❑ (유럽연합)은 EU 역내 철도의 안전향상과 철도수송 서비스 시장에의 액세스(access) 개선을 목적으로 한 유럽철도안전법인 2004/49(Railway Safety Directive)를 제정(2004)하고, 그 실시·관리 조직으로서 ERA(European Railway Agency)를 설립하고, 지속적인 개정을 통해 철도안전을 강화하고 있음

○ ERA는 안전 (Safety) 유닛, 상호운용성(Interoperability) 유닛, 열차제어시스템 ERTMS 유닛, 경제평가(Economic Evaluation) 유닛, 자원·지원(Resources and Support) 유닛, 상호인수(Cross Acceptance) 유닛 등 6개의 유닛(Unit)으로 구분하여 지원

○ 안전(Safety) 유닛은 안전관리시스템(SMSs, Safety Management Systems), CSTs(Common Safety Targets, 공통 안전목표), CSMs(Common Safety Methods, 공통 안전기법), CSIs(공통안전항목: 사고나 안전설비에 대한 데이터) 등 운영단계의 안전관리 활동 수행

81) 철도안전 유지관리시스템 '표준화' 해외수출 추진, 건설기술, 2017

○ EU 철도안전에 관한 지침 2016/798 조항 9[82)83)]에 따르면, 각 철도사업 및 인프라 관리자, 유지보수 담당자는 위험통제조치를 이행해야 하며, 이를 위해 일반적인 안전방법(CSM: Common Safety Management)에 따른 안전절차를 적용해야 함

❑ (영국)은 철도안전감독기관 ORR(Office of Rail and Road)에서 철도안전관리 실효성을 평가하기 위한 철도안전관리성숙도평가모델(Railway Management Maturity Model: RM3)을 개발하여 안전관리 수행

○ RM3 모델은 사고 등 정량적인 데이터에 기반한 평가보다는 철도종사자들의 안전관리에 대한 이해와 인식, 태도를 검사관들이 직접 인터뷰를 통하여 그 수준을 정성적으로 평가하며, 이러한 성숙도 모델은 조직의 SMS가 위험도 통제에서 우수성(excellence)을 이행할 수 있는지 결정하기 위해 사용

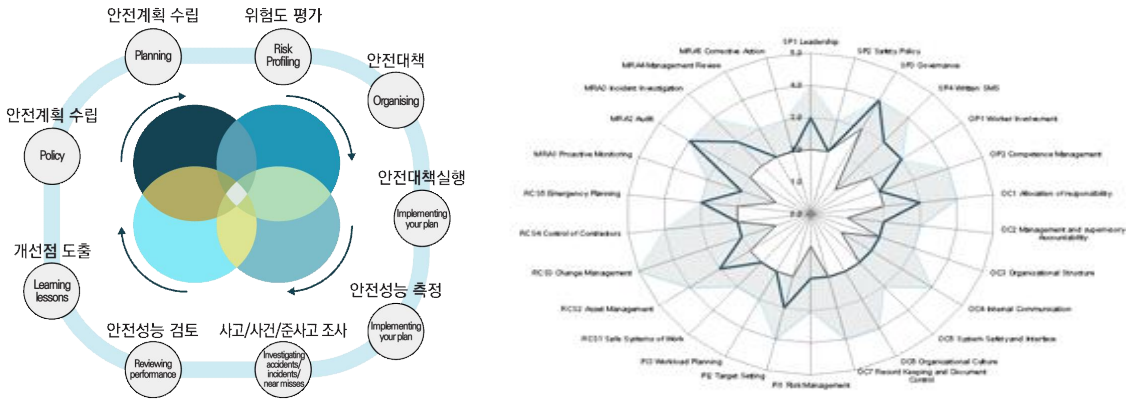


그림 2-44 RM3의 평가분야 및 항목

- RM3 모델은 5점 척도(a five-point maturity scale)를 이용하며, 이는 철도 운영기관이 안전 성숙도 모델의 어느 단계에 해당하는지 파악

  • Level 5 우수 (Excellent): 사전적/지속적인 개선이 이루어짐(Proactive/Continual Improvement)

  • Level 4 예측 가능함 (Predictable): 관리시스템에 따라 산출결과가 예측 가능함, 변화가 통제됨

  • Level 3 표준화 (Standardized): 우수 관행이 표준화된 프로세스 내로 통합됨

  • Level 2 관리수준 (Managed): 일부 그룹에서 반복되는 성과를 관리하고 있음, 작업 그룹별 유사 과업을 다르게 수행함

  • Level 1 초기-임시방편 (Initial-ad hoc): 임시방편적이고 협조되지 않음

○ 철도안전정보시스템으로 선로구축물을 관리하는 네트워크 레일에서 발생한 모든 안전관련 사건을 철도관리기술들이 접근하여 기록, 위험도 분석, 경향예측 활동을 지원하는 국가정보시스템인

82) Directive(EU) 2016/798 of the European parliament and of the council of 11 may 2016 on railway safety, EU, 2016

83) Safety management system requirements for safety certification or safety authorization, European union agency for railways, 2018

안전경영정보시스템, SMIS를 개발[84]하여 운영

- SMIS는 영국 본선에서 발생하는 사건 사고를 보고하는 국가정보시스템으로 1997년부터 최초로 적용되기 시작하였으며, 대략 35개의 철도운영사가 사용하고 있으며 사용되기 시작하였으며, 약 200만개의 기록을 보관하고 있음

- 클로즈 콜(Close Call) 시스템은 영국 철도시설공단인 Network Rail에서 2012년도에 안전문화 변화를 위해 발표한 것으로 이미 150,000개 이상의 사건이 보고되고 있으며, 전체 산업분야에 확장할 계획

- 또한, RSSB는 빅데이터 분석기술의 철도적용[85]을 위한 기술분야로 고객의 행동을 이해하는 분야, 승객예측 및 여행계획 이해 분야, 네트워크 및 트래픽 최적화 분야, 예지정비 및 자산관리 분야 및 안전모니터링, 위험도 분석분야로 구분하여 기술개발 계획 수립

o 최근에는 철도안전관리체계를 영국의 전 철도회사에 적용하기 위한 SMIS+ 프로젝트[86]를 수행하고 있으며, 이 프로젝트에서 개발하는 철도안전관리 소프트웨어는 모바일 폰 등 다양한 기기를 지원하여 정보가 필요한 사람에게 적기 적소에 공급됨을 목적으로 함

- SMIS+는 빅데이터 기술을 기반으로 숨겨진 지식을 찾기 위해 방대한 데이터 분석 및 실시간 데이터 처리를 목표로 하며, 향후 위험관리에 적용될 수 있을 것을 기대함

- BDRA(Big Data Risk Analysis)는 RSSB에서 수행하고 있는 철도시스템의 위험도분석 및 안전관리의 새로운 방법

- 기본적인 안전관리시스템은 계획, 수행, 검토가 한 주기를 이루는 3가지 단계로 구성되어 있으면, 계획 단계의 주요 하부활동으로는 위험도, 위험도 관리방안 정의가 있으며, 수행 단계의 주요 하부활동은 수행 및 수행활동의 모니터링이 있고 검토 단계에서는 모니터링 결과의 분석과 이를 통한 새로운 계획을 수립

- 최근에는 성숙된 안전활동으로 인해 사고사례가 감소함에 따라 3 단계 주기의 활동이 어려워져 위험도분석에 어려움이 있어 향상된 위험도 관리방안을 도출하기 위한 새로운 방법들이 요구

- 이러한 문제점을 해결하기 위해서 RSSB에서 제시한 BDRA는 현재 모니터링 기술의 빠른 성장에 대비하여 제시하고 있는 데이터 분석기반의 안전 및 위험도 평가 방법임

- 현재 데이터 분석기반의 안전 및 위험도 평가 방법은 석유 및 핵관련 산업에서 이미 활용되고 있는 방법으로 철도분야에서도 실시간 모니터링을 사상사고, 인프라 고장, 차량 고장 등에 대해서 지능적으로 대응하도록 활용하는 것을 목표로 함

- 성숙한 BDRA를 구축하기 위해서는 많은 어려움이 있으며, 대표적으로 철도시스템 관련기관간의 정보 공유, 통일관 양식을 기반으로 하는 데이터관리 등이 있음. 또한 엔지니어와 관리자가 필요한 적절한 분량의 데이터를 선정하는 것도 중요

84) 철도 사상사고 위험도 평가를 위한 사고 시나리오 모델 개발에 관한 연구, Journal of the KOSOS, 2009
85) Big data analytics(S183), RSSB, 2014
86) Risk analysis for GB rail: today and tomorrow, RSSB, 2015

- RSSB의 The Rail Industry's Data and Risk Strategy에서는 철도 안전과 운영 서비스의 향상을 위해 데이터를 어떻게 사용할 것인지에 대해서 제시

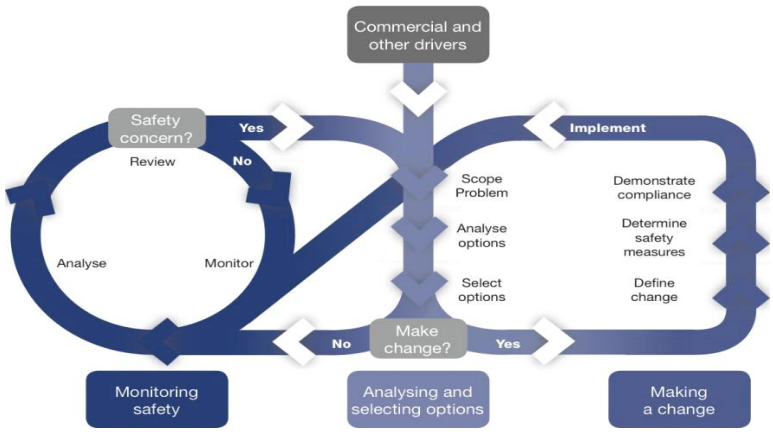


그림 2-45 RSSB에서 제시하는 BRDA

- BDRA는 첫 단계는 SMIS에 의해서 이미 수행되고 있으며, SMIS+에서는 효과적인 안전보고 활동을 명시하고 있으며, 데이터수집과 정보추출을 시스템에 의해서 쉽게 수행될 수 있도록 절차 제시
- 한편, SMIS+에서 제시하는 방법들은 데이터 분석에서부터 대응방안의 결정까지 요구되는 시간을 감소시켜 줌

- BDRA 시스템을 구성하는 도구 중 하나는 텍스트 분석(Text analysis)임
- 텍스트 분석을 위해서 RSSB는 그래픽 기반의 NoSQL 데이터베이스를 구축하였으며 자유롭게 작성된 텍스트로부터 위험도를 확인하고 분석하는 시각적인 도구로 안전계획단계에서 활용
- 철도안전정보시스템 SMIS로부터 수집된 정보를 활용하여 위험도 평가모형 SRM(Safety Risk Model)을 개발하였고, 영국철도의 정책결정에 필요한 위험도 정보를 제공
- 영국의 위험도 평가모형은 1999년 패딩턴 역 열차충돌사고 이후 체계적 안전관리의 필요성이 제기된 후 RSSB의 개발 로드맵에 따라 체계, 정보 및 모델 분야를 순차적으로 개발

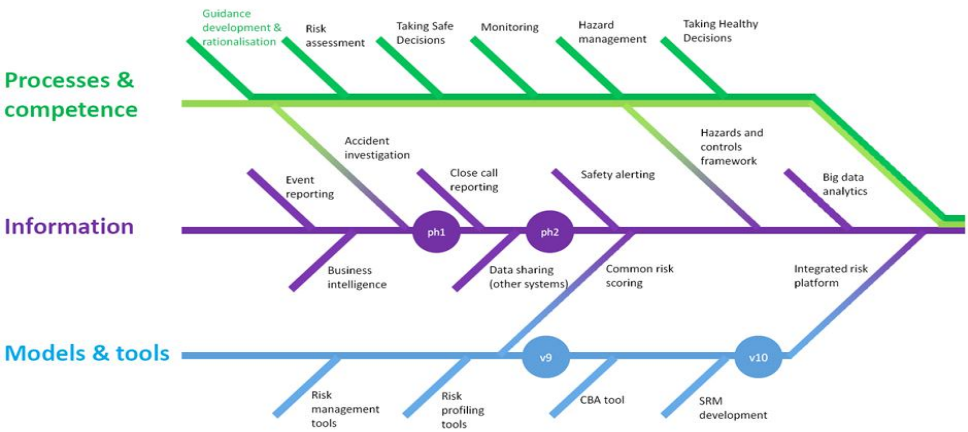


그림 2-46 영국철도의 위험도 정보 산출을 위한 개발 로드맵

- 영국철도의 지역별 위험도 정보를 제공하는 것을 목적으로 시스템이 구축 중이며, 시스템 구축 및 운영을 위해 전담팀 운영

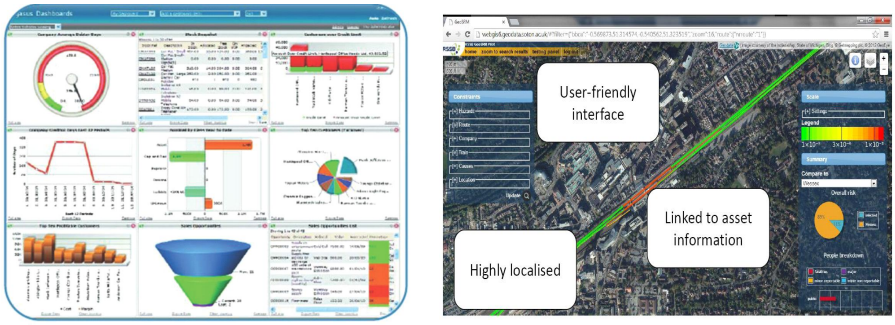


그림 2-47 영국철도의 위험정보 산출과 지역별 위험정보 제공

❑ (프랑스)는 2018년부터 기존 분산된 철도안전관련 정보를 Big-Data 기반 디지털정보시스템으로 통합[87]하는 작업 시작. 데이터 소스, 데이터 타입 및 데이터 특성 등을 기능으로 구분하고 매핑함으로써 표준화 수행

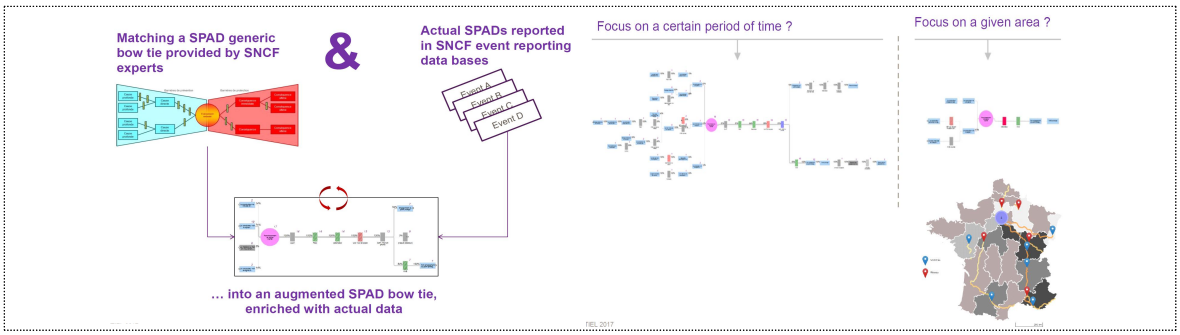


그림 2-48 프랑스 SNCF Big Data 기반 안전관리 콘셉트

○ SNCF 프랑스 국영철도회사로 기존 분산된 철도안전관련 정보를 Big-Data 기반 모델을 통해 처리하여 위험도 기반의 안전관리 시행하고 있음. 이를 위하여 IBM Cloud에서 IBM Watson Internet of Things (IoT)[88]를 사용하여 열차 및 인프라 성능을 실시간으로 모니터링

- SNCF가 열차에 배치한 수 천개의 센서가 있으며, 30,000 킬로미터의 선로, 15,000대의 열차 및 3,000개의 역에 걸쳐 설치되어 있음.

- 센서 데이터의 분석을 통하여 엔지니어 및 다른 직원이 실시간으로 열차운행을 제어할 수 있으므로 오류가 있는 신호 부품과 같은 특정 품목을 수리해야 할 때 예상 가능

- 유지보수가 필요한 시기를 예측함으로써 SNCF는 열차의 서비스 중단을 방지하고 비용이 많이 드는 비정기 수리를 피할 수 있어 비용을 절감하고 신호 및 열차의 신뢰성을 크게 향상시키는 것을 기대

87) Rail 2.0: on track to digitalization, Rail Forum Europe, SNCF, 2015
88) Watson IoT helps keep SNCF French National Railway running smoothly, IBM, 2017

❑ (유럽 철도)에서 회원국의 안전감독기관(NSA)은 단일 안전 인증 또는 안전 승인에 따라 단일 안전 인증 또는 안전 승인 신청자가 제시한 안전관리시스템이 효과적으로 시행되고 법적 의무를 지속적으로 이행하는지 확인

○ NSA는 단일 안전 인증 또는 안전 승인 신청 시 언급된 사항이 현실을 반영하도록 보장하기 위해 철도 운영자나 기반시설 관리자 활동을 감독

○ 유럽철도국 ERA는 NSA의 철도 운영자 및 기반시설 관리자 평가 감독 업무를 지원할 목적으로 안전관리 성숙도 모델(Management Maturity Model, MMM)을 개발하였고, ERA의 지침으로 도입

- 모든 철도 사업자나 기반시설 관리자는 언제든지 원할 때 조직 자체적으로 관리 성숙도 모델을 활용

표 2-19 안전관리성숙도(MMM) 모델 평가분야

MMM 구분	MMM세부분야
C - 조직 환경(Context of the Organization)	C1 - 조직 환경
L - 리더십(Leadership)	L1 - 리더십과 노력(Leadership and Commitment)
	L2 - 안전 규정(Safety policy)
	L3 - 조직의 역할과 책임, 직무, 권한(Roles, Responsibilities and Authorities)
	L4 - 직원 및 다른 당사자 컨설팅(Consultation of Staff and other parties)
PL - 계획 수립(Planning)	PL1 - 위험 평가(Risk Assessment)
	PL2 - 안전 목표 및 계획 수립(Safety Objectives and Planning)
S - 지원(Support)	S1 - 자원(Resources)
	S2 - 역량(Competence)
	S3 - 인식(Awareness)
	S4 - 정보와 소통(Information and Communication)
	S5 - 문서화된 정보(Documented Information)
	S6 - 인적 요소와 조직 요소 통합(Integration of human and organizational factors)
OP - 운영(Operation)	OP1 - 운영 계획 수립과 관리(Operational Planning and Control)
	OP2 - 자산 관리(Asset Management)
	OP3 - 계약업체, 파트너, 공급업체(Contractors, Partners and Suppliers)
	OP4 - 변화 관리(Management of Change)
	OP5 - 비상 관리 (Emergency Management)
PE - 성과 평가(Performance Evaluation)	PE1 - 모니터링(Monitoring)
	PE2 - 내부 감사(Internal Auditing)
	PE3 - 관리 검토(Management Review)
I - 개선(Improvement)	I1 - 사건사고로부터 학습(Learning from Accidents and Incidents)
	I2 - 지속적 개선(Continual Improvement)

○ ERA는 철도 운영자나 기반시설 관리자가 감독 활동에 따라 이 모델을 5년 동안 평가에 활용하고, 단일 안전 인증 또는 안전 승인 갱신을 신청하는 기간 동안 결과를 검토

○ 이 기간에 관리 성숙도 모델을 활용하여 철도 운영자나 기반시설 관리자의 취약한 영역을 부각시켜 새롭게 단일 안전 인증 또는 안전 승인을 신청하기 전에 결함을 해결할 기회를 제공

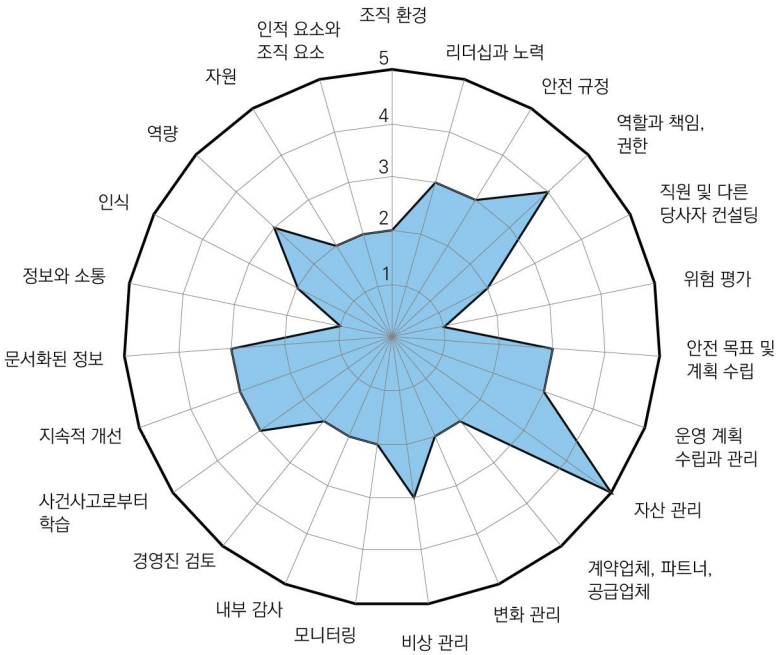


그림 2-49 MMM 모델의 평가분야 및 결과의 예

- 각 세부 평가항목별 평가기준의 구성은 해당 평가분야의 평가관점과 목적, 해당되는 하위기준 유형, 5단계 성취수준 즉, 평가기준을 제시하고 있으며, 유럽 철도에서 회원국의 안전감독기관(NSA)과 운영기관을 지원하기 위해 유럽 ERA 철도안전관리체계 실효성 평가 SW를 모바일용으로 개발하여 보급 운영 중

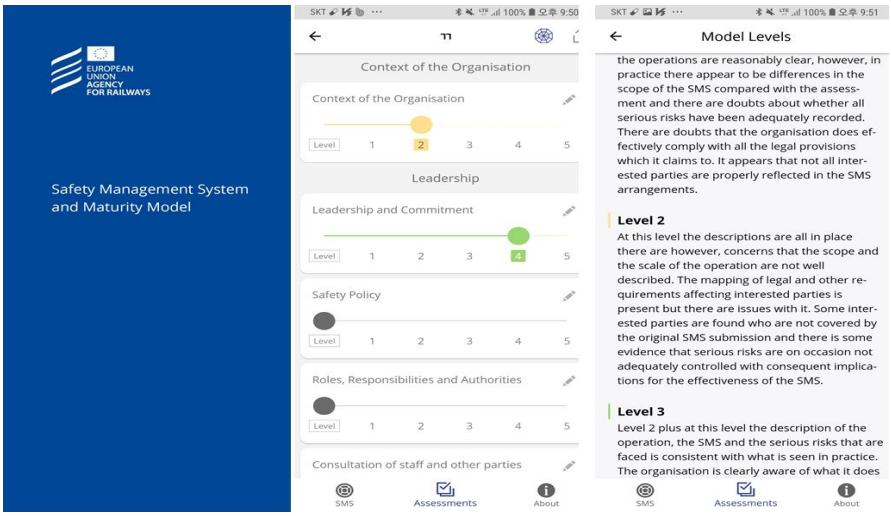


그림 2-50 유럽 ERA 철도안전관리체계 실효성 평가 SW

❑ (미국)은 FRA[89](Federal Railroad Administration)을 중심으로 하여 열차사고율, 종사자 사상율 및 철도건널목 충돌사고율을 기반으로 하여 철도안전을 관리하고 있음. 최근 안전율이 역사상 가

89) Railroads: Moving America Safely, Association of American Railroads, 2018

장 높은 수준임에도 불구하고 지속적인 안전율 향상을 위해 노력하고 있음

- ㅇ 미국 주요 철도운영사들은 2014년 웹기반 비상대응 시스템인 AskRail을 이용하기 시작하였으며, AskRail에서 비상대응정보를 획득하고 있음
  - AskRail[90]에서는 위험물을 운송하는 철도차량에 대한 정보를 즉시 확인할 수 있으며, 열차사고를 제1선에서 대응할 수 있음
- ㅇ 미국철도협회는 철도 간 데이터베이스를 구축하고 자산건강전략(Asset Health Strategic Initiative, AHSI) 프로그램을 수행하고 있으며, AHSI에서는 부품 추적 및 장비 건강관리시스템(Equipment Health Management System, EHMS)을 비롯하여 철도차량의 상태를 모니터링하는 사업 전반 및 지역철도 사업을 통합 구축 중
- ㅇ 또한, 첨단기술을 활용한 안전성 제고를 추진하기 위하여 교통연구위원회(Transportation Research Board)는 New IDEAS for Rail Safety 프로젝트[91]를 통해 안전관련 아이디어를 발굴하고 기술개발을 추진

❑ (호주철도) RISSB(Rail Industry Safety and Standards Board)는 영국 RSSB 를 모델로 ARRM(Australian Rail Risk Model) 프로젝트 수행

- 국가적인 철도 사고, 사고전조 등 안전관련 데이터를 수집하고, 국가수준의 위험도 평가 모델 및 SW 개발을 수행하여 운영기관 및 정부기관의 안전정보 제공

❑ (일본)은 2006년 10월 철도운영법의 개정을 통해 철도운영사는 안전관리시스템을 설치하도록 의무화하고 있으며, PDCA 사이클의 적용을 통해 더욱더 높은 안전수준을 목표로 함

- ㅇ 2007년 JR 동일본 철도 등의 민간 철도가 건설, 운영됨에 따라 동법을 개정하여 철도운수사고, 주의를 요하는 사상, 보고를 해야 하는 사상, 경미한 사건 등으로 세분화
  - 사고 발생원인을 규명하기 위해 4M4E 분석 기법을 개발하여 신호 사고에 의한 분석을 수행[92]
  - 사고는 위험(Hazard) → 리스크(Risk) → 사건(incident) → 사고(Accident)로 이어지기 때문에 사고의 원인 제거를 위해서는 전체 연결된 4M4E*를 관리하고 있음
    *4M4E: Man, Machine, Media, Management, Education, Engineering, Environment, Enforcement
- ㅇ 철도종합기술연구소(RTRI)를 중심으로 하여 철도안전 정보를 실시간으로 분석하여 의사결정을 지원하는 철도종합 안전관리 지원시스템 구축 추진
  - 철도운행 중 이상징후를 측정할 수 있는 기술을 개발하고 이를 상용차량에 부착함으로써 상시 차량 및 궤도의 이상징후 파악
  - 차량운행 기술 리뷰, 기관사 상태파악을 통한 운전보조, 자연재해 시 위험개소 및 피해 예측, 열차운전 시뮬레이터 기술 등 철도안전관리 기술 개발

90) AskRail User Guide, Railinc, 2018
91) New IDEAS for rail safety, Transportation Research Board, 2017
92) Big data 기반 철도안전관리 구현방안 연구, 한국교통연구원, 2018

○ 동일본철도회사는 IoT와 빅데이터, AI 등의 기술진전을 위한 '혁신 중장기 비전' 수립하고 고정밀 센서 및 카메라를 탑재하여 레일 변형검사 또는 레일 및 타이 고정앵커볼트 누락 감지와 같이 열차가 운행 중일 때 많은 양의 정보 수집

- 운송 정보 지원을 위한 태블릿을 활용 한 다양한 기능을 개발하고 있으며 최신 기술을 활용하여 사고 대응능력을 강화하고 교통 및 서비스 품질을 향상을 위한 기술개발
- 서비스 운행열차를 이용 차량 및 인프라를 모니터링하고 분석하여 고장 및 장애를 방지할 수 있는 기술 개발

○ 「안전관리지원시스템」은 「사고 · 안전에 관한 정보의 일원관리」를 수행하고 「분석평가기능」을 부가하여 종합적인 입장에서 안전관리업무 의사결정 지원

- 효과적인 사고분석이나 안전대책을 책정하기 위해 현재 상황을 정확히 파악하고, 문제점 도출로 정확한 대응방안 판단
- 정보항목을 세분하여 다른 관련정보 등과 연관되는 「안전 데이터베이스」구축으로 다양한 정보를 일원화 관리하며 안전성 평가기법과 연결하여 자료에서 안전성을 객관적으로 실시간 평가하여 대책효과평가, 투자 우선순위 부여

1.2 실시간 안전운영 기술

1.2.1 기술 정의

❑ 실시간 안전운영 기술은 철도 현장의 철도안전정보 통합관리를 위한 개방형 데이터 허브, 고신뢰/실시간 IoT 네트워크 기술 및 인공지능, 빅데이터 분석 등의 기술을 통하여 열차운행 안전성 평가 및 최적 의사결정 지원을 위한 기술로 정의

○ 실시간 안전운영을 위해서는 운행 노선에 대한 다양한 데이터를 취득하고 빅데이터 분석 및 인공지능을 기반으로 한 지연구간 스케줄 자동 조정 등 최적 열차운행안전 의사결정을 자동화하여 수행

○ IoT 센서 데이터를 기반으로 한 다면적 분석기술을 활용하여 스마트 작업자 안전관리, 위험물 운송 철도사고 감시 및 누출/폭발 사고를 실시간으로 대응

○ 안전관제를 위한 위험전조에 따른 유형별 현장대응, 위험전조의 신속한 감지, 상황파악 및 경고·보고, 위험전조 확장에 따른 피해예방을 위한 피해저감 및 직원별 현장대응 직무 최적화 수행

1.2.2 국내 기술환경

❑ 철도의 속도향상 및 대용량 수송에 따라 철도안전운영을 위한 기술개발 요구는 지속적으로 높아져 이에 따라 IoT 기술, 빅데이터 분석 및 인공지능 등 각종 기술을 개발하고 있으며, 유 · 무선

통신망 기술의 발전에 따라 모니터링 관제에 기반한 안전운영기술로 발전 중

○ (국가)는 실시간 모니터링을 통해 철도안전을 향상시키기 위하여 노력으로 철도안전정책 수립 및 관련 R&D 기술개발 등을 지속적으로 수행하고 있음

- 국가는 스마트 철도안전관리체계 기본계획('18~'27)을 수립하고 재난 · 위험관리, 인적관리, 자량관리, 운행관리, 시설관리 및 보안관리 기술개발을 추진

- 철도종합안전기술개발 사업('14~'11)을 수행하여 인적요인 사고방지 및 평가기술, 철도화재 사고방지 및 평가기술, 충돌/탈선 사고방지 및 평가기술, 열차제어 안전성 기술 및 건널목 지능형 시스템 기술 등을 개발

- 또한, 실시간 철도안전 통합 감시제어시스템 개발 연구('14~'19)를 통해 기존 안전검지 장치 데이터와 향후 확장될 수 있는 지능형 안전 감시장치의 데이터를 통합하여 철도안전정보를 실시간으로 감시 및 제어할 수 있는 철도안전관제 시스템 기술 개발

  • 운영기관의 특정 노선 및 차량을 대상으로 기존 안전검지장치(지장물 검지장치, 선로상태감시장치 등)를 이용하여 실시간으로 감시(모니터링)하고 사고위험을 조기 예측/진단하여 제어 가능

  • 실시간 철도 안전관제 플랫폼, 안전검지정보 인터페이스 장치, 리스크 및 빅데이터 기반 사고위험 예측시스템, 기존 안전검지장치 성능개선 및 고도화

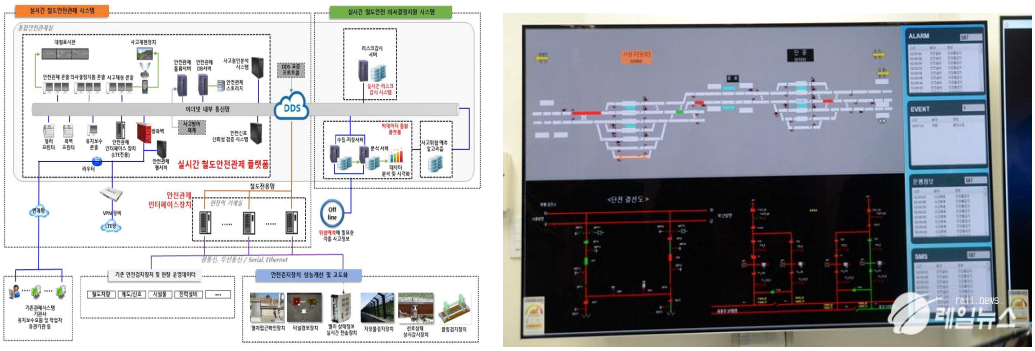


그림 2-51 실시간 철도안전 통합 감시제어시스템

  • 안전검지장치 성능 및 신뢰성 향상을 위하여 고속철도, 일반철도, 도시철도의 기존 안전검지장치(센서 등) 중 실시간 모니터링을 위해 기능 및 신뢰성 개선이 필요한 대상에 대한 현장 적용성, 설치 후 유지보수성, 적용비용 등을 고려한 검지장치 개발

  • 시스템 검증을 위한 현장적용 대상 노선 선정, 및 현장 시범구축 및 검증계획 수립하고, 실시간 철도안전 통합 감시·제어시스템 구축 및 시범운영을 통한 검증 및 보완

  • 운영기관의 특정 노선 및 차량을 대상으로 센서정보를 기반으로 위험원을 실시간 모니터링하고, 사고 방지

○ (한국철도공사)는 IoT, LTE 등 4차 산업혁명 기술을 기반으로 철도를 효율적으로 관리하여 철도안전운영을 높이기 위한 기술개발 추진 중

- SK텔레콤[93]의 IoT 전용망 '로라(LoRa)'와 LTE를 활용해 보다 효율적으로 철도를 관리하기 위한 기술개발을 추진하고 있으며, 철도 IoT 기술개발을 통해 서울-부산간 경부선을 대상으로 ▲레일 온도 측정 ▲차량 배터리 전압 측정 ▲차량 감속기 온도 측정 ▲차량 진동 측정 ▲자동 장력조정장치 동력게이지 측정 등 이용자와 직원들의 안전과 직결되는 분야를 우선적으로 추진하고 있음

- 또한, 고객의 선로 추락, 에스컬레이터 넘어짐 등 사고나 위험 상황을 자동 분석해 현장 상황 및 위치를 역무실 모니터와 직원 스마트폰 앱으로 전송하는 철도역사 지능형 안전관리시스템[94] 개발해 시범운영하고 있으며, 영상기반 상황인식 및 추적 알고리즘으로 안전사고 예방과 신속한 초동 대응이 가능토록 하고 있음

- KTX 고속철도차량 운행 중 차량에 장착된 센서를 통해 안전운영에 영향을 주는 주요장치 38종에 대해 상태감시를 하고 있으며, 이들 장치 및 부품 고장시 425개 고장코드를 차상컴퓨터에 저장하고 이를 고장분석 및 유지보수에 활용 중

- 차상컴퓨터에 저장된 열차고장기록을 CDMA 기술을 이용하여 원거리에서도 내려받을 수 있는 무선전송 시스템 기술을 개발하여 활용 중

- 열차운행중 안전을 모니터링 하기 위한 기술은 장치, 측정물리량 등에 따라 종류가 매우 다양하며, 국산화를 위한 지속적인 기술개발 시도되고 있음

  • 차축발열검지장치(Hot Box Detector, HBD)를 이용하여 지상 선로 주변에서 비접촉 적외선 온도센서로 열차 통과시 차축 베어링 온도를 측정하여 손상을 탐지

  • 차량 운행시 대차의 주행안정성을 모니터링 하고 손상을 방지하기 위해 대차프레임 및 차량하부기기 장착부의 진단 및 손상예측

  • 윤축 베어링의 손상을 탐지하기 위하여 베어링 온도를 차상에서 실시간으로 모니터링하여 베어링의 상태를 진단하고 진동특성과 결합하여 베어링의 손상을 예측

  • IoT센서 네트워크를 이용하여 노반 유실, 붕괴, 교량 붕괴 등으로 인한 취약구간의 선로상태 감시

- 화물열차 후방 잔여거기와 이상물체를 감지해 기관사와 역관제원에세 실시간으로 알려주는 ICT기반 열차후방 실시간 영상 모니터링 시스템[95] 개발

  • 객체 인식 알고리즘으로 열차가 움직이는 방향의 선로에 장애물이 인식되면 기관실과 역 관제실에 있는 영상장치에 실시간으로 경보가 울림

- 선로작업 근로자의 안전확보를 위하여 열차 접근 경보 시스템[96]을 모바일 단말기 형태로 개발하여 연장 작업자와 기관사에게 지급하고 있음

  • 기관사와 작업자가 서로의 위치를 실시간으로 확인할 수 있으며, 열차가 작업 현장에 접근할

93) SKT-코레일, '철도 안전 관제 IoT설비' 개발, BIKOREA, 2017
94) 코레일, 철도역사 지능형 안전관리시스템 개발해 시범운영, 뉴시스, 2018
95) 코레일, ICT기반 열차후방 실시간 영상 모니터링 시스템 개발, 레일뉴스, 2019
96) 코레일, 선로 작업 근로자 안전확보에 총력, 안전저널, 2016

때 진동과 경보음이 울림

○ (서울교통공사)는 지하철 스마트 통합관제센터를 구축[97]하고 운영기관별, 호선별 분산된 센터시스템을 통합 구축하며, 열차 낸 운행정보 확인시스템과 관제시스템 경보장치 등을 구축하여 열차운행의 안전성을 높이고 있음

- KT 기가 에너지 매니저를 이용해 14개 변전소에서의 온도를 원격으로 모니터링하여 단전으로 인한 운행지연 예방
- 주요 역사 및 차량기지에 지능형 CCTV와 사물인터넷(IoT) 기반의 관제시스템을 설치하여, 역사의 혼잡도 및 얼굴인식을 통하여 승객이 쓰러지거나, 출입금지구역의 문이 열리는 등의 긴급상황 즉시 대응
- 스마트안전통합상황실[98]의 운영을 통해 1~8호선 전체 지하철역과 열차 운행정보를 모니터링하고 있으며, 24시간 VOF*와 시설물 안전지수, 공사현장, 기상정보 등을 모니터링하여 안전사고 선제적 대응

  *VOF: Voice of Facilities, 지하철 관련 시설의 상태정보를 실시간으로 확인하는 장치
- 지하철역사 안팎에 IoT 공기질 측정기를 설치[99]해 미세먼지 및 초미세먼지 농도, 온도 및 습도, 이산화탄소, 휘발성유기화합물(VOCS), 소음 등을 1분 단위로 수집하며, 서울교통공사 보건환경처의 통합 관제 시스템을 통해 실시간 확인

1.2.3 국외 기술환경

❑ 국외에서도 철도운행 중 모니터링을 통한 안전운영을 위한 기술개발 요구에 따라 지속적인 기술개발 수행 중

○ (영국)[100]에서는 실시간 안전운영을 위해 1997년부터 안전관리정보시스템 SMIS와 위험전조를 실시간으로 알리는 클로즈콜(Close Call) 시스템을 운영하고 있으며, 이를 확장하여 전 네트워크에 적용하기 위한 SMIS+ 시스템 운영

- (SMIS) 안전관리정보시스템은 선로구축물을 관리하는 네트워크 레일에서 발생한 모든 안전관련 사건을 철도운영사들이 접근하여 기록, 위험도분석, 경향예측의 활동을 수행할 수 있는 국가적인 정보시스템으로 시나리오 개발, 위험도 평가 및 다이어그램 작성 등의 쟁점사항 식별 기능과 시나리오에 의한 대책 식별, 위험원 노출 가능성 제한 등의 대책식별 등을 통해 안전정보를 도출하고 기록

97) 서울지하철 통합 관제센터 설계공모 착수, 한국건설신문, 2018
98) 서울교통공사 실시간 재난대응 시스템, 교통뉴스, 2019
99) ICT 기술로 지하철도 스마트해진다, 뉴스비전, 2018
100) The development and use of modern enterprise safety management software in the british railway industry, Railway safety council, 2015

- (Close call)은 2012년 영국 Network Rail이 주도하여 개발한 시스템으로 비록 사고로 발전하기는 않았지만, 잠재적으로 사고로 발생할 수 있는 모든 사건 또는 상태를 기록하는 시스템, Close call 시스템은 SMIS 시스템과 연결하여 사고전조에 대한 분석을 수행

- (SMIS+)는 기존의 SMIS 보다 산업체의 안전관련 활동 정보를 더 효율적으로 수집할 수 있으며, 각각의 철도운영사들이 안전관리 활동을 위해 각기 시스템을 구입하는 것을 방지하며 안전정보 공유

○ (일본)[101]에서는 교통안전 시책의 대강령으로 "제10차 교통안전 기본계획[102]" ('16~'32)을 수립하고, 철도교통의 안전목표를 확립한 후 국민의 이해와 협력하에 종합적 추진

- 승객의 사망자수 제로 및 운전사고 전체의 사망자수 감소: 06년부터 17년까지 12년 연속으로 승객의 사망자수 제로 유지

- 건널목 사고건수 약 10% 저감: 건널목 사고는 장기적으로 감소하고 있지만, 아직도 '17년도 철궤도 운전사고의 약 40% 차지

- 제10차 교통안전 기본계획" 및 "건널목 개량촉진법"에 근거해 입체교차화, 구조개량, 횡단보도교 등의 보행자 등 입체횡단시설의 정비, 건널목 차단기 및 건널목경보기 등의 건널목 보안설비의 정비 등을 추진하여 건널목사고 방지에 힘쓰고 있음

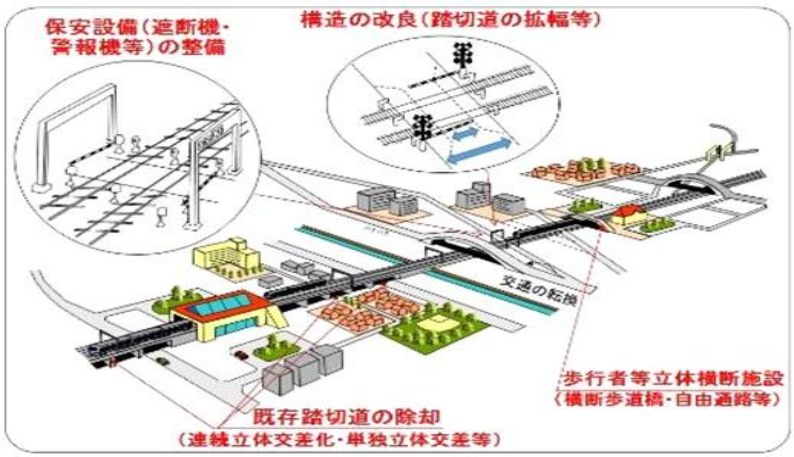


그림 2-52 일본 건널목 차단기 및 경보기 개념도

※ * 출처 : 교통안전기본계획

101) 철궤도수송안전에 관한 정보, 국토교통성철도국, 2018
102) 중앙교통안전대책회의 '제10차 교통안전기본계획' (2006~32년도 5개년 계획)
http://www8.cao.go.jp/koutu/kihon/keikaku10/index.html

표 2-20 2018년도의 철도교통 안전에 관한 시책 등

구분	시책항목
철도 교통 환경의 정비	○ 철도 시설과 같은 안전성 향상
	○ 운전 보안설비 등의 정비
철도 교통의 안전에 관한 지식의 보급	○ 이용자들에게 안전에 관한 올바른 지식 보급
철도의 안전한 운행 확보	○ 철도 사업자에 대한 보안 감사 등의 실시
	○ 운전사의 자질 유지
	○ 안전상의 트러블 정보의 공유·활용
	○ 대규모 사고 등이 발생했을 때의 적절한 대응
	○ 운수안전관리평가
철도차량의 안전성 확보	○ 철도차량의 구조·장치에 관한 보안상의 기술 기준. 수정이나 화물 열차 주행의 안전성을 향상시키는 것에 대한 검토
구조·구급 활동의 충실	○ 방재 훈련의 충실화나 관계 기관과의 제휴·협력 체제의 강화
피해자 지원의 추진	○ 공공 교통사고 피해자들에 대한 지원 체제 정비 ○ 사업자들이 지원 계획을 작성하도록 촉진
철도사고 등의 원인 규명과 재발 방지	○ 사고 등 조사기술의 향상에 힘써, 개별의 사고 등 조사결과를 공공 나타내는 등, 사고 등의 방지로 연결되도록 계발
연구 개발 및 조사 연구	○ 철도의 안전성 향상에 관한 연구 개발 추진
건널목에서 교통의 안전	○ 건널목의 입체화, 구조의 개량 및 보행자 등 입체횡단 시설 정비 촉진
	○ 건널목 보안 설비의 정비
	○ 건널목의 통폐합 촉진
	○ 기타 건널목길 교통의 안전 및 원활화 등을 도모하기 위한 조치

- 한편 동일본철도회사[103]에서는 2016년 IoT, 빅데이터 및 AI를 이용한 철도안전 및 보안을 위해 중장기계획을 수립하고 지속적인 기술개발 수행하고 있음



그림 2-53 동일본 철도회사 실시간 안전운영 개념도

※ * 출처 : 동일본철도회사

- 또한, 승객에게 실시간 교통정보를 제공하고 종사자 안전성을 향상시키기 위한 ATOS[104]

103) JR East Group CSR Report, JR-East, 2017

(Autonomous Decentralized Transport Operating Control System) 시스템을 '96년 도쿄 인근지역에 설치하였으며, 최근 이를 업그레이드하여 더 많은 노선(20개)에 적용하고 있는 중

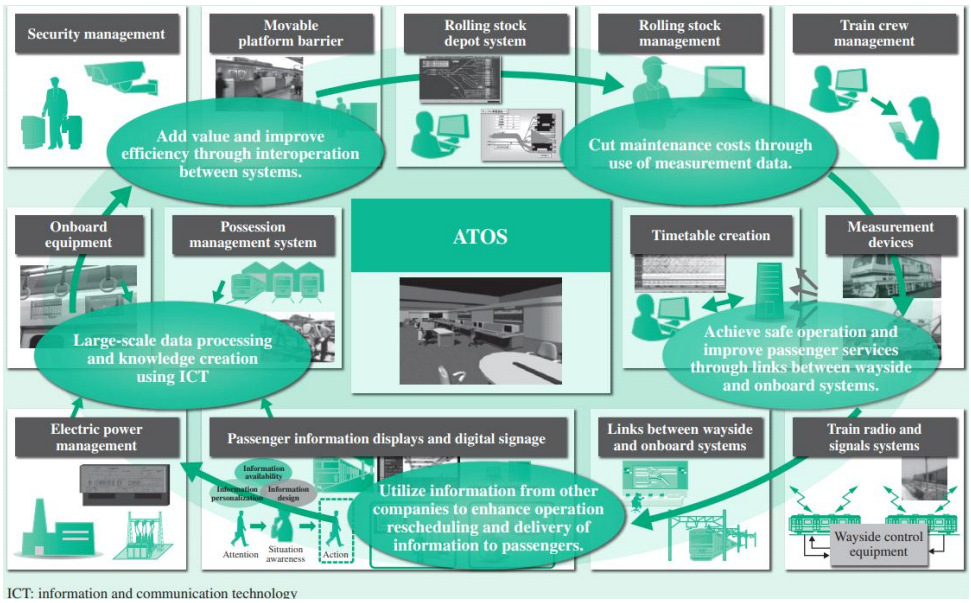


그림 2-54 동일본 철도회사 ATOS 개요도

※ * 출처 : Hitachi review

○ (중국) 산업부(Ministry of Industry) 및 정보기술부(Information Technology Ministry)에서는 IoT 기술의 적용을 위한 12차 5개년 계획을 발표하는 등 IoT를 기반으로 한 안전관제 기술 개발

- 중국[105]은 세계 최장의 고속철도 및 철도 네트워크를 효율적으로 관리하기 위하여 중국철도자산 안전 동적모니터링 정보시스템(Chinese railway assets safety dynamic monitoring information system)[106]을 구축

  · 모니터링시스템은 첨단 컴퓨터 네트워크 및 정보처리기술을 기반으로 하여 철도자산안전정보에 대한 동적 모니터링을 수행. 동적모니터링은 데이터 수집, 위험도 평가, 주기적 유지보수 등이 통합된 컴퓨터 관리시스템에서 수행

  · 모니터링시스템은 사고예방, 상태기반유지보수, 장애관리 및 비상대응지원, 완전한 안전모니터링 및 초기경고플랫폼 기능으로 구성

104) Full upgrade of ATOS to improve safety and reliability of railway services, Hitachi review, 2014
105) Railway safety monitoring architecture based on internet of things, Journal of logistics, informatics and service science, 2014
106) Chinese railway assets safety dynamic monitoring information system, Railway Condition Monitoring, 2014

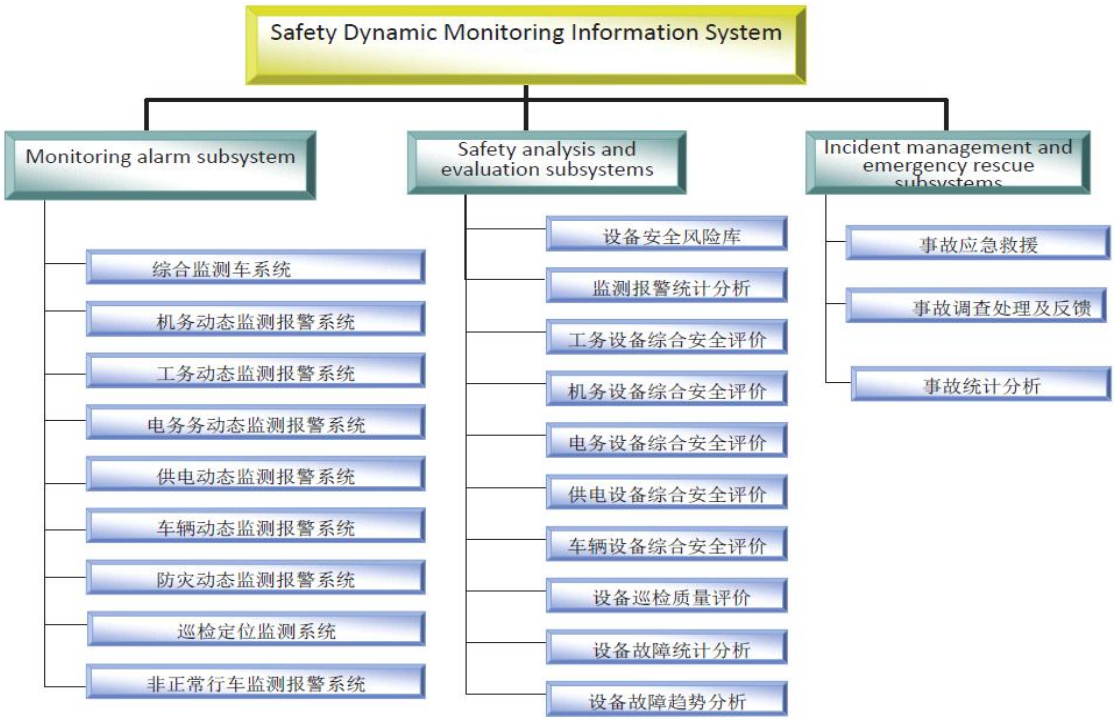


그림 2-55 중국 동적 안전모니터링 정보시스템 구성도

※ * 출처 : RCM 2014

- 중국[107]은 1970년대부터 적외선을 이용한 축상베어링 검지시스템을 개발, 1980년대 제어기술, 통신기술 및 컴퓨터기술의 발전에 힘입어 열차신호, 탈선, 기후, 사면붕괴 등의 사고에 대응하기 위한 관제기술 개발 중

○ (호주)에서는 On track 2040 계획[108]을 수립하고 단계별 기술개발 전략을 수립. 첨단자산관리시스템은 2020년까지, 안전 위험검지 및 조정 기술은 2025년까지, 첨단 데이터분석 및 정보시스템 기술은 2030년까지, 첨단운영관리시스템은 2030년까지의 기술개발 로드맵 제시

- 첨단자산관리시스템(Advanced asset management systems): 자산의 활용률 증대와 수명주기의 연장을 위한 데이터 기반 예방정비 기술

- 안전 위험검지 및 조정(Safety threat detection intervention): 데이터 측정 및 전송방식의 표준화 및 안전성향상을 위한 처리

- 첨단 데이터분석 및 정보시스템(Advanced data analysis and information systems): 유용가능한 데이터에 대한 지능형 관리 및 해석에 관한 알고리즘 및 프로세싱 방법

- 첨단운영관리시스템(Advanced operations management systems): 자동화 및 이용률 향상을 위해 이용 가능한 데이터의 사용을 위한 툴 및 해석방법

- 호주는 화물운송이 여객운송보다 활성화되어 있으며, 방대한 철도네트워크를 효율적으로 관리

107) Railway safety monitoring architecture based on internet of things, Journal of logistics, informatics and service science, 2014
108) On track to 2040 Roadmap, Rail manufacturing crc, 2015

하기 위한 지상관제 위주로 안전운영 모니터링 기술 개발

- 호주의 철도 궤도 시설물을 관리하는 ARTC (Australian Rail Track Corporation)는 차축베어링 음파 데이터를 취득/분석하여 차축베어링 이상상태를 지속적으로 추적 및 감지하는 RailBAM 모니터링 기술 개발

○ (싱가폴)에서는 국가 단위 Smart Nation Sensor Network를 통해 수집, 분석된 데이터를 도시 계획, 보안, 사고 대응, 교통관리, 공공장소 유지관리등 공공서비스 운영에 활용하기 위한 플랫폼 및 인프라 구축 작업 중임

2. 인적요인 위험관리 기술

2.1 종사자 인적요인 감시·분석·완화 기술

2.1.1 기술 정의

❑ 종사자 인전요인 감지 · 분석 · 완화기술은 인적오류로 발생할 수 있는 철도 사고 · 장애를 예방, 탐지, 회복하기 위한 기술로 철도종사자 인적오류 저감 기술, 철도 사고 · 장애 예방 및 조기대응 종사자 훈련 기술 및 철도 차량 · 시설 정비훈련 및 정비지원 기술로 정의

2.1.2 국내 기술환경

❑ 철도종사자 인적오류 저감 기술

○ 국가에서는 철도산업의 인적오류를 줄이기 위한 제도적 관리체계 및 인적오류를 줄이기 위한 세부 시행지침을 개발하고, 종사자의 행동, 근무여건 등에 대한 과학적 분석에 기초한 직무별 자격능력 검증 및 체계적 인적관리 기술 개발

- 일본, 미국, 프랑스 등 철도 선진국과의 협조를 통한 운전업무종사자의 자격요건 평가기준 및 절차분석, 국내 철도분야에서의 적용 가능성 검토 및 세부방안 제시
- 원자력 및 항공분야 등 타 산업분야의 운전업무종사자 자격요건의 벤치마킹 및 비교분석을 수행하고, 국내 철도분야로의 적용가능성 검토 및 세부방안 제시
- 현행 국내 철도조직의 자격요건 평가제도의 운영현황, 기준 및 절차분석을 심층적으로 행하여 문제점과 개선점 도출하여, 사례분석 결과에 따른 향후 지속적인 관리를 위한 제도적 기본요건 제시
- 작업 및 직무분석을 이용하여 운전업무종사자의 주요 직무를 평가하고, 주요 작업 평가결과 및 타 산업분야 자격요건 비교결과에 기초한 운전업무종사자 자격요건 재평가 후 현행 자격요건에 대한 보완 및 개선방안 제시
- 국가철도/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
- 운전업무종사자에 대응하는 자격관리 시행지침 항목 및 초안 개발하고, 개발된 시행지침 항목 및 초안에 대한 관련 조직 협의하여, 운전업무종사자 자격관리에 대한 세부시행지침 제시

❑ 철도 사고 · 장애 예방 및 조기대응 종사자 훈련 기술

○ 인적과실에 의한 열차사고가 지속적으로 발생하고 있어 인적오류를 유발하는 요소에 대해 철도종사자의 인간행동·심리, 조직·문화 등을 고려한 인적오류 예방 기술 개발[109)]

109) 스마트 철도안전관리체계 구축 기본계획 수립 연구, 국토교통부, 2017

- 철도사고 및 사건에 개입된 인적오류 행위 및 원인을 체계적으로 분석하고 재발 방지를 위한 효과적인 예방대책 마련을 돕는 인적오류 분석체계 개발 및 보급
- 정상/비정상 상황에서 운전자의 행위를 관측하고 사후 분석(After Action Review)을 지원하는 시험설비 개발
- 실차형태의 운전실 환경에서의 직무수행능력 평가 및 직무훈련을 위한 시뮬레이터 개발
- 철도안전사고 방지 및 철도 안전성 향상을 위한 대국민 교육 프로그램 개발

○ 도로교통의 경우 자동차 운전자를 대상으로 시뮬레이터를 이용한 상황지각검사와 위험판단검사 시스템을 개발하여 정밀적성검사에 적용



그림 2-56 사업용 자동차 운전자 대상 위험판단 검사의 구성

- 한국도로공사는 생체신호 수집장치를 개발설여 주행 중 운전자의 각종 신체, 감성적 변화량을 정량화(생체신호장치 종류 : 뇌파, 심전도, 근전도, 안구운동도, 피부전도도, 혈압, 피부온도 등)
- 공군사관학교에서는 시뮬레이터 내 안구운동 측정하여 정상상황 비행에서 조종사의 숙련도에 따라 안구 움직임 특성을 파악·분석하여 조종사의 행동을 파악
- '도로주행 시뮬레이터 실험센터'는 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[110)]

110) 운전자 시각에서 보는 도로주행 시뮬레이터 실험센터, 19일 문 연다, 국토교통부 보도자료, 2018.12.19



그림 2-57 자동차 운전 시뮬레이터

○ 국방 분야는 4차 산업혁명 3대 국방혁신 과제로 가상·증강현실 기술을 활용하여 실감형 훈련체계를 구축하여 “상시 실전형 훈련” 추진



그림 2-58 국방분야 상시훈련 체계 사례

- 특수작전 수행을 위한 훈련 지역 및 시설의 부족을 해결하기 위하여 임의의 작전환경을 가상환경으로 구축하여 전시·평시 특수작전을 수행할 수 있는 가상현실 시뮬레이터기반 교육·훈련체계 구축





시스템 구성

그림 2-59 국방분야 가상현실 시뮬레이터 기반 교육훈련 체계

○ 가상·증강현실 기술은 컴퓨터 그래픽 기술 및 데이터 처리 기술의 발전으로 다양한 분야에서 적용되고 있으며 과학기술정보통신부의 “가상현실 플래그십 프로젝트”, 산업통상자원부의 “가상훈련 시스템 개발”, 문화체육관광부의 “VR/AR 체감형 게임 콘텐츠 원천기술 개발 및 ICT 융복합 기능성 게임 제작”, 범부처 차원의 사업인 “국가전략 프로젝트” 등을 추진하였으며 “13대 혁신성장동력 추진계획(2017.10)”에 가상·증강현실 기술 선정

❑ 철도 차량 · 시설 정비훈련 및 정비지원 기술

○ 인적오류에 의한 열차사고가 지속적으로 발생하고 있어 인적오류를 유발하는 인적요소에 대해 철도종사자의 인간행동·심리, 조직·문화 등을 고려한 체계적인 인적오류 예방기술개발[111)]

- 인적오류 분석체계 개발, 직무수행능력 시험설비 개발, 수행능력평가 시뮬레이터 개발, 대국민 홍보 및 교육프로그램을 개발하여 작업 수행자의 직무수행 능력 향상과 인적오류 저감 및 예방을 지원하는 교육훈련 체계 구축

- 철도 사고 및 사건에 개입된 인적오류 행위의 원인을 체계적으로 분석하고 재발 방지를 위한 효과적인 예방대책 마련을 돕는 인적오류 분석체계 개발 및 보급

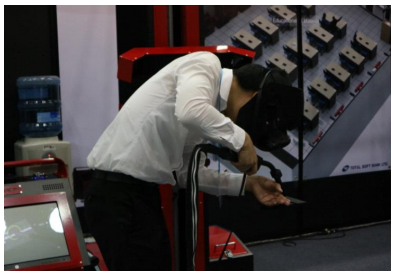
- 정상/비정상 상황에서의 운전자의 행위를 관측하고 사후 분석(After Action Review)을 지원하는 시험설비의 개발



[가상현실정비교육]



[증강현실 정비 지원]



[가상현실 용접 교육]

그림 2-60 가상현실 기반 교육훈련 사례

○ 가상현실/증강현실 기술은 게임, 영상 엔터테인먼트 분야에서 활성화 되고 있으며 점차 교육 컨텐츠 제작과 국방, 의료, 제조업 분야로 확대

111) 스마트 철도안전관리체계 구축 기본계획 수립 연구, 국토교통부, 2017

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

○ 지금까지 가상현실기술은 체험 중심으로 개발되고 있으며 정부 지원정책을 중심으로 성장

- 가상현실/증강현실 기술은 국가과학기술심의회의 13대 혁신성장동장동력 추진계획 중 융합서비스 기술로 선정되어 대국민 재난안전분야 가상훈련서비스 추진.
- 가상현실/증강현실 원천기술확보 및 응용기술 개발, 적용분야 확대를 목표로 연구개발 지원

2.1.3 국외 기술환경

❑ 철도종사자 인적오류 저감 기술

○ 철도사고 중에서 최소한 60~70% 이상이 인적오류가 주원인인 사고로 분석하고 있으며, 유사한 사고의 발생을 예방하고 피해를 최소화하기 위한 인적오류 관리방안으로 인적오류 분야 기술 개발

○ 영국 Network Rail(철도시설관리자)과 RSSB (Rail Safety and Standards Board)는 대학연구소, 정부기관 등이 참여하는 인간공학에 관련된 대형 프로젝트 수행하여 인적공학 기초연구 및 응용 기술 개발

- Network Rail(철도시설관리자)은 객차에서의 승객안전을 위한 공간설계, 인간중심적 신호체계, 인체적, 공학적 안전설계를 위한 가이드라인 개발
- RSSB는 기관차 운전실, 사령실, 신호센터 등에 대한 인간공학 평가 및 설계 기술, 철도종사자 선발, 평가, 역할 정의 및 훈련체계, 기관사의 주의력 향상 프로그램 등을 개발

○ 미국연방철도청(FRA)은 철도연구개발 사업에 대한 5개년 전략계획을 수립하고 열차 운전자의 경각심을 연속적으로 실시간 감시할 수 있는 기술, 시뮬레이터를 이용한 시험환경 구축 요건, 인간공학 실험 및 교육 훈련용 시뮬레이터 등 주요 기술 개발

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

○ 프랑스 Alstom社는 철도 운전사의 안전성, 편안함 등을 고려한 인체공학적(Ergonomics) 디자인을 반영한 고속철도(TGV-NG) 운전실을 설계, 제작하여 시험, 평가[112)]

- 기관사의 생체 데이터(물리적 능력, 근력, 병력, 시각, 청각, 인지능력 등)와 업무(운전)에 영향을 미칠 수 있는 각종 요인을 정량화하여 설계에 반영하였으며, 3차원 CAD를 이용하여 운전석에서 자세, 머리 및 시야각의 위치 등을 입체적으로 설계

○ 영국 RSSB, 미국 FRA, 호주 철도청은 철도차량 운전실 인간공학 평가 가이드라인을 개발하고, 철도차량 운전실의 환경, 철도차량 운전실의 배치, 워크스테이션 디자인의 요소에 대한 규

112) Sagot J. C, Gouin V, Gomes S, Ergonomics in product design:safety factor, Elsevier, Vol41, 2003

정 및 지침을 제시하고, 철도차량 운전실 인간공학 평가에 관한 연구를 수행

- 국제철도연맹 UIC는 철도차량의 수출 및 철도의 국가 간 이동시 회원 국가 간의 권고사항으로 철도차량 운전실 인간공학 평가 가이드라인 제시

- 스웨덴 고속철도 X2000, 일본 고속철도 신칸센, 프랑스 TGV, 독일 고속철도 ICE(Inter City Express)에서는 철도차량 운전실 인간공학적 인테리어 및 계기판의 인간공학적 설계 실시

❑ 철도 사고 · 장애 예방 및 조기대응 종사자 훈련 기술

○ 국외에서는 철도 안전핵심 종사자에 대한 자격능력 개발과 인적성능 관리를 제도화하고, 철도운영기관은 자기 특성을 반영한 인적자원관리시스템(CRM)을 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 철도시스템 운영, 관리상의 다양한 위험요인이 복합된 이례 상황이나 사고 상황에서의 안전업무 수행도(인적 성능)와 자격능력 개발을 위해 시뮬레이터를 활용하여 이상대응 훈련 및 진단평가 수행

- 영국 런던지하철은 자격능력의 개발, 관리를 위해 모든 직원에 대하여 e-Learning 학습관리시스템(LMS) 온라인으로 운영, 개인들은 자신의 경력 개발을 위한 학습 코스를 선택하여 학습을 수행하고 노선에 투입



그림 2-61 영국 London Underground e-Learning 학습관리 시스템(LMS) 사례

○ RSSB는 영국 교통부의 지원을 받아 'The Industry's Rail Technical Strategy 2012'를 수립하여 기존 기술 혁신 문화를 기반으로 새로운 기술을 구현하고 시험할 수 있도록 필수적인 연구 및 개발 투자를 위한 프레임워크를 제공

- 비전: 효율적이고 고객중심의 철도 서비스를 제공하는 숙련(Skilled)되고 헌신적(Committed)이며 적응력(Adaptable) 있는 종사자 양성

- 목적: 지속적인 개선, 효과, 고객서비스 문화와 탁월한 리더십과 종사자 지원, 고품질 기술을 제공하는 안정적인 공급망 구축

- 전략: 미래 철도 기술 요구사항 평가, 조직 간 효과적인 협업을위한 공통 표준 채택, 신기술의 이점을 극대화하기위한 학습 방법 개선, 인간을 고려한 설계 기술 및 역할, 반복적이고 힘든 작업 자동화

- 종사자 교육, 훈련 및 지속적인 역량 강화는 NSARE(National Skills Academy for Railway Engineering)의 범위를 엔지니어링 이상으로 확대하고 업계 전반 및 독립적인 교육 기관과 협력 및 지속적인 학습 프로그램 개발

- 점차 증가하는 데이터 환경을 처리하고 실제 환경을 효율적으로 관리를 위한 가상 현실과 시뮬레이션, 역할 연기 및 향상된 실습 등 교육 방법 개선

- NSARE는 철도 직원이 산업 전반에 걸쳐 작업 할 수 있는 유연성을 높이기 위해 학업 및 전문 자격을 지원하기 위한 휴대용 역량을 보여주는 기술 여권, 엔지니어링과 같은 핵심 분야의 역량에 관한 국가 데이터베이스 등의 도구 개발

- 많은 양의 데이터, 정보 해석 지원을 위한 향상된 신기술을 활용한 종사자의 시간 지정 및 유지관리 일정 계획을 포함한 차세대 의사결정 지원 도구 도입

○ 미국은 교통부 산하 TSI(Transportation Safety Institute)에서 철도를 포함한 교통수단의 “안전 및 보안”에 관한 교육 및 세미나를 연간 교육일정에 따라 운영(25개 과정)

- FTA와 공동으로 국제안전 자격인증제도 운영, Transit Safety & Security Program에 의해 3년 동안 지정된 필수과목 이수시 CSS-Rail(철도안전분야 5년 이상 경력자)과 CSSD-Rail(철도안전분야 10년 이상 경력자) 자격인증 시행

❑ 철도 차량 · 시설 정비훈련 및 정비지원 기술

○ 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

※ 마이크로소트프사의 홀로렌즈는 HMD(Head Mounted Display) 반투명 디스플레이를 이용해 증강현실 영상을 사용자 환경과 상호작용하여 재생 및 이용자의 손동작을 통해 증강현실 영상을 조작 가능

※ 구글글래스는 한쪽 눈에 정보를 제공하는 단안식 프로젝션 디스플레이를 탑재하여 농업용 장비, 물류, 자동차, 방위산업 등 다양한 산업체에 활용

※ 보잉사는 증강현실 기술을 이용하여 항공기의 전선조립을 보조하는 시스템을 개발 운영

○ 위험도가 높은 직무훈련, 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.



[FUNDAMENTAL VR – 수술 시뮬레이션] [Zspace – 의료교육 시스템]
[KineQuantum – 재활치료 시스템] [Virtual Better– 심리치료 시스템]

그림 2-62 가상 및 증강현실 적용사례

2.2 이용자 인적요인 감시·분석·완화 기술

2.2.1 기술 정의

❑ 철도 이용자 일상사고 및 범죄피해 예방 및 대처하기 위한 기술로 철도 이용자 일상사고 위험을 자동으로 감시•탐지하여 사고 발생 전 사고 위협요소를 해소 또는 완화하는 기술 및 CCTV, 데이터 검색, 통합관리 및 AI 기반 의사결정 지원을 위한 철도 이용자 사고예방 정보 기술로 정의

2.2.2 국내 기술환경

❑ 국내에서는 인적오류에 의한 사고가 지속적으로 발생하고 있어 인적오류를 유발하는 요소에 대한 인간행동·심리, 조직·문화 등을 고려한 체계적인 인적오류 예방기술 개발 중[113)]

- ㅇ 철도사고 및 사건에 개입된 인적오류 행위의 원인을 체계적으로 분석하고 재발 방지를 위한 효과적인 예방대책 마련을 돕는 인적오류 분석체계 개발 및 보급
- ㅇ 철도안전사고 방지 및 철도 안전성 홍보를 위한 대국민 철도안전 홍보 및 교육 프로그램 개발

❑ 종사자 인적과실로 인한 대형철도사고, 외부요인(건널목 사고, 선로침입 등)에 의한 사고, 선로작업자 안전확보를 위한 선로보안시스템, 철도건널목 장애물 감지 및 경보 기술 개발

- ㅇ 철도사상사고를 예방하기 위해 경부고속철도 구간에는 차축 및 휠온도검지장치, 지장물검지장치, 끌림검지장치, 기상검지장치, 안전스위치, 열차접근감확인장치, 터널경보장치, 분기기 히터제어장치, 레일온도검지장치, 기계실출입자감시장치, 지진감시장치, 현장장치 기능감시장치 등을 설치 운용
- ㅇ 일반철도 구간에는 분기기히터제어장치, 기계실출입자감시장치, 승강장 비상정비스위치, 승강장 스크린도어(Platform Screen Door, PSD) 등을 설치 운용
- ㅇ 광역철도(도시철도 및 지하철) 구간에는 승강장 비상정지버튼, 승강장 스크린도어 등을 설치하여 운용하고 있으며, 용인 경량전철에는 가이드웨이 침범검지시스템(Guideway Intrusion Detection System, GIDS)등을 설치 운용

❑ 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서는 도시철도 표준화 2단계('07.7~'12.6) 연구를 통하여 지능형 종합 감시시스템에 대한 표준 구성도와 일부 기능에 대한 이벤트 검지기술 개발

113) 스마트 철도안전관리체계 구축 기본계획 수립 연구, 국토교통부, 2017

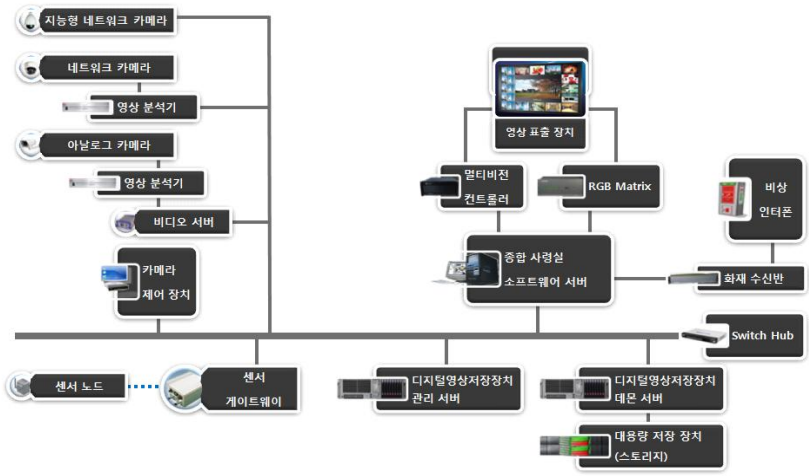


그림 2-63 지능형 종합감시시스템 표준 구성도

○ 철도종합안전기술개발은 철도건널목 지능화를 통한 사고예방 및 피해저감 기술 개발(`05~`10) 연구를 수행하여 지능형 철도 건널목 상황 검지 및 정보전송기술 및 건널목 지장물 검지장치 개발

○ 기존 역사 스크린도어를 개선하고자 상하 개폐형 스크린도어와 3D 센서의 공간분할 기술을 적용한 장애물 감지 및 경보해주는 도시철도 역사운영 효율화 및 상태기반 유지보수 기술 개발(‘13~`18)



[로프와 하드부재 혼합형 상하개폐 스크린도어]



[장애물 감지 및 경보 시스템]

그림 2-64 역사 스크린도어 및 장애물 감지 경보 시스템

❑ 국내 주요 KTX 역사에 금속탐지기와 수화물 스캐너(X-ray 검색대)를 구축하고 특정 탑승객을 선별하여 보안 검색운영(`16.8) 실시

○ 지능형 CCTV의 상용화로 철도시설 내 사각지대 감소와 범죄현장 정보수집이 용이하며 철도보안정보센터(’17.05 구축) 연계 및 지능형 CCTV를 단계적으로 확충 중

○ 홍익대학교에서는 교통약자(장애인, 고령자, 어린이 등)의 보행안전을 위해 보행신호 등에 IoT를 접목한 교통약자 자동인식 스마트 보행신호 메커니즘을 제안

❑ 국토교통부 철도특별사법경찰대(이하 철도경찰대)는 산업통상자원부가 주관하고 한국로봇산업진흥원이 시행하는「18년 시장 창출형 로봇보급사업」에 “경찰로봇을 이용한 철도보안정보화 시스템 구

축 및 보급사업” 연구에 착수

2.2.3 국외 기술환경

❑ 이용자의 인적요인 분석을 위해 유럽연합은 상호운영성 표준인 TSI에 따라, 역사 내 이동저하여객 등 여객 이동경로 상에 사용 및 관리하는 층간 이동제어 설비 등의 기능을 표준으로 제시

○ 지상 역사 설비는 층간이동 등 장애경로관리 제어기능을 요구하며, 차량 내 여행설비는 여객진입 과정 상태에 따른 여객정보를 안내 및 제어할 수 있도록 규정

○ 유럽에서는 철도인근의 노약자 이동을 위해 수평이동이 가능한 엘리베이터인 다구간 이동시스템(SCHMID社 모델명: People mover)을 개발하여 독일 내 현장에 설치 운영



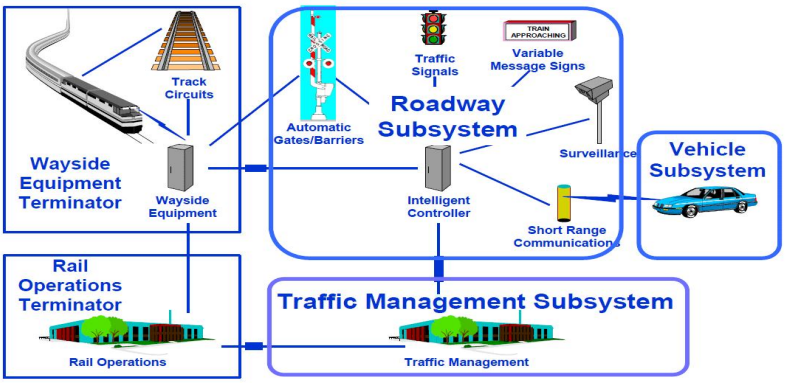
그림 2-65 독일 수평이동이 가능한 다구간 이동시스템

※ * 출처 : SCHMID社 모델명: People mover

❑ 철도건널목 및 선로 주변의 안전을 확보하기 위한 최신의 첨단 센서 및 무선통신 기술을 이용하여 열차 및 자동차 운전자에게 다양한 정보를 제공할 수 있는 기술 개발

○ 미국의 ITS/HRI(Highway Rail Intersection)는 철도와 차량의 이동을 감시하여 운전자에게 미리 경고함으로써 사고를 감소시키게 하는 역할 수행

※ 1995.10월 일리노이주에서 발생한 통근열차와 스쿨버스 간의 충돌사고를 계기로 도로와 철도의 안전을 향상하기 위한 국가 ITS 계획의 30번째 “Highway Rail Intersection"이 채택



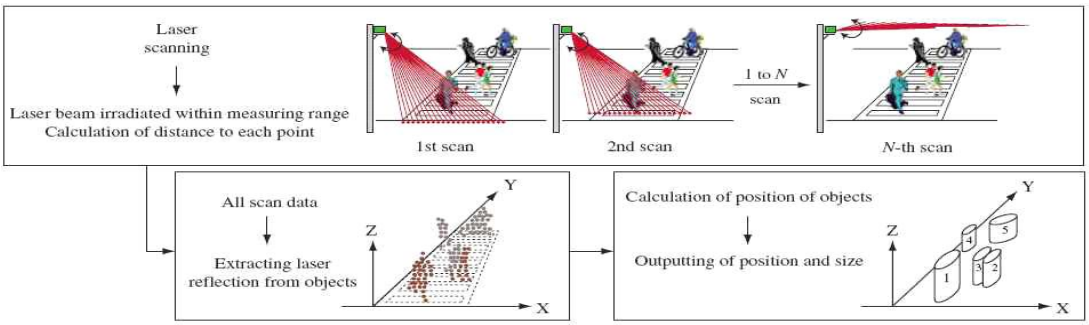
자료 : Wisconsin Statewide ITS Users Group, 2000.4[114)]

그림 2-66 ITS/HRI 시스템 구성도

○ 미국의 연방철도국(Federal Railway Administration, FRA)은 연방도로국의 협조로 차량근접 경고(Vehicle Proximity Alert) 프로젝트 수행, 철도건널목을 이용하는 자동차 운전자 및 열차 기관사에게 각각 경고를 줄 수 있는 Smart Stops, EARS(Electronic Accident Reporting System), DVSS(Dynamic Vehicle Safety System) 시스템 개발

○ 미네소타교통부(Minnesota Department of Transportation, MnDOT)에서는 3M 및 DVSS와 공동으로 음향과 시각적인 신호로 스쿨버스 운전자에게 버스가 건널목에 어느 정도 접근했는지와 건널목에 열차의 존재를 알려줄 수 있는 차내경고 시스템 개발

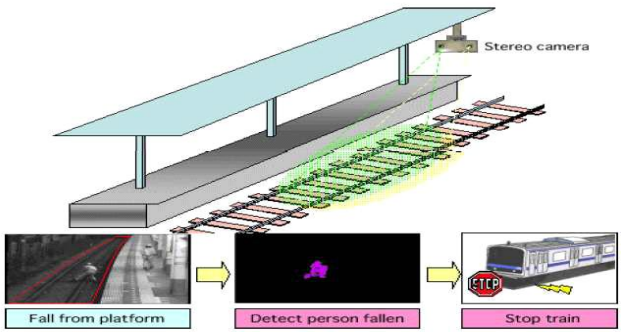
○ 일본의 IHI사에서는 3D 레이저 레이더 센서를 이용하여 기존의 레이저 광선 교차방식을 개선하여 건널목의 전 구간(길이 20m 폭 10m까지)을 감시할 수 있는 건널목 장애물 검지장치를 개발하여 '06년부터 동일본철도 노선에 500대 이상(건널목 당 1대) 설치



자료 : 일본 IHI Engineering Review, 2008[115)]

그림 2-67 일본 IHI Engineering Review, 2008

○ 일본철도회사는 ITS 기술에 사용된 입체이미지 처리기술을 사용하여 승강장 선로의 거의 전 구간에 걸쳐 추락 승객을 검지할 수 있는 지능형 안전장치 개발



자료 : JR동일본 안전연구소, 2004[116)]

그림 2-68 카메라를 이용한 승강장 추락검지 시스템

114) Wisconsin Statewide ITS Users Group, 2000.4
115) IHI Engineering Review, 2008
116) JR동일본 안전연구소, 2004

○ 동일본철도회사(JR)는 비상정지 버튼, 열차 비상정지 경보, 점자블록, 안전선(생명선), 승강장 계단, 승객 추락(또는 전락) 검지매트 등을 수도권 지역의 주요 역과 곡선으로 인해 역 승강장과 열차 진입 문 사이의 거리가 넓어진 역에 안전설비를 설치하여 운영

❑ 일본 JR EAST는 과거 장애인용 에스컬레이터를 상당수 설치하였으나, 최근 엘리베이터의 설치로 장애인용 에스컬레이터는 상당수가 철거됨



그림 2-69 일본 JR EAST는 장애인용 에스컬레이터

❑ 일본은 도쿄 올림픽(2020)을 앞두고 폭발물 탐지센터 게이트, 이상행동자 추적 CCTV 등 첨단기술을 실용화 단계로 철도역에 도입할 예정

○ 일본은 범죄 및 테러예방을 위해 도쿄내 모든 지하철 차량에 CCTV 설치를 시작('17)하였으며, 구조물의 내충격 설계법 마련을 목적으로 내충격·방폭 설계 가이드라인 작성

○ JR East은 범죄, 테러 및 기타 사고방지를 목적으로 보안운영센터를 설립('15.10)하고, 24시간 다양한 사전정보를 수집 및 활용 중

❑ 일본 히타치社는 보안검색 영상 판독용 AI 기술을 탑재한 X-Ray 장비를 개발하여 수하물 내부를 투시해 재질, 밀도, 크기 등을 분류하고 위험물을 자동으로 식별, 수하물의 안전도를 자동으로 판독하여 검색처리량 40% 향상이 가능한 기술 개발

○ 인공지능을 이용한 성별, 복장의 종류/색상, 소지품 등 100개 항목 이상의 인물 특징과 걷기, 달리기, 쪼그린 자세 등 10개 동작 특징을 실시간으로 판별하여 특정인물을 즉시 발견하고 추적할 수 있는 기술 개발('17)

❑ 미국은 다중밀집시설인 뉴욕시 Penn 역(일일 60만명이 이용)에 테러방지를 위한 열감지 센서 카메라를 개발하여 시범적으로 도입('18.2)

○ 열감지 센서 카메라는 테러를 위해 제작된 폭탄조끼, 폭발성 장치 등의 감지 가능

❑ 유럽연합의 프랑스, 벨기에는 국제선 철도역에 금속탐지기, 수하물스캐너 등 공항수준의 보안검색 실시('16)하고 있으며, 유럽의회는 교통, 에너지, 보건, 금융 등 EU 내 사회기반서비스의 사이버 보안체계 구축을 강제화하는 NIS 지침을 채택('16.8)

○ 영국 테라뷰(TeraView)社는 테라헤르츠 스캐닝을 이용해 여행객 옷 안에 은폐되어 있는 흔적이나 벌크 폭발물을 탐지할 수 있는 TPS Spectra 3000을 개발

○ 독일 베를린 중앙역에 얼굴인식 시스템을 도입(2017)하였으며, 200명의 피실험자를 투입하여 약 6개월간 실험을 통한 높은 인식 성공률(약 70% 인식, 1% 오류) 확보

○ 중국 후난성 정쩌우 고속철도역에 안면인식이 가능한 스마트 안경을 도입하여 경찰 데이터베이스와의 연동을 통하여 승객들의 얼굴인식 시스템을 구축

○ 상하이 지하철은 '19년 QR코드 스캔으로 열차에 탑승하며, 향후 안면인식 승차권 기술 개발을 진행 중

- 알리바바가 최근에 개발한 음성 승차권 예매, 안면인식 지하철 진입, 스마트 승객 흐름 분석 등 여러 종류의 기술이 상하이선퉁 지하철그룹에서 현재 프로토타입 연구제작 단계이며 향후 상하이 지하철에 서서히 응용될 예정

- UAE 두바이 경찰청에서는 IoT, AI 등 최신 스마트기술을 탑재하여 범죄자 얼굴인식 및 자동 순찰이 가능한 로봇 경찰관을 세계 최초로 도입(2017)하고 2030년까지 전체 경찰인력의 25%를 로봇으로 대체하는 계획 수립

- 이집트 Ain Shams 대학은 다중벽 탄소나노튜브(Multi-walled Nanotube; MWCNT)가 시멘트 페이스트의 기계적 특성과 내화성에 미치는 영향에 대한 실험을 진행함.

3. 철도인프라 위험관리 기술

❑ 철도인프라는 궤도, 교량, 터널·노반, 철도역사, 신호시스템, 전철·전력 등으로 크게 분류할 수 있으며 각 구성요소별 건설 및 구축 기술 외에도 운영·지원체계가 포함된 기술을 포함

○ 「철도산업발전기본법」(국토교통부, 2017.07) 제3조 2항을 참조하여 철도 중 철도차량 및 차량과 관련된 정비, 유치 시설 등을 제외한 철도시설 및 이와 관련된 운영·지원체계 등을 포함한 범위를 철도인프라로 정의함

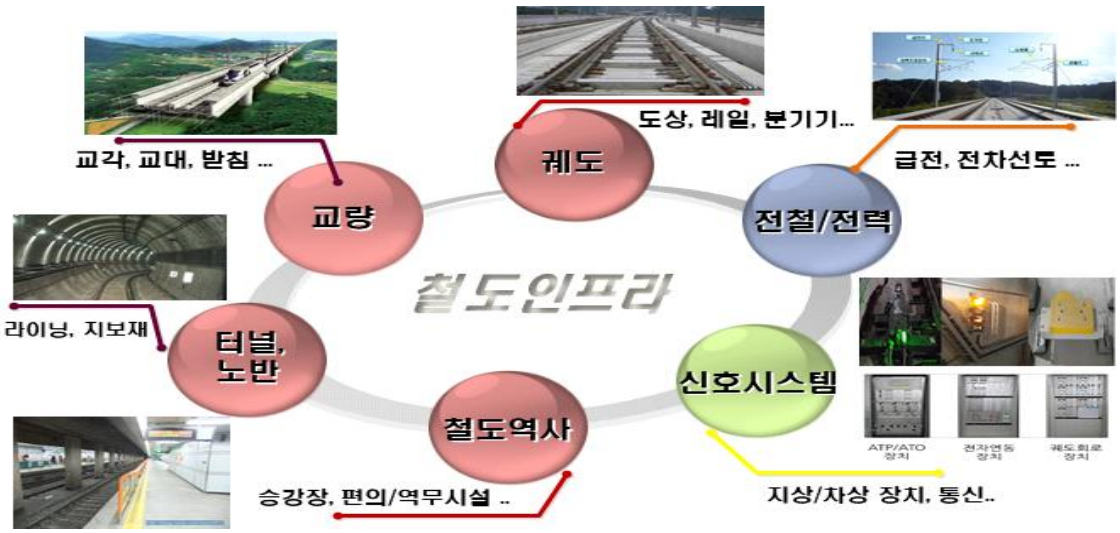


그림 2-70 철도인프라의 분류

표 2-21 철도인프라의 구성요소별 기술의 정의

구분	세부기술	기술의 정의
궤도	궤도/주행로 기술	차량을 직접 지지하고 유도하는 궤도에 대해 주행안전성, 승차감, 친환경성, 유지보수 및 경제성 확보를 위한 관련 기술
교량	철도교량(고가구조물) 기술	철도차량의 하천, 도로횡단 교량 및 고가구조물에 대한 설계 및 시공 유지관리 기술
터널·노반	철도 터널 기술	일반, 고속, 초고속 철도터널 구조물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 기술
	노반 기술	궤도를 지지하는 하부구조인 노반을 대상으로 열차주행 안정성 및 환경적 폐해를 최소화시키는 기술과 요구성능에 부합되도록 하는 기술
철도역사	-	정거장(철도역사)의 설계 및 시공, 설비시스템, 차량기지의 설치 및 유지관리와 관련된 기술
신호시스템	신호제어 기술	열차의 운행 조건에 따라 지상·차상 간에 정보를 전송하여 열차의 운행 간격, 열차 속도 및 열차운행시의 철도 안전과 연관된 기본 요소 기술, 열차제어 관련 신호설비 제어기술 및 신호시스템 설계 기술 등을 취급하는 시스템 엔지니어링 기술
	철도통신 서비스 기술	철도 통신망 기반 위에서 제공 가능하며, 철도 서비스의 기본

구분	세부기술	기술의 정의
		적인 기능 및 성능 요구사항을 만족시키는 철도서비스 기술
	철도통신전송 및 통신망 기술	철도망에서 음성, 데이터, 비디오 등의 정보를 효율적이고 높은 신뢰성으로 전송하기 위한 통신망, 통신 인프라 및 전송 기술
전철·전력	급전계통 기술	전기철도 시스템에서 열차 및 선로변 시설, 역사에 전력을 공급하기 위하여 시설되는 송변전 및 배전 네트워크의 설계·구축 기술
	전차선로 기술	전기철도 시스템에서 움직이는 열차에 전력을 공급하기 위하여 선로를 따라 가공한 것 또는 제3궤조로 설치되는 고정 시설물인 전차선로 시스템에 대한 기술
	전력(에너지 변환 및 공급) 기술	고정된 선로에서 움직이는 전기 차량에 전력을 공급하는 방식을 유도 등의 무선 전송 방식으로 하는 전기 에너지 전달 시스템 구축 기술과 철도 차량이나 시설에 일부로서 초전도 장치를 적용하는데 관련되는 기술

❑ 철도인프라의 안전사고에 대한 위험관리기술은 데이터 수집 및 가공, 데이터 분석/평가/예측, 데이터 기반의 의사결정을 통한 위험요인 완화 또는 해소 기술로 분류됨

○ 철도인프라의 사고 위협요인 측정에서 완화/해소 단계까지 데이터 기반의 스마트기술의 적용이 필요



그림 2-71 철도인프라 안전위협요인 사전관리의 단계별 기술

○ 외부환경 변화에 따른 철도인프라의 안전 위협 잠재요인인 노후화, 자연재난, 테러 등에 대한 안전관리 기술개발 필요

대분류	중분류
1. 철도 노후 인프라 유지보수 및 개량 기술	1.1 노후 상태 진단 및 유지보수•개량 의사결정 기술
	1.2 노후 인프라 보수/보강 및 개량 기술
	1.3 표준화, 기준
2. 철도인프라 재난·재해 안전 기술	2.1 재난·재해 사전예방 기술
	2.2 재난·재해 손상진단 기술
	2.3 재난·재해 급속복구 기술
3. 범죄·테러 사전예방기술	5.3 역사 보안 기술

3.1 철도인프라 위험요인 감지기술

3.1.1 기술 정의

❑ 철도인프라의 위험요인 감지기술은 철도인프라 분야별 성능 상태평가, 노후화, 자연재해 등 위험요인에 대한 사전 전조현상의 탐지 및 파악을 위한 다양한 첨단측정 장비와 측정기술이 포함된 스마트 기술로 정의됨

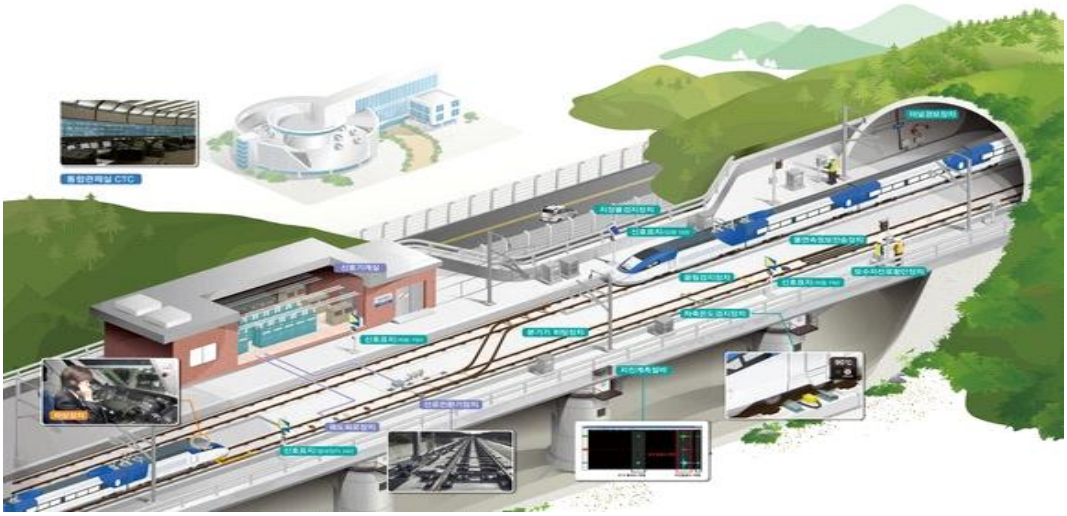


그림 2-72 철도인프라 위험요인 감지기술 범위

○ 철도 인프라 고장 및 장애 위험요인 감지기술은 철도신호설비 고장모드 표준화 및 사전 전조현상 감지기술, 궤도-노반 사전 전조현상 감지기술, 철도역사 안전사고 사전 전조현상 감지기술, 철도터널 안전사고 사전 전조현상 감지기술, 철도터널 안전사고 사전 전조현상 감지기술, 철도교량 핵심 안전성능요소 사전 감지기술로 구성됨

- 철도신호설비 고장모드 표준화 및 사전 전조현상 감지기술
  - · 신호기, 궤도회로, 폐색장치, 연동장치, ATS, ATP, 선로전환기 고장모드 표준화 기술
  - · 고장모드별 식별기술 및 자동검측기술
  - · 신호설비별 표준 고장모드 자동 자가진단 기술
- 궤도-노반 사전 전조현상 감지기술
  - · 국지적인 기후모델 연계를 통한 선로 및 교량구조물의 연속적인 온도예측기술
  - · IoT 기반의 도상저항력 측정기술
  - · 교량 신축변형 장기측정기술
  - · 비파괴탐사기술기반 도상/노반 위험도 진단기술
- 철도역사 안전사고 사전 전조현상 감지기술

· 지능형 CCTV, 스마트 검색, 빅데이터 통합관리를 이용한 사전 전조현상 감시기술

· 빅데이터, AI 등 스마트 기술을 융합하기 위한 사고예방 통합정보 플랫폼 기술

- 철도터널 안전사고 사전 전조현상 감지기술

· 터널 라이닝 배면 및 터널 내 궤도하부의 상시 물리정보 감지기술

· 시공 및 운영 중 터널 구조물 붕괴 진단 및 상태평가를 위한 마이크로파 이미징 기술

- 철도교량 핵심 안전성능요소 사전 감지기술

· 철도교량 핵심성능요소인 장기변형, 손상, 궤도 인터페이스 관련 항목 등에 대한 계측 기술

· 비접촉 영상장비(카메라, 드론, 로봇 등) 등 첨단기술을 활용한 공용 중 철도교량 상시 물리정보 수집 기술

- 전철 전력시설 선제 위험 감지기술

· 전차선로시스템 실시간 상태모니터링 및 평가를 위한 고내구성 센싱 기술

· 철도용 초고압 전력기기 고장/사고 데이터베이스 기반 수명모델 기술

· 철도 운영환경을 고려한 초고압 TR/GIS 예방진단 IoT 센싱 기술

3.1.2 국내 기술환경

❑ 선로 성능상태 및 사고·장애 위험전조 데이터 측정·수집 기술

○ 인력 및 육안점검 수준의 선로 성능상태 점검 및 이상개소 결함 검지 등이 이루어짐에 따라 상시 데이터 수집 및 이력관리 체계, 사고·장애에 대한 전조현상에 대한 데이터 탐지 미흡 및 디지털화 부족

- 궤도레일의 점검은 점검자 육안 또는 야간에 초음파를 이용한 이상 유무 점검이 대부분이며, 궤도검측차, 선로점검차 및 레일탐상차 등을 이용하여 일정 주기로 측정을 수행하고 있음. 이에 궤도열화 및 안전도 저하의 결과로 나타나는 단편적인 현상만을 측정하기 때문에 사전 예방조치를 위한 데이터는 충분하지 않은 상황임

- 콘크리트 궤도의 접속부 구간에서는 노반침하(특히, 성토체의 침하로)로 궤도가 들떠있는 현상이 발생하기도 하며, 콘크리트 궤도의 취성파괴(갑작스런 파괴)가 발생할 가능성이 있으나 이를 탐지하기 위한 정밀한 탐사기법 등이 미비

- 콘크리트 궤도는 하부지반의 침하, 지지력 약화 등으로 인한 손상, 취성파괴 등의 현상이 발생하나 콘크리트 궤도의 강성과 두께 등으로 인하여 하부 노반의 물성을 평가하기 위한 필요한 데이터 및 측정이 매우 어려움

- 자갈궤도 열화는 여러 가지 메카니즘에 의해 발생하나, 국내 여건에 적합한 상세한 원인조사나 탐사기법이 미비함



그림 2-73 자갈궤도의 열화로 인한 불량개소

- 궤도의 결함개소 탐지를 위하여 궤도검측차(고속선은 월 1회, 일반선은 분기별 1회), 선로점검차 및 레일탐상차 등을 운영하고 있으나, 당초 목적과 달리 궤도틀림 초과개소나 대차나 차체 가속도 초과개소 선정 및 탬핑 등의 단순 유지보수 개소를 위한 자료로 활용
- 진동가속도 기준이 있으나 체계적으로 적용되지 않고 있으며, 진동가속도를 분석하여 궤도 결함이나 열차 이상 등을 검지할 수 있는 기법이 연구되지 않고 있음
- 고속철도의 차량진동가속도 측정 및 분석 시스템이 KTX 및 SRT 고속차량에 설치되어 영업운행 중에 실시간으로 원격측정하는 시스템이 구축되어 운영되고 있으나, 궤도의 결함개소를 조기에 발견하는 탐지시스템은 구축되어 있지 않음

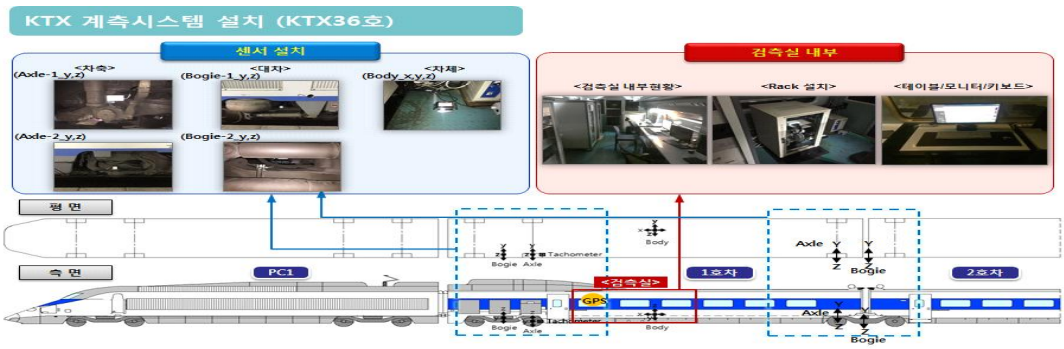


그림 2-74 KTX 차량진동 및 승차감 계측시스템 개요도

○ 궤도의 성능 및 이상개소 등의 측정을 위해 지지강성, 분기기 선형 등의 측정이 수행되어야 하나 신뢰성 있는 데이터 측정 장비 및 기법이 미흡

- 국내기술은 연구단계수준인 정지 상태의 측정법에 국한되어 있으며, 연속 측정 방법에 대해서는 장비 도입은 물론, 관련 연구가 수행된 바도 없음
- LFWD를 이용한 궤도지지강성과 간이 GPR시험, PBS시추를 이용하여 자갈궤도구조시스템의 층 두께 및 상태평가, 유지보수작업 및 궤도틀림 자료 분석을 실내시험과 경부선의 짧은 구간에서 시도한 실적이 있으나, 실용적인 도상자갈 하부상태 평가를 위한 종합 평가시스템 개발이 없었음
- 궤도강성은 궤도거동(궤도침하, 열화, 마모 등)과 직접적인 관계가 있고, 궤도설계인자이나 시

공과 유지관리시에 궤도강성 측정장비가 없어 전혀 활용되고 있지 못함. 궤도 안전도 향상과 더불어 유지보수 과학화를 위하여 궤도열화원인 분석에 주요한 궤도강성측정장치 미비

- 분기부 선형측정은 외국장비에 의존하여 국내의 다양한 환경 조건에 대한 적용이 어려우며, 국내의 분기부 유지관리기준 및 현황에 적합한 분기부 선형측정 장비의 미비

○ 기후변화(폭염 및 한파) 관련 선로상태 및 온도변화로 인한 사고 전조현상 데이터 취득 한계

- 불연속적인 선로 및 교량상의 온도측정으로 인하여 위험요인을 감지하는데 부정확하므로 국지적 기후모델과 연계한 연속적인 온도예측 기법이 부재

- 경부고속철도 구간에는 차축 및 휠온도 검지장치, 기상검지장치, 분기기 히터제어장치, 레일온도 검지장치, 현장장치 기능감시장치 등을 설치하여 운용하고 있고, 일반철도 구간에는 분기기 히터장치 등을 설치하여 운용

- 한국철도공사에서는 주행하는 차량의 차축에서 발생하는 온도를 검지하고, 검지된 데이터를 중앙관리센터에 전송하고, 전송된 데이터를 저장, 관리 및 제어할 수 있는 온도검지모듈 시제품 개발을 완료하였으나, 궤도 및 교량 등의 변형은 사전 검지가 불가능하며, 이상 변형 발생 후 인지되고 있음

- 위의 사례로 선로상 온도는 상시 감시되고 있으나, 이에 수반하는 궤도 및 교량 등의 변형은 사전 검지가 불가능하며, 이상 변형 발생 후 인지됨

❑ 철도교량 상태변화 이력관리 및 사고 위험전조 데이터 측정·수집 기술

○ 철도교량의 구조적 특성으로 인한 인력 및 육안점검 수준의 성능상태 점검 등이 이루어짐에 따라 장기변형 계측 및 계측기술의 한계

- 현장접근이 용이하지 않은 대부분 철도교량의 특성상, 접촉식 장비의 한계를 극복하기 위한 비접촉식 측정장비로서 laser doppler vibrometer(LDV), global positioning system (GPS), 컴퓨터 비전(computer vision) 등이 개발되고 있음

※ LDV는 레이저를 계측하고자 하는 위치에 반사한 뒤 도플러 쉬프트 기술을 적용하여 속도를 측정, 이를 변위로 변환하는 방식으로 정확한 변위계측이 가능한 것으로 알려져 있으나, 변위로 변환 시 발생 오차가 누적되는 특성이 있어 장기변형 계측에 적합하지 않으며, 교량 처짐과 투사하는 레이저가 같은 방향으로 정렬되어야 하므로 장비를 설치하는 것이 용이하지 않은 경우가 많음

※ GPS의 수평방향 변위는 1cm 이하까지 계측 가능한 것으로 알려져 있으나, 수직방향 변위의 경우 정확도가 떨어지고, 철도교의 미세 수직변위를 계측하기에는 적합하지 않은 것으로 평가되고 있음

- 컴퓨터 비전을 활용한 변위계측은 이러한 기존 기법의 단점을 보완할 수 있는 특징을 갖고 있어 현재 교량 변위계측을 위한 용도로 각광받고 있음. 영상처리 시 빛의 영향을 많이 받아 계측 오차가 크게 발생할 수 있으며, 계측 정확도를 높이기 위해 타겟을 사용할 경우 카메라 1기 당 한점의 변위만을 계측할 수 있으므로 여러 개의 측정점 변위계측 시 카메라 간의 시간 동기화 등의 기술적인 문제점을 해결해야 함



그림 2-75 GPS를 이용한 교량변위 계측

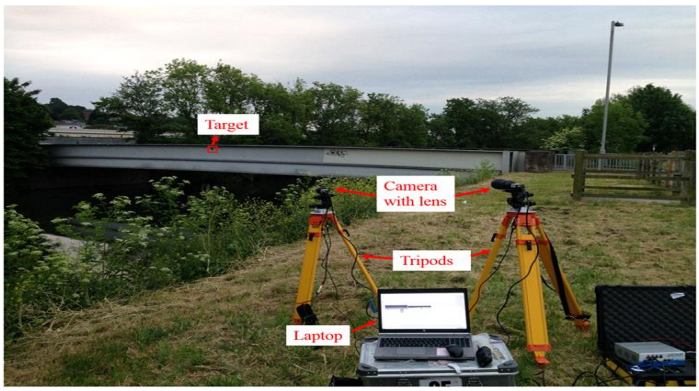


그림 2-76 영상기반 변위계측법

- 지진 발생 전·후 구조물의 상태평가를 통하여 사전보강 등의 작업이 수행되어야 하나, 지진계측을 위한 장비는 경부고속선 1단계 21개소(2006년), 2단계(14개소), 호남선(18개소)에만 설치되어 운영 중이며, 일반철도 및 도시철도에는 설치되지 않아 지진발생 후 구조물의 변형 등의 평가를 위한 데이터 취득이 어려움

❑ 철도터널 상태변화 이력관리 및 사고 위험전조 데이터 측정·수집 기술

○ 철도터널 상태의 평가는 대부분 콘크리트 라이닝 표면의 검측에 한정되고 있으며, 내부 또는 터널 배면의 위험요소에 대한 측정장비 및 기법에 대한 기술이 취약하고 DB 부재

- 국내에서는 터널의 상태평가를 위하여 영상과 레이저 스캐닝을 이용한 터널 내 라이닝 외관 대상 검사 장비 개발이 수행되었고, 영상을 기반으로 터널 라이닝의 균열조사 및 레이저 스캐닝 데이터를 기반으로 3차원 터널의 형상을 측정하고 있으나 터널배면, 라이닝 내부 등에 대한 측정장비, 측정기법이 부재하여 터널의 위험요인에 대한 충분한 데이터 미확보

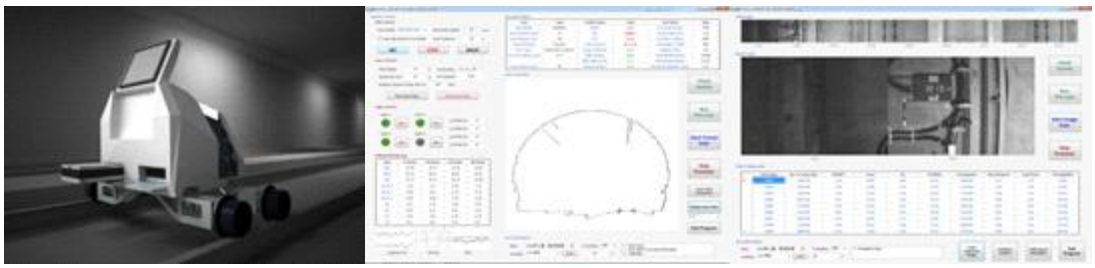


그림 2-77 터널 스캐닝 시스템 및 측정결과

❑ 철도역사 일상안전사고 위험 데이터 측정·수집 기술

○ 역사 시설에서 이용객의 일상안전사고 사전 전조현상 취득 및 이에 대한 경고 정보제공은 이루어지지 않음

- 국토교통부는 “ICT기반 철도 이용객 정보 제공기술 개발”연구(‘14 ~ ’18)에서, 철도역사에서 교통약자를 포함한 철도 이용객에게 교통수단 또는 실내외 장소에 따른 상황별 정보제공 등을 위한 철도이용객 정보의 표준화, 철도이용객 정보수집 및 전송, 철도이용객 정보 제공기술을 개발하였으나 위치기반의 사고 사전정보 제공기술은 미비

○ 역사안전 편의시설에서 장애인을 포함한 이용자에 대한 사고빈발 요인이 되는 역사의 다양한 설비에 대한 모니터링이 일부 운영 중이나, 발생 전 사전 전조현상에 대한 데이터 수집이 이루어지고 있지 못함

- 대부분의 철도운영기관은 이용자에게 발생할 수 있는 다양한 안전사고에 대한 사전 모니터링 체계를 갖추고 있지 않으며, 시간적 · 공간적 안전사고 발생 시나리오 개발 부재

- 무인역사의 경우 이례사항 발생 시 현황파악, 출입인원 조치 등의 어려움이 많으며, 발권시스템 등 일부 시스템만이 통일되어 있어 감시, 경보, 통신 등 많은 부분에 대한 표준화 미흡

○ 철도역사 불특정 다수 이용객에 대한 테러, 범죄 발생 시 대응체계 및 정보제공에 관련된 연구가 시작되고 있으나, 사전예방을 위한 이상행동 감지, 위험물질 감지 등에 관한 장비나 기술개발 미흡

- 국내 주요 KTX 역사에 금속탐지기와 수화물스캐너(X-ray 검색대)를 구축하고 특정 탑승객을 선별하여 보안 검색운영(`16.8)을 실시하고 있으며, 최근 특정 역사, 개소를 대상으로 지능형 CCTV로 개량 중에 있으나, 대부분의 CCTV는 저해상도 및 육안 모니터링으로 감시효율 및 효과가 미흡

※ 철도보안검색 실효성 낮아 1년간 나이프 1건 적발(연합뉴스, 17.10)

- 국토교통부 철도특별사법경찰대(이하 철도경찰대)는 산업통상자원부가 주관하고 한국로봇산업진흥원이 시행하는「18년 시장 창출형 로봇보급사업」에 “경찰로봇을 이용한 철도보안 정보화 시스템 구축 및 보급사업” 연구 착수

- ‘18년 하반기 철도역사 내 취약개소 테러 보안순찰 및 긴급상황 신고·접수 등 현장관제를 위한 철도경찰 로봇시스템을 철도보안정보센터(RSC)와 연계를 통하여 안전정보 및 서비스를 제공하는 연구개발 착수

❑ 철도신호설비 사고 · 장애 사전 전조현상 데이터수집 및 진단기술

○ 철도신호설비(궤도회로, 폐색장치, 연동장치, ATS, ATP, 선로전환기 등)는 기능 안전성 확보 위주로 사고·장애 전조현상에 대한 진단/감시 기술 및 체계 미비

- 국내 철도신호설비의 대표적인 자동검측 및 원격진단설비로는 전기기술지원시스템, 궤도회로기능감시장치(TLDS), 선로전환기 원격진단시스템, 건널목 안전설비 원격진단시스템, 전자연동장치 유지보수시스템 등이 있음



그림 2-78 전기기술지원시스템의 기능 개요

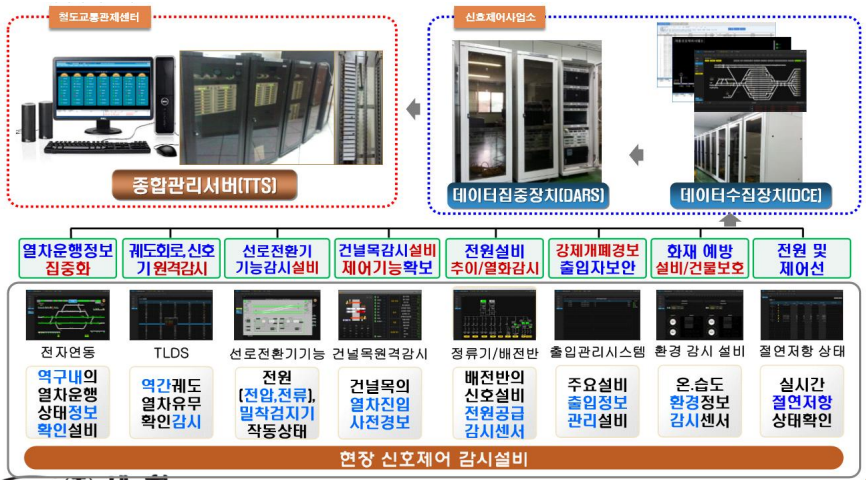


그림 2-79 전기기술지원시스템과 주요 신호제어 감시설비와의 인터페이스

- 전기기술지원시스템은 궤도회로 원격감시장치, 선로전환기 기능감시설비, 건널목감시설비, 전원설비 열화감시 장치 등과 연계하여 각 장치 또는 설비의 상태정보와 이벤트 정보를 저장하나, 상태감시에 필요한 데이터 수집, 감시, 통계, 현장입력 등을 담당하는 서버로 구성되었으며, 상태진단과 잔존수명예측은 지원하지 않고 있음.

- 선로전환기 원격진단시스템은 선로전환기가 동작하면서 발생되는 전기적인 열화, 기계적 마모, 열차통과시 발생되는 진동·충격 등으로 파손 또는 오동작의 발생여부를 진단하는 시스템으로 선로전환기 인근에 선로전환기 정보수집장치(현장)를 설치하여 선로전환기 및 밀착검지기의 상태(접점)정보를 검측하고, 계전기실에 정보수집장치(실내)를 설치하여 표시회로 및 제어전압을 검측하여 원격진단을 수행하고 있으나 사고·장애 전조현상에 대한 데이터 취득 미흡

❑ 철도 전철전력 사고 · 장애 사전 전조데이터 수집 및 진단 기술

○ 철도 전철전력 시설의 정확한 손상 진행과정 및 현재 손상의 상태평가를 위한 계측기법 및 장비의 미흡, 이력데이터 DB 구축 미비

- 한국철도공사는 전기설비 실시간 모니터링을 위한 철도 전기설비 기술지원시스템을 운영 중으

로 송·변전, 전차선 등 철도 전기설비 장치 단위로 개별 운용 중인 각종 기능감시 장치 데이터를 종합적으로 관리하여 실시간 감시 및 분석하고 있으나, 사전예방 차원의 위험요인 데이터 및 이력관리 체계 미흡

- 한국전력은 변전설비 자산관리(예방진단) 중장기 운영전략을 위한 마스터플랜을 수립하고 단계적으로 진행중에 있으며, 송변전 통합자원 운영시스템 구축을 통하여, 송변전 데이터를 온라인(실시간) 데이터 취득 및 off-line 데이터 취득을 실시하고, 변전소 변압기의 경우 6개의 센서를 설치하여 실시간으로 모니터링하여 데이터를 취득하고 있으며, GIS 설비 또한 부분방전 등을 포함하여 실시간으로 설비 모니터링 및 데이터 취득을 수행하고 있음.

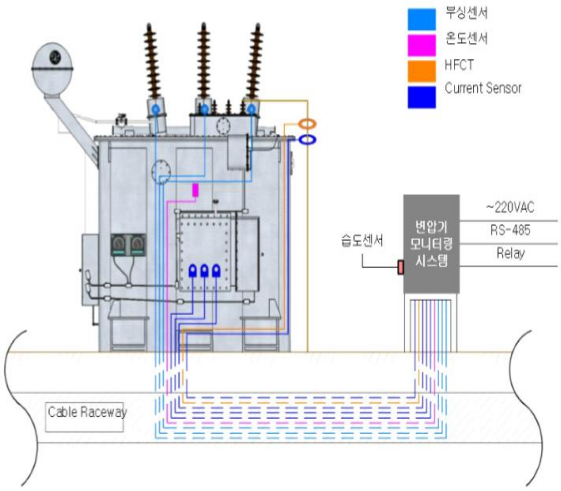


그림 2-80 변압기 모니터링 센서 및 구성

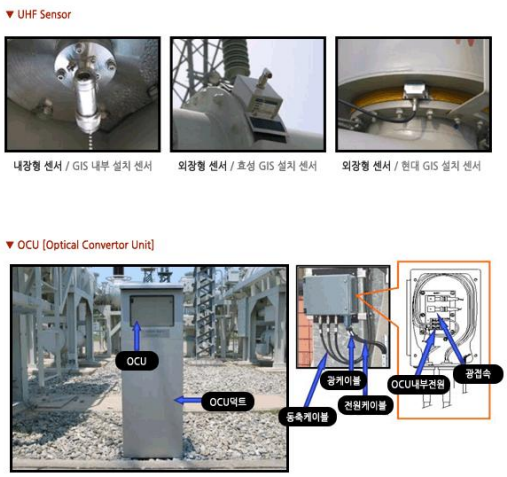


그림 2-81 GIS 모니터링 센서 및 구성

3.1.3 국외 기술환경

❑ 선로의 선로 성능 상태평가 및 사고·장애 위험요소 감지, 데이터 수집 기술

○ 선로의 상태 및 사고·장애에 대한 위험요소 감지, 데이터 수집 등을 위해서 해외 선진국에서는 측정시스템의 자동화, 측정데이터의 이력시스템 구축을 통하여 분석시스템에 연계하고 있음

- 국영 철도 SNCF는 “디지털 전환“에 5억 유로 이상을 투자하여 원격 모니터링 및 장애 방지 시스템을 구현하는 계획을 수립. 2016년 SNCF는 철도역의 인프라, 임베디드 장비 및 장비를 모니터링 할 수 있는 IoT 파일럿 애플리케이션을 배치하고 2018년 5월 15일부터 2018년 9월 15일까지 궤도 이격 또는 좌굴 방지를 위해 IoT센서를 활용하여 온도를 시범적으로 모니터링 하였으며 판독 값은 보안 웹 서버에 자동으로 게시되고 온도 임계 값을 초과하면 에이전트에 통보하는 하는 절차를 거침. 이 프로젝트의 첫 번째 배치 단계는 500 개의 센서, 즉 60km마다 약 1 개의 센서를 설치하는 것이며 최종적으로 프랑스 철도 네트워크 30,000km를 모두 모니터링 할 수 있도록 5 ~ 10km마다 1 대씩 설치할 계획임

※ (유럽) 스마트센서 분야를 국가핵심 산업으로 집중 육성하기 위해 원천기술, 자본, 설비, 인력 등 성장 인프라에 대한 투자 지원정책 추진

※ LETI(프랑스), IMTEK(독일), CSEM(스위스) 등 대학연구소 및 국가지원연구소를 중심으로 스마트센

서 연구결과 공동 활용 추진

- 미국의 경우, 영업운행열차에 Vehicle/Track Interaction(V/TI) 모니터링 시스템을 설치하여 예방유지보수 및 실시간 모니터링을 위한 궤도 및 차량 상태평가 수행

  • 승차감, 차륜/레일충격 등을 측정하고 위험상황 발생시 무선으로 이메일 전송



그림 2-82 V/TI시스템(ENSCO)

○ 전 세계적으로 연구목적으로 정적인 상태에서의 궤도강성 측정은 오래전부터 수행되어 오고 있음. 1980년에서 2000년 초까지 프로토타입의 트롤리에서 궤도강성을 측정하고자 하는 노력이 일부 성과를 거둠

- RSMV(Rolling Stiffness Measurement Vehicle): 2004년 유럽의 INNOTRACK 연구 프로젝트로부터 개발된 궤도 강성 측정 장비로 작용하중과 변형, 지반진동과 댐핑의 관계에 의한 위상과 그 크기에 따라 궤도의 수직 강성 산정



Track Master　Krab　MessReg　TEC

그림 2-83 해외 주요 트롤리형 궤도선형 검측장비

- 스웨덴에서 Berggren 등은 RSMV(Rolling Stiffness Measurement Vehicle)를 통해 궤도강성을 측정하고 궤도의 상태가 연관되어 있음을 증명

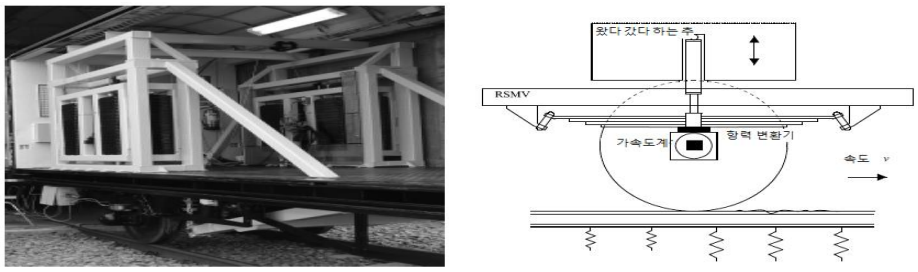


그림 2-84 RSMV 전경사진 및 측정 원리

- 미국 TTCI에서는 정지된 상태와 최대 16 km/h의 속도로 운행할 때 측방 및 수직 방향의 강성을 측정하기 위한 TLV(Track Lifting Vehicle)를 개발
- 중국 CARS는 측정 차축에 상이한 하중을 적용하는 2개의 궤도 기하학적 현 측정 장치를 기반으로 최대 60 km/h 속도로 연속적인 궤도 강성 측정이 가능한 장치를 개발
- 미국의 네브라스카 대학교에서는 대차 사이 레일의 상대 변위를 측정하기 위해 line-laser를 사용하여 궤도 강성을 측정할 수 있는 시스템을 개발
- 일본에서 Takahisa NAKAMURA 등(2017)은 소형동평판재하시험기(LWD)를 활용하여 침목 상부에서 구조물별(터널, 교량, 성토, 절토) 궤도지지강성의 변화를 측정하고, 레일면을 이동하면서 궤도지지 강성 측정장치 개발
- Portancemetre : 2006년 INNOTRACK 연구 프로젝트로부터 개발된 궤도 강성 측정 장비로 RSMV와 유사한 방법을 이용하여 궤도의 강성을 측정
- TLV(Track Loading Vehicle): 미국 TTCI의 TLV는 정지된 상태와 최대 16km/h의 속도로 운행할 때 측방 및 수직 방향의 강성을 측정하기 위해서 개발.
- Panda : Penetrometer Panda는 INNORACK 연구 프로젝트에서 개발된 궤도 강성 측정 장비로, 콘 관입시험기(CPT)와 내시경이 결합되어 국부적인 장소에서 신속한 측정이 가능

○ 최근, 영국 및 미국을 중심으로, 운행 중인 선로에서의 도상 상태평가를 위하여 GPR 탐사법이 활용되고 있으며, 자갈의 깊이, 입도분포, 습윤층 탐지 등에 적용

- 일본은 도상의 세립화 및 상태평가에 대한 연구를 JR(Japan Railway)을 중심으로 진행하였으며 도상에서 탄성파 탐사 및 공진시험을 통하여 도상의 세립화에 대한 GPR 탐상평가가 효과적임을 확인
- 최근 호주의 Wolongong 대학에서는 철도 노반/도상에 적용할 수 있는 스펙트럼 진폭 분석과 벡터량을 기반으로 GPR 신호처리 및 해석을 자동화한 비파괴 검측 시스템을 개발
- 미국 GSSI사는 고주파(1-2 GHz) 안테나를 이용한 자갈도상층 두께와 열화도 평가기법을 개발

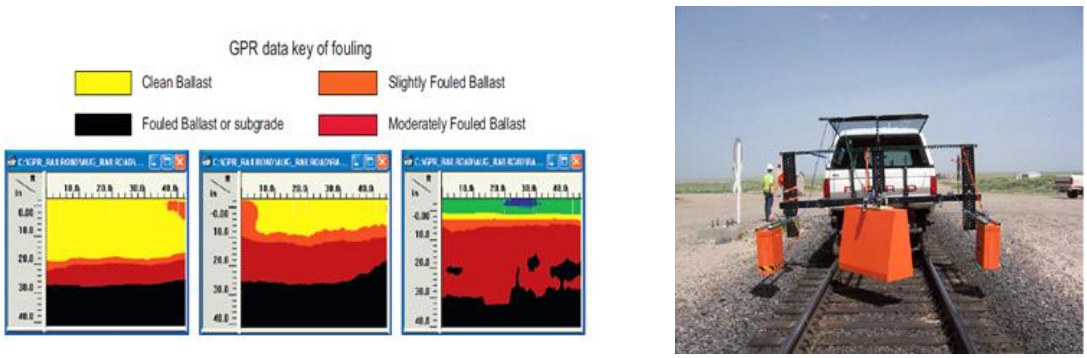


그림 2-85 미국 GPR을 이용한 도상층 탐사기법과 탐사장비

❑ 철도교량 성능상태 및 사고 전조데이터 감지, 데이터 수집 기술

○ 인력위주의 육안점검 및 DB 구축이 어려운 철도교량에 대하여 최근 해외에서 다양한 첨단 측정장비 및 탐지기법에 대한 연구 및 실용화 활성화

- 해외 철도선진국에서는 2015년 이후 딥러닝 기술, 인공지능 기반으로 자동으로 구조물 외관의 손상을 탐지하거나 지진 전후의 구조물의 붕괴 부재를 탐지하는 연구들 수행. Giben et al.(2015)는 철도의 안전성을 확보하기 위하여 철길 주변 영상 정보로부터 촬영된 모든 객체들을 딥러닝 기술을 이용하여 분류하는 기술을 제안

- 일본에서는 고정식 영상장치에 의한 교량 부식 점검 시스템을 실제 구조물 안전진단에 활용 (국토교통성 COMS, 일본도로공단 Paint View)

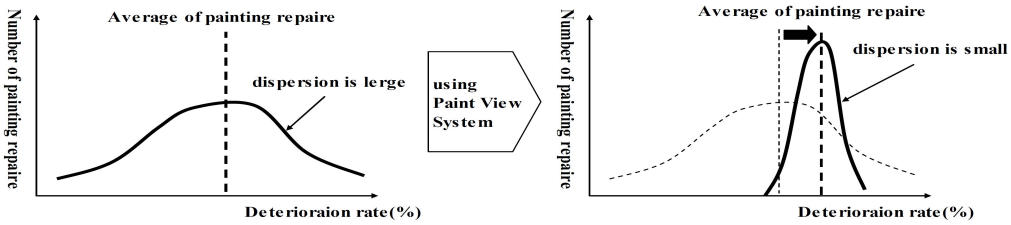


그림 2-86 일본도로공단 Paint View 동작원리

- (철도교량 상태진단 및 개량 기술) Michigan Technological University는 드론을 사용하여 철도교량 변위 계측 연구가 진행 중이며, 교량에 타겟을 설치하지 않고 볼트 등 교량 구성품을 타겟으로 활용하며, 드론에 탑재된 카메라의 6자유도 움직임을 보정하여 절대변위 추출

- 미국 Minnesota 교통부는 드론을 활용한 교량 검사기술 적용을 위하여, UAV를 사용하여 비용을 절감하고 직원의 위험을 최소화하는 방법과 무인 항공기 사용에 적절한 시기와 방법을 설명하는 가이드라인을 개발

· 다양한 크기와 유형의 4개 교량에 검사를 진행하여, 스틸이미지, 비디오, 적외선 이미지, 사이트 맵 및 브리지 요소의 3D 모델을 비롯하여 다양한 유형의 현장 데이터 수집

· GPS 없이 직접 보거나 작동할 수 있으므로 교량 데크 아래를 비행하거나 적외선 열 화상 장치를 제공하며, 구조물과 접촉을 피할 수 있도록 초음파 근접 센서 포함

· Wi-Fi 신호 간섭과 GPS 신호 손실발생으로 인해 발사점 복귀가 힘든 사유로 교량 데크에서 비행 불가

- 일본 미쓰이스미토모건설은 드론을 활용한 사장교 케이블 검사 로봇 개발 중

※ 케이블 점검 로봇은 비디오카메라와 자동 제어장치로 구성되고, 1대의 UAV와 복수의 촬영장치를 조합하여 여러 케이블을 단시간 내에 검사하고, 촬영장치를 탑재한 UAV가 케이블에 따라 올라가다 정상 부분에서 분리되어 촬영장치가 자동 제어방식으로 하강하면서 케이블의 상태를 촬영

❑ 철도터널 성능상태 및 사고 전조데이터 감지, 데이터 수집 기술

○ 철도터널의 사고 위험요인에 대한 데이터 확보를 위하여 다양한 탐상장치 및 기법 연구 진행

- 터널의 안전 및 성능 결함은 콘크리트 구조체의 결함(스케일링, 균열, 표면박리(spalling), 접합부 박리(joint spall), 표면파괴(pop-outs), 백태, 착색, 박리, 벌집모양 균열, 누수 등)과 강체 구조체(부삭, 균열, 찌그러지고 휘어짐, 누수, 방식층 파괴) 등이 있음

- 이러한 결함에 대한 진단방법으로 시각, 강도, 음파/초음파, 자석, 전기, 열, 레이다, 레이저 방사선, 내시경 탐상 등 다양한 물리적 기법이 있음

❑ 철도신호설비 사고·장애 사전 전조데이터 진단, 수집 기술

○ 프랑스 영국 등에서는 철도신호설비의 상태 및 위험 전조데이터 수집 및 진단기술 개발 및 적용

- (프랑스) SNCF는 머신러닝기술을 적용하여 선로전환기의 동작상태와 함께 현재 상태를 진단하고 있음

- (영국) NetworkRail에서는 철도시설물 자산관리를 위해서 지능형 시스템(ePCM expert system)을 도입하고, 주요장치 42,000개에 대한 상태감시가 이루어지고 있음.

❑ 철도 전철전력 사고·장애 사전 전조데이터 진단, 수집 기술

○ 현장정보 및 프로세스 관련 데이터 진단을 위한 센싱 및 모니터링 시스템을 구축함

- Schneider Electric의 경우 4차 산업혁명 관련하여 도입하여 현장정보 및 프로세스 관련 정보 취득, 저장, 검색, 전달 기능 추진

- 미국 전력회사 AEP(American Electric Power)는 3,500여 개의 변전소, 5,500여 개의 변압기 및 11,000여 개의 차단기를 보유하고 있으며, 보유한 변압기의 33% 이상이 50년 이상, 차단기의 34% 이상이 30년 이상의 고경년 기기들이며, 유지보수 최적화, 자산 교체 우선순위 평가를 통한 O&M 비용 감소 및 사고 예방을 위해 설비 센싱 및 모니터링 시스템 구축

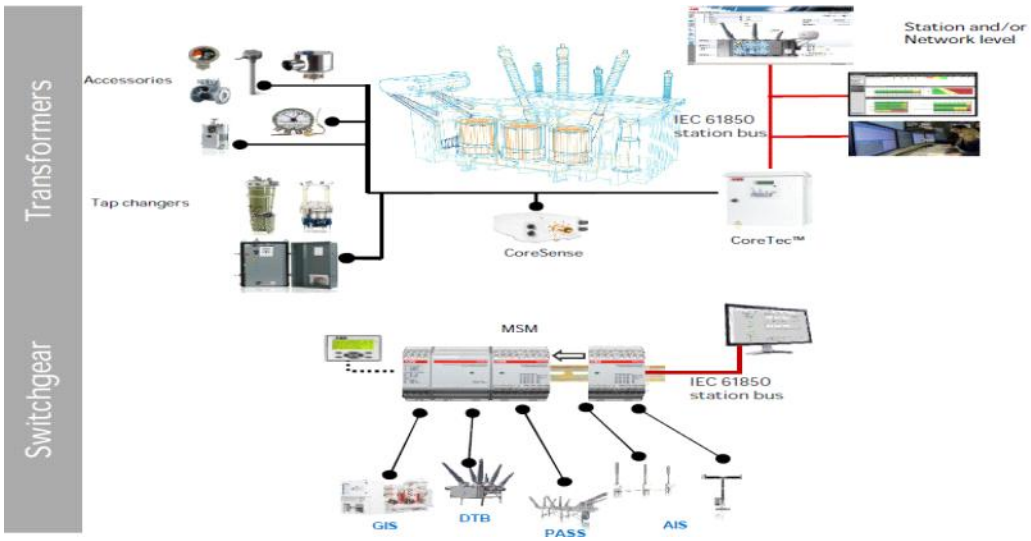


그림 2-87 변압기 및 개폐기 상태·진단 감시 개념도

- 프랑스 SNCF 변전소 상시감시 시스템은 변전소, OCS 등의 매개변수를 실시간 현시하며, 현재는 변전소의 전압과 전류만 검지하여 상태감시(시범구축단계)

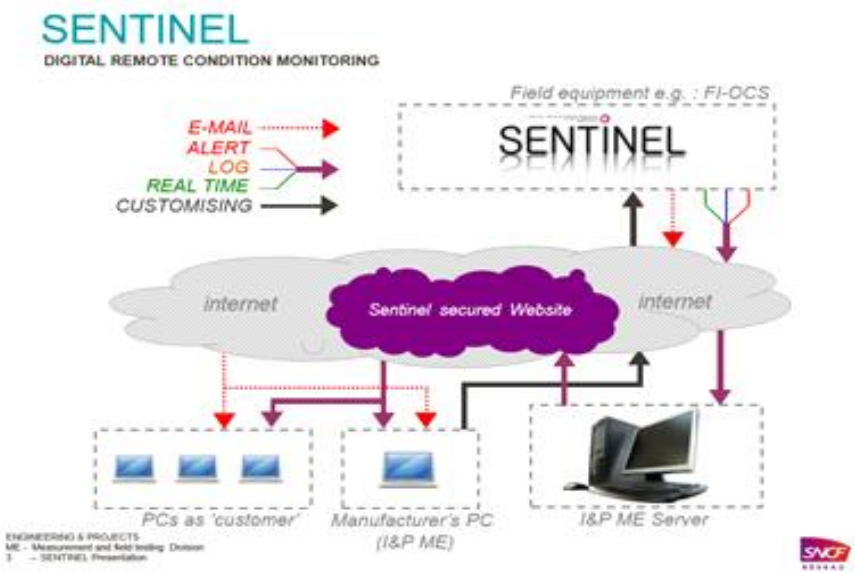


그림 2-88 SENTINEL 개념도

※ * 출처 : 프랑스 SNCF

3.2 철도인프라 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

3.2.1 기술정의

❑ 철도인프라 사고 및 장애 위험요인 분석 · 예측 기술은 철도인프라의 상시간 성능상태 및 실시간 위험요인 파악을 위하여 수집 및 가공된 데이터를 정량적으로 분석하고, 미래상태 예지를 통해

발생할 수 있는 위험요인을 분석하기 위한 스마트 기술로 정의됨

○ 철도인프라 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술 정의

- 철도 인프라 중 철도 신호설비의 위험요인 분석기술은 전기기술지원, 궤도회로 기능감시, 선로전환기 원격진단, 건널목 안전설비 원격진단 및 전자연동장치 유지보수 기술 등으로 정의됨

  · 위험요인 분석기술은 각 장치 또는 설비의 상태정보와 이벤트 정보를 기반으로 하여 상태진단 및 잔존수명예측 기술로 구성되며, 이러한 기술은 고장모드의 표준화 및 시뮬레이션, 유사 실험환경 등을 구축하고 반복적인 테스트를 수행함으로써 위험요인에 따른 손상의 크기 또는 위험요인이 사고로 발전될 가능성 등의 분석을 포함함

- 궤도-노반 안전사고 사전예방을 위한 위험요인 분석기술 정의

  · 궤도-노반 안전사고 위험요인 분석기술은 온도변화에 따른 궤도/교량 구조물 안전성 확보를 위한 궤도/교량 거동평가와 사전 위험원 예측 및 의사결정 기술로 정의되며, 온도변화에 따른 장대레일 좌굴안전성 평가, 좌굴발생확률을 최소화하는 도상저항력 산정기술 및 주요 매개변수(차량, 레일온도, 도상횡저항력, 궤도틀림 등)의 확률론적 영향이 고려된 온도 신축 관련 설계기준 기술을 포함함

  · 또한, 레일의 취약부를 따라서 설치된 광케이블의 신호음을 수집 분석하여 레일의 파단을 예측하는 기술로 광케이블을 통해 신호음을 수집하는 기술과 딥러닝과 데이터 마이닝으로 이상 유무를 판단하고 정확한 위치를 확인하는 기술로 이루어져, 레일 파단위치를 실시간으로 검지하여 실시간으로 관제에 통보하여 열차운행 안전을 확보할 수 있는 기술이 있으며,

  · 분기기의 유지관리 미흡으로 열차탈선 가능성이 높으므로 정밀한 선형관리를 위하여 분기기의 선형을 정밀하게 측정할 수 있는 장비와 분석 기술

  · 열차 진동데이터를 이용하여 궤도결함 개소를 조기에 발견하여 예방유지보수를 수행함으로써 사고장애에 선제적으로 대응할 수 있는 기술

  · 딥러닝 기반으로 궤도 결함개소의 진동특성을 감지하여 궤도진동특성의 시계열변화를 고려한 궤도결함개소를 탐지할 수 있는 기술

  · 궤도 강성에 기반한 과학적인 유지관리를 위하여 효율적이고 간편한 궤도강성 측정이 필요하므로 차량 등을 이용하여 긴 구간의 궤도 강성을 짧은 시간에 연속적으로 측정할 수 있는 장비와 기술

  · 궤도는 하중 수준에 따라 강성이 변화함으로 열차 하중 수준에서 하중과 변위를 연속적으로 측정하여 궤도 강성을 평가할 수 있는 기술

- 철도역사 안전사고 사전 위험요인 분석기술 정의

  · 철도역사 위험요인 분석기술은 지능형 CCTV, 스마트 검색, 빅데이터의 통합관리 플랫폼으로부터 획득한 정보를 기반으로 알고리즘 분석에 의한 데이터 연산 및 처리기술과 시각화,

정보화를 통한 위험요인 분석의 편의성 제공 및 위험요소 관리제어 기술로 정의됨

- 철도터널 안전사고 사전 위험요인 분석기술 정의

  · 철도터널 위험요인 분석기술은 시공 또는 운영 중인 터널 구조물의 부분 붕괴 진단 및 상태평가를 위하여 마이크로파를 이용한 이미징 기술, 미세 터널변형을 측정하기 위한 라이다 및 차량 가속도를 이용한 상태평가 기술 등으로 구성되며, 다종의 융합데이터를 기반으로 머신러닝 및 터널 상태평가를 기반으로 위험요인을 분석하는 기술로 정의됨

- 철도교량 핵심 안전성능요소 사전 위험요인 분석기술 정의

  · 철도교량 위험요인 분석기술은 비접촉 영상장비(카메라, 드론, 로봇 등)를 기반으로 철도교량의 상시 물리정보를 장기적으로 수집하고 이를 인공지능으로 분석하여 다수 철도교량 시설물의 상태평가를 신속하고 정확하게 수행하기 위한 기술로 정의됨

  · 또한, 다차원 디지털 모델기반의 철도교량 장기변형 및 손상이력 축적, 육안 점검이 어려운 내부 부식, 피로 거동 평가를 위한 손상지표 기술을 통해 디지털 모델을 실제 교량과 동일하도록 정의하는 기술과 이를 실교량에 적용하여 미래 성능 예측이 가능하고 철도교량의 안전 검토 및 확보가 가능하도록 훈련시키는 실증 기술로 정의됨

- 전철 전력시설 선제 위험요인 분석기술 정의

  · 전철 전력시설(전차선로, 변전설비 등) 위험요인 분석기술은 철도 운영환경을 고려한 초고압 전철전력시설물의 수명모델을 도출하고, 고빈도 고장이 발생하는 전력시설물에 대한 고장모드/고장원인(FMEA)에 따른 위험요인 분석기술로 정의됨

  · 또한, 전철 전력시설물의 종합예방진단/평가, 고장예지, 건전도 평가, 리스크 평가, 수명예측, 의사결정(유지보수 전략 및 투자 우선순위) 기술, 자산관리 플랫폼 아키텍처 및 디지털 변환 기술도 포함됨

3.2.2 국내 기술환경

❑ 선로시설 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

○ 선로의 성능 상태평가를 위하여 코레일(KOVIS), 철도시설공단(RAFIS)에서는 데이터 수집 및 분석 시스템을 개발 중에 있으나, 다양한 위험요인에 대한 위험도 분석 및 예측모델은 부재

- 현재 개발 진행 중인 KOVIS, RAFIS 시스템의 경우 선로상태 평가를 위한 표준화된 입력 데이터 및 모델이 부재하여 신뢰성 있는 성능평가가 어려움

- 다양한 도시철도시스템에 대한 성능평가 및 사고위험 예측 모델 부재

○ 온도변화에 따른 레일의 신축거동, 장대레일 좌굴 안전성, 레일 파단 등 안전 위험데이터의 분석, 예측기술이 부재하며, 평가를 위한 설계기준은 일본의 설계기준을 여전히 준용하여 국내환경에 적합한 설계기준 개선 필요

- 기후변화에 대응하여 선로저항력 기준, 이상기후 시 열차속도 제한 기준, 선로작업 후 궤도 안

정화 기준 등을 '폭염대비 선로안정성 강화를 위한 기준개정 연구'를 통하여 수행하고 있으나, 기존 일본에서 실험식으로 제시한 기준을 준용하여 궤도 좌굴안정성을 시행하고 있음

- KDS 24 12 20: 2016 교량설계하중(2016.6.30.개정, 국토교통부)에서는 교량 설계시 온도변화의 영향을 기타 하중으로 다루고 있으며 교량 설계시 온도변화, 단면에서의 온도변화율, 궤도-구조물간의 상호작용에 대해 설계기준을 제시하고 있으나, 일반적인 대기 상태에서 예상되는 최대 온도(50 ℃)를 온도 범위의 한계로 정의하였으며 상호작용 역시 궤도와 교량의 상하면 온도차에 의한 수직방향 온도변화에 대한 검토에 국한됨

- 교량설계기준은 유럽 기준을 준용하여 자갈도상궤도에 대해서도 궤도/교량 상호작용 영향 검토 시행(자갈도상의 경우에도 고정점간 거리 80m 준용 → 교량형식이 제한적)

- 폭염시 대기 중 온도보다 크게 상회하는 궤도의 온도변화와 이에 대한 구조물과의 상호작용에 의한 변형 등을 충분히 고려한 장기적인 관점의 설계기준 보완이 요구됨

- '교량상 장대레일 축력저감 및 궤도안정성 향상방안 연구'에서 교량상에 부설된 장대레일과 장대화된 분기기에 발생하는 부가축력 및 변위를 검토하고 교량상 분기기 설계요구조건 및 부설방안, 교량상 레일신축이음매 부설방안, 장대레일 위험 평가 및 교량상 장대레일 부설을 위한 교량설계지침 등의 연구가 수행되었으나, 이상기온(폭염) 및 평균 기온상승에 대비하기 위하여 데이터베이스화된 예측온도 및 도상저항력을 기반으로 한 장대레일의 좌굴 안전성에 대한 과학적 분석 및 평가기술 부재

- 광섬유를 이용하여 변형률, 온도변화 등을 장기계측하여 구조물의 변형 데이터 등을 모니터링에 적용하고 있으나 레일 파단 등의 이상거동을 검지하기 위한 기술은 적용된 사례가 없음, 이를 위해 광케이블을 이용한 궤도 레일 및 차륜 파단 예측기술 개발은 우리나라의 우수한 IT 인재를 활용하여 대형 철도사고를 예방할 수 있는 기술개발로 연계도 가능함

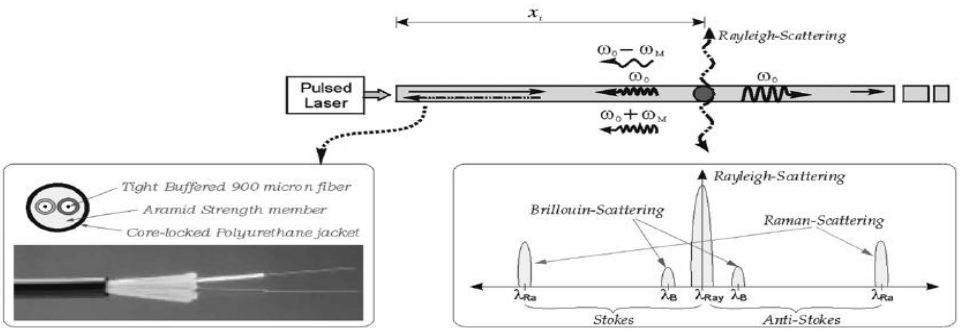


그림 2-89 광케이블을 이용한 계측 센서

❑ 철도교량 상태평가 및 사고위험 데이터 분석·예측 기술

○ 철도교량의 상태 데이터 및 사고 예방을 위한 전조현상 데이터 취득의 미흡으로 이와 연계하여 데이터를 분석하여 예측할 수 있는 기술도 미흡하며, 최근 스마트 기술을 활용한 분석, 예측기능을 포함한 플랫폼 기술개발을 진행 중

- 콘크리트 구조물은 하중효과에 의해 즉시 발생한 변형에 더하여 1.5배에서 4배에 이르는 크리프 효과에 의한 장기변형이 수년간에 걸쳐 지속적으로 발생함. 이러한 장기변형은 현재 재료모

델에 기반한 구조해석으로 예측하고 있으나, 실제 구조물의 장기변형을 엄밀히 예측하기에는 한계가 있음. 실제 현장에서는 수치해석으로 예측한 변형을 훨씬 초과하는 장기변형으로 인해 교량의 손상 또는 붕괴가 보고된 사례가 다수임

- 대상 시설물의 기본 정보로부터 3차원 모델을 생성하는 디지털 모델링, 점검 정보를 탑재하기 위해 면 모델을 정의하고 3차원 모델에 맵핑하는 기술, 드론 촬영 영상 등의 영상정보로부터 모델을 중첩하는 기술과 이 영상으로부터 손상을 추출하는 기술, 축적된 시설물 정보를 증강현실 기기를 통해서 시각화하는 기술을 개발 중

❑ 철도터널 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

○ 국내에서 터널 정밀안전진단은 라이닝 상태, 터널 주변의 상태, 터널 안정성 평가 등을 종합하여 나타냄. 라이닝의 상태는 주로 외관조사에 의존하므로 터널 성능은 고려하지 않음. 최근 들어 AHP 분석에 의한 서비스 수준 및 내구성능 등을 고려한 터널의 성능중심 평가체계에 대한 제안이 이루어지고 있음. 그러나, 이러한 제안도 외관 측정과 전문가 중심의 설문조사 결과로서 터널의 성능을 정량적인 수치로 표현하기에는 한계

❑ 철도역사 일상안전사고 위험 데이터 분석, 예측 기술

○ 철도역사 이용객의 보행 및 다양한 행동패턴에 따라 발생할 수 있는 안전사고의 분석 및 전조현상 예측을 위한 모델의 미흡으로 사전예방이 아닌 사후 대응 위주 체계

- 홍익대학교 소프트웨어공학연구실에서는 2015년도 미래창조과학부의 재원으로 과학벨트 기능지구지원사업의 지원을 받아 “교통약자 자동인식 스마트 보행신호 메커니즘 모델링”에 대한 연구를 수행하였으며, 교통약자(장애인, 고령자, 어린이 등)의 보행안전을 위해 보행 신호등에 IoT를 접목한 교통약자 자동인식 스마트 보행신호 메커니즘을 제안

- 한국전자통신연구원에서는 2011년부터 2014년까지 “5m 정밀도의 증강현실 서비스 지원 LBS 플랫폼 개발과제”를 수행하였으며 GNSS, WiFi, NFC, 스마트폰에 내장된 센서(자이로, 가속도, 고도, 지자계)를 활용하여 주변환경에 따라 최적의 위치를 결정하는 보행자 항법 기술을 개발

- 서울교통공사는 IoT센서, 지능형 CCTV 등이 유기적으로 결합이 가능한 하나의 시스템을 통해 보안, 재난, 시설물, 고객서비스 분야 등에서 통합적인 역사 관리가 가능한 체계를 구축할 예정이나, 사전예방을 위한 데이터 분석, 예측을 위한 기술은 부재

○ 지속적으로 증가하고 있는 철도역사에서의 범죄, 테러 위협 등에 대비하여 이상행동 및 위험물질에 대한 사전 탐지, 예측을 통한 사전예방이 필요하나, 데이터 기반의 이상행동, 위험물질 등에 대한 분석, 예측 모델 및 기법 부재

❑ 철도신호설비 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

- 궤도회로 기능감시장치(TLDS)는 궤도회로장치, 신호기, 선로전환기 등의 동작성능을 유지하고, 고장예방, 사전보수를 목표로 각 역에 설치된 장치의 동작 전압/전류, 특이사항 등의 데이터를 연속으로 감시하고, 실시간으로 신호제어사업소 감시장치에 정보를 제공하고 있으나, 상태진단과 잔존수명예측은 지원하지 않고 있음

❑ 철도 전철전력시설 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

○ 철도운영기관은 일반전력시설을 관리하는 한국전력과 달리 진단, 평가 예측기술 개발이 미흡한 현황

- 송·변전운영처에서는 “송·변전분야 자산관리시스템 개발 방향 수립에 관한 연구(2016.4.)”를 통하여 ISO 55000 국제표준을 반영한 자산관리시스템 개발 방향 수립 및 변압기 진단시스템, GIS 진단시스템, 지중선 진단시스템을 구축 중

- 한국전력 자산관리시스템은 변전소 종합 예방진단시스템에 구성되어 있는 부분방전, 가스변이, 절연유 분석 등의 진단 센서에서 온라인으로 취득된 상태정보로 상시 설비의 상태를 판정하고, SCADA 시스템을 통한 운전정보를 활용하여 고장예지, 건전도 평가, 수명예측 등 설비의 자산관리를 수행하도록 구성함

표 2-22 한국 전력예방진단시스템 설치 현황

구분	진단대상	장치명	변전소/선로(개소)			합계
			765 kV	345 kV	154 kV	
변전	M.TR + GIS	상태진단시스템	3	1	0	4
	GIS	GIS 부분방전	2	42	10	54
		신규격 GIS 부분방전	2	37	16	55
	M.TR	절연유 분석	0	7	9	16
		초음파 PD	0	2	4	6
합계			7	89	39	135

3.2.3 국외 기술환경

❑ 선로의 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

○ 선로의 상태 및 위험요인에 대한 상시적 데이터를 기반으로 빅데이터, AI 기술 등을 활용하여 사전예방 차원의 분석, 예측 등의 시스템을 구축 운영 또는 연구를 진행

- 독일에서는 궤도의 측정 자료와 운영 중인 차량에서 측정한 가속도 등의 차량측정 데이터를 축적하고, 데이터프로세싱, 분석 툴 개발을 위한 초기 단계로 데이터베이스 구축 위주로 진행 중

- 일본 동일본철도회사는 빅데이터 기법을 활용한 데이터 수집 및 가공, AI 기술을 접목한 분석·예측이 가능한 CBM 기반 플랫폼 기술을 개발 중

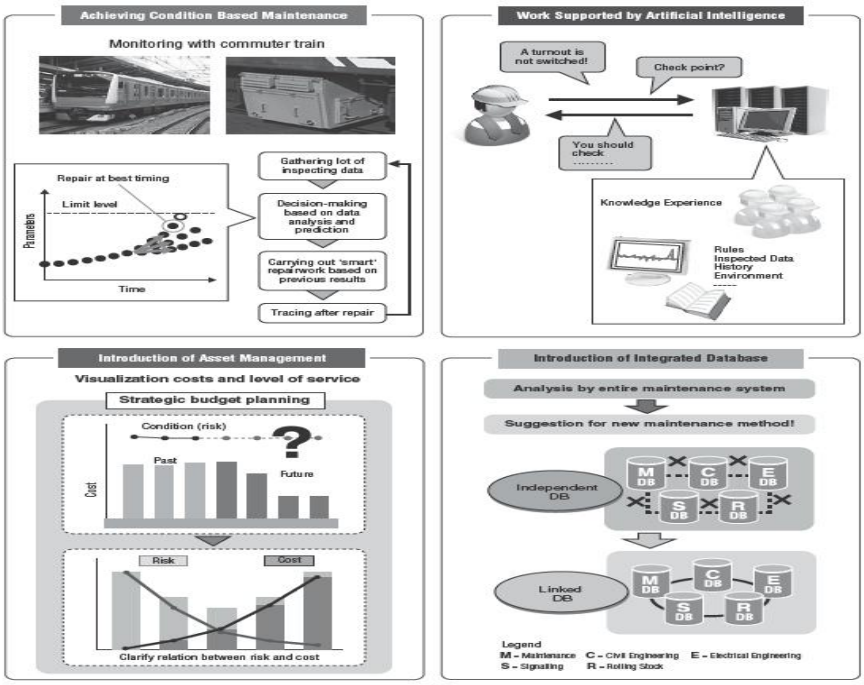


그림 2-90 동일본철도회사 철도시설 유지관리 플랫폼 기술 개요

※ * 출처 : Japan Railway & Transport Review No 67, 2016. 03

❑ 철도교량 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

○ 미국, 유럽, 일본을 중심으로 신뢰도 기반 교량 성능평가, 예측을 위한 기존 평가방법의 개선을 위한 연구를 진행 중

- 2014년 미국 Minnesota National Transit Research Consortium에서는 철도교량의 잔존 피로수명과 누적손상을 평가하기 위한 방법론 개발 중으로, 철도교량의 상당수가 20세기 초에 시공됨에 따라 교량의 이론적 피로수명 초과로 인하여, 유지관리에 대한 요구가 증가되고 있는 상황

- 철도교량은 증가되고 있는 화물열차 중량을 고려하지 않고 설계되어 철도교량을 보수/개량하기 위해서는 허용 가능한 잔존 피로수명과 누적손상을 평가하기 위한 평가기법과 관련된 절차의 확립이 필요

- 미국, 유럽, 일본을 중심으로 신뢰도 기반 교량설계기준의 개념이 정립되어 실행기준으로 개발되고 있으며, 신뢰도해석 이론을 토대로 한 교량 성능평가 및 운용 의사결정 방법론이 개발되어 '01년에 공식 채택

❑ 철도 터널 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

○ 미국 FHWA는 위험도 기반의 유지관리 의사결정 모델을 개발 중이며, 위험도의 분류를 통해 확률적 및 결과적 분석을 통해서 위험도를 예측 및 평가하여 위험도 수준 및 피해도 평가, 유지관리를 위한 최종 의사결정 모델을 개발

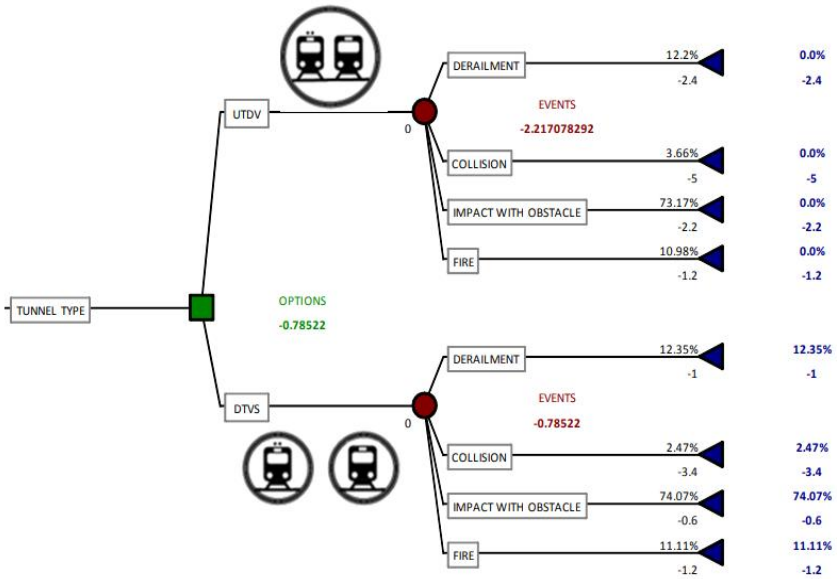


그림 2-91 의사결정트리에 의한 유지보수 의사결정 체계 예시

❑ 철도역사 이용자 일상안전사고 위험요인 분석·예측 기술

○ CCTV, 라이다센서 등 다양한 이용자 행동패턴에 따른 수집된 데이터를 활용하여 이용자 안전에 대한 분석, 예측기술을 개발 진행 중

- 일본 히타치社는 보안검색 영상 판독용 AI 기술을 탑재한 X-Ray 장비를 개발하여 수하물 내부를 투시해 재질, 밀도, 크기 등을 분류하고 위험물을 자동으로 식별, 수하물의 안전도를 자동으로 판독하여 검색처리량 40% 향상이 가능한 기술을 개발. 또한, 인공지능을 이용한 성별, 복장의 종류/색상, 소지품 등 100개 항목 이상의 인물 특징과 걷기, 달리기, 쪼그린 자세 등 10개 동작 특징을 실시간으로 판별하여 특정 인물을 즉시 발견하고 추적할 수 있는 기술을 개발(2017)

❑ 철도신호설비 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

○ (영국) Network Rail에서는 지능형 시스템(ePCM expert system)을 도입하고 있으며, 궤도회로와 선로전환기의 분석기능을 강화될 예정임

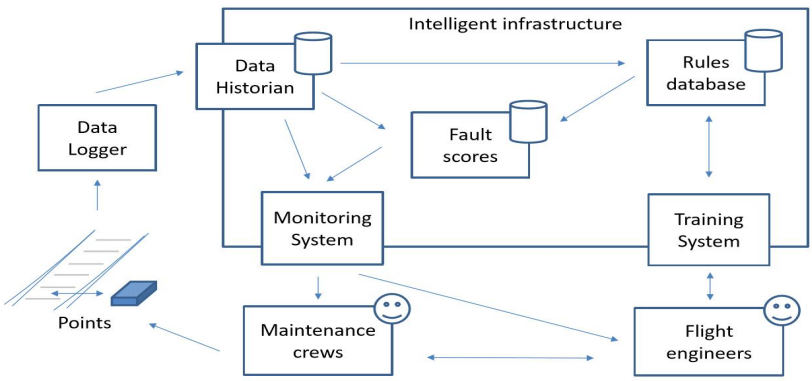


그림 2-92 (영국)NetworkRail의 ePCM expert system 개념도

○ (독일) Siemens에서 개발한 Railigent는 철도차량 및 인프라에 대한 원격 모니터링, 신속한 자동진단 및 사전 고장예측기능을 포함하며, 유럽표준형열차제어시스템(ETCS)의 오류 상태 분석, 선로전환기 고장예측 등 철도차량 및 철도시설 하부장치에 대한 효율적인 상태평가, 고장예측이 가능한 장점이 있음

❑ 철도 전철전력 사고 및 장애 위험요인 분석·예측 기술

○ 독일 Schneider Electric의 경우, 총 5단계로 분류하여 변전소 운영을 추진 중으로, Power Management Solution 단계 및 Asset Management 단계에서 예지/예방 진단을 포함한 고압 및 저압 분전반 솔루션 등을 연구

- Schneider Electric의 경우 4차 산업혁명 자산관리기반 유지보수 체계를 추진하기 위해서 예지/예방 진단을 통한 비용절감 기술을 추진하고 있음

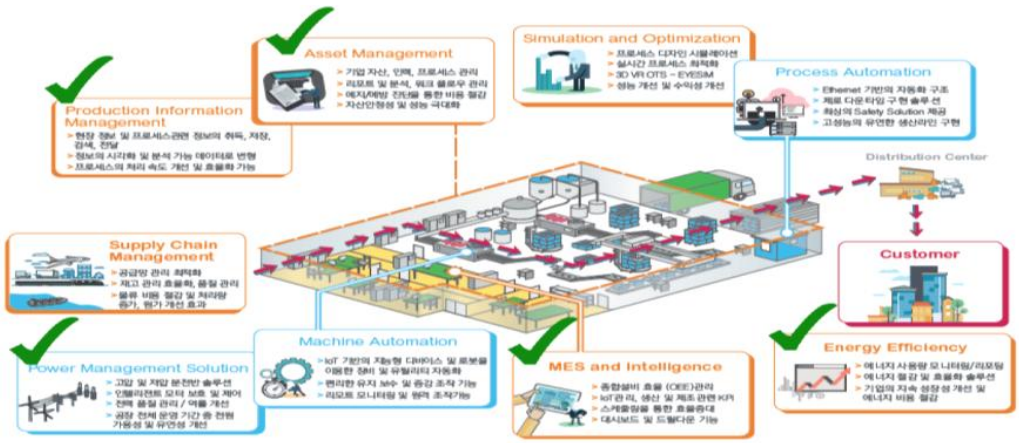


그림 2-93 Schneider 4차 산업혁명 관련 솔루션 개념도

3.3 철도인프라 사고 및 장애 위험요인 완화·해소기술

3.3.1 기술정의

❑ 철도인프라 사고 및 장애 위험요인 완화 · 해소 기술은 철도인프라의 사고 및 장애 안전 위협요인에 대하여 선제대응을 통한 사전예방 및 일상 유지보수, 유지관리, 개량 등이 포함된 기술로 정의됨




그림 2-94 철도인프라 위험요인 완화/해소 기술

○ 철도 인프라 위험요인 완화기술은 유형별 고장모드 통합진단정보를 기반으로 하여 유지보수, 개량, 개축 등을 통해 위험요인의 제거 또는 억제를 통해 위험요인을 완화하는 기술로 정의됨

- 선로 위험요인 완화기술은 하부 도상-교량 연결부에서 교량의 온도변형을 완화하고 비이상 거동시 안전을 저해할 수 없도록 그 변형을 억제하는 기술, 침목의 형상을 개량한 궤도구조를 통해 도상저항력을 강화하여 폭염시 레일의 좌굴을 예방할 수 있는 기술, 도상저항력을 높여 레일의 좌굴을 방지할 수 있도록 하는 침목 형상 개량기술 및 운행선 근접 협소공간 무차단 선로개량기술 등을 통해 위험요인을 완화하는 기술로 정의됨

- 철도역사 위험요인 완화기술은 지하 승강장 및 노후화 등에 의한 취약개소에 대하여 내구성과 내화성능을 동시에 갖는 보강재 및 시공기술의 개발을 통해 위험요인을 완화하는 기술로 정의됨

- 철도터널 위험요인 완화기술은 철도터널의 형상 측정을 통한 장기거동 상태평가를 기반으로 하여 라이닝/지보재의 급속 보수보강 기술 및 운행선 협소공간 무차단 터널 개량기술 등의 개발을 통해 위험요인을 완화하는 기술로 정의됨

- 철도 신호설비의 위험요인 완화기술은 철도 신호설비 및 유형별로 식별된 표준 고장모드를 자동으로 계측하고, 계측된 데이터의 빅데이터 분석을 기반으로 최적의 예방유지보수 활동을 수행함으로써 위험요인을 완화하는 기술로 정의됨

- 전철전력시설물 위험요인 완화기술은 전철전력시설물의 종합예방진단/평가, 고장예지, 건전도 평가, 리스크 평가 및 수명예측 결과를 기반으로 하여 유지보수 전략 및 투자 우선순위에 대한 의사결정 등 위험요인을 완화하는 기술로 정의됨

3.3.2 국내 기술환경

❑ 선로 사고 및 장애 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 온도 증가에 의한 궤도 또는 궤도와 연결된 교량의 신축에 대응하는 완화방지 장치 및 능동제어 기술 개발

- 2016년 철도기술연구원에서 수행한 “경부고속선 언양고가 주행안정성 평가 및 유지관리방안 도출 연구”를 통해 언양고가 궤도 틀림 발생 특성 분석 및 저감방안 수립, 종합적 주행안정성 평가 및 유지관리 방안 도출 등에 대한 연구가 진행

- 궤도 하부의 교량과의 연결부에 교량의 온도변형을 완화하고, 이상 거동시 궤도의 영향을 최소화하기 위한 장치 연구는 국내에서 수행된 바 없음

- 다양한 궤도 및 교량형식을 고려한 완화방지에 따른 주행안전성 향상에 대한 연구 필요

○ 개량형 침목을 이용한 도상저항력 강화를 통한 궤도 안전 위험요소의 사전예방

- 한국철도공사에서는 자갈궤도의 횡방향 도상저항력을 증가시키고 궤도틀림 발생을 저감시킬 수 있는 H자형으로 된 다지형 침목을 2010.02 개발하여 기존선 여러 개소에 시험부설하여 성능을 검토

- “고속철도 자갈궤도 궤도구조 개량기술개발(2013~2019)”에서 자갈궤도에서의 궤도틀림 등과 같은 고질적인 유지보수 요인을 효과적으로 개선하기 위한 방편으로 침목형상변경 연구를 수행중이나, 콘크리트 궤도에 대한 개량형 침목을 이용한 도상저항력 강화기술은 연구사례 부재

○ 데이터 기반의 상시적 궤도관리 유지관리 의사결정 지원시스템의 개선

- 철도공사에서 ’궤도관리 의사결정 지원시시템(KTMsys)“을 구축 활용하고 있으나, 활용도가 낮으며, 주기적으로 측정하는 자료의 분석 및 이를 활용한 유지관리로 이어지는 기법과 시스템의 부재

- 대부분 도시철도 운영기관 및 민간운영 선로에는 체계적이고 데이터 기반의 사전위험에 선제대응이 가능한 선로 유지관리 의사결정 지원시스템 부재



그림 2-95 철도공사 선로점검 체계

○ 최근 SOC 구조물의 데이터 기반 최적의 유지관리, 개량을 위한 의사결정 플랫폼 개발이 진행중이나, 철도교량의 데이터 기반 유지관리체계 기술은 개발되고 있지 않음

- 철도교량에 대한 안전여부를 평가하여 시설물을 보수 개량하고 있으나, 철도시설에 대한 안전

성뿐만 아니라 내구성, 사용성 등 성능을 파악 또는 장래의 성능변화 및 수요를 예측하여 적기에 시설물을 개량하는 등의 효율적인 시설관리에는 한계

· 이에 철도시설이력관리시스템 구축을 진행 중이며, 점검 성능평가결과 등의 정보를 체계적으로 관리하여 점검 · 교체시기를 합리적으로 결정하는 유지관리 추진 중

- 한국 BIM학회 연구진은 증강현실 기업을 이용한 구조물 유지관리 플랫폼 개발을 진행하고 있음. 도로공사가 운영 중인 다양한 점검장비(U-BIROS, GPR, UAV 등)로부터 획득된 데이터가 통합되지 못하는 현황을 개선하고 차세대 유지관리 정보 플랫폼으로서 기능할 수 있는 체계를 개발하고 시범 적용하는 연구 수행 중



그림 2-96 BIM모델 기반의 유지관리 플랫폼 개발 연구

○ 선로의 유지관리 및 개량을 위한 현장 환경이 열악하고 장비의 자동화 미흡

- 철도 자갈궤도의 한정된 공간으로 인하여 대형철도 보선장비의 투입이 어려워 인력위주의 시공이 이루어지고 있으므로, 안전성과 시공성 향상을 위한 장비개발 연구가 수행되었나, 중대형장비로 분류되어 사용에 제한이 많음

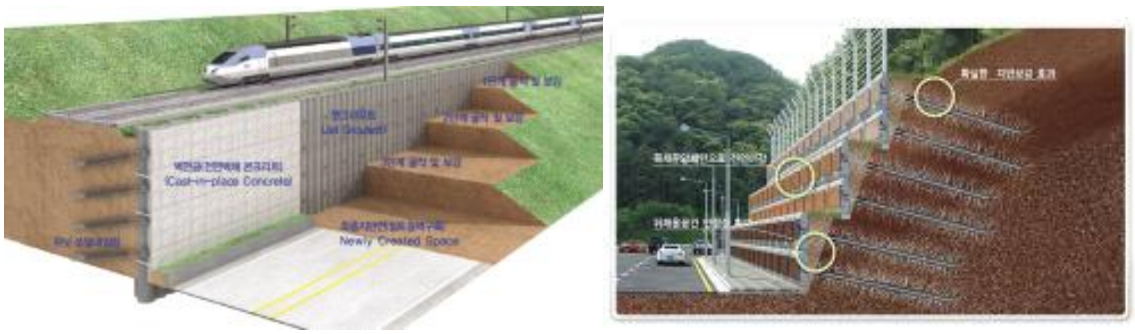


그림 2-97 자갈궤도 개량 개발 장비

- 철도노반 법면 제거 및 보강기술은 일부 개발이 되어 있지만 현장에 직접 적용된 사례가 적고 국내 운행 중인 현장적용은 적합하지 않음.

- RWC 옹벽기술은 젯그라우팅과 소구경 쏘일네일링으로 보강하여 철도노반의 법면을 제거 및 보강하는 기술로서 운행선 협소공간의 개량시 적용함.

- PPP 옹벽 공법은 가압식 강관과 PC 패널을 사용하여 절토부를 보강하는 기술로서 강관 보강재와 가압식 그라우팅을 통해 보강재를 형성하는 공법임. 보강재의 길이를 길게 사용하며 가압식 그라우팅을 사용하므로 운행 중인 철도 노반의 하부에 적용하기에는 적합하지 않음.



RWC 옹벽 PPP 옹벽

그림 2-98 현재 운영 중인 선로측면 법면의 보강기술

- 하로작업을 이용한 터널 개량은 도상자갈 두께만의 조정으로 작업효율이 높았으나, 근본적인 굴착이 이루어지는 것은 아니었기 때문에 하로량은 제한적임

❑ 철도터널 사고 및 장애 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 철도터널 내 유지관리, 개량 작업 시, 운행차단 시간 내에 작업이 수행되고, 또한 터널 내공의 협소로 중장비의 반입이 어려움 등으로 인하여 장비의 자동화 및 협소공간에 대한 보완방안이 필요

- 국내 철도 터널의 경우 부분적인 보수 작업이 이루어지므로 야간 열차운행 중단시간에 보수가 이루어짐으로 일일 시공할 수 있는 연장이 제한적임. 작업의 효율성 및 신속한 시공을 위하여 무차단 환경에서 터널 보강 작업을 위한 기술개발이 필요

- 지하터널의 제한된 공간으로 인하여 대형 철도보선 장비의 투입이 어려워 인력위주의 시공이 이루어지고 있어 안전성과 시공성 향상을 위한 장비개발이 이루어졌으나, 중대형장비로 분류되어 제한이 많은 노후터널에 적용되기 어려움.

- 국내 경부고속철도 기존선 운행시 열차가 다니지 않는 새벽시간에 터널라이닝 교체를 통해 터널 개량이 실시하였으나 강지보와 토류판을 이용한 라이닝 커팅이 실시되었으나, 작업효율이 매우 낮음

❑ 철도역사 일상안전사고 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 철도역사 이용자의 일상안전사고 예방을 위한 사고 위험전조 데이터 수집 및 분석, 예측이 이루어지지 않음에 따라 안전정보 사전제공이 미흡하며, 역사설비 오작동에 대한 사전관리 차원의 예방정비체계 개발을 진행 중

- 일반·고속철도, 도시철도 및 광역철도를 운영하는 각 운영사에서는 승강장 PSD, 역사 환기설비, 기계설비(E/S, E/V 등) 등의 감시업무를 위한 관제 시스템을 구축하여 운영 중이나 사전예방 차원이 아닌 사고 발생 후 신속한 대응 위주로 운영

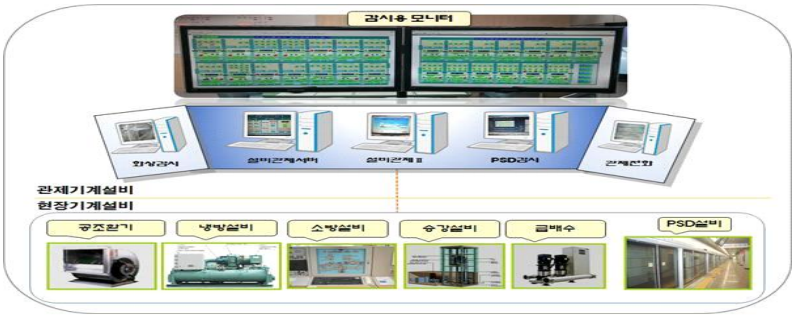


그림 2-99 인천 1호선의 기계 설비 관제 개요도

- 현재 대부분 운영기관의 철도역사 시설관리 시스템(ERP)은 현장업무의 단편적 현황관리 및 도면관리 수준

- 서울교통공사에서는 IoT 기술을 적용하여 역사 내 기계 설비의 고장 수리시간을 단축하였으며, 기계설비 자동제어 빅데이터 분석프로그램인 SAMBA를 개발하여 역사 내 기계 설비의 고장 전 예방정비 체계를 구축하고 있음[117].

○ 최근 내진설계 기준의 강화로 노후철도시설에 대한 보강이 활발히 진행되고 있으나, 지하역의 경우 내진보강으로 활용되는 재료의 불연성 미비로 이에 대한 연구개발이 필요

- 도시철도건설규칙 제31조에 따르면 정거장의 외장재는 불연재로 한정함에 따라 내진보강재의 불연성을 추가하려 하나 현재 시장의 내진성능 보강재는 불연성 미비로 운영기관 및 건설기관이 어려움을 겪고 있음

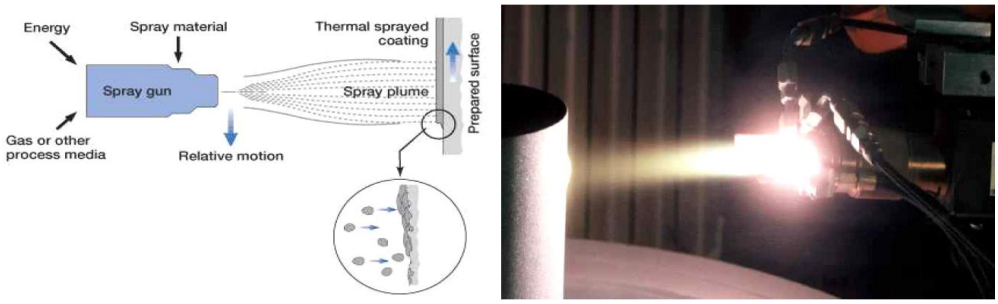


그림 2-100 나노복합재료 코팅 모식도

117) 서울교통공사 2018년 안전보고서, 2019.04.16., 서울교통공사

- 한국건설기술연구원에서는 비진공 저온 스프레이 기술과 세라믹 나노코팅 기술을 이용하여 건설 소재의 화재 지연 및 내화성능을 강화하기 위한 기술개발에 관한 연구를 수행하였으나, 내진 성능을 겸하고 있지 못함

- 한국지반환경공학회에서는 구조물의 내진보강, 방진보강 등을 위하여 나노재료를 활용한 기능형 그라우팅 인젝션 공법의 연구를 수행 중

❑ 철도신호설비 사고 및 장애 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 철도신호설비의 사고·장애 위험전조 데이터에 기반한 예측기술이 수행되지 않음으로 인하여 철도신호설비의 유지관리는 사후 대응체계로 수행되고 있으며, 따라서 사고예측에 따른 사전예방 체계의 도입이 시급함

- 전자연동장치 유지보수시스템은 전자연동장치의 동작상태를 모두 기록하는 유지보수 시스템으로 연동장치 진로취급 이력 및 입출력포트의 상태변화상태를 모두 기록하여 유지보수업무를 지원하는 설비이며 기존 전자연동장치 표시제어부의 제어기능을 제외한 형식으로 구성됨. 전자연동장치 유지보수시스템은 전기기술지원시스템과 연계되어 전자연동장치 유지보수시스템에 기록된 정보를 전기기술지원시스템에 모두 전송하고 있으나 사후 유지관리에 집중되어 오동작 등의 사전예방 체계 미비



그림 2-101 전자연동장치 구성도(일반철도)

❑ 철도 전철전력 사고 및 장애 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 전력설비의 예방진단 및 자산관리가 가능한 프로젝트가 한국전력 중심으로 진행되고 있으나, 철도운영기관에서는 아직 도입 전임

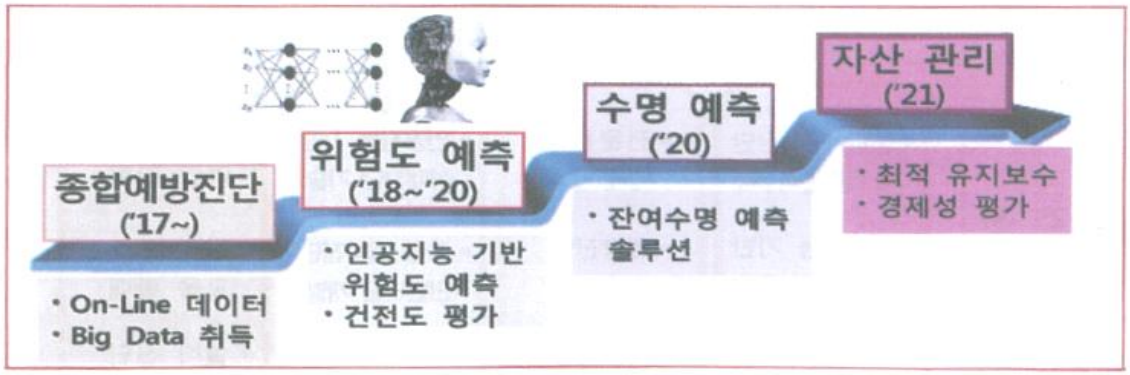


그림 2-102 한국전력 자산관리 & 예방진단 구축 추진 단계

- ISO 55000 국제표준을 반영한 자산관리시스템 개발 방향을 마련하여, 변압기 진단시스템, GIS 진단시스템, 지중선 진단시스템 등 종합시스템 구축 중

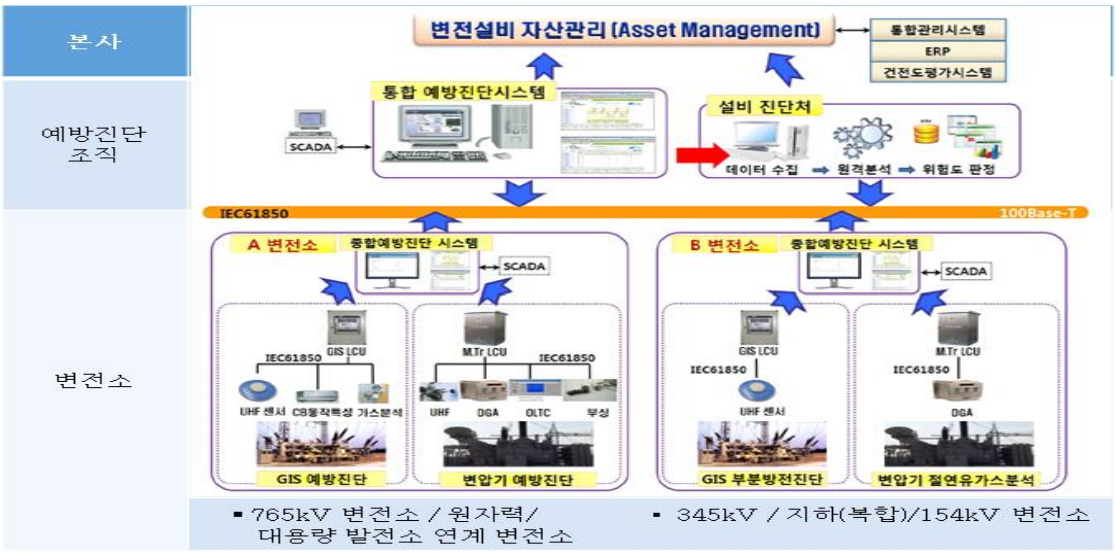


그림 2-103 한국전력 종합예방진단 및 자산관리 시스템 체계

❑ 한국철도시설공단에서 철도시설 이력관리 종합정보시스템 RAFIS[118](Rail Facilities Information and history System)을 구축 중

- RAFIS[119]는 철도시설물의 현황과 유지보수 이력정보 등의 데이터베이스를 관리하는 시스템으로 철도시설물의 설계자료, 시공자료, 초기 점검자료, 유지보수 자료, 점검/진단 자료, 계측/검측 자료, 위치 자료 등의 데이터베이스를 통합적으로 관리함

- RAFIS에서는 교량, 선로 등의 철도시설물에 대해 주기적으로 점검을 실행하여 결과를 유지보수 정보관리 시스템에 입력하고, 이상이 있을 때 조치할 수 있도록 구성됨. 점검 시 발생한 이상 및 조치한 결과를 RAFIS로 전송하여 유지보수 결과를 축적함

118) 철도시설이력관리 종합시스템' 구축 본격 추진, 프레시안, 2018
119) 철도시설 이력관리종합정보시스템 구축을 위한 입력정보 수준 설정에 관한 연구, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2016

- 궤도검측차(Track Measurement Vehicle)에서 측정한 선로 검측 데이터를 데이터 하우스에 전송하고, 검측 데이터를 분석하여 이상이 있는 선로에 대하여 RAFIS로 전송함

- RAFIS는 검측 결과, 유지보수 이력을 수집하고 데이터베이스화하여 통합적으로 관리를 수행하며, 축적된 데이터베이스를 기반으로 최적의 유지보수 주기를 결정하고 시설물 예방 유지보수 활동에 활용하여 RCM을 구현하도록 의사결정을 지원함

- 이러한 자료를 통해 시설물 통계, 유지보수 비용 통계 등의 철도시설 유지관리에 관계된 통계 자료를 작성함

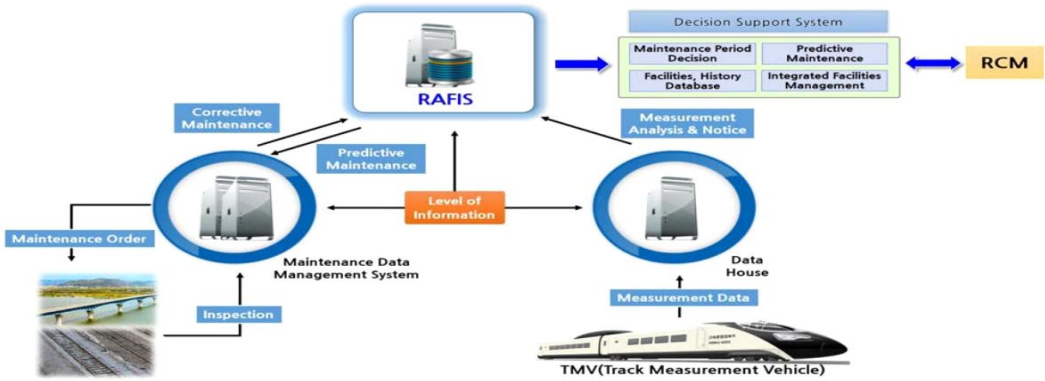


그림 2-104 철도시설 이력관리 종합정보시스템 개념도 (한국철도시설공단)

3.3.3 국외 기술환경

❑ 선로 사고 및 장애 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 다양한 침목 개량을 통하여 도상저항력을 강화하기 위한 기술개발 및 현장적용

- 격자형 콘크리트침목을 사용하는 Frame sleeper 궤도는 1990년 후반 오스트리아 TU Graz와 SSL Linz에서 개발되었으며 기존선 및 이탈리아 여러 현장에 시험 부설함. 기존 침목 대비 6배의 도상횡저항력 증가와 궤도 틀림도 크게 발생하지 않는 것을 확인

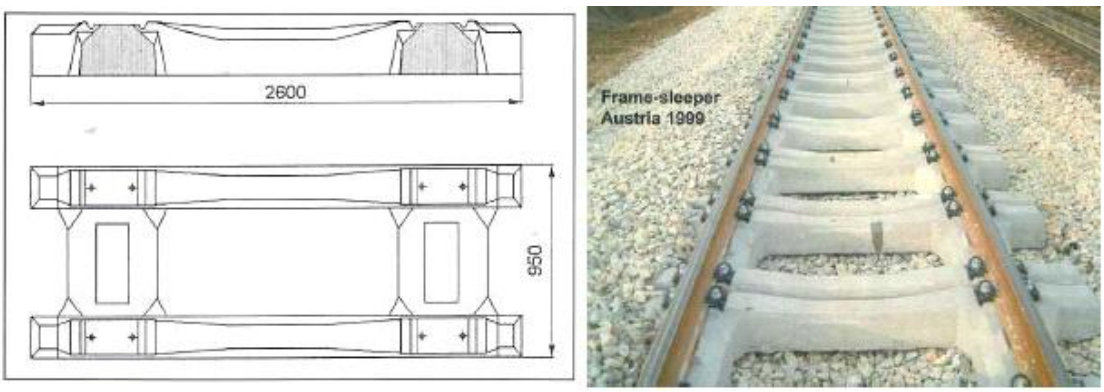


그림 2-105 Frame sleeper 형상 및 부설궤도

- 기존 frame sleeper의 개념은 그대로 유지하되, 침목의 형상을 아래 도면과 같이 변경. 미국

TTCI 시험선에 부설하여 장기 모니터링 중



그림 2-106 Full frame sleeper 및 Half frame

- 기존 유도상 침목을 그대로 활용할 수 있으면서도 frame sleeper화하는 방안으로 기존 침목과 침목 사이에 intermediate block을 삽입하고, 양쪽 침목과는 전혀 연결하지 않는 RSZ 구조로 도상저항력이나 도상하중분포 등이 frame sleeper와 유사함

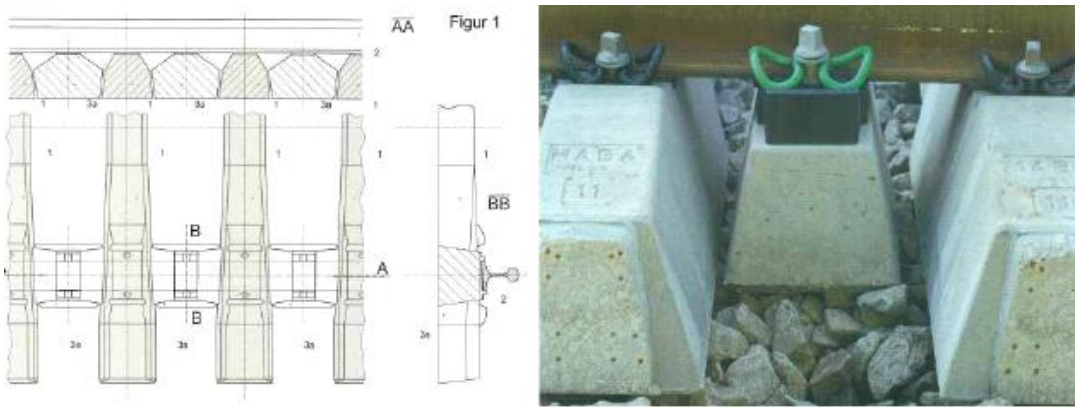
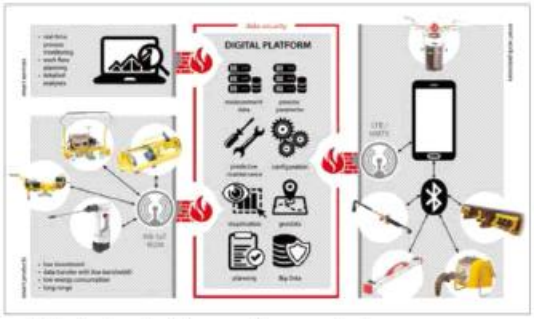


그림 2-107 RSZ 형상 및 부설궤도

○ 4차 산업기술 (AI, big data, machine learning 등)을 활용한 유지보수 경제성, 효율성 극대화를 위한 데이터 기반의 유지관리 플랫폼 개발 및 적용 초기 단계

- 독일은 궤도차량(검측차, 영업용 차량)에서 검측한 데이터와 철도시설물 특정위치에서 측정한 자료를 활용한 예방적인 유지관리를 하기 위한 플랫폼을 구축하고 있으며, 예방적 유지관리나 상태기반 유지관리를 위한 플랫폼과 데이터베이스 구축 중

- 독일 Goldshmidt사는 선로용접 유지보수시 디지털 작업과정을 통해 용접작업의 모니터링, 기로 및 분석을 통한 용접 자동화 및 유지보수가 가능한 디지털 플랫폼 개발 중



<Digital platform for welding process>



그림 2-108 Goldshcimidt 용접디지털 플랫폼 및 자동화 기술

○ 선로의 유지관리, 개량을 위하여 장비 자동화 및 소형화 기술이 개발되어 현장에 적용

- 독일, 오스트리아, 일본 등에서는 다종의 개량작업을 위해 보다 컴팩트한 장비로의 개량을 시행하고 있음
- 싱가폴에서 사용 중인 침목교환 장비인 RRVS는 Yew Tee, Bukit Bato, Jurong East, Queenstown, Eunos MRT역 구간에서 사용되고 있음.





그림 2-109 침목교환장비(독일) 및 Ballast cleaner(독일)

- 일본은 철도현장시공 조건을 고려한 자갈 굴삭 및 흡입 공정을 최소화한 장비를 개발함





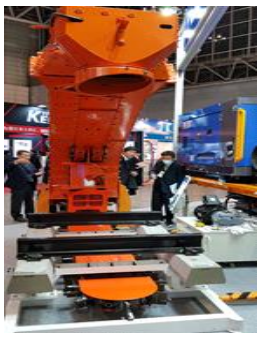


그림 2-110 협소공간 굴삭 자동화 굴삭 및 흡입장치(일본)

- 일본에서는 RRR-C 공법을 통해서 지반굴착 이전에 교반형 지반개량 연직말뚝으로 굴착면의 안정성을 증가시키고 단계 굴착 및 보강 후 전면에 현장타설 콘크리트 벽체를 구축하는 공법을 개발하여 협소공간의 철도법면 급구배화 시공사례가 있으며, 국내는 자갈 및 암버럭이 함유된 지반조건 등 현장 상황이 상이하여 적용을 위해서는 장비를 포함한 추가 기술개발이 필요한 실정

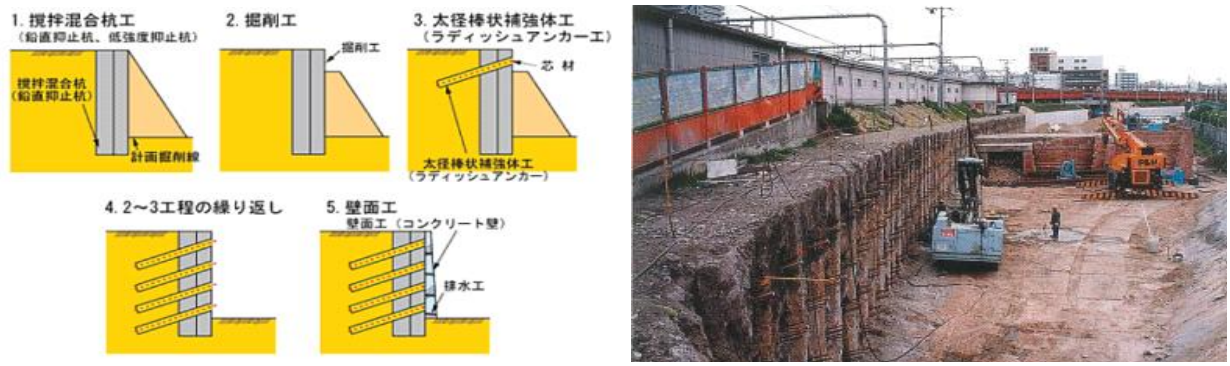


그림 2-111 RRR-C공법을 적용한 철도법면 급구배화 시공사례

❑ 철도교량 사고 및 장애 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 철도교량에서 발생할 수 있는 사고에 대한 사전예방을 위하여 해외 선진국은 사후 보수의 개념에서 사전예방개념의 유지관리를 시행하고 있으며, 자산관리 및 유지관리의 효율화를 위하여 데이터 디지털화 기반의 유지관리 플랫폼을 개발하여 활용 중

- 유럽 및 일본과 같은 철도 선진국에서는 전체 궤도 유지관리를 위해 사후 보수의 개념에서 탈피하여 예방보수의 개념에 입각한 유지관리를 시행 중이며, 특히 철도교량은 도로교량과 달리 승차감 및 주행 안정성 확보가 필요하므로 유지관리비용이 더 증가할 뿐 아니라 고속으로 운행되는 열차에 의해 큰 진동이 발생하므로 피로 수명 확보에 어려움이 예상됨

- 일본의 시설물 유지관리를 위한 SIP(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)는 내각부에서 토목 인프라의 안전과 복구 탄력성 측면에서 최신 기술인 신재료, 보강 공법, 점검 및 모니터링, 진단 기술, 로보틱스, ICT를 모두 활용하는 자산 관리 기술 개발 프로그램으로 추진하고 있음



그림 2-112 일본의 SIP 체계



그림 2-113 일본의 영상이미지 기반 3차원 교량 유지관리모델 사례

- 미국의 MAP-21(Moving Ahead for Progress in 21st Century Act)은 7개의 국가적 목표를 설정하고 NBIS(National Bridge Inspection Standard)를 수립하고 NBI (National Bridge Inventory)를 관리하는데 최근의 교량 붕괴 사례들로부터 이를 다시 분석하여 “a state of good repair”로 유지하도록 목표를 설정하고 부재의 파괴가 교량 붕괴로 이어지는 “Fracture critical bridge”를 별도로 파악하여 관리하고 연방도로청은 교통 인프라 전담사무소를 신설하여 교량 및 도로 인프라 재건설을 위한 일종의 자산 관리(Assets Management) 시스템을 가동하고 있음

o 최근 미국, 일본 중심으로 철도교량의 유지관리 기술개발 방향을 계측장비(센서), 위험예측에 따른 비상대응시스템 위주로 진행하고 있음

- 일본의 교량 유지관리 기술은 향후 센서에 의한 상시감시 지상 중심으로 성장할 것으로 예상함. 이는 인력위주의 유지관리는 노후교량의 증가와 숙련된 검사 기술자의 감소 등으로 센서에 의한 상시감시가 확대될 것으로 예상하여 국토교통성은 ‘13년 ’사회 인프라 모니터링 기술 활용 추진 검토위원회‘를 통해 노후 인프라 보전에 활용할 수 있는 센서통신 기술을 검토했으며, ’20년 이후 실증연구가 완료된 기술이 보급될 예정

- 미국의 철도교량 운용관리시스템은 초정밀계측, 비파괴진단, 재난대응시스템 구축, 내구성 향상, 위험예측 및 의사결정 지원 기능제공의 방향으로 발전

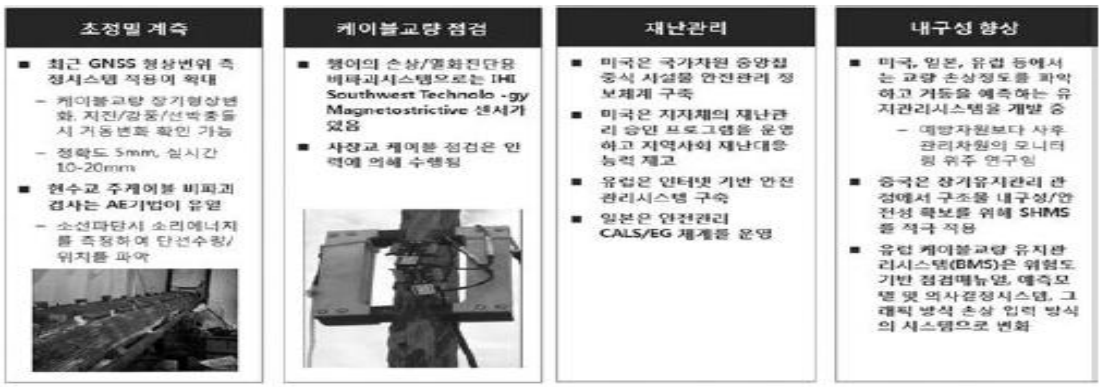


그림 2-114 국외 교량 유지관리 기술

❑ 철도터널 사고 및 장애 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 철도 터널의 유지관리 작업의 효율화를 위한 다양한 장비와 기법이 개발되어 사용되고 있으며, 유지관리시간 단축을 위한 장비의 개발이 병행되고 있음

- 국외의 경우 내 · 외장재로 사용되는 콘크리트의 표면을 제거하는 방법으로 워터젯을 사용하고 있음. 워터젯은 고압의 물은 연마재와 병행하여 분사하여 표면을 깍아내는 방식으로 물을 동반하여 사용하므로 모르타르 부착이 용이하도록 깨끗한 단면이 형성됨. 터널 시공시 숏크리트의 일부를 제거하는 시공 사례도 있음. 또한 제거된 터널 라이닝면을 대체하기 위하여 프로텍터를 이용한 터널 개량기술도 사용한 사례가 있음



그림 2-115 워터젯 기술을 이용한 콘크리트 제거 기술



그림 2-116 프로텍터를 이용한 터널 개량 기술

- 현장에서 FRP 소재 등을 이용하여 보강을 직접 수행할 수 있는 장비의 개발이 이루어지고 있음. 이동대차에 설치된 크레인에 터널 상태를 평가할 수 있는 영상측정장치, 균열 및 하자보수, 치유가 가능한 툴을 동시에 설치하여 조사 및 조치가 동시에 이루어지도록 하고 있으며 최소인력으로 터널의 보수보강이 가능한 기술임

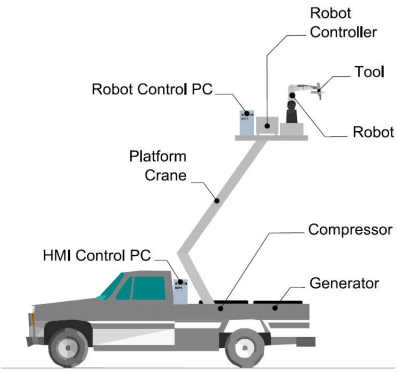


그림 2-117 TunConst에서 개발된 검측장비

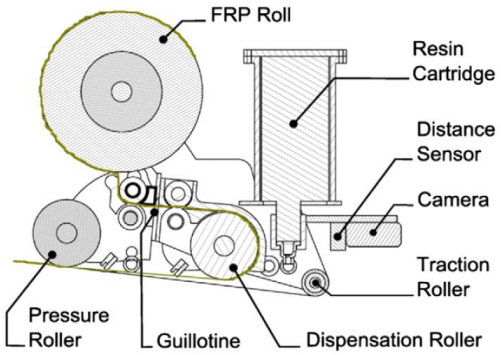


그림 2-118 TunConst 장비내 보수보강 장비

- 프랑스에서는 운행선을 차단하고 공사를 수행했는데 Grand Vienne 터널에서는 상방향 원지반 굴착을 이용한 터널 개량이 추진됨. 시멘트 그라우팅과 앵커링을 이용한 사전 보강이 실시되었으며, 굴착기를 이용한 라이닝 커팅이 실시됨. 지보재로는 숏크리트, 와이어 매쉬 및 록볼트가 사용됨. 열차운행을 차단시켰기 때문에 개량공사의 작업효율이 높지만, 원지반 굴착에 따른 붕락 위험 및 운행선 차단비용이 발생하는 단점이 있음. Mont Riboudet 터널에서는 하방향 굴착을 이용한 터널개량이 추진됨. 굴착부위 변위 제어를 위하여 숏크리트, 와이어 매쉬 및 록볼트를 이용한 사전보강이 실시됨. 열차운행을 차단하여 작업효율이 높지만, 운행 차단비용이 발생하는 단점이 있고 터널 노반을 굴착하여 터널 진 · 출입 구간에 대한 하로 작업도 동반되어야 하는 단점이 있음.



그림 2-119 상방향 라이닝 커팅

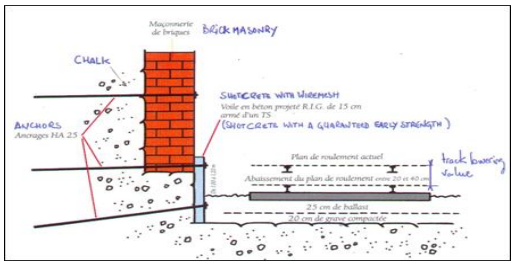
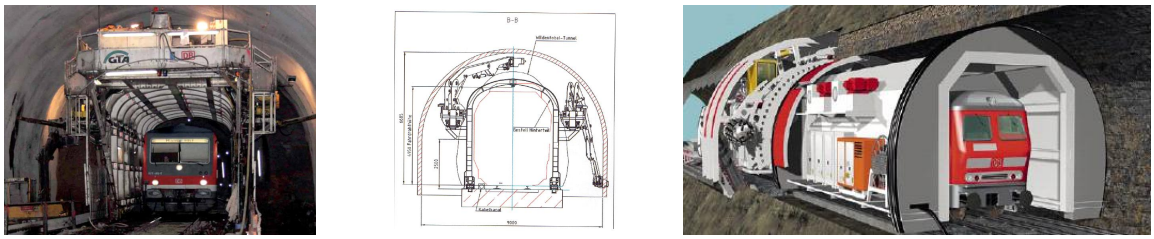


그림 2-120 하방향 노반 굴착

- 독일의 Jahordt 터널사례에서는 운행선을 차단하지 않은 상태에서 상방향 굴착을 이용한 터널 개량이 추진됨. 운행 안전을 위하여 특수 제작된 실드(shield)를 사용하였으며, 협소한 공간에서 작업을 실시하였기 때문에 효율이 낮고 원지반 굴착에 따른 붕락 위험도 있음. 작업효율이 낮아서 아직은 짧은 터널에서만 사용되고 있음.



(a) (b) (c)

그림 2-121 특수장비를 이용한 상방향 개량

- 미국의 디트로이트 리버 터널사례에서는 원지반은 굴착하지 않고 상방향 및 하방향 굴착을 모두 이용하여 터널개량을 추진하였음. 라이닝이 교체되었으며, 궤도구조가 치환되었음. 라이닝 부분만 교체되었기 때문에, 상대적으로 붕락위험이 높지 않다고 볼 수 있으나, 양방향 개량이 이루어졌으므로 다양한 공정이 요구되는 단점이 있음.

❑ 철도역사 일상안전사고 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 해외에서는 시나리오 기반 상황인지에 따른 사고발생 전 정보발생 및 알림 등의 기술개발 진행 중

- EU는 2017년부터 “재난 안전형 IoT 플랫폼 구축” 프로젝트를 통하여 대규모 군중이 밀집하는 도시철도 역사 등을 대상으로 한 시나리오 기반 상황인지형 능동형 대피 기술 개발에 착수함. CCTV 및 센싱기술과 모바일을 활용한 실시간 위험상황 정보인지 및 알림/모니터링 시스템 SAS(Situation Awareness System)와 대피자의 위험상황 탈출을 돕는 Active Exit Signage를 활용하여 실시간 위험상황을 정확하게 인지, 신속한 대피경로를 제시하고 비콘기반 LBS 기술을 활용한 사용자 인터랙티브 실시간 대피경로 안내 모바일 앱을 구축함

- 네덜란드의 교통 솔루션 기업인 Dynniq는 교통약자들을 위해 초록불이 켜지는 시간을 더 늘려주는 스마트폰 앱인 크로스워크(Crosswalk)를 개발, 크로스워크 앱은 GPS와 블루투스 통신 모듈이 장착된 신호등 제어기와 연동하며, 신호등 제어기는 횡단보도 인근에 있는 앱 사용자를 즉시 감지하며, 사용자는 앱을 켜고 스마트폰을 통해 초록불의 시간을 직접 연장이 가능

○ 이집트 Ain Shams 대학은 다중벽 탄소나노튜브(Multi-walled Nanotube; MWCNT)가 시멘트 페이스트의 기계적 특성과 내화성에 미치는 영향에 대한 실험을 진행함.

❑ 철도신호설비 사고 및 장애 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 독일 Siemens에서는 IoT기반 자산관리 클라우드 플랫폼인 마인드 스피어(Mindsphere)라는 스마트 팩토리 솔루션 사업을 본격화하고 있으며, 철도교통의 가용성과 효율성을 향상을 위해 마인드스피어 클라우드 솔루션을 기반으로 철도교통 자산관리 플랫폼인 Railigent를 개발함. Railigent는 철도차량 및 인프라에 대한 원격 모니터링, 신속한 진단 및 사전 고장 예측기능을 포함하며, 신호설비 등을 포함한 철도시설 하부장치에 대한 효율적인 상태 유지관리를 지원함.

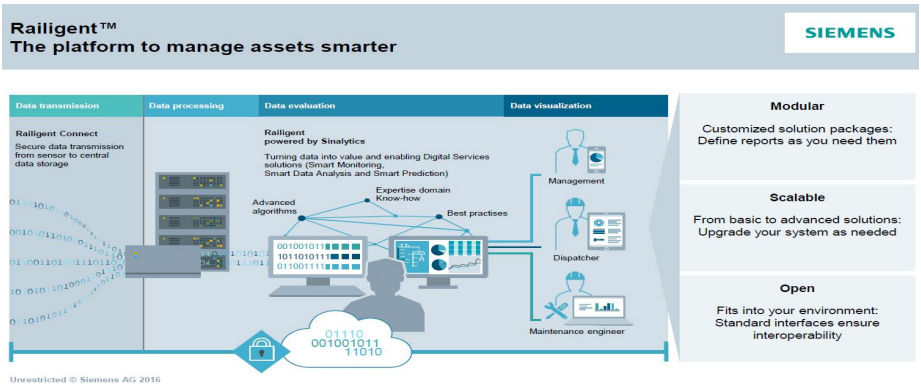


그림 2-122 (독일)지멘스의 스마트 유지관리 플랫폼(Railigent)

❑ 철도 전철전력 사고 및 장애 위험요인 사전 완화·해소 기술

○ 해외 대형 전력회사는 CBM 기반의 유지관리체계를 도입하여 장애 사전예방체계를 갖추고 있으며, 아울러 비용절감 및 자산관리 기능을 겸함

- ABB는 미국 전력 유틸리티인 AEP(American Electric Power)와의 기술협정을 통해 리스크 평가 알고리즘을 탑재한 변전소 AMS를 개발하여 '13년부터 적용 중
- Simens는 홍콩의 송배전계통 시설에 온라인 통합 상태모니터링 시스템인 RCAM(신뢰성기반 설비 관리)을 설치하여 기기 상태지수 산출 및 유지보수/교체 수준을 결정함
- GE(Alstom)는 미국 발전소에 변압기 상태분석 솔루션, 카타르 변전소에 전력 그리드 상태분석 솔루션 및 E-TerraAssetCare 자산관리 솔루션을 적용한 바 있음

4. 철도차량 위험관리 기술

4.1 철도차량 위험요인 감지기술

4.1.1 기술 정의

❑ 철도차량 위험요인 감지기술은 철도차량의 사고 · 장애를 예방하기 위하여 위험요인을 사전에 탐지하는 데 필요한 센서기술, 통신기술, 데이터관리 기술 등으로 정의됨

4.1.2 국내 기술환경

❑ 철도차량 센싱 및 데이터 수집 기술

○ 철도차량의 경우 차량운행제어, 고장진단 및 유지보수에 필요한 데이터는 각 장치로부터 취합되어 TCMS 또는 OBCS에 저장된 후 차량기지에 도착하면 자동으로 측정된 데이터가 전송되어 고장진단 및 유지보수 등에 활용되고 있음

- 한국철도공사에서는 주행하는 차량의 차축에서 발생하는 온도를 검지하고, 검지된 데이터를 중앙관리센터에 전송하고, 전송된 데이터를 저장, 관리 및 제어할 수 있는 온도검지모듈 시제품 개발을 완료한 바 있음[120)]

- 한국철도기술연구원에서는 자동차 및 철도차량 하부 구조물에 부착 가능한 진동센서(가속도 센서)와 결함신호 분석프로그램 그리고 베어링 결함 및 회전체의 불평형을 검출할 수 있는 결함감시시스템을 개발하였음[121)].

- 한국철도기술연구원에서는 진동가속도, 오일분석 센서를 이용하여 차량의 감속구동장치의 고장진단 평가를 위한 연구가 진행된 바 있으며 고장 데이터베이스를 위한 보다 실증적인 연구를 시도하고 있음

- 한국철도기술연구원에서는 SAW(Surface Acoustic Wave, 표면탄성파) 센서, 광섬유 센서 및 적외선 열화상 이미지를 이용한 철도차량 모니터링 기술개발을 추진하였으며, 상업운행 중인 KTX 실차시험을 통해 적용성을 검증하였음[122)]

○ 한편 IoT, 머신비전, ICT, AI 등의 기술이 급속히 발전함에 따라 과거 비용적인 문제로 인하여 실제 현장에 적용되지 못했던 머신비전기술, 열화상 기술, 레이저 기술 등의 센싱 기술도 철도현장에서 적용하기 위해 개발하고 있음.

- 서울교통공사에서는 전통적인 센싱 기술을 통신, 빅데이터와 결합한 IoT 실시간 모니터링 시스템을 운영 중이나, 초기 단계 서비스를 제공하는 수준임[123)].

- 한국철도기술연구원에서는 적외선 열화상 카메라를 이용한 차량 하부 부품 이상 검사시스템을

120) 최재식, 고속열차용 차축발열검지장치(HBD) 개발 사양에 관한 연구, 2012년도 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 431-435, 2012
121) 진동센서를 이용한 자동차 및 철도차량의 결함감시 시스템 개발, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2015
122) 철도시스템 건전성 모니터링 기초연구, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2011
123) 허성태, 도시철도에서 사물인터넷(IoT)의 활용에 관한 연구, 2015 년도 한국철도학회 추계학술대회 논문집

개발함으로써 적외선 기술의 철도 분야 적용 가능성을 확인하였음[124].

- 한국철도공사에서는 적외선 열화상과 고속카메라의 이미지를 이용한 차량하부 상태진단 평가시스템을 설치하여 운영하고 있으며 고속에서의 이미지 처리방법에 관한 실증적인 연구를 수행하고 있음.

- 한국철도기술연구원에서는 최대 40km/h로 진입하는 차량의 차륜 표면을 레일에 2차원으로 배열된 전자기센서를 이용하여, 최대 공간분해능 780㎛의 자기 영상을 취득할 수 있고 균열을 탐상할 수 있는 레일 설치형 차륜 답면 탐상용 시스템을 개발하였음[125]

- 한국철도기술연구원에서는 kHz급 고속레이저 초음파 영상화 기반 도시철도 대차프레임 비파괴검사 핵심기술이 개발된 바 있음[126].

- 한국철도기술연구원에서는 ICT 기술을 활용한 철도시스템 및 인프라의 실시간 모니터링 및 상태진단 핵심기술 개발을 한 바 있음[127].

❑ 철도차량 데이터 전송을 위한 유무선 고속통신 기술

○ 철도시스템 운행 중 장치 및 인프라로부터의 정보를 수집하는 것은 안전관리를 위한 첫 단계로 국내의 경우 반도체 기술을 이용한 첨단 IoT 센서/디바이스 기술 등 다양한 제품이 개발되고 있음

○ 삼성전자, SK하이닉스 등에서는 세계 최고수준의 가시광 영상센서를 생산하고 있으며, 생체 센서(미각, 뇌파, 맥파 등)는 시장이 크게 성장할 정도로 상용기술 개발이 진행

○ 또한, MEMS 압력센서, MEMS 9축 모션센서, 마이크로폰, 복합 광센서, 자기센서 등이 정부(산업부) 주도의 첨단센서사업을 통해 국산화 개발 추진 중

○ 다종의 에너지원으로부터 광대역 전력 Level에 대응하는 에너지 하베스트 관리 SoC(Software on Chip) 개발이 진행 중이며, 바른전자는 메모리, MCU, BLE를 반도체 패키징 칩화하여 독립형 소형 통신 모듈을 개발되고 있음

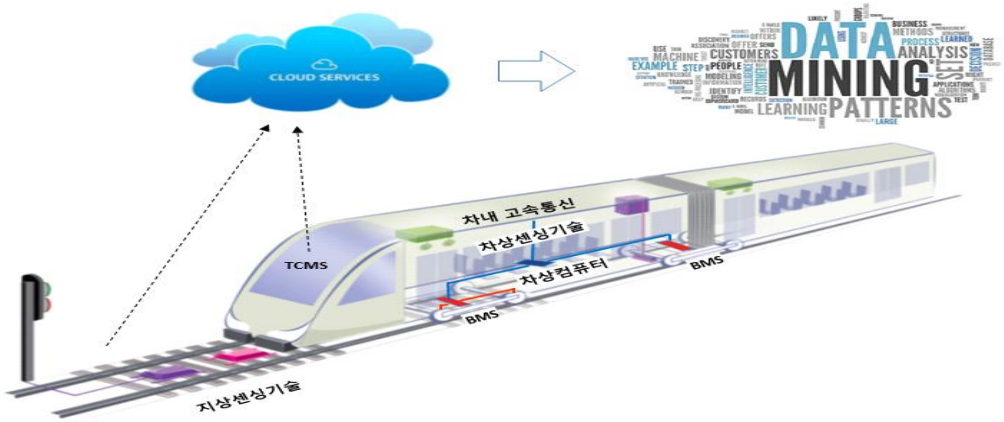


그림 2-123 철도차량 차 · 지상 모니터링 장치 개념도

124) 서정원, 철도차량 하부푸품 열화상 모니터링 시스템 개발, 한국정밀공학회지, 30, 7, 687-693, 2013
125) 권석진, 전자기센서를 이용한 고속철도용 차륜재의 구름접촉피로 손상 모니터링, 한국정밀공학회지, 29, 6, 600-606, 2012
126) 고속레이저 초음파기반 철도대차 비파괴검사 시스템 개발, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2015
127) 철도시스템 유지보수 고도화를 위한 첨단 센싱 기술개발, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2017

- ㅇ 또한, IoT 네트워크 기술은 4G/LTE에서 5G로 전환 중이며, 비면허대역의 로컬 네트워크 기술은 신뢰성과 지연특성 등에 따라 Star형과 Mesh형이 공존하며 진화 중

- ㅇ 4G LTE 셀룰러 기반 IoT 전용망(NB-IoT, LTE-M/Cat-M1) 기술이 통신사 중심으로 구축 및 확산 노력이 활발히 진행 중이며 5G Massive MTC 기술은 NSA 모드로 기존 기술의 진화를 추구하고 있음

- ㅇ 비면허대역 IoT 로컬 네트워크는 서비스 특성에 따라 Star형(LPWA)과 Mesh형(Wi-Sun 등)으로 구성되며, 산업체 및 지자체 중심으로 다양한 IoT 요구에 특화되어 개발 및 구축이 추진되고 있음

- ㅇ 한국철도기술연구원에서는 고속 주행 중인 철도차량의 안전성 확보를 위해 철도차량 중요 장치의 상태를 자동으로 센싱, 측정된 데이터를 무선방식으로 전송하는 '철도시스템 미래형 무선 스마트 autonomous 센싱 기술[128]'을 개발하였음.

  - 이 기술은 고속으로 주행하는 철도차량과 같이 가혹한 무선통신 환경에서 견딜 수 있는 동시에 주변 에너지를 통해 스스로 전원을 생산하는 자가발전 기술 개발과 실시간 센싱과 초저전력 무선통신 기술개발을 기반으로 각 모듈이 일체화돼 자동으로 구동되도록 하고 있음

- ㅇ 한국철도시설공단의 경우, 국토교통부 지원사업으로 수행된 "일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화('14~'18)" 사업을 통해 광역 및 고속철도 운영속도에서 적용 가능한 무선통신 기반의 열차제어시스템 실용화 기술개발 및 안전성 평가, LTE 기반의 철도전용 무선통신망 실용화 기술개발 및 신뢰성 검증, 열차제어시스템 및 철도전용 무선통신망 통합시험 및 평가를 통한 신뢰성 및 성능검증 등의 연구를 수행한 바 있음[129]

- ㅇ 한국철도기술연구원에서는 고신뢰성 통신지원 IoT 기반 계측 컨트롤러 개발을 통해 IoT 기반 스마트 유지보수 시스템 개념을 제시한 바 있음[130]

- ㅇ 한국철도기술연구원에서는 주요사업인 "무선통신기반 철도운영 향상기술 연구('13-'15)" 사업을 통해 첨단 IT 기술이 접목된 저비용 고정밀 열차제어시스템 핵심기술 개발, 철도 통합무선망 운영관리 방안 도출 및 철도 무선트래픽 분배시스템 개발을 성공한 바 있음[131]

❑ 철도차량 데이터 플랫폼 및 이력관리기술

- ㅇ 국내 대부분의 철도운영사는 데이터관리 시스템을 구축하고 유지보수 관리기능을 통합한 통합정보시스템으로 고도화하는 작업을 진행하고 있음.

- ㅇ 한국철도공사는 2007년부터 전략경영, 재무회계, 관리회계, 자산관리, 인사관리, 자재관리, 차량·시설·전기의 유지보수 관리 등을 통합한 KOVIS 시스템을 가동하였음.

  - 2016년부터 고도화 전략을 바탕으로 차세대 KOVIS 구축사업을 추진하였으며, 전 업무 모듈

128) 철도시스템 미래형 무선 스마트 autonomous 센싱 기술 개발, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2015
129) 허상원, 일반 및 고속철도용 무선기반 열차제어시스템(KTCS) 실용화, 2015년도 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2015 687-693, 2013
130) 철도현장 맞춤형 IoT기반 하이브리드 계측시스템 개발, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2016
131) 무선통신기반 철도 운영 향상기술 연구, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2015

을 재구축.

- 2019년까지 6개 분야별 IoT, 빅데이터, AI, VR을 이용한 스마트 철도안전 관리 추진계획을 수립하여 시행하고 있음[132].

○ 서울메트로와 서울도시철도공사는 2017년에 서울교통공사로 통합되었으며, 기존 시스템을 개선한 SCM(Smart Connected Metro) 실현을 위해 IT 총괄실을 설치하여 '19년까지 3단계로 프로세스 체계화, 고객경험 극대화, 운영 효율화를 위한 디지털 경영체계를 추진하고 있음[133].

4.1.3 국외 기술환경

❑ 철도차량 센싱 및 데이터 수집 기술

○ 프랑스 국영철도회사(SNCF)는 철도차량 및 구조물에 IoT 기반 센서를 탑재한 철도안전 상시 및 모니터링 기술을 개발하고 있으며, 또한 음향홀로그래피법을 이용하여 철도차량의 축베어링을 대상으로 결함신호 위치 및 주기를 검출함

- 또한, 고속카메라를 이용하여 팬터그래프 등의 옥상장치를 검사할 수 있는 시스템을 구축하여 운영기관에서 운영하고 있으며[134], 고속철도를 운영하는 프랑스, 독일, 영국 등에서는 차축베어링의 손상 검지를 좀 더 신뢰성 있게 측정할 수 있는 시스템을 구축하여 운영하고 있음

○ 독일에서는 3차원 영상정보를 이용하여 OLED 패널의 결함검사, 터널의 결함검사, 금속표면의 결함검출, 용접부 결함검출 등에 관한 연구가 진행, 의료 영상을 바탕으로 진단 수행을 돕는 영상기반 진단분야에도 활용하고 있음

- 최근에는 레일탐상, 레일의 마모측정, 표면상태, 연마상태 선형상태 등의 점검에 이용되고 있으며, 위상배열 초음파 시스템을 이용한 차륜 검사시스템이 개발되어 차륜 검사에 활용. 최대 64채널의 초음파 센서로 구성된 시스템으로 차륜 및 차축, 휠 디스크 등의 검사를 자동화 공정으로 수행하고 있음

○ 네덜란드에서는 주행 차륜과 차축 하중을 광섬유센서로 모니터링하여 주행 차륜의 손상검사를 수행하는 기술을 개발하였음. 또한, 실시간으로 상태를 파악하여 시스템의 이상 여부를 진단하는 안전 모니터링 시스템인 'Intelligent Rail'을 개발 및 테스트하고 있으며, 시설물에 설치된 레이저·카메라를 이용하여, 열차 통과 시 팬터그래프의 손상·이상 여부를 판단하는 기술을 적용하고 있음

○ 러시아의 Sapsan train은 SIEMENS의 실시간 예방정비체계를 도입하여 정비비 20% 이상 절감, 정시율 99.4% 효과를 입증하였으며[135] 차상 모니터링 시스템 등 상태기반 유지보수 기술을 도입함으로써 차량이 기지에 도착하기 전 상태를 진단·예측하여, 유지보수 공정 및 장비 운영을 효율화하고 있음

---

132) 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획 수립 연구용역, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2017
133) 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획 수립 연구용역, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2017
134) http://www.beenavision.com/products_Pantoview.html, 2018.6.10.일 참조
135) 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획 수립 연구용역, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2017

○ 미국은 FRA, TTCI, 대학 및 기업을 중심으로 철도선로변 또는 차상의 자동화된 상태 모니터링 장치는 차량 검사 비용을 감소시키고, 검사 주기 연장 및 상태기반 유지보수를 수행할 수 있는 다양한 기술을 개발하고 있음

※ FRA: Federal Railway Association

※ TTCI: Transportation Technology Center Inc

- FRA(Federal Railway Association)에서는 국외에서는 차량기지 내에서 차량 하부의 주요기기에 대한 머신비전 기술을 개발한 바 있으며, 160여 만대의 화차에 대한 언더프레임(센터실, 사이드실 크로스 베어러 등)의 구조 건전성을 자동으로 확인하기 위하여 고속영상으로 이상을 검지하는 시스템을 개발[136]한 바 있음

- 최근에는 유도초음파 기술을 도입하여 장거리 초음파 송신이 가능한 유도 초음파 특성을 활용한 장대레일 초음파 탐상에 활용하고 있음. 현재는 실험실 규모의 연구가 지속되고 있으며, 기존 기술의 내부결함 신뢰성, 검사속도 등을 보완하는 연구가 진행되고 있음

- TTCI에서는 비접촉식 공기결합 초음파 탐촉자를 이용한 탐상시스템을 구축하였으며, 레이저-초음파 탐상장치를 활용하여 TTCI 시험선의 레일결함 탐상에 사용하고 있음

- 또한, 스마트 센서(smart sensor)를 이용하여 철도차량 제동력을 직접 모니터링하는 시스템(Smart Sensor System for Monitoring Railcar Braking Systems)을 개발하였고, 제동력을 측정하는 센서, 측정 정보를 송수신하는 무선 네트워크 모듈, 자가발전 장치로 구성되어 있음

- Beena Vision사[137]에서는 선로주변 모니터링 시스템을 개발하여 현장에서 적용하고 있으며, 이 모니터링 시스템에서는 탈선방지, 인프라 시설 보호 등의 기능을 가진 차륜 프로파일 자동측정 시스템을 이용하여 차륜/프로파일 측정, 선로의 모니터링을 수행할 수 있음. 특히, 선로변에 설치되어 제동 패드 및 디스크 검측패드 두께 측정, 마모 패드나 이상 마모 패드 감지에 활용함

○ 일본(JR 서일본)에서는 차량하부의 주행기기와 구동기기의 운행시 지속적인 상태진단을 위하여 적외선 온도 진단장치를 활용하고 있으며 차량 구동기기에 대한 고장기준과 열화모드를 판단하고 있음

○ 중국에서는 레일에 초음파 센서를 배열하여 차륜이 차량기지에 진입하면 주행하는 차륜을 검사할 수 있는 시스템을 구축하여 운영하고 있음

❑ 철도차량 모니터링을 위한 유무선 고속통신 기술

○ 유럽의 Shift2Rail 프로젝트에서는 차량의 안전과 신뢰성 수준을 높이기 위하여 차량과 구성품 사이의 무선 정보전달을 기본으로 하는 차세대 TCMS 개발을 수행 중. 차세대 TCMS의 비전은 차량과 차량간의 통신, 지상과 차량간의 통신은 Hybrid wireless 통신방식으로 수행하고, 차량내 서브시스템의 기능을 제어하는 프로세스 수를 감축하고, 안전을 위한 기능을 수행하는

136) Schlake, Machine vision condition monitoring of heavy-axle load railcar structural underframe components, IMechE Vol.224

137) http://www.beenavision.com/products_Pantoview.html, 2018.6.10.일 참조

아키텍처 구성함

❑ 철도시스템 이력관리 시스템 개발 기술

○ 국외에서는 철도 제작사 및 운영사에서 오랜 기간의 모니터링 기법을 바탕으로 철도 차량 및 인프라로부터 획득한 모니터링 데이터를 활용하여 철도시스템을 안전하고 효율적으로 관리하기 위한 데이터 플랫폼을 구축하고 현장에서 이력관리를 시행함

○ (영국) RSSB에서는 이력정보를 유지보수 및 사고예방에 활용하기 위하여 첨단이력관리기법인 SMIS+(Safety Management Intelligence System Plus) 도입을 통해 위험도를 감소시킬 수 있는 잠재성이 큰 12개 핵심 영역으로 구분하고 집중 이력관리를 수행하고 있으며[138] 유지관리 공종별 DB를 기반으로 선로구조물 통합 DB를 운영함

- 유지보수 및 개량 결과는 모바일 기반으로 전사적 관리 모듈로 전송

- 인프라 시설 관련 DB를 구축하여 예방 유지보수 및 예지 유지보수가 가능하도록 빅데이터 기반 의사결정 지원체계 운영.

○ (프랑스) 철도회사 Alstom에서는 2014년 철도차량 유지관리 시스템인 Healthhub를 발표하였으며, 주행거리 기준의 기존 유지보수 방식에서 상태 기준의 예측 유지보수로 전환하고자 하고 있음

- Healthhub는 철도 차량 및 인프라, 신호설비 등의 상태를 모니터링하고 첨단 데이터를 분석하여 철도시스템의 잔존수명을 예측할 수 있는 시스템이며, 축적된 모니터링 및 이력 데이터로부터 어떤 시점에 실질적으로 필요한 작업을 제시함으로써 효과적인 유지보수가 가능함.

- Healthhub는 트레인스캐너 및 트랙트레이서와 같은 첨단 데이터 수집 기술로 구성되어, 철도 차량 및 인프라 전반에 대해 모니터링하고 이력을 관리함.

○ (독일)의 SIMENS에서는 실시간으로 철도 차량의 상태와 위치 모니터링 및 원격으로 철도 차량 및 인프라의 고장원인 진단 및 진단기반 스마트 유지보수를 목적으로 하는 클라우드 기반 데이터 분석플랫폼인 Railigent를 개발함[139].

○ (캐나다)의 봄바르디아(Bombardier)는 2006년 Orbita를 발표하였으며, 2010년에는 2,600개의 차량에서 데이터를 수집하는 수준으로 발전함.

- Orbita는 열차로부터 실시간으로 데이터를 수집하여 가시화하고 엔지니어링 지식과 연계하여 분석한 데이터를 활용하는 시스템이며, Orbita의 의사결정지원시스템은 사용자의 유지보수 및 열차 운영 프로세스에 데이터가 적극 활용될 수 있도록 지원하며, 지능형 경고시스템을 통해 자동으로 문제점을 감지하고 컨트롤룸 엔지니어에게 경고를 전달하여 기관사에게 필요한 조치를 취하도록 함.

- 또한, 지능형 모니터링기술을 반영하는“Civil Infrastructure System Technology Roadmap” 소프트웨어를 개발하여 인프라의 노후화, 안전 및 유지관리 정보를 제공하고 있음

138) 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획 수립 연구용역, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2017
139) Mobility services, Manage your assets smarter with Railigent, SIMENS

4.2 철도차량 위험요인 분석기술

4.2.1 기술 정의

❑ 철도차량 위험요인 분석기술은 물리 및 데이터 모델링 기술을 기반으로 한 철도차량 핵심장치에 대해 현재 상태를 시뮬레이션으로 분석하고, 이를 기반으로 고장 및 장애시기 예측 및 고장·장애에 따른 기대손상 등을 기반으로 한 위험전조 예측기술로 정의됨

4.2.2 국내 기술환경

❑ 국내에서는 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능, 사이버물리시스템(CPS) 등 4차 산업혁명을 견인하는 기술들이 보편화 됨에 따라 이들을 응용하여 다양한 산업현장에서 생산성, 경제성, 안전성 등을 향상하고자 하는 요구가 확산하고 있으며, 전통적인 모델링 & 시뮬레이션 기술을 뛰어넘는 상태분석 및 진단기술의 개발이 요구[140]되고 있음

❑ 물리 모델기반 모델링, 평가 및 진단기술

- ㅇ 최근 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 기술의 발전에 따라 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능 기술과 결합하여 디지털 트윈* 기술이 발전하고 있음

  * 디지털 트윈: 물리적 객체(자산, 프로세스 및 시스템 등)들에 대한 디지털 복제로서, 수명주기 전체에 걸쳐 대상 객체 요소들의 속성/상태를 유지하며 이들이 어떻게 작동하는지의 동적성질을 묘사하는 가상의 모델

- ㅇ 디지털 트윈(가상모델)은 대상 객체(물리적 자산)와 연동하여 현실 상황을 반영하면서 현실에서 발생할 수 있는 상황을 예측하거나 운영 최적화 조건을 알려주는 등 산업 경쟁력 강화의 주요 수단으로 인식되고 있음

  - 디지털트윈 모델의 핵심은 구성요소 객체들의 속성/상태 정보들과 동작을 모의함으로써 가상모델을 통해 해당 시스템에 대해 고찰할 수 있도록 하는 것으로 시뮬레이션을 통해 동작성능 확인, 최적의 운영조건 도출, 고장진단 등을 평가하는 것이 매우 중요함

  - 디지털트윈 기반의 ICT융합형 산업환경 실현은 컴퓨팅 인프라와 함께 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(인식,학습), 시뮬레이션, 분석 및 가시화 등의 기술 활용이 필요함

- ㅇ 모델링 시뮬레이션(M&S)은 관심대상 시스템에 대한 모델을 만들고 시뮬레이션하면서 원하는 결과를 도출하고자 하는 시스템 공학 방법으로 철도분야를 포함한 일반 산업분야에서도 자주 사용되는 방법이며, 과거의 정상상태(steady-state) 및 단순화된 선형해석으로부터 3차원 및 비선형모델 해석으로 발전하고 있음

  - M&S는 시스템 설계 및 분석, 교육훈련, 실험 및 임무 리허설, 시험평가 등의 목적으로 다양한 분야의 과학 및 공학 전반에 적용되고 있으며, 제품의 설계 및 생산단계, 운용단계 등에서도 다양하게 적용되고 있으며, 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 보장받기 위하여 검증, 실증/확인 및 인정의 과정을 거치며, 시뮬레이션 결과와 실제 현실의 결과가 일치하는지를 지속적으로 검증하고 있음

140) 디지털 트윈 기술 발전방향, KEIT 산업융합 PD실, 2018

- 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능 기술과 접목한 M&S 기술은 설계, 제조(생산), 판매, 운영 및 유지보수 등의 단계에서 최적화, 성능관리, 고장진단, 예지정비 등의 응용 목적으로 적용할 수 있을 것으로 판단됨

❑ 대상시스템의 상태를 이해하고 진단하기 위한 디지털기술의 발전은 산업분야에서 매우 급속하게 이루어지고 있으며, 이러한 디지털기술은 이미 오래전부터 공학분야에 널리 사용되어온 컴퓨터를 이용한 해석기술이 훨씬 정교하고 발전된 형태임

○ 철도분야에서는 철도시스템의 상태 및 진단을 위한 동적거동 해석은 정상상태(steady-state) 및 단순화된 선형해석으로부터 3차원 및 비선형모델 해석으로 발전하고 있으나, 국내의 경우는 주로 외국에서 도입된 시뮬레이션 모델을 사용하여 업무의 필요에 따라 분석/실험/훈련 등을 수행하는 수준이며, 시뮬레이션 모델 사용 경험자가 M&S 전문가로 인식되는 실정으로서 모델 개발능력 보다는 사용능력에 치중되어 있음

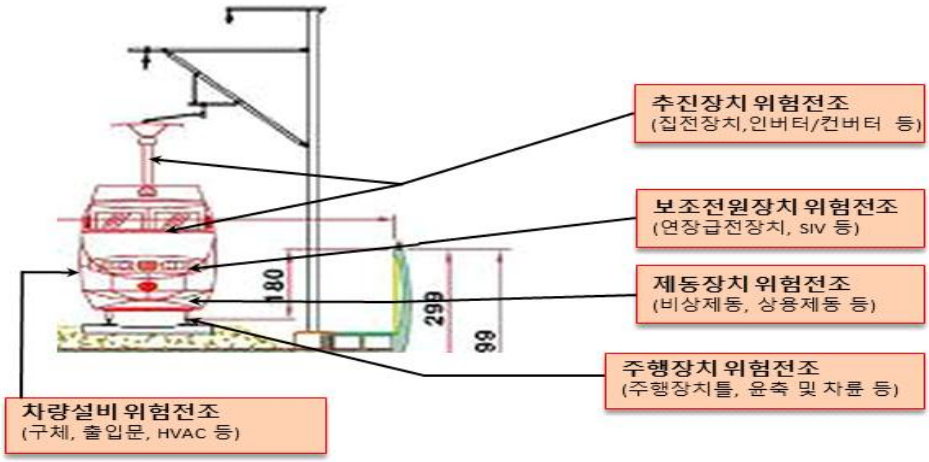


그림 2-124 상태분석 및 진단기술 개요도

○ 강주석 등은 “철도차량 동역학 해석 프로그램 개발” 연구를 수행한 바 있으며, 기존의 3차원 차륜-레일 접촉의 수치해석적 알고리즘의 문제점을 개선하여 차륜과 레일의 접촉점 위치를 정확하게 계산하면서도 해석시간은 줄이는 방법을 제안하였음

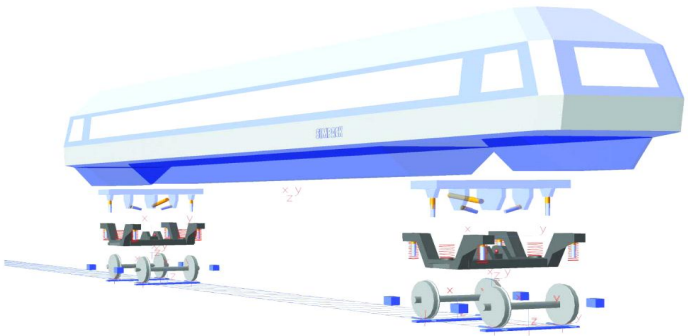


그림 2-125 시뮬레이션 기반 상태분석 및 진단기술 개요도

- 또한, 팬터그래프와 전차선의 수직 변위가 평형상태 근방에 있다고 가정한 집중질량 모델링하여 해석을 수행한 바 있으나, 특이 조건에 대한 해석은 아직 어려운 단계에 있음

❑ 데이터 모델기반 모델링, 평가 및 진단기술

○ 측정 데이터를 기반으로 한 패턴매칭을 통해 기기 및 장치의 이상을 탐지하는 기술[141]은 철도뿐만 아니라 다양한 산업분야에서 시도되어 왔던 기술이나, 측정데이터의 양과 이상상태의 신호를 종류별로 확보해야 하는 등 여러 가지 문제로 인해 실용화에 한계가 있음

○ 최근 머신러닝 기법의 발전에 따라 철도분야에서도 실시간 모니터링을 위해 빅데이터 기반 머신러닝 기법의 연구[142]가 여러 연구자에 의해 진행되고 있으나, 아직까지 파일럿 단계에 머무르고 있으며 실용적으로 사용하기에는 한계가 있음

○ 한국철도기술연구원 이관섭[143] 등은 데이터에 기반한 철도차량 주요장치의 상태를 진단하기 위한 연구를 수행한 바 있으나, 실용화 단계에 이르지는 못하고 철도분야에 데이터 기반 상태진단기술의 적용성을 평가하는데 의의를 찾을 수 있음

○ 한국철도기술연구원 이찬우[144] 등은 철도차량과 인프라의 실시간 동적 상호특성을 분석하기 위한 빅데이터 처리기법을 연구한 바 있으며 철도분야에 적합한 빅데이터 분석 프로세스를 제시하였음

- 한국철도공사에서는 빅데이터 분석팀('17.5월 신설)[145]을 구성하고 빅데이터 기반의 스마트 유지보수 체계를 구현하기 위한 단계적 추진계획을 수립하였으며, KOVIS 데이터를 지수 또는 와이블 분포로 통계처리하여 MTBF 등의 손상분석을 위한 주요 파라미터 산출하고 있음

❑ 사이버물리 기반 모델링, 평가 및 진단기술

○ 사이버물리시스템(Cyber-Physical System, CPS) 기술은 실세계와 IT가 긴밀하게 결합된 시스템으로서 사물인터넷(Internet of Things, IoT)을 기반으로 하며, 개별적으로 동작하는 전통적인 임베디드 시스템과 달리 컴퓨팅 시스템과 물리세계와의 상호작용이 가능한 기술로 장치의 상태평가를 위해 매우 필요한 기술임

- CPS는 초고속 통신기술을 기반으로 하여 물리적 현상을 관찰, 계산 및 조작하는 각 시스템 개체들 간의 협력적 관계를 기반으로 하며, HILS(Hardware in the loop) 시스템보다 더 확장된 개념으로 볼 수 있음

141) 데이터 기반 패턴매칭 기법을 활용한 철도 부품 상태진단, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집(2015)
142) 차륜 및 차축베어링 고장진단을 위한 빅데이터 기반 머신러닝 기법 연구, 한국산학기술학회논문지(2018)
143) 상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 개발 사업, 한국철도기술연구원('13~'17)
144) 빅데이터 처리기법을 이용한 철도 차량-인프라 실시간 상호 동적 특성 개발 연구, 한국철도기술연구원(2016.12)
145) 빅데이터 분석기술 고도화를 위한 토론회, 한국철도공사 스마트 유지보수처, 2017.8

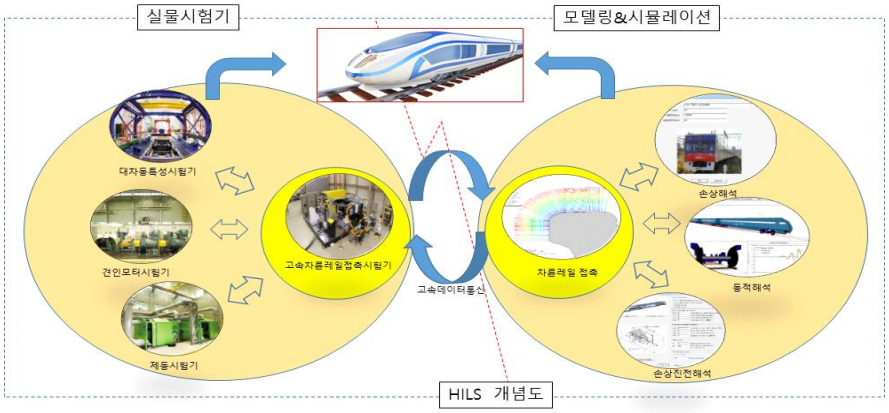


그림 2-126 철도 HILS 시스템 개념도

- 철도 분야에서는 전통적으로 구조강도[146], 공력[147], 소음[148] 등을 사전에 시뮬레이션하고 평가 및 진단하는 기술이 적용되고 있으며, 최근에는 실제 물리세계로부터 측정한 데이터와 컴퓨팅 시뮬레이션 모델을 결합하여 실제 세계에서는 불가능한 대형 구조물의 간접적인 시험까지 시도[149]하는 단계에 이르고 있음

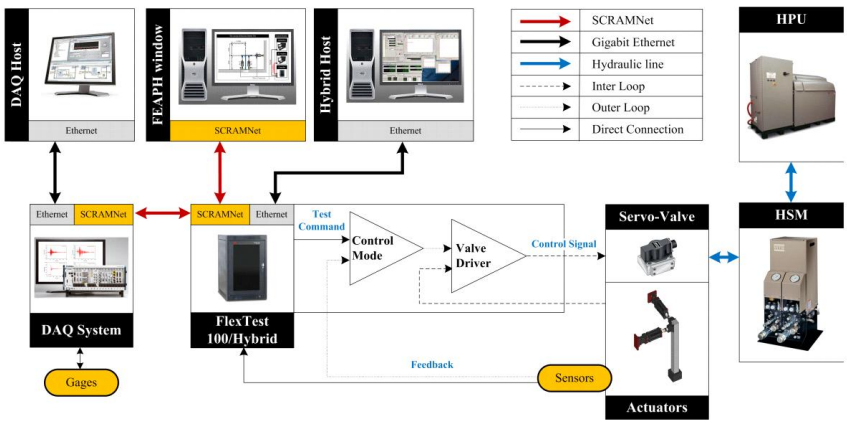


그림 2-127 철도 실시간 하이브리드 시스템 적용사례

- 국내에서는 2008년에 팬터그래프/전차선 동역학해석 프로그램을 개발하는 등 다양한 시도를 수행하고는 있으나, 체계적이고 지속적인 연구가 이루어지지 않아 국내 보유기술은 선진 외국에 대비하여 다소 낮은 수준에 머무르고 있음

- 한편, 철도차량의 거동을 평가하기 위해 가장 기본이 되는 철도분야 국내 다물체 동력학 S/W는 철도차량 주요장치를 강체 및 변형 가능한 물체(Deformable body)로 모델링할 수 있을 뿐 아니라, 실제 액추에이터로 구동되고 있는 물체와 연결한 HILS(Hardware In The Loop)시스템 구축도 가능하여 기본적인 기술력은 갖추고 있음

146) 철도적용에서 곡형차량의 구조강도에 관한 연구, 한국정밀공학회지 제33권 제4호, 2016
147) 고속열차용 저소음/저저항 팬터그래프 공력설계 기술 및 풀스케일 팬터그래프 형상 개발 보고서, 국토교통과학기술진흥원
148) 고속열차의 주요 공력소음 발생 특성 분석에 관한 연구, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2012
149) 철도전용 대형 복합시험장비 운용성능 고도화 연구, 한국철도기술연구원, 2014

- 동적엑츄에이터 및 컨트롤러, 실시간 메모리 공유 하드웨어를 기반으로 구현되는 실내시험기법인, RTHM(Real Time Hybrid Method)은 교량구조체와 같은 대형 토목건설구조물을 대상으로 부분모델에 대한 실험결과와 전체모델에 대한 해석결과를 실시간 연계함으로써 부분모델에 대한 실험을 통해 전체 구조계의 실제 거동특성을 실험적/해석적으로 추정해내는 최신의 실내시험 기법으로 국내에서도 실현한 바 있음

○ 한국철도기술연구원에서는 CPS 기술개발을 위해 가상철도통합성능 검증을 위한 디지털 플랫폼 구축을 위한 기획연구[150]를 수행한 바 있음

- IoT, ICT 등 첨단기술을 활용한 디지털 센싱기술과 다물체 동역학을 기반으로 한 철도통합성능검증을 위한 플랫폼을 구축하고 이를 실제 시험선에서 테스트한 결과와 검증, 보완함으로써 디지털환경에서 철도시스템을 검증할 수 있는 플랫폼 기술 기획임

❑ 시뮬레이션 기반 가상인증기술

○ 현재 국내의 안전관리는 사후적, 제한적 관리체계이며, 이를 사전적, 상시적 관리체계로 변경함으로써 차량 제작에 대한 책임 및 제재수단을 강화하기 위해 안전관리제도[151]를 운영하고 있음

○ 국내철도의 인증체계는 철도차량 형식승인, 철도차량 제작사승인, 철도차량 완성검사, 철도용품 형식승인, 철도용품 제작자 승인 등으로 세부적으로 구분되어 있음

- 철도차량 형식승인 제도[152]는 국내에서 운행하는 철도차량을 제작하거나 수입할 때 안전성과 품질을 확보하기 위하여 국토교통부장관이 해당 철도차량의 설계와 제작자의 품질관리 체계에 대하여 승인하고 완성된 차량을 검사하도록 하는 제도로 다양한 기술의 개발과 함께 제도의 정착이 이루어지고 있음

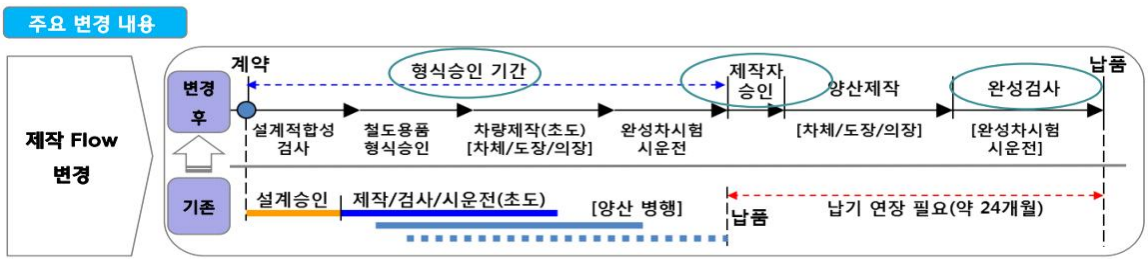


그림 2-128 철도차량 형식승인 주요 프로세스

※ (철도차량 형식승인) 최초로 제작된 철도차량의 형식(type)이 국가가 규정한 철도기술기준에 적합한지 여부를 확인하기 위하여 설계적합성검사, 합치성검사, 형식시험을 통하여 국토교통부장관이 검사하고 승인하는 제도

※ (철도차량 제작자승인) 국토교통부장관은 제작자가 형식승인을 받은 철도차량을 균일한 품질로 제작할 수 있는 능력을 갖추었는지를 확인하기 위하여 인력, 설비, 장비, 기술 및 제작검사 등 철도차량의 적합한 제작을 위한 유기적 체계를 갖추고 있는지에 대해 검사하고 승인하는 제도

150) 철도통합성능검증을 위한 디지털트윈기술적용 사전기획, 한국철도기술연구원, 2017
151) 철도안전법 개정 관련 차량제작사 현안, 현대로템, 2013
152) 철도안전법 제26조, 국토교통부

※ (철도차량 완성검사) 국토교통부장관은 제작자승인을 받는 자가 철도차량을 판매하기 전에 형식승인을 받은 대로 제작하였는지를 완성검사를 통하여 확인하는 제도

○ 철도차량 형식승인제도는 기본적으로 실제 테스트를 통해 얻는 결과에 대해 합격여부를 승인하는 절차로 비용적•시간적 및 다양한 운행조건에 대해 테스트를 수행하지 못하는 한계를 가지고 있으므로 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 보완하고자 하는 기술개발이 시도되고 있음

- 형식승인검사는 철도차량의 설계가 기술기준 등에 적합한지를 검증하기 위해 수행되는 설계적합성검사, 합치성검사, 차량형식시험으로 구성됨

※ 설계적합성 검사: 형식승인검사 일부로서 부품단계, 구성품단계, 완성차단계에서 철도차량의 설계가 기술기준 등에 적합한지를 검증하고 이를 객관적으로 문서화하는 검사

※ 합치성검사: 형식승인검사의 일부로서 철도차량이 부품단계, 구성품단계, 완성차단계에서 승인된 설계와 합치하게 제작되었는지를 검증하고 이를 객관적으로 문서화하는 검사

※ 차량형식시험: 형식승인검사 일부로서 철도차량의 부품단계, 구성품단계, 완성차단계, 시운전단계에서 기술기준 등에 적합한지를 확인하는 시험

① 부품시험: 차량형식시험 일부로서 철도차량의 부품을 철도차량에 설치하기 전에 조립되지 않은 단위부품의 설계적합성을 확인하는 시험

② 구성품시험: 차량형식시험 일부로서 구성품을 철도차량에 설치하기 전에 단위 부품들이 조립된 구성품의 설계 적합성을 확인하는 시험

③ 완성차시험: 차량형식시험 일부로서 제작공정이 완료된 후 철도차량의 설계 적합성을 확인하는 시험

④ 시운전시험: 차량형식시험 또는 주행시험 일부로서 차량운행과 관련된 설계 적합성 또는 형식 동등성을 확인하는 시험

⑤ 예비주행시험: 차량형식시험 또는 주행시험의 일부로서 시험선 또는 영업운행선로에서 영업운행의 운전조건과 유사하게 주행 및 정지 등을 반복•운행하는 시험

○ 차량형식시험중 시운전시험 및 예비주행시험 등은 차량 및 인프라의 물리적 거동을 시험하는 것으로 운행조건에 따라 그 결과가 달라지나, 실물을 이용한 시험은 파손 등의 우려로 인하여 극한 조건에서의 시험을 수행하기는 어려우며, 운행에 따른 열화현상으로 인한 시설물의 노후화 등에 대한 고려는 불가능함

○ 또한, 철도용품의 신규개발 형식승인 및 변경승인 등 절차시 설치 검증을 위한 차량확보 등 개발 및 개선의 업무를 위해 어려운 여건이 존재하므로 현장설치 시험의 최소화를 위한 제도적 기술적 뒷받침이 필요함

○ 이에 반해 시뮬레이션은 모델의 정확성을 확보할 수 있으면, 다양한 조건에서 시험을 수행할 수 있는 장점이 있으나, 국내의 기술수준은 국외에서 개발된 S/W를 단순히 활용하는 수준에 머무르고 있음

○ 시뮬레이션 기반 가상인증 기술의 적용을 위한 DB 구축의 일환으로 각 운영사 및 한국철도기술연구원에서는 빅데이터를 이용하기 위한 기술을 개발하고 있으며, 데이터의 공유 및 활용을 위한 표준화, 구축 및 관리체계에 관한 단계적 연구를 수행하고 있음

- 한국철도기술연구원에서는 철도차량 제작, 운행 및 유지보수 등 철도운영시 발생하는 정보를 체계적으로 관리하기 위한 이력관리 정보망 구축에 관한 기획연구[153]를 수행한 바 있음

- 한국철도공사에서는 2005년부터 전략경영, 재무회계, 관리회계, 자산관리, 인사관리, 자재관리, 차량•시설•전기의 유지보수 등을 ERP로 통합한 KOVIS를 개발하여 운영하고 있음

4.2.3 국외 기술환경

❑ 물리 모델링기반 평가 및 진단기술

○ 물리 모형화(physics modeling)를 기반으로 한 시뮬레이션으로부터 의미 있는 정보를 추출하기 위한 기술은 국외에서도 지속적으로 개발되고 있으며, 철도분야에서도 다양한 분야에 이용되고 있음. 특히, 컴퓨터 및 소프트웨어 기술의 발전에 힘입어 과거에는 불가능했던 다학제적 시뮬레이션도 가능해진 단계에 이르고 있음

○ 철도분야에서의 물리모형화분야는 대표적으로 철도차량 주행거동을 모형화한 다물체 동역학 분야, 철도차량 및 인프라의 구조를 모형화한 구조강도해석, 공기유동을 모형화한 공력특성해석, 소음특성을 모형화한 소음특성 해석 등 거의 모든 물리적 특성 해석에 적용되고 있음

- 국외에서 철도산업에 다물체 동역학[154][155]이 본격적으로 적용된 것은 1990년대부터이며, VAMPIRE, GENSYS, SIMPACK, ADAMS/Rail, NUCARS 등이 개발되면서부터이며, 현재는 오랜 기간 동안의 검증으로 인하여 S/W의 정확성이 매우 높아졌으며, 국내 철도제작사 및 운영사에서도 이를 도입하여 적용하고 있음

- 최근에는 디지털트윈 기술과의 접목[156]을 통하여 더욱 물리 거동에 적합한 시뮬레이션 기술을 개발하기 위하여 다양한 프로젝트 및 기술개발을 수행하고 있음

- 국외의 기술개발은 국가지원의 대형프로젝트[157][158][159]를 통해 기초기술을 확보하고 이후 기업 주도를 통해 완성된 솔루션을 개발한 후 지속적인 업그레이드를 통하여 기술을 완성하는 형태임

153) 철도차량 이력관리 정보망 마스터플랜 수립연구, 한국철도기술연구원, 2018
154) A survey of rail vehicle track simulations and flexible multibody dynamics, Nonlinear dynamics, 2001
155) Vehicle-track modeling and simulation, AmstedRail, WRI2018, 2018
156) Predictive analytics, simulation and digital twin, ANSYS, 2016
157) TrioTRAIN(Total Regulatory Acceptance Interoperable network), 2009
158) New dependable rolling stock for a more sustainable, intelligent and comfortable rail transport in europe, Roll2Rail, 2015
159) Report on global safety KPIs, GoSAFERAIL, 2019

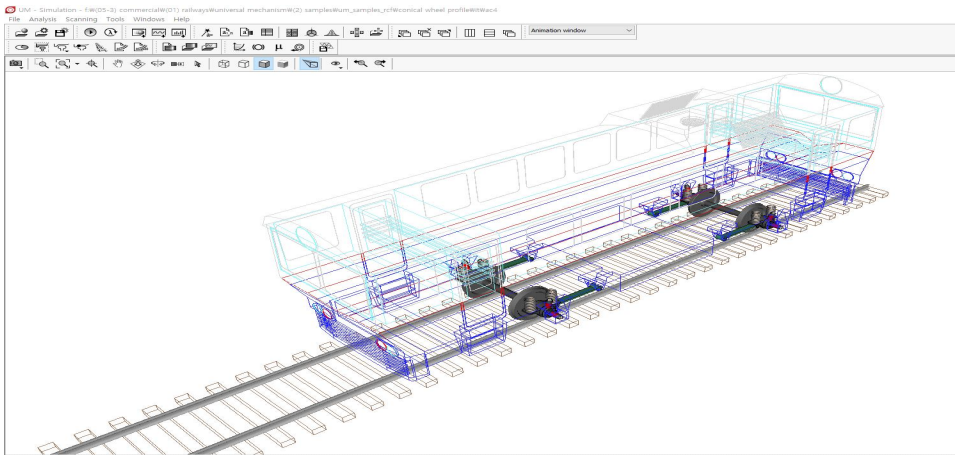


그림 2-129 다물체 동역학으로 구성된 철도차량 동적거동 해석모델

○ (영국) 철도[160]에서는 다물체 동역학해석 프로그램인 VAMPIRE, MEDYNA 등을 개발하여 지속적으로 차량개발에 적용하고 있으며, 방대한 시험과 경험을 거치면서 산업체서 그 성능을 인정받고 있으며, 지속적으로 성능을 향상하고 있음

○ (미국)에서는 NUCAS, VOCO 등의 S/W가 개발되어 철도기술개발에 적용되고 있으며, 최근 GE사는 디지털 수송(digital transportation)의 컨셉[161]으로 실제 물리적 열차에 다양한 센서를 부착한 후 이를 통해 측정된 데이터를 기반으로 하여 컴퓨터 시뮬레이션 모델링를 완성한 후 시뮬레이션을 통한 상태평가를 최적 유지보수를 수행하는 등의 디지털 혁신을 통하여 열차 운송 효율을 20% 향상하는 것을 목표로 디지털화를 추진하고 있음

○ (일본) RTRI는 시험과 시뮬레이션을 병행하는 HILS(Hardware-In-The-Loop)기술[162]개발을 위한 정책을 지속적으로 펼치고 있으며, 최근 3량 1편성 열차를 시뮬레이션 할 수 있는 기술을 완성시킴. 이러한 HILS 기술은 타 산업분야에도 파급효과가 매우 크기 때문에 ICT 기술의 발전과 함께 지속적으로 추진하고 있음

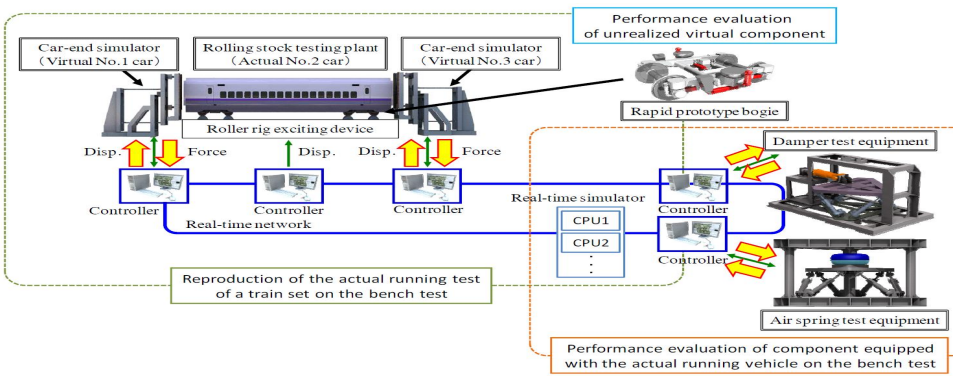


그림 2-130 일본 RTRI HILS 시스템 구성도

160) The development of a railway dynamics modelling and simulation package to cater for current industrial trends, IMech, 2001
161) Predix, The industrial internet platform, GE Digital, 2016
162) Building a railway vehicle model for hardware-in-the-loop simulation, QR of RTRI, 2009

❑ 데이터 모델링 기반 평가 및 진단기술

○ (영국) RSSB에서는 철도시스템 설비 및 장치의 위험도를 분석하기 위해 빅데이터 위험도해석(Big Data Risk Analysis: BDRA)방법[163]을 적용하고 있음

※ Big Data Risk Analysis (BDRA): RSSB에서 수행하고 있는 철도시스템 위험도분석 및 안전관리 방법

- 기본적인 안전관리시스템은 계획, 수행, 검토가 한 주기를 이루는 3가지 단계로 구성되어 있으면, 계획 단계의 주요 하부활동으로는 위험도, 위험도관리방안 정의가 있으며, 수행 단계의 주요 하부활동은 수행 및 수행활동의 모니터링이 있고 검토 단계에서는 모니터링 결과의 분석과 이를 통한 새로운 계획을 수립

- 최근에는 성숙된 안전활동으로 인해 사고사례가 감소함에 따라 3 단계 주기의 활동이 어려워져 위험도분석에 어려움이 있어 향상된 위험도 관리방안을 도출하기 위한 새로운 방법들이 요구

- 이러한 문제점을 해결하기 위해서 RSSB에서 제시한 BDRA는 현재 모니터링기술의 빠른 성장에 대비하여 제시하고 있는 데이터 분석기반의 안전 및 위험도 평가 방법임

- 현재 데이터 분석기반의 안전 및 위험도 평가 방법은 석유 및 핵관련 산업에서 이미 활용되고 있는 방법으로 철도분야에서도 실시간 모니터링을 사상사고, 인프라 고장, 차량 고장등에 대해서 지능적으로 대응하도록 활용하는 것을 목표로 함

○ (유럽연합)은 주요국을 중심으로 다양한 철도분야의 위험을 예측하는 모델이 개발되어 활용되고 있음

- 아일랜드 철도 네트워크 위험 모델은 아일랜드 철도 네트워크의 잠재적 위험을 예측하는 정량적 모델로 3년에 한 번 운영하며, 시스템 전체, 또는 일반적인 문제보다 위험을 유발하는 특수한 위치의 특징이 있다는 점을 감안하여 전체 네트워크와 위치별 모델을 운영하고 있음

- 이탈리아 철도의 Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie는 길이 1km 이상인 터널에서의 철도교통 누적 위험을 계산하는데 사용하고 있음

- 독일 철도의 Sicherheits-Regelwerk Fahrzeuge (SIRF)는 철도 차량에만 적용되며 새 차량의 서비스 배치 또는 기존 차량의 변경 인증을 지원 및 위험 평가에 대한 CSM(EC402/2013)에 요구되는 기능 세분화 및 위험 요인 식별 절차를 지원하는 템플릿으로 활용하고 있음

- 노르웨이 철도 위험 매트릭스는 노르웨이 NSA 철도관리 활동의 장기 우선순위를 간략하게 설명하는 관리 전략(Supervision Strategy)을 수립하며, 이 전략은 명확한 집중 분야를 포함한 연간 관리 프로그램 (Supervion Program)의 지원을 받으며 우선순위 지정을 지원하는 위험기반 모델을 사용하여 관리 프로그램과 집중 분야를 지정하고 있음

- 스위스 연방 교통국의 위험 심사는 철도로 위험물 운송 시 스위스의 주요 철도 네트워크에서

163) The Development of an Enhanced Bowtie Railway Safety Assessment Tool using a Big Data Analytics Approach, 2016

발생하는 사람 및 환경에 대한 집단적 위험을 평가하는 방식으로 가연성 액체, 가연성, 독성 가스(사람에게 위험), 수용성 액체 및 부유하거나 바닥에 가라앉는 불용성 액체(환경에 위험)를 대상으로 함

○ 국외에서 빅데이터를 철도 운행 및 유지관리에 적용하고자 하는 노력은 지속적으로 이루어지고 있음

- GE사는 기계에 부착되는 센서를 통해 빅데이터를 수집하여 데이터 분석을 통해 기계의 성능과 운영에 대한 통찰을 얻을 수 있는 첨단 머신러닝 기술에 기반을 두고 있는 플랫폼, Predix를 개발하여 적용하고 있음

- 프랑스 알스톰사는 상태 기반 예지 유지보수(condition-based predictive maintenance)로 전환하는 혁신적인 접근방법으로 열차, 인프라 및 신호설비의 상태를 모니터링하고 첨단 데이터 분석을 통해 향후 사용할 수 있는 잔존수명을 예측하기 위한 플랫폼을 개발하여 적용하고 있음

  · 알스톰 Healthhub의 트레인스캐너(train scanner)[164]는 주요 소모품인 휠, 브레이크패드, 판토그라프(집전장치) 카본 스트립의 상태를 자동 진단하는 측정하여 필요한 시점에만 소모품을 교체하는 상태기반 정비로 자재비용을 최대 15%까지 절감

- 독일 지멘스는 클라우드 기반 산업용 데이터 분석 플랫폼, Railigent를 개발하여 적용하고 있으며, Railgent에서는 실시간으로 차량의 상태와 위치를 모니터링하고, 원격으로 차량 및 인프라의 고장원인을 진단하고 진단기반의 스마트 유지보수를 목적으로 하고 있음

  · 지멘스는 러시아 열차(Sapsan train)에 실시간 예방정비체계(PHM, Prognostics and Health Management)를 적용하여 정비비 20% 이상 절감, 정시율 99.4% 실현[165]

  · 지멘스의 Railigent 플랫폼[166]은 예상치 못한 차량고장을 방지함으로써 전체적으로 시스템 운영효율을 높이며, 유지보수비용 10% 감소, 유지보수품 재고량 10% 감소, 재료비용 및 인건비 각각 5% 감소 달성

  · 독일연방철도회사(DB)[167]는 플랫폼 사용을 통해 차량의 가용성 향상 및 장애시간(downtime) 감소를 통해 유지보수비용 25% 절감 달성

- 일본 히다찌사는 고도로 지능적이고 유연한 플랫폼을 통해 운영 효율성과 비용 절감 효과, 운영상의 안전 및 안정성, 자산 활용도와 성과관리 및 제품 품질의 향상을 도모하기 위한 노력의 일환으로 Lumada 플랫폼[168]을 개발하여 적용하고 있음

  · 히다찌의 Lumada 플랫폼은 48,00개의 센싱데이터를 200ms 단위로 측정 처리할 수 있으며 유지보수비용을 최대 40%까지 절감 추진 중

164) Case study: West coast main line HealthHub for Trains, Alstom
165) 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획 수립 연구용역, 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2017
166) Focus on digitalization: Manage your assets smarter with Railgent, Siemens, 2016
167) Predictive maintenance investing in railways for the world of tomorrow, DB, 2016
168) Lumada IoT Architecture Toaday and Tomorrow, HITACHI, 2017

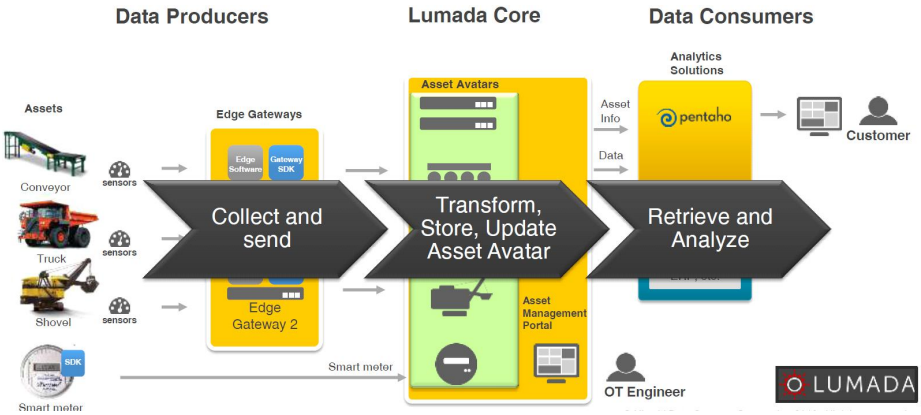


그림 2-131 일본 히다찌 Lumada 프로세스

- 이탈리아 철도청(Trenitalia)은 SAP Leonardo 플랫폼[169]을 철도운영에 접목하여 유지보수비용 최대 10%절감(약 1,731억원/년) 달성

❑ 시뮬레이션 기반 가상인증기술

○ (유럽)에서는 2009년부터 물리적 시험에 의존하고 있는 인증과정에 시뮬레이션 기술을 도입한 가상인증 기술을 적용함으로써 물리적 시험 과정을 가상 시뮬레이션으로 대체하고 복잡한 인증 프로세스를 단순화하기 위한 노력을 기울이고 있음

- TrioTRAIN 프로젝트[170]중 하나인 DynoTRAIN[171]은 차량 동역학 및 궤도 상호작용 분야에 가상 시뮬레이션 및 통계 도구를 사용하여 새로운 철도차량이나 수정된 철도 차량의 인증에 필요한 시간과 비용을 줄이는 방법을 연구함

- DynoTrain 프로젝트는 총 7개의 세부과제로 구성되었고, WP6 과제가 가상인증에 대한 연구로 시스템의 동적특성을 실제 측정된 만큼 정확하게 표현할 수 있도록 하여 인증과정에서 시뮬레이션의 도입 방법론을 제안함

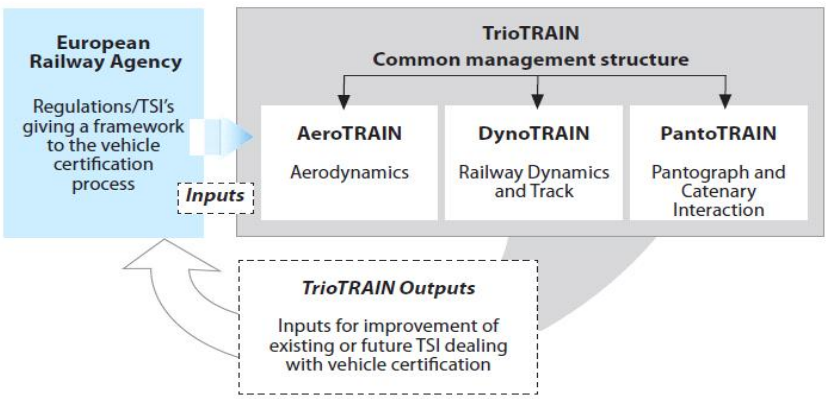


그림 2-132 유럽 TrioTRAIN 프로젝트 구성도

169) Creating a system of maintenance management powered by SAP HANA, Trenitalia
170) TrioTRAIN(Total Regulatory Acceptance Interoperable network), 2009
171) Special issue: Aero TRAIN and Dyno TRAIN, Proc. IMechE Part F: Rail and Rapid Transit 229(6)

- AeroTRAIN은 유럽에서 진행되고 있는 화물 및 여객 열차의 소음 성능에 대한 가상 인증 프로젝트임. 새로운 철도차량의 소음 시험에 많은 비용과 시간이 소요되므로 동일한 정도의 신뢰성과 정확성을 유지하면서 가상 테스트의 일부 요소를 도입하여 인증 프로세스를 간소화하고 개선하는 것을 목표로 함

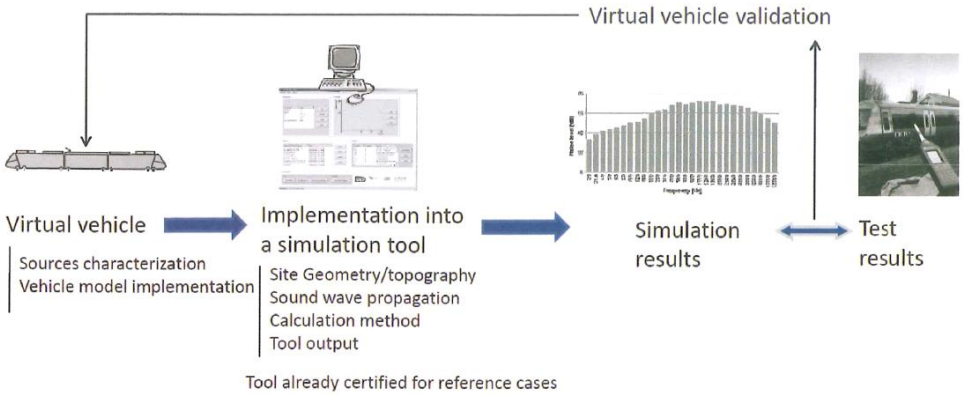


그림 2-133 유럽 AeroTRAIN 프로젝트 구성도

- 유럽에서는 물리적 시험위주로 수행했던 인증절차를 시뮬레이션과 병행하는 추세로 정책을 변경하고 있으며, 대표적으로 철도차량의 주행 안정성을 기반으로 사용성을 승인하는 중요 규격인 EN 14363에서 시뮬레이션 기술을 적용하고 있음

4.3 철도차량 위험요인 완화기술

4.3.1 기술 정의

❑ 위험요인 완화기술은 위험도가 높은 철도차량의 위험요인을 제거하거나, 유지보수, 대수선 등을 통해 위험도를 낮추어, 위험요인을 완화하는 기술로 정의됨

○ 철도 차량 위험요인 완화기술은 철도차량 고장 및 장애 위험전조에 따라 상태를 정밀하게 평가하기 위한 정밀안전진단 기술 및 이를 기반으로 노후부위 및 장치의 보강, 3D 프린팅 기반 단종품 생산, 국부 결함 보수기술 등 위험요인을 완화하는 기술로 정의됨

4.3.2 국내 기술환경

❑ 4차 산업기술의 발전 등 과학기술의 발전에 따라 주기적인 유지보수 기술로부터 상태에 기반한 유지보수 기술로 패러다임이 전환되면서 개별 설비 및 장치의 상태에 맞추어 적절한 유지보수 및 개량 등을 수행하여 위험요인을 완화하고자 하는 기술개발이 시도되고 있음

○ 과거에는 설치 및 제조시에 1회성으로 시행된 성능평가 및 품질평가 등을 통해 성능 및 품질이 확인되면, 운영기간 중에는 미리 계획된 유지보수방법 및 절차에 따라 유지보수를 수행하는 형태로 기술개발이 이루어짐

○ 그러나 과학기술을 발전에 따라 유지보수 패러다임이 계획적 주기적 유지보수에서 상태기반 유지보수로 전환됨에 따라 각각의 상태에 맞는 유지보수 기술의 개발이 필요하게 되었으며 현재에는 서비스 운행 중 기존의 흐름에 영향을 최소로 하는 방향으로의 기술개발이 이루어지고 있음

○ 철도차량에서 위험요인이 발견된 경우, 정밀안전진단[172]을 통해 위험요인을 완화하기 위항 기술개발이 이루어지고 있음. 철도차량 정밀안전진단은 상태평가, 안전성 평가 및 성능평가로 구성되어 있으며, 평가의 정확도를 향상하기 위한 기술개발이 수행되고 있음

- 또한, 오랜 사용으로 인해 마모된 면을 보수/복원하는 방법으로 금속분말을 이용한 하드페이싱[173], 및 레이저클래딩[174]을 이용한 표면 복원기술이 개발되고 있음

❑ 철도차량 정밀안전진단 기술

○ 철도차량 정밀안전진단 시행지침[175]에 따르면, 철도차량 정밀안전진단은 상태평가, 안전성평가 및 성능평가로 구성되어 있으며, 철도운영자는 5년마다 정밀안전진단 관리계획을 수립하여야 함

- 상태평가 및 안전성 평가의 결함검사는 모든 대상이 되는 차량에 대해 시행

- 안전성 평가의 전기특성검사, 전선열화검사 및 성능평가는 그룹별로 시행

○ 철도차량 정밀안전진단은 철도차량의 안전성을 평가하는 시험이지만, 안전하다고 평가된 철도차량의 경우에도 문제가 발생된 경우도 있음

※ 2017년 7월 정밀안전진단을 통과한 454편성 전동차의 경우 3개월 만에 대차틀 균열 발생, 462편성은 5개월 만에 대차틀을 교체해야 하는 큰 결함 발견

○ 정밀안전진단은 치수 및 외관검사, 결함검사 및 잔존수명평가*, 전기특성 검사 및 성능시험으로 구성되어 있으나, 현재는 정밀안전진단을 위해 주어진 시간적, 방법적, 기술적 제한으로 인해 충분한 진단이 이루어지지 못함

* 잔존수명평가의 경우 현재는 반드시 수행해야 하는 항목은 아님

- 한국철도기술연구원에서는 부식이 차체 피로강도에 미치는 영향[176]을 알아보기 위하여 노후된 차량에서의 부식량을 차령별로 측정하고 피로특성을 평가한 바 있으며, 부식이 차체 언더프레임의 피로수명[177]에 미치는 영향을 평가한 바 있음

- 또한, 피로하중에 의한 차체 볼스터 결함이 발생한 경우 차체 강성의 저하 및 위험성을 평가[178]한 바 있음

---

172) 철도차량 정밀안전진단 시행지침, 국토교통부고시 제2019-293호, 2019.6
173) Tendencies in the field of application of metal-powder materials for repair and maintenance of railway eqipment, Procedia computer science, 2019
174) Laser cladding for railway repair and preventive maintenance, Laser institute
175) 철도차량 정밀안전진단 시행지침, 국토교통부고시 제2019-293호, 2019.6
176) SM490A와 SS400 대기부식 시편의 피로특성평가, 한국철도학회논문집, 2009
177) Effect of corrosion on the fatigue life of aged EMU under fatigue loading, Precision engineering and manufacturing, 2016
178) Fatigue crack analysis in a bolster of a metro train, Engineering failure analysis, 2017

- 국내에서는 아직까지 차체 부식 및 결함이 열차운행의 위험도에 미치는 영향을 정량적으로 평가한 사례는 없으나, 철도차량의 노후화가 진행됨에 따라 부식 및 결함의 위험도는 점차 커질 것으로 예측됨

- 차체는 초기 부식방지를 위한 코팅의 영향으로 부식이 발생하지 않지만, 점차 코팅이 열화되어 기능이 저하되면 금속표면에서부터 점차 부식이 발생하여 진전됨

- 부식의 진행속도는 초기제조 및 열차의 운행환경에 따라 다르게 나타나며 부식의 진행속도를 예측함으로써 향후 부재의 강도저하를 예측할 수 있음

- 자분탐상법[179]은 차체 및 대차틀에서 발생한 결함을 탐상하는 대표적인 방법으로 미세한 연자성 자분을 결함에 도포하고 자기장을 걸어주면 결함주위에 자분이 모여드는 원리를 이용한 것이나 평가자의 숙련도, 형상의 복잡성 등에 의해 결함을 탐상하는 정확도가 달라짐

- 열화검사는 전선을 차량으로부터 절취·분리하여 시험을 수행하여야 하나, 차량을 계속 사용하므로 차량설치상태에서 시험이 가능한 전선을 대상으로 간접적으로 실시함

❑ 스마트 유지보수(보수/보강/교체) 기술

○ 오랜 사용으로 인해 마모된 면을 보수/복원하는 방법으로 금속분말을 이용한 하드페이싱[180], 및 레이저클래딩[181]을 이용한 표면 복원기술이 개발되고 있음

○ 한국철도기술연구원[182]에서는 차륜과 레일에서 발생하는 소음을 줄이는 방법으로 레일 표면에 레이저 클래딩 방법으로 소음에 강한 재료를 도포하는 연구를 수행한 바 있음



그림 2-134 하드페이싱 및 레이저클래딩을 이용한 마모면 복원 기술(예)

○ 국내에서의 3D 프린팅 기술을 이용한 철도차량 장치 및 부품의 제작은 아직 기초단계에 있으며 다양한 기술개발이 시도[183]되고 있음

179) 자기탐상법을 이용한 용접부의 비파괴탐상기술, 대한용접학회지 제21권, 2003.
180) Tendencies in the field of application of metal-powder materials for repair and maintenance of railway eqipment, Procedia computer science, 2019
181) Laser cladding for railway repair and preventive maintenance, Laser institute
182) 철도 소음/진동 저감기술 개발, 한국철도기술연구원, 2018
183) 3D 프린팅 적용 철도차량용 공기압축기의 열교환기 설계 및 제작 기술 연구, 한국산학기술학회논문지, 2017

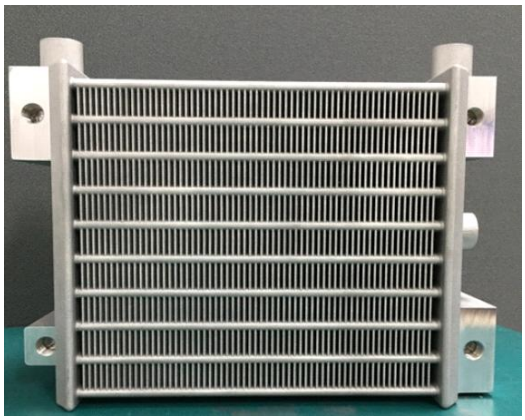


그림 2-135 3D 프린팅으로 제작된 철도차량용 공기압축기

○ 차체 및 대차틀에 대한 결함 보수/보강은 통상 용접에 의해 이루어지고 있으며, 철도분야에 특화되어 기술개발이 이루어진 바는 없음.

※ 도시철도차량의 정밀진단지침(2009.7.31.)에 따르면 차량안전과 직접적인 관계가 있는 결함이 존재할 경우 "폐기"가 가능하며, 결함을 보수할 경우에는 결함부위에 대해 재검사를 실시하여 결함이 발견되지 않아야 하며, 차량안전에 영향을 줄 수 있는 결함을 보수할 경우에는 구조물이 안전하다는 입증자료 제출 요구하고 있으며, 또한 모재에 균열이 발생하거나, 한 번 이상 보수용접을 수행한 위치에 다시 균열이 발생할 때 재보수를 수행하지 못하며 폐기함

4.3.3 국외 기술환경

❑ 철도차량 정밀안전진단 기술

○ (유럽연합)에서는 회원국들의 단일 철도마켓을 통한 경쟁력확보를 위해 철도안전관리의 중요성을 인식하고 이를 해결하기 위해 철도안전관리시스템(Safety Management System), 공통안전지수(Common Safety Indicators), 공통안전목표(Common Safety Target) 및 공통안전방법(Common Safety Method) 등을 제시함

- SAMRAIL[184](Safety Management in Railways)과 SAMNET[185](Safety Management and Interoperability Thematic Network for Railways) 프로젝트는 안전훈령에서 요구하는 요구사항들을 해소하는 방안을 찾기 위한 프로젝트로써 회원국들 사이에 안전에 대한 컨센서스를 불러오기 위한 목적이며, SAMRAIL과 SAMNET 프로젝트를 통해 유럽 안전환경과 호환성을 유지하기 위한 안전관리체계 구조를 위한 세부적인 활동, 가이드라 인이 제시됨

- ERRAC[186]에서는 2050 더욱 안전한 철도를 만들기 위하여 자동화된 검사기술, 유지보수 기술 및 인프라 건설기술이 필요할 것으로 예측하였으며, 가상 평가를 기반으로 하는 기술발전을

184) Synthesis of SAMRAIL findings, SAMRAIL, 2004
185) Common approach for supervising the railway safety performance, Computers in Railways, 2006
186) An initial update of the ERRAC vision for railway research and innovation for the future of rail, ERRAC,

통해 평가에 소요되는 시간저감 및 비용 경쟁력을 갖추도록 추진하고 있음

- GoSAFERAIL 프로젝트[187]는 GSMF(Global Safety Management Framework)로 GoSAFERAIL에서 추구하는 핵심적인 가치로 유지보수기록, 고장이력, 센서데이터 및 DB에 저장된 각종 데이터를 이용하여 신뢰도 기반 평가모델과 수명비용모델을 적용하여 해저드 시나리오에 따른 위험도를 산출하고 열차 운영계획을 고려하여 유지보수를 수행하기 위한 의사결정을 지원함

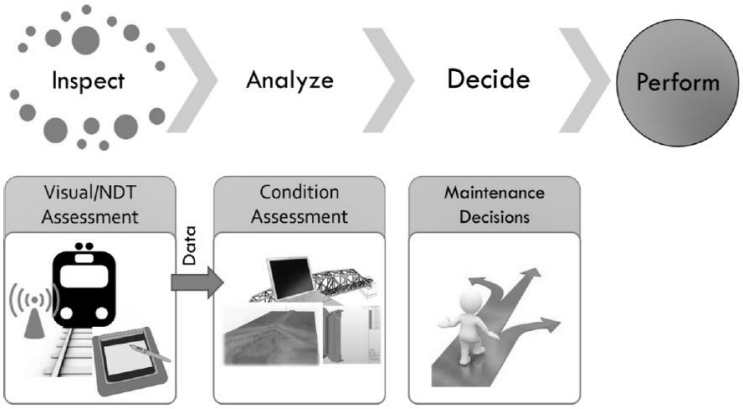


그림 2-136 철도 유지보수 의사결정 과정

* 출처 : GoSafeRail

❑ 철도차량 정밀안전진단 기술

○ 차체 부식 위험도 평가기술

- 국외에서는 X-ray 및 초음파 기술을 기반으로 배관의 부식을 측정하는 기술을 개발[188]하고 있으며, 여러 개의 탐촉자를 동시에 사용함으로써 검사의 신뢰도를 높이고 있음

- 또한, EMAT 기술[189]을 이용하여 내부에서 부식이 이루어지는 경우에 대해서도 두께측정이 가능하도록 기술을 개발함

○ 결함 위험도 평가기술

- 철도분야에서 결함검사기술의 개발은 대부분 레일에 국한되어 있으며, 차체 및 대차프레임에 대한 검사기술의 개발사례는 거의 없음

- Miner의 누적피로손상법칙 이론은 피로하중에 의한 결함발생까지의 수명예측 이론으로 다소 예측의 정확성은 떨어지나 산업현장에서 일반적으로 사용되고 있음

$$\text{결함발생조건, } D = \sum \frac{N_j}{N_{fi}} > 1$$

- 중국[190] CARS에서는 과하중이 작용하는 베이징 전동차 대차의 피로손상 수명을 예측하기 위

187) Report on Global Safety Management Framework, GoSAFERAIL, 2017
188) Corrosion monitoring, detection and measurement, Robert Ward, 2015
189) Wall thickness measurement sensor for pipeline inspection using EMAT, ECNDT, 2006
190) The experimental study for fatigue strength of bogie frame of Beijing Subway Vehicle, Mechanical Engineering Journal 9, 2015.

해 23개 취약위치에 대한 손상평가를 수행함

- 국외[191]에서는 열차 대차에 발생한 균열의 진전을 해석하기 위한 구조해석 모델을 개발하고 결함을 넣어 진전해석을 수행함.

○ 전선 열화 위험도 평가기술

- VLF 시험 및 휴대용 부분방전 진단시스템을 적용한 VLF 케이블 시험하여 전선 열화 상태진단 실시

- 절연손실 측정 및 부분방전 측정을 이용하여 케이블 절연부의 상태를 평가할 수 있도록 하고 부분 방전이 발생하는 고정 부위를 표시하고 그 위치를 정확히 감지

❑ 스마트 유지보수(보수/보강/교체) 기술

○ 철도차량 스마트 보수/보강 기술

- 국외도 고속화에 따라 차체 및 대차 취약부에서 발생하는 결함을 디자인 및 제조단계부터 예방하기 위한 기술개발은 지속적으로 이루어지고 있음.

- 중국[192]에서는 제동유닛 브라켓에서 발생하는 결함을 예방하고 결함에 대한 안전성을 평가하기 위하여 대차프레임 취약부에 결함을 가정하고 평가함으로써 내구성이 향상된 대차프레임을 제시함

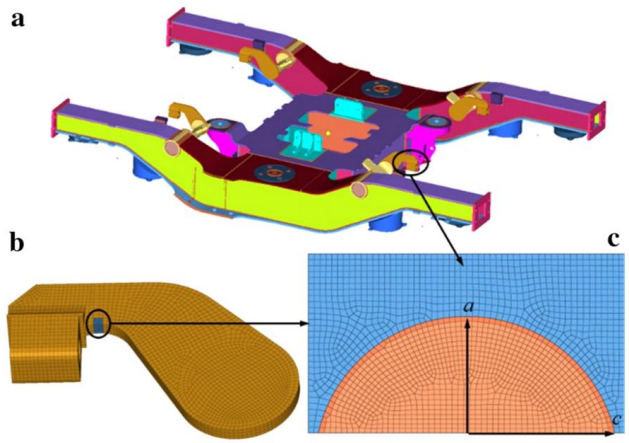


그림 2-137 대차프레임 취약부 결함평가 사례

- 차체 및 대차틀에서의 균열은 비교적 쉽게 발견되고 있으며, 용접을 통한 육성방법을 통해 보수를 수행하고 있음

- 출퇴근 시의 승객하중 DB, FEA 해석방법 및 잔류응력 생성기술을 기반으로 하여 결함이 발생된 부분을 보수하고 있으며, 국내와 같이 결함의 보수가 가능한 길이를 특별히 규정하지 않고 있음

191) The Mechanical Fracture of a Railway Bogie under Cyclic Loading by Ansys, MATEC 28, 2015
192) Damage tolerance assessment of a brake unit bracket for high-speed railway welded bogie frame, Chinese journal of mechanical engineering, 2019

- 한편 현장에서 차체 및 대차틀을 파괴하지 않은 상태에서의 보수방법은 차체 및 대차의 손상을 발생시키면 안 되므로 차체 및 대차틀의 제조시에 사용했던 방법과는 다르게 해야 함

- 미국 용접협회에서는 구조용 용접강재에 대한 규격[193]을 통해 용접보수를 수행한 강재라도 이 기준을 만족하도록 하고 있음

○ 단종부품 3D 프린팅 기술

- 독일 국영철도[194]의 경우 생산제조 및 유지보수에 3D 프린팅 기술을 적용하여 6,000개 이상의 부품을 생산하여 적용하고 있으며, 정비기지에 3차원 프린터를 설치하여 운영하고 있음

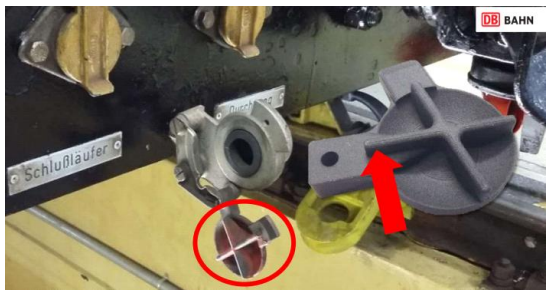


그림 2-138 3D 프린팅으로 제작된 철도차량 부품(DB)

193) AWS D1.1M:2015, Structural welding code-Steel, American National Standard, 2015
194) https://www.railway-technology.com/features/3d-printing-in-the-railway-sector/, 2019.5

제 3 장 사업 추진 계획

제1절 사업 추진 방향

1. 사업 추진 방향 도출

❑ 본 사업의 추진 방향 설정을 위해 국내외 철도안전관리 현황 및 이슈 분석, 대내외 환경분석(정책, 산업/시장, 사회(메가트렌드)), 국내외 R&D, 기술동향 및 기술역량 분석 등을 종합적으로 고려

○ 국내외 철도안전관리 현황 및 이슈 분석을 통해 철도안전관리의 국내에서 해결하지 못한 이슈, 긴급하게 해결해야 하는 이슈 등 발굴하고 기술적 해결방안 마련을 위해 검토

- 중점추진분야 도출에 앞서 공공성 위주의 철도안전관리 특수성을 고려한 전문성, 합리성, 사업 가능성을 확보하기 위하여, 철도 운영기관 및 관리기관의 안전관리 담당자, 안전산업 관련 전문가들의 현장애로와 수요를 검토

○ 대내외 환경분석을 통해 국내외 정책 방향, 산업/시장의 수요, 철도분야에 요구될 미래 전망의 급격한 변화 등 철도안전을 둘러싸고 있는 환경분석을 통해 사업 추진 방향성 도출

○ 또한, 철도안전관리 분야의 기술동향, 기존 철도분야에 투자된 정부 R&D에 대한 투자 및 성과와 특허 및 논문 분석, 국내 기술수준 및 R&D 인프라 역량 등을 분석하여 본 R&D 사업의 기술개발 방향성을 제시

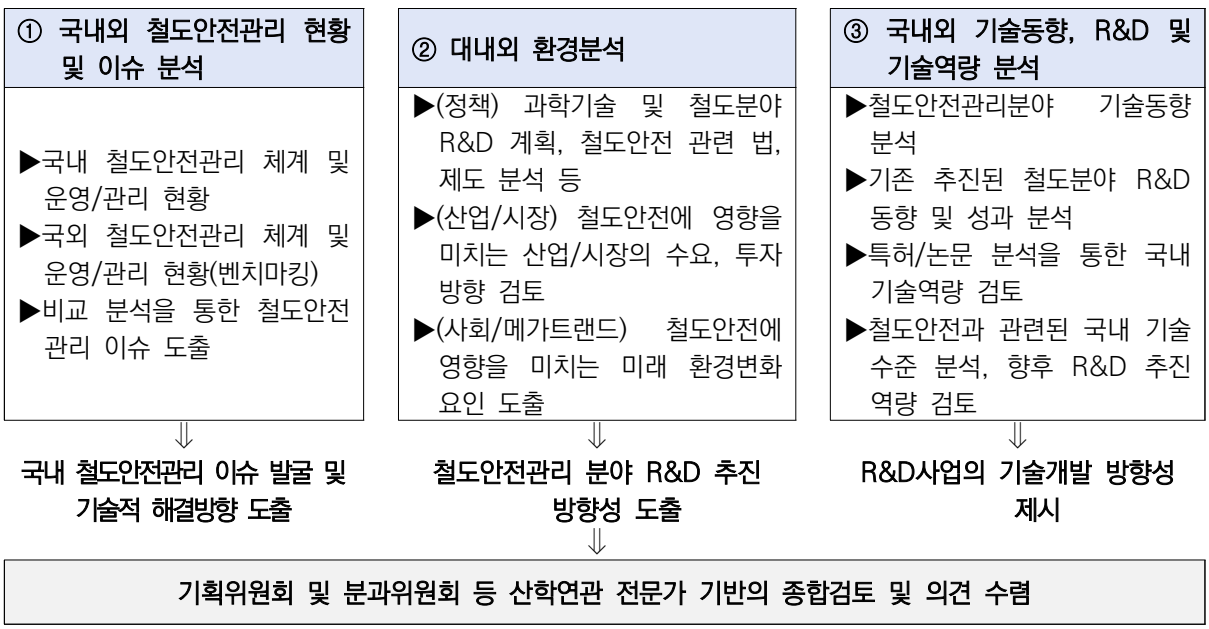


그림 3-1 사업 추진 방향 도출 과정

2. 사업 기본방향

❑ 국가 철도안전관리 관련 법령 및 정책의 기술적 지원을 위한 R&D 사업 추진으로 과학기술적 철도안전관리의 정착 및 실효화를 통하여 철도안전의 향상

○ 정부의 국정목표에서 “국민안전과 생명을 지키는 안심사회“를 위한 전략 중 ’안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가 책임체계 구축‘과제를 통하여 각종 안전사고로부터 국민생명 보호강화를 강조

- 본 사업에서 ‘안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가 책임체계 구축’분야에서 철도사고·장애 발생 전 사전예방을 위한 위험요인 선제대응을 위한 R&D로 국정 전략과 부합

- 인력 및 경험중심의 사후대응에 치중된 현행 철도안전관리를 데이터 기반으로 프로세스 별 환류체계(Plan-Do-Check-Act)의 수립 및 시행으로 본 사업을 통한 국가 책임체계 확립 달성

○ 철도안전법 제5조 및 제6조에 근거하여 매5년마다 수립 및 시행되는 제3차 철도안전종합계획(2016 ~ 2020)의 중점추진 목표는 자발적 안전관리 정착, 국민이 안심하는 운행안전 확보, 안전정책 추진기반 강화 등을 통해 “국민이 안심하고 신뢰하는 인명중시 철도안전 구현”을 목표

- 철도안전혁신 대책에서 철도 안전목표 달성의 핵심은 사고로 이르는 사슬의 체계적 안전관리체계의 완성으로, 이를 위하여 안전관리체계 기술의 고도화 달성으로 철도안전의 정량적 지표 향상

- 정책 추진방향에서 환경변화에 선제적 대응, 보안 및 테러 등 새로운 안전위험 요소에 대한 관리 강화, 시설 및 차량의 생애주기 관리방식 도입·확대 등은 본 사업을 통한 미래선도형 안전기술 확보

○ 철도 안전관리의 실효화를 위하여 법·제도, 관련기관 간의 원활한 협업체계, 재정지원 등을 비롯한 종합적인 지원이 요구되며 R&D 사업을 통하여 구체적 방안 추진

❑ 인력 및 경험기반의 사후대응 위주 철도안전관리를 4차 산업혁명 기술의 도입을 통한 사전예방 안전관리 기술 개발

○ 4차 산업혁명 기술의 도입을 통한 기존 인력 및 경험기반의 사후대응 위주 철도안전관리기술을 사전예방 안전기술로 전환하여 개념의 전환, 기술의 한계 극복, 과학적 철도 안전관리기술 개발과 철도분야 신산업 성장 동력 창출 기여

○ (정책) 제4차 과학기술기본계획(2018~2022) 4대 전략 중 ‘과학기술로 모두가 행복한 삶 구현’을 위한 중점추진 방향은 스마트 재난안전관리시스템 확보, 안전 정보공유, 재난 안전사고 예측 등으로, 현재 철도 안전관리의 취약점인 정보공유 및 사고 예측문제의 해결방향 제시

○ 제3차 철도산업발전기본계획(2016~2020)에서 제시된 철도안전 부문 추진방향으로 선제적·예방적 관리방식으로 전환, 재난 및 테러 대응 역량 강화, 시설 및 차량 노후화에 따른 생애주기 및 성과기반 관리체계 도입 추진

○ (산업/시장) 미국, 유럽 중심의 철도운영·안전분야의 최적화 솔루션, 플랫폼 기술, 자동화 시장이 활성화 되어 2015년 기준 192억 달러의 시장을 형성하고 있으며 2020년까지 연간 27%

이상 성장 추세

- 국내의 철도 운영·안전 관련 솔루션 산업의 도입단계로 해외와 기술격차가 큼

- 국내·외의 철도 차량 및 시설 노후화에 대한 유지보수, 교체에 대한 시장이 신설 시장 규모를 추월하였으며, 특히 국내의 경우 전체 대비 40% 이상이 내구연한에 도달하여 빠르게 성장 중

○ (사회/메가트랜드) 국내 철도 운영은 주요 도심지역의 확대 및 인구 편중으로 지속적으로 증가 전망되어 현재 대비 높은 운행 밀도를 전망, 고령화 인구 증가로 차량 이동 보다는 대중교통 이용이 증가

- 고령화 및 교통약자에 대한 사회적 배려 요구가 증가하고, 안전에 상대적으로 취약함에 따라 맞춤형 안전기술 개발이 필요

○ (기술) 정보통신 기술의 급격한 발달로 지능형 기술(4차 산업혁명 기술) 적용을 통한 다양한 융합 기술이 발전, 기존 인력으로 추진하던 기술분야의 자동화, 지능화 기술 적용으로 편리성, 정확성 등을 창출

❑ 고부가가치 및 비용 효율화 기술 개발 추진으로 고급 일자리 창출, 철도안전 관리업무 현장환경 개선 등 철도안전산업 경쟁력 육성

❑ 기존 철도분야 R&D 사업을 토대로 확보된 기초원천기술, 타분야 높은 수준의 지능형 기술 접목 연구 성과물의 현장 적용을 위한 기술개발 추진

○ 기존 철도기술연구사업을 통한 속도향상, 신규 철도시스템 기술 도입 등 기술 개발 추진

○ 철도안전을 목적으로 한 철안사 사업을 통한 철도안전관리체계의 기초 기반 마련

○ 철도분야 정부출연연구소인 철도기술연구원의 자체연구사업을 통한 다양한 기초원천 기술 개발 추진

○ 국내외 특허, 논문 분석 결과 여전히 우리나라는 스마트 철도안전분야에 대한 기술 확보 역량이 부족

○ 전통적 철도기술분야의 안전관리 방식이 아닌 지능형/스마트 기술을 접목한 체계적 기술개발 추진이 필요

3. 사업 범위

3.1 사업의 정의

❑ 현장/인력 중심으로 관리되는 현행 철도시스템을 대상으로 발생 가능한 철도사고/운행장애 요인을 사전에 파악하여 예방하기 위한 지능형 ICT 기반의 철도안전관리 체계 지원 기술력 확보

○ 현행 철도시스템에서 발생가능한 사고/장애를 사전에 파악함으로써 철도를 이용하는 국민 및 철도분야에서 종사하는 국민을 대상으로 안심, 안전할 수 있는 철도교통체계 마련

3.2 사업 대상 범위

❑ 철도안전관리의 범위

○ 「철도안전법」의 「철도안전관리체계 기술기준」에서 정의한 “철도안전관리체계”란 철도운영자 및 철도시설관리자(이하 “철도운영자등”이라 한다)가 철도를 운영하거나 철도시설을 관리하기 위하여 갖추어야 하는 인력, 시설, 장비, 운영절차 및 비상대응계획 등 안전관리에 관한 유기적 체계를 의미하며, 철도안전관리시스템(SMS), 열차운행체계 및 유지관리체계로 구성

○ 본 사업은 현재 운영관리 중인 철도시스템을 대상으로 현재 및 미래 발생 가능한 안전을 위협하는 요인을 사전에 예방하기 위한 R&D사업이므로, 신규 구축 적용되는 설계 등은 제외됨

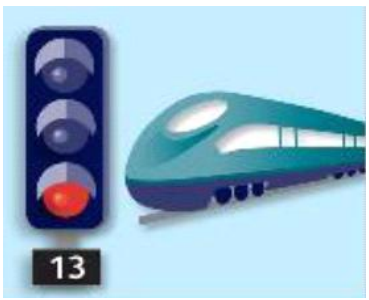
○ 현재 철도시스템의 문제를 해결하기 위한 유지관리 및 개량기술은 포함

❑ 각 대상 범위별 안전데이터 수집항목(안)

○ 철도 인적요인 안전데이터 수집항목

- 정지신호 어김(SPAD), 열차과속, 비허가 운행선 공사, 신호지시 취급결함 등 종사자, 여객 등 인적오류로 인해 철도사고와 운행장애로 발전될 가능성이 높은 위험사건·사고전조와 위험사건·사고전조를 예방을 위한 관련 안전데이터를 통칭

- 종사자 인적요인 관련 안전데이터 수집항목 : 종사자 검사 이력, 종사자 피로도, 종사자 근무 이력, 교육훈련 이력, 자격데이터, 운행정보 등



〈정지신호 어김(SPAD)〉



〈열차과속〉

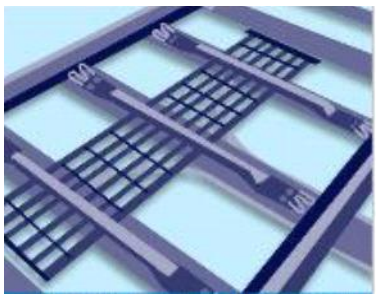

〈비허가 운행선 공사〉

그림 3-2 철도 인적요인에 의한 위험사건 ·사고전조 예시

○ 철도 시설요인 안전데이터 수집항목

- 선로 이상, 선로전환기 이상, 신호장치 이상, 전차선 이상, 노반침하 위험, 사면붕괴 위험, 선로 상 장애물 등 철도시설 위험요인에 의해 철도사고와 운행장애로 발전될 가능성이 높은 위험사건·사고전조와 위험사건·사고전조 데이터를 예방을 위한 관련 안전데이터를 통칭

- 철도 시설요인 관련 안전데이터 수집항목 : 시설 이력 데이터, 시설 상태 데이터, 시설 위치 데이터 등



〈선로이상〉



〈노반침하〉



〈선로 상 장애물〉

그림 3-3 철도 시설요인에 의한 위험사건 ·사고전조 예시

○ 철도 차량요인 안전데이터 수집항목

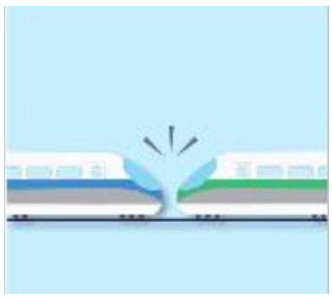
- 주행장치 고장, 출입문 고장, 차량신호 장치 고장 등 철도차량 위험요인에 의해 철도사고와 운행장애로 발전될 가능성이 높은 위험사건·사고전조와 위험사건·사고전조 데이터를 예방을 위한 관련 안전데이터를 통칭



〈주행장치 이상〉



〈출입문 고장〉



〈차량신호장치 고장〉

그림 3-4 철도 차량요인에 의한 위험사건 ·사고전조 예시

❑ 기술개발 성과물 적용 대상인 철도시스템의 범위

○ 고속, 일반, 도시철도를 포함하는 운영관리 중인 철도 전체 대상

○ 해당 철도 분야에 대한 철도시설, 철도차량 및 철도종사자, 이용자 등 대상

제2절 SWOT 분석을 통한 사업 추진전략

1. SWOT 분석

❑ 앞서 분석한 내용을 토대로 강점, 약점, 기회, 위협의 4가지 관점의 요인을 도출하고 이에 따른 SWOT 분석을 통한 본 사업의 전략 방향을 제시

○ 국내외 철도안전관리 현황 및 이슈 분석, 대내외 환경분석, 국내외 기술동향, R&D 및 기술역량 분석, 기존 유사사업 성과분석 등을 통한 SWOT 요인 도출

○ 각 요인에 대한 종합 분석 결과 전략 방향 설정

표 3-1 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업 SWOT 분석 결과

구 분		강점(S)	약점(W)
		■ 선제적, 자발적 철도안전관리 방향의 법제도적 기반 확보 및 도입 ■ 철도기술연구사업 등 선행사업을 통한 과제단위 시설/차량 관리분야 기초응용 연구 및 기술개발 역량 마련	■ 현장 인력 중심 안전관리,운영사별 정보 비대칭에 따른 객관적/현실적 분석기반 문제해결 어려움 ■ 개별과제단위 R&D 추진에 따른 성과연계 및 현장 적용 한계
기회(O)	■ PDCA, 현장 적용성 등을 고려한 철도안전에 대한 투자 확대 전망 ■ 新 시설, 차량 중심의 인증, 관리에서 기존 시설/차량 유지관리, 유지보수, 개량을 포함한 생애주기 관리로 확대	SO전략(강점-기회)	WO전략(약점-기회)
		■ 현 법제도적 기반을 뒷받침하기 위한 Top-down 방식 R&D 추진 ■ 지속가능한 철도 운영을 위해 생애주기 관리관점의 철도시스템 요소별 한계 파악 및 기술개발 고도화	■ 현장 문제 해결 및 수요를 고려한 과학기술기반의 객관적 정보 확보 기반 마련 ■ 정부(정책)-연구자(R&D)- 운영사(수요활용)의 성과활용지원 협의를 위한 소통 체계 확보
위협(T)	■ 차량/시설 노후화 심화, 유지보수 인력의 감축등 철도 운영 환경 위협요인 확대 ■ 높은 열차운행밀도및 터널 협소공간 등 접근한계 현장특성으로 사고장애 발생시 대규모 사회적 피해 확산 가능	ST전략(강점-위협)	WT전략(약점-위협)
		■ 위협요인 대비한 자동화, 지능형 기술 융합으로 철도기술 고부가가치화 ■ 운행현장 제약조건 문제해결을 위해 선행연구와 연계활용을 통한 현장적용, 실증단계(TRL 8) 성과 창출	■ 철도 운영 환경 내 위협요인 정보수집, 진단, 분석을 통해 문제해결을 위한 최적 의사결정 지원 수행 ■ 운행 현장특성 고려한 선제적 예방/대비/대응 기술 개발 및 적용

2. 사업 추진 전략 도출

❑ 4대 사업 추진 전략 도출

○ (SO) 철도안전관리를 위한 법제도적 강화에 따른 제도적 기반을 확보하고자 정부가 노력하고 있으나 제도 개선을 위한 기술개발 연계가 미흡하므로 제도적 지원을 위한 기술개발 방향 설정 및 추진이 필요

○ (ST) 차량, 시설 등 현 생애주기별 관리를 강화하고자 하나, 운영사별 인력중심의 생애주기 관리를 시행하고 있어, 객관적인 평가의 한계 문제 등을 해결하기 위한 ICT 융합 기술 적용을 통한 데이터 기반 전주기 안전관리 적용 및 확대가 필요

○ (WO) 기존 차량, 시설 유지관리 시스템간의 통합연계, 현장 적용 성과 창출을 위한 기술개발 성과물의 활용성 제고 관점의 사업 추진체계 마련이 요구

○ (WT) 국내 특성에 따른 고 운행 밀도, 출퇴근 이용객 급격한 증가, 철도시스템의 노후 등 철도 사고 및 운행장애에 대한 정밀한 요인 분석 기반의 문제해결형 R&D 계획 수립이 시급

표 3-2 SWOT 분석에 따른 사업추진전략 도출

	SWOT 전략	사업 추진 전략
SO	■ 현 법제도적 기반을 뒷받침하기 위한 Top-down 방식 R&D 추진 ■ 지속가능한 철도 운영을 위해 생애주기 관리관점의 철도시스템 요소별 한계 파악 및 기술개발 고도화	국가차원의 철도안전관리 정책 추진을 위한 연계성 강화
ST	■ 위협요인 대비한 자동화, 지능형 기술 융합으로 철도기술 고부가가치화 ■ 운행현장 제약조건 문제해결을 위해 선행연구와 연계활용을 통한 현장적용, 실증단계(TRL 8) 성과 창출	ICT 융합 기술 적용을 통한 데이터 기반 전주기 안전관리 확대
WO	■ 현장 문제 해결 및 수요를 고려한 과학기술기반의 객관적 정보 확보 기반 마련 ■ 정부(정책)-연구자(R&D)- 운영사(수요활용)의 성과활용지원 협의를 위한 소통 체계 확보	기술개발성과물의 활용성 제고를 위한 사업 추진체계 마련
WT	■ 철도 운영 환경 내 위협요인 정보수집, 진단, 분석을 통해 문제해결을 위한 최적 의사결정 지원 수행 ■ 운행 현장특성 고려한 선제적 예방/대비/대응 기술 개발 및 적용	철도사고 및 운행장애 원인분석 기반 문제해결형 R&D 계획 수립

❑ 4대 사업 추진 전략

○ 전략 1. 철도사고 및 운행장애 원인분석 기반 문제해결형 R&D 계획 수립

- 데이터기반 철도안전관리를 위하여 현행 철도사고 및 운행장애에 대한 정보 분석 및 해결방안 도출 방식의 Top-down 사업 범위 설정

○ 전략 2. ICT 융합 기술 적용을 통한 데이터 기반 전주기 안전관리 확대

- 기존 인력 중심의 철도안전관리에서 정보수집, 분석을 통한 정량화된 안전관리 추진

- 데이터 생산, 수집 및 관리에 대한 법제도 개정과 연계한 타당성 확보

○ 전략 3. 기술개발성과물의 활용성 제고를 위한 사업추진체계 마련

- 각과제별 기술개발성과물이 총괄과제(통합관리시스템) 연계하도록 사업단 운영

- 사업 추진 시 운영기관 협의체를 통해 수요처 요구사항 협의 및 성과 연계 추진

○ 전략 4. 국가 차원의 철도안전관리 정책 추진을 위한 연계성 강화

- 사업 총괄부서를 철도안전정책과로 지정, 정책 및 기술개발사업 연계

- 철도안전정책 수립을 위한 의사결정 지원 등 국가 정책 지원 기술개발 추진

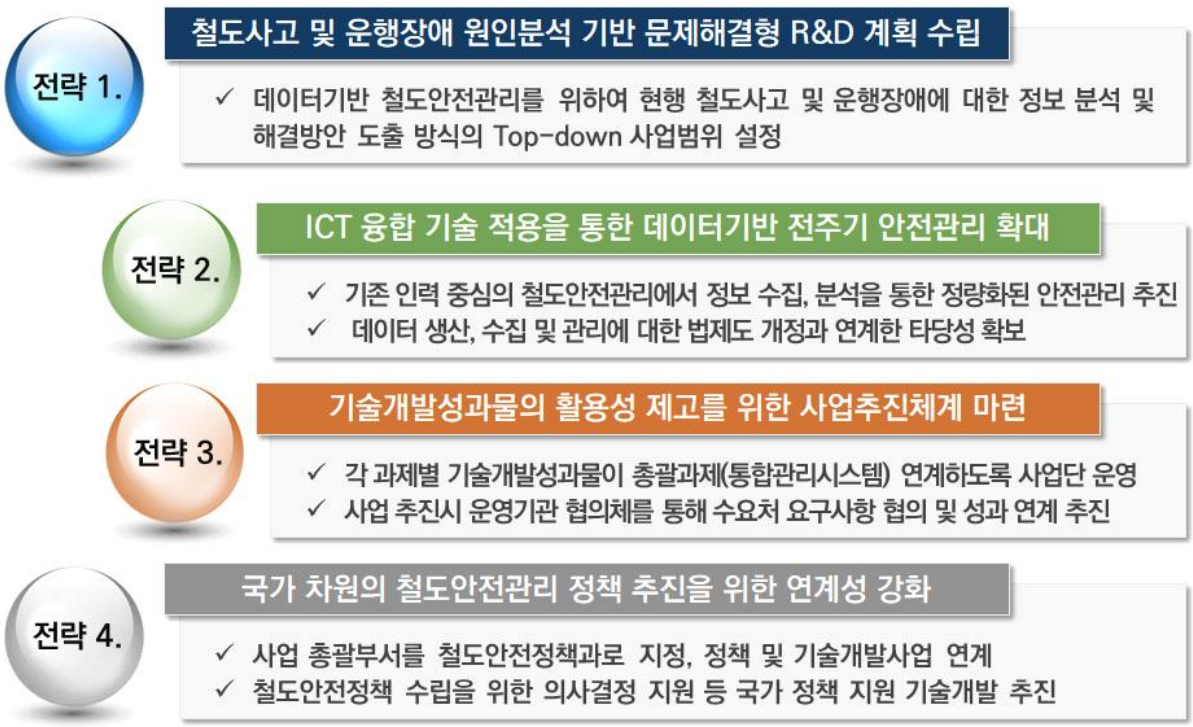


그림 3-5 4대 사업 추진 전략

제3절 사업 비전 및 목표

1. 사업 비전

❑ 국가 주도의 철도안전 중요도, 철도의 공공성 및 철도안전 기술의 첨단화 관련 정부정책 /제도 등을 고려하여 방향 및 최종 비전 설정

○ (법적 근거)

- 「철도안전법」에 따라 고속철도, 일반철도, 도시철도의 철도안전은 시설개량, 차량개조, 용품 교체, 안전관리체계 등 목적에 따른 제도 추진을 위해 과학기술적 지원이 요구되며, 국토교통부는 철도안전에 관한 기술 진흥을 위하여 연구·개발 촉진 및 그 성과의 보급에 필요한 시책을 마련·추진의 일환으로 철도운영자 등의 선제적·자발적 안전관리가 추가하고 각 분야별(시설, 차량, 용품 등) 기술, 정보기반 시스템 등에 대하여 연구개발 지원 가능

- 그 외 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」, 「철도산업발전기본법」, 「재난 및 안전관리기본법」, 「지속 가능한 기반시설 관리기본법」, 「산업안전 보건법(종사자 안전분야)」 등으로 철도안전 기술 연구 지원 가능

○ (상위계획)

- 과학기술정보통신분야 「제4차과학기술기본계획」('18 ~ '22) : 안전과 관련 '과학기술로 모두가 행복한 삶 구현'을 위한 중점추진과제에서 안전, 철도 등과 관련하여 스마트 재난안전관리 시스템 확보, 생활안전 정보 공유, 재난안전사고 예측 및 대응지원체계 등의 기술개발이 추진계획

○ (부처계획)

- 국토교통안전분야 「제3차 철도안전종합계획」('16 ~ '20) : 철도 안전목표 달성에 핵심적인 부분을 안전수준의 정량화를 통한 사고로 이르는 사슬(chain)의 체계적 관리와 자발적 안전관리 정착을 위한 안전관리체계 추진

- 국토교통안전분야 「제8차 국가교통안전기본계획」('17 ~ '21) : 철도부문은 자발적 안전관리체계 정착 등을 통한 대형교통사고 발생 제로화, 철도사고 감소를 목표로 6개 정책 추진 방향으로 철도안전관리 체계, 안전인프라 확충, 운행안전, 보안 및 재난대응, 철도안전산업, 정책추진 기반을 설정

- 국토교통기술분야 「제1차 국토교통과학기술 연구개발종합계획」('18 ~ '27) : 철도 · 항공 이용자 보호시스템은 공항 · 역사 보안시스템 등 운영부문과 인프라 급속 개량 · 교체 장비 등 인프라 부문 기술개발로 철도 · 항공분야 이용자 보호시스템 구현

- 국토교통산업분야 「제3차 철도산업발전기본계획」('16 ~ '20) : 철도 안전 부문의 추진방향은 선제적·예방적 관리방식으로 전환, 재난 및 테러 대응 역량 강화, 시설 및 차량 노후화에 따른 생애주기 및 성과기반 관리체계 도입으로 설정

○ (종합의견)

- 국가 책무와 배경 하에 4차 산업혁명기술이 도입된 데이터 기반 과학적 철도안전관리 체계의 마련으로 국민이 안심하고 신뢰할 수 있는 철도안전기술을 구현하고자 하는 비전을 설정

수립과정	주요 내용	수행 방법
비전 설계	· 비전 정의 규명 · 비전 구성요소 파악	· 관련 문헌 조사
기존 비전 분석	· 국내·외 유사 비전 분석 · 기존 국토부 비전분석	· 국내·외 사례 조사
비전 수립	· 비전 설계 및 검토	· 브레인 스토밍
목표 수립	· 비전 연계 목표 설정 · 정량적 목표 제시	· 브레인 스토밍

그림 3-6 비전 수립 Framework

❑ 사업 목적

○ (데이터 기반 안전관리의 혁신) 현행 문서수준의 안전관리기술 대비 상시간 데이터기반의 안전관리 단계별 디지털화 및 사전예방이 가능한 플랫폼 구축을 통한 철도안전관리 기술의 역량 증진

○ (4차산업혁명기술의 도입을 통한 안전관리 기술의 스마트화 및 부가가치 향상) 스마트기술을 기존 안전기술과 융합하여 철도안전 기술의 스마트화 및 안전기술의 부가가치를 향상

○ (국민 중심의 안전기술 구현) 종사자의 인적오류 저감과 국민이 체감할 수 있는 인간공학 기술이 도입된 인간중심의 기술로 추진

○ (사고·장애 발생 전 사전예방 기술로 전환) 기존 사고·장애 발생 후 사후대응 위주에서 스마트화 안전기술을 통하여 위험요인을 예측하여 사전에 완화 또는 해소할 수 있는 사전예방체계 구축

❑ 비전체계도



그림 3-7 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업 비전 및 목표

2. 사업 목표

❑ (목표 1) 철도안전 사고·장애 발생 건수 저감을 통한 철도안전지표 30% 향상

○ 철도안전관리 사전예방 기술개발을 통하여 사고·장애 건수 저감 및 사전위험 요인의 완화 또는 해소를 통하여 철도안전지표 30% 이상 향상

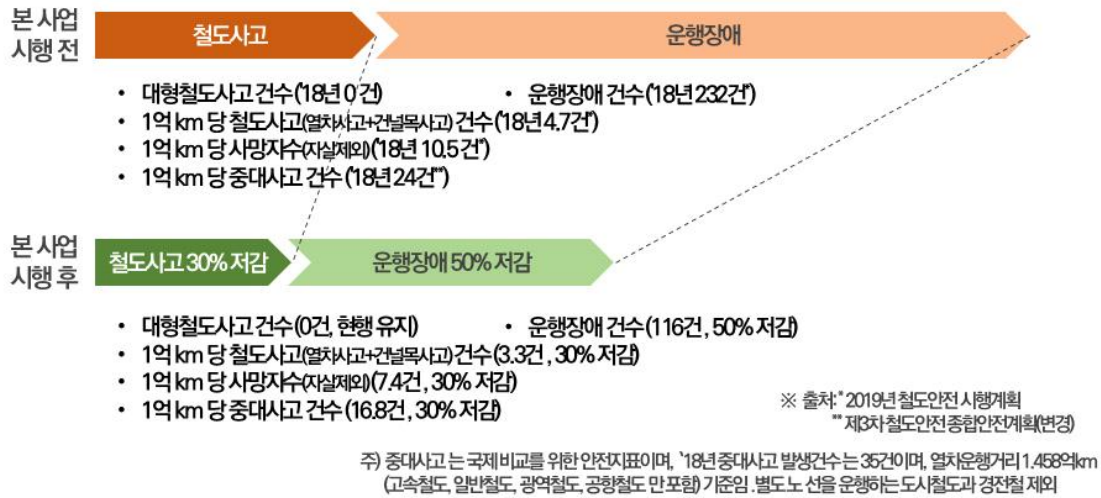


그림 3-8 사업목표 1 철도사고 및 운행장애 건수 저감

❑ (목표 2) 철도안전관리 체계의 데이터 수집·활용 90% 이상 달성

○ 안전데이터 생산/수집/관리/분석을 위한 ICT 기반(스마트, 지능형) 철도안전관리 체계 구축을 통하여 철도안전관리 단계별 데이터 활용 90% 이상 달성

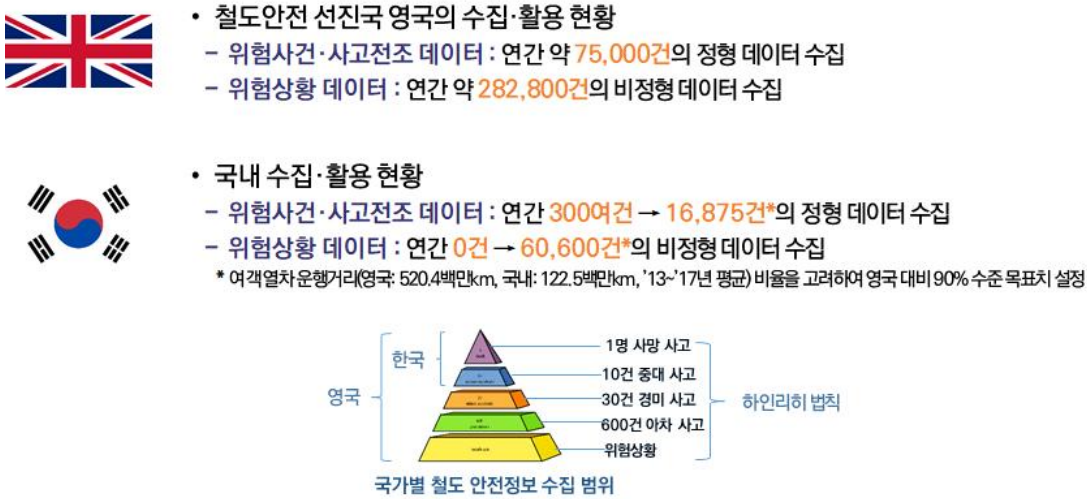


그림 3-9 사업목표 2 철도안전관리체계의 데이터 수집·활용

- 영국철도의 여객열차 운행거리는 국내의 4.2배 수준임(영국: 520.4백만 km, 국내 122.5백만 km, `13~`17년 평균)

표 3-3 영국철도와 여객열차 운행거리 비교

(단위: 백만km)

	2013	2014	2015	2016	2017	평균
영국 철도*	498	508	531	532	533	520.4
국내 철도**	117	116	120	120	140	122.5

※출처 : *ERADIS(European Railway Agency Database of Interoperability and Safety), https://eradis.era.europa.eu/
**3차 철도종합안전계획(변경), 국제비교를 위해 고속철도, 일반철도, 광역철도, 공항철도만 포함하며, 도시철도과 경전철 제외

- 열차사고 기준으로 국내철도의 안전수준은 여러 지표에서 세계 최고 수준인 영국철도와 비교하여 낮은 수준임

  ※ '17년 기준으로 1억 km 당 열차사고(충돌/탈선/화재 사고) 발생 건수는 영국대비 3배 수준(영국 3.9건, 국내 1.3건)이며, 1억 km 당 중대사고 발생 건수는 1.7배 수준(영국 12.5건, 국내 21건)

- 영국철도는 SMIS+ 시스템을 활용하여 사고의 사전예방을 위해 위험사건와 사고전조 데이터를 수집·활용 중이며, 연간 약 75,000건[195] 데이터를 관리 중

  ※ SMIS+(Safety Management Intelligence System)은 영국의 철도안전전문기관인 RSSB(Rail Safety and Standards Board)에 의해 1997년에 구축되어 운영 중인 영국철도의 통합안전정보시스템으로 데이터의 수집·활용이 급증하여 2017년 SMIS(Safety Management Information System)에서 버전 변경

- 국내 여객열차 운행거리 비율(4.2배)로 환산한 영국철도의 위험사건와 사고전조 데이터 수집·활용 건수는 연 18,750건(75,000÷4.2)임

- 철도안전 향상을 위해 '철도안전정보종합관리시스템'에서 국가적으로 수집·활용되는 데이터는 5년('14~'18) 평균 약 167건[196]으로, 영국철도와 비교하며 매우 낮은 수준임

- 사업 목표로 영국철도의 위험사건와 사고전조 데이터 수집·활용 수준의 90% 이상을 목표로 설정 시 년간 위험사건와 사고전조 데이터 수집·활용 건은 16,875건(18,750×0.9) 이상임

- 영국철도의 위험상황(Close Call) 수집·활용 수준은 대략 연 282,800건[197]이며, 국내 여객열차 운행거리 비율(4.2배)로 환산한 수집·활용 수준은 연 67,333건(282,800÷4.2)임

  ※ 영국철도의 위험상황(Close Call) 보고시스템은 영국의 철도안전전문기관인 RSSB에 의해 운영 중이며, '17년 4월부터 '19년 10월까지 707,000건의 데이터를 수집·활용 중

- 현재 국내 철도는 위험상황의 데이터를 수집·활용하지 않음

- 영국철도의 위험상황 수집·활용 수준의 90% 이상을 목표 수준으로 설정 시 년간 목표 위험상황 데이터 수집·활용 건은 60,600건(67,333×0.9)임

195) Annual Safety Performance Report 2017/18: A reference guide to safety trends on GB railways, RSSB
196) 교통안전공단 철도안전정보종합관리시스템, www.railsafety.or.kr
197) RSSB 위험상황(Close Call) 보고건수 담당자 E-Mail 확인(2019년 10월 21일)

❑ (목표 3) 철도안전관리 정부투자 비용 효율화 20% 향상

○ 국내 주요 이슈가 되고 있는 시설, 차량 노후화 및 유지관리 효율화는 국내만의 이슈가 아닌 글로벌 해결문제로서 대두되고 있으며, 특히 국토교통부의 철도종합안전계획 내에 유지관리를 포함하여 안전관리 전반을 개선하고자 함

○ 이에 따라, 유지관리를 포함한 안전관리 전반의 사업비 효율화를 목표로 제시하고 20%의 근거는 해외 사례 및 전문가 의견을 반영하여 최종 설정

3. 중점추진분야 설정

❑ 국내외 철도안전관리분야의 종합분석(SWOT) 결과 중 기술개발과 관련된 내용을 통해 4대 중점분야를 도출

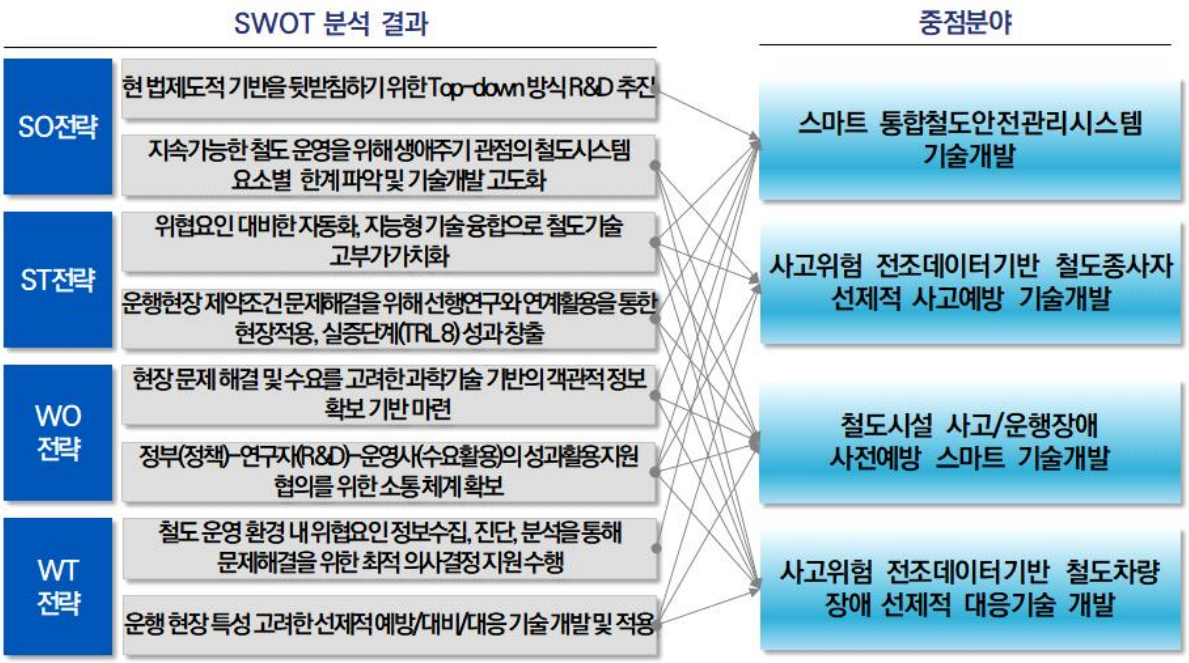


그림 3-10 SWOT 분석을 통한 중점분야 도출

❑ (중점분야 1) 스마트 통합철도안전관리시스템 기술개발

○ (정의) 철도 운영으로 인한 국민의 건강/재산 보장 및 편익 증진을 위하여 모든 철도 이해관계 기관(국가, 철도운영사, 시설관리자 등)의 철도안전관리 실효성 향상을 위한 데이터 기반의 철도안전 계획/실행/평가 및 개선 피드백이 가능한 SMS 구축 및 운용 기술개발

○ (적용 대상) 철도시스템 전체

○ (추진 방향) ▲사고전조 중심의 빅데이터 기반 국가통합 철도안전 예측·평가·의사결정 지원 기술 개발, ▲철도안전관리체계 실효성 향상을 위한 데이터 기반 철도안전 감독 및 모니터링 기술개발, ▲빅데이터 기반 대국민 철도안전 서비스 정보 수집·생성 기술개발, ▲스마트 철도안전 다자간 현장종합대응 데이터 허브 플랫폼 기술개발

○ (기대 효과)

- 철도선진국과 동등이상의 철도안전을 확보할 수 있는 철도안전 예측·평가·의사결정 지원 기술 확보
- 빅데이터 기반 국가통합 철도안전 표준화 및 수집하고, 국가통합 안전상태 예측·평가 기술개발
- 국가를 포함하여 철도 운영기관, 시설관리기관 등 현장에서 활용할 수 있는 철도안전 예측·평가·관리 통합 정보 시스템 신뢰성 평가 기술 개발을 통해 철도안전법에서 요구하는 기술을 확보

❑ (중점분야 2) 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술개발

○ (정의) 철도 종사자 인적오류의 분석 · 예측과 가상훈련시스템을 통하여 인적요인에 의한 사고 · 장애를 사전에 예방하고, 이례상황 시 종사자의 비상대응능력 강화하는 기술개발

○ (적용 대상) 철도 종사자

○ (추진 방향) ▲철도 종사자 인적오류 저감 스마트 기술개발, ▲철도사고 • ·장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동훈련 가상시스템 개발, ▲증강현실 기반 철도차량·시설 정비훈련 및 정비지원 기술개발

○ (기대 효과)

- 운전/시험/보수 직무의 예견적 오류평가 및 예방을 통한 철도 사고 · 장애 저감 및 철도 운영의 안전성 향상으로 철도시스템에 대한 사회적 신뢰도 및 수용성 향상
- 인적오류 저감 기술의 일환으로 첨단 ICT 기술을 활용한 가상물리체계 구축을 통해 철도업무 종사자의 직무적합성(Fitness For Duty) 확보와 함께 획기적인 철도 사고 · 장애 예방효과에 기여
- 기관사들의 인적오류를 줄이고 철도 사고 · 장애 대처능력을 향상시켜서 시민이 안전하게 이용할 수 있는 철도환경 조성

❑ (중점분야 3) 철도시설 사고 • 운행장애 사전예방 스마트 기술 개발

○ (정의) 철도시설에서 발생하는 사고 • 운행장애의 사전 위험요소를 탐지 및 진단, 분석 및 예측결과에 따른 의사결정을 통하여 사전 유지관리, 개량을 함으로써 선제예방을 통한 철도 사고 • 운행장애 저감 실현

○ (적용 대상) 선로, 철도교량, 철도터널, 철도역사, 신호설비, 전철전력 시설

○ (추진 방향) 철도시설의 성능수준, 현장여건 및 기술수준을 파악하여 안전위험 요인 파악을 위한 계측 자동화 및 정합성 확보, 분석 및 예측의 정확성, 최적의 의사결정을 통한 유지관리·개량 기술 적용을 위한 AI, Big data, IoT 기술 등의 접목

- IoT기술을 활용한 계측장비 및 기법 개발, Big data기법을 활용한 데이터 가공 및 융합정보 생성기술 개발
- AI기법을 활용한 고부가가치의 철도시설 통합안전관리 플랫폼 기술 개발을 통한 현장적용 및

실증

- 최적의 유지관리·개량 기술 선정 및 장비 자동화 기술 개발을 통한 실용화 제고, 디지털트윈 기법의 자산관리 효율화 추진

○ (기대 효과) 철도시설 안전 사전예방 기술 개발을 통한 철도사고•운행장애 안전수준 향상, 적기 유지관리·개량을 통한 비용 절감 및 노후율 감축

❑ (중점분야 4) 사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응 기술 개발

○ (정의) 철도차량의 위험전조에대한 선제적 대응을 위한 스마트 기술(데이터 모니터링, 위험도 기반 상태 진단, 평가, 예측, 의사결정)기반의 철도 사고 • 장애 위험 예방 기술

○ (적용 대상) 철도차량 핵심장치: 추진장치(집전장치, 인버터/컨버터 등), 보조전원장치(연장급전장치, SIV 등), 제동장치(비상제동, 상용제동, 주차제동장치 등), 주행장치(주행장치틀, 윤축 및 차륜 등) 및 차량설비(차체, 출입문, HVAC 등)

○ (추진 방향) 철도차량분야 스마트 기술 수준과 철도차량 안전을 직·간접적으로 위협하는 위험 전조 요소를 파악하고 분석하며, 가용자원을 고려한 최적의 의사결정 기술 및 유지관리·개량 기술 개발

- 정보수집기술→정보분석기술→유지관리기술을 시간의 흐름 및 기술의 완성도를 고려하여 단계적으로 수행함으로써 기술의 연계성 및 활용성을 높음

- 타 유사분야 스마트 기술(센싱, 빅데이터, AI 등)을 접목하여 개발기간 단축 및 R&D 예산을 절감하여, 또한 개발된 스마트 기술이 타 산업분야에서도 잘 활용될 수 있도록 연계성를 고려하며 기술 개발

- 철도차량 운행중 장애 및 고장 원인중 상당부분을 차지하는 인적오류 방지를 위해 각종 센서 및 장치를 통한 자동화 및 스마트화 기술을 중심으로 전체 기술개발 추진

○ (기대 효과)

- (센싱기술 고도화) 철도차량 핵심장치에 대한 센싱기술을 고도화 하여 주기적인 상태를 진단 평가함으로써 위험전조를 사전에 파악하여 선제적 예방

- (실시간 데이터 전송) 센싱시스템으로부터 측정된 고용량 원본 데이터를 손실 없이 전송함으로써 다양한 분석이 가능하므로 위험전조 분석의 정밀도를 향상시킬 수 있음

- (빅데이터 정보분석) 철도차량 데이터의 표준화 및 체계화를 통한 빅데이터 활용기반을 구축하고, 이를 이용한 정보분석기반을 구축함으로써 대용량 데이터를 처리하여 새로운 위험전조 정보추출 가능

- 철도차량의 위험요소를 사전에 해소함으로써 사고장애횟수 저감을 통해 국민의 불안감을 해소할 수 있으며, 철도이용객의 증가와 더불어 사회적 비용 절감과 교통 환경개선, 관련 산업의 경쟁력 강화 및 활성화 등에 기여 기대

❑ 4대 중점분야 및 17개 세부과제간 창출되는 안전데이터는 각 플랫폼 기술 및 통합철도안전관리 시스템에 연계

○ 중점2, 중점3, 중점4에서 도출되는 철도현장 위험전조 데이터는 중점1의 스마트 철도안전 다자간 현장종합대응 데이터 허브 플랫폼과 연결

○ 이와 관련한 운영기관 안전데이터는 국가통합 철도안전예측평가의사결정 지원 기술과 연결되어 종합적 분석을 도출하여 통합철도안전관리시스템이 연계됨

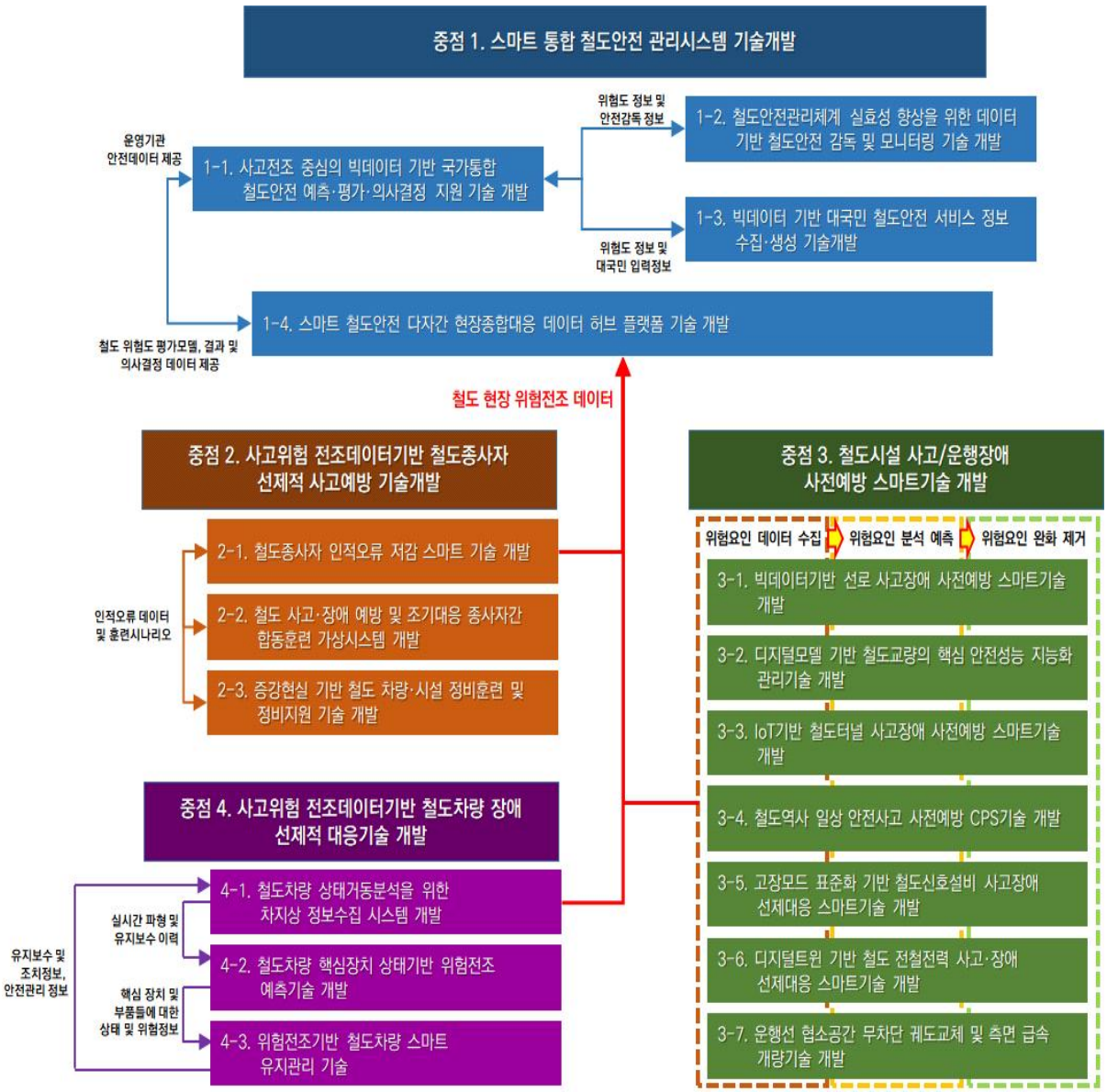


그림 3-11 4대 중점분야 및 세부과제간 연계도

제 4 장 중점분야별 추진계획

제1절 스마트 통합철도안전관리시스템 기술

1. 추진배경 및 필요성

❑ (종합적인 안전관리 부족) 위험원과 안전대책에 대한 종합적인 분석을 통한 철도안전관리 전반에 대한 진단, 사전예방적 대응 부족

○ 탈선, 충돌, 화재 등 열차사고 발생 시 사고 사례에 대한 분석과 현장에의 환류가 부족하여 동종 사고가 지속적으로 발생

※ 중대사고(열차사고) 발생 건수 : '13년 6건→'14년 9건→'15년 4건→'16년 8건→'17년 4건→'18년 4건

※ 주행장치결함에 의한 열차탈선이 '13년에만 4건이 연속 발생하였으며, 최근 5년('13~17) 동안 동일한 원인으로 사고 8건 발생[198)]

- 열차사고는 인적요인, 시설요인, 차량요인, 외부요인 등 다양한 원인으로 발생한 바, 종합적인 안전관리 필요

○ 철도운영자 등의 자발적인 안전관리를 정착시키기 위하여 '철도안전관리체계'를 도입한지 4년째이나,

※ 운영사별 자체조직, 차량 및 시설관리 등에 대한 안전관리체계를 승인받아 지속적으로 유지함으로써 '수동적 · 사후적 안전관리→자발적 · 사전적 안전관리'로 개편

※ 철도안전관리체계: 철도운영자 등이 인력, 시설, 차량, 장비, 운영절차, 교육훈련 및 비상대응계획 등의 안전관리에 관한 유기적 체계를 갖추어 국토교통부 장관의 승인을 받는 제도

- 철도안전관리체계에 대한 현장에서의 이해도가 낮아 동 체계대로 이행되지 않고 있어 철도안전관리체계 실효성 부족

※ '18년 정기검사 결과, 시정조치 296건 중 218건(73.6%)이 기 승인된 절차대로 이행하지 않은 사항(시정명령)들과 관련됨

- 철도안전관리체계 승인·검사는 철도운영자별 관리규정 보유여부 등 형식적 확인에 그치고 있고, 현장 이행실태에 대한 현장 점검 및 감독도 미흡하여 안전감독에 대한 실효성 확보 방안 마련 필요

❑ (사전예방을 위한 안전데이터 미흡) 철도안전종합포털을 통해 철도사고, 장애 등의 통계를 관리하고 있으나 사고 추세와 근본적 원인에 대한 분석 및 선제적 사고예방을 위한 안전데이터 수집 미흡

※ 철도안전종합포털 '08년 운영시작(교통안전공단 위탁), 사고·장애 13,170건 정보 보유('01~'17년)

※ 「철도사고등의 보고에 관한 지침(국토부 고시)」에 따라 철도사고, 운행장애를 보고

198) 한국교통안전공단, 철도안전종합포털 사고 Data('06.1~'17.12)

○ 국가에 보고하여야 하는 사고 등의 기준이 높아 국가 통계·분석의 실효성이 낮음(연간 300여건 보고)

- 철도안전통계는 사고결과 중심의 통계로, 정책수립· 안전대책 효과분석, 예산투자 연계분석 등에 어려우며, 사고예방 활동 등을 위한 통계 수집·관리 등은 미비[199)]

  ※ 주요 선진국 및 국제기구에서는 300종 이상의 철도안전지표를 개발하여 매년 공개하고, 안전정책 수립에 활용 중

- 차량고장 위주의 운행지연 보고로 강릉선 탈선사고와 같은 선로전환기 결함, 신호 오작동 등은 대형 참사 가능성이 높음

- 철도운영자는 사고 피해, 지연운행 시간 등에 따라 자료를 누적하고 있으나, 경영평가 시 불이익 등을 우려하여 대외 공개를 자제

- 운행 장애에 포함되어 있는 '위험사건'의 경우 보고사례가 적어 사고로 발전할 위험이 있는 요소에 대한 분석에도 한계

  ※ 위험사건 : 철도사고로 발전된 가능성이 높은 시설, 차량, 인적 오류

  ※ 위험사건 보고건수 : '11년 1건→'12년 0건→'13년 1건→'14년 0건→'15년 2건→'16년 1건→'17년 4건

  ※ 영국철도의 RSSB(철도안전표준위원회)의 경우 위험평가모형(SRM)으로부터 안전에 영향을 미치는 사고 전조, 위험요인, 안전장벽 등을 정형화하고, 정보시스템(SMIS+)를 이용하여 사고결과에 상관없이 년 약 75,000건의 정형화된 데이터 수집 및 분석하고 있으며, 자율보고시스템(Close Call)을 이용하여 년 약 150,000건의 비정형 데이터를 수집하고, 빅데이터 분석을 이용하여 정형화하여 지식(intelligence) 산출

- 안전문화, 보고체계 정착을 위한 시급한 대책마련 필요

○ 국민에게 제공되는 철도안전정보는 철도현황, 통계부분에 국한되어 제공되고 있어, 철도안전 정보에 대한 접근성이 낮고, 철도서비스의 사용자로부터 철도안전정보를 수집하는 채널 부족

- 정보화, ICT 기술발전 및 SNS 서비스 확대에 따라 국민들의 다양한 정보 소통 채널이 활성화되어 있고, 이를 통한 철도안전 이슈에 대한 국민적 관심 증가에 대한 대응 필요

❑ (철도안전 예측·평가 전문기술 부족) 「철도안전관리체계 기술기준」에 따라 철도운영자는 위험관리 조직을 구성하고 위험도 평가를 시행('14~)하고 있으나 철도안전 예측·평가 분석 기술이 부족하고 방법에 대한 경험능력이 축적되지 않아 내실 있는 평가 및 활용이 곤란

  ※ 도시철도 운영사 기관장 협의체 회의('16.5) 시 위험도 분석 전문가 양성 교육 프로그램과 표준화된 전산 프로그램 개발·보급을 요청

○ 철도안전종합포털 등에서 국가적으로 수집된 사고 데이터를 활용한 철도안전 예측·평가를 위한 정보와 기술 부족으로 과학적 분석을 통한 국가 정책수립이 곤란하며, 운영사의 위험도 평가·분석 기술지원의 어려움

  ※ KTX 강릉선 탈선 및 오송역 단전사고 등 재발방지 중시의 철도안전 강화대책('18.12)에서 선제적 사고

199) 국토교통부, 제3차 철도안전 종합계획(2016~2020)

예방을 위한 통계관리, 사고·장애 부품별 분석, 취약요인 진단 등 전문기술 요구

○ 각 운영자의 철도안전 정보관리에 대한 통계분석은 수작업으로 이루어지고 있어 고도의 전문성이 요구되는 과학적 분석 및 공유·활용을 위한 기반이 미흡[200]

※ 철도사고 등의 보고에 관한 지침에 의거 매월 15일 19개 운영사가 철도사고(7종), 위험사건(10종), 지연운행(9종) 등의 입력하며, 사고개요 등은 수기 입력

※ '17년 조회 정보 : 공지 및 일반게시물(62%), 사고통계(17%), 안전분석(2%)

- 사고·장애 및 감독관 활동은 현장에서 이루어지나 데이터 접근성이 부족하기 때문에 사고현장에서 이를 즉시 활용하지 못하는 애로사항이 있음

○ 국가로 보고되는 사고·장애 정보의 이외에도 철도안전법 內 안전관리·감독 제도를 시행하는 과정에서 다양한 정보가 도출되고 있으나, 국가차원의 정보 수집 후 통합운영을 통한 과학적 분석 및 공유·활용 등이 부재

- ① 철도안전 종합계획 및 시행계획(제5조~제6조), ② 철도안전투자의 공시(제6조의2), ③ 안전관리체계의 승인 및 유지 등(제7조~제9조의2), ④ 철도운영자등에 대한 안전관리 수준평가(제9조의3) 등

- `현재 한국교통안전공단에서는 철도안전정보관리시스템 內 철도사고·장애정보를 메인으로, 이외 철도안전관리체계, 종합시험운행 결과검토 업무 등 관리시스템 개발('16년)하였으나, 신청서류 및 결과관리, 검사인력관리, 증명서 관리, 시정조치 이행현황 관리 등 검사기록 이력 저장만으로 활용되고 있음.

- 철도연장과 신규 운영사가 증가하고 있으나, 철도안전관리체계 정착, 철도 관리·감독 강화 등을 위해 철도안전관리체계 이행 수준을 모니터링하고 안전조치를 시행하는 방안을 마련할 수 있는 기반 부족

❑ (철도운행 현장의 종합적 대응 미흡) 계획, 승무, 운행 등 열차운행단계별로 인적 · 차량 · 시설요소 등에 대한 안전성 검증이 운영사 내부적으로만 이뤄지고 있어 관련 주체 간 상호 감시 · 점검 · 확인시스템 작동 미흡[201]

○ 전라선 율촌역 무궁화호 탈선('16.4.22)의 경우 종사자의 실시간 운행안전정보 공유 및 다양한 주체간 상호 감시가 있었을 경우 예방 가능

- 차량·시설·신호 등 분야별 점검을 통한 유지보수는 시행하나 실시간 이상상태 확인 후 종사자간 종합적인 대응 부족[202]

- 특히, 차량관리장치(TCMS), 신호장치 등 일부 센서가 있는 장치도 개별 분야별로 조치함에 따라 체계적이고 종합적인 대응에 한계

○ 작업자 사상사고 및 운행선 인접공사로 인한 사고·장애 지속 발생

- 분당선 터널 보수공사 작업자 사망('18.7.), 오봉역 입환 작업자 부상('18.9.) 등 운행선 내 작

200) 국토교통부, 철도안전정보 활용체계 발전방안(2018)
201) 국토교통부 철도분야 고위험원 안전관리대책(2016)
202) 국토교통부, 스마트 철도안전관리체계구축 기본계획, 2017

업자에 대한 위치확인 및 열차운행 경고, 열차운행정보 공유 등 안전장치로 예방 가능

- 오송역 단전장애('18.11.) 등으로 철도 운행선 인접공사에 대한 안전관리 통제 중요성 대두

○ 국내 철도 사고·장애의 물적피해, 인적피해의 많은 부분은 위험요인에 대한 초기 대응 실패로 발생

- 철도노선, 운행거리, 종사자(기관사, 관제사, 승무원) 수 증가에도 종사자 개인 측면에서는 사고를 실제 경험한 경우가 거의 없어 비상시 효율적인 초동 대응에 실패할 경우 대형 사고로 연결될 수 있음

※ 2013년 대구역 무궁화호-KTX간 충돌사고 이후 4분뒤 KTX간 2차사고 발생

2. 목적 및 범위

❑ 사업목적

○ 철도 운영으로 인한 국민의 건강/재산 보장 및 편익 증진을 위하여 모든 철도 이해관계기관(국가, 철도운영사, 시설관리자 등)의 철도안전관리의 실효성 향상을 위한 데이터 기반의 철도안전 계획/실행/평가 및 개선 피드백이 가능한 SMS 구축 및 운용 기술 개발

❑ 사업범위

○ 철도 안전관리체계 및 시스템의 위험도를 평가하고 및 선제적 사고예방을 위한 국가차원의 데이터 기반 철도통합안전관리 시스템 기술 개발

- 철도 운영으로 인한 국민의 건강/재산 보장 및 편익 증진을 위하여 철도 이해관계기관(철도운영사, 시설관리자 등)의 철도안전 데이터를 수집하고, 국가차원의 철도안전 의사결정과 환류(PDCA, Plan-Do-Check-Act)를 지원하는 철도안전 예측·평가·의사결정 지원 기술

- 철도안전관리체계 실효성을 향상시키고 자율적인 안전개선을 지원하기 위한 운영자 및 시설관리자의 자가점검이 가능한 데이터 기반의 철도안전관리체계 평가·감독·관리 기술

- SNS, 쇼셜 등 국민들의 다양한 정보 소통 채널이 활성화됨에 따라 사용자 관점에서 철도안전 위험요인에 대한 정보를 빅데이터 기술을 통해 수집하고, 국민 개인별 맞춤형 철도안전 정보 제공 기술

○ 현장지원형 위험도 기반 철도안전관제 및 운영 기술

- 철도현장 데이터관리를 위한 표준 데이터관리체계 기술 및 차량, 시설, 운영 등 철도시스템 통합 안전관제 및 조치 기술

○ 수요·관계처(정부기관, 철도운영기관, 시설관리자 등)의 요구사항과 연구개발의 목표(성능 및 조건 등)를 정의하고, 개발기술의 실용화를 위한 현장 적용성 검증 및 시범운영의 종합적 지원

❑ 기술범위

○ 국민의 철도안전을 확보하기 위한 국가차원의 철도통합안전 예측·평가·관리 기술

- 국가가 사고·장애·사건 등 안전개선에 필요한 데이터를 철도 운영자 및 시설관리자로부터 수집하고 체계적으로 분석하는 기술
- 사고를 일으키는 메커니즘의 국가차원의 철도위험 예측·평가 기술
- 국가차원의 안전정책 의사결정 지원 기술
- 철도 운영사의 환류(PDCA, Plan-Do-Check-Act)기반 철도안전관리체계의 지원을 위한 철도안전 예측·평가·의사결정 기술
- 국가차원의 안전관리체계 평가·감독·관리를 위한 정보 기술
- 대국민 철도안전 서비스 정보 수집·생성 기술

○ 철도운영자가 철도운영환경에서 발생하는 다양한 이상상황(위험요인, 고장 등)에 운영사의 관련 주체(계획, 승무, 운행 등) 간 실시간 종합적인 대응하는 기술

- 철도운영자의 열차, 신호, 전력, 안전설비, 기존 관제 등 철도운행안전과 관련된 현장의 이상상황 데이터 수집을 위한 개방형 데이터 허브 및 네트워크 기술
- 철도운행 이상상황의 현장 파급효과 실시간 정량평가 기술
- 파급효과에 따른 인적·차량·시설 요소 등 관련 주체 간 현장 실시간 대응을 위한 철도 운행·제어 의사결정, 실시간 운행 안전정보 공유 및 대응 기술

○ 과제간 연계 관리 및 실용화를 위한 성능평가 입증지원

- 개발기술의 종합적 안전성능 확보를 위한 과제간 연계 지원 및 관리
- 시스템 현장적용 및 검증을 위한 대상지(노선) 후보군 검토, 구축범위 및 방안 제시
- 개발기술에 대한 사양을 개발하고 현장 적용성 검증, 시범운영 및 성능보완 지원

3. 최종목표

❑ 최종목표

○ 사업목표

- 철도 운영으로 인한 국민의 건강/재산 보장 및 편익 증진을 위하여 모든 철도 이해관계기관(국가, 철도운영사, 시설관리자 등)의 철도안전관리의 실효성 향상을 위한 데이터 기반의 철도안전 계획/실행/평가 및 개선 피드백이 가능한 SMS 구축 및 운용 기술 개발

○ 기술적 목표: 스마트 통합철도안전관리시스템 기술 개발 (TRL 7·8단계의 실용화 수준)

- 사고전조 중심의 국가차원 철도안전 예측·평가·관리 통합 정보 시스템 구축기술 개발 (TRL 7·8단계의 실용화 수준)
- 철도안전관리체계 실효성 향상을 위한 철도안전관리·감독 통합 정보시스템 개발(TRL 7·8단계의 실용화 수준)
- 빅데이터 기반 철도안전 대국민 서비스 정보생성 기술 개발(TRL 7·8단계의 실용화 수준)
- 인공지능 및 빅데이터 분석 기술을 적용한 열차운행안전 의사결정 기술 개발(TRL 7·8단계의 실용화 수준)

○ 사회적 목표: 철도사고 사상자 50% 감소

- 국가차원 철도안전 예측·평가·관리 통합 정보 시스템 개발을 통한 선제적 사고예방 및 철도안전 환류체계 구축
- 철도안전관리체계 실효성을 향상 및 자율적인 안전 개선
- 빅데이터 기반 철도안전 대국민 서비스 정보생성 기술을 활용하여 국민 개인별 맞춤형 고도화된 철도안전 대국민 서비스를 제공하고 사용자 중심의 철도안전관리 구현
- 사회적 파장이 큰 열차 충돌이나 탈선 등 철도 운행과정에서 발생할 수 있는 사고를 신속하게 예방, 제어함으로써 철도교통에 대한 대국민 신임도 향상

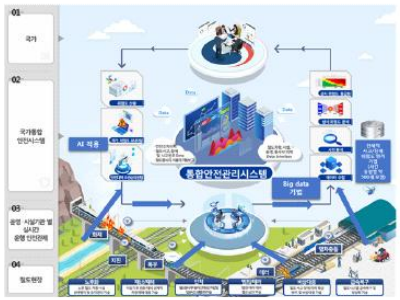
○ 경제적 목표: 철도안전관리시스템 시장매출 2,000억원 달성(과제 종료후 5년)

- 철도사고 사상자 50% 감소로 인한 사회적 비용 절감
- 철도안전 예측·평가 및 안전관리체계 시장매출 1,000억원 달성(과제 종료후 5년)
- 인공지능 및 빅데이터 분석 기술을 적용한 열차운행안전 1,000억원 달성(과제 종료후 5년)

❑ 단계별 목표

구분	총괄목표	1단계(2021-2023)	2단계(2024-2027)
기술적 목표	○ 철도안전관리의 실효성 향상을 위한 데이터 기반의 철도안전 계획/실행/평가 및 개선 피드백이 가능한 SMS 구축 및 운용 기술 개발(TRL 7·8단계의 실용화 수준)	○ 스마트 통합철도안전관리 시스템 핵심 기술 TRL 3·4 도달	○ 스마트 통합철도안전관리 시스템 핵심 기술 TRL 7·8 도달
사회적 목표	○ 철도안전관리체계 실효성을 향상 및 자율적인 안전 개선으로 선제적 사고예방 및 철도안전 환류체계 구축 및 운영	○ 데이터 기반의 선제적 사고예방 및 철도안전 환류체계 구축을 위한 스마트 통합철도안전관리시스템 사용자 신뢰성 확보	○ 스마트 통합철도안전관리 시스템 구축 및 운영으로 사용자 신뢰성 철도안전 관리체계 실효성을 향상
경제적 목표	○ 철도사고 사상자 50% 감소로 인한 사회적 비용 절감 ○ 철도안전관리시스템 시장 매출 2,000억원 달성(과제 종료후 5년)	○ 철도사고 사상자 20% 감소로 인한 사회적 비용 절감	○ 철도사고 사상자 50% 감소로 인한 사회적 비용 절감 ○ 철도안전관리시스템 시장 매출 2,000억원 달성(과제 종료후 5년)

4. 기술개발 로드맵

세부과제명	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	최종 성과물
사고전조 중심의 빅데이터 기반 국가통합 철도안전 예측/평가/ 의사결정 지원 기술 개발	위험발생/피해확산/예방대책 모델 개발 기술							 [빅데이터 기반 국가차원 철도안전 예측/평가/관리 통합 정보 시스템]
		안전데이터 표준화, 수집, 통합 및 분석 기술						
			안전상태 예측/평가 기술					
			다차원위험정보 생성 및 위험상태 판단 기술					
			안전대책에 의한 의사결정지원 기술					
			철도안전 예측/평가/관리 통합 정보 시스템 구축기술					
	과제간 연계 관리 및 실용화를 위한 성능평가 입증 지원							
철도안전관리체계 실효성 향상을 위한 데이터 기반 철도안전 감독 및 모니터링 기술 개발			철도안전관리체계 실효성 향상을 위한 감독체계 기술 개발					
				철도안전체계 관리/감독 통합정보시스템 구축 기술개발				

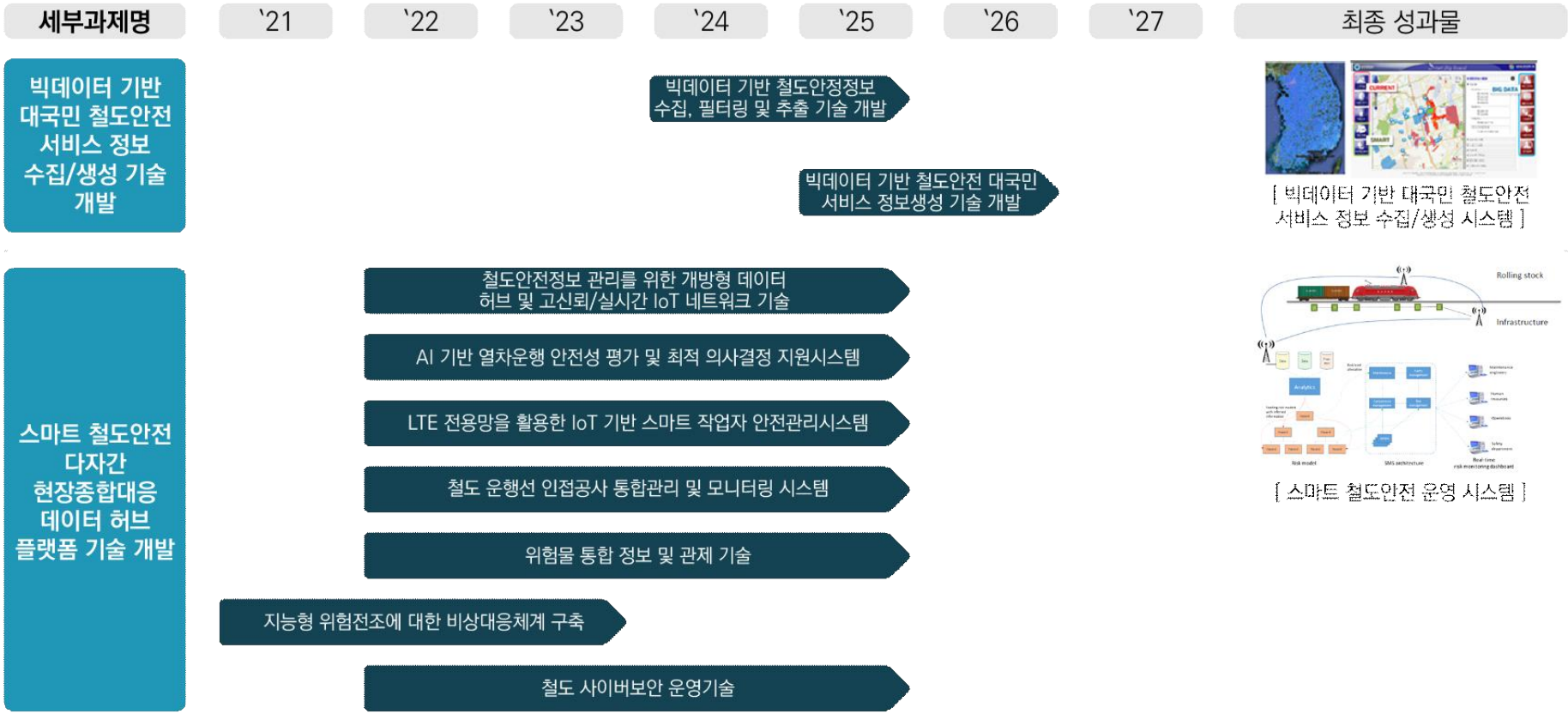


그림 6-1 스마트 통합안전관리시스템 기술 개발 로드맵

5. 최종 성과물 및 기대효과

❑ 최종성과물

○ 국가통합 철도안전 예측·평가·의사결정 지원 시스템

○ 철도안전관리·감독 정보시스템

○ 대국민 철도안전 서비스 정보 수집·생성 시스템

○ 스마트 철도안전 다자간 현장종합대응 데이터 허브 플랫폼

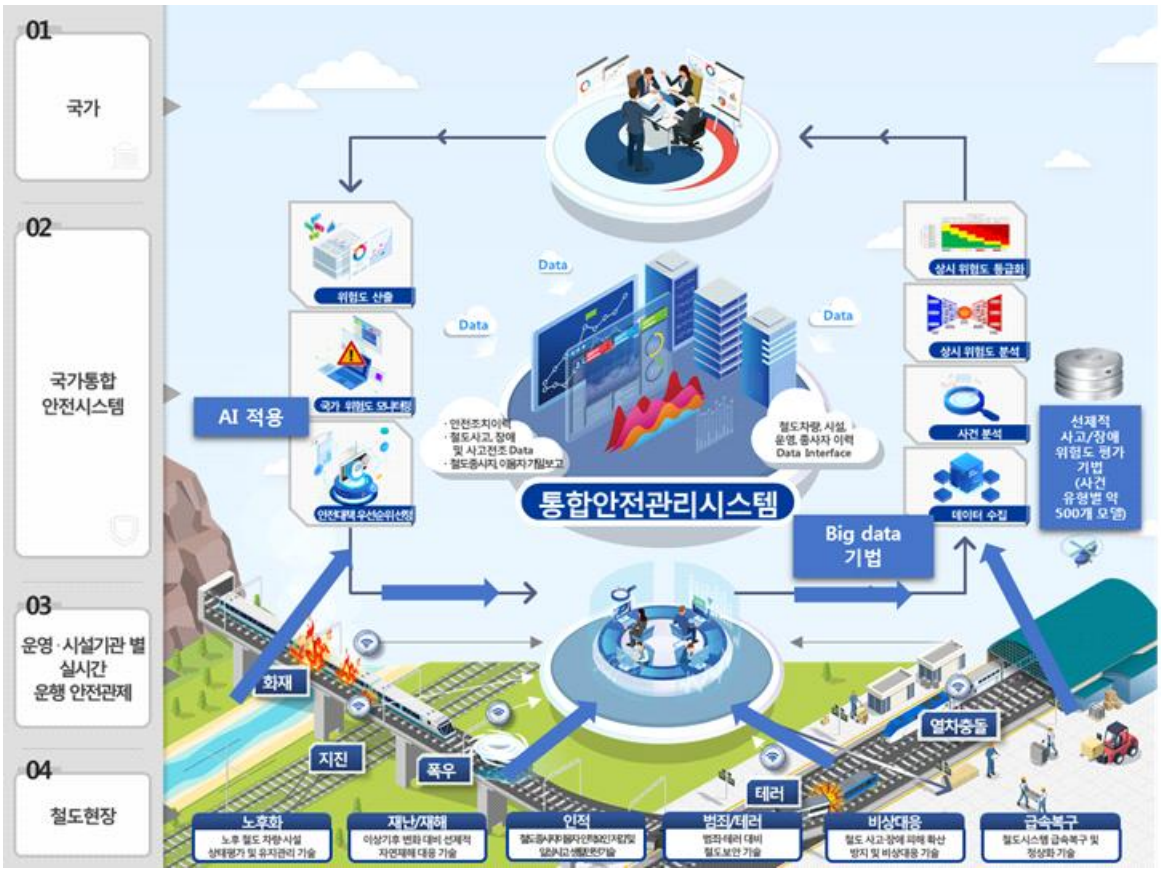


그림 6-2 국가통합 철도안전 시스템

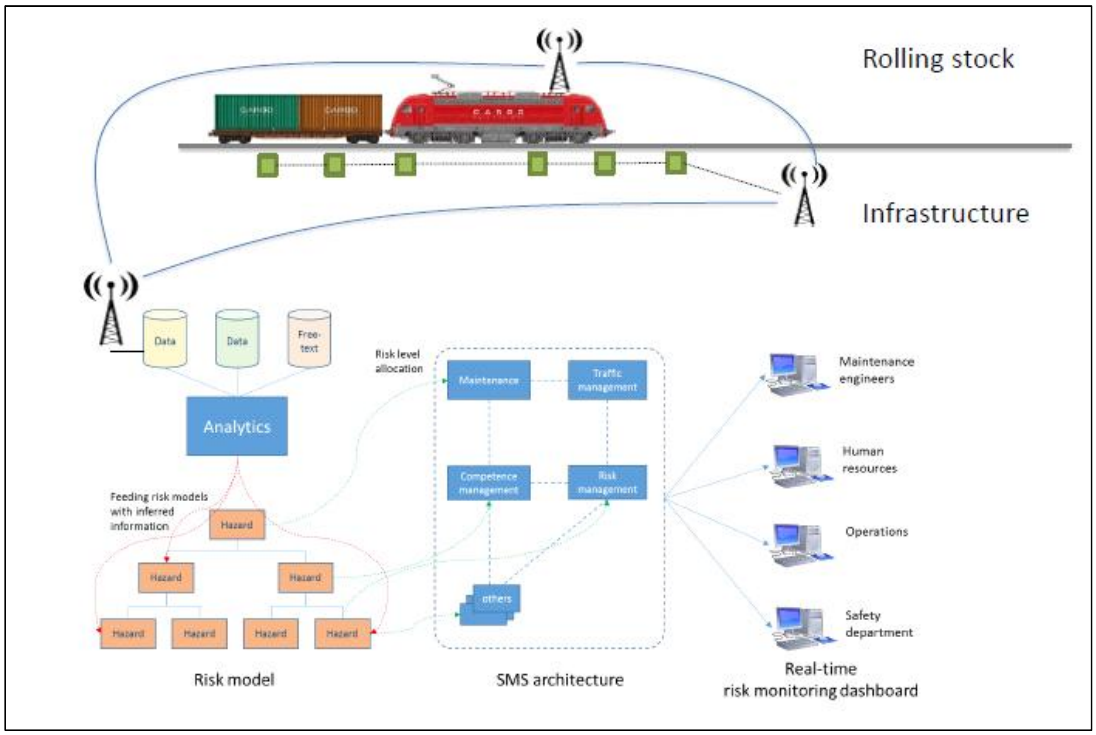


그림 6-3 스마트 철도안전 다자간 현장종합대응 데이터 허브 플랫폼

❑ 기대효과

○ 과학적 기대효과 및 파급효과

- 철도선진국과 동등이상의 철도안전을 확보할 수 있는 철도안전 예측·평가·의사결정 지원 기술 확보(TRL 7·8단계의 실용화 수준)
- 빅데이터 기반 국가통합 철도안전 표준화 및 수집하고, 국가통합 안전상태 예측·평가 기술개발
- 철도산업 육성 및 기술발전에 요구되는 철도안전 기반정보 공유함으로써 철도기술발전 활성화
- 철도안전관리체계 실효성 향상을 위한 철도안전관리·감독 정보시스템 구축 개발 확보(TRL 7·8단계의 실용화 수준)
- 안전 감독·관리 중 수집된 다양한 비정형 Data 및 위험·안전 정보로부터 빅데이터 기반 지식(intelligence) 산출할 수 있는 기술 개발
- 빅데이터 기반 대국민 철도안전 서비스 정보 수집·생성 기술개발(TRL 7·8단계의 실용화 수준)
- 사용자 친화적 관점에서의 철도안전정보 고부가가치화 및 과학적이고 실증적인 철도안전관리 기술 확보 가능
- 철도 안전 시스템들 간의 빅데이터 통합을 통한 상호연동 및 철도 안전 데이터의 통합적인 수집, 관리, 지식정보화, 공유 와 분석 결과를 활용함으로서 보다 정확한 사고 예측 분석 및 모니터링
- 철도시스템 안전 및 감시 설비상태 감시에 의한 실시간 사고예측 기법 개발

○ 시장경제적 기대효과 및 파급효과

- 안전상태 예측·평가에 기반을 둔 객관적, 비용-효과적인 안전개선 대책 마련
- 반복되는 사고 또는 신규 위험원에 의한 사고를 예방함으로써 사고피해비용 절감
- 해외 철도운영기관 및 제작사 대상으로 개발 기술 수출 및 기술이전 촉진
- 안전정보의 계량화를 통해 철도안전정보의 정확도 및 신뢰도를 확보하고, 국민 개인별 맞춤형 철도안전 정보서비스를 제공함으로써, 정보의 공신력/수용성 확대
- 철도 선진국 수준 이상의 철도 안전성 확보함으로써, 철도 서비스 운행 장애 감소 및 유지보수 비용 절감
- 고장을 사전에 예측하여 수리하게 되는 것으로 변경됨으로써 운행 장애가 감소하게 되고, 유지보수비용도 절감
- 철도분야 안전 관제 플랫폼 확충으로 인한 신사업 발굴 및 국내 시장 확대 및 성장
- 동일 모델 해외 진출 솔루션 확보로 국제 표준화 및 세계 시장 진출
- 관련 업종 신규 고용 인력 창출 (플랫폼, 데이터, AI분야 및 각분야 전문가 재고용)
- 지속적 투자를 통한 서비스 고도화 및 추가 서비스 제공 가능 (운영자/유지보수자/대국민)

○ 정책적 기대효과 및 파급효과

- 기존 철도사고 후속조치 중심에서 선제적 사고예방
- 운영기관의 인적, 차량, 시설, 운행관리 등 분야별 단편적 안전관리에서 국가의 철도안전 컨트롤타워 역할 수행
- 유사사고 재발방지 및 다중 안전방벽 수립
- 국가를 포함하여 철도 운영기관, 시설관리기관 등 현장에서 활용할 수 있는 철도안전 예측·평가·관리 통합 정보 시스템 신뢰성 평가 기술 개발을 통해 철도안전법에서 요구하는 기술을 확보하고, 전체 사업에 보급
- 철도 운영자 및 시설관리자의 안전관리체계의 지속적인 개선을 유도하여 안전관리의 실효성을 향상시키고 안전개선을 지원함으로써 철도안전관리체계의 근본목표인 자율적 안전관리 도달
- 국민 참여형 자율적 철도안전관리에 대한 국민적 인식 공유를 바탕으로, 안전행동 생활화 및 사전적 예방 중심의 철도안전문화 확산
- 자율적 철도안전관리의 필요성과 개인의 책임성에 대한 국민적 인식 공유와 안전의식 고취
- 철도사고의 명확한 요인 감시 및 대응체계 구축으로 철도 안전 의식 향상
- 철도사고의 신속한 예측 및 대응체계에 의한 철도안전성 향상
- 각 기관별 및 정부단위 공공 안전 데이터화로 향후 추가 서비스를 위한 데이터 축적
- 데이터 분석을 통한 알고리즘 및 AI를 통한 예지정비 가능
- 각종 사고 및 재난상황에 시스템화된 통합 대응

제2절 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술

1. 추진배경 및 필요성

❑ (종사자 인적오류 예방관리 미흡) 사회적 파급력이 큰 충돌, 탈선, 화재 등 열차사고의 주요요인이 기관사, 관제사 등의 인적오류로 발생[203]

○ 열차충돌(11건), 탈선(52건), 화재(3건) 등의 열차사고(66건)가 인적요인 47.0%(31건), 기술요인 51.5%(34건), 외적요인 1.5%(1건)로 발생

- 국내 열차충돌·탈선사고(63건)의 31.7%(20건)가 기관사(16건), 관제사(4건)의 인적오류(특히 안전수칙 위반)으로 발생

- `18년 발생한 철도사고(95건) 중 열차사고는 4건으로 시공·유지보수 불량, 선로 작업 절차 미준수, 운전규정 유반 등 인적오류로 발생

※ (유형) 열차사고 4건, 사상사고 78건, 건널목 사고 8건, 시설파손사고 4건 등

- `18년 발생한 운행장애(210건) 중 차량고장이 108건(51%)으로 가장 많고, 차량고장의 주요원인이 부품결함 및 정비사 정비소홀, 정비수칙 위반 등 인적오류로 발생

- 국외의 경우도 대형 철도사고는 종사자 인적오류 개입에 기인

※ '05년 일본 탈선사고(107명 사망), '08 중국 탈선사고(72명 사망), '11년 미국 충돌사고(6명 사망), '13년 스페인 열차탈선(79명 사망) 사고가 인적오류 개입 사고로 밝혀짐

- 인적오류에 의한 열차사고가 지속 발생하고 있으나, 인적요인(Human Factors)에 관한 체계적인 연구 부족으로 인적오류 예방관리에 대한 심도 있는 평가·검증이 미흡

○ 철도업무종사자의 직무는 직무유형, 근무교대 형태 등에 따라 해당 직무수행의 적합성 여부 확인 후 직무에 투입할 수 있는 직무적합성(Fitness For Duty) 관리체계의 개선 요구

※ 미국 원자력산업의 경우, 10 CFR Part 26을 통해 약물, 알콜, 피로 등의 직무적합성 관리를 강력히 요구하고 있으며, 국내 원자력산업에서도 원자로조종사에 대한 직무적합성 관리를 시행하고 있음.

※ 항공산업의 경우, 조종사 및 승무원의 직무적합성을 피로 및 스트레스 요인 측면에서 관리하여 인적오류로 인한 사건 · 사고를 저감시킴.

- 철도업무종사자의 직무특성에 따라 발생하는 인적오류 특성이 상이, 인적오류 특성분석을 통한 종사자 자격 및 적성관리 체계 개선 요구

❑ (인적오류 탐지·회복 기술 미흡) 기관사용 내비게이션, 양방향 신호시스템, ATP 신호 설비 등 인적오류를 사전에 탐지하여 예방하기 위한 지원도구 및 설비를 단계적으로 확대 설치하고 있으나[204],

○ 인적오류 메커니즘 분석, 인체신호 모니터링 등을 통해 기관사 등 종사자의 이상상태·잘못된 습관 등을 감지하여 인적오류를 사전에 탐지하여 획복할 수 있는 기술 부족

---

203) 한국교통안전공단, 철도안전종합포털 사고 Data('06.1~'17.12)
204) 국토교통부, 철도안전관리시스템 진단·평가표(비공개), 2016

- 철도사고 등 발생 시 기관사, 관제사 등 종사자의 인적오류 사후분석을 위해 열차운행 기록장치를 설치·운영 중이나, 지적환호응답 여부 등 기관사의 구체적 행동·조치사항 파악이 어려운 실정

※ 전라선 율촌역 무궁화호 탈선('16.4.22)의 경우 기관사가 관제지시를 받고 어떤 행동을 취했는지에 대한 기록이 없어 분석에 난항

○ 철도업무종사자의 인적오류를 탐지하여 발생과 함께 즉각적인 회복과정에 돌입하여 사건 · 사고로의 확산 및 피해를 최소화해야 하나, 상황별 인적오류 회복 매뉴얼이 없어 종사자 개개인의 대응능력에 의지

- 철도업무종사자별 인적오류 전형에 대한 회복 매뉴얼 및 대응기술 개발이 시급

- 철도업무종사자 본인 혹은 타인의 인적오류로 인한 작업자 위험을 탐지(혹은 예지)하여 즉각적으로 알려주고 피해를 차단 혹은 최소화하기 위한 방호기술 개발이 요구

- 인적오류가 개입된 이례상황에서 종사자의 의사결정을 지원하는 설비 필요[205]

❑ (운전업무종사자 및 관제업무종사자 교육훈련 미흡) 운전업무종사자 및 관제업무종사자의 신규 면허 취득과정에서 인적요소에 대한 교육 및 검증(시험)이 이루어지지 않아 인적오류로 인한 사고 우려 상존[206]

※ 항공분야의 경우 항공기조종사는 공중항법 시험과목에서 일부 내용을 인체생리 변화, 피로요인, 심리변화 및 스트레스 관리 지식 등 인적요인에 대해 할애(약 5~10%)

○ 운영자별로 자율적으로 재직자 교육을 실시 중이나, 교육수준·인프라 등의 편차가 심하고, 중소형 운영자는 자체 교육훈련기관이 없고 효과적인 교육 콘텐츠도 부족한 상황

※ '철도안전관리체계 기술기준' 8.1 인적자원관리 프로그램에 따라 교육계획·교육시기·평가방법 등을 수립하고, 세부기준은 운영자가 자율적으로 수립

※ 기관사 교육 현황

구 분	기관사 안전교육	기관사 직무교육
철도공사	24시간/년	1회/3년 + 2학점(30~40시간) 사이버교육
서울메트로	24시간/년(현장 실습 포함)	16시간/5년(사이버)
서울도시철도	24시간/년	24시간/5년
부산교통공사	24시간/년	40시간/7년(집합)

- 의무적으로 시행하는 안전교육도 유사한 사고의 재발 방지를 위한 사고사례 및 안전규제 교육(관련 콘텐츠) 등이 부족한 상황

※ 기관사·관제사는 분기별 6시간, 기타 종사자는 분기별 3시간 실시하나, 사고사례동영상 등 전문교재가 거의 없고, 운영자 내부직원(팀장)이 전달위주의 교육을 실시

205) 국토교통부, 스마트 철도안전관리체계구축 기본계획, 2017
206) 국토교통부, 철도안전전문인력 양성계획('17~'21)

- 철도종사자 안전교육 및 비상대응훈련 등을 실시하고 있으나, 사고전조 및 이례상황 발생 시 인적오류 저감을 위한 종사자간 합동훈련체계 미흡

  ※ 철도 비상사태 시 종사자별 임무 및 대처방법 등의 훈련을 위하여 종사자별 부분훈련(매분기 1회), 대외기관 및 분야별 종사자를 대상으로 종합훈련(반기 1회) 실시

❑ (종사자 정비작업 교육훈련 미흡) 철도 차량 및 시설의 정비교육에서 인적요소에 대한 교육 및 검증(시험)이 이루어지지 않아 인적오류로 인한 사고 우려 상존[207)]

- 항공분야의 경우 항공정비사는 항공역학 시험과목에서 일부 내용을 인체생리 변화, 피로요인, 심리변화 및 스트레스 관리 지식 등 인적요인에 대해 할애(약 5~10%)

- 베이비 붐 세대(50대)의 은퇴에 따른 전문인력의 감소, IT기술 발전 등에 따른 정보통신분야 전문인력 수요 증가에 따른 3개 분야(전기, 신호, 궤도) 전문기술자를 포함한 철도차량 및 시설 유지보수 분야의 효과적인 교육훈련 필요

  ※ 전체 철도종사자 중 30대 이하가 23.6%, 40대가 45.7%이며, 특히 노하우·업무숙련도가 높은 50대가 30% 이상을 차지하고 있어, 전문인력 퇴직(예정)자는 점증 추세연구개발 필요성

2. 목적 및 범위

❑ 사업목적

○ 철도 종사자 인적오류의 분석·예측과 가상훈련시스템을 통하여 인적요인에 인한 사고·장애를 사전에 예방하고, 이례상황 시 종사자의 비상대응능력 강화하는 기술개발

❑ 사업범위

○ 철도 종사자 인적오류 예방 및 비상대응능력 강화 기술

❑ 기술범위

○ 철도종사자 인적오류 저감 스마트 기술

○ 철도 사고·장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동훈련 가상시스템

○ 증강현실 기반 철도 차량·시설 정비훈련 및 정비지원 기술

207) 국토교통부, 철도안전전문인력 양성계획('17~'21)

3. 최종목표

❑ 최종목표

○ 사업목표

- 철도 종사자 인적오류의 분석 · 예측과 가상훈련시스템을 통하여 인적요인에 인한 사고 · 장애를 사전에 예방하고, 이례상황 시 종사자의 비상대응능력 강화하는 기술개발

○ 기술적 목표: 위험전조기반 철도종사자 인적오류 선제적 예방 기술 개발(TRL 7·8단계의 실용화 수준)

- 철도종사자 인적오류 저감 스마트 기술
  - 인적오류 특성 DB 수: 1,000건 이상
  - 인적오류 특성 빅데이터 수집 실시간성: 60% 이상
  - 인적오류 메커니즘 모델 적합성: 90% 이상
  - 인적오류 예지 인공지능 알고리즘 커버리지: 80% 이상
  - 인적오류 경각심 알림 시의성: 300 ms 이내
- 철도 사고 · 장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동훈련 가상시스템
  - 경험지식 기반 철도 사고 · 장애 훈련 시나리오 수: 50개 이상
  - 철도 사고 · 장애 훈련용 콘텐츠 분량: 250 minutes 이상
  - 가상현실 렌더링 속도: 90 fps 이상
  - 동일 가상공간 동시 훈련자 수: 12명 이상
  - 플랫폼 미들웨어 응답속도: 40 ms 이하
  - 가상훈련효과 검증표본: 48명 이상
- 증강현실 기반 철도 차량 · 시설 정비훈련 및 정비지원 기술
  - 경험지식 기반 철도 차량시설 정비훈련 시나리오 수: 100개 이상
  - 증강현실 오브젝트 직조작성: 90% 이상
  - 정비대상 영상 판별의 정확성: 99% 이상
  - 동일 증강현실 오브젝트 공유 수: 5명 이상
  - 정비훈련효과 검증표본: 30명 이상
  - 웨어러블 디바이스 활용 정비지원 기술의 사용성: 80점 이상

○ 사회적 목표: 종사자 인적오류로 인한 사상자 50% 감소

- 철도 종사자 인적오류 분석 · 예측을 통하여 인적오류로 인한 철도사고 · 장애 예방

- 가상훈련시스템 개발을 통한 철도 사고 예방 및 철도종사자의 비상대응능력 강화
- 철도 차량 · 시설 정비 품질확보 및 인적오류로 인한 사고 · 장애 예방

○ 경제적 목표: 위험전조기반 종사자/이용자 선제적 사고예방 기술 시장매출로 2,400억원 달성(과제 종료후 5년)

- 종사자 인적오류로 인한 사상자 50% 감소로 인한 사회적 비용 절감
- 철도 이용자 일상사고 및 범죄 피해 50% 감소로 인한 사회적 비용 절감
- 철도종사자 인적오류 저감 기술 시장매출로 700억원 달성(과제 종료후 5년)
- 철도 사고 · 장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동훈련 가상시스템 시장매출로 900억원 달성(과제 종료후 5년)
- 증강현실 기반 철도 차량 · 시설 정비훈련 및 정비지원 기술 시장매출로 800억원 달성(과제 종료후 5년)

❑ 단계별 목표

구분	총괄목표	1단계(2021-2023)	2단계(2024-2027)
기술적 목표	○ 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술 개발(TRL 7·8 단계의 실용화 수준)	○ 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술TRL 3·4 도달	○ 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술TRL 7·8 도달
사회적 목표	○ 종사자 인적오류로 인한 사상자, 일상사고 및 범죄 피해 50% 감소	○ 종사자 인적오류로 인한 사상자 40% 감소	○ 종사자 인적오류로 인한 사상자, 일상사고 및 범죄 피해 50% 감소
경제적 목표	○ 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술 시장매출로 2,400억원 달성(과제 종료후 5년)	○ 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술 사용자 신뢰성 확보	○ 고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술 시장매출로 2,400억원 달성(과제 종료후 5년)

4. 기술개발 로드맵



그림 6-4 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술 개발 로드맵

5. 최종 성과물 및 기대효과

❑ 최종성과물

○ 철도 종사자 인적요인 저감 기술

- 철도종사자 인적오류 저감 스마트 기술
- 철도 사고 · 장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동훈련 가상시스템 개발
- 증강현실 기반 철도 차량 · 시설 정비훈련 및 정비지원 기술

❑ 기대효과

○ 과학적 기대효과 및 파급효과

- 운전/시험/보수 직무의 예견적 오류평가 및 예방을 통한 철도 사고 · 장애 저감 및 철도 운영의 안전성 향상으로 철도시스템에 대한 사회적 신뢰도 및 수용성 향상
- 철도 종사자의 인적오류 발생환경에 대한 선제적 예측 및 관리를 통한 철도 사고 · 장애 감소로 인한 경제적 손실 저감
- 인적오류 저감 기술의 일환으로 첨단 ICT 기술을 활용한 가상물리체계 구축을 통해 철도업무종사자의 직무적합성(Fitness For Duty) 확보와 함께 획기적인 철도 사고 · 장애 예방효과에 기여
- 철도 사고 · 장애 예방 및 조기대응을 위한 경험지식기반 첨단 ICT 융합 가상훈련시스템을 통해 복합 사고 · 장애의 예방, 조기 대응을 통한 확산방지, 철도 시스템의 긴급복구 및 정상화에 기여
- 가상훈련시스템은 코레일 인재개발원 및 철도대학 등에서 가상훈련시스템으로 활용하여 현직 철도업무종사자 및 미래 철도업무종사자의 사고 · 장애 예방 및 대응능력 향상에 기여
- 작업자 숙련도에 비의존적인 정비품질 향상을 통한 잠재적 철도 사고 · 장애 근절
- 현장의 정비 작업자와 중앙관제 감독자와의 원격 협업이 가능하여 정비작업의 품질확보
- 철도산업의 증강현실 기반 정비훈련 도구 및 정비지원 시스템 원천기술 확보
- 철도 역사 내 이용객(교통약자) 유형별로 객체를 지정하고 실시간 이동 상태를 추적 및 관리함으로써 이용객의 이동 안전성을 향상
- 홍보 영상의 단방향성 교육이 아닌 증강현실(AR, VR)을 활용한 양방향성 교육을 통해 교육효과를 극대화 할 수 있으며 실질적인 사고예방 및 대응 능력 향상

○ 시장경제적 기대효과 및 파급효과

- 철도 종사자의 인적오류 발생환경에 대한 선제적 예측 및 관리를 통한 철도 사고 · 장애 감소로 인한 경제적 손실 저감
- 철도업무종사자의 근로자지원프로그램(EAP; Employee Assistance Program)과 연계 가능하

여, 근로복지 향상을 위한 근무환경 개선에도 긍정적인 효과가 있을 것으로 기대

- 정량적 안전영향척도에 기반한 운전/시험/보수 필수직무의 체계적 관리체계 구축을 통한 철도 시스템 수출 역량 제고
- 철도 사고 · 장애 조기 대응을 통한 확산방지, 철도 시스템의 긴급복구로 인한 경제적 손실 저감
- 기관사들의 인적오류를 줄이고 철도 사고 · 장애 대처능력을 향상시켜서 시민이 안전하게 이용할 수 있는 철도환경 조성
- 항공, 해양, 원자력 등 유사 고신뢰도 산업분야의 가상훈련시스템 개발 및 관련 산업 활성화
- 국내 철도산업의 성공사례를 기반으로 국내 철도산업의 국외 수출 경쟁력 확보 및 잠재 일자리 창출

○ 정책적 기대효과 및 파급효과

- 신기술 활용에 따른 양질의 일자리 창출 및 국가 이미지 제고
- 철도 안전의 지속적인 개선 및 발전 지원
- 국민에게 안전하고 정확한 철도교통서비스를 경제적으로 제공
- 철도산업의 경쟁력 강화와 안전성 및 편의성 향상을 통한 철도 서비스 품질 제고
- 신기술 활용에 따른 양질의 일자리 창출 및 국가 이미지 제고
- 철도안전의 지속적인 개선 및 발전 지원
- 국민에게 안전하고 정확한 철도교통서비스를 경제적으로 제공
- 철도산업의 경쟁력 강화와 안전성 및 편의성 향상을 통한 철도 서비스 품질 제고
- 철도 안전의 지속적인 개선 및 발전 지원
- 국민에게 안전하고 정확한 철도교통서비스를 경제적으로 제공
- 안전한 철도인식 확대로 철도 수송분담율 증가에 기여하며 국내에서의 성공을 기반으로 국외 수출에 따른 양질의 일자리 창출 및 국가 이미지 제고

제3절 철도시설 사고·운행장애 사전예방 스마트 기술

1. 추진배경 및 필요성

❑ **철도망 확대 및 철도이용객이 증가 추세이나, 최근 철도사고의 빈발로 국민의 불안감 증가**

○ 국내 철도연장은 2017년 기준 4,650.1km이나 운행용량 부족, 전철화 상이구간 해소 등의 문제해결을 위해 지속적인 신선 구축 및 개량을 추진할 계획으로 2026년 5,364km까지 연장 전망[208)]

- 고속철도, 일반철도, 도시철도를 포함하여 총 철도 연장기준으로 4,650.1km가 운영 중이며, 이 중 일반철도를 제외한 모든 철도는 전 구간이 복선전철로 운영 중

- 국내 철도 연장 구간 내 22,000여개 교량, 터널 등 구조물 등과 전철전력, 신호제어, 정보통신과 관련된 시설물이 설치되어 운영 중

○ 고속철도 장거리 이용객 및 도시철도의 출퇴근 시간대 이용객의 증가

- 코레일의 철도여객 수송인원은 '99년 이후 연평균 2.5%로 증가하고 있으며, 저탄소체계 구축, 교통비용 감축을 위한 철도수송분담률 제고 필요, 고령화 및 삶의 질 중시, 거대도시권역 형성 가속화에 따라 신속하고 편리한 철도의 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상

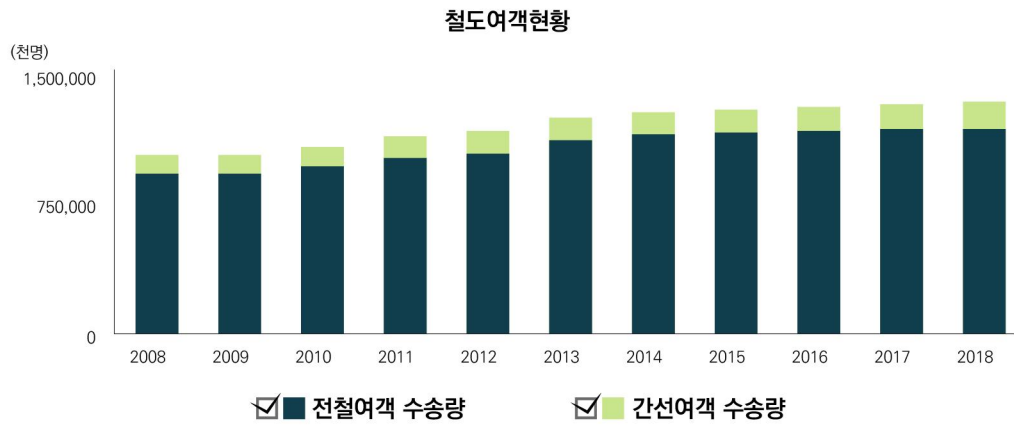


그림 6-5 코레일 철도여객 수송추이
* 참조 : e-나라지표, 철도여객수송추이('19.01)

- 도시철도의 경우 '18.12월 기준으로 운영 중인 701.7km 대도시 도시철도를 '25년까지 827.3㎞로 확대, 도시철도 중심의 교통체계를 구축하여 수송인원 증가 예상

- 매년 출퇴근 시 철도 이용률이 지속적으로 증가

208) 중장기 철도시설 개량투자 계획, 국토교통부 2018

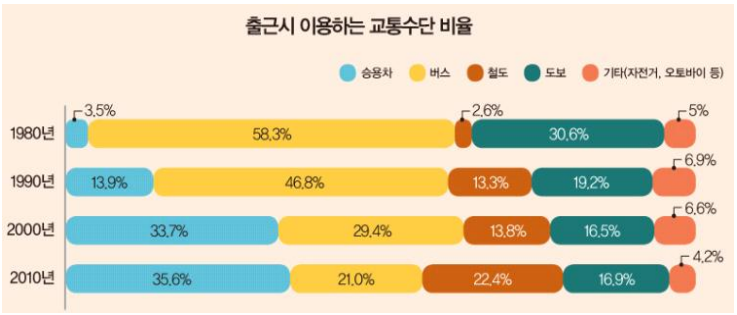


그림 6-6 출퇴근 이용 교통수단 비율
* 참조 : 재미있는 교통통계, 한국교통연구원('16.11)

○ 강릉 KTX 탈선사고, 오송역 단전사고 등 최근 2018년 12월에서 2019년 2월까지 3개월간 12건의 사고와 운행지연이 발생

❑ 철도 안전사고·운행장애의 발생은 시스템적 종합적 상황과 연관된 **철도시설의 다양한 원인으로 인해 지속적·반복적 발생**

○ 안전사고 또는 운행장애의 원인 중 철도시설의 주요인으로 인한 경우 선로, 급전, 신호 부분으로 분류[209)]

- 대형참사로 연결될 수 있는 기관사의 신호위반, 선로전환기 및 신호 오류, 선로 파손 등 장애는 데이터의 공유부족으로 파악이 어려움

○ 철도 안전사고·운행장애 사례의 원인별 분석에 따르면 동종사고가 지속적으로 발생하고 있으며, 잠재적 사고요인에 대한 진단 및 사전대응이 미흡

- 선로전환(장치/취급) 결함과 관련된 유사한 원인으로 최근 10년간 사고·장애가 139건이 반복해서 발생하였고, 최근 5년간 철도역에서 출입문 끼임사고가 900건이 넘게 반복 발생

- 선로분야의 경우 침목의 노후, 지반침하, 궤도의 수평틀림과 평면성틀림, 텅레일의 접촉가 부족, 레일의 고저차, 곡선부 분기부설치 및 횡압작용 등이며, 급전분야의 경우 지락사고가 대부분이며, 신호분야의 경우 선로전환기 고장, 궤도회로 점유 오정보 처리 등이 지속적으로 반복발생

❑ **전 산업분야의 스마트기술의 도입과 철도시설에 적용**

○ 최근 전 산업분야에 걸쳐서 AI, Big data, AR 등 스마트기술의 도입이 활발함

- 스마트 철도안전관리구축 기본계획 수립(2018.01) 및 발표

- 스마트 철도안전관리 기본계획에 의하면, 철도시설 상시 데이터 모니터링, 상태기반의 데이터 분석·예측·의사결정을 통한 최적의 의사결정으로 선제적 철도시설의 유지관리 및 개량화를 통하여 안전 기여

○ 과학기술정보통신부는 관계부처, 유관기관과 함께 국민이 안전하고 편리한 생활을 할 수 있도록 지능정보기술을 활용해 국가 인프라를 지능화하는 "스마트 SOC 사업"을 추진 중

209) 중장기 철도시설 개량투자계획, 국토교통부 2018

- 국가 인프라인 철도시설 전반에 데이터 기술과 인공지능을 활용해 지능화 달성 필요

❑ 현재 및 미래의 철도환경 변화에 따라 철도시설에 직·간접으로 작용하여 철도안전을 위협할 수 있는 노후화, 자연재해, 신 철도시스템 등 다양한 위험요인에 대한 사전진단 및 사고예방 기술 필요

○ 철도시설의 노후화는 철도안전의 위협요인 가운데 가장 주요한 요소로 상태기반의 이력관리 및 막대한 투자비용 대비 유지관리 효율화 필요

- '17.1월 기준, 준공된 지 30년 이상 경과된 교량·터널이 전체시설의 38.6%이며, 50년 이상 경과된 교량·터널도 전체의 24.2%[210)]

- '17.1월 기준, 내구연한*이 경과된 전기·통신설비가 37.4% 차지하며, 설비별 내구연한 경과율은 전철전력 28.7%, 통신 40.8%, 신호 41.8%

- 노후 국가철도시설에 대한 개량 투자가 확대되어 왔으나, '14년까지는 매년 신규 발생하는 노후 시설량보다 투자액이 적어 노후 시설이 증가하여 왔음[211)]

표 6-1 국가 노후철도시설 개량비 추이

구분	11년	12년	13년	14년	15년	16년	17년
노후시설 개량비	311	981	1,913	1,512	2,424	2,692	5,349
노후증가액(억원)	2,094	2,210	2,293	2,330	2,394	2,410	2,550

* '18년 노후증가액은 예상치

○ 최근 한반도의 이상기후 심화로 인한 폭우, 폭설, 지진 등 자연재해 발생에 대한 가능성이 증가함에 따라 사전대응 필요

- 폭우(우기)에 대비한 침수 우려개소, 낙석·산사태 우려개소, 사면·옹벽 붕괴 우려개소 등에 대한 인력위주의 현장점검

- 폭염 등에 궤도시설물의 온도 및 강성 등에 대한 모니터링을 통한 사전 상태변화 진단 필요

- 지진, 동절기(폭설, 해빙기)에 대비하여 노반 이완 위험개소, 내진성능 부족 철도시설물의 사전 보강 필요

○ 트램, PRT, 하이퍼루프 등 신교통수단의 개발 중에 있으며, 무인운전 시스템 도입, 초장대 대규모·대심도 공간, 범죄 및 테러 등 미래철도 환경변화에 대비 선제적 대응 필요

- 신교통 수단, 무인운전 등의 특성이 반영된 철도시설의 안전 위협요소에 대한 제도적 보완, 사전진단 및 사고예방 기술 개발 필요

- 사고발생 시 대규모 피해가 예상되는 대심도 공간에 대한 안전 위험요소 사전대응 필요

- 최근 급격히 증가하는 범죄, 테러 위협에 대한 사전 실시간 감지기술 필요

210) 중장기 철도시설 개량투자계획, 국토교통부(2018)
211) 2016년 철도안전시행계획

❑ 철도안전 사고예방을 위한 철도시설의 사전대책을 위한 유지관리, 개량을 시행 시, 데이터 기반의 유지관리 기술의 적용을 통한 비용절감과, 제한적인 철도현장에 따라 사전대응을 위한 한계극복이 가능한 기술개발 필요

○ 철도안전의 주요 위험원 중의 하나인 철도시설 노후화 개선을 위하여, 국토교통부는 효율적이고 체계적인 유지관리를 통한 철도안전을 확보하기 위한 중장기 철도시설 개량 투자계획(2018-2022)을 수립하였으나, 5년간 약 7조원의 재원이 소요됨에 따라 비용절감 노력이 요구됨

- 영국의 빅데이터 기반 시설물 RCM(Remote Condition Monitoring)시스템은 시설물의 상태평가 기반으로 적정하고 적기의 유지관리 함으로써 유지보수 절감 목표 약 30% 제시하고 시행 중

❑ 이에 따라 철도시설의 안전사고 예방을 위하여 데이터 기반의 철도시설 안전관리시스템과 과학적 의사결정에 따른 개량기술, 유지관리 비용절감 기술개발이 필요

2. 목적 및 범위

❑ 업목적

○ IoT, 빅데이터, AI 기술 등이 접목된 철도시설 스마트 안전기술은 데이터 기반 철도 통합안전관리체계와 연계하여, 상시간의 위험전조현상의 수집·분석·예측으로 신뢰성 높은 사전위험을 진단하고 데이터 분석 및 예측결과에 근거한 의사결정을 통하여 위험요인의 완화, 해소를 위한 선제적 유지관리·개량을 시행하는 기술로 기술적 수요가 높음

○ 이에 따라 데이터 기반의 철도안전관리체계와 연계한 철도시설 스마트안전기술의 적용을 통하여 지속적이고 반복적으로 발생하는 철도 안전사고·운행장애를 줄이고 선제적 대응을 위한 사전예방기술을 개발하고 이와 연관되는 철도시설 안전산업을 활성화 하고자 함

❑ 사업범위

○ 철도운영 현장에서 철도시설 종류별 안전사고·운행장애에 대하여 상시적 선제적 대응을 통한 사전예방이 가능한 철도시설 스마트 안전관리기술의 실효화 기술 개발

- 빅데이터, AI 등 스마트기술을 철도시설 안전관리에 접목하여 데이터 수집, 분석을 통한 사전예측이 가능한 시설 통합안전관리 플랫폼 기술 중심

- 국내환경에 적합한 표준화를 통하여 상용화를 목표로 IoT기술을 활용한 스마트기술 측정장비 및 모니터링 시스템 기술 개발

○ 철도시설의 안전사고·운행장애 위험요소를 사전 해소 또는 완화하기 위한 유지관리 또는 개량기술 및 실증 기술 개발

- 철도시설 위험요인의 사전예측에 따른 최적 의사결정을 통한 기존 유지관리·개량 결정기술 및 실증

- 스마트기술을 접목한 철도시설 유지관리·개량 기술 및 장비 개발을 통한 상용화 목표

❑ 기술범위

○ 철도시설(궤도, 노반, 철도교량, 철도터널, 철도역사, 신호, 전철전력)의 빅데이터 기반 상시간 상태 및 위험 전조현상 데이터의 측정, 수집 및 가공, 표준화 기술

- 철도시설(궤도, 노반, 철도교량, 철도터널, 철도역사, 신호, 전철전력)의 성능, 노후화, 재해·재난 등 사고위험 사전 전조현상의 데이터 측정 및 수집, 가공 기술 개발

- IoT기술을 활용한 철도시설 안전 위험요소 측정을 위한 스마트 측정기술 및 장치 개발

○ 위험도 기반 AI기술을 활용한 철도시설 상태진단, 분석 및 평가, 위험예측 및 의사결정의 모델 개발, 시뮬레이션 기술

○ 철도시설 종류별 안전 사전·사후 통합인터페이스 기술 등을 포함한 빅데이터 기반 안전관리 플랫폼 기술

○ 철도시설 안전사고·운행장애 사전예방을 위한 유지관리 및 개량 기술

- 스마트기술을 접목한 철도시설 유지관리·개량 기술 개발

- 철도시설의 유지관리·개량을 위한 자동화 기술 개발

- 철도시설 유지관리·개량을 위한 선로변 작업환경 개선 기술 개발

3. 최종목표

❑ 최종 목표

○ 철도시설에서 발생하는 안전사고·운행장애의 사전 위험요소를 탐지 및 진단, 분석 및 예측 결과에 따른 의사결정을 통하여 사전 유지관리, 개량을 함으로써 선제예방을 통한 철도 안전사고·운행장애 저감 실현

○ 기술적 목표

- 데이터 기반 철도시설 안전사고·운행장애 사전예방 지능형 기술 80% 이상 달성
- 철도시설 안전 위험전조 예측 신뢰도 80% 달성
- 철도시설 안전성능지수 10% 향상

○ 정책적 목표

- 철도 안전관리체계 정책의 실효성 80% 달성
- 철도시설 안전사고·운행장애 30% 저감

○ 경제적 목표

- 철도시설 유지관리 및 개량 비용 30% 저감
- 철도시설 스마트 유지관리시장 매출 1,300억원 달성

4. 기술개발 로드맵



그림 6-7 스마트 통합철도안전관리시스템 기술개발 로드맵

5. 최종 성과물 및 기대효과

❑ 최종성과물 적용 및 활용방안

○ 철도시설의 상시적 상태평가와 사고·장애 위험요인 데이터의 국가 및 운영기관 안전관리체계 연계를 통한 철도안전관리체계 실효성 향상

- 국가차원 및 운영기관별 안전관리체계 네트워크 구축을 통한 가감 없는 데이터의 활용
- 인력위주의 안전관리에서 빅데이터 기법을 활용한 안전관리의 체계화 및 정보화

○ 다양한 철도시설의 사고·장애 발생 전에 시설의 상태, 위험도 분석 및 평가, 사고예측을 위한 모델의 표준화, 기술개발을 통하여 국가 및 운영기관의 철도안전 사전예방체계 구축이 가능

- 국가차원의 철도안전 분석, 예측을 통하여 국가의 거시적 정책, 예산투자, 국가차원의 철도시설 안전도 향상 활용에 기여
- 고속/일반/도시철도의 시설특성을 고려한 분석, 예측모델의 표준화를 통하여 운영기관의 안전관리 체계 실효화 및 상시간 인력위주의 안전관리에서 빅데이터 기법을 활용한 안전관리의 체계화 및 정보화

○ 데이터 기반의 철도시설 사고·장애의 예측에 따른 의사결정에 따라 최적의 유지관리, 개량기술의 적용 및 비용저감 가능

- 철도시설의 상태평가, 사고·장애의 예측에 따른 적재적소의 유지관리, 개량 가능
- 철도시설의 수명증가 및 노후화 진전속도를 늦출 수 있음

○ 빅데이터, 인공지능, IoT 등 스마트기술을 접목한 철도시설 안전관리기술 활용을 통한 안전산업 신시장 창출 및 철도 신성장 동력 확보

❑ 기대효과

○ 기술적 기대효과

- 철도시설 안전사고·운행장애 사전 전조현상 데이터 수집, 분석, 예측기술 확보
- 철도시설 사고·장애 위험도 예측 모델 개발 및 전문성 확보
- 빅데이터, 인공지능, IoT 등을 포함한 스마트기술의 철도시설 안전체계 접목 및 실용화
- 데이터 기반의 의사결정이 가능한 철도시설 유지관리 플랫폼 기술 실용화
- 철도시설의 유지관리, 개량을 위한 작업환경 개선 및 시공장비 기술 개발

○ 정책적 기대효과

- 데이터 기반의 철도시설 안전정보 활용을 통한 국가 및 운영기관 안전관리체계 실효성 확보
- 철도시설 사고·장애 저감 30%이상 향상 및 대형사고 제로화 달성 가능

- 신뢰성을 확보한 철도시설 상시간 데이터 기반의 국가 안전정책의 효율화
- 3D 업종으로 분류된 안전관리 분야의 종사인력 고급화 및 전문화 제고

○ 경제적 기대효과

- 빅데이터, 인공지능, IoT 등을 포함한 스마트기술이 접목된 스마트안전기술은 국내 및 국외시장 진출
- 철도시설 유지관리 및 개량 비용 30% 이상 저감
- 철도시설 스마트 유지관리, 개량 시장 매출 1,300억원 달성

제4절 사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응 기술

1. 추진배경 및 필요성

❑ 차량부품 불량 및 노화로 인한 차량고장 및 지연운행 지속적 발생

○ (차량고장으로 인한 지연운행) 최근 10년간 차량고장으로 인한 지연운행은 고속철도(432건)*, 일반철도(785건)** 및 도시철도(257건)***에서 각각 58.5%, 55.3% 및 35.8%로 나타나 주요 원인으로 분석되었음

* 고속철도 차량고장 원인: 인적요인(9건), 외적요인(2건), 기술적요인(421건) 이며, 기술적요인중 단품불량/부품노화가 136건, 유지관리가 130건으로 대다수를 차지함

** 일반철도 차량고장 원인: 인적요인(8건), 외적요인(3건), 기술적요인(774건) 이며, 기술적요인중 단품불량/부품노화가 256건, 유지관리가 349건으로 나타남

*** 도시철도 차량고장 원인: 인적요인(14건), 외적요인(3건), 기술적요인(240건) 이며, 기술적요인중 단품불량/부품노화가 92건, 유지관리가 76건으로 나타남

○ (노화차량 증가) 노화된 철도차량의 수는 매년 증가[212]하고 있으며, 철도차량고장으로 인한 지연운행은 지속적으로 문제가 될 것으로 예상됨

- 한국철도공사의 경우 25년이 경과된 노후 철도차량 비율은 전체 차량수 16,456대 중 2,224대로 13.5%('18.12기준)를 차지하고 있으며, 서울교통공사의 경우 전체 차량수 3,626대 중 441대로 12.2%를 차지하고 있고 부산교통공사의 경우 전체 926대중 176대로 19.0%를 차지하고 있음

표 6-2 도시철도 운영기관 노후 철도차량(25년 이상) 현황

(단위 : 량, 기준일 : '18.12.31)

구 분	구분	합계	구 분	구분	합계
서울교통공사	차량수	3,626	부산교통공사	차량수	926
	노후차량	441		노후차량	176
	비율(%)	12.2%		비율(%)	19.0%

❑ 철도안전관리체계 적용을 위해 안전정보 수집 및 분석을 위한 플랫폼 등이 개발 중이나 실효성 한계

○ (차량안전관리체계 실효성 미흡) 운영자 중심의 자발적 안전관리체계를 도입('14.3)하였으나, 실행을 위한 관련기술이 충분히 개발되지 않아 실효성에 한계를 보임

※ 철도안전관리체계: 철도운영자 등이 인력, 시설, 차량, 장비, 운영절차, 교육훈련 및 비상대응계획 등의 안전관리에 관한 유기적 체계를 갖추어 국토부 장관의 승인을 받는 제도

- 철도운영처의 경우 차량유지관리 프로그램을 개발하여 시행 중에 있으나, FRACAS*,

212) 2019년도 철도안전 시행계획, 국토교통부, 2019

RAMS**, RCM*** 등을 적용하기 위한 데이터수집 및 분석 등의 기술여건이 조성되지 않음

* FRACAS: Failure reporting analysis and corrective action system

** RAMS: Reliability, Availability, Maintenance, Safety

*** RCM: Reliability Centered Maintenance

- 인력에 의존한 간헐적 주기적인 측정방식이 적용되고 있으나, 높은 측정비용과 위험전조 분석을 위한 수준(데이터량, 데이터 정밀도 등)의 데이터는 축적되지 않아 데이터활용도 저하

○ (플랫폼 기술 한계) 규모가 큰 철도운영처들은 IoT, 빅데이터, AI 등 4차 산업기술의 안전기술 적용 확대를 위한 플랫폼을 개발 중이나 센싱, 진단, 평가 등 핵심기술의 부족으로 국외 플랫폼에 의존

- 서울교통공사[213]의 경우 국외에서 개발된 유지보수 플랫폼(SAP 레오나르도)을 기반으로 유지보수시스템, SCM(Smart Connected Metro)을 구축하고 있음

- 중소규모의 지자체 철도운영처에서는 고가의 국외 플랫폼을 적용하지 못하고 있 유지보수 데이터의 보안 및 기술종속 등 문제발생 가능성 높음

※ 한국철도공사 위험도 기반의 철도안전관리체계 강화를 위한 빅데이터 플랫폼 구축

※ 서울교통공사 IoT 기술 등을 활용한 Smart Connected Metro 추진 중

- 철도차량 스마트 유지보수 사업(2019~2023)이 수행되고 있으나, 유지보수 효율화를 목적으로 수행되는 사업으로 몇몇 장치를 대상으로 한 유지보수 플랫폼은 개발될 예정이나, 차량 전체 시스템에 대해 위험도를 평가하고 이를 해소할 수 있는 플랫폼 개발은 사업 범위에 포함되어있지 않음

❑ 철도안전관리체계 실효성 확보 및 기술적 한계 극복을 위한 철도차량 정비 및 유지관리 기술개발 필요

○ (철도안전관리체계 기준 한계) 철도차량 점검 · 정비주기는 운영사별로 마련하고 철도안전관리체계로 승인받아 이행하고 있으나, 점검 · 정비주기 설정 방법 등 관련 기준이 모호

- 현장에서 차량 점검 · 정비 관련 사규 및 매뉴얼의 이행실태가 미흡하고 유지관리책임자의 결과 확인도 미흡

※ 정기검사('15) 결과, 운영사가 자체 기준에 따른 차량 점검·정비 미이행 63건 시정조치

- 운영사의 철도차량 운용현황을 파악하기 위한 전 주기적 모니터링 수단이 필요하나, 국가차원의 제도적 모니터링·관리 수단 부재

※ (서울교통공사) 주요장치 505종 85,000점에 대해 이력관리시스템 구축 중

○ (정비 작업 및 인력 한계) 신뢰성 높은 정비를 위해 적정 정비시간 확보가 필수적이나, 일부 일반차량(ITX-새마을 등)은 적정 정비시간을 확보하기가 어려움

※ 표준정비율 : 차종별 특성을 감안해 산출한 적정 정비율

213) 서울교통공사 2017년 안전보고서, 서울교통공사

※ 고속차량, 전기기관차, 객차는 표준정비율 대비 정비율이 높으나 ITX-새마을 등은 표준정비율보다 3.6% 낮은 수준

- 표준정비율을 확보하기 위해 교대근무, 차량이 정비기지에 입고되는 야간시간대 집중 정비 등으로 인한 높은 이직률로 정비책임성 · 전문성 향상 저해

- 베이비붐 세대의 은퇴로 인한 철도 유지보수 숙련단절 및 청년층의 생산현장 기피로 철도유지보수 작업의 공백현상 발생

- 유지보수작업자의 경험도·숙련도에 의존한 인력위주 정비로 인력 감축, 경력 단절, 주52시간 작업시간 단축 등의 환경변화로 인해 유지관리 작업의 한계상황 직면

○ (유지보수 장비의 첨단화 및 효율화) 철도망 확대 및 운행밀도 증가에 따라 유지보수 소요는 증가하고 있으나, 유지보수 장비의 노후화 및 인력 위주의 작업 시행에 따라 자동화 부족으로 작업 효율성 저하

- 유지보수 장비의 자동화 및 스마트화를 위한 기술개발을 시도[214]하고 있으나, 국산 장비에 대한 신뢰성이 확보되지 않아 대부분 외산 장비에 의존하거나, 기술제휴를 하고 있음

표 6-3 판토그래프 자동검사장치 기술개발 및 설치 사례

국내업체	㈜에코마이스터	㈜우진산전	샬롬엔지니어링(주)
원리	CCD 카메라를 이용한 상부 촬영방식 (스트레오 촬영방식)	초음파 반향(메아리)을 전파하여 시간측정	CCD 카메라를 이용한 하부 촬영방식
설치장소	서울메트로 창동기지 철도공사 용문기지 철도공사 평내기지	철도공사 이문기지 부산교통공사 대저기지	철도공사 병점차량기지 철도공사 공항철도 용유 차량기지 서울메트로 9호선 철도공사 시흥차량기지
기술제휴	없음	일본 미쓰비씨전기	일본 근기/긴테츠 차량엔지니어링
적용시기	2,000년 이후	1,991년 이후	1,999년 이후

○ (유지보수비용 절감) 인력위주의 데이터 측정 및 관리로 인한 고가의 데이터 획득 및 처리비용 해소를 위한 자동화된 센싱 및 처리프로세스 필요

- (국내 도시철도 전체 대상 사례연구) 철도통계연보에서의 일상검사, 월상검사 횟수에 대해 일상점검(5명 2시간) 189,894원, 월상점검(5명 8시간) 759,575원을 적용하여 계산하면, 코레일을 제외한 도시철도의 경우 인건비로 약 870억원이 소요되고 있으며, 일상검사가 월상검사에 비해 10배 이상의 비용지출이 발생하는 것을 알 수 있음. 따라서 스마트 유지보수를 통해 일상검사를 폐지하거나 항목을 축소하게 되면 약 750억원/년 정도의 비용절감을 기대할 수 있음

214) 철도차량 검수고 자동 검사장치 고도화, ㈜에코마이스터, 2015

표 6-4 일상 월상검수 자동화를 통한 유지보수비용 절감 예측

기관	일상검사(백만원)	월상검사(백만원)	합계(백만원)
서울교통공사(1-4호선)	45,295	6,685	51,981
서울교통공사(5-8호선)	14,673	3,395	18,073
서울시 9호선	973	99	1,081
부산교통공사	2,206	178	2,384
대구도시철도	3,711	94	3,805
인천교통공사	2,619	152	2,771
광주도시철도	819	45	864
대전도시철도	3,797	640	4,437
부산-김해	870	72	942
의정부 경전철	75	14	89
용인경전철	145	9	154
우이신설	387	18	405
합계	**75,570**	**11,401**	**86,986**

※ 철도통계연보 2017 데이터

2. 목적 및 범위

❑ 사업목적

○ 철도차량 핵심장치(추진장치, 보조전원장치, 제동장치, 주행장치 및 차량설비 등)의 위험전조에 대한 선제적 대응을 위해 데이터 수집/분석/진단 및 유지보수를 통한 철도차량 사고·장애 위험 예방 스마트 기술 개발

❑ 사업범위

○ 철도차량 상태거동 분석을 위한 차ㆍ지상 정보수집 시스템 개발

○ 철도차량 핵심장치 상태기반 위험전조 예측기술 개발

○ 위험전조기반 차량 스마트 유지관리 기술 개발

* 대상 핵심장치 : 추진장치(집전장치, 인버터/컨버터 등), 보조전원장치(연장급전장치, SIV 등), 제동장치(비상제동, 상용제동, 주차제동장치 등), 주행장치(주행장치틀, 윤축 및 차륜 등) 및 차량설비(차체, 출입문, HVAC 등)

3. 최종목표

❑ 최종 목표

○ 기술적 목표

- 차량 핵심장치 상태 데이터 실시간 센싱 80% 이상
  (핵심장치중 실시간 센싱장치 범위 = 실시간 센싱장치수/총 핵심장치수)
- 핵심장치 상태평가에 따른 위험전조 예측 정확도 80% 이상
  (위험전조 예측 정확도 = 위험전조 예측(정답) 수/총 예측수)
- 기술적 및 유지관리 요인으로 예측지 못한 고장 및 장애 건수 20% 저감
  (사업 후 비예측 고장 및 장애수 = 사업 전 비예측 고장 및 장애수*80%)

❑ 단계별 목표

표 6-5 '위험전조기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발 사업' 단계별 목표

구분	총괄목표	1단계(2021-2024)	2단계(2025-2027)
기술적 목표	○ 차량 핵심장치 상태 데이터 실시간 센싱 80% 이상	○ 차량 핵심장치 상태 데이터 실시간 센싱 80% 이상	
	○ 핵심장치 상태평가에 따른 위험전조 예측 정확도 80% 이상	○ 핵심장치 상태평가에 따른 위험전조 예측 정확도 50% 이상	○ 핵심장치 상태평가에 따른 위험전조 예측 정확도 80% 이상
	○ 기술적 및 유지관리 요인으로 예측지 못한 고장 및 장애 건수 20% 저감		○ 기술적 및 유지관리 요인으로 예측지 못한 고장 및 장애 건수 20% 저감
경제적 목표	○ 운행 중 고장 및 장애로 인한 지연비용 1,173억원*20%=234억원/년 달성(과제 종료후 5년 이내)	-	○ 운행 중 고장 및 장애로 인한 지연비용 1,173억원*20%=234억원/년 달성

4. 기술개발 로드맵

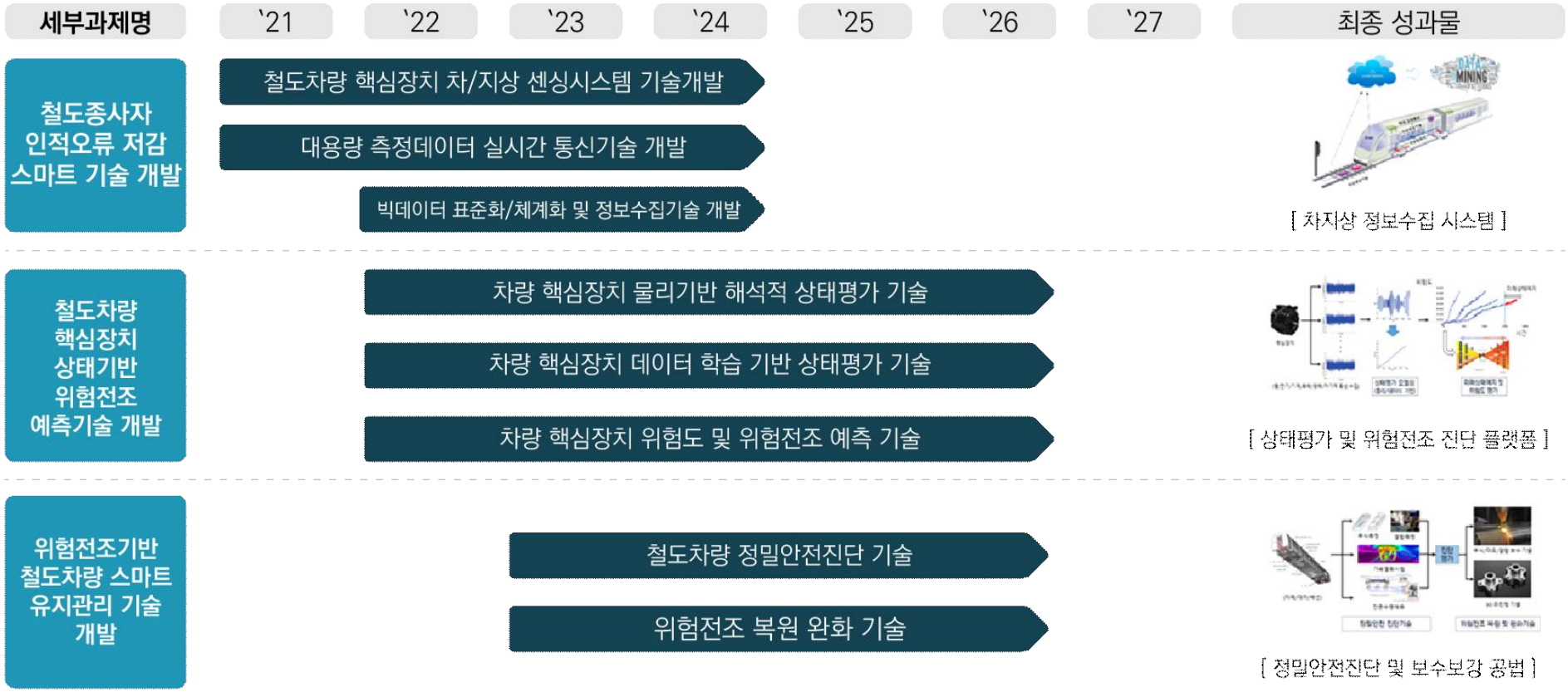


그림 6-8 사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발 로드맵

5. 최종 성과물 및 기대효과

❑ 최종성과물

○ 철도차량 핵심장치 위험전조기반 철도차량 장애 선제적 대응기술

❑ 기대효과

○ 과학적 기대효과 및 파급효과

- (수명예측기술 고도화) 장기간 사용하는 철도차량 차체 및 대차틀의 수명예측을 고도화 함으로써 정확한 사용주기를 계산하고 이에 따른 최적 유지보수를 수행함으로써 장애 예방
- (시뮬레이션 기반 수명평가) 실제 시험에 의존하고 있는 수명평가를 차량 및 선로의 상태를 고려한 시뮬레이션 기반 수명평가기술을 확보함으로써 다양한 운영조건(What if)에 대한 시뮬레이션 가능
- (위험도 기반 차량 유지보수) 철도차량 주요장치에 대해 위험도를 기반으로 한 유지보수를 수행함으로서 상태기반 유지보수 전환을 위한 초석 마련
- (노후도 고려 위험도 평가 기술) 철도차량 주요장치에 대해 노후도를 고려한 위험도를 평가함으로써 보다 실질적인 위험도 평가 가능

○ 시장경제적 기대효과 및 파급효과

- 노후 철도차량을 최대한 안전한 범위 내에서 사용할 수 있음으로 철도차량 사용수명을 연장할 수 있으며, 이로 인한 경제적 효과 달성
- 위험도를 기반으로 한 적정 유지보수를 수행함으로써 노후화된 차량의 안전성 및 유지보수성 향상

○ 정책적 기대효과 및 파급효과

- 노후철도차량에 대한 안전문제가 해소됨으로 인해 국민의 불안감을 잠재울 수 있으며, 철도이용객의 증가와 더불어 사회적 비용 절감과 교통 환경개선, 관련 산업의 경쟁력 강화 및 활성화 등에 기여 기대
- 철도안전관리체계 기술기준(국토교통부 고시 제2015-477호) 적용을 위한 기술의 토대를 구축함으로써 위험도에 따른 철도안전정책 달성

제 5 장 사업추진체계 및 관리방안

제1절 사업추진체계 및 성과목표·지표 설정

1. 사업추진체계

❑ 철도안전관리의 환류체계(Plan-Do-Check-Act) 프로세스를 위한 철도 구성요소별 사고·장애 전조 데이터 기반의 통합안전관리기술 개발이라는 사업특성 고려

- ㅇ 세부과제간의 연계, 전체적인 연구내용 및 사업수행을 총괄하기 위하여 사업단을 구성하여 추진
- ㅇ 1-1 세부과제(사고전조중심의 빅데이터기반 국가통합 철도안전 예측•평가•의사결정 지원 기술개발)는 세부과제의 통합적인 성격의 과제로 총괄과제 역할을 병행
- ㅇ 사업단과 세부과제 간 협약을 통해 사업단을 중심으로 세부과제 간 유기적 협력체계 구축
- ㅇ 스마트 기술의 급속한 변화와 성장 등을 고려하여 사업추진 중에도 대내외 환경변화 대응을 위한 체계와 역할 필요
- ㅇ 본 사업의 종합적인 추진과 정책방향에 맞추어 제도개선 등의 효율적 연계추진이 가능하도록 철도운영기관 협의체를 활용
- ㅇ 성과활용·확산이 효율적으로 이루어질 수 있도록 기획단계에서 평가단계까지의 성과계획·관리를 수행하고, 사업화 및 홍보, 후속지원 등 성과확산체계를 마련하여 추진

❑ 사업추진 주체별 역할 정립을 통하여 요구사항 정의 단계에서 실효화 및 실용화를 고려한 사업추진 전략 수립 고려

- ㅇ (요구사항 정의) 본 사업에 참여하는 각 이해관계자별 의견수렴을 통해 실용화를 위한 요구사항 도출
- ㅇ (데이터 기반 스마트기술의 접목) 기존 안전관리 단계별 적정 스마트기술의 적용 및 실효화 기술 지원
  - (안전데이터의 정의) 철도구성요소 별 성능상태 및 사고·장애 위험요인의 사전 전조현상 데이터의 정합성 확보를 위한 계측장비 및 기법, 수집 항목 도출 및 표준화
  - (데이터 기반 위험 분석·평가·예측·의사결정) 철도구성요소 별 위험 분석·평가·예측을 위한 위험모델 및 분석기법과 표준화 지원
- ㅇ (성능검증) 시험기관의 협조를 통해 시험항목 및 절차, 시스템 구동 검증 등 지원
- ㅇ (위험요인 사전예방 및 해소·완화 기술의 실증시험) 운영기관 등 관계기관과의 협력을 통해 테스트베드 구축 현장 확보 및 시험
- ㅇ (실용화) 국내시장 창출 및 진입 후 해외진출 후속 지원

❑ 본 사업 주관은 국토교통부, 전담기관은 국토교통과학기술진흥원으로 하며, 기술개발 및 사업관리는 사업단에서 수행



그림 5-1 동 사업 추진체계

표 5-1 사업추진체계 내 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, 사업단/세부과제 선정·평가, 사업단 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 의견 제시, 안전관리체계의 현장 운영을 위한 협의 및 협조, 연구성과의 수요처 소개 등을 수행
사업단	■ 사업수행을 총괄하는 주체와 동시에 세부과제의 통합연계 기능으로서의 연구내용을 수행하며, 세부과제 기획·연차평가, 진도관리 및 과제간 예산조정, 연구성과 관리 및 사업화 지원 등 수행 ■ 필요시, 진흥원과 협의하여 시장 및 기술 환경변화에 대응하여 데이터 기반 철도안전관리 기술개발 사업을 조정하는 재기획 추진
세부과제 수행기관	■ 사업 내 중점분야별로 기술개발을 직접 수행하는 기관으로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발을 수행하고, 해외 기술협력이 필요한 경우에는 해외연구기관과 공동연구를 수행

2. 사업 성과목표·지표

❑ 사업유형 구분

○ 과학기술정보통신부에서 발간한 “국가연구개발사업 표준성과지표 가이드라인”에서 제시한 R&D 사업 유형을 참고하여 동 사업의 유형을 구분함

- 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업은 사업의 목적 및 특성 등을 고려하여 중장기 산업기술 개발사업을 위한 R&D 사업으로 설정함

※ 동 사업의 목적은 철도안전관리의 디지털화와 위험요인 선제대응을 위한 안전역량 강화 및 스마트 생태계 조성임

※ 기술개발성과물의 직접적 활용처는 정부 및 운영기관이 됨에 따라 지능형 철도안전관리로 인한 공공기술개발 유형보다는 중장기산업 기술개발의 유형에 더 적합

표 5-2 R&D 사업 유형 분류

유형	개념 및 분류 기준
중장기산업 기술개발	중·장기적(3년 이상) 상용화를 목표로 추진 중인 응용·개발 연구사업

❑ 표준 성과지표 풀(Pool) 구축

○ 본 연구개발 사업 내 세부 기술분야별 성과지표 도출을 위한 성과지표 Pool은 ‘국가연구개발사업 표준성과지표’를 준용하여 유형별 성과지표 구축

표 5-3 사업 유형별 성과지표

유형	분류기준	사업유형별 성과지표
중장기산업 기술개발	광범위한 응용가능성에 중심을 두고 장기간에 걸쳐 기술개발	논문게재 건수, 특허출원 및 등록건수, 시험인증 건수, 연간 TRL달성도, 특허기술가치, 철도안전정보 표준화, S/W 등록, 설계기준/지침 적용, 기술규격 마련 건수 등

❑ 표준 성과지표 설정

○ 표준 성과지표는 전문가 자문회의를 통해 1) 과학적 성과, 2) 기술적 성과, 3) 사회적 성과(정책효과 포함)로 구분하고 연관관계를 고려하여 아래와 같이 성과지표를 설정

표 5-4 성과 유형별 공통 지표

성과 유형	공통 성과지표
과학적 성과	▪ 논문 건수 및 질적 성과(mrnIF)
기술적 성과	▪ 특허 건수 및 질적 성과(SMART 등급) ▪ 철도안전정보(DB) 표준화 및 구축 ▪ 안전정보 모니터링, 수집 S/W 등록(실증/인증) ▪ 안전정보 위험도 평가 및 상태평가 분석 S/W 등록(실증/인증) ▪ 통합관리시스템 검증
사회적 성과 (정책효과 포함)	▪ 정책활용도(정책, 법제정 및 개선, 설계기준/지침 등) ▪ 기술규격(기술기준) 마련

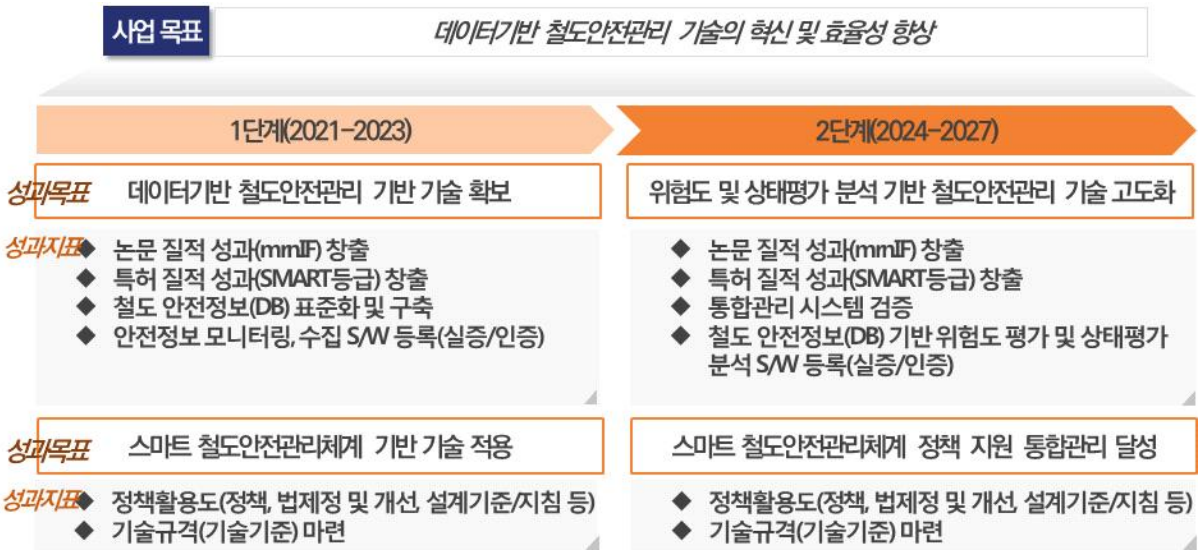


그림 5-2 사업목표, 단계별 성과목표 및 성과지표

❑ 단계별 성과목표

표 5-5 단계별 성과 유형별 성과지표

성과지표	1단계 (2021~2023)	2단계 (2024~2027)	성과 유형
논문(mrnIF)	59.0 이상	59.0 이상	과학적 성과
특허(SMART 등급)	3.9점 이상	3.9점 이상	기술적 성과
철도안전정보(DB) 표준화 및 구축	10개	17개	
안전정보 모니터링, 수집 S/W 등록(실증/인증)	10개	17개	
안전정보 위험도 평가 및 상태평가 분석 S/W 등록(실증/인증)	-	17개	
통합관리시스템 검증	-	1개	
정책활용도 (정책, 법제정 및 개선, 설계기준 등)	10개	17개	사회적 성과 (정책효과 포함)
기술규격 마련	10개	17개	

※ 참고: 국토교통부 철도기술연구사업 성과분석 보고서(2019) 평균('16-'18) 기준보다 상향
논문(mrnIF) 58.93
특허(SMART 평가) 3.87

표 5-6 성과지표 측정산식 및 측정방법(논문 mrnIF)

지표 ①	논문 mrnIF (표준화된 영향력지수)
측정산식	= 논문 mrnIF ※ SCI IF의 한계점을 보완하기 위해 Pudovkin 등은 학문 분야내 SCI IF 랭킹 정보만을 활용한 순위보정영향력지수(rnIF) 지표를 개발 ※ 그러나 rnIF 최하위 값은 분야 내 저널수에 의존하는 한계가 있어 이점을 보완하기 위해 mrnIF를 개발 ※ 측정산식: {N×(rnIF-1)}/(N-1)×100, N: 해당분야의 총 저널 수
측정방법	국내외 논문게재 실적에 대한 질적 성과를 목표로 잡고 있으며, 철도기술연구사업을 통해 최근 3년간 달성한 성과가 B등급 이상을 유지함에 따라 동 사업을 통한 SCI논문도 유사, 또는 개선 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 논문발표 성과로 등록된 것을 대상으로 측정

표 5-7 성과지표 측정산식 및 측정방법(특허 SMART 등급)

지표 ②	특허 SMART 등급
측정산식	= 특허 SMART 등급
측정방법	국내외 특허 출원/등록에 대한 질적 목표르 성과로 잡고 있으며 철도기술연구사업을 통해 최근 3년간 달성한 성과가 3.87 이상을 유지함에 따라 동 사업을 통한 특허도 유사, 또는 개선 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 특허성과로 등록된 건수로 측정

표 5-8 성과지표 측정산식 및 측정방법(철도안전정보(DB) 표준화 및 구축)

지표 ③	철도안전정보(DB) 표준화 및 구축
측정산식	= Σ(철도안전정보(DB) 표준화 및 구축 건수)
측정방법	데이터기반 통합관리시스템 등 연계되는 세부과제별 안전정보 표준화 기준 건수 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 표준화 기준 건수로 등록된 건수로 측정

표 5-9 성과지표 측정산식 및 측정방법(안전정보 모니터링, 수집 S/W 등록)

지표 ④	안전정보 모니터링, 수집 S/W 등록(실증/인증)
측정산식	= Σ(안전정보 모니터링, 수집 S/W 등록(실증/인증) 건수)
측정방법	데이터기반 통합관리시스템 등 연계되는 세부과제별 S/W 적용 건수 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 S 건수로 등록된 건수로 측정

표 5-10 성과지표 측정산식 및 측정방법(안전정보 위험도 평가 및 상태평가 분석 S/W 등록)

지표 ⑤	안전정보 위험도 평가 및 상태평가 분석 S/W 등록(실증/인증)
측정산식	= Σ(S/W 등록(실증/인증) 건수)
측정방법	데이터기반 통합관리시스템 등 연계되는 세부과제별 S/W 적용 건수 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 S 건수로 등록된 건수로 측정

표 5-11 성과지표 측정산식 및 측정방법(통합관리시스템 검증)

지표 ⑥	통합관리시스템 검증
측정산식	= 통합관리시스템 검증 건수
측정방법	데이터기반 통합관리시스템 등 현장 검증 건수 ※ 국가 통합관리 시스템

표 5-12 성과지표 측정산식 및 측정방법(정책활용도)

지표 ⑦	정책활용도
측정산식	= Σ(정책, 법제정 및 개선, 설계기준 등 건수)
측정방법	데이터기반 통합관리시스템 등 연계되는 세부과제별 정책활용, 법 제정 및 개선 근거, 설계기준 등 적용 건수 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 정책, 법제정 및 개선, 설계기준 등 건수로 등록된 건수로 측정

표 5-13 성과지표 측정산식 및 측정방법(기술규격 마련)

지표 ⑧	기술규격 마련
측정산식	= Σ(기술규격/기술기준 등 반영 건수)
측정방법	데이터기반 통합관리시스템 등 연계되는 세부과제별 기술규격/기술기준 적용 건수 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 기술규격 건수로 등록된 건수로 측정

제2절 사업 및 성과 관리방안

1. 사업관리 체계 및 프로세스

❑ 본 사업의 최종결과물의 실용화 및 현장적용 성과 극대화를 위한 전주기적 프로세스에 기반한 성과관리 운영방안을 도입

- ㅇ 계획(사업/과제 기획) · 사업목표의 명확성, 성과계획의 합리성, 사업목표와 내용의 적합성, 유사성/중복성 검토를 통해 사업 추진의 적절성 확보
- ㅇ 집행(연구개발 수행관리) · 연구기관 선정 및 비용·인력 등의 자원배분, 연구개발 수행, 연구 수행 산출물 도출의 체계적 수행을 통해 사업 수행의 체계성 확보
- ㅇ 결과(성과조사·분석·평가) · 사업 투입 대비 산출 분석, 산업에 대한 경제적·사회적·공공적 영향력 분석, 특허/시제품/사업화건수 등 질적 성과 및 양적 성과분석을 통해 사업수행의 효율성, 효과성 확보

❑ 과제기획부터 공고, 선정 및 연구수행, 사후관리까지 세부 프로세스 및 수행주체별 명확한 역할분담을 통한 R&D 전주기적 관리 프로세스 확립

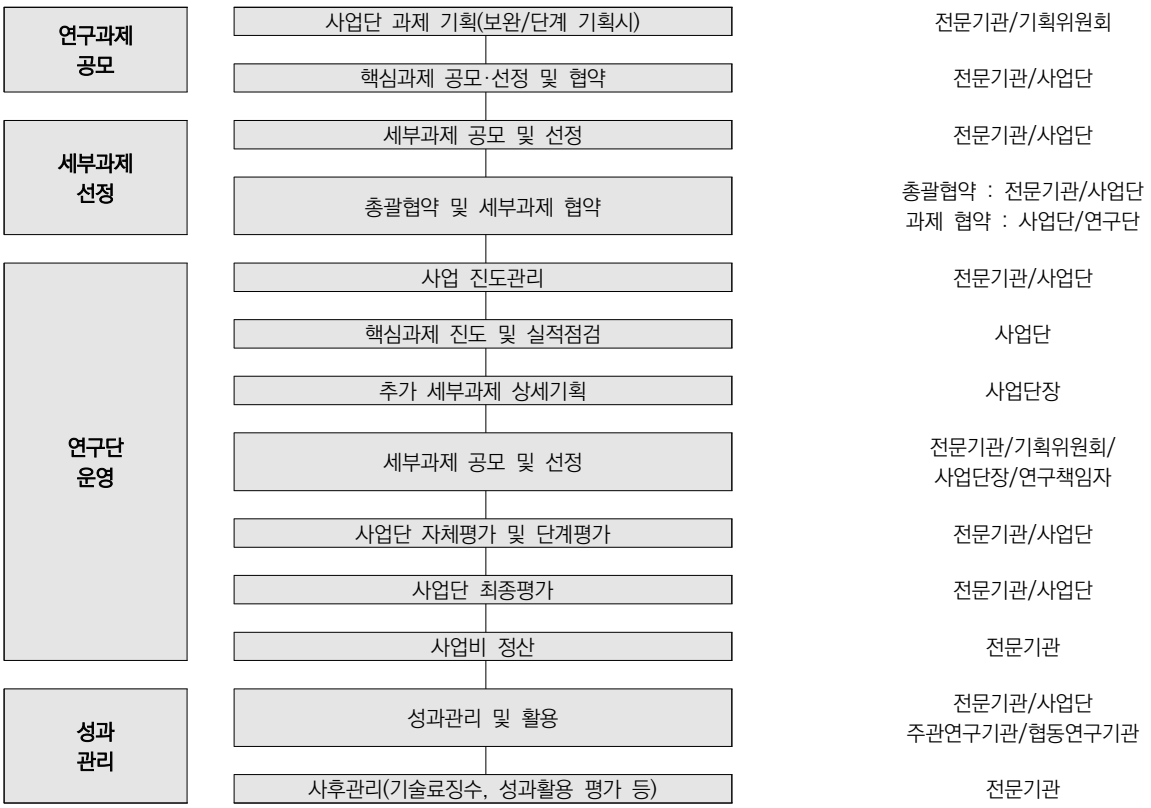


그림 5-3 사업 추진 절차

2. 사업관리 전략

❑ 사업평가 및 관리 이원화

○ 본 사업은 산학연 등이 기술 개발을 수행하고 전문기관이 선정평가·중간 및 최종평가 및 성과관리·확산을 담당함으로써 공공과 민간의 적절한 역할 분담을 통해 전문성 강화 및 공정성 확보를 동시 달성하는 관리체계로 운영

- 과제 선정 및 중간(연차 및 단계), 최종평가 시 진흥원이 평가위원회 구성 및 운영을 지원하고 운영위원회가 최종 추인

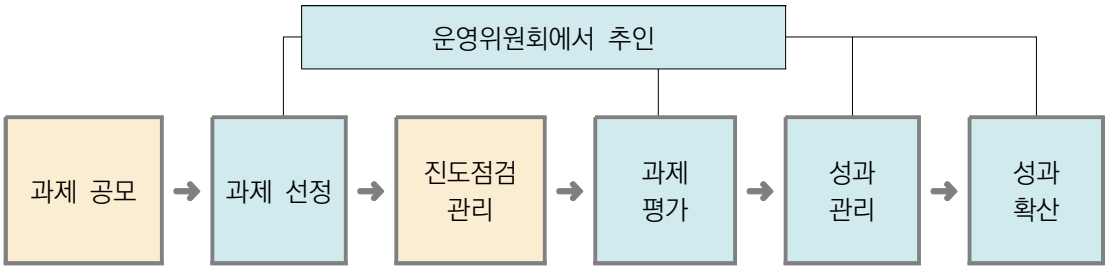


그림 5-4 사업평가 및 관리 방향

○ 기존 개발기술과의 연계를 통한 운영기관 및 산업계에 적용가능한 상용기술개발 추진

○ 세부과제, 구성기술별 공공-민간역할 분담을 통한 현장적용 및 실증 강화

3. 단계별 평가/관리 절차 및 기준

❑ 선정평가

○ 사업 추진 방식에 따라 평가항목의 가중치를 다르게 부여하여 사업 실효성 제고

- 기술개발 추진계획의 타당성 및 구체성, 기술의 우수성 등에 대한 가중치를 높게 평가를 시행하여 목적지향형 R&D 사업 추진

- 매년 기술동향 및 운영기관 니즈 발굴·분석을 통해 연구개발 방향성에 적극 반영

표 5-14 선정평가 절차

주요 절차	내 용
신청서류 접수 (전문기관)	연구개발계획서 등 신청서류 접수
⇩	
선정평가 계획수립 (전문기관)	선정평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
사전검토 (전문기관)	과제담당자 사전검토 - 신청서류 적합성 - RFP 부합여부 - 중복성 조사내용 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
선정평가 실시 (연구과제 평가단)	서면평가, 온라인평가, 발표평가, 현장평가 중 하나 이상의 방법 고가(3천만원 이상) 연구장비 심의
⇩	
평가결과 보고 및 통보 (전문기관)	선정평가 결과 국토부 보고 평가결과 신청기관 통보 및 협약체결 안내
⇩	
협약체결 (전문기관↔주관연구기관)	선정기관은 평가위원 의견을 반영 조치 협약체결

- (사전검토) 신청기관이 제출한 연구개발계획서에 대해 과제제안요구서(RFP)와의 부합성, 타 과제와의 중복성 등 사전검토 자료를 연구과제 평가단에 제공 가능
- (평가방법) 서면평가, 온라인평가, 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시
- (평가항목 및 배점) 개별 평가계획 수립시 「국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음

  ※ 연구계획의 창의성·우수성, 과제목표의 도전성·적절성, 과제지표의 적절성 등의 항목에 대해 평가위원의 전문적 판단에 기반을 둔 정성평가 중심으로 실시

- (평가결과의 산정) 종합평가점수 산정시 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조에 따라 과제 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여 가능하며, 이를 반영한 과제별 최종점수로 지원대상 기관 선정
- (평가결과의 조치) 선정평가 결과를 국토교통부장관에게 보고하고, 평가위원의 명단 및 종합의견(평가위원 개인별 점수 및 의견 제외) 등 평가결과를 신청기관에 통보 후 연구과제 평가단 의견 등을 반영 및 보완하여 협약 추진

표 5-15 선정평가 항목 및 내용(안)

평가항목	평가내용
기술개발 추진계획	기술개발 계획목표 및 범위의 명확성
	기술개발 추진체계 및 참여인력구성의 적정성
	기술개발을 위한 사업비 책정의 타당성 및 구체성
도전성과 창의성	기존 기술대비 도전성, 창의성, 차별성
	창의적 기술로 신규 시장 창출 및 개척가능성
주관기관 기술개발역량	총괄책임자의 역량
	주관기관의 기술개발 역량
기술의 우수성	기술개발의 완성도, 혁신성, 치별성
	기술개발 조기 성공 가능성
	기술의 수명주기상의 위치
	기술의 권리확보 및 모방용이성
기술의 사업성	세부기술간 패키지 기술개발 가능성
	마케팅 계획, 예상 판로의 다양성 및 구축정도
	생산기반의 확보 및 생산성
기술의 시장성	사업화대상기술의 시장 규모 및 시장 성장 가능성
	해당산업의 시장 경쟁구도 및 진입장벽, 예상시장 점유율
	사업화대상기술 및 해당산업의 경제적 파급효과
합계	

❑ 연차(단계) 평가

○ 전문기관의 사업관리실은 사업수행과정을 정기적으로 모니터링하여 사업의 실패 확률을 줄일 수 있도록 함

○ 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 목표달성도에 대한 평가 실시

- 연구책임자가 제시한 마일스톤의 목표 달성여부를 확인 및 평가하고 과제의 성과 및 진척도를 판단

- 과제 진척도 및 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템 구축, 운용

표 5-16 연차(단계)평가 절차

주요 절차	내 용
연차(단계)평가 계획수립 (전문기관)	연차(단계)평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
연차(단계)평가 자료 제출	연차(단계)실적계획서, 성과점검기준표 증빙서류 등 평가자료 제출
⇩	
사전검토	과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 연구계획 변경내용 - 실용화 점검결과 반영내용 - 연구비 집행실적 및 이월신청 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
연차(단계)평가 실시 (전문기관)	해당 연도(단계) 실적평가 및 다음 연차(단계) 계획 검토 * 대면(발표)평가, 현장평가 등 적합한 평가방법 선택
⇩	
연차(단계)평가 결과 보고 및 통보 (전문기관)	연차(단계)평가결과 국토부 보고 연차(단계)평가결과 주관기관 통보 및 협약체결 안내
⇩	
협약체결 (전문기관↔주관연구기관)	연차(단계)평가결과를 반영하여 차년도 협약체결

○ (사전검토) 주관연구기관이 제출한 연차(단계)실적·계획서, 성과점검 기준표 등을 연구과제 평가단에 미리 송부하여 사전 검토토록 하고, 전담기관 담당자는 사전검토 내역을 평가단에 제공 가능

○ (평가방법) 과제단위로 실시하되, 필요한 경우 세부과제 단위로 평가하고 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시

○ (평가항목 및 배점) 개별 평가계획 수립시 「국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음

- (기본방향) 원칙적으로 정성평가를 실시하되 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가 실시 가능

- (실적) 당해연차(단계)의 핵심성과 중심의 질적 달성수준을 중심으로 점수평가 실시

- (계획) 최종목표 달성을 위해 수립된 다음 연차(단계) 연구계획의 적정성에 대한 연구과제 평가단의 검토를 통해 “일부보완” 또는 “전면수정” 판정

○ (평가결과의 산정) 종합평가점수 산정시 연구과제 평가단 평가점수(90%) 및 진도관리 평가결과(10%)를 기준으로 종합평가점수를 정하되, 진도관리평가 생략시 평가단 결과만으로 종합평가점수를 정함

- 연구단과제를 세부과제 단위로 평가한 경우 연구단 종합평가점수는 세부과제 종합평가점수의 평균으로 정함

○ (평가결과의 조치) 실적 종합평가점수에 따라 과제의 ‘계속지원’(60점 이상) 또는 ‘지원중단’(60점 미만) 판정하고, 실적 종합평가점수에 따라 평가단위 과제의 연구수당 지급기준을 차등 적용함

- 계속지원 대상과제에 대해서는 평가결과 및 종합의견을 통보하고, 보완대비표 및 연차(단계)실적·계획서 등을 수정·보완 요청

- (계획 일부보완) 평가단 의견에 따른 연차(단계)실적·계획서 수정·보완 여부에 대하여 전문기관 담당자 확인을 거쳐 협약 추진

- (계획 전면수정) 평가단 의견에 따라 전면 수정된 연차(단계)실적·계획서에 대하여 평가단 확인(검토회의 또는 서면검토 등)을 거쳐 협약 추진

❑ 중간모니터링

○ 전문기관의 사업관리실은 사업수행과정을 정기적으로 모니터링 하여 사업의 실패 확률을 줄일 수 있도록 함

- 미흡한 과제 검토 및 환경변화(정책, 국내외 시장 동향) 등에 대한 적극적인 모니터링 수행으로 시급성이 높은 과제 등으로 조정하는 등 환류 체계 적용

○ 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 목표달성도에 대한 모니터링 실시

표 5-17 중간모니터링 절차

주요 절차	내 용
중간모니터링 계획수립 (전문기관)	중간모니터링 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
중간모니터링 자료 제출 (주관연구기관)	연차(단계)실적계획서, 성과증빙자료(성과요약서 등) 등 자료 제출
⇩	
사전검토 (전문기관)	과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 연구계획 변경내용 - 실용화 점검결과 반영내용 - 연구비 집행실적 및 이월신청 등
⇩	
중간모니터링 위원회 구성 (전문기관)	전문가 중심 모니터링위원회 구성(3인) - 이해관계인 제척
⇩	
중간모니터링 실시 (중간모니터링 위원회)	해당 연차 연구실적 및 다음 연차 계획 점검 * 필요시, 주관 연구책임자 질의·응답 실시
⇩	
중간모니터링 결과 보고 및 통보 (전문기관)	중간모니터링결과 국토부 보고 중간모니터링결과 주관기관 통보 및 협약체결 안내
⇩	
연차평가(필요시) (전문기관)	중간모니터링 결과 '연차평가 대상'인 경우 연차평가 실시
⇩	
협약체결 (전문기관↔주관연구기관)	모니터링결과, 연차평가결과를 반영하여 차년도 협약체결

○ (사전검토) 주관연구기관이 제출한 연차(단계)실적·계획서, 성과증빙자료 등을 중간모니터링 위원회에 미리 송부하여 사전검토토록 하고, 전담기관 담당자는 사전검토 내역을 중간모니터링 위

원회에 평가당일 제공 가능

○ (평가방법) 과제단위로 실시하되, 필요한 경우 세부과제 단위로 모니터링하고 서면검토를 원칙으로 하며, 컨설팅 중심으로 진행

- 전년도 목표달성과 수행내용에 대한 항목위주로 위원간 논의와 합의에 의해 중간모니터링 종합결과서 작성

- 과제특성 및 수행단계 등을 고려하여 필요시 연구책임자가 참여한 질의·응답 실시 가능

○ (모니터링 항목) 과제의 특성 등을 고려하여 개별 평가계획 수립시 모니터링 항목을 달리할 수 있음

- (실적) 해당 연차 성과달성도

표 5-18 중간모니터링 항목(성과 달성도)

중간모니터링 항목	착안사항
성과 달성도	• 해당 연차 질적·양적 성과지표 및 목표의 달성 정도(성과점검기준표) • 연구성과물의 기술적/경제적 우수성 • 최종 성과목표 달성을 위한 중간성과물의 기여도 및 활용가능성

- (계획) 계획의 적정성

표 5-19 중간모니터링 항목(계획의 적정성)

중간모니터링 항목	착안사항
계획의 적정성	• 최종목표 대비 다음 연차 추진계획의 적합성 • 연구개발성과 활용방안(실용화·사업화 등)의 적정성 • 목표달성을 위한 질적·양적 성과지표 및 목표의 적정성(성과점검기준표) • 관련 환경 변화의 반영 여부 • 연구내용 대비 연구기간, 연구기관 구성, 인력투입 계획 등의 적합성 • 다음 연차 신청연구비 및 비목별·기관별 예산 배분의 적정성 • 연구비 이월신청 사유 및 내역 적정성(해당시) • 장비구축계획 등 장비도입 적정성 심의(해당시) • 실적 평가결과에 따른 다음 연차 계획의 수정·보완 의견 및 대책 등

- (대상) 개발 기술의 적정성 → 중간평가 과정에서 해당 기술의 변화 및 환경변화 등 고려하여 기술 개발 필요성이 저감된 경우, 혹은 새로운 신규 기술 개발 필요성이 발생한 경우 사업품목 변경으로 조정

○ (모니터링 결과의 조치) 중간모니터링 결과에 따라 '계속지원' 또는 '연차평가대상'으로 판정하고, 연구단을 세부과제단위로 모니터링한 경우 연구단에 대한 '계속지원' 또는 '연차평가대상' 여부는 중간모니터링위원회에서 판정

- '계속지원' 과제에 대해서는 종합결과서를 연구기관에 통보하여 보완대비표, 보완 연차(단계)실적·계획서, 협약체결 관련 서류 등 제출 요청

- '연차평가대상' 과제는 연차평가 절차 및 방법에 따라 평가실시

❑ 최종 평가

○ 최종평가를 통해 당초 계획대비 최종목표의 달성 여부 및 사업화 가능성을 확인함

표 5-20 최종평가 절차

주요 절차	내 용
최종평가 자료 제출 (주관연구기관)	최종보고서, 성과점검기준표, 자체평가보고서, 연구개발결과 활용계획서(SMK 포함) 등 평가자료 제출
⇩	
최종평가 계획수립 (전문기관)	최종평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
사전검토 (전문기관)	과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 당초 연구개발계획 대비 수행여부 - 연구성과 활용계획의 적정성 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
최종평가 실시 (연구과제 평가단)	연구개발 목표 달성여부, 연구성과 우수성 등에 대한 평가
⇩	
최종평가 결과 보고 및 통보 (전문기관)	최종평가결과 국토부 보고 최종평가결과 주관기관 통보 및 보완요청
⇩	
최종보고서 발간·배포 (주관연구기관)	최종보고서 보완본 필수배포처 배포

○ (사전검토) 주관연구기관이 제출한 연구개발 최종보고서·요약서 등 평가자료에 대한 사전검토결과를 연구과제 평가단에 미리 송부하여 사전검토하도록 하고, 전문기관 담당자는 사전검토 내역을 평가단에 당일 제공 가능

○ (평가방법) 과제단위로 실시하되, 필요한 경우 세부과제 단위로 평가하고 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시

○ (평가항목 및 배점) 개별 평가계획 수립시 「국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음

○ (평가결과의 산정) 종합평가점수를 산정시 연구과제 평가단 평가점수(90%) 및 진도관리 평가결과(10%)를 기준으로 종합평가점수를 정하되, 진도관리평가 생략시 평가단 결과만으로 종합평가점수를 정함

- 연구단과제를 세부과제 단위로 평가한 경우 연구단 종합평가점수는 세부과제 종합평가점수의 평균으로 정함

○ (평가결과의 조치) 종합평가점수에 따라 과제의 ‘성공’(60점 이상) 또는 ‘실패’(60점 미만) 판정

- 실패과제(60점 미만)는 연구개발과제 수행실태 등 점검을 통해 성실수행 여부를 확인

표 5-21 최종평가 평가항목

평가항목	세부 지표
목표 미달성 사유	• 연구목표의 도전성 - 당초의 연구목표가 리스크를 감안하고 도전적으로 설정되어 실패의 가능성이 인정되는지 여부 • 외부요인으로 인한 목표달성 실패 - 시장의 미성숙, 환경 변화, 타 과제에서 유사기술 개발 완료, 정부 정책변화 등 외적인 요인 존재 여부
연구수행 방법 및 과정의 적절성	• 수행방법의 평가 - 연구 성격 상 반복수행이 가능한 연구의 경우 연구목표 도출 실패 후 1회 이상 재시도 했는지 여부 • 수행과정의 평가 - 연구노트 등 기술개발과정에 대한 자료 및 각종데이터가 체계적이고 충실한지 여부 - 연구진행과정을 입증하는 초기·수정모델, 실험데이터 등 유·무형적 발생물의 존재 여부

❑ 성과관리계획

○ 정부업무평가 기본법은 성과관리를 “정부업무를 추진함에 있어 기관의 임무, 중장기 목표, 연도별 목표 및 성과지표를 수립하고 그 집행과정 및 결과를 경제성, 능률성, 효과성의 관점에서 관리하는 일련의 활동”이라고 정의[215)]

- 정부사업의 성과관리 기본구조에 계획→집행→점검→평가→환류의 기본구조로 설계

○ 본 사업의 성과관리 계획은 정부 업무평가기본법의 기본철학을 준수하여 도출

- 국토교통부는 매년 자체적으로 성과계획을 수립하고, 매년 당해 연도 협약종료 1개월 전에 중간(연차)보고서, 주관기관 자체평가 의견서, 세부과제별 연구개발결과 활용계획서(최종연차시)를 제출 받음

- 세부사업별로 연구성과 활용유형 및 성과지표를 설정하여 체계적으로 관리

○ 추적평가 및 성과활용 관리

- 본 사업의 기술이전확산, 기술혁신 성공사례 발굴, 우수과제 인센티브 부여 등 연구개발결과의 활용을 촉진하기 위해 추적평가 실시

- (체계 및 담당기관) R&D 전담기관 성과활용조사·평가 전문가가 성과평가 실무를 담당하고, 연구단과 유기적으로 협력하여 성과평가 실시

215) 정부업무평가기본법 제2조 6항

제3절 성과 활용 방안

❑ 연구성과 활용체계

○ 동 사업의 연구성과 활용은 정부의 연구성과 관리•활용 기본계획의 정책 기조에 부합하도록 활용체계를 운영

- 연구성과의 기술성과 시장성•사업성 간의 간극을 간소화하고, 성과활용 중심의 연구개발 혁신과 유기적 협력체제 구축을 통해 일자리 창출 및 경제활성화 견인

○ 성과계획-성과관리-성과평가-활용지원-성과활용 등 기획부터 연구성과 활용까지 연구 전주기적으로 연구성과 활용체계를 구축·운영

- (성과계획) 사업기획시부터 기술개발과제의 최종성과물을 제시하고, 연구책임자는 구체적인 성과지표·목표, 성과도출 마일스톤, 성과활용방안 등을 연구개발계획에 제시하여 연구수행 및 성과를 도출하며, 중간(단계)평가 결과를 반영하여 필요한 경우 성과계획을 수정 보완 실시

- (성과관리) 전문기관 및 사업단은 사업기획시 제시한 사업관리방안에 따라 세부과제별 연구성과 도출 및 진척도 등을 모니터링하고, 진도점검을 실시

- (성과평가) 전문기관은 사업단과 협의하여 중간(연차, 단계) 평가를 통해 성과 목표 달성 등 연구목표 달성도와 차년도(다음단계) 연구계획을 평가하고, 연구 종료시에는 최종 성과목표 달성 여부를 평가

- (성과활용 지원) 전문기관은 연구성과의 활용촉진 및 확산을 위해 인프라 지원(기술가치평가, 금융연계 지원), 기술사업화 및 기술이전 컨설팅, 현장 적용/활용 지원(기술설명회, 공공구매협의체 등) 등 성과활용 지원체계를 운영

- (성과활용) 대학, 연구소, 기업 등 연구에 참여한 기관들은 연구성과를 활용하여 현장적용, 기술사업화 달성, 정책·제도 반영, 지식재산권 확보 등 실시

○ 국토교통부와 전문기관은 매년 연구성과 조사·분석·평가를 통해 연구성과 활용체계 운영을 점검하고, 성과관리 및 평가 개선, 활용지원 체계 확대 등 연구 성과 활용체계를 개선하여 성과활용을 촉진

❑ 성과활용 계획

○ 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업의 연구성과는 철도안전 정책 및 제도, 운영사별 안전관리 표준화, 운영사간 연계 등에 널리 활용

제4절 재원 조달 계획

1. 소요예산

❑ 전체사업 소요예산

○ 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업은 4개 중점분야, 17개 세부과제로 구성되어 2021년부터 2027년의 사업기간동안 총 3,127.25억원의 사업비가 소요

- 전체 사업 중 정부 2,368.63억원(75.74%), 민간 758.62억원(24.26%)의 사업비 소요

표 8-22 중점분야별 세부과제별 소요예산

(단위 : 억원)

중점분야	세부과제	합계	정부	민간
1. 스마트 통합철도안전관리 시스템 기술개발	(1-1) 사고전조 중심의 빅데이터 기반 국가통합 철도안전 예측·평가·의사결정 지원 기술 개발	244.02	183.00	61.02
	(1-2) 철도안전관리체계 실효성 향상을 위한 데이터 기반 철도안전 감독 및 모니터링 기술 개발	66.69	50.00	16.69
	(1-3) 빅데이터 기반 대국민 철도안전 서비스 정보 수집·생성 기술개발	40.01	30.00	10.01
	(1-4) 스마트 철도안전 다자간 현장종합대응 데이터 허브 플랫폼 기술 개발	304.02	228.00	76.02
	소계(A)	654.74	491.00	163.74
	기획평가관리비(a)	20.22	20.22	0.00
	중점분야 1 합계(A+a)	674.96	511.22	163.74
2. 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술개발	(2-1) 철도종사자 인적오류 저감 스마트 기술 개발	102.01	76.50	25.51
	(2-2) 철도사고·장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동훈련 가상시스템 개발	64.68	48.50	16.18
	(2-3) 증강현실 기반 철도 차량·시설 정비훈련 및 정비지원 기술개발	82.68	62.00	20.68
	소계(B)	249.37	187.00	62.37
	기획평가관리비(b)	7.71	7.71	0.00
	중점분야 2 합계(B+b)	257.08	194.71	62.37
3. 철도시설 사고·운행장애 사전예방 스마트 기술개발	(3-1) 빅데이터 기반 선로 사고 · 장애 사전예방 스마트기술 개발	261.36	196.00	65.36
	(3-2) 디지털 모델 기반 철도교량 핵심	241.35	181.00	60.35

(단위 : 억원)

중점분야	세부과제	합계	정부	민간
	안전성능 지능화 관리 기술 개발			
	(3-3) IoT를 활용한 철도터널 안전사고 사전예방 스마트 기술 개발	248.02	186.00	62.02
	(3-4) 철도역사 일상 안전사고 사전예방 CPS 기술 개발	158.68	119.00	39.68
	(3-5) 고장모드 표준화 기반 철도신호설비 사고·장애 선제대응 스마트 기술 개발	226.69	170.00	56.69
	(3-6) 자산관리기반 전철전력시설물 스마트 종합예방진단 시스템 기술개발	141.34	106.00	35.34
	(3-7) 본선구간의 협소공간 무차단 슬래브 궤도교체 및 측면확장을 위한 급속개량 기술 개발	292.02	219.00	73.02
	소계(C)	1,569.46	1,177.00	392.46
	기획평가관리비(c)	48.40	48.40	0.00
	중점분야 3 합계(C+c)	1,617.86	1,225.40	392.46
4. 사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발	(4-1) 철도차량 상태거동 분석을 위한 차•지상 정보수집 시스템 개발	180.02	135.00	45.02
	(4-2) 철도차량 핵심장치 상태기반 위험전조 예측기술 개발	240.02	180.00	60.02
	(4-3) 위험전조기반 철도차량 스마트 유지관리 기술	140.01	105.00	35.01
	소계(D)	560.05	420.00	140.05
	기획평가관리비(d)	17.30	17.30	0.00
	중점분야 4 합계(D+d)	577.35	437.30	140.05
전체 세부과제 소요예산 합계(A+B+C+D)		3,033.62	2,275.00	758.62
전체 기획평가관리비 합계(a+b+c+d)		93.63	93.63	0.00
전체 사업비 합계		3,127.25	2,368.63	758.62

❑ 중점분야별 연차별 소요예산

표 8-23 중점분야별 연차별 소요예산

(단위 : 억원)

과제	구분	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	합계
중점1	정부	33.00	82.50	140.50	96.50	95.50	30.00	13.00	491.00
	민간	11.01	27.51	46.84	32.18	31.85	10.01	4.34	163.74
	소계	44.01	110.01	187.34	128.68	127.35	40.01	17.34	654.74
	기획평가관리비	1.36	3.40	5.78	3.97	3.93	1.24	0.54	20.22
중점2	정부	0.00	16.50	40.50	81.00	39.00	10.00	0.00	187.00
	민간	0.00	5.50	13.51	27.01	13.01	3.34	0.00	62.37
	소계	0.00	22.00	54.01	108.01	52.01	13.34	0.00	249.37
	기획평가관리비	0.00	0.68	1.67	3.33	1.61	0.42	0.00	7.71
중점3	정부	59.00	137.00	251.50	288.50	288.00	153.00	0.00	1,177.00
	민간	19.68	45.69	83.87	96.19	96.02	51.01	0.00	392.46
	소계	78.68	182.69	335.37	384.69	384.02	204.01	0.00	1,569.46
	기획평가관리비	2.43	5.64	10.34	11.86	11.84	6.29	0.00	48.40
중점4	정부	20.00	65.00	110.00	100.00	70.00	55.00	0.00	420.00
	민간	6.67	21.68	36.68	33.34	23.34	18.34	0.00	140.05
	소계	26.67	86.68	146.68	133.34	93.34	73.34	0.00	560.05
	기획평가관리비	0.83	2.68	4.53	4.11	2.88	2.27	0.00	17.30
합계	정부	112.00	301.00	542.50	566.00	492.50	248.00	13.00	2,275.00
	민간	37.36	100.38	180.90	188.72	164.22	82.70	4.34	758.62
	소계	149.36	401.38	723.40	754.72	656.72	330.70	17.34	3,033.62
	기획평가관리비	4.62	12.40	22.32	23.27	20.26	10.22	0.54	93.63

2. 재원조달방안

❑ 사업기간('21～'27년) 7년 총 3,127.25억원 투입예정이며, 2,368.63억원은 정부출연금, 758.62억원은 민간부담금으로 조달 계획

- ㅇ 민간 부담금은 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에 따라 대기업(50%), 중견(40%), 중소(25%), 컨소시엄(복합) 등 각 프로그램별 타깃에 따라 분담비율 적용
- ㅇ 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」을 참고하여 중소기업이 모두 참여하거나, 중소기업의 비율이 ⅔이상인 경우 정부출연금 비율을 75%이내로 규정되어 있으므로 이에 따라 정부, 민간 비율을 조정
- ㅇ 민간 부담금은 각 세부기술 분야별 성격 및 기업 참여 현황 등을 종합적으로 고려하여 획일적 적용보다는 탄력적으로 운영 예정

표 8-24 재원분담 현황

(단위 : 억원)

구 분	사업비	비율
합 계	3,127.25	100.0%
정 부	2,368.63	75.74%
민 간	758.62	24.26%

2.1 정부출연금 재원조달 방안

❑ 국가재정운용계획(2017～2021)」(2017, 기획재정부) 재정운용 기본방향 및 목표, R&D 투자방안 등과 연계하여 추진

- ㅇ 국민들의 안전에 대한 의식수준이 높아지면서 종전보다 높은 수준의 안전 확보를 요구함에 따라 도로, 철도 등 관련 분야의 「안전체계 구축」을 목표로 투자를 지속할 계획
- ㅇ 「미래 신성장동력 창출」을 위해 관련 R&D를 적극 지원하는 한편 R&D 투자 효율화를 병행
- ㅇ 미래성장동력을 확충하고, 4차 산업혁명에 전략적으로 대응하기 위한 R&D투자를 지속적으로 확대할 방침
- ㅇ 최근 5개년 기준, 정부 R&D 예산의 성장은 연평균 5.14%이며, 국토교통 R&D 예산이 차지하고 있는 비중은 평균 2.40%로 분석

표 8-25 최근 5개년 국토교통 R&D 예산 현황

(단위 : 억원)

구분	2013	2014	2015	2016	2017	CAGR
정부 R&D 예산	158,777	177,793	188,245	190,942	194,615	5.14%
국토부 R&D 예산	4,018	4,117	4,500	4,458	4,738	2.12%
국토부 R&D 비중	2.53%	2.32%	2.39%	2.33%	2.43%	평균비중 : 2.40%

○ 2018년 국토교통 R&D 예산은 전년대비 346억원 증액된 5,084억원이며 건설, 교통, 공통 분야 총 19개 사업 추진

- 국토교통 R&D 추진방향은 중소기업 R&D 경쟁력 강화, ICT 등 첨단기술 융복합 촉진, 국민안전 R&D 투자 강화, 국민체감 서비스 R&D 추진

○ 철도 분야는 '17년 대비 130억원 감액되어 867억원 투자

표 8-26 2017년도 대비 2018년도 국토교통 R&D 사업 및 부문별 투자현황

(단위 : 억원)

사업명	2017년 예산	2018년 예산	증감액
총 계	4737.6	5083.67	346.07
국토기술분야(10개 사업)	**1886.8**	**2112.74**	**225.94**
건설기술연구사업	498.5	513.72	15.22
물관리연구사업	270.7	229.95	△40.75
플랜트연구사업	377.6	382.1	4.5
도시건축연구사업	302.1	342.79	40.69
주거환경연구사업	179.9	186.49	6.59
국토공간정보연구사업	258.1	291.03	32.93
수요대응형 물공급서비스	(신규)	23	23
공간정보기반 실감형 콘텐츠 융복합 및 혼합현실 제공 기술 개발	(신규)	20	20
위성정보 활용센터 설립운영	(신규)	79.95	79.95
국가전략 프로젝트	(신규)	43.71	43.71
교통기술분야 (6개 사업)	**1903.7**	**1970.4**	**66.7**
교통물류연구사업	549.8	597.34	47.54
철도기술연구사업	997.7	867.41	△130.29
항공안전기술개발사업	294.4	346.65	52.25
무인비행체안전지원기술개발사업	52.0	102	50
민수헬기인증기술개발사업	9.9	40	30.1
항공기 장비품·부품 등 제작정비 인증기술 개발	(신규)	17	17

(단위 : 억원)

사업명	2017년 예산	2018년 예산	증감액
기반구축분야 (7개 사업)	**947.1**	**1000.53**	**53.43**
국토교통기술촉진연구사업	542.9	536.43	△6.47
국토교통기술사업화지원사업	212.1	247.88	35.78
국토교통기술지역특성화사업	81.6	81.63	0.03
국토교통연구기획사업	40.7	40.66	△0.04
국토교통연구성과활용지원사업	13.4	13.4	0
국토교통연구개발운영지원	33.9	43.71	9.81
정책연구개발사업	18.4	36.82	18.42

❑ 국토교통 R&D 예산 예상 및 재원확보 타당성

○ 정부 R&D 예산에서 국토교통 R&D 예산을 전망하고, 국토교통 R&D 예산 내에서 신규 R&D 가용 예산을 추정

- 「국토교통R&D 중기사업계획('19~'23)」 예산의 연평균 증가율(16.7%)을 적용하여 본 사업기간 동안의 국토교통 R&D 예산을 추정 ('21~'27, 총 7조 8,906억원)

표 8-27 국토교통부 R&D 예산운용 계획

(단위 : 억원, %)

구분	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	연평균 증가율
국토교통 R&D 예산 추정치	4,822	5,227 *	7,818	8,680	8,950	10,445	12,189	14,224	16,600	16.7%

* '20년 예산은 정부(안) 5,227억원으로 반영‧수정 기재

- 국토교통 R&D 장기계속사업의 일몰제 시행으로 계속과제 소요예산의 단계적 감소하여 신규 R&D사업 추진을 위한 소요예산 반영 가능

- 국토교통 R&D 예산 추정치에서 계속과제('21년~'27년) 소요예산과 예비타당성조사 결과 시행 확정된 R&D사업의 소요예산을 제외하여 신규 R&D사업의 가용예산 추정

표 8-28 국토교통부 신규 R&D사업 가용예산 규모

(단위 : 억원)

구분	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	합계 ('21~'27)
국토교통 R&D 예산 추정치(A)	7,818	8,680	8,950	10,445	12,189	14,224	16,600	78,906
계속과제 소요예산(B)	5,061	3,937	2,873	1,765	1,169	668	589	16,061
철도차량 부품개발 사업* 소요예산(C)	153	309	345	298	135	-	-	1,240
스마트 건설기술 개발사업* 소요예산(D)	265	298	286	237	165	-	-	1,251
신규 R&D사업 가용예산 추정치 (E=A-B-C-D)	2,338	4,136	5,446	8,145	10,720	13,557	16,011	60,354

* '18년 제3차, 제4차 국가연구개발사업 예비타당성조사 결과, 시행 확정된 사업의 연차별 소요예산

○ 국토교통 R&D 예산범위 내에서 재원 조달 가능

- 본 사업의 총사업비(국고 2,368.63억원)는 사업기간('21년~'27년) 내 국토교통 R&D 예산의 3.0% 수준이며, 국토교통 신규 R&D사업 가용예산 추정치(60,354억원)의 3.92% 수준

- 연차별 소요예산(국고) 또한 최대 589.27억원 규모로 국토부 R&D 예산 대비 5.6% 수준이며, 또한 현재 철도분야 R&D 예산규모('18년 867억원)와 비교해서도 67.9% 수준

표 8-29 국토교통 R&D 가용 예산 예측

(단위 : 억원, %)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	합계
국토교통 R&D 예산(예측)	7,818	8,680	8,950	10,445	12,189	14,224	16,600	78,906
동 사업 소요예산(국고)	116.62	313.40	564.82	589.27	512.76	258.22	13.54	2,368.63
비율(%)	1.5%	3.6%	6.3%	5.6%	4.2%	1.8%	0.1%	3.0%

2.2 민간부담금 재원조달 방안

❑ 동 사업의 총 사업비는 3,127.25억원이며, 이중 국고는 2,368.63억원, 민간부담금은 758.62억원으로 구성하였으며, 민간부담금은 총 사업비의 24.26% 수준에 해당됨

○ 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」을 참고하여 중소기업이 모두 참여하거나, 중소기업의 비율이 ⅔이상인 경우 정부출연금 비율을 75%이내로 규정되어 있으므로 이에 따라 정부, 민간 비율을 조정

○ 민간 부담금은 각 세부기술 분야별 성격 및 기업 참여 현황 등을 종합적으로 고려하여 획일적 적용보다는 탄력적으로 운영 예정

○ 또한, 본 사업의 중점분야별 민간기업을 대상으로 참여의향을 조사한 결과 총 75개 기업에서 참여의향서를 제출하여 민간부담금 조달에는 충분히 가능할 것으로 예상

- 민간부담금 비율은 국토부 R&D의 평균 민간부담금 비율 21.6%보다 높은 24.26%이며 본 사업의 경우 주 지원대상이 중소기업으로 민간부담금 중 현금은 10% 수준에 불과

- 철도운영기관(6개) 및 민간업체(69개) 등 총 75개 기관이 민간부담금 매칭 참여의향을 표명하여 민간투자를 통한 재원조달 가능

❑ 민간기업 참여 의향 조사

○ (조사 목적) 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업에 대한 관심도와 참여 의사를 조사하기 위해 해당 철도분야 기업을 대상으로 민간기업 참여의향을 조사

- 4대 중점분야에 대해 참여의향은 복수응답이 가능하도록 함

- 조사 기간 : 2019년 9월 18일 ~ 10월 11일

○ 조사 결과, 최종 6개 철도운영기관을 포함한 75개 기업이 참여의향서를 회신함

- 민간부담금을 부담하며 참여할 의향이 있음을 확인

표 8-30 4대 중점분야별 참여의향 기업 결과

중점분야명		참여의향 기업 수	참여의향 기업
중점1	스마트 통합철도안전관리시스템 기술개발	38	한국철도공사, ㈜에스알, 서울교통공사, 부산교통공사, 광주광역시도시철도공사, 대전광역시도시철도공사, 모아소프트, ㈜신명정보통신, ㈜넥스트폼, ㈜지인시스템, CSITEK, 루틴테크놀러지(주), ㈜타임소프트, RAMS코리아, ㈜프론티스, 대아티아이(주), ㈜위세아이텍, ㈜한국신뢰성기술, ㈜파워닉스, ㈜우진기전, 범아기전(주), ㈜퓨처젠, ㈜구름네트웍스, 인텔릭스(주), ㈜커니스, 우진산전, ㈜이건산전, 네모시스(주), ㈜태마루, ㈜글로비즈, ㈜솔루션라인코리아, 삼표레일웨이(주), 우성디엔씨, 이성주식회사, ㈜매스코, 신원이엔지(주), 주식회사 디에이피, 에스케이텔레콤(주)

중점2	사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술개발	31	한국철도공사, ㈜에스알, 서울교통공사, 부산교통공사, 광주광역시도시철도공사, 대전광역시도시철도공사, 모아소프트, ㈜신명정보통신, ㈜지인시스템, RAMS코리아, ㈜프론티스, 대아티아이(주), ㈜위세아이텍, ㈜에이알텍, ㈜퓨처젠, 인텔릭스(주), ㈜이노시뮬레이션, 지멘코, ㈜퍼플레이, ㈜이머시브, 던전소프트, ㈜인성아이티, 주식회사 창현이엔지, ㈜이엔씨스, ㈜테크트리, ㈜지티에이컴, 유경제어(주), 베리슨, 우진산전, 네모시스(주), 삼표레일웨이(주)
중점3	철도시설 사고·운행장애 사전예방 스마트기술 개발	44	한국철도공사, 서울교통공사, 부산교통공사, 광주광역시도시철도공사, 대전광역시도시철도공사, 모아소프트, ㈜넥스트폼, ㈜타임소프트, ㈜프론티스, 대아티아이(주), ㈜에이알텍, 인텔릭스(주), ㈜커니스, 유경제어(주), 우진산전, ㈜알티스트, 네모시스(주), 삼표레일웨이(주), ㈜인터컨스텍, 우성디엔씨, GS건설, ㈜삼현피에프, 주식회사 대련건설, ㈜대우건설, ㈜서현기술단, ㈜티엠이앤씨, ㈜아이엠디, ㈜상상돔, ㈜에스랩, ㈜이노스웰, ㈜천경기업, 대동이앤티(주), ㈜경도, 신한다이아몬드공업(주), 이성주식회사, 주식회사 지에스지, ㈜희상리인포스, ㈜매스코, 주식회사 디에이피, ㈜건인씨엔알, ㈜모어엔지니어링 건축사사무소, ㈜세화, 효성중공업(주), ㈜티앤엠테크
중점4	사고위험 전조데이터 기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발	23	한국철도공사, 서울교통공사, 부산교통공사, 광주광역시도시철도공사, 대전광역시도시철도공사, 모아소프트, ㈜신명정보통신, ㈜지인시스템, ㈜타임소프트, ㈜프론티스, ㈜한국신뢰성기술, ㈜파워닉스, 인텔릭스(주), 베리슨, 우진산전, ㈜알티스트, 네모시스(주), ㈜태마루, ㈜글로비즈, ㈜비피지능역학, 대동이앤티(주), ㈜매스코, ㈜건인씨엔알

* 참여의향 세부과제는 다중선택 가능

제 6 장 사전타당성 분석 및 기대효과

❑ 과학기술적 타당성 분석

○ 과학기술적 타당성 분석은 기획보고서 검토를 통해 문제/이슈 도출의 적절성, 사업목표의 적절성, 세부활동 및 추진전략의 적절성에 대한 분석을 실시

○ 문제/이슈 도출의 적절성은 사업이 기획된 배경과 경위의 적절성, 문제이슈 식별과정의 적절성, 과학기술기반 문제이슈 정의의 적절성을 검토

○ 사업목표의 적절성은 식별된 문제이슈의 연관성 및 사업목표 설정의 적절성을 검토

○ 세부활동 및 추진전략의 적절성은 세부활동 구성 및 내용의 구체성과 연계성, 사업목표 달성을 위한 추진전략의 적절성을 검토

❑ 정책적 타당성 분석은 정책의 일관성 및 추진체제, 사업추진상의 위험 요인에 대한 분석을 실시

○ 정책의 일관성 및 추진체제는 상위계획의 부합성과 사업추진체제 및 추진의지로 나뉘는데 상위계획의 부합성에는 정부의 국정과제, 과학기술기본계획 및 국토교통부 중장기계획의 정책 일관성 평가에 있어서 매우 중요하며, 사업추진체제 및 추진의지는 사업 수행체계와 절차 적절성, 운영방안의 효율성 등의 분석이 필요

- 상위계획의 부합성은 국가정책을 구체적으로 실현하기 위해 계획된 해당 사업이 정책적 일관성을 가지고 추진될 것인지를 평가하는 항목으로 과학기술정책분야, 기술개발분야로 구분하고 법정계획을 기본 분석대상으로 함

- 사업 추진체제 및 추진의지는 연구개발사업 거버넌스의 관점에서 각 주체간 역할분담 및 협조체계, 효율적인 사업 운영방안 등과 함께 각 주체들의 사업 추진의지 등의 요소를 중요하게 고려

○ 사업추진상의 위험요인과 관련해서는 재원조달 가능성과 법제도적 위험요인으로 분류하며 위험요인에 대한 사전 파악 및 정의가 되어 있는지 여부와 그에 대한 별도의 대비책이 제시되어 있는지 여부를 집중 분석

- 사업 추진과정에서 발생할 수 있는 위험을 구체화했는지, 발생 가능한 피해를 분석하였는지를 포함하여 위험회피 또는 피해 최소화를 위한 대응계획의 수립 가능성까지 고려

❑ 경제적 타당성 분석은 경제성에 대한 내용으로 경제성은 일반적으로 비용편익분석을 기본으로 하고 사업내용에 따라 비용편익분석이 어려운 경우에는 비용효과분석을 통해 경제성을 분석

○ 비용편익 분석은 기술개발 비용 및 사업화 이후의 비용 등 총 비용의 추정과, 총 편익 규모, 기술기여도 등을 고려한 혜택 산출을 통해서 이루어지며, 예비타당성 분석에서 좋은 평가를 받기 위해서는 절대적인 조건은 아니지만 비용편익 비율이 1 정도 되는 것이 중요

○ 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)에 제시된 경제적 타당성 분석 절차는 그림과 같이 먼저 사업 목표 분석에서 출발하여 편익항목을 도출하는 것으로 시작

- 연구개발부문의 예비타당성조사의 편익 추정은 '사업 분석 → 편익항목 도출 → 자료의 가용성(可用性, availability) 확인 → 편익 추정방법의 선택 → 항목별 수요(시장) 또는 비용 도출 → 가치 계산'의 과정을 거침

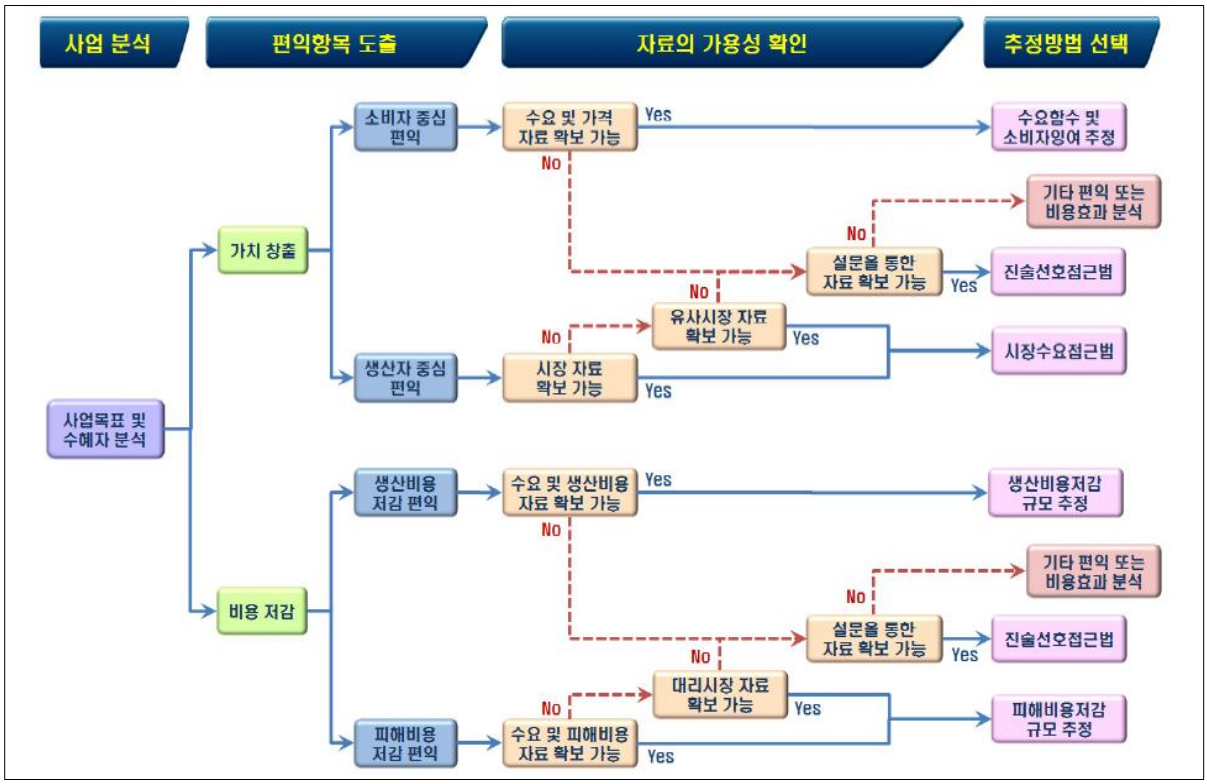


그림 6-5 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)상의 편익 추정방법 과정

○ 사업을 면밀히 분석하여 사업목표와 수혜자를 명확히 식별하고, 사업의 핵심목표 및 수혜자와 일관성을 가지면서 사업으로부터 직접적으로 얻어지는 효과를 편익항목으로 선정

○ 수요/시장 또는 비용자료의 확보가 어려운 경우에는, 유사(대리)시장의 존재를 확인하고 이에 대한 자료를 확보하여 편익을 추정

제1절 기술적 타당성 분석

1. 문제/이슈 도출의 적절성

❑ 국가적 차원에서 해결해야 할 문제·이슈를 식별하기 위한 과정과 별도의 사업으로 추진할 필요가 시급히 요구되는지를 분석하는 항목임

표 6-1 '문제/이슈 도출의 적절성' 평가항목의 평가질의

평가항목	평가질의(조사취지)	고려사항(사업별 맞춤형 선택)
문제/이슈 도출의 적절성 (2계층)	1. 사전 기획활동 등을 통해 식별(또는 발굴)된 문제/이슈가 적절한가?	○ 문제/이슈를 식별하기 위해 적절한 조사(관련 분야 예측조사 및 현안진단을 위한 설문 등) 활동을 하였는가?
	2. 식별된 문제/이슈를 해결하기 위해 국가적 차원에서 별도의 R&D사업을 추진할 필요가 있는가? (과학기술기반 문제해결의 중요성·필요성)	○ 문제/이슈를 해결하기 위한 R&D사업 이외의 다른 효율적인 정책대안은 존재하지 않는가?
		○ 과학기술 분야의 속성을 고려한 정부지원의 역할은 적절한가?
		○ (기술 비지정) 예타 규모 이상의 (중장기) 대형 연구개발사업 추진 필요성을 적절히 제시하였는가?
		○ (기술 지정) 기술추세분석과 기술수준을 고려할 때, 대형 연구개발투자가 필요한가?

* 자료 : KISTEP, 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)

❑ 국고지원 요건 및 필요성

○ 철도는 국가 기반 교통시설로서 철도의 안전은 법에 근거하여 국가의 책무이며, 이에 대한 시책 마련 및 추진 등으로 확보하도록 되어있음

- 철도안전은 철도산업발전기본법에 의거 국가는 철도안전에 필요한 법적·제도적 장치를 마련하도록 되어있음

철도산업발전기본법

■ 제14조(철도안전) ①국가는 국민의 생명 · 신체 및 재산을 보호하기 위하여 철도안전에 필요한 법적 · 제도적 장치를 마련하고 이에 필요한 재원을 확보하도록 노력하여야 한다.
②철도시설관리자는 그 시설을 설치 또는 관리함에 있어서 법령이 정하는 바에 따라 당해 시설의 안전한 상태를 유지하고, 당해 시설과 이를 이용하려는 철도차량간의 종합적인 성능검증 및 안전상태 점검 등 안전확보에 필요한 조치를 하여야 한다.
③철도운영자 또는 철도차량 및 장비 등의 제조업자는 법령이 정하는 바에 따라 철도의 안전한 운행 또는 그 제조하는 철도차량 및 장비 등의 구조 · 설비 및 장치의 안전성을 확보하고 이의 향상을 위하여 노력하여야 한다.
④국가는 객관적이고 공정한 철도사고조사를 추진하기 위한 전담기구와 전문인력을 확보하여야 한다

- 또한, 철도안전법에 의거 국가와 지자체의 철도안전시책마련 및 추진, 철도운영자/시설관리자의

시책에 대한 적극 협조 등이 명시되어있음

철도안전법

■ 제1조(목적) 이 법은 철도안전을 확보하기 위하여 필요한 사항을 규정하고 철도안전 관리체계를 확립함으로써 공공복리의 증진에 이바지함을 목적으로 한다

■ 제4조(국가 등의 책무) ① 국가와 지방자치단체는 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위하여 철도안전시책을 마련하여 성실히 추진하여야 한다.

② 철도운영자 및 철도시설관리자(이하 "철도운영자등"이라 한다)는 철도운영이나 철도시설관리를 할 때에는 법령에서 정하는 바에 따라 철도안전을 위하여 필요한 조치를 하고, 국가나 지방자치단체가 시행하는 철도안전시책에 적극 협조하여야 한다.

- 시책 중 하나로 철도안전종합계획을 5년에 한번씩 국토교통부는 마련해야하며, 이는 철도안전 관련 연구 및 기술개발에 대한 사항을 포함함(※철도안전법 제5조(철도안전종합계획))

- 철도에 대한 시설 및 운영은 철도운영사와 철도시설관리자에 위임, 위탁되어있으나, 전체의 책임은 국토교통부에서 담당함

○ 철도교통서비스는 전 국민이 상시 이용하는 공공서비스로서 특히, 우리나라의 경우 운행밀도가 높아 철도사고 또는 운행장애 시 국민 생활에 미치는 영향이 막대

- 국가기반교통시설인 철도는 서울 등 주요 도시를 중심으로 도시철도를 이용하는 이용객은 2017년 기준 일일 988만명, 고속철도 등 이용하는 이용객은 일일 40만명으로 전국민의 교통수단이며 대량 인원 수송 및 높은 운행밀도의 특징을 가짐

  ※ 2017 철도통계연보(국토교통부)

  ※ (지역간 철도) 고속철도(KTX, SRT 등) 수송인력 : 연간 14,731만명, 1일 40만명,
  (도시광역철도) 도시철도 등 수송인력(2017년 기준) : 연간 360,471만명, 1일 988만명

- 최근 발생한 사고의 경우 사고 자체의 피해(인명, 물리적) 뿐만 아니라 사고로 인한 이용객 타 교통수단으로 이동, 시간적 손실, 연쇄 지연 운행으로 후속 열차 이용객의 피해 등이 발생

  ※ KTX 강릉역 탈선사고 (‘18.12. 총 10량 궤도 이탈, 중경상 인명피해 발생, 무궁화호 3개 열차 전구간 운휴, 사고 당일부터 익일까지 강릉역-진부역 구간 대체버스 44대로 수송)

  ※ KTX 오송역 단전 사고 (’18.11. 전차선 단전 2시간 정전, 2시간 만에 정상운행 되었으나, 사고열차 및 동 구간 이용 열차가 모두 지연되어 다음날까지 연쇄 지연 운행)

○ 법 제정 이후 정책제도적 개선 노력에도 불구하고 해결되지 않은 현행 철도시스템의 운영, 관리, 보수보강 등 전주기 관리 차원 정부시책 방향의 과학기술적 기반 기술 마련이 시급

- 2004년 철도안전법 제정 이후 법제도 강화를 통해 직접적 사고요인을 감소시키기 위한 노력을 지속적으로 추진

- 이는 철도안전관리체계의 도입적용 및 건널목 입체화, 승강장 스크린도어 등 직접적인 사고요인의 접근을 사전에 막는 방식의 시책을 시행

- 기존 시책은 철도사고 감소를 위함이었으나, 최근 안전분야 기술방향 및 4차 산업혁신 기술 등의 영향으로 보다 과학적인 현 상태 파악 및 문제해결 방안이 가능

- 현 전주기 관리 등 철도안전분야의 정책방향에 적합한 과학기술기반의 지원 기술개발이 필요

❑ 사업추진 시급성 검토

○ 철도운영환경 변화에 따른 철도안전 잠재적 위험요인에 대한 선제대응 필요

- 철도안전관리 강화 정책 추진으로 연간 철도사고의 발생 건수는 감소하고 있으나, 고속철도, 도시철도, 일반철도에서의 연간 운행장애 건수는 지속 유지

- 최근 발생한 열차사고 및 운행장애의 대부분은 시공, 유지보수 불량, 정비 소홀, 안전수칙 위반 등 인적요인을 포함한 철도 차량/시설의 잠재적 노후 문제 등이 반영된 결과이며,

- 그 외에도 외부요인 중 하나인 기상이변에 따른 폭우/폭설, 폭염 등에 대한 철도시설 및 차량 관리가 요구

- 점차 수도권 중심의 세계 최고 수준 이용객 운행밀도로 철도사고 및 운행장애 발생 시 선행 열차와의 추돌 가능성, 단선 구간의 경우 후속 열차의 연쇄 지연운행 등으로 국민생활에 직접적 영향을 미치는 문제 발생

- 사전에 현재 운행 중인 철도시스템 전반에 대한 잠재적 위험요인 분석 및 해결방안 마련을 통해 대응이 필요

○ 국민이 안심하고 이용할 수 있는 철도안전 구현을 위한 기존 안전관리기술의 패러다임 변화 및 고도화 필요

- 철도는 국가 기간 시설로 국민생활에 밀접하게 이용되는 교통수단임에도 최근 잦은 철도사고*와 운행장애로 국민 불안을 고조

※ KTX 강릉역 탈선사고 (‘18.12. 총 10량 궤도 이탈, 중경상 인명피해 발생, 전차선 단선, 레일 굴곡, 침목 파손 발생, 무궁화호 3개 열차 전구간 운휴, 사고 당일부터 익일까지 강릉역-진부역 구간 대체버스 44대로 수송)

※ KTX 오송역 단전 사고 (’18.11. 전차선 단전 2시간 정전, 2시간 만에 정상운행 되었으나, 사고열차 및 동 구간 이용 열차가 모두 지연되어 다음날까지 연쇄 지연운행)

- 해당 사건 등으로 승무원들이 직접 확인해야 하는 대응매뉴얼, 상황판단 문제 및 인력중심의 기존 사후 대응 방식의 안전관리에서 과학기술기반의 사전예방 대응방안 마련이 요구

○ 철도안전 투자비용의 한계에 따라 효율적 안전관리 및 철도안전정책 추진방향에 따른 기술적 지원 시급

- 국가재정운용계획에 따르면, SOC분야의 경우 건설 위주 투자에서 안전·운영중심의 투자체계로 전환되면서 전체 예산 감소

- 반면, SOC분야 안전에 대한 국민 관심도는 높음에 따라 안전점검 및 유지관리에 대한 투자로 확대 계획

- 국정과제를 통한 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획(‘17) 비롯하여 철도안전 강화대책(’18)에서도 기존 철도안전관리체계에 따른 인력중심 관리에서 사전예방적 과학기술기반의 안

전관리 추진 및 철도안전관리체계의 현장 적용성, 실제 문제 원인분석에 따른 현장 문제 해결로 방향 추진하고자 함

- 한정된 철도분야 예산에 대한 효율성 제고 및 과학기술기반의 문제해결을 위한 제도 지원 기술개발 추진 시급

2. 사업목표의 적절성

❑ 사업의 추진 필요성이 적절히 제시되어 있는지, 문제/이슈의 해결과 사업목표가 잘 부합되는지를 검토

표 6-2 '사업목표의 적절성' 평가항목의 평가질의

평가항목	평가질의(조사취지)	고려사항(사업별 맞춤형 선택)
사업목표의 적절성 (2계층)	1. 사업목표와 해결할 문제와의 연관관계가 존재하는가?	○ (체계개발사업) 임무와 개념설계가 적절히 구성되었는가?
	2. 사업목표는 달성하고자 하는 효과를 구체적으로 제시하고 있는가? (사업목표의 설정)	○ 다수의 사업목표가 제시된 경우, 사업목표 간 연관성이 낮아 사업의 효율성을 저해시키지 않는가?
		○ 해당 문제/이슈를 해결할 수 있는 과학기술적 대응시기(또는 실현시기)를 적절히 제시하고 있는가?
	3. 사업목표의 효과성을 측정하기 위한 성과지표가 적절히 제시되었는가?	○ 성과지표는 연구개발 사업의 효과를 객관화하여 계량화할 수 있는가?
	4. 사업성과에 대한 수혜자의 표적화가 적절히 이루어졌는가?	○ 사업성과의 활용과 확산을 통해 직접적인 영향을 받을 것으로 예상되는 주체를 구체적으로 제시하였는가?

* 자료 : KISTEP, 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)

❑ 사업목표 설정 근거

○ 사업 목적 분석에 따라 철도안전정책과 연계한 목표를 설정하고 이에 따른 3개 사업목표를 제시

❑ 본 사업에 대한 문제이슈도출을 위하여 철도 운영현황을 파악하고, 운영기관 및 관련 전문가들의 분야별 간담회 등을 통해 이해관계자 의견을 수렴하고자 함

❑ 사업 성과에 대한 직접적 수혜자 및 간접적 수혜자에 대해 검토하여 논리모형에 제시함

○ 본 사업의 기술개발 성과물의 활용처 이자 직접적 수혜자는 철도운영사(한국철도공사, 한국철도시설공단, 서울교통공사 등)로 선정

- 다만, 기존에 하지 않던 국가 통합안전관리에 대한 관리가 강화됨에 따라 국토교통부도 활용처로 도출

○ 철도안전에 대한 간접적 수혜자는 철도서비스를 이용하는 국민으로 도출

3. 세부활동 및 추진전략의 적절성

❑ 연구개발과제로 대변되는 세부활동이 구체적으로 제시되고 효과적이고 유기적으로 서로 연계되어 있는지를 관리가능성의 관점에서 분석

○ 즉, 사업목표를 효과적으로 달성하기 위한 추진전략 및 추진체계를 적절히 제시하였는지에 대한 분석을 수행

표 6-3 '세부활동 및 추진전략의 적절성' 평가항목의 평가질의

평가항목	평가질의(조사취지)	고려사항(사업별 맞춤형 선택)
세부활동 및 추진전략의 적절성 (2계층)	1. 세부활동이 사업목표와 논리적으로 연계되는가?	○ (기술 지정) 체계 및 시스템 개발사업의 경우, 핵심 기술요소를 중심으로 적절한 업무 분해도(WBS)를 구성하였는가? ○ (기술 비지정) 사업목표 달성을 위해 과학기술 분야를 특정할 수 없는 논리 및 근거를 적절히 제시하였는가? ○ 시설·장비구축사업의 경우, 시설·장비는 연구개발활동과 연계하여 구축되는가?
	2. 적절한 수준의 세부활동을 도출하여 제시하고 있는가?	○ 사업목표 달성을 위해 필요한 세부활동 수요조사를 적절히 수행하였는가? ○ 세부활동을 최종 도출하기 위한 우선순위 설정과정이 합리적으로 진행되었는가? ○ 세부활동을 도출하는데 참여한 전문가 집단은 적절하게 구성되었는가?
		○ (기술 지정) 개별 세부활동의 과학기술적 유사·중복성 검토 결과가 적절하게 제시되었는가? (과제수준의 중복성, 세부활동의 수월성) ○ (기술 비지정) 과제 규모(단가), 과제 기간, 과제 수요(물량)의 산출 근거 및 논리를 적절히 제시하였는가?
	3. 세부활동의 효과성을 측정하기 위한 성과지표를 적절히 제시하고 있는가?	○ 국내·외 관련 사례 및 통계, 사업목표 등을 고려하여 성과지표 및 목표치를 논리적으로 제시하였는가?
	4. 세부활동의 기간 추정과 시간적 선후관계는 논리적인가?	○ 시설·장비구축사업의 경우, 시설·장비구축과 R&D 활동 간의 연계성을 고려할 때 시간적 선후관계는 합리적으로 제시되었는가? ○ 시설·장비구축사업의 경우, 시설구축과 장비도입·구축과의 시간적 선후관계는 합리적으로 제시되었는가? ○ 사업목표 달성을 위해 정렬된 세부활동의 시간적 선후관계가 합리적으로 제시되었는가?
	5. 연구개발 특성을 고려한 추진전략을 적절히 제시하였는가?	○ 과제선정 기준 및 절차, 성과관리 방안 등을 포함한 연구개발 추진방안을 적절히 제시하였는가? ○ 주요 의사결정 체계 및 추진주체 간 역할분담 등 추진체계를 적절히 제시하였는가? ○ 선행사업이 있는 경우, 선행사업 성과분석 결과를 반영한 추진전략을 제시하였는가?

* 자료 : KISTEP, 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)

❑ 본 사업의 세부과제는 사업의 최종 목표 달성을 위해 유기적으로 연결되어 있음

○ 4대 중점분야 및 17개 세부과제간 창출되는 안전데이터는 각 플랫폼 기술 및 통합철도안전관리시스템에 연계

- 중점2, 중점3, 중점4에서 도출되는 철도현장 위험전조 데이터는 중점1의 스마트 철도안전 다자간 현장종합대응 데이터 허브 플랫폼과 연결

- 이와 관련한 운영기관 안전데이터는 국가통합 철도안전예측평가의사결정 지원 기술과 연결되어 종합적 분석을 도출하여 통합철도안전관리시스템이 연계됨

○ 국내 철도 운영기관별 조직 체계, 시스템 등을 종합적으로 고려하여 각 세부과제별 기술적용 대상 시스템을 제시

- 중점1, 중점2, 중점4는 모든 철도시스템을 대상으로 적용 가능

- 중점3은 세부과제별 특성을 고려하여 대상 시스템 선정

표 8-4 중점분야별 세부과제별 적용대상

중점분야	세부과제	고속철도	일반철도	도시철도
1. 스마트 통합철도안전관리 시스템 기술개발	(1-1) 사고전조 중심의 빅데이터 기반 국가통합 철도안전 예측·평가·의사결정 지원 기술 개발	O	O	O
	(1-2) 철도안전관리체계 실효성 향상을 위한 데이터 기반 철도안전 감독 및 모니터링 기술 개발	O	O	O
	(1-3) 빅데이터 기반 대국민 철도안전 서비스 정보 수집·생성 기술개발	O	O	O
	(1-4) 스마트 철도안전 다자간 현장종합대응 데이터 허브 플랫폼 기술 개발	O	O	O
2. 사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술개발	(2-1) 철도종사자 인적오류 저감 스마트 기술 개발	O	O	O
	(2-2) 철도사고·장애 예방 및 조기대응 종사자간 합동훈련 가상시스템 개발	O	O	O
	(2-3) 증강현실 기반 철도 차량·시설 정비훈련 및 정비지원 기술개발	O	O	O
3. 철도시설 사고·운행장애 사전예방 스마트 기술개발	(3-1) 빅데이터 기반 선로 사고 · 장애 사전예방 스마트기술 개발	O	O	
	(3-2) 디지털 모델 기반 철도교량 핵심 안전성능 지능화 관리 기술 개발	O	O	
	(3-3) IoT를 활용한 철도터널 안전사고 사전예방 스마트 기술 개발	O	O	
	(3-4) 철도역사 일상 안전사고 사전예방 CPS 기술 개발	O	O	O
	(3-5) 고장모드 표준화 기반 철도신호설비 사고·장애 선제대응 스마트 기술 개발	O	O	

중점분야	세부과제	고속철도	일반철도	도시철도
	(3-6) 자산관리기반 전철전력시설물 스마트 종합예방진단 시스템 기술개발	O	O	
	(3-7) 본선구간의 협소공간 무차단 슬래브 궤도교체 및 측면확장을 위한 급속개량 기술 개발	O	O	
4. 사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발	(4-1) 철도차량 상태거동 분석을 위한 차•지상 정보수집 시스템 개발	O	O	O
	(4-2) 철도차량 핵심장치 상태기반 위험전조 예측기술 개발	O	O	O
	(4-3) 위험전조기반 철도차량 스마트 유지관리 기술	O	O	O

❑ 전체 사업목표 달성을 위해 중점분야별 목표를 설정하고 이에 따른 과제별 성과 달성을 위한 사업평가 시 고려되는 성과지표를 제시

표 6-5 단계별 성과 유형별 성과지표

성과지표	1단계 (2021~2023)	2단계 (2024~2027)	성과 유형
논문(mrnIF)	59.0 이상	59.0 이상	과학적 성과
특허(SMART 등급)	3.9점 이상	3.9점 이상	기술적 성과
철도안전정보(DB) 표준화 및 구축	10개	17개	
안전정보 모니터링, 수집 S/W 등록(실증/인증)	10개	17개	
안전정보 위험도 평가 및 상태평가 분석 S/W 등록(실증/인증)	-	17개	
통합관리시스템 검증	-	1개	
정책활용도 (정책, 법제정 및 개선, 설계기준 등)	10개	17개	사회적 성과 (정책효과 포함)
기술규격 마련	10개	17개	

※ 참고: 국토교통부 철도기술연구사업 성과분석 보고서(2019) 평균('16-'18) 기준보다 상향
논문(mrnIF) 58.93
특허(SMART 평가) 3.87

제2절 정책적 타당성 분석

1. 정책의 일관성 및 추진 체제

1.1 상위계획과의 부합성

❑ 철도안전관리분야 및 해당분야의 과학기술 정책에 대하여 국가 상위 계획, 중장기 계획 등을 통해 상위계획과의 부합성을 검토

○ 상위계획과의 부합성은 정부차원의 정책적 합의를 의미하며, 세부치침에 제시된 평가질의는 [과학기술기본계획 및 선택군 계획과 해당 사업계획서의 내용이 부합하는가?]로 분야 관련 계획을 조사, 검토함

○ KISTEP 예타지침(2018)에 명시된 보고서[216]에 따라 과학기술분야 4개 국가계획 및 그외 국가계획 4개에 대해 추가 분석함

표 6-6 국가 상위 계획 및 기본 계획 분석 대상 목록

구분 (위상계획유형)	분야	중장기계획 명	소관부처
총괄	과학기술분야	제4차 과학기술기본계획(2018-2022)	과기부 과학기술기본법 제7조
종합	과학기술분야	제1차 국토교통과학기술 연구개발종합계획(2018~2027) * 건설교통 R&D 중장기 계획, 국토교통 R&D 중장기 전략, 국가교통기술개발계획 폐지	국토교통부 국토교통과학기술 육성법
종합	과학기술분야	제3차 재난 및 안전관리 기술개발종합계획(2018-2022)	행정안전부 재난 및 안전관리 기본법 제71조
-	-	문재인정부 국정운영 5개년 계획	-
종합	-	제8차 국가교통안전기본계획 (2017-2021)	교통안전법 제15조
		철도안전 혁신대책 (2015.08.12.)	국토교통부
종합	-	제3차 철도안전종합계획 (2016~2020)	철도안전법 제5조 및 제6조
		제4차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획('18-'22)	국토교통부

※ 과학기술분야의 국가계획을 중심으로 기술하였으며, 관련 국가계획을 추가하여 제시함

❑ 「제4차 과학기술기본계획(2018-2022)」

○ 4대 전략 중 '과학기술로 모두가 행복한 삶 구현'을 위한 중점추진과제 중 철도 안전관리와 관련된 내용이 포함되어있어 추진내용과 연계성이 존재함

216) KISTEP, 2016년 과학기술분야 중장기계획 조사·분석 및 심층분석 연구

- ‘안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현‘을 위해 국민 맞춤형 재난·안전 교육 및 생활 체감 서비스 확대, 재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보 추진

- 노후 및 신설 도시 인프라의 예방적 유지관리 시스템 개발 추진

❑「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018-2027)」

○ 4대 추진 전략 중 ’사람 중심의 국토교통 기술개발‘이 철도 안전관리와 관련된 내용을 포함하고 있어 추진내용과 연계성이 존재함

- 인프라 부문에서는 노후화된 철도 인프라에 대한 급속 개량, 교체 기술개발 등으로 안전성능을 제고하고 중단없는 교통서비스 제공을 추진과제로 하고자 함

❑「제3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획(2018-2022)」

○ 추진전략 2의 미래신종재난 대비 재난안전기술 선진화에서 추진과제가 철도 안전관리와 관련된 내용을 포함하고 있어 추진내용과 연계성이 존재함

- ‘빅데이터 기반 재난안전 정보활용 기술개발’을 추진 계획하고 있으며, 특히, 국토교통부는 실시간 철도안전 통합 감시제어시스템 개발을 추진하고자 함

❑「문재인정부 국정운영 5개년 계획」

○ 전략 중 국민안전과 생명을 지키는 안심사회에서 철도안전 강화를 위한 내용을 포함하고 있어 추진내용과 연계성이 존재함

- ‘안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체계 구축’과제를 통해 특히, ‘17년에 스마트 철도안전 기본계획을 수립 추진을 통한 철도 안전강화를 제시함

❑「제8차 국가교통안전기본계획(2017-2021)」

○ ‘국민이 신뢰하는 선진 교통안전 구현’이라는 비전하에 교통수단 이용자, 관리자(종사자), 운영자, 제도 등을 포함하는 시스템 차원에서의 체계적인 관리가 필요함을 제시하고 철도부문에 관한 내용을 포함하고 있어 추진내용과 연계성이 존재함

- 철도부문의 정책방향은 자발적 안전관리체계를 정착 등을 통한 대형교통사고 발생 제로화 및 철도사고 33%이상 감소 목표 설정하여 분야별 추진방향을 설정

❑「제3차 철도안전종합계획(2016-2020)」

○ 철도안전정책방향을 제시하는 종합계획으로 안전관리체계 및 평가관리 기술 고도화 등 포함하여 추진내용과 연계성이 존재

- 자발적 안전관리 정착 외에도 안전한 철도인프라 확충, 국민이 안심하는 운행안전 확보 등 방향 제시

❑「철도안전 강화대책(2018.12)」

○ 최근 발생한 주요 철도사고 및 운행장애의 원인분석을 통해 철도안전대책 현장 이행력 제고, 철도차량 관리 강화, 사람중심의 사고 대응체계 구축 등 현안이슈 해결을 포함하고 있어 추진내용과 연계성이 존재

- 특히, 정책, 제도적으로 안전관리 강화하는 방향에 비해 실제 현장에서의 이행력이 부족하다는 문제 해결을 위해 계획 수립 추진

❑ 「국토교통 4차 산업혁명 대응전략(2017.04)」

○ 철도분야가 포함되는 교통서비스의 안전성, 편의성 증대 영향을 분석하여 IoT · AI를 활용, SOC 실시간 모니터링 · 판단 · 제어가 가능해지며, 효율성, 편의성이 향상된다고 도출되어 추진 내용과 연계성이 존재

- 철도부문의 경우 스마트한 철도 서비스를 제공하기 위하여 철도 시설물 정보를 통합관리하고 빅데이터 분석을 통해 열차 운행 안전관리 및 유지관리 최적화 등에 활용

표 6-7 제3차 철도안전종합계획(2016~2020)과 본 사업범위 비교

분야	중점 추진과제	본 사업 범위	관련 중점분야
1. 자발적 안전관리 체계의 정착	1.1 철도CEO의 안전관리 책임강화	·	1분야 2분야
	1.2 대형 철도사고에 대한 책임·제재 강화	·	
	1.3 경제적 수단 적극 활용·확대	·	
	1.4 안전수칙 위반·동종사고 재발 등에 대한 제재강화	·	
	1.5 철도운행선로 작업 안전강화	O	
	1.6 인적과실 예방 및 교육여건 개선	·	
	1.7 철도안전 전문 인력 양성 및 자격제도 확대	O	
	1.8 철도공사 및 철도공단 안전시스템 진단(검토과제)	·	
2. 안전한 철도인프라 확충	2.1 철도사고 예방을 위한 노후시설 개량	O	3분야
	2.2 철도시설물 생애주기별 안전관리 강화	O	
	2.3 안전하고 투명한 유지보수 체계 구축	·	
	2.4 시설 유지보수 효율화 등 추진	O	
	2.5 휴먼에러 예방을 위한 안전설비 확대 설치	O	
	2.6 승강장 안전설비의 확대 설치	·	
	2.7 주요 역사의 혼잡도 개선	·	
	2.8 교통약자·외국인 안전사고 예방	·	
	2.9 선로변 울타리 및 보안설비 설치	·	
	2.10 철도건널목 입체화 등 건널목 사고 예방	·	
	2.11 철도보호지구 및 사고취약구간 관리 강화	·	
3. 국민이 안심하는 운행안전 확보	3.1 철도차량 점검·정비 체계 강화	O	1분야 4분야
	3.2 철도차량 정비제도 선진화	·	
	3.3. 철도차량 부품 안전품질 확보	·	
	3.4 열차운행 Process별 안전관리 강화	·	
	3.5 노후 철도차량의 관리 강화	·	
	3.6 철도차량 내 사고대응설비 설치 확대	·	
	3.7 국가안전 컨트롤타워로서의 관제 확립	O	
	3.8 철도차량 안전설비·표지 표준화	·	
	3.9 철도 화물차량 안전관리 강화	·	
	3.10 철도 화물안전운송 방안 마련	·	
4. 철도보안·재난대응 역량강화	4.1 보안체계 및 테러대응 강화	·	1분야
	4.2 철도터널 및 지하역사 화재안전성 향상	·	
	4.3 대형사고 비상대응능력 향상	·	
	4.4 첨단과학기술 기반 철도재난 대응 역량 강화	O	
5. 철도안전산업 활성화	5.1 안전투자 확대를 통한 안전산업 수요창출	·	-
	5.2 민간의 안전투자 확대 유도	·	
	5.3 제도개선을 통한 안전산업 선진화	·	
	5.4 철도안전 원천기술 개발 및 검증인프라 확충	·	
	5.5 철도안전 고도화를 위한 R&D확대	·	
6. 철도안전 정책 추진기반 강화	6.1 철도안전조직 강화 등 안전정책 추진기반 강화	·	1분야
	6.2 철도예산 대비 안전투자 비중 확대	·	
	6.3 철도안전 법령 정비	·	
	6.4 철도안전 통계의 신뢰성 향상 및 활용촉진	·	
	6.5 위험원 분석을 통한 안전관리체계 강화	O	
	6.6 철도안전 거버넌스 혁신 및 국제교류 강화	·	
	6.7 대국민 홍보 확대와 안전문화 확산	·	

표 6-8 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획과 본 사업범위 비교

분야	중점 추진과제	본 사업 범위	관련 중점분야
차량관리	① 주요부품 실시간 고장검지·예측	O	4분야
	② 철도차량 고안전 제어시스템 플랫폼 개발		
	③ 차량정비의 스마트팩토리 도입	O	
	④ 스마트 차량이력관리를 통한 상태기반 유지보수	O	
시설관리	① IoT, 드론 등 첨단 검측장비 확보	O	3분야
	② 철도시설 유지보수 작업의 기계화	O	
	③ 철도시설 이력관리시스템 구축	O	
	④ 철도시설 인프라 고도화 기반 구축	O	
인적관리	① 종사자 모니터링, 교육에 따른 인적오류 예방	O	2분야
	② VR·AR 활용 비상대응 역량강화	O	
	③ 평가·교육 등을 통한 종사자 역량 강화	O	
	④ 4차 산업혁명 시대 전문인력 양성	O	
위험관리	① 빅데이터 기반의 안전관리	O	1분야
	② 과학적 유지관리체계 도입	O	
	③ 체계적 위험도 평가 도입	O	
	④ 감독지원시스템 구축	O	
운행관리	① 실시간 철도안전관제 구축	O	1분야
	② 실시간 운행안전 모니터링	O	
	③ 스마트 열차운행제어		
	④ 운행사건 비상대응체계 개선	O	
보안관리	① 스마트 철도보안체계 구축	O	1분야 3분야
	② 철도보안관리체계 기반 마련	O	
	③ 철도시설 보안 확보	O	
	④ 사이버 보안체계 강화	O	

1.2 사업 추진체제 및 추진의지

❑ 사업의 차별성 및 연계·협력방안에 대해 중점하여 기존 사업 및 연구시설장비 등에 대한 중복성, 연계활용방안 제시에 대해 종합 검토함

○ 사업 추진체제 및 추진의지는 사업의 임무·역할의 차별성 및 연계·협력방안의 적절성과 사회적 합의를 의미하며, 주요 평가 질의는 다음과 같음

표 6-9 ‘사업 추진체제 및 추진의지’ 평가항목의 평가질의

평가항목	평가질의(조사취지)	고려사항(사업별 맞춤형 선택)
사업 추진체제 및 추진의지 (3계층)	1. 관련 사업들과의 차별성이 무엇이고, 별도의 사업으로 추진이 적절한가?	○ 기존 사업과의 중복성 검토 결과가 적절히 제시되었는가?
		○ 연구시설 · 장비의 중복성 검토 결과가 적절히 제시되었는가?
	2. 관련 정책목표 달성을 위해 부처간 · 부처내 유관 사업과의 연계 · 협력 방안을 적절히 제시하였는가?	○ 다부처 공동추진 사업 또는 부처 연계형 사업인 경우, 부처간 역할분담, 연계 · 협력 방안을 적절히 제시하였는가?
		○ 선행사업이 있는 경우, 선행사업 성과의 활용방안을 적절히 제시하였는가?

* 자료 : KISTEP, 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)

❑ 기존 사업/과제와의 중복성

○ 전체 부처를 대상으로 NTIS DB 검색 결과, “철도 안전”과 관련된 세부사업/내역사업단위 추진은 국토교통부 R&D 사업 중 일부 해당

- 철도종합안전기술개발사업(국토교통부, 2004년~2011년)

- 철도기술연구사업 중 철도안전·편의향상기술 분야(내역사업)(국토교통부, 2007년~2019년일몰)

표 6-10 유사사업과의 차별성 및 연계방안

구분	동 사업	철도종합안전기술개발사업 (국토교통부)	철도기술연구사업 중 철도안전편의향상기술분야(내역사업) (국토교통부)
총사업비(억원)	3,033	896	3,016(계획)
기투자액	-	896	2,689(‘19년까지 투자)
사업기간	2021년-2027년	2004년-2011년	2007년-일몰
사업목적	현장/인력과 경험 위주의 현행 철도 안전관리를 대상 으로 사고/장애 위험요인을 사전에 파악하여 예방하기 위한 스마트기술 (4차산업혁명 기술) 기반의 철도안전 관리체계 지원 기술력 확보	- 철도시스템에 대한 종합안전대책과 철도안전법의 효율적·기술적 시행기반 마련 - 철도안전관리 체계와 기술기반을 선진국 수준으로 제고	국민행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도시스템 개발 및 강소기업 기술경쟁력 제고를 통한 철도산업의 고부가가치 창조형 신성장 동력으로 육성(사업전체 목적)
세부내용	① 스마트 통합철도안전관리 시스템 기술개발 ② 위험전조 데이터기반 종사자/이용자 선제적 사고예방 기술개발 ③ 철도시설 안전사고/운행장애 사전예방 스마트 기술개발	① 철도종합안전 대책과 철도안전법에서 요구하는 각종 기술적 안전 규정·기준 마련과 안전관리체계 구축 ② 철도안전성 평가를 위한 안전성능 평가기술 개발 ③ 철도중대사고 방지 및 사	① (철도사고 예방·대응 기술) 열차사고 건수 저감을 위한 실시간 안전 감시 기술개발 ② (철도 안전인증 체계 지원) 철도안전 및 인증체계 구축을 위한 국제기준에 부합하는 기술기준마

구분	동 사업	철도종합안전기술개발사업 (국토교통부)	철도기술연구사업 중 철도안전편의향상기술분야(내역사업) (국토교통부)
	④ 위험전조 데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발	고피해저감 기술개발	련 및 대형시험 인프라 구축 ③ (여객 편의성 및 쾌적성 향상 기술) 철도이용 편의 및 접근성 향상, 승차감 향상 등을 위한 ICT기반의 정보제공 기술, 소음진동 기술개발
기타		중복성 없음 (기술개발 목표 및 적용 단계, 성과물의 차별성 존재)	중복성 없음 (기술개발 목표 및 적용 단계, 성과물의 차별성 존재)

❑ 비교 대상 사업과의 차별성 및 연계방안

○ 동 사업과 철도종합안전기술개발사업(이후 철안사사업)은 철도안전법 및 정책의 방향에 따라 기술개발 필요성이 제기되어 추진됨은 유사하나,

- 철안사사업의 성과물은 철도안전관리체계 구축, 제도적 지원을 위한 기술기준 등과 사고수습을 위한 매뉴얼 등이 주로 창출되었음

- 반면, 동 사업의 경우 기존 철안사사업 등 앞서 연구된 철도안전관리체계의 현행 시스템 적용에도 발생하는 한계를 파악하여 과학기술기반(데이터기반, 위험도분석기반)의 정량화된 안전관리를 위한 통합관리시스템을 구축하고자 함에 따라 기술개발 최종 목표 및 적용 기술 범위, 성과물의 차별성이 존재

○ 동 사업과 철도기술연구사업 중 철도 안전·편의 향상기술은 정부정책과 연계한 재난·사고 선제적 예방 대응을 추진전략 방향으로 설정하고 있으나, 동 사업의 경우 기존의 추진 사업과 차별화 및 기술개발 동향을 반영한 재난·사고 중심이 아닌 운행장애까지 포함한 과학기술적 기반의 통합관리시스템을 구축하고자 함

- 철도기술연구사업 내 철도안전편의향상기술분야는 탈선사고 방지를 위한 일탈방호 시설 개발, 동절기 설빙피해 예방, 고속열차 미끄럼 방지장치 개발 등이 추진, 또한 철도차량에 대한 실대형 성능시험 장치 개발 등의 성과물 창출

- 동 사업의 경우 철도기술연구사업에서 개발한 기술개발성과물 외에 데이터기반의 통합안전관리 시스템 개발을 목표로 하되 일부 시설 관리를 위한 시설 분야별 공백기술 분야에 대한 연구를 추진하고자 함에 따라 기술개발 최종 목표 및 성과물의 차별성이 존재

2. 사업 추진상의 위험요인

2.1 재원조달 가능성

❑ 본 사업의 연구비에 부담 주체별 재원조달방안 및 방식에 대해 검토하여 각 재원분담 주체별 재정여건의 위험성 등 고려하여 예산확보방안을 제시하였는지 확인

○ 재원조달 가능성 평가항목은 정부·지자체·민간의 재정 여력에 대한 의미로 다음 평가질의에 따라 사업비 부담 주체별 재원조달방안, 방식에 대한 내용을 검토

표 6-11 '재원조달가능성' 평가항목의 평가질의

평가항목	평가질의(조사취지)	고려사항(사업별 맞춤형 선택)
재원조달 가능성 (3계층)	1. 사업의 원활한 추진을 위한 재원부담주체별 재원조달 방안과 재원분담 방식이 적절히 제시되었는가?	○ 기반구축형(연구시설·장비) 사업의 경우, 국비/지방비 분담 기준을 준수하였는가?
		○ 지방정부의 재원조달 규모가 큰 경우, 지자체의 재정여건을 감안할 때 위험수준은 양호한가?
		○ 민간재원조달 규모가 큰 경우, 재원분담 기준에 따른 재원조달 측면에서의 위험수준은 양호한가?

* 자료 : KISTEP, 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)

❑ 재원조달 방안이 적절히 제시됨

○ 사업기간('21～'27년) 7년 총 3,127.25억원 투입예정이며, 2,368.63억원은 정부출연금, 758.62억원은 민간부담금으로 조달 계획

- 민간 부담금은 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에 따라 대기업(50%), 중견(40%), 중소(25%), 컨소시엄(복합) 등 각 프로그램별 타깃에 따라 분담비율 적용

- 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」을 참고하여 중소기업이 모두 참여하거나, 중소기업의 비율이 ⅔이상인 경우 정부출연금 비율을 75%이내로 규정되어 있으므로 이에 따라 정부, 민간 비율을 조정

○ 또한 국토교통 R&D 예산 및 재원확보 방안 검토 및 민간 기업 참여의향 조사 등을 통한 재원조달 방안을 마련함

2.2 법·제도적 위험요인

❑ 본 사업의 연구비에 부담 주체별 재원조달방안 및 방식에 대해 검토하여 각 재원분담 주체별 재정여건의 위험성 등 고려하여 예산확보방안을 제시하였는지 확인

○ 법제도적 위험요인 평가항목은 법제도적 합의에 대한 의미로 다음 평가질의에 따라 위험요인

및 대응방안에 대한 제시 등 내용을 검토

표 6-12 '법제도적 위험요인' 평가항목의 평가질의

평가항목	평가질의(조사취지)	고려사항(사업별 맞춤형 선택)
법제도적 위험요인 (3계층)	1. 국내 연구개발사업과 관련된 법·제도·규정에 따른 사업추진 상의 위험요인 대응방안을 적절히 제시하였는가?	-
	2. 조약 또는 국제협약 등과 관련된 사업추진 상의 위험요인 대응방안을 적절히 제시하였는가?	-

* 자료 : KISTEP, 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)

❑ (위협요인) 동 사업은 데이터기반의 철도안전관리기술개발사업으로 각 중점추진분야별 기술개발성과물로 부터 확보된 정보가 중점분야1의 통합철도관리시스템에 필수적으로 연계되어야 함

○ 동 사업의 최종 목표는 현 운행 중인 철도시스템 상에 확보된 정보(사전예방, 예측 가능한 안전정보)에 대한 수집, 위험도 기반 평가/분석 및 의사결정 지원, 실행까지 통합관리임

○ 현재 철도운영자 등이 철도사고, 위험사건, 지연운행 등에 대해 국토교통부에 보고하도록 되어 있으며, 철도안전정보관리시스템을 통해 관리 중이나, 실제 해당 내용에 대해 작성자 중심의 보고, 항목 내 세부 누락 등 문제 존재

○ 이러한 문제 등을 해결하기 위하여 철도사고 보고체계를 개편하고자 하는 철도안전법 개정 추진[217)218)]

- 철도안전 관리방식을 기존의 철도사고 및 운행장애에 대한 재발방지 대책위주에서 사전 위험요인 관리 등의 예방적이고 선제적인 방식 전환

- 철도 준사고를 신설하여 철도안전에 중대한 위해를 끼쳐 철도사고로 이어질수 있었던 것을 포함하여 확대

- 또한 기존의 보고를 의무보고로 강제성을 부여

217) 국토교통부, 철도안전정보 활용체계 발전 방안(안), 2018.08.
218) 한국교통연구원, 남서울대학교, Big Data 기반 철도안전관리 구현방안 연구, 2018.11.

제3절 경제적 타당성 분석

1. 비용 추정

❑ 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 수행 세부지침(2019)에서는 비용편익분석에 있어 비용의 추정을 총 사업비(비용), 즉 '제안된 사업기간 내에 포함되는 모든 비용'으로 하고 있음으로 본 사업에 필요한 모든 경비를 합하여 비용으로 산정

○ 총 사업비는 국고(공공부문 R&D)와 민자(민간부문 R&D) 비용의 합으로 구성

표 6-13 본 사업의 연차별 소요예산

(단위 : 억 원)

중점분야	구분	합계	연차별 투자계획						
			2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
스마트 통합철도안전 관리시스템 기술개발	합계	654.74	44.01	110.01	187.34	128.68	127.35	40.01	17.34
	정부	491.00	33.00	82.50	140.50	96.50	95.50	30.00	13.00
	민간	163.74	11.01	27.51	46.84	32.18	31.85	10.01	4.34
사고위험 전조데이터기반 철도종사자 선제적 사고예방 기술개발	합계	249.37	0.00	22.00	54.01	108.01	52.01	13.34	0.00
	정부	187.00	0.00	16.50	40.50	81.00	39.00	10.00	0.00
	민간	62.37	0.00	5.50	13.51	27.01	13.01	3.34	0.00
철도시설 사고/운행장애 사전예방 스마트기술 개발	합계	1,569.46	78.68	182.69	335.37	384.69	384.02	204.01	0.00
	정부	1,177.00	59.00	137.00	251.50	288.50	288.00	153.00	0.00
	민간	392.46	19.68	45.69	83.87	96.19	96.02	51.01	0.00
사고위험 전조데이터기반 철도차량 장애 선제적 대응기술 개발	합계	560.05	26.67	86.68	146.68	133.34	93.34	73.34	0.00
	정부	420.00	20.00	65.00	110.00	100.00	70.00	55.00	0.00
	민간	140.05	6.67	21.68	36.68	33.34	23.34	18.34	0.00
기획평가 관리비	합계	93.63	4.62	12.40	22.32	23.27	20.26	10.22	0.54
	정부	93.63	4.62	12.40	22.32	23.27	20.26	10.22	0.54
	민간	-	-	-	-	-	-	-	-
총계	**합계**	3,127.25	153.98	413.78	745.72	777.99	676.98	340.92	17.88
	정부	2,368.63	116.62	313.40	564.82	589.27	512.76	258.22	13.54
	민간	758.62	37.36	100.38	180.90	188.72	164.22	82.70	4.34

○ 본 사업을 통해 산출된 시스템(플랫폼 등) 기술은 각 세부과제별 최종 성과물로 산출되며, 연구과제 기간 중 기존 철도시스템과의 호환성 등을 검증하는 내용이 포함됨에 따라 별도 정보화사업예산은 동 사업의 비용에 포함되지 않음

- 각 분야별 정보와 관련된 세부과제들은 단독으로 진행되는 것이 아니라 기존 운영사에서 적용/활용하고 있는 시스템과의 정보 연계가 필수적으로 운영사들의 참여가 예상

○ 이에 따라 동 사업의 총 비용은 전체 사업예산인 3,127.25억원으로 산정

2. 편익추정

2.1 기본 가정

❑ 본 사업의 경제적 성과는 4개 중점분야의 기술개발 목적 및 목표 등을 통하여 발생가능한 편익항목을 선정하고 비용편익분석을 통해 도출

○ 본 사업의 경제적 분석은 4개의 중점분야에서 발생하는 경제적 효과를 비용편익 분석 방법론을 적용하여 수행

○ 데이터기반의 통합적 철도안전관리를 하기 위하여 각 중점분야간 연계를 통해 최종 통합철도안전관리시스템이 완성됨에 따라 철도안전관리를 위해 투자되는 정부사업비용을 효율화(저감)하고 기존 발생했던 철도사고 및 운행장애의 발생가능성을 낮춰 피해복구 비용을 저감하는 2개의 비용저감 편익을 도출

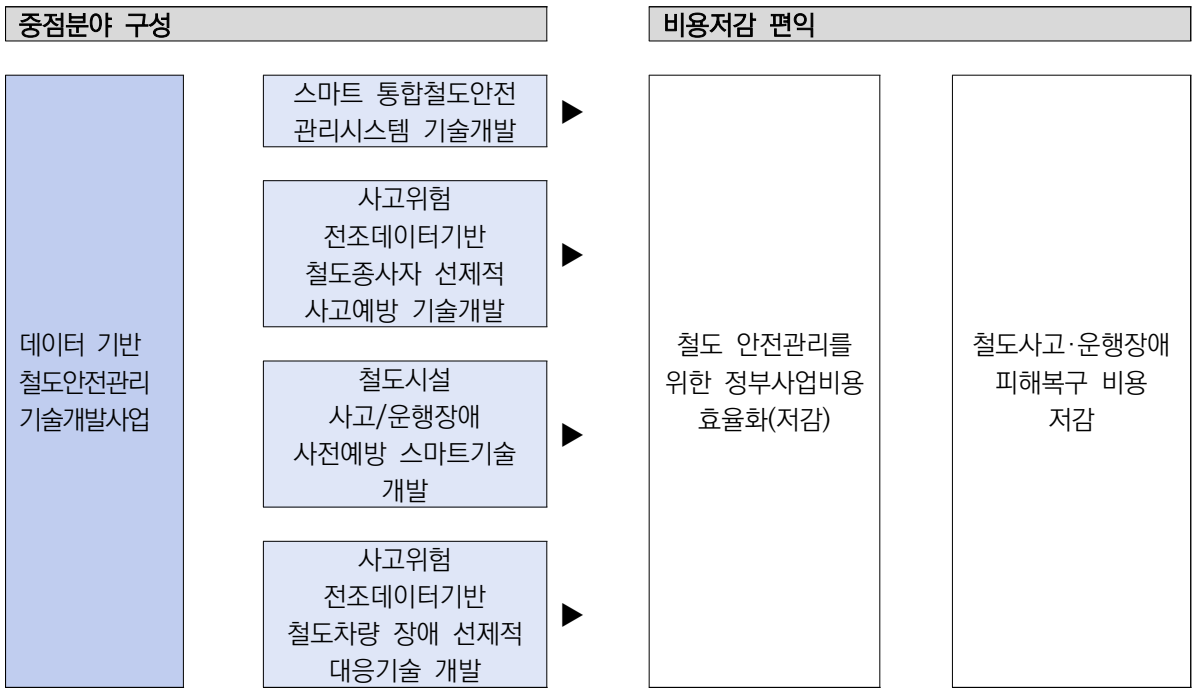


그림 6-6 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업의 편익항목 도출

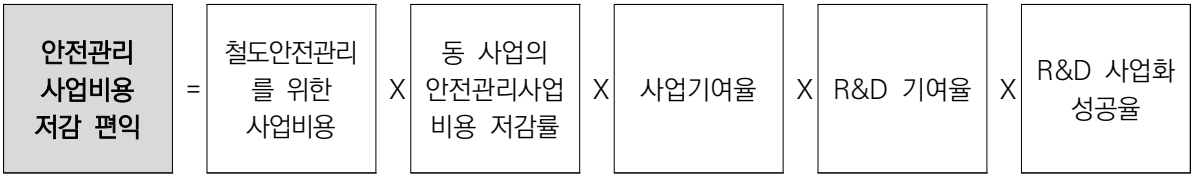


그림 6-7 본 사업의 비용저감(안전관리사업비용) 편익 산출법

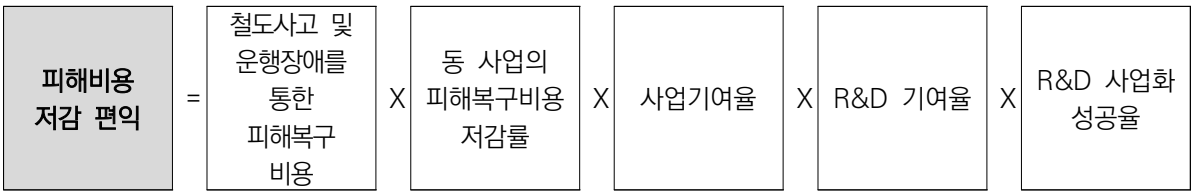


그림 6-8 본 사업의 비용저감(피해비용) 편익 산출법

2.2 편익 추정 지표 산정

❑ 회임기간 (3년으로 설정)

○ 데이터기반 철도안전관리 기술개발사업의 성과물이 사업화에 필요한 회임기간을 3년으로 가정하여 적용

○ 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 수행 세부지침(2019)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 사업 특성을 고려하여 반영

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

❑ 편익기간 (9년으로 설정)

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

- 각 중점분야별 관련 특허를 산출하고 각 중앙값을 평균을 내면 8.75년으로 편익기간은 9년으로 산정

❑ 사회적 할인율 (4.5%로 설정)

○ 한국개발연구원 예비타당성조사 수행 총괄지침(2017.9)에 근거하여 기준년도는 2016년도, 수치는 4.5% 적용

❑ 사업 기여율 (45.3%)

○ 사업기여율은 대상 분야의 연구개발 투자 규모 중에서 해당 사업이 차지하는 비중(사업기여율)을 고려하여 산정하게 되는데, 관련 예산을 고려할 경우 본 사업의 사업 기여율은 45.3%로 산정

- $\text{사업기여율} = \frac{\text{본사업예산규모}}{\text{국내철도안전관리분야연구개발투자(정부+민간)+본사업예산규모}}$

- 철도안전관리 분야는 2014년~2018년 동안 철도안전관리를 목적으로한 대규모 정부 R&D사업은 없으나, 본 사업의 세부과제별 기술분야가 유사한 내용으로 과제단위에서는 일부 연구 추진

- 이에 따라 NTIS 검색을 통해 2014년~2018년동안 정부연구비를 조사하고 이를 토대로 민간 R&D 규모를 산출

- 민간 R&D 규모 : 150.50억원 X (77.5%/22.5%) = 518.39 억원

※ 2017년도 기준 정부·공공재원 22.5%, 민간재원 76.2%, 외국재원 1.3%로 산출[219)]

표 6-14 유사과제 연도별 정부연구비 투자규모

구분	'14	'15	'16	'17	'18	합계	연평균 (억원)
국토교통부 내 유사과제 투자규모	64.80	119.80	135.98	161.14	165.41	647.13	129.43
타 부처 유사과제 투자규모	14.25	16.07	23.65	38.84	12.57	105.37	21.07
합계	79.05	135.87	159.63	199.97	177.98	752.50	150.50

* 자료 : NTIS DB

- 사업기여율은 2021년 이후 철도안전관리분야의 연구개발투자는 국토교통부 사업의 경우 본 사업을 통해 추진하고, 타부처의 연구개발투자규모는 유지된다고 하면 45.3%로 산출

- 사업기여율 = $\frac{3{,}123.33\text{억원}/7\text{년}}{21.07\text{억원}+518.39\text{억원}+3{,}123.33\text{억원}/7\text{년}}$ = 45.3%

❑ R&D 사업화 성공율 (26%로 설정)

○ 본 사업을 통해 추진되는 과제들은 대부분 TRL 7~8단계까지 진행되어 기술개발성과물을 창출하며, 이는 실제 환경에서 시스템 시작품 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(2015년~2017년) 철도기술연구사업으로 추진된 과제 중 성과분석 대상 과제를 대상으로 하고

219) 과학기술정보통신부, KISTEP, 2017년 연구개발활동조사보고서, 2018

- 국토교통과학기술진흥원에서 관리하는 성과DB 중 사업화 매출액 성과와 기술이전 성과를 달성한 대상 과제를 추출
- 하단 표와 같이 최근 3년 정보를 분석한 결과, R&D사업화 성공율을 45%로 도출
- 다만, 철도기술연구사업은 기초-응용-개발 각 연구개발단계의 과제가 같이 추진된것에 비해 본 사업의 경우 TRL 7~8 단계까지의 기술개발 목표를 설정함에 따라 45%보다 더 높은 성공율을 보일 것으로 기대

표 6-15 철도기술연구사업의 R&D 사업화 성공율 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 성공율(B/A)		**46%**	**44%**	**44%**	**45%**

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

❑ R&D 기여율

○ 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 수행 세부지침(2019)에서 제시한 가이드에 따라 「제3차 과학기술기본계획」에서 제시된 R&D 경제성장 기여율 35.4%를 적용

2.3 편익 추정 결과

2.3.1 철도 안전관리를 위한 정부사업비용 효율화(저감) 편익

❑ 철도안전관리를 위한 연간 정부투자 규모 산출 및 미래 투자 규모 예측

○ 철도안전관리를 위한 정부 투자계획은 제2차 및 제3차 철도안전종합계획을 통해 수립되어 추진되고 있으며, 제2차 종합계획 시기 대비 제3차 종합계획 시기에는 정부 및 운영기관을 포함한 연간 투자 계획은 2조원 내외 규모로 추진

표 6-16 철도안전 시행계획을 통한 연간 집행 결과(2011년~2019년)

(단위: 백만원)

분야	제2차 철도안전 종합계획(2011-2015)					
	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	연평균 성장률
1. 철도안전관리 효율화 및 제도개선	16,057	12,849	10,550	13,359	13,117	-4.9%
2. 철도종사자의 안전역량 강화	8,768	15,324	18,015	14,856	15,221	14.8%
3. 철도시설의 안전성 향상	205,176	461,586	576,063	535,628	643,648	33.1%
4. 철도차량의 안전성 향상	105,354	116,743	129,005	122,594	186,775	15.4%
5. 철도안전에 대한 홍보 및 연구개발	6,688	5,722	7,426	16,866	10,671	12.4%
6. 운영기관 자율 추진 과제	429	1,781	32	21	36	-46.2%
합계	**342,462**	**614,005**	**741,091**	**703,324**	**869,468**	**26.2%**
정부 투자 비중*	**-**	**56.4%**	**59.0%**	**54.2%**	**60.0%**	
분야	**제3차 철도안전 종합계획(2016-2020)**					
	2016년	**2017년**	**2018년**	**2019년****	**2020년**	**연평균 성장률**
1. 자발적 안전관리 체계의 정착	20,590	21,862	16,344	30,153	-	13.6%
2. 안전한 철도인프라 확충	1,277,745	1,406,890	1,296,523	1,526,464	-	6.1%
3. 국민이 안심하는 운행안전 확보	163,544	761,189	515,790	581,469	-	52.6%
4. 철도보안·재난대응 역량 강화	104,579	29,044	41,734	21,616	-	-40.9%
5. 철도안전산업 활성화	68,344	114,353	98,192	16,782	-	-37.4%
6. 철도안전 정책 추진 기반 강화	2,445	1,234	1,554	2,132	-	-4.5%
합계	**1,637,247**	**2,334,572**	**1,970,136**	**2,178,616**	**-**	**10.0%**
정부 투자 비중	**69.7%**	**62.2%**	**58.8%**	**-**	**-**	

자료 : 연차별 철도안전 시행계획

* 정부투자 비중은 정부 및 지자체를 포함한 금액임, ** 2019년 예산은 계획 예산임,

○ 이중 본 사업과 관련된 정부예산은 홍보, R&D, 산업지원 등의 내용을 제외한 부분으로 제3차 종합계획에 1~4분야가 해당되어 이에 대한 예측규모를 산출

- 제3차 종합계획을 기준으로 세부과제별 내용을 분석하면 1, 2, 3, 4분야가 직접 해당되며, 6분야중 일부가 해당되나, 예산계획이 세부실행계획수준으로 공개되지 않아, 1~4분야까지 범위를 비용효율화 대상 사업범위로 산출

표 6-17 종합계획 내 본 사업성과물 적용분야 분석

분야	· 세부실행계획	사업성과물 적용분야
1. 자발적 안전관리 체계의 정착	1.1 철도CEO의 안전관리 책임강화 1.2 대형 철도사고에 대한 책임·제재 강화 1.3 경제적 수단 적극 활용·확대 1.4 안전수칙 위반·동종사고 재발 등에 대한 제재강화 1.5 철도운행선로 작업 안전강화 1.6 인적과실 예방 및 교육여건 개선 1.7 철도안전 전문 인력 양성 및 자격제도 확대 1.8 철도공사 및 철도공단 안전시스템 진단(검토과제)	해당
2. 안전한 철도인프라 확충	2.1 철도사고 예방을 위한 노후시설 개량 2.2 철도시설물 생애주기별 안전관리 강화 2.3 안전하고 투명한 유지보수 체계 구축 2.4 시설 유지보수 효율화 등 추진 2.5 휴먼에러 예방을 위한 안전설비 확대 설치 2.6 승강장 안전설비의 확대 설치 2.7 주요 역사의 혼잡도 개선 2.8 교통약자·외국인 안전사고 예방 2.9 선로변 울타리 및 보안설비 설치 2.10 철도건널목 입체화 등 건널목 사고 예방 2.11 철도보호지구 및 사고취약구간 관리 강화	해당
3. 국민이 안심하는 운행안전 확보	3.1 철도차량 점검·정비 체계 강화 3.2 철도차량 정비제도 선진화 3.3. 철도차량 부품 안전품질 확보 3.4 열차운행 Process별 안전관리 강화 3.5 노후 철도차량의 관리 강화 3.6 철도차량 내 사고대응설비 설치 확대 3.7 국가안전 컨트롤타워로서의 관제 확립 3.8 철도차량 안전설비·표지 표준화 3.9 철도 화물차량 안전관리 강화 3.10 철도 화물안전운송 방안 마련	해당
4. 철도보안·재난대응 역량 강화	4.1 보안체계 및 테러대응 강화 4.2 철도터널 및 지하역사 화재안전성 향상 4.3 대형사고 비상대응능력 향상 4.4 첨단과학기술 기반 철도재난 대응 역량 강화	해당
5. 철도안전산업 활성화	5.1 안전투자 확대를 통한 안전산업 수요창출 5.2 민간의 안전투자 확대 유도 5.3 제도개선을 통한 안전산업 선진화 5.4 철도안전 원천기술 개발 및 검증인프라 확충 5.5 철도안전 고도화를 위한 R&D확대	해당없음 (R&D 및 산업지원내용)
6. 철도안전 정책 추진기반 강화	6.1 철도안전조직 강화 등 안전정책 추진기반 강화 6.2 철도예산 대비 안전투자 비중 확대 6.3 철도안전 법령 정비 6.4 철도안전 통계의 신뢰성 향상 및 활용촉진 6.5 위험원 분석을 통한 안전관리체계 강화 6.6 철도안전 거버넌스 혁신 및 국제교류 강화 6.7 대국민 홍보 확대와 안전문화 확산	일부해당 (위험원 분석 등)

○ 본 사업 목표로 연간 철도안전사업 정부 투자 20% 효율화

표 6-18 철도안전 사업 정부 투자 규모 비용 효율화

연도	정부투자예산(예측) (백만원, 명목가치)	정부 투자 비용 효율화 규모 (백만원, 명목가치)
2031	3,303,817	660,763
2032	3,460,885	692,177
2033	3,617,876	723,575
2034	3,774,789	754,958
2035	3,931,626	786,325
2036	4,088,386	817,677
2037	4,245,068	849,014
2038	4,401,674	880,335
2039	4,558,203	911,641
합계	**35,382,323**	**7,076,465**

2.3.2 철도사고·운행장애 피해복구 비용 저감 편익

❑ 본 사업의 목표는 데이터기반 철도안전통합관리 기술 개발을 통해 현장에 적용하여 미래 발생가능한 철도사고 및 운행장애 건수를 저감하고 이로 인한 피해를 최소화 하는 것임

○ 본 사업은 기존에 관리하던 철도사고 및 운행장애에 대한 사고 현황외에도 운영 중 탐지할 수 있는 철도안전정보(사고전조 데이터 등)까지 확대 분석하여 발생가능한 사고건수 및 운행장애 건수를 줄일 것으로 기대

❑ 철도사고 및 운행장애로 인한 피해/손실비용 저감액은 다음과 같음

○ 철도사고로 인한 피해/손실 비용을 30% 절감하면 2031년부터 연간 166.21억원의 비용을 절감하며 편익기간동안 총 1495.89억원을 절감할 것으로 전망

○ 또한 운행장애로 인한 비용 50% 절감 목표 달성시 2031년부터 편익기간동안 총 8595.53억원을 절감할 것으로 전망

○ 다만, 본 사업 성과물은 철도사고 및 운행장애로 한정하는 것이 아니라 앞서(2장)에서 설명한 바와 같이 전체 사고전조 등의 기존에 확보하지 않은 현상을 파악하여 사전예방하는 것이므로 현재 예측 수준보다 더 높은 효과를 달성할 것으로 기대

표 6-19 철도사고 및 운행장애로 인한 피해/손실비용 저감

연도	철도사고		운행장애	
	연간 예상 피해/손실 규모	절감 규모 (30% 절감)	연간 예상 피해/손실 규모	절감 규모 (50% 절감)
2031	93,959	28,188	145,627	72,814
2032	98,187	29,456	155,310	77,655
2033	102,605	30,782	165,637	82,819
2034	107,222	32,167	176,651	88,326
2035	112,047	33,614	188,398	94,199
2036	117,090	35,127	200,925	100,463
2037	122,359	36,708	214,286	107,143
2038	127,865	38,359	228,536	114,268
2039	133,619	40,086	243,733	121,867
합계	**1,014,951**	**304,486**	**1,719,103**	**859,553**

3. B/C

❑ 본사업의 연도별 예산을 2019년 현재가치로 산출

- ○ 2019년 현재가치 기준으로 산출한 결과 총 비용은 2,536.17억원으로 산출
- ○ 철도안전 사업 정부투자 규모 효율화 편익은 2,511.72 억원으로 산출
- ○ 철도사고 및 운행장애로 인한 피해/손실비용 저감 편익은 410.88 억원으로 산출

❑ 동 사업의 비용편익 분석 결과 B/C = 1.152로 사업 추진의 타당성 확보

- ○ B/C = (2511.72+410.88)/(2536.17) = 1.152
- ○ 동 사업을 통한 비용편익 분석 결과는 1보다 높은 것으로 도출되어 사업 추진의 경제성이 있음

제4절 기대효과 및 파급효과

❑ 정책적 기대효과

- ㅇ 제4차 과학기술기본계획에서 제시한 국민이 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현 및 스마트 재난안전관리 정책 실현
- ㅇ 제3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획에서 제시한 빅데이터기반 재난안전정보활용 기술개발 정책 실현
- ㅇ 문재인 정부 국정계획 5개년 계획에서 제시한 '안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축', '통합적 재난관리체계 구축 및 현장 즉시대응 역량 강화' 등 과제추진 실현

❑ 과학기술적 기대효과

- ㅇ 국내 철도시스템에 대한 성능기반 예측 가능, 위험도 예측 분석 가능 기술 역량 향상
- ㅇ 데이터기반의 국내 철도안전관리체계로 시간, 비용 효율적 철도시스템 사고/장애 사전예방 실현

❑ 사회경제적 기대효과

- ㅇ 기존 회피되던 안전관리 분야 일자리에서 안전관리 분석 등 고부가가치 일자리 창출
- ㅇ 통합적 안전관리로 철도 운행 상 사고 및 운행장애로 인한 국민 피해 저감
- ㅇ 4차 산업혁명 기술의 적용 등 철도안전관리기술분야 고급 연구개발 인력 양성

❑ 과학기술적 파급효과

- ㅇ 국내 철도시스템에 대한 성능, 상태 기반 예측 및 위험도 예측 분석 가능 기술 수준 제고
- ㅇ 현행 철도시스템에 대한 기술개발 성과물 적용으로 운행장애 발생 저감

❑ 경제사회적 파급효과

- ㅇ 동 사업의 성과물이 개발된 후 적용예상되는 2031년부터 연간 철도안전관리를 위한 사업비 2,400억원 규모 절감
  (경제성 분석 결과 B/C = 1.217)
- ㅇ 철도사고 및 운행장애로 인한 사회적 피해비용(직접피해 및 지체시간 감소 편익 등) 또한 2031년부터 연간 203억원 규모 절감

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업 스마트 철도안전시스템 기술개발 사업 기획의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업 스마트 철도안전시스템 기술개발 사업 기획의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.