

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

국토교통연구기획사업 보고서

R&D / 21RDPP-C164438-01

운행속도 350km/h~400km/h 고속철도 차량 핵심기술 및 평가기준 개발 기획

2021.12

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 한국철도공사

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

목 차

1. 연구개발사업 개요	1
2. 연구개발 추진 필요성	4
2-1. 연구개발 필요성	4
2-2. 정부지원 필요성	11
2-3. 연구개발의 시급성	13
2-4. 연구개발 추진 효	15
3. 환경 분석	16
3-1. 사회·경제적 환경 분석	16
3-2. 기술적 환경 분석	20
3-3. 철도차량 시장동향 분석	31
3-3. 고속열차 고속화 기술 수준 검토	39
3-4. 400km/h급 고속철도 종합계획	48
4. 연구개발 역량분석	52
4-1 기술분류	52
4-2. 특허 동향분석	53
4-3. R&D 투자동향 분석	78
5. 연구개발사업 구성 및 추진전략	88
5-1. 연구개발의 범위	88
5-2 기술기준 검토	92
5-3 기술수요 조사	112
5-4 연구개발 사업 추진체계 및 전략	125
6. 연구개발 추진계획	127
6-1. 연구개발 세부 추진 내용	127
6-2. 예산 및 인력투입 계획	141
6-3. 사업 논리 모형	146
6-4. 사업 성과목표 및 지표	148
7. 사전 타당성 분석	141
7-1. 경제적 타당성 분석	151
7-2. 정책적 타당성 분석	154
8. 과제 공모방안	155

1. 연구개발사업 개요

□ 개요

- (사업명) 운행속도 350km/h~400km/h 고속철도 차량 핵심기술 및 평가기준 개발
- (목적) 고속철도의 운영속도 향상(350km/h 이상)을 위해 고속운행 시 예상되는 문제점 해결을 위한 기술과 적합성 평가기술을 개발
- (기간) '22.4월 ~ '25.12월
- (예산) 총 사업비 233억원(국고 182.5억원)

□ 연구개발 필요성

- (400km/h급 고속철도 종합계획에 따른 고속열차 속도향상 필요) 2004년 고속철도 개통 이후 신규 고속선은 350~400km/h 급으로 건설하였으나 운행 최고속도는 300km/h에 머물러 있음.
 - 국토부는 고속철도 인프라와 차량의 내구연한 도래('25)에 대비, 최고 운행속도를 향상하기 위한 400km/h급 고속철도 종합계획 수립 중
 - KTX-1 46편성이 2004년 경부고속철도 개통 이후 현재까지 운영 중이며, 내구연한 30년을 고려할 경우 '33~'34년 사이에 교체 필요
 - 국내 고속열차 기술수준, 개발기간*을 고려하여 단계별로 370km/h급 고속열차(설계속도 400km/h)을 우선 도입하고, 추가 연구 후 400km/h급 고속열차(설계속도 440km/h) 개발 추진
 - * 370km/h급 고속차량 도입은 약 8년이 소요되며, KTX-1 교체 시기 이전 개발 완료를 목표로 추진 필요
 - 설계/제작 및 형식 승인 등을 고려하면 370km/h급 신규 차량은 2025년에 발주되어야 함
- 350km/h 이상 고속열차 상용화 및 운행 안정성 확보를 위하여 현재 고속철도 차량 기준 개정 및 기술적 대응이 어려운 분야에 대한 정부지원 필요
 - * 400km/h급 고속철도 인프라는 이미 건설기준이 수립되어 고시되었으며, 신호체계(KTCS-2 적용 예정)의 경우 별도의 연구개발과제(철도 신호제어시스템 적합성 평가기술 개발)를 통하여 안전성을 확보할 예정
- (350km/h 이상 운행을 위한 고속차량 기술기준* 개정 필요) 현행 차량기술기준은 최고속도가 350km/h 이하인 고속차량에 대하여 적용하도록 되어 있어, 350km/h 이상 고속운행 차량의 발주/설계를 위한 고속철도 기술기준 개정이 필요함
 - * 철도안전법 26조3항에 따라 철도차량의 형식승인, 26조6.1항에 따른 완성검사 등 기술상의 기준을 규

정한 것으로, 철도차량의 안전, 성능 등에 대한 최소한의 요구사항을 정의한 행정규칙

→ 350km/h 이상 운행을 위한 각종 구성품, 진동/소음 등 시운전 성능평가를 위한 전반적인 기술기준 개정이 필요

- (350km/h 이상 운행을 위한 고속차량 핵심기술 개발 필요) 최근 발주된 EMU-320기반의 차량 설계 기술은 350km/h 이상 속도에서 주행성능(주행안정성, 제동성능, 집전성능)은 대응가능하나, 영업운행을 위한 핵심성능(승차감, 소음/진동 특성 등)의 확보가 어려우며, 속도향상시 예상되는 문제점의 극복 및 선제적 대응·해결을 위한 핵심기술 개발 필요

□ 연구개발 주요 세부 내용

- 목표 : 고속철도의 운영속도 향상(350km/h~400km/h)을 위해 고속운행 시 예상되는 문제점 해결을 위한 기술과 적합성 평가기술을 개발

(중점분야 1) 운행속도 350km/h~400km/h 고속철도차량 필수 요구사항 예측 및 검증

- 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 안전성능 검증
 - 속도대역별 주행안전성능(차량-선로 작용력, 운중감소량, 횡압, 탈선계수, 측풍, 교행) 검증
 - 차량-시설물(전차선, 궤도, 신호) 인터페이스 안전성능 검증
- 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 핵심성능(운행성능, 운용한계 포함) 시뮬레이션 및 평가 지표 설정
 - 제동성능 시뮬레이션 및 비상제동 기준 설정
 - 주행저항 예측식 도출, 주행저항 평가지표 및 목표값 제시
 - 진동·승차감 시뮬레이션 및 평가지표 설정
 - 소음 평가지표 도출 및 속도 대역별 평가 기준 제시
 - 공기역학적 특성 성능 예측 및 평가지표 설정
- 기술기준 검증체계 구축 및 시험평가 기술개발
 - 임시기술기준에 대한 현장 적용성 검증 계획수립
 - 370km/h급 차량 안전·운행성능 시험평가 기술 개발

(중점분야 2) 운행속도 350km/h~400km/h 고속철도차량 기술기준(안) 개정 및 고시

- 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 필수요구사항 및 주요장치 기준 개정
 - 고속운행(350~400km/h)에 따른 차량 필수요구사항 검토 및 개정

- 고속운행(350~400km/h) 차량의 주요장치별 기술기준 검토 및 개정
- 고속철도차량 적합성 평가(시험규격, 절차서) 고도화
 - 350km/h~400km/h 운행 시에 필요한 시험규격서 고도화 및 개정안 도출
 - 단계별(부품·구성품·완성차) 적합성 평가 고도화
 - 350km/h~400km/h 운행시에 필요한 시운전 시험 절차 개발
- 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 형식승인을 위한 기술기준(안) 고시 지원
 - 기술기준(안) 고시를 위한 관련 법령 검토
 - 해외 기술기준과의 부합성 검토

(중점분야 3) 370km/h급 고속철도차량 상용화 핵심기술 개발

- 370km/h급 고속철도차량 시스템 형상(system configuration) 관리
 - 운영속도 370km/h급 고속철도차량 기본설계(안) 제시
 - 기술기준 주요 항목 설정을 위한 시스템 형상(system configuration) 제시 및 관리
 - 370km/h급 고속철도차량 핵심 성능지표 달성을 위한 요소기술(장치) 개발
- 370km/h급 고속철도차량 공력/소음 성능 확보를 위한 설계기술 고도화
 - 370km/h급 고속철도차량 공력/소음 성능 확보를 위한 최적 설계 기술개발
 - 전두부, 옥상 기기, 대차 사이드 스커트 및 언더커버, 차량 하부시스템, 차간 연결부 등 최적 소음 설계
 - 차체, 창문, 승강문 등 음향특성 최적화 기술개발
- 370km/h급 고속철도차량 진동/승차감 성능 확보를 위한 설계기술 고도화
 - 고속화에 따른 해석기술 고도화 (비선형 차량 동특성 해석, 차량-궤도 연성 해석)
 - 370km/h급 고속철도차량 진동·승차감 성능 확보를 위한 현가장치 설계안 도출

2. 연구개발 추진 필요성

2-1. 연구개발 필요성

□ 최고 운행속도를 향상하기 위한 「400km/h 급 고속철도 종합계획」 추진

- 국토교통부는 철도의 경쟁력을 높이고 미래의 국가 성장동력 확보와 수요대응을 위해 300km/h 급 기존 고속철도의 영업운행 속도를 올리기 위한 「400km/h급 고속철도 종합계획」을 수립
 - 2004년 고속철도 개통 이후 신규 고속선은 350~400km/h 급으로 건설하였으나 운행 최고속도는 300km/h에 머물러 있음
 - 호남 및 수도권 고속철도 개통 이후 경부고속선 평택-오송 구간은 극심한 혼잡을 보이고 있으며 해당 구간의 최고 운영속도는 250km/h도 넘기기 힘든 상황
 - 국토교통부는 고속철도 인프라(궤도, 전차선 등)의 내구연한이 도래('24 이후)함에 따라 교체 계획을 세우고 있어 **고속철도 운영속도 향상의 최적기임**
- (기본계획의 목표) 포스트 코로나 시대에 대비 운행속도 향상을 통해 고속철도에 대한 수요 증가에 대응하고 및 고속철도 세계진출 경쟁력 확보
 - (수요증가 대응) 국민의 더 빠른 교통서비스에 대한 수요*가 지속 증가 중이며, 친환경 교통수단으로서 철도의 가치 역시 지속 상승 중
 - * 고속철도 이용객 증가 추이(만명): ('05) 3,237 → ('18) 8,510 → ('25) 13,943 (예상치)
 - (국제경쟁력 확보) '속도'는 철도 기술력을 나타내는 가장 중요한 지표로, 철도 선진국들은 세계 철도시장 선점을 위한 최고속도 및 운영속도를 높이고 있음
- 기본계획의 주요 내용
 - 고속철도 차량과 인프라 수준 일치화를 위한 로드맵 수립
 - 최적의 고속철도 운영속도 설정
 - 고속철도 운영기술 고도화를 통한 운영속도 향상
 - 고속철도 차량 혼용 운행에 따른 운영 최적화 기술확보 추진
 - 고속철도 운영에 지장을 초래하지 않는 인프라 개량기술 확보

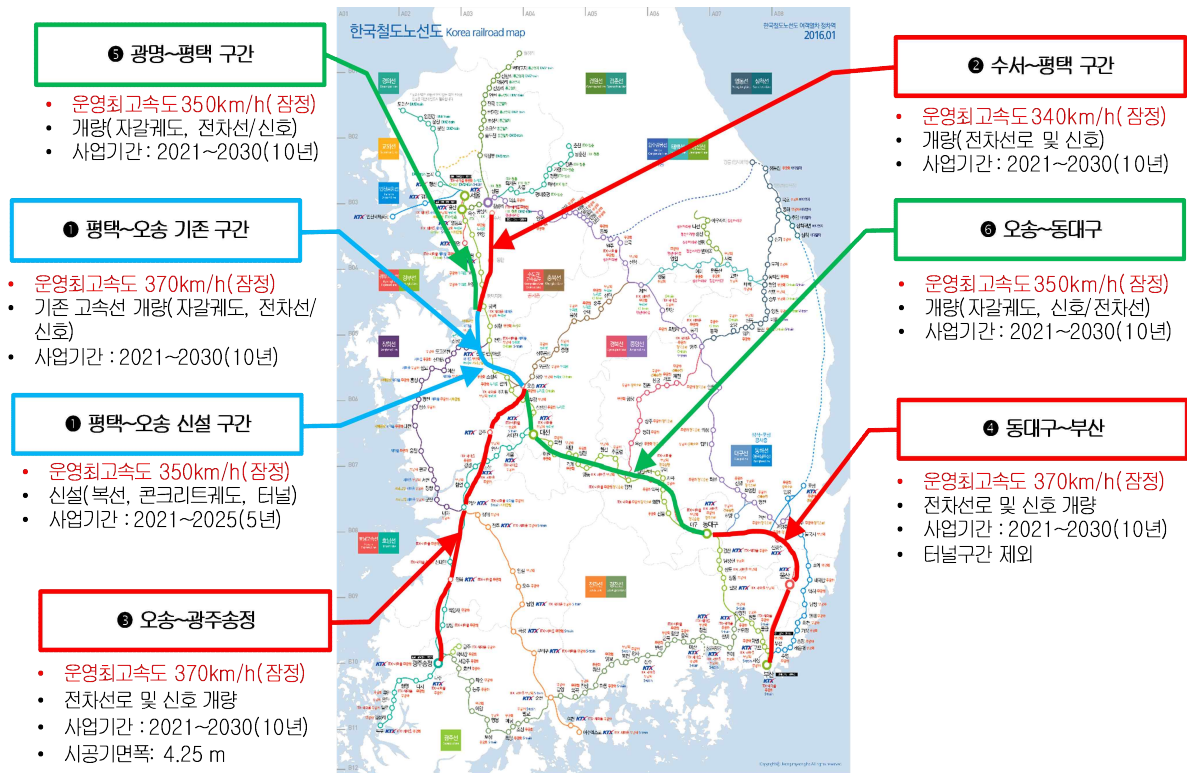


그림 2-1. 「400km/h급 고속철도 종합계획」의 고속철도 노선 개량 계획

표 2-1. 고속철도 노선 개량 계획

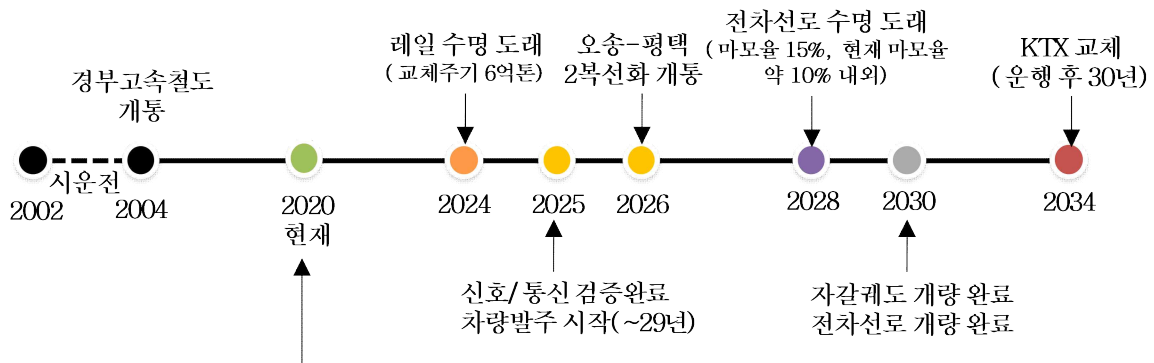
항목		경부고속철도					수도권 고속철도	호남 고속철도
		광명 ~ 평택	평택 ~ 오송 (신설)	평택 ~ 오송 (기존)	오송 ~ 동대구	동대구 ~ 부산	수서 ~ 평택	오송 ~ 광주송정
		56.5km	47.5km	46.2km	162.2k m	129.4k m	61.1km	188.1k m
운영 최고속도 (km/h)	현재	300	300	300	300	300	300	300
	장래 (대안)	350	350	370	350	370	340	370 (350)
시설 개량	궤도	✓	신설	✓	✓	×	×	×
	전차선로	✓	신설	✓	✓	✓	×	✓
	열차제어	✓	신설	✓	✓	✓	✓	✓
	소음	✓	신설	✓	✓	✓	✓	✓



그림 2-2. 400km/h급 고속철도 종합계획 비전 및 목표

○ 증속 추진 시나리오(안)

- 오송-평택 2복선화: 2021년 1분기 ~ 2025년 4분기
- 차량: 2021년 1분기 ~ 2034년 4분기
- 전차선로: 2021년 1분기 ~ 2030년 4분기
- 신호통신: 2023년 1분기 ~ 2025년 4분기
- 궤도/노반: 2021년 1분기 ~ 2030년 4분기



열차제어시스템 사용연수 10년 이상 노후화 비율

- 연동장치: 48.5%
- 선로전환기: 7.3%
- 궤도회로: 전체 1.9%
- 신호전원장치: 51.5%

(' 19.12경부고속선 기준)

그림 2-3. 증속 시나리오

○ 용량 증가에 따른 오송-평택 기존선 개량 검토 사항

- 2024년 이후 인천/수원발 KTX, 남부내륙철도 개통 예정
- 오송-평택 구간 수요 증가로 인해 기존선 차단이 어려울 수 있음
- 기존선 개량 방안
 - 방안 1) 급속경화궤도로 콘크리트 궤도화
 - 방안 2) 기존선 상하행을 순차적으로 차단 후 콘크리트궤도 개량
 - 방안 3) 기존선 완전 차단 후 상하행 모두 콘크리트궤도 개량

○ 자갈궤도 개량 기간 검토 사항

- 급속경화궤도 고속선 성능검증 후 오송-동대구, 광명-평택 구간 자갈궤도 개량 계획
- 급속경화궤도의 경우, 하루 2팀 투입 기준 단선 120m 개량 가능
- 오송-동대구 구간(단선기준 304.4km)을 예로 들면, 하루 2팀 투입(120m) 년 간 공사가능기간(200일/년)을 고려했을 때, 총 12.7년 소요

- 증속 추진 시나리오는 하루 4팀 투입, 240m 작업을 기준으로 산출
- 오송-동대구 구간(단선기준 304.4km): 약 6년 소요
- 광명-평택 구간(단선기준 122.2km): 약 2.5년 소요

○ KTX 교체 시점

- 현재 KTX 46편성(20량 1편성) 운행 중(1~12편성: 프랑스 제작, 13~46편성 현대로템 제작)
- 46편성 2004년 제작 완료 및 2004년 4월부터 영업 운행 시작
- 내구연한 30년 고려하여 2034년까지 교체 필요(영업 운행 시점 고려)
- 차량 제작/시운전 시험 기간 및 제작 가능한 차량수를 고려했을 때, 교체 필요한 전체 차량의 20%씩을 매년 발주할 경우, 2025년부터 발주 필요
- 차량제작 및 시운전 시험 소요 예상 기간: 약 4~5년
- 8량 1편성의 동력분산형 고속열차로 교체 시 소요 편성 수: 92편성
- 혼합 운행은 KTX 최종 교체 시점에 따라 달라질 수 있으며, KTX 산천까지 고려하는 경우 혼합운행이 연장(2036년)될 수 있음
- SRT 차량 도입: 2015~2016년
- 경강선 차량 도입: 2016~2017년

□ 350km/h 이상 영업 운행을 위해 기술적·제도적 문제에 대한 선제대응 필요

○ 350km/h 이상 운행을 위한 고속차량 평가기준 설정과 기술기준* 개정 필요

* 철도안전법 26조3항에 따라 철도차량의 형식승인, 26조6.1항에 따른 완성검사 등 기술상의 기준을 규정하는 것으로, 철도차량의 안전, 성능 등에 대한 최소한의 요구사항을 정의한 행정규칙

표 2-2. 철도차량기술기준(제2018-840호) 고속철도차량-Part 31 일부 발취

1.2.1 기술적 범위

1) 본 기술기준은 철도차량기술기준의 총칙(Part 1) [별표 1]에서 정의된 동력집중식(고속기관차, 고속객차(고속동력객차를 포함) 또는 동력분산식(고속동력차, 고속부수차(고속제어차를 포함))의 단일 편성(single vehicle, 운행 중 분리 불가) 또는 중련편성(trainset, 운행 중 분리 가능)으로서 다음과 같은 고속철도 차량(승객 수송용과 화물 수송용 차량들에 동일하게 적용)에 적용된다.

(1) 제1종 : 최고속도 350 km/h를 초과하는 고속철도차량

(2) 제2종 : 최소 200 km/h이상 350 km/h 이하의 최고속도를 가지는 고속철도차량

2) 최고속도가 350 km/h를 초과하는 고속철도 차량의 경우 본 기술기준의 적용 외에 추가적인 기준들이 요구될 수 있으며, 이러한 추가적인 기준들은 해당 철도차량의 설계특성에 따른다.

- (평가기준) 현재 고속차량에 대한 시험평가 기준이 운행속도 350km/h 이하를 기준으로 설정

되어있어 그 이상의 속도에 대한 안전·성능 기준이 필요

- (기술기준) 국토부 400km/h급 고속철도 종합계획(MP) 추진계획에 맞춰 신규 차량 도입을 위해서는 기술기준(안)을 제정하고 시험·검증방안을 개발해야 함

○ 고속열차에 대한 기존 연구개발(차세대고속열차 기술개발 사업)은 동력분산형 고속열차 개발과 주요 핵심성능(주행안전성, 추진성능, 집전성능 등) 확보에 중점을 두었으며 350km/h 이상의 영업운행을 위해서는 승객의 편의성과 운영자의 사용성 확보가 필요

- 인프라 분야에서는 “400km/h급 고속철도 인프라시범적용기술개발” 사업을 통해 400km/h 영업운행을 위한 선로구축물, 전차선로, 열차제어시스템에 대한 기술을 개발하였고, “고속철도 자갈궤도구간 유지보수 저감을 위한 궤도 개량 기술 개발” 사업을 통해 기존 자갈궤도 개량을 위한 기술을 개발하였음

- 따라서 이미 개발한 고속열차 기술을 고도화하여 350km/h 이상에서 예상되는 기술적 이슈를 해결하기 위한 연구개발이 필요

○ 350km/h 이상의 영업운행에서 예상되는 기술적 이슈

- (공력저항) 터널에서의 공력저항은 개활지 대비 24%~51% 정도 증가하여 운영속도 향상의 효과를 저하시킴

표 2-3. 터널 단면적에 따른 공력저항(Drag coefficient) 변화

터널 단면적	Drag coefficient	노선
-	1.008	호남선 개활지
107.0 m ²	1.250	경부선 터널
96.7 m ²	1.396	호남선 터널
68.0 m ²	1.521	경강선 터널

- (소음·진동) 370km/h 이상 주행시 승객에게 영향을 주는 진동(승차감), 소음 등은 기준을 만족하지 못하게 됨

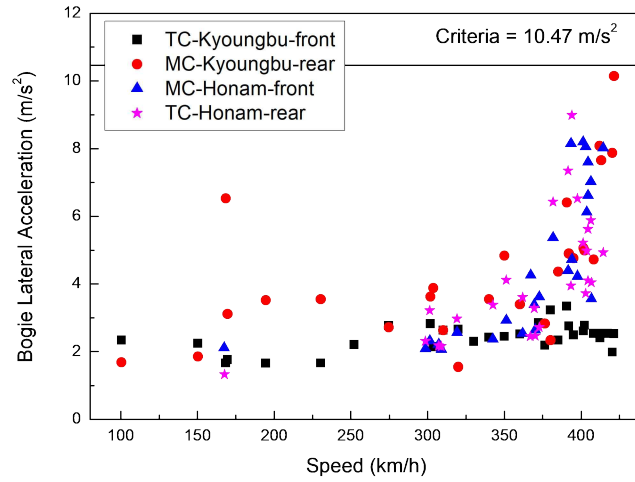


그림 2-4. HEMU-430X 속도에 대한 대차 진동 특성 >

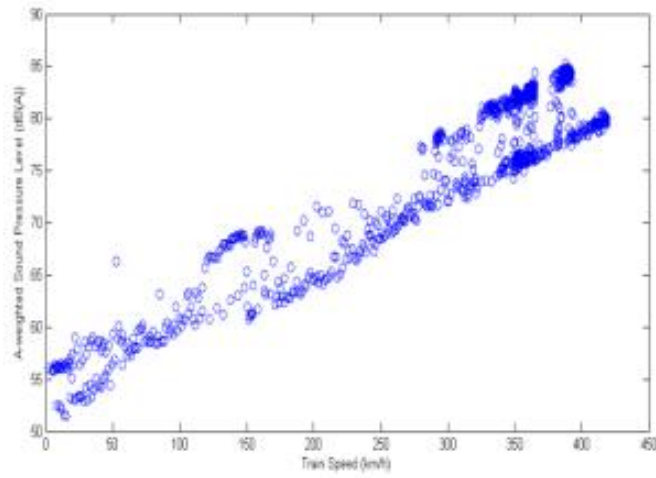


그림 2-5. HEMU-430X 속도에 대한 실내 소음 특성

→ 370km/h 이상의 안정적 영업 운영을 위한 실용화 기술확보 필요

2-2. 정부지원 필요성

□ 정책적 필요성

- 제3차 철도산업발전 기본계획('17.2)은 속도 중심의 국가 간선철도망 운영을 위한 표정속도 향상을 주요 추진과제로 선정
 - 현재 고속철도의 통행시간은 서울-부산 구간 2시간 30분, 서울-광주 구간 1시간 30분으로 경부고속철도의 표정속도는 당초 계획 대비 87% 수준임
 - 주요 거점 간 대규모 여객을 빠르게 수송할 수 있도록, 정차역 수 최소화, 시설개량 등을 통해 200km/h 이상의 표정속도를 확보하고자 함
- 제3차 국가철도망 구축계획(2016~2025)에서 지역 간 철도의 속도 향상과 400km/h급 차세대 고속철도를 주요 추진과제로 설정
 - 국토부는 국가철도망 구축계획에 따라 「400km/h급 고속철도 종합계획」을 수립하여 영업 속도 향상을 추진하고 있으므로, 증속 운행 때 예상되는 제도적·기술적 문제에 대응하는 기술을 확보하여 KTX 차량의 교체수요에 대비해야 함
 - (고속철도망 확대 주요 추진 사업) 오송~평택 구간 용량부족(Bottleneck) 해소(2복선화), 호남 고속철도 2단계(광주송정~목포), 수도권고속철도(수서~평택), 고속철도 이용이 불편한 지역(수원, 인천, 의정부) 서비스 확대 등
- 고속철도의 운영속도 향상은 이동시간 감소라는 사회적·경제적 효과*를 불러올 수 있으나 초기 투자 비용으로 인해 민간 주도의 사업이 어렵기 때문에 장부 지원 필요
 - * 운영속도를 370km/h로 향상 시 서울-부산 이동시간 약 32~36분 단축 가능 (출처: 400km/h급 고속철도 종합계획 수립연구)
- 국가 정책 추진 목표 달성을 위한 고속철도 수송분담률 제고 필요
 - 정부의 「2050 탄소중립 추진전략('20.12)」에서 수송 부분의 탄소배출을 줄이기 위한 추진과제의 하나로 초고속철도망 및 광역·도시철도 등 철도인프라 확충을 제시
 - 정부는 「한국판 뉴딜 종합계획('20.07)」에서 친환경·저탄소 등 그린 경제 전환으로 지속가능성 확보를 위해 SOC 디지털화를 추진과제를 설정하였으며, 철도인프라 개량사업에서 디지털화를 통해 수송분담률을 높여야 함

□ 경제적 필요성

- 정부는 「철도산업발전 기본계획」과 「국가철도망 구축계획」 등을 통해 철도산업의 경쟁력을 높이기 위한 노력을 하고 있음
 - 철도차량 산업은 거대 장치·시스템 산업으로서 타 제조업과 비교시 전후방 산업 연관효과 및 생산유발 효과*가 높은 산업에 해당

- * 철도산업의 생산유발계수는 1.50으로 유사 제조업인 조선업(1.33) 및 자동차산업(1.01)에 비해 높음
- 그러나 국내 철도차량 산업 규모는 전 세계 철도차량 시장의 2% 수준인 2.8조 원에 불과하며 많은 중소 부품·장치 기업들이 차량 제조사에 종속되어 기술 경쟁력을 갖추기 어려운 산업구조임
- 따라서 국내 철도차량과 부품 제조사들의 전략적인 R&D 참여를 유도하여 독자적 기술을 확보, 국내 시장을 넘어 세계시장을 대상으로 경쟁할 수 있도록 정부의 지원이 필요
- 철도기술은 ICT, IoT, AI 등 제4차 산업혁명기술 융합으로 지능화, 디지털화라는 기술 전환의 시점을 맞고 있음
 - 이러한 차세대 기술을 철도에 도입하기 위해서는 장기적·체계적 연구개발 전략이 필요하며, 개발된 장치·부품의 상용화를 위해서는 참여 중소·중견 기업에 대한 제품 수명주기 동안의 사업화·마케팅 전략 지원이 필요
 - 전 세계적으로 철도산업은 확대되고 있으며 고부가가치 수출전략산업으로 분석되고 있으므로 국내 철도산업의 국제경쟁력 제고를 위해 수입에 의존하고 있는 핵심 장치 개발과 강소기업의 육성이 필요

2-3. 연구개발의 시급성

- 국토부의 「400km/h급 고속철도 종합계획(‘21.04 확정 예정)」 으로 고속열차의 운영최고속도를 370km/h로 높일 계획
- 운영최고속도 향상을 위해 궤도/노반, 전차선로, 제어/통신시스템에 대한 개량을 추진 할 계획이며, KTX 노후화에 따른 교체 시점에 맞추어 신규차량 도입을 위해서는 시급한 사업 추진이 필요
- ※ 기술기준 개정 및 핵심기술개발(3년), 초도 차량 발주/제작(5년) 과정 필요하므로 2033년부터 370km/h급 신규 고속열차를 투입하기 위해서는 2022년부터 연구개발을 추진해야 함

표 2-4. 국내 고속차량 도입 및 교체시기 >\

구분	편성수	인수일자	내구연한	교체시기
KTX-1	46	‘03~‘04년	30년	‘33~‘34년
KTX-산천	24	‘10년(19편성) ‘12년(5편성)		‘40년(19편성) ‘42년(5편성)
KTX-호남(SRT)	22	‘15년		‘45년
KTX-원강	15	‘17년		‘47년

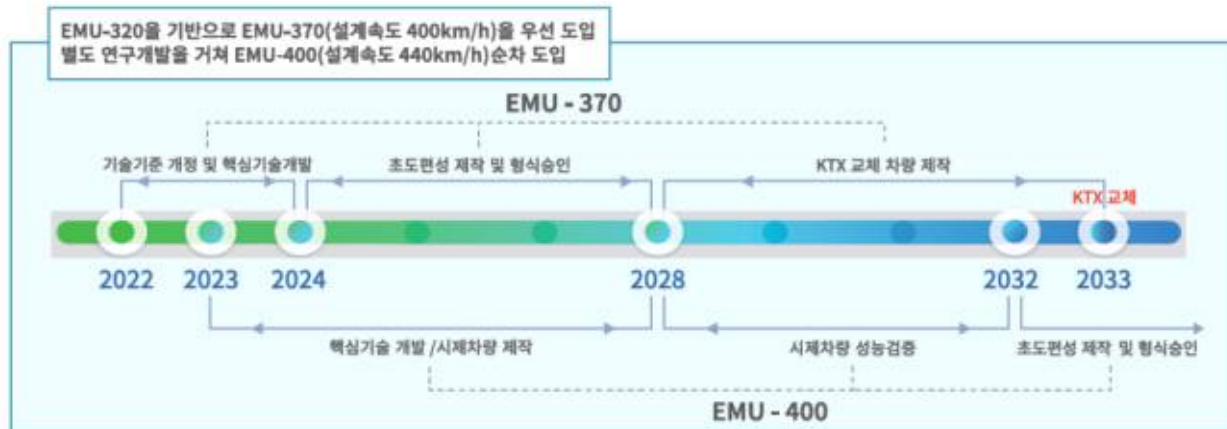


그림 2-6. 고속철도 운영속도 향상 추진일정

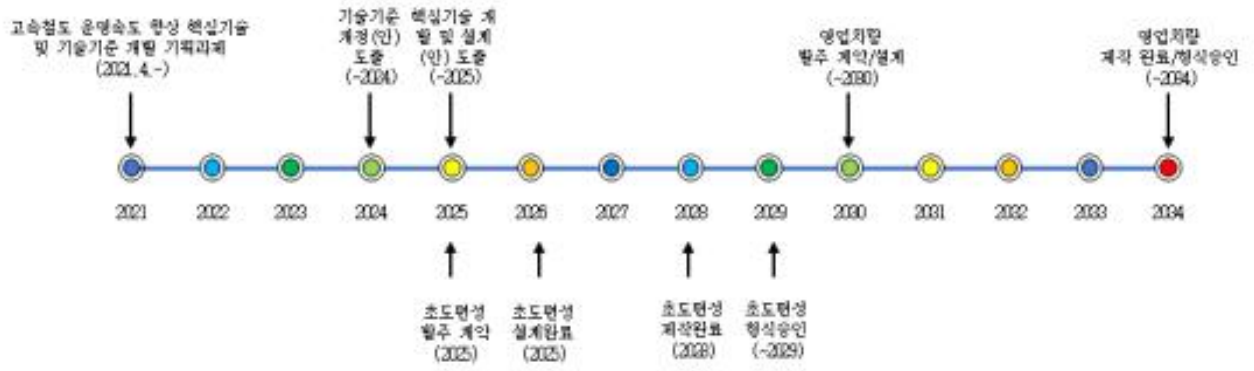


그림 2-7. 고속철도 운영속도 향상 추진일정

2-4. 연구개발 추진 효과

- (이동시간 단축) 운영속도를 370km/h로 향상 시 서울~부산은 약 32~36분, 서울~광주는 약 22~28분 단축이 가능함으로써 전국 주요 거점이 1시간대로 이동 가능함

표 2-5. 증속운항에 따른 통행시간 변화

노선	구간	기존 통행시간	증속시 통행시간 (증감 시간)
경부	서울-부산	2:29:47	1:53:00 (▽36:47)
	수서-부산	2:21:09	1:46:30 (▽34:39)
호남	용산-광주송정	1:45:04	1:17:08 (▽27:56)
	수서-광주송정	1:40:36	1:14:48 (▽25:48)

- (철도수요 증가 대응) 증속 운행시 '33년 기준 고속철도 이용객은 하루 245,525명으로 예측, 증속 미시행시 대비 약 3.2만인/일(15%) 증가
 - * 출처: 400km/h급 고속철도 종합계획(MP) 수립연구 (2021, 철도기술연구원)
- (국가계획 대응) 국토부 400km/h급 고속철도 종합계획의 성공적 추진을 위한 370km/h 이상 급 고속차량 기술 확보
 - KTX 노후화('04년 도입, 내구연한 30년*)에 따른 교체 시점에 맞추어 신규 고속차량 도입시 최소 비용으로 증속 달성 가능
- (지역균형 발전에 기여) 서울~부산 1시간 50분대, 서울~광주 1시간 10분대 달성으로 실질적인 전국 단일도시권, 단일 경제권 구축
 - 공공기관 지방이전과 혁신도시의 경쟁력을 높여 지역 균형발전의 효과를 극대화할 수 있음
 - 성장 잠재력이 큰 지역과 대도시와의 접근성이 개선되어 지역 경제 활성화를 통한 경제 성장 동력 확보 가능

3. 환경 분석

3-1. 사회·경제적 환경 분석

□ 철도교통 관점의 메가트렌드

- 최근 급변하는 국내외 사회적 이슈 중 사회문화, 과학기술, 경제, 생태환경, 정책 관점에서 철도 교통과 연관된 메가트렌드를 분석
- (Social) 인구감소, 고령화 등에 따라 인구구조가 변화되고 있으며, 도시지역으로의 인구 유입으로 도시인구 비중 및 도심화 현상이 지속적으로 확대
 - 2050년에는 세계 인구의 75%가 도시에 집중되고 60세 이상 비율이 현재 11%에서 20%로 증가
 - 도심 내, 도심 간 통행수요에 따른 글로벌 철도 여객수요는 '15년 3.1조 인·km에서 '50년 8.0조 인·km로 연평균 2.7% 확대될 것으로 전망

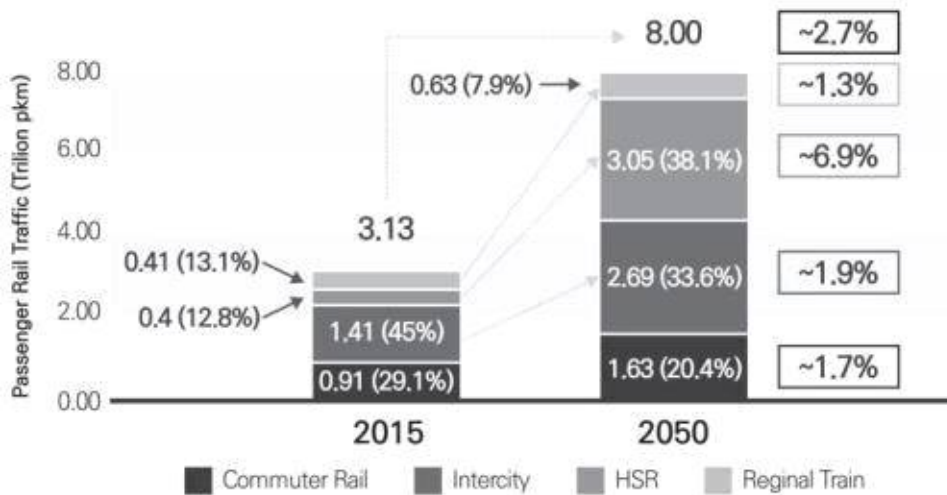


그림 3-1. 세계 철도 여객수요 전망 (Frost&Sullivan, 2016)

- (Technology) 4차 산업혁명 시대 도래에 따라 IoT, 빅데이터, 클라우드 등의 급진적인 기술개발로 과학기술 발전이 가속화되고 있으며 온실가스 저감 요구에 따라 친환경 신재생에너지 기술 개발에 대한 수요가 커지고 있음
- (Economy) 글로벌 금융위기 이후 선도국간 끊임없는 무역 경쟁, 브렉시트와 같은 정치적인 불안에 더하여 저출산·고령화에 따라 장기적인 저성장 기조가 예측되며 중국 등 신흥국의 급격한 성장으로 경제권력 구조에 변화가 일어나고 있음
 - 우리나라 GDP 는 2016~2020년 3.6%, 2020~2030년 2.6%로 성장률이 지속적인 감소 추

세이며 2030년 이후에는 연 1% 대로 하락 예상 (2060년 장기재정전망, 2015)

- (Ecology) 기후변화에 대응하기 위한 국제적인 온실가스 배출 저감 정책에 따라 신재생에너지, 에너지 효율화 기술에 대한 수요가 높아지고 있으며 친환경 교통수단인 철도 중심의 대중교통 확대가 필요
 - (Modal Shift 정책) 유럽을 중심으로 에너지 효율이 낮고 온실가스 배출이 많은 자동차에 의존하는 여객 및 화물수송을 줄이고 철도·해운 수송을 늘려 교통정체를 줄이고 온실가스 배출과 에너지 소비를 줄이기 위한 정책 추진
 - 철도는 승용차 대비 1/8 수준의 온실가스를 배출하는 친환경 수송 수단으로, 국가 온실가스 감축 파급효과가 높음

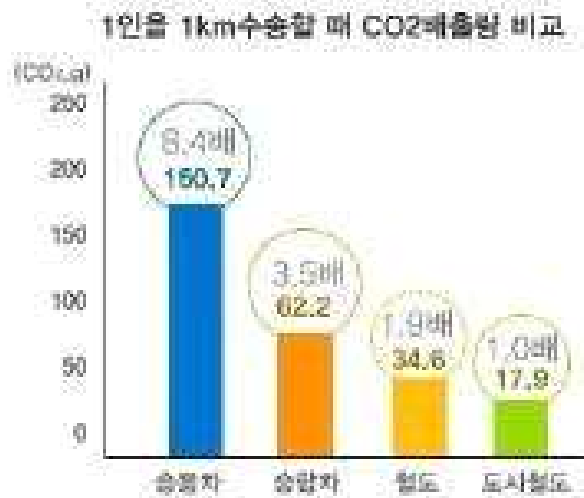


그림 3-2. 수송수단별 CO2 배출량

* 고유가대비 교통부분 영향분석 및 에너지 절감방안 연구, 한국교통연구원 (2005)

- 유럽 철도연구 자문위원회(ERRAC)는 `Rail Route 2050`에서 `50년까지 철도의 화물과 여객 시장 점유율을 각각 현재 11.5%, 7.6%에서 22.2%, 15.3%로 높이는 목표를 제시
- (Policy) 미국 경제력의 위축, 중국 경제의 부상 등에 따른 세계 경제가 다극 체제로 재편되고 있으며, 여러 나라가 다극 체제에 입성하기 위한 새로운 경제/과학기술 전략 등을 수립하고 거버넌스 구조를 개편 중

□ 국가 주도의 기후변화와 온실가스 감축 대응

- 기후변화와 온실가스 감축에 대응하기 위해서는 철도 중심의 친환경 교통시스템으로 전환 필요
 - 기후변화에 대응하기 위한 정부 간 협의체인 ICPP(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 2014년 발간한 5차 보고서에서 철도 위주의 공공 운송으로의 전환을 수송 부분의 핵심 대응 방안으로 제시

- 철도의 장거리 수송 분담률을 높이기 위해서는 실질적인 이동시간 감소 필요

□ 고속철도에 의한 이동시간 단축과 국토 균형발전

- 경부 및 호남고속철도 개통에 따라 전국 주요 거점도시 간 이동시간이 2시간대로 단축
 - 서울~부산 구간 약 4시간 10분에서 2시간 40분으로 90분 단축
 - 용산~광주송정 구간 2시간 46분에서 1시간 47분으로 59분 단축

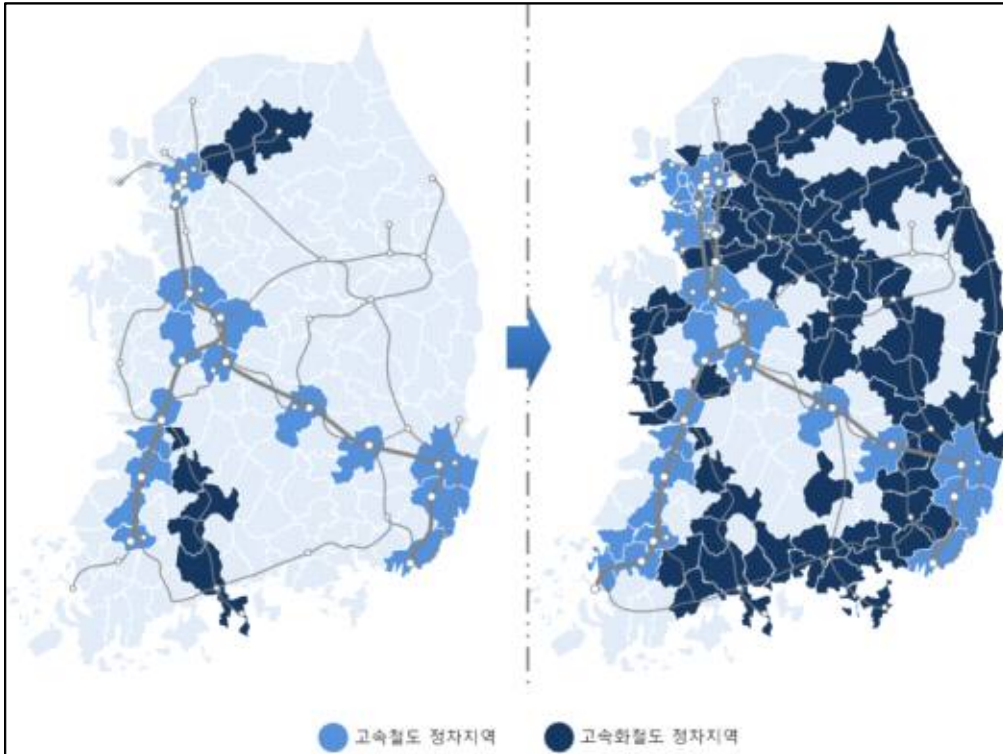


그림 3-3. 고속철도·고속화철도 직접 영향권

- 고속철도 이용객은 2004년 개통 첫해 1,988만 명, 2015년 약 3,237만 명에서 2015년 약 6,053만 명으로 비약적인 증가를 함
- (장거리 교통수단 분담률 변화) 경부고속철도 2단계 완전 개통 후 철도의 장거리 교통수단 분담률 증가
 - 서울~부산 개통 전 38%에서 개통 후 62% (KTX 58%, 일반철도 4%)로 증가
 - 서울~울산 개통 전 8%에 불과했으나, 개통 후 53%로 급증
- 국가균형발전기본계획을 통해 공공기관 지방이전, 혁신도시 건설이 추진되면서 전국단위의 단일 도시권, 단일 경제권화를 위한 주요 거점간 이동 시간을 단축할 필요성이 제기되고 있음
 - 혁신도시 건설 등으로 새로운 경제성장의 동력 확보를 위해 성장 잠재력이 큰 지역과 대도시 간의 접근성 개선이 필요하여 고속철도 수요의 지속적 증가가 예상됨
 - 서울~부산 기준 2시간 40분대의 평균 운행시간을 2시간 이내로 단축할 필요가 있음

□ 철도차량 시장의 특성

- 전세계 철도시장은 약 232조원 규모의 거대시장으로 이 중 철도차량 시장은 전체의 61%를 차지
 - 철도는 대표적인 저탄소 친환경 교통수단으로서 철도차량 산업은 연평균 3.2%의 고성장 산업이며,
 - 거대 장치·시스템 산업으로서 타 제조업과 비교시 전후방 산업 연관효과 및 생산유발효과*가 높은 산업에 해당
 - * 철도산업의 생산유발계수는 1.50으로 유사 제조업인 조선업(1.33) 및 자동차산업(1.01)에 비해 높음
- 그러나 국내 철도차량 산업 규모는 2.8조 원으로 전 세계 철도차량 시장의 2% 수준에 불과하며,
 - 독일, 프랑스 등 철도 선진국 간의 경쟁이 심화되고, 중국의 고속성장에 따라 우리나라 철도산업의 입지가 좁아지고 있음

표 3-1. 철도차량 제조업체 매출순위(2017년)

순위	차량제작사	국가	철도차량 시장 (단위:10억유로)
1	CRRC	중국	30.5
2	Siemens	독일	8.0
3	Alstom	프랑스	7.3
4	Bombardier	캐나다	6.8
5	GE	미국	4.3
6	Hitachi	일본	4.1
7	Caterpillar	미국	4.0
8	CSRC	중국	4.0
9	Wabtec	미국	3.7
10	Stadler	스위스	1.9
11	Thales	프랑스	1.8
12	CAF	스페인	1.3
13	Hyundai Rotem	대한민국	1.2

* 출처 : Alstom Annual Results 2017/18

- 철도는 국가 기간교통망으로 해외기술에 의존하게 되면 국민이 안전하고 편안하게 대중교통을 이용할 수 있는 권리를 잃을 수 있으며, 연관 산업의 경쟁력 하락으로 이어져 경제에 미치는 악영향이 매우 크게됨

3-2. 기술적 환경 분석

□ 고속철도차량 속도 향상 기술

- 프랑스, 독일, 일본, 중국 등 고속철도 운영 국가에서 기술 우위를 과시함으로써 고속철도 시장을 점유하기 위해 속도 향상 경쟁을 해왔음
 - 프랑스는 2007년 v150 프로젝트를 통해 574.8 km/h의 최고속도를 기록한 바 있음
 - * https://en.wikipedia.org/wiki/Project_V150
 - 독일은 1988년 하노버-부르츠버그 구간에서 ICE-V 차량으로 406.9km/h 최고속도를 달성
 - 중국은 2010년 베이징-상하이 구간에서 지멘스 기술로 제작한 CRH380BL 차량으로 497.3km/h 속도 달성
 - 일본은 1996년 토카이도 신간선에서 955계 300X 시험차량으로 443.0 km/h 속도 달성



그림 3-4. 프랑스의 최고속도 574.8km/h 시험 현장

- 최고속도 시험을 통해 획득한 차량기술, 차량-시설물 인터페이스 기술과 함께 운영의 신뢰성, 유지보수성 및 비용 등을 고려해 운행 최고속도를 높이고 있음
 - 고속철도의 운영속도를 더 높이지 못하는 원인으로는 소비전력과 유지보수비 등 비용 효율성 측면, 자갈비산, 소음, 승차감 확보, 제동성능 확보 등이 있음
- (프랑스의 속도 향상) 프랑스는 2008년 LGV 동선과 북선에서 TGV Duplex 차량으로 320km/h 이상 운행에 따른 차량(소음, 승차감, 자갈비산, 제동성능)과 시설물(궤도, 전차선, 자

갈마모)에 대한 영향을 검토

- 소음과 자갈비산 등의 문제 외에는 360km/h까지 증속에 기술적인 문제는 없으나 비용 증가 등을 고려하여 운영속도를 320km/h로 제안
- 제동거리 증가에 따른 운전시각 증가는 운행계획에 영향을 줄 수 있음을 확인
- 현재 LGV Est(설계속도 350km/h), Mediterranee, Rhin-Rhone 노선에서 320km/h로 운행 중이며, Eurostar e320이 런던-파리 구간에서 최고속도 320km/h로 운행 중

표 3-2. 프랑스의 고속철도 차량 운영현황

차량	운영사	제조사	최고속도 (km/h)			운행시작 연도
			운영	설계	시험	
TGV Reseau	SNCF	Alstom	320	320	-	1993
TGV Duplex	SNCF	Alstom	320	320	-	1995
TGV POS	SNCF	Alstom	320	320	574.8	2006
TGV Euroduplex	SNCF	Alstom	320	320	-	2011

- (일본의 속도 향상) JR 동일본은 E954와 E955 모델을 기반으로 FASTECH 360(E5, E6의 기반모델, 360km/h 운행 목표)을 개발하고, 환경 영향(소음), 경제성 등을 고려 320km/h로 증속 운행 중임
 - JR Central은 기존 N700A 대비 추진장치 중량 20% 저감, 편성 대차 중량 5ton 저감 등을 통하여 축중 11ton의 N700S를 개발하여 2019년 6월 최고속도 362km/h까지 시험을 완료하였고 2020년 7월부터 영업 운행을 개시함
 - 최근 일본 JR East는 차세대 고속차량인 ALFA-X를 발표하고 시운전시험을 진행하고 있음
 - 일본은 지형 특성상 연약지반이 많아, 축중 저감을 위한 경량화 및 이에 따른 에너지 소비저감/속도향상을 목표로 하고 있으며, 지진 등 자연재해 대응을 위한 제동거리 단축에도 노력을 기울이고 있음
 - ALFA-X는 최고시험속도 400km/h, 운영속도 360km/h를 목표로 2022년 3월까지 시운전시험을 진행할 예정이며, 축중 12.4ton을 달성하고 세계최초 360km/h 영업 운행을 위한 액티브 현가장치 등 진동/소음 저감 기술을 적용하였음

표 3-3. 일본의 고속철도 차량 운영현황

차량	운영사	제조사	최고속도 (km/h)			운행시작 연도
			운영	설계	시험	
E6 series	JR East	Hitachi, Kawasaki	320	320	-	2013
E5 series	JR East	Hitachi, Kawasaki	320	320	-	2011
H5 Series	JR Hokaido	Hitachi, Kawasaki	320	320		2016
N700 Series (N700,N700A)	JR Central, Kyushu, West	Hitachi, Kawasaki	300	330	332	2007
N700S	JR Central,	Nippon Sharyo, Hitachi	300		362	2020

- (중국의 속도 향상) 중국의 국영 철도차량기업 CRRC는 해외에서 도입한 고속열차 기술을 기반으로 표준형 분산형고속열차인 Fuxing(CR400AF)를 개발
 - CR400AF는 영업열차임에도 420km/h까지 시험을 시행하였으나 현재는 최고속도 350km/h로 영업 운행을 하고 있음
 - CR400AF는 4M4T열차로서 열차의 총출력은 10.4MW로서 모터 1개당 출력은 650kW이며 주행저항 저감기술(대차커버, 옥상부 돌출부 제거 등)을 적용



그림 3-5. 중국 CRRC의 CR400A

- (스페인의 속도 향상) 스페인은 지멘스에서 AVE103를 도입, 마드리드-바로셀로나 구간에서 350km/h 운행을 목표로 하였으나, 지상의 신호시스템 문제로 2011년부터 310km/h로 운행 중

- 차량과 궤도는 350 km/h 운행을 위한 인증 완료, ERTMS level 2 적용 구간에서는 350 km/h까지 운행 가능

표 3-4. 스페인의 고속철도 차량 운영현황

차량	운영사	제조사	최고속도 (km/h)			운행시작 연도
			운영	설계	시험	
AVE Class 103 (ICE-3 기반)	RENFE	Siemens	310	350	403.7	2007
AVE Class 102, 112 (Talgo 350)	RENFE	Talgo, Bombardier	300	350	365	2005
AVE Class 100 (TGV-A 기반)	RENFE	CAF, Alstom	300	-	-	1992

- (이탈리아의 속도 향상) 이탈리아는 봄바디어로부터 도입한 Frecciarossa 1000 (ETR1000) 차량의 목표 최고속도를 360km/h로 설계하였고 400km/h(실제 393.8km/h)까지 최고속도 시험을 실시
 - 시운전 과정에서 시설물 안전성 검토하면서 단계적으로 증속시험을 실시하여 최고속도 393.8km/h까지 시험운행을 수행
 - 개통을 위한 인증시험 후 2015년부터 최고 운행속도 300km/h로 운영 중
- 최근에는 최고속도뿐 아니라 에너지 효율 향상, 유지보수비용의 감소를 통한 운영비용의 감소에도 초점을 맞추고 있음
 - 고속철도차량 국제입찰 시 LCC 저감, 전력소비량 만족을 기본으로 요구하고 있으며, 최근에는 철도차량의 에너지 라벨링을 추진하고 있음
- 알스툼은 비용 절감을 위하여 고속열차의 모델을 단순화하고, 에너지소비저감 등 운영비용 저감에 중점을 두고 있음
 - 고속열차는 Avelia 시리즈(Horizon, Liberty)를 중심으로 기존 고속차량(Pendolino, AGV, TGV Duplex)을 포함하고 있음
 - Avelia Horizon은 2층 고속열차로서 2022년부터 SNCF에서 운영될 것으로 예측되며, 기존 대비 20% 저렴한 가격 및 적은 유지보수 비용을 목표
- 독일 지멘스는 고속철도 차량인 Velaro의 차세대 버전인 Velaro NOVO를 발표하였으며, LCC 저감 및 승객편의성 향상을 주요 개발 방향으로 설정함
 - 장거리 운송에서 항공기 및 경쟁사 대비 우위 확보를 목표로 하였으며, 에너지소비 및 유지보수 비용 저감, 편성 유동성 극대화를 통한 운영사 이익 극대화를 목표로 함



그림 3-6. 독일 지멘스 Velaro Novo

- 중국(CR400AF), 일본(ALFA-X), 독일(Velaro Novo) 모두 360~400km/h의 운영속도를 목표로 설계된 차량이며, 공기저항 저감, 경량화, 추진효율 향상, 진동/소음저감 기술 등 최신기술이 적용되어, 기술경쟁력을 확보하고 있음

□ 국내 고속철도차량 기술

- 국내는 기술이전을 통해 도입된 KTX 46편성, 한국형고속열차(HSR-350X) 기술로 상용화 된 KTX-산천 71편성이 최고속도 300km/h로 운행 중
- (HSR-350x 기술개발) G7 고속전철기술개발사업을 통하여 KTX 시스템의 성능을 기반으로 고속열차의 국내기술을 확보
 - 최고속도 350km/h로 운행 가능한 “동력(운전)차+동력객차+객차 3량+동력객차+동력(운전)차”의 7량 1편성의 시제 열차를 개발
 - 개발 기술을 상용화한 KTX-산천 차량이 2010년 3월부터 영업 운행 시작
- (HEMU-430x 기술개발) 동력분산식고속열차(HEMU-430x)는 최고 운영속도 370km/h를 목표로 개발되었으며 최고속도 421.4km/h까지 시험 운행을 완료
 - HEMU-430x는 각 객차에 엔진이 분산 배치되는 동력분산형 추진시스템을 적용해 가감속 성능 향상 (KTX-산천 대비 300km/h 도달시간 2분 이상 단축)
 - 호남고속선 400km/h 테스트베드 성능평가 연계시험 및 최고속도시험 실시(2014년 12월 ~ 2015년 3월, 총 8회, 호남고속선 상선 테스트 베드 구간, 정읍→익산)

- 안정화 시험을 통한 무사고 누적주행거리 12만km 돌파 (2015. 12월)
 - 차량 전체 안정화 수준 97.6% 및 국산화율 97% 달성
 - 주행거리 증가에 따른 차량시스템 신뢰성 성장 확인

표 3-5. 국내 고속철도 차량 기술개발 과정

연구과제 사업명	연구과제 달성내용	년도
고속전철 기술개발 사업(G7)	HSR-350x 시제열차 개발	1996~2002
고속철도 기술개발 사업	HSR-350x 실용화 => 주행 최고속도 352.4 km/h 달성 => KTX-산천, 호남 상용화	2002~2007
차세대 고속철도기술 개발 사업	HEMU-430X개발	2007~2012
430km/h급 분산형고속열차 실용화 기술개발	HEMU-430X 실용화 => 주행 최고속도 421.4km/h 달성('13.3월 울산->고모 구간) => 최고속도 430km/h 주행시 주행안전성, 집전성능, 신호분야, 궤도/교량 안전성 부분에 문제없음 확인 => 최고속도 430km/h 주행시 선로선형, 궤도부담력, 궤도구조 측면에서 문제가 없는 것으로 검토 => EMU-260, 320 (산천이음) 상용화	2012~2015



그림 3-7. HEMU-430x 열차



그림 3-8. HEMU-430x의 최고속도 시험

- HEMU-430x는 시험운행을 통해 400km/h까지의 주행안전성, 집전성능, 추진·제동성능 등 차량의 주요 성능을 확인하였으나 영업운행 열차에서 요구하는 운영자 관점의 운영성(유지보수, 비용, 가용성 등) 과 승객 관점의 쾌적성(진동, 승차감, 소음 등)에 대해서는 면밀한 검토가 필요
- (동력분산형 고속열차 EMU-260, 320) 고속열차 운영 효율성 증대, 해외수출 확대 등을 위해

동력 분산식으로 표준화 전략 채택

- EMU-260과 EMU-320의 기본적인 설계는 동일하나 EMU-260은(4M2T), EMU-320은 (6M2T)로서 동력차량의 수를 늘려 최고속도를 높임
- EMU-260은 '19년 11월 출고되어 시운전시험 및 형식승인을 완료하였고, KTX-이음으로 명명되어 '21년 1월부터 중앙선을 시작으로 운행이 시작되었으며 경전선, 서해선 등에 투입 예정
- 320km/h급 동력분산형 고속열차(EMU-320) 16량(8량2편성, 총 2편성)에 대한 계약은 2016년에 진행되었으며 21년 중반에 출고 및 형식시험 예정
- EMU-320은 동력분산형 고속열차로서 동일 열차길이(200m)에서 KTX-산천 대비 더 많은 좌석을 가지고 있어(KTX-산천 410석, EMU-320 515석), 수송용량의 증대 및 운영사의 수익증대가 가능함



그림 3-9. KTX-이음 (EMU-260)

□ 철도차량 기술기준

- (유럽의 상호운영 지침) 상호연계운영(Interoperability)이란 철도망 통합으로 철도교통의 경쟁력을 강화하기 위해 시작된 것으로 기술 통합과 표준 적용을 통해 인증 과정을 통합하고 단순화하려는 목표로 시행
 - 1996년 범유럽 고속철도시스템(trams-European high-speed rail system)의 상호연계운영 지침(Directive)인 96/48/EC가 처음 제정되었으며 2008년에 기존철도에 대한 요구조건인 2001/16/EC와 통합하여 2008/57/EC(interoperability of the rail system within the Community)가 발간됨
 - 이후 이 문서의 일부 내용은 Directive 2009/131/EC, Directive 2011/18/EU, Directive 2013/9/EU 등을 통해 개정되고 있음
 - 이들 지침은 유럽 내에서 운행되는 철도시스템의 설계, 건설, 운행, 개량, 개선, 운영, 유지보수뿐만 아니라 운영과 유지보수에 참여하는 인력에 대한 자격 및 건강, 안전 문제에 대한 조건을 명시

- (상호운영을 위한 기술규격, Technical Specifications for Interoperability: TSI)철도 하부시스템이 상호운영지침의 필수요건을 만족하기 위하여 적용되어야 할 요구조건
 - 상호연계운영을 위한 지침 2008/57/EC에서는 안전, 신뢰성, 가용성, 환경, 보건 및 하부시스템과의 기술적인 부합 등을 포함하는 필수요건을 규정하고 있음. 또한 이들 필수요건을 만족시킬 수 있도록 하는 강제적인 기술기준인 TSI(Technical Specifications for Interoperability)를 만들도록 규정
 - TSI는 철도시스템의 상호운영에 필수적인 기본 변수들을 확인하며, 상호운영부품의 적합성과 사용 적절성을 평가하고, 하부시스템의 EC 검증 절차를 제시
 - TSI를 통해 차량과 용품의 형식승인 및 제작자승인(설계/제작요건과 품질관리체계에 대한 인증), 운영자 승인 등 설계·제작·운영의 전 단계를 체계적으로 관리
 - 철도차량의 검증을 책임지는 인증기관은 설계·생산단계와 납품까지의 전 과정에 대하여 검증하며, 차량이 운영될 철도시스템과의 인터페이스에 대해서도 검증
 - ERA(European Railway Agency)는 전문가 작업그룹을 구성, TSI 기술기준 및 하위법령의 제·개정을 담당하고 있음
- (철도 표준화) 운영의 효율성과 안전뿐 아니라 제작 및 유지보수의 비용 절감을 위해 표준화가 요구되고 있음
 - 철도 표준화는 지역별로 추진되어왔으며 유럽에서는 국가별 표준과 함께 CEN (European Committee for Standardization), CENELEC(European Committee for Electrotechnical Standardization), ETSI(European Telecommunications Standards Institute) 등에 의해 제정되는 유럽규격(EN: European Norm)이 있음
 - 국제 철도표준으로는 IEC(International Electrotechnical Commission)과 ISO (International Organization for Standardization) 등이 발간하는 규격이 있음
 - EU Directive와 TSI는 법령에 준하는 구속력을 가지고 있어 유럽연합의 각 국가에서는 이에 규정된 요구사항을 국내법으로 전환하여야 함
 - 하위법령/기술기준의 제·개정(안)에 대해 ERA/회원국과 철도산업계/운영기관의 합의가 어려운 부분이 있거나 새로운 기술적용이 필요한 경우에는 일단 Open Issue로 정하여 규정을 시행

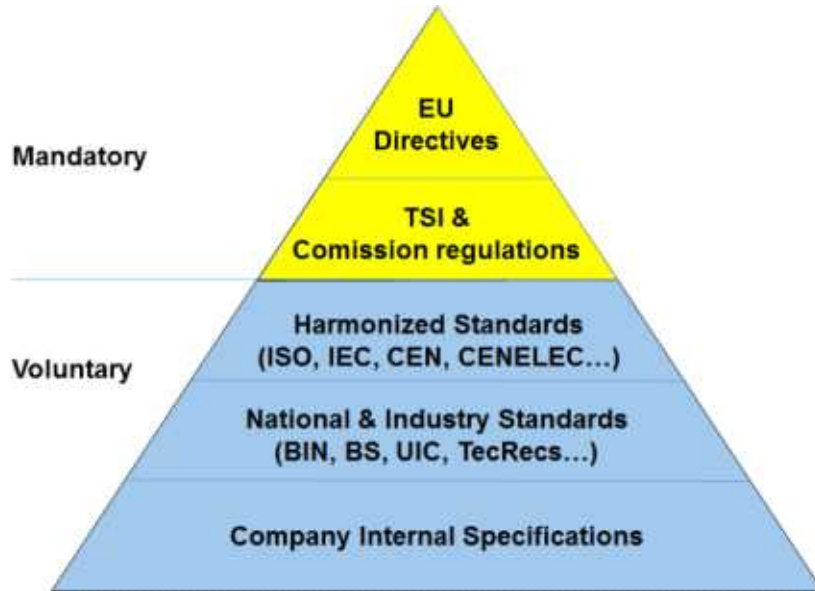


그림 3-10. 유럽내 철도 법령/표준의 관계

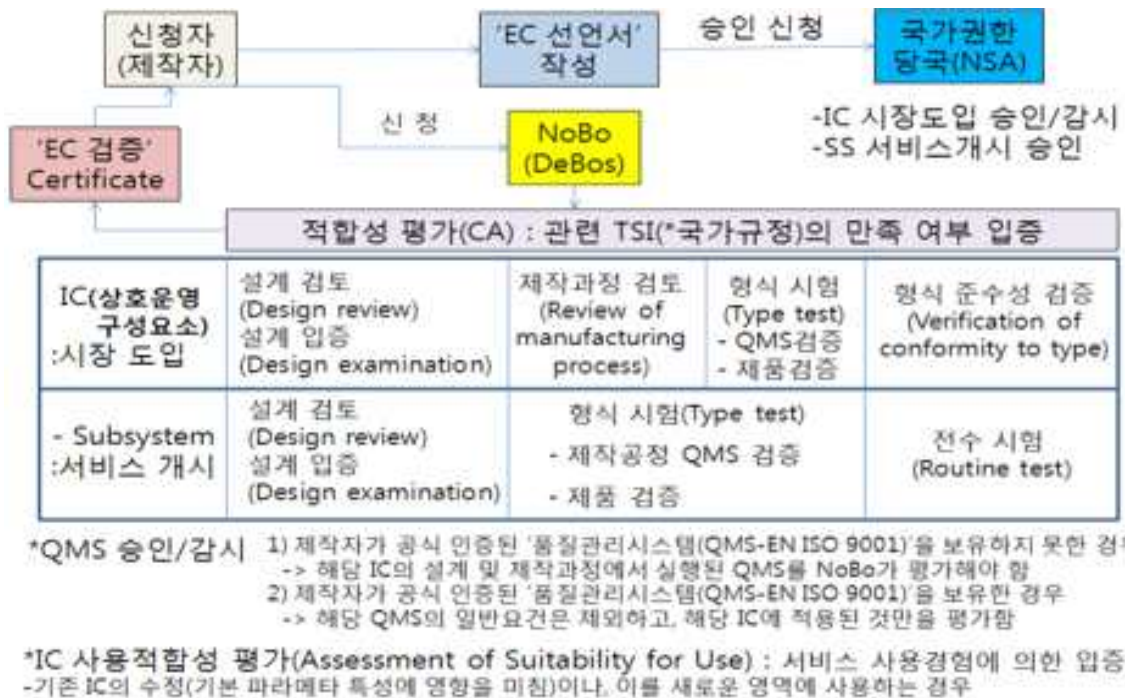


그림 3-11. 유럽 상호운을 위한 기술규격(TSI) 적합성 검증 및 EC 인증 체계

- 국토교통부는 2012년 철도안전법을 전면 개정하여 철도차량과 용품의 안전성 검증을 설계와 사후관리까지 확대하고, 철도운영과 시설관리에 안전관리 체계를 구축
 - 기존 철도안전 기준은 정부와 철도운영·관리·제작주체 간 역할분담이 불분명하고 사후적 안전관리 체계로서 철도안전 확보에 한계가 있었음
 - 차량 제작과정에 대한 정부의 직접 검증에서 품질관리시스템을 적용한 제작자 주도의 사전 인증체도로 개편

- (철도차량 기술기준) 철도차량 형식승인, 철도차량 제작자승인, 철도차량 완성검사 등을 위한 기술상의 기준을 규정
 - (형식 승인) 최초로 제작된 철도차량의 형식(type)이 국가가 규정한 철도기술기준에 적합한지 여부를 제작자가 입증하여 전문기관의 승인을 받아야 함
 - (제작자 승인) 형식승인을 받은 차량을 균일한 품질로 제작할 수 있는 능력(기술, 설비, 제작검사 등)을 갖추었는지를 승인하고 준수 여부 상시 감독함
 - (완성검사) 차량이 형식승인대로 제작되었는지를 최종 확인

철도차량	종전 성능시험·제작검사제도		개편 철도차량 형식승인제도	
선 계 단계	검 출		형식승인 (제26조) <ul style="list-style-type: none"> • 설계검열검사 • 제작검열검사 • 열차시험 	
제 직 단계	자 량 성능시험 (제35조) (선형시험거과) • 부동-구동시험 • 편성화-시운전시험 제작검사 (제36조) (제작검사거과) • 입고-출발-회차	제 작 자 • 제작자에 기술인력관리 관리체계 등에 대해 별부의 평가규칙 기준 검 출	자 량 • 별부가 승인하는 설계 단계에 따라 제작과 열차 시험 • 별부: 이행사항수사결과 감독 • 승인받은 설계단계, 별부 상시 감독(승, 운영)	제 작 자 승 인 (제26조의3) <ul style="list-style-type: none"> • 품질관리체계검사 • 제작검사(공정성검사)
완 선 단계	성 능 시 험 (제35, 36조) (선형시험거과) • 시운전시험 (연수시험)		완 성 검 사 (제28조의6) • 편성화시험(제34조) (편성화시험, 편성화시험) • 주행시험 (제30조, 시운전시험)	
사 후 관 리	제 작 자 검 체 수 단 검 험 • 성능시험, 제작검사, 검정기관에 제출하는 부속품의 수량과 경우 지명 테스트/일부 정보 등(제38, 39조)		안 전 및 품 질 확 인 검 검 (제31조) • 불도착할 수거-폐사 등 제 제 수 단 검 험 • 공시승인 / 제작자승인 취소 또는 경우 제외 • 제작 수량 확대 또는 사용금지(제32조)	

그림 3-12. 국내 철도차량 형식승인 제도

- 철도차량 기술기준으로 동력집중식 고속철도차량, 일반철도차량, 도시철도차량, 객차·화차에 대한 기술기준이 먼저 고시되었고 이 후 신규 철도차량 도입에 따라 동력분산식 고속철도, 노면전차(트램), 경전철 5종(고무차륜형식, 모노레일형식, 철제차륜형식, LIM형식, 도시형자기부상형) 등에 대한 기술기준이 개발됨
 - 또한 철도산업 경쟁력을 높이고 안전을 확보하기 위해 철도운영 안전과 관련된 주요 철도용품을 형식승인 대상으로 선정
 - 2020년 기준 차륜, 차축, 전자연동장치, 전차선 등 16개 부품이 형식승인 대상임
- * [철도안전법] 제26조(철도차량 형식승인) ① 국내에서 운행하는 철도차량을 제작하거나 수입하려는 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 해당 철도차량의 설계에 관하여 국토교통부장관의 형식승인을 받아야 함

- (기술기준 개발 필요성) 국내 철도산업 경쟁력 강화를 위해서는 철도차량의 인증체계 및 기술기준 및 관련 법령을 국제적 추세에 맞게 지속적으로 정비할 필요가 있음
 - 또한 차량 기술의 고도화와 차종의 다양화에 따라 새로운 형식의 차량 또는 새로운 기술이 적용된 차량에 대한 기술기준 개발과 국제 표준에 대한 대응이 요구됨
- 350km/h 이상 속도로 운행하는 고속철도 차량에 대한 기준은 전 세계적으로 아직 제정·고시된 바 없으나, 유럽(EN, TSI)의 경우 지속적인 기술기준 개정을 통하여 신기술이 영업 차량에 반영되도록 하고 있음
 - 국내에서는 철도안전법의 전면 개정('12년 12월)에 따라 형식승인, 제작자 승인 제도가 도입되면서 철도차량과 철도용품에 대한 형식승인검사(설계적합성, 형식시험, 시운전/현장시험), 완성차검사 및 제작자승인검사를 '14.3월부터 시행 중이나 고속철도 차량기준은 350km/h 이내로 설정되어있음
- 기술기준은 국가의 축적된 기술적 성과로서 자국 시장에 진입하려는 다른 나라 기술의 진입장벽이 될 수 있음

3-3. 철도차량 시장동향 분석

가. 국내 철도차량 시장 동향

□ 국내 철도차량 시장 규모

- (철도차량) 우리나라 철도차량 시장 규모는 `18년 849편성에서 연평균 3.83% 증가하여 `25년 1,105편성 달성 전망¹⁾
 - 전기동차(Electric Multiple Unit, EMU)는 `18년 134편성에서 연평균 3.57% 성장하여 `25년 171편성 달성 예상
 - 지하철/메트로(Subway/Meteo)는 `18년 137편성에서 연평균 5.7% 성장하여 `25년 202편성 전망

표 3-6. 국내 철도차량 시장 전망(`18-`25)

제품 타입	`16	`17	`18	`20	`22	`25	CAGR (`18-`25)
디젤 기관차(Diessel Locomotives)	9	10	10	10	10	10	0.83%
전기 기관차(Electric Locomotives)	32	33	35	37	40	48	4.94%
전기-디젤 기관차(Electro-Diessel Locomotives)	5	5	5	5	6	8	6.99%
디젤동차(Diessel Multiple Unit, DMU)	16	16	15	14	14	16	1.25%
전기동차(Electric Multiple Unit, EMU)	121	129	134	144	154	171	3.57%
라이트레일/트램(Light Rail/Tram)	189	197	205	223	239	261	3.51%
지하철/메테오(Subway/Meteo)	128	130	137	151	166	202	5.70%
객차(Coaches)	132	134	138	146	155	175	3.49%
마차(Wagons)	157	165	170	180	191	211	3.14%
합계	791	820	849	912	977	1,105	3.83%

* 자료: rolling stock market global forecast to 2025, 2019, MarketWatch

- 우리나라 철도차량 수출·입 실적은 `12년 이후 지속적으로 감소하여 저조한 수준
 - `18년 국내 철도차량 수입은 29,525천 달러로 전년 대비 5배 이상 증가하였지만, `12년부터 연평균 5.5% 수준으로 지속적인 감소 추세
 - 철도차량의 수출 실적은 `12년 이후 지속적인 감소추세(연평균 Δ 27%)에 있으며, `18년도 90,155천 달러는 `12년 수출 실적의 15% 수준에 불과

1) <http://www.kaia.re.kr/portal/bbs/view/B0000023/9538.do?searchCnd=&searchWrd=&searchOption1=&gubun=&delCode=0&useAt=&replyAt=&menuNo=200101&sdate=&edate=&deptId=&popupYn=&dept=&dong=&option1=&viewType=&cate1=&cate2=&cate3=&searchYn=&pageIndex=1>

표 3-7. 국내 철도차량 수출·입 실적(단위: 천 달러)

구분	`12	`13	`14	`15	`16	`17	`18
수입	41,398	99,948	20,938	11,437	8,497	5,394	29,525
수출	602,690	119,860	220,725	391,901	280,984	64,330	90,155

* 자료 : 차량분야 주요현황, 2019, 한국철도공사

- (철도차량부품) 철도차량부품의 수입 실적은 `18년 증가세로 전환하였으나 수출 실적은 `15년 이후 지속적으로 감소하는 상황
 - 철도차량의 대부분의 부품을 수입품에 의존하고 있는 실정임
 - 철도차량부품의 수입 실적은 `13년 148,687천 달러로 최고 수준에 도달 후 지속 감소하였으며, `18년 실적은 `17년 대비 약 158% 증가한 113,215천 달러 달성
 - 철도차량부품의 수출 실적은 `12~`15년 동안 연평균 19%의 높은 성장세였으나, `15년 최고점에 도달한 이후 급격히 감소하여 `18년 96,049천 달러 수준

표 3-8. 국내 철도차량부품 수출·입 실적(단위: 천 달러)

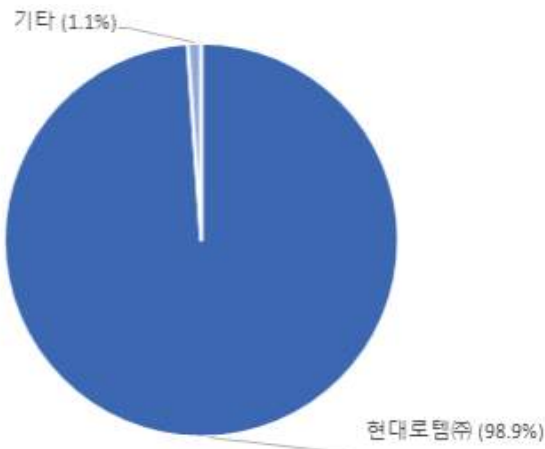
구분	`12	`13	`14	`15	`16	`17	`18
수입	84,224	148,687	141,198	107,825	76,735	71,894	113,215
수출	182,993	246,718	181,086	307,438	177,018	133,594	96,049

* 자료 : 차량분야 주요현황, 2019, 한국철도공사

- 우리나라의 철도차량부품 시장은 9천 억원으로 전세계 시장의 1.3%에 불과하며, 이는 국내 부품업체 대다수가 영세한 중소기업으로 철도 선진국과의 상당한 기술격차가 존재하기 때문임

□ 국내 시장점유율

- 기관차 및 기타 철도차량 제조업에 참여하고 있는 기업들의 매출액 기준 시장점유율을 살펴보면, 현대로템(주) 98.9%로 독점시장을 가짐
 - 기타에는 (주)신성씨스템, 이엠티씨(주), (주)미래로, (주)케이산업, 화인정공산업(주), 대동이엔티(주)가 포함되어 있음



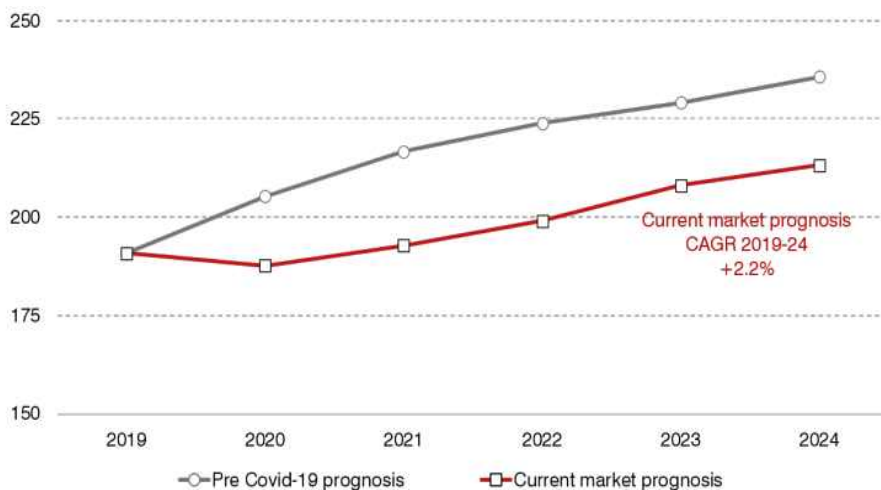
* 자료 : 기관차 및 기타 철도차량 제조업(산업·시장분석), 2020, KMAPS

그림 3-13. 국내 철도차량 시장점유율

나. 국외 철도차량 시장 동향

□ 철도분야 시장규모 및 전망

- 2019년 세계 철도 산업의 시장규모는 1,909억 유로이며, 2024년까지 CAGR 2.2% 증가하여 2,132억 유로가 될 것으로 예상됨

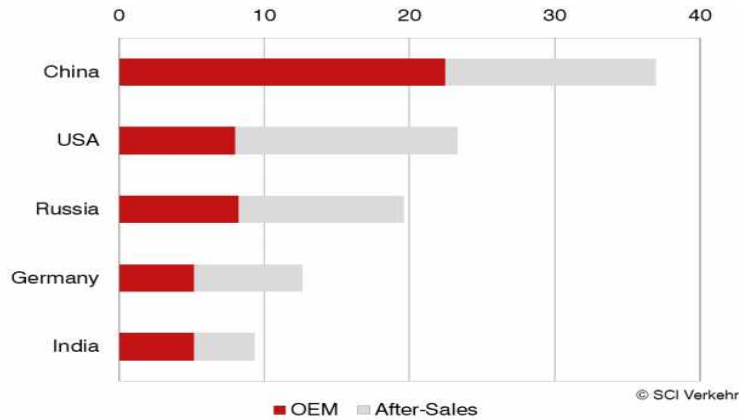


* 자료 : Worldwide Market for Railway Industries, 2020, SCI

그림 3-15. 세계 철도기술 시장 규모 예측(2019-2024년, 십억유로)

- COVID-19 위기로 인해 철도기술 시장의 지역 발전에도 많은 영향을 받았으며, 이 중 아프리카/중동지역은 향후 5년간 시장성장률이 감소할 것으로 예측되고 있음
 - 반면에 호주/태평양 지역, 서유럽, 아시아 및 동유럽 지역에서 가장 강력한 성장이 예상됨

- 전세계 Top 5 철도 시장은 2019년 기준 전세계 철도 기술 시장규모의 53%를 차지하고 있으며, 상위 5위 철도시장에 신규로 진입한 인도 철도시장의 성장이 두드러지게 나타남

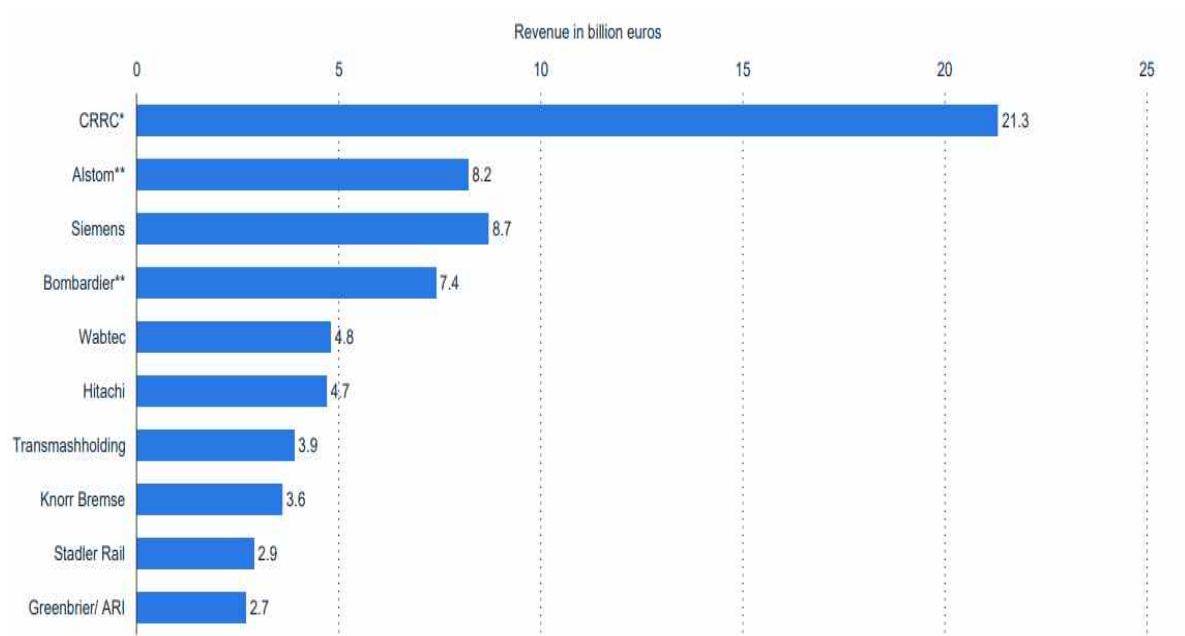


* 자료 : Worldwide Market for Railway Industries, 2020, SCI

그림 3-17. 세계 Top 5 철도 시장 2019(십억유로)

□ 철도차량 시장동향

- 세계 철도차량 시장규모는 2020년 516억 달러에서 2025년까지 약 643억 달러로 성장할 것으로 예측
- 2019년 기준 전세계 철도차량 제조업체 중 중국 CRRC가 213억 유로로 가장 높은 수익을 냈으며, 다음으로 지멘스 87억 유로, 알스톰 82억 유로, 봄바이어 74억 유로 순임
 - 다만, 2020년 2월 알스톰이 봄바이어를 인수함에 따라 알스톰과 봄바이어의 총 수익이 169억 유로에 달하여 여전히 CRRC에는 상당히 뒤쳐져 있지만 향후 지멘스를 제치고 2순위를 차지할 것으로 예상됨
 - CRRC는 2019년에 120억 위안 이상의 R&D를 투자하여 전기 및 하이브리드 철도 시스템과 같은 혁신적인 기술을 지속적으로 개발 및 제조함에 따라 지속 가능성 및 탄소배출에 대한 우려를 해결하는 동시에 세계 시장에서 경쟁업체보다 기술적 우위를 차지하고 있음

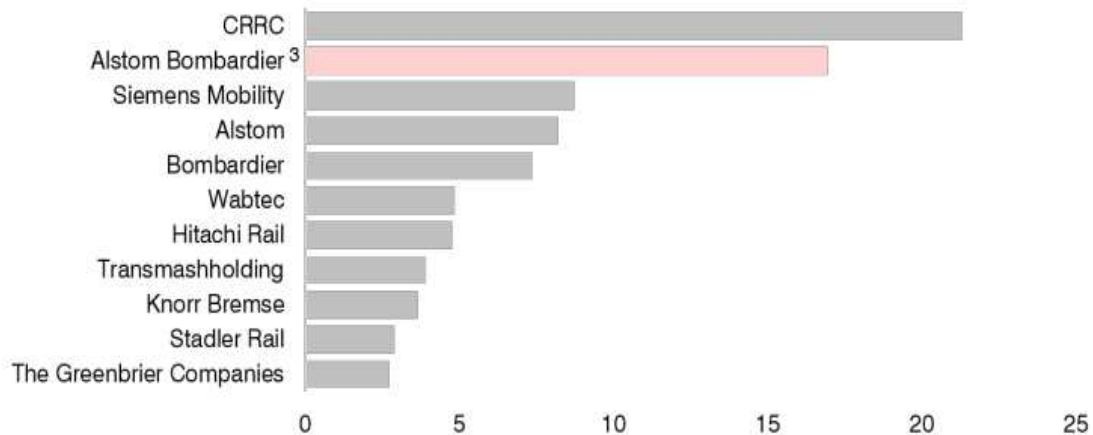


* 자료 : SCI Verkehr; Statista(2021)

그림 3-19. 2019년 주요 철도차량 제조업체의 수익(십억유로)

□ 주요 공급업체 동향

- 중국의 차량 제조업체인 CRRC는 계속 상위권을 유지하고 있지만, 전체 수입에서의 낮은 수출 점유율뿐만 아니라 국내 시장 침체로 인해 지난 몇 년 동안 수익을 크게 증가시키지 못하고 있음
- 최근 승인된 알스톰(Alstom)과 봄바디어(Bombardier)의 합병으로 중국의 차량 제조업체 CRRC에 이어 세계에서 두 번째로 큰 철도 공급업체가 탄생
- 알스톰(Alstom) 봄바디어(Bombardier)의 2019년 총 매출은 약 170억 유로(2019년 전체 매출 합계)로 자치하며 두 번째로 큰 수익을 냈으며 이는 3위의 지멘스 모빌리티보다 두 배 더 큰 수치임



¹ Revenue partly estimated. Financial years ending in the first half of 2019 have been assigned to the year 2019.

² Foreign currencies have been converted with the average yearly exchange rate of the reporting period.

³ Combined revenues of Alstom and Bombardier to demonstrate their position after a potential merger.

* 자료 : Worldwide Market for Railway Industries, 2020, SCI

그림 3-21. 상위 10대 철도 공급업체: 2019년 철도사업 매출 순위(십억유로)

- 상위 10대 철도 공급업체의 총수입은 2017년에 비해 15% 증가한 680억 유로로, 이는 철도 산업의 전체적인 추세를 보여줌
- 향후 공급업체의 수익 증가를 위해서는 제품 및 생산 프로세스, 친환경 드라이브 및 기술의 디지털화, 철도 차량의 운영 및 유지보수의 발전. 환경과 CO₂ 감축에 초점을 맞추는 노력이 필요함

다. 시사점

□ 국내 시장동향

- 우리나라 철도차량 시장 규모는 `18년 849편성에서 연평균 3.83% 증가하여 `25년 1,105편성이 달성될 것으로 예상하고 있으나 고속철도(DMU/EMU)차량에 대한 시장 전망을 보면 2.4%의 성장이 전망됨
- 철도차량의 수입실적은 연평균 5.5% 수준으로 감소하고 있으며, 수출실적은 2012년 이후 연평균 27% 수준으로 수입보다 크게 감소하고 있어 국내 철도차량의 수입의존도는 여전히 높음
 - 특히 철도차량부품 시장은 증가하는 수입규모에 비해 수출규모는 지속적으로 감소하고 있어, 철도차량의 대부분의 부품을 수입품에 의존하고 있는 실정임
 - 우리나라의 철도차량부품 시장은 9천 억원으로 전세계 시장의 1.3%에 불과하며, 이는 국내 부품업체 대다수가 영세한 중소기업으로 철도 선진국과의 상당한 기술격차가 존재하기 때문임
- (고속)철도차량과 관련한 시장의 대부분은 주요 기업들이 독점하고 있음

- 철도차량제조업 시장에서는 현대로템(주)가 독점하고 있고, 여객운송 및 철도궤도 등 철도차량 전방 산업에서는 코레일로지스(주)와 코레일테크(주)가 과반 이상을 차지하는 과점시장의 특성을 지님
- 국내 고속도로 대비 고속철도 공급수준은 여타 선진국과 유사수준을 보이나 고속도로 대비 전체 철도 공급 수준은 현저히 낮음
 - 최근 지난 10년간('07~'17년) 고속도로 투자금액은 82.4조 원(SOC 투자의 40.7%)이며, 총 철도연장이 고속도로 연장보다 작은 국가는 우리나라가 유일함

□ 국외 시장동향

- 2019년 세계 철도산업의 시장규모는 1,909억 유로이며, 2024년까지 CAGR 2.2% 증가하여 2,132억 유로가 될 것으로 예상함
 - COVID-19 위기로 인해 아프리카/중동지역 등 일부 지역의 철도기술 시장 발전에 영향을 주었으나 호주/태평양 지역, 서유럽, 아시아 및 동유럽 지역에서 가장 강력한 성장이 예상되고 있음
 - 전세계 Top 5 지역이 전세계 철도 기술 시장규모의 53%를 차지하고 있으며, 상위 5위 철도 시장에 신규로 진입한 인도 철도시장의 성장이 두드러지게 나타남
 - 전세계 철도시장에서 가장 큰 비중을 차지하는 권역을 아시아 지역으로 2019년 601.72억 유로였으며, 2024년까지 CAGR 2.8% 증가하여 2024년 690.63억 유로 전망
- 세계 시장의 약 70%를 차지하는 일반철도의 시장점유율은 2024년까지 현재 수준을 유지하는 반면에 고속철도 2024년에 16%로 소폭 증가할 것으로 예측됨
 - 고속철도 부문은 2019년부터 2024년까지 CAGR 4.0%로 평균 시장 성장률(약 2%) 증가
- 2019년 기준 전세계 철도차량 제조업체 중 중국 CRRC가 213억 유로로 가장 높은 수익을 냈으며, 다음으로 지멘스 87억 유로, 알스톰 82억 유로, 봄바이어 74억 유로 순임
 - CRRC는 2019년에 120억 위안 이상의 R&D를 투자하여 전기 및 하이브리드 철도 시스템과 같은 혁신적인 기술을 지속적으로 개발 및 제조함에 따라 지속 가능성 및 탄소배출에 대한 우려를 해결하는 동시에 세계 시장에서 경쟁업체보다 기술적 우위를 차지하고 있음
- 고속열차의 속도별 시장동향을 살펴보면, 300~399Kmph의 고속열차시장의 시장점유율이 2018년부터 2025년까지 최고 CAGR인 4.92%로 성장할 것으로 예상
- 고속열차의 속도 범위는 통근 시간 단축의 필요성과 도로의 교통 혼잡으로 인해 기하급수적인 성장을 보일 것으로 예상됨

□ 고성장이 기대되는 고속철도시장에 대한 국내 고속철도시장의 대응 전략 마련 필요

- 고속철도는 치솟는 휘발유 가격과 교통 체증에 효과적인 해결책으로 아시아와 유럽의 개별 승객

들은 사회적, 경제적, 환경적 이익뿐만 아니라 편의성을 더하기 위해 광범위한 고속철도망을 점
점 활용하는 추세임

- 안전성과 정확성으로 짧은 시간에 장거리를 커버할 수 있는 고속열차와 고속철도에 대한 기술
개발 및 안전성 확보를 위한 적극적인 대응 전략 마련이 필수적임

3-3. 고속열차 고속화 기술 수준 검토

□ 최고운영속도 검토

- 현재 제작중인 EMU-320 차량을 기반으로 8량 1편성(6M2T)의 EMU 차량에 대한 공력저항, 견인력 곡선 등의 예측을 통하여 운행 가능 속도를 검토함
 - (TSI 요구사항) 범 유럽철도망(TEN : Trans European Network)의 상호운영성 확보를 위한 TSI(Technical Specification for Interoperability)에서는 최고운영속도에서 가속여력 0.18km/h/s (0.05m/s²) 이상을 요구

표 3-10. TSI 발췌 내용

4.2.8.1.2 Requirements on performance

(5) For units assessed in fixed or predefined formation, at the maximum service speed and on a level track, the unit shall still be capable of an acceleration of at least 0,05 m/s² for the load case ‘design mass under normal payload’. This requirement may be verified by calculation or by testing (acceleration measurement) and applies for maximum design speed up to 350 km/h.

- EMU-320을 기반으로 예측된 공력성능과 견인전동기 출력에 따른 가능한 운영속도를 검토
- 터널에서의 공력성능
 - 해무(HEMU-430X) 차량 시운전 시험 과정에서 터널 단면적에 따른 주행저항 측정 결과를 검토하면 터널 단면적에 따라 공력저항은 개활지 대비 24%~51% 정도 증가함

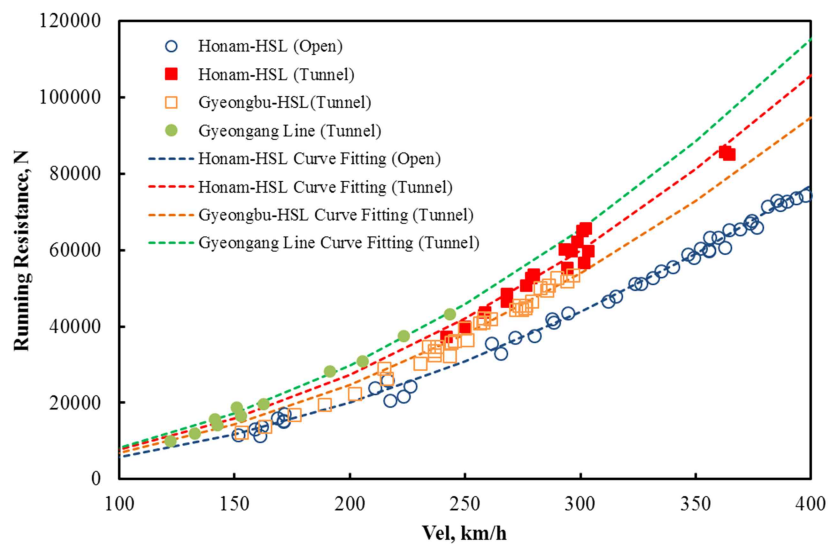


그림 3-22. Running Resistance measurement results for open field and each Tunnel section

표 3-11. Drag coefficient (CD) according to blockage ratio

Tunnel Section Area	Drag coefficient	Drag ratio	Test line
-	1.008	1	Honam-HSL Open field
107.0 m ²	1.250	1.24	Gyeongbu-HSL Tunnel
96.7 m ²	1.396	1.38	Honam-HSL Tunnel
68.0 m ²	1.521	1.51	Gyeongang Line Tunnel

- 8량 1편성(6M2T)의 EMU 차량을 기준으로 EMU-320 차량은 개활지 및 터널에서의 최고운영 속도는 330km/h 및 320km/h 수준임
- 만차 중량(480ton)시 개활지 가속여력은 0.2km/h/s @330km/h이며, 터널 내 가속여력은 0.1km/h/s @320km/h

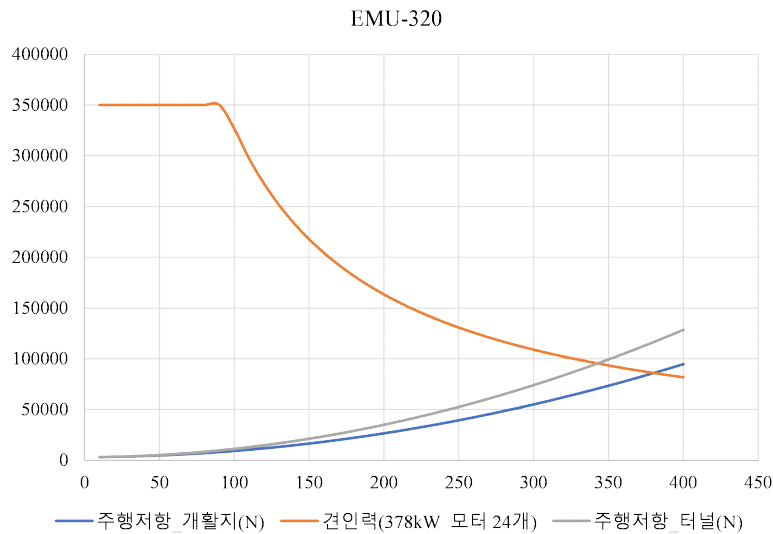


그림 3-23. EMU-320 주행성능선도

- 견인전동기 출력 증가시 개활지 및 터널에서의 최고운영속도는 370km/h 및 350km/h 수준임
- EMU-320 차량의 견인전동기 출력은 380kW이며, 대차 프레임 공간내에 배치됨. 대차 공간 내 설치 가능한 견인전동기 최대 출력은 520kW 임

EMU_320_출력증대

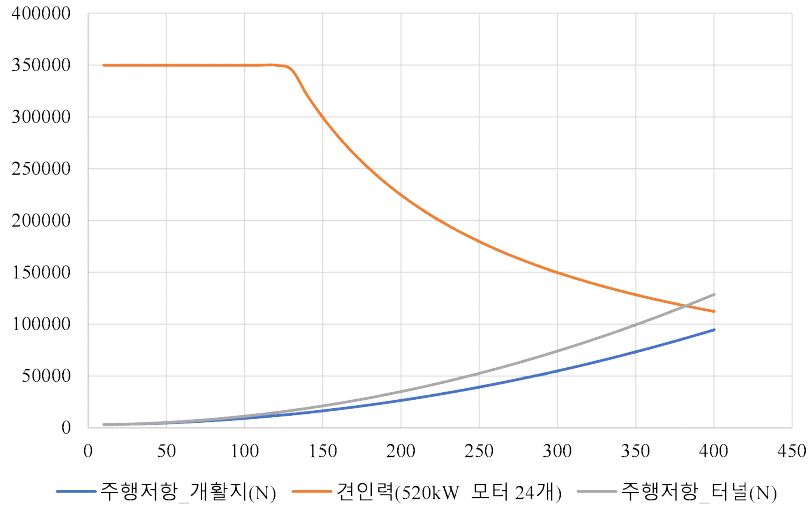


그림 3-24. 출력 증가시 주행성능선도

- 최고운영속도 400km/h를 달성하기 위해서는 모터출력 520kW 증가 외에도, 추가로 주행저항 28% 저감, 차량 중량 8%저감(만차중량 440ton)을 적용해야만 터널 주행 최고속도 400km/h 달성 가능(개활지 최대 운영속도는 420km/h)
- 만차중량(440ton)시 개활지 가속여력은 0.2km/h/s @420km/h임

EMU-320_출력증대_주행저항 28% 저감

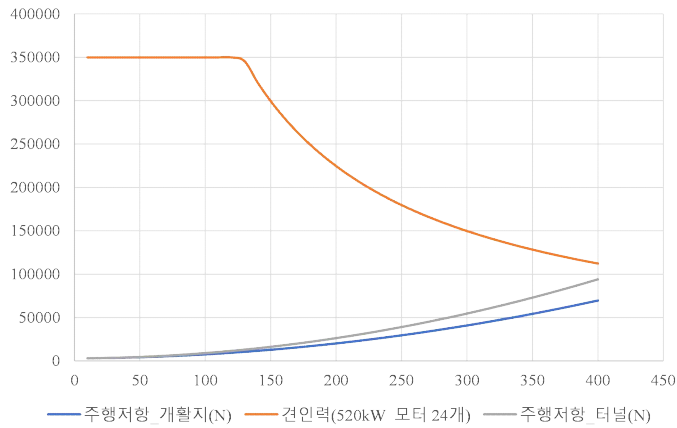


그림 3-25. 400km/h달성시 주행성능선도

- 증속에 따른 진동 영향 검토
- 370km/h 이상 고속화가 됨에 따라 차량의 진동은 급격하게 증가하게 되며, 이에 따라 주행 안정성 및 승차감 특성이 악화될 가능성이 있음
- HEMU-430X 차량 속도에 따른 대차 주행 안정성 특성 분석 결과, 속도가 350km/h를 넘어가

면서 급격하게 진동가속도가 증가함. 고속 운행시 주행안정성 기준은 만족할 수 있으나, 승객이 느끼는 승차감 특성은 문제가 발생할 가능성이 있음

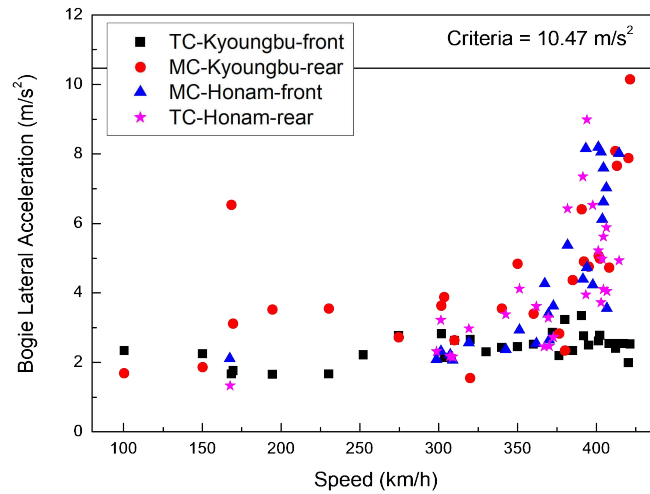


그림 3-26. HEMU-430X 속도에 대한 대차 진동 특성

○ 차량 실내 소음 증가 검토

- 고속화가 됨에 따라 차량 실내 소음도 급격하게 증가하게 되며, 이에 따라 승객이 느끼는 피로도가 증가하게 됨
- HEMU-430X 차량 속도에 따른 실내 소음 특성 분석 결과, 속도가 증가함에 따라 소음특성이 지수적으로 증가하여 로그특성인 데시벨(dB) 소음 특성은 선형적으로 증가함. 현행 기술기준에서 300km/h 주행 시 실내소음 기준은 동력분산형 열차에서 68dB이나 현 기술수준으로는 400km/h 주행 시 실내 소음 이 77.2dB로써 승객 이용 편의성에 영향을 끼칠 수 있으며, 고속화를 위해서는 실내 소음 저감을 위한 연구가 수행되어야 함

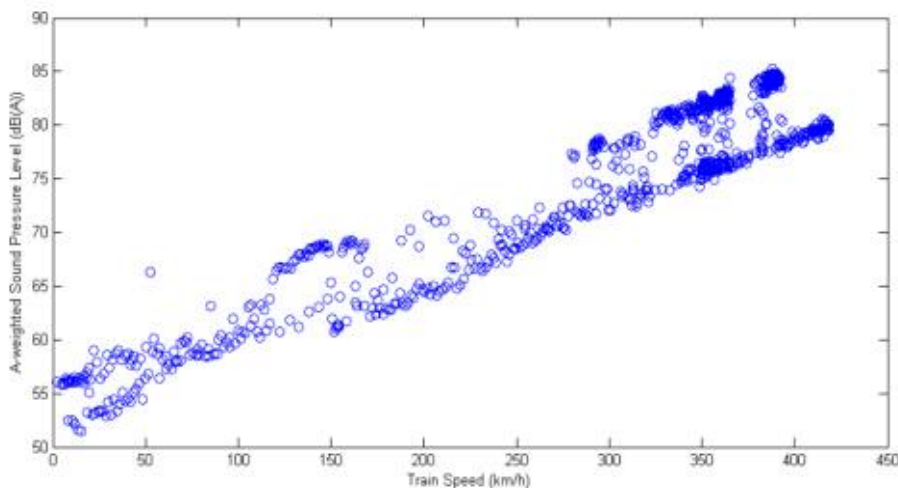


그림 3-27. HEMU-430X 속도에 대한 실내 소음 특성

□ 고속차량 기술 수준 검토 (370km/h)

- EMU-320을 기반으로 증가 및 차량 단면 축소 등 일부 장치 개선을 통하여 EMU-370 차량 개발 가능함
 - 견인전동기 출력 증가 : 380kW → 520kW
 - 견인전동기 출력 증가로 가속여력은 370km/h에서 0.24km/h/s 로 운영속도 370km/h 운행이 가능함
 - 520kW 전동기는 EMU-320 대차에 큰 형상 변경 없이 취부 가능함
 - 출력 증가에 따른 주변압기, 주전력변환장치 등 추진장치 용량 증가
 - 주행저항 저감을 위한 차량단면 축소 : 차량폭 3,150mm → 3,000mm
- 영업 초도차량에 대한 개발/제작/시험 및 형식승인 완료까지 소요기간은 시운전시험 주행거리 요구사항에 따라 5년 ~ 6년이 소요될 것으로 예상
 - 철도안전법에 따른 시운전시험 주행거리 적용시 : 5년

표 3-12. 차종별 시운전시험 주행거리 (철도차량 형식승인·제작자승인·완성검사 시행지침 별표3)

차 종	최고운행속도(킬로미터/시간)	주행거리(킬로미터)
고속철도차량	300 이상	35,000 이상
	200~300 미만	15,000 이상
일반철도차량	151~200 미만	5,000 이상
	150 이하	1,000 이상
도시철도차량	151~200 미만	5,000 이상
	150 이하	1,000 이상

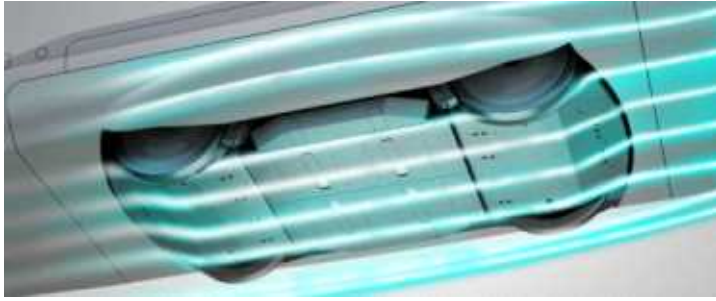
- 철도공사 누적주행거리 요구사항 적용시 : 6년
 - 300km/h 이상 열차 18만km (철도공사 내규) : EMU-320 포함
 - EMU-260 경우 13만5천km 주행거리 확보로 계약함
- EMU-260의 차량 형식승인을 위한 시운전시험 총 주행거리는 표 22에서와 같이 약 8만2천 km로 계약상의 주행거리를 확보하기 위하여는 약 5만3천km의 추가적인 주행거리 확보를 위한 시운전이 필요함

표 3-13. 형식시험 항목별 시운전시험 주행거리 예(EMU-260)

시험 항목	주행거리
역행 및 제동시험	19,800km
지상설비연계시험	24,100km
주행안전성 및 진동/승차감시험	4,300km
주행저항 및 공력특성시험	2,900km
기타시험	30,900km
합계	82,000km

□ 최고운영속도 400km/h (EMU-400) 검토

- 전 세계적으로 운영중인 고속열차의 최고운영속도는 중국이 350km/h이며, 운영속도 400km/h 급 고속열차는 세계 최초이므로 EMU-320 고속열차와 다른 신개념의 고속열차 도입이 필요
 - 400km/h 운행을 위해서는 주행저항의 획기적 저감을 위한 차량시스템의 변경 등 완전한 신개념의 고속열차 기술개발 필요
 - 필수적으로 주행저항 저감 기술, 차량 경량화 기술 등의 연구개발이 필요하며, 실제 400km/h 운행을 위한 대차설계기술, 기밀유지 기술, 제동거리 관련 기술기준 등 다양한 연구개발이 필요
 - 주행저항 저감을 위하여는 대차 밀폐가 가능한 인보드 대차 설계기술, 차량 단면적 축소를 위한 EMB (Electro-Mechanical Brake) 제동장치 기술 및 이와 연계한 최적 차량 형상 설계 기술 개발 필요
 - 고효율 경량화를 위한 Full SiC 기반 추진장치 시스템 적용 필요
 - 터널 고속주행 시 이명감 해소를 위한 신개념 기밀기술 개발 필요
- 해외 기술동향을 고려하여 EMU-400 열차 개발은 가능할 것으로 판단되나, 세계 최고 수준의 운영속도이므로 핵심기술 및 시제차량 개발, 시운전시험을 통한 성능검증이 필요함
 - 주행저항 28%는 매우 어려운 기술이며, 이를 위하여 2가지 이상의 기술조합(인보드 대차 설계 기술, EMB 제동장치 기술 등)이 필요
 - 차량 경량화 8% 역시 쉬운 기술은 아니나 인보드 대차 적용 및 Full SiC 소자 적용 등을 하면, 해외사례(일본 N700S, 독일 Velaro Novo)를 참조하면 충분히 가능할 것으로 판단됨
 - 터널 고속주행 시 기밀문제로 인한 이명감 발생문제가 매우 클 것으로 예상. 따라서 동적 기밀 측정시험 방법 개발 등이 필요할 것으로 판단됨
 - 고속 주행 안정성 확보는 현재 대차에서도 매우 어려운 기술이며, 주행저항 저감을 위한 인보드 대차의 경우 최근에서야 시도(독일 Velaro Novo)되는 등 별도의 연구개발이 필요함



(독일 SIEMENS Velaro NOVO)



(일본 Hitachi 인보드 대차)

그림 3-28. 해외 인보드 대차 개발 사례

- EMU-400은 신개념의 고속차량으로 영업차량의 개발을 위하여는 시제차량을 개발하여 성능시험 및 안정화가 필요하므로 영업 초도차량 발주까지 약 11년이 소요되며, 초도차량의 형식승인을 완료하기 위하여 5년 ~ 6년이 추가로 소요됨
 - 예비타당성 기획 : 2년
 - 핵심기술 및 시제차량 설계/제작 : 6년
 - 시제차량 성능검증 및 개선 : 3년
 - 영업 초도차량 제작 및 형식승인 : 5년 ~ 6년

□ 신규 고속차량 제작 검토

- 현재 기술수준을 검토하여 국내 철도차량 제작사가 EMU-320을 기반으로 신규 고속차량 (EMU-370 및 EMU-400)를 제작할 경우 제작 방안 및 세부 소요 일정 등을 검토하면 다음과 같음
- 차량 제작 방안
 - EMU-320 대비 견인력 증대를 위한 T/M, 주변압기, 주전력변환장치 용량 증대 필요
 - 소음/진동 증가에 따른 저감방안 적용 필요
 - 차량의 주행저항 저감을 위한 차체크기 축소 및 대차 커버 적용 필요

표 3-14. 신규 고속차량 사양(안)

구 분		EMU-370
편성구성		8량 (6M2T)
개활지	운영최고속도	370km/h
	설계최고속도	396km/h
장대터널내 최고속도		342km/h
편성길이		197.6m
편성중량 (축중:16.5톤)		528톤
최고속도 가감속거리 (개활지 기준)		(km)
	0→300km/h	12.7
	300km/h→최고속도	14.7
	최고속도→0	8.9
	계	36.3
비고		중련운행가능



그림 3-29. EMU-370 예상 편성도

- 차량 제작 기간 : 약 60개월 예상
 - 기본/상세설계: 26개월
 - 형식승인 검사: 45개월(적합성검사, 합치성검사, 부품/구성품시험)
 - 차량제작: 18개월
 - 완성차시험: 6개월
 - 출고검사 준비 및 출고 검사: 1개월
 - 시운전시험: 12개월(주행거리: 45,000km이상 기준, 실제 약90,000km예상)
 - 인수검사 준비 및 인수검사: 1개월

- 추가 검토 필요 사항
 - 최대한 시험 가능한 운행구간에서 차량 속도 시험을 수행하고 시험 결과 데이터를 기준으로, 최고속도에서의 차량성능을 추론하는 방안 등 마련 필요
 - 임시 철도안전법 기술기준 제정, 적용 필요

- 선정된 400km/h급 고속열차 시험구간 내에서 운행 가능한 최고속도 시험을 위해 적합한 수준의 노반, 전차선, 신호, 통신 설비 필요
 - 지상설비와 연계된 차량내의 신호/통신 설비 개발 필요
- 터널 내 교행운행 시, 차량 측면에 미치는 압력변화는 운영 최고속도에서 10kPa 이하가 되도록 터널크기/선로간격 산정이 필요

3-4. 400km/h급 고속철도 종합계획

○ 400km/h급 고속철도 추진 배경 및 필요성

- '04년 경부고속철도 개통 이후 고속철도 차량 및 각종 인프라의 내구연한 도래
⇒ 차량 및 인프라 교체시기에 맞추어 최소 비용으로 고속철도 수준 업그레이드

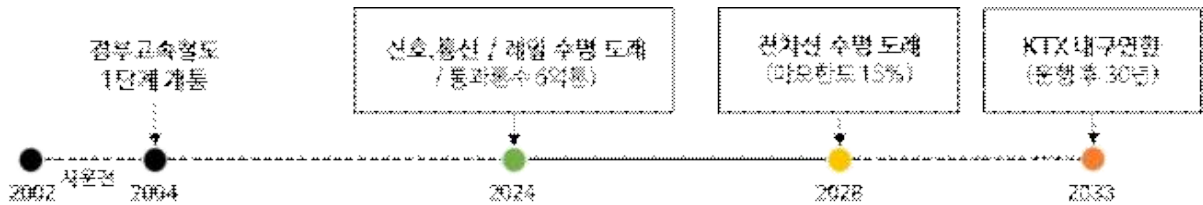


그림 3-30.

- 더 빠른 교통서비스에 대한 수요 증가로 소요시간 단축 필요(지역균형발전)
⇒ '400km/h급 차세대 고속철도 추진' (제3차 철도산업발전 기본계획 ('16 - '20))



그림 3-31. 고속철도 이용객 수와 소요시간 변화

○ 분야별 현황 및 계획 : 고속차량

- (현황) KTX 노후화에 따라 총 46편성의 교체시점('34)이 도래 (KTX-산천: '40)

※ HEMU -430X의 실용화 모델 EMU-260 (KTX-이음): '21.01 중앙선 투입시작, EMU-320: '21년 중반 출고 및 형식시험 예정

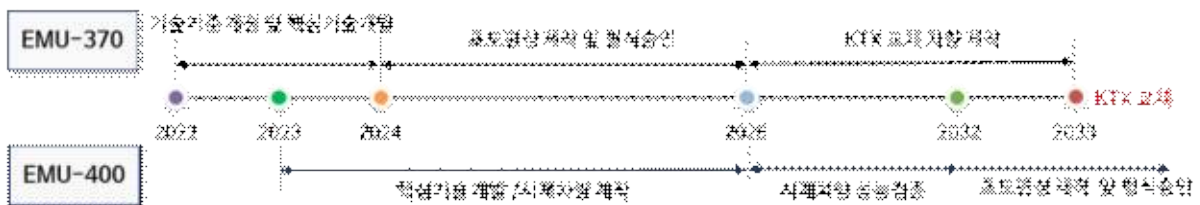


그림 3-32. 차량 교체계획

- (추진과제) 고속철도 차량 기술기준 개정 및 핵심기술 개발
 - 350km/h 초과 운영속도 차량 발주를 위한 기술기준 개정 및 형식승인
 - 영업용 차량의 주행저항 저감, 실내 소음저감 및 승차감 개선 핵심기술
- 분야별 현황 및 계획 : 노반 및 궤도
 - (현황) 현행 고속선의 노반 설계속도는 350km/h이나 420km/h까지 안전성 확인
 - 350km/h 이상 속도 대역은 일부 선형조정 필요)
 - ※ 자갈궤도 (300km/h 이하) : 경부 1단계, 콘크리트궤도 (300km/h초과) : 호남, 수도권, 경부 2단계
 - 추진계획
 - (궤도개량) 300km/h 초과 노선에서는 콘크리트 궤도 필수
 - => 유지관리 문제(LCC비용절감), 분진 미세먼지 등 환경문제

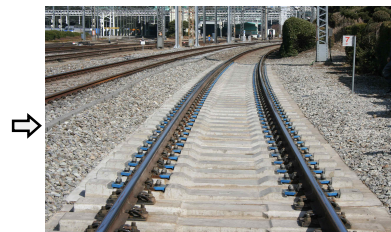


그림 3-34.

- (추진과제) 노반지지력확인 및 공법 개발, 시공속도 향상을 위한 시공장비 개발
 - 자갈궤도의 콘크리트화 개량공법 고속선에 대한 성능검증
- 분야별 현황 및 계획 : 전차선
 - (현황) 전차선 설계속도는 경부고속선 320km/h, 호남/수도권고속선 350km/h임
 - 호남고속선 시험선(익산-정읍 상선 28km) 구간에 400km/h급 전차선 검증 완료
 - (추진계획) 교체주기에 맞추어 고장력전차선 교체 및 장력 조정 시행



그림 3-35.

- (추진과제) 400km/h급 전차선로 연구용역 (2020-2021)
 - 400km/h급 전차선로 시스템 구축을 위한 기술여건 및 제도 분석·진단
 - 400km/h급 전차선로 시스템 구축방안 및 설계프로그램 고도화
 - 400km/h급 전차선로 시스템 구축을 위한 제도개선 방안 제시
- 분야별 현황 및 계획 : 신호/통신 시스템
 - (현황) 프랑스에서 도입한 ATC를 통해 KTX 최고운영속도 300km/h 운영 중
 - LTE-R 기반 한국형 열차제어시스템(KTCS-2) 개발 완료(350km/h 성능검증 완료)
 - (추진계획) 고속열차에 신호/통신 장비 장착 후 검증이 가능하므로 열차도입과 동시에 검증 수행
 - (신호) 차량, 기반시설, 통신설비의 기본조건 확보 후 단독시험(최소 6개월)
 - (통신) 신호 분야와 협동하여 시험



그림 3-36.

- 추진과제
 - 한국형 초고속 신호시스템 구축기반 마련을 위한 기술용역('20~'21)

- ⇒ 400km/h급 고속운행을 위한 KTCS-2와 LTE-R의 연계시험 검증항목 도출
- 400km/h급 고속운행을 위한 철도 무선통신 표준 개정 및 핵심기술 개발
- ⇒ 철도 무선통신장치 표준 개정(안) 도출, 통신불량 및 전송률 저하 등의 문제점 해결 핵심 기술 확보

4. 연구개발 역량분석

4-1 기술분류

표 4-1. 연구개발 역량분석을 위한 기술분류

대분류	중분류	소분류	
차량 시스템 기술	차량 대차/차체 기술	대차/차체 해석 및 설계기술	대차프레임기술
		차량전두부 기술	현가장치 기술
		대차/차체 소재기술	윤축기술
		대차/차체 압출 및 금형기술	차량 연결기 기술
	제동 기술	제동 해석 및 설계기술	공기제동 기술
		기조제동장치 기술	전기제동(혼합제동) 기술
	추진제어기술	동력전달장치 기술	주전력 변환장치 기술
		전인전동기 기술	변압기 기술
	급전기술	팬터그래프(집전장치) 기술	보조전원공급 기술
		주회로차단기 기술	
	차내설비기술	차내공조기술	의장·내장 기술
	차량 제어 및 신호기술	차량 진단제어 시스템 기술	차상 신호시스템 기술
			운전지원시스템기술
	차량 시스템 엔지니어링	차량시스템 설계 및 요구사항 관리기술	차량 시험평가기술
		차량시스템 소음·진동 해석 및 저감설계 기술	주행저항 예측 및 저감설계기술
		차량 인터페이스 및 통합기술	안전감시/진단 기술
차량 기능분석 및 성능관리기술		차량시스템 기술·일정·비용 관리기술	

4-2. 특허 동향분석

□ 분석 개요

- 분석 대상 특허²⁾ 검색DB 및 검색범위

표 4-2. 분석 대상 특허 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개등록일 기준)	한국	WIPSON	~ 현재 (2021.04)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	유럽특허 (EPO, 19개국 특허청 ³⁾)			특허공개 및 등록 전체문서

- 분석 방법

- 철도차량소음, 진동, 주행저항, 안전진단감시 기술의 4가지 기술 분야별로 구분하여 특허 동향을 분석
- 각 분야별로 전문가의 검수를 받은 기술분야 및 키워드를 조합하여 기술분야 별로 검색식을 작성하고 수정 보완
- 조사대상국인 한국, 미국, 일본, 유럽, PCT에서의 주요국가별, 주요출원인별, 기술분류별 출원 동향을 분석함
- 기술별로 연도별/국가별 기술개발 활동 현황을 분석하고 주요 출원인 현황을 분석 분석주제와 관련도 높은 핵심특허를 선별하고, 핵심특허의 주요내용을 정리 및 검토의견을 제시

- 기술분류 기준

2) 출원일 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2019~2020년 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 ~ 2019년 10월까지 한정

3) 유럽 19개 각국 특허청 : 유럽특허제도는 유럽특허조약의 회원국 사이에서 유효한 유럽특허를 부여하기 위해 만들어진 제도로서 유럽특허조약(EPC : European Patent Convention)에 따라 유럽특허청(EPO)에서 운영함. 유럽특허청(EPO)에 출원함과 관계없이 유럽의 각국 특허청에 출원한 특허를 포함하여 분석함. (DE, FR, GB, AT, BE, CH, DD, DK, ES, FI, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RU, SE, SU)

표 4-3.

대분류	중분류	기술분류기준
차량 소음 저감 기술	소음 저감/제어 기술(AA)	철도 차량의 소음 저감 구조체 및 소음 저감 방법을 포함하는 기술
	소음 시뮬레이션/측정 기술(AB)	차량 주행시의 차량의 소음을 측정/시뮬레이션하는 기술
차량 진동 저감 및 예측 기술	철도 차량의 진동 저감 기술(BA)	철도 차량의 진동 저감 구조체 및 진동 저감 방법을 포함하는 기술
	철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)	차량 주행시의 차량에 가해지는 진동을 시뮬레이션하거나, 차량의 진동을 측정하는 기술
주행저항기술	철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA)	철도 차량의 주행저항 저감 구조체 및 주행저항 저감 방법을 포함하는 기술
	주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)	주행저항을 모의 또는 주행저항이 고려된 차량 운전 모의 기술
	주행저항이 반영된 철도차량기술(CC)	철도 차량의 주행저항에 관련되어, 차량의 효율을 향상시키거나, 이에 관련된 기술
안전감시/진단 기술	철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA)	고속열차의 온도 및 진동 등의 안전 항목을 감시하는 기술
	차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)	차량 상태의 모니터링을 수집하거나 진단하거나, 운전 지원을 모니터링하는 기술
	최적 운행 지원 기술(DC)	차량의 운행/운전을 지원하는 기술

□ 철도차량 소음기술 분야

○ 출원년도별 특허 동향

- 연도별 출원 동향에 따라 살펴보면, 차량 소음 저감 기술은 1975년부터 관련 출원이 이루어지고 있으며, 대체적으로 1990년대 초반부터 출원이 증가하는 경향을 보이며 최근까지 꾸준히 출원이 이루어지고 있는 것으로 보임

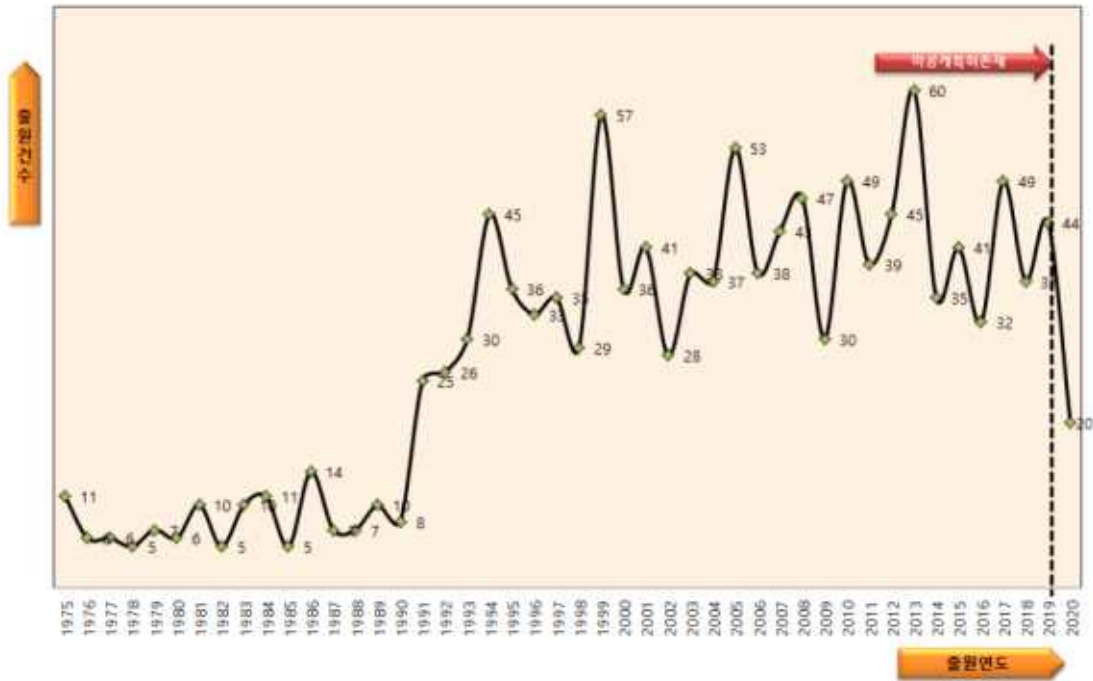


그림 4-1. 철도차량 소음진동 분야 연도별 출원 동향

○ 주요출원국의 연도별 특허출원 현황 및 점유율 분석

- 차내 소음 저감 기술 분야의 주요출원국별 출원 점유율을 살펴보면, 일본이 465건(36%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 미국 330건(26%), 한국 174건(13%), PCT 166건(13%) 및 유럽 152건(12%)의 순인 것으로 나타남
- 차내 소음 저감 기술 분야의 출원 연도별 분포를 살펴보면, 일본은 1980년대 중반부터 현재까지 출원건수의 증감을 반복하면서 왕성히 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타남
- 미국은 1970년대부터 현재까지 출원건수의 증감을 반복하면서 꾸준히 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타남
- 한국은 1980년대 중반부터 차내 소음 기술에 대한 특허활동을 시작하여, 2000년 대 중반까지 완만한 증가세로 특허 활동을 수행하고, 2010년 이후 출원건수의 완만하게 감소되는 추세가 나타남

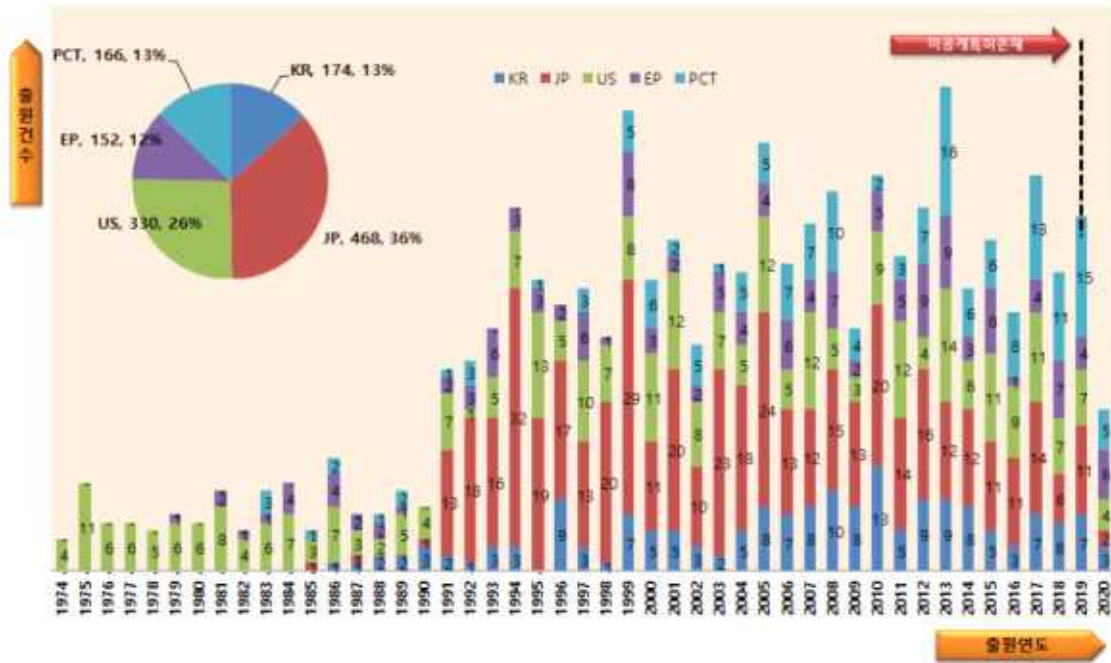


그림 4-2. 주요출원국의 점유율 및 출원연도별 특허출원 현황

○ 기술분류에 따른 연도별 특허동향 및 점유율 분석

- 차량 소음 저감 기술을 철도차량의 소음 저감/제어 기술(AA)과, 소음 시뮬레이션/측정 기술(AB)로 분류하여, 기술분류별 점유율을 살펴보면, 철도차량의 소음 저감/제어 기술(AA)은 55%의 점유율을 차지하고, 소음 시뮬레이션/측정 기술(AB)은 45%의 점유율을 차지하고 있는 것으로 나타남
- 기술분류에 따른 출원연도별 특허출원 현황을 살펴보면, 철도차량의 소음 저감/제어 기술(AA)은 1990년대 초반에서 2000년대 중반까지 출원 건수의 증감을 반복하면서 증가추세였다가 2000년대 후반 이후 감소 추세로 전환됨
- 이와 비교하여, 소음 시뮬레이션/측정 기술(AB)은 1990년대 후반부터 현재까지 출원 건수의 증감을 반복하면서 꾸준한 증가세로 특허 활동을 진행하고 있는 것으로 나타남
- 이로부터, 차량의 소음 저감 기술은 철도차량의 소음 저감/제어 기술(AA) 분야에서 소음 시뮬레이션/측정 기술(AB) 분야로, 기술 개발의 방향이 변화되고 있는 것으로 분석됨

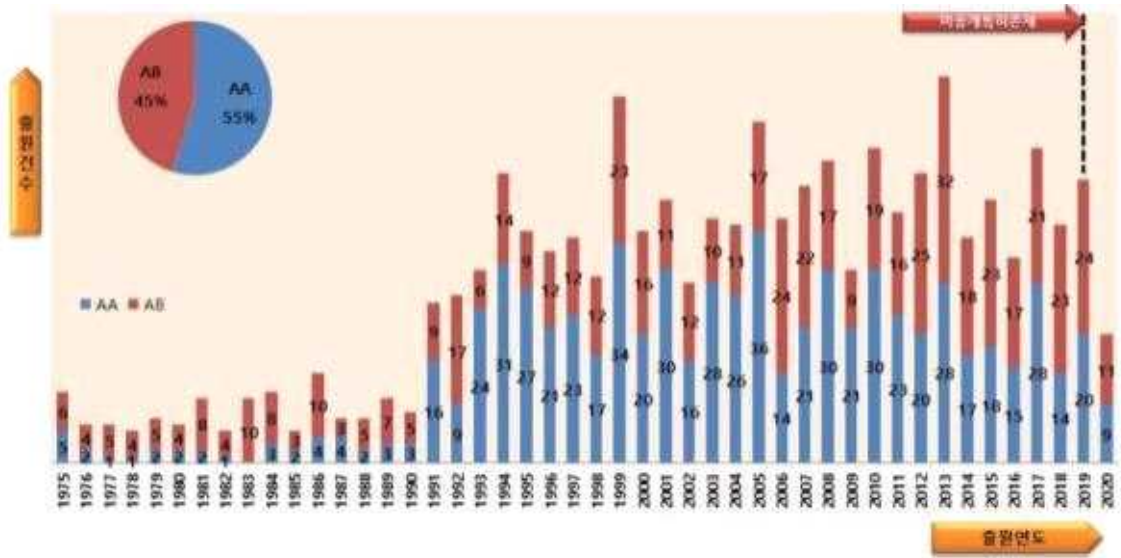


그림 4-3. 기술분류에 따른 점유율 및 출원연도별 특허출원 현황

○ 기술분류별 주요출원국의 특허출원현황

- 기술분류에 따른 주요출원국별 출원 점유율 분포를 살펴보면, 철도 차량의 소음 저감/제어 기술(AA)은 일본이 330건(47%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 한국 116건(16%), 미국 106건(15%), PCT 77건(11%) 및 유럽 76건(11%)의 순인 것으로 나타남
- 소음 시뮬레이션/측정 기술(AB)은 미국이 224건(38%), 일본이 138건(24%), PCT 89건(15%), 유럽이 76건(13%), 및 한국이 58건(10%) 순으로 나타남
- 기술분류별 주요출원국의 점유율 분포를 통해, 한국은 소음 시뮬레이션/측정 기술(AB)에 대한 기술개발이 다른 국가들과 비교하여, 특히 활동이 저조한 것으로 분석됨

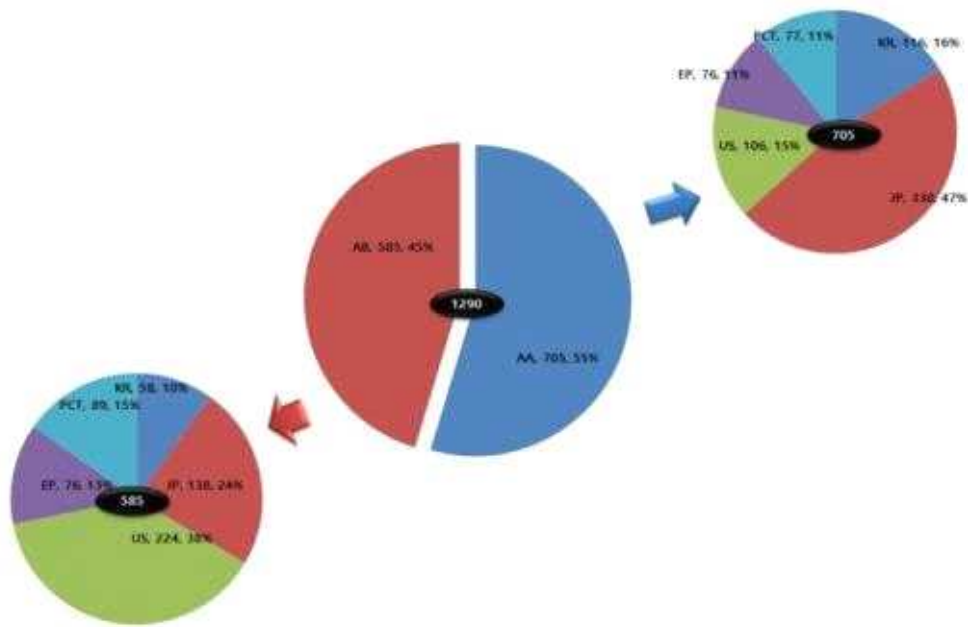


그림 4-4. 기술분류에 따른 주요출원국 점유율 분포

○ 세부 기술별 IP 출원국 분석

- 차내 소음 저감 기술 분야의 세부기술별 IP 출원국을 살펴보면, 철도 차량의 소음 저감/제어 기술(AA)은 일본, 한국, 미국에 활발하게 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 소음 시뮬레이션/측정 기술(AB)은 미국, 일본에서 활발하게 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타남
- 철도 차량의 소음 저감/제어 기술(AA)은 일본에서 집중 출원되고 있는 것으로 나타남
- 소음 시뮬레이션/측정 기술(AB)은 미국에서 집중 출원되고 있는 것으로 나타남

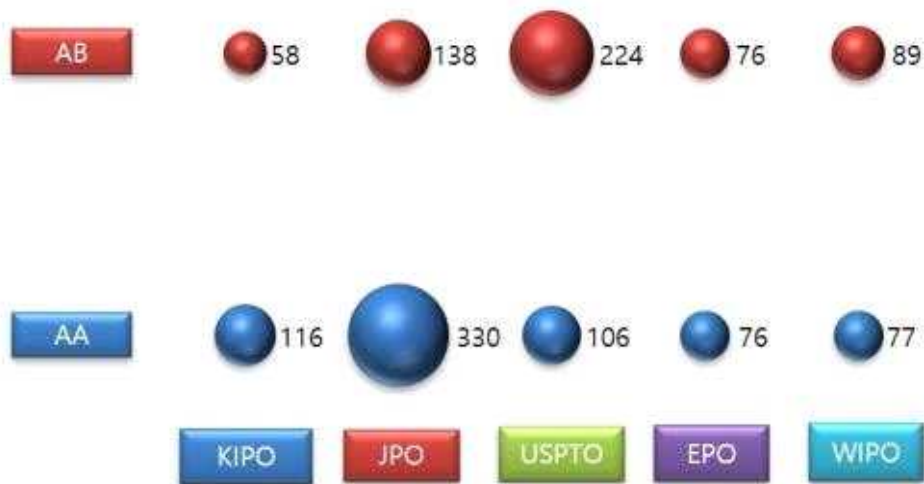


그림 4-5. 세부기술별 IP 출원국(버블의 크기: 출원 건수)

○ 주요출원인별 특허동향

- 주요출원인의 주요출원국별 특허출원현황을 살펴보면, 일본의 HITACHI社가 163건으로 가장 활발한 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타나며, 한국철도기술연구원(38건), CENTRAL JAPAN RAILWAY社(29건), NIPPON SIGNAL社(28건), RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE(23건), SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT(17건), EAST JAPAN RAILWAY社(16건), KAWASAKI HEAVY IND社(15건), MITSUBISHI ELECTRIC社(15건) 및 TOSHIBA社(13건)의 순인 것으로 나타남
- 한국철도기술연구원은 한국 국적 출원인으로서, 자국인 한국에 집중적으로 출원하며, 국제특허출원(PCT)로만 해외출원을 진행하고 있는 것으로 나타나는 바, 해외출원에 다소 소극적인 모습을 보이고 있음
- 주요출원인 중 한국철도연구원과 SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT를 제외한 나머지 주요출원인은 일본 국적을 가진 회사로서, 차내 소음 저감 기술에 대해 일본에서의 특허활동이 활발한 것으로 나타남
- HITACHI, LTD는 일본 국적의 출원인으로서, 차내 소음 저감 기술에 대한 제1 주요출원인으로서, 자국인 일본에서의 특허활동을 가장 활발하게 진행하는 동시에, 한국(12건), 미국(6건), 유럽(15건), PCT(8건) 등 해외 출원에 적극적인 모습을 보이고 있음
- CENTRAL JAPAN RAILWAY社, NIPPON SIGNAL社, RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE, EAST JAPAN RAILWAY社, KAWASAKI HEAVY IND社, MITSUBISHI ELECTRIC社 및 TOSHIBA社는 일본 국적의 주요 출원인으로서, 자국인 일본에서 집중적으로 출원하고 있는 것으로 나타나는 바, 해외출원에 다소 소극적인 모습을 보이고 있음
- 차량 소음 저감 기술은 전반적으로 자국 출원 집중도가 높은 기술 분야로 파악되며, 추후 해외 권리화를 통한 기술 및 시장 선점 노력이 더욱 필요할 것으로 예상됨

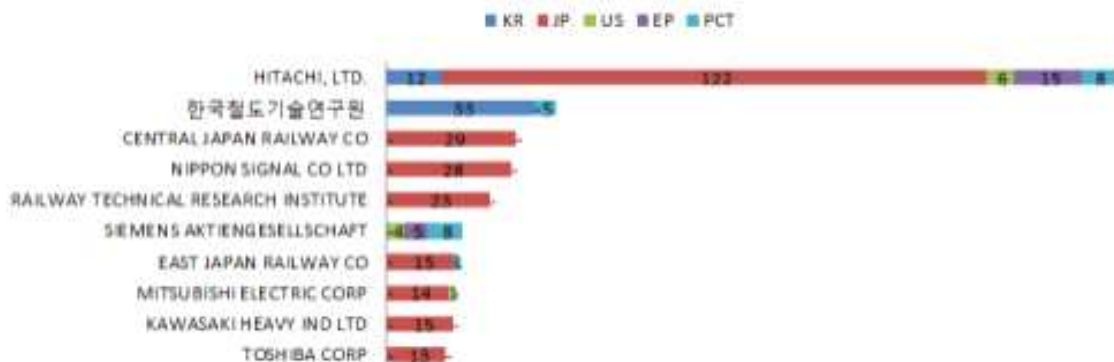


그림 4-6. 주요출원인의 특허출원 현황

○ 기술수명주기 분석

- 차내 소음 저감 기술 분야에 대한 주요 국가별 기술수명주기를 산출한 결과, 일본이 2년으로 가장 낮은 기술수명주기를 보여, 동 기술분야에서 일본의 기술혁신 활동이 가장 활발한 것으로 나타났음
- 한국의 경우, 6.75년으로 기술혁신 활동이 상대적으로 저조하고, 개발된 기술의 수명은 가장 긴 것으로 조사되어, 향후 정부 차원의 보다 적극적인 지원을 통해 활발한 연구개발 활동을 유도해야 할 것으로 판단됨

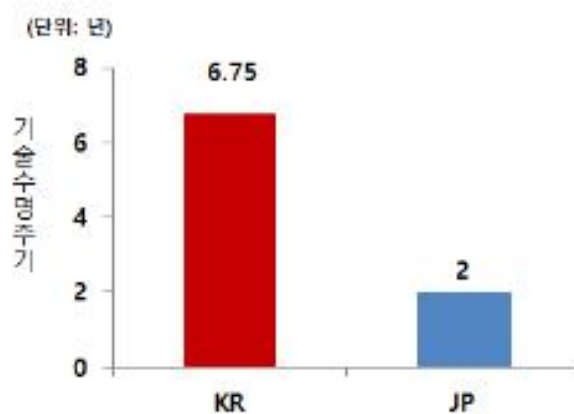


그림 4-7. 차량 소음 저감 기술 분야 국가별 기술수명

○ 차량 소음저감기술 특허분석 시사점

- 주요출원국별 출원 동향을 살펴본 결과, 한국은 자국 내 출원 경향이 특히 두드러졌으며, 해외 활동이 저조한 상태를 나타내고, 일본도 히타치를 제외한 나머지 주요출원인이 자국에서의 특허활동에 집중하고 있는 것으로 나타남
- 차내 소음 저감 기술 분야의 세부기술별 IP 출원국을 살펴보면, 철도 차량의 소음 저감/제어 기술(AA)은 일본, 한국, 미국에 활발하게 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타나며, 특히, 한국 철도기술연구원에서 주도 하고 있음
- 다만, 한국철도기술연구원은 소음 저감/제어 기술(AA)에 대해 한국 출원의 집중도가 높은 것으로 파악되는 바, 고속철도 시장의 유망성을 고려하여, 추후 해외권리화를 통한 기술 및 시장 선점 노력이 더욱 필요할 것으로 예상됨
- 소음 시뮬레이션/측정 기술(AB)은 미국, 일본에서 활발하게 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타나며, 철도차량의 소음 저감/제어 기술(AA)과 비교하여 주요출원인의 해외 출원 빈도가 높은 것으로 파악됨

□ 철도차량 진동저감 및 예측 기술 분야

○ 출원년도별 특허 동향

- 차량 진동 저감 및 예측기술은 1973년부터 관련 출원이 이루어지고 있으며, 대체적으로 1990년대 초반부터 최근까지 출원건수의 증감을 반복하면서 급격한 성장세로 출원이 증가하는 것으로 나타나는 바, 철도 차량의 승차감을 향상시키는 기술 개발이 시장의 니즈에 부합되는 기술 분야라고 파악됨

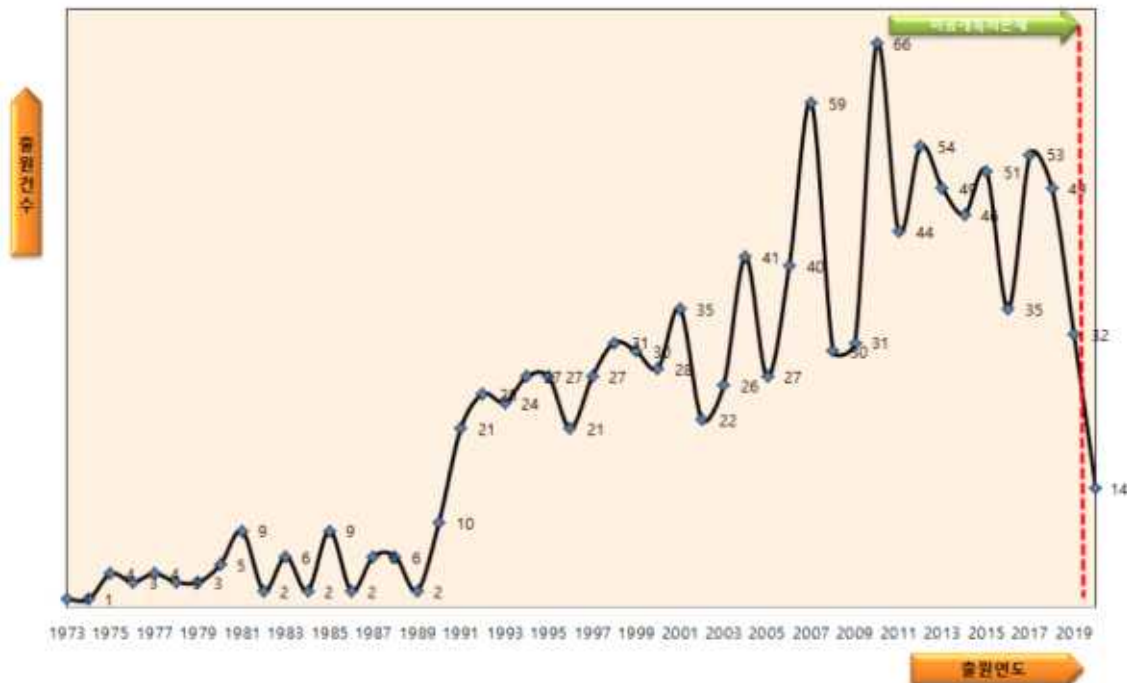


그림 4-8. 출원 연도별 특허출원 현황

○ 주요출원국의 연도별 특허출원 현황 및 점유율 분석

- 차량 진동 저감 및 예측기술 분야의 주요출원국별 출원 점유율을 살펴보면, 일본이 571건 (50%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 미국 178건(16%), 한국 169건 (15%), PCT 129건(11%) 및 유럽 96건(8%)의 순인 것으로 나타나는 바, 일본이 철도 차량 기술의 선두주자라고 파악됨
- 차량 진동 저감 및 예측기술 분야의 출원연도별 분포를 살펴보면, 일본은 1990년대 초반부터 최근까지 출원 건수의 증감을 반복하면서 왕성히 특허 활동을 수행하고 있는 것으로 나타남
- 미국은 1970년대부터 최근까지 출원 건수의 증감을 반복하면서 꾸준히 특허 활동을 수행하고 있는 것으로 나타남
- 한국은 1980년대 중반부터 차내 진동 기술에 대한 특허 활동을 시작하여 2000년 중반까지 완만한 증가세로 특허 활동을 수행하다, 2000년대 중반 이후 2010년대 중반까지 급격한 성장세로 특허 활동을 수행하다 2010년대 중반 이후 특허 활동이 감소되는 추세임

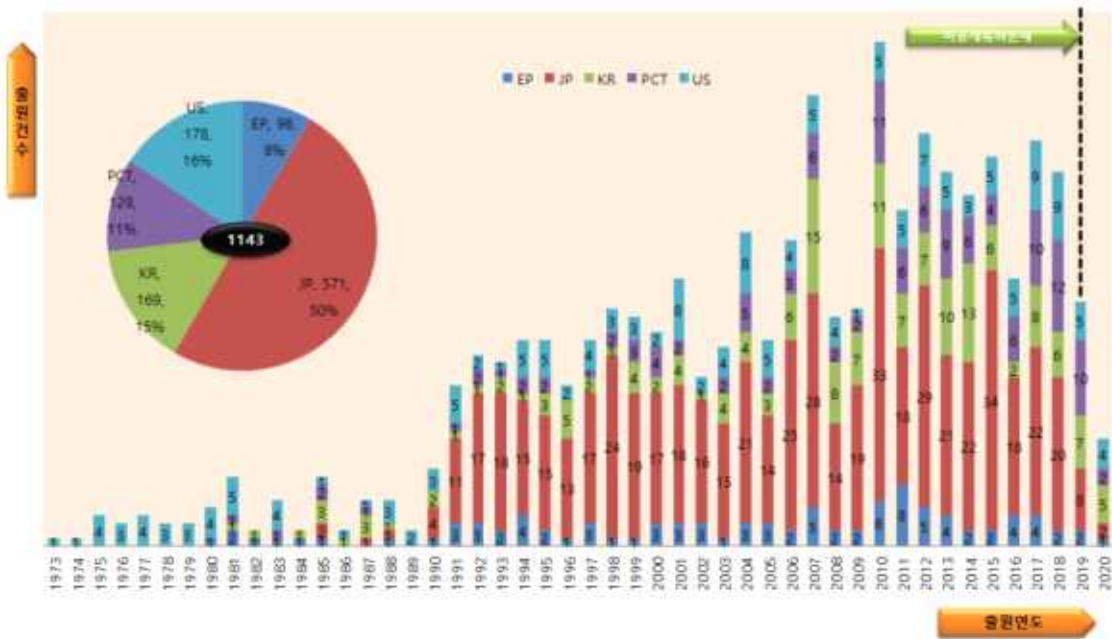


그림 4-9. 주요출원국의 점유율 및 출원연도별 특허출원 현황

○ 기술분류에 따른 연도별 특허동향 및 점유율 분석

- 차량 진동 저감 및 예측기술을 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)과, 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)로 분류하여, 기술분류별 점유율을 살펴보면, 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)은 53%의 점유율을 차지하고, 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)은 47%의 점유율을 차지하고 있는 것으로 나타남
- 기술분류에 따른 출원연도별 특허출원 현황을 살펴보면, 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)은 1970년대 내지 1980년대에는 특허활동이 미비하였으나, 1990년대 초반부터 최근까지 출원건수의 증감을 반복하면서 특허활동을 활발하게 수행하고 있는 것으로 나타남
- 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)은 1970년대 내지 2000년대 중반까지는 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)와 유사한 추세로 특허활동을 수행하다, 2000년대 중반이후 최근까지 급격한 성장세로 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타남
- 철도 차량의 진동 저감/승차감 향상 기술은 철도 차량의 진동 저감 기술(BA) 분야에서 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB) 분야로, 기술 개발의 방향이 변화되고 있는 것으로 분석됨

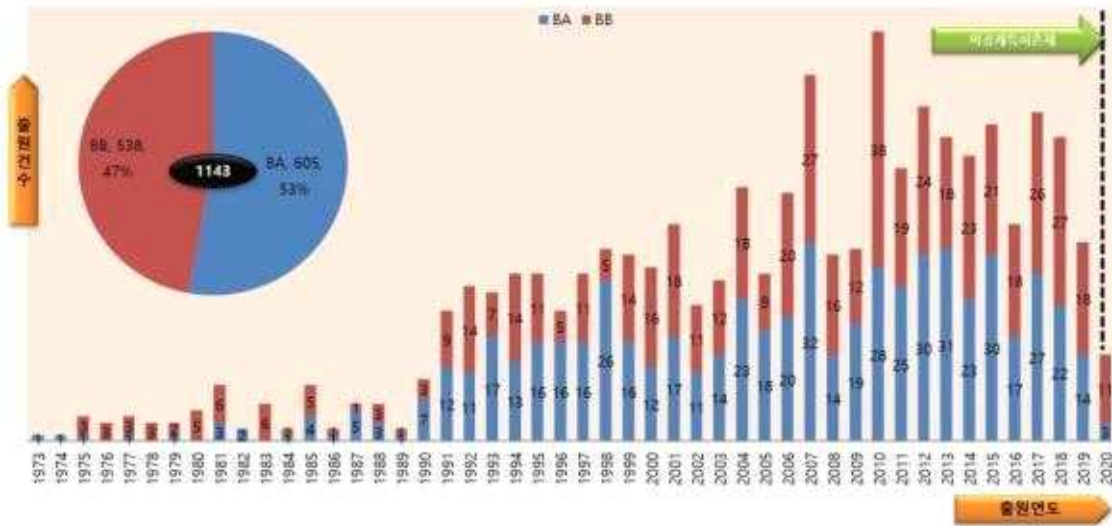


그림 4-10. 기술분류에 따른 점유율 및 출원연도별 특허출원 현황

○ 기술분류별 주요출원국의 특허출원 현황

- 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)은 일본이 404건(67%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 한국 102건(17%), 미국 43건(7%), PCT 31건(5%) 및 유럽 25건(4%)의 순인 것으로 나타남

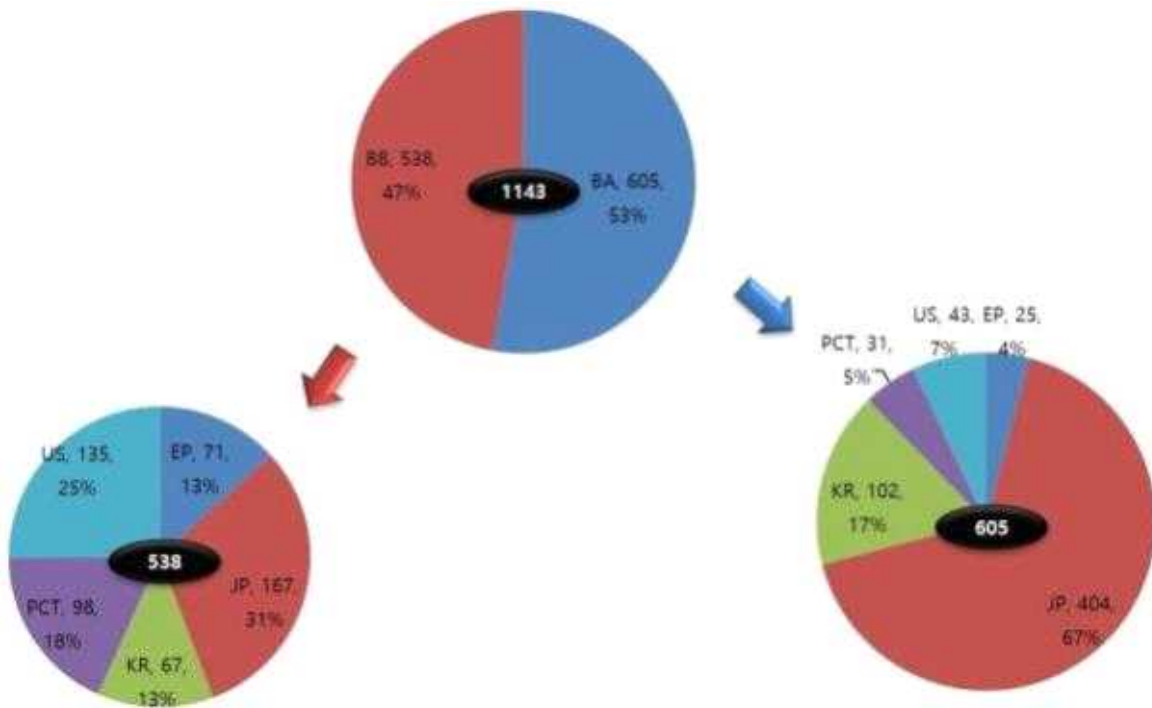


그림 4-11. 기술분류에 따른 주요출원국 점유율 분포

- 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)은 일본이 167건(31%), 미국이 135건(25%), PCT 98건(18%), 유럽이 71건(13%), 및 한국이 67건(13%) 순으로 나타남
- 기술분류별 주요출원국의 점유율 분포를 통해, 한국은 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)에 대한 기술 개발이 다른 국가들과 비교하여, 특허활동이 저조한 것으로 파악됨

○ 세부 기술별 IP 출원국 분석

- 차량 진동 저감 및 예측 기술 분야의 세부기술별 IP 출원국을 살펴보면, 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)은 일본과 한국에서 특허활동이 집중적으로 수행하고 있는 것으로 나타남
- 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)은 일본과 미국이 한국, 유럽 및 국제특허출원보다 출원건수는 많으나, 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)과 비교하여, 주요출원국인 일본, 미국, 한국, 유럽 및 국제특허출원(PCT)간의 출원건수의 차이가 크지 않아, 특정 국가에서만 요구되는 기술이 아니라 세계시장의 수요가 요구되는 기술에 속한다고 파악됨

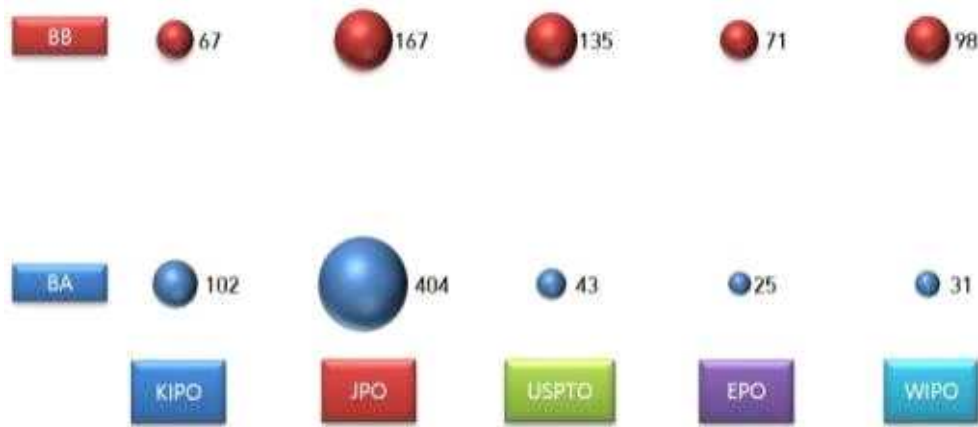


그림 4-12. 세부기술별 IP 출원국(버블의 크기: 출원 건수)

○ 주요출원인별 특허 동향

- 주요출원인의 주요출원국별 특허출원현황을 살펴보면, 일본의 HITACHI社가 100건으로 가장 활발한 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타나며, RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE(94건), 한국철도기술연구원(37건), CENTRAL JAPAN RAILWAY社(36건), EAST JAPAN RAILWAY社(27건), NIPPON STEEL社(21건), SUMITOMO METAL社(18건), KAWASAKI HEAVY社(15건), NISSAN MOTOR社(14건), HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS社(13건)의 순인 것으로 나타남
- 한국철도기술연구원은 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)에 대해 특허활동을 집중하고 있는 것으로 나타나며, 자국인 한국에 집중적으로 출원하고, 유럽과 국제특허출원(PCT)로만 해외출원을 진행하고 있는 것으로 나타나는 바, 해외출원에 다소 소극적인 모습을

보이고 있음



그림 4-13. 주요 출원인의 주요출원국별 특허출원 현황

- 1순위 주요출원인인 HITACHI社는 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)에 대해 특허활동을 집중하고 있는 것으로 나타나며, 일본 국적의 출원인으로서 자국인 일본에서의 특허활동이 가장 왕성하나, 유럽, 미국 및 국제특허출원을 수행하는 등 해외 출원도 수행하고 있는 것으로 나타남
- 2순위 주요출원인인 RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE는 일본 국적의 출원인으로서 자국인 일본에서 집중적으로 출원하고 있는 것으로 나타나는 바, 해외출원에 다소 소극적인 모습을 보이고 있고, 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)과 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB) 중 어느 한쪽에 치우치지 않고 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타남
- 차량 진동 저감 및 예측 기술은 전반적으로 자국 출원 집중도가 높은 기술 분야로 파악되며, 추후 해외권리화를 통한 기술 및 시장 선점 노력이 더욱 필요할 것으로 예상됨

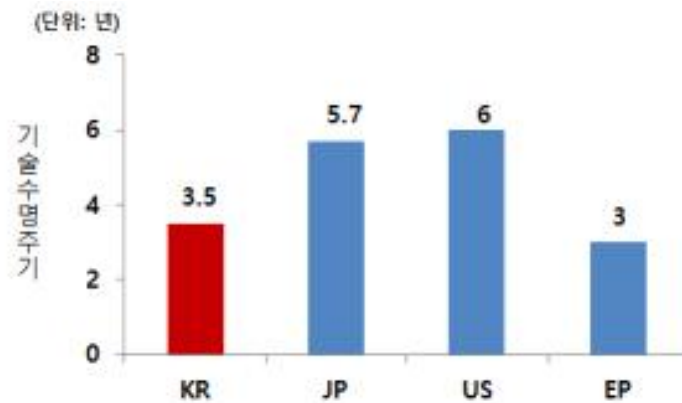


그림 4-14. 주요 출원인의 기술분류별 특허출원 현황

○ 기술수명주기 분석

- 차량 진동 저감 및 예측 기술 분야에 대한 주요 국가별 기술수명주기를 산출한 결과, 유럽이 3년으로 가장 낮은 기술수명주기를 보였고, 한국은 3.5년, 일본이 5.7년, 미국은 6.0년으로 나

- 타나, 동 기술분야에서 유럽 및 한국의 기술혁신 활동이 가장 활발한 것으로 나타났음
- 한국의 경우, 3.5년으로 기술혁신 활동이 활발하고, 개발된 기술의 수명이 상대적으로 짧은 것으로 조사되어, 활발한 연구개발 활동을 통해 해당 기술을 선도가능하다고 예상됨



○ 차량 진동저감 및 예측기술 특허분석 시사점

- 차량 진동 저감 및 예측기술 분야의 세부기술별 IP 출원국을 살펴보면, 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)은 일본과 한국에서 특허활동이 집중적으로 수행하고 있는 것으로 나타남
- 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)은 주요출원국인 일본, 미국, 한국, 유럽 및 국제특허출원(PCT)간의 출원건수의 차이가 크지 않아, 특정 국가에서만 요구되는 기술이 아니라 세계시장의 수요가 요구되는 기술에 속한다고 파악됨
- 철도 차량의 진동 저감 기술(BA) 분야에서, 상위 10개의 주요출원인 중 9개의 주요출원인이 일본 국적을 가진 출원인으로서, 일본이 철도 차량의 진동 저감 기술을 선도하고 있는 것으로 파악되며, 나머지 주요출원인인 한국철도기술연구원은 자국인 한국에 집중적으로 출원하고, 유럽과 국제특허출원(PCT)로만 해외출원을 진행하고 있는 것으로 나타나는 바, 해외출원에 다소 소극적인 모습을 보이고 있음
- 철도 차량의 진동을 시뮬레이션/측정하는 기술(BB)에 대한 주요출원인의 주요출원국에 대한 특허출원현황을 살펴보면, 철도 차량의 진동 저감 기술(BA)과 비교하여 주요출원인의 해외 출원 빈도가 높은 것으로 파악됨
- 기술분류별 동향 및 주요출원인의 주요출원국에 대한 출원분포를 통해, 한국철도기술연구원은 자국인 한국 출원의 집중도가 높은 것으로 파악되는 바, 고속철 시장의 유망성을 고려하면, 추 후 해외권리화를 통한 기술 및 시장 선점 노력이 더욱 필요할 것으로 예상됨

□ 철도차량 주행저항 저감 기술 분야

○ 출원년도별 특허 동향

- 전체 연도별 출원 동향에 따라 살펴보면, 주행저항 저감기술은 1970년대 초반부터 관련 출원

이 이루어지고 있으며, 대체적으로 1990년대 초반부터 최근까지 출원건수의 증감을 반복하면서 급격한 성장세로 출원이 증가하는 것으로 나타남

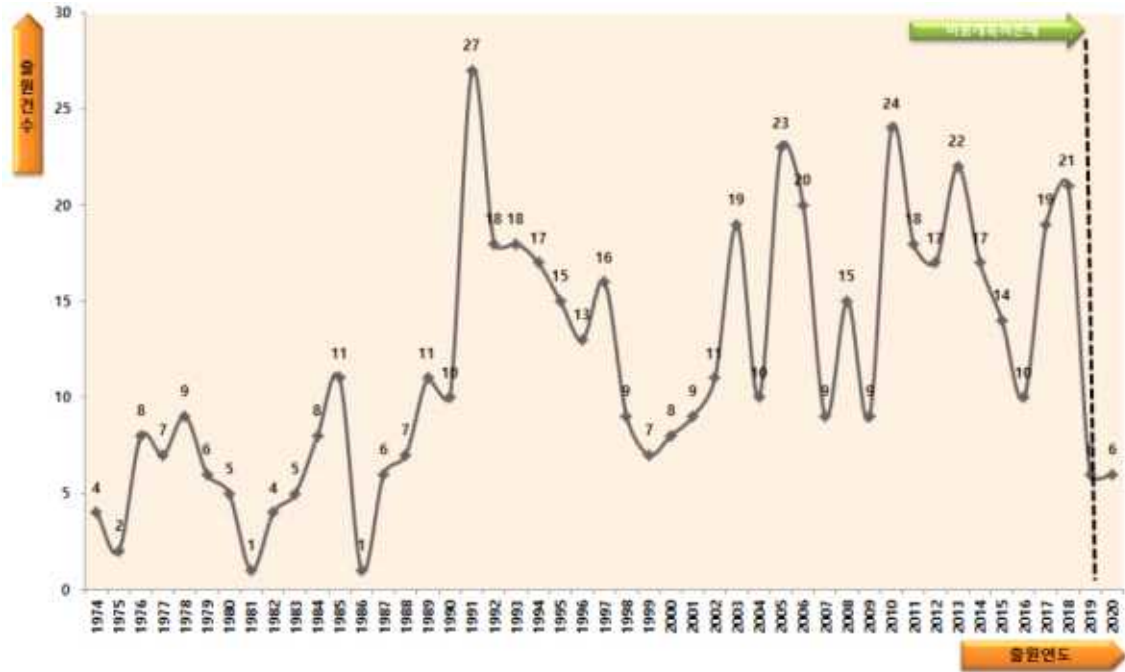


그림 4-16. 출원 연도별 특허출원 현황

○ 주요출원국의 연도별 특허출원 현황 및 점유율 분석

- 주행저항 저감기술 분야의 주요출원국별 출원 점유율을 살펴보면, 일본이 205건(37%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 미국 159건(29%), 유럽이 82건(15%), PCT 60건(11%) 및 한국 46건(8%)의 순으로 나타나는 바, 한국은 일본, 미국 및 유럽에 비교하여 주행저항기술 분야에서 후발주자인 것으로 파악됨
- 주행저항기술 분야의 출원연도별 분포를 살펴보면, 미국은 1970년대부터 최근까지 출원건수의 증감을 반복하면서 꾸준히 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타나는 바, 주행저항기술에서 미국이 원천특허를 확보하고 있을 가능성이 높을 것으로 파악됨
- 일본은 1980년대 초반부터 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타나는 바 1970년대 초반부터 특허활동을 수행한 미국보다 개발 주기가 10년 늦었으나, 점유율 분포 및 출원연도별 분포로부터 특허활동 수행 후 해당기술에 대해 미국보다 집중적으로 특허활동을 수행하고 있는 것으로 파악됨

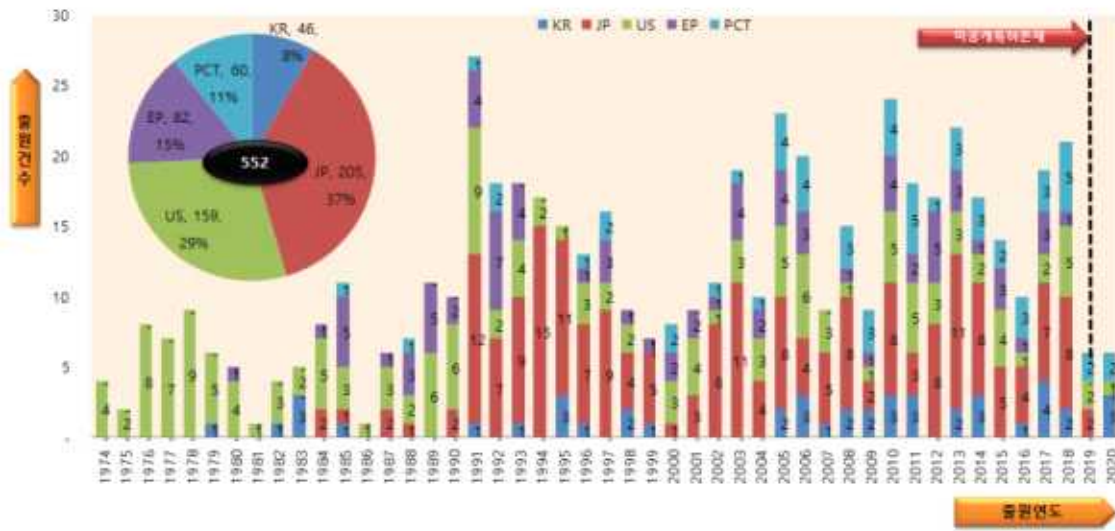


그림 4-17. 주요출원국의 점유율 및 출원 연도별 특허출원 현황

○ 기술분류에 따른 연도별 특허 동향 및 점유율 분석

- 주행저항 저감기술은 철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA), 주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)과, 주행저항이 반영된 철도차량기술(CC)로 분류되고, 기술분류별 점유율을 살펴보면 다음과 같음
- 철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA)은 14%의 점유율, 주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)은 13%의 점유율, 그리고, 주행저항이 반영된 철도차량기술(CC)은 73%의 점유율을 차지하고 있는 것으로 나타남
- 기술분류에 따른 출원연도별 특허출원 현황을 살펴보면, 철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA) 및 주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)은 1990년대 초반부터 최근까지 출원 건수의 증감을 반복하면서 완만한 성장세로 특허활동을 활발하게 수행하고 있는 것으로 나타남
- 주행저항이 반영된 철도차량기술(CC)은 1970년대 내지 1990년대 초반까지는 급격한 증가세로 특허출원을 수행하고, 1990년대부터 최근까지 출원건수의 증감을 반복하면서 완만한 증가세로 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타남

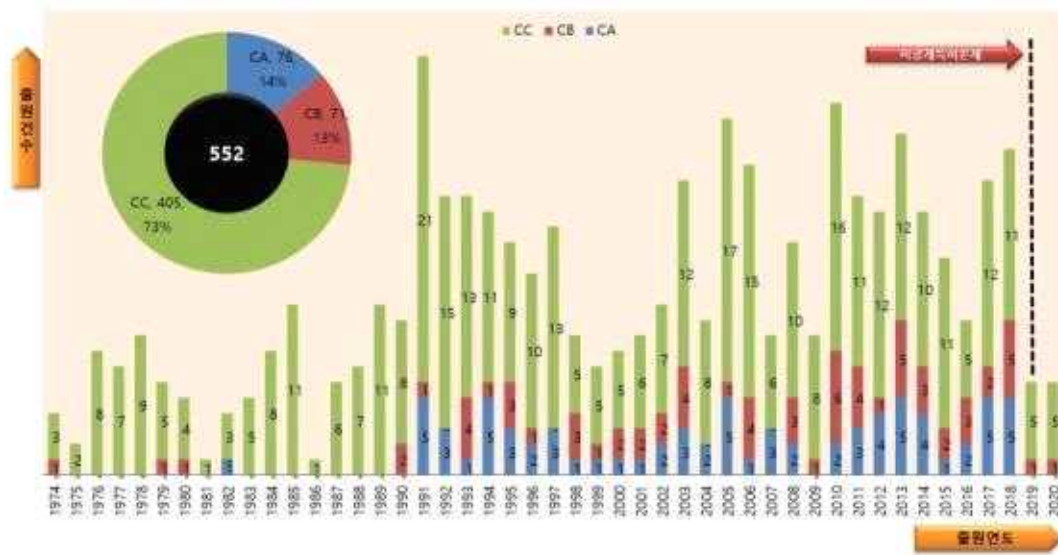


그림 4-18. 기술분류에 따른 점유율 및 출원 연도별 특허출원 현황

○ 기술분류별 주요출원국의 특허출원 현황

- 철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA)은 일본이 59건(78%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 한국 15건(20%) 및 PCT 2건(2%)의 순인 것으로 나타남
- 주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)은 일본이 45건(63%), 한국이 14건(20%), 미국이 6건(8%), 유럽이 4건(6%) 및 PCT 2건(3%)의 순으로 나타남
- 주행저항이 반영된 철도차량기술(CC)은 미국이 153건(38%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 일본이 101건(25%), 유럽이 79건(19%), PCT 56건(14%) 및 한국 17건(4%)의 순인 것으로 나타남

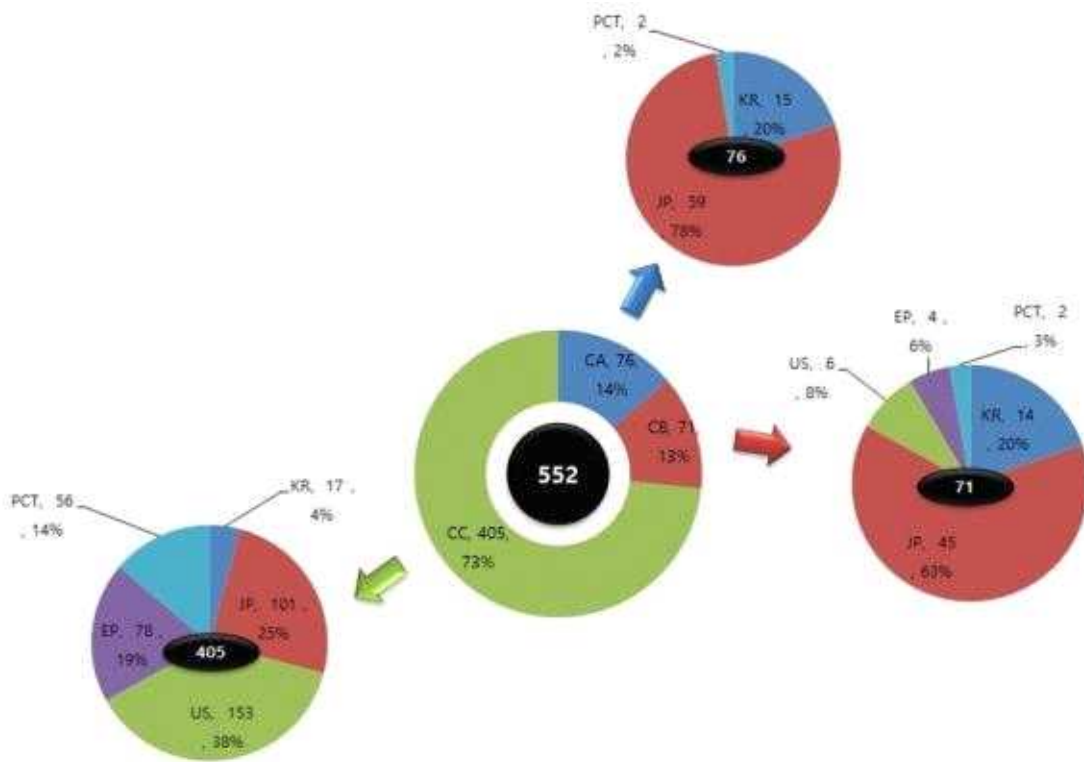


그림 4-19. 기술분류에 따른 주요출원국 점유율 분포

○ 세부 기술별 IP 출원국 분석

- 주행저항기술 분야의 세부기술별 IP 출원국을 살펴보면, 한국은 철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA), 주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)와 주행저항이 반영된 철도차량기술(CC)에 걸쳐 고르게 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타남
- 철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA) 및 주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)은 일본과 국제특허출원(PCT)으로 특허활동이 집중적으로 수행되고 있는 것으로 나타남

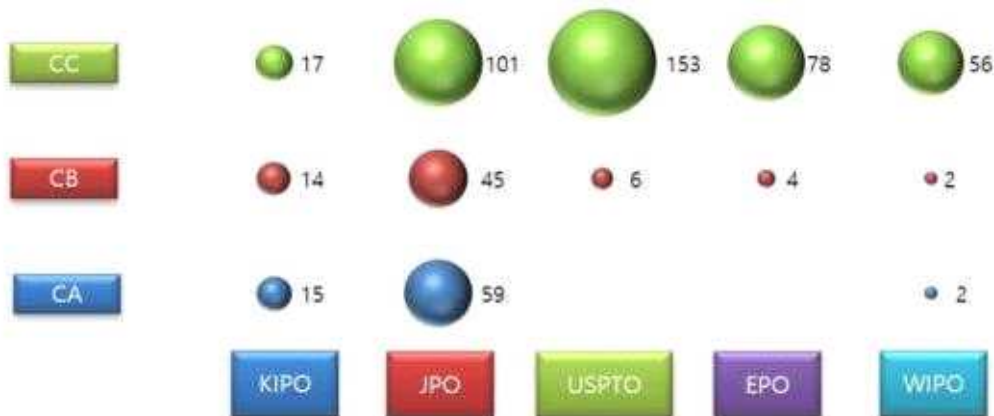


그림 4-20. 세부 기술별 IP 출원국(버블의 크기: 출원 건수)

○ 주요출원인별 특허 동향

- 주요출원인의 주요출원국별 특허출원현황을 살펴보면, 일본의 HITACHI社가 35건으로 가장 활발한 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타나며, RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE(27건), CENTRAL JAPAN RAILWAY社(17건), Westinghouse Air Brake Technologies Corporation(13건), TOSHIBA社(12건), TOYOTA MOTOR社(11건), EUROPEAN TRAILER SYSTEMS GMBH(10건), 한국철도기술연구원(9건), Holland Company(7건) 및 KAWASAKI HEAVY社(7건)의 순인 것으로 나타남

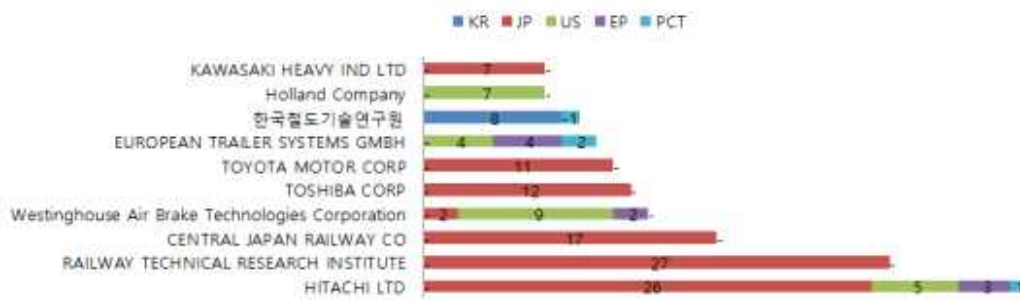


그림 4-21. 주요 출원인의 주요출원국별 특허출원 현황 >

- 1순위 주요 출원인인 HITACHI社는 철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA)에 대해 특허활동을 집중하고 있는 것으로 나타나며, 일본 국적의 출원인으로서 자국인 일본에서의 특허활동이 가장 왕성하나, 유럽, 미국 및 국제특허출원을 수행하는 등 해외 출원도 수행하고 있는 것으로 나타남
- 2순위 주요 출원인인 RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE는 일본 국적의 출원인으로서 자국인 일본에서 집중적으로 출원하고 있는 것으로 나타나는 바, 해외출원에 다소 소극적인 모습을 보이고 있음
- 한국철도기술연구원은 자국인 한국에 집중적으로 출원하고, 국제특허출원(PCT)로만 해외출원을 진행하고 있는 것으로 나타나는 바, 해외출원에 다소 소극적인 모습을 보이고 있음
- 주행저항기술은 전반적으로 자국 출원 집중도가 높은 기술 분야로 파악되며, 추후 해외권리화를 통한 기술 및 시장 선점 노력이 더욱 필요할 것으로 예상됨

○ 기술수명주기 분석

- 주행저항 저감기술 분야에 대한 주요 국가별 기술수명주기를 산출한 결과, 한국이 5.125년으로 가장 낮은 기술수명주기를 보였고, 일본이 7.36년, 유럽은 14년으로 나타나, 동 기술분야에서 한국의 기술혁신 활동이 가장 활발한 것으로 나타났음
- 한국의 경우, 3.5년으로 기술혁신 활동이 활발하고, 개발된 기술의 수명이 상대적으로 짧은 것

으로 조사되어, 활발한 연구개발 활동을 통해 해당 기술을 선도 가능하다고 예상됨



그림 4-22. 주행저항 저감기술 분야 국가별 기술수명

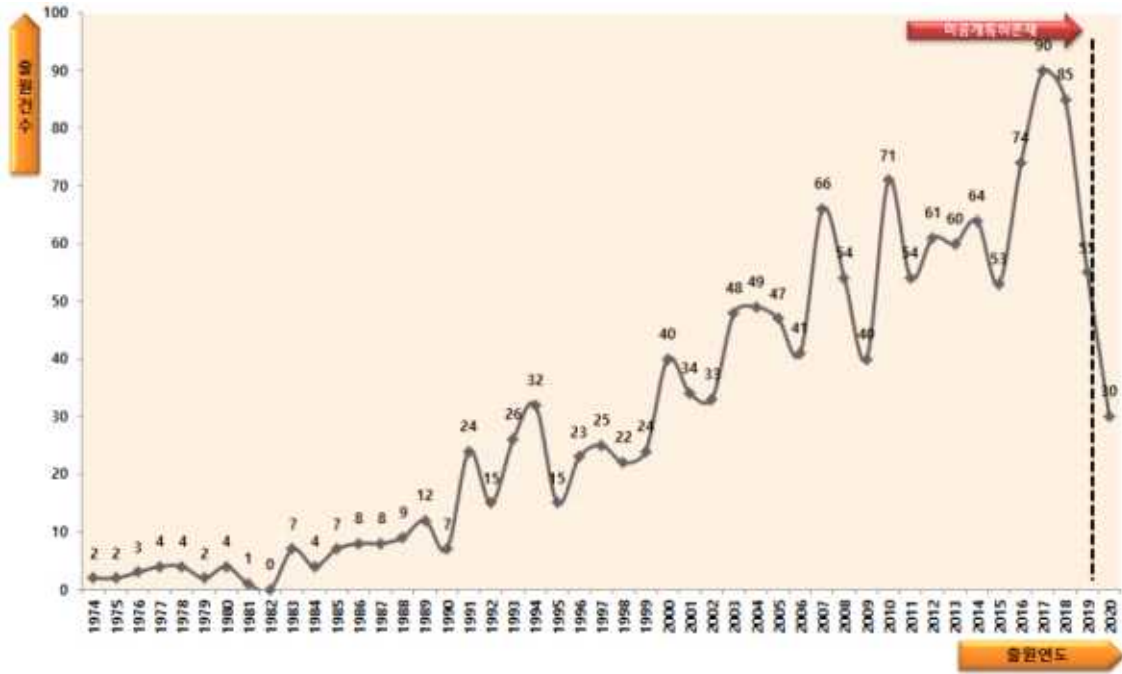
○ 주행저항 저감기술 특허분석 시사점

- 주행저항기술은 전반적으로 자국 출원 집중도가 높은 기술 분야로 파악되며, 추후 해외권리화를 통한 기술 및 시장 선점 노력이 더욱 필요할 것으로 예상됨
- 철도 차량의 주행저항기술은 주행저항이 고려된 철도 차량 기술(CC)의 점유율이 가장 크고, 주행저항을 저감시키거나 모의하는 기술은 상대적으로 기술 개발이 활발하지 않은 것으로 파악됨
- 주행저감기술(CA) 및 주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)에 대해서, 미국과 유럽과 비교하여, 일본과 한국에서의 기술개발이 활발한 것으로 파악됨
- 철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA) 및 주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)은 일본과 국제특허출원(PCT)으로 특허활동이 집중적으로 수행되고 있는 것으로 나타남
- 다만, 한국은 철도 차량의 주행저항 저감 기술(CA), 주행저항 모의/주행저항 반영된 차량 시험 기술(CB)와 주행저항이 반영된 철도차량기술(CC)에 걸쳐 고르게 특허활동을 수행하고 있음

□ 고속철도차량 안전감시·진단 기술 분야

○ 출원년도별 특허 동향

- 안전감시/진단 기술은 1970년대 초반부터 관련 출원이 이루어지고 있으며, 최근까지 출원건수의 증감을 반복하면서 급격한 성장세로 출원이 증가하는 것으로 나타남



< 출원연도별 특허출원 현황 >

○ 주요출원국의 연도별 특허출원 현황 및 점유율 분석

- 안전감시/진단 기술 분야의 주요출원국별 출원 점유율을 살펴보면, 일본이 428건(30%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 한국이 281건(19%), 유럽이 275건(19%), 미국 259건(18%), PCT 196건(14%)의 순으로 나타남
- 점유율 분포를 살펴보면, 각각의 주요출원국은 출원건수의 차이는 있으나, 점유 비율에 있어서 큰 차이가 존재하지 않은 바, 해당기술은 철도 차량의 필수 요소 기술이라 파악됨
- 안전감시/진단 기술 분야의 출원연도별 분포를 살펴보면, 주요출원국 각국은 1990년대 초반 이후부터 출원건수의 증감을 반복하면서 급격한 성장세로 해당기술에 대한 특허활동을 수행하고 있는 것으로 파악되는 바, 해당 기술은 철도 차량 시장에서 요구되는 기술분야라고 파악됨

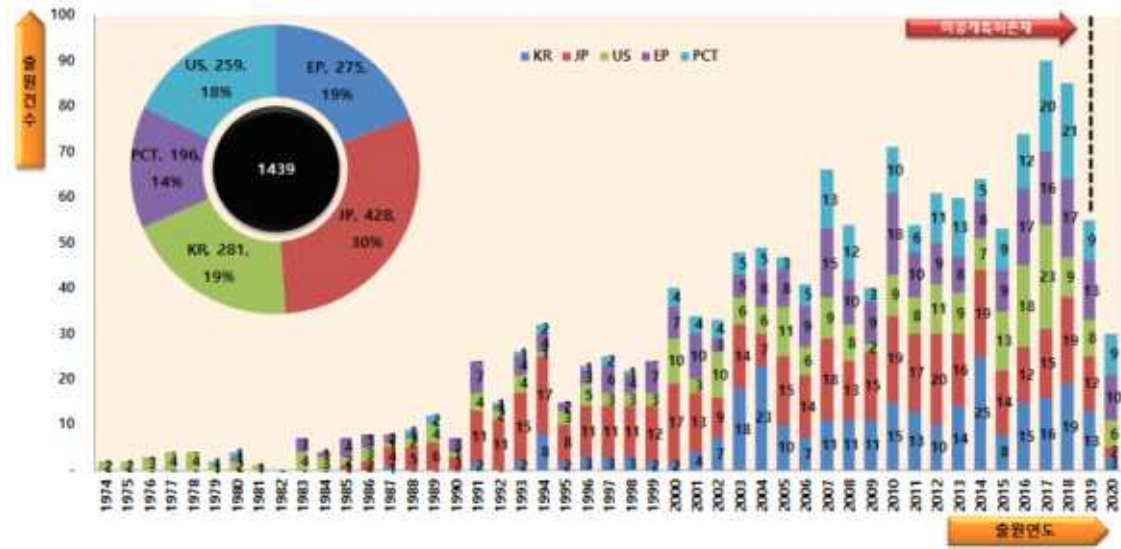


그림 4-24. 주요출원국의 점유율 및 출원연도별 특허출원 현황

○ 기술분류에 따른 연도별 특허동향 및 점유율 분석

- 안전감시/진단 기술은 철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA), 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)과, 최적 운행 지원 기술(DC)로 분류되고, 기술분류별 점유율을 살펴보면 다음과 같음
- 안전감시/진단 기술 분야의 기술분류별 출원 점유율을 살펴보면, 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)은 598건(42%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어, 철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA)이 494건(34%), 그리고, 최적 운행 지원 기술(DC)이 347건(24%)의 순으로 나타나, 차량 상태의 모니터링 수집 및 진단 기술에 대한 기술개발이 가장 활발한 것으로 파악됨
- 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)은 2000년대 초반이후 최근까지 급격한 성장세로 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타나는 바, 해당 기술은 데이터 수집 및 가공 기술의 발달에 따라 철도 차량의 상태에 대한 모니터링 기술 개발도 활발하게 진행되고 있는 것으로 파악됨

○ 기술분류별 주요출원국의 특허출원현황

- 철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA)은 일본이 109건(22%), 한국이 106건 (22%), 미국이 105건(21%), 유럽이 103건 (21%), 그리고, PCT가 71건 (14%) 순으로 나타는바, 주요출원국 각국의 출원 비율이 21~22% 범위 내로서, 해당기술은 각국에서 제작하고 있는 철도 차량에 필수적으로 적용되는 기술이라 파악됨
- 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)은 유럽이 153건 (26%), 미국이 132건 (22%), PCT가 122건 (20%), 일본이 106건 (18%), 그리고, 한국이 85건 (14%)의 순으로 나타나는 바, 해당기술은 유럽 및 미국에서의 특허활동이 활발한 것으로 나타남
- 최적 운행 지원 기술(DC)은 일본이 213건(61%), 한국이 90건 (26%), 미국이 22건 (6%),

유럽이 19건 (6%), 그리고 PCT가 3건 (1%)의 순으로 나타나는 바, 일본이 최적 운행 지원 기술의 선두주자라고 파악됨

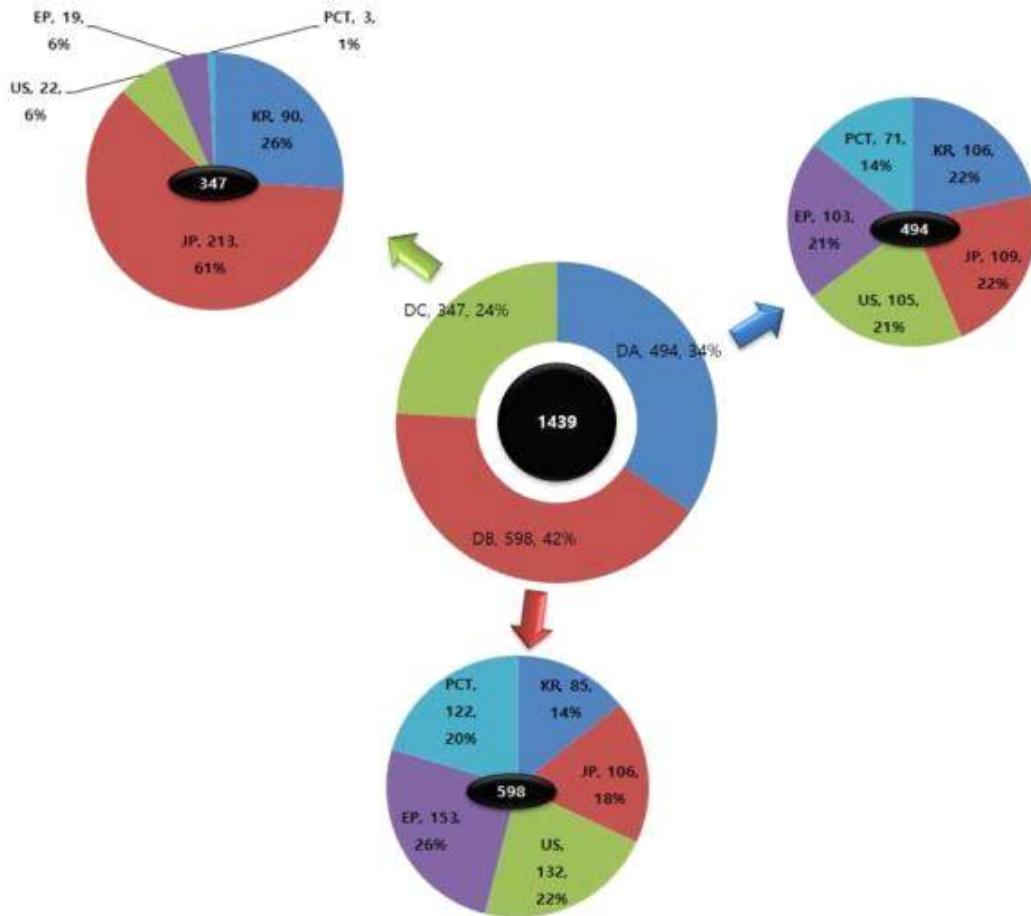


그림 4-25. 기술분류에 따른 주요출원국 점유율 분포

○ 세부 기술별 IP 출원국 분석

- 안전감시/진단 기술 분야의 세부기술별 IP 출원국을 살펴보면, 한국은 철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA), 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)와 최적 운행 지원 기술(DC)에 걸쳐 고르게 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타남
- 철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA) 및 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)은 주요 출원국 각국에서의 출원 비율에 있어서 큰 차이가 없이, 주요출원국 각각에서의 특허활동이 진행되고 있는 것으로 파악됨
- 다만, 최적 운행 지원 기술(DC)은 일본과 한국에서 특허활동이 집중적으로 수행되고 있는 것으로 나타남

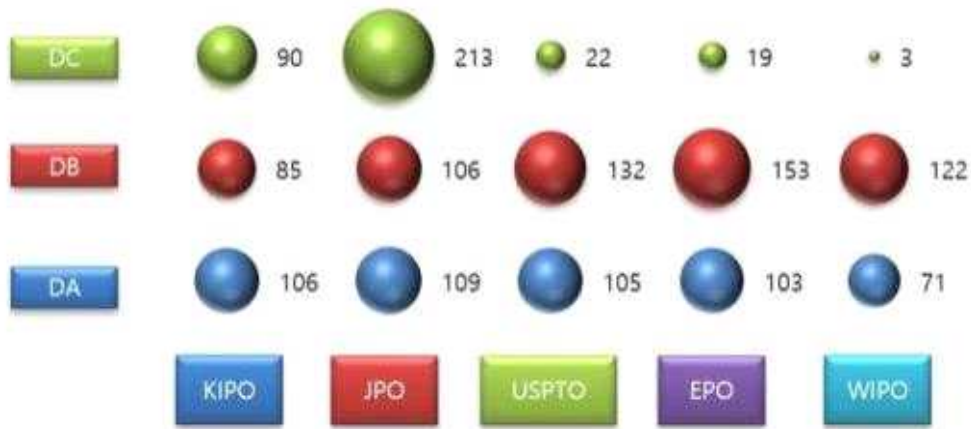


그림 4-26. 세부기술별 IP 출원국(버블의 크기: 출원 건수)

○ 주요출원인별 특허 동향

- 주요출원인의 주요출원국별 특허출원현황을 살펴보면, 한국철도기술연구원(89건), HITACHI LTD(81건), MITSUBISHI ELECTRIC CORP(80건), SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT(65건), ALSTOM(45건), RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE(41건), GENERAL ELECTRIC COMPANY(34건), TOSHIBA CORP(26건), NIPPON SIGNAL CO LTD(25건) 및 한국철도공사(23건) 순으로 나타남
- 기술분류별 및 주요출원국별 특허출원 현황을 살펴보면, 1순위 주요출원인은 한국철도기술연구원은철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA), 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)과 최적 운행 지원 기술(DC)에 출원비율이 다소 상이하나, 특정 분야에 집중하지 않고 균형있게 특허활동을 수행하고 있으나, 한국에서의 특허활동이 집중하고 있어, 해외출원에 다소 소극적인 모습을 보이는 것으로 파악됨
- 2순위인 HITACHI LTD와 3순위인 MITSUBISHI ELECTRIC CORP은 철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA)보다는 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)과 최적 운행 지원 기술(DC) 분야에 특허 출원활동을 집중하고 있는 것으로 나타나며, 한국과 마찬가지로 자국인 일본에서의 특허활동에 집중하고 있는 것으로 나타남

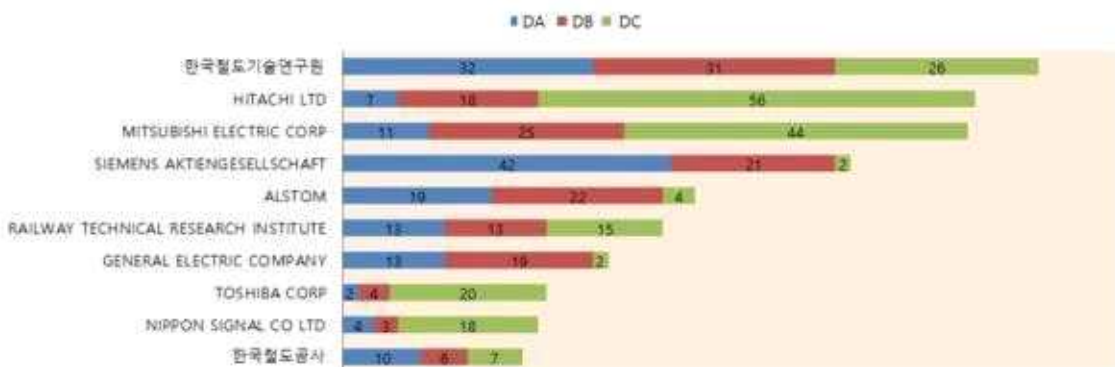


그림 4-27. 주요 출원인의 기술분류별 특허출원 현황

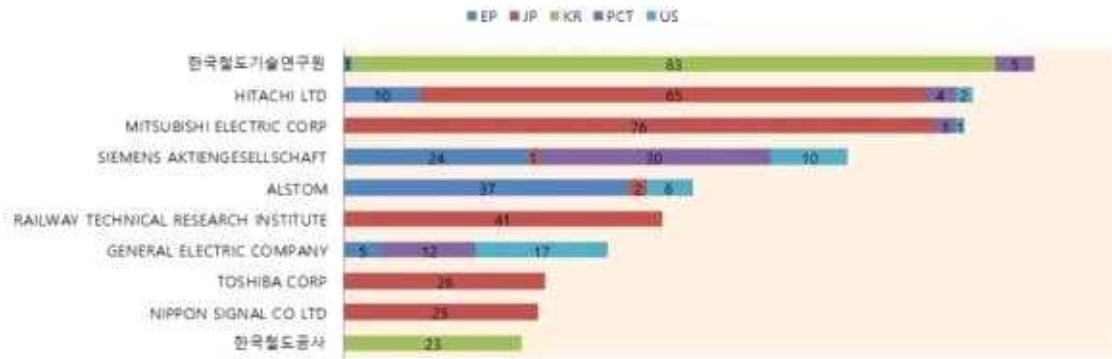


그림 4-28. 주요 출원인의 주요출원국별 특허출원 현황

○ 기술수명주기 분석

- 안전감시/진단 기술 분야에 대한 주요 국가별 기술수명주기를 산출한 결과, 주요출원국의 기술 수명수기는 일본이 5.625년, 한국이 6년, 그리고 미국이 6.5년의 순으로 나타남
- 안전감시/진단 기술 분야는 주요출원국인 한국, 미국 및 일본 간의 기술수명주기가 5.6년에서 6.5년 사이로, 각국 간의 기술수명주기가 1년 남짓으로 크게 차이가 없는 바, 해당기술은 평균 6년의 기술수명을 가지는 것으로 파악됨

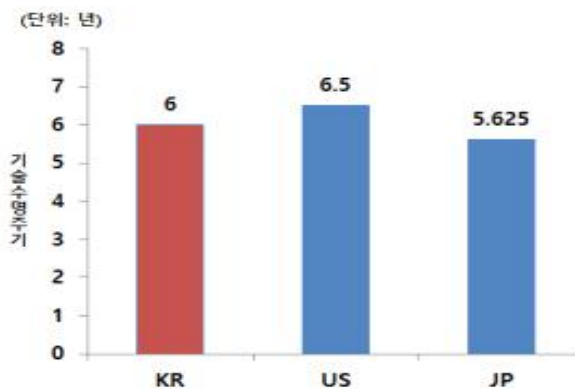


그림 4-29. 주행저항 저감기술 분야 국가별 기술수명

○ 안전감시/진단 기술 특허분석 시사점

- 한국은 철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA), 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)와 최적 운행 지원 기술(DC)에 걸쳐 고르게 특허활동을 수행하고 있는 것으로 나타남
- 철도 차량의 안전 항목 감시 기술(DA 및 차량 상태 모니터링 수집 및 진단 기술(DB)은 주요 출원국 각국에서의 출원 비율에 있어서 큰 차이가 없이, 주요출원국 각각에서의 특허활동이 진행되고 있는 것으로 파악됨
- 다만, 최적 운행 지원 기술(DC)은 일본과 한국에서 특허활동이 집중적으로 수행되고 있는 것으로 나타남

4-3. R&D 투자동향 분석

□ 분석 개요

- (목적) 고속철도차량 관련 기술의 국가연구개발(R&D) 투자 동향분석을 통해 국내 연구개발 역량 진단 및 향후 R&D 방향성을 위한 참고자료로 활용
- (조사범위) 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)의 DB를 통해, 최근 5년('16~'20년)간 추진된 국가연구개발사업 및 과제 검색
 - 연구목표, 연구내용 등에 관련 키워드로 DB 추출
 - ※ 고속철도차량 관련 키워드로 '고속철도', '고속열차'를 입력 후 과제 DB 추출
 - 전 부처 소관 R&D 사업 중 고속철도 분야에 해당되는 R&D 과제를 대상으로 함
 - 국토교통부 철도기술연구사업은 최근 5년간 해당 R&D 전체 과제를 대상으로 도출함
- (분석대상) NTIS를 통해 총 841개가 검색되었으며, 내부 검토를 통해 최종 221개의 관련 과제를 선별*하여 고속철도차량 기술 R&D 투자 현황 및 추이 분석에 활용
 - ※ 자동차, 지하철 등 고속열차와 관련성이 낮은 경우, 조사범위에 미포함되는 경우 등은 제외
 - 각 부처별 철도기술 분야 R&D 과제 중 고속철도차량과 관련되는 과제를 대상으로 기술분류표를 기준으로 분석함
 - ※ 국토교통부, 과학기술정보통신부, 중소벤처기업부, 산업통상자원부, 교육부 등 5개 정부 부처의 R&D 과제가 철도교통과 관련됨
 - 최종 선정된 과제에 대해서 고속철도 관련 기술분야를 다음의 기술분류체계(<표 1-1> 참고)에 따라, 대분류 및 중분류로 세분화하여 분석에 활용함

표 4-4. 고속철도차량 기술분류표

대분류	중분류	세부분류
고속철도 차량 핵심장치	추진시스템	주변압기
		주전력변환장치
		견인전동기
	집전시스템	판토그래프
		고압보호회로
	보조전원시스템	보조전원장치
		냉난방환기장치
		Battery Charger
	주행장치	대차
		현가장치
		차륜/윤축
		감속구동장치
	제동장치	기계제동장치
		전기제동장치
	차체/차내설비	차체
		차량연결기
		의장/내장
	열차제어시스템	열차제어진단장치
ATC/ATS/ATP		
운전지원시스템		
고속철도 시스템 성능	고속철도 시스템 및 평가	시스템엔지니어링
		차량 시험평가 기술
		차량 안전운행 감시
	주행성능	주행안정성
		소음
		진동
		승차감
		공기역학
		Slip/Slie 예측 제어
	운영 / 환경	유지보수
		전자계 환경
		경제 운전

□ 국가 R&D 중 철도분야 R&D 현황

- 최근 5년간 국토교통분야 R&D 투자비(23,140억 원)는 국가 R&D 투자비(102.6조원)에 비해 평균 2.25% 규모에 해당하는 수준임
 - 철도분야 R&D는 최근 5년간('16~'20년) 정부출연금 기준으로 총 6,800억 원이 투자되었으며, 이는 국가 R&D의 0.66% 규모에 해당하는 수준임
 - 국가 R&D 투자비는 최근 5년간 지속적으로 증가하는 추세인 반면, 철도분야 R&D 투자비는 2018년 대비 -5.8%('19년), -11.3%('20년)으로 감소하는 추세임

표 4-5. 국가 R&D 및 철도분야 R&D 투자규모 (단위: 억 원)

분 류	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	합 계
국가 R&D (A)	190,044	193,927	197,759	206,254	238,803	1,026,787
국토교통분야 R&D (B)	4,075	4,329	4,667	4,822	5,247	23,140
국토교통분야 R&D 비중 (B/A)	2.14%	2.23%	2.36%	2.34%	2.20%	2.25%
철도분야 R&D (C)	1,450	1,546	1,370	1,290	1,144	6,800
철도분야 연구비 비중 (C/A)	0.76%	0.80%	0.69%	0.63%	0.48%	0.66%

* 자료 : 1) 과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원, 2019 국가연구개발사업 조사분석보고서, 2020.8
 2) NTIS '철도' 사업예산 데이터 기준



그림 4-30. 연도별 국가 R&D 및 철도분야 R&D 투자 추이('16~'20년)

□ 부처별 R&D 투자 현황

- 최근 5년간('16~'20년) 부처별 철도분야 R&D 연구비는 국토교통부(총 2,249억 원, 85.1%)와 과학기술정보통신부(총 198억 원, 7.5%)에서 주로 투자함
- 국토교통부는 2016년에 최대 602.8억 원을 투자하였으나 이후 투자가 감소세임
- 과학기술정보통신부는 2017년 최대 63.8억 원을 투자한 후, 2018년에는 37.3억 원으로 '17년 대비 -41.6% 감소한 후 2019년부터 증가 추세 지속됨

표 4-6. 부처별 연도별 철도분야 R&D 투자 규모(단위: 백만원)

부처명	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	합 계
국토교통부	60,281	59,227	52,526	37,595	15,293	224,922
과학기술정보통신부	-	6,382	3,729	4,071	5,621	19,803
중소벤처기업부	778	1,104	689	182	-	2,753
산업통상자원부	425	-	-	-	-	425
교육부	16,152	50	38	50	50	16,340
합 계	77,635	66,764	56,981	41,899	20,964	264,243

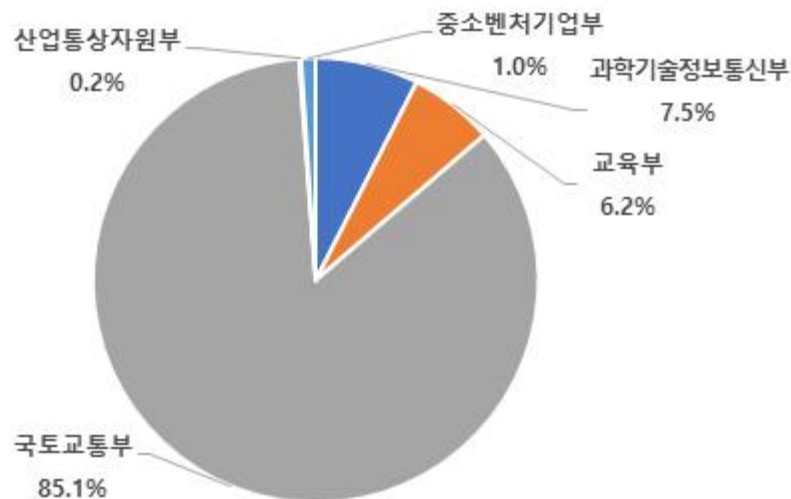


그림 4-31. 주요 부처별 철도분야 R&D 투자 비중('16~'20년)

(단위 : 억 원)



그림 4-32. 주요 부처의 연도별 철도 R&D 투자 추이('16~'20년)

□ 기술 분류별

- 최근 5년간 과학기술 분류 중 고속철도 기술 분야는 1,322.16억 원으로 약 50% 비중을 차지하고 있었으며, 고속철도기술 분류 외 기타는 1,320.25억 원이었음
 - 이 중 “고속철도기술 차량 핵심장치” 기술 분야가 742.98억 원(56.2%)으로 가장 높은 예산이 투자되었으며 “고속철도 시스템 성능” 기술 분야 579.18억 원(43.8%)으로 투자됨
- “고속철도기술 차량 핵심장치” 기술 분야는 2016년에 209.97억 원으로 가장 높은 연구비 투자를 받았으며, 그 이후 감소와 증감변동하며 감소추세를 보임
- “고속철도 시스템 성능” 기술 분야는 2018년에 198.85억 원으로 가장 높은 투자를 받은 후에 꾸준히 감소하여, 2020년에는 -82.5%('18년 대비) 감소하여 34.72억 원의 연구비가 투자됨

표 4-7. 과학기술분류 중 고속철도 기술 분류에 따른 연도별 투자 현황 ('16~'20년)

(단위 : 억 원)

대분류	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	합 계 (비율)
고속철도기술분야	294.23	345.87	305.61	226.65	149.81	1,322.16 (50.0%)
고속철도 차량 핵심장치	209.97	167.27	106.76	143.89	115.08	742.98 (56.2%)
고속철도 시스템 성능	84.26	178.60	198.85	82.76	34.73	579.18 (43.8%)
기타	482.12	321.76	264.19	192.33	59.83	1,320.25 (50.0%)
합 계	776.35	667.63	569.80	418.98	209.64	2,642.42 (100%)



그림 4-33. 연도별 고속철도기술 분야 투자 추이('16~'20년)

□ 기술수명주기

- 고속철도기술분야의 기술수명주기별 투자 현황을 살펴보면, 성장기(49.2%)의 기술개발에 집중 투자됨
- 기술수명주기별 투자 현황을 살펴보면 성장기(49.2%)의 기술개발 투자 규모가 가장 크며, 도입기(28.1%), 성숙기(19.6%), 기타(3.2%) 순으로 기술개발 투자됨

표 4-8. 고속철도기술 분야의 기술수명주기별 연도별 R&D 투자 규모

(단위 : 억 원)

기술수명주기	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	합 계 (비율)
도입기	284.62	186.07	169.78	85.25	16.54	742.27 (28.1%)
성장기	329.59	345.50	250.46	229.06	146.11	1,300.72 (49.2%)
성숙기	125.63	135.57	111.90	97.70	46.49	517.29 (19.6%)
기 타	36.51	0.50	37.66	6.98	0.50	82.15 (3.2%)
합 계	776.35	667.64	569.81	418.99	209.64	2,642.42 (100%)

□ 연구개발단계

- 고속철도기술분야의 연구개발단계별 투자 현황을 살펴보면, 개발연구 단계(79.6%)의 기술개발에 집중 투자됨
- 연구개발단계별 살펴보면 개발연구단계(79.6%)의 기술개발 투자 규모가 가장 크며, 응용연구 (12.8%), 기초연구(6.6%), 기타(1.1%) 순으로 기술개발 투자됨

표 4-9. 고속철도기술 분야의 연구개발단계별 연도별 R&D 투자 규모

(단위 : 억 원)

연구개발단계	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	합 계 (비율)
기초연구	88.56	40.85	20.28	17.77	6.66	174.12 (6.6%)
응용연구	126.34	108.83	58.54	28.38	15.50	337.58 (12.8%)
개발연구	532.82	517.96	490.99	372.84	187.48	2,102.08 (79.6%)
기 타	28.64	-	-	-	-	28.64 (1.1%)
합 계	776.35	667.64	569.81	418.99	209.64	2,642.42 (100%)

- 최근 5년간 고속철도 기술 분야의 대분류에 대한 연구단계별 투자 현황을 살펴보면 철도분야 R&D 중 개발연구 단계에서 2,102.08억 원(79.6%)으로 가장 높은 규모로 투자되었으며 그 중 “기타” 다음으로 “고속철도 차량 핵심장치” 기술 분야 596.51억 원(28.4%), “고속철도 시스템 성능” 기술 분야 579.18억 원(24.2%) 순으로 활발하게 연구 진행

표 4-10. 대분류에 대한 연구개발단계별 R&D 투자 규모

(단위 : 억 원)

기술분야	기초연구	응용연구	개발연구	기타	합 계 (비율)
고속철도 차량 핵심장치	39.26	96.83	596.51	10.37	742.98 (28.4%)
고속철도 시스템 성능	23.76	46.39	509.03	-	579.18 (24.2%)
기 타	111.09	194.36	996.54	18.27	1,320.26 (47.4%)
합 계	174.12	337.58	2,102.08	28.64	2,642.42 (100%)

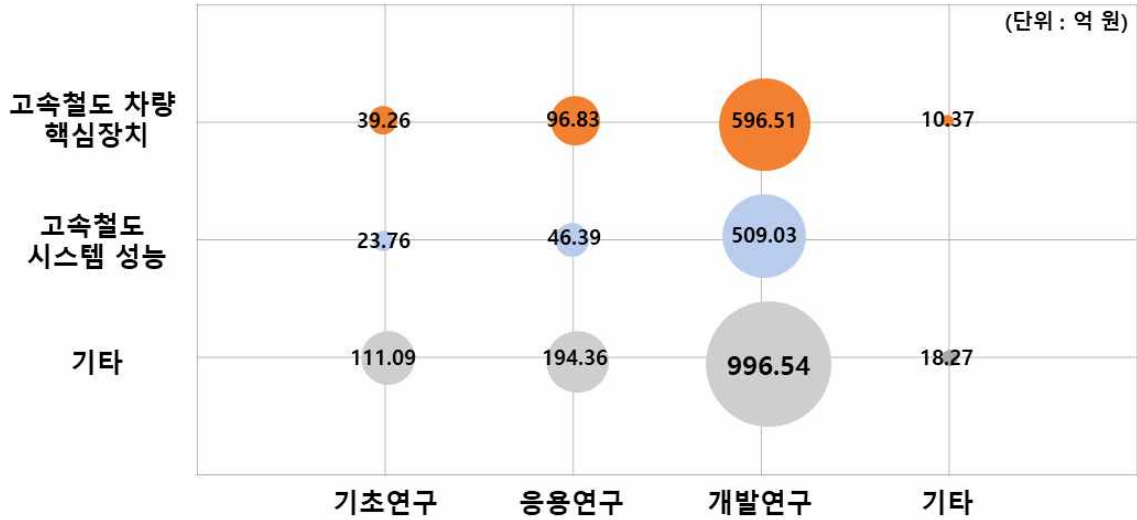


그림 4-34. 대분류에 대한 연구개발단계별 R&D 투자 현황

- 최근 5년간 고속철도 기술 분야의 중분류에 대한 연구단계별 투자 현황을 살펴보면 철도분야 R&D 중 고속철도 차량 핵심장치 분야의 열차제어시스템 분야에 461.49억 원(17.5%)으로 가장 많은 투자가 이루어짐*

* 고속철도 차량 및 시스템 성능 분야에 포함되지 않는 기타는 제시하지 않음

- 다음 순으로 시스템 성능의 운영/환경 분야에 435.38억 원(16.5%), 고속철도 시스템 및 평가 분야 285.09억 원(10.8%), 차량 핵심장치의 주행장치 284.50억 원(10.8%) 순임

표 4-11. 중분류에 대한 연구개발단계별 R&D 투자 규모

(단위 : 억 원)

기술분류		기초연구	응용연구	개발연구	기타	합 계 (비율)
대분류	중분류					
고속철도 차량 핵심장치	추진시스템	7.70	-	91.69	-	99.39 (3.8%)
	집전시스템	-	113.58	94.04	-	207.62 (7.9%)
	보조전원시스템	-	-	36.38	-	36.38 (1.4%)
	주행장치	68.14	43.79	172.57	-	284.50 (10.8%)
	제동장치	7.24	-	20.69	-	27.93 (1.1%)
	차체/차내설비	9.14	7.66	51.55	-	68.35 (2.6%)
	열차제어시스템	33.72	54.08	363.32	10.37	461.49 (17.5%)
고속철도 시스템 성능	고속철도 시스템 및 평가	-	45.66	239.43	-	285.09 (10.8%)
	운영/환경	3.70	-	431.68	-	435.38 (16.5%)
	주행성능	5.94	30.77	80.47	-	117.17 (4.4%)
기 타		38.54	42.05	520.27	18.27	619.12 (23.4%)
합 계		174.12	337.58	2,102.08	28.64	2,642.42 (100.0%)

□ 연구수행 주체 구분

- 연구수행주체별 투자 현황 분석 결과, 최근 5년간 정부출연연구소에서 1,373.38억 원(52.0%) 대기업 563.71억 원(21.3%), 중소·중견기업 451.88억 원(17.1%), 기타 186.32억 원(7.1%), 대학 67.13억 원(2.5%) 순으로 철도분야 R&D를 수행하고 있음
- 한국철도기술연구원, 한국철도공사 등과 같은 정부출연연구소에서 철도분야 R&D를 수행한 비중이 가장 높게 나타남

□ 국내 고속철도 관련 R&D 투자 동향분석 결과

- (철도분야 R&D 투자 현황) 최근 5년간('16~'20년) 국가 R&D 투자비는 지속적으로 증가하는 추세이나, 철도분야 R&D 투자비는 국가 R&D 중 0.48% 수준으로 매년 감소 추세임
- 국토교통분야 R&D 투자비는 꾸준히 증가하는 반면에 철도분야 R&D 투자비는 2018년 대비 -5.8%('19년), -11.3%('20년)으로 감소

- (고속철도 기술 분류별 투자 규모) 최근 5년간 고속철도분야 R&D는 “고속철도기술 차량 핵심장치” 기술 분야가 742.98억 원(56.2%)으로 가장 높은 예산이 투자되었으며 “고속철도 시스템 성능” 기술 분야 579.18억 원(43.8%)으로 투자됨
- (연구개발단계별 투자 규모) 최근 5년간 고속철도 기술분야의 연구단계별 투자 현황을 살펴보면 철도분야 R&D 중 개발연구 단계에서 2,102.08억 원(79.6%)으로 가장 높은 규모로 투자되었으며 다음으로 “고속철도 차량 핵심장치” 기술 분야 596.51억 원(28.4%), “고속철도 시스템 성능” 기술 분야 579.18억 원(24.2%) 순임
 - “고속철도 차량 핵심장치” 분야에서 ‘제동장치’(1.1%), ‘보조전원시스템’(1.4%), ‘차체/차내설비’(2.6%)에 대한 연구비 투자가 낮아 관련 분야에 대한 적극적인 투자가 필요함
 - “고속철도 시스템 성능” 분야에서 ‘운영/환경’ 분야에 435.38억 원(16.5%), ‘고속철도 시스템 및 평가’ 분야 285.09억 원(10.8%)에 대한 고도화를 위한 지속적인 투자와 더불어 ‘주행성능’ 기술개발이 절실히 필요한 상황임

5. 연구개발사업 구성 및 추진전략

5-1. 연구개발의 범위

□ 고속철도차량 속도향상에 필요한 연구개발 중점분야

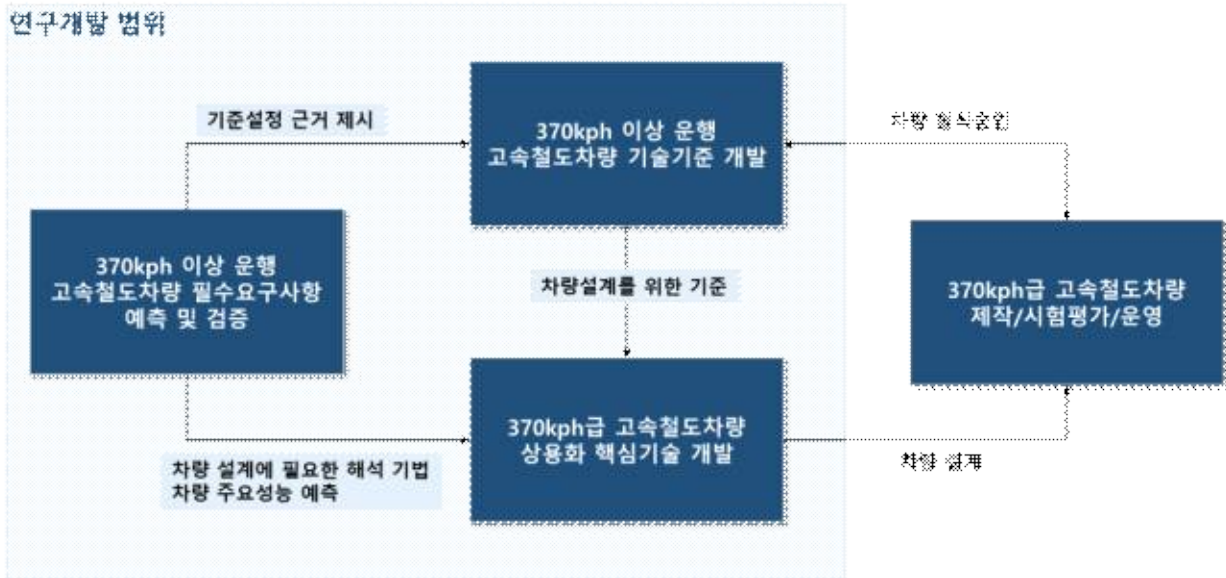


그림 5-1. 연구개발 범위

□ 중점분야별 기술개발 항목 설정 방법

- 기술개발 범위 설정을 위해 고속열차 기술 분류상의 세부기술과 고속열차 기술기준의 항목에 대해 검토
- 고속열차 기술 분류상의 세부기술 항목에 대해 현재의 기술개발 현황과 국내 기술수준을 검토하고, 350km/h 이상 영업운행을 위해 필요한 기술을 도출
- 고속열차 기술기준 각 항목과 최고 운행속도와의 관련성을 분석하여 기술기준 개정 필요 정도에 따라 분류
 - 기술기준 항목 중 새로운 기준 설정이 필요하거나 새로운 시험평가 방법이 필요한 항목을 분류하고 필요한 연구개발 항목을 도출

□ 고속열차 기술 분류와 기술 수준에 따른 검토

표 5-1. 철도 차량 분야별 기술개발 현황

대분류	중분류	세부분류	기술개발 현황
고속철도 차량 핵심장치	추진시스템	주변압기	고용량, 소형, 경량화 기술개발 필요
		주전력변환장치	고속철도용 전력변환장치 경량·효율화 연구개발 추진 중
		주전동기	설계 및 제작 기술 확보, 출력 부분 개발 필요
	집전시스템	관토그래프	400km/h급 개발 및 시험을 통한 성능 검증 단계, 고속 추종성 향상 기술 필요
		고압보호회로	대전력 차단기술 및 동작 소음저감 연구 필요
	보조전원시스템	보조전원장치	전력품질 기술 확보, 전력 밀도 기술 연구 필요
		냉난방환기장치	국산화 적용 중, 신뢰성 평가 단계
		Battery Charger	축전지의 소자 및 소재등은 외국수입 중
	주행장치	대차	300km/h급 동력집중식/동력분산식 고속대차 개발
		윤축	소재기술, 차륜 구조해석/피로강도/주행 시험 기술 개발 필요
		감속구동장치	300km/h급 감속구동장치 개발, 경량화 및 내구성/안전성 기술 필요
	차체 및 제동장치	차체	소재기술 및 설계/해석 기술 개발 필요
제동장치		소재 개발, 열해석 분석 및 평가 기술개발 필요	
열차제어시스템	열차제어진단장치	국제규격에 따라 운용되고 있음. 국제화 규격 선도화 필요	
	ATC/ATS/ATP	한국 신호시스템 개발 단계	
고속철도 시스템 성능	고속철도 시스템 및 평가	고속철도 시스템엔지니어링	시스템 설계 및 요구사항 관리기술 확보
		시험평가	400km/h급 시험 차량에 대한 평가기술 확보, 350~400km/h 운영을 위한 평가기준 개발 필요
		시운전	400km/h급 시험 차량 시운전시험기술 확보
	주행성능	주행안정성	국제 기준 응용 단계
		소음	소음발생원 규명 및 저감기술 연구 단계이며, 터널 내에서의 소음저감 필요
		진동	차량 주행안전성은 확보하였으나 350km/h 이상에서 진동저감 필요
		승차감	350km/h 이상에서 승차감 향상 기술 필요
		공기역학	주행저항 감소(특히 터널 내) 설계 기술 필요
	운영 / 환경	Slip/Slie 예측 제어	제동력과 점착력 관계, WSP 알고리즘 기술 개발 필요
		유지 보수	자동 결함 감지시스템 개발 단계
		전자계 환경	차량 전자계 측정 및 분석 단계
		경제 운전	알고리즘 개발 단계

- 국내외 차량분야 기술수준 중 차체 및 대차의 기술 수준이 해외 철도 선진국과 비교해 열위에 있음
 - 특히, 현가장치 기술, 윤축기술, 차량연결기 기술 분야에서 기술격차가 큼
 - (운영속도 유지 측면) 370km/h 고속열차 추진력을 확보하기 위해서는 추진제어시스템기술과 더불어 전두부 등 차체 설계 기술을 개발하여 주행저항을 줄이기 위한 노력이 필요함
 - (승객 쾌적성 측면) 운영속도 향상에 따라 소음 발생원 차단, 소음 예측, 소음/진동 전달경로 분석 및 차단 등을 통한 연구개발이 필요함



그림 5-2. 철도 차량 분야별 기술수준 비교

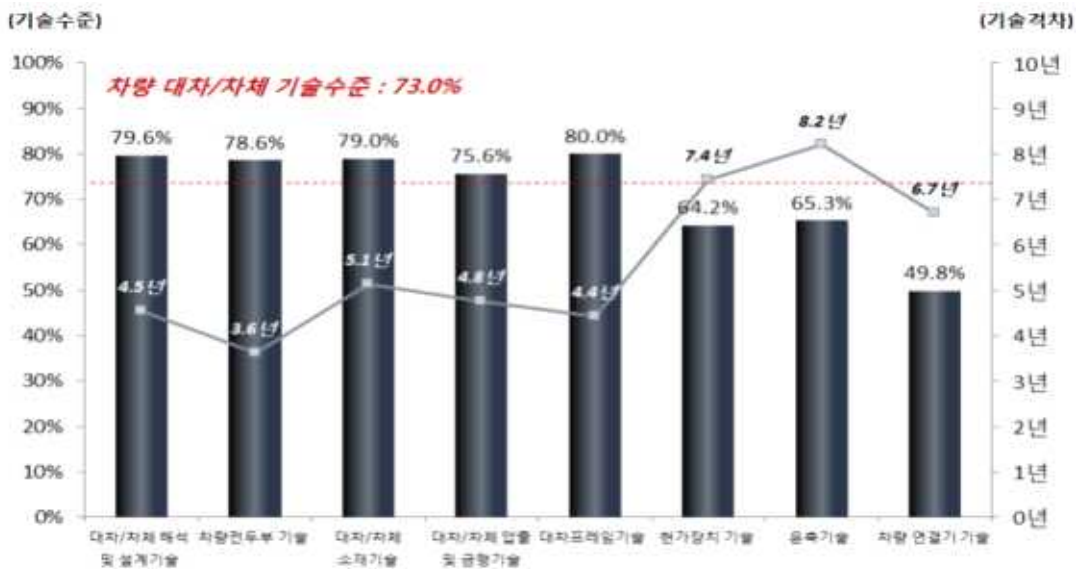


그림 5-3. 차량 대차/차체 세부 기술수준 비교

* 출처 : 430km/h급 분산형 고속열차 실용화 기술개발 고속철도 기술수준 분석보고서, 2015

□ 세부 추진과제 도출

○ 세부기술 및 사업 추진체계 수립 절차

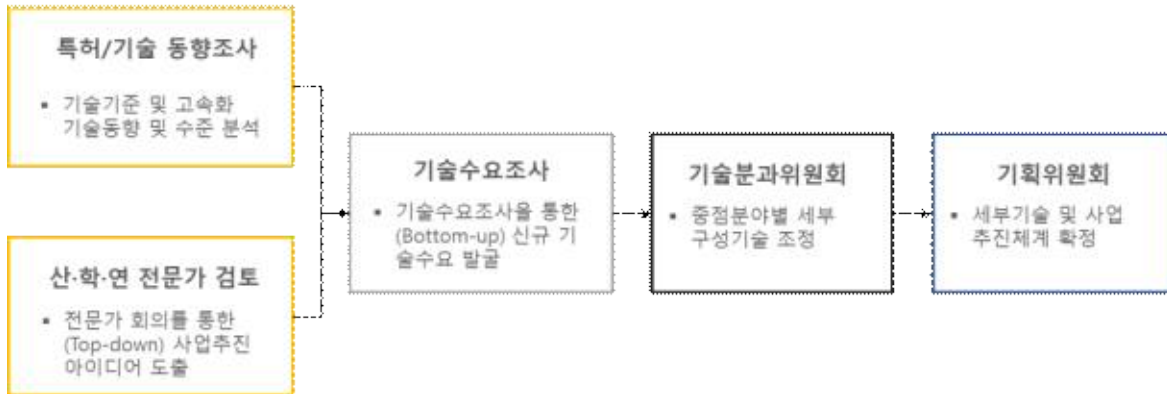


그림 5-4. 세부기술 및 사업 추진체계 수립 절차

○ 기술수요조사 방안

- 기술수요조사에서 제안되는 기획연구 주제에 대하여, 주관/공동 기관의 사전검토를 거쳐 기술 분과 위원회에서 분야별 기술심의, 과제기획위원회의 후보과제 선정 심의를 통해 R&D 추진을 위한 과제공모 RFP를 작성하도록 함.



그림 5-5. 기술심의 및 선정 절차

- 각 기술분과 위원 및 기획위원회는 운영기관, 산업체, 연구기관 및 대학 등의 전문가 그룹(인 력풀)을 확보하여 선정토록 함

5-2 기술기준 검토

□ 기술기준 필수요구사항 및 장치별 기준 검토

○ 고속철도 차량 필수요구사항 검토 및 개정 필요성

- 고속철도차량 기술기준(KRTS-VE-Part31)에서는 속도별 분류 중 제1종의 경우 최고속도 350 km/h를 초과하는 고속철도차량으로 정의만 존재하며, 최고속도가 350 km/h를 초과할 경우 현재의 기술기준 적용외에 추가적인 기준이 요구됨을 명시하고 있음
- 기술기준에서 정의된 항목 중 필수요구사항은 주로 전체 차량시스템 레벨에서 제작자가 철도차량에 대하여 설계검증을 의무적으로 수행해야 할 항목임
- 고속철도차량 기술기준의 필수요구사항은 차량한계, 주행안전, 충돌안전, 화재안전, 전기안전, 위험도분석, 소프트웨어, 인터페이스, 운영 및 유지관련 및 운용한계의 총 10가지 항목으로 구분되어 있음
- 상기 항목 중 350 km/h 속도를 초과하는 고속철도차량의 제작시 필수요구사항에 대한 일부 항목에 대하여 본 과제에서의 검토 및 기술기준의 개발이 필요함

① 차량한계

- 차량한계는 차체-차체, 차체-대차, 차량-선로구조물 간섭을 방지하기 위해 차량의 동적거동에 대한 설계검증 의무화 항목이며, 차량의 최대변위, 틸팅각, 차륜마모, 캔트부족량 등을 고려하도록 하고 있음
- 400 km/h 급 속도로 운행하는 고속철도차량은 기존 300 km/h 급 차량과 비교하여 동적거동 특성의 차이가 발생할 것으로 판단되며, 현 기술기준으로 적용이 불가능하여 동적거동을 고려한 차량한계 검토가 필요함

② 주행안전

- 주행안전은 탈선·전복·횡압 등 주행안전에 대한 설계검증을 의무화하고 있으며, 탈선계수, 횡압, 윤중감소율 평가기준, 방법 및 세부절차를 제시하도록 하고 있음
- 400 km/h 속도로 운행할 경우의 탈선계수는 300 km/h급 속도와 차이가 발생할 뿐만아니라 주행안전과 연관성이 있으므로 세부적인 평가기준의 검토가 필요함

③ 충돌안전

- 충돌안전은 운행조건별 충돌기준을 4종으로 구체화하고 설계기준 세분화 및 국제규격 부합화가 수행된 기준임
- 정면충돌, 이종차량간 충돌, 대형·소형 장애물 충돌 등 기준이 EN15227에 따라 정의되어 있으며 차량의 속도 대역별 기준은 별도로 정의되어 있지 않아 400 km/h 운행 차량도 동일한 기준으로 검증을 수행할 수 있을 것으로 판단됨

④ 화재안전

- 화재안전은 발열량지수, 연기밀도, 화재전파, 독성지수 기준으로 국제규격에 부합화하여 기술기준이 마련되어 있으며, 내장판, 의자, 통로연결막, 바닥재, 단열재, 전선, 차체외장 등으로 구성품이 구분되어 있음
- 통로연결막과 관련하여 400 km/h급 고속철도차량의 새로운 설계가 적용되면 화재전파 측면에서 새로운 기준개발의 검토가 요구됨

⑤ 전기안전

- 전기안전은 감전예방, 절연거리 확보, 차단 및 접지, 전자기유도장애 억제 등 요구사항으로 국제규격에 부합화하여 기준이 마련되어 있음
- 전자기유도 장애의 경우 차량의 속도증가에 따라 전력의 사용량이 변화할 수 있으며 이에 따라 전자기유도장애 기준이 변경될 수 있을 것으로 판단되어 기준개발 필요성 분석이 요구됨

⑥ 위험도분석

- 위험도분석은 철도차량의 위험도가 설계·제작·유지보수 및 운영환경 전반에 걸쳐 적절한 수준으로 제어되는 것임을 입증하는 것으로 화재·충돌·탈선 등에 대하여 위험도 분석을 수행하고 있음
- 앞서 상술한 안전요구사항과 마찬가지로 400 km/h 운영속도에서 기준이 변경될 소지가 있으며 변경될 경우 위험도 분석에 대한 입증방법도 추가적인 검토가 요구됨

⑦ 소프트웨어

- 철도차량에 사용되는 소프트웨어는 응용소프트웨어, 운영소프트웨어, 펌웨어 등에 대하여 설계·구현·시험·유지관리 등 전반에 대한 유효성 검증을 의무화 하고 있음
- 철도차량에 적용된 소프트웨어가 속도와 관계없이 동일 소스코드가 사용될 경우 추가 검토는 필요하지 않으나 일부 철도차량의 속도와 연계한 빠른 소프트웨어 처리속도가 요구될 경우 기술기준개발의 추가적인 검토가 요구됨

⑧ 인터페이스

- 인터페이스는 철도차량과 지상 인프라간의 인터페이스 검증과 관련한 의무화로 지상의 전력, 신호, 통신, 궤도 등의 설비와의 상호 연계동작을 의미함
- 고속철도차량의 속도 증가에 따라 지상 설비와의 연계 검증은 중요한 요소이므로 모든 인터페이스 요소가 검토됨에 따라 기술기준개발의 검토가 요구됨

⑨ 운영 및 유지관리

- 철도차량의 유지보수기준, 유지보수성, 유지보수자료, 유지보수항목, 부품교체, 시행방법 및 기록 등에 대한 검증을 의무화 하고 있음
- 고속철도차량의 종류에 맞는 각각의 유지보수 운영과 유지관리 문서에 따른 유지보수를 수행하

므로 속도와 관련한 기술기준개발 검토는 필요하지 않을 것으로 판단됨

⑩ 운용한계

- 안전운행, 신뢰성 및 가용성, 보건, 소음, 구원운전, 공기역학적 특성에 대한 검증의무화를 정의하고 있음
- 운용한계 검증 항목 중 고속철도차량의 400 km/h급 속도증가에 따른 신뢰성 및 가용성, 소음 및 공기역학적 특성은 밀접한 관계가 있으므로 본 과제를 통하여 기술기준개발 검토가 필요할 것으로 판단됨

○ 고속철도 차량 주요 장치별 기술기준 검토 및 개정 필요성

- 기존 고속 철도차량의 주요 장치별 구분 및 내용 구성은 다음 표와 같음

표 5-2. 철도차량의 주요 장치별 구분

순번	구분	기준내용 구성
1	차체 및 설비	구조체 설계, 구조체 안전, 실내 기압변화, 실내설비, 리프팅, 장애물제거기, 부식억제, 출입문, 통로문, 냉난방환기장치, 등구류, 의자 및 선반, 유리창, 운전실 및 비상탈출구, 경적, 열차비상용품
2	주행장치	주행장치 설계, 주행장치틀, 윤축 및 차륜특성, 축상조립장치, 현가장치, 차체지지장치, 구동장치
3	제동장치	제동장치 설계, 제동요구사항, 비상제동, 상용제동, 주차제동, 기초제동, 압축공기 공급장치, 활주방지, 구원운전시 제동,
4	추진장치	설계 요구사항, 인버터/컨버터, 견인전동기, 집전장치, 비상운전, 주변압기, 피뢰기, 주회로 차단기,
5	보조전원장치	보호기능, 연장급전, 축전지
6	차상신호장치	시스템 일반, 자동열차정지장치, 자동열차방호장치, 자동열차제어장치
7	종합제어장치	종합제어장치 설계, 운행상태 확인장치, 출입문 제어
8	연결장치	연결기, 통로연결장치,

- 각 구분에 따른 기준내용에서 운영속도 증가(350~400km/h)가 명시되어 있는 세부 사항은 없음
- 운영속도 증가에 따라 일부 검토 및 보완해야 할 기준내용들이 존재함
- 차체 및 설비: 출입문 안전 요구조건(차량 외부에서 출입문 표면 전체에 가해지는 2.5kPa의 압력 하중조건), 측면유리창 요구사항(유리는 0.25kg의 강구가 100km/h의 속도로 충돌할 때 침투 되지 않아야 함)
- 제동장치: 제동거리 기준

표 5-3. 기존 고속철도차량 제동장치 설계 내용>

구 분	속도(km/h)	제동거리(m)	비고
고속철도 차량	300	3,300	부하기준
	200	1,600	부하기준

- 차상신호장치: 운영속도 증가에 따라 발생할 수 있는 신호 송수신을 저하 문제 관련 안전기준 검토 및 추가 필요

□ 주요 운행성능 항목 개정 필요성 검토

○ 고속열차 공력 특성 분야

- ① 항목 : 5.4.11 공력특성시험
 - 4)항 시험항목 (1) 공력특성계수시험
 - (2) 공기역학특성시험
 - (3) 압력변화시험
- ② 현재 기술기준

표 5-4. 공기역학 특성시험 항목

참고자료	항목	규정사항	규정 내용
TSI 2008/232/CE	4.2.6.2.1 선로변의 궤도 작업자들에 대한 공기역학적 하중	시험조건	- 직선 자갈궤도, 주변 풍속이 2 m/s이하 - 전방 500 m, 후방 100 m 이내에 교량이나 터널 등의 장애물이 없을 것
		시험속도	- 300 km/h 또는 그이하인 경우 열차 최대속도
		측정위치	- 레일 상면 0.2m 높이, 궤도 중심으로부터 3.0m 떨어진 지점
		최대 허용 대기속도	- 차량 최대속도가 190 km/h에서 249 km/h까지인 경우 : 20 m/s - 차량 최대속도가 250 km/h에서 300 km/h까지인 경우 : 22 m/s
	4.2.6.2.2 승강장 승객들에 대한 공기역학적 하중	시험조건	- 전후방에 장애물이 없어야 함 - 전방 150 m 거리에 일정한 구조를 가져야 함. - 천장이나 덮개 혹은 후벽이 없어야 함
		시험속도	- 최대속도 200 km/h 또는 그이하인 경우 열차 최대속도
		측정위치	- 승강장 위로 1.2m 높이, 궤도 중심으로부터 3.0m 떨어진 지점
		최대 허용 대기속도	- 15.5 m/s 초과하지 않아야 함

- 궤도변 최대허용 대기속도가 차량속도가 300km/h까지만 정의되어 있어 300km/h를 초과할 경우 300km/h까지 시험을 시행하도록 기준이 정의되어 있음

표 5-5. 입력변화시험 참조표준

참고자료	항목	규정사항	규정 내용
TSI 2008/ 232/CE	4.2.6.2.3 선로변의 압력 하중	시험조건	- 직선 자갈궤도, 주변 풍속이 2 m/s이하
		시험속도	- 참조 차량 속도 조건 (250 km/h 조건 또는 그이하인 경우 열차 최대 속도)
		측정위치	- 레일 상면 1.5m, 1.8m, 2.1m, 2.4m, 2.7m, 3.0m, 3.3m 높이, 궤도 중심으로부터 2.5m 떨어진 범위
		최대 허용 압력변화	- 참조 차량속도 250 km/h : 795 Pa

· 압력하중의 최대허용 압력변화의 기준이 차량속도 250km/h에서의 기준값으로 정의되어 있음

- TSI 4.2.6.3항의 옆바람 기준 참조표준 예

표 5-6. 속도 대역별 측풍 기준

최고 열차 속도	편평한 지면 사례에 대한 m/s 단위의 기준 특성적 풍속 (자갈 및 레일 없음)	제방 사례에 대한 m/s 단위의 기준 특성적 풍속
vtr,max = 260 km/h	32.4	24.5
vtr,max = 270 km/h	32.0	24.0
vtr,max = 280 km/h	31.6	23.5
vtr,max = 290 km/h	31.2	23.0
vtr,max = 300 km/h	30.8	22.5
vtr,max = 310 km/h	30.4	22.0
vtr,max = 320 km/h	30.0	21.5
vtr,max = 330 km/h	29.6	21.0
vtr,max = 340 km/h	29.2	20.5
vtr,max = 350 km/h	28.8	20.0

· 최대차량속도 350km/h까지만 기준 특성적 풍속으로 정의되어 있음

③ 개정 필요성

- TSI 2008/232/CE의 현재 기술기준에 정의된 바와 같이 향후 370km/h급 또는 400km/h급의 고속철도차량의 도입을 위해서 최대차량속도 400km/h에서의 기술기준의 마련이 필요

④ 검토 및 방안

- 공력과 관련한 철도차량 주행식의 예측과 동적성능 해석을 통하여 최대차량속도 400km/h에서

의 결과를 도출

- 차량 제작을 통한 시운전 시험에서 해석 결과와의 비교 및 검증과정을 통하여 최종 기술기준을 확립

○ 주행안전, 주행안정성 및 최고속도시험 분야

① 항목 : 3.2.2 주행안전, 5.4.3 최고속도 시험, 5.4.16 주행안전성시험

② 현재 기술기준

- 3.2.2 주행안전의 3.2.2.1 차량-선로 작용력 부분에서 철도차량은 '정상적인 운행조건하'에서 주행안전성을 확보하기 위하여 철도차량과 선로간의 작용력을 최소화할 수 있도록 설계되어야 한다고 요구
- 3.2.2.3 횡압 부분에서 철도차량은 '정상적인 선로와 운행조건하'에서 레일과 선로의 구조적 안전을 위협하는 횡압의 발생을 최소화하도록 설계되어야 하고 해당 기준을 초과하여서는 안 된다고 규정함
- 3.2.2.4 탈선계수 부분에서 철도차량은 '정상적인 선로와 운행조건하'에서 안전된 주행이 가능하여야 하고 탈선계수의 허용 기준을 제시
- 5.4.3 최고속도시험에서는 시험구간으로서 연간거리가 비교적 길고 최고속도 주행이 용이한 평탄선로 구간을 선정하며 구배나 곡선이 있는 경우 그에 따른 보정치를 사용한다고 제시되어 있음
- 5.4.3 최고속도시험의 평가기준으로서 최고속도 주행 중 각 기기의 동작 및 상태가 정상적이어야 하며 최고속도가 '규정된 값' 이상이어야 한다고 제시되어 있음
- 5.4.16 주행안전성시험에서는 시험조건 중 측정구간으로서 본선 운행구간 또는 시험에 적절한 구간을 협의하여 선정하도록 되어 있음
- 5.4.16 주행안전성시험에서는 시험조건 중 시험속도로서 '{(1.1 × 제한속도) 또는 (제한속도 + 10 km/h) 중 큰 값} ± 5 km/h'로 하되 요구되는 시험속도의 구현이 불가능한 경우, 해당 운행구간에서의 운행최고속도로 한다고 제시하고 있음
- 현행 주행안전 관련 기술기준은 350km/h 이하 고속운행 차량 데이터를 기반으로 작성됨

③ 개정 필요성

- 고속철도차량의 안전성은 승객 및 주변 환경에 막대한 영향을 끼칠 수 있으므로 더욱 신뢰성 있고 일관된 기준 마련이 중요
- 특히 고속철도차량의 속도가 증가할수록 기술기준의 여러 항목에서 사용되는 '속도'의 종류 및 이에 대한 정의를 명확히 하여 형식승인 및 형식승인 사후관리의 일관성 및 신뢰성을 높일 필요

요가 있음

※ 예: 최고속도, 제한속도, 운행최고속도, 설계최고속도 등

- 3.2.2 주행안전에서는 ‘정상적인 선로와 운행조건하’에서 관련 기준을 충족하도록 요구하고 있으므로 관련 형식시험인 5.4.16에서 제시한 시험조건이 350km/h 이상의 속도에서 ‘정상적인 운행조건’ 범위내에 있는지 검토할 필요가 있음
- 국내 고속철도노선의 특성이 (역간 간격, 곡선 및 구배 분포, 터널 및 교량 분포 등) 350km/h 이상의 속도에서도 5.4.3 최고속도 시험 및 5.4.16 주행안전성 시험에서 요구하는 시험조건을 충족시킬 수 있는지 검토할 필요가 있음
- 현행 주행안전 기술기준을 370km/h로 운행시에도 기준 적용이 가능한지 세심한 검토가 필요

④ 검토 및 방안

- 고속철도차량 기술기준의 각 항목에서 사용되고 있는 속도의 종류 및 의미, 시험속도 및 시험 조건 분석을 통해 그 정의를 명확히 하고 사용되는 속도의 정의(종류)를 최소화(통일, 조건 조정 등)하여 일관성을 향상시켜야 함
- 국내 기존 고속철도노선 및 건설 중 또는 예정인 노선의 특성을 검토하고 현재 운행되고 있는 고속철도차량의 차령, 운영환경 변화에 따른 안전성과 동적거동 변화를 분석하여 350km/h 이상의 속도에서도 수용 가능한 ‘정상적인 운행조건’의 범위를 도출해야 함
- 기 어려운 시험조건 및 방법이 발생할 수 있으므로 UIC 518 및 EN 14363에서 제시되어 있는 실제시험과 모사시험 병행입증 방법의 국내 적용방안을 검토하고 구성품 시험과 시운전 시험 연계입증 방법 등 국내 실정을 고려한 추가적인 입증방법 및 조건 도출이 필요
- 현재 370km/h 속도로 영업 운행하는 고속열차가 없으므로 주행안전 기술기준 만족 여부는 시험 데이터로 확인은 어렵고, 동역학 해석 및 관련 기준 조사 등을 통하여 기술기준 만족 여부를 확인한 후 개정이 필요한지 또는 현행 기준을 유지할지를 검토할 필요가 있음

○ 진동 시험 분야

① 기술기준 항목 : 5.4.8 진동시험

② 현재 기술기준

5.4.8 진동시험

5) 시험방법

(1) 차량조건

마. 차량주행속도는 최고속도로 한다. 다만, 여의치 않을 경우 협의에 따르는 것으로 한다.

(2) 측정구간

협의를 따라 선정하며, 통상적으로 정비되어 있고, 10km 이상 최고속도로 주행할 수 있는 직선 평탄도로 한다. 다만, 여의치 않을 경우 협의에 따르는 것으로 한다.

③ 개정 필요성

- 차량주행조건과 측정구간이 여의치 않을 경우 협의에 따른다고 명시되어 있는데 차량최고주행속도를 10km 이상 최고속도로 주행하지 않을 경우 시험결과가 왜곡될 가능성이 있음
- 협의를 필요할 시 협의 기준을 정하고 그 기준에 맞춰 시험해도 문제가 없음을 검토할 필요가 있음

④ 검토 및 방안

- 최고주행속도로 10km 주행이 불가능할 경우에 대한 기준을 명확히 규정해야 한다. 예, 짧은 거리를 반복시험을 통해 시험해도 문제 없음을 검증(10km 주행가능한 최고속도 시험결과와 같은 속도로 반복했을 경우 시험결과 비교 등)

○ 승차감 분야

① 기술기준 항목 : 5.4.9 승차감 시험

② 현재 기술기준

- 승차감 시험은 철도차량에서 진동이 승객에 미치는 승차감에 설계 적합성 또는 형식동등성을 시험으로 입증하는 경우에 적용되는 기준임

5.4.9 승차감 시험

5) 시험방법

(2) 측정구간

협의를 따라 선정하며, 통상적으로 정비되어 있고, 5분 이상 최고속도(최고속도 \pm 5km/h)로 주행가능하며, 5분간 평균속도는 최고속도 이상)로 주행할 수 있는 직선 평탄도로 한다. 다만, 여의치 않을 경우 협의에 따르는 것으로 한다.

③ 개정 필요성

- 최고속도 기준 300km/h, 350km/h, 370km/h로 주행 시 서로 5분간 주행거리에 차이가 있음

표 5-7. 최고속도 별 5분간 주행거리 및 주행거리 차이

최고속도(km/h)	5분간 주행거리(km)	300km/h 대비 주행거리 차이(km)
300	25.00	0
350	29.17	4.17
370	30.83	5.83

- 기존 기술기준 내용에 「5) 시험방법 (2) 측정구간 통상적으로 정비되어 있고, 5분 이상 최고속도(최고속도±5km/h로 주행가능하며, 5분간 평균속도는 최고속도 이상)로 주행할 수 있는 평탄도로 한다.」라고 명시되어 있음.
- 최고속 370km/h로 주행 시 5분간 이동하는 거리는 약 30.83km이므로 측정구간 및 측정시간에 대한 개정이 필요

④ 검토 및 방안

- 최고속도 기준 370km/h로 주행하는 조건에 맞추어 현실적으로 가능한 측정구간 및 측정시간의 조정을 위해 국내 선로 조건 조사가 필요하며 가속 및 감속 등을 고려하여 최적의 측정시간 계산해야 함
- KS R 9216의 「8.시험 조건 8.2 시험 구간 선정 c) 승차감의 측정은 직선선로에서 수행하는 것을 원칙으로 하며 직선 선로나 반지름이 2500m 이상의 곡선 선로에서는 등가 답면 구매는 다음에 따른다.」 항목을 참고로 하여 개정될 기술기준에서는 측정구간 기준 설정에 곡선 선로 또한 고려하여 분석 및 검토가 수행되어야 함

○ 차량 실내 압력 분야

① 기술기준 항목 : 4.2.3 실내기압변화, 5.3.18 기밀시험

② 현재 기술기준

4.2.3 실내 기압변화

- 1) 고속철도 차량은 실내 기압변화를 고려하여 설계되어야 하고, 필요한 경우 외부공기를 적절히 개폐할 수 있는 장치가 설치되어야 한다.
- 2) 최고속도로 인접선로의 열차와 교차하여 운행하거나 터널을 통과하는 경우 승객 및 승무원의 기압변화에 의한 불쾌감 등의 영향을 최소화하도록 설계되어야 한다.
- 3) 고속철도차량의 실내 기압변화에 관한 세부기준은 [별표 9]를 참고할 수 있다.

[별표 9] 고속철도 차량의 기압변화 세부기준

4. 평가 기준

- 1) 정지 상태에서 하나의 철도차량에 대한 객실 내 기압변화 기준
압력 변화(3000Pa → 1100Pa, -3000Pa → -1100Pa) 소요 시간 : 18초 이상
- 2) 최고속도로 주행할 때의 객실 내 기압변화 기준

③ 개정 필요성

- 현재의 기술기준은 정적인 상태와 동적 상태의 기준으로 구성되었으며, 동적인 상태의 기준은 최고속도에서 실내 압력변화를 기술하고 있으므로 운행속도 향상에 따른 기술기준의 변경을 고려할 필요는 없으나 최고속도는 정의가 필요
- 정적인 상태의 기술기준은 차량의 밀폐도를 확보하기 위한 기준으로 운행속도의 향상에 따른 터널내 압력 변동의 상승으로 밀폐도의 향상이 예상되므로 이에 대한 개정이 필요할 수 있음

④ 검토 및 방안

- 실내 기압변화 기준은 고속열차가 터널 주행시에 발생하는 압력변화로부터 승객의 불편을 최소화하기 위한 기준으로, 운행속도의 증가는 필연적으로 압력변화의 증가를 초래하기 때문에 밀폐도 향상을 통한 승객의 불쾌감을 줄일 수 있도록 검토 필요
- 일반적으로 고속열차 주행시의 터널내 압력 변동은 터널 단면적, 터널길이, 열차의 단면적, 열차의 형상 등에 영향을 받으며, 운행속도의 제곱에 비례함
- 따라서, 운행속도의 증가에 따른 시설물, 차량의 특성에 따른 시뮬레이션, 현차시험을 통하여 차량의 밀폐도 향상에 대한 기술기준을 검토할 필요가 있음
- 또한, UIC(International Union of Railway) 기준 등 다양한 기준에 관한 기술 검토를 바탕으로 고속운행에 대한 밀폐도 기준을 수립할 수 있음

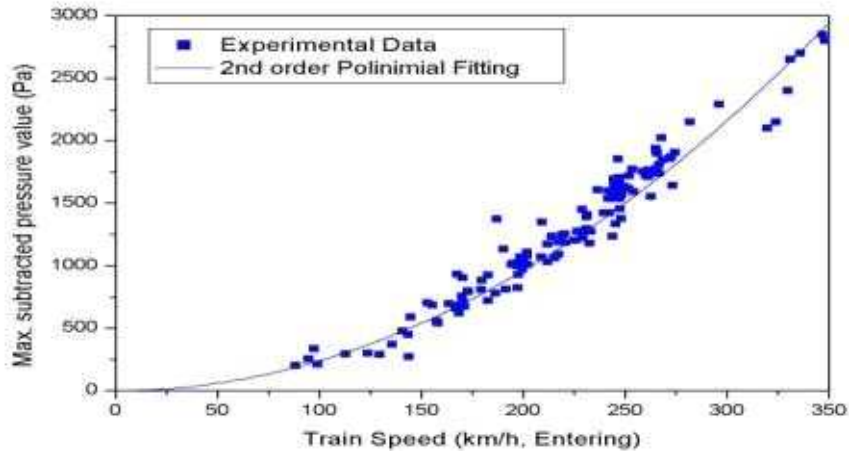


그림 5-6. 한국형 고속열차의 터널 진입속도와 최대압력 변동값

○ 소음 분야

① 기술기준 항목 : 5.4.7 소음 시험

② 현재 기술기준

- 소음 평가 범위는 정차소음과 주행소음으로 구분되며, 각각의 경우에 있어 배경소음, 정차소음, 주행소음, 출발소음, 환경소음에 대하여 평가

3.6.4.3 평가기준

- 1) 정차 시 실외소음, 주행소음, 출발소음의 평가방법은 ISO 3095 등을 참고할 수 있다.
- 2) 실내소음은 신청자가 해당 철도차량에 대해 별도의 평가방법을 제시하며, ISO 3381, KS R 9143 등을 참고할 수 있다.
- 3) 환경소음의 평가방법은 소음진동공정시험기준(환경부고시), 소음진동관리법 시행규칙 제25조 (교통소음의관리기준)의 별표 12, 철도차량의 소음권고기준 및 검사방법 등에 관한 규정(환경부고시) 등을 참고할 수 있다.
- 4) 소음측정 및 평가기준은 “환경분야 시험검사등에 관한 법률”, EN 15461, EN 15610 등을 참고할 수 있다.

③ 개정 필요성

- 소음시험의 평가기준은 ISO 3095와 ISO 3381를 따른다고 규정하고 있으나 해당 표준은 소음시험 방법만을 규정하고 있음
- 철도차량의 주행소음 평가 기준은 철도차량의 소음권고기준을 따르고 있으며 실내소음 평가 기준은 발주자와 제작자의 계약사항임

- 고속열차의 실내소음은 운영사의 요구사항으로 제시되나 우리나라에서는 실내소음이 승객의 불만족 요인으로 중요하게 고려되고 있으며, 특히 고속열차의 실내소음은 일반 전동차 등에 비해 엄격한 기준이 적용*되고 있음

* 현재 적용되고 있는 320km/h급 동력분산형 열차의 실내소음 기준은 개활지에서 70dB(A), 터널에서 77dB(A)로 150km/h급 ITX와 동일함. 또한 공항철도는 100km/h에서 76dB(A), 전동차는 80km/h에서 80dB(A) 수준임

- HEMU-430X 차량 속도에 따른 실내소음 측정 결과 370km/h 주행 시에는 300km/h 대비 약 5dB(A) 정도의 소음 수준 증가가 예상

④ 검토 및 방안

- 현재의 철도차량 소음권고기준은 최고운행속도 300km/h인 차량에 대해 설정되었기 때문에 영업운행 향상시 고속열차에 의한 고속선 주위의 실외소음 예측값과 증속운영 계획을 고려하여 주행소음에 대한 요구사항을 도출

- 현재 적용되고 있는 평가 기준인 dB(A)는 음압의 물리적인 크기에 기반을 둔 측정량으로 실제 사람이 느끼는 불쾌감을 정확히 반영하지는 못함*

* Mats E. Nilsson, "A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound", Journal of Sound and Vibration, Vol. 302, pp. 109-207, (2007)

- 따라서 소음 저감 방안과 함께 소음에 대한 승객의 주관적인 불쾌감까지 평가할 수 있는 평가 기준 도입이 필요

□ 기술기준 시험규격서 검토

- (검토대상) 고속철도차량 기준(Part 31) 중 시험규격서에 해당하며, 부품시험, 구성품시험, 완성차 시험 세부항목 및 절차, 방법 등을 규정
 - 부품시험 세부 항목

표 5-8. 부품시험 항목

시험항목	적용 대상
내장관 화재시험	철도차량 내장관, 표면도장, 표면 필링 등
의자 화재시험	철도차량 객실 및 운전실 의자
통로연결막 화재시험	철도차량 통로연결막 (A)형 및 (B)형
바닥재 화재시험	철도차량 바닥재 및 바닥 구조재
단열재 화재시험	철도차량 유리섬유, 우페판 폼, 멜리핀 폼 등
전선 화재시험	철도차량 내부, 외부, 통신용 전선류
차체 외장 화재시험	철도차량 차체 외장관, 도막, 필름 등
내화 성능시험	철도차량 바닥, 단부, 지붕 구조 등
자동화재진압설비시험	차량내 전역 방출 미분무수 소화 시스템 등
전자제어기기시험	공기조화장치제어기, 증발기/냉각기 팬용 인버터 제어기, 화재감지장치, 승강문제어기, 오물처리장치, 장애인화장실 자동문, 출입문제어기, 구원제동제어장치, 제동블랜딩 제어장치, 제동전자제어장치, 방송장치, 열차무선장치, 속도연산장치, 속도지령장치, 해치모듈 및 제어기
유리창시험	전면, 측면, 내부 유리창
의자강도시험	철도차량 객실의자 정하중 강도 특성

- 구성품 시험 세부 항목

표 5-9. 구성품시험 항목

시험항목	세부 시험 종류
구조체 하중시험	수직하중, 압축하중, 인장하중, 조합하중, 운행하중, 리프팅/잭킹, 3점지지, 고유진동수 측정시험
대차시험	완성대차검사, 대차하중시험
대차안정성시험	비가진/가진 주행안전성 시험, 궤도틀림 적용 주행안전시험 등
차체지지장치시험	진행방향/횡방향/수직방향 하중시험
집전장치시험	기능시험, 전기연속시험, 절연저항시험, 내전압시험, 공기 누설 시험, 진동/충격시험, 환경시험, 전자파 시험 등
추진제어장치시험	주전력변환장치시험, 견인전동기시험, 조합시험 등
보조전원장치시험	진동시험, 소음시험, 기동/정지시험, 경부하시험, 부하맥동시험, 효율시험, 부하급변시험, 전압변동시험, 보조회로동작시험, 전자파적합성시험, 과전압/과도에너지시험, 온도상승시험, 절연저항시험, 내전압시험, 방수시험, 환경시험
차상신호장치시험	운용환경시험, 조합시험
종합제어장치시험	기능 및 조합시험
제동장치시험	공기누설시험, 성능시험, 절연저항시험, 내전압시험, 진동시험, 충격시험, 온도시험
냉난방환기장치시험	전원전압변동시험, 절연저항시험, 내전압시험, 냉방능력시험, 난방능력시험, 소음시험, 냉매압력 및 누설시험, 송풍계통 누설시험, 열교환기 내압시험, 응축수 밸브작동시험, 안전장치 작동시험, 진동시험, 충격시험, 조합시험
여압장치시험	여압성능시험
출입문시험	성능확인시험, 기밀 및 강도시험 등
충돌안전시험	충돌시험(충돌하중, 충돌속도, 차량변위, 차체 충돌가속도 측정 등)

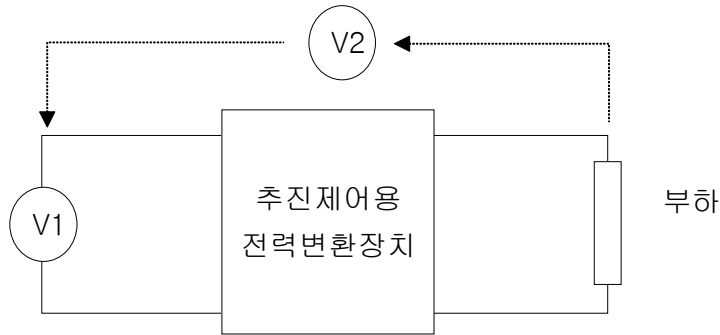


그림 5-7. 구성품시험 예 : 추진력변환장치 온도상승시험 회로구성

- 완성차시험 세부 항목

표 5-10. 완성차시험 항목

시험항목	세부 시험 종류
중량측정시험	윤중 및 축중 측정
차량한계측정	차량 한계 게이지 측정
곡선통과시험	최소곡선반경 주행 중 차체와 차체 간섭, 다이아프램, 연결장치 상태, 차체/대차 부품간 간섭, 대차 부품간 간섭 측정
접지시험	접지상태 확인시험, 차체/레일간 접지인피던스, 보호본딩회로 연속성 확인시험 등
절연저항시험	절연저항측정(고전압회로와 대지, 저전압회로와 대지, 고전압회로와 저전압회로, 저전압회로와 저전압회로, 고전압회로와 이중절연기기 틀, 저전압회로와 이중절연기기, 이중절연 틀과 대지)
내전압시험	상용주파 전압 인가 후 절연안전성 평가(고전압회로와 대지, 저전압회로와 대지, 고전압회로와 저전압회로, 저전압회로와 저전압회로, 고전압회로와 이중절연기기 틀, 저전압회로와 이중절연기기, 이중절연 틀과 대지)
누수시험	차체 연결부 연속 1시간 이상 살수 후 10~20분 경과후 누설유무 확인
차체리프팅시험	대차분리시험, 차량운반시험
집전장치시험	동작시험, 기밀시험, 집전헤드추종시험, 접은상태 유지력시험, 압상력시험, 상승시간시험, 최저동작공기압/전압시험, 완충작용높이검사, 집전장치 편향시험, 내전압시험
추진제어장치시험	기능확인시험(입력전압, 출력전압, 전력반도체소자 구동신호 파형, 제어기 동작시험)
보조전원장치시험	무부하 운전시의 출력전압시험, 동작시험, 축전지/충전기 기능확인시험
차상신호장치시험	전원검사, 기능검사
종합제어장치시험	운전실 모니터시험, 종합제어장치 전원동작, 운전반 연계동작시험, 고전압장치 연계동작, 연장급전 연계동작, 제동장치 및 공기압축기 연계동작, 출입문장치 연계동작, 실내조명 연계동작, 냉방장치 연계동작, 난방장치 연계동작 환기장치 연계동작, 승객경보 연계동작, 신호장치 연계동작, 방송/표시기장치 연계동작, 연계장치와의 통신 및 입출력확인
제동시험	제동장치동작시험, 제동장치제어시험, 제동제어장치시험, 기초제동장치, 제동 블렌딩 제어장치시험, 활주검지제어시험, 차축비회전검지시험, 제동불완해검지

	시험, 공기압축기제어시험, 공기압축기시험, 대차 이상진동 감지기능시험, 동력 전달장치 불균형 및 절손검지시험, sanding 및 도유기장치 시험
냉난방환기장치시험	운전가동시험, 온도분포측정시험, 환기장치시험
여압장치시험	여압성능 시험
기능 및 동작 시험	제어회로시험, 시동정지 및 운전실교환, 역행시험, 객실/운전실기기시험, 열차무선방호장치시험, 기관사경계장치시험, 속도연산장치시험, 고장기록확인시험, 출입문작동시험, 철도소프트웨어시험
기밀시험	양압시험, 음압시험
지상설비연계동작시험	신호장치 시험, 열차무선장치 지상연계시험
중련운전시험	중련운전제어시험, 중련운전편성시험, 편성연결시제어시험, 고장기록확인시험, 원격제어시험,
화재감지시험	열감지 동작확인시험, 연기감지동작시험



그림 5-8. 완성차시험 예 : 기밀시험 측정장치 설치

□ 고속열차 기술기준(Part 31) 항목별 개정 검토

- 고속열차 기술기준 각 항목별로 속도 증가에 따라 개정 필요성을 항목별 중요도에 따라 Level 1에서 Level 4까지 분류

표 5-11. 기술기준 항목 검토 필요성에 따른 분류

구분	내용
Level 1	필수 개정 항목
Level 2	개정 필요성 높음
Level 3	추후 개정 여부 검토
Level 4	현재 기준 유지

－ 필수요구사항 항목

표 5-12. 필수요구사항 항목

필수 요구사항 항목		검토 사항
안전	차량한계	Level 4
	주행안전	Level 3
	충돌안전	Level 3
	화재안전	Level 3
	전기안전	Level 3
	위험도분석	Level 4
성능	소프트웨어	Level 4
	운행조건	Level 3
	운행성능	Level 3
인터페이스	전력	Level 3
	신호	Level 3
	통신	Level 3
	궤도	Level 3
	기관사	Level 3
운영유지관리	유지보수 기준	Level 3
	유지보수성	Level 3
	유지보수 자료	Level 3
운용한계	안전운행	Level 2
	신뢰성 및 가용성	Level 3
	보건	Level 4
	소음	Level 2
	구원운전	Level 4
	공기역학적 특성	Level 2

－ 주요 장치별 기준

표 5-13. 주요 장치별 기준

주요 장치별 기준		검토 사항
차체 및 설비	구조체 설계	Level 4
	구조체 안전	Level 3
	실내기압변화	Level 2
	실내설비	Level 3
	리프팅	Level 4
	장애물제거기	Level 3
	부식억제	Level 4

	출입문	Level 3
	승무원출입문	Level 3
	출입문-스크린도어	Level 4
	차량간 통로문	Level 3
	냉난방 환기장치	Level 3
	등구류	Level 4
	의자 및 선반	Level 4
	전면유리창	Level 3
	측면유리창 및 기타	Level 3
	운전실 및 비상탈출구	Level 3
	승객용 비상출구	Level 4
	경적	Level 4
	열차 비상용품	Level 4
	고압가스 운송차량 특수장치	Level 4
주행장치	주행장치 설계	Level 3
	주행장치 틀	Level 3
	윤축 및 차륜	Level 3
	축상 조립 장치	Level 3
	현가장치	Level 3
	차체지지 장치	Level 4
차량신호	구동장치	Level 3
	시스템 일반	Level 3
	자동열차정지 장치	Level 3
	자동열차방호 장치	Level 3
	자동열차제어 장치	Level 3
	자동열차 운전장치	Level 3
제동장치	제동장치 설계	Level 1
	제동 요구사항	Level 3
	비상제동	Level 3
	상용제동	Level 3
	주차제동	Level 4
	기초제동	Level 3
	압축 공기 공급장치	Level 3
	활주방지	Level 3
	구원운전시 제동	Level 3
	제동 상태 표시	Level 4
추진장치	설계 요구사항	Level 3
	인버터/컨버터	Level 3
	견인전동기	Level 3
	보호기능	Level 3
	집전장치	Level 3
	비상운전	Level 4
	피뢰기	Level 4
	주퓨즈	Level 4
	차단기	Level 4
	필터리액터	Level 4
차량 보조전원장치	보조전원장치 설계	Level 4
	보호기능	Level 3

	연장급전	Level 3
	유도장애 억제	Level 4
	보조전원용 인버터	Level 4
	축전지	Level 3
차량 종합제어	종합제어장치 설계	Level 3
	운전상태 확인 장치	Level 3
	열차 운행 기능	Level 3
연결장치	연결기	Level 3
	통로연결장치	Level 3

- 시험 규격서

표 5-14. 시험 규격서

	주요 장치별 기준	검토 사항
부품시험	내장판 화재시험	Level 4
	의자 화재시험	Level 4
	통로연결막 화재시험	Level 4
	바닥재 화재시험	Level 4
	전선 화재시험	Level 4
	차체 외장 화재시험	Level 4
	내화 성능시험	Level 4
	자동화재진압설비시험	Level 4
	전자제어기기시험	Level 3
	유리창시험	Level 3
	의자강도시험	Level 4
구성품시험	구조체 하중시험	Level 3
	대차시험	Level 2
	대차안정성시험	Level 2
	차체지지장치시험	Level 4
	집전장치시험	Level 3
	추진제어장치시험	Level 3
	보조전원장치시험	Level 3
	차상신호장치시험	Level 3
	종합제어장치시험	Level 3
	제동장치시험	Level 1
	냉난방환기장치시험	Level 3
	여압장치시험	Level 2
	출입문 시험	Level 3
	충돌안전시험	Level 3
완성차시험	중량측정시험	Level 4
	차량한계측정	Level 4
	곡선통과시험	Level 4
	접지시험	Level 4
	절연저항시험	Level 4

	내전압시험	Level 3
	누수시험	Level 3
	차체리프팅시험	Level 4
	집전장치시험	Level 2
	추진제어장치시험	Level 2
	차상신호장치시험	Level 2
	종합제어장치시험	Level 2
	제동시험	Level 1
	냉난방환기장치시험	Level 3
	기능 및 동작시험	Level 3
	기밀시험	Level 2
	차량설비연계동작시험	Level 4
	중련운전시험	Level 3
	화재감지시험	Level 4
	시운전시험	역행시험
제동시험		Level 1
최고속도 시험		Level 1
집전시험		Level 1
유도장애 시험		Level 3
보호장치 동작확인시험		Level 3
소음시험		Level 1
진동시험		Level 1
승차감시험		Level 1
주행저항시험		Level 1
공력특성시험		Level 1
냉난방환기시험		Level 3
여압장치시험		Level 2
지상설비 연계동작시험		Level 3
주요기기온도 및 상태시험		Level 3
주행안전성 시험		Level 1
중련운전시험		Level 3

○ 기술기준 개정 방향

- 운영속도 증가에 따른 속도별 기준치 검토
- 기술기준내 혼용되어 있는 용어 정리 : 최고속도, 운행속도, 제한속도, 설계 속도등
- 주요 성능 별 기준치 검토를 통한 유사 항목 개정 : 진동, 온도, 내구 등 주요 성능에 대한 기준치 재정립
- 고속철도 차량 주요 장치 기준 기본 파라미터 재검토 : 궤도부담력, 기구학적 한계, 최소제동성

능, 전기적 특성, 기계적 특성, 소음한계, 경량화, 인터페이스 설계, 최대 압력변화, 집전장치 구조/배열, 유지보수 등

- 적용 규격 강화 : EN, IEC, TSI 해외 기술 기준 확대로 고속철도 차량의 국제 표준화 리드화

5-3 기술수요 조사

가. 수요조사

□ 개요

○ 조사목적

- '370kph 이상 고속운행 핵심기술 및 평가기준 개발'의 기술발굴을 위한 산·학·연의 다양한 창의적 R&D 수요를 수렴
- 370kph 이상 고속운행 핵심기술 및 평가기준 개발 기획·추진을 위한 과제 수립에 활용

○ 조사기간

- 1차 조사 : 2021. 7. 27. ~ 2021. 8. 13.
- 2차 조사 : 2021. 8. 25. ~ 2021. 9. 6.

○ 조사내용

- 기술 분야별(고속철도 차량 핵심장치, 시스템 성능 등) 기술개발 개요, 주요 개발내용 및 범위, 예상 사업규모 등

○ 공고·홍보

- 국토교통분야 관련 기관 DB(철기연 내부 자료) 및 사업수행기관 보유 DB 내 기업, 대학·연구소에 개별 연락 및 온라인 설문진행* 또한 유관기관**에 대한 참여 독려

* 국토교통분야 R&D 수행 기관, 활동조사 대상 기관 담당자, KRRI 자문위원 등 총 312개 기관의 673명 대상

** 국가철도공단, 한국철도공사(Korail) 등

○ 접수 현황

- 총 80건 접수 (1차 54건, 2차 26건)
- 기업 14(17.5%), 대학 5(6.3%), 연구소 61(76.3%)

○ R&D수요 분포

- 수요기술 분포: 고속철도 차량 핵심장치 45건, 고속철도 시스템 성능 35건의 기술수요 발굴
- 과제별 지원규모는 평균 3.5년간 총 47,3억 원이며, 응답자의 96%가 사업 참여의향이 있는 것으로 나타남

표 5-15. 기술수요조사 접수 현황

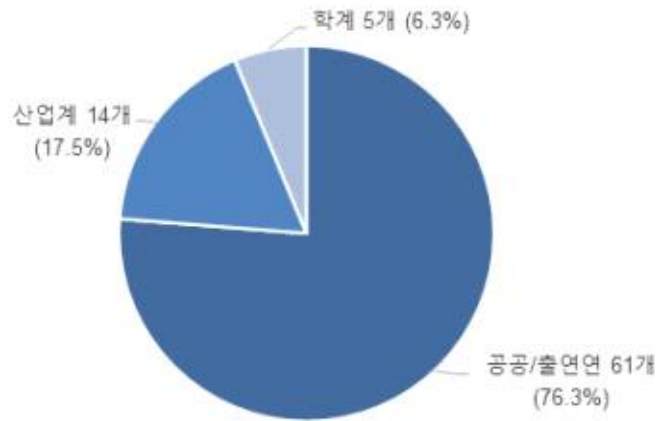
기술분류		제안기술명
대분류	중분류	
고속철도 차량 핵심장치	추진시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 고속열차용 급속충전 하이브리드 배터리 팩 시스템 개발 • 고속영역에서 비트리스 제어알고리즘 개발 • 고속영역에서 재점착제어 알고리즘 개발 • 고속열차용 370kph급 전기동차 주변압기 기술 개발 • 기초제동장치 마모 저감을 위한 회생제동소멸속도 향상 기술 개발 • 추진제어장치 성능 향상 기술 • 동력전달시스템 성능향상 기술 개발 • 370kph 운행 가능한 영구자석 동기전동기 기술 개발
	집전시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 고속차량 팬터그래프 장치의 높이상승제한장치 제거된 장치 개발 필요 • 집전장치(팬터그래프) 구조 및 전기적 안전성 향상 기술 개발 • 370kph 운행 가능한 능동형 팬터그래프 기술개발 • 속도 향상에 따른 고속철도차량 집전장치 추종성 확보 및 압상력 기준 재 설정 • 열차속도 증가에 따른 집전판 취약요소 개선을 위한 고속차량용 판토그래프 개발
	보조전원시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 고속차량(EMU) 냉난방환기장치 과온센서스위치(1차, 2차) 조작이 객실 배전반에서 조작이 되도록 개발 필요 • 고속차량(EMU) 보조전원장치(Battery charger) BMS 시스템 차단스위치 개발 필요 • 내/외부 압력변동 최소화를 위한 고속차량용 댐퍼시스템 개발
	주행장치	<ul style="list-style-type: none"> • 차량 진동저감 및 승차감향상을 위한 능동현가장치 적용 • 고속차량용 능동 댐퍼 기술 개발 • 400km/h급 고속차량용 베어링 개발 • 차량주행 승차감 향상을 위한 능동현가장치 개발 • 370kph 이상 고속운행 시 주행안전성과 안정성 확보를 위한 최적 차륜구배 선정 • 고속차량 승차감 확보를 위한 객차간 댐퍼 개발 필요 • 고속차량 승차감 확보를 위한 요댐퍼 용량 및 위치 개발 필요 • 초고속열차 주행안전성 확보를 위한 차륜담면형상 최적화 기술개발 • 운영속도 구간에서의 차체 진동(carbody hunting) 억제 기술
	제동장치	<ul style="list-style-type: none"> • 고속철도차량의 전기기계식제동장치 개발 • 제동성능 향상 최적 제동제어 기술 • 400km/h급 고속차량용 제동디스크 및 제동패드, 슈 개발 • 기초제동장치(제동패드 및 제동디스크) 성능 향상 기술 • 제동성능 신뢰성 향상을 위한 제동시스템 핵심부품(제동디스크, 제동패드) 개발 • 제동성능 향상 및 실내소음 저감을 위한 고속차량용 기계제동장치 개발 • 내열·내마모성 제동디스크(차축/차륜) 및 제동패드 개발
	차체/차내설비	<ul style="list-style-type: none"> • 실내소음 저감을 위한 고속차량용 차량연결막 개발 • 실내소음 저감을 위한 차체 저주파 음향투과손실 향상 • 400km/h급 고속차량용 자동 승강문 개발 • 400km/h급 최전/후부 차체형상 개발 • 실내소음 저감을 위한 전도부 및 차체형상 개발 • 운행안전성 및 소음 저감을 위한 고속차량용 하부 방진막 개발 • 고 기밀성 및 저소음 플러그 아웃 포켓 슬라이딩 방식 출입문 개발 • 공기 역학적인 전두부 개발(유선형 디자인) • 전두부 해치시스템 운영성 향상 개발 • 실내 기밀 향상을 위한 고속차량용 플랩 개발 • 여압제어장치 개발

기술분류		제안기술명
대분류	중분류	
	열차제어시스템	<ul style="list-style-type: none"> 고속운행 신호시스템 기존설비 인터페이스 기술기준 및 평가체계 개발
고속철도 시스템 성능	고속철도 시스템 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> 370kph 이상 고속 전차선 시스템 설계 기술 370Kph 급 고속철도차량 핵심기술의 적합성 평가 및 기술기준(안) 개발 주행안전을 위한 차량주요장치의 안전감시기술 개발 고속철도의 차상 진동신호와 V2X를 이용한 노반/궤도상태 관측시스템 개발 승객 쾌적성 관점의 실내소음 평가 기준 도출 370km/h 고속철도의 안전성 기준개발 및 평가체계 연구 370kph급 고속철도 상용노선 안전성 확보를 위한 건설기준 검증 고속열차 운행 및 감시 진단 기술 속도 향상에 따른 차량 충돌기준 재 정립 370km/h이상 고속운행을 위한 차량과 시설물과의 인터페이스 기준 정립
	주행성능	<ul style="list-style-type: none"> 370kph 운행시 차량 및 인프라 유지보수 비용 저감 핵심 기술 개발 370 km/h 이상 운행속도의 안정적인 주행성능 확보를 위한 주행환경 모니터링 및 진동제어 기술 개발 고속철도차량의 고속운행 시 외부 공력소음의 내부 전달음 예측 및 저감기술 개발 고급실내소음을 위한 자가적응형 소음기 및 평가법 개발 고속철도차량의 운행 안전성 향상과 소음저감, 유지보수의 신속성 및 신뢰성 증대를위한370kph고속운행이가능한승강문시스템기술개발 공력소음 예측/시험, 저감 설계 기술 진동/승차감 개선 위한 해석기술 고효율 고속열차 객실소음 저감 기술 저소음 차량 연결막장치 기술 개발 고속철도차량 소음저감을 위한 대차스커트 시스템 개발 고속철도차량 운행 안전성 향상을 위한 승강문 시스템 기술개발 고속철도 주행성능 자가진단 시스템 개발 철도차량 운영 안정성 확보 기술 공력소음 저감형 전두부 형상 기술 개발 승차감 및 주행안전성 향상을 위한 기준정립 및 관련 기술개발 주행소음 저감형 주행장치 기술 개발 고속철도용 주행 승차감 향상 및 진동 저감을 위한 댐핑 설계·제작 기술개발 고속운행 실내 승차감 향상 기술 공력성능 향상을 위한 차체 공력설계 핵심기술 개발 370km/h급 고속열차 공력성능 개선 기술 개발 370kph 이상 고속운행 열차 탑승객 승차감 확보를 위한 시험규격 마련 고속열차 주행저항 저감 예측/저감 기술개발
	운영 / 환경	<ul style="list-style-type: none"> 추진시스템 장치의 냉각장치(송풍기) 인입 공기 유입 관로(통로) 개발 고속차량 대차 주행환경 정보 송·수신 및 능동관리 기술 개발 공력소음 저감형 전두부 형상 기술 개발

□ 분석결과

○ 일반사항

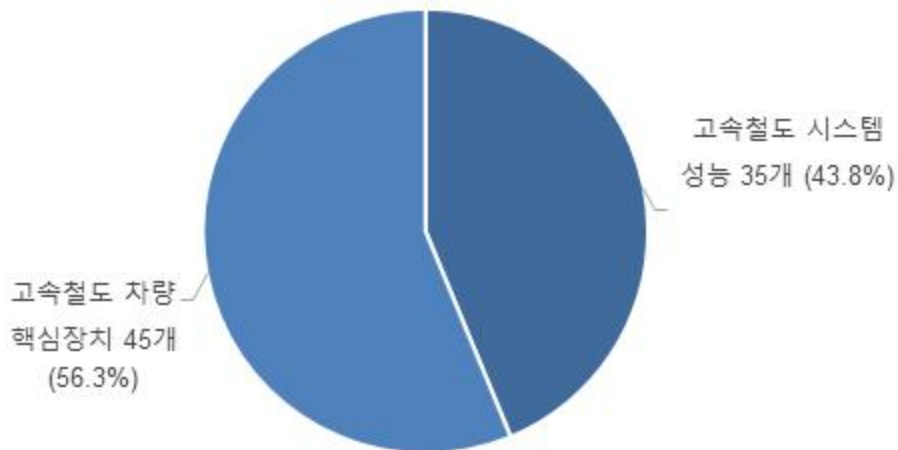
- (기관형태) 응답자의 소속기관의 유형을 보면, 공공기관·출연연 61개(76.3%), 산업계 14개(17.5%), 학계 5개(6.3%) 순임



* 응답 80개, 무응답 없음

그림 5-9. 응답자 소속기관 형태

- (기술분야_대분류) 고속철도 기술분야 중 고속철도 차량 핵심장치 개발(56.3%)로 고속철도 시스템 성능 기술개발(43.8%)보다 수요도가 높게 나타남



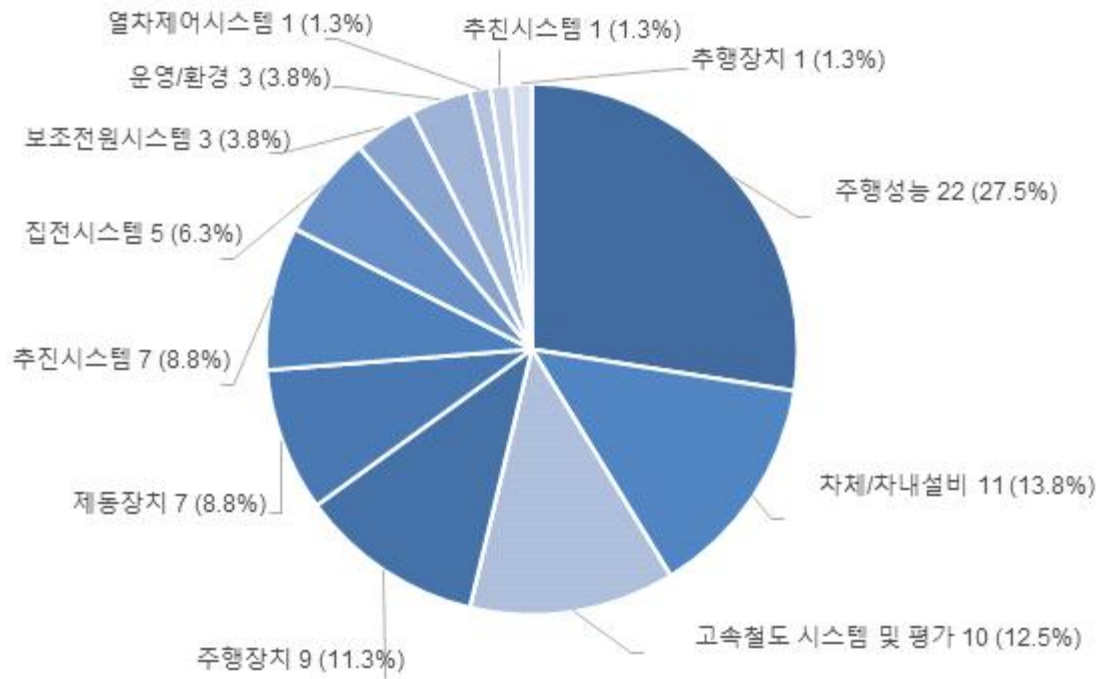
* 응답 80개, 무응답 없음

그림 5-10. 응답자의 기술분야 수요도(대분류)

- (기술분야_중분류) 고속철도 기술분야를 중분류로 구분하여 살펴보면, 고속철도 시스템 성능에 포함되는 주행성능(27.5%) 기술개발에 대한 수요가 가장 높았고, 차체/차내설비(13.8%), 고속

철도 시스템 및 평가(12.5%) 순임

- 고속철도 시스템 성능에 포함되는 기술 3개 중 2개의 기술분야가 빈도 상위 3순위에 포함되어 해당 기술분야에 대한 수요가 높은 것으로 나타남

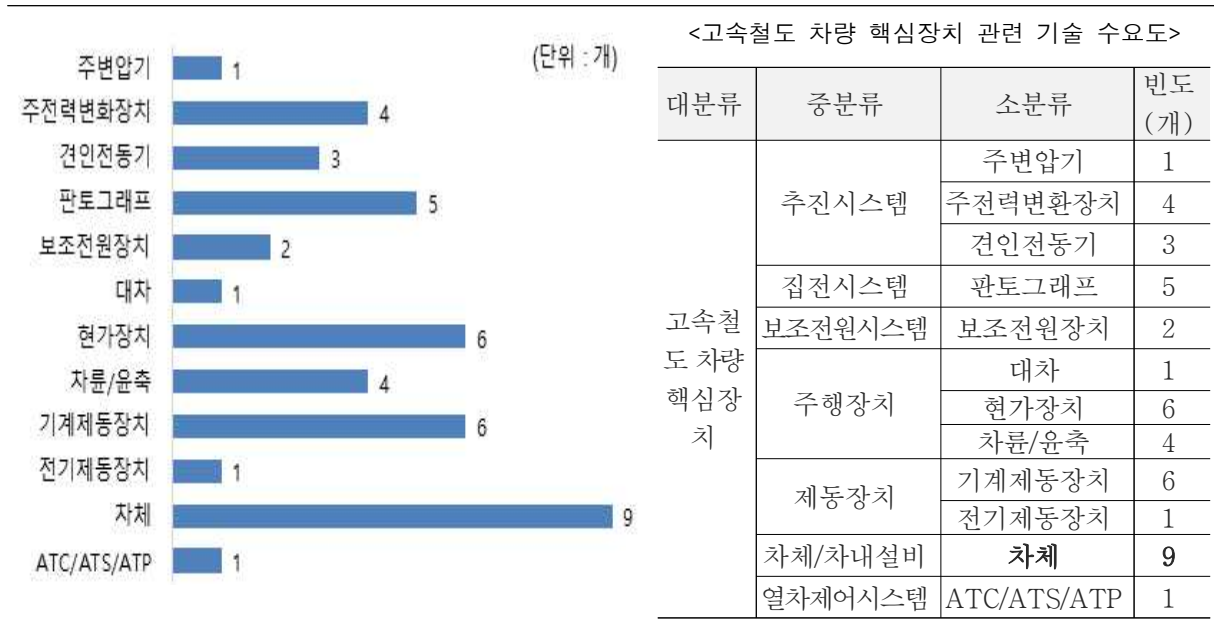


* 응답 80개, 무응답 없음

그림 5-11. 응답자의 기술분야 수요도(중분류)

- (기술분야_소분류1) 고속철도 기술분야를 소분류로 구분하여 살펴보면, 고속철도 차량 핵심장치 관련 기술에서는 차체(23.9%)에 대한 기술의 수요도가 가장 높게 나타남

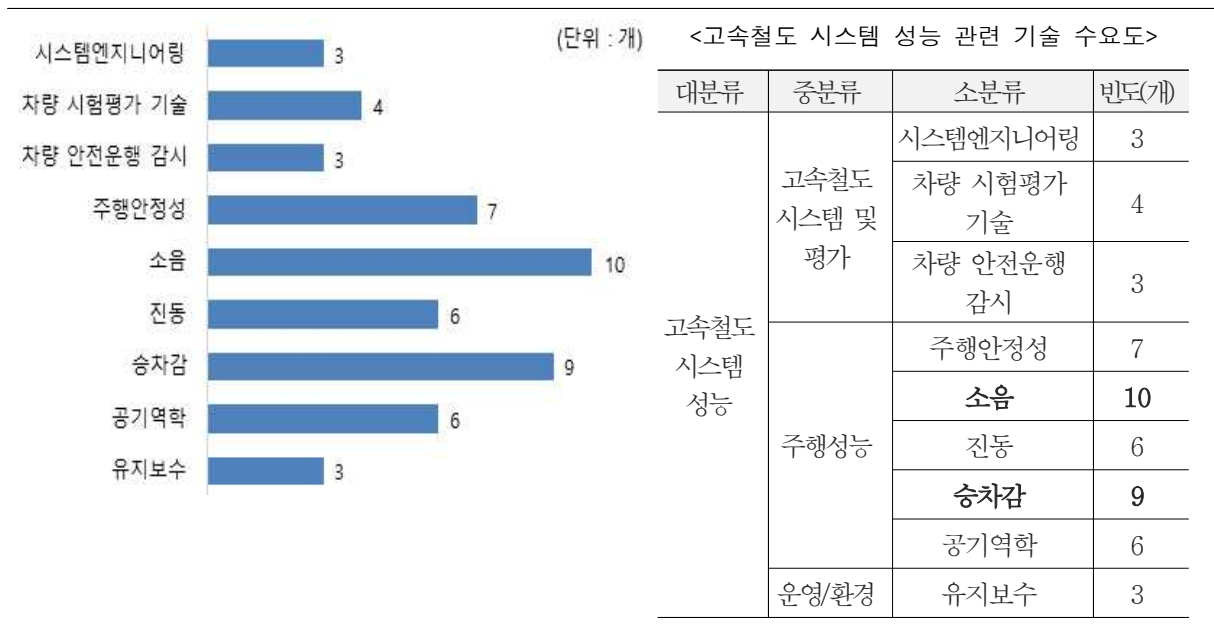
표 5-16. 고속철도 차량 핵심장치 관련 기술 수요



* 응답 43개(중복응답)

- (기술분야_소분류2) 고속철도 기술분야를 소분류로 구분하여 살펴보면, 고속철도 시스템 성능 관련 기술에서는 소음(20.8%) 및 승차감(18.8%)에 대한 기술의 수요도가 가장 높게 나타남

표 5-17. 고속철도 시스템 성능 관련 기술 수요



* 응답 51개(중복응답)

나. 우선순위 평가

□ 개요

- 목적 : 국토교통부에서 기획하고 있는 ‘370kph 이상 고속운행 핵심기술 및 평가기준 개발’ 사업 기획 및 추진을 위해 필요한 기술 분야의 우선순위를 파악하고자 함
 - 방법 : 고속철도기술 분야 전문가를 대상으로 ‘우선순위 평가 설문지’ 배포 및 수집
 - 평가 기간 : 2021.10.14.~ 10.17.
 - 평가자 : 고속철도차량 및 시스템 관련 전문가 29인
 - 분석 : AHP(Analytic HierarchyProcess)* 활용
- * AHP 분석은 상대적 중요도 혹은 선호도를 비율 척도(ratio scale)로 측정하여 정량적 결과를 도출하는 방법으로 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부 요인들로 분해하고 이러한 요인들에 대한 일대일 비교(쌍대비교)를 통해 생성된 데이터를 기반으로 상대적 중요도를 산출하는 방법

□ 평가수행

- 다음의 AHP 분석 프로세스를 통해 고속철도 성능향상을 위한 핵심기술 및 평가기준 개발 관련 기술 분야의 우선순위를 도출



- (1단계) 목표 설정 및 계층구조 결정

- (목표) 370kph 이상 고속운행 핵심기술 및 평가기준 개발
- (계층구조) 목표가 설정되면 평가기준과 하위 평가기준으로 나누어 계층구조를 결정
- * 평가기준은 '고속철도 차량 핵심장치'와 '고속철도 시스템 성능'으로 구분하며, 하위 평가기준은 아래와 같이 구분함



그림 5-13. AHP 계층구조

표 5-18. AHP 평가기준

평가 기준		세부 기술 내용
고속철도 차량 핵심장치	추진시스템	주변압기, 주전력변환장치, 견인전동기
	집전시스템	판토타이프, 고압보호회로
	보조전원시스템	보조전원장치, 냉난방환기장치, Battery Charger
	주행장치	대차, 현가장치, 차륜/윤축, 감속구동장치
	제동장치	기계제동장치, 전기제동장치
	차체/차내설비	차체, 차량연결기, 의장/내장
	열차제어시스템	열차제어진단장치, ATC/ATS/ATP, 운전지원시스템
고속철도 시스템 성능	고속철도 시스템 및 평가	시스템엔지니어링, 차량 시험평가 기술, 차량 안전운행 감시
	주행성능	주행안정성, 소음, 진동, 승차감, 공기역학, Slip/Slie 예측 제어
	운영 / 환경	유지보수, 전자계 환경, 경제 운전

○ (2단계) 비교 행렬 작성

- 이전 단계에서 설정한 평가기준 요소를 두 개씩 짝지어 평가하는 쌍대비교(pairwise comparison)를 실시함
- 1계층의 하위 평가기준인 2계층 평가기준에 대한 일대일 쌍대비교를 실시함
- * 2계층 쌍대비교 : (고속철도 차량 핵심장치) 추진시스템, 집전시스템, 보조전원시스템, 주행장치, 제동장치, 차체/차내설비, 열차제어시스템과 (고속철도 시스템 성능) 고속철도 시스템 및 평가, 주행성능, 운영/환경 10개의 평가 요소를 두 개씩 짝지어 중요도를 비교

다. 분석결과

□ 응답 일관성 검증

- 응답자의 응답 일관성 검증 결과, 총 29개의 응답 중 일관성이 없다고 판단된 5개의 응답을 제외한 24개의 응답이 일관성 있는 응답을 한 것으로 확인됨

표 5-19. 응답별 일관성 검증

응답 번호	일관성 검증(CI)	일치성비율(CR)	일관성 검증 결과*
응답 1	0.0436	0.0296	일관성 만족
응답 2	0.0928	0.0631	일관성 만족
응답 3	0.1252	0.0851	일관성 만족
응답 4	0.1022	0.0695	일관성 만족
응답 5	0.0869	0.0591	일관성 만족
응답 6	0.2422	0.1648	일관성 불만족
응답 7	0.0734	0.0500	일관성 만족
응답 8	0.1082	0.0736	일관성 만족
응답 9	0.1293	0.0880	일관성 만족
응답 10	0.1078	0.0733	일관성 만족
응답 11	0.3678	0.2502	일관성 불만족
응답 12	0.0972	0.0661	일관성 만족
응답 13	0.3441	0.2341	일관성 불만족
응답 14	0.1106	0.0752	일관성 만족
응답 15	0.0822	0.0559	일관성 만족
응답 16	0.0824	0.0561	일관성 만족
응답 17	0.0800	0.0544	일관성 만족
응답 18	0.1315	0.0895	일관성 만족
응답 19	0.1574	0.1070	일관성 불만족
응답 20	0.0391	0.0266	일관성 만족
응답 21	0.0979	0.0666	일관성 만족
응답 22	0.0605	0.0411	일관성 만족
응답 23	0.0611	0.0416	일관성 만족
응답 24	0.0758	0.0516	일관성 만족
응답 25	0.1008	0.0686	일관성 만족
응답 26	0.1034	0.0703	일관성 만족
응답 27	0.1365	0.0929	일관성 만족
응답 28	0.4443	0.3023	일관성 불만족
응답 29	0.0816	0.0555	일관성 만족

* CR<0.1인 경우, 일관성 만족으로 판단함

- 따라서 최종 분석에는 일관성 검증에서 확인된 25개의 응답을 기준으로 우선순위를 도출함

□ 우선순위 도출

- 총 10개의 항목 중 응답자별 우선순위 결과를 도출한 후, 1순위부터 10순위까지의 항목에 10점부터 1점까지 가중치를 부여함
- 가중치를 적용한 항목별 점수의 합계를 기준으로 우선순위를 아래와 같이 도출함
 - 1순위는 주변압기, 주전력변화장치 등의 기술이 포함된 ‘추진시스템’ 기술(합계 208)이었으며, 2순위는 주행안정성, 소음, 진동, 승차감, 공기역학 등의 기술이 포함된 ‘주행성능’ 기술(합계 197)로 나타남
 - 다음으로는 ‘주행장치’, ‘고속철도 시스템 및 평가’, ‘열차제어시스템’ 등의 순으로 나타남

표 5-20. 기술별 우선순위 도출 결과

순위	기술명	합계
1	추진시스템	208
2	주행성능	197
3	주행장치	164
4	고속철도 시스템 및 평가	150
4	열차제어시스템	150
6	제동장치	142
7	집전시스템	102
8	운영/환경	98
9	보조전원시스템	73
10	차체/차내설비	36

□ 소결

- ‘370kph 이상 고속운행 핵심기술 및 평가기준 개발’의 기술발굴의 우선순위 도출을 위해 전문가를 대상으로 AHP 분석을 진행함
- 기술수요조사에서는 고속철도 차량 핵심장치 기술의 ‘차체/차내설비’와 ‘주행장치(현가장치, 차륜/윤축)’의 기술수요가 높았으며, 고속철도 시스템 성능 기술에서는 ‘주행성능’(특히 소음, 주행안정성)에 대한 기술수요가 높았음
 - AHP 우선순위분석에서는 고속철도차량 기술 중 고속철도 차량 핵심장치 기술개발에 해당하는

‘추진시스템’과 ‘주행장치’, 고속철도 시스템 성능 기술에 포함되는 ‘주행성능’ 기술의 우선순위가 높게 나타남

- 고속철도 관련 산·학·연 전문가를 대상으로 한 기술수요조사와 AHP 우선순위분석 결과를 종합적으로 살펴본 결과, 고속철도차량의 370kph 이상의 고속운행을 위해 필요한 기술개발과 더불어 기준개발 및 설정에 대한 과제가 우선적으로 시행되어야 할 것으로 보임
 - 370kph 이상의 고속운행을 위한 고속철도차량의 핵심성능 예측 및 검증에 대한 기술기준 설정 등의 연구 필요
 - 고속철도차량의 필수적으로 요구되는 핵심성능 기준 개정, 시험규격서 등 적합성 평가를 위한 연구가 필요함
 - 370kph급 고속철도차량의 상용화 핵심기술을 개발하기 위한 요소기술(장치), 시스템 설계 고도화 연구가 필요함

라. 기획위원회 심의

□ 과제 기획위원회 구성

- 기술수요 조사 결과를 심의하기 하고, 기획 연구의 추진 방향을 설정하기 위하여 철도운영기관, 학계, 철도관리 기관 등의 고속철도 차량 분야 전문가로 구성된 기획위원회를 구성함.
- 심의 내용 : 사업 추진 전략, 추진체계, 중점 지원분야, 국내외 동향 조사 및 기술수요 자상의 타당성 등 사업 기획 전반 심의

□ 과제 기획위원회 주요 의견

- 속도 향상에 따른 차량 주요 성능 연구 의견
 - 차량 실내 소음 분야
 - 발라스트 도상을 기반으로 한 프랑스의 소음관리 기준은 슬라브 도상이 증가하는 국내 현실과 상이함. 발라스트 도상은 슬라브 도상에 비해 3 ~ 6dBA 이상 차이가 있어 승객의 승차감 저하요인으로 작용할 수 있음
 - 발라스트 도상에 비해 슬라브 도상에서의 차내소음이 높게 나타나는 특성을 반영하여, 고속에서 승객의 최소 승차감 확보를 위한 소음기준 연구 필요
 - * Ex) 슬라브 도상 70dBA, 발라스트 도상 66dBA 이하, 터널에서 +6dBA
 - 압력 분야
 - 기존 고속선의 터널 단면적은 경부 1단계 100m²에서 수도권고속선 77m²으로 지속적으로 감소 중으로 터널 입출시 미기압과 발생에 대비한 전두부 형상 연구, 터널에서의 차내외 압력변동에 필요한 기술적 요구사항, 차체 측판 및 단판의 변형 등에

- 대한 해석 등 새로운 기술기준에 대한 연구 필요
- 차량 진동 분야
 - 국내 고속철도 차륜은 형상 치수만을 기준으로 관리되어, 고속에서의 차량진동 제어를 위한 Critical Item에 대한 적정 기술기준이 부재한 상태임
 - 현가장치의 Damping Factor와 차륜답면과의 조합에 따라 임계속도가 정해지므로 충분한 해석과 시험으로 관리기준 수립 필요
 - 현 350km/h 이하에서 EC 기준은 0.3이나, 400km/h에서의 관리기준이 없으므로 새로운 관리 기준 설립을 위한 연구 필요
 - 안티요댐퍼의 Damping Factor를 추적할 수 있는 Active Damper 등 새로운 기술 연구가 필요함
- 집전장치 분야
 - 팬터그래프의 압상력에 따라 집전성능 및 이선율이 결정되는 특성으로 증속에 따른 새로운 팬터그래프의 기술기준 필요
 - 고속에서의 집전성능을 확보할 수 있도록 전차선 장력을 기준으로 300km/h 이상에서 속도대역별 압상력 프로파일 연구가 필요함
- 기술수요 조사 결과 관련 의견
 - 기술 수요 조사 결과의 적합성 분석 및 평가의 대상 항목은 적절하게 산출하였음
 - 개발된 기술기준(안)에 대하여 TSI working group 참여자, UIC 관계자 등 해외 철도 전문가에게 자문의견을 청취하여 반영하는 것이 필요
- 철도차량 기술기준 개정 관련 의견
 - 차세대고속열차(HEMU-430X)에서 개발된 주요장치에 대한 성능기준과 기술기준에서 제시된 성능기준을 비교하여 철도차량기술기준 Part 31의 검토 및 개정이 필요함
 - 설계 적합성 검증을 위한 시험·검사 기준서 고도화 및 부품/구성품/완성차 적합성 평가 절차 개발 및 고도화, TSI 등 해외 기준 등과의 부합성 및 기술기준(안) 고시를 위한 관련 법령 검토가 필요함
 - 400km/h에 맞는 주행 안전 성능(윤증감소량, 횡압 등) 검증 및 차량과 시설물(전차선, 신호 등)의 인터페이스 안전성 검증이 필요하며, 비상제동 기준 설정, 주행저항식 도출, 진동·승차감 시뮬레이션, 소음의 속도대역별 평가 기준, 주회로차단기 및 팬터그래프 주위 공력소음 저감 방안 등이 제시되어야 함
 - 해외 TSI 기준에을 반영하여 국내 고속차량 기술기준을 상향하는 것이 필요함
 - 현 철도차량 충돌기준을 속도향상에 따른 강화된 기준으로 재정립이 필요함
- 기타 : 기술기준 개정시 철도운영사 및 관리 기관의 참여 검토 필요

5-4 연구개발 사업 추진체계 및 전략

□ 중점추진 분야

표 5-21. 중점 추진 분야별 주요 연구개발 내용

중점 추진 분야	주요 내용
1. 운행속도 350km/h~400km/h 고속철도차량 필수 요구사항 항목 적합성 분석 및 평가지표 제시	<ul style="list-style-type: none"> ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 안전성능 항목*의 적합성 분석 ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 운행성능** 항목 성능 예측 및 평가지표 제시 * 기술기준 3.2 안전, 3.4 인터페이스, ** 기술기준 3.3 성능, 3.6 운용한계 ○ 고속철도차량 기술기준 개정(안) 검증 계획수립
2. 고속철도차량 기술기준 개정(안) 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 필수요구사항 및 주요장치 기준 개정(안) 개발 ○ 고속철도차량 적합성 평가를 위한 시험규격서 개정(안) 개발 ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 기술개정(안) 고시 지원
3. 370km/h급 고속철도차량 상용화 핵심기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370km/h급 고속철도차량 개념설계(안) 제시 ○ 370km/h급 고속철도차량 공력/소음 성능 확보를 위한 설계기술 고도화 ○ 370km/h급 고속철도차량 진동/승차감 성능 확보를 위한 설계기술 고도화

□ 추진전략 및 절차

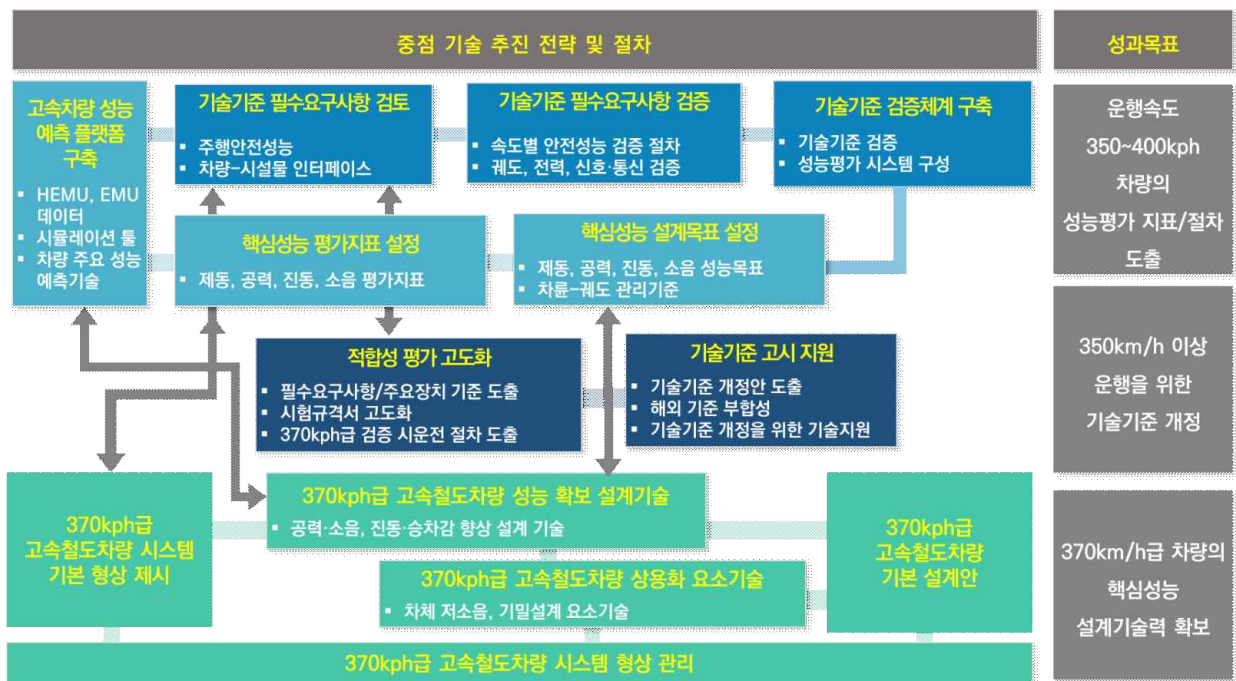


그림 5-16. 중점기술 추진전략 및 절차

□ 사업 추진 방법

- 본 연구개발 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 주관연구기관을 중심으로 '전략수립→사업관리→성과관리' 3단계의 사업운영 체계를 구축하여 운영 및 관리

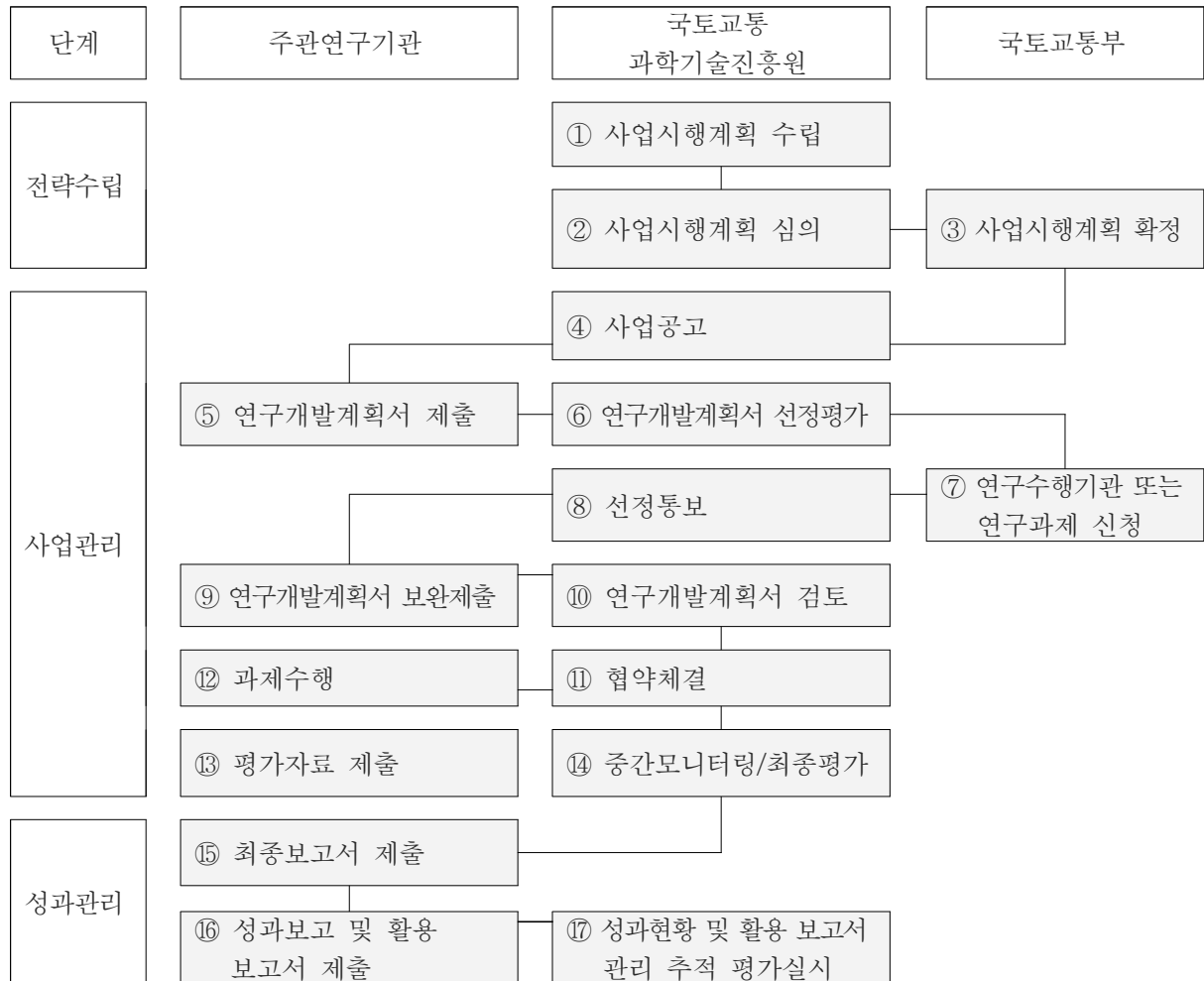


그림 5-17. 연구개발 사업 전주기 사업관리 계획

6. 연구개발 추진계획

6-1. 연구개발 세부 추진 내용

가. 운행속도 350km/h~400km/h 고속철도차량 기술기준 개정 필수 요구사항 항목 적합성 분석 및 평가지표 제시

□ 연구개발 목적 및 필요성

- 기술기준의 필수요구사항 중 증속 운행 시 검토해야 할 항목(안전, 성능, 인터페이스, 운행한계)에 대하여 시뮬레이션 등을 통해 속도 대역별로 값(?)을 예측하고 개정이 필요한 항목에 대해서는 기준값을 제시. 또한, 개정된 기술기준 항목에 대한 검증과 고속운행 차량의 운행안전 감시를 위한 시험평가 기술을 개발
- 고속철도 차량 필수요구사항 검토 및 개정
 - 고속철도차량 기술기준(KRTS-VE-Part31)에서는 속도별 분류 중 제1종의 경우 최고속도 350 km/h를 초과하는 고속철도차량으로 정의만 존재하며, 최고속도가 350 km/h를 초과할 경우 현재의 기술기준 적용외에 추가적인 기준이 요구됨을 명시하고 있음
 - 기술기준에서 정의된 항목 중 필수요구사항은 주로 전체 차량시스템 레벨에서 제작자가 철도차량에 대하여 설계검증을 의무적으로 수행해야 할 항목임
 - 고속철도차량 기술기준의 필수요구사항은 차량한계, 주행안전, 충돌안전, 화재안전, 전기안전, 위험도분석, 소프트웨어, 인터페이스, 운영 및 유지관련 및 운용한계의 총 10가지 항목으로 구분되어 있음
 - 상기 항목 중 350 km/h 속도를 초과하는 고속철도차량의 제작시 필수요구사항에 대한 일부 항목에 대하여 본 과제에서의 검토 및 기술기준의 개발이 필요함
- 370kph 이상 운행 고속철도차량 핵심성능 (운행성능, 운용한계)
 - 고속열차의 실내소음은 운영사의 요구사항으로 제시되나 우리나라에서는 실내소음이 승객의 불만족 요인으로 중요하게 고려되고 있으며, 특히 고속열차의 실내소음은 일반 전동차 등에 비해 엄격한 기준이 적용*되고 있음
 - * 현재 적용되고 있는 320km/h급 동력분산형 열차의 실내소음 기준은 개활지에서 70dB(A), 터널에서 77dB(A)로 150km/h급 ITX와 동일함. 또한 공항철도는 100km/h에서 76dB(A), 전동차는 80km/h에서 80dB(A) 수준임
 - HEMU-430X 차량 속도에 따른 실내소음 측정 결과 370km/h 주행 시에는 300km/h 대비 약 5dB(A) 정도의 소음 수준 증가가 예상

- 현재 적용되고 있는 평가 기준인 dB(A)는 음압의 물리적인 크기에 기반을 둔 측정량으로 실제 사람이 느끼는 불쾌감을 정확히 반영하지는 못함*

* Mats E. Nilsson, "A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound", Journal of Sound and Vibration, Vol. 302, pp. 109-207, (2007)

- 따라서 소음 저감 방안과 함께 소음에 대한 승객의 주관적인 불쾌감까지 평가할 수 있는 평가 기준 도입이 필요

○ 기술기준 검증체계 구축 및 시험평가

□ 핵심 연구개발 목표 및 내용

○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 안전성능 항목*의 적합성 분석

* 기술기준 필수 요구사항의 3.2 안전, 3.4 인터페이스 항목

- 주행안전 항목(차량-선로 작용력, 운중감소량, 횡압, 탈선계수, 전복방지) 기준 및 시험규격의 적합성 분석
- 차량-시설물(전차선, 궤도, 신호) 인터페이스를 위한 차량 안전성능 항목 기준 및 시험규격의 적합성 분석

○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 운행성능 항목* 성능 예측 및 평가지표 제시

* 기술기준 필수 요구사항의 3.3 성능, 3.6 운용한계 항목

- 제동성능 예측 및 비상제동 기준 제시
- 주행저항 예측식 도출, 주행저항 평가지표·목표 제시
- 진동·승차감 예측 및 평가지표·목표 제시
- 소음 평가지표 도출 및 속도 대역별 목표 제시
- 공기역학적 특성, 객실내 기압변동 평가지표·목표 제시

○ 고속철도차량 기술기준 개정(안) 검증 계획 수립

- 기술기준 개정(안) 실차 검증을 위한 계획수립
- 370km/h급 고속차량 안전·운행성능 시험평가계획* 수립

* 시험 환경, 시험 일정, 시험측정시스템 구성(안), 시험 예산 등

□ 연차별 연구내용

표 6-1. 연차별 연구내용 (중점분야 1)

연차	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 성능 예측 기반 구축 ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 안전성능 항목 적합성 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 운행속도 대역별 주행안전 6개 항목(차량-선로작용력, 운중감소량, 횡압, 탈선계수, 측압, 교행) 기준 검토 및 속도별 성능 예측 - 차량-시설물 인터페이스 3개 항목(전력, 신호, 궤도)에 대한 기준 검토 및 속도별 성능 예측 ○ 고속철도차량 핵심성능 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심성능 평가항목 및 규격서 검토 - 속도별 핵심 성능(진동·승차감, 소음, 공기역학적 특성, 제동, 주행저항) 예측 - 주요장치에 대한 운영속도 영향분석
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 안전성능 항목 적합성 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 주행안전 6개 항목(차량-선로작용력, 운중감소량, 횡압, 탈선계수, 측압, 교행)에 대한 기준 검토, 시험규격의 적합성 검토 - 차량-시설물 인터페이스 3개 항목(전력, 신호, 궤도) 시험규격 적합성 검토 ○ 고속철도차량 핵심성능 평가지표 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심성능(진동·승차감, 소음, 공기역학적 특성, 제동, 주행저항) 평가지표 제시 및 적합성 검토 ○ 기술기준(안) 검증체계 구축 및 시험평가 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 기술기준(안) 실차 검증을 위한 시험평가 요구사항 도출
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고속철도차량 핵심성능 평가지표 및 설계목표 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심성능 평가지표 선정, 설계목표 설정 - 370km/h급 고속열차 개념설계(안) 및 핵심 요구사항 검토 ○ 기술기준(안) 검증체계 구축 및 시험평가 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 기술기준(안) 실차 검증 체계·절차 수립 - 370km/h급 고속열차의 안전·운행성능 검증을 위한 모니터링 항목 도출 - 차륜 및 궤도 불규칙과 소음·진동 특성 상관관계 분석
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고속철도차량 핵심성능 평가지표 및 설계목표 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 370km/h급 고속열차 기본설계(안) 확인 - 370km/h급 고속열차 핵심성능(견인력, 주행안전, 주행저항, 진동승차감, 소음)의 기술기준 부합성 검토 ○ 기술기준(안) 검증체계 구축 및 시험평가 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소음·진동 평가를 위한 차륜 관리방안 및 선로조건 제시 - 370km/h급 고속열차의 안전·운행성능 평가기술 고도화 및 평가시스템 설계

□ 소요예산

○ 연차별 예산

표 6-2. 연차별 예산 (중점분야 1)

[단위 : 백만원]

비목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
직접비	인건비	266	1,141	847	213	2,468
	연구장비재료비	155	666	494	101	1,416
	연구과제추진비	67	285	212	58	621
	연구활동비	96	412	306	81	895
	연구수당	52	222	165	43	481
	직접비 소계	636	2,726	2,024	496	5,881
간접비		104	444	329	81	957
연구비 총액		740	3,169	2,353	576	6,838

나. 고속철도차량 기술기준 개정(안) 개발

□ 연구개발 목적 및 필요성

○ 고속철도 차량 기술기준 개정

- 고속철도차량 기술기준(KRTS-VE-Part31)에서는 속도별 분류 중 제1종의 경우 최고속도 350 km/h를 초과하는 고속철도차량으로 정의만 존재하며, 최고속도가 350 km/h를 초과할 경우 현재의 기술기준 적용외에 추가적인 기준이 요구됨을 명시하고 있음
- 기술기준에서 정의된 항목 중 필수요구사항은 주로 전체 차량시스템 레벨에서 제작자가 철도차량에 대하여 설계검증을 의무적으로 수행해야 할 항목임
- 고속철도차량 기술기준의 필수요구사항은 차량한계, 주행안전, 충돌안전, 화재안전, 전기안전, 위험도분석, 소프트웨어, 인터페이스, 운영 및 유지관련 및 운용한계의 총 10가지 항목으로 구분되어 있음
- 상기 항목 중 350 km/h 속도를 초과하는 고속철도차량의 제작시 필수요구사항에 대한 일부 항목에 대하여 본 과제에서의 검토 및 기술기준의 개발이 필요함

○ 고속철도차량 적합성 평가(시험규격, 절차서) 고도화

- 11종 부품시험 규격서 검토 결과 중 2종 이상 개정이 필요함
 - 전자제어기기시험 : 속도 증가에 따른 진동 증가로 인한 진동시험 규격 강화 여부 검토 필요
 - 유리창시험 : 속도 증가에 따른 유리창 강도 강화 필요 여부 검토 필요
- 14종 구성품시험 규격서 검토 결과 11종 이상 규격서 상세 검토 및 개정 필요성이 높음
 - 구조체 하중시험, 대차안정성시험, 추진제어장치시험, 차상신호장치시험, 종합제어장치시험, 냉난방환기장치시험, 출입문시험, 충돌안전시험 : 370km/h 운행 속도 증가에 따른 성능 검토 및 개정 여부 검토
 - 대차시험, 집전장치시험, 제동장치시험 : 현행 350km/h이하 운행에서 370km/h 속도 증가에 따른 규격서 개정 필요 높음
- 완성차시험
 - 19종 완성차 시험규격서 결과 중 13종 이상 규격서의 상세 검토 및 개정이 필요함 여부 검토, 1종 개정 필요성 높음, 2종 필수 개정
 - 내전압시험, 누수시험, 추진제어장치시험, 보조전원장치시험, 차상신호장치시험, 종합제어장치시험, 냉난방환기장치시험, 여압장치시험, 기능 및 동작시험, 중련운전시험 : 370km/h 운행 속도 증가에 따른 성능 검토 및 개정 여부 검토
 - 집전장치시험 : 현행 350km/h이하 운행에서 370km/h 속도 증가에 따른 규격서 개정 필요 높음

- 제동시험, 기밀시험 : 시운전 시험의 제동시험과 공력특성시험에 맞추어 성능 향상 및 기준 개정 필요
- 시운전시험
 - 내전압시험, 누수시험, 추진제어장치시험, 보조전원장치시험, 차상신호장치시험, 종합제어장치시험, 냉난방환기장치시험, 여압장치시험, 기능 및 동작시험, 중련운전시험 : 370km/h 운행 속도 증가에 따른 성능 검토 및 개정 여부 검토
 - 집전장치시험 : 현행 350km/h이하 운행에서 370km/h 속도 증가에 따른 규격서 개정 필요 높음
 - 제동시험, 기밀시험 : 시운전 시험의 제동시험과 공력특성시험에 맞추어 성능 향상 및 기준 개정 필요
- 370kph 이상 운행 고속철도차량 형식승인을 위한 기술기준(안) 고시 지원
 - 기술기준(안) 고시를 위한 관련 법령 검토
 - 해외 기술기준과의 부합성 검토

□ 핵심 연구개발 목표 및 내용

- 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 필수요구사항 및 주요장치 기준 개정(안) 개발
 - 고속운행(350~400km/h)에 따른 차량 필수요구사항 검토 및 기준 개정(안) 개발
 - 고속운행(350~400km/h) 차량의 주요장치별 기술기준 검토 및 기준 개정(안) 개발
- 고속철도차량 적합성 평가를 위한 시험규격서 개정(안) 개발
 - 단계별(부품·구성품·완성차) 적합성 평가를 위한 시험규격서 개정(안) 개발
 - 350km/h~400km/h 운행시 필요한 시운전 시험규격서 개정(안) 개발
- 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 기술기준 개정(안) 고시 지원
 - 해외 기술기준과의 부합성 검토
 - 기술기준 개정(안) 고시를 위한 절차 및 법령 검토
 - 기술기준 개정(안)에 대한 관련 기관 의견수렴

□ 연차별 연구내용

표 6-3. 연차별 연구내용 (중점분야 2)

연차	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 필수 요구사항 및 주요장치 기준 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 고속운행(350~400km/h)에 따른 차량 필수 요구사항 검토 및 보완사항 도출 - 운영속도 증가에 따른 필수 요구항목 추가 필요성 검토 - 고속운행(350~400km/h) 차량의 주요장치별 기술기준 검토 ○ 고속철도차량 적합성 평가(시험규격, 절차서) 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 370km/h 이상 운행 시에 필요한 시험규격서 항목별 검토 - 운영속도 증가에 따른 차량 시험 변경사항 도출 - 370km/h 이상 운행 시에 필요한 시운전 시험 절차 개발 - 해외 고속열차 시험규격 검토
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 필수 요구사항 및 주요장치 기준(안) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고속운행(350~400km/h)에 따른 차량 필수 요구사항 개정(안) 개발 - 고속운행(350~400km/h) 차량의 주요장치별 기술기준 개정(안) 개발 ○ 고속철도차량 시험규격 및 절차서 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 370km/h 이상 운행 시에 필요한 시험규격서 고도화 및 개정(안) 개발 - 단계별(부품·구성품·완성차) 적합성 평가 고도화 - 370km/h 이상 운행시에 필요한 시운전 시험 절차 개발 ○ 350km/h~400km/h 운행 고속철도차량 기술기준 개정을 위한 기반 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 기술기준(안) 고시를 위한 관련 법령 검토
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370km/h 급 고속철도차량 기술기준 개정을 위한 기반 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 기술기준(안) 고시를 위한 기술 지원 및 관계기관 의견수렴 - 시운전 시험 절차 표준서 작성
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술기준(안)에 대한 현장 적용성 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 시운전 시험규격 해설서 작성 - 해외 기술기준과의 부합성 검토

□ 소요예산

○ 연차별 예산

표 6-4. 연차별 예산 (중점분야 2)

[단위 : 백만원]

비목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
직접비	인건비	218	536	864	480	2,089
	연구장비재료비	145	357	576	259	1,338
	연구과제추진비	53	134	216	117	521
	연구활동비	61	149	240	169	618
	연구수당	42	104	158	91	405
	직접비 소계	520	1,280	2,065	1,115	4,981
간접비		85	208	336	182	811
연구비 총액		605	1,489	2,401	1,297	5,791

다. 370km/h 급 고속철도차량 상용화 핵심기술 개발

□ 연구개발 목적 및 필요성

- 370kph급 고속철도차량 개념설계안 제시/관리 필요
 - 기술기준 주요 항목 설정을 위한 차량 개념설계(안) 및 기본 요구사항(주행저항, 추진력 등) 제시해야 함
 - 기술기준 핵심 성능지표 달성을 위한 기본설계(안) 제시 필요
 - 전두부, 옥상 기기, 대차 사이드 스커트 및 언더커버, 차량 하부시스템, 차간 연결부, 차체 기밀구조 등 차량 기본설계(안) 제시 및 제작성 확인고속열차의 실내소음은 운영사의 요구사항으로 제시되나 우리나라에서는 실내소음이 승객의 불만족 요인으로 중요하게 고려되고 있으며, 특히 고속열차의 실내소음은 일반 전동차 등에 비해 엄격한 기준이 적용*되고 있음
 - * 현재 적용되고 있는 320km/h급 동력분산형 열차의 실내소음 기준은 개활지에서 70dB(A), 터널에서 77dB(A)로 150km/h급 ITX와 동일함. 또한 공항철도는 100km/h에서 76dB(A), 전동차는 80km/h에서 80dB(A) 수준임
 - HEMU-430X 차량 속도에 따른 실내소음 측정 결과 370km/h 주행 시에는 300km/h 대비 약 5dB(A) 정도의 소음 수준 증가가 예상

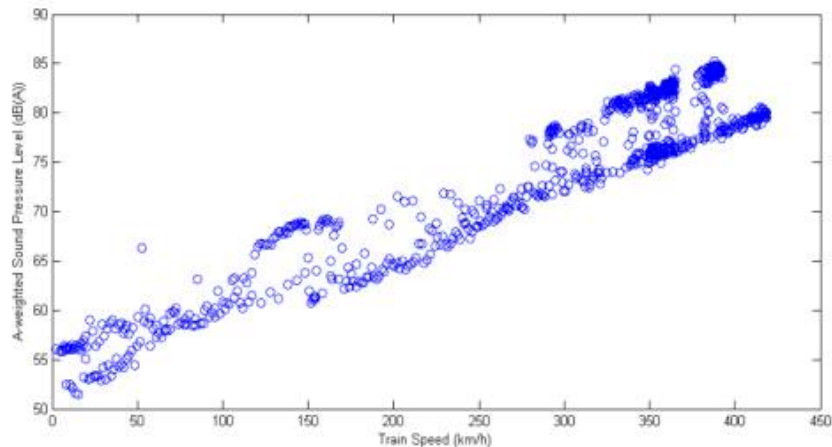


그림 6-1. HEMU-430X 속도에 대한 실내 소음 특성 >

- 승객의 쾌적성 확보를 위한 차량 소음설계안 도출
 - 철도차량의 설계시 실내소음 예측을 위해서는 유한요소해석(FEM) 방법이 주로 사용되어왔음
 - 이 방법은 해석모델의 정확성에 따라 결과의 정확성이 결정되나 철도차량은 크기가 수십미터에 달하며 복잡한 구조체로 구성되어있기 때문에 활용에 한계가 있음
 - 철도와 선박같은 대형 구조물에서는 다양한 전달경로를 통해 실내로 전달되는 소음의 영향을

- 고려하기 위해 초기설계단계에서 구조체의 소음전달특성을 실험적으로 반영할 수 있는 통계적 에너지해석(Statistical Energy Analysis)법이 유용함
- 고속운행시 예상되는 실내소음 문제를 예측하고 저감방안을 마련하기 위한 소음설계를 위한 FEM/SEA 융합 시뮬레이션 툴 확보가 필요
 - SEA 설계인자 도출하기 위해 EMU 차량에 대한 소음원(전동소음, 공력소음 등) 측정 필요
 - 기존 연구에서는 고속열차의 구조체 중 차체 단면구조의 경량·최적화에 중점을 두고 소음설계를 해왔음
 - 상대적으로 소음 투과(전달)에 취약한 창문, 출입문, 연결통로 구조의 소음특성 개선이 필요
 - 차륜과 레일에서 발생하는 진동은 구조소음의 형태로 고속주행 때에도 실내소음에 영향을 줌
 - 이 소음은 차량의 설계뿐만 아니라 운행 중 차륜과 레일의 상태에 따라 영향을 받기 때문에 적절한 차륜 관리가 중요
- 일반적인 고속차량의 객실 창문은 두 개의 접합유리가 복층으로 구성되어있으나 중량 및 내구성 등 문제로 접합유리와 PC(폴리카보네이트) 구조가 적용되고 있음
- 폴리카보네이트는 기존 유리 재질과 소음투과 특성이 다르므로 고속 주행시의 소음원 특성을 고려한 최적 설계가 필요
- 370kph급 고속철도차량 진동/승차감 성능 확보를 위한 적용기술 개발(설계기술 고도화)
- 최근 발주된 EMU-320기반의 차량 설계 기술은 350km/h 이상 속도에서 주행성능(주행안정성, 제동성능, 집전성능)은 대응 가능하지만, 영업 운행을 위한 성능(승차감, 소음/진동 특성 등)의 확보가 어려워 증속 운행시 예상되는 문제점에 대한 선제적 대응·해결을 위한 핵심기술 개발이 필요함
 - 동력객차 대차의 횡방향 가속도는 350km/h의 속도로 주행 시 300km/h 속도 주행 대비 약 1m/s²의 진동 증가가 나타남 (진동 가속도 1m/s² 차이는 승차감 저하에 지대한 영향을 끼침)
 - 운영속도가 370km/h급으로 증가하며 대차의 진동 수준은 급격하게 상승할 것으로 예상됨

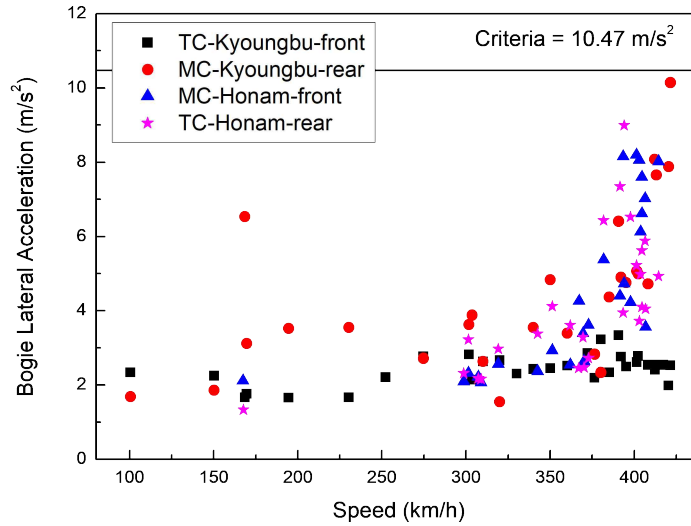


그림 6-2. HEMU-430X 속도에 대한 대차 진동 특성

표 6-5. KS R 9216 승차감 평가 기준

실효값(m/s ²)	평가
0.1 미만	매우 우수(very good comfortable)
0.1 이상 0.178 미만	양호(good comfortable)
0.178 이상 0.315 미만	보통(not uncomfortable)
0.315 이상 0.562 미만	조금 불편함(a little uncomfortable)
0.562 이상 1 미만	불편함(uncomfortable)
1 이상 1.779 미만	매우 불편함(very uncomfortable)
1.779 이상	극히 불편함(extremely uncomfortable)

- 현재 개발된 동력분산식 고속열차의 차체진동 및 승차감은 국제 요구기준을 만족하나, 해외 동력분산식 차량 대비 차체의 진동 수준은 비교적 높음

표 6-6. 주요 고속철도 차량의 진동 수준

대상	차량 제작사	측정구간	차량진동(m/s ²)		주행속도 (자갈궤도)	비고
			횡방향	상하방향		
AGV 575	Alstom	나폴리-로마	0.20	0.30	300km/h	동력분산식 관절형 대차
HEMU	현대로템	광명-대전	0.26	0.37	300km/h	동력분산식 독립 대차
ETR 500	Trevi	로마-나폴리	0.18	0.24	300km/h	동력집중식 독립 대차
KTX-산천	현대로템	광명-대전	0.27	0.45	300km/h	동력집중식 관절형 대차
KTX	Alstom/ 현대로템	광명-대전	0.13	0.32	300km/h	동력집중식 관절형 대차

※ 국제(유럽) 기준 EN14363에 따른 분석 결과 (허용 기준: 횡방향 0.5m/s², 상하방향 0.75m/s²)

- 주행안정성(임계속도)과 진동/승차감은 현가특성 설계시 서로 상충 되는 성능지표로 운영속도가 고속화될수록 이들 지표를 조화롭게 충족시킬 수 있는 현가특성 설계가 필요함
- 국내 고속운행 환경에 맞는 진동 저감형 독자 대차 설계안 제시 및 동적거동 해석을 통한 핵심 설계 인자 최적화가 필요함
- 편성 개념 진동모드 분석 및 이를 반영한 현가 요소 특성(차량간 댐퍼, 안티롤 댐퍼 등) 설계 수행이 필요함

□ 핵심 연구개발 목표 및 내용

- 370km/h급 고속철도차량 개념설계(안) 제시
 - 기술기준 주요 항목 설정을 위한 차량 개념설계(안) 및 기본 요구사항(주행저항, 추진력 등) 제시
 - 기술기준 핵심 성능지표 달성을 위한 기본설계(안) 제시
 - 전두부, 옥상 기기, 대차 사이드 스커트 및 언더커버, 차량 하부시스템, 차간 연결부, 차체 기밀구조 등 차량 기본설계(안) 제시 및 제작성 확인
- 370km/h급 고속철도차량 공력/소음 성능 확보를 위한 설계기술 고도화
 - 주행저항 성능 확보를 위한 공력 최적화 설계 기술개발
 - 소음 성능 확보를 위한 차체, 창문, 승강문, 연결부 등 음향 특성 최적화 기술개발
- 370km/h급 고속철도차량 진동/승차감 성능 확보를 위한 설계기술 고도화
 - 고속화에 따른 해석기술 고도화 (비선형 차량 동특성 해석, 차량-궤도 연성 해석)
 - 370km/h급 고속철도차량 진동·승차감 성능 확보를 위한 현가장치 설계안 도출

□ 연차별 연구내용

표 6-7. 연차별 연구내용 (중점분야 3)

연차	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370kph급 고속철도차량 개념설계(안) 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 기술기준 주요 항목 설정을 위한 차량 기본형상 제시 - 운영속도 370kph급 고속철도차량 주행저항, 견인력 검토 - 진동·공력·소음 저감을 위한 설계 개선안 제시(전두부, 옥상 기기, 대차 사이드 스커트 및 언더커버, 차량 하부시스템, 차간 연결부) ○ 370kph급 고속철도차량 공력/소음 최적화 기반구축 <ul style="list-style-type: none"> - 차량 형상 설계 개선에 따른 공력·소음 데이터 추출 - 차체, 창문, 승강문 등 차체 설계요소별 음향특성 도출 - 차체, 창문, 승강문 음향특성에 따른 실내소음 예측 ○ 370kph급 고속철도차량 진동/승차감 최적화 기반구축 <ul style="list-style-type: none"> - 주행 속도에 따른 차체 강성 및 고유진동수 특성 검토 - 유연체-강체 커플링 차량 해석모델 구축 - 차체 구조진동 특성을 고려한 동특성 해석기술 개발
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370kph급 고속철도차량 개념설계(안) 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 운영속도 370kph급 고속철도차량 기본형상 개선안 제시 - 기본형상 개선안(전두부, 옥상 기기, 대차 사이드 스커트 및 언더커버, 차량 하부시스템, 차간 연결부)에 대한 구조해석 및 제작성 검토 - 차량 소음 저감을 위한 차간 연결부 설계 - 차량 실내 기밀도 향상을 위한 요소장치(여압장치, 플랩, 승강문) 설계 ○ 370kph급 고속철도차량 공력/소음 성능 최적화 요소기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 공력·소음 시뮬레이션을 통한 차량 개념설계 최적화 - 차체 설계요소에 대한 대형시편 제작 및 특성시험 ○ 370kph급 고속철도차량 진동/승차감 성능 최적화 요소기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 진동/승차감 성능지표를 고려한 현가특성 최적 설계 프로세스 개발 - 차량 고속화에 따른 비선형 차량 동특성 해석기술 개발 - 마모에 따른 휠레일 접촉 특성 검토 및 차량 진동 특성 영향 검토
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370kph급 고속철도차량 핵심성능 최적화 요소기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 차량 소음 저감을 위한 차간 연결부 단품 시제 개발 - 차량 실내 기밀도 향상을 위한 요소장치 단품 시제 개발 ○ 370kph급 고속철도차량 공력/소음 성능 최적화 기본설계 <ul style="list-style-type: none"> - 풍동실험을 통한 공력·소음 설계 요소 검증 - 공력·소음 저감을 위한 차량 형상 최적 설계안 제시 - 차체, 창문, 승강문 등 음향특성 최적화 설계안 제시 ○ 370kph급 고속철도차량 진동/승차감 성능 최적화 기본설계 <ul style="list-style-type: none"> - 진동/승차감 성능 확보를 위한 차량 구조강성 및 현가특성 도출 - 비선형성을 고려한 주요 현가장치 모델링 방안 도출 (가변 현가장치) - 현가특성 최적설계(안)을 고려한 현가요소 단품시제 개발 및 성능 검증

연차	연구내용
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370kph급 고속철도차량 기본설계(안) 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 운영속도 370kph급 고속철도차량 기본 설계안 제시 - 차량 소음 저감을 위한 차간 연결부 단품 시제 성능검증 - 차량 실내 기밀도 향상을 위한 요소장치 단품 시제 성능검증 ○ 370kph급 고속철도차량 공력/소음 성능 최적화 설계안 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소음 설계적합성 검토서 작성 - 주행저항 검토서 작성 ○ 370kph급 고속철도차량 진동/승차감 성능 최적화 설계안 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 도출된 특성을 바탕으로 한 제작성/조립성 고려한 현가장치 설계 사양 도출 - 진동/승차감 성능유지를 위한 현가특성 유지/관리 방안 도출 - 진동·승차감 설계적합성 검토서 작성
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370kph급 고속철도차량 시스템 형상(system configuration) 제시/관리 <ul style="list-style-type: none"> - 운영속도 370kph급 고속철도차량 기본 설계안 제시 - 차량 소음 저감을 위한 차간 연결부 단품 시제 성능검증 - 차량 실내 기밀도 향상을 위한 요소장치 단품 시제 성능검증 ○ 370kph급 고속철도차량 공력/소음 성능 최적화 설계안 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 소음 설계적합성 검토서 작성 - 주행저항 검토서 작성 ○ 370kph급 고속철도차량 진동/승차감 성능 최적화 설계안 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 도출된 특성을 바탕으로 한 제작성/조립성 고려한 현가장치 설계 사양 도출 - 진동/승차감 성능유지를 위한 현가특성 유지/관리 방안 도출 - 진동·승차감 설계적합성 검토서 작성

□ 소요예산

○ 연차별 예산

표 6-8. 연차별 예산 (중점분야 3)

[단위 : 백만원]

비목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
직접비	인건비	207	536	692	604	2,023
	연구장비재료비	121	313	403	327	1,164
	연구과제추진비	62	161	207	147	577
	연구활동비	65	167	215	212	659
	연구수당	40	104	134	114	393
	직접비 소계	496	1,280	1,652	1,404	4,832
간접비		81	208	269	229	787
연구비 총액		576	1,489	1,921	1,633	5,619

6-2. 예산 및 인력투입 계획

□ 예산 투입 계획

○ 중점 분야별 소요예산

표 6-9. 중점분야별 소요 예산

(단위: 억원)

중점분야	구성기술	구분	2022	2023	2024	2025	소계
1. 고속철도차량 필수 요구사항 항목 적합성 분석 및 평가지표 제시	안전성능 검증	정부	2.6	10.6	6.7	1.4	21.3
	핵심성능 평가지표 설정	정부	2.6	12.5	9.1	1.4	25.6
	검증체계 구축 및 시험평가	정부	2.2	8.6	7.7	2.9	21.4
	소계		7.4	31.7	23.5	5.7	68.4
2. 기술기준 개정(안) 개발	필수요구사항 및 주요장치개정	정부	2.4	5.3	8.6	1.8	18.2
	적합성평가 고도화	정부	2.4	7.2	12.0	6.8	28.4
	기술기준(안) 고시 및 지원	정부	1.3	2.4	3.4	4.3	11.3
	소계		6.1	14.9	24.0	13.0	57.9
3. 370km/h급 고속철도차량 상용화 핵심기술 개발	시스템 형상 관리	정부	2.7	7.2	9.1	7.2	26.2
		민간	2.7	7.2	9.1	7.2	26.2
		소계	5.4	14.4	18.2	14.4	52.4
	공력/소음 적용기술	정부	1.5	3.8	5.3	4.8	15.5
		민간	1.5	3.8	5.3	4.8	15.5
		소계	3.0	7.6	10.6	9.6	31.0
	진동/승차감 적용기술	정부	1.5	3.8	4.8	4.3	14.5
		민간	1.5	3.8	4.8	4.3	14.5
		소계	3.0	7.6	9.6	8.6	29.0
	소계	정부	5.8	14.9	19.2	16.3	56.2
		민간	5.8	14.9	19.2	16.3	56.2
		소계	11.6	29.8	38.4	32.6	112.4
합계	정부	19.2	61.5	66.8	35.1	182.5	
	민간	5.8	14.9	19.2	16.3	56.2	
	소계	25.0	76.4	86	51.4	238.7	

※ 민간 참여 금액은 과제 진행에 따라 변동될 수 있음

□ 인력 투입 계획

- 본 사업의 총 소요인력(연인원)은 115명이며 연평균 약 38명이 소요
 - 책임급 인력은 34명, 선임급 인력은 47명, 연구원급 인력은 41명이 소요

표 6-10. 연차별 소요인력

[단위: 인·year]

구분	1차 연도	2차 연도	3차 연도		합계
책임급	4.8	15.2	16.4	10.3	46.7
선임급	6.3	19.7	21.4	13.3	60.8
원급	4.8	14.8	16.1	10.0	45.6
합계	15.9	49.6	53.9	33.6	153.0

표 6-11. 세부과제별, 연차별 소요인력

[단위: 인·month]

중점분야	구분	1차 연도	2차 연도	3차 연도	4차 연도	합계
1. 고속철도차량 필수 요구사항 항목 적합성 분석 및 평가지표 제시	책임급	17	77	57	16	167
	선임급	23	100	75	20	218
	원급	17	75	56	15	163
	합계	57	252	188	51	548
2. 고속철도차량 기술기준 개정(안) 개발	책임급	14	35	50	30	129
	선임급	18	45	65	40	168
	원급	14	34	49	30	127
	합계	46	114	164	100	424
3. 370km/h급 고속철도차량 상용화 핵심기술 개발	책임급	27	70	90	77	264
	선임급	35	91	117	100	343
	원급	26	68	88	75	257
	합계	88	229	295	252	864
합계	책임급	58	182	197	123	560
	선임급	76	236	257	160	729
	원급	57	177	193	120	547
	합계	191	595	647	403	1,836

□ **채원조달 방안**

- 사업기간('22~'24년) 3년 총 210.5억원 투입 예정이며, 190억원은 정부출연금, 21.5억원은 민간부담금으로 조달 계획
 - 민간 부담금은 각 세부기술 분야별 성격 및 기업 참여 현황 등을 종합적으로 고려하여 획일적 적용보다는 탄력적으로 운영 예정

표 6-12. 연도별 소요 예산

(단위:억원)

구분	2022	2023	2024	총계
정부	28.0	73.0	89.0	190
민간	1.5	6.80	12.2	20.5
합계	29.5	79.8	101.2	210.5

○ 국토교통 국가 연구개발 예산 현황

- 최근 5개년 기준, 정부 R&D 예산은 연평균 6.12% 증가하고 있으며, 국토교통 R&D 예산이 차지하고 있는 비중은 평균 2.25%임
- 2020년 국토교통 R&D 예산은 전년대비 425억원 증액된 5,247억원이며 국토기술, 교통기술, 기반구축 분야 총 53개 사업 추진
- 철도 분야는 '19년 대비 148.2억원 증액되어 647.29억원 투자

표 6-13. 최근 5개년 국토교통 R&D 예산 현황표 6-13.

(단위 : 억원)

구분	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR
정부 R&D 예산	190,942	194,615	196,681	205,328	242,195	6.12%
국토부 R&D 예산	4,075	4,329	4,667	4,822	5,247	6.52%
국토부 R&D 비중	2.13%	2.22%	2.37%	2.35%	2.17%	평균비중 : 2.25%

○ 국토교통 R&D 중기사업계획에 따른 국토교통 연구개발 예산 투입계획

표 6-14. 국토교통 R&D 중장기사업계획 예산 추이

(단위 : 억원, %)

구분	2022	2023	2024	합계
국토교통 R&D 예산	7,715	9,751	11,123	28,589
철도기술분야 R&D 예산	1,087	1,561	1,788	4,436
동 사업 예산(국고)	28.0	73.0	89.0	190

- 본 사업의 총사업비(국고 190억원)는 사업기간('22년~'24년) 내 국토교통 R&D 예산의 0.7% 수준이며, 철도기술분야 연구개발 예산의 4.1% 수준임을 고려할 때 국토교통 R&D 및 철도 분야 R&D 투자계획 범위에서 안정적인 재원확보 가능

□ 인력확보 방안

○ 소요 인력의 산출 근거

- 국토부의 최근 5년간 철도 분야 관련 연구개발과제 161개를 분석하여 전체 연구비 대비 인건비, 직접비(인건비제외), 간접비 비중을 분석
- 과제의 특성을 고려한 소요인력 산출을 위해 대상 과제를 차량시스템개발, 장치 및 부품개발, 핵심기술(시험평가, 운영기술 등 포함) 개발, 전력인프라 기술 등으로 분류하고 예산 비중을 분석
- <표>에 근거하여 차량시스템 개발 및 장치 개발과 같이 직접비 부담이 큰 과제는 인건비 비중을 25~30% 수준으로 설정하고, 시험평가 및 운영기술 개발과 같은 과제의 인건비 비중은 30~35% 수준으로 설정

표 6-15. 과제 유형별 인건비, 직접비, 간접비 비중

비목 \ 과제유형	차량시스템 개발	장치/부품 개발	핵심기술
인건비	24.4%	27.0%	35.5%
인건비 제외 직접비	71.2%	69.1%	59.0%
간접비	4.4%	3.9%	5.5%

- 책임급, 선임급, 원급 참여 인력의 인건비 비율을 0.35:0.40:0.25를 기준으로 각 과제의 성격에 따라 조정하여 배분하고 인건비 단가를 고려하여 참여인력(Man·year)을 산출

표 6-16. 소요 인력의 직급 구분 기준

직급	기업, 운영사, 연구기관	대 학
책임급	학사학위 취득 후 12년 이상, 석사학위 취득 후 9년 이상, 박사학위 또는 기술사 취득 후 5년 이상 경력소지자	조교수 이상
선임급	학사학위 취득 후 6년 이상, 석사학위 취득 후 3년 이상 경력 보유자 박사학위 또는 기술사 취득자	전임강사 또는 박사후 과정 연구원
연구 원급	대학 이상의 과정 이수자 기타 동등 이상의 경력 소지자	석사과정 재학생 이상

○ 철도분야 연구개발 인력 현황

- 과학기술정책지원서비스*에서 제공하는 빅데이터분석(R&D투자현황분석)에서 2008년부터 2017년까지 10년간 국가 R&D 참여연구원 및 연구수행 주체 현황 분석한 결과 철도 분야 국가연구개발 사업의 참여 인력 수는 연평균 4,420명임

* <https://www.k2base.re.kr>

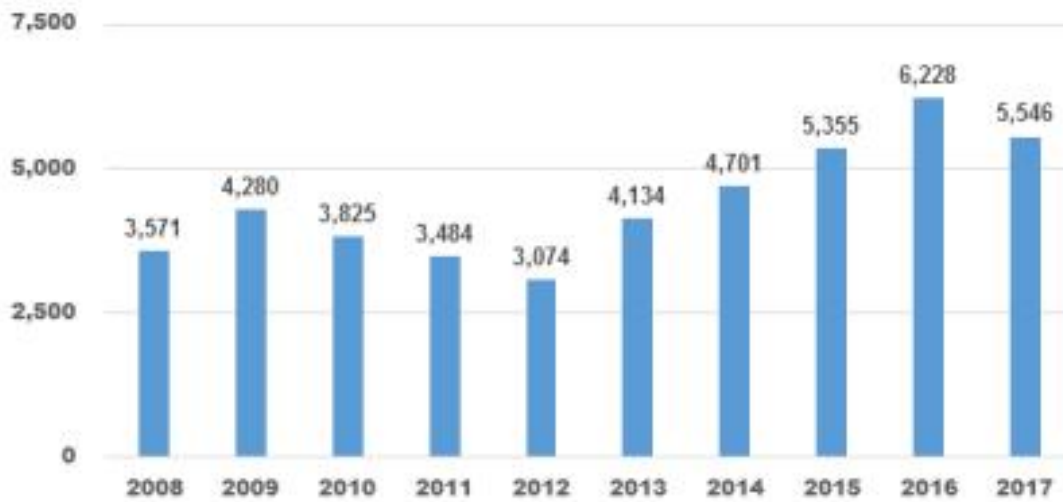


그림 6-3. 철도분야 국가 R&D 참여연구원 현황(명)

- 본 사업의 총 소요인력은 127명으로 연평균 32명이 소요되며, 이는 철도분야 연평균 국가연구개발 참여 인력의 0.7% 수준으로 사업 수행을 위한 인력은 충분함

6-3. 사업 논리모형

□ 개요

- 사업의 구성요소와 연관관계 등을 포함하여 사업추진을 위한 문제 및 이슈에 대한 정의와 사업 목표, 수혜자 등의 명확화를 위한 사업 논리모형을 제시
- 도출된 중점추진방향과 에너지 공급 및 소비구조 분석을 통해 설정한 중점추진분야에 따라 사업 내용을 구성하고 구체적 사업 성과목표 도출
- R&D 역량분석과 기획위원회 및 자문회의를 통해 사업과 직·간접적으로 연관된 산업계의 수요와 현황에 대해 작성

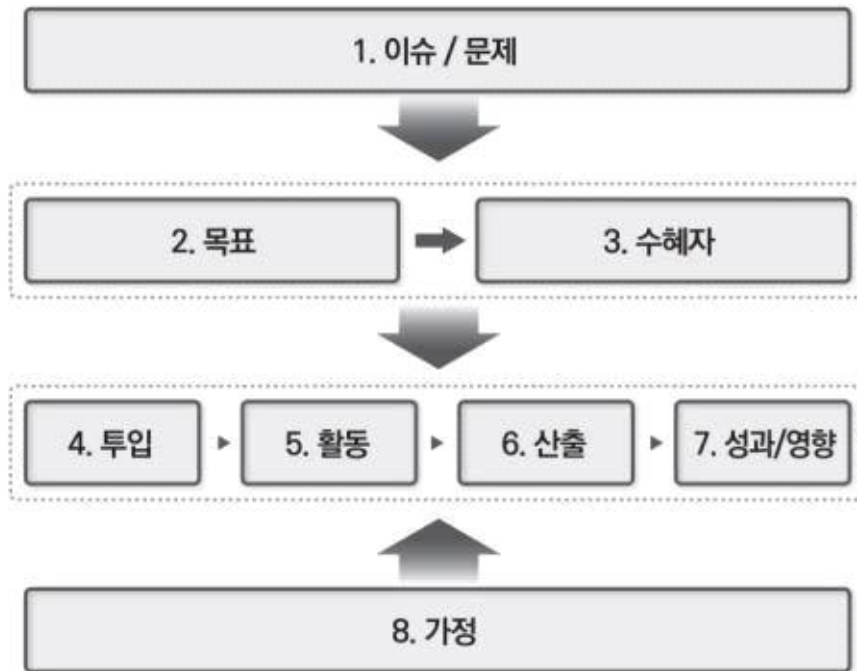
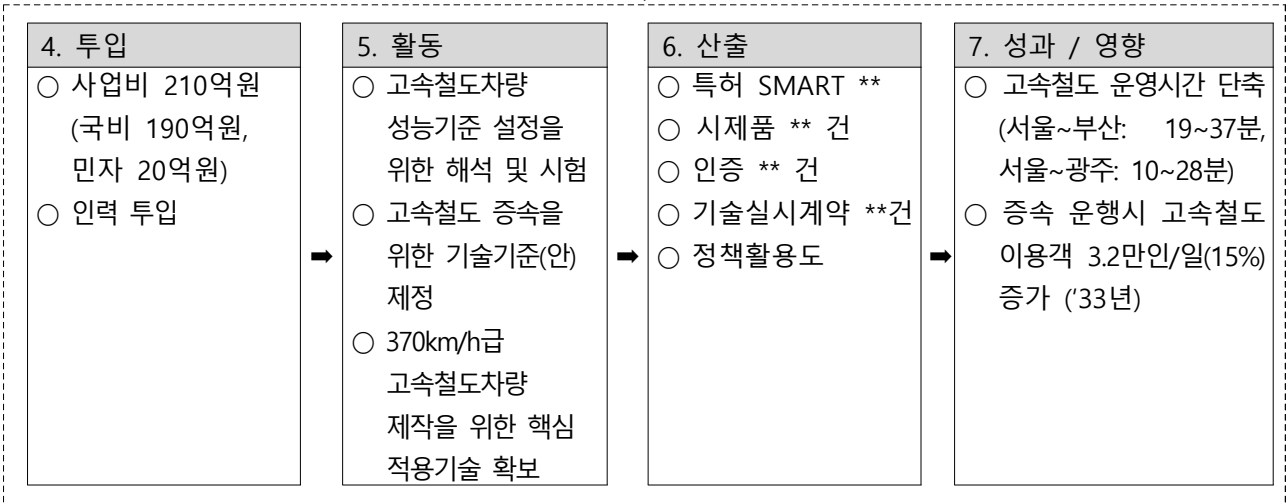
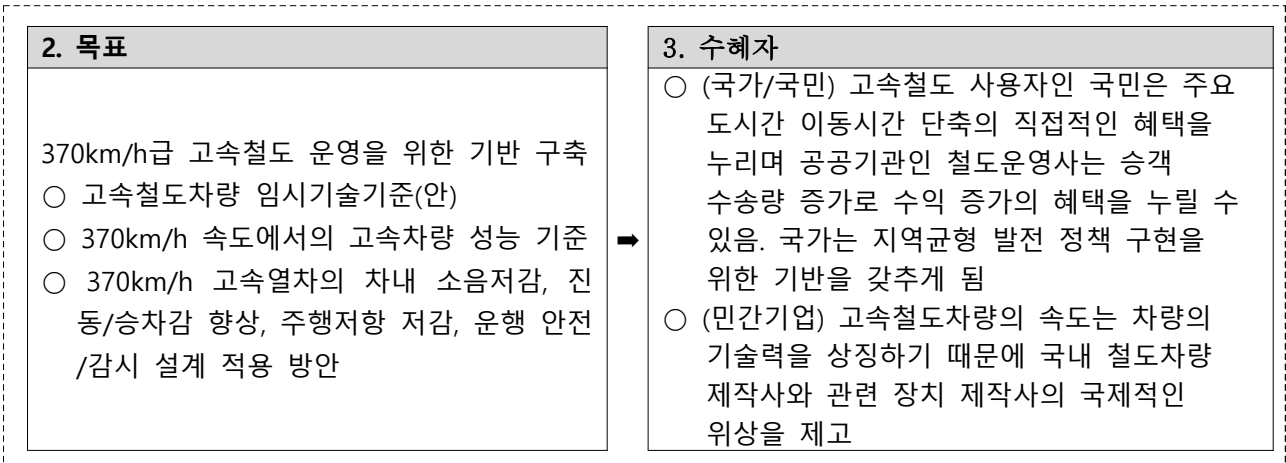


그림 6-4. 논리모형 기본구조

이슈 / 문제
○ 지역균형과 더 빠른 교통서비스에 대한 국민 수요 증가로 고속철도 소요시간 단축에 대한 필요성 대두
○ 고속철도 차량 및 인프라 내구연한 도래(2024년 이후)로 교체 시기에 맞춰 운영속도 증속을 위한 개량 추진(400km/h급 고속철도 종합계획(MP))
○ KTX 노후화('04년 도입, 내구연한 30년)에 따른 교체 시점에 맞추어 신규 고속차량 도입시 최소 비용으로 증속 달성 가능
○ 350km/h 이상에서 고속철도차량에 대한 기술기준이 없고 영업 운행 시 기술적 문제(터널내 공력저항, 소음·진동·승차감)가 예상됨



8. 가정
○ 정부의 고속철도 속도 향상 정책 추진과 지원 ○ 최종 수요처(운영기관, 완성차업체)의 지속적 지원과 참여(요구사항 제시, 공동 연구, 시험 협조 등) ○ 유관 기관 및 관련분야 연구자의 융복합화를 통한 협업 체계 구축 ○ 사업의 효과적인 추진 및 실용화를 위한 공공부문(정부, 운영기관, 인증기관, 출연연 등)과 민간부문(제작사)의 협력 활성화

그림 6-5. 사업 논리모형

6-4. 사업 성과목표 및 지표

□ 전략목표

- 고속철도의 운영속도 향상(370km/h 이상)을 위해 고속운행 시 예상되는 문제점 해결을 위한 기술과 적합성 평가기술을 개발

□ 단계별 성과목표

단계(평가주기)		1단계		기간		2022~2025	
단계별 성과목표							관련 내역사업명
성과목표-1	운영속도 350~400km/h 차량의 성능평가 방안 수립	가중치	0.3	설정 근거	<ul style="list-style-type: none"> - 운영속도 350~400km/h 차량의 안전·운행성능 등을 평가할 기준과 절차가 없음 - 기술기준의 안전·운행성능 기준과 시험규격 재검토 등 성능평가 방안 수립 필요 	운영속도 350km/h~400km/h 고속철도차량 핵심기술 및 평가기준 개발	
성과목표-2	350km/h 이상 운행을 위한 기술기준 개정(안) 개발	가중치	0.4	설정 근거	<ul style="list-style-type: none"> - 현재의 기술기준은 최고 운영속도 350km/h 까지의 차량에 대해서만 적용 가능. - 350km/h 이상 운행을 위한 고속차량 기술기준 개정 필요 	운영속도 350km/h~400km/h 고속철도차량 핵심기술 및 평가기준 개발	
성과목표-3	최고속도 370km/h 차량 상용화를 위한 핵심 설계기술 확보	가중치	0.3	설정 근거	<ul style="list-style-type: none"> - 최고속도 370km/h 시험 운행을 위한 기본성능(추진, 제동 등)은 확보하였으나 상용화시 예상되는 문제에 대응하기 위한 설계기술 확보 필요 	운영속도 350km/h~400km/h 고속철도차량 핵심기술 및 평가기준 개발	

□ 성과지표

단계별 성과목표명	가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치				지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					2022	2023	2024	2025			
성과 목표 -1	0.4	안전성능 항목 기준·시험규격 분석 검토서	8건	목표			8		산출	v	- 고속철도차량 기술기준의 필수요구사항 중 주행안전(3.2.2)과 인터페이스(3.4) 항목은 주행안전에 대한 기본 요건임 - 주행안전성능 5항목(차량-선로 작용력, 운중감소량, 횡압, 탈선계수, 전복방지)과 차량-시설물 인터페이스 3항목(차량-전력, 차량-신호, 차량-궤도)에 대한 기준 및 시험규격서에 대한 검토·분석 필요
				실적							
		운행성능 항목 평가지표	6건	목표			6		산출	v	
실적											
기술기준 개정(안) 실차 검증 계획서	1건	목표				1	산출	v	- 개정된 기술기준을 검증하기 위한 계획과 절차 수립 필요 - 이를 위해 370km/h급 시험 차량의 안전·운행성능 시험평가계획(시험 환경, 시험 일정, 시험계측시스템 구성안, 시험 예산 등 포함) 수립 필요		
실적											
성과 목표 -2	0.3	필수요구사항 개정	4건	목표		2	2	산출			- 현재의 기술기준은 최고 운행속도 350km/h 까지의 차량에 대해서만 적용 가능 - 350km/h 이상 운행을 위한 고속차량 기술기준 개정 필요 - 필수요구사항 2개 항목, 주요 장치별 기준 2개 항목 이상에 대한 검토 및 개정(안) 작성 필요
				실적							
시험 규격서 개정	23건	목표			10	13	산출		- 구성품시험 4종, 완성차시험 6종, 시운전시험 13종 등의 시험 규격서 개정(안) 작성 필요		
실적											
성과 목표 -3	0.3	370km/h급 차량 상용화를 위한 핵심 설계기술 확보	6건	목표			6	결과		v	- 370km/h급 차량의 상용화 설계를 위한 핵심기술 확보 필요 - 차량의 형식승인을 위해 6종의 설계 검토서(370km/h 차량 기본사양(안), 견인력 검토서, 주행안전성 검토서, 주행저항 검토서, 진동·승차감 설계적합성 검토서, 소음 설계적합성 검토서) 작성 및 검증 필요
				실적							
계											

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
안전성능 항목 기준·시험규격 분석 검토서	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고속철도차량 기술기준의 필수요구사항 중 주행안전에 대한 기준 및 시험규격의 적합성 분석 필요 ○ 기술 기준의 주행안전(3.2.2)의 5개 항목(차량-선로 작용력, 윤중감소량, 횡압, 탈선계수, 전복방지)과 인터페이스(3.4)의 3항목(차량-전력, 차량-신호, 차량-궤도)에 대한 분석 검토서 작성을 목표로 설정 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최고 운행속도 370km/h급 차량 초도편성 투입시기('28년)를 고려 '24년까지 기술기준 개정(안) 제시 필요 - 3차년도 까지 기술기준 개정(안) 제시를 위한 각 항목별 기준 설정이 필요 - 차량 핵심성능 항목에 대한 평가지표는 차량의 설계 검토서 작성을 위해 필요한 항목으로 3차년도까지 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 철도차량 기술기준(KRTS-VE -Part31-2021) 3.2.2항, 3.4항
핵심성능(운행성능, 운행한계) 항목 성능지표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주행속도 350km/h~400km/h에서 차량의 운행성능 항목 6종에 대한 성능예측 및 평가지표 설정을 목표로 제시 - 제동성능(제동거리, 감속도), 주행저항 지표(공기저항계수), 진동·승차감(승차감 지수), 소음(음질평가지수), 공기역학적 특성(선로변 대기속도 및 압력변화, 횡풍, 터널내 압력변화), 객실내 기압변화(기밀도) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370km/h급 차량 초도편성은 오송-평택 복복선 신규 구간에 투입, 기술기준 개정(안)에 대한 검증을 수행 - 4차년도에 초도 편성에 대한 측정·평가시스템 구축 계획과 기술기준 개정(안) 검증을 위한 계획수립 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 철도차량 기술기준(KRTS-VE -Part31-2021) 3.3.2항, 3.6항, 4.2항
기술기준 개정(안)의 현장 적용성 검증 계획서	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제시된 기술기준 개정(안)을 검증하기 위해서는 시험평가에 대한 요구사항과 시운전 시험을 수행하기 위한 절차·계획 수립 필요 ○ 또한 370km/h급 시험 차량의 안전·운행성능 평가를 위한 측정·평가시스템 구축 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370km/h급 차량 초도편성은 오송-평택 복복선 신규 구간에 투입, 기술기준 개정(안)에 대한 검증을 수행 - 4차년도에 초도 편성에 대한 측정·평가시스템 구축 계획과 기술기준 개정(안) 검증을 위한 계획수립 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 철도차량 기술기준(KRTS-VE -Part31-2021)
필수요구사항 개정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술기준 필수요구사항과 주요장치별 기준 중 4개 항목 이상에 대한 검토 및 개정(안) 작성 필요 - 필수요구사항(소음, 공기역학적 특성) 2개 항목에 대한 검토와 개정 - 주요장치별 기준 2개 항목(실내기압변화, 제동장치) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최고 운행속도 370km/h급 차량 초도 편성을 '28년 투입하기 위해서는 차량 설계·제작 기간을 고려하여 '24년까지 기술기준 개정(안) 제시 필요 - 과제의 3차년도까지 기술기준 주요 항목에 대한 수정(안)을 도출하고 이를 고시하는 데 필요한 관련 자료를 준비 - 성과지표는 기술기준 개정항목 수로 설정하고 필수요구사항 4건, 시험 절차서, 규격서 23종을 목표로 설정 ※ 최종 개정(안) 항목은 연구결과에 따라 변동 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 철도차량 형식승인·제작자승인·완성검사 시행지침 - 철도차량 기술기준(KRTS-VE -Part31-2021)
절차서, 규격서 개정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시험규격서 개정(안) 23종 - 구성품시험 규격서 4종(대차시험, 대차안전성시험, 제동장치시험, 여압장치시험) 고도화 및 개정 - 완성차시험 규격서 6종(집전장치 시험, 제동시험, 추진제어장치, 차상신호장치, 종합제어장치, 기밀시험) - 시운전시험 규격서 13종(역행시험, 제동시험, 최고속도시험, 집전시험, 소음시험, 진동시험, 승차감시험, 주행저항시험, 공력특성시험, 여압장치시험, 지상장치 연계동작시험, 주행안전성 시험, 중련운전시험) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최고 운행속도 370km/h급 차량 초도편성을 '28년 투입하기 위해서는 '25년부터 차량 설계 착수 필요 - 차량 형식승인에 필요한 설계검토서 작성 여부로 성과목표 달성 여부를 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 철도차량 기술기준(KRTS-VE -Part31-2021)
370km/h급 차량 상용화 핵심성능 6종에 대한 설계 검토서	<ul style="list-style-type: none"> ○ 370km/h급 차량 설계제작을 위한 기술검토서 작성을 목표로 설정 - 차량의 형식승인을 위해 6종의 설계 검토서(370km/h 차량 기본사양(안), 견인력 검토서, 주행안전성 검토서, 주행저항 검토서, 진동·승차감 설계적합성 검토서, 소음 설계적합성 검토서) 작성 및 검증 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최고 운행속도 370km/h급 차량 초도편성을 '28년 투입하기 위해서는 '25년부터 차량 설계 착수 필요 - 차량 형식승인에 필요한 설계검토서 작성 여부로 성과목표 달성 여부를 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 철도차량 기술기준(KRTS-VE -Part31-2021)

7. 사전 타당성 분석

7-1. 경제적 타당성 분석

□ 분석의 범위

- 시간적 및 공간적 범위는 선행 연구과 동일하게 설정
- 시간적 범위
 - 기준년도 : 2019년
 - 개통연도 : 2033년
 - 분석기간 : 개통 후 40년 (2033~2072년)
 - * 분석기간은 철도사업 타당성분석에 적용하는 개통 후 40년을 동일하게 적용
- 공간적 범위
 - 분석의 영향권은 전국을 대상으로 설정하되 강원도는 제외

□ 분석의 전제

- 사업 편익은 기존 연구 결과로 도출된 통행시간 절감 편익만 반영
 - 선행 연구*에서 도출된 편익 적용
 - * 400km/h급 고속철도 종합계획 수립연구(한국철도기술연구원, 2021)
 - 철도차량 속도증가에 따른 수단전환으로 인하여 발생할 수 있는 차량운행비절감, 환경비용절감, 교통사고절감 편익 등의 간접 편익은 고려하지 않고 직접 편익인 철도차량의 통행시간 절감 편익만을 반영
 - 2033년 개통시 EMU-370 차량을 절반만 투입하는 것으로 고려하되 기존 EMU-320과의 혼용운전에 따른 편익 감소를 고려하여 EMU-370 100% 투입을 기준으로 한 편익의 50%를 반영
 - 2034년부터는 EMU-370 전면 운영하는 것으로 반영
- 사업 투입비용은 기존 연구에 제시된 수치를 반영
 - 선행 연구에 제시된 사업비용 적용
 - 공사비는 총사업비에서 부가가치세를 제외한 비용으로 적용
- 경제성 분석에 적용되는 사회적 할인율은 4.5%를 적용하되, 운영기간이 30년 이상인 철도사업은 운영개시 후 30년 동안은 4.5%를 적용하고 이후에는 3.5%의 할인율을 적용함⁴⁾

□ 편익 산정

- 본 경제성 분석에 반영된 편익은 고속철도 고속화에 따라 기존 철도 이용객들의 통행시간 절감분과 도로에서 철도로 전환된 이용자의 통행시간 절감분을 반영
 - 기존 철도 이용객 대상 통행시간 절감 편익 : 철도 고속화에 따라 철도통행시간 감소로 인한 편익
 - 도로에서 철도 전환이용객 대상 통행시간 절감 편익 : 도로를 이용하던 통행자가 고속화 철도를 이용함에 따라 감소한 통행시간 절감 편익

표 7-1. 고속철도 고속화에 따른 연도별 통행시간 절감 편익
(단위 : 백만원)

구분	기존이용자 편익	수단전환자 편익	총편익
2033년	145,045	92,574	237,619
2034년	288,616	184,303	472,919
2035년	287,142	183,459	470,601
2040년	278,329	178,118	456,447
2045년	267,450	171,277	438,727

출처 : 한국철도기술연구원(2021) 400km/h급 고속철도 종합계획 수립연구

□ 비용 산정

- 선행 연구에서 제시한 총사업비를 준용하되 차량구입비는 최신 기준으로 갱신하고 연구개발사업비를 추가로 반영함
 - 공사비, 운영비, 대체투자비는 선행 연구와 동일
- 차량구입비는 EMU-370으로 차량 교체시 추가 투입되는 비용 상승분을 반영
 - 기존 KTX(20량 1편성) 42편성
 - 현재 EMU-320(8량 1편성) 가격 : 편성당 295억, 량당 36.9억
 - EMU-370(8량 1편성) 예상 가격 : 편성당 417억, 량당 52.1억 (EMU-320대비 15.2억 상승)
 - 전체 물량 교체시 예상 증가액 : 42편성 × 2 × 8량 × 15.2억 = 1조 214.4억
- 국가연구개발사업에 투자되는 신규 연구개발사업비 반영
 - 국가연구개발사업 추가투입비 200억(2022년 투입)

4) 한국개발연구원(2021) 예비타당성조사 수행을 위한 세부지침 도로·철도부문 연구, 공공투자관리센터

□ 경제성 분석 결과

- 경제성 분석 결과는 다음과 같이 양호한 것으로 분석됨
 - 할인된 총비용 = 31,963(억원), 할인된 총편익 = 45,660(억원)
 - 편익비용비, B/C = 1.43
 - 순현재가치, NPV = 13,696(억원)
 - 내부수익율, IRR = 7.1%
- 비용 및 편익의 장래 변동성을 고려하여 비용 및 편익 변화에 따른 민감도 분석 결과는 다음과 같음
 - 비용 요소들이 20%까지 증가하여도 경제성을 확보하는 것으로 분석됨
 - 경제성 결과는 비용 요소들 중 운영비 변화에 가장 민감함

표 7-2. 민감도 분석 결과

구분		B/C	NPV(억원)	IRR
공사비	0%	1.43	13,696	7.1%
	+5%	1.38	12,486	6.8%
	+10%	1.33	11,275	6.5%
	+15%	1.28	10,065	6.2%
	+20%	1.24	8,854	6.0%
차량비	0%	1.43	13,696	7.1%
	+5%	1.41	13,354	7.0%
	+10%	1.40	13,012	7.0%
	+15%	1.38	12,670	6.9%
	+20%	1.37	12,327	6.8%
운영비	0%	1.43	13,696	7.1%
	+5%	1.31	10,882	6.6%
	+10%	1.21	8,067	6.1%
	+15%	1.13	5,253	5.5%
	+20%	1.06	2,438	5.0%
총비용	0%	1.43	13,696	7.1%
	+5%	1.36	12,098	6.7%
	+10%	1.30	10,500	6.4%
	+15%	1.24	8,902	6.0%
	+20%	1.19	7,304	5.7%
총편익	-20%	1.14	4,564	5.4%
	-10%	1.29	9,130	6.3%
	0%	1.43	13,696	7.1%
	+10%	1.57	18,262	7.9%
	+20%	1.71	22,828	8.6%

7-2. 정책적 타당성 분석

□ 법적 근거

- 국토교통과학기술육성법 제8조(연구개발사업의 추진)
- 철도산업발전기본법 제11조(철도기술의 진흥) 및 제13조(국제협력 및 해외진출 촉진)
- 철도안전법 제26조(철도차량 형식승인), 제27조(철도용품 형식승인)에 의한 철도차량, 용품의 형식승인 검사 의무화

□ 상위 계획과의 부합성

- 제4차 국가철도망구축계획 (`21.07)
 - 고속철도 속도향상(300→400km/h급)을 위한 핵심요소인 차량, 궤도 등 기반시설의 기준정립·기술개발로 400km/h급 초고속열차 운행기반 마련을 추진 방향 중의 하나로 설정
- 제3차 철도산업발전 기본계획 (`17.02)
 - 국가 간선철도망 운영을 위한 표정속도 향상을 주요 추진과제로 선정
- 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027)
 - 전략목표인 「기술융합을 통한 새로운 가치 창출」 달성을 위한 추진과제로 친환경 초고속 철도 시스템개발 추진
- 22년도 국가연구개발 투자방향
 - 건설교통 R&D 성과를 SOC 투자와 연계하여 R&D 현장 적용성을 제고하고, 산업기반 과제발굴을 통해 세계 일등 기술 확보 추진
- (국정과제) 국가기간교통망의 ‘철도 공공성 강화 및 철도산업 경쟁력 강화’

8. 과제 공모방안