

국토교통연구기획사업

자율주행 기반 스마트철도 핵심기술 개발 기획 최종보고서

[PART II] 주행환경 감응형 스마트

주행장치(VDC)핵심기술 개발

2017. 11.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

Land · Infrastructure and Transport
R&D Report

자율주행
기반
스마트철도
핵심기술
개발기획
최종보고서 (II)

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

<제목 차례>

제1장 기술의 정의 및 필요성	1
1절 기술의 정의 및 분류체계	1
1. 기술의 정의	1
2. 기술 분류체계	2
3. 세부 기술내용	3
2절 기술개발의 필요성	5
1. 고부가가치 철도차량 기술개발의 필요성	5
2. EU의 승객편의성 향상 중심 R&D	6
3. 국내 고속철도 서비스 선로용량 사용 극대화 필요	7
4. 4차산업혁명과 개발기술의 연계성	7
5. 기술 미개발시의 문제점	8
제2장 국내외 동향 및 환경분석	9
1절 국내외 정책동향	9
1. 국내 정책동향	9
2. 국외 정책동향	11
3. 정책동향 분석 시사점(결론)	15
2절 국내외 시장현황 및 전망	16
1. 국내외 시장현황 및 전망	16
2. 국내외 산업 동향 및 전망	18
3. 시장분석 결론	20
3절 기술(특허, 논문 등) 동향	24
1. 특허동향	24
2. 논문동향	56
3. 국내외 연구개발 동향	59
4. 기술동향 분석 결론	66
4절 기술수준 분석	70
1. 국내외 기술 수준 비교	70
2. '스마트 철도 핵심기술개발'을 위한 기술수요 조사	72
3. 기술예측조사	77
4. 우선순위조사	83
5절 유사과제분석 및 기존기술(연구)와의 차별성	94
1. 과제 중복성 및 연관성	94
6절 국내 연구개발 인프라 분석	96
1. 연구인력 인프라	96

2. 연구 기자재 인프라	98
3. SWOT 분석	105
4. SWOT 전략	106
7절 (실용화 과제의 경우) 수요조사 및 활용가능성	107
1. 수요조사 및 활용가능성	107
2. 기대효과	107
8절 연구성과 실용화를 위한 관련법령 검토 결과	109

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략 110

1절 비전 및 목표	110
1. 스마트 현가시스템 기술개발	110
2. 능동 추진/제동 제어시스템 개발	112
2절 기술개발에 따른 미래상	114
3절 연구개발과제 구성	117
4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략	118
1. 실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발	118
2. 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발	121
5절 연구개발과제 추진체계	124
6절 기술/성과 로드맵	125
1. 세부과제별 기술로드맵	125
2. 세부과제별 성과목표	128

제4장 사전타당성검토 130

1절 정책적 타당성	130
1. 국내 정책 동향 분석 및 제안과제의 부합성	130
2. 법/제도적 위험요인 검토결과	134
3. 정부의 추진 의지	134
2절 기술적 타당성	135
1. 논리모형	135
2. 기획과정의 적절성	138
3. 연구목표의 적절성	138
4. 기술개발 성공가능성(기술 추세, 기술수준 분석)	140
5. 기존 사업과의 중복성	143
3절 경제적 타당성	144
1. 비용 추정	144
2. 편익 추정	145
3. 경제성 분석	150

4절 타당성 검토 종합	153
1. 정책적 타당성 검토	153
2. 기술적 타당성 검토	153
3. 경제성 타당성 검토	153
제5장 자원투입계획	155
1절 연구시설 및 장비 투입계획	155
2절 인력투입계획	156
3절 소요예산 투입계획	157
1. 총 연구비	157
2. 세부과제별 연구비	157
3. 세부기술별 소요예산	158
제6장 과제공모 방안	161
1절 과제제안 요구서	161
1. 연구단 : 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 기술 개발	161
2. 1세부 : 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발	169
2. 2세부 : 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 기술개발	178
2절 공모조건	188
3절 선정평가 방법	189

<표 차례>

[표 1.1] 주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어 기술분류 체계	2
[표 1.2] 주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어 세부기술	3
[표 2.1] 핵심기술 특허분석 기준 - 스마트 VDC 기술 분야	25
[표 2.2] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 - 스마트제동분야	25
[표 2.3] 주요 특허 현황 (피인용 順) - 스마트 제동분야	32
[표 2.4] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 - 스마트추진분야	36
[표 2.5] 주요 특허 현황 (피인용 順) - 스마트 추진분야	42
[표 2.6] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 - 스마트현가 분야	46
[표 2.7] 주요 특허 현황 (피인용 順) - 스마트 현가분야	51
[표 2.8] 논문 분석 기준	56
[표 2.9] 일본 횡방향 능동현가시스템적용 차량	59
[표 2.10] 견인전동기의 성능 비교	66
[표 2.11]주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어기술 요소기술 조사결과	67
[표 2.12] 주요 고속철도 차량의 진동 수준	70
[표 2.13] 주요국가 고속철도 정시성 수준	71
[표 2.14] 주요 조사 내용 및 질의 형태	72
[표 2.15] 스마트주행장치 분야 기술수요조사 제안과제 리스트	76
[표 2.16] 기술예측조사 평가항목	77
[표 2.17] 유사·중복 제안 과제 통합	78
[표 2.18] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과	79
[표 2.19] 최종 후보과제 선정 결과	80
[표 2.20] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과	82
[표 2.21] 우선순위조사 평가지표 항목	83
[표 2.22] 스마트주행장치 분야 우선순위 조사 과제 리스트	84
[표 2.23] 우선순위조사 평가지표 항목	84
[표 2.24] 스마트주행장치 분야 우선순위 조사 결과	85
[표 2.25] 스마트주행장치 분야 최종 연구 과제	86
[표 2.26] 철도 연구개발 인력 현황	96
[표 2.27] 철도 연구개발 전공 분야 현황 사례조사	96
[표 2.28] 국내 철도 교육기관 현황	97
[표 3.1] 스마트현가시스템 개발 목표수준	111
[표 3.2] 능동 추진/제동 제어시스템 개발 목표수준	112
[표 3.3] 능동제어 현가시스템 개발목표 및 최종성과물	118

[표 3.4] 능동형 추진/제동 제어시스템 개발목표 및 최종성과물	121
[표 4.1] 주요 고속철도 차량의 진동 수준	140
[표 4.2] 주요국가 고속철도 정시성 수준	141
[표 4.3] 연차별 연구개발비용 투입계획	144
[표 4.4] 연차별 고속철도차량 도입수량	144
[표 4.5] 연차별 상용화비용 투입계획	145
[표 4.6] 편익의 구성 및 내용	145
[표 4.7] 고속열차 지연의 기술통계량	146
[표 4.8] 시간가치 원단위 기준	147
[표 4.9] 열차지연으로 인한 통행시간비용	147
[표 4.10] 글로벌 철도차량업체 별 철도차량 시장 점유율	147
[표 4.11] 철도차량산업의 부가가치율	148
[표 4.12] 우리나라 R&D 스톡의 성장기여도	148
[표 4.13] 연차별 내수수요전망	149
[표 4.14] 장래 고속철도 수요량 및 편익발생량	149
[표 4.15] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산)	150
[표 4.16] 연구개발 부문의 경제성 분석 결과	150
[표 4.17] 상용화 부문의 경제성 분석 결과	151
[표 5.1] 세부과제별 인력투입계획	156

<그림 차례>

[그림 1.1] 주행환경 감응형 스마트 VDC기술 개념	1
[그림 1.2] 국내 고속철도 기술 발전사	5
[그림 1.3] 미래 철도기술 방향	6
[그림 1.4] EU 2011년 철도서비스 고객만족도 조사	6
[그림 2.1] 국토교통 R&D 중장기 전략의 철도분야 기술개발 로드맵	9
[그림 2.2] China Railway Corporation	13
[그림 2.3] 인도의 철도기관 구조	14
[그림 2.4] 인도의 철도개발 계획	14
[그림 2.5] Global Rail Market	16
[그림 2.6] 지역별 고속열차 수요에 대한 글로벌 전망	17
[그림 2.7] 글로벌 차량 제작사	19
[그림 2.8] Rail Market : Rolling Stock OEM Acquisitions	19
[그림 2.9] Strategic Insight on Advanced Suspension Technologies Used in High-performance Cars	21
[그림 2.10] Purchase Criteria-Importance vs. Satisfaction	22
[그림 2.11] 출원년도 및 국가별 출원추이 - 스마트 제동분야	26
[그림 2.12] 세부기술별 특허출원동향 - 스마트제동분야	26
[그림 2.13] 주요 출원인 동향 - 스마트제동분야	27
[그림 2.14] 연도별 주요 출원인 동향 - 스마트제동 분야	27
[그림 2.15] 주요출원인 기술별 출원 분포 - 스마트제동 분야	28
[그림 2.16] 기술별/국가별 기술분포(버블형) - 스마트제동 분야	28
[그림 2.17] 국가별 특허 점유현황 - 스마트제동분야	29
[그림 2.18] 국가별 출원특허/우선권 특허 현황 - 스마트제동분야	29
[그림 2.19] 국가별 출원건수 및 시장확보지수 - 스마트제동분야	30
[그림 2.20] 국가별 인용도지수 - 스마트제동분야	30
[그림 2.21] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 - 스마트제동분야	30
[그림 2.22] 특허 등고선 맵 - 스마트제동 분야	31
[그림 2.23] 출원년도 및 국가별 출원추이 - 스마트 추진분야	36
[그림 2.24] 세부기술별 특허출원동향 - 스마트추진분야	37
[그림 2.25] 주요 출원인 동향 - 스마트추진분야	37
[그림 2.26] 연도별 주요 출원인 동향 - 스마트추진 분야	38
[그림 2.27] 주요출원인 기술별 출원 분포 - 스마트추진 분야	38
[그림 2.28] 기술별/국가별 기술분포(버블형) - 스마트추진 분야	39

[그림 2.29] 국가별 특허 점유현황 - 스마트추진분야	39
[그림 2.30] 국가별 출원특허/우선권 특허 현황 - 스마트추진분야	40
[그림 2.31] 국가별 출원건수 및 시장확보지수 - 스마트추진분야	40
[그림 2.32] 국가별 인용도지수 - 스마트추진분야	41
[그림 2.33] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 - 스마트추진분야	41
[그림 2.34] 특허 등고선 맵 - 스마트추진 분야	42
[그림 2.35] 출원년도 및 국가별 출원추이 - 스마트현가 분야	46
[그림 2.36] 주요 출원인 동향 - 스마트현가 분야	47
[그림 2.37] 연도별 주요 출원인 동향 - 스마트현가 분야	47
[그림 2.38] 국가별 주요출원인 - 스마트현가 분야	48
[그림 2.39] 국가별 특허 점유현황 - 스마트현가분야	49
[그림 2.40] 국가별 출원특허/우선권 특허 현황 - 스마트현가 분야	49
[그림 2.41] 국가별 출원건수 및 시장확보지수 - 스마트현가 분야	49
[그림 2.42] 국가별 인용도지수 - 스마트현가 분야	50
[그림 2.43] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 - 스마트현가 분야	50
[그림 2.44] 특허 등고선 맵 - 스마트현가 분야	51
[그림 2.45] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 (스마트제동분야)	56
[그림 2.46] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 (스마트추진분야)	57
[그림 2.47] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 (스마트현가분야)	58
[그림 2.48] 차량 대차/차체 기술수준 및 격차	70
[그림 2.49] 철도서비스 조사 결과	71
[그림 2.50] 스마트주행장치 분야의 철도차량 신기술 활용 여부	73
[그림 2.51] 스마트주행장치 분야의 연구 시급성이 높은 분야	74
[그림 2.52] 스마트주행장치 분야의 적합 적용 차량 유형	74
[그림 2.53] 스마트주행장치 분야의 현장 적용 시 애로사항	75
[그림 2.54] 스마트주행장치 분야의 핵심요구사항	75
[그림 2.55] 스마트주행장치 분야 기술 및 사회·경제 측면의 중요 요소	80
[그림 2.56] 스마트주행장치 분야의 기술 성숙도 수준	81
[그림 2.57] 스마트주행장치 분야의 최고기술 보유국 및 국내 기술 수준	81
[그림 2.58] 스마트주행장치 분야의 장애요인 현황	82
[그림 2.59] 스마트주행장치 분야의 우선순위 평가기준 가중치	85
[그림 2.60] 추진장치 성능시험장비	98
[그림 2.61] 견인전동기 성능시험기	98
[그림 2.62] 제동성능 시험기	99
[그림 2.63] 고속레일 차륜접촉 시험기	99

[그림 2.64] 유진기공산업 다이나모미터	100
[그림 2.65] 유진기공산업 진동신뢰성 시험기	100
[그림 2.66] 유진기공산업 대형 환경 챔버	101
[그림 2.67] 단품시험에 활용될 철도차량용 스프링/댐퍼 시험장비	101
[그림 2.68] Lab. base 주행특성 시험에 활용될 대차 동특성 주행시험기	102
[그림 2.69] HEMU-430X 시험열차	103
[그림 2.70] HEMU-430X 시험열차 열차 구성	103
[그림 2.71] HEMU-430X 차량 종합 계측 시스템	103
[그림 2.72] HEMU-430X 인프라 검측 시스템	104
[그림 2.73] 호남고속선 400km/h급 인프라 테스트베드	104
[그림 2.74] 주행환경 감응형 VDC 기술 SWOT분석	105
[그림 2.75] 주행환경 감응형 VDC 기술개발 전략 Matrix	106
[그림 3.1] 스마트 현가시스템 기술	115
[그림 3.2] 능동형 추진제어 기술	115
[그림 3.3] 능동형 제동제어 기술	116
[그림 3.4] 연국개발과제 구성	117
[그림 3.5] 주행감응형 고속열차 VDC 기술개발 추진체계	124
[그림 4.1] 2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준	132
[그림 4.2] 연도별 열차 도착 지연율	141

제1장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의 및 분류체계

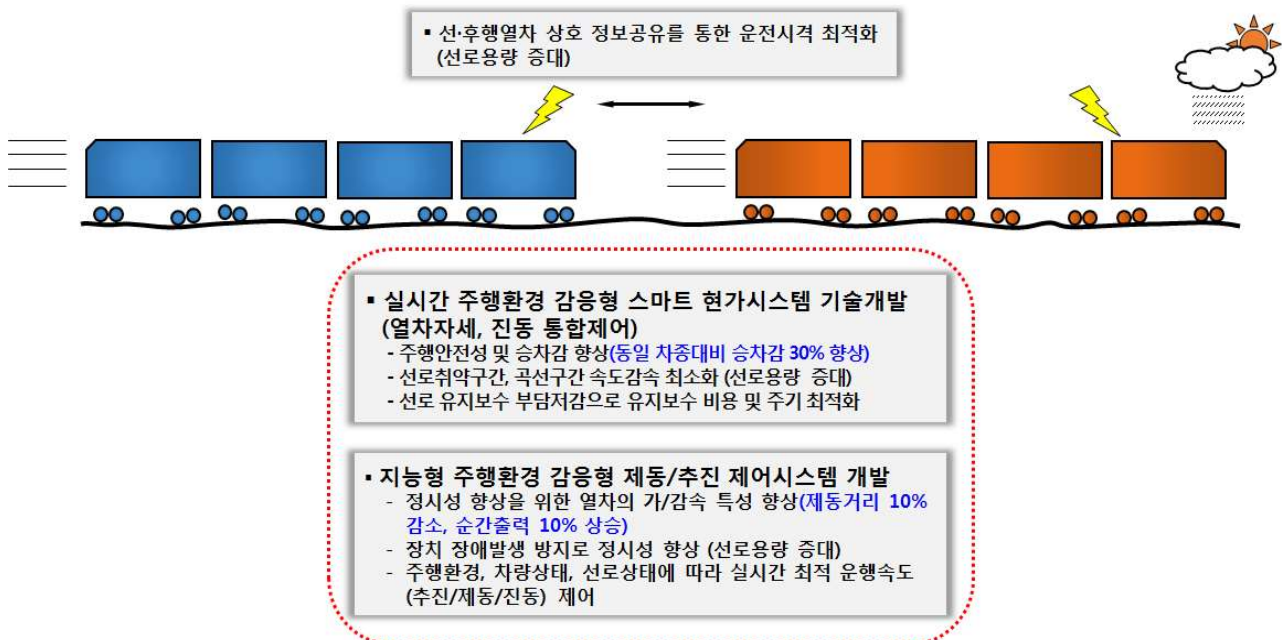
1. 기술의 정의

주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어(Vehicle Dynamic Control, VDC) 기술은 고속 철도 고객(승객)편의성 향상을 목표로 하는, 차량 핵심 성능의 지능형 제어기술로서 다음과 같이 정의 가능하다.

“고속철도 차량의 승객편의성 향상을 위한 핵심 요구사항인 승차감 및 정시성 향상을 위하여, 관련 핵심성능인 추진, 제동, 진동 특성을 주행환경을 감응하여 능동적으로 제어하는 기술”

위의 기술은 다음과 같이 크게 2개로 분리 가능하다.

- 선로 취약구간 승차감 향상(동일차종 대비 30% 이상)을 위한 스마트 현가시스템 기술
- 고속열차 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 기술 (순간출력 10% 상승, 제동거리 10% 감소)



[그림 1.1] 주행환경 감응형 스마트 VDC기술 개념

2. 기술 분류체계

- 주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어기술은 차량의 주행성능을 고도화하기 위하여 기존의 기계적 요소 위주 설계인 passive 방식 대응에서, 첨단 ICT 기술과 융합한 active 방식 대응을 목적으로 한다.
- 차량의 주행성능은 결국 차량/대차의 진동특성, 제동특성, 추진특성을 통하여 결정되므로, 본 기술은 각각의 특성에 대한 주행환경 감응형 동적제어기술로 구성이 된다.
- 주행환경 감응형 능동제어 기술에 대한 분류는 진동제어, 제동제어, 추진제어로 크게 분류될 수 있으며, 각각의 기술의 세부분류 체계는 다음 표와 같다.

[표 1.1] 주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어 기술분류 체계

대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)
스마트 철도차량 동적제어 기술 (Smart Vehicle Dynamic Control Technology)	A. 철도차량 스마트 제동시스템 동적제어 기술 (Dynamic Control technology for Smart Railway Brake system)	AA. 실시간 제동장치/성능 모니터링 (Real-time monitoring for Brake equipment/performance) ※ 목표제동력 대비 현재 제동력 상태 모니터링 기능 등
		AB. 주행환경 및 장치 모니터링 기반 제동시스템 능동제어 (Active control of brake system based on running environment and equipment monitoring) ※ Feedback 제어를 통한 능동형 감속도 기반 제동 제어, 차량 별/대차별 제동력 분배 및 제어패턴 변화, 특정 대차 제동장치 fault 발생 시 자동차단 및 리셋 기능 등 포함
		AC. 제동거리 단축을 위한 감속도 기반 제동력 다단계 제어 기술 (Multi-step control of braking force based on deceleration for reducing braking distance) ※ 점착한계 내 제동력 최대 사용
		AD. 차륜 슬라이드 방지 (Wheel Slide Protection)
		AE. 제동장치간 통신 네트워크 및 프로토콜 (Braking device-to-device communication network and protocol)
		AF. 차량시스템 인터페이스 기술 (System interface technology between Vehicle and smart braking system)
	B. 철도차량 스마트 추진시스템 동적제어 기술 (Dynamic Control technology for Smart Railway Propulsion system)	BA. 고속영역 출력 부스팅 제어기술 (Control of Propulsion system for power boosting in high speed region) ※ 지연 발생시 순간적으로 출력 상승 제어 및 이에 대응하는 추진시스템 냉각시스템 기술
		BB. 추진시스템의 운행 중 고장발생에 따른 허용제어기술 (Fault tolerant control technologies of traction system under fault condition)

		※ 추진시스템(MPS, 모터블럭) fault 발생 시 자동차단 및 리셋 기능 등 포함
		BC. 주행환경 및 장치 모니터링 기반 추진시스템 능동제어 (Active control of Traction system based on running environment and equipment monitoring) ※ 추진제어장치(C/I) 상태/성능에 따라 전력소자 능동제어, 운행환경에 따른 에너지절감형 견인력 제어기술 등 포함
		BD. 통합(추진/제동/진동) 차량 운행제어 시스템 기술 (Integrated(propulsion/braking/vibration) smart control system for vehicle operation)
		BE. 차량시스템 인터페이스 기술 (System interface technology between Vehicle and smart traction system)
	C. 철도차량 스마트 대차시스템 동적제어 기술 (Dynamic Control technology for Smart Railway Bogie system)	CA. 능동형 2차 현가장치의 진동제어 기술 (Vibration Control of Active secondary suspension system) ※ 측풍 등에 의한 차체진동 저감을 위한 횡방향/수직방향 진동 개별제어
		CB. 능동형 1차 현가장치의 진동제어 기술 (Vibration Control of Active primary suspension system) ※ 궤도/윤축 진동의 대차 전달 저감을 위한 수직방향 진동 제어에 초점
		CC. 차량 진동 통합제어 기술 (Integrated control technology for vehicle vibration) ※ 개별 진동제어 VDC 요소 통합제어 기술

3. 세부 기술내용

- 주행환경 감응형 능동제어 기술에 대한 기술개발내용은 아래와 같다.

[표 1.2] 주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어 세부기술

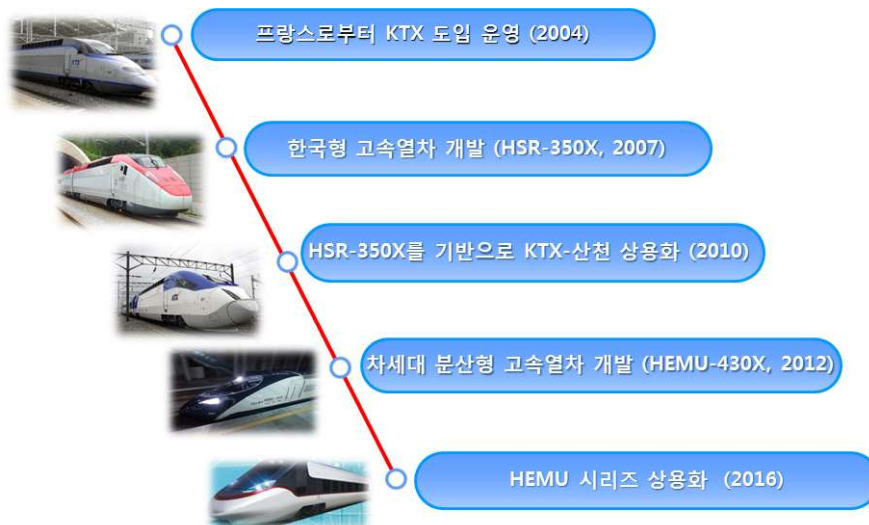
	구분	요소기술	기술개발 내용
실시간 주행환경 감응형 스마트 VDC 구성 기술	스마트 제동기술	제동성능 모니터링 및 능동 제어기술	• 제동성능 (제동감속도/제동저크/제공거리) 모니터링 기술 • 제동성능 모니터링 데이터 기반 제동성능 Feedback 제어 기술 (정위치 정차 기술 포함)
		감속도 기반 제동력 능동 다단계제어 기술	• 점착한계 내 제동력 최대 사용 제어기술 • 운행환경 감응 제동 다단계제어 패턴 변화 기술 • 추진제어시스템과 연계한 회생제동 효율 향상 기술
		제동장치 상태기반	• 제동장치 상태에 따른 차량별/대차별 제동력 스마

	구분	요소기술	기술개발 내용
		제동력 분담기술	트 분담 기술 • ECU Auto Cutoff & Reset 기술
		WSP 능동제어 기술	• 스마트 제동력 분담기술과 연계된 차량전체 활주방지 제어 기술 • WSP 제어로직을 활용한 점착한계 검지기술
	스마트 추진기술	고속영역 출력 부스팅 제어 기술	• 시각감소를 위한 추진제어시스템의 고속영역(정출력 제어 영역)에서의 순간 출력 상승 제어기술 • 고속영역 출력 부스팅 대응을 위한 능동 추진장치 냉각시스템 기술
		추진시스템 고장 시 허용제어기술	• 시스템의 고장발생 지점의 자동차단 기술 • 고장 발생 부위에 따라 활용 가능한 기능은 동작 수행하는 허용제어 기술
		주행환경 및 장치 모니터링 기반 능동제어기술	• 에너지 소비 최소화를 위한 운전 (추진)제어 기술 • 추진제어장치(C/I) 상태/성능에 따라 전력소자 능동제어 기술
	스마트 현가기술	궤도/윤축 진동의 대차 전달 저감을 위한 능동형 1차 상하방향 현가장치	• 대차 상하방향 진동제어용 1차 액추에이터 • 1차 액추에이터 구동용 전원공급장치 및 제어기
		측풍 등에 의한 차체 진동, 대차 진동의 차체 전달 저감을 위한 능동형 2차 현가장치	• 차체 상하/좌우 방향 진동제어용 2차 액추에이터 • 2차 액추에이터 구동용 전원공급장치 및 제어기
		스마트 현가 제어시스템	• 최적 진동 저감을 위한 1차, 2차 현가장치 통합 제어전략 • 능동형 1, 2차 현가장치 장애/고장 모니터링 및 대응전략
	VDC 통합제어 기술	통합 VDC(추진/제동/진동)를 이용한 최적 운행속도 제어 기술	• 운행속도 프로파일 준수를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술 • 선로상태별 최적 운행 속도 결정 및 이에 따른 추진/제동 제어기술

2절 기술개발의 필요성

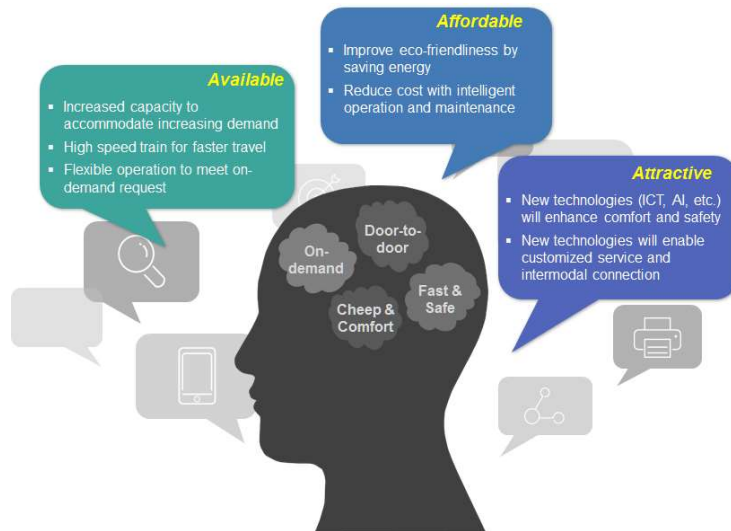
1. 고부가가치 철도차량 기술개발의 필요성

국내 철도차량 기술은 아래의 그림과 같이 다년간의 추격형 연구개발을 통하여 KTX-산천 상용화, HEMU시리즈 상용화 등 선진국 동등수준을 달성하였으나, 철도차량산업의 지속가능성 및 해외경쟁력 확보를 위하여 승객편의 향상을 중심으로 한 철도차량의 고부가가치 기술개발이 필요한 상황이다.



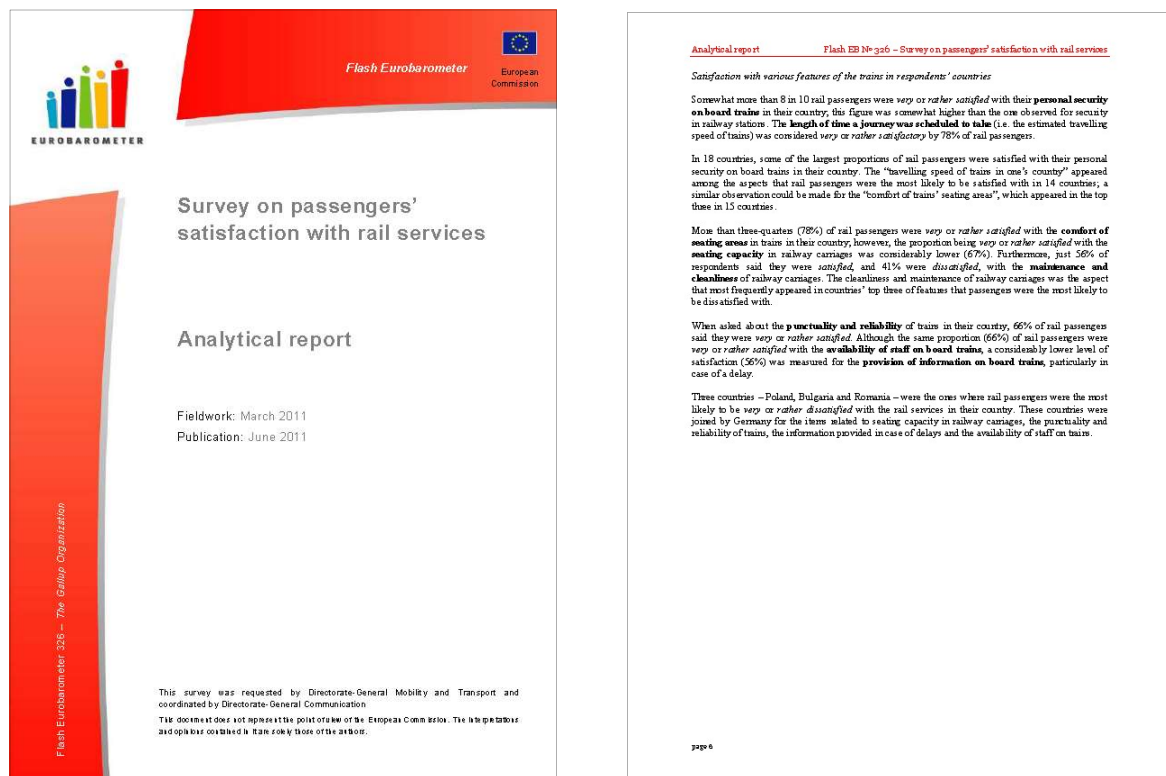
[그림 1.2] 국내 고속철도 기술 발전사

특히 4차 산업혁명이 도래함에 따라 인간 중심의 기술발전이 중요성이 강조되고 있으며, 이에 따라 철도와 같은 수송수단은 승객편의성 향상이 가장 중요한 가치로 대두되고 있다. 다빈치 연구소 미래학자인 Thomas Frey(Google top rated 미래학 연설자)는 “The future of transportation will be derived by strong desires for personal freedom and people's need to gain control over lifestyles that are moving faster and faster” 라고 강조함으로써 기술주도의 변화가 아닌 고객(승객)주도의 패러다임 변화를 예측하고 있다. 또한 2016년 10월 11일에 개최된 고속철도 국제세미나의 발표 자료에 따르면 앞으로의 철도기술개발 방향은 Customer Driven railway Technology로서 “3A(Available, Affordable, Attractive)to People” 로 대표되고 있다. 다음 그림에서 보이는 바와 같이는 Available은 승객의 on-demand를 반영하는 것이며, Affordable은 친환경기술 및 LCC관리를 통한 운행비용 저감을 의미하고, Attractive는 ICT기술을 활용한 승객 쾌적성 및 안전을 제고하는 것을 반영한다.



[그림 1.3] 미래 철도기술 방향

2. EU의 승객편의성 향상 중심 R&D



[그림 1.4] EU 2011년 철도서비스 고객만족도 조사

EU의 철도 R&D 프로젝트인 Roll2Rail의 목표는 수송용량 증대, LCC 저감, 에너지 효율 향상, 정시성 향상, 소음/진동 저감 등의 승객 쾌적성 향상으로 구성되어 있다. 또한 각각의 항목의 목표는 수송용량 15% 증대, 에너지소비 30% 저감, LCC 40% 절감, 정시성 50% 향상이다.

특히 승객편의성 향상이라는 측면에서 EU는 정시성 및 승객쾌적성을 주요 항목으로 인식하고 있으며, 2011년도에 실시된 EU의 철도차량 고객만족도 조사 항목에 정시성 및 승객쾌적성이 명시되어 있다. 이 고객만족도 조사 결과에 따르면 여행시간 78%만족, 좌석쾌적성(78%만족), 정시성(66%만족), 열차정보현시(열차지연 시 56%만족)으로 나타나고 있다. 따라서 열차의 정시성 확보 및 지연방지가 고객만족도에 가장 큰 인자임을 알 수 있다.

또한 Europe의 철도관련 비전인 Challenge 2050에서도 “Attractiveness to the Customer”를 기술적, 정책적, 서비스 측면 모두의 공통적인 목표로 하고 있다는 점에서 정시성 향상을 통한 승객편의성 향상은 반드시 달성되어야 하는 철도기술의 목표라고 할 수 있다.

3. 국내 고속철도 서비스 선로용량 사용 극대화 필요

국내 고속철도 서비스의 정시성은 표면적으로는 매우 우수(UIC 기준 15분 지연, 99.7%)하나 이는, 운영 여유를 고려한 운행계획 수립에 따른 결과이며, 실제로는 선로상태에 따른 서행 및 제동/추진 등 장치 이상에 따른 지연이 빈번하게 발생하고 있다. 철도공사 #141열차(서울-부산, 신경주 정차, 울산 통과)의 경우 신경주/울산 통과속도 300km/h 상향(‘15.10) 이후에도 운행시간은 동일하였다. (‘15.10 : 2hr 37m, ‘15.12 : 2hr 37m) 또한 이 시간은 경부고속선 대구/대전 도심통과선 개통(‘15.8)이후 감소된 운행시간(2hr 35m)보다 늘어난 결과이다.

또한 2016년 9월 18일 국회 국토교통위원회 결과에 따르면 ‘13 ~ ‘16년 고속철도 서행 현황 결과에 따르면 서행운행일은 무려 344일에 이르고 있다. ‘15년 국정감사에서도 ‘10년 이후 고속철도 지연현황은 ‘10년 2,217회에서 ‘14년 4,136회로 지속적으로 증가하고 있으며, 이는 주로 선로상태의 열화로 인한 지연이 대부분 이었다. 또한 ‘16년 하반기 제동장치 이상으로 인한 1시간 지연은 3건(서울역 8/4, 천안아산역 9/5, 오송역 11/29)이나 발생하였으며, ‘11년 이후 KTX 모터블럭 장애(‘16년 4.27일 감사원 지적결과) 역시 연평균 170회에 아르는 것으로 조사되었다. 따라서 현재의 고속철도 운행서비스는 운행여유 시간을 충분히 확보한 상태로 운영되고 있음을 추측할 수 있다. 그러나 이러한 운행여유에도 불구하고 최근의 호남 및 수도권고속철도 개통 이후 경부고속선 평택-오송 구간은 극심한 혼잡을 보이고 있으며 해당구간의 최고 운영속도는 250km/h도 넘기기 힘든 상황이다. 특히 신규 노선 건설에 따른 고속철도의 수요는 지속적으로 증가하고 있으나(광주송정역 예측 대비 수요 55% 증가 : 조선일보 ‘16.12.26), 현재 선로용량으로는 대응이 불가능한 상황이다.

4. 4차산업혁명과 개발기술의 연계성

- 4차 산업혁명의 정의는 정보통신기술(ICT)과 기존기술과의 융합을 통한 산업전반의 혁명을 의미한다. 특히 이 혁명의 핵심은 인공지능, 로봇, 사물인터넷(IOT), 무인운송수단, 3D Printing, 나노기술과 같은 6대 분야에서 새로운 기술 혁신이다.

- 본 과제에서 기획하고 있는 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC, Vehicle Dynamic Control) 기술은 고속철도 차량의 승객편의성 향상을 위한 핵심 요구사항인 승차감 및 정시성 향상을 위하여, 관련 핵심성능인 추진, 제동, 진동 특성을 주행환경을 감응하여 능동적으로 제어하는 기술이다.
- 고속철도의 주행장치의 성능은 크게 가속(추진시스템), 감속(제동시스템), 진동(현가시스템)의 세가지 성능으로 표현이 되며, 이 기본적인 세 가지 성능을 ICT 기술을 이용하여 획기적으로 개선하는 것이 본 VDC 기술의 핵심이다.
- 보다 자세히 설명하면 열차의 주행환경은 선로상황, 주변환경에 따라 시시각각 변하며 이에 따라 주행장치가 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 ICT 기술을 이용하여 주변환경 센싱, 마이크로컴퓨터를 이용한 추진/제동/현가 시스템의 자동제어를 수행하는 것이다. 즉 4차 산업혁명의 키워드인 ICT 기술을 기존의 열차시스템 기술과 융합하여 차량 핵심성능을 사람의 개입 없이 완전 자동화하는 무인 고속열차 시스템의 시발점이 되는 기술이라고 볼 수 있다.

5. 기술 미개발시의 문제점

- EU가 철도관련 정책 및 연구방향을 승객편의성 향상으로 설정하고 투자를 진행하는 동안 국내 철도기술은 전통적 철도 가치관인 수송량 증대, 속도향상 기술, 국산화율 향상 등에 집중해 왔음
- 최근의 호남 및 수도권고속철도 개통 이후 경부고속선 평택-오송 구간은 극심한 혼잡을 보이고 있으며 해당구간의 최고 운영속도는 250km/h도 넘기기 힘든 상황임.
- 특히 신규 노선 건설에 따른 고속철도의 수요는 지속적으로 증가하고 있으나(광주송정역 예측 대비 수요 55% 증가 : 조선일보 '16.12.26), 현재 선로용량으로는 대응이 불가능한 상황임
- 기술개발이 이루어지지 않을 경우 해외와의 기술경쟁력에서 크게 뒤처지게 되어 승객편의성 향상기술의 해외의존도가 커질 것으로 예상되며, 고속화 서비스를 제공하기 위하여 고속 신선을 지속적으로 건설하여야 함으로 인프라 비용이 크게 증가할 것임
- 따라서 국내 철도기술이 세계시장에서 경쟁 및 선도하기 위해서는 EU 이상의 승객편의성 향상을 달성할 필요가 있으며 특히 정시성 향상이라는 측면에서 핵심 기술을 개발할 필요가 있음
- 국내 고속열차의 승객편의성 향상, 특히 정시성 향상 및 선로용량 사용 극대화를 위해서는 주행환경에 따라 추진/제동/진동 특성을 실시간모니터링하고 지능적으로 제어하는 ICT 기반 스마트 차량동적제어(Vehicle Dynamic Control) 기술 개발이 필요함

제2장 국내외 동향 및 환경분석

1절 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

가. 국토교통 연구개발 중장기전략(‘14~’23)

- 국토교통부는 2014년 7월 “국토교통 기술을 통한 국민행복 및 국제적 가치 창조” 라는 목표 아래 국토교통 연구개발 중장기전략(‘14~23)을 발표
 - 융·복합 신산업 창출 기반 조성, 안전하고 편리한 국토공간 조성 및 국민 생활복지 향상 등 4대 전략을 수립하고 국토교통의 새로운 미래가치 창출을 위한 10대 중점프로젝트를 발굴·제시
 - 철도교통 분야에서는 스마트 철도교통시스템이 중점 프로젝트로 선정
- 스마트 철도교통시스템의 추진 목표는 도시 간, 도시 내 생활교통수단으로서 수송성·정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도교통시스템의 안전성·경제성 및 효율성을 제고하기 위한 제반 기술 확보임. 이를 달성하기 위해 다음과 같은 3 가지 기술개발 방향을 제시



[그림 2.1] 국토교통 R&D 중장기 전략의 철도분야 기술개발 로드맵

- 상기 기술개발 로드맵 중 철도의 안전 및 편의 향상을 위하여 실시간 철도 안전 감시 및 차량 주행안전 기술은 스마트 VDC 기술을 통하여 달성 될 수 있으며, 스마트 VDC

를 통한 열차의 진동저감 역시 편의향상이라는 측면에서 국가 연구개발 정책과 부합함

나. 제 3차 국가 교통기술 개발계획(`14~`18)

- 제 3차 국가교통기술개발계획은 제 2차 수정 국가기간교통망계획(2001~2020)에서 제시한 중장기 계획을 효율적으로 달성하기 위해 필요한 기술개발 계획으로 2014년 7월에 고시됨
- 철도교통 기술부분은 “국민 행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도개발”을 비전으로 ① 선진국 대비 철도기술수준 95% 달성 ② 열차운행 100만km당 사고건수 10% 저감 ③ 철도 수송용량 20% 확대, 수송 분담률 20% 향상을 달성 목표로 설정
- 중점 추진 분야로는 빠르고 지능적인 철도(Smart Railroad), 안전하고 편리한 철도(Safe Railroad), 정확하고 경제적인 철도(Economical Railroad)를 설정하였음
- 이중 스마트 VDC 기술은 ICT 기술을 이용하여 열차의 추진/제동/진동을 제어한다는 점에서 상기 추진분야 중 빠르고 지능적인 철도의 “ICT 기반 철도시스템 개발” 항목과 부합하며, 또한 VDC를 통한 열차 사고예방 및 승객 편의성을 향상시킨다는 측면에서 안전하고 편리한 철도 항목과 잘 부합함

다. 철도 차량산업 육성 방안

- 국토부는 2016년 6월 대내외적으로 어려움에 직면해있는 우리나라 철도차량산업의 새 활로를 찾아 미래 성장산업으로 키우기 위한 「철도차량산업 육성방안」을 발표
- 한국형 고속차량(KTX) 개발경험을 토대로 철도차량 산업을 미래 성장산업으로 육성하고, 연간 140조원의 세계 철도 차량시장(차량구매 70조원, 차량정비 등 유지관리 70조원)에 적극 진출하기 위하여 8대 분야의 육성방안을 제시
- 제작사의 차종별 특화 육성
- 신호시스템 및 부품산업 집중 육성
- 부품 공급망 구축(Supply Chain Management)
- 글로벌 분업·협업체계구축
- 선도형 연구개발(R&D) 추진
- 철도차량애프터마켓(After Market) 조성
- 해외수주지원
- 전문인력양성 및 제도정비
- 선제적·혁신적 투자(Early Starter)와 시장 선점(First Mover)을 R&D의 기본 전략으로, 세계시장 선도형 연구개발을 추진하며 스마트철도·초고속철도·핵심부품 등 3대 핵심 연구개발 사업을 집중 지원
- 스마트철도 : 정보통신기술 (ICT) · 사물인터넷 (IOT)기술을 융합하여 자가진단·치유,

- 원격감시·제어, 위험감지·대응, 지능형 통합관제 기능 등을 갖춘 지능형 철도시스템
- 초고속철도('Super Train') : 통일·유라시아 철도 시대를 대비하는 600km/h 이상의 철도로 진공튜브형(Hyperloop), 자기부상형 등 다양한 방식 검토
- 핵심부품 : 부품 공급망 구축 및 품질안전 제고를 위한 철도부품·소재 핵심기술 개발
- 따라서 스마트철도라는 관점에서 스마트 VDC 기술개발은 철도 차량산업 육성방안의 기초와 잘 일치함

2. 국외 정책동향

가. 유럽연합의 철도정책

- 유럽연합의 철도 정책 결정
 - 유럽위원회(European Commission)에서 교통분야의 연구개발 현안은 DG Research & Innovation과 DG MOVE가 담당. 유럽이사회(European Council)에서 28개 회원국의 교통 분야 장관들이 관련 정책에 대한 의사 결정을 함
- 유럽의 철도섹터
 - 유럽의 철도섹터는 운영기관(Railway Undertakings), 시설물관리기관(Infrastructure Managers), 그리고 제조업체라는 세 분야의 이해관계자로 구성되어 있음
 - 아직까지 많은 유럽국가의 철도 운영기관과 시설물 관리기관은 국가가 소유하고 있음
 - 하지만 프랑스의 SNCF와 알스톰, 독일의 DB와 Siemens처럼 국가 기관과 제조업체가 밀접한 관계를 형성하고 있음. 이들은 국가의 철도발전 전략을 공유하면서 연구개발 우선 순위를 결정하며 공동으로 과제를 추진하는 경우가 많음
- European Railway Agency(ERA)
 - ERA는 안전 확보와 상호연계운행을 통해 통합된 철도를 구현하기 위하여 설립됨
 - ERA는 European Rail Traffic Management System(ERTMS) 프로젝트의 감독기관으로의 역할을 수행
 - 유럽 철도에 대한 강제 규정인 Technical Specifications for Interoperability (TSIs)를 제정
 - 유럽 철도에 대한 안전 목표 및 안전 기준을 수립
 - 철도 차량 및 안전에 대한 인증기관 역할 수행
- ERRAC (European Rail Research Advisory Council)
 - 유럽의 철도 연구개발 진흥을 위해 유럽 집행위원회의 후원으로 철도관련 기관들이 공동으로 구성한 위원회. 철도 운영기관, 시설물 관리기관, 제조업체, 학계 및 유럽 집행위원회와 멤버 국가에서 참여

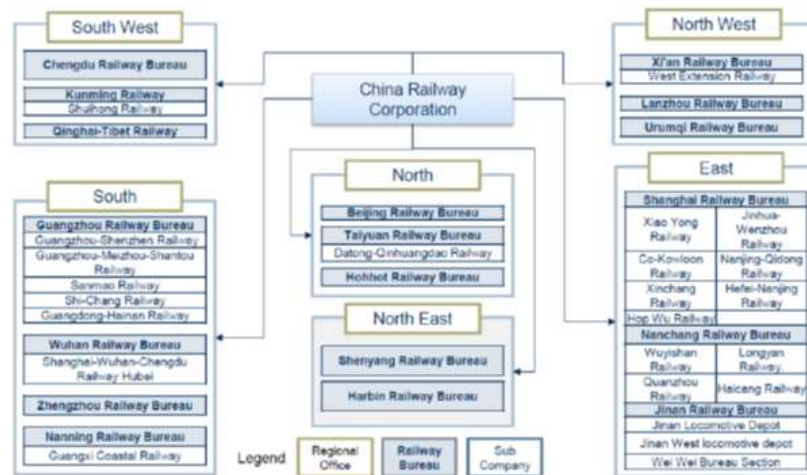
- ERRAC의 주요 임무는 다음과 같음
 - 유럽의 철도분야 연구개발 전략 수립
 - 유럽내 연구개발 협력체계 구축 - 철도운행사, 시설물관리자, 제조업체, 대학, 연구기관 간의 시너지 극대화
 - 연구개발 로드맵 작성 및 우선순위 도출
 - EU의 차세대 연구개발 프로그램인 Horizon 2020에 대한 자문 및 과제 제안
 - 기 완료된 연구개발 프로젝트 평가

나. 일본의 철도정책

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

다. 중국의 철도정책

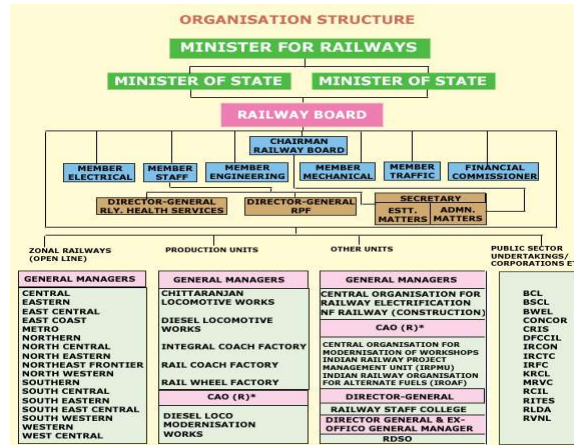
- 중국은 제 13차 5개년 계획(2016~2020년)에서 6% 중반대의 새로운 성장전략을 제시하였으며, 이를 통해 서비스업 비중 확대, 도시화율 상승 등을 꾀하는 한편 GDP 대비 R&D 투자 비중을 확대하며 고부가 제조업 육성을 위한 기초 여건을 강화할 계획을 수립
- 특히 지역균형발전 전략과 함께 육·해상 실크로드 경제권을 결합하는 개혁을 추진할 계획이며, 이와 더불어 중국 정부는 생태환경 개선을 위해 친환경 저탄소 순환발전 시스템 구축을 강조
- 중국의 개혁추진전략의 일환으로 철도산업 분야는 여객 및 화물노선을 분리하여 복선화를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



[그림 2.2] China Railway Corporation

라. 인도의 철도정책

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

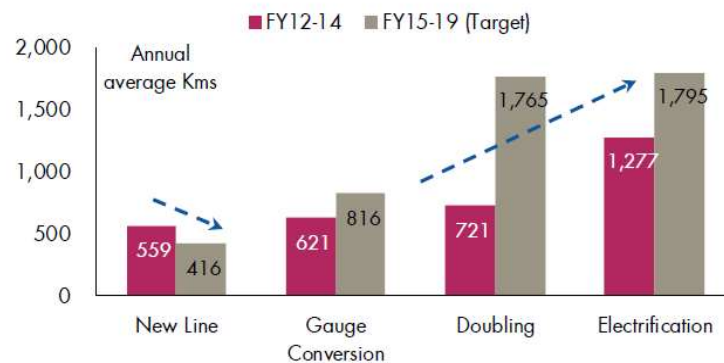


[그림 2.3] 인도의 철도기관 구조

○ 인도 철도의 문제점과 해결방향

- 인도철도의 악순환 : 투자부족 → 혼잡 → 서비스질 악화 → 경쟁력/관세 → 낮은 내부 수익
- 해결방안 우선순위 : 새 노선 건설 보다는 복선화와 전력화와 같은 혼잡완화에 집중
- 처리량을 향상시키기 위하여 5년 동안 10,000km 전력화 목표(현재까지 ~25,000km)이며, 전체 레일 길이는 65,000km)
- 속도, 효율성, 용량을 개선하는 방향으로 계획 추진
- 최근 기존 철로의 고속화 진행
 - 기존 라즈다니 익스프레스 노선에 Talgo 차량을 도입하여 2016년 8월 2일 첫 시험운행 (Delhi-Mumbai 구간)
 - 시험운행 결과, 기존 라즈다니 익스프레스 대비 2시간 단축(시험성적- 평균속도 106km/h(라즈다니 89km/h 대비 20%증속), 최고속도 180km/h 기록)

Prioritizing capex



Source: WP, PR, Axis Capital

[그림 2.4] 인도의 철도개발 계획

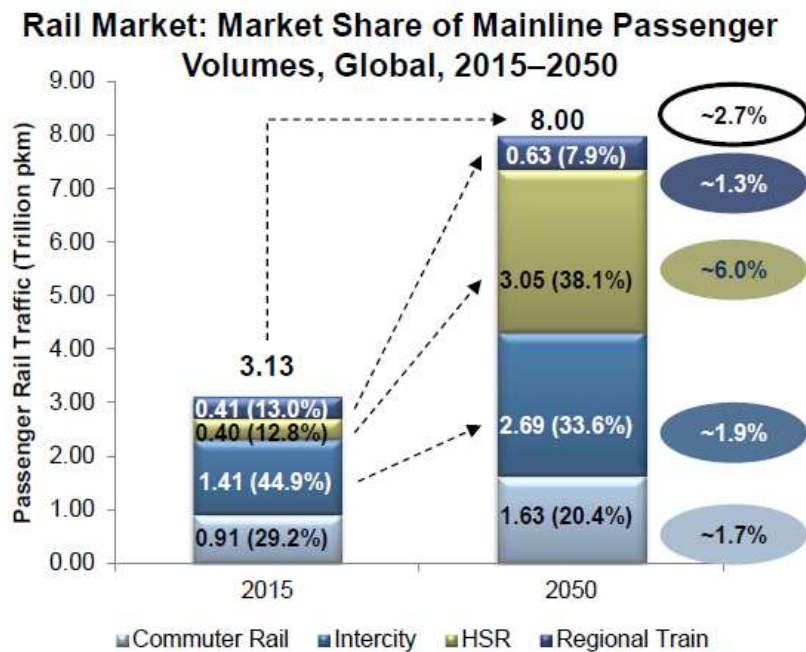
3. 정책동향 분석 시사점(결론)

- 전 세계적으로 철도 기술개발에 대한 로드맵을 세우고 정부주도하의 연구개발을 통하여 자국의 기술력을 확보할 수 있도록 적극 지원
- 「철도산업발전기본법」에 따라 수립된 제 3차 철도산업발전기본계획의 철도 수송분담률 27% 달성 및 철도수송 효율 15% 향상, 철도건설 및 운영유지비 5% 절감 등의 중기목표를 달성하는데 크게 기여
- 또한 제 2차 국가철도망 구축계획과 연계하여 국토 주요거점의 고속철도 연결 정책강화 및 철도중심 국가기간망 구축정책에 기여
- 국내 철도차량 기술은 다년간의 추격형 연구개발을 통하여 선진국 동등수준을 달성하였으나, 철도차량산업의 지속가능성 및 해외경쟁력 확보를 위하여 승객편의 향상을 중심으로 한 철도차량의 고부가가치 기술개발이 필요

2절 국내외 시장현황 및 전망

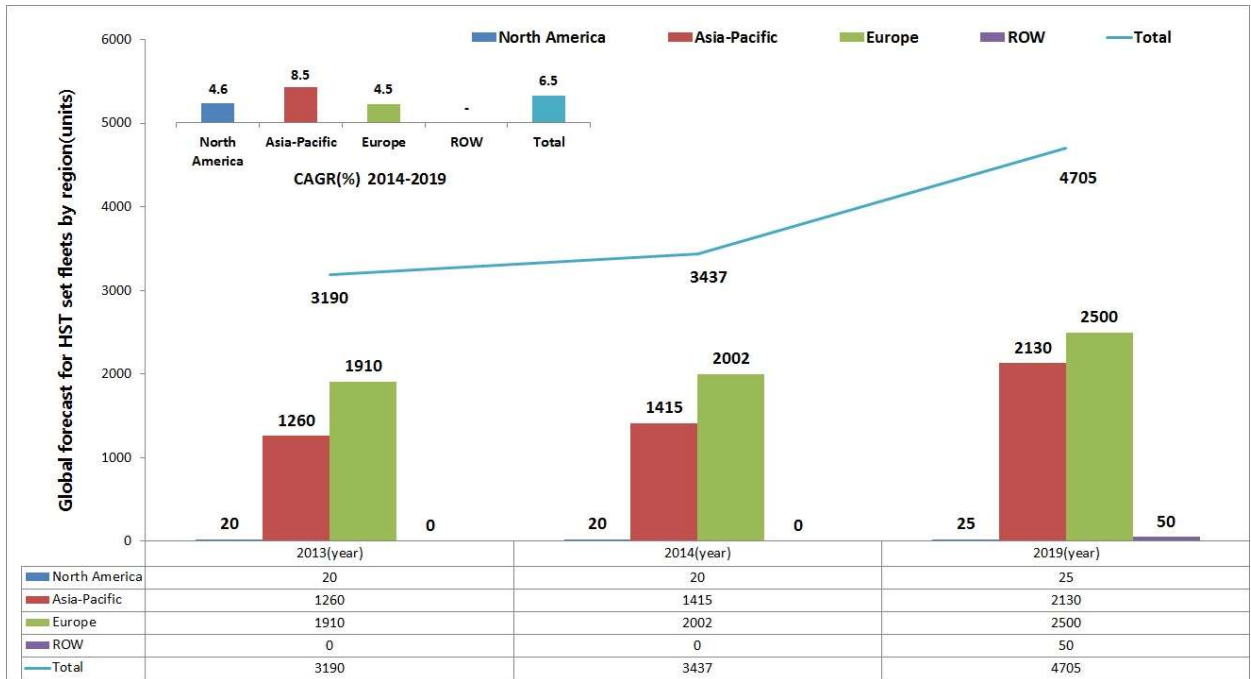
1. 국내외 시장현황 및 전망

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



[그림 2.5] Global Rail Market

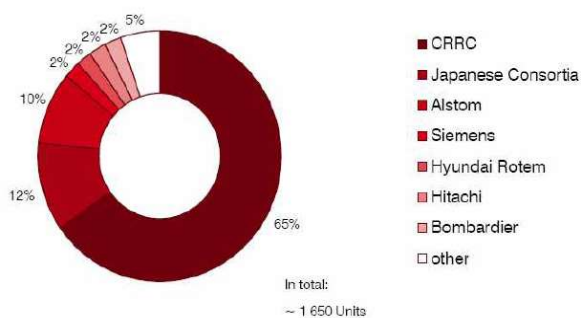
- 고속열차에 대한 수요 전망은 아시아와 유럽 시장에서 상당한 속도로 증가하고 있음
 - 2013년 유럽은 전체 고속철도 차량의 60%를 차지하고 뒤를 이어 아시아 지역이 39%를 점유하는 것으로 나타났으며 2014~2019년까지 연평균 6.5%의 성장률을 보일 것으로 전망
 - 고속철도 차량의 성장은 유럽의 경우 스페인, 아시아는 중국 위주의 성장이 예상되며, 독일/일본/프랑스 등에서 차량의 교체주기가 도래하여 2015년~2020년간 약 9000량의 고속차량의 증가가 예상



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

[그림 2.6] 지역별 고속열차 수요에 대한 글로벌 전망

- 고속철도 시장은 긴축예산과 더불어 효율적인 장거리 수송 서비스, 인프라 및 시스템 기술 구축, 안전성 확보가 타 철도보다 엄격히 요구됨
- 또한 고속 운행에 필요한 핵심 기술이 요구되기 때문에 고속철 시장은 소수의 제조사에 의해 점유되고 있음
- 전체 시장의 65%를 CRRC가 차지하고 있으며 일본 컨소시엄(Kawasaki, Hitachi, Nippon Sharyo), 알스툼, 지멘스가 시장을 점유하고 있으며 현대로템은 자국 내 공급을 담당하고 있음
- Stadler는 향후 몇 년 내에 고속철도 시장에서 주요 플레이어로 부상할 것으로 전망되며 스위스 철도에 intercity 버전의 Flirt IC 공급 예정임
- 현재 4,200 차량이 운행되고 있으며 최근 EUR 9.8billion p.a. 규모의 시장을 형성하고 있지만 기존 중국 시장 확장의 정상화로 EUR 8.0billion p.a. 규모로 조정될 것으로 예측됨



<High speed train 주요제조사 시장 점유율 (2011-2015. %)>

Region	Installed base, late 2015 [in units; rounded]	Average age 2015 [in years; rounded]	Installed base development 2015-2020 [in % p.a.]
Western Europe	1 980	15	+2.5
Eastern Europe	60	3	+8.8
North America	20	16	+11.2
South/Central America	-	n/a	n/a
Asia	2 080	4	+9.1
CIS	20	4	+7.5
Africa/Middle East	40	1	+16.1
Australia/Pacific	-	n/a	n/a
Total	4 200	9	+6.6

© SCI Verkehr GmbH

<High speed train 지역별 시장 규모>

출처 : Worldwide market for railway industries(SCI 2016)

2. 국내외 산업 동향 및 전망

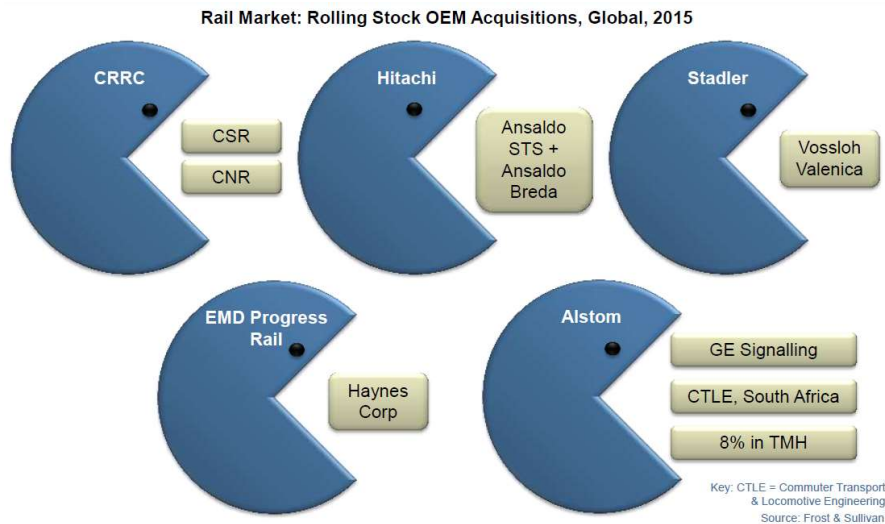
- ‘08년 미국발 금융위기에 이어 최근 유가폭락, BRICs국가의 성장 침체 등 세계경제가 본격적인 저성장 국면으로 자국 내수시장 보호 및 내수시장 활성화에 대한 수요가 증가
- 세계 철도시장에서는 자국산업 보호 정책(현지화 요구 등)이 대규모 철도차량 발주 국가들로 확대/확산되는 경향
- 미국, 중국, 브라질, 터키, 인도, 이집트 외에 러시아, 우크라이나, 남아프리카공화국 등의 사업에서도 현지화를 요구, 최근에는 중동, 동남아시아 국가에서도 현지화에 대한 관심이 높아지고 있음
 - 현지화는 사업수주에 있어서 선택이 아닌 필수적인 평가요소가 되었으며 점점 확대될 것으로 예상

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

- 글로벌 차량제작사의 대형화 및 국가의 전략적 지원
 - 글로벌 업계간 M&A가 일어나는 것은 자연스러운 현상이나 문제는 치열한 수주환경에 따라 수익성이 악화됨
 - 알스톰사는 프랑스의 자존심인 TGV를 살리기 위해 주력분야인 발전전력부문의 매각을 단행, 수익성 높은 신호사업을 강화함
 - 캐나다 봄바르디에 역시 자금확보를 위한 자구책으로 지분 매입권을 가진 펀드를 조성하여 경영정상화를 추진 중
 - 일본 Hitachi는 영국에 공장을 건설하고 본사도 영국으로 이전했을 뿐 아니라 이태리 Ansaldo(차량 및 신호업체) 인수를 통해 본격적인 글로벌 플레이어로 도약하고자 하고 있음



[그림 2.8] 글로벌 차량 제작사



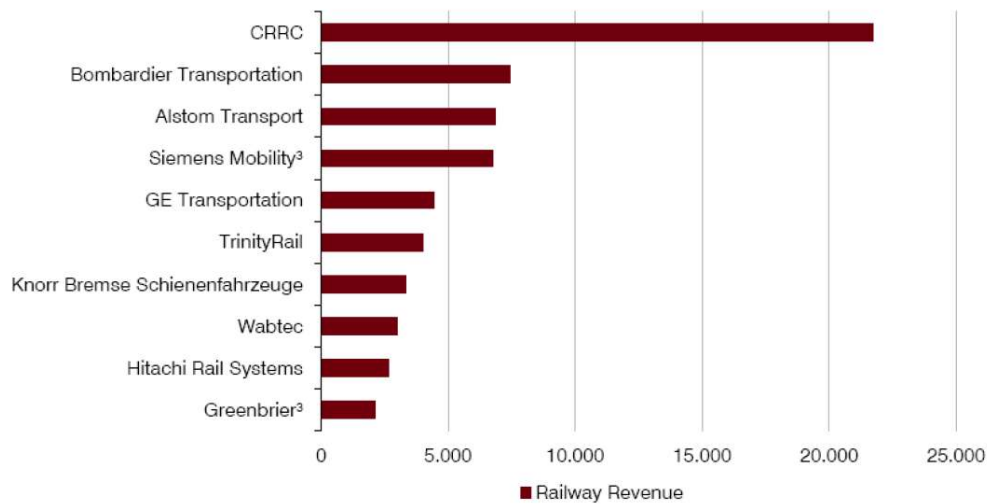
[그림 2.9] Rail Market : Rolling Stock OEM Acquisitions

- 스위스 스테들러사는 최근 보슬로의 스페인공장을 인수하여 생산규모를 확대하는 등 글로벌 철도업계의 무한 생존경쟁이 시작됨
- 중국은 동종기업간 합병과 같은 형태로 해외시장에서의 자국업체간 경쟁을 막고 수익성 확보 및 기술개발 역량을 집중시키기 위해 '15년 자국 철도차량 제작 국영기업인 CNR(중국북차집단)과 CSR(중국남차집단)을 통합하여 CRRC(중국중차집단)을 탄생시킴
- 중국 CRRC의 압도적인 시장 점유율(50%) 및 성장 지속 예상
 - 고속차량 점유율 : CRRC (50%), 일본제작사 (18%), Alstom(12%), Siemens(6%)
 - 전동차 점유율 : Bombardier (18%), Alstom (17%), 일본제작사 (12%)
 - 경전철 점유율 : Bombardier (20%), Alstom (19%), Siemens (10%)
- 중국 제조사인 CRRC는 '15년 합병으로 인해 가장 큰 제조사로 전체 시장을 이끌고

있으며 봄바르디에, 알스툼, 지멘스, GE순으로 철도시장을 점유하고 있음

- 기존 차량 제조사 위주의 분석 대신 주요 부품 공급사도 포함하여 시장 분석 결과 소기업 합병에 의해 Knorr-Bremse사와 Wabtec사가 새로 시장에 진입
- Alstom은 2015년 GE signaling사를 인수함으로써 북미를 포함한 세계시장에서의 입지를 강화하고 있음
- Hitachi Rail사는 Ansaldo STS 지분 획득으로 인프라와 시스템 기술 분야의 주요 제조사로 부상

<2015년 시장 규모별 상위 10개의 철도 제조사 (EUR billion)>



출처 : Worldwide market for railway industries(SCI 2016)

3. 시장분석 결론

○ 국내외 관련 시장 동향

- 국내 고속철도 차량은 제3차 철도망구축계획('16년~'25년)에서 효율적이고 경쟁력 있는 철도, 지역발전을 선도하는 철도, 안전하고 편리한 철도를 목표로 고속이동서비스 지역 확대와 철도운영 효율성 확보하도록 계획하고 있어서 고속차량에 대한 수요가 증가할 것으로 예상
 - 고속철도, 고속화철도(준고속철도) 서비스가 전국으로 확대
 - 고속철도 서비스 인구비율 : 46% → 60%(정차지역 기준)
 - 고속화철도 서비스 인구비율 : 5% → 25%(정차지역 기준)
- 국내 고속철도 시장은 신규 및 연장노선뿐만 아니라 초기 KTX 내구연한에 따른 차량 교체가 2025년 이후 순차적으로 도래하여 수요가 증가할 것으로 예측됨
 - 최고속도 300km/h 이상 원강선 개통과 수원발, 인천발 고속철도 확대 등 총 550량(총 1조 8,471억)
 - 최고속도 200km/h 이상, 300km/h 미만 : 경전선 등 신규노선에 EMU-250 총 114량(총 3,853억)

- 중북선 철도 고속화사업 2024년까지 7455억 투입하여 추진(아시아뉴스 ' 16.12.14)

- 글로벌 고속철도 시장은 중국, 인도, 미국, 터키, 동남아, 브라질 등 전 세계적으로 고속철도 신선 건설이 진행되고 있고, 독일/일본/프랑스 등에서 초기 고속철도 차량의 교체주기가 도래하고 있어 지속적으로 고속차량의 수요가 증가할 것으로 예상됨

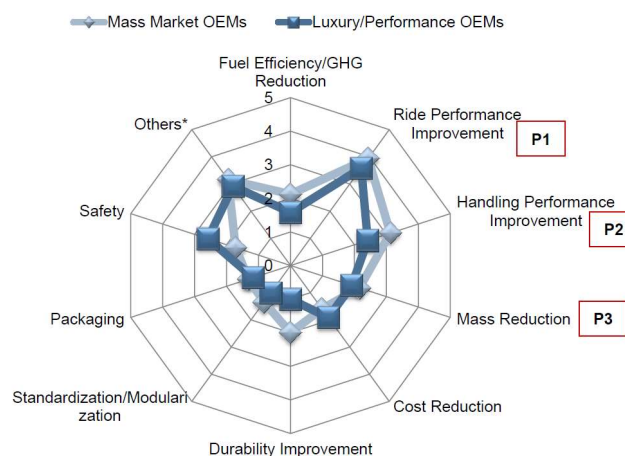
(2015~2020년 약 9000량의 신규 고속차량 증가 예상, 2015 Frost & Sullivan)

- 최근 확대되는 고속철도 차량 시장에 발맞추어 중국 CSR 및 NSR, 독일의 지멘스, 봄바르디어, 프랑스 알스톰, 일본 신칸센 등은 다양한 모델라인업 구축 및 기술개발을 통하여 시장선점을 위한 마케팅을 강화하고 있음
- 봄바르디어사의 Flexx-technology가 적용된 250km/h급 (SBB 납품) 차량의 량당 가격이 41.6억원 수준인데 반해 최근에 국내 계약된 EMU-250의 경우 량당 평균가격이 31억원 수준으로 차량의 고부가가치 기술접목으로 35억원 수준으로 공급한다면 기술력 및 브랜드가치에서 중국과 차별성을 두고, 메이저 제작사와는 가격경쟁력으로 세계 고속철도 시장에서의 경쟁력 확보 가능
- 자동차 시장과 철도시장이 동일하지는 않으나, 대략 고급 자동차 시장규모에 해당하는 10%를 고부가가치 고속차량 시장으로 가정한다면, 5년에 약 900량 정도로 볼 수 있으며 3,600억원 규모의 추가 부가가치 발생. 이와 더불어 고부가가치 차량에 의해 발생하는 승차감 및 정시성 향상, 유지보수 비용 절감 등을 고려한다면 막대한 간접적 편익 기대 가능

○ 국내외 관련 산업동향

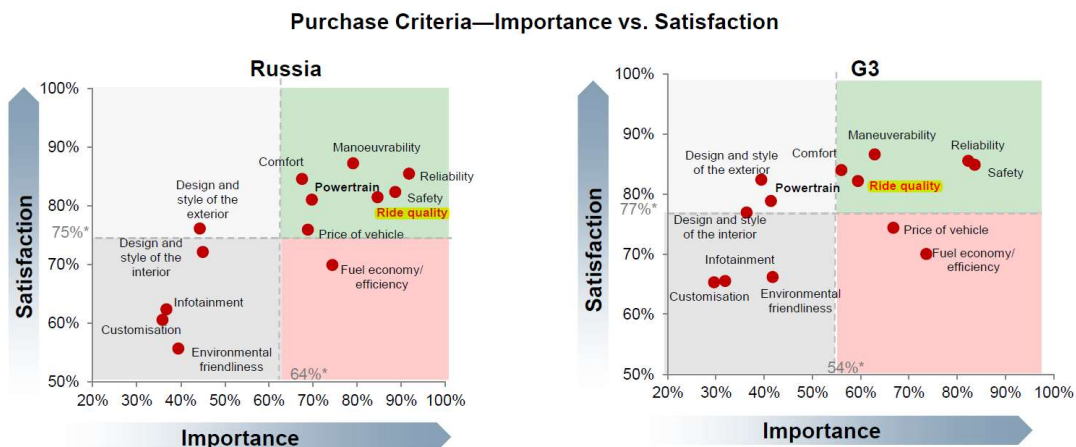
- 자동차의 경우, 고부가가치 기술 중 현가장치의 기술개발 요인으로 승차감 향상에 대한 지표가 가장 높게 나타나고 있으며, 고급 자동차 제작사들은 이미 2012-2022년까지 스마트 현가장치 기술개발에 대한 로드맵을 수립하여 단계별로 진행 중에 있음

Exhibit 24: Suspension Technology Development and Adoption Drivers, Global, 2016



[그림 2.11] Strategic Insight on Advanced Suspension Technologies Used in High-performance Cars

- Frost & Sullivan(2016) 보고서에 따르면 자동차를 구매하는 조건을 만족감과 중요성으로 분석한 결과 승차감, 안전성, 신뢰성 등이 중요한 지표로 조사됨
- 철도분야 역시 2011년도에 실시된 EU의 철도차량 고객만족도 조사 결과, 여행시간 78%, 좌석 쾌적성(78%), 정시성(66%), 열차정보 현시(열차지연 시 56%) 만족으로 나타나고 있어 열차의 정시성 확보 및 지연 방지가 고객만족도의 가장 큰 인자임을 알 수 있으며, 자동차와 마찬가지로 승객편의성 향상을 위한 고부가가치 차량을 위한 기술개발이 적극적으로 이뤄질 것이라 예상됨



[그림 2.12] Purchase Criteria—Importance vs. Satisfaction

- 글로벌 경쟁이 극심한 자동차 시장의 경우 전체 자동차 시장의 성장률은 1.9%인 반면에, 고급차 시장의 성장률은 5% 이상으로 급격하게 성장을 하고 있음(동아일보 1/9일자 토요일슈). 이는 자동차 업체들이 차량의 고급화 전략을 통하여 판매물량 지탱 및 수익성 강화를 추구하기 때문임
- 고속철도 시장 역시 전세계 고속철도 수요증가에 따라 중국업체의 저가 공세 및 글로벌 업체 간의 치열한 경쟁이 예상되고 있으며, 이에 대한 대응책으로서 향후 고부가가치 고속철도 차량에 대한 수요가 지속 증가할 것으로 예상
- 고속열차 차량의 경우 최근 5년간 상위 3개 제작사가 50% 이상의 시장점유율을 보유했으나 향후 차량조달기업이 미정인 시장이 45%를 차지하여 이에 따른 치열한 경쟁이 예견되고 있으며 승객편의성 향상은 시장점유율 확대를 위한 중요한 마케팅 포인트가 될 것으로 판단 됨
 - 유럽의 철도관련 비전인 Challenge 2050에서도 “Attractiveness to the Customer” 를 기술적, 정책적, 서비스 측면 모두의 공통적인 목표로 하고 있다는 점에서 승차감 및 정시성 향상을 통한 승객편의성 향상은 반드시 달성되어야 하는 철도기술의 목표임
- 국내의 경우 신규 노선 건설에 따른 고속철도의 수요는 지속적으로 증가하고 있으나 (광주송정역 예측 대비 수요 55% 증가 : 조선일보 ‘16.12.26), 현재 선로용량으로는

대응이 불가능한 상황이며, 각 지자체의 고속철도 건설 수요 역시 매우 큰 상황임

- 그러나 고속철도 건설은 막대한 예산이 투입되는 국가현안으로, 정부는 시설투자 없는 선로용량 확보를 정책적으로 추진하고 있으며, 이를 달성하기 위한 국내 철도차량의 기술개발 및 수요가 지속적으로 발생할 것으로 예상

3절 기술(특허, 논문 등) 동향

1. 특허동향

가. 개요

- 산업기술을 통한 산업사회로, 정보기술을 통한 지식정보사회로, ICT융합기술을 통한 감성사회로 변화함에 따라 사회의 패러다임이 기술의 가치가 중요한 기술 중심사회에서 사람을 중요하게 여기는 사람중심으로 변화하고 있음. 철도시스템은 그 동안 고속화, 첨단화와 같은 기술위주의 연구개발을 통해 발전하여 왔으나, 사회의 패러다임이 변화함에 따라 철도를 이용하는 이용객의 편의향상 및 안전제고를 추구하는 연구개발을 수행할 필요가 있음
- 수송밀도 극대화, 건설비 및 유지보수 비용 최소화, 승객서비스 품질 향상, 능동 안전 확보 등 미래 철도운영 환경변화에 대응하고 철도분야 First mover로 전환하기 위해서는 ICT, IOT 등 혁신기술과의 융합을 통한 스마트 철도 핵심 기술의 개발이 필요함
- 또한 사회가 고도화 될수록 증가하는 철도수요에 대응하기 위한 노선의 확장, 신선 건설비용은 증가할 수밖에 없어, 철도선진국인 유럽에서는 2000년대 초부터 신선 건설을 최소화 하고 기존 선로의 수송밀도 극대화, 최소개량을 통한 용량 확대 방안을 강구하고 있음
- 철도네트워크 증가에 비례하여 궤도/토목, 차량 관련 유지보수 비용이 증가하고 있어 차량의 주행성능을 고도화하여 전체적인 유지보수 비용을 절감하려는 노력이 시도되고 있음
- 기계적인 요소 위주의 기존 철도차량 설계방식으로는 주행성능 고도화 한계에 도달하였으며 전기전자기술, 정보통신 기술과 융합한 실시간 주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어 핵심기술의 개발이 필요
- 특히, 국내의 세계최고 수준인 전기전자, 정보통신 기술과 융합한 스마트 철도차량 동적제어기술의 개발은 도입가격 경쟁력에서 운영비용 경쟁력, 첨단기술의 이전 가능성 등으로 변화되고 있는 세계 철도시장에서 한국이 First mover로 성장할 수 있는 핵심기술로 활용될 수 있을 것으로 예상됨

나. 기술의 구성

- 본 실시간 주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어기술은 차량의 주행성능을 고도화하기 위하여 기존의 기계적 요소 위주 설계인 passive 방식 대응에서, 첨단 ICT 기술과 융합한 active 방식 대응을 목적으로 한다. 차량의 주행성능은 결국 차량/대차의 진동특성, 제동특성, 추진특성을 통하여 결정되므로, 본 기술은 제동장치, 추진장치 현가장치 각각의 특성에 대한 주행환경 감응형 동적제어기술로 구성이 된다.

○ 특허분석 범위

[표 2.1] 핵심기술 특허분석 기준 - 스마트 VDC 기술 분야

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~ 2016.11.20				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

다. 특허분석 결과

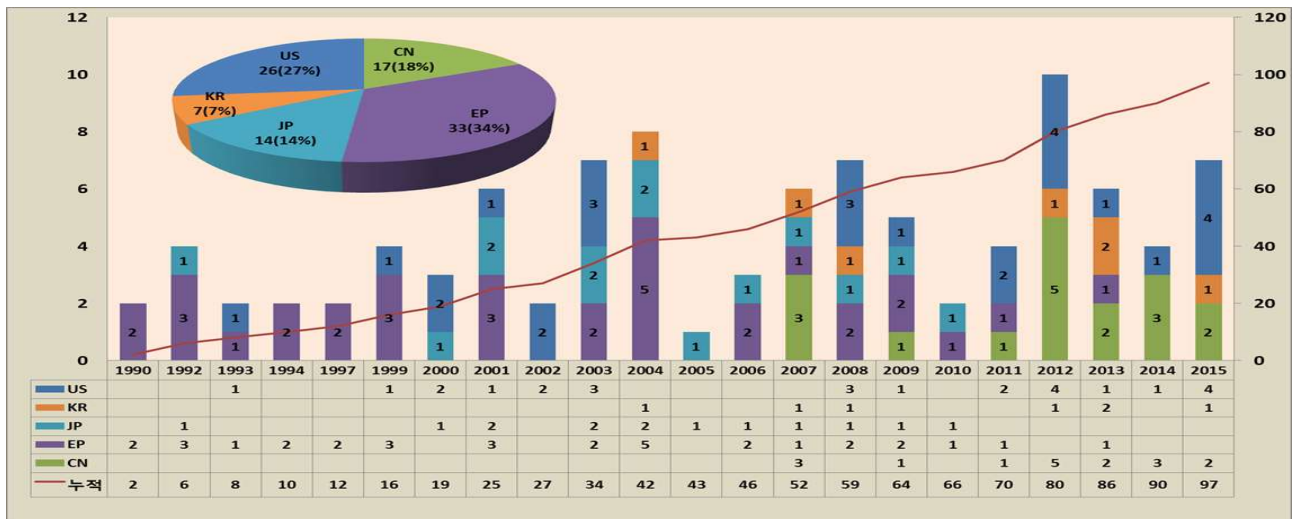
(1) 스마트제동 분야

[표 2.2] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 - 스마트제동분야

기술구분	검색 조합식	검색 특허	유효 특허
AA 제동 모니터링	CTB=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and (brak* and mechanic* and equip* and monitor*)) and AD>=(19900101);	150	39
AB 제동 능동제어	CTB=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and (activ* near10 brak* and (equip* and stat*))) and AD>=(19900101);	172	58

① 출원년도 및 국가별 특허 출원 동향

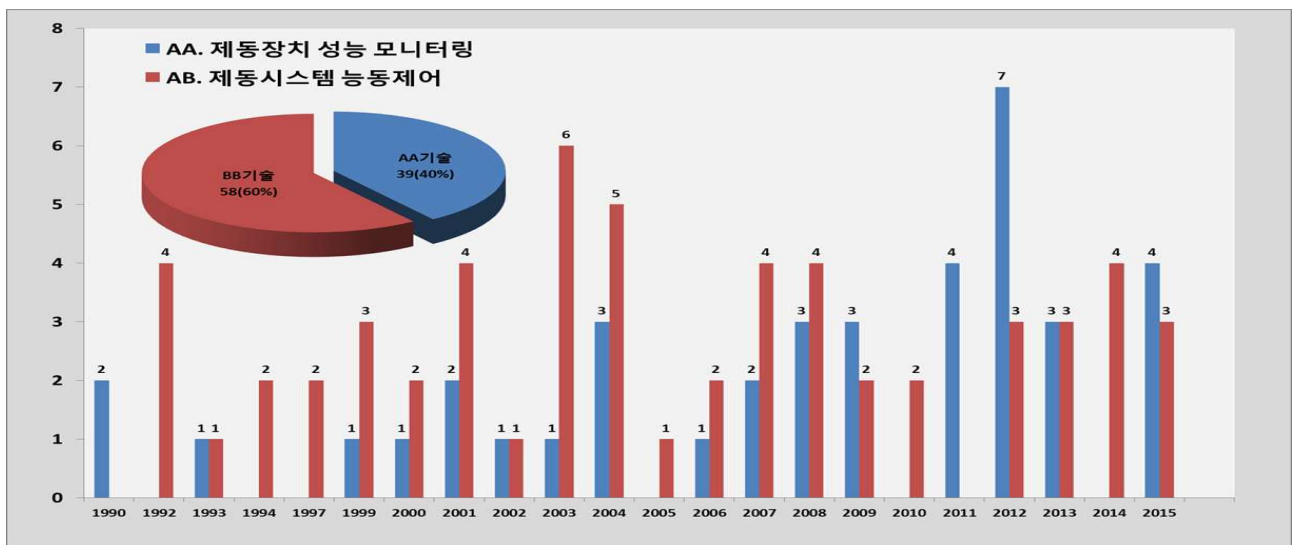
- 스마트 철도차량 동적제어 기술분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 97건의 관련 유효특허가 출원되고 있음.
- 국가별로는 유럽이 34%(33건)로 최다이며, 미국, 중국, 일본, 한국 순으로 출원되고 있음
- 유럽과 일본에서의 특허출원은 2010년 이후 출원 활동이 줄어든 것으로 나타남
- 중국과 한국에서 2000년대 중반 이후 특허 출원이 실시되고 있는 추세이며 특히 2010년도 이후의 중국에서의 특허출원이 증가하고 있음



[그림 2.13] 출원년도 및 국가별 출원추이 - 스마트 제동분야

② 세부기술별 특허출원 동향

- 세부기술별 특허출원 동향을 보면, 제동시스템 능동제어(BB기술) 분야가 58건으로 제동장치 성능 모니터링(BA기술)보다 많은 특허출원이 이루어진 것으로 나타남
- 제동장치 성능 모니터링(BA기술)은 2000년대 중반 이후 출원 증가세가 나타나고 있음

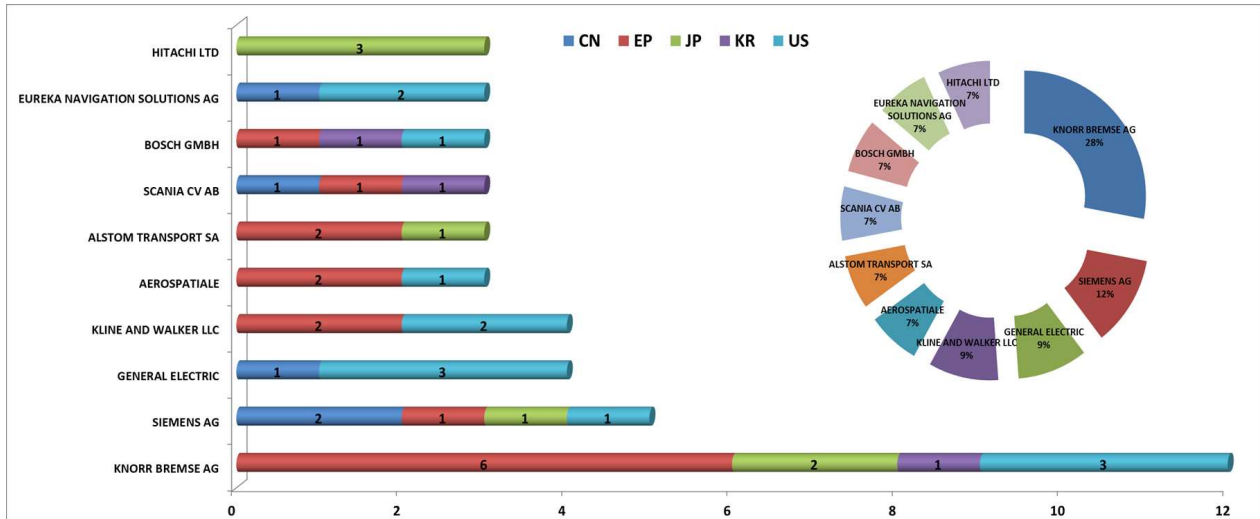


[그림 2.14] 세부기술별 특허출원동향 - 스마트제동분야

③ 주요 출원인 분석

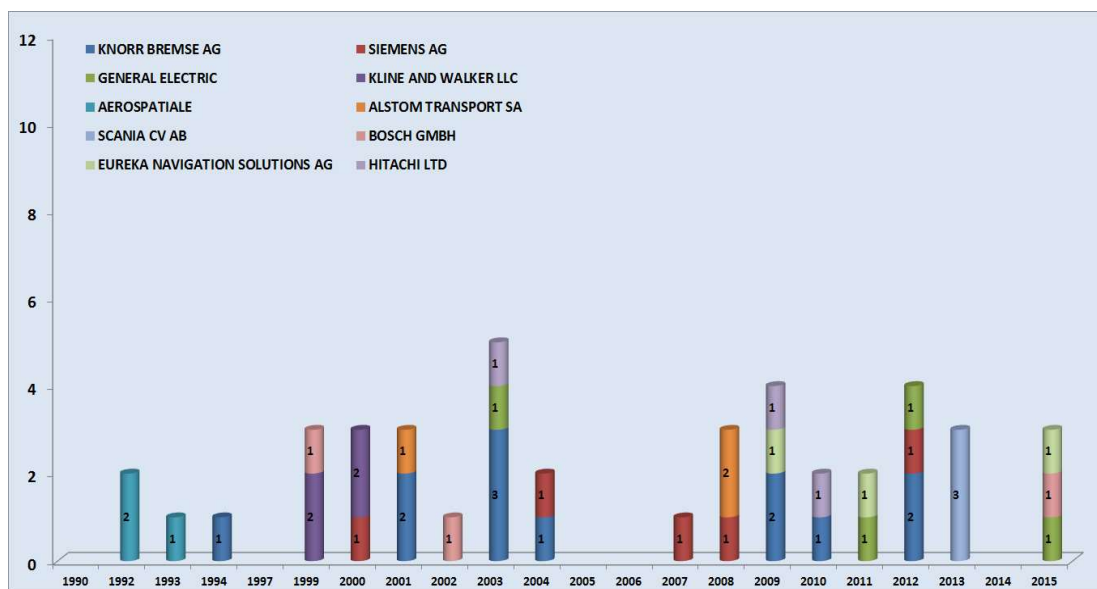
- 특허를 많이 출원한 상위 10개의 출원인(TOP 10 Assignee)를 분석해 보면, KNORR BREMSE AG가 최다 출원인이며, SIEMENS AG, GENERAL ELECTRIC, KLINE AND WALKER LLC, AEROSPATIALE, ALSTOM TRANSPORT SA, SCANIA CV AB, BOSCH GMBH, EUREKA NAVIGATION SOLUTIONS AG, HITACHI LTD로 다국적 기업이 주를 이루고 있음

- 주요 출원인의 특허출원활동을 보면 일시적인 공백기가 있으나 대체로 매년 3건 내외의 특허를 출원한 것으로 나타났음
- 이 기술분야 최다 출원인인 KNORR BREMSE AG는 2001년부터 2012년까지 출원하였으나 그 이후의 출원활동은 나타나지 않고 있음



[그림 2.15] 주요 출원인 동향 - 스마트제동분야

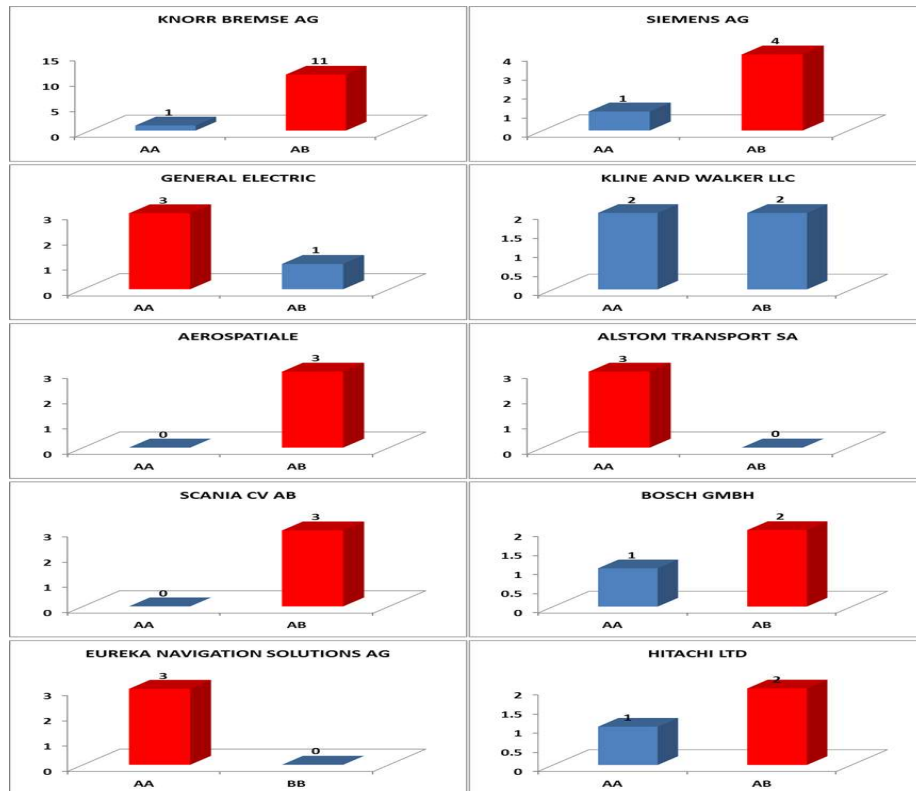
- 최근 특허출원이 집중된 출원인으로는 SCANIA CV AB, GENERAL ELECTRIC로 볼 수 있음



[그림 2.16] 연도별 주요 출원인 동향 - 스마트제동 분야

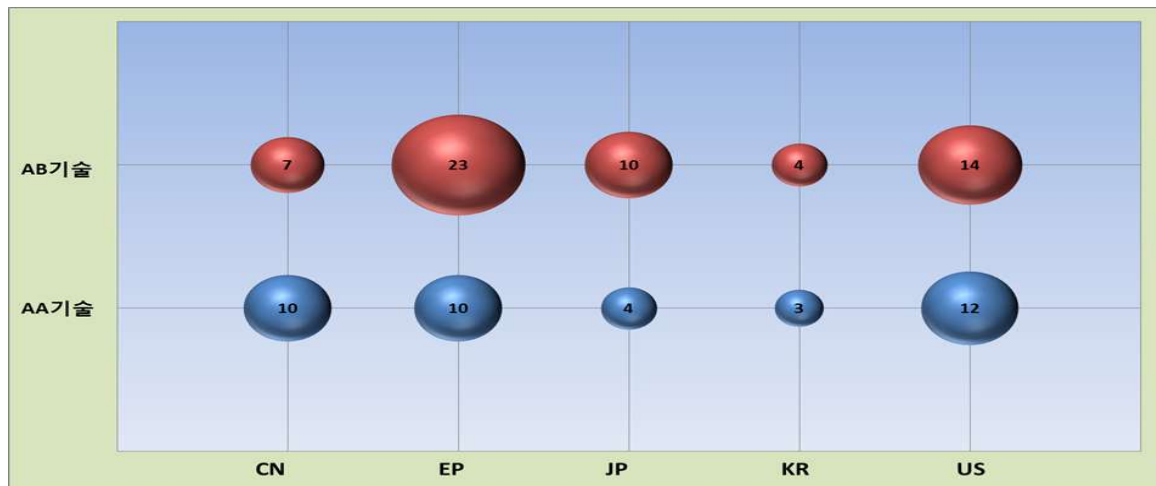
- 이 기술분야 최다 출원인인 KNORR BREMSE AG와 차순위 최다 출원인 SIEMENS AG는 제동시스템 능동제어(BB기술) 분야에 대한 연구활동이 활발할 것으로 추정됨
- GENERAL ELECTRIC, ALSTOM TRANSPORT SA, EUREKA NAVIGATION

SOLUTIONS AG은 동장치 성능 모니터링(BA기술)에 대한 관심도가 높은 것으로 추정됨



[그림 2.17] 주요출원인 기술별 출원 분포 - 스마트제동 분야

④ 국가별 기술 분포

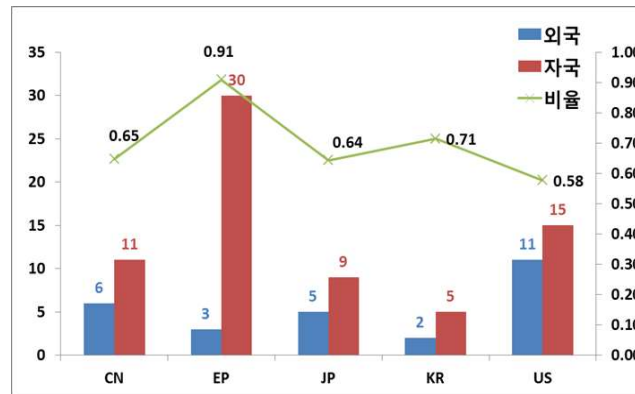


[그림 2.18] 기술별/국가별 기술분포(버블형) - 스마트제동 분야

- 출원국가별 세부기술(중분류) 특허분포를 살펴본 결과 중국을 제외한 한국, 일본, 미국, 유럽에서 제동시스템 능동제어(BB기술) 분야에 대한 출원 비중이 제동장치 성능 모니터링(BA기술)보다 높게 나타나고 있음

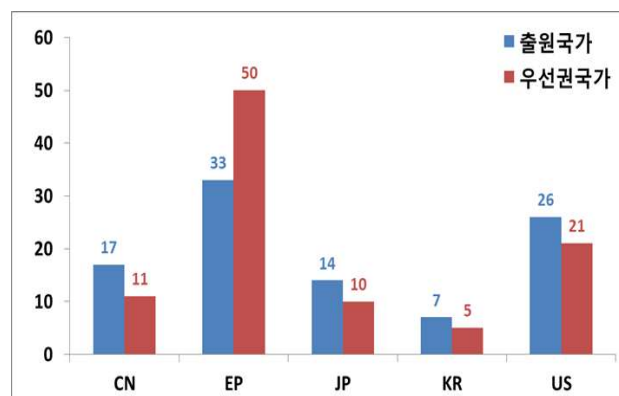
⑤ 국가별 특허현황

- 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있음
- 모든 국가에서 자국 특허를 중심으로 기술개발을 추진하고 있는 것으로 보여짐에 따라 기술폐쇄성 및 자국의존도가 높은 것으로 평가할 수 있음
- 단, 미국은 자국 대비 해외특허의 비율이 높게 나타나고 있음



[그림 2.19] 국가별 특허 점유현황 - 스마트제동분야

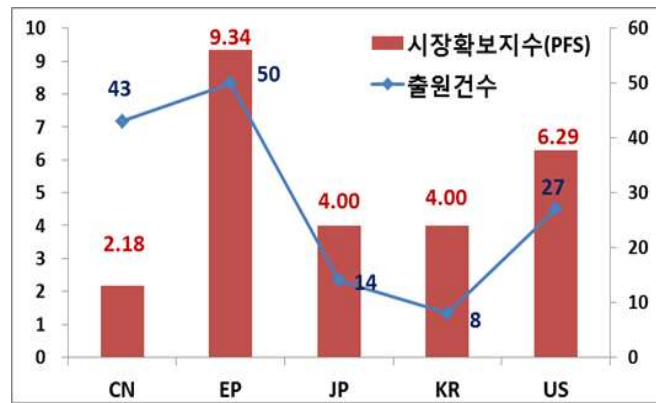
- 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있음
- 유럽의 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 자국시장보다 해외시장 진출노력을 더 하는 것으로 추정됨. 반면에, 중국에 출원된 특허 건수가 더 높게 나타나서 해외 기관들의 시장진입이 높은 것으로 판단됨



[그림 2.20] 국가별 출원특허/우선권 특허 현황 - 스마트제동분야

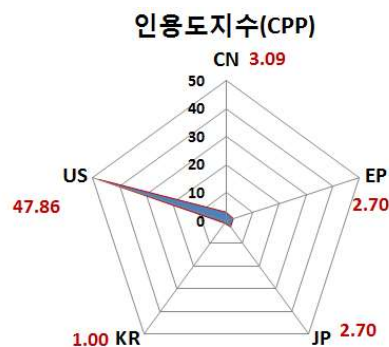
⑥ 우선권 국가(Priority Country)별 특허분포 지수 분석

- 유럽의 시장확보지수(PFS)가 9.34로 가장높고, 다음으로는 미국, 한국, 일본, 중국 순으로 나타남
- 중국은 특허 건수에 비해 시장 확보력이 상대적으로 낮게 나타나고 있음

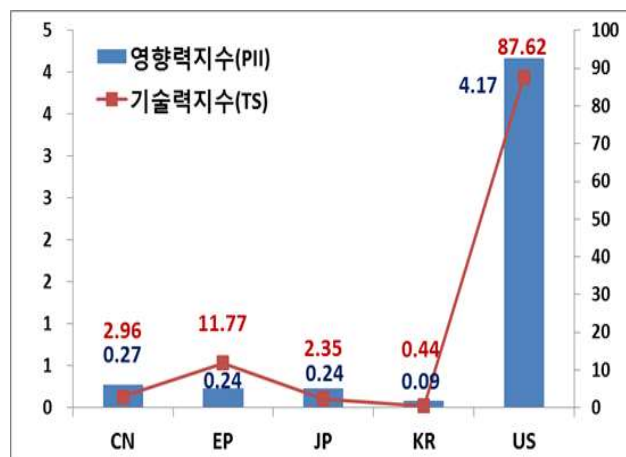


[그림 2.21] 국가별 출원건수 및 시장확보지수 - 스마트제동분야

- 유럽의 인용도지수(CPP)가 47.86으로 가장 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음



[그림 2.22] 국가별 인용도지수 - 스마트제동분야



[그림 2.23] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 - 스마트제동분야

- 이에 반해, 한국은 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음
- 미국의 영향력지수(PII)가 4.17으로 가장 높게 나타나 질적 수준에서 우수하며, 양적 수

준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 미국이 87.62로 가장 우수함

⑦ Text mining을 통한 특허 분포



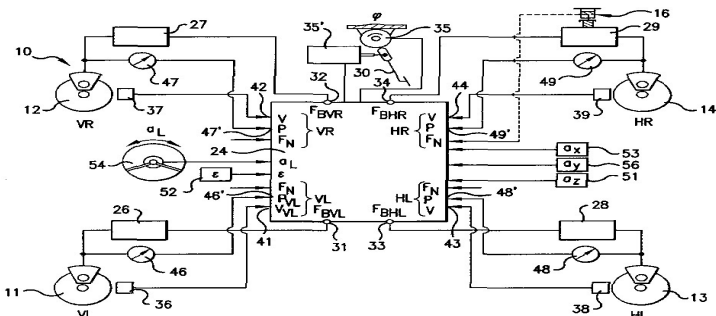
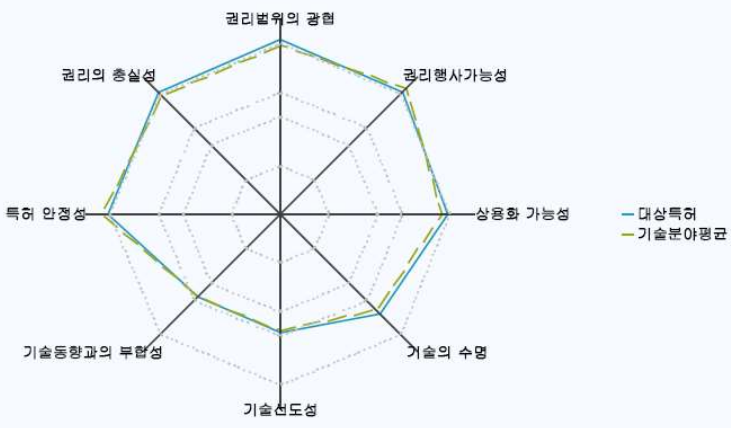
[그림 2.24] 특허 등고선 맵 - 스마트제동 분야

[표 2.3] 주요 특허 현황 (피인용 順) - 스마트 제동분야

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
US6647328B2	Electrically controlled automated devices to control equipment and machinery with remote control and accountability worldwide	KLINE AND WALKER LLC	332
US7397363B2	Electrically controlled automated devices to control equipment and machinery with remote control and accountability worldwide	JOAO RAYMOND ANTHONY	150
US20030222981A1	Control and/or monitoring apparatus and method	GENERAL ELECTRIC	103
US5293966A	Locomotive wireless video recorder and recording system	AEROSPATIALE	37
US6312065B1	Multi-disk braking device	FREITAG RAINER	29
US6578679B2	Control system for brake power proportioning on a road vehicle	UTD INC	25
CN101293529A	Brake system and method	YALI YU	22
US20110231039A1	Intelligent monitoring and early warning system for passenger transportation ability and operation safety of vehicle mounted rail traffic	EUREKA NAVIGATION SOLUTIONS AG	20
US7877216B2	DEVICE AND METHOD FOR A RAIL VEHICLE	HONEYWELL INT INC	17
US6840354B2	Method, system, and apparatus for friction pad wear and brake condition monitoring	KNORR BREMSE AG	15
US6994407B2	Brake actuator	LUCAS AUTOMOTIVE GMBH	15
CN102152780A	Method and device for controlling the braking equipment of a motor vehicle	MINI RAILWAYS TRANSP BUREAU	10
JP2007037294A	Brake system and brake processing method for rail transit vehicle	HOKKAIDO RAILWAY CO	9
US20140336892A1	EMERGENCY STOP SYSTEM	VISION WORKS IP CORP	9

⑨ 주요 핵심특허 심층 분석 및 특허 회피전략

1	기술 분류		특허번호 (출원번호)	1024433	특허번호 (공개번호)	0739736																																																																				
출원인	출원일	JOAO RAYMOND ANTHONY	출원일	2002.09.1	공개일	2008.07.0																																																																				
발명의 명칭	control and/or monitoring apparatus and method																																																																									
대표도면																																																																										
주요 내용	차량의 시스템 장치 원격 제어 및 모니터링																																																																									
SMART 특허분석평가	전체 평가 분석 <table><tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">중분류(기구1)</th><th colspan="3">소분류(기구제어)</th></tr><tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr><tr><td>권리성 (40점)</td><td>32.6</td><td>AAA</td><td>0.1</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>0.1</td><td>24.8</td><td>2.6</td><td>0.1</td><td>24.8</td><td>2.6</td></tr><tr><td>기술성 (20점)</td><td>17.3</td><td>AAA</td><td>2.6</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>1.9</td><td>15.2</td><td>0.9</td><td>1.9</td><td>15.2</td><td>0.9</td></tr><tr><td>활용성 (40점)</td><td>34.8</td><td>AAA</td><td>0.7</td><td>28.3</td><td>1.7</td><td>0.9</td><td>28.3</td><td>1.8</td><td>0.9</td><td>28.3</td><td>1.8</td></tr><tr><td>총점 (100점)</td><td>84.7</td><td>AAA</td><td>0.1</td><td>68.7</td><td>3.8</td><td>0.2</td><td>68.3</td><td>4.1</td><td>0.2</td><td>68.3</td><td>4.1</td></tr></table> — 대상특허 — 기술분야평균 ※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치					평가지표	점수	등급	대분류(전기/전자/IT)			중분류(기구1)			소분류(기구제어)			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	권리성 (40점)	32.6	AAA	0.1	25.1	2.5	0.1	24.8	2.6	0.1	24.8	2.6	기술성 (20점)	17.3	AAA	2.6	15.3	1.0	1.9	15.2	0.9	1.9	15.2	0.9	활용성 (40점)	34.8	AAA	0.7	28.3	1.7	0.9	28.3	1.8	0.9	28.3	1.8	총점 (100점)	84.7	AAA	0.1	68.7	3.8	0.2	68.3	4.1	0.2	68.3	4.1
평가지표	점수	등급	대분류(전기/전자/IT)						중분류(기구1)			소분류(기구제어)																																																														
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차																																																															
권리성 (40점)	32.6	AAA	0.1	25.1	2.5	0.1	24.8	2.6	0.1	24.8	2.6																																																															
기술성 (20점)	17.3	AAA	2.6	15.3	1.0	1.9	15.2	0.9	1.9	15.2	0.9																																																															
활용성 (40점)	34.8	AAA	0.7	28.3	1.7	0.9	28.3	1.8	0.9	28.3	1.8																																																															
총점 (100점)	84.7	AAA	0.1	68.7	3.8	0.2	68.3	4.1	0.2	68.3	4.1																																																															
법적상태 (회피전략)	- 2002년 출원되어 현재 등록유지되는 특허로서, 권리성, 기술성, 활용성이 모두 AAA등급으로 평가된 상위 1%에 속하는 특허임 - 인용도가 높고 청구범위 또한 넓은 편(다수청구항)이므로 권리화가 잘 되었을 것으로 판단																																																																									

2	기술 분류		특허번호 (출원번호)	09269563	특허번호 (공개번호)	06312065																																																																					
출원인	CHEMTRON RESEARCH LLC	출원일	1999.10.0	공개일	2001.11.06																																																																						
발명의 명칭	control system for brake power proportioning on a road vehicle																																																																										
대표도면																																																																											
주요 내용	전기적으로 제어 가능한 브레이크 시스템을 갖는 제어 시스템																																																																										
SMART 특허분석평가	전체 평가 분석 <table><tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(기계)</th><th colspan="3">중분류(기계)</th><th colspan="3">소분류(운송)</th></tr><tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr><tr><td>권리성 (40점)</td><td>27.1</td><td>A</td><td>16.4</td><td>24.7</td><td>2.6</td><td>15.3</td><td>24.7</td><td>2.5</td><td>13.8</td><td>24.6</td><td>2.4</td></tr><tr><td>기술성 (20점)</td><td>17.4</td><td>AA</td><td>6.3</td><td>15.5</td><td>1.0</td><td>5.6</td><td>15.5</td><td>1.0</td><td>5.3</td><td>15.5</td><td>1.0</td></tr><tr><td>활용성 (40점)</td><td>30</td><td>BBB</td><td>39.4</td><td>29.9</td><td>1.4</td><td>39.1</td><td>29.9</td><td>1.4</td><td>37.6</td><td>29.8</td><td>1.3</td></tr><tr><td>총점 (100점)</td><td>74.5</td><td>A</td><td>11.5</td><td>70.1</td><td>3.9</td><td>10.3</td><td>70.0</td><td>3.8</td><td>8.2</td><td>69.9</td><td>3.5</td></tr></table>						평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	권리성 (40점)	27.1	A	16.4	24.7	2.6	15.3	24.7	2.5	13.8	24.6	2.4	기술성 (20점)	17.4	AA	6.3	15.5	1.0	5.6	15.5	1.0	5.3	15.5	1.0	활용성 (40점)	30	BBB	39.4	29.9	1.4	39.1	29.9	1.4	37.6	29.8	1.3	총점 (100점)	74.5	A	11.5	70.1	3.9	10.3	70.0	3.8	8.2	69.9	3.5
	평가지표	점수	등급	대분류(기계)						중분류(기계)			소분류(운송)																																																														
				백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차																																																															
권리성 (40점)	27.1	A	16.4	24.7	2.6	15.3	24.7	2.5	13.8	24.6	2.4																																																																
기술성 (20점)	17.4	AA	6.3	15.5	1.0	5.6	15.5	1.0	5.3	15.5	1.0																																																																
활용성 (40점)	30	BBB	39.4	29.9	1.4	39.1	29.9	1.4	37.6	29.8	1.3																																																																
총점 (100점)	74.5	A	11.5	70.1	3.9	10.3	70.0	3.8	8.2	69.9	3.5																																																																
 — 대상특허 — 기술분야평균 ※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치																																																																											
법적상태 (회피전략)	- 1999년 출원되어 현재 등록유지되는 특허로서, 종합평가점수 상위 11.5%의 A등급에 속하는 특허임 - 권리성이 A등급, 활용성이 BBB등급이며, 기술성이 AA등급으로 높게 평가되었음																																																																										

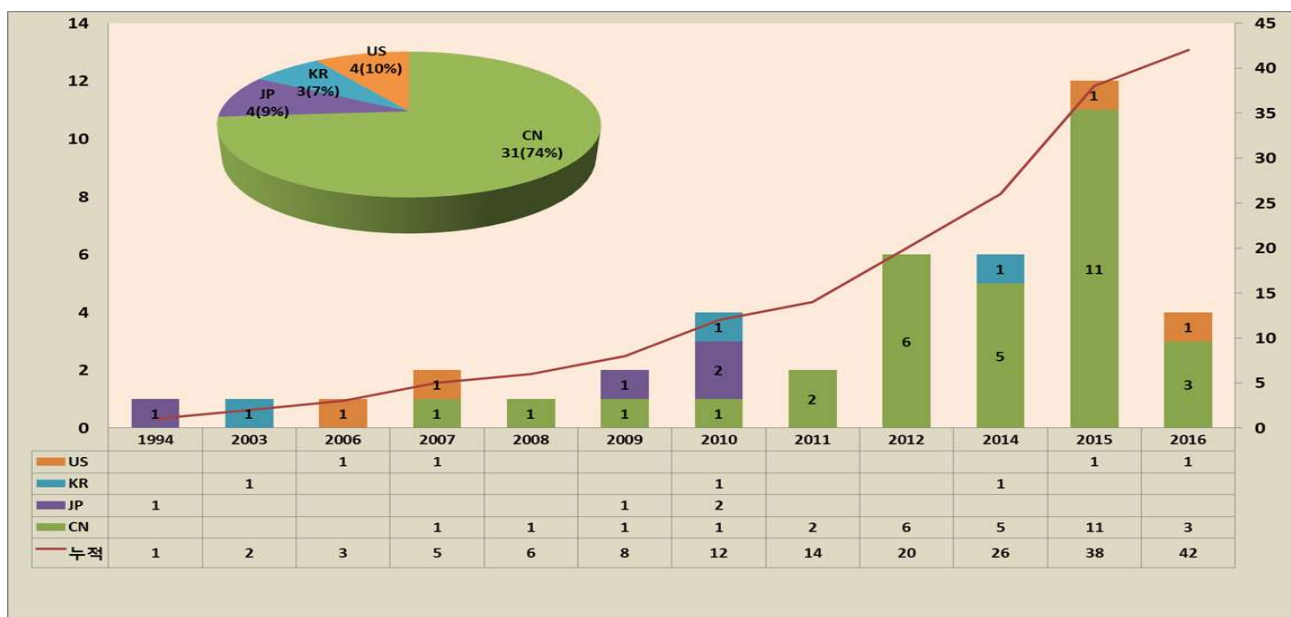
3	기술 분류		특허번호 (출원번호)	0982536	특허번호 (공개번호)	06578679						
출원인	UTD Incorporate	출원일	2001.04.04	공개일	2003.06.1							
발명의 명칭	brake system and method											
대표도면												
주요 내용	철도 장비의 브레이크 시스템으로서 압력 장치로 구성된 브레이크											
SMART 특허분석평가	전체 평가 분석											
	평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(기계요소)		
				백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차
	권리성 (40점)	25.5	BBB	35.3	24.7	2.6	34.3	24.7	2.5	26.5	24.2	2.3
기술성 (20점)	16.7	A	14.9	15.5	1.0	14.4	15.5	1.0	14.4	15.5	1.0	
활용성 (40점)	30.4	BBB	26.9	29.9	1.4	26.3	29.9	1.4	21.5	29.7	1.3	
총점 (100점)	72.7	A	22.5	70.1	3.9	21.3	70.0	3.8	15.8	69.4	3.5	
※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치												
법적상태 (회피전략)	- 2001년 출원되어 현재 등록 유지되는 특허로서, 종합평가점수 상위 22.5%의 A등급에 속하는 특허임 - 인용도가 높고 청구범위 또한 넓은 편(다수청구항)이므로 권리화가 잘 되었을 것으로 판단											

(2) 스마트추진 분야

[표 2.4] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 - 스마트추진분야

기술구분	검색 조합식	검색 특허	유효 특허
BA 추진시스템 모니터링	CTB=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and detect* near5 real and (traction or propulsion)) and AD>=(19900101);	60	16
BB 추진시스템 능동제어	CTB=((railway or railroad or train or locomotive or railcar or transit or tram or (railway adj vehicle) or (rolling adj stock)) and control near10 fault and (traction or propulsion)) and AD>=(19900101);	143	26

① 출원년도 및 국가별 특허 출원 동향

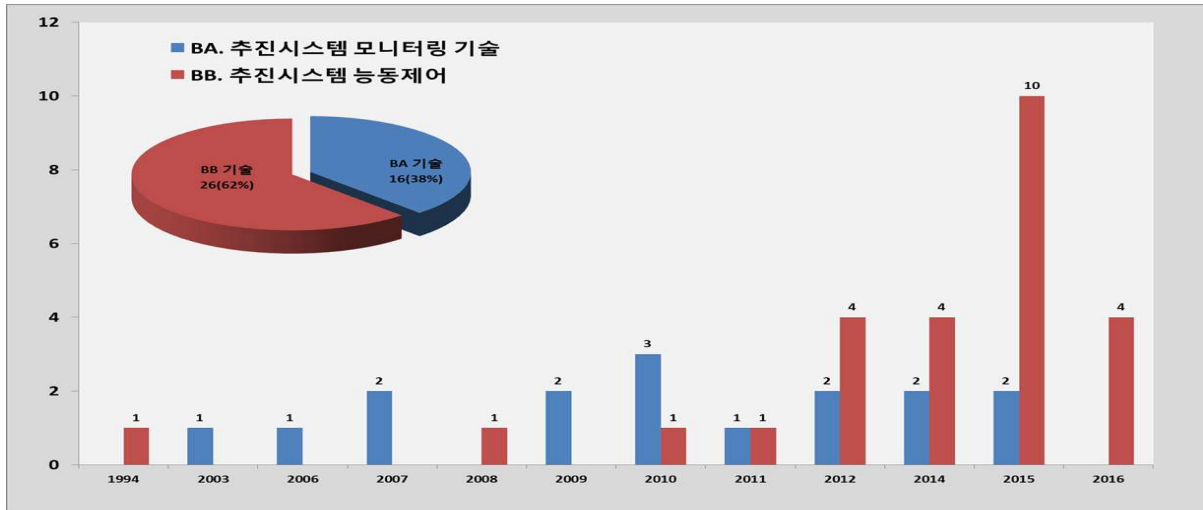


[그림 2.25] 출원년도 및 국가별 출원추이 - 스마트 추진분야

- 철도차량 스마트 추진시스템 동적제어 기술 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 42건의관련 유효특허가 출원되고 있음
- 중국에서 전체 유효특허 중 과반수 이상(74%)이 출원되었으며, 미국과 일본 각각 4건 한국 2건의 특허가 출원되었음
- 2010년 이후 중국의 특허출원이 증가하는 우상향 패턴이 나타나고 있어 이 기술분야를 선도하는 국가로 볼 수 있음. 반면 일본에서의 출원은 2010년 이후에 나타나지 않고 있음

② 세부기술별 특허출원 동향

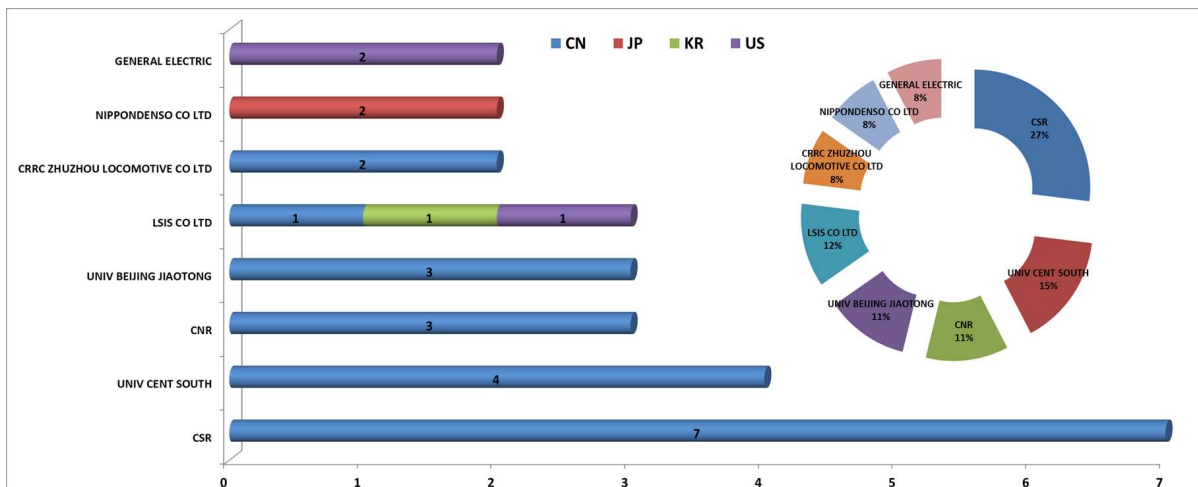
- 세부기술별 특허출원 동향을 보면, 추진시스템 능동제어(BB기술) 분야가 26건으로 추진장치 모니터링(BA기술)보다 많은 특허출원이 이루어진 것으로 나타남
- 추진장치 모니터링(BA기술)이 2000년 이후 간헐적으로 2건 내외의 특허가 출원된 반면, 추진시스템 능동제어 (BB기술)은 2010년대 이후 출원이 집중되었고 출원량 또한 증가하였음



[그림 2.26] 세부기술별 특허출원동향 - 스마트추진분야

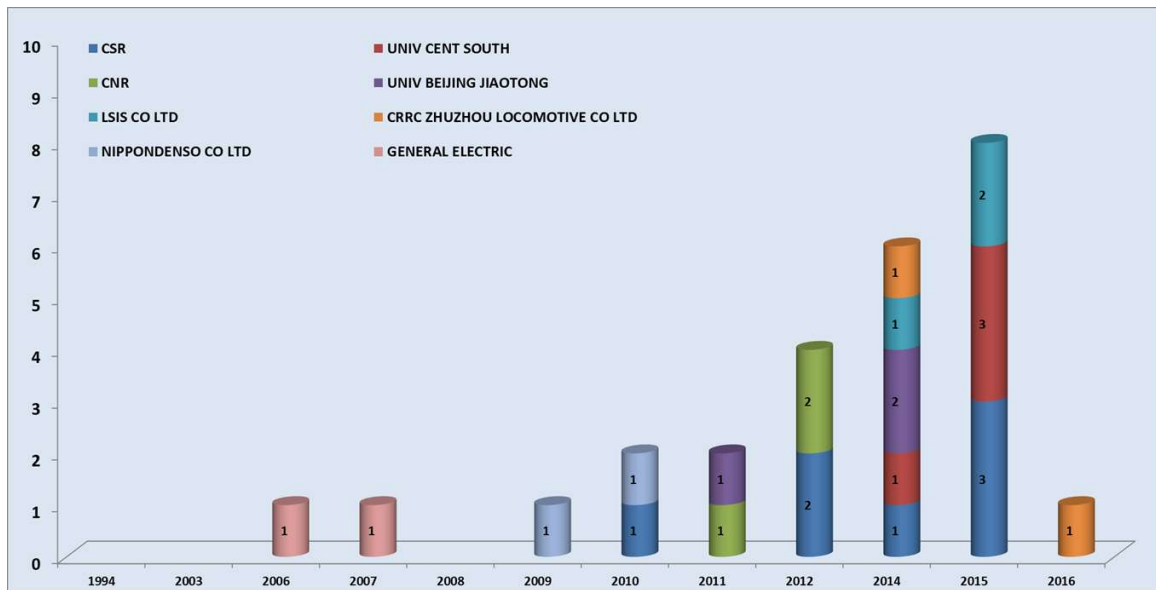
③ 주요 출원인 분석

- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(TOP 8 Assignee)를 분석해 보면, CSR, CNR, UNIV CENT SOUTH, UNIV BEIJING JIAOTONG, CRRC ZHUZHOU LOCOMOTIVE CO LTD와 같은 중국 철도 관련 기업과 대학의 출원이 주를 이루고 있음. 그리고 LSIS CO LTD, NIPPONDENSO CO LTD, GENERAL ELECTRIC와 같은 다국적 기업이 주요 출원인에 포함됨

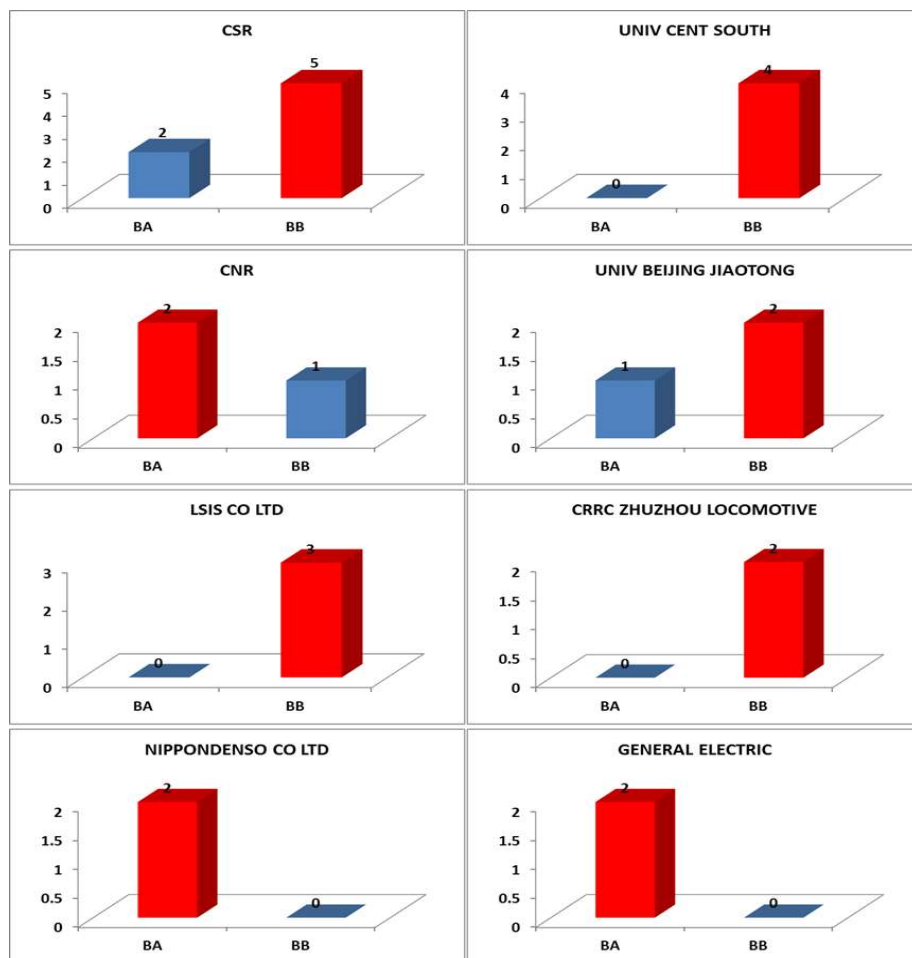


[그림 2.27] 주요 출원인 동향 - 스마트추진분야

- 주요 출원인의 특허출원활동을 보면 대체로 2010년 이후로 특허출원이 증가하고 있는 것으로 나타남. GENERAL ELECTRIC은 2006년과 2007년 각각 1건의 출원을 하였으나 그 이후의 특허출원활동은 나타나지 않고 있음



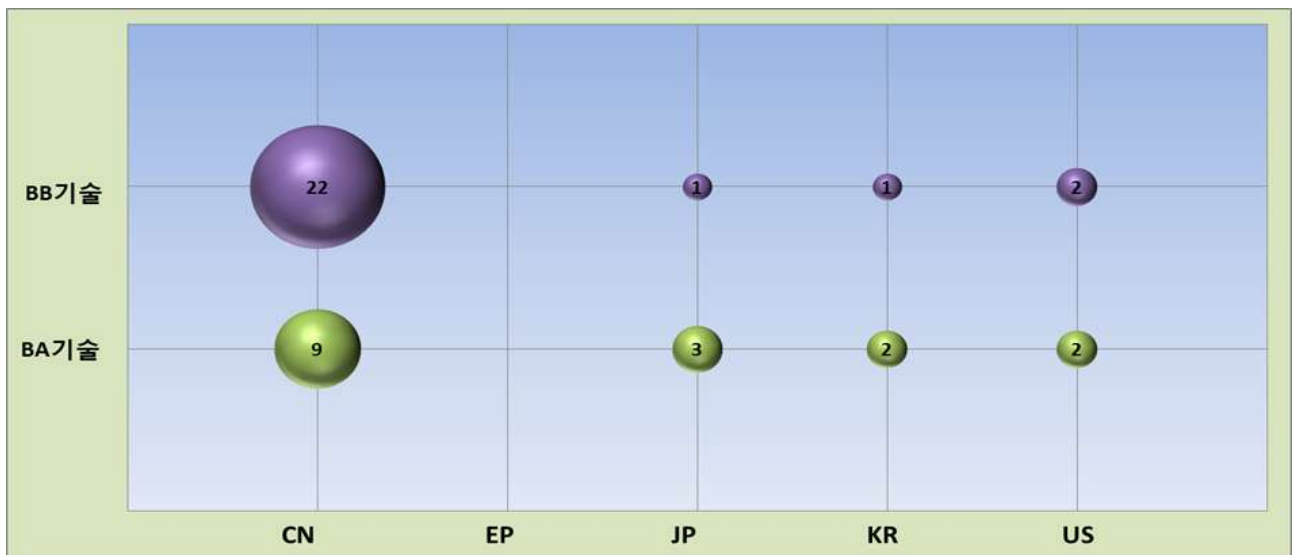
[그림 2.28] 연도별 주요 출원인 동향 - 스마트추진 분야



[그림 2.29] 주요출원인 기술별 출원 분포 - 스마트추진 분야

- 중국 CSR은 추진시스템 능동제어 (BB기술)에, CNR은 추진장치 모니터링(BA기술)에 관심도가 높은 것으로 보여짐
- 주요 출원인 중, UNIV CENT SOUTH, UNIV BEIJING JIAOTONG와 같은 대학에서의 연구는 추진시스템 능동제어 (BB기술)를 중심으로 연구하는 것으로 판단

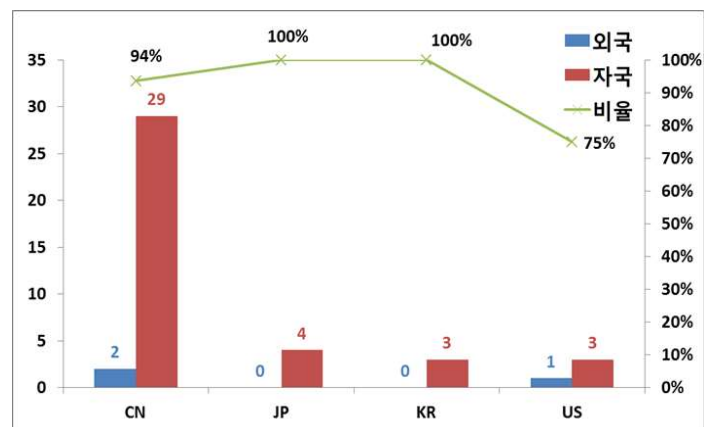
④ 국가별 기술 분포



[그림 2.30] 기술별/국가별 기술분포(버블형) - 스마트추진 분야

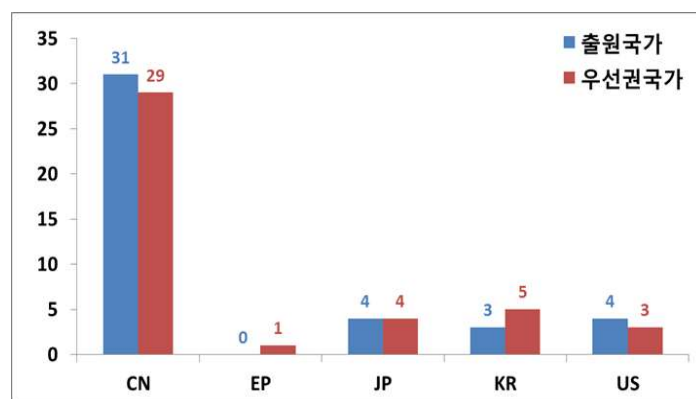
- 출원국가별 세부기술(중분류) 특허분포를 살펴본 결과 유럽(EP)에서의 추진장치 모니터링(BA기술), 추진시스템 능동제어 (BB기술)은 공백기술로 나타났음
- 중국은 추진시스템에 대한 연구가 가장 활발한 것으로 나타났으며, 세부 기술로 보았을 때, 능동제어 (BB기술)에 대한 연구가 추진장치 모니터링(BA기술)보다 높은 수치를 보여주고 있음

⑤ 국가별 특허현황



[그림 2.31] 국가별 특허 점유현황 - 스마트추진분야

- 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있음
- 모든 국가에서 자국 특허를 중심으로 기술개발을 추진하고 있는 것으로 보여짐에 따라 기술폐쇄성 및 자국의존도가 높은 것으로 평가할 수 있음
- 단, 미국은 자국 대비 해외특허의 비율이 높게 나타나고 있음
- 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있음
- 유럽과 한국의 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 자국시장보다 해외시장 진출 노력을 더 하는 것으로 추정됨. 반면에, 중국과 미국에서는 출원된 특허 건수가 더 높게 나타나서 해외 기관들의 시장진입이 높은 것으로 판단됨



[그림 2.32] 국가별 출원특허/우선권 특허 현황 - 스마트추진분야

⑥ 우선권 국가(Priority Country)별 특허분포 지수 분석

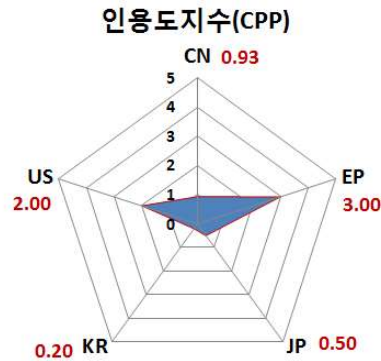
- 유럽의 시장확보지수(PFS)가 10.00로 가장높고, 다음으로는 일본, 한국, 중국 순으로 나타남



[그림 2.33] 국가별 출원건수 및 시장확보지수 - 스마트추진분야

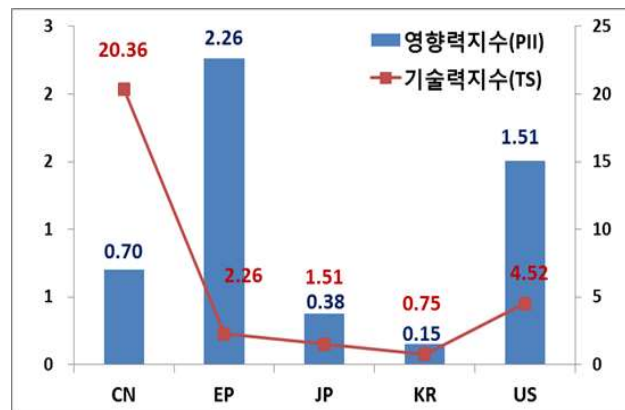
- 이는 유럽 지역시장 선점을 위해 관련 업체들이 패밀리 특허를 많이 출원하였기 때문으로 판단됨

- 중국은 특허 건수에 비해 시장 확보력이 상대적으로 낮게 나타나고 있음
- 유럽의 인용도지수(CPP)가 3.00으로 가장 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음
- 이에 반해, 한국은 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음



[그림 2.34] 국가별 인용도지수 - 스마트추진분야

- 유럽의 영향력지수(PII)가 2.26으로 가장 높게 나타나 질적 수준에서 우수하며, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 중국이 20.36으로 가장 우수함
- 한국은 인용도지수(CPP)와 기술력지수 모두 최저 수준으로 나타나, 원천특허/핵심특허 비중은 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있으며, 기술개발이 시급한 것으로 판단됨

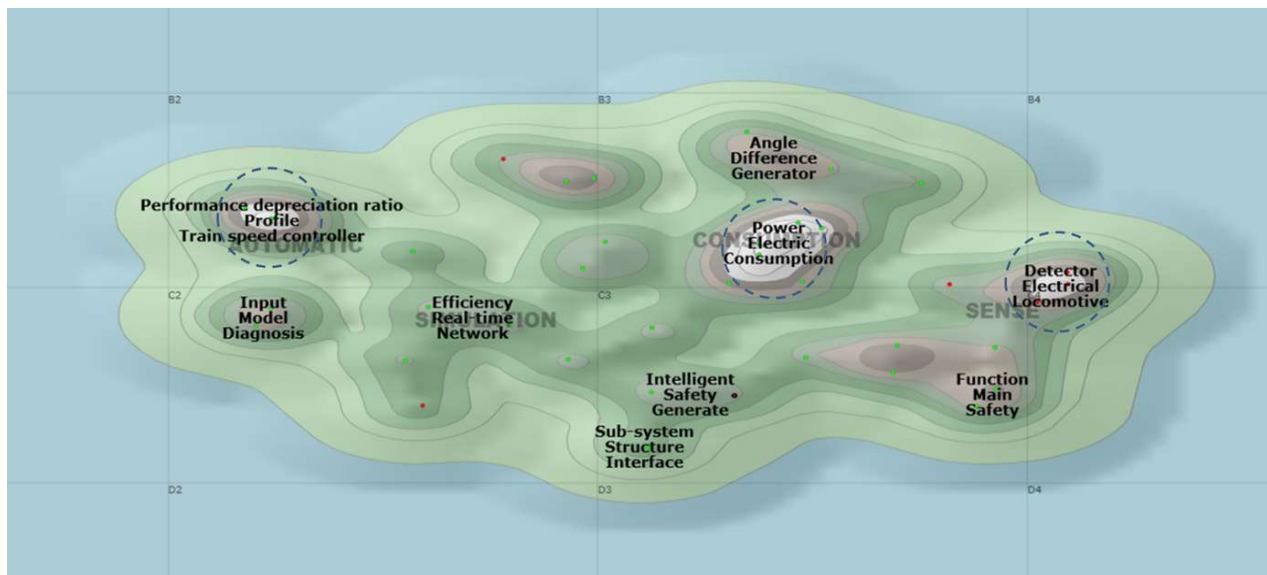


[그림 2.35] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 - 스마트추진분야

⑦ Text mining을 통한 특허 분포

- 스마트 철도차량 동적제어 기술분야 관련 검색결과 최종 42건의 관련 유효특허기술이 분포하고 있음
- 이 분야의 특허기술 영역은 전반적으로 SENSE, CONSUMPTION, AUTOMATIC과 관련된 기술들이 많이 포함되어 있음

- 등고선 꼭짓점이 높은 Performance depreciation ratio/Profile/Train speed controller, Power/Electric/Consumption, Detector/Electrical/Locomotive 기술에 대한 키워드의 특허가 많이 분포하고 있어 관련 분야의 기술 집중도가 높은 것으로 판단할 수 있음.
- Detector/Electrical/Locomotive 텍스트를 갖는 특허는 주로 2010년도 이후에 출원된 특허에서 주로 나타나고 있음



● 2010년 이후 ● 2000-2009 ● 1990-1999

[그림 2.36] 특허 등고선 맵 - 스마트추진 분야

⑧ 주요 핵심특허 현황

- 특허의 피인용 수를 기준으로 하는 핵심특허로 CSR의 공개특허 CN102063109A, Hangzhou Chuanglian Electronic Technology의 공개특허 CN101612948A의 피인용 수가 높은 것으로 나타나 이러한 특허들을 중심으로 주요 특허를 선정하여 핵심특허 권리 분석을 할 수 있음

[표 2.5] 주요 특허 현황 (피인용 順) - 스마트 추진분야

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
CN102063109A	Neural network-based subway train fault diagnosis device and method	CSR	8
CN101612948A	Method for comprehensively monitoring running safety of self-wheel running special equipment and monitoring device thereof	Hangzhou Chuanglian Electronic Technology	8

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
US7248057B1	Method, apparatus and computer-readable code for detecting on the fly an incipient ground fault in an electrical propulsion system of a locomotive	GENERAL ELECTRIC	5
CN102514598A	High-speed rail signal system level 'fail-safe' method	UNIV BEIJING JIAOTONG	4
CN101059552A	Method of screening a resistive short-circuit, system, module and recording medium for this method	ALSTOM TRANSPORT SA	3
CN102798413A	Railway dynamic detection system	BEIJING RAILWAY ENG MECHANICAL & ELECTRI	2
JP2011135765A	TRAVELING MOTOR CONTROLLER OF VEHICLE, MOTOR CONTROL SYSTEM FOR VEHICLE, AND ROTATION DETECTING APPARATUS	DENSO CORP	2
CN101624022A	Normal conducting electromagnetic levitation type rail polling car	SHANGHAI MAGLEV TRANSP DEV CO	2
CN102288323A	Method of monitoring the temperature rise of the locomotive traction motor	CNR	1
CN102874280A	Train speed limitation control method based on train network system	CSR	1
CN104535833A	Vehicle power detection method and vehicle power detection system	CSR	1
US7498819B2	Method, apparatus and computer-readable code for detecting an incipient ground fault in an electrical propulsion system	GENERAL ELECTRIC	1
KR1134517B1	Energy management apparatus for measuring the wattage lots of electric devices of the railroad electric train	TECHNOEYESKOREA	1
CN105539525A	Vehicle-mounted controller remote fault resetting method suitable for full-automatic driving	BEIJING TRAFFIC CONTROL TECH CO LTD	0
CN104554347A	Interconnection method for rail vehicles	BeijingZonghengElectr omechanicalTechnolo gyDevelopment	0

⑨ 주요 핵심특허 심층 분석 및 특허 회피전략

1	기술 분류		특허번호 (출원번호)	11385309	특허번호 (공개번호)	0724805																																																																					
출원인	General Electric Company		출원일	2006.03.2	공개일	2007.07.24																																																																					
발명의 명칭	method, apparatus and computer-readable code for detecting on the fly an incipient ground fault in an electrical propuls																																																																										
대표도면																																																																											
주요 내용	기관차의 전기적 추진 시스템에서 접지 장애를 탐지하기 위한 방법																																																																										
SMART 특허분석평가	전체 평가 분석 <table><tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(물리/재료)</th><th colspan="3">중분류(기구2)</th><th colspan="3">소분류(측정)</th></tr><tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr><tr><td>권리성 (40점)</td><td>23</td><td>CCC</td><td>86.7</td><td>25.3</td><td>2.2</td><td>87.3</td><td>25.5</td><td>2.2</td><td>90.0</td><td>25.8</td><td>2.2</td></tr><tr><td>기술성 (20점)</td><td>15.4</td><td>B</td><td>60.6</td><td>15.6</td><td>0.6</td><td>59.4</td><td>15.6</td><td>0.6</td><td>63.4</td><td>15.7</td><td>0.6</td></tr><tr><td>활용성 (40점)</td><td>29</td><td>B</td><td>72.0</td><td>29.3</td><td>0.8</td><td>76.5</td><td>29.4</td><td>0.8</td><td>80.0</td><td>29.4</td><td>0.8</td></tr><tr><td>총점 (100점)</td><td>67.4</td><td>CCC</td><td>86.5</td><td>70.3</td><td>2.8</td><td>87.6</td><td>70.5</td><td>2.8</td><td>91.0</td><td>70.9</td><td>2.8</td></tr></table> ※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치						평가지표	점수	등급	대분류(물리/재료)			중분류(기구2)			소분류(측정)			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	권리성 (40점)	23	CCC	86.7	25.3	2.2	87.3	25.5	2.2	90.0	25.8	2.2	기술성 (20점)	15.4	B	60.6	15.6	0.6	59.4	15.6	0.6	63.4	15.7	0.6	활용성 (40점)	29	B	72.0	29.3	0.8	76.5	29.4	0.8	80.0	29.4	0.8	총점 (100점)	67.4	CCC	86.5	70.3	2.8	87.6	70.5	2.8	91.0	70.9	2.8
평가지표	점수	등급	대분류(물리/재료)			중분류(기구2)				소분류(측정)																																																																	
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차																																																																
권리성 (40점)	23	CCC	86.7	25.3	2.2	87.3	25.5	2.2	90.0	25.8	2.2																																																																
기술성 (20점)	15.4	B	60.6	15.6	0.6	59.4	15.6	0.6	63.4	15.7	0.6																																																																
활용성 (40점)	29	B	72.0	29.3	0.8	76.5	29.4	0.8	80.0	29.4	0.8																																																																
총점 (100점)	67.4	CCC	86.5	70.3	2.8	87.6	70.5	2.8	91.0	70.9	2.8																																																																
법적상태 (회피전략)	- 2006년 출원되어 현재 등록유지되는 특허로서, 종합평가점수 CCC등급에 속하는 특허임. 권리성 CCC, 기술성 B, 활용성 B등급으로 평가되었음																																																																										

2	기술 분류		특허번호 (출원번호)	10-2010-00597 0	특허번호 (공개번호)	10-1134517																																																																					
출원인	김양수	출원일	2010.06.23	공개일	2012.04.01																																																																						
발명의 명칭	철도전기차량의 전력량 측정 에너지 관리 장치																																																																										
대표도면	전력선 통신(Power Line Communication)																																																																										
주요 내용	기관차의 전기적 추진 시스템에서 접지 장애를 탐지하기 위한 방법																																																																										
SMART 특허분석평가	전체 평가 분석 <table><tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(기계)</th><th colspan="3">중분류(기계)</th><th colspan="3">소분류(운송)</th></tr><tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr><tr><td>관리성 (40점)</td><td>21.8</td><td>BB</td><td>57.7</td><td>22.7</td><td>2.8</td><td>60.2</td><td>22.9</td><td>2.8</td><td>60.0</td><td>22.7</td><td>2.5</td></tr><tr><td>기술성 (20점)</td><td>17.8</td><td>AAA</td><td>0.8</td><td>16.4</td><td>0.4</td><td>0.7</td><td>16.4</td><td>0.3</td><td>0.8</td><td>16.4</td><td>0.3</td></tr><tr><td>활용성 (40점)</td><td>29.2</td><td>BBB</td><td>32.2</td><td>28.3</td><td>1.5</td><td>38.9</td><td>28.6</td><td>1.4</td><td>53.0</td><td>29.1</td><td>1.2</td></tr><tr><td>총점 (100점)</td><td>68.8</td><td>BBB</td><td>33.4</td><td>67.4</td><td>3.6</td><td>38.0</td><td>67.9</td><td>3.5</td><td>40.1</td><td>68.2</td><td>2.9</td></tr></table> ※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치						평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	관리성 (40점)	21.8	BB	57.7	22.7	2.8	60.2	22.9	2.8	60.0	22.7	2.5	기술성 (20점)	17.8	AAA	0.8	16.4	0.4	0.7	16.4	0.3	0.8	16.4	0.3	활용성 (40점)	29.2	BBB	32.2	28.3	1.5	38.9	28.6	1.4	53.0	29.1	1.2	총점 (100점)	68.8	BBB	33.4	67.4	3.6	38.0	67.9	3.5	40.1	68.2	2.9
평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)				소분류(운송)																																																																	
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차																																																																
관리성 (40점)	21.8	BB	57.7	22.7	2.8	60.2	22.9	2.8	60.0	22.7	2.5																																																																
기술성 (20점)	17.8	AAA	0.8	16.4	0.4	0.7	16.4	0.3	0.8	16.4	0.3																																																																
활용성 (40점)	29.2	BBB	32.2	28.3	1.5	38.9	28.6	1.4	53.0	29.1	1.2																																																																
총점 (100점)	68.8	BBB	33.4	67.4	3.6	38.0	67.9	3.5	40.1	68.2	2.9																																																																
법적상태 (회피전략)	- 2010년 출원되어 현재 등록 유지되는 특허로서, 종합평가점수 BBB등급에 속하는 특허임. 특허 권리 만료일이 13년 이상 남은 상태(2030년만료)이고 국내 등록 특허이므로 권리 침해에 유의할 필요성이 있음																																																																										

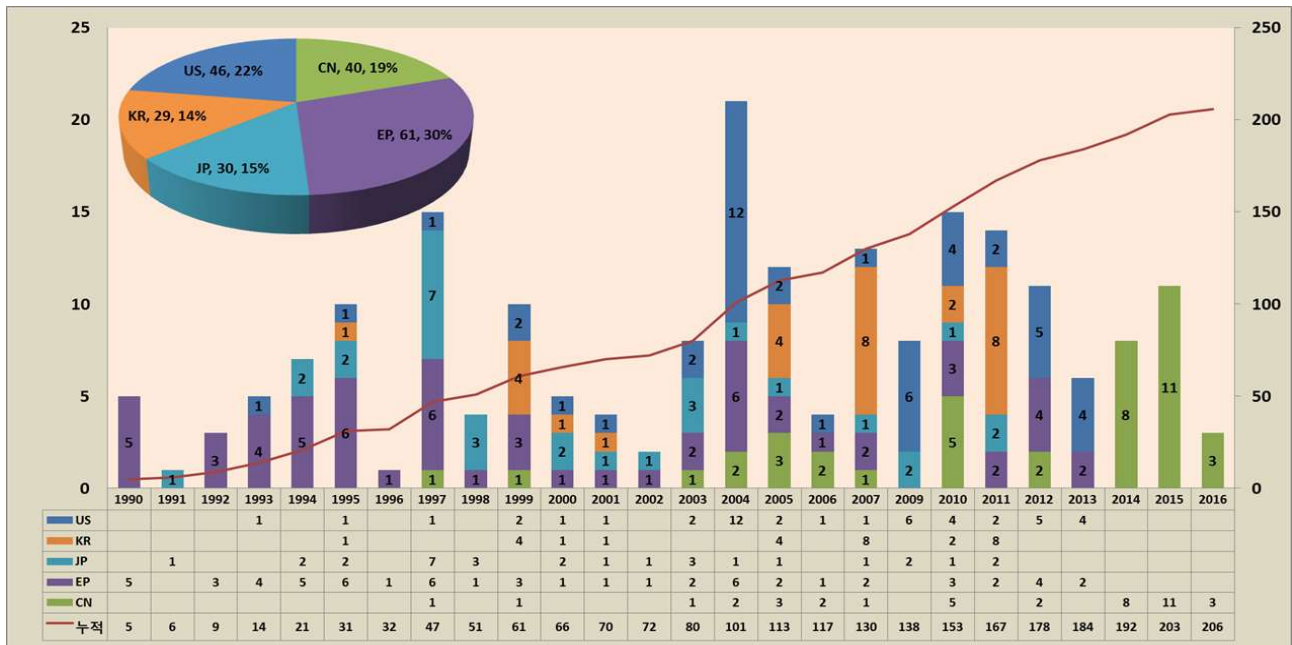
(3) 스마트현가 분야

[표 2.6] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 - 스마트현가 분야

기술구분	검색 조합식	검색 특허	유효 특허
현가장치 능동제어	CTB=((railway* or train* or railroad* or locomo* or ((elect* or track*) adj (vehicle* or train* or railcar*))) and (suspension or ((shock* or vibrat*) near2 (absorb* or actuator*))) and *active*) AND ICR=(b61* or E01* or B21* or G01*);	745	206

① 출원년도 및 국가별 특허 출원 동향

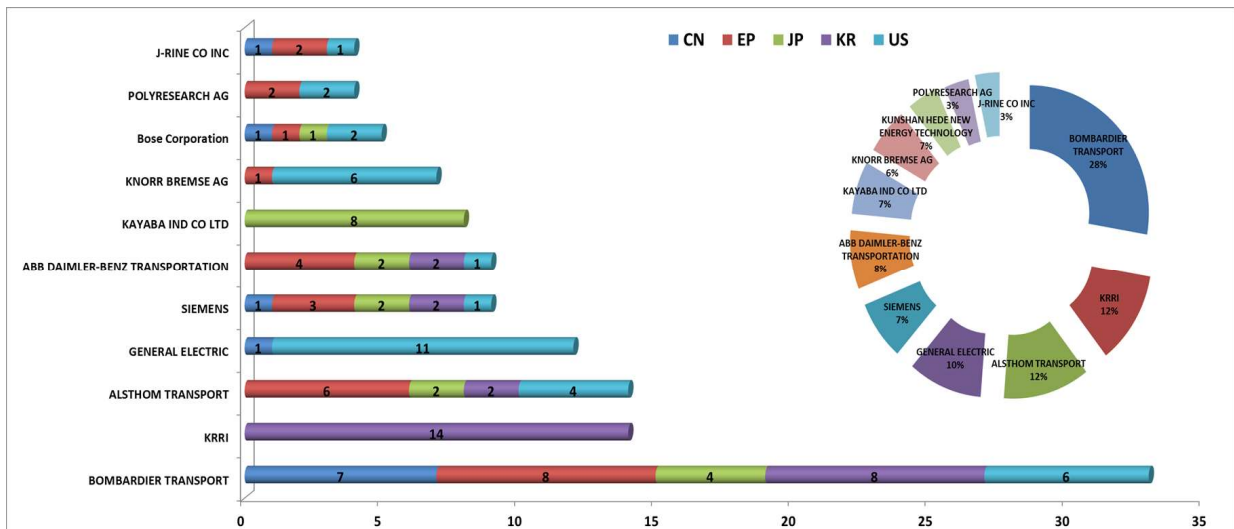
- 스마트 철도차량 동적제어(능동현가장치)분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 206건의관련 유효특허가 출원되고 있음
- 이 기술분야의 다출원 국가는 유럽이 30%(61건)으로 최다이며, 다음으로 미국 22%(46건), 중국19%(40건), 일본15%(30건), 한국 14%(29건) 순으로 나타남
- 이 기술분야는 유럽에서 1990년도 초반에 선도하였으나 2010년 이후에는 중국에서의 출원이 다수를 보이고 있음
- 일본과 한국은 주로 2000년대 출원활동이 주를 이루고 있으며, 2011년 이후의 특허출원활동은 나타나지 않고 있음



[그림 2.37] 출원년도 및 국가별 출원추이 - 스마트현가 분야

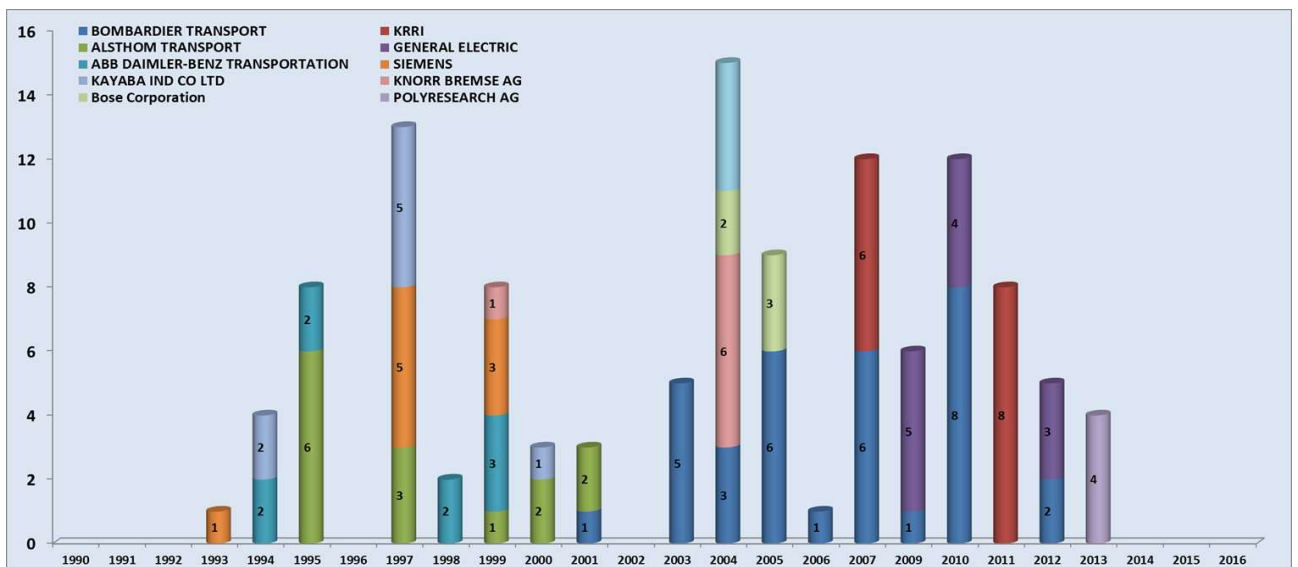
② 주요 출원인 분석

- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(TOP 10 Assignee)를 분석해 보면, BOMBARDIER TRANSPORT가 최다출원인으로 나타났으며, GENERAL ELECTRIC, SIEMENS, ABB DAIMLER-BENZ TRANSPORTATION, KAYABA IND CO LTD, KNORR BREMSE AG, Bose Corporation, POLYRESEARCH AG, J-RINE CO INC와 같은 다국적 철도차량 연구기관과 기업이 주를 이루고 있음
- KRRI는 ALSTHOM TRANSPORT와 함께 차순위 최다출원인임
- KRRI가 자국 출원에만 집중한 반면 대부분의 주요 출원인은 자국뿐만 아니라 해외출원에도 높은 비중을 두고 있음



[그림 2.38] 주요 출원인 동향 - 스마트현가 분야

- 주요 출원인의 특허출원활동을 보면 대체로 2000년 초중반 이후로 특허출원이 집중되었음

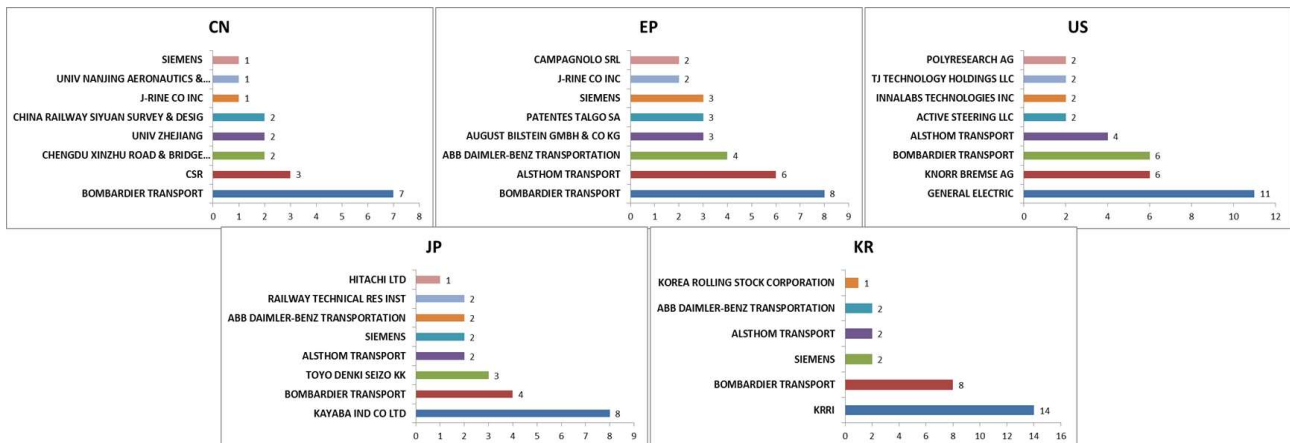


[그림 2.39] 연도별 주요 출원인 동향 - 스마트현가 분야

- SIEMENS, ALSTHOM TRANSPORT, KAYABA IND CO LTD은 이 기술분야에 대하여 2000년도 이전에만 출원하였음
- BOMBARDIER TRANSPORT는 2000년 ~ 2010년에 집중된 특허출원활동을 보였고, KNORR BREMSE AG는 2004년에만 출원하였음
- KRRI는 2007년 6건, 2011년 8건의 특허출원을 하였으며, 그 이후의 출원은 나타나지 않음
- POLYRESEARCH AG는 2013년에 특허출원을 시작한 기업으로, 이 기술분야 시장진입에 대한 관심을 엿볼 수 있음

③ 국가별 주요 출원인 분석

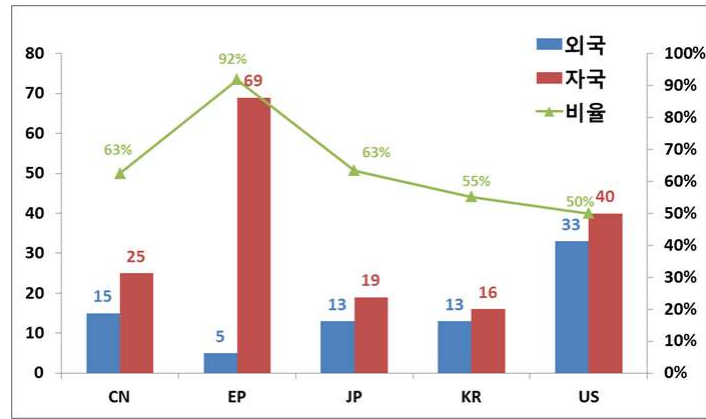
- 스마트 철도차량 동적제어(능동현가장치)분야에 대하여 중국과 유럽의 최다 출원인은 BOMBARDIER TRANSPORT로 나타났음. 중국 국영 철도 기업인 CSR보다 다수의 특허출원을 하고 있다는 점에 의미가 있음
- 미국 최다 출원인은 GENERAL ELECTRIC, 일본 최다 출원인은 KAYABA IND CO LTD, 한국 최다 출원인은 KRRI로서, 자국 출원이 주를 이루고 있음
- BOMBARDIER TRANSPORT는 해외(중국, 미국, 한국, 일본)에서도 이 기술분야를 선도하는 것으로 보여짐



[그림 2.40] 국가별 주요출원인 - 스마트현가 분야

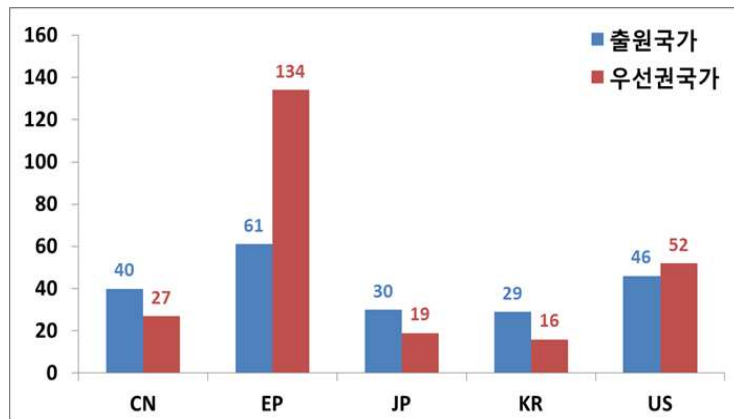
④ 국가별 특허현황

- 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있음
- 조사된 5개국 모두 자국 특허를 중심으로 기술개발을 추진하고 있는 것으로 보여짐에 따라 기술폐쇄성 및 자국의존도가 높은 것으로 평가할 수 있음
- 유럽(EP)은 해외특허 대비 자국의 비율이 가장 높게 나타나고 있음



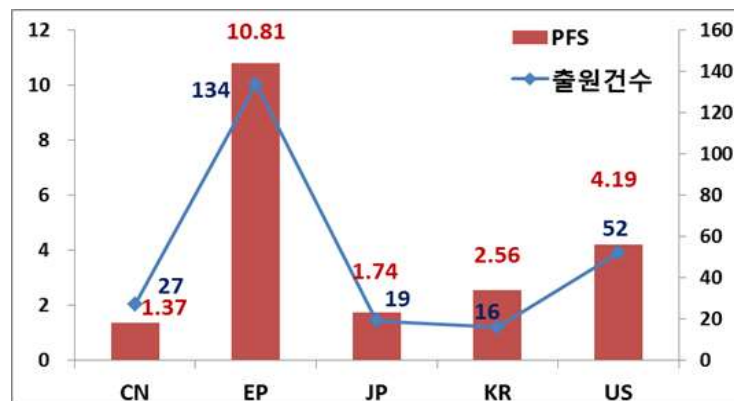
[그림 2.41] 국가별 특허 점유현황 - 스마트현가분야

- 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있음
- 유럽, 일본, 미국의 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 해외시장 진출노력이 높은 것으로 추정됨. 반면에, 중국과 한국에서는 출원된 특허 건수가 더 높게 나타나서 해외 기관들의 시장진입이 높은 것으로 판단됨



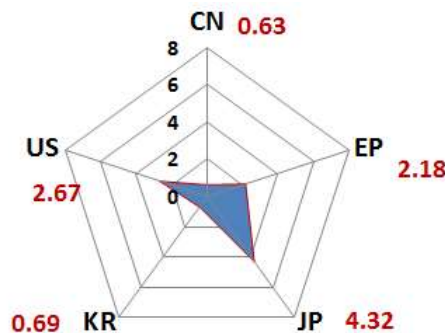
[그림 2.42] 국가별 출원특허/우선권 특허 현황 - 스마트현가 분야

⑤ 우선권 국가(Priority Country)별 특허분포 지수 분석



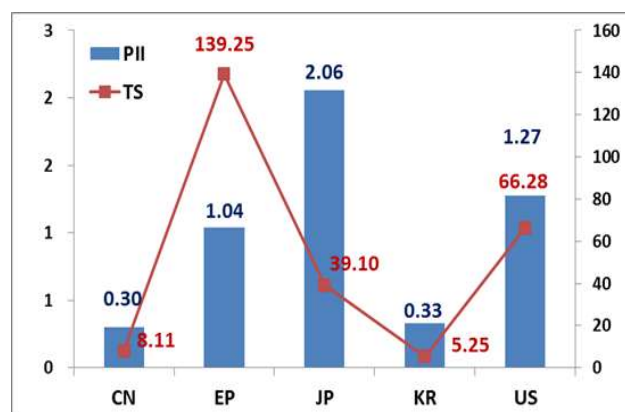
[그림 2.43] 국가별 출원건수 및 시장확보지수 - 스마트현가 분야

- 유럽의 시장확보지수(PFS)가 10.81로 가장 높고, 다음으로는 미국, 한국, 일본, 중국 순으로 나타남
- 특히 유럽은 패밀리 특허를 많이 출원하고 있어 시장확보지수가 높게 나타남
- 중국은 시장확보력이 가장 낮은 것으로 나타났음
- 미국의 인용도지수(CPP)가 7.04으로 가장 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음
- 이에 반해, 한국은 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음



[그림 2.44] 국가별 인용도지수 - 스마트현가 분야

- 미국의 영향력지수(PII)가 2.22으로 가장 높게 나타나 질적 수준에서 우수하며, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 일본이 가장 우수함
- 한국은 인용도지수(CPP)와 기술력지수 모두 최저 수준으로 나타나, 원천특허/핵심특허 비중은 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있으며, 기술개발이 시급한 것으로 판단됨



[그림 2.45] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 - 스마트현가 분야

⑥ Text mining을 통한 특허 분포

- 스마트 철도차량 동적제어(능동현가장치)분야 관련 검색결과 최종 206건의 관련 유효특허기술이 분포하고 있음

- 이 분야의 특허기술 영역은 전반적으로 PISTON ROD, DAMP FORCE, SUSPENSION UNIT, GEOMETRY, VOLUME OF OBSTRUCTION, FREQUENCY RANGE 와 관련된 기술들이 많이 포함되어 있음
- 등고선 꼭짓점이 높은 Passenger railway carriage/Spring carrier/Offset, Locomotive/Unpowered axle/Unpowered, Active chassis of a rail vehicle/Active chassis/Turn angle, Balance/Link/Bogie frame, Power/Electric/Fix, Cross-bearers/Crossway/Pendulous와 같은 기술에 대한 키워드의 특허가 많이 분포하고 있어 관련 분야의 기술 집중도가 높은 것으로 판단 할 수 있음.

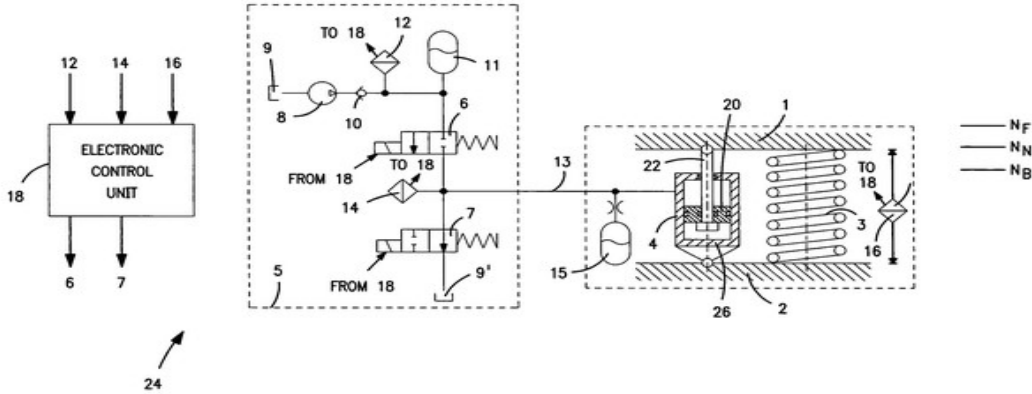
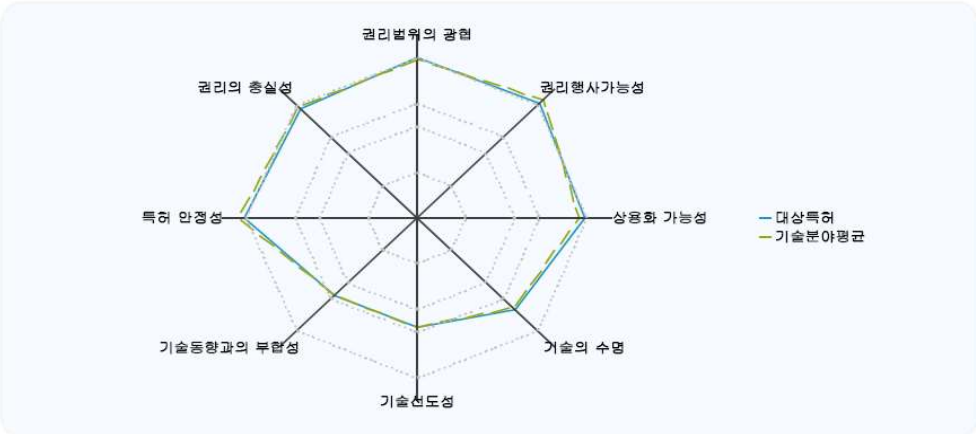
● 2010년 이후 ● 2000-2009 ● 1990-1999

⑦ 주요 핵심특허 현황

[표 2.7] 주요 특허 현황 (피인용 順) - 스마트 현가분야

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
US20050183625A 1	High efficiency semi-articulated railway power bogie	GENERAL MOTORS	21
US7243606B2	System for the secondary suspension of a superstructure of a rail vehicle having an active spring element	KNORR BREMSE AG	19
EP547010A1	A multipurpose rail bogie truck.	FIREMA RICERCHE SRL	19
US5682968A	Semi-active suspension system with control circuit having a direct control loop including an inverse model of the damper	ALSTHOM TRANSPORT	18
EP691226A1	Semi-active shock absorber	ALSTHOM TRANSPORT	18
EP615890A1	Anticentrifugal active lateral suspension for railway vehicles.	FIAT FERROVIARIA SPA	16
US6484074B1	Method of and device for controlling controlled elements of a rail vehicle	ALSTHOM TRANSPORT	15
US6279488B1	Railway vehicle with coupling element units between car body and undercarriage	ABB DAIMLER-BENZ TRANSPORTATION	14
US7185592B2	System for the secondary suspension of a superstructure of a rail vehicle having a passive spring element	KNORR BREMSE AG	13
JP2002048189A	ELECTROMAGNETIC SUSPENSION SYSTEM	TOKICO LTD	13
US5454329A	Anticentrifugal active lateral suspension for railway vehicles	FIAT FERROVIARIA SPA	13
US20100175580A 1	ASSEMBLY AND METHOD FOR VEHICLE SUSPENSION	GENERAL ELECTRIC	12
EP617260B1	Level sensor for vehicles	HELLA HUECK & CO KG	12

⑧ 주요 핵심특허 심층 분석 및 특허 회피전략

1	기술 분류	현가장치	특허번호 (출원번호)	1101580	특허번호 (공개번호)	07185592																																																																										
출원인	Knorr-Bremse Systeme		출원일	2004.12.20	공개일	2007.03.06																																																																										
발명의 명칭	System for the secondary suspension of a superstructure of a rail vehicle having a passive spring element																																																																															
대표도면																																																																																
주요 내용	레일 차량의 보조 서스펜션에 관한 것 (스틸 스프링 구조)																																																																															
SMART 특허분석평가	전체 평가 분석 <table><thead><tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(기계)</th><th colspan="3">중분류(기계)</th><th colspan="3">소분류(운송)</th></tr><tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr></thead><tbody><tr><td>권리성 (40점)</td><td>24.3</td><td>BB</td><td>53.7</td><td>24.7</td><td>2.6</td><td>53.0</td><td>24.7</td><td>2.5</td><td>52.8</td><td>24.6</td><td>2.4</td></tr><tr><td>기술성 (20점)</td><td>15.9</td><td>BBB</td><td>32.2</td><td>15.5</td><td>1.0</td><td>32.0</td><td>15.5</td><td>1.0</td><td>30.1</td><td>15.5</td><td>1.0</td></tr><tr><td>활용성 (40점)</td><td>29.9</td><td>BB</td><td>44.7</td><td>29.9</td><td>1.4</td><td>44.5</td><td>29.9</td><td>1.4</td><td>43.5</td><td>29.8</td><td>1.3</td></tr><tr><td>총점 (100점)</td><td>70.1</td><td>BB</td><td>47.3</td><td>70.1</td><td>3.9</td><td>46.5</td><td>70.0</td><td>3.8</td><td>45.5</td><td>69.9</td><td>3.5</td></tr></tbody></table>  — 대상특허 — 기술분야평균 ※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치											평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	권리성 (40점)	24.3	BB	53.7	24.7	2.6	53.0	24.7	2.5	52.8	24.6	2.4	기술성 (20점)	15.9	BBB	32.2	15.5	1.0	32.0	15.5	1.0	30.1	15.5	1.0	활용성 (40점)	29.9	BB	44.7	29.9	1.4	44.5	29.9	1.4	43.5	29.8	1.3	총점 (100점)	70.1	BB	47.3	70.1	3.9	46.5	70.0	3.8	45.5	69.9	3.5
	평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)																																																																						
백분위(%)				평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차																																																																					
권리성 (40점)	24.3	BB	53.7	24.7	2.6	53.0	24.7	2.5	52.8	24.6	2.4																																																																					
기술성 (20점)	15.9	BBB	32.2	15.5	1.0	32.0	15.5	1.0	30.1	15.5	1.0																																																																					
활용성 (40점)	29.9	BB	44.7	29.9	1.4	44.5	29.9	1.4	43.5	29.8	1.3																																																																					
총점 (100점)	70.1	BB	47.3	70.1	3.9	46.5	70.0	3.8	45.5	69.9	3.5																																																																					
법적상태 (회피전략)	- 2004년 출원되어 현재 등록유지되는 특허로서, 종합평가 BB등급에 속하는 특허임. 세부적으로는 권리성 BB등급, 기술성 BBB등급, 활용성 BB등급으로 평가되었음. 패밀리 특허가 유럽과 미국에 출원되었음																																																																															

2	기술 분류	현가장치	특허번호 (출원번호)	09762468	특허번호 (공개번호)	06484074																																																																					
출원인	ALSTOM TRANSPOR		출원일	2001.02.0	공개일	2002.11.1																																																																					
발명의 명칭	method of and device for controlling controlled elements of a rail vehicle																																																																										
대표도면																																																																											
주요 내용	철도 노선의 기하학적 특성에 따른 차량 관성값에 대응하는 제어																																																																										
SMART 특허분석평가	전체 평가 분석 <table><tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(기계)</th><th colspan="3">중분류(기계)</th><th colspan="3">소분류(운송)</th></tr><tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr><tr><td>권리성 (40점)</td><td>27.2</td><td>A</td><td>15.4</td><td>24.7</td><td>2.6</td><td>14.3</td><td>24.7</td><td>2.5</td><td>12.9</td><td>24.6</td><td>2.4</td></tr><tr><td>기술성 (20점)</td><td>16.6</td><td>A</td><td>16.9</td><td>15.5</td><td>1.0</td><td>16.5</td><td>15.5</td><td>1.0</td><td>14.9</td><td>15.5</td><td>1.0</td></tr><tr><td>활용성 (40점)</td><td>30.7</td><td>A</td><td>21.0</td><td>29.9</td><td>1.4</td><td>20.2</td><td>29.9</td><td>1.4</td><td>17.9</td><td>29.8</td><td>1.3</td></tr><tr><td>총점 (100점)</td><td>74.5</td><td>A</td><td>11.6</td><td>70.1</td><td>3.9</td><td>10.4</td><td>70.0</td><td>3.8</td><td>8.3</td><td>69.9</td><td>3.5</td></tr></table> ※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치						평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	권리성 (40점)	27.2	A	15.4	24.7	2.6	14.3	24.7	2.5	12.9	24.6	2.4	기술성 (20점)	16.6	A	16.9	15.5	1.0	16.5	15.5	1.0	14.9	15.5	1.0	활용성 (40점)	30.7	A	21.0	29.9	1.4	20.2	29.9	1.4	17.9	29.8	1.3	총점 (100점)	74.5	A	11.6	70.1	3.9	10.4	70.0	3.8	8.3	69.9	3.5
	평가지표	점수	등급	대분류(기계)						중분류(기계)			소분류(운송)																																																														
				백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차																																																															
권리성 (40점)	27.2	A	15.4	24.7	2.6	14.3	24.7	2.5	12.9	24.6	2.4																																																																
기술성 (20점)	16.6	A	16.9	15.5	1.0	16.5	15.5	1.0	14.9	15.5	1.0																																																																
활용성 (40점)	30.7	A	21.0	29.9	1.4	20.2	29.9	1.4	17.9	29.8	1.3																																																																
총점 (100점)	74.5	A	11.6	70.1	3.9	10.4	70.0	3.8	8.3	69.9	3.5																																																																
법적상태 (회피전략)	- 2001년 출원되어 현재 등록유지되고 있으며, 종합평가 상위 11.6%의 A등급에 속하는 특허임. 세부적으로 권리성, 기술성, 활용성 모두 A등급으로 평가되었음																																																																										

라. 특허분석 결론

(1) 스마트 제동분야

- 국가별로는 유럽이 34%(33건)로 최다이며, 미국, 중국, 일본, 한국 순으로 출원되고 있음
- 중국과 한국에서 2000년대 중반 이후 특허 출원이 실시되고 있는 추세이며 특히 2010년도 이후의 중국에서의 특허출원이 증가하고 있음
- 이 기술분야 최다 출원인인 KNORR BREMSE AG와 차순위 최다 출원인 SIEMENS AG는 제동시스템 능동제어(BB기술) 분야에 대한 연구활동이 활발한 것으로 판단됨
- GENERAL ELECTRIC, ALSTOM TRANSPORT SA, EUREKA NAVIGATION SOLUTIONS AG은 동장치 성능 모니터링(BA기술)에 대한 관심도가 높은 것으로 판단됨

(2) 스마트 추진분야

- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(TOP 8 Assignee)를 분석해 보면, CSR, CNR, UNIV CENT SOUTH, UNIV BEIJING JIAOTONG, CRRC ZHUZHOU LOCOMOTIVE CO LTD와 같은 중국 철도 관련 기업과 대학의 출원이 주를 이루고 있음. 그리고 LSIS CO LTD, NIPPONDENSO CO LTD, GENERAL ELECTRIC와 같은 다국적 기업이 주요 출원인에 포함됨
- 중국에서 전체 유효특허 중 과반수 이상(74%)이 출원되었으며, 미국과 일본 각각 4건 한국 2건의 특허가 출원되었음
- 2010년 이후 중국의 특허출원이 증가하는 우상향 패턴이 나타나고 있어 이 기술분야를 선도하는 국가로 볼 수 있음. 반면 일본에서의 출원은 2010년 이후에 나타나지 않고 있음
- 중국은 추진시스템에 대한 연구가 가장 활발한 것으로 나타났으며, 세부 기술로 보았을 때, 능동제어 (BB기술)에 대한 연구가 추진장치 모니터링(BA기술)보다 높은 수치를 보여주고 있음

(3) 스마트 현가분야

- 이 기술분야는 유럽에서 1990년도 초반에 선도하였으나 2010년 이후에는 중국에서의 출원이 다수를 보이고 있음
- KRRI가 자국 출원에만 집중한 반면 대부분의 주요 출원인은 자국뿐만 아니라 해외출원에도 높은 비중을 두고 있음
- 스마트 철도차량 동적제어(능동현가장치)분야에 대하여 중국과 유럽의 최다 출원인은 BOMBARDIER TRANSPORT로 나타났음. 중국 국영 철도 기업인 CSR보다 다수의 특허출원을 하고 있다는 점에 의미가 있음
- 미국 최다 출원인은 GENERAL ELECTRIC, 일본 최다 출원인은 KAYABA IND CO LTD, 한국 최다 출원인은 KRRI로서, 자국 출원이 주를 이루고 있음
- BOMBARDIER TRANSPORT는 해외(중국, 미국, 한국, 일본)에서도 이 기술분야를 선도하는 것으로 보여짐

2. 논문동향

가. 개요

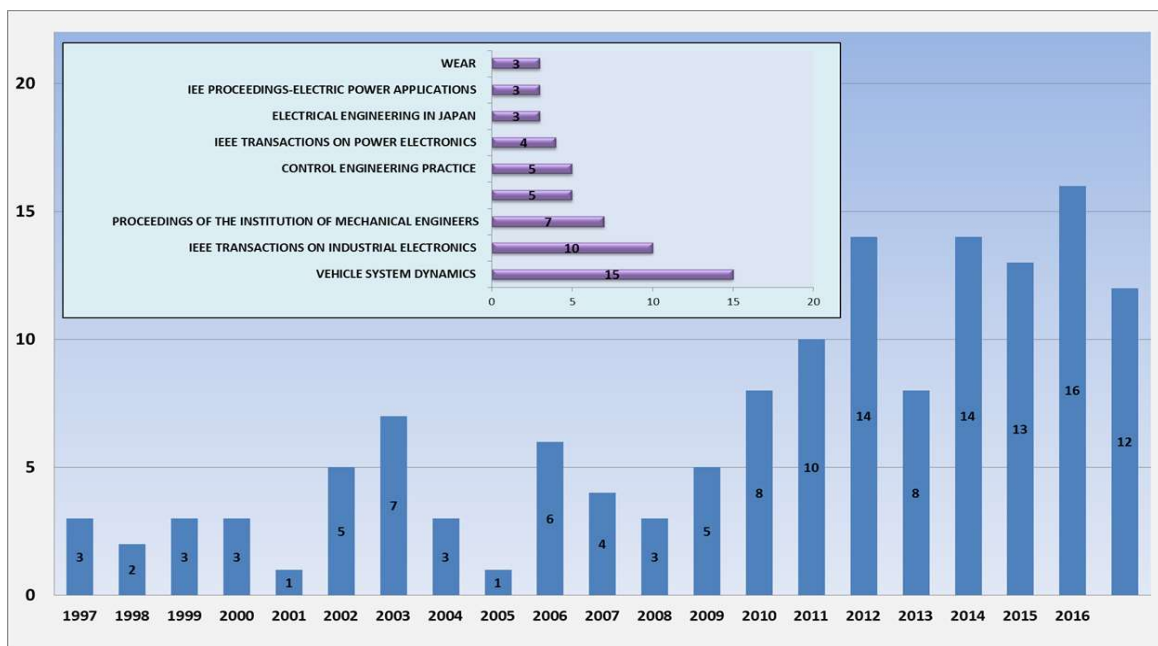
[표 2.8] 논문 분석 기준

구 분	분석 기준
논문검색 DB	Web of Science, Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~현재
검색범위	Title, Abstract

나. 논문분석 결과

(1) 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재저널 현황(스마트제동분야)

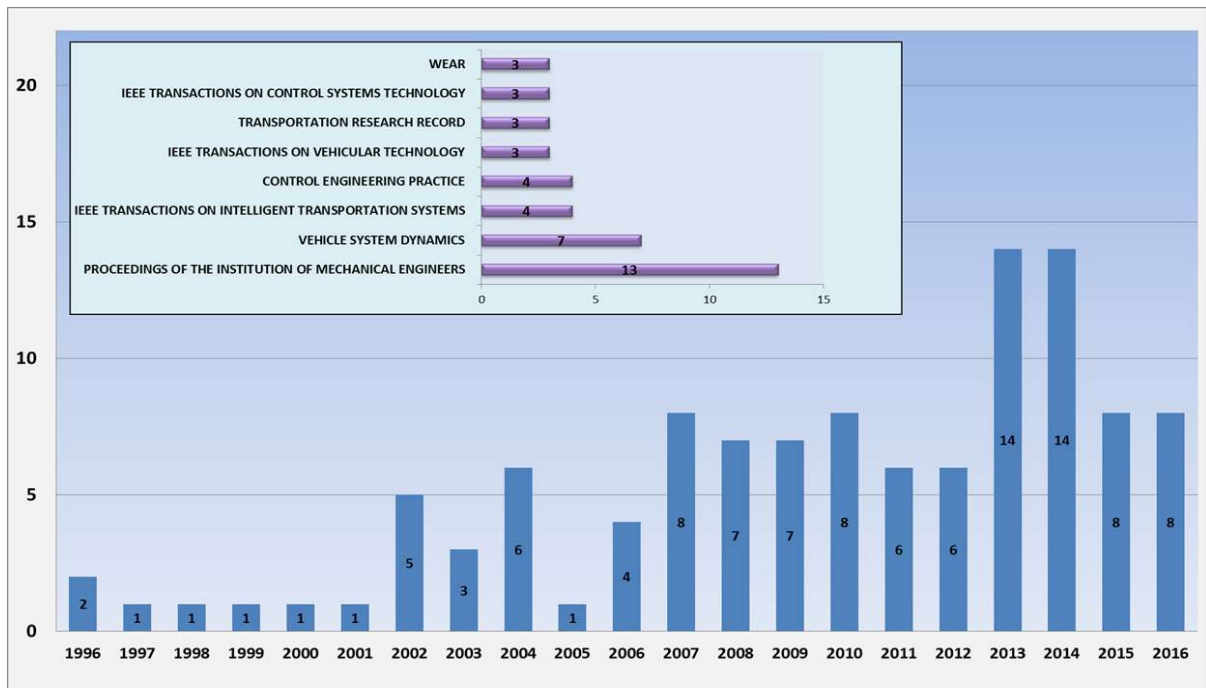
- 스마트 철도차량 동적제어 기술분야(제동시스템) 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 112건의 관련 논문이 발표되고 있음
- 대체로 2002년 이후 해당 기술의 논문발표가 증가세를 보였고 특히 2013년 이후의 증가세가 두드러짐
- 저널별로는 PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS, VEHICLE SYSTEM DYNAMICS, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS 등 유럽, 미국의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음



[그림 2.47] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 (스마트제동분야)

(2) 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재저널 현황 (스마트추진분야)

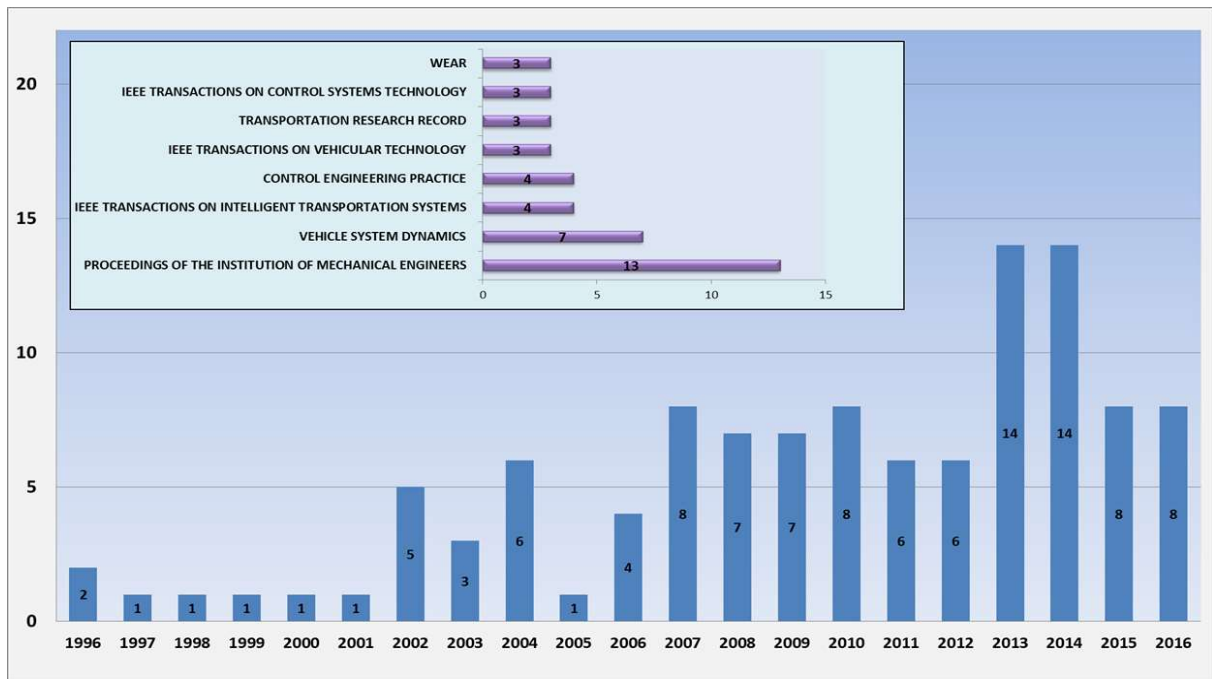
- 스마트 철도차량 동적제어 기술분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 141건의 관련 논문이 발표되고 있음
- 일부 증감이 있으나 대체로 1990년 후반부터 2010년 이전까지 5건 내외의 논문이 발표되었으며, 2010년 이후 두드러진 증가세가 나타남
- 저널별로는 VEHICLE SYSTEM DYNAMICS, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS 등 유럽, 미국의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음



[그림 2.48] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 (스마트추진분야)

(3) 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재저널 현황 (스마트현가분야)

- 스마트 철도차량 동적제어 기술분야(능동현가장치) 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 102건의 관련 논문이 발표되고 있음
- 대체로 2003년 이후 해당 기술의 논문발표가 증가세를 보였고 특히 2010년 이후로 꾸준한 증가세가 두드러짐
- 저널별로는 VEHICLE SYSTEM DYNAMICS에 이 기술분야 논문이 가장 많이 게재된 것으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 JOURNAL OF VIBRATION AND CONTROL, PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS, SMART MATERIALS & STRUCTURES, JOURNAL OF LOW FREQUENCY NOISE VIBRATION AND ACTIVE CONTROL, ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING 등 유럽, 미국의 저널에서 많이 발표되고 있음



[그림 2.49] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 (스마트현가분야)

다. 논문분석 결론

(1) 스마트 제동분야

- 대체로 2002년 이후 해당 기술의 논문발표가 증가세를 보였고 특히 2013년 이후의 증가세가 두드러짐
- 이 분야 최다 연구기관은 중국의 Beijing Jiaotong Univ이 10건의 관련 논문을 발표하여 이 기술 분야를 선도하는 것으로 보여지며, Tongji Univ, Univ Pretoria, Univ Florence, Univ Illinois, Tokyo Inst Technol, Railway Tech Res Inst, Chalmers, Univ Sheffield 등이 관련논문을 발표하여 그 뒤를 잇고 있음

(2) 스마트 추진분야

- 대체로 1990년 후반부터 2010년 이전까지 5건 내외의 논문이 발표되었으며, 2010년 이후 두드러진 증가세가 나타남
- 스마트 추진분야 논문은 중국 소속의 기관에서 가장 많이 발표한 것으로 나타났으며, 아시아, 유럽, 미국 등 전 세계적인 관심이 대두되고 있는 상황임
- 이 분야 최다 연구기관은 중국의 Beijing Jiaotong Univ이 9건의 관련 논문을 발표하여 이 기술 분야를 선도하는 것으로 보여지며, Cent Queensland Univ, Iran Univ Sci & Technol, Univ Salford, Univ W Bohemia, Univ Leeds, Southwest Jiaotong Univ, Zhejiang Univ, DLR, Univ Florence 등이 관련논문을 발표하여 그 뒤를 잇고 있음

(3) 스마트 현가분야

- 대체로 2003년 이후 해당 기술의 논문발표가 증가세를 보였고 특히 2010년 이후로 꾸준히

준한 증가세가 두드러짐

- 스마트 철도차량 동적제어 기술분야(능동현가장치) 논문은 중국 소속의 기관에서 가장 많이 발표한 것으로 나타났으며, 아시아, 유럽, 미국 등 전 세계적인 관심이 대두되고 있는 상황임
- 이 기술 분야 논문의 주요 저자로는 Southwest Jiaotong Univ의 Yao Y, Chongqing Univ의 Wang DH, Korea Railrd Res Inst의 Shin YJ, Natl Univ Def Technol의 Zhou DF가 각각 3건의 관련 논문을 발표하여 최다 발표 저자로 나타남

3. 국내외 연구개발 동향

가. 스마트 현가시스템

- 일본 가와사키(Kawasaki) 중공업은 횡방향 능동현가장치와 틸팅시스템이 적용된 메카트로닉(Mechatronic) 대차를 개발하고 2008년 INNOTRANS에 출품 및 전시



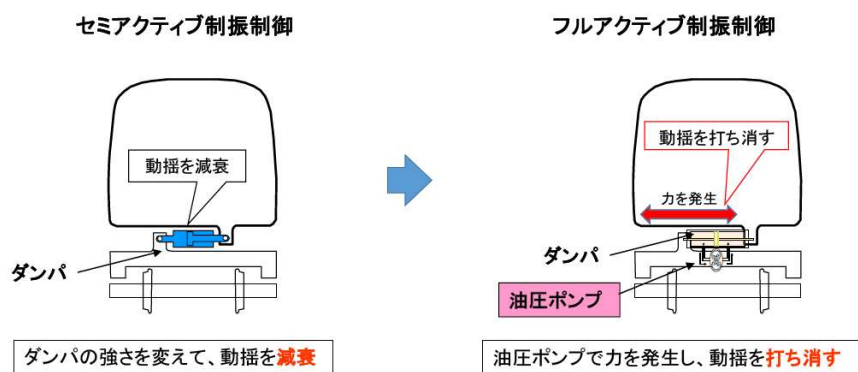
[표 2.9] 일본 횡방향 능동현가시스템적용 차량

신간선 열차	반능동현가 장착 차량	능동현가 장착 차량	비고
JR 토카이 700계	선두차량, 특실, 판토틀레프 차량		' 98년 이후 378량
JR 서일본 500계	선두차량, 특실, 판토틀레프 차량		' 95년 이후 63량
JR 서일본 700E계	선두차량, 특실, 판토틀레프 차량		' 99년 이후 32량
JR 동일본 E2계	선두차량과 특실을 제외한 전 차량	선두차량, 특실	' 02년 이후 147량
JR 동일본 E3계	선두차량을 제외한 전 차량	선두차량	' 02년 이후 28량
JR 구주	전 차량	선두차량, 특실	' 14년 이후(능동)
JR 호쿠리쿠		전 차량	' 14년 이후
JR 토호쿠 E5계		전 차량	' 14년 이후
JR 아키타 E6계		전 차량	' 14년 이후

- 일본은 또한 가변댐퍼를 적용한 철도차량용 상하방향 능동현가장치로 세계 최초로 개발, 2013년 10월 “북두칠성 큐슈”에 실용화



- 일본은 2020년 도쿄 올림픽을 위한 새로운 고속철도 N700S를 연구 개발하여 2018년 3월에 제작하여 시험을 수행할 예정. 대표적인 기술로 지진과 같은 긴급상황 발생 시 제동거리 최소화(5% 감소), 승차감 향상을 위하여 대차의 진동센서를 개선하고 능동현가장치를 적용하여 진동저감, 경량화로 에너지 절감 등의 기술이 적용

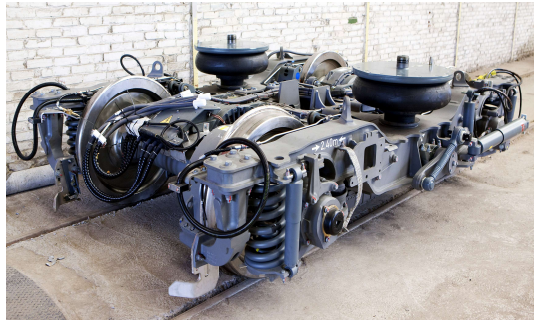


- 프랑스 Alstom은 AGV 개발시제에 능동현가장치를 적용, 350km/h 주행 시의 진동 수준을 300km/h로 주행수준으로 유지하는데 성공. 능동현가시스템은 전기적 액추에이터를 부수대차에 장착하여 대차의 상하운동을 능동 제어

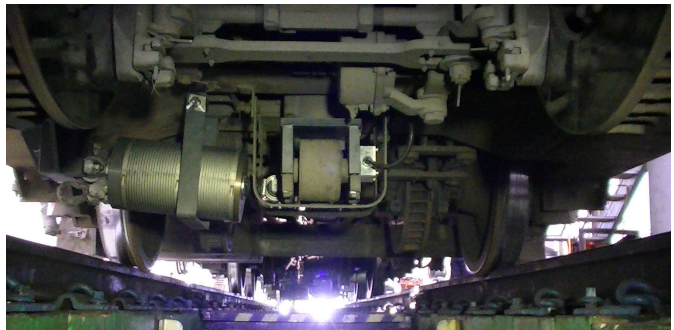


- 독일 Bombardier는 능동조향, 능동현가, HOD 등이 적용된 FLEXX-Tronic 대차 출시, 스웨덴 REGINA 250 차량을 활용한 본선시운전을 통해 200km/h에 대한 UIC 인증 획득

득. 2010년 6월 스위스연방철도(SBB)에 436량(59편성) 계약, 2019년 말에 최종납기 예정

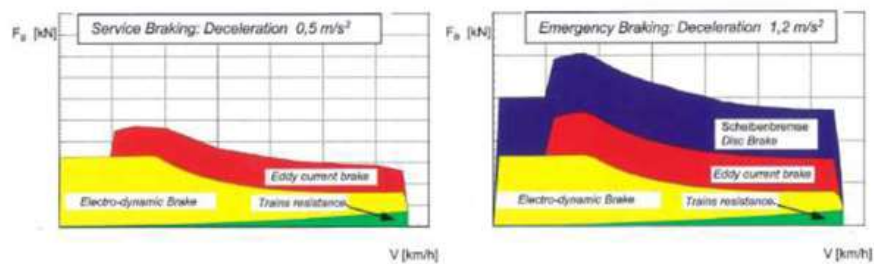
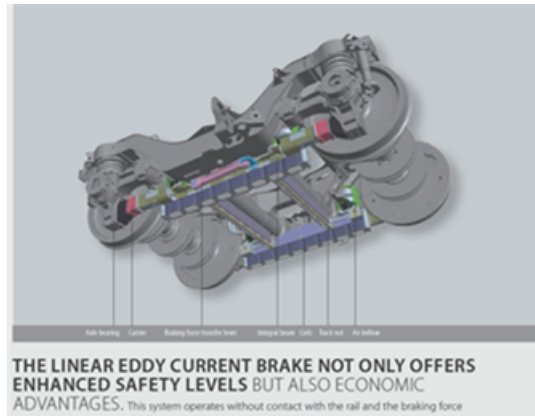


- 한국철도기술연구원은 준고속열차 대상의 횡방향 능동현가장치를 개발, 실선주행 시험에서 목표성능(횡방향 진동저감 40%)을 검증에 성공



나. 제동시스템

- EU의 제동시스템 연구개발 동향
 - 제동시스템(하드웨어, 소프트웨어)의 신뢰성 및 안정성 확보 (SIL Level 3~4)
 - 현재는 BCU와 TDCS 사이에 MVB 통신을 사용, 제동장치 사이에는 BCN을 사용하나 최종제어는 pneumatic 기반 제어로 time-lag 존재
 - 이를 보완하기 위하여 Ethernet 기반으로 제동제어 및 진단기능을 동시 수행하는 것을 목표로 하고 있으며, 이를 위하여 핵심 제동장치의 실시간 모니터링 및 상태기반 능동제어연구 등이 활발히 이루어지고 있음
 - 제동성능 비약적 향상을 위한 점착력 무관 선형 와전류 제동시스템 개발 집중
 - 점착력 무관 Linear Eddy Current Brake(ECB) 개발을 통한 휠/디스크 마모 최소화 등 LCC 향상 및 고속에서의 제동거리 단축 등 성능향상 도모하고 있음. 특히 ECB는 과거 국내에서 G7 열차, 독일에서는 ICE-3 열차 등에 적용되었으나, 부차적인 문제(신호시스템 적합성, 레일 히팅 및 들림)로 실용화에 제약이 있었으나 최근 향상된 전자소자의 개발 등으로 경량화 등이 가능해지면서 Knorr는 EWB154R이라는 실용화모델을 개발하였음. 그러나 여전히 신호시스템 적합성 등의 문제로 인하여 실용화는 지연되고 있음



- 경량 세라믹 브레이크 적용을 통한 Long life time 및 신뢰성 확보 추진 중이며, 해외는 차축 디스크 개수를 줄이는 방향으로 개발 진행 중임

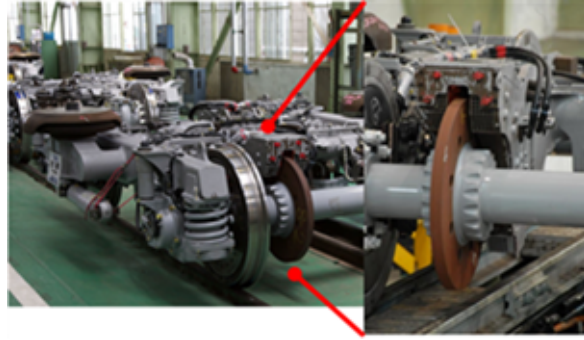
– EMB(Electro-Mechanical Brake) 개발 및 LRV 적용

- 세계 고속철도 시장 핵심이슈는 고속철도의 운영속도 향상 및 수송용량 증대로, 이를 위하여 제동시스템 등 주요장치의 성능고도화 및 소형화화에 대한 연구가 진행되고 있으며 EMB 시스템이 강력한 후보군으로 등장 중. 철도에 EMB를 적용할 경우 제동공기통, 제동제어장치(BOU) 등의 제거로 소형화가 가능하며, 빠른 응답속도로 인하여 고정밀 제동제어 및 공주거리 단축이 가능해지나, 제동용량상의 문제로 EU는 1차적으로 EMB를 LRV에 적용하고, 이를 통하여 장치의 소형화/정밀 위치제어/진단제어 기능 확보를 목표로 하고 있음

○ 일본의 제동시스템 연구개발 동향

– 휠 디스크 기반 와전류제동(ECB) 실용화 성공

- 일본은 제동능력의 비약적 향상을 위하여 700계 열차의 부수대차의 경우 차륜디스크 + 와전류 디스크를 동시 적용하였으나, 신호시스템 적합성 등의 이유로 실용화 지연



- 공력제동 시스템의 개발

- 일본은 Fastech360 개발 시 기존 신호조건에서 제동거리 단축을 위하여 공력제동 시스템을 개발하여 그 성능을 평가하였음. 성능평가 결과, 차체 흔들림 발생 및 300km/h 이하에서는 큰 효과가 없어서 양산모델인 E5에는 적용하지 않았음



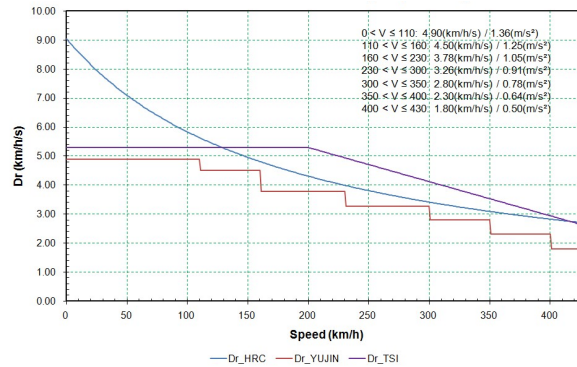
- 상대적으로 신규 제동기술 도입에 보수적

- 일본은 700계까지도 Rigid pad를 사용하였으며, 최근의 N700A 열차부터 Flexible pad를 내재화하여 적용 중 (한국보다 Flexible Pad 도입 늦음)
- 또한 일본은 최근까지도 공유압 변환 시스템을 적용하였으며, Fastech360 및 E5부터 Knorr 시스템을 적용하여 공압기반 시스템을 구축

○ 국내의 제동시스템 연구개발 동향

- HEMU-430X 개발을 통한 제동시스템의 국산화

- HEMU-430X의 제동장치는 개발업체의 한계로 인하여 초기에는 해외제품을 적용하였으나, 이후 일부 차량에 대하여 국산화 개발품(차축/차륜 디스크, 캘리퍼, 제동패드)을 적용하여 기본 성능 및 신뢰성을 확인



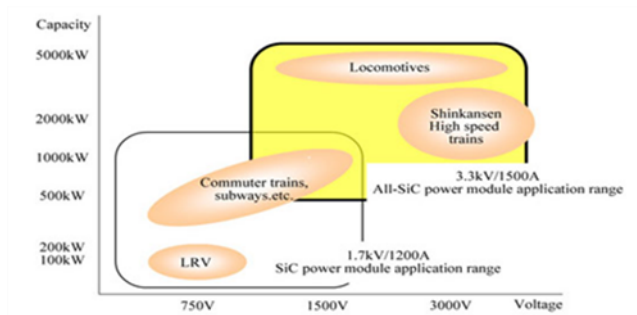
- 제동제어장치(BOU, ECU)의 경우는 초기부터 국산개발품을 적용하는 등 어느 정도 선진국과 동등수준의 기술을 확보
- 융하중 기반 Open-loop type 감속도 다단계제어(350km/h까지 속도별 5단계제어) 국내 최초 적용하여, 300km/h 비상공기제동거리 2,871m~3,270m 달성 (기준 3,300m) : 다단계제어를 사용하여 점착한계 내에서 최대한 제동력을 사용하여 공기제동만으로 비상제동거리 목표를 달성하였으나, Open-loop type의 한계로 일정 제동거리 유지에는 한계가 존재하였으며, 진정한 의미의 감속도 제어는 아니었음

다. 추진시스템

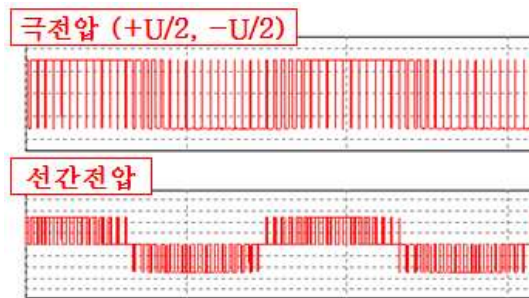
○ 해외 추진시스템 연구개발 동향

－ 추진시스템의 효율화/경량화를 위한 차세대 스위칭 소자 적용 연구

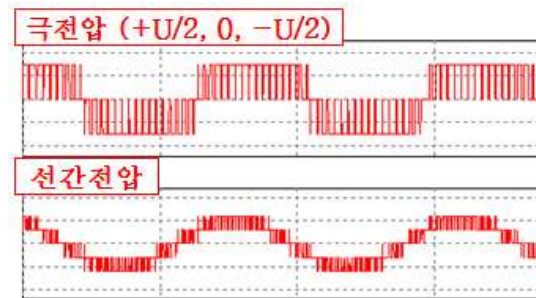
- 유럽은 철도기반기술사업 Roll2Rail과 실용화 사업 Shift2Rail을 통해 향후 추진시스템의 개발방향을 에너지효율 향상, 전 생애주기의 비용감소, 유지보수를 고려한 설계, 규격화 및 인증 등으로 정의
- 특히, 에너지 효율을 향상을 위한 대표기술로 새로운 스위칭 소자의 적용 연구 진행
- IGBT를 대체할 수 있는 소자로 주목받고 있는 SiC(실리콘카바이드)는 고효율화, 소형화 및 경량화가 가능하나 아직 IGBT와 비교하여 내압성능이 낮아 고속철도의 높은 전압에는 한계가 있으나 향후 해결가능성 높음
- 현재 일본 및 유럽의 반도체 제조사에서 IGBT와 대등한 내압성능을 갖는 SiC 소자를 개발 중이며 그 현황은 다음과 같음



- 현재 일본의 경우 N700 계의 주회로도 형태가 3레벨 토폴로지가 적용된 컨버터와 인버터를 탑재한 시제열차가 개발되었으며, 이를 통하여 전력변환장치의 중량은 약 20% 감소하였으며 부피는 약 50%까지 감소함. 또한 기존 2레벨(극전압 $+U/2$, $-U/2$) 제어 대비 3레벨(극전압 $+U/2$, 0 , $-U/2$) 제어를 할 경우 스위치 전압의 스트레스가 감소되어 신뢰성의 향상이 가능하며, SiC와 같은 차세대 소자의 적용이 용이해지는 장점이 있음. 또한 SiC 소자는 기존 Si 소자 대비 스위칭 손실을 저감할 수 있어, 추진시스템의 발열을 낮출 수 있음



<기존 2-Level 극전압 및 선간전압>



<3-Level 극전압 및 선간전압>

- 최적 운행속도 제어기술

- 미국 GE는 Industrial Internet 기술의 일환인 'Railconnect 360'으로 열차 계측데이터 분석을 통한 열차 시스템 효율화 솔루션을 2014년부터 제공하고 있음
- 일종의 빅데이터 분석기술로 열차 운행 중 축적된 데이터를 이용하여 추진시스템의 효율향상에 활용
- Railconnect 360은 기관차의 운행 데이터를 수집하고 분석하여 문제를 진단하고, 근본 원인을 분석하는 작업을 자동으로 처리, 차량의 신뢰성과 가용성을 높이고 결과적으로 철도 운영에 드는 시간과 비용을 절약하며, 차량의 엔진과 전자 부품, 냉각 시스템, 제어 장치, 견인장치, 교류 발전기의 건강 상태를 감시하며 문제가 생기는 부분을 추적하는 기능을 제공



<Rail connect 360 견인력 분석과정>



<에너지 효율성 증대를 위한 부품간 관계 분석>

- Railconnect 360의 '운행 최적화 모듈(Trip Optimizer)'을 복미 10,000대의 기관차에 적용할 경우, 연간 승용차 100만 대의 사용연료와 배출 공해물질 감소효과가 있을 것으로 분석

※ 미국 동부 최대 철도 운영회사인 노퍽 서던(Norfolk Southern)은 연료 사용 6.3% 가량 절감하고, 열차속도 약 10%~20% 향상

- 이와 같은 추진시스템의 모니터링 및 고장발생 허용제어 기술은 지속적인 운행이 가능하도록 하여 운영효율향상, 차량의 가감속 능동제어를 통한 운행환경에 따른 에너지 절감형 견인력 제어를 가능하게 함
- 프랑스 SNCF와 일본 JR은 최근에 운행환경 감응형 견인력 최적화 로직을 시험열차에 적용하는 Eco-driving 기술을 개발 중이며, 중간 개발현황을 WCRR2016에서 공개

○ 국내 추진시스템 연구개발 동향

－ 해외기술 추격형 연구 및 H/W 위주 개발

- 국내 고속철도 기술은 최근 EMU-250, 320등 분산형고속열차 실용화 실적을 보여주고 있으며, 이는 HEMU-430X 국가 연구개발 사업을 통한 분산형 추진 시스템 기술개발의 성과물임
- 그러나 해외는 이미 추진시스템의 효율향상 및 성능향상 연구를 수행하여 고효율 전동기(PMSM), 3레벨 추진시스템 구성기술, SiC 기반 추진시스템 등을 상용화하였음
- 이러한 H/W 적인 기술격차를 만회하기 위하여, 국내에서도 집중식고속열차 추진시스템 효율향상 기술개발(로템), SiC기반 추진시스템 기초연구, 멀티레벨 C/I 연구를 수행하고 있으나 실용화된 실적은 없으며, 추진시스템 허용제어, 운행 최적화 등 고부가가치 제어기술에 대한 연구는 전혀 수행되지 않고 있음.

[표 2.11] 견인전동기의 성능 비교

구 분	TGV POS	ICE3	N700계	FASTECH 360S	AGV	CHR380 (Zefiro)	HEMU
출력(kW)	1,160	500	305	355/370	760	600	410
중량(kg)	1,350	640	394	440/453	730	540	550
출력/중량 (kW/kg)	0.859	0.781	0.774	0.81/0.82	1.041	1.11	0.745
형식	비동기 모터	비동기 모터	비동기 모터	PMSM /비동기	PMSM	PMSM	비동기 /PMSM

4. 기술동향 분석 결론

가. 국내 연구개발 동향

○ 스마트 현가시스템

- － 2010년부터 5년간 산업통상자원부의 지원을 받아 저속 및 준고속 열차용 능동 2차 형

댐퍼에 대한 단위 구성품 개발 및 적용 타당성 검토에 초점

○ 지능형 추진/제동시스템

- 제동시스템 : 국가 R&D인 HEMU-430X 기술개발을 통하여 분산형고속열차의 제동시스템에 대한 국산화 및 기본성능은 확보하였으나, 제어기술 부족으로 인하여 일정 제동거리 유지에 한계가 있으며, 제동력 능동제어와 같은 고부가가치 기술에 대한 연구는 현재 전무한 상태
- 추진시스템 : 해외기술 추격형 연구 및 H/W 위주 기술개발 위주로 개발이 진행되었으며 추진시스템 허용제어, 운행 최적화 등 고부가가치 제어기술에 대한 연구개발 동향 없음

나. 국외 연구개발 동향

○ 스마트 현가시스템

- (일본) '95년부터 부분적으로 횡방향 능동현가시스템을 적용하여 운행하였으며, '14년부터는 다양한 노선의 전 차량에 능동현가시스템을 적용한 편성이 도입되기 시작. 상하방향 능동현가장치 역시 세계 최초 개발하여 '13년 10월에 실용화
- (프랑스)알스톰에서 AGV 개발시제에 상하방향 능동현가장치를 적용하여 350km/h 주행시의 진동수준을 300km/h 주행수준으로 유지하는데 성공하였으나 상용화 모델에는 미 적용
- (독일) 독일 Bombardier는 능동조향, 능동현가, HOD 등이 적용된 Flexx-Tronic 대차 개발에 성공, 스위스연방철도(SBB)에 436량 2019년 말까지 납품 예정

○ 지능형 추진/제동시스템

- (제동시스템) EU는 제동성능의 비약적인 향상을 위하여 점착력 무관 선형 와전류 제동시스템 개발 집중하고 있으며, 세계적인 제동시스템 업체인 Knorr는 EWB154R이라는 실용화모델을 개발하였으나 신호시스템 적합성 등의 문제로 인하여 실용화는 지연. 또한 일본과 중국은 Closed-loop 기반 제동제어시스템 기술개발 진행 중
- (추진시스템) 미국 GE는 Industrial Internet 기술의 일환인 'Railconnect 360'으로 열차 계측데이터 분석을 통한 열차 추진시스템 효율화 솔루션을 2014년부터 제공하고 있으며, 프랑스 SNCF와 일본 JR은 최근에 운행환경 감응형 견인력 최적화 로직을 시험열차에 적용하는 Eco-driving 기술을 개발 중

다. 개발기술 관련 요소기술 조사결과

[표 2.12]주행환경 감응형 스마트 철도차량 동적제어기술 요소기술 조사결과

구분	요소기술	AS-IS	To-BE
스마트	제동성능 모니터링 및 능동	• 제동성능 (제동감속도/제동저크/제동거리) 모니터링 불가 (제동	• 제동성능 (제동감속도/제동저크/제동거리) 상세 모니터링

구분	요소기술	AS-IS	To-BE
제동 기술	제어기술	ECU를 통한 현재 제동압력 모니터링 및 MMI 수동 현시) • 감속도 제어가 아닌 open-loop 기반 제동력 제어(기장의 마스크 조작에 의한 제동력 수동제어로 정위치 정차 어려움)	• 제동성능 모니터링 데이터 기반 제동성능 Feedback 제어 (정위치 정차 기술 포함)
	감속도 기반 제동력 능동 다단계제어 기술	• 점착한계 내 제동력 마진 존재 • 운행환경에 따른 제동력 패턴 변경 불가 • 회생제동효율 약 40% 수준	• 점착한계 내 제동력 최대 사용 제어 • 운행환경 감응 제동 다단계제어 패턴 변화 • 추진제어시스템과 연계한 회생제동 효율 향상
	제동장치 상태기반 제동력 분담기술	• 제동장치 이상 발생 시 기장에 의한 해당 장치 수동 차단 • 1개 대차 제동장치 차단 시 제동거리 증가 • 제동 ECU 이상 시 기장이 수동 reset	• 제동장치 상태에 따른 차량별/대차별 제동력 스마트 분담 (일정 제동거리 유지) • ECU Auto Cutoff & Reset 가능
	WSP 능동제어 기술	• 차축별 속도/감속도에 따른 대차별 활주방지(WSP) 제어 기술 • 주행환경에 따른 WSP 제어 알고리즘이 없으며, 정해진 알고리즘에서 동작	• 스마트 제동력 분담기술과 연계된 차량전체 활주방지 제어 • WSP 제어로직을 활용한 점착한계 감지 가능
스마트 추진 기술	고속영역 출력 부스팅 제어 기술	• 저속영역(정토크 영역)의 부스팅 기능만 존재하며, 주행환경에 따른 최대출력의 변화는 불가 • 추진장치 상태에 따른 냉각시스템의 능동 제어 불가(일정 속도 이상에서 냉각시스템 최고부하 동작)	• 시격감소를 위한 추진제어시스템의 고속영역(정출력 제어 영역)에서의 순간 출력 상승 제어 • 고속영역 출력 부스팅 대응을 위한 능동 추진장치 냉각
	추진시스템 고장 시 허용제어기술	• 견인전동기 및 전력변환장치 문제 발생 시 전체 기능 차단 후 상태 알림	• 시스템의 고장발생 지점의 자동 차단 • 고장 발생 부위에 따라 활용 가능한 기능은 동작 수행 가능
	주행환경 및 장치 모니터링 기반 능동제어기술	• 주행환경 및 에너지 소비 모니터링 없이 운전자의 조작에 의한 운행 • 낮은 데이터 전송속도를 이용한 추진장치 동작 유무 수준의 기본	• 에너지 소비 최소화를 위한 운전(추진)제어 • 추진제어장치(C/I) 상태/성능에 따라 전력소자 능동제어

구분	요소기술	AS-IS	To-BE
		상태정보 모니터링	
스마트 현가 기술	능동형 1차 상하방향 현가시스템 기술	• 선로 상태에 따라 차량의 진동증가 및 안전을 위한 서행운전(현가장치 특성 고정)	• 선로상태와 무관하게 주행안정성 및 진동성능 향상 • 궤도/윤축 진동의 대차 전달을 저감하기 위하여 능동제어
	능동형 2차 현가시스템 기술	• 열차의 교행, 터널 주행 및 측풍 등에 의한 차체 진동을 현가장치로 저감하는데 한계(현가장치 특성 고정)	• 열차 주행 시 발생하는 외란에 대하여 승차감 향상을 위한 능동제어
	스마트 현가 제어시스템	• 철도차량 현가장치의 특성치가 고정되어 있어 주행환경에 맞게 대응 불가능	• 능동형 1차 현가장치와 2차 현가장치를 통합하여 주행환경에 맞게 진동 저감을 위한 제어 알고리즘 최적화
VDC 통합 제어 기술	통합 VDC(추진/제동/ 진동)를 이용한 최적 운행속도 제어 기술	• 운행속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어 기능 부재 • 선로상태별 최적 운행 속도는 존재하지 않으며, 관제의 지시에 따른 ATC 속도코드에 따른 운전	• 운행속도 프로파일 준수를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어 • 선로상태별 최적 운행 속도 결정 및 이에 따른 추진/제동 제어

4절 기술수준 분석

1. 국내외 기술 수준 비교

- 세계 고속철도차량 시장 진출 및 영역확보를 위한 세계시장 선도형 연구개발 필요
- 세계 시장에서의 주요 경쟁지표인 승차감 및 정시성 분야에서 국내 수준은 해외 최고수준 대비 미흡하여 이를 극복할 수 있는 기술개발 필요

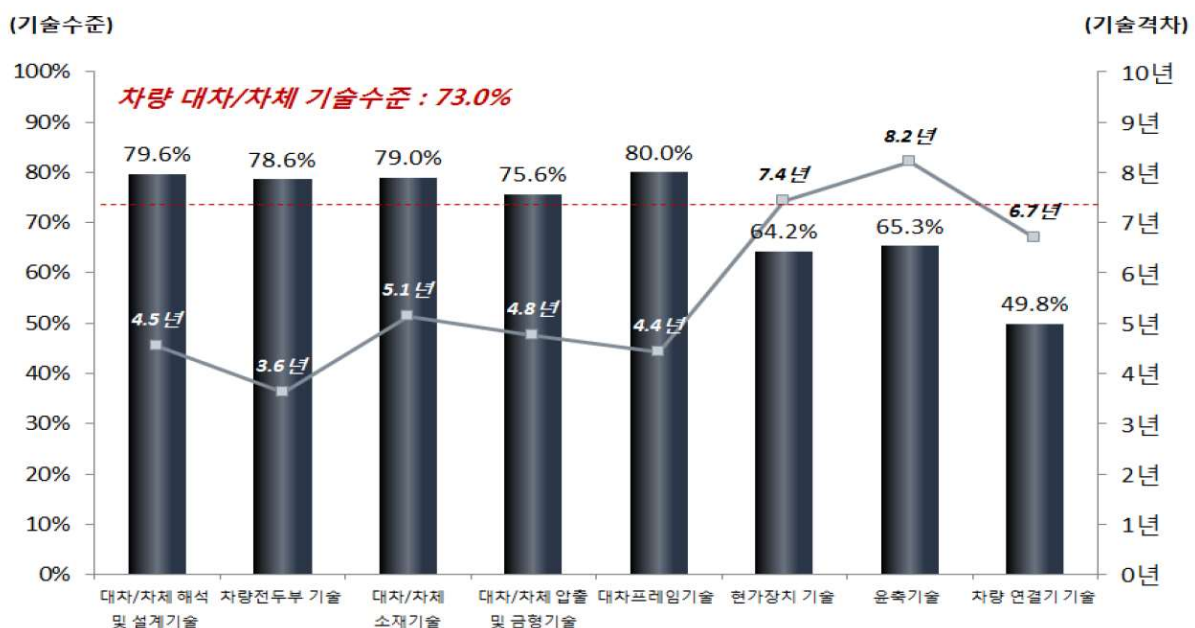
[표 2.13] 주요 고속철도 차량의 진동 수준

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
ETR 500	Trevi	로마-나폴리	0.18	0.24	300km/h	동력집중식 독립 대차
KTX-산천	현대로템	광명-대전	0.27	0.45	300km/h	동력집중식 관절형 대차
KTX	Alstom	광명-대전	0.13	0.32	300km/h	동력집중식 관절형 대차

※ Trevi(consortium of Alstom, Bombardier, AnsaldoBreda)

※ 국제(유럽)기준 EN14363에 따른 분석결과 (허용기준 : 횡방향 $0.5m/s^2$, 상하방향 $0.75m/s^2$)

- 2015년 고속철도 기술수준 및 국산화율 분석보고서에 따르면 현가장치기술에서 선진국 대비 기술격차가 7.4년으로 분석되었으며 능동형 현가장치 기술 수준 또한 선진국 대비 많이 하락한 것으로 나타남



[그림 2.53] 차량 대차/차체 기술수준 및 격차

- 국내 5년 평균 열차 지연율(2011~2015)은 62.3% 수준으로 운행순서조정, 열차고장, 여객승하차, 사상 지연, 선로유지보수에 따른 서행 순으로 영향
 - ※ 지연시간: 16분~29분(88.8%), 30분~59분(7.9%), 60분 이상(3.2%)
- 국내 고속철도의 정시성은 대체적으로 유럽과 동등한 수준이나 해외 최고수준과는 격차가 발생

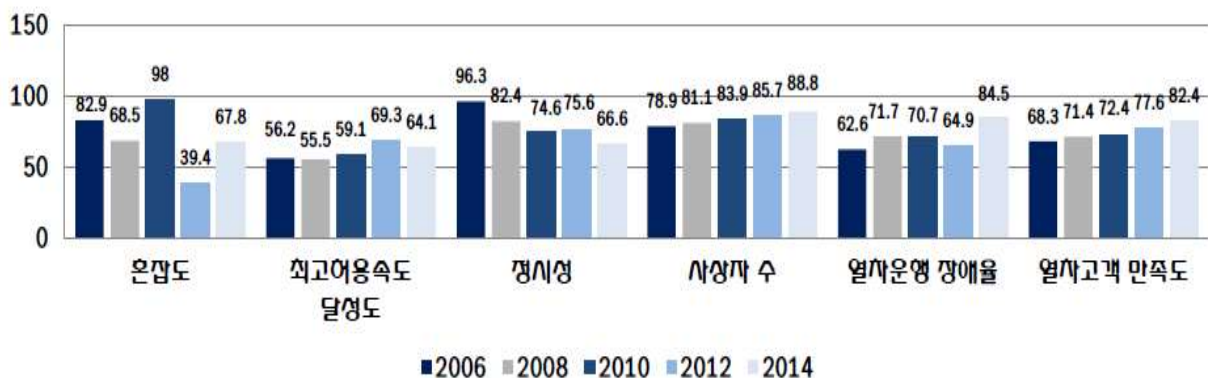
[표 2.14] 주요국가 고속철도 정시성 수준

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

* 일본 월간호스트 2015년 3월 27일호 자료 참고

** 13분 이내 91%, 15분 이내 99.7% 정시율이 표준정규분포를 따른다고 가정할 경우

- '15년 KOTI에서 수행한 제3차 철도산업발전기본계획 수립연구 최종보고자료에 따르면 2006년~2014년 철도서비스에 대한 조사가 이뤄졌으며, 그 결과 전년 대비 혼잡도와 사상자수, 열차운행 장애율, 고객만족도 점수는 높아졌으나 최고허용속도 달성도, 정시성은 전년 대비 다소 하락하였음
- 따라서 이를 극복하기 위한 기술개발이 필요한 것으로 판단됨



[그림 2.54] 철도서비스 조사 결과

2. ‘스마트 철도 핵심기술개발’ 을 위한 기술수요 조사

가. 조사 개요

(1) 조사 목적

- 국내 스마트주행장치(VDC) 기반 철도차량 기술의 적용 분야를 조사하고, 관련 산업계에서 필요로 하는 기술의 필요성 및 활용성, 요구사항, 기대효과, 애로사항 등 파악

(2) 조사 기간

- 2017년 2월 27일(월) ~ 3월 10일(금) 약 2 주간 진행

(3) 조사 대상

- 스마트주행장치 기반 철도차량 분야와 관련된 산학연 전문가 21인을 대상으로, 방문 또는 온라인을 통한 설문조사 실시

(4) 조사 절차 및 내용

- (조사 절차) 조사 및 설계, 수요조사, 분석 3단계로 구성
 - － (조사 및 설계) 기술일반사항 및 과제제안 설문 항목으로 구성된 설문지 설계 및 적합 대상자 선정
 - － (수요조사 및 분석) 기 설계된 설문지를 바탕으로 온/오프라인 기반 수요조사 실시 및 정량·정성 항목에 대한 분석을 바탕으로 시사점 도출
- (조사 내용 및 질의 형태) 기술의 중요성, 기술 개발의 필요성, 개발 시 문제점 등 기술 일반사항 및 제안하는 연구과제, 기대효과 등 과제 제안 분야로 구분하여 조사 수행

[표 2.15] 주요 조사 내용 및 질의 형태

구분	주요 내용	
기술 일반사항	1. 산업기술분야에서의 업무수행 분야 2. 기술의 중요성 3. 기술 또는 유사기술의 활용 여부 4. 활발히 적용되고 있는 기술 5. 시급한 연구가 필요한 기술 분야 6. 기술 개발의 필요성 7. 기술 적용 적합 차량 유형 8. 성능요구사항 주요 항목	9. 핵심 성능요구사항 10. 기술 개발 시 문제점과 사유 11. 국내외 관련 기술 보유기관 또는 제작사 12. 국내외 관련 기술관련 전문가 13. 기술 활용 시 기대효과 14. 기술 분야별 활용 시 세부 활용방안 15. 적정 연구개발 예산 및 기간
과제 제안	16. 제안하는 연구과제 17. 기술개발 필요성	18. 기대효과 및 파급효과 19. 예산 및 기간

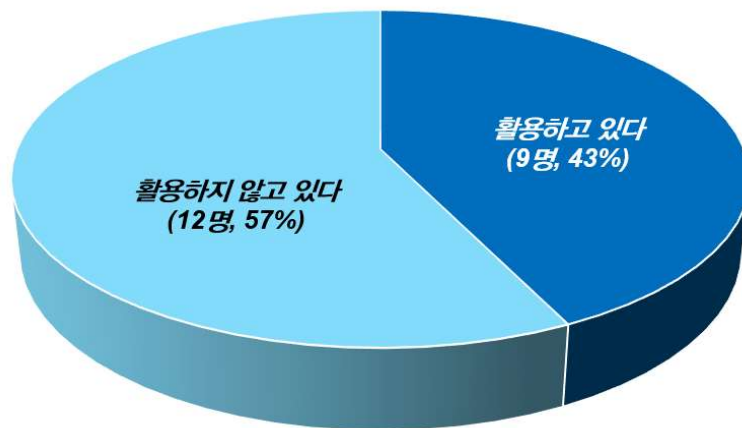
나. 조사 결과 분석

(1) 철도차량 신기술 도입의 중요성

- 조사 대상 전원(21인)이 ‘신기술 도입이 중요하다’ 고 응답
 - 미래 산업의 ICT화 추세에 따라 스마트주행장치(VDC) 기반 철도차량 산업의 혁신이 필요하고, 이에 따라 핵심 기술 도입의 중요성이 높아지는 상황인 것으로 분석 가능

(2) 철도차량 신기술의 현재 업무 활용 여부

- 총 21인의 조사 대상자 중 12명이 현재 업무에 본 기술을 활용하고 있지 않는 것으로 조사됨에 따라, 현재 업무 활용성이 다소 떨어지는 것으로 분석
- 필요 기술 구현의 어려움 및 미흡한 상용화 수준 등 요인에 따라 현재 업무에서의 활용성이 낮은 것으로 예상



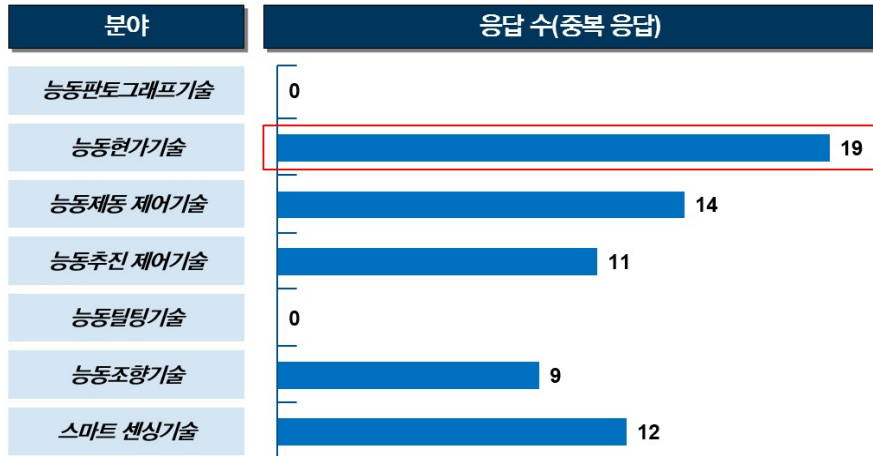
[그림 2.55] 스마트주행장치 분야의 철도차량 신기술 활용 여부

(3) 기술 개발 필요성

- 조사 대상 전원(21인)이 ‘기술 개발이 필요하다’ 고 응답
 - 스마트주행장치 기반 철도차량 산업의 신기술 도입 중요성과 함께 기술 개발 필요성 또한 높은 것으로 분석

(4) 연구의 시급성이 높은 분야(중복선택)

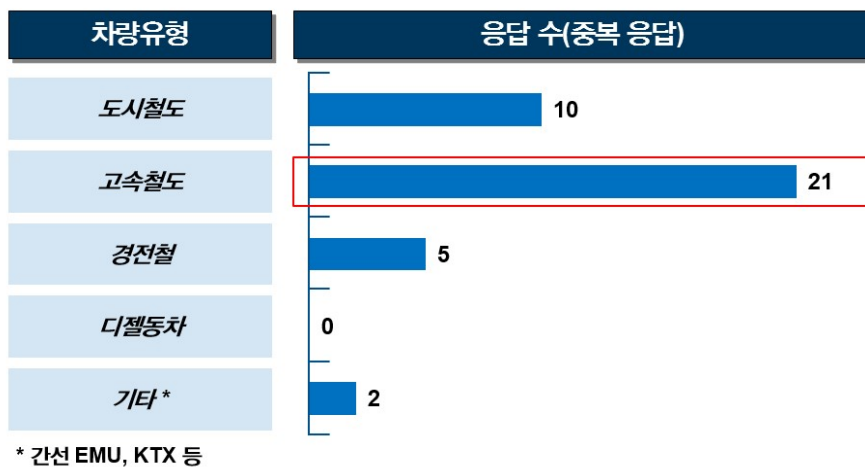
- ‘능동현가기술’ 이 가장 시급한 연구 분야로 조사되었으며, ‘능동제동 제어기술’, ‘능동추진 제어기술’, ‘스마트 센싱기술’ 또한 중요한 연구 분야인 것으로 분석
- ‘능동판토프로젝팅기술’, ‘능동틸팅기술’ 은 상대적으로 중요성이 떨어지는 분야로 조사



[그림 2.56] 스마트주행장치 분야의 연구 시급성이 높은 분야

(5) 적합한 적용 차량 유형(중복선택)

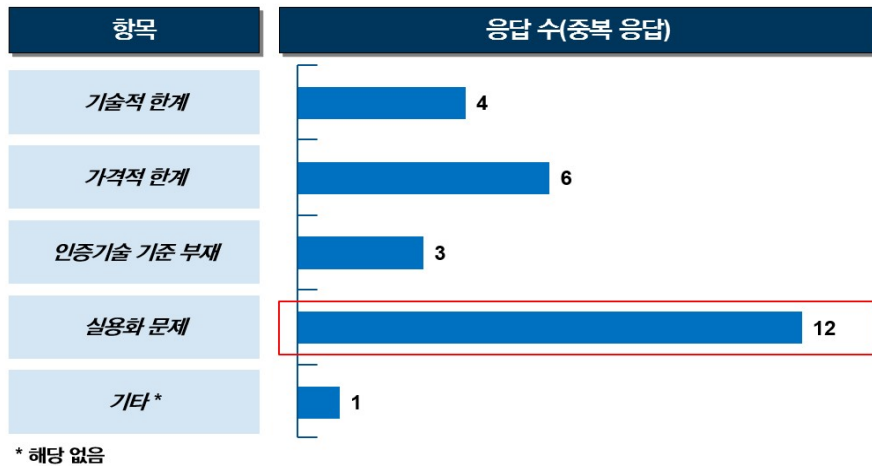
- ‘고속철도’ 유형이 가장 적합한 것으로 조사되었으며, ‘디젤동차’의 경우 가장 적합성이 떨어지는 유형으로 분석
- 기타 유형으로서 ‘간선EMU’, ‘KTX’ 등 제안



[그림 2.57] 스마트주행장치 분야의 적합 적용 차량 유형

(6) 기술의 현장 적용 시 애로사항(중복선택)

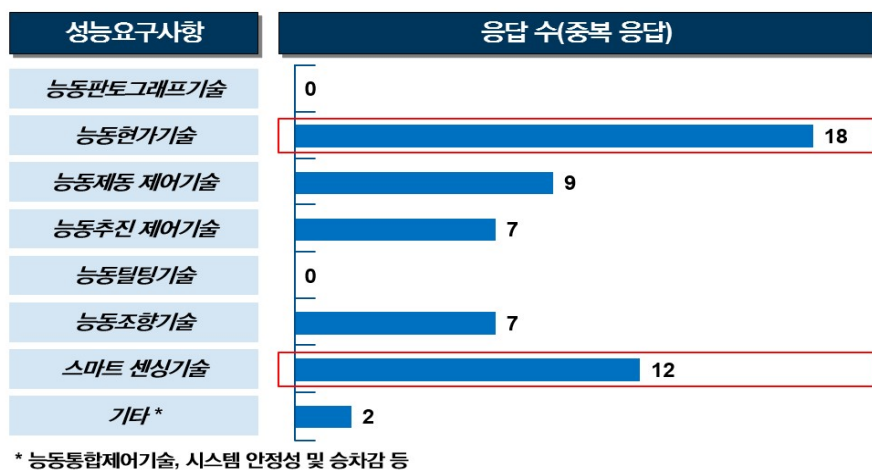
- ‘실용화 문제’가 현장 적용 시 가장 큰 애로사항인 것으로 조사
 - － 기 운행되고 있는 철도차량이 대부분임에 따라, 현장의 적용이 힘들 것으로 예상
- ‘가격적 한계’, ‘기술적 한계’ 등 항목 또한 주요 애로사항으로 분석



[그림 2.58] 스마트주행장치 분야의 현장 적용 시 애로사항

(7) 핵심요구사항(우선순위 고려)

- ‘능동현가기술’, ‘스마트 센싱기술’ 이 가장 중요한 핵심요구사항으로 조사되었고, ‘능동 판토틀그래프기술 및 틸팅기술’의 경우 우선순위가 다소 떨어지는 것으로 분석
- 지능적 센싱을 통해 사용자의 편리함을 추구하고자 하는 스마트주행장치 분야의 목적에 따라, 능동현가 및 스마트 센싱 관련 기술의 중요성이 높은 것으로 예상
- 기타 유형으로서 ‘능동통합제어기술’, ‘시스템 안정성 및 승차감’ 등 제안



[그림 2.59] 스마트주행장치 분야의 핵심요구사항

(8) 기대효과

- 주로 이용자의 편의성 측면, 유지보수 효율화 측면에서의 효과를 기대하는 것으로 분석
- (응답 내용) 승차감 향상, 여객 편의 서비스 개선 등 이용자 편의성 제고 및 유지보수 측면에서의 비용 절감 효과 기대

다. 제안과제 도출

- 스마트주행장치 분야의 기술수요 조사 결과, 총 30개의 관련 연구개발이 필요한 것으로 파악
- － 다방향 현가시스템, 충돌 안정성 확보, 지능형 고장진단 등 지능형 기술 기반의 30개 제안 과제 도출

[표 2.16] 스마트주행장치 분야 기술수요조사 제안과제 리스트

구분	제안과제(30개)
1	능동형 1차 상하방향 현가시스템 개발
2	능동형 2차 횡방향 현가시스템 개발
3	능동형 2차 상하방향 현가시스템 개발
4	능동형 현가장치 장애/고장 모니터링 기술 개발
5	승차감 향상을 위한 능동현가장치 통합 제어 기술 개발
6	곡선 주행성능 향상을 위한 능동 조향시스템 개발
7	300km/h급 능동 틸팅기술 개발
8	충돌 안전성 확보를 위한 차량 전두부 설계 기술 개발
9	충돌 안전성 확보를 위한 능동형 완충장치 기술 개발
10	제동거리 단축을 위한 감속도 기반 제동력 제어기술 개발
11	주행환경 감응형 스마트 제동력 분담 제어기술 개발
12	시각유지를 위한 고속영역 출력 부스팅 제어기술 개발
13	추진장치 냉각시스템 성능향상 기술 개발
14	추진시스템 허용제어 로직 기술 개발
15	추진장치와 연계한 회생제동 효율 극대화 기술 개발
16	열차 운행 속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어기술 개발
17	에너지 효율향상을 위한 Eco-Driving 추진 기술
18	지능형 고장진단제어 기능을 가지는 차량시스템(TCMS) 개발
19	열차 핵심부품의 실시간 모니터링 기술개발
20	주행환경 감응형 공조 시스템 제어 기술개발
21	개별좌석별 독립온도 제어 기술개발
22	고속주행 시 주행안정성 확보를 위한 공력 제어기술
23	주행저항 저감을 위한 유동 (플라즈마, Blow&Suction 등) 제어기술
24	주행저항 저감을 위한 가변 플랩 제어기술
25	능동형 판토틀레프 기술 개발
26	전력품질 향상을 위한 집전 제어기술 개발
27	실용화 확산을 위한 제도 및 법률지원 연구
28	선로구간 위험상황 감시시스템 기술개발
29	실시간 선로 이상상태 판단기술개발
30	빅데이터를 이용한 시설물 이력관리 시스템 개발

3. 기술예측조사

가. 조사 개요

(1) 조사 목적

- 철도 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여, 이를 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용

(2) 조사 기간 및 장소

- 2017년 3월 22일(수) ~ 24일(금), 한국철도기술연구원

(3) 조사 대상

- 스마트주행장치(VDC) 분야 산학연 전문가 6인

(4) 조사 절차 및 내용

- 기술 예측조사 대상기술 선정, 기술예측조사 수행, 후보과제 도출 프로세스에 따라 기술 예측조사 실시
 - (대상기술 선정) 유사·중복 과제 통합, 과제 적합성 평가 과정을 통해 기술예측 설문 조사 수행을 위한 대상기술 선정
 - (조사 수행) FGI를 통한 기술예측조사 실시 후 기술예측조사 결과 분석 수행
 - (후보과제 도출) 기술예측조사 결과를 바탕으로 후보과제 도출

[표 2.17] 기술예측조사 평가항목

조사 항목	내용
전문도	응답자의 해당 분야(기술)에 대한 기술적 전문도
중요도	해당 기술의 철도차량 실용화 기술, 사회경제 등의 발전에 미치는 영향 정도
기술 성숙도	해당 기술의 기술성숙도를 태동, 성장, 핵심, 기반 4단계로 구분
기술실현 예측시기	해당 기술의 실현 예측시기를 응답자가 직접 년도 선택
최고기술보유국	해당 예측기술에 대한 현재 기술수준이 가장 앞서있는 국가 선정
국내기술 수준	최고 기술 보유국 기술수준(100%) 대비 국내의 현재 기술수준의 정도
기술획득 방식	기술을 획득하기 위한 추진 방식 선택
실현상의 장애요인	해당기술을 실현하는데 장애가 되는 요인을 모두 선택

나. 대상기술 선정

(1) 유사·중복 과제 통합

- 스마트주행장치 분야는 유사·중복 과제 통합 과정을 거쳐 1차 도출 제안과제 수 30개에서 최종 제안 과제 수 12개로 축소
- 스마트현가시스템, 충돌 안정성 확보, 추진/제동 제어시스템, 실시간 선로 감지 시스템 등 공통 기술로 통합

[표 2.18] 유사·중복 제안 과제 통합

제안 과제	통합 과제명	통합 이유
능동형 1차 상하방향 현가시스템 개발	승차감 향상을 위한 스마트현가시스템 기술 개발	승차감 향상을 목적으로 차체의 진동을 저감하는 요소기술 통합개발하면 시너지 효과 상승
능동형 2차 횡방향 현가시스템 개발		
능동형 2차 상하방향 현가시스템 개발		
능동형 현가장치 장애/고장 모니터링 기술 개발		
승차감 향상을 위한 능동현가장치 통합 제어 기술 개발		
충돌 안전성 확보를 위한 차량 전두부 설계 기술 개발	능동형 충돌 안정성 확보 기술개발	열차 주행 시 충돌과 같은 열차사고와 관련된 기술로 통합개발이 가능하다고 판단
충돌 안전성 확보를 위한 연결기 및 완충장치 기술 개발		
제동거리 단축을 위한 감속도 기반 제동력 제어기술 개발	가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발	열차의 정시성 향상 관점에서 제동과 추진의 기술을 통합하여 개발하면 시너지 효과가 상승할 것으로 판단
주행환경 감응형 스마트 제동력 분담 제어기술 개발		
추진장치와 연계한 회생제동 효율 극대화 기술개발		
시각유지를 위한 고속영역 출력 부스팅 제어기술 개발		
추진장치 냉각시스템 성능향상 기술 개발		
추진시스템 허용제어 로직 기술 개발		
열차 운행 속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어기술 개발		
에너지 효율향상을 위한 Eco-driving 추진기술	고속열차 지능형 HAVC (공조) 시스템 기술개발	공조시스템 관련 기술로 통합 개발이 유리할 것으로 판단
주행환경 감응형 공조 시스템 제어 기술개발		
개별좌석별 독립온도 제어 기술개발		

제안 과제	통합 과제명	통합 이유
고속주행 시 주행안정성 확보를 위한 공력 제어기술	고속열차 유동 능동제어 기술개발	열차주위의 유동특성은 주행저감 및 주행안정성 등에 영향을 주는 인자로서 통합 개발이 효과적
주행저항 저감을 위한 유동 (플라즈마, Blow & Suction 등) 제어기술		
주행저항 저감을 위한 가변 플랩 제어기술		
능동형 판토품 기술 개발	능동형 판토품 기술 개발	집전 제어기술이 능동형 판토품 기술의 요소로 통합 개발
전력품질 향상을 위한 집전 제어기술 개발		
선로구간 위험상황 감시시스템 기술개발	실시간 선로 감시시스템 기술개발	전체적으로 안전을 위한 선로 상태 확인 기술로 통합개발 효과적이라고 판단
실시간 선로 이상상태 판단기술개발		
빅데이터를 이용한 시설물 이력관리 시스템 개발		

(2) 과제 적합성 평가

- 최종 후보과제 선정을 위해 각 제안과제에 대해 목표 부합성 및 인프라 적정성에 대한 평가 수행

[표 2.19] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과

제안 과제명	평가 결과		최종 선정여부
	목표 부합성	인프라 적정성	
승차감 향상을 위한 스마트현가시스템 기술 개발	상	상	선정
곡선 주행성능 향상을 위한 능동 조향시스템 개발	중	하	제외
300km/h급 능동 틸팅기술 개발	중	중	선정
능동형 충돌 안정성 확보 기술개발	중	하	제외
가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발	상	상	선정
지능형 고장진단제어 기능을 가지는 차량시스템(TCMS) 개발	중	하	제외
열차 핵심부품의 실시간 모니터링 기술개발	중	하	제외
고속열차 지능형 HAVC(공조) 시스템 기술개발	중	중	선정
고속열차 유동 능동제어 기술개발	중	중	선정
능동형 판토품 기술 개발	중	중	선정
실용화 확산을 위한 제도 및 법률지원 연구	하	하	제외
실시간 선로 감시시스템 기술개발	중	하	제외

- 스마트주행장치 분야는 평가를 거쳐 총 12개의 제안과제 중 6개의 최종 후보과제를 선정하였으며, 이후 후보과제를 대상으로 기술예측조사를 수행

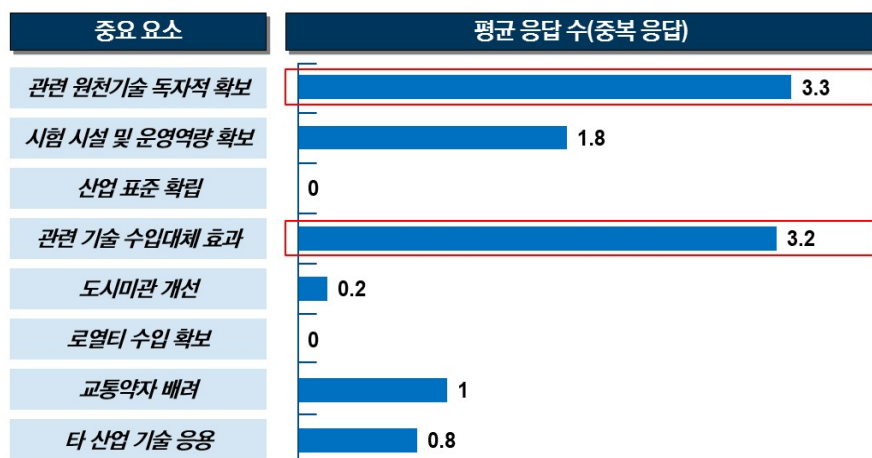
[표 2.20] 최종 후보과제 선정 결과

과제번호	후보 과제
B-01	가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발
B-02	고속열차 지능형 HAVC(공조) 시스템 기술개발
B-03	고속열차 유동 능동제어 기술개발
B-04	승차감 향상을 위한 스마트현가시스템 기술 개발
B-05	300km/h급 능동 틸팅기술 개발
B-06	능동형 판토품 기술 개발

다. 조사 결과 분석

(1) 철도차량 기술 및 사회·경제 발전 측면의 중요 요소(중복선택)

- ‘관련 원천기술 독자적 확보’, ‘관련 기술 수입대체 효과’가 중요 요소로 조사됨에 따라, 현재 수입 기술에 대한 의존성이 높은 상황인 것으로 분석

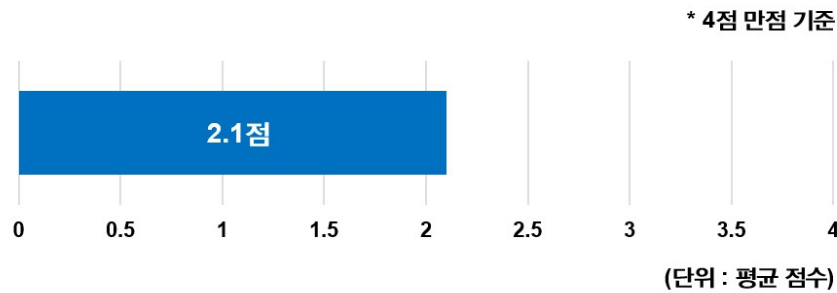


[그림 2.60] 스마트주행장치 분야 기술 및 사회·경제 측면의 중요 요소

(2) 기술성숙도 수준(4점 척도 기준 평가)

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

- 평균 2.1점으로 조사됨에 따라, 초기 성장단계인 것으로 분석



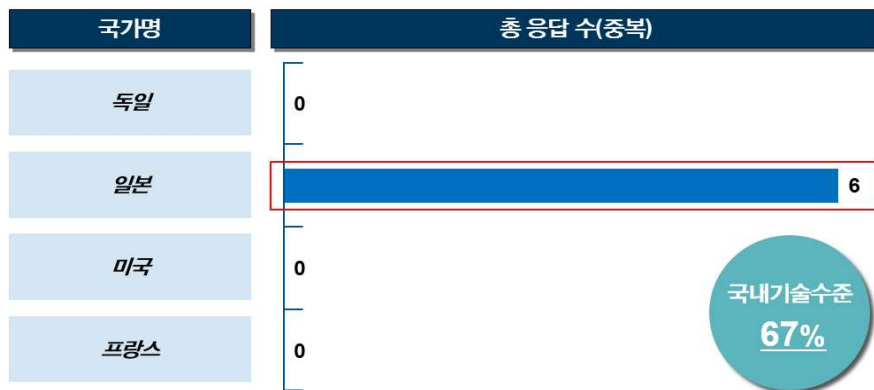
[그림 2.61] 스마트주행장치 분야의 기술 성숙도 수준

(3) 기술 예상 실현 시기

- 평균 2023년에 실현 가능할 것으로 조사됨에 따라, 타 분과 대비 기술 구현을 위한 적극 노력이 필요할 것으로 예상

(4) 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준(중복선택)

- 스마트주행장치 분야의 최고기술 보유국은 일본이라는 응답이 가장 많았으며, 일본 대비 국내기술수준은 67%에 불과한 것으로 응답
 - 일본 외 우수한 기술 수준을 갖춘 국가는 없는 것으로 조사



[그림 2.62] 스마트주행장치 분야의 최고기술 보유국 및 국내 기술 수준

- 세부 과제별 최고기술 보유국 또한 일본이 가장 많은 1순위로 나타났으며, 최고기술 보유국 대비 국내기술수준은 ‘고속열차 지능형 HAVC(공조) 시스템 기술개발’ 이 76%로 가장 근접
 - 반면 ‘고속열차 유동 능동제어 기술개발’ 은 58%로서 가장 취약한 것으로 조사

[표 2.21] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과

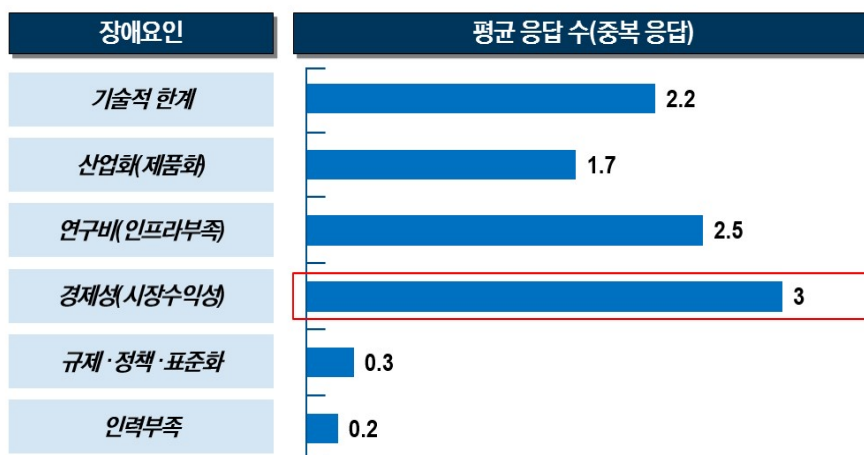
과제 번호	후보과제	최고기술 보유국		국내 기술수준 (평균)
		1순위	2순위	
B-01	가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발	일본	유럽, 프랑스	61%
B-02	고속열차 지능형 HAVC(공조) 시스템 기술개발	일본	독일	76%
B-03	고속열차 유동 능동제어 기술개발	일본	유럽, 미국, 프랑스, 중국	58%
B-04	승차감 향상을 위한 스마트현가시스템 기술 개발	일본	스페인, 프랑스, 독일	69%
B-05	300km/h급 능동 틸팅기술 개발	일본	독일	72%
B-06	능동형 판토품 기술 개발	일본	프랑스	68%

(5) 기술획득 선호 방식

- 총 6명의 전문가 중 평균 3.3명이 ‘민간정부협력’ 을 선택함으로써, 민간과 정부의 공동 노력을 통한 기술연구의 필요성이 가장 높은 것으로 분석

(6) 장애요인 현황(중복선택)

- ‘시장수익성’ 이 가장 큰 장애요인으로 조사됨에 따라, 기술이 적용되어 수요가 확산될 수 있는 시장 발굴이 필요할 것으로 예상
- ‘기술적 한계’ , ‘제품화’ , ‘연구비(인프라부족)’ 등 요인도 큰 장애요소로 분석



[그림 2.63] 스마트주행장치 분야의 장애요인 현황

4. 우선순위조사

가. 조사 개요

(1) 목적

- 본 연구과제에 부합하는 과제의 기획 및 발굴을 위해 전략성과 기술성, 경제성과 파급성 등을 감안하여 우선적으로 연구·개발 되어야 할 기획과제 선정

(2) 평가지표

- 우선순위 도출을 위해 본 연구과제의 특성을 감안하여 전략성, 기술성, 경제성, 파급성 등 4대 항목으로 평가지표 구성
 - － 4대 평가항목에 대해 각각 2개의 세부 평가지표로 구성

[표 2.22] 우선순위조사 평가지표 항목

평가항목	평가지표	소항목 개념
전략성	전략과의 부합성	정부의 중장기 R&D 전략 및 본 기획과제 추진전략에 부합되는 정도
	전략적 시급성	사회적, 정책적, 기술적 변화에 의해 해당 기술의 수요가 증가할 것으로 예상됨에 따른 해당 기술 개발의 시간적 시급 정도
기술성	기술 실현성	현재 기술수준, 연구개발역량 등을 고려할 때 해당 기술의 실현 가능성
	기술 우위성	해당 기술의 독창성 및 연구분야에의 기여 수준
경제성	사업화 가능성	해당 기술이 개발된 후 실제 철도에 도입되는 사업화 가능 정도
	수익성	해당 기술의 개발투자비 대비 기술로 인한 수익 창출 정도
파급성	과학기술적 파급성	과학적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면에서의 기여도
	사회공공적 파급성	사회문제 해결 및 공익 측면에서의 기여도

(3) 조사 방법 및 절차

- 최종 확정된 후보과제에 대한 평가를 통해 후보과제별 우선순위 조사
 - － (1단계) 평가지표에 대한 가중치 선정을 위해 AHP 기법을 적용
 - AHP : 정확한 결과 도출을 위해 과제별 우선순위 결과에 쌍대비교를 통한 가중치를 적용하는 기법
 - － (2단계) 후보과제에 대한 평가지표 항목에 대한 7점 척도 평가 수행
 - 7점 척도 기준 : 매우 크다(7점), 크다(6점), 다소 크다(5점), 보통(4점), 다소 작다(3점), 작다(2점), 매우 작다(1점)

- (3단계) 2단계 후보과제 평가 결과에 평가지표 가중치를 반영하여 7점 만점으로 환산
- (4단계) 평가결과 7점 만점 중 5.5점 이상인 과제를 최종 연구과제로 선정

(4) 조사 대상 과제 목록

- 기술수요조사 및 기술예측조사를 통해 도출된 총 6개의 스마트주행장치(VDC) 분야의 후보과제에 대한 우선순위 조사를 수행

[표 2.23] 스마트주행장치 분야 우선순위 조사 과제 리스트

과제번호	후보과제명
B-01	가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발
B-02	고속열차 지능형 HAVC(공조) 시스템 기술개발
B-03	고속열차 유동 능동제어 기술개발
B-04	승차감 향상을 위한 스마트현가시스템 기술 개발
B-05	300km/h급 능동 틸팅기술 개발
B-06	능동형 판토틀라프 기술 개발

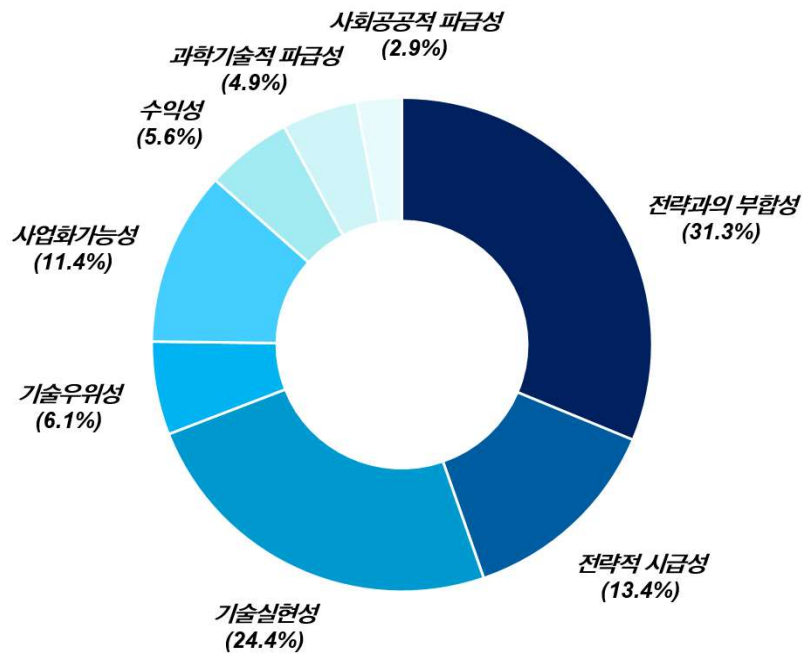
나. 조사 결과

(1) 평가지표 가중치

- 우선순위 평가기준 가중치 중 전략성이 44.7%로 가장 높은 것으로 조사됨
 - 전략성 이외에 기술성(30.5%), 경제성(17.0%), 파급성(7.8%) 순으로 도출
- 세부 평가지표 중에서는 전략과의 부합성이 31.3%로 매우 중요한 것으로 조사됨
 - 전략과의 부합성 외 세부 평가지표 중에서는 기술 실현성(24.4%), 전략적 시급성(13.4%), 사업화 가능성(11.4%)의 순으로 중요한 것으로 조사됨
- 분야의 특성상 전략 타 분야 대비 경제성 분야에 대한 가중치가 높은 것으로 나타남

[표 2.24] 우선순위조사 평가지표 항목

평가항목	전략성		기술성		경제성		파급성		합계
평가지표	전략과의 부합성	전략적 시급성	기술 실현성	기술 우위성	사업화 가능성	수익성	과학기술적 파급성	사회공공적 파급성	
가중치	31.3%	13.4%	24.4%	6.1%	11.4%	5.6%	4.9%	2.9%	100%
소계	44.7%		30.5%		17.0%		7.8%		100%



[그림 2.64] 스마트주행장치 분야의 우선순위 평가기준 가중치

(2) 우선순위 조사 결과

- 스마트주행장치 분야 6개 후보과제에 대한 평가지표별 절대평가(7점 척도) 점수에 평가지표별 가중치(AHP)를 반영하여 다음과 같이 최종 평가점수 및 순위를 도출

[표 2.25] 스마트주행장치 분야 우선순위 조사 결과

평가 지표 과제 번호	전략성		기술성		경제성		파급성		결과	
	전략과의 부합성	전략적 시급성	기술 실현성	기술 우위성	사업화 가능성	수익성	과학기술적 파급성	사회공공적 파급성	합계	순위
B-01	1.9	0.7	1.5	0.3	0.7	0.3	0.3	0.1	5.9	2
B-02	1.5	0.7	1.4	0.3	0.6	0.3	0.2	0.2	5.1	4
B-03	1.3	0.6	0.9	0.3	0.5	0.2	0.3	0.1	4.3	6
B-04	2.0	0.8	1.4	0.3	0.7	0.3	0.3	0.2	6.1	1
B-05	1.4	0.6	1.3	0.3	0.5	0.2	0.3	0.1	4.8	5
B-06	1.6	0.7	1.3	0.3	0.7	0.3	0.3	0.1	5.2	3

- 평가결과 5.5점 이상인 2개 후보과제를 최종 연구과제로 선정

[표 2.26] 스마트주행장치 분야 최종 연구 과제

순위	과제번호	후보과제명	과제 내용
1	B-04	승차감 향상을 위한 스마트현가 시스템 기술 개발	• 능동형 1차 상하방향 현가시스템 개발 • 능동형 2차 횡방향 현가시스템 개발 • 능동형 2차 수직방향 현가시스템 개발 • 능동형 2차 현가장치 통합 제어 기술 개발 • 능동형 현가장치 장애/고장 모니터링 기술 개발
2	B-01	가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발	• 제동거리 단축을 위한 감속도 기반 제동력 제어기술 개발 • 주행환경 감응형 스마트 제동력 분단 제어기술 개발 • 시각유지를 위한 고속영역 출력 부스팅 제어기술 개발 • 추진장치 냉각시스템 성능향상 기술 개발 • 추진시스템 허용제어 로직 기술 개발 • 추진장치와 연계한 회생제동 효율 극대화 기술 개발 • 열차 운행 속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어기술 개발 • 에너지 효율향상을 위한 Eco-driving 추진 기술 개발

- 산학연 철도 전문가들에게 현재 기술수요조사 실시 중에 있으며, 기술수요조사 후 연구 개발 우선순위를 도출하기 위한 분석 수행 예정

Confidential

‘스마트 철도 핵심기술개발’ 을 위한 기술수요조사

(주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술)

안녕하십니까?

한국철도기술연구원에서는 스마트철도 핵심기술개발을 위해 정부 R&D 사업을 기획 중에 있습니다.

본 전문가 수요조사는 철도기술연구원에서 개발 예정인 주행환경 감응형 스마트 주행장치 (Vehicle Dynamic Control)기술 개발의 핵심기술을 도출하기 위한 조사입니다.

금번 조사를 통해 ‘주행환경 감응형 스마트 주행장치(Vehicle Dynamic Control)기술 개발’ 과제의 세부 적용분야를 파악하고, 철도건설 및 운영기관, 철도산업계에서 필요로 하는 기술 요구 사항 및 활용 분야 등을 파악하는데 활용하고자 합니다.

위원님의 성실한 답변은 동 기획의 중요한 자료로 활용될 예정이며, 기획과제 이외의 목적으로는 사용되지 않을 것이며, 통계법 제33조(비밀의 보호)에 따라 개인 신상 정보는 엄격히 보호되어질 것입니다.

본 조사에 관한 문의사항이 있으시면, 아래의 수요조사 담당자에게 연락부탁드립니다.

○ 수요조사 담당자

- 한국철도기술연구원 신유정 박사 (031-460-5261, yjshin@krti.re.kr)

2017. 02. 16

주관연구기관 : 한국철도기술연구원

< 응답자 정보 >

성명		성별		연령	
소속기관/부서		E-mail			
직위		연락처(휴대폰)			

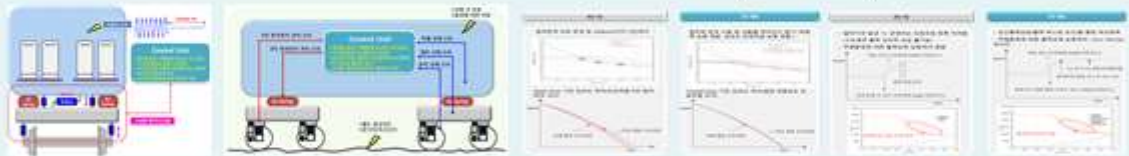
1

주행환경 감응형 스마트 주행장치(Vehicle Dynamic Control)
핵심기술 일반사항

1) 연구 목표 및 핵심 개념

○ 승객편의성 향상을 위한 고속열차 VDC(Vehicle Dynamic Control)기술 개발

- 선로 취약구간 승차감 향상(기존대비 30% 이상)을 위한 스마트 현가시스템 개발
- 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 개발(제동거리 10%감소, 순간출력 10% 상승)



<스마트 현가시스템> <실시간 주행환경 모니터링 시스템> <능동형 감속특성(제동) 향상 기술> <능동형 가속특성(추진) 향상 기술>

2) 연구개발 필요성 : 기술적, 경제적, 정책적 측면 등

○ 세계 고속철도차량 시장 진출 및 영역확보를 위한 세계시장 선도형 연구개발 필요

- 세계 시장에서의 주요 경쟁지표인 승차감 및 정시성 분야에서 국내 수준은 해외 최고수준 대비 미흡하여 이를 극복할 수 있는 기술개발 필요

○ 미래 철도운영 환경의 변화에 대응하기 위한 기술개발 필요

- 고속철도 수송수요 증가에 따른 선로용량 한계를 극복하기 위한 방안 강구 필요 (시설투자 최소화로 선로용량의 증대)
- 기계요소 위주의 기존 철도차량 설계방식으로는 주행성능 고도화 한계 도달, 전기전자기술, 정보통신기술과 융합한 지능형 차량제어 기술 필요

○ 이용자의 만족도를 향상(원하는 시간, 빠르고, 편하고 안전하게)시키고, 운영자의 효율을 향상(수요대응, LCC 저감, 안전)시키는 기술 개발이 필요

3) 연구개발에 따른 기대효과

○ 경제적 효과

- 국내 고속열차 기술의 해외시장 경쟁력 확보 및 시장진출을 통해 글로벌 시장 점유율 확대

○ 기술적 효과

- 주행환경 감응형 고속열차 주행 핵심장치(현가/추진/제동) 개발을 통하여 국내 고속열차 기술의 고부가가치화 및 해외시장 경쟁력 확보가 가능할 것으로 예상
- 지능형 차량 주행핵심장치 능동제어기술은 유럽 선진업체만이 가지고 있거나 아직 개발이 이루어지지 않은 고도의 기술로서 R&D를 통해 국내 고유기술 확보 및 세계시장 선도 가능

○ 정책적 효과

- 「철도산업발전기본법」에 따라 수립된 제 3차 철도산업발전기본계획의 철도 수송분담률 27% 달성 및 철도수송 효율 15% 향상, 철도건설 및 운영유지비 5% 절감 등의 중기목표를 달성하는데 크게 기여

1. 귀하(귀사)는 산업기술분야에서 구체적으로 어떤 업무를 수행하고 계십니까?

2. 철도차량분야에서 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술이 중요하다고 생각하십니까?

① 예(이유 :) ② 아니오

3. 철도차량의 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술 또는 유사한 기술을 현업에 활용하고 계십니까?

① 예(분야 :) ② 아니오

4. 최근 산업기술 또는 철도차량분야에서 가장 활발하게 적용되고 있는 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)는 어떤 기술이라고 생각하십니까?

5. 다음의 철도차량의 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술 중 가장 시급하게 연구되어야 할 분야는 어떤 것이라고 생각하십니까?(중복응답가능)

① 능동판토크그래프기술 ② 능동현가기술 ③ 능동제동 제어기술 ④ 능동추진 제어기술
⑤ 능동틸팅기술 ⑥ 능동조향기술 ⑦ 스마트 센싱기술 ⑧ 기타 ()

6. 귀하(귀사)는 철도차량의 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술 개발이 필요하다고 생각하십니까?

① 예 ② 아니오

7. 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술이 적용되기 적합한 철도차량은 무엇이라고 생각하십니까? (중복선택가능)

① 디젤동차 ② 경전철 ③ 고속철도 ④ 도시철도 ⑤ 기타 ()

8. 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술을 적용한 철도차량의 성능요구사항에 어떤 항목이 중요하다고 생각하십니까?(순서대로 번호로 표기해 주십시오)

안정성 () 안전성 () 신뢰성 () 효율성 () 기타 ()()

9. 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술을 적용한 철도차량 개발 시 핵심 성능요구사항은 어떤 것이라고 생각하십니까?

① 능동판토틀로그기술 ② 능동현가기술 ③ 능동제동 제어기술 ④ 능동추진 제어기술
⑤ 능동틸팅기술 ⑥ 능동조향기술 ⑦ 스마트 센싱기술 ⑧ 기타 ()

10. 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술을 적용한 철도차량 개발 시 문제점과 그 이유는 무엇이라고 생각하십니까?

① 기술적 한계 ② 가격적 한계 ③ 인증기술 기준 부재
④ 실용화 문제 ⑤ 기타 ()

※ 이유

--

11. 귀하가 알고 계신 국내외 관련 기술 보유 기관 또는 제작사가 있으시면 작성해 주시기 바랍니다. (5번 문항의 기타답변이 있다면 기타에 작성바랍니다.)

항목	기술 분야	보유기관(제작사)/분야 (작성가능부분만 작성)
1	능동판토크그래프기술	/
2	능동현가기술	/
3	능동제동 제어기술	/
4	능동추진 제어기술	/
5	능동틸팅기술	/
6	능동조향기술	/
7	스마트 센싱기술	/
8	기타 ()	/

12. 귀하가 알고 계신 국내외 관련 기술 전문가 있으시면 작성해 주시기 바랍니다. (5번 문항의 기타답변이 있다면 기타에 작성바랍니다.)

항목	기술 분야	보유기관(제작사)/분야 (작성가능부분만 작성)
1	능동판토포그래프기술	/
2	능동현가기술	/
3	능동제동 제어기술	/
4	능동추진 제어기술	/
5	능동틸팅기술	/
6	능동조향기술	/
7	스마트 센싱기술	/
8	기타 ()	/

13. 귀하(귀사)는 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술을 활용 시 기대되는 효과는 무엇이라고 생각하십니까?

➤ 세부효과 예 : 에너지 효율화, 유지보수 효율화, 운전자 지원, 여객편의 서비스 개선, 화물운송/물류 효율화, 고장감시 효율화, 건설비 절감, 운영비 절감, 재해감시 및 대응, 열차운행 효율화, 기타 등

--

14. 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술의 각 분야별 활용 시 세부적인 활용방안으로는 어떤 방안들이 있습니까?(설치, 운영, 유지보수 관점)

차량	
시설	
전력	
운영	
안전	

15. 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술의 적절한 연구개발 예산 및 기간은 어느 정도로 생각하십니까?

- ① 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발 (백만원 / 년)
 ② 감/가속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발 (백만원 / 년)

2 | 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술 관련 수요 조사

☞ 철도 기술발전에 기여 가능한 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술 관련하여 필요한 기술 개발을 위한 연구과제 제안

16. 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술 개발을 위하여 귀하(귀사)가 필요하다고 생각하는 연구과제는 무엇입니까?

☞ 제안하는 기술의 핵심사항, 연구 목표, 연구개발 결과물에 대해 기술해주시기 바랍니다.

--

17. 제안하는 기술의 경제적·산업적 중요성 측면에서 국내 기술개발 효과 및 정부지원의 필요성, 민간부분과의 역할분담 등에 대해 구체적으로 기술해주시기 바랍니다.

국내 기술개발 효과	
정부지원의 필요성	
민간부분과의 역할분담	

18. 제안해주신 연구개발과제로 예상되는 기대효과 및 경제적·기술적·정책적 파급효과 등을 작성해 주십시오.

--

19. 제안해주신 연구개발과제를 위해 소요될 것으로 예상되는 기간 및 예산을 작성해주십시오.

예산		백만원	기간		년
----	--	-----	----	--	---

설문에 응답해 주셔서 감사합니다.

5절 유사과제분석 및 기존기술(연구)와의 차별성

1. 과제 중복성 및 연관성

○ 분산형고속열차 진동성능 및 활주방지장치 고도화 기술개발(`17~`19)

- 상과제제의 진동성능 개선은 분산형고속열차의 현가시스템을 최적화하여 승차감을 개선하는 설계기술로서, 국내 고속열차기술의 해외진출을 위한 조속한 실용화('20)에 초점
- * 상과제제의 현가시스템의 특성치는 고정으로 (passive system), 동일 선로조건에서 해외대비 동등 이상으로 향상된 승차감 확보를 목표로 함
- 반면에 주행환경 감응형 스마트 현가시스템은 현가시스템의 능동제어를 통하여 선로상태에 상관없이 일정한 주행안정성/승차감 특성을 확보하는 것을 목표로 함
- * 능동 (Active) 제어 현가시스템은 현가요소 특성이 가변되어 제한된 선로상태에서도 동등 수준의 주행안정성 확보 가능
- 또한 ICT기반 통합 스마트 차량동적제어(Vehicle Dynamic Control) 기술은 철도 선진국에서 아직 시도된 바가 없는 선도 기술로서, 기술개발 및 실용화를 위한 준비 시간 필요

○ 철도차량용 능동현가장치 기술개발(`10~`15)

- 중·고속 철도차량의 기존대비 승객 체감진동 40% 저감을 목표로 능동현가장치를 개발하여 실제 선로환경에서 주행시험을 마치고 목표성능 검증 완료
- * 개발된 능동현가장치는 횡방향 승차감 향상을 목적으로 능동(Active) 제어하는 기술임 (TRL 6)
- 본 과제는 스마트 차량동적제어(Vehicle Dynamic Control)를 위한 여러 요소장치와 통합제어기술 개발을 목표로 하며, 개발된 횡방향 능동현가장치는 여러 요소기술 중에 일부로서 활용 예정

유사과제 검색결과					
검색일시		2016.12.29 21:03			
검색범위		기 수행과제 + 타인등록과제 + 공공R&D과제			
기준유사도		60			
검색결과 요약		등록과제 수		유사과제여부	
		1 건		0 건	
세 부 검 색 결 과					
순번	과 제 명	연구 책임자	유사과제여부		
			기수행과제	타인등록과제	공공 R&D과제
1	실시간 주행환경 감응형 스마트 Vehicle Dynamic Control 핵심기술 개발	박준혁	X	X	X
국가과학기술지식정보서비스					
주1) 기수행과제 : 국가연구개발사업으로 이미 수행되거나 수행되고 있는 과제(조사분석 수집 과제) 주2) 타인등록과제 : 다른 사용자가 유사과제 여부를 판단하기 위해 등록한 과제 주3) 공공R&D과제 : 공공기관에서 수행하는 과제 중 국가 R&D 예산으로 수행된 과제를 제외한 그 외 R&D 과제 주4) 기준유사도 : 유사과제라고 판단될 최소 기준이 되는 유사도 점수					
상기 내용은 과제개요 내 주요 텍스트 비교를 통한 1차적인 유사과제 결과이며, 최종적인 과제의 유사여부는 발주기관의 연구심의위원회에서 결정됩니다.					
국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스					

6절 국내 연구개발 인프라 분석

1. 연구인력 인프라

가. 철도기술 연구개발 인력

- 국책 연구소인 철도기술연구원의 경우, 독자적 연구능력을 갖춘 263인의 연구인력을 포함하여 304인의 정규직을 보유하고 있다. 도시형자기부상열차 실용화사업을 주도하는 한국기계연구원의 경우 294명의 연구인력 중 자기부상열차 분야에 종사하는 연구인력은 10여명 수준이다.
- 민간업체의 철도 연구개발 인력 규모는 전체 종사자(약 4천인으로 추정)의 10~15% 수준인 4백~6백인으로 추정된다.
- 철도전공을 개설한 고등교육기관의 학과 수는 36개로서 학과 당 전임교수 규모는 약 2~3인 수준이므로 전임교수 인력은 약 70~100인 수준이다. 따라서 철도관련 산학연 전체의 연구개발 인력 규모는 최대 1천인 미만으로 추정된다.

[표 2.27] 철도 연구개발 인력 현황

구분	추정 규모	주요 기관
국책연구원	280인 내외	철도기술연구원(263인), 기계연구원, 전기연구원 등
민간산업체	400~600인	현대로템(290인), 우진산전, 삼표ENC 등
고등교육기관	70~100인	철도대학(21인), 우송대학, 철도전문대학원 등
합계	750~980인	

나. 연구개발 인력 구성

- 철도차량 연구개발을 수행하고 있는 전문인력은 수도권 소재 대학의 기계공학, 전기전자 공학을 졸업한 경우가 다수이다. 지방소재 국립대학을 졸업할 경우, 철도 제조업체 부설 기술연구소에 소속되는 비중이 증가하고 있다.

[표 2.28] 철도 연구개발 전공 분야 현황 사례조사

(단위: %)

구분	기계	전기전자 제어통신	토목	기타
철도기술연구원	32	31	19	18
현대로템 기술연구소	45	45	-	1
유진기공산업 기술연구소	97	3	-	-

다. 연구 인력 양성 현황

- 우리나라에서 철도전공을 개설하는 고등교육기관은 전문대 7개, 일반대학 4개, 대학원 2개이나 대부분 단순 기능인력 양성 위주로 운영되고 있으며, 철도 연구 인력을 양성하는 대학교는 관련 전문 대학원을 운영하고 있는 서울산업대학교, 우송대학교, 한국 철도대학이 유일하나, 국내 유일의 철도전문연구기관인 한국철도기술연구원의 경우 국내외 다양한 전공의 박사인력을 흡수하여 상대적으로 열악한 국내 철도 연구인력 수급을 보충하고 있다.

[표 2.29] 국내 철도 교육기관 현황

구분		설립 연도	입학정원 (명)	개설학과 수	소재지
전문 대학원	서울산업대학교 철도전문대학원 (국립)	2002년	석사과정 50명 박사과정 20명	5 (철도경영정책학과, 철도신호전기학과, 철도건설공학과, 철도차량공학과, 철도문화디자인학과)	서울
	우송대학교 (사립)	2005년	학부 390명 석사과정 40명 박사과정 5명	5 (철도경영학과, 철도차량시스템학과, 철도전기신호학과, 철도건설환경공학과, 운송물류학과)	대전
대학교	동양대학교 (사립)	2005년	56	4 (철도운전제어학과, 철도차량학과, 철도경영학과, 철도토목학과)	경북 영주
	경일대학교 (사립)	1997년	34	1 (철도기술학부, 철도경영학부)	경북 경산
	경주대학교 (사립)	2006년	30	1 (철도건설환경공학과)	경북 경주
	청운대학교 (사립)	1995년	40	1 (철도행정토목학과)	충남 홍성
	한국철도대학 (국립)	1977년	592	7 (철도운수경영과, 철도경영정보과, 철도운전기전과, 철도차량기계과, 철도시설토목과, 철도전기제어과, 철도차량전기과)	경기도 의왕
전문 대학	경북전문대학 (사립)	2003년	210	4 (철도전기과, 철도행정전산학과, 철도경영학과, 철도전자과)	경북 영주
	국제대학 (사립)	1997년	80	1 (철도전기과)	경기도 평택
	서라벌대학 (사립)	2004년	40	1 (고속철도전기과)	경북 경주
	송원전문대학 (사립)	1996년	18	1 (철도운수경영학과)	전남 광주
	카톨릭 상지전문대학 (사립)	2006년	30	3 (철도전기과, 철도기관사과, 철도통신과)	경북 안동
	순천제일대학 (사립)	1977년	30	1 (철도운수경영과)	전남 순천
	대구공업대학 (사립)	1975년	130	1 (철도전기전공과)	대구

2. 연구 기자재 인프라

가. 추진시스템 연구 인프라

(1) 한국철도기술연구원

- 한국철도기술연구원은 고속철도연구본부 내 추진시스템연구팀을 운영하면서 고속철도의 추진시스템 성능 향상을 위한 연구를 수행하고 있음
- 또한 한국철도기술연구원은 추진장치시험장비 및 견인전동기 시험장비 등 대형 시험장비를 운영하고 있어 관련 연구를 수행할 수 있는 충분한 인프라를 보유하고 있다고 판단 됨. 또한 철도기술연구원은 하기 대형장비를 포함하여 총 345식의 연구장비를 보유하고 있어 충분한 철도기술 연구역량을 가지고 있음



[그림 2.65] 추진장치 성능시험장비



[그림 2.66] 견인전동기 성능시험기

나. 제동시스템 연구 인프라

(1) 한국철도기술연구원

- 한국철도기술연구원은 고속철도연구본부 내 고속열차연구팀 등에서 제동관련 연구를 수행하고 있음
- 또한 한국철도기술연구원은 제동성능 시험기 및 고속레일 차륜 접촉시험기 등 제동 관련 대형 시험장비를 운영하고 있어 관련 연구를 수행할 수 있는 충분한 인프라를 보유하고 있다고 판단 됨



[그림 2.67] 제동성능 시험기



[그림 2.68] 고속레일 차륜접촉 시험기

(2) 유진기공산업

- 유진기공산업 국내 철도차량의 제동관련 시스템을 납품하는 종합 제동장치 회사로서 기초제동시험용 최고속도 430km/h급 다이나모미터, 대차취부 제동장치의 신뢰성을 평가하는 진동신뢰성 시험기, 제동제어장치의 고온/저온 신뢰성을 테스트하는 대형 환경 챔버 등을 보유하고 있어 제동시스템 연구를 위한 충분한 연구 인프라를 확보하고 있음



[그림 2.69] 유진기공산업 다이나모미터



[그림 2.70] 유진기공산업 진동신뢰성 시험기

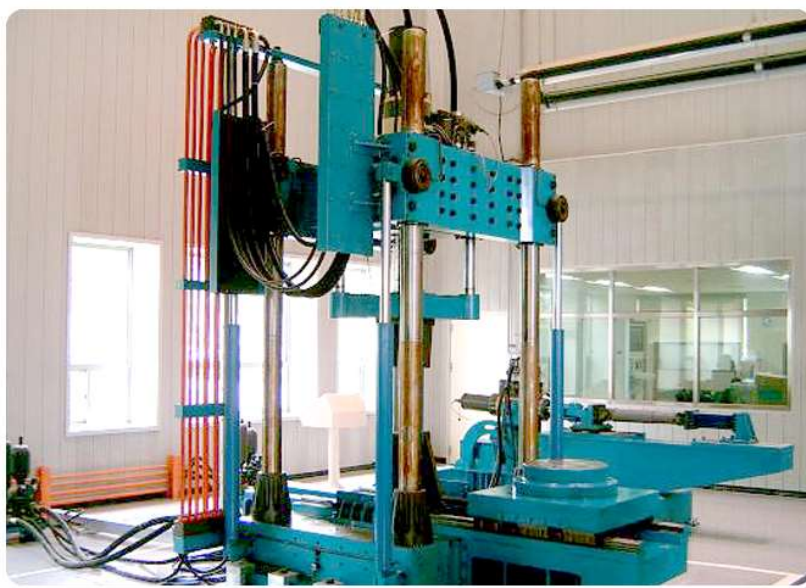


[그림 2.71] 유진기공산업 대형 환경 챔버

다. 현가시스템 연구 인프라

(1) 한국철도기술연구원

- 한국철도기술연구원은 철도차량의 현가장치에 대한 단품 성능시험이 가능한 철도차량용 스프링/댐퍼 시험기를 보유하고 있으며, 현가장치의 단품 성능 인증관련 시험 및 연구를 수행하고 있음



[그림 2.72] 단품시험에 활용될 철도차량용 스프링/댐퍼 시험장비

- 또한 한국철도기술연구원은 철도차량의 주행안정성, 진동성능, 승차감 등 기본적인 동적 특성을 시험 평가하는 대차동특성주행시험기(Bogie Dynamic Simulator)를 보유하고 있어 실제선로에서의 시험이 어려운 여러 동적성능시험을 수행하기 위한 충분한 인프라를 갖추고 있음



[그림 2.73] Lab. base 주행특성 시험에 활용될 대차 동특성 주행시험기

라. 종합 차량 시험 인프라

(1) HEMU-430X 고속시험 차량

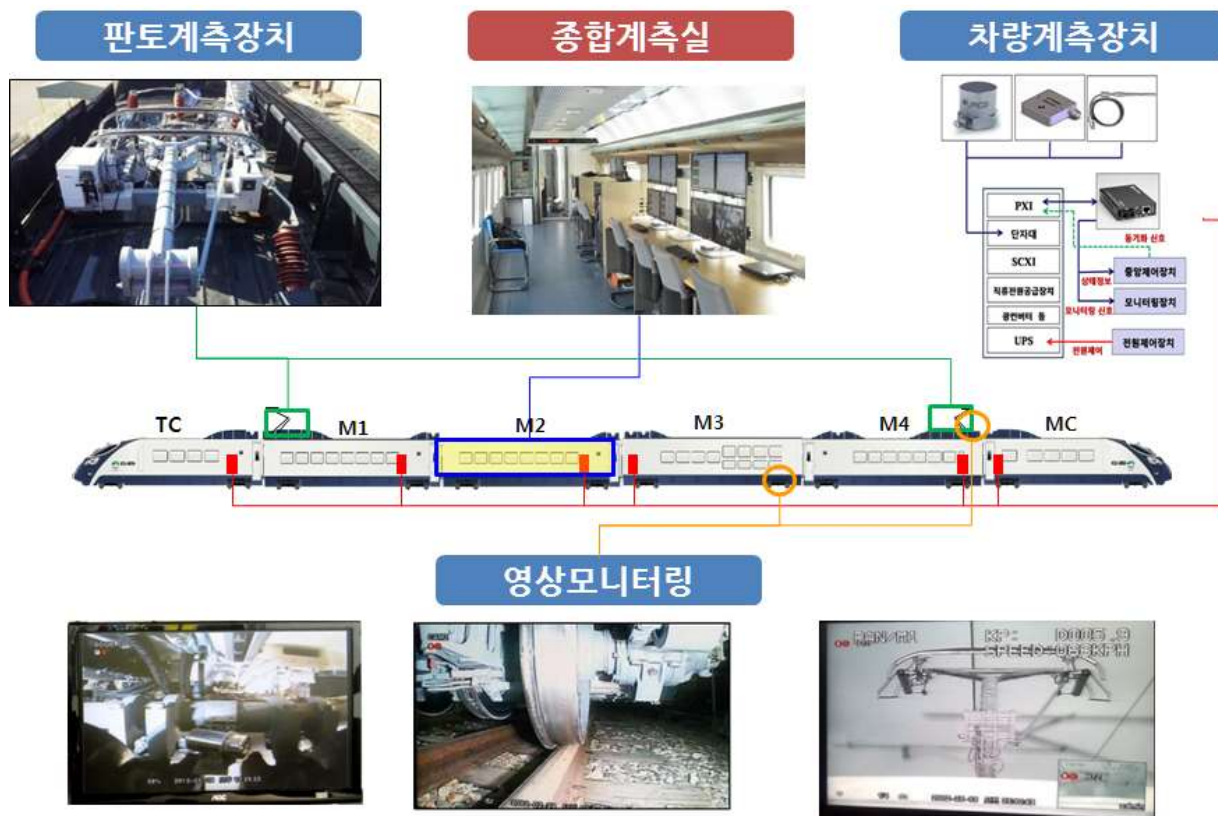
- 한국철도기술연구원은 현재 국내유일의 400km/h 주행이 가능한 고속시험차량인 HEMU-430X 시험차량(6량 1편성)의 시운전 업무를 수행하고 있으며, 이를 통하여 본 선 시운전을 통한 성능검증이 필요한 다양한 국가 R&D 과제의 수행을 지원하고 있음
- 현재 HEMU-430X를 활용한 성능검증을 수행하는 국가 R&D 과제는 고속검측차량 과제와 KRTCS 과제 등이며, 고속검측차량과제는 2017년 5월까지, KRTCS과제는 2017년 12월까지 진행될 예정이며, 그 이후 분산형고속열차 진동저감 및 활주방지고도화 기술개발 과제('17~ '19)에도 활용될 예정임
- 또한 HEMU-430X에는 500개 이상의 계측센서가 부착되어 있어 차량진동, 추진성능, 제동성능, 집전성능 등을 종합적으로 계측할 수 있는 종합계측시스템이 설치되어 있어 고속철도 차량에 관련된 다양한 시험을 수행할 수 있어, 국내에서 관련 연구를 수행할 수 있는 환경을 제공하고 있음
- 따라서 국내의 종합 차량 시험 인프라는 전용 시험열차를 보유하고 있다는 점에서 고속철도 선진국인 프랑스, 일본, 독일에 뒤지지 않는다고 판단됨



[그림 2.74] HEMU-430X 시험열차



[그림 2.75] HEMU-430X 시험열차 열차 구성



[그림 2.76] HEMU-430X 차량 종합 계측 시스템



[그림 2.77] HEMU-430X 인프라 검측 시스템

(2) 호남고속선 테스트 베드

- 한국철도기술연구원은 현재 국내 유일의 400km/h 고속 인프라 테스트베드를 호남고속선 상하행선 각각 28km에 부설하여 궤도/교량 등 선로구축물, 전차선, 환경소음 등을 지속적으로 모니터링 및 관련 DB를 구축하고 있음
- 상기 테스트베드에서는 400km/h까지의 고속운행을 통하여 차량 및 시설물의 성능을 평가할 수 있으며, 호남고속선 본선안에 포함되어 있어 현재도 KTX, SRT와 같은 고속 영업차량의 운행이 되고있는 안정적인 시험 선로임
- 따라서 국내의 종합 시험 인프라는 전용 400km/h급 테스트베드를 보유하고 있다는 점에서 세계 최고 수준이라고 할 수 있음



[그림 2.78] 호남고속선 400km/h급 인프라 테스트베드

3. SWOT 분석

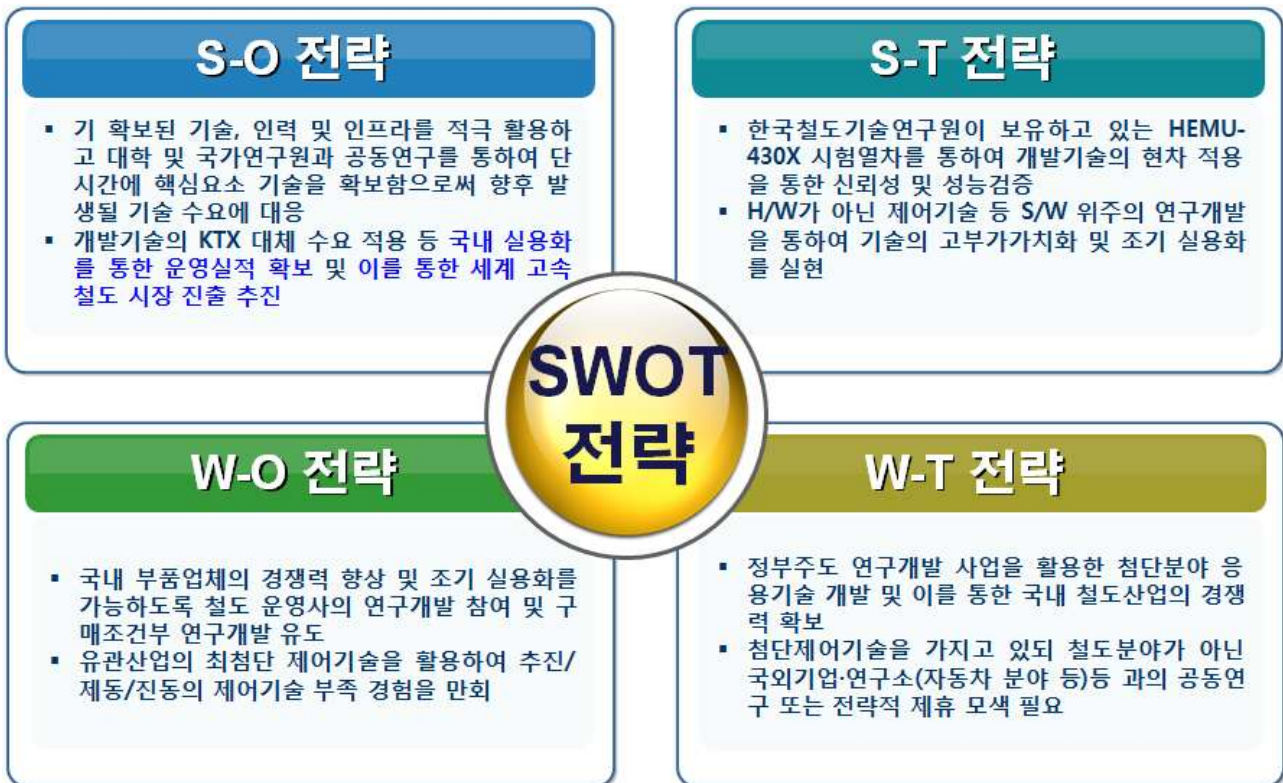
- 기술 동향분석 자료, 기술 수준분석 자료, 연구 인프라 및 연구개발 역량 등을 종합적으로 분석하여 Strength(강점), Weakness(약점), Opportunity(기회), Threat(위험) 요인 분석



[그림 2.79] 주행환경 감응형 VDC 기술 SWOT분석

4. SWOT 전략

- 상기의 SWOT 분석 결과와 같이 해외 철도선진국에 비해 관련기술 확보 및 연구개발에 부족한 부분이 있으나, 차량 시스템 응용기술은 충분히 확보되어있는 것으로 판단되며, H/W가 아닌 S/W 위주의 연구개발을 통하여 기술의 고부가가치화 및 조기 실용화를 실현하여 해외기술발전에 대처할 필요가 있음. 또한 국내에 갖춰진 우수한 현차 시험 환경을 이용하여 개발기술의 성능 및 신뢰성 검증 기간을 단축시키는 전략 활용이 필요함



[그림 2.80] 주행환경 감응형 VDC 기술개발 전략 Matrix

7절 (실용화 과제의 경우) 수요조사 및 활용가능성

1. 수요조사 및 활용가능성

- 독일/일본/프랑스 등 여러 나라에서 초기 고속철도 차량의 교체주기가 도래하고 있어 지속적으로 고속차량의 수요가 증가할 것으로 예상됨
- 고속철도 여객편의성 향상을 위한 주행 핵심장치의 모듈형 개발을 통하여 신차뿐만 아니라 기존 고속철도에도 적용 가능성 상함
 - KTX 내구연한 이후 대체열차인 250~300km/h급 EMU 열차에 적용(2025년 이후 KTX 내구연한 순차적 도래)
 - 제동/추진 제어시스템은 모듈형 개발 및 호환성 확보를 통하여 차종에 상관없이 기존차량에 장착하도록 개발 (2020년부터 운영예정인 EMU 차량 대상)
- 최소한의 개량으로 장착이 가능하도록 모니터링 장치 및 제어장치의 모듈형 기술개발을 통해 승객서비스 향상 및 유지보수 비용의 절감이 가능하므로 운영기관의 활용성이 매우 높음
- 스마트 현가시스템은 기술은 철도차량 외 중장비, 산업기계, 토목, 건축 등 다양한 분야에서 응용이 가능함

2. 기대효과

- 경제적 효과
 - 스마트 진동제어를 통한 선로 관리기준 완화, 추진/제동 시스템의 실시간 모니터링/제어를 통한 고장예방 등 유지보수 비용 감소 및 운임 감소
 - 대도시권의 통근시간을 단축하여 외곽의 도시들이 개발되어 지역의 균등 발전에 기여하고, 철도물류를 활성화하여 산업경쟁력 강화
 - 국내 고속열차 기술의 해외시장 경쟁력 확보 및 시장진출을 통해 글로벌 시장 점유율 확대
 - 정시성 향상으로 인한 승객 시간 편익 효과 : 연간 약 980억원
 - ※ 철도 1인당 시간가치 산출기준 7,618원/인(「철도투자평가편람 개정연구」, 철도공단, 교통연, 2010)
 - ※ KTX 승객수송실적 2015년 기준(「철도통계」, 철도산업정보센터)
 - ※ 서울-부산 현재 운행시간 대비 21분 단축 가정
 - 승차감 30%, 제동/추진성능 10% 향상으로 선로 개량을 최소화하면서 증속 및 정시성 향상

- 봄바르디사의 Flexx-Tronic 대차가 적용된 250km/h급 (SBB 납품) 차량의 량당 가격이 41.6억원 수준인데 반해 최근에 국내 계약된 EMU-250의 경우 량당 평균가격이 31억원 수준으로 차량의 고부가가치 기술접목으로 35억원 수준으로 공급한다면 기술력 및 브랜드가치에서 중국과 차별성을 두고, 메이저 제작사와는 가격경쟁력으로 세계 고속철도 시장에서의 경쟁력 확보 가능
- 자동차 시장과 철도시장이 동일하지는 않으나, 대략 고급 자동차 시장규모에 해당하는 10%를 고부가가치 고속차량 시장으로 가정한다면, 5년에 약 900량 규모로 3,600억원 규모의 추가 부가가치 발생. 이와 더불어 고부가가치 차량에 의해 발생하는 승차감 및 정시성 향상, 유지보수 비용 절감 등을 고려한다면 막대한 간접적 편익 기대 가능

○ 기술적 효과

- 주행환경 감응형 고속열차 주행 핵심장치(현가/추진/제동) 지능형 제어기술개발을 통하여 국내 고속열차 기술의 고부가가치화 및 해외시장 경쟁력 확보가 가능할 것으로 예상
- 지능형 차량 주행핵심장치 능동제어기술은 유럽 선진업체만이 가지고 있거나 아직 기술개발이 이루어지지 않은 고도의 기술로서 본 기술개발을 통하여 한국만의 독자기술 확보 및 세계시장 선도 가능

○ 정책적 효과

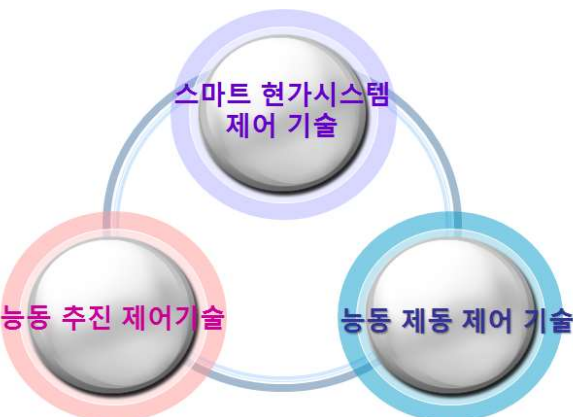
- 「철도산업발전기본법」에 따라 수립된 제 3차 철도산업발전기본계획의 철도 수송분담률 27% 달성 및 철도수송 효율 15% 향상, 철도건설 및 운영유지비 5% 절감 등의 중기목표를 달성하는데 크게 기여할 수 있으며, 또한 제 2차 국가철도망 구축계획과 연계하여 국토 주요거점의 고속철도 연결 정책강화 및 철도중심 국가기간망 구축정책에 기여

8절 연구성과 실용화를 위한 관련법령 검토 결과

- 스마트 VDC 시스템은 차량의 핵심기능인 추진/제동/진동 성능을 제어하는 시스템으로서 철도차량 안전기준의 4장의 제2절 주행장치(제51조~62조), 제3절 제동장치(제 63조~70조), 제4절 추진 및 보조전원장치(제71조~80조)을 준수해야 하나 해당 법령을 개정할 필요는 없을 것으로 판단된다.
- 또한 VDC 시스템은 차량의 종합제어장치와 연동되어 동작하므로 4장 제6절 종합제어장치(제84조 ~ 85조)를 준수해야 하며 특히 제85조인 운행상태 확인장치에서 제공하는 정보 이상을 VDC 시스템은 제공하므로 별도의 법령 개정은 필요 없을 것으로 판단된다.
- 그러나 3장 1절의 차량한계에 대해서는 일부 수정이 필요할 수 있는데 이유는 대차 혹은 제동 모니터링 장치의 경우 동작을 위해서는 차량한계를 넘어갈 수 있기 때문이다. 현재의 차량한계는 레일부에 대하여 제륜자 및 살사관만 구체한계를 넘어갈 수 있게 되어있지만 필요 시 모니터링 장치가 한계를 넘어가서 설치될 수 있으므로, 모니터링 장치에 대한 차량한계 예외규정 신설 등이 필요할 수 있다.

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

비전	고속철도 승객편의성 향상을 통한 국내 고속철도기술의 고부가가치화
목표	승객편의성 향상(승차감 개선 및 정시성 향상)을 위한 고속열차 지능형 주행장치 기술개발 ○ 선로 취약구간 승차감 향상(동일차종 30%)을 위한 스마트 현가시스템 기술개발 ○ 고속열차 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 개발 (순간출력 10% 상승, 제동거리 10% 감소) 

1. 스마트 현가시스템 기술개발

가. 연구개발 목표 수준 설정

- 스마트 현가시스템 개발의 목표는 최종적으로 선로취약 구간에서 승차감 향상 및 감속 방지를 통하여 승차감 향상과 열차 정시성을 향상시키는 것에 있음
- 승차감을 혁신적으로 향상시키기 위한 방안으로는 크게 두 가지로 분류할 수 있음
 - 선로상태에 따라 궤도/윤축의 진동이 대차를 통해 차체로 전달되어 승차감에 악영향을 미치는 요소를 제어하는 능동형 1차 현가장치
 - 열차의 교행, 터널 주행, 측풍과 같은 환경 등에 의한 차체 진동과 대차로부터 전달되

는 진동을 저감하기 위한 능동형 2차 현가장치

- 따라서 승객 체감 진동에 대한 저감 목표를 각각 설정할 필요가 있으며, 본 연구에서는 국내외 기술수준 분석을 통하여 1차적으로 해외 동등수준 이상의 목표를 설정하였음
- 해외의 경우 승차감 향상을 위하여 횡방향 또는 상하방향에 능동현가시스템을 적용하여 진동을 저감하는 연구가 지속적으로 이뤄지고 있으며, 각 단품에 대해서는 실용화된 기술도 있음
- 1차, 2차 현가장치를 통합하여 진동제어를 한 해외연구는 거의 이뤄지고 있지 않음

[표 3.1] 스마트현가시스템 개발 목표수준

연구개발 목표	단위	세계최고 수준	연구개발전 국내수준	개발목표치
가. 고속차량 횡방향 능동현가 적용 승객 체감 진동 저감	dB	3dB	-	3dB 이상 저감 (기존 능동현가 미적용 차량 대비)
나. 고속차량 상하방향 능동현가 적용 승객 체감 진동 저감	dB	3dB	-	3dB 이상 저감 (기존 능동현가 미적용 차량 대비)

나. 연구개발 목표의 성공가능성

- 국내에서는 고속열차에 대하여 능동형 현가장치를 개발한 사례가 없음
- 기존선 열차에 대하여 한국철도기술연구원 주관으로 현대로템, 우진산전, 연세대, 동국대 등 산학연이 협동하여 스마트 VDC의 요소기술 중 하나인 능동현가장치를 성공적으로 개발한 사례가 있음
- 그 결과, 기존선 열차에 대하여 횡방향 능동현가장치를 개발 및 적용하여 횡방향 승객체감 진동을 40%까지 저감을 통해 성능을 검증하였으며, 과제 수행을 통해 기초(원천)기술을 다수 확보 있음
- 그러나 국내에서는 스마트 현가장치의 요소기술 중 하나를 개발한 사례는 있으나 선로 상태에 따른 진동을 제어하는 능동형 1차 현가장치와 차체의 외란에 따른 진동을 제어하는 능동형 2차 현가장치를 동시에 적용하여 승차감을 확보한 사례는 아직 없음
- 또한, 분산형고속열차(HEMU-430X) 개발 사업을 수행하면서 고속열차의 차량시스템에 대한 기반기술 및 인력이 축적되어 있음
- 스마트 VDC 요소기술 및 통합기술을 시험하기 위한 연구 인프라 (대차 시험기, 고속선 실차시험이 가능한 시험열차 등)가 충분히 구축되어 있어 상기 목표의 달성 및 실용화를 검증이 충분히 가능할 것으로 판단 됨
- 세계적으로 고속철도 시장은 지속적으로 성장하고 있으며, 특히 고부가가치 차량에 대한 수요가 증가할 것으로 예상되므로 고부가가치 기술 중 하나인 스마트 현가시스템 기술 개발이 필요함

2. 능동 추진/제동 제어시스템 개발

가. 연구개발 목표 수준 설정

- 능동 추진/제동 제어시스템 개발의 최종 목표는 시계 최고수준과 큰 차이가 나는 고속열차의 정시성 향상을 위하여, 고속열차의 가/감속 특성을 향상시키고 운행 속도 프로파일을 최대한 준수할 수 있도록 최적 운행 속도를 결정하는 것에 있음
- 연구개발의 목표를 설정하기 위하여, 국내외 기술 수준 분석을 제2장에서 수행하였으며, 그 결과 국내고속열차의 정시성은 15분 지연 기준 99.7%로 표면적으로 우수해보이나, 이를 세계최고 수준의 일본기준(1분 지연)으로 평가해보면 15.9%에 불과함.
- 일본과 한국의 고속열차 평균 열차지연시간(단위 : 분, 표준편차)을 정규분포를 가정하여 추출하면 한국의 열차지연 표준편차는 약 4분, 일본은 30초임을 유추할 수 있음.
- 따라서 일본이상 수준의 정시성을 달성하려면 4분의 지연을 만회할 수 있도록, 현재대비 운행시간을 4분을 줄일 수 있는 가/감속 성능의 향상이 필요함
- 최고운영속도 300km/h로 서울-부산 420km를 2시간 15분에 운행한다 가정하면, 감속 및 가속에 소요되는 시간은 102분으로 계산되며, 최고 운영속도를 300km/h로 유지한 채(즉, 인프라에 대한 추가 투자 없이) 4분을 줄이기 위해서는 가/감속에 필요한 시간은 92분이 되며, 92분은 102분의 90.2% 수준임. 따라서 가속 및 감속 특성을 현재 대비 10% 개선하게 되면 일본 수준의 정시성을 확보할 수 있는 최소한의 성능을 확보할 수 있게 됨
- 또한 제동성능의 경우 비상제동거리의 단축으로 목표를 설정하였는데, 이는 비상제동거리가 제동성능의 기본이 되기 때문임. 통상적으로 고속철도 제동시스템 설계 시 요구감속도를 제동계산서에서 정의하게 되는 데, 이 때 최대상용제동(100%)은 통상적으로 비상제동의 75~80%수준으로 요구감속도를 정의함. 따라서 비상제동거리가 10%감소하면 상용제동거리도 10%감소가 가능해짐
- 또한 현재의 제동제어는 open-loop 제어로서 진정한 감속도 제어를 수행하고 있지 못하며 일정 제동거리 유지에는 한계가 있는 상황으로서 300km/h에서 비상제동거리 편차(정확도)는 약 $\pm 10\%$ (KTX-산천 비상제동거리 2700m ~ 3,300m, 정확도 : 600m)가 발생하고 있는 상황임.
- Closed-loop제어를 통하여 일정한 제동거리를 확보하게 되면 철도 운영사 입장에서는 보다 효율적인 열차 운영 편성이 가능해지고 열차의 지연을 방지하는 효과가 있게 됨. 또한 미래에 열차 자율주행 기술 적용 시 열차 군집운행이 가능하게 되려면 모든 차량의 제동 속도 프로파일이 일정해야 하는 것이 기본 전제임. 따라서 고속철도의 제동거리 정확도를 향상시키는 기술(제동거리 편차 감소)은 미래 자율주행 고속열차를 위한 기반 기술로서 역할을 할 것으로 판단 됨
- 현재 유럽 EN규격에서는 비상제동거리의 95%의 신뢰도 즉 $\pm 5\%$ 의 편차를 가질 것을 요구하고 있음. 따라서 300km/h 비상제동거리 목표인 3,000m와 연동하여 비상제동거리는 2,700m ~ 3,000m(정확도 300m)의 분포를 가지고 있어야 함

[표 3.2] 능동 추진/제동 제어시스템 개발 목표수준

연구개발 목표		단위	세계최고수준	연구개발전 국내수준	개발목표치
가. 300km/h 제동거리	비상	%	3,300m	3,300m	3,000m (10% 개선)
	상용		4,400m	4,600m	4,000m (10% 개선)
나. 고속영역 순간 출력 상승		%	0	0	부스팅 모드 적용 시 순간출력 10% 상승
다. 300km/h 비상제동 거리 편차 (정확도)		%	±5% 내외	±10%	±5% 이하

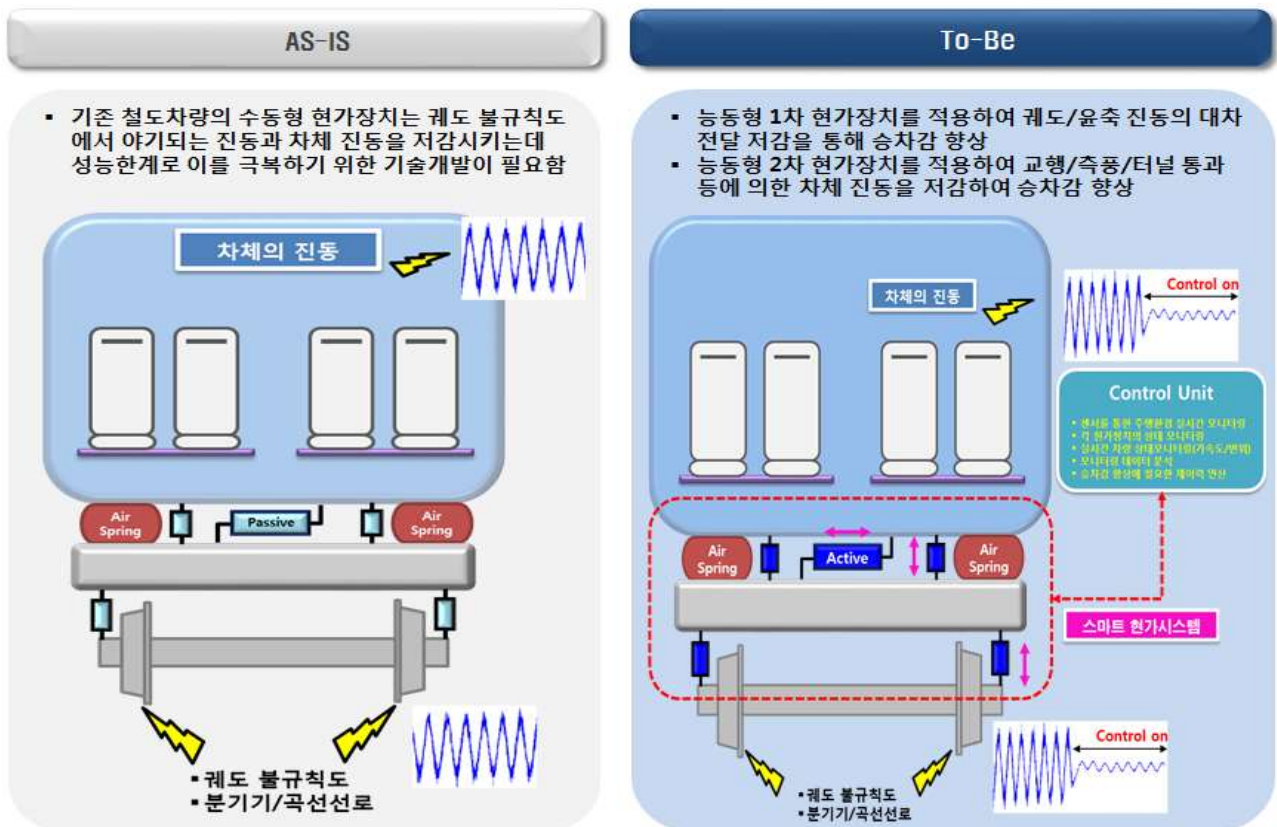
나. 연구개발 목표의 성공가능성

- 출력특성을 10% 상승하기 위해서는 견인전동기, 추진제어장치(C/I or MPS), 냉각장치 등을 모두 상향 설계를 하여야 하나, 차량 제작 및 개조 비용의 막대한 상승이 필요하게 되므로, 별도의 고효율 견인전동기로 교체하지 않고 필요한 경우에만 S/W제어를 이용하여 추진제어장치의 출력을 상승시켜 운행 프로파일을 유지하는 것이 훨씬 경제적으로 이득임
- 차량의 추진 특성을 순간적으로 10% 상승하는 연구는 국내에서는 많이 수행되지는 않았으나, 국내에서는 HEMU-430X 최고속도 시험 시 견인전동기 정격출력인 410kW가 이상인 530kW까지 상승시켜 짧은 시간(20분 내외) 동안 운행한 경험이 있으며, 이 때 추진장치 모니터링 및 제어로직 최적화 등의 연구를 수행한 경험이 있음
- 따라서 추진제어장치에 부스팅 모드 제어로직을 적용하여 추진장치의 출력을 10% 상승시키는 연구는 충분히 성공 가능할 것으로 예상되며, 다만 추진 출력 10% 상승에 따른 각 구성품의 수명특성 및 신뢰성은 현차시험 등을 통하여 파악할 필요가 판단 됨.
- 제동특성의 경우 현재 점착한계 내에서 속도별 감속도 다단계제어를 수행하고 있으나 점착한계 내의 제동력을 모두 사용하고 있지는 않는 상황임
- 따라서 감속도 다단계제어를 보다 세분화하여 점착한계 내에서 제동력을 최대한 사용하게 되면 현재 대비 제동특성의 개선이 가능하며, 현재 350km/h 까지 5단 제어 특성을 점착계수에 따른 연속제어로 변경하게 되면 수치적분 상으로는 약 10%의 제동거리 감소가 가능함. 따라서 제어장치를 보다 고도화하여 이상적인 감속도 제어를 구현하게 되면 제동거리 10% 감소 목표는 달성 가능할 것으로 판단 됨. 다만 제동에너지는 증가하게 되므로 제동 패드 및 제동 디스크의 마모도 등은 현차시험을 통하여 충분히 검증할 필요가 있음
- 일본의 경우 이미 일정 제동거리 유지를 위하여 closed-loop 시스템을 적용하고 운영 중에 있으나 국내에서는 아직 적용하지 못한 상태로 관련 연구개발이 필요하나, 고속차량에 적용되어있는 활주방지장치(WSP)는 이미 Closed-loop제어를 적용하고 있음. 따라서 Closed-loop 제동시스템의 구현은 충분히 기술적으로 가능하며 제동거리 편차 5% 역시 해외 사례를 보았을 때 달성가능하다고 판단 됨

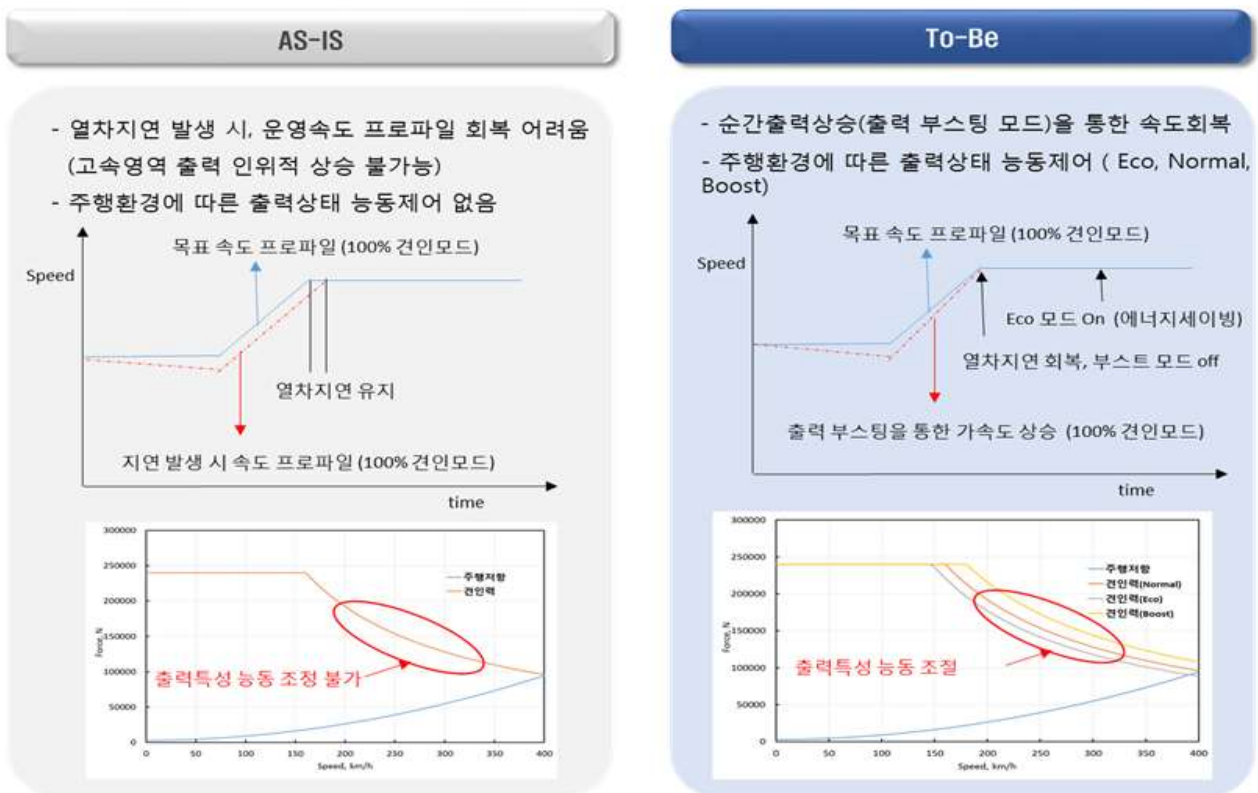
2절 기술개발에 따른 미래상

- 승차감 30%, 제동/추진성능 10% 향상으로 선로 개량을 최소화하면서 정시성 향상
 - － 시설투자 없는 실질적인 표정속도 향상 및 추가편성 투입으로 승객편의성 증가
- 능동 진동제어를 통한 선로 관리기준 완화, 추진/제동 시스템의 실시간 모니터링/제어를 통한 고장예방 등 유지보수 비용 감소 및 운임 감소
- 국내 고속열차 기술의 해외시장 경쟁력 확보 및 시장 진출
 - － 고속철도 시장은 전세계 고속철도 수요증가에 따라 중국업체의 저가 공세 및 글로벌 업체 간의 치열한 경쟁이 예상되고 있으며, 이에 대한 대응책으로서 향후 고부가가치 고속철도 차량에 대한 수요가 지속 증가할 것으로 예상
 - － 고속열차 차량의 경우 최근 5년간 상위 3개 제작사가 50% 이상의 시장점유율을 보유하였으나 향후 차량조달기업이 미정인 시장이 45%를 차지하여 이에 따른 치열한 경쟁이 예견되고 있으며 승객편의성 향상은 시장점유율 확대를 위한 중요한 마케팅 포인트가 될 것으로 판단 됨
- 능동현가시스템 기술을 적용한 미래의(To-be) 고속철도는 주행속도를 증속하거나 태풍과 같은 환경, 열차간 교행 등 주행환경 변화에 강건하게 대응하여 승차감을 향상시켜 고객만족도를 높일 수 있음
- 능동 추진/제동 기술을 적용한 미래의(To-be) 고속철도는 열차지연 발생 시 지연을 만회할 수 있도록 스스로 출력특성 및 제동특성을 능동적으로 제어하여, 고속열차의 정시성 및 표정속도를 향상시켜 승객편의성을 향상시킬 뿐 아니라, 추가편성 투입 가능성 제고를 통한 운영사 수익 및 국가 고속철도망 효율성을 극대화할 수 있음
- 기술개발에 따른 기대효과
 - － 스마트 진동제어를 통한 선로 관리기준 완화, 추진/제동 시스템의 실시간 모니터링/제어를 통한 고장예방 등 유지보수 비용 감소 및 운임 감소
 - － 대도시권의 통근시간을 단축하여 외곽의 도시들이 개발되어 지역의 균등 발전에 기여하고, 철도물류를 활성화하여 산업경쟁력 강화
 - － 이용자 측면 : 열차의 향상된 추진과 제동성능을 통해 운전시각을 단축하여 승객의 이동시간 줄여주고, 현가장치 성능의 고도화를 통해 진동을 저감시켜 보다 편안한 철도 이용이 가능
 - － 운영자 측면 : 지능형 제어시스템 기술을 통해 열차 운행지연을 최소화하여 정시성을 보장하고, 선로상태를 실시간으로 감응하여 기본적인 진동성능을 고도화하여 같은 선로에서 증속 주행하거나 승차감 향상을 도모하여 유지보수 비용을 절감하는 등의 효율적인 철도 운영이 가능

- 스마트 VDC 기술개발에 미래 철도의 변화는 다음 그림과 같이 정리 가능



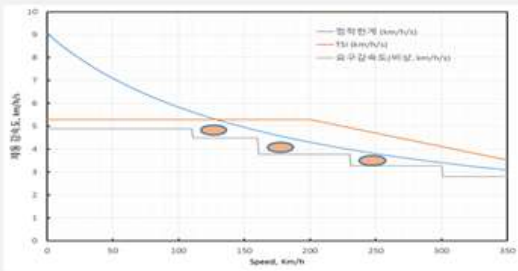
[그림 3.1] 스마트 현가시스템 기술



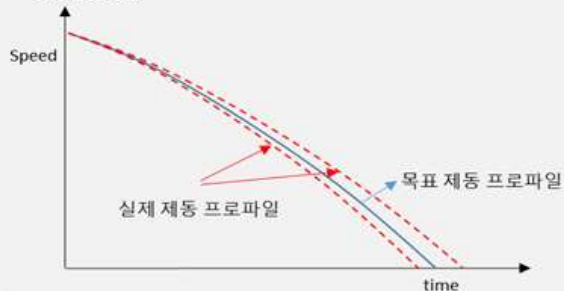
[그림 3.2] 능동형 추진제어 기술

AS-IS

점착한계 여유 존재 및 350km/h까지 5단계 제어

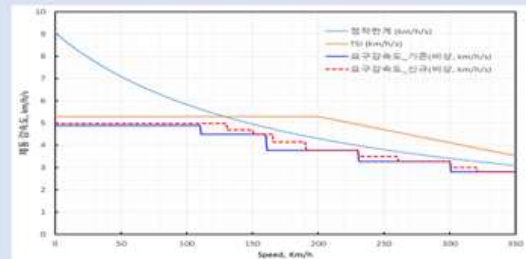


Open-loop 기반 감속도 제어(비상제동거리 편차 최대 10%)

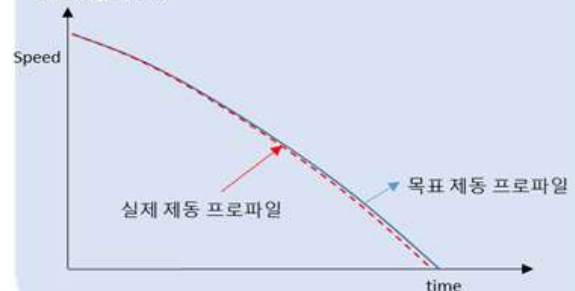


To-Be

점착력 한계 사용 및 상황별 제어단수 증가 (제동력 능동 배분, 감속도 프로파일 능동 변환)



Closed-loop 기반 감속도 제어(일정 제동속도 프로파일 유지)

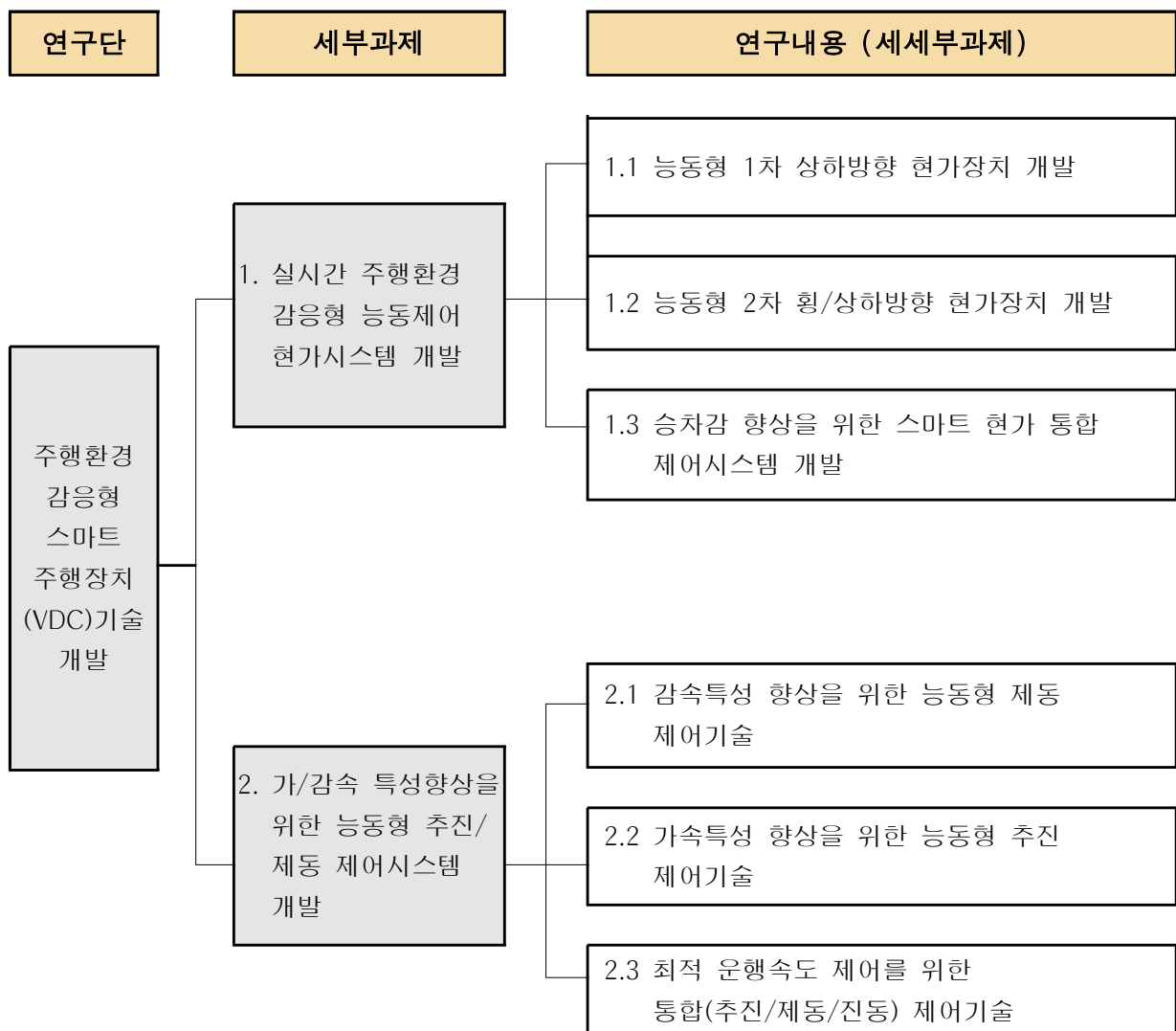


[그림 3.3] 능동형 제동제어 기술

- 상기의 VDC기술 통합 적용(능동 현가, 능동 추진, 능동 제동) 시뮬레이션 시 경부고속선(광명-부산)구간의 표정속도 7km/h 향상(202km/h → 209km/h), 이동시간 약 4분(118분 → 114분) 단축이 가능
 - 총 단축시간은 250초(4분 10초)로 계산되었고 이 때 능동 현가에 의한 단축효과는 106초(1분 46초)이며, 능동 추진/제동에 의한 효과는 144초(2분 24초)로 평가 됨
 - * 조건 : 398km 구간에 6개 정차역(출발/종점 포함)에서 2분정차. 차량진동증가에 따른 170km/h 서행구간 3개소, 230km/h 서행구간 2개소 (총25km). 도심통과구간 약 28km(80km/h, 21분).
 - * 가정 : 최대 운영속도 300km/h, 상용최대제동(비상제동의 75%) 적용, 선로구배영향 제외, 170km/h 서행구간은 230km/h 통과, 230km/h 서행구간은 270km/h 통과

3절 연구개발과제 구성

- 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술개발의 목적은 주행환경에 능동적으로 감응하여 진동을 저감하고 추진·제동 성능향상을 통해 정시성을 확보할 수 있는 고속철도차량 능동 스마트 주행시스템 개발임
- 따라서 세부기술을 진동저감과 주행성능 향상 목적에 맞게 1세부와 2세부로 분류하여 연구개발 추진
- 각 세부별 요소기술개발 완료 후 고속철도 차량에 적용하여 시험선에서 통합 제어 수행할 계획으로, 각 요소기술을 설계 및 개발하고 성능 검증까지 최소 4년의 시간이 소요될 것으로 판단됨
- 연구단 과제인 “주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 기술개발”의 세부과제는 2가지로 구분하여 구성하였음. 첫 번째 과제는 선로 취약구간 승차감 향상(기존대비 30%)을 위한 스마트 현가시스템 기술이고, 두 번째는 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템(제동거리 10% 감소, 순간출력 10% 상승)기술 개발임



[그림 3.4] 연구개발과제 구성

4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발

가. 최종목표 및 성과물

- 선로 취약구간 승차감 향상(동일차종 30%)을 위한 스마트 현가시스템 기술개발
(KS R 9216 철도차량 승차감 측정 및 평가방법 적용)

[표 3.3] 능동제어 현가시스템 개발목표 및 최종성과물

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

- 각 세부목표 별 세부 성과지표

구분	스마트 현가요소	개발 사양	참고
1	1차 수직	- 최대 작용력 : 3000N $\pm$ 15% ($\pm$15mm at 0.3m/s) - stroke : max. $\pm$70mm - 대역폭 : 5Hz - 작동 온도 : -35℃ ~ +45℃ - 극한온도: 저온 -35℃, 고온 +70℃ - 내구시험 : 1000h ($\pm$25mm at 0.2m/s)	-KTX 동력차용 1차수직댐퍼
2	2차 수직	- 최대 작용력 : 3000N $\pm$ 15% ($\pm$25mm at 0.15m/s) - stroke : max. $\pm$195mm - 대역폭 : 5Hz - 작동 온도 : -35℃ ~ +45℃ - 극한온도: 저온 -35℃, 고온 +70℃ - 내구시험 : 1000h ($\pm$50mm at 0.1m/s)	-KTX 동력차용 2차수직댐퍼
3	2차 횡	- 최대 작용력 : 3000N $\pm$ 15% ($\pm$25mm at 0.15m/s) - 대역폭 : 10Hz 이상 - 스트로크 : $\pm$50mm 이내 - 탄성조인트간 길이: 500mm - 직경: 200mm 이내	-기존 중고속 철도차량용 횡방향 능동현가장치

나. 추진전략(세부 기술별 연구활동)

(1) 능동형 1차 상하방향 현가장치 개발

연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1-1-1. 1차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출					
1-1-2. 주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(1)					
1-1-3. 1차 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증					
1-1-4. 시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)					

(2) 능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발

연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1-2-1. 2차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출					
1-2-2. 2차 능동현가장치(횡/상하방향) 통합설계를 위한 메커니즘(안) 도출					
1-2-3. 주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(2)					
1-2-4. 2차 횡방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증					
1-2-5. 2차 상하방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증					
1-2-6. 시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)					
1-2-7. 시험차 시험선 성능시험(진동저감 성능, 안전 등)					

(3) 승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합 제어시스템 개발

연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1-3-1. 고속열차 진동수준 측정 및 분석					
1-3-2. 능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어전략 도출					
1-3-3. 능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어알고리즘 설계 및 구현					
1-3-4. 통합제어용 제어기 H/W 설계 및 개발					
1-3-5. 통합제어용 제어기 성능 검증					
1-3-6. 1차/2차 능동현가장치 탑재 시험차 통합 제어 성능시험(Lab test)					

2. 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발

가. 최종목표 및 성과물

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

[표 3.4] 능동형 추진/제동 제어시스템 개발목표 및 최종성과물

연구개발 목표	단 위	개발목표치	최종성과물	TRL
2-1. 감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술	%	300km/h 비상제동거리 3,000m(10% 저감)	능동형 제동 전자제어시스템 - 감속도기반 다단계제어로직(S/W) - Feedback 제어 제동 ECU(H/W)	TRL 7
2-2. 가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술	%	부스팅 모드 적용 시 순간출력 10% 상승	능동형 추진 제어시스템 (C/I) - 3Level 추진제어장치(H/W) - 출력 가변제어로직(S/W) * 견인전동기는 기존품 사용	TRL 7
2-3. 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술	-	SIL #2	능동형 통합(추진/제동/진동) 제어 시스템 (Train Control Unit)	TRL 7

- 각 세부목표 별 세부 성과지표

성과목표	성과지표	현재	개발목표치
300km/h 비상제동거리 3,000m(10% 저감)	350km/h까지 속도대역별 감속도 제어단수	5단	가변단수제어 (최대 연속제어)
	300km/h 비상제동거리 편차	10%	5% 내외
	제동 캘리퍼 반응속도	약 2sec	1sec 이하
	제동 ECU Feed-Back 연산속도	-	20msec 이하
	Safety Integrity Level(SIL)	-	SIL 3~4
추진시스템 부스팅 모드 적용 시 순간출력 10% 상승	DC Link 전압	2800 V	2800 ~ 3200V 가변제어
	추진시스템 Active 냉각	미적용	적용
	추진시스템 제어 레벨	2 Level	3 Level
	SiC 소자 적용	미적용	적용
	Inverter 최대 출력(모터 1개당)	410 kW	460 kW 이상
능동형 통합 제어 시스템의 신뢰성	Safety Integrity Level(SIL)	-	#2

나. 추진전략(세부 기술별 연구활동)

(1) 감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술

연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
2-1-1. 국내 환경 분석을 통한 속도별 점착한계 분석					
2-1-2. 능동형 제동제어 시스템 요구사항 도출					
2-1-3. 감속도 기반 능동형 제동력 다단계제어로직 설계					
2-1-4. 주행환경 감응형 스마트 제동력 분담 제어로직 설계					
2-1-5. 능동형 제동 전자제어장치(ECU) H/W 설계					
2-1-6. 능동형 제동 ECU 시제품 제작 및 단품 성능시험(HILS 이용)					
2-1-7. 제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 설계 및 성능평가절차서 작성					
2-1-8. 제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 제작					
2-1-9. 개발 제동 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스(TDCS) 개조					
2-1-10. 시제품 현차 성능시험					

(2) 가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술

연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
2-2-1. 기존 고속영역 출력 부스팅 시험결과 분석					
2-2-2. 능동형 추진제어 시스템 요구사항 도출					
2-2-3. 고속영역 출력 부스팅 제어로직 설계					
2-2-4. 추진시스템 허용 제어로직 설계					
2-2-5. 추진시스템 능동형 냉각장치 개념설계					

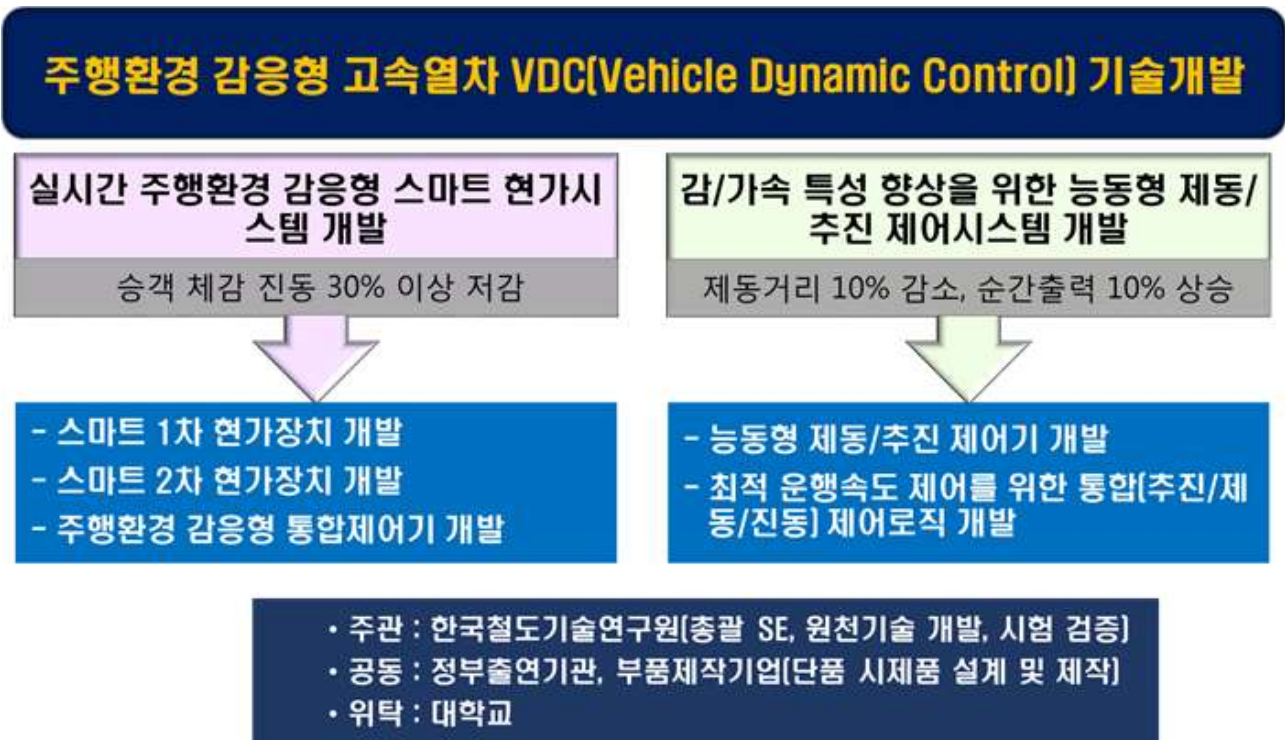
2-2-6. 능동형 추진제어장치(C/I) H/W 설계 및 핵심부품 발주					
2-2-7. 능동형 추진제어장치(C/I) 시제품 제작 및 Lab Test(부하/무부하 시험 등)					
2-2-8. 추진시스템 능동형 냉각장치 H/W 설계					
2-2-9. 추진시스템 능동형 냉각장치 시제품 제작 및 냉각성능 Lab test					
2-2-10. 개발 추진 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스(TDCS) 개조					
2-2-11. 시제품 현차 성능시험					

(3) 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술

연구활동	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
2-3-1. 통합제어시스템 인터페이스 개념설계					
2-3-2. 차량 TDCS 시스템 I/O 분석					
2-3-3. 운행속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어로직 설계					
2-3-4. 개발시스템(추진/제동/진동)간 상호 인터페이스 설계 확정					
2-3-5. 통합 제어시스템 H/W 설계 및 핵심부품 발주					
2-3-6. 통합제어시스템 시제품 제작 및 장치간 통신시험					
2-3-7. 통합제어시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 개조					
2-3-8. 시제품 현차 성능시험					

5절 연구개발과제 추진체계

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



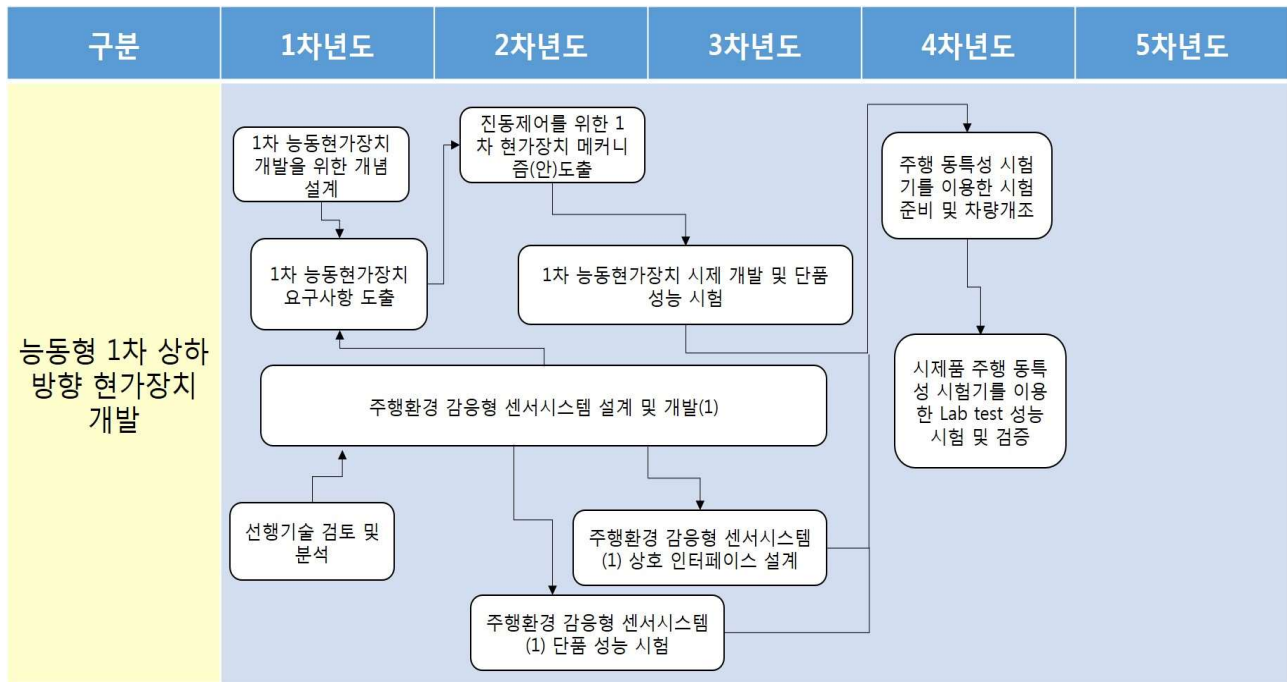
[그림 3.5] 주행감응형 고속열차 VDC 기술개발 추진체계

6절 기술/성과 로드맵

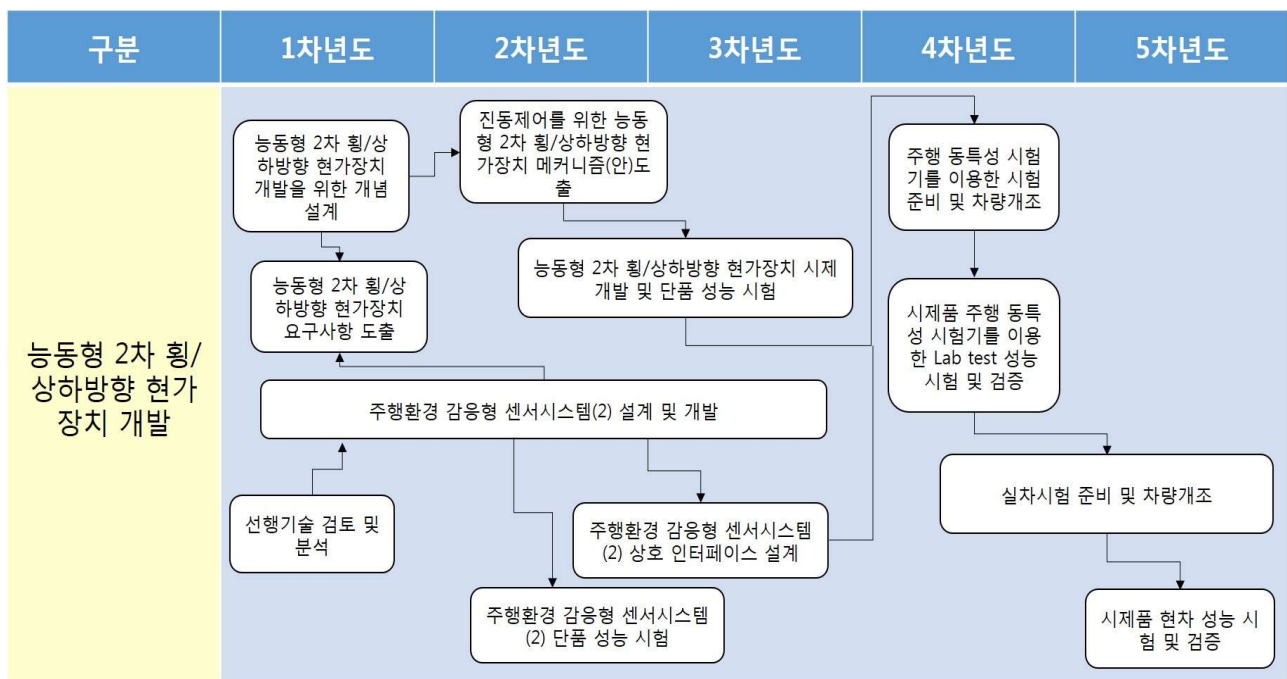
1. 세부과제별 기술로드맵

가. 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발

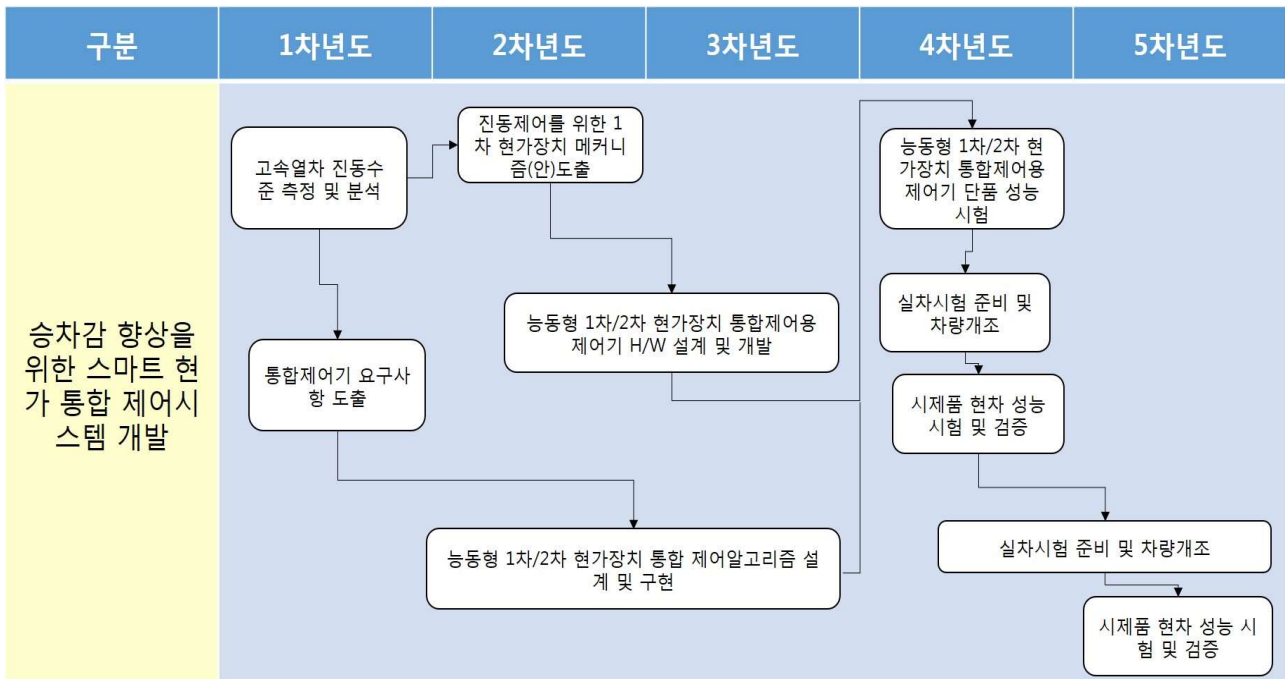
(1) 능동형 1차 상하방향 현가장치 개발



(2) 능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발

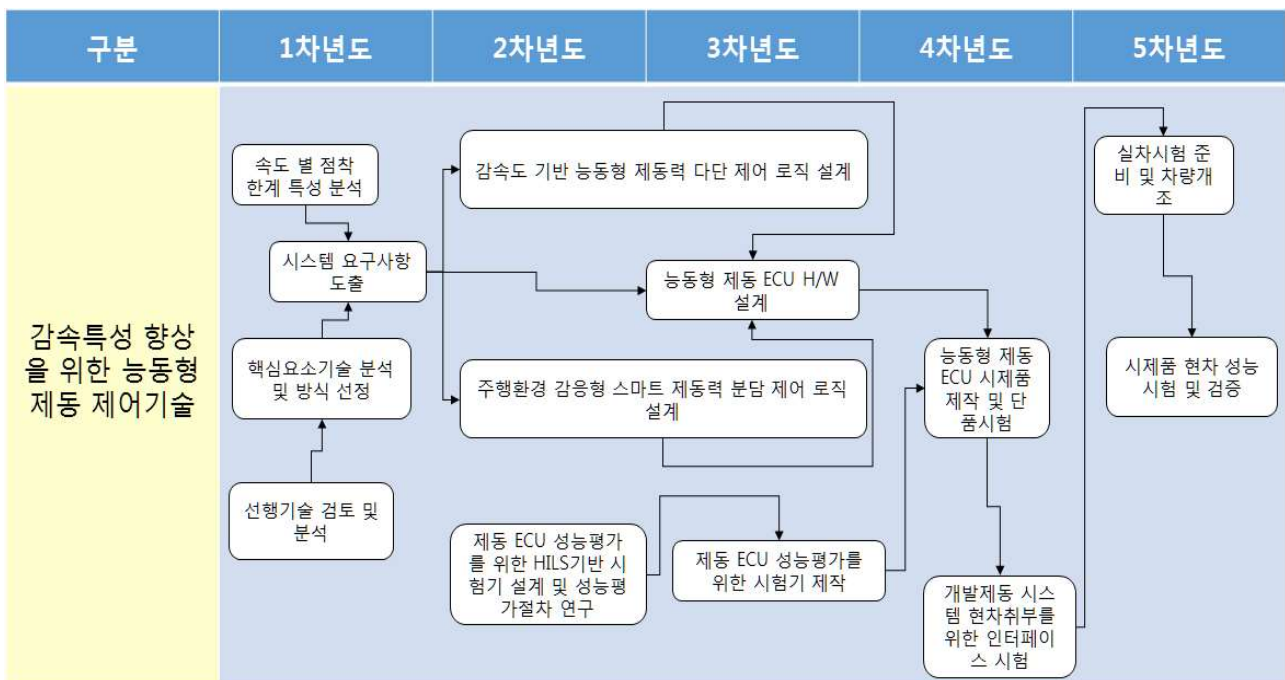


(3) 승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합 제어알고리즘 개발

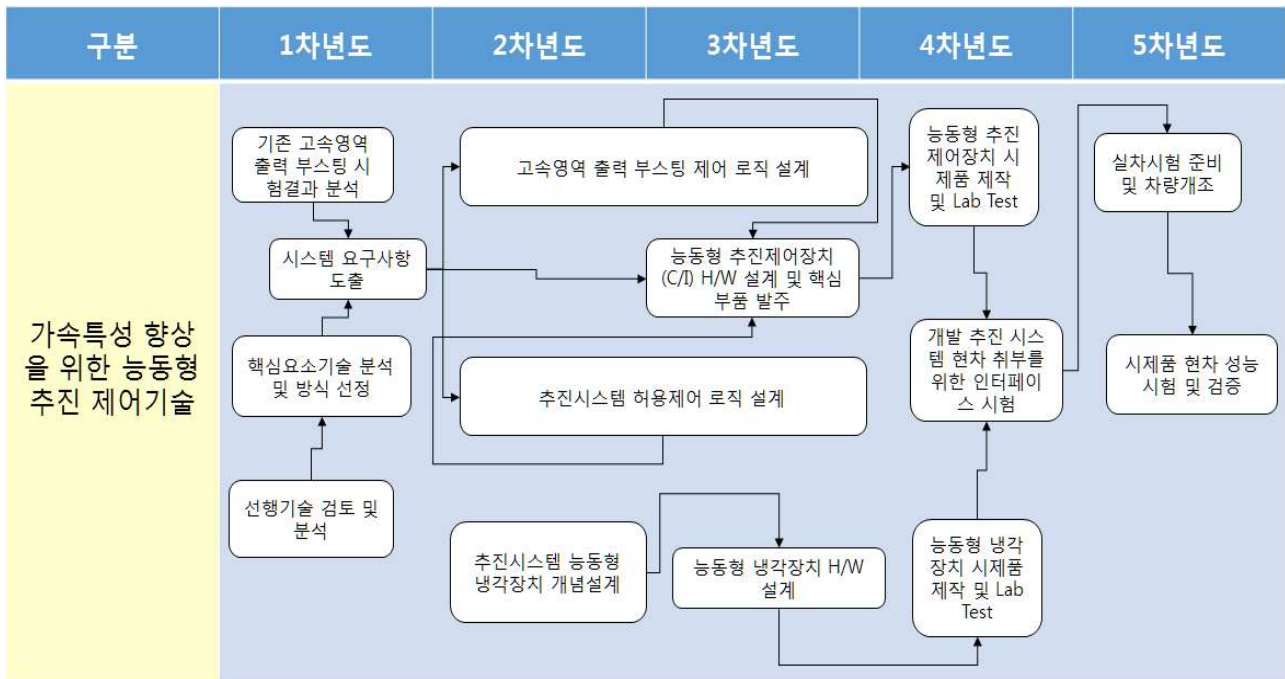


나. 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 기술로드맵

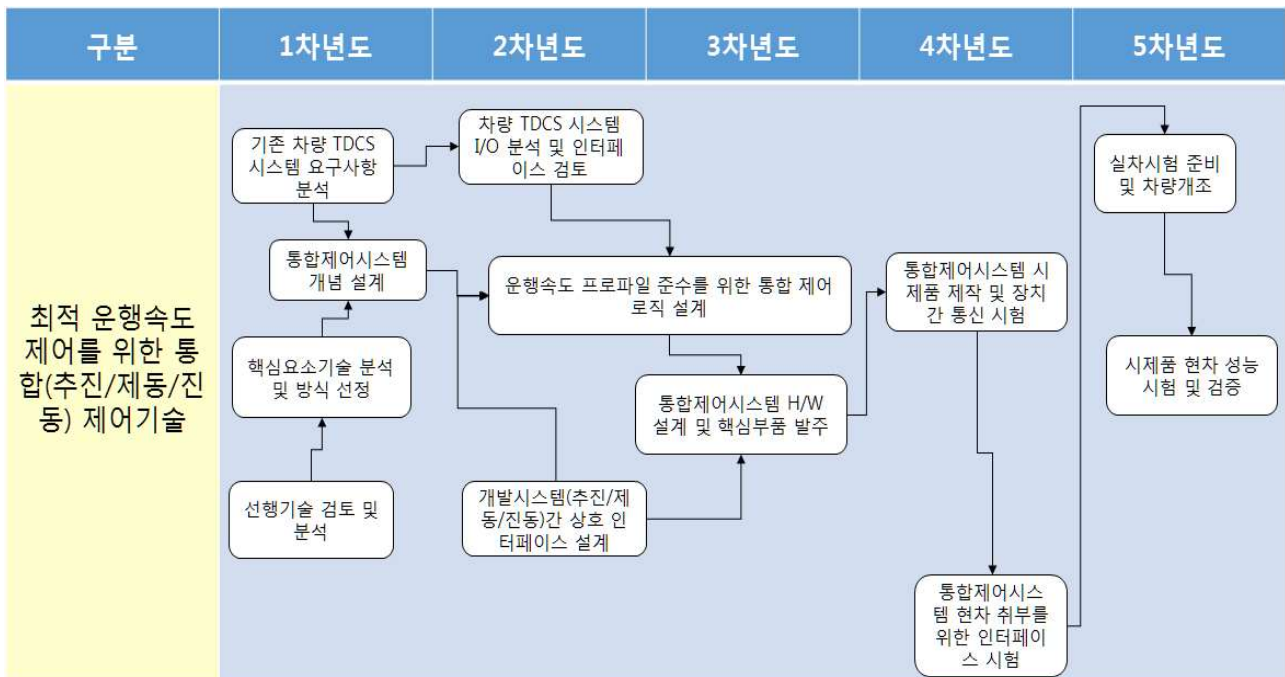
(1) 감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술



(2) 가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술



(3) 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술



2. 세부과제별 성과목표

가. 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발

세부분야	세세부 분야	성과목표
실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발	능동형 1차 상하방향 현가장치 개발	1차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출
		주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(1)
		1차 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증
		시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)
	능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발	2차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출
		2차 능동현가장치(횡/상하방향) 통합설계를 위한 메커니즘(안) 도출
		주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(2)
		2차 횡방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증
		2차 상하방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증
		시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)
		시험차 시험선 성능시험(진동저감 성능, 안전 등)
	승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합 제어시스템 개발	고속열차 진동수준 측정 및 분석
		능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어전략 도출
		능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어알고리즘 설계 및 구현
		통합제어용 제어기 H/W 설계 및 개발
		통합제어용 제어기 성능 검증
		1차/2차 능동현가장치 탑재 시험차 통합 제어 성능시험(Lab test)

나. 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템

세부분야	세세부 분야	성과목표
감/가속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발	감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술	국내 환경 분석을 통한 속도별 점착한계 분석
		능동형 제동제어 시스템 요구사항 도출
		감속도 기반 능동형 제동력 다단계제어로직 설계
		주행환경 감응형 스마트 제동력 분담 제어로직 설계
		능동형 제동 전자제어장치(ECU) H/W 설계
		능동형 제동 ECU 시제품 제작 및 단품 성능시험(HILS 이용)
		제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 설계 및 성능평가절차서 작성
		제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 제작
		개발 제동 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스(TDCS) 개조
		시제품 현차 성능시험
	가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술	기존 고속영역 출력 부스팅 시험결과 분석
		능동형 추진제어 시스템 요구사항 도출
		고속영역 출력 부스팅 제어로직 설계
		추진시스템 허용 제어로직 설계
		추진시스템 능동형 냉각장치 개념설계
		능동형 추진제어장치(C/I) H/W 설계 및 핵심부품 발주
		능동형 추진제어장치(C/I) 시제품 제작 및 Lab Test (부하/무부하 시험 등)
		추진시스템 능동형 냉각장치 H/W 설계
		추진시스템 능동형 냉각장치 시제품 제작 및 냉각성능 Lab test
		개발 추진 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스(TDCS) 개조
		시제품 현차 성능시험
	최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술	통합제어시스템 인터페이스 개념설계
		차량 TDCS 시스템 I/O 분석
		운행속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어로직 설계
		개발시스템(추진/제동/진동)간 상호 인터페이스 설계 확정
		통합 제어시스템 H/W 설계 및 핵심부품 발주
		통합제어시스템 시제품 제작 및 장치간 통신시험
		통합제어시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 개조
		시제품 현차 성능시험

제4장 사전타당성검토

1절 정책적 타당성

1. 국내 정책 동향 분석 및 제안과제의 부합성

가. 국토교통 연구개발 중장기전략(‘14~’23)

- 국토교통부는 2014년 7월 “국토교통 기술을 통한 국민행복 및 국제적 가치 창조”라는 목표 아래 국토교통 연구개발 중장기전략(‘14~23)을 발표
 - － 융·복합 신산업 창출 기반 조성, 안전하고 편리한 국토공간 조성 및 국민 생활복지 향상 등 4대 전략을 수립하고 국토교통의 새로운 미래가치 창출을 위한 10대 중점프로젝트를 발굴·제시
 - － 철도교통 분야에서는 스마트 철도교통시스템이 중점 프로젝트로 선정
- 스마트 철도교통시스템의 추진 목표는 도시 간, 도시 내 생활교통수단으로서 수송성·정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도교통시스템의 안전성·경제성 및 효율성을 제고하기 위한 제반 기술 확보임. 이를 달성하기 위해 다음과 같은 3 가지 기술개발 방향을 제시
 - 수송력 향상 : 400km/h급 고속철도 차량 및 인프라 기술, 초고속 자기부상 기술 등
 - 안전 및 편의 향상 : 차량/시설물 고속 종합검측 기술, 실시간 철도 안전감시 기술, 실시간 차량 주행안전 기술 등
 - 경제성/효율성 향상 : 일반/고속철도 무선제어시스템 개발, 철도차량 검수장비 자동화 기술 등
- － 실시간 주행환경 감응형 스마트 주행장치 기술은 철도의 안전 및 편의 향상을 도모할 수 있는 기술로, 스마트 VDC를 통한 열차의 진동저감 역시 편의향상이라는 측면에서 스마트철도시스템 기술개발 정책에 부합하는 기술임

나. 제 3차 국가 교통기술 개발계획(‘14~’18)

- 제 3차 국가교통기술개발계획은 제 2차 수정 국가기간교통망계획(2001~2020)에서 제시한 중장기 계획을 효율적으로 달성하기 위해 필요한 기술개발 계획으로 2014년 7월에 고시됨
- 철도교통 기술부분은 “국민 행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도개발”을 비전으로 ① 선진국 대비 철도기술수준 95% 달성 ② 열차운행 100만km당 사고건수 10% 저감 ③ 철도 수송용량 20% 확대, 수송 분담률 20% 향상을 달성 목표로 설정
 - － 중점 추진 분야로는 빠르고 지능적인 철도(Smart Railroad), 안전하고 편리한 철도(Safe Railroad), 정확하고 경제적인 철도(Economical Railroad)를 설정하였음

- 실시간 주행환경 감응형 스마트 주행장치 기술을 통해 열차의 추진/제동/진동을 제어하는 점에서 제 3차 국가 교통기술 개발계획의 중점 추진분야인 빠르고 지능적인 철도의 “ICT 기반 철도시스템 개발” 내용과 부합하는 기술임

다. 철도 차량산업 육성 방안

- 국토부는 2016년 6월 대내외적으로 어려움에 직면해있는 우리나라 철도차량산업의 새 활로를 찾아 미래 성장산업으로 키우기 위한 「철도차량산업 육성방안」을 발표
 - 한국형 고속차량(KTX) 개발경험을 토대로 철도차량 산업을 미래 성장산업으로 육성하고, 연간 140조원의 세계 철도 차량시장(차량구매 70조원, 차량정비 등 유지관리 70조원)에 적극 진출하기 위하여 8대 분야의 육성방안을 제시
 - 제작사의 차종별 특화 육성
 - 신호시스템 및 부품산업 집중 육성
 - 부품 공급망 구축(Supply Chain Management)
 - 글로벌 분업·협업체계구축
 - 선도형 연구개발(R&D) 추진
 - 철도차량애프터마켓(After Market) 조성
 - 해외수주지원
 - 전문인력양성 및 제도정비
- 선제적·혁신적 투자(Early Starter)와 시장 선점(First Mover)을 R&D의 기본 전략으로, 세계시장 선도형 연구개발을 추진하며 스마트철도·초고속철도·핵심부품 등 3대 핵심 연구개발 사업을 집중 지원
 - 스마트철도 : 정보통신기술 (ICT) · 사물인터넷 (IOT)기술을 융합하여 자가진단·치유, 원격감시·제어, 위험감지·대응, 지능형 통합관제 기능 등을 갖춘 지능형 철도시스템
 - 초고속철도(‘Super Train’) : 통일 · 유라시아 철도 시대를 대비하는 600km/h 이상의 철도로 진공튜브형(Hyperloop), 자기부상형 등 다양한 방식 검토
 - 핵심부품 : 부품 공급망 구축 및 품질안전 제고를 위한 철도부품 · 소재 핵심기술 개발
- 실시간 주행환경 감응형 스마트 주행장치 기술은 차량의 지능형 능동제어 기술로 철도 차량산업 육성방안의 스마트 철도 핵심 연구개발의 내용에 부합하는 기술임

라. 미래부 2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준

- 미래부는 미래 대비 과학기술 혁신 역량을 강화하는 가운데 경제활력과 국민행복을 창출하고 R&D 투자 효율성 개선에 박차를 가하기 위하여 「2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」을 발표하였으며, 3대 분야 9대 중점투자방향을 아래와 같이 제시하였음



[그림 4.1] 2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준

- 위의 3대 분야 중 철도교통은 공공서비스 분야에 해당되어 “국민 삶의 질 향상” 분야에 해당되고, 특히 7번 공공서비스의 스마트화·고도화 추진이 중점 투자방향임
 - 공공서비스의 스마트화·고도화 추진을 위하여 교통/물류 분야는 IT기술을 접목하여 스마트한 교통체계를 구축하는 것이 정부의 투자방향임
 - 따라서 최첨단 ICT 기술을 융합하여, 여객편의성을 향상시키는 철도차량의 스마트 VDC 기술개발을 미래부의 투자 방향과 부합함
- 또한 미래부 「2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」의 기술분야별 투자전략 중 철도교통 분야 투자방향에 따르면, 차세대 철도차량·시스템 구축과 운행 안정성 향상 기술에 투자한다고 명시하고 있음. 스마트 VDC 기술은 차세대 철도차량 기술일 뿐 아니라 고속철도차량의 기본 운행성능인 추진/제동/진동 특성을 주행환경에 따라 제어하여 정시성 및 주행안전성 향상을 도모할 수 있는 기술로서 미래부 철도교통 투자방향에 잘 부합한다고 볼 수 있음

마. 문재인정부 국정운영 5개년 계획

- '17년 7월, 문재인 정부는 국정운영의 나침반으로 국정운영 5개년 추진계획을 발표하였음. 이는 정책의 우선순위를 설정하고 정책 간의 연계성을 확보하여 정책 집행 단계에서 목표와의 정합성과 일관성을 유지하고 새롭게 수립되는 정책들이 국가발전의 방향과 방법에 부합하도록 하여 국정운영의 연속성을 확보하는 수단으로 활용 계획
- 국정운영 5개년 추진계획으로 국정목표, 국정전략 등을 고려하여 “국가비전-5대 국정목표-20대 국정전략-100대 국정과제-487개 실천과제”를 최종 확정하여 발표함



- 본 과제는 실시간 주행환경 감응형 스마트 주행장치 기술개발을 통하여 고속열차의 승차감 향상과 정시성 확보를 보일 수 있는 기술로 국정목표 “더불어 잘사는 경제”의 실행과제인 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화에 부합하는 기술임
- 또한, 주행환경 감응형 스마트 주행장치 VDC(Vehicle Dynamic Control) 기술개발을 통해 전 국토의 이동시간 단축을 실현할 수 있으며 전 국토의 균형 발전 및 지역 삶의 질 향상을 도모하여 국정목표 “고르게 발전하는 지역”을 달성하는데 기여

2. 법/제도적 위험요인 검토결과

- 스마트 VDC 시스템은 차량의 핵심기능인 추진/제동/진동 성능을 제어하는 시스템으로서 철도차량 안전기준의 4장의 제2절 주행장치(제51조~62조), 제3절 제동장치(제 63조~70조), 제4절 추진 및 보조전원장치(제71조~80조)을 준수해야 하나 해당 법령을 개정할 필요는 없을 것으로 판단 됨
- 또한 VDC 시스템은 차량의 종합제어장치와 연동되어 동작하므로 4장 제6절 종합제어장치(제84조 ~ 85조)를 준수해야 하며 특히 제85조인 운행상태 확인장치에서 제공하는 정보 이상을 VDC 시스템은 제공하므로 별도의 법령 개정은 필요 없을 것으로 보임
- 그러나 3장 1절의 차량한계에 대해서는 일부 수정이 필요할 수 있는데 이유는 대차 혹은 제동 모니터링 장치의 경우 동작을 위해서는 차량한계를 넘어갈 수 있기 때문임, 현재의 차량한계는 레일부에 대하여 제륜자 및 살사관만 구체한계를 넘어갈 수 있게 되어 있지만 필요 시 모니터링 장치가 한계를 넘어가서 설치될 수 있으므로, 모니터링 장치에 대한 차량한계 예외규정 신설 등이 필요할 수 있음

3. 정부의 추진 의지

- 2017년 국토교통 R&D 사업/관리 체계 개편(안)에 따르면 철도기술연구 부분은 1. 고부가가치 철도차량 기술개발, 2. 철도 유지/관리 자동화 기술개발 3. 고성능 저비용 철도인프라 구축기술개발, 4. 철도 부품/장치 자립화 기술개발로 구성되어 있음
- 이중 본 과제는 “1. 고부가가치 철도차량 기술개발” 과 연계되어 있으며, 특히 해당기술 개발의 중점추진분야에 여객편의 향상이 선정되어 있고, 본 연구과제의 목표가 고속 열차 정시성 향상 및 승차감 개선을 통한 여객편의 향상이라는 점에서 정부가 본 연구과제 추진에 상당한 의지를 가지고 있다고 보임
- 고부가가치 철도차량 기술개발의 예산은 2018년부터 2022년까지 총 1,019억원의 예산이 책정되어 있으며, 이중 여객편의 향상 분야 예산은 464억 원으로서 다른 중점분야 대비 더 큰 예산이 책정되어 있어 본 과제가 정부 정책에 충분히 반영되어 있다고 볼 수 있음
- 여객편의 향상: 464억원, 신재생에너지 철도적용 : 205억원, 에너지 효율향상 : 349억원

2절 기술적 타당성

1. 논리모형

1. 이슈/ 문제
① 4차 산업혁명의 도래에 따른 인간중심 기술발전의 중요성이 강조 - 4차 산업혁명의 핵심가치는 ‘인간’으로 산업 기술개발에 대한 패러다임이 인간중심의 스마트 사회로 가고 있으며, 무인/전기 자동차 등의 운송수단 기술개발도 인간의 편의 향상을 목표로 진행 중 - 4차 산업 혁명은 ICT 기술과 기존기술과의 융합을 통한 기술혁신 추구 - 기계적인 요소 위주의 기존 철도차량 설계방식으로는 주행성능 고도화 한계에 도달하였으며 전기전자기술, 정보통신 기술과 융합한 지능형 차량제어 기술개발 필요 ② 세계고속철도 시장의 지속적 성장 및 국내 고속철도 산업의 샌드위치 상황 - 세계 고속철도 시장은 2020년까지 연평균 7.3%의 성장이 기대되는 고성장 산업이며, 이에 따른 고속철도 차량 시장 역시 지속 성장 예상(2020년까지 9,000량 신규수요) - 글로벌 차량제작사들은 공격적 인수합병 등을 통한 시장지배력 강화 및 첨단기술을 바탕으로 한 기술기준 강화로 세계시장 독식 중. 중국의 고속철도차량업체는 막대한 내수 시장규모 및 가격을 무기로 시장점유율 급속 확대 중(2015년 현재 50%) - 반면 국내 고속철도 차량 산업은 선진국 대비 낮은 기술수준, 중국 대비 높은 원가로 현재 한계상황에 도래하였으며 이를 타개하기 위한 전략 수립 필요 ③ 승객편의성 향상 중심의 신기술 개발 및 이를 바탕으로 한 제품의 고부가가치화 - 고속철도차량분야 세계시장 흐름이 운영비용 저감 및 승객편의성 향상으로 변화하고 있으며, 첨단기술을 갖춘 소수의 업체가 시장을 독식하고 있음 - 글로벌 경쟁이 극심한 자동차 시장의 경우 전체 자동차 시장의 성장률은 1.9%인 반면에, 고급차 시장의 성장률은 5% 이상으로 급격하게 성장을 하고 있음. 이는 자동차 업체들이 차량의 고급화 전략(승객 편의성 향상)을 통하여 판매물량 지탱 및 수익성 강화를 추구하기 때문임 - 국내 고속철도 역시 승객편의성을 향상(원하는 시간, 빠르고, 편하고 안전하게) 중심의 세계 선도기술 개발을 통한 경쟁력 강화 필요 ④ 고속철도 산업의 시스템화 가속화 및 기술선진국에 대한 기술의존도 강화 - 고속철도는 시스템 산업으로 막대한 국가 예산이 투입되는 융합기술 산업 - 신규 고속철도 도입국가 중 기술자립 없이 시스템 방식 턴키계약을 체결한 국가들(모로코, 대만 등)은 선진국(프랑스, 일본)에 종속되어 막대한 비용 지불 중 - 고속철도 산업 중 국내 경쟁력이 떨어지는 분야(차량 등)의 집중 육성을 통한 고속철도 시스템 계약 수주 경쟁력 강화 필요

2. 목표

- 승객편의성 향상을 위한 고속열차 VDC(Vehicle Dynamic Control)기술 개발
 - 선로 취약구간 승차감 향상(기존대비 30% 이상)을 위한 스마트 현가시스템 개발
 - 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 개발(제동거리 10%감소, 순간출력 10% 상승)

3. 수혜자

- ① 국내 고속철도 이용 승객
 - 국내 고속철도 승객편의성 향상 (승차감 개선 및 정시성 향상)
 - 서민/중산층 교통비 절감을 통한 가계 경제 향상
- ② 국내 고속철도 차량 및 부품 업체
 - 국내 시장 방어 및 세계시장 진출을 위한 기술 경쟁력 강화
 - 제품의 고부가가치화를 통한 수익성 향상 및 시장점유율 확대
- ③ 정부/지자체 및 공공기관(철도 운영사)
 - 국가 철도산업 발전 및 4차 산업혁명 관련 산업 발전으로 국가 경제 지속 성장
 - 추가비용 투자 없는 실질적인 고속철도 속도향상으로 서민/중산층 교통비 절감
 - 전 국토의 이동시간 단축을 통한 국토 균형 발전 및 지역 삶의 질 향상
 - 지연비용 발생 최소화 및 추가 편성 투입 등을 통한 운영사 수익 극대화

4. 투입

- ① 사업비
 - 본 사업은 5개년 연구개발사업으로 계획하였고, 총 투입예산은 약 373억원(정부 280억원) 필요
 - 1세부 과제(실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발) 190억원 (정부 143억원)
 - 2세부 과제(가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발) 183억원(정부 137억원)
- ② 인적자원
 - 5년간 총 592명이 투입예정이며, 총 2,295 man-month(인건비 약 183.6억원)
 - 1세부 과제(실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발) 1,155m-m
 - 2세부 과제(가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발) 1,140m-m
- ③ 시설 및 장비
 - 1세부 과제 : 철도차량용 스프링/댐퍼 시험장비, 대차 동특성 주행시험기 등
 - 2세부 과제 : 추진장치 성능시험장비, 고속레일 차륜접촉 시험기, 다이내모미터 등
 - 공통 : HEMU-430X 시험차량, 호남고속선 테스트베드

5. 연구개발 활동

- 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발
 - 궤도/윤축 진동의 대차 전달 저감을 위한 능동형 1차 상하방향 현가장치 개발
 - 측풍 등에 의한 차체 진동, 대차 진동의 차체 전달 저감을 위한 능동형 2차 현가장치

- 스마트 현가 제어시스템 개발
- 가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발
 - 정시성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어장치 개발
 - ◇ 능동형 제동 전자제어기(ECU) 및 제어로직 개발
 - ◇ 능동형 추진제어시스템(C/I포함) 및 고성능 추진장치 냉각시스템 개발
- 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동)제어기(Train control Unit) 개발

6. 산출

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

7. 성과/ 영향

① 연구개발사업의 예상성과

- 국내 고속철도 서비스 질적 향상(승차감 30% 향상, 향상된 고속철도 정시성: 일본수준)
→ 통행시간 절감편익 연간 약 262억원
- 국내철도차량 시장 방어 및 해외 경쟁력 확보 : 200억원 수입대체, 5,000억원 수출효과
- 철도차량 분야 기술경쟁력 강화를 통한 해외고속철도 턴키시장 진입 가능성 상향

② 연구개발사업의 파급효과

- 인프라 유지보수 및 신규 건설비용 최소화를 통한 고속철도 운임 저감
- 철도수송분담율 및 철도수송 효율 향상을 통한 국토의 철도중심 기간망 구축에 기여
- 전 국토의 이동시간 단축을 통한 국토 균형 발전 및 지역 삶의 질 향상
- 국가 철도산업 및 4차 산업혁명 관련 산업 발전으로 국가 경제 지속 성장

8. 가정

- ① 세계 고속철도 시장은 연간 7%이상의 성장을 지속할 것으로 예상되며, 고부가가치 고속 철도차량에 대한 수요 역시 지속적으로 증가할 것임
- ② 4차 산업혁명은 더욱 가속화 될 것이며, 이에 따라 첨단 ICT 기술제품의 단가가 지속 하락하여, VDC 기술의 고속철도 차량 적용이 더욱 용이해 질 것임
- ③ 철도 선진국들은 첨단기술을 바탕으로 한 기술기준을 지속적으로 강화할 것으로 예상되며, 국내 철도차량 기술기준 역시 VDC 등 첨단기술을 반영할 것임

2. 기획과정의 적절성

- 세부과제의 개발대상 기술들은 논리적으로 타당한 절차를 통하여 선정됨
 - 본 과제의 개발대상 기술은 고부가가치 고속철도 주행장치 핵심기술로 스마트 현가시스템과 능동형 추진/제동 제어기술 등의 세부 첨단기술이며, 산학연의 자문위원, 외부 전문가를 대상으로 기술 수요조사를 통해 수집된 기술을 목표부합성, 인프라 적정성, R&D 중복성, 기술 활용성 부문을 고려하여 최종 예측기술을 선정함
 - 기술 예측 조사를 통해 기술 실현시기, 기술 획득방식, 정부개입 필요성, 기술 수준, 중요도 등을 조사
 - 기술 예측 조사의 대상 기술에 대해 21명의 외부 전문가를 대상으로 델파이 조사를 수행하여 개발 우선순위를 결정함
- 본 연구에서 스마트 주행장치 기술 개발과 관련된 국내외 기술개발동향 및 세부 요소기술별 기술수분에 대한 분석을 수행했으며, 기술개발 인프라, 차량제조업체 및 운영사의 수요, 세부기술의 중요도, 기술개발 성공가능성, 기술의 난이도 등을 종합적으로 고려한 기술개발 로드맵이 체계적으로 수립되었음
 - 고부가가치 철도차량의 첨단 주행장치 기술 개발에 필요한 세부요소기술들이 체계적으로 분류되어 있음
 - 기술개발 로드맵의 경우 세부요소기술간 연관관계가 도식적으로 표현되어 구체적인 기술개발 계획 및 기술개발의 추진경과를 명확하게 파악할 수 있음
 - 기술개발 로드맵에 종래 및 현재기술의 문제점을 극복하기 위한 기술개발 계획이 명확하게 제시되어 있음
 - 기술개발 성공가능성을 향상시키기 위하여 기술개발 과정에서 직면하게 될 기술적 위험성을 사전에 분석하고 위험요인을 극복하기 위한 추진전략이 구체적이고 체계적으로 제시되어 있음

3. 연구목표의 적절성

- 본 연구의 총괄목표는 스마트 현가시스템, 능동형 추진/제동 제어 기술 등 “주행환경 감응형 스마트 주행장치(Vehicle Dynamic Control) 기술 개발”을 총괄목표로 설정하였음
- 스마트 현가시스템 개발의 목표는 최종적으로 선로취약 구간에서 승차감 향상 및 감속방지를 통하여 승차감 향상과 열차 정시성을 향상시키는 것에 있음
- 승차감을 혁신적으로 향상시키기 위한 방안으로는 크게 두 가지로 분류할 수 있음
 - 선로상태에 따라 궤도/운축의 진동이 대차를 통해 차체로 전달되어 승차감에 악영향을 미치는 요소를 제어하는 능동형 1차 현가장치
 - 열차의 교행, 터널 주행, 측풍과 같은 환경 등에 의한 차체 진동과 대차로부터 전달되는 진동을 저감하기 위한 능동형 2차 현가장치

- 따라서 승객 체감 진동에 대한 저감 목표를 각각 설정할 필요가 있으며, 본 연구에서는 국내외 기술수준 분석을 통하여 1차적으로 해외 동등수준 이상의 목표를 설정하였음
- 해외의 경우 승차감 향상을 위하여 횡방향 또는 상하방향에 능동현가시스템을 적용하여 진동을 저감하는 연구가 지속적으로 이뤄지고 있으며, 각 단품에 대해서는 실용화된 기술도 있음
- 1차, 2차 현가장치를 통합하여 진동제어를 한 해외연구는 거의 이뤄지고 있지 않음
- 기술개발 목표는 KS R 9216 철도차량 승차감 측정 및 평가방법 적용에 의거하여 30% 진동저감이 약 3dB로 환산됨
- 승차감 레벨의 계산에는 진동의 기준값($10^{-6}m/s^2$) a_{ref} , 감각 보정한 진동 가속도의 실효값(m/s^2) a_w 를 변수로 사용하며 다음 식을 따름

$$L_{eq} = 20\log \frac{a_w}{a_{ref}}$$

여기에서, L_{eq} : 승차감 레벨(dB)

a_w : 진동 가속도의 실효값(m/s^2)

a_{ref} : 진동의 기준값($10^{-6}m/s^2$)

연구개발 목표	단위	세계최고수준	연구개발전 국내수준	개발목표치
가. 고속차량 횡방향 능동현가 적용 승객 체감 진동 저감	dB	3dB	-	3dB 이상 저감 (기존 능동현가 미적용 차량 대비)
나. 고속차량 상하방향 능동현가 적용 승객 체감 진동 저감	dB	3dB	-	3dB 이상 저감 (기존 능동현가 미적용 차량 대비)

- 능동 추진/제동 제어시스템 개발의 최종 목표는 세계 최고수준과 큰 차이가 나는 고속열차의 정시성 향상을 위하여, 고속열차의 가/감속 특성을 향상시키고 운행 속도 프로파일을 최대한 준수할 수 있도록 최적 운행 속도를 결정하는 것에 있음
- 연구개발의 목표를 설정하기 위하여, 국내외 기술 수준 분석을 제2장에서 수행하였으며, 그 결과 국내고속열차의 정시성은 15분 지연 기준 99.7%로 표면적으로 우수해보이나, 이를 세계최고 수준의 일본기준(1분 지연)으로 평가해보면 15.9%에 불과함.
- 일본과 한국의 고속열차 평균 열차지연시간(단위 : 분, 표준편차)을 정규분포를 가정하여 추출하면 한국의 열차지연 표준편차는 4분, 일본은 30초임을 유추할 수 있음.
- 따라서 일본이상 수준의 정시성을 달성하려면 4분의 지연을 만회할 수 있도록, 현재대비 운행시간을 5분을 줄일 수 있는 가/감속 성능의 향상이 필요함
- 현재 서울-부산(420km)의 KTX 가장 빠른 운행시간은 2시간 15분이므로, 이를 2시간 11분으로 줄일 수 있는 가/감속 성능을 추출하면 목표 수준을 설정할 수 있음
- 최고운영속도 300km/h로 서울-부산 420km를 2시간 15분에 운행한다 가정하면, 감속 및 가속에 소요되는 시간은 102분으로 계산되며, 최고 운영속도를 300km/h로 유지한 채(즉, 인프라에 대한 추가 투자 없이) 운행시간은 2시간 11분으로 줄이기 위해서는 가

/감속에 필요한 시간은 92분이 되며, 92분은 102분의 90.2% 수준임

- 따라서 가속 및 감속 특성을 현재 대비 10% 개선하게 되면 일본 수준의 정시성을 확보할 수 있는 최소한의 성능을 확보할 수 있게 됨

연구개발 목표		단위	세계최고수준	연구개발전 국내수준	개발목표치
가. 300km/h 제동거리	비상	%	3,300m	3,300m	3,000m (10% 개선)
	상용		4,400m	4,600m	4,000m (10% 개선)
나. 고속영역 순간 출력 상승		%	0	0	부스팅 모드 적용 시 순간출력 10% 상승
다. 300km/h 비상제동 거리 편차 (정확도)		%	±5% 내외	±10%	±5% 이하

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

4. 기술개발 성공가능성(기술 추세, 기술수준 분석)

□ 개발목표 관련 현 국내외 수준 비교

- － 국내 고속철도의 진동수준은 허용기준을 충족하고 있으나 해외 최고수준 대비 다소 부족한 수준으로 세계시장에서의 경쟁력 확보를 위해 이를 극복할 수 있는 기술개발 필요

[표 4.2] 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
ETR 500	Trevi	로마-나폴리	0.18	0.24	300km/h	동력집중식 독립 대차
KTX-산천	현대로템	광명-대전	0.27	0.45	300km/h	동력집중식 관절형 대차
KTX	Alstom	광명-대전	0.13	0.32	300km/h	동력집중식 관절형 대차

※ Trevi(consortium of Alstom, Bombardier, AnsaldoBreda)

※ 국제(유럽)기준 EN14363에 따른 분석결과 (허용기준 : 횡방향 0.5m/s², 상하방향 0.75m/s²)

- 국내 고속철도의 정시성은 대체적으로 유럽과 동등한 수준이나 해외 최고수준과는 격차가 발생

[표 4.3] 주요국가 고속철도 정시성 수준

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

* 일본 월간호스트 2015년 3월 27일호 자료 참고

** 13분 이내 91%, 15분 이내 99.7% 정시율이 표준정규분포를 따른다고 가정할 경우

- 국내 5년 평균 열차 지연율(2011~2015)은 62.3% 수준으로 운행순서조정, 열차고장, 여객승하차, 사상 지연, 선로유지보수에 따른 서행 순으로 영향

※ 지연시간: 16분~29분(88.8%), 30분~59분(7.9%), 60분 이상(3.2%)



[그림 4.2] 연도별 열차 도착 지연율

- 고속철도 열차지연의 경우 선행열차의 지연이 후속열차의 연쇄 지연으로 이어지는 상관관계 계수가 매우 높은 것으로 분석

□ 기술개발의 성공가능성

- 국내에서는 고속열차에 대하여 능동형 현가장치를 개발한 사례가 없음
- 기존선 열차에 대하여 한국철도기술연구원 주관으로 현대로템, 우진산전, 연세대, 동국대 등 산학연이 협동하여 스마트 VDC의 요소기술 중 하나인 능동현가장치를 성공적으로 개발한 사례가 있음

- 그 결과, 기존선 열차에 대하여 횡방향 능동현가장치를 개발 및 적용하여 횡방향 승객체감 진동을 40%까지 저감을 통해 성능을 검증하였으며, 과제 수행을 통해 기초(원천)기술을 다수 확보 있음
- 그러나 국내에서는 스마트 현가장치의 요소기술 중 하나를 개발한 사례는 있으나 선로 상태에 따른 진동을 제어하는 능동형 1차 현가장치와 차체의 외란에 따른 진동을 제어하는 능동형 2차 현가장치를 동시에 적용하여 승차감을 확보한 사례는 아직 없음
- 또한, 분산형고속열차(HEMU-430X) 개발 사업을 수행하면서 고속열차의 차량시스템에 대한 기반기술 및 인력이 축적되어 있음
- 스마트 VDC 요소기술 및 통합기술을 시험하기 위한 연구 인프라 (대차 시험기, 고속선 실차시험이 가능한 시험열차 등)가 충분히 구축되어 있어 상기 목표의 달성 및 실용화를 검증이 충분히 가능할 것으로 판단 됨
- 세계적으로 고속철도 시장은 지속적으로 성장하고 있으며, 특히 고부가가치 차량에 대한 수요가 증가할 것으로 예상되므로 고부가가치 기술 중 하나인 스마트 현가시스템 기술 개발이 필요함
- 출력특성을 10% 상승하기 위해서는 견인전동기, 추진제어장치(C/I or MPS), 냉각장치 등을 모두 상향 설계를 하여야 하나, 차량 제작 및 개조 비용의 막대한 상승이 필요하게 됨
- 그러나 차량이 지연이 발생하지 않았을 경우는 10%의 출력상승은 필요 없는 기능이 되며, 비용의 낭비가 될 수 있으므로, 열차지연이 발생할 경우에만 S/W적으로 추진제어장치의 출력을 상승시켜 운행 프로파일을 유지하는 것이 훨씬 경제적으로 이득임
- 차량의 추진 특성을 순간적으로 10% 상승하는 연구는 국내에서는 많이 수행되지는 않았으나, 국내에서는 HEMU-430X 최고속도 시험 시 견인전동기 정격출력인 410kW가 아닌 530kW까지 상승시켜 짧은 시간(20분 내외) 동안 운행한 경험이 있으며, 이 때 추진장치 모니터링 및 제어로직 최적화 등의 연구를 수행한 경험이 있음
- 따라서 추진제어장치에 부스팅 모드 제어로직을 적용하여 추진장치의 출력을 10% 상승시키는 연구는 충분히 성공 가능할 것으로 예상되며, 다만 추진 출력 10% 상승에 따른 각 구성품의 수명특성 및 신뢰성은 현차시험 등을 통하여 파악할 필요가 판단 됨. 특히 국내에는 HEMU-430X라는 시험차량이 존재하므로 현차시험을 통하여 순간출력 10% 상승 제어로직의 성능 및 신뢰성을 검증할 수 있다는 점에서 본 목표는 충분히 타당하다고 판단 됨
- 제동특성의 경우 현재 점착한계 내에서 속도별 감속도 다단계제어를 수행하고 있으나 점착한계 내의 제동력을 모두 사용하고 있지는 않는 상황임
- 따라서 감속도 다단계제어를 보다 세분화하여 점착한계 내에서 제동력을 최대한 사용하게 되면 현재 대비 제동특성의 개선이 가능하며, 현재 350km/h 까지 5단 제어 특성을 점착계수에 따른 연속제어로 변경하게 되면 수치적분 상으로는 약 10%의 제동거리 감소가 가능함. 따라서 제어장치를 보다 고도화하여 이상적인 감속도 제어를 구현하게 되면 제동거리 10% 감소 목표는 달성 가능할 것으로 판단 됨. 다만 제동에너지는 증가하게 되므로 제동 패드 및 제동 디스크의 마모도 등은 현차시험을 통하여 충분히 검증할 필

요가 있음

- 일본의 경우 이미 일정 제동거리 유지를 위하여 closed-loop 시스템을 적용하고 운영 중에 있으나 국내에서는 아직 적용하지 못한 상태로 관련 연구개발이 필요하나, 고속차량에 적용되어있는 활주방지장치(WSP)는 이미 Closed-loop제어를 적용하고 있음. 따라서 Closed-loop 제동시스템의 구현은 충분히 기술적으로 가능하며 제동거리 편차 5% 역시 해외 사례를 보았을 때 달성가능하다고 판단 됨

5. 기존 사업과의 중복성

- 본 과제와의 차이점을 도출하기 위하여 유기적으로 연결된 기존 과제를 분석함

구분	선행과제명 (연구연도)	연구자	연구목적	연구방법	주요 연구내용	선행과제와의 차별성		
						연구목적	연구방법	연구내용
1	철도차량용 능동현가장치 기술개발 (산업통상자 원부) (2010~2015)	한국철 도기술 연구원, 현대로 템, RMS 테크놀 로지	- 승객 횡방향 체감진동 20% 저감용 반능동 현가장치 기술 개발 - 승객 횡방향 체감진동 40% 저감용 능동현 가장치 기술개 발	- 준고속 철 도차량 대상 - 단품위주로 개발 하고 유 사환경에서의 주행시험을 통해 성능검 증 - 단기간 실 선 주행시험 을 통해 목표 성능 검증 (TRL 6) ※ 무궁화열 차 활용	- 능동현가용 대 용량 전자기식 선형액추에이터 및 제어기 기술 개발 - 능동현가용 대 용량 MR댐퍼 및 제어기 기술개발	○연구목적 -승객편의성 향상을 위한 지능형 주행장치 기술개발 ○연구방법 -개념정립 단계부터 능동제 어기술 기반의 통합설계 고려 -단위 또는 개별 능동제어 기술이 아닌 스마트 현가/ 추진/제동 제어기술까지 접목한 통합 제어기술 개 발에 초점 ○연구내용 -스마트 1차 현가장치 개발 -스마트 2차 현가장치 개발 -지능형 추진/제동 제어시 스템 개발 -VDC 적용 통합제어기 개발		

3절 경제적 타당성

1. 비용 추정

가. 연구개발비용

본 사업의 연구개발기간은 핵심기술개발을 2018년에서 2022년까지 5년간으로 계획하였으며 총 약 280억원의 연구비를 제시하였다.

연차별 투입계획은 다음과 같다.

[표 4.4] 연차별 연구개발비용 투입계획

(단위: 백만원)

연도	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	합계
핵심기술개발	3,210	6,600	8,800	7,450	1,940	28,000

자료: 소요예산 투입계획

나. 상용화비용

상용화를 위한 비용은 차량에 본 제어기술을 도입해 구입하기 위한 도입가격 증가분으로 가정하였다. 도입가격은 1량당 1.5억원/량으로 추정되었다. 고속열차의 수명은 예비타당성조사 지침 등에서 30년으로 제시되고 있으며, 현재 보유중인 차량은 중 2033년 17개편성 340량(2003년 도입)을 시작으로 점차 수명주기가 도래할 예정이다.

[표 4.5] 연차별 고속철도차량 도입수량

(단위: 량)

차종	2003	2004	2010	2011	2015	2016	2017	합계
100000호대(KTX-1)	340	620						960
110000호대(산천)			190	50				240
120000호대(호남산천)					220			220
130000호대(SR)						100		100
140000호대(원강산천)							150	150
	340	620	190	50	220	100	150	1,670

자료: 철도통계연보

상용화 시나리오는 현재 운영 중인 고속철도차량 1,670량 전체에 대하여 기술개발이 완성되는 2023년부터 2025년까지 3년 간 개량사업을 수행하는 것으로 가정하였다. 또한 내구연한 도래에 따른 대체차량 도입 시에도 본 기술을 기본 적용하여 도입하는 것으로 가정하였다.

[표 4.6] 연차별 상용화비용 투입계획

(단위: 량, 억원)

연도	2023	2024	2025	2033	2034	2040	2041	2045	2046	2047	합계
개량(량)	600	600	470								1,670
구매(량)				340	620	190	50	220	100	150	1,670
합계(량)	600	600	470	340	620	190	50	220	100	150	3,340
비용(억원)	900	900	705	510	930	285	75	330	150	225	5010

2. 편익 추정

가. 편익항목의 식별 및 추정방법

(1) 편익항목의 식별

본 사업의 편익항목은 기술개발사업 성공에 따른 수입대체 편익과 관련 수출편익이 있으며, 또한 제품 상용화를 통한 정시성 향상으로 통행시간이 절감되는 편익을 포함한다.

[표 4.7] 편익의 구성 및 내용

구성	내용	비고
기술개발 사업을 통한 부가가치 창출 편익	수입대체편익	기술개발로 인해 국내 시장에서 수입제품이 아닌 국내제품을 도입함에 따른 편익
	수출편익	기술개발로 인해 국제 시장에 제품을 수출함에 따른 편익
제품 상용화를 통한 편익	통행시간 절감편익 (정시성 제고편익)	제품 상용화로 고속열차의 정시성이 개선됨에 따라 열차지연으로 인한 사회적 시간손실이 절감됨에 따른 편익

(2) 편익항목별 추정방법

(가) 수입대체 편익

기술개발로 인해 국내 시장에서 수입제품이 아닌 국내제품을 도입함에 따른 수입대체편익은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{수입대체편익} &= \text{국내 업체의 생산대수} \\ &\times \sum (\text{개별 가격} \times \text{기술개발 성공률} \times \text{사업화 성공률}) \\ &\times \text{연도별 국내시장 점유율} \times \text{부가가치율} \times \text{R\&D기여율} \end{aligned}$$

(나) 수출편익

기술개발로 인해 국제 시장에 제품을 수출함에 따른 수출편익은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{수출편익} &= \sum (\text{해외 수출규모} \times \text{기술개발 성공률} \times \text{사업화 성공률}) \\ &\times \text{부가가치율} \times \text{R\&D기여율} \end{aligned}$$

(다) 통행시간 절감편익 (정시성 제고편익)

통행시간 절감편익은 사업시행으로 열차 정시성이 제고됨에 따라 열차이용승객이 경험하는 열차 지연시간을 포함한 총 통행시간이 단축됨에 따른 편익을 정량적으로 산출한다. 단 열차의 지연시간은 노선의 여건에 따라 다르게 나타나므로 노선별 운행빈도와 승객 비율을 이용하여 실제 지연시간의 총 단축량을 산출한다.

$$\text{통행시간절감편익} = \sum (\angle \text{노선평균지연시간} \times \text{노선승차인원})$$

2012년 측정된 고속열차의 노선별 평균 지연은 다음과 같다.

[표 4.8] 고속열차 지연의 기술통계량

(단위: 량)

노선	일평균 운행회수 (회)	평균 지연시간 (초)	열차평균 수송인원 (인/회)	노선평균 수송인원 (인)	수송인원 비율 (%)	총 지연시간 (초)
경부선	108.8	178.0	931.8	101,380	75.1%	18,045,640
경전선	17.8	111.6	632.3	11,255	8.3%	1,256,058
전라선	10.0	94.4	373.3	3,733	2.8%	352,395
호남선	38.9	79.6	478.4	18,610	13.8%	1,481,356
(전노선)	175.6	156.6	769.2	134,978	100.0%	21,135,449

자료: 김한수 외(2013), 고속철도 열차지연 유형의 구분지표 및 기준, 한국경영과학회지

예비타당성조사 지침에 제시된 시간가치 원단위는 다음과 같다.

[표 4.9] 시간가치 원단위 기준

	단위	비용	
		2013년 기준가격	2016년 기준가격
지역간철도	1인x시당	8404 원/인/시	8654 원/인/시

자료: 한국개발연구원(2013), 통행시간가치 재산정 가이드라인

열차지연으로 인한 통행시간비용의 고속철도 승객 1인 당 원단위는 다음과 같이 나타난다.

[표 4.10] 열차지연으로 인한 통행시간비용

	평균지연시간 (A) (이용승객수 가중평균)	통행시간가치 (B)	열차지연비용 (AxB)
고속철도 1인	156.6초/인	8654 원/인/시	376.45원/인

자료: 한국개발연구원(2013), 통행시간가치 재산정 가이드라인

나. 기술 수요 전망

(1) 산업 전망

[표 4.11] 글로벌 철도차량업체 별 철도차량 시장 점유율

업체	국가	점유율
CNR	P.R.China	15.0%
CSR	P.R.China	14.9%
Bombardier	Canada	8.7%
Alstom	France	7.4%
TMH	Russia	6.8%
Siemens	Germany	4.0%
GE	U.S.A.	3.3%
CAF	Spain	2.4%
Hyundai Rotem	S.Korea	2.4%
Others		35.1%

자료: SCI Verkehl (2014)

독일 철도통계 전문기관인 SCI Verkehl에 따르면 세계 철도시장은 2014년 기준 209조 원

으로 연평균 3.4% 성장해 2018년 230조원 규모에 달할 것으로 전망되며 이 중 철도차량은 60%를 차지하며 차량구매와 유지관리가 각각 50%를 차지한다. 국내 업체인 현대로템(Hyundai Rotem)의 시장 점유율은 2.4%로 나타난다.

(2) 부가가치율 및 R&D 기여율

한국은행과 통계청에서 발표한 철도차량산업의 업종 부가가치율의 평균을 본 사업을 통해 발생하는 철도차량산업의 추가적인 매출에서 부가가치가 차지하는 비중으로 가정하였다. 한국은행 및 통계청이 발표한 철도차량산업의 업종 부가가치율의 평균은 29.3% 정도이다.

[표 4.12] 철도차량산업의 부가가치율

	2007년	2008년	2009년	2010년	평 균
부가가치율	32.20%	31.95%	26.98%	25.91%	29.26%

자료: 한국은행

또한 본 사업의 기술개발 활동이 부가가치의 창출에 어느 정도 기여하였는가를 추정하기 위하여 R&D 기여율을 추정한다. 이전의 유사 사업에 대한 예비타당성조사에서 가정하였던 방법론을 원용하였다. 평균은 26.2% 정도이다.

[표 4.13] 우리나라 R&D 스톡의 성장기여도

연구자	STEPI(2007)	신태영(2004)	하준경(2005)	문소상(2004)	평 균
연구기간	1971~2004	1981~2002	1991~2000	1981~2002	26.2%
성장기여도	30.6%	28.1%	22.7%	23.3%	

자료: 각 연구

다. 편익추정 결과

(1) 기술개발사업에 따른 편익

(가) 수입대체 편익

수요처가 한정된 제품인 철도차량의 특성 상 본 평가에서는 내수물량 전망치를 본 평가에서 제시한 장래 상용화 계획의 고속철도차량 발주예정 물량으로 인용하였다.

도입가격을 1.5억원/량으로 가정하고 국산화율(50%), 부가가치율(29.26%)과 R&D기여율(26.20%)을 반영한 수입대체 편익은 량당 0.06억원/년으로 추정되었다.

[표 4.14] 연차별 내수수요전망

(단위: 량, 억원)

연도	2023	2024	2025	2033	2034	2040	2041	2045	2046	2047	합계
개량(량)	600	600	470								1,670
구매(량)				340	620	190	50	220	100	150	1,670
합계(량)	600	600	470	340	620	190	50	220	100	150	3,340
비용(억원)	900	900	705	510	930	285	75	330	150	225	5010
편익	36	36	28.2	20.4	37.2	11.4	3	13.2	6	9	200.4

(나) 수출편익

2018년 이후 전세계 철도차량시장의 시장규모는 연간 215조원 규모로 추산되며 그 중 차량 유지보수 및 E&M을 제외한 순수 철도차량 신규발주 시장은 약 72조 원, 이 중 고속/고급 철도차량의 시장은 그 30%인 21조 원에 이를 것으로 전망되고 있다. 만약 본 기술 도입을 통해 글로벌 고속/고급 철도차량 시장에 신규 진입이 가능해진다고 가정한다면, 국내 업체인 현대로템(Hyundai Rotem)의 현 전체시장 점유율인 2.4%를 고려할 때 연간 약 5천억원의 수출증대가 이루어질 것으로 전망된다.

국산화율(50%), 부가가치율(29.26%)과 R&D기여율(26.20%)을 반영한 수출편익은 연간 193.19억원에 이를 것으로 전망된다.

(2) 기술도입에 따른 편익

개발된 기술을 상용화하여 기존 고속열차를 개량할 경우 발생하는 통행시간 절감편익을 산출하였다. 장래 고속철도 수요는 한국교통연구원의 국가교통DB에서 예측된 수요와 현황의 노선별 이용비율을 적용하였다.

[표 4.15] 장래 고속철도 수요량 및 편익발생량

(단위: 인/일)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045
총수요 (인/일) (A)	146,272	207,071	210,640	208,516	205,189	198,558	190,570
지연시간비용 (원/인) (B)	376.45	376.45	376.45	376.45	376.45	376.45	376.45
편익 (만원/일) (AxB)	.	.	7929	7849	7724	7474	7174
편익 (억원/년)	.	.	289.43	286.51	281.94	272.83	261.85

자료: 국가교통DB

3. 경제성 분석

가. 경제성 분석의 전제

경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였다. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2023년에서 2033년까지 10년간으로 분석하였으며, 상용화 사업기간은 2023년에서 2025년까지 3년으로 가정하였다. 편익발생기간은 차량내 구현환을 고려하여 상용화 사업종료 후 30년인 2055년까지 30년간으로 분석하였다. 분석기간 종료시점에 차량의 잔존가치는 최종년도 비용에 음의 값 형태로 반영하여 감가상각비를 반영할 수 있도록 하였다.

나. 경제성 분석 결과

분석 결과 B/C는 1.46으로 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타났다.

[표 4.16] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산)

	비용 (억원)	편익 (억원)	B/C	NPV (억원)
연구개발 부문	238.02	1145.69	4.81	907.67
상용화 부문	2363.67	2658.40	1.12	294.73
합 계	2,601.69	3,804.09	1.46	1202.4

주) 사회적 할인율 5.5%

[표 4.17] 연구개발 부문의 경제성 분석 결과

연도	연구개발 비용	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	수입대체 편익	수출증대 편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2018	32.10	32.10	30.45	0		0	0
2019	66.00	66.00	58.99	0		0	0
2020	88.00	88.00	75.66	0		0	0
2021	74.50	74.50	57.15	0		0	0
2022	19.40	19.40	11.31	0		0	0
2023				34.5	193.19	227.69	162.12
2024				34.5	193.19	227.69	153.24

연도	연구개발 비용	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	수입대체 편익	수출증대 편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2025				27.02	193.19	220.21	140.05
2026				0	193.19	193.19	116.11
2027				0	193.19	193.19	109.73
2028				0	193.19	193.19	103.74
2029				0	193.19	193.19	97.95
2030					193.19	193.19	92.54
2031					193.19	193.19	87.52
2032					193.19	193.19	82.69
합계	280	280	233.56	96.02	1,931.9	2,027.92	1,145.69

[표 4.18] 상용화 부문의 경제성 분석 결과

연도	차량 개조비	차량 구매비	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	통행시간 절감편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2023	900		900	640.8	103.99	103.99	74.04
2024	900		900	605.7	207.97	207.97	139.96
2025	705		705	448.38	289.43	289.43	184.08
2026			0	0	288.846	288.846	173.6
2027			0	0	288.262	288.262	163.73
2028			0	0	287.678	287.678	154.48
2029			0	0	287.094	287.094	145.56
2030			0	0	286.51	286.51	137.24
2031			0	0	285.596	285.596	129.37
2032			0	0	284.682	284.682	121.84
2033		510	510	206.04	283.768	283.768	114.64

연도	차량 개조비	차량 구매비	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	통행시간 절감편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2034		930	930	355.26	282.854	282.854	108.05
2035		0	0	0	281.94	281.94	101.78
2036		0	0	0	280.118	280.118	95.52
2037		0	0	0	278.296	278.296	89.89
2038		0	0	0	276.474	276.474	84.32
2039		0	0	0	274.652	274.652	79.1
2040		285	285	77.52	272.83	272.83	74.21
2041		75	75	19.28	250.634	250.634	64.41
2042		0	0	0	228.438	228.438	55.51
2043		0	0	0	206.242	206.242	47.44
2044		0	0	0	184.046	184.046	39.94
2045		330	330	67.65	161.85	161.85	33.18
2046		150	150	29.1	161.85	161.85	31.4
2047		225	225	41.18	161.85	161.85	29.62
2048		0	0	0	161.85	161.85	28
2049		0	0	0	161.85	161.85	26.54
2050		0	0	0	161.85	161.85	25.09
2051		0	0	0	161.85	161.85	23.63
2052		0	0	0	161.85	161.85	22.34
2053		0	0	0	161.85	161.85	21.04
2054		0	0	0	161.85	161.85	19.91
2055		-1087.5	-1087.5	-127.24	161.85	161.85	18.94
	2,505	1,417.5	3,922.5	2,363.67	7,490.7	7,490.7	2,658.4

4절 타당성 검토 종합

1. 정책적 타당성 검토

- 「철도산업발전기본법」에 따라 수립된 제 3차 철도산업발전기본계획의 철도 수송분담률 27% 달성 및 철도수송 효율 15% 향상, 철도건설 및 운영유지비 5% 절감 등의 중기목표를 달성하는데 크게 기여
- 또한 제 2차 국가철도망 구축계획과 연계하여 국토 주요거점의 고속철도 연결 정책강화 및 철도중심 국가기간망 구축정책에 기여
- 국내 철도차량 기술은 다년간의 추격형 연구개발을 통하여 선진국 동등수준을 달성하였으나, 철도차량산업의 지속가능성 및 해외경쟁력 확보를 위하여 승객편의 향상을 중심으로 한 철도차량의 고부가가치 기술개발이 필요

2. 기술적 타당성 검토

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

3. 경제성 타당성 검토

- 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였으며, 연구개발에 의한 편익발생기간은 2023년에서 2033년까지 10년간으로

분석하였음

- 상용화 사업기간은 2023년에서 2025년까지 3년으로 가정하였으며, 편익발생기간은 차량내구연한을 고려하여 상용화 사업종료 후 30년인 2055년까지 30년간으로 분석하였음. 분석기간 종료시점에 차량의 잔존가치는 최종년도 비용에 음의 값 형태로 반영하여 감가상각비를 반영할 수 있도록 하였음
- 경제성 분석 결과, B/C는 연구개발 부분과 상용화 부분을 고려하여 분석을 수행하였으며 전체 B/C가 1.46으로 분석되었음

제5장 자원투입계획

1절 연구시설 및 장비 투입계획

- 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술 개발 과제는 연구단 과제로 총 2세부 6개 제안기술을 도출하여 인력, 장비 및 소요예산을 산정하였음
- 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술분야의 세부과제별로 기술개발 3년, Lab test 및 실차 시험을 2년으로 구성하였으며 과제 진행에 따라 추가적인 검토를 통해 효율적으로 기간을 조정하겠음
- 차량의 능동제어를 위한 연구개발 위주로서, 제어로직 설계 및 해석을 위한 S/W 위주의 장비가 주로 투입 예정
 - － 3천만원 이상 연구시설/장비비 : 2,590 백만원
 - － 3천만원 이하 연구시설/장비비 : 273 백만원
- 개발연구성과의 실용화를 위한 시작품 및 시제품 제작비 반영
 - － 1세부과제 시작품/시제품 제작비 : 1,480 백만원
 - － 2세부과제 시작품/시제품 제작비 : 1,440 백만원
- 세부과제별 연구장비/재료비 합계
 - － 1세부과제 : 6,429 백만원
 - － 2세부과제 : 5,687 백만원

연구단	세부과제		연구내용
주행환경 감응형 스마트 주행장치(V DC)기술 개발	1세부 : 실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발	1-1	능동형 1차 상하방향 현가장치 개발
		1-2	능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발
		1-3	승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합 제어시스템 개발
	2세부 : 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발	2-1	감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술
		2-2	가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술
		2-3	최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술

2절 인력투입계획

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

[표 5.1] 세부과제별 인력투입계획

구분	세세부과제	소요인력				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1세부	1-1	12	14	21	8	4
	1-2	15	27	36	31	18
	1-3	8	8	25	13	5
2세부	2-1	17	33	45	26	13
	2-2	15	30	47	36	13
	2-3	7	23	16	18	8

3절 소요예산 투입계획

본 과제의 연차·단계별 연구개발 소요예산을 세부과제별로 제시하였다.

1. 총 연구비

(단위 : 백만원)

과제명	연차	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총연구비
주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC)기술개발	정부	3,210	6,602	8,800	7,434	1,954	28,000
	민간	1,071	2,202	2,935	2,480	652	9,340
	합계	4,281	8,804	11,735	9,914	2,606	37,340

2. 세부과제별 연구비

(단위 : 백만원)

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

3. 세부기술별 소요예산

□ 1세부과제 : 실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발

[단위:백만원]

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산	
A	실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스 템 개발	A-1	능동형 1차 상하방향 현가장치 개발	A-1-1	1차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출	414	
				A-1-2	주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(1)	1,196	
				A-1-3	1차 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	1,286	
				A-1-4	시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)	830	
		A-1 소계					3,726
		A-2	능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발	A-2-1	2차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출	242	
				A-2-2	2차 능동현가장치(횡/상하방향) 통합설계를 위한 메커니즘(안) 도출	888	
				A-2-3	주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(2)	1,196	
				A-2-4	2차 횡방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	1,660	
				A-2-5	2차 상하방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	1,216	
				A-2-6	시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)	684	
				A-2-7	시험차 시험선 성능시험(진동저감 성능, 안전 등)	1,050	
		A-2 소계					6,936
		A-3	승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합 제어시스템 개발	A-3-1	고속열차 진동수준 측정 및 분석	450	
				A-3-2	능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어전략 도출	874	
				A-3-3	능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어알고리즘 설계 및 구현	980	
				A-3-4	통합제어용 제어기 H/W 설계 및 개발	1,040	
				A-3-5	통합제어용 제어기 성능 검증	466	
				A-3-6	1차/2차 능동현가장치 탑재 시험차 통합 제어 성능시험(Lab test)	1,194	
		A-3 소계					5,004

□ 2세부과제 : 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동제어시스템 개발

[단위:백만원]

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산	
B	가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동제어시스템 개발	B-1	감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술	B-1-1	국내 환경 분석을 통한 속도별 점착한계 분석	148.2	
				B-1-2	능동형 제동제어 시스템 요구사항 도출	314.3	
				B-1-3	감속도 기반 능동형 제동력 다단계제어로직 설계	800.96	
				B-1-4	주행환경 감응형 스마트 제동력 분담 제어로직 설계	747.2	
				B-1-5	능동형 제동 전자제어장치(ECU) H/W 설계	307	
				B-1-6	능동형 제동 ECU 시제품 제작 및 단품 성능시험(HILS 이용)	1184	
				B-1-7	제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 설계 및 성능평가절차서 작성	253.6	
				B-1-8	제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 제작	223.2	
				B-1-9	개발 제동 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스(TDCS) 개조	595.6	
				B-1-10	시제품 현차 성능시험	427.2	
		B-1 소계					5376
		B-2	가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술	B-2-1	기존 고속영역 출력 부스팅 시험결과 분석	139	
				B-2-2	능동형 추진제어 시스템 요구사항 도출	265.7	
				B-2-3	고속영역 출력 부스팅 제어로직 설계	781.6	
				B-2-4	추진시스템 허용 제어로직 설계	778.9	
				B-2-5	추진시스템 능동형 냉각장치 개념설계	265.8	
				B-2-6	능동형 추진제어장치(C/I) H/W 설계 및 핵심부품 발주	1182	

[단위:백만원]

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산	
				B-2-7	능동형 추진제어장치(C/I) 시제품 제작 및 Lab Test(부하/무부하 시험 등)	1220	
				B-2-8	추진시스템 능동형 냉각장치 H/W 설계	341	
				B-2-9	추진시스템 능동형 냉각장치 시제품 제작 및 냉각성능 Lab test	396.8	
				B-2-10	개발 추진 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스(TDCS) 개조	595.6	
				B-2-11	시제품 현차 성능시험	435	
		B-2 소계					6402
		B-3	최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술	B-3-1	통합제어시스템 인터페이스 개념설계	213	
				B-3-2	차량 TDCS 시스템 I/O 분석	248	
				B-3-3	운행속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어로직 설계	586	
				B-3-4	개발시스템(추진/제동/진동)간 상호 인터페이스 설계 확정	317.2	
				B-3-5	통합 제어시스템 H/W 설계 및 핵심부품 발주	488	
				B-3-6	통합제어시스템 시제품 제작 및 장치간 통신시험	490	
				B-3-7	통합제어시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 개조	480	
				B-3-8	시제품 현차 성능시험	207	
		B-3 소계					3029

제6장 과제공모 방안

1절 과제제안 요구서

1. 연구단 : 주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 기술 개발

연구개발과제명	주행환경 감응형 스마트 주행장치(VDC) 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 승객편의성 향상을 위한 고속열차 VDC(Vehicle Dynamic Control) 기술 개발 - 선로 취약구간 승차감 향상(기존대비 30% 이상)을 위한 스마트 현가시스템 개발 - 정시성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 개발(순간출력 10%상승, 제동거리 10%감소)
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 세계 고속철도차량 시장 진출 및 영역확보를 위한 세계시장 선도형 연구개발 필요 - 세계 시장에서의 주요 경쟁지표인 승차감 및 정시성 분야에서 국내 수준은 해외 최고수준 대비 미흡하여 이를 극복할 수 있는 기술개발 필요 ○ 미래 철도운영 환경의 변화에 대응하기 위한 기술개발 필요 - 고속철도 수송수요 증가에 따른 선로용량 한계를 극복하기 위한 방안 강구 필요 (시설투자 최소화로 선로용량의 증대) - 기계요소 위주의 기존 철도차량 설계방식으로는 주행성능 고도화 한계 도달, 전기전자기술, 정보통신기술과 융합한 지능형 차량제어 기술 필요 ○ 이용자의 만족도를 향상(원하는 시간, 빠르고, 편하고 안전하게)시키고, 운영자의 효율을 향상(수요대응, LCC 저감, 안전)시키는 기술 개발이 필요 □ 기술동향 ○ 국내 기술동향 - 2010년부터 5년간 산업통상자원부의 지원을 받아 저속 및 준고속 열차용 능동 2차 횡댐퍼에 대한 단위 구성품 개발 및 적용 타당성 검토에 초점

- 제동시스템 : 국가 R&D인 HEMU-430X 기술개발을 통하여 분산형 고속열차의 제동시스템에 대한 국산화 및 기본성능은 확보하였으나, 제어기술 부족으로 인하여 일정 제동거리 유지에 한계가 있으며, 제동력 능동제어와 같은 고부가가치 기술에 대한 연구는 현재 전무한 상태
- 추진시스템 : 해외기술 추격형 연구 및 H/W 위주 기술개발 위주로 개발이 진행되었으며 추진시스템 허용제어, 운행 최적화 등 고부가가치 제어기술에 대한 연구개발동향 없음

○ 국외 기술동향

- (현가시스템) '95년부터 부분적으로 횡방향 능동현가시스템을 적용하여 운행하였으며, '14년부터는 다양한 노선의 전 차량에 능동현가시스템을 적용한 편성이 도입되기 시작. 상하방향 능동현가장치 역시 세계 최초 개발하여 '13년 10월에 실용화
- (현가시스템) 알스톰에서 AGV 개발시제에 상하방향 능동현가장치를 적용하여 350km/h 주행 시의 진동수준을 300km/h 주행 수준으로 유지하는데 성공하였으나 상용화 모델에는 미적용
- (현가시스템) 독일 Bombardier는 능동조향, 능동현가, HOD 등이 적용된 Flexx-Tronic 대차 개발에 성공, 스위스연방철도(SBB)에 436량 2019년 말까지 납품 예정
- (제동시스템) EU는 제동성능의 비약적인 향상을 위하여 점착력 무관 선형 와전류 제동시스템 개발 집중하고 있으며, 세계적인 제동시스템 업체인 Knorr는 EWB154R 이라는 실용화모델을 개발하였으나 신호시스템 적합성 등의 문제로 인하여 실용화는 지연. 또한 일본과 중국은 Closed-loop 기반 제동제어시스템 기술개발 진행 중
- (추진시스템) 미국 GE는 Industrial Internet 기술의 일환인 'Railconnect 360'으로 열차 계측데이터 분석을 통한 열차 추진시스템 효율화 솔루션을 2014년부터 제공하고 있으며, 프랑스 SNCF와 일본 JR은 최근에 운행환경 감응형 견인력 최적화 로직을 시험열차에 적용하는 Eco-driving 기술을 개발 중

3. 연구개발내용

- 궤도/윤축 진동의 대차 전달 저감을 위한 능동형 1차 상하방향 현가장치
- 축풍 등에 의한 차체 진동, 대차 진동의 차체 전달 저감을 위한 능동형 2차 현가장치
- 스마트 현가 제어시스템
- 능동형 제동 전자제어시스템(ECU 포함)
- 능동형 추진제어시스템(C/I 포함)
- 고속열차 VDC(Vehicle Dynamic Control) 시제 성능 검증

4. 연구개발 추진방법

- ☐ 추진전략
- 고부가가치 철도차량 기술관련 우수 기술 보유 연구기관들과 협동 및 공동 연구 추진
 - 정부 및 관련 기관들의 유기적 협조체제 구축
 - 연구성과를 현장 적용시킬 수 있도록 관련기관 및 산업계 등 기술수요처 의견수렴
 - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영
 - 국내외 전문가 자문위원회를 구성하여 정기적 자문을 통한 연구결과 품질 향상
 - Top-down 방식으로 원천기술 개발
 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증
 - 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체제 구축
 - 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발
 - 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진
 - 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증
 - 연구개발 결과의 수요처인 운영기관의 연구 참여 및 현장 시험 추진
 - 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력

- ☐ 추진체제
- 국내 철도차량, 추진, 제동 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
 - 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함

○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축	
5. 최종성과물(주요 최종성과물)	
○ 궤도/윤축 진동의 대차 전달 저감을 위한 능동형 1차 상하방향 현가장치 ○ 축풍 등에 의한 차체 진동, 대차 진동의 차체 전달 저감을 위한 능동형 2차 현가장치 ○ 스마트 현가 제어시스템 ○ 능동형 제동 전자제어시스템 - 감속도 기반 제동력 다단계 제어 로직(S/W) - Feedback 제어용 센서류 및 제동 ECU(H/W) ○ 능동형 추진제어시스템 - 3Level 기반 차세대 소자 적용 추진제어장치(H/W) - DC Link 전압 가변형 출력 제어 로직(S/W)	
6. 활용방안 및 기대효과	
☐ 활용방안	○ 신개념 고부가가치 철도차량 구축을 위한 기반 기술의 확보 ○ 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출 ○ 고속철도 차량용 스마트 현가시스템 및 주행환경 감응형 센서 핵심 기술 확보 및 실용화 준비
☐ 기대효과 및 파급효과	○ 경제적 효과 - 고부가가치 철도차량 기술개발을 통한 선로 관리기준 완화, 주행

환경 실시간 모니터링/제어를 통한 고장예방 등 유지보수 비용 감소 및 운임 감소

- 국내 고속열차 기술의 해외시장 경쟁력 확보 및 시장진출을 통해 글로벌 시장 점유율 확대

○ 기술적 효과

- 주행환경 감응형 고속열차 주행 핵심장치 개발을 통하여 국내 고속열차 기술의 고부가가치화 및 해외시장 경쟁력 확보가 가능할 것으로 예상
- 지능형 차량 주행핵심장치 능동제어기술은 유럽 선진업체만이 가지고 있거나 아직 기술개발이 이루어지지 않은 고도의 기술로서 본 기술개발을 통하여 국내 고유기술 확보 및 세계시장 선도 가능

○ 정책적 효과

- 「철도산업발전기본법」에 따라 수립된 제 3차 철도산업발발전 기본계획의 철도 수송분담률 27% 달성 및 철도수송 효율 15% 향상, 철도건설 및 운영유지비 5% 절감 등의 중기목표를 달성하는데 크게 기여할 수 있으며, 또한 제 2차 국가철도망 구축계획과 연계하여 국토 주요거점의 고속철도 연결 정책강화 및 철도중심 국가기간망 구축정책에 기여

○ 파급적 효과

- 봄바르디사의 Flexx-Tronic 대차가 적용된 250km/h급 (SBB 납품) 차량의 량당 가격이 41.6억원 수준인데 반해 최근에 국내 계약된 EMU-250의 경우 량당 평균가격이 31억원 수준으로 차량의 고부가가치 기술접목으로 35억원 수준으로 공급한다면 기술력 및 브랜드가치에서 중국과 차별성을 두고, 메이저 제작사와는 가격경쟁력으로 세계고속철도 시장에서의 경쟁력 확보 가능
- 자동차 시장과 철도시장이 동일하지는 않으나, 대략 고급 자동차 시장규모에 해당하는 10%를 고부가가치 고속차량 시장으로 가정한다면, 5년에 약 900량 규모로 3,600억원 규모의 추가 부가가치 발생. 이와 더불어 고부가가치 차량에 의해 발생하는 승차감 및 정시성 향상, 유지보수 비용 절감 등을 고려한다면 막대한 간접적 편익 기대 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 5년

○ 총 연구개발비 : 37,340백만원(정부 28,000백만원, 민간 9,340 백만원)

- 1차년도 연구비 : 4,281백만원 (정부 3,210백만원, 민간 1,071백만원)
- ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
- ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
- ※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
- ※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용
- ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

- 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr 및 <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시
 - 핵심성과물 및 성과유형 제시

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
 - 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
- 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항
 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출
 - ※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용
- 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협

약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음

- 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금도 조정될 수 있음

- 필요시 연구종료 후 2년간 연구결과물의 지속적인 현장시험이 가능하도록 하여야 함

2. 1세부 : 실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발

연구개발과제명		실시간 주행환경 감응형 스마트 현가시스템 개발																																									
1. 연구개발 목표		○ 승객편의성 향상을 위한 고속열차 VDC(Vehicle Dynamic Control) 기술 개발 - 선로 취약구간 승차감 향상(기존대비 30% 이상)을 위한 스마트 현가시스템 개발																																									
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향																																											
□ 연구개발의 필요성		○ 세계 고속철도차량 시장 진출 및 영역확보를 위한 세계시장 선도형 연구개발 필요 - 세계 시장에서의 주요 경쟁지표인 승차감 및 정시성 분야에서 국내 수준은 해외 최고수준 대비 미흡하여 이를 극복할 수 있는 기술개발 필요 <주요 고속철도 차량의 진동 수준> <table><tr><th rowspan="2">대상</th><th rowspan="2">차량 제작사</th><th rowspan="2">측정구간</th><th colspan="2">차량진동 (m/s²)</th><th rowspan="2">주행속도 (자갈궤도)</th><th rowspan="2">비고</th></tr><tr><th>횡방향</th><th>상하방향</th></tr><tr><td>AGV 575</td><td>Alstom</td><td>나폴리-로마</td><td>0.20</td><td>0.30</td><td>300km/h</td><td>동력분산식 관절형 대차</td></tr><tr><td>ETR 500</td><td>Trevi</td><td>로마-나폴리</td><td>0.18</td><td>0.24</td><td>300km/h</td><td>동력집중식 독립 대차</td></tr><tr><td>KTX-산천</td><td>현대 로템</td><td>광명-대전</td><td>0.27</td><td>0.45</td><td>300km/h</td><td>동력집중식 관절형 대차</td></tr><tr><td>KTX</td><td>Alstom</td><td>광명-대전</td><td>0.13</td><td>0.32</td><td>300km/h</td><td>동력집중식 관절형 대차</td></tr></table> ○ 미래 철도운영 환경의 변화에 대응하기 위한 기술개발 필요 - 고속철도 수송수요 증가에 따른 선로용량 한계를 극복하기 위한 방안 강구 필요 (시설투자 최소화로 선로용량의 증대) - 기계요소 위주의 기존 철도차량 설계방식으로는 주행성능 고도화 한계 도달, 전기전자기술, 정보통신기술과 융합한 지능형 차량제어 기술 필요 ○ 이용자의 만족도를 향상(원하는 시간, 빠르고, 편하고 안전하게)					대상	차량 제작사	측정구간	차량진동 (m/s ²)		주행속도 (자갈궤도)	비고	횡방향	상하방향	AGV 575	Alstom	나폴리-로마	0.20	0.30	300km/h	동력분산식 관절형 대차	ETR 500	Trevi	로마-나폴리	0.18	0.24	300km/h	동력집중식 독립 대차	KTX-산천	현대 로템	광명-대전	0.27	0.45	300km/h	동력집중식 관절형 대차	KTX	Alstom	광명-대전	0.13	0.32	300km/h	동력집중식 관절형 대차
대상	차량 제작사	측정구간	차량진동 (m/s ²)		주행속도 (자갈궤도)	비고																																					
			횡방향	상하방향																																							
AGV 575	Alstom	나폴리-로마	0.20	0.30	300km/h	동력분산식 관절형 대차																																					
ETR 500	Trevi	로마-나폴리	0.18	0.24	300km/h	동력집중식 독립 대차																																					
KTX-산천	현대 로템	광명-대전	0.27	0.45	300km/h	동력집중식 관절형 대차																																					
KTX	Alstom	광명-대전	0.13	0.32	300km/h	동력집중식 관절형 대차																																					

시키고, 운영자의 효율을 향상(수요대응, LCC 저감, 안전)시키는 기술 개발이 필요

□ 기술동향 ○ 국내 기술동향

- 한국철도기술연구원은 준고속열차 대상의 횡방향 능동현가장치를 개발, 실선주행 시험에서 목표성능(횡방향 진동저감 40%)을 검증에 성공
- 2010년부터 5년간 산업통상자원부의 지원을 받아 저속 및 준고속 열차용 능동 2차 횡댐퍼에 대한 단위 구성품 개발 및 적용 타당성 검토에 초점

○ 국외 기술동향

- 미 일본 가와사키(Kawasaki) 중공업은 횡방향 능동현가장치와 틸팅시스템이 적용된 메카트로닉(Mechatronic) 대차를 개발하고 2008년 INNOTRANS에 출품 및 전시

<일본 횡방향 능동현가시스템적용 차량>

신간선 열차	반능동현가 장착 차량	능동현가 장착 차량	비고
JR 도카이 700계	선두차량, 특실, 판토품레프 차량		'98년 이후 378량
JR 서일본 500계	선두차량, 특실, 판토품레프 차량		'95년 이후 63량
JR 서일본 700계	선두차량, 특실, 판토품레프 차량		'99년 이후 32량
JR 동일본 E2계	선두차량과 특실을 제외한 전 차량	선두차량, 특실	'02년 이후 147량
JR 동일본 E3계	선두차량을 제외한 전 차량	선두차량	'02년 이후 28량
JR 구주	전 차량	선두차량, 특실	'14년 이후(능동)
JR 호쿠리쿠		전 차량	'14년 이후
JR 토호쿠 E5계		전 차량	'14년 이후
JR 아키타 E6계		전 차량	'14년 이후

- 일본은 또한 가변댐퍼를 적용한 철도차량용 상하방향 능동현가장치로 세계 최초로 개발, 2013년 10월 “북두칠성 큐슈”에 실용화
- 프랑스 Alstom은 AGV 개발시제에 능동현가장치를 적용, 350km/h 주행 시의 진동 수준을 300km/h로 주행수준으로 유지하는데 성공. 능동현가시스템은 전기적 액추에이터를 부수대차에 장착하

여 대차의 상하운동을 능동 제어

- 독일 Bombardier는 능동조향, 능동현가, HOD 등이 적용된 FLEXX-Tronic 대차 출시, 스웨덴 REGINA 250 차량을 활용한 본선 시운전을 통해 200km/h에 대한 UIC 인증 획득. 2010년 6월 스위스연방철도(SBB)에 436량(59편성) 계약, 2019년 말에 최종납기 예정

3. 연구개발내용

- 궤도/윤축 진동의 대차 전달 저감을 위한 능동형 1차 현가시스템
 - 대차 상하방향 진동제어용 1차 액추에이터
 - 1차 액추에이터 구동용 전원공급장치 제어기
- 축폭 등에 의한 차체 진동, 대차 진동의 차체 전달 저감을 위한 능동형 2차 현가시스템
 - 차체/상하/좌우 방향 진동제어용 2차 액추에이터
 - 2차 액추에이터 구동용 전원공급장치 및 제어기
- 스마트 현가 제어시스템
 - 최적 진동저감을 위한 1차, 2차 현가장치 통합 제어전략
 - 능동형 1차, 2차 현가장치 장애/고장 모니터링 및 대응전략
- 고속열차 VDC(Vehicle Dynamic Control) 시제 성능 검증

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
- 능동현가장치관련 우수 기술 보유 연구기관들과 협동 및 공동 연구 추진
 - 정부 및 관련 기관들의 유기적 협조체제 구축
 - 연구성과를 현장 적용시킬 수 있도록 관련기관 및 산업계 등 기술수요처 의견수렴
 - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영
 - 국내외 전문가 자문위원회를 구성하여 정기적 자문을 통한 연구 결과 품질 향상
 - Top-down 방식으로 원천기술 개발
 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증
 - 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진

	- 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 - 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발 - 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진 - 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증 ○ 연구개발 결과의 수요처인 운영기관의 연구 참여 및 현장 시험 추진 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
□ 추진체계	○ 국내 철도 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행 ○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것 ○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축
5. 최종성과물(주요 최종성과물)	
	○ 궤도/윤축 진동의 대차 전달 저감을 위한 능동형 1차 상하방향 현가장치 - 대차 상하방향 진동제어용 1차 액추에이터 제작사양서, 설계도면, 차량 인터페이스 설계도면 - 대차 상하방향 진동제어용 1차 액추에이터 시제품 - 1차 액추에이터 구동용 전원공급장치 시제품 - 1차 액추에이터 구동용 전원공급장치 제어기 - 1차 액추에이터를 적용한 주행동특성 시뮬레이션 모델 및 해석

결과 보고서

- 대차 상하방향 진동제어를 위한 1차 액추에이터 제어 알고리즘
- 1차 액추에이터 성능평가 보고서 및 시험 성적서

○ 축풍 등에 의한 차체 진동, 대차 진동의 차체 전달 저감을 위한 능동형 2차 현가장치

- 차체의 상하/좌우 방향 진동제어용 2차 액추에이터 제작사양서, 설계도면, 차량 인터페이스 설계도면
- 차체의 상하/좌우 방향 진동제어용 2차 액추에이터 시제품
- 차체의 상하/좌우 방향 진동제어용 2차 액추에이터 구동용 전원 공급장치 제어기
- 2차 액추에이터를 적용한 주행동특성 시뮬레이션 모델 및 해석 결과 보고서
- 차체의 상하/좌우 방향 진동제어를 위한 2차 액추에이터 제어 알고리즘
- 상하/좌우방향 2차 액추에이터 성능평가 보고서 및 시험 성적서

○ 스마트 현가 제어시스템

- 주행환경 감응 센서시스템 설계 및 사양안 도출
- 주행환경 감응형 센서시스템 시제품
- 능동형 1차/2차 현가장치 통합제어기 H/W 개발 및 알고리즘
- 통합제어기 성능평가 보고서 및 시험 성적서

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

- 신개념 고부가가치 철도차량 구축을 위한 기반 기술의 확보
- 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출
- 고속철도 차량용 스마트 현가시스템 및 주행환경 감응형 센서 핵심 기술 확보 및 실용화 준비
- 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용
- 스마트 현가시스템 및 주행환경 감응형 센서 기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척
- 스마트 현가시스템의 설계파라미터, 관련데이터 축적 및 특허, 노하우 확보

○ 스마트 현가시스템 설계/제어 요소 기술 및 톨 개발에 활용

□ 기대효과
및 파급효과

○ 경제적 효과

- 스마트 진동제어를 통한 선로 관리기준 완화, 주행환경 실시간 모니터링/제어를 통한 고장예방 등 유지보수 비용 감소 및 운임 감소
- 국내 고속열차 기술의 해외시장 경쟁력 확보 및 시장진출을 통해 글로벌 시장 점유율 확대

○ 기술적 효과

- 주행환경 감응형 고속열차 주행 핵심장치 개발을 통하여 국내 고속열차 기술의 고부가가치화 및 해외시장 경쟁력 확보가 가능할 것으로 예상
- 지능형 차량 주행핵심장치 능동제어기술은 유럽 선진업체만이 가지고 있거나 아직 기술개발이 이루어지지 않은 고도의 기술로서 본 기술개발을 통하여 국내 고유기술 확보 및 세계시장 선도 가능

○ 정책적 효과

- 「철도산업발전기본법」에 따라 수립된 제 3차 철도산업발전 기본계획의 철도 수송분담률 27% 달성 및 철도수송 효율 15% 향상, 철도건설 및 운영유지비 5% 절감 등의 중기목표를 달성하는데 크게 기여할 수 있으며, 또한 제 2차 국가철도망 구축계획과 연계하여 국토 주요거점의 고속철도 연결 정책강화 및 철도중심 국가기간망 구축정책에 기여

○ 파급적 효과

- 봄바르디사의 Flexx-Tronic 대차가 적용된 250km/h급 (SBB 납품) 차량의 량당 가격이 41.6억원 수준인데 반해 최근에 국내 계약된 EMU-250의 경우 량당 평균가격이 31억원 수준으로 차량의 고부가가치 기술접목으로 35억원 수준으로 공급한다면 기술력 및 브랜드가치에서 중국과 차별성을 두고, 메이저 제작사와는 가격경쟁력으로 세계고속철도 시장에서의 경쟁력 확보 가능
- 자동차 시장과 철도시장이 동일하지는 않으나, 대략 고급 자동차 시장규모에 해당하는 10%를 고부가가치 고속차량 시장으로 가정한다면, 5년에 약 900량 규모로 3,600억원 규모의 추가 부가가치 발생. 이와 더불어 고부가가치 차량에 의해 발생하는 승차감 및 정시성 향상, 유지보수 비용 절감 등을 고려한다면 막대한 간접적 편익 기대 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 5년
- 총 연구개발비 : 19,069 백만원(정부 14,300 백만원, 민간 4,769 백만원)
 - 1차년도 연구비 : 2,774 백만원 (정부 2,080 백만원, 민간 694백만원)
- ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음
- ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
- ※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
- ※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용
- ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

- 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr 및 <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시
 - 핵심성과물 및 성과유형 제시
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
 - 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

- 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항
 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출
 - ※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용
- 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음
 - 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금도 조정될 수 있음
- 필요시 연구종료 후 2년간 연구결과물의 지속적인 현장시험이 가능하도록 하여야 함

2. 2세부 : 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 기술개발

연구과제명	가/감속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발													
1. 연구 목표														
○ 정시성 및 신뢰성 향상을 위한 능동 추진/제동 제어시스템 개발(제동 거리 10%감소, 순간출력 10% 상승)														
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향														
□ 연구개발	○ 고부가가치 철도차량 기술개발 필요													
필요성	- 국내 철도차량 기술은 다년간의 추격형 연구개발을 통하여 KTX-산천 상용화, HEMU시리즈 상용화 등 선진국 동등수준을 달성하였으나, 철도차량산업의 지속가능성 및 해외경쟁력 확보를 위하여 승객편의 향상을 중심으로 한 철도차량의 고부가가치 기술개발이 필요 - 4차 산업혁명이 도래함에 따라 인간 중심의 기술발전이 중요성이 강조되고 있으며, 이에 따라 철도와 같은 수송수단은 승객편의성 향상이 가장 중요한 가치로 대두													
	○ 세계 고속철도차량 시장 진출 및 영역확보를 위한 승객편의성 향상을 중심으로 한 세계시장 선도형 연구개발 필요													
	- 세계 시장에서의 주요 경쟁지표인 정시성 분야에서 국내 수준은 해외 최고수준 대비 미흡하여 이를 극복할 수 있는 기술개발 필요													
<주요국가 고속철도 정시성 수준> <table><tr><th>대상</th><th>정시성</th><th>비고</th></tr><tr><td>일본*</td><td>신간선 1분이내 정시운행률 95%</td><td>13분이내 정시운행률 100%</td></tr><tr><td>프랑스*</td><td>TGV 13분이내 정시운행률 91%</td><td>**1분이내 (추정)정시운행률 10.4%</td></tr><tr><td>한국</td><td>15분이내 정시운행률 99.7%(2012년 기준)</td><td>**1분이내 (추정)정시운행률 15.9%</td></tr></table>			대상	정시성	비고	일본*	신간선 1분이내 정시운행률 95%	13분이내 정시운행률 100%	프랑스*	TGV 13분이내 정시운행률 91%	**1분이내 (추정)정시운행률 10.4%	한국	15분이내 정시운행률 99.7%(2012년 기준)	**1분이내 (추정)정시운행률 15.9%
대상	정시성	비고												
일본*	신간선 1분이내 정시운행률 95%	13분이내 정시운행률 100%												
프랑스*	TGV 13분이내 정시운행률 91%	**1분이내 (추정)정시운행률 10.4%												
한국	15분이내 정시운행률 99.7%(2012년 기준)	**1분이내 (추정)정시운행률 15.9%												
* 일본 월간호스트 2015년 3월 27일호 자료 참고														
** 13분이내 91%, 15분이내 99.7% 정시율이 표준정규분포를 따른다고 가정할 경우														

- 국내 5년 평균 열차 지연율(2011~2015)은 62.3% 수준으로 운행순서조정, **열차고장**, 여객승하차, 사상 지연, 선로유지보수에 따른 서행 순으로 영향

※ 지연시간: **16분~29분(88.8%)**, 30분~59분(7.9%), 60분 이상(3.2%)

○ 미래 철도운영 환경의 변화에 대응하기 위한 기술개발 필요

- 고속철도 수송수요 증가에 따른 선로용량 한계를 극복하기 위한 방안 강구 필요 (시설투자 최소화로 선로용량의 증대)
- 기계요소 위주의 기존 철도차량 설계방식으로는 주행성능 고도화 한계 도달, 전기전자기술, 정보통신기술과 융합한 지능형 차량제어 기술 필요

○ 이용자의 만족도를 향상(원하는 시간, 빠르고, 편하고 안전하게)시키고, 운영자의 효율을 향상(수요대응, LCC 저감, 안전)시키는 기술개발이 필요

□ 기술동향 1) 제동시스템

○ EU의 제동시스템 연구개발 동향

- 제동시스템(하드웨어, 소프트웨어)의 **신뢰성 및 안정성 확보** (SIL Level 3~4)
 - 현재는 BCU와 TDCS 사이에 MVB 통신을 사용, 제동장치 사이에는 BCN을 사용하나 최종제어는 pneumatic 기반 제어로 time-lag 존재
 - 이를 보완하기 위하여 Ethernet 기반으로 제동제어 및 진단기능을 동시 수행하는 것을 목표로 하고 있으며, 이를 위하여 핵심 제동 장치의 실시간 모니터링 및 상태기반 능동제어연구 등이 활발히 이루어지고 있음
- 제동성능 비약적 향상을 위한 점착력 무관 선형 와전류 제동시스템 개발 집중
 - 점착력 무관 Linear Eddy Current Brake(ECB) 개발을 통한 휠/디스크 마모 최소화 등 LCC 향상 및 고속에서의 제동거리 단축 등 성능향상 도모하고 있음. 특히 ECB는 과거 국내에서 G7 열차, 독일에서는 ICE3 열차 등에 적용되었으나, 부차적인 문제(신호시스템 적합성, 레일 히팅 및 들림)로 실용화에 제약이 있었으나 최근

향상된 전자소자의 개발 등으로 경량화 등이 가능해지면서 Knorr는 EWB154R이라는 실용화모델을 개발하였음. 그러나 여전히 신호 시스템 적합성 등의 문제로 인하여 실용화는 지연되고 있음

○ 일본의 제동시스템 연구개발 동향

- 휠 디스크 기반 와전류제동(ECB) 실용화 성공

- 일본은 제동능력의 비약적 향상을 위하여 700계 열차의 부수대차의 경우 차륜디스크 + 와전류 디스크를 동시 적용하였으나, 신호 시스템 적합성 등의 이유로 실용화 지연

- 공력제동 시스템의 개발

- 일본은 Fastech360 개발 시 기존 신호조건에서 제동거리 단축을 위하여 공력제동 시스템을 개발하여 그 성능을 평가하였음. 성능 평가 결과, 차체 흔들림 발생 및 300km/h 이하에서는 큰 효과가 없어서 양산모델인 E5에는 적용하지 않았음

- 상대적으로 신규 제동기술 도입에 보수적

- 일본은 700계까지도 Rigid pad를 사용하였으며, 최근의 N700A 열차부터 Flexible pad를 내재화하여 적용 중 (한국보다 Flexible Pad 도입 늦음)
- 또한 일본은 최근까지도 공유압 변환 시스템을 적용하였으며, Fastech 360 및 E5부터 Knorr 시스템을 적용하여 공압기반 시스템을 구축

○ 국내의 제동시스템 연구개발 동향

- HEMU-430X 개발을 통한 제동시스템의 국산화

- HEMU-430X의 제동장치는 개발업체의 한계로 인하여 초기에는 해외 제품을 적용하였으나, 이후 일부 차량에 대하여 국산화 개발품(차축/차륜 디스크, 캘리퍼, 제동패드)을 적용하여 기본 성능 및 신뢰성을 확인
- 제동제어장치(BOU, ECU)의 경우는 초기부터 국산개발품을 적용하는 등 어느 정도 선진국과 동등수준의 기술을 확보
- 응하중 기반 Open-loop type 감속도 다단계제어(350km/h까지 속도별 5단계제어) 국내 최초 적용하여, 300km/h 비상공기제동거리 2,871m ~ 3,270m 달성 (기준 3,300m) : 다단계제어를 사용하여 점착한계 내

에서 최대한 제동력을 사용하여 공기제동만으로 비상제동거리 목표를 달성하였으나, Open-loop type의 한계로 일정 제동거리 유지에는 한계가 존재하였으며, 진정한 의미의 감속도 제어는 아니었음

2) 추진시스템

○ 해외 추진시스템 연구개발 동향

- 추진시스템의 효율화/경량화를 위한 차세대 스위칭 소자 적용 연구

- 유럽은 철도기반기술사업 Roll2Rail과 실용화 사업 Shift2Rail을 통해 향후 추진시스템의 개발방향을 에너지효율 향상, 전 생애주기의 비용감소, 유지보수를 고려한 설계, 규격화 및 인증 등으로 정의
- 특히, 에너지 효율을 향상을 위한 대표기술로 새로운 스위칭 소자의 적용 연구 진행
- IGBT를 대체할 수 있는 소자로 주목받고 있는 SiC(실리콘카바이드)는 고효율화, 소형화 및 경량화가 가능하나 아직 IGBT와 비교하여 내압성능이 낮아 고속철도의 높은 전압에는 한계가 있으나 향후 해결가능성 높음
- 현재 일본의 경우 N700 계의 주회로도 형태가 3레벨 토폴로지가 적용된 컨버터와 인버터를 탑재한 시제열차가 개발되었으며, 이를 통하여 전력변환장치의 중량은 약 20% 감소하였으며 부피는 약 50%까지 감소함

- 최적 운행속도 제어기술

- 미국 GE는 Industrial Internet 기술의 일환인 'Railconnect 360'으로 열차 계측데이터 분석을 통한 열차 시스템 효율화 솔루션을 2014년부터 제공하고 있음
- 일종의 빅데이터 분석기술로 열차 운행 중 축적된 데이터를 이용하여 추진시스템의 효율향상에 활용
- Railconnect 360은 기관차의 운행 데이터를 수집하고 분석하여 문제를 진단하고, 근본 원인을 분석하는 작업을 자동으로 처리, 차량의 신뢰성과 가용성을 높이고 결과적으로 철도 운영에 드는 시간과 비용을 절약하며, 차량의 엔진과 전자 부품, 냉각 시스템,

제어 장치, 견인장치, 교류 발전기의 건강 상태를 감시하며 문제가 생기는 부분을 추적하는 기능을 제공

- 이와 같은 추진시스템의 모니터링 및 고장발생 허용제어 기술은 지속적인 운행이 가능하도록 하여 운영효율향상, 차량의 가감속 능동제어를 통한 운행환경에 따른 에너지 절감형 견인력 제어를 가능하게 함
- 프랑스 SNCF와 일본 JR은 최근에 **운행환경 감응형 견인력 최적화 로직**을 시험열차에 적용하는 Eco-driving 기술을 개발 중이며, 중간 개발현황을 WCRR2016에서 공개

○ 국내 추진시스템 연구개발 동향

– 해외기술 추격형 연구 및 H/W 위주 개발

- 국내 고속철도 기술은 최근 EMU-250, 320등 분산형고속열차 실용화 실적을 보여주고 있으며, 이는 HEMU-430X 국가 연구개발 사업을 통한 분산형 추진 시스템 기술개발의 성과물임
- 그러나 해외는 이미 추진시스템의 효율향상 및 성능향상 연구를 수행하여 고효율 전동기(PMSM), 3레벨 추진시스템 구성기술, SiC 기반 추진시스템 등을 상용화하였음
- 이러한 H/W 적인 기술격차를 만회하기 위하여, 국내에서도 집중식 고속열차 추진시스템 효율향상 기술개발(로템), SiC기반 추진시스템 기초연구, 멀티레벨 C/I 연구를 수행하고 있으나 실용화된 실적은 없으며, 추진시스템 허용제어, 운행 최적화 등 고부가가치 제어기술에 대한 연구는 전혀 수행되지 않고 있음

3. 연구개발 내용

○ 감/가속 특성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발

– 정시성 및 신뢰성 향상을 위한 능동형 추진/제동 제어장치

◇ 능동형 제동제어 시스템 개발

- 능동 제동제어를 위한 제동전자제어장치(ECU)
- 제동거리 단축을 위한 감속도 기반 제동력 다단계제어로직
- 주행환경 감응형 스마트 제동력 분담(Blending) 제어로직
- 제동력 Feedback 제어를 위한 Sensing 및 관련 H/W
- SIL3~4 대응 ECU 장치 설계 및 Fail/Safe 로직 적용

◇ 능동형 추진제어 시스템 개발

- 능동 추진제어를 위한 추진제어장치(C/I)
 - 가속도 향상을 위한 추진제어장치 DC 링크전압 가변 제어로직 (고속영역 출력 부스팅 기능 포함)
 - 가변 DC 링크전압 대응형 soft-transient C/I 제어기술
 - 추진장치 신뢰성 향상을 위한 냉각시스템 성능향상(H/W 및 S/W)
 - 추진시스템 성능 향상을 위한 차세대 소자 적용 C/I 개발 (H/W)
 - 제어정밀도 향상을 통한 추진장치 Dynamic 특성 개선 및 회생제 동력 향상 : 손실저감형 추진제어 기술(S/W)
- 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동)제어(Train control Unit) 시스템 개발
 - 선형조건, 공사구간 등을 감안한 최적 운행 프로파일 도출
 - 운행 속도 프로파일 준수를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어로직

○ 고속열차 VDC(Vehicle Dynamic Control) 시제 성능 검증

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략 ○ 추진 및 제동 제어 우수 기술 보유 연구기관들과 협동 및 공동 연구 추진
- 연구개발 결과의 수요처인 운영기관의 연구 참여 및 현장 시험 추진
 - 정부 및 관련 기관들의 유기적 협조체제 구축
 - 연구성과를 현장 적용시킬 수 있도록 관련기관 및 산업계 등 기술 수요처 의견수렴
 - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영
 - 국내외 전문가 자문위원회를 구성하여 정기적 자문을 통한 연구 결과 품질 향상

- 추진체계 ○ 관련 분야별 전문가들의 적극 참여로 융합기술체계 구축
- 센싱 및 제어장치 개발 업체, 프로그램 개발 업체, 기존 제동장치 및 추진장치 제작업체, 운영기관의 연구 참여를 통한 신속한 기술 개발 및 연구 결과의 신뢰성 확보
 - 국내외 관련 분야 연구센터와 연구 협력 체계 구축

5. 최종성과물

- 주요 최종 성과물 ○ 능동형 제동제어 시스템 1종
- 감속도 기반 제동력 다단계제어로직, 주행환경 감응형 스마트 제동

력 분담 로직 등이 적용된 제동전자제어장치(ECU)

- 제동력 Feedback 제어를 위한 Sensing 및 관련 H/W
- 제동시스템에 대한 SIL3~4 수준 인증서
- 관련 도면 및 설계/제작 사양서
- 단품/조합 성능평가 보고서 및 시험성적서

○ 능동형 추진 제어시스템 1종

- 추진시스템 링크전압 가변 제어로직, 가변 링크전압 대응형 soft-transient C/I 제어기술 등이 포함된 추진장치 제어기
- 고성능 추진장치 냉각시스템
- 능동제어 및 차세대 소자를 적용한 추진제어시스템(C/I)
- 관련도면 및 설계/제작 사양서
- 단품/조합 성능평가 보고서 및 시험성적서

○ 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어시스템 1종

- 차량 진단제어시스템(TDCS) 연계 및 통합제어 기능 TCU
- 선형조건, 공사구간 등을 감안한 최적 운행 프로파일
- 공인인증기관 신뢰성 검증 보고서

6. 기대효과 및 파급효과

○ 기대효과

- 경제적 효과

- 대도시권의 통근시간을 단축하여 외곽의 도시들이 개발되어 지역의 균등 발전에 기여하고, 철도물류를 활성화하여 산업경쟁력 강화
- 국내 고속열차 기술의 해외시장 경쟁력 확보 및 시장진출을 통해 글로벌 시장 점유율 확대
- 차량 운행 신뢰성 확보를 통해 막대한 시설투자 없이 최소개량을 통한 실질적인 표정속도 향상 및 추가편성 투입으로 수송력 향상에 따른 이익 창출 가능

※ 경부고속철도 대전-대구 도심구간 건설사업(2조 8,8851억원)으로 거리 6.5km, 시간 평균 5분 단축('15년 7월 31일 보도자료)

- 정시성 향상으로 인한 승객 시간 편익 효과 : 1202.4억원
- 제동/추진성능 10% 향상으로 선로 개량을 최소화하면서 증속 및 정시성 향상

- 기술적 효과

- 주행환경 감응형 고속열차 주행 핵심장치(추진/제동) 지능형 제어 기술개발을 통하여 국내 고속열차 기술의 고부가가치화 및 해외시장

경쟁력 확보가 가능할 것으로 예상

- 지능형 차량 주행핵심장치 능동제어기술은 유럽 선진업체만이 가지고 있거나 아직 기술개발이 이루어지지 않은 고도의 기술로서 본 기술개발을 통하여 **한국만의 독자기술 확보 및 시계시장 선도** 가능

– 정책적 효과

- 「철도산업발전기본법」에 따라 수립된 제 3차 철도산업발발전기본계획의 철도 수송분담률 27% 달성 및 철도수송 효율 15% 향상, 철도건설 및 운영유지비 5% 절감 등의 중기목표를 달성하는데 크게 기여할 수 있으며, 또한 제 2차 국가철도망 구축계획과 연계하여 국토 주요거점의 고속철도 연결 정책강화 및 철도중심 국가기간망 구축정책에 기여

○ 파급효과

– 직접적 파급효과

- **이용자 측면** : 열차의 향상된 추진과 제동성능을 통해 운전시격을 단축하여 승객의 이동시간을 줄여서 편안한 철도 이용이 가능
- **운영자 측면** : 지능형 제어시스템 기술을 통해 열차 운행지연을 최소화하여 정시성을 보장하여 지연보상비용의 절감 및 추가편성 투입 등 효율적인 철도 운영이 가능

– 간접적 파급효과

- 국내 고속철도 기술을 고도화하여 시장 경쟁력 확보
- 국내 고속철도의 해외 진출에 따른 국내 철도산업 성장과 고용창출

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 5년

○ 총 연구개발비 : 18,271 백만원(정부 13,700 백만원, 민간 4,571 백만원)

– 1차년도 연구비 : 1,507 백만원 (정부 1,130 백만원, 민간 377백만원)

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr 및 <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시
 - 핵심성과물 및 성과유형 제시
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
 - 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
- 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항
 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출
 - ※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용
- 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음
 - 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금에 조정될 수 있음
- 필요시 연구종료 후 2년간 연구결과물의 지속적인 현장시험이 가능하도록 하여야 함

2절 공모조건

공모조건

- 1차년도 연구성과에 대한 중간평가 결과에 따라 2차년도 계속지원여부 결정
- 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조하여 작성
 - 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시
- 과제 신청자는 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 제시
 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
 - 연구성과의 실용화(정책제안)로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급 효과 및 산출근거 제시
 - 연구성과의 실용성 검증 계획을 반드시 제시해야 함
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제 추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kictep.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제 목록 참조
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

3절 선정평가 방법

기준항목	세부평가항목	배점
연구개발 목표(20점)	최종 목표/성과목표의 명확성, 타당성, 창의성	10
	연차별 연구목표/성과목표(지표) 설정의 적절성, 구체성	10
연구개발 내용(20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성	15
추진전략 및 계획 (30점)	연구개발 추진전략 및 연차별 추진체계의 합리성	10
	연구수행 방법의 적합성, 구체성, 타당성	10
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등)	10
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	연구성과 활용방안의 적절성 및 구체성	10
	개발 기술의 기대성과(기술적·경제적) 및 파급효과	10
연구책임자의 연구수행능력 (10점)	연구책임자의 연구수행·관리능력 및 관련분야 연구경험	5
	참여연구인력의 적정성 및 전문성	5
소계		100

[별첨] 소요예산 투입계획

가. 총 연구비

(단위 : 백만원)

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

나. 세부과제별 연구비

(1) 1세부과제 : 실시간 주행환경 감응형 능동제어 현가시스템 개발

(가) 1세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
인건비	1,424	2,145	3,020	2,064	587	9,240
연구장비재료비	800	1,695	2,144	1,420	370	6,429
기타경비 및 간접비	550	760	1103	757	230	3,400
세부과제 연구비(소계)	2,774	4,600	6,267	4,241	1,187	19,069

(나) 1세부과제 인건비 투입계획

—정부출연금

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
1-1. 능동형 1차 상하방향 현가장치 개발	소계		37			180		1440
1-1-1. 1차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출	1년	1차년도	4	12	50%	24	8	192

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
1-1-2. 주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(1)	3년	1차년도	3	12	25%	9	8	72	
		2차년도	4	12	25%	12	8	96	
		3차년도	7	12	25%	21	8	168	
	2년	2차년도	5	12	50%	30	8	240	
		3차년도	7	12	50%	42	8	336	
	1-1-4. 시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)	2년	5차년도	2	12	50%	12	8	96
4차년도			5	12	50%	30	8	240	
1-2. 능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발		소계		67			302		2422
1-2-1. 2차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출	1년	1차년도	3	12	50%	18	8	144	
		1-2-2. 2차 능동현가장치(횡/상하방향) 통합설계를 위한 메커니즘(안) 도출	2년	1차년도	3	12	50%	18	8
	2차년도	6		12	50%	36	8	288	
	1-2-3. 주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(2)	3년	1차년도	3	12	50%	18	8	144
			2차년도	4	12	25%	12	8	96
			3차년도	4	12	25%	12	8	96
	1-2-4. 2차 횡방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	2년	2차년도	5	12	50%	30	8	240
			3차년도	5	12	50%	30	8	240
	1-2-5. 2차 상하방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	2년	3차년도	6	12	25%	18	8	144
			4차년도	6	12	50%	36	8	288

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
	1-2-6. 시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)	2년	3차년도	4	12	50%	24	8	192
			4차년도	4	12	25%	12	8	96
	1-2-7. 시험차 시험선 성능시험(진동저감 성능, 안전 등)	2년	4차년도	6	12	25%	18	8	144
			5차년도	8	12	22%	20	8	166
1-3. 승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합 제어시스템 개발		소계		34			135		1087
	1-3-1. 고속열차 진동수준 측정 및 분석	1년	1차년도	4	12	27%	13	8	104
	1-3-2. 능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어전략 도출	2년	2차년도	2	12	50%	12	8	96
			3차년도	4	12	50%	24	8	192
	1-3-3. 능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어알고리즘 설계 및 구현	2년	3차년도	4	12	25%	12	8	96
			4차년도	5	12	40%	24	8	192
	1-3-4. 통합제어용 제어기 H/W 설계 및 개발	2년	2차년도	2	12	28%	6	8	54
			3차년도	2	12	14%	3	8	26
	1-3-5. 통합제어용 제어기 성능 검증	1년	3차년도	5	12	25%	15	8	120
	1-3-6. 1차/2차 능동현가장치 탑재 시험차 통합 제어 성능시험(Lab test)	2년	4차년도	3	12	52%	18	8	150
			5차년도	3	12	20%	7.2	8	57

-민간부담금

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행 연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
1-1. 능동형 1차 상하방향 현가장치 개발		소계		22			132		1056
	1-1-1. 1차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출	1년	1차년도	2	12	50%	12	8	96
	1-1-2. 주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(1)	3년	1차년도	3	12	50%	18	8	144
			2차년도	2	12	50%	12	8	96
			3차년도	5	12	50%	30	8	240
	1-1-3. 1차 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	2년	2차년도	3	12	50%	18	8	144
			3차년도	2	12	50%	12	8	96
	1-1-4. 시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)	2년	5차년도	2	12	50%	12	8	96
			4차년도	3	12	50%	18	8	144
1-2. 능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발		소계		60			268		2144
	1-2-1. 2차 능동현가장치 개발을 위한 개념설계 및 요구사항 도출	1년	1차년도	2	12	25%	6	8	48
	1-2-2. 2차 능동현가장치(횡/상하방향) 통합설계를 위한 메커니즘(안) 도출	2년	1차년도	1	12	26%	3.12	8	24.96
			2차년도	3	12	50%	18	8	144
	1-2-3. 주행환경 감응 센서시스템 설계 및 개발(2)	3년	1차년도	3	12	28%	10	8	80
			2차년도	4	12	50%	24	8	192
3차년도			2	12	25%	6	8	48	

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율(%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
	1-2-4. 2차 횡방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	2년	2차년도	5	12	50%	30	8	240
			3차년도	5	12	50%	30	8	240
	1-2-5. 2차 상하방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	2년	3차년도	6	12	25%	18	8	144
			4차년도	5	12	50%	30	8	240
	1-2-6. 시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)	2년	3차년도	4	12	50%	24	8	192
			4차년도	4	12	25%	12	8	96
	1-2-7. 시험차 시험선 성능시험(진동저감 성능, 안전 등)	2년	4차년도	6	12	37%	26	8	214
			5차년도	10	12	25%	30	8	240
1-3. 승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합 제어시스템 개발			소계		25		136		1089
	1-3-1. 고속열차 진동수준 측정 및 분석	1년	1차년도	4	12	60%	28.8	8	230
	1-3-2. 능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어전략 도출	2년	2차년도	2	12	50%	12	8	96
			3차년도	3	12	40%	14	8	114
	1-3-3. 능동형 1차/2차 현가장치 통합 제어알고리즘 설계 및 구현	2년	3차년도	2	12	50%	12	8	96
			4차년도	2	12	60%	14.4	8	115.2
	1-3-4. 통합제어용 제어기 H/W 설계 및 개발	2년	2차년도	2	12	64%	15	8	122
			3차년도	1	12	50%	6	8	48
	1-3-5. 통합제어용 제어기 성능 검증	1년	3차년도	4	12	25%	12	8	96
	1-3-6. 1차/2차 능동현가장치 탑재 시험차 통합 제어 성능시험(Lab test)	2년	4차년도	3	12	50%	18	8	144
			5차년도	2	12	14%	3	8	27

(다) 1세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구 기간	수행 연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)		연구시설 및 장비비(3천만원 이하)		시작품 제작비		연구재료비		연구장비재 료비 합계
				품명	소계	품명	소계	품명	소계	품명	소계	
1-1. 능동형 1차 상하방향 현가장치 개발					160		6		540		524	1230
	1-1-1. 1차 능동현가장치 개발을 위 한 개념설계 및 요구사항 도출	1년	1차 년도	설계해석 프로그램 (S/W)	120	설계전용 PC	6				0	126
	1-1-2. 주행환경 감응 센서시스템 설 계 및 개발(1)	3년	1차 년도	다채널 신호분석기	40					센서류 및 소모성 재료비	100	140
			2차 년도					센서시스템 시제 (1)	70	Lab test용 지그류 및 재료비	100	170
			3차 년도					센서시스템 시제 (1)	70		0	70
	1-1-3. 1차 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	2년	2차 년도					액추에이터 시제	200		70	270
			3차 년도					액추에이터 시제	200		0	200
	1-1-4. 시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)	2년	3차 년도								154	154
			4차 년도							센서류/시험데이터 저장장치	100	100
1-2. 능동형 2차 횡/상하방향 현가장치 개발					170		16		540		1645	2371

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구 기간	수행 연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)		연구시설 및 장비비(3천만원 이하)		시작품 제작비		연구재료비		연구장비재 료비 합계
			품명	소계	품명	소계	품명	소계	품명	소계	
1-2-1. 2차 능동현가장치 개발을 위 한 개념설계 및 요구사항 도출	1년	1차 년도								50	50
1-2-2. 2차 능동현가장치(횡/상하방 향) 통합설계를 위한 메커니즘(안) 도출	2년	1차 년도	설계해석 프로그램 (S/W)	120						78	198
		2차 년도	설계해석 프로그램 (S/W) 유지보수	50						39	89
1-2-3. 주행환경 감응 센서시스템 설 계 및 개발(2)	3년	1차 년도					센서시스템 시제 (2)	70	센서류 및 소모성 재료비	100	170
		2차 년도					센서시스템 시제 (2)	70	각종 부품류	300	370
		3차 년도								0	0
1-2-4. 2차 횡방향 능동현가장치 시 제 개발 및 단품 성능검증	2년	2차 년도					액추에이터 시제	200	센서류 및 소모성 재료비	100	300
		3차 년도					액추에이터 시제	200	각종 부품류	200	400
1-2-5. 2차 상하방향 능동현가장치 시제 개발 및 단품 성능검증	2년	3차 년도							Lab test용 지그류 및 재료비	100	100
		4차 년도							각종 부품류	300	300

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구 기간	수행 연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)		연구시설 및 장비비(3천만원 이하)		시작품 제작비		연구재료비		연구장비재 료비 합계
				품명	소계	품명	소계	품명	소계	품명	소계	
	1-2-6. 시제품 탑재 시험차 진동저감 성능시험(Lab test)	2년	3차 년도								0	0
			4차 년도							108	108	
	1-2-7. 시험차 시험선 성능시험(진동 저감 성능, 안전 등)	2년	4차 년도			현장시험용 노트북	16			Lab test용 지그류 및 재료비	200	216
			5차 년도							70	70	
1-3. 승차감 향상을 위한 스마트 현가 통합 제어시스템 개발					1130		38		400		1260	2828
	1-3-1. 고속열차 진동수준 측정 및 분석	1년	1차 년도			현장시험용 노트북	16			센서류/시험데이터 저장장치	100	116
	1-3-2. 능동형 1차/2차 현가장치 통 합 제어전략 도출	2년	2차 년도	설계해석 프로그램 (S/W)	120	설계전용 PC	6			알고리즘 구현 Lab Test관련 소모품	100	226
			3차 년도	설계해석 프로그램 (S/W) 유지보수	50					알고리즘 구현 Lab Test관련 소모품	100	150
	1-3-3. 능동형 1차/2차 현가장치 통 합 제어알고리즘 설계 및 구현	2년	3차 년도	DSP 및 부속장치 구매	200					Lab test용 지그류 및 재료비	100	300
			4차 년도	제어로직 설계 S/W	120					특성시험 소모성 재료비	60	180

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구 기간	수행 연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)		연구시설 및 장비비(3천만원 이하)		시작품 제작비		연구재료비		연구장비재 료비 합계
				품명	소계	품명	소계	품명	소계	품명	소계	
	1-3-4. 통합제어용 제어기 H/W 설계 및 개발	2년	2차 년도	제어로직 설계 S/W	120			1차 On-board용 제어기 시제	100	센서류 및 소모성 재료비	50	270
			3차 년도	제어로직 설계 S/W	120			On-board 제어기 설계, 시제제작, 시험평가	300	알고리즘 구현 Lab Test관련 소모품	100	520
	1-3-5. 통합제어용 제어기 성능 검 증	1년	3차 년도	제어기 검증용 HILs 구축	200					특성시험 소모성 재료비	50	250
	1-3-6. 1차/2차 능동현가장치 탑재 시험차 통합 제어 성능시험(Lab t est)	2년	4차 년도	제어기 성능 및 신 뢰성 시험평가	200	현장시험용 노트북	16			시제차량 유지보수부품	300	516
			5차 년도							시제차량 유지보수부품	300	300

(2) 2세부 : 가/감속 특성향상을 위한 능동형 추진/제동 제어시스템 개발

(가) 2세부과제 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
인건비	953	2,232	2,824	2,294	818	9,121
연구장비재료비	127	1,089	1,551	2,668	252	5,687
기타경비 및 간접비	427	883	1,093	711	350	3,464
세부과제 연구비(소계)	1,507	4,204	5,468	5,673	1,419	18,271

(나) 2세부과제 인건비 투입계획

—정부출연금

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입 인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
2-1. 감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술		소계		107					2054
	2-1-1. 국내 환경 분석을 통한 속도별 점착한계 분석	1년	1차년도	6	12	20%	14.4	8	115.2
	2-1-2. 능동형 제동제어 시스템 요구사항 도출	1년	1차년도	8	12	20%	19.2	8	153.6
	2-1-3. 감속도 기반 능동형 제동력 다단제어로직 설계	2년	2차년도	10	12	20%	24	8	192
			3차년도	11	12	20%	26.4	8	211.2

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입 인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
	2-1-4. 주행환경 감응형 스마트 제동력 분담 제어로직 설계	2년	2차년도	10	12	20%	24	8	192
			3차년도	10	12	20%	24	8	192
	2-1-5. 능동형 제동 전자제어장치(ECU) H/W 설계	1년	3차년도	10	12	20%	24	8	192
	2-1-6. 능동형 제동 ECU 시제품 제작 및 단품 성능시험 (HILS 이용)	1년	4차년도	10	12	20%	24	8	192
	2-1-7. 제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 설계 및 성 능평가절차서 작성	1년	2차년도	8	12	20%	19.2	8	153.6
	2-1-8. 제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 제작	1년	3차년도	6	12	20%	14.4	8	115.2
	2-1-9. 개발 제동 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 (TDCS) 개조	1년	4차년도	8	12	20%	19.2	8	153.6
	2-1-10. 시제품 현차 성능시험	1년	5차년도	10	12	20%	24	8	192
2-2. 가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술		소계		104					1997
	2-2-1. 기존 고속영역 출력 부스팅 시험결과 분석	1년	1차년도	5	12	20%	12	8	96
	2-2-2. 능동형 추진제어 시스템 요구사항 도출	1년	1차년도	8	12	20%	19.2	8	153.6
	2-2-3. 고속영역 출력 부스팅 제어로직 설계	2년	2차년도	10	12	20%	24	8	192
			3차년도	10	12	20%	24	8	192
	2-2-4. 추진시스템 허용 제어로직 설계	2년	2차년도	10	12	20%	24	8	192
			3차년도	10	12	20%	24	8	192
	2-2-5. 추진시스템 능동형 냉각장치 개념설계	1년	2차년도	4	12	20%	9.6	8	76.8
	2-2-6. 능동형 추진제어장치(C/I) H/W 설계 및 핵심부품 발주	1년	3차년도	10	12	20%	24	8	192

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입 인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
	2-2-7. 능동형 추진제어장치(C/I) 시제품 제작 및 Lab Test(부하/무부하 시험 등)	1년	4차년도	10	12	20%	24	8	192
	2-2-8. 추진시스템 능동형 냉각장치 H/W 설계	1년	3차년도	5	12	20%	12	8	96
	2-2-9. 추진시스템 능동형 냉각장치 시제품 제작 및 냉각성능 Lab test	1년	4차년도	4	12	20%	9.6	8	76.8
	2-2-10. 개발 추진 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 (TDCS) 개조	1년	4차년도	8	12	20%	19.2	8	153.6
	2-2-11. 시제품 현차 성능시험	1년	5차년도	10	12	20%	24	8	192
2-3. 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술		소계		50					960
	2-3-1. 통합제어시스템 인터페이스 개념설계	1년	1차년도	5	12	20%	12	8	96
	2-3-2. 차량 TDCS 시스템 I/O 분석	1년	2차년도	4	12	20%	9.6	8	76.8
	2-3-3. 운행속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어로직 설계	2년	2차년도	5	12	20%	12	8	96
			3차년도	5	12	20%	12	8	96
	2-3-4. 개발시스템(추진/제동/진동)간 상호 인터페이스 설계 확정	1년	2차년도	6	12	20%	14.4	8	115.2
	2-3-5. 통합 제어시스템 H/W 설계 및 핵심부품 발주	1년	3차년도	6	12	20%	14.4	8	115.2
	2-3-6. 통합제어시스템 시제품 제작 및 장치간 통신시험	1년	4차년도	5	12	20%	12	8	96
	2-3-7. 통합제어시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 개조	1년	4차년도	8	12	20%	19.2	8	153.6
	2-3-8. 시제품 현차 성능시험	1년	5차년도	6	12	20%	14.4	8	115.2

-민간부담금

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입 인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
2-1. 감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술		소계		27					1294
2-1-1.	국내 환경 분석을 통한 속도별 점착한계 분석	1년	1차년도				0	8	0
2-1-2.	능동형 제동제어 시스템 요구사항 도출	1년	1차년도	3	12	51%	18.216	8	145.728
2-1-3.	감속도 기반 능동형 제동력 다단제어로직 설계	2년	2차년도	3	12	52%	18.72	8	149.76
			3차년도				0	8	0
2-1-4.	주행환경 감응형 스마트 제동력 분담 제어로직 설계	2년	2차년도	2	12	60%	14.4	8	115.2
			3차년도				0	8	0
2-1-5.	능동형 제동 전자제어장치(ECU) H/W 설계	1년	3차년도	8	12	50%	48	8	384
2-1-6.	능동형 제동 ECU 시제품 제작 및 단품 성능시험 (HILS 이용)	1년	4차년도	4	12	50%	24	8	192
2-1-7.	제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 설계 및 성능평가절차서 작성	1년	2차년도				0	8	0
2-1-8.	제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 제작	1년	3차년도				0	8	0
2-1-9.	개발 제동 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 (TDCS) 개조	1년	4차년도	4	12	50%	24	8	192
2-1-10.	시제품 현차 성능시험	1년	5차년도	3	12	40%	14.4	8	115.2
2-2. 가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술		소계		37					1769

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입 인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
2-2-1. 기존 고속영역 출력 부스팅 시험결과 분석	2-2-1. 기존 고속영역 출력 부스팅 시험결과 분석	1년	1차년도				0	8	0
	2-2-2. 능동형 추진제어 시스템 요구사항 도출	1년	1차년도	2	12	51%	12.144	8	97.152
	2-2-3. 고속영역 출력 부스팅 제어로직 설계	2년	2차년도	3	12	52%	18.72	8	149.76
			3차년도				0	8	0
	2-2-4. 추진시스템 허용 제어로직 설계	2년	2차년도	3	12	51%	18.36	8	146.88
			3차년도				0	8	0
	2-2-5. 추진시스템 능동형 냉각장치 개념설계	1년	2차년도				0	8	0
	2-2-6. 능동형 추진제어장치(C/I) H/W 설계 및 핵심부품 발주	1년	3차년도	8	12	50%	48	8	384
	2-2-7. 능동형 추진제어장치(C/I) 시제품 제작 및 Lab Test(부하/무부하 시험 등)	1년	4차년도	6	12	50%	36	8	288
	2-2-8. 추진시스템 능동형 냉각장치 H/W 설계	1년	3차년도	4	12	50%	24	8	192
	2-2-9. 추진시스템 능동형 냉각장치 시제품 제작 및 냉각성능 Lab test	1년	4차년도	4	12	50%	24	8	192
2-3. 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술	2-2-10. 개발 추진 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 (TDCS) 개조	1년	4차년도	4	12	50%	24	8	192
	2-2-11. 시제품 현차 성능시험	1년	5차년도	3	12	44%	15.876	8	127.008
2-3. 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술		소계		22					1047
	2-3-1. 통합제어시스템 인터페이스 개념설계	1년	1차년도	2	12	50%	12	8	96
	2-3-2. 차량 TDCS 시스템 I/O 분석	1년	2차년도	2	12	50%	12	8	96

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	① 투입 인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M 산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비단가)
	2-3-3. 운행속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어로직 설계	2년	2차년도	2	12	50%	12	8	96
			3차년도				0	8	0
	2-3-4. 개발시스템(추진/제동/진동)간 상호 인터페이스 설계 확정	1년	2차년도	4	12	50%	24	8	192
	2-3-5. 통합 제어시스템 H/W 설계 및 핵심부품 발주	1년	3차년도	5	12	56%	33.72	8	269.76
	2-3-6. 통합제어시스템 시제품 제작 및 장치간 통신시험	1년	4차년도	2	12	49%	11.712	8	93.696
	2-3-7. 통합제어시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 개조	1년	4차년도	3	12	44%	15.84	8	126.72
	2-3-8. 시제품 현차 성능시험	1년	5차년도	2	12	40%	9.6	8	76.8

(다) 2세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구 기간	수행 연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)		연구시설 및 장비비(3천만원 이하)		시작품 제작비		연구재료비		연구장비재 료비 합계
				품명	소계	품명	소계	품명	소계	품명	소계	
2-1. 감속특성 향상을 위한 능동형 제동 제어기술												2028
	2-1-1. 국내 환경 분석을 통한 속도별 점 착한계 분석	1년	1차 년도		0	현장시험용 노트북	3		0	각종센서 및 계측 모듈류	30	33
	2-1-2. 능동형 제동제어 시스템 요구사항 도출	1년	1차 년도		0		0		0	데이터 저장장치 및 전산소모품	15	15
	2-1-3. 감속도 기반 능동형 제동력 다단계 어로직 설계	2년	2차 년도	제어로직 설계 S/W	130	제어로직 설계 pc	3		0		0	133
			3차 년도	제어코드 Rom 설치 장비	40	통신 어날라이저 및 ARM기반 디버거	25		0	제어 Rom	50	115
	2-1-4. 주행환경 감응형 스마트 제동력 분 담 제어로직 설계	2년	2차 년도	제어로직 설계 S/W	130	제어로직 설계 pc	3		0		0	133
			3차 년도	제어코드 Rom 설치 장비	40	통신 어날라이저 및 ARM기반 디버거	25		0	제어 Rom	50	115
	2-1-5. 능동형 제동 전자제어장치(ECU) H/W 설계	1년	3차 년도	고성능 오실로스코프	100	하드웨어 설계 pc	6		0		0	106
	2-1-6. 능동형 제동 ECU 시제품 제작 및 단 품 성능시험(HILS 이용)	1년	4차 년도		0		0	ECU 시제품 제작	600	각종부품류	200	800
	2-1-7. 제동 ECU 성능평가를 위한 HILS기반 시험기 설계 및 성능평가절차서 작성	1년	2차 년도	HILS 설계 S/W	100		0		0		0	100
	2-1-8. 제동 ECU 성능평가를 위한 HILS 기반 시험기 제작	1년	3차 년도		0		0		0	인터페이스 부품	108	108

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구 기간	수행 연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)		연구시설 및 장비비(3천만원 이하)		시작품 제작비		연구재료비		연구장비재 료비 합계
				품명	소계	품명	소계	품명	소계	품명	소계	
	2-1-9. 개발 제동 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스(TDCS) 개조	1년	4차 년도		0		0		0	차량개조관련 주요 부품	250	250
	2-1-10. 시제품 현차 성능시험	1년	5차 년도		0		0		0	시제차량 유지보수 부품	120	120
2-2. 가속특성 향상을 위한 능동형 추진 제어기술												2636
	2-2-1. 기존 고속영역 출력 부스팅 시험 결과 분석	1년	1차 년도		0	현장시험용 노트북	3		0	각종센서 및 계측 모듈류	40	43
	2-2-2. 능동형 추진제어 시스템 요구사항 도출	1년	1차 년도		0		0		0	데이터 저장장치 및 전산소모품	15	15
	2-2-3. 고속영역 출력 부스팅 제어로직 설 계	2년	2차 년도	제어로직 설계 S/W	130	제어로직 설계 pc	3		0		0	133
			3차 년도	제어코드 Chip 설치 장비	40	통신 어날라이저 및 제어 Chip 디버거	25		0	제어 Chip	50	115
	2-2-4. 추진시스템 허용 제어로직 설계	2년	2차 년도	제어로직 설계 S/W	130	제어로직 설계 pc	3		0		0	133
			3차 년도	제어코드 Chip 설치 장비	40	통신 어날라이저 및 제어 Chip 디버거	25		0	제어 Chip	50	115
	2-2-5. 추진시스템 능동형 냉각장치 개념 설계	1년	2차 년도	열유동 해석 S/W	186	열유동 해석 Work station	3		0		0	189
	2-2-6. 능동형 추진제어장치(C/I) H/W 설 계 및 핵심부품 발주	1년	3차 년도	전기/기계 설계 S/W	100	Catia Work station	6		0	C/I 제작용 핵심부 품	500	606
	2-2-7. 능동형 추진제어장치(C/I) 시제품 제작 및 Lab Test(부하/무부하 시 험 등)	1년	4차 년도		0		0	C/I 시제품 제작(1 차시작, 2차시작, 최종시제 1량분)	600	부하용 견인전동기	140	740

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구 기간	수행 연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)		연구시설 및 장비비(3천만원 이하)		시작품 제작비		연구재료비		연구장비재 료비 합계
			품명	소계	품명	소계	품명	소계	품명	소계	
2-2-8. 추진시스템 능동형 냉각장치 H/W 설계	1년	3차 년도		0	능동 냉각장치 설계 pc	3		0	제어 Chip 및 센서류	50	53
2-2-9. 추진시스템 능동형 냉각장치 시제품 제작 및 냉각성능 Lab test	1년	4차 년도		0		3	능동 냉각장치 시제품(시작, 최종시제 1량분)	40	냉각장치 제작 핵심부품	85	128
2-2-10. 개발 추진 시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스(TDCS) 개조	1년	4차 년도		0		0		0	차량개조관련 주요 부품	250	250
2-2-11. 시제품 현차 성능시험	1년	5차 년도		0		0		0	시제차량 유지보수 부품	116	116
2-3. 최적 운행속도 제어를 위한 통합(추진/제동/진동) 제어기술											1022
2-3-1. 통합제어시스템 인터페이스 개념설계	1년	1차 년도		0	일반 범용 pc	6		0	데이터 저장장치 및 전산소모품	15	21
2-3-2. 차량 TDCS 시스템 I/O 분석	1년	2차 년도		0	TDCS I/O 분석장비	25		0	각종센서 및 계측 모듈류	50	75
2-3-3. 운행속도 프로파일 준수를 위한 통합 제어로직 설계	2년	2차 년도	제어로직 설계 S/W	130	제어로직 설계 pc	3		0	MMB 통신보드류	50	183
		3차 년도	제어코드 Chip 설치 장비	40	통신 어날라이저 및 제어 Chip 디버거	25		0	제어 Chip	50	115
2-3-4. 개발시스템(추진/제동/진동)간 상호 인터페이스 설계 확정	1년	2차 년도		0		0		0	데이터 저장장치 및 전산소모품	10	10
2-3-5. 통합 제어시스템 H/W 설계 및 핵심부품 발주	1년	3차 년도		0	통합 제어시스템 설계 pc	3		0	제어 Chip, 각종 PCB 기반류	100	103
2-3-6. 통합제어시스템 시제품 제작 및 장치간 통신시험	1년	4차 년도		0		0	통합 제어시스템 시제품	200	통신 Chip 및 관련 부품	100	300

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동	연구 기간	수행 연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)		연구시설 및 장비비(3천만원 이하)		시작품 제작비		연구재료비		연구장비재 료비 합계
			품명	소계	품명	소계	품명	소계	품명	소계	
2-3-7. 통합제어시스템 시험차량 취부 및 관련 인터페이스 개조	1년	4차 년도		0		0		0	차량개조관련 주요 부품	200	200
2-3-8. 시제품 현차 성능시험	1년	5차 년도		0	현장시험용 노트북	15		0		0	15