

430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발 총괄요약보고서

2015. 12.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
협동연구기관 / 현대로템(주)
공동연구기관 / 유진기공산업(주)
인터콘시스템스(주)
(주)팩테크
LS산전(주)
국제전기(주)
(주)신형이앤지
(주)비츠로테크

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발"과제의
총괄요약보고서로 제출합니다.

2015. 12.

1세부과제 : 430km/h급 고속열차 시운전시험 연구

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

주관연구책임자 : 김 석 원 수석연구원

연 구 원 :

김 기 환 연구원장	박 춘 수 수석연구원	권 삼 영 수석연구원
박 찬 경 수석연구원	이 병 송 수석연구원	이 성 혁 수석연구원
한 성 호 수석연구원	김 영 학 수석연구원	김 상 수 책임연구원
이 태 형 책임연구원	최 성 훈 책임연구원	강 윤 석 책임연구원
권 혁 빈 책임연구원	김 남 포 책임연구원	김 동 현 책임연구원
김 성 일 책임연구원	김 영 국 책임연구원	남 성 원 책임연구원
문 경 호 책임연구원	민 재 홍 책임연구원	박 기 준 책임연구원
박 영 책임연구원	엄 진 기 책임연구원	이 기 원 책임연구원
이 호 용 책임연구원	조 홍 식 선임연구원	고 상 진 선임연구원
전 창 성 선임연구원	백 승 구 선임연구원	윤 수 환 선임연구원
노 희 민 선임연구원	오 혁 근 선임연구원	최 두 호 선임연구원
곽 민 호 선임연구원	강 동 훈 선임연구원	김 현 민 선임연구원
김 현 웅 선임연구원	박 철 민 선임연구원	백 제 훈 선임연구원
심 형 보 선임연구원	오 동 규 선임연구원	유 소 영 선임연구원
이 광 섭 선임연구원	이 준 선임연구원	최 경 후 선임연구원
류 상 현 선임연구원	고 재 하 연구원	김 미 영 연구원
김 민 형 연구원	김 세 인 연구원	김 수 영 연구원
김 준 곤 연구원	문 지 수 연구원	박 주 안 연구원

박 철 연구원	손 승 완 연구원	송 아 름 연구원
신 종 진 연구원	유 근 준 연구원	윤 상 호 연구원
이 상 수 연구원	이 상 조 연구원	조 미 령 연구원
지 형 민 연구원		

위탁연구기관명 : 한국철도공사

위탁연구책임자 : 소 진 섭 차장, 양 정 무 차장

연 구 원 :

정 인 수 연구원장	모 충 선 처장	강 태 구 처장	김 용 한 부장
김 진 우 차장	김 대 식 차장	이 성 준 차장	김 주 원 대리
정 형 일 대리	김 철 섭 센터장	최 형 수 부장	김 재 국 부장
홍 천 수 부장	박 용 기 차장	이 동 수 차장	조 성 구 차장
김 은 기 차장	이 회 동 과장	이 원 용 과장	이 계 원 대리
김 승 곤 대리	정 규 조 대리	전 진 표 대리	임 재 익 처장
정 연 일 부장	유 양 하 차장	이 민 우 차장	김 동 섭 차장
박 형 순 부장	유 형 일 부장	이 경 재 차장	김 준 상 차장
최 철 민 차장	한 기 업 차장	조 칠 래 차장	김 재 규 차장
김 대 봉 주임			

위탁연구기관명 : (주)날리지웍스

위탁연구책임자 : 류 형 근 본부장

연 구 원 :

이 재 희 부사장	정 문 수 본부장	김 황 만 책임컨설턴트
최 미 옥 책임컨설턴트	박 창 현 책임컨설턴트	손 창 수 책임컨설턴트
방 영 민 책임컨설턴트	남 범 우 전임컨설턴트	김 준 성 전임컨설턴트
우 지 은 전임컨설턴트	이 혜 연 전임컨설턴트	안 선 영 전임컨설턴트

위탁연구기관명 : 연세대학교

위탁연구책임자 : 전 홍 재 교수

연 구 원 :

강 경 탁 연구원	남 지 훈 연구원	서 윤 석 연구원
손 민 석 연구원	김 경 민 연구원	

2세부과제 : 430km/h급 고속열차 안정화 및 유지보수체계 구축 기술개발

협동연구기관명 : 현대로템(주)

협동연구책임자 : 이 병 석 수석연구원

연 구 원 :

민평오	김국진	강길현	최종목	양희주	김 욱	박영호
안홍관	이강운	이정율	정은성	김광호	김경하	김규태
김연준	김연충	김운호	장정훈	최열준	노애숙	김태윤
정 훈	노주현	신호성	조병욱	권일동	김경준	김광준
김봉철	김성준	김성태	김인호	김정철	박선과	박성일
박정웅	박주연	박지웅	성재호	유보선	유재곤	윤용진
윤우혁	임형순	전기주	강덕홍	강정욱	김용수	김용태
김종환	김효민	문성훈	신명준	양희준	우상균	이봉주
임상수	장현석	정성록	정성욱	김동환	신동준	유병영
이규진	이창석	장승희	조영익	진신혁	최승모	

공동연구기관명 : 유진기공산업(주)

공동연구책임자 : 강 성 웅 부장

연 구 원 :

박상우	김형하	김정현	김진모	김형하	노용수	박상린
김진모	곽의영	금종호	박훈규	신동길	신평우	김기남
심성태	윤원용	이경석	이기수	김동식	이동균	이승재
이재영	이재호	김두용	이준상	이준영	전형준	김영재
김유진	전희권	정찬용	정환신	조규택	조동현	조종화
최문성	최호식	황성운				

공동연구기관명 : 인터콘시스템스(주)

공동연구책임자 : 송 영 규 연구소장, 전 성 준 이사

연 구 원 :

최병수	김경식	김동현	김두환	김재인	김정훈	김종걸
김준혁	김진수	박재균	손강호	윤영석	이건영	이승보
이용희	이효구	임유준	조건희	조만재	조재영	홍성복

공동연구기관명 : (주)팩테크

공동연구책임자 : 이 상 석 대표이사

연 구 원 :

장경현 이선희 장준섭 이성경 윤상환 장준섭

공동연구기관명 : LS산전(주)

공동연구책임자 : 조 용 기 수석연구원

연 구 원 :

한재문 김석현 김성희 설재윤 손학길 양찬석 정종철
정지찬

공동연구기관명 : 국제전기(주)

공동연구책임자 : 윤 상 기 전무이사

연 구 원 :

윤종학 이철주 안진용 이성호 김효묵 백승수 서병화
박윤희 김형아

공동연구기관명 : (주)신형이앤지

공동연구책임자 : 김 성 재 전무이사

연 구 원 :

황영오 김완수 김남천 한상락 홍서희 윤종철

공동연구기관명 : (주)비츠로테크

공동연구책임자 : 구 치 욱 부장

연 구 원 :

이철형 이승석 주홍진 송유조 유상진 김강희 조태권
진 준 오세영

보고서 요약서

과제고유번호	15PRTD-B063984-04	해 당 단 계 연 구 기 간	2012.11.28~ 2015.12.27	단 계 구 분	4/4
연 구 사 업 명	철도기술연구사업				
연 구 과 제 명	최상위과제명	430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발			
	1세부과제명	430km/h급 고속열차 시운전시험 연구			
	2세부과제명	430km/h급 고속열차 안정화 및 유지보수체계 구축 기술개발			
연 구 책 임 자	김 석 원	총연구기간 참 여 연구원수	총 :621명 내부:601명 외부: 20명	총연구비	정부 : 14,944,000천원 기업 : 2,872,747천원 계 : 17,816,747천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국철도기술연구원 고속열차연구팀		참여기업명	현대로템(주), 유진기공업(주), 인터콘시스템스(주), (주)팩테크, 국제전기(주), (주)신형이앤지, (주)비츠로테크	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 한국철도공사		연구책임자 : 소 지 섭 양 정 무		
	연구기관명 : (주)날리지웍스		연구책임자 : 류 형 근		
	연구기관명 : 연세대학교		연구책임자 : 전 홍 재		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	199
차세대 고속철도기술개발사업(2007.7~2012.9)을 통하여 개발된 최고시험속도 430km/h급 동력분산형 차세대고속열차(HEMU-430X) 시스템을 조속히 안정화시키고 이를 실용화시키기 위한 기반을 구축하여 국내 적용 및 해외 진출의 교두보 마련을 위해서는 영업선로에서의 시운전 시험을 통한 고속열차의 운용, 성능 검증 및 성능 향상 등 동력분산형 고속철도시스템의 안정화 기술개발이 필요함에 따라 “430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발” 연구단과제가 수행되었다. 본 과제에서는 동력분산형 고속열차 기술의 실용화를 위한 안정화 및 성능 검증을 위하여 주행시험 10만km 이상의 시운전시험을 통하여 동력분산형 고속철도시스템의 신뢰성 향상 및 안정성 검증을 수행하고, 차량시스템의 안정화 및 유지보수체계를 구축하며, 국내 적용 및 해외 진출을 위한 동력분산형 고속열차 실용화 모델을 개발하였다.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	고속열차, 동력분산형, 시운전 시험, 안정화, 신뢰성			
	영 어	High-speed Train, Distributed Traction, On-line test, Stabilization, Reliability			

요 약 문

I . 제 목

430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발

II . 연구개발과제 개요

○ 연구개발 목적

- 동력분산형 고속열차 기술의 실용화를 위한 안정화 및 성능 검증
 - 시제열차(HEMU-430X) 안정화 및 신뢰성 향상(주행시험 10만km이상)
 - 동력분산형 고속열차 실용화 모델 개발

○ 연구 필요성

- 세계 고속철도 시장의 경쟁력 우위 확보를 위해 동력분산형 고속열차 개발 경쟁이 치열함.
 - 일본: 360km/h급 'FASTECH 360' 동력분산형 차량을 개발
 - 프랑스: 360km/h급 차세대 'AGV' 동력분산형 차량을 개발
 - 독일: 350km/h급 'VELARO' 동력분산형 차량을 개발
- “차세대 고속철도기술개발사업”을 통하여 개발된 동력분산형 고속철도 기술의 완성, 개발 시스템의 안정성 확보 및 실용화를 위해서는 시험운행을 통한 시스템 검증과 국내 실정을 반영한 고속철도 유지관리 체계의 구축이 필요함.
- 개발된 동력분산형 고속철도 시스템의 조속한 안정화 및 실용화 기반 구축이라는 목표를 달성하기 위해서는 영업선로에서의 본선시운전 시험을 수행함으로써 지속적인 성능 계측과 분석을 통한 동력분산형 고속열차의 운용, 성능 검증 및 성능 향상으로 개발시스템이 안정화될 수 있도록 하여야 함.
- 호남고속철도 등의 건설과 운영에 대한 기술 지원 및 기존 노선 연계를 위한 기반기술 및 운영특성 기술의 개발이 필요함.
- 최근 고속철도를 도입하는 국가에서는 대용량 수송과 속도 증속에 유리한

동력분산형을 선호하고 있기에, 우리나라도 고속열차의 해외 진출을 위해 개발한 동력분산형 고속열차의 조속한 안정화가 필요함.

○ 연구 기간 및 연구비

- 연구기간 : 2012년 11월 28일 ~ 2015년 12월 27일 (4년 1개월)
- 연구비 : 178.1억원(정부지원금 149.4억원, 민간부담금 28.7억)

○ 주요 연구내용

- 1세부 과제
 - 분산형 고속열차 안정화 시험 및 분석
 - 분선시운전 시험 수행(누적주행거리 10만km 이상)
 - 종합 측정시스템 운영/유지보수
 - 분선시운전시험 DB 구축
 - 주요성능(추진, 제동, 제어, 집전 등) 계측 및 분석
 - 차량시스템 안정화 및 유지보수 기술 지원
 - 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 연계 시험
 - 차량 안정성 및 신뢰성평가
 - 신뢰성 관리체계 수립
 - 주요장치 고장 모니터링
 - 고장을 분석 및 고장유형별 시스템영향 검토
 - 신뢰성 시험 및 분석
 - 신뢰성 평가기법 적용 결과에 대한 수정보완
 - 정량화된 신뢰성성능지표 개발
 - 분산형 고속열차 실용화 모델 개발
 - 분산형 고속열차 운영자 요구사항 작성
 - 분산형 고속열차 실용화시스템 규격 작성
 - 분산형 고속열차 국내외 적용방안 도출
 - 고속철도 기술수준 및 국산화율 분석
 - 분산형 고속열차 경제적 효과 분석
 - 분산형 고속열차 국내 적용 방안 수립
 - 분산형 고속열차 시장 분석 및 해외 진출전략 수립
 - 사업 통합 및 총괄

- 2세부 과제
 - 본선시운전 지원
 - 출발전 점검
 - 본선 시운전중 응급상황 발생시 응급조치
 - 운행 후 점검
 - 핵심부품 성능개선
 - 주회로차단기 소음개선
 - 주전력변환장치(MPS) 수냉각 성능 개선
 - 주전력변환장치(MPS)DC Lin 출력 성능 향상 개선
 - 타이스트랩 강도 개선
 - 견인전동기 성능 향상품 설치
 - 에어댐 및 대차 커버 설치
 - 시운전시 개선 필요장치 성능개선
 - 유지보수체계 구축
 - 유지보수 매뉴얼 절차에 따른 유지보수 업무 수행
 - 유지보수 매뉴얼 문제점 보완
 - 상용화 편성 유지보수 체계를 위한 유지보수 주기 기록
 - 차량 중점검
 - 동력분산식 고속열차 실용화 모델 개발
 - 운영자 요구사항 분석
 - 실용화 모델 개념 설계
 - 실용화 모델 기본설계 및 도면 작성
 - 분산형고속열차 실용화 편성 개선 설계(안) 작성
 - 동력분산형 고속열차 해외시장 분석
 - 경쟁차종별 기술특성 분석
 - 경쟁차종별 운영효율성 분석

○ 연차별 연구내용

• 1세부 과제

연차	연구목표	주요 연구내용
1 차 년 도	▪ 최고속도시험 수행	▪ 최고속도시험 수행 ▪ 차량성능 및 인프라 영향 검토
	▪ 시운전시험을 통한 주요 성능 파라미터 분석	▪ 차세대고속열차 특성을 고려한 시험기술 구축 ▪ 종합 측정시스템 운영/보완 ▪ 본선시운전시험 DB 보완 ▪ 주요성능(추진, 제동, 제어, 집전 등) 계측 및 분석 ▪ 차량시스템 안정화 기술 지원 ▪ 주요 차량하부시스템 안정화 및 유지보수
	▪ 신뢰성 관리체계 구축	▪ 고장특성 분석체계 수립 ▪ 주요장치 고장 모니터링 ▪ 신뢰성 관리체계 구축
	▪ 핵심부품 개선(안) 도출	▪ 속도대역별 기술특성 분석 ▪ 차량시스템 성능개선 방안 수립 ▪ 핵심부품 개선(안) 도출
	▪ 국내 투입가능성 검토	▪ 속도대역별, 운영특성에 따른 시제차량 안정성 검증 ▪ 개발시스템 적용성 검토
	▪ 국내외 기술동향 및 시장조사	▪ 국내외 고속철도 차량분야 기술동향, 기술수준 비교분석, 기술개발 등 발전방향 수립 ▪ 고속철도 차량 주요 용품에 대한 국산화 개발 현황 조사 ▪ 고속철도 중심 국가교통정책 수립 효율화 방안 수립 ▪ 중장기 고속열차 실용화노선 분석 및 평가
	▪ 사업 통합 및 총괄	▪ 일정 및 목표 관리
2 차 년 도	▪ 분산형 고속열차 안정화시험 및 분석(누적주행거리 6만km)	▪ 차세대고속열차 특성을 고려한 시험기술 확립 ▪ 종합 측정시스템 운영/유지보수 ▪ 본선시운전시험 DB 구축 ▪ 주요성능(추진, 제동, 제어, 집전 등) 계측 및 분석 ▪ 차량시스템 안정화 기술 지원 ▪ 주요 차량하부시스템 안정화 및 유지보수
	▪ 차량 안정성 및 신뢰성평가	▪ 고장특성 분석 ▪ 주요장치 고장 모니터링 ▪ 고장을 분석 및 고장 유형별 시스템영향 검토 ▪ 신뢰성시험 및 분석
	▪ 차량시스템 성능향상 및 핵심부품 개선	▪ 속도대역별 기술특성 분석 ▪ 차량시스템 성능개선 방안 수립 ▪ 핵심부품 개선(안) 도출
	▪ 국내외 기술동향 및 시장조사	▪ 국내외 고속철도 차량분야 기술동향, 기술수준 비교분석 ▪ 고속철도 차량 주요 용품에 대한 국산화 개발 현황 조사 ▪ 국내외 고속철도 차량, 인프라 관련 시장현황 조사 ▪ 고속철도 중심 국가교통정책 수립 효율화 방안 수립 ▪ 중장기 고속열차 실용화노선 분석 및 평가
	▪ 차량폭 확대 연구	▪ 주행안정성 검토 ▪ 주행저항 증가량 분석

연차	연구목표	주요 연구내용
	▪ 사업 통합 및 총괄	▪ 일정 및 목표 관리
3 차 년 도	▪ 분산형 고속열차 안정화시험 및 분석(누적주행거리 10만km)	▪ 종합 측정시스템 운영/유지보수 ▪ 본선시운전시험 DB 구축 ▪ 주요성능(추진, 제동, 제어, 집전 등) 계측 및 분석 ▪ 차량시스템 안정화 및 유지보수 기술 지원
	▪ 차량 안정성 및 신뢰성 평가	▪ 고장특성 분석 ▪ 주요장치 고장 모니터링 ▪ 고장을 분석 및 고장유형별 시스템영향 검토 ▪ 신뢰성 시험 및 분석 ▪ 신뢰성 평가기법 적용 결과에 대한 수정보완
	▪ 실용화 및 활용방안 도출	▪ 실용화 사양 작성 - 기술적 사항 분석 종합 및 동력분산형 차량 비교 분석 - 실용화 차량 규격 보완/작성 ▪ 실용화편성의 개선설계(안) 작성 ▪ 시제열차 활용방안 연구
	▪ 국내외 적용방안 도출	▪ 분산형 고속열차 국내 적용방안 수립 - 국가철도망 구축계획 및 철도차량 증장기 운영 계획 등 관련 계획 검토 - 국내 적용 방안 종합 - 국내 고속철도 운영노선 및 현황 분석 - 국내 고속열차 증장기 도입계획(안) 마련 ▪ 분산형 고속열차 편익 및 효과 분석 - 국내 투입에 따른 간접편익 조사 및 효과분석 - 분산형 고속열차 운영 및 유지보수 비용 분석 ▪ 해외 진출 전략 수립 - 고속철도 노선 및 편성, 운영현황 등 시장현황 분석 - 해외 진출 사례 조사/분석 - 해외 진출을 위한 대응 전략 수립 ▪ 국내외 고속철도 차량분야 기술동향, 기술수준 비교분석, 기술개발 등 발전방향 수립 ▪ 고속철도 차량 주요 용품에 대한 국산화 개발현황
	▪ 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 연계시험	▪ 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 연계시험(차량분야)
	▪ 사업 통합 및 총괄	▪ 일정 및 목표 관리
4 차 년 도	▪ 차량 안정성 및 신뢰성 평가	▪ 정량화된 신뢰성 지표 개발 및 분석 ▪ 동적 유지보수 ▪ 고장특성 분석 ▪ 고장을 분석 및 고장유형별 시스템영향 검토 ▪ 신뢰성 성장률 분석 ▪ 시스템 안정화 수준 분석
	▪ 실용화 요건 분석	▪ 운영자 요구사항 작성 및 분석 ▪ 시제열차 활용방안 연구 ▪ 경쟁차종별 기술특성 및 운영효율성 분석 지원
	▪ 국내외 적용방안 도출	▪ 분산형 고속열차 경제적 효과 분석 - 경쟁차종별 특성 분석 ▪ 분산형 고속열차 국내 적용방안 수립 - 국내 투입 가능 후보 노선(안) 선정 - 국내 고속열차 증장기 도입계획(안) 마련
	▪ 사업 통합 및 총괄	▪ 일정 및 목표 관리

• 2세부 과제

연 차	연구목표	주요 연구내용
1 차 년 도	▪ 본선 시운전 지원	▪ 출발전 점검 ▪ 본선시운전중 응급상황 발생시 응급조치 ▪ 운행후 점검
	▪ 유지보수 체계 구축	▪ 유지보수 매뉴얼 절차에 따른 유지보수 업무 수행 ▪ 유지보수 매뉴얼 문제점 보완 ▪ 상용화 편성 유지보수 체계를 위한 유지보수 주기 기록 ▪ 차량 중점검
	▪ 시운전을 통한 핵심부품개선	▪ 주회로차단기 소음개선 ▪ 주전력변환장치(MPS) 수냉각 성능 개선 ▪ 견인전동기 냉각팬 소음개선
	▪ 분산형고속열차 실용화 편성 개선 설계(안) 작성	▪ 분산형고속열차 실용화 편성 개선 설계(안) 작성
	▪ 신뢰성 검토	▪ 안정화 검증 방안 수립 및 검증
2 차 년 도	▪ 본선 시운전 지원	▪ 출발전 점검 ▪ 본선시운전중 응급상황 발생시 응급조치 ▪ 운행후 점검
	▪ 유지보수 체계 구축	▪ 유지보수 매뉴얼 절차에 따른 유지보수 업무 수행 ▪ 유지보수 매뉴얼 문제점 보완 ▪ 상용화 편성 유지보수 체계를 위한 유지보수 주기 기록 ▪ 차량 중점검
	▪ 핵심부품 성능개선	▪ 주전력변환장치(MPS)DC Lin 출력 성능 향상 개선 ▪ 타이스트랩 강도 개선 ▪ 견인전동기 성능 향상품 설치 ▪ 에어댐 및 대차 커버 설치
	▪ 분산형고속열차 실용화 편성 개선 설계(안) 작성	▪ 분산형고속열차 실용화 편성 개선 설계(안) 작성
	▪ 차량폭 확대 검토	▪ 건축한계 검토 및 차량단면 작성
	▪ 신뢰성 검증	▪ 안정화 검증

연 차	연구목표	주요 연구내용
3 차 년 도	▪ 본선 시운전 지원	▪ 출발전 점검 ▪ 본선시운전중 응급상황 발생시 응급조치 ▪ 운행후 점검
	▪ 유지보수 체계 구축	▪ 유지보수 매뉴얼 절차에 따른 유지보수 업무 수행 ▪ 유지보수 매뉴얼 문제점 보완 ▪ 상용화 편성 유지보수 체계를 위한 유지보수 주기 기록
	▪ 핵심부품 성능개선	▪ 시운전시 개선 필요장치 성능개선
	▪ 분산형고속열차 실용화 편성 개선 설계(안) 작성	▪ 분산형고속열차 실용화 편성 개선 설계(안) 작성
	▪ 신뢰성 검증	▪ 안정화 검증
4 차 년 도	▪ 본선 시운전 지원	▪ 출발전 점검 및 운행후 점검 ▪ 본선시운전중 응급상황 발생시 응급조치
	▪ 유지보수 체계 구축	▪ 유지보수 매뉴얼 문제점 보완
	▪ 동력분산형 고속열차 해외시장 분석	▪ 분산형 고속열차 시장 및 해외 차량 조사 ▪ 고속열차 해외 차량 트렌드 조사/분석
	▪ 운영자 요구사항 반영한 동력분산형 실용화 모델 개발	▪ 운영자 요구사항 분석 ▪ 실용화 모델 개념 설계 ▪ 실용화 모델 기본설계 및 도면 작성
	▪ 경쟁차종별 기술특성 분석	▪ 경쟁차종별 기술특성 분석
	▪ 경쟁차종별 운영효율성 분석	▪ 경쟁차종별 운영효율성 분석
	▪ 신뢰성 분석	▪ 신뢰성 성장 여부

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

○ 1세부 과제

연차	연구 내용	연구 결과
1 차 년 도	최고속도시험 수행	
	최고속도시험 수행	- 시운전시험협약 체결, 보험가입, 시운전시험계획 및 안전대책 수립 - 전차선 장력증가, 신경주역 분기기통과속도 향상, 절연구간 연장급전, 주행구간 증대 등 시험환경 구축 - 시험속도 400km/h 첫 돌파('12.12.27) - 국내 최고시험속도 기록 : 421.4km/h('13.3.28)
	차량성능 및 인프라 영향 검토	- 추진/제동/공력 등 성능 확인 - 주행안정성, 집전성능, 압상량, 이선율, 신호응동, 궤도/교량안전성 등 기준 만족
	시운전시험을 통한 주요 성능 파라미터 분석	
	차세대고속열차 특성을 고려한 시험기술 구축	전차선 장력조정, 분기기 통과속도, 절연구간 연장급전, 추진출력 변화, 공력, 중량변화, 소음/진동 등 시험기술 구축
	종합 측정시스템 운영/보완	- 판토, 영상, 계측프로그램 운영 - 판토계측시스템 접속 문제 등 11건 보완
	본선시운전시험 DB 보완	- 시험데이터 937GB 획득 - 시험환경 관련 DB항목 4건 보완
	주요성능(추진, 제동, 제어, 집전 등) 계측 및 분석	- 추진출력 향상 효과 측정 및 분석 - 제동거리 및 감속도 만족(철도안전법) - 주행안전성 기준 만족(EN14363) - 타행시험으로 주행저항 측정 및 저감조치로 6.9% 감속 확인 - 집전성능 만족(UIC794, EN50119, KTX QT) - 이선율 적합(경부고속철도평가기준, IEC62486) - 압상량 적합(UIC749-0) - 실내소음 터널+6dB>개활지 높음(시스템요구사항) - 하부열차풍 KTX보다 높음 - 터널통과시 압력변동 측정 및 분석 - 미기압과 KTX와 산천 대비 18% 낮음 - 궤도/교량안전성 기준 만족
	차량시스템 안정화 기술 지원	- 후미진동 저감을 위한 요댐퍼 변경 - 집전판 경량화(6.4 -> 4.8kg) - 공기저항 저감 조치 - 차체 하부 공기저항 저감 조치
	주요 차량하부시스템 안정화 및 유지보수	- 대차커버 설치 - 차간연결막

연차	연구 내용	연구 결과
	신뢰성 관리체계 구축	
	고장특성 분석체계 수립	시험종료후 회의, 장치 로깅데이터, TDCS 고장 데이터, 시스템고장상황보고서를 활용한 고장 분석체계 수립
	주요장치 고장 모니터링	- 종합계측시스템과 시험 출발전후 점검결과를 활용한 고장 모니터링 - 기계분야 주요 원인 : 제품불량, 설계오류, 제작불량 - 전기분야 주요 원인 : 추진출력 향상한 MPS 주로 발생
	신뢰성 관리체계 구축	- 시스템분류, 기능블럭도, 신뢰성블럭도 작성 - TDCS고장데이터 활용 고장율추출방법 정립 - Duane 신뢰성성장모델 기울기(α)를 평가기준으로 확립
	핵심부품 개선(안) 도출	
	속도대역별 기술특성 분석	최고시험속도까지 분야별 특성 분석
	차량시스템 성능개선 방안 수립	- 주행안정성, 공기저항저감(대차커버) 개선 방안 수립 - 통로연결막 개선(안) 도출
	핵심부품 개선(안) 도출	
	국내 투입가능성 검토	
	속도대역별, 운영특성에 따른 시제차량 안정성 검증	KTX이용 수요 예측에 사용한 통행행태모형을 HEMU 운행특성과 승객서비스를 고려하여 개선한 모형 개발 방안 수립
	개발시스템 적용성 검토	- 적용노선(축) 대안 선정 및 선정기준 검토 - 평가방법론 및 평가지표 검토
	국내외 기술동향 및 시장조사	
	국내외 고속철도 차량분야 기술 동향, 기술수준 비교분석	- 고속철도 분야별 기술수준 분석 '12년말 기술수준 80%('10년 대비 11.67% 증가)
	고속철도 차량 주요 용품에 대한 국산화 개발현황 조사	KTX-산천 적용 수입품 다수가 HEMU 개발 시 국산화연구를 통해 개발 및 검증 진행중
	사업 통합 및 총괄	
	일정 및 목표 관리	- 착수보고회, 주요 기술회의 등을 통한 일정 및 목표 관리 수행 - 현장진도점검을 통한 객관적인 평가

연차	연구 내용	연구 결과
2 차 년 도	분산형 고속열차 안정화시험 및 분석	
	▪ 본선 안정화시험 수행	▪ 경부1단계 인터페이스 주행 시험 완료 ▪ 안정화시험 (누적주행거리 6만8천 킬로(총 시험 회수 117회) 달성) ▪ 시운전시험협약 개정, 부속협약 개정, 보험가입, 안전관리 체계 구축 및 시행
	▪ 차세대고속열차 특성을 고려한 시험기술 확립	▪ 열차의 하중과 변형을 상관 관계 연구 ▪ 솔라셀 Array를 이용한 터널위치 검측 기술
	▪ 종합 측정시스템 운영/유지보수	▪ 실시간 차량상태 계측을 통한 안정화시험 수행 ▪ 차량별 계측장치 및 분석 프로그램 개선 ▪ 휠/레일 영상장치 보완
	▪ 본선시운전시험 DB 구축	▪ 시운전시험 관리시스템 확대 운영 ▪ 시운전시험 데이터 관리 DB 구축
	▪ 주요성능(추진, 제동, 제어, 집전 등) 계측 및 분석	▪ 추진성능시스템 특성 분석 ▪ 보조전원장치 특성 분석 ▪ 신호장치 주요 기능 측정 및 분석 ▪ 집전성능 측정 및 평가 완료 ▪ 제동성능 시험 및 평가 완료 ▪ 주행안전성 측정 및 평가 완료 ▪ 실내·실외 소음 측정 및 분석
	▪ 차량시스템 안정화 및 유지보수 기술 지원	▪ 차량시스템 안정화 기술지원 - 주행장치, 주회로차단기, 공기스프링, 견인전 동기 안정화 기술 지원 ▪ 차세대고속열차를 이용한 안정화 연구 지원 - 연결선 속도 향상 검증 시험 지원 - 감속기 모니터링 시험 지원 - 전차선 모니터링 시험 지원 ▪ 차량시스템 유지보수 기술지원 - 유지보수를 위한 외부기관 시설물 사용 지원 - 차량 합동점검 실시 및 차량 중점검 계획 수립
	차량 안정성 및 신뢰성평가	
	▪ 고장특성 분석	▪ 시운전 시험 고장데이터 수집 및 분석 ▪ 고장데이터 분석을 통한 주요 고장특성분석
	▪ 주요장치 고장 모니터링	▪ 시스템 분류 및 기능블록선도를 통한 주요 장치 도출과 주요장치 고장 모니터링 수행
	▪ 고장을 분석 및 고장 유형별 시스템영향 검토	▪ 누적주행거리별 평균무고장 시간 분석을 통한 시스템별 고장을 분석 ▪ 안정화 수준 분석을 통한 고장 유형별 시스템 영향 검토
	▪ 신뢰성시험 및 분석	▪ 신뢰성 분석을 위한 시스템별 신뢰성 블록선도 도출 ▪ 신뢰성 성장 모델 (Duane과 Crow-AMSAA 모델)을 통한 전체 및 세부 시스템별 신뢰성 성장률 분석

연차	연구 내용	연구 결과
	차량시스템 성능향상 및 핵심 부품 개선	
	▪ 차량시스템 성능개선 방안 수립	▪ 제동시스템 성능개선 - 제동프로그램 튜닝: 제동성능 설계기준 만족 - 토탈블렌딩 적용: 제동패드 마모 균일화 ▪ 신호처리 보드 성능개선 - 불연속신호수신 불량 개선 - ATC 자동전환 버그 수정 - ATS OSC 발진출력 증대 및 수신감도 향상 ▪ 승차감 개선 - 서스펜션 요소 최적화 및 차륜 삭정 : KTX-산천 수준으로 승차감 개선
	▪ 핵심부품 개선(안) 도출	▪ 핵심 제동장치 국산화품 적용 및 성능개선 - 차축디스크 국산화품 성능시험 및 차량취부 - 공기압축기 설계변경을 통한 진동개선 ▪ 주전력변환장치 성능개선 : DC link 전압상승을 통한 추진성능 안정화 ▪ 보조전원장치 및 배터리충전기 성능개선 : DC link 단 리플저감을 위한 주요부품 변경 ▪ 견인전동기 출력 상승 : 정격 470 KW 고출력 전동기 제작 및 관련 인터페이스 개선 ▪ 주행저항 성능 개선 : 반영구형 대차커버 및 차간 에어댐 설계안 도출 및 적용 ▪ 주행안정성 개선 : Roll 모드 저감을 위한 차간 댐퍼 설치 및 주행안정성 해석 수행 ▪ 실내소음 및 진동 개선 : 내장판 개선 등 ▪ 주회로 차단기 개선 : 고장원인 분석 및 콘트롤러부 설계 변경 및 해외제품 비교 예정
	국내외 기술동향 및 시장조사	
	▪ 국내외 고속철도 차량분야 기술 동향, 기술수준 비교분석	▪ 고속철도 분야별 기술수준 분석 ▪ '13년말 기술수준 83.8%(전년 대비 5% 증가) ▪ 83개 세부분류 기술비중을 고려한 기술수준 산정 (기존 64개 세부분류)
	▪ 고속철도 차량 주요 용품에 대한 국산화 개발현황 조사	▪ 전문가 설문, 인터뷰 등을 통해 '13년도 고속철도 분야별 국산화율 분석 ▪ 고속철도 전철, 전력, 신호분야 부품 국산화율은 90%를 상회하며, 통신분야 부품 국산화율은 가장 낮음 ▪ 고속철도 차량부품 국산화율은 80.4%로 분석됨
	▪ 국내외 고속철도 차량, 인프라 관련 시장현황 조사	▪ 국내외 고속철도 차량, 인프라 관련 시장현황 조사

연차	연구 내용	연구 결과
	분산형 고속열차 국내 적용 연구	
	▪ 고속철도 중심 국가교통정책 수립 효율화 방안 수립	▪ 분산형 고속열차 도입에 따른 수단분담모형 도출 ▪ 수단분담모형을 토대로 개략적 장래수요 예측 ▪ 기술적 검토 및 비용 산정 ▪ 편익 및 경제성 분석
	▪ 중장기 고속열차 실용화노선 분석 및 평가	▪ 분산형 고속철도 상용화를 위한 실용화 가능노선 검토, 네가지 노선대 제안 ▪ 분산형 고속철도 국내 도입전략 분석
	차량폭 확대 연구	
	▪ 주행안정성 검토	▪ 차량폭 확대 전후 EN 14363에 따른 주행안정성 기준 만족 ▪ 차량폭 확대에 따른 곡선구간 기하학적 차량한계 검토
	▪ 주행저항 증가량 분석	▪ 차량폭 확대 시(3100mm→3370mm) 투영면적 약 5.1%, 표면적 약 2.3% 증가 ▪ 공기저항계수 1.02(출고형상)에서 1.06 증가하며, 이로 인해 총 주행저항 약 4% 증가
	사업 통합 및 총괄	
	▪ 일정 및 목표 관리	▪ 착수보고회, 공정회의, 인터페이스회의 등을 통한 일정 및 목표 관리 수행 ▪ 현장진도점검을 통한 객관적인 평가
3 차 년 도	분산형 고속열차 안정화시험 및 분석	
	▪ 본선 안정화시험 수행	▪ 경부고속선 및 호남고속선 안정화시험 수행: - 실용화사업 누적운행거리 107,589km 달성 - 총 시운전회수 191회
	▪ 종합 측정시스템 운영/유지보수	▪ 실시간 차량상태 모니터링을 통한 안전 확보 ▪ 차량 내 일부 센서 교체를 통한 데이터 신뢰성 확보 ▪ 판토품그래프 계측시스템 동적보정을 통한 계측 정밀도 향상
	▪ 본선시운전시험 DB 구축	▪ 시운전시험 DB 운영을 통한 시운전 데이터 체계적 관리 ▪ 시운전 데이터 외 해석프로그램 및 주요 기술 보고서 통합 관리 운영
	▪ 주요성능(추진, 제동, 제어, 집전 등) 계측 및 분석	▪ 추진성능 개선(DC link 전압 2800V →3000V, M4전인전동기 410kw→470kW)에 따른 추진성능 개선사항 평가 ▪ 보조전원장치 안정적 동작 확인 ▪ ATP 신호시스템 성능 개선 및 검증 ▪ 경부/호남고속선 속도대역별 집전성능(접촉력, 이선아크) 분석 및 기준만족 확인 ▪ 제동시험 및 성능평가 완료

연차	연구 내용	연구 결과
		▪ 속도대역별 주행안정성 평가 및 기준만족 ▪ 속도대역별 실/내외 소음 측정 및 분석
	▪ 차량시스템 안정화 및 유지보수 기술 지원	▪ 차량성능개선 및 시스템안정화 지원 - 대차스커트 및 대차커버 설계, 차량진동개선, 판토그래프 세미액티브제어 기술지원 ▪ 국산 핵심부품 적용을 위한 기술지원 - 제동시스템 (저온EP 밸브, 덤프밸브, WSP제어기) 및 주회로차단기 개선품
	차량 안정성 및 신뢰성평가	
	▪ 고장특성 분석	▪ 시운전 시험 고장데이터 수집 및 분석 ▪ 고장데이터 분석을 통한 주요 고장특성 분석
	▪ 주요장치 고장 모니터링	▪ 시스템 분류 및 기능블록선도를 통한 주요 장치 도출과 주요장치 고장 모니터링 수행
	▪ 고장을 분석 및 고장 유형별 시스템영향 검토	▪ 누적주행거리별 평균무고장 시간 분석을 통한 시스템별 고장을 분석 ▪ 안정화 수준 분석을 통한 고장 유형별 시스템 영향 검토
	▪ 신뢰성시험 및 분석	▪ 신뢰성 분석을 위한 시스템별 신뢰성 블록선도 도출 ▪ 신뢰성 성장 모델 (Duane과 Crow-AMSAA 모델)을 통한 전체 및 세부 시스템별 신뢰성 성장률 분석
	▪ 신뢰성 평가기법 적용 결과에 대한 수정보완	▪ 신규 종합성능지표 개발을 위한 정시운행을, 고장율, 안정화 수준 분석
	실용화 및 활용방안 도출	
	▪ 실용화 사양 작성	▪ 350km/h 영업 운행을 위한 운영자 요구사항 작성 및 보완 ▪ 실용화편성의 개선 설계(안) 작성을 위한 검토 체계 마련 및 설계 지원 ▪ 운영환경을 반영한 차량 규격서 13종 검토/보완 - 실용화 편성 기본사양 및 좌석/편의시설 검토 완료 - 철도차량 운영 경험상 신뢰성이 필요한 부품 및 고장 빈도가 높은 부품을 선정, 각각에 대한 규격서 검토 및 작성 지원
	▪ 시제열차 활용방안 연구	▪ 국내외 시제열차 활용사례 연구 ▪ 시제열차 활용방안 도출 - 300km/h 이상 고속시운전이 필요한 국가 R&D과제의 현차 시험 지원 : 고속검측시스템 기술개발, 철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화 기술개발 - 시운전 지속을 통한 국내외 인지도 및 해외 수요자 마케팅 강화 : 터키 등 EMU 잠재고객에 대한 기술과시 및 의지 표현

연차	연구 내용	연구 결과
	분산형 고속열차 국내외 적용방안 도출	
	▪ 국내외 고속철도 차량분야 기술 동향, 기술수준 비교분석	▪ 고속철도 분야별 기술수준 분석 ▪ '14년말 기술수준 84.4%(전년 대비 0.6% 증가) ▪ 81개 세부분류 기술비중을 고려한 기술수준 산정
	▪ 고속철도 차량 주요 용품에 대한 국산화 개발현황	▪ 전문가 설문, 인터뷰 등을 통해 '14년도 고속철도 분야별 국산화율 분석 ▪ 전철, 전력, 신호분야 부품 국산화율은 90%를 상회하며, 통신분야 부품 국산화율은 가장 낮음 ▪ 고속철도 차량부품 국산화율은 84.5%로 분석됨
	▪ 분산형 고속열차 편익 및 효과 분석	▪ 분산형 고속열차의 국내 도입에 따른 파급효과 분석 ▪ 원주~강릉선 도입시 약 1조6,976억원 파급효과 ▪ 고속철도차량(KTX 및 KTX-산천) 유지보수 정비 비용 산출
	▪ 분산형 고속열차 국내 적용방안 수립	▪ 국가철도망 구축계획 및 철도차량 중장기 운영 계획 등 관련 계획 검토 ▪ 국내 고속철도 7개 운영노선 및 현황 분석 (경부선, 호남선, 전라선, 중앙선, 중부내륙선, 경전선, 동해선, 서해선 등) ▪ 국내 준고속노선 운행 분산형 고속열차 구입 계획(안) 마련
	▪ 해외 진출 전략 수립	▪ 해외 고속철도 시장(권역별, 국가별) 분석 ▪ 고속철도 해외시장 환경분석 시사점 제시 ▪ 동력분산형 고속열차 해외진출전략 수립 - 동력분산형 고속열차의 운영실적 확보 - 동력분산형 고속열차의 핵심기술 확보 - 해외 철도사업 수주·수행을 위한 관련 고급 전문인력 양성 추진 - 철도사업 발굴/수주 지원 상설조직 역할 강화 및 중장기 지원계획 수립 - ODA 활용 전략 수립
	400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 연계시험	
	▪ 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 연계시험 (차량분야)	▪ HEMU-430X 차량을 활용하여 400km/h급 고속철도 인프라 테스트베드에서 단계별 증속운행 수행(300~410km/h 속도대역) ▪ 400km/h급 속도대역에서의 분야별 지상설비 성능결과 도출을 위한 시험 지원 ▪ 400km/h급 고속철도 인프라 테스트베드 내에서의 차량 특성 시험평가 결과 도출 - 주행안정성능(대차가속도, 차체가속도 등) - 집전성능(이선아크 등)
	사업 통합 및 총괄	
	▪ 일정 및 목표 관리	▪ 착수보고회, 공정회의, 인터페이스회의 등을 통한 일정 및 목표 관리 수행 ▪ 현장진도점검을 통한 객관적인 평가

연차	연구 내용	연구 결과
4 차 년 도	차량 안정성 및 신뢰성평가	
	▪ 정량화된 신뢰성 지표 개발 및 분석	▪ 다양한 분야 신뢰성 분석 사례 조사 ▪ 신규 종합성능지표 개발 및 적용
	▪ 동적 유지보수	▪ 본선시운전시험 수행 및 차량 유지보수 지원 ▪ 차륜삭정 및 주요 전장품 점검 등 향후 시제차량 활용을 위한 중점검 실시
	▪ 고장특성 분석	▪ 시운전 시험 고장데이터 수집 및 분석 ▪ 고장데이터 분석을 통한 주요 고장특성 분석
	▪ 고장을 분석 및 고장 유형별 시스템영향 검토	▪ 누적주행거리별 평균무고장 시간 분석을 통한 시스템별 고장을 분석 ▪ 고장 유형별 시스템 영향 검토
	▪ 신뢰성 성장률 분석	▪ 신뢰성 분석을 위한 시스템별 신뢰성 블록선도 도출 ▪ 신뢰성 성장 모델을 통한 전체 및 세부 시스템 별 신뢰성 성장률 분석
	▪ 시스템 안정화 수준 분석	▪ 동력분산형 고속열차 정시운행률 분석 (96.6%) ▪ 고장을 분석을 통한 시스템 안정화 수준 계산 (97.8%)
	실용화 요건 분석	
	▪ 운영자 요구사항 작성 및 분석	▪ 분산형 고속열차 250, 300, 350, 370km/h 운영자 요구사항 도출 ▪ 실용화편성 주요사항 도출, 검토 및 설계 반영 ▪ 실용화사항 견인력/전동기 용량/추진제어장치 용량 등 주요성능 계산 및 검토
	▪ 시제열차 활용방안 연구	▪ 철도관련 국가연구개발과제 실차시험 지원방안, 신기술 검증 등 신규과제를 통한 활용방안 도출 ▪ 시제열차 추후 활용을 위한 소유권 검토 ▪ 시제열차 활용에 따른 차량관리 및 운영방안 수립
	▪ 경쟁차종별 기술특성 및 운영 효율성 분석 지원	▪ ITX청춘, KTX, KTX-산천 등 국내 경쟁차종 및 HT80000, ED250, AGV 등 해외 차종과 실용화모델(EMU-250)와의 기술적 특성 비교 ▪ 차량유지비, 인건비 등 연간소요비용 비교 검토를 통한 운영효율성 분석
	분산형 고속열차 국내외 적용방안 도출	
	▪ 분산형 고속열차 경제적 효과 분석	▪ 11개역(4개 환승역)의 준고속철도 노선에 분산형 고속열차 투입시 경제적 타당성 상대비교 완료 ▪ 분산형고속열차의 표정속도 및 운용 등 경제적 우위효과 확인
	▪ 분산형 고속열차 국내 적용방안 수립	▪ 중앙/동해남부선, 서해/장항선, 경전선 등 국내 투입 가능 후보노선 및 차량기지 후보 선정 ▪ 동력분산형 고속열차 실용화 TF를 통한 국내 적용방안 도출 및 EMU-250 도입 계획 마련 ▪ 국내 혼합운행 시나리오 도출 및 시뮬레이션 검토
	사업 통합 및 총괄	
	▪ 일정 및 목표 관리	▪ 착수보고회, 공정회의, 인터페이스회의 등을 통한 일정 및 목표 관리 수행 ▪ 현장점검 및 실태조사 지원

○ 2세부 과제

연차	연구 내용	연구 결과
1 차 년 도	▪ 종합시운전지원	▪ 본선 시운전 지원 ▪ 본선시운전 문제점 조치 : 문제점 69건 조치
	▪ 분산식 고속열차 유지보수 체계 구축	▪ 시운전 출발전 및 운행 후 점검 실시 ▪ 차량중점검 실시 : - 차량 중점검 실시(2013.04.02~04.30) ▪ 유지보수 매뉴얼 보완 사항 도출 및 보완
	▪ MCB소음개선	▪ 소음개선작업으로 투입/차단시소음 3dB 정도 저감
	▪ 주전력변환장치수냉각장치 냉각 성능 개선	▪ 소자간 온도 최대편차 약 4K로 성능개선
	▪ 견인전동기 냉각팬 소음개선	▪ 샘플로 냉각팬 용량 증대품 취부 시험 결과 소음개선 효과 미비 ▪ 덕트 구조 개선과 병행하여야 소음 개선 효과 있음
	▪ 분산형 고속열차 실용화 개선 설계(안) 작성	▪ HEMU 차량의 실용화시 개선 필요 사항 도출 : 34개 항목 - 기장 파트 : 14개 항목 - 차량전기 : 3개 항목 - 의장 파트 : 5개 항목 - 차체파트 : 1개 항목 - 대차파트 : 8개 항목 - 주요전장품 : 3개 항목
2 차 년 도	▪ 본선 시운전 - 본선 시운전 일지 작성	▪ 본선 시운전 일지 1식
	▪ 유지보수 체계 구축 - 출발전 점검표 및 운행 후 점검표 작성 - 유지보수 매뉴얼 보완 작성	▪ 출발전 점검표 및 운행 후 점검표 1식 ▪ 유지보수 매뉴얼 보완 작성 1식
	▪ 핵심부품 성능 개선 - 추진력 향상 개선 - 강도개선 - 주행저항 개선	▪ 추진력 향상 개선 2건 - 주전력변환장치 DC Link 출력 향상 - 견인전동기 성능 개선품 설치 ▪ 강도개선 1건 - 대차 타이스트랩 강도 개선 ▪ 주행저항 개선 2건 - 차간 에어댐 설치 - 대차 커버 설치
	▪ 실용화 편성 설계(안)작성 - 주요기기 배치도 초안 작성	▪ 주요기기 배치도 초안 작성 1건 - 차량하부 기기배치도
	▪ 차량폭 확대 검토	▪ 차량한계 폭 확대 검토서 1건
	▪ 신뢰성 검증	▪ 안정화 검증

연차	연구 내용	연구 결과
3차년도	본선 시운전 지원	- 호남고속선 인프라구축 검증 및 증속시험 지원 및 본선 시운전 지원 - 본선 시운전을 통한 문제점 개선
	유지보수체계 구축	- 유지보수 매뉴얼 절차에 따른 유지보수 업무 수행 - 유지보수 매뉴얼 문제점 보완 - 상용화 편성 유지보수 체계를 위한 유지보수 주기 기록 - 영업개시전 : 6만km검수 - 첫 번째 검수주기 : 66만km 또는 16개월 - 두 번째 검수주기 : 88만km 또는 20개월 - 세 번째 검수주기 : 132만km 또는 28개월 - 규칙적인 청소주기 : 12~13개월 - 유지보수절차에 따른 유지보수 업무 수행 - 제동패드 교체 : 5mm이내 교체 (상시) - 견인전동기 오일 주입 : 3개월 단위 (주기) - 차륜삭정 : 박리/찰상 1mm이상 깊이 (상시) - 기타업무수행
	시운전을 통한 핵심부품 개선	시운전을 통하여 개선 필요 장치 성능 개선
	분산형 고속열차 실용화 개선 설계(안) 작성	- 분산형고속열차 실용화 편성 개선 설계(안) 작성 8량1편성 (6M2T)구성 작성 함 8량1편성 (4M4T)구성 작성 함
	신뢰성 검증	신뢰성 성장률 검증 $\alpha = 0.22$
4차년도	본선 시운전 지원	- 출발전 점검 및 운행후 점검 - 시험기간 : 2012.11.28. ~ 2015.12.27. - 시험구간 : 부산~광명(경부고속선), 오송~광주송정(호남고속선) 2014년 11월부터 2015년 3월까지 차량-인프라연계시험 지원 - 운행횟수 : 총 229회(실용화 사업 운행 횟수 : 199회) - 총 누적수행거리 : 121,123km(실용화 사업 누적거리 : 111,037km) - 본선시운전중 응급상황 발생시 응급조치 - 안정화 본선 시운전 시험중 문제점 조치현황 : 272건 - MTF, 신호장치, 출입문, 무전기 등의 여러사항에 대한 문제점 조치
	유지보수 체계 구축	- 유지보수 매뉴얼 문제점 보완 - 유지보수 매뉴얼 신규 작성 및 보완(9건)
	동력분산형 고속열차 해외시장 분석	- 분산형 고속열차 시장 및 해외 차량 조사 - 동력분산형 고속열차 해외시장 분석 - 고속열차 해외 차량 트렌드 조사/분석 - 해외 차량 트렌드 조사(봄바르디어, 알스톰, 지멘스, 히타치-가와사키, 히타치 등)

연 차	연구 내용	연구 결과
	▪ 운영자 요구사항 반영한 동력분산형 실용화 모델 개발	▪ 운영자 요구사항 분석 - 차량속도 : (설계) 380km/h, (운영) 300km/h 또는 350km/h - 최대운용시간 : 16시간/일일, 600,000km/년 - 최소 운전 시격 : 최소 3분 - 역 정차 시간 : 2분 이내 - 차량구성 : 8량(6M+2T) 1편성 ▪ 실용화 모델 개념 설계 수행 ▪ 실용화 모델 기본설계 및 도면 작성 - 차량구조 : 4M2T, 6M2T - 주전력변환장치 : 1C2M/1C1M - 공기압축기 : 무급유식 - 실내소음 : 개활지 68dBA / 터널 75dBA - 저항제동 : 추가
	▪ 경쟁차종별 기술특성 분석	▪ 경쟁차종별 기술특성 분석 - 동력분산형 고속열차 경쟁차종 기술특성 분석
	▪ 경쟁차종별 운영효율성 분석	▪ 경쟁차종별 운영효율성 분석 - 동력분산형 고속열차 경쟁차종 운영 효율성 분석
	▪ 신뢰성 분석	▪ 신뢰성 성장률 검증 $\alpha = 0.22$

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

- 1세부 과제

- 최종 연구성과

연번	핵심성과명	핵심성과 설명	성과 유형	해당연차
1	안정화된 차세대분산형 고속열차 시스템	- 누적운행거리 11만1천km 달성 - 추진/제동/집전/주행안정성 등 주요 성능 확보 - 차량시스템 성능개선 (집전성능, 주행저항, 소음, 진동 등)	시스템	'12.11~'15.12 (3년 1개월)
2	안정화 및 신뢰성 시험 결과	- 최종 신뢰성 성장률 0.54 (HSR-350X의 0.42 대비 상향) - 정시운행율 96.6% 달성 - 시스템 안정화 수준 97.8% 달성	기타	'13.06~'15.12 (2년 6개월)
3	시제열차 활용방안 및 실용화 사양	- 시제열차 활용방안 수립 · 고속검측차량 및 KRTCS 검증에 사용 · 시운전 지속을 통한 홍보효과 강화 - 분산형고속열차 실용화 사양 도출 · 250, 300, 350, 370km/h 운영속도 별 실용화 사양 및 설계안 도출	기타	'14.06~'15.12 (1년 6개월)
4	고속철도 기술수준 및 시장 분석을 통한 국내적용방안 및 해외진출 전략	- 고속철도 기술수준 및 국산화율 분석 - 실용화 T/F 운영을 통한 국내 적용방안 도출 - 시장분석을 통한 해외진출 전략 수립	기타	'12.11~'15.12 (3년 1개월)

- 적용실적

연번	적용실적	적용실적 설명
1	EMU-250 기술제안서 작성	- 250km/h급 분산형고속열차 기술제안서 작성 - HEMU-430X 개발기술의 EMU-250 적용 - 주요 성능 측정결과의 기술제안서 반영
2	경전선 EMU-250 30량 입찰참여	- 경전선 30량 구매 입찰 절차에 참여('15년 12월 10일 마감) - 차량제작사 우선협상대상자 선정 및 구매처와의 협상 진행중

• 2세부 과제

○ 최종 연구성과

연번	핵심성과명	핵심성과 설명	성과 유형	성과달성 책임	해당연차
1	동력분산형 고속차량의 주요장치 성능 안정화	- 차량의 주행 안정성 및 주행 성능 향상과 최고속도 (430km/h) 달성을 위해서 주요 장치의 성능 확보를 목표로 하고 있음	시스템	현대로템 (주)	'14.6.28 ~ '15.12.27 (3년 1개월)
2	동력분산형 차량의 제동시스템 안정화	- 최고 시험속도 430km/h까지 적용 가능한 동력분산형 제동장치 및 최대 53MJ 제동조건에서 0.3이상의 마찰계수 확보 가능한 제동시스템의 안정화가 핵심 성과로 신뢰성지수 $\alpha > 0$ 을 목표로 하고 있음	장비·장치	유진기공 산업(주)	'14.6.28 ~ '15.12.27 (3년 1개월)
3	진단제어시스템 유지보수용 시험기	- 진단제어시스템(TDCS, Train Diagnosis and Control System)의 구성 단품인 CCU, VCU, DU와 주변 장치인 GCU, 표시기 장치를 시험하기 위한 장비로서, TDCS의 동작 상태, 신호의 입,출력 상태, 통신 상태등을 시험하여, TDCS 및 주변 장치가 안정적이고 신뢰성 높은 운영이 유지되도록 하는 시험기	장비·장치	인터콘 시스템스 (주)	12.11 ~ 15.12 (3년1월)
4	보조전원장치 및 배터리 충전장치 프로그램 개선	- 차량에 신속한 전원공급을 위해 보조전원장치 기존대비 기동시간 단축	장비·장치	(주)팩테크	'12.11 ~ '15.12 (3년1개월)
5	배터리충전장치 및 보조전원장치 DC Link 전압 리플 개선	- 기존장치 대비 DC Link단 리플 개선	장비·장치	(주)팩테크	'13.06 ~ '15.12 (2년6개월)

6	통합차상신호 시스템 안정화	- 국내에서 사용되는 철도용 지상신호시스템 구간을 운 행의 중단 없이 연속적으 로 신호전환하면서 철도차 량을 제어할 수 있는 차상 신호시스템 안정화	장비· 장치	LS산전(주)	'12.11 ~'15.12 (3년1개월)
7	ATP 기능 안정화	- ATP 구간 운행의 안정적 제어를 위한 S/W 알고리 즘의 개선	장비· 장치	LS산전(주)	'12.11 ~'15.12 (3년1개월)
8	동력분산형 고속열차 주변압기 시제품	- 가선으로 오는 전력을 받 아 전원을 공급하는 부품 으로, 동력분산형 고속열 차용 주변압기 시제품을 자체 제작하여 국산화 하 는 것임	장비· 장치	국제전기 (주)	'12.11.28. ~ '15.12.27. (3년 1개월)
9	통로연결막	- 소음35dB에서 38dB로 상 승	장비· 장치	(주)신영이 앤지	'12.11 ~'14.06 (1년7개월)
10	갱웨이	- 미려도 및 안전성 개선	장비· 장치	(주)신영이 앤지	'12.11 ~'14.06 (1년7개월)
11	싸이드베리어	- 공력소음 8dB~10dB 감소	장비· 장치	(주)신영이 앤지	'12.11 ~'13.06 (0년7개월)
12	실내측판넬장 치	- 미려도 및 안전성 개선	장비· 장치	(주)신영이 앤지	'13.06 ~'15.06 (2년2개월)
13	주회로차단기 성능개선 및 안정화	- 차량에 사고전류 유입시 이를 차단할 수 있는 장 치로 주회로차단기의 성 능개선을 통한 안정화 및 동작소음을 저감하여 높 은 신뢰성 및 안정적인 주회로차단기를 구현함	장비· 장치	(주)비츠로 테크	'14.06 ~'15.12 (1년6개월)

V. 연구목표 달성 및 효과

○ 연구목표 달성도

• 1세부 과제

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
1	분산형 고속열차 안정화시험 및 분석 (누적주행거리 10만키로)	▪ 본선 안정화시험 수행 - 총 199회, 누적주행거리 111,037km 달성 ▪ 주요성능(추진, 제동, 제어, 집전 등) 계측 및 분석 - 실시간 차량상태 계측을 통한 안정화시험 수행 - 추진성능, 집전성능, 제동성능 및 소음 측정 및 분석 - 종합 측정시스템 및 분석 프로그램 운영 및 개선 - 성능개선방안 및 핵심부품 개선(안) 도출 - 차량시스템 안정화, 유지보수를 위한 기술지원 - 시운전시험 데이터 관리 DB 구축 ▪ 최고시험속도 수행 - 증속시험을 통한 세계 4위 최고시험속도 달성 · 시험속도 400km/h 첫 돌파('12.12.27), · 국내 최고속도시험 기록 421.4km/h ('13.3.28) - 전차선 장력 조정, 분기기 통과속도 향상, 절연 구간 연장급전, 추진출력 증대, 공기저항 저감 연구 등 수행 ▪ 430km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 연계시험 수행 - HEMU-430X 차량을 활용하여 호남고속선 400km/h급 고속철도 인프라 테스트베드에서 단계별 증속운행 수행 및 인프라 성능 검증 지원 - 400km/h급 고속철도 인프라 테스트베드 내에서 차량 특성(주행안정성, 집전성능 등) 시험평가 결과 도출	100

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
2	차량 안정성 및 신뢰성평가	▪ 주요장치 고장 모니터링 및 고장특성 분석 - 시운전 시험 고장데이터 수집 및 분석 - 시스템 분류 및 기능블록선도를 통한 주요 장치 도출과 주요장치 고장 모니터링 수행 ▪ 신뢰성시험 및 분석 - 신뢰성 성장 모델 (Duane과 Crow-AMSAA 모델)을 통한 전체 및 세부 시스템별 신뢰성 성장률 분석 - 신뢰성 성장률 분석 결과는 Duane 모델은 0.22임 ▪ 신규 신뢰성종합성능지표 개발 - 신규 종합성능지표 도출 및 고속열차 시스템 적용 및 검증	100
3	실용화모델 개발	▪ 운영자 요구사항 작성 - 운영자 요구사항 분석 및 운행 방안 마련 - 250, 300, 350, 370km/h 영업 운행을 위한 다양한 실용화 모델에 대한 운영자 요구사항 작성 및 보완 ▪ 실용화 사양 작성 - 운영자 요구사항 및 운영환경을 반영한 차량 구성품 규격서 13종 검토/보완 - 운영/장비 중 신뢰성 평가 결과를 반영한 규격 및 사양 검토/보완 · 실용화 편성 기본사양 및 좌석/편의시설 검토 · 철도차량 운영 경험상 신뢰성이 필요한 부품 및 고장 빈도가 높은 부품을 선정, 각각에 대한 규격서 검토 및 작성 - 250, 300, 350, 370km/h에 대한 속도대역별 실용화모델 사양(안) 작성 · 포트폴리오 구성을 통한 국내외 수요에 대응 가능 ▪ 차량폭 확대 연구 - 차량폭 확대에 따른 곡선구간 기하학적 차량 한계 검토 - 차량폭 확대에 따른 주행안정성 검토 수행 - 차량폭 확대에 따른 주행저항 증가량 분석	100

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
4	분산형 고속열차 국내외 적용방안 도출	▪ 고속철도 기술수준 및 국산화율 조사 분석 - 국내외 고속철도 차량분야 기술동향, 기술수준 비교분석, 기술개발 · '14년말 기술수준 84.4%, 기술격차 3.7년 · 81개 세부분류 기술비중을 고려한 기술수준 산정 - 고속철도 차량 주요 용품에 대한 국산화 개발 현황 조사 · 고속철도 전철, 전력, 신호, 통신 및 차량분야 부품 국산화율 분석 ▪ 분산형 고속열차 국내 적용방안 수립 - 동력분산형 고속열차 국내 투입 가능성 검토 - 고속철도 중심 국가교통정책 수립 효율화 방안 수립 - 중장기 고속열차 실용화노선 분석·평가 - 고속철도 혼합운행 효율화 방안 작성 - 분산형 고속열차 편익 및 효과 분석 - 분산형 고속열차 국내 적용방안 수립 · 국내 준고속노선 운행 분산형고속열차 구입계획(안) 마련 - 실용화 추진 가속 · 국토교통부 주관 실용화 TF 활동 : 총 6차의 회의를 통하여 안정화 수준, 경제성 검토, 실용화 요건 검토 등 수행 ▪ 분산형 고속열차 해외 진출 전략 수립 - 해외 고속철도 시장(권역별, 국가별) 분석 - 고속철도 해외시장 환경분석 시사점 제시 - 동력분산형 고속열차 해외진출전략 수립 ▪ 시제열차 활용방안 연구 - 국내외 시제열차 활용사례 연구 - 시제열차 활용방안 도출 · 국가 R&D과제의 현차 시험 지원 · 국내외 인지도 및 해외 수요자 마케팅 강화	100
5	사업 통합 및 총괄	▪ 시운전시험을 위한 관계기관 협조 - 차량 시운전 및 유지보수를 위한 철도운영기관 (한국철도공사, 한국철도시설공단) 협의 - 시운전시험 및 기지내 안전관리를 위한 안전 계획 수립 및 안전교육 ▪ 일정 및 목표 관리 - 착수보고회, 공정회의, 인터페이스회의 등을 통한 일정 및 목표 관리 수행	100

• 2세부 과제

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)																		
1	본선 시운전 지원	- 현장시운전 지원 - 시험기간 : 2012.11.28. ~ 2015.12.27. - 시험구간 : 부산~광명(경부고속선), 오송~광주 송정(호남고속선) 2014년 11월부터 2015년 3월까지 차량-인프라연계시험 지원 - 운행횟수 : 총 229회(실용화 사업 운행 횟수 : 199회) - 총 누적수행거리 :121,145km(실용화 사업 누적거리 : 111,059km) - 본선 시운전을 통한 차량시스템 문제점 조치 및 안정화 - 안정화 본선 시운전 시험중 문제점 조치현황 : 272건 - MTF, 신호장치, 출입문, 무전기 등의 여러사항에 대한 문제점 조치 <주요 문제점 조치현황> <table> <tr> <th>장치</th> <th>문제점</th> <th>고장원인 및 조치 현황</th> </tr> <tr> <td>주변압기 (M4)</td> <td>MTF 온도상승</td> <td>냉각팬 CB트립 발생 냉각팬 정격용량 변경으로 CB용량 변경 조치</td> </tr> <tr> <td>주변압기 (MC)</td> <td>오일펌프 고장</td> <td>오일펌프 유류지시계 고정 유류지시계 내부 리미트 스위치 교체</td> </tr> <tr> <td>신호장치</td> <td>ATP 전환 이상으로 비상제동 체결</td> <td>프로그램 오류 로딩 데이터를 분석 후 프로그램 수정</td> </tr> <tr> <td>출입문</td> <td>출입문 팽창실, 러버, 사이드 파손</td> <td>주행 시 이물질 접촉으로 인한 파손 - 팽창실, 러버, 사이드 플레이트 교체(예비품)</td> </tr> <tr> <td>무전기</td> <td>ASTRO 무전기 장애 발생</td> <td>ASTRO 단말기 Main 전원 커넥터 불량 전체 점검 후 문제의 불량 커넥터 교체</td> </tr> </table>	장치	문제점	고장원인 및 조치 현황	주변압기 (M4)	MTF 온도상승	냉각팬 CB트립 발생 냉각팬 정격용량 변경으로 CB용량 변경 조치	주변압기 (MC)	오일펌프 고장	오일펌프 유류지시계 고정 유류지시계 내부 리미트 스위치 교체	신호장치	ATP 전환 이상으로 비상제동 체결	프로그램 오류 로딩 데이터를 분석 후 프로그램 수정	출입문	출입문 팽창실, 러버, 사이드 파손	주행 시 이물질 접촉으로 인한 파손 - 팽창실, 러버, 사이드 플레이트 교체(예비품)	무전기	ASTRO 무전기 장애 발생	ASTRO 단말기 Main 전원 커넥터 불량 전체 점검 후 문제의 불량 커넥터 교체	100
장치	문제점	고장원인 및 조치 현황																			
주변압기 (M4)	MTF 온도상승	냉각팬 CB트립 발생 냉각팬 정격용량 변경으로 CB용량 변경 조치																			
주변압기 (MC)	오일펌프 고장	오일펌프 유류지시계 고정 유류지시계 내부 리미트 스위치 교체																			
신호장치	ATP 전환 이상으로 비상제동 체결	프로그램 오류 로딩 데이터를 분석 후 프로그램 수정																			
출입문	출입문 팽창실, 러버, 사이드 파손	주행 시 이물질 접촉으로 인한 파손 - 팽창실, 러버, 사이드 플레이트 교체(예비품)																			
무전기	ASTRO 무전기 장애 발생	ASTRO 단말기 Main 전원 커넥터 불량 전체 점검 후 문제의 불량 커넥터 교체																			

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
2	유지보수체계 구축	▪ 유지보수 체계 운영 - 차량 유지보수 점검 · 유지보수 매뉴얼 절차에 따른 유지보수 업무 수행 - 차량시스템 핵심장치별 유지보수 점검 수행 · 제동장치, 진단제어시스템, 차상신호시스템 등의 차량시스템 핵심장치에 대해서 장치별로 주기별 사전 점검 및 문제사항 발생시 조치 등의 유지보수 점검을 수행함 ▪ 실용화 편성 유지보수체계 개발 - 분산형 고속열차 유지보수체계 구축 · 분산형고속열차의 정비주기 및 검수 체계 구성 · 유지보수체계 검수 리스트(기계, 제동, 공기조화, 오물 등) · 검수대상 부품리스트 작성 · 유지보수 정비대상 검수주기 작성 - 본선시운전시 차량 장치 상태 측정 및 검토 · 제동장치 점검 · 진단제어시스템 유지보수용 시험기 제작 · 보조전원장치 유지보수 · 신호장치 유지보수 - 차량중점검 실시 ▪ 유지보수 매뉴얼 작성/ 보완 - 유지보수 매뉴얼 신규 작성	100
3	핵심부품 성능개선	▪ 주회로차단기 소음개선 - 소음개선작업으로 투입/차단시소음 3dB 정도 저감됨 ▪ 주전력변환장치 수냉각장치 냉각성능 개선 - 성능개선으로 소자간 온도 최대편차 약 4K로 성능개선 ▪ 주전력변환장치 DC Link 출력성능 개선 ▪ 주변압기 국산화 개발품 제작 ▪ 대차 타이스트랩 강도 개선 ▪ APS/BACH 성능개선 - APS 개선 : · IFC: 1100V/4700uF 1EA 추가 (DCLINK단 리플 개선용) · LK: CT1315/04(1200A, 3P) → CT1115/08 (800A/1P)로 변경(사이즈 축소) · CT: Locking 방식 강화 (LF305, LF505) - BACH 개선 : · 부품 재배치: DCLINK단 부스바 개선으로 부품 재배치	100

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
		· 취부 구조 변경: TRANS 및 REACTOR 유지 보수 용이를 위해 취부 구조 변경 ▪ 대차 에어스프링 횡강성 개선 - 고속 주행시 발생하는 횡강성 특성 개선 - 횡강성 특성을 개선함으로써 차량의 흔들림을 저감시켜줌 ▪ 선두부 대차 스커트 개선 - 장착이후 대차스커트 탈락 사고 방지 및 고정 안전성 개선 ▪ DU 장치 성능 개선 ▪ 신호처리보드 개선 - 불연속 신호처리보드 개선 · 불연속 차상안테나를 통해 수신한 데이터를 다중으로 처리하는 방식을 적용하여 처리율을 획기적으로 향상 - 출발전 시험 보드 개선 · 기존 출발전 시험보드에 사용된 CPU의 단종에 따라 향후 유지보수 및 연속/불연속 테스트 로직 개선을 위한 시험 보드 개선 - ATS OSC 보드 개선 · ATS 차상자에 상시 발진 주파수를 방출하는 기능을 수행 ▪ 판토크래프 성능개선 - 속도별 압상력 제어 성공 및 집전성능 국제 기준치 만족 - 판토크래프 세미액티브 제어 전 대비 평균접촉력 향상 및 이에 따른 최소접촉력 향상으로 이선아크 특성의 향상 - 세미액티브 제어장치(PACU) 적용 이후 관련 경/중고장 발생은 한번도 없었으며, 충분한 신뢰성이 확보되었다고 판단됨 ▪ 신규 공력저감용 대차커버 설치 - 차량 개선 과제 항목 중 에어댐 설치와 대차커버 형상 변경과 관련하여 기제작된 차량 구조물과 인터페이스를 고려하여 상기와 같이 설계 완료하였으며, 현차에 취부 및 성능 확인 ▪ 제동장치 성능개선 ▪ 후미진동 성능개선 - 흔들림 관련 보완 사항 시체차량 설치 작업 · 차량 횡댐버 설치(차간 댐퍼 -> 횡댐퍼) · 횡강성 보완 에어스프링 설치 · 고강성 안티롤바 설치	

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
		· 저항성 안티롤바 설치 ▪ 에어댐 개선 - 차량의 좌우 끝단 하부에 에어댐에 설치됨에 따라 한쪽은 차체스텝프레임을 고려한 형상 설계를 하였으며, 나머지 한쪽(스텝 반대쪽)은 하부에 설치된 공기통 및 고정형 스커트 구조물에 영향이 없는 범위내에서 에어댐 설계를 진행 ▪ 공기압축기 진동 성능 개선 - 진동 저감 방진고무 형상 개선 ▪ 견인전동기 성능 개선 - 470kW 견인전동기 개선품 제작 ▪ 통로연결막/갱웨이 개선품제작	
4	실용화 편성 설계(안) 작성	▪ 운영자 요구사항 분석 - 동력분산형 고속열차 운영자 요구사항 분석 · 차량속도 : (설계) 380km/h, (운영) 300km/h 또는 350km/h · 최대운용시간 : 16시간/일일, 600,000km/년 · 최소 운전 시격 : 최소 3분 · 역 정차 시간 : 2분 이내 · 차량구성 : 8량(6M+2T) 1편성 · 좌석수 : 600석 내/외 · 편의설비 확보 · 중련편성 운행제어 ▪ 해외시장분석 - 동력분산형 고속열차 해외시장 분석 ▪ 경쟁차종 기술특성 및 운영 효율성 분석 동력분산형 고속열차 경쟁차종 기술특성 및 운영 효율성 분석 ▪ 실용화 편성 설계(안) 작성 - 동력분산형 고속열차 실용화 편성 설계(안) · 차량구조 : 4M2T, 6M2T · 주전력변환장치 : 1C2M/1C1M · 공기압축기 : 무급유식 · 실내소음 : 개활지 68dBA / 터널 75dBA · 저항제동 : 추가 ▪ 실용화 모델 기본설계 - 동력분산형 고속열차 실용화 편성 기본설계	100

○ 과학기술적 기대효과

- 최고속도 400km/h 이상의 고속주행 성공으로 세계 4번째 최고속도를 달성하여 고속주행차량에 대한 주행 안정성 기능을 확보하였으며, 이를 통해서 우리나라는 동력집중형 및 동력분산형 모두에 대한 고속열차 제작 및 시험평가기술을 확보하게 되었음
- 430km/h급 고속열차 개발에 성공함으로써 프랑스, 중국, 일본에 이어 세계 4번째 고속철도기술보유국으로 도약하게 되었으며, 철도 브랜드화를 통한 연간 250조원에 달하는 세계시장을 선점할 수 있는 토대를 마련하였음
- 호남고속철도, 동서고속철도 등 국내 고속철도 및 전철화 노선의 수요를 자체기술로 해결할 수 있을 뿐만 아니라 해외로의 기술 수출에도 이바지할 수 있을 것으로 기대됨.
- 차세대고속철도 기술개발 및 안정화를 통해 획득한 기술에 대한 각 기술 분야별 활용은 고속철도 기술의 산업 연관성을 고려하여 볼 때, 국내 고속철도 기술 수준의 전반적 향상에 기여하여 향후 국내 고속전철 사업의 독자적 추진기반 구축, 고속전철 시스템엔지니어링 분야의 독자기술력 확보 및 산업의 대외 기술경쟁력을 높일 수 있을 것으로 예상됨

○ 경제적 기대효과

- 최고속도국내 운영 중 및 운영 예정인 동력집중형 고속열차 대체 수요 : 1,304량
 - KTX는 20량 1편성으로 대체시 8량 2편성으로 고려
 - KTX-산천은 10량 1편성으로 대체시 8량 1편성으로 고려
- 호남고속철도, 준고속철도 노선 신규 수요 : 282량
- 차량 공급비용 : 약 9조원
 - 국내 : 1,586량 × 40억원 = 63,440억원
 - 해외 : 40억유로 × 2.7% × 1,300원/유로 × 20년 = 28,080억원
 - * 해외시장 가능 분담율은 고속열차 신조차량의 2.7%를 고려
- 생산 유발효과 : 약 17조원
 - * 차량비용의 1.95199를 고려 (한국교통연구원 2012 보고서)
- 부가가치 유발효과 : 약 5조원
 - * 차량비용의 0.55049를 고려 (한국교통연구원 2012 보고서)
- 고용유발 효과 : 약 6만명
 - * 6.85명/10억원 차량비용을 고려 (한국교통연구원 2012 보고서)

- 좌석당 차량가격은 동력집중형 고속열차 대비 15% 경제적

구 분	분산형고속열차 (HEMU-250)	집중형고속차량 (KTX-호남)
편성구성	8량 1편성	10량 1편성
편성 길이	198m	201m
편성 가격 (VAT포함)	368.5억 (‘14년 HEMU-250 로템 견적가격)	334.5억 (‘12년 호남선220량 계약가격)
편성 수송능력	533명	410명
1좌석당 가격	69백만원 (85%)	82백만원 (100%)

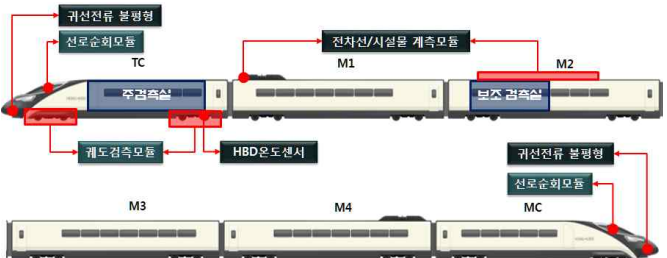
- 기술경쟁력 확보를 통해 세계 철도차량 수요의 50%인 유럽 외에 아시아-태평양(30%), 북미(13%), 중남미(4%) 지역 등의 해외시장 진출을 위한 국가적 수출 전략기술로 활용
- 대만, 미국, 중국, 브라질 및 러시아 등 현재 고속철도 건설을 추진 중이거나 또는 계획하는 국가가 확대되는 추세이므로 개발열차의 해외진출시 국내산업계에 미치는 경제적인 파급효과는 매우 클 것으로 예상됨
- 고속철도 분야 국내 산업의 활성화로 국가 경제력 향상
- 핵심기술의 파급으로 국가 기술력 제고
- 해외 의존에 의한 부품수입 대체 효과 발생

○ 정책적 기대효과

- 제2차 국가철도망 구축계획(2011~2020)과 부합하여 국가 철도 고속화 증진에 기여
 - 전국 주요거점을 고속 KTX망으로 연결
 - 일상 통근시간대인 1시간 30분대로 연결
 - 하나의 도시권으로 통합하는 국가철도망
- 차세대 고속열차를 통하여 향후 전국 주요거점을 1시간 30분대로 연결가능하게 됨에 따라 수도권-지방간 활발한 경제·문화·사회 교류 도모로 국가적 경제성장 및 국민적 편의를 증진시키고 수도권-지방간 문화적, 사회적, 경제적 수준 격차를 해소할 수 있을 것으로 기대됨
- 고속철도 분야 운행 안전성 확보로 대국민 신뢰성 확립
- 선진 일류국가로 도약하기 위한 국토 가치를 재창출하고 동북아 경제중심국가로서의 국민적 자긍심을 고취하게 됨

Ⅵ. 연구성과 활용계획

○ 연구성과 활용계획

연번	핵심성과명	활용계획
1	안정화된 동력분산형 차세대 고속열차 시스템	- 분산형고속열차의 국내외 실용화 추진 (EMU-250 등) 
2	안정화 및 신뢰성 시험 결과	- 다양한 속도대역별 분산형고속열차 설계사양 결정 - 현재 국내기술수준 파악 및 향후 연구개발 방향 도출 - 신규 개발열차의 신뢰성 평가에 활용
3	시제열차 활용방안 및 실용화 사양	- 300km/h 이상 고속시운전이 필요한 국가 R&D 과제 지원 - 시운전 지속을 통한 국내외 인지도 향상 및 해외마케팅 강화 
4	고속철도 기술수준 및 시장 분석을 통한 국내적용방안 및 해외 진출 전략	- 향후 고속철도 기술개발 방향 설정 - 분산형고속열차의 국내외 실용화 추진 (EMU-250 등) - 분산형고속열차 해외진출 활동에 활용

○ 추가연구 필요성

- 동력분산형 고속열차 기술의 성능 및 신뢰성을 확보하였으나 해외진출 등을 위한 경쟁력 확보를 위해서는 운영자 요구 핵심성능의 고도화가 필요
 - 해외 소음/승차감 기준의 강화추세로, 실내소음 및 승차감 향상을 통한 경쟁력 확보 필요
 - 해외 수요자는 TSI기준 만족을 운영자 요구사항으로 제시하고 있으며, 특히 국내기술기준 대비 가장 차이가 많이 나는 항목은 활주방지장치로서 해당부품의 TSI 대응 기술개발 및 고도화가 필요

<SUMMARY>

I . TITLE

Development of 430km/h High-speed Train (HEMU-430X) Technologies to Practical Use

II . Overview

○ Objectives

- Stabilization and performance evaluation for practical use of high speed EMU(Electric Multiple Unit) train technologies
 - Stabilization and reliability improvement of the test train (HEMU-430X) (More than 100,000km on field tests)
 - Development of practical model for high speed EMU train

○ Necessity

- Cutthroat competition of development for high speed EMU train to possess competitive advantage at the global market of high speed railway
 - Japan : Development of 360km/h EMU train ‘FASTECH 350’
 - France : Development of 360km/h next generation EMU train ‘AGV’
 - Germany : Development of 350km/h EMU train ‘VELARO’
- Need to evaluate the railway system by test runs and to construct maintenance management system considering domestic circumstances for completion high speed EMU railway technologies developed through “Next Generation High-speed Rail Project” and for stabilization and commercialization of the developed railway system
- Need to stabilize the developed railway system with management, performance evaluation and performance improvement of high speed EMU train through continuous measurement and analysis of performances with field tests on the commercial operation lines to achieve the objectives of speedy stabilization and establishment of commercialization base for developed high speed EMU railway technologies
- Need to develop the basic technologies and the operating characteristics technologies for technical support to construct and manage Honam high speed line and for connection with existing lines
- Need to early stabilize the high speed EMU railway developed for overseas expansion due to preference of high speed EMU train suitable for bulk

transport and speed-up at countries introducing high speed railway lately

○ Period and funds

- Research period : 28 Nov 2012 ~ 27 Dec 2015 (4 years and 1 month)
- Research funds : 17.81 billion won(Government grant 14.94 billion won, Nongovernmental grant 2.87 billion won)

○ Main subjects

- Stabilization tests and analysis of high speed EMU train
 - Trunk line tests (More than 100,000km for accumulated mileage)
 - Management and maintenance of integrated measurement system
 - Construction of database for trunk line tests
 - Measurement and analysis of main performances (propulsion, brake, control, and current collecting)
 - Stabilization of vehicle system and technical support for maintenance
 - Interface test for development of 400km/h high speed railway infrastructure technologies
- Evaluation of stability and reliability for train vehicle
 - Establishment of reliability management system
 - Failure monitoring for main equipments
 - Analysis of failure rates and review of system effects by failure modes
 - Reliability tests and analysis
 - Supplementary revision for the application results of reliability assessment methodologies
 - Development of quantified reliability performance index
- Development of practical model for high speed EMU train
 - Deduction of operator's requirements for high speed EMU train
 - Deduction of standards for commercialized system of high speed EMU train
- Deduction of internal and external application plan of high speed EMU train
 - Analysis of technology levels and localization rate of high speed railway
 - Analysis of economic effects for high speed EMU train
 - Establishment of internal and external application plan of high speed EMU train
 - Market analysis and establishment of overseas expansion strategies for high speed EMU train
- Project integration and general

<CONTENTS>

Chapter 1 Overview	1
Verse 1 Objectives and necessity	1
Verse 2 Definition, scope, and features	2
Verse 3 Current technology development at home and abroad	12
Verse 4 Project outline	14
 Chapter 2 Details and results	 17
Verse 1 Research on Commissioning Test of 430km/h High-speed train ...	17
1. Stabilization tests of EMU train	17
2. Analysis of test results for main performances and suggestion of performance improvement	33
3. Stabilization and reliability assessment of train system	50
4. Study of practical model for high speed EMU train	62
5. Study on internal and external application plan of high speed EMU train	73
6. Application plan of test train	87
7. Project integration and general	97
Verse 2 The Development of Stabilized Trainset and Maintenance Process for 430km/h High speed Train	106
1. Support of stabilization tests of EMU train	106
2. Key components improvements	110
3. Building the maintenance system	142
4. Development of practical model of high speed EMU train	150
5. Analysis of international market of high speed EMU train	155
 Chapter 3 Final research results and application results	 159
 Chapter 4 Achievement of research objectives and effects	 177
 Chapter 5 Application of research results and necessity of additional study ·	186

<목 차>

제 1 장	연구개발과제 개요	1
제 1 절	연구개발의 목적 및 필요성	1
제 2 절	연구개발의 정의, 범위, 특징	2
제 3 절	국내외 기술개발 현황	12
제 4 절	사업 개요	14
제 2 장	연구개발 수행 내용 및 결과	17
제 1 절	430km/h급 고속열차 시운전시험 연구	17
1.	분산형 고속열차 안정화시험 수행	17
2.	주요성능 시험결과 분석 및 성능개선안 도출	33
3.	차량 안정성 및 신뢰성 평가	50
4.	동력분산형 고속열차 실용화 모델 연구	62
5.	동력분산형 고속열차 국내외 적용방안 연구	73
6.	시제열차 활용방안	87
7.	사업 통합 및 총괄	97
제 2 절	430km/h급 고속열차 안정화 및 유지보수체계 구축 기술개발	106
1.	본선시운전 지원 및 차량시스템 안정화	106
2.	핵심부품 성능 개선	110
3.	유지보수체계 구축	142
4.	동력분산식 고속열차 실용화 모델 개발	150
5.	동력분산형 고속열차 해외시장 분석	155
제 3 장	최종 연구성과 및 적용실적	159
제 4 장	연구목표 달성 및 효과	177
제 5 장	연구성과의 활용 및 추가연구 필요성	186

제 1 장 연구개발과제 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

○ 연구개발 목적

- 동력분산형 고속열차 기술의 실용화를 위한 안정화 및 성능 검증
 - 시제열차(HEMU-430X) 안정화 및 신뢰성 향상(주행시험 10만km이상)
 - 동력분산형 고속열차 실용화 모델 개발

○ 연구 필요성

- 세계 고속철도 시장의 경쟁력 우위 확보를 위해 동력분산형 고속열차 개발 경쟁이 치열함.
 - 일본: 360km/h급 'FASTECH 360' 동력분산형 차량을 개발
 - 프랑스: 360km/h급 차세대 'AGV' 동력분산형 차량을 개발
 - 독일: 350km/h급 'VELARO' 동력분산형 차량을 개발
- “차세대 고속철도기술개발사업”을 통하여 개발된 동력분산형 고속철도 기술의 완성, 개발 시스템의 안정성 확보 및 실용화를 위해서는 시험운행을 통한 시스템 검증과 국내 실정을 반영한 고속철도 유지관리 체계의 구축이 필요함.
- 개발된 동력분산형 고속철도 시스템의 조속한 안정화 및 실용화 기반 구축이라는 목표를 달성하기 위해서는 영업선로에서의 본선시운전 시험을 수행함으로써 지속적인 성능 계측과 분석을 통한 동력분산형 고속열차의 운용, 성능 검증 및 성능 향상으로 개발시스템이 안정화될 수 있도록 하여야 함.
- 호남고속철도 등의 건설과 운영에 대한 기술 지원 및 기존 노선 연계를 위한 기반 기술 및 운영특성 기술의 개발이 필요함.
- 최근 고속철도를 도입하는 국가에서는 대용량 수송과 속도 증속에 유리한 동력분산형을 선호하고 있어, 우리나라도 고속열차의 해외 진출을 위해 개발한 동력분산형 고속열차의 조속한 안정화가 필요함.

제 2 절 연구개발의 정의, 범위, 특징

- “차세대 고속철도기술개발사업(‘07.7~’12. 8)”을 통하여 개발된 최고시험속도 430km/h급 동력분산형 고속철도시스템 및 핵심기술의 설계, 제작, 건설 및 시험기술의 신뢰도를 확보하고 시운전시험을 통한 개발 시스템의 안정화를 통하여 차세대 동력분산형 고속철도 기술을 완성함으로써 실용화의 길을 열고 국내·외 수요에 대비하기 위한 차세대 고속철도시스템의 실용화 기반을 구축하고자 한다.
- 차세대 고속열차는 동력분산형 차량의 영어 약자(High-speed Electric Multiple Unit 430km/h eXperiment)로 바다의 안개 해무(바다 海 안개 霧)처럼 미래를 기다리는 상서로운 의미와 빠르게 달린다는 해무(빠를 鰲, 달릴 驚)의 의미를 갖고 있으며, 국토해양부의 ‘미래가치 창출 10대 사업’의 일환으로 세계 최고의 고속철도 기술 확보를 목표로 추진되었던 “차세대고속철도기술개발사업(2007.7~2012.9)”의 결과물로 탄생한 최고시험속도 430km/h급 동력분산형 고속열차이다.
- 차세대 고속열차는 현재 운행 중인 기존의 동력집중형 고속철도 차량(KTX, KTX-산천)에 비해 가속성능 개선(300km/h까지 도달시간 KTX-산천 대비 1분 42초 단축), 최고속도 향상(운영 최고속도 : 300km/h → 370km/h, 최고 시험속도 : 330km/h → 430km/h), 최신 IT기술(개별 좌석 LCD장치의 운행정보, 긴급상황 및 도착역 알림, 승무원 원격 호출 기능, 공기청정도 자동감시 기능 등)이 적용된 최신형 국산 고속철도 차량 시스템이다. 축중도 가벼워(KTX 대비 20% 감소) 철도 인프라 비용 및 시설물의 유지보수 비용 절감이 가능하고, 가·감속 성능이 우수해 역간 거리가 짧은 국내 운영 환경에 적합하다. 차세대 고속열차 시제차량(6량 1편성)은 유도전동기와 영구자석 동기전동기를 병행하는 독자적인 추진시스템과 공기저항을 최소화시킨 유선형 전두부를 적용하여 430km/h급 쾌속성을 보장하는 한편, IT기반 승객 편의장치와 자동회전식 안장 조절기능이 있는 좌석, 승객의 선호도에 만족시키기 위한 다양한 좌석 배치, 인간공학적 공간 디자인과 실내 공간 증대, 기존 고속열차와 동일한 수준의 객실 소음 차폐등으로 승객의 편의성을 향상하였음. 아울러 고속열차의 안전성 향상을 위해 철도안전법에서 제시하는 성능항목을 모두 만족하는 동시에, 유럽 시장 진출을 위해 유럽규격(TSI, Technical Specification for Interoperability)에 적합하도록 차량을 설계·제작하였고, 국내의 다양한 철도신호방식에 대응하도록 ATS/ATC/ATP 통합 신호시스템을 개발하였다. 이 외에도 경량 복합재료 또는 최적화를 통한 초경량 알루미늄 압출재 차체, 고성능 제동시스템, 고속 대응 현가장치를 적용한 대차, 저소음 판토그래프, 차세대 차상컴퓨터제어장치, 최소형 보조전원장치, 고용량 소형 배터리장치가 개발되어 적용되었다.



<차세대 고속열차 시제차량(6량 1편성)>

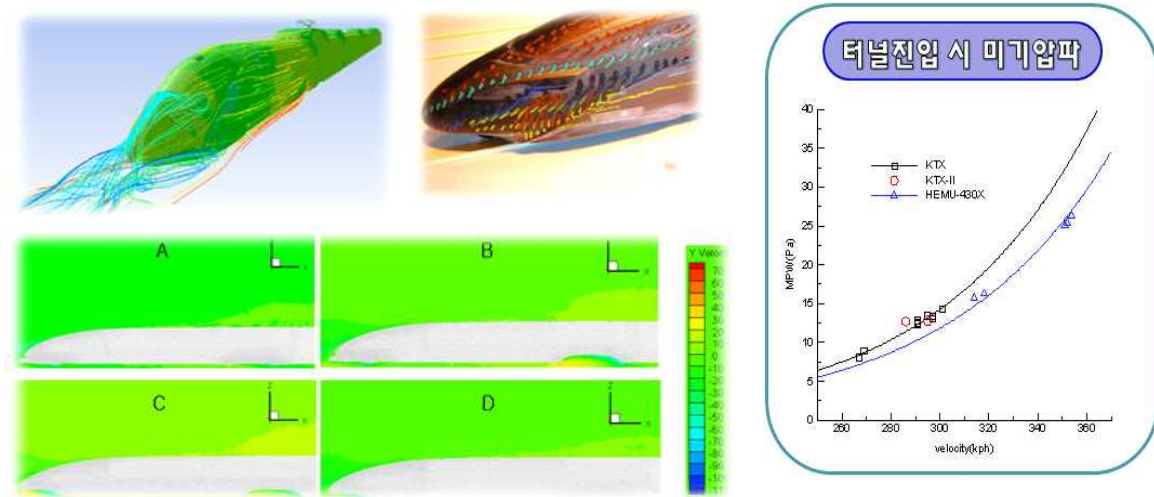
- 430km/h급 동력분산형 고속철도 핵심기술 국내 개발
 - 차세대 고속열차(HEMU-430X)는 국내 최초로 개발된 동력분산형 고속철도 차량
 - 열차구성 : TC + M1 + M2 + M3 + M4 + MC (5M1T)
 - 독립대차방식 적용



<6량 1편성 시제차량>

- 우수한 가감속 성능
 - 구동축 개수 증가로 인한 가감속성능 우수
 - 300km/h 도달시간: 214초 (KTX-산천대비 1분 42초 단축)
 - 역간거리가 짧은 국내 철도 환경에 적합
- 축중감소로 인한 인프라 비용 절감
 - 중량이 큰 추진시스템의 분산배치로 인해 축중 감소
 - 최대 축중 14ton으로, KTX의 최대 17ton 대비 20% 감소
- 차량 승객수 증가
 - 추진시스템의 분산배치로 인해 실내공간 추가확보
 - 수송인원 456명으로, KTX-산천의 363명에 비해 26% 증가
- 최신 IT기술이 적용된 최신형 국산 고속철도 차량시스템
 - 개별 좌석 LCD장치의 운행정보
 - 긴급상황 및 도착역 알림
 - 승무원 원격호출 기능, 공기청정도 자동감시 기능 등)
- 주행성능, 편의성 등 철도 전 분야에 걸친 기술력 향상
 - 승차감 획기적 개선 (횡진동 약 20% 저감 및 소음차음 5dB 향상)

○ 공기역학적 해석을 통한 유선형 전두부 설계



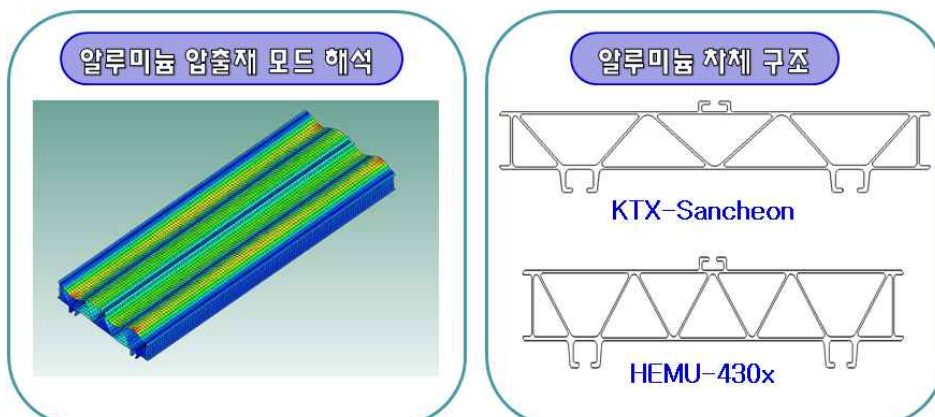
○ 고효율, 저소음의 영구자석 동기전동기 국내 최초 고속열차 적용

- 효율 94% 이상 (기존 유도전동기 효율 92% 이상)
- 자석이 회전자 내부에 매립으로 표면이 원형 구조로써 소음 감소



○ 알루미늄 압출재의 최적 설계로 차량 경량화 및 소음성능 개선

- 차량 중량 5% 저감 및 소음 차음성능 5dB 향상
- 최대 축중 : 14ton

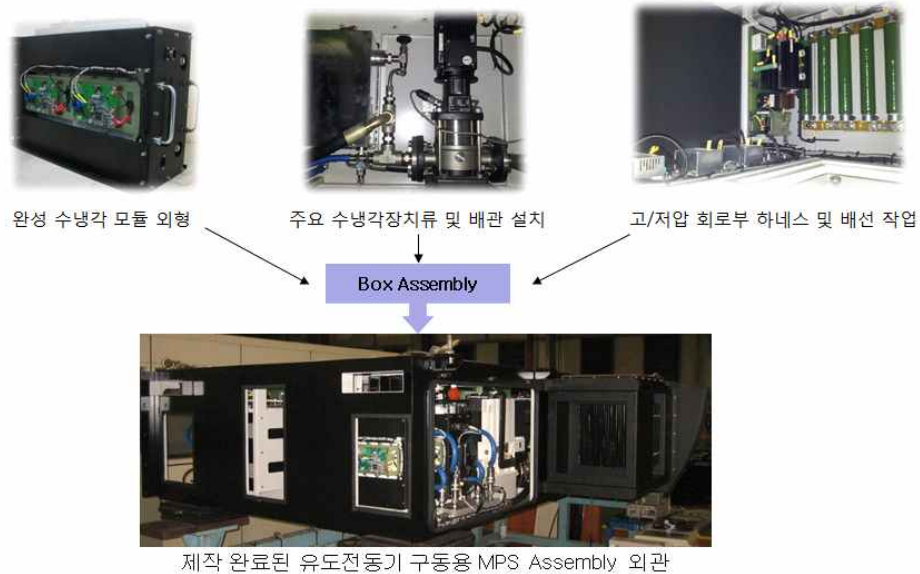


○ 고속주행용 대차 개발

- 실패차 주행 동특성 시험 성공 및 HEMU-430X에 적용

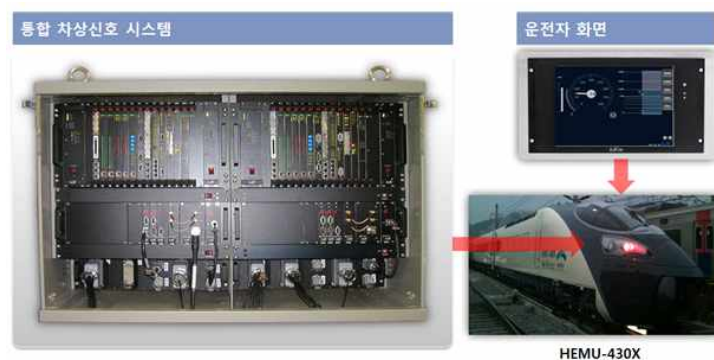


○ 국내 최초 주전력변환장치 수냉각시스템 적용



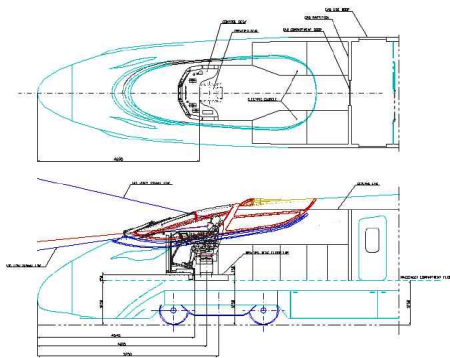
○ 고속철도용 차량 신호장치 개발

- ATS/ATC/ATS 통합 차상신호시스템 적용
- 국내기술로 개발된 고속열차용 신호장치



○ 고객 만족형 실내디자인

- 인간공학과 편의성, 쾌적성이 고려된 운전실 및 객실 디자인



<인간공학적 운전실 설계>



[1등실(TC Car) 2+2 좌석(좌), 1등실(M1 Car) 2+1 좌석(우)]



[가족실(M3 Car) 3+3 좌석(좌), 카페테리아(M3 Car)(우상) 및 2등실(M4 Car) 2+3 좌석(우하)]

<고객 만족형 다양한 좌석 배치 적용>

○ 증속시험을 통한 세계 4위 최고시험속도 달성

- 고속열차 국내 시험 최고속도 기록 달성(354.7km/h, '12.9.9)
- 세계 4번째 최고속도 달성(421.4km/h, '13.3.28)
- 고속철도 선발국가(일본, 프랑스, 독일)와 대등한 세계 4위권 수준의 동력분산형 고속열차 기술력 확보



○ 동력분산형 고속철도시스템 국산화율 : 부품수 대비 97%, 금액 대비 약 83.7% 달성

※ KTX-산천 국산화율 : 87%

<국내 고속열차와의 제원 비교>

주요 항목	KTX	KTX-산천	HEMU-430X
개발기간	1995~2002년	2005~2010년	2007~2012년
최고 운행속도	300km/h	300km/h	370km/h (최고속도 430km/h)
열차 편성	20량 1편성	10량 편성	6량 편성 (시제편성) 8량 편성 (운영편성)
추진장치	GTO Thyristor 추진 동기전동기 방식	IGBT 인버터 추진 AC 유도전동기 방식	IGBT 인버터 추진 AC 유도전동기 방식 및 영구자석 동기전동기
객차 차체재질	Mild Steel	경량 알루미늄 압출재	경량 알루미늄 압출재
선두부 운전실	프랑스 TGV 설계	한국형 고유 선두 형상	한국형 고유 선두 형상
제동 시스템	전기(회생/발전) + 마찰제동	전기지령식 전기(회생/저항) + 마찰제동	전기지령식 전기(회생) + 마찰제동
외형			

<세계 고속열차와의 제원 비교>

구 분		승객수송 능력 (명/편성)	공차 중량 (톤/편성)	영업운행 최고속도(km/h)	동력방식
한국	KTX-산천	363 / 410	403	300	집중형
	HEMU-430X	362 (최대 533명 가능)	415	370	분산형
프랑스	AGV	420~460	410	360	분산형
	TGV-Duplex	545	380	320	집중형
독일	Velaro-E	404	415-425	350	분산형
일본	Series 700	571	320	300-360	분산형
중국	CRH380	494	528	380	분산형

○ 동력분산형 고속열차 기술 완성도

- 일반사양

구분	KTX	KTX-산천	HEMU-430X
영업 최고속도	300km/h	300km/h	370km/h
설계 최고속도	330km/h	330km/h	430km/h
편성길이	388m	201m	197.6m(8량)/ 149m(6량)
차량 편성	20량(특실 4) [동력차 2, 동력 객차 2, 객차 16]	10량 (특실 1, 스넥바 1) [동력차 2, 객차 8]	운영편성 : 8량 시제편성 : 6량
차체 재질(객차)	마일드 스틸	알루미늄 압출재	알루미늄 압출재
차체폭(객차외부)	2,904mm	2,970mm	3,100mm
좌석수	935석	KTX-산천: 363석 KTX-산천(호남): 410석	시제편성 : 145석 운영편성 : 533석

- 가속성능

- 동력분산형을 적용한 차세대고속열차의 300km/h까지 가속시간은 KTX-산천 대비 1분 42초 단축됨

구분	KTX	KTX-산천	HEMU-430X
초가속도	0.47m/s ² (60km/h 까지)	0.45m/s ² (60km/h 까지)	0.5m/s ² (160km/h 까지)
가속 성능	도달시간 6분 6초	5분 16초	3분 34초
	도달거리 20km	16.4km	10.4km

* 가속성능은 정지상태에서 300km/h속도까지 도달시간 및 거리임

- 제동성능

- 300km/h 속도에서 비상제동거리는 철도안전법에서 요구하는 3,300m를 만족하며, 차세대고속열차의 제동거리가 짧음
 - * KTX-산천 : 3,158m, HEMU-430X : 2,871m
- 차세대고속열차는 비상제동시 순수공기제동만으로 요구제동거리를 만족하도록 설계됨
 - * KTX-산천은 비상제동시 회생(저항)+공기제동이 투입되며, 순수공기제동 비상제동거리는 4,257m 임
 - * 디스크 열용량 : KTX-산천 32MJ, HEMU-430X 43MJ

구분	KTX	KTX-산천	HEMU-430X
제동지령	공기식 (BP압)	전기식	전기식
제동장치	회생(저항)+담면+차축디스크	회생(저항)+담면+차축디스크	회생+차륜디스크+차축디스크
저항제동	유	유	무
주차제동	유 (담면)	유 (담면)	유 (유니트캘리퍼)
제동력 제어	속도에 따른 설정 제동력 패턴 제어	속도에 따른 설정 제동력 패턴 제어	속도에 따른 설정 감속도 패턴 제어 (하중에 따라 제동력 변경)

- 차체 진동가속도

- 경부고속선 1단계 구간(광명~동대구, 자갈 궤도)에서의 진동이 2단계 구간(동대구~부산, 콘크리트 궤도)보다 상대적으로 높음
- 1단계 구간에서 차세대고속열차의 진동가속도는 KTX-산천보다 다소 높은 수준임

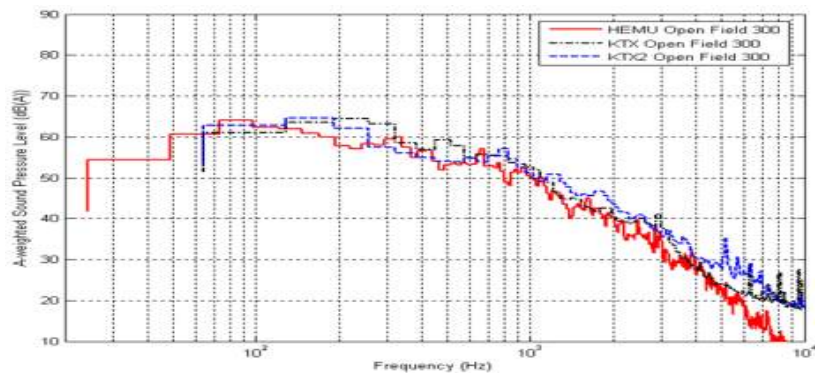
구분	광명-대전 구간		대전-동대구 구간		동대구-부산 구간	
	횡방향	수직방향	횡방향	수직방향	횡방향	수직방향
KTX-산천	0.26 m/s ²	0.25 m/s ²	0.20 m/s ²	0.20 m/s ²	0.14 m/s ²	0.15 m/s ²
HEMU	0.24 m/s ²	0.28 m/s ²	0.29 m/s ²	0.25 m/s ²	0.09 m/s ²	0.18 m/s ²

- 집전성능

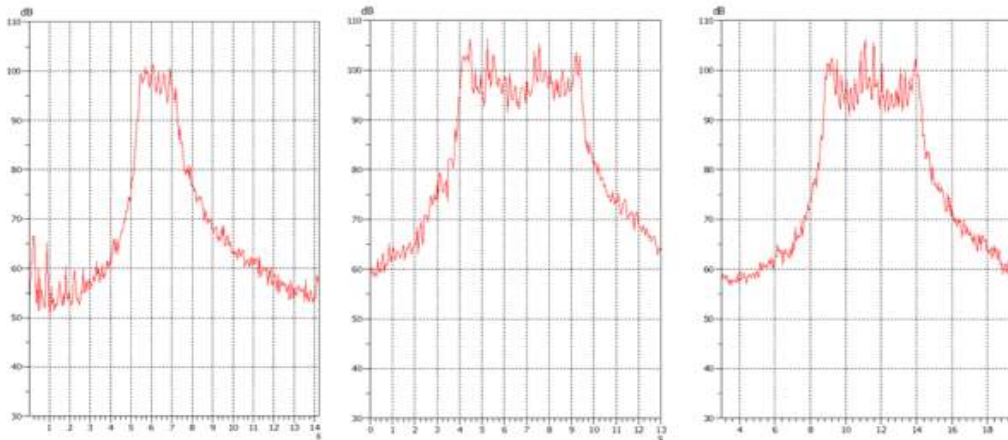
- 평균접촉력 및 접촉력 표준편차는 300km/h 주행 시 124N, 31N 수준으로 산천의 178N, 40N 보다 우수
 - * 평균접촉력 기준치 : 200N 이내, 전차선 장력 20kN

- 소음 특성

- 실내소음 및 차외소음 수준은 KTX-산천과 유사 수준임
 - * 실내소음 : 68~70dB(A) (자갈궤도), 69~71dB(A) (슬라브궤도)
 - * 차외소음 : 100~102dB(A) (선로변 7.5m 이격 위치)



<HEMU-430X, KTX, KTX-산천의 실내소음 주파수 특성 비교>



(a) HEMU-430X

(b) KTX

(c) KTX-산천

<HEMU-430X, KTX, KTX-산천의 실외소음 시간이력 비교>

<국내 고속차량 주요사양 비교>

항 목		KTX	KTX-산천	호남고속차량	HEMU-430X	
열차 성능	영업 최고속도	300km/h	300km/h	300km/h	370km/h	
	설계 최고속도	330km/h	330km/h	330km/h	430km/h	
	비상제동성능(거리)	3,300m	3,300m	3,300m	3,300m (300km/h)	
	가속성능(도달거리/시간)	20km/365초	16.4km/316초	16.4km/316초	10.4km/214초	
	최대전인력	382kN	210kN	210kN	182kN	
일반 사양	편성길이		388m	201m	201m	197.6m/149m
	차량 편성		20량(특실 4) [동력차 2, 동력 객차 2, 객차 16]	10량 (특실 1, 스넥바 1) [동력차 2, 객차 8]	10량(특실 1, [동력차 2, 객차 8]	운영편성 : 8량 시제편성 : 6량
	차체 재질(객차)		마일드 스틸	알루미늄 압출재	알루미늄 압출재	알루미늄 압출재
	차체폭(객차외부)		2,904mm	2,970mm	2,970mm	3,100mm
	중량 (공차)		694톤	403톤	406톤	329.5톤
	소음	개활지(객실)	66dB(A) 이하	66dB(A) 이하	66dB(A) 이하	72dB(A) 이하 (370km/h)
		터널내 (객실/운전실)	73/85dB(A) 이하	71/83dB(A)이하	71/83dB(A)이하	77/85dB(A)이하 (370km/h)
안전 장치	신호시스템		ATC, ATP, ATS	ATC, ATP, ATS	ATC, ATP, ATS	ATC, ATP, ATS
	객실 화재감지		-	열 감지	연기/열 감지	연기/열 감지
객실 설비	좌석 수		935석(특실127 [장애우석 5포함], 일반실 808)	363석(특실 30, 일반실 333 [장애우석 5 포함])	410석(특실 33, 일반실 377 [장애우석 5 포함])	시제편성:145석 (특실72, 일반실 73)
	좌석 회전방식		고정식(특실: 회전식)	회전식(전 객실)	회전식(전 객실)	회전식(전 객실)
	일반실 모니터		17 "LCD 4개소	19 "LCD 4개소	19 "LCD 4개소	19 "LCD 4개소
	무선 인터넷		3G	3G	4G	4G
차량 성능	전인 전동기	형식	동기 전동기	유도 전동기	유도 전동기	유도 전동기
		용량	1,130kW×12대	1,100kW×8대	1,100kW×8대	410kW×20대
	주전력 변환장치 (컨버터, 인버터)	제어방식	전류형 인버터, 컨버터 위상제어	전압형 인버터, 컨버터 PWM제어	전압형 인버터, 컨버터 PWM제어	전압형 인버터, 컨버터 PWM제어
		사용 소자	Thyristor	IGBT(디스크형)	IGBT(모듈형)	IGBT
		냉각방식	침적식(프레온냉각형)	heat pipe식(강제형)	heat pipe식(강제형)	수냉강제냉각방식
	보조전력 변환장치	컨버터소자	Thyristor	IGBT(모듈형)	IGBT(모듈형)	IGBT
		운전 방식	위상제어, 단독운전	PWM, 2군병렬운전	PWM, 2군병렬운전	PWM, 2군병렬운전
	제동장치 (제어방식)		전기(회생/발전) + 마찰 제동	전기자력식 전기 (회생/저항)+마찰제동	전기자력식 전기 (회생/저항)+마찰제동	전기자력식 전기 (회생)+마찰제동
	자동연결기(커플러)		AAR형(기계식)	중련용 자동연결기 (기계+공압+전기식)	중련용 자동연결기 (기계+공압+전기식)	AAR형(기계식)

제 3 절 국내외 기술개발 현황

1. 고속열차 기술동향

가. 국외 고속열차 기술동향

- 일본은 고속열차 도입시기가 가장 오래된 국가 중 하나이며, 운영속도 320km/h급의 E5계의 고속열차를 양산하여 운영 중에 있음
- 프랑스는 최고 운영속도 320km/h급인 동력집중식 차량 TGV-POS를 개발하여 자국 노선에 투입하고 있으며, 이후 동력분산식으로 360km/h운영이 가능한 AGV를 개발함
- 독일은 ICE3 이후 동력분산식을 적용하여 운영속도 300km/h를 돌파하였으며, ICE3를 기반으로 운영속도 350km/h의 Velaro차량을 개발하여 스페인, 러시아, 중국 등에 차량을 수출함
- 스페인은 AVE(Alta Velocidad Espanola)라는 전용노선에서 300km/h 이상으로 운행되는 고속철도를 운영하고 있음
- 이탈리아는 자국의 지형여건으로 인해 운영속도 300km/h급인 ETR500 고속열차와 함께 틸팅열차도 개발 및 운영하고 있으며, 운영속도 360km/h급인 ETR1000은 2015년부터 운영노선에 투입될 예정임
- 중국은 독일, 일본, 프랑스 등의 최신 기술을 도입하여 고속철도 기술을 내재화하였으며, 380km/h급 열차운행을 추진하고 있음

나. 국내 고속열차 기술동향

- 한국은 2004년 4월 프랑스 고속열차인 2세대 TGV-A 차량을 기본으로 한 KTX를 도입하여 경부고속선 1단계 구간에서 영업운전을 시작함
- 1996년부터 2007년까지 G7 고속전철기술개발사업을 통해 KTX를 기반으로 한 한국형 고속열차 HSR-350X를 개발함
- HSR-350X를 상용화한 KTX-산천을 개발하고, 2010년부터 고속열차 운행을 개시함
- 2007년부터 2012년까지 동력분산식 한국형 고속열차인 HEMU-430X를 개발하였고, 신뢰성 검증 및 실용화 사업을 추진 중에 있음

<국내외 고속열차 기술적 특성 비교>

제조사	차량명	설계속도 (km/h)	최고운행속도 (km/h)	가속도 (m/s ²)	편성중량 (ton)	좌석수	축중 (ton)	차량 구성	전원용량 (kW)	견인력 (kN)	전기방식	전장 (m)	전폭 (mm)	편성가격 (억원)
Rotem	EMU-250	275	250	0.55	318	381		4M2T				149		260
Rotem	ITX-청춘	198	180	0.55	346	342	-	4M4T	-	-	25kV60Hz	195	3,120	223
Rotem	KTX-산천	330	300	0.45	406	410	-	2L8T	8,800	210	25kV60Hz	201	2,970	335
Rotem, Alstom	KTX	300	300	0.44	694	935	17	2L18T	13,560	-	25kV60Hz	388	2,904	1,093
Siemens	HT80000	300	-	-	-	-		4M4T	-	-	-	200	-	626
Alstom	ED250	250	250	0.49	395	402	17	4M3T	5,600	-	3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	187	2,800	543
Bobardier +Ansaldo	Frecciarossa 1000 (ETR1000)	360	300	0.7	500 (Loaded)	471	17	4M4T	9,800	370	1.5kV 3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	202	2,924	517
Siemens	VelaroD	320	320	-	454	444	14.2	4M4T	8,000	-	1.5kV 3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	200	2,950	397
Alstom	AGV	360		-	398	450		5M7T						434
Bobardier	ZEFIRO380	380	300	0.48	462	495	17	4M4T	10,000	-	25kV50Hz	215	3,358	287
CNR	CRH380B	380	300	-	-	600	17	4M4T	18,400	-	25kV50Hz	200	3,260	652
CSR	CRH380A	380	300	-	-	480	15	6M2T	9,600	-	25kV50Hz	203	3,380	517
Hitachi	Super Express Class801	225	225	0.7	-	348	11	4M2T	3,360	-	0.75kV 25kV50Hz	122	2,810	495
Siemens	VelaroRUS	250	250	0.43	662	604	17	4M6T	8,000	328	3kV	250	3,265	630
Alstom	ETR610	250	250	0.48	466	422	17	4M3T	5,500	226	3kV 15kV16.7Hz 25kV50Hz	187	2,830	413
Siemens	VELARO	350	300	0.46	425	556	17	4M4T	8,800	300	25kV50Hz	200	3,260	631
CAF	HT65000	250	250	0.48	297	419	-	4M2T	4,800	200	25kV50Hz	159	2,920	304

제 4 절 사업 개요

□ 최종목표

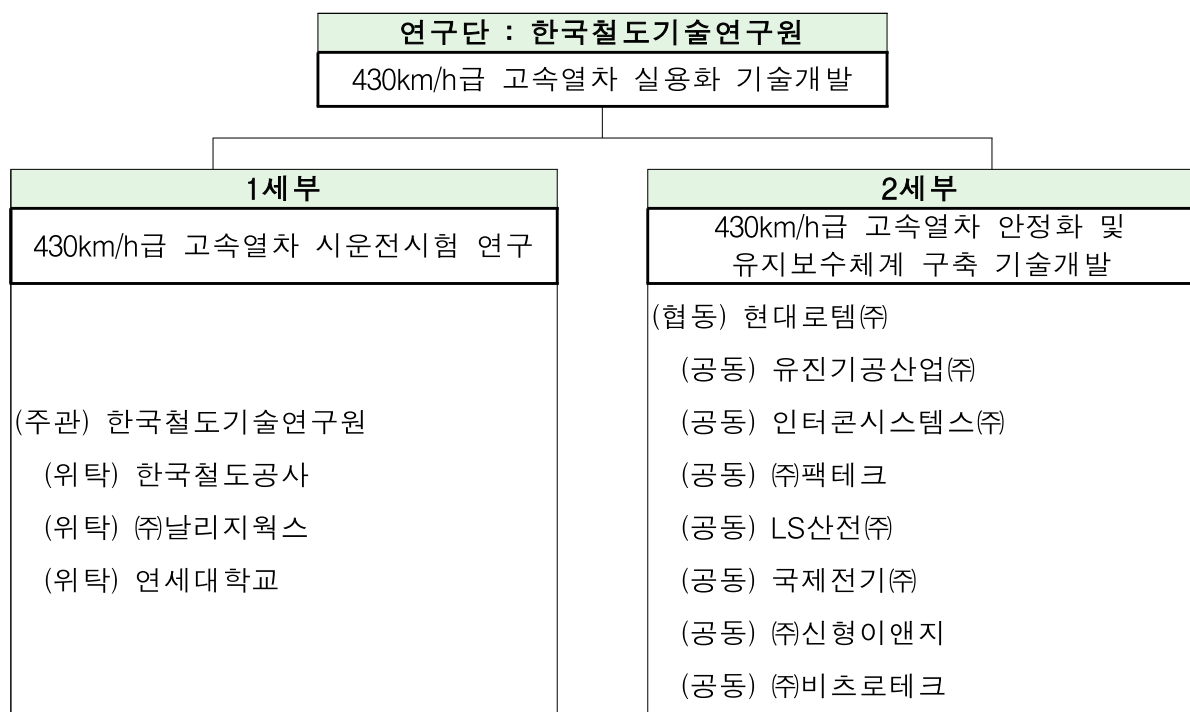
- 동력분산형 고속열차 기술의 실용화를 위한 안정화 및 성능 검증
 - 시제열차(HEMU-430X) 안정화 및 신뢰성 향상(주행시험 10만km 이상)
 - 동력분산형 고속열차 실용화 모델 개발

□ 사업기간

- 사업기간 : 2012. 11. 28 ~ 2015. 12. 27 (총 3년 1개월)

□ 사업 추진체계

- 주관부처 : 국토교통부
- 전문기관 : 국토교통과학기술진흥원
- 주관연구기관 : 한국철도기술연구원
- 협동연구기관 : 현대로템(주)
- 공동연구기관 : 유진기공산업(주) 등 7개 기관



※ 한국철도공사는 2차년도 협동연구기관(3세부)으로 3, 4차년도 위탁연구기관(1세부)으로 참여

□ 연구내용

- 동력분산형 고속열차 시운전시험 및 실용화 기반 구축
 - 동력분산형 고속열차 안정화를 위한 시운전시험 수행(누적주행거리 10만km 이상)
 - 신뢰성 향상 및 안정성 검증
 - 동력분산형 고속열차 국내외 실용화 가능성 향상을 위한 기반 구축 기술개발
- 동력분산형 고속열차 안정화 및 실용화 모델 기술
 - 동력분산형 고속열차 차량시스템 안정화
 - 핵심부품 개선 및 성능 향상
 - 유지보수체계 구축
 - 실용화 모델 개발

□ 사업 예산

○ 총연구비 : 17,817백만원 (정부 14,944백만, 민간 2,873백만)

(단위 : 백만원)

구분		1차년도 (‘12.11.~’13.6.)	2차년도 (‘13.6.~’14.6.)	3차년도 (‘14.6.~’15.8.)	4차년도 (‘15.8.~’15.12.)	합 계
정부출연금		5,044,000	6,500,000	3,000,000	400,000	14,944,000
기업 부담 금	현금	126,639	193,237	61,281	8,029	389,186
	현물	802,390	1,235,943	393,756	51,472	2,483,561
	소계	929,029	1,429,180	455,037	59,501	2,872,747
계		5,973,029	7,929,180	3,455,037	459,501	17,816,747

□ 추진현황

구 분		1차년도	2차년도
연구내용		• 분산형고속열차 안전성 검증체계 수립 • 분산형고속열차 핵심부품 개선 필요사항 도출 • 고속철도 기술수준 및 국산화현황 분석	• 분산형고속열차 안정화시험 및 분석 • 핵심부품 성능개선 및 유지보수체계 구축 • 실용화 적용을 위한 운영자 요구사항 검토
연구성과	안정화	• 안전성 검증체계 수립	• 안정화시험 누적주행거리 6만km
	핵심부품 개선	• 주전력변환장치 냉각성능, MCB, 견인전동기 소음성능 등 개선	• 주변압기, 차축디스크 국산화 개발 • 주전력변환장치, 보조전원장치, 견인전동기 등 성능 개선 • 유지보수체계 구축
	실용화 모델 개발	• 고속철도 기술수준 및 국산화현황 분석	• 운영자 요구사항 및 사양서 • 고속철도 혼합운행 효율화방안

구 분		3차년도	4차년도
연구내용		• 분산형고속열차 안정화 구축 및 인프라연계시험 • 개선핵심부품 성능 검증 및 유지보수체계 구축 • 국내외 적용방안 도출	• 분산형고속열차 실용화 요건 분석 • 분산형고속열차 실용화 모델 개발 • 분산형고속열차 국내외 적용방안 도출
연구성과	안정화	• 안정화시험 누적주행거리 10만km	• 분산형고속열차 안정화 구축
	핵심부품 개선	• 개선 핵심부품 성능 검증(주변압기, 제동장치 국산화개발품 등) • 유지보수체계 구축	• 개선 핵심부품 성능 검증(주회로차단기 개선품 등)
	실용화 모델 개발	• 분산형고속열차 국내적용방안 및 해외진출전략 • 분산형고속열차 실용화사양 및 실용화편성 설계(안)	• 분산형고속열차 실용화 모델 • 분산형고속열차 국내적용방안 및 해외진출전략

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 430km/h급 고속열차 시운전시험 연구

1. 분산형 고속열차 안정화시험 수행

가. 안정화시험 수행체계

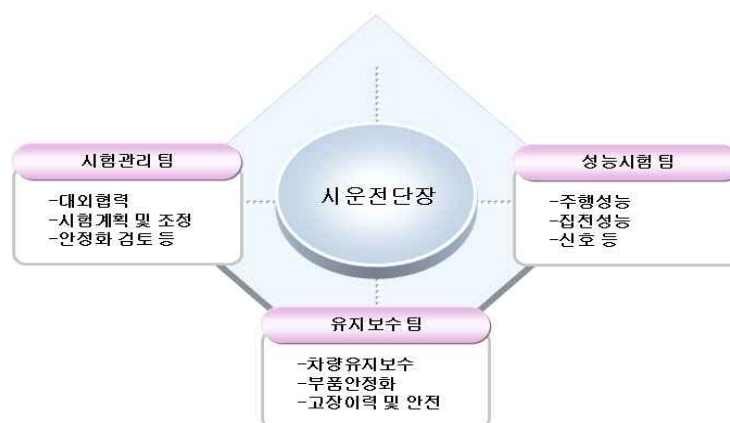
(1) 안정화시험 개요

안정화시험 목적은 『차세대고속철도기술개발사업』을 통하여 개발된 동력분산형 차세대고속열차(HEMU-430X) 시스템의 10만km 이상의 본선 시운전시험을 통하여 시스템의 안정화 및 신뢰성을 확보하기 위함이다. 이를 위하여 시험체계를 구축하고 기본적인 안정화시험 계획(안)을 수립하여 체계적이고 효율적으로 시험을 수행하였다.

(2) 안정화시험 수행체계 및 절차

(가) 안정화시험 수행체계

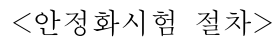
기본적인 안정화시험 계획(안)을 수립하여 체계적이고 효율적으로 시험을 수행하였고, 안정화시험 수행 체계에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다.



<안정화시험 조직 구성>

안정화시험 수행조직 구성은 위의 그림과 같이 시운전단장을 중심으로 시험관리 팀, 성능시험 팀, 유지보수 팀으로 구성하였다. 시운전단장은 안정화시험의 총괄 책임자로서 시험 수행에 있어서의 종합적인 관리 및 승인과 시험에 필요한 인력을 구성한다. 시험관리

(나) 안정화시험 절차



(3) 안정화시험을 위한 인터페이스 검토

– 18 –

나. 안정화시험 현황

(1) 추진경과

(가) 최고속도 성능시험 추진 경과

- '12. 5. 16 : 공장 출고
- '12. 6. 28 : 고속선 시험 시작
- '12. 7. 15 : 300km/h 속도 달성
- '12. 9. 6 : 350km/h 속도 달성
- '12. 12. 27 : 401km/h 속도 달성
- '13. 3. 28 : 421.4m/h 최고시험속도 달성 (세계 4위 기록)

(나) 안정화 시험 추진 경과

- '13. 6. 24 : 시운전시험을 위한 협약 체결 (철도연, 철도공단, 철도공사)
 - 본선 시운전시험을 위한 각 기관 역할, 절차, 안전 및 비용처리 등
- '13. 7. 8 ~ 22 : 경부 1단계구간 인터페이스 확인 시험
- '13. 7. 25 : 안정화 시험 개시 (부산~광명 구간, 주 2회)
- '13. 9. 24 : 안정화 시험 확대 (주 3회, 화, 수, 목)
- '14. 11. 25 ~ '15. 3. 16 : 호남고속선 인프라 성능검증 연계시험
- '15. 3. 24 ~ '15. 12. 22 : 안정화 시험 (경부 및 호남고속선)
- 주요 시험 항목 및 내용
 - 추진, 제동, 집전 등 주요 성능에 대한 안정화 시험
 - 시운전 시험을 통한 차량 하부시스템 고장 모니터링 및 핵심부품 성능 개선
- 총 누적주행거리 121,123km (총 229회)
 - 사업기간 중 운행거리 111,037km, 시운전회수 199회
 - 안정화시험 누적주행거리 10만km 목표 달성



<HEMU-430X 시운전 전경>

(2) 안정화시험 수행 결과

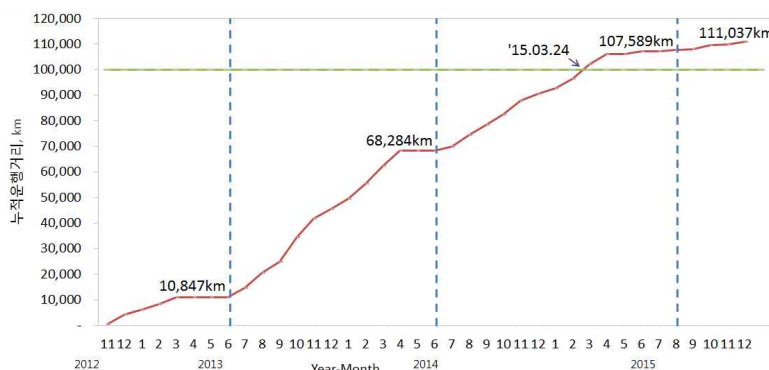
(가) 누적운행거리

① 안정화시험 누적주행거리

실용화 사업기간 중 안정화시험을 위한 차량 운행회수는 총 199회이고, 누적운행거리는 111,037km로 과제 목표인 누적주행거리 10만km 이상을 달성하였다. 다음은 연차별 누적주행거리 목표 대비 실적으로 안정화 시험이 계획 대비 적절히 시행되었음을 알 수 있다.

	1차년도	2차년도	3차년도	최종
누적운행거리 계획	-	60,000km	100,000km	100,000km
누적운행거리 실적	10,847km	68,284km	107,589km	111,037km

특히 경부 및 호남고속선의 영업열차와 동시 운행 중 전/후 열차에 대하여 10분 이상 지연운행을 초래한 경우가 없었다는 점에서 차량의 신뢰성이 충분히 확보되었음을 알 수 있다. 아래 그림은 안정화시험 기간 중 누적주행거리 그래프이다.



<HEMU-430X 실용화사업 누적 운행거리>

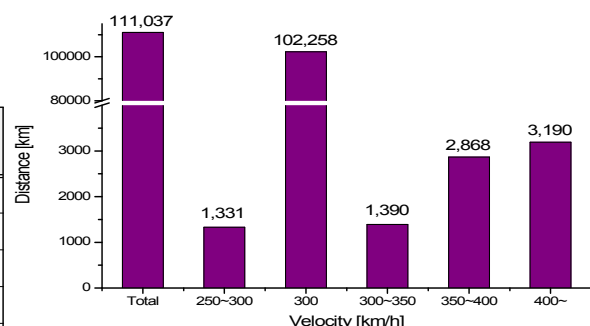


<차량 계기판 누적거리>

② 속도대역별 주행거리

최고속도 350km/h 이상 시험운행은 호남고속선 400km/h급 고속철도 인프라 성능검증 시험과 연계하여 진행하였으며, 누적주행거리는 6,058km이다. 전체 운행거리 중 300km/h 이상은 109,706km로서 고속에서의 충분한 시험을 통하여 차량의 신뢰성을 확인하였다.

속도 [km/h]	주행거리 [km]	속도 [km/h]	주행거리 [km]
0 ~ 300	1,331	~ 300	1,331
300 ~ 350	103,648	300 ~	109,706
350 ~ 400	2,868	350 ~	6,058
400 ~	3,190	400 ~	3,190
합계	111,037	합계	111,037

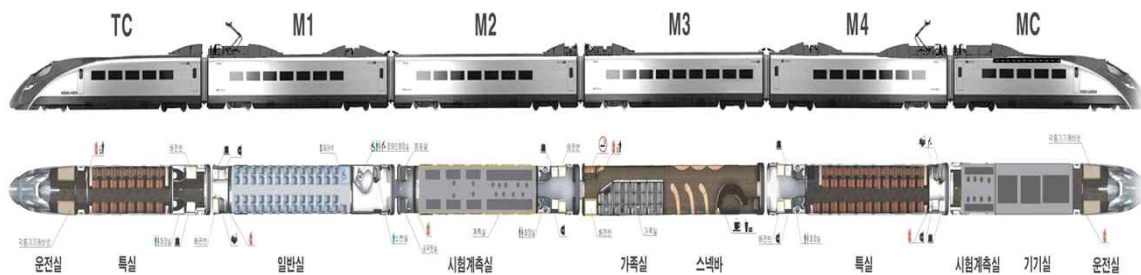


<속도대역별 누적거리>

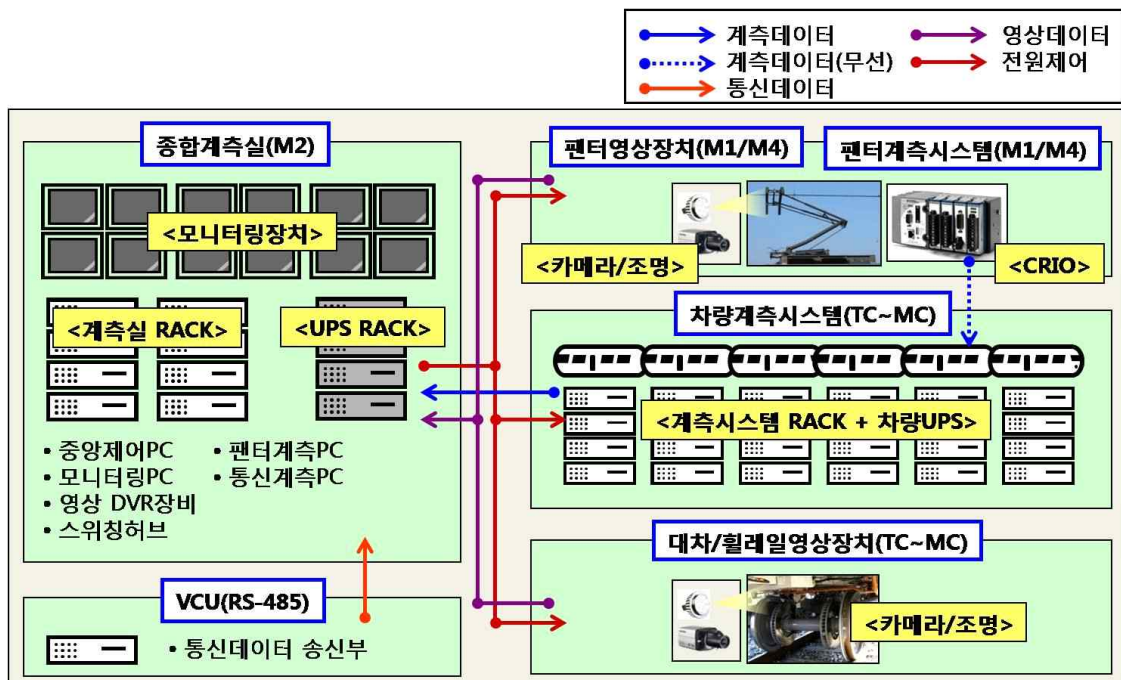
나. 종합계측시스템 운영 및 유지보수

(1) 종합계측시스템 구성

차세대 고속열차(HEMU-430X)에 장착되는 종합계측시스템은 하드웨어 장비 및 센서, 계측 라인들을 400km/h 이상의 고속으로 달릴 경우에도 외부 충격에 영향을 받지 않도록 고정하는 설계를 하였으며, 전동차의 특성에 따라 계측 데이터에 전기적인 영향이 최소화 하도록 구축하였다. 또한 총 6량으로 구성된 시제차량이 차량의 점검 일정에 따라서 차량 및 대차가 분리될 수 있음을 감안하여 차량 및 대차의 분리가 계측시스템에 주는 영향을 최소화 하도록 구축했다. 다음 시제차량 구성도에서와 같이 TC와 MC차량에는 운전실이 설치되어 있으며, M1과 M4차량에는 가선으로부터 전원을 공급받는 판토가 장착되어 있다. M2 차량에는 종합계측실이 구성되어 시운전 중에 모니터링과 차량계측을 수행할 수 있도록 구축했다.



<시제차량 구성도>



<종합계측시스템 구성도>

(2) 종합계측시스템 개선 및 보완

종합계측시스템의 운영과정에서 성능 및 계측 정확도 향상을 위한 개선 및 보완내용은 다음과 같다.

(가) 차량 계측시스템 보완

- 차세대 고속열차 종합 계측시스템을 기존의 Real Time용 운영 시스템에서 Windows7 운용시스템으로 모두 교체 및 각 차량 랙에 모니터 추가 설치
 - 차량별 계측시스템 조정이 필요할 경우 기존시스템의 경우 M2 중앙제어시스템에서 조정함 → 각 차량별로 확인 및 조정 가능 (유지보수 편의성 증대)
- 차량별 계측 신호의 점검 및 보완 가능
- 데이터 전송 속도 향상
 - 1일 시운전 데이터 기준 : 기존 40~50분 → 개선 5~10분 (속도 향상)

(나) 주요 계측 H/W 보완

① 판토타그래프 계측시스템 H/W 보완

- 판토타그래프 측정 개선을 위한 송,수신기 전원부 교체
 - 기존 전원 24V → 개선 전원 12V : 소비 전력 감소로 계측 지속 시간 향상

② 휠/레일 영상장치 보완

- 작업 내용 : 휠/레일 영상장치 브라켓 설치, 신규 LED 라이트 취부 등



<휠/레일 영상장치 보완품 측정 결과>

② 동적보정 결과

동적보정 결과 M1, M4 판토티그래프 모두 동적보정 국제 기준을 만족하는 것을 다음 표와 같이 확인할 수 있었다. 이를 통하여 판토티그래프 계측장치의 신뢰성을 향상시켰다.

<M1 pantograph 동적보정 결과>

80N		Parameter	Accuracy(%)	
			Test Results	Criterion
Center	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	97.08	80
		Peak to Peak	92.76	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	96.93	90
		Peak to Peak	91.21	90
Left	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	99.06	80
		Peak to Peak	88.53	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	99.01	90
		Peak to Peak	90.03	90
Right	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	97.75	80
		Peak to Peak	95.08	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	98.34	90
		Peak to Peak	95.05	90

160N		Parameter	Accuracy(%)	
			Test Results	Criterion
Center	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	99.03	80
		Peak to Peak	92.94	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	98.95	90
		Peak to Peak	92.85	90
Left	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	98.31	80
		Peak to Peak	94.96	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	97.41	90
		Peak to Peak	92.85	90
Right	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	98.46	80
		Peak to Peak	93.68	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	98.71	90
		Peak to Peak	91.73	90

<M4 pantograph 동적보정 결과>

80N		Parameter	Accuracy(%)	
			Test Results	Criterion
Center	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	99.07	80
		Peak to Peak	92.65	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	99.47	90
		Peak to Peak	90.37	90
Left	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	97.94	80
		Peak to Peak	91.76	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	97.40	90
		Peak to Peak	90.12	90
Right	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	97.05	80
		Peak to Peak	93.27	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	98.45	90
		Peak to Peak	91.55	90

160N		Parameter	Accuracy(%)	
			Test Results	Criterion
Center	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	98.65	80
		Peak to Peak	91.82	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	98.85	90
		Peak to Peak	90.32	90
Left	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	99.07	80
		Peak to Peak	90.33	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	98.99	90
		Peak to Peak	90.32	90
Right	0.5~10Hz	Mean Force(F _m)	98.04	80
		Peak to Peak	92.41	80
	0.5~20Hz	Mean Force(F _m)	97.91	90
		Peak to Peak	90.82	90

라. 최고속도 성능시험 수행 및 결과

(1) 최고속도 시험 개요 및 절차

시운전 최고속도시험은 2012년 11월 29일부터 2013년 3월 31일까지 총 25회 수, 토요일 야간에 누적거리 약 21,000km에 걸쳐 실시하였다. 본 사업에서 시운전시험을 수행하기 위하여 관계기관과 협의를 통하여 시험구간 연장, 시험 항목 등을 선정하였으며, 본 최고속도 시험은 연초 및 설연휴 등의 대수송 기간의 운휴를 기준으로 총 3단계에 걸쳐서 수행하였다.

(가) 시험 개요

① 1차 증속 시험 개요

- 시험 기간 : 2012년 11월 29일 ~ 2012년 12월 30일(총 9회)
- 시험 구간 : 경부고속선 부산 ~ 고모IEC, 상선
- 조치 사항 : 전차선 장력 증가 (20kN → 23kN, 15km)
신경주역 분기기 통과속도 증가 (170km/h → 300km/h)
- 최고속도 성과 : 401km/h

② 2차 증속 시험 개요

- 시험 기간 : 2013년 1월 17일 ~ 2013년 2월 3일(총 6회)
- 시험 구간 : 경부고속선 부산 ~ 고모IEC, 상선
- 조치 사항 : 전차선 장력 증가 (20kN → 23kN, 19km)
신경주역 분기기 통과속도 증가 (170km/h → 350km/h)
시험 구간 연장 (동대구 방향으로 2.3km 연장)
- 최고속도 성과 : 408km/h

③ 3차 증속 시험 개요

- 시험 기간 : 2013년 2월 17일 ~ 2013년 3월 31일 (총 10회)
- 시험 구간 : 경부고속선 부산 ~ 고모IEC, 상선
- 조치 사항 : 전차선 장력 증가 (20kN → 23kN, 19km)
신경주역 분기기 통과속도 증가 (170km/h → 350km/h)
시험 구간 연장 (동대구 방향으로 2.3km 연장)
KTX 병행 시험 실시 (최고속도 구간 KTX 선행)
- 최고속도 성과 : 421km/h

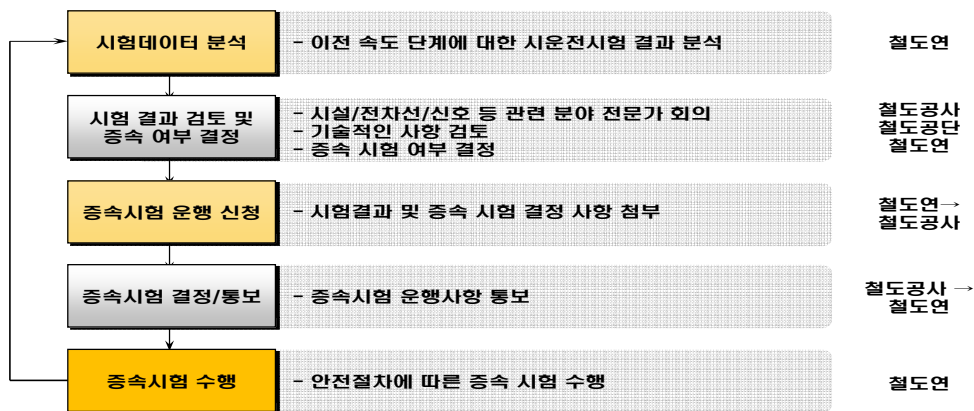
(나) 증속시험 수행 체계 및 절차

증속시험은 앞서 언급한 바와 같이 철도시설물 소유주체인 철도시설공단 및 운영주체인 철도공사 등 관련기관의 협조로 수행되었으나, 영업운행선에서 증속시험이 수행됨에 따라 이례상황 발생 가능성에 대한 안전대책 수립 및 규정속도 이상 주행에 대한 공사/공단의 내부방침을 받아 수행되었다. 아래 그림은 증속시험 수행을 위한 시험 수행 체계이다.



<증속시험 수행 체계>

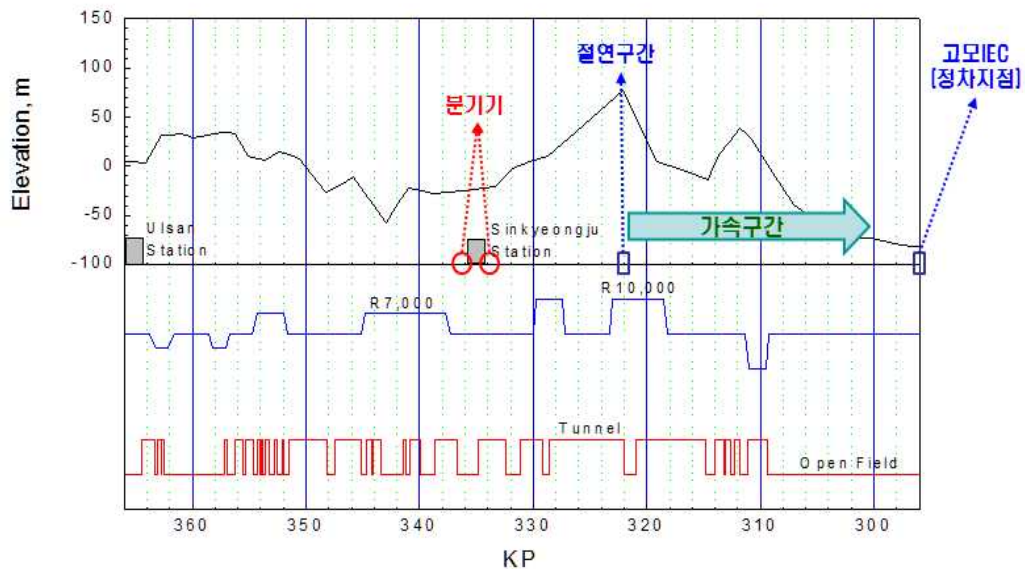
상기 수행 체계 중 증속시험 절차만을 요약하면 다음 그림과 같다. 그림에서와 같이 이전속도 단계에서 시험결과를 분석하여 한국철도공사 및 한국철도시설공단이 시험결과를 검토하고 그 다음단계 증속 여부를 결정한다. 이를 통하여 시설물 및 차량의 증속시험 시 안전을 최대한 확보하고자 하였다. 증속여부가 결정되면 한국철도기술연구원은 한국철도공사에 증속시험 운행 신청을 하고 한국철도공사는 시험결과보고서를 바탕으로 증속시험가능을 결정하고 한국철도기술연구원에 통보함으로써 그 다음 증속시험을 수행할 수 있다. 한국철도기술연구원은 본 증속시험 결정 통보를 바탕으로 그 다음단계 증속시험을 미리 설정된 안전절차 및 체계에 따라 수행하고 다시 그 결과를 분석하는 절차를 반복하여 안전하고 순차적인 증속시험이 되도록 조치하였다.



<증속시험 수행절차>

(2) 최고속도시험을 수행을 위한 시설물 조정

차세대고속열차의 최고속도시험은 300km/h 영업운전 중인 경부고속선 2단계 구간에서 수행되었다. 따라서 400km/h 이상 시운전을 수행하기 위하여 일부 인프라 시설물의 조정이 필요하였다. 아래의 그림은 증속시험이 수행된 경부고속선 2단계 구간의 KP별 선로도이다.



<경부고속선 2단계 구간 선로도>

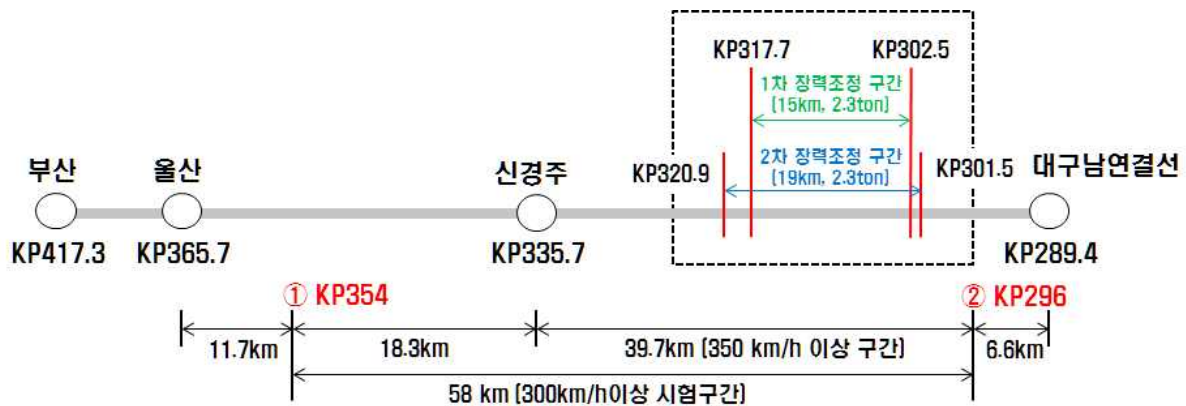
위의 그림에서 보이는 바와 같이 울산에서 출발하여 신경주역 입출구의 분기기를 고속으로 통과한 이후 가속을 하여 KP 321부터 시작하는 내리막 구간에서 400km/h 이상 고속운전을 수행하고 KP 296인 고모 IEC에서 차량이 정차되어야 한다. 또한 그림에서 보이는 바와 같이 가속이 시작되는 KP321 지점에 절연구간이 존재하여 차량이 전원을 공급받지 못하고 실속하는 구간도 존재한다. 따라서 증속을 수행하기 위해서는 다음과 같은 인프라 조정이 필요하다. 우선 400km/h 이상의 속도에서 안정적인 집전성능 확보를 위한 전차선 장력조정이 필요하다. 그리고 신경주 분기기를 350km/h 고속으로 통과하기 위하여 분기기 쇄정이 필요하며, 절연구간에서의 실속방지를 위한 연장급전이 필요하다. 마지막으로 정차지점 준수를 위한 신호시스템 등 안전대책이 필요하겠다. 특히 정차지점 준수는 고모 IEC이후 기존선 합류 시 차량의 안전을 위하여 반드시 필요하다.

(가) 전차선 장력 조정

① 개요

차세대고속철도기술개발사업에서 수행한 차량-전차선 인터페이스 검토 결과에서

HEMU-430X를 경부고속철도 노선에서 시험하기 위해서는 시험 속도가 증가됨에 따라 전차선 장력을 증가시켜야 한다는 결론이 있었다. 이에 따라 철도시설공단-철도공사-철도연 간의 “HEMU-430X 증속시험을 위한 협약”에 따라 개최된 인터페이스 검토 회의에서도 차량속도 350km/h 이상으로 주행하게 되는 구간은 전차선 장력을 현재 2,000kgf에서 2,300kgf로 조정하기로 합의하였다.



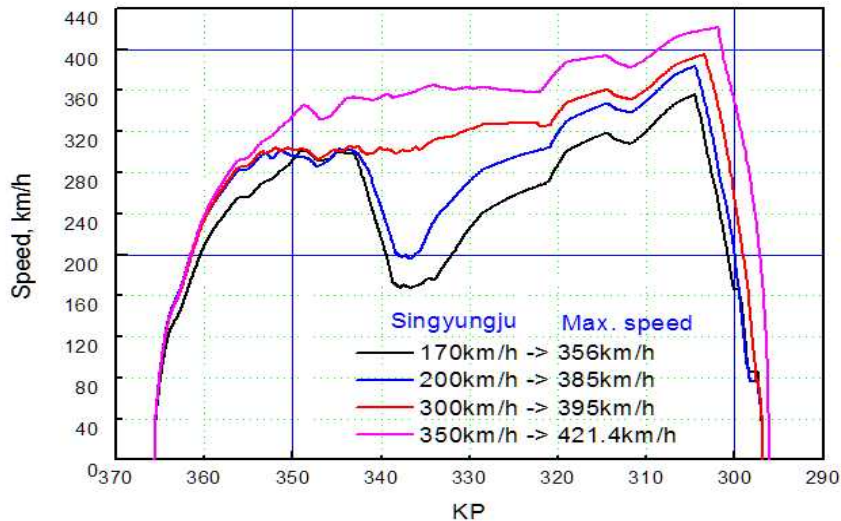
<경부고속선 2단계 구간 전차선 장력 조정 구간>

② 장력증가 작업

전차선 장력증가작업은 총 2단계에 걸쳐서 진행되었다. 1단계로 KP 317.7부터 KP302.5 구간까지 총 15km 구간에 대하여 ‘12년 11월 20일부터 ’12년 11월 28일까지 진행하였다. 또한 신경주 분기기 통과속도 증대에 따라 350km/h 이상 주행구간이 늘어나면서 1차 장력조정구간의 앞뒤로 총 4km구간의 장력을 추가로 증대시켜 KP 320.9부터 KP301.5 지점까지 총 19km 구간을 2차 장력조절 구간으로 하였다. 2차 장력 조절 작업기간은 ‘13년 1월 15일부터 1월 16일 까지였다.

(나) 신경주역 분기기 통과속도 증가

차세대고속열차의 최고속도 시험은 울산-고모 구간의 상선에서 수행이 되었다. 울산-고모 상선 구간 중 신경주역이 존재하며 신경주역 앞뒤로 총 6개소의 분기기가 존재하며, 증속시험 당시 신경주역 분기기의 통과속도는 170km/h로 제한이 걸려있었다. 그러나 신경주역은 증속구간 안에 있어서 최고속도 달성을 위해서는 반드시 350km/h 이상 고속통과가 필수적 이었다. 따라서 신경주역 분기기를 영업열차 통과 이후 키폴트로 채정한 후 통과속도를 170km/h, 200km/h, 300km/h, 320km/h, 350km/h로 단계적으로 증가시켜 최고속도 시험을 수행하였다. 그 결과 신경주 분기기 통과속도 증가에 따라 아래 그림과 같이 최고속도가 증가함을 확인할 수 있었다.



<신경주역 분기기 통과속도 상향에 따른 최고속도 변화>

(다) 절연구간 연장급전

차세대고속열차의 최고속도 시험 구간 중 350km/h 이상의 가속이 시작되는 KP322 지점에 당리 SP라는 절연구간이 존재한다. 일반적인 운행에서는 절연구간에 고압전기가 투입되지 않아 차량의 MCB를 차단한 채 타력으로 운행한다. 따라서 절연구간 통과 시 차량속도가 떨어지게 되고 이로 인하여 최고속도 달성에 차질을 발생하게 된다. 따라서 당리 SP를 아래 그림과 같이 연장급전을 실시하여 차량이 계속 추진력을 얻을 수 있도록 조치하였다.



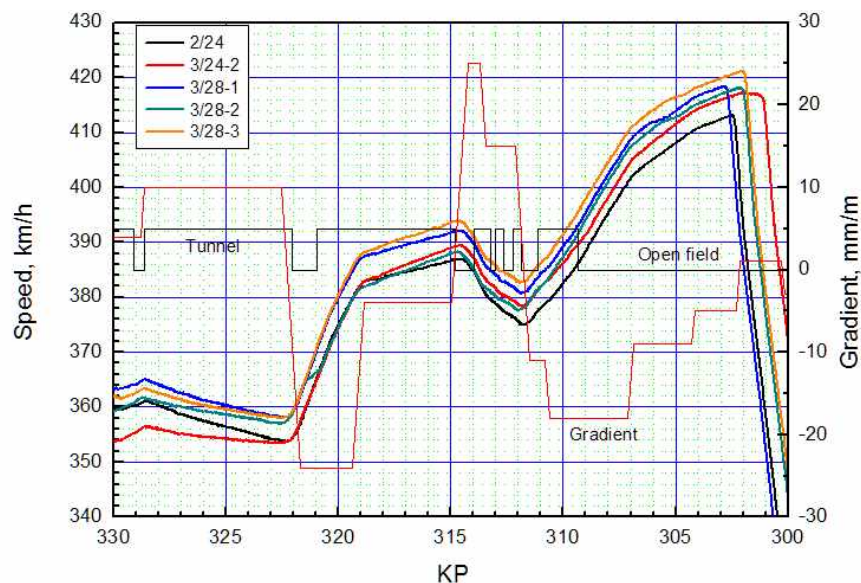
<당리 SP 연장급전 개요도>

(라) ATP 발리스 설치

증속시험이 수행되는 선로는 영업선로로서 300km/h 운행을 위한 ATC 신호시스템이 설치되어 있다. 따라서 300km/h를 초과하는 시험을 수행하기 위하여 별도의 ATP발리스를 설치하여 안전을 확보하였다. 이를 시행하기 위하여 시험구간 진출입지점에 다음 그림과 같이 ATP발리스를 설치하고 차상에서 인식되게 하였고 이를 통하여 KP296지점의 정차위치가 준수되게 하였다. 이 때 진출 발리스는 400km/h에서의 비상제동거리인 6km를 반영하여 KP302지점(가야고가 부근 제동시점)에 ATP 진출 발리스를 설치하였다.

(3) 최고속도시험 속도 프로파일

다음 그림은 최고속도 시험의 일자별 속도 프로파일이다. 이 속도프로파일 분석결과 MPS 출력의 단계적 상승에 따른 가속력 및 최고속도의 상승을 확인할 수 있었으며, MPS 특성영역 제어를 통한 MPS 재기동 방지 역시 최고속도 달성에 매우 중요함을 알 수 있었다. 또한 신경주역 통과속도를 350km/h로 제한하여 KP 330지점에서 속도가 360km/h 정도였고, 전차선 장력이 상향 된 KP 321 지점부터 본격적인 가속이 시작되었음을 알 수 있다. 이러한 시험결과 2013년 3월 28일 세계 4위 속도인 421.4km/h의 최고속도를 달성할 수 있었다. 이는 분기기 통과소도 제한, 전차선 장력의 한계, 터널 및 구배 등 시설물의 제한을 극복한 결과로서 국내 고속철도 기술력을 세계시장에 과시할 수 있는 실적이라고 하겠다.



<일자별 증속시험 속도 프로파일>



<시속 421.4km/h 달성 시 차량 내 속도 현시>

(4) 최고속도 주요 성능 측정결과 요약

차량의 최고속도에서의 성능을 확인하기 위하여 주요성능에 대하여 차량에 설치된 중합계측시스템을 이용하여 측정 및 분석을 수행하였고 그 결과 주요 성능 항목이 기준치를 만족함을 확인하였다.

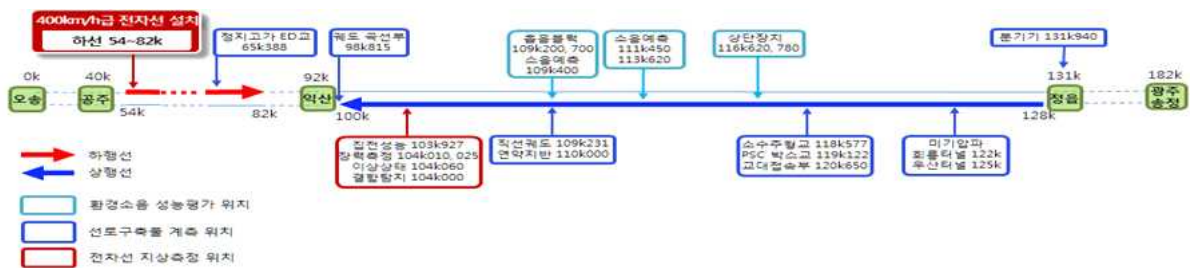
<최고속도시험 주요 성능 측정결과>

구 분		평가항목		기준	측정결과		비고
주행 안전성	안전성 기준	대차 횡가속도 (m/s ²)		10.47	2.40		양호
		차체 횡가속도 (m/s ²)		3.0	0.57		양호
		차체 상하가속도 (m/s ²)		3.0	0.60		양호
	주행 거동 기준	차체 횡가속도	최대값 (m/s ²)	2.5	0.51		양호
			RMS (m/s ²)	0.5	0.17		양호
		차체 상하가속도	최대값 (m/s ²)	2.5	0.65		양호
			RMS (m/s ²)	0.75	0.26		양호
집전성능		평균접촉력 (kN)		< 200	178.5		양호
		통계적 최소 접촉력 (kN)		> 0	7.2		양호
		통계적 최대 접촉력 (kN)		< 350	349.8		양호
		압상량 (mm)		200	111.2 (410km/h)		양호
신호분야		ATC 연속 정보처리		정상	정상		양호
		ATC 불연속 정보 처리		정상	정상		양호
궤도 안전성		평가항목		기준	가야고가 (접속부)	현안터널 (곡선부)	
		윤중 (kN)		200	71.56	109.08	양호
		횡압 (kN)		68	10.21	5.96	양호
		레일수직변위 (mm)		3	1.181	1.351	양호
		레일수평변위 (mm)		2	1.088	-0.392	양호
		슬라브수직변위 (mm)		1	0.100	-0.333	양호
		레일응력 (MPa)		90	43.64	51.93	양호
		윤중감소율		0.8	0.574	0.064	양호
		주행속도				421km/h	380km/h
교량 안전성		평가항목		기준	가야고가	광석고가	
		수직가속도 (g)		0.5	0.302	0.269	양호
		경간중앙부 처짐 (mm)		L/1700 (L:경간길이)	5.1 (29.4)	1.146 (23.5)	양호
		주행속도				421km/h	411km/h

마. 호남고속선 400km/h 인프라 시범적용 기술개발 연계시험

(1) 차량-인프라 연계시험 개요

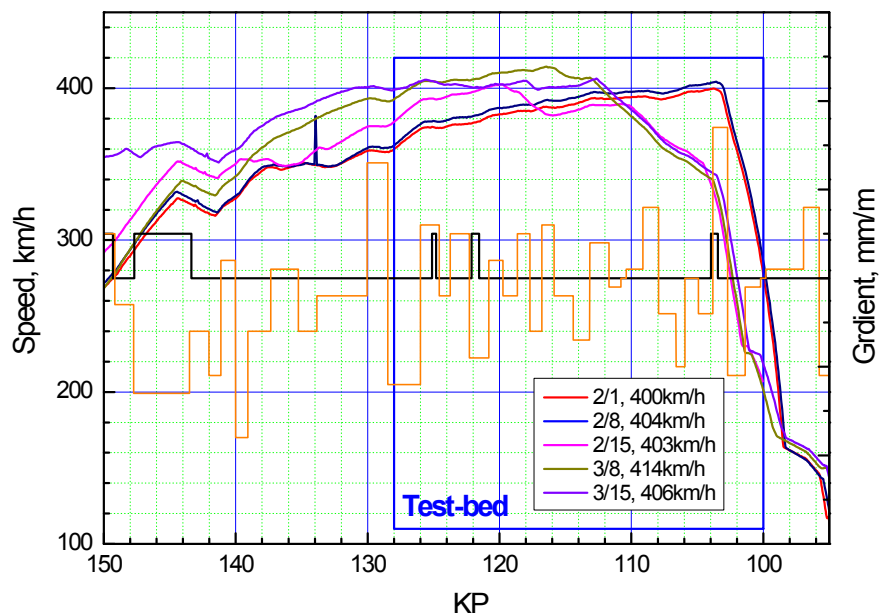
400km/h 인프라의 성능확인을 위해 400km/h 이상의 속도 주행이 가능한 고속철도 차량이 필요하였으며, 시운전 시험 열차로 HEMU-430X를 활용하여 성능평가를 수행하였다. 테스트베드 인프라 성능시험은 300km/h, 310km/h, 350km/h, 370km/h, 390km/h, 410km/h 속도대역으로 단계별 증속운행에 따라 실시하였다. 호남고속선 테스트베드 연계시험은 예비시험을 포함하여 2014년 8월 28일부터 2015년 3월 5일까지 실시하였다.



<호남고속선 400km/h급 테스트베드 개략도>

(2) HEMU-430X 호남고속선 시운전 현황

호남고속선 시운전 시험계획에 따라 단계별로 증속시험을 수행하였으며, 다음 그림은 400km/h 이상 속도에서의 운행패턴이다. 그림에서와 같이 최대 414.4km/h까지 시험을 수행하였으며, 주행안전성, 집전성능 등 모든 측정결과는 기준치 이내임을 확인하였다.



<호남고속선 테스트베드 시운전 현황>

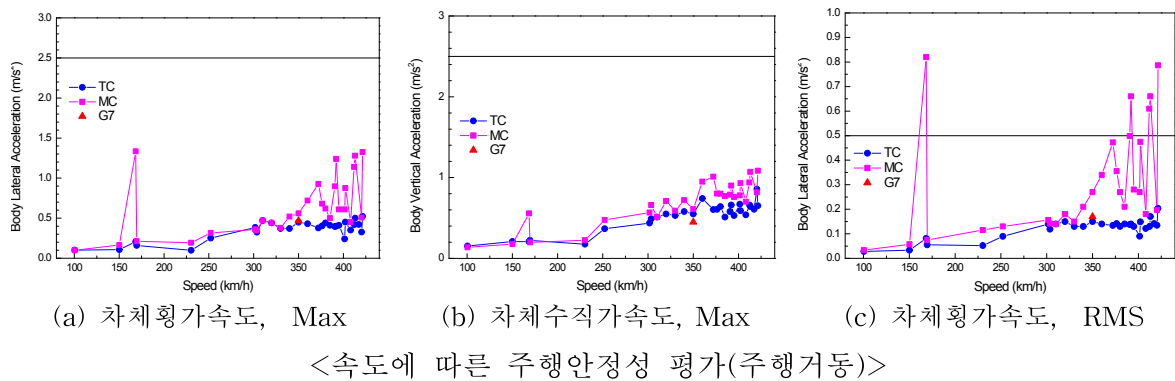
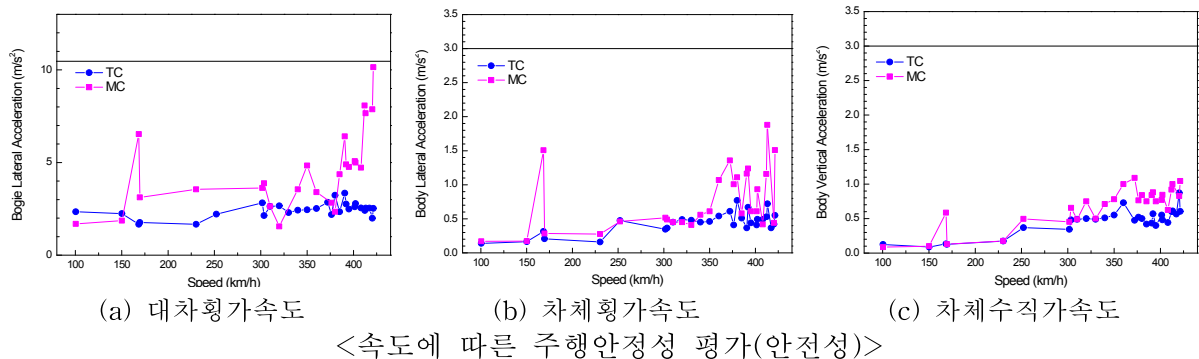
2. 주요 성능 시험결과 분석 및 성능개선안 도출

가. 차량 주요성능 시험결과 분석

(1) 주행안정성

(가) 주행안전성 및 동적거동 평가

속도에 따른 차세대고속열차의 주행안정성 평가결과를 아래 그림에 나타내었다. 주행 속도는 100~421.4km/h까지이며, 선두차량(TC)와 후부차량(MC)의 시험결과값을 나타내었다. 대차나 차체 모두 주행속도에 따라 가속도 값이 증가하는 경향이 나타났으며, 선두차량보다 후부차량의 값이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.



(나) 안정화시험 주행안정성 시험 결과

안정화 시험은 경부고속선 1, 2단계 구간 300km/h 주행 시험 및 호남고속선 350km/h 주행 시험(광주중정~정읍)을 통하여 결과를 도출하였으며 시운전 기간 중 기준치를 만족하는 것을 확인하였다. 아래 표는 호남고속선에서의 시험결과를 나타낸다.

□ 호남고속선 350km/h 주행 시험(광주송정~정읍)

- 시운전 일자 : 2014년 11월 18일 ~ 2015년 3월 16일
- 분석 일자 : 2014년 12월 3일
- 분석 구간 : 정읍-익산 상행 KP 125.9 ~ 118.0(200m 구간 분할)
- 속도 : 335.4~344.9km/h (평균 340.9km/h)
- 분석 결과 (TC/MC 차량) : 표와 같이 기준치를 만족함
 - 시운전 기간 중 지속적으로 확인한 결과 시험기준을 만족함

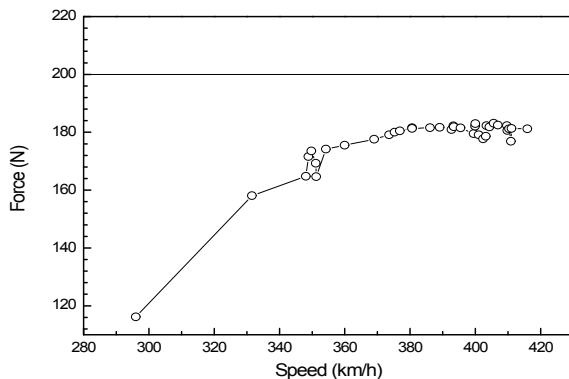
<호남고속선 350km/h 주행안정성 시험결과>

항 목		기준(m/s ²)		결 과(m/s ²)			
				MC(선두)		TC(후미)	
안전성	대차 횡 가속도	10.47		3.64		3.50	
	차체 횡 가속도	3.0		1.14		0.86	
	차체 상·하 가속도	3.0		0.64		0.62	
		Max.	RMS	Max.	R.M.S.	Max.	R.M.S.
주행 거동	차체 횡가속도	2.5	0.5	0.78	0.36	0.61	0.22
	차체 상·하 가속도	2.5	0.75	0.63	0.26	0.70	0.22

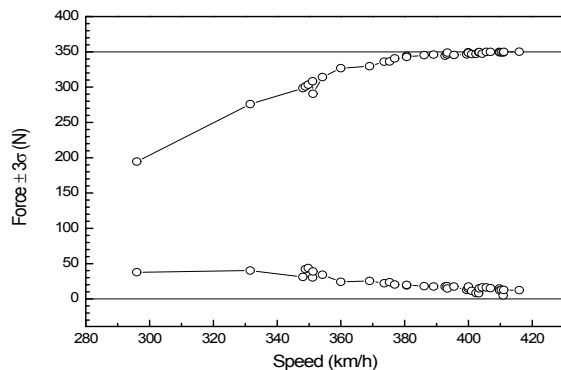
(2) 집전성능

(가) 증속시험에서 집전성능 측정결과

증속에 따른 접촉력 측정결과는 다음의 그림과 같으며, 접촉력 평가기준인 EN50119, UIC794, 경부고속선 평균 접촉력 기준을 잘 만족하고 있다. 그러나 통계적 최대, 최소접촉력은 한계치에 근접하여 450km/h 이상의 속도로 주행하기 위해서는 전차선 장력의 추가조정 필요하다고 판단된다.



<속도에 따른 평균접촉력 변화>



<속도에 따른 통계적 최대, 최소 접촉력>

상기 측정결과를 바탕으로 평균접촉력 및 접촉력 표준편차를 속도에 따른 추세분석을 통하여 430km/h에서 예측되는 접촉력 역시 정적압상력을 7.5N 하강 조절하면 평가기준을 만족할 수 있음이 예상된다.

<430km/h에서 예상되는 접촉력 값>

항목	기 준(N)	결 과(N)	정적압상력 - 7N 조절
평균접촉력(F_{mean})	< 200	182.5	175.5
통계적 최소 접촉력 ($F_{mean}-3\sigma$)	> 0	8.3	1.3
통계적 최대 접촉력 ($F_{mean}+3\sigma$)	< 350	356.8	349.8
평균주행속도 (km/h)		430	430

(나) 안정화시험 호남고속선 집전성능 측정결과

① 접촉력 특성

- 호남고속선 300 ~ 350km/h 접촉력 측정
- 300 ~ 350km/h 호남고속선 집전성능은 공사/공단 관리 기준치 이내
- 경부고속선 대비 전차선 장력 증가(20kN → 26kN or 34kN)로 집전성능 양호

<호남고속선 300~350km/h 주행 시 접촉력 측정 결과>

항목	기준 (N)	결과 (N)				비고
		장력26kN 300km/h	장력26kN 350km/h	장력34kN 300km/h	장력34kN 350km/h	
평균접촉력(F_m)	< 200	152.1	175.3	159.0	167.3	OK
통계적 최소접촉력($F_m-3\sigma$)	> 0	29.9	17.4	56.7	35.3	OK
통계적 최대접촉력($F_m+3\sigma$)	< 350	274.3	333.2	261.3	299.3	OK
분석구간 평균속도 (km/h)		307.6	352.1	308.1	349.1	

② 이선아크 특성

- 300 ~ 350km/h 호남고속선 이선아크 특성은 공사/공단 관리 기준치 이내
- 경부고속선 대비 전차선 장력 증가(20kN → 26kN or 34kN)로 집전성능 양호

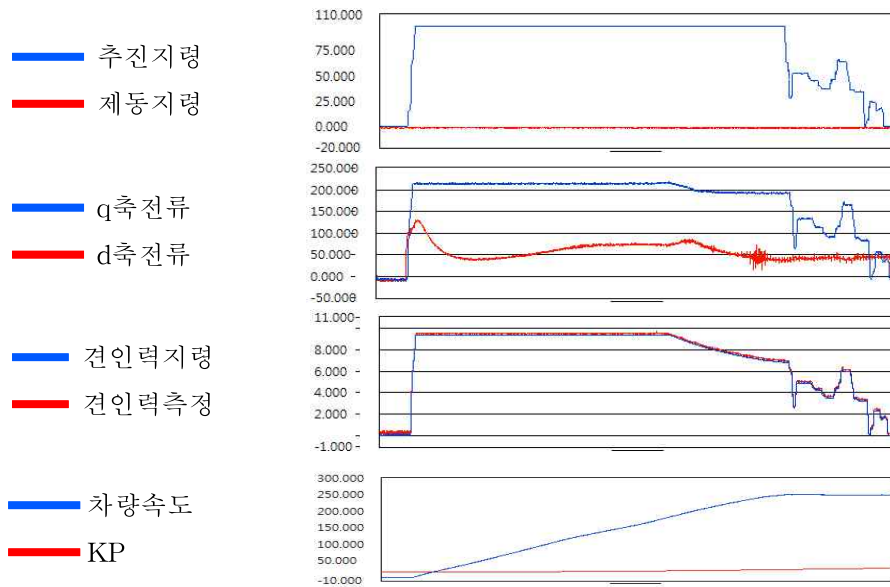
<호남고속선 300~350km/h 주행 시 접촉력 측정 결과>

속도대역 (km/h)		유효거리 (km)	유효시간 (sec)	이선시간 (sec)	이선율 (%)	참고기준
최고	분석					
312.2	300 이상	34.02	398.64	0.28102	0.0705	1%
344.7	330 이상	9.47	100.8	0.01692	0.0168	1%
354.03	340 이상	5.88	60.36	0.00502	0.0083	1%

(3) 추진성능

(가) 정토크 영역의 토크제어 특성

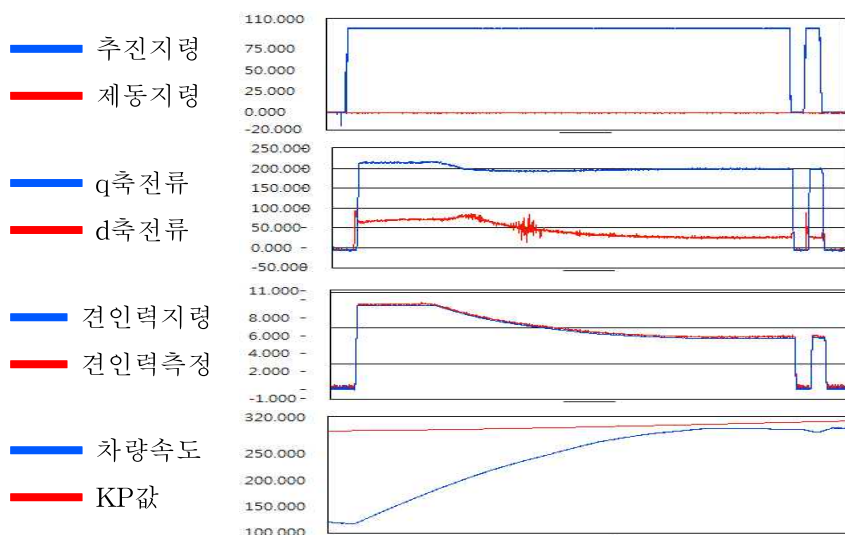
차세대고속열차의 MPS에서 계산된 출력 데이터를 이용하여 아래 그림의 정토크 영역에서의 토크제어 특성이며, 지령값에 따라 정상동작함을 확인할 수 있다.



<정토크 영역의 견인력 추종곡선>

(나) 정출력 영역의 토크제어 특성

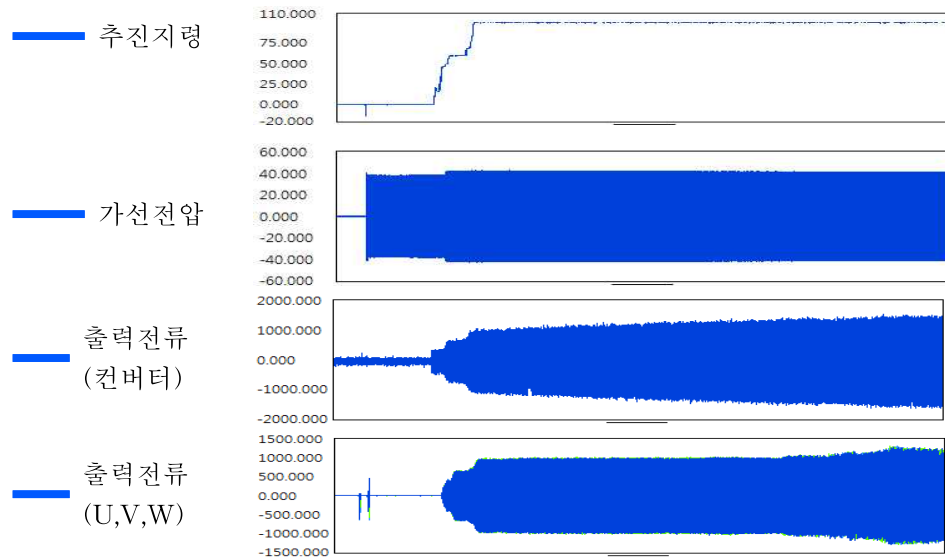
차세대고속열차의 MPS에서 계산된 출력 데이터를 이용하여 아래 그림의 정출력 영역에서의 토크제어 특성이며, 지령값에 따라 정상동작함을 확인할 수 있다.



<정출력 영역의 견인력 추종곡선>

(다) 견인전동기의 출력 특성

아래 그림은 추진지령에 따른 MPS 컨버터 및 인버터의 출력전류파형을 나타낸다. 추진지령을 100%까지 견인전동기에 입력되는 인버터의 출력전류가 정상동작함을 확인할 수 있다.



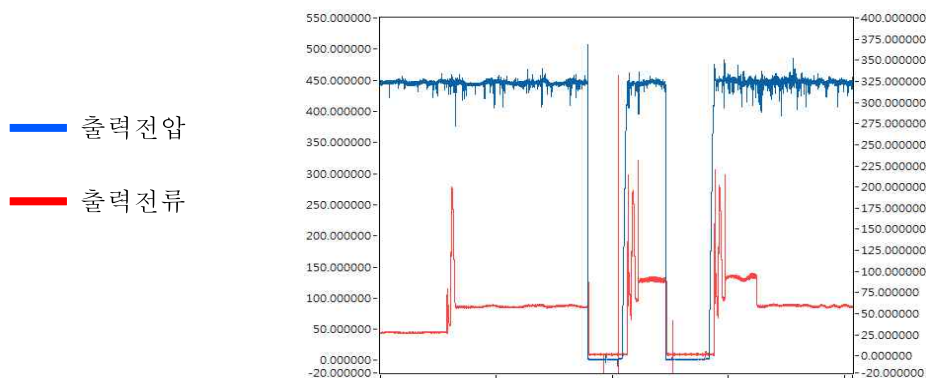
<추진지령에 따른 MPS의 출력전류>

(4) 보조전원장치 및 배터리 충전장치 성능

(가) 보조전원장치의 주행중 특성

① APS의 주행중 특성

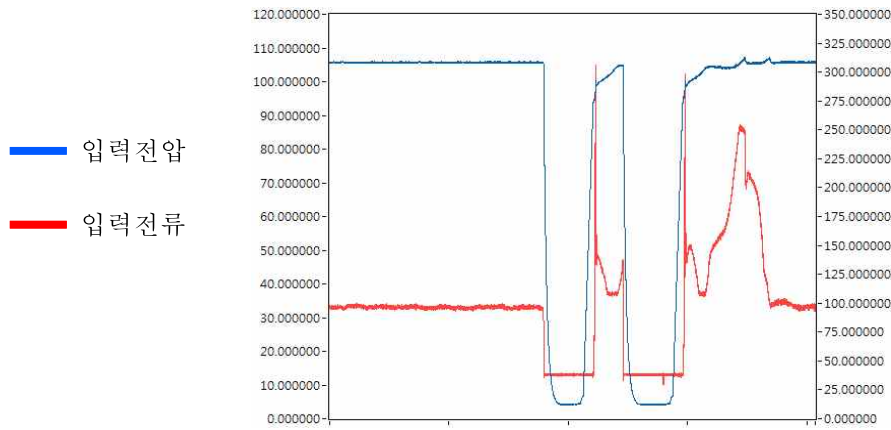
아래 그림은 APS의 전압 전류 출력파형을 나타내며 정격전압 및 정격전류의 범위 내에서 안정적으로 동작하고 있음을 확인할 수 있다.



<APS 출력 전압 및 출력 전류 파형>

② 배터리충전장치의 주행중 특성

아래 그림은 BACH의 출력에 대한 전압 및 전류 파형을 나타내며 정격전압 및 정격전류의 범위내에서 안정적으로 동작하고 있음을 확인할 수 있다.



<BACH 출력 전압 및 출력 전류 파형>

(5) 제동성능

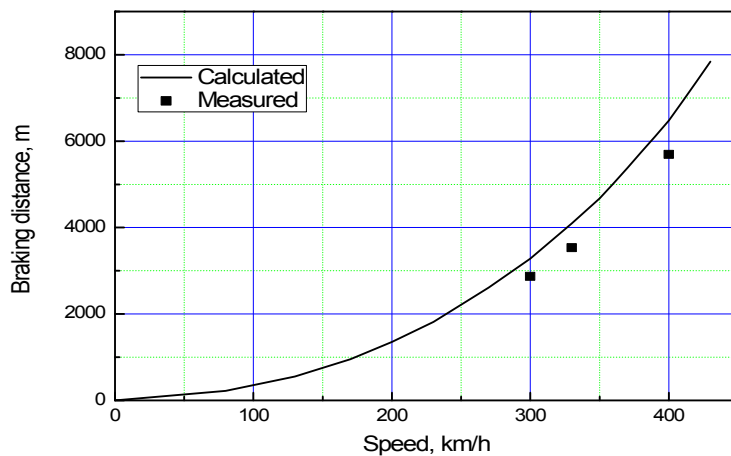
(가) 제동시험 결과

① 제동거리 측정결과

- 300km/h 비상공기제동 : 2946m 로 철도안전법 기준만족
- 110km/h 상용공기제동 : 498m 로 제동계산서 요구거리 만족

② 감속도 및 저크 측정결과

- 모든 속도대역별 감속도 기준 만족 확인
- 모든 속도대역별 저크 기준 만족 확인



<비상제동 시험결과>

(나) 호남고속선 제동시험

① 호남고속선 300km/h 상용최대제동(B7) 블렌딩제동 시험

호남고속선에서 300km/h 주행 중 블렌딩제동을 수행하였으며 시험 결과 300km/h 제동거리는 4,073m 이며, 상용최대제동이 비상제동의 75%임을 감안하여 비상제동거리를 환산하면 3,055m로 기준(3,300m)을 만족한 결과를 보인다.

② 호남고속선 300km/h 상용최대제동(B7) 공기제동 시험

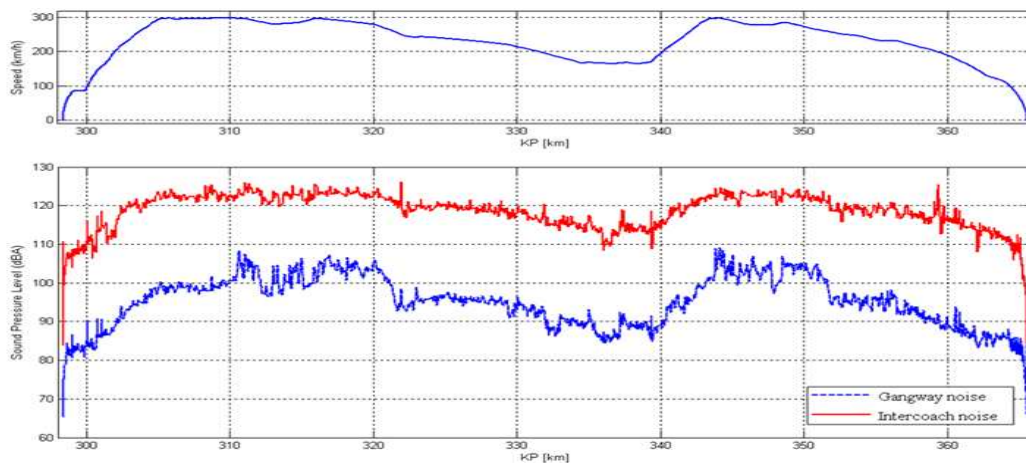
호남고속선에서 300km/h 주행 중 블렌딩제동을 수행하였으며 시험 결과 300km/h 제동거리는 4,120m 이며, 상용최대제동이 비상제동의 75%임을 감안하여 비상제동거리를 환산하면 3,090m로 기준(3,300m)을 만족한 결과를 보였다. 시험 결과 블렌딩 제동과 제동거리의 차이가 1.2% 수준으로 감속도제어가 정상동작 함을 확인 할 수 있다.

(6) 소음 성능

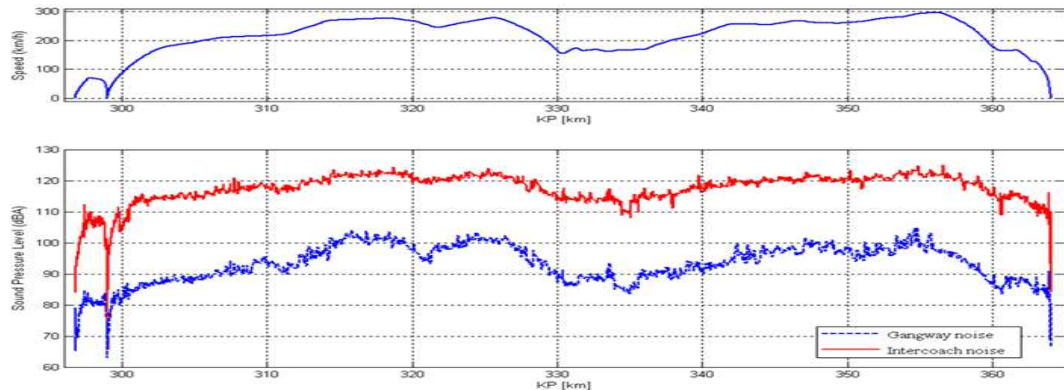
(가) 실내소음 측정결과

① 실내소음 특성도출

그림은 울산역과 고모 IEC를 상행으로 주행하는 경우에 주행 거리 및 KP와 차량 연결부분의 내·외부 소음레벨을 보여주고 있다. 그림의 결과에서 볼 수 있듯이, 차량 연결부의 실외소음(inter-coach noise)이 내부소음(gangway noise)보다 약 15~20 dB 정도 높게 측정이 되고 있음을 확인해 볼 수 있다. 하행에서도 상행과 같이 차량연결부의 실외소음이 실내소음과 비교하여 약 15~20 dB정도 높음을 확인할 수 있다.



<실내연결부 소음레벨(울산⇒고모)>



<실내연결부 소음레벨(고모⇒울산)>

② 안정화시험 중 실내소음측정결과

실내소음 측정결과, 300km/h에서 자갈궤도, 개활지 주행 시 약 66~68 dB(A)의 등가 소음측정결과를 보였으며, 이는 분산형 고속철도 차량의 실내 수준 기준을 만족하는 수준이다. 개활지 주행은 자갈궤도(직선,평탄선로)를 기준으로 한다. 일반적으로 콘크리트궤도의 경우 자갈궤도의 소음도 보다 약 3~4 dB(A) 높게 나타난다.주요 소음 측정시험은 콘크리트 도상인 호남고속선에서 수행되어, 최종적으로 72 dB(A)를 기준으로 설정하였다. 속도별 실내소음 측정 결과는 다음 표와 같다.

<속도별 실내소음 결과>

	250 km/h	300 km/h	350 km/h
SPL [dB(A)]	67.62	70.21	73.82

③ 안정화시험 중 실외소음측정 결과

차세대고속열차의 실외소음 측정을 위해서 호남고속선 KP 109.4 지점 선로에서 7.5m 선로레일에서 1.2m 위치에서 주행소음을 측정하였으며 문헌조사를 통하여 TGV-Duplex 열차의 350 km/h 주행 시 선로에서부터 25m 거리에서 측정한 판토품레프가 위치한 차량의 소음결과인 95 dB(A)와 비교를 수행하였다. 차세대고속열차의 350 km/h 주행 시 판토품차량 소음 측정결과 약 95.06 dB(A)로 TGV-Duplex의 판토품차량의 소음도인 95 dB(A)와 매우 유사한 소음도를 나타내고 있음을 확인하였다.

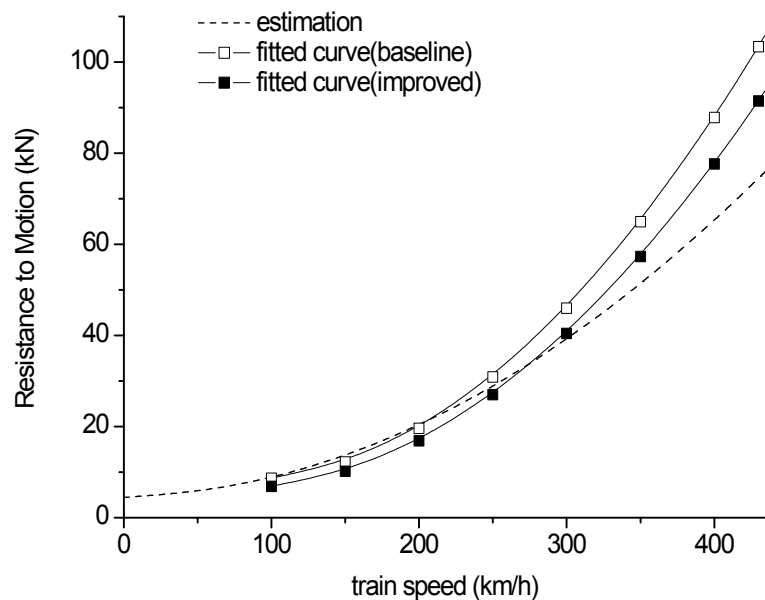
(7) 공력 성능

(가) 주행저항 측정 및 공기저항 평가

주행저항 예측값 및 실제 타행시험을 통해 얻어진 주행저항 데이터들 간의 비교를 위하여 각 속도 대역별로 주행저항식에 의해 계산된 주행저항값을 아래와 같이 나타내었다.

먼저, 개선 전 형상의 경우에는 200km/h 속도까지는 예측식 대비 최대 9% 주행저항에 적게 나타남을 알 수 있으며, 250km/h 이상의 속도에서는 예측식 대비 점점 증가하여 400km/h에서는 주행저항이 예측식 대비 35% 가량 더 높게 측정됨을 알 수 있다. 형상 개선 후에는 예측식에 비해 250km/h까지 최대 24% 주행저항이 더 낮게 측정되었으며, 400km/h 에서는 예측식 대비 19% 주행저항이 증가하는 것으로 볼 수 있다.

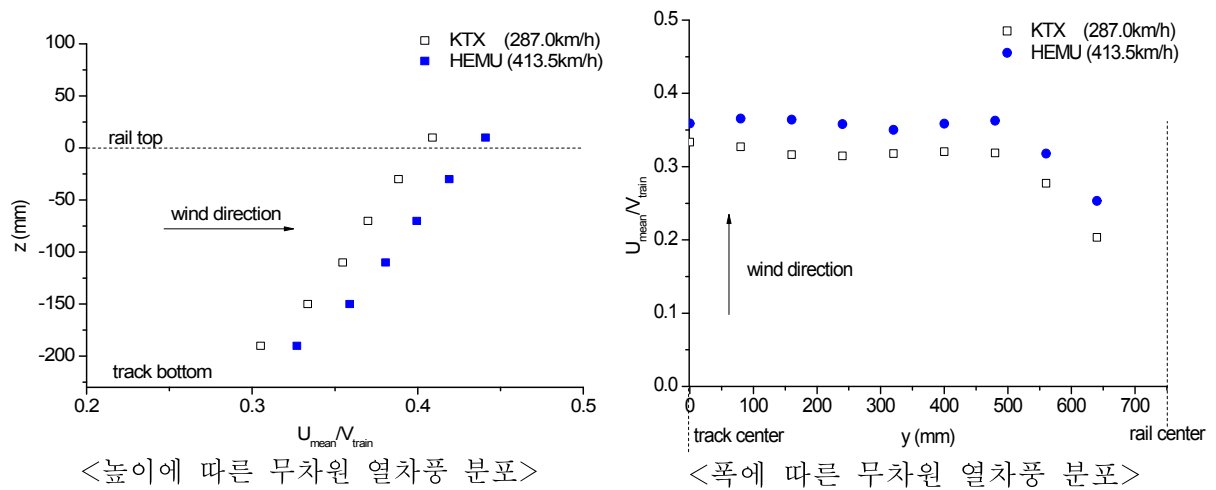
개선 전후의 주행저항 감소율을 보면, 200km/h 이상의 속도에서는 대략 15% 내외로 주행저항이 저감된 것으로 나타났으며, 이를 통하여 공기저항 저감을 위한 열차 형상 개선 작업이 상당한 효과를 나타냈음을 알 수 있다.



<주행저항식에 따른 속도 별 주행저항>

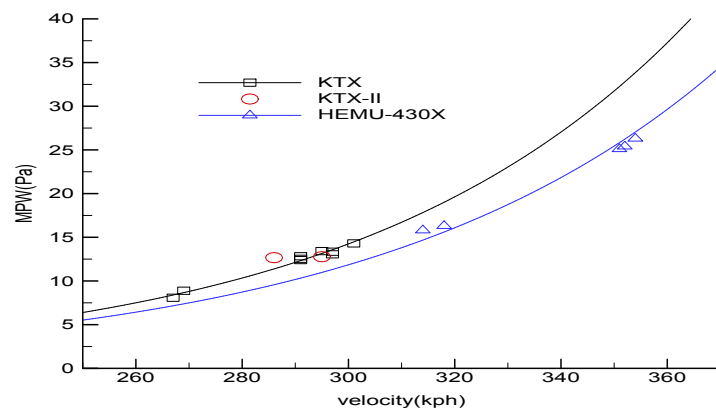
(나) 하부 열차 풍 측정

열차의 하부 형상은 공기저항에 큰 영향을 미치는 요소이며, 특히 고속열차의 경우에는 전두부, 연결부, 상부 등의 유선형 설계가 적용되기 때문에 대차와 대차가 장착되는 공동부의 공기저항이 마찰저항과 함께 전체 공기저항의 가장 큰 부분을 차지한다. 본 연구에서는 차세대고속열차의 주행 시 발생하는 하부의 유속을 계측하여 열차풍의 크기와 특성을 분석하고, 이를 KTX 열차와 비교하여 공기저항을 상대적으로 비교하였다.

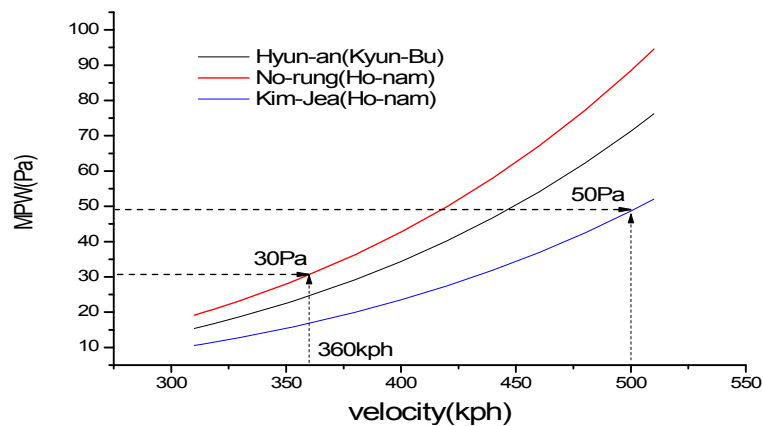


(다) 터널 통과 시 압력변동 및 미 기압과 측정

현안터널 진입속도에 따른 초기 압력상승 및 최고 압력변동을 살펴보면, 속도 318km/h 진입 시 초기 압력상승은 약 1375Pa, 최고 압력상승은 3150Pa이며, 속도 352km/h 진입 시 초기 압력상승은 약 1830Pa, 최고 약 4535Pa로 나타난다. 이에 따른 과형은 아래의 그림과 같다.



<터널진입 속도에 따른 미기압과 계측결과(현안터널)>



<경부/호남고속선 터널 미기압과 크기 예측>

나. 차량시스템 성능개선안 도출 및 적용

(1) 제동 성능 개선

(가) 제동프로그램 튜닝을 통한 성능 개선

300km/h 비상회생제동시험은 제동프로그램 변경전에 비해 변경후는 제동거리가 280m 늘어났고, 제동감속도가 전체 약 4% 줄어들었으나, 제동거리 기준 및 감속도는 설계기준을 만족하였다. 110km/h 상용공기제동시험은 수정전에 비해 감속도는 18% 높아지고 제동거리는 64m 줄어 제동거리 기준에 만족하였다. 또한 저크 역시 기존 0.9m/s^3 에서 0.455m/s^3 로 개선되어 기준을 만족하였다. 그 외 제동시험들은 모두 제동시험기준을 만족하였다.

(나) 제동 Total blending 로직 적용

110km/h 에서 제동 6노치로 토털블렌딩 적용 검증효과를 철도연, 로템, 유진기공의 상호협조하에 시험하였다. 토털블렌딩 적용효과를 확인하기 위하여 철도연 제안으로 MPS 5번과 6번(12번 대차)을 차단시키고 제동시험을 실시하였다. 제동압 검토결과, 12번 대차에 회생제동이 동작하지 않음에도, 해당 대차에 작용하는 공기제동력이 다른대차와 비슷하게 작용함을 확인하였고, 이는 해당 대차의 전기제동력을 다른대차에서 분담했기 때문이라고 판단된다. 상기의 검토결과를 토대로 토털블렌딩이 제대로 적용되고 있음을 확인할 수 있었다.

(다) 제동캘리퍼/디스크 국산화 적용 및 WSP(Wheel Slide Protection) 국산화

차륜디스크의 경우 MC 차량에 적용하여 10만km 시험 결과, 표면상태가 양호함을 확인하였으며, 제동 캘리퍼의 경우 M4 차량 후위대차에 국산품을 1차 적용하였으나 ('13.4) 내부 스프링 이탈로 인한 다이아프램 누설 발생으로 탈거하였다. 이후 스프링시트 설계 변경 및 50만회 내구성 시험 후 2차 적용 ('14.01)하여 이후 현재까지 제동압 및 작동특성이 양호함을 확인하였다.

또한, MC차량에 기존 Knorr사의 WSP를 탈거한 후 국산품을 취부하였다. 차량 시운전에 따른 동적특성(Holding, Venting)을 확인한 결과 정상적으로 동작함을 확인하였다.

(라) 전압제어밸브 및 활주방지밸브 국산화 현차 적용

전압제어밸브는 M1 차량의 3번대차 BOU에 적용하였다. 활주방지밸브는 TC 차량의 2번대차 A축 및 M1 차량의 4번대차 A축에 적용하였으며, 정적/동적 시험결과 성능 규격을 만족하는 것을 확인하였다.

(마) 차축 디스크 국산화품 성능시험 및 적용

유진기공산업이 개발한 국산품 차축디스크에 대한 다이내모 시험 결과(철도연/현대로템 입회시험) 평균 마찰계수는 전 속도영역에서 0.3 이상으로(Wet 조건 제외) 제동계산서 상에서 요구되는 성능을 만족함을 확인하였고 온도 특성 역시 양호하게 나타났다. 430km/h 다이내모 시험 전/후로 차축디스크 표면상태를 점검한 결과 표면의 산화 외에는 특이한 크랙 등은 관측되지 않았다.

(바) 공기압축기 성능 개선

진동을 측정한 결과 현재 차세대고속열차에 장착되어 있는 Type.1의 방진고무 대비 Type.2 와 Type.3 적용 시 진동가속도 RMS 값을 기존 0.7 G에서 0.05 G 수준으로 저감할 수 있음을 확인하였다.

(2) 차량 승차감 개선

해무차량이 경부고속선 2단계 콘크리트(승차감 지수 1.7) 구간 대비 1단계 자갈궤도 구간(광명-동대구)의 승차감 저하(승차감 지수 2.7)되는 것으로 나타났다. 차세대고속열차의 2차 수직댐퍼의 댐핑계수가 KTX 대비 상대적으로 높아 선로 불규칙이 차체에 진동으로 더 많이 전달되고 있는 것으로 추정되었다. (KTX 감쇄계수 : 0.02MNs/m, 차세대고속열차 감쇄계수 : 0.03MNs/m)

본 연구를 통하여 승차감 개선 요소를 도출하고 조치를 취하여 KTX-산천 수준의 승차감 수준이 될 수 있도록 개선하였다.

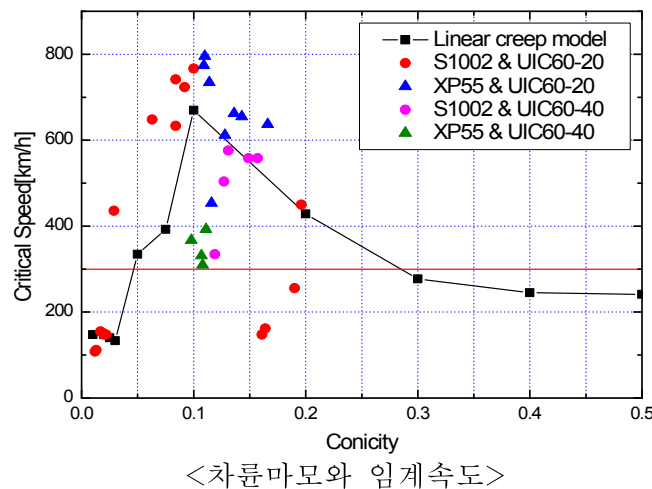


(3) 주행안정성(차간 횡댐퍼 등 적용) 개선

증속시험 과정에서 발생한 후미진동 저감을 위한 현가장치에 대한 최적화가 필요하였다. 주행안정성에 가장 크게 영향을 주는 부분은 안티요댐퍼의 계수이며, 이를 이용하여

후부차량의 안티요댐퍼 계수를 130% 증가시켜 후미진동을 저감하려 하였다. 향후 인자들을 조합하여 최적화를 수행하였으며, 이는 더 높은 속도에서의 주행안정성을 보장할 것으로 예상되었다.

후미차량 요댐퍼 4개를 제거하고 시험을 수행한 결과 후미 MC 차량의 임계속도가 220km/h에서 270km/h까지 개선 효과가 있었다. 또한 요댐퍼의 설치각도 β 를 7.35도에서 0도로 변경하는 것을 Vampire로 해석한 결과 임계속도의 증가가 예측되었다. 실제 현차 적용시 후미차량 횡진동이 점진적으로 개선됨을 확인할 수 있었다. 열차 차량의 현 상태 마모 형상을 파악하여 해석 입력 자료로 활용하였다. 현 상태의 S1002 및 XP55 측정하였다. 해석 결과 등가답면구배 0.1~0.2 사이에서 임계속도가 높은 것으로 나타났다.



요댐퍼의 설치각도 β 를 7.35도에서 0도로 변경한 것과 차륜마모에 따라 답면구배 (Wheel conicity)가 0.1 ~ 0.2 사이의 값이 되어 임계속도가 높아진 것으로 사료된다.

주행거리에 따른 후미진동의 경향을 파악하여 각각 다르게 감쇄 방법을 적용하였다. 증속시험 시에는 양방향 요댐퍼 설치, 차간 연결댐퍼 설치, 요댐퍼 댐핑계수 증가 등의 방법으로 임계속도 상승시켰고 안정화시험 시에는 횡방향 감쇄력 저감(요댐퍼 4개 제거, 요댐퍼 각도 변경) 및 차륜형상(S1002→XP55) 변경 등의 적용으로 임계속도를 향상시켰다.

(4) 공력 성능 개선

(가) 대차커버 설치

반영구형 대차커버를 기존에 설치된 편성차량 양쪽 끝부분 대차 2기에 추가로 중간 10기의 대차에도 적용하여 설치하였다. 기존 경부선에서의 TC 선두 주행에 비교했을 때, 상부 페어링 제거와 하부 에어댐 설치의 효과에 더하여 측면 대차 커버 설치의 호남선에서 MC 선두 주행으로 약 7%, TC 선두 주행으로 약 10%의 공기저항 저감 효과를 나타냈다. 대차커버 설치 후 시운전 중 별도의 대차커버 탈락이나 손상의 발생은 없었다.

(나) 차간 에어댐 설치

하부구조물 유동유입 차단을 통한 동압감소로 약 4%의 공기저항 저감을 예상하였고, 실제 주행저항 개선사항은 에어댐 취부 후 호남고속선 시험 시 타행시험을 통해서 확인한 결과 약 1%의 개선을 확인하였다.

(다) 선두부 대차스커트 개선

선두부 대차스커트의 장착 유무에 따른 주행저항 효과 분석 결과 선두부 대차스커트에 의하여 약 3.8%의 주행저항 저감 효과가 있음을 확인하였으며, 향후 고속차량 제작 시 선두부 대차커버의 장착을 반드시 고려해야 함을 확인하였다.

(5) 소음 성능 개선

차량 연결 부분의 실내외 소음 저감 방안에 대한 차량 주행 시 소음 측정을 통해서 벨로우즈 및 사이드베리어의 효과를 확인하였다.

페어링 부착을 통해서 차량 연결부분에서 발생하는 실내소음이 저감되는 것을 확인해 볼 수는 있으나, 그 결과는 크지 않음을 확인 할 수 있다. 그리고 사이드베리어를 설치했을 경우에는 차량연결부에 유입되는 유동을 막아주어, 소음을 크게 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 실제 차량연결부의 실외소음을 저감하기 위해서는 유동의 유입을 완전히 차단할 수 있는 사이드베리어가 효과적임을 확인할 수 있었다.

(6) 집전 성능 개선

(가) 판토그래프 세미액티브 제어

판토그래프 압력제어 최적화 적용 결과 속도별 압상력을 제어하는데 성공하였고 집전 성능 역시 국제 기준치를 만족하는 것을 확인하였다. 판토그래프 세미액티브 제어 전 대비 평균접촉력 향상 및 이에 따른 최소접촉력 향상으로 이선아크 특성을 향상시킬 수 있었다. 세미액티브 제어장치(PACU) 적용 이후 관련 경/중고장 발생은 한번도 없었으며, 충분한 신뢰성이 확보되었다고 판단된다.

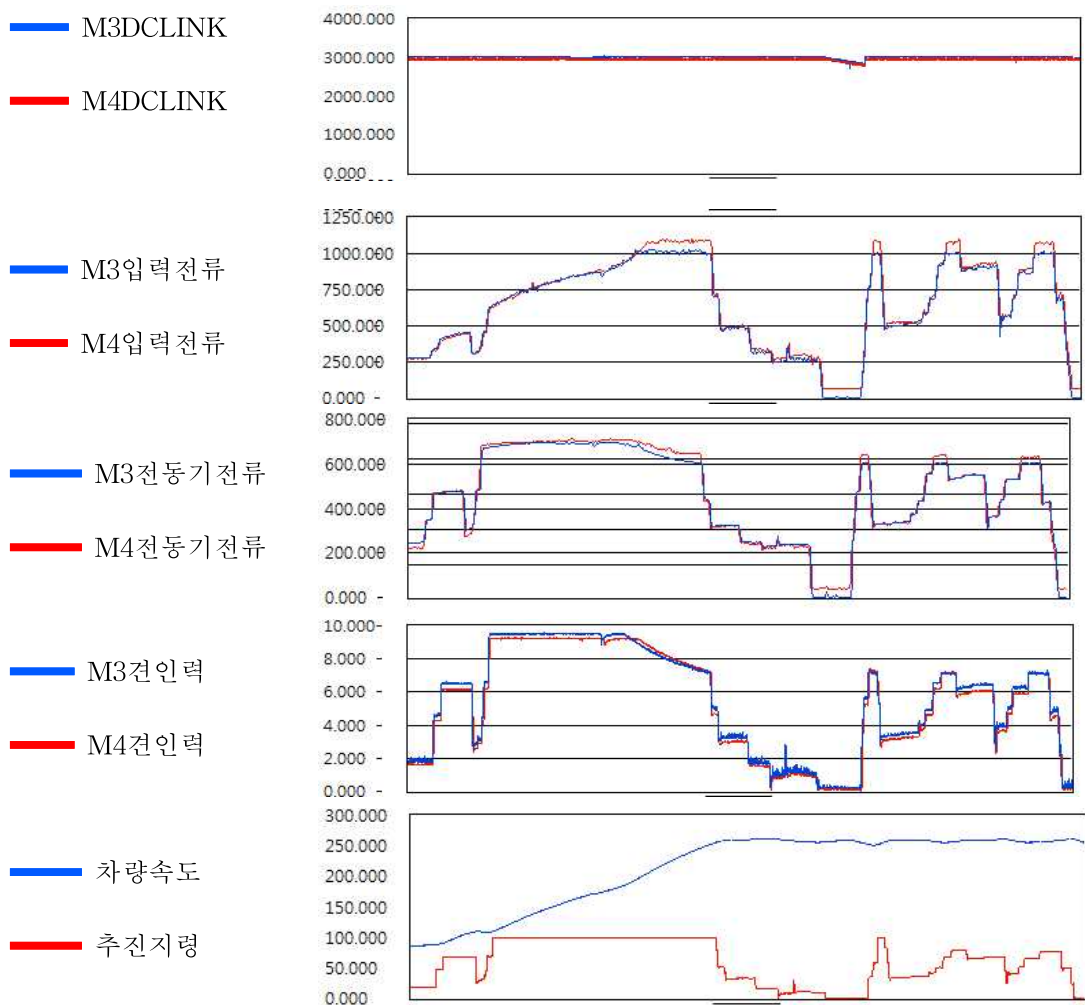
<경부고속선 300km/h 주행 시 접촉력 측정 결과>

항목	기준 (N)	결과 (N)				비고
		판토제어(X) 경부2단계 300km/h	판토제어 경부2단계 300km/h	판토제어(X) 경부1단계 300km/h	판토제어 경부1단계 300km/h	
평균접촉력(Fm)	< 200	130.7	164.9	134.6	174.6	OK
통계적 최소접촉력(Fm-3σ)	> 0	17.5	22.1	8.9	27.8	OK
통계적 최대접촉력(Fm+3σ)	< 350	243.9	307.7	260.4	321.4	OK
분석구간 평균속도 (km/h)		299.4	294.9	297.7	298.9	

(7) 추진 성능 개선

(가) 주전력변환장치 성능 개선

추진성능 개선사항 적용에 따른 M3 차량과 M4 차량의 추진시스템 특성을 비교하였다. M3 차량의 경우 주전력변환장치의 DC LINK 전압을 3000V로 상승하였으며, M4 차량의 경우 DC LINK 전압과 견인전동기의 용량을 470 kW로 증가시켰다. 아래 그림의 파형과 같이 DC LINK 전압은 M3와 M4가 기존의 2,800 V에서 3,000 V로 상향조정되어 출력되고 있으며 정상적으로 동작하고 있음을 확인하였다.



<MPS 제어 특성 분석>

(8) 차상신호장치 신호처리보드 개선

차상신호장치는 신호처리보드 중 불연속신호처리보드 및 알고리즘 개선, PTB(출발전 신호보드)개선 및 로직개선, ATS OSC 보드개선 및 발진 출력증가를 통하여 차상의 신호처리가 안정적으로 수행됨을 확인하였다.

(9) 보조전원장치 성능 개선

(가) DC link단의 리플 저감

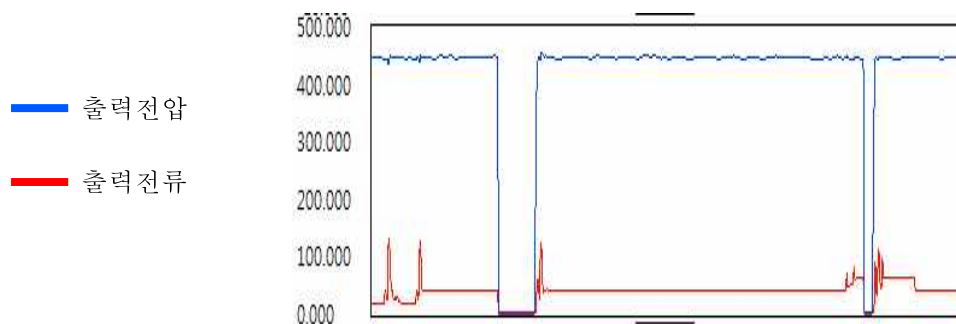
차량의 중점검 기간 중 개선품 배터리 충전장치 및 보조전원장치의 취부를 진행하였으며 공장내 기동 시험을 통해 안정적인 동작을 확인하였다. 또한 148~150회차 본선시운전을 통해 안정적인 전원 공급을 확인 하였다.

리플저감대책을 위한 관련 부품의 추가 및 변경으로 인하여 보호회로 동작조건에 대한 기준값의 재설정이 필요하였다. 기준값이 변경된 항목은 다음과 같다.

○ 기준값 변경 항목 : 입력 과전압, DCLINK 과전압, DCLINK 과전류, 출력 과전류

(나) 기동시간 단축(12초 → 8초)에 따른 APS의 주행중 특성

다음 파형은 기동시간이 단축된 APS 장치의 입력전압 및 입력전류의 특성을 나타내고 있다. 전류의 변화는 운행중 부하에 따라 변화하지만 출력 전압은 약 450V(RMS)을 유지하고 있으며 전류는 최대 100A(피크값)값을 나타내고 있어 정격전류(236A) 내에서 안정적으로 동작하고 있음을 확인할 수 있으며 APS의 기동시간 단축을 위한 알고리즘 적용시에도 정상기능을 유지하고 있음을 알 수 있다.



<APS 출력 전압 및 출력 전류 파형>

(10) 주회로 차단기 개선

조작기 및 Actuator(PMA)의 기계적 구조를 단순화하였다. 복잡한 전자부품으로 이루어진 컨트롤러를 사용하지 않고 차량으로부터 제어신호를 받아 ON/OFF 동작을 수행하여 고장 원인을 제거하였다. 기존 개방식 커버 구조를 밀폐식 구조로 설계하였다.

성능시험 절차서에 따른 단품의 형식시험 결과 이상이 없는 것을 확인하였다. Actuator의 Holding force 측정시 기존 PMA force 대비 대략 30% 저감하도록 설계되어 기존 코일의 Holding force가 270~330kgf인 반면 개선 코일의 Holding force는 200kgf 수준이다.

다. 1, 2단계 사업 개선된 기술적 성과

차세대고속철도기술개발 사업은 2단계로 진행되었으며, 1단계는 분산형 고속열차 차량 개발에 관련된 연구로 “차세대고속철도기술개발(2007.7.31.~2012.9.30.)”이며, 2단계 사업은 개발된 차량의 안정화와 관련되어 이번에 수행된 연구로 과제명은 “430km/h급 고속열차 (HEMU-430X) 실용화 기술개발(2012.11.28.~2015.12.27.)”이다. 1, 2단계에서의 주요 기술적 성과를 요약하면 다음 표와 같다.

<개선된 기술적 성과>

주요성능		1단계	2단계	비고
제동성능	제동장치 부품국산화	수입품	국산화	제동캘리퍼, 휠디스크, 활주제어장치, 전압제어밸브, 차축디스크
	제동제어 로직 개선	차량단위 전기제동	편성단위 전기제동	공기제동 사용 최소화로 제륜자마모저감
	공기압축기 성능개선	0.7G	0.05G	방진고무 개선으로 진동저감
승차감	승차감 지수	2.77	1.9	승차감 개선 요소 도출 및 적용
주행안정성	후미차량 횡가속도	0.66m/s ²	0.24m/s ²	댐퍼 개수 및 위치 변경, 차륜답면형상 변경 등
공력성능	대차커버 설치	전후부 2기 설치	중간차량 10기 추가	주행저항 7% 저감
	차간 에어댐 설치	미적용	적용	주행저항 1% 저감
	선두부 대차스커트 개선	-	취부 개선 설계	취부 개선 설계 적용으로 안정성 향상
소음성능	통로연결막 개선	기존품	개선품	외부소음 8~12dB 감소
	사이드베이어러 신규 설치	미적용	적용	차간연결부 와류 발생 억제 통해 소음 8~10dB 감소
집전성능	판토그래프 세미 액티브 제어적용	미적용	적용	적용 후 이선아크 0.18% 개선, 최소집촉력 향상
	집전판 경량화	6.4kg	4.8kg	집촉력 표준편차 약 5N 개선
추진성능	DC-Link 전압 상승	2,800V	3,000V	MPS 출력제어 신뢰성 향상

3. 차량 안정성 및 신뢰성 평가

가. 차량 안정성 및 신뢰성 평가 개요

(1) 신뢰성 요구조건 설정

모든 시스템 및 보조시스템의 신뢰성을 신뢰성 성장률(α) 기준에 따라 시험되고 평가되어야 하며, 전체 열차의 신뢰성 성장률이 0보다 큰 것을 목표로 한다($\alpha > 0$). 또한, 검사, 유지보수 혹은 고장 수리의 빈도와 관련하여 부품의 상대적 접근 용이성에 대한 타당성을 가져야 하며, 특히 제동, 신호 및 속도 제어 장치 등 모든 중요 장치는 근본적으로 다중화계(redundancy)로 구성되거나 혹은 여유 용량을 확보해야 한다.

(2) 시스템 분류

차세대 고속열차의 서브시스템을 다음과 같이 6개로 분류하였다.

- 추진 및 전기제동 시스템
- 운전시스템과 열차제어 및 통신시스템
- 주행 및 기계제동 시스템
- 편의시설 시스템
- 보조전원 시스템
- 공압시스템

나. 고장특성 분석 및 주요장치 고장 모니터링

(1) 고장정보 분석 개요

(가) 개요

- 운행구간 : 부산에서 광명, 광주송정까지 고속철도 운행선로
- 주행거리 : 총 누적주행거리 121,123km(총 229회 시운전시험) 중 신뢰성분석 주행거리는 100,190km (174회의 시운전시험)
- 고장정보
 - 6개의 서브시스템으로 분류하여, 운행 시 나타난 고장에 대한 분석을 수행
 - ※ 본 보고서의 고장은 운행 중 발생한 장치의 불량으로 즉각적으로 수리가 필요한 경우나 순간적인 오작동 후 정상 작동한 경우 등을 포함함
- 분석방법
 - 시운전 시험 중 작성된 시운전 시험 일지, TDCS 정보
 - 시스템별 고장정보검토 수행

<시스템 고장정보검토 기관>

대상시스템	검토기관	대상시스템	검토기관
전체 차량시스템	한국철도기술연구원	APS, BACH	(주)팩테크
MPS, 견인전동기	현대로템(주)	ATP, ATS, ATC	LS산전(주)
MCB	(주)비츠로테크	주변압기	국제전기(주)
제동시스템, 판토틀레프	유진기공업(주)	통로연결막, 갱웨이, 싸이드베리어	(주)신형이앤지
차량진단제어시스템	인터콘시스템스(주)		

(2) 고장특성 분석

(가) 주요 고장특성 분석

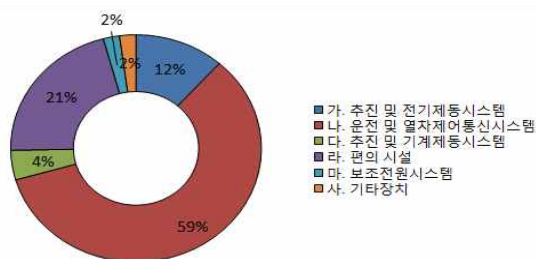
차세대고속열차의 6개 서브시스템 및 기타장치에서의 고장은 총 95개가 발생하였으며, 공압 시스템에서는 고장이 발생하지 않았다. ATS의 경우 초기 안정화되기 전에는 장애가 많이 발생하였으나, 60,000km 이후에는 안정화되어 전혀 장애가 발생하지 않았다. 아래 표의 괄호 안에 표시한 숫자는 ATS 튜닝 과정의 장애까지 포함한 것이다. ATC, ATP의 경우에도 초기 튜닝 단계에서 장애가 많이 발생하였고 안정화가 완료된 후에는 장애가 발생하지 않았다. 2차년도 종료 직전 열차를 공장에 입고하여, 한달간 전체 시스템에 중점검을 실시하였고, 이후 3차년도에는 고장의 발생건수가 현저히 감소하는 경향을 보였다.

<주요 고장 특성 분석>

시스템 분류	고장 수	분포율	주요 원인
가. 추진 및 전기제동 시스템	11	11.6(9.2) %	MCB
나. 운전 및 열차제어통신 시스템	56(81)	58.9(67.5) %	ATS, ATC, ATP 안정화
다. 주행 및 기계제동 시스템	4	4.2(3.3) %	ECU 오류
라. 편의시설 시스템	20	21.1(16.7) %	방송장치
마. 보조전원 시스템	2	2.1(1.7) %	APS 출력과전류
바. 공압 시스템	-	-	-
사. 기타장치	2	2.1(1.7) %	대차커버 탈락, 감속기누유
총 합	95(120)	100 %	

(나) 주요 내용

전체 차세대고속열차 시스템에서 고장발생비율은 운전시스템과 열차제어 및 통신시스템에서 가장 많은 고장이 발생했으며, 편의시설시스템과 추진 및 전기제동 시스템, 보조전원시스템 순으로 고장이 발생하였다.



<세부 시스템별 고장 발생 분포도>

다. 고장을 분석 및 고장 유형별 시스템 영향 검토

(1) 고장을 분석

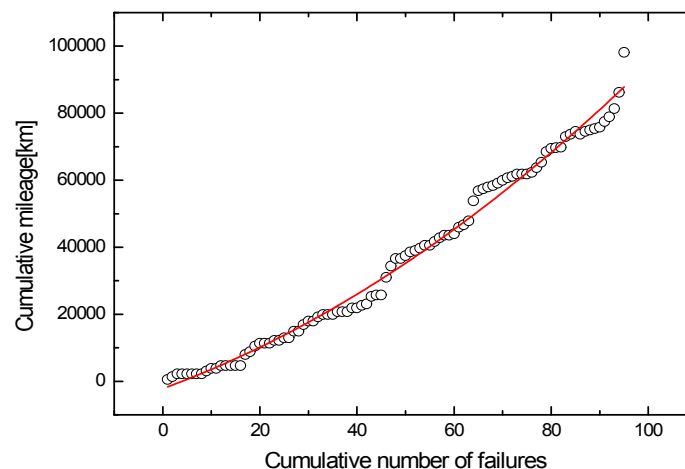
(가) 전체 시스템 고장발생 추이분석

누적고장발생비율에 따른 누적주행거리를 통해서 주행에 따른 고장발생의 추이를 검토하였다. 초기 ATS를 튜닝할 때의 장애정보는 분석에서 제외하였다.

전체시스템에 대한 고장발생 추이를 분석한 결과를 살펴보면 전반적으로 고장발생의 추이가 거리에 따라서 상승하고 있음을 확인할 수 있다. 이 때 전체 시스템의 고장발생 추이는 아래와 같은 2차 함수로 나타낼 수 있다.

$$Y = 4.4x^2 + 526.4x$$

(위 식에서 Y는 누적주행거리(km)를 의미하며, x는 누적고장수를 의미함)



<전체시스템의 고장발생 추이 분석>

라. 신뢰성시험 및 분석

(1) 신뢰성 분석 개요

차세대 고속열차의 신뢰성이 성장하는 것을 목표로 하고 있으며, 이에 대한 검증은 시운전 중에 신뢰성 성장률이 0보다 큰 것으로 판단한다($\alpha > 0$).

(2) 신뢰성 분석 이론

(가) 검증 방안

차세대 고속열차의 신뢰성 성장률이 0보다 커야하며($\alpha > 0$), 이에 대한 검증은 시운전 중에 신뢰성 성장률을 계산하여 그 값으로 판단한다.

(나) 신뢰성 성장 모델

신뢰성 성장은 고장의 근본 원인을 제거하여 신뢰도를 개선함으로써 시스템의 안정화를 앞당기는데 목적이 있다. 일반적으로 철도차량의 신뢰성은 고장에 의한 지연 없이 얼마만큼 운행하느냐로 평가하기 때문에 차세대 고속열차의 신뢰성을 평가하는 척도로 평균서비스주행거리 또는 이의 역수인 고장률을 사용한다. 신뢰성 성장을 평가하는 여러 모델 중 개발되는 시스템과 같이 MKBSF(Mean Kilometer Between Service Failure)의 성장 또는 고장률의 개선이 지속적인 경우에는 Duane의 신뢰성 성장 모델과 Crow-AMSAA 방법을 사용할 수 있다. 본 연구에서는 Duane 모델을 통해서 신뢰성 분석 성장률 분석을 수행하였으며, 추가적으로 Crow-AMSAA 방법을 통한 검토를 수행하였다.

(다) Duane 모델

Duane 모델은 누적고장률이 시간에 따라 지수적으로 감소한다고 가정한다.. 이를 수식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{\lambda} = \frac{n}{K_a} = aK_a^{-\alpha}$$

위 식에서, n = 발생한 총 고장 수

K_a = 시험 기간의 누적 주행거리

$\bar{\lambda}$ = 평균 누적고장률, 횟수/주행거리

α = 신뢰성 성장 기울기(reliability growth slope)

a = 신뢰성 시작 시점의 누적고장율, $a > 0$

이에 상응하는 MKBF의 성장모델은 다음과 같다.

$$MKBF = \frac{K_a}{n} = bK_a^{\alpha}$$

이 식에서 $b=1/a$ 이며, 식 양변에 로그를 취하면 다음과 같이 표현된다.

$$\log \bar{\lambda} = \log a - \alpha \log K_a$$

위 식에서 log-log 그래프 상에서 보면 고장률은 $-\alpha$ 의 기울기를 가지는 직선이 되며, 마찬가지로 MKBF 식에 대한 양변에 로그를 취하면 다음과 같다.

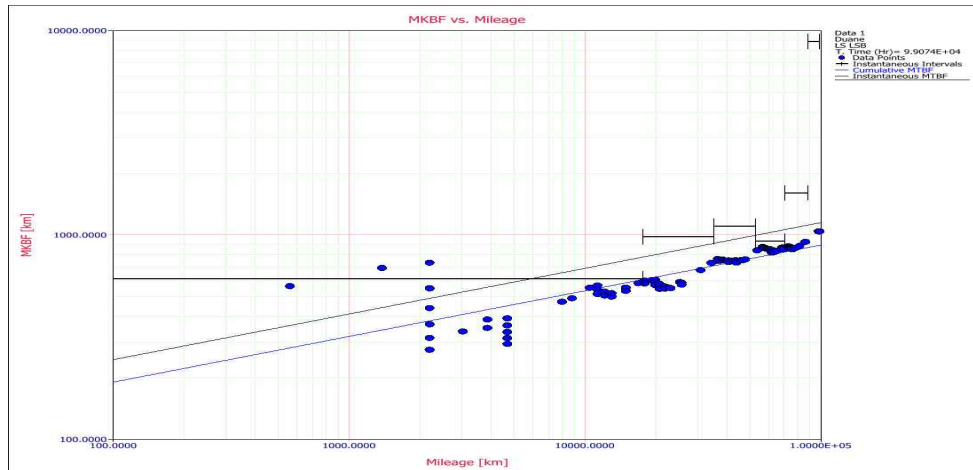
$$\log MKBF = \log b + \alpha \log K_a$$

따라서 MKBF와 주행거리를 log-log 그래프 상에 그리면 Duane 모델에 대한 성장률을 검토할 수 있다.

(3) 신뢰성 성장률 분석

(가) 전체 시스템

① 신뢰성 성장률 검토



<Duane 모델에 의한 전체 차량 시스템의 신뢰성 성장률 분석 결과>

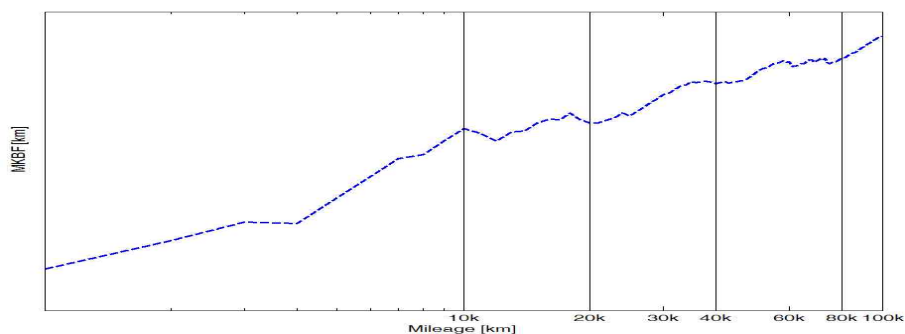
시운전 중에 발생한 고장을 바탕으로 차세대 고속열차의 전체 시스템에 대한 신뢰성 성장률을 분석한 결과, Duane 모델을 바탕으로 신뢰성 성장률은 0.2234로 나타났다.

② 구간별 신뢰성 성장률

차세대 고속열차 10만km 주행거리에 대한 신뢰성 성장률은 증가하고 있으며, 최종 3만km에 대한 신뢰성 성장률은 0.42로써 KTX-산천 시제차량(HSR-350X) 보다 높다. (KTX-산천 시제차량(HSR-350X)은 0.35임)

<누적주행거리에 따른 신뢰성 성장률>

누적주행거리	~2만km	~4만km	~6만km	~8만km	~10만km
HEMU-430X	0.52	0.27	0.37	0.32	0.54
KTX-산천 시제차량 (HSR-350X)	-	0.16	0.015	0.31	0.42



<누적주행거리에 따른 MKBF>

마. 안정화 수준 분석

(1) 안정화 수준 현황

(가) 정시운행을

시운전 운행시간 계획대비 5분 이상 운행 지연을 초과한 경우는 6건이었다.

- 정시운행율: 96.6 %
- 주회로 차단기 작동불량 3건, 유도전동기 고장 1건
- 대차커버 탈거 1건, 차량장치 점검 1건

(나) 장애원인 분석결과

① 주회로차단기

㉠ 주요 고장 이력

	발생일	위치	발생 현상	발생 위치	운행 장애
1	2013.9.5.	MC	고착	부산역 출발전	시운전 취소
2	2013.11.7.	M4	이상 작동	광명기지 출발전	시운전 취소
3	2013.12.12.	MC	투입 불가	가선변경구간	시운전 취소

㉡ 장애원인 분석

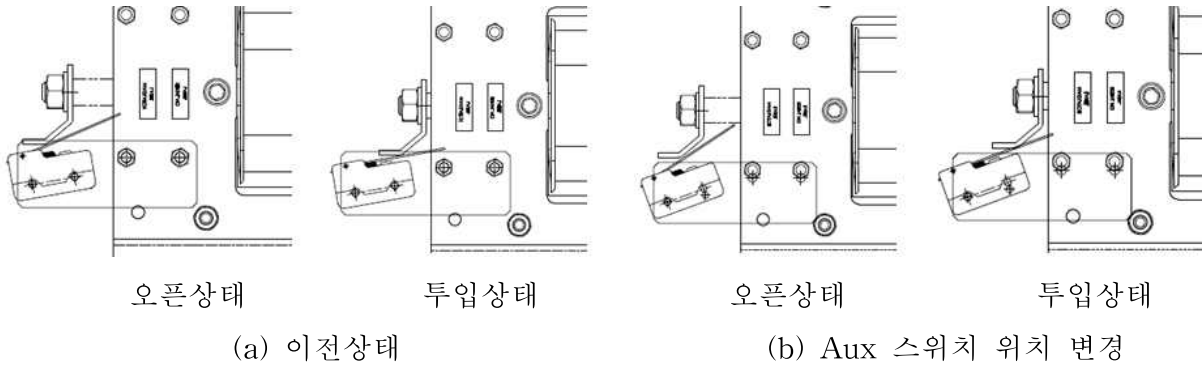
- Aux스위치 파손으로 인한 점점의 신호 불량으로 차단기 동작 불량 발생 : 점점 상태 신호 미인식으로 동작 불량
- Aux스위치 교체 : M1/M4/Mc Car
- 컨트롤러의 상태점점을 차량에서 제어함
 - : 투입지령 (차단기 오픈상태에서 상태점점을 사용하며, 투입지령시 동작, 동작 지령 65ms 신호유지)
 - : 오픈지령 (차단기 투입상태에서 상태점점과 무관하게, 오픈지령시 동작, 동작 지령 65ms 신호유지)

㉢ 개선 대책

- 컨트롤러 상태점점을 차량측으로 옮겨 차량에서 제어
 - 컨트롤러 상태점점을 차량 릴레이를 이용한 제어로 Aux스위치의 파손에도 동작가능하도록 변경
- Aux스위치 변경
 - Aux스위치가 조작기에 취부되어 설계상 3mm의 여유를 가지고 있으나, 차량에서 동작시 진동이나 충격에 의해 동작시 동작브라켓과의 간섭으로 Aux스위치가

파손된 것으로 판단됨

- 개선 : Aux스위치의 위치 변경으로 여유 공간 확보 (취부 브라켓 위치변경, Aux스위치의 취부 각도 변경)



<주회로차단기 개선>

② 유도전동기

㉠ 주요 고장 이력

	발생일	위치	발생 현상	발생 위치	운행 장애
1	2014.1.14.	MC	차량하부 이상소음	부산기지-부산역	시운전 취소

㉡ 장애원인 분석

- 유도전동기 그리스 부족으로 인한 전동기 베어링 손상

㉢ 개선 대책

- 유도전동기 그리스 교체시기 및 주입량을 유지보수 매뉴얼에 추가하고 주기적으로 관리함
- 그리스 교체시기 및 운행거리
 - 교체시기 : 4개월 또는 20만km
 - 주입량 : 구동축 및 반구동축 각 10g

③ 대차커버

㉠ 주요 고장 이력

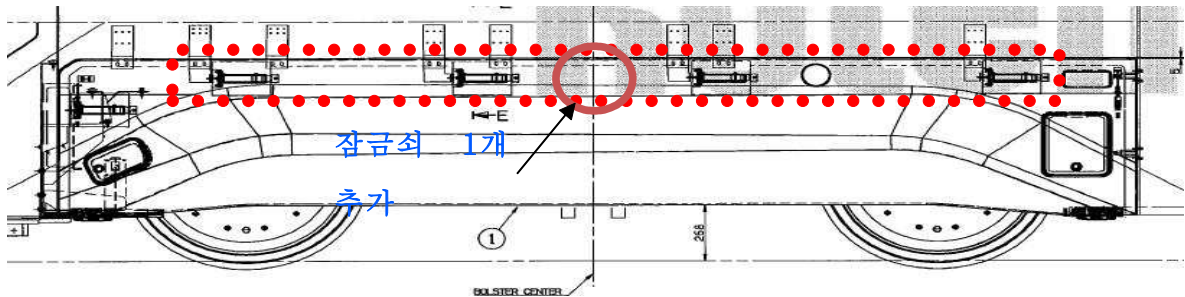
	발생일	위치	발생 현상	발생 위치	운행 장애
1	2014.10.15.	MC	대차커버 탈락	울산-신경주	시운전 단축

㉠ 장애원인 분석

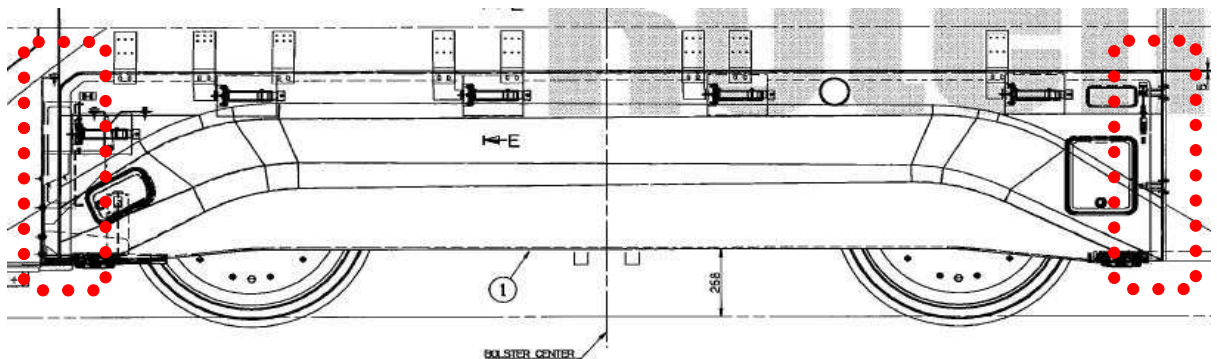
- MC 차량 좌측 대차커버 탈락됨. 해당 커버는 총 4개의 잠금쇠를 가지고 있음. 이중 끝단의 잠금장치 브라켓 1개소가, 운행 중 풍압 및 진동 등에 의해 이완되어 체결 상태 불량으로 탈락된 것으로 추정됨

㉡ 개선 대책

- 커버 잠금쇠 개소 증대 (4EA → 5EA)

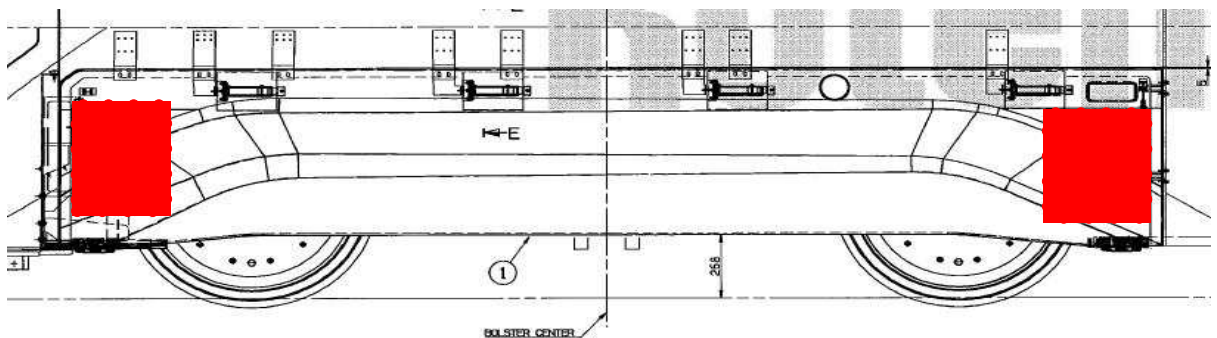


- 커버 양편에 브라켓을 추가 설치하여 커버의 강제 구속



※ 커버와 브라켓은 로브 스크류 등으로 강제 체결

- 브라켓 탈거 및 상태 확인을 위한 점검구 설치



④ 차량장치 점검

- 광명 주박기지 내 차량점검을 위한 시운전 운휴 1건(2014. 9. 25)

(다) 안정화 수준 분석

안정화 수준 분석은 시운전 시험 운행 전체 횟수 중 장애가 발생한 횟수를 고려하여 다음과 같이 계산하였다.

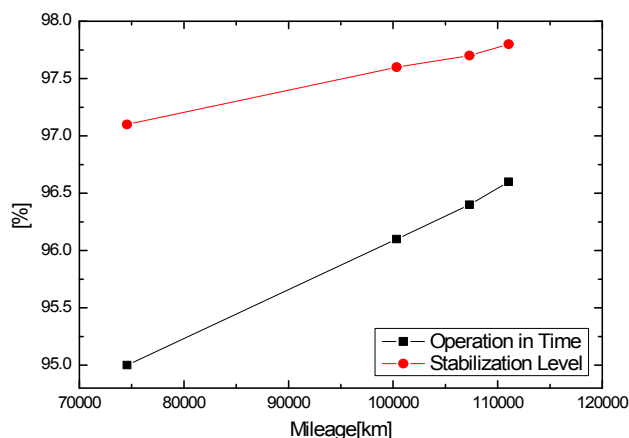
$$\bigcirc \text{ 장애발생율}(\%) = \frac{\text{장애발생일}}{\text{시험운행일}} \times 100$$

$$\bigcirc \text{ 안정화수준}(\%) = 100 - \text{장애발생율}(\%)$$

주요장치별 안정화 수준현황은 다음의 표와 같다. 동일 시험일자 내에 중복발생 고장은 고장수에서 제외하였으며, 각 주요 장치에 대한 가중치는 동일하게 고려하여 계산하였다. ATS의 경우 초기 안정화되기 전에는 장애가 많이 발생하였으나, 60,000km 이후에는 안정화되어 장애가 발생하지 않았다. ATC 초기 신호 장애는 주로 불연속 신호처리에 있어 검지 지연의 문제였으나 불연속보드 개량 이후에는 ATC 신호처리에 있어 더 이상의 장애는 없었다. 다만 불연속보드 개량 이후 발생한 ATC 장애는 차량의 제어 스위치 오취급에 의해 발생한 건수를 포함한 내용이다. 정시운행율과 안정화 수준의 변화 추이는 아래 그림에 나타내었다.

<주요 장치별 안정화 수준 현황>

주요 장치	장애발생일	장애발생확률	안정화수준
주회로 차단기	10	5.7 %	94.3 %
주전력 변환장치	0	0.0 %	100.0 %
유도전동기	1	0.6 %	99.4 %
제동시스템	3	1.7 %	98.3 %
판토타그래프	0	0 %	100.0 %
차량진단제어시스템	0	0 %	100.0 %
보조전력 변환장치	2	1.1 %	98.9 %
배터리 및 충전기	0	0 %	100.0 %
신호시스템 (ATS, ATP)	15	8.6 %	91.4 %
신호시스템 (ATC)	11	6.3 %	93.7 %
주변압기	0	0 %	100.0 %
종합			97.8 %



<정시운행율 및 안정화 수준 변화 추이>

바. 신규 종합성능지표 개발

(1) 다양한 분야 신뢰성 분석 사례 조사 및 검토

소프트웨어공학 외에도 토목공학, 기계공학 등 다양한 분야에서 신뢰성분석에 대한 연구가 진행되고 있다. 실제 시스템들은 다양한 구성요소로 이루어져있고 그 상호작용 또한 복잡하기 때문에 이를 적절히 반영하여 전체 시스템의 신뢰성을 계산하는 방법에 대한 논의가 활발히 있어왔다. 아래 소개하는 두 방법론은 이러한 노력들의 예이며 어느 한 분야에 국한되는 방법론이 아니라 실제 다양한 분야에서의 신뢰성분석에 광범위하게 활용될 수 있는 일반적인 방법론이다.

(2) 동력분산형 고속열차 시스템기반 신뢰성 분석

(가) 동력분산형 고속열차 시스템 개체별 신뢰성 성장 모델 검토

8가지의 신뢰성 성장모델의 주요 특성을 다음 표에서 요약하고 서로 비교하였다.

<신뢰성 성장모델의 주요 특성>

모델종류		입력 데이터	총 고장수	고장률에 대한 가정	비고
지수분포 모델	비제차푸아송 모델	- 각 시험운행구간의 고장 수 - 각 시험운행구간의 시간	유한함	단위시간당 발생하는 고장 수가 푸아송분포를 따름	고장강도함수가 시간이 흐름에 따라 반드시 감소함
	Schneidewind 모델	각 시험운행구간의 고장 수	유한함	현재 고장률이 과거의 고장률보다 더 높은 예측성을 가짐	시험시간에 따라 고장률의 변화율이 큰 경우 유용함
	Hyper-exponential 모델	- 각 시험운행구간의 고장 수 - 각 시험운행구간의 시간	유한함	시스템의 각 구획이 각기 다른 고장 양상을 가짐	고장강도함수가 시간이 흐름에 따라 반드시 감소함
와이블 및 감마분포 모델	와이블 (Weibull) 모델	- 각 시험운행구간의 고장 수 - 각 시험운행구간의 시간	유한함	단위시간당 발생하는 고장 수가 와이블분포를 따름	모수를 조정하여 다양한 경우에 폭넓게 적용할 수 있음
	S-shaped 신뢰성 성장 모델	고장이 발생한 시간 또는 각 시험운행기간에서 발생한 고장 횟수	유한함	단위시간당 발생하는 고장 수가 감마분포를 따름 신뢰성이 S자 모양으로 성장함	신뢰성 성장과정이 초기의 학습단계, 중기의 가속화단계, 후기의 둔화단계를 따름

무한한 고장횟수 가정모델	Duane 모델	- 고장이 발생한 시간 또는 연속 한 두 고장 사 이의 경과시간	무한함	단위시간당 발생하는 고장 수가 푸아송분포 (또는 와이블분포)를 따 름	모수에 따라 신뢰성 이 증가할 수도, 감 소할 수도 있음
	기하분포 모델	- 고장이 발생한 시간 또는 두 고장 사이의 경 과시간	무한함	두 고장 사이의 경과시 간이 지수분포를 따름 분포의 평균이 고장이 발견될 때마다 감소	더 먼저 발견된 고장 이 고장률을 감소시 키는 데 더 큰 영향 을 미침
베이지언모델		- 발견된 고장의 개수 - 고장이 감지되 지 않은 기간	•	고장이 감지되지 않은 기간이 길어질수록 신 뢰성이 높아짐 각 고장이 신뢰성에 미 치는 영향이 다름	데이터가 새로 얻어 질 때마다 확률분포 가 새로 얻어짐

(3) 신규 종합성능지표 도출 및 고속열차 시스템 적용

(가) 타분야 사례와 시스템기반 신뢰성 분석기법을 이용한 동력분산형 고속열차 신규 종합성능지표 도출

Der Kiureghian et al. (2007)이 제안한 중요도 측정 기준을 2.3에서 제안한 민감도분석방법에 적용하여 고속열차 시스템에 적합한 종합성능지표를 도출할 수 있다. 전체시스템의 신뢰성에 대한 i 번째 서브시스템의 고장률 λ_i 와 신뢰성 성장기율기 α_i 에 대한 중요도는 아래와 같이 계산할 수 있다. 이때, $\Delta\lambda_i$ 와 $\Delta\alpha_i$ 는 각각 단위비용 아래에서 해당 파라미터의 가능 변화량을 나타낸다.

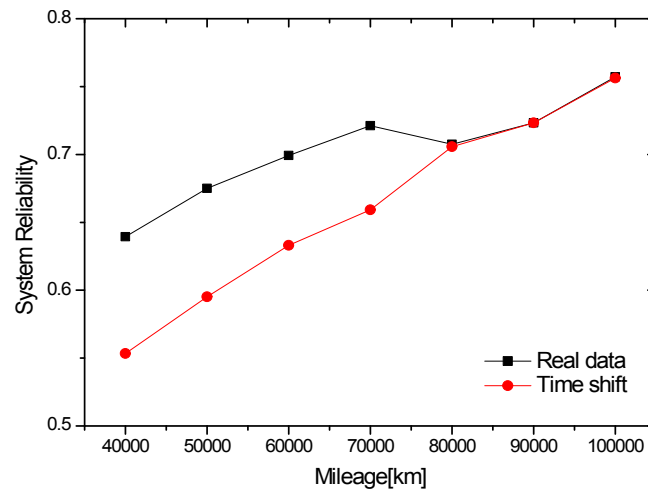
$$I_{R_{sys}, \lambda_i} = - \left(\frac{\partial R_{sys}}{\partial \lambda_i} \right) \Delta \lambda_i = - \frac{\prod_{j=1}^m (c_j^T p_j)}{c_i^T p_i} \left(c_i^T \frac{\partial p_i}{\partial \lambda_i} \right) \Delta \lambda_i$$

$$I_{R_{sys}, \alpha_i} = \left(\frac{\partial R_{sys}}{\partial \alpha_i} \right) \Delta \alpha_i = \frac{\prod_{j=1}^m (c_j^T p_j)}{c_i^T p_i} \left(c_i^T \frac{\partial p_i}{\partial \lambda_i} \right) \left(\frac{\partial \lambda_i}{\partial \alpha_i} \right) \Delta \alpha_i$$

위의 식들을 이용하여 해당 파라미터의 시스템신뢰성에 대한 중요도를 파악하고 그에 따른 시험운행과정에 대한 수정 및 보완을 수행할 수 있다.

(나) 실제데이터 적용 방법 및 결과

이상의 결과들에 대해 분산형 고속열차에 가장 적합하다고 사료되는 Hyperexponential 모델과 최대우도법을 적용하여 40,000~100,212km까지 의 신뢰성 분석하여 다음에 나타내었다. 여기서 Time shift는 ATP 고장시점을 40,000km 앞당긴 결과를 나타낸 것이다.



〈Hyperexponential 모델에 의한 신뢰도 분석결과〉

사. 차량 안정성 및 신뢰성 평가 소결론

차량 안정성 및 신뢰성 평가 연구 내용을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 동력분산형 고속열차의 차량 안정성과 신뢰성 평가를 위해 신뢰성 요구조건을 설정하고, 주요시스템을 6가지로 분류하였다. 또한 각 시스템별로 기능블록선도를 작성하였고, 이를 바탕으로 차량의 운행에 영향을 미치는 주요장치를 선정하였다.
- (2) 시운전기간 동안 주요장치의 고장이 발생하면 고장조치 보고서를 작성하고 이를 분석하였다. 또한 고장특성분석을 통하여 운전 및 열차제어통신 시스템에서 가장 많은 고장이 발생하였음을 확인하였다. 이는 신호보안장치의 튜닝 등 안정화 이전기간 동안에 집중적으로 발생한 것이었다.
- (3) 수집된 고장정보를 이용하여 신뢰성성장률(α)을 계산하였다. Duane 모델과 Cross-AMSAA 모델을 이용하였으며, 계산된 전체 시스템의 신뢰성성장률은 각각 0.2234와 0.3091로 0보다 크기 때문에 신뢰성이 성장했음을 알 수 있었다.
- (4) 동력분산형 고속열차의 시운전시 계획대비 5분 이상 지연된 경우는 6건으로 정시운행율은 96.6%였다. 또한 고속열차의 시운전 운행일에서 장애발생일의 비율을 제외한 시스템의 안정화수준은 97.6%였다.
- (5) 신뢰성성장률 외에 동력분산형 고속열차에 적용할 수 있는 신규 종합성능 지표를 개발하기 위해 다양한 분야의 신뢰성 분석사례를 조사하였다. 이중 Hyperexponential 모델이 동력분산형 고속열차에 적용 가능함을 확인하였고, 이를 신규 종합성능 지표로 제시하였다.

4. 동력분산형 고속열차 실용화 모델 연구

가. 동력분산형 고속열차 기술사양 분석

(1) 동력집중형 및 동력분산형 고속열차 기술 사양 비교

고속열차는 열차의 앞과 뒤에 동력차를 연결하여 견인하는 방식의 동력집중형과 동력을 각 열차에 분산하여 견인하는 동력분산형으로 구분된다. 동력집중형 고속열차는 동력장치를 갖춘 기관차와 동력장치가 없는 객차로 구성되며, 동력분산형 고속열차는 제어차와 차량의 일부 또는 전체에 동력장치를 갖춘 객차로 구성된다.

동력집중형 및 동력분산형 고속열차의 주요 장단점은 다음과 같다.

<동력집중형 및 동력분산형 차량 장·단점 비교>

구분	동력집중형 (Push-Pull type)	동력분산형 (Electric Multiple Unit type)
장점	- 동력장치 수가 적어 차량의 유지보수에 유리 - 객차에 동력장치가 없어 객실 소음 및 진동이 적음	- 최대 축중이 가벼워 선로 유지보수에 유리 - 승객 수 변화에 따른 유연한 열차편성으로 대량 수송이 가능 - 점착성능이 높아 가감속 성능이 우수하여 역이 많은 노선에서 유리 - 제동시 전동기 사용으로 기계제동 소모 감소 가능
단점	- 동력장치의 제한된 견인력으로 인해 유연한 열차 편성에 불리 - 신속한 가·감속이 어려워 역간 거리가 짧은 운영환경에 불리 - 역이 많은 곳에서 기계제동 소모 증가	- 동력장치가 많아 차량의 유지보수에 불리 - 객차 하부에 동력장치가 설치되어 객실 소음 및 진동에 불리할 수 있음

(2) 국내외 동력분산형 고속열차 추진 현황

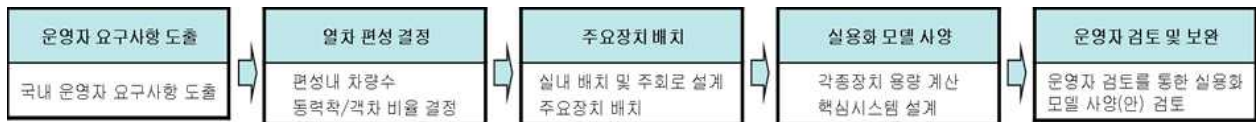
해외의 고속열차 채택은 최근 동력 동력집중형에서 동력분산형으로 변화하는 추세이며, 최근 주요 국가의 대표적인 고속철도 차량을 비교하면, 다음과 같다.

<국내외 고속철도 차량 비교>

구 분		승객수송능력 (명/편성)	편성	영업운행최고속도 (km/h)	동력방식
한국	KTX-산천	363	10량 (2M8T)	300	동력집중형
	HEMU-430X	533	8량 (6M2T)	370	동력분산형
프랑스	AGV	420~460	8량 (4M4T)	360	동력분산형
	TGV Duplex	545	10량 (2M8T)	320	동력집중형
독일	Velaro-E	485	8량 (4M4T)	350	동력분산형
일본	N700-7000	546	8량 (8M)	300	동력분산형
중국	CRH380A	494	8량(6M2T)	380	동력분산형

(3) 국내 동력분산형 고속열차 추진 배경 및 절차

국토교통부 철도산업위원회 철도차량중장기 운영계획(안)에 따라 현 철도운영자인 한국철도공사(위탁과제)에서 분산형고속열차 실용화 차량 사양(안)을 검토하였다. 대상 차량은 250km/h, 300km/h, 350km/h, 370km/h 등 다양한 속도 대역으로 실용화 편성안을 검토하였으며, 한국철도공사에서 분산형고속열차를 도입한다는 가정하에 운영자 요구사항을 도출하였다.



<실용화 모델 사양(안) 작성 절차>

나. 실용화 편성 운영자 요구사항(안) 작성

(1) 운영자 요구사항 도출 추진

2세부과제와 실용화 편성에 대한 회의 및 검토를 수행하였고, 운영자 측면에서 검토 의견을 송부, 설계(안)에 반영토록 하였다. 주요 검토 사항은 다음과 같다.

<실용화 편성 검토 주요 사항>

구분	검토내용	검 토 의 건
1	차량의 종류 구분	차량은 제어차(Tc차), 구동차(M차) 구분하였으나, 집전장치가 탑재된 차량을 포함하여 다음과 같이 구분 필요 - 제어차(Tc차) : 운전실이 있고 보조전원장치가 탑재되어 있으며, 견인 동력이 없는 차량 - 구동차(M차) : 견인동력이 있는 차량 - 구동차(M'차) : 견인동력이 있고 집전장치가 탑재된 차량
2	기본사양(안), 기기배치(안)	- 기본 사양의 객실 설비의 배치와 편성별 기기배치(안) 내용이 일치하지 않음(장애인화장실, 수유실 등)
3	기본사양 추진시스템	- 견인전동기 속도대별 용량 검토 요청 - 추진시스템(주 변압기, 추진제어장치, 견인전동기, 보조전원장치) 재검토 및 용량 계산 근거 검토 필요
4	기본사양 차량 성능	- 300km/h, 350km/h, 370km/h급의 차량 성능(최대견인력, 상용최대회생 제동력, 비상최대회생제동력) 산정 계산 필요
5	전체(공통)	- 차량 성능(속도대별)에 따른 주변압기 용량 증가로 전장품 기기배치 및 추진장치 소형화 설계 필요 - 분산형 고속열차 특성 감안하여 승차감 및 소음 향상 필요

(2) 속도별 분산형 고속열차 운영자 요구사항 주요 내용

250km/h~370km/h 운영속도의 실용화 편성 운영자 요구사항 주요내용은 다음과 같다.

<250km/h급 실용화 편성 운영자 요구 사항 주요 내용>

구 분	내용
영업운행 최고속도	250km/h
설계최고속도	275km/h
차량 편성	6량 1편성(4M2T)
편성당 대차	동력대차(8대), 부수대차(4대)
최대전인력	240kN 이상
상용최대회생제동력	192KN 이상
제어 전원	직류 72V, 교류 220V
편성길이	약 149m
동력차 지붕높이	약 3,700mm
판토 접은높이	약 4,605mm
객차 지붕높이	약 3,700mm
좌석수	381석
차체폭	약 3,100mm
의자피치	특실 : 1,060mm / 일반실 : 960 mm
변압기 용량	약 3,340kVA
주전력변환장치	약 1,345kVA, 1C2M
견인전동기	약 300kW, 3상 유도전동기

<300km/h급 실용화 편성 운영자 요구 사항 주요 내용>

구 분	내용
영업운행 최고속도	300km/h
설계최고속도	330km/h
차량 편성	8량 1편성(6M2T)
편성당 대차	동력대차(12대), 부수대차(4대)
최대전인력	320kN 이상
상용최대회생제동력	257KN 이상
제어 전원	직류 72V, 교류 220V
편성길이	약 198m
동력차 지붕높이	약 3,700mm
판토 접은높이	약 4,605mm
객차 지붕높이	약 3,700mm
좌석수	533석
차체폭	약 3,100mm
의자피치	특실 : 1,060mm / 일반실 : 960 mm
변압기 용량	약 4,260kVA
주전력변환장치	약 1,700kVA, 1C2M
견인전동기	약 380kW, 3상 유도전동기

<350km/h급 실용화 편성 운영자 요구 사항 주요 내용>

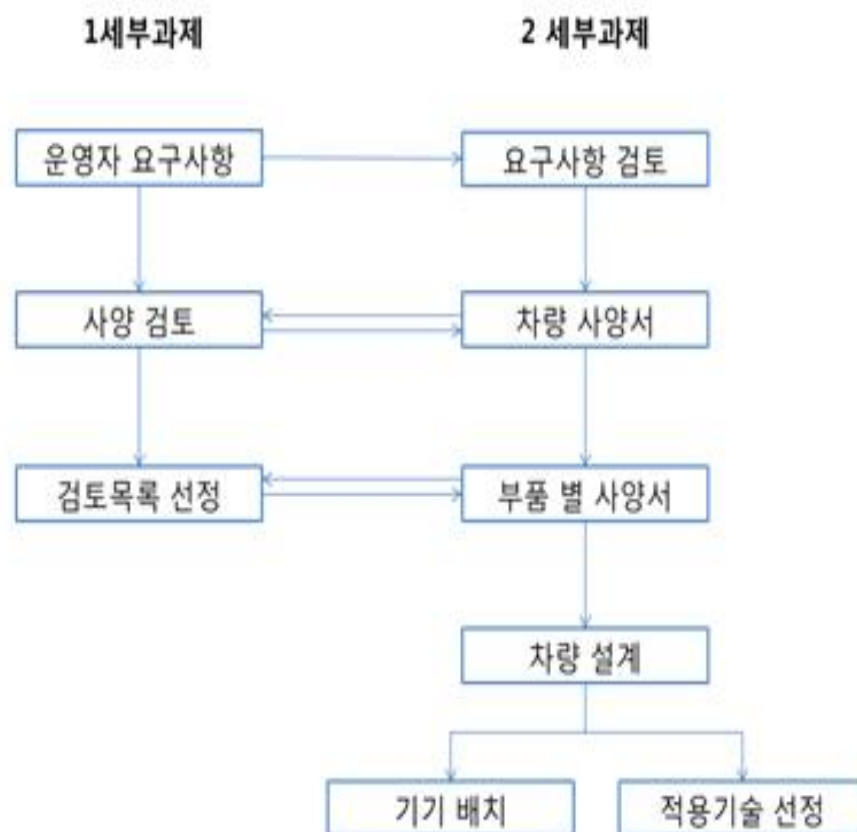
구 분	내 용
영업운행 최고속도	350km/h
설계최고속도	385km/h
차량 편성	8량 1편성(6M2T)
편성당 대차	동력대차(12대), 부수대차(4대)
최대전인력	320kN 이상
상용최대회생제동력	257KN 이상
제어 전원	직류 72V, 교류 220V
편성길이	약 198m
동력차 지붕높이	약 3,700mm
판토 접은높이	약 4,605mm
객차 지붕높이	약 3,700mm
좌석수	533석
차체폭	약 3,100mm
의자피치	특실 : 1,060mm / 일반실 : 960 mm
변압기 용량	약 5,610kVA
주전력변환장치	약 2,300kVA, 1C2M
견인전동기	약 515kW, 3상 유도전동기

<370km/h급 실용화 편성 운영자 요구 사항 주요 내용>

구 분	내 용
영업운행 최고속도	370km/h
설계최고속도	410km/h
차량 편성	8량 1편성(6M2T)
편성당 대차	동력대차(12대), 부수대차(4대)
최대전인력	320kN 이상
상용최대회생제동력	257KN 이상
제어 전원	직류 72V, 교류 220V
편성길이	약 198m
동력차 지붕높이	약 3,700mm
판토 접은높이	약 4,605mm
객차 지붕높이	약 3,700mm
좌석수	533석
차체폭	약 3,100mm
의자피치	특실 : 1,060mm / 일반실 : 960 mm
변압기 용량	약 6,240kVA
주전력변환장치	약 2,600kVA, 1C2M
견인전동기	약 515kW, 3상 유도전동기

다. 실용화 편성 사양 작성

고속철도 운영기관인 한국철도공사에서 협동연구기관(2차년도) 및 위탁연구기관(3, 4차년도)으로 참여하여 운영자 요구사항을 제시하고, 2세부과제에서 사양서를 작성하는 절차를 추진하였다. 사양서 작성 순서는 2013년 9월 한국철도공사에서 차량 기본사양을 검토하고, 이와 함께 차량 주요부품 사양서 작성을 위하여 6회의 기술 검토회의를 거쳐 주요부품에 대한 사양을 작성하였다. 대상 품목은 차축, 공기스프링, 중간연결기, 판토틀래프, 댐퍼, 제동캘리퍼, 제동제어장치, 제동표시기, 주변압기, 주회로차단기, 견인전동기, 주회로 차단기 등이다.



<세부과제별 실용화 모델 사양(안) 작성 업무>

<250km/h급 실용화 편성 기본 사양>

구 분			내 용
차량 성능	영업운행 최고속도		250km/h
	설계최고속도		275km/h
	기본 편성		6량 1편성(4M2T)
	편성 길이		약 149m
	최대전인력		240kN
	상용최대회생제동력		192KN
	비상최대회생제동력		192kN
	전원공급		27.5kV(무부하) 60Hz
	제어회로전압		직류 72V(변동범위 : 50 ~ 90V)
			교류 220V(변동범위 : 209 ~ 231V)
공기제어압력		5kg/cm2(변동범위 : ± 0.7kg/cm2)	
차량 일반	만차 중량		max. 372톤
	차체 길이	부수제어객차	약 25.5m
		동력객차	약 23.5m
	차체폭	부수제어객차·동력객차	약 3,100mm
	레일상면에 서 높이	부수제어객차·동력객차 지붕높이	약 4,175mm
		판토 접은 높이	약 4,605mm
	차체 재질	부수제어객차	알루미늄 압출재
		동력객차	알루미늄 압출재
추진 시스템	주변압기		약 3.34MVA
	추진제어장치		약 1,345kW
	견인전동기		약 300kW
	보조전원장치		약 420kVA
대차	동력대차		8대
	부수대차		4대
	방식		볼스터레스 방식
	기어비		2.8
	동력대차간 거리		약 17,300mm
	부수대차간 거리		약 17,300mm
	윤축 거리		약 2,600mm
	차륜직경		860mm(New Wheel)
객실 설비	특실		1량(TC1)
	일반실		5량(M'1,M1,M2,M'2,TC2)
	객실의자		381석(특실 : 52석, 일반실 : 329석)
	의자피치		특실 : 1,060mm / 일반실 : 960 mm
	승강문		고상 or 저상홈
	일반화장실		5개소
	장애인화장실		1개소
	수유실		1개소(M2)
	승무원실		1개소(M'1)
	카트보관함		1개소(M2)
	장애인석		장애인석 3석, 휠체어 2석
	수화물칸		6개소
	객실모니터		4대/량

<300km/h급 실용화 편성 기본 사양>

구 분			내 용
차량 성능	영업운행 최고속도		300km/h
	설계최고속도		330km/h
	기본 편성		8량 1편성(6M2T)
	편성 길이		약 198m
	최대전인력		320kN
	상용최대회생제동력		257KN
	비상최대회생제동력		257kN
	전원공급		27.5kV(무부하) 60Hz
	제어회로전압		직류 72V(변동범위 : 50 ~ 90V)
			교류 220V(변동범위 : 209 ~ 231V)
공기제어압력		5kg/cm2(변동범위 : ± 0.7kg/cm2)	
차량 일반	중량(공차/만차)		438톤/496톤
	차체 길이	부수제어객차	약 25.5m
		동력객차	약 23.5m
	차체폭 레일상면에서 높이	부수제어객차·동력객차	약 3,100mm
		부수제어객차·동력객차 지붕높이	약 4,175mm
		판토 접은 높이	약 4,605mm
	차체 재질	부수제어객차	알루미늄 압출재
동력객차		알루미늄 압출재	
추진 시스템	주변압기		약 4,260kVA
	추진제어장치		약 1,700kW
	견인전동기		약 380kW
	보조전원장치		약 560kVA
대차	동력대차		12대
	부수대차		4대
	방식		볼스터레스 방식
	기어비		2.34
	동력대차간 거리		약 17,300mm
	부수대차간 거리		약 17,300mm
	윤축 거리		약 2,600mm
	차륜직경		860mm(New Wheel)
객실 설비	특실		1량(TC1)
	일반실		7량(M'1,M1,M2,M3,M4,M'4,TC2)
	객실의자		533석
	의자피치		특실 : 1,060mm / 일반실 : 960 mm
	승강문		고상 or 저장홈
	일반화장실		11개소(TC1,M'1,M1,M2,M3,M4,TC2)
	장애인화장실		1개소(M'4)
	수유실		1개소(M1)
	승무원실		1개소(TC1)
	물품보관대		1개소(M'1)
	장애인석		장애인석 3석, 휠체어 2석(M'4)
	수화물칸		8개소(TC1,M'1,M1,M2,M3,M4,M'4,TC2)
	객실모니터		4대/량, TC1(특실) : 8대

<350km/h급 실용화 편성 기본 사양>

구 분			내 용
차량 성능	영업운행 최고속도		350km/h
	설계최고속도		385km/h
	기본 편성		8량 1편성(6M2T)
	편성 길이		약 198m
	최대전인력		320kN
	상용최대회생제동력		257KN
	비상최대회생제동력		257kN
	전원공급		27.5kV(무부하) 60Hz
	제어회로전압		직류 72V(변동범위 : 50 ~ 90V)
			교류 220V(변동범위 : 209 ~ 231V)
공기제어압력		5kg/cm2(변동범위 : ± 0.7kg/cm2)	
차량 일반	중량(공차/만차)		438톤/496톤
	차체 길이	부수제어객차	약 25.5m
		동력객차	약 23.5m
	차체폭	부수제어객차·동력객차	약 3,100mm
	레일상면에 서 높이	부수제어객차·동력객차 지붕높이	약 4,175mm
		판토 접은 높이	약 4,605mm
	차체 재질	부수제어객차	알루미늄 압출재
		동력객차	알루미늄 압출재
추진 시스템	주변압기		약 5,610kVA
	추진제어장치		약 2,300kW
	견인전동기		약 515kW
	보조전원장치		약 600kVA
대차	동력대차		12대
	부수대차		4대
	방식		볼스터레스 방식
	기어비		2.0
	동력대차간 거리		약 17,300mm
	부수대차간 거리		약 17,300mm
	윤축 거리		약 2,600mm
	차륜직경		860mm(New Wheel)
객실 설비	특실		1량(TC1)
	일반실		7량(M'1,M1,M2,M3,M4,M'4,TC2)
	객실의자		533석
	의자피치		특실 : 1,060mm / 일반실 : 960 mm
	승강문		고상 or 저상홈
	일반화장실		11개소 (TC1,M'1,M1,M2,M3,M4,TC2)
	장애인화장실		1개소(M'4)
	수유실		1개소(M1)
	승무원실		1개소(TC1)
	물품보관대		1개소(M'1)
	장애인석		장애인석 3석, 휠체어 2석(M'4)
	수화물칸		8개소 (TC1,M'1,M1,M2,M3,M4,M'4,TC2)
	객실모니터		4대/량, TC1(특실) : 8대

<370km/h급 실용화 편성 기본 사양>

구 분			내 용	
차량 성능	영업운행 최고속도		370km/h	
	설계최고속도		410km/h	
	기본 편성		8량 1편성(6M2T)	
	편성 길이		약 198m	
	최대전인력		320kN	
	상용최대회생제동력		257KN	
	비상최대회생제동력		257kN	
	전원공급		27.5kV(무부하) 60Hz	
	제어회로전압		직류 72V(변동범위 : 50 ~ 90V)	
			교류 220V(변동범위 : 209 ~ 231V)	
공기제어압력		5kg/cm2(변동범위 : ± 0.7kg/cm2)		
차량 일반	중량(공차/만차)			438톤/496톤
	차체 길이	부수제어객차		약 25.5m
		동력객차		약 23.5m
	차체폭	부수제어객차·동력객차		약 3,100mm
		부수제어객차·동력객차		약 4,175mm
	레일상면에서 높이	지붕높이		
		관토 접은 높이		약 4,605mm
	차체 재질	부수제어객차		알루미늄 압출재
동력객차		알루미늄 압출재		
추진 시스템	주변압기			약 6,240kVA
	추진제어장치			약 2,600kW
	전인전동기			약 580kW
	보조전원장치			약 600kVA
대차	동력대차			12대
	부수대차			4대
	방식			볼스터레스 방식
	기어비			2.0
	동력대차간 거리			약 17,300mm
	부수대차간 거리			약 17,300mm
	윤축 거리			약 2,600mm
	차륜직경			860mm(New Wheel)
객실 설비	특실			1량(TC1)
	일반실			7량(M'1,M1,M2,M3,M4,M'4,TC2)
	객실의자			533석
	의자피치			특실 : 1,060mm / 일반실 : 960 mm
	승강문			고상 or 저상홈
	일반화장실			11개소(TC1,M'1,M1,M2,M3,M4,TC2)
	장애인화장실			1개소(M'4)
	수유실			1개소(M1)
	승무원실			1개소(TC1)
	물품보관대			1개소(M'1)
	장애인석			장애인석 3석, 휠체어 2석(M'4)
	수화물칸			8개소(TC1,M'1,M1,M2,M3,M4,M'4,TC2)
	객실모니터			4대/량, TC1(특실) : 8대

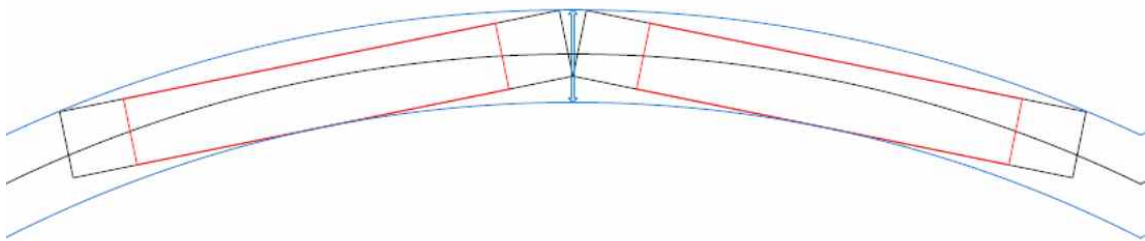
라. 차량폭 확대 연구

차세대고속열차(HEMU-430X)의 경우 KTX 열차와 비교하여 실내폭을 23~26cm 확대하였으나, 추가로 차량폭 확대를 통하여 2×3 좌석배치가 가능하므로 좌석수가 약 40% 까지 증가(438석 → 595~617석)하게 되면, 운임 인하 및 수송력 증대를 기대할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 고속열차 차량폭 확대에 대한 검토를 수행하였다.

(1) 차량한계 검토

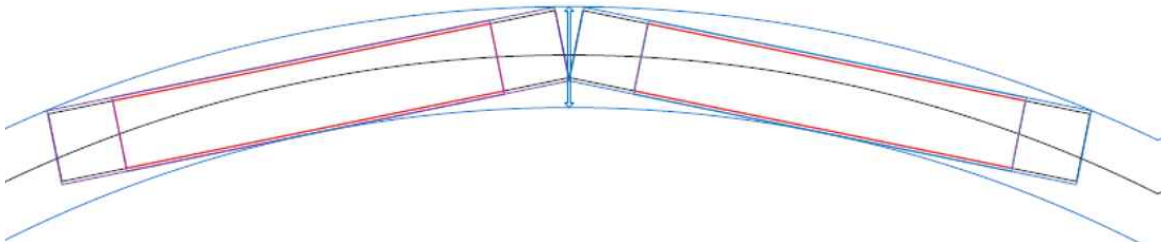
곡선반경 R120m 구간에서 차량폭을 확대한 차량의 한계를 검토하였다.

- 차량폭 : 3,100mm
- 기하학적 차량한계 : 4,260mm



<R120 곡선통과(차량폭 3,100mm)>

- 차량폭 : 3,400mm
- 기하학적 차량한계 : 4,545mm
- 차량폭 300mm 증가시 R120m 곡선 구간에서 차량한계 285mm가 증가하였다.



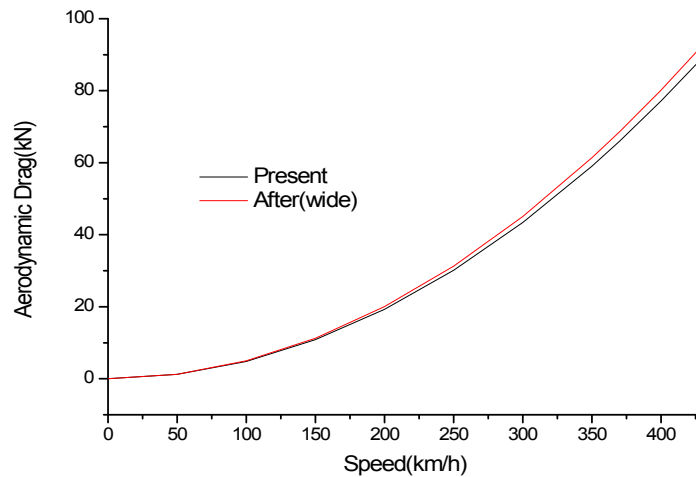
<R120 곡선통과(차량폭 3,400mm)>

(2) 주행저항 증가량 분석

전산해석을 통해 현재 형상(a)과 폭확장 형상(b)과의 공기저항 변화(b-a)를 비교하였다. 폭이 확장된 형상의 압력저항 계수는 0.89로 현재 형상 0.85에 비해 약 4.4% 증가하며, 점성저항 계수는 0.171로 현재 형상 0.168에 비해 약 2% 증가하였으므로, 총 공기저항 계수는 1.06으로 현재 형상 1.02에 비해 약 4.0% 증가하게 된다. 속도 증가에 따른 공기저항변화는 운영속도 370km/h 기준 시, 확대 전 약 66.0kN에서 확대 후 약 68.6kN 이 증가할 것으로 예상된다.

<폭확장 전/후 공기저항 계수변화>

	현재 형상(a)			폭확장 형상(b)			공기저항 변화(b-a)		
	압력저항	점성저항	공기저항	압력저항	점성저항	공기저항	압력저항	점성저항	공기저항
대차	0.11	0.003	0.11	0.11	0.003	0.11	0.0000	0.0000	0.0000
TC	0.21	0.035	0.24	0.21	0.035	0.25	0.0068	0.0002	0.0070
T1	0.09	0.028	0.11	0.10	0.028	0.12	0.0094	0.0007	0.0100
T2	0.08	0.027	0.11	0.09	0.028	0.12	0.0062	0.0009	0.0071
T3	0.10	0.026	0.12	0.10	0.027	0.13	0.0064	0.0009	0.0073
T4	0.11	0.025	0.13	0.11	0.025	0.14	0.0038	0.0005	0.0043
MC	0.13	0.024	0.16	0.14	0.024	0.16	0.0046	0.0002	0.0049
판도그래프	0.02	0.000	0.02	0.02	0.000	0.02	0.0003	0.0000	0.0003
총합	0.85	0.168	1.02	0.89	0.171	1.06	0.0376	0.0034	0.0410
증가율(%)							4.4	2.0	4.0



<속도에 따른 공기저항 변화>

(3) 주행안정성 검토

차량폭 확대에 따른 주행안정성은 시뮬레이션을 통하여 검토하였으며, 전 항목에 걸쳐 기준을 만족하며 주행안정성은 양호할 것으로 예측되었다.

<차량폭 확대에 따른 주행안정성 평가 결과>

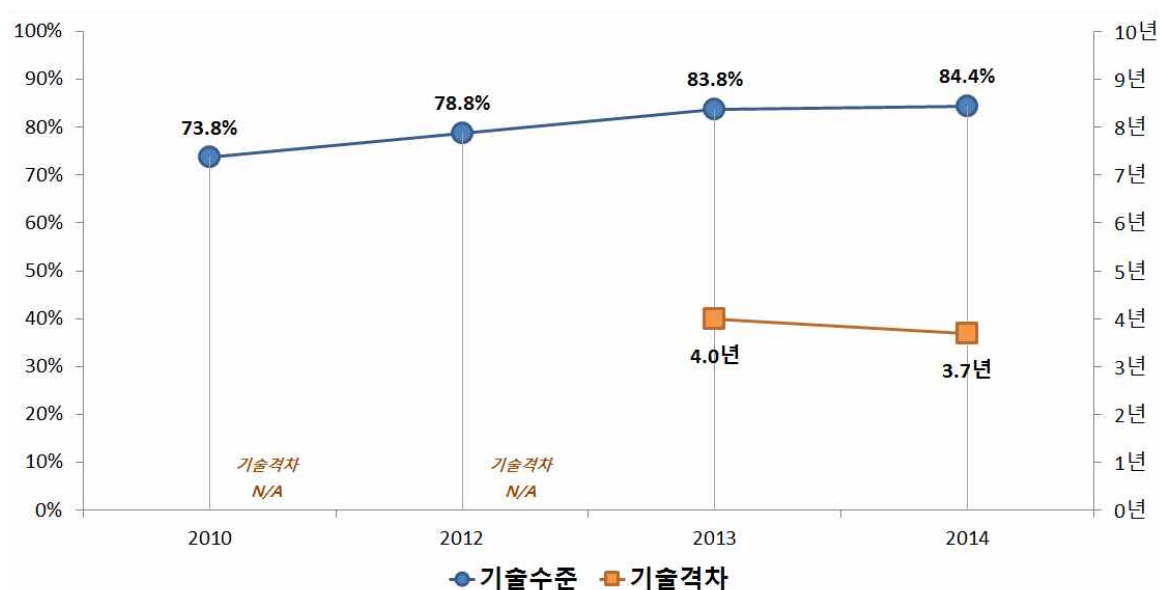
구 분	평가항목		기준치	확대 전	확대 후	비 고
주행 안전성	최대 횡압(ΣY_{max})		51.1 kN	25.9 kN	26.6 kN	
	탈선계수($(Y/Q)_{max}$)		0.8	0.307	0.275	
궤도 작용력	준정적 횡압(Y_{qst})		60 kN	3.6 kN	3.7 kN	
	준정적 윤중(Q_{qst})		145 kN	80.6 kN	80.8 kN	
	최대 윤중(Q_{max})		161.2 kN	119.8 kN	120.2 kN	
주행 거동	차체 횡가속도	최대값($\ddot{y}_{max}^*$)	2.5 m/s ²	0.953 m/s ²	0.939 m/s ²	
		RMS($\ddot{y}_s^*$)	0.5 m/s ²	0.301 m/s ²	0.295 m/s ²	
	차체 상하가속도	최대값($\ddot{z}_{max}^*$)	2.5 m/s ²	0.334 m/s ²	0.328 m/s ²	
		RMS($\ddot{z}_s^*$)	0.75 m/s ²	0.081 m/s ²	0.080 m/s ²	
	차체 정상 횡가속도($\ddot{y}_{qst}^*$)		1.5 m/s ²	1.238 m/s ²	1.236 m/s ²	

5. 동력분산형 고속열차 국내외 적용방안 연구

가. 고속철도 기술수준 및 국산화율 분석

(1) 고속철도 기술수준 조사

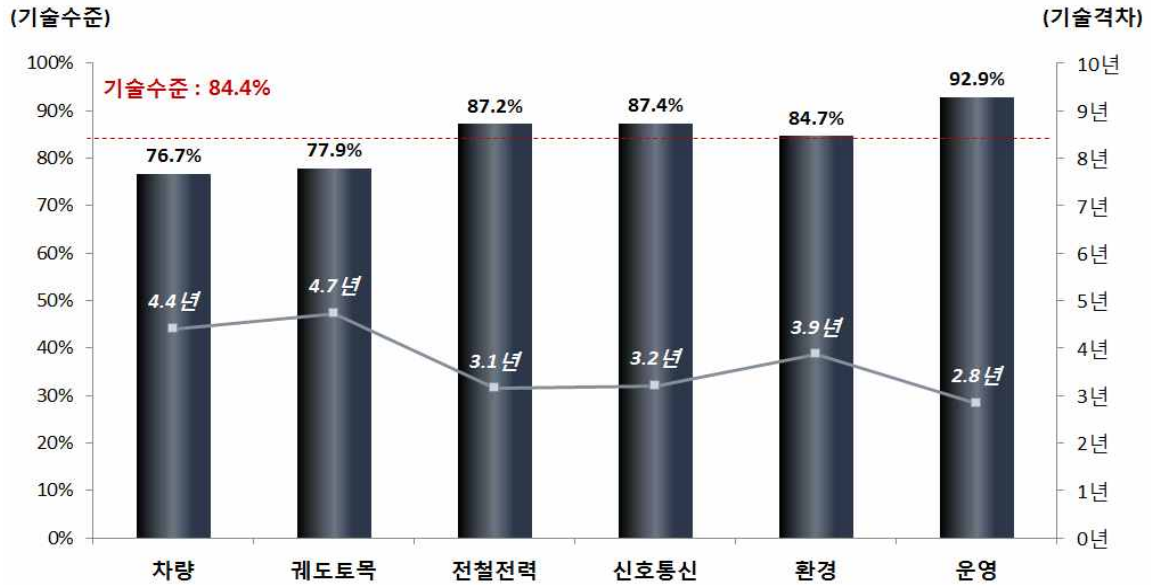
본 연구에서 제시한 기술수준은 세계 최고기술 대비 국내 기술수준을 측정한 상대적인 값으로, 국내 기술수준 해석은 세계 최고기술 수준이 매년 증가하고 있는 것을 고려해야하며 이러한 차이를 보완하기 위해 기술격차를 병행하여 제시하였다. 분석 결과 개괄적으로 고속철도 6대분야(차량, 궤도토목, 전철전력, 신호통신, 운영, 환경)의 기술수준이 고르게 향상된 것으로 나타나고 있다. '14년 고속철도 기술수준은 전년도 대비 0.6% 향상된 84.4%, 기술격차는 0.3년 축소된 3.7년으로 나타났다.



<최고기술국 대비 국내 기술수준 추이>

고속철도 기술분류별 기술수준 분석 결과, 운영, 신호통신, 전철전력의 국내 기술수준이 타 분야 대비 상대적으로 높고 기술수준격차가 적음을 확인하였다. 운영분야의 국내 기술수준은 92.9%로 가장 높으며, 기술격차는 2.8년으로 가장 적은 것으로 나타났으며, 환경, 궤도토목, 차량분야의 최고기술국 대비 국내 기술수준은 타분야 대비 상대적으로 낮고 기술수준 격차가 큰 것으로 나타났다.

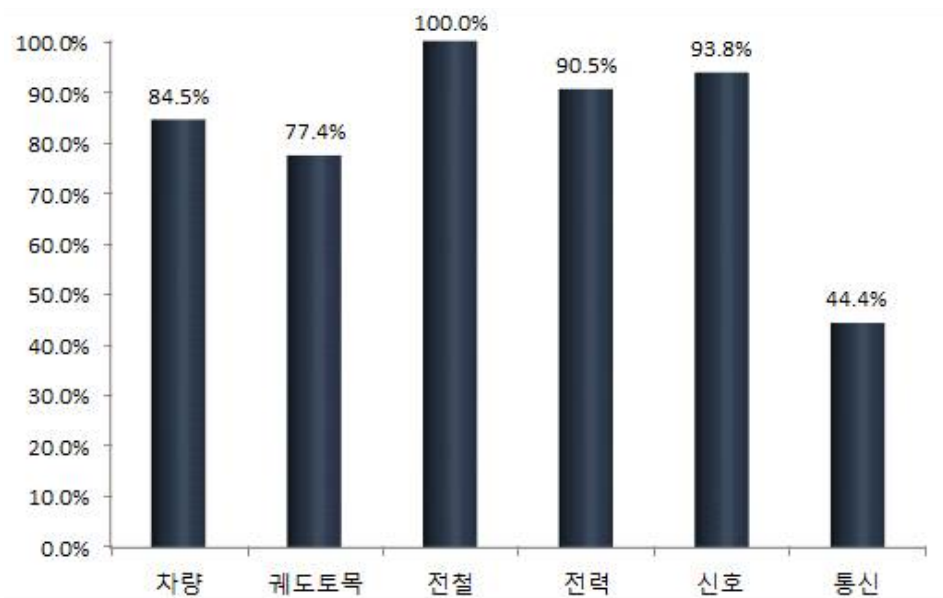
기술성숙도 단계간 격차는 기술분류별 최고기술보유국 대비 국내 기술수준 및 기술수준 격차와 동일한 양상을 보이고 있다. 특히 기술수준 격차가 큰 차량분야와 궤도토목분야의 기술성숙도 격차가 타 분야에 비해 상대적으로 크며, 기술수준 격차가 적은 신호통신분야의 기술성숙도 격차는 적은 것으로 나타났다.



<고속철도 기술분류별 최고기술국 대비 국내 기술수준 및 기술수준 격차>

(2) 고속철도 국산화율 분석

‘14년도 고속철도 부품 국산화율 분석결과 전철분야의 고속철도 부품은 100% 국산화율을 달성한 것으로 확인되었고, 신호, 전력 분야의 국산화율은 각각 93.8%와 90.5%로 일부 부품을 제외하고 국산화가 이루어진 것으로 나타났다. 차량, 궤도토목 분야의 국산화율은 각각 84.5%와 77.4%의 국산화율을 보이고 있으며, 통신분야의 국산화율은 44.4%로 타 분야의 국산화율과 비교하였을 때 가장 낮은 것으로 나타났다.

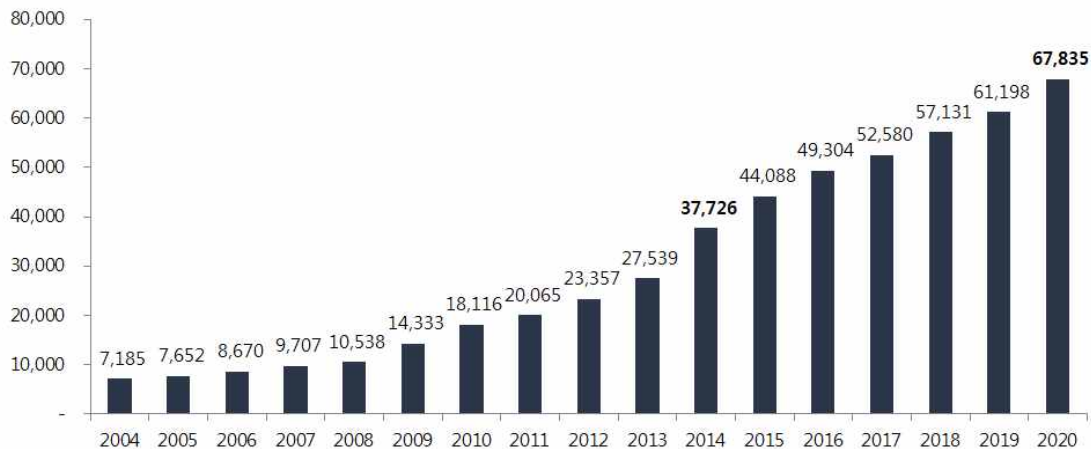


<분야별 고속철도 부품 국산화율 분석 결과>

(3) 고속철도 시장동향 분석

세계 고속철도 노선 연장은 2014년 기준 37,726km이고 향후 30,000km 규모의 신규 건설 계획으로 인하여 2020년까지 67,835km로 증가할 것으로 전망되고 있다.

2014년 기준 세계 고속철도 노선의 94%가 아시아, 서유럽 권역에 집중되어 있으나, 2020년 중동/아프리카, 동유럽, CIS 등의 비중이 점차 증가될 것으로 전망된다. 또한 2014년 누적 고속철도 노선의 권역별 비중은 아시아 63%, 서유럽 31%, 기타권역이 6% 수준이나, 2020년에는 아시아 45%, 서유럽 30%인 반면 기타권역이 25%로 크게 증가할 것으로 예상된다. 고속철도 노선건설 역시 아프리카, 중남미, 중동 등 신흥 시장으로 확대될 것으로 전망된다.



<연도별 세계 고속철도 노선 누적 연장(단위 km, 설치기준)>

* 1964년 일본의 신칸센 노선을 시작으로 전 세계에 건설된 고속철도 노선의 누적 데이터임

‘15년 이후 아시아, 서유럽 뿐만 아니라 동유럽, 중동/아프리카의 고속철도 노선이 크게 증가할 것으로 전망되고 있다. 아시아의 경우 중국, 태국, 말레이시아를 중심으로 250km/h 이하노선, 300km/h초과 고속철도 노선이 크게 증가할 것으로 전망된다. 서유럽의 경우 스페인, 프랑스를 중심으로 속도대역별로 고른 고속철도 노선의 증가가, 동유럽의 경우 터키, 폴란드를 중심으로 250km/h 이하 고속철도 노선의 증가가 예상된다. 중동/아프리카의 경우 사우디, 이란, 이집트, 모로코를 중심으로 250km/h 이하 노선 및 250km/h 초과 고속철도 노선의 증가가 전망되며, 북미의 경우 250km/h 이하의 고속철도 노선 증가가, 중남미, CIS의 경우 250km/h 초과 고속철도 노선의 증가가 예상된다.

‘15년 이후 차량 도입 계획이 파악되는 주요 권역은 서유럽과 동유럽을 중심으로 나타난다. 서유럽의 경우 독일을 중심으로 250km/h 이하 고속철도 차량의 도입이 계획되어 있으며, 동유럽의 경우 터키를 중심으로 300km/h급 고속철도 차량의 도입이 계획되어 있다. 아시아, 중동/아프리카는 300km/h급 이상 고속철도 차량 도입이 계획되어 있다.

<권역별 고속철도 인프라 시장 현황 및 전망>

권역	노선 수요 증가 율*	건설 주요국	속도대역별 연장 (~'14년, km)			속도대역별 증가량 (~'15년~'20년, km)		
			200km/h~ 250km/h	250km/h~ 300km/h	300km/h 초과	250km/h 이하	250km/h~ 300km/h	300km/h 초과
아시아	++	중국/태국 /말레이시아	8,006	6,694	8,995	2,631	741	3,205
서유럽	++	스페인/ 프랑스	3,565	6,076	1,997	2,847	2,813	3,437
동유럽	+++	터키/폴란드	685	.	.	3,379	403	340
중동/ 아프리카	+++	사우디/이란/ 이집트/모로코	174	.	.	3,023	1,000	999
북미	+++	캐나다	362	.	.	1,838	.	.
중남미	++	브라질/ 아르헨티나	.	.	.	.	511	810
CIS	++	러시아/ 카자흐스탄	1,171	.	.	.	700	654
오세아니아 /태평양	.	호주	.	.	.	.	.	.
소계	-	-	13,963	12,770	10,992	13,718	6,168	9,445

* + : 기존 수준, ++ : 기존 대비 높은 수준, +++ : 매우 높은 수준

고속철도 노선 증가량 : **매우높음** **높음** **보통**

<권역별 고속철도 차량시장 현황 및 전망(량수 기준)>

권역	차량 도입 주요국	구동 방식		주도 업체	점유율 변화 가능성 *	속도대역별 대수 (~'14년, 량)			속도대역별 증가량 (~'15년~'20년, 량)		
		집 중	분 산			200km/h ~ 250km/h	250km/h ~ 300km/h	300km/h 초과	250km/h 이하	250km/h ~ 300km/h	300km/h 초과
아시아	중국/일본/ 한국/대만	.	↑	CSR/ Japan C.	++	3,934	6,192	8,287	.	.	220
서유럽	독일	.	↑	Alstom/ Bombardier	+++	6,794	8,558	3,577	1,150	160	496
동유럽	터키/ 폴란드	.	↑	Alstom/ Siemens	+++	290	40	.	.	656	.
중동/ 아프리카	사우디/ 모로코	↑	.	Talgo/ Alstom	+	.	.	176	.	.	244
북미	.	.	.	Bombardier /Alstom	.	160	.	.	.	.	.
중남미	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
CIS	.	.	↑	Talgo/ Alstom	.	246	.	.	.	.	.
오세아니아 /태평양	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
소계	-	-	-	-	-	11,424	14,790	12,040	1,150	816	960

* + : 기존 수준, ++ : 기존 대비 높은 수준, +++ : 매우 높은 수준

고속철도 차량 증가량 : **매우높음** **높음** **보통**

나. 동력분산형 고속열차 경제적 효과 분석

(1) 경쟁차종별 비용 분석 개요

해외 철도차량 시장은 감가속 능력이 뛰어나고, 열차차량 내 좌석수를 더 많이 확보해 운영비를 줄일 수 있는 동력분산형 열차 생산이 늘어나고 있다. 국내에서도 동력분산형 고속열차가 개발되었으며 상용화를 위해 노력 중이다. 국내 운행 예정인 최고 운행속도 250km/h급 분산형 고속열차(EMU-250)의 기술적 성능과 경제적 효과를 분석하기 위해 현재 국내에서 운행 중인 고속열차를 비롯해 해외 동력분산형 고속열차와 비교분석함으로써 국내·외 시장에서의 비용 경쟁력을 평가하였다.

국내외 고속열차의 경제적효과를 비교분석하기 위해 분석 대상노선을 설정하고, 해당 노선을 운행하는데 소요되는 연간 비용을 비교 분석하였다. 분석 대상 차량은 다음 표와 같다.

<분석 대상 차량 특성>

차량명	KTX	KTX-산천	ITX-청춘	EMU-250	ETR610	HT65000	VelaroRus
제작사	알스톰	현대로템	현대로템	현대로템	알스톰	CAF	지멘스
제작국가	대한민국	대한민국	대한민국	대한민국	프랑스	스페인	독일
운영국가	대한민국	대한민국	대한민국	-	이탈리아 스위스	터키	러시아
도입년도	2003	2014	2014	-	2012	2005	2011
동력방식	집중형	집중형	분산형	분산형	분산형	분산형	분산형
편성당 량수	20	10	8	6	7	6	10
차량 구성	2L18T	2L8T	4M4T	4M2T	4M3T	4M2T	4M6T
최고운행속도 (km/h)	300	300	180	250	250	250	250
가속도(m/s ²)	0.44	0.45	0.55	0.55	0.48	0.48	0.43
편성(공차) 중량 (ton)	694	406	346	318	466	297	662
동력공급형태	AC	AC	AC	AC	AC	AC	DC
좌석수	935	410	342	381	422	419	604
편성 가격	1,093	335	223	260	413	304	630

(2) 고속철도 차량별 경제적 효과 비교

선정한 노선의 총수송량을 고려하여 분석대상 차량을 투입하는 경우 각 항목별 비용을 분석하였다. 차량 구입비의 경우 EMU-250, ITX-청춘, HT65000, KTX-산천, ETR610, VelaroRus, KTX 순으로 비용 절감효과가 있는 것으로 분석되었다. KTX 및 VelaroRus의 경우 편성당 좌석수가 많기 때문에 교통수요가 그리 높지 않은 고속화 노선에서는 비효율적이며, 특히 예비편성 차량의 구입을 위해 더 많은 비용을 지불함으로 인해 차량 구입비가 증가하는 것으로 나타났다. 분석 대상 노선은 선로최고속도가 250km/h이면서 이와 유사한 최고운행속도를 가진 동력분산형 차량 중에서는 가감속능력이 뛰어난 차량이 표정속도에서 유리하며 그에 따라 소요편성수 및 차량구입비 절감이 가능하다.

유지보수비는 EMU-250과 HT65000이 가장 비용 경제적인 것으로 분석되었으며, 이어 ETR610, VelaroRus, ITX-청춘, KTX, KTX-산천 순으로 나타났다. 량당 유지보수비용만 고려하면, KTX가 가장 적게 소요되며 그 다음으로 동력분산형 고속열차들, KTX-산천 순으로 나타나지만, KTX의 경우 1편성 20량으로써 편성당 유지보수비 측면에서 불리하다. 또한 동력분산형 고속열차는 동력집중형에 비해 량당 좌석용량이 크며 이는 좌석수당 유지보수비 측면에서 유리하다. 동력분산형 열차를 차종별로 비교할 경우, 본 연구에서는 량당 유지보수비용 단가를 동일하게 적용했으므로 분석 대상 노선에 투입되는 고속열차의 차량수가 적을수록 경제적으로 유리하다.

<경쟁차종별 량당 좌석수와 유지보수비 비교>

구분	KTX	KTX-산천	ITX-청춘	EMU-250	ETR610	HT65000	VelaroRus
량당 좌석수	47	41	43	64	60	70	60
량당 유지보수비 (만원)	3,812	5,319	4,255	4,255	4,255	4,255	4,255
좌석수 당 유지보수비 (만원)	81	130	99	66	71	61	71

인건비는 KTX, VelaroRus, HT65000, ETR610, KTX-산천, EMU-250, ITX-청춘 순으로 경제성이 좋은 것으로 나타났으며, 총 승무시간이 증가할수록 연간 인건비가 증가한다.

<경쟁차종별 총 승무시간과 인건비 비교>

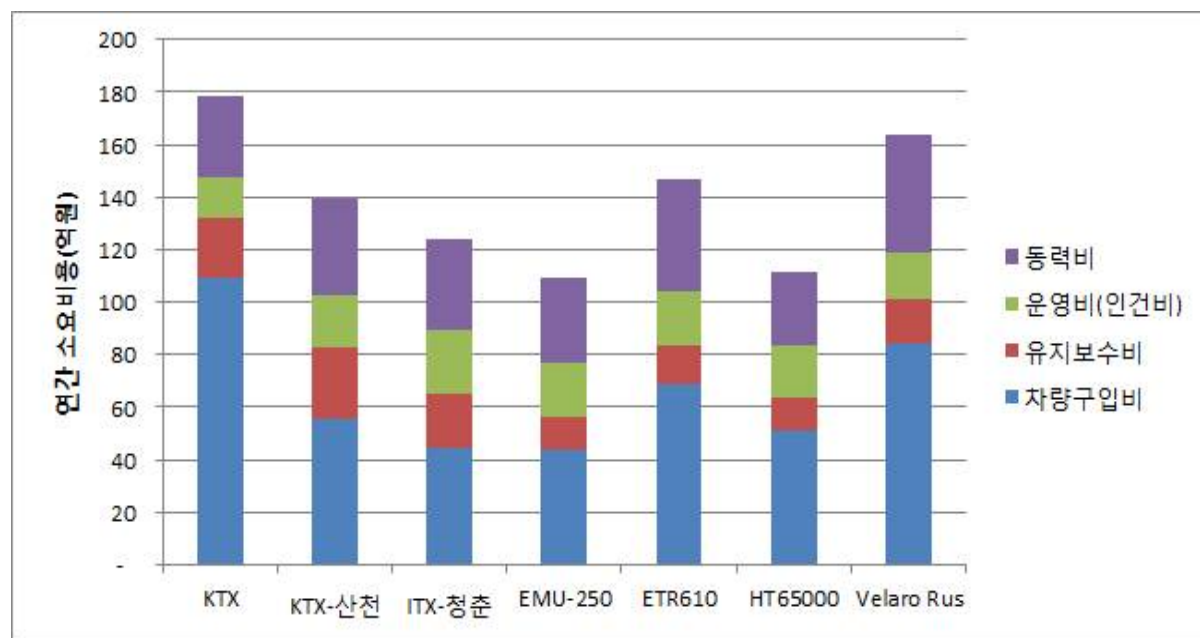
구분	KTX	KTX-산천	ITX-청춘	EMU-250	ETR610	HT65000	VelaroRus
총 승무시간	29	57	74	59	56	56	41
인건비(억원)	15.7	20.4	24.7	20.4	20.4	20.4	17.6

동력비는 HT65000, KTX, EMU-250, ITX-청춘, KTX-산천, ETR610, VelaroRus 순으로 경제성이 좋은 것으로 나타났다. 동력비 추정식에서는 중량과 운행속도가 동력비에 큰 영향을 미치며, 유사한 운행속도에서는 차량의 중량이 작을수록, 그리고 동일한 중량이라면 편성당 좌석이 많을수록 동력비 측면에서 유리하다.

<경쟁차종별 좌석당 중량 및 동력비>

구분	KTX	KTX-산천	ITX-청춘	EMU-250	ETR610	HT65000	VelaroRus
편성중량(ton)	694	406	346	318	466	297	662
좌석수	935	410	342	381	422	419	604
중량/좌석	0.74	0.99	1.01	0.83	1.10	0.71	1.10
동력비(억원)	31.0	36.5	34.3	32.7	42.8	27.3	45.2

철도차량별 비용을 종합적으로 분석한 결과, 연간 소요비용은 약 109~179억 수준으로 나타났으며, 최소 비용은 EMU-250, HT65000, ITX-청춘, KTX-산천, ETR610, VelaroRus, KTX 순으로 나타나, EMU-250이 비용측면에서 가장 유리하여 비용 경쟁력 면에서 가장 우수한 것으로 나타났다.



<경쟁차종별 연간 소요비용 비교>

<경쟁차종별 제원 및 연간 소요비용>

구분		KTX	KTX-산천	ITX-청춘	EMU-250	ETR610	HT65000	VelaroRus
차량 제원	최고 운행속도 (km/h)	300	300	180	250	250	250	250
	편성당 가격 (억원)	1,093	335	223	260	413	304	630
	편성당 량수	20	10	8	6	7	6	10
	편성당 좌석수	935	410	342	381	422	419	604
	가속도(m/s ²)	0.44	0.45	0.55	0.55	0.48	0.48	0.43
	편성(공차)중량 (Ton)	694	406	346	318	466	297	662
차종별 운행 계획	운용 편성수	2	4	5	4	4	4	3
	예비 편성수	1	1	1	1	1	1	1
	평균 운행속도 (km/h)	162	163	147	174	166	166	160
	표정속도 (km/h)	145	146	133	155	149	149	144
연간 소요 비용	차량구입비(억원)	109.3	55.8	44.5	43.4	68.8	50.7	84.0
	유지보수비(억원)	22.9	26.6	20.4	12.8	14.9	12.8	17.0
	인건비(억원)	15.7	20.4	24.7	20.4	20.4	20.4	17.6
	동력비(억원)	31.0	36.5	34.3	32.7	42.8	27.3	45.2
	합계(억원)	178.9	139.4	124.0	109.3	147.0	111.1	163.8
순위		7	4	3	1	5	2	6

다. 동력분산형 고속열차 국내 적용방안

(1) 실용화 T/F 운영을 통한 국내 투입 노선 선정

분산형 고속열차의 국내 실용화를 위하여 국토교통부-한국철도기술연구원-한국철도공사-현대로템은 HEMU 실용화 T/F를 운영하여 HEMU 열차의 실용화를 추진하였다.

<3차 실용화T/F 자료 : 분산형 및 집중형 에너지 소비량 비교>

차 종	편 성	1회 추진 (kWh)	1회 회생 (kWh)	1회 소비량 (kWh)	1일 소비량 (kWh)	1일 전력요금 (백만원)	1년 전력요금 (억원)
분산형 (HEMU250)	6량 1편성	2,792.7	618.5	2,174.2	86,966	9.51	34.7억 (82%)
	8량 1편성	6,506.4	752.6	2,753.8	79,859	8.73	31.9억 (76%)
집중형 (원강고속차량)	10량 1편성	3,635.4	772.3	2,863.1	105,935	11.58	42.3억 (100%)

실용화 T/F 등을 통하여 동력분산형 준고속차량 도입 계획 발주 추진 현황을 파악하였고 그 결과 다음과 같이 지속적인 수요가 발생하고 있음을 확인하였다.

- 2015년 ~ 2020년 : 철도산업위원회 철도차량 중장기 운영 계획 심의 결과에 의거 2020년까지 488량 보유 계획
- 2021년 ~ 2025년 : 현 객차의 폐차 시기 도래에 따른 EMU 대체 고려, 2025년까지 약 1,122량 보유 전망

<국내 분산형고속열차 수급 계획>

[단위 : 량]

구 분		← EMU 수급계획 →						← EMU 수급 전망 →				
		'15년	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년	'21년	'22년	'23년	'24년	'25년
계	보유	138	138	138	180	239	488	688	793	947	1,100	1,122
	도입	0	0	42	59	249	200	105	154	153	22	42
EMU-250	보유						162	282	282	282	282	282
	도입					162	120					
EMU-150	보유	138	138	138	180	239	326	406	511	665	818	840
	도입			42	59	87	80	105	154	153	22	42

이에 따라 철도공사는 국토교통부에서 건설 중인 서해선 등 준고속 철도노선에 EMU-250 (250km/h급 분산형고속열차)차량을 투입하기로 결정하고 준고속차량의 도입 및 발주를 위한 준고속차량 도입 T/F를 발족하였다.

- '15. 7. 22. 준고속차량 도입 T/F팀 착수회의
 - 준고속차량 도입 T/F팀 구성 취지 및 분과별 역할설명, 향후 T/F팀 운영 방향 설정 등
 - 국토부 요구사항을 반영 최대한 빠른 시일 내에 차량도입 협조하고, 분야별 역할에 대해서는 보다 치밀하고 신중하게 검토

○ '15. 8. 4. 준고속차량 도입 제2차 T/F 회의

- 수송수요 분석은 현 운영중인 역과 신설역 모두 포함하여 검토예정(열차운행 구간은 중장기 운송전략의 노선별 운행계획 반영)

- ① 중앙선 청량리~부전간 17개역
- ② 서해선 송산~익산간 15개역
- ③ 경전선 부전~순천간 13개역
- ④ 중부내륙선 광주(경기도)~문경간 10개역

상기 노선 검토를 통하여 철도공사의 신규 차량 구입 계획을 도출하였다. 신규 차량 구입 산정기준은 준고속 노선 개통 당시 EMU-250km/h급 철도차량 운행가능 구간 수송 수요 및 열차운행계획을 반영하여 소요량을 판단하고 다음과 같은 사항을 검토하였다.

- 차량형식은 EMU-250km/h급 6량 1편성(4M2T, 381석) 기준 적용한다.
- 소요편성은 신규노선 개통 당시 신규노선과 연계되는 노선의 시·종착 및 도중 정차역의 승강장 형식 일치 여부 등을 고려하여 산정한다.
- 기존 철도인프라(저상홈) 고려시 고상홈용 준고속 차량이 도입 되더라도 연계구 간 승강장설비가 동시 개량이 필요하다.

신규노선과 연계노선 승강장 형식 일치할 경우 22편성이 소요되는 것으로 산정되었다.

<신규노선과 연계노선 승강장 형식 일치할 경우(22편성)>

구 분	신규노선 개통구간			
	중앙선 (청량리~부전)	서해선 (송산~익산)	경전선 (부전~마산)	중부내륙선 (이천~문경)
차량 모델	EMU-250			
운행 예정구간	청량리~부전	송산~익산	부전~순천	광주~문경
개통 년도	'20년	'20년	'20년	'20년
신규노선+연계노선 도입 량수(편성)	청량리~부전 54량(9편성)	송산~익산 30량(5편성)	부전~순천 30량(5편성)	광주~문경 18량(3편성)
총 량수(편성)	132량(22편성)			

경전선 구간인 부전에서 순천 간 EMU-250 차량운행을 기본으로 하여 수송수요를 조사한 결과, 환승을 고려한 일일 승차인원은 '19년 10,962 ~ '25년 11,245인으로 점차적으로 소폭 증가(1.01%)되는 것으로 판단된다.

<경전선 수송수요>

구 분	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년	2025년
승 차	10,962	11,033	11,104	11,174	11,245	11,316	11,245

혼잡시 최대 재차구간은 함안~진주구간으로 예상된다.

<경전선 재차인원>

구 분	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년	2025년
재차인원(인/시)	2,758	3,103	3,448	3,793	4,138	4,483	4,136

<경전선 평균 수송수요 적용기준>

(단위: 명/1일 평균)

구 분	2019년	2024년	비 고
최대재차(주말)	3,093(3,783)	3,192(3,904)	적용
승차인원	7,377	7,613	

경전선의 차량구입계획은 EMU-250로 소요 편성수는 6량 5편성(30량)이다. 차상신호 시스템은 ATP 및 ATS 신호시스템 적용하고, 차량검수는 가야차량사업소와 순천차량사업소를 활용할 계획이다.

<경전선 차량소요량>

시 격	차 량 수			비 고
	소요 편성수	정비편성	총 소요편성수(량수)	
56분	4편성	1편성	5편성(30량)	수요기준

* 1편성 규모 : 6량(특실 1량 + 일반실 5량), 350석 이상

경전선 열차횟수 및 소요편성은 다음과 같다.

○ 열차횟수 : 17회[3,783÷229석(이용율 60%)≒16.5회]

- 이용율(Load Fator)은 신규노선 수송수요를 고려하여 좌석용량의 60% 적용

○ 열차운행시간 : 부전⇔순천 간 70분

○ 소요편성 : 5편성(운용 4편성, 검수 1편성)

※ 운용 편성수 = (운전시간 + 반복시간) × 2(왕복) ÷ 시격 = 운용 편성수

전체 소요 편성수 = 운용 편성수 + 검수율(12%)

※ 부전~순천 간 : (70 + 40) × 2 ÷ 56 = 4편성+1편성(예비율)

경전선 차량 투입으로 부산 및 서부경남권 지역주민 교통편의 제공 및 남해안일대 공업단지 연결 및 관광자원 개발로 지역경제 활성화에 기여할 것으로 기대할 수 있다.

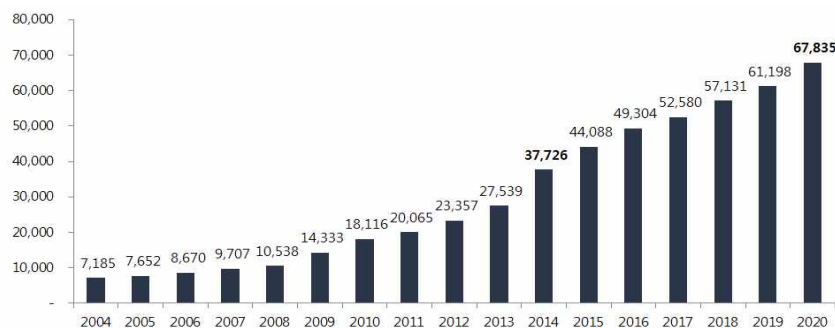
(2) EMU-250 국내 실용화 추진 방안

EMU-250 모델이 가장 먼저 실용화가 되는 노선은 현재 경전선(부전-순천) 구간이며, 해당열차를 도입하기 위한 절차가 현재 추진 중에 있다. 이를 위하여 철도시설공단은 EMU-250 도입에 따른 경전선측 시설현황을 검토하였으며, 철도기술연구원 및 로템은 준고속철도 정차역의 고상홈 대응을 위한 차량 설계를 검토하였다. 이를 통하여 현재 경전선에 투입 예정인 250km/h급 준고속열차 30량에 대한 구매 입찰 절차가 진행되었고, 차량제작사인 현대로템이 우선협상대상자로 선정이 된 상태이다. 본 EMU-250 차량은 6량 1편성(149m)으로 좌석수는 381석이다. 또한 250km/h급 고속열차는 향후 철도차량 중장기 운송계획에 따라 중앙선, 서해선 등 준고속철도 노선에 지속 투입이 예상되어 개발 기술의 성공적인 실용화가 가능할 것으로 판단되고 있다. 300km/h, 350km/h급 분산형 고속열차 역시 실용화 T/F를 통하여 운영자 요구사항 검토 및 실용화 사양이 결정되었으며, 향후 KTX 대체 수요 발생 시 본 해당 실용화 모델의 투입을 적극 유도할 예정이다.

라. 분산형 고속열차 해외진출 전략

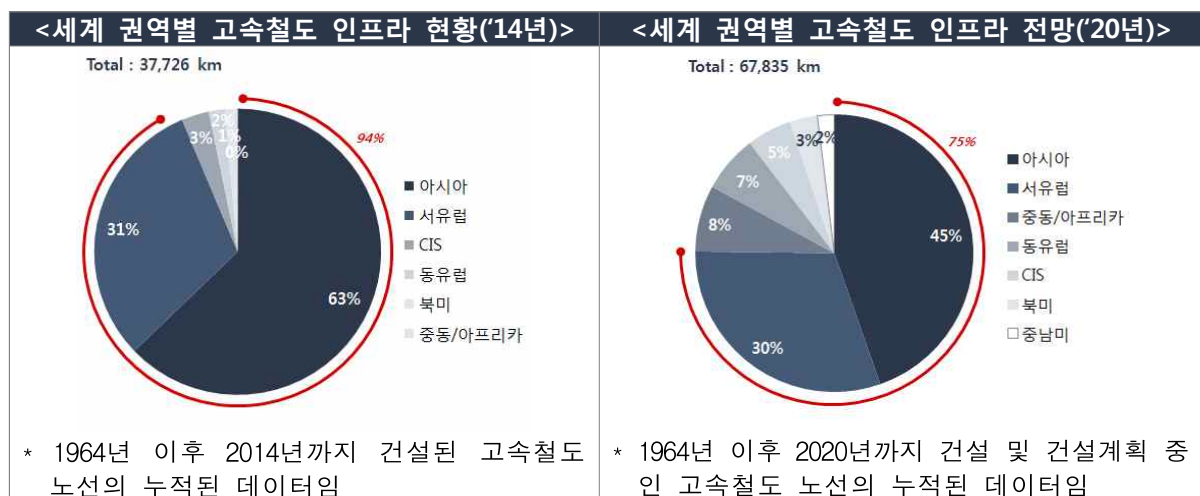
(1) 고속철도 시장 현황

세계 고속철도 노선 연장은 2014년 기준 37,726km이고 향후 30,000km 규모의 신규 건설 계획으로 인하여 2020년까지 67,835km로 증가할 것으로 전망되고 있다. 2014년 기준 세계 고속철도 노선의 94%가 아시아, 서유럽 권역에 집중되어 있으나, 2020년 중동/아프리카, 동유럽, CIS 등의 비중이 점차 증가될 것으로 전망된다. 또한 2014년 누적 고속철도 노선의 권역별 비중은 아시아 63%, 서유럽 31%, 기타권역이 6% 수준이나, 2020년에는 아시아 45%, 서유럽 30%인 반면 기타권역이 25%로 크게 증가할 것으로 예상된다. 고속철도 노선건설 역시 아프리카, 중남미, 중동 등 신흥 시장으로 확대될 것으로 전망된다.

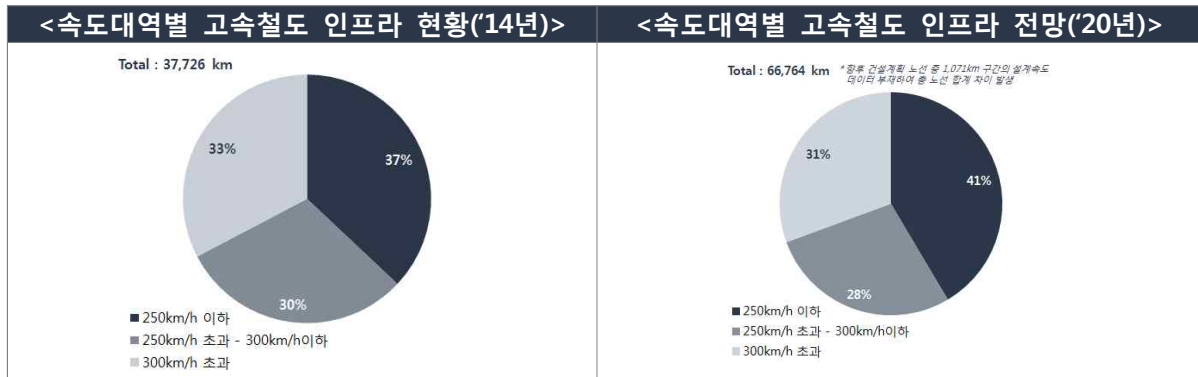


<연도별 세계 고속철도 노선 누적 연장>

고속철도 노선 중 300km/h 이상 초고속철도 건설 비중이 증가하고 있으며, 250km/h 초과 ~ 300km/h 이하 고속철도 노선 건설비중이 감소하고 있다. 이를 자세히 살펴보면 다음과 같다. 250km/h 이하 고속철도 건설 비중은 2014년 37%에서 2020년 41%로 증가하고 있으며, 250km/h 초과 300km/h 이하 고속철도 건설 비중은 2014년 30%에서 2020년 28%로 감소하고 있다. 또한 300km/h 초과 초고속철도 건설 비중은 2014년 33%에서 2020년 31%로 감소하고 있다.



<세계 권역별 고속철도 인프라 현황 및 전망>



<세계 속도대역별 고속철도 인프라 현황 및 전망>

(2) 고속철도 발주동향 분석

중국을 중심으로 고속철도 차량 시장이 형성되고 있으며, 유럽은 200km/h~300km/h급, 중국 등 기타국가들은 300km/h 이상의 고속철도 차량을 발주하고 있다.

<주요 고속철도 차량 발주현황>

구분	국가	시행청	계약사	계약내용				
				속도	동력방식	공급수량	계약금액	량당가격
2015년	터키	TCDD	미정	300km/h	분산형	640량 (8량x80편성)	-	-
2013년	중국	Shanghai Railway Bureaus	CSR	350km/h	분산형		710억원	
2013년	터키	TCDD	Siemens	300km/h	분산형	56량 (8량x7편성)	4,132억원 (유지보수 7년 포함)	73.8억원
2013년	영국	DfT	Hitachi	200km/h	분산형	270량 (9량x30편성)	2조1,000억원 (유지보수 포함)	77.7억원
2013년	프랑스	SNCF	Alstom	320km/h	분산형	10편성	4,350억원	
2013년	중국	CRIC	CSR	250km/h	분산형	91편성		
2013년	중국	China Railway	CNR CSR	350km/h 250km/h	분산형	258편성		
2012년	사우디아라비아	Saudi Railways Organization (SRO)	Talgo	350km/h	집중형	35편성	9조7,100억원	
2012년	중국		CSR Sifang	380km/h	분산형	9편성 (8량 1편성)		
2012년	프랑스	SNCF	Alstom	320km/h	집중형	40편성		
2012년	대만	Tawan High Speed Rail Corp.	Kawasaki + Toshiba	300km/h	분산형	48편성 (12량x4편성)		
2012년	스위스	SBB	Alstom	250km/h	분산형	56량 (7량x8편성)	2,900억원	51.8억원
2011년	독일	DB	Siemens	230km/h 250km/h	분산형	220량	8조7,000억원	
2011년	폴란드	PKP Intercity	Alstom	250km/h	분산형	7량 20편성	9,642억원	68.9억원
2011년	러시아	RZD	Siemens	250km/h	분산형	80량	8,700억원 (유지보수 포함)	108.8억원
2010년	이탈리아	Trenitalia	Bobardier + Ansaldo	360km/h	분산형	8량 5편성	2조2,330억원	55.8억원
2010년	중국	China Railway	CSR	380km/h	분산형	8량 140편성	Yuan 40.8bil	36.43ml
2010년	모로코	CONF	Alstom	320km/h	집중형	10량 14편성	5,800억원	41.5억원
2009년	우즈베키스탄	UTY	Talgo	250km/h	집중형	2편성	551억원	
2009년	중국	China Railway	CSR	380km/h	분산형	140편성	7조6,500억원	68.3억원
2008년	중국	China Railway	CNR	380km/h	분산형	8량 140편성	6조9,360억원	61.98억원
2008년	독일	DB	Siemens	300km/h	분산형	8량 15편성	7,250억원	60.4억원

(3) 고속철도 해외진출을 위한 전략 수립 방향

해외 고속철도 시장 및 발주 동향을 분석한 결과 해외 진출을 위하여 다음과 같은 사항을 시사하고 있다.

- 유럽 기술 표준 확보 필요
- ODA를 활용한 발주 사례 증가
- 일괄발주형 민자 사업 증가
- 진보된 기술 적용 가속화 추세
- 자국 철도시스템과 표준에 대한 요구

또한 해외 고속철도 시장 진출을 위한 성공요인으로 다음과 같은 사항이 필요하다.

- 차량 생산·운영 노하우 전수 및 기술이전 제시
- 발주처 특수 조건에 부합
- 재원 확보 및 자금 조달
- 우수한 기술력
- 상업 운영 실적
- 컨소시엄 구성
- 국가 차원의 해외진출 지원 기관

이를 바탕으로 국내 동력분산형 차량의 해외 진출 전략수립 방향을 아래 그림과 같이 설정하였다.



<해외 진출 전략 수립 방향>

6. 시제열차 활용방안

가. 시제열차 활용의 필요성

시제차량 시운전을 통한 동력분산형 고속열차의 실용화 기반을 구축하고자 하는 본 연구과제는 2015년 12월로 종료되나, 주요한 연구개발 결과물인 HEMU-430X 시제열차로 과제 종료와 동시에 유치 및 방치할 경우 막대한 국가예산의 낭비로 이어질 수 있으며 완성차 시운전시험이 필요한 산학연 철도 연구개발의 결과물에 대한 검증할 수 있는 테스트베드로서의 시제차량의 가치도 상실하게 된다. 따라서 본 연구에서는 차세대고속열차 시제열차 활용 계획을 수립하고자 한다.

국가연구개발사업으로 제작된 시제차량인 G7 고속열차 (HSR-350x)와 틸팅열차 역시 그 정도의 차이는 있지만, 시제열차를 활용하여 연구개발 및 공익성에 기여할 수 있도록 조치된 바 있다. 따라서 HEMU-430X 시제열차의 활용은 국가연구개발 예산의 효율적 집행 및 공익성 향상에 매우 중요하며, 특히 시제열차의 연구개발 활용은 그 본연의 목적 달성에 가장 큰 기여를 한다고 볼 수 있다. 일례로 본 연구과제를 통한 HEMU-430X의 시운전 시험 중에 있어서도 호남고속선 테스트베드 인프라 성능 검증, 무선급전 시스템의 고속열차 적용가능성 시연, 국방과학연구소가 개발한 항법장치의 고속주행 시 성능 검증, 무선스마트 센싱 기술 연구, 철도공사의 전차선 모니터링 시스템 개발 등 본 과제 외의 타과제 연구를 수행 및 성능 검증 도움을 주었고, 이를 통하여 연구 효용가치를 보다 극대화 할 수 있었다.

해외의 경우에 있어서도 독일 ICE 열차 개발을 위한 시제열차인 ICE-V의 동력차 1량은 Minden 연구소로 보내져 연구개발에 활용되었으며, 일본의 경우 신칸센 열차의 시제차량들인 300-X, STAR21, WIN350 열차 등은 RTRI로 보내져 고속열차의 주행저항 개선 등의 연구에 활용된 사례가 있다.

따라서 본 연구에서는 차세대고속열차의 시제열차 활용방안 수립을 위하여 국내외 시제열차 활용 사례를 분석하고 이를 바탕으로 HEMU-430X 시제차량의 활용방안을 수립하고자 한다. 또한 본 연구를 통하여 향후 활용을 위한 시제차량의 소유권 문제 및 운영 방안도 같이 검토하였다.

나. 국내외 시제열차 활용 사례

(1) 국내 시제열차 활용 사례

(가) 도시철도 표준전동차

도시철도표준화사업으로 개발된 표준전동차(4량1편성(TC-M-M'-TC))은 재활용하고자 연구원으로 소유권을 확보한 후 전시 목적으로 일부 차량을 국립과학관에 무상양여 하였고, 일부는 연구목적으로 활용하였으며, 한국교통대학교에 교육용으로도 제공하였다.

(나) 한국형틸팅열차(TTX)

한국형틸팅열차는 철도차량 능동형 현가시스템 기반기술 및 성능시험기술개발 연구(지정부 산업기반기술개발사업)에 시험 대차로 활용하여 능동현가시스템에 대한 주행시험대 시험결과, 승차감 향상 효과를 입증하였다.

또한 철도 통합무선망(LTE-R) 성능 검증 및 안정성 평가를 수행하였다. 틸팅열차에 안테나, 차상용 조작반, LTE & Wifi 네트워크 장비 등을 장착하여 국가공공 재난 통신망 성능검증 시험을 호남선(광주송정역~일로역, 54.2km)에서 총 267회 차례 수행하였다.

(다) 한국형고속열차 HSR-350X (G7고속전철)

한국형고속열차 HSR-350X는 2015년 1월부터 연구용, 전시용으로 활용되고 있다.

① 고속열차 핵심기술개발 연구 수행을 위한 시험평가 및 시험장비의 부속자재로 활용
“고속열차 효율 향상 핵심기술 개발”과제 등 국내 고속철도 주력 차종인 동력집중형 고속열차 차량의 성능 향상을 위하여 한국형고속열차를 이용한 연구 및 시험평가가 필요하여 대차 동특성주행시험기의 내·외부 시험을 위한 부속자재로 활용하였다.

② 고속열차 기밀형 출입문 기밀성능 평가 활용

고속열차 출입문이 공기역학적으로 열차에 미치는 영향을 분석하기 위하여 G7 고속열차의 출입문을 이용하여 연구를 수행하였으며, 열차의 터널 통과 시 압력변동의 수치적 모사 및 계산 결과를 토대로 객실 내외의 압력차이에 따른 객실 유리창에 작용하는 하중의 크기 도출하여 고속철도 차량의 유리창 강도조건을 설정하는 데 도움이 되었다.

③ 대차 구동장치의 모터, 1차 및 2차 감속장치, 트리포트축 관련 시험

고속열차 대차용 감속 구동장치의 주요 구성품 성능평가를 위한 기어 강도시험 및 해석을 수행하였으며 이를 통하여 감속기 성능향상 방안을 도출하고자 하였다.

④ 기타 여러 연구 지원, 검증 및 전시

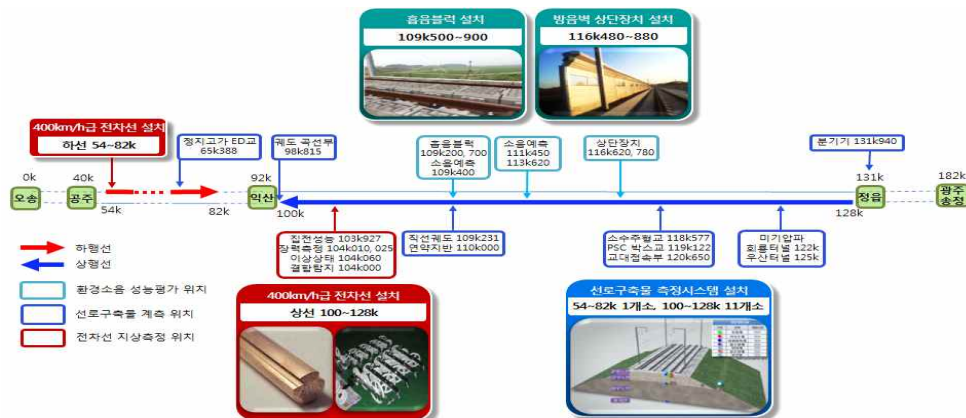
- UNIFE & UIC 『Rolling Stock Recyclability』 관련 연구 등 기반 연구 지원
- 국내 고속철도 냉난방 시험의 검증
- 동력차, 동력객차, 객차(총 3량) 의왕시 자연학습공원 전시

(라) HEMU-430X 안정화 시험 중 타 R&D 과제에 대한 연구 활용 사례

현재 국내에서 유일하게 300km/h 이상으로 시운전이 가능한 시험열차는 오직 HEMU-430X 뿐이며, 이러한 이유로 다수의 고속철도 관련 R&D 개발품의 성능 검증에 활용되고 있다. 다음은 HEMU-430X 차량을 이용한 다양한 연구활용 사례이다.

① 400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 지원

400km/h급 고속철도인프라 시범적용 기술개발은 400km/h 이상으로 주행할 수 있는 시제차량인 HEMU-430X의 안정화시험과 연계되어 기술개발이 계획되었다. 호남고속선 테스트베드 구간은 400km/h 고속 주행을 위한 궤도 및 선로구축물, 전차선 및 관련 금구류, 방음장치와 함께 400km/h 이상 주행시 성능평가를 위한 시험 측정시스템이 설치되었다. 새롭게 부설된 호남고속선 400km/h급 테스트베드의 주요 시설물(전차선, 교량, 궤도, 터널 등)의 성능검증 시험을 HEMU-430X를 이용하여 수행하였고, 이를 통하여 시설물에 대한 설계기술 및 설계기준을 확보하였다.



<호남고속선 400km/h급 테스트베드 선로 구축물 현황>

② 고속열차 감속기 모니터링시스템 기술개발 지원

국토교통부 R&D 과제인 “고속열차용 감속기 모니터링시스템 기술개발”의 핵심성과물인 모니터링 장치의 실차시험을 HEMU-430X를 이용하여 수행하는 것을 지원하였다. 이 기술은 감속기의 동작 상태를 모니터링하고 실시간 분석, 진단하여 이상 발생시 운영자에게 통보되는 감속기 이상상태 모니터링시스템 기술개발이다. HEMU-430X 감속구동장치 현차 이상상태를 실시간으로 출력하고, 실제 운행되고 있는 각 노선별로 고속철도 차량에 시스템을 적용하여 그 유용성을 확인하였다.

③ 철도시스템 미래형 무선 스마트 autonomous 센싱기술 지원

미래부 산업융합전략기술인 대용량 고속 ‘일체형 자가발전 무선 센서 노드’ 기술 개발을 위한 실차시험을 HEMU-430X를 통하여 지원하였다. 이를 통하여 최고속도 400km/h 이상 고속에서 자가발전모듈 발전 성능시험을 성공하였고, 향후 이 과제는 지속적으로 HEMU를 이용할 의향을 보이고 있다.

(2) 해외 시제열차 활용 사례

국내에서 처음 개발된 동력분산형 고속열차인 HEMU-430X의 향후 활용 방안에 대하여 참고자료로 활용하기 위하여 해외의 개발된 시제 고속열차의 일반적 현황과 활용사례 등을 조사하였고 그 결과는 다음 표와 같다.

<해외 고속열차 시제차량 활용사례>

열차명	편성	시험 기간	주행거리	활용열차	특이사항	활용사례
ICE-V (독일)	5량1편성 (2량동력차)	1985.7~1998 (ICE-3의 시제차 제작 시점까지 시험후 중단)	-	ICE-1 60편성(1991) ICE-2(1995) ICE-S(3)	1988.5.1. Genuenden am 본선에서 406.9km/h 최고속도 시험	2006.4.6. 동력차 1량은 Minden 연구소/ 동력차 1량은 Muenchen 교통박물관에 전시
300-X (일본)	6량 1편성	1995.1.~ 2002.1. (7년)	약 30만km	신간선 700 계	1996.7. 443km/h 최고속도 시험	955-1:RTRI 대형 풍동시험 센타 955-6:Hamamatsu Works 그외 2002년 해체
STAR21 (일본)	9량1편성(초 기 6개 동력 대차, 변경 전대차 동 력)	1991.3.~ 1998.2 (7년)	약 20만 km	신간선 E2계	1993.12.21. 425km/h 최고속도 시험	952-1:RTRI 대형 풍동시험 센타, 953-1,5:Sendai 기지 그외 1998년 해체
WIN350 (일본)	6량 1편성	1992.3.~ 1996.5 (4년)	-	신간선 500계	-	500-901:RTRI 대형 풍동시 험센타, 500-906:오사카 교통박물관에 전시 그외 해체
TGV 001 (프랑스)	5량 1편성	1972.4.~ 1978.6. (6년)	약 50만km	TGV-A	1972.12.8. 318km/h 최고속도 시험, 5,227회 주행	T001:Bischheim 기지 T002:Belfort 공장
TGV_A 325열차 (프랑스)	5량 1편성	-	-	TGV	1990.5.18. 515.3km/h	초기 선정시 시험열차 별도 제 작 안함 상업열차 중 1편성을 선정, 시험한 후 정상 영업운행

(3) 국내외 사례 검토 결론

국내외 사례를 종합하면, 시제열차는 크게 다음의 두 가지 방향으로 활용 가능하다.

- 첫째, 철도관련 연구개발사업으로의 활용을 통하여 연구 효용가치 극대화
- 둘째, 대국민 전시 등 연구결과물의 인지도 확보 및 홍보효과 강화

따라서 HEMU-430X 시제열차의 활용 역시 연구개발과제와의 연계를 통한 연구 효용가치 극대화 및 국내외 홍보에 초점을 두고 진행하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

다. 시제열차 활용방안 도출

앞서 연구된 국내외 시제열차 활용사례 및 시제열차 활용 필요성을 바탕으로 다음과 같은 두가지 방안을 시제열차의 활용방안으로 수립하였다.

- 300km/h 이상 고속시운전이 필요한 국가 R&D 과제의 지원
- 시운전 지속을 통한 국내외 인지도 향상 및 해외마케팅 강화

(1) 철도관련 국가연구개발 과제의 300km/h 이상 고속 실차시험 지원

(가) 철도관련 국가연구개발과제의 실차시험 필요성

① 대형 철도관련 국가 R&D 사업의 실용화 요건 향상

기본적으로 대부분의 철도 관련 국가 R&D 사업은 실제 시스템 (차량, 인프라 시설, 신호체계 등)에 대한 적용 및 실용화를 목표로 하고 있다. 특히 고속철도시스템은 안전과 신뢰성이 반드시 보장되어야하는 국가 핵심 교통 체계이므로, 개발된 단위 시스템의 실환경 테스트는 그 신뢰성과 안전성을 확보하기 위한 기본절차이다.

실제로 한국철도기술연구원 주관으로 수행되고 있는 400km/h급 고속철도인프라 시범 적용 기술개발은 HEMU-430X 실용화 기술개발과 연계하여 진행이 되었다. 이 과제의 경우 HEMU-430X의 시운전을 통하여 400km/h 고속철도 인프라의 신뢰성 및 안정성을 확인할 수 있었으며, 또한 HEMU-430X의 호남고속선 테스트베드에서 350km/h 이상 고속 시운전을 통해서 기존 경부고속선에서의 최고속도 300km/h 운행에서 확인할 수 없었던 350km/h 이상 속도에서의 차량 및 각 핵심부품의 신뢰성을 확인하여 과제 본연의 목표인 운영속도 370km/h인 분산형 고속열차의 실용화 요건을 달성할 수 있었다.

따라서 별개의 국가 R&D 과제를 융합하여 연구 성과를 극대화하는 시너지효과를 가져오는 것이 가능해지게 되므로, 시제열차의 시운전을 철도 국가 R&D와 연계하게 되면 연구 효용가치의 극대화가 가능하다.

현재 실차시험이 필요한 국토교통부 대형 R&D 과제는 ‘철도인프라의 유지보수를 위한 고속종합검측시스템 기술개발(2013.5 ~ 2017.5)’ 과제와 ‘일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화 기술개발(2014.12 ~ 2017.12)’ 과제가 검토되고 있다.

이 과제들은 그 신뢰성의 검증 및 실용화에 있어서 반드시 실차시험이 필요한 과제로서 고속운행이 가능한 유일한 시제열차인 HEMU-430X의 시운전이 병행되어야 한다. 각 과제 수행에 있어서 HEMU-430X 시제열차 지원이 필요한 이유는 다음과 같다.

㉠ 고속종합검측시스템 기술개발

고속종합검측시스템 기술개발은 최종적으로 고속철도인프라 (궤도, 전차선 등)를 고속으로 주행하면서 유지보수를 원활하게 할 수 있는 고속검측차량을 개발하는 것을 목표로 한다. 따라서 개발된 각각의 검측시스템을 실차에 장착하여 영업 운행 선로에서 주행하면서 성능을 검증하는 것이 반드시 필요하고, 이를 위해 개발된 검측시스템의 인터페이스 및 통합과 차량 취부를 위한 작업뿐만 아니라 계측 분석을 위한 장치 설치 공간 확보 및 설치 작업 등을 위한 차량개조가 필요하므로 기존 영업운행차량을 활용하기에는 한계가 있다. 따라서, 영업운행 속도인 300km/h 이상으로 주행할 수 있는 시제열차인 HEMU-430X를 활용하는 것이 최선의 방안으로 검토되고 있다.

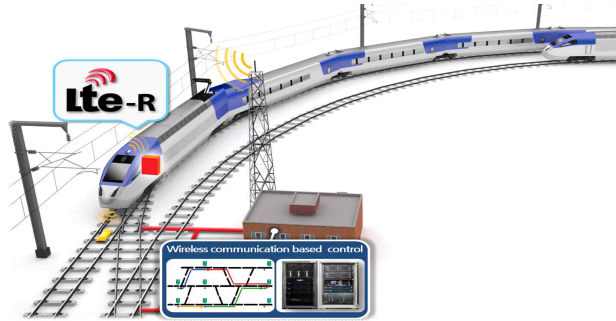


〈HEMU-430X의 고속검측차 활용 및 주요 검측 시스템〉

㉡ 철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화 기술개발

철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화 기술개발은 선행 국가연구개발 사업을 통하여 개발된 철도용 무선통신 기술인 LTE-R 및 그 관련 제어시스템의 실용화를 목표로 하고 있다. 일반철도용 검증을 위해서 상대적으로 저속 운행하는 시제열차인 차세대전동차와 텀팅열차(TTX)를 이용해서 검증작업을 진행해 왔으나, 고속철도용 시스템을 검증하기 위해서는 반드시 고속(250km/h~350km/h)으로 운행하는 시제열차가 필요하다.

앞서 언급한 바와 같이 현재 국내에서 300km/h 이상 고속 운행하는 시제열차는 HEMU-430X가 유일하며, 이를 위해서 상기과제는 지속적으로 HEMU-430X를 이용한 시스템의 성능검증 협조를 요구하고 있다. 고속열차에 있어서 신호시스템은 가장 핵심이 되는 요소로서 열차운행시 안전에 직결되는 핵심시스템이므로, 고속운행을 통한 관련 시스템(인프라/차량)의 신뢰성 및 안전성 확보는 실용화를 위해서 반드시 필요하며, 이를 위해서 HEMU-430X의 고속 시운전을 통한 지원이 핵심사항이었다.



<철도용 무선통신 LTE-R 기술>

② 신기술의 시운전열차 적용을 통한 철도 R&D 경쟁력 확보

HEMU-430X의 시운전 중 감속기 모니터링 시스템 및 무선 스마트 센싱 등의 기술을 시제차량에 적용하여 해당기술의 성능을 검증하였다. 이러한 신기술들 역시 연구 결과의 성능검증 및 실제열차 적용 시 인터페이스 등을 확인하기 위해서는 실차시험을 진행할 필요가 있으므로 현재 국내 유일한 300km/h 이상 운행이 가능한 시제차량인 HEMU-430X을 활용하는 것이 바람직하다.

“고정밀 철도위치검지 기술개발” 과제에서는 시작품의 성능 검증을 위해 400km/h 이상의 철도차량 운행이 가능한 차량이 필요하며, 현재 해당조건에 부합하는 차량은 오직 HEMU-430X 뿐이다. 현재 해당과제의 지원을 위하여 차량에 설치되어있는 GPS 안테나 배선을 별도 공급하였으며, 타코센서 등의 지원도 검토하고 있고, HEMU-430X의 시운전이 지속되기를 해당 과제에서는 희망하고 있다.

고속운행이 필요한 항법장치등의 시험도 HEMU-430X를 통해서 지원이 가능한데, 2014년에는 국방과학연구소(ADD)의 GPS를 이용한 항법장치시스템 역시 HEMU-430X의 300km/h 시운전을 통해서 그 성능을 검증한 바 있다. 따라서 HEMU-430X의 시운전을 지속 운행하여 300km/h 이상에서의 고속시험이 필요한 다양한 신기술의 테스트베드로서 활용이 가능하다고 판단된다.

(2) 국가 R&D 성과물의 국내외 홍보 및 마케팅 강화

현재 HEMU-430X 실용화 기술개발은 안정화시험 누적주행거리 10만km 달성 후 2015년 12월로 종료되었으나, 동력분산형 고속열차의 성공적인 실용화 및 해외시장 진출을 위해서는 계속적인 시운전시험이 필요하다. 특히 해외 고속철도 수요자에게 국내 개발기술을 과시하고 누적 운행거리 연장을 통한 신뢰성지표를 제시하기 위하여, HEMU-430X의 시운전을 지속하는 것 역시 시제열차의 활용을 위한 한 방법이며, 국가 R&D 결과물의 실용화라는 과제 본연의 목표를 달성하기 위한 수단이다.

마. 시제열차 활용에 따른 차량관리 및 운영방안 수립

(1) 시제열차 활용을 위한 차량 정비

본 사업 종료 후 지속적으로 해무를 활용할 수 있는 방안이 도출되고 있으며, 고속검측시스템 개발 및 무선통신망 열차제어시스템 개발 등 타 국가연구개발사업에 개발품을 검증하는 방안이 검토되었다. 효율적인 활용을 위하여 개발차량에 대하여 2015년 11월 28일~12월 8일까지 부산차량정비단에서 중점검을 실시하여, 주요 장치(차량 통신상태, 대차헌팅센서, 감속기, 판토품레프, 보조전원장치(APS) 및 배터리충전장치(BACH), 주회로차단기) 세부 점검, 공기조화장치 필터교체 및 차륜 삭정 등을 수행하였다.

(2) 차량 유치기지 이전

타 국가연구개발사업에서의 해무차량 활용을 위해 개발품을 차량에 탑재하고 튜닝하기 위하여 일정 기간 차량 개조 및 작업이 필요하다. 두 과제에서 선정된 차량 기지는 오송시설장비사무소이며, 효율적인 활용을 위하여 차량 및 관련 물품 등을 이송하였다.

(3) 차량 운용 방안 검토

(가) 차량 운용 일정(안)

<개발차량 활용 과제 일정>

구분	2016년				2017년			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
KRTCS 시험								
개조/장착								
고속검측시험								
검측과제종료								
KRTCS과제 종료								

(나) 차량 운용 검토

본 과제에서는 철도시설 관리기관(철도시설공단) 및 철도 운영기관(철도공사)와 원활한 업무 협조를 하기 위하여 “차세대고속철도기술개발사업 개발차량 시운전시험을 위한 협약서”를 체결하여 시운전 시험 및 관련 업무를 수행하였다. 향후 해무 차량을 운용하기 위해서는 관련 업무 최상위 근거 문서인 위 협약서의 유효화가 필요하다. 이 협약서는 본선시운전시험을 수행하기 위한 업무 및 절차, 책임범위, 기타 유지보수 업무, 사고 발생시 책임 범위 등에 대하여 표 2.6.5.4와 같이 각 기관별로 구분 정의되어 있다.

<협약서내 해무 운행 관련 기관별 업무>

기관	운행 관련 업무	책임 범위
철도연	시험 계획 수립 및 협의, 시험 수행, 기술 검토, 보험 가입, 차량 관리 및 유지보수 등	시운전시험 관련 사고 및 운행 장애 책임, 사고 복구 및 지원 인력, 복구 장비 비용 납부
철도공단	선로사용 협의 및 수행, 시운전 시험 지원 등	사고 복구 협조
철도공사	운전 명령, 시험 및 운전요원 지원, 정비 시설 지원 등	사고 복구 협조

두 국가연구개발사업을 지원하기 위한 방안을 검토하였다.

1안) 국가 R&D 지원을 위한 별도 과제 도출 및 수행

2안) 고속검측과제 해무 관리

3안) KRTCS 과제 해무 관리

각 안별로 시운전시험을 위한 협약, 차량 관리, 과제 기간 동안 해무 관리 등을 검토한 결과는 표 2.6.5.5와 같다.

<해무 활용 방안 검토>

구분	시운전협약	차량관리	과제기간	행정기간	사후관리
1안	◎	◎	◎	△	◎
2안	○	○	△	○	○
3안	△	△	○	○	△

현재 해무 활용을 계획하고 있는 두 국가연구개발사업 및 사업 관리를 맡고 있는 전문기관과 협의하여 효율적인 운용 방안을 도출하고 있다.

7. 사업 통합 및 총괄

가. 사업의 총괄적 조정 및 관리

430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발 연구단과제를 성공적으로 수행하기 위하여 본선 시운전 시험 등 연구 수행을 통해 발생한 주요 이슈사항들과 인터페이스 사항들에 대한 내용을 조정하기 위하여 매 차년도 착수보고회, 매 분기별 정기적 공정회의 개최 및 세부 연구 분야간 인터페이스 회의 등을 수행하였고, 과제 진행 현황 점검 등을 위하여 수행된 현장실태조사 등의 내용을 제시한다.

(1) 착수보고회 및 공정회의 개최

각 기관별 당해 연도 및 연차별 계획을 확인·조정하여 사업의 효율적인 추진을 도모하기 위하여 매 차년도 협약 직후 연구단 착수보고회를 수행하였으며, 기관별 연구 진행현황을 점검하고 향후계획을 협의하며, 과제간 인터페이스 등 현안사항을 논의하기 위하여 매 분기별 연구단 공정회의를 개최하였다.

- ① 1차년도 착수보고회 : 2012년 12월 17일(월)
- ② 2차년도 착수보고회 : 2013년 7월 10일(수)
- ③ 3차년도 착수보고회 : 2014년 7월 18일(금)
- ④ 4차년도 착수보고회 : 2015년 9월 10일(수)
- ⑤ 2차년도 1차 공정회의 : 2013년 10월 25일(금)
- ⑥ 2차년도 2차 공정회의 : 2014년 2월 17일(월)
- ⑦ 2차년도 3차 공정회의 : 2014년 6월 2일(월)
- ⑧ 3차년도 1차 공정회의 : 2014년 10월 27일(금)
- ⑨ 3차년도 2차 공정회의 : 2015년 2월 4일(수)
- ⑩ 3차년도 3차 공정회의 : 2015년 4월 27일(월) ~ 4월 28일(화)
- ⑪ 3차년도 4차 공정회의 : 2015년 7월 29일(수)
- ⑫ 4차년도 1차 공정회의 : 2015년 12월 14일(월)



<사업 착수보고회>



<공정회의>

(2) 연차별 사업내용 조정 및 보완

연구단 과제의 효과적인 연구 추진을 위해서 필요시 전문기관과 협의를 통해서 협약 전 차년도 연구추진계획을 변경하거나 협약기간중 당해연도 협약 변경을 추진하여 연구를 효과적으로 수행하였다.

(가) 2차년도 사업 추진체계 조정

① 변경 사유

- 철도운영기관의 역할 증대에 따라 2개 세부과제에서 3개 세부과제로 변경

② 변경내용

- 1세부과제에 포함되어 있던 분산형 고속열차 국내외 적용방안 연구 내용을 3 세부과제로 분리하여 연구 수행
- 고속철도운영기관인 한국철도공사가 3세부과제 협동연구기관으로 참여
- 주요 연구내용 :
 - 개발시스템 적용성 검토
 - 분산형고속열차 실용화시스템 규격 작성
 - 고속철도 혼합운행 효율화방안 연구 등

(나) 3차년도 사업 추진체계 조정

① 변경내용

구 분	변경 전	변경 후	변경사유
3세부과제 1세부과제와 통합 추진	세부과제 수 : 3 한국철도공사 3세부 과제 협동연구기관 으로 참여	세부과제 수 : 2 한국철도공사 1세부 과제 위탁연구기관으 로 참여	3차년도 3세부과제 연구내용 및 역할 고려, 효율적인 연구 수행을 위하여 과제 통합 추진
공동연구 기관 추가	공동과제 수 : 6	공동과제 수 : 7 - (주)비츠로테크 신규 참여	차세대고속철도기술개발사업을 통하 여 개발된 주회로차단기의 안정화 및 내구성 개선의 필요성으로 3차년도부 터 (주)비츠로테크 과제 참여

(다) 3차년도 1차 협약 변경 (2014.10.21.)

① 구분 : 연구내용

- 분산형 고속열차 국내 도입계획(안) 등 실용화 연구내용 추가

② 변경사유

- 해무 실용화 연구 내용의 강화를 위하여 고속철도운영기관인 한국철도공사의
역할 증대 및 연구내용의 실용화 추진 관련 1세부과제 연구내용을 세분화하여
주관연구기관과 위탁연구기관의 업무분장을 조정함.

※ 예산 변경 없이 기관별 업무분장만 조정함

(라) 3차년도 2차 협약 변경 (2015.2.16.)

① 구분 : 연구비(세부과제간 연구비 조정)

② 변경사유

- 2세부과제 실행예산 부족으로 추가적인 시운전시험 지원이 불가함에 따라 '15.4월까지 추가적인 시운전시험 수행을 위하여 1세부과제 예산 일부(정부지원금 1억원)를 2세부과제 예산으로 변경하여 추진

③ 변경내용

☐ 세부과제별 예산

(단위 : 천원)

세부과제	세부과제 연구기관	변경전			변경후			증감		
		정부	민간	계	정부	민간	계	정부	민간	계
1세부	철도연	1,610,000		1,610,000	1,510,000		1,510,000	-100,000	0	-100,000
2세부	현대로템	1,200,000	421,633	1,621,633	1,300,000	455,037	1,755,037	100,000	33,404	133,404
연구단 운영비	철도연	190,000		190,000	190,000		190,000	0	0	0
계		3,000,000	421,633	3,421,633	3,000,000	455,037	3,455,037	0	33,404	33,404

(마) 3차년도 3차 협약 변경 (2015.7.14.)

① 구분 : 총연구기간, 총연구비, 연구목표

② 변경사유

- 국토교통부 R&D 실용화 점검 결과에 따른 2015년 국토교통기술 연구개발사업 시행계획 변경에 따라 총연구기간 및 총연구비(정부지원금)를 변경하여 추진
- 또한, 분산형고속열차 실용화 추진을 위한 R&D 세부 추진계획에 따라 다양한 동력분산형 고속열차 수요에 대응할 수 있도록 연구목표를 변경

③ 변경내용

☐ 연차별 예산(정부지원금)

(단위 : 천원)

	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계	증감
변경 전	50.44	65.0	30.0	-	145.44	-
변경 후	50.44	65.0	30.0	4.0	149.44	+4.0

☐ 총연구기간

- 변경 전 : 2012.11.28. ~ 2015.8.27. (2년 9개월)
- 변경 후 : 2012.11.28. ~ 2015.12.27. (3년 1개월)

☐ 연구목표

- 변경 전 : 430km/h급 분산형 고속열차 안정화를 위한 시운전시험 및 실용화
 - 시제열차(HEMU-430X) 안정화 및 성능향상(주행시험 10만km이상)
 - 430km/h급 분산형 고속열차 실용화 모델 개발
- 변경 후 : 동력분산형 고속열차 기술의 실용화를 위한 안정화 및 성능 검증
 - 시제열차(HEMU-430X) 안정화 및 신뢰성 향상(주행시험 10만km이상)
 - 동력분산형 고속열차 실용화 모델 개발

(3) 연구 성과 및 일정 관리

(가) 사업 현장점검 수검

- ① 목 적: 「430km/h급 고속열차 실용화 기술개발」 연구단 과제로 수행중인 차세대 고속열차(HEMU-430X) 본선시운전 시험 지연원인 및 조치내역, 향후계획의 타당성에 대한 전문기관 점검 지원
- ② 일 시: 2013년 3월 27일(수), 29일(금)
- ③ 장 소: 부산 차세대고속열차시운전단 사무실 및 한국철도기술연구원 5동 중회의실
- ④ 점검내용

구분	내용
현장점검	○ 시운전시험 현황 - 시험항목별 계측 및 데이터 관리 등 시운전시험 운영 점검 ○ HEMU-430X 차량 현장시찰 - 차량상태 및 관리 현황 - 종합계측시스템 운영 실태(계측항목 및 위치 등)
현장 실태조사	○ 시운전시험 관련 연구비 집행 현황 - 차량 주요부품 보수 및 구입 등 직접비용 - 시운전단 운영 현황(운영비 집행 및 투입인력 등) 등 ○ 1단계사업 시 최고속도 상향조정(400km/h→430km/h)에 따라 증액된 연구비 투입내역의 적정성
진도점검 위원회	○ 당초 연구개발 계획 대비 1차년도 연구실적 ○ 본선 시운전 및 증속시험 현황 - HEMU-430X 설계목표 대비 성능시험 결과 및 개선내용 - 차량시스템(추진, 제동 등) 고장특성 및 분석결과, 조치내용 - 전차선/신호/선로구축물과의 인터페이스 시험 결과 등 ○ 최고속도 달성 지연사유 분석결과와 타당성 및 대응조치의 적절성 ○ 향후 계획 - 향후 시운전 시험계획 - 분산형 고속열차 실용화모델 개발 계획 등

⑤ 점검 결과

- 주행저항 예측치의 부정확성이 최고속도(430km/h) 미달성의 주요 원인으로 지적되었으며, 전동기 출력 증대 및 공기저항 저감 등 최고속도 달성을 위한 연구진의 다각적인 노력은 인정됨.
 - 일부 의견으로, 고속에서의 항력저감 및 안정성을 위한 세부 기술 분야의 연구 실적이 저조하고, 고속주행에서의 항력증가 측정결과에 대한 분석연구 보완이 필요하며,
 - 최고속도 달성을 위해서는 추진저항, 가속도, 차량중량 등을 고려하여 견인력과 전기적 사양에 대한 재설계가 필요함.
- 1차년도 연구계획 대비 실적을 확인할 수 있는 자료가 부족하여 주관/협동/공동과 제별 진도보고서 제출 필요
 - 2세부 협동기관 현대로템(주)은 참여기업(공동연구기관)에 대한개발일정 및 설계인터페이스, 연구비 집행 등 진도관리를 강화하여 연구실적을 개선하여야 함.

(나) 공동연구과제 현장점검

- ① 430km/h급 고속열차 실용화기술개발 과제 관련, 공동연구과제를 대상으로 진도관리를 위한 현장점검
- ② 목적
 - 공동연구과제별 연구추진 및 예산집행 등을 현장 방문 조사함으로써 사업비 사용 및 연구장비 관리의 적정성, 연구개발 목표의 달성 정도 및 기술적 수준, 개발방법의 적정성, 정량적 실적, 연구개발비 사용현황 등을 점검함
- ③ 점검단 구성 : 연구단장, 주관연구기관 담당자, 협동연구기관 책임자 및 담당자
- ④ 주요 점검 항목 : 개발목표 달성정도, 연구진행 현황, 기술적(성능)수준 및 개발방법의 적정성, 연구기자재 구입 및 연구장비 관리의 적정성, 연구개발비 집행현황 및 계획 등
- ⑤ 점검일정 : 2013년 12월 19일 ~ 12월 20일

(다) 최고속도 미달성 관련 현황조사 및 현장점검 수검

- ① 목 적: 국토교통부의 해무 R&D 사업관리 보완요청에 따른 ‘430km/h급 고속열차 실용화 기술개발’ 연구단의 최고속도 미달성 관련 원인규명과 조치
- ② 관련근거
 - 연구개발사업 운영규정 제34조(진도관리) 및 제36조 (연구 개발결과의 평가)
 - 국토교통부 철도안전정책과-4143('15.08.19)
- ③ 추진방법
 - (최고속도 미달성 현황조사) 증속시험 준비·시행과정의 적정성, 증속시험 결과 최고속도 미달성에 따른 후속조치의 적정성 검토
 - (현장점검) 해무-430X 실차시험을 통한 증속시험의 적정성 검토
- ④ 일시 및 장소 : '15.10.17(토) ~ '15.10.18(일), 광주역 회의실, 호남고속선
- ⑤ 점검단 구성
 - 국토교통부(철도안전정책과 담당사무관), 국토진흥원(철도실장, 과제 담당 연구원)
 - 점 검 위 원 : 철도차량, 철도시스템 엔지니어링 등 전문가 10인 내외
- ⑥ 점검단 점검의견 종합
 - 당초 최고속도 400km/h가 430km/h로 상향되었고, 경부고속속 증속시험 이후 연구단에서는 열차성능을 개선하였음
 - 개선된 차량의 성능은 430km/h급으로 판단되고 TPS 결과로 최고속도 목표 달성이 가능할 것으로 보이지만, 영업선인 현 국내 시험선로 여건으로는 인프라의 추가 조정 없이 목표 달성은 어려울 것으로 보임
 - 향후 신뢰성 및 안정성 향상을 통한 연구성과의 사업화에 집중하여야 함

(라) 연구단 자체평가

① 개최목적

- 철도기술연구사업으로 추진 중인 “430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발” 연구단과제에 대하여 최종평가에 앞서서 자체평가를 통하여 세부과제별 연구실적 및 연구목표 달성도 확인 등 사전검토를 수행하고자 함

② 관련근거

- 국토교통연구개발사업 관리지침 제34조(최종평가 사전검토) 제2항

③ 평가대상 과제

- 430km/h급 고속열차(HEMU-430X) 실용화 기술개발

분류	세부과제명	협동연구기관	연구책임자
1세부	430km/h급 고속열차 시운전시험 연구	한국철도기술연구원	김석원
2세부	430km/h급 고속열차 안정화 및 유지보수체계 구축 기술개발	현대로템(주)	이병석

④ 일자 및 장소

- 일 시 : 2015. 12. 14(월) 15:00~18:00
- 장 소 : 한국철도기술연구원 5동 3층 중회의실

⑤ 평가절차

추진절차	세부내용	일자
계획수립 (주관기관) 	• 최종평가전 자체평가계획 수립	'15.12.03
자료접수 	• 연구수행 결과(연구성과 등)를 확인할 수 있는 자료 및 자체평가 발표자료 제출	'15.12.11
자체평가 (평가위원회) 	• 세부과제책임자의 발표 및 질의·응답을 통한 발표평가 실시 • 위원별 평가결과를 바탕으로 과제별 평가서 및 종합결과서 작성	'15.12.14
평가결과 조치	• 평가위원회의 평가의견을 반영토록 세부연구기관에 통보 • 평가의견 반영여부 검토 및 보완계획 제출 • 자체평가 결과 전문기관 보고	'15.12.21

⑥ 평가결과

분류	세부과제명	주관/협동연구기관	연구책임자	평가결과
1세부	430km/h급 고속열차 시운전시험 연구	한국철도기술연구원	김석원	82.7
2세부	430km/h급 고속열차 안정화 및 유지보수체계 구축 기술개발	현대로템(주)	이병석	80.0

(4) 연구 성과의 홍보

(가) 차세대고속열차 국내 최고속도 달성 홍보행사

① 개최 목적

국가 연구개발 사업으로 개발된 차세대고속열차(HEMU-430X)의 최고속도시험 현황 및 결과를 언론에 홍보하여, 연구 성과를 국민에게 알리고자 함.

② 일시 및 장소

- 일시 : 2013년 03월 30일(토) 23:30~03월 31일(일) 04:20
- 장소 : 부산역 (부산↔동대구)

(나) 부산 국제 철도 및 물류 산업전 참가 시제열차 전시

① 참가 목적

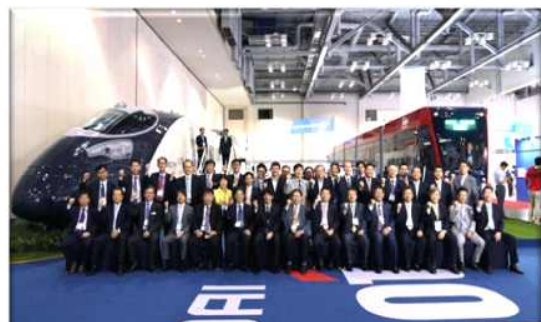
2013 부산 국제 철도 및 물류 산업전에 참가하여 차세대고속열차 대국민 및 해외 시청 청 홍보

② 참가 기간 : 2013.6.12. ~ 6.15일

③ 전시 대상 : TC, M1 car 및 동기전동기용 대차 실물 전시



<최고속도 달성 홍보행사>



<부산 국제 철도 및 물류산업전 전시>

(다) 차세대고속열차 연구 성과 등의 언론매체 홍보

- KBS, SBS, MBC 뉴스, EBS 기획방송 등 방송사 뉴스 및 신문 등의 언론 매체에 345개의 방송 및 기사를 통하여 연구 성과를 홍보하였다.



<SBS 뉴스 (2013.01.03)>



<MBC 뉴스 (2012.12.14)>



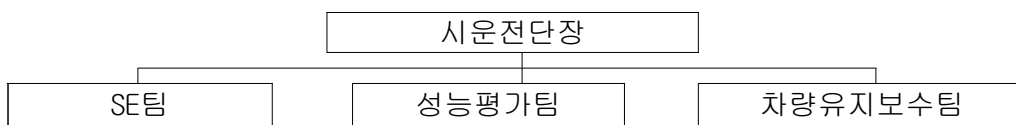
<EBS 기획방송 (2013.09.28)>

나. 시운전단 구성 및 시험운행 총괄

차세대고속열차의 안정화 및 신뢰성 검증을 위한 본선시운전시험을 효율적으로 추진하기 위해 한국철도기술연구원, 한국철도공사, 한국철도시설공단, 현대로템(주) 등 8개의 관련기관이 참여하는 “차세대고속열차 시운전단”을 구성하여 효율적인 시운전 시험 업무를 수행하였으며, 본선 시운전 진행시 주요 이슈사항에 대한 인터페이스 조정을 실시하였다.

(1) 시운전단 구성 및 운영

- 총괄기관인 한국철도기술연구원을 중심으로 3개 팀으로 구성



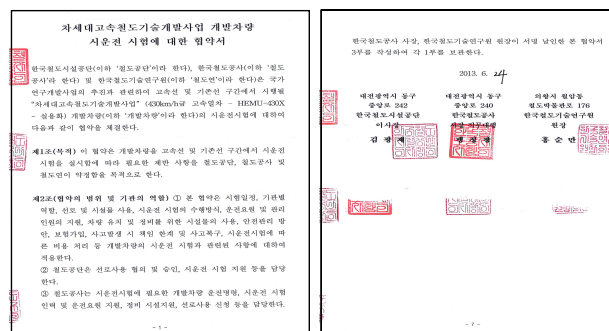
(2) 본선 시운전 효율적 운용 관리를 위한 관계 기관과의 협약 체결

(가) 차세대고속열차 시운전시험을 위한 부속 협약 개정

- “차세대고속철도 개발차량 시운전 시험에 관한 협약”연장에 따라 운전요원 파견(6조), 시운전시험 관련 비용처리(11조) 및 차량의 운송(12조)을 위한 부속 협약 개정
- 협약체결기관 : 한국철도공사, 한국철도기술연구원
- 협약체결일 : 2012년 11월 13일

(나) 시운전시험을 위한 협약 개정

- 차세대고속열차의 안정화 시험을 위하여 관련된 사항의 관계 기관 행정 조치 및 지원을 받기 위하여 철도공단/철도공사/철도연 협의에 의하여 차세대고속열차 최고속도시험을 위하여 기존에 체결된 협약을 개정함
- 협약 기간 : 협약 체결일 (2013년 6월 24일) ~사업 종료시
- 협약식 개최 : 2013년 6월 24일 한국철도시설공단 회의실



<안정화시험 협약 체결>

(다) 부속 협약서 개정

- “차세대고속철도기술개발사업 개발차량 시운전시험에 대한 협약”이 개정됨에 따라 본 협약에 대한 부속 협약서를 개정, 연장 조치함
- 개정 시행 : 2013년 7월 12일부터 적용

(3) 시운전시험을 위한 안전 관리

(가) 안전 대책 1차 개정

- 안정화 시험을 위한 주행 구간 연장 (부산~동대구 →시운전시험)에 따른 안전 대책을 개정함
- 이례사항 발생시 신속한 대처와 안전관리 및 대책 마련을 위하여 한국철도공사 안전실을 통한 안전성 검증을 받아 그 내용을 반영

(나) 안전 대책 2차 개정

- 호남고속선 투입을 위한 주행 구간 추가(오송~광주 →시운전시험)에 따른 안전 대책을 개정함

(다) 안전교육 실시

- 개정된 안전대책에 따라 매월 정기적인 안전교육을 실시함
- 시운전시험시 출발 전·후 안전 회의를 진행함

(라) 신규 운전요원 실무 교육

- 기존 운전요원(기장)의 파견 기간이 2014년 5월 말로 종료됨에 따라 차세대고속 열차 운전 기본교육을 이수한 신규 운전요원의 실무 시운전 교육을 실시함
- 일시 : 2014년 4월 7일 ~ 11일 (총 5일)
- 교육 내용 :
 - 차량시스템 주요 구성품 개선 내용
 - 본선 시운전 교육
 - 차량 유지보수 및 안전 체계 등



<외부 전문가 초청 안전교육>



<신규 운전요원 실무 교육>

제 2 절 430km/h급 고속열차 안정화 및 유지보수체계 구축 기술개발

1. 본선시운전 지원 및 차량시스템 안정화

가. 분산형 고속열차 안정화 본선시운전 지원

(1) 본선 시운전

(가) 본선 시운전 일지 작성

본선 시운전 시 매 시험에 대한 시운전 시험일지를 작성하였으며, 세부사항은 다음과 같다.

- 총누적거리, 당일 주행거리
- 작업현황 : 작업계획, 작업 실적 및 문제점, 작업 예상 사항(명일)
- 본선 시운전 현황 : 운행다이어, 주행조건 및 시험항목, 시험 현황 및 문제점
- 운행후 문제점 협의 : 시운전시 문제점 점검 및 조치 계획
- 특이사항

(나) 본선 안정화 시험 운행 현황

① 운행선로

- 부산 ~ 광명 왕복
- 부산 → 광명(편도, 광명주박)
- 광명 → 대전 → 광명 → 대전
- 광주송정역 → 익산역 구간

② 운행속도 : 최고속도 300km/h, 호남선 구간 400km/h

③ 시험항목 : 시스템 안정화, 신뢰성 확보

④ 운행횟수 : 총 229회(실용화 사업 운행 횟수 : 199회)

⑤ 총 누적수행거리 121,145km(실용화 사업 누적거리 : 111,059km)

(2) 본선 시운전을 통한 문제점 개선

(가) 문제점 조치 현황

- 2012년 5월 ~ 2015년 12월까지 총 272건 조치함.

(3) 시운전 진행 이력

실용화 과제(2012. 11. 28 ~ 2015. 12. 27)에서의 시운전 진행 이력은 다음과 같다.

- 총 주행시험 회수: 199회
- 누적 주행거리 : 111,037km
- 최고속도 달성 : 421.4km ('13 . 3. 28)

(4) 출발전 점검표 및 운행 후 점검표

본선 시운전시 출발전 점검 및 운행후 점검을 다음과 같은 양식으로 차량 상태 및 주요 장치를 점검하였다.

(가) 출발전 점검표

점검일시: 2014년 월 일			점검기장 : (서명)				
점 검 내 용	TC	M1	M2	M3	M4	MC	검 사 의 견
- 축전지 전압(90V 이상)							
- SW-SIG-01 《1·2 ON》 위치							
- 기타 각종 스위치 《ON》 위치							
- 운전정보화면 신호전환/장전상태							
- 차량정보화면 상태							
- 지원정보화면 상태							
- 팬터그래프 상승상태							
- 주회로차단기 투입상태							
- MPS 상태							
- APS 상태							
- Battery Charger 상태							
- 소화기등운전용품, 안전용품 적재							
- VDS 기능							
- 살사장치 기능							
- 운전 보류 기능							

◆특기사항

장치명	특기 사항

※ 부적합이 있을 경우 검사의견 및 특기사항에 기록 후 인계

(나) 운행 후 점검표

- 운행후 다음의 양식을 이용하여 차량 상태점검 실시
- 대차 및 기계장치

위치		대차 (박리 및 찰상)	1차 수직 댐퍼	요 댐퍼	요 댐퍼 브라켓	상부 차간 댐퍼 (L/R 구분)	상부 차간 댐퍼 브라켓 (L/R 구분)	하부 차간 댐퍼 (L/R 구분)	하부 차간 댐퍼 브라켓 (L/R 구분)	횡댐퍼 (L/R 구분)	2차 수직 댐퍼 (L/R 구분)	현수 장치 (L/R 구분)	기 타
TC(B1)	AL												
	AR												
	BL												
	BR												
TC(B2)	AL					TC ~ M1							
	AR												
	BL												
	BR												
M1(B3)	AL												
	AR												
	BL												
	BR												
M1(B4)	AL					M1 ~ M2							
	AR												
	BL												
	BR												
M2(B5)	AL												
	AR												
	BL												
	BR												
M2(B6)	AL					M2 ~ M3							
	AR												
	BL												
	BR												
M3(B7)	AL												
	AR												
	BL												
	BR												
M3(B8)	AL					M3 ~ M4							
	AR												
	BL												
	BR												
M4(B9)	AL												
	AR												
	BL												
	BR												
M4(B10)	AL					M4 ~ M5							
	AR												
	BL												
	BR												
M5(B11)	AL												
	AR												
	BL												
	BR												

(5) 본선시운전 시 시운전 일지 작성

본선시운전 일지는 아래와 같이 시운전시 마다 작성하였다.

HEMU 유지보수 및 시운전 현황

누적거리		총 누적거리 : 78,628km	주행거리 : 814km(본선+기지내주행)	2014. 04. 22일
구분	금일(04/22일 화요일) 작업현황			(04/23일 수요일) 작업 예정 사항
	작업 계획		작업 실적 및 문제점	
	▶ 출발전 점검	▶ 출발전 점검	- 주요장비 이상없음	
	▶ 본선 시운전	▶ 본선 시운전		
	▶ 운행 후 점검	▶ 운행 후 점검		
				▶ APS, BACH, MPS 고압 연결선 분리
본선 시운전 현황 (148회)	운행 다이아		주행 조건 및 시험 항목	시험 현황 및 문제점
	1. 부산기지(07:45) -> 부산역(08:18)		부산역이동	차량상태 1. TC, M4 승강문 거리(계측선) 2. M3 대차5번 B/R측 제동패드 교체 3. M1<->M4 판토틀로그 교체 4. 상행시 선두차량 교체(TC->MC) 문제점 1. 신호장치 - 범일역 절연구간 오동작(신호장치 RESET)
	2. 부산역(08:44) -> 동대구역(09:31)		- 300km/h 주행 - 신호장치응동시험 - 판토틀로그 모니터링 - MPS 모니터링	1. 운행 최고 속도 : 230km/h 문제점 1. 차량 - 후부 흔들림으로 인한 서행
	3. 동대구역(09:35) -> 대전역(10:28)		- 300km/h 주행 - 신호장치응동시험 - 판토틀로그 모니터링 - MPS 모니터링	1. 운행 최고 속도 : 230km/h 문제점 1. 신호장치 - 지천역 절연구간 미 제어
	4. 대전역(10:32) -> 광명역(11:11)		- 300km/h 주행 - 신호장치응동시험 - 판토틀로그 모니터링 - MPS 모니터링	1. 운행 최고 속도 : 301km/h
	5. 광명역(11:14) -> 광명기지(11:24)		광명기지로 이동	
	6. 광명기지(12:46) -> 광명역(12:55)		광명역으로 이동	
	6. 광명역(12:59) -> 대전역(13:43)		- 300km/h 주행 - 신호장치응동시험 - 판토틀로그 모니터링 - MPS 모니터링	1. 운행 최고 속도 : 300km/h
	6. 대전역(13:50) -> 의왕역(15:26)		디젤 기관차 회송	1. 운행 최고 속도 : 150km/h
	7. 철도기술연구원 특등 유치		철도기술연구원 특등 유치	철도기술연구원 특등 유치
운행 후 문제점 협의	1. 차량		1. 후부차량 흔들림	1. 조치 진행중(중점검시 진행)
	2. 신호장치		1. 범일역 절연구간 오동작 2. 지천역 절연구간 미 제어	Data 분석 후 조치 예정
특이사항				
출장자	차량 (로템)	▶ 고속차량개발팀 - 문성훈 연구원		
		▶ 유지보수 및 시운전 지원(성호테크) - 김준섭 과장 외 5명		
	주요 전장품	▶ 유전기공 - 김영재 사원	▶ LS안전 - 김석원 주임연구원	▶ 팩테크 - 장준섭 사원

2. 핵심부품 성능 개선

가. 핵심부품 성능 개선

본 과제 수행기간동안 시운전시험 수행을 통하여 아래와 같이 17개 품목에 대한 성능 개선을 실시하였다.

No.	장치명	주요 성능 개선 사항
1	주회로차단기	○ 조작기PMA] Holding force 개선으로 소음 저감 (93dB(A)~102dB(A) → 85dB(A)[객실내 기준]) ○ 제어회로 변경으로 오동작 감소(제어기→하드웨어 구동) ○ 소자의 성능 개선으로 신뢰성 향상
2	주전력변환장치	○ 수냉각장치 냉각 성능 개선 (소자간 온도 최대편차 4K 개선) ○ DC LINK 출력성능 향상(커패시터 정격 2880V→3300V)
3	주변압기	○ 효율 상승 및 장치 온도상승 저하(수입품 대비 온도상승 저감)
4	대차 타이스트랩	○ 대차 타이스트랩 강도 개선 (재질 변경AL Si7Mg0.6S→CNCrM 2B)
5	보조전원장치 및 축전지 충전장치	○ 기동시간(12초→8초)단축 - 주요 전장품 냉각효율 향상
6	대차 에어스프링	○ 횡강성 개선(에어스프링 커버 설치) -고속주행시 차량 흔들림 저감
7	전두부 대차스커트	○ Locking 장치 개선 (Locking 장치 4개 추가, 강제구속방식 적용) -탈락 사고 방지 및 고정 안전성 개선
8	DU	○ DU 메인보드 및 LCD 성능 개선 (CPU1.6GHz ATOM, LED Backlight)
9	신호장치	○ 제어보드 3종 개선 (Atc불연속 신호처리보드, 출발전 시험보드, ATS ODC보드) -안정성 증대
10	판토그래프	○ 세미액티브 제어 - 집전성능 향상 (평균접촉력 기준치(200Fm 이하) 이내)
11	대차커버	○ 신규 공력저감용 대차커버 설치 - 주행중 공기저항 저감
12	제동장치	○ 온도변화 및 외란에 강한 EP전자밸브 성능개선
13	후미진동 개선	○ 요댐퍼4개 제거 ○ 요댐퍼 설치 각도 변경 : $\beta=7.35^\circ \rightarrow 0^\circ$ 변경 - 승차감 향상 및 주행 안전성 개선 ○ 상부 횡댐퍼 추가
14	에어댐	○ 주행저항 저감
15	공기압축기	○ 차량 진동 저감(승차감 향상)
16	견인전동기	○ 410KW → 470KW 성능 개선
17	통로연결막/갭웨이/싸이드베리어/판넬장치	○ 승객의 차량간 이동시 안전성 확보

(1) 주회로차단기(MCB) 개선

(가) 개선 조작기 설계 목적

① Holding force를 감소시키기 위한 목적

㉠ 개선 목적

- 조작기(PMA) 투입/차단으로 인한 소음
- 제어기의 오류로 인한 장애 발생

㉡ 개선사항

- 조작기(PMA) Holding Force 감소[270kgf → 200kgf]
- 제어회로 변경[컨트롤러 방식 → 하드웨어 구동방식]
- 기존 커버의 개방구조에서 밀폐식 구조로 변경
- 2중 방음제 구조 변경

㉢ 현차 취부

- 일시 : 2015년 8월 18일 ~ 2015년 8월 20일
- 장소 : 부산차량기지
- 차단기 설치 후 정상 동작 확인



<주회로차단기 설치 사진>

㉣ 본선 시운전

- 1차 : 2015년 8월 20일
 - 경로 : 부산 → 울산 → 신경주 → 동대구 → 신경주 → 울산 → 부산
 - 내용 : 차단기 탑재 후 상기 경로구간 운행하여 주회로차단기의 정상동작 확인

- 2차 : 2015년 9월17일
 - 경로 : 부산 → 울산 → 신경주 → 동대구 → 신경주 → 울산 → 부산
 - 내용 : 차단기 탑재 후 상기 경로구간 운행하여 주회로차단기의 정상동작 확인
- 3차 : 2015년 10월15일
 - 경로 : 부산 → 광명 → 광주(송정)
 - 내용 : 차단기 탑재 후 상기 경로구간 운행하여 주회로차단기의 정상동작 확인
- 4차 : 2015년 10월19일
 - 경로 : 광주(송정) → 광명 → 부산
 - 내용 : 차단기 탑재 후 상기 경로구간 운행하여 주회로차단기의 정상동작 확인
- 5차 : 2015년 11월10일
 - 경로 : 부산 → 울산 → 신경주 → 동대구 → 신경주 → 울산 → 부산
 - 내용 : 차단기 탑재 후 상기 경로구간 운행하여 주회로차단기의 정상동작 확인
- 6차 : 2015년 12월09일 (예정)
 - 경로 : 부산 → 울산 → 신경주 → 동대구 → 신경주 → 울산 → 부산
 - 내용 : 차단기 탑재 후 상기 경로구간 운행하여 주회로차단기의 정상동작 확인

㉞ 소음측정시험 (개선전·변경후 Data비교)

- 1차 개선품
 - 일시 : 2015년 4월 20일, 2015년 8월 20일, 2015년 9월17일
 - 측정방법 : 주회로차단기 동작시 M1 Car에서 제일 가까운 객실 3번째 열
시트에서 투입/차단시 소음을 측정(단위:dBA)
프리퀀시 웨이팅(주파수 보정), Fast(125ms), Max(소음최대치)
 - 측정장비 : 소음측정기(TES 1350A)
- 2차 개선품
 - 일시 : 2015년 10월 15일, 2015년 10월 19일
 - 측정방법 : 주회로차단기 동작시 M1 Car에서 제일 가까운 객실 3번째 열
시트에서 투입/차단시 소음을 측정(단위:dBA)
프리퀀시 웨이팅(주파수 보정), Fast(125ms), Max(소음최대치)
 - 측정장비 : 소음측정기(NA-28(RION))
- 3차 개선품
 - 일시 : 2015년 11월 10일, 2015년 12월 09일, 2015년 12월 16일(예정)
 - 측정방법 : 주회로차단기 동작시 M1 Car에서 제일 가까운 객실 3번째 열
시트에서 투입/차단시 소음을 측정(단위:dBA)
프리퀀시 웨이팅(주파수 보정), Fast(125ms), Max(소음최대치)
 - 측정장비 : 소음측정기(NA-28(RION))



<주회로차단기 동작소음 측정>

다음 표와 같이 기존대비 개선품 (1차~3차) MCB의 소음이 감소함을 알 수 있다.

<MCB 변경 전·후의 소음비교(dBA) 결과 (M1 MCB기준)>

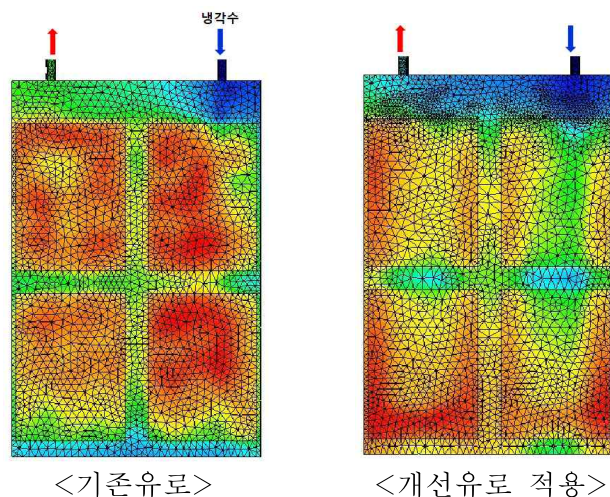
측정 위치	기 준		1차 개선		2차 개선		3차 개선	
	투입	차단	투입	차단	투입	차단	투입	차단
객실	89.8	86.5	87.6	82.1	83.1	83.1	82.9	77.8
	88.0	86.1	88.0	81.5	83.0	83.0	83.2	76.5
	89.4	85.5	87.9	81.9	78.4	78.4	78.0	75.5
	-	-	87.7	81.0	86.8	83.4	80.5	73.2
	-	-	87.4	81.4	84.6	76.2	84.4	73.3
평균	89.1	86.0	87.7	81.6	83.0	81.0	82.0	75.0
소음 감소	-	-	1.3	4.5	6.1	5.0	7.1	11.0

(2) 주전력변환장치 성능 향상

DC Link 출력 향상(2800V → 3000V)에 따른 Converter부/Inverter부 온도 상승 관련 하여 냉각시스템의 개선을 진행하였으며, 시험 완료 후 차량에 설치하였다.

(가) 수냉각시스템 성능 개선

- ① 목적 : 유로 형상 개선을 통한 발열체 부착위치 간 온도편차 감소
- ② 성능 : 발열량 9kW, 냉각수량 19liter/mim(EG50%), 상온 조건
 - 기존품 : 소자간 온도차 7K
 - 개선품 : 소자간 온도차 3K(목표)
- ③ 유로현상
 - 기존품 : 냉각수가 유입되어 출구까지 순차적으로 순환
 - 개선품 : 유입된 냉각수가 상부 외곽측까지 곧바로 이동하고 냉각수 내부를 순환 하고 난 후 출구로 배출
- ④ 해석결과
 - 기존 유로 : 냉각구 입구쪽 소자와 최대 온도발생 소자간 온도차 10K
 - 개선 유로 : 냉각구 입구쪽 소자와 최대 온도발생 소자간 온도차 4K
 → 유로형태 변경으로 소자간 온도차가 감소할 것으로 예상되며, 이로 인해 개선 유로 적용품의 냉각성능은 기존적용품보다 11K 정도 온도 개선효과 있을 것으로 예상됨(기존유로 : 36K, 개선유로 : 25K/발열량 9kW, 냉각수량 19lpm 기준)



⑤ 시험결과

구분	개선품		기존품		
	32kW Pump 60Hz	36kW Pump 60Hz	32kW Pump 60Hz	36kW Pump 60Hz	32kW Pump 60Hz Fan Duct 제거
ΔT max	51.2K	58.3K	68.6K	79.2K	66.3K

- 개선품 시험 결과 32kW 입력 열하부 조건에서 51.2K로 개선됨
- 같은 조건의 기존품과 비교하였을 경우 15.1K 개선되는 결과됨

⑥ 개선품 차량 설치

- Inverter 및 Converter 스택에 설치되어 있는 수냉각 판넬을 제거하고 개선된 수냉각 판넬로 교체 설치 하였다.



<교체 설치 작업 사진>

(나) DC Link 전압 성능 개선

① 링크 전압 증가 사유

유도기 특성상 일정전압영역에서 속도가 증가(주파수가 상승)하면 고정자에 인가되는 자속밀도가 감소된다. 고속영역에서 자속밀도는 전동기의 출력과 비례하므로 동일 주파수에서 인가되는 전압을 올려주게 되면 자속밀도가 상승하게 되어 전동기의 출력이 증가한다. 그러므로 DC Link전압을 올린 전동기에 인가되는 전압을 상승하게 되면 동일 속도에서 전동기의 출력이 상승하는 효과가 있다.

- 기대효과

DC Link 전압의 증가는 견인전동기 출력 상승효과를 가져오므로 동일 속도에서 낼 수 있는 토크가 증가하였음. 그러므로 현재 DC Link 전압을 2800V에서 3000V로증가시키면 견인전동기의 출력이 410KW에서 470KW로 증가하여 동일 속도에서 낼 수 있는 토크가 증가하는 효과를 기대 할 수 있다.

- MPS 내부 수정 작업(M CAR용)

→ M CAR용

- 인버터 스택 및 컨버터 스택 분리 후 커패시터 유닛 교체

(3) 주변압기 국산화 개발

차세대고속철도기술개발사업에서 주변압기는 해외 제품을 적용하였으나, 본 과제에서 국산화 제품을 개발하여 현차시험을 실시하였다.

(가) 사양

① 타입

Single phase, Shell form

② 냉각 방식

Forced oil, forced air cooling

③ 정격

정 격	1 차	2 차	3 차
	연 속 정 격	연 속 정 격	연 속 정 격
용 량 (KVA)	4,350	1,900 x 2	450
전 압 (V)	25,000	1,400 x 4	380
전 류 (A)	174	696 x 4	1,184
주 파 수 (Hz)	60		



<주변압기 완제품>

④ 주변압기 해외 제품 대비 국산화품 비교시험 결과

시험결과 요약	기준치	해외 제품	국산화품
효율[%]	96.5이상	97.3	97.47
무부하손[W]	2,500이하	2,800	2,420
부하손[W]	138,000이하	116,403	104,627
유온도 상승[K]	85이하	54.6	27.9
권선온도 상승[K]	125이하	63.2	46.5

* 해외 제품과 동등이상의 효율을 보이며 온도 상승에 관련해서는 더 좋은 성능을 보이고 있음

(4) 대차 타이스트랩 강도 개선

시운전 시험 과정에서 TC CAR 우측 전두부(앞쪽) 타이스트랩 크랙이 발생됨에 따라 원인분석을 통하여 개선품을 현차에 적용하였다.



(가) 발생원인 분석

① 강도검토

<재질별 허용 항복 강도와 해석 결과 비교>

구분	재질	허용항복강도(Mpa)	해석결과(Mpa)	검토결과
기존품	EN AC-42200 (Al Si7Mg 0.6), T6	210	485	기준초과
개선품	SCNCrM-2B	685		기준이내

② 검토의견

해석 결과 기존 재질인 EN AC-42200(Al 계열)의 항복강도 기준을 초과하는 응력이 발생하고, 개선 재질인 SCNCrM-2B(Steel 계열)의 항복강도는 기준 이내임을 확인하였다. 기존 재질로는 축상 및 살사장치 브라켓으로부터 오는 부하/진동을 견디기 힘들에 따라 개선 재질로는 최대 발생응력 대비 안전율 1.4를 확보하여 적용함으로써 타당하다고 판단된다.

(나) 강도 개선품 설치

① 설치위치

TC(1번 대차), MC(12번 대차) 전두부 A축 좌/우 각 1개씩 설치하였다.

② 시제차량 설치



(5) 보조전원장치 및 배터리 충전장치 성능개선

(가) 보조전원장치 개선품 제작

① 보조전원장치 주회로 개선

- IFC: 1100V/4700uF 1EA 추가 (DCLINK단 리플 개선용)
- LK: CT1315/04(1200A, 3P) → CT1115/08(800A/1P)로 변경 (사이즈 축소)
- CT: Locking 방식 강화 (LF305, LF505)
- 보조전원장치 주회로 개선 사유 및 효과

항목	기존 모델	현재 모델	변경 사유	기대 효과
IFC	E56.A26-475 200*3EA (1100V/4700 uF*3EA)	E56.A26-475200*1EA 추가 취부 (1100V/4700uF*1EA) = 1100V/4700uF*4EA	안정적인 DCLINK 전압을 확보하여 APS 출력 특성을 개선하는 목적	- DCLINK 전압 리 플 감소로 IGBT 등 주요부품 데미 지 감소
LK	CT1315/04 (400A*3Pole =1200A)	CT1115/08 (800A*1Pole=800A)	기존 개발 당시 LK 800A 모델 생산되지 않았음. 현재 LK 800A 1Pole 모델이 생산되므로 변경	- LK 사이즈 소형화 로 입력필터박스 전체 사이즈 축소 가능 (양산 시 1/3 축소 가능) - 입력필터박스 내부 구조 단순화
CT	- ES300C (DCLINK 전류용) - ES500C (출력전류용)	- LF305-S/SP10 (DCLINK전류용) - LF505-S/SP22 (출력전류용)	기존 CT는 CT 2차 측 센싱부 커넥터가 진동에 취약한 구조 로 되어 있어 장치 에 취부/배선 시 커 넥터 부를 빠지지 않도록 추가 보강이 필요했음	- Locking 커넥터 및 볼트 조임 방식으로 안정성 확보 - CT 변경으로 신뢰 성 향상 및 추가 보 강 작업이 필요없으 므로 원가 절감

<IFC, LK, CT 변경 사유 및 효과>

② 보조전원장치 기구도면 개선

㉞ Input Filter Box 개선

- 무게 중심 중앙 이동: Input Filter Reactor 무게 중심 중앙 이동
- 위치 변경: LK 사이즈 축소로 저항 등 바닥면으로 취부
- 재배치: 배선 편의를 위해 입·출력단 홀 재배치

㉟ Power Box 개선

- BUSBAR 형태변경: IFC 추가로 BUSBAR 형태 변경
- 위치 변경: IFC 추가로 일부 부품 위치 변경
- 취부홀 추가 및 이동: IFC 추가로 취부홀 추가 및 이동
- 형상 변경: 유지보수 용이를 위해 ZeroCrossing 형상 변경



<개선된 보조전원장치>

(나) 배터리 충전장치 개선품 제작

① 배터리 충전장치 주회로 개선

- 배터리 충전장치 주회로 개선 사항
 - IFC: 1100V/110uF 2EA 추가 (DCLINK단 리플 개선용)
 - CT: Locking 방식 강화 (LF305, LF505)
- 배터리 충전장치 개선 사유 및 효과

항목	기존 모델	현재 모델	변경 사유	기대 효과
IFC	E56.A26-475 200*3EA (1100V/4700 uF*2EA)	E50.R23-115N80*2EA 추가 취부 (1100V/1100uF*2EA) = 1100V/4700uF*2EA + 1100V/1100uF*2EA	안정적인 DCLINK 전압을 확보하여 BACH 출력 특성을 개선하는 목적	- DCLINK 전압 리플 감소로 IGBT 등 주요 부품 데미지 감소 - 개선품에서는 CAP 용량 늘리면서 제한된 박스 사이즈내에서 최 적 설계로 용량 늘림
CT	- ES300C (DCLINK 전류용) - ES500C (입력전류용)	- LF305-S/SP10 (DCLINK전류 및 배터리 충전전류용) - LF505-S/SP22 (입력전류용)	기존 CT는 CT 2차 측 센싱부 커넥터가 진동에 취약한 구조 로 되어 있어 장치 에 취부/배선 시 커 넥터 부를 빠지지 않도록 추가 보강이 필요했음	- Locking 커넥터 및 볼트 조임 방식으로 안정성 확보 - CT 변경으로 신뢰성 향상 및 추가 보강 작 업이 필요없으므로 원 가 절감

<IFC, CT 변경 사유 및 효과>

② 배터리 충전장치 기구도면 개선

- 배터리 충전장치 기구도면(Input Filter Box) 개선 사항
 - 위치 변경: 입력 배선편의를 위해 홀 위치 변경
- 배터리 충전장치 기구도면(Power Box) 개선 사항
 - 부품 재배치: DCLINK단 부스바 개선으로 부품 재배치
 - 취부 구조 변경: TRANS 및 REACTOR 유지보수 용이를 위해 취부 구조 변경



<개선된 배터리 충전장치>

(다) 보조전원장치 프로그램 개선

① 보조전원장치 기동 시퀀스 프로그램 수정

- CHK(Charging Contactor) 동작 시간 단축
- 컨버터/인버터부 Soft Start 동작시간 단축(12초 → 8초)

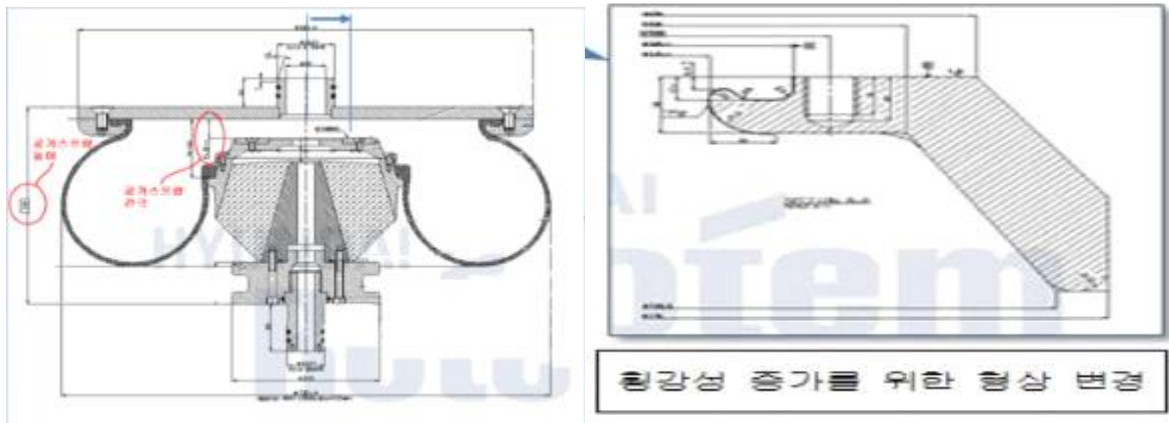
② 개선 효과

- 기존 대비 각 전장품에 신속한 전원공급
- 절연구간 통과 후 장치 기동시 전장품 냉각효율 향상으로 수명 증가 기대

(6) 대차 에어스프링 개선

(가) MC/TC 차량 에어스프링 개선품 적용

차량의 횡방향 특성을 개선하기 위해 기존 에어스프링에 커버를 설치하여 에어 스프링을 일정부분 하드하게 만들어 차량이 고속 주행시 발생하는 횡강성 특성을 개선하였다. 오른쪽 상단 공기스프링 설치 위쪽을 자세히 살펴보면 아래 오른쪽과 같은 형상이다.



<에어스프링 개선품>

(나) 조건 및 특성

수직하중 (kN)	횡방향 변위 (mm)	횡방향 속도	횡강성 특성(N/mm)		보조공기통 (Liter)	공기스프 링 간극 (mm)	공기스프링 높이 (mm)
			기존	증가			
90	±10	5mm/s	139.1	174.9	74L	32±4	334
	±20	5mm/s	137.9	169.0			
	±50	5mm/s	134.4	219.9			
	±80	5mm/s	130.9	227.1			
110	±10	5mm/s	150.2	184.6		38±4	
	±20	5mm/s	148.9	192.4			
	±50	5mm/s	145.4	258.4			
	±80	5mm/s	141.9	263.6			

(다) 개선 효과

- 후부(MC) 차량 횡가속도 13% 개선됨($0.813 \rightarrow 0.719\text{m/s}^2$)

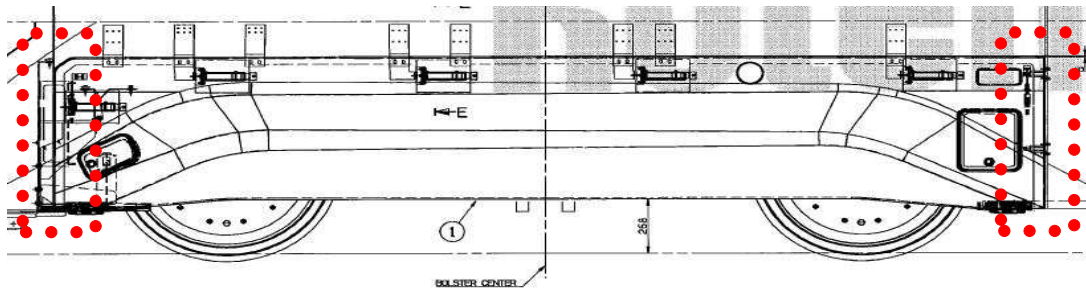
(7) 전두부 대차 스커트

(가) 개선 사유

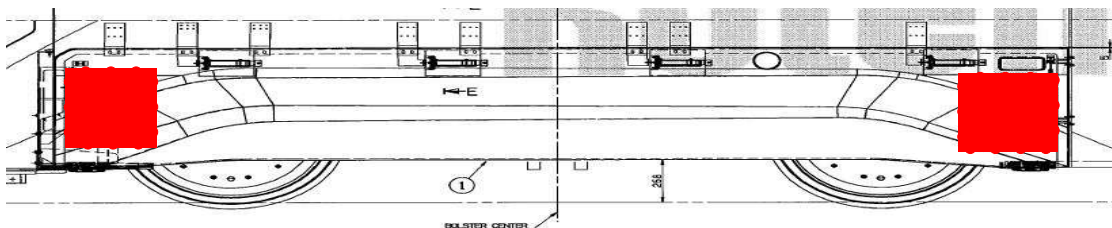
전두부 스커트 고정 장치 보강 및 고속 주행 시 발생 할 수 있는 탈락 사고 방지를 위하여 개선하였다.

(나) 개선 사항

- 브라켓 장착을 통한 대차스커트 볼트 강제구속(기존 : 고정핀 방식)
- 커버 상부 잠금장치 4개 취부 및 점검구 별도 설치
- 풍압에 따른 체결볼트의 전단응력 계산 및 안전성 검토



<잠금장치 취부 포인트>



<점검구 별도 설치>

(다) 개선 결과

개선품 취부 이후 대차스커트 탈락 사고 방지 및 고정, 안정성 개선되었다.



기존 대차스커트

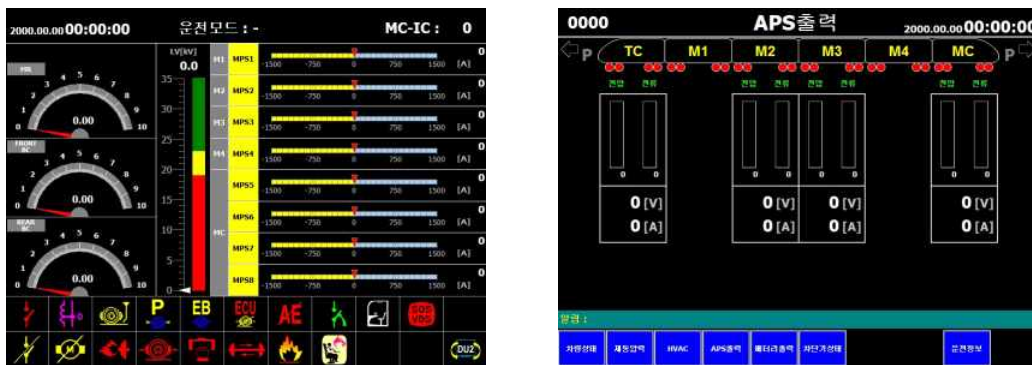


개선 대차스커트

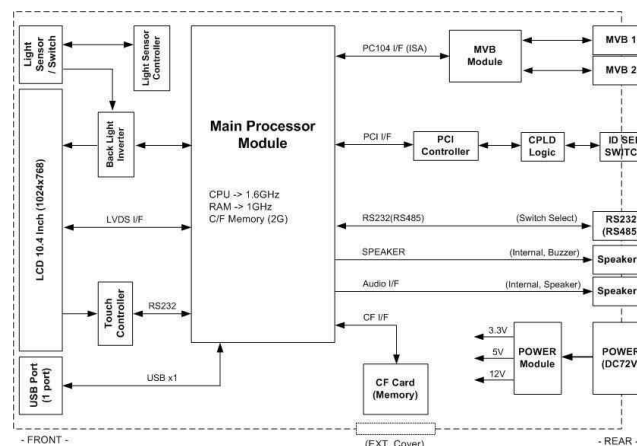
(8) DU 장치 성능 개선

(가) 개요

MMI 장치는 분산형 고속열차 운전실의 기관사 데스크에 설치되는 산업용 컴퓨터로, LCD화면을 이용하여 MVB 통신을 통해 전달받은 열차 고장 및 운행 정보를 기관사에게 제공하는 역할을 담당한다. 정보의 표시에는 문자나 그래픽 자료의 형태로 이루어지는데, 정보의 인식성이나 화면의 미려함을 고려하여 그래픽을 이용하여 현시토록 하였다.



<MMI 표시기 장치 표시화면 예시>



<성능 개선된 MMI 장치 블록 다이어그램>

성능 개선된 MMI장치는 Intel사의 저전력 프로세서인 ATOM CPU를 적용하여 전력 소모를 최소화 하였으며, FIN 구조가 적용된 알루미늄 케이스는 방열 면적을 확장시키고 제품 내부의 열을 효과적으로 외부로 전도하도록 설계되어 제품의 안정성을 향상시켰다. 또한 유지보수 편의성 증대를 위해 전면 케이스에 USB포트를 배치하였으며, 랙 설비에 장착이 가능하도록 전면에 기구 홀도 배치하였다. O.S는 기존 소프트웨어와의 호환성을 유지하기 위해서 Window-XP Embedded OS를 그대로 적용하였다.

외형치수와 기본 인터페이스는 기존 장치와 동일하게 하여 유지보수성과 변경 시 인터페이스의 어려움을 최소화하였다.

(9) 신호처리 보드 개선

(가) 불연속 신호처리 보드

불연속 신호처리 보드는 경부고속선 ATC 구간의 불연속 정보를 수신하여 처리하는 보드로 가선변경구간, 절연구간, 터널 진입/진출, Hotbox Detection, NP 마커 정보 등을 검지하는 기능을 가지고 있다. 이러한 정보중 특히 절연구간 정보는 열차의 MCB(Main Circuit Braker)를 제어하는 중요한 정보로 정확한 위치에서 정확한 처리가 되어야 열차 제어에 문제가 발생하지 않는다. 시운전 초기 전체 시운전 구간에서 아주 드물게 불연속 정보가 지연처리 되는 현상이 발생하였고, 이를 개선하기 위한 여러 가지 방안을 마련하여 실험을 진행해 왔다. 이러한 실험의 결과로 불연속 신호처리 보드의 개선을 진행하였고, 기존 KTX에서 사용하고 있는 외국산 불연속 신호처리 보드와 비교 실험을 통해 동등 이상의 실험 결과를 확인하였다. 새로운 불연속 신호처리 보드는 불연속 차상안테나를 통해 수신한 데이터를 다중으로 처리하는 방식을 적용하여 처리율을 획기적으로 향상시킨 결과물이다.



<기존 불연속 보드>

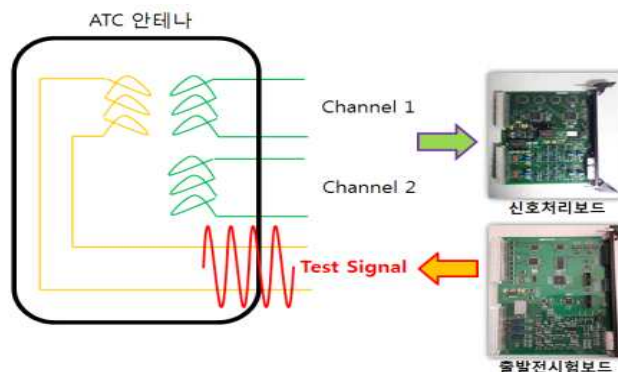


<개선된 불연속 보드>



<외국산 KTX 불연속 보드>

(나) 출발전 시험 보드



<출발전 시험 과정>

출발전 시험 보드는 ATC 신호관련 계통상에 문제가 없는지 운행전 사전 점검을 위한 기능을 가지고 있다. 출발전 시험보드를 통해 ATC 연속/불연속 차상 안테나의 Test Pin에 시험용 신호를 전송하고 이를 취득하는 Loop Test를 시행하여 지상 ATC 신호 취득과 동일한 과정을 테스트하게 된다.

기존 출발전 시험보드에 사용된 CPU의 단종에 따라 향후 유지보수 및 연속/불연속 테스트 로직 개선을 위해 출발전 시험보드를 아래 그림과 같이 개선 적용하였다.



<기존 PTB 보드>



<개선된 PTB 보드>

(다) ATS OSC 보드

ATS신호는 ATS 차상자에서 상시 발진하는 78Khz의 주파수에 지상자가 응답하여 지상 장치와 연결된 신호 주파수가 공진하게 되고 공진 주파수를 차상자가 변조하여 ATS 신호를 취득하는 구조로 되어있다. ATS 신호의 경우 각 신호별 주파수 변위가 8Khz의 차이를 갖게되어 ATS OSC보드는 ATS 차상자에 상시 발진 주파수를 방출하는 기능을 수행한다.



<기존 OSC 보드>

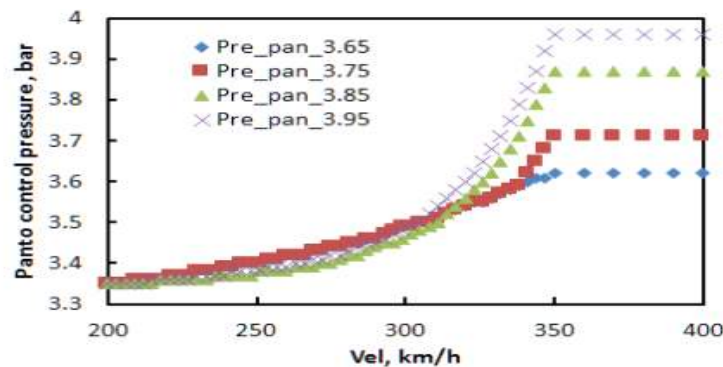


<개선된 OSC 보드>

(10) 판토타그래프 성능개선

300km/h 이상 고속구간에서, 차량속도에 연동하여 판토타그래프 압력을 제어하여 집전 성능의 안정화를 도모하였다. KTX-산천의 경우 Faiveley 사의 판토타그래프 및 세미액티브 제어장치를 적용하여 속도에 연동하여 압상력을 제어하고 있다.

시운전을 통하여 판토타그래프 최대 압력을 단계적으로 조정하면서(3.85→3.75→3.65→3.85→3.95 bar) 튜닝하여 제어압력을 최적화하고, 이선아크 및 접촉력 모니터링을 통한 최적 제어곡선의 결정하였다.



<판토타그래프 세미액티브 제어 압력제어 곡선>

○ 검증 일정

- 자체 검증(11/20), 완료
- 사내 입회 검증(11/26), 완료
- 현차 설치 및 입회 검증(12/8), 완료

○ 검증 내용

- EN50367 규격에 의거 제어가능 여부 검증
- 압력제어프로파일에 의거 제어가능 여부 검증

적용 결과 속도별 압상력 제어 성공 및 집전성능 국제 기준치를 만족하였고, 판토타그래프 세미액티브 제어 전 대비 평균접촉력 향상 및 이에 따른 최소접촉력 향상으로 이선아크 특성을 향상하였으며, 세미액티브 제어장치(PACU) 적용 이후 관련 경/중고장 발생은 한번도 없었으며, 충분한 신뢰성이 확보되었다고 판단된다.

항목	기준 (N)	결과 (N)				비고
		판토타제어(X) 경부2단계 300km/h	판토타제어 경부2단계 300km/h	판토타제어(X) 경부1단계 300km/h	판토타제어 경부1단계 300km/h	
평균접촉력(Fm)	< 200	130.7	164.9	134.6	174.6	OK
통계적 최소접촉력(Fm-3σ)	> 0	17.5	22.1	8.9	27.8	OK
통계적 최대접촉력(Fm+3σ)	< 350	243.9	307.7	260.4	321.4	OK
분석구간 평균속도 (km/h)		299.4	294.9	297.7	298.9	

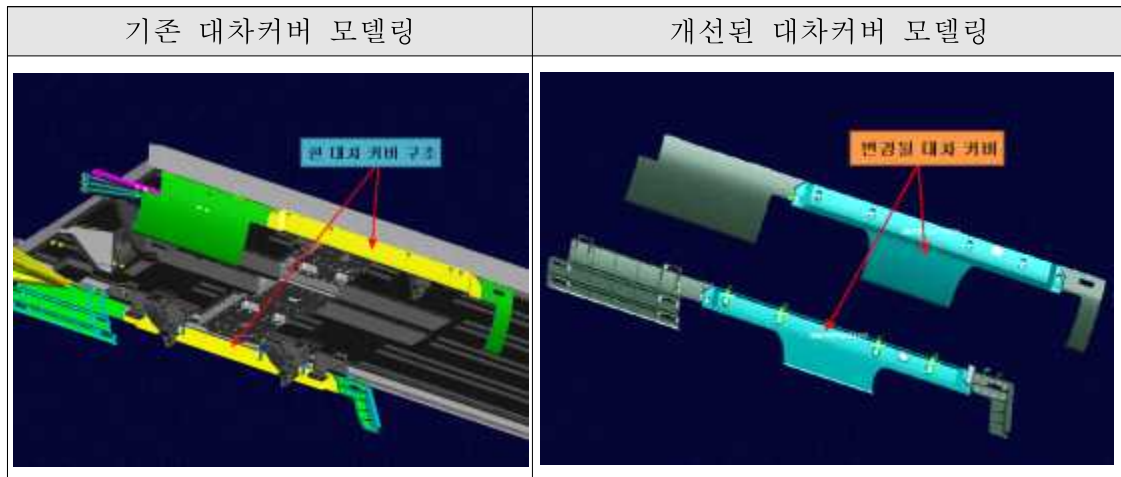
<경부고속선 300 km/h 주행 시 접촉력 측정 결과>

(11) 신규 공력저감용 대차 커버 설치

(가) 대차 커버 설계

① 대차 측면 커버

공력저항을 저감시키기 위한 방안으로 대차 측면에 기존에 설치된 커버를 추가 보완하는 방안을 마련하였으며, 기존 커버의 중앙부를 확대하는 것으로 개선하였다.



또한, 댐퍼 서포트의 형상을 고려하여 대차 커버는 외부로 돌출되는 구조이나 이런 돌출을 최소로 하기 위해서는 대차 커버의 두께를 감소해야 되나, 두께 변경 시 외관 강성 부족으로 인한 흔들림으로 크랙 발생의 우려가 있으므로 무조건적인 돌출 면적 최소화를 구현하기 보다는 두께 및 현상을 통한 면적 축소와 내측 보강프레임의 보강을 병행하여 진행해야 될 사항으로 판단하였다. 아울러 대차 커버 확대에 따라 제동표시기 및 차/대차간 댐퍼와 공기스프링의 점검시 작업자의 접근성은 떨어지는 것으로 확인하였다.

② 결론

대차커버 형상 변경과 관련하여 기제작된 차량 구조물과 인터페이스를 고려하여 신규 제작된 대차커버를 설치한 후 공력성능시험을 수행하여 개선됨을 확인하였다.



(12) 제동장치 성능 개선

(가) 개요

차세대 고속철도 차량의 제동장치는 E-P CHANGE VALVE(EPL)을 사용하여 제어 압력(AC)을 생성하는 전류제어 타입이다. 그러나 전류제어에서는 온도에 따른 코일의 저항특성이 변하게 되며, 이로 인하여 같은 전류치를 입력하여도 출력 압력이 주위온도에 따라 소폭 변동하는 현상이 발생하였다. 이러한 단점을 보완하고자 ON-OFF 제어를 개발하게 되었으며, 이 제어방법은 압력 센서에 의해 출력압력정보를 피드백하며 제어하는 원리로서 주위환경에 대한 출력 압력의 영향력이 적다. 또한 전자밸브의 부피가 작기 때문에 장치의 중량을 감소하여 열차에너지 소비 저감에 기여하는 효과를 확인하였다

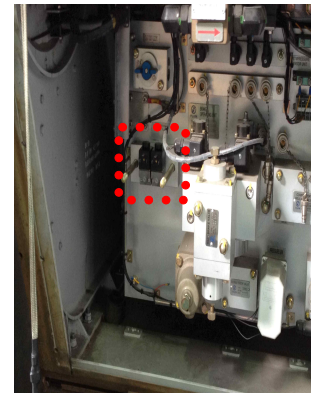
(나) 제동장치 개선품 현차적용

제동장치의 성능개선에 대해서 HEMU 차량에 적용하여 BC 압력을 측정하여 정상적인 작동상태를 확인하였다.

- 시험일시: 2014년 5월21일
- 시험장소: 철도기술연구원
- 시험내용: On-Off EP 전자밸브 제어 성능시험
- 측정항목: BC



<1번대차 BCU EPL 개선 전>



<1번대차 BCU ON-OFF 전자밸브 적용>

현차 적용하여 정적시험은 단품시험 형태로 진행하였다. 따라서 별도 ECU를 제동판넬에 연결하고 제동지령을 PC를 이용하여 직접 입력하도록 하였다. 시험한 결과 단계별 제동압력은 아래 그래프와 같이 측정되었으며, 측정값은 기준값의 허용 오차범위에 들어오며 모두 양호하였다. 이 결과를 보았을 때 HEMU 차량에 적용된 제동패널과 ON/OFF 제어에 대한 호환성은 문제없다고 판단된다.

(단위: kPa)

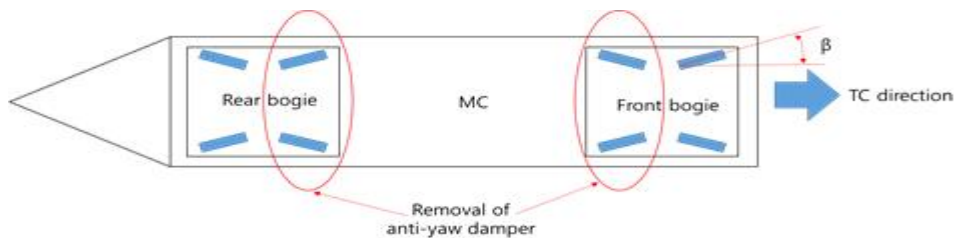
SB	기준값 ($\pm 20\text{kPa}$)	측정값	압력차	결과	SB	기준값 ($\pm 20\text{kPa}$)	측정값	압력차	결과
B1	54	41	13	양호	B5	149	142	7	양호
B2	78	70	8	양호	B6	173	170	3	양호
B3	101	100	1	양호	B7	197	197	0	양호
B4	125	129	-4	양호					

(13) 후미진동 개선

(가) 요댐퍼 변경에 따른 후미진동 개선

① 후미진동 개선 위한 횡방향 감쇄력 변경

- 문헌을 참고할 때 횡방향 감쇄력이 과도할 때 후미진동 발생
- 후미차량 요댐퍼 4개 제거
 - 후미 MC 차량 임계속도 220km/h → 270km/h까지 개선 효과 있음
- 요댐퍼 설치각도 $\beta = 7.35^\circ \rightarrow 0^\circ$ 변경
 - Vampire 해석 결과 임계속도 증가 예측
 - 현차 적용시 후미차량 횡진동이 점진적으로 개선됨을 확인



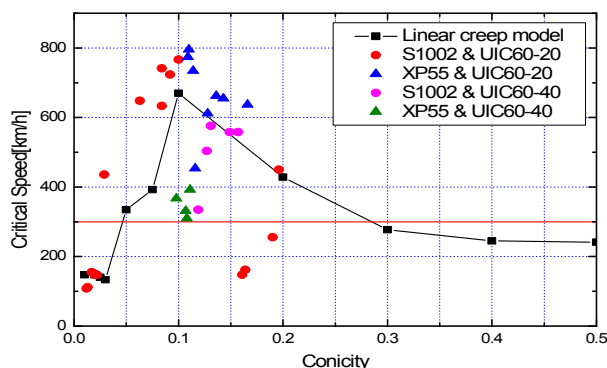
<횡방향 감쇄력 저감 방안>



<요댐퍼 설치각도 $\beta=0^\circ$ 변경>

② 차륜 마모형상 측정 및 임계속도 해석

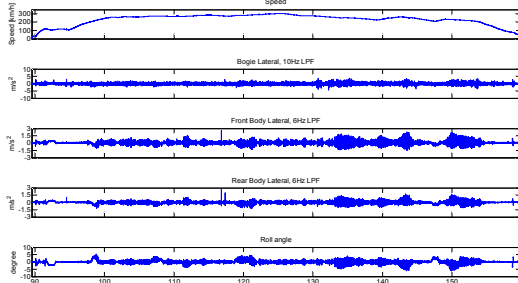
- 현 상태 차륜 마모 형상 파악 및 해석 입력 자료 활용
- 현 상태의 S1002 및 XP55 측정(2014년 2월 3일)
- 해석 결과 등가답면구배 0.1~0.2 사이에서 임계속도가 높음



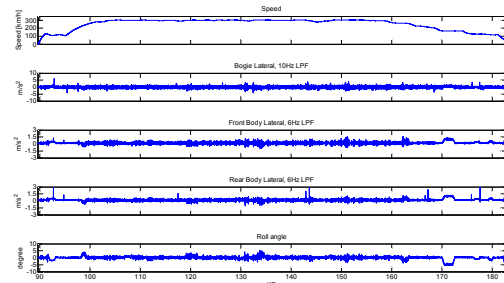
<차륜마모와 임계속도>

③ 후미진동 개선

- 2015년 3월 5일 300km/h 주행시 후미 MC 차량의 후미진동이 사라짐
- 요댐퍼 설치각도 $\beta = 7.35^\circ \rightarrow 0^\circ$ 변경 및 차륜마모에 따라 답면구배(Wheel conicity)가 0.1 ~ 0.2 사이의 값이 되어 임계속도가 높아진 것으로 사료됨



(a) 2월 15일 후미진동 발생

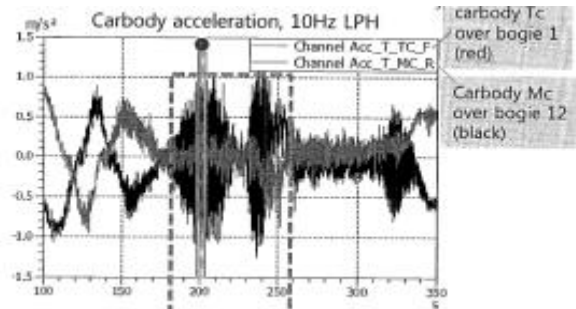
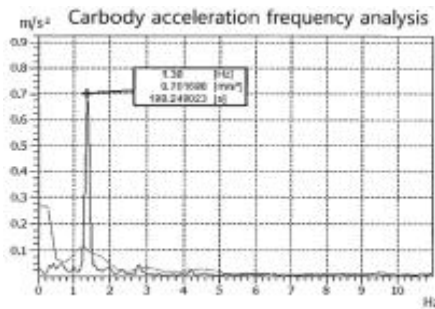


(b) 3월 5일 후미진동 소멸

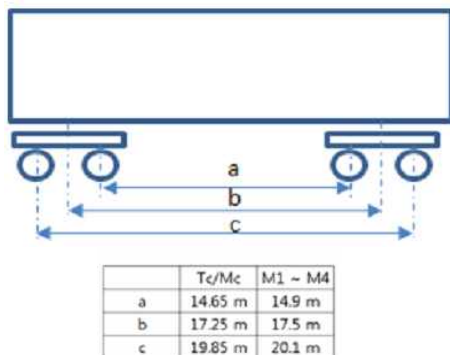
<300km/h 익산-광주 구간 운행 결과(후부 MC 차량)>

(나) 차체 안티롤 댐퍼 변경 및 신규 취부

차세대 고속차량의 진동은 아래의 특정 주파수 1.38Hz에서 발생하였다. 이 1.38Hz의 모드는 차세대 고속차량에서 회전 중심이 COG보다 높은 위치에서 롤(Roll)운동을 한 고유모드로서, 차세대 고속차량의 형상을 살펴보면, 차량의 해당 길이에 대한 특정 주파수 1.38Hz의 반응 속도는 대략 235km/h, 269km/h, 314km/h정도가 됨을 확인하였다.



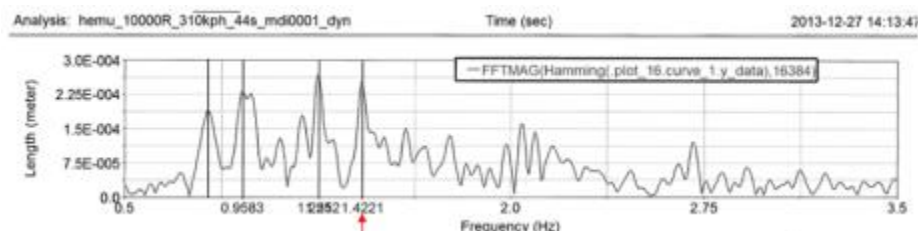
<차세대 고속차량 진동 주파수>



모드	Upper center swing			
	Hz	1.38		
	현상			
속도	km/h	235	270	314
거리	m	15.06	17.30	20.12
	m(2x)	30.11	34.60	40.24

<특정 주파수에 대한 차량 속도>

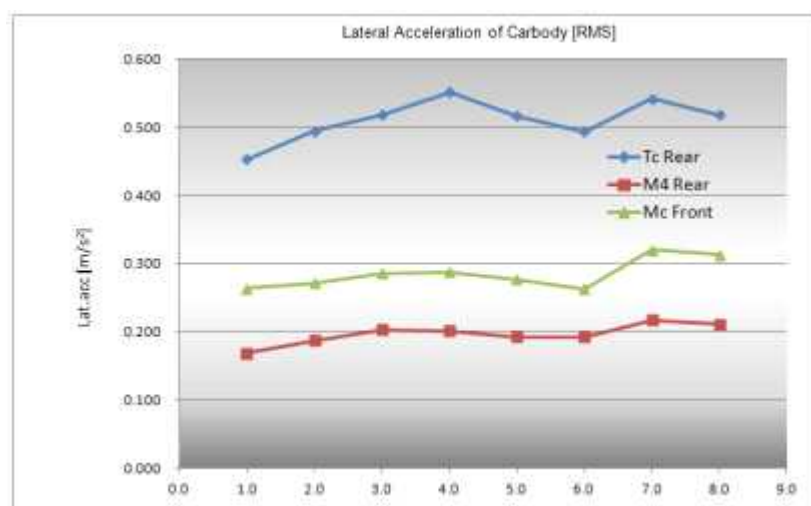
차세대 고속차량이 운행 중 진동이 발생하는 특정 선로(KP312 ~ KP308, 현안터널 1000R)에서 횡방향의 선로 불규칙도를 분석하면, 1.4Hz대역이 매우 큼을 알 수 있으며, 이 부분이 차세대 고속차량의 고유모드와 일치하여 진동이 발생될 수 있음을 검토하였다.



<선로의 주파수 분석>

차세대 고속차량의 진동을 개선하기 위하여 차량의 고유모드를 선로의 특정 대역과 분리하는 방안을 검토하였다. 고속차량에서 1.38Hz대역의 진동은 롤 운동에 횡방향 진동이 동반하는 형태이므로 따라서, 해당하는 파라미터로 안티롤바, 공기스프링 횡강성과 등가 답면구배(Equivalent Conicity)로 확인하였고, 우선 안티롤바와 공기스프링의 횡강성에 대하여 차량동특성을 검토해 보면, 아래와 같이 현 수준(case 3) 대비 선로의 특정 주파수를 벗어나는 형태로서 공기스프링과 안티롤바의 강성을 키우는 case 6의 방안이 있고 특정 주파수는 벗어나지 못하지만 횡방향 가속도 값을 작게하는 case 1의 방안을 도출 할 수 있다.

		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8
감성 비율	안티롤바	0.5	1.0	1.5	-	2.0	4.0	-	4.0
	공기스프링	0.5	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0
Lat. Acc. (m/s ²)	Tc Rear	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
	M4 Rear	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Mc Front	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	Hz	0.5	1.0	1.5	2.0	2 / ARB2	2/ARB4	4.0	4/ARB4
Upper swing	Frequency	1.344	1.415	1.480	1.542	1.592	1.643	1.758	1.868



<안티롤바와 공기스프링 횡강성에 대한 동특성 해석 검토>

	14.2.27 하행		14.3.4 하행 (MC 안티돌바 강성감소)		비율	
	좌우 RMS [m/s ²]	상하 RMS [m/s ²]	좌우 RMS [m/s ²]	상하 RMS [m/s ²]	좌우 [%]	상하 [%]
TC	0.331	0.640	0.382	0.665	-15.24	-3.78
M1	0.420	0.811	0.420	0.864	0.11	-6.53
M2	0.443	0.699	0.447	0.658	-0.92	5.84
M3	0.461	0.736	0.488	0.751	-5.96	-2.01
M4	0.336	0.593	0.325	0.606	3.14	-2.06
MC	0.572	0.554	0.669	0.603	-16.88	-8.77
평균속도	297.0km/h		298.7km/h		KP 31.0~41.0	

14.2.27 하행		14.4.3 하행 (TC, MC 안티롤바 감성증가)		비율		
좌우 RMS [m/s ²]	상하 RMS [m/s ²]	좌우 RMS [m/s ²]	상하 RMS [m/s ²]	좌우 [%]	상하 [%]	
TC	0.331	0.640	0.325	0.606	1.47	5.17
M1	0.420	0.811	0.478	0.884	-13.77	-8.47
M2	0.443	0.699	0.492	0.780	-10.99	-12.29
M3	0.461	0.736	0.538	0.847	-15.72	-14.70
M4	0.336	0.593	0.341	0.625	-1.73	-5.15
MC	0.572	0.554	0.861	0.681	-43.23	-21.03
평균속도 297.0km/h KP 31.0~41.0		300.7km/h KP 59.4~62.7				

VSMPRE PRO CONTACT DATA PLOTTING

신규차량의 답변 구름 변경

XP55, GV40, S1002

VSMPRE PRO CONTACT DATA PLOTTING

S1002 답변 구름 변경

#12_AE, #12_BI, #12_BR, #12_BE

– 132 –

공기스프링 횡 강성, 등가답면구배 및 차체 롤을 저감시키는 안티롤댐퍼를 동시에 적용하여 차량의 진동을 개선 할 것으로 예상하여, 횡댐퍼, 아티롤바를 개선 보완하여 시체 차량에 설치하였다.

- 흔들림 관련 보완 사항 시체차량 설치 작업
 - 차량 횡댐버 설치(차간 댐퍼 → 횡댐퍼)
 - 횡강성 보완 에어스프링 설치
 - 고강성 안티롤바 설치
 - 저강성 안티롤바 설치



횡댐퍼 설치 도면	횡댐퍼 설치 작업	

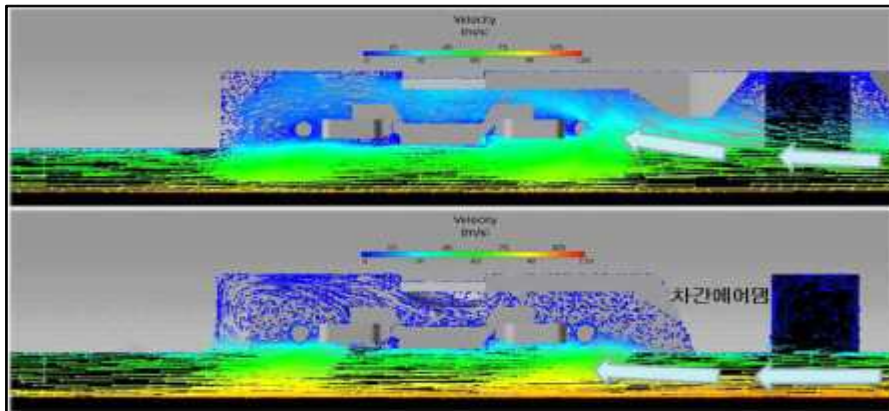
<차체 안티롤 댐퍼 취부>

(14) 에어댐 개선

차량 주행시 발생하는 공력저항을 저감시키기 위한 방안으로 차량간 하부에 공기 흐름판 (이하 에어댐)을 설치하여 대차에서 발생하는 공기저항을 저감시키기 위한 목적으로 에어댐을 설치하였다. 에어댐 설치 기본 개념은 다음과 같은 해석 결과를 참고로 진행하였다.

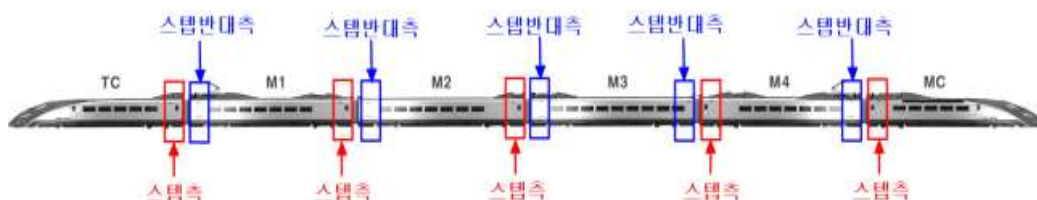


<기본 형상>



<에어댐 설치 전(상), 후(하) 공기흐름 변화>

에어댐을 해석 모델과 최대한 유사 형상으로 구현하기 위해서 아래와 같은 조건들을 고려하였다. 제작된 차량에 에어댐을 추가 설치함에 따라 기존 구조물을 회피한 설계를 진행해야 되며, 에어댐을 고정하기 위한 신규 서포트의 차체 용접 위치 확보 등 상당한 제약 조건이 많았다. 이에 아래 다음과 같이 에어댐 기본 개념을 구현하였으며, 구현된 기본 형상에 따라 차량 단부측에 설치된 케이블, 공기배관, 고정형 서커트 및 스텝프레임의 형상을 피하거나 수정을 최소화하기 위한 기본 설계를 진행하였다. 특히, 차량의 좌우 끝단 하부에 에어댐에 설치됨에 따라 한쪽은 차체스텝프레임을 고려한 형상 설계를 하였으며, 나머지 한쪽(스텝 반대쪽)은 하부에 설치된 공기통 및 고정형 스킨트 구조물에 영향이 없는 범위 내에서 에어댐 설계를 진행하였다.

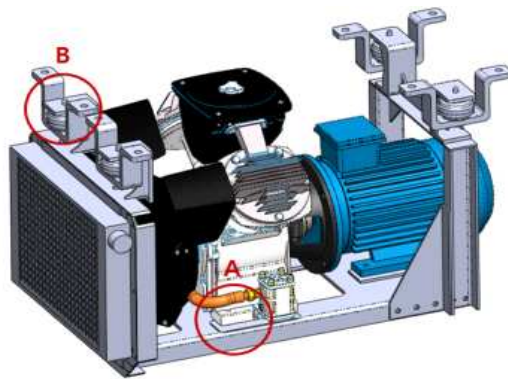


<에어댐 설치 위치>

(15) 공기압축기 성능개선

차세대 고속열차에는 무급유식 공기압축기가 적용되었으며, 시운전 중 진동 문제가 발생하여 공기압축기의 진동을 저감하는 방안에 대해 연구개발을 진행하였다.

차세대 고속열차에 적용된 공기압축기는 피스톤 왕복동형 공기압축기로서 프레임에 모터와 피스톤 블럭이 조립된 형태로 되어 있으며 피스톤 블럭과 프레임 사이에 진동을 저감하기 위한 방진패드가 설치되어 있고 차량과 연결되는 부위에 진동을 저감하기 위한 방진고무(B)가 설치되어 있다. 공기압축기기의 진동을 저감하기 위해서는 방진고무(B)의 검토가 필요하며 방진고무를 교체하여 진동 저감을 추진하였다.



<차세대 고속열차 공기압축기 외형>

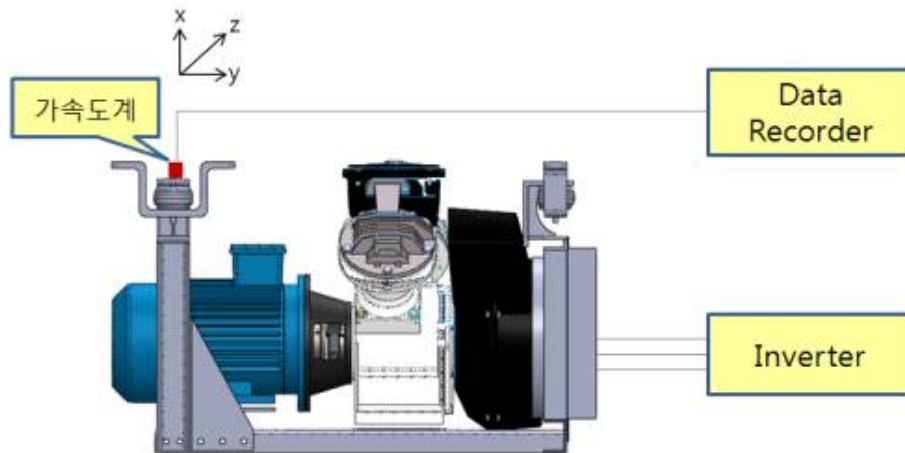
공기압축기의 진동을 저감시키기 위해서 3가지 형식의 방진고무를 가지고 시험을 진행하였다. 방진고무 Type.1은 현재 차세대 고속열차에 장착된 형식이며, 방진고무 Type.2와 Type.3은 각각 형상이 다른 제품으로 시험을 실시하였다.

방진고무 Type.1	방진고무 Type.2	방진고무 Type.3
		

<공기압축기 방진고무 형상>

각각 다른 형태의 방진고무를 가지고 차량과 동일한 취부조건을 묘사하여 공기압축기를 가동하면서 진동 측정을 하였으며, 진동측정 장치의 구성은 아래와 같다.

- 주파수 : 60Hz
- 설정압력 : 9 bar
- 측정조건 : 부하조건에서 연속구동하면서 진동측정
- 측정점 : 방진고무 1개소 선정하여 x,y,z 3점 측정



<공기압축기 진동 측정 구성도>



<공기압축기 진동측정 사진>



<공기압축기 가속도 설치 사진>

3가지의 방진고무에 대해 차량과 유사한 조건으로 취부한 상태에서 차량으로의 진동을 측정된 결과 현재 차세대 고속열차에 장착되어 있는 Type.1의 방진고무보다 다른 형상의 방진고무 Type.2 와 Type.3의 진동측정 결과가 현저히 낮음을 확인하였으며 개선품의 결과는 당초 목표치 0.5G 이하를 만족함을 확인하였다.

방진고무	축	주파수(Hz)	최대진폭(0-p)	주파수(Hz)	최대진폭(0-p)	RMS
Type.1	x	29.69	0.529	59.38	0.261	0.231
	y	29.69	0.704	59.38	0.067	0.257
	z	29.69	1.876	59.38	0.251	0.689
Type.2	x	29.69	0.131	59.53	0.007	0.051
	y	29.69	0.113	59.53	0.001	0.044
	z	29.69	0.079	59.53	0.005	0.031
Type.3	x	29.69	0.118	59.53	0.005	0.046
	y	29.69	0.106	59.53	0.002	0.041
	z	29.69	0.040	59.53	0.027	0.025

<방진고무 3종에 대한 진동측정데이터>

공기압축기의 진동 개선에 대해서는 차세대 고속열차에 적용하여 진동성능의 개선사항을 확인하였다.

→ 시험일시 : 2014년 5월16일

→ 시험장소 : 철도기술연구원

→ 시험내용 : 공기압축기 현차 진동 측정

→ 측정항목 : 정상 압축 기동 시 공기압축기 진동값



<개선 전 방진고무>



<개선 후 방진고무>



<공기압축기 현차 진동 측정>

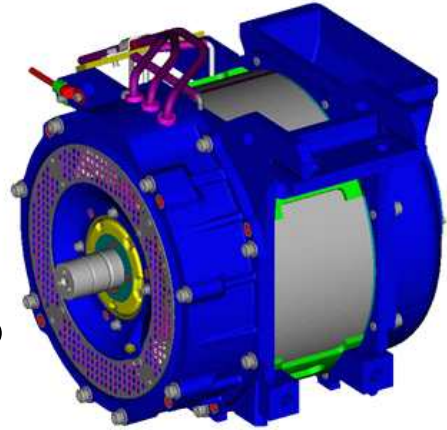
현차 진동 측정은 차량의 하부 프레임의 측정 공간 부족으로 수평방향의 진동만 측정을 하였으며 측정 결과 충분한 개선 효과를 확인하였다. 개선 전/후 가장 큰 차이점은 방진고무의 캡 부분이 피스톤 공기압축기가 작동을 하면서 좌/우로 요동을 하고 캡과 방진고무간의 접촉으로 인한 진동이 주된 것으로 판단하였다.

(16) 견인전동기 개선품 설치

기존의 410KW 전동기를 470KW로 용량을 향상하였으며, 기존 기계적 인터페이스는 현 상태로 유지하고 용량만 증대시켰다.

(가) 470kW 견인전동기 개선품 사양

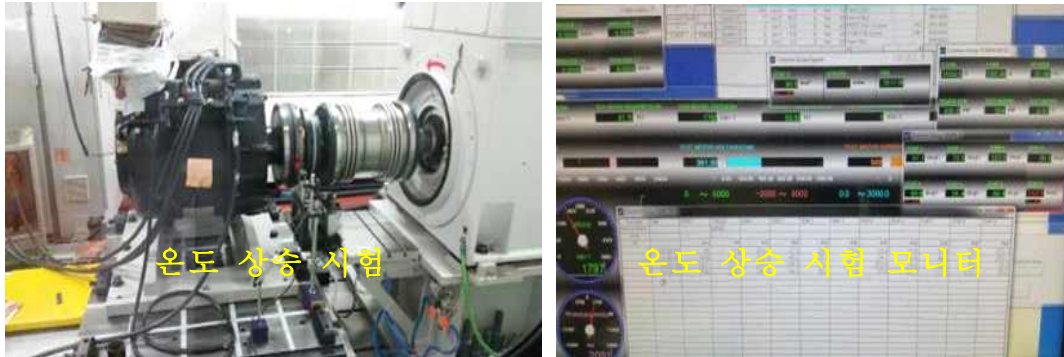
형 식 : 3상, 4극, 농형유도전동기
정 격 : 470kW, 2,300V, 151A
중 량 : 555kg $\pm$ 5%
절연등급 : Class 200
과속시험 회전수 : 6677rpm
최대회전수 : 5564rpm(430km/h, 820mm wheel)
기 어 비 : 2.0
냉각방식 : Forced-Ventilation



(나) 제작사진



(다) 개선품 성능 시험



순번	측정위치	기준치	측정치		
			시작온도[℃]	최종온도[℃]	온도상승[K]
1	고정자 권선	200K 이하	21.1	127.5	116.4
2	프레임	200K 이하	21.0	97.9	76.7
3	공기 흡입구	-	22.1	29.0	-
4	공기 배기구	-	21.1	89.6	68.5
5	주위온도	-	21.0	29.0	-

<온도 상승시험 결과>

(라) 개선품 시제차량 설치

M4 차량 9번, 10번 대차에 각 2개씩 견인전동기 개선품(410kW → 470kW)을 설치하였다.



(17) 통로연결막/갯웨이/싸이드베이어/판넬장치 성능 개선

(가) 통로연결막

430km/h급 고속열차 통로연결막은 차량과 차량의 연결부에 취부 할 수 있도록 설계, 제작이 되었다.



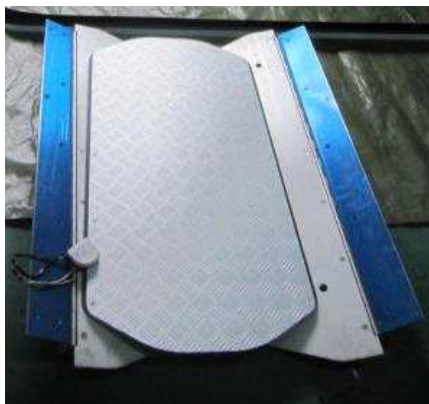
<통로연결막 제작 완성품>



<통로연결막 현차 설치>

(나) 갯웨이

갯웨이는 승객의 보행 시 미끄러지지 않도록 표면에 미끄럼방지 판을 사용하였으며, 외곽형상은 차량의 운행조건에서 발판하부가 노출되지 않도록 제작되었다. 발판의 양 측면에는 유연성의 볼트를 설치하여 통로연결발판 양측을 모두 막은 구조로 되어있다. 통로연결발판은 고정발판 및 유동발판의 두 개로 구성되어 있으며 유동발판은 고정 발판 위에 놓인다. 고정발판과 유동발판이 접촉하는 부위는 마모판을 설치하여 상호마찰에 의한 소음이나, 마모를 방지하는 구조로 되어있다. 제작, 현차 설치 후 시험을 하였고 품질을 입증하였다.



<갯웨이 제작 완성품>



<갯웨이 현차 설치>

(다) 싸이드 베리어

싸이드베리어는 차량간 연결되는 엔드부 끝단에 설치하여 고속 운행시 와류로 인한 소음발생을 저감시키는 기능을 갖춘 장치이다. 차량의 양쪽 끝단에 볼트로 고정을 하고 앞 차량과 차량의 베리어가 서로 맞대어 운행시 서로 마주보는 형태로 그 사이에 간격이 없게 눌러주는 형태로 제작을 하여 외부에서 차량사이가 보이지 않게 하고 운행시 외부 공기가 쉽게 들어오지 않게 하는 구조로 제작이 되어있다. 재질은 네오프렌 러버 (Neoprene Rubber)로 되어있다. 1차년도 제작 완료 및 현차 설치되어 시험을 수행하였다.



<싸이드 베리어 현차 설치 1(하부)>



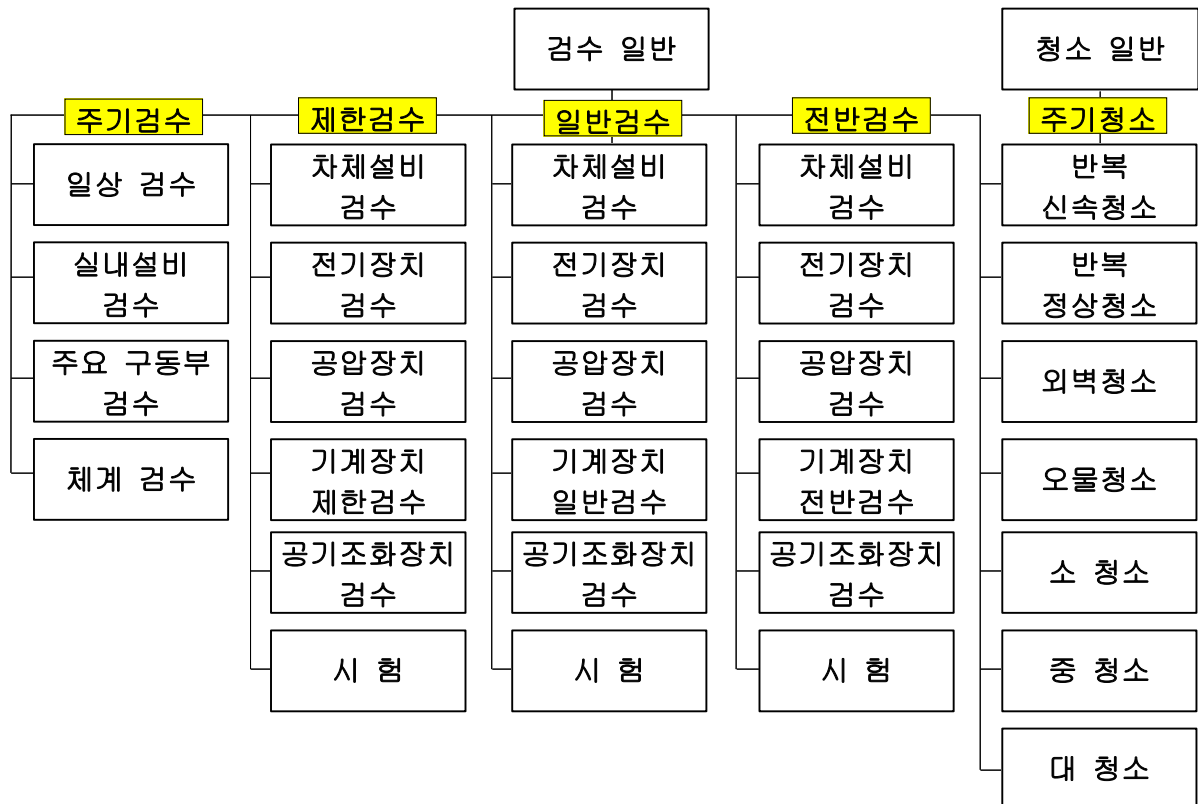
<싸이드 베리어 현차 설치 2(측면)>

3. 유지보수체계 구축

가. 유지보수체계 구축

(1) 유지보수체계

본 유지보수체계는 분산형 고속열차 실용화 시 유지보수 요원이 활용하여 유지 보수를 수행할 수 있게 하기 위함이다.



(2) 유지보수 매뉴얼 보완/작성

차량개발과제에서 작성된 유지보수 매뉴얼에 대하여 유지보수를 수행하면서 확인된 수정/보완사항을 반영하였으며, 안정화과제에서 신규 제작된 장치/부품에 대하여 신규 매뉴얼을 작성하였다.

(가) 유지보수매뉴얼 항목

기술일반, 견인/보조장치, 차체/설비 장치, 차상제어장치, 기계/제동장치

주기검수지침서

예방 유지보수 매뉴얼

고장조치 지침서(차체, 기계장치, 제동장치, 공기조화장치, 전기장치, 운전실장치)

유지보수 매뉴얼 목록(차량개발과제에서 작성)

No.	구 분	항 목	장치구분
1	제 1 장	매뉴얼 일반사항	
1-1	제 1 절	매뉴얼 일반사항	전기/기계
2	제 2 장	기능 설명서	
2-1	제 1 절	기술 일반	
2-1-1	1	약어	
2-1-2	2	일반사항	전기/기계/대차/신호/전장품
2-1-3	3	차량시스템	전기
2-2	제 2 절	견인, 보조장치	
2-2-1	1	제어시스템	전기
2-2-2	2	팬터그래프	전기
2-2-3	3	주변압기/주전력변환장치/견인전동기	전기/전장품
2-2-4	4	견인/보조 전원장치	전기/전장품
2-3	제 3 절	차체, 설비장치	
2-3-1	1	차체 구성	기계
2-3-2	2	전두부 및 운전실 설비	기계
2-3-3	3	객실 및 부속실 설비	기계
2-4	제 4 절	차상 제어장치	
2-4-1	1	열차 진단제어장치	전장품
2-4-2	2	신호장치	신호
2-4-3	3	통신장치 및 방호장치	전기
2-5	제 5 절	기계 및 제동장치	
2-5-1	1	기기 배치	기계
2-5-2	2	제동장치	기계
2-5-3	3	공기조화장치	기계
2-5-4	4	대차	대차
2-5-5	5	연결장치	기계
3	제 3 장	청소 지침서	
3-1	제 1 절	일반 사항	기계
3-2	제 2 절	주기 청소	
3-2-1	1	소 청소	기계
4	제 4 장	주기 검수지침서	
4-1	제 1 절	검수 일반사항	전기/기계/대차/신호/전장품
4-2	제 2 절	안전수칙	기계
4-3	제 3 절	일상검수(ES)	전기/기계/대차/신호/전장품
4-5	제 4 절	주행장치검수(2,500km)	기계
4-6	제 5 절	윤축검수(10,000km)	기계
4-7	제 6 절	제한검수(LI), 일반검수(GI), 전반검수(FGI)	전기/기계/대차/신호/전장품
5	제 5 장	예방 유지보수매뉴얼	
5-1	제 1 절	차체설비 검수	기계
5-2	제 2 절	전기장치 검수	전기

No.	구 분	항 목	장치구분
5-3	제 3 절	제동장치 및 공압장치 검수	기계
5-4	제 4 절	기계장치 검수	기계
5-5	제 5 절	공기조화장치	기계
5-6	제 6 절	연결장치	기계
5-7	제 7 절	팬터그래프	
6	제 6 장	고장조치 지침서	
6-1	제 1 절	차 체	
6-1-1	1	창문 유리	기계
6-1-2	2	승강대 문	기계
6-1-3	3	오물처리장치	기계
6-1-4	4	자동연결기 및 해치	기계
6-2	제 2 절	기계 장치	
6-2-1	1	견인전동기	전장품
6-2-2	2	대차 제동장치	대차
6-2-3	3	팬터그래프	전기
6-2-4	4	차축 교환	대차
6-2-5	5	대차 교환	대차
6-2-6	6	연결막, 갱웨이 판넬장치, 싸이드베리어	기계
6-3	제 3 절	제동 장치	
6-3-1	1	제동제어장치(BCU)	기계
6-3-2	2	제동전자제어장치(ECU)	기계
6-3-3	3	주제동밸브(Main Brake Valve)	기계
6-3-4	4	CUT OUT 장치	기계
6-3-5	5	구원제동 장치(BTU)	기계
6-3-6	6	압력조정밸브	기계
6-3-7	7	제동표시기	기계
6-3-8	8	압력센서	기계
6-3-9	9	마그네트 밸브(Magnet Valve)	기계
6-3-10	10	D 복식체크밸브	기계
6-3-11	11	오일프리왕복동식 공기 압축기	
6-3-12	12	보조공기 압축기	
6-3-13	13	안티스키드밸브	
6-3-14	14	전공변환밸브	
6-3-15	15	MS15 AIR FILTER	
6-3-16	16	SPEED SENSOR	
6-4	제 4 절	공기조화장치	
6-5	제 5 절	전기 장치	—
6-5-1	1	주전력변환장치/보조 전력변환장치	전기
6-5-2	2	견인/보조전원장치	
6-5-3	3	주 변압기	전기

No.	구 분	항 목	장치구분
6-5-4	4	25KV 회로차단기	전기
6-5-5	5	접지 스위치	전기
6-5-6	6	냉각용팬 전동기	전기
6-5-7	7	주 회로차단기	전기
6-5-8	8	배터리 충전기	전기
6-5-9	9	축전지	전기
7	제 7 장	운전실 장치	
7-1	제 1 절	운전실 구성	기계
7-2	제 2 절	운전 취급	전기
7-3	제 3 절	고장현시 및 취급	전장품

(나) 유지보수 매뉴얼 신규 작성

No.	구분	장치명	주요내용	비고
1	제동장치	○ 제동제어장치 ○ 활주방지밸브 ○ 제동전자제어장치 ○ WSP 제어장치 ○ 공기압축기 ○ 차륜디스크 ○ 상용제동캘리퍼 ○ 주차제동캘리퍼 ○ 판토틀제어장치	· 신규 유지보수 매뉴얼 9종 작성	
2	보조전원장치(APS)	○ 보조전원장치(APS)	· 신규 유지보수 매뉴얼 작성	
3	축전지 충전장치 (BACH)	○ 축전지 충전장치 (BACH)		
4	신호장치	○ 신규 보드교체	· 신규 유지보수 매뉴얼 3종 작성	
5	진단제어시스템	○ 진단제어시스템 ○ GPS 연계 열차진동 감지장치 ○ 표시기장치	· 신규 유지보수 매뉴얼 작성	
6	주변압기(MTF)	○ 주변압기(MTF)	· 신규 유지보수 매뉴얼 작성	
7	싸이드베리어 및 실내판넬장치	○ 싸이드베리어 및 실내 판넬장치	· 신규 유지보수 매뉴얼 작성	
8	축전지	○ 축전지(Battery)	· 신규 유지보수 매뉴얼 작성	
9	주회로차단기	○ 주회로 차단기	· 개선품에 따른 신규 유지보수 매뉴얼 작성	

나. 분산형 고속열차 유지보수 체계(안)

(1) 정비주기

유지보수 조직 체계는 정비 범위 및 종류에 따라 4단계 예방 작업 수준으로 구성된 하나의 사이클에 기초함

(가) Level 1 :

규칙적인 운행 중 시행하는 검수로 특수공구를 사용하지 않고 육안으로 운행 중 발생하는 안전에 영향을 줄 수 있는 불규칙하고 우발적인 고장을 찾아내는 검수 단계

(나) Level 2 :

자격이 부여된 전문 인력이 다음의 예정된 검수 주기와 동일이상 범위까지 운행 서비스를 달성 할 수 있도록 사전에 정의된 신뢰성(또는 승차감) 수준을 보장하기 위한 철도 차량 또는 부품의 규칙적인 주기검수

(다) Level 3 :

교체검수 뿐만 아니라 규칙적인 예방 유지보수(부품이 예정된 사용수명에 도달하였을 때) 또는 조건적인 예방 유지보수 작업(검수로 교정 유지보수 작업이 한계에 도달했다는 것을 보여주는 경우)을 실행하는 동안에 착수하는 부품 교환 검수

(라) Level 4 :

분해된 조립체 또는 부품과 구조적인 장치(예 : 차체)에 대한 유지보수 작업으로 동일한 가동조건 및 승차감을 유지하도록 유사한 신제품과 같은 기능을 제공 하도록 계획

(2) 검수주기

(가) 영업운행 개시 전

차축 및 차륜 20,000km를 초과하지 않고, 차축을 들어 올려 시행하는 전반적 변형 검수방법

(나) 영업운행 개시 후 첫 번째 검수주기

ES 첫 번째 검수주기는 최대 5,000km로 검수를 진행

(다) 두 번째 검수주기(시험조사에 따라)

FGI : 신뢰성 입증기간 종료 후부터 적용

ES : 주기는 최대 5,000km 수행

RI, LI, GI, FGI 주기 연장은 FGI 기간 동안 시험 조사의 결과에 따라 최종 확인

(라) 세 번째 검수주기(시험조사에 따라)

FGI : 신뢰성 입증기간 종료 후 두 번째 FGI

ES : 주기는 최대 5,000km로 수행

RI, LI, GI, FGI 주기 연장은 FGI 기간 동안 시험 조사의 결과에 따라 최종 확인 또는 주기연장 차기 FGI기간 동안 상기 절차를 반복 수행

(마) 규칙적인 청수 작업 주기

FGI, or IS, or HLO, or GI, or LI

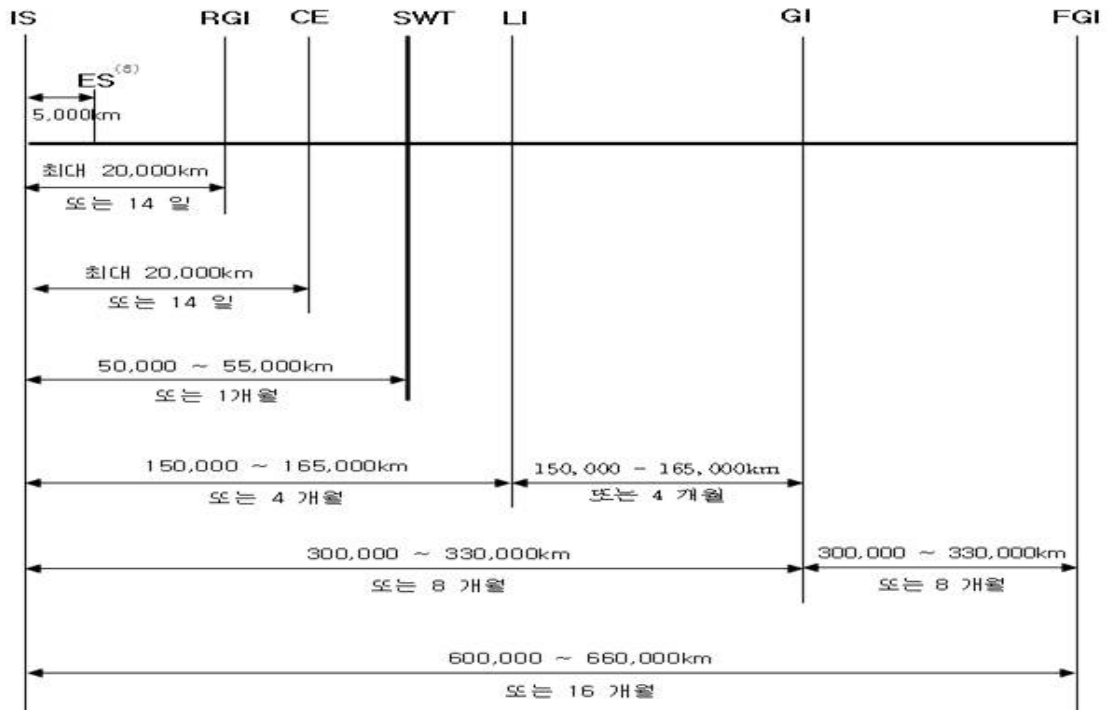
IS, or HLO, or MC

(3) 유지보수 검수 주기별 점검 주요 항목

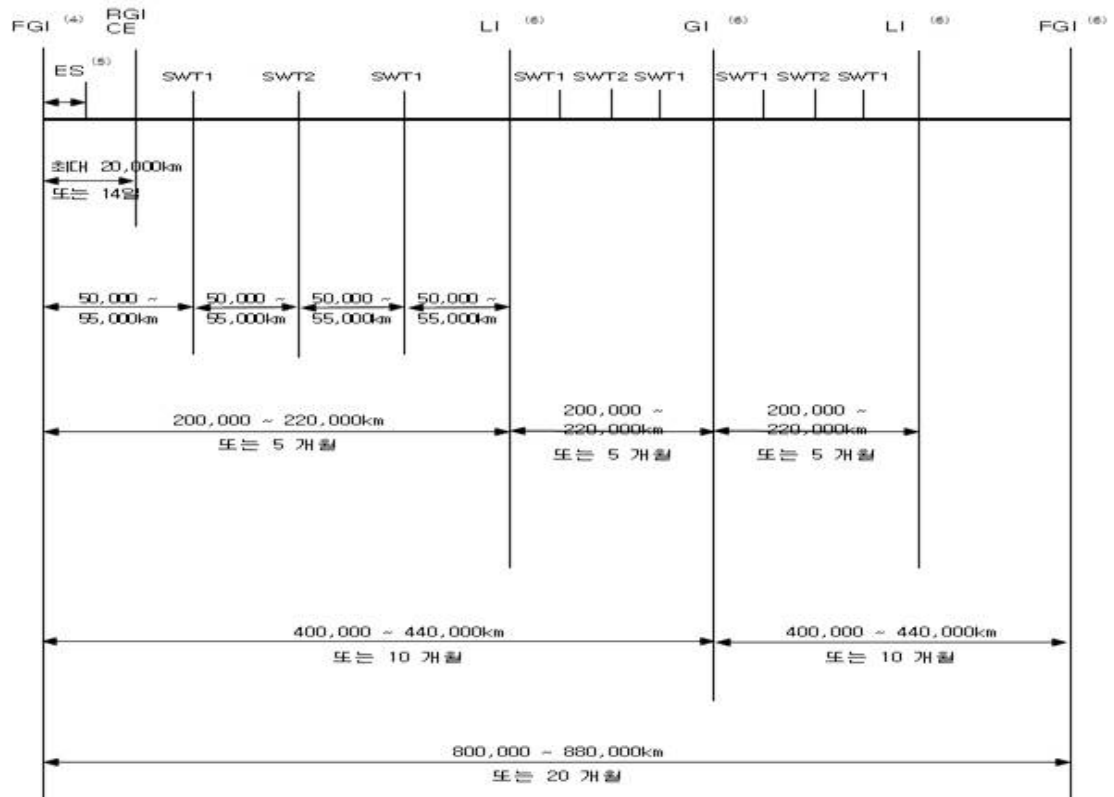
항목	기본검수 [ES]	실내설비검수 [CE]	주행기어검수 [RGI]	체계검수 [SWT]	제한검수 [LI]	일반검수 [GI]	전반검수 [FGI]
기간 기준	-	14일	14일	1개월	4개월	8개월	16개월
점검 주기	5,000km	최대 20,000km	최대 20,000km	50,000 ~ 55,000km	150,000 ~ 165,000km	300,000 ~ 330,000km	600,000 ~ 660,000km
점검 항목	운전실의자, 대차, 차륜, 하부스커트, 도유기, 멤퍼지지대, 감속기유 상태, 살사장치, 판토틀래프, 차간멤퍼, 오물처리장치, 급수장치 등	의자, 카페트, 기기함덮개, 전두부 해치커버, 유리창, 화장실설비, 출입문, 등구류 등	감속기유 상태, 살사장치, 판토틀래프, 차간멤퍼, 오물처리장치, 급수장치, 대차장치 등	축전지 충전기, 축전지, 견인전동기, 도유기, 감속기, 자동연결기 등	외부도장, 운전실내 설비, 객실내설비, 축전지, 주요전장품, 전조 등/후미등, 공기조화장치, 공기공급장치, 대차장치, 연결기류, 지붕 후드, 제동장치, 연결량, 갱웨이, 급수장치 등	외부도장, 운전실내 설비, 객실내설비, 축전지, 지붕고압설비, 주요전장품, 전조등/후미등, 표시기류, 공기조화장치, 공기공급장치, 대차장치, 연결기류, 지붕 후드, 제동장치, 연결량, 갱웨이, 급수장치 등	외부도장, 운전실내 설비, 객실내설비, 축전지, 지붕고압설비, 주요전장품, 전조등/후미등, 표시기류, 공기조화장치, 공기공급장치, 대차장치, 연결기류, 지붕 후드, 제동장치, 연결량, 갱웨이, 급수장치 등

(4) 검수 주기표

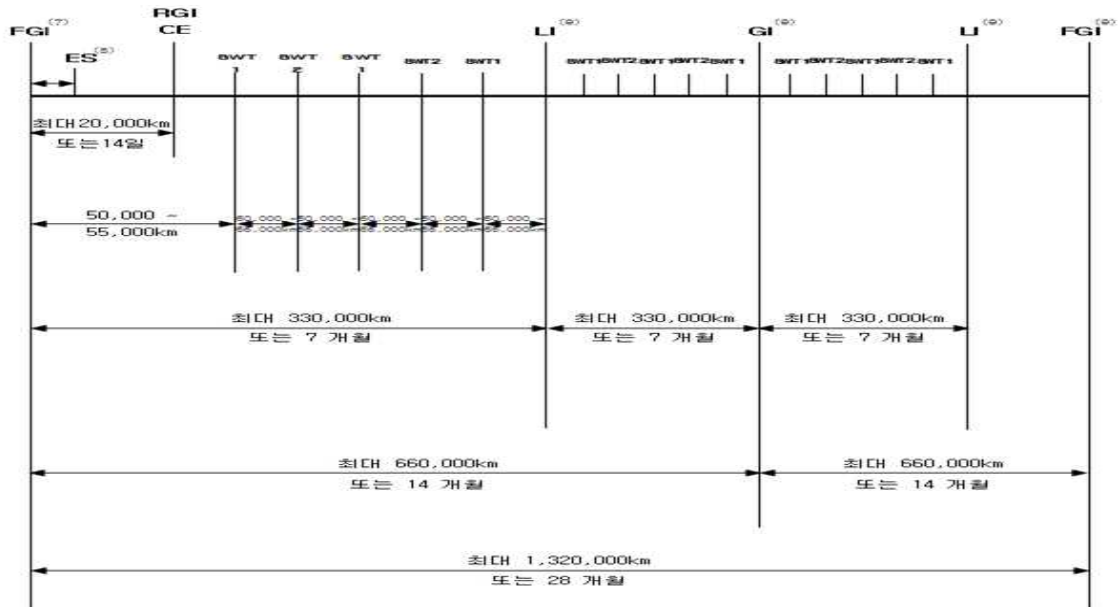
(가) 영업운행 개시 후 첫 번째 검수 주기



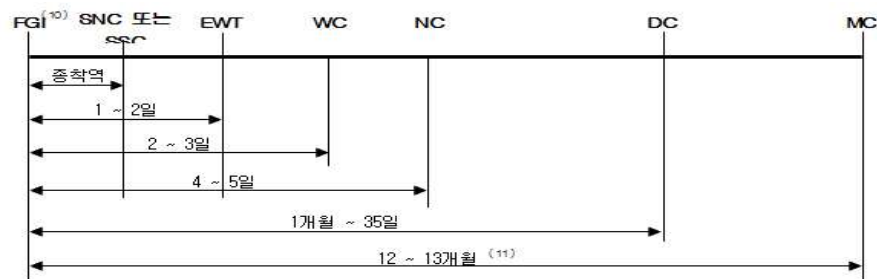
(나) 두 번째 검수 주기(시험조사에 따라)



(다) 세 번째 검수주기(시험조사에 따라)



(라) 규칙적인 청소 작업 주기



다. 차량 중점점

항 목	1차 중점점 ['13.4.02 ~ 4.24]	2차 중점점 ['14.5.22 ~ 6.24]	3차 중점점 ['15.11.18 ~ 12.08]
주요 작업 내용	편성관리/조립, 식정, 주요장치 기능점검 및 상태 점검	편성관리/조립, 에어댐 설치, 성능 개선품 취부, 주요장치 기능점검 및 상태 점검	식정, 주요장치 기능점검 및 상태 점검
주요 장치 점검 [상태/기능 점검]	판토크래프, 주전력변환장치, 주변압기, 신호장치, 주회로 차단기, 배전반, 공기압축기, 제동장치 등	판토크래프, 주전력변환장치, 주변압기, 신호장치, 주회로 차단기, 배전반, 공기압축기, 제동장치 등	판토크래프, 주전력변환장치, 주변압기, 신호장치, 주회로 차단기, 배전반, 공기압축기, 제동장치 등
주요 성능 개선 작업	1. MC 차륜디스크 교체(외자품→국내품) 2. 주변압기 교체(소음개선용) 3. 전 차량 기밀 개선 4. 차간 댐퍼 취부(차량 흔들림 개선) 	1. 주변압기 개발품 취부(외자품→국내품) 2. M4 견인전동기 교체(410KW→470KW) 3. TC 차축 디스크 교체(외자품→국내품) 4. TC/MC 에어스프링 교체(후미진동 개선) 5. APS/BACH 개선품 교체(내부 소자 개선) 6. MC MCB 교체(국내품→외자품, 신뢰성 확보) 7. 에어댐 취부(공력저항 저감) 8. 하부 고압 케이블 보호덕트 취부 9. MPS DC LINK 전압 향상(2800V→3300V) 10. 주공기 압축기 방진고무타임 변경 [압축기 기동기 진동 저감] 	1. APS/BACH 기동시간 단축(18s→12s) 2. 주회로차단기 조작기 교체(내부 조작기 단선에 의한 고장 개선품) 

4. 동력분산식 고속열차 실용화 모델 개발

가. 동력분산형 실용화 모델 개발

(1) 속도대별 주요 사양(안)

국내외 분산식고속열차의 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, 수요는 250km/h ~ 350km/h 속도대역에서 그리고 차량 편성은 6량~16량등 다양한 속도와 편성을 요구하고 있다. 국내의 경우 준고속선에 250km/h급 6량/편성을 적용 예정이며, 300km/h급은 8량/편성으로 수요가 발생할 것으로 예상이 된다. 해외의 경우 터키 고속열차는 250km/h급 8량/편성, 말-싱 고속열차는 300km/h급 8량/편성을 요구하고 있다. 다양한 수요에 대응하기 위하여 속도대별 주요사양을 제시하여 사용자 요구사항에 맞추어 입찰에 적극참여할 수 있도록 아래와 같이 속도대별 주요 사양(안)을 작성하였다.

구 분			주요제원						
			250km/h 급				300km/h 급	350km/h 급	370km/h 급
			4M2T	4M4T	6M2T	6M2T	6M2T	6M2T	
차량 성능	영업운행 최고속도		250km/h				300km/h	350km/h	370km/h
	설계최고속도		275km/h				330km/h	385km/h	410km/h
	기본 편성		6량 1편성		8량1편성				
	편성 길이		약 149m		약 198m				
	최대견인력		240kN	318kN	320kN	320kN	320kN	320kN	
	상용최대회생제동력		192KN	257kN		257KN	257kN	257kN	
	비상최대회생제동력		192kN	257kN		257kN	257kN	257kN	
	전원공급		27.5kV(무부하) 60Hz						
	제어회로전압		직류 72V(변동범위 : 50 ~ 90V)						
			교류 220V(변동범위 : 209 ~ 231V)						
제어공기압력		8.5kg/cm ² (변동범위:±0.7kg/cm ²)							
차량 일반	중량(공차/만차)		약 329톤/372톤		약 438톤/496톤				
	차체 길이	부수제어객차	약 25.5m						
		동력객차	약 23.5m						
	차체폭	부수제어객차·동력객차	약 2,980mm ~ 3,100mm						
	레일상면에서 높이	부수제어객차·동력객차 지붕높이	약 3,750mm						
		팬터 접은 높이	약 4,065mm						
	차체 재질	부수제어객차	알루미늄 압출재						
		동력객차	알루미늄 압출재						
추진 시스템	주변압기		4,311 kVA	3,338 kVA	4,451 kVA	3,137 kVA	4,257 kVA	5,610 kVA	6,240 kVA
	추진제어장치		1,793 kW	1,345 kW	1,793 kW	1,188 kW	1,703 kW	2,309 KW	2,600KW
	견인전동기		400 kW	300 kW	400 kW	265 kW	380 kW	515 KW	580 KW
	보조전원 장치		420 kVA	420 kVA	560 kVA	560 kVA	560 kVA	600 kVA	600 kVA

구 분		주요제원						
		250km/h 급				300km/h 급	350km/h 급	370km/h 급
		4M2T		4M4T	6M2T	6M2T	6M2T	6M2T
대차	동력대차	6대	8대	8대	12대	12대	12대	12대
	부수대차	6대	4대	8대	4대	4대	4대	4대
	방식	볼스터레스방식						
	기어비	2.8				2.19	2	2
	동력대차간 거리	약 17,300mm						
	부수대차간 거리	약 17,300mm						
	윤축 거리	약 2,600mm						
	차륜직경	860mm(New Wheel)						
객실설비	특실	1량 (M1)				1량 (M1)		
	일반실	5량 (TC1, M2, M3, T, TC2)	5량 (TC1, M2 ~ M4, TC2)	7량 (TC1, M2, T, M5, M6, TC2)	7량 (TC1, M2, M3, M4, M5, M6, TC2)			
	객실의자	381석			533석			
	의자피치	특실 1,060mm / 일반실 960mm						
	승강문	고상 or 저상홈						
	일반화장실	7개소 (TC1, M1, M2, M3, TC2)	7개소 (TC1, M1, M2, M3, TC2)	11개소 (TC1, M1, M2, T, M5, TC2)	11개소(TC1, M1, M2, M3, M4, M5, TC2)			
	장애인화장실	1개소 (T)	1개소 (M4)	1개소 (M6)	1개소(M6)			
	수유실	1개소(M2)						
	승무원실	1개소(TC1)						
	물품보관대	1개소(M1)						
	장애인석	5석(T, 휠체어 고정석 2석 포함)	5석(M4, 휠체어 고정석 2석 포함)	5석(M6, 휠체어 고정석 2석 포함)	5석(M6, 휠체어 고정석 2석 포함)			
	수화물칸	6개소 (TC1, M1, M2, M3, T, TC2)	6개소 (TC1, M1, M2, M3, M4, TC2)	8개소 (TC1, M1, M2, T, M5, M6, TC2)	8개소(TC1, M1, M2, M3, M4, M5, M6, TC2)			
	객실모니터	• TC1, M2, M3, T, TC2: 4대 • M1(특실): 8대(천장4대, 단부(소형)4대)	• TC1, M2, M3, M4, TC2: 4대 • M1(특실): 8대(천장4대, 단부(소형)4대)	• TC1, M2, T, M5, M6, TC2: 4대 • M1(특실): 8대(천장4대, 단부(소형)4대)	• TC1, M2, M3, M4, M5, M6, TC2: 4대 • M1(특실): 8대(천장4대, 단부(소형)4대)			

* 주: 상기 사양은 사용자 요구조건에 따라 변경될 수 있음

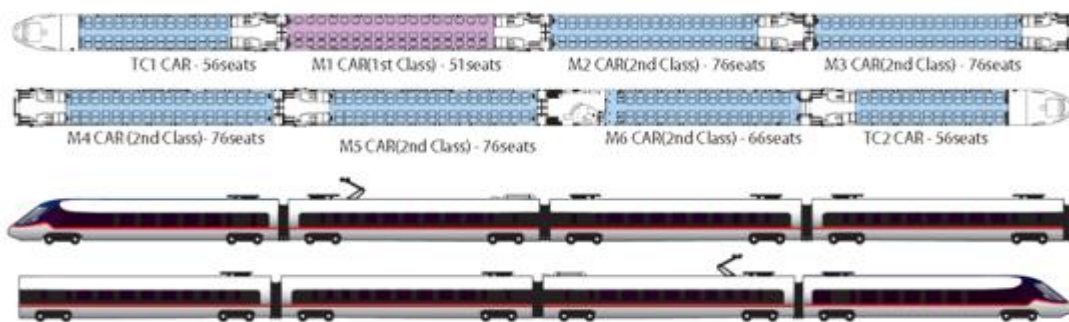
(2) 국내 수요를 위한 실용화 모델

국내 분산식고속열차는 준고속선용 250km/h급으로 수요가 지속적으로 있을 것으로 예상되며, 향후 KTX차량의 노후에 따른 대체 차량으로 300km/h급 수요가 발생할 것으로 예상된다. 국내 분산식고속열차의 수요에 대비한 속도대별(250km/h, 300km/h, 350km/h급) 한국철도공사에서 사용자의 최저 기본 요구사항을 작성하였으며, 운영자 요구사항을 반영하여 실용화 설계(안)을 작성하였다.

(가) 실용화 편성 설계(안)

① 실용화 기본편성 구성

차세대고속차량(HEMU-430X)실용화 기본편성은 8량 1편성으로 구성방식은 6M2T로 차량을 제어하는 운전실을 T CAR로 선정하였다. T CAR에는 운전실과 객실로 구분되어 있으며, 특실은 M1 CAR로 구분되고 좌석은 51석으로 구성하였고, 나머지 TC1, M2, M3, M4, M5, M6, TC2는 일반실로 구성되었다, 총 좌석은 533석으로 운전실(TC1, TC2) 56석, M1 51석, M2, M3, M4, M5는 76석, M6은 66석으로 배치되어 있고, 기본적으로 각 차량에는 화장실이 2ST로 구성되고 장애인 화장실은 M6 차량에 배치하였다. 6량/편성일 경우는 8량 편성에서 M3, M4 car를 빼면 6량(4M2T) 편성이 가능하도록 검토하였다.



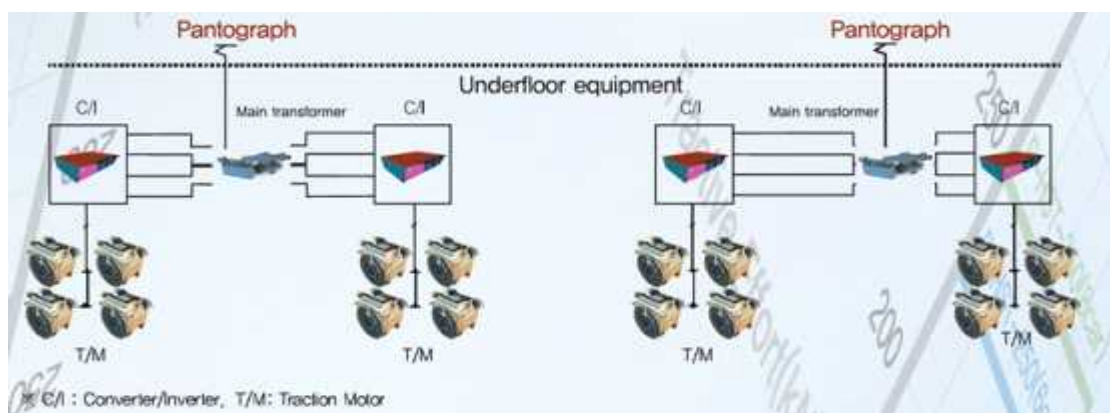
<차량일반(기본편성 8량1편성)>

운전실이 되는 TC1/2 차량 ROOF에는 고압을 공급 받아 전차량의 주요 장치에 전원을 공급해주는 장치들(주회로차단기, 판토타그래프, ISO 스위치)이 배치되어 있으며, 서비스 전원을 공급하는 APS(보조전원장치)와 HVAC(에어콘), 제동장치, 오물탱크, 물탱크, 구원연결기, 부수대차등 기타 장치로 구성되어 있고, M CAR 차량에는 기본적으로 MPS(추진장치), 제동장치, HVAC(에어콘), 축전지(Battery), 축전지충전기장치(BACH), BACH 필터(입/출력), 냉각팬, 동력대차등 기타 장치로 구성하였다.

차세대고속열차는 동력분산식으로 고압을 차단/연결해주는 역할을 하는 장치로 주회로차단기가 있는데, 기존 차량에는 2개의 장치로 구성되어 있으나, 분산형고 속열차에는 3개

로 구성되어 하나의 주회로차단기가 차단되어도 다른 2개의 주회로차단기로 인하여 2/3의 동력을 정상적으로 사용 할 수 있어 영업 운행시 효율적으로 대처 할 수 있으며, 주 전원 공급장치 주변압기 또한 3대로 구성되어 있으며, 기존 차량의 실내 설치용에서 차량 하부에 설치 될 수 있도록 매립형으로 구조를 변경하였고, 용량 또한 분산 분배하여 크기를 현저히 축소시켜 분선형고속열차의 단점인 공간 부족을 개선하였다.

추진장치는 6M2T로 구성하여 각각의 M CAR에 MPS(추진장치)가 설치되고, 동력대차에 2개의 모터가 설치 될 수 있도록 구성하였고, 기존 차량의 실내 설치 방식을 차량 하부에 설치 될 수 있도록 매립형 구조로 개선하여 기존 대비 20%정도 크기를 감소시켜 실내의 좌석을 기존 차량 대비 현저히 개선한 설계(안)을 구성하였고, M CAR의 각 차량에 MPS(추진장치)가 설치되어 모터 4개를 동시에 제어함으로써 슬립을 최소한으로 방지 할 수 있으며, 추진장치의 구성이 1C4M으로 구성되어 1개의 MPS(추진장치)가 고장이 발생하여도 다른 3개의 추진장치로 정상 운행이 가능하도록 설계되어 각 차량에 설치 할 수 있도록 설계(안)을 구성하였다.



<추진장치 구성도>



<주전력변환장치(1C4M)>



<견인전동기>

HVAC장치는 기존 차량 하부에 설치되어 있었으나, 차세대고속열차(동력분산형 방식)의 단점인 공간 부족의 확보를 위해서 ROOF에 설치 할 수 있도록 구조 변경하고 공기조화장치용 인버터를 HVAC와 통합형으로 구조를 변경하여 공간 및 유지보수가 용이하게 할 수 있는 구성방식과 냉난방의 공기 흐름을 원활히 할 수 있도록 기존 아래에서 위로 공기를 올리는 방식에서 위에서 아래로 내리는 방식으로 변경 설치 할 수 있도록 설계(안)을 구성하였다.

② 실용화 8량/편성(6M2T) 구성안

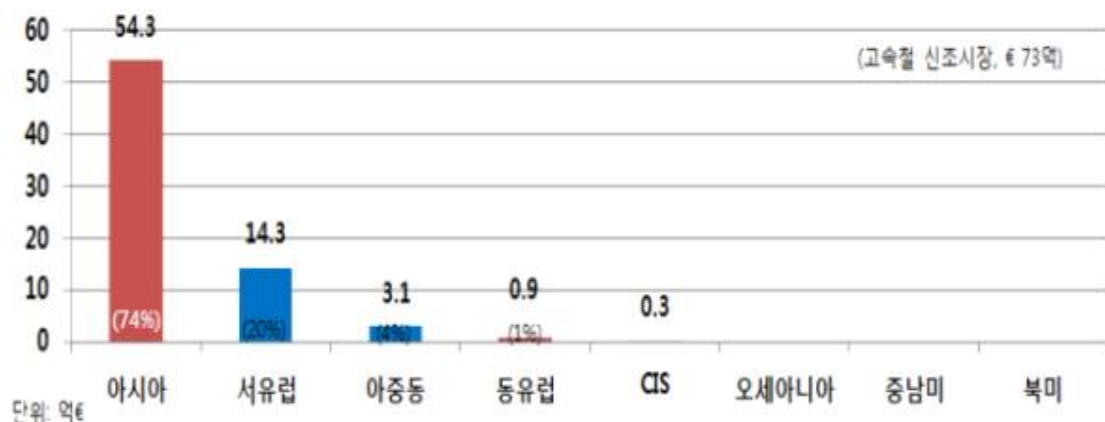
CAR TYPE	Tc1	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Tc2
주요 장치	옥상	무전기 안테나	PANTO				PANTO	무전기 안테나
		운전실용 HVAC (INV.포함)	MCB				MCB	운전실용 HVAC (INV.포함)
		객실용 HVAC (INV.포함)	HVAC (INV. 포함)	HVAC (INV. 포함)	HVAC (INV. 포함)	HVAC (INV. 포함)	HVAC (INV. 포함)	객실용 HVAC (INV.포함)
		방호장치 안테나	피뢰기, 접지 스위치				피뢰기, 접지 스위치	방호장치 안테나
			25KV 특고 케이블	25KV 특고 케이블	25KV 특고 케이블	25KV 특고 케이블	25KV 특고 케이블	
			25KV 차단스위치				25KV 차단스위치	
			PT,CT				PT,CT	
	상상	운전실배전반						운전실배전반
		객실배전반	객실배전반	객실배전반	객실배전반	객실배전반	객실배전반	객실배전반
		HVAC 배전반	HVAC 배전반	HVAC 배전반	HVAC 배전반	HVAC 배전반	HVAC 배전반	HVAC 배전반
		실내조명장치	실내조명장치	실내조명장치	실내조명장치	실내조명장치	실내조명장치	실내조명장치
		방송장치	방송장치	방송장치	방송장치	방송장치	방송장치	방송장치
		각종표시기 장치	각종표시기 장치	각종표시기 장치	각종표시기 장치	각종표시기 장치	각종표시기 장치	각종표시기 장치
		전조등/후미등						전조등/후미등
		CCU	VCU	TDCS	TDCS	TDCS	TDCS	CCU
		화재감지기	화재감지기	화재감지기	화재감지기	화재감지기	화재감지기	화재감지기
		신호장치						신호장치
		승강문	승강문	승강문	승강문	승강문	승강문	승강문
		객실출입문	객실출입문	객실출입문	객실출입문	객실출입문	객실출입문	객실출입문
	상하	APU						APU
		BAT/CHARGER+BAT.						BAT/CHARGER+BAT.
			MPS	MPS	MPS	MPS	MPS	
			견인전동기	견인전동기	견인전동기	견인전동기	견인전동기	
			견인전동기 냉각팬	견인전동기 냉각팬	견인전동기 냉각팬	견인전동기 냉각팬	견인전동기 냉각팬	
			주변압기				주변압기	
		보조변압기	보조변압기	보조변압기	보조변압기	보조변압기	보조변압기	보조변압기
				공기압축기	공기압축기	공기압축기	공기압축기	
		AIR SPRING용 공기통	AIR SPRING용 공기통	AIR SPRING용 공기통	AIR SPRING용 공기통	AIR SPRING용 공기통	AIR SPRING용 공기통	AIR SPRING용 공기통
			주공기통				주공기통	
			판도용 AUX BLOCK				판도용 AUX BLOCK	
		신호장치 안테나						신호장치 안테나
				ESK				
		T/B BOX	T/B BOX	T/B BOX	T/B BOX	T/B BOX	T/B BOX	T/B BOX
		구원용 DC/DC CON						구원용 DC/DC CON
		구원용 연결기						구원용 연결기
		제동장치 2SET	제동장치 2SET	제동장치 2SET	제동장치 2SET	제동장치 2SET	제동장치 2SET	제동장치 2SET
		오물탱크	-	오물탱크	오물탱크	오물탱크	-	오물탱크
		물탱크	-	물탱크	물탱크	물탱크	-	물탱크

5. 동력분산형 고속열차 해외시장 및 경쟁차종 분석

가. 동력분산형 고속열차 해외시장 분석

(1) 고속철 시장 규모 및 현황

고속철 시장은 다른 차종에 비해 국가적인 기술/정책 및 공익, 예산 문제와 연관이 깊으며 고속운행을 위한 인프라는 물론, 시스템, 차량에 이르기까지 높은 수준의 전문기술이 필요하기 때문에 고속철 시장은 상대적으로 높은 투자비용이 요구되는 시장으로 나타낼 수 있다. 높은 안전성과 효율성을 강조하는 시장인 만큼 고속철 시장은 정치적 상황 변화 및 예산 문제, 기 운행 노선에서의 고장·사고에 민감하다. 현재 전세계적으로 약 3,350편성의 고속철이 운행중이며, CIS, 동유럽, 북미, 중동, 중남미, 동남아 등 세계 각지에서 신규 고속 프로젝트를 계획함에 따라 유럽 및 동아시아 위주의 시장구조에서 점차 탈피해 나가고 있다.



<2012~2014년 지역별 고속철 신조시장 규모>

(2) 고속철 시장 제작사 동향

고속철 부문은 고도의 전문기술을 필요로 하며, 타 차종 대비 고속철 생산업체수는 극히 적은 수준이다. 중국의 CNR, CSR과 일본 차량제작사 컨소시엄(히타치, 가와사키, 니폰샤료 등), 알스톰, 지멘스가 전세계 고속철 신조차량 시장의 약 3/4를 점유하고 있으며, 이중 중국의 CNR과 CSR은 고속철 시장에서의 활동 기간이 길지 않음에도 불구하고 내수 시장의 막대한 수요에 힘입어 전세계 고속철 신조 시장의 1/2 가량을 차지하고 있다. 중국 CNR과 CSR은 선진업체들로부터 고속철 기술이전을 받아 현재는 자체적으로 고속철을 생산 하는 수준에 도달하였다. 한편, 전동차와 트램을 주로 생산하던 스위스의 스테들러 또한 시장다각화 및 차종다변화의 일환으로 최근 고속철 시장에 진입(2013년 스위스 SBB 250km/h급 차량 수주)하여 신흥제작사로서 입지를 다져나가고 있다.

(3) 경쟁차종별 주요 제원 비교

(가) 250km/h급 분산식 고속열차 비교

모델명	HEMU250	CRH5A (중국)	Class 801 (영국)	VelaroRus (러시아)	HT65000 (터키)	ETR610- Pendolino (스위스)	E7, W7 신칸센 (일본)
제작사	현대로템	CNR장춘	히다치	지멘스	카프	알스톰	히다치, 가와사키, J-TREC
운행사	-	China Railway	DfT	Russian Railways	TCDD	SBB	JR EAST JR WEST
설계 속도	275km/h	250km/h	200km/h	250km/h	250km/h	250km/h	275km/h
운행 속도	250km/h	250km/h	200km/h	250km/h	250km/h	250km/h	260km/h
편성	8량 1편성	8량 1편성	5량/9량 1편성	10량 1편성	6량 1편성	7량 1편성	12량 1편성
최대가속도	0.55 m/s ²	0.5 m/s ²	0.75 m/s ²	0.43 m/s ²	0.48 m/s ²	0.48m/s ²	0.44 m/s ²
편성 길이	198m	211.5m	130m/234m	250m	158.5m	187.4m	302m
차량 폭	3,100mm	3,200mm	-	3,265mm	2,825mm	2,800mm	3,380mm
좌석 형태	2 X 2	2 X 3	-	2 X 2	2 X 2	2 X 2	2 X 3
편성 정원	533석	622석	627석(9량기준)	604석	419석	430석	934석
차량가(량) (2015년 환산금액)		37.4억 (‘09년 계약가)	77.7억 (‘13년 계약가, 유지보수 포함)	56억 (‘11년 계약가)	37.7억 (‘05년 계약가)	54억 (‘12년 계약가)	-
		44.6억	82.4억	63억	50.7억	59억	

(나) 300km/h급 분산식 고속열차 비교

모델명	HEMU300	VELARO D (독일)	EUROSTAR E320 (유럽)	THSR 700T (터키)	E6 Series 신칸센(일본)	N700 Series 신칸센 (일본)
제작사	현대로템	지멘스	지멘스	히타치, 가와사키	히타치, 가와사키	히타치, 가와사키
운행사	-	DB	Eurostar	THSR	JR EAST	JR EAST JR WEST JR CENTRAL
설계 속도	330km/h	330km/h	320km/h	300km/h	320km/h	330km/h
운행 속도	300km/h	320km/h	320km/h	300km/h	320km/h	300km/h
편성	8량 1편성	8량 1편성	16량 1편성	12량 1편성	7량 1편성	16량 1편성
최대가속도	0.55 m/s ²	-	-	0.55 m/s ²	0.54 m/s ²	0.72 m/s ²
편성 길이	198m	200.3m	400m	304m	148.65m	424m
차량 폭	3,100mm	2,950mm	-	3,380mm	2,945mm	3,360mm
좌석 형태	2 X 2	2 X 2	2 X 2	2 X 3	2 X 2	2 X 3
편성 정원	533석	430석	902석	989석	338석	1323석
차량가(량) (2015년 환산금액)		54억 (2008년 계약)	-	40억 (2012년 계약)	-	-
		66억		44억		

(다) 350km/h급 분산식 고속열차 비교

모델명	HEMU350	Sapsan (러시아)	Zefiro 380 (중국)	ETR 1000 (이탈리아)	CRH3C (중국)	CRH380B (중국)	VELARO E (스페인)
제작사	현대로템	지멘스	봄바르디어	봄바르디어	CNR장춘/지멘스	CNR장춘/탕산	지멘스
운행사	-	RZD	China Railway	Trenitalia	China Railway	China Railway	RENFE
설계 속도	385km/h	350km/h	380km/h	360km/h	350km/h	380km/h	350km/h
운행 속도	350km/h	250km/h	300km/h	300km/h	300km/h	300km/h	310km/h
편성	8량 1편성	10량 1편성	8량 1편성	8량 1편성	8량 1편성	8량 1편성	8량 1편성
최대가속도	0.55 m/s ²		0.48 m/s ²	-	0.5 m/s ²	0.48 m/s ²	-
편성 길이	198m	250m	215.3m	202m	200m	200m	196.6m
차량 폭	3,100mm	3,265mm	3,400mm	2,924mm	3,265mm	3,265mm	2,950mm
좌석 형태	2 X 2	2 X 3	2 X 3	2 X 2	2 X 3	2X 2, 2 X 3	2 X 2
편성 정원	533석	604석	664석	600석	548석	591석	404석
차량가(량) (2015년 환산금액)		39억 (2011년 계약)	40억 (2009년 계약)	50억 (2013년 계약)	-	-	-
		44억	49억	53억			

(4) 경쟁차종별 운영 효율성 분석

구분		KTX	KTX-산천II	ITX-청춘	EMU-250	ETR610	HT65000	VelaroRus
차량 제원	제작사	현대로템, 알스톰	현대로템	현대로템	현대로템	알스톰	CAF	지멘스
	운영국가	대한민국	대한민국	대한민국	-	이탈리아 스위스	터키	러시아
	동력방식	집중식	집중식	분산식	분산식	분산식	분산식	분산식
	편성당량수	20	10	8	6	7	6	10
	차량구성	2L18T	2L8T	4M4T	4M2T	4M3T	4M2T	4M6T
	최고운행속도 (km/h)	300	300	180	250	250	250	250
	가속도(m/s ²)	0.44	0.45	0.55	0.55	0.48	0.48	0.43
	편성중량 (ton)	694	406	346	293	466	297	662
	좌석수	935	410	342	381	422	419	604
연간 소요 비용	유지보수비 (억원)	22.9	26.6	20.4	12.8	14.9	12.8	17.0
	인건비(억원)	15.7	20.4	24.7	20.4	20.4	20.4	17.6
	동력비(억원)	31.0	36.5	34.3	32.7	42.8	27.3	45.2
	합계	69.6	83.5	79.4	65.9	78.1	60.5	79.8
순위		3	7	5	2	4	1	6

차종	국가	Type	유지보수 계약자	차량 제작사	수량	계약기간	총계약가	계약단가 (원/car- km)	년간 량당금액 (억원/량)
고속전철	스페인	Alvia	BOMBARDIER, TALGO	BOMBARDIER, TALGO	585량 (13량 x 45편성)	14년 (2009~2022)	10억유로	442원	1.76억원
고속전철	스페인	AVE	BOMBARDIER, TALGO	BOMBARDIER, TALGO	420량 (14량 x 30편성)	14년 (2010~2023)	6.41억유로	395원	1.57억원
고속전철	이태리	AGV	Alstom	Alstom	275량 (11량 x 25편성)	30년 (2011~2040)	10억유로	439원	1.75억원
고속전철	러시아	Velaro	Siemens	Siemens	64량 (8량 x 8편성)	30년 (2007~2036)	3억유로	453원	1.81억원
해외 고속철도 평균								432원	1.72억원
인터시티	우크라이나	EMU	Hyundai-Rotem	Hyundai-Rotem	90량 (9량 x 10편성)	5.4년 (2012~2017)	9.6천만달러	432원	1.49억원
메트로	러시아	Desiro	Siemens	Siemens	270량 (5량 x 54편성)	40년 (2013~2053)	5.5억유로	419원	0.73억원
메트로	한국	9호선	Hyundai-Rotem	Hyundai-Rotem	144량 (4량 x 36편성)	5년 (2013~2018)	403억원	375원	0.56억원
메트로	한국	EMU	인천공항 철도	Hyundai-Rotem	156량			302원	0.85억원
메트로	한국	EMU	서울메트로	Hyundai-Rotem	1,954량			551원	0.66억원
메트로	한국	EMU	SMRT	Hyundai-Rotem	1,561량			450원	0.54억원



<경쟁차종별 차량 특성>

HEMU-430X의 실용화 편성과 경쟁차종을 정리하면 위 표와 같다. 주요 차종별 소요 비용을 확인해보면 위에 표에서 확인할 수 있듯이 유지보수비용만 고려 시 동력분산식 고속차량이 KTX(동력집중식) 보다 효율성이 좋은 것으로 분석되었으며 유지보수비, 인건비 및 동력비를 고려한 전체 유지보수비용은 HT65000과 EMU-250이 가장 비용 경제적인 것으로 분석됨. 추가적으로 각 나라별 계약된 주요 차종의 량당 금액을 확인해보면 전동차로는 한국의 지하철 및 9호선이 구입비용이 저렴한 것을 확인할 수 있다.

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적

제 1 절 연구개발 핵심성과

본 연구과제의 목표는 개발된 차세대고속열차(HEMU-430X)의 시운전 시험을 통하여 차량 시스템의 신뢰성을 확보하고 실용화를 위한 기반을 구축하는 것이다. 본선 시운전 시험을 통한 안정화 및 신뢰성 시험 결과를 바탕으로 각 운영속도별 실용화 사양(안)을 작성하였으며, 국내외 실용화를 위한 전략 수립 등을 통하여 향후 다양한 운영자 요구사항에 대응할 수 있게 하여 조속한 분산형 고속열차의 실용화를 추진하고자 하였다. 이러한 연구 활동의 핵심결과를 정리하면 다음과 같다.

가. 1세부 과제

연 번	핵심성과명	핵심성과 설명	성과 유형	성과달성 책임	해당연차
1	안정화된 차세대 동력분산형 고속열차 시스템	안정화가 완료된 차세대 동력분산형 고속열차 차량 및 시스템	시스템	한국철도 기술연구원	'12.11~'15.12 (3년 1개월)
2	안정화 및 신뢰성 시험 결과	차세대 분산형 고속열차의 안정화 및 신뢰성시험 일지와 성능을 확인할 수 있는 보고서	기타	한국철도 기술연구원	'13.06~'15.12 (2년 6개월)
3	시제열차 활용방안 및 실용화 사양	차세대 분산형 고속열차 시운전 종료 후 시제열차의 활용방안 및 실용화 편성의 사양	기타	한국철도 기술연구원	'14.06~'15.12 (1년 6개월)
4	고속철도 기술수준 및 시장 분석을 통한 국내적용방안 및 해외 진출 전략	고속철도 기술수준 분석 보고서 및 국내 적용방안 및 해외진출전략 보고서	기타	한국철도 기술연구원	'12.11~'15.12 (3년 1개월)

나. 2세부 과제

연 번	핵심성과명	핵심성과 설명	성과 유형	성과달 성 책임	해당연차
1	동력분산형 고속차량의 주요장치 성능 안정화	차량의 주행 안정성 및 주행 성능 향상과 최고속도(430km/h) 달성을 위해서 주요 장치의 성능 확보를 목표로 하고 있음	시스템	현대로템 (주)	‘12.11~’15.12. (3년 1개월)
2	동력분산형 차량의 제동시스템 안정화	최고 시험속도 430km/h까지 적용 가능한 동력분산형 제동장치 및 최대 53MJ 제동조건에서 0.3이상의 마찰계수 확보 가능한 제동시스템의 안정화	장비· 장치	유진기공 산업(주)	‘12.11~’15.12. (3년 1개월)
3	진단제어시스템 유지보수용 시험기	진단제어시스템의 구성 부품인 CCU, VCU, DU와 주변 장치인 GCU, 표시기 장치를 시험하기 위한 장비로서, TDCS의 동작 상태, 신 호의 입,출력 상태, 통신 상태등을 시험하여, TDCS 및 주변 장치가 안정적이고 신뢰성 높은 운영이 유지되도록 하는 시험기	장비· 장치	인터콘 시스템스	‘12.11~’15.12. (3년 1개월)
4	보조전원장치 및 배터리충전장치 프로그램 개선	차량에 신속한 전원공급을 위해 보조전원장치 기존대비 기동시간 단축	장비· 장치	(주)팩테크	‘12.11~’15.12. (3년 1개월)
5	보조전원장치 및 배터리충전장치 DC Link 전압 리플 개선	기존장치 대비 DC Link단 리플 개선	장비· 장치	(주)팩테크	’13.6~’15.12 (2년6개월)
6	통합차상신호 시스템 안정화	국내 철도용 지상신호시스템 구간을 운행의 중단 없이 연속적으로 신 호전환하면서 철도차량을 제어할 수 있는 차상신호시스템 안정화	장비· 장치	LS산전 (주)	‘12.11~’15.12. (3년 1개월)
7	ATP 기능 안정화	ATP 구간 운행의 안정적 제어를 위한 S/W 알고리즘의 개선	장비· 장치	LS산전 (주)	‘12.11~’15.12. (3년 1개월)
8	동력분산형 고속열차 주변압기	동력분산형 고속열차용 주변압기 시제품을 자체 제작하여 국산화 하는 것임	장비· 장치	국제전기 (주)	‘12.11~’15.12. (3년 1개월)
9	통로연결막	소음35dB에서 38dB로 상승	장비· 장치	(주)신영이 앤지	‘12.11~’14.6 (1년7개월)
10	갱웨이	미려도 및 안전성 개선	장비· 장치	(주)신영이 앤지	‘12.11~’14.6 (1년7개월)
11	싸이드베리어	공력소음 8dB~10dB 감소	장비· 장치	(주)신영이 앤지	‘12.11~’13.6 (0년7개월)
12	실내측 판넬장치	미려도 및 안전성 개선	장비· 장치	(주)신영이 앤지	‘13.6~’15.6 (2년2개월)
13	주회로차단기 성능개선 및 안정화	주회로차단기의 성능개선을 통한 안정화 및 동작소음을 저감하여 높은 신뢰성 및 안정적인 주회로 차단기를 구현함	장비· 장치	(주)비츠로 테크	’14.6~’15.12 (1년6개월)

제 2 절 주요 연구성과

1. 학술적 성과

가. 논문게재 성과

(1) 국외 학술지 논문게재

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2013	Operating Speed Pattern Optimization of Railway Vehicles with Differential Evolution Algorithm	김영국	김영국	전창성 김석원 박태원	International Journal of Automotive Technology	14 (6)	국외	SCIE
2013	Investigation of noise sources in high-speed trains	노희민	노희민	최성훈 홍석운 김석원	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit	228 (3)	국외	SCIE
2015	A Study on the Dynamic Behavior of the Korean Next-Generation High-Speed Train	전창성	전창성	김영국 박준혁 김석원 박태원	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit		국외	SCIE
2015	Anaysis of dynamic interaction between catenary and pantograph with experimental verification and performance evaluation in new high-speed line	이진희	박태원	오혁근 김영국	Vehicle System Dynamics	53 (8)	국외	SCIE
2015	Identification of low-frequency noise sources in high-speed train via resolution improvement	노희민	노희민	최정우	Journal of Mechanical Science and Technology	29 (9)	국외	SCIE

(2) 국내 학술지 논문게재

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2012	차세대분산형 고속열차의 후미진동 저감에 관한 연구	전창성	전창성	김영국 김석원 김상수 최성순 박태원	한국철도학회 논문집	15 (6)	국내	일반 학술지
2013	고속철도 차량의 실내소음 특성 연구	노희민	노희민	최성훈 김석원 홍석윤	한국철도학회 논문집	16 (1)	국내	일반 학술지
2013	UIC 518 OR의 가속도계를 이용한 차세대고속열차 (HEMU-430X) 동적 거동 안전성 평가	류상현	류상현	김상수 홍준희 송두상 곽양양	한국철도학회 논문집	16 (1)	국내	일반 학술지
2013	속도향상에 따른 열차속 도와 전차선 파동전파속 도에 대한 실험적 연구	이기원	이기원		대한전기학회논문집	62 (12)	국내	일반 학술지
2014	고속열차 대차 측면 페 어링 적용을 통한 공기 저항 저감 연구	문지수	문지수	김석원 권혁빈	전산유체공학회논문집	19 (1)	국내	일반 학술지
2014	고속열차 주행안전성 평가법에 대한 검증 연구	류상현	류상현	김상수 김대식 김상영 홍준희 이기준	한국생산제조시스템 학회지	23 (3)	국내	일반 학술지
2014	동적 접촉력 측정을 통한 차세대 고속열차의 집전 성능 분석	오혁근	오혁근	지형민 김영국 김석원	한국철도학회논문집	17 (3)	국내	일반 학술지
2014	타행 시험을 이용한 고속 열차 주행저항 평가	권혁빈	권혁빈	김석원 오혁근	한국철도학회논문집	17 (3)	국내	일반 학술지
2015	고속선 터널미기압과 특 성 및 예측기법 연구	윤수환	윤수환	남석원 김석원	한국철도학회논문집	18 (1)	국내	일반 학술지
2015	차세대고속열차의 신뢰성 성장 분석	노희민	노희민	김석원	한국철도학회논문집	18 (3)	국내	일반 학술지
2015	차세대 동력분산형 고속 열차(HEMU-430X)의 중량변화에 따른 가속능 력 분석	최두호	최두호	조홍식	한국산학기술학회논문지	16 (6)	국내	일반 학술지
2015	차세대 고속열차 도입에 따른 수단분담모형 개발 및 적용방안	이광섭	이광섭	정성봉 엄진기 남궁백규 김석원	대한교통학회지	33 (5)	국내	일반 학술지

나. 학술대회 발표 성과

(1) 국외 학술대회 논문 발표

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013.06	Running Safety Assessment of Korea Next-generation High-speed Train	김상수, 김석원, 박춘수, 오혁근	The 15 th Asian Pacific Vibration Conference	국외
2013.08	Development of Korean Next-Generation High-speed Railway	김상수, 김석원, 박춘수, 오혁근, 전창성	Japan-Korea Joint Symposium on Dynamics & Control 2013	국외
2013.09	Tail Vibration Reduction for the Korean Next Generation High Speed EMU	전창성, 김남포, 김석원, 박태원	9th International Conference of Railway Bogies and Running Gears	국외
2013.11	Comparative review of the current collection quality parameters between catenary and pantograph by measuring the contact and arcs simultaneously during new Korean high speed train trial runs	권삼영, 박철민, 박영, 이기원, 조용현, 엄기영, 김석원, 오혁근	WCRR(World Congress on Railway Research) 2013	국외
2014.04	The Contribution Analysis of the Interior Noise in the High-speed Train by using the Operational Transfer Path Analysis	노희민, 김석원, 김상수, 조홍식	Railway 2014	국외
2014.05	Optimization of Tunnel Portal shape for Pressure variation and Micro-pressure wave reduction	윤수환, 광민호, 이정욱, 권혁빈	World Tunnel Congress 2014	국외
2014.06	A Study on the Propulsion System Temperature Characteristic of High-speed Electrical Multiple Unit	이태형, 오혁근, 김상수, 조홍식, 김석원	International Conference on Electrical Engineering 2014	국외
2014.09	A Study of Riding Comfort Evaluation of Korean Next-generation High-speed Railway	김상수, 노희민, 지형민, 박춘수, 최성훈	2014 International Conference on Noise and Vibration Engineering	국외
2015.04	Resolution Improvement of Noise Sources in High-Speed Trains by Inverse Problem Optimization	노희민, 김석원, 백승규, 오혁근	2015 Noise and Vibration Emerging Technologies	국외

(2) 국내 학술대회 논문 발표

(가) 1세부 과제

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013.04	차세대고속열차 주행장치의 온도변화 특성 연구	김상수, 이태형, 조홍식, 최두호, 김석원	2013년도 한국소음진동공학회 춘계학술대회	국내
2013.05	계측시스템을 이용한 고속열차의 전력특성 분석	김민형, 이태형, 조홍식, 김석원, 장길수	2013년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2013.05	차세대 고속열차(HEMU-430X) 집전 성능분석	오혁근, 지형민, 김석원	2013년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2013.05	차세대고속열차 추진시스템 시험결과	이태형	2013년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2013.05	차세대 고속열차 주행안정성 및 실내 소음 측정결과	노희민, 전창성, 김상수, 김석원	2013년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2013.05	현장계측시험을 통한 고속선터널의 미기압과 방출 특성 분석	윤수환, 남성원, 권혁빈, 김상수	2013년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2013.05	HEMU 430X 열차 지상증속 시험시 레도구조 거동분석	강운석, 지기환, 김석원, 손승환, 유상량	2013년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2013.06	차세대 분산형 고속열차의 후미진동 저감에 관한 연구(II)	전창성, 김석원, 김상수, 박태원	2013년도 대한기계학회 동역학 및 제어부분 춘계학술대회	국내
2013.07	추진출력에 따른 차세대고속열차 소비에너지 분석	조홍식, 이태형, 김석원, 김상수, 전창성	2013년도 대한전기학회 하계학술대회	국내
2013.10	HEMU-430X 시운전 시험에 따른 전차선 압상량 및 변형률 측정결과 분석	이기원, 권삼영, 박영, 박철민, 김석원	2013년도 대한전기학회 추계학술대회	국내
2013.10	시운전시험을 통한 차세대고속열차 성능검증체계	이태형, 김석원	2013년도 시스템엔지니어링 추계학술대회	국내
2013.10	UIC 513R에 따른 차세대고속열차(HEMU-430X) 승차감 분석 및 평가	고재하, 김상수, 김석원, 김영국	2013년도 한국물류과학기술학회 추계학술대회	국내
2013.10	차세대 고속열차(HEMU-430x) 팬터 그래프의 접촉력 특성 분석	오혁근, 지형민, 전창성, 김석원	2013년도 한국물류과학기술학회 추계학술대회	국내
2013.10	차세대 동력분산 고속열차(HEMU-430X)의 중량변화에 따른 가속성능 연구	최두호, 전창성, 조홍식, 오혁근, 고상진, 김석원	2013년도 한국물류과학기술학회 추계학술대회	국내
2013.11	차세대 동력분산 고속열차(HEMU-430X)의 주행안정성	최두호, 전창성, 오혁근, 고상진, 김석원	2013년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2013.11	차세대 동력분산 고속열차(HEMU-430X)의 중량과 가속능력의 상관관계	최두호, 전창성, 조홍식, 오혁근, 김석원	2013년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2013.11	차세대고속열차(HEMU-430X)의 주행 저항 특성분석	오혁근, 권혁빈, 김상수, 최두호, 김석원	2013년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2013.11	KORAIL EMU VVVF C/I 성능향상을 위한 방안	김은기, 이동수, 김봉래, 김현식	2013년도 한국철도학회 추계학술대회	국내

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013.12	차세대고속열차 주행장치 온도 모니터링	김상수, 노희민, 최두호, 류상현, 지형민	2013년도 대한기계학회 추계학술대회	국내
2014.02	차세대고속열차의 성능검증에 관한 연구	고상진, 김상수, 김석원, 노희민	2014년도 대한기계학회 춘계학술대회	국내
2014.04	고속열차 차량내 무선 센싱 시스템 검토	김상수, 이태형, 전창성, 오혁근, 고상진	2014년도 한국소음진동공학회 춘계학술대회	국내
2014.05	집전성능에 따른 차세대고속열차의 전력품질 분석	김민형, 오혁근, 조홍식, 김상수, 김석원	2014년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2014.10	차세대고속열차 증속을 위한 소비전력 분석	조홍식, 김상수, 전창성, 이태형, 김석원	2014년도 대한전기학회 추계학술대회	국내
2014.10	고속철도차량 고조파 영향분석 및 저감기법	김은기, 이봉운, 이동수	2014년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2014.10	선진철도 열차운행장애에 관한 현상 분석	김재국	2014년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2015.05	고속열차 주행저항 일반식 분석 및 검증	윤수환, 광민호, 남성원, 오혁근, 김석원	2015년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2015.05	HEMU 도입에 따른 파급효과 분석	신종진, 이광섭, 엄진기, 김석원	2015년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2015.10	차세대고속철도 차량의 운전실 승차감 분석	김준곤, 노희민, 김상수, 김석원, 조미령	2015년도 소음진동공학회 추계학술대회	국내
2015.11	분산형고속열차 객차 주행 진동 특성	한정화, 김상수, 노희민, 김준곤, 조홍식	2015년도 대한기계학회 추계학술대회	국내

(나) 2세부 과제

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013.05	차세대 고속열차 판토품그래프 공력 특성 해석	고태환, 김기남	한국전산유체학회	국내
2013.05	수냉식 냉각방식을 적용한 추진제어장치 개발	노애숙	한국철도학회	국내
2013.05	차세대 고속열차차량의 객실 승객 편의 시설 고찰	박성일, 유보선, 김욱	한국철도학회	국내
2013.05	차세대 고속열차 Traction Motor Cooling Air Flow System Resistance Reduction설계접근 방법	장정훈	한국철도학회	국내

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2013.05	GPS신호 음영구간에서의 열차 이상 진동위치 검출 방법에 대한 연구	조만재, 전성준, 송영규, 손강호	한국철도학회	국내
2013.11	HEMU-430X 통신과 제어시스템 구성 고찰	김성태, 민평오, 김성준, 문성훈	2013년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2013.11	수냉각방식을 적용한 430km/h급 추진 제어장치 설계	이상균, 김태윤, 노애숙, 정은성, 한정수	2013년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2014.09	HEMU-430X 운전실 주요 제어장치 연동기능 고찰	문성훈, 김성태, 민평오	2014년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2014.05	고속철도 차량의 안전운행을 위한 열차의 이상진동 구간의 효과적 표시방법에 대한 연구	하현중, 조만재, 전성준, 송영규	2014년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2013.11	고속철도에서 ATC 불연속정보처리 향상방법	김석현, 한재문, 조용기	2013년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2013.11	고속철도에서 ATC 불연속정보처리 향상방법	김석현, 한재문, 조용기	2013년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2013.11	다중채널 적용 디지털 방식의 ATC불연속 신호처리 방법	김석현, 한재문, 조용기	2013년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
2015.05	차세대고속열차 진단제어시스템 시험기 개발에 대한 연구	최병수, 전성준, 손강호	2015년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2015.05	고속차량 운행시 대차불안정발생 요소에 대한 고찰	문성훈, 박성준, 안홍관	2015년도 한국철도학회 춘계학술대회	국내
2015.07	고속철도용 통합차상신호시스템 시뮬레이터 개발에 관한 연구	한재문	2015년도 전력전자학회 춘계학술대회	국내
2015.10	고속철도차량용 특수변압기의 전자계, 열유동 특성 해석	최진현, 김수현, 광창섭, 백주용, 윤상기, 안진용, 이세희	대한전기학회 추계학술대회	국내

다. 인력 양성 성과

취득학위	이름	취득학위 논문명	학위취득일	지역
박사	류상현	동력분산식 고속차량 개발을 위한 동적 거동 안전성 평가	2013.2	대전광역시
박사	노희민	음장가시화와 분해능 최적화를 통한 고속주행체의 소음원 및 음향특성 도출에 관한 연구	2014.2	서울특별시
박사	전창성	차세대 분산형 고속열차의 후미진동 저감에 관한 연구	2015.2	경기도
석사	고재하	터널 내 압력변동을 고려한 고속열차 차체 구조물의 피로에 관한 연구	2014.2	서울특별시
석사	김민형	집전성능에 따른 차세대고속열차의 전력품질 해석	2014.2	서울특별시
석사	지형민	민감도 분석을 통한 분산형 고속열차 승차감 개선	2014.8	대전광역시
석사	유근준	전차선 장력에 따른 팬터그래프 동적 접촉력 특성 분석	2016.2	경기도

2. 기술적 성과

가. 지식재산권 성과

(1) 특허 출원

(가) 1세부 과제

특허명	발명자명	출원국	출원일	출원번호	출원법인명
열차 특정 위치의 소음 특성 도출 방법	노희민, 최성훈, 김석원, 김영국, 김기환	대한민국	2012.12.05	10-2012- 0140292	한국철도 기술연구원
열차의 판토품그래프 센서계측장 치의 전원공급시스템	오혁근, 김영국, 김석원, 김기환	대한민국	2012.12.24	10-2012- 0152267	한국철도 기술연구원
대차 에어댐	윤수환	대한민국	2013.12.26	10-2013- 0164178	한국철도 기술연구원
차량 접근 경고 장치	노희민, 김석원, 김춘수, 박춘수	대한민국	2013.12.31	10-2013- 0169501	한국철도 기술연구원
철도차량용 방음 커튼 장치	노희민, 김석원, 조홍식, 고상진	대한민국	2013.12.31	10-2013- 0169504	한국철도 기술연구원
다공성 흡음재	노희민, 김석원, 전창성, 김상수	대한민국	2013.12.31	10-2013- 0169507	한국철도 기술연구원
철도차량용 소음 저감 장치	노희민, 김석원, 박춘수, 오혁근	대한민국	2013.12.31	10-2013- 0169510	한국철도 기술연구원
태양전지	오혁근, 최두호, 고상원, 강석원, 김석원, 장용준	대한민국	2014.07.25	10-2014- 0094781	한국철도 기술연구원
철도차량용 소음 저감 장치	노희민, 김석원, 박춘수, 오혁근	PCT	2014.11.26	PCT/KR 2014/011399	한국철도 기술연구원
열차 차륜 찰상 검지 시스템 및 방법	오혁근, 김상수, 전창성, 김석원	대한민국	2015.07.23	10-2015- 0104550	한국철도 기술연구원

(나) 2세부 과제

특허명	발명자명	출원국	출원일	출원번호
고속철도에서 ATC 불연속 신호 처리 효율성을 높이기 위한 방법	김석현	대한민국	2013	10-2013-0054724
철도차량용 전공제동밸브	이재영	대한민국	2014	10-2014-0036228
고속열차의 대차불안정 감지센서 신호처리형 모듈	전성준	대한민국	2014	10-2014-0061870
다중 채널 적용 디지털 방식의 불연속 정보처리 방법	한재문	대한민국	2013	10-2013-0163484
철도차량연결부싸이드베리어	김성재	대한민국	2014	10-2014-0051298
고속열차의 운전실 주요제어장치 연동 회로	문성훈	대한민국	2014	10-2014-0071287
운전자 생체정보를 이용한 열차제어 시스템	한재문	미국	2014	14/017, 147
운전자 생체정보를 이용한 열차제어 시스템	한재문	중국	2013	201310410127.6
철도에서 ATC 불연속정보 처리장치 및 방법	김석현	미국	2014	14/264, 278
철도에서 ATC 불연속정보 처리장치 및 방법	김석현	중국	2014	2014102061176.2
철도차량용 디스크 브레이크 장치	이재영 조동현	대한민국	2015	10-2015-0045536
고속선 진입 제어장치 및 제어방법	김석현 한재문	대한민국	2014	10-2014-0193512
열차제어장치를 시험하기 위한 시뮬레이션 시스템	한재문	대한민국	2015	10-2015-0093034
열차의 판토품그래프 제어 방법	김석현 한재문 조용기	대한민국	2015	10-2015-0095654
열차시스템에서 불연속정보 처리장치	한재문	미국	2014	14/570871
열차시스템에서 불연속정보 처리장치	한재문	중국	2014	2014108584400
신축성을 가지는 전동차용 주변압기 컨서베이터 구조	윤상기	대한민국	2014	10-2014-0148977
단상 인버터 및 컨버터의 스위칭 방법	이상경	대한민국	2014	10-2014-0077415
철도 차량용 통로 연결막 구조체의 측부 보호제	김성재	대한민국	2015	10-2015-0029822
차음구조를 강화한 조속기축소형 고속철도 주회로 차단기	김강희 구치욱	대한민국	2015	10-2015-0026322

(2) 특허 등록

(가) 1세부 과제

특허명	발명자명	등록국	등록일	등록번호	등록법인명
열차 특정 위치의 소음 특성 도출 방법	노희민, 최성훈, 김석원, 김영국, 김기환	대한민국	2013.08.29	제10- 1303566호	한국철도 기술연구원
가속도계를 이용한 궤도 틀림 검측 시스템 및 검측 방법	이준석, 최성훈, 김상수, 박춘수	대한민국	2013.03.28	제10- 1250228호	한국철도 기술연구원
전기철도 차량 집전장치의 접촉 력 측정 센서	김영국, 박찬경, 전창성, 김석원, 김기환	대한민국	2013.07.08	제10- 1285839호	한국철도 기술연구원
열차의 판토틀로그راف 센서계측장 치의 전원공급시스템	오혁근, 김영국, 김석원, 김기환	대한민국	2014.08.25	제10- 1436153호	한국철도 기술연구원
대차 에어램	윤수환	대한민국	2015.05.22	제10- 1524010호	한국철도 기술연구원

(나) 2세부 과제

특허명	발명자명	등록국	등록일	등록번호
전동차용 주변압기의 조립구조	윤상기	대한민국	2013	10-1236448
전동차용 주변압기의 썬기 코 어 설치구조	윤상기	대한민국	2013	10-1236447
철도차량용디스크브레이크장치	이재영	대한민국	2013	10-1262832호
고속열차의 운전실 주요제어장 치 연동 회로	문성훈, 김성태	대한민국	2015	10-1532674
고속철도에서의 ATC 불연속정 보 처리방법	김석현, 한재문 조용기	대한민국	2014	10-1440231
철도 차량 연결부 사이드배리어	김성재	대한민국	2015	10-1530041

(3) 소프트웨어 등록

(가) 1세부 과제

소프트웨어명	발명자명	등록일	등록번호
분산형 고속열차 전력품질 평가 소프트웨어	이태형, 조홍식, 김석원	2013.06.07	제C-2013- 011809호
분산형 고속열차 주행상태 감시 소프트웨어	이태형, 조홍식, 김석원	2013.06.07	제C-2013- 011810호
HEMU-430X 가속도 측정 data를 이용한 차 량별 승차감 측정 프로그램	오혁근, 전창성, 김상수, 노희민, 김석원	2014.03.03	제C-2014- 004871호
텍스트 후처리(TXT post) 프로그램	오혁근, 노희민, 김상수, 전창성, 조홍식, 김석원	2014.05.19	제C-2014- 011313호
차세대 고속열차 해무(HEMU-430X) 판토틀 로그راف 계측 및 분석 프로그램	오혁근, 김상수, 조홍식, 전창성, 백승구, 김석원	2015.07.20	제C-2015- 016961호

(나) 2세부 과제

소프트웨어명	발명자명	등록일	등록번호
지피에스 컨트롤 유닛(GCU) 분석 소프트웨어	인터콘시스템스	2014	
보조전원장치(APS) 제어 소프트웨어	팩테크	2015	
축전지 충전기(BACH) 제어 소프트웨어	팩테크	2015	

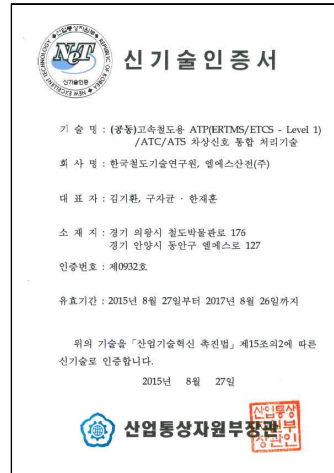
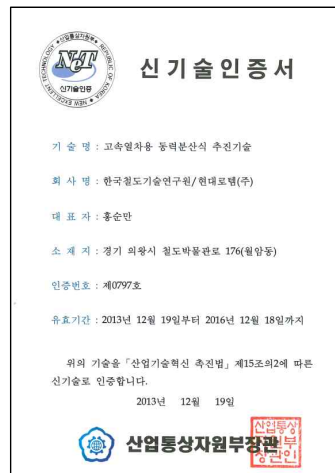
나. 시제품 제작

시제품명	제작사	제작년도
주회로차단기 소음 개선품	현대로템	2013
주전력변환장치 수냉각장치 냉각성능 개선	현대로템	2013
견인전동기 냉각팬 동작소음 개선	현대로템	2013
고속차량용 차축디스크	유진기공산업	2013
WSP-C(Wheel Slide Protection Controllor)	유진기공산업	2013
싸이드 베리어 개선	신형이엔지	2013
통로연결막	신형이엔지	2013
에어댐 및 END 스커트 신규 설치 작업	현대로템	2014
대차 커버 개선품 인터페이스 확인 및 설치 작업	현대로템	2014
견인전동기 용량 개선(410kW→470kW)	현대로템	2014
주전력변환장치 DC LINK 향상	현대로템	2014
공기압축기 진동 저감	유진기공산업	2013
EP-CHANGE MAGNET VALVE	유진기공산업	2014
보조전원장치(APS)	팩테크	2014
배터리 충전장치(BACH)	팩테크	2015
ATP 차량시스템 2CHANNEL RACK	LS산전	2014
HEMU-430X 주변압기 시제품	국제전기	2013
갱웨이	신형이엔지	2013
진단제어시스템 유지보수용 시험기	인터콘시스템스	2015
차상 신호시스템 통합시뮬레이터 개발	LS산전	2014
실내측 판넬장치	신형이엔지	2014
고속열차 소음 저감 주회로차단기	비츠로테크	2015

다. 신기술 인증 및 포상

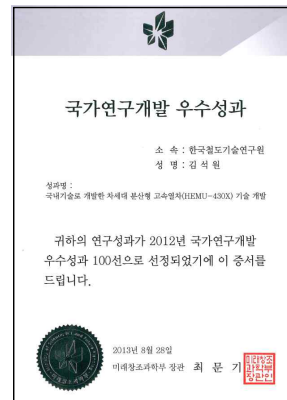
(1) 신기술인증(NET) 취득 (산업통상자원부)

- 고속열차용 동력분산식 추진기술
 - 신청기관 : 한국철도기술연구원, 현대로템(주)
 - 지정기관 : 산업통상자원부
 - 취득일 : 2013.12.19.
- 고속철도용 ATP(ERTMS/ETCS - Level 1)/ATC/ATS 차상신호 통합 처리기술
 - 신청기관 : 한국철도기술연구원, LS산전(주)
 - 지정기관 : 산업통상자원부
 - 취득일 : 2015.8.27.



(2) 2012년도 국가연구개발 우수성과 선정

- 국내기술로 개발한 차세대 분산형 고속열차(HEMU-430X) 기술 개발
 - 지정기관 : 미래창조과학부
 - 선정일 : 2013.8.28.



제 4 절 기술실시 및 적용사례

1. EMU-250 기술제안서 작성

개발된 분산형 고속열차 시스템은 경전선용 EMU-250으로 실용화를 추진 중이다. 현재 차량제작사인 현대로템은 개발된 기술 및 시운전 중 측정된 결과를 바탕으로 EMU-250의 기술제안서를 운영사인 철도공사에 제출하였다. 해당 제안서에는 HEMU-430X 기술개발을 통하여 동력분산형 고속열차 설계/제작 기술을 보유하고 있음을 명시하였다.

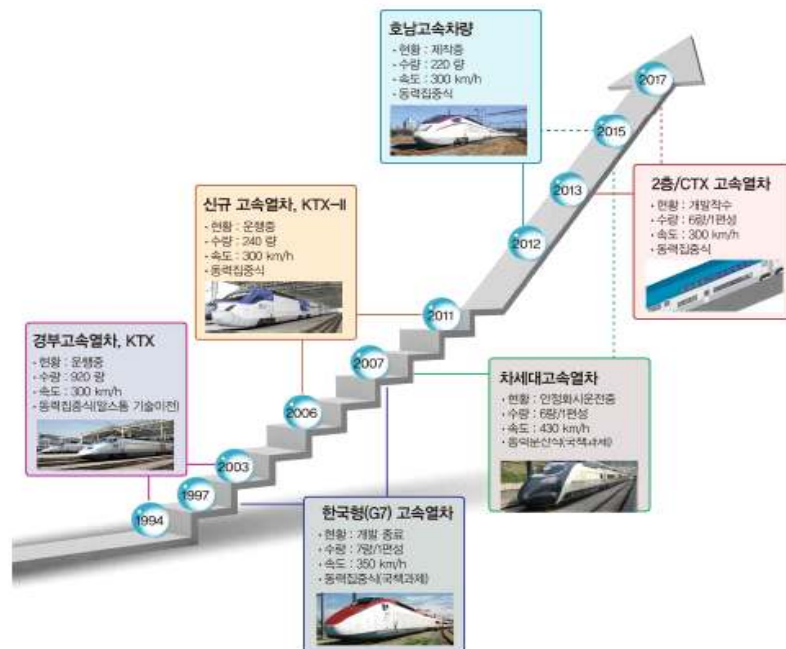


제3장 | 차량 제안

3.1 제안 배경

3.1.1 제안사의 고속차량 개발 이력

- 제안사는 1994년 알스톰 기술 이전을 통해 제작된 경부선 고속열차 KTX-I을 시작으로 G7, KTX-II, 호남고속차량 등 동력집중식 고속차량 설계/제작 기술과 차세대 고속열차(HEMU-430X) 개발사업을 통해 동력분산식 고속차량 설계/제작 기술을 보유



1
장

2
장

3
장

4
장

5
장

다음 표에서는 HEMU-430X 기술개발을 통하여 개발된 기술의 EMU-250 적용 내용이 명시되어 있다.

<HEMU-430X 개발 기술의 EMU-250 적용 사례>

순번	장치명	250km/h급 분산형 주요 사양 및 특징	개발기술 적용 내용
1	차체	알루미늄 압출재 - 차체 강도 : 압축 2,000kN, 인장 1,500kN - 차체 재질 : 알루미늄 압출재(6005A-T6)	알루미늄 압출재 경량화 설계/제작 기술
2	대차	대차 대차형식: 볼스터레스 대차 윤축간거리: 2,600mm 최대축중: 15tons 차륜직경: 860mm(New)/ 780mm(Worn) 감속장치: 2단감속 1차 현가장치: 링크 암 타입 2차 현가장치: 공기스프링 기초제동장치: 차륜디스크/ 차축디스크 제동장치	동력분산형 대차 platform 설계 기술
3	주전력변환장치	주전력변환장치 1. 정격 용량 : 1,470kW/ 1,630kVA(컨버터/인버터) 2. 입력 전압 : AC 1,400V × 2 Circuit 3. 출력 전압 : AC 0 ~ 2,180V 4. 모터 제어 방식 : 1C 4M 5. 제어 전원 : DC 100V(70V ~ 110V) 6. 냉각방식 : 수냉각 방식 (EGW 50%) 7. 전력반도체 소자 : 6,500V/ 750A IGBT 8. 중량 : 2,100 kg±5%	성능 신뢰성 검증된 수냉각방식의 추진제어장치 설계 기술 적용. - 냉각용량 8kW급 수냉각 스택 및 열교환기 적용.
4	견인전동기	견인전동기 1. 형식 : 3상 농형 유도전동기 2. 연속 정격 용량 : 330kW, 2150V, 111A 3. 절연등급 : 200class 4. 정격속도 : 4,529 rpm(New wheel : 820mm) (250km/h) 5. 최대회전수 : 5,237rpm(Worn wheel 780mm) (275km/h) 6. 기어비 : 2.8 7. 중량 : 580 kg±5%	기존 수행한 양산 PJT에서 축적된 기술 적용.
5	차상신호장치	차상신호장치 - ATP/ATS 기능 - ETCS Level 1 & 2	HEMU-430X 차상신호장치는 SIL4 미인증으로 사용불가
6	제동장치	제동시스템 - 동력분산형 전공 아날로그 제동장치 - Total blending 제어 - 대차 제어 방식 - 축당 WSP 제어 - 최대감속도 1.05 m/s ² - Fail Safe/Back up 제동시스템	컴팩트형 매니폴드형 밸브 및 분산형 Total Blending 제어알고리즘 적용

순번	장치명	250km/h급 분산형 주요 사양 및 특징	개발기술 적용 내용
7		공기압축기 - 피스톤 압축방식, 무급유 공기압축기 - 최대 생성 압력 11 bar	오일이 필요없는 무급유 공기압축기 적용
8		기초제동장치 - 차륜디스크, 차축디스크 - 유연패드(Flexible pad) - 일체형 제동캘리퍼	차륜디스크 및 디스크 수명연장을 위한 유연패드 적용
9	판토크래프	판토크래프 - 능동제어형 판토크래프 - 최고시험속도 430km/h - 자동하강장치/고속선 상승제한장치	압상력 능동제어기 기술적용
10	차량진단 제어장치	CCU Rack : 482.6×265.9×407.2mm - 고성능 32bit CPU를 사용한 고속 Application Logic 처리 설계 - WTB : TX/RX 2 Wired 2채널 (이중화) - MVB : TX/RX 2 Wired 2채널 (이중화) - RS485 : Isolated 4 채널 - RS422 : Isolated 1 채널 - RI/RO : Redundancy 각각 2채널 - DI : 24채널 - DO : 32채널 - AI : 4채널 - AO : 2채널 - TCN(IEC61375-1)를 지원	차량 편성내의 모든 차량의 전장장치를 진단하고 제어를 처리하는 기능으로 고속 Application Logic으로 이중화 처리 설계 기술
11	차량진단 제어장치	VCU - Rack : 482.6×265.9×407.2mm - 고성능 32bit CPU를 사용한 고속 Application Logic 처리 설계 - WTB : TX/RX 2 Wired 2채널 (이중화) - MVB : TX/RX 2 Wired 2채널 (이중화) - RS485 : Isolated 4 채널 - DI : 64채널 - DO : 64채널 - AI : 4채널 - AO : 2채널 - TCN(IEC61375-1)를 지원	차량 편성내 각 차량의 전장장치 진단과 제어를 처리하는 기능으로 고속 Application Logic으로 처리 설계 기술
12		DU - Rack : 310 × 214 × 99 mm - OS : Windows embedded XP SP3 CPU : Embedded Intel ATOM 1.6GHz Memory : 1024 MB of SDRAM 2GB of Compact Flash - RS-232/485 통신 : 1 채널 - MVB 통신 : 2 채널, 1 × USB 2.0 Port - 1 × RS232C Touch Screen controller	차량운전자에게 진단제어장치의 전체 기능 상태를 표시하는 장치로 디스플레이 기술 및 고속 Application Logic 처리 설계 기술

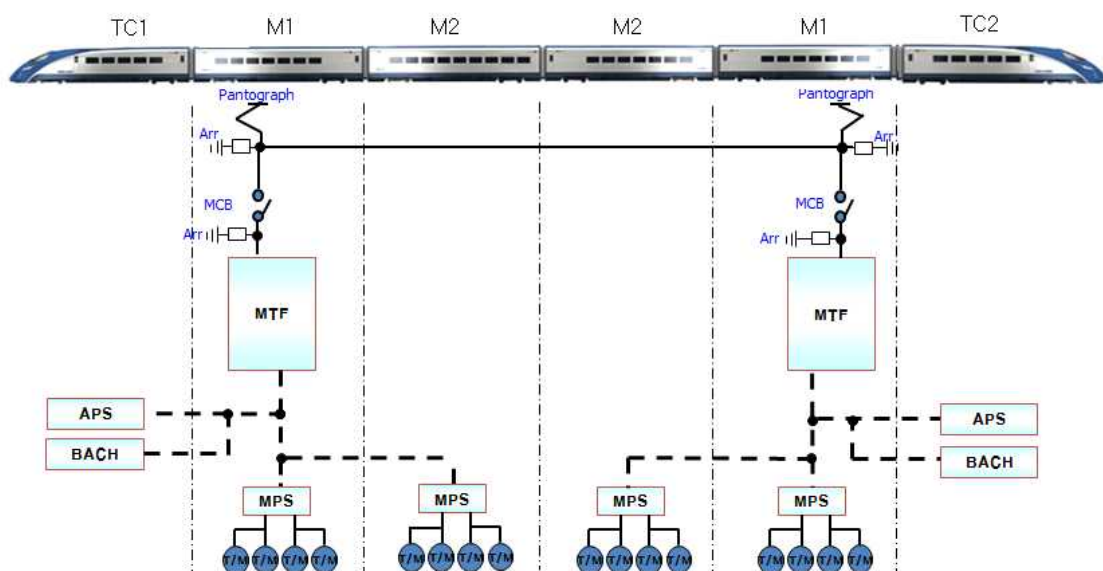
순번	장치명	250km/h급 분산형 주요 사양 및 특징	개발기술 적용 내용
		Display : 10.4 " TFT Flat Panel Display(1024 × 768) - Backlight Unit : LED type, LED 표시기능 - 화면 밝기 조절 - TCN(IEC61375-1)를 지원	
13	통로연결막	1) 적용 형상 - 난연 실리콘 시트로 성형 가공된 더블 벨로우즈 적용 2) 소음차단 지수 : 38dB 이상 만족 3) 내구성 : 80Step을 1회 기준으로 7500회 적용 4) 기밀성 : 열차 교행 및 터널 통과 시 차량 기압 변화에 최소화된 구조.	좌동
14	차간 외부 차단막	1) 차량간 연결 엔드부 끝단부 설치 2) 고속주행 시 와류에 의한 소음 저감. 3) 차량 사이드 좌우측에 Neoprene Rubber 적용	좌동
15	보조전원장치	보조전원장치 1. 정격 용량 : 350kVA 2. 입력 전압 : AC 1상380V 3. 출력 전압 : AC 3상440V 4. 주회로방식 : AC/DC 컨버터 : 1상 풀브릿지 인버터 : 6상 인버터 5. 제어 방식 : IGBT를 이용한 PWM제어 6. 제어 전원 : DC 72V 7. 냉각방식 : 송풍에 의한 강제냉각 8. 전력반도체 소자 : 1,700V/ 2400A IGBT 9. 중량 : 1,700kg±5%	성능 신뢰성 검증된 ACDC 컨버터 및 인버터 제어기술 적용.
16	배터리 충전장치	배터리충전장치 1. 정격 용량 : 100kW 2. 입력 전압 : AC 1상380V 3. 출력 전압 : DC 72V 4. 주회로방식 : AC/DC 컨버터 : 1상 풀브릿지 컨버터 DC/DC 컨버터 : 절연형 풀브릿지 컨버터 5. 제어 방식 : IGBT를 이용한 PWM 제어 6. 제어 전원 : DC 72V 7. 냉각방식 : 송풍에 의한 강제냉각 8. 전력반도체 소자 : 1,700V/ 500A IGBT 9. 중량 : 850kg±5%	성능 신뢰성 검증된 ACDC 컨버터 및 DCDC 컨버터 제어 기술 적용.

2. 경전선 입찰 참여

현재 경전선에 투입 예정인 250km/h급 준고속열차 30량에 대한 구매 입찰 절차('15년 12월 10일 입찰마감)가 진행되었고, 차량제작사인 현대로템이 우선협상대상자로 선정이 된 상태이다. 본 EMU-250 차량은 6량 1편성(149m)으로 좌석수는 381석이다. 현재 차량 제작사인 현대로템과 운영사인 한국철도공사는 차량 가격 및 사양을 가지고 협상을 진행 중이다.



<EMU-250 모델>



<EMU-250 주회로도>

제 4 장 연구목표 달성 및 효과

제 1 절 연구개발 최종목표 달성도

1. 1세부 과제

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
1	분산형 고속열차 안정화시험 및 분석 (누적주행거리 10만키로)	▪ 본선 안정화시험 수행 - 총 199회, 누적주행거리 111,037km 달성 ▪ 주요성능(추진, 제동, 제어, 집전 등) 계측 및 분석 - 실시간 차량상태 계측을 통한 안정화시험 수행 - 추진성능, 집전성능, 제동성능 및 소음 측정 및 분석 - 종합 측정시스템 및 분석 프로그램 운영 및 개선 - 성능개선방안 및 핵심부품 개선(안) 도출 - 차량시스템 안정화, 유지보수를 위한 기술지원 - 시운전시험 데이터 관리 DB 구축 ▪ 최고시험속도 수행 - 증속시험을 통한 세계 4위 최고시험속도 달성 · 시험속도 400km/h 첫 돌파('12.12.27), · 국내 최고속도시험 기록 421.4km/h ('13.3.28) - 전차선 장력 조정, 분기기 통과속도 향상, 절연 구간 연장급전, 추진출력 증대, 공기저항 저감 연구 등 수행 ▪ 430km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발 연계시험 수행 - HEMU-430X 차량을 활용하여 호남고속선 400km/h급 고속철도 인프라 테스트베드에서 단계별 증속운행 수행 및 인프라 성능 검증 지원 - 400km/h급 고속철도 인프라 테스트베드 내에서 차량 특성(주행안정성, 집전성능 등) 시험평가 결과 도출	100

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
2	차량 안정성 및 신뢰성평가	▪ 주요장치 고장 모니터링 및 고장특성 분석 - 시운전 시험 고장데이터 수집 및 분석 - 시스템 분류 및 기능블록선도를 통한 주요 장치 도출과 주요장치 고장 모니터링 수행 ▪ 신뢰성시험 및 분석 - 신뢰성 성장 모델 (Duane과 Crow-AMSAA 모델)을 통한 전체 및 세부 시스템별 신뢰성 성장률 분석 - 신뢰성 성장률 분석 결과는 Duane 모델은 0.22임 ▪ 신규 신뢰성종합성능지표 개발 - 신규 종합성능지표 도출 및 고속열차 시스템 적용 및 검증	100
3	실용화모델 개발	▪ 운영자 요구사항 작성 - 운영자 요구사항 분석 및 운행 방안 마련 - 250, 300, 350, 370km/h 영업 운행을 위한 다양한 실용화 모델에 대한 운영자 요구사항 작성 및 보완 ▪ 실용화 사양 작성 - 운영자 요구사항 및 운영환경을 반영한 차량 구성품 규격서 13종 검토/보완 - 운영/장비 중 신뢰성 평가 결과를 반영한 규격 및 사양 검토/보완 · 실용화 편성 기본사양 및 좌석/편의시설 검토 · 철도차량 운영 경험상 신뢰성이 필요한 부품 및 고장 빈도가 높은 부품을 선정, 각각에 대한 규격서 검토 및 작성 - 250, 300, 350, 370km/h에 대한 속도대역별 실용화모델 사양(안) 작성 · 포트폴리오 구성을 통한 국내외 수요에 대응 가능 ▪ 차량폭 확대 연구 - 차량폭 확대에 따른 곡선구간 기하학적 차량 한계 검토 - 차량폭 확대에 따른 주행안정성 검토 수행 - 차량폭 확대에 따른 주행저항 증가량 분석	100

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
4	분산형 고속열차 국내외 적용방안 도출	▪ 고속철도 기술수준 및 국산화율 조사 분석 - 국내외 고속철도 차량분야 기술동향, 기술수준 비교분석, 기술개발 · '14년말 기술수준 84.4%, 기술격차 3.7년 · 81개 세부분류 기술비중을 고려한 기술수준 산정 - 고속철도 차량 주요 용품에 대한 국산화 개발 현황 조사 · 고속철도 전철, 전력, 신호, 통신 및 차량분야 부품 국산화율 분석 ▪ 분산형 고속열차 국내 적용방안 수립 - 동력분산형 고속열차 국내 투입 가능성 검토 - 고속철도 중심 국가교통정책 수립 효율화 방안 수립 - 중장기 고속열차 실용화노선 분석·평가 - 고속철도 혼합운행 효율화 방안 작성 - 분산형 고속열차 편익 및 효과 분석 - 분산형 고속열차 국내 적용방안 수립 · 국내 준고속노선 운행 분산형고속열차 구 입계획(안) 마련 - 실용화 추진 가속 · 국토교통부 주관 실용화 TF 활동 : 총 6차의 회의를 통하여 안정화 수준, 경제성 검토, 실 용화 요건 검토 등 수행 ▪ 분산형 고속열차 해외 진출 전략 수립 - 해외 고속철도 시장(권역별, 국가별) 분석 - 고속철도 해외시장 환경분석 시사점 제시 - 동력분산형 고속열차 해외진출전략 수립 ▪ 시제열차 활용방안 연구 - 국내외 시제열차 활용사례 연구 - 시제열차 활용방안 도출 · 국가 R&D과제의 현차 시험 지원 · 국내외 인지도 및 해외 수요자 마케팅 강화	100
5	사업 통합 및 총괄	▪ 시운전시험을 위한 관계기관 협조 - 차량 시운전 및 유지보수를 위한 철도운영기관 (한국철도공사, 한국철도시설공단) 협의 - 시운전시험 및 기지내 안전관리를 위한 안전 계획 수립 및 안전교육 ▪ 일정 및 목표 관리 - 착수보고회, 공정회의, 인터페이스회의 등을 통한 일정 및 목표 관리 수행	100

2. 2세부 과제

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
1	본선 시운전 지원	▪ 현장시운전 지원 - 시험기간 : 2012.11.28. ~ 2015.12.27. - 시험구간 : 부산~광명(경부고속선), 오송~광주 송정(호남고속선) - 2014년 11월부터 2015년 3월까지 차량-인프라 연계시험 지원 - 운행횟수 : 총 229회(실용화 사업 운행 횟수 : 199회) - 총 누적수행거리 :121,123km(실용화 사업 누적거리 : 111,037km) ▪ 본선 시운전을 통한 차량시스템 문제점 조치 및 안정화 - 안정화 본선 시운전 시험중 문제점 조치현황 : 272건 - MTF, 신호장치, 출입문, 무전기 등의 여러사항에 대한 문제점 조치	100
2	유지보수체계 구축	▪ 유지보수 체계 운영 - 차량 유지보수 점검 · 유지보수 매뉴얼 절차에 따른 유지보수 업무 수행 - 차량시스템 핵심장치별 유지보수 점검 수행 · 제동장치, 진단제어시스템, 차상신호시스템 등의 차량시스템 핵심장치에 대해서 장치별로 주기별 사전 점검 및 문제사항 발생시 조치 등의 유지보수 점검을 수행함 ▪ 실용화 편성 유지보수체계 개발 - 분산형 고속열차 유지보수체계 구축 · 분산형고속열차의 정비주기 및 검수 체계 구성 · 유지보수체계 검수 리스트(기계, 제동, 공기조화, 오물 등) · 검수대상 부품리스트 작성 · 유지보수 정비대상 검수주기 작성 - 본선시운전시 차량 장치 상태 측정 및 검토 · 제동장치 점검 · 진단제어시스템 유지보수용 시험기 제작 · 보조전원장치 유지보수 · 신호장치 유지보수 - 차량중점검 실시 ▪ 유지보수 매뉴얼 작성/ 보완 - 유지보수 매뉴얼 신규 작성	100

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
3	핵심부품 성능개선	▪ 주회로차단기 소음개선 - 소음개선작업으로 투입/차단시소음 3dB 정도 저감됨 ▪ 주전력변환장치 수냉각장치 냉각성능 개선 - 성능개선으로 소자간 온도 최대편차 약 4K로 성능개선 ▪ 주전력변환장치 DC Link 출력성능 개선 ▪ 주변압기 국산화 개발품 제작 ▪ 대차 타이스트랩 강도 개선 ▪ APS/BACH 성능개선 ▪ 대차 에어스프링 횡강성 개선 - 고속 주행시 발생하는 횡강성 특성 개선 - 횡강성 특성을 개선함으로써 차량의 흔들림을 저감시켜줌 ▪ 선두부 대차 스커트 개선 - 장착이후 대차스커트 탈락 사고 방지 및 고정 안전성 개선 ▪ DU 장치 성능 개선 ▪ 신호처리보드 개선 - 불연속 신호처리보드 개선 · 불연속 차상안테나를 통해 수신한 데이터를 다중으로 처리하는 방식을 적용하여 처리율을 획기적으로 향상 - 출발전 시험 보드 개선 · 기존 출발전 시험보드에 사용된 CPU의 단종에 따라 향후 유지보수 및 연속/불연속 테스트 로직 개선을 위한 시험 보드 개선 ▪ ATS OSC 보드 개선 · ATS 차상자에 상시 발진 주파수를 방출하는 기능을 수행 ▪ 판토품그래프 성능개선 - 속도별 압상력 제어 성공 및 집전성능 국제 기준치 만족 - 판토품그래프 세미액티브 제어 전 대비 평균집촉력 향상 및 이에 따른 최소집촉력 향상으로 이선아크 특성의 향상 - 세미액티브 제어장치(PACU) 적용 이후 관련 경/중고장 발생은 한번도 없었으며, 충분한 신뢰성이 확보되었다고 판단됨 ▪ 신규 공력저감용 대차커버 설치 - 차량 개선 과제 항목 중 에어댐 설치와 대차커버 형상 변경과 관련하여 기제작된 차량 구조물과 인터페이스를 고려하여 상기와 같이 설계 완	100

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
		료하였으며, 현차에 취부 및 성능 확인 ▪ 제동장치 성능개선 ▪ 후미진동 성능개선 - 흔들림 관련 보완 사항 시체차량 설치 작업 · 차량 횡댐버 설치(차간 댐퍼 -> 횡댐퍼) · 횡강성 보완 에어스프링 설치 · 고강성 안티롤바 설치 · 저강성 안티롤바 설치 ▪ 에어댐 개선 - 차량의 좌우 끝단 하부에 에어댐에 설치됨에 따라 한쪽은 차체스텝프레임을 고려한 형상 설계를 하였으며, 나머지 한쪽(스텝 반대쪽)은 하부에 설치된 공기통 및 고정형 스커트 구조물에 영향이 없는 범위내에서 에어댐 설계를 진행 ▪ 공기압축기 진동 성능 개선 - 진동 저감 방진고무 형상 개선 ▪ 견인전동기 성능 개선 - 470kW 견인전동기 개선품 제작 ▪ 통로연결막/갱웨이 개선품제작	
4	실용화 편성 설계(안) 작성	▪ 운영자 요구사항 분석 - 동력분산형 고속열차 운영자 요구사항 분석 · 차량속도 : (설계) 380km/h, (운영) 300km/h 또는 350km/h · 최대운용시간 : 16시간/일일, 600,000km/년 · 최소 운전 시격 : 최소 3분 · 역 정차 시간 : 2분 이내 · 차량구성 : 8량(6M+2T) 1편성 · 좌석수 : 600석 내/외 · 편의설비 확보 · 중련편성 운행제어 ▪ 해외시장분석 - 동력분산형 고속열차 해외시장 분석 ▪ 경쟁차종 기술특성 및 운영 효율성 분석 ▪ 실용화 편성 설계(안) 작성 - 동력분산형 고속열차 실용화 편성 설계(안) · 차량구조 : 4M2T, 6M2T · 주전력변환장치 : 1C2M/1C1M · 공기압축기 : 무급유식 · 실내소음 : 개활지 68dBA / 터널 75dBA · 저항제동 : 추가 ▪ 실용화 모델 기본설계 - 동력분산형 고속열차 실용화 편성 기본설계	100

제 2 절 연구개발 성과의 효과 분석

1. 과학기술적 기대효과

- 최고속도 400km/h 이상의 고속주행 성공으로 세계 4번째 최고속도를 달성하여 고속주행차량에 대한 주행 안정성 기능을 확보하였으며, 이를 통해서 우리나라는 동력집중형 및 동력분산형 모두에 대한 고속열차 제작 및 시험 평가기술을 확보하게 되었음
- 430km/h급 고속열차 개발에 성공함으로써 프랑스, 중국, 일본에 이어 세계 4번째 고속철도 기술보유국으로 도약하게 되었으며, 철도 브랜드화를 통한 연간 250조원에 달하는 세계시장을 선점할 수 있는 토대를 마련하였음
- 호남고속철도, 동서고속철도 등 국내 고속철도 및 전철화 노선의 수요를 자체기술로 해결할 수 있을 뿐만 아니라 해외로의 기술 수출에도 이바지할 수 있을 것으로 기대됨
- 차세대고속철도 기술개발 및 안정화를 통해 획득한 기술에 대한 각 기술 분야별 활용은 고속철도 기술의 산업 연관성을 고려하여 볼 때, 국내 고속철도 기술 수준의 전반적 향상에 기여하여 향후 국내 고속전철 사업의 독자적 추진기반 구축, 고속전철 시스템엔지니어링 분야의 독자기술력 확보 및 산업의 대외 기술경쟁력을 높일 수 있을 것으로 예상되며, 각 기술 분야별 관련 산업으로의 활용은 다음과 같음
 - 차량 기술분야
 - 종합적인 설계능력 향상을 통한 시스템 설계기술 및 기초 설계분야
 - 차량핵심부분(추진제어시스템, 제동기술 등) 기술분야
 - 관련 산업계의 핵심부품의 생산 기술분야
 - 전기장치(전동기, 전력변환기기 등) 설계 및 제작기술 분야
 - 시설설비 기술분야
 - 노반, 터널 및 교량시공에 대한 시공 기술분야
 - 궤도의 동력학적 해석 기술분야
 - 전력계통 해석/설계기술 및 요소기기(변압기, 송변전기기, 차단기 등) 기술분야
 - 자동화 원격제어기술 및 전력설비 관련 기술분야
 - 열차제어 및 통신 기술분야
 - 차량운행의 신뢰성, 안전성과 효율성을 위한 열차제어 기술분야
 - 첨단 소프트웨어 및 정보처리 기술분야
 - 고부가가치성 각종 통신기기 제조/전자통신 부품소재/통신서비스 기술분야
 - 시스템 기술분야
 - 시스템 엔지니어링 및 설계 기술분야
 - 차량과 타 시스템간의 인터페이스 기술분야

2. 경제적 기대효과

- 최고속도국내 운영 중 및 운영 예정인 동력집중형 고속열차 대체 수요 : 1,304량
 - KTX는 20량 1편성으로 대체시 8량 2편성으로 고려
 - KTX-산천은 10량 1편성으로 대체시 8량 1편성으로 고려
- 호남고속철도, 준고속철도 노선 신규 수요 : 282량
- 차량 공급비용 : 약 9조원
 - 국내 : 1,586량 × 40억원 = 63,440억원
 - 해외 : 40억유로 × 2.7% × 1,300원/유로 × 20년 = 28,080억원
 - * 해외시장 가능 분담율은 고속열차 신조차량의 2.7%를 고려
- 생산 유발효과 : 약 17조원
 - * 차량비용의 1.95199를 고려 (한국교통연구원 2012 보고서)
- 부가가치 유발효과 : 약 5조원
 - * 차량비용의 0.55049를 고려 (한국교통연구원 2012 보고서)
- 고용유발 효과 : 약 6만명
 - * 6.85명/10억원 차량비용을 고려 (한국교통연구원 2012 보고서)
- 좌석당 차량가격은 동력집중형 고속열차 대비 15% 경제적

구 분	분산형고속열차 (HEMU-250)	집중형고속차량 (KTX호남)
편성구성	8량 1편성	10량 1편성
편성 길이	198m	201m
편성 가격 (VAT포함)	368.5억 (‘14년 HEMU-250 로템 견적가격)	334.5억 (‘12년 호남선220량 계약가격)
편성 수송능력	533명	410명
1좌석당 가격	69백만원 (85%)	82백만원 (100%)

- 기술경쟁력 확보를 통해 세계 철도차량 수요의 50%인 유럽 외에 아시아-태평양 (30%), 북미(13%), 중남미(4%) 지역 등의 해외시장 진출을 위한 국가적 수출 전략 기술로 활용
- 대만, 미국, 중국, 브라질 및 러시아 등 현재 고속철도 건설을 추진 중이거나 또는 계획하는 국가가 확대되는 추세이므로 개발열차의 해외진출시 국내산업계에 미치는 경제적인 파급효과는 매우 클 것으로 예상됨
- 고속철도 분야 국내 산업의 활성화로 국가 경제력 향상
- 핵심기술의 파급으로 국가 기술력 제고
- 해외 의존에 의한 부품수입 대체 효과 발생

3. 정책적 기대효과

- 제2차 국가철도망 구축계획(2011~2020)과 부합하여 국가 철도 고속화 증진에 기여
 - 전국 주요거점을 고속 KTX망으로 연결
 - 일상 통근시간대인 1시간 30분대로 연결
 - 하나의 도시권으로 통합하는 국가철도망
- 차세대 고속열차를 통하여 향후 전국 주요거점을 1시간 30분대로 연결가능하게 됨에 따라 수도권-지방간 활발한 경제·문화·사회 교류 도모로 국가적 경제성장 및 국민적 편의를 증진시키고 수도권-지방간 문화적, 사회적, 경제적 수준 격차를 해소할 수 있을 것으로 기대됨
- 고속철도 분야 운행 안전성 확보로 대국민 신뢰성 확립
- 선진 일류국가로 도약하기 위한 국토 가치를 재창출하고 동북아 경제중심국가로서의 국민적 자긍심을 고취하게 됨

제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제 1 절 연구성과 향후 활용 계획

1. 개요

본 과제는 동력분산형 차세대고속열차(HEMU-430X)의 본선시운전시험을 통한 안정화 신뢰성 시험을 통하여 개발된 동력분산형 고속열차 기술의 실용화 기반을 구축하는 연구로서 개발된 기술의 실용화가 가장 중요한 활용 계획이 될 수 있다. 이를 위하여 본 보고서 2장 5절의 “동력분산형 고속열차 국내외 적용방안 연구”를 통해서 개발 기술의 경제적 효과 분석, 투입가능노선 분석, 중장기 도입계획, 해외 진출전략 등 동력분산형 고속열차의 실용화 계획을 제시하였다. 따라서 연구 성과의 활용방안을 다루는 본 장에서는 2장 5절에 제시된 실용화 전략 연구의 내용을 요약하여 서술하고, 그 외의 부가적인 연구성과에 대한 활용 계획을 제시하였다.

다음 표는 본 연구개발과제의 핵심성과 목록 및 각각에 대한 활용 계획이다. 첫번째 성과 항목인 본 과제의 주요성과물인 ‘안정화된 동력분산형 차세대고속열차 시스템’으로 개발된 기술을 바탕으로 분산형 고속열차의 국내외 실용화가 주된 활용방안이자 과제 본연의 목표가 될 수 있다. 이를 위하여 국토교통부-한국철도기술연구원-한국철도공사-현대로템 등을 중심으로 HEMU 실용화 T/F를 운영하여 HEMU 열차의 실용화를 추진하였다. 또한 이를 위하여 시운전시험 등을 통하여 시스템을 안정화하고 신뢰성을 확보하였으며, 국내외 적용방안 연구를 통하여 실용화를 위한 기반을 구축하였다. 현재 경전선에 250km/h급 준고속열차 30량에 동력분산형 고속차량시스템을 투입하는 것으로 결정이 되었고, 구매 입찰 절차 후, 차량제작사인 현대로템이 우선협상대상자로 선정이 된 상태이다. 또한 250km/h급 준고속열차는 향후 철도차량 중장기 운송계획에 따라 중앙선, 서해선 등 준고속철도 노선에 지속 투입이 예상되어 개발기술의 성공적인 실용화가 가능할 것으로 판단되고 있다. 첫 번째가 개발된 기술의 활용이라면, 두 번째 활용은 제작된 시제열차 그 자체의 활용이다. 수백억의 국가예산이 투입되어 제작된 시제열차는 과제 종료 이후에도 지속적으로 활용되어야만 연구 효용가치를 극대화 할 수 있다. 따라서 본 과제에서는 시제열차 활용방안 수립을 과제 연구내용에 포함하였으며 시제열차 활용방안을 수립하여 향후 시제열차의 연구 효용가치를 극대화 할 수 있게 하였다.

<연구개발 핵심성과 및 활용계획>

연번	핵심성과명	활용계획
1	안정화된 동력분산형 차세대 고속열차 시스템	- 분산형고속열차의 국내외 실용화 추진 (EMU-250 등)
2	안정화 및 신뢰성 시험 결과	- 다양한 속도대역별 분산형고속열차 설계사양 결정 - 현재 국내기술수준 파악 및 향후 연구개발 방향 도출 - 신규 개발열차의 신뢰성 평가에 활용
3	시제열차 활용방안 및 실용화 사양	- 300km/h 이상 고속시운전이 필요한 국가 R&D 과제 지원 - 시운전 지속을 통한 국내외 인지도 향상 및 해외마케팅 강화
4	고속철도 기술수준 및 시장 분석을 통한 국내 적용방안 및 해외 진출 전략	- 향후 고속철도 기술개발 방향 설정 - 분산형고속열차의 국내외 실용화 추진 (EMU-250 등) - 분산형고속열차 해외진출 활동에 활용

세 번째는 안정화 및 신뢰성 시험 결과의 활용이다. 본 시험결과는 국내에서 최초로 획득된 시험 데이터로서 다양한 속도대역별 분산형 고속열차의 설계사양을 결정하는데 활용할 수 있을 뿐 아니라, 현재 국내기술수준의 파악을 통하여 향후 연구개발 방향을 도출하는데 활용할 수 있다.

마지막으로 고속철도 기술수준 및 시장 분석을 통한 국내적용방안 및 해외 진출 전략은 향후 고속철도 기술개발 방향을 설정하고, EMU-250 등 분산형 고속열차 실용화 모델을 바탕으로 국내 준고속철도 및 고속철도 노선에 실용화 적용 및 터키, 동남아 고속철도 시장 등 해외시장 진출 활동에 활용이 가능하다.

2. 연구성과의 활용계획

가. 동력분산형 고속열차 실용화 계획

동력분산형 고속열차의 국내 적용방안 수립은 본 연구보고서의 2장 5절에 자세하게 기술되어 있다. 여기서는 대략적인 개요만을 기술하였다.

(1) 동력분산형 고속열차 실용화 모델 도출

분산형 고속열차 기술의 실용화를 위해서는 운영자가 원하는 다양한 속도대역의 분산형고속열차 실용화 모델이 제시되어야 한다. 이를 위하여 본 연구진은 250, 300, 350km/h 등 다양한 속도대역별 실용화 모델을 도출하였고, 그 결과는 다음 표와 같다.

이를 통하여 운영자 요구사항에 능동적으로 대응 가능한 HEMU 시리즈Line-Up의 구성이 가능해진다.

<HEMU 시리즈 차량 기본 구성(안)>

구 분			사양(안)								
			250km/h				300km/h	350km/h			
			3M3T	4M2T	4M4T	6M2T	6M2T	6M2T			
차량 성능	영업운행 최고속도		250km/h				300km/h	350km/h			
	설계최고속도		275km/h				330km/h	385km/h			
	기본 편성		6량 1편성		8량 1편성						
	편성 길이		약 149m		약 198m						
	전원공급		27.5kV(무부하) 60Hz								
	제어회로전압		직류 72V(변동범위 : 50 ~ 90V)								
			교류 220V(변동범위 : 209 ~ 231V)								
제어공기압력		8.5kg/cm2(변동범위 : ± 0.7kg/cm2)									
차량 일반	중량(공차/만차)		329톤/372톤		438톤/496톤						
	차체 길이	부수제어객차	약 25.5m								
		동력객차	약 23.5m								
	차체폭		약 3,100mm								
	레일 상면에서 높이	부수제어객차·동 력객차	약 3,750mm								
		관토 접은높이	약 4,065mm								
	차체 재질		알루미늄 압출재								
추진시스템			주변압기	4,506kVA	3,533kVA	4,646kVA	3,333kVA	4,549 kVA	6,923 kVA		
			추진제어장치	1,883kW	1,434kW	1,883kW	1,277kW	1,838 kW	2,913 KW		
			견인전동기	420kW	320kW	420kW	285kW	410kW	650 KW		
			보조전원장치	420kVA	420kVA	560kVA	560kVA	560 kVA	600 kVA		
대차			동력대차	6대	8대	8대	12대	12대	12대		
			부수대차	6대	4대	8대	4대	4대	4대		
			방식	볼스터방식							
			기어비	2.8				2.19	2.0		
			동력대차간 거리	약 17,300mm							
			부수대차간 거리	약 17,300mm							
			윤축 거리	약 2,600mm							
			차륜직경	860mm(New Wheel)							
객실설비			특실	1량 (M1)							
			일반실	5량		7량					
			객실의자	381석 (특실 : 51석, 일 반실: 330석)			533석 (특실 : 51석, 일반실: 482석)				
			의자피치	특실 1,060mm / 일반실960mm							
			승강문	교상 or 저장함							
			일반화장실	7개소	7개소	11개소	11개소				
			장애인화장실	1개소(T)	1개소(M4)	1개소(M6)	1개소(M6)				
			수유실	1개소(M2)							
			승무원실	1개소(TC1)							
			물품보관대	1개소(M1)							
			장애인석	5석(T)	5석(M4)	5석(M6)	5석(M6)				
				(휠체어 고정석 2석 포함)							
			수화물칸			6개소	6개소	8개소	8개소		

(2) 동력분산형 고속열차 국내 실용화 계획

(가) 실용화 T/F를 통한 국내 실용화방안 도출

분산형 고속열차의 국내 실용화를 위하여 국토교통부-한국철도기술연구원-한국철도공사-현대로템 등은 HEMU 실용화 T/F를 운영하여 HEMU 열차의 국내 실용화를 추진하였다.

이를 통하여 작성된 동력분산형 준고속차량 도입 계획을 바탕으로 다음과 같이 준고속열차에 대한 지속적인 수요가 발생하고 있음을 확인하였다.

○ 2015년 ~ 2020년 : 철도산업위원회 철도차량 증장기 운영 계획 심의 결과에 의거 2020년까지 488량 보유 계획

○ 2021년 ~ 2025년 : 현 객차의 폐차 시기 도래에 따른 EMU 대체 고려, 2025년까지 약 1,122량 보유 전망

<표국내 분산형고속열차 수급 계획>

[단위 : 량]

구 분		← EMU 수급계획 →						← EMU 수급 전망 →				
		'15년	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년	'21년	'22년	'23년	'24년	'25년
계	보유	138	138	138	180	239	488	688	793	947	1,100	1,122
	도입	0	0	42	59	249	200	105	154	153	22	42
EMU-250	보유						162	282	282	282	282	282
	도입					162	120					
EMU-150	보유	138	138	138	180	239	326	406	511	665	818	840
	도입			42	59	87	80	105	154	153	22	42

이에 따라 철도공사는 국토교통부에서 건설 중인 서해선 등 준고속철도노선에 EMU-250 (250km/h급 분산형고속열차)차량을 투입하기로 결정하고 준고속차량의 도입 및 발주를 위한 준고속차량 도입 T/F를 발족하였다. 다음은 준고속차량 도입 T/F 운영 현황이다.

○ '15. 7. 22. 준고속차량 도입 T/F팀 착수회의

- 준고속차량 도입 T/F팀 구성 취지 및 분과별 역할설명, 향후 T/F팀 운영 방향 설정 등
- 국토부 요구사항을 반영 최대한 빠른 시일 내에 차량도입 협조하고, 분야별 역할에 대해서는 보다 치밀하고 신중하게 검토

○ '15. 8. 4. 준고속차량 도입 제2차 T/F 회의

- 수송수요 분석은 현 운영중인 역과 신설역 모두 포함하여 검토예정(열차운행 구간은 중장기 운송전략의 노선별 운행계획 반영)

① 중앙선 청량리~부전간 17개역

- * 청량리, 양평, 용문, 서원주, 남원주, 제천, 단양, 풍기, 영주, 안동, 의성, 군위, 영천, 신경주, 태화강, 해운대, 부전

② 서해선 송산~익산간 15개역

- * 송산, 106(안산), 105(화성), 104(평택), 103(아산), 102(당진), 101(예산), 홍성, 광천, 대천, 웅천, 서천, 장항, 군산, 익산

③ 경전선 부전~순천간 13개역

- * 부전, 사상, BM01(김해공항), BM02, 장유, 창원중앙, 창원, 마산, 함안, 진주, 하동, 광양, 순천

④ 중부내륙선 광주(경기도)~문경간 10개역

- * 광주, 이천, 부발, 111, 112, 221, 222, 충주, 수안보, 문경

(나) EMU-250 국내 실용화 추진 현황

EMU-250 모델이 가장 먼저 실용화가 되는 노선은 경전선(부전-순천) 구간을 계획하고 있으며, 해당 열차를 도입하기 위한 절차가 현재 추진 중에 있다. 이를 위하여 한국철도시설공단은 EMU-250 도입에 따른 경전선축 시설 현황을 검토하였으며, 한국철도기술연구원 및 현대로템은 준고속철도 정차역의 고상홈 대응을 위한 차량 설계를 검토한 바 있다.

이를 통하여 현재 경전선에 투입 예정인 250km/h급 준고속열차 30량에 대한 구매 입찰 절차('15년 12월 10일 입찰마감)가 진행되었고, 현재는 차량 제작사인 현대로템이 우선협상대상자로 선정이 된 상태이다. 본 EMU-250 차량은 6량 1편성(149m)으로 좌석수는 381석이다. 또한 250km/h급 고속열차는 향후 철도차량 중장기 운송계획에 따라 중앙선, 서해선 등 준고속철도 노선에 지속 투입이 예상되어 있어 개발 기술의 성공적인 실용화가 가능할 것으로 판단되고 있다. 300km/h, 350km/h급 분산형 고속열차 역시 실용화 T/F를 통하여 운영자 요구사항 검토 및 실용화 사양이 결정되었으며, 향후 KTX 대체 수요 발생 시 관계 기관과의 협의를 통하여 본 연구의 성과인 동력분산형 고속열차 실용화 모델의 투입을 적극 추진할 예정이다.



<EMU-250 개념도>

(3) HEMU시리즈 해외 진출 추진

본 보고서 2장 5절의 해외진출전략에서도 설명이 되어있지만, 대부분의 해외 국가는 고속차량 도입시 신뢰성 확보를 이유로 해당 모델의 영업선 운행실적을 요구하고 있다. 따라서 국내에서 개발된 동력분산형 고속열차의 해외 진출을 위해서는 국내 실용화를 바탕으로 해외시장에 진출 할 필요가 있다. 해외진출 전략을 바탕으로 국내 기술이 진출이 가능한 국가들은 현재 터키, 말레이시아-싱가포르 노선 등이 유력히 검토되고 있다. 그러나 해외 진출을 위해서는 해외 운영자 요구사항(TSI 기준만족, 승차감 향상)을 반영한 연구개발을 통하여 실용화모델의 상품성을 보다 개선할 필요가 있다.

현재 터키의 경우는 250km/h급 EMU 차량을 발주할 예정으로 있으며, 말레이시아-싱가포르를 300km/h급 EMU 차량을 도입할 예정에 있다. 본 연구진은 국내 관계기관간의 공조를 통하여 이미 실용화 사양이 마련된 250km/h 및 300km/h의 HEMU 시리즈가 해외에 진출 할 수 있도록 적극 지원할 예정이다. 이를 위하여 해외 경쟁 모델 대비 국내 기술력이 부족한 차량승차감 등을 후속 연구개발 등을 통하여 개선하고, TSI 기준에 맞는 차량 시험방법 및 부품기술을 연구하여 대한민국 고속철도 기술의 해외진출을 추진하고자 노력하고 있다.

나. 분산형 고속열차 시제열차 활용계획

분산형 고속열차인 HEMU-430X 시제열차의 활용방안은 앞서 2장 6절에 자세하게 기술되어 있으므로 여기서는 간략하게 서술한다.

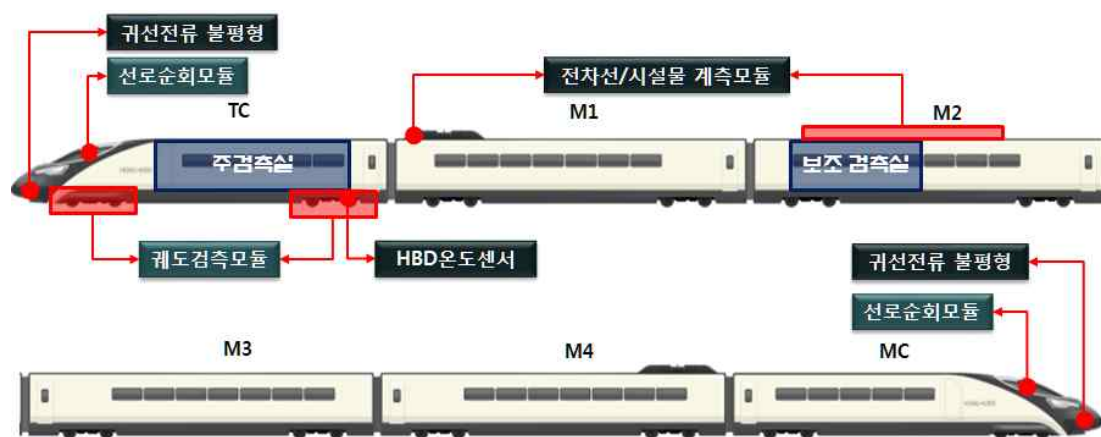
시제열차의 활용계획은 다음과 같이 크게 두 가지로 구분이 된다.

- 300km/h 이상 고속시운전이 필요한 국가 R&D 과제의 지원
- 시운전 지속을 통한 국내외 인지도 향상 및 해외마케팅 강화

(1) 300km/h 이상 고속시운전이 필요한 국가 R&D 과제지원

(가) 고속검측시스템 기술개발 지원

고속검측시스템 기술 개발을 위한 HEMU-430X 시제차량의 개조를 위하여 해당과제 연구진과 협의를 진행하였고, 이를 통하여 차량 개조 및 인터페이스 검토를 수행하였다. 이를 통하여 결정된 각 차량별 설치 검측시스템은 다음그림과 같이 결정되었다.



<HEMU-430X를 활용한 종합검측시스템 검증차량 모듈 구성>

(나) 철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화 기술개발 지원

철도용 무선통신 및 열차제어시스템은 현재 도시철도용으로 먼저 개발되어 차세대 전동차에 적용하여 그 성능을 검증하였고, 보다 고속영역에서의 성능검증을 위하여 틸팅열차에 해당기술을 적용하여 시운전 및 성능검증을 진행하였다. 한국철도시설공단은 2014년 12월부터 국토교통부 국가연구개발과제 “일반·고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실

용화”의 주관연구기관으로 선정되어, 국내 유수의 연구기관들과 함께 LTE-R 기반의 차세대 열차제어시스템인 KRTCS (Korea Railroad Train Control System)의 개발에 박차를 가하는 중이다.

상기 과제는 2018년 원강선 적용을 목표로 현재 연구개발 중이나 고속선 적용을 위해서는 사전검증이 필요하여, 다음의 사항에 대하여 HEMU-430X의 지원을 요청하고 있다.

○ HEMU-430X를 이용한 350km/h급 LTE-R 무선통신망 성능 검증

○ HEMU 차량제어시스템 개조를 통한 고속주행 시 KRTCS 열차제어시스템 검증

현재 상기 건에 대한 상세한 열차 개조계획은 수립되어 있지 않으나, 350km/h로 주행할 수 있는 국내 유일한 열차는 HEMU-430X 뿐이며, 새로운 열차제어시스템 역시 영업열차에는 승객의 안전 관계로 적용할 수 없기 때문에 HEMU-430X 시험열차의 활용이 반드시 필요한 상황이다. 따라서 고속검측차 과제 수행을 위한 차량 개조 작업 진행 시 KRTCS 시험을 위한 개조를 동시에 진행하는 방향으로 검토되고 있다. 또한 HEMU-430X 열차의 고속검측시스템 지원과 동시에 시행하여, 한번의 시운전으로 두 과제의 지원을 동시에 수행하는 방향으로 검토 중에 있다.

한편 차세대고속열차 개발차량을 국가연구개발사업인 “철도인프라의 유지보수를 위한 고속종합검측시스템 기술개발” 및 “일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템의 실용화 기술개발”에서 활용하기 위한 운용방안을 검토하였다. 두 과제의 연구 기간 및 시험 시기는 다음 표와 같다.

<개발차량 활용 과제 일정>

구분	2016년				2017년			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
KRTCS 시험								
개조/장착								
고속검측시험								
검측과제 종료								
KRTCS 과제 종료								

상기 계획에 근거하여 시제차량을 주로 활용하는 두 과제의 시운전 계획을 다음의 표와 같이 수립하였다.

<향후 시제차량 시운전 활용 계획>

구분	횟수	구간	시험 최고속도
KRTCS	주 3회	호남고속선	350km/h
고속검측	월 2회 이하	호남고속선 경부고속선 (필요시 기존선 가능)	300km/h

(2) 시운전 지속을 통한 국내외 인지도 향상 및 해외마케팅 강화

동력분산형 고속열차의 성공적인 실용화 및 해외시장 진출을 위하여 시운전을 지속하는 것도 하나의 활용방안이 될 수 있다. 한편 HEMU-430X의 시운전 지속을 통하여 얻을 수 있는 효과는 다음과 같다.

- 해외 고속철도 수요자에 대한 국내개발기술의 과시 및 의지 표현
- 누적 운행거리 연장을 통한 신뢰성지표로서 해외 수요자 제시
- 시제열차의 지속 시운전을 통한 대형 국가 R&D 결과물의 대국민 홍보
- 국가 R&D 지원 시운전과 동시진행을 통한 시운전 비용 절감

다. 안정화 및 신뢰성 시험 결과의 활용

안정화 및 신뢰성 시험 결과는 국내 최초의 분산형 고속열차에 대한 시험데이터로서 향후 분산형 고속열차의 실용화를 위한 설계기준 수립 및 연구개발과제 도출 등에 활용될 수 있다.

(1) 안정화 시험 결과의 활용

400km/h 속도 대역까지의 안정화 시험 데이터(견인성능, 제동성능, 집전성능, 주행안정성, 주행저항 등)는 국내에 본 연구진만이 가지고 있는 데이터이다. 특히 각 속도대역별(250km/h, 300km/h, 350km/h) 데이터는 향후 250, 300, 350km/h급 EMU 고속차량의 실용화 설계를 위한 기초 데이터이다. 이를 통하여 본 과제에서는 분산형 고속열차의 실용화 사양을 도출하였으며, 일부 데이터는 경전선 투입 예정인 250km/h급 분산형 고속열차의 입찰제안서에도 활용되었다. 예를 들면 주행저항 특성과 견인성능 데이터를 통하여 각 속도대역별 고속열차의 필요 전장품의 사양(변압기 용량, 전동기 사양 및 개수 등, MPS 용량 등)을 결정할 수 있으며, 제동시험 데이터를 통해서도 제동디스크 및 패드의 용량, 최적 제동압의 설정 등을 할 수 있다. 또한 다양한 전차선 장력(20, 23, 26, 34 kN)별 집전성능 데이터는 차량의 운영속도에 맞는 최적의 전차선 설계 등에 활용 가능하다.

또한 본 시험데이터를 통하여 현재 대한민국 고속열차의 기술 수준을 확인하고 해외 고속열차와의 성능 비교를 통하여 향후 개선이 필요한 부분을 도출할 수 있다. 현재 확인된 차량의 성능은 목표했던 설계치를 달성하였고, 국제기준에 부합하고 있다. 그러나 분산형 고속열차의 해외진출 등을 위한 경쟁력 확보를 위해서는 운영자 요구 핵심성능의 고도화가 필요한 상황이다. 특히 해외 소음/승차감 기준의 강화 추세로, 고속철도 해외진출을 위하여 차내 소음, 승차감 향상을 통한 경쟁력 확보가 필요하다.

아래는 HEMU 열차와 국내외 주요열차와의 소음 및 진동 특성을 비교한 결과이다. 표에서 보이는 바와 같이 수직방향 진동이 해외 경쟁열차 대비 부족하기 때문에 향후 추가적인 개선이 필요함을 알 수 있다. 따라서 고속열차의 진동발생 원인에 대한 분석 및 현가장치 최적화 연구가 진행되어야 함을 유추할 수 있다. 따라서 안정화시험 데이터는 향후 연구개발을 위한 방향 설정에 있어서 중요한 역할을 할 수 있다.

＜국내외 고속열차 차량진동 및 소음특성 비교＞

측정 차량	측정구간	차량진동 (m/s^2)		실내소음 (dB, 300km/h)	비고
		횡방향	수직방향		
AGV 575	나폴리-로마	0.20	0.30	-	동력분산형 /관절대차
ETR 500	로마-나폴리	0.18	0.24	-	동력집중형 /독립대차
HEMU	광명-대전	0.26	0.37	68	동력분산형 /독립대차
KTX-산천	광명-대전	0.27	0.45	66	동력집중형 /관절대차
KTX	광명-대전	0.13	0.32	66	동력집중형 /관절대차

(2) 신뢰성 시험 결과의 활용

본 연구진은 본선 시운전을 통하여 차량의 신뢰성 확보에 주력하였다. 신뢰성 시험 중 발생한 다양한 고장 원인을 분석하여 그 영향도를 분석하였고 주요 고장이 발생하는 시스템을 확인하였다. 이러한 결과는 향후 분산형 고속열차 실용화 편성 설계 및 제작에 활용되어, 실용화 모델의 초기 신뢰성을 확보하는 데 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서는 기존에 사용하던 신뢰성 성장률(Duane 모델 및 Crow-AMSAA 모델) 외에도 신규 신뢰성성능지표를 개발하여 적용하였다. 이 때 검토한 신뢰성모델 중 현 차세대고속열차 시스템의 경우 Hyperexponential모델이 Duane모델보다 신뢰성성장추세를 더욱 정확히 예측할 수 있으며, 실제 시험운행과정을 고려하여 ATP의 고장시점을 앞당긴 결과 더욱 정확한 예측 결과를 얻을 수 있었다. 또한 실제데이터 적용 시 최소제곱법 및 최대우도법, 두 가지의 모델 파라미터 추정방법을 적용하여 결과를 비교함으로써, 파라미터 추정 방법에 따른 예측 결과의 차이 및 정확도를 비교하였고 이를 통하여 모델의 파라미터를 추정할 때에 최대우도법이 최소제곱법보다 더욱 정확하고 안정된 결과를 도출할 수 있음을 확인하였다. 이러한 연구결과는 향후 신규개발열차의 신뢰성을 평가하는 데 있어서 보다 정확한 결과를 예측하는 데 활용할 수 있을 것이다.

또한 고속열차 시스템은 전체시스템과 서버핵심시스템의 조합으로 되어있다. 본 연구에서는 고속열차 시스템을 “k out of N” 구조를 갖는 서브시스템과, 각 서브시스템의 직렬연결로 이루어진 전체시스템의 구조로 모델링하는 방법을 제시하였으며, 이러한 모델링 역시 향후 신규 열차 개발에 충분히 활용이 가능하다.

라. 해외진출 전략 및 국내외 기술동향의 활용방안

(1) 해외진출전략의 활용

본 연구를 통하여 분산형 고속열차의 해외진출 전략을 수립하고 국내외 기술동향을 파악하였다. 이러한 자료는 향후 분산형 고속열차의 해외 진출을 위한 구체적인 전략 수립에 활용될 예정이다.

국토교통부와 한국철도기술연구원, 현대로템은 개발된 분산형 고속열차 시스템을 해외에 수출하고자 다각적인 노력을 펼치고 있다. 특히 터키 고속철도 및 말레이시아-싱가포르 고속철도는 해외진출 전략 수립 시 우리 기술로 도전할 수 있는 시장들로 분석되었다. 이를 위하여 한국철도기술연구원은 터키와의 기술협력 및 고속철도 기술의 수출을 위하여 터키 고속철도 관계자의 기술 협의, HEMU-430X 시승, 터키 철도청(TCDD) 방문 협의 등 터키 고속철도 진출을 위한 관련 업무를 수행하고 있다.

또한 말레이시아-싱가포르 고속철도의 경우 국토부를 중심으로 한국철도기술연구원, 한국철도시설공단, 현대로템 등이 참여하여 다각적인 수주 노력을 기울이고 있으며 이때 차관 등 주요한 이슈사항을 수립한 해외진출 전략을 통하여 도출하였다.

따라서 본 연구를 통하여 수립된 해외진출전략은 개발된 분산형 고속열차 시스템의 해외진출에 적극적으로 활용될 예정이다.

(2) 국내외 기술동향의 활용

국내외 기술개발 동향 파악을 통하여 향후 국내 고속열차 기술의 연구개발 전략 수립에 활용할 수 있다. 특히 고속철도 기술수준 분석을 통하여 해외 대비 국내 고속철도 분야별 기술수준을 파악하였고 향후 지속적인 연구 개발이 이루어져야 함을 확인하였다. 이는 향후 고속철도 연구개발 전략 수립을 위한 방향 설정에 활용될 수 있다. 특히, 최근 국내외 고속철도 기술동향을 살펴보면 해외의 경우 자국 철도시스템 및 표준의 준수를 요구하고 있음을 확인하였다. 터키의 경우 유럽기술 표준인 TSI의 준수를 입찰 기본사항으로 요구하고 있다. TSI와 국내 철도안전법에서 요구하는 기술 수준은 어느 정도 준용될 정도로 일치하고 있으나, 활주방지장치(WSP) 등 핵심항목의 경우 TSI에 맞는 시스템의 개발과 시험방법 등의 개발이 필요함도 확인하였다. 따라서 향후 국내기술의 해외 진출을 위해서는 해외표준 등의 조사 및 연구도 필요하다. 이를 통하여 국내외 기술동향의 분석이 고속철도 연구개발 방향을 설정하는 데 유용한 자료임을 다시 한번 확인하였다.

제 2 절 추가 연구 필요성

차세대고속열차기술개발사업 및 실용화사업을 통하여 동력분산형 고속열차 기술의 성능 및 신뢰성을 확보하였으나 해외 진출 등을 위한 고속철도 기술 경쟁력 확보를 위해서는 운전자 요구 핵심성능의 고도화가 필요하다. 특히 해외 소음/승차감 기준의 강화 추세로, 고속철도 해외 진출을 위하여 차내 소음, 승차감 향상을 통한 경쟁력 확보가 필요하다. 또한 유럽 뿐 아니라 세계고속철도 시장은 중요한 기술기준으로 유럽의 TSI 기준 만족을 운전자 요구사항으로 제시하고 있으며, 특히 국내 기술기준 대비 가장 차이가 많은 항목은 활주방지장치로서 해당부품의 TSI 대응 기술개발 및 고도화가 필요하다.

따라서 추가 연구가 필요한 두 가지 항목인 승차감 개선 및 WSP의 TSI 대응 기술 개발에 대하여 각각의 연구내용 및 기술개발 방향성을 다음과 같이 기술한다.

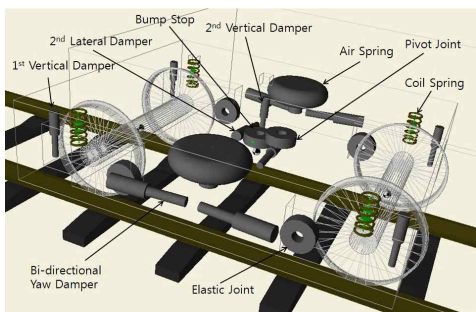
1. 분산형 고속열차 현가시스템 고도화 기술개발

(1) 주요연구내용

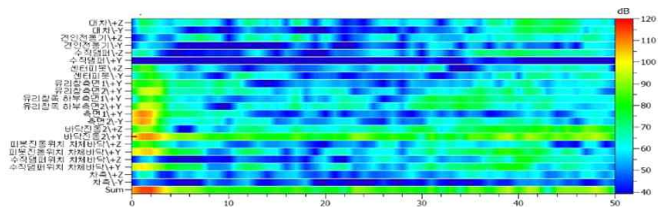
- 고속열차 진동발생 원인 분석 및 최소화 기술개발
 - 철도차량 저주파 진동전달 경로 추적 및 진동절연 기술개발
- 고속열차 차체 및 대차 현가장치 최적화 및 고도화 기술개발
 - 댐퍼/스프링 등 기본 현가장치 민감도 분석 및 시뮬레이션
 - 현가 특성치 최적설계 기술개발
 - 다양한 휠 프로파일(신규 프로파일 포함)적용
- 개발된 장치의 실차적용을 통한 성능검증
 - HEMU 시험차를 활용한 R&D성과물 성능검증

(2) 기술개발 방향성

- 해외 선진기술 대비 동등수준의 기술 확보
- 민간기업 참여를 통한 실용화 및 사업성 확보
- 동력분산형 고속열차 적용을 통한 성능검증 및 실용화



<대차장치 현가요소>



<실내진동 기여도 및 전달경로 분석>

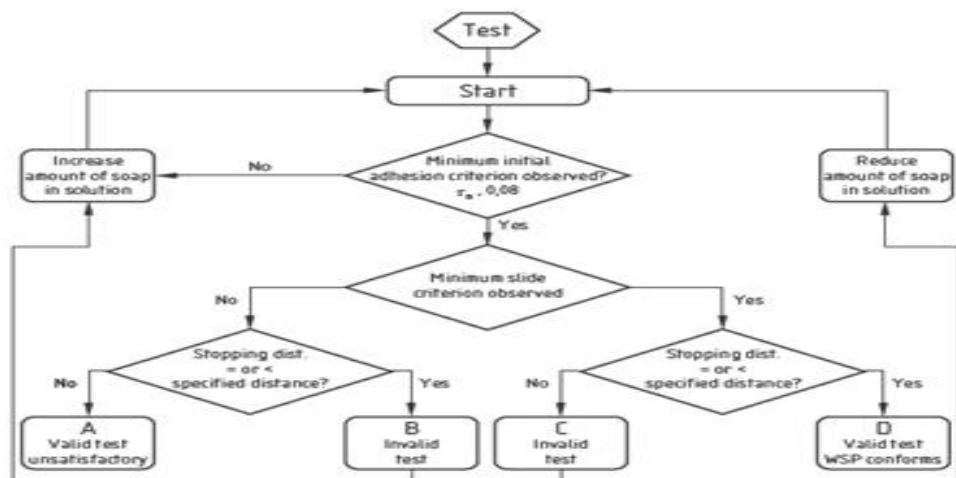
2. 활주방지(WSP) 시스템 고도화 기술개발

(1) 주요연구내용

- 차륜찰상 발생 최소화를 위한 WSP의 H/W 및 제어기술 고도화
 - Dump valve 반응속도 및 WSP 제어 H/W(제어보드 등) 개선
 - 활주검지조건 상세화 및 활주발생 시 제어알고리즘 독자개발
- TSI 대응을 위한 WSP 시험방법 개발 및 개발품 성능검증
 - TSI에서 요구하는 점착성능 계측 및 저점착 형성조건 연구
 - 현차시험을 통한 다양한 선로조건에서의 WSP성능 평가방법 개발 및 절차구축

(2) 기술개발 방향성

- TSI 대응 시험절차 구축을 통한 해외시장 경쟁력 확보
- 제어장치 및 로직 관련 특허 출원/등록으로 원천기술 확보
- 국산 철도 부품기술의 자립 및 중소기업 경쟁력 강화



<EN15595 TSI 요구 WSP 성능평가 절차>

<활주방지장치 국내시험기준 대비 TSI 시험기준 비교>

항목	국내	해외 (TSI)
Wet조건	- 15Liter/hour - 별도 점착계수 조건 없음	- 점착계수 0.06 ~ 0.08
저점착 조건(100km/h)	X	- 점착계수 0.02 ~ 0.03
Wet 상태 제동거리	- 3,960 m@300km/h	- Dry 대비 700m or 125% 이내 @300km/h
초기점착계수	X	- 0.08 이하
전차축 슬라이드 시험 (75km/h, 100km/h)	X	- 필수조건
최소활주조건 (criterion of min. slide)	X	- 차량 전차축의 50% 이상이 활주 - 활주시간/제동시간 > 20% 이상
WSP성능만족 기준	WSP동작만 확인	상기조건이 모두 만족하여야 인정