

(뒷면) (왼면)

(앞면)

3cm 2012-연구 기획 -AA-01 2층 고속열차 기술개발 기획보고서 (견고덱 14p) 2012 (견고덱13p) 5cm 국토해양부 한국건설교통기술평가원 (견고덱 17p)	4cm Land Transport and Maritime R&D Report (견고덱 25p)		건설교통연구기획사업 기획보고서 (견고덱13p) 3cm 0.5cm 2012-연구기획-AA-01 2.5cm9cm 2층 고속열차 기술개발 기획보고서 (0.1cm) 2012. 5. 18. 0.15cm(견고덱15p) (별색바탕 : C50, M20, Y59, K0) 주관연구기관 / 연세대학교 산학협력단 협동연구기관 / 한국철도기술연구원 (견고덱 15.5p) (백색바탕) 국토해양부 한국건설교통기술평가원 (견고덱 20p)
--	---	--	--

2층 고속열차 기술개발 기획보고서

2012. 9. 13.

주관연구기관 / 연세대학교 산학협력단
협동연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관 귀하

이 보고서를 “2층 고속열차 기술개발 기획연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 9.

주관연구기관명 : 연세대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 이 상 조

연구원 : 이 경 수

” : 허 세 곤

” : 채 기 운

” : 강 명 구

” : 남 은 석

협동연구기관명 : 한국철도기술연구원

협동연구책임자 : 고 태 환

연구원 : 이 찬 우

보고서 요약서

과제고유번호		해 당 단 계 연 구 기 간		단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연구사업명	중 사업명	미래철도기술개발사업			
	세부사업명	2012 건설교통연구기획사업			
연구과제명	대 과 제 명				
	세부과제명	2층 고속열차 기술개발 기획연구			
연구책임자	이 상 조	해당단계 참 여 연구원수	총 : 8 명 내부 : 6 명 외부 : 2 명	해당단계 연 구 비	정부:50,000천원 기업: - 계 : 50,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 8 명 내부 : 6 명 외부 : 2 명	총연구비	정부:50,000천원 기업: - 계 : 50,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	연세대학교 산학협력단		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
협 동 연 구	연구기관명: 한국철도기술연구원		연구책임자 : 고 태 환		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
2층 고속열차는 공간 확대를 통한 수송력 증대를 이룩할 수 있는 핵심기술임. 일본과 프랑스에서는 2층 고속열차를 기 운행하고 있고, 독일은 차세대 고속철도 개발사업으로 2층 고속열차 개발사업을 2009년부터 추진 중에 있음. 본 기획과제는 세계 고속철도 시장의 한 축으로 자리 잡고 있는 2층 고속열차 시장 진입을 위한 핵심기술개발과, 2014년 이후 서울 ~ 오송 구간에 있는 행정중심 복합도시인 세종시 및 오송 생명공학단지와 같은 출퇴근자 수송력 한계극복 기술임. 2017년 호남고속철도 및 수도권 고속철도 개통 시 평택 ~ 오송 구간 고속열차 투입 시간 단축 한계도달에 대한 기술적 대안이기도 함. 본 과제는 고속철도 세계 시장 확대와 고속철도 수송력 및 열차투입 한계 구간에 대한 기술적 문제를 종합적으로 검토하여 본 과제의 틀을 마련하였음. 본 과제의 효율적 수행을 위해 2개의 세부과제를 도출하고, RFP를 제시하였음. ○ 세부과제 1 : 2층 고속열차 SE 및 핵심기반기술개발 ○ 세부과제 2 : 2층 고속열차 설계, 제작 및 시험평가 기술개발					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	2층 고속열차, 고속철도, 경량화, 인터페이스, 수송용량			
	영 어	Double-deck high speed train, High-speed Railway, Light Weight, Interface, Transport capacity			

요 약 문

I. 기획연구배경 및 목적

2층 고속열차 기획연구는 국가 정책적인 측면에서 “제2차 국가철도망 구축계획 2011~2020년” (2011.4.4) 및 “국가기간교통망계획 제2차 수정계획 2001~2020년” 추진전략 핵심 내용 중 하나인 고속철도 중심 주 간선망과 연계수송 체제 구축, 철도 수요증대 및 효율성 강화에 대한 세부 실천 사업이 필요함. 또한 철도산업을 고부가가치 성장 동력으로 육성하고, 시장 지향적 열차운행(2층 열차 및 입/좌석 병용열차 개발 등) 도입 계획에 대한 맞춤형 사업이 필요함. 고속철도 노선 구간 중 가장 혼잡한 경부선 평택 ~ 오송 구간에 2014년까지 36개 중앙행정기관 등 유관 기관 등이 세종시 이전이 계획·추진되고 있으며, 오송 생명과학단지 조성이 완료에 따른 교통 수요 급증이 예상되고 있다. 이와 같은 구간에 대한 철도중심 교통기반 체계 구축을 이루기 위한 사업으로 「2층 고속열차 개발의 타당성을 확인하고, 국내 고속철도 환경에 적합한 2층 고속열차 객차개발 전략수립 그리고 추진과제를 발굴」하는 것임.

II. 기획연구 내용 및 범위

기획 내용	주요 기획 범위
필요성 및 기술 개발 정의 검토	2층 고속열차 개발 필요성 검토 2층 고속열차 핵심 소요기술 검토 2층 고속열차 설계, 제작, 시험평가 및 인터페이스 기술 검토
국내외 동향 및 환경 분석	- 국내외 정책 동향 - 국내외 시장 현황 및 전망 - 기술 동향 분석
연구개발 과제 구성 및 추진전략	- 비전 및 목표 설정 - 기술개발에 따른 미래상 검토 - 연구개발 과제 구성(안) - 연구목표 달성을 위한 추진전략/체계 수립 - 과제별·연차별 기술 및 성과 로드맵 분석
사전 타당성 검토	- 정책적 타당성 - 기술적 타당성 - 경제적 타당성
소요예산 산정, 과제공모 RFP 작성 및 평가기준 설정	- 전체사업 및 세부과제별 소요 예산 - 과제별 RFP 작성 - 평가기준 작성

Ⅲ. 기획연구 결과

1. 연구개발 필요성

첫 째, 국가 정책적인 측면에서 “제2차 국가철도망 구축계획 2011~2020년” (2011.4.4) 및 “국가기간교통망계획 제2차 수정계획 2001~2020년” 추진전략 핵심 내용 중 하나인 고속철도 중심 주 간선망과 연계수송 체제 구축, 철도 수요증대 및 효율성 강화에 대한 세부 실천 사업이다.

둘 째, 철도산업을 고부가가치 성장 동력으로 육성하고, 시장 지향적 열차운행(2층 열차 및 입/좌석 병용열차 개발 등) 도입 계획에 대한 맞춤형 기획 사업이다.

셋 째, 고속철도 노선 구간 중 가장 혼잡한 경부선 평택 ~ 오송 구간에 2014년까지 36개 중앙행정기관 등 유관 기관 등이 세종시 이전이 계획·추진되고 있으며, 오송 생명과학단지 조성이 완료에 따른 교통 수요 급증에 대한 철도중심 교통기반 체계구축을 이루기 위해서는 수송용량이 동일편성 기준, KTX-산천 대비 100% 이상 증가되는 2층 고속열차 기술개발이 필요하다.

넷 째, 수송량 향상을 위하여 열차 시격단축이나 편성 차량 수 증가 등의 방안도 모색할 수 있으나, 열차 시격단축은 복잡한 신호시스템 개발 및 제동거리 단축이 필요하고, 시격 단축 자체도 한계를 가지고 있음. 편성차량 수의 증가는 역사 증축 등 부가적인 시설비의 투자가 요구됨. 이러한 이유로 신규노선 증설 없이, 추가적인 시설비의 투자도 최소화하며, 동일 열차 길이 대비 수송력을 획기적으로 늘릴 수 있는 고속열차 개발이 필요함. 특히, 현재도 출퇴근 수요를 충분히 만족시키지 못하고 있는 서울~오송과 같은 구간의 고수송 용량의 고속열차 도입이 필요하다.

다섯 째 현재 유럽 및 일본 등 해외의 많은 나라에서 여객 수송효율을 극대화하기 위한 가장 효율적인 방법으로 2층 열차 (double deck train)를 도입하고 있음. 프랑스에서는 TGV-duplex, 일본에서는 신간선 E1/E4 등의 2층 고속열차가 이미 운행 중이고, 독일에서는 수송용량 고효율화를 위한 차세대 고속열차 사업이 바로 2층 고속열차 기술개발 사업이다.

여섯 째, 고속철도 세계 시장에서 2층 고속열차 시장이 점차 증대되고 있음. 예로 북아프리카 모로코 및 영국 등이 신규 고속열차 투입 차량으로 2층 고속열차 투입을 계획하는 등, 향후 세계 고속철도시장에 확대를 위한 핵심 기술개발 사업이다.

2. 국내외 동향 및 환경분석

국내외 2층 고속열차 운행, 계획 및 개발 관련 사항을 검토 했을 때 2층 고속열차는 혼잡한 구간에서의 수송량 증대를 위한 차량뿐 만 아니라 차세대 고속차량으로 또는 신규 고속철도차량 시장으로 성장하고 있음을 알 수 있다. 이에 대한 요약은 다음과 같다.

첫 째 국내는 현재 준고속열차인 ITX-청춘(최고속도 180km/h) 열차가 2012년 2월 개통되어 경춘선에서 광역도시철도차량으로 운행되고 있음. 2층 고속차량은 현재 국내에 없는 상태이고, 국가 정책적인 측면에서 고속철도 노선 가운데 승객 수요가 급증되고 고속열차 운행 빈도가 높은 구간인 경부선 서울 ~ 오송과 같은 구간의 수송량 증대를 위해 본 사업이 조속히 추진되어야 할 것으로 검토 되었다.

둘 째, 2층 고속열차를 기 운행하고 있는 국가는 일본과 프랑스이다. 일본 JR-East 에서는 동경에서 1시간 출퇴근 권역에 있는 신칸센 교통 수요를 해결하기 위하여, 동북신칸센에 1994년 E1 2층 고속열차를 처음 운행하였고, 1997년 E4-Max 2층 고속열차를 통해 1시간 권역에 있는 출퇴근시간 신칸센 교통 수요를 해결하였다. 프랑스 SNCF 에서는 고속철도 승객이 가장 많은 파리 ~ 리옹 구간에 TGV-duplex를 1995년부터 투입 운행하고 있으며, 2007년 이후 발주되는 모든 고속차량은 2층 열차 모델로 진행되고 있다.

셋 째, 2층 고속열차를 개발하는 국가로는 독일이다. 독일은 2009년부터 차세대 고속철도차량이라 불리우는 400km/h급 2층 고속열차인 NGT(Next Generation Train)를 2014년까지 1단계 개발 목표로 진행 중에 있고, 개발되는 차량은 유럽 국제선 열차에 투입할 예정으로 되어 있다.

넷 째, 신규 시장 측면에서 북아프리카 모로코는 2010년 고속철도사업을 착수하면서 모로코 고속철도 노선에 투입될 차량으로 TGV-duplex로 선정하여 프랑스 Alsthom 사에서 제작 중에 있고, 영국에서는 파리 ~ 런던 유로스타 이후 London에서 북부 잉글랜드 및 스코틀랜드 중앙까지 연결하는 High Speed 2 계획에 의거 2026 개통 시 적용되는 차량으로 프랑스에서 2007년 개발되어진 2층 고속열차인 TGV-duplex AGV 모델로 검토하고 있는 것이, 고속철도를 통한 국내 신성장 동력으로서 핵심 기술 개발이 매우 중요함을 알 수 있다.

3. 연구개발 내용 및 범위

본 기획연구를 통한 주요 연구개발 내용 및 범위는 아래 표와 같다.

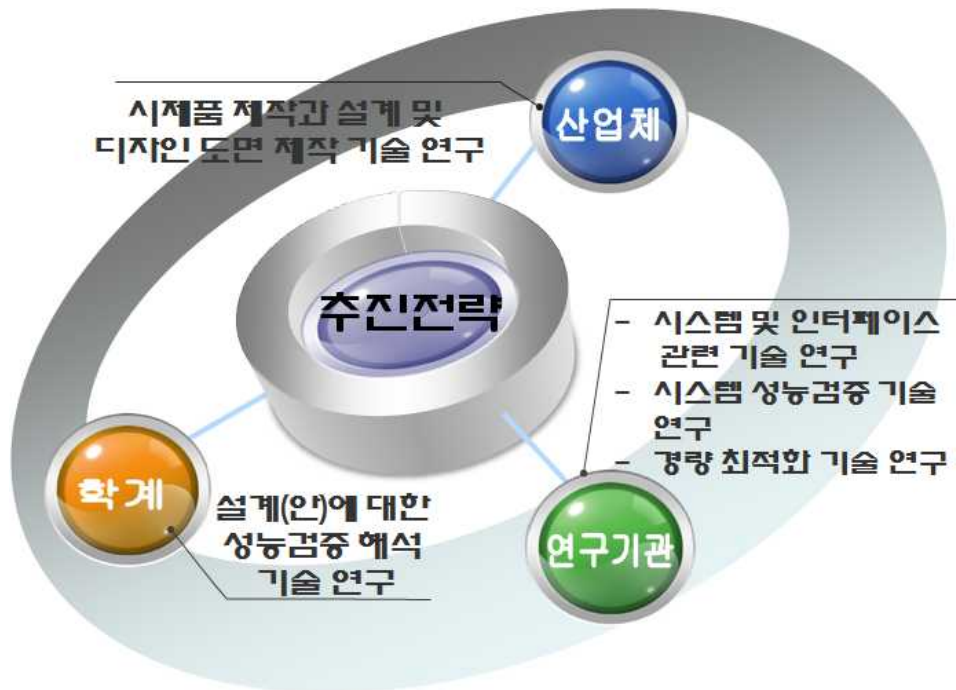
연구목표	주요 연구내용
기술 개발방향 및 예상 문제점 검토	- 국내·외 정책/시장/기술개발 동향조사 - 국내에서 운행되고 있는 ITX-청춘 2층 열차 운행 사례 분석 - 국외 2층 고속열차 운행 사례 분석
후보 과제 우선순위 도출 및 타당성 검토	- 국내 철도 시설물 검토 - 2층 고속열차 객차 개발 전략 수립 - 후보과제에 대한 우선순위 도출 및 타당성 조사
선정과제별 연구 목표 및 범위 설정	- 과제별 기술개발 로드맵 작성 - 연구목표 달성을 위한 추진전략/체계 수립 - 인력투입 계획 및 소요예산 산정
과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정	- 과제별 RFP 작성

4. 연구개발과제 구성 및 추진전략

연구개발 과제 구성은 아래 표와 같다.

연구과제명	2층 고속열차 기술개발 연구	
세부과제명	2층 고속열차 SE 및 핵심 기술개발	2층 고속열차 설계·제작·시험 및 인터페이스 기술개발
주요연구내용	▪ 관절대차 및 동력집중식 고속차량에 적합한 형상 디자인 /설계/제작 기술 개발 ▪ 고속선로 인프라에 적합한 시스템 및 인터페이스 기술 개발 ▪ 수송량 증대 및 차체부피 증대에 따른 경량화/최적화 기술 개발 ▪ 2층 고속열차 성능 검증 기술 개발	▪ 2층 고속열차 객차 기술개발 ▪ 2층 고속열차 객차용 핵심 구성품 경량화 기술 개발 ▪ 2층 구조 객차 적용을 위한 동력차 및 차체 개조 및 인터페이스 기술 개발
세부소요기술	- 차량개발을 위한 총괄적 SE 기술 - 인터페이스를 고려한 개념 설계 기술 - 차량시스템 경량화 및 용접기술 - 개발차량에 대한 성능 및 안정성 예측 평가 기술 - 차량과 인프라간 인터페이스 검토기술 - 차량 및 구성품 성능평가 기술 - 시험운전을 통한 차량 신뢰성 평가 기술 - 2층 고속열차의 사양 및 설계 기준 제시 기술 - 중련운전을 고려한 차량연결 시스템 기술	- 경량화 2층 구조의 차체분야 설계·제작·시험평가 기술 - 2층 차체에 적합한 대차 인터페이스 분야 기술 - 경량화 및 소형 제동시스템 분야 설계·제작 기술 - 부수객차/전장품 경량화 관련 설계·제작·시험평가 기술 - 승객편의를 위한 실내 및 의장 디자인 기술 - 쾌적성 향상을 위한 공기조화 분야 설계·해석·제작 기술 - 기밀도 향상을 위한 연결막 및 승강문 분야 기술 - 2층 고속열차용 차량 연결 시스템 분야 제작 기술

추진 전략은 아래 그림과 같다.



2층 고속열차 개발과제 산학연 컨소시엄 추진전략

5. 사전타당성 검토

2층 고속열차의 국내 기술개발의 타당성을 정책적, 기술적 그리고 경제적 측면에서 검토하였다.

첫 째, 국가 정책적인 측면에서 2층 고속열차 기술개발은 “제2차 국가철도망 구축 계획 2011~2020년” (2011.4.4) 및 “국가기간교통망계획 제2차 수정계획 2001~2020년” 추진전략 핵심 내용 중 하나인 고속철도 중심 주 간선망과 연계수송 체제 구축과 녹색수송수단인 철도의 수요를 증가시킴으로써 친환경 수송수단을 통한 환경보존을 추진하고 있다. 철도 중심 교통시스템 구축으로 장래 교통수단 분담률을 2008년 철도 15.9%에서 2020년 27.3%로 확대하는 역할을 2층 고속열차 개발을 통해 고속철도 1시간 권역내의 교통을 철도 중심으로 바꿀 수 있다.

둘 째, 기술적인 측면에서, 철도산업을 고부가가치 성장 동력으로 육성하고, 세계

고속철도시장에 진입하기 위해서는 국내 고속철도 차량으로 기 개발된 KTX-산천 차량을 기반으로 한 2층 고속열차 기술이어야 함. 또한 고속철도 이용 승객이 폭증하여 2017년 선로용량이 한계에 도달 할 것으로 예측되어지는 서울 ~ 오송 구간에 대한 수송력 확충에 대한 시간적 측면에서의 개발 시간 단축 문제도, KTX-산천 동력 차량의 최소한의 개량과 단부대차를 갖는 객차와 일반 객차 중심으로 기술개발 분야를 최소화하여 기 확보하고 있는 기반 기술을 최대한 활용하고자 한다. 본 기술개발에서 꼭 개발해야 하는 범위는, KTX-산천 차량 대비 차체형상 증대로 인한 중량 감소화 방안 도출과 주행안전성 검토 및 공력특성검토, 인프라와의 인터페이스 검토, 승객 증대로 인한 기술적인 문제 그리고 승객 및 골조구조 증대에 따른 철도안전법상 축중 한계 만족을 위한 경량화기술 등을 중심으로 설정하였다.

셋 째, 경제적인 측면에서 수송량 향상을 위하여 열차 시격단축이나 편성 차량 수 증가 등의 방안도 모색할 수 있으나, 열차 시격단축은 복잡한 신호시스템 개발 및 제동거리 단축이 필요하고, 시격 단축 자체도 한계를 가지고 있음. 편성차량 수의 증가는 역사 증축 등 부가적인 시설비의 투자가 요구됨. 이러한 이유로 신규노선 증설 없이, 추가적인 시설비의 투자도 최소화하며, 동일 열차 길이 대비 수송력을 획기적으로 늘릴 수 있는 2층 고속열차 개발이 가장 적합한 것으로 예측 되어진다. 본 기술개발을 통해 KTX-산천 대비 수송력 100% 향상 시 연간 교통편익(서울↔오송 기준)은 200억원이 발생될 것으로 추정 되어진다. 운영기관 운영 수익성 측면에서는 현재의 일반실 요금 기준 30% 정도 요금을 낮게 책정하여도, 서울↔오송 왕복 기준으로 1일 10회 운행 시 1일 6천만원, 연간 240억 수익 증대를 예상할 수 있다. 또한 수입 대체 효과 측면, 신규 시장 확장 및 수출증대 효과를 감안하면 본 기술 개발의 경제적인 가치는 매우 높은 것으로 예측되어진다.

6. 연구개발 소요기간 및 예산

2층 고속열차 개발 사업에 대한 연구개발 소요 기간과 예산은 기 연구 수행 되어 실용화 된 KTX-산천 차량 모델을 기반으로 2층 고속열차로 개발하여 개발시간 단축과 개발 연구비의 최소화를 기하였다. 소요 기간 및 예산은 아래 표와 같다.

○ 총 개발 시간 : 2013년 ~ 2016년(개발 착수로부터 4년)

○ 총 예산 : 430억원(정부:290억원, 민간 140억원)

(단위 : 억원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	55	15	75	35	125	85	35	5	290	140
1세부	40		40		40		30		150	
주관	25		25		25		20		95	
공동	10		10		10		10		40	
위탁	5		5		5				15	
2세부	15	15	35	35	85	85	5	5	140	140
주관	10	10	20	25	60	65	4	4	94	104
공동	5	5	10	10	20	20	1	1	36	36
위탁			5		5				10	

아래 그림은 본 기술개발에 대한 로드맵을 보여 주고 있다.



IV. 연구개발결과의 활용계획

2층 고속열차 개발 사업 결과의 활용 계획은 크게 네 가지이다.

첫 째, KTX-duplex에 대한 실용화 사업 추진이다. 본 연구에서 도출되거나 확보되어진 2층 고속열차 관련 핵심기반기술을 토대로, 한국고속철도 시스템 적합한 2층 고속열차를 실용화하는 것이다.

둘 째, 본 기술개발을 통해 얻어진 핵심 기반기술 및 설계/제작/시험/신뢰성평가 등을 철도안전법에서 추구하고자 하는 「철도차량 형식인증을 위한 시험 규격 정비 및 기술기준 개발」 대상으로 활용 모델화 하는 것이다.

셋 째, 국내 고속철도 차량 기술을 광역급행 도시철도 차량에 적용함으로 경량화 및 고 수송용량을 갖춘 광역급행 기술 개발에 활용할 수 있다.

네 번째로, 본 기술개발에서 얻어진 핵심 기술인 경량화 기술, 신개념 차량 설계기술, 차량기기 배치 및 디자인관련 형상설계 기법 등을 항공/자동차 산업에 적용이 가능하다.

목 차

제 1 장 기술의 정의 및 필요성	1
1절 2층 고속열차 개발 필요성	1
2절 2층 고속열차 핵심 소요기술	3
3절 2층 고속열차 설계, 제작, 시험평가 및 인터페이스 기술	6
제 2 장 국내외 동향 및 환경분석	10
1절 국내외 정책 동향	10
2절 국내외 시장 현황 및 전망	20
3절 기술동향 분석	28
4절 종합분석	84
제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략	85
1절 비전 및 목표	85
2절 기술개발에 따른 미래상	86
3절 연구개발 과제 구성	86
4절 과제별·연차별 기술 및 성과 로드맵	92
5절 성과의 활용방안	97
제 4 장 사전타당성 검토	100
1절 정책적 타당성	100
2절 기술적 타당성	104
3절 경제적 타당성	108
4절 타당성 검토 종합	112
제 5 장 소요예산 산정	113
1절 전체사업 소요예산	113
2절 세부과제별 소요예산	115
제 6 장 과제 제안 요구서	117
부록(자문위원)	127

표 목 차

<표 1.1> 세부과제별 소요기술	2
<표 1.2> 2층 고속객차 시스템의 구성품 및 설계 기술 분류	6
<표 2.1> TGV-duplex 개발 및 운용 주요 연혁	14
<표 2.2> ICE 차량별 비교	17
<표 2.3> 동일본 철도 교외선 215계 주요제원	32
<표 2.4> Z2N 및 MI2N 차량의 편성	36
<표 2.5> 네덜란드의 2층 열차 사양	40
<표 2.6> 이스라엘의 2층 열차 사양	41
<표 2.7> 경춘선 ITX-청춘 광역급행열차 일반 사양	44
<표 2.8> 철도분야 연구 인적자원 현황	56
<표 2.9> 2층 열차관련 기존 기술과의 차별성	66
<표 2.10> 특허 검색 DB 및 검색범위	66
<표 2.11> 특허 분석대상 기술분류	67
<표 2.12> 특허 분석대상 기술분류기준	68
<표 2.13> 기술분류체계에 따른 최종 검색식	69
<표 2.14> 유효특허 선별 기준	71
<표 2.15> 2층 고속열차 기술의 유효특허 선별결과	72
<표 2.16> 특허기술 Landscape 현황 정리	82
<표 3.1> 2층 고속열차 연구개발과제 구성 개요	91
<표 3.2> 1세부과제 년차별 성과지표 및 성과목표	95
<표 3.3> 2세부과제 년차별 성과지표 및 성과목표	96
<표 4.1> 세계 철도차량 시장구조(2001/2년 매출액 기준)	110
<표 4.2> 해외 고속열차 시장규모 추정	111
<표 5.1> 2층 고속열차 개발 주요 소요 추정 예산	113

그 림 목 차

<그림 2.1> 일본 신칸센 2층 고속열차 개발 배경	12
<그림 2.2> 일본 신칸센 2층 고속열차 개발 및 운행 시기	12
<그림 2.3> 프랑스 SNCF의 TGV-duplex 열차 모습	14
<그림 2.4> 독일 고속철도 노선	18
<그림 2.5> 중국 차세대 고속열차 CRH380 차량 모습	19
<그림 2.6> 중국 고속열차 주요 노선도(2011년 기준)	20
<그림 2.7> 일본 JR-East 신칸센 2층 고속열차 운행 구간 및 연도별 승객 수	22
<그림 2.8> 일본 JR-East 신칸센 2층 고속열차 운행에 따른 수송력 증가	22
<그림 2.9> 프랑스 고속열차 AGV 모습	25
<그림 2.10> 프랑스 AGV 열차의 외형	25
<그림 2.11> 독일 차세대 2층 고속열차인 NGT 차량 조감도	26
<그림 2.12> 모로코 고속철도 노선 주요 도시	27
<그림 2.13> 영국의 고속철도 운행 노선 및 구축 계획	28
<그림 2.14> 신간선 2층 열차 E1	29
<그림 2.15> 신간선 2층 열차 E4	30
<그림 2.16> 2층 열차 수송용량 비교(JReast 자료)	30
<그림 2.17> 신간선 노선도	31
<그림 2.18> 215계 열차편성	32
<그림 2.19> 교외선 215계	33
<그림 2.20> 판토품라프/공조장치(지붕)	33
<그림 2.21> 217계 차량편성	34
<그림 2.22> TGV-duplex	35
<그림 2.23> Z2N형 차량 편성	36
<그림 2.24> MI2N 2층 객차	37
<그림 2.25> MI2N 2층 객차 구조	37
<그림 2.26> 현대로템 미국수출형 2층 열차-Cab 카	38
<그림 2.27> 현대로템 미국수출형 2층 열차-열차편성	38
<그림 2.28> 네덜란드 2층 열차	39
<그림 2.29> 차량구조 및 좌석배치도(4량 1편성)	39
<그림 2.30> 차량 단면과 좌석배치도	41

<그림 2.31> SBB 2층 열차(Twindexx, 제작사 : Bombardier, 2010 발주).....	42
<그림 2.32> SBB 2층 열차(Twindexx, 제작사 : Bombardier) 2층 객실	42
<그림 2.33> ITX-청춘 2층 열차 2층 단부 외형	49
<그림 2.34> ITX-청춘 2층 열차 1층 객실	50
<그림 2.35> ITX-청춘 2층 열차 2층 객실	50
<그림 2.36> 프랑스 고속열차 AGV 모습	53
<그림 2.37> 프랑스 AGV 열차의 외형	53
<그림 2.38> 독일 차세대 2층 고속열차인 NGT 차량 조감도	54
<그림 2.39> 일본 JR-East의 2층 고속차량인 E1/E4 열차의 차량 단면도	55
<그림 2.40> 2층 고속열차 관련 특허 전체 연도별 동향	73
<그림 2.41> 2층 고속열차 관련 전 세계 기술시장 성장현황	74
<그림 2.42> 각 국가별 기술시장 성장현황	75
<그림 2.43> 2층 고속열차 관련 세부기술별 점유율 분석	76
<그림 3.1> 2층 고속열차 기술개발 비전 및 목표	85
<그림 3.2> 2층 고속열차 개발과제 산학연 추진전략	87
<그림 3.3> 인간공학적 공간 디자인 기술을 활용한 concept train	88
<그림 3.4> 차량/시설물 인터페이스 검토	89
<그림 3.5> 경량화 복합소재 적용 검토	89
<그림 4.1> 2015년 오송역 중심의 고속철도망 및 주요시설	100
<그림 4.2> 제2차 국가철도망 구축 계획(2011->2020) 철도통행시간 분포변화	102
<그림 4.3> 장래 교통수단 분담률 예측 변화	103
<그림 4.4> 교통수단별 탄소배출량 비교	103
<그림 4.5> 전두부,전방출구,객실,후방출구의 선택적 조합을 통한 맞춤설계	107
<그림 4.6> 세계 고속철도 Network	109

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

1절 2층 고속열차 개발 필요성

전 세계의 고속철도 철도망 증대에 따른 고속열차의 수요가 증가되면서 고속열차를 통한 생활권의 확장에 따라 고속열차 수송력 증대에 대한 관심이 증가하고 있다. 이미 일본과 유럽의 철도 선진 국가는 수송력 증대와 고속열차의 편의 공간확보를 위한 대안으로 2층 고속열차 운영을 진행하고 있다. 철도차량은 타 운송수단에 비해 녹색수송 수단으로 에너지 효율 및 친환경성에 대하여 우월성을 가지고 있지만, 타 운송수단에 비해 승객 1인을 수송하기 위해 부가적으로 이동시켜야 하는 차량의 중량이 큰 상태이다. 차량정원을 기준으로 KTX-산천의 경우는 1인당 1.1ton에 해당되는 중량을 이동하여야 한다. 이러한 비 효율적인 부분을 보완하기 위하여 철도차량 경량화에 대한 연구를 지속적으로 진행하고 있으며, 이와 더불어 2층 열차와 같은 동일 차량 중량대비 수송력을 증대하는 방안에 대한 연구가 진행되어야 한다. 2층 고속열차를 통한 수송력 증대 및 공간확대는 수송수단으로써 에너지 효율을 극대화하는 방안일 뿐만 아니라 승객 편의공간의 확보를 통해 이동간의 편안함과 안락함을 극대화 시키는 수송수단으로 역할을 할 수 있게 될 것이다.

2층 고속열차의 수송력 증대를 실현하기 위해서는 필수적으로 경량화 기술을 확보하여야 하며 고속주행에 대한 안전성 및 주행저항 감소에 대한 기술이 요구되어진다. 수송력의 증대 및 2층 구조를 통한 차체부피 증가에도 불구하고 차량중량을 유지하기 위해서는 국내의 경량화 기술을 차체 및 차량시스템 차원에서 활용하는 경량화 최적화 기술이 요구되어진다. 또한 승객의 증가에 따른 승하차 시간 단축 및 복층 구조를 통한 이동 경로를 고려한 출입문 및 계단 등의 차체구조 설계는 승객의 수, 정차역간의 거리 및 플랫폼의 형태등을 반영하는 인터페이스 설계기술을 요구하게 된다. 그 외에도 철도 구조물과의 인터페이스를 고려한 외부형상에 대한 검토 및 성능검증 예측 기술이 요구되어진다. 2층 열차의 무게중심의 상승은 고속열차의 주행안전성 확보 측면에서 면밀히 검토되어야 하는 측면이며 높이의 증가는 공력 및 주행안정성 측면에서 인프라를 고려하여 국내의 축적된 검증 및 예측 기술을 통해 평가되어야 한다. 또한 표면적의 증가 및 단면적의 증가는 고속열차 주행저항 측면에서 회피하여야 부분이기에 공기저항의 증가에 대한 감소 방안 연구를 본 기술개발과 함께 이루어져야 할 것이다.

수송력 증대를 위한 2층 고속열차 시장의 세계적인 확장 추세를 따라잡기 위해서

는 국내 고속열차의 개발기술 및 축적된 경량화 기술을 기반으로 2층 고속열차에 대한 국내 기술 확보가 반드시 이루어져야할 것이다. 이는 고속열차 시장을 해외로 확대시키는 기술을 확보하게 할 뿐만 아니라, 더 나아가 차세대 2층 고속열차 기반 기술을 확보하게 함으로써 세계의 타 2층 고속열차 보다 우월한 경쟁능력을 가지는 기회를 제공하게 될 것이다.

<표 1.1> 세부과제별 소요기술

세부과제	과제별 소요기술
2층 고속열차 핵심 기술개발	- 차량개발을 위한 총괄적인 SE 기술 - 인터페이스를 고려한 개념설계 기술 - 차량시스템 경량화 및 용접기술 - 개발차량에 대한 성능 및 안정성 예측 평가 기술 - 차량과 인프라간 인터페이스 검토기술 - 차량 및 구성품 성능평가 기술 - 중련운전을 고려한 차량연결시스템 향상 기술 - 시험운전을 통한 차량 신뢰성 평가 기술 - 2층 고속열차의 사양 및 설계기준 제시 기술
2층 고속열차 설계·제작·시험 및 통합 기술개발	- 경량화 2층 구조의 차체분야 최적 설계·생산 기술 - 2층 차체에 적합한 대차 인터페이스 분야 기술 - 경량화 및 소형 제동시스템 분야 설계·제작 기술 - 부수객차 경량화 및 전장품 분야 설계·제작 기술 - 승객편의를 위한 실내 및 의장 디자인 기술 - 쾌적성 향상을 위한 공기조화 분야 설계·제작 기술 - 기밀도 향상을 위한 연결막 및 승강문 분야 기술 - 2층 고속열차용 차량 연결시스템 분야 설계·제작 기술

본 기술개발은 크게 시스템엔지니어링 기술과 차량제작 기술 2개 부분으로 나누어 진행되어 져야 한다. 1세부과제인 시스템엔지니어링 기술은 차량개발을 위한 총괄적인 SE 기술 이외에도 인터페이스를 고려한 개념설계 기술, 차량시스템 경량화 기술, 개발차량에 대한 성능 및 안정성 예측 평가 기술, 차량과 인프라간 인터페이스 검토기술, 차량 및 구성품 성능평가 기술 및 시험운전을 통한 차량 신뢰성 평가

기술 및 국내 최초로 개발되어지는 2층 고속열차의 사양 및 설계기준을 제시하는 기술을 포함한다.

2세부과제는 2층 고속열차 차량개발을 위한 설계, 제작 및 조립에 필요한 기술을 기반으로 국내 2층 고속열차의 설계·해석·제작·시험평가를 수행하는데 기술개발의 목적을 둔다. 부수객차 개발로 추진되어지는 2층 고속열차의 개발에 필요한 구성품을 중심으로 경량화 2층 구조의 차체분야, 2층 차체에 적합한 대차 인터페이스 분야, 경량화 및 소형 제동시스템 분야, 부수객차에 필요한 경량화 전장품 분야, 승객 편의를 위한 실내 및 의장 디자인 분야, 쾌적성 향상을 위한 공기조화 분야, 기밀도 향상을 위한 연결막 및 승강문 분야 및 차량 연결시스템 분야로 구분하여 각 분야에 필요한 2층 고속열차 구성품 설계·해석·제작·시험평가 기술 확보를 수행한다.

본 연구를 통해 필요한 소요기술을 <표1.1>에 정리하여 나타내며 각 기술에 대한 정의와 필요성을 상세히 기술하고자 한다.

2절 2층 고속열차 핵심 소요기술

2층 고속열차 핵심기술을 확보하기 위해 필요한 소요기술은 개별적으로는 각 분야의 성격을 가지고 있지만 최적의 연구결과를 얻어내기 위해서는 크게는 철도시스템 작게는 차량시스템에 대한 이해도와 경험을 기반으로 개별 기술을 적용하고 분석하여야한다.

1. 차량개발을 위한 총괄적인 SE 기술

차량개발을 위해 전체적인 추진 계획/일정을 총괄적으로 관리하여 설계/제작/시험/조립의 단계에 필요한 성능예측 및 평가가 적절하게 추진될 수 있도록 사업전체를 관리하는 역할을 수행한다. 본 기술에서는 시스템 요건/분석을 통해 제공된 조건을 고려하여, 기존의 고속열차 기술개발을 통하여 축적된 기술 및 기반기술을 적용하여 차량시스템 및 하위시스템의 사양을 결정한다. 해외 2층 고속열차의 개발 추이를 지속적으로 모니터링하여 연구 방향을 보완하며 국내의 경제적 및 사회적 변화에 부합되는 연구 결과물을 창출할 수 있는 관리를 수행한다.

2. 인터페이스를 고려한 개념설계 기술

철도시스템 인터페이스 기술은 통합설계 시스템을 적용하여 차량시스템을 설계할 때 차량의 각 하위시스템간의 인터페이스를 고려하는데 필요한 기술이다. 즉, 차체/대차, 제동시스템/추진시스템, 차체/HAVC시스템, 판토품/전차선 및 차상/

지상 신호 사이의 인터페이스를 고려하는 설계 기술로 전체시스템의 성능요건 결정 및 하위시스템간의 요구조건 할당에 필수적이다. 국내의 차량개발의 축적된 차량시스템 설계 기술을 기반으로 국내의 실정에 부합한 최적의 2층 고속열차를 구현하기 위한 개념설계를 수행한다. 충분한 인터페이스를 고려하고 개념설계 기술은 설계공정을 단축하는데 크게 기여하며 최적의 차량개발의 기본 틀의 역할을 수행한다.

3. 차량시스템 경량화 기술

수송력 증대를 위한 2층 고속열차의 연구의 성패를 좌우할 수 있을 정도의 중요 기술로써 차체 부피 증가 및 승객 증가에도 불구하고 고속열차의 축중 17ton을 만족하는 경량화 기술은 가장 필수적인 기술이라고 할 수 있다. 차체 골조구조의 경량화를 포함하여 용접 및 접합의 경량화, 객실 설비의 경량화 및 구성품의 경량화를 위해 차량 제작의 전 과정 동안 SE와 더불어 지속적으로 추진되어야 한다. 경량화 기술은 설계 및 해석의 단계에서 뿐만 아니라 제작 및 조립 그리고 성능검증의 단계까지 타 기술과의 연계성을 유지하여야 한다. 2층 열차의 승객 수송능력을 결정하는 가장 중요한 기술이며 세계적인 2층 열차 개발로 세계시장에 경쟁력을 확보하기 위해서는 차체구조의 시스템 분석을 통한 최적 골조설계를 도출하여야 한다. 또한 충분한 강도를 유지하면서 차량연결간의 하중 지지부의 설계를 최적화 하여야 한다. 부속실의 배치 및 객실설비의 배치에도 경량화 기술을 활용하여야 하며 작은 부품까지도 최대한의 경량화를 구현할 수 있도록 하여야 한다. 유지보수 및 호환성을 고려하여 구성품의 부품은 기존의 부품을 활용하지만 구성품의 외함 등은 차량 하부의 배치가 아니 객실 내 배치를 고려하여 경량화 재질을 활용한다.

4. 개발차량에 대한 성능 및 안정성 예측 평가 기술

본 기술은 설계의 단계에서 설계 오류를 미연에 방지하는 기술로써 설계(안)을 통한 사양을 최종결정하는 기술이라고 말할 수 있다. 크게는 차량의 형상부터 작게는 부속장치의 사양까지 검토하여 차량시스템 성능과 안정성을 평가하게 된다. 차량의 정적 및 동적 특성 및 거동, 형상에 따른 공력의 특성, 무게중심의 변화에 따른 주행안정성 평가, 경량화 차체구조의 강도특성을 포함하여 탈선안전도, 주행저항, 실내환기등의 성능 및 안정성을 설계의 단계에서 예측 평가하게 된다. 본 기술의 평가기술은 단 분야의 성능예측에 국한되지 않고 차량시스템 및 인프라 시스템과의 인터페이스를 고려하여 진행되어야하며 이를 위해서는 철도시스템 전반에 걸친 지식을 보유한 전문 인력에 의해 수행되는 것이 바람직하다.

5. 차량과 인프라간 인터페이스 검토기술

2층 공간의 확보를 위한 차량 높이의 증가에 따른 2층 고속열차의 차량한계에 대한 검토 및 저상 플랫폼에 적합한 승강문 및 1층 차량 바닥 높이등에 대한 검토를 위해 요구되는 기술이다. 또한 터널내 미기압파의 변동 특성 및 터널내 후부 판토 그래프의 공력특성에 대한 압상력 변동특성의 검토가 본 기술을 통해 수행되어져야 한다. 객실의 부속공간과 계단의 배치의 주요인자인 승강문의 위치를 결정하는 플랫폼의 높이가 1층 floor의 높이보다 다소 높은 관계로 개념설계 단계부터 면밀한 검토가 진행되어져야 할 것이다.

6. 차량 및 구성품 성능평가 기술

개발된 차량은 실제 운행에 들어가기 전에 부품레벨에서부터 시스템레벨까지 성능 및 안전성에 대한 시험 평가가 이루어져야 한다. 2층 고속열차 시스템은 많은 부분에서 기존 고속열차 차량에 적용된 공장 내 시험 및 시운전 시험 절차에 따라 시험을 수행하고 평가할 수 있다. 하지만 형상의 증가와 2층 구조에 따른 일부 시험평가 방법 및 기준에 대해서는 국제 기준 등을 기반으로 2층 고속차량에 적합한 시험절차 및 평가기준의 확립이 필요하다. 효율적인 시운전시험을 위해 첨단 IT 및 스마트센서 등의 기술을 적용한 종합계측 시스템 및 모니터링 시스템의 개발이 필요하다.

7. 시험운전을 통한 차량 신뢰성 평가 기술

국내의 G7 시험운전 및 틸팅열차 시험운전의 축적된 경험을 통해 시제열차의 신뢰성은 단계별로 검증하고 평가하는 기술로써 상업화를 위해 신뢰성을 확보하여야 하는 2층 고속열차의 개발사업에 필수적인 기술이다. 차량의 주행성능 및 안정성을 확인하고 신뢰성을 평가하기 위해 구축되는 계측시스템을 통한 자료 수집 기술과 자료 분석 기술을 포함한다. 또한 시험인증에 필요한 2층 고속열차의 시험절차 구축 및 단계별 시험을 수행하는 증속시험을 총괄하는 핵심 기술이다.

8. 2층 고속열차의 사양 및 설계기준 제시 기술

본 연구를 통해서 국내 최초로 개발 제작되는 2층 고속열차이기 때문에 국내의 환경을 고려하여, 추후 발생하는 발주 편성에 대한 제작 사양 및 설계기준을 구축하여야 한다. 또한 일반 고속열차와의 상이함을 고려한 시험절차에 대한 기준을 제시하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 설계 초반부터 구축된 사양서에 대한 지속적인 관리를 통해 국내의 조건에 적합한 사양을 보완하여 최종 설계기준(안)을 제시할 수 있어야 한다.

3절 2층 고속열차 설계, 제작, 시험평가 및 인터페이스 기술

본 연구를 통해서 개발되어지는 2층 고속열차는 시제열차 제작에 기존의 KTX-산천의 주요 부품을 동일하게 사용함으로써 기존 고속열차와의 유지보수에 추가적인 시설투자가 발생되지 않도록 하고자 한다. 개발되는 차량은 단부대차와 관절대차의 기존 기술을 최대한 활용할 수 있도록 설계되어지며 2층 구조의 특성을 고려한 인터페이스 조정 및 보완을 수행한다. 부수객차의 경우는 추진시스템을 가지고 있지 않으며 전장품으로써는 크게 보조전원장치(SIV)와 차량 배터리를 일정의 차량에 분배하여 배치하게 된다. 각 차량은 공기제동제어시스템, 공기조화 시스템을 객실 내에 설치하여야 한다. 따라서 본 차량 개발연구에 요구되는 주요 구성품과 주요 설계기술을 정리하면 <표 1.2>와 같다.

<표 1.2> 2층 고속객차 시스템의 구성품 및 설계 기술 분류

구분	구성품	설계 기술
차체(내장, 연결장치 포함)	- 본체구조 - 기계적 연결장치 - 전기신호 연결장치 - 차량연결막 - 완충장치 - 내장설비 - HVAC 시스템 - 급/배수 시스템	- 차체 형상 및 구조 설계 - 공력해석 설계 - 충돌·강도 해석 - 진동·소음 해석 - 공기유동 해석 - 기밀설계 - 소재 / 가공공정 개발 - 경량화 설계 - 기구설계 - 완충설계 - 난연·불연 설계 - 인체공학 설계
대차	- 제동장치 - 현가장치	- 진동·소음 해석 - 동력학해석 - 마모, 열변형 해석 - 성능시험
추진 및 제동시스템	- 보조전원장치 - 기계제동장치 - 공기압축기	- 열, 강도 설계 - 진동·소음 해석 - 소재(동선, 축, 프레임, 코어) - 공간배치 설계 - 공압관 연결장치 설계 - 성능(충격) 시험 - 절연설계 - EMI 해석 - 구조경량화 설계
기타 주요부품	- 제동부품 - 구조부품 - 현가장치 - 차량부품 - 전기부품	- 공력설계 - 구조설계 - 강도 해석 - 진동·소음 해석 - 열변형 해석 - 동역학/기구설계 - 소재 / 가공공정 개발 - 충격설계 - EMI 해석

1. 경량화 2층 구조의 차체분야 제작 기술

최근에는 컴퓨터를 이용한 대용량 계산 기술이 급속하게 발전하고 있기 때문에 철도차량 시스템과 같은 대형 구조물에서도 주어진 설계조건(응력, 변위, 치수, 내구성, 안전성, 시공성, 기능, 미관 등)을 모두 만족하면서 제조경비를 최소화 하는 최적설계가 가능하다. 철도차량의 안정성은 인명피해와 직접 관련이 있기 때문에 설계 시 가장 중요한 요소가 되며, 승객들의 수송수단에 대한 눈높이의 증가로 소음·진동과 관련된 승차감 또한 중요한 설계 변수가 되고 있다.

차량의 경량화를 구현하기 위해서는 해석을 통해 얻어진 구조에 대한 압출 형상 구현과 용접과 접합을 통한 차체 가공 및 조립 기술을 요구한다. 본 기술은 핵심기술개발과제의 경량화 기술과 성능검증 기술에 밀접한 연계성을 유지하며 상호 피드백을 통한 기술개발이 진행되어져야 한다.

2. 2층 차체에 적합한 대차 인터페이스 분야 기술

본 기술은 성능예측기술의 차량 정적 및 동적 거동 예측 기술과 주행안전성 평가 기술과 연계되어 예측되고 평가된 결과를 대차의 인터페이스 관련 장치의 수정 및 보완을 진행하는 제작기술이다. 경량화 2층 구조 차체의 진동특성을 고려하여 차체 고유주파수에 부합되는 대차의 현가시스템을 재평가하여 2층 차체에 적합한 대차 인터페이스 장치를 구성하여야 한다. 대차의 기본구성의 변화를 최소화하여 2층 차체에 대한 주행안전성과 진동특성에 부합한 대차 내 현가장치를 구현하여야 한다.

3. 경량화 및 소형 제동시스템 분야 제작 기술

부수객차에서 사용하는 기초제동장치는 대차에 취부되어 있는 것으로 본 연구의 연구 분야에서는 제외된다. 다만 기초제동장치를 제어하는 제동제어장치(BOU) 및 주공기압축기의 실내 부속실 배치에 대한 제작 기술이 요구되어진다. 우선적으로 장치의 소형화와 경량화 기술이 수행되어져야 하며 주공기압축기의 경우는 소음에 대한 대책이 요구되어진다. 제동제어기술에 대해서는 통근형 2층 열차의 승객의 수송변화가 클 것을 고려하여 응하중제어를 적용하여야 한다. 차량의 고속주행에 따른 제동 성능은 안전과 직결되는 문제이므로 출력 최대화, 고속 고토폰 운전기술, 속도-토폰 패턴 최적화 기술과 함께 속도 제어와 제동제어 기술도 확보되어야 한다. 제동시스템은 고속차량의 속도조정, 목표제동, 승차감 개선 등을 위해 최적 제동제어 기술 확보와 함께 안전성을 위한 중복설계 등의 요구 조건을 만족시켜야 한다. 제어장치와 공기통의 실내 배치에 따른 공기배관의 경로에 대한 설계가 진행되어져야 한다.

4. 부수객차에 필요한 경량화 전장품 분야 제작 기술

부수객차를 개발하는 경우는 추진시스템에 관련된 전장품의 개발 연구분야에 포함되지 않을 수 있다. 다만 객실의 서비스 전력을 공급하는 보조전원장치의 소형화 및 경량화 연구가 진행되어야 한다. SIV는 하부기기중 상당한 중량과 크기를 가지고 있으므로 이를 객실에 배치하기 위해서는 필수적인 기술개발이 요구된다. 기존 부품과의 유지보수성을 고려하여 유지보수성 부품은 기존 부품을 사용하면서 중량의 경량화와 부품 재배치를 통한 소형화를 구현하여야 한다.

5. 승객편의를 위한 실내 및 의장 디자인 기술

본 연구는 통근형 2층 고속열차에 초점을 맞추고 진행하는 과제로서 그 목적에 부합된 실내 및 의장 디자인이 구현될 수 있어야 한다. 일반열차에 비해 계단을 통한 이동이 이루어져야 하는 특성과 부속실에 전장품의 배치공간을 고려하여 실내 및 의장 디자인이 진행되어야 한다.

6. 쾌적성 향상을 위한 공기조화 분야 제작 기술

2층 구조를 가지고 있는 2층 열차의 각 객실내 공기조화의 특성과 부속실을 통한 1층과 2층의 공기흐름을 고려한 배출구와 리턴구의 위치 선정 및 내부 공기덕트의 경로 설계 및 제작 기술이 요구되어 진다. 2층의 경우는 선반의 설치를 최소화하더라도 2층 상부로 덕트를 형성하기에는 어려움이 많은 상태이며 각 층의 높이가 일반열차에 비해 작은 특성과 입석 승객에게 직접적으로 분출되는 공기의 불쾌감을 최소화 하면서도 객실 전체에 공기의 유속이 균등하게 분포되는 공기조화 시스템을 설계 및 제작하여야 한다.

7. 기밀도 향상을 위한 연결막 및 승강문 분야 기술

고속열차의 기밀유지 이상으로 차량 단면적의 증가에 따른 터널 내 압력 상승을 고려하며, 통근형 수송력의 수용을 위한 2개 승강문의 적용은 차량 기밀에 어려운 요인으로 작용되어 진다. 따라서 기밀도를 최대한 할 수 있는 갱웨이와 승강문의 기술개발이 필수적으로 요구되어지며, 단부의 출입문 및 객실 출입문의 적용을 검토하여야 한다. 이와 더불어 부속실에 배치된 전장품은 부속실의 소음원을 증가시킬 것이며, 이를 객실과 차단하기 위한 기술개발이 필요하다.

8. 2층 고속열차용 차량 연결시스템 분야 제작 기술

관절대차의 특성을 고려한 KTX-산천에 적용된 차량 연결 시스템을 적용하지만

센터실과 언더프레임의 높이가 상이한 차체 구조의 특성과 단면적 증가 특히 높이 증가에 따라 차량연결 시스템에 미치는 영향을 검토하여야 한다. 필요에 따라서는 추가적인 보조 연결시스템을 구상하여야 하며 안정성 확보를 위한 현가장치의 적용도 검토되어야 한다. 본 기술은 추후 1층/2층 single-level 구현을 위한 차세대 2층 열차에 기술개발을 통해 적용되어야 하는 기반기술을 확보하는 목적을 가진다.

제 2 장 국내외 동향 및 환경분석

전 세계의 고속열차 기술개발과 이를 활용한 교통정책에 대응하는 2층 고속열차의 동향을 정리하고자 한다.

1절 국내외 정책 동향

고속열차를 활용 극대화를 위한 국내외 정책동향은 수송증대를 위해 2층 고속열차 활용을 증대시키고 하는 추세이며 국내와 국외를 구분하여 정리한다.

1. 국내 정책 동향

정부는 “제2차 국가철도망 구축계획 2011~2020년” (2011.4.4)을 통해 프랑스 TGV-Duplex, 일본 E4-Max 등 2층 고속열차 운행 중으로 기존 열차에 비해 좌석용량 30~40% 증대되어진 예시를 명시하여 높은 수송 효율로 가격인하가 가능한 2층 고속열차 도입을 추진하고자 하고 있다.

또한 “국가기간교통망계획 제2차 수정계획 2001~2020년” 추진전략에서도 고속철도를 중심으로 한 주간 선망과 연계수송 체제를 구축하고, 철도 수요증대 및 효율성 강화에 중점을 두어 정부 정책을 추진함을 명시하고 있다. 녹색교통수단으로서 철도차량의 활성화를 위해 고속철도망 적기 완공 및 전국 고속화 간선철도망을 구축하고 철도산업을 고부가가치 성장동력으로 육성하고자 한다. 철도산업을 시장지향적으로 육성하고자 하며 맞춤형 열차운행 (2층 열차 및 입/좌석 병용열차 개발 등) 등을 도입할 계획을 가지고 있다. 저탄소 녹색성장을 위한 교통 SOC 투자 방향을 전환하여 철도 투자확대, 대중교통활성화 및 녹색교통 기술개발 추진하고자 한다. 도로·철도 등 국가교통체계의 종합 조정을 통해 고속철도의 적기완공과 간선철도의 고속화·전철화를 추진하여 전국 고속화 철도망 구축 및 속도 경쟁력을 확보하고자 한다.

국토해양부 2012년 업무보고(2011.12.27)를 통해서 이미 세종시 출범(‘12.7)과 ‘14년까지 3단계로 구분하여 36개 중앙행정기관 등 이전 완료 예정이며, 녹색교통/도시의 성공적 안착을 위하여 철도중심 교통기반 구축, 철도관광 활성화 등의 추진계획을 가지고 있음을 표명하였다.

행정복합도시인 세종시에 9부2처2청 등 36개기관 10,452명의 공무원 2012년부터 2014 년간 이주 계획으로 인한 민원인 및 공무원 출퇴근자의 폭발적 증가가 예상되

고 있으며, 오송 생명과학단지에는 기업체, 대학, 연구소, 국책기관이 집적된 생명공학 클러스터로 구성되어 2010년 말 현재 식약청, 질병관리본부, 식품의약품안전평가원, 국립보건연구원 등 6개기관 2,400여명이 서울~오송 구간의 출퇴근 여객의 폭발적 증가로 2012년 3월 현재 KTX 수송에 한계가 기 도래되어있는 실정이다. 따라서 정책적으로 고속철도 서울 ~ 오송 구간 출퇴근시간 수송력 한계 도달시점을 2014년으로 예상하고 있으며 이를 위한 해결 방안 도출이 필요하다.

국내 고속철도는 2004년 4월 1일 프랑스 TGV-A 차량 변경 제작 통한 KTX 경부 고속철도 개통을 시작으로 2007년 10월까지 G7 고속전철기술개발사업을 통해 한국형 350km/h급 고속열차 시스템이 개발하여 2004년 12월 시험최고속도 352.4 km/h를 기록하면서 국내 고속열차 제작기술을 확보하였다. 2010년 3월 HSR-350X의 상용화 모델로 호남선과 전라선 운영 목적으로 우리기술로 만든 최초의 상용 고속열차 KTX-산천을 개통하였으며, 2007년부터 최고속도 430km/h 동력분산식 고속철도 시스템 및 핵심기술 개발사업 진행하여 차량제작을 완료하여 시험운전을 준비하고 있다. 최근 2012년 180km/h급 동력분산식 2층 광역급행열차 경춘선 ITX를 개통하여 2층 열차를 활용한 수송력 증대를 현실화 하고 있으며, 고속열차를 확대에 따른 출퇴근 거리의 확대에 따른 통근형 2층 고속열차의 필요성이 대두되고 있다.

또한 대수송량을 가지는 2층 고속열차가 수도권과 원활한 연계를 구축하기 위해서 도심의 도시철도를 활용하여 운행할 수 있도록 2층 고속열차 기술개발 연구항목에 이를 반영한 기술개발이 이루어 질 수 있어야 한다. 도시철도를 혼용하는 고속열차는 수도권선과 고속선의 환승시간을 단축시킴으로써 도시간 이동시간을 더욱 단축시킬 수 있는 이점을 가지고 있다.

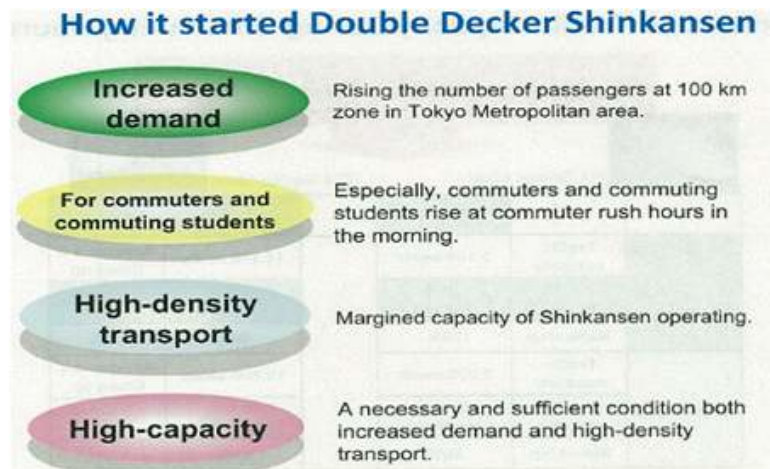
2. 국외 정책 동향

2층 고속열차를 운행하고 있는 곳은 일본 및 유럽지역이다. 국외 정책 동향에서는 2층 고속철도 운행국가에서의 2층 고속열차를 도입하게 된 정책적 배경과 세계 최고의 고속철도망을 가진 중국의 고속철도 정책 중심으로 살펴보면 다음과 같다.

가. 일본

2층 고속열차를 가장 먼저 운행하기 시작한 일본의 경우에는 일본의 수도권과 동북지역을 기반으로 영업을 하고 있는 JR-East이다. JR-East에서 운행 중인 이층 고속열차는 1994년에 영업 운행을 시작한 E1열차와 1997년에 영업운행을 시작한 E4열차가 있다. 일본의 2층 고속열차가 계획되어지고 수립된 배경에는 크게 네 가지 요소가 있다.

첫 번째는 급증하는 수요에 대한 대비책이다. 동경대도시권역 중심으로부터 100km 거리 정도에 거주하고 있는 사람들이 급증함으로 인한 고속철도 이용 수요 발생이다. 두 번째로는 출퇴근 시간 급증하는 학생들과 직장인들의 출퇴근 수요에 대한 서비스 제공문제이다. 세 번째로는 일부 구간에 대한 고속 신칸센 운행 선로 용량 한계에 대한 기술적인 문제이다. 마지막으로 급증하는 고속철도 수요와 고밀도 운행을 합리적인 선상에서 해결 할 수 있는 기술적인 대안이 필요 부문이다. 이에 대한 것이 <그림 2.1>이다. <그림 2.2>은 일본에서 운행하고 있는 2층 고속열차인 E1 및 E4 열차의 개발 및 상업 운행 시점을 제시해 주고 있다. 그림 2-2-2에서 보는 바와 같이 2층 고속열차 개발 시점은 고속열차 운행 시점으로부터 약 7년 정도 경과 된 시점에서 늘어나는 신칸센 이용객을 위해 개발되어 졌음을 알 수 있다.



<그림 2.1> 일본 신칸센 2층 고속열차 개발 배경



<그림 2.2> 일본 신칸센 2층 고속열차 개발 및 운행 시기

나. 프랑스

프랑스에서의 2층 고속열차를 개발하게 된 가장 큰 이유는 파리 ~ 리옹 구간이 1981년 TGV 개통 이후 7년 이후 고속철도 이용 승객 증가가 수송용량을 초과하게 된 것이다. 파리 ~ 리옹 구간의 수송 용량 포화 상태를 극복하기 위한 대안으로 크게 세 가지가 제안되었다.

첫 번째가 바로, 열차 투입 시간을 단축하여 열차 투입 시간인 Headway를 약 3분까지 짧게 하는 것이었다. 이는 복잡하고 정교한 신호시스템 및 고성능 제동장치가 요구되어 더 많은 열차를 투입하여 수송용량을 증대시키는 방법으로는 기술적인 문제와 안전문제가 결부되어 더욱 복잡한 문제가 나오게 되어 이 방법을 적용하는 데에도 한계가 있는 것으로 평가되었다 .

두 번째인 TGV 열차를 고속화 하는 프로그램이다. 이 프로그램은 기존 고속선로에서 주행하는 TGV 차량 주요 구성품의 신뢰성 문제와 궤도 및 전차선 같은 인프라 유지보수비의 증대 등으로 인하여 1987년 당시 TGV가 운행되고 있는 노선에서의 속도 향상은 재정적인 문제와 기술적인 문제가 함께 대두되어 중장기적으로 접근하여, TGV 신규 노선 건설 시 인프라와 신규 고속차량 개발을 함께 진행하는 것으로 결정되었다.

세 번째로 남은 프로그램이 바로 한 번의 운송으로 수송 용량을 증대 시키는 2층 고속열차 개발을 검토하는 것이다. 프랑스 철도공사인 SNCF에서 파리 ~ 리옹 노선과 같이 여객 수송이 포화 상태인 노선에 대한 극복 대안으로 가장 경제적인 프로그램으로 2층 고속열차인 TGV-duplex 개발관련 타당성 조사를 1987년 파리 ~ 리옹 구간 승객이 급증하는 대안 측면에서 타당성 조사를 실시하였다. 1988년 본격적인 개발 프로그램에 따라 Mock-up을 제작하여 승객들의 반응을 검토하였다. 2층 고속열차의 기술적 문제점 등을 극복하기 위한 열차의 동적 거동관련 공기저항을 최소화 할 수 있는 구조, 2층 구조에 따른 경량화를 위한 알루미늄 압출재적용, 열차 충돌 시 승객 안전을 위한 충격흡수장치설계, 팬터그래프의 성능향상, 경량화를 위한 기존 디스크 제동장치를 차륜-답면디스크 제동을 통한 경량화를 위한 설계 구조 변경, 객실의 이층 구조에 따른 구조해석 등을 시뮬레이션을 통해 검증 한 후 마지막으로 승객 서비스 개선 차원에서의 객실 구조 결정 등을 통해 승객을 45% 증가시킬 수 있는 2층 열차인 TGV-duplex 열차 제작을 1990년 착수하여 1995년 6월 21일 1편성 열차가 나오게 되었다. TGV-duplex 주요 연혁을 정리하면 <표 2.1>과 같다. 특별히 프랑스에서의 TGV 고속열차는 2007년 이후 발주되는 모든 차량은 TGV-duplex 또는 TGV-Euroduplex 열차와 같은 2층 고속열차로 한정하여 발주하는 것으로 정책이 결정되었다. <그림 2.3>은 TGV-duplex 열차 모습이다.

<표 2.1> TGV-duplex 개발 및 운용 주요 연혁

연도	주요 내용	비고
1987	TGV-duplex 개발 타당성 조사	SNCF
1988	TGV-duplex Mock-up 제작	SNCF
1990	TGV-duplex 관련 동적거동 해석 및 경량화 개념 정립	SNCF
1991	TGV-duplex 설계 및 제작 착수	GEC-Alsthom
1994	TGV-duplex 시제차량 주요 성능평가 시험 노선 : Sud-Est line 시험속도 : 290 km/h	SNCF+GEC-Alsthom
1995	TGV-duplex 1편성 완성	SNCF+GEC-Alsthom
1995-1998	TGV-duplex 1차(PC1+8T+PC2) 30편성 운행노선 : LGV Sud-Est 최고속도 : 300km/h	SNCF
2001-2004 2004-2006	TGV-duplex 2-5차(PC1+8T+PC2) 59편성 운행노선 : LGV Sud-Est 최고속도 : 300km/h	SNCF
2007	프랑스 고속열차 발주 기준 통일 ; TGV-duplex 차량	SNCF, Alsthom
2007-2012	TGV-duplex 차량은 독일, 프랑스, 스위스, 룩셈부르크, 스페인에서 운행 Euroduplex 또는 Dasye로 명명, 95편성 최고속도 320km/h	SNCF
2007	TGV-duplex AGV 1편성 동력분산식, 최고주행속도 574.8km/h	SNCF
2010	TGV-duplex 14편성 최고속도 320km/h	Morocco ONCF 발주 Alsthom 제작
2012. 4. 3	TGV-Euroduplex 40편성 발주 최고속도 320km/h	SNCF



<그림 2.3> 프랑스 SNCF의 TGV-duplex 열차 모습

다. 독일

독일에서의 고속철도 운행은 10여년 간의 연구개발과 제작 및 시험평가를 통해 1991년 6월부터 최고운행속도 250km/h의 ICE(Inter-City Express)열차의 상업 운행을 시작으로 고속철도 시대를 맞이하였다. 독일에서의 고속철도차량 운행 계획은 1972년부터 시작된 ICEexpress 개발계획이다. 이 계획에 의거하여 총 10년간의 연구개발과 3년간의 차량제작과 고속선로건설, 3년간의 주행시험을 거쳐 1991년 6월부터 ICE의 상업운행에 들어간 것이다.

독일 고속철도차량인 ICE의 출현은 1985년 9월 독일 연방정부의 전국 교통망을 종합적으로 발전시키기 위한 “국가수송망 정비계획(Federal Traffic Routes Plan '85 or BVMP '85)"에서 채택 실행된 것이다. 이 계획은 5년마다 수정·보완되는 것으로, 향후 10년에 걸친 수송정책 분야의 투자 목표를 설정하는 것이다. BVMP '85에 의하면 약 400억 마르크가 소요되며 여기에는 신선과 개량된 기존선에 투자된 금액뿐만 아니라, 훨씬 후에 수행될 계획에 소요되는 금액도 포함되었다. 실제로 DB는 10년간 연방정부로부터 210억 마르크를 받았고, 이로써 기존선의 정비와 개선은 물론 ICE용 신선 건설을 추진할 수 있게 되었다. ICE 차량 운행 초기 최고속도는 신선에서 250km/h이다. 이 최고속도 250km/h는 독일 법률에 의해 제한된 속도로서, 300km/h의 상업운전에도 기술적인 문제는 없는 것으로 알려져 있다. 고속 신선에서의 최소 곡률반경은 5,100m, 최급구배는 12.5‰이다. 궤도구조는 자갈도상이고, 60kg/m의 레일을 사용하고, 많은 터널과 교량이 있다. Mannheim과 Stuttgart 사이의 100km에서 터널이 42%, 교량이 7%이다. ICEexpress 열차의 기본 편성은 양단의 동력차와中间的의 12량이 객차로 이루어진다. 객차는 수송수요에 맞추어 14량까지 증가 가능하다. 객차들은 재래식의 대차 방식으로 되어 있다. 예정된 노선에는 많은 터널이 있고 감속 없이 주행될 예정이므로 터널 통과 시 발생하는 압력파에 대해 우려가 있었다. 차량 기밀을 유지하며 승객이 느끼는 갑작스런 압력변화 충격을 완화하기 위해 차내를 가압하고 있다. 통상적인 연결기와 대차 배치로서 ICE는 대부분의 승객 서비스에 정상적인 유연성을 가지고, 시간표에 따라 승객 수송량을 고려하여 차량 편성을 가감할 수 있다.

독일 ICE 고속열차의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 동력 집중식으로 보수유지가 편리하고 주행저항 및 에너지 소모가 적은 반면에 운행도중 고장 시 조치가 용이하지 않다.
- (2) 재래선과의 직통 연계운행이 가능하다.
- (3) 추진시스템은 일본의 신간선과 같이 PWM 방식의 컨버터와 전압형 인버터 방

식으로 견인전동기는 3상 교류 유도 전동기(농형)방식을 채택하여 사용하고 있다. 반도체 소자는 일본 신간선과 같이 GTO 싸이리스터를 사용하는 것이 특징이다.

- (4) 전기제동 발전된 동력을 전차선에 되돌려 주는 회생제동 방식을 사용하고 있다.
- (5) 대차의 스프링하 질량을 최소화함으로 선로부담 하중을 적게 하였고, 또한 차량의 연결방식은 공기 및 전기연결을 포함한 자동연결기를 사용하므로 열차편성의 유연성 및 검수성이 우수한 장점이 있는 반면, 전체 열차중량 및 동력차 축중이 다소 큰 단점이 있다.

첫 번째 ICE 1 열차가 운행에 들어간 이후로 유럽 철도 운영은 기본적인 변화를 갖게 되었으며 차량 공급자는 시장 요구사항을 재조사하고 따라서 생산전략도 재정의 하였다. Siemens는 차세대 고속전철을 대책으로 내놓았으며 이 열차는 전세대 것보다 더 안락하고 빠르지만 여러 방면에서 기본적으로 운영 실익을 최적화하기 위한 여러 가지 개념을 채용한 ICE 3이며 다음과 같은 개발개념을 갖고 있다.

ICE 3는 Siemens의 주관으로 구성된 Siemens와 Adtranz의 컨소시엄으로 생산되었다. ICE 3 열차는 두 개의 변형 모델로 제작되었다. 독일 국내 서비스를 위한 단일시스템 열차(15kV, 16 2/3Hz 동작)와 4가지의 유럽 전력망(15kV와 25kV ac, 그리고 3kV와 1.5kV dc)에서 운용될 수 있도록 설계된 4-Car 1-Unit 열차이다. 독일철도(DB)는 37편성 단일 시스템 열차와 13편성 다중 시스템 ICE 3를 발주했고 네덜란드 철도(NS)는 4편성 다중 시스템 열차를 주문했다. 추가로 DB는 50편성, 네덜란드는 20편성에 대한 선택권을 갖고 있다. 독일 북서부에 있는 Siemens의 Wildenrath 시험소에서 1998년 9월 말경 철저한 연구가 시작되어 2001년 영업운전을 시작하였다. <그림 2.4>는 독일의 고속철도망을 보여주고 있다. 또한 <표 2.2>는 독일 ICE 차량의 특성을 비교한 것이다.

<표 2.2> ICE 차량별 비교

구 분	ICE 1	ICE 2	ICE 3 (단일시스템)	ICE 3 (다중시스템)
전원계통	15kV, 16 2/3Hz	15kV, 16 2/3Hz	15kV, 16 2/3Hz	15kV, 16 2/3Hz
				25kV, 50Hz
				1.5kV DC
				3kV DC
Loading gauge	특별 DB 협정	특별 DB 협정	UIC와 특별 DB/ SNCF 협정	UIC와 특별 DB/ SNCF 협정
인도 시기	1991	1996	1999	1998
최고속도				
AC 전원	250km/h	280km/h	330km/h	330km/h
DC 전원	n/a	n/a	n/a	220km/h
전장(차간연결 기 포함)	205m	205m	200m	200m
동력차 길이	20.56m	20.56m	n/a	n/a
동력객차	26.4m	26.4m	n/a	n/a
후미 객차	n/a	n/a	25.835m	25.835m
중간 객차	26.4m	26.4m	24.775m	24.775m
대차 휠베이스				
트레일러 대차	2.5m	2.5m	2.5m	2.5m
모터 대차	3.0m	3.0m	2.5m	2.5m
높이	3.84m	3.84m	3.89m	3.89m
폭	3.02m	3.02m	2.95m	2.95m
좌석수(1등칸)	105	105	141	136
좌석수(2등칸)	263	263	250	244
식당차 좌석수	23	23	24	24
공차중량	410t	410t	409t	435t
견인력				
AC	4.8MW	4.8MW	8MW	8MW
DC	n/a	n/a	n/a	4.3MW
기동 견인력	200kN	200kN	300kN	300kN



<그림 2.4> 독일 고속철도 노선

라. 중국

중국의 고속철도 운행은 2008년 7월 베이징 올림픽 개막을 앞두고 완공했다. 베이징 ~ 톈진 구간 117km 구간을 시속 300km/h로 CRH 고속열차이다. CRH는 200km/h 이상 주행하는 중국 고속철도 차량의 호칭이다. 고속열차 표기는 「CRH1 - 0 xx A」로 나타낸다. 맨처음 1은 열차 시리즈를 의미하고, xx 편성번호(01-40)의 경우 ZY 일등차, ZE 이등차, ZEC는 이등차/식당차를 의미하고 CRH1 차량은 8량으로 구성되어 있다. 중국고속철도의 특징은 자체 개발이 아니라 외국 고속철도 차량제작사와의 합작회사 설립 등을 통한 외국의 기술 이전프로그램을 광대한 시장과 맞교환 하는 형식으로 진행되었다. CRH1형(봄바르디어 레지나 C2008 기본모델) CRH2형(일본 가와사키중공업 신칸센 E2모델) CRH3형(지멘스 벨라로 ICE3 모델) CRH5(알스톰 Pendolino 모델)는 바로 외국 회사와의 합작에 의해 제작되어진 차량이다. 이에 비해 CRH380은 중국남차집단 차량제조회사의 중국 독자개발열차이다. CRH 계열 차량 가운데 300 km/h 이상 영업운행 중에 있는 차량은 CRH2형(일부) CRH3형 그리고 CRH380 들이 있다. 특히 2010년 9월 27일 중국 최초 독자개발열차로 불리우는 CRH380은 최고 영업속도 380km/h로 운행되기 시작하였다.

중국의 고속철도 구축망 계획은 중국의 베이징을 중심으로 전국 모든 성도(성의 수도)를 8시간 안에 갈 수 있도록 하는 4종4형 고속철 연결 프로젝트이다. 2011년 말 현재 8,400km의 고속철도망을 운행함으로써 세계 최대의 고속망을 가진 국가가 되었다. 2008년 세계적인 국제금융위기 시대에 중국 내수 경기 활성화를 위해 4조

위안(1위안/180원)에 이르는 막대한 고속철도망 구축 사업에 투자를 함으로써 중국 내수경기를 활성화 하고 고속철도 물류를 활성화 시키는데 성공하게 되었다. 향후에도 2020년까지 고속철도사업에 12조 5천억 위안을 투자하고자 하는 계획이 수립되어 있다. 하지만 2011년 기준 중국 철도의 초대형 고속철도 건설 계획은 막대한 건설 부채가 발생하는 문제, 안전문제(2011년 7월 23일 중국 저장성 원저우 고속열차 추돌사고, 사망자 최소 39명, 부상자 193명 발생), 그리고 낮은 승객 탑승률 등으로 인하여 고속철도 노선의 만성적인 적자가 예견되고 있다. 또한 국민 소득에 비해 비싼 고속철도 요금도 승객증가를 가로막는 문제 중의 하나로 대두되고 있다. 중국은 현재 고속철도망 구축은 야심차게 확장되었고 지속적인 건설이 예상되지만, 승객 폭증으로 인한 2층 고속열차와 같은 새로운 차량 개발 계획은 없는 것으로 나타나고 있고, 중국 고속철도 구축망 계획에 의거 중심 도시 간 이동시간 단축을 위한 속도향상 계획은 지속적으로 추진되고 있다. <그림 2.5>은 CRH380 계열 차량 모습이고, <그림 2.6>는 중국 고속철도 노선도이다.



(a) CRH380A



(b) CRH380B

<그림 2.5> 중국 차세대 고속열차 CRH380 차량 모습



<그림 2.6> 중국 고속열차 주요 노선도(2011년 기준)

2절 국내외 시장 현황 및 전망

고속열차 및 2층 열차를 포함하여 국내외 시장현황 및 전망을 예측하여 기술하고자 한다.

1. 국내 시장 현황

정부의 국가교통망구축계획에 따라 고속열차 교통망의 확대를 통한 고속열차 수요확대는 지속적으로 진행될 예정이다. 이와 더불어 운임절감과 에너지 효율 증대를 위한 2층 고속열차 시장의 확대는 2015년 도래될 서울-오송 구간의 수송한계 해결 방안으로 적용된 후 지속적인 확대가 진행될 것이다.

현재 운행되고 있는 경춘선 광역급행철도(ITX)는 동력분산식 8량 1편성으로 제작된 180km/h 급행열차이며 중앙 2개 부수객차만 2층 열차로 개발되어 운행되고 있다. 최고주행속도는 180km/h이며 현재 운행 최고속도는 150km/h로 상업운행을 진행하고 있다. 현대로템의 국내 기술로 제작된 ITX 2층 객차는 동력 분산식 부수객차이며 일반대차를 사용하고 전동차와 동일한 고상 플랫폼에 적합한 승강문 높이를 가지고 있다. 본 2층 객차는 1층과 2층에 모두 좌석형으로 구성되어 있으며 관절대차에 비해 대차간의 간격이 짧아서 2층의 객실이 길이가 충분하지 않아서 실질적인 좌석을 통한 수송량 증대량은 크지 않다.

국가 철도망 구축에 다른 1시간 30분대 전 국토 연결 추진 계획은 출퇴근 생활권을 확대 시킬 것이며 대 도시간의 일정시간대 사업상의 이동량이 급증하는 경향이 발생할 것이다. 이에 대응하는 최선의 방안인 2층 고속열차의 적용은 전 고속철도망을 따라 확대 될 것이며 시장 전망은 아주 높게 평가되고 있다.

2. 국외 시장 현황

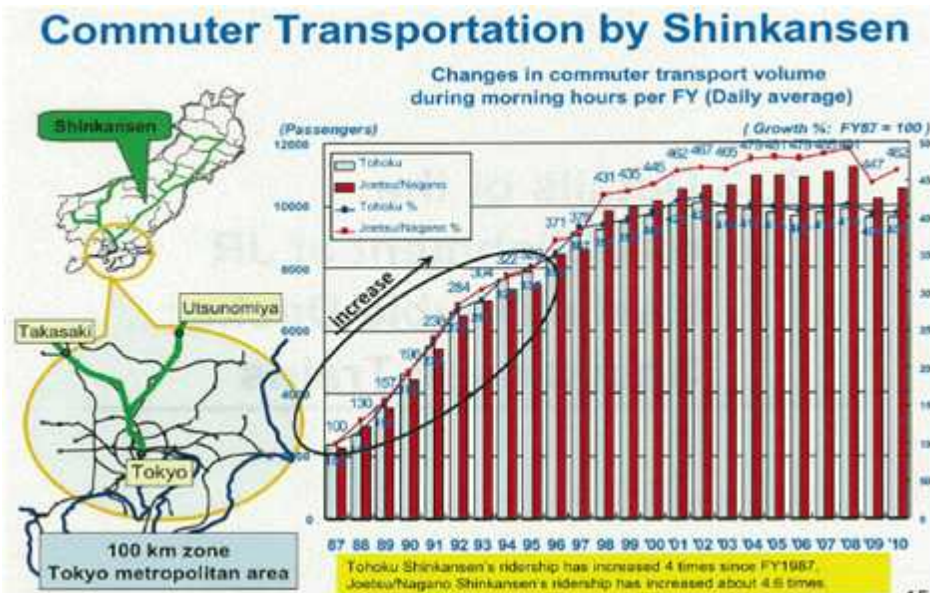
2층 고속열차에 대한 시장 현황은 2층 고속열차를 운행하고 있는 일본과 유럽의 프랑스, 독일, 영국 등이 대표적인 지역이다. 또한 고속열차를 운행하고자 현재 고속철도 노선을 건설하고 있는 아프리카 북단의 모로코가 있다. 이들 국가들에 대한 2층 고속열차에 대한 시장 분석과 향후 증대 될 것으로 보이는 신규 시장에 대한 전망을 살펴보면 다음과 같다.

가. 일본

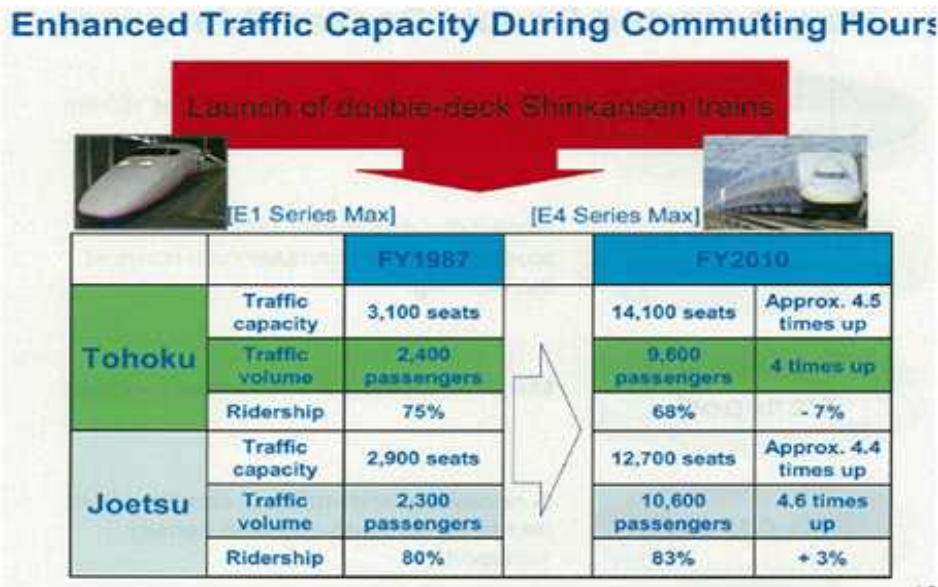
일본의 고속열차 운영 그룹은 JR 4개사(JR-East, JR-West, JR-Central, JR-Kyushu)이다. 일본에서 운행되고 있는 2층 고속열차는 JR-East의 E1 및 E4열차가 대표적이다. JR-West에서는 신칸센 100계 식당차에 한하여 운행되고 있었고, JR-Central에서는 신칸센 100계 특실차량에 운행하고 있다. 일본의 2층 고속열차 시장은 JR 각사마다 여객 서비스 차원에서 실시되는 것과 승객 수요 급증에 따른 대처 방식에 따라 확산되게 되었다. 2층 고속열차를 급증하는 승객 수요에 대처하기 위한 프로그램이 새로운 고속철도 시장을 형성하게 한 것이 바로 일본 동경의 수도권과 동북지역을 기반으로 영업을 하고 있는 JR-East이다. JR-East에서는 동경권으로 출퇴근 하는 많은 학생들과 직장인들을 위하여 2층 고속열차인 E1 및 E4 열차를 단계적으로 투입하였고, 선로 용량 한계에 대응하기 위하여 신칸센 복합조성열차를 운행하기 시작하였다. 복합조성열차는 Utsunomiya(Tohoku 신칸센) 및 Takasaki(Nagano 신칸센 및 Niigata 신칸센 분기역) 처럼 신칸센 노선이 분기되는 지점에서 열차를 병합 또는 분리할 수 있는 복합조성 열차를 통해 승객 급증에 대한 신선로 없이 선로 용량 한계를 극복하는 기술적인 프로그램을 동시에 내 놓았다.

<그림 2.7>는 신칸센을 이용하여 출퇴근 하는 동경으로부터 100km 권역인 Utsunomiya(Tohoku 신칸센) 및 Takasaki(Nagano 신칸센 및 Niigata 신칸센 분기역)과 1987년 이후 급증하고 있는 Tohoku 신칸센, Nagano 신칸센 및 Niigata 신칸센의 이용승객 추세를 보여주고 있다. 신칸센 개통 10년 동안 승객이 약 3.3배정도로 급증함을 알 수 있다. <그림 2.8>는 2층 고속열차인 E1 열차와 E4 열차 투입으로 인한 승객 수송용량은 4.5배 증가하였고 수송객 증가율은 4배 증가하였음을

보여 주고 있다. 이것은 일본 동경권 100km 범위 및 신칸센 열차로 1시간 정도 범위의 승객 증가율에 대한 가장 효과적인 기술적 대안이 2층 고속열차였음을 알 수 있다.



<그림 2.7> 일본 JR-East 신칸센 2층 고속열차 운행 구간 및 연도별 승객 수



<그림 2.8> 일본 JR-East 신칸센 2층 고속열차 운행에 따른 수송력 증가

나. 프랑스

프랑스에서의 2층 고속열차를 개발은 고속철도 이용승객이 급증하는 노선인 파리

~ 리옹 구간의 수송 용량 포화 상태를 극복하기 위한 대안으로 시작되었다. 프랑스는 주요 고속철도 노선에서의 급증하는 승객 대처를 위해 TGV 열차에 대한 고속화 프로그램과 TGV-duplex 프로그램이 동시에 진행되었다. 고속화에 대한 대표적인 프로그램이 2001년부터 프랑스 SNCF와 차량제작사인 Alstom 사가 시작한 관절대차형 고속전철 AGV(Automotrice Grande Vitesse)개발 사업이다. 이 사업은 동력분산식 차량 개념으로 시제 차량 3량 1편성으로 개발되어 2001년 3월부터 릴~카레(calais)에서 최고속도 320km/h로 시험을 달성하였고, 2007년 574.8km/h로 최고 속도를 주행한 이 차량은 프랑스 고속열차의 차세대 고속열차 프로젝트 일환 중의 하나이다. 이 열차는 신간선 300계와 같이 3량 1유닛(unit)로 구성하였으며, 주전동기는 600kw급 유도전동기를, 전력변환기는 IGBT를 사용하였다. 일본의 신간선, 독일의 ICE3와 함께 프랑스의 AGV는 동력 분산식을 적용한 점이 유사하다. AGV의 최고속도는 320km/h와 350km/h의 두 개의 버전이 상정되었다. 프랑스는 2001년부터 알스통과 SNCF가 공동으로 350km/h의 영업속도를 갖는 2가지의 차세대 고속열차 프로젝트를 추진하였는데, 그 하나는 AGV 열차 개발 프로젝트로서 이 열차는 유럽 TSI 기준에 따르는 최초고속열차 개발 프로젝트이며, 유럽 전역을 운행하는 성능을 목표로 하여 다음과 같은 기술적 특징을 가지고 있다.

- (1) 동력방식 : 분산식 동력장치 및 IGBT사용하는 VVVF 인버터 기술 적용
- (2) 능동 현가장치 적용
- (3) 소음 대책 : 방진블록 사용 (전동기 진동의 흡수로 차체 영향 감소)
- (4) 제동 장치 개선 : 와전류 제동장치 개발 적용

AGV 열차는 기존 TGV에 최신 개발된 각종 기술을 적용하여 우수한 열차성능을 얻을 수 있도록 개발된 열차이며, 기술적 특성은 다음과 같다.

(1) 승차감 향상 : TGV가 300km/h로 주행할 때 발생하는 진동 궤도부담과 동일하게 작용하는 범위에서 속도 향상을 도모하였고, 이를 위한 능동 현가시스템을 개발하여 적용했다. 이 시스템은 부수대차에 장착되어 대차의 상하 운동을 능동 제어하는 방법으로 전기식 액추에이터를 사용하였다. 이 능동시스템은 TGV-R에 장착하고 350km/h 시험주행을 실시하여, 이 장치 없이 300km/h로 주행했을 때 승차감과 장착상태로 350km/h로 주행할 때의 승차감이 거의 비슷하였다.

(2) 제동력의 향상 : 속도향상에 따른 감속거리를 동일하게 유지하기 위한 제동력

의 향상이 필요했으며, 이를 위해 와전류제동을 채택했는데 첫 번째와 마지막 대차에 적용되었다. 이 제동장치는 기존 TGV에 장착하고 350km/h로 시험주행을 마쳤으며, 3분 운행간격에서 열적 부하 등에 의한 선로이상 없이 성능을 발휘하는 것이 증명되었다.

(3) 동력 관절대차 : 동력분산식은 객차 하부의 관절형 부수대차에도 전동기가 취부되는데, 이로 인해 객실에 진동과 소음을 증가시킬 우려가 있으므로 견인전동기와 차체사이에 Silent Block을 채택하고 진동을 줄이도록 하였다. 또한 관절대차에 전동기를 장착하면 전동기의 강제 공기냉각이 어려우므로 이를 전동기 자체 강제냉각 시스템을 적용하고 선로에서 들어오는 먼지를 제거하기 위해 소용돌이를 이용하는 방법 등이 적용되었다.

(4) 차체 : 차체는 알루미늄을 사용하였으며, 철제 TGV와 비교하면 2톤 정도를 경감시킬 수 있도록 전두부의 충격에너지는 TGV Duplex와 동일한 6MJ을 흡수하도록 하였다.

프랑스에서 2007년 이후 신규 발주되는 모든 TGV 고속열차는 2층 고속열차를 발주하기로 결정함으로써, 2007년 발주되어 2012년까지 도입하기로 한 유럽고속철도 통합 운행노선에 투입될 TGV-duplex 차량인 TGV-Euroduplex 또는 TGV-Dasye 열차는 독일 프랑스 스위스 룩셈부르크 및 스페인에서 운행되는 최고속도 320km/h 차량 95편성이 대부분 운행되고 있다. 또한 2012년 4월에는 SNCF에서 지중해 노선에 운행되는 고속열차 TGV-Euroduplex 2층 고속열차 40편성을 알스톰에 발주하는 등 2층 고속열차 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다. 특히 TGV 1세대 차량들이 1981년 운행되기 시작하여 설계수명 30년이 2011년 지남에 따라 SNCF에서는 정밀진단을 실시하여 향후 10년간 연장 운행 후 TGV-duplex로 교체하는 프로그램을 수립한 상태이다. <그림 2.9> 및 <그림 2.10>은 프랑스 차세대 2층 고속열차인 AGV 고속열차 모습을 보여주고 있다.



<그림 2.9> 프랑스 고속열차 AGV 모습



<그림 2.10> 프랑스 AGV 열차의 외형

다. 독일

독일에서의 고속철도 고속철도망 신규 노선 프로그램은 ICE 열차의 유럽 국제노선에 더 많이 투입 운행하는 것이다. 특별히 독일 정부에서는 차세대 고속열차인 2층 고속열차 개발을 2009년부터 착수하였다. 개발 주체는 고속철도 운행기관인 독일 DB가 아닌, 독일 우주항공 연구센터인 DLR(The German Aerospace Center)에서 차량제작사인 Bombardier사와 함께 차세대 고속철도차량 불리는 400km/h급 2층 고속열차인 NGT(Next Generation Train ; Double-decker) 차량 개발 연구에 착

수하였다. 고속철도차량의 공기역학적인 특성과 경량화 구조 설계를 기본으로 한 400km/h급 2층 고속열차 개발에 1단계로 2014년까지 진행하는 것으로 발표되었다. 향후 개발되어질 NGT 차량은 기본 윤축 일체형이 아닌 독립구동형 저상형 대차 (low floor running gear)으로 개발하고 있다. 대차에 있는 동력장치는 차륜 마다 각각의 동기모터를 갖도록 하고 이들을 조합으로 개별적으로 제어할 수 있는 시스템으로 설계를 진행하고 있다. 각 차륜마다의 횡 방향 위치를 검지할 수 있는 센서장치를 통해 상대측 차륜의 공회전을 방지할 수 있도록 하는 새로운 개념의 차량을 개발하고 있다. 투입하고자 하는 노선은 Paris ~ Vienna ~ Munich 국제열차 노선과 현재 독일에 새롭게 건설되어 지고 있는 고속철도 노선인 Strasbourg ~ Stuttgart ~ Ulm ~ Wels ~ Munich ~ Stalzburg 구간이다. <그림 2.11>는 현재 개발되어지고 있는 NGT 차량의 시뮬레이션상의 모습이다.



<그림 2.11> 독일 차세대 2층 고속열차인 NGT 차량 조감도

라. 모로코

모로코는 아프리카 북서단에 위치하여 대서양과 지중해를 접하고 있는 국가이다. 모로코 제 1 도시인 Casablanca에서 대서양과 지중해를 함께 접하고 있는 천연적인 관광 도시인 Tanger 까지 200km 구간을 1단계 고속철도 구간으로 설정하여 2010년부터 공사에 착수하였다.(<그림 2.12> 참조) 또한 Casablanca에서 제 3의 도시인 Marrakech 구간 약 175km를 2단계 구간으로 하여 2015년 개통을 목표로 고속철도 건설이 진행 중에 있다. 모로코 고속철도 노선에 투입될 차량은 TGV-duplex 차량

으로 14편성이 프랑스 Alsthom 사에서 제작 중에 있다.

모로코의 고속철도 차량 선정은 처음부터 수송 용량이 큰 TGV-duplex로 결정됨으로 향후 고속철도 건설이 이루어질 국가에서는 2층 고속열차가 기본 모델로 채택되어질 것에 대한 대비가 필요함을 간접적으로 보여주고 있다. 현재 국내에는 2층 고속열차 개발 사례가 없는 것을 살펴 볼 때 모로코 고속철도 구축망 계획은 국내 2층 고속열차 기술개발 및 고속철도 국제 시장 진입을 위한 매우 큰 시사점을 던져주는 프로젝트로 평가할 수 있다.



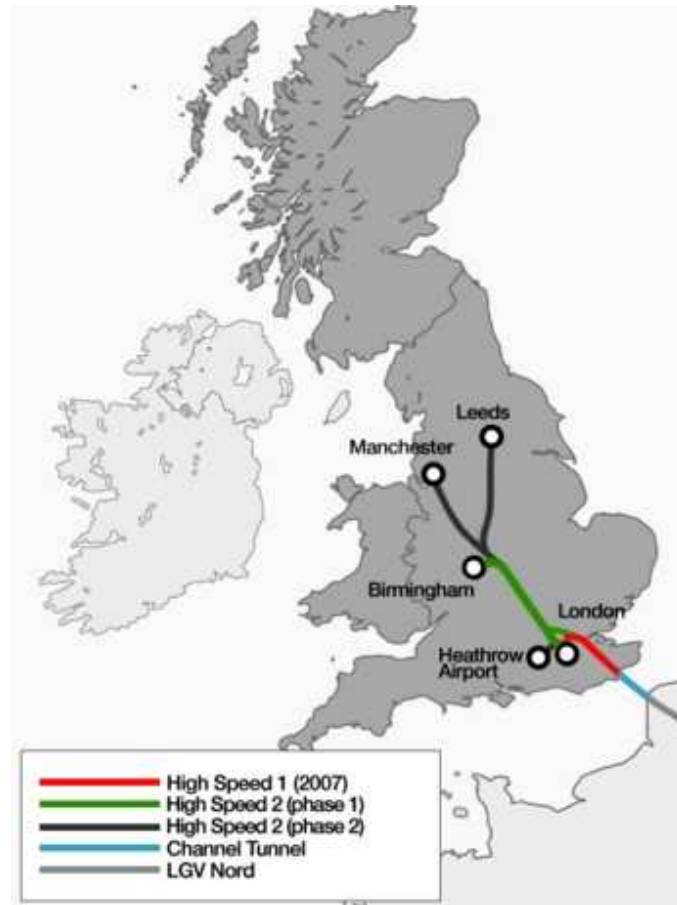
<그림 2.12> 모로코 고속철도 노선 주요 도시

1단계 : Casablanca-Tanger

2단계 : Casablanca-Marrakech

마. 영국

영국에서의 고속열차 운영은 파리 ~ 런던 사이의 유로스타 이후 London, Midlands, 북부잉글랜드 그리고 스코틀랜드 중앙까지 연결하는 프로젝트인 High Speed 2(HS2)이 보수당-자유민주당 연립정부 시절인 2010년 5월에 고속철도망 구축 계획이 수립되었다. 2012년 1월 1단계 구간 공사구간으로 London ~ Birmingham 구간을 2026년에 개통하는 것으로 결정하였다. 영국 정부는 Birmingham ~ Leeds 및 Birmingham ~ Manchester 구간을 2단계 구간으로 설정하여 2014년 착수하여 2033년 완료하는 것으로 기대하고 있다. 현재 영국의 고속철도 운행 구간과 함께 HS2 계획에 의거하여 새로 구축될 고속철도망 구축 노선도가 <그림 2.13>가 제시되어 있다. HS2 계획에 의거하여 투입되어질 차량 모델은 프랑스에서 개발된 AGV 차량을 기본적으로 검토하고 있으며, 세부 상세한 사양은 결정이 안 된 상태이다.



<그림 2.13> 영국의 고속철도 운행 노선 및 구축 계획

3절 기술동향 분석

1. 관련 기술개발 동향

일본의 2층 열차는 Central, West, East Japan Railway 및 Odakyu Railway에서 운행되고 있으며 운행되고 있는 차종도 다양하다. 이들 차량은 도시간(intercity)이나 교외지역(광역철도망) 출퇴근자를 위한 운행이 주목적으로 특실과 일반실로 구분하여 운용하고 있으며 수송량은 좌석승객 기준으로 되어있다. JR East에서 운행되고 있는 2층 객차 E1, E4(Max)는 센다이-동경의 승객수요 증가와 차량 투입에 따른 선로용량의 초과문제로 이에 효율적으로 대처하기 위해 투입되었으며 열차의 최고속도는 240 km/h이다. 이 열차는 동경 도심을 기준으로 반경 100km 내외의 지역에 거주하는 인터시티 통근자들에게 쾌적한 출퇴근 수단을 제공하는 것이 주목적이므로 출퇴근 시 역간거리가 짧아 300km/h 이상의 속도를 내기 어려운 문제가 있다. 또한, 이 열차편성은 일반대차용 동력분산식을 채택하였는데 이는 일본 국토의 연

약지반 문제로 동력차에 집중되는 하중을 열차 편성에 분산 배치하기 위해서이지만 제한된 기기배치 공간으로 인해 전장품 용량을 키우는데도 문제가 있다. 결국 신간선에서 운용되는 2층 고속열차는 속도향상 측면보다는 동경 교외지역 거주자들의 쾌적한 출퇴근을 위한 수송량 증강에 주목적을 두고 있는 차량으로 특성은 2×2의 좌석구조, 일반실은 2×3, 자유석은 3×3 좌석배치를 통해 수송량 증강의 극대화를 꾀하였다. 이를 위해 차량폭 및 높이는 각각 3383.2 mm, 4485 mm이며 1, 2층의 객실 내부 높이는 각각 1970 mm, 1955 mm로 우리나라 KTX의 차량폭에 비해 매우 넓게 설계되어 있고 국민정서도 일본과는 차이가 있기 때문에 국내 철도차량에는 수용하기 어려운 좌석배치를 지니고 있다. E4 시리즈의 차량편성 가격은 기존 차량 편성에 비해 약 1.3배 정도 증가하지만 유지보수 비용은 기존 차량과 크게 차이나지는 않는 것으로 분석되고 있으며 대부분의 승객이 퇴근 시는 동경역에서 승차하고 출근시에는 동경역에서 하차하므로 2층 구조로 인한 승하차 시간 지연 등의 문제는 없는 것으로 나타났다.

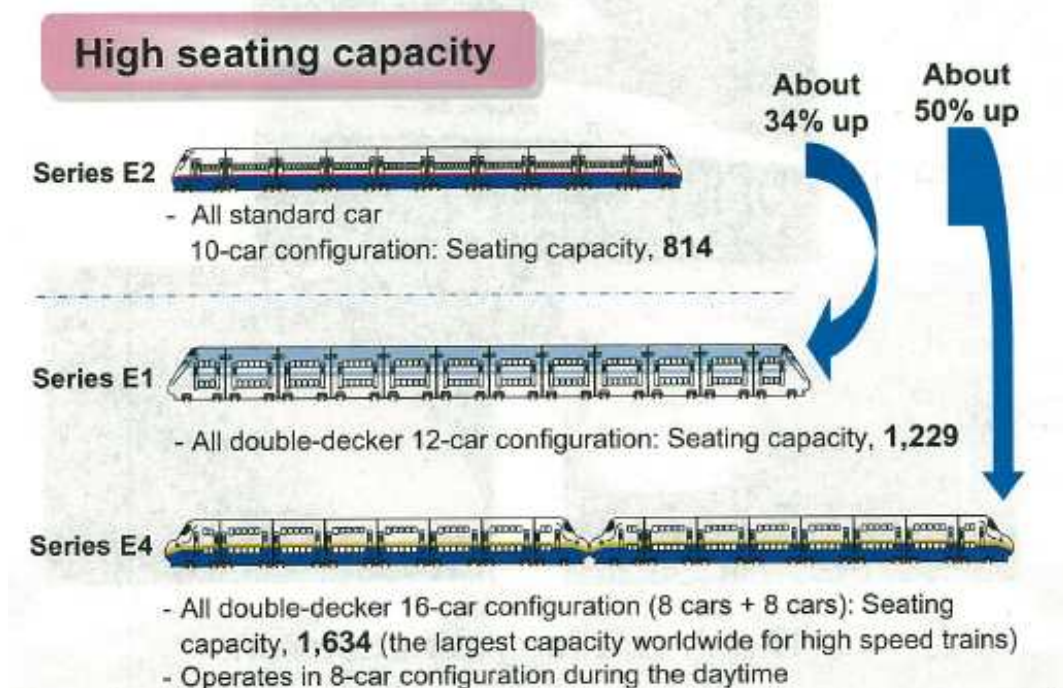


<그림 2.14> 신간선 2층 열차 E1



<그림 2.15> 신간선 2층 열차 E4

Characteristic of Double Decker Shinkansen



<그림 2.16> 2층 열차 수송용량 비교(JReast 자료)



<그림 2.17> 신간선 노선도

통근형 교외선 철도의 경우, 동일본 철도에서는 매년 증가하는 수송수요에 대응하여 차량을 지속적으로 증강 배치해 왔다. 그러나 근본적인 수송력 증강시책으로서 대폭적인 좌석정원을 늘린 2층 열차가 요구되어 1991년에 JR동일본은 수도권 주택지의 근교화 진행에 따른 원거리 통근 대책으로서 차 전체를 2층 구조로 한 215계 근교형 2층 열차를 도입함으로써 좌석수를 더 증가하게 되었고 이로 인해 착석해서 통근할 수 있는 기회를 늘리게 되었다.

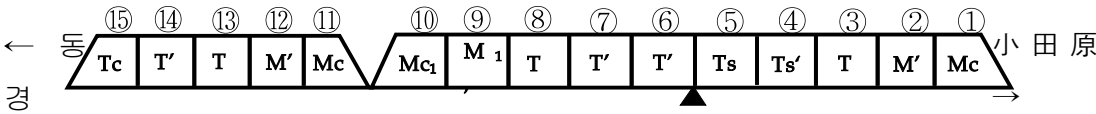
최고 120 km/h로 운용되는 215계 2층 열차의 편성은 Mc - M' - T - T' - T' - Ts - Ts' - T - M' - Mc의 순으로 되어있다. 차량편성의 양쪽 끝에 위치하고 있는 차량은 2층에만 객실이 있고 1층에는 메인컨트롤러, 인버터 등 주요장비를 탑재하고 있는 기계실로 활용하고 있으며 전후부 차량을 제외한 동력차(M')는 부수차량(T)과 마찬가지로 1, 2층 모두를 객실로 활용하는 형태(120석)로 되어있지만 차이점은 부수차량과 달리 차장실과 화장실이 없는 점이다. 차량편성의 중간에 위치한 부수차량 6량중 2량은 특실(Ts)로 운용하고 있다(승강문 폭:0.9m).

기존의 185계와 비교하면, 215계 차량편성(10량, 4M6T)은 좌석수 기준으로 60% 향상된 1010석을 갖추고 있다. 215계의 편성차량 중 Mc차를 제외한 나머지 차량들의 단면섹션(Section)은 대체로 유사한데 차량의 측 출입구 주변의 양끝단은 대차가 위치하고 있는 관계로 단일 층이고 대차사이의 가운데 부분은 2층으로 되어있다. 215계는 기존 차량을 수정한 것으로 대차는 211계에 사용되는 기존의 것과 유사하

나 차고가 높기 때문에 주행시 운동특성이 기존차량에 비해 불리하므로 차량의 롤링 모션을 감쇠시키기 위해 차체와 차체, 대차와 차체를 연결하는 댐퍼(Anti-Rolling Bar)를 부가적으로 설치하였다. 215계의 Mc 차량에는 전장품이 집중적으로 배치되며 차량하부(상하)에는 Compressor 및 저항기, 전기부품이 탑재되고 차량바닥과 객실바닥 사이공간(상상)에는 공기통 및 ATS/ ATC, Brake Controller가 탑재된다. 가선에서 공급받는 전력은 DC 1500V이며 SIV를 통해 AC440V 및 254V로 변환하여 사용한다. 모터 용량은 대당 120 kW에 불과한데 이는 가속도가 2.3 km/h/s로 낮기 때문이며 차량은 211계를 기본으로 하여 제작하였는데 대폭적으로 수정하지는 않았다. 215계는 좌석 승객만이 탑승하도록 되어 있는데 이는 승하차 시간 지연문제 등으로 도심내부에서는 2층 열차의 투입이 불가능하기 때문에 수송량 증대보다는 승객서비스(쾌적성) 향상에 초점을 맞춘 차량이다.

<표 2.3> 동일본 철도 교외선 215계 주요제원

항 목	내 용							비 고
편성	아래 그림 참조							기본 10량 4M6T 부속 5량 2M3T 계 15량 6M9T
최고운전속도	120km/h(곡선통과 + 15km/h)							Cant부족 60mm
형식	T _c	M _c , M _{c1}	M', M ₁ '	T	T'	T _s	T _s '	기본정원 1010 명 부속정원 512 명
정원(인)	96	64	120	111	120	90	90	계 1522 명
중량(t)	35이하	42	38	35	34.5	35	34.5	



<그림 2.18> 215계 열차편성



<그림 2.19> 교외선 215계



<그림 2.20> 판토틀라프/공조장치(지붕)

1995년부터 운행되고 있는 217계(총 140량)는 구리하마에서 동경을 경유하여 나리타공항까지 총 149 km(구리하마~동경: 70 km, 15역, 동경-나리타 공항: 79 km, 17역) 거리를 운행하며 차량편성(총 11량 편성)에 2층 차량 2량(4, 5호차)을 혼합편성하여 특실로 사용하고 있다. 2층 열차 내부는 좌석 식으로 구성되며 1층차량은 기존 전동차와 유사한 구조로 되어 있다. 특히 사항은, 2층 열차(특실, 215계의 T카와 유사)는 기본 요금 외 거리별로 차등 부가되는 별도 특실요금을 내야한다. 217계는 지정 좌석제가 아니므로 입석승차가 가능하지만 요금은 특실요금을 지불해야 하는데 이는 입석이라도 일반실에 비해 특실이 혼잡율이 상당히 떨어지므로 쾌적성 측면에서 양호하기 때문이다.



<그림 2.21> 217계 차량편성

215계 2층 열차는 기존 차량보다 구입가격 측면에서 대략 1.3 - 1.5배정도 비싸나 유지보수비용에서는 기존 차량과 큰 차이는 없다. 이는 2층 열차라고 해서 기존 차량보다 많은 전장품이 사용되는 것은 아니기 때문이며 기존차량을 부분적으로 설계 변경한 것이므로 전체적인 차량높이나 폭이 큰 차이가 없어 동일한 검수 설비를 이용한다. 좌석은 좌석의 편안함을 향상시키기 위해 분리형(separate type)으로 하고 있으며 일반실 1,2층의 좌석 상부에는 짐을 두기 위한 장소 확보를 위해 침목 방향으로 선반을 설치하고 있다. 창유리는 차내 온도 상승방지와 눈부심을 완화하기 위해서 모든 차를 가시광 투과율을 억제한 착색 필름을 삽입하여 짙은 유리로 하였다. 냉방은 차량 전후의 지붕에 탑재한 냉방장치에서 덕트로 각 객실에 분배하고 있다.

TGV의 파리-리옹 구간 고속철도 선로는 1981년 운용을 개시한 이래 철도수요가 급속히 팽창하여 1990년대 들어 포화상태에 이르게 되었다. SNCF에서는 이러한 문제점을 근본적으로 해결하기 위해 2층 고속열차인 TGV Duplex를 투입하게 되었으며 이는 기존 TGV에 비해 45%정도 더 좌석 여유를 지니는 2층 열차 개념으로 개발된 차량이다. 설계 최대속도 320 km/h, 영업 최고속도 300 km/h로 1996년부터 운용되고 있다. Duplex의 운영 가능성에 대한 연구는 1987년에 시작되었으며 1988년에 고속철도 차량보다 출퇴근용 차량에 편종된 2층 열차의 인식에 대한 승객들의 반응을 점검하기 위해 시제차가 제작되었다. Duplex는 기존 TGV에 비해 차량의 주행안정성이 떨어질 가능성이 있으므로 차량 주행시 동특성에 대해 면밀히 검토하고 17톤의 축중 제한을 만족시키기 위하여 독일의 ICE에 사용된 것과 같은 알루미늄

압출재를 사용하여 차량 구조물의 무게를 20%정도 줄였다. 또한 주행저항을 감소시키기 위하여 동력차 전두부 및 차량간의 간격을 개선하였는데, 300 km/h로 주행시 기존 TGV에 비해 주행저항이 단지 4% 증가하는데 그쳤다. 좌석기준으로 비교한다면, 기존 TGV차량이 좌석당 하중 및 동력이 1.1톤, 18.34 kW인데 비해 Duplex의 경우는 각각 0.7톤, 16.15 kW로 나타나 효율성 향상이 상당히 이루어졌음을 알 수 있다.



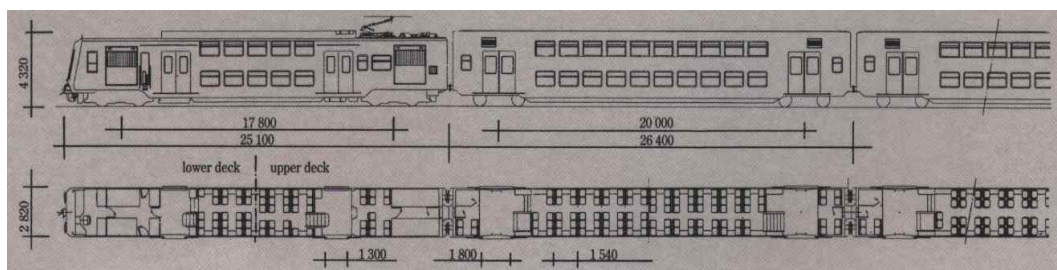
<그림 2.22> TGV-duplex

프랑스 파리 교외선 RER의 경우는, 80년대 이후 엄청나게 늘어난 유동 승객들의 원활한 수송처리를 위해 기존 철도시설물에 대한 큰 투자 없이 수송량을 늘리는 방법으로 통근형 2층 열차를 투입하게 되었다. 이 2층 열차는 쾌적한 승차감을 유지하면서 승객 수송량이 기존차량에 비해 30~35%정도 크기 때문에 철도에 대한 투자비나 운영비가 줄어든 것으로 예측되었기 때문이다. Z2N 형식의 2층 열차 최대 속도는 140 km/h로 레일상면으로부터의 높이가 4.32 m 이고 차량 폭은 2.82 m, 동력차의 길이는 25.1 m, 부수 차량의 길이는 26.4 m이며 동력차에는 가선으로부터 전기를 공급받을 수 있는 집전장치가 설치되어 있고 차량의 양 끝단에 전장품 등 장비가 설치되는 공간이 있다. 측 승강문은 편성에 속한 모든 차량의 양쪽에 2개씩 설치되어 있으나 동력차(2등실)의 경우는 탑승 승객수가 적으므로 문의 폭을 1.3 m로 하였고 나머지 차량은 승객들의 승하차를 용이하게 하기 위하여 1.8 m로 하였다. MI2N 형식(운행 최대속도 120 km/h)은 5량 편성으로 운용되고 있는데 SNCF(프랑스 철도공사) 차량편성은 2등실(운전실 포함)+동력차(2등실)+2등실(부수차량)+동력

차(1,2등실)+2등실(운전실)이고 RATP 차량편성은 2등실(운전실 포함)+동력차(2등실)+동력차(1,2등실)+동력차(2등실)+2등실(운전실)로 구성되어 있다. RATP는 1996년 2월 MI2N 차량을 처음 도입하여 차량 적용시험을 거친 후 현재 운용중에 있는데 차량편성의 길이는 112 m, 하중은 360톤으로 Z2N의 5량 편성의 경우와 비슷하다. 좌석 승객 수는 550명, 입석 승객 수(4명/m²)는 732명으로 총 승객 수는 1,282명인데 이는 같은 노선에서 운행되고 있는 다른 차량에 비해 승객 수송량이 30%정도 향상된 것이다. 승강문은 승객들의 승하차를 쉽게 하기 위하여 폭을 2m로 대폭 확장하여 적용하였다. MI2N 차량의 공차시 차량중량은 68.5톤(축중 17.1톤)이며 최대 축중은 22.5톤(차량중량 90톤)으로 되어있어 축중 16톤(차량중량 64톤) 이하로 제한되어 있는 우리실정의 전동차와 비교하면 상당히 크고 무거운 차량이라고 볼 수 있다. 설계 최대속도는 140 km/h이고 급전장치는 1500 Vdc/ 25kV 50Hz이며 전체 차량편성에서 동력화(motorization) 비율은 40%에서 60%까지 조정 가능하다. 열차의 가감속 성능은 가속도인 경우 0.9 m/s²이고, 감속도는 1.1 m/s² 이다

<표 2.4> Z2N 및 MI2N 차량의 편성

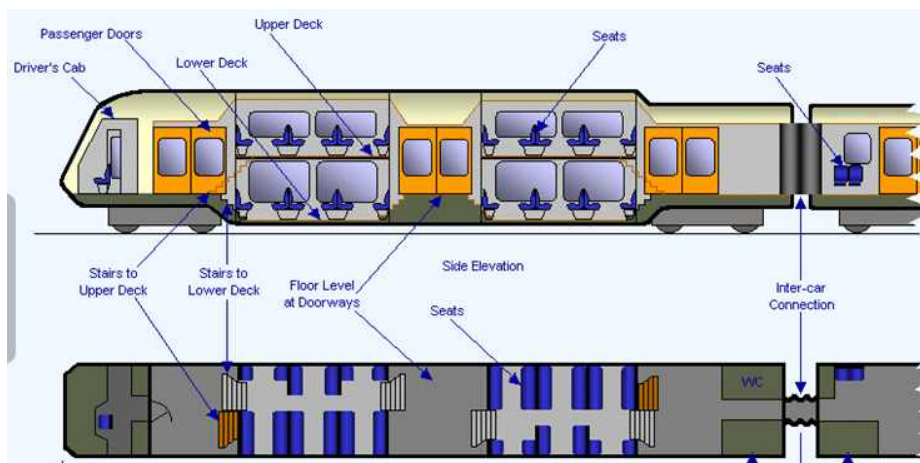
구분	편성	편성길이	좌석	승객수	하중
Z2N	동력차(2량)+2등실(1량)+1,2등 혼합실(1량)	103 m	600	1,064	298.7톤
	동력차(2량)+2등실(2량)+1,2등 혼합실(1량)	129.4 m	804	1,413	366.2톤
MI2N (RATP)	2등실(운전실 포함)+동력차(2등실)+동력차(1,2등실)+동력차(2등실)+2등실(운전실)	112m	550	1282	360톤



<그림 2.23> Z2N형 차량 편성



<그림 2.24> MI2N 2층 객차



<그림 2.25> MI2N 2층 객차 구조

미국에서 운행되고 있는 2층 열차는 대부분 기관차가 견인하는 객차이므로 앞서 언급된 전동차형과는 차이가 있다. 엄밀히 말하자면 동력집중식 2층 열차이며 차량의 높이가 4.8m를 상회하는 상당히 높은 차량도 있어 우리나라 실정에는 적합하지 않는 차량이 많다. 다음 그림은 현대로템이 제작한 2층 객차로 미국 남가주 지방 철도공사(SCRRRA: Southern California Regional Rail Authority)에 수출한 차량으로 미국 LA와 인근 5개 카운티(Los Angeles, Orange, Riverside, San Bernardino, Ventura)를 연결하는 교외선 통근열차로 운영된다. 열차편성 선두부 차량은 동력차

처럼 보이나 자체동력은 없고 열차편성의 반대편에 위치하는 동력차(기관차)를 컨트롤하는 운전실이 포함된 차량이다. 특히 사항으로는 운영사인 메트로링크(Metrolink)에서 규정한 안전사양인 CEM(Crash Energy Management) 장치 등이 성공적으로 통과했다는 것인데 CEM 장치는 열차 운전실 쪽 전면에 설치돼 열차 간 충돌 시 충격을 자체 흡수하는 장치로, 충돌 시 운전자와 승객의 안전을 확보할 수 있다.



<그림 2.26> 현대로템 미국수출형 2층 열차-Cab 카

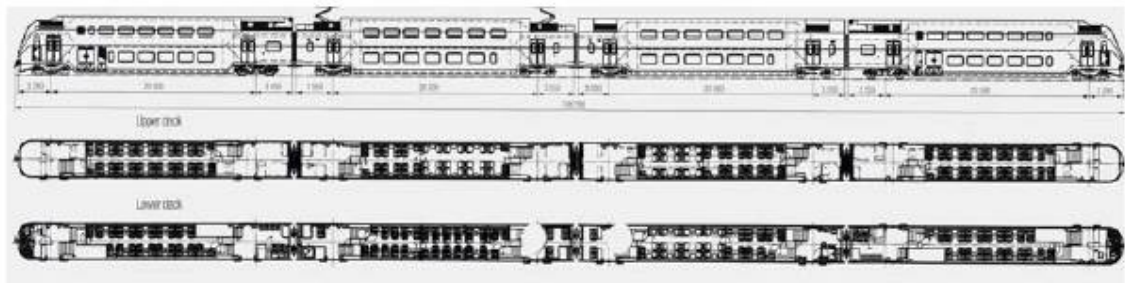


<그림 2.27> 현대로템 미국수출형 2층 열차-열차편성

네덜란드의 2층 열차 제작사는 Bombardier이며, 운영처는 Netherlands Railways이다. 4량 1편성 경우, 열차길이가 108.5m이며 4명/m² 기준 입석 승객수는 186명이다.



<그림 2.28> 네덜란드 2층 열차



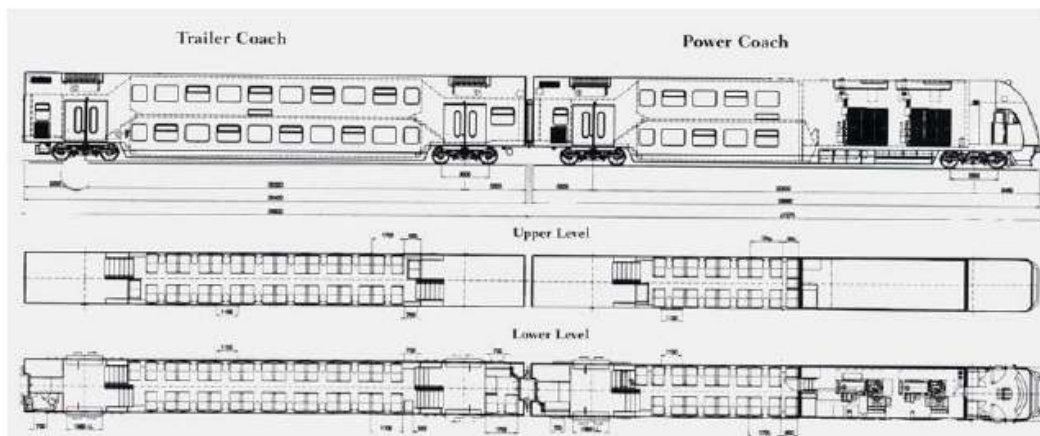
<그림 2.29> 차량구조 및 좌석배치도(4량 1편성)

<표 2.5> 네덜란드의 2층 열차 사양

차량편성		4량(108.56 m), 6량(162.06 m)		
좌석배치		2×1(1등실), 2×2(2등실)		
좌석수	6량편성	1등실	129 석	598석 (접이식 27 포함)
		2등실	442 석	
	4량편성	1등실	61 석	407석 (접이식 16 포함)
		2등실	330 석	
차량폭		3020 mm		
차량높이		4670 mm		
대차중심간 거리		20,000 mm		
동력대차 축거		2750 mm		
부수대차 축거		2500 mm		
승강문 부위 바닥높이		1163 mm		
최대속도		160 km/h		
축중		공차	14.6 ton	
		최대	21.5 ton	
좌석피치(1등실/2등실)		1075/975 mm		
차륜직경(new/worn)		920/860 mm		
제동		상용(0.66 m/s²), 비상(1.05 m/s²)		
추진장치		• EMU type • 차량당 1개의 견인전동기 (최대출력: 398 kW/motor) • IGBT traction equipment		

<표 2.6> 이스라엘의 2층 열차 사양

차량편성	4량(동력차 1, 부수차량 3량)		
차량길이	부수차	26,800 mm	
	동력차	27,270 mm	
차량폭	2,774 mm		
차량높이	4,631.5 mm		
레일상면에서 출입구 바닥높이	1,150 mm		
객실높이	1층	2,010 mm	
	2층	2,010 mm	
승강문 폭	1,880 mm		
최대속도	140 km/h		
자중	부수차	47.5 ton	
	동력차	56 ton	
좌석수	부수차	142 석	총 505 석
	동력차	79 석	
HVAC	지붕에 설치(부수차 2, 동력차 1)		
차량재질	Steel		



<그림 2.30> 차량 단면과 좌석배치도

다음 그림은 SBB(스위스 연방철도)가 Bombardier Transportation에 2010년 6월에 발주한 최신형 intercity 2층 열차이다. 일반대차 방식을 사용한 8량 1편성 열차 길이는 200.6m이고 최고속도는 200km/h, 좌석수는 625석이다. 최고속도 기준으로 보면 일본 신간선의 MAX 시리즈의 240km/h 에 육박하는 고속열차에 가까운 차량이

다. 이 열차 시스템이 기존의 다른 시스템과 비교하여 가장 큰 차이점은 아주 제한적인 각도이지만 차량의 roll 모션을 보상하는 기능을 추가하여 곡선구간에서의 속도를 기존 차량보다 일부 향상시킬 수 있다는 점이다.



<그림 2.31> SBB 2층 열차(Twindexx, 제작사 : Bombardier, 2010 발주)



<그림 2.32> SBB 2층 열차(Twindexx, 제작사 : Bombardier) 2층 객실

2. 국내외 2층 고속철도 기술개발 동향 및 국내 기술 인력 인프라 현황분석

가. 국내외 2층 고속철도 기술개발 동향

(1) 국내 기술개발 현황

국내에서의 2층 고속열차 개발은 2012년 1월에 한국철도기술연구원 주요사업으로 착수한 「2층 고속열차 설계기반 및 기관차 운전실 편의성 평가 기술개발연구」에서 2층 고속열차에 대한 기초연구를 실시하고 있다. 이 외는 광역도시철도관련 2층 고속열차가 주로 이루어 지고, 실제 운행되고 있으므로 이에 대한 현황을 살펴보면 다음과 같다.

(가) 2층 급행열차 운영을 위한 기술개발 및 설계기준에 관한 연구

; 국내실정에 적합한 2층열차 모델 기초연구

(2001년 08월 30일 ~ 2004년 08월 29일, 한국철도기술연구원)

‘2층 급행열차 운영을 위한 기술개발 및 설계기준에 관한 연구’가 2001년부터 2004년 까지 3차년도에 걸쳐서 건설교통부의 지원을 받아 한국철도기술연구원이 주관으로 국내실정에 적합한 2층 열차 모델 기초연구를 수행하였다. 주요연구 범위는 수도권 광역철도망 2층 열차 시스템 기초연구 및 운용 타당성을 분석하여 2층 열차의 도입이나 개발에 활용될 수 있는 기본적 기초자료를 제시하였다.

검토 대상 노선과 차량은 수도권을 포함한 광역철도로써 설계운행속도 시속 140km에 대한 2층 열차 모델에 대하여 연구를 수행하였으며, 경춘선 ITX의 기반기술로 활용되었다. 준 고속 급행열차에 대한 2층 열차의 시스템 분석 및 인터페이스 검토가 수행되었으며, 이에 적합한 동력분산형 구성품의 기기배치 및 2층 차체구조 설계(안) 제시를 수행하였다. 또한 제안된 설계(안)에 대한 차체 구조해석 및 안전검토를 수행하였다.

이를 통해 준 고속에 대한 국내 기술개발 연구와 차량 개발이 진행되었다. 대상 차량은 축중에 큰 영향을 받지 않는 동력분산식에 대한 연구로써 차체의 경량화 측면보다 차량의 구조적 안전성 측면에 대한 연구가 주로 진행되어졌다. 일반대차를 적용함으로 2개 축을 사용하는 관절대차형에 비해 축중에 대한 부담력이 적은 특성에 따라 중량에 대한 증가를 크게 고려하지 않는다는 특징이 있다. 따라서 특별한 2층 열차의 경량화 기술을 적용하지 않고 2층 열차 구조에 적합한 차체 설계기술이 적용되었다. 동력분산식 및 고상 플랫폼에 적용하는 차체 객실설계에 대한 국내 기술은 기초연구를 통해 확보되어 있는 상태이다.

기존 기술 및 연구와 2층 고속열차 개발을 위해 필요한 기술 및 연구의 차별성을 주요 기술부분으로 나누어 검토하여 본다. 우선적으로 시스템 설계 기술측면에서 기존 2층열차가 확보하지 못한 수송력 증대를 확대하기 위한 관절대차용 객차를 활용하여 최대한의 객실공간을 확보하며 2층 좌석형과 1층 전동차형 좌석/입석형을 적용하는 설계기술을 확보하고자 한다. 또한 저상 플랫폼을 사용하는 고속열차의 특성에 따른 승강문과 1층 Floor 그리고 차량연결통로의 높이 차에 대한 설계를 진행하여야 한다. 또한 1층의 입석을 포함한 수송인원의 승하차에 소요되는 시간과 2층 승객의 승하차 경로 등을 고려한 출입문, 계단, 대기 공간 및 이동경로에 대한 최적화 설계 기술이 요구되어 진다.

(나) 경춘선 ITX-청춘 광역급행열차

2012년 2월 28일 영업 운행에 들어간 경춘선 광역급행철도(ITX-청춘)는 동력분산식 8량 1편성으로 제작된 180km/h 급행열차이며, 중앙 2개 부수객차만 2층 열차로 개발되어 운행되고 있다. 최고주행속도는 180km/h이며, 현재 운행 최고속도는 150km/h로 상업운행을 진행하고 있다. 제작은 국내 철도차량제작사인 현대로템의 자체 기술로 제작되었다. ITX-청춘 2층 열차는 동력 분산식 급행 광역 도시철도차량이며, 전동차와 동일한 고상 플랫폼에 적합한 승강문 높이를 가지고 있고, 일반대차 형식으로 축중에 큰 문제가 되지 않는 형태의 차량이다. 객실 구조는 1층과 2층에 모두 좌석형으로 구성되어 있으며, 관절대차에 비해 대차간의 간격이 짧고 2층 객실의 길이가 충분치 않아 실질적인 좌석 증대를 통한 수송량 증대량은 크지 않다. ITX-청춘 열차 투입 목적은 기존선 광역 전철화 구간인 용산 ~ 춘천 구간을 1시간 대 급행열차 운행을 통해 출퇴근 이용자 시간 단축 및 운행노선 특성상 관광지로서의 면모를 활용하기 위하여 2층 열차를 운행하고 있다. ITX-청춘 열차의 일반 사양은 아래 <표 2.7>에 제시되어 있다.

<표 2.7> 경춘선 ITX-청춘 광역급행열차 일반 사양

구 분	사 양
1. 차체	
연결면간의 거리	21,005mm (제어차), 20,000mm (구동차, 부수차)
차체길이	20,405mm (제어차), 19,500mm (구동차, 부수차)
차체폭	3,120mm
대차 중심간 거리	13,800mm
지붕높이	1층 차량 : 3,750mm (레일 상부면으로 부터) 2층 차량 : 4,410mm (레일 상부면으로 부터)

구 분	사 양
최대높이 (Panto Down 시)	4,500mm 이하 (레일 상부면으로 부터)
객실상면 높이 연결기 높이	1,170mm (레일 상부면으로 부터) 880± 10mm(레일 상부면으로 부터)
2. 대차 및 구동장치	
대차형식	공기스프링식 볼스터레스 대차 (Bolsterless Bogie)
궤간	1,435mm
고정축간 거리	2,500mm
차륜경	860mm
기초제동 방식	
- 구동대차	차륜 디스크 제동
- 부수대차	차륜 디스크 제동
지지장치	
- 1차	코일 스프링 + 고무 부시
- 2차	공기 스프링
동력전달장치	기어형 평행 카르단(Cardan) 방식
기어비	91 : 22 (4.136)
커플링	가요성 치차식
3. 견인 전동기	
형식	3상 농형 유도전동기
극수	4극
연속정격	250kW, 1,350V, 134A, 2,670rpm
1시간정격	280kW, 1,350V, 150A, 2,660rpm
최고 회전수	5,064rpm
냉각방식	자기통풍식
절연등급	200 Class
중량	720kg± 5%
4. 주 변압기	
방식	단상 외철형 무압 밀봉식
정격	
- 1차 권선	AC 25kV, 2,830kVA, 113.2A
- 2차 권선	4× 1040V, 2,550kVA, 4× 613A
- 3차 권선	1,560V, 280kVA, 179.5A
냉각방식	강제 송유 풍냉식
온도 상승한도	
- 권 선	85K (저항법)
- 오 일	65K (온도계법)
절연등급	A종
중량	3,610kg± 5% (오일쿨러 및 팬 포함)

구 분	사 양
오일펌프 모터	3.2kW, 440V, 3상, 60Hz
냉각송풍기 모터	2.5kW, 440V, 3상, 60Hz
5. 주변환장치	
제어용량	연속 250kW× 4
컨버터	
- 제어방식	단상 전압형 PWM 제어
- 입력전압	AC 1040V× 2
- 정격출력	DC 1,800V, 1,109kW
- 최대출력	DC 1,800V, 1,782kW 이상
- 효율	95% 이상
인버터	
- 제어방식	3상 전압형 VVVF 제어
- 입력전압	DC 900V ~ 1,800V
- 정격출력	AC 1,350V, 1,263kVA
- 최대출력	AC 1,350V, 2,067kVA 이상
- 효율	97% 이상
냉각방식	자연 냉각 방식
주전동기 접속	2대 병렬 영구접속
6. 판토틀라프	
형식	싱글 암형, 공기상승, 자중하강식
압상력	70± N
조작 공기압력	5 ~ 8kgf/cm ²
습판 재질	메탈라이즈 카본
7. 주전동 공기압축기	
형식	JYC-65FC
압축기	
- 토출 공기 압력	최대 10kg/cm ²
- 최대 토출 용량	1,600 ℓ /min
- 방 식	스크류방식, 1단 압축
전동기	3상, AC 440V, 60Hz 유도 전동기, 15kW
기동장치	15kW, VVVF 인버터 제어방식
8. 보조공기압축기	
압축기	80.8 ℓ /min
전동기	DC 80V, 400W, 1,700rpm (10분 정격)
9. 보조전원장치	
방식	IGBT 2중 초퍼 + 12상 전압형 인버터
입력전압	AC 1,548V (AC 1,238V ~ 1,703V)
출력전압 (교류)	220kVA, 3상 440V, 60Hz
출력전압 (직류)	30kW, DC 100V
정격용량 (연속)	250kVA
제어전원	DC 100V (DC 70 ~ 110V)
냉각방식	자연냉각방식

구 분	사 양																							
10. 축전지 형식 전압 용량 충전방식	Ni-Cd 알카리 축전지 1.2V/Cell (70Cell) 180Ah 상시 부동충전 방식																							
11. 냉난방환기장치 1) 냉난방장치 형식 냉방용량 난방용량 주 전원 온도조건 2) Line Flow Fan 형식 풍속 설치수량 전원 3) 히터 형식 전원	옥상 취부형, 천정집약 분산식 (1층 차량 : 노출형, 2층 차량 : 매립형) 1층 차량: 20,000kcal/h/unit × 2unit/량 2층 차량: 24,000kcal/h/unit × 2unit/량 9.3kW 3상, AC 440V, 60Hz 실외 : 35℃/ 65% RH, 실내 : 28℃/ 65% RH 전폐형 3상 유도전동기, 4극 6m³/min (운전실) 1대/운전실 3상, AC 440V, 60Hz Sheathed 전기 히터, Fan 히터 단상 AC 220V, 440V																							
12. ATP/ATS 장치 ATP 기능	- ERTMS 레벨 관리 - 운전모드 관리 - Cab Signaling 및 속도제어 - 차량 인터페이스 관리 - 차량																							
ATS 기능	위치 및 속도 관리 - 유지보수 인터페이스 관리 <table><tr><td>신 호 현 시</td><td>제한속도</td><td>지상자 주파수</td></tr><tr><td>G (진행)</td><td>Free</td><td>98kHz</td></tr><tr><td rowspan="2">Y (주의)</td><td>65km/h</td><td>90kHz</td></tr><tr><td>45km/h</td><td>106kHz</td></tr><tr><td>YY (경계)</td><td>25km/h</td><td>114kHz</td></tr><tr><td>R1 (정지)</td><td>0 (15km/h)</td><td>122kHz</td></tr><tr><td>Ro (절대정지)</td><td>0 (절대정지)</td><td>130kHz</td></tr><tr><td>절연구간</td><td>-</td><td>68kHz</td></tr></table>	신 호 현 시	제한속도	지상자 주파수	G (진행)	Free	98kHz	Y (주의)	65km/h	90kHz	45km/h	106kHz	YY (경계)	25km/h	114kHz	R1 (정지)	0 (15km/h)	122kHz	Ro (절대정지)	0 (절대정지)	130kHz	절연구간	-	68kHz
신 호 현 시	제한속도	지상자 주파수																						
G (진행)	Free	98kHz																						
Y (주의)	65km/h	90kHz																						
	45km/h	106kHz																						
YY (경계)	25km/h	114kHz																						
R1 (정지)	0 (15km/h)	122kHz																						
Ro (절대정지)	0 (절대정지)	130kHz																						
절연구간	-	68kHz																						
13. TCMS 장치 Monitor 장치																								

구 분	사 양
- 표시소자 - 해상도 - 표시문자수 TCMS 본체 (중앙/단말) - 주 CPU - ROM - RAM TCMS 유니트간 전송 - 방식 - 전송속도 TCM 유니트와 Monitor 장치간 전송 - 방식 - 인터페이스 - 전송속도 IC Card Reader - IC Memory Card 기억 용량 - 인터페이스 지상장치 TCMS 기능 - 승무원 지원기능	TFT 칼라 - LCD 640× 480 Dots 80문자× 60행 AMD486(32bit, M-CPU) 2Mbyte 16Mbyte (Tc 차 열차운행정보 기록용) 멀티드롭-반이중방식 2Mbps Point to Point Connection, Polling - Selecting 방식 RS-485 방식 (4Wire) 19200/38400bps 4Gbyte IC Card 제어장치, 모니터링 데이터 컨트롤 유니트 데이터 출력장치 출고확인 기능-운전자 및 차장 지원용 상태표시-시각표 정보표시-고장표시 및 처치표시-역 통과 방지 기능-속도기록기능-승강문 동작상태 표시-열차운전에 필요한 운전안내정보 표시등
- 서비스기기 제어기능	- PIC 장치 차내표시기 안내지령-PIC 장치 열차번호 및 행선표시기 지령 - PIC 장치에 자동방송지점
- 검수지원기능 - 차상 검사 기능	보정 지원 - 냉난방 장치 제어 지원 - 객실온도 표시 지원 - 화재탐지 장치 동작상태 감시- 고장 시 기기동작 및 차량상태 기록 - 대상기기의 Logger 데이터 수집 - 운전데이터 기록 - 적산주행거리 기록 - 제동장치 시험 - 보조전원장치 시험 - 주변환장치 시험 - 승강문 닫힘시간 측정시험 등 - 출고 전검사(PDT TEST)-일상검사 - 월상검사
14. 열차무선장치 주파수범위	146MHz ~ 174MHz대 (별도 지정주파수) 16K0F3E (광대역), 8K5F3E (협대역)

구 분	사 양
변조방식 출력 임피던스 채널수 소비전력 - 수신시 - 송신시	50Ω 공칭 30kHz 이상 (광대역), 12.5kHz 이상 (협대역) 4 채널 이상 DC 100V에서 0.5A 이하 2.3A 이하
15. 주차단기 방식 정격전압 정격전류 정격차단용량 정격차단전류 정격조작공기압 정격조작전압	진공차단기 AC 29kV AC 100A 100MVA 3,450A 5±1kg/cm ² DC 100V (DC 80V ~ DC 130V)
16. 교류피뢰기 공칭전압 정격전압 방전전류	25kV 38.5kV 10kA (8/20μs)

<그림 2.33>은 ITX-청춘 2층 열차 외관 모습을 보여준다. 스테인레스강 차체에 필름을 사용하여, 외형의 색상을 구현하였다. 고상홈 높이 근처에 1층 객실의 창문이 구성되어 있다.



<그림 2.33> ITX-청춘 2층 열차 2층 단부 외형

<그림 2.34>은 ITX-청춘 2층 열차의 1층 객실을 보여준다. 2x2열 좌석으로 이루어져 있으며, 상부코너에는 독서등, 공기 그릴이 있고, 중천정 중앙은 승객의 통행에 불편함이 없도록 높이를 최대한 확보하였다. 바닥에는 전동차에 많이 사용하는 모노롬 계열의 바닥재를 사용하였다.



<그림 2.34> ITX-청춘 2층 열차 1층 객실

<그림 2.35>은 ITX-청춘 2층 열차의 2층 객실 모습이다. 2층 역시 2x2열 좌석의 배치를 구성하고 있으며, 전반적인 구성은 1층과 동일하여, 중천정 상부 코너에 그림, 독서등이 있으며, 중간 통로는 승객의 이동편의를 위하여, 높이를 확보하였으나, 1층 객실의 높이보다는 작았다.



<그림 2.35> ITX-청춘 2층 열차 2층 객실

(2) 국외 기술개발 현황

2층 고속열차를 현재 운행하고 있는 나라는 일본과 프랑스이다. 또한 2층 고속열차를 개발하여 운영을 목표로 하고 있는 나라는 독일이므로 이 세 국가에 대해 기술개발 현황을 분석해 보았다.

(가) 프랑스

프랑스에서의 2층 고속열차를 개발은 고속철도 이용승객이 급증하는 노선인 파리 ~ 리옹 구간의 수송 용량 포화 상태를 극복하기 위한 대안으로 시작되었다. 프랑스는 주요 고속철도 노선에서의 급증하는 승객 대처를 위해 TGV 열차에 대한 고속화 프로그램과 TGV-duplex 프로그램이 동시에 진행되었다. 고속화에 대한 대표적인 프로그램이 2001년부터 프랑스 SNCF와 차량제작사인 Alstom 사가 시작한 관절대차형 고속전철 AGV(Automotrice Grande Vitesse)개발 사업이다. 이 사업은 동력분산식 차량 개념으로 시제 차량 3량 1편성으로 개발되어 2001년 3월부터 릴~카레(calais)에서 최고속도 320km/h로 시험을 달성하였고, 2007년 574.8km/h로 최고 속도를 주행한 이 차량은 프랑스 고속열차의 차세대 고속열차 프로젝트 일환 중의 하나이다. 이 열차는 신간선 300계와 같이 3량 1유닛(unit)로 구성하였으며, 주전동기는 600kw급 유도전동기를, 전력변환기는 IGBT를 사용하였다. 일본의 신간선, 독일의 ICE3와 함께 프랑스의 AGV는 동력 분산식을 적용한 점이 유사하다. AGV의 최고속도는 320km/h와 350km/h의 두 개의 버전이 상정되었다. 프랑스는 2001년부터 알스톰과 SNCF가 공동으로 350km/h의 영업속도를 갖는 2가지의 차세대 고속열차 프로젝트를 추진하였는데, 그 하나는 AGV 열차 개발 프로젝트로서 이 열차는 유럽 TSI 기준에 따르는 최초고속열차 개발 프로젝트이며, 유럽 전역을 운행하는 성능을 목표로 하여 다음과 같은 기술적 특징을 가지고 있다.

- 동력방식 : 분산식 동력장치 및 IGBT사용하는 VVVF 인버터 기술 적용
- 능동 현가장치 적용
- 소음 대책 : 방진블록 사용 (전동기 진동의 흡수로 차체 영향 감소)
- 제동 장치 개선 : 와전류 제동장치 개발 적용

AGV 열차는 기존 TGV에 최신 개발된 각종 기술을 적용하여 우수한 열차성능을 얻을 수 있도록 개발된 열차이며, 기술적 특성은 다음과 같다.

- 승차감 향상 : TGV가 300km/h로 주행할 때 발생하는 진동 궤도부담과 동일하게 작용하는 범위에서 속도 향상을 도모하였고, 이를 위한 능동 현가시스템을 개발하여 적용했다. 이 시스템은 부수대차에 장착되어 대차의 상하 운동을 능동 제어하는 방법으로 전기식 액츄에이터를 사용하였다. 이 능동시스템은 TGV-R에 장착하고 350km/h 시험주행을 실시하여, 이 장치 없이 300km/h로 주행했을 때 승차감과 장착상태로 350km/h로 주행할 때의 승차감이 거의 비슷하였다.

- 제동력의 향상 : 속도향상에 따른 감속거리를 동일하게 유지하기 위한 제동력의 향상이 필요했으며, 이를 위해 와전류제동을 채택했는데 첫 번째와 마지막 대차에 적용되었다. 이 제동장치는 기존 TGV에 장착하고 350km/h로 시험주행을 마쳤으며, 3분 운행간격에서 열적 부하 등에 의한 선로이상 없이 성능을 발휘하는 것이 증명되었다.

- 동력 관절대차 : 동력분산식은 객차 하부의 관절형 부수대차에도 전동기가 취부되는데, 이로 인해 객실에 진동과 소음을 증가시킬 우려가 있으므로 견인전동기와 차체사이에 Silent Block을 채택하고 진동을 줄이도록 하였다. 또한 관절대차에 전동기를 장착하면 전동기의 강제 공기냉각이 어려우므로 이를 전동기 자체 강제냉각 시스템을 적용하고 선로에서 들어오는 먼지를 제거하기 위해 소용돌이를 이용하는 방법 등이 적용되었다.

- 차체 : 차체는 알루미늄을 사용하였으며, 철제 TGV와 비교하면 2톤 정도를 경감시킬 수 있도록 전두부의 충격에너지는 TGV Duplex와 동일한 6MJ을 흡수하도록 하였다.

프랑스에서 2007년 이후 신규 발주되는 모든 TGV 고속열차는 2층 고속열차를 발주하기로 결정함으로써, 2007년 발주되어 2012년까지 도입하기로 한 유럽고속철도 통합 운행노선에 투입될 TGV-duplex 차량인 TGV-Euroduplex 또는 TGV-Dasye 열차는 독일 프랑스 스위스 룩셈부르크 및 스페인에서 운행되는 최고속도 320km/h 차량 95편성이 대부분 운행되고 있다. 또한 2012년 4월에는 SNCF에서 지중해 노선에 운행되는 고속열차 TGV-Euroduplex 2층 고속열차 40편성을 알스톰에 발주하는 등 2층 고속열차 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다. 특히 TGV 1세대 차량들이 1981년 운행되기 시작하여 설계수명 30년이 2011년 지남에 따라 SNCF에서는 정밀진단을 실시하여 향후 10년간 연장 운행 후 TGV-duplex로 교체하는 프로그램을 수립한 상태이다. <그림 2.36> 및 <그림 2.37>은 프랑스 차세대 2층 고속열차인 AGV 고속열차 모습을 보여주고 있다.



<그림 2.36> 프랑스 고속열차 AGV 모습



<그림 2.37> 프랑스 AGV 열차의 외형

(나) 독일

독일에서의 고속철도 고속철도망 신규 노선 프로그램은 ICE 열차의 유럽 국제노선에 더 많이 투입 운행하는 것이다. 특별히 독일 정부에서는 차세대 고속열차인 2층 고속열차 개발을 2009년부터 착수하였다. 개발 주체는 고속철도 운행기관인 독일 DB가 아닌, 독일 우주항공 연구센터인 DLR(The German Aerospace Center)에서 차량제작사인 Bombardier사와 함께 차세대 고속철도차량 불리는 400km/h급 2층 고속열차인 NGT(Next Generation Train ; Double-decker) 차량 개발 연구에 착수하였다. 고속철도차량의 공기역학적인 특성과 경량화 구조 설계를 기본으로 한

400km/h급 2층 고속열차 개발에 1단계로 2014년까지 진행하는 것으로 발표되었다. 향후 개발되어질 NGT 차량은 기본 윤축 일체형이 아닌 독립구동형 저상형 대차 (low floor running gear)으로 개발하고 있다. 대차에 있는 동력장치는 차륜 마다 각각의 동기모터를 갖도록 하고 이들을 조합으로 개별적으로 제어할 수 있는 시스템으로 설계를 진행하고 있다. 각 차륜마다의 횡 방향 위치를 검지할 수 있는 센서장치를 통해 상대측 차륜의 공회전을 방지할 수 있도록 하는 새로운 개념의 차량을 개발하고 있다. 투입하고자 하는 노선은 Paris ~ Vienna ~ Munich 국제열차 노선과 현재 독일에 새롭게 건설되어 지고 있는 고속철도 노선인 Strasbourg ~ Stuttgart ~ Ulm ~ Wels ~ Munich ~ Stalzburg 구간이다. <그림 2.38>는 현재 개발되어지고 있는 NGT 차량의 시뮬레이션상의 모습이다.

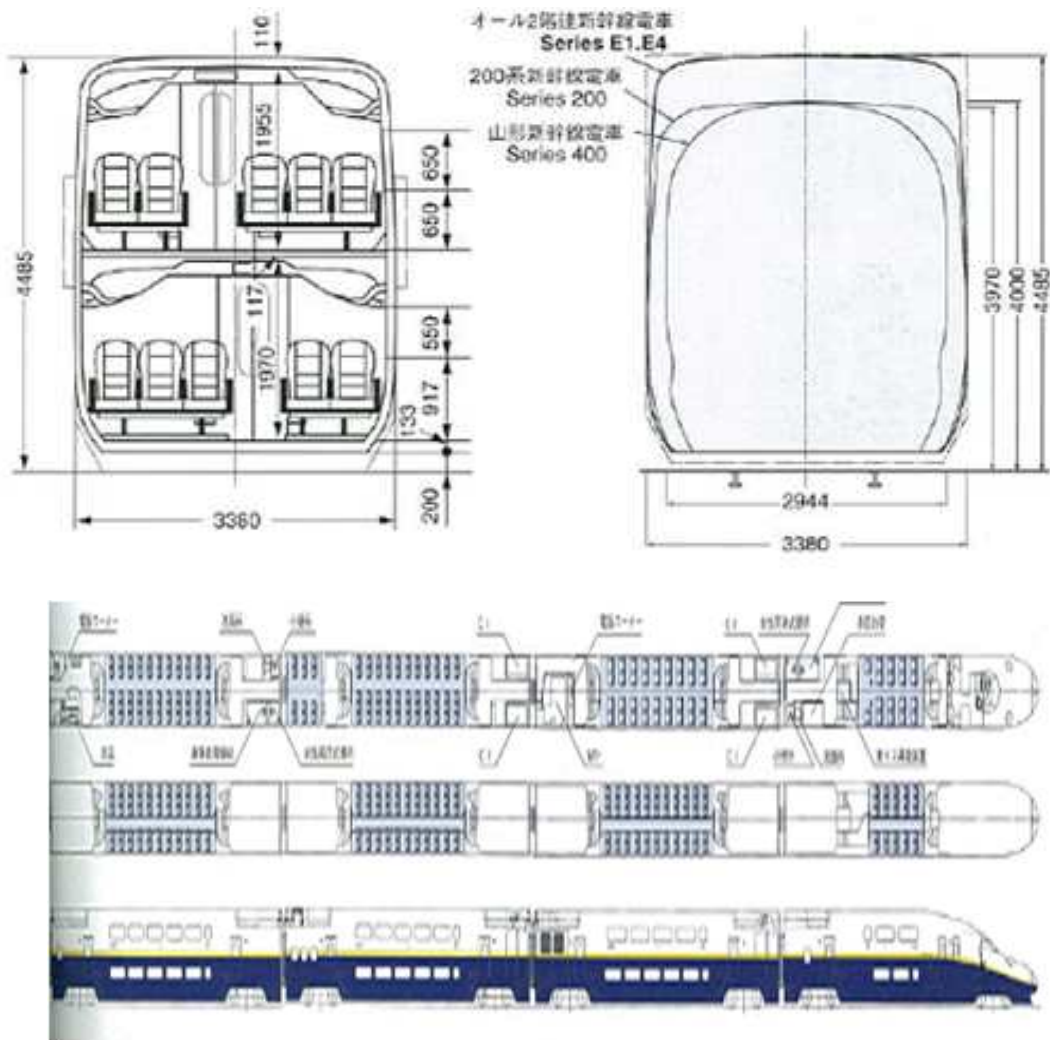


<그림 2.38> 독일 차세대 2층 고속열차인 NGT 차량 조감도

(다) 일본

일본의 2층 고속열차는 JR 각사에서 차량 이용 용도 및 수송 능력 측면에서 서로 다른 관점에서 2층 고속열차를 투입하게 되었다. 우선 JR-East 경우에는 교외지역에 거주하는 출퇴근자의 대량 수송을 위한 2층 열차를 개발하였고, JR-Central은 특실 손님을 확대하기 위해 신간선 100열차(1982년 운행)에 2층 열차를 트레일러 차량에 적용하였고, JR-West에서는 신간선 100계 차량 7호/11호 차량에 1층은 손님을 태우고 2층에는 식당차를 운행하는 형태로 하였고, 200계 차량에는 특실을 2층 열차로 운행하였다. 특별히 일본 동경권을 중심으로 영업을 하는 JR-East의 경우에는 신칸센 1시간 운행거리 영역권에 사는 사람들을 보다 많이 수송하기 위하여 2층 열차를

개발하여 운행하였다. 1994년에 운행하기 시작한 E1 2층 고속열차와 1997년 E4(신칸센 MAX)가 운행되기 시작하여, 2012년 현재에도 출퇴근 시간대의 많은 손님들을 수송하고 있다. 다음 <그림 2.39>은 일본 JR-East의 2층 고속차량인 E1/E4 열차의 차량 단면도를 보여주고 있다. 이들 차량의 경우 차량 높이는 국내 ITX-청춘과 비슷하지만, 차폭이 넓음을 알 수 있다.



<그림 2.39> 일본 JR-East의 2층 고속차량인 E1/E4 열차의 차량 단면도

일본의 2층 고속열차는 동력분산식 차량으로 관절대차 형식이 아닌 일반대차를 사용함으로써 축중에 대한 문제를 최소화 시켰다. 일본의 동력분산식 차량 선호에는 축중을 가볍게 함으로써 지진이 많은 국토 특성을 고려하여 축중을 최대한 낮추어 철도인프라 주요 구조물들의 내진설계를 강화하기 위한 것임을 이야기 하고 있다.

나. 국내 기술 인력 현황 분석

2층 고속열차 인적 능력은 2층 고속열차를 기획하고 실행하는 최종 목표를 달성하기까지의 인력을 현황 조사 중심으로 분석하였다. 2층 고속열차를 기획하고 연구를 실제 행하여 최종 성과물을 도출하여 검증하는 부분까지의 연구 인력을 개략적으로 분석하면 <표 2.8>와 같다. 다만, 실제 연구과제 수행 시에는 전문분야 해석, 시험, 설계 부문 산업체가 추가되므로, 본 기획 사업을 통해 최종 산출물을 달성하기에는 충분한 인적 능력이 있음을 알 수 있다.

<표 2.8> 철도분야 연구 인적자원 현황

기관	철도분야 연구직	비고
한국철도기술연구원	270	정부출연연구소
한국기계연구원, 기계시스템안전연구본부	30	정부출연연구소
한국항공우주연구원 공력해석 부문	10	정부출연연구소
한국재료연구소 소재 부문	10	정부출연연구소
한국과학기술원 기계/항공우주전공/녹색교 통대학원	20	대학
서울과학기술대학교 철도전문대학원	10	대학
한국교통대학교	20	대학
한양대학교 철도시스템공학과	12	대학
홍익대학교 기계/전기·전자공학과	10	대학
연세대학교 기계/전기	10	대학
서울대학교 기계/항공/전기공학과	10	대학
우송대학교, 철도대학원	15	대학
인하대학교 기계/재료	10	대학
한국철도공사 철도연구원	30	운영기관
한국철도시설공단 녹색철도연구소	20	철도시설 기획·건설
현대로템, 기술연구소	120	산업체
우진산전, R&D부문	30	산업체
유진기공, R&D부문	20	산업체
대원강업, R&D부문	15	산업체
동양강철, R&D부문	10	산업체
한국화이바, R&D부문	20	산업체

다. 국내 연구시험 인프라 장비 분석

2층 고속열차 개발에 따른 연구시험 인프라 장비 현황은 다음과 같다.

(1) 주요 실험실 장비

(가) 제동성능시험기

o장비용도: • 열차 주행 중 비상제동 및 상용제동 시 열차를 정지할 수 있도록 하는 각종 제동장치 부품(제동디스크, 제륜자 등)의 성능을 평가하기 위한 장비 • 실차의 기계제동 마찰특성의 정량적 시험평가 및 철도차량 제동시스템의 연구개발을 위한 장비

o시험항목: • 마찰재 및 디스크 성능시험
• 디스크 및 제륜자의 마찰계수측정
• 시험신청에 따른 성능평가시험

o주요사양: • 최고속도 420km/h, 1900kg·m² 관성
• 최대 구동동력 : 540HP
• 최대 구동토크 : 2,527Nm
• 최대 구동속도 : 2500RPM(400km/hr, Φ 860mm 기준)
• 최대 제동토크 : 25,000Nm

o보유기관: 한국철도기술연구원



(나) 드라이빙 기어 시험기

o장비용도: 고속전철 및 전동차용 감속구동장치의 부하에 따른 진동, 소음, 누유, 기어강도, 온도, 베어링 이상유무, 기계효율 등의 성능 측정과 내구성을 평가하고 확인하기 위한 시험 장비

o시험항목: • 기어의 굽힘강도 및 치면 피로에 대한 내구성 시험
• 감속기 오일 누유 시험 • 온도상승 시험
• 효율 시험 • 진동 시험
• 소음 시험 • 백래쉬 측정(Tooth Clearance)
• 치면 접촉 상태 및 베어링 이상 유무

o주요사양: • 입출력모터 : 1300kW(690V)
• 입출력 모터 : 1300kW(690V)
• 토크 : 57,000Nm
• 시험대상 : 전동차, KTX, G7감속기
• 측정인자 : 토크, 회전수, 진동, 온도
• 시험방식 : 동력흡수식

o보유기관: 한국철도기술연구원



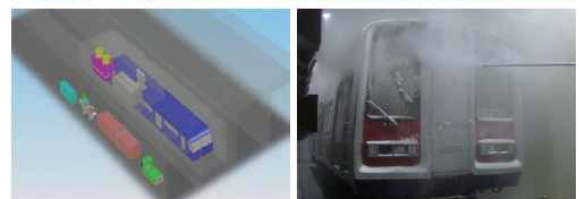
(다) 추진장치 성능시험장치

o장비용도: • 추진장치 성능시험설비는 추진인버터와 전동기의 조합인 피시험체의 성능시험을 실시하며, 추진장치의 개발 또는 형식인증 단계에서 추진장치의 성능을 시험하고 검증하는 장비 • 전원제어 설비, 부하제어 설비 및 운전/계측 설비로 구성되어 추진장치에 대한 속도, 부하제어 및 속도-토크, 전류, 전압, 출력, 손실, 온도 등을 측정할 수 있는 기능을 갖추고 있음 o시험항목: 시험대상 : DC 1.5KV, DC 750KV, AC 22KV-차량 추진장치 o주요사양: • 장비 주요 성능 - 정격용량 : 1대 단독운전 660kW, 3500N.m / 2대 연결운전 1320kW, 7000N.m - 최대 시험속도 : 최대 5000rpm - 최대 토크시험 : 10000N.m • 장비 주요 사양 - 교류전원설비 : 정격 3000kVA, 25kVA 단상 AC, 2500kW 상평형 장치 - 직류전원설비 : 정격전압 750V/1500V, 제어범위 450V~1000V, 900V~2000V o보유기관: 한국철도기술연구원	
--	--



(라) 철도차량 실대형 환경챔버

o장비용도: • 철도차량 객실의 냉방성능 시험 • 철도차량 객실의 난방성능 시험 • 객실내 온도, 기류 분포 시험 • 객실내 덕트 풍량 분포 시험 • 철도차량 객실용 공기정화장치의 성능시험 o시험항목: UIC 553, 553-1 규격 시험 ISO 7726 규격 시험, EN 13129-1,2 규격, EN 14750-1,2 규격, EN 14813-1,2 규격 시험 o주요사양: • 챔버 크기 : 34(L) X 6(W) X 6(H) m (시험가능 차량 크기 : 27(L) X 3.6(W) X 4.8(H) m • 고온 및 저온 구현 : -40 ~ 60 ℃ • 고습 및 저습 구현 : 10 ~ 95 RH% • 결빙 성능 : -10 ℃에서 10 mm 이상 • 태양광 모사 : 500 ~ 1,120 W/m² • 풍동 성능 : 0 ~ 15 km/h • 객실 내 100지점 동시 온도 모니터링 가능 • 객실 내 20지점 동시 3차원 풍향풍속 모니터링 가능 • 객실 내 2지점 동시 덕트 풍량 측정 가능 • 객차 내외부 표면 온도 측정 가능 o보유기관: 한국철도기술연구원	
--	--



(마) ATC 시험기

o장비용도: 열차의 ATC시스템 차상제어장치의 기능을 시험 및 분석하기 위한 연구시험장비 • 철도신호시스템의 운용환경시험을 위한 온습도진동 복합시험기 • ATC 차상장치시험 기능 • 피시험체와의 인터페이스 시험 • 운용환경시험 : 온습도진동 복합시험기를 통한 온도, 습도 및 진동에 대한 복합적인 시험가능 환경 제공 • 사용전원 : AC 220 V o시험항목: ATC 차상장치 운전모드 및 기능분석에 활용 • ATC 차상장치의 주요 기능 분석 및 동작 메커니즘 분석 용도로 활용 o주요사양: 진동시험기 24kN, 5~2500Hz ATC 차상기능시험설비 • VXI MainFrame, Embedded Controller, Switch Matrix • Digital Oscilloscope, Multi Function Synthesizer, Pulse Generator, Dynamic Signal Analyzer, Frequency Response Analyzer ATC 차상기능시험설비 제어기 • Pentium-III Dual CPU 1GHz, 256M RAM o보유기관: 한국철도기술연구원	
--	--



(바) 철도구조물 성능시험기

o장비용도: 철도교량모형, 궤도구조, 건축구조, 철도 차량 등의 모형 또는 실물 크기 실험체에 대한 정/동적 시험을 수행하는 시험설비로 2500kN의 수직 액추에이터, 500kN의 수평 액추에이터 및 유압펌프, 컨트롤러로 구성된 유압가진 시스템, 재하프레임 일체형으로 2축 동시 재하가 가능한 장비 o시험항목: • 휨/전단/압축/인장 시험 • 2축 동시재하 동적 시험 • 피로시험 o주요사양: 250톤, Actuator 외 • 재하 프레임 : 허용 수직최대하중 250kN, 허용 수평최대하중 500kN • 500kN 동적액추에이터 : 1기 (stroke 100mm, $\pm 10\text{mm}$ at 5Hz) • 2500kN 동적액추에이터 : 1기 (stroke 150mm, $\pm 3\text{mm}$ at 5Hz) • Hydraulic Pump : 680lpm • Hydraulic Service Manifold : 2개 • Controller • DAQ : 64Ch (EDX-2000A) o보유기관: 한국철도기술연구원	
--	--



(사) 견인전동기 성능시험기

o장비용도: • 철도차량용 Traction Motor의 성능 시험을 위해 실제 차량과 동일한 제어환경을 구성하여 Traction Motor의 전반적인 기능과 성능을 확인하고, 차량운행조건에 대한 특성시험을 수행
• 철도차량의 견인전동기를 주행상태의 부하 여러 조건하에서 시험가능

o시험항목: • 무부하 특성시험
• 구속시험
• 부하특성시험
• 연속정격온도상승시험

o주요사양: • 6.6Kv, 정격용량 22,000kVA
• 6.6Kv, 3상 500kVA, 주파수변환방식, 정격용량 22,000kVA
• 정격전압 3,000V, 1,500V, 750V
• 부하발전기 : 660kW 농형유도전동기 2대
• 제어장치 : 벡터제어 인버터
• 제어방식 : 토크/속도제어
• 최대시험속도 : 5,000rpm
• 토크시험검출용량 : 3,000N·m, 10,000N·m
• 정격용량 : 1대 단독운전 660kW, 3,500N·m / 2대 연결운전 1,320kW, 7,000N·m

o보유기관: 한국철도기술연구원



(아) 스프링 시험기

o장비용도: 철도차량 1, 2차 현가요소(스프링, 댐퍼, 부쉬류 등)에 대한 특성 및 성능 시험장치
• 스프링 특성, 내구시험
• 댐퍼 특성, 내구시험
• 부쉬, 고무류 특성시험

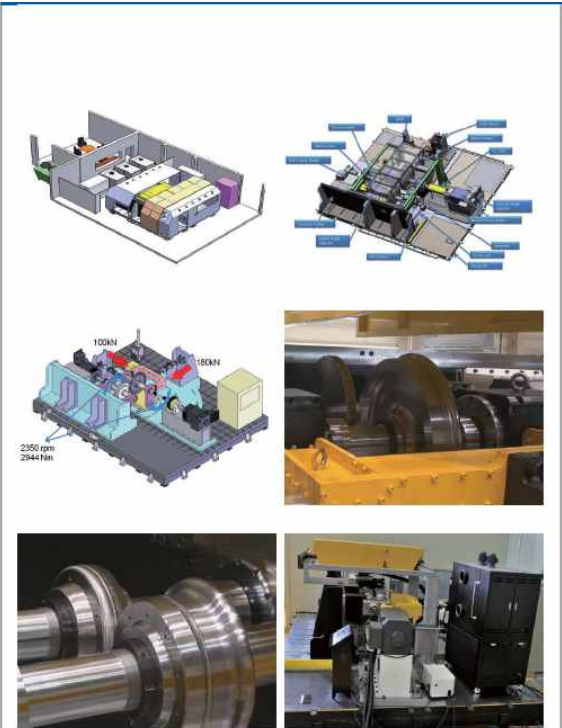
o시험항목: • 고속철도차량, 기존철도차량 현가요소(스프링, 댐퍼) 특성 시험 및 성능평가
• 각종 방진재, 노후 현가요소 특성 시험

o주요사양: • 스프링시험기
- 시험하중 : 수직 40톤, 수평: 10톤
- 액추에이터 변위 : 수직 150mm, 수평 130mm
- 동적성능 : 수직 2Hz, 25mm, 수평 2Hz, 50mm
- 피시험체 : 코일/고무 축상 스프링, 공기스프링, 부쉬 및 스프링류
• 댐퍼시험기
- 시험하중 : 3톤
- 최대변위 : 최대 200mm
- 동적성능 : 10Hz, 10mm
- 피시험체 : 1차/2차 오일댐퍼, 요댐퍼, 차체간댐퍼

o보유기관: 한국철도기술연구원



(자) 고속 차륜/레일 접촉시험기

o장비용도: • 차륜 및 레일의 접촉성능평가 • 차륜과 레일의 프로파일 최적화 • 레일과 차륜의 피로수명 산정 • 직곡선부 레일 마모현상 규명 • 레일과 차륜의 점착특성 규명 • 레일과 차륜의 마찰특성 규명 o시험항목: • 레일-차륜 회전 접촉 시험 (Rolling Contact Fatigue Test) • 레일, 차륜 마모 시험 • 레일, 차륜 마찰계수 측정 시험 • 레일, 차륜 점착계수 측정 시험 등 o주요사양: • SSpecimen : Wheel & Rail 300~1000mm (diameter) • Driving Motor : 355KW Servo Motor, • Radial Loader : Max. 180kN, $\pm 2.5\text{mm}$ @ 20Hz • Thrust Loader : Max. 100kN, $\pm 7.5\text{mm}$ @ 20Hz • Test speed : 0~2470RPM @ 1000mm (445km/h) • Slip rate : -10~+100% • Contact angle range : $0\sim 3^\circ$ • Attack angle range : $-3^\circ\sim +3^\circ$ • Environment Control : Dry, Wet, Sand, Oil, Temperature, Humidity o보유기관: 한국철도기술연구원	
--	---

(차) EMI/EMC 챔버

o장비용도: • 전자파 적합성(EMC) 시험을 위해 주변 전자파의 영향을 받지 않는 전자파 차폐실 및 균일한 전자계를 형성하기 위한 전자파 무반사실을 설치하고 전자파 장애(EMI) 측정 시스템 및 전자파 내성(EMS) 시험 • EMI Test Receiver 및 Loop Antenna, Bilog Antenna를 별도로 구성하여 완성차의 전자파 장애 측정(IEC62236-3-1/ EN 50121-3-1) 가능 o시험항목: • 철도차량 구성품 EMC 시험 (IEC 62236-3-2, EN 50121-3-2) • 방사내성 시험(IEC 61000-4-3), 전도내성 시험(IEC 61000-4-6) • Radiated Emission 시험/Conducted Emission 시험 (CISPR 11) o주요사양: • CISPR 11, IEC 61000-4-3 • 전자파 반무반사실, 전자파 차폐실 • Radiated Emission(3m), Conducted Emission 측정 시스템 • 방사 내성 시험, 전도 내성 시험 시스템 • 정전기 방전 시험 시스템 • 전원 설비 용량 : DC 150V/ 40A, AC 단상 300V/ 50A o보유기관: 한국철도기술연구원	
---	--

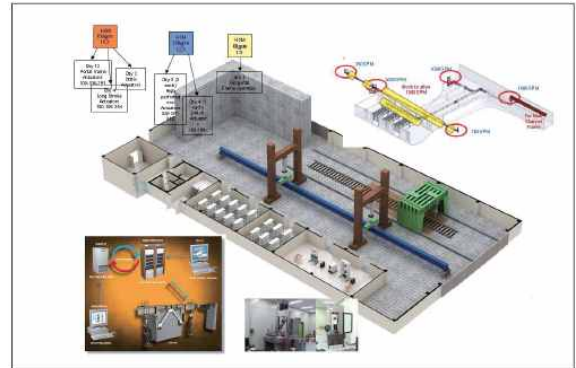
(가) 실험형 통합 성능시험기

o장비용도: 철도교량, 궤도구조, 건축구조, 철도차량 등 실물 크기 실험체에 대한 정/동적 시험을 수행하는 시험설비

o시험항목: • 정적 재하 및 파괴시험
• 고사양(High Frequency & Long Stroke) 동적가진 시험
• 피로시험
• Quasi-Static & Pseudo-Dynamic 시험
• 실시간 하이브리드 (Real Time Hybrid 시험)

o주요사양: • 45.5m(L)×14.4m(W)×1.2m(T) 외
• 반력벽 : (13.5+10)m(L)8m(W)2m(T)
• 반력상 : 45.5m(L)14.4m(W)1.2m(T)
• 재하용 이동프레임 : 자주식 이동, 허용 수직최대하중 250kN×6ea, 허용 수평최대하중 250kN×3ea

o보유기관: 한국철도기술연구원



(타) 판토틀라프 시험기

o장비용도: 전차선으로부터 열차에 전력을 공급하는 팬터그래프의 인증시험, 형식시험 및 전수시험 등의 각종 정적특성시험과 내구성 시험 및 팬터그래프 동적거동 평가 등의 연구개발을 위한 장비

o시험항목: 팬터그래프 압상력 시험, 동작시험, 내구성 시험, 동적시험 등.

o주요사양: 팬터그래프 정적시험기

- 근접센서 : 20mm, 100Hz
- Load cell : 0~490 N
- Distance Gauge : 4000mm, 0~10V RS-232
- Servo Motor : AC220V, 800W
- Lead Screw : Ball Screw, BNF4010-5
- Electric Cylinder : 40kgf-m
- 이동대차 자동고정설치 : 유압 CLAMP 방식

팬터그래프 내구성시험기

- 근접센서 : 20mm, 100Hz
- Servo Motor : AC220V, 800W
- Lead Screw : Ball Screw, BNF4010-5
- 이동대차 자동고정설치 : 유압 CLAMP 방식

팬터그래프 동적시험기

- 유압가진기 : 용량-20kN, 최대진폭-1mm, 최대주파수-50Hz
- 가속도센서 : 최대가속도-50G
- 변위센서 : AML/E±100

o보유기관: 한국철도기술연구원



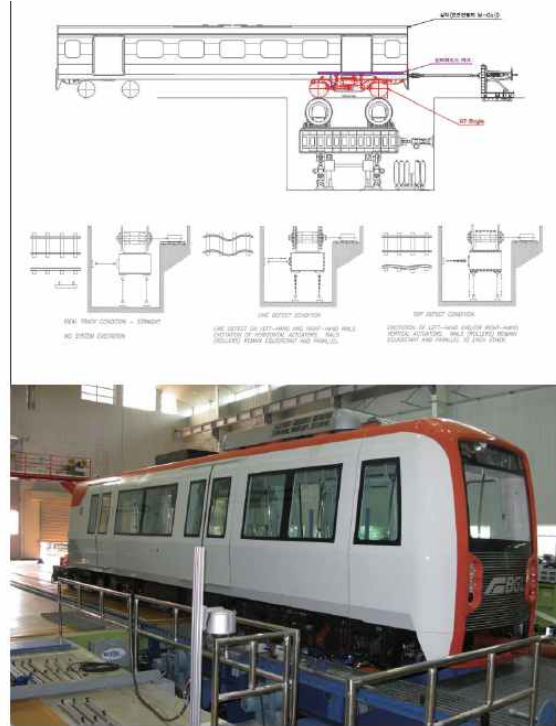
(파) 대차 동특성 주행시험기

o장비용도: 열차 주행 시 궤도틀림 등으로 인하여 대차에 전달되는 진동특성 등의 연구를 위해, 시험실 내에서 레일에 해당하는 궤조륜시스템과 궤도틀림을 모사하기 위한 유압가진시스템 등을 구성하여 실제 열차가 영업선에서 주행하는 것과 동일한 조건을 구현함으로써 1 Bogie 또는 1 Car에 대한 동특성 메커니즘을 평가하기 위한 장비

o시험항목: ● 주행안정성(임계속도) 시험
● 주행 동적특성 시험
● 주행모사 시험

o주요사양: ● 최고시험속도 : 420km/h
● 최대축하중 : 20ton
● 시험대상 : 2축대차 1량 및 차량 1량(Half Carbody 방식)
● 궤간 : 표준궤간(1435mm), 광궤간(1676mm)
● 축간거리 : 1400~3500mm
● 궤조륜 직경 : 1376mm
● 가진장치
- One Table 가진방식
- 가진제어 : 정현파, 구현파, 임의파형 및 실궤도 불규칙파
- 액추에이터 : 7대(수직 4대, 수평 3대)
- 횡방향 가진 : $\pm 1.5 \sim 10\text{mm}$ (40~6Hz)
- 수직방향 가진 : $\pm 1.5 \sim 10\text{mm}$ (30~6Hz)
- 회전방향 가진 : 2.5'~12' (20~6Hz)

o보유기관: 한국철도기술연구원



(2) 300km/h급 2층 고속철도 인프라 시범 인터페이스 적용 현장 시험

- 2층 고속철도 차량 주요 운행 구간으로 예상하고 있는 경부고속철도 광명 ~ 대전 구간에서 고속철도 인프라 시범 인터페이스 적용시험 및 실차 운용 시험을 실시할 계획이다.

3. 기존 기술(연구)과의 차별성

‘2층 급행열차 운영을 위한 기술개발 및 설계기준에 관한 연구’가 2001년부터 2004년 까지 3차년도에 걸쳐서 건설교통부의 지원을 받아 한국철도기술연구원이 주관으로 국내실정에 적합한 2층 열차 모델 기초연구를 수행하였다. 주요연구 범위는 수도권 광역철도망 2층 열차 시스템 기초연구 및 운용 타당성을 분석하여 2층 열차의 도입이나 개발에 활용될 수 있는 기본적 기초자료를 제시하였다.

검토 대상 노선과 차량은 수도권을 포함한 광역철도로써 설계운행속도 시속 140km에 대한 2층 열차 모델에 대하여 연구를 수행하였으며, 경춘선 ITX의 기반기술로 활용되었다. 중고속 급행열차에 대한 2층 열차의 시스템 분석 및 인터페이스 검토가 수행되었으며, 이에 적합한 동력분산형 구성품의 기기배치 및 2층 차체구조 설계(안) 제시를 수행하였다. 또한 제안된 설계(안)에 대한 차체 구조해석 및 안전검토를 수행하였다.

이를 통해 준고속에 대한 국내 기술개발 연구와 차량 개발이 진행되었다. 대상 차량은 축중에 큰 영향을 받지 않는 동력분산식에 대한 연구로써 차체의 경량화 측면보다 차량의 구조적 안전성 측면에 대한 연구가 주로 진행되어졌다. 일반대차를 적용함으로써 2개 축을 사용하는 관절대차형에 비해 축중에 대한 부담력이 적은 특성에 따라 중량에 대한 증가를 크게 고려하지 않는다는 특징이 있다. 따라서 특별한 2층 열차의 경량화 기술을 적용하지 않고 2층 열차 구조에 적합한 차체 설계기술이 적용되었다. 동력분산식 및 고상 플랫폼에 적용하는 차체 객실설계에 대한 국내 기술은 기초연구를 통해 확보되어 있는 상태이다.

기존 기술 및 연구와 2층 고속열차 개발을 위해 필요한 기술 및 연구의 차별성을 주요 기술부분으로 나누어 검토하여 본다. 우선적으로 시스템 설계 기술측면에서 기존 2층 열차가 확보하지 못한 수송력 증대를 확대하기 위한 관절대차용 객차를 활용하여 최대한의 객실공간을 확보하며 2층 좌석형과 1층 전동차형 좌석/입석형을 적용하는 설계기술을 확보하고자 한다. 또한 저상플랫폼을 사용하는 고속열차의 특성에 따른 승강문과 1층 Floor 그리고 차량연결통로의 높이 차에 대한 설계를 진행하여야 한다. 또한 1층의 입석을 포함한 수송인원의 승하차에 소요되는 시간과 2층 승객의 승하차 경로등을 고려한 출입문, 계단, 대기공간 및 이동경로에 대한 최적화 설계 기술이 요구되어 진다.

다음은 경량 최적화 기술분야로 앞에서 언급한 바와 같이 관절대차를 적용한 2층 고속열차에 수송력 극대화를 달성하기 위해서 가장 필수적인 기술이다. 관절대차용 객차는 객실공간 확보에는 유리하지만 차량 당 축이 2개로써 일반대차용이 4개의

비해 차량 중량을 분담하는 축당 분담력이 2배로써 철도안전법 기준에 따라 차량의 총 만차 중량은 34ton을 넘어서는 안된다. 또한 수송력 증대를 위해서 KTX-산천 대비 승객량을 100%이상 증대 시킬 경우 승객 중량만 7.5ton으로 승객을 제외한 중량을 26.5ton 이하로 제작하여야 한다. KTX- 산천의 경우 영차의 중량이 29ton~30ton인 것을 고려할 때 2층 구조로써 26.5ton을 만족시키기 위해서 얼마나 많은 경량화와 소형화를 달성해야 하는지 예측할 수 있을 것이다. 다시 말해 2층 고속열차의 경량화는 단품별의 경량화 뿐만아니라 차량시스템에 대한 경량화까지 포함하여 전반적인 검토가 진행되어야 함을 의미한다.

경량화 기술과 더불어 시스템 성능검증 기술은 일반열차가 아닌 고속열차를 2층으로 설계하며 이를 통해 무게중심이 승객의 분포에 따라 변화되는 경향을 가지고 있다는 점을 고려할 때 아주 주요한 기술이다. 차체 단면적 증가와 고속화에 따른 공력특성을 포함한 주행안정성 평가가 다양한 무게중심에 대하여 면밀하게 예측되고 검증되어야 한다. 정적 및 동적 특성, 탈선안전도, 터널 미기압파 변동 특성 등에 대한 검토가 본 연구를 통해 진행되어야 한다.

또한 고속선로 인프라시스템과의 인터페이스를 검토하여 국내의 환경에 적합한 2층 고속열차 설계 기준을 제시하여야 할 것이다.

끝으로 본 기술을 통해서 얻어진 설계를 통해 차량을 제작하고 조립하는 기술을 국내 최초의 경량화 관철대차형 2층 고속열차의 제작을 위해 활용하여야 한다. 또한 동력차의 개조 및 대차와 차체의 인터페이스를 고려한 대차 현가장치 개조 등이 기존에 진행되어지지 않았던 분야로 본 연구의 중요한 역할을 감당할 것이다.

다음 <표 2.9>는 2층 준고속 열차 개발을 통한 국내 기술현황과 2층 고속열차 개발을 위해 요구되는 기술의 차별성을 분야별로 나누어 보여주고 있다.

위에서 언급한 분야 기술별로 2층 고속열차 개발을 위해 설정하는 목표를 정리하여 본다. 시스템 설계 기술분야에서는 KTX-산천 대비 최대 100% 수송력 증대하도록 설계하여야 하며, 통근형 열차의 수송량 증대에 불구하고 승하차 시간을 현 상태를 유지할 수 있도록 승강문 위치 검토 및 플랫폼에서 접근이 용이한 저상형 floor 적용 그리고 대기공간과 이동 동선을 고려한 최적화 설계를 수행하여야 한다. 경량 최적화 기술에서는 수송량 및 차량 구조 증가에 따른 량당 6톤 중량 증가를 해결하기 위해 KTX-산천 대비 차체골조 경량화 7% 감소 (약 2ton), 구성품 경량화 30% 감소(약 3ton) 그리고 중량/강도 관련 최적설계 공법 개발 추진을 통해 약 1ton의 경량화 목표를 가지고 진행되어야 한다.

시스템 성능검증 분야는 해석을 통한 예측과 시험을 통한 검증을 통해 주행안전성이 확보된 설계(안)를 제시하고 성능평가 체계(안)를 구축한다. 또한 10만km 시험

운전을 통한 신뢰성 평가 및 확보를 목표로 한다. 인터페이스 분야는 설계기준 제시를 차량 제작분야는 제작과 개조를 통한 2층 고속시제열차 조립을 목표로 한다.

<표 2.9> 2층 열차관련 기존 기술과의 차별성

분야	기존 연구 내용	추가 요구 연구
시스템 설계 기술	-EMU/일반대차 2층 객차 설계 -180km/h급 2층 객차 설계 -고상플랫폼 승강문 적용	- 관절대차용 2층 객차 설계 - 2층 단부객차 설계 - 300km/h급 2층 객차 설계 - 저상플랫폼 승강문 적용 - 수송력 극대화 시스템설계
경량 최적화 차체 기술	차체 강도 측면 고려	- 축중기준 만족 경량화
시스템 성능검증 기술	실내 환기 특성 고려	- 공력 특성 및 영향력 평가 - 高 무게중심 고속화 차량 주행 안정성 검토
인터페이스 기술	기존선 인프라 인터페이스	- 고속선 인프라 인터페이스 검토 및 설계 기준

4. 특허 동향 분석

가. 분석범위

본 분석에서는 한국, 일본, 유럽, 미국의 공개 및 등록특허를 특허분석 대상으로 하여 선행특허조사를 통해 유사특허를 추출하였고, 추출된 유사특허를 대상으로 정량분석을 실시하였으며 정량분석의 범위는 다음과 같다.

(1) 분석대상 특허

<표 2.10> 특허 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	WIPS DB	1992.01.01 ~ 2012. 06(검색일)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본	WIPS DB		특허공개 및 등록 전체문서
	미국	WIPS DB		특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽	WIPS DB		EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

* 분석구간: 한국, 미국, 일본, 유럽 - 1992~2012.6(출원년도 기준)

(2) 분석대상 기술 및 검색식 도출

(가) 기술분류체계

본 분석에서는 과제의 RFP 제안서를 기초로 2층 고속열차기술을 대분류로 하고, ‘차량시스템 경량화/최적화’, ‘설계 및 제작기술’, ‘성능검증기술’, ‘인터페이스기술’을 중분류로 하여 특허동향분석을 실시하였으며, 심층분석(정성분석)시의 기술 분야를 동일하게 적용하였다.

〈표 2.11〉 특허 분석대상 기술분류

대분류	중분류	소분류
A: 2층 고속열차기술	AA: 차량시스템 경량화/최적화기술	AAA: 차체 경량화
		AAB: 전장품(보조전원장치) 경량화
		AAC: 제동제어장치(BOU, 주공기압축기) 경량화
	AB: 설계 및 제작기술	ABA: 2층 객차설계 및 제작
		ABB: 공기조화설계
		ABC: 승강문 설계 및 제작
		ABD: 차량연결시스템 설계 및 제작
	AC: 성능검증기술	ACA: 안정성검증, 성능평가, 시험평가, 특성평가
	AD: 인터페이스 기술	ADA: 차량-인프라 인터페이스
		ADB: 객차-대차 인터페이스

(나) 기술분류기준

<표 2.12> 특허 분석대상 기술분류기준

대분류	중분류	소분류	검색개요 (기술범위)
A: 2층 고속열차 기술	AA: 차량시스템 경량화/최 적화기술	AAA: 차체 경량화	차체 골조 경량화, 접합 및 용접 경량화 방안, 객실설비 경량화, 복합소재를 활용한 경량화, 차체시스템 경량화 측면 최적화
		AAB: 전장품(보조전원장치) 경량화	보조전원장치 소형화 및 경량화
		AAC: 제동제어장치(BOU, 주공기압축기) 경량화	제동제어장치(BOU) 및 주공기압축기 시스템 소형화 및 경량화
	AB: 설계 및 제작기술	ABA: 2층 객차설계 및 제작	차체 가공/조립 기술, 실내 공간 및 구성품 배치 설계, 저상플랫폼에 적합한 승강문 및 1층 floor 높이 설계, 승객이동 및 승하차 대기를 고려한 부속실 및 계단 설계
		ABB: 공기조화설계	복층 공기흐름을 고려한 배출구 및 리턴구 위치선정, 내부 공기덕트 경로설계, 입석을 고려한 공기유속 균등 설계, 실내환기 특성평가(1층 철도차량의 공기조화기술 포함)
		ABC: 승강문 설계 및 제작	터널압력 상승과 4개의 승강문에 따른 기밀도 항상 승강문 설계 및 제작(1층 철도차량의 승강문 설계기술 포함)
		ABD: 차량연결시스템 설계 및 제작	관절대차를 고려한 2층 고속열차용 보조연결시스템 설계 및 제작(1층 철도차량 연결시스템 기술포함)
	AC: 성능검증기술	ACA: 안정성검증,성능평가, 시험평가, 특성평가	차량의 정적/동적 거동 특성 평가, 탈선안전도 평가, 주행안전성 평가, 외부형상에 따른 공력특성 평가, 주행저항, 터널내 압력변동 특성 평가, 판도그래프 공력특성 평가, 2층객차 단품 성능평가, 시제열차 시험운전 신뢰성 평가(1층 열차의 적용기술 포함)
	AD: 인터페이스 기술	ADA: 차량-인프라 인터페이스	객차와 선로구조물간의 인터페이스(1층 철도차량인터페이스 기술 포함)
		ADB: 객차-대차 인터페이스	객차 무게중심 높이 변화에 따른 대차 현가장치 성능 재검토 (2차현가장치, 횡댐퍼, 요댐퍼 등)(1층 철도차량 기술포함)

(다) 핵심키워드 및 검색식

본 기술개발에 필요한 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술분류를 포함할 수 있는 검색식을 작성하여 완성하였다. (최초의 검색식에서는 AB, AC, AD 분야에서 기술적으로 2층 객차구조를 전제를 하고 검색을 하였으나, 해당 출원 건이 소량에 불과하여 2층 구조의 한정을 제외하고, 일반 철도에서 사용되는 기술이지만 2층 객차구조에 적용될 수 있는 기술로 확장함)

기술분류체계에 따른 최종 검색식은 <표 2-13>와 같다.

<표 2.13> 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식					
				KR	US	JP	EP	합계
A: 2층 고속열차 기술	AA: 차량시 스템 경량화 / 최적 화기술	AAA: 차체 경량화	(기차 or 열차 or 차량 or ((철도 or 궤도 or 레일) and 차량) or 트레인 or train or (rail near road) or railborne or railway or vehicle or express) and (경량 or (light near weight)) and (골조 or 프레임 or 뼈대 or (알루미늄 and 압출) or framework or skeleton or frame or ((aluminium or aluminum) and extrusion*) or ((용접 or 접합 or 본딩 or 웰딩 or (복합 near (소재 or 재료)) or weld* or bond* or composite*) and (고속 or 급행 or (high near speed) or fast or (rapid near transit*)))) AND (B60* or B61*).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)	172	55	459	7	693
		AAB: 전장품(보조전 원장치) 경량화	(기차 or 열차 or 차량 or ((철도 or 궤도 or 레일) and 차량) or 트레인 or train or railway or (rail near road) or railborne or vehicle or express) and (경량 or 소형 or 컴팩트 or (light near weight) or miniatur* or compact or small) and (전원 or 전력 or 파워 or power) and (보조 or 예비 or 추가 or 이차 or 2차 or auxiliary)AND (B61* or B60*).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)	33	42	110	11	196
		AAC: 제동제 어장치(B OU, 주공기 압축기) 경량화	(기차 or 열차 or 차량 or ((철도 or 궤도 or 레일) and 차량) or 트레인 or train or railway or (rail near road) or railborne or vehicle or express) and (경량 or 소형 or 컴팩트 or (light near weight) or miniatur* or compact or small) and (((제동 or 브레이크) near (제어 or 컨트롤 or 콘트롤)) or (brake near control*) or ((공기 or 에어) near 압축) or (air near compress*)) AND (B60* or B61*).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)	52	228	120	115	515
	AB: 설계 및 제작기 술	ABA: 2층 객차설 계 및 제작	(2층 or 이층 or 복층 or 2단 or (two near stories) or (double near deck*) or (double near level) or double or (더블 near 데커)) and (기차 or 열차 or 차량 or ((철도 or 궤도 or 레일) and 차량) or 트레인 or train or railway or (rail near road) or railborne or vehicle or express) and (차체 or 본체 or 몸체 or 골조 or 프레임 or 뼈대 or 샤시 or 구조 or 바디 or body or frame or chassis or structure or skeleton) AND (B61*).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)	34	36	43	42	155
		ABB: 공기조 화설계	(공기 or 에어 or air) and (덕트 or 출구 or 입구 or 냉방 or 환기 or (공기 near 조화) or 공조 or duct or outlet or inlet or cool* or ventilat* or (air near (condition* or flow)))) and (B61D*).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)	149	264	347	156	916
		ABC:	(기밀 or (air near tight) or (gas near tight) or 팩킹 or	23	161	41	64	289

대분류	중분류	소분류	검색식	KR	US	JP	EP	합계
		승강문 설계 및 제작	패킹 or 실링 or 씰링 or pack* or seal*) and (문 or 출입 장치 or 도어 or 게이트 or 개폐 or 입구 or 출구 or door or entry or gate or exit or entrance or open* or enter*) AND (B61*).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)					
		ABD: 차량연 결시스 템 설계 및 제작	((관절 or 연결) near (보기 near 대차)) or ((articulat* or jakob) near (bogie or truck)) or ((차량 or 객실 or 차체) near 연결) or ((body or vehicle or room) near (connect* or link*)) AND (B61G*).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)	53	25	128	37	243
	AC: 성능검 증기술	ACA: 안정성 검증,성 능평가, 시험평 가, 특성평 가	(평가 or 검증 or 테스트 or 시험 or evaluat* or test*) and (안전성 or 성능 or 신뢰성 or 특성 or 거동 or performance or property or quality or characteristic or safety or reliability) AND (B61*).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)	40	78	57	33	208
	AD: 인터페 이스 기술	ADA: 차량-인 프라 인터페 이스	(기차 or 열차 or (철도 near 차량) or 트레인 or train or (rolling near stock) or vehicle or express) and (선로 or 철도 or 레일 or 인터페이스 or 인프라 or (rail near road) or railway or railborne or track* or interface or infra*) AND ((B61B* or B01K* or B01L*) and (E* or F* or G*)).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)	29	37	117	32	218
		ADB: 객차-대 차 인터페 이스	(대차 or 보기 or bogie or truck) and (인터페이스 or interface or 현가* or 서스펜션 or suspension *) AND (B61F*).IPC. AND (@AD>=19920101<=20120615)	60	133	91	143	427
총계				645	1059	1513	640	3860

(3) 유효특허 선별

(가) 유효특허 선별 기준

<표 2.14> 유효특허 선별 기준

대분류	중분류	소분류	노이즈제거 및 유효특허추출기준
A: 2층 고속 열차 기술	AA: 차량시스템 경량화/최 적화기술	AAA: 차체 경량화	차체/객실설비 등 차체시스템의 경량화기술과, 차체를 경량화하기 위한 용접/접합/압출방법 및 복합소재와 관련된 기술을 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함
		AAB: 전장품(보조전원장치) 경량화	철도차량의 보조전원장치와 관련된 기술을 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함
		AAC: 제동제어장치(BOU, 주공기압축기) 경량화	철도차량의 제동장치 관련된 기술은 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함
	AB: 설계 및 제작기술	ABA: 2층 객차설계 및 제작	2층 객차구조를 가지는 열차와 관련된 기술은 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함
		ABB: 공기조화설계	철도차량의 공기조화장치/환기장치와 관련된 기술을 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함.
		ABC: 승강문 설계 및 제작	철도차량의 승강문 설계, 특히 기밀도 향상과 관련된 기술을 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함
		ABD: 차량연결시스템 설계 및 제작	철도차량의 차량/객실 연결장치와, 관절대차에 관련된 기술은 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함
	AC: 성능검증 기술	ACA: 안정성검증,성능평가, 시험평가, 특성평가	철도차량의 성능/신뢰성/안전성/특성/거동을 평가/검증/테스트/시험하는 내용과 관련된 기술을 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함
	AD: 인터페이 스 기술	ADA: 차량-인프라 인터페이스	객차와 인프라(선로구조물) 간의 인터페이스와 관련된 기술을 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함
		ADB: 객차-대차 인터페이스	객차와 대차 사이의 현가장치와 관련된 기술은 유효특허로 하고, 이외의 특허는 노이즈로 제거함

(나) 유효특허 선별 결과

<표 2.15> 2층 고속열차 기술의 유효특허 선별결과

소분류	유효데이터 건수				
	한국	일본	미국	유럽	계
AAA: 차체 경량화	43	141	14	5	203
AAB: 전장품(보조전원장치) 경량화	15	30	6	3	54
AAC: 제동제어장치(BOU, 주공기압축기) 경량화	13	31	3	3	50
ABA: 2층 객차설계 및 제작	3	12	3	29	47
ABB: 공기조화설계	84	133	8	30	255
ABC: 승강문 설계 및 제작	8	16	7	29	60
ABD: 차량연결시스템 설계 및 제작	26	41	3	19	89
ACA: 안정성검증, 성능평가, 시험평가, 특성평가	19	23	12	13	67
ADA: 차량-인프라 인터페이스	9	74	14	9	106
ADB: 객차-대차 인터페이스	29	33	65	73	200
총계	249	534	135	213	1131

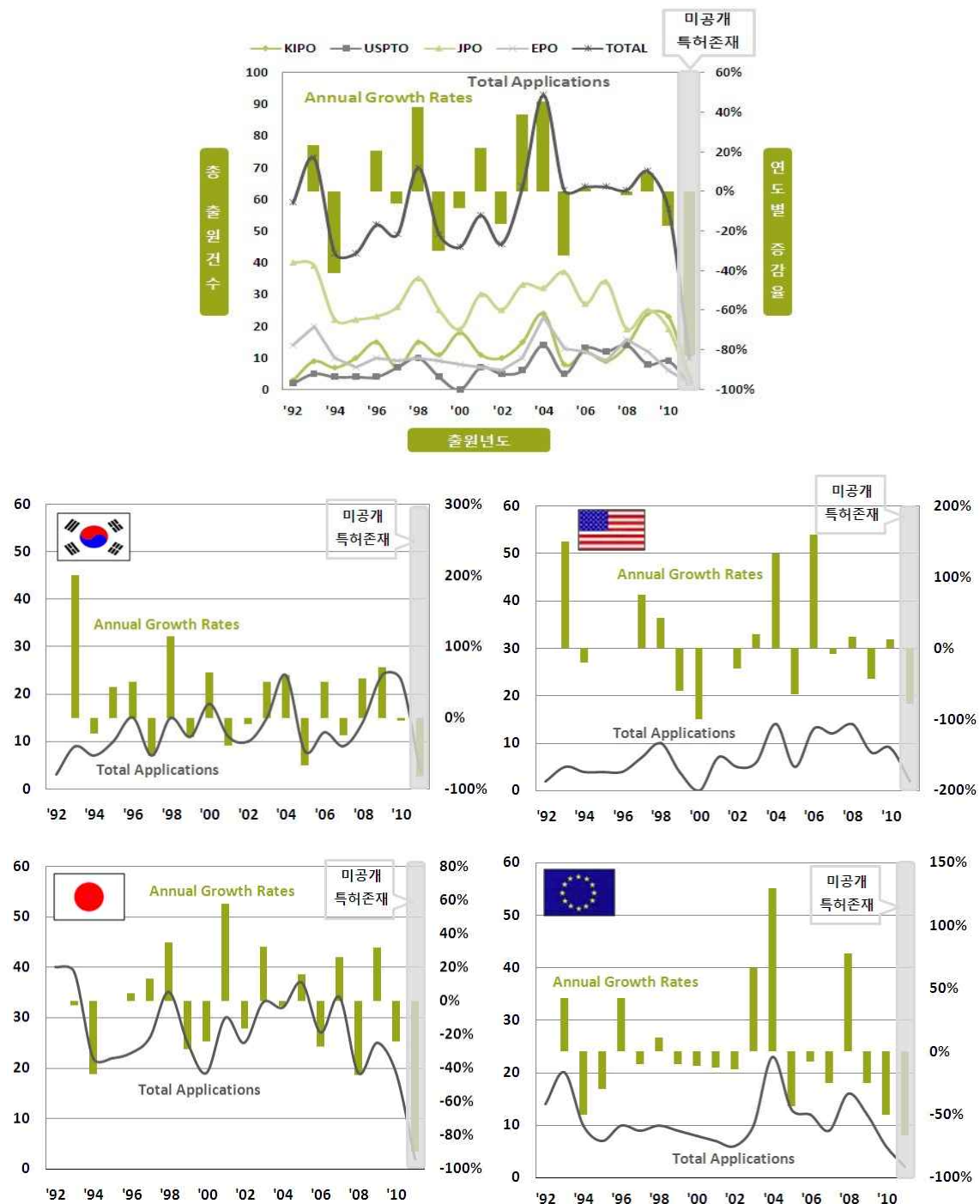
나. 특허기술 Landscape

(1) 국가별 연도별 특허동향

2층 고속철도 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거기적인 관점에서 분석해보면 1992년부터 2003년까지 증감을 반복하다가, 2004년에 갑자기 상승을 한 이후에 2005년 이후부터는 일정수준의 출원 건수를 유지하고 있는 것으로 파악된다. 한국의 경우는 1992년부터 2010년까지 소폭증감을 반복하면서도 증가추세에 있고, 미국은 전반적으로 출원이 타 국가에 비하여 출원이 저조하지만 최근에는 일정수준의 출원건수를 유지하고 있는 것으로 파악하였다. 일본의 경우는 상대적으로 타국가에 비하여 출원건수가 많으며, 분석구간 전체에 걸쳐서 소폭으로 증감을 반복하는 양상을 보이고 있으며, 유럽의 경우에는 2004년에 가장 많은 출원건수를 보

이다가 최근 2년(2009년, 2010년)에는 다소 감소 추세에 있음을 알 수 있다.

연도별 동향을 기준으로 살펴보면, 한국과 유럽에서는 2004년도를 기점으로 급격한 출원건수를 보이고 있는데, 이러한 경향은 한국에서는 2004년도에 KTX를 처음 도입하였고, 서유럽에서도 영국 및 스페인에서 고속 신선이 부분 개업된 영향으로 인한 것으로 추측된다.

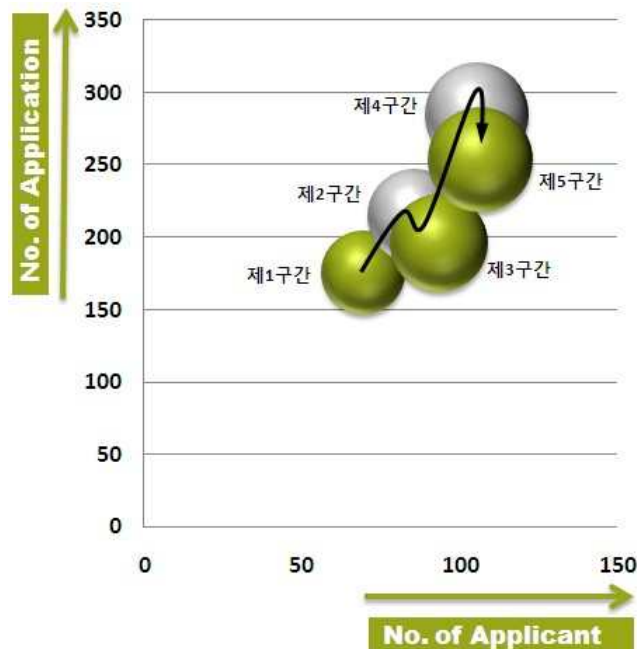


<그림 2.40> 2층 고속열차 관련 특허 전체 연도별 동향

(2) 기술시장 성장단계 파악

(가) 전 세계 기술시장 성장현황

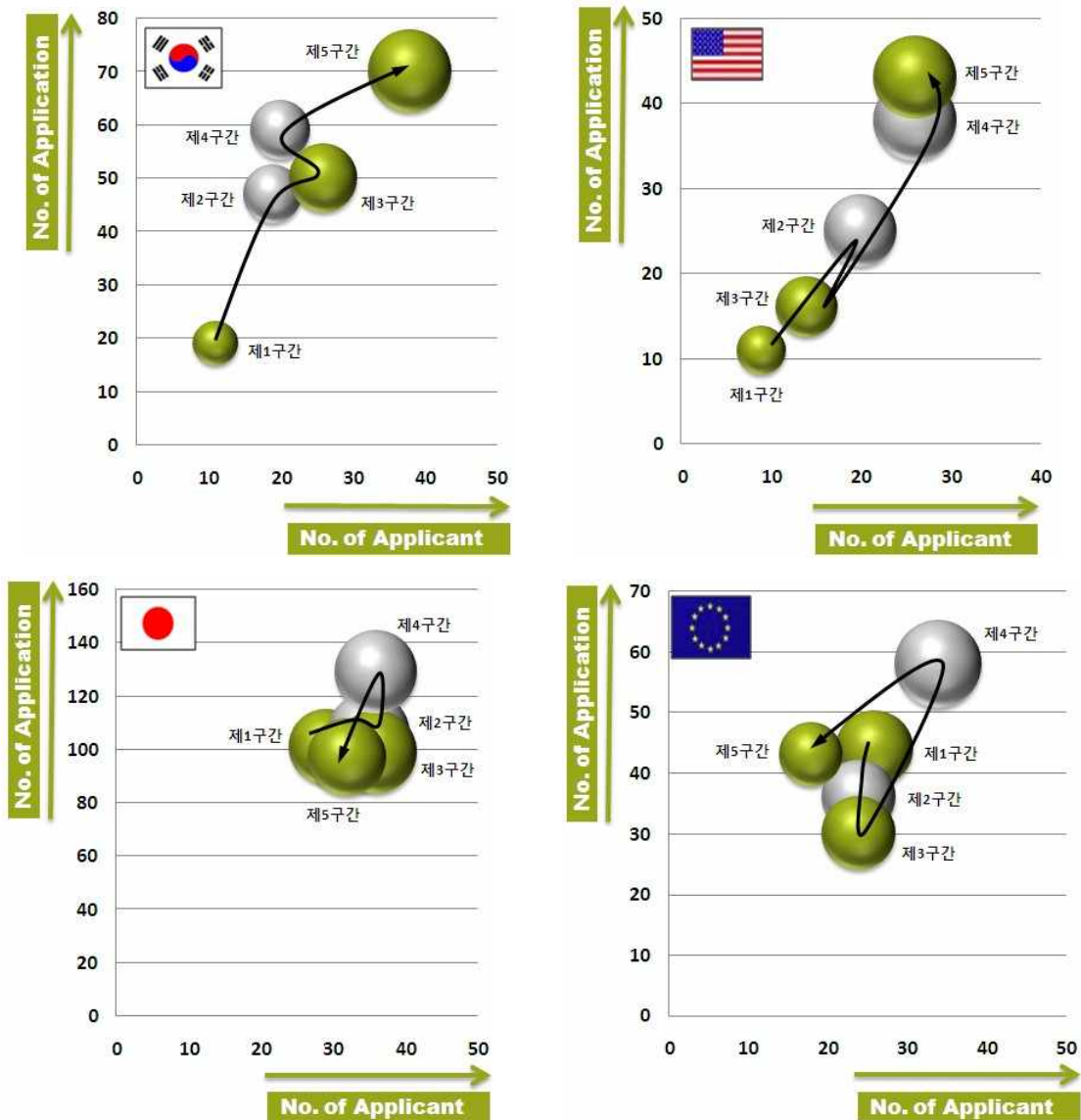
전 세계적으로 2층 고속열차의 기술위치를 살펴보면, 분석구간 전체에 있어서 출원인의 수는 지속적으로 증가하고 있지만, 출원건수는 소폭으로 증감을 반복하고 있는 것으로 확인되므로, 명확하게 시장 성장단계를 정의하기는 어렵지만 성숙단계에 근접하다고 판단할 수 있음.



제1구간: '92-'94, 제2구간: '95-'98, 제3구간: '99-'02, 제4구간: '03-'06, 제5구간: '07-'10

<그림 2-41> 2층 고속열차 관련 전 세계 기술시장 성장현황

(나) 각 국가별 기술시장 성장현황



제1구간: '92-'94, 제2구간: '95-'98, 제3구간: '99-'02, 제4구간: '03-'06, 제5구간: '07-'10

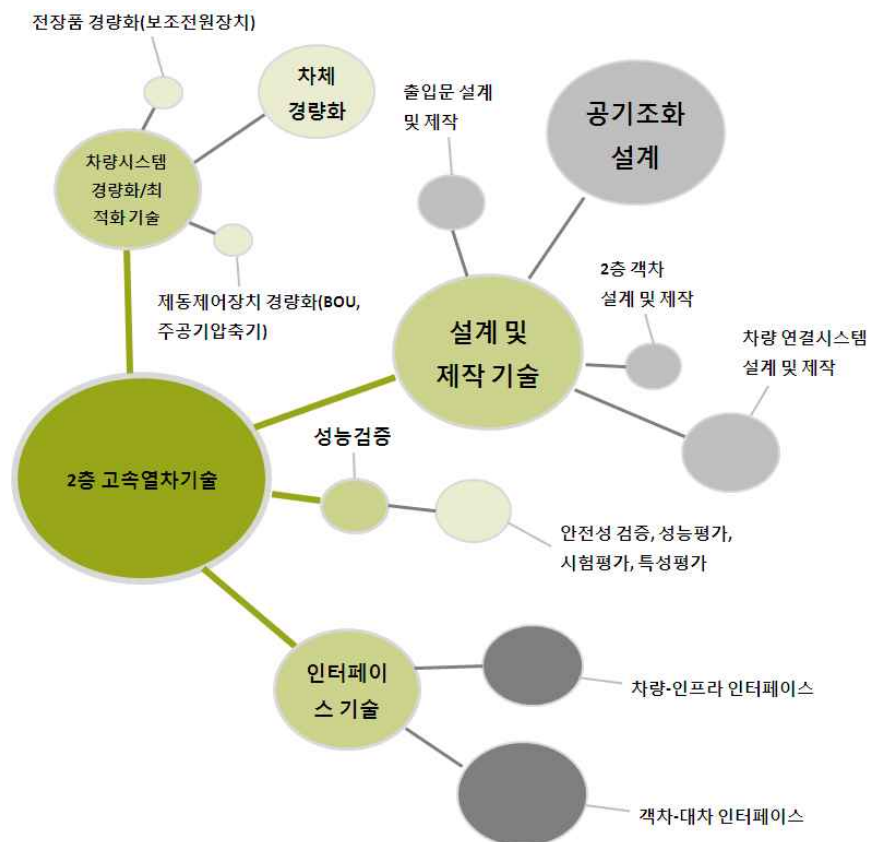
<그림 2-42> 각 국가별 기술시장 성장현황

본 그래프는 국가별로 2층 고속철도기술의 기술적 위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로서, 전체 출원 중 최근의 출원 동향을 5개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있다. 각 구간은 1구간(1992년~1994년), 2구간(1995년~1998년), 3구간(1998년~2002년), 4구간(2003년~2006년), 5구간(2007년~2010년)으로 나누었다.

포트폴리오로 나타낸 한국특허의 기술위치는 1구간(1992년~1994년)부터 5구간(2007년~2010년)까지 대체적으로 출원 건수와 출원인의 수가 계속 증가하는 성장기

의 단계에 있는 것으로 분석된다. 포트폴리오로 나타난 미국특허의 기술위치는 3구간(1998년~2002년)은 2구간(1993년~1996년)에 비하여 출원인과 출원건수가 오히려 감소한 양상을 보이지만, 1구간(1992년~1994년)에서 2구간(1993년~1996년)까지, 3구간(1998년~2002년)부터 5구간(2007년~2010년)까지 출원건수와 출원인의 수가 증가하는 양상을 보이므로 전체적으로는 성장기 단계에 있는 것으로 분석된다. 포트폴리오로 나타난 일본특허의 기술위치는 출원인수와 출원건수가 소폭으로 증감을 반복하고 있지만, 전체적으로 큰 변화가 없이 정체되어 있는 양상을 보이고 있으므로 성숙단계에 있는 것으로 해석될 수 있다. 포트폴리오로 나타난 유럽특허의 기술위치는 1구간(1992년~1994년)부터 3구간(1998년~2002년)까지는 출원건수와 출원인의 수가 감소하는 양상을 보이다가, 4구간(2003년~2006년)에서는 갑자기 출원건수와 출원인수가 증가하다가 다시 5구간(2007년~2010년)에서는 출원건수와 출원인수가 감소하는 양상을 보이고 있는데, 전체적으로는 성숙기 또는 쇠퇴기 단계에 있는 것으로 분석할 수 있다.

(3) 세부기술별 점유별 분석



<그림 2-43> 2층 고속열차 관련 세부기술별 점유율 분석

중분류 기준으로 기술별 점유율을 살펴보면, 설계 및 제작기술(AB)의 분야가 가장 많은 출원 건수를 보유하고 있고, 다음으로 차량시스템의 경량화/최적화 기술(AA)와 인터페이스기술(AD)이 비슷한 수준의 출원 건수를 보유하고 있으며, 성능검증기술(AC)은 가장 낮은 출원 점유율을 보이고 있는 것으로 파악된다. 설계 및 제작기술(AB) 분야가 가장 많은 출원이 검색된 이유로는 설계 및 제작기술은 철도차량의 기본기술에 해당하기 때문이라고 사료된다. 소분류 기준으로 기술별 점유율을 살펴보면, 공기조화설계기술(ABB)가 가장 높은 점유율을 차지하고 있고, 이어서 차체경량화기술(AAA), 객차-대차 인터페이스기술(ADB), 차량-인프라 인터페이스기술(ADA), 차량연결시스템 설계 및 제작기술(ABD) 등이 순차적으로 높은 점유율을 차지하고 있고, 2층 객차 설계 및 제작기술(ABA)이 가장 낮은 점유율을 차지하고 있는 것으로 파악된다.

다. 기술개발 분야의 R&D 현황 분석

(1) 차체 경량화 기술관련 유사 선행문헌 분석

핵심기술1		연구개발방향(요소기술)		
차체 경량화 기술(핵심기술1)		① 차체골조 경량화, 복합소재를 활용한 경량화, ② 접합 및 용접 경량화, ③ 객실설비 경량화, 차체시스템 경량화 측면 최적화		
유사특허 비교분석				
구 분	특허(등록·출원) 번호	비 고	관련 핵심기술	권리비교
국내	KR 1,147,317 (현대로템 주식회사)	유사점	①	철도차량 차체의 언더프레임 상면에 장착되어 객실을 바닥을 이루는 바닥구조체가 허니콤 판재로 구비
		차이점		접합 및 용접, 객실설비 경량화 관련된 내용은 개시되지 않음
	KR 766,362 (한국철도기술연구원)	유사점	①	철도차량의 차체의 상부를 구성하는 상부프레임은 경량의 복합소재로 이루어지고, 하부를 구성하는 언더프레임은 알루미늄 압출재료로 구성함.
		차이점		접합 및 용접, 객실설비 경량화 관련된 내용은 개시되지 않음
	KR 609,280 (주식회사 한국화이바)	유사점	①	복합소재를 이용하여 일체로 성형된 철도차량용 차체 및 그 제조방법을 개시함
		차이점		접합 및 용접, 객실설비 경량화 관련된 내용은 개시되지 않음
해외	JP 2012 - 020593 (KAWASAKI HEAVY IND LTD)	유사점	①	철도차량의 측구체를 알루미늄 합금제의 중공 압출형재를 이용한 더블스킨구조가 개시됨
		차이점		접합 및 용접, 객실설비 경량화 관련된 내용은 개시되지 않음
	JP 2010-083213 (NIPPON SHARYO SEIZO KAISHA LTD)	유사점	①, ②	철도차량의 외측판과, 세로뼈대, 옆뼈대를 레이저 용접을 하되, 외측판의 외측면에 요철형상으로 구비하여 용접부위가 눈에 띄지 않도록 함
		차이점		객실 설비 경량화 관련된 내용은 개시되지 않음
	JP 1996-085457 (HITACHI LTD)	유사점	③	차량의 측구체에 일체성형의 경합금제의 중공압출하는 형재에 의한 선반구조가 개시됨
		차이점		접합 및 용접 경량화는 개시되지 않음
검토 의견	차체 경량화기술의 ① 차체골조 경량화, 복합소재를 활용한 경량화, ② 접합 및 용접 경량화, ③ 객실설비 경량화, 차체시스템 경량화 측면 최적화이 함께 구현되는 경우는 거의 없고, 차체골조에 대한 경량화기술이 주류를 이루고 있음.			
	국내에서는 철도기술연구원 및 현대로템 주식회사가 선두기업이지만, 전세계를 기준으로 일본 기업들의 관련 출원이 압도적으로 많은 것으로 파악되므로 일본이 기술적으로 앞서 있으며 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 해석될 수 있음 다만, 2층 열차구조에서만 적용될 수 있는 차체 경량화기술은 상대적으로 많이 검색되지 않았으므로, 해외시장의 진입/선점을 위해서는 2층 열차구조에 대한 적극적인 연구와 해외출원을 통한 권리확보가 필요할 것으로 사료됨.			

(2) 전장품(보조전원장치) 경량화 기술관련 유사 선행문헌 분석

핵심기술1		연구개발방향(요소기술)		
전장품(보조전원장치) 경량화 기술 (핵심기술2)		① 보조전원장치의 소형화 및 경량화 기술		
유사특허 비교분석				
구 분	특허(등록·출원)번호	비 고	관련 핵심기술	권리비교
국내	KR 1997-0017005 (대우중공업 주식회사)	유사점	①	충전시 입력전원으로부터 전하가 필터 커패시터로 충전되도록 함과 동시에 방전시 필터 커패시터에 충전된 전하가 방전되도록 한 충/방전저항을 구비하는 보조전원장치를 개시
		차이점		보조전원장치의 설치 및 결합구조와 관련된 경량화는 개시되어 있지 않음
	KR 2000-0031533 (한국전기연구 소)	유사점	①	철도차량의 보조 추진력 및 제동력을 제공하는 별도의 전원을 개시함
		차이점		차량에 막대형태의 철심을 설치하고, 철도선로를 이용하여 이동자계를 형성하여 전력을 공급하므로 보조전원을 발생시키는 근원에 대한 차이가 있음
해외	JP 2004-328838 (FUJI DENKI TECHNO ENG KK)	유사점	①	보조전원장치의 구성, 콘덴서, 인버터, 변압기 등을 개시하고 있음. 특히 보조전원장치에 냉각장치가 탑재됨
		차이점		2층 객차 구조에서의 보조전원장치의 구조는 개시되어 있지 않음
	JP 2004-364412 (TOSHIBA CORP)	유사점	①	보조전원용 인버터, 보조전원용 인버터를 제어하는 제어장치를 개시하고 있음
		차이점		2층 객차 구조에서의 보조전원장치가 설치되는 결합구조는 개시되어 있지 않음
	JP 2006-222087 (HITACHI LTD)	유사점	①	전원장치의 출력과 병렬 접속되고, 인버터 장치에 전력을 공급하는 2차 전지장치가 개시됨
		차이점		2층 객차구조에서 적용되는 보조전원장치의 구조와 결합관계는 개시되어 있지 않음
검토 의견	철도차량의 보조전원장치와 관련해서는 일본 기업들의 출원이 압도적으로 많은 것으로 파악되므로 일본이 기술적으로 앞서 있으며 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 해석됨 그러나, 전세계적으로 2층 객차구조를 전제로 하는 선행기술은 거의 검색되지 않은 상황 이므로 2층 객차구조에만 적용될 수 있는 보조전원장치에 대한 개량기술에 대해서는 적극적인 연구를 통하여 권리확보가 필요할 것으로 사료됨			

(3) 자동제어장치 경량화 기술관련 유사 선행문헌 분석

핵심기술1			연구개발방향(요소기술)	
제동제어장치 경량화 기술 (핵심기술3)			① 제동제어장치 소형화 및 경량화기술 ② 주공기 압축 시스템 소형화 및 경량화 기술	
유사특허 비교분석				
구 분	특허(등록·출원)번호	비 고	관련 핵심기술	권리비교
국내	KR 0204507 (한국철도기술연구원)	유사점	①, ②	보조공기통을 통해 유입된 공기압의 압력차에 의해 실린더를 작동시켜 제륜자의 링크기구를 작동시키는 구조를 개시함
		차이점		2층 객차구조에서 철도차량을 제동제어 하기 위한 제동제어장치의 결합구조가 개시되지 않음
	KR 0304537 (이재영)	유사점	②	2개의 다이어프램에 의해 자기유지가 가능하도록 하는 전공변환중계밸브를 개시함
		차이점		2층 객차구조에서 철도차량을 제동제어 하기 위한 제동제어장치의 결합구조가 개시되지 않음
	KR 0245526 (이재영)	유사점	②	실린더부와 제동헤드부 사이에 설치되어 간격을 조절하는 자동간격 조절장치가 포함되어 압축공기에 의해 작동되는 제동실린더 유니트를 개시함
		차이점		2층 객차구조에서 철도차량을 제동제어 하기 위한 제동제어장치의 결합구조가 개시되지 않음
해외	JP 2000-052952 (K A Y A B A IND CO LTD)	유사점	①, ②	브레이크 실린더 로드의 한 끝에 제륜자를 설치하고, 다른 끝에는 변위센서를 설치하여 제동부재의 스크로크를 일정하게 유지시킴
		차이점		2층 객차구조에서 철도차량을 제동제어 하기 위한 제동제어장치의 결합구조가 개시되지 않음
	JP 2010-025312 (RAILWAY TECHNICAL RES INST)	유사점	①, ②	제륜자를 디스크방향 및 그 반대방향으로 가하는 유체압 실린더와, 제륜자를 디스크 방향으로 가하는 스프링이 함께 디스크를 압박함
		차이점		2층 객차구조에서 철도차량을 제동제어 하기 위한 제동제어장치의 결합구조가 개시되지 않음
	JP 2011-122703 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD)	유사점	①	제동자와 결합되는 종동부재의 길이를 줄이고, 이와 관련된 구성들의 형상을 변형함
		차이점		2층 객차구조에서 철도차량을 제동제어 하기 위한 제동제어장치의 결합구조가 개시되지 않음
검토 의견	제동제어장치의 경량화기술과 관련해서는, 일본기업들의 출원이 압도적으로 많은 것으로 파악되므로 일본이 기술적으로 앞서 있으며 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 해석됨 그러나, 전세계적으로 2층 객차구조를 전제로 하는 제동제어장치와 관련된 선행기술은 거의 검색되지 않은 상황이므로 2층 객차구조에만 적용될 수 있는 제동제어장치 및 제동제어장치의 경량화를 위한 개량기술에 대해서는 적극적인 연구를 통하여 권리확보가 필요할 것으로 사료됨			

(4) 2층 객차 설계 및 제작 기술관련 유사 선행문헌 분석

핵심기술4			연구개발방향(요소기술)	
2층 객차 설계 및 제작기술 (핵심기술4)			① 차체 가공/조립기술, ② 실내공간 및 구성품 배치 설계 ③ 저상플랫폼에 적합한 승강문 및 1층 플로어 높이 설계 ④ 승객이동 및 승하차 대기를 고려한 부속실 및 계단설계	
유사특허 비교분석				
구 분	특허(등록·출원)번호	비 고	관련 핵심기술	권리비교
국내	KR 1081841 (현대로템 주식회사)	유사점	①	철도차량의 길이방향을 따라 대응되게 구비된 제1·제2사이드패널들과 복수의 프레임블럭들을 소정의 지그상에 접촉되게 배치한 상태로 별도의 추가 세팅이나 교체 작업 없이 용접 결합시킴
		차이점		저상플랫폼에 적합한 승강문 및 1층 높이설계, 승객이동 및 승하차대기를 고려한 계단 설계는 개시되지 않음
해외	EP 2030860 (ALSTOM Transport SA)	유사점	③, ④	2층 객차구조를 가지며, 2층으로 올라가는 계단, 각각의 층과 연결된 별도의 승강문과 플랫폼이 개시됨
		차이점		차체의 가공/조립기술과 관련된 내용은 개시되지 않음
	EP 0631917 (SGP Verkehrstechnische Gesellschaft m.b.H)	유사점	③	2층 객차구조를 가지며, 각각의 층과 연결된 별도의 승강문이 개시됨
		차이점		차체의 가공/조립기술과 관련된 내용은 개시되지 않음
	EP 0760321 (ALSTHOM TRANSPORT SA)	유사점	③	2층 객차구조를 가지며, 서로 다른 높이를 가지는 플랫폼을 개시
		차이점		차체 가공/조립기술과 관련된 내용은 개시되지 않음
	EP 0905000 (Talbot GmbH & Co. KG)	유사점	①	2층 객차구조의 바닥면이 평판형상의 샌드위치부재로 되어 있으며, 철도차량의 길이방향에 따른 중공빔에 지지됨을 개시
		차이점		실내공간 및 구성품의 배치설계, 저상 플랫폼에 적합한 승강문 및 1층 플로어 높이설계, 승객이동을 고려한 부속실 및 계단설계 내용은 개시되지 않음
EP 0624501 (INVENTIO AG)	유사점	①	2층 객차를 구성하는 구성들이 모듈로 구비되고, 객차의 성격에 따라 관련모듈이 조립되는 내용을 개시	
	차이점		내공간 및 구성품의 배치설계, 저상 플랫폼에 적합한 승강문 및 1층 플로어 높이설계, 승객이동을 고려한 부속실 및 계단설계 내용은 개시되지 않음	
검토 의견	2층 객차의 설계 및 제작기술은 유럽 기업들의 출원이 압도적으로 많은 것으로 파악되므로 유럽이 기술적으로 앞서 있으며 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 해석됨 다만, 실내공간 및 구성품 배치 설계와 관련된 기술은 많이 발견되지 않으므로 경량화와 접목된 개량기술에 대해서는 적극적인 연구를 통하여 권리확보가 필요할 것으로 사료됨			

라. 분석결론

(1) 특허기술 Landscape 종합 검토의견

차체 경량화 기술, 공기조화설계 기술 및 객차-대차 인터페이스 기술은 상대적으로 높은 점유율을 가지고 있기 때문에 선행기술들에 대한 분석을 통한 원천특허의 회피가 필요할 것이라 예상된다. 전장품(보조전원장치)의 경량화, 제동제어장치(BOU, 주공기압축기)의 경량화 등은 상대적으로 낮은 점유율을 가지고 있기 때문에 보다 적극적인 연구개발을 통한 권리화가 필요하다. 차량시스템 경량화/최적화 기술을 제외한 기술분야에 있어서는 2층 객차구조를 전제한 상황에서의 기술적인 변형 또는 응용 가능한 기술분야는 상대적으로 많은 출원 건이 검색되지는 않았으므로 향후 관련기술의 집중 연구를 통하여 권리화 할 필요가 있다.

<표2.16> 특허기술 Landscape 현황 정리

대분류	중분류	소분류	연도별 동향	출원증가율 및 점유율	상위출원인 동향	시사점
A	AA	AAA	연도별 추이에서는 분석구간에서 소폭으로 증감을 반복하고 있음.	상대적으로 높은 점유율을 가지며, 출원은 증감을 반복하면서 지속적으로 유지되고 있음	- 일본의 HITACHI LTD가 압도적인 출원 점유율을 차지하고 있음. - HITACHI LTD, NIPPON SHARYO SEIZO KAISHA LTD, 철도기술연구원은 차체 경량화와 관련된 기술을 집중적으로 보유하고 있고, TOSHIBA CORP는 전장품(보조전원장치)의 경량화 기술을 집중적으로 보유하고 있으며, AKEBONO BRAKE IND CO LTD는 제동제어장치 경량화 기술을 집중적으로 보유하고 있음.	- 철도차량에 적용될 수 있는 차체 경량화 기술은 일본 기업들에 의하여 기술이 집중되어 있으므로, 해외시장 진출을 위해서는 원천특허에 대한 회피설계가 필요함.
		AAB	초기 분석구간에 비하여 최근의 분석구간(2002년 이후)에서의 출원이 상대적으로 증가추세에 있음	상대적으로 낮은 점유율을 가지며, 출원건수는 낮은 상태를 유지하고 있음	상위 4개의 출원인이 전체 출원의 점유율 76%를 차지함	- 제동제어장치 및 보조전원장치는 상대적으로 낮은 점유율을 보이므로 적극적인 기술개발을 통하여 권리화가 필요함
		AAC	제동제어장치 경량화기술(AAC)는 90년대 후반(1996년~1998년)에 상대적으로 출원건이 많았지만 전체적으로는 출원 건수가 작게 유지됨	상대적으로 낮은 점유율을 가지며, 출원건수는 낮은 상태를 유지하고 있음		
	AB	ABA	전 구간에 걸쳐서 적은 양의 출원건이 그대로 유지되고 있는 것으로 나타나고 있음	상대적으로 낮은 점유율을 가지며, 출원건수는 낮은 상태를 유지하고 있음	일본의 HITACHI LTD가 압도적인 출원 점유율을 차지하고 있음. - HITACHI LTD, 현대로템, NIPPON SHARYO SEIZO KAISHA LTD, KAWASAKI HEAVY IND LTD는 공기조화 설계기술을 집중적으로 보유하고 있고, 독일의 BOMBARDIER	- 세부기술분야 중 공기조화기술에 대한 점유율이 가장 높으므로 이에 대한기술개발은 상대적으로 어려움이 있음.
		ABB	연도별 추이에서는 소폭으로 증감을 반복하고 있으면서,	상대적으로 높은 점유율을 가지며, 출원은 증감을		- 실질적인 2층

		분석구간 후반부에는 전체적으로 출원건수가 증가함	반복하면서 지속적으로 유지되고 있음	TRANSPORTATION GMBH는 2층객차 설계기술 및	철도기술과 관련된 2층 객차설계기술은 유럽 기업들이 상대적으로 많이 보유하고 있음
	ABC	전체적으로 적은 출원건수가 유지되고 있는 것으로 나타남	상대적으로 낮은 점유율을 가지며, 출원건수는 낮은 상태를 유지하고 있음	공기조화설계기술을 상대적으로 많이 보유하고 있으며, 스위스의 INVENTIO AG는 승강문 설계 및 제작과, 2층객차 설계 및 제작기술을 집중적으로 보유하고 있음	
	ABD	전체적으로 적은 출원건수가 거의 일정하게 유지되고 있음.	상대적으로 낮은 점유율을 가지며, 출원건수는 낮은 상태를 유지하고 있음	-상위 4개의 출원인이 전체 출원의 점유율 75%를 차지함	
AC	ACA	전체적으로 적은 출원건수이지만, 분석구간 전반부보다 후반부에 출원건수가 증가함	상대적으로 낮은 점유율을 가지며, 출원건수는 낮은 상태를 유지하고 있음	- 한국의 철도기술 연구원이 상대적으로 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 일본의 RAILWAY TECHNICAL RES INST, SUMITOMO METAL IND LTD, MITSUBISHI ELECTRIC CORP, HITACHI LTD, EAST JAPAN RAILWAY CO가 순차적으로 높은 점유율을 차지 하고 있음 - 상위 4개의 출원인이 전체 출원의 점유율 62%를 차지함	성능평가 기술은 일반적으로 제품과 관련된 기술이 아니기 때문에 출원의 노력이 저조하며, 평가기술 및 평가기법 자체들은 노후우로 존재하는 경우가 많음
AD	ADA	소폭으로 증감을 반복하고 있지만, 분석구간 후반부에 상대적으로 출원건수가 증가함	상대적으로 높은 점유율을 가지며, 출원은 증감을 반복하면서 지속적으로 유지되고 있음	- 캐나다의 National Steel Car Limited 이 가장 높은 출원 점유율을 보이고 있음. - National Steel Car Limited, ALSTOM Transport SA 및 TOYO TIRE & RUBBER CO LTD는 객차-대차 인터페이스 기술을 집중적으로 보유하고 있고, EAST JAPAN RAILWAY CO는 차량-인프라 인터페이스기술을 집중적으로 보유하고 있음	상대적으로는 높은 점유율을 가지고 있으므로, 향후 기술개발에 있어서 어려움이 있을 것으로 예상되며, 원천특허에 대한 회피설계를 고려하여야 함
	ADB	소폭으로 증감을 반복하고 있지만, 분석구간 후반부에 상대적으로 출원건수가 증가함	상대적으로 높은 점유율을 가지며, 출원은 증감을 반복하면서 지속적으로 유지되고 있음	- 상위 4개의 출원인이 전체 출원의 점유율 64%를 차지함	

(2) 결론

2층 고속열차 기술과제의 핵심기술은 차량시스템 경량화/최적화 기술이며, 차량 시스템 경량화/최적화 기술의 경우 차체경량화 기술 위주로 개발되고 있으므로, 이를 개량하여 2층 객차구조에만 적용될 수 있는 차체 경량화 기술을 개발할 필요가 있고, 전장품(보조전원장치) 경량화 및 제동제어장치의 경량화 기술 관련해서는 국내외 선행기술이 많이 존재하지 않으므로 집중적인 기술연구를 통하여 권리화가 필요하다고 판단된다.

2층 객차구조의 설계 및 제작기술은 유럽이 기술 선진국이고, 차량시스템 경량화/최적화 기술 관련해서는 일본이 기술 선진국이며, 우리나라와는 일정 정도의 기술 격차가 있는 것으로 판단되므로 선행 권리들에 대한 세부적인 권리분석을 통하여 회피설계를 하여야 할 뿐만 아니라 지속적인 연구개발을 통하여 독자적인 권리영역을 확보할 필요가 있음. 특히, 2층 객차구조에서 고속열차에만 적용될 수 있는 개량 기술에 대한 집중적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4절 종합분석

해외 고속철도 시장을 중심으로 이미 2층 고속열차 시장의 확대는 예견되고 있으며, 철도선진국가인 프랑스와 일본은 2층 고속열차의 확대 및 고속열차 성능향상 기술개발을 진행하고 있다. 영국, 독일, 스위스 등의 국가는 앞장서는 2층 고속열차 기술개발을 확보하기 위해 신개념 및 차세대 2층 고속열차 기술개발을 계획하고 있다. 이런 세계적인 2층 고속열차 기술개발과 시장 확대와 더불어 국내 수송력 증대를 위한 통근형 2층 고속열차 운용의 시급성은 국내 2층 고속열차 기술개발의 필요성을 극대화 시키고 있다. 또한 해외에 사례가 없는 전동차형 1층 입석/좌석을 활용한 수송력 극대화 2층 고속열차의 개발은 고속열차를 통한 40분대 이내의 대도시 간의 통근형 수송수단으로 2층 고속열차 발전에 새로운 변화를 가져올 것이며 해외 2층 고속열차 시장에 경쟁력 확보에 큰 역할을 하게 될 것이다.

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

1. 비전 : 고속철도 통근 1시간 권역은 2층 고속열차가 책임진다.

2. 세부목표

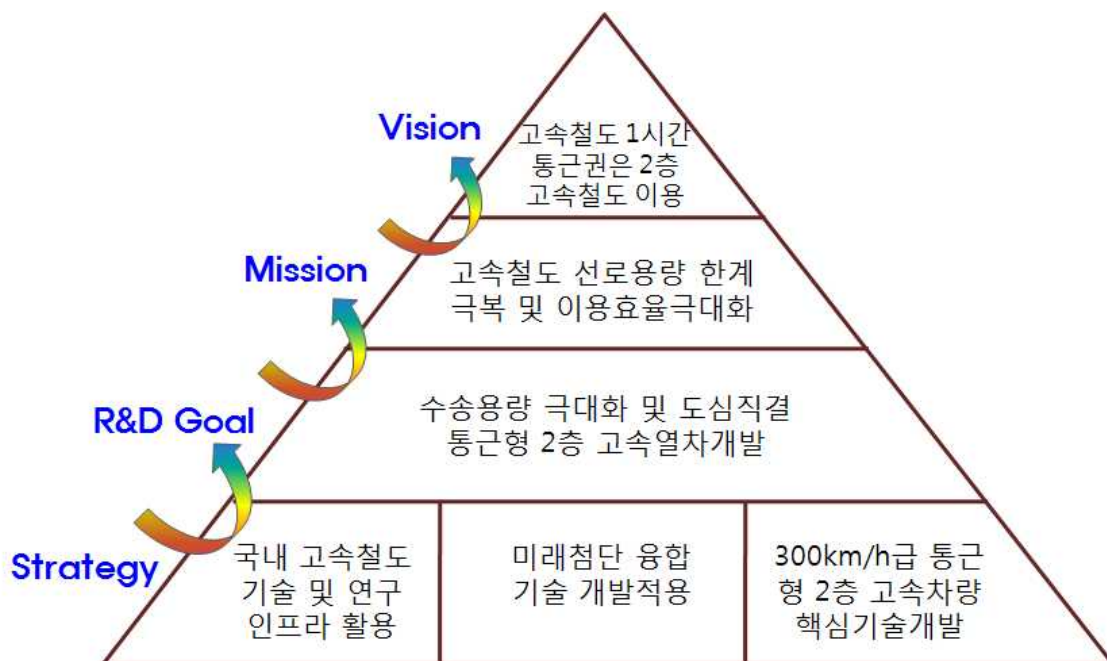
가. 수송력 극대화 통근형 2층 고속열차 모델 제시

나. 2층 고속열차 기술개발을 위한 핵심기술 확보

다. 통근형 2층 고속시제열차 시험운전을 통한 신뢰성 확보

라. 차세대 2층 고속열차 기반기술, 제작 및 시험평가 기술 확보

본 연구에 대한 비전은 「고속철도 1시간 통근권은 2층 고속철도」를 이용하도록 하는 것이다. 고속철도 1시간 통근권에 있는 직장인이나 학생들의 삶의 패턴을 빠르고 저렴한 통근형 2층 고속열차를 이용하게 함으로 보다 가치 있는 삶을 살 수 있도록 돕는 것이다. <그림 3.1>은 기술개발 비전 및 목표를 보여주고 있다.



<그림 3.1> 2층 고속열차 기술개발 비전 및 목표

2절 기술개발에 따른 미래상

1. 저렴한 고속철도 대중화 선도(현재 KTX 열차 운임 대비 50~70% 수준 가능)
2. 출퇴근 및 통학을 고속철도로 전환
3. 대도시권에 기반한 쾌적한 전원도시 개발 가능
4. 생활 교통 중심이 도로에서 철도 전환 선도

통근형 2층 고속열차가 개발되어 운행하게 되면 현재 국민소득 대비 비싼 요금으로 책정 되어 운행되고 있는 KTX 열차에 대한 경쟁력 있는 고속철도 대중화 선도 역할을 감당할 수 있을 것으로 예측되어진다. 현재 비즈니스맨 중심으로 출퇴근 시간대에 이용되고 있는 고속철도가 저렴한 고속철도 요금이 가능한 통근형 2층 고속열차는 학생들의 통학 이용이 가능케 될 수 있고, 해당 대학 경쟁력 향상으로 연결될 수 있다. 또한 대도시권에 집중되어 있는 의료, 문화, 쇼핑 및 금융서비스 문제로 도심에 거주하는 많은 사람들이 쾌적하고 삶의 질이 향상된 대도시권에 기반한 쾌적한 전원생활이 가능케 된다. 마지막으로 생활 교통 수단이 현재 자동차 등 도로 교통 중심에서 철도교통으로의 전환이 자연스럽게 이루어 질 수 있는 환경 조성 역할을 할 수 있을 것으로 예측된다.

3절 연구개발 과제 구성

1. 연구 추진전략

가. 3개 부분으로 나누어 산학연의 협력을 통해 연구를 추진

연구개발과제의 기본 추진전략은 산학연의 공동참여를 통해 2층 고속열차의 실용화에 주안점을 두고 연구를 추진하고자 한다. 산업체는 시제품의 설계 및 제작에 중점적으로 참여하며 학교는 성능검증 예측을 위한 해석연구에 정부출연연구기관은 SE 및 인터페이스 기술과 성능검증 및 핵심기술 개발에 중점을 두고 연구를 진행하도록 하고자 한다.

- (1) 철도시스템에 관한 전문지식을 본 연구를 위해 활용 (철도시스템의 이해도와 전문지식을 보유한 연구기관을 통해 수행)
- ; 2층 고속열차 시스템 및 인터페이스 관련 기술 연구, 시스템 성능검증 기술 연구 그리고 경량 최적화 기술 연구

- (2) 전문적인 해석 및 예측기법에 대한 전문지식을 활용 (전문분야별 학계의 연구진)
 ; 2층 고속열차의 설계(안)에 대한 성능검증 해석 기술연구
- (3) 핵심기술 검증을 위한 시제품 제작과 설계 및 디자인 도면 제작기술을 활용하는 연구 분야 (산업체의 연구인력을 활용)



<그림 3.2> 2층 고속열차 개발과제 산학연 추진전략

나. 자문위원회 활용을 통한 전문가 의견 수렴

다양한 분야의 자문단을 구성하여 연구 방향과 결과에 대한 주기적인 검토 수행

2. 연구목표 및 범위

가. 연구 목표

고속철도를 활용한 출퇴근 생활권 확대에 따른 출퇴근 시간대 수송력 증대를 위한 통근형 2층 고속열차(300km/h급) 설계기반 핵심기술 개발

- (1). 수송용량 극대화 통근형 2층 고속열차 모델 제시
- (2). 2층 고속열차 기술개발을 위한 핵심기술 확보
- (3). 통근형 2층 고속시제열차 성능평가 시험을 통한 신뢰성 확보

(4). 차세대 2층 고속열차 기반기술, 제작 및 시험평가 기술 확보

본 연구에 대한 비전은 고속철도로 1시간 거리에 직장이나 학교가 있는 많은 거주자 및 직장인들을 빠르고 저렴한 통근형 2층 고속열차가 삶의 패턴을 바꾸어 주는 역할을 바로 통근형 2층 고속열차 개발을 통해 이루고자 하는 것이 비전이다. 연구의 전략적 목표로는 2층 고속열차 기술개발을 위해 필요한 핵심기술인 '2층객차와 인프라간 인터페이스 기술', '경량화 최적화 기술', '수송력 증대를 위한 형상 디자인 기술' 그리고 '동특성 및 공력특성을 포함한 2층 고속객차 성능검증기술' 확보하고자 함.

나. 연구범위

(1) 관절대차형 고속차량에 적합한 형상 디자인/설계 기술

- 통근형 2층 고속열차의 시스템 요구사항 분석 및 결정 (KTX-산천 대비 50% 이상 수송력 증대)
- 수송력 극대화를 위한 2층 고속열차 좌/입석 배치 방안 도출 (입석을 통한 KTX-산천 대비 100% 수송력 증대)
- 차량제작(설계/제작/시험운전) 및 핵심기술 리스크 관리를 고려한 차량 시스템 엔지니어링 기술 연구
- 핵심장치(추진제어, 제동, 대차, 냉난방, 승하차 등) 용량검토 및 기기배치 방안 도출
- 차량 내외부 형상 디자인 및 공력 특성 검토
- 인간공학적 차량 공간 디자인 설계(안) 도출
- 비상시 승객 객실 대피경로를 고려한 의장설계 및 안전장치 검토



<그림 3.3> 인간공학적 공간 디자인 기술을 활용한 concept train

(4) 설계(안)에 대한 고속열차 성능검증 기술

- 주행 공력특성을 고려한 정적·동적성능 검토(임계속도, 탈선계수, 터널 내 열차교행특성, 윤중변화율 등)
- 열차 성능평가 체계(안) 도출(종합계측시스템, 설계(안) 검증 체계)
- IT 기술을 이용한 차량 안전 모니터링 시스템 설계(안) 도출
- 핵심 기반기술 성능예측 및 문제점 대안 도출
- 고속열차에 대한 “철도안전법 형식 승인” 적용 절차 방안 도출

3. 연구개발 과제의 구성

연구개발과제는 2세부과제로 나누어 1세부과제는 2층 고속열차 SE 및 핵심기술개발을 2세부과제는 2층 고속열차 설계 및 제작 기술개발을 수행한다. 1세부과제는 크게 4개의 연구분야로 세분화 되며 정부출연연구기관, 학교 및 산업체의 컨소시엄으로 2~3개의 공동연구로 구성한다. 2세부과제는 차량의 핵심 구성품을 중심으로 산업체를 기반으로 정부출연연구기관 및 학교의 지원으로 3~4개의 공동연구로 구성한다. <표 3.1>는 연구개발과제 구성에 대한 개요를 정리하여 보여주고 있다.

<표 3.1> 2층 고속열차 연구개발과제 구성 개요

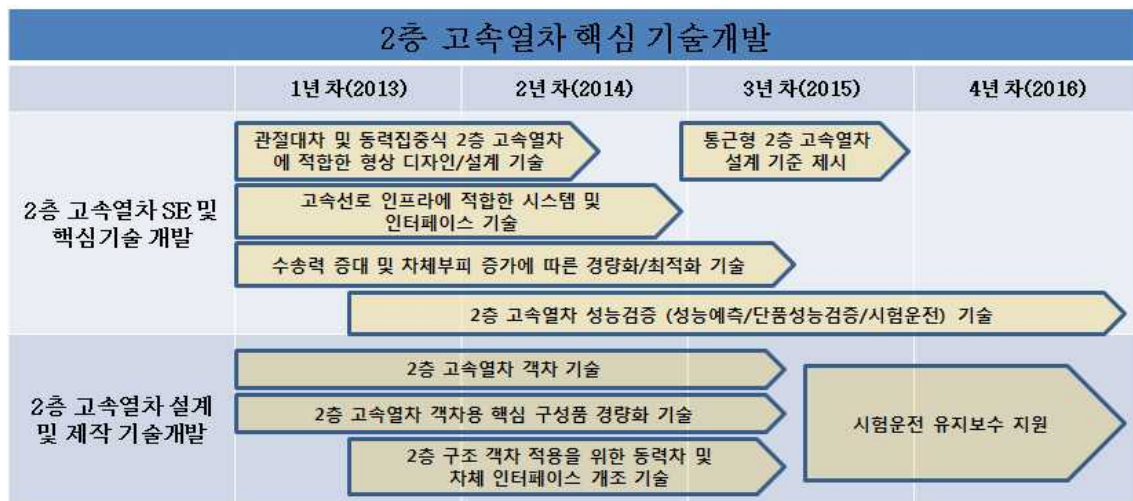
연구과제명	2층 고속열차 핵심 기술개발	
세부과제명	2층 고속열차 SE 및 핵심 기술개발	2층 고속열차 설계 및 제작 기술개발
공동참여기관	정부출연연구기관, 학교, 산업체	산업체, 정부출연연구기관, 학계
주요연구내용	▪ 관절대차 및 동력집중식 고속차량에 적합한 형상 디자인/설계/제작 기술 개발 ▪ 고속선로 인프라에 적합한 시스템 및 인터페이스 기술 개발 ▪ 수송량 증대 및 차체부피 증대에 따른 경량화/최적화 기술 개발 ▪ 2층 고속열차 성능검증 기술 개발	▪ 2층 고속열차 객차 기술 개발 ▪ 2층 고속열차 객차용 핵심 구성품 경량화 기술 개발 ▪ 2층 구조 객차 적용을 위한 동력차 및 차체 개조 및 인터페이스 기술 개발
세부소요기술	- 차량개발을 위한 총괄적 SE 기술 - 인터페이스를 고려한 개념설계 기술 - 차량시스템 경량화 및 용접기술 - 개발차량에 대한 성능 및 안정성 예측 평가 기술 - 차량과 인프라간 인터페이스 검토기술 - 차량 및 구성품 성능평가 기술 - 시험운전을 통한 차량 신뢰성 평가 기술 - 2층 고속열차의 사양 및 설계기준 제시 기술	- 경량화 2층 구조의 차체분야 제작 기술 - 2층 차체에 적합한 대차 인터페이스 분야 기술 - 경량화 및 소형 제동시스템 분야 제작 기술 - 부수객차에 필요한 경량화 전장품 분야 제작 기술 - 승객편의를 위한 실내 및 외장 디자인 기술 - 쾌적성 향상을 위한 공기조화 분야 제작 기술 - 기밀도 향상을 위한 연결막 및 승강문 분야 기술 - 2층 고속열차용 차량 연결시스템 분야 제작 기술

4절 과제별 · 연차별 기술 및 성과 로드맵

2층 고속열차 핵심 기술개발은 위에서 언급한 바와 같이 2세부과제로 구분되면 1세부과제는 디자인/설계 연구, SE/인터페이스 연구, 경량화/최적화 연구 그리고 성능검증 연구로 4개의 공동연구로 나누어져 수행되어 진다.

1. 기술 로드맵

가. 대과제 기술 로드맵



디자인/설계와 인터페이스 검토 연구는 과제 착수와 함께 가장 우선적으로 진행되어 지며 인터페이스 검토와 차체 경량화 개념을 기반으로 하여 개념 설계를 도출한다. 이를 통해 얻어진 설계(안)는 성능예측 해석기법을 통해 성능을 예측하여 설계 보완을 수행한다. 3차년도에는 단품의 검증과 차량 조립의 결과를 토대로 통근형 2층 고속열차 사양 및 설계기준을 제시한다.

시스템 및 인터페이스 연구는 2층 열차와 인프라 간의 인터페이스를 검토하며 차량의 제작 및 성능검증 까지 SE를 총괄한다. 경량화/최적화 기술은 수송력 증대와 차체부피 증가를 고려하여 축중 기준을 만족하도록 개념 설계(안)을 도출하고 예측과 검증 3차년도 중반 까지 진행한다.

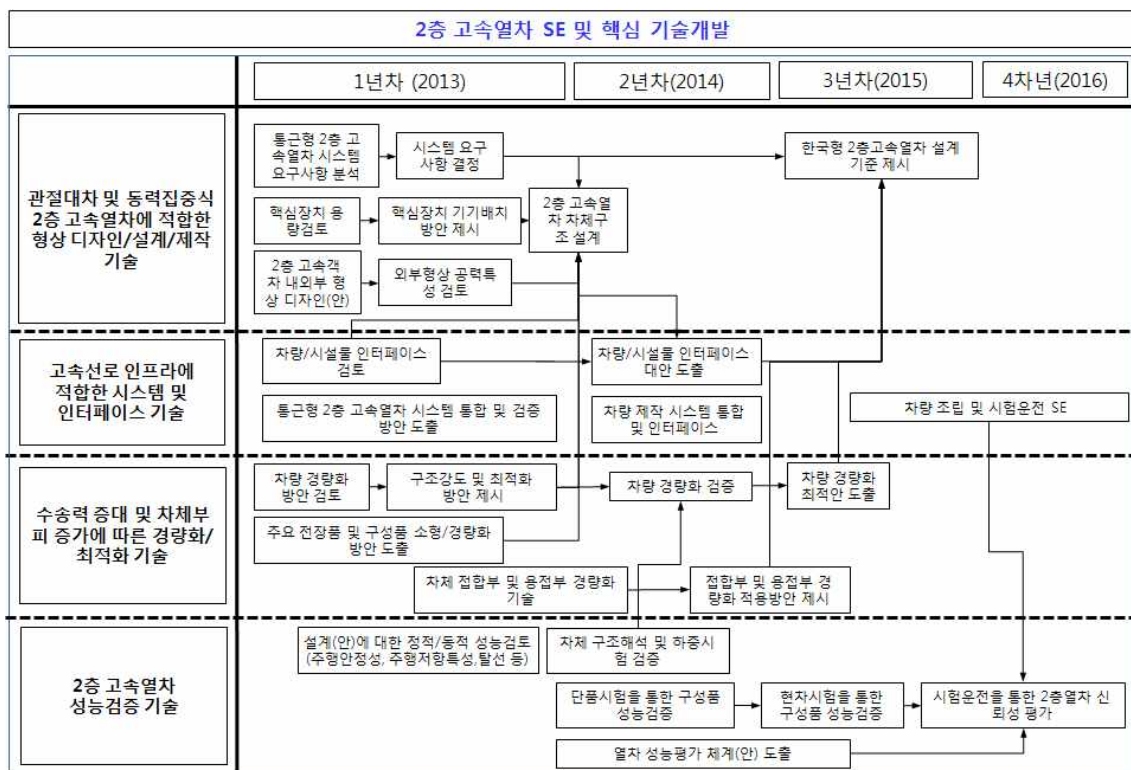
단품 및 차량에 대한 성능예측, 단품 성능시험 및 시험운전을 담당하는 성능검증 연구는 1차년도 중반에서부터 설계(안)에 대한 예측을 시작으로 본 연구의 최종시점까지 2층 고속시제열차 신뢰성 평가를 수행한다.

2세부과제는 객차 및 핵심 구성품 연구 그리고 동력차 및 대차 개조 연구로 진행

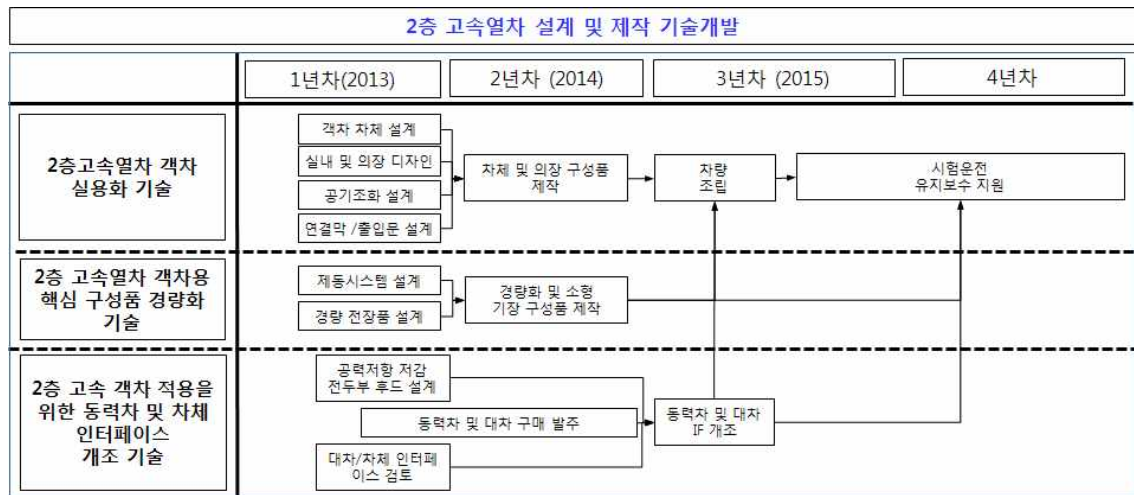
되어진다. 각 분야는 설계/제작 그리고 조립으로 진행되며 시험운전 기간동안은 차량 유지보수를 지원하게 된다.

1세부과제 ‘2층 고속열차 SE 및 핵심 기술개발’은 차량개발을 위한 SE와 2층 고속열차의 핵심기술을 확보하는 데 목적을 둔다. 대부분의 주요 연구가 1차년도 집중되어 진행되어져야 하며 이를 기반으로 각 연구 결과는 상호 연계를 통해 2차년도의 단품제작 및 진행할 수 있도록 진행되어 진다. 2차년도는 각 핵심기술에 대한 성능검증과 시험을 위한 SE 연구가 진행되어진다. 3차년도에는 이를 기반으로 최적 방안을 제시하며 현장시험과 시제열차 신뢰성 평가를 위해 4차년도 까지 신뢰성평가를 진행한다.

나. 1 세부과제 기술 로드맵



다. 2세부과제 기술 로드맵



2세부과제는 2층 고속열차 설계와 제작을 담당하는 연구를 진행하는 과제로써 1세부과제의 개념 설계(안)에 대한 기본설계 및 상세설계를 진행하며 1세부과제의 성능예측 결과를 반영한 최종 설계를 도출한다. 이를 기반으로 2차년도부터는 단품별 제작을 진행하며 3차년도에는 차량을 조립하게 된다. 이를 위해서는 본 연구의 개발항목이 아닌 동력차와 대차에 대해서는 차량조립 전에 구매하여 동력차와 대차의 인터페이스 분야를 개조할 수 있도록 기간을 고려하여 발주를 진행하여야 한다. 차량조립이 완료되는 3차년도 중반 부터는 활용 예산을 최소화하여 시험운전 종료 시점까지 시험운전 유지보수를 지원하도록 한다.

2. 세부과제별 연차별 · 단계별 성과목표 및 성과지표

2층 고속열차 핵심 기술개발은 위에서 언급한 바와 같이 2세부과제로 구분되면 1세부과제는 디자인/설계 연구, SE/인터페이스 연구, 경량화/최적화 연구 그리고 성능검증 연구로 4개의 공동연구로 나누어져 수행되어 진다.

디자인/설계와 인터페이스 검토 연구는 과제 착수와 함께 가장 우선적으로 진행되어 지며 인터페이스 검토와 차체 경량화 개념을 기반으로 하여 개념 설계를 도출한다. 이를 통해 얻어진 설계(안)는 성능예측 해석기법을 통해 성능을 예측하여 설계 보완을 수행한다. 3차년도에는 단품의 검증과 차량 조립의 결과를 토대로 통근형 2층 고속열차 사양 및 설계기준을 제시한다.

시스템 및 인터페이스 연구는 2층 열차와 인프라 간의 인터페이스를 검토하며 차

량의 제작 및 성능검증 까지 SE를 총괄한다. 경량화/최적화 기술은 수송력 증대와 차체부피 증가를 고려하여 축중 기준을 만족하도록 개념 설계(안)을 도출하고 예측과 검증 3차년도 중반 까지 진행한다.

단품 및 차량에 대한 성능예측, 단품 성능시험 및 시험운전을 담당하는 성능검증 연구는 1차년도 중반에서부터 설계(안)에 대한 예측을 시작으로 본 연구의 최종시점까지 2층 고속시제열차 신뢰성 평가를 수행한다.

2세부과제는 객차 및 핵심 구성품 연구 그리고 동력차 및 대차 개조 연구로 진행되어진다. 각 분야는 설계/제작 그리고 조립으로 진행되며 시험운전 기간동안은 차량 유지보수를 지원하게 된다.

<표 3.2> 1세부과제 년차별 성과지표 및 성과목표

년차	성과지표		성과목표
1년차 (2013)	기술적 지표	● 시스템 요구사항 ● 2층 객차 설계(안) ● 경량화 방안	● 사양분석 보고서 ● 기본설계(안) 제시 ● 차체 경량화 방안 제시
	표준지표	● 논문 및 특허	● SCI 논문게재 3건 ● 국내 논문게재 3건 ● 국외/내 논문발표 4/5건 ● 특허 출원/등록 6/0건
2년차 (2014)	기술적 지표	● 성능검증 ● 인터페이스 ● 상세설계	● 성능검증 보고서 4건 ● 인터페이스 검토서 3건 ● 상세설계 도면 검토서
	표준지표	● 논문 및 특허	● SCI 논문게재 3건 ● 국내 논문게재 3건 ● 국외/내 논문발표 4/5건 ● 특허 출원/등록 4/4건
3년차 (2015)	기술적 지표	● 성능시험 ● 시험절차서 ● 2층 고속열차 설계기준	● 성능검증 시험보고서 4건 ● 2층객차 시험절차서 4건 ● 2층 고속열차 설계기준 제시
	표준지표	● 논문 및 특허	● SCI 논문게재 2건 ● 국내 논문게재 2건 ● 국외/내 논문발표 2/3건 ● 특허 출원/등록 2/3건
4년차 (2016)	기술적 지표	● 성능검증	● 시제열차 신뢰성 평가 보고서
	표준지표	● 논문 및 특허	● SCI 논문게재 2건 ● 국내 논문게재 1건 ● 국외/내 논문발표 2/2건 ● 특허 출원/등록 0/3건

1세부과제 ‘2층 고속열차 SE 및 핵심 기술개발’은 차량개발을 위한 SE와 2층 고속열차의 핵심기술을 확보하는 데 목적을 둔다. 대부분의 주요 연구가 1차년도 집중되어 진행되어져야 하며 이를 기반으로 각 연구 결과는 상호 연계를 통해 2차년도의 단품제작 및 진행할 수 있도록 진행되어 진다. 2차년도에는 각 핵심기술에 대한 성능검증과 시험을 위한 SE 연구가 진행되어진다. 3차년도에는 이를 기반으로 최적 방안을 제시하며 현장시험과 시제열차 신뢰성 평가를 위해 4차년도 까지 신뢰성평가를 진행한다. 1세부과제의 연차별 성과목표와 성과지표는 <표 3.2> 와 같다.

2세부과제는 2층 고속열차 설계와 제작을 담당하는 연구를 진행하는 과제로써 1세부과제의 개념 설계(안)에 대한 기본설계 및 상세설계를 진행하며 1세부과제의 성능예측 결과를 반영한 최종 설계를 도출한다. 이를 기반으로 2차년도부터는 단품별 제작을 진행하며 3차년도에는 성능검증을 위한 시험을 지원하게 된다. 구성품의 성능검증이 완료되는 3차년도 중반 부터는 활용 예산을 최소화하여 신뢰성 종료 시점까지 시험운전 유지보수를 지원하도록 한다. 2세부과제의 연차별 성과목표와 성과지표는 <표 3.3>과 같다.

<표 3.3> 2세부과제 연차별 성과지표 및 성과목표

년차	성과지표		성과목표
1년차 (2013)	기술적 지표	● 구성품 경량화 ● 구성품 기기배치 ● 기본설계	● 구성품 경량화 방안 제시 ● 구성품 기기배치 검토 보고서 및 배치도 작성 ● 2층객차 기본도면 작성
	표준지표	● 논문	● 국내 논문게재 1건 ● 국내 논문발표 2건
2년차 (2014)	기술적 지표	● 상세설계 ● 구성품 제작 ● 동력차/대차 개조	● 상세설계 도면 작성 ● 구성품 시제품 제작 5건 ● 동력차.대차 개조 방안 제시 4건
	표준지표	● 논문	● 국내 논문게재 1건 ● 국내 논문발표 2건
3년차 (2015)	기술적 지표	● 시제객차 제작/조립 ● 대차개조 및 조립	● 시제객차 제작 2종 ● 시제객차 조립 2종
	표준지표	● 논문	● 국내 논문게재 1건 ● 국내 논문발표 1건
4년차 (2016)	기술적 지표	● 성능시험 및 유지보수	● 시제차량 유지보수
	표준지표	● 논문	● 국내 논문발표 1건

5절 성과의 활용방안

1. 성과분석 및 검증방안

2층 고속열차 핵심 및 제작 기술 개발사업은 우선적으로 2015년 이후부터 도래될 서울-오송 구간의 수송한계를 해결하는 최상의 방안이라는 점에서 타당성이 확보되어 있다. 다만 수송한계의 예측에 대한 대응을 적시에 수행하기 위해서는 연구개발의 기간을 고려하여 시급성이 높은 연구로써 조속히 착수되어야 할 것이다. 국민의 생활 편익에 계획적인 대응을 수행하는 정부의 모습은 철도발전 뿐만아니라 국가 신뢰도를 향상시키는 역할을 하게 될 것이다.

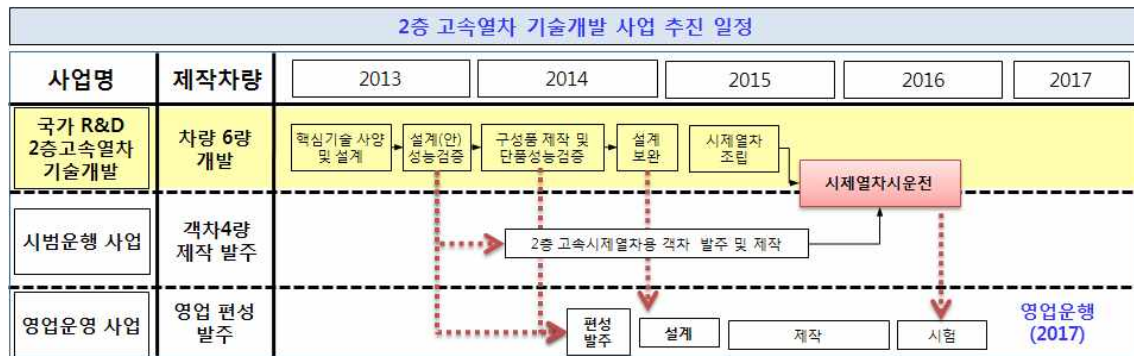
더 나아가 2층 고속열차를 통한 운임절감 및 에너지 효율의 증대는 녹색교통수단인 고속철도망의 확충을 통한 1시간 30대 전국도의 연결을 계획하는 국가의 정책에 부합되는 최선의 기술개발일 것이다.

녹색교통수단으로써의 세계적인 고속철도 시장의 확대와 2층 고속열차 적용 및 선호도 증가를 반영한 세계 고속철도 시장 진출 및 경쟁력 확보를 위해서 국내 2층 고속열차 개발기술의 확보는 국내 철도기술의 발전을 위해서 반드시 시급하게 수행되어야 한다.

2. 활용 및 실용화 방안

본 연구를 통해서 신뢰성이 확보된 2층 고속열차 모델은 2017년 부터는 서울-오송 구간과 같은 고속철도 수송한계 구간의 출퇴근 시간대에 영업운행에 필요한 편성을 제공할 수 있도록 활용될 수 있도록 과제를 추진하고자 한다. 2017년에 영업운행을 위해서는 영업차량의 2년 제작기간과 6개월 시운전을 고려하여 2014년 중반에 발주가 진행되어야 한다. 이 시기는 본 R&D 연구가 차체 및 구성품 경량화 방안을 도출하고 설계(안)에 대한 성능검증을 완료한 시기으로써 발주 차량에 대한 설계를 제공하게 된다. 2014년 말에는 R&D 과제를 통해 단품에 대한 성능시험이 완료되는 시점으로 최종적인 설계보완이 발주차량에 충분하게 반영되어 질 수 있다. 발주차량은 6개월의 설계 및 설계보완을 걸친 후 2015년 초부터 1년 반에 걸쳐 2016년에 편성을 제작 완료하게 되며 R&D를 통해 10만km의 신뢰성 검증을 수행한 결과를 기반으로 양산 물량에 대한 시운전을 6개월 정도 기간동안 단계적으로 진행하여 운영기관의 조기발주에 의해 영업운행에 투입될 수 있게 된다. 국가 R&D를 통해 수행되는 결과는 영업차량의 제작에 밀접하게 반영될 수 있도록 설계/제작/

시험운전 일정을 수행하도록 추진일정을 갖추고자 한다. 이를 반영한 추진일정을 아래 일정도식에 표시한다.



본 2층 고속열차 핵심 기술개발 사업의 성과물은 연구 과정에서부터 국가의 정책에 부합되는 통근형 2층 고속열차 모델을 구축하고 제공하는데 활용되어진다. 이를 통해 2017년부터 국내의 2층 고속열차 개발 기술로 제작된 통근형 2층 고속열차가 서울-오송구간의 출퇴근 수송을 원활하게 해결함으로써 대국민 편의와 운임절감에 크게 이바지 하게 될 것이다. 통근형 고속열차 서비스 제공으로 서울 ~오송 구간 교통 체증을 완화시키고, 세종시 권역 활성화를 유발하게 될 것이다. 예상되는 서울~오송 간의 수송집중의 문제를 해결할 수 있으며, 수송집중 시간대의 혼잡을 최소화하여 이용자의 국가 정책에 대한 긍정적인 감성을 이끌 수 있을 것이다. 수송 효율 증대를 통한 가격인하가 가능함에 따라 요금부담을 줄임으로써 고속철도 이용 수요증대를 창출하게 된다.

본 연구를 통해서 확보되는 2층 고속열차 국내 제작기술은 국내 수요시장 뿐만아니라 고속열차 해외 시장 진출을 위한 경쟁력을 확보하는데 기여하게 될 것이다. 해외 고속열차 시장의 확대는 서두에서도 언급하였으며 수송력 증대와 편의공간 확보를 위해 2층 고속열차 시장이 확대되는 추세에 발맞추어 2층 고속열차 국내 제작 기술 확보는 해외 고속열차 시장의 주도권을 확보하는데 크게 기여하게 될 것이다. 또한 차세대 2층 고속열차의 기반기술의 역할을 통해 2층 고속열차의 이동 편의성을 극대화 함으로써 편안하고 여유있는 교통 수단이며 환경보존과 에너지 효율 증대에 부합하는 최상의 녹색 교통수단을 제공하게 될 것이다. 이는 일본 및 프랑스의 2층 고속열차 제작기술 기 확보 국가와의 경쟁에서 우위를 차지하는 기술로써 세계적인 차세대 2층 고속열차의 선두국가로 자리매김 하는데 기여하게 될 것이다.

KTX-산천 대비 수송력 100% 향상 시 연간 교통편익(서울↔오송기준)은 200억원이 발생할 것으로 추정 되어진다. 운영기관 운영 수익 제고는 서울↔오송 왕복기

준으로 1일 10회 운행 시 1일 6천만원, 연간 240억 수익 증대를 예상할 수 있다. 1인당 에너지 소모효율은 30% 이상 향상될 것이며 고속열차 더 나아가 철도차량의 수요 시장을 확대시키는 것에 기여하게 될 것이다.

제 4 장 사전타당성 검토

2층 고속열차의 국내 기술개발의 타당성을 정책적, 기술적 그리고 경제적 측면에서 검토하여 보고자 한다. 국내 2층 고속열차 개발 기술의 확보가 주는 국가 정책적 필요성, 기술발전에 기여도 및 미래 활용성 그리고 해외 시장의 진출과 에너지 절감 측면에서의 필요성을 기술한다.

1절 정책적 타당성

오송 생명과학단지에는 기업체, 대학, 연구소, 국책기관이 집적된 생명공학클러스터로 구성되어 현재 식약청, 질병관리본부, 식품의약품안전평가원, 국립보건연구원 등 6개기관 2,400여명이 KTX 고속열차를 통해 서울~오송 구간을 출퇴근함에 따라 출퇴근 시간대 여객의 폭발적 증가를 이미 가져왔다. 국가의 고속철도망 구축 계획을 통한 전국토의 이동시간 단축의 효과는 서울~오송 구간을 출퇴근 가능 구간으로 변화 시키고 있다.



<그림 4.1> 2015년 오송역 중심의 고속철도망 및 주요시설

이와 더불어 행정복합도시인 세종시에 9부2처2청 등 36개기관 10,452명의 공무원이 2012년부터 2014년까지 이주 계획으로 인한 민원인 및 공무원 출퇴근자가 폭발적으로 증가됨으로써 2014년에는 고속철도 서울 ~ 오송 구간 출퇴근시간 수송력이

한계 도달할게 될 것이다. 또한 2015년 호남선/수도권 고속철도가 개통되어지면 서울과 오송 구간은 호남선과 경부선의 수송량을 소화시켜야 하는 병목 구간으로 출퇴근 시간의 선로용량은 한계를 넘어서게 될 것이다.

정부부처 이동을 포함한 행정복합도시의 개발과 오송역을 중심으로 하는 고속철도 교통 중심지역 구성은 국가 국토개발사업의 일환으로 진행되는 것으로 이를 통해 예상되는 수송집중 문제점에 대하여 정부차원 대처방안 수립 지원 필요한 실정이다. 현재에도 출퇴근 시간대에 대해서는 고속철도의 안전거리 확보를 고려한 최소 열차시격을 적용하는 최대 선로용량 활용 상태로써 수송력 증대를 위해서는 운행 고속열차 편성 당 차량수를 증가하거나 추가적인 신규노선을 증설하여야 할 것이다. 그러나 현재 운행하는 20량을 증대하기 위해서는 동력차의 추진력 증대 및 차량길이 증대에 따른 안정성 재검토가 필요하며 역사의 길이를 증대하여야 하는 문제점을 가지고 있다. 또한 선로의 증설은 최근 완공되어진 역사의 변경이 요구되어지며 수송량이 크지 않은 시간대의 활용성에 대한 의문이 제시되어진다.

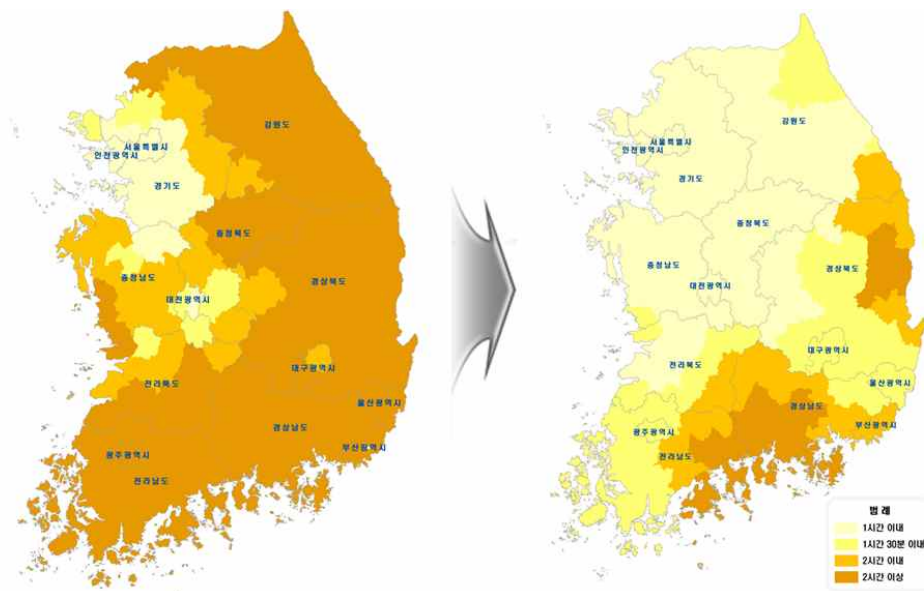
또한 운행시격을 추가적으로 단축하여 많은 차량을 투입하는 방안은 고속철도 신호시스템을 전면적으로 변경하여야 하며 안전거리가 줄어드는 만큼 사고 위험도가 증가되는 문제점을 가지고 있다. 다른 방안으로 차량의 폭을 증가하여 2*3 좌석 배열을 구성하는 것은 25% 정도만의 수송력 증가를 가져오게 할 수 있으며 차량폭의 증가에 따라 선로간격의 재검토와 건축한계의 전반적인 검토가 필요하며 수정이 필요할 경우는 인프라를 수정해야 하는 어려움을 가지고 있다.

2층 고속열차는 차량의 길이를 유지하고 기존 인프라를 활용하면서 수송량을 최대 100%이상 증대 시킬 수 있는 방안으로써 일정시간대 일정구간에 대하여 급상승되는 수송량을 수용하는 최적의 방안으로 활용되어 진다. 프랑스에서는 TGV-duplex와 일본에서는 신간선 E4를 포함하여 선진 철도 대국에서는 이미 고속철도 여객 수요가 큰 노선에 대해서는 신규노선 증설 없이 동일 열차길이 대비 수송력이 향상되는 2층 고속열차를 운행 중에 있으며, 국내의 서울 ~ 오송 구간처럼 일정시간대(출퇴근) 수요 증가에 따라 급증하는 수송량을 수용하는 방안으로는 통근형 2층 고속열차 운행이 최상의 방안이 될 것이다.

2층 고속열차 기술개발이 지연될 시 세종시 및 오송 생명과학단지에 입주되어진 정부기관 근무자 및 민원인들의 출퇴근 교통수요에 따른 공급 부족으로 사회적 부담이 증가되어질 것이며, 평택 ~ 오송 구간 선로용량 한계 도달 예상 시점인 2017년 이후 병목 구간에 대한 고속철도 신 노선 대체 프로그램이 요구되어 짐으로써 상당한 국가 예산을 소비하게 될 것이다. 또한 고속철도 수요 증가 대비 공급 부족으로 인하여 호주, 프랑스의 경우처럼 출퇴근 시간대 운임인상 요인 발생하게 될

것이다.

2층 고속열차 개발 기술의 확보는 전 국토의 1시간 30분대 연결을 추진하는 국가 고속철도망 계획에 대하여 고속열차 활용성의 폭을 넓혀주는 역할을 하게 될 것이며 시간대별 수송량의 변화에 대하여 대응하는 최선의 해결책을 제공하게 될 것이다.



<그림 4.2> 제2차 국가철도망 구축 계획(2011->2020) 철도통행시간 분포변화 (서울기점)

또한 고속철도 활용도 및 녹색수송수단 수요의 증대를 위해서 국가에서 정책적으로 고속철도 운임절감을 위해 노력하고 있다. 이를 위해서 기존 대비 100% 이상의 수송력을 증대하는 2층 고속열차의 활용은 고속철도 운임 30% 이상 절감의 효과를 발휘하게 될 것이다. 통근형 2층 고속열차는 1층에 입석을 허용하며 2층에는 기존 고속열차와 동일한 좌석형으로 구성되어 진다. 일반 고속열차 대비 량당 20% 정도의 좌석이 줄어드는 반면에 자유석과 입석을 포함해 전체 수용가능 승객수는 100% 이상이 증가되게 된다. 좌석승객은 기존 고속철도의 운임을 적용하고 자유석과 입석 승객에게 50%의 운임절감을 적용하더라도 전체 운임수익은 40% 증가되는 효과를 발휘한다. 다만 운임의 절감 폭이 너무 클 경우 입석만을 선호하는 경우를 고려하여 약 30% 정도가 적절한 운임절감량이 될 것으로 예측된다. 이럴 경우 입석 선호도가 증가하여 입석 승객이 가득 차더라도 20%의 좌석승객만 확보된다면 전체 운임수익은 기존 고속열차 만석의 운임수익과 같은 결과를 가져오게 된다.

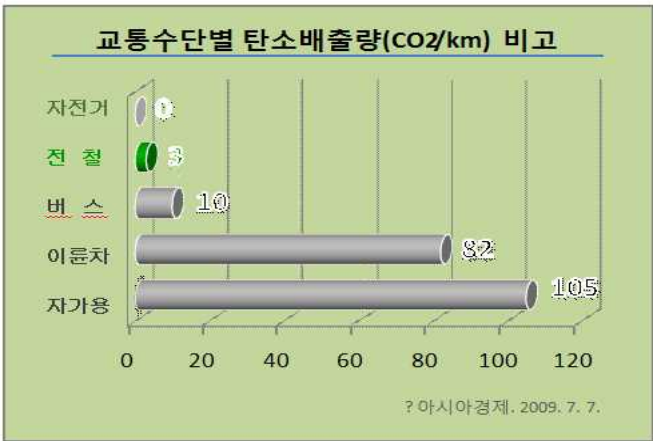
또한 국토부에서는 국가기간교통망계획 제2차 수정계획(2011.01.19, '01~ '20)에 따른 철도교통시스템 확충 관련 기술개발 활성화를 통해 녹색수송수단인 철도의 수요

를 증가시킴으로써 친환경 수송수단을 통한 환경보존을 추진하고 있다. 고속철도망은 2020년엔 701.3km를 목표로 현재 대비 100% 증가를 계획하고 있다.



<그림 4.3> 장래 교통수단 분담률 예측 변화

친환경 및 에너지 문제 해소를 위해 철도중심의 교통변화 추세는 전 세계의 중점 목표로 선정되고 있다. 미국은 2030년 까지 교통부문 온실가스 배출 40% 감축을 목표로 플로리다 고속철도사업 등 10개 노선의 고속철도 건설을 추진하고 있으며 유럽연합도 철도투자를 전체 교통투자의 85% 수준으로 확대하고자 도로에서 철도로 운송수단 전환 시 500톤*km당 1유로를 지원하는 Macro Polo 프로그램을 계획하고 있다. 일본의 경우도 철도로의 Modal shift 50% 이상 달성 목표를 설정하여 에코레일 마크제도 및 철도전환 보조금 등을 통해 녹색물류 활성화 정책을 추진하고 있다.



<그림 4.4> 교통수단별 탄소배출량 비교

국가 정책을 통해 표명되고 있는 고속철도 수요증대 및 운임절감의 계획에 2층 고속열차 활용은 큰 도움을 가져올 것이며, 무엇보다도 2015년에 예상되는 서울~오송간 출퇴근 시간대 고속철도 이용승객 수송능력 한계에 대한 문제점을 해결하는 중추적인 역할을 수행할 것이다.

2절 기술적 타당성

선로용량이 포화상태에 도달할 때, 열차 수송량을 향상시키기 위한 방법으로 주로 검토되고 있는 것이 열차 시격을 단축하는 방안이나 편성 차량 수를 증가시켜 1회 수송량을 증대시키는 방안 등이 있다. 하지만 열차 시격 단축은 복잡한 신호시스템 및 제동거리를 단축하기 위한 고성능 제동장치의 개발이 필수적일 뿐만 아니라 시격 단축 자체도 한계가 있다. 편성 차량 수를 증가시키는 방법은 긴 역사를 필요로 하므로 역사 증축 등 부가적인 시설비의 투자가 요구된다. 따라서 일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 선로 사용률이 높은 구간에서는 보다 손쉬운 수송량 증강방법인 2층 열차를 활용하고 있는 추세이며 2층 열차에 있어서 중요한 요소로 고려되고 있는 항목은 다음과 같다.

1. 운행목적 및 노선 :

장거리 도시 간 이동 또는 여행용/통근용 등의 운행목적에 따라 역간 거리가 다르게 되는데 이는 좌석형태 및 배치, 입석을 포함한 승객수, 운임, 승하차 패턴 및 열차의 영업(표정)속도와 밀접한 관련이 있다.

2. 동력전달방식/대차형식 :

현재 상업운행 중인 2층 고속열차 중 동력집중식은 관절대차 방식의 프랑스 TGV-duplex이고 동력분산식은 일본 신간선에서 운행되고 있는 E1/E4 열차가 있다. 동력집중식은 일반적으로 동력차가 차량편성 전후부에 위치해 편성 가운데 위치한 객차를 견인하는 형식으로 동력차의 성능에 따라 열차편성의 성능을 조절할 수 있고 기기배치 등의 기술적 문제를 쉽게 해결할 수 있는 장점이 있는 반면 동력차에 주요 전장품이 탑재되므로 동력차에 하중이 집중되고 승객이 탑승할 수 있는 공간이 없게 되는 단점이 있다. 반면에 동력분산식은 동력이 열차 편성에 분산되어 설치되므로 기기배치가 복잡하고 공간 활용 기술의 극대화가 필요하다. 또한, 기기설치 공간이나 위치가 제한되어 구조설계 변경이나 전장품 용량 확대가 용이치 않게 되는 단점이 있으나 하중의 분산 배치가 용이하고 동력차에도 객실 탑승 공간 마련이 용이하다는 장점이 있다. 결국, 어느 방식의 동력전달 방식을 택할 것인가의 문제는 그 나라의 철도 사용 환경, 기존 인프라와의 호환성, 기술적 수준, 유지보수 측면에서의 경제성 등에 의해 좌우 된다고 할 수 있다. 차종이 지극히 제한되어 있는 2층 고속열차에 비해 교외선에서 주로 통근용으로 운용되는 120km/h ~ 200km/h 대역의 2층 열차는 그 사용목적 및 철도환경에 따라 상당히 다양한 차종

이 운용되고 있으며 동력분산식 일반대차 형식을 채택하는 것이 일반적인 추세이다. 기관차 견인형 2층 열차가 많은 미국의 경우를 제외하면 EMU 형식의 2층 열차가 주종을 이루고 있으며 프랑스 RER의 2층 열차 경우는 일반대차 방식을 사용할 뿐만 아니라 허용 축중도 20톤을 상회하여 차량경량화가 크게 문제가 되지 않기 때문에 차량설계에 있어 상당히 자유로운 편이다. 결국, 현재까지 분석한 바로는 관절대차를 사용하는 2층 열차는 TGV-duplex가 유일한데 이는 기존대차 사용방식에 비해 축중 관리에 상당히 불리한 단점이 있음에도 불구하고 차량의 공간배치 효율화를 통한 차량 단위길이 당 수송효율 향상, 운용 및 유지관리, 차량검수 및 검수시설 사용측면에서의 기존 고속철도 차량과의 호환성 등의 요소를 두루 검토한 결과 선정된 방식으로 프랑스의 TGV 기술에 기반한 우리나라의 고속철도 현실에서 참고하여야 할 사항이다. 참고로 해외 2층 열차 사례를 분석한 결과, 차량의 형상 및 기본 제원은 그 나라의 운영 및 사용조건/환경에 적합하게 최적화되어 상당히 다양한 2층 열차가 운용되고 있지만 일반대차를 사용하는 2층 열차는 차량의 길이가 대체로 23 ~ 26m 정도에 달하는 것으로 나타나 관절대차 방식 차량 길이 20m(TGV-duplex)보다 다소 길다.

3. 공간배치의 효율성:

프랑스의 알스톰사 사례를 보면 기존열차와의 상이한 설계로 인하여 가장 고심한 부분 중 하나가 주요장치들의 재배치 문제이다. 차체가 1층과 2층으로 나뉘어 있고 차량하부에 기기설치 공간이 없기 때문에 차량하부의 전기장치, 제동장치, 공압관련 장치, 제어반 등이 소형화되어서 다른 공간으로 재배치하는 방법을 사용하였다. 특히 기존 차량에는 없는 계단 밑의 공간이 많이 활용되었고 차량의 앞뒤 끝단 공간도 주요 장비를 설치하는 공간으로 활용하였다. 기존 전동차의 경우, 지붕 위에 설치되는 HVAC 장비나 덕트, 공기출입구 등도 재배치되고 최소화되었으며 계단 밑 공간에 설치된 팬에 의한 강제 통풍방식 및 냉각방식도 취하고 있으며 공기의 출입 포트가 차량측면에 설치되어 있다. 일본 동경 교외선 215계 2층 열차는 동력분산식이지만 대부분의 전장품은 열차편성의 전후부 동력차에 탑재되므로 전후부 동력차 차량의 2층 부분만 객실로 활용하고 1층은 전체가 기계실로 활용되는 구조로 되어 있다.

4. 2층 열차 주행안정성 및 시설물과의 인터페이스, 승차감:

차량의 단면 프로파일 결정시에는 차량 및 건축한계를 최대한 활용하여 롤링모션(rolling motion)시 시설물과의 간섭이 일어나지 않도록 설계하여야 한다. 일반적인

로 2층 열차 대차는 기존 차량과 거의 동일한 구조를 지니나 현가장치는 롤 강성을 강화하고 안티롤 댐퍼를 장착하여 롤 모션을 억제한다.

5. 차량구조 :

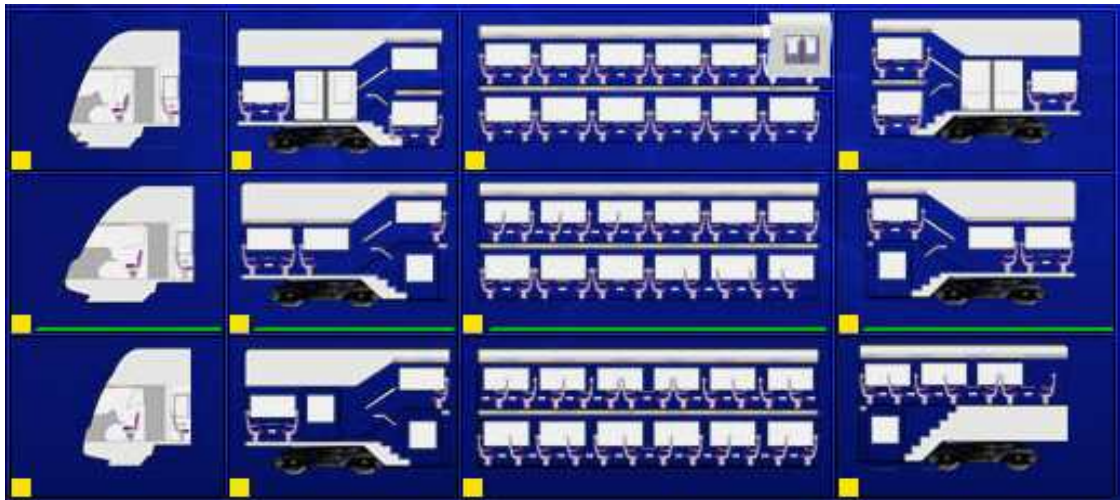
차량구조 측면에서 보면 차중에 따라 다소 상이한 점은 있으나 차량의 1층 바닥은 낮추어서 설계하고 2층 바닥은 거의 차량의 중간높이에 위치하여 상층이나 하층이나 천장높이는 비슷하게 설계되고, 창문 크기와 배치도 상하부가 거의 유사하다. 다만 대부분의 2층 열차에 있어, 2층 객실부 구조는 차량 및 건축한계를 최대한 활용하기 위해 상부가 좁고 모서리가 라운딩 처리되는 구조로 되어 있다. 또한 차량의 운용목적, 즉 장거리 도시간 이동(여행)이나 통근용에 따라 수하물 적재공간, 화장실, 스낵바, 자판기 등의 내부 편의시설 설치 공간유무, 좌석의 종류 및 배치가 결정된다.

6. 경량화 :

2층 열차에 있어서 경량화는 경우에 따라 상당히 중요한 요소로 작용할 수 있다. 이는 기존차량과 동일 노선에서 운행하기 위해서는 차량의 볼륨과 승객수가 대폭 늘어남에도 불구하고 기존차량과 동일한 수준의 축중을 유지하여야 하기 때문이다. 그러나 축중 관리에 상대적으로 용이한 일반대차를 사용하고 있는 일본 신간선 2층 열차인 MAX 시리즈는 승객수가 대폭 늘어나도 축중 유지에 별 어려움이 없는 경우이다. 프랑스 파리의 광역철도망에 운용되고 있는 2층 열차(MI2N, 최대축중 22.5ton)도 축중이 비교적 여유 있는 차량이기 때문에 차체는 Steel로 제작되고 있다. 철도차량의 재질선택에 주된 인자로 작용하는 것이 차량가격 및 유지보수비 등인데 알루미늄 압출재를 사용하면 차량가격 및 유지보수비용이 다소 상승할 것으로 예측되기 때문이다. 결론적으로, 광역철도망 운용을 위한 2층 열차의 경우 속도가 상대적으로 낮고 제한 축중이 고속철도보다 높은 경우가 많을 뿐만 아니라 일반대차를 사용하기 때문에 제작 및 유지보수비 상승을 감수할 정도로 경량화의 필요성이 시급하게 인식되지 않고 있는 상황이다. 즉, 고속철도에 비해 상대적으로 저속으로 운용되고 있는 광역철도망 운용을 위한 2층 열차(열차 최고속도 120km/h~160km/h)의 축중 규제는 고속철도에 비해 까다롭지 않지만 축중이 17톤으로 제한받고 있는 TGV Duplex는 경량화가 앞서 언급한 요인(차량가격, 유지보수비, 정책적 요인 등)보다 우선하므로 차량의 경량화를 위해 불가피하게 알루미늄 압출재를 사용하고 있다.

우리나라의 경우, 철도차량 경량화의 과정을 보면, 국내에서 운영기간 및 경험이 풍부한 전동차의 경우가 좋은 예가 될 것이다. 국내에서 비교적 운영기간이 긴 대

형 전동차의 경우, 차량의 치수(Dimension) 및 대차의 중량은 대체로 유사하므로, 구체중량만을 놓고 보면, 초창기 Mild Steel 차량(수도권 1호선)이 11.24톤으로 가장 무겁고 STS차량이 8.85~ 9.76톤으로 중간수준이며 알루미늄 압출재를 사용한 표준 전동차 구체가 6.64톤으로 가장 가볍다. 따라서, Mild Steel 차량기준으로 STS차량은 13.2~21.3%, 알루미늄 차량은 41%까지 구체중량이 저감되었다고 볼 수 있다. 또한, 설계 최적화를 통해서 구체의 추가적 경량화를 꾀할 수 있으나 구체중량이 전체 차량 중량에서 차지하는 비중은 그리 크지 않으므로 구체의 중량 저감만으로 차량 중량을 추가적으로 경량화하는 것은 대단히 어려운 일이다. 따라서, 구체의 경량화와 더불어 고출력밀도 추진시스템 개발이 필요하고 내부공간의 효율적 활용, 기타 전장품, 내장재, 의자 등의 경량화도 아울러 추진되는 것이 바람직하다.



<그림 4.5> 전두부,전방출구,객실,후방출구의 선택적 조합을 통한 맞춤설계
(프랑스 Alstom)

7. 맞춤형 설계기술 :

차량의 최고속도, 편성방식, 의자배치, 계단위치 및 형상, 전두부 형상, 차체의 폭과 높이는 2층 열차의 운행 특성과 조건에 따라 다양한 시스템이 채택되어 사용되고 있으며 동일한 차종이라 하더라도 고객의 요구에 맞게 맞춤설계가 가능한 설계방식도 적용되고 있다. 프랑스 Alstom의 Coradia는 운전실, 전방출입구, 후방출입구, 차량내부 배치, 차폭 및 높이 등을 고객의 요구에 맞게 맞춤식으로 설계할 수 있도록 되어 있다. 전두부의 경우는 도시근교형, 도시간 열차등 운행속도에 따라서 상이한 형태를 가질 수 있게 되어 있고 차량내부배치에 있어서 가장 중요한 좌석배치와 좌석수도 운행패턴에 따라서 조정할 수 있도록 설계의 유연성을 가지고 있다.

모든 맞춤형 설계에 대하여 인터페이스에 문제가 없도록 하여 다양한 설계요구를 만족시키고자 노력하고 있다.

8. 충돌설계 분야

철도차량의 충돌관련 설계는 철도의 운용 안전성을 향상시키기 위하여 최근 들어 활발히 이루어지고 있는 분야로 알스톰사는 철도차량 설계에 있어서 충돌에 대한 안전대책을 적용하고 있으며 고속열차에 적용되는 충돌대책기술이 2층 열차에도 적용되고 있다. 주요충돌안전대책으로는 앤티 크라이밍장치(Anti-climbing device), 고충격에너지 흡수용 완충기, 강화된 객차 및 동력차 차체 등이 있다.

3절 경제적 타당성

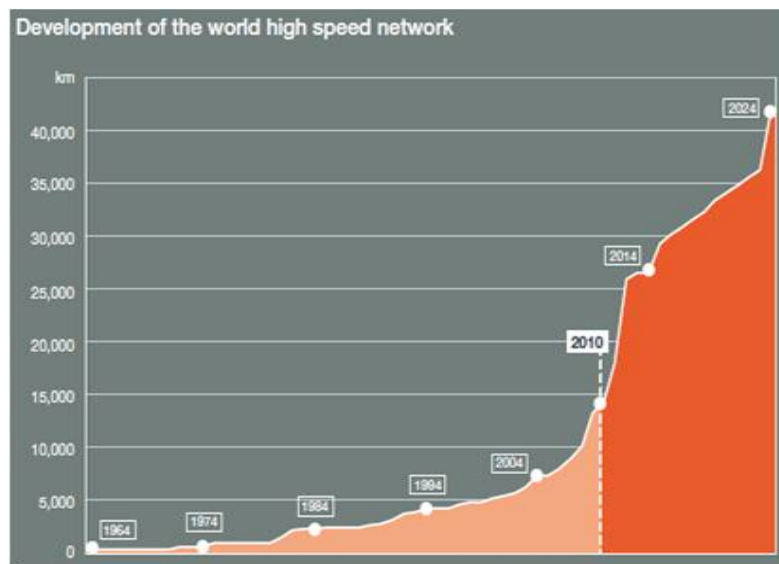
경제적 분야에 대한 2층 고속열차 기술개발의 타당성을 에너지 소비절감 측면과 해외 시장 경쟁력 확보 측면으로 크게 나누어 검토하고자 한다. 에너지 소비측면의 철도차량은 타 운송수단에 비해 에너지 소비 저감에 크게 기여하고 있다. 교통부문 철도차량의 활용은 연간 약 259만 TOE(석유환산톤)을 저감하는 효과를 가지고 있다. 이와 더불어 앞에서 언급한 CO2 배출 감소는 자연 에너지의 측면에서 가장 우월한 교통수단으로 자리잡고 있다. 비록 에너지 소비 효율은 높을 지라도 철도차량의 중량이 높은 관계로 타 교통수단에 비해 1명을 수송하기에 부가적으로 수송되는 중량이 상당히 높은 편이다. 일반적으로 자동차의 경우는 1인당 약 500kg의 중량을 부가적으로 이동시키는 반면 KTX-산천의 경우는 편성당 정원 363명에 공차중량 403ton으로 1인당 약1.1ton의 중량으로 환산되어 진다. 이런 점을 고려할 때 철도차량의 수송력 증대는 철도차량의 에너지 효율을 극대화 하는 방안이 될 것이다. 차량의 경량화를 통해 중량을 감소시키면서 수송능력을 최대화시킴으로써 1인당 수송 중량을 감소시킬수 있다.

이런 측면에서 2층 고속열차의 개발을 통해 차량의 영차중량을 370ton까지 경량화 시키고 승객의 정원을 800명 까지 증가 시킬 경우 1인당 수송중량은 462kg까지 감소되는 효과를 얻어 낼 수 있다. 다시 말해 2층 고속열차 기술개발은 철도가 모든 측면에서 교통부문중 가장 효율적이며 친환경적인 교통수단이 되도록 큰 역할을 수행할 것이다.

고속철도 시장은 국내 뿐만아니라 해외에서 급속도로 증가 추세를 나타내고 있다. <그림4.6>에서 보여주는 바와같이 2010년의 15,000km의 고속철도망이 2024년에

는 40,000km을 넘어설 것으로 예측되고 있다.

세계 고속철도망의 확장에 따른 고속철도 시장역시 엄청난 규모로 증가하게 될 것이다. 세계 철도시장은 2015년엔 약 250조로 추정되면 철도여객 수요 예측도 2000년 대비 75% 증가될 것으로 예측되고 있다. 전 세계의 철도시장의 추세에 따르면 많은 정책방향이 고속화를 지향하고 있으며, 그중 고속열차 시장의 확대폭이 가장 클 것으로 예측되어 진다. 고속철도 시장은 세계적으로 중국이 가장 유망한 시장으로 예상되며 다음은 중동, 인도 그리고 아프리카 순이 될 것이다.



<그림 4.6> 세계 고속철도 Network

Ref. : UIC, High speed rail-Fast track to sustainable mobility, 2010

고속열차와 일반철도 차량을 포함한 세계 전체 철도차량 시장규모는 약 250억달러(2000년 기준)에 달한다. 지역별로는 유럽이 약 40% 정도, 아시아/태평양지역이 약 30% 정도, 미주지역이 약 20% 정도를 차지하는 것으로 나타났다. 차량제작 업체별로는 Alstom, Bombardier, Siemens 등이 전체 시장의 50% 차지하고 있으며, 유럽업체가 약 60% 정도를 공급하는 것으로 나타났다. 국내업체(Rotem(주))는 일반 철도차량시장의 약 2.5%를 점유하고 있다.

<표 4.1> 세계 철도차량 시장구조(2001/2년 매출액 기준)

구 분	매출액(US\$ billion)	비율(%)
Alstom	4	16
Bombardier	4.5	18
Siemens	3.5	14
AnsaldoBreda	1	4
GE	2.25	9
GM	1.75	7
일본차량업체	2.25	9
중국차량업체	1.5	6
기타	4.25	17
합계	25	100

자료: UNIFE, 2003, "UNIFE Railway Alliance".

고속열차는 세계 철도차량 시장규모의 약 6% 수준으로 Alstom(40%), Bombardier(14%), 일본(12%), Adtranz(11%), Siemens(7%)의 순으로 시장을 점유하고 있다.

해외시장 규모는 중국·인도·터키·미국 등 아시아 국가나 미주 국가를 중심으로 파악하였다. 상대적으로 고속열차 구매수요가 많은 유럽지역에는 프랑스, 독일, 이탈리아 등의 제작업체가 있고, 유럽지역에서 추진하는 고속철도 건설에는 주로 프랑스, 독일의 제작업체가 참여하고 있다. 고속열차 가격은 사양, 기술이전 등에 따라 많은 영향을 받지만 계산의 편의상 334억원/편성(10량 조성열차, 호남선 22편성 기준 2012년도 계약분 기준)으로 가정하였다.

현재 미국, 중국, 인도, 터키 등의 국가에서는 고속철도 건설을 계획 중에 있다. 중국은 북경~상하이(약 1,300km)구간에 고속철도 건설을 추진 중에 있는데 중국 철도부는 착공시기 등에 대해 검토 중에 있으며, 현재 프랑스, 독일, 일본이 사업 참여를 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 중국은 기술이전에 대한 요구가 매우 까다롭기 때문에, 최근에 기술개발에 성공한 국내업체는 시장진입이 어려운 상황이다.

미국은 12개 고속철도 건설계획을 가지고 있는데 최근 플로리다 고속철도 건설사업(Miami-Orlando-Tampa, 534km)에 우리나라가 수주경쟁에 참여하고 있다. 한국철도기술공사, (주)로템 등을 포함한 컨소시엄인 GRC(Global Rail Consortium)는 1차 심사를 통과하였으나, 최종심의단계에서 우선협상자로 선정되지는 못하였다.

인도는 2개 고속철도 건설을 계획 중에 있다. Delhi-Mumbai(1,400km),

Ahmedabad-Mumbai(500km) 구간에 고속철도 건설을 계획하고 있으며, Bangalore~Chennai 구간은 250km/h 고속노선으로 업그레이드하는데 관심을 기울이고 있다. 현재 Ahmedabad-Mumbai노선은 초기 사업성조사가 완료된 상태이나, 다른 노선들은 아직 구체적인 계획이 수립되어 있지 않은 상태이다. 터키는 이스탄불-앙카라구간에 고속철도 건설할 가능성이 많은 것으로 보인다.

이상과 같이 현재 사업을 추진 중인 미국·중국·인도·터키 등에서의 고속열차 수요는 약 5조원(150편성, 10량 조성열차 기준)에 이를 것으로 예상된다.

<표 4.2> 해외 고속열차 시장규모 추정

구 분	2007	2010	2015
수량(10량 조성열차)	20편성	60편성	70편성
금액(억원)	8,000	24,000	28,000

주: 철도기술연구원 내부자료를 토대로 작성. 유럽지역을 제외한 아시아와 미국 중심으로 산정.

이러한 고속철도 시장의 확대와 더불어 고속열차 시장에서의 2층 고속열차가 찾아오는 비율은 급격히 증가되기 시작하는 과정으로 프랑스의 경우는 2012년 이후의 모든 고속열차 발주에 2층을 기본으로 설정하고 있다. 고속열차의 속도경쟁을 위한 TGV-150의 시험열차도 중간객차를 2층 열차로 구성하여 574km/h의 최고속도 시험을 수행하였다. 이는 앞으로 고속열차 시장의 2층 열차의 중요도를 예측하고 보여주는 것이라 할 수 있다.

2층 열차는 철도차량을 최적으로 활용하는 방안이며 철도차량을 타 수송수단의 경쟁에서 우수성을 가지게 하는 역할을 하기에 고속열차의 2층 객차 적용은 반드시 추구되어질 방향이라 여겨진다. 다시 말해 이는 향후 해외 고속열차시장에서 경쟁력을 가지고 해외 고속열차 시장을 주도하기 위해서는 2층 고속열차 기술을 반드시 확보하여야 함을 의미한다. 2층 고속열차 개발 기술을 확보함은 해외 고속열차 시장에 참여할 수 있음을 의미하며 더 나아가 세계에서 독자적인 차세대 2층 고속열차 개발 기술을 확보하게 되는 것은 세계 철도시장을 주도하게 됨을 의미한다.

고속철도의 수송력 증대를 통해 운임 인하를 유도할 수 있으며 이에 따른 수익 및 편익을 기존 KTX 이용객 13.7만명을 기준으로 검토하였다. 운임의 인하는 국민편익 측면에서 지속적으로 상승하며 운영기관의 수익은 승객증가에 따라 운임 인하율에 따라 상승하다가 다시 하락되는 경향을 나타낸다. 운영기관의 수익 극대화 측면에서 인하율 25%시 수익 극대화를 나타내며 국민편익도 50%증가하여 KTX 수요

가 20.6만명/일로 증가되어진다. 인하율을 25% 이상 증가시 운영처 수익은 감소하며 운임 50%에서는 국민편익은 100%가 증가되지만 운영처 수익이 0%에 도달되게 된다.

KTX-산천 대비 수송력 100% 향상 시 연간 교통편익(서울↔오송기준)은 200억원이 발생할 것으로 추정 되어진다. 운영기관 운영 수익 제고는 서울↔오송 왕복기준으로 1일 10회 운행 시 1일 6천만원, 연간 240억 수익 증대를 예상할 수 있다.

4절 타당성 검토 종합

2층 고속열차 핵심 및 제작 기술 개발사업은 우선적으로 2015년 이후부터 도래될 서울-오송 구간의 수송한계를 해결하는 최상의 방안이라는 점에서 타당성이 확보되어진다. 다만 수송한계의 예측에 대한 대응을 적시에 수행하기 위해서는 연구개발의 기간을 고려하여 시급성이 높은 연구로써 조속히 착수되어야 할 것이다. 국민의 생활 편익에 계획적인 대응을 수행하는 정부의 모습은 철도발전 뿐만아니라 국가 신뢰도를 향상시키는 역할을 하게 될 것이다.

더 나아가 2층 고속열차를 통한 운임절감 및 에너지 효율의 증대는 녹색교통수단인 고속철도망의 확충을 통한 1시간 30대 전국토의 연결을 계획하는 국가의 정책에 부합되는 최선의 기술개발일 것이다.

녹색교통수단으로써의 세계적인 고속철도 시장의 확대와 2층 고속열차 적용 및 선호도 증가를 반영한 세계 고속철도 시장 진출 및 경쟁력 확보를 위해서 국내 2층 고속열차 개발기술의 확보는 국내 철도기술의 발전을 위해서 반드시 시급하게 수행되어야 한다.

제 5 장 소요예산 산정

2층 고속열차 개발사업을 통해서 제작되어지고 수행되어지는 개발품과 수행 연구 내용을 중심으로 소요예산을 추정하여 전체 사업 및 세부과제별 예산을 아래와 같이 산정한다.

1절 전체사업 소요예산

2층 고속철도 기술개발사업의 주요한 연구개발은 6량의 2층 고속 시제열차 설계 및 제작이며 이에 따른 각종 핵심 연구개발과 신뢰성 평가가 병행하여 수행 될 계획이다. 따라서 이에 소요되는 주요 예산은 우선 시제차량 제작을 위한 재료비가 가장 크게 소요될 것으로 판단되며 한국형 고속열차 개발 시 투입된 예산을 볼 때 개발되는 2층 객차에 대하여 1량당 약 50억원 수준이 소요될 것으로 판단되어 이와 더불어 동력차 제작 또는 개조를 고려하면 총 6량에 대하여 320억원이 필요할 것으로 판단된다. 또한 전체 연구개발에 투입되는 인력에 대한 인건비는 예상되는 총 투입인력 260 M/Y에 대하여 평균연봉 0.5억원과 참여율 30%을 고려할 때 39.5억원 정도 소요될 것으로 판단된다.

차량개발에 소요되는 재료비를 제외한 각종 핵심기술과 첨단기술 적용을 위한 응용연구개발에 소요되는 연구용 재료비(연구기자재비, 시작품 제작비 등)는 연간 5억원 수준으로 판단되어 전체 사업기간 고려 시 총 20억원이 요구되며, 연구 직접 활동비(여비, 수용비, 기술정보 활동비 등)는 투입 인력 1인당 약 0.15억원 소요 예상되어 총 39억 정도가 필요할 것으로 판단된다. 또한 각 기관에 대한 간접 경비는 기업의 경우 5~10% 수준, 연구기관은 60% 수준으로서 평균 30% 적용 시 약 11.8억원이 예상된다.

〈표 5.1〉 2층 고속열차 개발 주요 소요 추정 예산

주요 소요예산 내용	소요예산 판단(억원)	
	산출내역	금 액
2층 객차 차량제작 재료비	50.0/량 × 4량	200.0
동력차 개량 제작	60.0/량 × 2량	120.0
연구용 재료비	5.0/년 × 4년	20.0
연구 직접 활동비	260인 × 0.15/인	39.0
인건비	260인 × 0.5/인 × 30%	39.5
간접 경비	인건비 × 30%	11.8
합 계		430.3

<표 5.1>에서 산출된 결과를 토대로 총 예산 430억원 (정부:290억원, 민간 140억원)에 기반하여 세부과제 및 차년도를 고려한 전체예산을 아래와 같이 산정한다.

(단위 : 억원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	55	15	75	35	125	85	35	5	290	140
1세부	40		40		40		30		150	
주관	25		25		25		20		95	
공동	10		10		10		10		40	
위탁	5		5		5				15	
2세부	15	15	35	35	85	85	5	5	140	140
주관	10	10	20	25	60	65	4	4	94	104
공동	5	5	10	10	20	20	1	1	36	36
위탁			5		5				10	

1세부과제는 연구의 특성상 철도전문 연구기관이 주관이 되어 진행하며 구성되는 공동기관은 학교 및 출연연을 중심으로 구성되므로 민간부담금이 없이 순수한 정부출연금을 기반으로 연구를 수행하게 된다. 2세부과제는 차량 제작사가 주관을 하여 차량 설계/제작을 수행하는 부분으로 민간출자를 극대화하기 위하여 대기업기반의 세부주관 및 공동을 구성하고자 한다. 따라서 정부출연금 140억과 이와 동일한 민간부담금 140억을 기반으로 총 예산 280억을 산정한다. 2세부과제 주관기관은 객차에 개발에 필요한 고속열차용 관절대차 및 단부대차 그리고 2량의 KTX-산천 동력차를 구입하는 예산을 반영하고 있다.

차년별 주요연구 내용과 부합하도록 1차년도는 핵심기술 위주의 해석과 예측검증평가가 진행됨에 따라 주요 예산은 1세부과제에 편입되며 2세부과제는 설계도면 도출에 중점적인 연구를 진행한다. 2차년도 단품별 제작이 진행되며 이에 따라 2세부과제의 제작비용이 증가되어지며 1세부과제는 단품성능시험 및 구성품 성능검증에 예산을 활용한다. 3차년도는 동력차의 구입과 차량의 조립이 마무리되는 단계로 전체 예산의 50% 정도를 소요하게 되며 그중 75% 이상을 2세부과제에서 활용하게 된다. 1세부과제는 시험운전을 준비하기 위한 계측장비 구축과 시험운전을 수행하게 된다. 4차년도에는 시험운전을 통한 시제열차의 신뢰성평가를 1세부과제가 중심이 되어 진행하며 2세부과제는 최소의 예산으로 시제열차의 시험운전 지원 및 유지보수를 진행하게 될 것이다.

2절 세부과제별 소요예산

각 세부과제별 4차년도에 걸친 소요예산은 다음과 같다.

1. 1세부과제 연차별 소요예산

(단위 : 억원)

예산 항목	세부 항목	예산항목							비율 (%)
		단가 (연급여)	연평균 인원/ 참여율	1차년도 (2013)	2차년도 (2014)	3차년도 (2015)	4차년도 (2016)	소계	
인 건 비	책임 연구원	0.9	7/30	1.9	1.6	1.7	1.9	7.1	4.7
	연구원	0.7	21/30	5.1	5.5	4.9	6.1	21.6	14.4
	연구보조 (박사과정)	0.4	3/100	1.2	1.2	1.2	1.2	4.8	3.2
	연구보조 (석사과정)	0.3	5/100	1.5	1.5	1.5	1.5	6.0	4.0
	소 계			9.7	9.8	9.3	10.7	39.5	26.3
직 접 비	연구장비 재료비			9.0	4.0	6.0	1.0	20.0	13.3
	연구활동비			8.2	12.8	10.8	9.9	41.7	27.8
	연구수당			2.2	2.4	3.1	3.0	10.7	7.2
	소 계			18.4	17.2	16.9	9.9	62.4	48.3
위탁연구개발비				5.0	5.0	5.0	-	15.0	10.0
간접비				5.9	6.0	5.8	5.4	23.1	15.4
합 계				40.0	40.0	40.0	30.0	150.0	100

1세부과제는 정부지원금으로 구성되는 해석, 검증, 평가 및 SE를 진행하며 전체적인 참여 연구진의 투입인력 수는 연차별로 변화가 크게 발생되지 않는다. 위탁연구는 4차년도 시험운전 시점을 제외하고 각 연구비에 12.5%에 해당하는 예산을 활용하여 학교와의 협동체계를 추진하여 추후 차세대 2층 고속열차의 개발에 대한 기반 기술을 학교 연구진들이 확보할 수 있도록 하고자 한다. 연차별 예산에도 크게 변화가 없으며 1차년도는 핵심기술 위주의 해석과 예측검증 평가를 위해 기반 해석 프로그램 임차 및 사양검토 용역이 진행될 것이다. 2차년도에는 제작되는 구성품과 단품에 대한 성능검증 시험을 주관기간의 주도하에 장치별 요구 시험장비의 임대를 통해 진행하고자 한다. 3차년도에는 차량의 조립 시점에 맞추어 시험운전을 위한 계측장비를 구축하게 될 것이며, 4차년도에는 시험운전 운영을 위한 출장비용을 중심으로 예산의 소요가 예상되어 진다.

2. 2세부과제 소요예산

(단위 : 억원)

예산 항 목	세부 항 목	예 산 항 목							비율 (%)
		단가 (연급여)	연평 균 인원/ 참여율	1차년도 (2013)	2차년도 (2014)	3차년도 (2015)	4차년도 (2016)	소계	
인 건 비	책임 연구원	0.9	12/30	2.4	3.2	5.8	1.4	12.8	4.6
	연구원	0.7	44/30	6	6.7	21.3	3.2	37.2	13.3
	연구보조 (박사과정)	0.4	3/100	0.4	0.4	0.8	0.4	2.0	0.7
	연구보조 (석사과정)	0.3	2/100	0.6	0.6	0.9	0.6	2.7	0.9
	소 계			9.4	10.9	28.8	5.6	54.7	19.5
직 접 비	연구장비 재료비			11.0	40.0	110.0	2.0	163.0	13.3
	연구활동비			5.0	6.0	10.0	0.4	21.4	27.8
	연구수당			1.9	2.2	5.7	1.0	10.8	7.2
	소 계			17.9	48.2	125.7	3.4	195.2	48.3
위탁연구개발비				-	5.0	-	-	5.0	10.0
간접비				2.7	5.9	15.5	1.0	25.1	15.4
합 계				30.0	70.0	170.0	10.0	280.0	100

2세부과제는 정부지원금 140억원과 민간부담금 140억원으로 총 사업비 280억원 예산으로 과업을 수행한다. 1차년도는 설계를 위한 예산을 책정하고 타분야 사양검토 및 설계(안) 해석 검증은 1세부과제를 통해서 진행한다. 2차년도 부터는 본격적인 구성품 제작을 수행하며 일부 대차 및 동력차의 발주를 진행하여야 한다. 3차년도에는 차량이 조립과 구매 및 개조가 완료되는 시점으로 예산 수치상으로 총 예산의 40% 정도를 활용하게 된다. 시험운전을 준비하고 4차년도에는 1세부과제가 진행하는 시험운전을 장치별 유지보수를 지원하기 위한 최소의 예산을 활용하여야 한다.

시제열차 6량을 제작 개발하기 위해서는 예산의 많은 부분이 제작을 위해 활용되어야 하며 부족한 제작 예산확보를 위해서도 민간의 출자를 최대한 유도시켜야 한다. 실질적으로 민간투자가 대기업의 수준으로 진행되지 못할 경우에는 차량의 개발 범위를 축소하거나 개발 구성품이 아닌 대차 및 주요부품 구매를 추가 사업을 통해 구매해야할 필요가 있다.

제 6 장 과제 제안 요구서

연구과제명	2층 고속열차 기술개발
1. 연구개발 목표	○ 고속철도를 활용한 출퇴근 생활권 확대에 따른 출퇴근 시간대 수송력 증대를 위한 통근형 2층 고속열차(300km/h급) 핵심기술 기술 개발 - 2층 열차(300km/h급) 시스템 사양 결정 및 시스템 통합/인터페이스 최적(안) 도출 - 2층 고속열차 기술개발을 위해 필요한 핵심기술 확보를 통한 시제 열차 제작 - 통근형 2층 시제열차 시험운전을 통한 신뢰성 확보 - 차세대 2층 고속열차 기반기술 확보
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	○ 고속철도 서울 ~ 오송 구간 출퇴근시간 수송력 한계 도달시점 2014년 예상 - 행정복합도시인 세종시에 9부2처2청 등 36개기관 10,452명의 공무원 2012년부터 2014 년간 이주 계획으로 인한 민원인 및 공무원 출퇴근자 폭발적 증가 예상 - 오송 생명과학단지인 기업체, 대학, 연구소, 국책기관이 집적된 생명공학클러스터로 조성되어 2010년 말 현재 식약청, 질병관리본부, 식품의약품안전평가원, 국립보건연구원 등 6개기관 2,400여명이 서울~오송 구간의 출퇴근 여객의 폭발적 증가로 2012년 3월 현재 KTX 수송에 한계 도래 - 2015년 오송~목포구간 호남고속철도 개통으로 고속철도의 교통 분기점 및 중심지로 오송역의 역할이 확대되면서 서울-오송간 병목 현상 예상 ※ 참고자료 : KTX 이용객이 '08년 10.4만명/일 → '11년 13.5만명/일로 증가 2012년 국토해양부 주요업무 보고 자료(2011. 12. 27) ○ 국가기간교통망계획 제2차 수정계획(2011.01.19, '01~ '20)에 따른 철도교통시스템 확충 관련 기술개발 활성화 필요 ※ 국가기간교통망계획(2001~2020) 제2차 수정계획』 전문은 국토해양부 인터넷 홈페이지 (http://www.mltm.go.kr) 참조 - 전국 1시간 30분대 국토공간 통합 KTX 고속철도망구축에 대비

하여 高수송용량의 통근형 고속철도 개발 필요

- 저탄소 녹색성장을 위한 교통 SOC 투자 방향 전환
; 철도 투자확대, 대중교통활성화 및 녹색교통 기술개발 촉진
- 도로·철도 등 국가교통체계의 종합 조정
; 고속철도의 적기완공과 간선철도의 고속화·전철화를 추진하여
전국 고속화 철도망 구축 및 속도 경쟁력 확보
- 교통수단의 특성에 따른 투자로 수송효율성 강화
- 高수송력 확보 2층 고속열차의 도시철도망 직결운행 방안 구축
을 통한 도심 접근성 향상
- 녹색교통수단인 고속철도 소요 확대를 위한 에너지 효율 증대 및
운임절감 방안 도출 필요

- 고속철도차량 세계 시장을 위한 2층 고속열차 개발기술 확보 필요
 - 여객 수요가 큰 노선에 대하여 TGV-duplex(프랑스)와 신간센
E4(일본)를 포함하여 선진 철도 대국에서는 2층 고속열차를 운
행 중
 - 세계 고속철도망 증가 추세를 고려하여 2층 고속열차를 통한 수
송력 향상 방안에 세계 시장의 수요 확대 가능성 높음
 - 고속철도차량 세계 시장의 경쟁력 확보를 위한 차별화 및 특성화
된 2층 고속열차 신 모델 핵심기술 확보 필요
- 고수송 통근형 2층 고속열차 기술개발 사업을 2013년 ~ 2016년까
지 수행함으로써 KTX 고속철도망 핵심 운행 구간의 수송용량 한계
를 극복하고자 함.

□ 기술동향

- 2층 열차 국내 연구개발 사례
 - 2층 급행열차 운행을 위한 기술개발 및 설계기준에 관한 연구
; 2001년부터 2004년 까지 3차년도에 걸쳐서 건설교통부의 지
원을 받아 한국철도기술연구원이 주관으로 국내실정에 적합한
준고속 2층 열차 모델 기초연구를 수행
- 국내 기술 수준
 - 준고속 2층 열차 제작 기술 확보
; 동력분산식 및 고상 플랫폼에 적용하는 차체 객실설계에 대한
국내 기술 확보
; 차체의 경량화 측면보다 차량의 구조적 안전성 측면에 대한 연

구

- 국내 2층 고속열차 핵심 기술 개발 수준

; 수송량 증대에 따른 차체의 경량화 측면 연구 결과 미흡

; 300km/h 고속열차의 운행조건에 따른 주행안전성 및 차량 단면과 무게중심 변화에 따른 공력측면의 안전성은 추진되지 않은 상태

○ 프랑스 기술개발 현황

- 2층 고속열차 연구개발 배경

▪ TGV의 파리-리용 구간 고속철도 선로는 1981년 운용을 개시한 이래 철도수요가 급속히 팽창하여 1990년대 들어 포화상태 도달

▪ SNCF에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해, TGV의 열차편성을 중련으로 하여 운행 시도

; 여객 수송량 향상이 기대에 미치지 못할 뿐만 아니라 역사의 플랫폼이 매우 길어져야 하는 부가적인 문제점도 발생

▪ 1996년 가장 선로가 번잡한 파리~리용 구간 TGV Duplex 적용
; TGV에 비해 45%정도 더 좌석 여유를 지니는 2층 열차 개념

- TGV Duplex 주요 적용 기술

▪ 기존 TGV에 비해 무게 중심이 높으므로 高 무게 중심 차량에 대한 동특성을 면밀히 검토

▪ 17톤의 축중 제한을 만족시키기 위하여 독일의 ICE에 사용된 것과 같은 알루미늄 압출재를 사용

; 차량 구조물의 무게를 기존 TGV에 비해 20%정도 감소

▪ 주행저항을 감소를 위해 동력차 전두부 및 차량 간의 연결부 개선

; 300 km/h로 주행시 기존 TGV에 비해 주행저항이 단지 4% 증가

▪ 기존 TGV차량이 좌석당 하중 및 동력이 1.1톤, 18.34 kW인대 비해 Duplex의 경우는 각각 0.7톤, 16.15 kW로 효율성 향상

○ 일본 기술개발 현황

- 신칸센 E1계 2층 고속열차

▪ 가변 운행구간 적용을 통한 변동 수송수요 대처

; 출퇴근 시간에는 Tokyo ↔ Takasaki(101.4km), Tokyo ↔ Nasu ↔ Shiobara(154km)구간에 대해 운행되고 있고 그 외 시간에는 Tokyo ↔ Morioka(496.5km)와 Tokyo ↔ Nigata(300.8km) 구간에서 운행

- 특실은 2×2의 좌석구조, 일반실은 2×3의 좌석구조 및 넓은 내부
- 신칸센 E4계 2층 고속열차
 - 200계의 계속적인 교체와 E1계 도입 후에도 계속 증가하는 신칸센의 수요에 대응하기 위해 1997년부터 제조
 - 16량 1편성 운행가능 : 최대 1,634명 수송 가능

3. 연구개발 내용

□ 세부과제 1 : 2층 고속열차 SE 및 핵심기술 개발

○ 관절대차형 고속차량에 적합한 형상 디자인/설계/제작 기술 개발

- 통근형 2층 고속열차의 시스템 요구사항 분석 및 결정
- 차량제작 및 리스크 관리를 고려한 차량 SE 기술 연구
- 수송력 극대화를 위한 2층 고속열차 좌/입석 배치 방안 도출
- 핵심장치(추진제어, 제동, 대차, 냉난방, 승하차 등) 용량검토 및 기기배치방안 도출
- 차량 내외부 형상 디자인 및 공력 특성 검토
- 인간공학적 및 비상을 고려한 차량 공간 디자인 설계(안) 도출

○ 고속선로 인프라에 적합한 시스템 및 인터페이스 기술 개발

- 시설물 변경을 최소화 하는 차량/시설물 인터페이스 검토 및 대안 도출
- 도시철도망 직결운행을 위한 인터페이스 검토 및 대안 도출
- 통근형 2층 고속열차의 시스템 통합 및 검증방안 도출
- 고속철도 인프라를 고려한 2층 객차 사양 및 설계기준 도출

○ 수송량 증대 및 차체부피 증대에 따른 경량화/최적화 기술 개발

- 차량 경량화 및 구조강도 확보 방안 도출
- 주요 전장품 소형 경량화 방안 도출(사이즈, 무게, 기기배치관련 인터페이스 등)
- 차체 접합부 및 용접부 경량화 기술 연구

○ 2층 고속열차 성능검증 기술 개발

- 주행 공력특성을 고려한 정적/동적 성능 검토(임계속도, 탈선계수, 터널 내 열차교행특성, 윤중변화율 등)

- 2층 고속시제열차 시험운전을 통한 신뢰성 평가 및 검증
- 2층 고속열차 차체 및 핵심 구성품 성능평가 기술 개발
- 열차 성능평가 체계(안) 도출(종합계측시스템, 설계(안) 검증 체계)
- IT 기술을 이용한 차량 안전 모니터링 시스템 설계(안) 도출
- 핵심 기반기술 성능예측 및 문제점 대안 도출
- 고속열차에 대한 “철도안전법 형식 승인” 적용 절차 방안 도출

□ 세부과제 2 : 2층 고속열차 설계 및 제작기술 개발

○ 2층 고속열차 객차 실용화 기술 개발

- 경량화 2층 구조의 단부대차용 및 관절대차용 차체 설계 및 모델
- 승객편의를 위한 실내 및 의장 디자인 모델
- 2층 객차의 쾌적성 향상을 위한 공기조화 설계 및 모델
- 기밀도 향상을 위한 연결막 및 승강문 설계 및 모델

○ 2층 고속열차 객차용 핵심 구성품 경량화 기술 개발

- 경량화 및 소형 제동시스템 모델
- 객차에 필요한 경량화 전장품 모델

○ 2층 구조 객차 적용을 위한 동력차 및 차체 인터페이스 개조 기술 개발

- 2층 객차 외부 형상변화에 따른 기존 고속열차 동력차 인터페이스 검토서 및 개조 모델
- 2층 차체에 적합한 대차 인터페이스 검토서
- 2층 고속열차용 차량 연결시스템 모델

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - KTX-산천차량을 기본 모델로 설계시간 및 비용 최소화 전략
 - 차량 개발 비용을 최소화하고 2층 고속열차의 핵심기술을 확보하기 위하여 기존 KTX-산천 및 HEMU 대차 확보기술 활용
 - 2층 객차 제작을 통한 시험평가
 - ; 관절대차형 2층 객차 및 단부대차형 2층 객차 제작을 통한 설계 검증 및 성능평가 시험 수행
 - 상용화 목표 중심의 연구(Commercialization)
 - 개발기술의 상용화에 주안점을 둔 연구개발 추진
 - 연구개발 초기부터 기술수요처 및 사업화 주체가 적극 동참토록 하여 연구개발

발 후 사업모델을 명확히 설정 ○ 시스템 최적화를 통한 비즈니스모델 창출 (System of Systems) - 개별 요소 시스템의 조합을 최적화하는 System of Systems형 기술 개발을 통한 새로운 철도차량 비즈니스모델 제시 - 각 세부과제간 긴밀한 연계를 통해 시스템 기술개발의 효율성 제고 ○ 과제 종료 후, 2층 고속열차 활용(이관) 계획 제시 및 소요예산 반영 ○ 세부과제별 추진전략 - 1세부과제 : 철도차량시스템 엔지니어링 기술 및 성능예측/평가 기술 활용을 통한 2층 고속열차 핵심기술 확보 극대화 - 2세부과제 : 기존 확보된 고속열차 기술을 활용하여 2층 고속열차에 필요한 차량개발 및 검증 후 바로 적용 가능토록 연구추진	
□ 추진체계	○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모 ○ 세부과제별 기업부담금 비율과 연구의 특성을 고려하여 1세부과제는 연구원과 학교의 컨소시엄을 추천하며 2세부과제는 산업체가 주도하는 추진체계 구축 ○ 참여연구기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 산학연 공동연구 추진 방안을 모색 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고
5. 최종 성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 수송력 극대화 2층 고속열차 경량화 객차 모델 도출 ○ 통근형 2층 고속열차 사양 및 설계기준 제시 ○ 2층 고속 시제열차 시험운전 10만km 주행 달성 ○ KTX-산천 대비 주요 구성품 20% 경량화 모델 도출 ○ 2층 고속열차 핵심 기반 기술 구축

□ 세부과제별
최종성과물

□ 세부과제 1 : 2층 고속열차 SE 및 핵심기술 개발

○ 관철대차형 고속차량에 적합한 형상 디자인/설계/제작 기술 개발

- 통근형 2층 고속열차의 시스템 요구사항
- 핵심장치(추진제어, 제동, 대차, 냉난방, 승하차 등) 기기배치방안
- 차량 내외부 형상 디자인 및 공력 특성 검토서
- 인간공학적 차량 공간 디자인 설계(안)

○ 고속선로 인프라에 적합한 시스템 및 인터페이스 기술 개발

- 차량/시설물 인터페이스 검토 결과 및 대안
- 도시철도망 직결운행 인터페이스 검토 결과 및 대안
- 통근형 2층 고속열차의 시스템 통합 및 검증 방안
- 고속철도 인프라를 고려한 2층 객차 사양 및 설계기준

○ 수송량 증대 및 차체부피 증대에 따른 경량화/최적화 기술 개발

- 차량 경량화 및 구조강도 확보 방안
- 주요 전장품 소형화 방안 (사이즈, 무게, 기기배치관련 인터페이스 등)
- 차체 접합부 및 용접부 경량화 방안

○ 2층 고속열차 성능검증 기술 개발

- 주행 공력특성을 고려한 정적/동적 성능 검토서(임계속도, 탈선계수, 터널 내 열차교행특성, 운중변화율 등)
- 2층 고속시제열차 시험운전 10만km 주행기록 및 신뢰성 평가서
- 2층 고속열차 차체 및 핵심 구성품 성능평가 결과 보고서
- 열차 성능평가 체계(안) (종합계측시스템, 설계(안) 검증 체계)
- 핵심 기반기술 성능예측 결과 및 문제점 대안
- 고속열차에 대한 “철도안전법 형식 승인” 적용 절차 방안

□ 세부과제 2 : 2층 고속열차 설계 및 제작기술 개발

○ 2층 고속열차 객차 기술 개발

- 경량화 2층 구조의 차체분야 설계 및 제작 기술 개발
- 승객편의를 위한 실내 및 의장 디자인 기술 개발
- 2층 객차의 쾌적성 향상을 위한 공기조화 분야 설계 및 제작 기술
- 기밀도 향상을 위한 연결막 및 승강문 설계 및 제작 기술 개발

○ 2층 고속열차 객차용 핵심 구성품 경량화 기술 개발

- 경량화 및 소형 제동시스템 분야 제작 기술 개발

- 객차에 필요한 경량화 전장품 분야 제작 기술 개발 ○ 2층 구조 객차 적용을 위한 동력차 및 차체 인터페이스 개조 기술 개발 - 2층 객차 외부 형상변화에 따른 기존 고속열차 동력차 인터페이스 검토 및 개조 - 2층 차체에 적합한 대차 인터페이스 검토 기술 개발 - 2층 고속열차용 차량 연결시스템 설계 및 제작 기술 개발	
6. 기대효과 및 파급효과	○ KTX-산천 대비 수송력 100% 향상 시 연간 교통편익(서울↔오송기준) 연간 200억원 발생 ○ 운영기관 운영 수익 제고 ; 서울↔오송 왕복기준, 1일 10회 운행 시 1일 6천만원, 연간 240억 수익 증대 ○ 차량 운용 시 에너지 소모효율/인당 30% 이상 향상 ○ 자유석 및 입석을 활용한 운임 30% 이상 절감 ; 녹색교통수단인 고속철도 이용 수요증대 창출 ○ 고속철도차량 신규 시장 창출 ; 2층 고속차량 생산 유발 효과 4천억원/10량/10편성 ○ 통근형 고속열차 서비스 제공으로 서울 ~오송 구간 교통 체증 완화 및 세종시 권역 활성화 ○ 전국 1시간 30분대 국토공간 통합 KTX 고속철도망구축 정부계획 지원 ○ 예상되는 서울~오송 간의 수송집중의 문제를 해결할 수 있으며, 수송집중 시간대의 혼잡을 최소화하여 이용자의 긍정적인 감성을 이끌 수 있음
7. 연구개발기간 및 소요예산	○ 총 연구기간 : 2013.01 ~ 2016.12 (4년) - 1차년도 연구기간 : 2013.01 ~ 2013.12 (12개월) ○ 총 정부출연금 : 29,000 백만원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 5,500 백만원 이내 ※ 각 단위과제별 정부출연금은 별첨 기획보고서의 예산편성에 준하여 제시할 것 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영 규정”의

기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제 별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타

- 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부주관연구책임자로 참여하여야 함
- 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조하여 작성
 - 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시
- 제안서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발TRM을 기반으로 전체 연구단의 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성)
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구개발 성과목표□지표 등을 연구개발계획서 및 성과점검기준표에 필히 제시
 - 연구개발 성과목표□지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술□성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안 제시(성과점검기준표 별도작성, 제출)
 - 연구성과의 검증 계획을 반드시 제시해야 함
 - ※ 성과목표□지표체계와 성과점검기준표는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
- 연구성과의 사업화 예상성과를 구체적으로 명시
 - 연구성과의 정량적□정성적 파급효과 제시
 - 연구성과의 사업화로 예상되는 기술, 경제, 사회□문화적 파급효과 및 산출근거 제시
 - 연구성과의 사업화 달성전략을 구체화하여 제시
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료□기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

- 기 수행(종료과제, 중단과제) 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구 개발결과와의 중복성 검토 및 연계활용방안을 구체적으로 연구계획에 포함
 - www.kictep.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr> 유사과제 참조
- 추후 연구단 운영계획 및 연구개발계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 연구단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
- 기타 연구내용, 주요성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 ‘2층 고속열차 기술개발 기획’ 최종보고서 참조

○ 자문 위원

구분	성명	소속	직위	e-mail	비고
1	이상조	연세대	교수	sjlee@yonsei.ac.kr	위원
2	차성운	연세대	교수	swcha@yonsei.ac.kr	위원
3	최상영	철도시설공단	처장	mousim44@hanmail.net	위원
4	이병석	현대로템	이사	lbs@hyundai-rotem.co.kr	위원
5	박훈규	유진기공	부사장	hkpark@yujinltd.co.kr	위원
6	김현식	한국철도공사	센터장	khs051105@korail.com	위원
7	최용운	서울도시철도공사	처장	choiyongun2004@hanmail.net	위원
8	고태환	한국철도 기술연구원	선임 연구원	thko@krri.re.kr	위원
9	이찬우	한국철도 기술연구원	책임 연구원	cwlee@krri.re.kr	위원
10	이경수	연세대	연구교수	exeter@yonsei.ac.kr	위원

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 미래철도기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.