

R&D / 08
미래
철도
기획
A01-2

미래철도기술개발사업 기획연구 최종보고서

R&D / 08 미래철도 기획A01-2

최신 반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발

2008. 11.

주관연구기관 / 한국철도공사

최신
반도체소자를
이용한

2008

국토해양부
한국건설교통기술평가원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “최신 반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발”의 최종보고서로 제출합니다.

2008. 11. 7.

주관연구기관 : 한국철도공사
사장 강 경 호

■ 총괄연구책임자	/ 수석연구원	최 성균	연구총괄기획·추진
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 연 구 원	유 양하	공동연구
	/ 연 구 원	윤 차중	공동연구
	/ 연 구 원	이 영엽	연구지원
	/ 연 구 원	이 준원	연구지원
	/ 연 구 원	국 문석	연구지원
■ 주관연구기관 자문 위원	/ 한국철도대학	김 재문 교수	공동연구
	/ 한국철도대학	장 진영 연구원	공동연구

목 차

1. 서론	1
1.1 기술개발 및 정부지원의 필요성	1
1.2 기술개발의 중요성	8
1.3 기술개발 목표 및 추진방향	10
1.4 기술개발의 SWOT 분석	13
2. 국내외 시장환경 및 기술동향	15
2.1 국내외 정책 및 시장 전망	15
2.2 고속철도 추진제어장치 사례조사	25
2.3 최신 반도체 소자 기술조사	36
2.4 국내외 고속철도 추진제어기술 특허분석	38
3. 기술개발 분석	54
3.1 KTX의 추진제어장치	54
3.2 소요기술 분석	56
3.3 영역별 핵심기술 및 세부기술 분석	64
3.4 위험요소 분석 및 대응방안	67
4. 연구개발 수행 체계	68
4.1 추진체계 및 관련기관과의 협조	68
4.2 연구개발의 최종목표 및 연구범위	70
4.3 연구개발의 추진전략 및 방법	77
5. 소요 인력 및 예산분석	79
5.1 소요예산 인력 추정	79
5.2 소요예산 예산 산출	84
6. 경제성 분석 및 기술파급 효과	90
6.1 개발사업의 경제성 검토	90
6.2 기술파급 효과	93
7. 참고 문헌	94
별첨 (RFP)	95

1. 서 론

1.1 기술개발 및 정부지원의 필요성

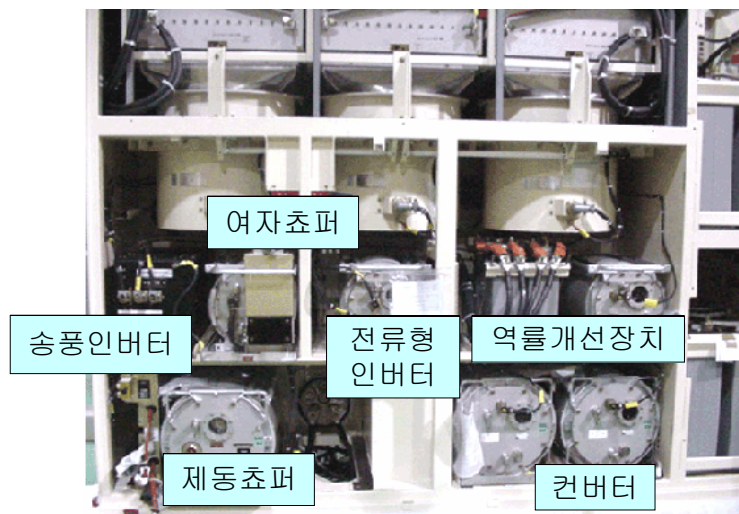
1.1.1 기술개발의 필요성

국내 철도기술은 1990년대 초까지 해외기술에 의존하며 현상유지에 머무는 형태를 극복하지 못한 채 철도기술이 낙후된 시기를 보내야 했다. 그러나 90년대 초반부터 경부고속철도 건설계획의 확정과 더불어 우리나라 철도기술은 혁신적 발전의 계기를 맞이하였다. 고속철도 건설과 함께 1994년 프랑스 알스톰사의 차량도입이 확정됨으로서 고속열차 46편성(20량 1편성 기준)이 도입되었고 이중 12편성은 프랑스에서, 나머지 34편성은 프랑스로부터 제작 기술을 이전받아 국내에서 제작하였으나 원천 설계기술은 보유하지 못한 채 제한된 분야의 기술만이 이전되었다. 이전 자료와 기술을 국내에서 효과적으로 소화 흡수하기 위해 고속철도 시스템을 독자 개발할 수 있는 원천 설계기술을 확보하기 위해 '96년 12월부터 국토부(전, 건교부)를 주관부처로, 유관부처와 협조체제를 구축하여 G7 선도기술개발사업인 고속전철기술개발사업을 착수하였다.

그러나 제어방식과 시스템의 호환성을 무시한채 고속운영의 방식에만 국한된 개발은 국내 고속철도의 운영 체계에 두종류 고속전철 기술을 태동하게 된다. KTX는 제한된 분야의 기술만이 이전되고 원천 설계기술을 확보하지 못한 채 고속철도차량(KTX)을 운영함에 따라 2004년 고속철도 개통 이후 추진제어장치(Motor Block)에 대한 주요 핵심부품의 해외 의존도가 높고 부품 확보에 어려움이 발생되고 있다. 프랑스 알스톰사의 제작 기술을 이전받은 고속철도차량(KTX)은 견인방식이 동력 집중방식으로 GTO thyristor 반도체 소자를 제어하여 교류 동기 전동기를 구동한다. 현재 세계적 철도기술 연구개발에 비추어 볼 때 이러한 추진제어 방식은 비동기인 유도전동기를 적용하고 있는 독일, 일본 등과 달리 동기 전동기로 적용함에 따른 제어방식이 상이하고 차량연결도 관절형 대차를 사용하기 때문에 대부분 유지보수에 사용되는 핵심 부품이 해외에서 수입되고 있는 실정이다. 반면 반도체 소자나 컴퓨터 제어기술이 첨단 디지털보다는 아날로그 제어방식에 가까운 형태로 제작되어 부품조달이 국산화시 생산에 제한적인 요인으로 작용되는 점이다. 또한 차량의 제어프로그램도 SNCF가 대부분 독자적으로 개량하고 있기 때문에 프로그램의 수정이나 장래 운전방식 등 프로그램 개조의 필요가 있을 때는 SNCF의 자문을 받아야

하는 상황이다.

고속철도차량(KTX) 1편성에 탑재된 추진제어장치(Motor Block)를 살펴보면, 전두부와 후두부에 동력차와 동력객차가 각각 1대씩 차량이 편성되어 있다. 각 동력차에 2개, 동력객차에 1개씩 포함되어 총 6개의 추진제어장치가 있다. 아래 그림은 추진제어 장치 내부의 일부분을 보여준다.



< 추진제어장치(Motor Block) 내부의 후면 >

추진제어 장치 내부를 보면 외형적으로 주 전력변환장치와 냉각장치로 구성되어 있는데, 주 전력변환장치로 주변압기 2차측 교류전원을 전력용 스위칭 소자를 통해 제어하여 인버터로 전원을 공급하는 컨버터와 컨버터의 출력전류를 견인전동기인 동기전동기에 공급하기 위한 3상 교류전원을 생성하는 전류형 인버터가 있다. 그 외에 동기전동기의 회전자를 여자시키기 위한 여자초퍼 및 제동시 필요로 하는 제동초퍼 등이 있다. 이러한 전력용 스위칭 소자들이 스위칭 동작시 발생하는 열을 냉각시키기 위해 냉각장치를 필요로 하는데 고속철도차량(KTX)에서는 밀폐된 큐브(cube)를 사용하고 있다. 큐브 안에 액체상태의 냉매 속에 전력용 스위칭 소자들을 함침하여 냉매를 통해 1차적으로 냉각시킨다.

고속철도차량(KTX)의 유지보수 현황을 살펴보면, KTX 보수품 기술이전은 시스템 도입에 따라 시제차 국내 반입 후 조립 및 시험기술 습득의 1단계, 알스톰사 지원하 조립시험을 하는 2단계, 국내제작편성 34편성 차량을 제작하는 3단계로 이루어졌으며, 주요 보수품의 프랑스 현지 공장에서 제작된 부품은 아래의 표와 같다.

< 주요부품별 프랑스 현지 생산공장 >

공장별	주요제작품목
ACEC (샤를로와)	객차 인버터
ACR (르크르쥬)	대차
FLO (벨포)	동력차 차체 및 조립, 동력차 설비, 객차용링
TES (빌레방)	전자제어장치, 차상컴퓨터 시스템
TRA (라로셀)	객차 차체 및 조립, 객차 설비
TRL (프레스턴)	동력차 인버터, 동력차 충전기, 객차 충전기
TRO (오난)	견인 전동기
TRT (따브)	모터블록, 보조블록, 운전실 제어반
TSO (생뚜왕)	변압기

< 주요 기술이전 부품에 기술제공사 및 전수사 >

기술이전 품목	기술제공사	기술전수사
동력차 및 캐링링	알스톰社	(주)로템
동력객차		
객차		
대차프레임, 대차		
견인전동기		
인버터, 대차 불안정 센서		현대중공업
모터블록, 보조블록, 캡큐비클		
기어드라이브 장치		
차상컴퓨터장치, 전자제어		
프레온 탱크		
보조 전동기		
전자장치(컨넥터류)		
배터리 충전기		VITZROTECH
주변압기		VISSEM
		현대중공업

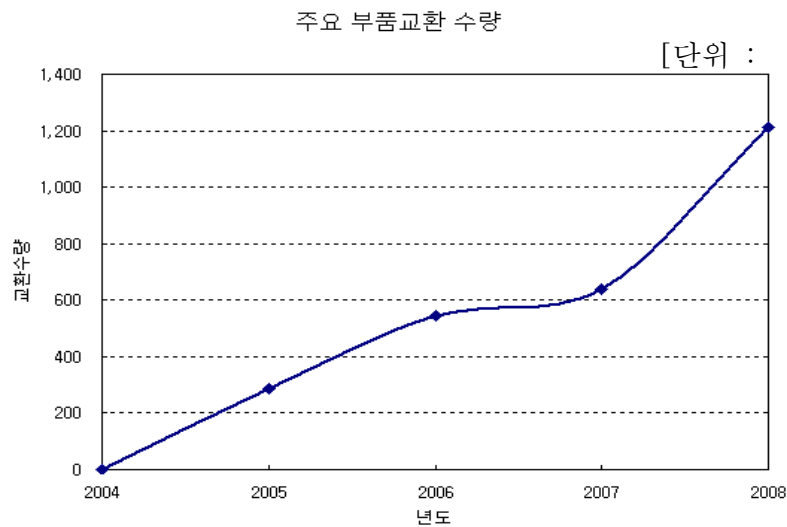
상기의 표는 고속철도차량의 주요부품 국내 기술이전 업체에 대해 나타내었다. 그러나 차량제작이 완료되고 46편성 KTX차량운용에 따른 소량다품종 발주 특성상 많은 생산라인이 이미 가동중지가 되었고 개통이후 불량률이 발생하는 소수 물품과 소모품류에 있어서만 국내업체가 참여하고 있는 실정이다. 국내에서 개발되고 있는 고속철도차량인 경우 다양한 동력형태 및 견인전동기 사용, 다양한 전력용 반도체 소자 사용 등으로 인해 현실적으로 국산화에 참여한 중소기업들이 존속여부에 대한 미래 불투명으로 보수품 조달의 어려움 예상되고 있다. 부품마다 예상내구연한이 존재하는데, 영업운행거리를 근거로 교체해야 될 부품에 대한 사전확보를 하고 있으나, 대상 부품에 대한 신제품 개발로 인해 보수품 가격이 상승하여 유지보수 비용 증가하는 실정이다. 아래의 표는 개통초기 고속철도차량 운행 중 불량률이 발생한 부품에 대한 대표적인 수선현황을 나타낸 것으로 영업운행거리를 근거로 수년 이내에 예상교체시기를 갖는 부품이 많이 존재하고 있다.

< KTX 보수품 수선현황 >

품목	발생	불량	양호	수리업체	평균수리기간
객차인버터	12	12	—	로템	30일
동력차인버터	208	196	12	로템	10일
냉방기 인버터	58	55	3	캐리어	15일
인클로저 각종	82	57	25	빛샘전자	20일
객차컴퓨터 카드류	101	70	31	빛샘전자	15일
브레이크 판넬	70	65	5	한국사브와브코	15일
제동표시기	144	130	14	한국사브와브코	15일
화장실세척펌프	80	80	—	로템	15일
댐퍼류	883	604	279	중국디스펜	60일
모터감속기	12	12	—	다이모스	25일

또한 아래 도표는 모터블록의 주요부품인 제어카드, TCP, 전력변환, 격자저항, 송풍기를 기준으로 2004년부터 2008년 7월까지의 부품교환수량 및 교환비용을 나타낸다. 부품

교환수량은 2,689개이며 제어카드 536개, TCP 895개, 전력변환 588개, 격자저항 85개 송풍기 585개로 조사되었다. 2004년에는 5개로 매우 적었으나 2005년 287개, 2006년 550여개, 2008년에는 1,200여개로 주요부품 교환수량이 급속히 증가하고 있다. 이와 같이 주요부품에 대한 교환수량이 증가함에 따라 비용적인 측면에서 2004년에는 47백만원, 2005년 5,254백만원, 2008년에는 29,601백만원으로 매우 급속하게 증가되고 있는 실정으로 유지보수를 위한 비용이 기하급수적으로 증가됨을 의미한다.



[자료출처: 코레일 MB주요부품 교환수량 04년~08년 7월_RCM기준]

최근에는 철도차량을 운영하고 있는 운영사 측면에서 RAMS를 바탕으로 LCC(Life Cycle Cost, 수명주기비용)에 대한 고려가 이루어지고 있는데 전력용 반도체 소자 및 핵심부품의 단명에 따른 비용증가로 유지보수 비용의 절감과 독자적인 원천설계 기술 확보를 위해서도 추진제어장치에 대한 핵심부품의 국산화가 절실하게 요구되고 있다.

한편 고속철도차량의 독자개발 능력을 보유한 철도 선진국들은 자국이 개발한 고속열차의 운영경험 축적과 함께 보다 빠르고 쾌적한 고속철도시스템을 개발하기 위해 신기술 경쟁을 벌이고 있다. 따라서 우리나라도 기존에 수행되어왔던 국내의 고속철도차량에 대한 기술축적을 바탕으로 최신반도체 소자를 이용하여 KTX의 추진제어장치를 개발하여 고속철도차량의 신뢰성 및 안전성 향상을 통한 해외수출 기반 조성이 요구되는 시점이라고 볼 수 있다. 이를 위하여 고속철도차량의 지속적인 원천기술 확보를 위한 국가 차원의 연구개발을 하는 것이 급선무이다. 일본, 유럽 등 주요 선진국은 철도산업의 경쟁력을 높이기 위하여 대규모 연구개발 중심의 선도 기술을 연구함에 따라 기술개발 계획을 수립하고 이에 의거하여 체계적인 연구개발을 수행하고 있어, 우리나라도 철도선진국으로의 위상 강화를 위한 철도부문의 경쟁력 강화 및 기술수준의 제고가 필요하다. 외국의 철도고속화와 관련한 기술개발 동향을 살펴보면, 고속철도의 고속화 및 경제성 향상을 위한 기술개발, 기존선의 속도 향상을 위한 기술개발, 반도체 소자 등 정보통신 기술 및 제어 기술이 발달에 따른 차량성능 기술개발이 요구되고 있다. 일본, 유럽 등 대규모 연구개발 중심의 선도 기술을 연구함에 따라 철도선진국으로의 위상 강화를 위한 연구기반 구축 필요하다.

따라서 국내 고속철도 기술개발을 위해 현재 개발된 고속철도차량(KTX)의 지속적인 성능개량과 세계적인 기술발전 경향을 분석하고 국내외 시장 특징을 고려한 고속철도 운영효율화를 위한 기술개발이 꾸준히 추진되어야 한다.

1.1.2 정부지원 기술개발의 필요성

장기간의 고속철도차량(KTX) 운영기간을 고려할 때, 유지보수의 편의성, 비용절감 및 관련 국내기술 확보를 위하여 최신 전력용 반도체 소자를 사용하고 이에 따른 최적의 냉각방식을 이용한 주전력변환장치의 개발이 필요한 시점이다.

필요한 기술은 국내에서 기 개발된 고속철도차량의 유사기술과 상이한 점이 많아 개발

에 따른 어려움이 있으며, 장기간에 걸쳐 개발기간이 소요되고 많은 연구개발비가 예상되므로 운영기관을 비롯한 기업 자체적으로 개발을 추진하기에는 어려움이 있다. 즉 소요기술 및 비용 대비, 수요가 제한적으로 기업자체가 주도적으로 개발을 기피하고 있는 실정이며, 운영기관에 보면 동기전동기를 견인전동기로 개발한 국내사례가 없을 뿐만 아니라 고속철도차량에 기 탑재된 시스템간 인터페이스가 주요사항으로 개발에 많은 어려움이 뒤따를 것으로 판단되어 개발의 필요성은 인지하고 있지만 개발을 하지 못하고 있는 입장이다. 국내에서 개발된 고속철도차량의 소요기술과 본 사업을 통해 필요로 하는 기술을 비교하면 다음과 같다.

- 고속철도차량(KTX)에 적용되고 있는 전동기는 대용량 동기전동기로 전류제어 방식으로 구동되고 있으며, 고속철도차량 개발 사업을 통해 국내에서 개발한 경험이 없다. 기존에 개발된 제어기는 전압제어방식의 제어기가 주류를 이룬다.
- 대용량 동기전동기를 위한 구동하기 위한 인버터는 전류형 인버터로 국내에서는 개발한 경험이 없다. 국내에서 추진제어(Motor Block)를 위해 개발된 기존의 인버터는 전압형 인버터이다.
- 국내에서는 동기전동기 제어용으로 계자 전원장치가 개발한 경험이 없다. 기존에 개발된 견인전동기는 대부분 유도전동기로 동기전동기에 필요로 하는 계자 전원장치가 필요 없다.

상기에서와 같이 기존에 수행되어왔던 국내의 고속철도차량에 대한 기술과 본 사업을 수행하기 위한 기술은 상이한 점이 매우 많다. 따라서 국내 개발경험이 없는 기술 비중이 크므로 고속철도차량(KTX) 운영기관을 비롯하여 차량제작사, 연구기관, 전문기업, 학계 등 연구체계 협업이 무엇보다 요구된다.

운영기관 혹은 차량 제작업체 등 본 사업을 자체적으로 추진하는 경우 연구체계 협업을 많은 어려움이 내재되어 있어 고속철도차량에 대한 지속적인 원천기술 확보를 위해서는 정부지원 기술개발사업을 통해 진행되어야 한다.

1.2 기술개발의 중요성

■ 기술적 측면

- 고속차량(KTX)에 적용된 추진제어 장치에 대한 성능 파악을 통하여 현재 운행되고 있는 유지보수 시스템을 국내 현실에 맞도록 현실화를 하고, 운용과정에서 발생한 요구조건을 반영하여 운용측면에서의 업무개선 및 제품의 성능향상 도모
- 최신 반도체 소자를 적용하여 동기전동기를 구동하는 추진제어 시스템에 대한 기술력 확보를 통하여 고속운행 기술의 축적 및 효율적인 냉각기술 개발을 통해 차량제어 기술 확보
- 기존의 GTO소자를 이용한 동기전동기 구동제어를 대체하여 최신 반도체 소자를 적용함으로써 유도전동기뿐만 아니라 동기전동기에 대한 추진제어 장치를 개발함으로써 국내 기술을 이용한 다양한 시스템 기술개발 확보

■ 경제·산업적 측면

- 지속적으로 증가하는 고속차량(KTX)에 대하여 국산화 대체로 유지보수 비용을 절감하고 운용측면에서의 계획보수에 대한 제안을 통하여 운용의 효율성을 확보할 수 있음
- 동일 제품에 대한 기술력 확보를 통한 가격상승 억제 등 간접적인 효과가 있을 것으로 예상됨
- 국내 전문 산업체를 활용함으로써 중소기업 경제 활성화를 유도할 수 있을 뿐만 아니라 KTX-II, TTX 차량 등 다양한 철도차량에 대한 추진제어 장치의 부품공급을 할 수 있게 함으로써 중소기업의 지속적 일자리 창출 기대

■ 사회·문화적 측면

- 최근 정부사업으로 개발된 고속전철 및 전라선 고속전철에 대한 국산화가 진행되고 있는 시점에서 본 사업을 통한 고속차량(KTX)에 대한 기술개발에 성공할 경우 추진제어 장치에 대한 실적 개발이 이루어 질수 있음
- 이를 통하여 철도차량의 고성능 추진제어 시스템의 구축을 통한 철도 기술의 활용의 활성화가 예상됨

- 유지보수 비용 증가에 따른 소비자 교통비용 상승을 억제할 뿐만 아니라 국산화 신제품 개발에 따른 고속철도차량에 대한 신뢰성 확보

1.3 기술개발 목표 및 추진방향

1.3.1 기술개발 목표

국내 고속철도 기술의 경쟁력 제고 및 경부선에 운행되고 있는 고속철도차량(KTX)에 사용되고 있는 추진제어장치(Motor Block)에 대한 주요 핵심부품의 해외 의존도를 낮추고 주요 부품확보의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 KTX에 탑재된 사이리스터(Thyristor) 타입의 GTO 소자 대신에 최신 전력용 반도체 소자를 이용한 KTX용 추진 제어 기술개발을 목표로 한다.

< 기술개발의 목표 >

구분	주요 기술개발 내용	목 표
시스템 엔지니어링 기술	- 시스템 요구사항 결정 - 시스템 개념설계 및 기본설계 기술 지원 - 위험요소 예측 및 관리기법 기술개발 - 성능평가, 검증기술 개발 - 기존 서브시스템과의 인터페이스 적합성 검토	- 기존 시스템과 의 인터페이스 시험기술 개발 - 시운전방안 및 성능평가 기술 개발
신제품 제작 기술	- 기존 KTX 추진제어장치 분석 - KTX에 적용 가능한 최신소자/제어방식 결정 - 대용량 컨버터/인버터 개발 - 구동용 고신뢰성 구동회로 개발 - KTX 제어알고리즘 개발 - 대용량 추진제어시스템 냉각시스템 개발 - TORNAD 통신방식과의 인터페이스 개발	- 최신반도체 소 자를 적용한 주 변환장치 개발 - 제어 알고리즘 개발 - 기존 서브시스 템과의 인터페 이스 기술개발
차량 성능향상 기술	- 대용량 컨버터/인버터 성능 해석 - 추진제어 냉각시스템 성능해석 및 기술 지원 - 견인 전동기 구동 알고리즘 개발 - 타 서브시스템과의 인터페이스 기술개발	- 대용량 주변환 장치 성능입증 - 기존 견인 전동 기 구동에 따른 알고리즘 개발
신뢰성 향상 기술	- 가속수명 예측기법 개발 - RAMS 및 LCC 분석기법 개발 - 시스템 평가체계 및 종합 계측시스템 구축 - 시스템 과도상태 해석과 차량제어시스템의 영향 분석	- 부품 신뢰성 보장 - 유지보수 기술 개발

이를 위해 국내외 고속철도차량과의 차별할 수 있는 기술개발을 효율적으로 수행하
기 위해 핵심기술 개발과 기존 고속철도차량 기술개발 사업을 통해 축적된 기술을 활
용하여 기존 서브시스템과 추진제어 시스템과의 인터페이스 및 통합이 잘 이루어지도
록 연구를 추진한다.

1.3.2 기술개발 추진방향

2004년 KTX 영업운행을 시작으로 국내에서는 본격적인 고속철도 시대를 열어 국민 경제활동 영역을 넓히고 삶의 질을 향상시켰다. 특히 경부고속철도건설사업 중 1단계 공사는 총 12조 7,377억원의 예산이 투입되었으며, 노반 공사비용으로 토공구간은 km당 약 85억원, 교량구간은 약 258억원, 그리고 터널구간은 약 241억원이 투입되어 평균 약 204억원이 투입되었다. 또한 고속철도차량 구입비용은 2조 7,101억원으로 1단계 총 건설사업 비용에 21.3%를 차지하고 있다. 이와 같은 소요 사업비 규모를 볼 때, 고속철도 건설은 막대한 시설 투자비용이 소요되므로 시설투자는 최소화하되 차량의 고속화 및 경량화 기술개발을 통하여 차량의 효율성을 극대화하고 운영단계의 관리 및 유지보수 비용을 절감하는 기술개발이 필요하다.

최근 철도 선진국의 연구개발 방향을 살펴보면, 일본인 경우 신간선 0계 개통 이후 지속적으로 약 11종의 신간선 차량을 개발하여 운행 중이고, '05년부터 시속 360km/h급 FASTECH 360 고속철도차량을 개발하여 시험 운행 중에 있다. 프랑스도 1982년 TGV-PSE에서 시작하여 6종류의 차량을 개발하여 운행 중이고 TGV-POS와 AGV는 시험 운행 중에 있다. 독인은 1992년 ICE 개통 이후 현재 3세대 차량인 ICE-3까지 개발되어 운행 중이고 스페인은 최고속도 350km/h급 VELARO 차량을 개발하여 영업 운행 중에 있다.

이와 같이 차량의 고속화 기술개발에 있어서 일본과 유럽은 차량 사용조건과 환경에 대응 가능한 기술개발을 추진하고 있으며, 차량 경량화 연구, 공력 해석을 통한 차량 형상의 최적화, 승객의 안락성과 편의성에 대한 욕구의 증가에 따라 승객의 편의성을 고려하여 승차감 향상, IT기술 접목 등을 고려하고 있다.

그러나 경부선 고속철도차량(KTX)가 2004년 개통되어 운행 중에 있으나 철도차량관련 핵심기술 이전은 제대로 이루어지지 않고 일부 기술만이 이전되어 있는 상황이다. 뿐만 아니라 유지보수에 따른 부품공급이 원활히 이루어져야 하지만, 유지보수 기간이 길어지고 부품확보에 많은 어려움이 있다. 따라서 대용량 추진제어장치의 주요 핵심부품에 대한 수입의존도를 낮추고 원활한 부품확보가 이루어지도록 하여 고속철도차량 운행에 차질이 없도록 해야 한다. 즉 추진제어장치의 원활한 유지보수가 이루어지고 관련기술 개발을 통해 유지보수인력 확보가 이루어져야 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 연구개발이 추진되어야 하는데, 국내에서 주

변환장치에 연구 개발되어 고속철도차량에 적용중인 최신 반도체 소자 도입 및 견인제어 기법을 적용하여 고속철도차량(KTX)의 신뢰성 및 성능을 향상시켜야 한다. 그리고 고속철도차량(KTX)의 원활한 운영을 위해서는 추진제어장치의 수명을 고려했을 때, 상기에 서 언급한 바와 같이 최신반도체 소자를 이용한 추진제어장치의 개발이 그 어느 때보다 시급하다.

따라서 기술개발을 효율적으로 수행하기 위해서는 이미 10여 년간 추진되어온 고속전철 기술개발사업 및 고속철도기술개발사업 등에서 확보된 기술과 인력을 최대한 활용함으로써 그간의 축적된 경험과 기술적, 인적 자원의 투입 효과를 극대화 하여야 한다. 또한 추진제어 기술개발 초기에서부터 개발 S/W 및 H/W의 신뢰성 검증 프로그램을 확보하고 이에 따른 체계적인 관리를 하여야 하며, 개발사양의 결정, 설계/제작, 시험평가 과정에 고속철도 운용기관의 적극적인 참여와 의견반영을 통하여 연구 개발된 추진제어장치가 적용 가능하도록 추진되어야 한다.

1.4 기술개발의 SWOT 분석

경부선에 운행 중인 고속철도차량(KTX)의 추진제어 기술개발을 통해 유지보수 품목에 대한 해외 의존도를 탈피하고 주요품목에 대한 핵심기술을 확보하여 향후 아시아 지역에서의 고속철도 건설 계획 등 풍부한 잠재 수요시장이 존재하는 등 현 시점에서 본 기술개발 및 적용에 대한 거시적 측면에서 SWOT 분석은 다음과 같다.

■ 연구개발 분야의 환경 분석

강점(S)	약점(W)
- 고속철도차량 운영관리 경험 보유 - 독자 고속철도기술의 국산화 토대 마련 - 연구개발 협력체계 구축과 연구개발의 강한 의지 - 일반철도의 운영, 장치개발 및 적용 구축 경험 - 국내의 선진화된 IT기술의 활용	- 추진제어시스템의 실용화 경험 부족 - 최신반도체 소자 적용/대용량 동기전동기 제어경험이 없고, KTX 추진제어장치와 OBCS 장치간의 인터페이스 정보 빈약 - 국내 시장 협소와 국산화 개발에 필요한 막대한 비용과 시간이 필요하여 기업의 독자적인 국산화 개발기피
기회(O)	위협(T)
- 고속철도 운영 경험을 기반으로 사용기술의 파악 용이 - 전력용 반도체 소자의 냉각방식이 수냉식에서 구조적으로 단순하고 신뢰성이 높은 공랭식 적용 - 고전압, 대전류용 최신 반도체 소자의 개발에 따라 대용량 추진제어장치 적용 - 선진국의 속도향상으로 기존시스템에 대한 기술 확보 용이	- KTX 기술자료 확보가 어려움 - 기존 KTX에 신기술 적용 시 기존장치와의 인터페이스의 어려움 - 추진제어장치 단독 개발의 경우 부수장치와의 조합시험을 통한 제어 S/W 튜닝이 곤란하여 제어 안정화에 많은 시간 소요 - 영업운행을 통한 신뢰성 검증 요구

■ 환경변화 요인 분석

수요	공급
- 핵심기술 개발에 따른 수입 대체 효과 - 신뢰성 확보에 따른 고품질 서비스 요구 - 운영의 효율화 요구	- 원활한 보수품 공급 - 기존 차량의 지속적인 성능 기술개발 - 보수품 개발을 통한 지속적 부품공급
정책	시장
- 고속철도차량의 성장 가능성 인식 - 핵심기술 확보에 따른 정부의지 반영 - 철도차량에 대한 추진제어 다양성 확보	- 국내 고속철도차량 유지보수 부품확보 - 아시아 및 해외 고속전철 수요 증가 - 대륙 횡단철도 개통의 가시화 노력

■ 전략제품에 따른 기능별 분석

강점(S)	약점(W)
- 개선사항에 대한 신속한 대응 - 핵심기술 확보에 따른 유지보수 가능 - 대용량 추진제어장치 기술 확보	- 실용화 경험 부족 - 해외 선진국 기술 견재 - 국내 시험여건 취약 - 성능 다변화 상품 부재
기회(O)	위협(T)
- 다양한 성능 요구 및 개선 사항이 도출 - 추진제어(최신반도체 소자/동기기) 핵심 기술 확보 - 지속적 신규 수요창출 예상	- 기존 전문업체와 기술적 무한 경쟁 체제 - 국내 산업의 기술인지도 취약 - 국제 표준화에 대한 의견반영 취약

2. 국내외 시장환경 및 기술동향

2.1 국내외 정책 및 시장 전망

2.1.1 국내 지원정책 현황

주요 철도선진국은 철도분야의 경쟁력을 높이기 위하여 기술개발 계획을 수립하고 이에 의거하여 체계적인 연구개발을 수행하고 있어, 우리나라도 고유가 시대에 맞이하여 화석연료 에너지를 절감하기 위한 차원에서 철도부문의 경쟁력 강화 및 기술수준의 제고를 위해 체계적인 연구개발계획의 수립을 통한 전략적 연구개발의 필요성이 점점 부각되고 있다.

최근의 철도 기술개발 현황을 살펴보면, 철도산업은 다양한 첨단기술이 복합된 고부가가치 기술산업으로 최근 세계적으로 철도시장이 지속적으로 확대되는 추세이다. 현재 우리나라의 고속철도 기술수준은 시스템엔지니어링 측면과 기반기술로 나누어 살펴보면 다음과 같다.

< 시스템엔지니어링 기술분야의 기술수준 >

핵심기술	기술수준(%)	전문인력 보유정도(%)	인프라 구축정도(%)
요건/분석기술	80	80	80
통합 설계기술	80	80	80
인터페이스 기술	80	80	80
시험평가 기술	80	80	80

(자료: 2007 건설교통부, Kistep, 교통중장기계획수립 최종보고서(안))

< 고속철도차량 기반기술분야의 기술수준 >

핵심기술	기술수준(%)	전문인력 보유정도(%)	인프라 구축정도(%)
소음/진동/공력/동역학/충돌	90	100	90
전자파	80	90	90
추진제어 장치	80	90	90
IT/스마트 센서	90	90	90

(자료: 2007 건설교통부, Kistep, 교통중장기계획수립 최종보고서(안))

이를 해결하기 위해 정부는 각종 지원정책을 추진하고 있는데, 기술수요조사를 거쳐 로드맵(RTRM) 작성 및 재원확보를 통해 중장기 철도기술 개발 5개년 계획 수립('06)하여 시행하고 있다. 특히 R&D분야를 신설하여 예산확보 및 연도별 시행계획 수립·추진 등을 통해 '05년 500억원에서 '10년 2,100억원으로 국가 R&D사업을 확충하고 있다. 뿐만 아니라 차세대 고속철도 기술개발사업, 기존선 속도향상 기술개발사업, 차세대 첨단도시 철도 기술개발사업, 철도종합안전 기술개발사업 등을 통해 철도기술에 대한 신뢰성 및 안전성 확보하고자 하는 노력이 진행되고 있다.

이와 같이 정부주도하에 체계적인 연구개발 계획에 의거하여 철도기술에 대한 투자우선순위 결정기준에 따라 선택을 하고 이에 대한 집중적인 투자가 이루어지고 있으며, 경부선 고속철도(KTX)의 개발사례처럼 짧은 시간 내에 선진국 기술수준의 추격이 가능할 것으로 보인다. 이를 위해서는 철도기술의 경쟁력 확보를 위한 핵심 원천기술의 개발, 철도기술과 신기술의 융합을 통한 첨단기술 확보에 노력할 필요가 그 어느 때보다 절실한 시점이다.

특히 경부선 고속철도차량(KTX)이 도입되어 운행된 지 5년이 경과된 시점에서 견인역할을 하는 추진제어장치(Motor Block) 내의 핵심 소자에 대한 공급이 원활하지 못해 유지보수에 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 국가적 지원정책을 통해 최신 반도체소자를 접목시켜 추진제어 핵심 원천기술을 개발하여 철도기술의 경쟁력을 확보해야 한다.

2.1.2 국내 시장환경

국내 산업 동향을 살펴보면, 국내 철도차량시장의 규모는 4억 달러('05년 기준)으로 세계 철도차량시장 규모인 350억 달러에 비해 매우 작은 규모이다. 국내 철도의 선로 추이 및 국내 인프라 확충 및 고도화 규모는 다음과 같다.

연도 구분	2001	2002	2003	2004	2005
영업키로	3,125	3,129	3,140	3,374	3,392
역수	631	631	636	638	649

< 장래 여객·화물수요 전망 >

연도	2002	2006	2011	2016	2021
여객(천 통행/일)	1,014	1,248	1,479	1,547	1,665
화물(백만 톤/년)	46	52	59	70	79

(자료: 2007 건설교통부, KICTEP, Kistep, 교통분야 중장기 계획 수립을 위한 workshop)

우리나라는 철도산업의 규모가 작아 네트워크 효과로 인한 수요가 발생하지 않은 상태에 있어서, 향후 철도산업의 지속적 발전을 위해서는 네트워크 효과가 큰 노선을 중심으로 지속적인 투자가 요구되고 있다. 특히 도로 교통의 혼잡으로 인한 사회적 비용과 물류비용 증대에 따른 철도의 물류 수송기능 확충뿐만 아니라 최근의 고유가로 인한 경제적, 사회적 침체는 친환경적이고 에너지 효율이 높은 철도 교통수단을 절실히 필요로 한다.

국내 철도의 해외진출은 현재 시작단계에 불과하므로 중국, 인도 등 고속철도 사업에 적극적인 대응이 요구되는 시점으로 다른 나라의 철도사업에 진출하기 위해서는 해당 국가의 철도와 호환성을 가질 수 있도록 기술적으로 준비하는 것이 요구되고 있으며, 현재 철도기술의 수준이 선진국 대비 낮은 수준으로 대폭적인 기술개발 투자가 지속적으로 이루어져야 한다.

2.1.3 국내 철도기술 동향

국내 철도차량 기술 현황은 철도 선진국 대비하여 70~90% 수준이고, 고속철도운행을 위한 시스템 중 일부장치에 대해서는 국산화가 진행되고 있으나 핵심장치 개발에 대해서는 아직 미진한 상태에 있다. 특히 관련 인프라인 경우 이미 구축되어 있으나 대용량으로 개발 시 일부 변경이 될 수 있다.

한편 국내 철도기술 연구개발 동향을 살펴보면 일반철도인 경우 2011년에 기존선 속도향상을 통한 180km/h급 한국형 틸팅열차 TTX을 실용화를 추진하고 있고 도시형 철도인 경우는 2012년 110km/h급 도시형자기부상열차(Urban Maglev) 실용화 및 시범노선을 건설할 예정으로 있다. 또한 국내 고속철도차량 기술개발 현황에 대해 기술적 특성을 비교하면 아래의 표와 같다.

< 관련 기술분야의 기술수준 >

철도관련 핵심 기술	기술수준(%)	전문인력 보유 정도(%)	인프라 구축 정도(%)
차체 설계/제작	60	90	80
대차 설계/제작	60	90	80
추진 및 제동시스템 설계/제작	70	90	80
기타 주요부품 설계/제작	70	90	80

(자료: 2007 건설교통부, 한국과학기술기획평가원, 교통중장기계획수립연구 최종보고서(안))

2.1.3.1 경부선 고속철도차량(KTX)

2004년 4월 1일 영업운전을 시작한 고속철도차량(KTX)은 프랑스 고속열차인 2세대 TGV-A 차량을 기본으로 한국의 운행여건에 맞게 변경 제작된 차량으로 동력 집중식 방식을 사용하고 있으며, 열차의 특징인 연접대차(관절대차)를 채용하고 있다. 열차 편성은 동력차 2량, 동력객차 2량 및 객차 16량으로 총 20량 1편성으로 구성된 단일 편성으로 총 46편성이 영업운행 중에 있다. KTX는 고속선 및 기존선을 연계 운행할 수 있는 차량으로 전차선 전압 교류 25kV를 사용하며, 중련편성이 불가능하나 비상시에 디젤기관차에 의해 견인할 수 있도록 전후부 동력차에 디젤기관차와 호환되

는 연결기(AAR "E" Type Coupler)가 부착되어 있다. 추진제어장치(Motor Block)의 주 전력변환장치는 전류형 인버터를 통한 GTO제어 방식의 액체냉각형, 차상컴퓨터간 산업용 LAN방식의 TORNAD 네트워크 전송시스템을 적용하고 있다. 신호체계는 자동 열차 제어장치 시스템의 일종인 TVM430 시스템을 사용하고 있다.



< KTX의 외형 >

한편 견인전동기로 1,130kW급 삼상 동기전동기 적용하였으며, 3상 전류형 인버터를 통해 가감속 제어 및 회생제어 특징을 갖고 있다.

구분	기술적 특징
편성	20량
최고운행속도	300km/h
설계최고속도	330km/h
전동기 출력	1,130kW
편성 출력	13,560 kW
견인 전동기	동기전동기
추진/제어방식	■ 위상제어형 컨버터/전류형 인버터 제어 ■ 수동회로에 의한 고조파 저감 방식 ■ Thyristor 방식의 액체냉각형
제동방식	회생제동, 발전제동, 담면제동
MT비	4M16T
축중	동력차 17ton
	객차 11ton

2.1.3.2 HSR-350x

HSR-350x는 한국형 고속철도 차량의 시제차이다. 1996년 12월에 KTX의 성능을 기반으로 G7 고속전철기술개발사업을 통해 국내 기술로 제작된 고속열차로서 동력 집중식이고 유도전동기를 견인전동기로 적용하고 있으며, 2002년에 개발이 완료되었다. 주요 특징으로는 아래의 표와 같다.

구분	기술적 특징
편성	20량/11량
최고운행속도	350km/h
설계최고속도	385km/h
견인 전동기	유도전동기
제어방식	VVVF-IGCT
제동방식	회생제동, 발전제동, 담면제동, 와전류제동, 디스크제동, 휠디스크제동

제어방식을 기존의 전류형 GTO인버터에서 철도차량으로서 세계최초로 IGCT를 사용한 VVVF제어로 변경하여 전력효율 향상과 소음 저감을 달성했다. 또한 유지보수비용의 절감을 실현하기 위해 유도전동기를 도입하였다. 제동장치에 있어서도 기존 KTX차량에 사용되었던 4종의 제동장치 이외에 휠디스크제동과 완전류제동이 추가되어 제동력의 증대를 달성했다. 제동지령방식이 공기지령방식에서 전자지령방식으로 바뀌어 제동응답속도의 향상을 달성했다.



< HSR-350x의 외형 >

2.1.3.3 KTX-II

KTX-II는 G7선도기술개발사업의 일환으로 개발된 기술검증 선행시제차량 HSR-350x의 양산차량이다. 우리나라가 세계에서 네 번째로 독자 개발한 고속열차로 실제 운행에서 최고속도 330km/h까지 성능을 갖춘 고속열차로 아래의 표와 같은 기술적 특징은 갖고 있다.

구분	기술적 특징
편성	10량
최고운행속도	300km/h
설계최고속도	330km/h
전동기 출력	1,100kW
편성 출력	8,800 kW
견인 전동기	유도전동기
제어방식	VVVF-IGBT
제동방식	회생제동, 발전제동, 담면제동, 와전류제동

열차 편성은 10량 1편성을 기본으로 동력방식은 집중식을 채택하고 있으며, 총 10편성으로 구성하여 호남선 6편성, 전라선 4편성 투입하여 운영 예정이다. 차기 고속철도차량의 개념설계가 행해지고 있었던 1996년 당시에 IGBT로 출력이 1100kW에 달하는 주전동기를 제어하는 것이 불가능에 가까웠기 때문에, 전력용 반도체 소자로 GTO 계열 중 가장 효율이 높은 IGCT를 사용하는 것으로 결정되었다. 그러나 시제차량 HSR-350x를 이용한 장기간의 시험운행 결과 전력효율, 소음, 신뢰성 측면에서 장점이 대두되지 않아 전력전자 기술의 발달로 인한 IGBT를 이용한 대전력 제어가 가능해지면서 KTX-II는 추진제어장치(Motor Block)의 주 전력변환장치의 전력용 반도체 소자는 IGBT를 사용하게 되었으며, 견인 전동기는 유도 전동기로 바꾸어 유지보수의 간략화를 도모하였다. 또한 고속철도차량(KTX)의 문제점으로 지적된 역방향 좌석을 없애고 모든 좌석이 회전할 수 있도록 했으며, 형태와 재질도 개량되었다. 그리고 일반실의 좌석간 거리도 기존에 비해 50mm가량 늘어나 쾌적성이 향상되었다.



< KTX-II의 외형 >

2.1.3.4 HEMU-400x

차세대 고속철도차량(가칭:HEMU-400x)은 '07년 7월부터 착수하여 2013년 기술 개발을 완료예정인 고속열차로 현재 경부선에 운행 중인 고속철도차량(KTX)이나 국가 R&D 사업을 통해 연구개발로 이루어진 집중식 동력방식을 탈피하여 최근 철도선 진국에서 연구개발 추세에 맞추어 분산형 동력방식을 채택하여 열차의 축중을 30% 감소시킬 예정으로 있으며, 기술적 특징은 아래의 표와 같다.

구분	기술적 특징
편성	6량
최고운행속도	350km/h
설계최고속도	400km/h
축중	13톤 이하
편성 출력	9,840 kW
견인 전동기	유도전동기, 동기전동기
제어방식	VVVF-IGBT
제동방식	회생제동, 저항제동, 디스크제동, 휠디스크제동

2.1.4 국외 지원정책 현황

일본 및 유럽 등 철도 선진국에서는 철도분야 경쟁력 향상과 국가연구개발사업의 투자 효과 극대화를 위해 국가연구개발사업의 전략적 추진을 강조하고 있다.

일본의 경우 국토교통성은 철도부문 경쟁력 강화 제반시책을 마련하여 추진하고 있으며, 고령화, 환경문제 등 여건변화에 대응하기 위한 교통정책을 마련하여 도로중심의 화물수송 부담을 철도·해운으로 전환방안을 추진하고 『전국신간선 철도 정비법』을 통해 간선철도망을 지속적으로 정비해 나가고 있다. 또한 일본철도종합연구소는 미래철도기술의 경쟁력 강화를 위해 “Research 2005”을 입안하였으며, 일본국철인 JR(Japan Rail)은 일본철도종합연구소와 연구개발목표를 공유하여 철도기술개발에 힘쓰고 있다.

유럽인 경우 철도의 역할 및 중요성을 감안하여 철도투자 확대하고 있는데, ‘98~’05년 간 철도투자액이 도로 투자액의 2.3배에 이른다. 특히 Trans-European Network 구축을 위한 철도건설·개량 유도를 하고 있다. 뿐만 아니라 EU소속국가들의 공동연구 형태로 이루어진 유럽철도연구자문위원회에서 전략적 철도연구계획 2020을 통해 여객 및 화물수송에 중점연구영역을 설정하여 연구개발을 추진하고 있으며, ERTMS와 UGTMS을 통해 유럽철도의 상호 운영성을 확보하였다. 또한 프랑스는 육상교통 기술혁신정책 프로그램을 통한 정책을 전개하고 있으며 독일은 2005년, 향후 10년간 기술투자의 가이드라인을 완성하여 추진하고 있다. 기타 국외의 철도정책 동향은 아래의 표와 같다.

국가	철도 정책 동향
영국	- 환경친화적인 교통, 교통의 통합을 교통정책의 핵심과제로 추진(영국 교통부, 미래교통백서)⇒ 철도투자를 늘리는 추세
미국	- 고속철도를 21세기 주요 교통수단으로 인식하여 투자 확대(철도예산; ‘99년 778백만달러 → ’01년 1,179백만달러)
중국	- 중장기 철도망 계획(‘05~’20) 수립 고속(화) 철도 건설계획 : 당초 1천3백 km ⇒ 변경 1만 2천 km

(자료: 2005 건설교통부, KOTI, 철도발전 중장기 계획수립 공청회)

2.1.5 국외 산업동향 및 기술개발 동향

최근의 국외 철도산업 동향을 살펴보면, 철도산업의 세계화 및 시장개방이 진행되고 있으며 더불어 규모도 증가하고 있다. 즉 프랑스 알스톰의 KTX 진출, 일본 컨소시엄의 대만 진출, Siemens의 중국 차량 공급 등 최근에는 대규모의 철도수출 사례가 발생하고 있다.

유럽연합인 경우 유럽대륙차원의 고속철도 발전계획을 수립하고 추진하고 있으며, 유럽의 철도차량사업은 Bombardier, Alstom, Siemens의 3사가 지배하고 있는데 아시아 시장에 관심을 표명하고 전략적 제휴를 형성하고 있다. 독일은 상해 푸둥공항의 자기부상열차(Transrapid) 건설 및 운영 상용화를 시켰으며, Siemens사는 2005년 11월에 중국 당산 차량과 같이 고속철도사업에 6.7억 유로 규모 차량을 공급 계약하였다. 프랑스인 경우 TGV를 중심으로 해외진출을 모색하고 있는데 국내의 KTX 진출의 그 예라고 볼 수 있다.

일본인 경우에는 철도의 화물수송분담율을 증대시키고 환경적 영향을 최소화, 인구 고령화 대책 등의 철도정책을 추진하고 있으며, 해외철도기술협력협회(JARTS)를 통한 해외진출을 모색하고 있다.

한편 일본, 유럽 등의 선진국에서는 철도의 건설과 관리를 분리하거나 독립회사로 만들어 철도운영의 합리화를 추진해 오고 있다. 국가에 따라 철도의 구조는 상당한 차이를 보이고 있지만, 경쟁체제를 도입하고 수익사업을 강조하는 등 철도를 산업의 차원에서 접근하고 있다.

국외의 철도기술개발 동향을 살펴보면 일반철도인 경우 고속화를 위해 틸팅시스템을 채택한 기술개발로 이탈리아 ETR460은 최고속도 259km/h로 운행 중에 있다. 도시형 철도인 경우 에너지 절감을 위한 하이브리드 시스템 열차, 운영편이성을 향상시킨 듀얼모드 열차, 궤도교통의 접근성을 향상시킨 소형전철 시스템, 수송수요에 적합한 경량전철 시스템 등 다양한 시스템을 개발 중에 있다. 또한 고속철도인 경우 독자기술을 보유한 일본, 프랑스, 독일의 속도경쟁이 치열하다. 2007.4.3에 프랑스 TGV가 574.8km/h 세계신기록을 달성하였다.

고속철도	프랑스 TGV	독일 ICE	일본 신칸센	한국 KTX
최고속도(km/h)	574.8	320	366	350

철도 선진국인 프랑스, 독일, 일본 등의 경우 고속철도차량 기술개발을 위해 대용량 추진제어장치에 수냉식, 비등냉각 방식 등 독자적인 냉각시스템을 개발, 적용하고 있는 추세이다.

- 대용량 추진제어장치의 주 전력변환장치 스위칭 소자에는 기존의 복잡한 제어회로를 필요로 하는 Thyristor 소자를 탈피하여 전압구동형 방식이면서 대용량 고속스위칭이 가능한 IGBT 적용을 일반화 하고 있는 추세이다.
- 추진제어장치(Motor Block)의 제어기술로는 컨버터에는 PWM 제어기술, 인버터에는 벡터제어 및 VVVF 제어의 각각의 장점을 혼합한 기술을 적용하고 있다.
- 마이크로프로세서와 통신기술, 반도체 소자 기술 등 기술발전에 따른 핵심기술의 Up-grade 및 장치의 현대화를 지속적으로 도입하여 추진하고 있다.

그 일례로 철도 선진국(일본, 프랑스, 독일 등)에서 고속열차의 동력방식은 기존의 집중식 동력방식을 탈피하여 동력 분산식으로 모듈화로 기술개발이 이루어지고 있으며, 차체에는 신소재 도입 및 전장품의 Compact화에 따른 경량화 개발을 하고 있다. 견인전동기는 상대적으로 고효율인 영구자석형 동기전동기 및 3상 농형 유도전동기 채택하고 있으며, 정보통신 기술발달에 따른 전산설계 및 IT 기술 활용하여 도입하고 있으며, 진동, 소음 저감을 통한 환경 친화적이면서 환경파괴를 최소화되도록 하고 있다.

2.2 고속철도 추진제어장치 사례조사

철도 선진국인 프랑스와 독일은 최근 30여 년 동안 철도차량 고속화에 지속적인 연구개발을 진행해 오고 있으며, 추진제어시스템을 동력 집중식으로 채용하여 운행속도가 300km/h급인 TGV 및 ICE를 개발하여 운행하고 있다. 일본에서도 최근 동급이상의 운행속도를 가지는 고속철도를 동력분산시스템을 채용하여 운행하고 있다.

추진제어시스템 분야의 세계적인 기술 추세는 운행속도가 300km/h에 달하는 동력 집중식 또는 동력 분산식 시스템을 채용하고 있고, 철도차량의 역행역할을 하는 견인전동기 구동시스템은 직류전동기와 동기전동기를 거쳐 비동기전동기인 유도전동기로 바뀌어가고 있다. 이와 더불어 인버터를 적용하여 유지보수의 최소화, 제어의 단순화 및 신뢰성 향

상을 이루었으며, 4상한 PWM 컨버터를 사용하여 불필요한 고조파의 최소화, 고 역율화 및 에너지 회생시스템에 의한 제동성능향상까지도 고려하여 설계되고 있다.

고속철도차량의 추진제어시스템의 주회로 방식은 크게 2가지 형식으로 구분할 수 있다. 하나는 프랑스의 TGV-A로 유럽각지의 지하철차량 등에서 사용되고 있는 전류형 인버터를 사용하는 방식으로 GTO thyristor가 대용량의 제품이 출하되기 이전에는 교류전동기의 구동에 있어 주로 사용되었다. 특히, 유럽에서는 직류전동기의 섬락(Flashover)현상을 극복하기 위해 교류전동기의 구동개발에 힘을 기울여 왔다. 이 때문에 지하철, 전철 등에는 전류형 인버터 시스템이 많이 사용되어 왔다. 다른 하나는 전압형 인버터를 사용하는 방식으로 독일의 ICE, 스웨덴의 X2000, TGV-Eurostar, 일본의 신간선 등에 적용되고 있다. 이탈리아의 ETR 500은 주전동기의 접속이 약간 다르나, 정전압 초과와 전압형 인버터를 결합한 형태이다. 또한 국내 도시철도 및 일본 지하철 등에서 채용하고 있는 전철도 대부분 전압형 인버터 방식을 사용하고 있다.

한편 견인전동기로서 동기 전동기 또는 유도 전동기가 사용되고 있는데, TGV-A 고속철도차량은 동기 전동기를 사용하고 있지만, 다른 나라의 고속차량에서는 유도전동기를 사용하고 있다. 300계 신간선 차량에서는 최대 축중을 저감시키기 위해 한 개의 인버터에서 복수의 견인 전동기를 구동하게 되어 동기 전동기 채용방식이 제외되고 유도전동기가 채용되었다. 1970년대부터 교류전동기 구동 검토를 시작하여 전류형 인버터 + 동기 전동기, 전류형 인버터 + 유도전동기, 전압형 인버터 + 유도전동기 등의 각 방식에 대하여 비교를 하고, 결국 전류형 인버터+동기전동기를 선택하였다.

최근의 국외 기술개발 동향을 살펴보면 프랑스, 독일, 일본 등 고속열차 선진국의 경우 대용량 추진제어장치에 수냉식, 비등냉각 방식 등 독자적인 냉각시스템을 개발하여 적용하고 있으며, 대용량 추진제어장치의 주회로 스위칭 소자에 IGBT 적용을 일반화 하고 있는 추세이다. 뿐만 아니라 추진제어장치의 제어기술도 마이크로프로세서 등 IT기술이 발달함에 따라 컨버터에는 PWM 제어기술, 인버터에는 벡터제어 기술을 적용하고 있다. 기술발전에 따른 핵심기술의 Up-grade 및 장치의 현대화를 지속적으로 추진하고 있는 철도 선진국 추세에 맞추어 차량 경량화 및 정보통신 기술발달에 따른 전산설계 및 IT 기술을 도입하여 적극 활용해야 한다.

추진제어시스템 분야는 고속전철의 핵심기술로 높은 기술수준을 요구하기 때문에 기존

KTX 차량시스템의 서브시스템인 추진제어장치 분야에 최신소자를 적용하여 핵심기술을 개발하기란 많은 어려움이 예상된다. 그러나 고속철도차량에 전력용 반도체와 전자회로 기술의 발달로 인하여 핵심부품들이 단명되어 유지보수에 많은 어려움을 겪고 있으며, 이로 인해 신뢰성 확보가 매우 불확실하다. 따라서 향후 철도의 중요성이 국내외적으로 더욱 대두되기 때문에, 최신 반도체 소자를 이용하여 대용량 전류형 인버터를 개발하고 이를 기존 차량의 견인전동기를 구동하는 독자적인 기술력을 확보한다면 이를 계기로 서구 철도 선진국 고속철도차량 기술수준에 근접하게 될 것이다.

■ 고속철도차량관련 선진 기술 보유 각국의 동향

◎ 일본

초기 신칸센 0계부터 100계까지 성능향상은 승객 수송능력 확대를 위한 2층 객차 도입, 속도 향상에 따른 공력저항 감소를 위한 전두부 형상 개선, 차량경량화를 위한 알루미늄 차체 적용이 특징이며, 300계부터 기존선에서 속도향상을 위한 제어기능 향상, 경량 고출력 유도전동기 적용 등의 기술을 보유하고 있다.

2002년 4월 「신칸센의 고속화 프로젝트」로 기술상의 목표를 360km/h운전으로 하고 고속성, 신뢰성, 환경적합성, 쾌적성 등 모든면에서 세계 최고수준의 신칸센을 목표로 하고 있다. 일명 FASTECH 360으로 불리우는 E954 열차는 기존 신칸센의 견인전동기 방식인 유도전동기와 영구자석식 동기전동기를 채택하여 주회로 시스템에 채용하였다. 이는 유도전동기와 영구식 동기전동기의 효율성 및 안전성 시험에 의미를 두고 있다. 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 동력분산식으로 축중이 가볍고 견인력 향상이 가능
- 운행중 고장조치가 용이한 반면 유지보수가 어렵고 전력 소모가 큼
- 추진시스템은 PWM 컨버터와 전압형 인버터 제어방식을 사용
- 유도전동기는 소형 분산식 3상 농형유도전동기 + 영구동기전동기 적용
- 전기제동 방식은 회생제동 사용



◎ 프랑스

프랑스는 초기 TGV형식을 가스터빈엔진방식으로 할 계획이었지만 집전문제의 연구가 진행되고 1970년대 오일쇼크, 원자력발전의 추진정책에 의해 전기기관차방식으로 변경하게 되었다. 이 같은 경위로 TGV의 기본편성은 가스터빈시대의 형식을 이어받고 있다. 그 특징은 전차방식(동력분산방식)의 신간선과 달리 양단에 전기기관차를 배치, 중간에 객차를 끼운 편성(동력집중방식)으로 하고 있는 점과 인접한 객차의 연결부에 연접대차를 채용하고 있는 점이다.

1세대 TGV-PSE 개발을 시작으로 꾸준한 성능향상을 도모해 2세대 TGV-A에는 동기전인전동기, 변속기, 반도체를 이용하는 전자화 등의 개선 도모하였고, 3세대 Euro-Star와 TGV-R은 유도전동기 적용, 추진제어방식 개선하여 10량 편성으로 운행 가능한 TGV-POS를 개발하여 유지보수 효율성 증대하게 하였다. 또한 타리스(Thalys)를 통해 4개국 4종의 전원, 신호에 대응하는 시스템을 개발 운행 중에 있다.

TGV의 약점은 동력분산이 아니라 편성 길이 당 좌석수를 늘릴 수 없다는 것인데 동력분산의 이점이 증가하고 있는 현 추세에 맞추어 프랑스에서도 전차방식의 AGV

(Automotrice a Grande Vitesse) 개발을 진행했다. 2001년부터 Alstom과 SNCF(Societe Nationale des Chemin de Fer Francais)가 공동으로 360km/h 의 영업속도를 갖는 차세대 고속열차 프로젝트로 AGV 열차 개발 중에 있다. 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 동력방식의 변화 : 분산식 동력방식 / IGBT VVVF 인버터
- IGBT 소자를 사용하는 VVVF인버터 기술 적용
- 견인전동기로 영구자석 동기전동기 도입
- 차체는 알루미늄 + 복합재로 이루어져 있음
- 능동 현가장치 적용
- 방진블록을 사용 (전동기 진동의 흡수로 차체 영향을 감소)
- 와전류 제동장치 개발 적용함
- 미래 지향적이고 공기역학적인 디자인
- 굴절식 구조로 최고 수준의 안전성을 제공
- 필요에 따라 객차 수를 조정가능(중련편성)
- 타 고속전철열차에 비해 에너지 소비량이 15% 적음



◎ 독일

독일의 고속철도는 철저한 합리주의에 바탕을 두고 있다. 선로용량이 부족한 노선은 선로를 개량하여 새로 개발한 ICE열차를 운행하고 신선건설은 필요한 만큼만 건설하되 재래선에도 전철화 구간은 ICE차량을 투입하여 서비스 지역을 확대하고 있다.

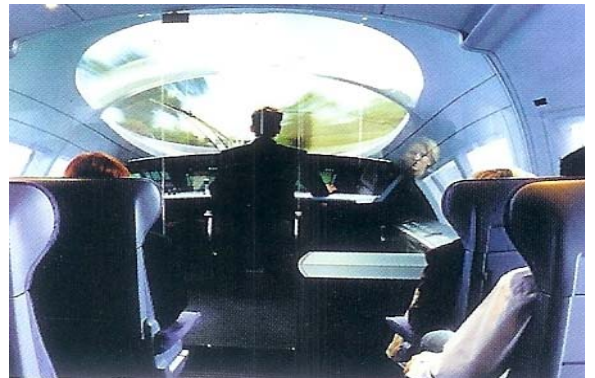
특히 신선을 건설하거나 선로개량보다 차량을 개량하여, 가령 ICE-T처럼 Tilting구조를 도입하는 것이 경제적으로 유리하다고 판단되면 Tilting 차량을 투입하여 경제성을 극대화하고 있다. 또 전철화 되지 않은 구간에 디젤 Tilting 차량인 ICT-VT를 투입하여 속도향상을 꾀하는 등 독일다운 합리주의가 바탕에 깔려있다.

또 ICE 차량의 첫 세대인 ICE1은 동력집중식 차량으로 차량편성 양쪽에 동력차를 붙이고 중간에는 객차를 10~12량을 연결하는 형식이었으나 다음 세대인 ICE2에서는 차량을 더 짧고 가볍게 하기 위해 동력차 1대를 차량편성 한쪽 끝에 붙이고 반대편에는 운전실이 붙은 객차를 붙여 어느 쪽으로든지 운전하는 것은 가능하게 하고 있다.

이 경우 큰 수송력이 필요하면 2개의 차량편성을 바로 자동연결기로 연결하여 승객을 2배로 수송할 수 있게 하였고, 선로 분기역에서는 필요할 경우 2개의 열차로 나누어 각각 다른 방향으로 달릴 수 있게 함으로서 열차운영의 융통성을 높였을 뿐 아니라 에너지 절약에도 크게 기여하고 있다. 이렇게 ICE2에서는 차량편성의 무게를 줄이고 한개 편성 혹은 두개 편성 열차운행이 가능케 함으로써 약 20%정도의 에너지절약이 가능하게 되었다.

ICE-3은 더 이상 동력이 집중되려 있지 않고 열차구성에서와 같이 동력이 전체적으로 열차에 퍼져있는 동력분산식이다. 동력분산식은 점착 성능이 높아 가속성과 제동성능이 좋아지며, 축중이 가벼워지며, 한 개의 차량이 고장나더라도 그 영향이 전체적으로 적으며, 또한 열차길이 당 좌석 수를 증가하고 많은 전동기를 제동 시에도 사용할 수가 있어 기계제동에 의한 소모를 감소시킬 수 있으므로 일본에서도 모든 신간선에 적용하고 있다. 그러나 주행저항 및 에너지 소모가 크고, 총 중량 및 제작비가 증가하며 유지보수의 면에서 불리하고 소음원이 광범위하게 확산되는 단점이 있다. 이에 반해 추진부분이 집중된 동력집중식은 분산식에 비하여 가속도를 크게 얻을 수가 없고, 역이 많은 곳에서 기계제동의 마모가 크지만 동력기기의 집중으로 보수작업이 쉽고, 여객차 내의 쾌적성에서 유리하여 지반에 문제가 없는 관계로 유럽에서는 근거리 열차에서 고속열차까지 동력집중식을 광범위하게 채용하고 있었다. 하지만 차량의 고속화가 레일에 미치는 영향 등에 따라 ICE-T(1998년), ICE-3(2000년)와 AVG(프랑스)등과 같이 동력분산식을 개발, 운용하고 있는 추세에 있다. ICE-3은 마모 없이 기차를 제동시키는 와전류 브레이크를 장착한 첫 번째 시리즈 차량이다. 많은 수의 동력축의로 인해 회생브레이크를 더 효율적으로 사용하며 여전히 기계적인 디스크 브레이크를 장착함으로써 그 제동성능을 높였다. 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 동력방식의 변화 : 분산식 동력방식 / IGBT VVVF 인버터
- 재래선과 직통 연계운행이 가능
- PWM컨버터, 전압형 인버터 사용
- 3상 교류 유도전동기 사용
- 회생제동 사용
- 와전류 제동장치 개발 적용함



2.2.1 추진제어장치 기술분석

□ 냉각 방식

<냉각 방식의 비교>

구분	탱크침적비등냉각	개별비등냉각	Heat Pipe 냉각
냉각액	프레온 카본계 (FC-72)	(FC-72)프레온 카본계	프레온 카본계 (FC-72)
외 형			
냉각성능	냉각 대용량 대용량 냉각장치에 용이	냉매로의 열전송이 침적식 보다 적다	좌동
유지 보수성	곤란(액침적형이므로 기밀 개방하여 교환 필요)	곤란(액침적형이므로 기밀 개방하여 교환 필요)	용이(방진기구관 개방하여 교환이 가능)
Stack 절연	절연냉매에서 절연확보	절연냉매에서 절연확보	Heat Pipe의 일부에 애자 관을 배치하여 절연확보
구조의 용이성	소형 설계 가능	탱크침적형보다 소형화 가 능하다.	탱크침적형보다 부피가 커 진다.
종합 평가	기밀 구조체가 중량이 크 게 된다. 비프레온화도 가 능하지만 액량이 상당히 많 다.	기밀 구조체가 중량이 크 게 된다. 비프레온화도 가 능하지만 액량이 상당히 많 다.	자연냉각과 강제냉각으로 구분되어 사용되고 있으며, 구조가 단순하여 보수가 용 이하다.

□ 시스템 구성 방식

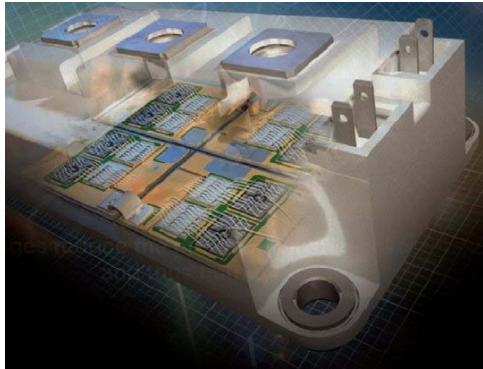
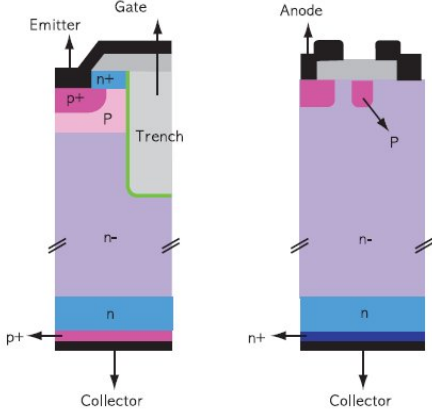
항 목	SYSTEM 구성 방식		
	1C1M	1C2M	1C4M
공전, 활주, 재점착제어	1) 1축의 공전에 대한 대상축만 재점착 제어가 가능 2) 공전시 가속도 저하를 낮게 억제할 수 있다. 3) 승차감에 대한 영향이 작다.	1) 1축의 공전에 대해 2축분의 토오크 저감을 할 필요가 있다. 2) 공전시의 편성 가속도 저하 3) 승차감이 영향을 받음	1) 1축의 공전 발생시 4축분의 토오크를 저감하여야 한다. 2) 공전시 편성 가속도의 저하 3) 승차감에 영향을 줌
축중 이동 보상	평균점착력 향상 가능	제어인버터 군에 따라서 가능함	불 가
차륜경 보상	가능 (차륜경차의 영향이 작음)	제어인버터 군에 따라서 가능함 (동일 NV에 의해 제어되는 2축간의 영향이 큼)	불 가
게이트 전력의 소모	전압형 구동으로 전력손실 저감.	좌 동	좌 동
저소음화	◎	○	○
CUT-OUT 단위	각 전동기 단위	2개 전동기 단위	4개의 전동기 단위
필터 REACTOR	각 전동기 단위	2개 전동기 단위	4개의 전동기 단위
SYSTEM 용장성	◎	○	×

□ 동력 집중식과 동력 분산식

항 목	동력 집중식	·동력 분산식	비 고
축 중	·重	輕	건설비, 궤도보수비
스프링 하중	대	소	주행 안정성
축간 거리	長	短	곡선 통과 성능
동력장치	대	소	언더프레임장착
점착이용	소	대	가, 감속 능력
전기 제동	소	다	가,감속 반복능력
신뢰성	低	高	-
열차중량	徑	重	-

2.3 최신 반도체 소자 기술조사

■ 추진제어장치(Motor Block)에 적용되는 대표적인 반도체 소자 기술개발 현황

종류	기술의 동향
  	- 기존 전력용 반도체 소자인 Thyristor 타입의 GTO 는 스위칭의 한계에 부딪쳐 적용사례가 감소하는 추세 - 국내외 고속철도차량인 경우 전력용 반도체 소자의 기술발전에 따라 고속 스위칭이 가능한 전압 구동형 IGBT 소자를 적용하는 사례가 증가하고 있는 추세 - 따라서 현재 동력 집중식 고속철도차량(KTX)에 적용한 GTO Thyristor를 최신 반도체 소자인 IGBT를 주 전력변환장치에 적용한 기술개발이 이루어져야 함 - 전력반도체에서 반도체 소자인 IGBT와 다이오드는 스위치로써 단독으로 사용된다. 이상적인 스위치에서는 아래의 조건들이 충족되어야 함 - 전류 도통 유무와 상관없이, 도통 전압이 0[V] - 또한 최대허용 역 전압까지 역전류 0[A] - DC 링크 전압과 스위칭 전류의 크기에 상관없이 스위칭 손실은 0[W] - 실제 스위치에서는 중요한 순방향 및 스위칭 손실들이 존재하므로 열저항 설계는 모듈의 성능에 결정적인 영향을 미치게 된다. - 이에 따라 기존의 IGBT2, IGBT3,IGBT4 기술의 차이점을 분석할 필요가 있음

종류	기술의 동향																														
Properties of 1200V IGBT series <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th><th>NPT IGBT³ 123</th><th>Trench IGBT³ 126</th><th>Trench IGBT⁴ 12T4</th><th>Unit</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V_{CEsat} @ 125°C at I_{CHOM}</td><td>3.1</td><td>2</td><td>2.2</td><td>V</td></tr> <tr> <td>E_{pw} @ 125°C per 100A</td><td>28</td><td>25</td><td>18.5</td><td>mJ</td></tr> <tr> <td>Chip size percentage at same I_{CHOM}</td><td>100</td><td>70</td><td>63</td><td>%</td></tr> <tr> <td>Pos. temp. coeff. of V_{CEsat}</td><td>YES</td><td>YES</td><td>YES</td><td>-</td></tr> <tr> <td>Gate charge requirement per 100A</td><td>850</td><td>700</td><td>630</td><td>nC</td></tr> </tbody> </table> <IGBT 기술시리즈> <최대 전류 시 인덕턴스 영향> <터미널 저항>	Parameter	NPT IGBT ³ 123	Trench IGBT ³ 126	Trench IGBT ⁴ 12T4	Unit	V_{CEsat} @ 125°C at I_{CHOM}	3.1	2	2.2	V	E_{pw} @ 125°C per 100A	28	25	18.5	mJ	Chip size percentage at same I_{CHOM}	100	70	63	%	Pos. temp. coeff. of V_{CEsat}	YES	YES	YES	-	Gate charge requirement per 100A	850	700	630	nC	- IGBT4의 구조는 IGBT3 기술로 알려진 트랜치 게이트 구조에 n-회로기판, n-field stop layer 그리고 뒤면 에미터를 포함한 최적화된 수직 구조에 기본을 둬. - 이구조의 특징은 IGBT3 계열보다 전체 손실이 더 작고, 스위칭이 부드러우며, 칩영역 설계를 소형화할 수 있음 - IGBT4 계열은 저, 중, 고 전력 어플리케이션들을 위해 최적화된 수직구조가 특징 - 인덕턴스는 IGBT가 턴 오프시 과전압 때문에 발생하는 중요한 파라미터 - 높은 인덕턴스는 소자의 최대 역전압에 빠르게 도달하는 턴오프 동안에 발생하는 과부하 전류로 적합하지 않음 - 모듈의 단자 저항은 전자회로의 효율에 영향을 미치므로 저항의 값이 작아야 함. - IGBT4 모듈에서 IGBT와 다이오드는 병렬로 연결됨 - 다이오드의 병렬연결은 정격전류 미만의 순방향 전압의 네거티브 열 계수 때문에 특히 위험하므로 정적, 동적 전력배분을 위해 최적화된 고전력 어플리케이션과 턴-오프동안에 동적 과전압을 제한하는 높은 DC링크 전압 어플리케이션이 필요 - IGBT4는 같은 전력범위의 다른 모듈들과 비교하였을 때 낮은 저항과 상대적으로 낮은 부유 인덕턴스의 기능을 발휘함
Parameter	NPT IGBT ³ 123	Trench IGBT ³ 126	Trench IGBT ⁴ 12T4	Unit																											
V_{CEsat} @ 125°C at I_{CHOM}	3.1	2	2.2	V																											
E_{pw} @ 125°C per 100A	28	25	18.5	mJ																											
Chip size percentage at same I_{CHOM}	100	70	63	%																											
Pos. temp. coeff. of V_{CEsat}	YES	YES	YES	-																											
Gate charge requirement per 100A	850	700	630	nC																											

2.4 국내외 고속철도 추진제어기술 특허분석

고속철도 기술은 많은 기술 분야가 종합된 분야로서 각 요소기술들은 오랜 기간에 걸쳐 서브시스템별로 전문업체에 의해 개발되어 왔다. 최근에는 복합소재의 개발에서부터 고성능 마이크로프로세서 출현, IT기술 진일보 및 이에 따른 제어기술의 발전 등 국내외적으로 첨단 기술이 산업 전반에 걸쳐 실용화되거나 융합된 시스템이 대두되고 있다. 따라서 정부고속철도차량(KTX)내의 서브시스템인 추진제어 기술개발 및 차량에 대한 실용화와 해외진출을 위해서는 출원된 특허에 대한 검토를 수행하여 향후 발생 가능성이 있는 특허 분쟁을 사전에 예방하여야 한다. 이를 위해 주요국가에 출원된 고속철도 관련 추진제어장치 분야의 특허를 조사하여 특허동향 파악과 내용을 검토하였다.

2.4.1 분석범위

- 분석 대항국가 : 한국, 미국, 일본 및 유럽특허를 대상으로 분석하였다.
- 분석연도 : 등록 및 공개연도 1980년 1월 1일~2006년 3월 17일 기준
- 사용 Database : 기존 분석 자료 및 특허관련 사이트 이용
- 기술 분류 체계

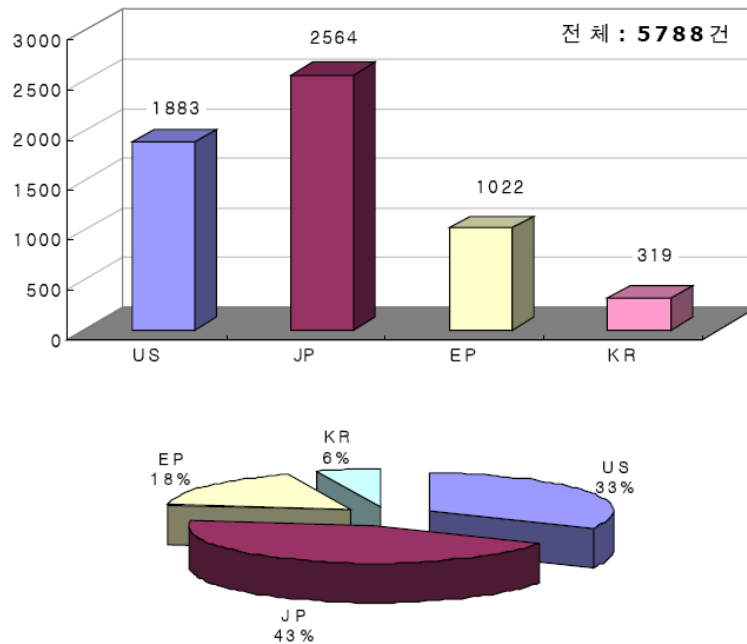
<고속철도 기술 분류표>

대분류	세 부 분 류
고속철도 시스템 및 평가	고속철도 시스템
	시험평가
추진시스템	주변압기
	주전력변환장치
	주전동기
	판토타프
보조전원 시스템	보조전원장치
	냉난방환기장치
	Battery Charger
주행장치	대차
	윤축
	감속구동장치
차체 및 제동장치	차체
	제동장치
열차제어 시스템	열차제어진단장치
	ATC/ATS/ATP

2.4.2 국가별 동향

2.4.2.1 국가별 출원건수 동향

각국 특허청에서 출원한 특허건수 분포는 아래 그림과 같이 미국 1,883건, 일본 2,564건, 유럽 1,022건, 한국 319건으로 조사되었다. 이 중 일본특허가 전체 특허의 43%를 차지하여 가장 높은 비중을 차지하였으며, 그 다음으로 미국(33%), 유럽(18%), 한국(6%) 순으로 나타났다. 출원건수 측면에서 보면 일본이 고속철도 관련 핵심 연구개발을 가장 활발히 진행하고 있는 것으로 판단되고 한국인 경우 2004년 고속철도차량 도입으로 인해 최근에 몇 년간 많은 연구가 진행되고 있음을 엿볼 수 있다.

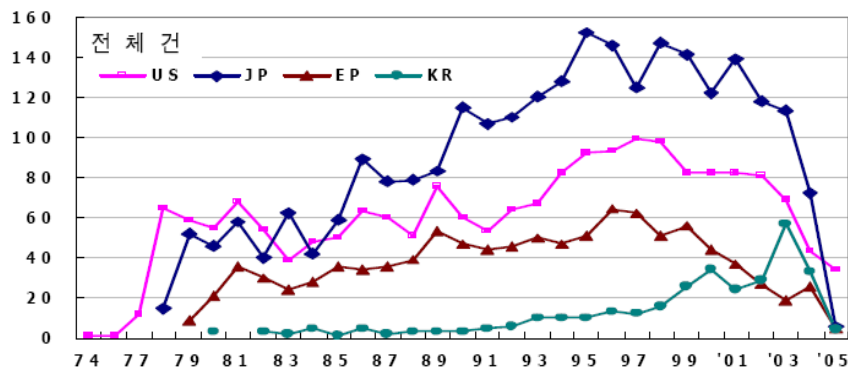


< 국가별 전체 출원건수 >

2.4.2.1 국가별 연도별 동향

미국특허는 90년대 말까지 꾸준한 증가세를 보이다가 2000년 이후 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 일본특허는 최근 몇 년 전까지 지속적으로 출원이 증가하여 1990년대에는 100건 이상의 출원을 10년 이상 기록할 정도로 꾸준한 출원을 진행하고 있다.

한편 유럽특허는 계속적으로 조금씩 증가하는 추세를 보이다가 2000년 이후에 감소하는 추세로 돌아섰으며, 한국특허는 1990년 중반까지 미미한 정도였으나 KTX차량 도입과 G7 고속철도기술개발 사업 연구개발이 본격적으로 이루어지면서 서서히 증가하다가 2003년에 급격한 출원 증가를 보이고 있다.

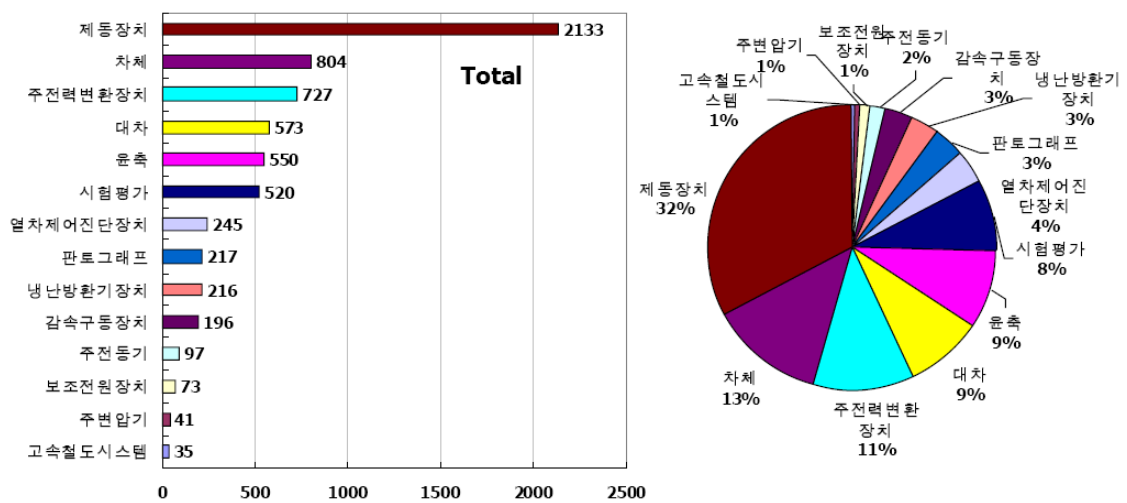


< 국가별 연도별 출원동향 >

2.4.3 기술별 특허 동향

2.4.3.1 대분류별 특허 동향

고속철도차량의 대분류에 따른 각 요소 기술별 특허동향을 살펴보면, 전체 대상건수 6,427건 중 제동장치에 대한 기술이 2,133건으로 32%를 차지할 정도로 가장 많은 건수를 나타내고 있다. 다음으로 차체 특허가 804건으로 13%, 주 전력변환장치 특허가 727건으로 11%, 대차와 윤축 특허가 각각 573건 550건으로 9%, 시험평가장치 특허가 520건으로 8%정도를 차지했고, 주전동기, 보조전원장치, 주변압기, 고속철도 시스템 관련 특허는 100건 이하로 적은 수를 보였으며, 3.8%의 비중을 차지한다.



< 대분류별 특허건수 >

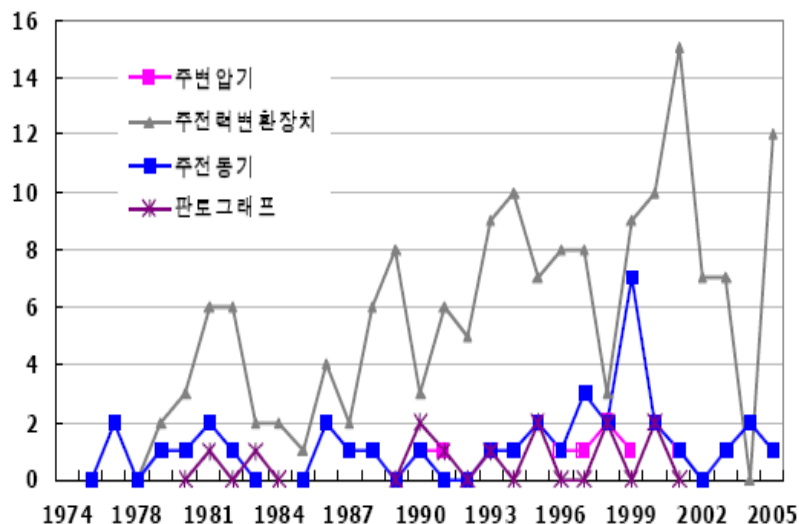
2.4.3.1 국가별 추진시스템 기술 연도별 특허 동향

■ 미국특허

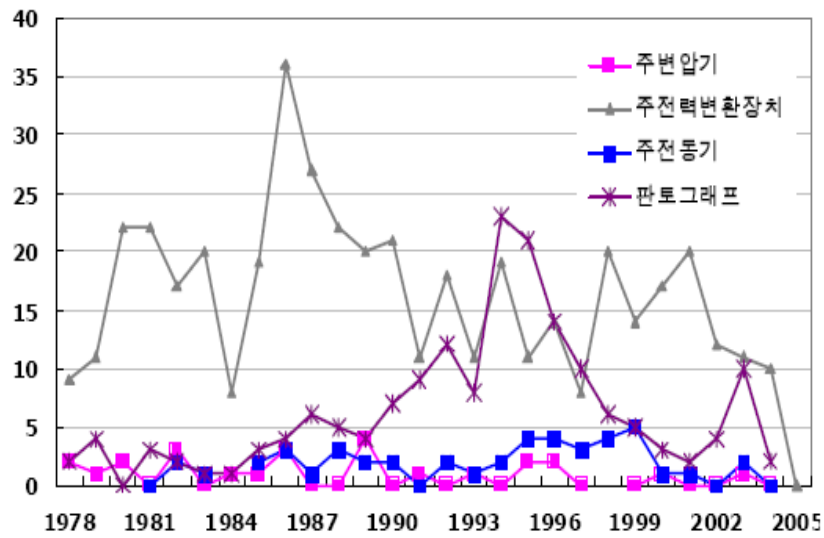
추진시스템 기술 관련하여 연도별 특허 동향을 살펴보면 주변압기 관련 특허는 모집단 수가 적어 추이를 판단하기 어렵지만, 1990년 출원이 시작되어 2000년까지 2건 이하의 출원을 꾸준히 진행하고 있으며, 주 전력변환장치 관련 특허는 꾸준한 상승세를 보이고 있는데, 특히 2000년대에 들어와서도 출원수가 상당수를 차지하고 있다. 이는 마이크로 프로세서 기술 및 반도체 소자 개발 등 최신 IT기술이 발달되면서 융합된 형태의 시스템 개발이 꾸준히 이루어지기 때문으로 판단된다. 주전동기 기술은 출원이 소수의 출원수를 보이다가 1999년을 제외하고 2건 이하의 출원을 보이고 판토티그래프 관련 특허는 2건 이하의 출원이 산발적으로 일어나고 있는 것으로 나타났다.

■ 일본특허

일본에서의 연도별 동향을 살펴보면, 주변압기 특허는 소수의 출원이 꾸준히 이루어지고 있고, 주 전력변환장치 관련 특허는 10~20건의 출원이 꾸준히 이루어지고 있다. 이는 상기에 기술한 바와 같은 것으로 판단된다. 주전동기 특허는 해마다 5건 이하의 출원이 이루어지고 있으며 최근 들어 감소 추세를 보이고 있다. 판토티그래프 관련 특허는 1990년부터 1994년까지 급격한 출원 증가 경향을 보였지만, 1995년 이후 급격한 하락을 보인다.



< 연도별 미국특허 분포 >



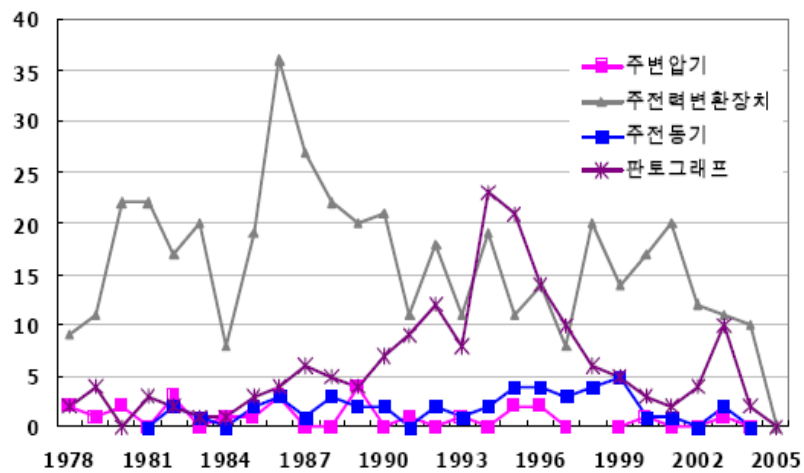
< 연도별 일본특허 분포 >

■ 유럽특허

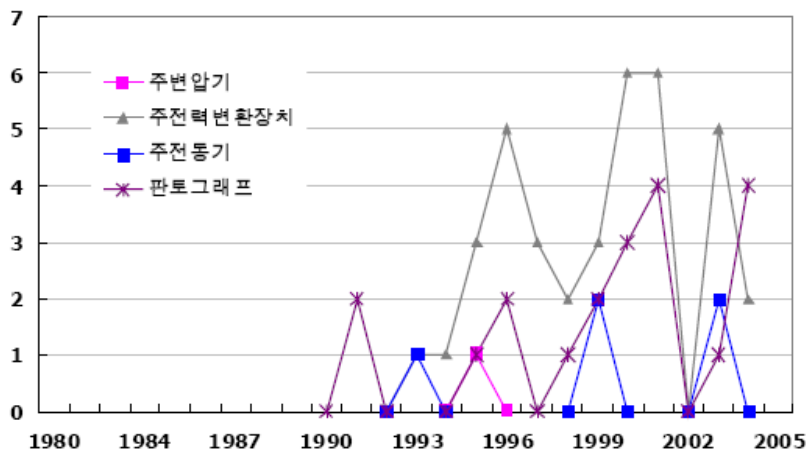
유럽특허에서 연도별 동향을 살펴보면, 주변압기 관련 특허는 5건 이하의 출원이 꾸준히 이루어지고 있고 주 전력변환장치는 1986년을 전후로 많은 출원이 있었으며 해마다 10~20건의 출원이 되고 있다. 주전동기 관련특허는 계속적으로 5건 이하 출원이 이어져 오고 있으며, 판토틀로그 특허는 1984년 이후 완만한 증가 추세를 보이다가 1994년에 급격한 출원 증가 이후 감소세가 지속되고 있다.

■ 한국특허

한국특허에서의 연도별 동향을 살펴보면, 주변압기 및 주전동기에 대한 특허출원은 매우 미미한 수준이고 주 전력변환장치와 판토틀로그 관련 특허가 상대적으로 많이 이루어지고 있음을 알 수 있다.



< 연도별 유럽특허 분포 >



< 연도별 한국특허 분포 >

2.4.3.2 출원인별 기술별 특허 동향

출원인별 기술별 동향 검토해 보면, 대부분의 주요 출원인들 중이 제동장치에는 일정수준 이상의 출원을 하고 있는 것으로 나타났다. 특히, WESTINGHOUSE AIR BRAKE, KNORR BREMSE, NEW YORK AIR BRAKE, AKEBONO BRAKE사의 경우 회사 특성상 제동장치분야에 많은 출원을 하고 있는 것으로 나타났다.

HITACHI사의 경우 주 전력변환장치, 차체, 냉난방환기장치 관련 특허에 많은 출원이 나타나고 있다. 특히, 차체 관련 특허의 경우 다른 회사에 비해 독보적으로 많은 출

원을 보인 점이 특징이다. 그와 더불어 일본의 SUMITOMO와 함께 차체 특허 출원의 대다수를 차지하고 있는 등 일본기업의 차체 개발에 대한 연구개발이 활발한 것으로 분석된다. 일본의 RAILWAY TECHNICAL RES, JAPANESE NATIONAL RAILWAYS, 한국철도기술연구원, EAST JAPAN RAILWAYTKDML 경우 시험평가 장치와 제동장치에 많은 출원을 보이고 있어 이 기술분야에 많은 연구 개발이 이루어지고 있는 것으로 판단된다. GE, TOYO ELECTRIC MFG사는 주전력변환장치 분야에 많은 출원을 하고 있어 이 부분의 연구개발이 활발한 것으로 보이며, ALSTOM, SIEMENS AG, SUMITOMO METAL은 주행장치 분야에 상대적으로 많은 출원이 집중되어 있다.

< 출원인별 기술별 특허분포 >

	고속철도 시스템	서벌평가	주변압기	주전원변 환장치	주전동기	판로그래 프	보조전원 장치	냉난방환 기장치	대차	단축	감속구동 장치	차체	제동장치	열차제어 진단장치	Sum.
HITACHI LTD	3	16	7	126	9	14	7	67	41	27	16	141	69	15	558
WESTINGHOUSE AIR BRAKE CO		14		7	5		4		12	6	2	42	331	57	480
RAILWAY TECHNICAL RES INST	1	80	2	55	10	39		11	25	20	12	31	116	10	412
KNORR BREMSE AG		1		2				1	7	1		7	173	3	195
TOSHIBA	1	9	5	85	7		13	14	3	1	3	4	45	1	191
MITSUBISHI ELECTRIC		16	1	62	5		4	12	4	1	10	3	51	7	176
Alstom	1	5		26		2	2	13	40	4	1	23	26	2	145
SUMITOMO METAL IND LTD		5		1	1	8			15	30	5	52	21	4	142
한국철도기술연구원		57		15	1	8	1	3	7	7	1	10	20	3	133
CENTRAL JAPAN RAILWAY		19		15	1	25		3	3	9	2	12	36	4	129
JAPANESE NATIONAL RAILWAY		18	3	21		14	1	4		2	5	1	45	4	118
EAST JAPAN RAILWAY		24	1	11	2	12	2	4	1	7	7	9	29	4	113
New York Air Brake		3		3	1		1		2	5	2	2	76	5	100
GE		10		44	9			1	2	9	3	1	11	4	94
AMERICAN STANDARD		3		2	1					3		1	66	1	77
KAWASAKI HEAVY IND		1		1		6		4	20	8	5	21	9	1	76
ABB		4	6	22	11			1	6	10	1	3	3	1	68
Siemens Aktiengesellschaft		6	2	12	3		1		13	4	4	11	8	2	66
NIPPON SHARYO SEIZO KAISHA LTD		4		2				7	5	4	2	36	5		65
TOYO ELECTRIC MFG CO		1		19	4	9	2	2	1	2	2		13	1	56
NABCO LTD		4								1		1	49		55
AKEBONO BRAKE	1			2	1								49		53
MITSUBISHI HEAVY IND		4				2		10	2	4	5	5	12		44
ABB DAIMLER BENZ	1	1	1	8	1		3	2	2	5	1	9	4	3	41
AMSTED		2		1					11	14		3	9		40
프렐	0	2	1	10	0	1	7	0	5	0	0	2	10	0	34
현대중공업				5	2		2								9

2.4.3.3 추진시스템 기술에 따른 주요출원인별 연도별 특허 동향

■ 주변압기 기술

주변압기 기술은 특허 출원건수가 많지 않아 건수의 추이는 살펴보기 힘들며, 아래의 주요 5개 출원인도 산발적으로 출원을 하고 있다.

	80년 이전	80	82	84	85	86	89	90	91	93	95	96	97	98	99	00	01	03
HITACHI LTD																		
ABB																		
TOSHIBA																		
JAPANESE NATIONAL RAILWAY																		
FUJI ELECTRIC																		

< 주변압기 기술 주요 출원인별 연도별 동향 >

■ 주 전력변환장치 기술

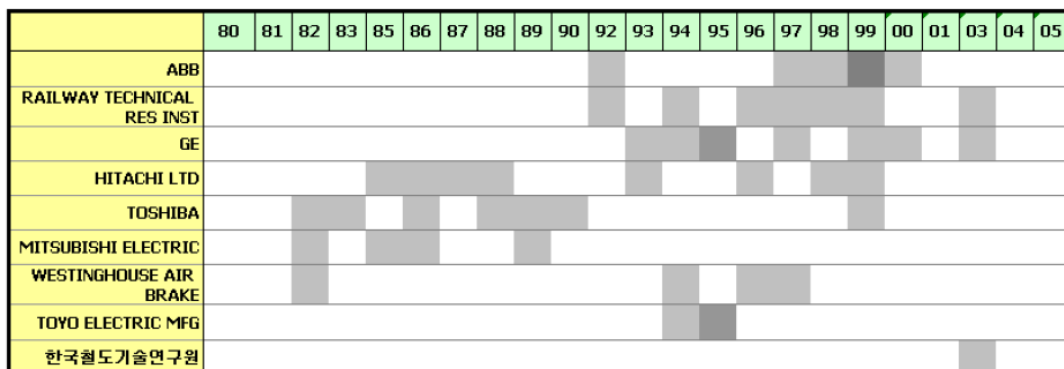
주 전력변환장치 기술은 HITACHI, TOSHIBA, MITSUBISHI ELECTRIC이 1980년 이전부터 현재까지 지속적으로 출원하고 있으며, 1980년대 중반부터 1990년대 초반까지 출원이 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 국내인 경우 G7 고속철도 기술개발사업이 진행된 1999년부터 주 전력변환장치 관련 출원을 시작하여 현재까지 지속적으로 출원하고 있다.

	80년 이전	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05
HITACHI LTD																											
TOSHIBA																											
MITSUBISHI ELECTRIC																											
RAILWAY TECHNICAL RES INST																											
GE																											
Alstom																											
MEIDENSHA CORP																											
ABB																											
JAPANESE NATIONAL RAILWAY																											
TOYO ELECTRIC MFG CO																											
CENTRAL JAPAN RAILWAY																											
한국철도기술연구원																											
FUJI ELECTRIC																											
Siemens Aktiengesellschaft																											
EAST JAPAN RAILWAY																											

< 주전력변환장치 기술 주요 출원인별 연도별 동향 >

■ 주전동기 기술

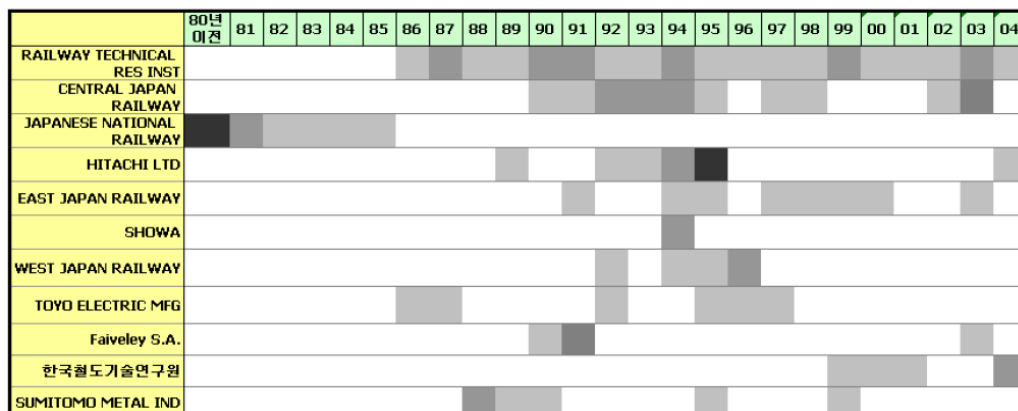
주전동기 기술의 경우에는 연도별로 주요 출원인 동향이 다르게 나타나고 있다. 1990년 이전에는 HITACHI, TOSHIBA, MITSUBISHI 등의 일본 기업이 특허를 출원하는 양상을 보이다가 1990년 이후에는 ABB, RAILWAY TECHNICAL RES INST, GE 등이 출원을 주도하고 있다. 특히 HITACHI가 1985년부터 1999년까지 타 출원인에 비해 오랜 기간 동안 연구개발을 지속적으로 한 것으로 판단된다. 그러나 2000년 이후로는 각 기업들이 주전동기 기술에 대한 새로운 특허출원의 성과를 얻지 못하는 것으로 보인다.



< 주전동기 기술 주요 출원인별 연도별 동향 >

■ 판토품 그래프 기술

판토품 그래프 기술은 JAPANESE NATIONAL RAILWAY가 1980년 이전에도 다수 출원하고 있어 본 기술에 대한 선도적 기업으로 보이며, RAILWAY TECHNICAL RES INST는 설립 초기부터 현재까지 판토품 그래프 기술개발을 지속적으로 수행하여 많은 성과를 보이는 것으로 나타났다.

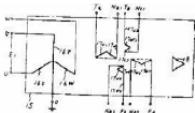
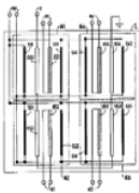
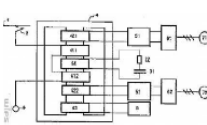
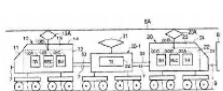
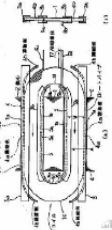
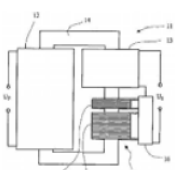
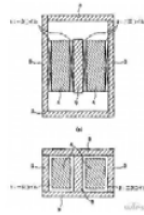


< 판토품 그래프 기술 주요 출원인별 연도별 동향 >

2.4.4 추진시스템의 주요 기술별 분석

■ 주변압기 기술

주변압기는 전차선에 인가된 전압을 차량내부에서 1차적으로 전압변환을 수행하는 시스템으로, 아래 특허들은 주변압기의 주요 특허들을 연도별로 나열한 것이다. 주변압기 기술은 변압기 자체에 대한 기술로서 방열기술, 조정코일, 벌크고온 초전도체를 사용하는 기술 등이 있다. 또한 변압기가 철도차량에 탑재되어 PWM 구동을 하거나, 변압기가 탑재된 변환차량에 대한 특허가 출원되고 있다.

1986	1995	1998	2003
JP1988-046713('86) [RAILWAY TECHNICAL] 2상 / 3상 변환을 위한 변압기 	JP1996-083724('95) [SIEMENS AG] 초전도 코일을 구비한 전기 기관차용 변압기에서 컴팩트 구조 실현 	JP1998-066203('96) [HITACHI LTD] 변압기 1차 코일을 분할하여 고조파 흡수용 코일을 배치함으로써 PWM구성 	JP2005-080386('03) [TOSHIBA CORP] 교류 50kV를 교류 25kV에 강압하는 변압기가 탑재되는 변환차량 구비 
	JP1996-191020('95) [EAST JAPAN RAILWAY] 변압기 내부의 히트파이프를 이용하여 균일한 온도분포 행함 	US6995646('98) [ABB AB] 코일을 흐른 전류에 의한 전계를 플렉시를 도체내에 가두는 조정코일 구비 	JP2002-111273('00) [RAILWAY TECHNICAL] 벌크 고온 초전도체로 자로를 둘러싸는 것으로, 누설 자속 등 감소 

<주변압기의 주요특허 기술흐름도>

■ 주 전력변환장치 기술

전기철도차량용 전원장치는 철도의 안전성과 신뢰성에 직결되는 것으로 안정된 전원을 공급하기 위한 신뢰성 요건과 공간의 제약성에 따른 소형 경량화가 요구되는 시스템이다. 일반적으로 컨버터의 소형 경량화는 주 스위치의 스위칭 속도를 높여서 실현하는 방법을 주로 사용하고 있다. 그러나 전기철도 차량에 사용되는 전압이 1500[V]이상의 고전

압을 사용되어 임의의 소자를 사용하는데 한계가 있고, GTO나 IGBT를 사용하였을 경우 고속 스위칭에 대하여 Tail Current 현상 때문에 스위칭 주파수를 높이는데 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 고압에 사용이 가능한 소자를 개발하여야 하거나, 컨버터를 직렬로 연결하여 전압분배효과를 가질 수 있도록 회로를 구성하여야 한다.

아래 그림은 주 전력변환장치에 대한 주요특허를 연도별로 정리한 기술흐름도이다. 1988년도에 출원한 US4849870 특허의 경우 AC 드라이브가 다상 DC파워 컨버터와 병렬로 연결되고 교번으로 전류를 출력하는 회로 구성하는 내용으로 출원하였으며, 1994년도와 1998년도 Alstom사에서 출원한 US5629591이나, US6239999건에서는 컨버터와 DC 전압 공급기 등이 구비된 다중 전류 전력 공급 시스템의 기술과 커패시터의 공통 세트가 한 전원에서 동작할 때 사용되는 단상 AC전원 및 DC 전원 하에서 동작할 수 있는 다전원 추진시스템에 대한 특허를 출원하였다.

2000년에 들어오면서 한국출원인의 특허가 활발하게 나타나고 있다. KR2000-0055056에서는 직류가선전압은 맥동을 피드백하여 그 변동분만큼 인버터의 주파수에 보상한 후 인버터 주파수를 펄스폭 변조(PWM)하여 가선전압의 변동분 만큼을 인버터주파수의 펄스폭을 가변시키는 내용으로 출원하였으며, KRRI에서는 가변전원 공급선과 연결되는 가변전압변환장치와, 다수개의 기계적 스위치에 의해 직렬과 병렬로 선택적 구성되는 2대의 인버터를 연결하여 전동기에 철도차량 운행에 필요한 전류를 공급하는 기술과 4대의 인버터를 직렬구조로 전원 연결하여 전력을 변환하는 내용을 출원하였다.

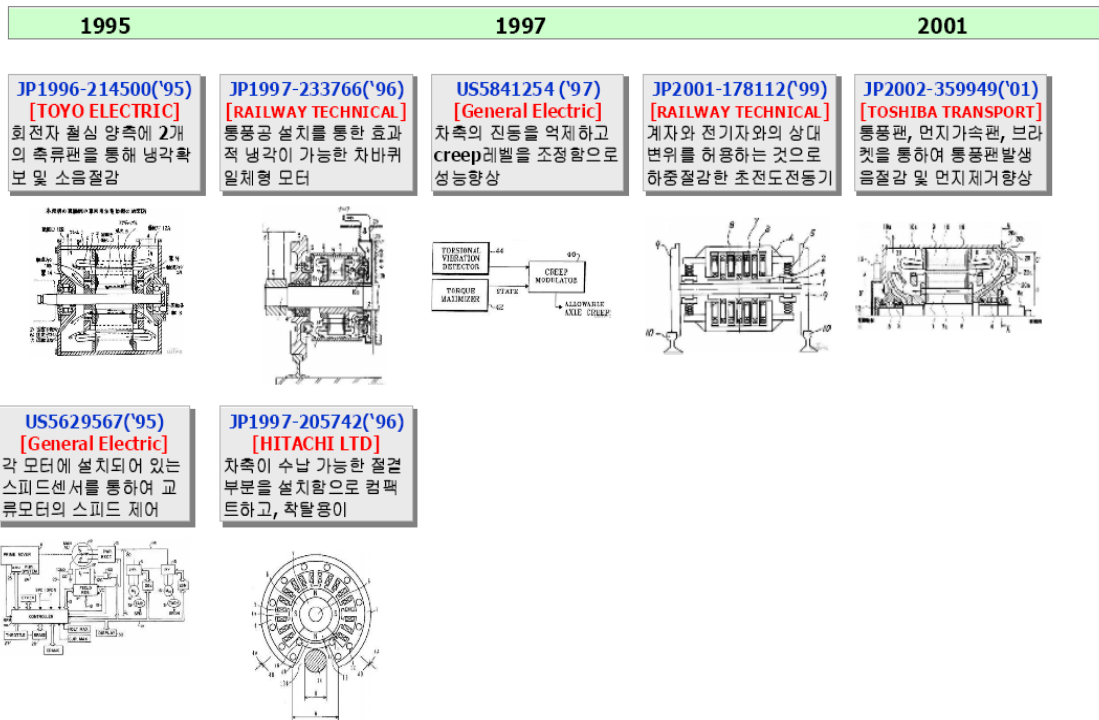
특히, ABB에서 도입한 기술로서 최초로 고속철도에 적용한 기술로 알려지고 있는 IGCT 소자로 이루어지는 수개의 펄스폭 변조 컨버터 및 인버터로 이루어지며, 종래의 스너브 회로부가 필요 없는 전력변환장치 구성에 대한 특허가 로템(주)에서 출원한 것이 눈여겨 볼만한 특허이며(2005-0115950), 이외에 특허 KR2005-0062962건에서 철도차량의 전동기를 구동하는 인버터 시스템을 IGBT소자를 이용하여 3레벨 추진 인버터 시스템 구성에 대한 출원도 특징이다.



< 주전력변환장치 주요특허 기술흐름도 >

■ 주전동기 기술

주전동기는 차량을 견인하는 역할을 하는 견인전동기로서 아래 그림은 주전동기의 주요 특허 기술 흐름도를 나타낸 것이다. 주전동기 95년 이후로 통풍팬 설치나 통풍로 구성에 의한 주전동기의 냉각과 관련된 기술이 출원되어지고 있다. 이 기술은 최근까지 출원되어지고 있는 것으로 나타났다. 그리고 스피드 제어기술, 성능향상을 위하여 creep 레벨을 조절하여 차축 진동억제 기술, 하중 조절기술이 출원되어지고 있다. 주전동기와 관련하여서는 RAILWAY TECHNICAL, General Electric사 등이 주요 출원인인 것으로 나타났다.

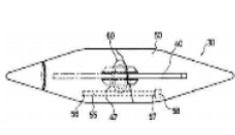
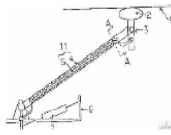
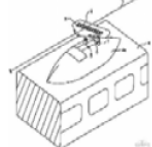
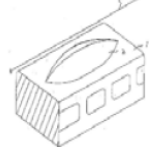
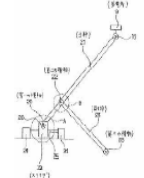


< 주전동기의 주요특허 기술흐름도 >

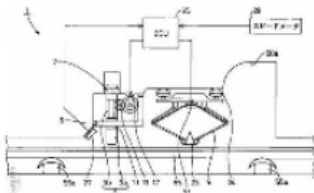
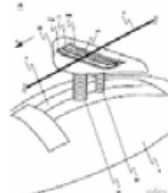
■ 판토크래프 기술

판토크래프는 전차선 외부 전원을 철도차량내부로 유입하기 위한 시스템으로 판토크래프 관련 기술 중에 소음감소, 아크방지, 양력조정 기술이 많이 출원되고 있는 것으로 나타났다. 특히 소음감소기술이 건수 면에서 많은 출원을 나타내고 있는데 이는 승객 서비스 향상 및 소음관련 타시스템에 영향을 최소화하기 위한 연구로 판단된다. 구체적으로 익형 또는 유선형 형상의 구현으로 소음을 감소시키거나, 판토크래프가 요동 가능한 형상으로 제작하여 소음감소를 실현하고 있다. 아크방지 기술은 90년대 중반에 출원되어지고 최근에는 출원이 나타나지 않은 기술로서, 보호판 설치 등으로 아크발생을 억제하고 있다. 양력조정 기술은 능선부 형성 등으로 양력을 조정하고 있는 특허가 출원되었다. 특히 판토크래프 기술은 일본 출원인이 대부분의 출원을 하고 있는 것으로 나타났다.

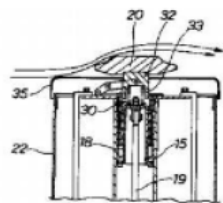
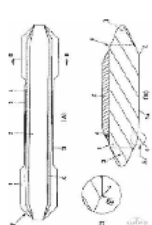
▶ 소음저감

1993	1994	1995	2003	
JP1994-335104 ('93) [CENTRAL JAPAN RAILWAY] pan과 익형의 집전주, 익형의 집전부재로 구성된 저소음 구현	JP1995-336802 ('94) [RAILWAY TECHNICAL] 공기흐름에 조사된 부재를 적게 한 것에 의하고 주행중의 공력을 감소	JP1996-126110 ('94) [HITACHI LTD] 도전케이블을 유지하기 위한 가이드기구로 된 집전장치로 소음절감	JP1996-317502 ('95) [HITACHI LTD] 수신설비를 유선형 돌기로 덮는것에 의해 소음절감 및 주행저항 절감	JP2004-147494 ('03) [EAST JAPAN RAILWAY] 집전부의 하단부를 요동가능케 구성함으로 접압력 유지 및 소음감소
				

▶ 아크방지

JP1995-031003 ('93) [CENTRAL JAPAN RAILWAY] 주행속도가 일정부분 이상일 경우 아크전극을 끌어올려 아크방지	JP1996-205308 ('95) [HITACHI LTD] 내아크 보호판 설치로 내아크성이 양호한 집전장치
	

▶ 양력조정

JP1996-098307 ('94) [SHOWA] 집전주체가 상하 이동해도 집전주체에 작용한 양력을 일정하게 유지	JP1998-178702 ('96) [WEST JAPAN RAILWAY] 진행 방향에 대하고 능선부에 만곡면 또는 면취를 행함으로 양력조정
	

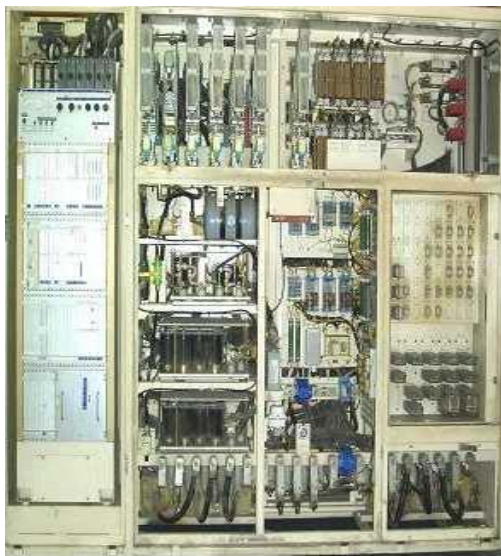
< 판토틀래프 주요특허 기술흐름도 >

3. 기술개발 분석

3.1 KTX의 추진제어장치

3.1.1 추진제어(Motor Block) 조립체

주변압기 2차측 권선을 통해 AC 1800V를 입력받아 1,230kW급 견인전동기인 동기전동기 2대를 제어하는 장치로서 외형은 다음과 같다.



[추진제어(Motor Block) 전면]



[모터블록용 제어장치]



[모터 블록 후면]

3.1.2 추진제어(Motor Block) 제어장치 구성

□ MBU (모터블록용 제어장치)

NO.	적용장치명	제어 장치류	카드 명	수량	주요기능
1	모터 블록	MBU	BFAS	1	- BAT. FILTER 보드, SAVE SUPPLY 보드
2	“	“	CDJ	1	- CIRCUIT BREAKER 보드
3	“	“	ESB1	1	- BARERY I/O 인터페이스 보드 1
4	“	MBU	ESB2	1	- BARERY I/O 인터페이스 보드 2
5	“	“	ESB3	1	- BARERY I/O 인터페이스 보드 3
6	“	“	IFPS	1	- STAT. PNEU. BRAKER 인터페이스 보드
7	“	MBU	ISY	2	- SYNCHRONOUS 인터페이스 보드
8	“	“	IMON	1	- MONOPHASE 인터페이스 보드
9	“	“	INCA	1	- DC ANALOGUE 인터페이스 보드
10	“	“	AIT1	3	- THYRISTOR PULSE AMPL1 보드
11	“	MBU	AIT4	1	- THYRISTOR PULSE AMPL3 보드

□ PR. BAT

NO.	적용장치명	제어 장치류	카드 명	수량	주요기능
1	모터 블록	PR. BAT	B153	1	- 전원 장치 (72V. 5V, ± 15V, 150W)
2	“	“	ELS 1	1	- LOGIC I/O PROCESSING 1 보드
3	“	“	ELS 2	1	- LOGIC I/O PROCESSING 2 보드
4	“	PR. BAT	ELS 3	1	- LOGIC I/O PROCESSING 3 보드
5	“	“	MV	1	- SPEED PROCESSING 보드
6	“	“	CAL3	2	- COMPUTATION 보드 3
7	“	“	CAL2	1	- COMPUTATION 보드 2
8	“	“	DIAL 1	1	- SERIAL LINK COMMUNICATION 보드
9	“	PR. BAT	CAL1	1	- COMPUTATION 보드 1

□ 제어랙

NO.	적용장치명	제어 장치류	카드 명	수량	주요기능
1	모터 블록	—	AG	1	— GENERAL POWER 보드
2	“	“	MAFV	1	— VAR. FREQ. AMPLI. 모듈
3	“	“	TDSV	1	— FAIL. PROCES. VENTIL. SUPPLY 보드
4	“	“	FCVV	1	— COMTIN. VARIA. FREQ. AND SUPERV. STOP 보드
5	“	“	SVTB	1	— VENTIL SUPERV. AND STOP 보드
6	“	—	REDM	1	— MOTOR BLOCK RECTIFIER 보드
7	“	“	ASB	1	— REGULATED VOLTAGE PLUG IN BLOCK

3.2 소요기술 분석

본 장에서는 경부선 고속철도차량(KTX)내의 추진제어시스템을 개발하기 위한 세부기술을 나열하고 이들 기술군 중에서 본 사업에 소요되는 세부기술에 대하여 정리하였다. 최신반도체 소자를 이용한 추진제어 기술개발을 위해서는 크게 시스템 엔지니어링 기술, 주 전력변환 시스템 기술개발, 차량 성능향상 기술, 신뢰성 향상 기술로 분류할 수 있다.

동력집중식 고속철도차량(KTX)의 추진제어 기술개발사업에서 필요로 하는 핵심 개발 내용은 다음과 같고 이에 따른 소요기술을 정리하면 아래의 표와 같다.

- 시스템 엔지니어링 기술개발
- 주 전력변환 시스템 기술개발
- 차량 성능향상 기술개발
- 신뢰성 향상 기술개발

기술군	소요기술
시스템 엔지니어링 기술	- 시스템 요건/분석기술 - 시스템 통합설계 기술 - 시스템 I/F 기술 - 성능평가, 검증기술 개발
주 전력변환 시스템 기술	- 시스템간 I/F 설계 기술 - 대용량 컨버터/인버터 설계 기술 - 반도체 소자 구동용 고신뢰성 구동회로 설계 기술 - 주전력변환 시스템 제어알고리즘 기술
차량 성능향상 기술	- 대용량 추진제어시스템 냉각시스템 설계 기술 - 통신 I/F 설계 기술 - 견인 전동기 구동 알고리즘 기술
신뢰성 향상 기술	- 가속수명 예측 기술 - 유지보수 기술

상기의 표에 분류된 기술군을 기준으로 최신 반도체 소자를 이용한 KTX용 추진제어 기술개발에 필요한 상세 내용을 정리하면 다음과 같다.

□ 추진제어시스템 엔지니어링 기술

■ 시스템 요건/분석기술

최신 반도체 소자를 이용한 대용량 추진제어 시스템 개발을 위해 요구되는 사양은 경부선에 운행 중인 고속철도차량(KTX)이 추진제어 시스템(Motor Block)만을 개발하므로 철도차량 내부에 장착되어 있는 기존 시스템과의 인터페이스가 무엇보다 중요하며 이것들에 의해 시스템이 결정된다고 해도 과언이 아니다. 뿐만 아니라 개발하고자 하는 추진제어 시스템은 향후 현재 장착된 추진제어 시스템과 대체되어야 하므로 고속철도차량(KTX)에 대한 전반적인 시스템 요건들을 분석하고 최소한 대체하고자 하는 시스템 이상이 추진제어 시스템이 개발되어야 한다. 또한 향후 실용화에 경쟁력이 있는 차량을 개발하기 위해서는 현재의 국내외 기술수준을 고려하여 장기적인 관점에서 시스템의 수명주기까지 고려한 비용분석을 거쳐 추진제어 시스템 설계를 해야

한다. 추진제어시스템 개발을 위한 요건을 분석하고 정의하는 기술은 시스템 엔지니어링 기술에서 필수적인 기술이라 할 수 있다.

■ 추진제어시스템 통합설계 기술

현재 경부선에 운행되고 있는 고속철도차량(KTX)은 동력 집중식으로 사이리스터 계열인 GTO 소자를 사용하여 컨버터 및 인버터 등 전력변환장치를 구성되어 있고 전인전동기로는 동기전동기를 사용하고 있다. 이러한 시스템은 국내에서 고속철도차량으로 연구개발된 사례가 없다. 지금까지 동력 집중식으로 연구개발사업으로 진행된 고속철도차량인 경우 전인전동기로 유도전동기를 사용하였으며, 전력변환장치 구현은 IGCT 혹은 IGBT 소자를 사용하였다. 따라서 현재 동력차 및 동력객차에 실장된 추진제어 시스템(Motor Block)을 일정한 공간상에 냉각장치를 비롯하여 전력변환장치 등 타 시스템과의 인터페이스를 통한 통합설계가 이루어져야만 한다. 이 통합설계 기술에서는 시스템 요건 분석을 통해 제공된 조건들을 고려하여 기존의 G7 및 한국형 고속열차기술개발사업을 통해 축적된 기술 및 기반기술 개발을 통해 확보된 첨단 기술을 적용하여 추진제어시스템 및 하위 시스템의 사양을 결정하고 각 모듈간의 인터페이스를 고려한 설계가 이루어지도록 한다.

■ 추진제어시스템 I/F 기술

추진제어 인터페이스(I/F) 기술은 통합설계 시스템을 적용하여 추진제어 시스템을 설계할 때 각 하위 시스템간의 인터페이스를 고려하는데 필요한 기술이다. 즉 주변압기/컨버터, 컨버터/인버터, 냉각장치/각 서브시스템, 인버터/전인전동기, 각 컴퓨터간의 네트워크 전송, 차상/지상 신호 사이의 인터페이스를 고려하는 설계 기술로 전체시스템의 성능요건 결정 및 하위 시스템간의 요구조건 할당이 요구된다.

■ 추진제어 성능평가 및 검증 기술

최신 반도체 소자를 사용한 추진제어(Motor Block)을 개발하여 실제 운행에 들어가기 전에 부품레벨에서부터 시스템 레벨까지 성능 및 안전성에 대한 시험평가가 이루어져야 한다. 고속철도차량(KTX)에 적용된 공장 내 시험 및 시운전 시험 절차에 따라 시험을 수행하고 평가하한다. 추진제어 시스템은 동력차 및 동력객차에 설치된 부분을 제거하여 새롭게 개발하는 시스템으로 많은 부분에서 새로운 기술을 적용한

시스템이기 때문에 기존에 행하고 있는 고속철도차량(KTX)과 동일한 시험평가 방법 및 기준을 갖고 하여야 한다. 또한 세계 추세에 맞추어 새롭게 변경된 경우 국제 기준 등을 기반으로 개발된 시제 추진제어장치에 적합한 시험절차 및 평가기준의 확립이 필요하다. 효율적인 시운전 시험을 위해 첨단 IT 및 스마트센서 등의 기술을 적용한 종합계측 시스템 및 모니터링 시스템 개발이 필요하다.

□ 주 전력변환시스템 기술

■ 시스템간 I/F 설계 기술

경부선에 운행 중인 고속철도차량(KTX)이 추진제어 시스템(Motor Block)만을 개발하므로 기존의 추진제어 시스템보다 전체적인 규모 및 중량면에서 커지면 많은 문제점이 야기된다. 따라서 최소한 현재 고속철도차량보다 시스템 크기 및 중량면에서 같거나 작아야 한다. 또한 추진제어장치를 중심으로 많은 서브시스템이 맞물려 있다. 즉 주변압기에서 추진제어장치로 전원이 유입되어야 하고, 추진제어장치와 견인전동기인 동기전동기와도 하드웨어적인 측면도 있지만 S/W적인 측면도 고려해야 할 부분이다. 또한 차상 컴퓨터와 지상 컴퓨터간의 통신, 차상 컴퓨터들 사이의 네트워크 통신 등 고려해야 될 부분이 상당히 많이 존재하고 있다. 따라서 시스템간 인터페이스 설계 기술이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

■ 대용량 컨버터/인버터 설계 기술

국내의 고속철도차량 기술개발사업을 하면서 최신 반도체소자를 사용하여 동력 집중식을 수행한 경험이 있는데 호남선 및 전라선에 투입예정인 KTX-II가 있다. 그러나 경부선 고속철도차량인 경우 견인전동기가 동기전동기로 GTO소자를 사용하여 전류형 인버터를 통해 3상 전원을 공급하고 있다. 반면 KTX-II는 견인전동기로 유도전동기를 사용하고 있으며 전압형 인버터를 통해 3상 전원을 공급하고 있다. 따라서 견인전동기인 동기전동기를 구동하려면 최신 반도체소자를 사용하여 전류형 인버터를 구현해야 현재 운행되고 있는 고속철도차량(KTX)의 견인성능을 최소한 보장받을 수 있다.

따라서 최신 반도체 소자를 사용하여 대용량 컨버터 및 전류형 인버터 설계 기술을 확보하는 것이 관건이라 할 수 있다.

■ 반도체 소자 구동용 고신뢰성 구동회로 설계 기술

대용량 추진제어 시스템 개발을 하는데 있어 컨버터 및 3상 인버터를 구현하기 위해서는 최신 반도체 소자를 구동할 고신뢰성 구동회로 개발이 필수적이다. 구동회로는 고속으로 스위칭을 하는 반도체 소자를 위해 각종 보호기능을 수반해야 하고 각종 노이즈 및 서지에도 내성을 갖추어야 한다. 또한 고속스위칭에 따른 스위칭소자의 개폐를 위해서는 게이트에 적절한 전류를 유입시키거나 전압을 인가해 주어야 한다. 그렇지 못한 경우 스위칭 실패가 발생하고 이로 인해 고속철도차량에 심각한 현상을 초래할 수 있다. 따라서 기존 국내외에서 연구개발 되었던 경험 및 자료를 활용하여 대용량 전력변환장치용 스위칭 소자 구동회로 설계 기술을 확보하여 개발해야 한다. 특히 고려해야 될 사항은 동기전동기가 견인전동기로 사용되고 있으므로 전류형 인버터로 구현될 수 있도록 구동회로를 설계해야 한다.

■ 주 전력변환시스템 제어알고리즘 기술

최신 반도체 소자를 사용하여 대용량 추진제어 시스템을 개발해야 하므로 기존에 GTO 소자를 사용하여 구현되었던 제어알고리즘 분석 능력이 필수적이다. 분석을 통해 최신 반도체 소자를 사용한 전력변환 시스템인 컨버터와 인버터에 제어알고리즘을 그대로 재현시켜야 한다. 이는 향후 시제 추진제어 개발을 통해 시험평가 및 검증 절차를 통해 보완해 나가겠지만, 제어알고리즘 개발은 새로운 고속철도차량 개발이 아니라 기존 시스템에 추진제어장치만을 개발하는 것이므로 서브 시스템과 연계하여 연동되는 사항도 고려하여 설계되고 구현되어야 한다.

□ 차량 성능향상 기술

■ 대용량 추진제어시스템 냉각시스템 설계 기술

경부선에 운행 중인 고속철도차량(KTX)이 냉각시스템인 경우 추진제어 시스템(Motor Block)을 이루는 컨버터, 인버터, 쇼퍼, 역률개선장치 등 주 전력변환장치들은 여러 개의 전력용 반도체 소자가 밀폐된 큐브안에 설치되어 액체상태의 냉매 속에 침차하여 이를 통해 1차로 냉각하고 냉각송풍 전동기를 통해 2차로 냉각하는 시스템이다. 그러나 최근 히트파이프 등 다양한 최신 냉각기술이 도입되면서 성능을 보장받는 시스템이 대두되고 있다. 따라서 최신 반도체 소자를 사용하여 대용량 추진제어 시스템

템에 도입된 냉각시스템 설계 사례를 검토하고 적절한 시스템을 도출해야 한다. 냉각 시스템을 설계하는데 있어서 기존의 추진제어 시스템 규모 및 중량을 고려해야 한다.

■ 통신 I/F 설계 기술

고속철도차량(KTX)에는 컴퓨터장치 및 주변장치들과 컴퓨터와 컴퓨터를 연결하는 산업용 LAN 방식의 TORNAD 네트워크 전송시스템, 컴퓨터와 주변장치를 인터페이스 하는 직렬통신, 명령제어선을 통해 열차상태와 행동지령을 위한 저전압 입출력제어선 등이 혼재해 있다. 따라서 추진제어 시스템(Motor Block)을 중심으로 많은 통신선들이 존재하므로 최신 반도체소자를 사용하여 대용량 컨버터 및 인버터를 개발하는 전력변환시스템 및 각종 센서류를 컴퓨터로 업로드하기 위해서는 통신 인터페이스(I/F) 설계 기술이 중요하다.

■ 견인 전동기 구동 알고리즘 기술

견인 전동기인 동기전동기는 여자초퍼를 통해 회전자 권선에 직류전원을 인가한 후 고정자 권선에 전류형 인버터를 통해 삼상 전원을 공급하여 구동된다. 최신 반도체소자를 이용한 대용량 추진제어 시스템 개발을 위해서는 전력용 반도체 소자가 GTO 소자에서 최신 반도체 소자로 대체되므로 소자특성을 분석해야 하고 견인에 따르는 견인 특성곡선 분석이 무엇보다 우선되어야 한다. 또한 견인 전동기를 구동하는데 있어 인버터와의 인터페이스를 고려하여 구동 알고리즘을 설계해야 한다.

□ 신뢰성 향상 기술

신뢰성 분야에 대한 발달과정은 아래 표와 같이 제품에 대한 최종검사(Final Inspections)에서 출발하여 1990년대부터 유지보수를 통한 신뢰성 향상을 추구하고 있다. 한편 신뢰성수명에 따른 시험 기술동향을 보면 수명평가를 위한 신뢰성시험에서는 시험시간을 단축시키는 방향으로 계속 발전해 오고 있다. 즉 정상 사용조건에서 시험하던 것을 높은 스트레스 조건에서 시험하여 고장을 빨리 발생시키는 가속수명시험으로 대체하면서 시험시간을 단축하였고, 제품 특성이 일정한 경향을 가지고 열화되는 경우 열화패턴을 모델링하여 고장에 이르지 않은 상태에서 고장시간을 예측할 수 있게 함으로써 시험시간을 단축하고 있다. 최근에는 고장 물리를 활용하여 시간에 따른 고장메커

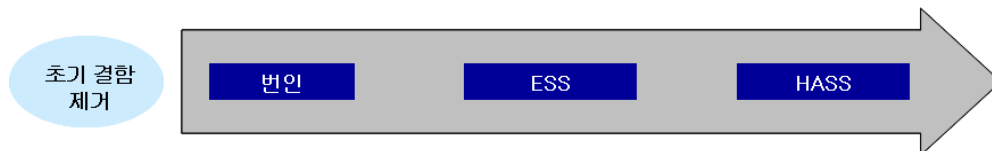
니즘의 진행과정을 모델링하여 시험을 하지 않고 수명을 예측하는 Virtual Qualification에 대한 연구가 진행되고 있다.

[신뢰성 분야의 발달과정]

기간	주요 특징	핵심 요소
1945~1960	- Normal tests on finite products - Collection of reliability data - Failure analysis	Final Inspections
1960~1975	- Accelerated life tests - Statistical process control (SPC) - Physics of failure - Reliability prediction	Control
1975~1990	- Failure prevention - Process reliability - Screening strategies - Testing-in reliability	Assurance
After 1990	- Total quality management (TQM) - Concurrent engineering (CE) - Building-in reliability - Acquisition reform	Management



[신뢰성 향상을 위한 수명평가 발달과정]



한편, 초기 결함을 제거하는 방법은 고온에 일정 기간 방치하는 번인시험이 주로 진행되었으나 환경시험을 통하여 온도 사이클과 랜덤진동이 초기 결함을 제거하는데 효과적

이라는 것이 알려지면서 온도 사이클 스트레스와 랜덤 진동을 활용한 ESS (Environmental Stress Screening)가 적극적으로 활용되고 있으며, 최근에는 ESS를 변형한 HASS가 주목을 받고 있다.

■ 가속수명 예측 기술

고속철도차량 뿐만 아니라 산업계 전반에 걸쳐 시스템 신뢰성에 대한 관심이 집중되고 있는 추세로 설비 및 시스템을 구성하는 다양한 부품의 고장률(Failure Rate)은 그 시스템의 신뢰성평가에 기준이 될 수 있는 아주 중요한 요소이다. 부품이나 시스템의 고장률을 평가하는데 가속수명시험(Accelerated Life Testing)을 통해 고장률을 추정하는 방법과 신뢰도 예측규격을 통한 방법 등 여러 가지 방법들이 있다. 따라서 본 과제를 통해 KTX의 추진제어 기술을 개발하는데 있어 부품에 대한 수명을 예측(MTTF : Mean Time To Failure)하고 신뢰성 통계를 통한 신뢰성 추정 및 가속수명 시험과 이에 따른 데이터를 분석하는 등의 관련 기술을 확보할 필요가 있다.

■ 유지보수 기술

추진제어 시스템(Motor Block)은 전기, 기계적으로 결합된 복잡한 구조를 가진 장치로 KTX를 견인하는데 무엇보다 안정적이어야 한다. 따라서 안정성 확보와 이를 유지할 수 있는 유지보수 시스템의 구축이 필수적이다.

추진제어장치는 고가의 부품으로 구성되어 유지보수비용이 높을 뿐만 아니라 유지보수를 위하여 차량 운영 스케줄에서 복잡한 절차가 필요로 하므로 차량의 효율적인 운영에 크게 영향을 미친다. 일반적으로 고속철도차량(KTX)와 같은 대형복잡시스템(Complex system)의 운영 및 유지보수에 필요한 비용은 총수명 주기비용(Life Cycle Cost, LCC)의 60% 정도를 차지할 정도로 유지보수비가 전체 운영비에 미치는 영향이 크므로, 효율적인 운영 및 유지보수 시스템의 구축을 통하여 유지보수비용의 절감을 추구하는 것이 필요하다.

3.3 영역별 핵심기술 및 세부기술 분석

본 과제를 통한 추진제어 기술개발사업을 성공적으로 수행하기 위해서는 현재 운행되고 있는 고속철도차량(KTX)의 추진제어 장치의 핵심기술 및 이에 필요한 세부기술을 정리하고 기술달성 가능성 및 방안에 대해 정리한다.

□ 추진제어장치 엔지니어링 기술

중분류	세부기술	기술달성 가능성 및 방안
시스템 요건/분석기술	- 환경요소 분석 - 설계 목표 및 제한요건 정의 - 시스템 요구 성능과 기준정의 - 시스템 분류, 기능분석 및 할당	- G7 개발사업에서 시스템 요건/분석 기술 축적 - 국내 고속철도개발사업에서 축적된 경험활용
시스템 통합설계 기술	- 통합시스템 사양 결정 - 인터페이스 정의 - 설계변수 검토 및 하위 구성품 정의	- G7 개발사업에서 통합설계 기술축적 - 신기술과의 I/F 검토필요 - 불명확한 사항에 대해 원천 기술 해외업체와의 협력체제 구축
시스템 I/F 기술	- 주변압기/추진제어 I/F 기술 - 견인전동기(동기기)/추진제어 I/F 기술 - 추진제어/서브 시스템 통신 I/F 기술	- G7 개발사업 및 한국형고속열차 기술개발사업을 통해 시스템 I/F 기술 축적 - 신기술 I/F 검토필요 - 불명확한 사항에 대해 원천 기술 해외업체와의 협력체제 구축
성능평가, 검증기술 개발	- 시운전 시험기술 - 시험평가 및 검증 - 차량안전 모니터링	- 국내 고속철도개발사업을 통해 시운전 및 성능평가 기술확보

□ 주 전력변환 시스템 기술

중분류	세부기술	기술달성 가능성 및 방안
시스템간 I/F 설계 기술	- 전기적인 절연 I/F 설계기술 - 시스템 상호간 비간섭 설계기술 - 기계적인 I/F 설계기술 - 차상내 통신 I/F 설계기술	- G7 개발사업에서 시스템간 I/F 기술 축적 - 고속철도 개발사업에서 축적된 경험활용
대용량 컨버터/인버터 설계 기술	- 최신 반도체소자 적용 고효율 컨버터 설계 및 제작기술 - 최신 반도체소자 적용 인버터 설계 및 제작기술 - 고성능 제어보드 설계 및 제작기술 - 스너버 회로 등 보호회로 설계 및 제작기술	- G7 및 한국형 고속전철사업에서 컨버터/인버터 설계 기술 축적 - 경량화를 위한 최적설계 기술개발 - 원천기술 해외업체와의 협력체제 구축
구동용 구동회로 설계 기술	- 대용량 반도체소자 구동용 구동회로 설계 기술 - 아날로그 & 디지털 I/F 설계 기술 - 보호회로 설계 및 제작기술	- 기존 고속전철 개발사업을 통해 관련 기술 축적 및 경험활용 - 원천기술 해외업체와의 협력체제 구축
주전력변환 제어알고리즘 기술	- 노이즈 저감 고려한 스위칭 기술 - 단위 역률 제어 기술 - 구동 특성에 따른 제어기술 - 컨버터/인버터 비간섭 제어 기술 - 전인전동기 구동제어 알고리즘 기술	- 기존 고속전철 개발사업을 통해 관련 기술 축적 - 국내 고속철도개발사업에서 축적된 경험활용`

□ 차량 성능향상 기술

중분류	세부기술	기술달성 가능성 및 방안
대용량추진제어 냉각장치 설계 기술	- 최신 냉각기술 도입 검토 - 추진제어 시스템 대비 냉각장치 적정성 검토 - 냉각시스템 설계에 따른 성능해석 기술 - 소형 경량화 기술개발	- 기존 고속전철사업에서 냉각장치 기술 축적 - 국내 전문업체 축적된 경험활용
통신 I/F 설계 기술	- TORNAD 네트워크 전송시스템간 I/F 설계 - 각종 센서류/컴퓨터간 I/F 설계 기술 - 직렬통신, 명령제어선 및 저전압 입출력 제어선 등 시스템 통신 I/F 설계	- G7 개발사업에서 통신 기술 축적 - 해외 관련기관과의 협력체계 구축
견인 전동기 구동 알고리즘 기술	- 동기전동기 구동에 따른 기존 KTX의 가감속 구동알고리즘 분석 - 전류형 인버터 적용에 따른 견인전동기 특성 분석 - 최신 반도체 소자 적용에 따른 구동 알고리즘 응용 구현 기술	- G7 개발사업을 통해 견인 구동 알고리즘 기술 축적 - 대용량 동기기 구동 인버터 설계 및 개발 전문업체 경험활용

□ 신뢰성 향상 기술

중분류	세부기술	기술달성 가능성 및 방안
가속수명 예측 기술	- 국내외 규격 적합성 검토 - 고장분석 기술 - 시험 및 평가 기술 - TBO 산정 기술	- G7 및 기존 고속전철 개발사업을 통해 축적된 기술활용 - 국내 전문업체 축적된 경험활용
유지보수 기술	- 위험원 도출 및 분석 기술 - 시스템 가용성 기술 - 시스템 위험원 관리 기술 - 수명주기비용(LCC) 분석 기술	- 기존 고속전철사업을 통해 축적된 기술활용 - 국내환경에 맞는 표준규격 정립 및 응용

3.4 위험요소 분석 및 대응방안

추진제어 기술개발사업을 성공적으로 수행하기 위해서는 현재 운행되고 있는 고속철도 차량(KTX) 추진제어 장치의 기본 기술을 충분히 숙지하여 기타 장치와의 인터페이스 및 모니터 장치간의 인터페이스 기술을 확보하고, 요소 부품의 용량 선정 기술 및 응용 개발하는 과정이 필요하다.

특히 고속철도차량(KTX)의 경우 전류형 인버터로 동기전동기를 구동하고 있으며, 냉각 방식은 프레온 액체냉매를 사용한 탱크침적비등냉각을 채용하고 있으므로 최신 반도체소자를 사용하여 동기전동기에 전류용량을 충분히 공급해 줄 수 있도록 설계해주어야 하는 점과 대용량 전력변환장치를 효율적으로 냉각시켜주어야 하는 점 등이 국내에서 개발이 시도된 사례가 없어 위험요소 중 매우 크다고 볼 수 있다. 따라서 추진제어 개발과정에서 사전에 충분한 자료조사 및 이를 바탕으로 한 기본설계가 선행되어야 한다.

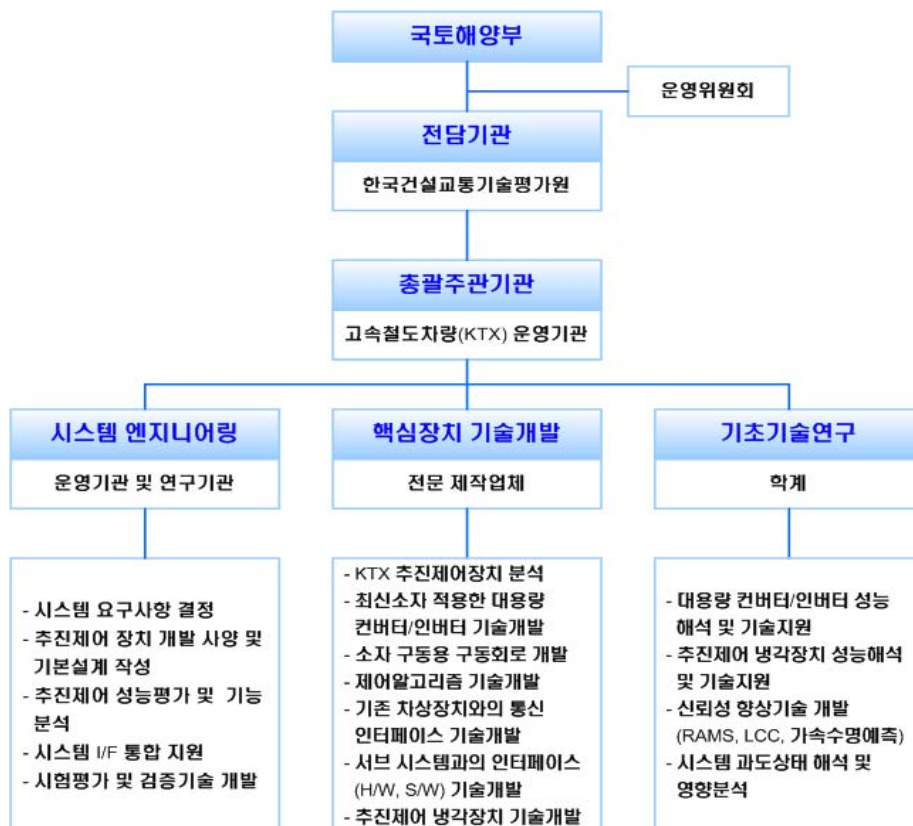
구 분	위험 요소	대 응 방 안
하드웨어 설계 및 제작	- 고속철도차량(KTX)에 적용되는 추진제어 장치의 실용화의 경험 부족 - 요소 부품의 수급 곤란	■ 전력변환부에 대한 자료조사 선행 ■ 충분한 시뮬레이션을 통한 상세 설계 ■ 고속철도차량 등에 적용되는 냉각장치에 대한 자료조사 선행 및 시스템 모델링 해석/설계 적용 ■ 시제품 제작을 통한 요소부품 선정 및 최적의 용량 선정
인터페이스 기술	- OBCS 등 모니터 장치와의 인터페이스 자료 부족	■ 기존 자료를 최대한 숙지 및 기존 차량에서 시험에 의한 자료 확보
시스템 신뢰성 및 안정성	- 내구성 확보의 어려움	■ 서브시스템별 기능 및 성능시험 ■ 정적 상태에서의 성능시험 ■ 현차시험을 통한 내구성 확보

4. 연구개발 수행체계

4.1 추진체계 및 관련기관과의 협조

4.1.1 연구개발 추진체계

고속철도차량(KTX)의 추진제어를 개발하기 위한 추진체계는 개발이 효율성을 극대화하기 위해서는 운영기관인 코레일(Korail)을 총괄주관기관으로 해야 한다. 따라서 전체적인 사업의 정책 및 사업예산의 결정 등은 주관 부서인 국토해양부에서 통제하고 성공적인 사업을 수행하기 위한 사업관리 및 평가 분야는 전담기관이 수행토록 한다. 또한 전담기관은 사업관리의 효율성과 사업계획 및 결과 보고에 대한 평가를 심의할 수 있는 외부 전문가로 구성된 운영위원회를 두어 사업 전반에 걸친 심의를 공정하게 수행할 수 있도록 하고 전담기관의 주관 하에 기본적으로 연차 보고회를 통한 운영 위원회 평가를 운영한다.



[추진체계 구성도]

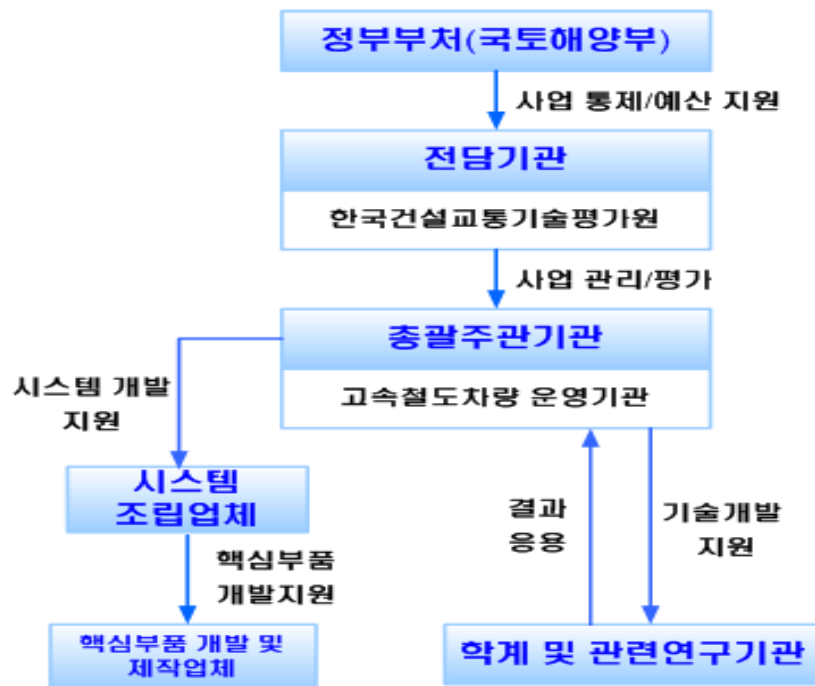
진행 공정별 진도파악 및 공정관리를 위하여 정기적으로 회의를 통하여 예상 문제점을 도출하고 해결할 수 있도록 한다. 특히 시스템 엔지니어링 분야와 핵심장치 기술개발 분야는 현장 운영 조건 및 환경을 충분히 숙지하므로서 향상된 개발품을 진행하도록 노력하여야 한다.

총괄주관기관을 중심으로 분야별로 최소한의 그룹으로 통합하여 사업을 수행토록 하고 핵심장치 및 요소부품 국산화에 따른 시제품 개발 및 이를 보장하기 위한 성능향상 및 신뢰성 분야에 대한 연구 등은 전문 제작업체 및 관련 학계의 협업을 통해 사업에 대한 질적 향상을 도모토록 한다.

4.1.2 관련기관과의 협조 체계

본 개발사업에 참여하는 기관 및 업체들은 G7 고속전철 기술개발사업 등 국내 고속철도기술개발사업의 참여를 통한 경험축적을 갖추고 있어야 한다. 따라서 사업에 대한 현실적 적용 및 효율적인 사업추진을 위해서는 기존 고속철도기술개발사업에 참여했고 풍부한 인적 인프라를 갖춘 국책 연구기관인 철도기술연구원 및 추진제어 핵심장치를 제작할 수 있는 업체, 개발하고자 하는 추진제어장치에 대한 성능향상 및 신뢰성 연구 등을 수행할 수 있는 관련 학계 등을 포함시켜 추진해야 한다.

지금까지 수행된 국내의 고속철도기술개발사업은 국책 연구기관이 주체가 되어 수행되어 왔으나, 본 개발사업은 현재 경부선에 운행중인 고속철도차량(KTX)의 추진제어(Motor Block)를 최신기술을 도입하여 국산화 개발 및 이를 통한 유지보수 비용 절감을 고려한 것이므로 고속철도차량(KTX) 추진제어장치에 대한 풍부한 지식과 경험을 갖추어 실제 차량을 운영하고 있는 코레일(Korail)을 주체로 하여 사업수행의 실무를 총괄한다. 또한 시제품개발의 주조립 및 현차시험을 담당하는 기업은 관련 장치 개발 전문기업을 총괄하여 전체 산업계의 연구역량을 강화하도록 하고, 각 연구소와 대학은 기초기술 위주의 성능향상 및 신뢰성 연구 등 기반기술을 개발하여 고속철도차량(KTX) 관련 기술의 전문성을 강화하고 인력을 배양토록 한다.



[관련기관 및 업체와의 협조 체계]

4.2 연구개발의 최종 목표 및 연구범위

4.2.1 연구개발의 최종 목표

고속 전철용 추진제어장치의 원활한 유지 보수와 제어시스템의 성능향상을 도모하기 위하여 냉각시스템의 성능향상, 제어장치의 성능향상을 통하여 국산화율을 증대하고 고속철도차량용 추진제어 장치를 개발하고, 현차 시험을 통하여 장치의 성능 입증과 유지보수의 편리성을 도모한다.

- 최신 반도체소자를 적용한 컨버터/인버터 장치 개발
- 냉각성능을 향상시킨 냉각 유닛 개발
- 고속철도차량 인터페이스를 통한 장치의 호환성 유지

4.2.2 연차별 연구내용 및 범위

(1) 1차년도

○ 연구목표

- 고속철도차량(KTX)에 적용될 추진제어 장치 소자선정 및 제어방법을 도출
- 이에 대한 기본설계 및 운용과정에서의 요구조건에 따른 기초연구

○ 연구내용 및 범위

- 고속철도차량(KTX) 추진제어장치에 대한 기본설계를 통하여 시스템 요구사항 결정
- 대용량 최신 반도체 소자 구동용 구동회로 설계
- 대용량 최신 반도체 소자 적용 및 컨버터/인버터의 성능해석
- 전력변환장치 성능해석을 통하여 최적의 추진제어용 냉각장치 결정
- 서브 시스템사이의 통합 인터페이스 설계
- 원활한 인터페이스를 갖는 추진제어장치의 상세 설계 진행
- RAMS 및 LCC 분석 기법에 기반을 둔 유지보수 체계 기초연구
- 시스템 과도 상태의 분석을 통한 고속철도차량의 종합계측, 평가, 시스템 기초연구

(2) 2차년도

○ 연구목표

- 단계별 상세설계 완료된 구성품에 대한 시제품 제작을 통하여 장치의 성능 시험을 수행하고 동기전동기 구동 제어알고리즘 개발
- 서브 시스템사이의 인터페이스 사양서 작성 및 통신 인터페이스 개발

○ 연구내용 및 범위

- 단계별 상세설계 완료에 따른 된 구성품의 제작을 추진하며 개발품의 기준이 되는 제품규격서와 시험 절차서를 작성하여 제품의 규격 확정
- 차량의 과도 상태 분석과 차량제어시스템 신뢰성 분석 체계 구축
- 통신 인터페이스 기술개발
- 추진제어 냉각장치 제작
- 시스템간 인터페이스 통합 기술개발
- 동기전동기 인버터 제어알고리즘 설계 및 개발
- 컨버터 제어 알고리즘 설계 및 개발
- 성능해석 및 신뢰성 향상 기술연구

(3) 3차년도

○ 연구목표

- 1, 2단계에서 진행된 시제품 제작을 완료하여 기능시험 및 성능시험 완료

○ 연구 내용 및 범위

- 추진제어장치 구성품에 대한 부품/서브시스템별 성능평가 및 환경시험 수행
- 성능평가를 분석하여 시험에 따른 제어 알고리즘을 지속적으로 수정 보완
- 추진제어장치 시제품 제작을 완료하고 기능시험 및 성능시험을 수행
- 시스템 과도 상태의 분석을 통한 고속철도차량의 종합계측, 평가 연구

(4) 4차년도

○ 연구목표

- 추진제어장치에 대한 조합시험 및 시제품 개발을 완료하여 현차 시험 수행

○ 연구 내용 및 범위

- 추진제어장치에 대한 조합시험 착수하여 시험분석 및 보완을 지속적으로 수행
- 추진제어장치 구성품 조립을 완료하여 조합시험을 수행하고 시험분석에 따른 보완 및 검증함으로써 시제품 제작을 완료
- 제작된 개발품을 현차에 취부하여 정적시험 완료
- 제작된 개발품을 현차에 취부하여 정적시험 및 동적시험 등 적응시험을 충분히 진행하여 검증을 바탕으로 신뢰성이 보장된 KTX용 추진제어장치 기술개발 완료

4.2.3 연차별 주요 연구내용

고속철도차량용 추진제어장치의 성능 향상을 도모하기 위한 연구내용은 크게 추진제어 장치의 기본 설계 및 시제품제작 및 성능평가 그리고 현차에서의 정적시험 및 동적시험으로 크게 구분되며 연차별 상세 내용은 다음과 같다.

(1) 1차년도

번호	연구개발내용	주요연구내용
1	기존자료조사	□ 고속철도차량에 대한 모터 블록 파악 □ 고속철도차량에 대한 현차 조사 및 인터페이스 자료 조사
2	시스템 요구사항 파악	□ 유지보수 개선안 검토 □ 성능 측면에서의 요구조건 검토
3	시스템 요구사항 선정	□ 기존제품과 개발품의 호환성 검토 □ 냉각장치의 용량 선정 및 사양 선정 □ 추진 제어장치 서브시스템별 사양 선정 (컨버터, 인버터, MBU 등)
4	시스템 기본 설계	□ 대용량 최신 반도체 소자 구동용 구동회로 설계 □ 냉각장치의 시제품 설계 □ 추진 제어장치 서브시스템별 설계 (컨버터, 인버터, MBU 등)
5	인터페이스 설계	□ 기존 서브시스템과의 인터페이스 검토 (H/W, S/W, 통신 I/F, MBU 등) □ 제어용 인터페이스 및 기동/정지 시퀀스 회로설계
6	신뢰성 향상 기술	□ 추진제어장치의 사고사례 분석 □ 개선 방안 및 대책안 검토 □ 냉각장치 및 컨버터, 인버터 등 서브시스템 성능해석 □ 가속수명 예측기법 기초연구 □ 유지보수 체계 기초연구 □ 고속철도차량 종합계측, 평가, 시스템 기초연구
7	연차보고서 작성	□ 1차년도 연차 보고서 작성

(2) 2차년도

번호	연구개발내용	주요연구내용
1	인터페이스 설계 및 개발	□ 통신 인터페이스 회로 설계 □ 보호회로 및 모니터 장치간의 인터페이스 설계 □ 시스템간 인터페이스 통합 기술개발
2	주요부품 및 제어장치 상세설계	□ 주회로 및 제어 회로 설계 □ 냉각 장치 및 제어장치 상세 설계 □ 보호회로 상세 설계
3	제어알고리즘 설계 및 개발	□ 역률개선을 위한 컨버터제어 알고리즘 설계 □ 견인전동기의 인버터제어 알고리즘 설계 □ 알고리즘 설계에 따른 프로그램 코딩
4	시제품 제작	□ 요소부품 제작 (접촉기, 냉각유닛, 필터회로) □ 최신 반도체소자 적용한 컨버터/인버터 장치 제작 □ 인터페이스장치 제작
5	신뢰성 향상 기술	□ 서브시스템별 인터페이스 검증 □ 서브시스템 인터페이스에 따른 통합시스템 성능해석 □ 가속수명 예측기법 연구 □ 유지보수 체계기법 개발
6	연차보고서 작성	□ 2차년도 연차 보고서 작성

(3) 3차년도

번호	연구 개발 내용	주요 연구 내용
1	시제품 제작 및 시험	□ 구성품 조립 및 기능 시험 □ 냉각장치류 조립 및 기능 시험 □ 제어장치 랙 조립 및 기능시험 □ 모터 블록 조립체 조립(제품규격서, 시험절차서) □ 기능시험에 의한 보완
2	제어 알고리즘 개발	□ 기능시험에 따른 제어프로그램 코딩 보완 □ 성능시험에 따른 프로그램 보완 □ 추진제어장치 통합시험에 따른 프로그램 보완
3	신뢰성 향상 기술	□ 기능시험에 따른 문제점 도출 및 분석 □ 성능시험에 따른 문제점 도출 및 분석 □ 유지보수 체계기법 개발 □ 고속철도차량 종합계측, 평가, 시스템 개발 □ 정적 시험 (기능 시험)
4	연차보고서 작성	□ 3차년도 년차 보고서 작성

(4) 4차년도

번호	연구 개발 내용	주요 연구 내용
1	시제품 조립시험	□ 견인전동기와 조합시험 □ 동적 시험 (구내시험) □ 추진제어장치 서브시스템 조합에 따른 시험 □ 시험 분석 및 수정 보완
2	현차시험	□ 동적 시험 (구내시험) □ 현차 취부 □ 현차 운행시험 □ 고속철도차량 종합계측, 평가, 시스템 개발
3	연차보고서 작성	□ 4차년도 연구성과 보고서 작성 □ 개발과제 완료보고서 작성

4.2.4 연차별 주요 추진 일정

국내 고속철도는 G7 고속전철 기술개발사업을 시작으로 지속적으로 정부지원하에 연구개발 되어 왔으며, 기존에 국내 추진제어 장치 개발에 대한 경험이 축적되어 있다. 다만, 기존 고속철도차량(KTX)의 서브시스템간 통신 및 H/W, S/W인터페이스 통합에 어려움이 예상될 뿐만 아니라, 전류형 인버터로 구동되던 동기전동기를 최신 IGBT 전력용 반도체 소자를 적용했을 경우 차량성능이 기존에 비해 그 이상 유지해야 하는 측면에서 많은 시행착오가 있을 것으로 여겨진다. 따라서 최신 반도체소자를 적용하기 위한 기초자료 조사를 바탕으로 충분히 검토하여 기본설계를 추진하고 동시에 연구개발 초기부터 차량 성능 분석 및 신뢰성 분석기법 등을 개발해나감으로써 국산화 개발에 시행착오를 줄일 수 있을 것이다. 자세한 연구기간을 기술로드맵을 통해 제시하였다.

번호	연구내용	추진 일정																비고
		1차년도 (2009년)				2차년도 (2010년)				3차년도 (2011년)				4차년도 (2012년)				
		1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
1	KTX 자료 조사 및 추진제어장치 사양, 기본설계																	
2	추진제어장치 모델링 (주회로 및 제어회로)																	
3	인터페이스 회로설계																	
4	주요부품 상세 설계																	
5	제어장치 상세설계																	
6	제어 알고리즘 개발																	
7	모터블록 시제품 제작																	
8	모터블록 성능시험 및 신뢰성 평가																	
9	추진제어장치의 조합시험																	
10	현차시험 (정적시험, 동적시험)																	

4.3 연구개발 추진전략 및 방법

4.3.1 연차별 추진계획

(1) 1차년도 세부 추진계획 및 방법

구분	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	비 고
1차 년도	- 추진제어장치 사양 기본설계 및 모델링 - 인터페이스 회로 설계	■ 추진제어시스템 요구 사항조사 및 시스템 사양 결정 ■ 최신반도체 소자를 적용한 추진제어 장치의 주회로 및 기본설계 ■ 전력용 반도체 구동회로 설계 ■ 시스템간 통합 인터페이스 기본 설계 ■ 대용량 컨버터/인버터장치 성능 해석 ■ 추진제어용 냉각장치 성능해석 ■ 신뢰성 향상 기술 기초연구	

(2) 2차년도 세부 추진계획 및 방법

구분	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	비 고
2차 년도	- 주요부품 및 제어 장치 상세설계 - 인터페이스 회로 설계 - 시제품 제작 - 제어알고리즘 개발	■ 추진제어장치 상세설계 ■ 시제품 제작 - 대용량 컨버터/인버터 제작 - 추진제어 냉각장치 제작 - 인터페이스 및 고압장치 제작 ■ 통신 인터페이스 기술개발 ■ 동기전동기 구동알고리즘 기술개발 ■ 서버 시스템간 인터페이스에 따른 성능평가 ■ 가속수명 및 유지보수 체계기법 연구	

(3) 3차년도 세부 추진계획 및 방법

구분	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	비 고
3차 년도	- 제어알고리즘 개발 - 모터블럭 시제품 제작 - 모터블럭 성능 시험 및 신뢰성평가 - 조합시험	■ 부품레벨/시스템레벨 성능평가/환경시험 ■ 시험결과에 따른 시제품 보완 ■ 기능/성능시험에 따른 제어프로그램 보완 ■ 유지보수 체계기법 개발 ■ 신뢰성 분석기법 적용에 따른 시험평가	

(4) 4차년도 세부 추진계획 및 방법

구분	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	비 고
4차 년도	- 추진제어장치의 조합시험 - 현차시험 (정적, 동적시험)	■ 추진제어장치와 서브시스템 조합시험 ■ 견인전동기와 조합시험 ■ 추진제어 조합시험 결과 분석 ■ 현차에 추진제어장치 취부 ■ 고속철도차량 정적상태에서의 기능시험 ■ 통신 및 OBCS와의 I/F 조합시험 ■ 고속철도차량 종합 계측 및 평가시스템 구현 ■ 현차 운행 시험	

5. 소요 인력 및 예산분석

5.1 소요예산 인력추정

KTX 추진제어 기술개발은 기존의 G7 고속전철기술 개발 사업과 고속철도기술개발 사업에 투입되었던 추진제어 기술개발관련 연구인력 현황이나 기존선 속도향상을 위한 틸팅 차량의 추진제어 기술개발의 연구인력 현황을 토대로 소요인력을 산출하면 다음과 같다.

5.1.1 내용별 투입 연구인력

(단위 : Man)

구분	연구내용	합계
시스템 엔지니어 링 기술	- 시스템 요건/분석기술 · 시스템 요구 성능과 기준정의 · 시스템 분류, 기능분석 및 할당 - 시스템 통합설계 기술 · 통합시스템 사양 결정 · 인터페이스 정의 · 설계변수 검토 및 하위 구성품 정의 - 시스템 I/F 기술 · 주변압기/추진제어 I/F 기술 · 견인전동기(동기기)/추진제어 I/F 기술 · 추진제어/서브 시스템 통신 I/F 기술 - 성능평가, 검증기술 개발 · 시운전 시험기술 · 시험평가 및 검증 · 차량안전 모니터링	25
주 전력변환 시스템 기술	- 시스템간 I/F 설계 기술 · 전기적인 절연 I/F 설계기술 · 시스템 상호간 비간섭 설계기술 · 차상내 통신 I/F 설계기술 - 대용량 컨버터/인버터 설계 기술 · 최신 반도체소자 적용 고효율 컨버터 설계 및 제작기술 · 최신 반도체소자 적용 인버터 설계 및 제작기술 · 고성능 제어보드 설계 및 제작기술 · 스너버 회로 등 보호회로 설계 및 제작기술	54

(단위 : Man)

구분	연구내용	합계
주 전력변환 시스템 기술	- 반도체 소자 구동용 고신뢰성 구동회로 설계 기술 · 대용량 반도체소자 구동용 구동회로 설계 기술 · 아날로그 & 디지털 I/F 설계 기술 · 보호회로 설계 및 제작기술 - 주전력변환 시스템 제어알고리즘 기술 · 노이즈 저감 고려한 스위칭 기술 · 단위 역률 제어 및 구동 특성에 따른 제어기술 · 컨버터/인버터 비간섭 제어 기술 · 견인전동기 구동제어 알고리즘 기술	
차량 성능향상 기술	- 대용량 추진제어시스템 냉각시스템 설계 기술 · 최신 냉각기술 도입 검토 · 추진제어 시스템 대비 냉각장치 적정성 검토 · 냉각시스템 설계에 따른 성능해석 기술 · 소형 경량화 기술개발 - 통신 I/F 설계 기술 · TORNAD 네트워크 전송시스템간 I/F 설계 · 각종 센서류/컴퓨터간 I/F 설계 기술 · 직렬통신, 명령제어선 등 시스템 통신 I/F 설계 - 견인 전동기 구동 알고리즘 기술 · KTX의 가감속 구동알고리즘 분석 · 전류형 인버터 적용에 따른 견인전동기 특성 분석 · 최신 반도체 소자 적용에 따른 구동 알고리즘 구현 기술	30
신뢰성 향상 기술	- 가속수명 예측 기술 · 국내외 규격 적합성 검토 · 고장분석 기술 · 시험 및 평가 기술 · TBO 산정 기술 - 유지보수 기술 · 위험원 도출 및 분석 기술 · 시스템 가용성 기술 · 시스템 위험원 관리 기술 · 수명주기비용(LCC) 분석 기술	11
합 계		120

5.1.2 연차별 투입 연구인력

본 과제를 성공적으로 수행하기 위해서 필요한 연구인력은 총 120 Man이며, 연차별로 투입 연구인력은 1차년도 22.3 Man/Year, 2차년도 29.8 Man/Year, 3차년도 43.0 Man/Year, 4차년도 24.9 Man/Year 정도가 필요하다.

(단위 : Man/Year)

구분	연구내용	1차	2차	3차	4차
시스템 엔지니어 링 기술	- 시스템 요건/분석기술 · 시스템 요구 성능과 기준정의 · 시스템 분류, 기능분석 및 할당 - 시스템 통합설계 기술 · 통합시스템 사양 결정 · 인터페이스 정의 · 설계변수 검토 및 하위 구성품 정의 - 시스템 I/F 기술 · 주변압기/추진제어 I/F 기술 · 견인전동기(동기기)/추진제어 I/F 기술 · 추진제어/서브 시스템 통신 I/F 기술 - 성능평가, 검증기술 개발 · 시운전 시험기술 · 시험평가 및 검증 · 차량안전 모니터링	5	5	9	6
주 전력변환 시스템 기술	- 시스템간 I/F 설계 기술 · 전기적인 절연 I/F 설계기술 · 시스템 상호간 비간섭 설계기술 · 차상내 통신 I/F 설계기술 - 대용량 컨버터/인버터 설계 기술 · 최신 반도체소자 적용한 고효율 컨버터 설계 및 제작기술 · 최신 반도체소자 적용 인버터 설계 및 제작기술 · 고성능 제어보드 설계 및 제작기술 · 스너버 회로 등 보호회로 설계 및 제작기술	7.3	15.0	22.5	9.2

(단위 : Man/Year)

구분	연구내용	1차	2차	3차	4차
주 전력변 환 시스템 기술	- 소자 구동용 고신뢰성 구동회로 설계 기술 · 대용량 반도체소자 구동용 구동회로 설계 기술 · 아날로그 & 디지털 I/F 설계 기술 · 보호회로 설계 및 제작기술 - 주전력변환 시스템 제어알고리즘 기술 · 노이즈 저감 고려한 스위칭 기술 · 단위 역률 제어 및 구동 특성에 따른 제어기술 · 컨버터/인버터 비간섭 제어 기술 · 견인전동기 구동제어 알고리즘 기술				
차량 성능향 상 기술	- 대용량 추진제어시스템 냉각시스템 설계 기술 · 최신 냉각기술 도입 검토 · 추진제어 시스템 대비 냉각장치 적정성 검토 · 냉각시스템 설계에 따른 성능해석 기술 · 소형 경량화 기술개발 - 통신 I/F 설계 기술 · TORNAD 네트워크 전송시스템간 I/F 설계 · 각종 센서류/컴퓨터간 I/F 설계 기술 · 직렬통신, 명령제어선 등 시스템 통신 I/F 설계 - 견인 전동기 구동 알고리즘 기술 · KTX의 가감속 구동알고리즘 분석 · 전류형 인버터 적용에 따른 견인전동기 특성 분석 · 최신 반도체 소자 적용에 따른 구동 알고리즘 구현 기술	8.0	7.5	8.3	6.2
신뢰성 향상 기술	- 가속수명 예측 기술 · 국내외 규격 적합성 검토 · 고장분석 기술 · 시험 및 평가 기술 · TBO 산정 기술 - 유지보수 기술 · 위험원 도출 및 분석 기술 · 시스템 가용성 기술 · 시스템 위험원 관리 기술 · 수명주기비용(LCC) 분석 기술	2.0	2.3	3.2	3.5
합 계		22.3	29.8	43.0	24.9

5.1.3 소요 연구인력 확보방안

경부 고속철도 사업을 비롯한 최근의 400km/h급 차세대 고속철도차량 개발사업 등 국가 연구개발사업을 꾸준히 추진해 온 결과, 국내에서는 고속철도의 운영기술, 고속철도차량 제작기술, 유지보수에 따른 국산품 수급방안으로 구매조건부 사업을 통한 핵심 부품 개발 등으로 인해 기술향상에 많은 진전을 보이고 있다. 특히 철도 선진국과의 고속철도 기술 경쟁력 제고를 위해 정부 주도하에 진행된 고속철도기술개발사업을 통해 고속철도 기술의 설계, 해석, 제작 및 시험평가 등의 원천기술 확보에 대해서도 많은 발전이 있었다.

경부선 고속철도사업의 일환으로 프랑스 알스톰으로부터 고속철도의 제작, 운영 등과 관련하여 철도차량 운영기관, 차량제작업체 및 철도관련 산업체에 대해 약 1,500명이 기술이전을 통한 기술훈련을 받았으며, 약 980명의 프랑스 기술인력이 상주하여 관련 국내업체에 대한 기술지원이 있었다. 또한 선도기술 개발사업으로 연구가 진행된 G7고속전철기술개발사업(1996.12~2002.10)은 2단계 6년동안 129개 연구기관(82개 기업, 18개 정부출연연구소, 29개 대학)에서 총 4,933.8명이 참여한 것으로 조사되었다.

추진제어장치(Motor Block) 개발에 제한하여 참여인력을 세분화하기는 어려웠지만, 전체적인 관점에서 세분하여 보면, 시스템 엔지니어링 분야에 941.6 Man-Year, 차량시스템 개발에 3,106.4 Man-Year, 차량부품개발 분야에 324.0 Man-Year 등이 참여하였다. 학력별 참여인원은 박사급 740.7 Man-Year, 석사급 1,629.4 Man-Year, 학사급 2,010.2 Man-Year의 인원이 참여하였다.

이상에서 살펴보았듯이 경부선 고속철도사업을 시작으로 차세대 고속철도기술개발사업 등에 이르기까지 지속적으로 참여하여 초기 개념설계에서 실용화 설계 및 제작까지 연구개발과 엔지니어링과 위험요소를 경험하였기 때문에 이론과 경험을 겸비한 풍부한 연구인력이 이미 확보하고 있는 상태라고 판단된다. 이러한 연구인력을 충분히 활용하면서 고속철도기술개발사업에서 획득한 연구개발의 기술적 노하우의 활용과 산학연이 상호 협력하여 본 과제를 추진하면 성공할 가능성이 충분하다고 판단된다.

5.2 소요예산 예산 산출

5.2.1 총 연구개발비

고속철도차량(KTX)의 기존 서브시스템인 차상 컴퓨터(OBCS)를 비롯하여 통신 및 기존 아날로그 회로에 의한 신호를 디지털신호로 변환하여 처리해야 하는 H/W, S/W 인터페이스 통합에 어려움이 예상될 뿐만 아니라, 견인전동기인 동기전동기의 구동성능을 보장하기 위해서 많은 시행착오가 발생할 것으로 사료된다. 따라서 고속철도차량용 추진제어 장치를 2SET를 제작하여 기능 및 성능평가용, 현차시험용으로 사용한다. 기능 및 성능평가용 추진제어 장치를 통해 현차 시험용에 지속적으로 시스템을 보완하여 신뢰성을 보장받을 수 있도록 한다.

이에 소요되는 주요 예산은 우선 주전력변환장치 시제품 제작을 위한 재료비가 가장 크게 소요될 것으로 판단되며 1세트의 제작에 필요한 재료비는 600 백만원 수준이 될 것으로 예상한다. 또한 전체 연구개발에 투입되는 인력에 대한 인건비는 예상된 120M/Y에 대하여 평균연봉 50백만원을 고려하였으며 참여율을 평균 10%로 계상하였고, 핵심요소기술개발에 소요되는 연구용 재료비(연구기자재비, 시작품 제작비 등)는 연간 410백만원원 수준으로 고려하였으며, 연구 직접 활동비(여비, 수용비, 기술정보 활동비 등)는 투입인력 1인당 약 20백만원에 소요 예상되어 정도가 필요할 것으로 판단된다. 간접 경비는 기업과 연구 기관을 30% 수준으로서 적용하였다.

주요 소요예산 내용	소요예산 (백만원)		
	산출내역	금액	비율
주 전력변환장치 제작 재료비	600 × 2SET	1,200	30.8%
연구용 재료비	420/년 × 4년	1,680	43.1%
연구 직접 활동비	120인 × 20/인 x 10%	240	6.1%
인건비	120인 × 50/인 x 10%	600	15.4%
간접경비	인건비 × 30%	180	4.6%
합계		3,900	100.0%

1) 과제별 총 소요 예산

(단위 : 백만원)

순번	과 제 연 구 내 용	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	합계
1	시스템 엔지니어링 기술	150	160	290	200	800
2	주 전력변환 시스템 기술	235	500	720	300	1,755
3	차량 성능 향상 기술	250	245	250	200	945
4	신뢰성 향상 기술	100	100	100	100	400
합계		735	1,005	1,360	800	3,900

2) 연차별 정부 및 민간 부담금

- 정부 출연금 : 2,925 백만원
- 민감 부담금 : 975 백만원

(단위 : 백만원)

구 분	정부출연금	민간 부담	합 계	비 고 (전체비용 대비)
1차 년도	551	184	735	18.8%
2차 년도	754	251	1,005	25.8%
3차 년도	1,020	340	1,360	34.9%
4차 년도	600	200	800	20.5%
합 계 (금액)	2,925	975	3,900	100%

공정성 및 객관성이 필요한 과제는 민간부담금 없이 정부주도로 추진하며, 그 외에 과제에 대해서는 국가연구개발사업의관리 등에 관한 규정에 의하여 결정한다.

5.2.2 과제별(연차별) 연구개발비

(1) 시스템 엔지니어링 기술

(단위 : 백만원)

구 분	연구 개발 내용	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	합계
시스템 엔지니어링 기술	- 시스템 요건/분석기술 · 시스템 요구 성능과 기준정의 · 시스템 분류, 기능분석 및 할당	50	50	50	50	200
	- 시스템 통합설계 기술 · 통합시스템 사양 결정 · 인터페이스 정의 · 설계변수 검토 및 하위 구성품 정의	40	30	90	80	240
	- 시스템 I/F 기술 · 주변압기/추진제어 I/F 기술 · 전인전동기(동기기)/추진제어 I/F 기술 · 추진제어/서브 시스템 통신 I/F 기술	40	50	100	50	240
	- 성능평가, 검증기술 개발 · 시운전 시험기술 · 시험평가 및 검증 · 차량안전 모니터링	20	30	50	20	120
합 계		150	160	290	200	800

(2) 주 전력변환 시스템 기술

(단위 : 백만원)

구 분	연구 개발 내용	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	합계
주 전력 변환 시스템 기술	- 시스템간 I/F 설계 기술 · 전기적인 절연 I/F 설계기술 · 시스템 상호간 비간섭 설계기술 · 차상내 통신 I/F 설계기술- 시스템 요건 /분석기술 · 시스템 요구 성능과 기준정의 · 시스템 분류, 기능분석 및 할당	60	80	100	70	310
	- 대용량 컨버터/인버터 설계 기술 · 최신 반도체소자 적용 고효율 컨버터 설계 및 제작기술 · 최신 반도체소자 적용 인버터 설계 및 제작기술 · 고성능 제어보드 설계 및 제작기술 · 스너버 회로 등 보호회로 설계 및 제작기술	60	200	300	100	660
	- 반도체 소자 구동용 고신뢰성 구동회 로 설계 기술 · 대용량 반도체소자 구동용 구동회로 설계 기술 · 아날로그 & 디지털 I/F 설계 기술 · 보호회로 설계 및 제작기술	55	150	200	70	475
	- 주전력변환 시스템 제어알고리즘 기술 · 노이즈 저감 고려한 스위칭 기술 · 단위 역률 제어 및 구동 특성에 따른 제어기술 · 컨버터/인버터 비간섭 제어 기술 · 견인전동기 구동제어 알고리즘 기술	60	70	120	60	310
합 계		235	500	720	300	1,755

(3) 차량 성능향상 기술

(단위 : 백만원)

구 분	연구 개발 내용	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	합계
차량 성능향상 기술	- 대용량 추진제어시스템 냉각시스템 설계 기술 · 최신 냉각기술 도입 검토 · 추진제어 시스템 대비 냉각장치 적정성 검토 · 냉각시스템 설계에 따른 성능해석 기술 · 소형 경량화 기술개발	90	80	90	60	320
	- 통신 I/F 설계 기술 · TORNAD 네트워크 전송시스템간 I/F 설계 · 각종 센서류/컴퓨터간 I/F 설계 기술 · 직렬통신, 명령제어선 등 시스템 통신 I/F 설계	90	95	90	80	355
	- 견인 전동기 구동 알고리즘 기술 · KTX의 가감속 구동알고리즘 분석 · 전류형 인버터 적용에 따른 견인전동기 특성 분석 · 최신 반도체 소자 적용에 따른 구동 알고리즘 구현 기술	70	70	70	60	270
합 계		250	245	250	200	945

(4) 신뢰성 향상 기술

(단위 : 백만원)

구 분	연구 개발 내용	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	합계
신뢰성 향상 기술	- 가속수명 예측 기술 · 국내외 규격 적합성 검토 · 고장분석 기술 · 시험 및 평가 기술 · TBO 산정 기술	50	50	50	50	200
	- 유지보수 기술 · 위험원 도출 및 분석 기술 · 시스템 가용성 기술 · 시스템 위험원 관리 기술 · 수명주기비용(LCC) 분석 기술	50	50	50	50	200
합 계		100	100	100	100	400

본 연구사업의 소요예산은 총 3,900백만원으로서 정부가 2,925백만원을 출연하고 민간이 975백만원을 분담하는 매칭 펀드(Matching Fund) 방식 투자를 통해 정부(국토해양부) 출연금과 민간 분담금으로 확보할 수 있다.

또한 기술개발사업에 투자되는 정부출연금 중 사업의 민간 기업이 참여하는 연구 과제에 지원된 정부출연금에 대하여는 「국가연구개발사업관리등에관한규정」에 따라 민간 참여(실시)기업으로부터 기술료를 징수함으로써 정부의 국고 투자제원을 회수할 수 있다.

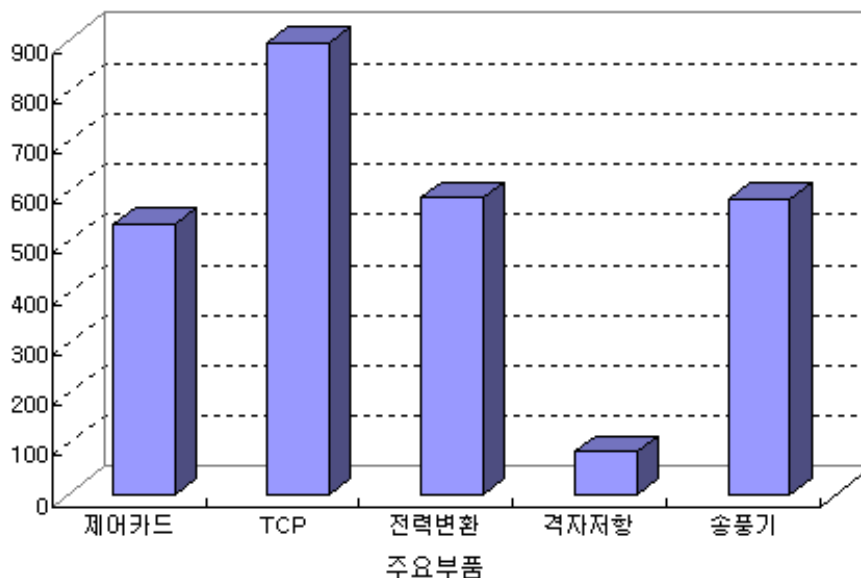
6. 경제성 분석 및 기술파급 효과

6.1 개발사업의 경제성 검토

전절에서 살펴보았듯이 추진제어 장치(Motor Block)의 주요부품인 제어카드, TCP, 전력변환, 격자저항, 송풍기를 기준으로 2004년부터 2008년 7월까지의 부품교환수량 및 교환비용을 나타내었다. 부품교환수량은 2,700여개이며 제어카드 536개, TCP 895개, 전력변환 588개, 격자저항 85개 송풍기 585개로 조사되었다.

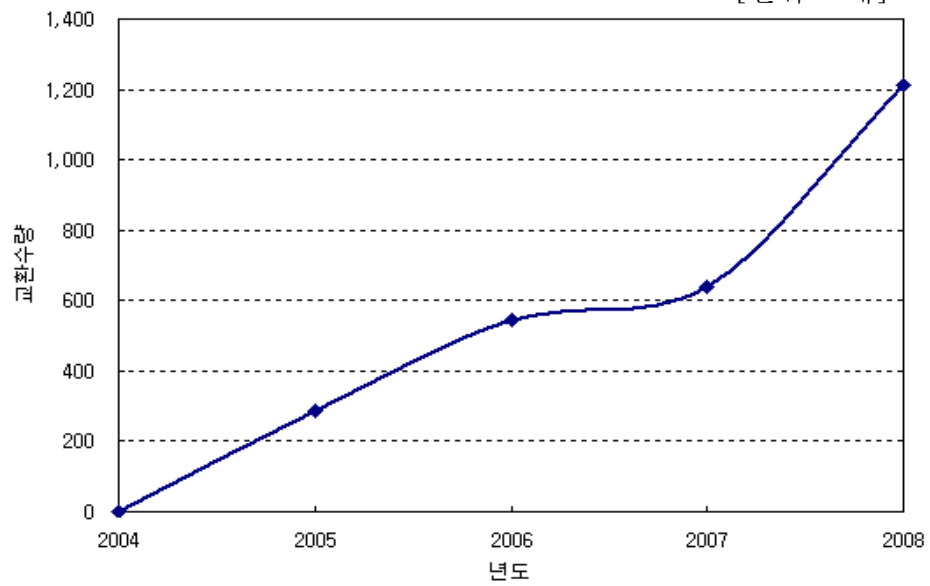
한편 주요부품은 2004년에는 전체적으로 5개(제어카드 2개, TCP 2개, 전력변환 1개)로 매우 적었으나 2005년 280여개, 2006년 500여개, 2008년에는 1,200여개로 주요부품 교환수량이 급속히 증가하고 있다. 이와 같이 주요부품에 대한 교환수량이 증가함에 따라 비용적인 측면에서 2004년에는 48백만원, 2005년 5,255백만원, 2008년에는 29,601백만원으로 매우 급속하게 증가되고 있는 실정으로 유지보수를 위한 비용이 기하급수적으로 증가됨을 의미한다.

지난 4년간 주요부품 교환수량(2004~2008, 7)



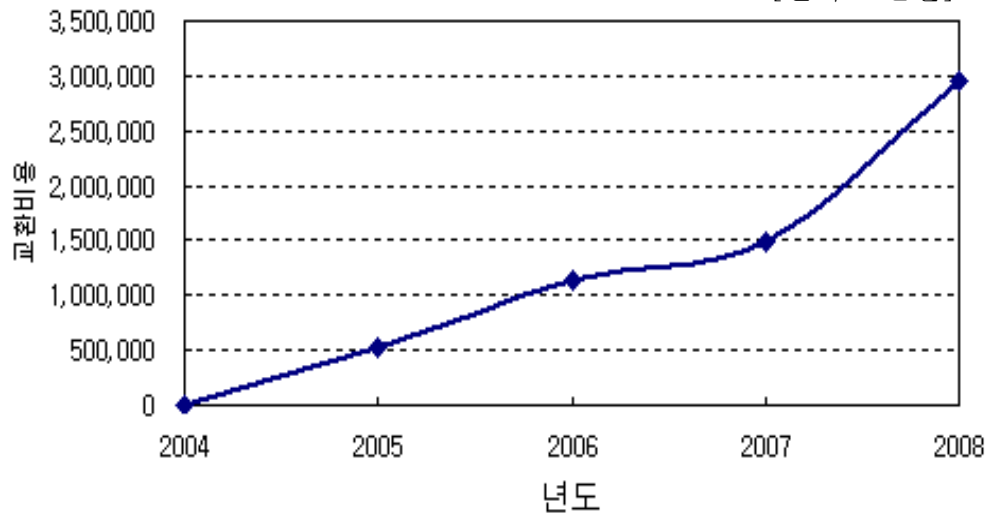
주요 부품교환 수량

[단위 : 개]



연도별 주요부품 교환비용

[단위 : 만원]



[자료출처: 코레일 MB주요부품 교환수량 04년~08년 7월_RCM기준]

연도별 주요 부품교환 수량 및 이에 따른 교환비용을 살펴보면 고속철도차량(KTX)의 수명주기를 고려했을 때 향후 추진제어 장치에 대한 부품교환비용이 많이 투입될 것으로 판단된다. 고속철도차량인 경우 추진제어 장치를 비롯하여 기술이전이 매우 제한적인 상태에 있으며 그동안 외국으로부터 고속열차 부품 공급을 받고 있는 실정이다.

따라서 본 기획과제를 통해 KTX용 추진제어장치에 대한 국산화가 성공할 경우 매년 기하급수적으로 증가하는 주요부품 교환비용에 대한 획기적인 비용절감이 가능할 것으로 판단될 뿐만 아니라 코레일이 고속철도 도입 당시에 계약한 보수품의 의무공급 기간이 만료됨에 따라 보수품의 안정적인 공급을 위해 국내 중소기업에 통한 기술이전을 추진함으로써 국내 중소기업의 경쟁력 강화 등 경제적으로 많은 효과가 얻을 수 있다.

1) 전력변환장치의 유지보수 비용 예측

구 분	시장 규모 (2007년)	예상시장규모 (2008년)	예상시장규모 (2009년)	예상시장규모 (2010년)
전력변환장치 유지보수비용	296억원/년	350억원/년	400억원/년	450억원/년
전력변환장치관련 유지보수비용은 차량사용년도에 비례되고 있으므로 지속적 증가 추세로 예상되며, 지속적으로 유지보수가 꾸준히 소요된다. 또한 외국에 의존하고 있는 실정이다.				

2) 경제적 기대 효과

항 목	개발종료후 1년 (2013년)	개발종료후 2년 (2014년)	개발종료후 3년 (2015년)	계
경제적 기대효과	504억	554억	604억	1,206억
수입대체효과	600억	650억	700억	
고용창출 효과	15명	10명	10명	
※ 산출근거 : 12 세트/년간 x 8억 = 96 억/년 (1) 전력변환장치를 국산화 개발시 예상가격 : 8억 / 세트 (2) 전력변환장치의 교체 수량은 연간 2편성분으로 산정 12세트로 산정..				

6.2 기술파급 효과

최신 반도체 소자를 적용한 고속철도차량용(KTX) 추진제어 기술개발에 따른 관련 산업에의 기술관련 파급효과는 주요 시스템에 대한 설계 및 제작 기술 등 국내 관련 산업체가 주도하고 신기술을 적용하기 위한 연구개발을 병행 수행함으로써 제고가 될 것이다.

■ 기술적 측면

- 고전압 대용량 최신 반도체소자 적용 전력변환장치 개발에 따른 중전기 업계의 기술수준 제고
- 최신 반도체 소자를 적용한 대용량 전력변환장치를 이용하여 동기전동기 구동제어 알고리즘을 개발함으로써 관련 업계의 국제 경쟁력 우위 확보
- 대용량 전력변환장치 등의 냉각 기술개발로 냉장고, 에어컨 등 가전업계 뿐만 아니라 관련 산업체에 파급효과 기대
- 기존 시스템과 개발품인 추진제어 장치와의 인터페이스 기술개발을 수행함으로써 인터페이스 기술개발에 대한 기술적 노하우 축적 효과
- GTO 소자를 사용했을 경우에 비해 고속스위칭이 가능하고 제어가 용이하므로 전원계통에 역률 및 고조파를 저감할 수 있는 기술적용이 가능

■ 경제·산업적 측면

- 고속철도차량 추진제어장치 기술개발에 따른 기술력 확보는 지속적으로 증가하는 유지보수비용의 절감뿐만 아니라 해외 부품 공급에 따른 외화유출 방지
- 향후 국내외적으로 신규시장 확보를 통한 매출증대를 통하여 투자비용에 대한 회수 및 지속적인 시장 확보 가능

7. 참고문헌

- [1] 한국철도기술연구원, 차세대 고속철도 기술개발사업 1차년도 워크샷, 2008
- [2] 한국과학기술기획평가원, 차세대 고속철도기술개발 기획보고서, 2006
- [3] 한국철도공사, 국가 R&D사업 추진계획서, 2007
- [4] 철도공사, 중장기기본계획 미래철도 최종보고서, 2007
- [5] 한국건설교통기술평가원, 차세대 고속철도 기술개발사업, 분산형 차량성능 및 운
용기반기술개발(I-2) 과제착수보고회, 2007
- [6] 건설교통부, 국가철도망구축계획(2006~2015), 2006
- [7] 건설교통부, 철도발전 중장기 계획수립 공청회, 2005
- [8] 한국철도공사, 고속철도차량 유지보수 이론, 2003
- [9] 한국철도공사, 모터블록 보호(제 6권), 2003
- [10] 한국건설교통기술평가원, 고속철도 차량시스템 안정화 기술개발 연구보고서,
2007.
- [11] 한국철도학회, 한국철도학회지, KTX의 보수품 공급과 품질관리대책, 2005.
- [12] 한국철도기술연구원, "<http://www.irail.net>", 추진제어시스템 기술동향
- [13] 한국철도차량엔지니어링, "철도 차량기술", No.120, 2005
- [14] 한국철도차량엔지니어링, "철도 차량기술", No.121, 2005
- [15] 건설교통부, 차세대첨단도시철도시스템 기술개발사업 기획보고서, 2005
- [16] 코레일, MB주요부품교환수량_04~08.7월_RCM기준(구매계약단가반영)
- [17] 코레일, "<http://railnews.korail.go.kr>", KTX 전원공급용 부품 국산화
- [18] 건설교통부, 철도기술연구개발사업 추진제어장치 실용기술개발 I, 2007

【 별첨 RFP 】

최신 반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발

가. 연구개발 목표

- 시스템 엔지니어링 기술 개발
- 주 전력변환 시스템 기술 개발
- 차량 성능 향상 기술 개발
- 신뢰성 향상 기술 개발

나. 연구개발 내용

- 시스템 엔지니어링 기술 개발
 - 시스템 요건/분석기술
 - 시스템 통합설계 기술
 - 시스템 인터페이스 기술
 - 성능평가, 검증기술 개발
- 주 전력변환 시스템 기술 개발
 - 시스템간 인터페이스 설계 기술
 - 대용량 컨버터/인버터 설계 기술
 - 반도체 소자 구동용 고신뢰성 구동회로 설계 기술
 - 주전력변환 시스템 제어알고리즘 기술
- 차량 성능 향상 기술 개발
 - 대용량 추진제어시스템 냉각시스템 설계 기술
 - 통신 인터페이스 설계 기술

- 전인 전동기 구동 알고리즘 기술
- 신뢰성 향상 기술 개발
 - 가속수명 예측 기술
 - 유지보수 기술

다. 핵심기술의 수준 및 관련 인프라 현황

- 차상컴퓨터제어장치(OBCS) 국산화 개발 진행 중
- 전압구동형 방식의 대용량 고속스위칭이 가능한 IGBT 적용 기술 일반화
- 위상제어 컨버터 PWM 제어기술 및 VVVF 인버터 제어기술 확보
- 마이크로프로세서와 통신기술 현대화 진행 중

[표 1] 관련 시스템 엔지니어링 분야의 기술수준

기 술 명	기술수준 (%)	전문인력 보유 정도(%)	인프라 구축 정도(%)
요건/분석 기술	80	80	80
통합 설계기술	80	80	80
인터페이스 기술	80	90	90
시험 평가 기술	80	80	80

[표 2] 관련 기반분야의 기술수준

기 술 명	기술수준 (%)	전문인력 보유정도(%)	연구개발시스템 (설비장비체제등)	기타 고려사항
대용량 반도체소자 스택 설계기술	70	80	고신뢰성 보장 및 시스템 간소화	호환성
추진제어장치 설계/제작	70	90	고속 주행시의 제어 안정성	동기전동기 제어
경량화 기술	50	60	냉각장치 등 최신기술 접목	경량화

라. 추진 전략 및 체계

○ 추진전략

- 기존의 연구를 통하여 확보된 기술과 인력을 최대한 활용
- 연구결과의 실용화를 위하여 수요처의 참여 공동개발
- 기존 경부 고속철도 시스템과 호환성 유지
- 개발과 동시에 실용화가 가능하도록 기술개발, 시험평가 과정에서 철도운영기관의 적극적 참여유도
- 성능향상 기술의 경우 기존 시스템을 국제 규격(EN, IEC) 적용하여 성능향상

○ 추진방법 및 추진체계

- 산학연 공동연구를 통한 기술개발
- 시스템 엔지니어링 기술(산,연)
- 주 전력변환장치 기술 개발(산)
- 차량 성능 향상 기술 개발(산,연)
- 신뢰성 향상 기술(학)
- 철도 운영기관과 산업체 공동연구 수행으로 독자적인 국산화 기술개발 수행

최신 반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발

연구과제명	최신 반도체소자를 이용한 고속철도차량용 추진제어 기술개발
1. 연구개발 목표	○ 최신 반도체소자를 적용한 컨버터/인버터 장치 개발 ○ 냉각성능을 향상시킨 냉각 유닛 개발 ○ 고속철도차량 인터페이스를 통한 장치의 호환성 유지 ○ 추진제어 장치를 개발 후 현차 시험을 통하여 장치의 성능 입증 ○ 제어장치의 성능향상을 통하여 국산화율을 증대
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발의 필요성 ○ KTX용 추진제어장치의 원활한 유지보수와 제어시스템의 성능향상을 도모하기 위하여 추진제어장치의 개발과 장치의 성능입증으로 본 장치의 국산화율을 증대하고 유지보수의 편리성을 도모가 요구됨. ○ KTX의 견인전동기는 대용량 동기전동기로 전류제어 방식이나, 국내 기 개발된 제어기는 전압제어방식의 제어기가 주류를 이루고 있으며 전류제어 방식은 개발한 경험이 없음. ○ 국내 기 개발된 인버터는 전압형으로 대용량 동기전동기를 구동하기 위한 인버터는 전류형 인버터이나 국내에서는 개발한 경험이 없으며, 동기전동기 제어용인 계자 전원장치도 마찬가지임. - 기 개발된 견인전동기는 대부분 유도전동기로 현 KTX 견인전동기인 동기전동기에 필요한 계자 전원장치가 없음. ○ 기존 개발된 국내 고속철도차량(G7, KTX-II)은 많은 부분 기술이 상이하며, 장기간에 걸쳐 많은 기술개발비용이 요구되어 기업 자체적으로 개발추진이 어렵고, 기술개발시 수요가 제한적이라 기업자체 개발의지 없음. ○ KTX 운영 잔존기간(약25년) 고려 시 유지보수 편이성, 유지비용 절감 및 관련 국내기술 확보를 위해 대용량 추진제어장치 개발 필요.

□ 기술동향

- 프랑스, 독일, 일본 등 고속열차 선진국의 경우 대용량 추진제어장치에 수냉식, 비등냉각 방식 등 독자적인 냉각시스템을 개발, 적용하고 있음.
- 대용량 추진제어장치의 주회로 스위칭 소자에 IGBT 적용을 일반화 하고 있음.
- 추진제어장치의 제어기술로는 컨버터에는 PWM 제어기술, 인버터에는 벡터제어 기술을 적용하고 있음.

3. 연구개발내용

○ 1차년도

추진제어 장치 사양 결정 및 기본설계

- 추진제어장치 시스템 요구사양 결정
- 대용량 최신반도체 소자 적용 추진제어 기본 설계
 - 구동용 구동회로 설계
 - 컨버터/인버터의 성능해석
 - 최적의 추진제어용 냉각장치 결정
- 시스템간 통합 인터페이스 설계(I)
- 대용량 추진제어장치 상세 설계(I)
- 유지보수 체계 구축 기초연구(RAMS 및 LCC 분석 기법 기반)
- 추진제어장치 신뢰성 향상 기초 연구

○ 2차년도

핵심부품 상세설계 및 시제품 제작 시험절차서 작성 및 제어알고리즘 개발

- 대용량 추진제어장치 상세 설계(II)
- 단위 시스템별 시제품 제작
 - 대용량 컨버터/인버터 제작
 - 추진제어 냉각장치 제작
- 규격서 및 시험 절차서 검토 및 작성
- 시스템간 통합 인터페이스 설계(II)
 - 통신 인터페이스 기술개발

- 인터페이스에 따른 성능평가
- 동기전동기 컨버터/인버터 제어알고리즘 설계 및 개발
- 유지보수 체계 구축 연구
- 추진제어장치 신뢰성 향상 구축 연구(I)

○ 3차년도

핵심부품별 시제품 성능평가, 시험 및 제어알고리즘 보완

- 부품/서브시스템별 성능평가 및 환경시험
- 동기전동기 컨버터/인버터 제어알고리즘 보완
- 시제품 제작 완료, 기능시험 및 성능시험
- 조합시험을 통한 시제품 분석 및 보완
- 유지보수 체계 기법 개발(I)
- 추진제어장치 신뢰성 향상 구축 연구(II)

○ 4차년도

시제품 조합시험 및 현차 성능시험

- 추진제어장치 시제품 제작 완료
- 시제품 현차 취부
- 정적시험 및 동적시험을 통한 시스템 적응 시험
- 통신 및 OBCS와 인터페이스 시험 및 성능 검증
- 현차 운행시험을 통한 신뢰성 검증
- 유지보수 체계 기법 개발(II)

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
- 국내에서 기 보유하고 있는 전력전자 개발기술 또는 전문인력을 활용하고, 미 보유 기술은 외국기업, 전문가 등 활용.
 - 학계 및 업계 관련자와 유기적인 협력체제를 구축하여 기존제품과 호환성을 갖는 추진제어장치 개발
 - 형식시험 및 현차시험을 위한 시제품 2세트 제작
 - 유지보수 및 운영 효율화를 위하여 수요처의 참여 유도
 - 기존 경부고속철도차량(KTX)의 주회로 시스템을 분석과 냉각성능 향상, 최적 스위칭 기술 동향분석 및 활용.
 - 핵심부품의 집중 연구를 위해서는 산, 학, 연의 다양한 연구인력이 참여하

는 조직구성이 되어야 함. ○ 국내 개발경험이 없는 기술비중이 크므로 KTX 운영기관을 비롯하여 차량제작사, 연구기관, 전문기업, 학계 등 연구체계 협업이 요구됨.	
☐ 추진체계	○ 일반과제로 추진함. ○ 산·학·연 공동연구를 통한 개발을 실시하되, 개발의 효율화 및 실용화를 위하여 운영기관이 참여하는 것이 바람직함.
5. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	○ 경부고속철도차량(KTX)용 추진제어장치 개발 ○ 경부고속철도차량(KTX)의 추진제어장치 유지보수 매뉴얼 개발
6. 사업기간 및 소요예산	
○ 사업기간 : 2009. 7. ~ 2013. 6 (4년) - 1차년도 사업기간 : 2009. 7. ~ 2010. 6 (12개월) ○ 사업예산 - 당해 연도 사업비 : 정부 551백만원 - 총사업비 : 정부 2,925백만원 ※ 상기 예산은 정부예산 사정에 따라 조정될 수 있음.	
7. 기 타	
○ 2차년도 이후 예산은 예산반영 및 평가에 따라 변경 될 수 있음 ○ 성과목표(지표)별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨.	

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술 연구개발사업의 최종 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311
 한국철도공사 TEL 042)609-3796

R&D / 08 미래철도 기획A01-2

최신 반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발

기획연구 최종보고서

- 발행일 / 2008. 11. 7
- 발행처 / 한국철도공사
대전시 서구 둔산동 920 정부대전청사 2동 1606호
TEL : 042-609-3796(대)
- 인쇄처 / 천호기획