

3cm	R&D / 09 미래 철도 기획 A01	4cm	미래철도기술개발사업 기획연구 최종보고서
			3cm
			0.5cm R&D / 09 미래철도 기획A01
	철도 친환경 기술개발 기획		철도 친환경 기술개발 기획
	2009		(0.1cm) 2010. 01.
	국토해양부 한국건설교통기술평가원 (건교덕 17p)		주관연구기관 / 한국철도공사 공동연구기관 / 한국철도기술연구원
5cm			국 토 해 양 부 한국건설교통기술평가원
3cm		(건교덕 25p)	

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “철도 친환경 기술개발 기획” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010. 1. 25.

주관연구기관명 : 한국철도공사

주관연구책임자 : 최 성 균

연 구 원 : 이 영 엽

연 구 원 : 이 준 원

연 구 원 : 윤 동 희

연 구 원 : 강 기 석

연 구 원 : 정 대 영

연 구 원 : 박 성 수

연 구 원 : 김 대 식

연 구 원 : 전 윤 호

공동연구기관명 : 한국철도기술연구원

공동연구책임자 : 정 우 성

연 구 원 : 김 용 기

연 구 원 : 박 덕 신

연 구 원 : 이 철 규

연 구 원 : 이 재 영

연 구 원 : 김 중 운

보고서 요약서

과제고유번호		해 당 단 계 연구 기 간	2009.3.31 ~ 2009.10.31	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연 구 사 업 명	중 사 업 명	미래철도기술개발사업			
	세부사업명				
연 구 과 제 명	대 과 제 명	철도 친환경 기술개발 기획			
	세부과제명	청정열차 기술개발 기획, 철도차량 전과정평가 기술개발 기획			
연 구 책 임 자	최성균	해당단계 참 여 연구원수	총 : 15 명 내부 : 15 명 외부 : - 명	해당단계 연 구 비	정부 : 90,000 천원 기업 : - 천원 계 : 90,000 천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 15 명 내부 : 15 명 외부 : - 명	총연구비	정부 : 90,000 천원 기업 : - 천원 계 : 90,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국철도공사 한국철도기술연구원		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
온실가스 저감 및 에너지 효율이 극대화된 청정열차 기술개발 및 철도차량 전과정평가 기술개발을 통해 기술력을 확보하며 친환경 철도분야 선진국에 진입하고자 함				보고서 면수	48
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	하이브리드, 전과정평가, 친환경설계, 에너지절감, 온실가스 저감			
	영 어	Hybrid, Life Cycle Assessment, Eco-Design, Energy Saving, greenhouse gas reduction			

제 1 장 서 론

1. 기획연구 배경

- 1992년 리우 환경 회의에서 유엔기후변화 협약을 채택, 2005년 2월 교토의정서 발표에 따라 2013년부터 Post-교토 체제는 수송분야 전반으로 온실가스 감축의무 할당이 확대될 것으로 예상됨.
- 2013년 부터는 지금까지 기후변화를 주도하였던 교토의정서 보다 한층 강화된 국제협약이 될 것으로 예상 됨. 우리나라는 1차 의무감축기간인 2008년~2012년까지는 감축 대상국에서 제외됐지만, 세계 10위의 온실가스 배출국가로서 향후 온실가스 배출의 의무 감축을 해야 할 가능성이 매우 높음.
- 이러한 국제 정세의 변화에 대처하기 위하여 정부는 2008년 9월 기후변화대응 종합대책을 발표하였으며, 최근 ‘저탄소 녹색성장’ 을 정부의 경제 정책의 기조로 삼고 있으며 철도차량 또는 철도에 사용되는 다양한 제품(재료)의 오염물질 배출 등 환경오염 요인에 대한 규제가 예상됨.
- 최근 온실가스 관련 규제들이 유럽을 중심으로 강화되고 있고, 탄소시장이 본격적으로 운영되면서 온실가스 배출 저감은 환경 문제뿐만 아니라 부가가치를 창출할 수 있는 경제수단으로 확대되고 있음.
- 수송분야의 연료소비량 증가에 따른 온실가스 배출량을 효율적으로 감축하기 위해서는 물류시장에서 저탄소 배출 교통수단인 철도의 역할이 무엇보다 주요함. 2008년 정부가 발표한 ‘기후변화대응 종합기본계획’ 에서도 수송분야의 주요 실천과제 중 하나로 철도의 수송분담율을 2019년까지 2배 수준으로 증대시키는 것이 포함되어 있으며, 코레일의 'ECO-RAIL 2015'와 국토해양부의 'ERP-2020(안)'과 같이 철도 분야에서의 온실가스 배출 감축을 표명함.
- 철도 친환경 기술개발을 위한 청정열차 기술개발과 철도차량 전과정평가(LCA) 기술개발 과제별 필요성은 다음과 같음
 - 국제 유가의 상승은 에너지 비용 상승을 초래하여 수송분야의 에너지 절감 및 신재생에너지 기반 확보가 절실

- 철도는 환경친화적 대량수송 수단이라는 장점으로 인해 사회적 책임에 대한 가치가 재평가되는 분위기이나,
- 실제 에너지 효율성 증대 및 온실가스 배출량 저감에 대한 투자나 기술개발 등 체계적인 실행계획은 미흡
- 이에 기후변화협약 및 고유가 시대의 수송분야 리더로서 미래에도 지속발전 가능한 역량을 확보하기 위함
- 저탄소 배출 대중교통수단인 철도의 경쟁력을 강화하기 위한 기반 구축 및 투자를 위한 실천방안이 요구됨.

2. 기획연구 개요

- 철도 친환경 기술개발은 환경오염을 줄이고 지속발전 가능한 친환경 녹색성장에 요구되는 환경친화적인 철도시스템 구축을 목적으로 이루어져야 함. 따라서 본 기획연구는 이러한 목적을 달성하기 위해 국내·외 기술개발 동향과 시장을 면밀히 분석하고 기술적, 경제적 타당성 검토를 통한 실용화/상업화 가능성을 검토를 통한 과제별 우선순위 도출로 명확한 기술개발 로드맵을 작성하여 각 기획과제별 제안요구서(RFP)를 도출함.
- 가장 효과적인 기획보고서를 도출하기 위해서 우선 해외 기술동향 분석을 통한 기획연구의 목적 및 범위를 명확히 정의하였으며, 이에 따른 핵심요소기술을 도출하여 기술개발 방안을 제시하고, 기술·경제적 타당성 분석을 통한 소요비용 및 개발기간 분석으로 명확한 과제 추진계획 및 추진전략을 수립함. 각 기획과제별 연구 개요는 다음과 같음.
- 친환경 에너지 절약형 철도차량시스템 개발을 통한 청정열차 기술개발을 위해 국내·외 하이브리드 철도차량, 청정에너지 사용 철도차량, 연료전지/2차전지 하이브리드 철도차량과 관련된 핵심 기술조사와 해외 청정열차 기술개발 동향을 조사·검토하고 기술적, 경제적 타당성 검토를 수행하여 연구 목표 달성을 위한 추진 전략 및 체계를 제시하고 청정열차 차량시스템 개발 우선순위 도출을 통해 기술개발 로드맵을 도출함.

- 전과정적 접근기법을 이용하여 철도차량의 환경부하를 정량적으로 평가하고 개선할 수 있는 철도차량 전과정평가(LCA) 기술개발을 위해 국내 관련 기술 조사, 해외 철도선진국의 운영 사례조사 분석을 통한 기술적 경제적 타당성 검토를 수행하여 연구 목표 달성을 위한 추진전략 및 체계를 제시함.

3. 기획연구 중요성

- 우리나라는 철도차량 중 디젤기관을 사용하는 차량은 연료를 100%수입에 의존하고 있으며, 국제 유가 및 환율의 급등으로 철도차량에 사용되는 연료비로 지출되는 예산은 매우 큼. 온실가스 배출량 감축 및 에너지 소비량 감축을 위해 친환경 청정열차의 개발이 절실히 요구되고 있으며, 철도차량에 의한 환경오염을 최소화 하고 자원의 재활용 및 재이용을 통해 철도차량에 의한 운송수단의 환경부하 배출 저감에 필요한 철도차량의 전과정평가(LCA)기술의 개발이 요구 됨.
- 친환경 철도차량 및 철도차량 전과정평가의 효과적인 기술 개발을 위해서는 우선 해외 선진 기술 조사와 국내 기술 및 연구 인프라 분석을 통하여 현 상황을 면밀히 분석하고, 개발 대상의 범위를 명확히 하고 세부적 핵심 요소기술을 도출하고 표준화 방안 등을 제시하기위해 매우 중요한 연구임.
- 또한 기술적, 경제적 분석을 통해 그 타당성을 검증하고, 구체적 실제 결과물을 상세 및 명확히 제시함으로서 개발 효과를 극대화하기 위해 본 연구가 반드시 선행되어야 함. 경제 산업적 인프라 활용 등의 실행 시 시너지 효과를 동반할수 있도록 전략수립에 많은 노력을 기울여 최적의 연구성과를 도출 함.

4. 기획연구 최종목표 및 연구내용

- 본 기획연구에서는 철도 친환경 기술개발을 위한 기획안을 도출하는 것을 목표로 하며, 기획연구대상 과제별 연구내용의 기존 연구와의 중복여부, 기술적 경제적 타당성, 추진전략 및 추진체계, 연구내용에 따른 연구 기간 및 예산

검토, 본 과제 공모를 위한 RFP 도출 및 추진형태를 면밀히 검토하여 기획과제의 최종 목표를 제시함.

- 본 기획연구에서는 크게 청정열차 기술개발(친환경 에너지 절약형 철도차량시스템 개발)과제와 철도차량 전과정평가(LCA) 기술개발과제로 구성되어 있음

- 청정열차 기술개발(친환경 에너지 절약형 철도차량시스템 개발)

- 하이브리드 디젤기관차 기술개발
- 청정에너지 디젤차량
- 하이브리드 전기기관차 기술개발
- 하이브리드 전기동차

- 철도차량 전과정평가(LCA) 기술개발

- 철도차량운행에너지개선기술(에코드라이빙)
- 철도차량 친환경설계 및 자원순환시스템 기술

5. 기획연구 개발비 총괄

가. 청정열차 기술개발 기획연구

(단위 : 백만원)

세부과제별 연구명	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총액
하이브리드 디젤기관차	2,800	6,280	7,240	3,533		19,853
청정에너지 디젤차량	2,700	6,000	4,300			13,000
하이브리드 전기기관차	4,468	10,504	11,454	4,342	1,875	32,643
하이브리드 전기동차	4,250	10,625	14,875	8,500	4,250	42,500

나. 철도차량 전과정평가 기술개발 기획연구

(단위 : 백만원)

세부과제별 연구명	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	총액
철도차량 운행에너지 개선기술	1,500	1,800	2,500	1,000	6,800
철도차량 친환경설계 및 자원순환시스템 개발	1,250	2,500	3,750	3,500	11,000

6. 기획연구 세부과제별 연구개발목표

가. 청정열차 기술개발 기획연구

세부과제별 연구명	연구개발 상세사항
하이브리드 디젤기관차	■ 차량시스템 및 제어시스템 기술 개발 - 적용 하이브리드시스템의 최적설계 - 하이브리드 시스템의 주행제어기술 - 성능해석을 위한 시뮬레이터 개발 - 부품 및 시스템 검증/평가 기술 개발 ■ 하이브리드 디젤 기관차 제작 기술 개발 - 고효율 전력변환장치 개발 - 대용량 전력전장시스템 개발 - 제어시스템의 통합 및 최적화 기술 - 차량 변경 설계 및 제작 기술 - 시제차 제작 및 시험 운행 ■ 대용량 배터리 제작 기술 - 고용량 배터리 팩 설계 개발 - 배터리 모니터링 및 BMS 개발 - 충전시스템 기술
청정에너지 디젤차량	■ LNG 철도차량의 개조시스템 기술 개발 - 차량시스템 기술 - 제어시스템 기술 - 요소설계 기술 - 차체 설계 기술 ■ 인프라, 성능/내구평가 기술 개발 - LNG 공급시설 개발 - 연비 및 시스템 성능 평가기술 - 내환경성 및 신뢰성 향상 기술 - 수명/내구성 검증 및 표준화 기술

세부과제별 연구명	연구개발 상세사항
하이브리드 전기기관차	■ 시스템 엔지니어링 및 하이브리드 추진 전기기관차 개발 - 사업총괄 및 시스템 엔지니어링 - 하이브리드 구동 제어기술 개발 - 에너지저장시스템 통합 및 차량 인터페이스 기술 개발 - 차상용 고용량 2차전지 집적기술 개발 - 시제기관차 제작 및 시험 운행 ■ 고전압, 대용량 에너지 저장장치 및 BMS 기술개발 - 고전압 에너지저장장치 설계 및 해석 기술 개발 - 배터리 시제작 및 평가시스템 개발 - 차상용 고용량 2차전지 집적기술 개발 - 2차전지 모니터링 및 제어계(BMS)설계기술 개발 ■ 고전압, 대전류 DC/DC 컨버터 개발 - 고전압 Buck-Boost 컨버터 기술 개발 - 고주파 리액터 기술 개발 - 배터리, 차량 인터페이스 기술 개발
하이브리드 전기동차	■ 에너지 절감기술을 적용한 고효율 차량 개발 - 공기 동력학을 고려한 최적 형상의 차량 개발 - 알루미늄을 이용한 경량의 차량설계 - 단열재 사용으로 열효율을 고려한 차체 설계 - 영구자석 전동기와 경량 대차(Bogie)를 채용한 차륜 개발 - 에코 드라이브가 가능한 운행 제어기술 개발 ■ 차상형 에너지 저장장치에 의한 하이브리드 전원시스템 개발 - 차량 탑재형 전기이중층 커패시터 모듈의 설계 - 내환경성을 고려한 차량 탑재형 에너지 저장시스템 개발 - 에너지 저장장치의 셀 밸런싱 및 보호회로(CVM) 개발 - 전기이중층 커패시터의 수명 예측 알고리즘 개발 ■ 전력 분산형 고효율 전력변환기 개발 - 에너지 흐름 제어를 위한 고속 충방전기 개발 - 고효율 공기조화를 위한 제어시스템 개발 - 차량 전기부하의 최적제어를 위한 분산형 전원공급장치 개발 - 고효율 컨버터 및 인버터 시스템 개발

나. 철도차량 전과정평가 기술개발 기획연구

세부과제별 연구명	연구개발 상세사항
철도차량 운행에너지 개선기술	■ 회생전력을 고려한 실시간 녹색운행제어 및 관리기술 - 회생전력 및 저장에너지 실시간 센서링 및 차상/지상 인터페이스 기술개발 - Eco-driving 최적화 패턴 실시간 예측 및 시뮬레이션 기술개발 (회생전력 최적화 및 저장에너지 고려 운행예측기술) - 실시간 에너지사용을 고려한 네트워크 운행환경성 평가기술개발 - 운행에너지 최적화 철도차량 설계기술개발 및 가이드 작성 (차상 에너지저장장치용량 등 차량설계 및 최적운행가이드) ■ 철도차량 차상에너지 효율향상 및 개선기술 - 철도차량 차상 에너지효율 향상기술 개발 및 기준제시(단열성능평가 등) - 차상 실내조명 제어 및 최적화기술개발 - 차상 에너지저장장치 연계 및 활용기술개발 - 철도차량 운행에너지 개선기술 환경성정량화를 통한 인증 및 제도개선(안) 제시
철도차량 친환경설계 및 자원순환시스템 개발	■ 철도차량 친환경설계기술 - 철도차량 재료 친환경성을 고려한 설계기술 - 철도차량 친환경해체를 고려한 설계기술 - 철도차량 재료 재활용율을 고려한 설계기술 - 철도차량 친환경설계가이드 및 기준(안) 작성 - 철도차량 재활용시스템구축에 따른 에너지저감효과제시 및 인증 ■ 철도차량 환경성 인증기술 - 철도차량 환경성(Carbon Footprint)인증 기반연구 - 환경규제요구사항(재활용성, 유해물질사용여부)를 고려한 철도차량 주요재료 환경성인증(탄소라벨링 등) 기반구축 - 철도산업 재료 친환경 구매 및 관리(SCP)시스템 및 기준(안) 작성 ■ 철도차량 재활용시스템기술 - 철도차량 주요재료 재활용 기술개발 - 철도차량 재활용가이드 및 기준(안) 작성 - 철도차량 친환경 해체시스템 구축 및 활용기술 - 철도차량 주요재료별 재활용 환경성효과분석

제 2 장 청정열차 기술개발 기획연구

1. 청정열차 기술개발의 필요성 및 목표

가. 기술개발의 필요성

- 최근 온실가스 관련 규제들이 유럽을 중심으로 강화되고 있고, 탄소시장이 본격적으로 운영되면서 온실가스 배출 저감은 환경 문제뿐만 아니라 부가가치를 창출할 수 있는 경제수단으로 활용되고 있다.
- 석유자원의 고갈, 고유가로 인해 수송 및 산업분야에서는 대체연료 개발에 범지구적인 노력을 기울이고 있으며 경유를 대신할 수 있는 청정에너지 철도차량 및 에너지효율은 극대화한 하이브리드 철도차량의 개발이 필요하다.

나. 기술개발의 목표

- 온실가스 저감 및 에너지 효율이 극대화된 국내외 실정에 부합하는 하이브리드 철도차량 및 청정에너지 철도차량 개발을 통해 기술력 확보를 통해 친환경 철도차량분야 선진국에 진입하며 더 나아가 청정열차 관련 산업분야의 발전을 기대한다.
- 하이브리드 디젤기관차, 하이브리드 전기동차, 하이브리드 전기기관차 기술개발
- 청정에너지 디젤기관차, 청정에너지 디젤동차 기술개발

2. 청정열차 기술개발의 중요성

가. 국가경제적 측면

1) 국가전체에 경제성 높은 기술

- 2008년 정부가 발표한 ‘기후변화대응 종합기본계획’에서 표명한 주요 실천과제로 철도 분야의 수송부담율을 2019년까지 2배 수준으로 증가할 계획을 가지

고 있다. 종래의 연간 수송인원 9억 7천만 명(2006년 기준)에서 2019년에는 14억 6천만 명의 수송이 가능할 것으로 추산되므로 보다 많은 국민이 철도차량 이용기회를 갖게 된다. 철도로의 모달시프트에 대비하여 보며 친환경성이 뛰어나 철도차량 기술개발 기반확보가 요구된다.

- 고유가 시대를 맞아 고연비 차량에 대한 수요가 증대되고 있는 가운데 최근 전세계적으로 하이브리드 열차에 대한 개발이 시작되고 있으며 현 시점에서의 기술개발에 대한 투자가 선진기술에 접근할 수 있는 기회라고 할 수 있다. 청정열차기술의 국산화 및 핵심기술 확보를 통해 해외의존도를 감소하고 하이브리드 철도차량기술 시장을 선점하여 해외시장 개척가능성을 높인다.
- 또한, 국내 전력생산을 위한 발전시설의 에너지원별 용량이 석탄·유로·가스를 사용한 화력발전이 전체 생산량의 67.3%를 차지하므로, 화석연료를 수입하여 생산하는 전기를 절약할 경우 화석연료 수입감소의 간접적인 효과도 유도할 수 있다.

2) 기술 경쟁력 강화 및 해외 신규시장 개척

- 세계철도시장규모는 프로젝트를 포함해서 2007년 기준 1,200억 달러를 넘어서고 있으며, 그 중 차량분야가 37%인 453억 달러로 가장 크며, 서비스분야는 31%인 382억 달러, 인프라와 통신 및 제어분야가 382억 달러로 2000년 700억 규모에서 1.7배 증가한 규모를 가지고 있다. 2014년과 2016년까지의 세계철도시장의 장기전망은 1,500억 달러로 성장할 것으로 예측하고 있으며, 차량 35%, 서비스 33%, 인프라와 통신 및 제어분야가 31%를 차지할 것이라는 전망을 내놓고 있다. 특히, 철도차량분야는 현재 시장규모에서 2016년에는 2%에서 4% 증가할 것으로 예측하고 있다.(2008년 9월 UNIFE 세계시장동향)
- 봄바르디어사와 히다치사는 하이브리드 전기동차로 국내 시장의 문을 두드리고 있으나, 2008년 말 세계 경기침체에 의한 환율 상승으로 인천지하철 2호선에 도입할 차량의 선정이 국내업체로 대체되는 등의 사례로 볼 때 고효율 전기동차 분야의 기술우위에 있는 글로벌 차량제작사의 국내시장 공략이 시작되었으며 지속될 것으로 전망된다.

- 하이브리드 자동차의 개발이 본격적으로 시작되어 대용량 에너지 저장장치에 대한 연구가 이루어지고 있는 가운데 에너지 사용효율이 높은 고효율 하이브리드 철도차량을 개발하여 외국 철도차량의 수입대체를 이룰 수 있는 적기이다.
- 또한 국내의 차량제작, 감리, IT신호기술 등이 외국에서 호평을 받고 있으므로, 하이브리드 철도차량과 같은 신기술 적용 차량을 개발하여 기술경쟁력을 조기에 확보함으로써 해외 수출을 증대할 수 있는 계기가 될 것이다.

3) 고실용화 및 우수한 경제성

- 하이브리드 철도차량 개발은 전동차 제작기술 등 이미 확보된 기술인 차량 설계기술, 전력변환기제작 기술 등을 그대로 활용하고 철도차량 탑재형 대용량 에너지 저장장치의 설계, 셀전압 관측기(CVM), 고속 충방전기 제작, 하이브리드 시스템 운용기술을 추가하여 하이브리드 차량의 제작이 가능하므로 다른 하이브리드 철도시스템에 비해 시스템의 구성이 비교적 간단하고 구현 가능성이 매우 높은 시스템이다.
- 하이브리드 철도차량은 회생제동에서 회수한 전기에너지를 저장하여 사용하므로 철도차량 출발시 사용되는 대전력을 에너지 저장장치에서 직접 공급이 가능하므로 팬토타프, 주변압기, 정류기 또는 컨버터의 부담이 줄어들어 기기 고장을 예방할 수 있어 하이브리드 철도차량으로 운행할 경우 차량 전체의 시스템 안정성을 확보할 수 있는 장점이 있다.
- 철도차량의 회생 에너지는 자원의 절약 및 효율적 이용 측면에서 날이 갈수록 그 중요성이 부각되고 있다. 그러나 회생 에너지를 전원으로 돌려보내면서 가선 전압의 불균형 등의 문제가 생기고, 회생 전력의 사용이 효율적이지 못한 실정이다. 또한 도심에 전철을 건설할 때 철도차량에 전원을 공급하는 가공전차선이 도시의 미관을 해치고, 구조물을 세워야 하는 등 공간 사용의 문제점으로 철도차량의 무가선 운행에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이에 대한 해결 방안으로 제동시 발생하는 회생 에너지를 철도차량에서 직접 사용하는 방안이 제시되고 있으며, 세계 각국에서도 회생 에너지의 철도차량 적용을 위한 에너지 저장장치에 대한 다양한 연구가 진행 중이다.

나. 산업구조 측면

1) 기술구현 인프라 구축

- 핵심기술인 하이브리드 시스템의 시스템 설계 및 해석기술 및 제어 시스템에 관련된 기술은 하이브리드 자동차의 기술이전을 통해 구현이 가능한 수준이고 국내업체 중심으로 Li-Ion 배터리를 포함한 관련 원천기술이 많이 진행된 상황으로서 기술개발의 성공률이 매우 높은 기술이다.
- 하이브리드 열차는 승용차에 비해 시장규모가 작으나 향후 세계적으로 개발이 지속적으로 진행되고 있는 상황을 고려할 때 국내에서도 기술개발이 이루어져야 할 과제로 대두되고 있다.

2) 개발에 따른 신규 고용창출

- 후방연쇄효과가 큰 철도차량은 2만개 이상의 부품이 들어가는 한 나라의 기술 경쟁력과 기술수준을 대표하는 종합 산업이다. 기계, 금속, 전자 등 거의 모든 소재분야 산업과 깊은 연관이 있기 때문에 생산유발계수가 높은 특징을 가지며, 특히 철도산업의 특성상 전후방 연관효과가 높아 철강, 반도체, 부품소재 등 다른 수출 주력제품과 비교할 때 우리나라 수송장비의 생산유발계수는 2.39로 반도체산업의 1.85보다 높고 국내 주변산업을 키우는 전후방 연관효과가 매우 큰 것으로 나타나 있다.(2007년 산업연관표, 한국은행)

표. 산업별 경제발전 연관 지표

제조업 구분	생산유발계수		부가가치유발계수		후방영향력계수	
	2006년	2007년	2006년	2007년	2006년	2007년
일반기계	2.359	2.381	0.700	0.683	1.213	1.227
전기전자기기	1.881	1.857	0.557	0.541	0.968	0.957
정밀기기	2.134	2.133	0.666	0.658	1.098	1.099
수송장비	2.467	2.390	0.654	0.646	1.269	1.232

출처) 한국은행, “2007년 산업연관표로 본 우리나라의 경제구조”, 2007

- 최종수요에 의해 유발되는 노동인원을 최종수요액으로 나눈 것을 최종수요항목별 노동유발계수라고 하는데 이는 최종수요항목별로 국산제품에 대한 수요가 1단위 증가하였을 때 고용이 직간접으로 얼마나 유발되는가를 나타내는 계수이다. 2차전지와 같은 신규 산업분야의 투자 및 고용유발은 더욱 활발히 이루어져 2020년 1조원이상의 매출과 세계시장규모 40%를 점할 것으로 예측하고 있다. (2008 산업기술개발사업 고용유발계수표, 한국산업기술평가관리원)

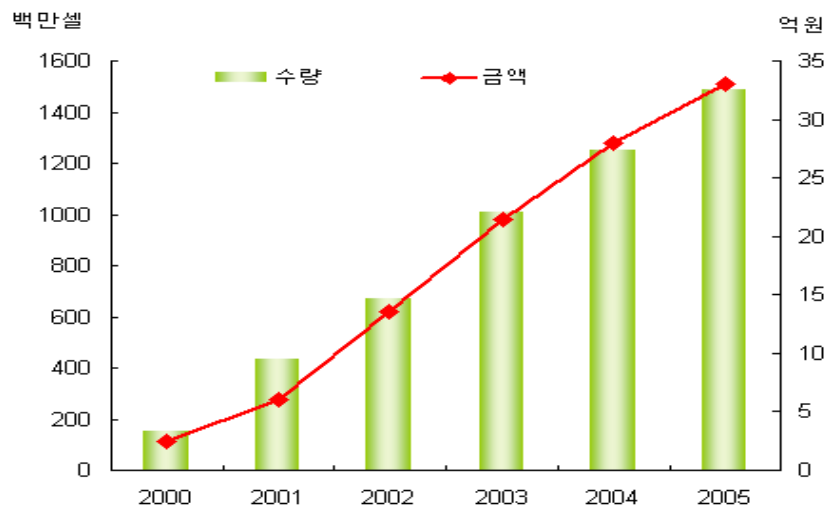


그림. 배터리 축전지부문의 시장규모
(출처: 한국과학기술정보연구원 2006년)

다. 사회공익 측면

1) 연비향상 및 지속가능한 환경구축

- 하이브리드 시스템이 적용된 철도차량은 기존 디젤엔진으로 운행되는 기존 디젤엔진 열차에 비해서 연료효율이 향상되고 배기가스도 저감이 되며 동시에 소음도 낮출 수 있는 친 환경적인 시스템으로서 국가적인 녹색성장에 기여할 수 있다.
- 현재 제기되고 있는 디젤엔진이 장착된 열차의 배기가스, 소음에 대한 민원을 해결할 수 있는 방법 중에서 하이브리드 시스템이 적용된 열차는 열차 자체에 적용이 가능한 기술로서 가장 경제적으로 민원 해결이 가능한 방법이다.

2) 환경친화적인 기술성

- 하이브리드 시스템이 적용된 철도차량은 기존 디젤엔진으로 운행되는 기존 디젤엔진 열차에 비해서 연료효율이 향상되고 배기가스도 저감이 되며 동시에 소음도 낮출 수 있는 친환경적인 시스템으로서 국가적인 녹색성장에 기여할 수 있다.
- 일본, 미국 등에서도 승용차 하이브리드 기술개발에 그치지 않고 다양한 대상의 하이브리드 기술개발에도 박차를 가하고 있으며, 특히 하이브리드 열차는 경제적인 효과보다는 청정기술의 대표적 상징으로 부각시키고 있는 실정이다.
- 환경 친화적인 전기에너지를 동력원으로 하는 전기철도 차량의 수요는 대도시를 중심으로 점차 증가하고 있는 가운데, 신규노선의 증설로 전기에너지의 사용량은 증가할 것으로 예상된다. 하이브리드 철도차량을 개발하여 운행할 경우 버려지는 전기에너지의 20~40%를 절약할 수 있어 전기에너지를 절약함으로써 CO₂ 발생량을 억제할 수 있는 친환경 고효율 차량이다.

3. 청정열차 기술개발의 중요성

가. 청정열차 국내외 기술개발 동향

- 에너지 저장장치를 이용한 철도차량 운행에 대한 연구는 유럽을 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 특히 독일과 프랑스에서는 이를 상용화하여 영업 운전 중이다. 일본에서도 최근에 시험차량을 제작하여 영업운전을 준비하고 있다.
- 캐나다의 철도차량 제조사 봄바르디아는 자체 개발한 철도차량용 에너지 저장 시스템인 MITRAC Energy Saver를 상용화하여 독일에서 2003년 9월부터 영업운전을 시작하였다. Rhein-Neckar-Verkehr 구간에 운행중인 경전철과 MVV 경전철 등이며 트램과 및 디젤동차에도 이 시스템을 적용하고 있다.
- 프랑스의 알스톰(Alstom)은 배터리 방식의 에너지 저장장치를 장착한 철도 차량을 개발하였고, 2007년 11월에 프랑스 남부 니스(Nice) 지방은 이를 적용한

Citadis Tram을 최초로 도입하였다. Nice Citadis Tram은 지붕에 에너지 저장 장치를 장착하여 가선으로부터 또는 제동시의 발생하는 회생 에너지로 충전이 가능하며, 배터리를 통해 가선이 설치되어 있지 않은 구간을 운행할 수 있도록 제작되었다.

- 또, 프랑스의 알스톰은 디젤 발전기와 배터리, 견인 전동기를 포함하는 추진 시스템을 가지는 디젤 하이브리드 기관차를 개발하였고, 2009년 4월에는 네덜란드의 로테르담에서 시험운전을 수행하였다. 알스톰에서 개발된 기관차는, 배터리로 부터 견인 전동기를 구동시켜 차량의 주 동력을 발생시키고 디젤 발전기는 배터리를 충전하거나 필요시 보조 동력을 내는 직병렬 하이브리드 방식이다.
- 알스톰에 따르면 기존 디젤 기관차에 비해 화석 연료 사용량을 40 % 이상 절감할 수 있고, 공해 배출량과 CO₂ 배출량은 각각 55 %, 50 % 이상, 분진과 질소 산화물도 각각 60 %, 40 % 이상 감소시켰다고 한다. 또한 소음은 15 dB 이상 낮추었으며, 정비 비용 또한 15 % 감소시켜 수명 주기 비용을 30 % 가량 줄일 수 있다고 하며, 로테르담에서 시험 운행중이다.
- 일본의 히타치(Hitachi)는 비 전철화 구간을 운행하는 디젤 차량의 환경 영향 개선 및 효율 향상을 목표로 2002년부터 2004년까지 하이브리드 시스템을 개발하여 적용성을 확인하였다. 2007년에는 양산 선형 차량인 Kiha E200이 개발되었고, 동일본철도는 이를 도입하여 일본 중부 고우미선(小海線)에서 세계 최초로 영업 운행을 개시하였다.
- 히타치는 Kiha E200으로, 기존 디젤 차량 대비 에너지 효율을 약 20 % 향상시켰으며, 질소 산화물 등 매연 배출량은 60 % 이상 감소시켰다. 주 동력원은 리튬 이온 전지를 이용한 견인 전동기로, 디젤 엔진은 배터리를 충전하기 위해서만 사용되는 직렬 하이브리드 방식이다. 제동시 회생 에너지로 배터리 충전이 가능하며 1회 충전으로 평탄 선로를 5 km 정도 주행 가능하다. 엔진의 정지 및 기동은 차량의 주행 상태와 배터리의 전압에 따라 자동으로 조절된다. 배터리는 차량의 지붕에 장착되어 있다.
- 미국의 전기회사 제너럴 일렉트릭(General Electric)은 2010년 상용화를 목표로 2007년에 디젤 하이브리드 기관차 시제 차량을 선보였다. 타 회사와 마찬가지로

가지로 제동시 발생하는 회생 에너지를 활용하여 에너지 효율을 높이고 연료 사용량을 15 % 이상, 유해 가스 배출량을 50 % 이상 줄이기 위해 노력하고 있다. 특히 고성능 배터리 개발에 집중 투자하여 2010년에 상용화될 하이브리드 기관차에 자체 개발한 나트륨-염화-니켈 전지를 내장할 예정이다.

나. 청정열차 국내외 특허동향

- 청정열차 기술개발의 연도별 동향을 살펴보면, 일본의 경우에는 1998년 관련 출원이 이루어진 이후 2005년, 2006년 관련 출원이 급격히 증가하는 양상을 보이고 있음
- 청정열차 기술개발의 국가별 점유율 현황을 살펴보면, 미국이 전체의 47.9%를 차지하여 가장 높은 점유율을 차지하고 있고, 일본은 36.8%를 차지하고 있음
- 반면 한국의 경우는 2001년 캐나다 국적의 Rail Power Technologies사, 2006년 한국철도기술연구원에 의한 2건만이 출원된 것으로 나타나 이 분야에 대한 연구개발 활동이 미흡한 것으로 판단됨

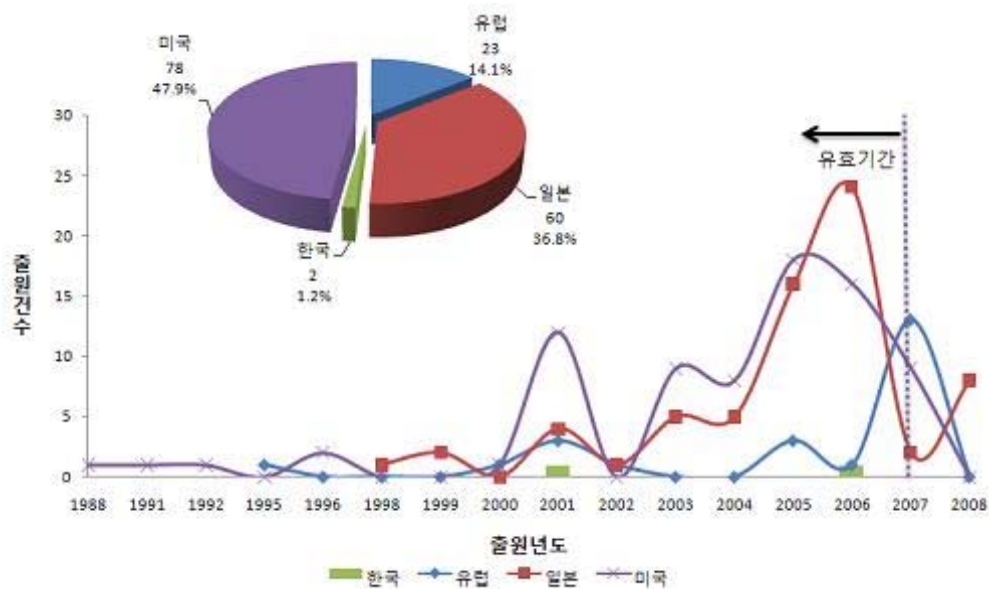


그림. 국가별·연도별 특허출원건수

- 청정열차 기술개발 분야의 주요 연구주체는 Rail Power Technologies사, Hitachi사, General Electric사, Toshiba사로 분석됨
 - 캐나다 기업인 Rail Power Technologies사는 미국에 25건(2위), 유럽에 5건(2위), 한국 1건(1위)을 각각 출원하고 있고, 일본 기업인 Hitachi사는 일본에 31건(1위), 유럽에 12건(1위)을 출원하고 있는 것으로 나타나 Rail Power Technologies사는 미국, 유럽, 한국을 주요시장으로, Hitachi사는 자국과 유럽을 주요 시장으로 하고 있는 것으로 판단됨
 - 미국 기업인 General Electric사는 미국에 35건(1위), 유럽에 2건(3위)을 출원하고 있는 것으로 보아 자국과 유럽을 주요시장으로 하고 있는 것으로 판단됨
- 청정열차 기술개발 분야와 관련된 세부기술 단위에서 기술수준평가 및 특허수준평가 모두 기준수준 이상으로 높게 나타난 세부과제는 하이브리드 시스템 최적설계, 회생제동 시스템 설계 및 제어기술, 제어 시스템 최적화 기술 분야로 조사됨
 - 회생제동 시스템 설계 및 제어기술 분야의 기술수준평가는 기준수준(5.0)보다는 높게 평가되었고, 특허수준평가의 경우 기준수준(6.0)보다 높은 7.0으로 평가되어 기술개발 목표 수준이 관련 특허기술에 비해 낮은 수준으로 정해진 것으로 평가되며, 관련 특허의 수준 또한 기준수준 보다 높게 평가되어 권리화 가능성 또한 쉽지 않은 분야로 판단됨
 - 청정열차 기술개발 분야에서 시뮬레이션 기술, 하이브리드 시스템 주행제어 기술, 배터리 시스템 설계 및 최적제어, 배터리팩 설계 기술 분야의 기술수준평가는 기준수준 보다는 높으나, 특허수준평가는 기준수준보다는 낮은 것으로 평가 되어, 향후 성능목표치를 달성하는 기술의 개발 이후 특허권 확보 시 개량출원을 통해 권리확보를 시도한다면 특허권 확보의 가능성이 높을 것으로 판단됨

표. 기술 및 특허수준 평가결과

기술명	세부과제 순위	세부기술명	기술수준평가	특허수준평가
청정열차 기술개발	7	하이브리드 시스템 최적설계	5.9	6.2
	4	동력전달구조 설계 및 용량매칭기술	6.1	5.8
	9	시뮬레이션 기술	6.0	4.3
	3	하이브리드 시스템 주행제어기술	6.3	5.5
	1	회생제동 시스템 설계 및 제어기술	6.2	7.0
	8	제어시스템 최적화 기술	5.9	6.0
	5	전력변환 모듈 최적화 기술	6.1	5.6
	2	배터리시스템 설계 및 최적제어	6.3	5.7
	6	배터리팩 설계 기술	6.1	5.3
		평균	6.0	6.0

- 청정열차 기술개발의 주요 출원인의 세부기술별 협력현황을 살펴보면, 공동연구가 타분야에 비해 활발한 분야는 전력변환 모듈 최적화 기술 분야이며, 주요 출원인 상호간의 공동연구는 없는 것으로 분석됨
 - 전력변환 모듈 최적화 기술 분야에서 Hitachi사는 East Japan Railway사와 6건, Hitachi Mito Engineering사와 3건의 공동연구를 하고 있는 것으로 분석되었으며, Toshiba사는 East Japan Railway사와 1건의 공동연구를 진행한 것으로 분석됨
- 청정열차 기술개발 분야의 주요 출원인의 평균 청구항을 비교분석 해보면, General Electric사는 평균 청구항수가 32.8로 가장 높게 나타났으며, 패밀리 국가수 평균도 8.1로 가장 높게 나타나, 특허출원시 권리범위를 구체적이고 넓게 설정하고 있고, 자국이외의 해외에서의 특허권 확보에도 많은 노력을 기울이고 있는 것으로 판단됨

4. 청정열차 차종별 기획연구 연구내용

가. 연차별 성과목표

1) 하이브리드 디젤기관차

세부연구	기술개발목표
차량시스템 및 제어시스템 기술 개발	■ 적용 하이브리드시스템의 최적설계 ■ 하이브리드 시스템의 주행제어기술 ■ 성능해석을 위한 시뮬레이터 개발 ■ 부품 및 시스템 검증/평가 기술 개발
하이브리드 디젤 기관차 제작 기술 개발	■ 고효율 전력변환장치 개발 ■ 대용량 전력전장시스템 개발 ■ 제어시스템의 통합 및 최적화 기술 ■ 차량 변경 설계 및 제작 기술 ■ 시제차 제작 및 시험 운행
대용량 배터리 제작 기술	■ 고용량 배터리 팩 설계 개발 ■ 배터리 모니터링 및 BMS 개발 ■ 충전시스템 기술

2) 청정에너지 디젤차량

세부연구	기술개발목표
LNG 철도차량의 개조시스템	■ 차량시스템 기술 ■ 제어시스템 기술 ■ 요소설계 기술 ■ 차체 설계 기술
인프라, 성능/내구평가	■ LNG 공급시설 개발 ■ 연비 및 시스템 성능 평가기술 ■ 내환경성 및 신뢰성 향상 기술 ■ 수명/내구성 검증 및 표준화 기술

3) 하이브리드 전기기관차

세부연구	기술개발목표
시스템 엔지니어링 및 하이브리드 추진 전기기관차 개발	■ 사업총괄 및 시스템 엔지니어링 ■ 하이브리드 구동 제어기술 개발 ■ 에너지저장시스템 통합 및 차량 인터페이스 기술 개발 ■ 차상용 고용량 2차전지 집적기술 개발 ■ 시제기관차 제작 및 시험 운행
고전압, 대용량 에너지 저장장치 및 BMS 기술개발	■ 고전압 에너지저장장치 설계 및 해석 기술 개발 ■ 배터리 시제작 및 평가시스템 개발 ■ 차상용 고용량 2차전지 집적기술 개발 ■ 2차전지 모니터링 및 제어제(BMS)설계기술 개발
고전압, 대전류 DC/DC 컨버터 개발	■ 고전압 Buck-Boost 컨버터 기술 개발 ■ 고주파 리액터 기술 개발 ■ 배터리, 차량 인터페이스 기술 개발

4) 하이브리드 전기동차

세부연구	기술개발목표
에너지 절감기술을 적용한 고효율 차량 개발	■ 공기 동력학을 고려한 최적 형상의 차량 개발 ■ 알루미늄을 이용한 경량의 차량설계 ■ 단열재 사용으로 열효율을 고려한 차체 설계 ■ 영구자석 전동기와 경량 대차(Bogie)를 채용한 차륜 개발 ■ 에코 드라이브가 가능한 운행 제어기술 개발
차상형 에너지 저장장치에 의한 하이브리드 전원시스템 개발	■ 차량 탑재형 전기이중층 커패시터 모듈의 설계 ■ 내환경성을 고려한 차량 탑재형 에너지 저장시스템 개발 ■ 에너지 저장장치의 셀 밸런싱 및 보호회로(CVM) 개발 ■ 전기이중층 커패시터의 수명 예측 알고리즘 개발
전력 분산형 고효율 전력변환기 개발	■ 에너지 흐름 제어를 위한 고속 충방전기 개발 ■ 고효율 공기조화를 위한 제어시스템 개발 ■ 차량 전기부하의 최적제어를 위한 분산형 전원공급장치 개발 ■ 고효율 컨버터 및 인버터 시스템 개발

나. 연차별 연구내용

1) 하이브리드 디젤기관차

구분	세부과제	연구내용
1 차 년 도	■ 하이브리드 시스템 사양개발	- 용량매칭을 통한 최적 사양 개발 - 하이브리드 시스템 구조 설계 - 최적 제어 알고리즘 개발을 위한 시뮬레이터 개발
	■ 차량시스템 기본설계	- 대차 및 차체 기본 설계 - 고효율 전력변환장치 최적화 기술개발 - 소음 및 진동 최소화를 위한 설계 및 최적화 기술개발(1) - 고효율/고전압/대용량 컨버터 제어기술개발(1) - 단위부품/구성품 사양 개발 및 기본설계
	■ 대용량 고효율 배터리 설계	- 대용량 고효율 배터리 경량화, 소형화 설계 - 열유동 해석을 통한 배터리팩 최적 형상 설계 - 배터리 수명 및 용량 예측을 위한 알고리즘 개발
2 차 년 도	■ 하이브리드 주행 제어 알고리즘 개발	- 최적제어 알고리즘 및 시스템 개발 - 회생에너지 극대화를 위한 에너지 효율성 향상 기술개발 - 차량안정성 보장을 위한 알고리즘 개발
	■ 차량시스템 상세설계	- 고효율 전력변환장치 설계 - 소음 및 진동 최소화를 위한 설계 및 최적화 기술개발(2) - 고효율/고전압/대용량 컨버터 제어기술개발(2) - 단위부품/구성품 시험평가 기준 개발 - 대용량 동력사용을 위한 시스템 개발
	■ 대용량 고효율 배터리 설계	- 배터리 냉각시스템 개발 - 배터리 시스템 제어알고리즘 개발 - 배터리 관리시스템(BMS) 설계 방안 도출 - 배터리 최적 유지관리 충전제어 기술개발

구분	세부과제	연구내용
3 차 년 도	■ 성능해석을 위한 시뮬레이션 개발	- 배터리 전동기 양방향 추진제어 인터페이스 개발 - 성능 평가 기준 개발 및 성능 평가 - 내구성 평가 및 표준화 기술개발
	■ 차량시제차량 제작	- 하이브리드 시제차량 제작 기술개발 - 친환경 및 고효율 에너지 저장장치 인터페이스 기술개발 - 단위부품/구성품 시험평가 - 차체 제작 및 핵심장치 정적시험 - 통합제어 최적화 기술개발(1)
	■ 배터리 제작 및 BMS 개발	- 내환경성 및 열 안전성 향상 기술개발 - 배터리 관리시스템(BMS) 제작 - 배터리 및 배터리팩 제작
4 차 년 도	■ 시제품 성능평가 및 평가기준 개발	- 시제품(부품) 성능평가 기준 개발 및 성능평가 - 시운전 및 차량 성능평가 기준 개발 - 시운전을 통한 차량 성능평가 수행 - 하이브리드 시스템 표준화 추진 - 실용화 하이브리드 시스템 사양 개발
	■ 시운전 시험 및 성능확인	- 차량제작 및 시스템 인터페이스 - 통합제어 최적화 기술개발(2) - 공장 시운전 시험 및 정적 성능시험 - 시운시험을 통한 차량 성능 확인 - 시스템 안정화를 위한 부품 성능 개선(안) 도출 - 유지보수메뉴얼 개발
	■ 배터리 성능검증 및 최적화	- 배터리시스템의 내환경성 평가기준 및 방법 개발 - 배터리시스템의 내환경성 시험 및 평가

2) 청정에너지 디젤차량

구분	연구목표	연구 추진전략
1 차 년 도	■ LNG 철도차량의 개조 요소기술개발	- LNG 철도차량 개조기술개발 : 차체설계기술개발, 엔진/제어시스템 개발, 요소시스템 개발 등 - 디젤 엔진성능, 연비 및 배출가스 매칭 시험 - LNG 엔진 연비 및 배출평가지험 모드 검토 - LNG 엔진 신뢰성시험모드 및 내구시험 완료부품 평가기준 검토
	■ LNG 공급시설 인프라, 성능/내구 평가 기술개발	- LNG 철도차량 충전시설 법규 검토 - LNG 철도차량 부품, 시스템 평가기술 개발 - LNG 철도차량용 LNG 공급기술개발
2 차 년 도	■ LNG 철도차량의 개조 핵심기술 개발	- LNG 철도차량 개조기술개발 : 차체설계기술개발, 엔진/제어시스템 개발, 요소시스템 개발 등 - 디젤철도차량의 LNG 차량 개조 소요품 제작 및 구매 - LNG 엔진성능 및 배출가스 매칭시험 (동력계) - LNG 엔진 내구 신뢰성 확보 (동력계)
	■ LNG 공급시설 인프라, 성능/내구 평가기술개발	- LNG 철도차량 부품, 시스템 평가기술 개발 - LNG 철도차량 개조 - LNG 철도차량 관련 제도 개선 - LNG 철도차량용 충전시스템 설치 및 운영 (이동형)
3 차 년 도	■ LNG 철도차량의 개조 핵심기술 개발	- LNG 철도차량 개조기술 개발 완료 : 차량시스템, 제어시스템, 요소시스템 개발 등 - LNG 엔진 성능 및 매칭 시험 (동력계) - LNG 엔진 내구 신뢰성 확보 (동력계)
	■ LNG 공급시설 인프라, 성능/내구 평가기술개발	- LNG 철도차량 충전소 모니터링 및 효율개선 - LNG 철도차량 개조 신뢰성향상, 내구성검증 및 모니터링 - LNG 철도차량 안전성 평가 - LNG 철도차량 기술 표준화 - LNG 철도 개조차량 시범운영

3) 하이브리드 전기기관차

구분	연구목표	연구 추진전략
1차년도	■ 차량 개념설계	- 모델 선정 및 분석 - 주행성능분석 및 시스템 목표사양 확정 - 제어회로 구성 개념 설계 - 하이브리드 전기기관차 기기배치 설계
	■ 추진 시스템 개념설계	- 구동력 및 구동에너지 분석에 의한 사양 도출 - 시뮬레이션 및 설계 파라미터 도출 - 추진 제어장치의 개념 설계
	■ 배터리 또는 울트라캐패시터 모듈의 설계	- 차량 탑재형 배터리, 울트라캐패시터의 용량 설계 - 직병렬 구조 설계 - 방열 특성을 고려한 단위모듈 설계
	■ 셀 밸런싱 및 보호회로 개발	- 배터리, 울트라캐패시터의 특성연구 - 보호 및 모니터링 회로 설계 - 모듈 제어기 설계 및 제작
	■ 양방향 DC/DC 컨버터 개념설계	- 승강압이 가능한 양방향 DC/DC 컨버터 기술조사 - 고주파 리액터 설계 기초자료 조사 - 대용량 필터회로 개념설계
	■ 제어알고리즘 개념설계	- 최적 설계를 통한 고효율 인버터 개발 - 에너지 저장 장치 시스템과의 인터페이스를 고려한 제어장치 설계
2차년도	■ 시스템통합 및 차량 상세설계	- 하이브리드 시스템 기기배치 및 회로 설계 - 제어회로 상세 설계 및 축중 설계 - 인터페이스 확정 및 기관차 상세설계 - 시험/평가 사양 확정 - 장납기 자재 발주
	■ 추진시스템 상세설계	- 하이브리드 구동/제동 제어알고리즘 개발 - 견인인버터/견인전동기 개발 - 장납기 자재 발주
	■ 차량 탑재형 에너지 저장시스템의 제작	- 단위 모듈 제작 - 에너지 저장 시스템 제작 - 내환경성을 갖는 하중 분산형 케이스 제작 - 고장시 모듈 분리용이 제어 회로 개발
	■ 수명예측 알고리즘 개발	- 배터리, 울트라캐패시터 특성을 이용한 수명예측 알고리즘 개발 - 예측 정확도 평가기술 개발 - 에너지 저장장치 통합 제어기 제작
	■ 양방향 DC/DC 컨버터 상세설계	- 양방향 DC/DC 컨버터 상세설계 - 에너지 저장장치 용량변화와 연동하는 운영기술 개발
	■ DC/DC 컨버터 제어기 개발	- 고주파 저감 펄스 모듈레이션 기법 개발 - 에너지 저장 장치 시스템과의 인터페이스를 고려한 최적화된 제어기 제작

구분	연구목표	연구 추진전략
3차년도	■ 하이브리드 전기기관차 시제작	- 구체 제작 및 평가 - 구성품 형식시험 - 차량 완성차 제작 및 평가
	■ 추진시스템 시제작 및 시험평가	- 추진제어장치와의 인터페이스 기술 개발 - 에너지 저장장치와 차량간 인터페이스 기술 개발 - 시제품 제작 및 구성품 시험 - 추진제어장치 조합시험
	■ 에너지 저장장치의 성능 및 기능 시험	- 고속 충방전 실험 - 통합 제어기에 의한 충방전 모터링 기법 실험 - 진동, 온도, 습도 등의 내환경성 실험 - 모듈 분리 시퀀스 및 재투입 알고리즘 개발
	■ 모듈 제어기에 수명 예측 알고리즘 탑재 실험	- 고속 충방전시 셀 밸런싱 및 보호회로 동작시험 - 가속수명 시험에 의한 알고리즘 검증 - EMC, EMI 저감 및 차폐 기술 개발 - 통합 제어기에 의한 모듈 관리 제어기술 개발 - 보호회로 통합 제어기에 알고리즘 탑재 시험
	■ 양방향 DC/DC 컨버터 성능시험	- 추진제어장치와 연동한 인터페이스 시험 - 배터리 또는 울트라캐패시터와 연계한 충방전 시험
	■ 추진제어장치 연계조합시험	- 에너지 저장장치와 연동한 고속 충방전 시험 - 회생전압 부스트 기능에 의한 전기제동력 향상 실험 - 에너지 절감효과 분석
4차년도	■ 차량 완성차 시험	- 차량형상에 의한 주행효율 측정 시험 및 분석 - 차량 내부의 공기조화 성능 및 효율 측정 실험 - 진동, 소음, 주행성능 시험
	■ 에너지 저장장치의 차량 탑재 실험	- 차량 탑재 후 주행시험 - 회생 에너지의 고속 충전 및 방전 실험 - 에너지 절약 효과 분석 및 효율 측정 - 시스템 보호 및 모니터링 정확도 평가 - 고장모듈 제거 및 투입 기법 실험
	■ 추진제어장치 및 양방향 DC/DC 컨버터의 차량탑재 실험	- 추진 인버터에 의한 주행시험 - 회생에너지를 에너지 저장장치에 축적 및 재사용하는 차량 연동실험 - 급제동시 회생에너지 컨버터 제어 실험 - 시스템 보호 및 제어성능 정확도 평가
5차년도	■ 시운전을 통한 차량검증 및 효율 평가	- 차체의 안전성, 효율성 평가 - 하이브리드 추진 성능 평가 - 고효율 차량 제작에 의한 에너지 절감 효과 검증 - 에코 드라이브에 의한 에너지 절감 효과 검증 - 최종 시스템 개발 및 종합결과 도출
	■ 안전성·신뢰성 확보 실험	- 시운전에 의한 차량의 안정성 신뢰성 검증 - 신뢰성, 유지보수성, 경제성 검토
	■ 검증 및 평가	- 성능 검증 및 시운전 - 차량 탑재시 내환경성 평가 및 검증 - 충돌, 탈선시 안정성 평가(폭발 등 안정성) - 최종 시스템 사양 및 종합결과 도출
	■ 신뢰성 확보 실험	- 신뢰성 및 유지보수성 체계 관리 시스템 개발 - 수명예측 알고리즘 및 군 분리제어 보호기술 검증
	■ 검증 및 평가	- 성능·기능 검증 및 시운전 - 차량 탑재시 내환경성 평가 및 검증 - 충돌, 탈선시 안정성 평가 - 최종 시스템 사양 및 종합결과 도출
	■ 신뢰성 확보 실험	- 신뢰성 및 유지보수성 체계 관리 시스템 개발 - 보호체계에 대한 신뢰성 검증

4) 하이브리드 전기동차

구분	연구목표	연구 추진전략
1 차 년 도	■ 고효율 차량 설계	- 비교모델 선정 및 분석 - 차량 형상과 공기저항에 대한 분석 및 모의실험 - 철도차량용 친환경 단열소재 발굴 및 시공법 연구 - 경량의 차체 설계 및 대차 경량화 방안 도출 - 수도권 전기동차의 운행패턴 및 운전자 성향 분석
	■ 영구자석 추진 전동기 설계	- 구동력 및 구동에너지 분석에 의한 사양 도출 - 시뮬레이션 및 설계 파라미터 도출 - 추진 전동기의 상세 설계 - 경량의 대차 설계 및 시뮬레이션
	■ 전기이중층 커패시터 모듈의 설계	- 차량 탑재형 전기이중층 커패시터의 용량 설계 - 직병렬 구조 설계 - 방열 특성을 고려한 단위모듈 설계
	■ 셀 밸런싱 및 보호회로(CVM) 개발	- 전기이중층 커패시터의 특성연구 - 보호 및 모니터링 회로 설계 - 모듈 제어기 설계 및 제작
	■ 고속 충방전기 개발	- 승강압이 가능한 양방향 DC/DC 컨버터 설계 - 페일-세이프 기능을 구현한 운영기술 개발 - 대용량 필터회로 설계
	■ 고효율 전력변환기 개발	- 영구자석 전동기 구동용 고효율 인버터 설계 - 공기압축기 구동용 가변속 구동장치 개발 - 공조기용 전동기 가변속 제어기 개발
2 차 년 도	■ 차량의 형상설계	- 주행시 공기저항을 줄이는 제어차 설계 - 차간의 공기저항 감소 기술 개발 - 차량 상하부의 장착되는 단품에 의한 영향 분석 - 지상·지하 구간에서의 공기저항 감소 설계
	■ 열효율이 높은 경량의 차체설계	- 알루미늄으로 구성된 경량의 차체 설계 - 충돌 안정성, 피로해석 - 내열성이 우수한 단열재 시공법 개발 - 경량의 대차와 차륜 제작
	■ 차량 부하 변화 검출 알고리즘 개발	- 전동기 기동 조건에 따른 부하변화량 감지 기술 개발 - 모의실험 및 데이터 정상화 방법 개발
	■ 차량 탑재형 에너지 저장시스템의 제작	- 단위 모듈 제작 - 에너지 저장 시스템 제작 - 내환경성을 갖는 하중 분산형 케이스 제작 - 고장시 군 분리제어 회로 개발
	■ 수명예측 알고리즘 개발	- 전기이중층 커패시터 특성을 이용한 수명예측 알고리즘 개발 - 예측 정확도 평가기술 개발 - 에너지 저장장치 통합 제어기 제작
	■ 고속 충방전 시스템 제작	- 인터리브드 DC/DC 컨버터 제작 - DC/DC 컨버터 제어 알고리즘 개발 - 에너지 저장장치별 모듈화 충방전기 제작 - 에너지 저장장치 용량변화와 연동하는 운영기술 개발
	■ 고효율 전력변환기 제작 및 구현	- 경량의 분산형 보조전원장치 제작 - 고조파 발생을 억제하는 펄스 모듈레이션 기법 개발 - 전력밀도를 향상한 컨버터 및 인버터 시스템 제작 - 공조용 전력변환기 개발

구분	연구목표	연구 추진전략
3 차 년 도	■ 차량제작	- TC, T, T, TC카 1편성 제작 - 제작 차량의 풍동해석 - 내열성 실험 - 도어 매입형 에어커튼 설치시험
	■ 영구자석 추진전동기 및 대차 결합시험	- 부하 안정성 시험 - 탈선계수와 곡선 추종성능 시험 - 주행성능 및 마찰계수 측정 시험 - 추진전동기에 의한 구동성능 시험
	■ 에코드라이브 알고리즘 개발	- 신호, 부하, 차속과 지형을 고려한 주행패턴 설계 - 운전자 성향을 배제한 전상화 운전 패턴 설계 - 전력소비 제한에 따른 차속변화량 분석 - 표정속도 개선을 고려한 에코드라이브 알고리즘 개발 - 긴급정지 모드 구현으로 사고예방 기술 개발 - 운전자 현시장치 개발
	■ 에너지 저장장치의 성능 및 기능 시험	- 고속 충방전 실험 - 통합 제어기에 의한 충방전 모터링 기법 실험 - 진동, 온도, 습도 등의 내환경성 실험 - 모듈 분리 시퀀스 및 재투입 알고리즘 개발
	■ 모듈 제어기에 수명 예측 알고리즘 탑재 실험	- 고속 충방전시 셀 밸런싱 및 보호회로 동작시험 - 가속수명 시험에 의한 알고리즘 검증 - EMC, EMI 저감 및 차폐 기술 개발 - 통합 제어기에 의한 모듈 관리 제어기술 개발 - CVM에 통합 제어기에 알고리즘 탑재 시험
	■ 전력변환기의 성능실험	- 에너지 저장장치와 연동한 고속 충방전 시험 - 영구자석 전동기의 가변속 구동 시험 - 회생전압 부스트 기능에 의한 전기제동력 향상 실험 - 에너지 절감효과 분석
	■ 분산형 온도제어 기술 개발	- 차량 탑재용 공기조화 시스템 개발 - 멀티 포인트 분산 제어기 개발 - 차량의 공기조화 조합시험 - 에너지 효율 측정 실험

구분	연구목표	연구 추진전략
4 차 년 도	■ 차량 구동 시험	- 차량형상에 의한 주행효율 측정 시험 및 분석 - 차량 내부의 공기조화 성능 및 효율 측정 실험 - 진동, 소음, 주행성능 시험 - 영구자석 전동기의 추진 성능 및 에너지 절감 효과 분석 및 검토 - 에코 드라이브 기술에 의한 에너지 절약 효과 실험 및 분석
	■ 에너지 저장장치의 차량 탑재 실험	- 차량 탑재 후 주행시험 - 회생 에너지의 고속 충전 및 방전 실험 - 에너지 절약 효과 분석 및 효율 측정 - 시스템 보호 및 모니터링 정확도 평가 - 고장모듈 제거 및 투입 기법 실험
	■ 전력변환기의 차량탑재 실험	- 추진 인버터에 의한 주행시험 - 회생에너지를 에너지 저장장치에 축적 및 재사용하는 차량 연동실험 - 급제동시 가선으로 회생하는 컨버터 제어 실험 - 시스템 보호 및 제어성능 정확도 평가 - 공기조화 쾌적성 및 운전 성능 실험
5 차 년 도	■ 시운전에 의한 차량검증 및 효율 평가	- 차체의 안전성, 효율성 평가 - 차량의 공기조화 쾌적성 및 효율성 평가 - 영구자석 전동기와 경량 대차에 의한 추진 성능 평가 - 고효율 차량 제작에 의한 에너지 절감 효과 검증 - 에코 드라이브에 의한 에너지 절감 효과 검증 - 최종 시스템 개발 및 종합결과 도출
	■ 안전성·신뢰성 확보 실험	- 시운전에 의한 차량의 안정성 신뢰성 검증 - 신뢰성, 유지보수성, 경제성 검토
	■ 검증 및 평가	- 성능 검증 및 시운전 - 차량 탑재시 내환경성 평가 및 검증 - 충돌, 탈선시 안정성 평가 - 최종 시스템 사양 및 종합결과 도출
	■ 신뢰성 확보 실험	- 신뢰성 및 유지보수성 체계 관리 시스템 개발 - 수명예측 알고리즘 및 군 분리제어 보호기술 검증
	■ 검증 및 평가	- 성능·기능 검증 및 시운전 - 차량 탑재시 내환경성 평가 및 검증 - 충돌, 탈선시 안정성 평가 - 최종 시스템 사양 및 종합결과 도출
	■ 신뢰성 확보 실험	- 신뢰성 및 유지보수성 체계 관리 시스템 개발 - 보호체계에 대한 신뢰성 검증

5. 연차별 사업 예산

가. 하이브리드 디젤기관차

(단위 : 백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도	2,100	700	2,800
2차년도	4,710	1,570	6,280
3차년도	5,430	1,810	7,240
4차년도	2,650	883	3,533
합계	14,890	4,963	19,853

나. 청정에너지 디젤차량

(단위 : 백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도	2,000	700	2,700
2차년도	4,500	1,500	6,000
3차년도	3,200	1,100	4,300
합계	9,700	3,300	13,000

다. 하이브리드 전기기관차

(단위 : 백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도	2,979	1,489	4,468
2차년도	7,003	3,501	10,504
3차년도	7,636	3,818	11,454
4차년도	2,895	1,447	4,342
5차년도	1,250	625	1,875
합계	21,763	10,880	32,643

라. 하이브리드 전기동차

(단위 : 백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도(2009)	3,188	1,062	4,250
2차년도(2010)	7,968	2,657	10,625
3차년도(2011)	11,157	3,718	14,875
4차년도(2012)	6,375	2,125	8,500
5차년도(2013)	3,187	1,063	4,250
합계	31,875	10,625	42,500

6. 연구성과 활용방안 및 기대효과

가. 성과활용방안

- 하이브리드 철도차량 시스템 적용기술은 미래형 동력시스템 응용기술로 발전 가능하며 대용량 배터리 설계·적용 상용화 기술로 활용 가능
- 최근 고유가로 인한 석유소비 저감을 위하여 연료효율 향상과 환경 친화적인 철도차량 기술개발로 온실가스 배출량 감소에 따른 국가경제 영향력 제고
- 철도차량도 고밀도 에너지저장시스템 개발은 관성에너지를 전기에너지로 저장함으로써 에너지 이용효율을 높이는 시스템으로 국가 차원의 에너지, 환경문제에 대안으로 활용

나. 기대효과

- 철도차량의 대외의존도를 낮출 수 있는 계기일 뿐만 아니라, 선진 기술의 확보를 통한 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보의 기호로 삼아 향후 대세를 이루는 친환경 철도차량 분야의 선도적인 지위를 확보할 수 있는 밑바탕이 될 것으로 기대
- 철도산업이 국가 경제에 미치는 파급효과가 크다는 것은 자명한 사실이며, 전기구동시스템·동력전달시스템·에너지저장시스템·차량제어기술 등 관련 산업의 발전을 이끌 것임

제 3 장 철도차량 전과정평가 기술개발 기획연구

1. 서 론

- 고유가 시대 및 포스트 교토체제의 본격화에 따라 친환경, 저탄소 제품을 위한 기술개발이 국내 각 산업의 최대과제이다. 수송산업, 특히 자동차산업, 또한 지속가능한 교통 및 저탄소 교통수단개발을 위하여 각사의 역량을 집중하고 있다. 이러한 추세에서 각 국의 교통정책은 상대적으로 친환경 교통수단으로 인식되어 온 철도산업을 중심으로 저에너지, 고효율 교통수단으로 재편을 유도하고 있다.
- 하지만 철도의 친환경성은 운행단계만을 고려한 것으로 향후 친환경 대체에너지를 적용한 자동차와 비교할 경우 운행단계 뿐만 아니라 전과정에 걸쳐 철도의 친환경성은 위협을 받게 된다.
- 이러한 추세에 맞추어 철도차량의 환경성 개선을 위한 본 과제 추진에 앞서 사전기획을 통하여 최종 연구목표를 설정하고 이를 위한 주요 연구내용 및 추진전략을 수립함으로써 연구기간 및 연구비를 최적화하고 파급효과가 큰 환경성 개선기술 개발을 위한 기술을 도출하여 과제공모를 위한 RFP를 도출하고자 한다.

가. 기술개발의 필요성

- 온실가스 저감 등 국제적 환경성 개선필요성에 의하여 각국은 자국의 생산체계를 친환경생산체계 즉, 청정생산시스템으로의 전환을 도모하고 있다. 청정생산기술은 생산공정과 제품, 서비스 등에서 종합적이고 예방적인 환경전략을 지속적으로 적용하여 환경경제효율(Eco-efficiency)을 향상하고 인간과 환경에 미치는 위험을 줄이기 위한 기술로 재료에서 제품생산, 사용, 재자원화 등 전과정에서 자원생산성을 향상하여 환경오염물질 발생을 근원적으로 제거 또는 최소화하는 기술을 말한다. 따라서, 국내 철도산업도 청정생산체제로의 전환이 필요하다.

- 대통령직속 녹색성장위원회 주도로 추진되고 있는 국가 온실가스 중장기 저감 목표 및 기후변화, 에너지위기 및 환경보호 요구 등 교통물류 여건 변화에 대응하기 위한 지속가능한 교통물류발전법('09년 6월 제정) 등 국가 산업전반 및 철도교통체계의 저탄소 기술개발을 위하여 국내 철도차량의 환경부하 정량화기법, 에너지효율성 향상기술 및 폐기단계 환경성 개선기술개발을 통한 친환경 철도차량 정책수립에 필요한 기술개발이 필요하다.
- 유럽 등을 중심으로 철도선진국은 강화된 환경규제에 대응하기 위한 환경기술력을 확보하고 있으며 그 결과 철도차량의 재료별 환경성, 주요구성품 및 기능별 운행단계 에너지 소비량 및 폐기단계 재료재활용기술 등에 대하여 정량화하였으며 추가적인 환경성개선을 위한 대형프로젝트를 추진하고 있다.
- 하지만, 국내 철도산업은 환경규제의 사각지대로 환경성 개선을 위한 시도가 전무한 상태이다. 이러한 상황이 지속될 경우 국제 철도시장에서 환경적으로 도태될 상황에 있다. 따라서, 철도선진국과 같이 철도차량에 대한 전과정 환경성을 분석하고 개선하는 것이 시급하다.

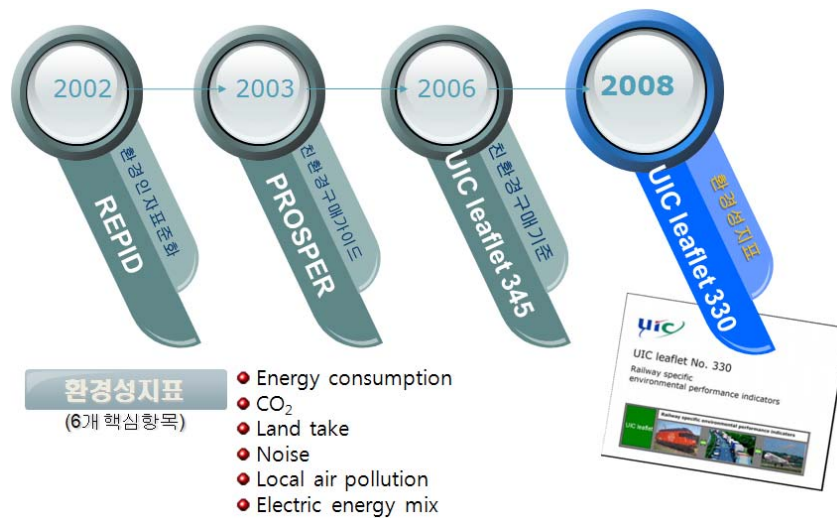
나. 기술개발의 연구목표

연구목표
온실가스저감 및 자원순환법상에서 규정하는 항목을 만족하는 수준의 철도환경성 개선을 위하여 ‘에너지 최적화 운행 및 자원순환시스템 기술’ 을 개발
- 철도차량운행에너지개선기술(에코드라이빙)
- 철도차량 친환경설계 및 자원순환시스템 기술

2. 국내외 기술 및 특허동향

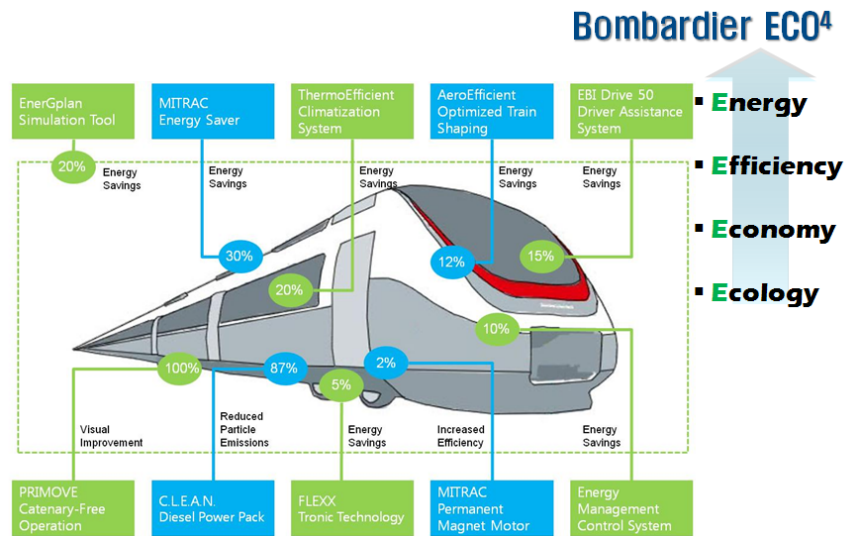
가. 국내외 기술동향

- '90년대 중반이후 유럽 등 철도선진국은 친환경교통수단으로서 철도의 중요성을 인식하고 철도를 중심으로 교통시스템 재편하기위한 정책수립과 철도산업 환경성 개선을 위한 프로젝트를 UIC를 중심으로 지속적으로 수행하고 있다.
- 유럽 철도산업 내에서 추진된 환경성 개선 프로젝트는 대표적으로 RAVEL('98.11~'01.10), REPID('02.8~'04.7), PROSPER II('03.9~'05.7), RailEnergy('06.9~ '10.8) 등이 있으며 프로젝트 수행결과 UIC leaflet 345, 330 등의 기준을 수립, 제시하고 있어 이러한 권고사항들은 향후 국제철도시장 내 환경규제로 작용할 것으로 예상된다.



<유럽 철도환경성 개선프로젝트와 UIC leaflet>

- 철도차량 제작사인 Bombardier사는 UIC를 중심으로 추진된 유럽 철도환경성 개선프로젝트를 주도적으로 참여하여 철도차량의 환경성을 전반적으로 분석(재료별, 제작공정별, 운행단계 에너지 소요량 및 재활용 현황 등)하였으며 이를 통하여 철도차량의 환경성 개선포인트를 도출하여 철도차량의 주요 환경성 개선프로젝트를 체계적으로 수행하고 있다.



<봄바르디아 ECO4 프로젝트>

- 또한, Bombardier사는 철도차량에 대해 전과정적인 사고(Life Cycle Thinking)를 적용하여 제조에서부터 사용, 폐기단계에 이르기까지 환경성능을 평가하고, 친환경 철도차량 설계기법을 전사적으로 적용하여 지속적으로 환경성을 개선하고 있다. 또한 철도차량의 환경성 정량화 결과를 활용하여 환경제품선언, EPD(Environmental Product Declaration)보고서를 작성, 철도차량 판매 시 제공하고 있다. Siemens에서도 Bombardier사와 동일하게 추진하고 있는 상황이다.

Bombardier 	Stokholm (스웨덴)		- 재활용율 : 94% - 에너지소비 : 0.09 kWh/passenge-km - 환경성 정량적 제시, 위해성분석
	Regina 오 (캐나다)		- 재활용율 : 93% - 에너지소비 : 0.09 kWh/passenge-km - 환경성 정량적 제시, 위해성분석
Siemens	Oslo (노르웨이)		- 재활용율 : 94.7% - 에너지소비 : 0.09 kWh/ton-km - 지구온난화 기여도
	CORADIA LIREX (스웨덴)		- 재활용율 : 98% - 에너지소비 : 0.06 kWh/passenge-km - 환경성 정량적 제시, 위해성분석

<유럽 철도차량의 EPD 인증사례>

- 이러한 국제적 추세에도 불구하고 국내 철도산업은 철도선진국에 비하여 기초적인 수준에 머물고 있는 상황이며, 국내 철도산업에서 전과정적사고로 접근한 최초의 연구사례는 ‘04~’08년까지 추진된 ‘전동차 전과정평가시스템 개발, 건설교통부’ 연구가 전부이다. 대표적인 연구성과는 도시철도차량의 환경성을 정량화할 수 있는 평가틀인 RACE S/W의 개발, 폐기단계의 복합소재를 재활용하여 상품화함으로서 지속가능형 철도재료기술을 개발하였으나, 국내 철도산업 전과정환경성목록데이터베이스 등의 기반미흡으로 환경성분석이 제대로 수행되지 못하고 종료되었다.

나. 국내의 특허동향

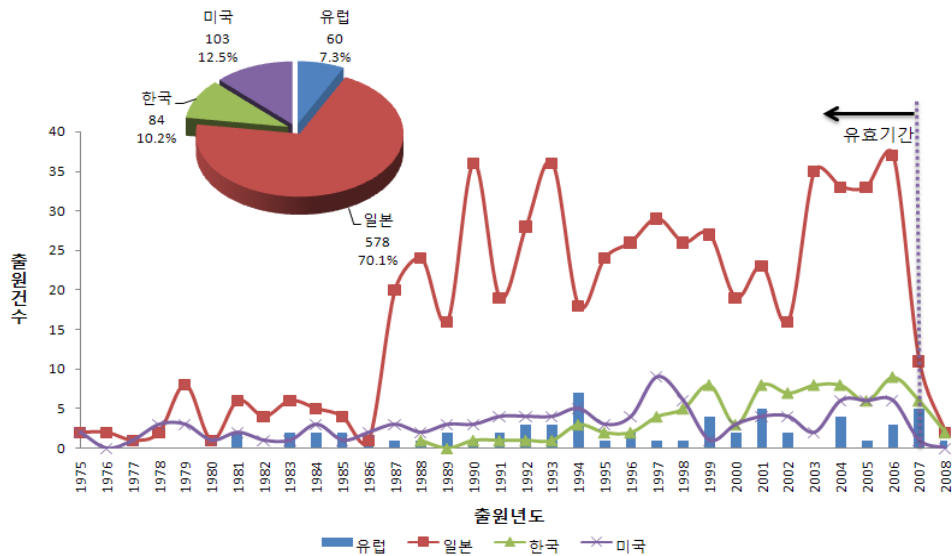
- 철도차량 전과정평가 기술개발 분야와 관련하여 세부기술 단위에서 기술수준평가 및 특허수준평가 모두 기준수준 이상으로 높게 나타난 세부과제는 없는 것으로 조사되었다. 또한, 특허수준 평가점수의 경우도 평균에 근접해 있는 것으로 나타나 기준점수를 크게 상회하는 세부과제는 없는 것으로 조사되었다.

<철도차량 전과정평가 기술개발 세부기술 특허 및 기술수준 평가>

기술명	세부과제 순위	세부기술명	기술수준 평가	특허수준 평가
철도차량 전과정평가 기술 개발	2	철도차량 에코디자인 기술	2.4	6.5
	6	철도차량 유해물질 Free 친환경 소재 기술	1.0	5.6
	5	철도차량 경량화 소재 기술	1.5	5.2
	7	철도차량 리모델링 기술	1.0	5.1
	4	철도차량 운행 에너지효율 개선기술	1.8	4.9
	1	철도차량 친환경 해체 및 처리기술	4.0	4.3
	3	주요 부품 및 재료 재활용 기술	2.6	5.4
	평균		1.6	5.0

- 하지만, 철도차량 친환경 해체 및 처리기술 분야의 기술수준평가는 기준수준(5.0)보다는 낮게 평가되었으나, 철도차량 전과정평가 기술개발 세부과제 중 가장 높은 점수를 나타내고 있어 상대적으로 기존 특허의 기술수준이 높은 것

으로 평가되고, 특허수준평가의 경우 기준수준(5.0)보다 낮고, 세부과제 중 가장 낮은 점수를 나타내고 있어 기존특허의 기술수준은 높으나 상대적으로 권리범위 수준은 낮은 것으로 평가되므로 연구목표 달성 시 특허권 확보의 실현가능성이 높은 것으로 평가되었다.



<주요국 연차별 특허출원 동향>

- 국내의 경우, 한국철도기술연구원, 한국철도공사, 로템 등에서 철도차량 운행 에너지효율 개선 기술, 철도차량 리모델링 기술에 대해서 타 분야에 비해 활발한 특허활동을 하고 있는 것으로 분석되었으나, 이는 국내에서 제한적으로 발생하는 것으로 분석되어, 향후 자국뿐 아니라 해외 경쟁국에서도 공격적 권리수립 및 특허방어 전략을 펼쳐야 할 것으로 판단된다.

3. 연구내용

세부과제		세부기술개발목표
I. 철도차량 운행에너지 개선기술 (에코드라이빙)	회생전력을 고려한 실시간 녹색운행제어 및 관리기술	- 회생전력 및 저장에너지 실시간 센서링 및 차상/지상 인터페이스 기술개발 - Eco-driving 최적화 패턴 실시간 예측 및 시뮬레이션 기술개발 (회생전력 최적화 및 저장에너지 고려 운행예측기술) - 실시간 에너지사용을 고려한 네트워크 운행환경성 평가기술개발 - 운행에너지 최적화 철도차량 설계기술개발 및 가이드 작성 (차상 에너지저장장치용량 등 차량설계 및 최적운행가이드)
	철도차량 차상에너지 효율향상 및 개선기술	- 철도차량 차상 에너지효율 향상기술 개발 및 기준 제시 (단열성능평가 등) - 차상 실내조명 제어 및 최적화기술개발 - 차상 에너지저장장치 연계 및 활용기술개발 - 철도차량 운행에너지 개선기술 환경성정량화를 통한 인증 및 제도개선(안) 제시
II. 철도차량 친환경설계 및 자원순환시스템 기술	철도차량 친환경설계기술	- 철도차량 재료 친환경성을 고려한 설계기술 - 철도차량 친환경해체를 고려한 설계기술 - 철도차량 재료 재활용율을 고려한 설계기술 - 철도차량 친환경설계가이드 및 기준(안) 작성 - 철도차량 재활용시스템구축에 따른 에너지저감효과제시 및 인증
	철도차량 환경성 인증기술	- 철도차량 환경성(Carbon Footprint)인증 기반연구 - 환경규제요구사항(재활용성, 유해물질사용여부)를 고려한 철도차량 주요재료 환경성인증(탄소라벨링 등) 기반구축 - 철도산업 재료 친환경 구매 및 관리(SCP)시스템 및 기준(안) 작성
	철도차량 재활용시스템기술	- 철도차량 주요재료 재활용 기술개발 - 철도차량 재활용가이드 및 기준(안) 작성 - 철도차량 친환경 해체시스템 구축 및 활용기술 - 철도차량 주요재료별 재활용 환경성효과분석

4. 연차별 성과목표

년도	세부과제	성과목표
1 차 년 도	I. 철도차량 운행에너지 개선기술 (에코드라이빙)	· 실시간 철도차량 성능기반 에코드라이빙 최적화기술 개발방향 제시 · 에너지동기화 네트워크운행 평가 및 최적화 모델 개발 · 철도차량 운행패턴 및 에너지저장장치효과 분석 · 회생전력의 이차전지 저장기술 및 차상전력공급모듈개발 (I) · 운행에너지 개선을 위한 차상 주요 구성품 사양분석 및 개선 방향 제시(I) · 운행단계 환경성분석시나리오 및 환경성평가 절차서 작성
	II. 철도차량 자원순환시스템 기술	· 철도차량 폐차처리현황분석 · 재활용을 고려한 철도차량 친환경설계방안 연구(I) · 철도차량 친환경해체기술개발 목표사양제시 (전과정 철도차량재료 유효자원화 기술개발방향) · 철도차량 친환경해체시스템 설계, 대상 부지조사 및 선정 · 부품&재료별 재활용기술연계방향 및 범위분석 · 자원재활용을 위한 국내 인프라 조사 및 연계방안 제시 · 철도차량별 해체방향 및 환경성분석시나리오 작성 · 철도차량 친환경해체시스템 환경성인증절차연구(I) · 철도차량 주요재료 및 물질별 환경유해성 분석
2 차 년 도	I. 철도차량 운행에너지 개선기술 (에코드라이빙)	· 회생전력동기화 네트워크운행 평가 및 최적화 모델개발 · 에코드라이빙 운행 제어를 위한 차상/지상 관제핵심 요소기술 개발(I) · 회생전력의 이차전지 저장기술 및 차상전력공급모듈개발 (II) · 운행에너지 개선을 위한 차상 주요 구성품 사양분석 및 개선 방향 제시(II) · 운행단계 환경성평가를 위한 DB구축 및 환경성평가(I)
	II. 철도차량 자원순환시스템 기술	· 재활용을 고려한 철도차량 친환경설계방안 연구(II) · 철도차량 친환경해체시스템 설비구축(I) · 기반 효율적 공정관리시스템 구축(I) · 해체대상 부품별 전처리기술개발 · 친환경해체용이 도구 개발(I) · 부품&재료별 재활용기술 연계시스템 구축(I) · 철도차량 친환경해체에 따른 환경성분석 DB구축(I) · 철도차량 친환경해체시스템 환경성인증절차연구(II) · 재료별 유해물질 함유량 분석 및 친환경처리방안 제시 (I)

3 차 년 도	I. 철도차량 운행에너지 개선기술 (에코드라이빙)	· 에너지저장장치를 고려한 Economic Driving Pattern 최적화 및 제어기술 개발 · 실시간 에코드라이빙 운행 제어를 위한 차상/지상 관계핵심 요소기술개발(II) · 회생전력의 이차전지 저장 및 연계기술 성능평가 · 실시간 전력구간별 및 전체네트워크 Eco-Monitoring 기술 개발 · 운행에너지 개선을 위한 차상 주요 구성품 사양분석 및 개선 방향 제시(III) · 운행단계 환경성평가를 위한 DB구축 및 환경성평가(II)
	II. 철도차량 자원순환시스템 기술	· 재활용을 고려한 철도차량 친환경설계방안 연구(III) · 철도차량 친환경해체시스템 설비구축(II) · 기반 효율적 공정관리시스템 구축(II) · 친환경해체시스템기술 운영절차서 작성 · 친환경해체용이 도구 개발(II) · 부품&재료별 재활용기술 연계시스템 구축(II) · 환경성을 반영한 재료재활용 및 처리기술 개발(II) · 철도차량 친환경해체에 따른 환경성분석 DB구축(II) · 재료별 유해물질 함유량 분석 및 친환경처리방안 제시 (II)
4 차 년 도	I. 철도차량 운행에너지 개선기술 (에코드라이빙)	· Eco-Traffic 경합 예측 및 시뮬레이션 기술 개발 · 에너지 동기화 실시간 에코드라이빙 운행시스템 시범적용 및 통합관계기술개발 · 이차전지 철도차량 시범적용 및 연계기술테스트 · 에너지동기화 실시간 에코드라이빙시스템 기술보완 · 에너지동기화 에코드라이빙시스템의 환경경제성 개선효과 및 환경성인증방안제시 · 철도차량 내부에너지개선을 위한 주요장치 시범적용 및 관리 기술 개발 · 철도차량 운행에너지 관리절차 및 기준(안) 제시 · 철도차량 내부에너지효율을 고려한 제작가이드 작성 및 보완
	II. 철도차량 자원순환시스템 기술	· 재활용을 고려한 철도차량 친환경설계가이드 제시 · 친환경철도차량 및 부품 친환경구매가이드 제시 · 환경성을 반영한 재료재활용 및 처리기술 개선효과 제시 · 철도차량 친환경해체시스템 시범적용 및 공정개선 · 친환경해체시스템 절차서 보완 · 철도차량 친환경해체시스템 환경성정량화 및 인증방안제시 · 철도차량 자원순환정책(안) 작성 · 환경경제적 철도차량 재료 재활용효과 및 방향 제시

5. 연차별 사업예산

(단위:백만)

년도	세부과제	정부출연금	민간부담금	계
1 차 년 도	I . 철도차량 운행에너지 개선기술 (에코드라이빙)	1,200	300	1,500
	II . 철도차량 자원순환시스템 기술	1,000	250	1,250
	소 계	2,200	550	2,750
2 차 년 도	I . 철도차량 운행에너지 개선기술 (에코드라이빙)	1,500	300	1,800
	II . 철도차량 자원순환시스템 기술	2,000	500	2,500
	소 계	3,500	800	4,300
3 차 년 도	I . 철도차량 운행에너지 개선기술 (에코드라이빙)	2,000	500	2,500
	II . 철도차량 자원순환시스템 기술	3,000	750	3,750
	소 계	5,000	1,250	6,250
4 차 년 도	I . 철도차량 운행에너지 개선기술 (에코드라이빙)	800	200	1,000
	II . 철도차량 자원순환시스템 기술	3,000	500	3,500
	소 계	3,800	700	4,500
총 계		14,500	3300	17,800

6. 연구성과 활용방안 및 기대효과

가. 활용방안

- 운행에너지 최적화 및 차상에너지 효율개선기술 적용으로 에너지 최적화를 고려한 철도차량의 에코드라이빙 통합관제 및 제어기술에 활용
- 철도차량 친환경해체시스템 활용을 통한 철도산업의 자원순환을 위한 업무지침 작성에 활용
- 운행에너지 및 자원순환시스템 활용기술에서 확보가능한 환경요소기술을 적용하여 설계단계에서 친환경철도차량 제작이 가능한 친환경 설계기술개발에 활용
- 지속적인 국내 철도산업 환경성 개선이 가능하도록 제작, 운행 및 폐기단계 전과정에 걸친 환경성개선키트 및 제도 개선을 위한 자료로 활용

나. 기대효과

- 운행에너지 최적화 제어기술 및 차상에너지 효율개선기술 적용으로 철도차량의 운영비용 절감 및 환경성 향상
 - 회생전력 최대활용을 통한 예상 에너지개선효과 : 37억/년 ·노선
- 철도차량 친환경해체시스템기술 적용으로 철도산업의 부품재이용 및 재활용을 통한 환경경제성 확보
 - 철도차량 폐차처리에 따른 환경성개선효과 : 온실가스저감량 506,935 tCO₂,
(~2025년) 에너지감축효과 1,195,605 MWh
경제적효과 : 800 억원

제 4 장 연구성과의 활용방안 및 기대효과 종합

1. 연구성과의 활용방안

- 하이브리드 철도차량 시스템 적용기술은 미래형 동력시스템 응용기술로 발전 가능하며 대용량 배터리 설계·적용 상용화 기술로 활용 가능하며, 최근 고유가로 인한 석유소비 저감을 위하여 연료효율 향상과 환경 친화적인 철도차량 기술개발로 온실가스 배출량 감소에 따른 국가경제 영향력 제고
- 철도차량도 고밀도 에너지저장시스템 개발은 관성에너지를 전기에너지로 저장함으로써 에너지 이용효율을 높이는 시스템으로 국가 차원의 에너지, 환경문제에 대안으로 활용
- 운행에너지 최적화 및 차상에너지 효율개선기술 적용으로 에너지 최적화를 고려한 철도차량의 에코드라이빙 통합관제 및 제어기술에 활용되며, 철도차량 친환경해체시스템 활용을 통한 철도산업의 자원순환을 위한 업무지침 작성에 적용
- 운행에너지 및 자원순환시스템 활용기술에서 확보가능한 환경요소기술을 적용하여 설계단계에서 친환경철도차량 제작이 가능한 친환경 설계기술개발에 활용되며, 지속적인 국내 철도산업 환경성 개선이 가능하도록 제작, 운행 및 폐기 단계 전과정에 걸친 환경성개선가이드 및 제도 개선을 위한 자료로 활용

나. 기대효과

- 철도차량의 대외의존도를 낮출 수 있는 계기일 뿐만 아니라, 선진 기술의 확보를 통한 국제 시장의 진입과 경쟁력 확보의 기호로 삼아 향후 대세를 이루는 친환경 철도차량 분야의 선도적인 지위를 확보할 수 있는 밑바탕이 될 것으로 기대
- 철도산업이 국가 경제에 미치는 파급효과가 크다는 것은 자명한 사실이며, 전기구동시스템·동력전달시스템·에너지저장시스템·차량제어기술 등 관련 산업의 발전을 이끌 것임
- 운행에너지 최적화 제어기술 및 차상에너지 효율개선기술 적용으로 철도차량의 운영비용 절감 및 환경성 향상 및 철도차량 친환경해체시스템기술 적용으로 철도산업의 부품재이용 및 재활용을 통한 환경경제성 확보