국토교통연구기획사업

발 간 등 록 번 호
11-1613000-001735-01

철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 기획 보고서

2016. 12

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원) 귀하

이 보고서를 “철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 기획“ 과제의 보고서로 제출합니다.

2016. 12.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 이 수 길
연 구 원 : 이 병 송
“ : 김 명 룡
“ : 백 제 훈
“ : 이 경 표
“ : 임 정 렬

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2015. 9.30.~
2016. 9.29.</td><td>단 계 구 분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">국토교통연구기획</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">철도차량 안전성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 기획</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">이수길</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 6명
내부 : 6명
외부 : 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 7천만원
기업 : 천원
계 : 7천만원</td></tr>
<tr><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 명
내부 : 명
외부 : 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 천만원
기업 : 천원
계 : 천만원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도기술연구원</td><td>참여기관명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 :</td><td colspan="3">연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td>보고서면수</td><td>429</td></tr>
</table>

o 국내외 관련 연구, 기술동향 및 특허조사
- 국내 철도차종별 추진시스템 현황 및 기술동향 조사
- 해외 철도 선진국의 철도차종별 추진시스템 현황 및 기술동향 조사
- 추진시스템 주요 구성품(주변압기, 컨버터, 인버터, 전동기 및 기어 등) 관련 최신 기술 조사
- 전력 추진시스템의 국내외 특허동향 조사
- 국내외 기술개발 현황 및 국내 기술 인프라·인력 현황(기업, 연구소, 대학 등) 분석
- 기술수요 및 기술예측 조사 실시
- 동향분석 결과를 바탕으로 기술개발 추진방향 정립(SWOT 분석 등)
o 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 전략 제시
- 개발 추진시스템의 요구사양 도출
- 안정성 향상 및 경량화를 위한 주요 구성품의 핵심기술 도출
- 기술개발 비전, 목표, 핵심전략 제시
- 기술발전 시나리오 제시

- 비전달성을 위한 후보과제 도출
- 후보과제에 대한 우선순위 도출
  ※ 기술개발 성공가능성, 기술개발 중요도·시급성 검토 등
- 산업 내에서 표준으로 사용할 수 있는 설계 기준, 시험/검증 방안 제시
- 개발 시스템의 안전성 및 신뢰성 확보 방안 제시
- 단계별 추진전략 및 로드맵을 포함한 시스템 개발을 위한 기술개발 계획서 제시
- 경제성 및 기대효과 분석

○ 추진시스템 기술개발 추진과제 발굴 및 기획
- 목표 및 연구범위 설정
- 세부과제(핵심요소기술) 도출 및 연구내용 설정
- 세부과제 연차별·단계별 성과목표(정량적, 정성적)와 성과지표(필수지표 포함) 설정 및 성과맵 제시
  ※ 핵심요소기술의 개발수준 및 달성여부 판정기준 등
- 연구추진체계 제시
- 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립
- 과제별 소요예산 산정
  ※ 단위과제 기준으로 연차별 예산산출 근거를 작성하여 소요예산 적정성 검토

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	철도차량 추진시스템,주변압기,추진제어장치,견인전동기,감속기
	영 어	rolling-stock propulsion(traction) system, main transformer, propulsion(traction) equipment, traction motor, driving(reduction) gear

요 약 문

Ⅰ. 제목

철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 기획

Ⅱ. 연구목적 및 필요성

○ 철도차량 추진시스템에 신기술을 적용하여 철도차량의 안정성 향상 및 경량화를 달성하므로서 철도 운영 효율화 및 철도교통의 경쟁력을 확보하기 위한 기술개발 기획

- 전통적 추진시스템(유입식 변압기, 3상 유도전동기를 기반으로 한 추진제어장치, 기계식 감속 구동장치 등)이 갖는 구조적 한계에 따른 안정성 및 경량화 개선을 통한 새로운 추진시스템 기술개발

- 주변압기, 견인전동기, 추진제어장치, 감속 구동장치 등의 중량대비 낮은 출력밀도, 고장 취약성 및 높은 유지보수 비용을 개선하여 철도차량 이용 편의성 증대

- 해외 선진 기업 등에서는 새로운 기술의 철도적용을 위한 지속적 기술개발 추진으로 기술 개발에 뒤쳐질 경우 해외기술도입의 역순환 반복 우려(외국의 신기술 종속) 되므로 국내 기술개발을 통한 세계 시장 선도

- 국가기간산업인 철도산업 분야에 대한 시장선도형 철도차량 핵심기술개발의 정부주도 추진으로 미래가치 창출 및 철도산업의 수출 경쟁력 확보

○ 최근 개발되는 신기술(반도체변압기, SiC 적용 다상 추진제어장치 및 견인전동기, 마그네틱기어 등)을 적용한 새로운 형식의 도시철도 및 광역철도 추진시스템 기술개발

- 반도체 변압기의 철도차량 적용을 위한 핵심기술개발을 통한 기존의 유입식 변압기 대비 20% 무게 절감

- SiC 적용 다상 추진제어장치 영구자석저감형 동기전동기의 핵심기술개발을 통한 신뢰성 향상 및 15% 경량화 개발

- 비접촉식 마그네틱 감속기어 개발을 통한 중량(약 10%) 절감, 고장율 저감 및 유지보수성 향상

- 신개발 추진시스템의 도시철도 및 광역철도 적용을 위한 SE 기술개발 및 핵심장치 검증을 위한 조합시스템 Test-Bed 구축

○ 철도차량 추진시스템기술은 전차선으로 부터 공급되는 전원을 철도차량의 가/감속 구동 및 보조기기들의 작동에 필요한 전원공급, 가/감속 구동, 동력발생 및 차륜에 동력을 전달하는 기술을 의미

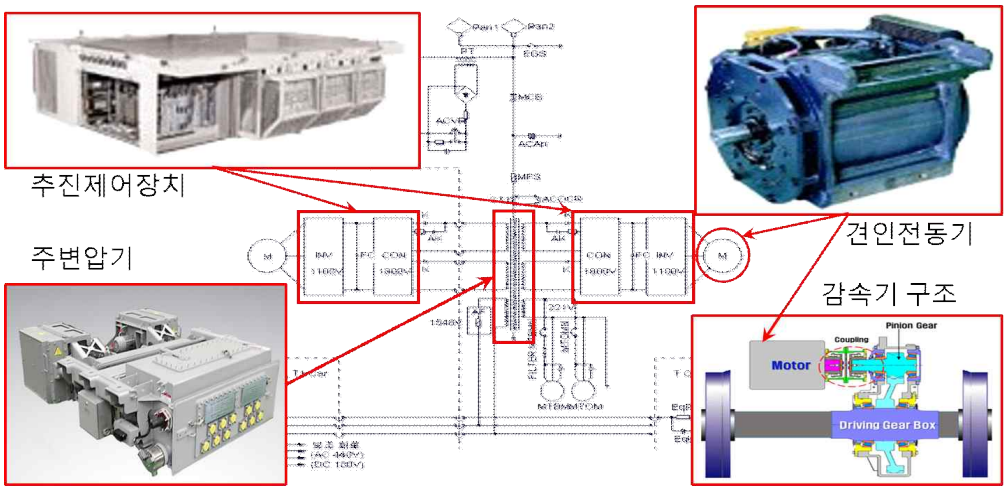
- 철도차량의 가장 중요한 기능인 차량이 주행을 할 수 있도록 가속 및 감속을 담당

- 철도산업을 경쟁력 및 기술 수준을 결정하는 핵심 요소기술

- 철도분야의 세계적인 대표 기업들은 모두 추진시스템기술을 보유하고 기술을 선도하는 기업이며, 이러한 기업을 보유한 국가가 현재의 철도선진국임

- 철도차량의 가/감속 능력 및 최고주행속도 등 성능을 결정

- 철도차량의 각 구성부품 가운데 중량(차량 중량의 약 10% ~ 30%), 부피(차량 설치 기기의 50% ~ 60%)를 차지하고 있으며 사용하는 에너지의 90% 이상이 소모되는 대전력 기기



<철도차량 주전력 시스템 구성도>

- 주변압기 기술, 추진기술, 감속구동 기술을 포함하며, 이러한 기술이 적용되는 장치가 각각 주변압기, 추진장치, 감속기임

■ 주변압기 : 전차선으로 부터 공급되는 전력을 차량에 필요한 수준으로 변환

■ 추진장치 : 전기에너지를 운동에너지로 변환하는 견인전동기와 견인전동기를 제어하여 가/감속을 하도록하는 추진제어장치로 구성

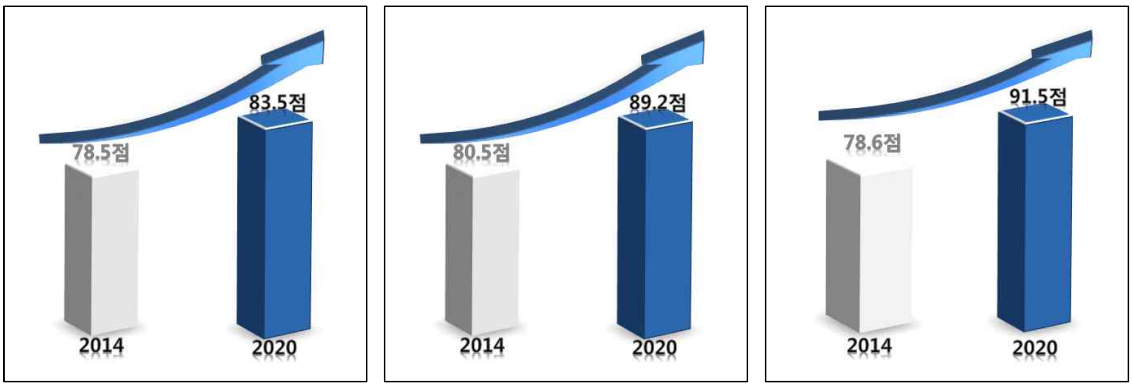
■ 감속장치 : 견인전동기에서 발생된 기계적 운동에너지를 차축/차륜에 전달

○ 철도 현장 중심의 국내 철도기술 수준을 높여 열차이용의 안전성 및 유지보수성을 확보하여야 하나 철도기술은 선진국 대비 차량분야 83.5%(‘20), 시설분야 89.2%(’ 20), 운영 및 환경분야 91.5%(‘20) 로 예상하고 있어 시급히 철도차량

분야에 기술개발이 필요함.

- 철도통계에 따르면 한국, 일본, 미국, 중국, 독일, 프랑스, 영국과의 기술수준을 상대적으로 평가한 결과, 한국은 차량분야는 78.5점, 시설분야는 89.2점, 운영 및 환경 분야는 91.5점의 수준을 받음 (2014년 기준)

- 장래 2020년까지 모든 분야에 대하여 2014년 영국의 평가 기술수준인 차량분야는 83.5점, 시설분야는 89.2점, 운영 및 환경은 91.5점으로 증가할 계획



차량분야 시설분야 운영 및 환경

<장래 철도분야 기술수준>

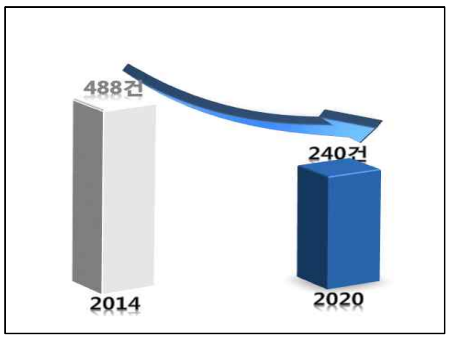
○ 철도교통 사고 감소를 통해 철도의 안전성은 물론 쾌적성 개선을 위해 2020년까지 철도사고 건수를 240건 이하로 감소시킬 계획이므로 이에 따른 철도 분야 기술개발이 필요하며 특히 차량의 운행 장애 해소를 위해 첨단추진시스템 적용이 필요함.

<우리나라 철도사고 년도별 건수>

(단위 : 건수)

구분	2010	2011	2012	2013	2014
합계	632	625	589	554	488
철도사고	317	277	250	232	209
철도교통·안전사고	23	20	19	21	16
사고사상	294	257	231	211	189
운행장애	315	348	339	322	279

주 : 고속/일반철도, 수도권전철사고 및 운행장애(도시철도 포함)



<장래 철도사고 목표>

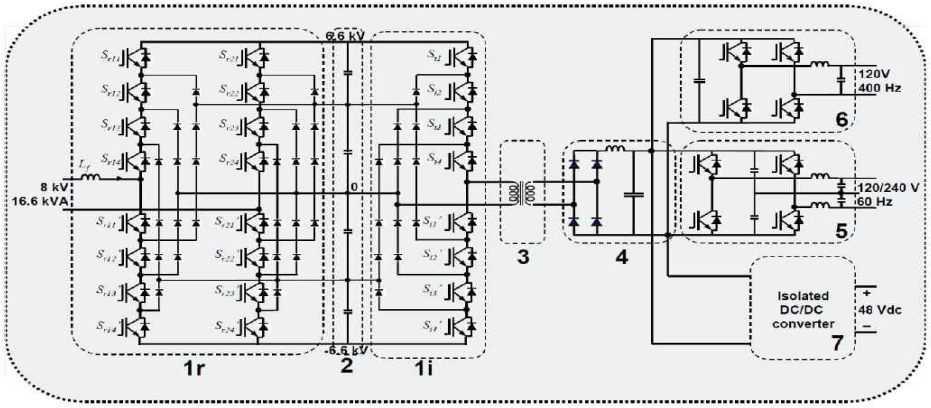
Ⅲ. 연구내용 및 범위

○ 국내외 첨단추진시스템 기술 현황분석

· 반도체 변압기는 미전력연구원(EPRI)이 주관으로 Virginia 공대와 공동으로 철심과 코일로 구성되는 기존 변압기를 대체하는 반도체 변압기의 타당성을 검토하면서 시작됨

-최초의 실증모델은 Full Bridge 5레벨 정류용 컨버터 + Half Bridge 5-level Converter + 고주파 변압기 + Diode Bridge + Full Bridge Converter로 구성하여 92%의 시스템 효율을 달성

-이후, 배전용 및 철도차량용 등 연구 분야가 점차 확대 되고 있으며, 미국의 MIT에서는 2011년 10대 유망 기술 중의 하나로 선정하는 등 최근 급격히 각광 받고 있다.

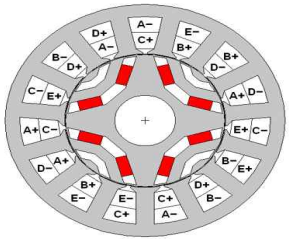


<최초의 반도체변압기 구성 회로>

· 희토류 저감형 동기전동기는 최근의 희토류 영구자석 가격의 급격한 상승으로 인해 기존의 매입형 영구자석 동기전동기를 대체하는 형태의 전동기로 개발되고 있으며 10kW 미만급의 경우, 단위 부피당 토크를 유도전동기에 비하여 4% ~ 5% 가량 크다는 장점이 있어, LG전자, 동부대우전자, 현대자동차, 전자부품연구원 등을 중심으로 소형가전 혹은 자동차 등에 적용하기 위한 연구가 이루어지고 있으며, 에어컨 실외기 팬(LG전자), 정속 런닝머신(두비원(주))등에서 개발 적용한 사례가 있다. 또한 영구자석형 동기전동기에 비하여 고속 영역에서의 역기전력이 낮다는 장점이 있어 특히 고속회전이 필요한 분야에서 영구자석에 의한 역기전력을 낮추기 위한 대안으로 개발되고 있음.

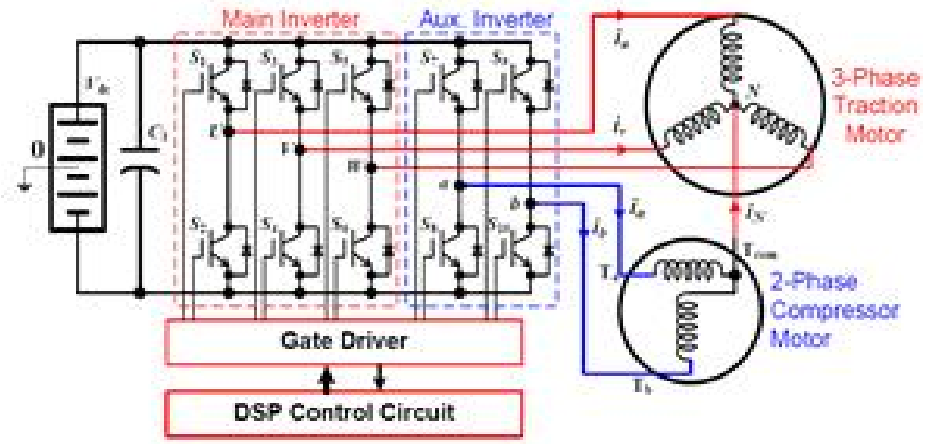
사양	유도전동기	IPMSM	PMa-SynRM
Torque Source	Field	영구자석	영구자석 + Reluctance Torque
영구자석 부피	0%	100%	60%
효율	약 90%	약 96%	약 96%
Back-EMF	낮음	높음	낮음
전동기 부피	100%	6~70%	6~70%
장점	쉬운 설계와 제어 낮은 가격	작은 부피 높은 출력밀도	쉬운 고속제어 높은 출력밀도
단점	큰 부피 낮은 효율	높은 가격 고속제어 어려움	설계 어려움

<영구자석 동기전동기 특성>



< 5상 PMaSynRM 구조 >

· 유도전동기는 영구자석형 동기전동기에 비해 큰 부피와 무게를 가지고 있으므로 추진 시스템의 경량 소형화에 어려움이 있다. 따라서 최근의 세계 각국의 철도 추진용 전동기는 영구자석형 동기전동기와 인버터를 적용하여 소형, 고효율화를 구현하고 있다. 그러나 희토류 영구자석의 가격 상승과 더불어 고속회전 시 발생하는 영구자석의 역기전력에 의한 제어성능 저하의 문제가 있으므로 이러한 문제를 해결하기 위한 대안 기술의 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 기술개발이 가장 활발하다고 할 수 있는 전기자동차, 공작기계 등 분야에서부터 영구자석 저감형 동기전동기의 개발 및 상용화 시도가 이루어지고 있다. 또한, 인버터 또는 전동기의 1상이 고장 시 나머지 2상으로 구동할 수 없는 구조를 개선하여 고장 발생 등 상황에 대한 시스템의 안전성 향상을 위해서는 2상 구동 기술의 개발 혹은 5상 이상의 다상구조에 대한 개발이 미국의 국가연구소인 Oak RidgeLab 중심으로 이루어지고있음.

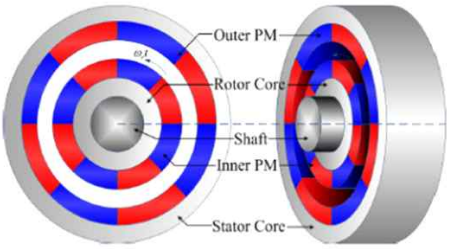


<미국 Oak Ridge Lab의 하이브리드 자동차용 5상 인버터>

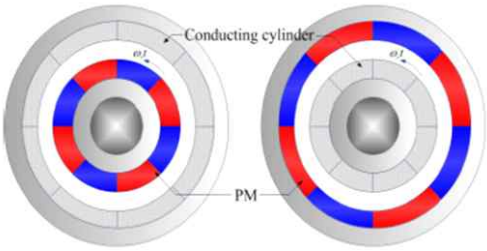
· 2014~2017년 미래창조과학부 발주로 “고속 영구자석 전동기의 비접촉 기계부하 결합을 위한 마그네틱 디바이스 설계기술 개발” 과제를 충남대학교가 수행하면서 고속회전용 영구자석 자기 커플링 기술을 개발 중임. 영구자석형 자기커플링의 전자기 특성 해석과 설계기법을 확보 후 초고속 영구자석 회전시스템용 자기 커플링 설계/제작하

고, 초고속 회전시스템 적용/성능평가를 수행 중에 있음

반경방향 영구자석을 갖는 자기커플링의 구조



와전류가 발생하는 자기커플링의 해석 모델



○ 첨단추진시스템 기술수요조사

· 본 기획연구에서 기술수요조사의 목적은 미래에 국가 및 기업에서 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 세부기술과제 수준에서 도출하는 것임.

· 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당함.

· 기술수요 조사 대상은 기획 참여연구원, 자문위원, 외부전문가를 대상으로 방문 협의 및 메일 발송을 통해 조사함.

<기술수요조사 내용 및 응답 결과>

구 분	내 용
조사기간	방문조사 : 2015. 12. 3 ~ 12. 15 (서울메트로 등 4개 기관) 이메일 : 2015. 12. 16 ~ 12. 30 (현대로템 등 7개 기관)
조사대상	참여연구원, 자문위원, 외부전문가
조사방법	이메일을 통한 설문조사
응답기관	철도공사 등 5개 기관
기술수요조사 응답건수	변압기 : 4건 견인인버터 : 8건 견인전동기 : 4건 구동기어 : 6건 기타 : 차단기, 전압/전류센서, 커플러, 팬터그래프, 추진계통 보호협조

o 추진시스템의 중점분야별 대상장치에 기술수요조사 제안과제를 매칭하면 다음과 같음

<기술수요조사 제안과제 매칭 및 적용 대상차량>

중점 분야	대상장치	과제명	적용 대상차량			
			도시 철도	고속 철도	광역 일반 철도	기타
주변 압기	몰드형 변압기	철도차량용 몰드형 변압기 개발	○	○	○	
	반도체 변압기	친환경 절전형 양방향 반도체 변압기 개발	○			
	유입형 변압기	유입변압기 최적 구조설계	○	○	○	
		철도차량용 유입형 주변압기 상태진단 기술개발	○	○	○	
추진 제어 장치	직/교류 겸용 추진제어 컨버터/인버터	3레벨 컨버터 적용 추진제어장치 개발	○			
		전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	○	○	○	
		SiC 소자적용 전력변환장치 개발	○	○	○	
	추진제어 인버터	추진제어장치 시스템 간소화	○			
		고효율 다상 인버터 개발	○	○	○	
		인공지능형 추진제어장치 개발	○			
		주요소자 국산화 개발	○			
		지능형 인버터 개발	○			
견인 전동기	다상 전동기	고효율 다상 전동기 개발	○	○	○	
	동기전동기	210kW급 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	○			
		영구자석을 이용한 동기전동기(PMSM) 개발	○	○	○	
	유도전동기	무보수(장수명) 유도전동기 개발	○			
감속기 /커플링	비접촉 감속기	210kW급 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	○			
	비접촉 감속기	비접촉식 감속기어 기술개발	○	○	○	
	감속기	철도차량용 차동기어유니트 개발	○			
	비접촉 커플링	비접촉식 커플링 기술개발	○	○	○	
	비접촉 베어링	마그네틱 베어링 기술개발	○	○	○	
기타 기기	연결기	지능형 커플러 개발	○			
	전압/전류 센서	전압/전류 센서 국산화 개발	○			
	진공차단기	소형/경량화 전자식 진공차단기 개발	○			
	고속차단기	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발	○			
	팬터그래프	적응형대용량 팬터그래프 개발	○			
	전력시스템	추진계통 구성장치의 보호특성값	○	○	○	○

○ 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구내용은 다음과 같음

<중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구개발 내용>

중점분야	대상기기	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
주변압기	유입형 변압기	철도차량용 유입형 주변압기 상태진단 기술개발	실시간 상태진단기술
	유입형 변압기	유입변압기 최적 구조설계	냉각/절연구조 최적화 설계
	몰드형 변압기	철도차량용 몰드형 변압기 개발	몰드형 변압기 개발
	반도체 변압기	친환경 절전형 양방향 반도체 변압기 개발	전력반도체 적용 양방향 전력제어 전력전자 변압기 개발
추진제어장치	직/교류 겸용 추진제어 컨버터/인버터	SiC 소자적용 전력변환장치 개발	SiC소자 적용 전력변환장치 개발(기존장치 대체)
		3레벨 컨버터 적용 추진제어장치 개발	3레벨 스위칭 적용 컨버터 개발
		전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	결함진단 및 수명예측 기술개발
	추진제어 인버터	지능형 인버터 개발	고속스위칭 전력반도체 적용기술개발 전압/전류 검출 센서 개발
		추진제어장치 시스템 간소화	안전운행 대응 제어시스템 개발
		인공지능형 추진제어장치 개발	이상상태 적응형 추진제어장치
		주요소자 국산화 개발	대전력 소자 개발
		고효율 다상 인버터 개발	다상전동기 구동 인버터 개발
견인전동기	동기전동기	210kW급 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	감속기 일체구조 동기전동기 개발
		영구자석을 이용한 동기전동기(PMSM) 개발	PMSM 개발(기존장치 대체)
	다상 전동기	고효율 다상 전동기 개발	다상전동기 개발
	견인전동기	무보수(장수명) 유도전동기 개발	무보수 베어링 개발
감속기/커플링	비접촉 감속기	210kW급 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	전동기 일체형 감속기 개발
		비접촉식 감속기어 기술개발	비접촉 감속기 개발
	감속기	철도차량용 차동기어유니트 개발	급곡선 통과형 차동기어장치 개발
	비접촉 커플링	비접촉식 커플링 기술개발	비접촉 커플링 개발
	비접촉 베어링	마그네틱 베어링 기술개발	마그네틱 베어링 개발
기타기기	연결기	지능형 커플러 개발	사물인터넷에 의한 커플러 파손 검지
	전압/전류 센서	전압/전류 센서 국산화 개발	차량용 전류/전압 검출 센서 개발
	진공차단기	소형/경량화 전자식 진공차단기 개발	전자식 진공차단기 개발
	고속차단기	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발
	팬터그래프	적응형대용량 팬터그래프 개발	집전용량 증대 및 과도상승 방지형 팬터그래프 개발
	전력시스템	추진계통 구성장치의 보호특성값	전기차량 추진계통 상호간 보호협조기준 설정

○ 연구개발 내용 및 기술활용 관점에서 복수 이상의 제안과제 간 연관성 정도를 분석하고, 연계 개발 필요성이 높은 과제군의 경우 하나의 과제로 통합

수요조사서 및 관련 문헌 검토를 통해 사전 연관성 분석을 수행

○ 분석 결과 연계개발이 필요한 과제는 총 5개(2개 그룹)로, 이를 2개의 과제로 통합하여 최종 제안과제 수는 24개로 확정하고 임의의 과제번호를 부여

고효율 다상인버터 개발, 고효율 다상전동기 개발, 영구자석을 이용한 동기전동기(PMSM) 개발 과제의 경우, 기술 활용 및 적용 차원에서 연계개발의 필요성이 높아 통합

· 통합 과제는 '다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발'로 명칭

동기전동기 및 비접촉 감속기를 대상으로 하는 '210kW급 마그네틱 기어드 동기모터 핵심 기술개발'은 감속기와 전동기의 일체형을 개발하는 기술로 기준장치가 상이할 뿐 최종 산출물이 동일하므로 통합

· 통합 과제는 '마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발'로 명칭



<사전연관성 검토 수행 결과 도출된 선정평가 대상 제안과제 목록>

ㅇ 분야별 우선순위 평가 결과

- 우선순위 평가기준의 가중치를 고려한 분야별 우선순위 결과는 다음과 같음.

  첨단 주변압기 분야(3.88)와 첨단 추진장치 분야(3.71)의 우선순위가 첨단 감속구동장치 분야(3.15) 대비 높게 나타남.

<중점분야별 우선순위 평가결과>

순위	연번	중점분야명	평가점수
1	A	첨단 주변압기	3.88
2	B	첨단 추진장치 분야	3.71
3	C	첨단 감속구동장치 분야	3.15

ㅇ 중점분야 우선순위 평가 결과

- 첨단 주변압기 분야 4개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음.

  A1(반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발) 후보과제의 우선순위가 가장 높은 것으로 조사됨.

  · 해당 기술은 철도차량의 경량화에 크게 기여하고, DC배전이 확산되고 있는 전기분야에의 파급효과가 매우 커 우선적으로 개발이 필요하다는 응답

<우선순위 평가결과(첨단 주변압기 분야)>

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	3.87
2	A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	3.17
3	A3	철도차량 경량화 및 안정성을 위한 몰드 변압기 기술개발	3.00
4	A2	철도차량 안정성을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	2.99

ㅇ 첨단 추진장치 분야 4개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음.

B1(다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술) 후보과제의 우선순위가 가장 높은 것으로 조사됨.

· 해당 기술은 온도변화에 따른 제어성능 저하를 개선함으로써 철도차량의 안정성을 향상시키고, 경량화 및 에너지 절감 차원에서의 파급효과 또한 크다는 응답

<우선순위 평가결과(첨단 추진장치 분야)>

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	3.71
2	B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	3.62
3	B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	2.91
4	B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	2.90

ㅇ 첨단 감속구동장치 분야 4개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음.

C1(철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발) 후보과제의 우선순위가 가장 높은 것으로 조사됨.

· 모토와 감속기 일체형 개발을 통해 출력밀도의 향상, 철도차량 경량화 등이 기대되며, 파급효과 또한 커 우선적으로 개발이 필요하다는 응답

<우선순위 평가결과(첨단 감속구동장치 분야)>

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	C1	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	3.22
2	C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	3.08
3	C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	2.91
4	C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	2.89

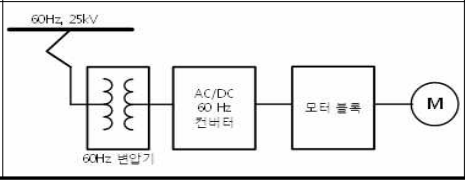
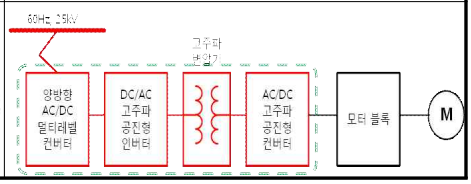
Ⅳ. 연구개발 내용

○ 첨단추진시스템 과제에 대한 연구목표 수립

- 주변압기는 교류 철도차량에서 전차선 전압을 추진장치 및 보조전원장치에 적합한 전압으로 변환하여 공급하는 역할을 하고 있으며 추진장치 및 보조전원장치 등에 전원을 공급하기에 충분한 용량을 가져야 한다. 따라서, 가속시에 필요한 Peak 에너지의 공급과 감속시 발생하는 회생에너지를 전차선으로 넘겨 주어야 한다. 또한, 차량의 운행 중 발생하는 진동 및 충격에 충분히 견딜 수 있어야 하며, 과전류 및 과온 등에 따른 보호기능을 갖추어 한다. 첨단 주변압기를 적용하므로서 기존에 추진제어장치에 포함된 컨버터는 더이상 사용할 필요가 없으며, 직류전용 철도차량에 적용하는 방식의 인버터 만으로 추진제어장치를 구성할 수 있게 되어 추진시스템을 단순화 시킬 수 있는 장점이 있다. 다음 표에 광역 도시철도에 적용하기 위한 시스템 구성을 기반으로 기존의 주변압기 사양과 비교하여 신규 개발 사양을 제시하였다. 8대의 유도전동기를 구동하기 위하여 종래의 유입식 변압기를 적용하는 경우 주변압기와 컨버터의 하중은 6 ton 규모로 출력밀도가 약

0.3 kW/kg 수준이며, 출력밀도를 0.2 kW/kg 정도만 향상하여도 편성중량의 2% 경량화 효과를 가져올 수 있다. 첨단 주변압기의 요소기술인 멀티레벨 인버터, DC-DC 컨버터 및 고주파변압기 등에 기술축적이 풍부한 국내의 연구진과 철도차량의 개발 경험을 가지고 있는 철도기술연구원의 기술적 know-how를 결합하여 기술개발을 수행하므로써 첨단 주변압기의 개발 목표 도달 가능성이 높일 수 있다.

<기존 주변압기 및 개발 목표 사양>

항 목	주변압기	첨단 변압기
입력전압	25 kV	25 kV
편성열차구성	5M5T(1C4M)	5M5T(1C4M)
출력용량	200kW IM 8대	210kW IM 8대
출력전압	단상 교류 840V	직류 1,500 V
냉각방식	강제송유 풍냉	강제냉각 혹은 자연냉각
절연등급	H종 이상	해당없음
보호동작	안전밸브(과도압력 보호)	과전압/저전압/과전류
중량	변압기:3,400 kg 컨버터: 1,440 kg x 2대	3,400 kg 이하 (컨버터포함)
부피	6㎥	6㎥
고장시 비상운전	불가능	가능
주회로 구성		

- 서울메트로 2,3호선 실 차량용 유도전동기 사양 및 신규개발 영구자석 보조형 동기전동기 사양을 나타낸다. 이 기존 유도전동기와 비교하여 210kW급 영구자석 보조형 동기전동기를 설계하였을 때 고정자 외경 및 적층길이를 30% 이상 저감할 수 있으며 그에 따라 같은 출력에서 부피와 중량을 각각 50% 가량 저감하여 중량당 출력밀도를 0.45kW/Kg에서 0.9kW/Kg이상으로 두배이상 증가할 수 있다. 따라서 영구자석 보조형 동기전동기를 철도추진시스템에 적용하였을 때의 목표사양은 다음과 같다. 철도차량은 많은 수용인원을 탑승하고 고속으로 운전하기 위해서 제한된 공간에서의 높은 출력 밀도를 가지는 견인용 전동기를 필요로 한다. 최근 2층 열차, 저상 트램 등의 확산에 따라, 차량 바닥의 높이가 낮아짐에 따라 차량 하부에 장착되는 견인용 전동기의 설치 공간이 작아지고 있으며, 이에 따라 중량 및 점유공간을 최소화 할 수 있는 고출력밀도 견인전동기의 요구가 커지고 있으며 철도연구원은 210kW급 영구자석형 동기전동기의 개발 경험을 통한

신규개발 목표사양 달성 가능성이 높음.

<기존 유도전동기 및 신규개발 목표 사양>

항 목	서울메트로 2,3호선	신규개발 목표
형식	농형 유도전동기	영구자석 보조형 동기전동기
출력	210kW	210kW
전압	1,100V	1,100V
전류	136A	120A 이하
효율	92%	96% 이상
부피	57.33L	55L 이하
중량	451.57Kg	230Kg 이하
출력밀도	0.45kW/Kg	0.9kW/Kg 이상

- 최근 2층 열차, 저상 트램 등의 확산에 따라, 차량 바닥의 높이가 낮아짐에 따라 차량 하부에 장착되는 견인용 전동기의 설치 공간이 작아지고 있으며, 이에 따라 중량 및 점유공간을 최소화 할 수 있는 고출력밀도 견인전동기의 요구에 대응하여 철도연구원은 210kW급 영구자석형 동기전동기를 개발하였으며, 이러한 경험을 통한 신규개발 목표사양 달성 가능성이 높은 것으로 판단된다.

- 5상 인버터를 적용한 신규개발 목표사양은 같은 1,200A급 IGBT 스위치 소자를 적용한 경우 기존 3상 인버터의 최대전류인 500A의 60% 수준의 300A의 최대전류가 필요로 하며 5상의 인버터는 3상에 비해 리플전류가 30% 가량 감소되며 그에 따른 고조파 성분의 감소에 따라 인버터의 기대수명을 약 1.5배 증가시킬 수 있으므로 추진시스템에서 가장 고장율이 높은 인버터의 안정성을 크게 개선시키는 효과가 기대된다. 철도기술연구원은 추진인버터 및 전력반도체 구동회로 설계기술과 인력을 보유하고 있으며 3상 및 5상 동기전동기용 인버터 제어기술을 기 보유하고 있으므로 신규개발 목표사양에 부합하는 5상 인버터 개발 성공가능성이 매우 높다.

<기존 인버터 및 신규개발 목표 사양>

항목		서울메트로 5, 7호선(연장구간)	신규개발 목표
인버터 방식		2 Level 3상 전압형 PWM	2 Level 5상 전압형 PWM
소자정격		3.3KV/1,200A 모듈형 IGBT	3.3KV/1,200A 모듈형 IGBT
주위온도		~25℃ ~ +45℃	~25℃ ~ +45℃
정격	입력전압사양	연속정격 DC 1,500V	연속정격 DC 1,500V
		최고 DC 1,800V	최고 DC 1,800V
		최저 DC 900V	최저 DC 900V
	출력사양	전압3상 0V~1,100V (rms)	전압5상 0V~1,100V (rms)
		주파수 0~160Hz	주파수 0~160Hz
		최대전류 497A (rms)	최대전류 298A (rms) 이하

- 철도, 전기자동차 등에서 저속·고토크 영역에서의 운전이 요구되고 있고, 현재는 이를 만족시키기 위해 고속·저토크 전동기에 기계식 기어를 결합함으로써 속도-토크 조건을 만족시키고 있다. 하지만 기계식 기어는 기계적 접촉으로 인한 효율 감소, 유지보수 증가, 소음진동 발생 등 여러 가지 문제를 가지고 있다. 마그네틱 기어로 기계식 기어를 대체하거나, 한 단계 더 나아가 마그네틱 기어와 전동기를 결합한 마그네틱 기어드 전동기를 개발한다면 이러한 문제점에 대한 해결책이 된다. 마그네틱 기어는 부피나 무게의 증가를 최대한 억제하고, 토크 전달 효율 99% 이상을 달성해야 하며, 부피와 무게 증가로 인한 경제적 손실과 유지보수 비용 절감으로 인한 경제적 이익에 대한 분석을 통해 유효성을 보여야 한다.

- 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우 현재 전동기와의 단독비교가 아닌 감속기를 포함한 시스템과의 비교를 통해 우위를 입증해야 한다. 출력은 기존 전동기와 동등한 수준을 유지해야 하며, 효율의 경우 영구자석 동기전동기 방식 채용으로 인해 유도전동기보다 5% 내외의 효율 개선을 보이게 될 것이나, 마그네틱 기어 구조 결합으로 인해 순수 동기전동기 방식보다는 효율 저하가 있을 수 있다. 하지만 마그네틱 기어드 동기전동기는 기계식 기어로 인한 손실을 제거하게 되므로, 전동기와 기어로 이루어진 시스템 효율에서는 유도전동기+기계식 기어 시스템은 물론 영구자석 동기전동기+기계식 기어 시스템보다도 높은 효율을 보일 것으로 예상된다. 이러한 사항을 반영하여 아래 표와 같이 마그네틱 기어드 동기전동기의 목표사양을 결정한다.

<기존 도시철도차량용 감속기/견인전동기와 마그네틱 기어드 동기전동기 사양 비교>

항 목	기존 서울지하철 7호선 도시철도차량의 구동장치 사양	신규개발 목표
형식	평행 1단 감속기 + 농형 유도전동기 	마그네틱 기어드 동기전동기 
감속기 필요 여부	필요	불필요 (일체형 구조)
견인전동기 출력	210 kW	210kW
감속비	5.75	5.75
토크	견인전동기 출력부 402 Nm 감속기 출력부 2,312 Nm	고속부 402 Nm 저속부 2,312 Nm
회전수	견인전동기 출력부 5,000 rpm 감속기 출력부 870 rpm	고속부 5,000 rpm 저속부 870 rpm
효율	92 % (감속기어 손실 제외)	92% 이상 (기어 손실 포함)
부피	57.33 L (견인전동기) 48.12 L (기어박스)	57L 이하 (기어 포함)
견인전동기 중량	645 kg (견인전동기) 440kg (기어박스)	525 kg 이하 (기어 포함) (20% 이상 개선)
출력밀도	0.33 kW/Kg	0.40 kW/Kg 이상 (20% 이상 개선)

- 마그네틱 기어와 마그네틱 기어드 동기전동기는 유지보수 등의 장점이 명확하여 단점 개선을 통해 쉽게 수요가 창출될 수 있는 분야로, 연구개발 성과의 실용화 성공 가능성이 높다고 할 수 있다. 또한 개발에 사용되는 기술은 주로 자기장 해석과 최적화 설계이며, 이에 대한 기술을 보유하고 있는 국내외 전문가는 다수 확보되어 있어 연구인력 부족으로 인한 실패 가능성은 매우 낮다. 특히 교통대나 충남대 등과 같은 국내 대학에서 이미 해당 분야에 대한 연구를 시작하고 있으며 논문 등을 통해 이론적 기초를 쌓고 있는 단계이기 때문에 산학연 협업을 통해 개발 성공확률을 높일 수 있다.

[연구과제 요약]

구분	1세부	2세부	3세부
연구과제명	도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발	도시철도차량용 고효율, 고안정성 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발	도시철도차량용 신개념 구동용 마그테틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발
필요성	기존 광역도시철도차량의 경량화 및 안정성향상, 에너지 효율 향상, 유지보수 비용 절감을 위하여 반도체를 이용한 철도차량 주변압기의 경량화 기술개발이 필요함 대량의 절연유에 의한 특고압 절연으로 정기적 유지보수 및 환경문제의 유발 가능성 대전력기기의 경량화/소형화는 동력차의 축중감소에 기여하며, 궤도유지보수 비용 절감가능	철도차량의 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템의 전동기의 희토류 저감형 동기전동기 개발을 통해 기존 유도전동기 대비 20% 경량화와 5상구조의 인버터 적용을 통한 3상구조 대비 전력리플 저감을 통한 인버터 고장율 감소와 3상 비상운전이 가능한 제어기 개발로 철도차량 안정성 50% 향상이 필요함	철도차량 구동용 유도전동기는 효율이 최대 92%로 낮고, 원천적으로 크기를 줄이는데 한계가 있기 때문에 최근 고효율(최대 95%), 경량화가 가능한 영구자석 동기전동기로의 개선 연구가 활발히 진행되고 있지만, 여전히 기계적 감속기어를 사용하기 때문에 최종 동력전달효율은 90% 초반대로 떨어지기 때문에 마그네틱 기어드 동기모터 개발이 필요함
정부지원 필요성	국토교통부는 철도차량산업 육성 목표 및 추진전략으로 “2030 글로벌 시장을 향한 신성장동력산업 육성”을 비전으로 제시하며, 철도차량 제작사, 부품강소기업, .R&D 경쟁력, After Market 및 해외수주, 법·제도 정비의 5개 부문에 대하여 기본방향과 핵심과제 및 연계과제를 발표하였음 [국토교통부(2016)] 이에 본 첨단 추진장치기술개발 과제의 성공을 위해 정부 지원이 필수적임.	국토교통부는 철도차량산업 육성 목표 및 추진전략으로 “2030 글로벌 시장을 향한 신성장동력산업 육성”을 비전으로 제시하며, 철도차량 제작사, 부품강소기업, .R&D 경쟁력, After Market 및 해외수주, 법·제도 정비의 5개 부문에 대하여 기본방향과 핵심과제 및 연계과제를 발표하였음 [국토교통부(2016)] 이에 본 첨단 추진장치기술개발 과제의 성공을 위해 정부 지원이 필수적임.	국토교통부는 철도차량산업 육성 목표 및 추진전략으로 “2030 글로벌 시장을 향한 신성장동력산업 육성”을 비전으로 제시하며, 철도차량 제작사, 부품강소기업, .R&D 경쟁력, After Market 및 해외수주, 법·제도 정비의 5개 부문에 대하여 기본방향과 핵심과제 및 연계과제를 발표하였음 [국토교통부(2016)] 이에 본 첨단 추진장치기술개발 과제의 성공을 위해 정부 지원이 필수적임.
정부정책	「제 3차 철도산업발전기본계획 수립을 위한 연구(`16)」는 안전하고 경제적인 철도 개발 및 철도 산업의 고부가가치 신성장동력으로 육성하기 위해 ‘수송력 향상’, ‘안전·편의 향상’, ‘건설·운영비 절감’, ‘소재·부품·장치 고도화’ 측면의 기술분야를 중점분야로 선정하고 기술을 확보하고자 함	「제 3차 철도산업발전기본계획 수립을 위한 연구(`16)」는 안전하고 경제적인 철도 개발 및 철도 산업의 고부가가치 신성장동력으로 육성하기 위해 ‘수송력 향상’, ‘안전·편의 향상’, ‘건설·운영비 절감’, ‘소재·부품·장치 고도화’ 측면의 기술분야를 중점분야로 선정하고 기술을 확보하고자 함	「제 3차 철도산업발전기본계획 수립을 위한 연구(`16)」는 안전하고 경제적인 철도 개발 및 철도 산업의 고부가가치 신성장동력으로 육성하기 위해 ‘수송력 향상’, ‘안전·편의 향상’, ‘건설·운영비 절감’, ‘소재·부품·장치 고도화’ 측면의 기술분야를 중점분야로 선정하고 기술을 확보하고자 함
연구목표	·광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 개발	-도시철도차량용 5상 영구자석 동기전동기 개발	·도시철도차량 경량화를 위한 신개념 구동용 마그네틱

	-컨버터 일체형 전력변환 기술 개발 -컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발 -컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발	-도시철도차량용 5상 인버터 개발 -도시철도차량용 5상 추진시스템 성능평가 기술개발	기어드 동기전동기 및 성능평가 기술 개발 -개발품 상세설계 및 시제품제작 -시제품의 단품 및 제어기 조합 성능시험 및 평가 기술 개발 -시제품의 실대차 적용 및 Roller Rig 성능시험 및 평가 기술 개발
핵심 성과물	광역도시철도차량용 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시제품	도시철도차량용 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 다상인버터	마그네틱 기어드 동기전동기 시제품
최소목표 사양	-양방향 에너지 전달이 가능한 25kV AC 입력, 1.5kV DC 출력형 반도체 변압기 -정격절연전압 25kV AC, 운전주파수 1kHz 이상 고주파 변압기 -출력용량 210kW 견인전동기 8대 -냉각방식: 강제냉각 혹은 자연냉각 -무게 대 출력비: 0.5kW/kg 이상 -고장 시 비상운전이 가능하여야 함	·210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 사양 -토크 (Nm) : 402 -회전속도 (rpm) : 5,000 -효율 (%) : 96 이상 -출력 밀도 (kW/kg) : 0.9 이상 -온도 및 절연 성능 : H 종 (180 ℃ 이하) ·250kW급 5상 인버터 사양 -효율 (%) : 95 이상 -제어정밀도 (%) : 98 이상 -결함진단 및 수명예측 정확도 (%) : 95 이상	-용량 : 210kW -목표 토크 및 회전속도 : 고속부 402Nm, 5000rpm / 저속부 2312Nm, 870rpm -목표 효율 및 출력밀도 : 92%(감속 기어부 포함), 기존 대비 20% 이상 개선 -온도 및 절연성능 : H종 절연(180 ℃ 이하)
활용계획	2020년 이후 발생하는 노후 대폐차 도시철도차량의 추진시스템에 적용	2020년 이후 발생하는 노후 대폐차 도시철도차량의 추진시스템에 적용	비접촉 방식의 감속기와 견인전동기가 일체화된 마그네틱 기어드 동기모터의 핵심기술 확보
기대효과	컨버터 일체형 주변압기에 의해 기존 주변압기를 대체하여 경량화 된 차량 및 전력시스템 구성이 가능. 선진국 주도의 주변압기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보 가능	5상의 인버터는 3상에 비해 리플전류가 30% 가량 감소되며 그에 따른 고조파 성분의 감소에 따라 인버터의 기대수명을 약 1.5배 증가시킬 수 있으므로 추진시스템에서 가장 고장율이 높은 인버터의 안정성을 크게 개선시키는 효과가 기대	일체화된 시스템으로써 기존 철도차량용 구동시스템 대비 경량화된 차량 및 구동시스템 구축 가능 기존 기계식 감속기의 유지보수 문제 해결이 가능, 경제적인 추진시스템 구축 가능

Ⅳ. 기대 효과 및 전망

○ 철도차량의 핵심 부품인 추진시스템 기술개발 기획으로 철도분야 수출경쟁력을 향상시키기 위한 핵심 기술 확보 및 국가 기술 경쟁력 확보 전략 수립

○ 고속철도/일반철도/도시철도 등 철도차량 공통의 핵심기술 개발로 철도차량의 운행 안정성 향상 위한 기술대안 확보 및 철도교통 서비스 경쟁력 확보

○ 추진시스템 경량화 및 에너지 효율 증대, 유지보수 절감으로 철도 운영 효율 향상

○ 철도분야 고출력/대용량 시스템에 대한 시장 선도형 기술 개발로 마이크로 그리드, 스마트 그리드, 전기자동차 등 타 산업분야의 기술개발 가속화

○ 다상 인버터 추진시스템을 철도차량에 적용시 전력변환 회로의 고장에 의한 추진시스템 안전성이 증대되며 고주파 노이즈 저감에 의한 소음 및 진동 저감 가능

○ 기존 상용 주파수를 이용하는 주변압기 및 컨버터 보다 전력 밀도를 2배 이상 향상 시킬 수 있어 철도 차량 경량화가 가능

○ 절연유를 최소화하기 때문에 누유에 의한 수명 단축, 화재 등이 발생하지 적어 철도 차량의 환경 친화성 및 안전성이 증가하며, 유지 보수비의 절감이 가능

○ 전차선의 전력 품질과 관계없이 차량에 고품질의 전력 공급이 가능

○ 철도차량용 감속기에 마그네틱 기어의 적용을 통하여 기존 철도차량용 구동시스템 대비 소형 경량화가 가능하며, 유지보수비용 절감이 가능한 추진시스템 구축

○ 철도차량용 감속기에 마그네틱 기어의 적용을 통하여 대차 및 차륜 등 지지구조물의 크기, 강도 저감이 가능하며, 전체적인 차량의 저상화 및 경량화를 통해 전체 차량시스템 효율 증대 가능

<제목 차례>

제 1 장 기술의 정의 및 기획 필요성 ····· 1

제 1 절 기술의 정의 ····· 1
제 2 절 기획 배경 ····· 2
제 3 절 기획과제 목적 및 추진방향 ····· 9
1. 기획 목적 ····· 9
2. 기획 추진 방향 ····· 10
3. 기획 과제 효과 ····· 15

제 2 장 기술개발 동향 및 환경분석 ····· 16

제 1 절 국내외 정책동향 분석 ····· 16
1. 국내 정책동향 분석 ····· 16
2. 국외 정책동향 분석 ····· 18
제 2 절 국내외 시장동향 분석 ····· 20
1. 국내 시장현황 및 전망 ····· 20
2. 국외 시장현황 및 전망 ····· 37
제 3 절 국내외 기술동향 분석 ····· 66
1. 국내 기술동향 분석 ····· 66
2. 국외 기술동향 분석 ····· 90

제 3 장 특허 및 동향 분석 ····· 113

제 1 절 차량용 주변압기 특허 및 논문 동향분석 ····· 113
1. 특허 동향 분석 ····· 113
2. 논문 동향 분석 ····· 128
제 2 절 차량용 추진제어장치 특허 및 논문 동향분석 ····· 132
1. 특허 동향 분석 ····· 132
2. 논문 동향 분석 ····· 151
제 3 절 마그네틱 감속구동장치 특허 및 논문동향분석 ····· 156
1. 특허 동향 분석 ····· 156
2. 논문 동향 분석 ····· 164

제 4 장 기술 예측 ····· 167

제 1 절 기술예측 개요 ····· 167
1. 기술 예측 추진계획 ····· 167
제 2 절 기술 수요조사 및 기술 예측 ····· 169
1. 기술 수요조사 및 후보과제 ····· 169
2. 기술 예측조사 ····· 175
3. 결과의 활용 ····· 210
제 3 절 우선순위 평가 ····· 212
1. 우선순위 평가 개요 ····· 212

2. 우선순위 평가 결과 ····· 215

제 5 장 연구개발 역량 분석 및 성공가능성 ····· 225

제 1 절 연구개발 역량분석 ····· 225
1. 첨단 주변압기 분야 ····· 225
2. 첨단 추진장치 분야 ····· 230
3. 첨단 감속구동장치 분야 ····· 236
제 2 절 연구개발 성공가능성 검토 ····· 241
1. 첨단 변압기 목표수준 및 성공가능성 ····· 241
2. 첨단 추진장치 목표수준 및 성공가능성 ····· 243
3. 첨단 감속구동장치 목표수준 및 성공가능성 ····· 249

제 6 장 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 252

제 1 절 비전 및 목표 ····· 252
1. 비전 ····· 252
2. 연구목표 및 세부과제별 목표 ····· 253
제 2 절 세부과제별 주요내용 및 추진전략 ····· 254
1. 첨단 주변압기 분야 ····· 254
2. 첨단 추진장치 분야 ····· 266
3. 첨단 감속기 분야 ····· 278
제 3 절 세부과제간 연계관계 ····· 291
제 4 절 과제별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 292
1. 세부 과제별 기술로드맵 ····· 292
2. 과제별 성과목표 및 성과지표 ····· 298
3. 과제별 실용화 방안 및 성과로드맵 ····· 305
제 5 절 연구성과의 활용방안 ····· 308
제 6 절 연구수행체계 제안 ····· 310
1. 과제수행체계 ····· 310

제 7 장 사전타당성 검토 ····· 312

제 1 절 정책적 타당성 ····· 312
1. 상위계획과의 부합성 ····· 312
2. 사업 추진체계 및 추진의지 ····· 317
3. 법·제도적 위험요인 검토 결과 ····· 320
제 2 절 기술적 타당성 ····· 322
1. 기획과정의 적절성 ····· 322
2. 연구목표의 적절성 ····· 322
3. 연구 세부활동 구성 및 내용의 적절성 ····· 324
4. 기술개발 성공가능성(기술 추세, 기술수준 분석) ····· 326
5. 기술성숙도(TRL) 수준 ····· 328
6. 기존 사업과의 중복성 ····· 329
제 3 절 경제적 타당성 ····· 331

1. 서론 ····· 331
2. 비용편익 분석법 ····· 332
3. 비용-편익 항목 설정 ····· 336
4. 분석대상 설정 ····· 339
5. 비용 산정 ····· 340
6. 편익 산정 ····· 343
7. 비용-편익 분석 결과 ····· 352

제 8 장 인력투입계획 및 소요예산 산정 ····· 355
제 1 절 연구일정에 따른 인력투입계획 ····· 355
1. 전체사업 인력투입계획 ····· 355
2. 세부과제별 인력투입계획 ····· 355
제 2 절 소요예산 산정 ····· 356
1. 전체사업 소요 예산 ····· 356
2. 세부과제별 소요 예산 ····· 356
3. 세부 기술별 소요 예산 ····· 357

제 9 장 과제 제안요구서 ····· 362
제 1 절 과제 제안요구서 (RFP) ····· 362
1. 과제 제안요구서 1안 (연구단) ····· 362
2. 과제 제안요구서 2안 (연구단, 일반과제) ····· 377
3. 과제 제안요구서 3안 (세부과제별) ····· 399
제 2 절 평가기준 설정 ····· 429
1. 연구목표의 적절성, 연구개발 필요성 및 타당성 : 배점 30점 ····· 429
2. 연구계획의 적정성 : 배점 50점 ····· 429
3. 연구기관의 적정성 : 배점 20점 ····· 429

<표 차례>

<표 1-1> 우리나라 교통수단 수송분담율 ····· 2
<표 1-2> 우리나라 철도사고 년도별 건수 ····· 4
<표 1-3> 2012년 철도차량산업 실적(한국조달연구원, 2015) ····· 7
<표 2-1> 국내 전기철도차량 운영 현황 ····· 20
<표 2-2> 국내 중전철 현황 ····· 22
<표 2-3> 수도권 전철현황 ····· 23
<표 2-4> 경전철 운영/건설 현황 ····· 24
<표 2-5> 서울시의 경전철 건설 계획 ····· 25
<표 2-6> 경기 수도권의 경전철 건설 계획 ····· 25
<표 2-7> 기타 지방권의 경량전철 계획 ····· 26
<표 2-8> 수도권 통행 수단 분담률 ····· 27
<표 2-9> 세계 주요 대도시권 철도망 비교 ····· 27
<표 2-10> 광역시 통행 수단 분담률 ····· 27
<표 2-11> 일반철도차량 시장규모('10년~'12년 평균) ····· 39
<표 2-12> 도시철도차량 시장규모('10년~'12년 평균) ····· 45
<표 2-13> 일본에 운행중인 전기철도 차량 및 인버터 특성 ····· 62
<표 2-14> 주요 차량별 주변압기 특성 ····· 70
<표 2-15> 국내에 운행중인 전동차의 인버터 특성 및 현황 ····· 77
<표 2-16> 전동차용 전력소자 비교분석 ····· 80
<표 2-17> 철도차량 견인용 영구자석 동기전동기 국내 개발 현황 ····· 87
<표 2-18> 철도차량에 영구자석 동기전동기를 적용한 사례 ····· 94
<표 2-19> 일본 도시바의 전동차 추진용 전동기 현황 ····· 96
<표 2-20> 국외 국가 기술수준 ····· 105
<표 2-21> 프랑스 알스톰 기술수준 ····· 105
<표 2-22> 영국 Magnomatics사의 마그네틱 기어드 동기전동기 개발 현황 ····· 108
<표 3-1> 주요 특허 현황(피인용순) ····· 125
<표 3-2> 주요 핵심특허 현황 ····· 126
<표 3-3> 주변압기 시스템 주요 논문현황 ····· 130
<표 3-4> 주요 특허 현황 (피인용순) ····· 144
<표 3-5> 추진제어장치 주요 핵심특허 현황 ····· 146
<표 3-6> 추진제어장치 주요 논문현황 ····· 153
<표 3-7> 속도 가변형 마그네틱 기어에 관한 주요 핵심특허 ····· 161
<표 3-8> 마그네틱 기어 응용 관련 주요 핵심특허 ····· 162
<표 3-9> 마그네틱 기어드 영구자석 기기에 관한 주요 핵심특허 ····· 163
<표 3-10> 마그네틱 기어드 영구자석 기기 관련 해외 유효논문 현황 ····· 165
<표 4-1> 기술수요조사 내용 및 응답 결과 ····· 170
<표 4-2> 중점분야별/연구수행기관별 기술수요조사 결과 ····· 170
<표 4-3> 기술수요조사 제안과제 매칭 및 적용 대상차량 ····· 173
<표 4-4> 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구개발 내용 ····· 173
<표 4-5> 기술획득방식 조사항목 ····· 176
<표 4-6> 기술적 실현을 위한 정부시행방안 조사항목 ····· 176

<표 4-7> 기술수준 조사항목 ····· 177
<표 4-8> 미래사회 중요도 조사항목 ····· 177
<표 4-9> 선정평가 1단계 - 목표 부합성 평가결과 ····· 180
<표 4-10> 선정평가 2단계 - 인프라 적정성 평가결과 ····· 182
<표 4-11> `지능형 인버터 기술개발(과제 12)`과 연구내용이 유사한 국가 R&D 과제 ····· 184
<표 4-12> 선정평가 3단계 - R&D 중복성 평가결과 ····· 184
<표 4-13> 선정평가 2단계 - 기술 활용성 평가결과 ····· 186
<표 4-14> 예측기술 선정평가 결과 ····· 187
<표 4-15> 최종 선정된 예측기술 ····· 189
<표 4-16> 선정평가단계별 제안과제수 변화 ····· 189
<표 4-17> 기술적/사회경제적 실현시기 응답수 분포결과 ····· 190
<표 4-18> 첨단 주변압기 중점분야 예측기술별 기술적/사회경제적 평균 실현시기 ····· 191
<표 4-19> 첨단 추진장치 중점분야 예측기술별 기술적/사회경제적 평균 실현시기 ····· 192
<표 4-20> 첨단감속구동장치 중점분야 예측기술별 기술적/사회경제적 평균 실현시기 ····· 193
<표 4-21> 기술획득 방식 및 정부개입의 필요성 ····· 195
<표 4-22> 첨단 주변압기 중점분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성 ····· 195
<표 4-23> 첨단 추진장치 중점분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성 ····· 196
<표 4-24> 첨단 감속구동장치 중점분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성 ····· 197
<표 4-25> 중점분야별 정부시행방안 결과 ····· 197
<표 4-26> 첨단 주변압기 중점분야 정부시행방안 결과 ····· 198
<표 4-27> 첨단 추진장치 중점분야 정부시행방안 결과 ····· 198
<표 4-28> 첨단 감속구동장치 중점분야 정부시행방안 결과 ····· 199
<표 4-29> 첨단 주변압기 중점분야 최고기술보유국 비중 및 기술수준 ····· 200
<표 4-30> 첨단 추진장치 중점분야 최고기술보유국 비중 및 기술수준 ····· 200
<표 4-31> 첨단 감속구동장치 중점분야 최고기술보유국 비중 및 기술수준 ····· 201
<표 4-32> 중점분야별 미래사회의 중요도 ····· 204
<표 4-33> 첨단 주변압기 중점분야의 미래사회에서의 중요도 ····· 204
<표 4-34> 첨단 추진장치 중점분야의 미래사회에서의 중요도 ····· 205
<표 4-35> 첨단 감속구동장치 중점분야의 미래사회에서의 중요도 ····· 205
<표 4-36> 후보과제 우선순위평가시 제공정보 항목 ····· 215
<표 4-37> 델파이 조사 참여 전문가 리스트 ····· 215
<표 4-38> 1차 우선순위 평가기준 가중치 결과 ····· 216
<표 4-39> 1차 우선순위 평가결과(총괄) ····· 216
<표 4-40> 2차 우선순위 평가기준 가중치 결과 ····· 217
<표 4-41> 2차 우선순위 평가결과(총괄) ····· 217
<표 4-42> 2차 우선순위평가 조정의견 ····· 218
<표 4-43> 2차 우선순위 평가기준 가중치 결과 ····· 220
<표 4-44> 우선순위 평가결과(총괄) ····· 222
<표 4-45> 중점분야별 우선순위 평가결과 ····· 223
<표 4-46> 우선순위 평가결과(첨단 주변압기 분야) ····· 223
<표 4-47> 우선순위 평가결과(첨단 추진장치 분야) ····· 224
<표 4-48> 우선순위 평가결과(첨단 감속구동장치 분야) ····· 224
<표 5-1> 첨단 변압기관련 국내 기술수준 주요현황 ····· 226

<표 5-2> 요소기술별 선진국 대비 기술수준 ····· 227
<표 5-3> 첨단 변압기 개발 인프라 수준 ····· 228
<표 5-4> 교류전동기의 구조적 차이에 의한 특성 ····· 232
<표 5-5> 국내 추진장치 기술수준 주요현황 ····· 233
<표 5-6> 국내 기술개발 수준 ····· 233
<표 5-7> 국내연구 인프라 수준 ····· 234
<표 5-8> 첨단 추진장치 SWOT분석 ····· 234
<표 5-9> 첨단 추진장치 기술개발 전략 Matrix ····· 235
<표 5-10> 마그네틱 기어 관련 국가 R&D 수행 상황 ····· 236
<표 5-11> 마그네트 기어드 동기전동기 관련 기술 국내 기술개발 수준 ····· 237
<표 5-12> 마그네트 기어드 동기전동기 관련 기술 국내연구 인프라 수준 ····· 238
<표 5-13> 첨단 감속구동장치 SWOT분석 ····· 239
<표 5-14> 광역 도시철도용 주변압기 규격 및 첨단 변압기 개발 목표 사양 ····· 241
<표 5-15> 전동차 견인용 전동기 정격 규격 ····· 243
<표 5-16> 유도전동기 및 영구자석 보조형 동기전동기 설계 치수 ····· 244
<표 5-17> 유도전동기 및 신규개발 목표 사양 ····· 244
<표 5-18> 철도선진국의 도시철도 추진용 전동기 사양 및 목표사양 비교 ····· 245
<표 5-19> 전동차 견인용 인버터 정격 규격 ····· 246
<표 5-20>기존 인버터 및 신규개발 목표 사양 ····· 247
<표 5-21> 철도선진국의 도시철도 추진용 인버터 사양 및 목표사양 비교 ····· 248
<표 5-22> 기존 감속기/견인전동기 사양과 마그네틱 기어드 동기전동기 목표사양 비교 ····· 251
<표 7-1> 철도기술연구사업의 목표 ····· 313
<표 7-2> 국토교통부 철도기술연구사업 투자실적 및 계획추이 ····· 318
<표 7-3> 영구자석동기전동기(PMSM) 사용 효과 ····· 319
<표 7-4> 철도안전법 시행 (2017.1.20.) ····· 320
<표 7-5> 기획과제별 세부 개발기술 목표 ····· 323
<표 7-6> 기획과제의 기술개발 내용 ····· 324
<표 7-7> 국토교통 R&D 사업의 기술성숙도(Technology Readiness Level, TRL) 정의 ····· 328
<표 7-8> 기존 기술개발과제 연구내용 및 차이점 ····· 329
<표 7-9> 첨단 변압기 비용부문 세부항목 ····· 336
<표 7-10> 첨단 변압기 도입에 따른 편익 항목 분류 ····· 336
<표 7-11> 추진장치 비용부문 세부항목 ····· 337
<표 7-12> 추진장치 도입에 따른 편익 항목 분류 ····· 337
<표 7-13> 첨단 감속구동장치 비용부문 세부항목 ····· 338
<표 7-14> 감속구동장치 도입에 따른 편익 항목 분류 ····· 338
<표 7-15> 연구결과의 적용 시나리오 ····· 339
<표 7-16> 첨단 변압기 개발 연구비 투입 계획 ····· 340
<표 7-17> 첨단 변압기 도입에 따른 차량 구입비 변화 ····· 340
<표 7-18> 첨단 추진장치 개발 연구비 투입 계획 ····· 341
<표 7-19> 첨단 추진장치 도입에 따른 차량 구입비 변화 ····· 341
<표 7-20> 첨단 감속구동장치 개발 연구비 투입 계획 ····· 342
<표 7-21> 첨단 감속구동장치 도입에 따른 차량 구입비 변화 ····· 342
<표 7-22> 소음가치의 평균원단위(단위: 원/dB·년·m) (2013년 기준) ····· 343

<표 7-23> 첨단변압기 개발 비용편익분석 결과 ····· 352
<표 7-24> 첨단변압기 개발 편익 가치 요약 (현재가치) ····· 352
<표 7-25> 첨단 추진장치 개발 비용편익분석 결과 ····· 353
<표 7-26> 첨단 추진장치 개발 편익 가치 요약 (현재가치) ····· 353
<표 7-27> 첨단 감속구동장치 개발 비용편익분석 결과 ····· 353
<표 7-28> 첨단 감속구동장치 개발 편익 가치 요약 (현재가치) ····· 354

<그림 차례>

<그림 1-1> 철도차량 주전력 시스템 구성도 ····· 1
<그림 1-2> 도시철도 연도별 지연운행 발생 현황 ····· 2
<그림 1-3> 장래 철도분야 기술수준 ····· 3
<그림 1-4> 장래 철도사고 목표 ····· 4
<그림 1-5> Talgo 열차 경량화에 따른 에너지 절감효과 ····· 4
<그림 1-6> 철도공사 전기철도차량 장애현황 ····· 5
<그림 1-7> 철도차량 신기술 적용을 통한 방향 ····· 6
<그림 1-8> 연구과제 추진체계 ····· 11
<그림 1-9> 연구후보과제 도출 프로세스 ····· 12
<그림 1-10> 연구후보과제 기술로드맵 ····· 13
<그림 1-11> 기획연구과제 추진방향 ····· 14
<그림 2-1> 철도차량산업 육성 목표 및 추진전략 ····· 16
<그림 2-2> 연도별 신규차량 및 유지보수품 구매 금액 ····· 20
<그림 2-3> 해외철도 토목분야 수주현황 ····· 21
<그림 2-4> 서울시 10개년 도시철도망 구축계획 노선 ····· 24
<그림 2-5> 국내 경전철 계획 현황 및 수요 분석 ····· 26
<그림 2-6> 제3차 국가철도망 구축계획(광역철도) ····· 28
<그림 2-7> 제3차 국가철도망 구축계획(지역간철도) ····· 29
<그림 2-8> 연도별 철도차량 소요 계획 ····· 29
<그림 2-9> 연도별 국내 변압기 생산량 (통계청) ····· 30
<그림 2-10> 연도별 변압기 수출 실적 ····· 30
<그림 2-11> 전동기 전주기 비용 내 에너지 차지 비중 ····· 31
<그림 2-12> 국내외 고효율 전동기 최저효율제 시행 현황 ····· 32
<그림 2-13> 국내 교류전동기 수출입 현황 ····· 32
<그림 2-14> 저스텍사 JTR24 시리즈 ····· 33
<그림 2-15> 국내 베어링 시장 규모 ····· 36
<그림 2-16> 세계 철도시스템 시장 규모 ····· 37
<그림 2-17> 세계철도시장 전망 ····· 37
<그림 2-18> 세계 철도시장 규모 ····· 38
<그림 2-19> 세계 철도차량중 차종별 시장규모 ····· 38
<그림 2-20> 권역별 일반철도차량시장규모 및 성장률(백만유로, %,‘11년~’16년) ····· 39
<그림 2-21> 권역별 일반철도차량수(‘12년 기준, 1000량, %) ····· 40
<그림 2-22> 일반철도차량 제작사별 시장점유율 현황(‘07~’11년) ····· 40
<그림 2-23> 권역별 고속철도차량시장규모 및 성장률(백만유로, %,‘11년~’16년) ····· 41
<그림 2-24> 세계 권역별 고속철도 차량 운영 현황 및 전망 ····· 42
<그림 2-25> 속도대역별 세계 고속철도 차량 운영 현황 및 전망 ····· 43
<그림 2-26> 세계 고속철도 차량 구동방식별 도입비중 변화 ····· 43
<그림 2-27> 세계 고속철도 차량 시장 점유율 현황 및 전망 ····· 44
<그림 2-28> 권역별 도시철도차량시장규모 및 성장률(백만유로, %,‘11년~’16년) ····· 45
<그림 2-29> 도시철도차량 제작사별 시장점유율 현황(‘07년~’11년) ····· 46
<그림 2-30> 권역별 도시철도차량 수(‘12년 기준, 량, %) ····· 46

<그림 2-31> 반도체 변압기 시장 Key player 및 시장 점유율 예상치 ····· 47
<그림 2-32> ABB 사의 사업 현황 ····· 48
<그림 2-33> ABB의 철도차량용 반도체변압기 ····· 48
<그림 2-34> ABB 사의 반도체 변압기 시장에 대한 SWOT 분석 ····· 49
<그림 2-35> SCHNEIDER ELECTRIC SE 사의 사업 현황 ····· 50
<그림 2-36> SCHNEIDER SE 사의 SWOT 분석 ····· 50
<그림 2-37> SIEMENS AG 사의 사업 현황 ····· 51
<그림 2-38> SIEMENS의 고주파변압기 ····· 51
<그림 2-39> SIEMENS 의 SWOT 분석 ····· 52
<그림 2-40> GE의 사업현황 ····· 52
<그림 2-41> GE가 개발한 반도체 변압기 ····· 53
<그림 2-42> GE 사의 SWOT 분석 ····· 53
<그림 2-43> Alstom 사의 사업 현황 ····· 54
<그림 2-44> Alstom 사에서 개발한 반도체 변압기들 ····· 54
<그림 2-45> Alstom 사의 SWOT 분석 ····· 55
<그림 2-46> 세계 반도체 변압기 예상 시장 규모 ····· 55
<그림 2-47> Product 별 예상 시장 규모 ····· 56
<그림 2-48> Product 별, 지역별 반도체 변압기 시장 규모 ····· 56
<그림 2-49> Application 별 반도체 변압기 시장 규모 ····· 57
<그림 2-50> Top 3 Application 의 시장 규모 예상 성장 치 ····· 57
<그림 2-51> 지역별 시장 및 성장 가능성 정도 ····· 58
<그림 2-52> 국가별 시장 성장 규모 예상 치 ····· 58
<그림 2-53> 지역별 변압기 시장 전망 ····· 59
<그림 2-54> 영구자석형 동기전동기 시스템 수요분야 및 공급기업 현황 ····· 60
<그림 2-55> 풍력용 기어박스의 해외시장 규모 변화 특성 ····· 64
<그림 2-56> 세계 베어링 시장 전망 ····· 65
<그림 2-57> 3상 몰드변압기 ····· 67
<그림 2-58> 몰드변압기의 발열 및 냉각구조 ····· 67
<그림 2-59> 최초의 반도체변압기 구성 회로 ····· 68
<그림 2-60> 1.9kV/127V, 2kVA 단상 반도체 변압기 ····· 69
<그림 2-61> 3상변압기로 구성하기 위한 단상 모듈 ····· 69
<그림 2-62> 양방향 1.9kV/127V, 2kVA 단상 반도체 변압기 구성회로 ····· 69
<그림 2-63> 유입형 강제송유 풍냉식 변압기의 냉각 계통도 (간선형 전기동차) ····· 71
<그림 2-64> 지하 먼지 및 분진의 외부공기 흡입 냉각 ····· 71
<그림 2-65> 영구자석 동기전동기와 유도 전동기의 운전 효율비교 ····· 72
<그림 2-66> 이너로터 및 아우터 로터 방식 ····· 73
<그림 2-67> Direct Drive In-wheel 전동기 (해외) ····· 74
<그림 2-68> 국내 NEV용 In-wheel ····· 74
<그림 2-69> 영구자석 동기전동기 속도-토크 특성 곡선 ····· 75
<그림 2-70> 영구자석 동기전동기 특성 ····· 76
<그림 2-71> 이중돌극형 영구자석 선형전동기 시제품(전기연구원, 2012) ····· 76
<그림 2-72> 5호선 주요장치별 MTBF Graph ····· 81
<그림 2-73> 6호선 주요장치별 MTBF Graph ····· 81

<그림 2-74> 7호선 주요장치별 MTBF Graph ····· 82
<그림 2-75> 8호선 주요장치별 MTBF Graph ····· 82
<그림 2-76> 스위칭 모듈별 기대 수명 ····· 83
<그림 2-77> IGBT의 고장원인 ····· 83
<그림 2-78> 선박추진용 36상, 12상 추진시스템 ····· 84
<그림 2-79> 어뢰의 추진용 7상 추진시스템 ····· 84
<그림 2-80> 1kW급 마그네틱 기어 단면도 및 구성도 (동아대학교, 2013) ····· 85
<그림 2-81> 마그네트 구조 변화 마그네트 기어의 토폴로지 ····· 85
<그림 2-82> 공간 변조기의 주파수에 의한 마그네트 셔터 기어의 단면 구조 ····· 85
<그림 2-83> 반경방향 영구자석을 갖는 자기커플링의 구조 ····· 86
<그림 2-84> 와전류가 발생하는 자기커플링의 해석 모델 ····· 86
<그림 2-85> 자화 영구자석을 갖는 마그네틱 기어논문 ····· 88
<그림 2-86> 중국의 HVDC 프로젝트 계획 현황 ····· 91
<그림 2-87> 미국/일본 연구소들에서 개발된 반도체 변압기 ····· 91
<그림 2-88> 국외 업체들에 의해 개발된 철도 차량용 반도체 변압기 ····· 92
<그림 2-89> 동다이캐스팅 기술개발 현황 ····· 93
<그림 2-90> 일본 신칸센의 주전동기 비교 ····· 95
<그림 2-91> 후지전기의 영구자석 동기전동기 및 차축 ····· 95
<그림 2-92> 후지전기의 영구자석 동기전동기 적용 철도차량 ····· 96
<그림 2-93> 희토류 원재료 가격 동향 ····· 98
<그림 2-94> 세계 AC 전동기 개발 진행방향 ····· 98
<그림 2-95> 3상, 5상 동기전동기의 자속 쇄교수와 역기전력 비교 ····· 99
<그림 2-96> 3상, 5상 동기전동기의 자속 쇄교수와 역기전력 고조파 비교 ····· 100
<그림 2-97> 3상, 5상 동기전동기의 정격토크 리플과 코깅토크 비교 ····· 101
<그림 2-98> 3상, 5상 동기전동기의 정격토크/속도 특성 비교 ····· 102
<그림 2-99> Siemens 차량 구조 변화: 동력 집중식(ICE 2), 동력 분산식(ICE 3) ····· 103
<그림 2-100> 5상구동 인버터 제어 블록도 ····· 104
<그림 2-101> 미국 Oak Ridge Lab의 하이브리드 자동차용 5상 인버터 ····· 104
<그림 2-102> 다상 추진시스템을 적용한 고출력 하이브리드 자동차 ····· 105
<그림 2-103> A가 제안한 특허에서의 마그네틱 기어 형상(1999년) ····· 106
<그림 2-104> Pole Pieces를 포함한 마그네틱 기어 형상 ····· 106
<그림 2-105> 2~4kNm급 마그네틱 기어 일체형 동기전동기 적용 ····· 107
<그림 2-106> 300kW, 16kNm급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품 ····· 107
<그림 2-107> M사의 전기자동차용 마그네틱 CVT(변속기) 시제품 ····· 108
<그림 2-108> M사의 선박 추진용 2.5MW급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품 ····· 108
<그림 2-109> 오사카 대학의 마그네틱 기어드 동기전동기 및 시험장치 ····· 109
<그림 2-110> 오사카 대학의 Axial-gap 타입의 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품 ····· 109
<그림 2-111> 알루미늄 하우징을 적용한 고속철도용 기어박스(VOITH) ····· 110
<그림 2-112> VOITH사의 다양한 철도차량용 감속기 ····· 110
<그림 2-113> 마그네틱 베어링 제조회사 및 생산품 ····· 111
<그림 2-114> WAUKESHA사 마그네틱 베어링 ····· 112
<그림 2-115> MECOS사 마그네틱 베어링 ····· 112
<그림 3-1> 연도별 출원 동향 ····· 114

<그림 3-2> 주요 출원인 동향 ····· 115
<그림 3-3> 주요 출원인 동향 ····· 115
<그림 3-4> 국가별 특허 점유현황 ····· 121
<그림 3-5> 국가별 출원특허 대비 우선권특허 현황 ····· 121
<그림 3-6> 국가별 출원건수 및 시장확보지수 ····· 122
<그림 3-7> 국가별 인용도지수 ····· 122
<그림 3-8> 국가별 영향력지수 및 기술력지수 ····· 123
<그림 3-9> 특허 등고선 맵 ····· 124
<그림 3-10> 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 ····· 129
<그림 3-11> 논문 발표 주요 국가 ····· 129
<그림 3-12> 논문 발표 주요 기관 ····· 129
<그림 3-13> 연도별 출원 동향 ····· 133
<그림 3-14> 주요 출원인 동향 ····· 134
<그림 3-15> 주요 출원인 동향 ····· 134
<그림 3-16> 국가별 특허 점유현황 ····· 140
<그림 3-17> 국가별 출원특허 대비 우선권특허 현황 ····· 140
<그림 3-18> 국가별 출원건수 및 시장확보지수 ····· 141
<그림 3-19> 국가별 인용도지수 ····· 141
<그림 3-20> 국가별 영향력지수 및 기술력지수 ····· 142
<그림 3-21> 특허 등고선 맵 ····· 143
<그림 3-22> 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 ····· 152
<그림 3-23> 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 ····· 152
<그림 3-24> 논문 발표 기관 소속 국가 ····· 153
<그림 3-25> 논문 발표 주요저자 ····· 153
<그림 3-26> 마그네틱 기어드 영구자석 기기의 형상(2004년) ····· 157
<그림 3-27> 마그네틱 기어 관련 국내에 출원된 대표 특허 현황 ····· 158
<그림 3-28> 마그네틱 기어와 기어적용 PM Machine의 특허 기술 발전 동향 ····· 158
<그림 3-29> 특허 등고선 맵 ····· 159
<그림 3-30> 기존 특허 회피 전략도 ····· 160
<그림 3-31> 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기 관련 핵심논문 ····· 166
<그림 4-1> 기술 예측 추진 프레임워크 ····· 167
<그림 4-2> 기술수요조사 프로세스 ····· 169
<그림 4-3> 기관별 기술수요조사 제안과제 결과 ····· 171
<그림 4-4> 중점분야별 기술수요조사 제안과제 결과 ····· 171
<그림 4-5> 적용대상 차량별 기술수요조사 제안과제 ····· 171
<그림 4-6> 기술예측조사 프로세스 ····· 175
<그림 4-7> 예측기술 선정 프로세스 ····· 178
<그림 4-8> 사전연관성 검토 수행 결과 도출된 선정평가 대상 제안과제 목록 ····· 179
<그림 4-9> 전체 예측기술의 세계/국내 기술적 실현시기 응답수 분포 ····· 190
<그림 4-10> 전체 예측기술의 세계/국내 사회경제적 실현시기 응답수 분포 ····· 191
<그림 4-11> 첨단 주변압기 분야 세계/국내 기술적 실현시기 응답수 분포 ····· 191
<그림 4-12> 첨단 주변압기 분야 세계/국내 사회경제적 실현시기 응답수 분포 ····· 192
<그림 4-13> 첨단 추진장치 분야 세계/국내 기술적 실현시기 응답수 분포 ····· 193

<그림 4-14> 첨단 추진장치 분야 세계/국내 사회경제적 실현시기 응답수 분포 ····· 193
<그림 4-15> 첨단 감속구동장치 분야 세계/국내 기술적 실현시기 응답수 분포 ····· 194
<그림 4-16> 첨단 감속구동장치 분야 세계/국내 사회경제적 실현시기 응답수 분포 ····· 194
<그림 4-17> 최고기술보유국 현황 ····· 199
<그림 4-18> 중점분야별 기술수준 ····· 201
<그림 4-19> 첨단 주변압기 중점분야 기술수준 ····· 202
<그림 4-20> 첨단 추진장치 중점분야 기술수준 ····· 202
<그림 4-21> 첨단 감속구동장치 중점분야 기술수준 ····· 203
<그림 4-22> 기술수준-중요도 포트폴리오 ····· 206
<그림 4-23> 중점분야별 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과 ····· 207
<그림 4-24> 첨단 주변압기 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과 ····· 207
<그림 4-25> 첨단 추진장치 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과 ····· 208
<그림 4-26> 첨단 감속구동장치 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과 ····· 209
<그림 4-27> 최종과제 도출절차 ····· 210
<그림 4-28> 우선순위 평가기준 가중치 ····· 220
<그림 5-1> 철도차량용 주변압기 국내 개발 사례 ····· 225
<그림 5-2> 첨단 변압기 시험 설비(전원설비 및 진동시험기, 철도기술연구원) ····· 228
<그림 5-3> 첨단 변압기 기술개발의 내/외부적 긍정적/부정적 요인 ····· 229
<그림 5-4> 첨단 변압기 기술개발 전략 Matrix ····· 229
<그림 5-5> SWOT 분석 결과를 바탕으로한 기술개발 전략 ····· 230
<그림 5-6> 국내 보유중인 추진제어장치 조합 성능시험 설비 ····· 231
<그림 5-7> 국내 보유중인 기어 시험 관련 설비 ····· 239
<그림 5-8> SST demonstrated on the SBB Ed933 locomotive ····· 242
<그림 5-9> ABB에서 개발한 반도체변압기 회로도 ····· 242
<그림 6-1> 비전 및 목표 ····· 252
<그림 6-2> 컨버터 일체형 주변압기 구성도 ····· 254
<그림 6-3> 컨버터 일체형 주변압기 개발(안) ····· 254
<그림 6-4> 컨버터 일체형 주변압기 과제 구성 ····· 257
<그림 6-5> 컨버터 일체형 주변압기 기술개발 추진 전략 ····· 263
<그림 6-6> 도시철도차량용 5상 희토류 저감형 동기전동기 및 인버터 개발(안) ····· 266
<그림 6-7> 첨단추진시스템 세부과제 추진 전략 ····· 275
<그림 6-8> 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 개발(안) ····· 278
<그림 6-9> 첨단감속기 세부과제 구성 ····· 281
<그림 6-10> 첨단 감속 구동장치 세부과제 추진 전략 ····· 288
<그림 6-11> 세부과제간 연계관계 ····· 291
<그림 7-1> 철도차량산업 육성 목표 및 추진전략 ····· 314
<그림 7-2> 사업 추진체계 ····· 317
<그림 7-3> 최고기술보유국 현황 ····· 326
<그림 7-4> 세부 기획과제 기술별 기술수준 ····· 326
<그림 7-5> 철도공사 전철전력 사용량 ····· 331
<그림 7-6> 도시철도 운영기관별 전동차 보유량 수 ····· 339
<그림 7-7> 가용성 구분 및 현대식 철도차량의 평균 가용성 수준 ····· 345
<그림 7-8> 가용성 구분 및 현대식 철도차량의 평균 가용성 수준 ····· 348
<그림 7-9> 가용성 구분 및 현대식 철도차량의 평균 가용성 수준 ····· 350

제 1 장 기술의 정의 및 기획 필요성

제 1 절 기술의 정의

○ 철도차량 추진시스템기술은 전차선으로 부터 공급되는 전원을 철도차량의 가/감속 구동 및 보조기기들의 작동에 필요한 전원공급, 가/감속 구동, 동력발생 및 차륜에 동력을 전달하는 기술을 의미

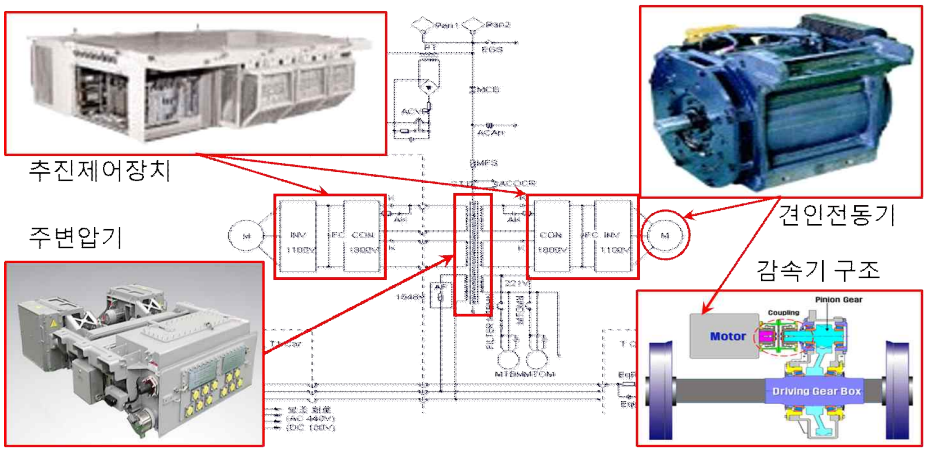
- 철도차량의 가장 중요한 기능인 차량이 주행을 할 수 있도록 가속 및 감속을 담당

- 철도산업을 경쟁력 및 기술 수준을 결정하는 핵심 요소기술

- 철도분야의 세계적인 대표 기업들은 모두 추진시스템기술을 보유하고 기술을 선도하는 기업이며, 이러한 기업을 보유한 국가가 현재의 철도선진국임

- 철도차량의 가/감속 능력 및 최고주행속도 등 성능을 결정

- 철도차량의 각 구성부품 가운데 중량(차량 중량의 약 10% ~ 30%), 부피(차량 설치 기기의 50% ~ 60%)를 차지하고 있으며 사용하는 에너지의 90% 이상이 소모되는 대전력 기기



<그림 1-1> 철도차량 주전력 시스템 구성도

- 주변압기 기술, 추진기술, 감속구동 기술을 포함하며, 이러한 기술이 적용되는 장치가 각각 주변압기, 추진장치, 감속기임

■ 주변압기 : 전차선으로 부터 공급되는 전력을 차량에 필요한 수준으로 변환

■ 추진장치 : 전기에너지를 운동에너지로 변환하는 견인전동기와 견인전동기를 제어하여 가/감속을 하도록하는 추진제어장치로 구성

■ 감속장치 : 견인전동기에서 발생된 기계적 운동에너지를 차축/차륜에 전달

제 2 절 기획 배경

○ 본 기획연구는 이러한 추진시스템 주요 구성품에 최신 기술을 접목하여 추진시스템의 안정성을 향상시키고 경량화를 이룸으로써 종래의 시스템이 갖는 고장요인을 시스템적으로 제거하여 고생 발생률을 낮추며, 고장 발생 시에도 그 영향을 최소화하여 차량이 운행을 지속할 수 있도록 하여, 차량의 가용성을 증가시키고, 주기적인 유지보수 점검개소를 최소화하여 운영 유지보수비를 절감하며, 나아가서는 주요장치의 경량화를 달성할 수 있는 기술개발을 기획하고자 하는 것임

○ 철도 교통수단은 대량 수송이 가능하면서 친환경적인 수송시스템으로 정부에서는 철도 수송 분담율을 15.9%(2008)에서 27.3%(2020) 확대하기위해 지속적인 철도건설을 추진할 예정

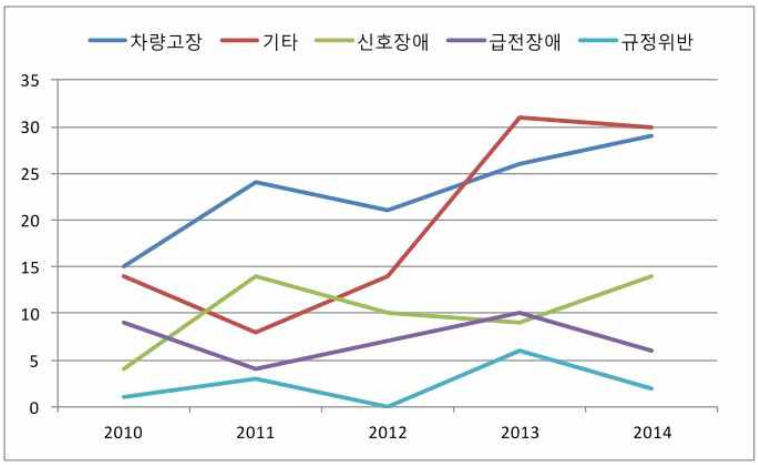
<표 1-1> 우리나라 교통수단 수송분담율

구 분	2008년	2020년
도로	81.4	69.3
철도	15.9	27.3
항공	2.5	3.2
해운	0.2	0.2
계	100.0	100.0

주:제2차 국가철도망 구축계획(2011.4)

○ 또한 철도이용객은 1일 31만명(2008)에서 60만명(2020)으로 증가 할 것으로 예상하고 있어 철도 이용객의 안전과 편의성 증대가 요구 되고 있음.

○ 국내 도시철도에서 2010년부터 2014년까지 331건의 지연운행 사례가 보고되고 있으며, 이 가운데 차량고장이 원인이 되어 지연운행한 경우가 115건으로 전체의 34.7%의 비율로 가장 높음(2015 철도사고 및 안전성능 분석보고서 - 교통안전공단)



<그림 1-2> 도시철도 연도별 지연운행 발생 현황

- 제5차 교통안전기본계획 철도안전분야 투자액 3조8천억원 중 철도차량 안정성 향상 시 5년간 1,900억원 절감 가능

○ 대표적인 친환경 교통수단인 철도차량은 운행의 안정성 및 정시성 확보와 함께 유지보수 비용의 절감은 반드시 이뤄어져야 할 과제임

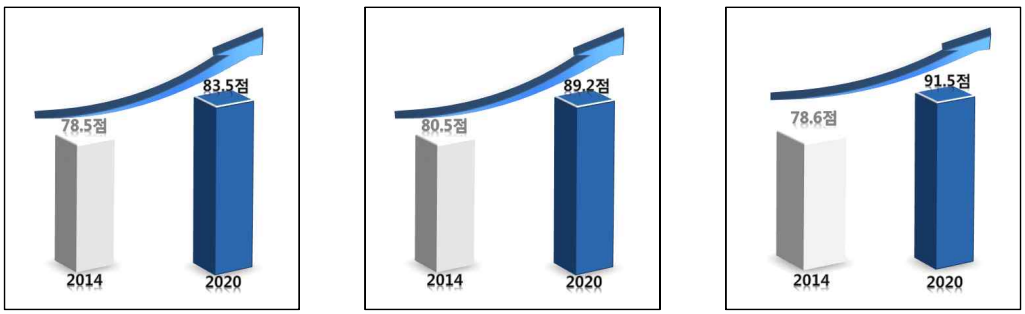
- 프랑스, 독일, 일본 등에 있는 철도 선진기업의 경우 철도차량용 추진시스템의 안정성과 효율을 개선하기 위한 발전을 거듭하고 있는 반면 국내의 철도차량 추진시스템은 종래 기술의 틀에서 벗어나지 못하고 있는 실정

- 안정성 향상 및 경량화 등 성능 개선, 유지보수 효율 향상을 위한 기술개발이 뒤쳐질 경우 또다시 철도산업이 외국기술에 종속될 가능성 있음.

○ 철도 현장 중심의 국내 철도기술 수준을 높여 열차이용의 안전성 및 유지보수성을 확보하여야 하나 철도기술은 선진국 대비 차량분야 83.5%(‘20), 시설분야 89.2%(’ 20), 운영 및 환경분야 91.5%(‘20) 로 예상하고 있어 시급히 철도차량 분야에 기술개발이 필요함.

- 철도통계에 따르면 한국, 일본, 미국, 중국, 독일, 프랑스, 영국과의 기술수준을 상대적으로 평가한 결과, 한국은 차량분야는 78.5점, 시설분야는 89.2점, 운영 및 환경 분야는 91.5점의 수준을 받음 (2014년 기준)

- 장래 2020년까지 모든 분야에 대하여 2014년 영국의 평가 기술수준인 차량분야는 83.5점, 시설분야는 89.2점, 운영 및 환경은 91.5점으로 증가할 계획



차량분야 시설분야 운영 및 환경

<그림 1-3> 장래 철도분야 기술수준

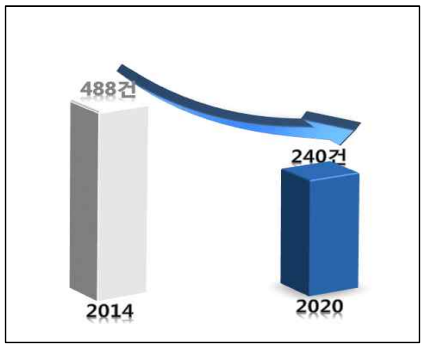
○ 철도교통 사고 감소를 통해 철도의 안전성은 물론 쾌적성 개선을 위해 2020년까지 철도사고 건수를 240건 이하로 감소시킬 계획이므로 이에 따른 철도 분야 기술개발이 필요하며 특히 차량의 운행 장애 해소를 위해 첨단추진시스템 적용이 필요함.

<표 1-2> 우리나라 철도사고 년도별 건수

(단위 : 건수)

구분	2010	2011	2012	2013	2014
합계	632	625	589	554	488
철도사고	317	277	250	232	209
철도교통·안전사고	23	20	19	21	16
사고사상	294	257	231	211	189
운행장애	315	348	339	322	279

주 : 고속/일반철도, 수도권전철사고 및 운행장애(도시철도 포함)



<그림 1-4> 장래 철도사고 목표

○ 국내 철도분야 전력사용량 매년 급격한 증가 추세로 철도 전력 사용량의 2/3를 차지하는 전철전력이 매년 증가 추세이며, 특히 KTX가 도입된 2004년 이후 전철전력 사용량 증가율이 이전 15년에 비해 2.4배로 급증하고 있어 에너지 절약을 위한 대책이 시급함.

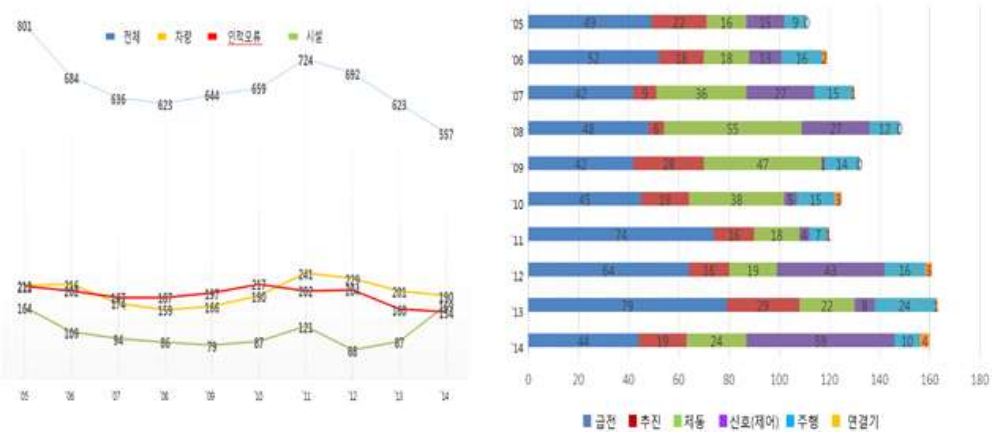
○ 철도에너지 증가에 따른 대책으로 철도시스템 구축시 차량 부품 경량화를 세계적으로 추진하고 있으며 Talgo AVRIL 차량의 경우 차량 30% 경량화를 통해 약 18%의 에너지 절감 효과를 달성하였음.

주) Talgo AVRIL design for sustainability, Jose Maria Gonzalvez, 2010



<그림 1-5> Talgo 열차 경량화에 따른 에너지 절감효과

○ 철도차량의 고장 및 장애는 전반적으로 감소추세에 있으나 차량장애 중 급전/추진계통의 장애 비중이 상당히 높으며 이를 해결하기 위한 제도적 및 기술적인 문제를 극보하여야 함.



<그림 1-6> 철도공사 전기철도차량 장애현황

○ 해외 철도선진기업은 지속적인 기술개발 진행

- SiC, GaN 등 차세대 전력반도체 소자의 상용화 및 해외 선진기업을 주축으로 철도적용이 시도되고 있음

- 일본은 PMSM 기반의 고속철과 도시철도 상업운영하고 있으며, 2014년 동경 긴자선에서 SiC 구동 PMSM차량을 운영

- 프랑스에서는 TGV-D 3세대부터 동기기 채용하고 TGV-A, TGV-R등에도 확대 적용

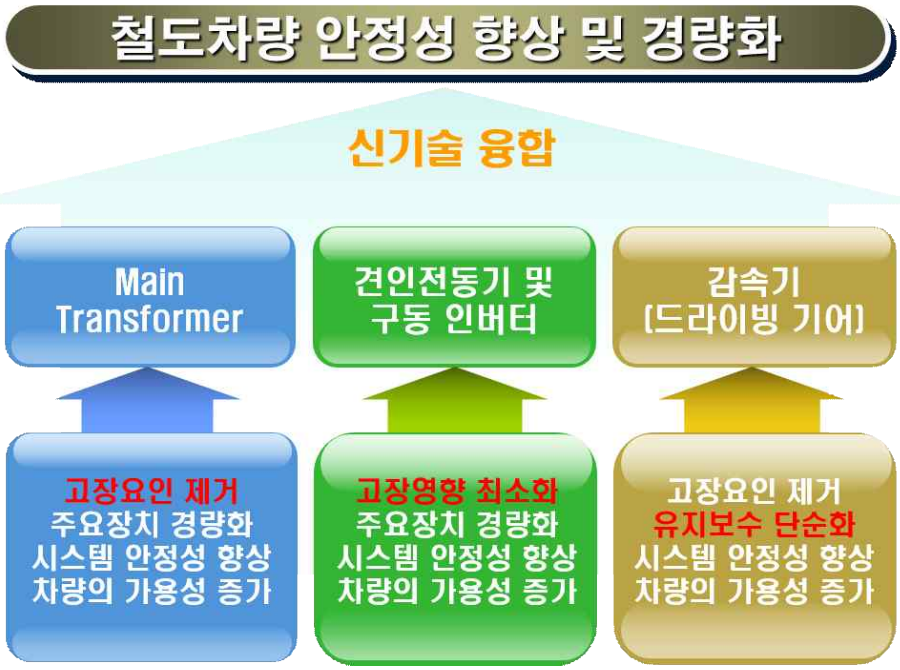
- 스위스는 ABB에서 2007년부터 반도체 변압기 탑재 기관차 운행

○ 친환경 교통수단인 철도차량은 운행의 안정성 및 정시성 확보와 유지보수 비용절감이 필적임

○ 신기술 적용 추진시스템 기술개발을 통한 글로벌 철도산업 경쟁력 확보의 기회포착 필요

- 원천기술개발 및 Test-Bed 구축을 통한 성능검증, 안정화, 신뢰성 확보 필요

○ 기존의 철도분야 추종형 기술개발을 탈피하고 국내기업의 기술자립 및 수출전략형 기술축적을 위한 선도적 기술개발



<그림 1-7> 철도차량 신기술 적용을 통한 방향

○ 기존의 철도분야 기술개발은 철도 선진국/기업의 실용화 검증이 완료된 시스템을 대상으로 한 추종형 기술개발이었으나, 국내 철도관련 기업의 실질적 기술 자립 및 수출전략형 기술축적을 위한 선도적 기술개발이 필요함.

- 기존 철도분야 기술개발이 추진시스템 등 핵심분야 중심의 기술개발 보다는 전체 차량시스템을 대상으로 하는 기술개발 형태로 수행됨에 따라 실질적인기술개발 및 know-how 습득 보다는 부품 조달을 위한 엔지니어링 기술 습득의 국산화 수준으로 수행되었으며, 일부 핵심 장치의 경우 설계 know-how등은 해외기업에 의존하는 사례가 발생

○ 박근혜 정부의 국정목표인 일자리 중심의 창조경제를 실현하기 위한 국정과제에서와 같이, 신기술 개발을 통한 창조 산업 육성, 철도차량 및 부품 제작사 간의 협력적 기업생태계 조성, 핵심 전장품을 담당하는 중소/중견기업의 수출 경쟁력 강화, 철도분야 신기술 획득에 의한 국가 과학기술 혁신 역량 강화를 도모할 수 있으며, 나아가서는 철도의 운행 안정성 확보에 따른 교통체계 선진화 등 국정과제의 실현에 부합하고 있음.

○ 국토교통부 제3차 국가철도망 구축계획(2016-2025)(2016.6)에서 신규철도망 구축을 통한 “전국 주요거점을 일상 통근시간인 1시간 30분대로 연결하여 하나의 도시권으로 통합” 이라는 목표를 위해 아래 4개 과제를 통해 달성할 예정임

- 전국 주요거점을 고속철도망으로 연결

- 대도시권 30분대 광역·급행 철도망 구축

- 녹색 철도물류체계 구축

- 편리한 철도 이용환경 조성

이러한 4개 과제추진을 위해 추진방향을 “철도운영 효율성 제고, 주요 거점간 고속 이동서비스 제공, 대도시권 교통난 해소, 안전하고 이용하기 편리한 시설조성, 철도물류 경쟁력 강화, 통일시대를 대비한 한반도 통합철도망 구축”으로 계획중이며 본 첨단추진시스템 기술개발 과제는 철도운영 효율성 제고를 위해 중요한 첨단철도기술로 정부 추진방향에 가장 부합함.

○ 반도체변압기, 다상 구동시스템과 결합한 희토류 저감형 동기전동기, 마그네틱 기어 등을 철도차량에 적용하기 위한 관련 원천 기술연구는 국내에서 진행된 적이 없으며, 해외에서도 시제품 제작 및 적용 연구 등이 진행된 상황

○ 철도산업은 대규모 설비 투자와 연계되는 “규모의 경제”라 할 수 있으며, 철도분야에 요구되는 대전력, 고출력 장치 산업은 다른 산업에 미치는 영향이 커서 “긍정적 외부성”을 창출하고 또한 높은 고용창출 효과 등이 있어 정부의 기술개발 지원 등 적극적 개입으로 산업을 육성할 필요가 있음

- (전후방효과) 전방효과[1]는 1조 2,537억원, 후방효과[2]는 2조 2,075억원으로 철도차량산업은 전후방효과가 높아 국민경제에 크게 기여

- (생산유발) 철도차량산업이 전체산업에 미치는 생산파급효과는 4조 3,265억원으로 철도차량산업 자체 수요의 2배를 초과하는 수준

- (부가가치유발) 철도차량산업의 부가가치파급효과는 6,271억원으로 전체산업에는 1조 2,401억원의 부가가치 유발

- (고용유발) 철도차량산업으로 인해 전체산업에서 15,450명의 고용 증대효과로 자체 고용 6천여명의 2배를 초과하는 수준

<표 1-3> 2012년 철도차량산업 실적(한국조달연구원, 2015)

산업연관분석을 통한 철도차량산업의 경제적 효과 기준자료
※기준자료: 2012년 철도차량산업 실적
ㅇ 철도차량 내수 8,364억원, 수출 6,994억원
ㅇ 철도부품 내수 2,702억원, 수출 2,062억원
⇒2012년 철도차량산업 자체 수요 2조 123억원

○ 반도체변압기, 희토류 저감형 동기전동기와 연계한 다상 추진시스템 및 마그네틱 기어 등 신기술을 적용한 추진시스템 원천기술개발은 미래 지향적 기술개발이며,

1) 전방효과: 철도차량산업의 중간재 수요가 타 산업에 미치는 효과
2) 후방효과: 철도차량산업의 증대가 타 산업 생산을 증가시키는 효과

기술개발의 결과로 철도차량의 안전운행 및 경량화 등과 함께 유지보수 비용 절감 등 철도교통의 효율적 운영과 직결되는 사항임

○ 정부가 주도적으로 지원하지 않을 경우 원천기술 개발 및 세계 기술 선도는 불가능하며, 기술 추종형 전략만으로는 세계시장 점유율의 확대는 달성 할 수 없어 관련 기술개발 추진

○ 원천기술의 선점 실패 시 막대한 기술료 지불을 통한 기술도입이 불가피 하며, 이는 선도적 투자비를 훨씬 능가하는 손실비용이 발생하게 됨

제 3 절 기획과제 목적 및 추진방향

1. 기획 목적

○ 철도차량 추진시스템에 신기술을 적용하여 철도차량의 안정성 향상 및 경량화를 달성하므로써 철도 운영 효율화 및 철도교통의 경쟁력을 확보하기 위한 기술개발 기획

- 전통적 추진시스템(유입식 변압기, 3상 유도전동기를 기반으로 한 추진제어장치, 기계식 감속 구동장치 등)이 갖는 구조적 한계에 따른 안정성 및 경량화 개선을 통한 새로운 추진시스템 기술개발

- 주변압기, 견인전동기, 추진제어장치, 감속 구동장치 등의 중량대비 낮은 출력밀도, 고장 취약성 및 높은 유지보수 비용을 개선하여 철도차량 이용 편의성 증대

- 해외 선진 기업 등에서는 새로운 기술의 철도적용을 위한 지속적 기술개발 추진으로 기술 개발에 뒤쳐질 경우 해외기술도입의 역순환 반복 우려(외국의 신기술 종속) 되므로 국내 기술개발을 통한 세계 시장 선도

- 국가기간산업인 철도산업 분야에 대한 시장선도형 철도차량 핵심기술개발의 정부주도 추진으로 미래가치 창출 및 철도산업의 수출 경쟁력 확보

○ 최근 개발되는 신기술(반도체변압기, SiC 적용 다상 추진제어장치 및 견인전동기, 마그네틱기어 등)을 적용한 새로운 형식의 도시철도 및 광역철도 추진시스템 기술개발

- 반도체 변압기의 철도차량 적용을 위한 핵심기술개발을 통한 기존의 유입식 변압기 대비 20% 무게 절감

- SiC 적용 다상 추진제어장치 영구자석저감형 동기전동기의 핵심기술개발을 통한 신뢰성 향상 및 15% 경량화 개발

- 비접촉식 마그네틱 감속기어 개발을 통한 중량(약 10%) 절감, 고장율 저감 및 유지보수성 향상

- 신개발 추진시스템의 도시철도 및 광역철도 적용을 위한 SE 기술개발 및 핵심장치 검증을 위한 조합시스템 Test-Bed 구축

2. 기획 추진 방향

○ 기술개발 현황 파악을 위하여 국내외 도시철도 및 고속철도 추진시스템(추진변압기, 추진제어장치, 추진모터, 감속구동장치 등) 개발 현황 및 실용화 현황 조사

- 철도분야에서의 추진시스템 방식 개발 및 적용 현황(기술수준, 개발사양, 업체현황, 관련특허 등) 조사 및 장단점 분석과 전체적인 연구 추진 현황 파악을 위하여 타 분야에서의 추진시스템 방식 개발 및 적용현황 조사

○ 기술의 내외부 환경, 기술동향, 정책 동향, 시장 동향 등의 분석을 통하여 추진시스템 철도 기술의 현황 파악

○ 기 개발된 추진시스템 기술의 활용 가능성 분석을 통하여 기술 개발 효율화 추진 방안 도출

○ 추진시스템(추진변압기, 추진제어장치, 추진모터, 감속구동장치 등) 기술 개발에 필요한 기술 수요조사를 통하여 대상 기술을 도출 및 분류하고 이를 바탕으로 후보과제 도출

- 철도 분야에서 추진시스템 실용화를 위하여 도시철도용과 고속철도용의 핵심기술에 대한 정의

○ 도시철도 및 고속철도 추진시스템의 기술 개발 사양 도출 및 추진과제 발굴 · 기획

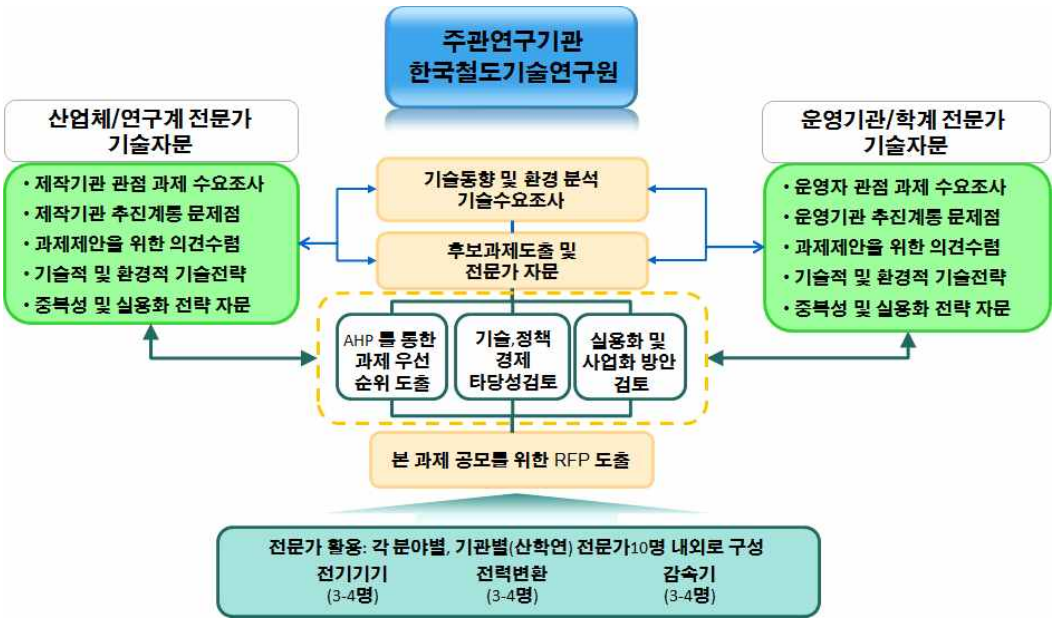
- 안정성 및 경량화를 위한 추가 기술개발 도출 및 철도 운용속도 대역별 적용기술 및 개발 요구사양 검토

- 추진과제별 기술개발 효과 및 경제성 분석

- 기술 단계별 실용화 적용 방안 및 Test-bed 추진 계획 수립

- 기술개발 우선순위 선정 및 소요예산, 추진방법 수립

○ 추진시스템 기술의 과제 도출을 위한 전문가 자문위원 구성 및 전문가 자문회의 개최



<그림 1-8> 연구과제 추진체계

○ 추진시스템 전문가 집단을 구성하여 기술수요조사에서 도출된 과제에 대해 델파이 기법을 이용한 우선순위 조사를 수행함

- 델파이 기법 : 예측하려는 문제에 관하여 전문가들의 견해를 유도하고 종합하여 집단적 판단으로 정리한는 일련의 절차

- 미국 랜드연구소(Rand Corporation)에서 개발된 방법으로 대면 토의에서 나타나는 제한점을 제거하고 긴급한 국방문제에 관해 전문가들의 합의를 도출하는데 1950년대 최초 사용됨

- 1960년대 방법이 공개된 이후 여러 분야에서 미래를 예측하는 문제 뿐 아니라 다양한 분야에서 활용됨

- 계량적 객관의 원리 : 추정하려는 문제에 대한 정확한 정보가 없을 때에는 '두 사람의 의견이 한 사람의 의견보다 정확하다'

- 민주적 의사 결정 원리 : '다수의 판단이 소수의 판단보다 정확하다'

- 면대면(Face to Face) 과정에서 나타날 수 있는 바람직하지 못한 심리적 효과를 제거한 일종의 패널식 조사 연구 방법임

- 토론 집단이 복합적인 문제를 효과적으로 취급할 수 있도록 토론자 사이에 의사소통 과정을 구조화 함

- 일반적인 여론조사의 방법과 협의회 방법의 장점을 결합시킨 방법임

- 델파이 토론 참여자(토론자)가 델파이 절차가 반복되는 동안 피드백된 전회의

통계적 잡단반응과 소수의견 보고서를 참고하여 다음 회에 자기 판단을 수정 보완할 수 있는 기회를 갖게 됨.

- 델파이기법에 있어서 전문가 선정에 대한 문제는 매우 중요한 문제이다. 원래 델파이기법이 전문가적 직관을 객관화된 수치로 나타내는 방법이기 때문에 조사에 참여한 전문가의 자질은 매우 중요시 될 수밖에 없는 것이다. 이에 따라, 전문가의 선정 기준으로는 다음과 같은 기준들이 제안되고 있다.

  · 전문가들은 응답을 하는 데에 필요한 필수적 지식을 적어도 평균적인 수준 이상을 갖고 있어야 한다.

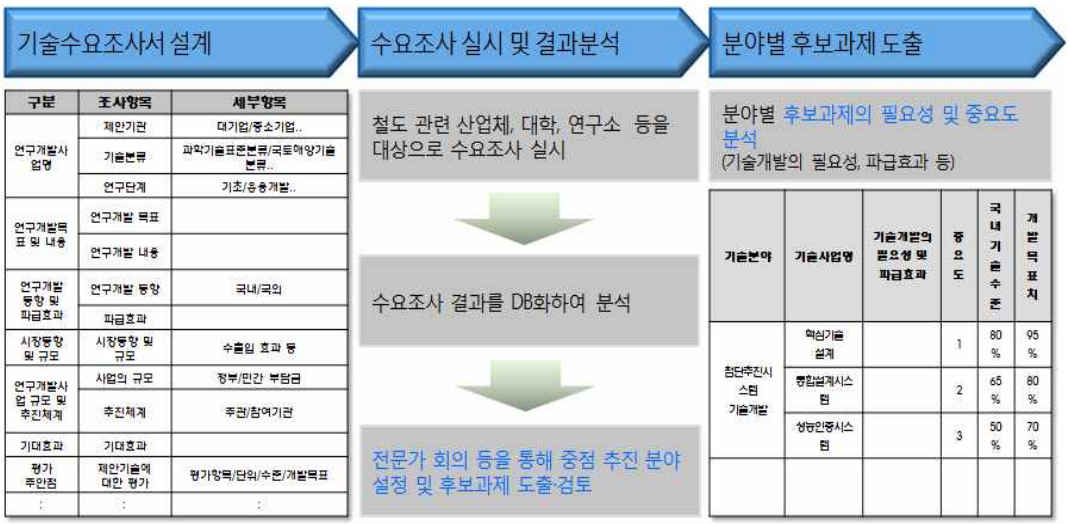
  · 조사에 참여하는 전문가들은 지리적으로 골고루 퍼져 있어야 한다.

  · 전문가들은 합리적이고 객관적이며 편향되지 않은 사고를 할 수 있어야 한다.

  · 전문가들은 조사에 열성적으로 참여하여야 한다.

  · 전문가들은 델파이 과정에 소요되는 수 주일간의 시간을 낼 수 있어야 한다.

○ 델파이 기법을 이용한 추진시스템 분야별 후보과제 도출



<그림 1-9> 연구후보과제 도출 프로세스

○ 도출된 추진시스템 분야별 후보과제에 대한 세부실행 계획 및 추진방법을 조사

- 세부과제별 연구내용 및 성과맵

  · 연구내용에 따른 연차별/단계별 성과목표와 성과지표 설정

  · 연구과제별 성과맵 작성을 통한 성과관리



<그림 1-10> 연구후보과제 기술로드맵

- 세부과제별 과제추진·운영 방안 수립

  · 사업수요처 방문 협의

  · 기초기술 보유기관 및 전문가 연계방안 협의

  · 국제공동연구 추진방안

  · 추진/운영방안 의견수렴

- 세부과제별 활용방안 및 실용화 추진방안

  · 성과분석 및 검증방안

  · 제도·정책 활용, 현장적용, Test Bed 및 시범사업 등 구체적인 실용화 방안

  · 과제의 결과물의 적극적 활용방안 도출

- 세부과제별 인력투입계획 및 소요예산

  · 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립

  · 과제별 소요예산 산정

  · 연차별 예산산출 근거 작성

  · 소요예산 적정성 검토

○ 로드맵을 통하여 세부 과제별 기술 개발 추진 계획 및 실용 방안 도출

- 최종적으로 추진시스템 방식을 적용하기 위한 관련 철도 기술개발을 위한 기존 기술 분석 및 분석 자료를 기반으로 한 세부과제(핵심요소기술) 도출

- 연구과제에 대한 추진체계 및 추진 전력 수립과 본 과제 공모를 위한 RFP 도출



<그림 1-11> 기획연구과제 추진방향

3. 기획 과제 효과

○ 철도차량의 핵심 부품인 추진시스템 기술개발 기획으로 철도분야 수출경쟁력을 향상시키기 위한 핵심 기술 확보 및 국가 기술 경쟁력 확보 전략 수립

○ 고속철도/일반철도/도시철도 등 철도차량 공통의 핵심기술 개발로 철도차량의 운행 안정성 향상 위한 기술대안 확보 및 철도교통 서비스 경쟁력 확보

○ 추진시스템 경량화 및 에너지 효율 증대, 유지보수 절감으로 철도 운영 효율 향상

○ 철도분야 고출력/대용량 시스템에 대한 시장 선도형 기술 개발로 마이크로 그리드, 스마트 그리드, 전기자동차 등 타 산업분야의 기술개발 가속화

○ 다상 인버터 추진시스템을 철도차량에 적용시 전력변환 회로의 고장에 의한 추진시스템 안전성이 증대되며 고주파 노이즈 저감에 의한 소음 및 진동 저감 가능

○ 기존 상용 주파수를 이용하는 주변압기 및 컨버터 보다 전력 밀도를 2배 이상 향상 시킬 수 있어 철도 차량 경량화가 가능

○ 절연유를 최소화하기 때문에 누유에 의한 수명 단축, 화재 등이 발생하지 적어 철도 차량의 환경 친화성 및 안전성이 증가하며, 유지 보수비의 절감이 가능

○ 전차선의 전력 품질과 관계없이 차량에 고품질의 전력 공급이 가능

○ 철도차량용 감속기에 마그네틱 기어의 적용을 통하여 기존 철도차량용 구동시스템 대비 소형 경량화가 가능하며, 유지보수비용 절감이 가능한 추진시스템 구축

○ 철도차량용 감속기에 마그네틱 기어의 적용을 통하여 대차 및 차륜 등 지지구조물의 크기, 강도 저감이 가능하며, 전체적인 차량의 저상화 및 경량화를 통해 전체 차량시스템 효율 증대 가능

제 2 장 기술개발 동향 및 환경분석

제 1 절 국내외 정책동향 분석

1. 국내 정책동향 분석

○ 국토교통부의 “철도기술 중장기 기본계획”에서는 2006~2010 기간 동안 “국민의 삶의 질 향상, 철도산업의 경쟁력 제고, 세계일류 수준의 철도기술을 확보 한다”로 정하고 전략기술 분야별로 중장기 기술지도 내용을 구체화였다. 철도와 관련 국토교통부의 계획은 “국토종합계획수정계획(2006~2020)”, “철도산업발전 기본계획(2005-2019)” 속에 담겨져 있다. 여기서, “국토종합계획수정계획”이란 철도사업 관련 정책을 종합하고 체계화하는 법정 기본계획이라 할 수 있다. 이 계획은 철도산업 경쟁력의 획기적 제고를 비전으로 설정, 철도 기술수준을 선진국 대비 2014년 78.5%에서 2020년 83.5%까지 높이는 것을 목표로 제시하였다.

○ 국토교통부는 또한, 철도차량산업 육성 목표 및 추진전략으로 “2030 글로벌 시장을 향한 신성장동력산업 육성”을 비전으로 제시하며, 철도차량 제작사, 부품강소기업, .R&D 경쟁력, After Market 및 해외수주, 법·제도 정비의 5개 부문에 대하여 기본방향과 핵심과제 및 연계과제를 발표하였음 [국토교통부(2016)]



<그림 2-1> 철도차량산업 육성 목표 및 추진전략
(국토교통부, 2016)

- 철도차량 경량화 및 안정성 향상을 위한 추진시스템 개발을 위한 본과제의 방향에 해당하는 부품분야에서 기술발전 속도가 빠르고 차량의 성능을 좌우하는 전장품의 교체 주기가 15~20년으로 After Market 수요를 형성하기에 유리하며, 기술력 및 품질안전 요구에 따라 전문성 있는 부품업체의 중요성이 증대되고 있으며, 전장품 등 핵심부품의 고부가가치화 경향임을 적시하고 중소기업 적합 아이템을 발굴하여 연구개발 및 사업화를 지원하고 부품개발 우선순위 설정 및 사업화·해외진출을 위한 전략을 마련하므로서 “부품 강소기업 육성”을 할 것과 세계적 기술을 보유하고 있는 ICT, 전철·전력분야와 연계하여 전력제어장치 등 핵심 전장품 발굴, R&D 공동추진 등을 지원하는 “고부가가치 전장품 집중개발”을 주요 핵심과제로 선정

- R&D 분야에서 기술경쟁력 강화를 위한 R&D 기본전략 하에, 미래 성장동력확보를 위한 브랜드·첨단기술의 장기간·대규모 개발 필요성을 인식하고 부품 공급망 구축, 철도차량 품질안전 제고, 철도부품 강소기업 육성 등을 위한 철도부품·소재 핵심기술 개발을 핵심과제로 선정

- 철도차량 경량화 및 안정성 향상을 위한 추진시스템 기술개발은 이러한 정부의 정책에 부합되는 개발 사업으로 중소기업 적합아이템인 철도차량용 변압기, 견인전동기 및 추진제어인버터, 감속구동장치 등 중소기업 적합 아이템의 전문업체에서 ICT 및 전력기술을 연계한 핵심전장품의 선도형 기술개발을 통하여 미래 먹거리 창출을 위한 과제임

○ 국토교통부의 철도 R&D 추진방향은 국가철도망구축계획(2020년까지 88조 투입)에 따라 철도건설 예산절감을 위한 기술개발과 철도시설 유지보수, 관리시스템 등 운영효율성 제고기술 개발에 집중하는 것을 계획하였으며 저탄소 녹색 성장 견인을 위한 녹색기술 개발에 지속적으로 투자하였음

- 기초·원천 연구역량 강화로 핵심기술의 해외의존을 탈피하고자 하는 정부의 의지

- 정부에서 계획한 2013년까지 85%의 선진국 대비 기술력 달성 및 세계 7위의 철도시장 점유 목표 달성, 2018년까지 90%의 기술력 당성 및 세계 5위의 점유 목표달성을 위해서는 기술 추종형 연구개발이 아닌 기술 선도형 연구개발이 필요

○ 국가기간교통망 계획 제19조2항에는 국가교통기술개발계획을 수립하도록 명시하고 있고, 제21조3항에는 신교통 기술의 지정과 활용에 대해 설명하고 있으며, 제21조4항에는 신교통 기술의 시범사업 계획에 대한 근거를 제시하고 있으므로 이러한 법조항을 기초로 새로운 미래형 철도차량 추진시스템의 개발이 필요함

○ 친환경적인 철도 교통의 수용 용량 증가와 특히 온실가스 저감을 위한 다양한 철도 관련 지원 정책들이 세계적으로 추진되고 있음. 철도분야에서 유도급전 및 배터리 기술을 적용한 친환경적인 미래형 전기철도 시스템 개발을 위한 해외 선진국

들의 R&D 투자가 증대되고 있으며 국내에서도 정부 및 지자체의 친환경, 저비용, 고효율 수송시스템에 대한 관심이 고조되고 있음

○ 녹색성장 정책은 에너지 소비절약/사용 효율화, 저탄소・친환경 인프라 구축, 녹색기술에 대한 R&D 투자, 신 재생에너지 등 녹생산업 육성 및 수출 산업화, 세계시장 선점 지원등이 핵심임. 고효율 각륜구동 전동기 기술개발은 이런 흐름과 매우 부합되는 새로운 사업임

○ 현 정부의 국정목표인 일자리 중심의 창조경제를 실현하기 위한 국정과제에서와 같이, 신기술 개발을 통한 창조 산업 육성, 철도차량 및 부품 제작사 간의 협력적 기업생태계 조성, 핵심 전장품을 담당하는 중소/중견기업의 수출 경쟁력 강화, 철도분야 신기술 획득에 의한 국가 과학기술 혁신 역량 강화를 도모할 수 있으며, 나아가서는 철도의 운행 안정성 확보에 따른 교통체계 선진화 등 국정과제의 실현에 부합하고 있음

2. 국외 정책동향 분석

○ 세계 각국은 철도분야의 경쟁력을 높이고 국가연구개발사업의 투자효과를 극대화시 기 위해 국가연구개발사업의 전략적 추진을 강조하고 있다. 이를 위해 산・학・연 전문가들의 의견을 수혐한 협의 주제 발굴 및 미래기술 수요 예측, 기술로드맵 작성 등 선택과 집중의 원칙에 입각한 전략기술의 선택에 많은 노력을 기울이고 있으며, 해외 철도 정책은 일반적인 철도정책 보다 수송 분야에서 환경 친화적인 솔루션으로 부각되고 있는 철도에 대한 각국의 철도 정책에 대한 내용을 분석하였음(참고문헌: 해외 기후변화대응 철도 정책 분석을 통한 국내 기후변화대응 철도정책 방향제시

○ 유럽은 EU 소속국가들이 공동으로 상호 연계성 및 이용성 증대에 연구를 집중하고 있다. 유럽철도연구자문위원회(ERRAC, European Rail Research Advisiory Counsil)가 2002년에 “전략적 철도연구계획 2020”를 발표하였다. 또한 유럽은 ERTMS(유럽철도운영시스템, European Rail Traffic Management System)와 UGTMS(Urban Guided Transport Management System)시스템을 수립, 유럽철도의 상호 운용성을 확보하도록 하고 있다. 프랑스는 “육상교통 기술혁신정책 프로그램(PREDIT)”을 중심으로 철도기술정책을 전개하고 있으며, 독일 철도그룹은 2005년 미래 10년간 기술투자의 가이드라인을 완성하기도 했다.

유럽연합의 철도부문의 최근 정책들은 도로부문 수요를 비도로 부문으로 전환하는 정책임. 대표적으로 ‘Revitalization of Railways’와 ‘Promotion of Intermodal Freight Transport’의 2가지 정책이 있음. Revitalization of Railways 에서는 유럽 철도 네트워크 통합을 통한 철도의 수송비중 증대를 위한 5가지 전략을 내세웠음. 그 정책으로는 첫째, 안전도 인증을 통해, 철도의 안전성을 개선하고 모든 철도회사들은 유럽철도 네트워크에서 철도를 운영하기 위해 안전인증을 확보하도록 함.

둘째, Directive96/48과 2001/16을 통해 interoperability의 기본원리들을 보강함. 셋째, 효율적인 운영기구인 the European Railway Agency를 설립함. 넷째, 철도물류 시장의 개방을 확대하고 가속함. 마지막으로는, 국제철도수송정부간 기구인 OTIF(the intergovernmental Organization for International Carriage by Rail)에 가입하는 것임. 이러한 5가지 전략을 통해 유럽연합에서는 철도 물류의 비중 증대에 힘쓰고 있음.

- 프랑스의 철도부문 최근 정책은 유럽의 정책과 같은 방향으로써, 도로교통을 철도 교통으로의 대체에 초점을 맞추고 있음. 'Grands chantiers de transports compleentaires ala route' 정책은 도로교통 대체를 확장을 위해서 재정, 건설, 새로운 고속도로의 개통을 가속화 하고 현재, 3개의 추가 TGV 고속철 노선을 도시에 진행 중에 있음

- 영국의 철도정책은 철도부문의 수송용량을 늘리고 철도로의 수송모드변환, 철도자체의 온실가스 배출량 저감으로 요약할 수 있음. 영국 정부는 R&D에 대한 투자 지원을 통하여, 철도산업체들이 저탄소 차량 개발을 할 수 있도록 지원하고 있음. 철도 물류의 경우 1955/96년에 비해 톤-킬로미터 단위로 계산 시 55퍼센트의 성장률을 보이고 있음. 정부는 현재 매년 800,000 대의 화물자동차를 대체하기 위해 2천만 파운드를 투자하고 있음

○ 중국의 경우 [중장기 철도망 건설계획]에 의거 2020년 까지 4종 4횡의 여객전용선 건설을 통해 전 국토를 거미줄처럼 연결하여 국토의 균형 발전을 꾀하고 있으며, 철도 속도 증강을 통해 철도가 경제도약의 원동력이 될 수 있도록 철도 정책을 추진하고 있음. 도심 내 이동의 경우 지하철을 주요 수단으로 추진 중임

제 2 절 국내외 시장동향 분석

1. 국내 시장현황 및 전망

가. 국내 철도 시장현황 및 전망

○ 철도차량 부품 제조업체의 수는 증가하고 있으나, 대부분 임직원 수 50인 이하인 중소업체로 구성

○ 확보된 기술 및 부품의 경쟁력을 통한 국내 철도부품산업의 안정적인 기업활동과 적극적 해외시장 진출을 통한 시장확보 필요

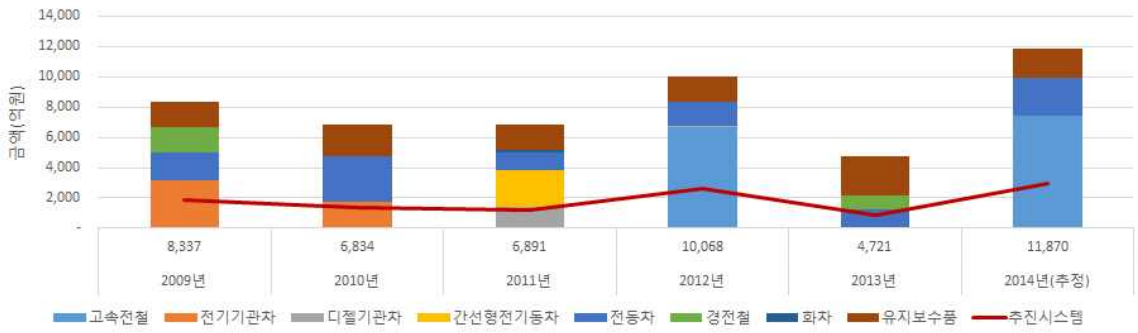
○ 전기철도차량 운영현황

<표 2-1> 국내 전기철도차량 운영 현황

구분	고속전철	전기기관차	전기동차	서울메트로	서울도시철도공사	부산교통공사	대구지하철	인천지하철	대전지하철	광주지하철	**총계(량)**
교류용	1,160	200	2,897	370							3,267
직류용				1,584	1,617	878	384	272	84	92	4,911
계	**1,160**	**200**	**2,897**	**1,954**	**1,617**	**878**	**384**	**272**	**84**	**92**	**8,178**

- 국내 전기차량 시장규모는 량당 평균 20억원

- 차량 수명을 25년으로 정의할 경우 철도차량 산업은 연간 약 6,500억원 수준임



<그림 2-2> 연도별 신규차량 및 유지보수품 구매 금액

- 년도별 신규차량 및 유지보수 규모는 2014년의 경우 약 1조 1870억 규모이며, 이중 추진시스템 가격은 약 3000억 규모로 전체의 약 25% 수준 임.

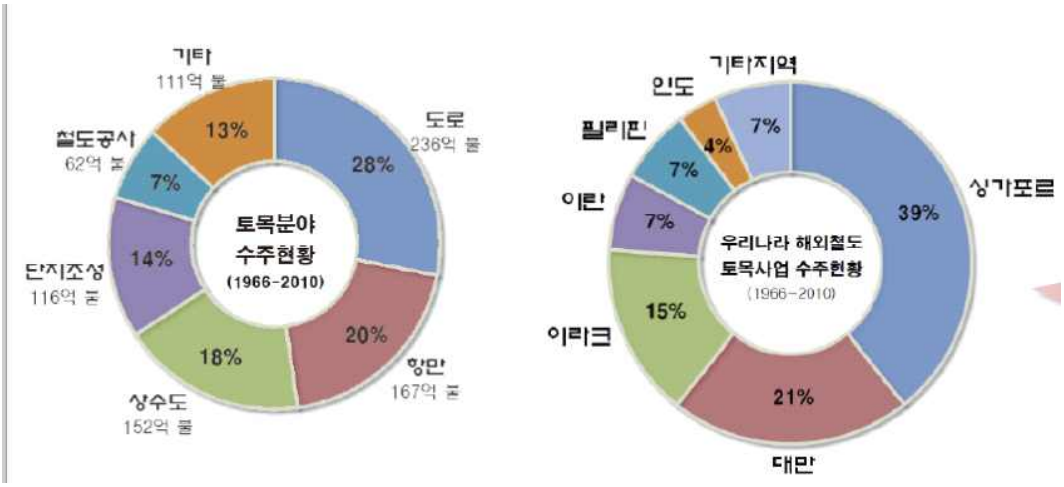
○ 우리나라 철도산업 해외진출 현황

- 1966~2010년 간 철도관련 해외공사 수주액은 62억 달러로 토목공사 수주액의 7% 수준→ 연평균 1.1억 달러, 0.9건 수주 실적으로 건당 1.3억 달러 규모

- 싱가포르, 대만이 전체 수주액의 61% 차지하는 등 일부 아시아 국가에 편중 → 수주지역 다변화 노력 필요

- 철도용역사업의 수주액은 61백만 달러에 불과 → 아시아와 중동/북아프리카가 대부분을 차지하며, 리비아가 전체의 73%를 차지하는 등 특정지역 편중

- 철도제품 해외수출 규모는 2008년 5억 달러로 자동차산업 대비 1%, 항공산업의 절반에 불과



<그림 2-3> 해외철도 토목분야 수주현황

- 2013.04 현대로템 인도 델리 지하철공사(DMRC)가 발주한 1조원 규모의 '델리 메트로 3기 전동차 사업' 수주

○ 우리나라 도시철도는 서울, 부산, 인천, 대구, 광주, 대전에서 약 503개역, 522.0km가 운행 중임. 총 28조2,357억원의 사업비가 투입되어 평균 1.04km, 540.9억원/km이 소요됨

<표 2-2> 국내 중전철 현황

(단위 : 억 원, km, '13. 2월)

구분	노 선	연장	역수	구 간	사업비	개통일 (최초)
합계	15	522.0	503		282,357	
서울	1호선	7.8	10	서울역 ~ 청량리	330	'74.08.15
(8)	2호선	60.2	50	성수 ~ 성수	10,712	'80.10.31
	3호선	38.2	34	지축 ~ 오금	10,304	'85.07.12
	4호선	31.7	26	당고개 ~ 남태령	8,315	'85.04.20
	5호선	52.3	51	방화 ~ 상일,마천	31,215	'95.11.15
	6호선	35.1	38	응암 ~ 봉화산	25,496	'00.08.07
	7호선	46.9	42	장암 ~ 온수	27,851	'96.10.11
	8호선	17.7	17	암사 ~ 모란	8,502	'96.11.23
부산	1호선	32.5	34	노포동 ~ 신평	9,751	'85.07.19
(4)	2호선	45.2	43	장산 ~ 양산	28,553	'99.06.30
	3호선	18.1	17	대저 ~ 수영	17,395	'05.11.28
	4호선	12.0	14	미남 ~ 안평	12,616	'11.03.03
대구	1호선	25.9	30	대곡 ~ 안심	15,187	'97.11.26
(2)	2호선	28.0	26	문양 ~ 사월	23,330	'05.10.18
인천	1호선	29.4	29	계양 ~ 동막	16,349	'99.10.06
광주	1호선	20.5	20	녹동 ~ 평동	17,520	'04.04.28
대전	1호선	20.5	22	판암 ~ 반석	18,931	' 06.03.16

※ 자료 : 통계로 보는 한국철도 2014

○ 수도권 전철은 구로 ~ 인천 간 경인선 27km를 비롯 총 542km를 운영 중임

<표 2-3> 수도권 전철현황

노 선	구 간	연 장(km)
경인선	구로 ~ 인천	27.0
중앙선	용산 ~ 용문	71.2
경부선	서울 ~ 천안 ~ 신창	122.9
경원선	소요산 ~ 청량리	42.9
일산선	대화 ~ 지축	19.2
분당선	선릉 ~ 기흥	32.8
과천선	남태령 ~ 오이도	40.4
경의선	서울 ~ 문산	46.3
경춘선	상봉 ~ 춘천	81.3
공항철도	인천국제공항 ~ 서울역	58.0
합계		542

※ 자료 : 통계로 보는 한국철도 2014

○ 도시철도의 투자액 추이를 보면 1980년대 3조9천억 원, 1990년에 12조7천억 원, 2000년대 11조4천억원을 각각 투자함. 현재는 각 도시별로 공기업 형태로 운영되고 있음

○ 국내 도시철도의 경우, 중전철 시장보다 경전철 시장이 커질 것으로 예상됨.

○ 경전철의 경우, 의정부와 용인을 비롯하여 약 10여개의 노선이 운영 중이거나 건설 중에 있음

○ 또한, 광명 등 전국 21개 지자체들이 연계 교통망 확충을 위해 13조 8810억 원 규모의 경전철 사업을 추진 중이고, 현재 전국적으로 78개 노선의 경전철이 추진 및 계획 중에 있음

○ 건설비 및 차량 구입비와 유지 보수 경비를 감안할 경우 향후 10여 년간 최소 60조원 이상의 시장 규모로 추산되며, 서울시 10개년 도시철도망구축계획(국토교통부 고시 제2015-423호, 2015.6.24)에 따르면 2014년부터 2015년까지 10년간 10개노선 8.8조원 규모의 계획을 수립하였음.

<표 2-4> 경전철 운영/건설 현황

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	차량규모	차량형식	비 고
1	용인경전철	18.4	10,127	30량 (1×30)	LIM(고가)	
2	부산 4호선 (반송선)	12.7	12,486	102량 (6×17)	고무차륜 AGT(고가)	
3	부산김해경전철	23.2	12,285	50량 2×25	철제차륜경전철	
4	의정부 경전철	10.6	4,750	30량 2×15	고무차륜 AGT	
5	대구 모노레일	24.0	14,202	84량 3×28	고무차륜 모노레일	
6	인천공항 자기부상철도	6.1	4,140	6량 2×3	자기부상식	
7	인천도시철도 2호선	29.2	21,117	74량 2×37	노면전차 (지상)	2016개통예정
8	우이신설경전철	11.4	6,465	36량 2×18	철제차륜경전철	2016개통예정
9	김포도시철도	23.7	16,553	46량 2×23	철제차륜경전철	2018개통예정

※ 자료 : 각 건설/운영기관 홈페이지



<그림 2-4> 서울시 10개년 도시철도망 구축계획 노선

<표 2-5> 서울시의 경전철 건설 계획

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	차량구입비 (억원)	차량방식	진행현황
1	신림선	8.06	8,329	479	고무차륜AGT	2021 개통예정
2	동북선	13.34	15.754	1,277	고무차륜AGT	도시철도기본계획 확정
3	면목선	9.05	8.894	406	고무차륜AGT	도시철도기본계획 확정
4	서부선	16.15	16.191	1,030	고무차륜AGT	도시철도기본계획 확정
5	우이-신설 연장선	3.50	2,890	145	고무차륜AGT	도시철도기본계획 확정
6	목동선	10.87	9,392	218	고무차륜AGT	도시철도기본계획 확정
8	난곡선		3,912	522	고무차륜AGT	도시철도기본계획 확정
9	9호선연장		6,546	381	중량전철	도시철도기본계획 확정
10	위례-신사선		14,253	1,088	고무차륜AGT	도시철도기본계획 확정
11	위례선		1,800	240	노면전차	도시철도기본계획 확정

※ 자료 : 서울시 10개년 도시철도망 구축계획

○ 경기수도권에서는 이미 활발히 경전철 사업이 진행 중이고, 수원시, 부천시, 고양시, 파주시 등에서는 일부 구간에 대한 기본 계획을 수립하고 있음

○ 경기 수도권에서 진행 중인 경전철 사업은 다음과 같음

<표 2-6> 경기 수도권의 경전철 건설 계획

순번	구 분	연 장 (km)	정거장 (개소)	총공사비 (억원)	관 련 지자체
1	수원1호선	6.048	9	1,701	수원시
2	성남1호선	10.38	13	2,665	성남시
3	성남2호선	13.7	17	3,948	성남시
4	광명시흥선	12.6	12	10,705	광명시, 시흥시
5	안산1호선	15.11	22	4,198	안산시
6	용인선연장	6.8	5	6,241	용인시, 수원시
7	파주선	9.636	6	4,694	파주시, 고양시
8	평택안성선	32.5	18	13,900	평택시, 안성시
9	동탄1호선	22.6	17	11,305	수원시, 화성시, 오산시, 용인시
10	동탄2호선	17.12	17	5,582	수원시, 화성시, 오산시
합 계		146.494	136	64,939	

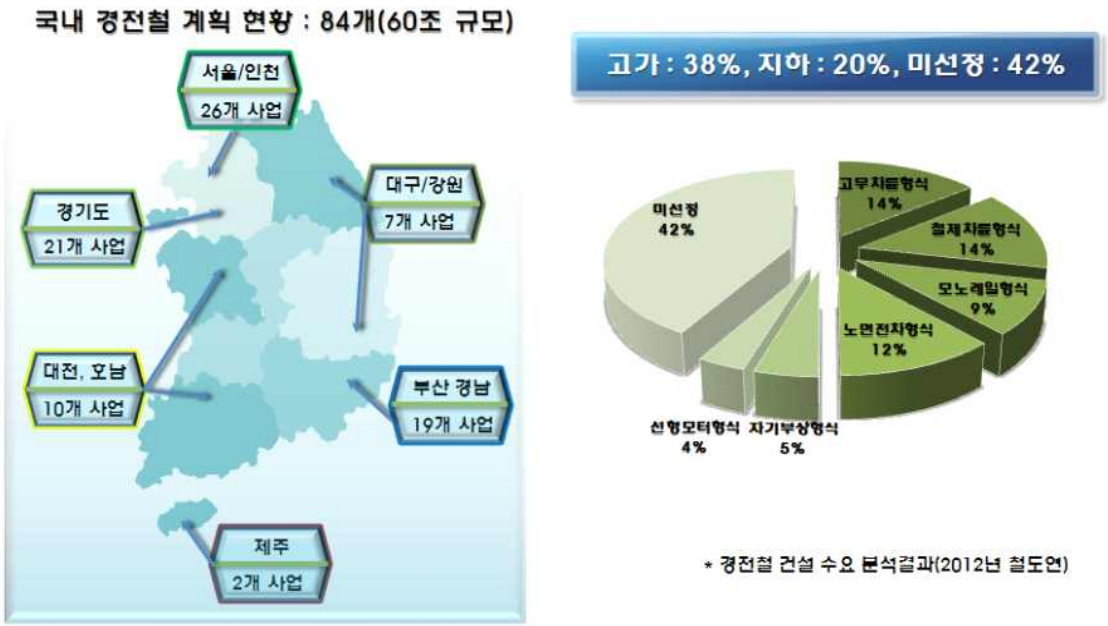
자료 : 경기도 10개년 도시철도 기본계획(국토교통부 고시 제2013-434호)

○ 부산, 울산 등 수도권 이외의 지방에서도 아래와 같은 경전철 사업이 공사 중이거나 계획 중에 있음

<표 2-7> 기타 지방권의 경량전철 계획

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	차량	진행현황
1	부산 초읍선	7.3	2,890	AGT(고가)	현상 중단
2	대전 2호선	30.8	15,204	AGT(고가)	대전시 검토중
3	울산 1호선	11.3	4,268	노면전차(지상)	기본 설계 진행중
4	광주 2호선	41.7	17,394	AGT(지하)	적격성 심사중
5	천안선	12.3	4,898	K-AGT(고가)	기본계획 수립완료

※ 자료 : 통계로 보는 한국철도 2012



<그림 2-5> 국내 경전철 계획 현황 및 수요 분석

○ 수도권 철도 이용이 낮은 원인은 철도 인프라 부족으로 수도권과 비슷한 규모의 인구와 면적을 가진 선진국에 비해 철도 인프라가 상당히 부족한 것으로 조사됨

단위 : %

<표 2-8> 수도권 통행 수단 분담률

구 분	승용차	버스	전철/철도	택시	자전거	기타
경기도 전체	49.9	27.0	7.9	5.4	1.5	8.3
경기 서울간	45.3	23.5	20.1	3.7	0.2	7.2
경기 경기간	50.4	29.9	2.7	6.7	2.2	8.1

<표 2-9> 세계 주요 대도시권 철도망 비교

구 분	수도권	동경권	파리권	런던권
인 구	2,222만명	3,258만명	1,103만명	1,196만명
면 적	11,753㎢	13,143㎢	12,011㎢	10,385㎢
고속도로	513㎞	991㎞	782㎞	343㎞
철 도 망	504㎞	3,128㎞	1,602㎞	2,125㎞
도시철도	312㎞	249㎞	115㎞	392㎞
광역철도	192㎞	2,879㎞	1,487㎞	1,733㎞

○ 도시철도가 운행되고 있는 광역시 통행 수단 분담률 조사 결과 부산과 인천을 제외한 모든 지역에서 10% 미만의 분담률을 보이는 것으로 나타남

단위 : %

<표 2-10> 광역시 통행 수단 분담률

구 분	승용차	택 시	버 스	지하철	기 타	합 계
부 산	26.7	38.5	18.1	16.7	-	100
인 천	42.1	5.8	28.4	15.2	8.5	100
대 구	27.0	24.2	12.0	7.2	29.5	100
대 전	56.3	12.9	27.8	3.1	-	100
광 주	30.6	16.9	37.9	2.2	12.4	100

○ 도심지의 교통난이 가중되고 환경 및 에너지 문제가 심각해질수록 건설비와 운영비가 저렴한 경전철 사업에 대한 관심이 커지고 관련 시장 규모가 증가할 것으로 전망됨. 또한, 민자사업(BTL, BTO, Turn Key등)이 확대되고 있으며, 민자사업의 특성상 일정기간동안 운영에 의한 수익을 창출해야 하기 때문에 경제성과 시공성이 높은 기술에 대한 수요가 늘어날 것으로 전망됨

○ 국토교통부에서 발표한 KTX 고속 철도망 구축 방안과 관련하여 KTX 주요 거점 역 뿐 아니라, 고속화 노선의 계획도 추진 중임. 이러한 국내 철도 노선의 고속화에 맞추어 고속 주행이 가능하면서 도심 내에서 손쉬운 승객의 접근이 가능한 철도시스템에 대한 연구가 필요하며, 조향 성능을 적용한 차량시스템에 대한 우선적인 기술 확보가 필요함

○ 국내 고속전철 및 일반/광역전철 노선계획

- 제3차 국가 철도망 구축계획(2016년 ~ 2025년)
- 국내 총 영업거리 5,517km로 확대(1,573km 추가건설)
- 국내 총 전철운행거리 2,693km → 4,658km 로 증가
- 제3차 국가 철도망 구축계획에 따른 74조원 규모 직접투자
- 고속/광역 철도의 확충과 전철 운영거리의 증대로 교류 전동차 수요 증가



<그림 2-6> 제3차 국가철도망 구축계획(광역철도)



<그림 2-7> 제3차 국가철도망 구축계획(지역간철도)

○ 현재 도시철도차량의 향후 발주될 차량에 대한 현황은 각 도시철도 기관별 업무협조를 통해 다음과 같은 현황을 확보하였다. 현재 철도차량 형식시험기준이 개정되고 있는 상황에서 철도차량은 25년 내구연한을 기준으로 작성되었다. 연구개발이 완료되는 시점인 2020년 이후에 발주되는 철도차량에 첨단 추진시스템을 적용하여 실용화가 가능할 것으로 판단된다. 향후 첨단 추진시스템의 적용을 통해 운영효율 향상 및 유지보수성 향상이 가능할 것으로 판단된다.

구분	합계	16년	17년	18년	19년	20년	21년	22년	23년	24년	25년	비고
합계	3,619	12	75	431	266	520	828	336	338	152	661	
한국철도공사	1,160	-	-	202	134	120	152	140	338	74	-	
서울도시철도공사	1,561	-	-	-	-	176	658	-	-	78	649	
서울메트로	620	-	-	200	-	224	-	196	-	-	-	
부산교통공사	69	-	-	21	48	-	-	-	-	-	-	
대전도시철도	119	-	27	8	84	-	-	-	-	-	-	
공항철도	60	12	48	-	-	-	-	-	-	-	-	
신분당선	30	-	-	-	-	-	18	-	-	-	12	

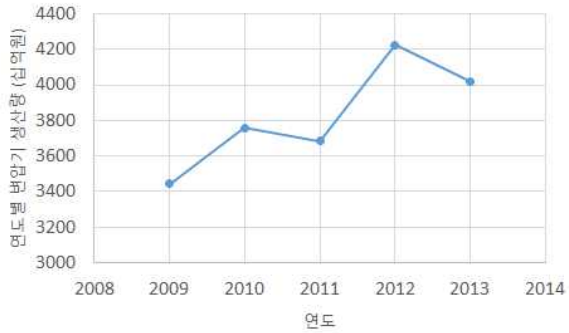
<그림 2-8> 연도별 철도차량 소요 계획

나. 국내 변압기 시장현황 및 전망

○ 국내 변압기 시장

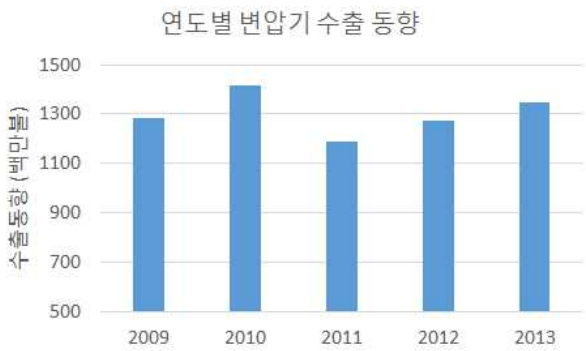
■국내 시장은 2006년 1조 2천억원 수준이었으며 전체 전기기기 시장의 약 5.5% 정도를 점유하고 있고, 연평균 증가율이 6.3% 정도로 빠르게 성장하고 있는 것으로 보임.

■국내의 변압기 생산 현황은 2012년도에 약 4조 2천억원 정도 생산했으며 이는 전체 전기기기 생산량 대비 약 10%에 해당.



<그림 2-9> 연도별 국내 변압기 생산량
(통계청)

■2012년도의 변압기 수출 실적은 12억7천만불 수준이었으며 세계적인 노후 설비 교체 및 중동, 아프리카, 신흥국 등의 발전에 따라 수요가 크게 증가하여 연평균 증가율이 17% 정도로 매우 높은 증가율을 보이고 있음.



<그림 2-10> 연도별 변압기 수출 실적

■변압기의 국내 수입 실적은 2억 9천만불 수준으로 연평균 증가율은 0.6%로 미미함.

■산업 설비 투자 위축으로 변압기 시장 수요도 위축 되었었으나, 765kV로의 송전 용량 증대에 따른 물량과 향후 남북 경제 협력에 따른 대북 송전 등 국내의 변압기 시장도 확대 예상

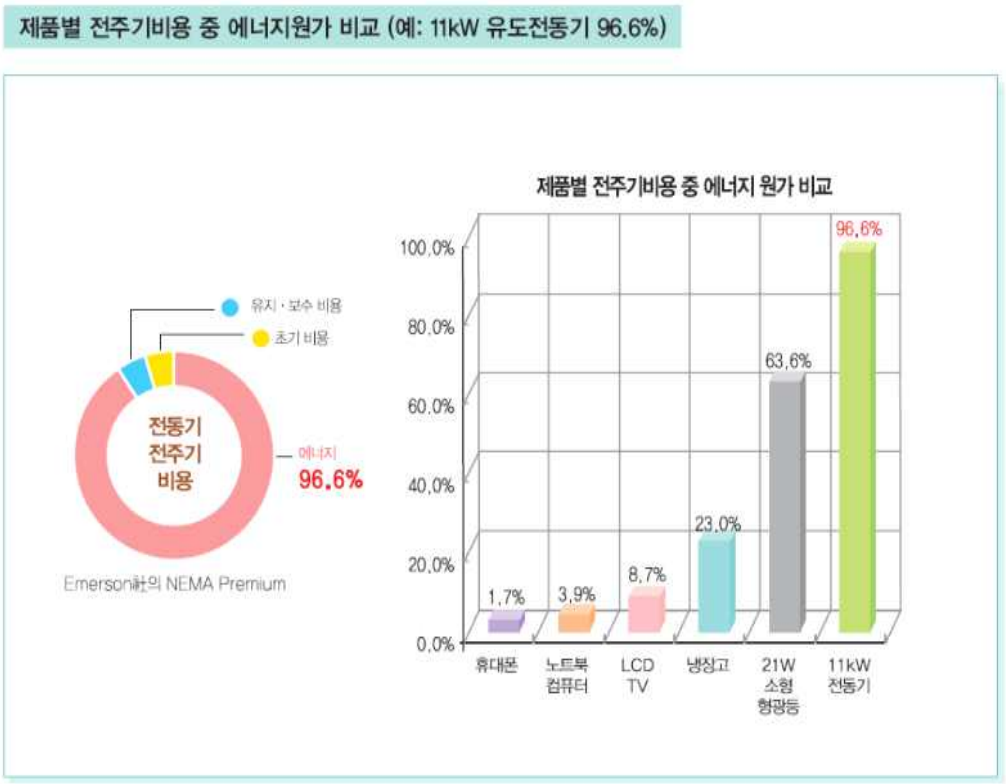
■산업 설비 투자 위축으로 변압기 시장 수요도 위축 되었었으나, 765kV로의 송전 용량 증대에 따른 물량과 향후 남북 경제 협력에 따른 대북 송전 등 국내의 변압기 시장도 확대 예상

다. 국내 전동기 시장현황

○ 3상 유도전동기

- 현재 전동기의 경우 전체 전력 소비량의 약 46%를 차지하고 있으며, 유도전동기의 경우 전체 전동기 사용의 70% 이상을 차지

- 에너지 다소비기기 중 전주기비용(제품의 초기 구입, 유지, 보수, 폐기까지 전주기 동안의 총비용)에서 에너지가 차지하는 비중이 96% 이상으로 가장 큰 품목임

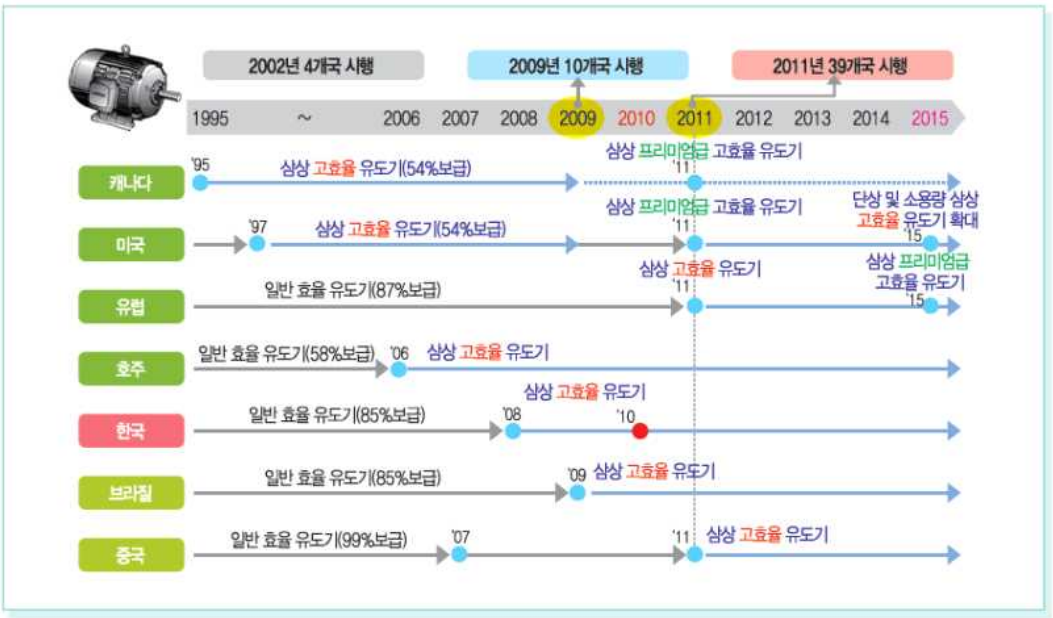


<그림 2-11> 전동기 전주기 비용 내 에너지 차지 비중

- 국내의 경우 고효율 전동기의 보급을 활성화기 위한 대책으로 2008년부터 IE2 기준의 고효율 전동기 최저효율제를 본격적으로 시행 중 (2011년부터 8극 모델까지 확대 시행)

- 고효율 전동기를 포함한 산업용 교류 전동기를 중심으로 국내시장 현황을 분석해보면 2015년 유도전동기 국내시장은 7,497억원 규모로 추산됨

국내 · 외 고효율 전동기 최저효율제 시행 현황 (프리미엄급으로 강화 추세)



<그림 2-12> 국내외 고효율 전동기 최저효율제 시행 현황

※ 자료 : 온실가스감축기술 전략로드맵 2011, 전동기, 지식경제부, 한국에너지기술평가원

- 효성, 현대, 하이젠 등 대기업 및 중견기업에서는 37kW 이상 중대형 용량을 중심으로 생산하고 있으며, 을지, 신명 등 중소업체에서는 37kW 이하 중소형 용량을 중심으로 생산하고 있음

- 국내시장의 경우 내수 생산보다 수입 금액이 많으며, 수입이 수출의 약 3배 이상을 차지하고 있음

국내 교류 전동기 수출입 현황

(단위:천 달러)

수출입 동향 및 전망					
구분	2007년	2008년	2009년	2010추정	2011전
수출	123,478	161,529	135,709	124,735	137,209
수입	240,422	307,519	367,495	399,127	448,618

자료 출처 : 2011년 전기산업 경기전망 (한국전기산업진흥회, 2010)

<그림 2-13> 국내 교류전동기 수출입 현황

- 전체 전동기 수입 금액은 약 5,000억원에 달하고 있으며 전체 시장으로 볼 때

유도전동기의 시장이 거의 대부분을 차지하고 있음

- 기술력 부족으로 고성능·고효율 ·고정밀 전동기 수입이 많아 심각한 무역 적자 현상을 나타내고 있어 향후 전동력 분야의 체계적인 기술 투자가 필요함

○ 영구자석형 동기전동기

- Rotary Indexer, Turret , 로봇 암, 반도체 장비 제작 분야의 시장이 확대됨에 따라 전용 제어기와 결합된 가공설비와 고정밀기기·고정밀 , 고신뢰성을 갖는 영구자석형 동기전동기 시스템의 수요가 확대되는 추세임. 국내 약 600억, 해외 약 2,000억 규모 시장이 형성됨

- 공작기계와 달리 상대적으로 낮은 출력 토크 범위의 제품들이 사용되는 반도체, FPD 분야를 중심으로 영구자석형 동기전동기 수요가 증가 추세에 있음. 국내 업체 중에서는 저스텍과 LS메카피온에서 최근 토크 50Nm이하 출력 1kW 이하의 영구자석형 동기전동기 제품을 출시하였으나, 응용시스템이 FA 및 반도체, FPD 분야에 편중된 제품들로 출력 토크의 범위가 높지 않아서 다양한 산업분야에 적용하기에는 한계가 있음



<그림 2-14> 저스텍사 JTR24 시리즈

- 공작기계, 사출기 및 프레스 등 다양한 제조 설비산업분야에서 기존의 유압 등의 기계식 동력구조가 전동기를 사용한 동력 구조로 전환되어 대용량화 되는 추세임. 이것으로 말미암아, 핵심부품인 고출력 전동기의 수요가 증가하고 있으나, 대부분 일본 또는 독일 등의 선진국 제품을 수입하여 사용하고 있음

라. 국내 인버터 시장현황

○ 전세계적인 에너지 소비의 지속적인 증가로 인한 자원고갈 및 환경문제가 주요 이슈로 부상되고 있으며, 이에 따른 에너지 절감 및 에너지 사용의 효율성을 향상시키기 위한 방안으로 인버터의 수요는 계속 높아지고 있다. 특히 최근 원전 가동중단으로 인한 전력수급의 불균형에 따른 에너지 효율이 중요시 되고 있음.

○ 현재 인버터로 구동 가능한 3상 유도전동기는 전체 국가전력의 40%, 제조업 현장

산업전력의 70%를 사용하고 있어 전력소비량이 큰 비중을 차지하고 있지만 현재 국내 인버터 도입 비율은 약 6%에 불과하다.

○ 한국전력은 고효율 인버터 보급지원제도를 실시하면서 보급에 앞장서고 있으며 국내업체로는 LS산전, 삼성전자, 현대중공업, 포스코ICT 등 4개사가 자체기술로 고효율 인버터 개발을 완료하고 한국전기연구원의 시험을 통하여 인증을 획득하는 등 기술개발에 앞장서고 있다. 고효율 인버터 보급을 통한 전력 절감효과는 2010년 이전 35만 kW이며, 2010년 64만kW, 2015년에 84만 kW의 전기에너지를 절감하였다.

○ 고효율 인버터를 적용한 부산교통공단의 경우 부산지하철 1호선 역사내 급배기 팬에 3.7kwh-75kwh 용량의 인버터 41개를 설치하여 31.5%의 에너지 절감효과를 보고 있으며 부산교통공단은 총 21억을 투자하여 연간 6.8억의 전기료를 절감하여 3년뒤 투자비를 회수할 수 있을 것으로 기대한다.

○ 또한 국내 인버터 시장에서는 엘리베이터, 공작기계, 컨베이어 구동, 가변속 운전과 무정전 전원장치, 형광등의 안정기 등에 주로 사용된 적용범위를 기술발전에 따른 가전에 적용하여 소비전력을 30-40% 가량 절감하고 있다.

마. 국내 첨단 감속구동장치 분야 시장전망

○ 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우, 특정 분야에서 필요에 의해 먼저 시장이 형성될 가능성이 높음

○ 마그네틱 기어의 경우는 풍력발전 시스템 및 전기자동차 시스템 부분에서 먼저 수요시장이 형성되었음. 이런 경향을 살펴보면 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우도 마그네틱 기어 및 영구자석형 동기전동기가 요구되는 풍력발전 및 전기자동차 시스템 부분에서 먼저 수요층이 형성될 가능성이 높으며, 국내에서 마그네틱 기어를 생산하는 업체는 없는 상황임

○ 기계식 기어박스로 대표되는 기계식 감속기 관련 업계는 최근 정부의 '최저효율제' 시행에 따른 고효율 전동기 출시에 맞추어 태양광 발전시스템의 구동장치, 풍력 발전장치의 유성감속기, 전기차 및 철도용 트랜스액슬 등 그린사업의 핵심 부품으로서 감속기 제품 개발에도 주력 하고 있으며, 사회적으로 환경 문제가 대두하면서 업체들은 고효율 친환경 제품들을 잇달아 출시하며 경쟁력 확보에 나서고 있음

○ 국내 기계식 감속기 시장 규모는 2011년도에 약 4 천억원으로 매년 10% 정도 성장을 해 왔으며, 중소기업청 최근 자료에 따르면, 유성감속기 경우는 매년 10% 정도 성장하여 2010년 380억원에서 2015년엔 760억원에 이름

○ 또한 기계식 감속기와 밀접한 연관이 있는 전동기 산업은 2010년 7천억원에서 2015년 1조 2천억원으로 시장 규모가 더욱 커졌음

○ 기계식 기어박스 장치를 대표하는 감속기가 산업용 로봇을 비롯한 자동화 설비, 정밀기계, 의료 기기 등의 각종 자동화 장비 구동과 동력 전달 장치에 사용됨으로써 그 수요가 더욱 확대되고 있음.

○ 기계식 감속기는 크게 일반 동력전달용 감속기와 고정도 위치제어 등에 적용되는 정밀 감속기로 시장을 나눠볼 수 있으며, 일반 동력 전달용 감속기는 전달 효율과 소음의 최소화, 수명이 가장 중요한 요소라고 할 수 있으며, 정밀 감속기는 수명, 전달효율, 전달위치 오차 등이 중요한 요소가 됨. 두 부문 모두 소형화 추세에 맞춰 감속기의 크기를 가능한 한 작고, 플랫하게 하는 것이 주요한 이슈임

○ 일반 동력용 감속기의 경우도 앞으로 지속적인 수요 증가가 예상되나, 국내 경기에 따라 다소 차이는 있을 것으로 예상되며, 특히 그동안 대규모의 투자 가 이루어졌던 FPD 관련 산업에 적용됐던 감속기 수요가 상당히 큰 비중을 차지했으므로, 앞으로도 FPD 관련 투자의 영향이 매우 클 것으로 보임

○ 또한 최근엔 산업용기기의 성능이 높아지면서 감속기의 고성능, 고정밀 요구가 더욱 높아지고 있다. 뿐만 아니라 환경 문제가 대두되면서 감속기 제조업체들은 고효율・친환경 제품들을 잇달아 출시하며 경쟁력 확보에 나서고 있음

○ 대용량의 기계식 기어박스를 생산하는 기업은 효성, 두산중공업, 현대중공업, 우림기계, 현대 다이모스 등 소수에 불과함

○ 일반 산업용 감속기의 경우, ㈜삼양감속기, 아펙스다이나믹스 코리아, 인아오리엔탈전동기, ㈜국제산업기계 등이 있음

○ 철도분야에서의 기계식 감속기 시장은 현대 다이모스사에서 200km/h급 간선철도 차량용 감속기 기술을 보유하고 있으나, 고속철도 시장에서는 국내의 기계식 감속기 제품도 실용화가 되지 않아 아직은 적용된 사례가 없음

○ 마그네틱 커플러의 경우 일반 커플러에 비해 우위를 보이는 부분은 양축의 물리적 단절이고, 이러한 장점이 잘 드러나는 분야에서 주로 시장을 형성하고 있음

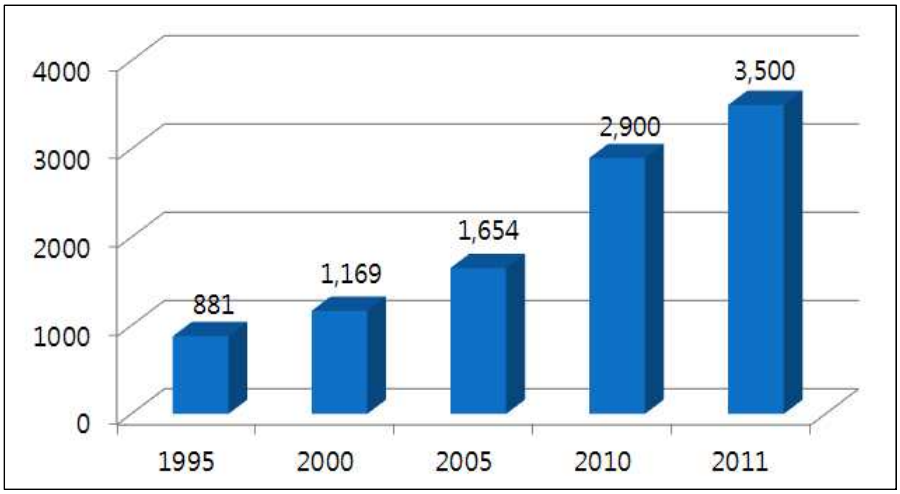
○ 마그네틱 커플러가 주로 사용되는 분야는 수력, 컴프레서, 믹서기, 멸균장치, 의약제조, 식품 제조 등과 같이 방수 또는 오염방지를 위해 축 간의 격리가 필요한 분야임.

○ 이외에도 정밀한 축 정렬이 필요한 시스템에서도 유지보수의 용이성을 이유로 마그네틱 커플러가 사용되는 경우가 있음

○ 커플러는 동력 전달의 기본적인 부품 중 하나이며, 유지보수가 필요한 부품으로 시장 규모는 크나, 현재의 마그네틱 커플러가 대체할 수 있는 시장의 크기는 크지 않음

○ 국내 베어링 시장의 규모는 2011년 기준 약 3조 5천억 원으로 추산되며, 매년 꾸준

히 증가하고 있음.



<그림 2-15> 국내 베어링 시장 규모

*자료: 국내외 베어링 산업현황 (한국베어링 공업협회, 2012)

○ 국내 베어링 산업은 수입 의존형이며, 국내 총 수요에서 내수시장으로 소비되는 비중은 전체의 82.5%를 차지하며, 이를 충당하기 위해 해외수입에 의존하는 비중은 41.7%임

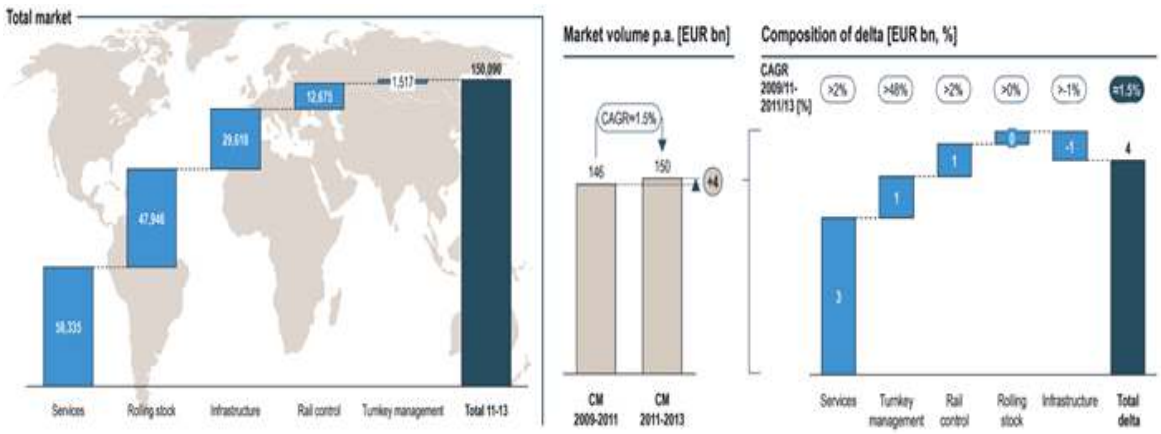
○ 이에 따라 2007년 베어링 산업의 무역적자는 3억 7천 8백만 달러에 달함

2. 국외 시장현황 및 전망

가. 국외 철도 시장현황

○ 세계 철도 시장은 2011~2013년 사이 3년 평균 1,500억 유로 규모 확대(지난 3년 대비 1.5% 시장 확대 됨-**SOURCE : UNIFE World Rail Market Study 2014**)

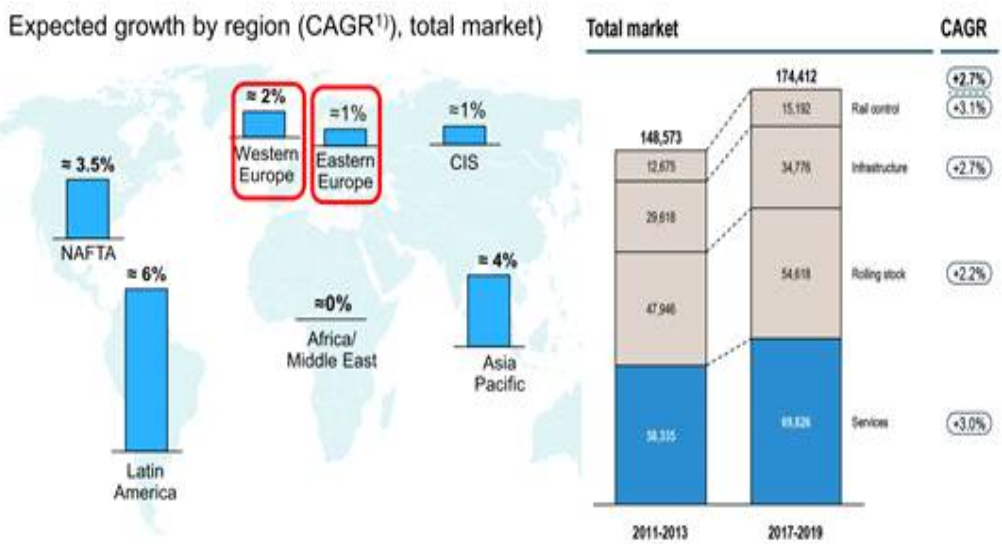
- 세계 철도차량 시장 규모는 약 477억 유로 임



<그림 2-16> 세계 철도시스템 시장 규모

- 향후 6년간 년평균 2.7% 시장이 확대될 것으로 전망

- 2017년~2019년 사이에는 1,740억 유로 확대예상 됨



<그림 2-17> 세계철도시장 전망

○ 해외 철도시장 중 철도차량이 차지하는 비중은 약 33%로 상당히 높음(출처 : 철도차량 제11호(2015.01))

세계 철도시장 규모 : 1,430억€(약 215조 원)

분야별 철도시장 규모

분야	규모(단위 : 억유로)	비중(%)
철도차량	477	33
차량유지보수	384	27
전력 · 궤도	437	31
신호 · 통신	132	9
합계	**1,430**	**100**

*토목 · 건축 등 기반시설 제외



<그림 2-18> 세계 철도시장 규모

○ 해외 철도차량중 차종별 시장규모(출처 : 철도차량 제11호(2015.01))

- 추진시스템 시장(전기차량 가격의 약 20%로 추산)은 60억유로(9조원)규모임

차종별 시장 규모

분야	규모(단위 : 억유로)	비중(%)
화차	120	25
전동차	71	15
고속전철	61	13
객차	52	11
메트로	51	11
전기기관차	46	10
디젤기관차	45	9
경전철	20	4
디젤동차	11	2
합계	**477**	**100**



<그림 2-19> 세계 철도차량중 차종별 시장규모

(1) 일반철도차량

○ ’10년부터 ’12년까지 3년간 연평균 세계 일반철도차량 시장규모는 635억 유로

- 전체 일반철도차량시장은 화차 209억 유로, EMU 129억 유로, 디젤기관차 115억 유로, 객차 89억 유로, 전기기관차 69억 유로, 화차 25억 유로로 조사

단위: 백만 유로

<표 2-11> 일반철도차량 시장규모(’10년~’12년 평균)

전기기관차	디젤기관차	EMU	DMU	객차	화차	합계
6,920	11,460	12,940	2,480	8,880	20,850	63,530

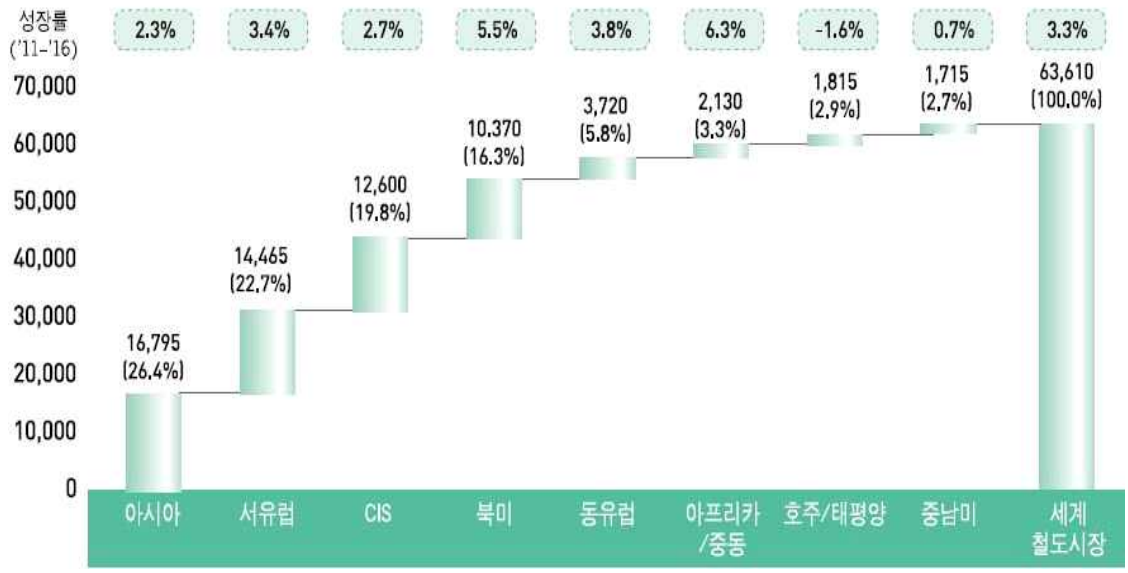
자료 : The Worldwide Market for Railway Technology 2011-2016, SCI Verkehr Cologne

○ 세계 일반철도차량 시장은 아시아, 서유럽, CIS가 각각 26.4%, 22.7%, 19.8%로 전 세계 일반철도차량 시장의 절반 이상을 차지하고 있으며, ’11년부터 ’16년까지 일반철도차량시장 성장률은 아프리카·중동, 북미가 타 권역대비 높음

- 아시아, 서유럽, CIS를 제외한 권역의 일반철도차량 시장 내 비중은 북미 16.3%, 동유럽 5.8%, 아프리카/중동 3.3%, 호주/태평양 2.9%, 중남미 2.7% 순

- 아프리카/중동 시장의 평균성장률은 6.3%, 북미 시장의 평균 성장률은 5.8%로 타 권역대비 높은 성장률이 전망되며, 세계 일반철도차량 시장의 평균성장률 3.3%보다 높음

- CIS, 아시아, 중남미, 호주/태평양의 일반철도차량 시장 평균성장률은 각각 2.7%, 2.3%, 0.7%, -1.6%로 타 권역 및 세계 일반철도차량 시장 평균 성장률 대비 낮은 편

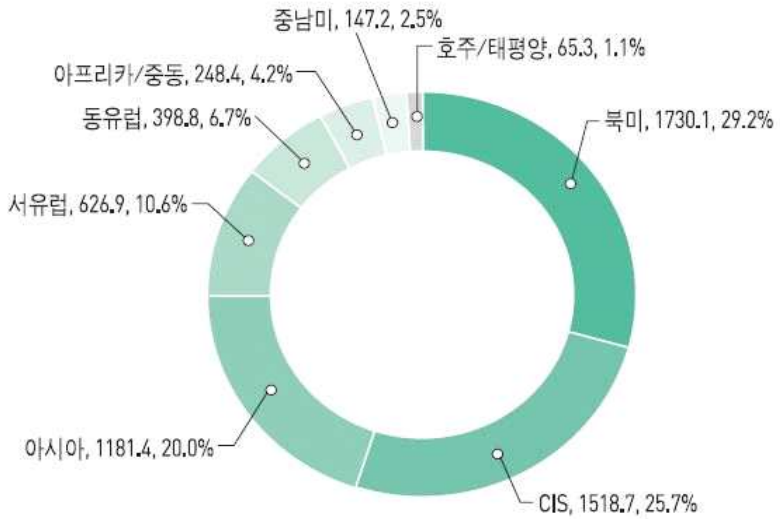


<그림 2-20> 권역별 일반철도차량시장규모 및 성장률(백만유로, %, ‘11년~’16년)

자료 : The Worldwide Market for Railway Technology 2011-2016, SCI Verkehr Cologne

○ ’12년 기준 권역별 일반철도차량 대수 비중은 북미, CIS, 아시아가 각각 29.2%, 25.4%,20.0%로 전 세계 일반철도차량 시장의 절반이상을 차지

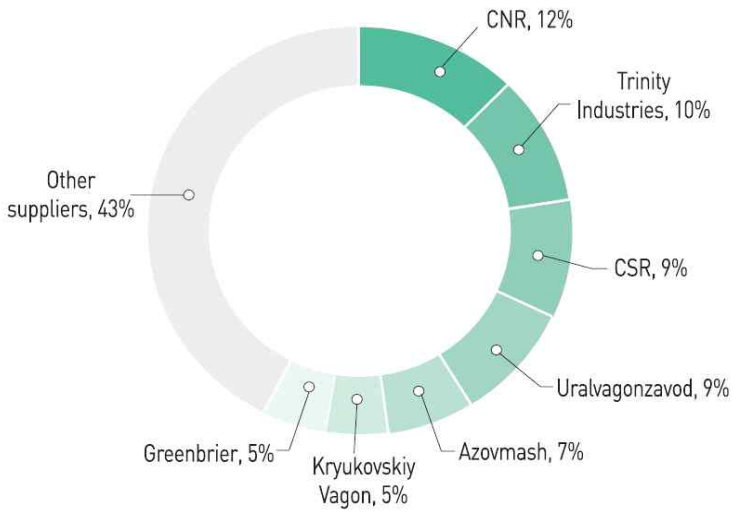
- 북미, CIS, 아시아를 제외한 권역의 일반철도차량 시장 내 비중은 서유럽 10.6%, 동유럽 6.7%, 아프리카/중동 4.2%, 중남미 2.5%, 호주/태평양 1.1% 순



<그림 2-21> 권역별 일반철도차량수(‘12년 기준, 1000량, %)

○ ’07년~’11년까지의 일반철도차량 제작사별 시장점유율에서는 CNR과 Trinity Industries가 가장 높은 비중을 차지

- 5년간 제작된 일반철도차량의 제작 대수는 978,800대이며, 이 중 중국의 제조 비중이 가장 높음



<그림 2-22> 일반철도차량 제작사별 시장점유율 현황(‘07~’11년)

(2) 고속철도차량

○ ’ 10년부터 ’ 12년까지 3년간 세계 고속철도차량 연평균 시장규모는 91억 유로

- 전체 고속철도차량 시장을 권역별로 구분하면, 아시아 58억 유로, 서유럽 32억 유로, 기타 권역이 12억 유로 순

○ 권역별 고속철도차량 시장은 아시아, 서유럽이 각각 64.0%, 34.6%로 전 세계 고속철도차량 시장의 대부분을 차지하고 있으며,’ 11년부터 ’ 16년까지 권역별 고속철도차량 시장 성장률은 동유럽, CIS, 북미가 타 권역대비 높음

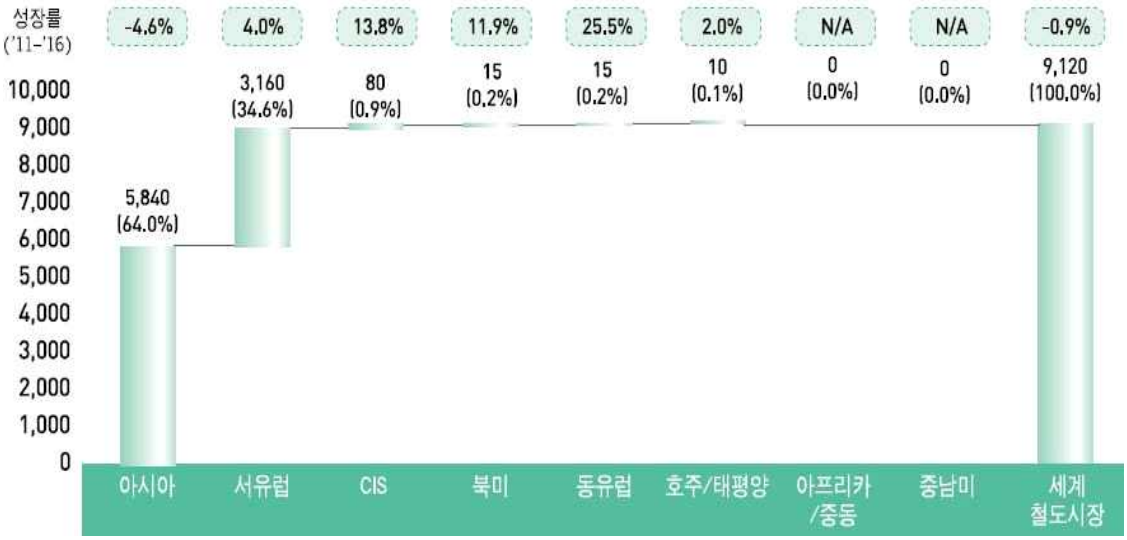
- 아시아, 서유럽을 제외한 권역의 고속철도차량 시장 내 비중은 CIS 0.9%, 북미 0.2%,동유럽 0.2%, 호주/태평양 0.1% 순

- ’ 12년까지 아프리카/중동과 중남미는 고속철도 차량 시장이 미형성

- 동유럽의 평균성장률은 25.5%이며, CIS의 평균 성장률은 13.8%, 북미의 평균성장률은 11.9%로 타 권역대비 높은 성장률이 전망되며, 세계 고속철도차량 시장의 평균성장률 -0.9%보다 높음

- 서유럽과 호주/태평양의 고속철도 차량 시장 성장률은 4.0%, 2.0% 수준으로 전망

- 아시아의 고속철도차량 시장 평균성장률은 -4.6%로 이는 중국의 고속철도 차량 시장 축소에 의한 것으로 전망



<그림 2-23> 권역별 고속철도차량시장규모 및 성장률(백만유로, %, ‘11년~’ 16년)

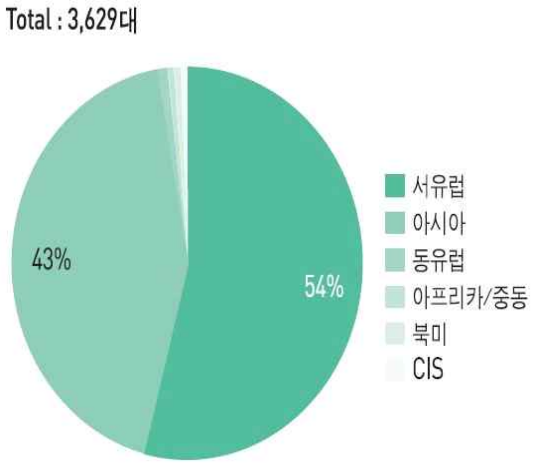
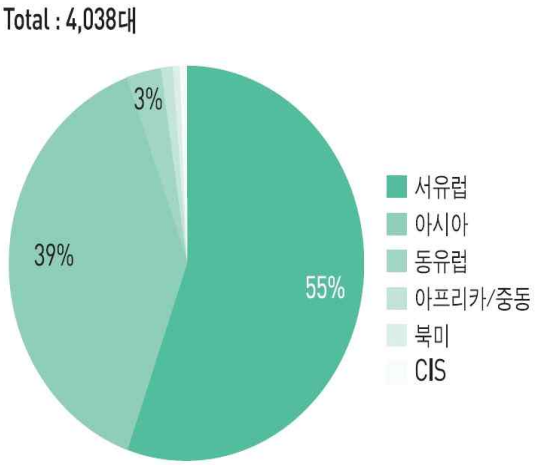
○ ’ 14년 기준, 세계 적으로 운영 중인 고속철도 차량 3,629대 중 97%가 서유럽과 아시아에 집중되어 있으며 향후 중동 권역에서 고속철도 차량이 신규로 운영될

전망

- ’14년 기준 운영 중인 전 세계 고속철도 차량 중 서유럽에서 54%, 아시아에서 43%를 운영

- ’20년 기준 운영 및 조달 계획 중인 전 세계 고속철도 차량 중 서유럽에서 55%, 아시아에서 39% 비중을 차지할 전망

· ’20년 동유럽의 고속철도 차량의 비중이 1%에서 3%으로 확대

세계 권역별 차량운영 현황(‘14년)	세계 권역별 차량 운영 전망(‘20년)
	
*SCI Verkehr의 ‘10년 차량 운영 현황 데이터를 기준으로 ’ 14년까지 도입차량 데이터 조사하여 반영한 데이터	*SCI Verkehr의 ‘10년 차량 운영 현황 데이터를 기준으로’ 20년까지 차량도입계획 데이터 조사하여 반영한 데이터

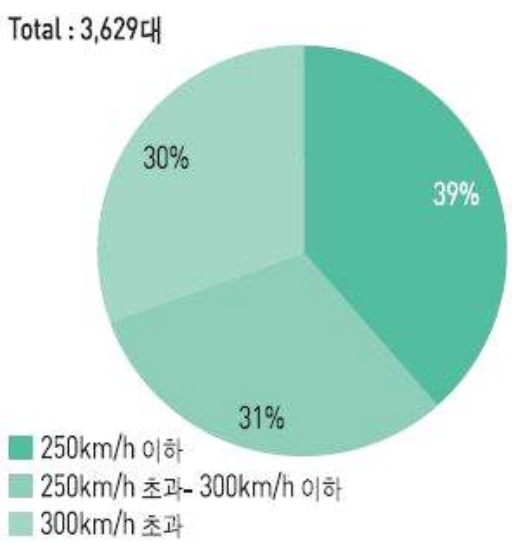
<그림 2-24> 세계 권역별 고속철도 차량 운영 현황 및 전망

○ 장래 전 세계 고속철도 차량 중 250km/h ~ 300km/h 차량 운영 비중은 소폭 감소하고, 250km/h 이하 차량 운영 비중이 소폭 확대될 것으로 전망

- 250km/h 이하 속도대역 차량은 ’14년 39%에서 ’20년 40%로 증가할 것으로 전망

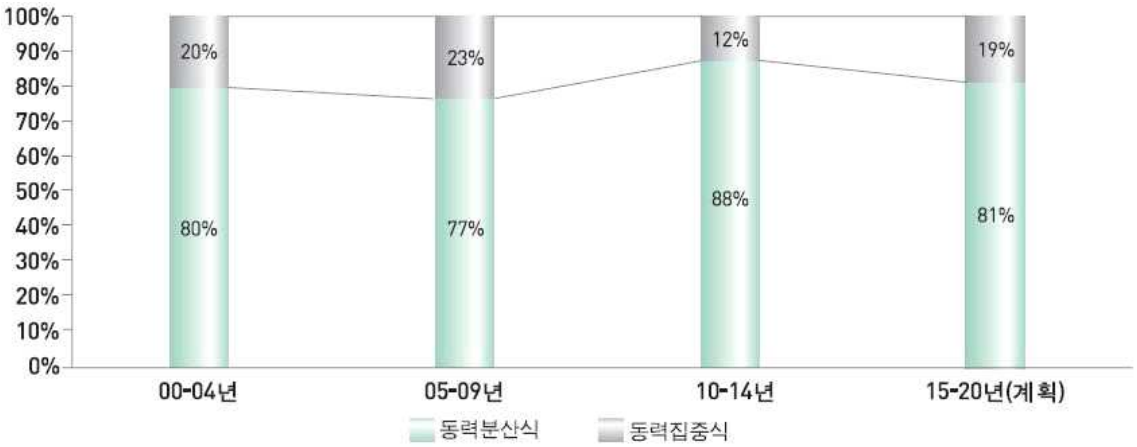
- 250km/h 초과 300km/h 이하 속도대역 차량은 ’14년 31%에서 ’20년 30%로 감소할 것으로 전망

- 300km/h 초과 속도대역 차량은 ’14년 30%에서 ’20년 30%으로 비중을 유지할 것으로 전망

〈세계 권역별 차량운영현황(‘14년)〉	〈속도대역별 차량 운영 전망(20년)〉
	
*SCI Verkehr의 ‘10년 차량 운영 현황 데이터를 기준으로 ’ 14년까지 도입차량 데이터 조사하여 반영한 데이터	*SCI Verkehr의 ‘10년 차량 운영 현황 데이터를 기준으로 ’ 20년까지 차량도입계획 데이터 조사하여 반영한 데이터

〈그림 2-25〉 속도대역별 세계 고속철도 차량 운영 현황 및 전망

○ ‘10년~’14년 차량구동방식별 차량 도입비중은 동력분산식이 약 88%를 차지하며, 20년까지 도입계획 반영시 약 81%수준을 차지할 것으로 전망



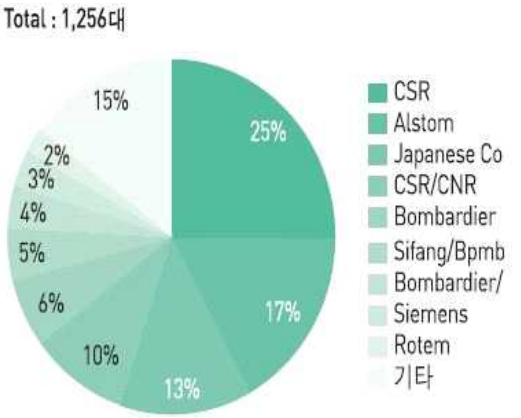
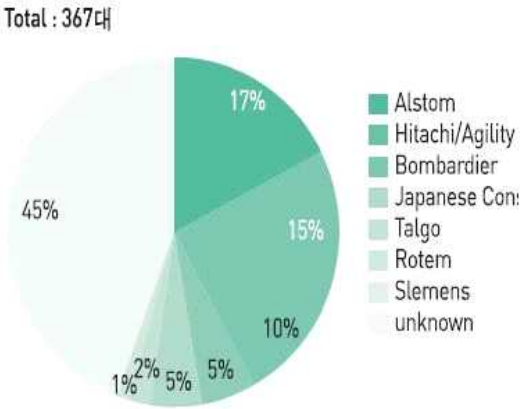
〈그림 2-26〉 세계 고속철도 차량 구동방식별 도입비중 변화

○ 최근 5년간 상위 3개 제작사가 50%이상의 시장점유율을 보유하였으나, 향후차량조달기업이 미정인 시장이 45%를 차지하여 이에 따른 시장점유율

변화가 전망

- 최근 5년간 차량 제작 및 조달한 기업 중 CSR(중국)이 25%, Alstom(프랑스)이 17%, 일본 컨소시움(일본)이 13%의 시장점유율을 차지

- 향후 5년간 차량 조달 계획의 17%를 Alstom(프랑스)이 공급할 것으로 전망되나 계획상 45%가 현재 차량 조달기업이 미정이므로 향후 변동가능성 존재

<세계 시장 점유율('10년~' 14년)>	<세계시장 점유율('15년~' 19년)>
	
*SCI Verk독 2011의 2010년 차량 운영 현황 데이터를 기준으로 2014년까지 도입차량 데이터 조사하여 반영한 데이터	*국가별 차량도입계획, 차량제작사 조달계획 등 발표된 문헌조사를 바탕으로 구성된 데이터이므로 추후 변동가능성이 있음

<그림 2-27> 세계 고속철도 차량 시장 점유율 현황 및 전망

(3) 도시철도차량

○ '10년부터'12년까지 3년간 연평균 세계 도시철도차량 시장규모는135억 유로

- 전체 도시철도차량 시장은 경전철 47억 유로 도시철도 88억 유로

<표 2-12> 도시철도차량 시장규모(‘10년~’ 12년 평균)

단위 :백만 유로

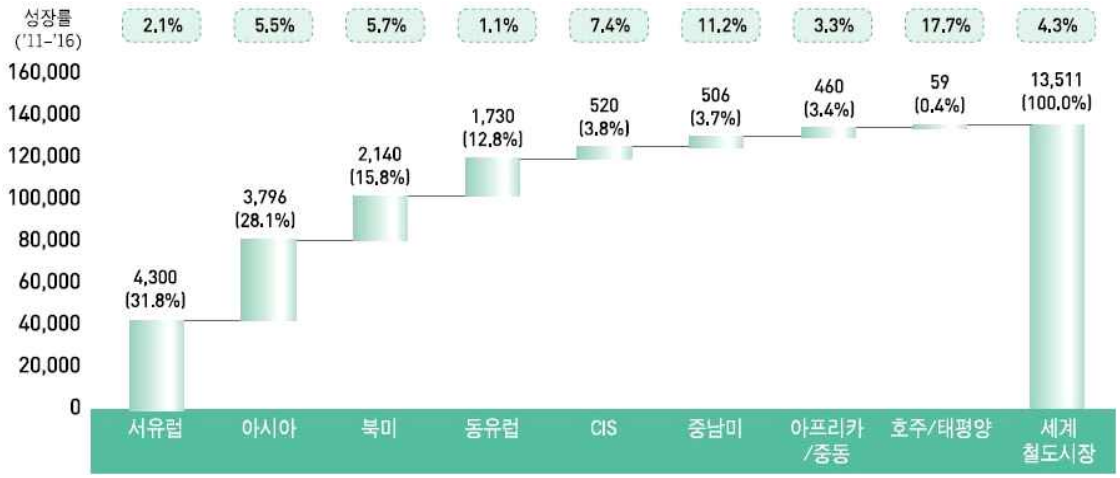
경전철	도시철도	계
4,690	8,820	13,510

○ 권역별 세계 도시철도차량 시장은 서유럽, 아시아가 각각 31.8%, 28.1%로 전 세계 도시철도차량 시장의 절반 이상을 차지하고 있으며, ’11년부터 ’16년까지 권역별 도시철도차량 시장 성장률은 호주/태평양, 중남미, CIS가 타 권역대비 높음

- 호주/태평양, 중남미, CIS를 제외한 권역의 도시철도차량 시장 내 비중은 북미 15.8%,동유럽 12.8%, CIS 3.8%, 중남미 3.7%, 아프리카/중동 3.4%, 호주/태평양 0.4% 순

- 호주/태평양의 평균성장률은 17.7%이며, 중남미의 평균 성장률은 11.2%, CIS의 평균성장률은 7.4%로 타 권역대비 높은 성장률이 전망되며, 세계 도시철도차량 시장의 평균성장률 4.3%보다 높음

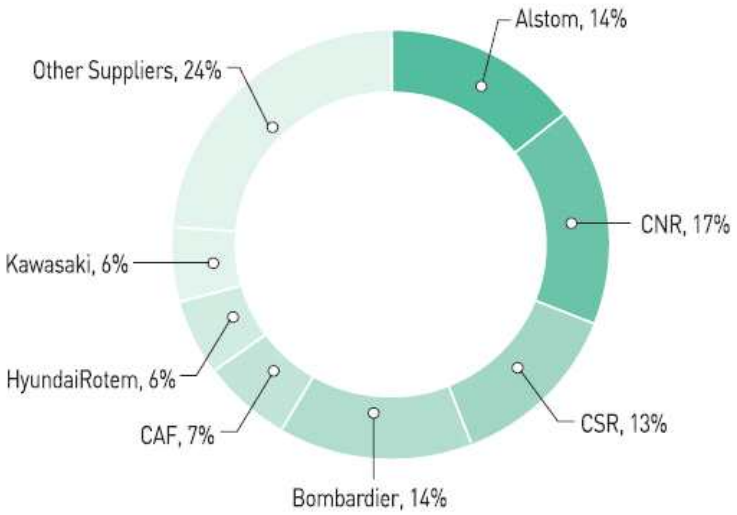
- 서유럽, 동유럽의 도시철도차량 시장 평균성장률은 각각 2.1%, 1.1%로 세계 도시철도차량 시장 평균성장률보다 낮은 수준



<그림 2-28> 권역별 도시철도차량시장규모 및 성장률(백만유로, %, ‘11년~’ 16년)

○ ’12년 기준 권역별 도시철도차량 대수는 아시아, 서유럽, CIS가 각각 25.8%, 24.6%,18.0%로 전 세계 도시철도차량 시장의 절반 이상을 차지

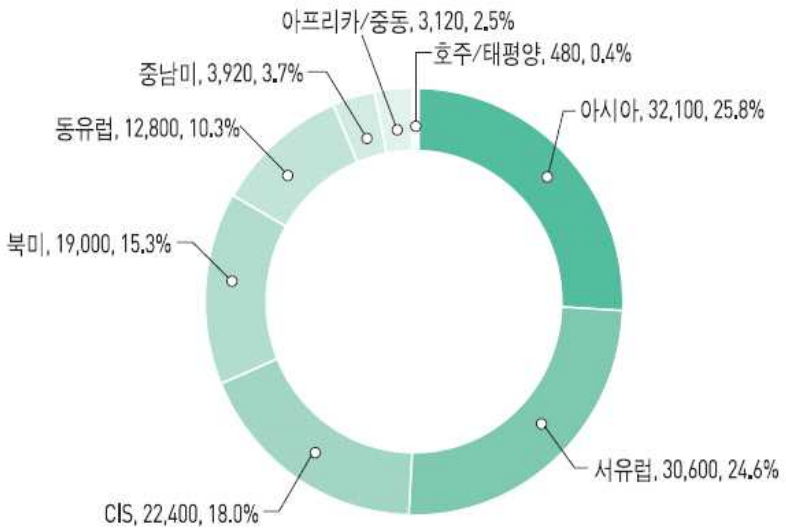
- 아시아, 서유럽, CIS를 제외한 권역의 일반철도차량 시장 내 비중은 북미 15.3%,동유럽 10.3%, 중남미 3.2%, 아프리카/중동 2.5%, 호주/태평양 0.4% 순



<그림 2-29> 도시철도차량 제작사별 시장점유율 현황(‘07년~’ 11년)

○ ’07년~’11년 기준 도시철도 차량 제작사별 시장 점유율은 프랑스 Alstom, 중국의 CNR, CSR이 전 세계 도시철도차량 시장의 44%를 차지

- 중국 CNR과 CSR은 높은 자국 내 수요와 리오 데 자네이루, 부에노스 아이레스 등에 도시철도차량을 수출하며 도시철도차량 제작사 중 높은 시장 점유율을 차지



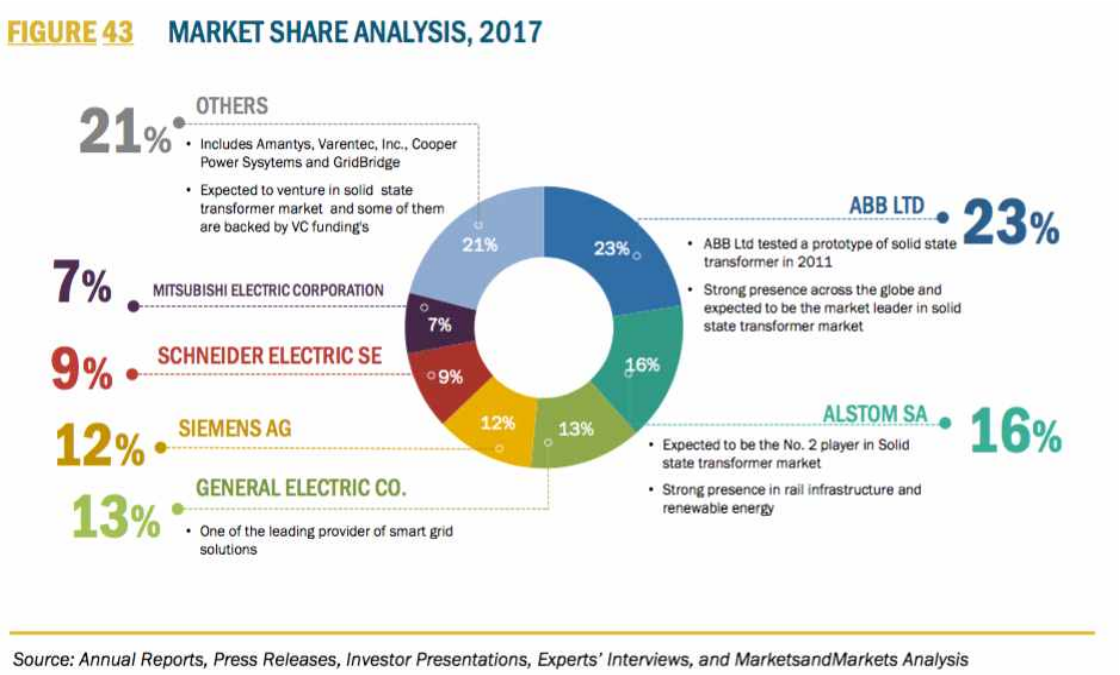
<그림 2-30> 권역별 도시철도차량 수(‘12년 기준, 량, %)

나. 국외 변압기 시장현황

○ 반도체변압기 시장현황

■반도체 변압기와 관련된 Key player들은 스위스 ABB, 프랑스 Alstom, 미국 GE, 독일 Siemens 등이다.

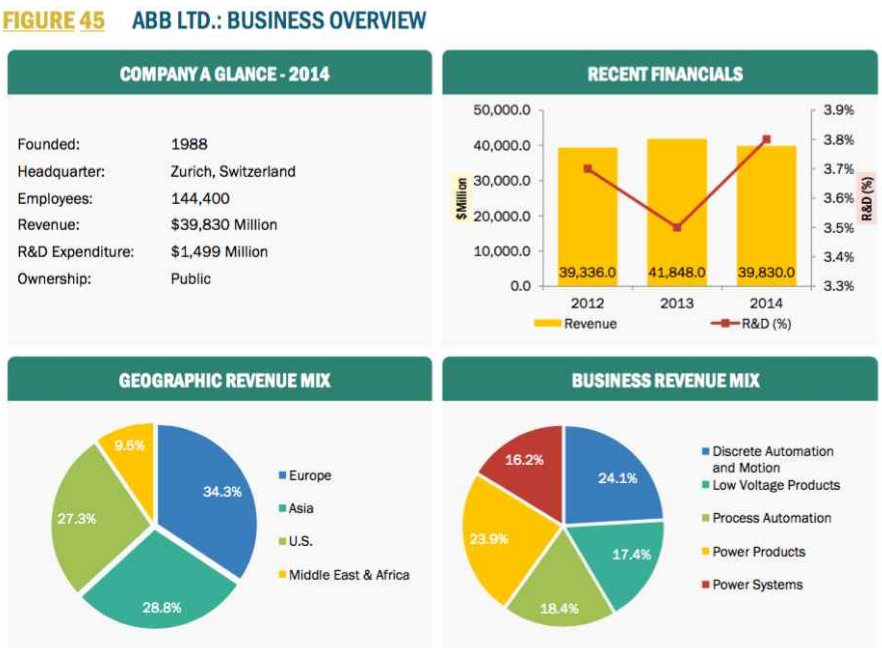
■Markets and Markets 보고서에 따르면 기술적으로 가장 앞서 있는 ABB가 2017년부터 시장의 23%를 공급할 것으로 예상되며, 그 뒤를 Alstom GE, SIEMENS 순으로 따를 것으로 예상됨



<그림 2-31> 반도체 변압기 시장 Key player 및 시장 점유율 예상치

가. ABB LTD

■ABB 는 1988년에 설립되었으며, Asea AB 및 BBC Brown Boveri AG 의 합병으로 탄생했다. 헤드쿼터는 스위스 취리히에 있으며, 주로 전력 및 자동화 분야에 제품을 생산한다.



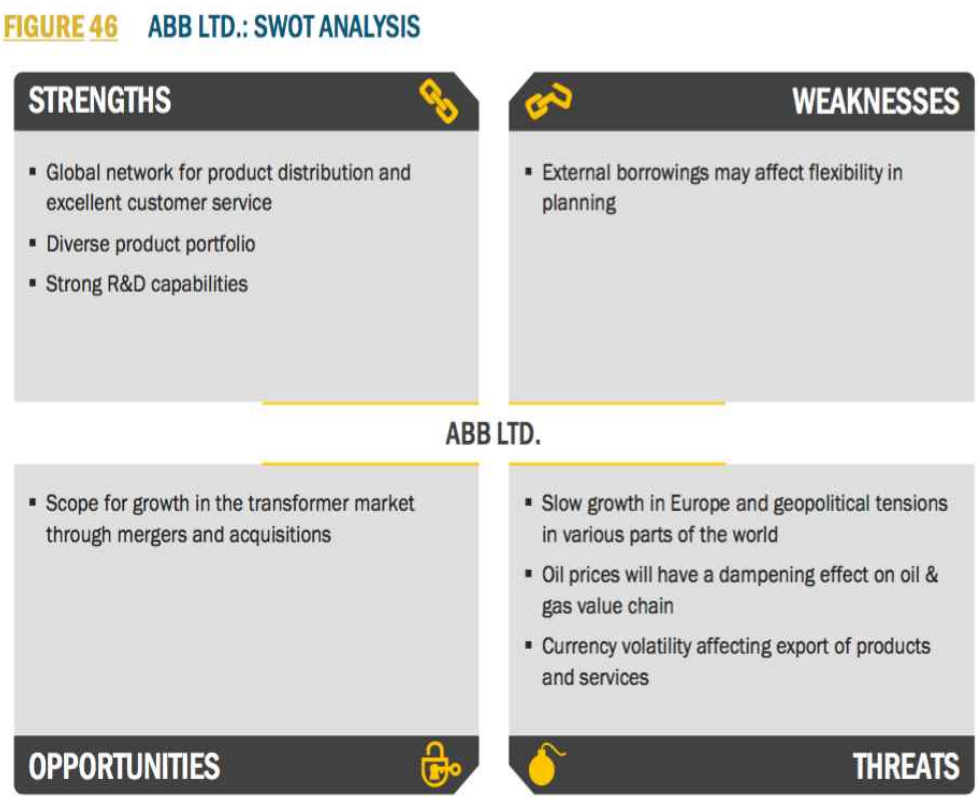
<그림 2-32> ABB 사의 사업 현황

■ABB는 반도체 변압기 개발에 있어 선두 주자이다. 철도 차량용 반도체 변압기를 이미 2011 년에 제작해 시험 운행하고 있으며, 스마트 그리드 및 신재생 에너지 시장으로 영역을 확대하려 하고 있다.



<그림 2-33> ABB의 철도차량용 반도체변압기

■MarketsandMarkets 보고서에 따르면 ABB사의 강점은 R&D 능력과 전세계에 분포한 Global network 등이고, 낮은 기름값, 더딘 시장의 성장 등이 위험요소이다.

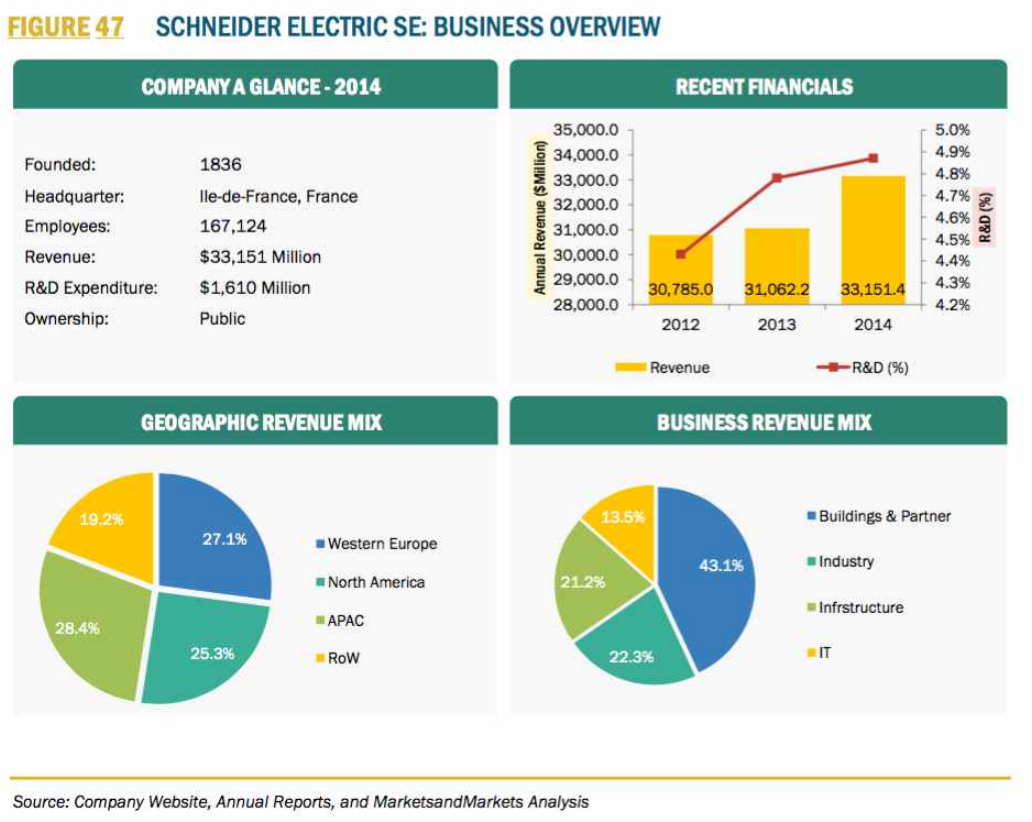


<그림 2-34> ABB 사의 반도체 변압기 시장에 대한 SWOT 분석

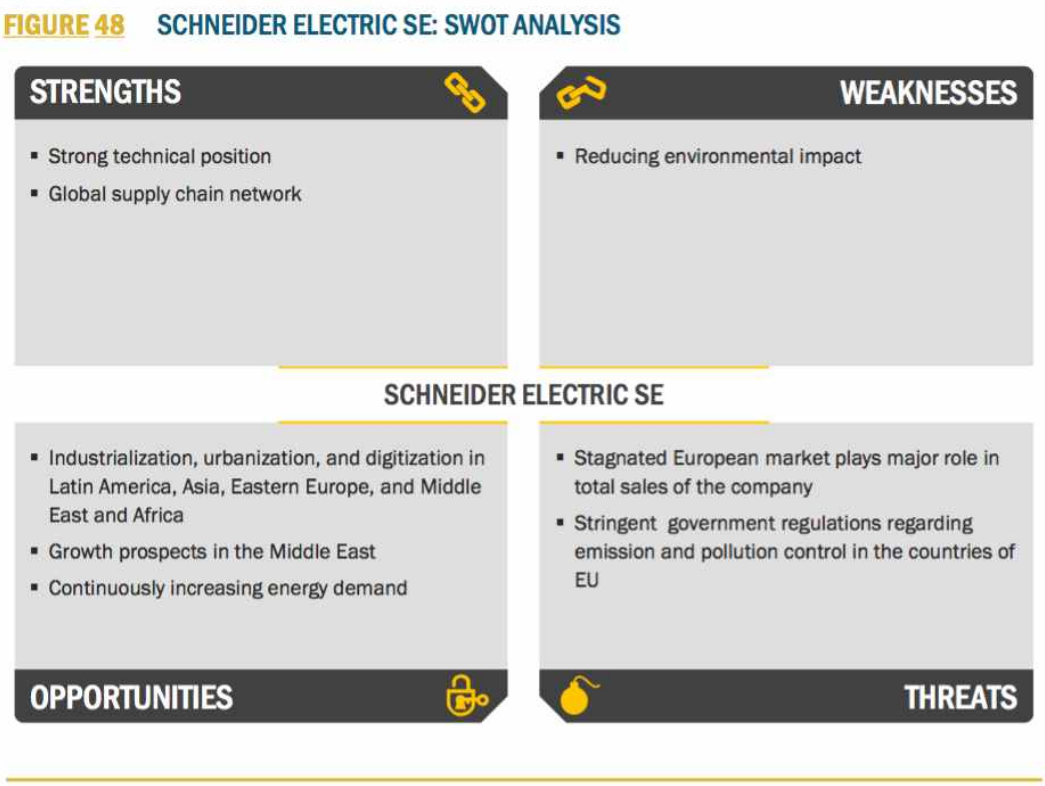
나. SCHNEIDER ELECTRIC SE

■Schneider Electric SE 는 에너지 매니지먼트 및 자동화 관련 상품을 생산하는 세계적인 기업이다. 1836년에 설립되어, 프랑스의 Rueil-Malmaison 에 헤드쿼터가 있다.

■Schneider Electric은 인프라, 빌딩, 산업 등에 필요한 변압기를 주로 생산 공급한다. 현재까지는 반도체 변압기에 대한 연구나 투자에 대한 내역은 없지만 신재생에너지 및 EV 충전 스테이션 등에 대한 관심을 보이고 있으며, 전세계에 네트워크를 가지고 있어, 향후 반도체 변압기 시장에 참여할 것으로 예상되고 있다.



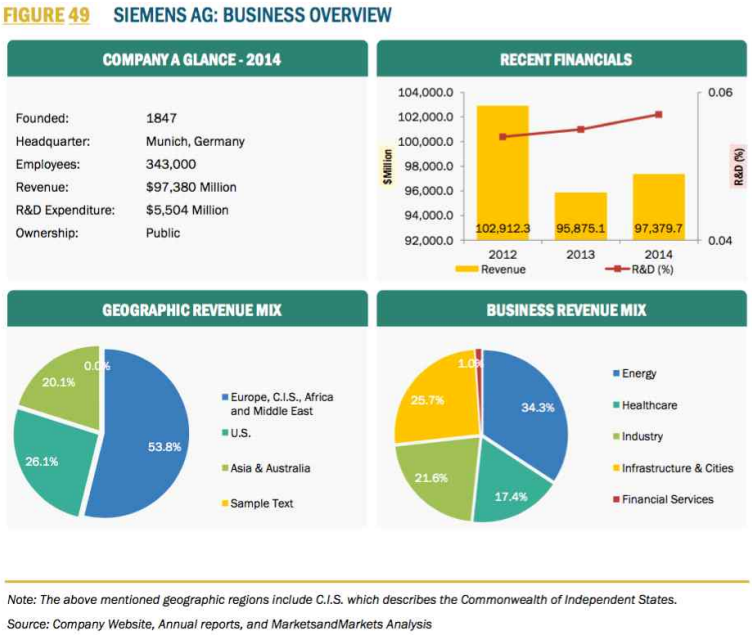
<그림 2-35> SCHNEIDER ELECTRIC SE 사의 사업 현황



<그림 2-36> SCHNEIDER SE 사의 SWOT 분석

다. SIEMENS AG

■Siemens AG는 독일 기반의 전기전자 제품 생산 업체이며, 전기전자화, 자동화, 디지털화에 전문성을 가지고 있다. Siemens는 주로 에너지, 헬스케어, 인프라 관련 제품들을 연구 개발 판매 하며, 에너지 사업 분야에서 변압기를 주로 생산 판매 하고 있다.

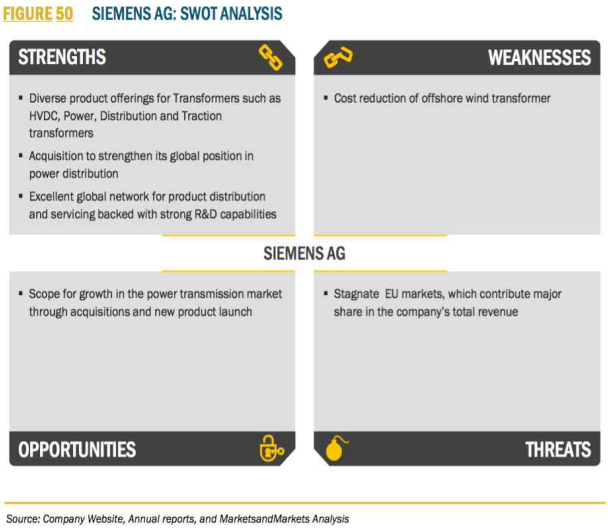


<그림 2-37> SIEMENS AG 사의 사업 현황

■Siemens AG는 이미 HVDC용 변압기, 발전용, 분배전용, 차량용 변압기 등 다양한 변압기 제품 시장에 KEY PLAYER이며 반도체 변압기의 개발 관련한 연구도 활발히 진행 중이다. 하지만 유럽의 경기 침체는 SIEMENS의 위험요소중 하나이다.



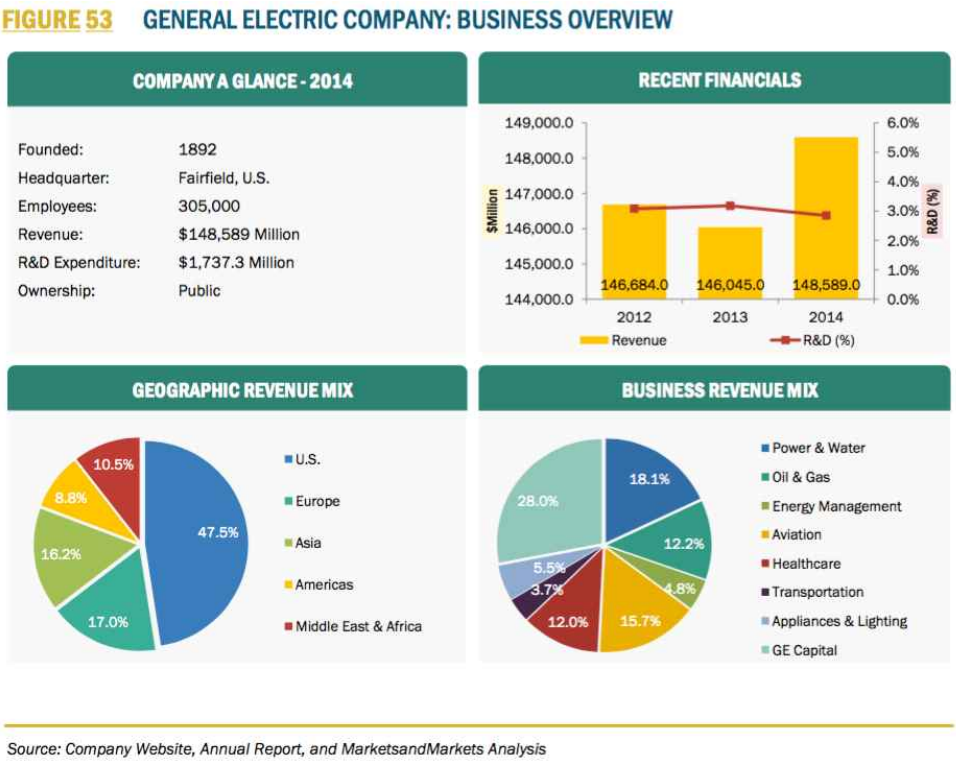
<그림 2-38> SIEMENS의 고주파변압기



<그림 2-39> SIEMENS 의 SWOT 분석

라. General Electric Co.

■GE는 1892년에 미국에서 설립된 발전, 분배전, 제어, 자동화 등에 관련한 제품을 개발 판매하는 회사이다. 2011년에 분배전용 Power substation을 만들어 시험 했다.

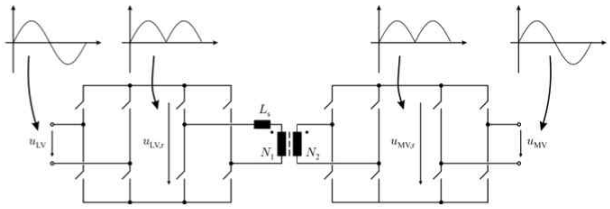


<그림 2-40> GE의 사업현황

▶ SiC-Enabled Solid State Power Substation

- Das (2011)

- Fully Phase Modular System
- Indirect Matrix Converter Modules ($f_1 = f_2$)
- MV Δ-Connection (13.8kV$_{L-L}$, 4 Modules in Series)
- LV Y-Connection (465V/√3, Modules in Parallel)





- SiC Enabled 20kHz/1MVA "Solid State Power Substation"
- 97% Efficiency / 25% Weight / 50% Volume Reduction (Comp. to 60Hz)

<그림 2-41> GE가 개발한 반도체 변압기

■GE는 기존 변압기 뿐만 아니라 HVDC, 신재생 에너지용 변압기 등에 대한 연구 경험이 많아 반도체 변압기 시장의 Key player 가 될 것으로 예상된다.

FIGURE 54 GENERAL ELECTRIC COMPANY: SWOT ANALYSIS

STRENGTHS	WEAKNESSES
▪ Strategic inorganic growth strategy creates competitive advantage ▪ Robust R&D capabilities	▪ Dependency on third-party for raw materials

GENERAL ELECTRIC CO.

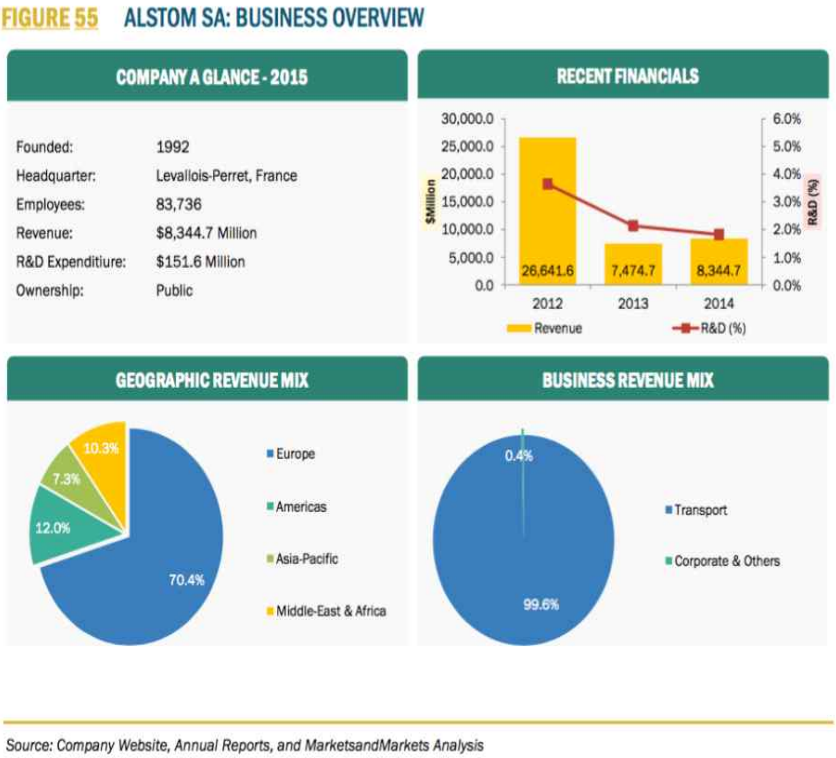
OPPORTUNITIES	THREATS
▪ Growing demand of commercial airplanes ▪ Strengthening the competitiveness in the energy sector could generate new business opportunities ▪ Improving credit card market in the U.S. will drive consumer market	▪ Intense competition could affect sales ▪ Challenging macroeconomic and political environment in U.S. and Europe

Source: Company Website, Annual Report, and MarketsandMarkets analysis

<그림 2-42> GE 사의 SWOT 분석

마. Alstom SA

■Alstom 은 프랑스 기반의 합작 회사로 Transportation 및 에너지 시스템 관련한 사업들을 주로 한다. 수익은 대부분 Transportation 시스템에서 나온다.

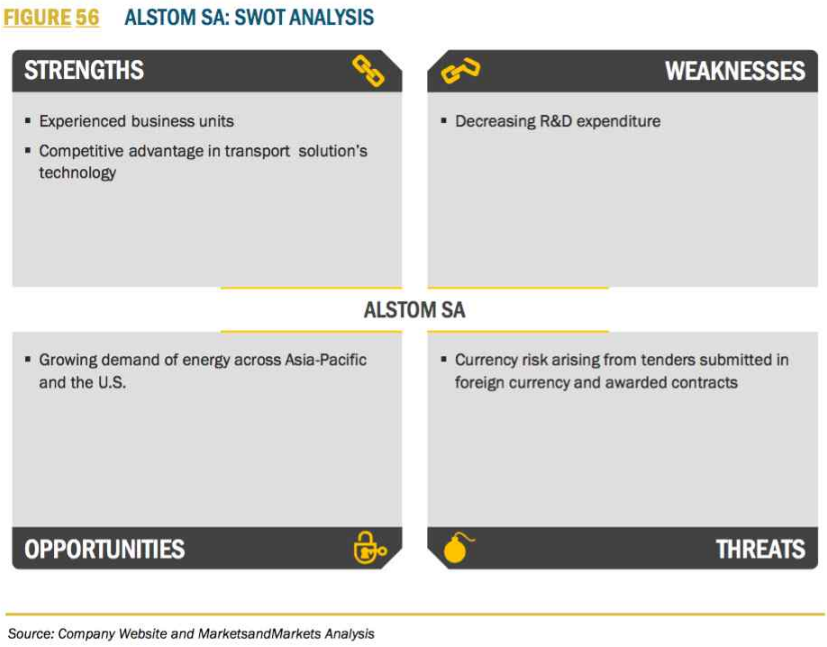


<그림 2-43> Alstom 사의 사업 현황

■반도체 변압기 관련해서 이미 2003년에 초기 모델을 만들어 시험했으며, 2007년에 2차 모델을 만들어 시험했다. Alstom은 철도 차량용 변압기 등을 오래 제작한 경험이 있고 반도체 변압기에 관련한 연구를 오래 진행한 경험도 있어 반도체 변압기 시장에서 2번째 큰 마켓 쉐어를 가질 것으로 예상된다.

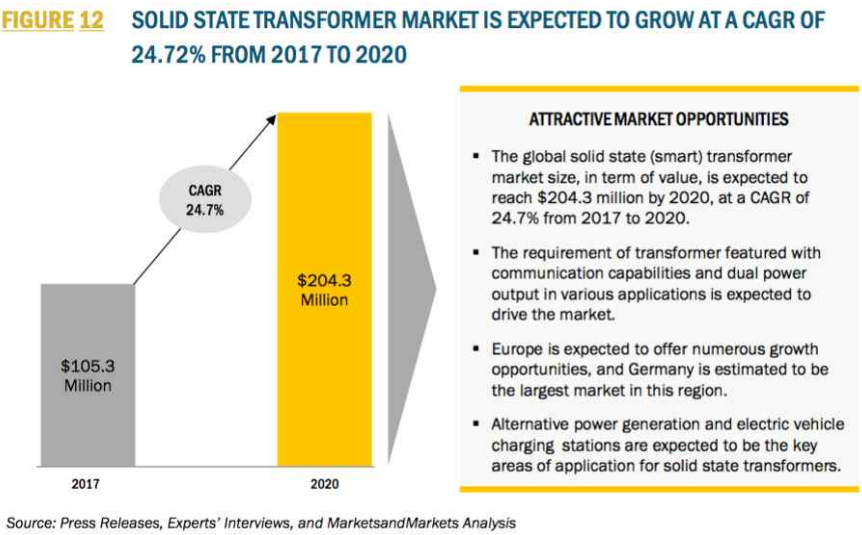


<그림 2-44> Alstom 사에서 개발한 반도체 변압기들



<그림 2-45> Alstom 사의 SWOT 분석

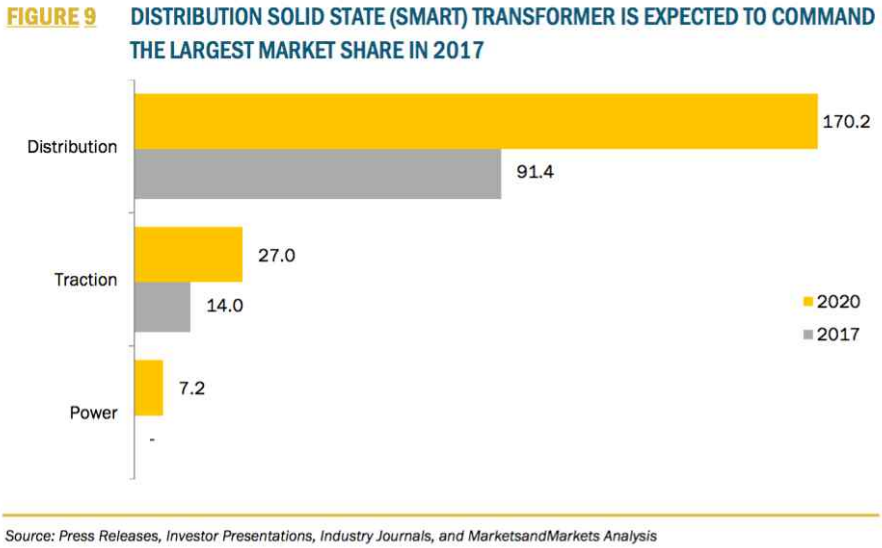
■MarketsandMarkets의 시장 동향 조사 보고서에 따르면, 반도체 변압기는 2017년에 1000억원 ($ 105M) 의 시장 규모로 예상되지만, 3년 후인 2020년에는 2000억원 규모로 2배 이상 성장할 것으로 예상된다.



<그림 2-46> 세계 반도체 변압기 예상 시장 규모

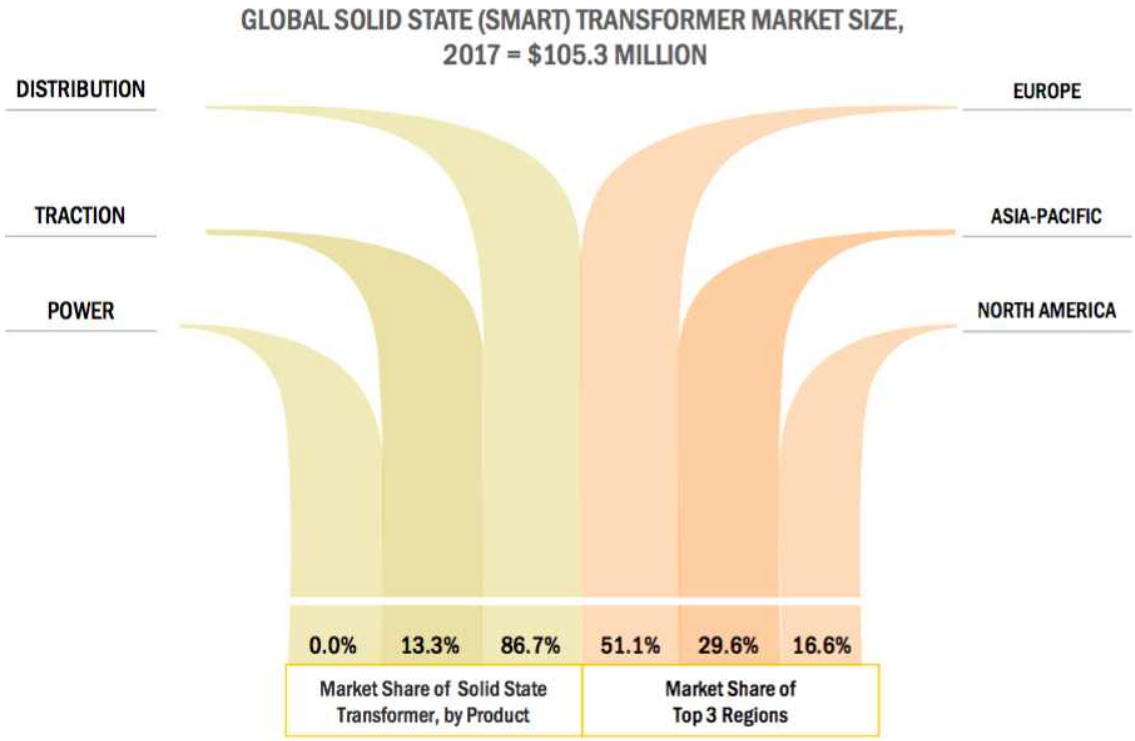
■반도체 변압기의 제품은 주로 분배전용, Traction용, 발전용으로 나눌 수 있다. 반도체 변압기는 스마트 그리드의 성장에 따라서 반드시 필요한 기술 중의 하나로

인식 되어 분배전 시스템에 적용되는 속도에 따라 성장할 것으로 예상된다.



<그림 2-47> Product 별 예상 시장 규모

■2017년에는 총 1000억원 규모의 시장이 형성될 것으로 예상되며, 유럽이 시장의 51%를 차지할 것으로 보이고 아시아가 30%, 북미가 약 17%의 수요를 담당할 것으로 보인다.

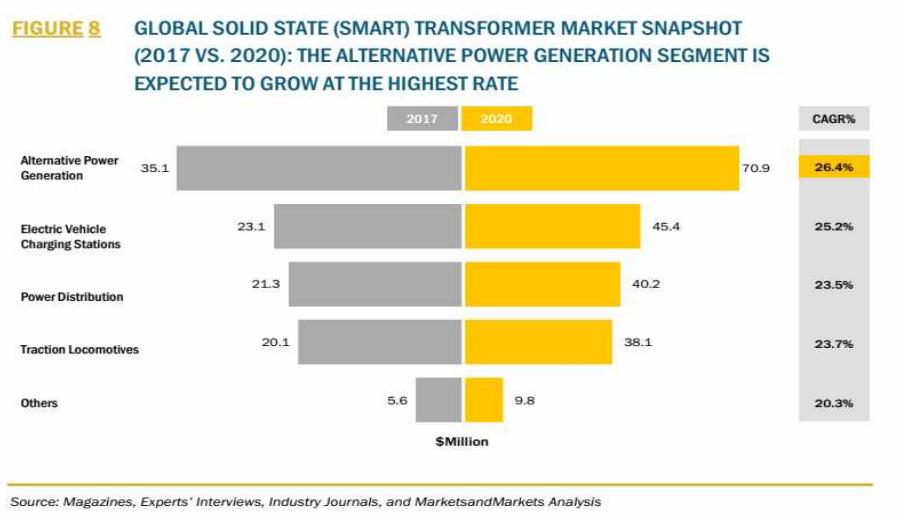


<그림 2-48> Product 별, 지역별 반도체 변압기 시장 규모

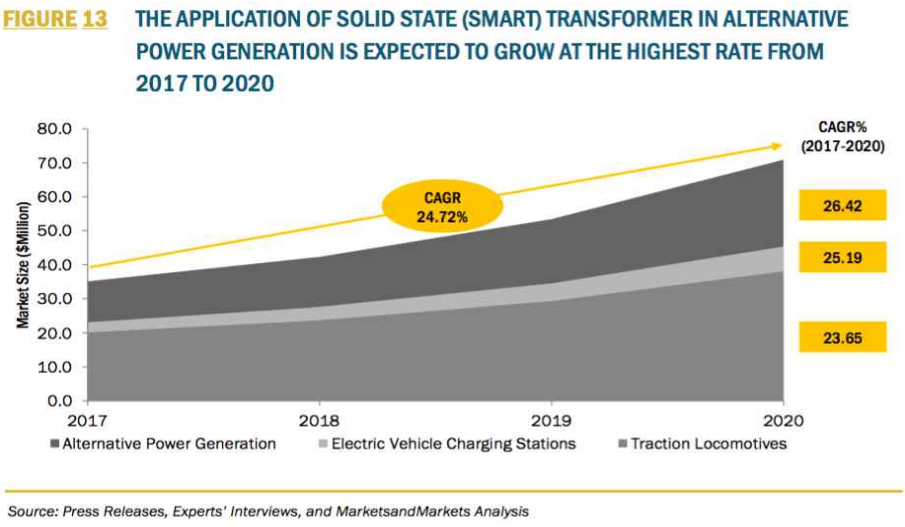
■이러한 반도체 변압기는 주로 신재생에너지 등의 분산 에너지 시스템, 기차 등의 Traction 시스템, 분배전 시스템, 전기차 충전 스테이션 등의 시장에 주로 적용될 것으로 보인다. 특히, 기존의 분배전 시스템의 교체 보다는 새로 개발되는 신재생 에너지 등의 분산 발전 시스템의 분배전에 적용될 것으로 예상된다.

■2017년에는 신재생 에너지 관련한 시장 규모가 350억원 정도의 규모에서 2020년에는 700억원 규모로 성장할 것으로 보이며, EV 충전 시스템용, Traction용 등의 시장 규모도 2020년에는 두 배씩 성장할 것으로 예상된다.

■이러한 시장의 성장은 발전용 보다는 분배전용, EV 충전용, Traction용 등의 세가지 application에서 주도적으로 나타날 것으로 보인다.



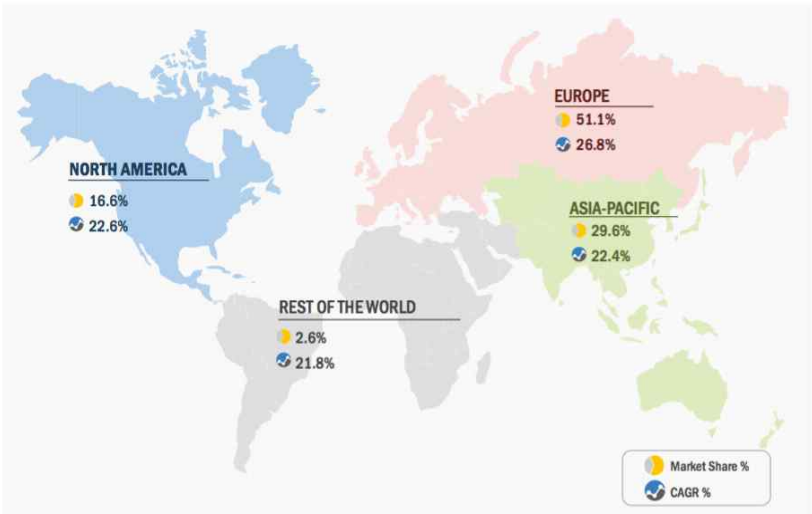
<그림 2-49> Application 별 반도체 변압기 시장 규모



<그림 2-50> Top 3 Application 의 시장 규모 예상 성장 치

■지역별로 2017년도에는 전체 1000억 시장에서 유럽이 51%, 아시아가 30%, 북미가 17%의 시장을 형성할 것으로 보이고, 성장 가능성도 27%정도로 유럽이 가장 커 보인다.

FIGURE 11 EUROPE IS EXPECTED TO GROW AT THE HIGHEST CAGR DURING THE FORECAST PERIOD

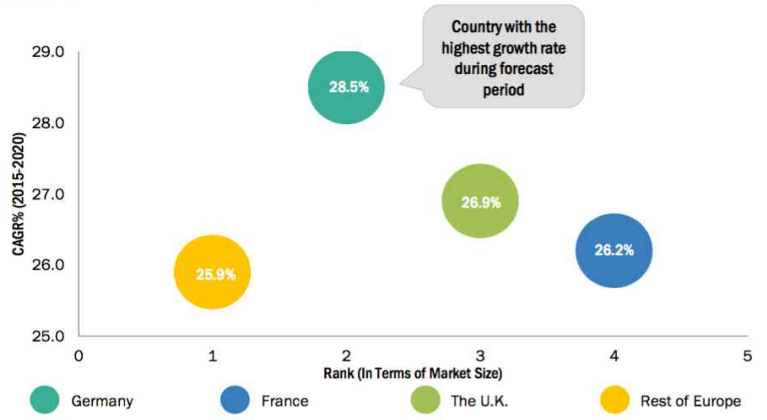


Note: The market share for the regions is provided for 2017.
Source: Experts' Interviews, Press Releases, Industry Journals, and MarketsandMarkets Analysis

<그림 2-51> 지역별 시장 및 성장 가능성 정도

■특히 국가별로는 독일의 성장 가능성이 29%정도로 가장 크고, 나머지 국가들에서 약 26%정도의 성장세를 가질 것으로 예상된다. 이는 독일 기업인 SIEMENS에서 반도체 변압기 관련 연구를 가장 많이 수행하기 때문인 것으로 보인다.

FIGURE 10 EUROPEAN SOLID STATE (SMART) TRANSFORMER MARKET, BY COUNTRY, 2017

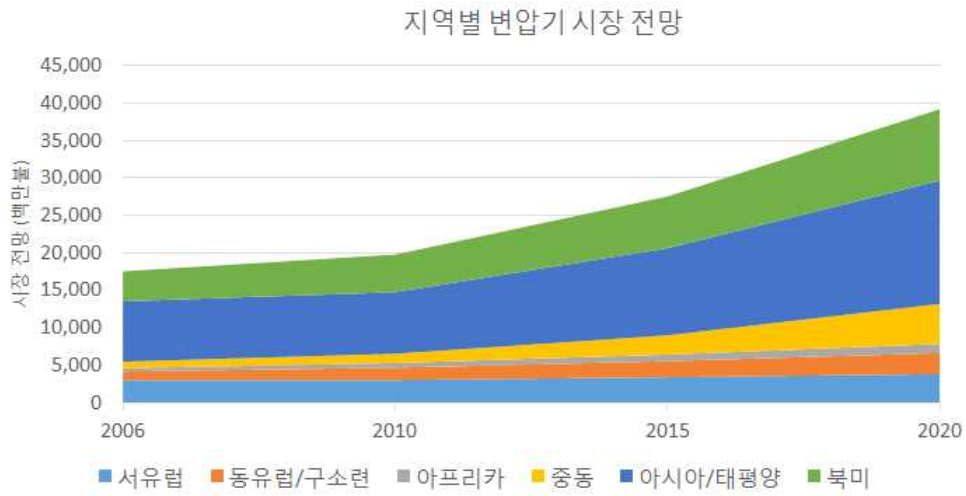


Note: The given value in circle represents CAGR for the respective country between 2017 and 2020.
Source: Experts' Interviews, Industry Journals, and Marketsandmarkets Analysis

<그림 2-52> 국가별 시장 성장 규모 예상 치

○ 일반변압기 시장현황

■변압기 관련 연평균 시장 증가율은 중동지역이 18.6%를 나타내 가장 빠른 성장세를 보였으며, 유럽지역은 11%, 아시아 지역은 8.5%로 세계 시장은 꾸준히 증가하는 것으로 나타남.
■2010년 기준 변압기 시장 규모 최대 국가는 중국 (24%) 이며 미국, 일본, 독일 순이었음.
■중동 지역은 시설투자의 확대로 인해, 북미지역은 낙후 설비 교체로 인한 수요 증가가 발생할 것으로 예상됨.



<그림 2-53> 지역별 변압기 시장 전망
(World Markets and Manufacturers of Transformers, 2005-2010, Goulden Reports)

다. 국외 전동기 시장현황

○ 유도전동기

- 미국, 캐나다 등 선진국에서는 90년대 들어 고효율 전동기의 생산 판매를 의무화하는 최저효율제 (MEPS) 정책을 시행 중. 2011년부터 효율 기준 및 적용 대상 모델을 확대하여 IE3 프리미엄급 고효율 전동기 최저효율제 시행 중

- 유럽연합(EU)에서는 전동기 효율 기준을 IE4(슈퍼프리미엄급 고효율), IE3(프리미엄급 고효율), IE2(고효율), IE1(일반효율) 4종류로 나누어 고효율 전동기 최저효율제를 시행 중 (IE2급, 2011). EU는 2011년 6월부터 2017년까지 3단계에 걸쳐 적용을 확대하기로 하고, 2015년에는 7.5~375kW급 전동기, 2017년에는 0.75~375kW급 전동기가 IE2~IE3 등급을 만족시켜야 함

- 중국은 2011년부터 MEPS를 시행 중이며, 일본과 인도는 강제규정이 아니라

자발적인 기준으로 시행하고 있음

- 향후 프리미엄급 전동기로 최저효율제 효율기준이 강화되어 감에 따라 리베이트 대상의 슈퍼프리미엄급 고효율 전동기에 대한 수요 또한 지속적으로 증가할 것으로 예상됨. 산업용 교류 전동기를 중심으로 2015년 유도전동기 세계시장은 약 380,800억 원 규모로 추산됨

○ 영구자석형 동기전동기

- 공작기계, 전동프레스 인덱서 등 고출력 소요 동력 부분의 영구자석형 동기전동기화 추세에 있음. 특히, 최대출력 1,000kW, 토크 및 속도범위 37,000N.m, 1,000rpm급 상용 제품 공급, 기계 및 유압장치 부분의 하이브리드 유압식 및 전동식으로 교체되고 있음

- 전동기 분야의 선진국인 일본의 영구자석 동기전동기 수요 분야와 기업 분포는 아래와 같음. 일반 서보전동기의 연평균 성장률은 7.7% 정도이나, 기존의 정밀기기 또는 자동화 시스템에서 기계장치의 소형화, 경량화 요구의 증가로 인해 영구자석형 동기전동기의 성장률은 13.7%에 이름

직구동 전동기 시스템 수요분야 및 공급기업

수요분야	직구동 서보전동기 (대)					
	FANUC	Shinko-elec	Yokogawa	NSK	CKD	합계
공작기계	2,000					2,000
칩 마운터		60				60
반도체 액정제조장치		120	8,000	7,500		15,620
전동사출형성기		120				120
반송기계			1,200	5,200		6,400
인쇄기계		20	1,000			1,020
기타		10	6,500	2,700	2,500	11,710
합계	2,000	330	16,700	15,400	2,500	36,930

자료 출처 : 회전형서보시스템 ((유)데이타기술연구소, 2007)

<그림 2-54> 영구자석형 동기전동기 시스템 수요분야 및 공급기업 현황

라. 국외 인버터 시장현황

○ 유럽은 최초로 전철시스템이 도입된 지역으로서 차량시스템 개발의 역사가 길고 그 기술개발 내용도 다양하며 가장 선두를 달리고 있다. 특히 기초소재 및 물성연구의 발달로 고효율, 소형 경량화 측면의 기술발전에 많은 공헌을 하고 있다, 그리고 경전철, 교외선, 고속전철 분야에서도 많은 차량시스템을 보유하면서 frameless 구조의 견인전동기, skewed aluminium cast형 견인전동기 및 냉각방식 연구에도 최신기술을 보유하여 진동, 소음의 현저한 감소, 전동기내부발열 억제 및 먼저나 분진에 의한 운전장애 해소 등을 통해 견인전동기의 소형화 및 고출력화를 가속화 해가고 있다. 대표적인 유럽의 인버터 제작사로는 SIEMENS, GEC/ALSTHOM, AD Tranz, ANSALDO 등이 있다.

○ 일본의 철도역사는 100년을 넘고 있으며 고속전철 분야를 자체개발하여 신간선을 완성 하였으며, 최근 최고시속300km/h에 이르는 신고속철도를 운할할 정도로 상당히 우수한 기술력을 인정받고 있다. 특히 MT비의 저감을 위한 꾸준한 노력과 연구를 진행하면서 차체를 알미늄 프레임으로 완성하고 지금은 No-frame과 최고속도 향상에 주력하여 최근의 209계열 열차는 34%의 차량중량 감소와 회생율을 실현하여 전력비 절감과 운전 최고 속도에서 10%향상을 가져왔다.

○ 국내에 도입된 지하철용 기종과 유사한 전동기에 대한 연구이력을 보면 오사카 교통국 주도로 도시바, 히다찌, 미쯔비시 3사가 공동 개발하여 정격 DC750V/610kVA인 GTO인버터와 160kW 견인전동기를 완성하였으며, 곧이어 1984년에 160kW / 4Pole / DC1500V / 1350kVA GTO 인버터 160kW / 4Pole 견인전동기 4대를 병렬운전하는 인버터 구동시스템을 개발하였다. 그리고 1987년에는 신간선용 DC1900V / 1760kVA인버터와 330kW / 1450V 정격의 유도전동기를 적용한 추진시스템 개발 등을 착실히 진행하였다. 또한 자 기소음 감소와 냉각팬 최적화에 대한 연구도 상당 수준 진행되고 있으며, GTO보다 더 높은 고주파에서도 스위칭이 가능한 IGBT 소자를 사용한 인버터를 개발하여 대폭적인 소음감소와 운전성능 향상을 도모하고 있다. <표 2-9>은 일본에 운행중인 전기철도차량 및 견인전동기 특성을 요약한 것이다.

<표 2-13> 일본에 운행중인 전기철도 차량 및 인버터 특성

차종		103계	201계	205계	207계	209계
MT비		6M4T	6M4T	6M4T(5T)	6M4T	4M6T
차량중량 (자중 ton) (10량 편성시)		361.1 (100%) MILD 강	376 (103.6%) MILD 강	294.5 (81.1%) 스텐레스 강	299.9 (82.6%) 알루미늄	240.7 (66.2%) 스텐레스 강
성능	출력(kW)	880x3unit	1200x3unit	960x3unit	1200x3unit	760x3unit
	인장력(KN)	84.8x3	81.4x3	87x3	87x3	53.1x3
치차비		6.07	5.6	6.07	7.07	7.07
최고속도(km/h)		100	100	100	100	110
제어방식		직병렬조합 저항제어 약계자 발전브레이 크제어	사이리스터 초퍼제어 약계자 회생브레이크	직병렬조합 저항제어 계자첨가여자 회생브레이크	VVVF 인버터제어	3단계 VVVF 인버터제어
회생율 (회생/역행)		-	-	25.9%	-	33.8%
브레이크방식		SELD발전 브레이크 전자직통 브레이크	SELR회생 브레이크전자 직통브레이크	회생브레이크 전기지령공기 브레이크	<==	<==
주전동기	형식	MT 55	MT 60	MT 61	MT 63	MT 68
	출력(kW)	110	150	120	150	95
	정격전압(V)	375	375	375	1100	1100
	정격전류(A)	330	445	360	100	68
제조년도		‘64	‘79	‘85	‘86	‘91

○ 경량전철의 경우, 현재 독일 지멘스와 캐나다 봄바르디아 두 회사가 전세계 차량 공급을 주도하고 있으며, 프랑스의 알스톰이 괄목할만한 성장을 이루고 있음

○ 고속철도의 경우, 속도향상에 따른 궤도 부담하중의 최소화를 위해 차량시스템의 축중 감소 기술 개발에 주력 중이며 일환으로 전장품을 비롯한 추진시스템의 경량화를 추진 중 또한 열차의 성능향상을 위해 신규 차량 단계부터 표준화된 모듈시스템을 적용하고 있음

○ 프랑스의 경우, TGV-POS의 견인전동기는 0.862 kW/kg의 출력밀도를 내는 유도전동기 를 채용하였으며, 다음 세대 AGV는 1kW/kg의 출력밀도를 달성하였음

○ 독일의 ICE 경우, 일본의 신간선과 같이 PWM 방식의 컨버터와 전압형 인버터 방식으로 견인전동기는 유도 전동기(농형)방식을 채택하며, 반도체 소자는 GTO Thyristor를 사용 하고 있음

○ 일본의 경우 신소자 및 영구자석 동기전동기를 채용한 추진시스템을 적용하여 철도차량의 운행효율을 향상시키는 노력을 지속적으로 추진하고 있음.

ㅇ Tokyo Ginza Line 1000 third series (도시바 추진장치 공급)
- SiC 소자를 적용 추진인버터 효율향상 95% → 97%
- 밀폐형 동기전동기 적용으로 효율향상 90% → 97%
☞ 열차의 총 추진에너지를 37% 개선
(출처: Thosiba Press Release 2014.09.23.)

ㅇ Odakyu Railways 1000series commuter train (미스비시 추진장치 공급)
- SiC 소자를 적용 추진인버터 효율향상 92% → 97% (추정)
- 고효율 모터 및 필터 적용으로 효율향상 90% → 97% (추정)
- 추진시 에너지 17% 절감, 회생시 기존 34.1% → 52.1%
☞ 열차의 총 추진에너지를 40% 개선(2015.1.17.~5.8 시험)
(출처: Mitsubishi News 2015.06.22.)

ㅇ JR-Central N700 Shinkansen bullet train(미스비시 추진장치공급)
- SiC 소자를 적용 추진인버터 크기(55%)와 무게(35%) 절감
- 고효율 모터 및 필터 적용으로 중량 15% 절감
☞ 고속열차 경량화 차원에서 적용.
(출처: Mitsubishi News 2015.06.25.)

마. 국외 첨단 감속구동장치 분야

○ 해외에서는 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기에 대한 연구가 다수 진행되고 있지만 견인전동기용으로 실용화된 사례는 없는 상황임

○ 전기자동차나 풍력발전 분야에서 마그네틱 기어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대표적으로 영국의 Magnomatics사는 마그네틱 기어와 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 특허를 다수 보유하고 있으며, 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우 전기자전거부터 전기자동차, 철도차량, 잠수함 추진용으로 300kW급까지 개발을 하였지만 아직 실용화 실적이 없는 상황임

○ 철도 분야에서의 기계식 감속기 시장은 거의 유럽(독일)의 감속기 제작사인 VOITH에 의해 주도되고 있다고 해도 과언이 아님

○ VOITH사는 최근 고속철도용 감속기로 최고속도 440km/h까지도 주행이 가능하도록

개발을 하였으며, 그 이상의 속도대역까지도 주행이 가능한 감속기 개발도 진행되고 있는 상황임

○ 해외 기계식 감속기 시장 규모는 2010년 기준 풍력용으로 약 43억 달러 수준이며, 2011년~2015년 연평균 10.6% 성장하여, 2015년에 65억 달러의 시장 규모가 형성됨. 전체 풍력 발전시스템에서 기어박스가 원가에서 차지하는 비중은 12.9%이며, 기어박스의 개당 가격은 12.5~25만 달러 수준임. 풍력용 기어박스는 기어박스를 자체 제작하는 OEM(In-house)과 전문 제작하는 독립 제작사로 구분이 가능하며, GE, Gamesa, Enercon, Suzlon, Siemens 등의 선두기업은 In-house나 자회사 형태로 기어박스 자체 제작사를 보유하고 있음. 2010년 기준 업체별 세계 시장 점유율은 Winergy(30~40%), Hansen(10~20%), Bosch・Moventas(각 5~10%) 등으로 과점 시장을 형성하고 있음.



<그림 2-55> 풍력용 기어박스의 해외시장 규모 변화 특성

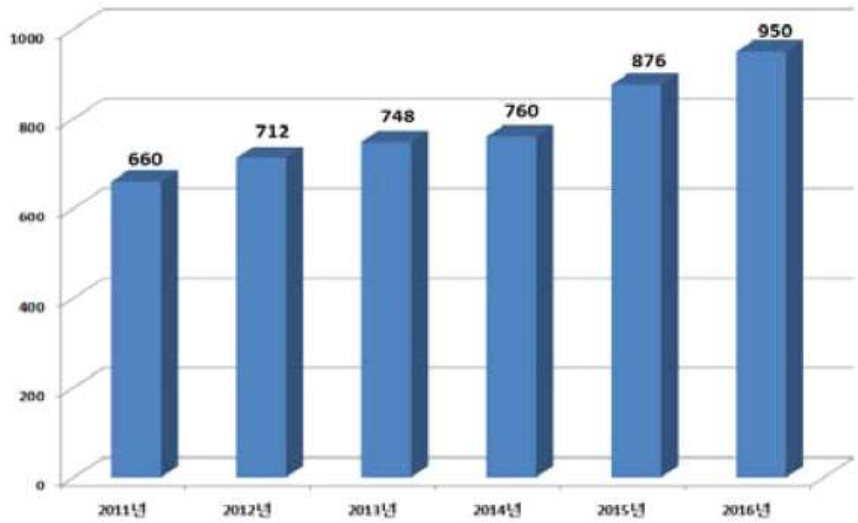
○ 베어링 세계시장은 2012년 기준 약 4,663조원 규모로, SKF, Shaeffler, NSK, NTN, JTEKT, 후지코시가 전체의 70% 가량을 차지하고 있음.

○ Freedonia Group에서 발행한 “세계의 베어링 시장 예측” 보고서에 따른면 2011년 세계 베어링 수요는 660억 달러를 기록하였으며, 이러한 수요는 향후 연간 8%의 성장률로 증가할 것으로 전망됨.

○ 이러한 성장추세로 본다면 베어링 세계시장은 2016년에는 시장 규모 전망치가 950억 달러에 달할 것으로 보임.

○ 2011년 세계 베어링 수요 중 70%는 자동차 및 기계 시장이며, 2016년에도 마찬가지로 이 두 개 시장의 수요가 큰 비율을 차지할 것으로 전망됨.

○ 자동차 및 기계 시장 외에도 발전도상국에서의 항공기, 철도, 자전거, 전자기기, 의료기기 등의 생산 증가로 인해 베어링의 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망됨.



<그림 2-56> 세계 베어링 시장 전망

*자료: World Bearings (Freedonia Group, 2012)

제 3 절 국내외 기술동향 분석

1. 국내 기술동향 분석

가. 국내 변압기 기술현황

○ 일반변압기

■국내의 변압기 관련 기술 개발은 765kV 송전전압 상승에 따른 초고압 변압기 기술 개발이 활발히 진행되면서 획기적으로 발전

■765kV 급 변전기기의 고장 예방, 운전 신뢰성 향상을 위한 진단 시스템을 도입.

■145/245/300/550kV 급 수출용 고전압 변전 기기 개발 완료 및 Compact화, 신소재 및 부품 개발 및 적용 위한 연구 진행 중

■국내에서도 친환경 변압기에 대한 개발은 활발히 진행 중이며, 기름을 사용하지 않는 몰드형 건식 변압기의 대용량화 및 SF6를 이용한 가스절연 변압기에 개발이 활발히 이루어지고 있음.

■국내의 동남석유공업에서 식물성 절연유 개발을 완료해 배전용 변압기에 적용 시험했으며, 전력 연구원에서 식물성 절연유 적용에 관한 연구를 수행하고 있으나, 아직 전력용 변압기에 적용한 사례는 없음.

■또한 케이블 변압기의 기술 개발 및 상용화로 건식 변압기의 초고압화가 이루어질 전망이며, 고효율화를 위한 아몰포스 변압기의 생산 기술 향상 및 대용량화가 이뤄질 전망임.

■저소음 변압기에 대한 연구는 한전과 현대, 효성, 일진 등이 공동으로 과제를 수행하여 국내의 저소음 변압기를 개발하였음. (154kV, 45/60MVA, 55dB(A))

■HVDC 관련해 도입 타당성과 관련된 연구사례는 있으나, 제품 개발과 관련된 연구 및 기술 개발 사례는 아직 미미 하며 LS 전선에서 HVDC용 케이블에 대한 연구는 일부 진행함.

■변압기 진단 및 수명 평가 관련해서는 IEC61850 기반의 진단 시스템 개발을 통해 SCADA와 연계한 시스템 개발 중이며, 진단 센서에 해당하는 유중 가스 분석 장치 및 부분 방전 측정 장치 국산화 연구가 중소기업 주축으로 활발하게 진행 중.

■초전도체 등의 신소재 적용 관련해서는 현재 100MVA, 154kV/22.9kV 급 송전용 초전도 변압기의 설계 완료 상태임.

○ Mold type 변압기

■권선부의 절연 매질로 에폭시 레진을 사용한 성형권으로 건식변압기를 구성하여 오일을 사용하지 않으므로 건물/공장에서 많이 사용하며, 특히 배전급 및 특수 용도로 주로 사용

-일반 배전용 변압기는 적용이 일반화 되었음(배전용 변압기는 2012년 효율 관리

기자재로 지정, 에너지이용합리화법)

■에폭시 성능향상과 절연 설계 기술 발전에 따라 송전급 몰드변압기 개발되고 있는 추세

-장점: 화재 및 폭발 위험 없음.

-단점: 고체 절연체이기 때문에 진동에 의한 파괴 및 냉각 취약함



<그림 2-57> 3상 몰드변압기

■Dry-type 변압기에 대한 기술 수요는 있으나, 철도 차량의 강한 진동 및 epoxy resin의 균열 문제 때문에 적용 기술이 거의 연구되지 않음.

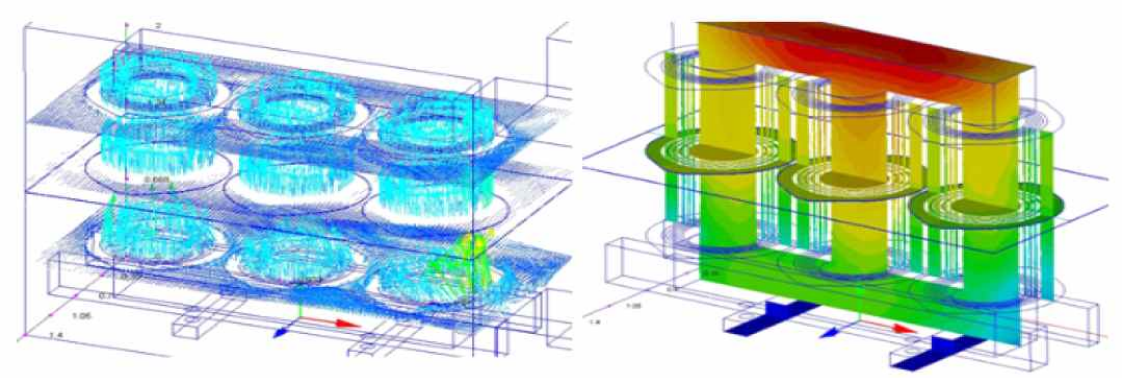
■철도 차량의 진동에 따른 균열방지 대책 기술 필요

-차량 진동과 몰드 변압기의 설치 조건에 따른 응력 및 파괴 특성을 분석 필요

-몰드 변압기 공진 모드 분석 필요

■권선이 절연물로 성형되어 권선에서 발생하는 열을 효과적으로 소산시키기 위한 냉각 기술 필요

-일반적으로 권선사이에 공기유동 통로를 확보하고 자연대류 또는 팬에 의한 강제대류로 권선을 냉각시키며, 권선내부의 온도는 권선 구성물의 두께, 발열량 및 공기 통로를 흐르는 공기의 유속에 의하여 결정됨.



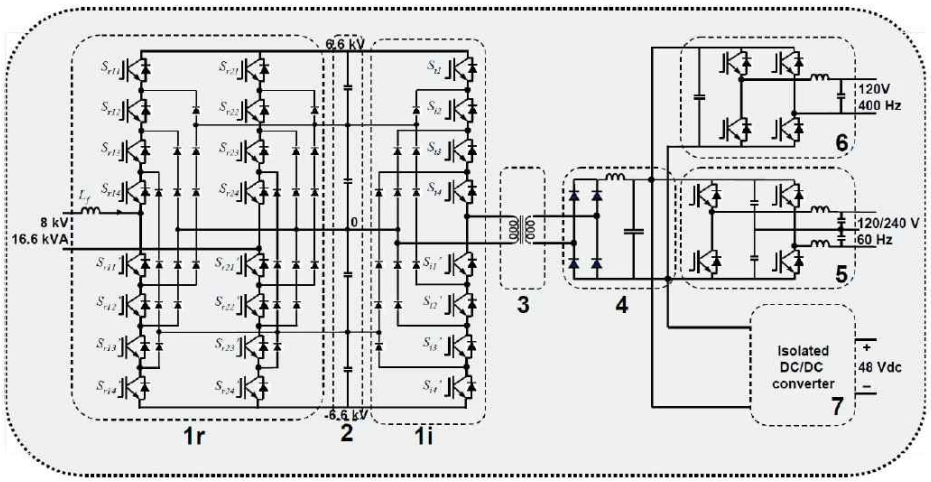
<그림 2-58> 몰드변압기의 발열 및 냉각구조

○ 반도체변압기

■반도체 변압기는 미전력연구원(EPRI)이 주관으로 Virginia 공대와 공동으로 철심과 코일로 구성되는 기존 변압기를 대체하는 반도체 변압기의 타당성을 검토하면서 시작됨

-최초의 실증모델은 Full Bridge 5레벨 정류용 컨버터 + Half Bridge 5-level Converter + 고주파 변압기 + Diode Bridge + Full Bridge Converter로 구성하여 92%의 시스템 효율을 달성

-이후, 배전용 및 철도차량용 등 연구 분야가 점차 확대 되고 있으며, 미국의 MIT에서는 2011년 10대 유망 기술 중의 하나로 선정하는 등 최근 급격히 각광 받고 있다.



<그림 2-59> 최초의 반도체변압기 구성 회로

■국내에서는 반도체 변압기에 대한 연구 및 개발은 비교적 최근에 시작되어 주로 수십 kVA 급 이하의 시스템을 주로 연구 개발하는 단계이며 이는 국외의 연구 수준에 비해 초기 단계이다.

■한국 전력 공사의 전력 연구원은 2009년부터 2013년까지 지식경제부의 에너지기술 개발 사업 중 스마트 그리드용 배전 시스템 개발 사업의 세부 과제 중 하나로 6.6kV, 30kVA 급 양방향 반도체 변압기를 개발했다.

-스마트 배전을 운영하기 위한 만능 수배전반에 장착될 배전용 변압기로 연구 수행

-직류, 교류, 고주파 전원등 다양한 전원의 출력이 가능

-순간전압강하의 보상 및 제어 등에 있어 고품질의 전력공급이 가능

-Oil Free의 기기를 구성할 수 있어 환경친화적임 등을 장점으로 개발 수행

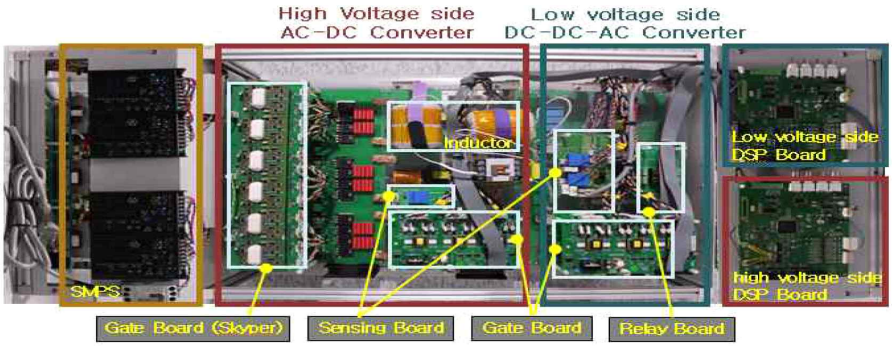
■대학에서는 명지대학교의 한병문 교수 연구팀에서 양방향 반도체 변압기 관련한 연구를 진행 중이며 2kVA 급 반도체 변압기를 제작, 시험한 경험 있음.

-스마트 배전시스템에 적용하기 위한 지능형 반도체 변압기 개발 연구 수행

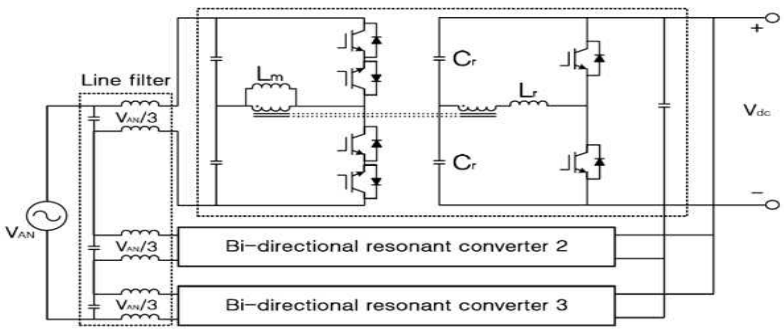


<그림 2-60> 1.9kV/127V, 2kVA 단상 반도체 변압기

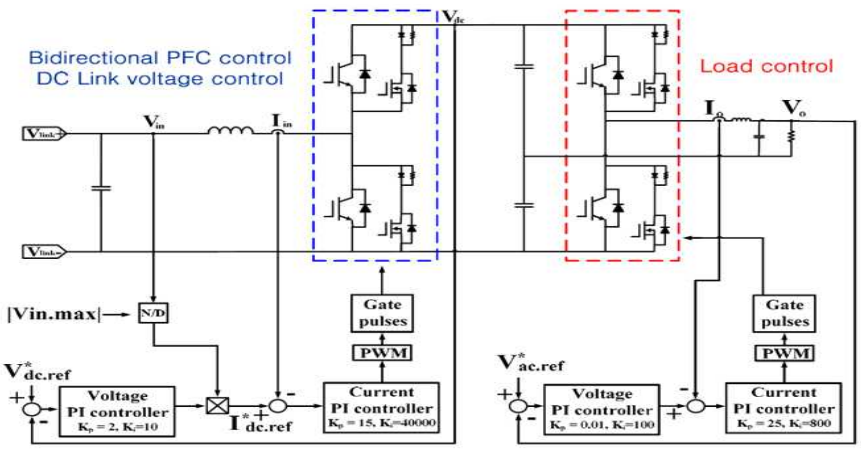
-이후, 단상 반도체 변압기 모듈 3대를 Y결선하여 3.3kV, 6kVA 3상 반도체 변압기로 구성하는 연구를 진행하였음.



<그림 2-61> 3상변압기로 구성하기 위한 단상 모듈



(a) 고압측 회로(양방향 공진형 컨버터) 구성



(b) 저압측 회로(양방향 Full-Bridge) 구성

<그림 2-62> 양방향 1.9kV/127V, 2kVA 단상 반도체 변압기 구성회로

■국내에서는 반도체변압기를 철도차량에 적용하기 위한 연구는 아직 시도되지 않았음

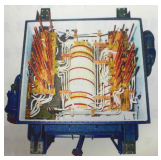
○ 철도차량용 변압기

■철도차량에는 유입식 변압기가 사용되고 있음

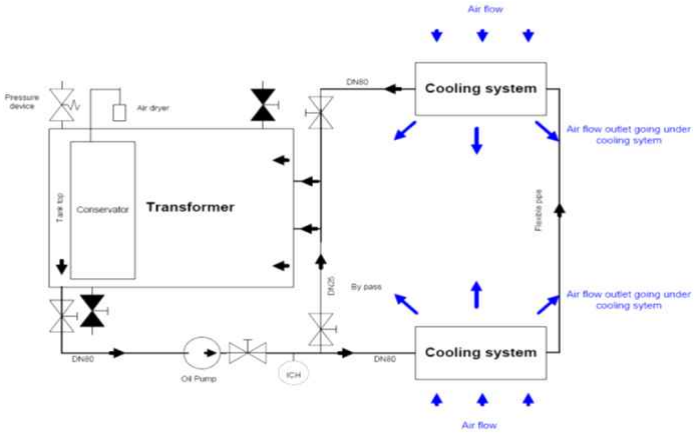
■일반 산업용 변압기와 관련된 국내의 기술수준에도 불구하고, 차량 시스템별 시스템 특성에 맞아야 하는 철도차량용 변압기는 해외에서 도입한 원설계를 변경없이 국산화 제작하는 수준의 변압기만이 사용되는 실정임.

■철도차량에 사용되는 대표적인 주변압기의 사양은 다음과 같음

<표 2-14> 주요 차량별 주변압기 특성

	전기기관차	고속열차(산천)	간선형 전기동차	통근형 도시철도
				
용량	6,316 kVA	6,200 kVA	2,830 kVA	1,860 kVA
형식	유입형 강제송유 풍냉식			
권선구조	2차 4권선 3차 1권선 4차 1권선	2차 4권선 3차 4권선	2차 4권선 3차 2권선	2차 4권선 3차 1권선 4차 1권선
탑재수량	1대	2대/편성(10량)	2대/편성(6량)	3대/편성(10량)
동력방식	동력집중	동력집중	분산형	분산형
중량	8,300 kg	7,900 kg	3,800 kg	3,400 kg
추진장치 연결	컨버터/인버터(3.1톤) × 2대	컨버터/인버터(4톤) × 2대	컨버터/인버터(2.1톤) × 2대	컨버터/인버터(2.4톤) × 2대
주변압기 외형				
비고 권선구조에서 2차권선의 수량은 추진장치(모터블럭 혹은 컨버터/인버터)의 구조에 따라 정해지며 2개의 권선이 1조가 되어 추진장치에 전원을 공급하고, 3차권선 및 4차권선은 보조회로에 전원을 공급함.				

■표에서 알 수 있는 바와 같이 철도차량용 주변압기는 차량에 형식에 관계없이 유입형 강제송유 풍냉식의 변압기가 사용되고 있으며, 편성당 추진시스템의 설치수량 및 동력 집중형/분산형 구조에 따라 변압기의 용량만을 달리하고 있다. 유입형 강제송유 풍냉식 변압기의 냉각계통 구조는 다음 그림과 같다.



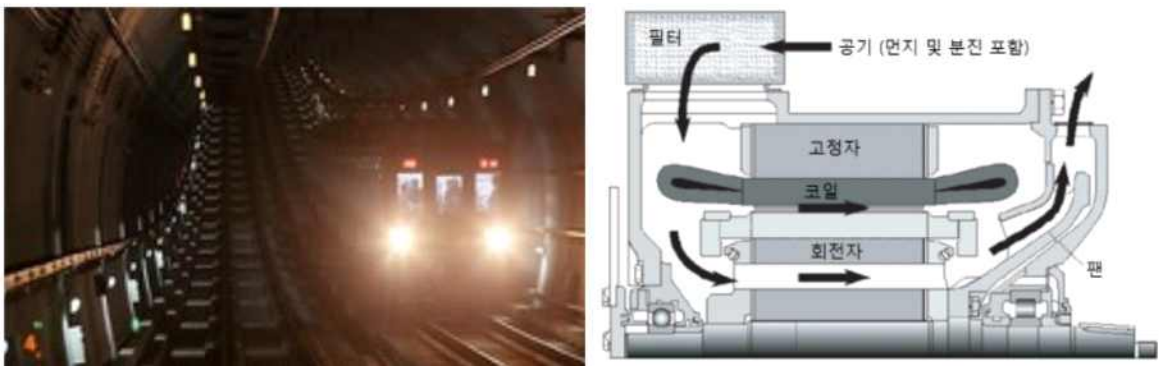
<그림 2-63> 유입형 강제송유 풍냉식 변압기의
냉각 계통도 (간선형 전기동차)

나. 국내 전동기 기술현황

○ 1974년 지하철 개통 시 저항제어방식의 차량이 일본 히타치 전공(日立)에서 제작되어 도입되었으며, 1977년부터 대우중공업에서 조립하기 시작하였고 일부 부품은 일본 미츠비시(三菱)의 제품을 채용하였음. 견인전동기로는 DC 직권전동기를 사용함

○ 국내의 전동차량의 기술수준은 1970년대 직류직권전동기 단계, 1980년대 유도전동기 단계로 발전하여 약 30년 동안 유도전동기 단계에서 머물러 있음

○ 기존 유도전동기는 효율이 최대 92%로 낮고, 외부 공기로 냉각하는 방식으로 이물질로 인한 유지보수 비용이 많이 들어가는 구조로 되어 있어 개선 필요



<그림 2-64> 지하 먼지 및 분진의 외부공기 흡입 냉각

○ 전력전자 및 최신 제어기술의 발전에 따라 소형, 경량화 및 고효율화를 위하여 기존의 유도 전동기에서 효율과 출력 밀도가 우수한 영구자석 동기전동기로 대체하는 연구가 활발히 진행 중임

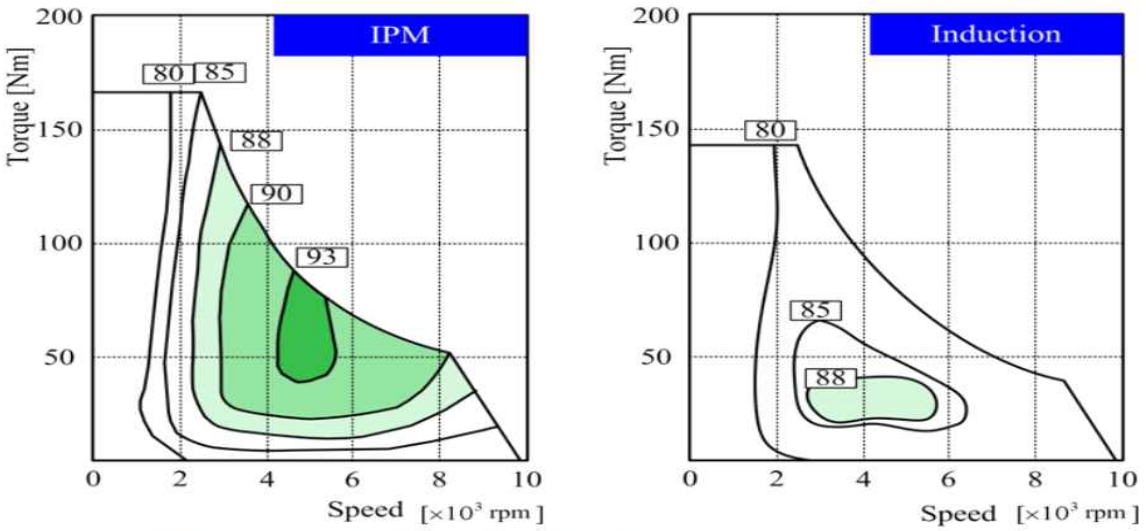
○ 고속철도의 경우, KTX는 권선형 동기전동기를 채용하였으며, 한국형 고속열차 KTX Ⅱ는 유도전동기를 채용함

○ 한국형 초고속열차 HEMU는 1C4M의 유도전동기와 1C1M의 영구자석 동기전동기를 병행하여 채용하고 있으나, 국내에서는 철도차량용 추진시스템의 고출력밀도화 기술에 대한 구체적인 연구실적은 없음

○ 오히려 고출력밀도 추진시스템 핵심요소기술에 대한 연구는 전기자동차를 중심으로 중점 수행되고 있음

○ 일례로 현대자동차에서 하이브리드 자동차 견인용 모터로서 일본에서 도입한 영구자석 매

입형 동기전동기를 적용하여 고효율 운전을 위해 개발을 진행 중에 있으나 그 외의 분야에서 적용은 거의 전무한 상태임



<그림 2-65> 영구자석 동기전동기와 유도 전동기의 운전 효율비교

※ 출처 : EV50 (Toyota 기술자료)

○ 기존의 전기철도 차량에서 견인전동기 구동력은 플렉시블 커플링과 감속기어를 통하여 차륜에 전달되며 견인전동기의 토크는 기어비만큼 배가될 수 있음. 근래에는 기존의 AC 비동기 모터를 대신할 영구자석 동기전동기가 많이 개발되고 있는데 이는 최근 수십년간 급속한 전력전자기술 발달을 통해 가변전압, 가변주파수 인버터를 사용하여 교류전동기의 가변속 구동시스템을 용이하게 구현하고, 희토류 영구자석 재료 개발을 통해 좀 더 가볍고 효율이 높은 영구자석 동기전동기를 만드는 기술적 발전성과가 있었기 때문임

○ 영구자석 동기전동기는 높은 토크 특성으로 인해 고효율화 전동기의 가장 유력한 후보임. 영구자석 회전자가 자계의 회전과 동기된 속도로 회전하기 때문에 동기라고 부르며, 작은 부피와 중량으로 강력한 자계를 형성하기 위해 영구자석재료로서 희토류 금속의 하나인 Nd-Fe-B를 사용하고 있음

○ 회전자의 형식에 따라 내측 회전자 형식과 외측회전자 형식으로 구분할 수 있는데, 내측 회전자 형식은 (a)와 같이 내측의 회전자가 차륜에 직결되어 있고 외곽의 고정자가 베어링을 통하여 회전자를 지지하고 있음. 외측 회전자 형식은 (b)와 같이 차축이 고정되고 차륜은 베어링을 통하여 차축 주위를 회전할 수 있는 구조로 되어있음. 이 때 외측의 회전자는 차륜에 직결되며 내측의 고정자는 차축과 함께 고정됨.

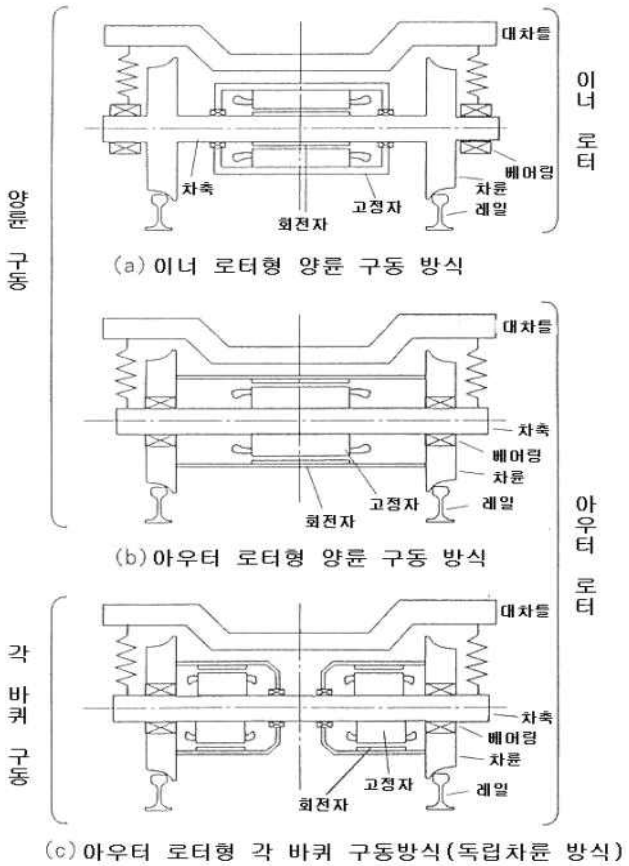


그림1. 차륜 일체형 주전동기의 기본구성(대표 예)
Fig.1 Typical constructions of the direct drive traction motor

<그림 2-66> 이너로터 및 아우터 로터 방식

○ 영구자석 동기전동기의 장점은 플렉시블 커플링이 없기 때문에 유지보수를 경감할 수 있으며, 작은 부피와 외부 수냉각을 통해 열제거를 할 수 있으며 이는 먼지유입을 막으므로 유지보수에 강점을 가짐.

○ 현대자동차, 효성중공업, LG 이노텍 등을 중심으로 자동차 견인용 영구자석전동기의 개발이 이루어지고 있으나, 대부분 내전형(Inner rotor type)의 영구자석 매입형 동기전동기로서 희토류 영구자석이 주 토크발생원이므로 가격이 비싸고 낮은 온도에서의 영구자석 성능저하 및 고속에서의 높은 역기전력에 의한 제어성능 저하의 단점을 가지고 있음.

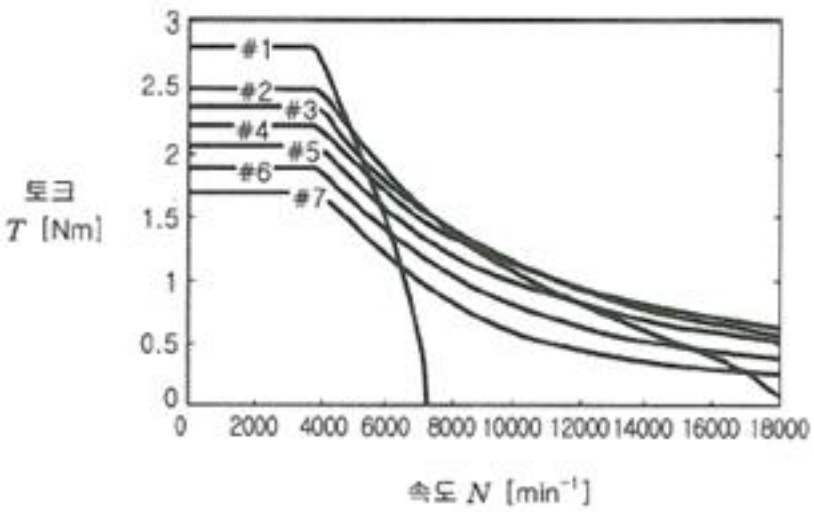


<그림 2-67> Direct Drive In-wheel 전동기
(해외)



<그림 2-68> 국내 NEV용 In-wheel
PMSM 제작 예

○ 영구자석 매입형 동기전동기의 경우 높은 출력을 위하여 회전자에 희토류 자석을 사용하게 되어 전동기의 회전 시 발생하는 역기전력이 입력전압보다 높아지는 경우가 발생함. 출력단의 전압이 입력단의 전압보다 높은 경우 전동기가 발전기로 동작하게 되므로 출력 토크의 발생이 어려워짐. 따라서 전동기에서 발생하는 역기전력을 제한하기 위한 약계자 제어 방식을 이용하여 전동기의 속도-토크 특성을 그림 2-69의 #1에서 #2~#7과 같은 형태의 곡선으로 제어하여야 함.

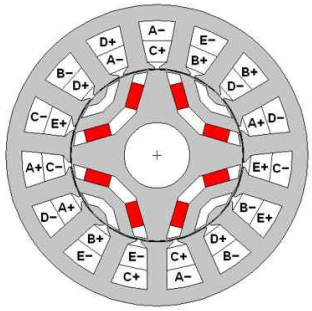


<그림 2-69> 영구자석 동기전동기 속도-토크 특성 곡선

○ 영구자석 매입형 전동기는 회전자에 많은 양의 희토류 자석을 사용하므로 가장 많이 사용되고 있는 네오디뮴 자석의 단점인 고온 감자의 문제에 의하여 희토류 자석을 적용한 영구자석 매입형 전동기는 최고 사용온도와 전동기 내부에서 발생하는 열을 고려하여 설계하지 않으면 크게 감자가 일어나게 되어 영구자석의 자속이 원래대로 돌아오지 않는 문제가 발생할 수 있다.

○ 희토류 저감형 동기전동기는 최근의 희토류 영구자석 가격의 급격한 상승으로 인해 기존의 매입형 영구자석 동기전동기를 대체하는 형태의 전동기로 개발되고 있으며 10kW 미만급의 경우, 단위 부피당 토크를 유도전동기에 비하여 4% ~ 5% 가량 크다는 장점이 있어, LG전자, 동부대우전자, 현대자동차, 전자부품연구원 등을 중심으로 소형가전 혹은 자동차 등에 적용하기 위한 연구가 이루어지고 있으며, 에어컨 실외기 팬(LG전자), 정속 런닝머신(두비원(주))등에서 개발 적용한 사례가 있다. 또한 영구자석형 동기전동기에 비하여 고속 영역에서의 역기전력이 낮다는 장점이 있어 특히 고속회전이 필요한 분야에서 영구자석에 의한 역기전력을 낮추기 위한 대안으로 개발되고 있다.

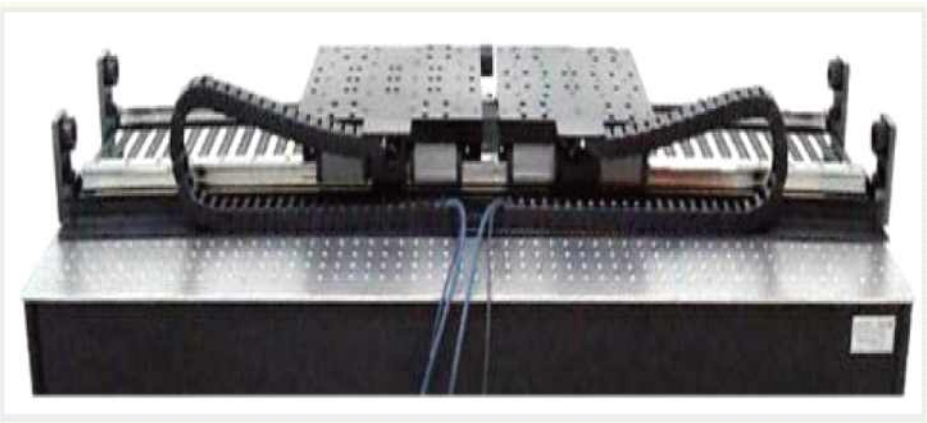
사양	유도전동기	IPMSM	PMa-SynRM
Torque Source	Field	영구자석	영구자석 + Reluctance Torque
영구자석 부피	0%	100%	60%
효율	약 90%	약 96%	약 96%
Back-EMF	낮음	높음	낮음
전동기 부피	100%	6~70%	6~70%
장점	쉬운 설계와 제어 낮은 가격	작은 부피 높은 출력밀도	쉬운 고속제어 높은 출력밀도
단점	큰 부피 낮은 효율	높은 가격 고속제어 어려움	설계 어려움



< 5상 PMaSynRM 구조 >

<그림 2-70> 영구자석 동기전동기 특성

○ 2012년 전기연구원에서 희토류 저감형 이중돌극형 선형전동기를 개발하여 정밀위치제어응용 시스템, 직접구동 장거리 반송시스템, 자동화장비, 반도체/디스플레이 제조 장비의 이송용 구동기, 공작기계, 검사장비의 이송계, 로봇 등 다방면에 걸쳐 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있으며 희토류 영구자석을 40% 저감하였다.



<그림 2-71> 이중돌극형 영구자석 선형전동기 시제품(전기연구원, 2012)

다. 국내 인버터 기술동향

<표 2-15> 국내에 운행중인 전동차의 인버터 특성 및 현황

전동차 종류	전원 사양	인버터 사양	전동기 사양	도입년도	비고
서울 메트로 1호선	DC 1,500 AC 25,000 (겸용)	직병렬조합 저항제어	직류 전동기	1974~1978, 1989, 2004	
	DC 1,500 AC 25,000 (겸용)	GTO-VVVF	3상 교류 유도 전동기	1998~1999, 2002	
서울 메트로 2호선	DC 1,500	사이리스터 초퍼제어	직류 전동기	1983~1985, 1990~1994	
		직병렬조합 저항제어		1980, 1982, 1990, 1993	
	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2004~2008	2017~2018년 (3차도입 예정)
서울 메트로 3호선	DC 1,500	사이리스터 초퍼제어	직류 전동기	1984~1993	
	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2009~2010	
서울 메트로 4호선	DC 1,500 AC 25,000 (겸용)	GTO-VVVF IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	1993~1994	GTO에서 IGBT로 교체 중
서울도시 철도공사 5호선	DC 1,500	GTO-VVVF	3상 교류 유도 전동기	1994~1996	GTO 사용 (501,503~576 편성)
		IGBT-VVVF			2012년 502편성 IGBT 변경
서울도시 철도공사 6호선	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	1999~2000	609편성 국내 IGBT 소자 탑재, 잦은 고장 기존 소자 환원
서울도시 철도공사 7호선	DC 1,500	GTO-VVVF	3상 교류 유도 전동기	1994~1996, 1999~2000, 2010~2012	GTO사용 (701~717편성)
		IGBT-VVVF			IGBT사용 (718~728편성)

서울도시 철도공사 8호선	DC 1,500	GTO-VVVF	3상 교류 유도 전동기	1995~1996, 1999	GTO사용 (801~815편성)
		IGBT-VVVF			IGBT사용 (816~822편성)
서울 메트로 9호선	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2008, 2011, 2016	
공항철도 1호선	AC 25,000	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2006, 2009	
공항철도 2호선	AC 25,000	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2005~2006, 2009~2010	
신분당선	AC 25,000	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2011, 2015	
인천교통 공사 1호선	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	1998~1999, 2007~2008	101~104, 120편성 IGBT 교체
인천교통 공사 2호선	DC 750	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2014	
부산교통 공사 1호선	DC 1,500	사이리스터 초퍼제어	직류 전동기	1984~1997	139, 125, 142, 131, 134, 133, 121, 145 편성 IGBT로 교체
		IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2015~2016	2018년 101~105편성 교체 예정, 2027년 까지 106~129편성 교체 예정
부산교통 공사 2호선	DC 1,500	GTO-VVVF	3상 교류 유도 전동기	1997~2002	201~214편성 IGBT로 교체 완료
		IGBT-VVVF			
부산교통 공사 3호선	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2005	
부산교통 공사 4호선	DC 750	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2008~2009	

대구도시 철도공사 1호선	DC 1,500	GTO-VVVF	3상 교류 유도 전동기	1997	GTO에서 IGBT로 교체 중
대구도시 철도공사 2호선	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2004~2005	
대구도시 철도공사 3호선	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2015	
대전도시 철도공사 1호선	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2004~2005	
광주도시 철도공사 1호선	DC 1,500	IGBT-VVVF	3상 교류 유도 전동기	2003, 2007	

○ 1983년 일본의 미츠비시(三菱) 기술을 사용한 초퍼제어방식의 차량이 운행됨. 기존의 저항방식과는 달리 사이리스터 소자를 이용하여 DC 직권전동기를 구동하며, 가감속도의 원활화와 소비전력이 절감되었음. 이 차량과 비슷한 외관을 가졌으나 기계적으로는 약간 다른 유럽의 GEC Chopper방식의 차량이 1985년부터 운행중이어서 유럽식의 쵸퍼방식과 일본식의 쵸퍼방식이 2호선에 운행 중

○ 1984, 1985년 GEC 초퍼제어방식의 차량이 3, 4호선에 도입됨. 1993년부터 시작해서 4호선의 VVVF차량의 도입과 과천, 안산선과의 직통운전으로 인해 필요 없어진 DC차량인 GEC 차량을 2, 3호선으로 분산 이동시켰음. 광폭확대차량이라고도 불리는 이 차량은 기존 차량보다 폭이 약간 넓은 것이 특징이며, 현재는 2, 3호선에서 운행 중

○ 1993년 과천 4호선을 시작으로 적용되기 시작한 VVVF 인버터 제어방식은 현재 대부분의 전동차 제어 방식으로 적용되었으며 따라서 농형유도전동기를 사용함. ‘93년 이후 제어방식은 동일하나 표준전동차 및 광주지하철 전동차 차체가 알루미늄으로 제작되어 운행되고 있음

○ 국내 전동차의 GTO 사이리스터 인버터는 전력효율 향상을 위하여 IGBT로 교체중이며 모두 2레벨 구조의 토폴로지를 사용하고 있음. 일본 및 유럽에서 적용되고 있는 3레벨 인버터는 스위칭 소자의 정격전압을 낮추어 사용하므로 인버터의 전압부하를 감소할 수 있는 구조임. 그러나 3레벨 인버터는 스위칭 소자의 수가 증가하므로 고장율을 낮추는데 불리함.

○ GTO 또는 사이리스터 인버터는 전류형 스위칭 소자를 사용한 인버터로서 전압형 스위칭 소자에 비하여 10배 이상 스위칭 속도가 낮으므로 철도 추진시스템에서 고속

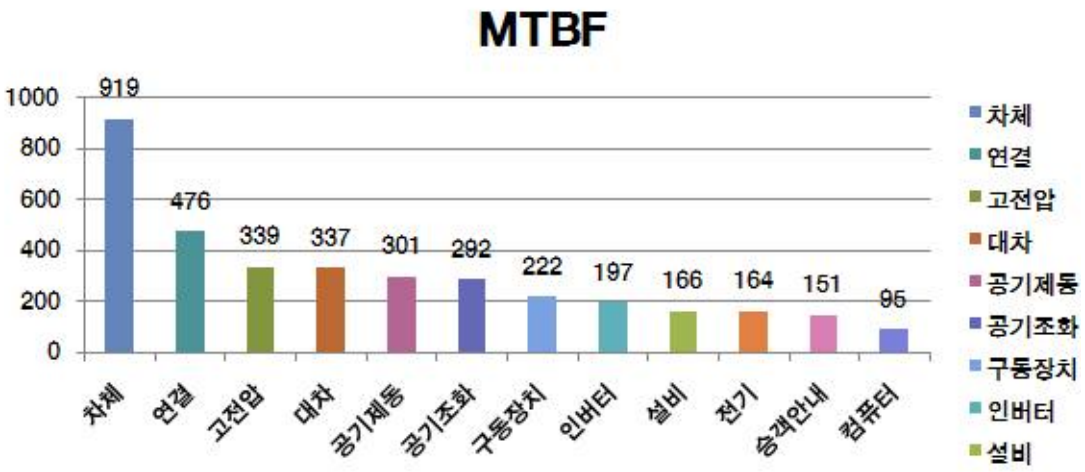
회전 시 속도 응답 튿성이 낮은 단점이 있으므로 최근의 추진용 인버터는 대부분 IGBT를 적용하고 있다.

<표 2-16> 전동차용 전력소자 비교분석

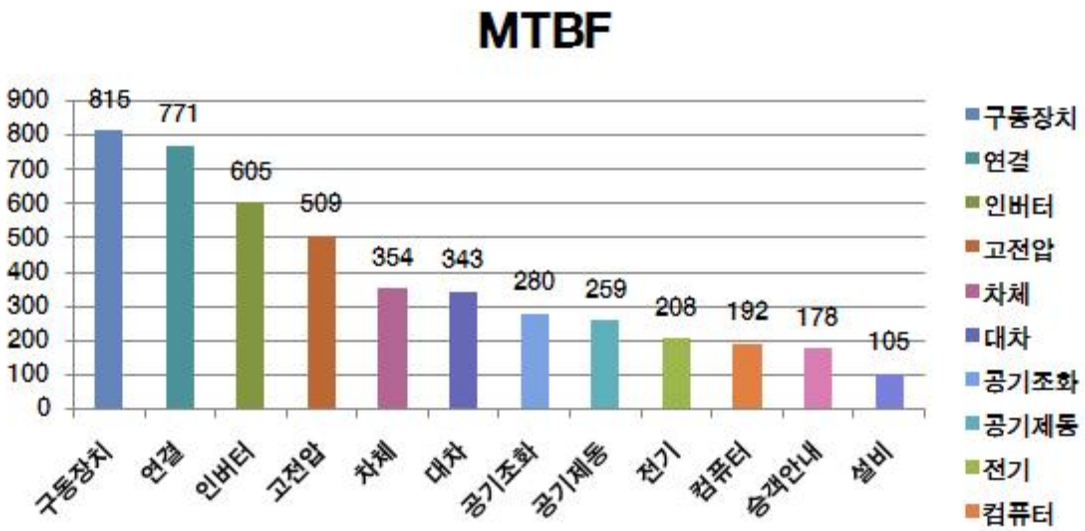
스위칭 소자	전류형		전압형	
	GTO (thyristor)	SCR (thyristor)	MOSFET	IGBT
적용 용량	초대용량 (1MW 이상)	대용량	소용량 (5KW 이하)	중대용량 (1MW 미만)
스위칭 속도	1KHz 이하	수백 Hz 이하	15KHz 이상	15kHz 이하
장점	대전류, 고전압에 유리	전류형 인버터에 주로 사용	고속 스위칭이 가능	대전류, 고전압 대응 가능 빠른 스위칭 속도와 단락 보호회로 사용 가능
단점	스위칭 속도 낮음	ON 가능 OFF 불가, 단락 시 파괴로 보호회로 사용 불가	용량이 작음	

○ 서울 도시철도공사에서 운영 중인 5, 6, 7, 8호선 전동차의 컴퓨터, 인버터, 고전압, 승객안내, 공기제동, 전기장치, 공기조화, 구동장치, 대차, 차체, 설비 등 최근 10년간(‘02～’ 11)에 발생한 20만 여건의 고장 데이터를 활용하여 적합분포와 모수를 추정하고 이를 바탕으로 신뢰도, 고장률과 MTBF(Mean Time Between Failure)를 계산하였다. MTBF 산출시 사용한 Time은 일(date)수이며 MTBF의 숫자는 고장발생 예상 경과일임.

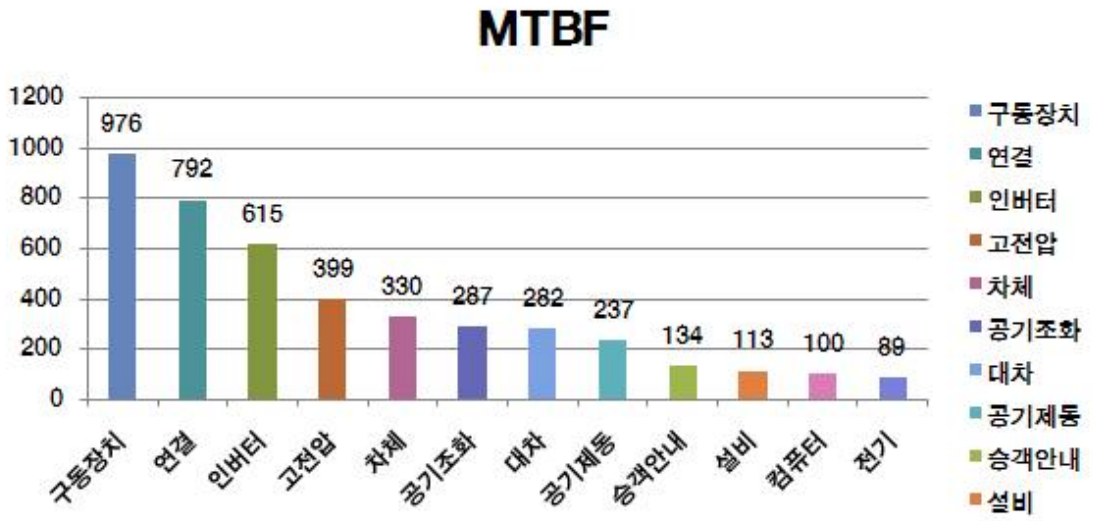
○ 서울 도시철도공사에서 운영 중인 5, 6, 7, 8호선 전동차의 컴퓨터, 인버터, 고전압, 승객안내, 공기제동, 전기장치, 공기조화, 구동장치, 대차, 차체, 설비 등 최근 10년간(‘02～’ 11)에 발생한 20만 여건의 고장 데이터를 활용하여 적합분포와 모수를 추정하고 이를 바탕으로 신뢰도, 고장률과 MTBF(Mean Time Between Failure)를 계산하였다. MTBF 산출시 사용한 Time은 일(date)수이며 MTBF의 숫자는 고장발생 예상 경과일임.



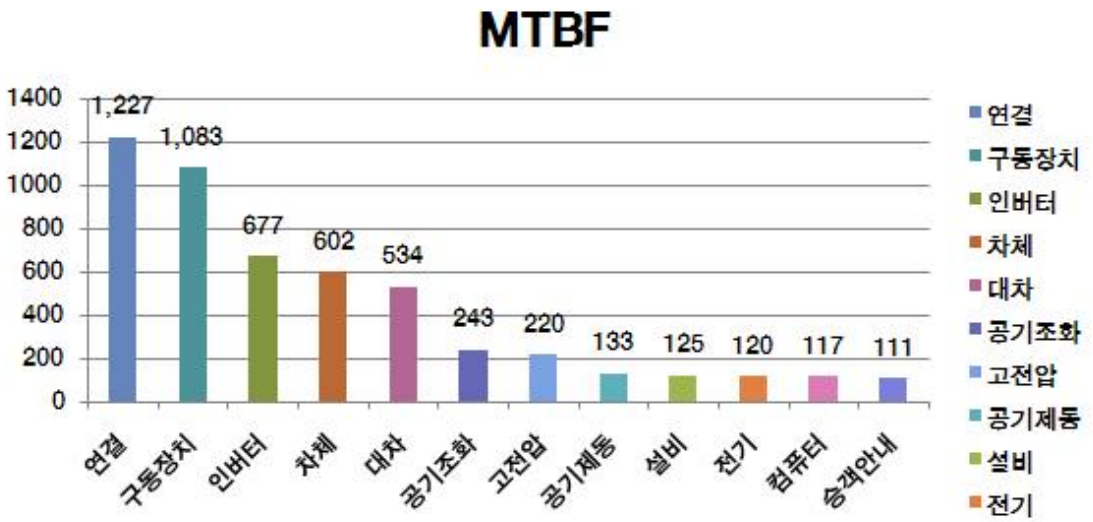
<그림 2-72> 5호선 주요장치별 MTBF Graph



<그림 2-73> 6호선 주요장치별 MTBF Graph



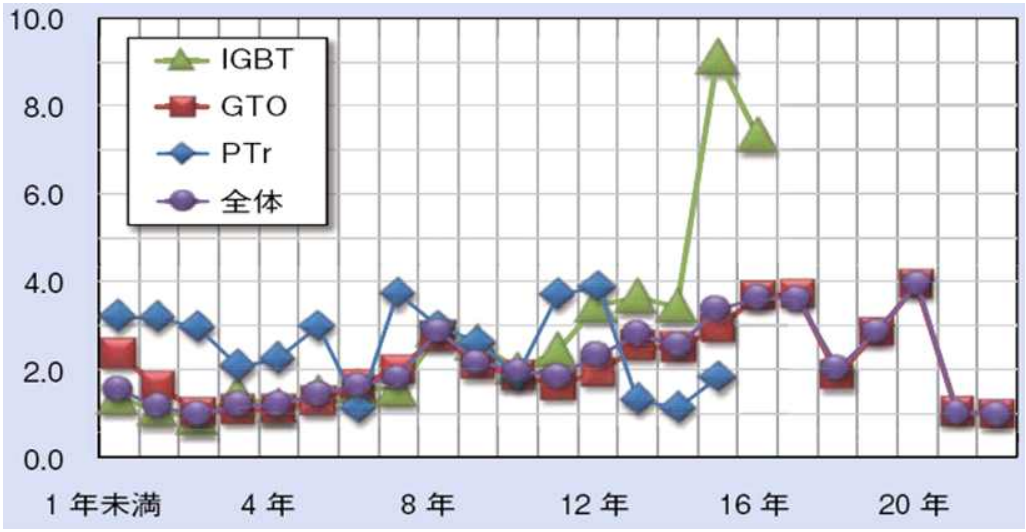
<그림 2-74> 7호선 주요장치별 MTBF Graph



<그림 2-75> 8호선 주요장치별 MTBF Graph

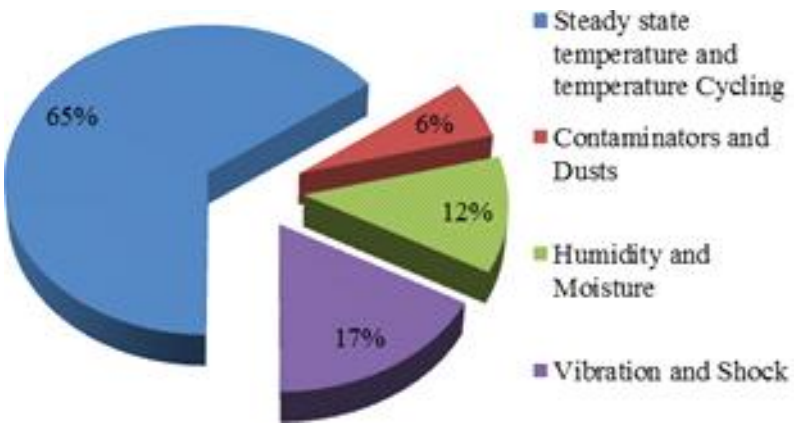
○ 서울 도시철도공사의 5호선 전동차의 인버터는 GTO이며 5호선의 인버터는 1994~1995년에 도입되어 20년 가까이 사용되어 197일의 고장간격을 나타내어 2012년 전량 IGBT로 교체되었으며 6호선 전동차는 1999~2000년에 적용된 IGBT 소자를 사용하여 605일의 평균 고장간격을 갖는다. 7, 8호선 전동차는 1999년에 IGBT로 도입되어 각각 615일과 677일의 고장간격을 나타냄.

○ 현재 국내 전동차에 적용되고 있는 전동차는 GTO에서 IGBT로 대체되고 있으며 평균적으로 2년 정도의 고장 주기를 가짐. 3상 IGBT 인버터를 5상으로 대체할 경우 약 40%의 부하전류가 감소하며 1상의 단락고장 발생 시에도 3상으로 전환하여 구동이 가능하므로 기대수명이 증가하게 되어 고장간격이 3년 이상으로 증가함.



<그림 2-76> 스위칭 모듈별 기대 수명

○ 도시철도 전동차에 사용되는 GTO의 기대 수명은 20년 이상으로서 고장률이 4% 이하로 유지되나 최근 전력효율 향상 및 제어성능 향상을 위해 대체되고 있는 IGBT의 기대수명은 15년 이하이다. 그림 2-76에서 보이는 바와 같이 IGBT 소자는 14년 이후 급격히 고장률이 증가하여 16년 이상 사용이 불가능 함.



<그림 2-77> IGBT의 고장원인

○ IGBT의 고장원인은 정격 출력에서의 온도 상승과 부하 변동에 따른 온도 사이클링에 따른 열화가 주 원인이며 먼지나 습도, 진동과 충격에 의한 고장이 부가적인 원인이다. 따라서 IGBT의 고장율 감소를 위해서는 정격전류의 감소에 의한 정격 출력에서의 온도를 낮추는 방안이 필요하며 부하 변동에 따른 스위칭 손실을 낮추어야 하며 3상과 5상 인버터의 정격전류를 비교하였을 때 약 40%의 정격전류가 감소하므로 정격 상태에서의 부하온도를 낮추어 IGBT의 고장률을 현저히 저감할 수 있음.

○ 고속철도의 경우, KTX는 GTO Thyristor 인버터를 채용하여 전류형 대전류 스위칭

소자를 적용하였으며, 한국형 고속열차 KTX Ⅱ는 IGBT 소자 방식의 인버터를 채용하여 전압형 대전류 스위칭 소자를 적용하였음

○ 한국형 초고속열차 HEMU는 IGBT 소자 방식의 인버터를 채용하였으나. 국내에서는 철도차량용 추진시스템의 안전성 향상을 위한 인버터 구조 및 제어기술에 대한 구체적인 연구실적은 없음

○ 5상 이상의 다상 추진시스템은 주로 저소음과 고신뢰성이 요구되는 선박용 추진시스템과 저소음 및 고토크가 요구되는 잠수함 무기체계에 적용되고 있다. 국내의 해군에서 개발한 어뢰용 7상 추진용 전동기를 개발하여 적용중이며, 선박 추진용 36상 및 12상 영구자석형 동기전동기와 인버터 추진시스템을 적용하여 사용중이다.



〈그림 2-78〉 선박추진용 36상, 12상 추진시스템



〈그림 2-79〉 어뢰의 추진용 7상 추진시스템

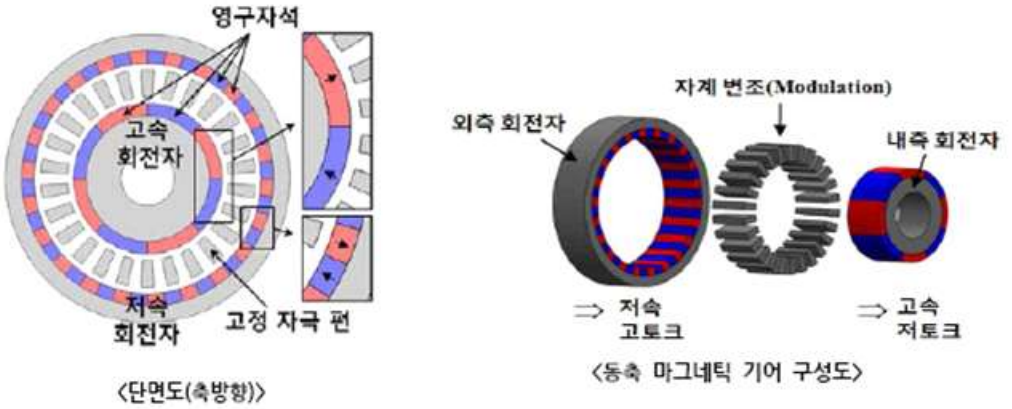
라. 국내 첨단 감속구동장치 분야 기술동향

□ 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 동향

○ 국내에서는 마그네틱 기어나 영구자석 동기전동기에 대한 개별적인 연구는 다수 진행되었으나, 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기에 대한 연구 경험은 없음

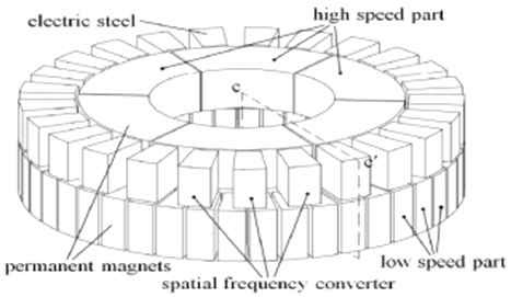
○ 마그네틱 기어 관련 연구는 주로 대학에서 진행이 되었으며, 실모델 제작까지 이어진 연구는 적으며, 대부분이 설계단계까지 진행이 되었음

○ 마그네틱 기어 관련 국가 R&D는 2012~2013년 교육과학기술부 발주로 “고출력 저진동 풍력발전기용 마그네틱 기어 개발” 과제를 동아대학교가 수행하면서 1kW급 동축 마그네틱 기어를 개발함. 토크 전달율과 동력전달 성능을 향상시키기 위한 동력전달 메커니즘 분석 및 자기에너지 최소화를 수행하고, 핵심 요소부품으로서 기어가 가져야 할 기계적 강성, 응력분포, 소음 및 진동과 같은 기계 구조 설계 및 동적 성능 최적화를 수행하고, 전체적인 System Integration을 통한 전기-기계적인 특성 실험, 분석 및 평가를 수행함.

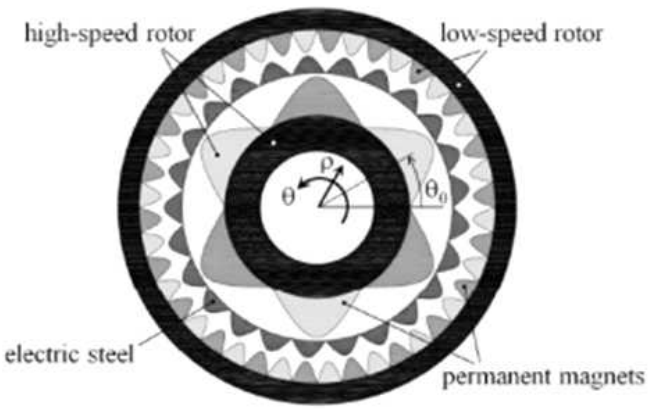


〈그림 2-80〉 1kW급 마그네틱 기어 단면도 및 구성도 (동아대학교, 2013)

○ 또한 2013~2016년 교육과학기술부 발주로 “고기어비/고전달토크 구현 가능 마그네틱 기어” 과제를 한국교통대학교가 수행하면서 모듈레이터 개념을 이용한 비접촉식 마그네트 기어의 개념 정립, 이론 전개, 분석, 최적화 그리고 하드웨어 구현과 검증을 수행하였음. 레디알형 운동 모드의 축형과 선형 모드로의 확장을 수행하고, 다단 기어/병렬형 기어 방식에의 응용을 통한 높은 전달토크밀도를 실현함

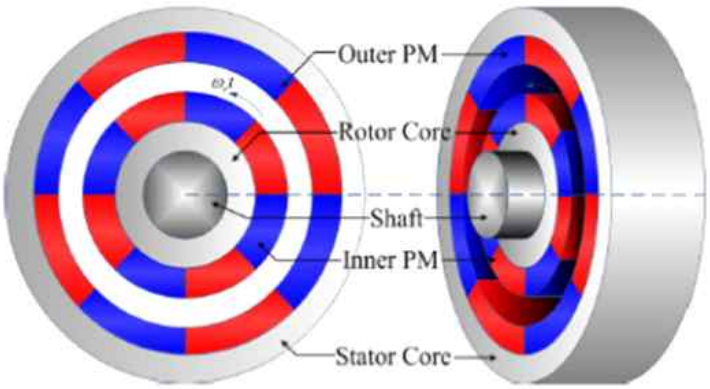


〈그림 2-81〉 마그네트 구조 변화 마그
네트 기어의 토폴로지

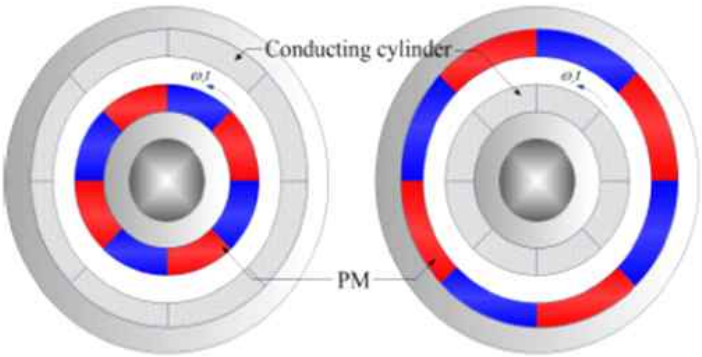


〈그림 2-82〉 공간 변조기의 주파수에 의한 마그네트
셔터 기어의 단면 구조

○ 마지막으로, 2014~2017년 미래창조과학부 발주로 “고속 영구자석 전동기의 비접촉 기계부하 결합을 위한 마그네틱 디바이스 설계기술 개발” 과제를 충남대학교가 수행하면서 고속회전용 영구자석 자기 커플링 기술을 개발 중임. 영구자석형 자기커플링의 전자기 특성해석과 설계기법을 확보 후 초고속 영구자석 회전시스템용 자기 커플링 설계/제작하고, 초고속 회전시스템 적용/성능평가를 수행 중에 있음



<그림 2-83> 반경방향 영구자석을 갖는 자기커플링의 구조



<그림 2-84> 와전류가 발생하는 자기커플링의 해석 모델

○ 마그네틱 기어 기능이 포함되는 견인용 영구자석 동기전동기 기술은 전기자동차 분야에서 많은 연구가 이루어졌으며, 철도차량 견인용 영구자석 동기전동기의 국내 개발 사례도 다수 존재함

○ 철도차량 견인용 영구자석 동기전동기는 최근 한국철도기술연구원과 한양대학교에서 연구 진행을 하였으며, 경전철용 110kW급부터 고속철도용 410kW급까지 다양한 용량의 동기전동기 개발을 수행함. 또한 냉각방식도 일반적인 공랭식부터 수냉식까지 적용 기술을 보유하고 있음.

○ 견인용 영구자석 동기전동기의 국내 학술 연구 흐름을 살펴보면, 과거에는 전동기의 최적 설계에 치우쳐 있었지만, 최근에는 냉각방식 연구 및 최적 제어알고리즘 연구가 이루어지고 있으며, 희토류 가격의 불안정성을 고려하여 희토류 저감 또는 Free

한 동기전동기의 연구도 이루어지고 있음.

○ 국내에서는 마그네틱 기어나 영구자석 동기전동기에 대한 개별적인 학술 연구는 다수 진행되었지만. 마그네틱 기어 일체형 동기전동기에 대한 학술적 연구 실적은 없는 상황임. 마그네틱 기어 관련 학술 연구는 주로 대학에서 진행이 되었으며, 대부분이 설계와 관련된 연구임

○ 마그네틱 기어 관련 학술 연구는 토크 전달율과 동력전달 성능을 향상시키기 위한 동력전달 메커니즘 분석 및 자기에너지 최소화 연구, 핵심 요소부품으로서 기어가 가져야 할 기계적 강성, 응력분포, 소음 및 진동과 같은 기계 구조 설계 및 동적 성능 최적화 연구 및 전체적인 System Integration을 통한 전기-기계적인 특성 실험, 분석 및 평가 연구 등이 수행되고 있음.

○ 대표적으로 2014년도에 충남대학교에서 발표한 논문에서는 이차원 유한요소해석을 이용해 평행방향과 할박 자화 마그네틱 기어의 기어비를 선정하고, 내측과 외측 영구자석 두께, 철심 각도, 할박 세그먼트 개수, 내측과 외측 영구자석 자화 패턴과 같은 설계 변수에 따라 토크 해석을 수행하였음 [1]

○ 전기자동차나 철도차량 견인용 영구자석 동기전동기 관련 학술 연구는 국내에서 활발히 진행 중이라고 볼 수 있으며, 특별히 전기자동차 분야에서 영구자석 동기전동기 기술 관련 많은 R&D 가 이루어지고 있기 때문에 학술 연구도 이에 부응하여 활발히 진행되고 있음.

<표 2-17> 철도차량 견인용 영구자석 동기전동기 국내 개발 현황

2011년	차세대 전동차 기술개발사업 (한국철도기술연구원, 국가 R&D)	영구자석 동기전동기 (200kW급 IPMSM, Direct Drive)
2012년	차세대고속철도 기술개발사업 (한국철도기술연구원, 국가 R&D)	영구자석 동기전동기 (410kW급 IPMSM)
2013년 ~2015년	도시철도차량 영구자석식 견인전동기 개발 (한양대학교, 국가 R&D)	영구자석 동기전동기 (210kW급 IPMSM, 공랭식)
2014년	녹색열차 구현을 위한 철도차량시스템 경량화 연구 (한국철도기술연구원, 주요사업)	영구자석 동기전동기 (210kW급 IPMSM, 수냉각방식)



ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 24(5), 152-159 (2014) http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2014.24.5.152

Comparison and Torque Analysis for Magnetic Gear with Parallel/Halbach Magnetized PMs according to Design Parameters

Sang-A Hong and Jang-Young Choi*
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received 19 August 2014, Received in final form 2 October 2014, Accepted 2 October 2014)

Magnetic gear can transmit torque without any mechanical contact among rotational parts in rotating mechanical systems. Especially, magnetic gear using rare-earth PMs can be used in variety of industry application because of their great power efficiency. Thus, recent trend shows that magnetic gear can be replaced with common mechanical gear. This paper deals with comparison and torque analysis for magnetic gears with parallel and Halbach magnetization according to various design parameters. Using a two dimensional (2D) finite element (FE) analysis, suitable gear ratio is selected. We performed analysis for magnetically connected inner and outer torque with respect to various design parameters including thickness of inner and outer PM, steel pole angle, segments of Halbach array and magnetization pattern of inner and outer PMs. Finally, we can obtain improved design model having parallel and Halbach magnetization with larger torque, compared with an initial design model.
Keywords : magnetic gear, parallel, Halbach, two dimensional finite element analysis.

평행방향/할박 자화 영구자석을 갖는 마그네틱 기어의 설계변수에 따른 토크특성 해석 및 비교

홍상아 · 최장영*
충남대학교 전기공학과, 대전시 유성구 궁동, 305-764

(2014년 8월 19일 받음, 2014년 10월 2일 최종수정본 받음, 2014년 10월 2일 게재확정)

마그네틱 기어는 두 개 이상의 분리된 장치들 사이에서 기계적인 접촉 없이 토크를 전송한다. 특히, 희토류계 영구자석을 사용한 마그네틱 기어는 고 출력으로 인해 다양한 산업에 적용된다. 따라서 마그네틱 기어는 일반적인 기어를 대체할 수 있다. 본 논문에서는 이차원 유한요소해석을 이용해 평행방향과 할박 자화 마그네틱 기어의 기어비를 산정하고, 내측과 외측 영구자석 두께, 철심 각도, 할박 세그먼트 개수, 내측과 외측 영구자석 자화 패턴과 같은 설계 변수에 따라 토크 해석을 수행하였다. 해석 결과, 개선된 설계변수를 갖는 모델이 초기 설계 모델과 비교해 더 높은 토크를 가짐을 확인하였다.
주제어 : 마그네틱 기어, 평행방향, 할박 자화, 이차원 유한요소해석

I. 서 론

기어는 두 개 또는 두 개 이상의 분리된 장치들 사이에 구조적인 연결 및 동력 전달을 위해 자동차 시스템, 풍력발전기, 저속 및 고속 기기 등과 같은 기계 시스템에서 사용된다[1]. 입력과 출력축의 각각의 치가 맞물리며 기계적인 접촉을 통해 동력을 전달하는 일반적인 기어와는 달리 마그네틱 기어는 영구자석을 사용함으로써 서로 다른 자기적 극 쌍수를 갖는 각각의 일차 측과 이차 측 사이에 위치한 고정된 철심을 통해 자기적으로 연결되어 동력을 전달한다. 네오디움(NdFeB)이나 사마륨 코발트(SmCo)와 같은 희토류계 영구자석을 갖는 마그네틱 기어는 높은 자계 세기와 체적 밀도 당 높은 토크 밀도를 가져 효율이 향상되고 그 구조 또한 간단해 널리 사용된다[2, 3]. 다시 말해 고효율의 영구자석을 갖는 마그네틱 기어는 일차 측이 회전하며 영구자석에 의해 만들어진 자계가 철심에 의해 자기적인 연결을 갖게 됨으로써 이차 측이 회전하게 되고 이때 일차 측과 이차 측 사이에는

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author: Tel: +82-42-821-7610,
Fax: +82-42-822-4933, e-mail: choi_jy@cnu.ac.kr

〈그림 2-85〉 자화 영구자석을 갖는 마그네틱 기어논문

□ 마그네틱 커플러 및 마그네틱 베어링

○ 국내에서 마그네틱 커플러에 대한 연구는 많지 않으며, 주로 마그네틱 커플러의 전자기 특성, 와전류 해석 등이 이루어지고 있음

○ 대표적으로 충남대에서 반경방향 영구자석을 갖는 마그네틱 커플러에 대해 해석적 방법을 이용하여 와전류 손실을 해석하는 논문이 있으며, 그 외에 토크 특성 해석을 한 논문도 있음

○ 한국기계연구원에서는 1992년 “능동형 자기 베어링 시스템 개발”을 시작으로 지속적으로 마그네틱 베어링에 대한 연구를 진행하였으며, 2015년 “축방향 착자 링형 연구자석 방식” 마그네틱 베어링을 개발하여 사업화 진행 중임.

○ 또한 자기베어링 자체에 대한 연구 외에도 자기베어링을 이용한 초고속 회전기의 개발 및 응용에 대한 연구가 다수 진행되었으며, 이러한 연구에서는 자기베어링에 대한 설계 또는 제작이 핵심적인 부분을 차지하고 있음.

2. 국외 기술동향 분석

가. 국외 변압기 기술현황

○ 일반변압기

■과거의 변압기 기술 개발은 전압 및 용량의 증대에 초점이 맞춰져 고전압, 대용량 변압기 설계 방법 자체에 주력했으나, 현재는 이러한 변압기의 최적화 설계에 따른 원가 절감 및 신기술 적용을 통한 고성능화 및 안정성, 신뢰성 확보에 대한 연구가 주임.

■ EU 및 GCC (Gulf Cooperation Council) 국가간의 송전 시스템 통합 추진으로 인한 VFTO에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음.

■일본에서는 1968년 소음규제법 시행을 계기로 저소음 변압기에 대한 기술 개발이 활발히 진행되고 있음. 철심 재질 및 철심 결합 방식의 개선, 고효율 차음판, 조립식 철판 방음실 적용 등에 대해 연구 하여 현재는 400MVA 급 변압기를 50dB(A)까지 낮출 수 있는 기술 보유

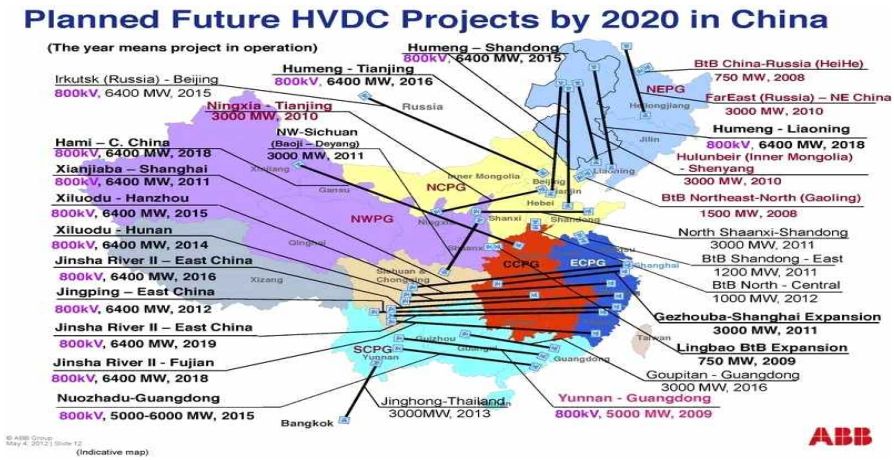
■북미 지역에서는 15,000대 이상의 식물성 절연유를 사용한 배전용 변압기가 운전 중에 있으며 전력용 변압기의 경우 상당 부분 기존 광유를 식물성 절연유로 교체하여 사용.

■일본 및 유럽에서는 1990년대부터 배전용 변압기의 효율을 규제해 에너지 절약 및 지구 온난화 방지, 이산화탄소 배출 저감을 이룸.

■유럽 및 일본의 업체들에서는 기존의 AC 송전이 아닌 직류송전 시스템에 대한 연구 개발도 활발히 진행 중임. 특히 유럽의 ABB, AREVA, SIEMENS 등의 3사가 전 세계 HVDC 시장의 90% 이상을 점유하고 있음.

■ABB는 고조파 저감을 위해 Thyristor를 이용하는 기존의 방식에서 IGBT를 이용하는 시스템에 대한 연구를 진행 중이며, 일본의 히타치와 도시바의 경우 HVDC 기술에 대한 개발은 완료하였으나, 판매 실적이 미미해 HVDC용 케이블과, thyristor valve에 주력 하고 있음.

■이러한 직류 송전 시스템은 전 세계적으로 증가 추세에 있으며, 특히 중국은 현재 6개의 500kV 급 DC 송전선로를 보유하고 있으며 향후 800kV급 송전 시스템 적용을 위한 연구 진행 중.



<그림 2-86> 중국의 HVDC 프로젝트 계획 현황

■또한 전력용 변압기의 신뢰성 개선 위해 상태 진단 및 수명 평가에 대한 연구가 활발히 이루어 지고 있음. 발생된 사고사례 분석을 통해 유지 보수 및 상태 진단에 대한 ASTM, IEEE GUIDE 개정 중임.

■분배전용 변압기들에 대해서는 자산 평가를 통한 유지보수 방법 (Asset & Maintenance Management)을 활용한 연구가 활발히 진행중

■뿐만 아니라, 임계전류밀도가 크고 자장 특성이 우수한 2세대 초전도체를 사용한 초전도 변압기에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있음.

■최근 들어서는 초전도 변압기와 초전도 한류기의 특징을 활용한 형태의 초전도 전력기기에 대한 연구가 활발히 진행 중.

○ 반도체변압기

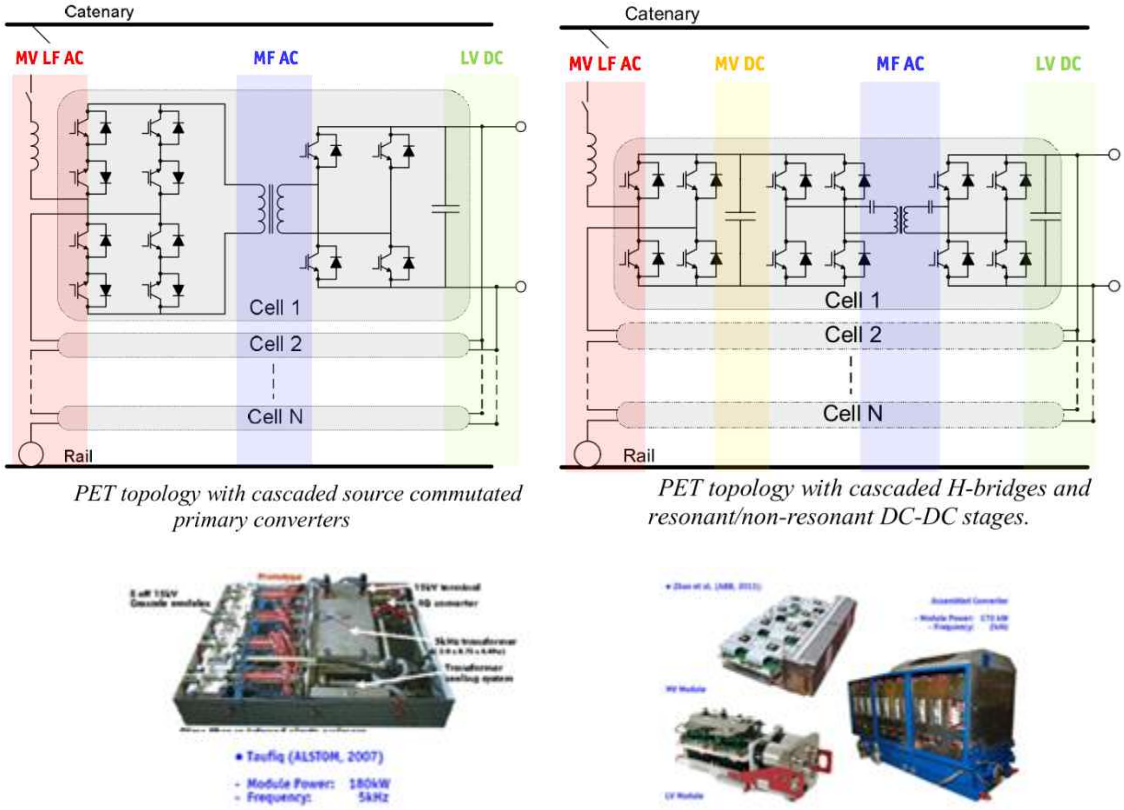
■미국의 전력 연구소인 EPRI 는 2005년부터 관련 연구를 시작했으며 이미 2009년에 15kV, 100kVA, 120/240V 단상 분배전용 변압기의 제작을 완료 하였고, 필드 테스트 중이다.

■또한, 일본의 산업 기술 종합 연구소 (AIST) 에서도 2009년 10kV, 300kVA 급 단상 변압기를 개발 완료하여 테스트 중에 있다.



<그림 2-87> 미국/일본 연구소들에서 개발된 반도체 변압기

■철도 차량용 반도체 변압기는 지멘스, Bombardier, Alstom, ABB 사 등에서 연구를 진행하고 있으며 2007년 등에 이미 시제품을 제작, 성능 시험 중에 있다.
■철도 차량용 반도체 변압기는 주로 Cascaded H-bridge 인버터를 이용해 고압인 입력 전압을 분할하고, 수 kHz의 공진 인버터, 고주파 변압기, 고주파 컨버터 등을 직/병렬 연결하여 출력 DC 전력을 공급할 수 있도록 개발 함.



PET topology with cascaded source commutated primary converters

PET topology with cascaded H-bridges and resonant/non-resonant DC-DC stages.

<그림 2-88> 국외 업체들에 의해 개발된 철도 차량용 반도체 변압기

나. 국외 전동기 기술현황

○ 유도전동기

- EU와 유럽 전기기기협회(CEMEP: European Committee of Manufacture of Electrical Machines and Power Electronics)는 고효율 등급을 기존의 3단계(EFF1, EFF2, EFF3) 등급에서 프리미엄급 및 슈퍼프리미엄급 고효율 기준을 추가하여 4단계(IE 4: 슈퍼프리미엄급 고효율 전동기, IE 3: 프리미엄급 고효율 전동기, IE2: 고효율 전동기, IE1: 표준효율 전동기)로 나누고 대상 전동기도 용량(0.75~200kW), 극수(2, 4, 6), 사용 전압(1000V 이하) 등 미국에서 현재 시행되고 있는 최저효율제 보다 대폭 확대하고 있음

- 1990년대 이후 선진국의 전동기 제조업체들은 에너지 절감을 위해 고효율 전동기를 개발하여 대량 생산하고 있으며, 프랑스 FAVI에서는 유도전동기의 동다이캐스팅 기술을 세계 최초로 상용화하여 기존 유도전동기의 효율을 2~3% 향상시키고 있는 등 고효율 전동기 개발에 많은 투자를 하고 있음



<그림 2-89> 동다이캐스팅 기술개발 현황

※ 출처 : 온실가스감축기술 전략로드맵 2011, 전동기, 지식경제부, 한국에너지기술평가원

2) 영구자석 동기전동기 및 응용분야

○ 최근 산업용 영구자석 동기전동기 전동기가 각광받고 있는 분야는 공작기계 분야로 영구

자석 동기전동기 적용한 Rotary Table을 공작기계에 구현한 기업 중 가장 대표적인 곳은 모리세이키(Mori Seiki, 일본)임. 고속 가공에 대응하기 위하여 테이블에 영구자석 동기전동기 기술을 적용하였고 주목적은 고속 인덱싱, 고정밀 위치제어 정밀도 구현을 통한 가공시간 단축과 높은 생산성을 실현하는데 있음. 대표적인 제품으로는 수평형 머시닝센터(Machining Center : 공작물을 한번 설치한 것만으로 각 공정에 필요한 공구의 교환을 자동적으로 행하면서 가공하는 수치제어 공작기계)인 NH시리즈에 적용되고 있음

○ 독일의 SIEMENS社의 경우 다양한 용량 및 토크 범위의 영구자석 동기전동기 및 드라이브를 개발하여 공작기기를 비롯한 장치산업 분야에 제품을 공급하고 있음

○ 독일의 OSWALD社 의 경우 저속 고토크 영구자석 동기전동기 제품으로 회전자에 영구자석을 이용하여 전동기 효율을 높이고, 중공형 타입으로 용량 10~1,000KW, 토크범위 80~3,700 Nm, 속도범위 220~1,000rpm급 수냉식 TF Motor 시리즈를 상품화하고 있음.

○ 추진 전동기의 고출력, 고정밀 제어 구현을 위한 피드백 센서의 정밀도가 요구되고 이 신호는 드라이브와 전동기의 실시간 제어 주기와 연동되는 특성이 있음

○ 피드백 센서는 개방형 신호 전송 프로토콜의 등장에 따라 사용자 편의성이 증대되는 추세이고 고속화 제어 기술 및 반도체 기술의 발전에 따라 완전한 디지털화가 촉진됨에 따른 회전분해능이 고정도화 되는 추세임

○ 소형 경량화 및 소비전력량 저감, 우수한 유지보수성 및 소음 특성을 갖춘 영구자석 동기전동기(PMSM : Permanent Magnet Synchronous Motor)에 대한 수많은 연구 개발이 진행 중이며, 이를 토대로 다양한 철도견인용 전동기의 개발이 진행 중임

<표 2-18> 철도차량에 영구자석 동기전동기를 적용한 사례

Operator	Trains	Manufacturer
NTV	25 x AGV high speed trainsets	Alstom
SBB	59 Twindexx double-dec EMUs	Bombardier
SNCF	31 x Citadis-Dualis tram-train vehicle	Alstom
SNCF	Regiolis EMUs - framework contract	Alstom
SNCF	Omneo EMUs - framework contract	Bombardier
Praha	15T ForCity low-floor tram	Skoda
Tokyo Metro	Series 16000 EMUs	Kawasaki
JR East	Series E331 EMUs for Tokyo services	Toshiba
Prototypes and other test trains		
Müchen U-Bahn	C19 metro trainset with Syntegra bogies	Siemens
China	Fuel Cell loco prototype	CNR Yongji
Sweden	Gröna Tåget research EMU	Bombardier
Turkey	Citadis X04 low-floor tram	Alstom
Japan	Gauge-Changing Train 2	

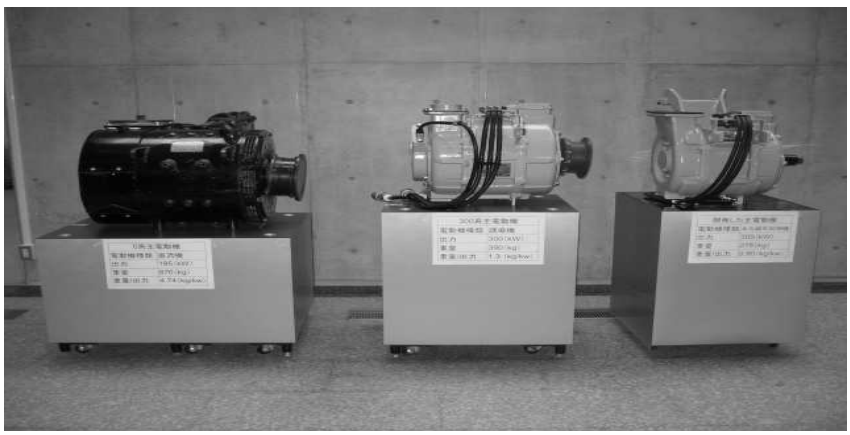
○ JR-east는 1995년부터 21C형 도심전차용 추진시스템을 개발하고 있음. 후지전기와 공동개발하고 있으며, 내전형(Inner-Rotor) 방식 영구자석동기전동기(PMSM)을 채용하여 경량화 및 저가격화 뿐만 아니라 유지보수필요성을 최소화함으로써 다음과 같은 효과를 얻고 있음

- 전동기 정토크 영역을 확장하여 철심을 경량화하고, 기술적 최적화를 통해 25%의 경량화를 달성

- 고성능 Nd계 희토류 자석을 사용하고, 온도에 의한 영구감자 방지를 위해 냉각효율 향상을 도모

- 분말자성코어 및 대형 자석을 사용하여 조립 및 제작공정 단순화를 통한 원가경쟁력 확보

- 전폐자냉식 및 윤활 Grease를 사용하지 않도록 설계하여 13년 무보수 추구



<그림 2-90> 일본 신칸센의 주전동기 비교

○ 도시바는 1992년부터 단순소형화, 경량화 및 에너지절감, 유지보수 최소화를 목표로 고속철도, 도시철도 및 지하철용 영구자석 동기전동기를 개발하기 시작하여 2006년 도시철도에 200kW급 DDM의 사업화를 시작으로 양산 모델을 다각화하고 있음



<그림 2-91> 후지전기의 영구자석 동기전동기 및 차축

○ 도시바의 영구자석 동기전동기는 2006년 JR-East에 우선 채택되어 사용하였고, 2009년에 도쿄지하철(주)에 양산 적용되었으며, 2010년에는 일본화물철도(주)의 기관차에도 실차 적용되었음



<그림 2-92> 후지전기의 영구자석 동기전동기 적용 철도차량

○ 일본의 대표적인 철도추진시스템 제작업체인 도시바는 2010년 이후 영구자석 동기전동기를 일본의 도시철도의 전동차에 도입하기 시작하였으며 미국 및 브라질의 수출형 모델에는 유도전동기를 적용하여 자국의 첨단 추진시스템 에 대한 기술보호를 하고 있음.

<표 2-19> 일본 도시바의 전동차 추진용 전동기 현황

적용 전동차	전동기 형식	입력 전압 (V) 및 출력 전력 (kW)	도입년도
키타-오사카 큐코 철도 9000호대	 영구자석 동기전동기	DC 750 170	2014 ~
도쿄 메트로 1000호대	 영구자석 동기전동기	DC 600 120	2011 ~
도쿄 메트로 16000호대	 영구자석 동기전동기	DC 1,500 205	2010 ~

한큐 철도 1000호대	 영구자석 동기전동기	DC 1500 190	2013년~
도쿄 급행 전철 7500・7550호대	 유도전동기	DC 1500 190	2012년~

○ 2012년 도쿄 급행 전철에 적용한 유도전동기를 제외한 2010년 이후의 일본 내의 모든 도시철도의 추진용 전동기는 영구자석 동기전동기이며 유도전동기와 영구자석 동기전동기의 적용 비율은 80:20으로 조사되었음.

○ 철도차량의 소비에너지 및 중량 저감을 위하여 영구자석 동기전동기의 적용 및 이의 고효율화를 위한 연구가 유럽의 선진사 및 일본을 중심으로 활발히 수행중임. 이러한 연구는 혁신적으로 무게를 줄이기 위한 영구자석 동기전동기의 연구에 집중되고 있으며, 그 설계의 방향은 다음과 같음

- 최적성능의 보증 및 무게 절감을 위해 가장 높은 에너지적을 갖는 영구자석을 사용한 영구자석 동기전동기의 설계 적용

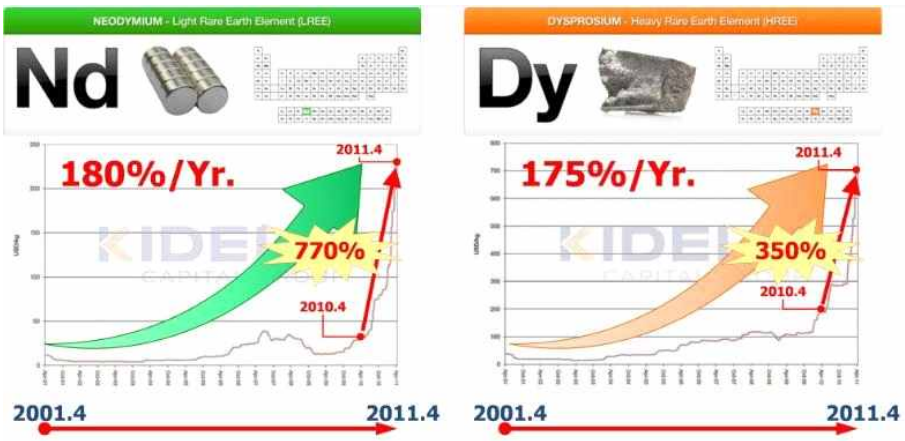
- 전동기의 기본 성능, 냉각성능 및 보수성을 고려한 영구자석 동기전동기의 극 조합 및 냉각 구조의 최적화

- 영구자석 동기전동기의 조립 구조 및 신뢰성 확보를 위한 구조 연구

○ 희토류는 원자번호 57부터 71까지 란탄 계열 15개 원소에 스칸듐, 이트륨을 합친 17개 원소를 통틀어 일컫는다. 화학적 성질이 비슷해 분리해 내기 어렵고 천연적으로 섞여 산출량이 매우 적다. 그러나 희토류는 고온 초전도체, 하이브리드 자동차, 풍력발전 터빈, 휴대전화, PDP, 항공기 부품, 광학렌즈, 컴퓨터 디스크, 특수 자석, 석유화학 촉매제 등 21세기 첨단산업에 꼭 필요한 핵심원료로서 ‘첨단산업의 비타민’, 또는 ‘녹색산업의 필수품’이라 불리며 미래산업의 성패를 좌우할 전략자원으로 주목받고 있다.

○ 중국의 희토류 매장량은 전 세계의 57.7%에 달하며, 공급량의 63%, 생산량의 97%를 차지하고 있다. 이렇듯 희토류 비축량, 생산규모, 수출량에서 압도적으로 세계 1위를 기록하고 있는 중국이 희토류를 전략 물자로 관리하고 있고, 2011년부터는 수출 쿼터를 2006년에 비해 절감 가량 수준으로 감축하고 있는

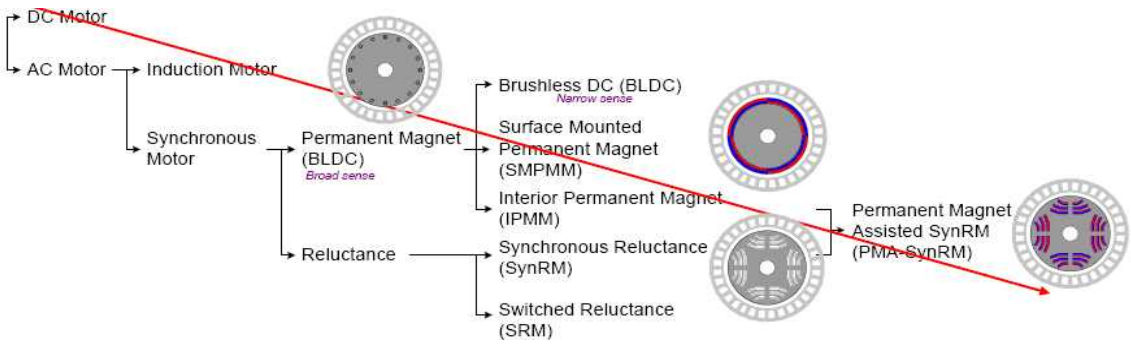
실정이기 때문에 최근 희토류 원소는 급격한 가격 상승을 맞았으며, 이로 인해 영구자석형전동기의 가격 경쟁력이 더욱 악화되는 상황에 직면하여 있으며, 이에 대한 문제해결이 시급한 형편이다.



<그림 2-93> 희토류 원재료 가격 동향
(자료출처 : http://www.asianmetal.com/)

○ 전동기에서 영구자석의 가격비중은 전동기의 용량과 형태에 따라 다르지만 주요 부품의 무게당 재료비의 산출을 통하여 가격 비중을 유추하면, 전기강판은 kg당 1,000원, 구리는 kg당 7,000원 수준인데 반해, 영구자석은 kg당 200,000~300,000원에 달한다.

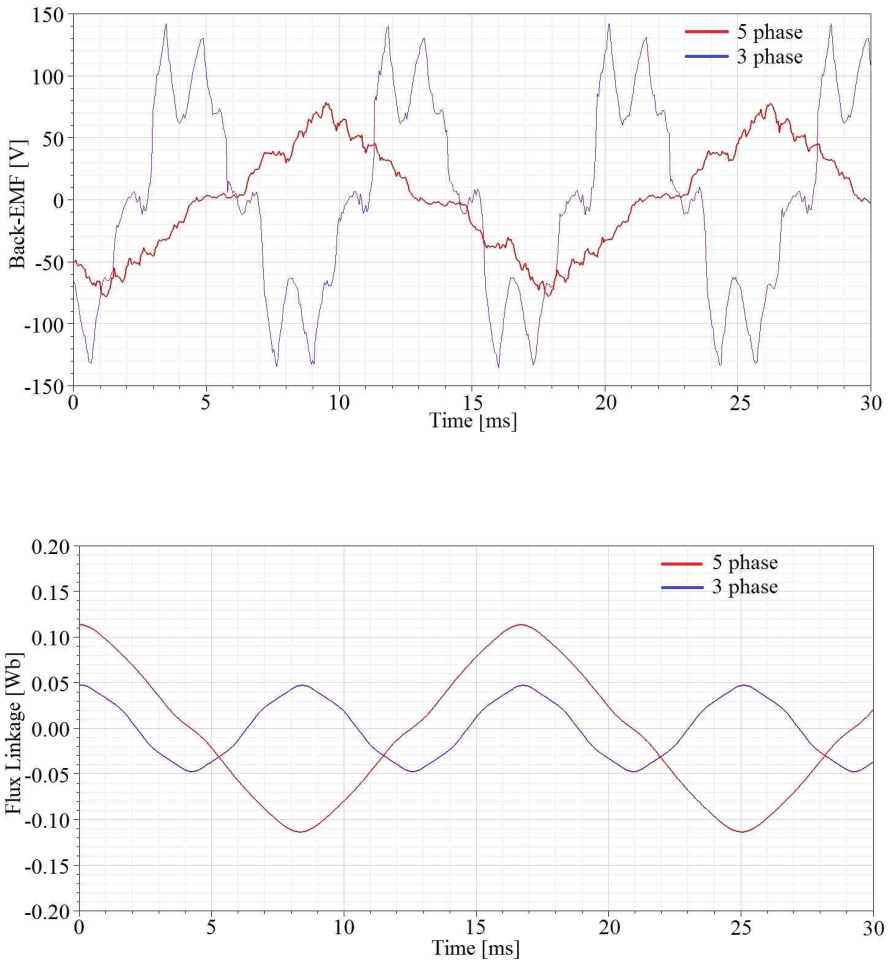
○ 희토류 영구자석의 가격 상승과 고속에서의 제어성능 향상을 위해 근 5년간 하이브리드 및 전기자동차에 적용되는 전동기의 형태는 희토류 영구자석의 사용을 저감하고 회전자의 릴럭턴스 토크를 최대화하여 높은 기동토크와 고속에서의 제어성능을 향상시킨 영구자석 저감형 동기전동기인 PMa-SynRM이 개발되어 일본의 Toyota 및 Honda에서 30kW급 하이브리드 자동차용 전동기를 개발하여 적용중이며 독일의 BMW도 하이브리드 및 전기자동차의 추진용 전동기에 적용하고 있다. 또한 미국의 경우 80~100kW급의 전기자동차의 추진용 전동기를 Remy사에서 개발하여 Ford와 GM등에 납품하고 있다.



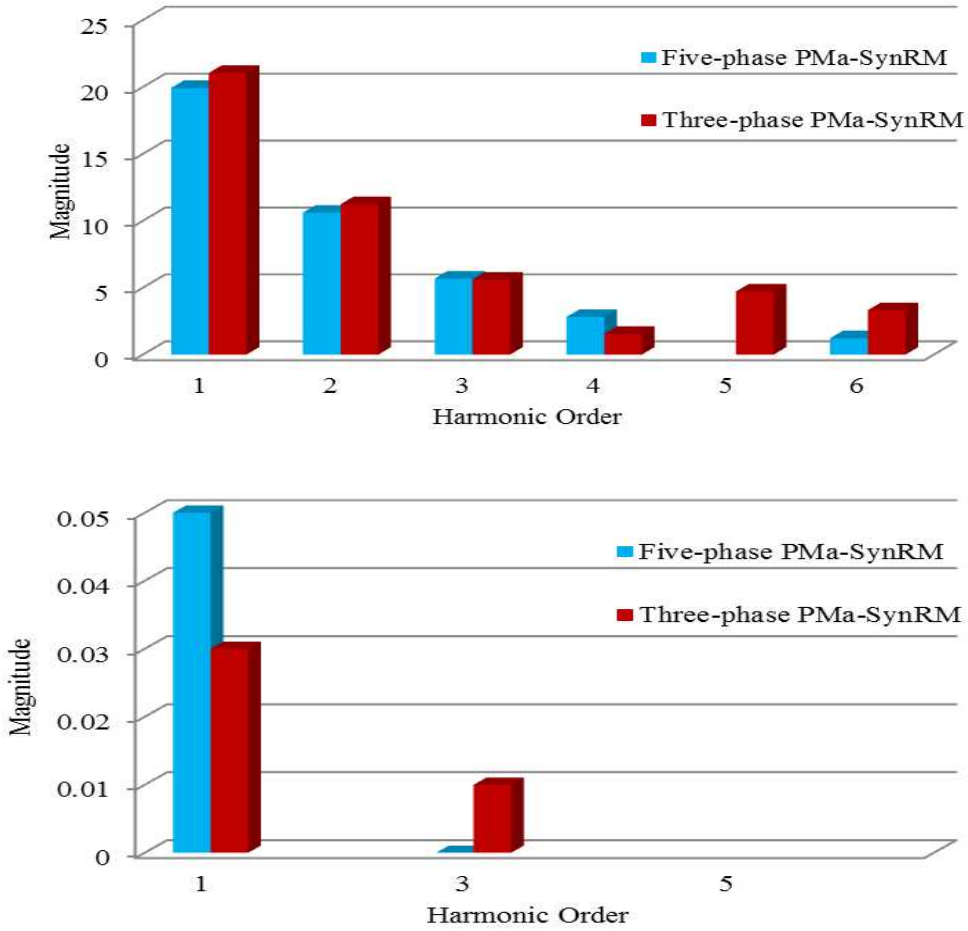
<그림 2-94> 세계 AC 전동기 개발 진행방향

○ 5상 동기전동기

- 최근 전 세계적으로 활발히 연구가 진행되고 있는 5상 동기전동기는 3상 동기전동기에 비해 같은 출력 토크를 생성하기 위한 정격전류가 60%이므로 3상에 비하여 상대적으로 자속 쇄교수(Flux linkage)가 낮으며 영구자석에서 발생하는 역기전력이 낮으므로 고출력 고속회전을 요구하는 철도추진 시스템에 유리하다. 자속 쇄교수와 역기전력이 높은 3상 동기전동기는 고토크 출력을 요구하는 경우 토크 리플이 높아 소음과 진동을 유발하며 고속회전 시 발생하는 높은 역기전력은 전동기기를 고속으로 제어하는데 어려움이 발생한다. 또한 5상 전동기는 3상 전동기에 비하여 고조파 성분이 적으므로 고조파에 의해 발생하는 손실과 소음을 낮출 수 있으며 인버터의 스위칭 소자에 영향을 미치는 고조파 노이즈를 억제함으로써 인버터의 성능 향상 및 수명을 높이는데 기여함.

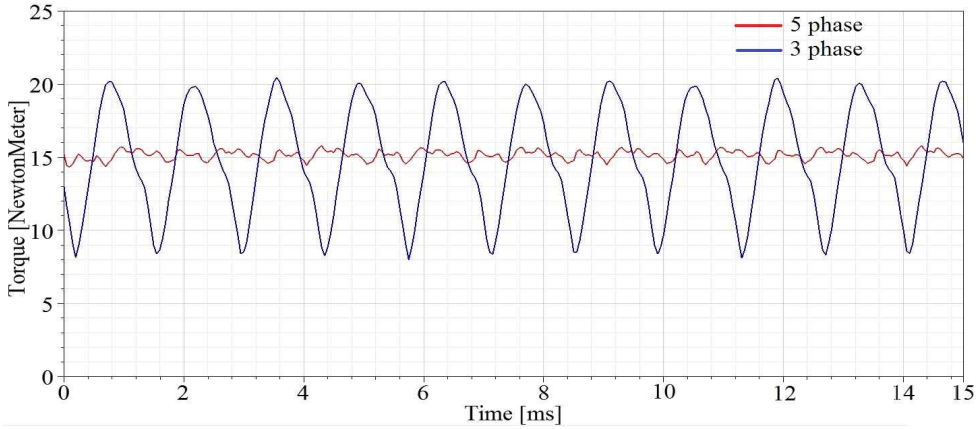


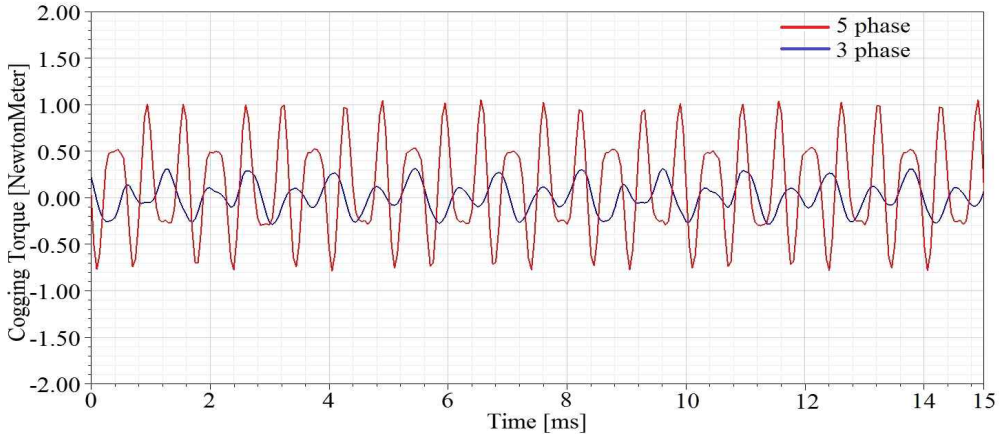
<그림 2-95> 3상, 5상 동기전동기의 자속 쇄교수와 역기전력 비교



<그림 2-96> 3상, 5상 동기전동기의 자속 쇄교수와 역기전력 고조파 비교

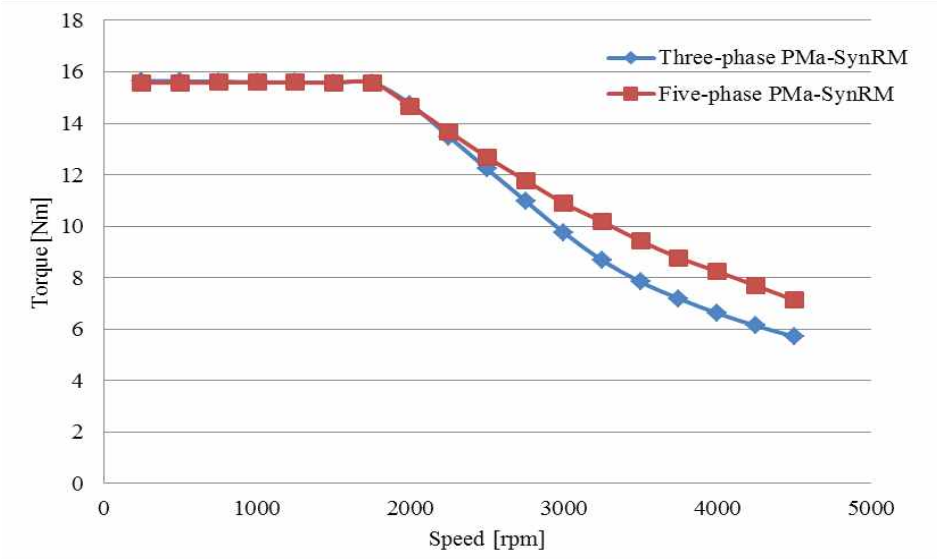
- 5상 동기전동기의 출력 토크 리플과 영구자석에서 발생하는 코깅토크는 추진시스템에 진동과 소음을 유발하며, 전동기의 수명에 악영향을 미치므로 동일한 출력을 내는 5상 동기전동가와 3상 동기전동기를 비교하였을 때 5상 동기전동기의 출력 토크 품질이 3상 동기전동기에 비하여 우수한 것을 여러 연구를 통하여 증명되었음





<그림 2-97> 3상, 5상 동기전동기의 정격토크 리플과 코깅토크 비교

- 같은 출력의 5상 동기전동기와 3상 동기전동기의 출력토크, 속도 특성을 비교하였을 때 5상의 동기전동기는 고속회전 영역에서 더 높은 토크를 생성할 수 있는 것으로 최근 해외 연구에서 증명하였으며 이는 추진시스템에 5상 동기전동기를 적용하였을 때 3상 동기전동기에 비하여 높은 효율과 성능향상에 기여할 수 있는 것으로 확인되었음.



<그림 2-98> 3상, 5상 동기전동기의 정격토크/속도 특성 비교

다. 국외 인버터 기술동향

○ 주 전력변환장치의 모듈화를 통한 소형화가 세계적인 추세로 각광 받고 있으나 국내 철도의 경우, 아직 적용이 미흡하므로 모듈화에 적합한 CHB 멀티레벨 인버터의 제어기 설계 및 시제품의 H/W 개발을 통해 주 전력변환장치의 소형화가 필요. 또한 국내의 높은 전력전자 기술력에도 불구하고, 대용량 추진제어장치 시스템을 위한 대용량 전력변환장치는 소용량 스위칭 모드 전원장치에 비해 국산화율이 낮음. 이는 국내에 보유된 시험 설비 등의 제약, 신뢰성 높은 성능검증 기술의 결핍에 기인.

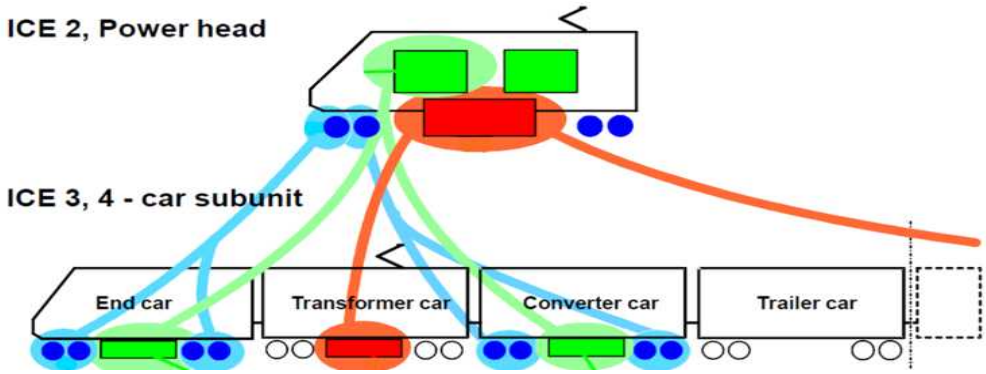
○ 독립 운행 교통수단인 자동차, 선박 등에서는 이미 고출력밀도를 위한 많은 연구가 진행되어 전기자동차는 최고 약 2.0kW/kg의 출력 밀도를 보임에 비해, 2011년 기준 국내 철도차량에 적용되는 견인전동기는 약 0.2kW/kg에서 0.78 kW/kg 범위의 출력 밀도를 가짐. 따라서 출력 밀도가 낮은 유도전동기를 대체하기 위한 영구자석 동기전동기 채용이 요구되며, 이를 위한 대용량 전력변환장치와 추진 제어 시스템이 필요. 출력전류 고조파로 인해 발생할 수 있는 차체 진동 억제 필요.

○ 전력변환장치들은 전기철도차량에서 가장 큰 비중을 차지하게 되므로 철도차량의 기술 수준을 국내/외의 고속철도 시스템을 구성하는 전력변환장치의 성능 및 효율과 국내/외 추진시스템 기술의 특허 동향을 토대로 판단할 수 있으나, 현재 국내의 특허 동향은 철도기술연구원과 현대 로템을 비롯한 몇몇 기관에 한정. 따라서 CHB 방식 멀티레벨 인버터의 S/W 기반 시뮬레이터를 설계하고, 제어기법별 성능을 분석 및 비교하여 최적의 제어방식 제안하여 초고속 운전이 가능하도록 제어 기술력 확보가 필요함. 또한 전력변환장치의 부피를 최소화하고,

고속스위칭이 가능한 H/W 설계에 대한 연구가 필요.

○ 현재, 초고속 철도의 기술개발은 프랑스와 독일의 Alstorm, Siemens 등 국외 선진 대기업 및 일본의 JR 등에서 주도하고 있으며, 이를 구동하기 위한 핵심 기술인 대용량 전력변환장치와 추진 제어 시스템 관련 기술은 장기간의 시간과 많은 투자비용을 통해서만 기술 확보가 가능한 이유로 대외적인 기술 이전을 기피.

○ 스페인 2세대 고속열차, 중국과 러시아의 고속철도 차량 도입에서 Siemens사의 ICE 3가 채택되었으며, 이는 해당 차량이 동력 분산방식의 구조를 채택한 것이 주된 이유임. 동력 분산식 차량 구조는 ICE 2, TGV 등이 채택한 동력집중방식에 비해 각 인버터의 용량 및 부피를 저감할 수 있으며, 차량 내 승차 공간 확보, 곡선 주로 주행 시의 차축의 부하감소, 그리고 무엇보다 대용량 멀티레벨 인버터 등의 사용을 통해 보다 큰 견인력을 이끌어낼 수 있는 것이 동력 분산방식 차량의 장점임. 추진제어시스템용 인버터는 동력 분산식 구조를 고려하여 설계되어야하므로, 해당 시제품 제작을 위해 인버터의 용량 선정 및 레벨 수, 그리고 스위칭 소자의 정격을 선정하는 과정이 필요. 또한 IGBT 소자 구동에 사용되는 gate-driving 회로, 센서, 전류 제어보드에 대한 설계안 도출이 필요.

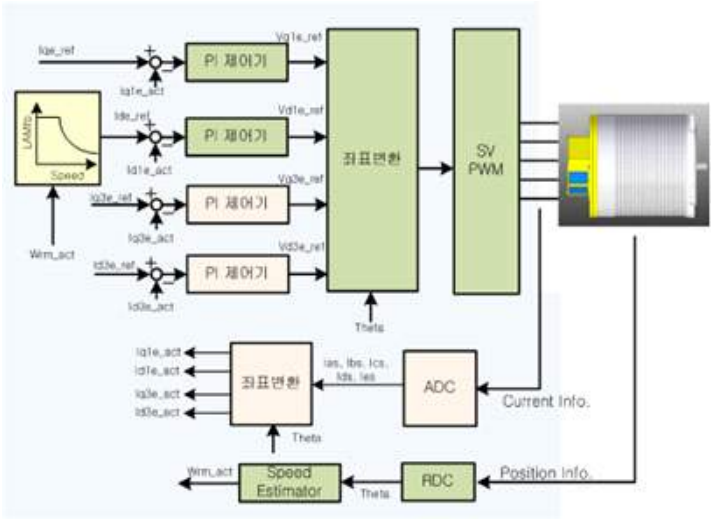


<그림 2-99> Siemens 차량 구조 변화: 동력 집중식(ICE 2), 동력 분산식(ICE 3)

*(출처: High Speed Trains Overview released in the Internationl practicum on implementing high-speed rail)>

○ 기존의 철도 차량 추진시스템은 3상 유도기를 기본으로 한 3상 구동 시스템으로 각 상의 전원을 120도 위상각을 가지고 구동하는 시스템이 보편화 되어 있다. 그러나 인버터 또는 전동기의 1상이 고장 시 나머지 2상으로 구동할 수 없는 구조이므로 추진시스템의 안전성 향상을 위해서는 5상 이상의 다상구조에 대한 개발이 필요하다. 따라서 5상으로 구동하는 추진시스템을 개발하여 5상 중 1상이 구동 불가능한 경우 3상으로 전환하여 정격의 80% 이상으로 동작하도록 하는 비상운전 제어 알고리즘 개발이 부가적으로 필요하고 고장을 사전에 진단 및 예측하여 비상운전으로 전환하는 고장진단 제어기 개발이 요구된다. 또한 5상 구동의 인버터는 3상 시스템에 비해 고주파 노이즈가 적으므로 노이즈에 의한

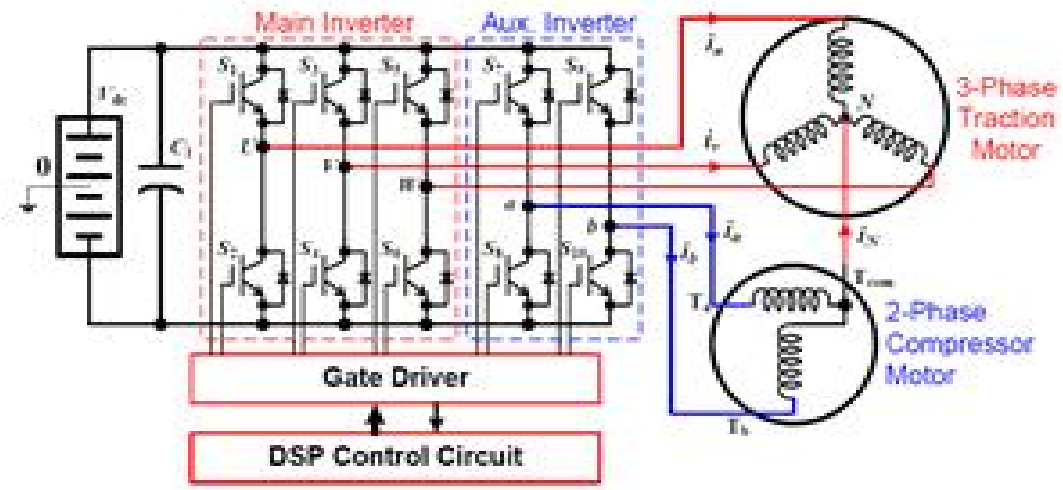
변압기나 컨버터에 대한 고장을 사전에 줄일 수 있으며 전동기의 출력 토크의 리플 저감에도 큰 효과가 있다.



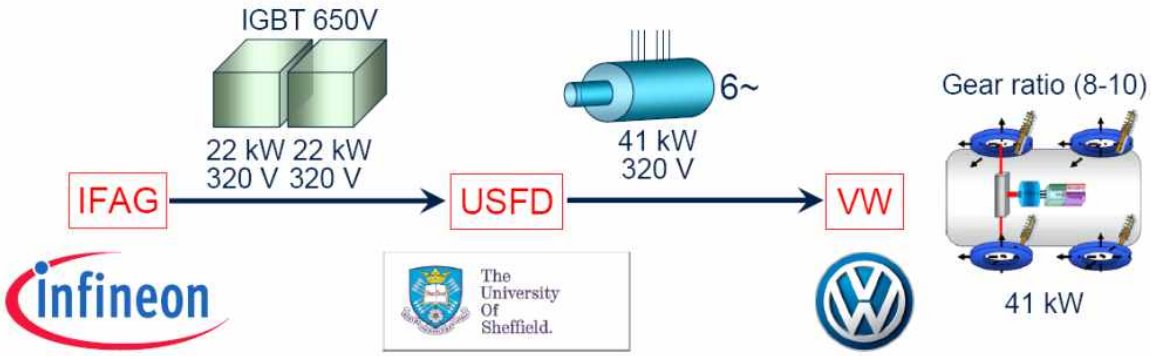
<그림 2-100> 5상구동 인버터 제어 블록도

○ 유도전동기는 영구자석형 동기전동기에 비해 큰 부피와 무게를 가지고 있으므로 추진시스템의 경량 소형화에 어려움이 있다. 따라서 최근의 세계 각국의 철도 추진용 전동기는 영구자석형 동기전동기와 인버터를 적용하여 소형, 고효율화를 구현하고 있다. 그러나 희토류 영구자석의 가격 상승과 더불어 고속회전 시 발생하는 영구자석의 역기전력에 의한 제어성능 저하의 문제가 있으므로 이러한 문제를 해결하기 위한 대안 기술의 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 기술개발이 가장 활발하다고 할 수 있는 전기자동차, 공작기계 등 분야에서부터 영구자석 저감형 동기전동기의 개발 및 상용화 시도가 이루어지고 있다. 또한, 인버터 또는 전동기의 1상이 고장 시 나머지 2상으로 구동할 수 없는 구조를 개선하여 고장 발생 등 상황에 대한 시스템의 안전성 향상을 위해서는 2상 구동 기술의 개발 혹은 5상 이상의 다상구조에 대한 개발이 미국의 국가연구소인 Oak Ridge Lab 중심으로 이루어지고 있다.

○ 5상 이상의 추진시스템을 위한 인버터는 고주파 노이즈 저감을 통한 타 시스템의 신뢰성 확보와 한상이 동작하지 않는 고장상황에서도 동작이 가능하도록 다상 시스템이 사용되고 있는 미국의 해군용 선박 추진시스템과 항공분야 그리고 야전의 전원 사용을 위한 발전기 시스템 등에 다양하게 적용되고 있다. 또한 최근의 하이브리드 및 전기자동차용 추진시스템에도 5상 이상의 인버터를 적용하는 연구들이 활발하게 진행중이다.



<그림 2-101> 미국 Oak Ridge Lab의 하이브리드 자동차용 5상 인버터



<그림 2-102> 다상 추진시스템을 적용한 고출력 하이브리드 자동차

<표 2-20> 국외 국가 기술수준

기관명	보유 기술 또는 특허	기술 수준
일본 히타찌 캐나다 봄바디어 독일 지멘스 독일 ABB 프랑스 알스톰	철도용 추진인버터	철도차량용 고효율 추진시스템 제작 경험 有
		세계최고 기술수준 대비 상대적 수준 90~100 (%)

<표 2-21> 프랑스 알스톰 기술수준

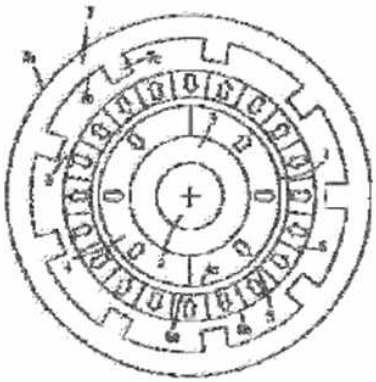
보유국	업체	보유 기술 또는 특허	기술 수준
프랑스	알스톰	매입형 영구자석동기전동기 설계 및 제어 기술	AGV 차량용 추진시스템 개발 완료
			세계최고 기술수준 대비 상대적 수준 100 (%)

라. 국외 첨단 감속구동장치 분야 기술동향

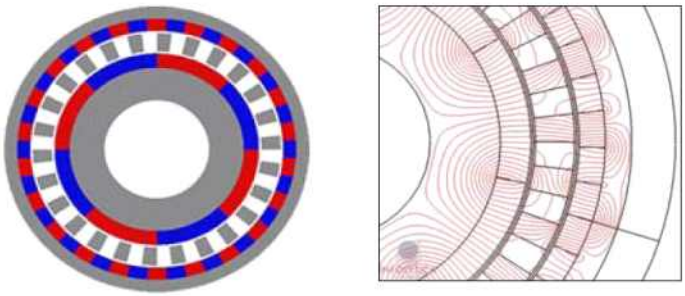
□ 마그네틱 기어드 동기전동기

○ 마그네틱 기어의 개념은 20세기 초에 나왔으며 1913년 US 특허 출원서에서 본래의 Topology 갖는 전자기적 기어장치가 설명되었지만 그 당시에는 아무도 관심을 갖지 않았다. Faus가 1941년에 평기어와 유사한 마그네틱 기어방식를 제안하면서 점점 사람들은 마그네틱 기어에 관심을 가졌으나, 적은 이용률과 페라이트 영구자석의 낮은 성능으로 산업 전반에 사용하는 데에는 불가능하였음

○ 1980년대에 희토류계 영구자석 재료가 발명되면서 마그네틱 기어에 관한 연구에 큰 관심을 불러 일으켰으며, 1999년도에 미국의 Ackerman이 기존의 마그네틱 기어에서 개선된 Magnetic Planetary 기어 특허를 출원하였음(US Pat. 5633555). 2001년 Atallah와 Howe는 외측 회전자와 내측 회전자 사이에 Pole Pieces를 포함하고 있는 고성능의 마그네틱 기어인 동축 마그네틱 기어 관련 특허를 출원하였으며, 그 동작 원리는 강자성 Pole Pieces를 통해서 2개의 내외측 영구자석 회전자에 의해 생성되는 자기장의 변조에 기초하였으며, 기존의 마그네틱 기어와는 다르게 동축 마그네틱 기어는 고출력밀도를 가지는 것을 특징으로 함



<그림 2-103> A가 제안한 특허에
서의 마그네틱 기어 형상(1999년)



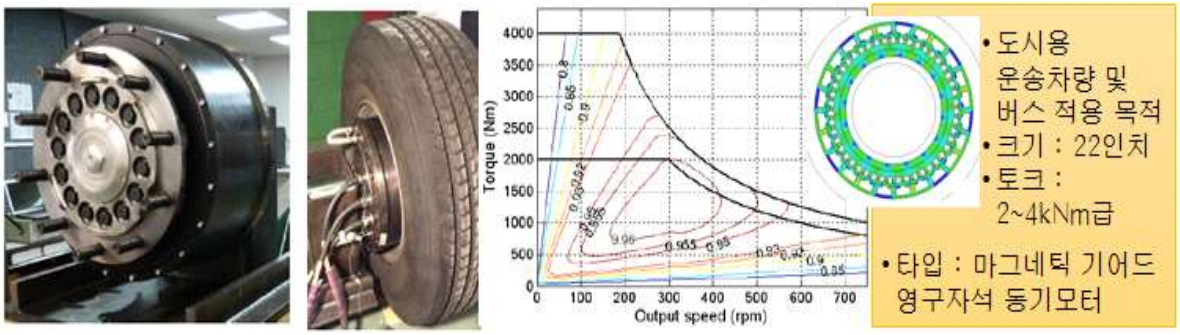
<그림 2-104> Pole Pieces를 포함한 마그네틱 기어
형상

○ 해외에서는 마그네틱 기어, 마그네틱 기어드 동기전동기에 대한 연구가 다수 진행되고 있음

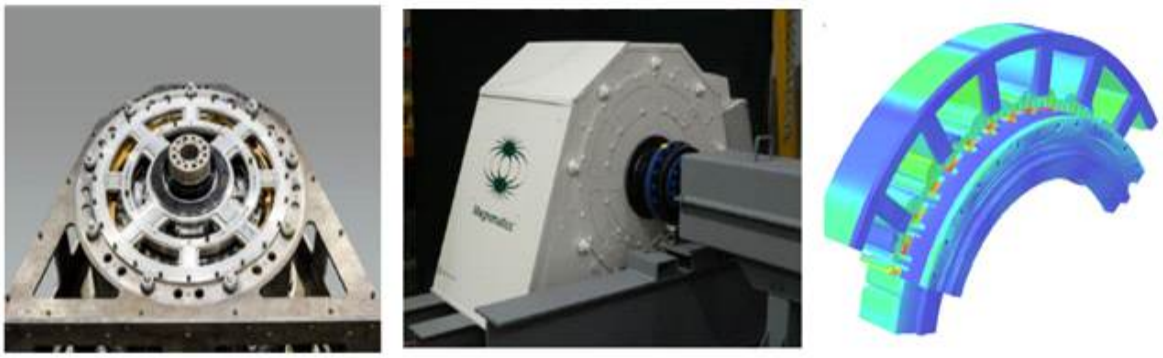
○ 전기자동차나 풍력발전 분야에서 마그네틱 기어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대표적으로 영국의 Magnomatics사는 마그네틱 기어와 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 특허를 다수 보유하고 있으며, 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우 전기자전거부터 전기자동차, 철도차량, 잠수함 추진용으로 300kW급까지 개발함

○ 하지만 해외에서도 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기가 견인전동기용으로 실용화된 사례는 없는 상황임

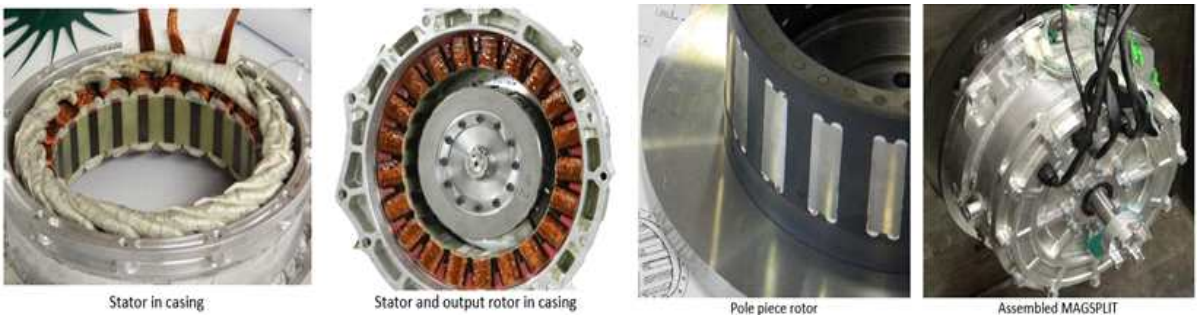
○ Magnomatics사는 도시용 운송차량 및 버스 등에 적용이 가능한 22인치, 2~4kNm급 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기가 적용된 Direct Drive wheel-Motor 시제품을 개발하였으며, 메가와트 머신의 추진용으로 300kW, 16kNm급 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기 시제품을 개발하여 성능시험을 수행하였음. 또한 자동차용 기계식 변속기를 대신할 마그네틱 CVT(변속기) 시제품을 개발하여 성능시험을 수행하였음



<그림 2-105> 2~4kNm급 마그네틱 기어 일체형 동기전동기 적용

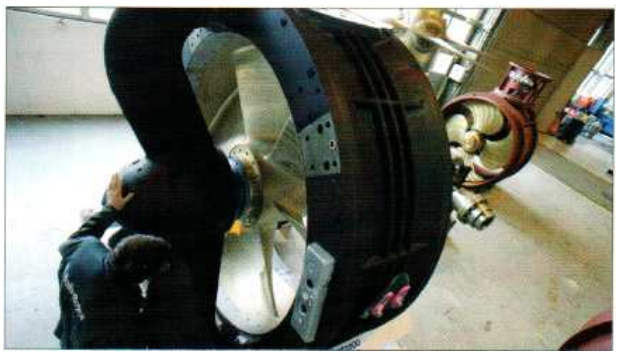


<그림 2-106> 300kW, 16kNm급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품



<그림 2-107> M사의 전기자동차용 마그네틱 CVT(변속기) 시제품

○ Magnomatics사는 최근 2016년에 Rolls-Royce사와 ATB Laurence Scott사와 공동 협력하여 2MW급 이상의 선박이나 잠수함 추진용 대형 마그네틱 기어드 동기전동기 개발을 위한 25억원 규모의 프로젝트를 착수하였으며, 기존의 선박 추진시스템과 비교하여 약 7% 이상의 효율 개선 효과가 있을 것으로 예상하고 있음. (그림 2-96 포함)

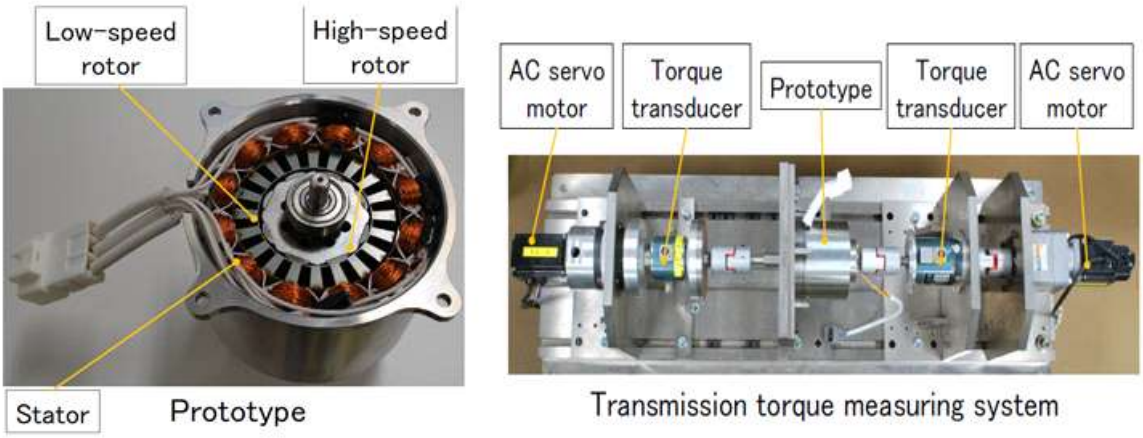


<그림 2-108> M사의 선박 추진용 2.5MW급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품

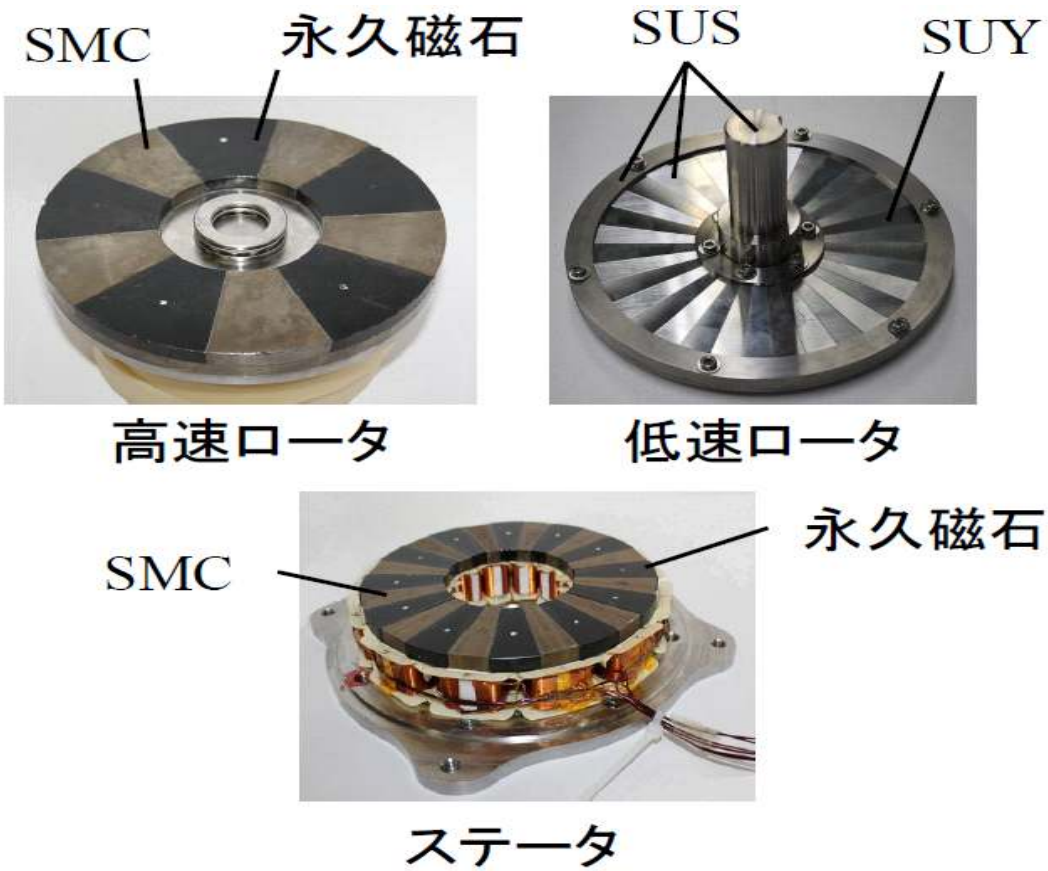
<표 2-22> 영국 Magnomatics사의 마그네틱 기어드 동기전동기 개발 현황

Design	1	2/3	4	5	6
Product Code	PDD30	PDD85/100	PDD650	PDD2k	PDD16k
Power (kW)	0.25	4	24	65	300
Cont. Torque (Nm)	30	80/100	650	2000	16,000
Rated Speed (rpm)	300	1000	350	350	180
Diameter (m)	0.14	0.18/0.2	0.305	0.46	0.87
Active length (m)	0.03	0.045	2 X 0.065	0.195	2 X 0.175
Active Mass (kg)	2.5	8/10	60	150	1177
Continuous Torque Density –active (Nm/m³)	64,960	69,862	68,435	85,000	76,900
Specific Torque Density - active (Nm/kg)	12	10.6	10.8	20.0	13.6
Cooling	Totally Enclosed	Totally Enclosed	Oil-filled, water immersed	Water jacket – low flow coolant or naturally cooled	
Typical applications	E-bikes, E-scooters	Flight surface actuation, Small electric vehicle hub drives	Marine propulsion	Wheel hub drive for commercial HEV, Defence Land, Rail Traction	Marine propulsion

○ 일본 오사카 대학에서 2010년 이후로 다양한 종류의 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기 연구를 진행하고 있음. 일반적인 Radial-gap 타입의 마그네틱 기어 뿐만 아니라, Axial-gap 타입의 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품을 제작하여 성능을 입증함 . 특히 전기자동차용으로 기어비 가변이 가능한 마그네틱 기어에 대한 연구를 활발히 진행하고 있음



<그림 2-109> 오사카 대학의 마그네틱 기어드 동기전동기 및 시험장치



<그림 2-110> 오사카 대학의 Axial-gap 타입의 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품

○ 철도 분야에서는 아직 마그네틱 기어나 마그네틱 기어드 동기전동기의 개발 사례가 없으며, 여전히 기계식 감속기와 견인전동기를 구동시스템으로 사용하고 있으며. 기계식 감속기 시장은 거의 유럽(독일)의 감속기 제작사인 VOITH에 의해 주도되고 있음

○ VOITH사는 최근 고속철도용 감속기로 최고속도 440km/h까지도 주행이 가능하도록 개발을 하였으며, 그 이상의 속도대역까지도 주행이 가능하며, 알루미늄 케이스를 적용하여 신뢰성이 향상된 감속기 개발도 진행하고 있는 상황임



<그림 2-111> 알루미늄 하우징을 적용한 고속철도용 기어박스(VOITH)



<그림 2-112> VOITH사의 다양한 철도차량용 감속기

□ 마그네틱 커플러 및 마그네틱 베어링

○ 마그네틱 커플러의 원리 자체는 매우 간단하여 일찍부터 개념이 도입되었으나, 응용분야가 제한되어 있어 완성품을 대량 생산하는 곳은 적음.

○ 마그네틱 커플러는 영구자석을 사용하여 기계적인 접촉을 갖지 않고 자기적인 연결로 축과 축 사이에 동력을 전달하는 역할을 함

○ 수력 부문, 컴프레서, 믹서기, 멸균장치, 의약 제조, 식품 제조 등 방수 또는 오염방지를 위해 축 간의 격리가 필요한 분야에서 활발하게 사용하고 있으며 최대 600 Nm의 전달력 및 3도 정도까지의 misalignment를 허용하는 수준까지 개발 됨.



<그림 2-113> 마그네틱 베어링 제조회사 및 생산품

○ 마그네틱 커플러의 경우 비교적 간단한 구조와 동작 원리로 인하여 학계에서는 새로운 구조 제시보다는 특성 예측을 위한 해석 기법 및 최적화기법 적용을 위한 응용분야 정도로 다루는 곳이 많음.

○ 철도분야에서는 마그네틱 커플러의 경우 비교적 간단한 구조와 동작 원리로 인하여 학계에서는 새로운 구조 제시보다는 특성 예측을 위한 해석 기법 및 최적화기법 적용을 위한 응용분야 정도로 다루는 곳이 많음.

○ 마그네틱 베어링은 1937년 버지니아 대학의 Beams 등이 전자석을 이용하여 1축 자기부상계로 0.4mm의 철구를 부상시켜 80만RPM까지 회전시킨 것이 최초 성공 사례로 꼽힘

○ 이후 1976년에 프랑스에서 마그네틱 베어링 전문회사가 설립되면서 주목을 끌게 됨

○ 국내에서는 1980년대부터 하계 중심으로 연구가 시작되어 90년대 중반부터 적용연구가 진행되었음

○ 국내의 경우 1990년을 기점으로 특허 출원 건수가 점진적 증가를 나타내고 있음

○ 2000년 이후에는 각국의 특허 건수가 감소하는 추세임

○ 해외에서는 마그네틱 베어링에 대한 연구가 다수 진행되고 있으며, 자기 해석, 전자석 제어, 기계 해석, 최적화, 응용 연구 등 다양한 방면에서 논문이 발표되고 있음

○ 마그네틱 베어링은 일반적인 접촉식 베어링에 비해 고속화 용이, 유지보수 감소, 소음 감소 등 뚜렷한 장점을 가지고 있지만, 높은 비용 및 큰 부피로 인해 고부가가치 제품에 주로 적용되고 있음

○ 이에 따라 완성품 대량 생산보다는 전문기술을 가지고 있는 업체에 의한 개발 및 주문 생산에 초점이 맞춰지고 있음



<그림 2-114> WAUKESHA사 마그네틱 베어링



<그림 2-115> MECOS사 마그네틱 베어링

제 3 장 특허 및 동향 분석

제 1 절 차량용 주변압기 특허 및 논문 동향분석

○ 기술의 정의

- 철도차량용 주변압기의 안정화 및 경량화를 위한 기술분석

- 첨단 소재를 활용한 주변압기 개발

1. 특허 동향 분석

○ 특허 분석 기준

- 특허 분석 범위

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~2016.03.01				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

- 검색 조합식

기술구분	검색 조합식	유효 특허
철도 차량용 변압기	TAB=(((onboard and (power or traction or propulsion or main or solid or electronic) near3 transformer)) or ((power or traction or propulsion or main) near3 transformer and ((rolling adj stock) or EMU or (multiple adj unit) or locomotive or train or metro or subway))) AND DP>=(19900101);	338

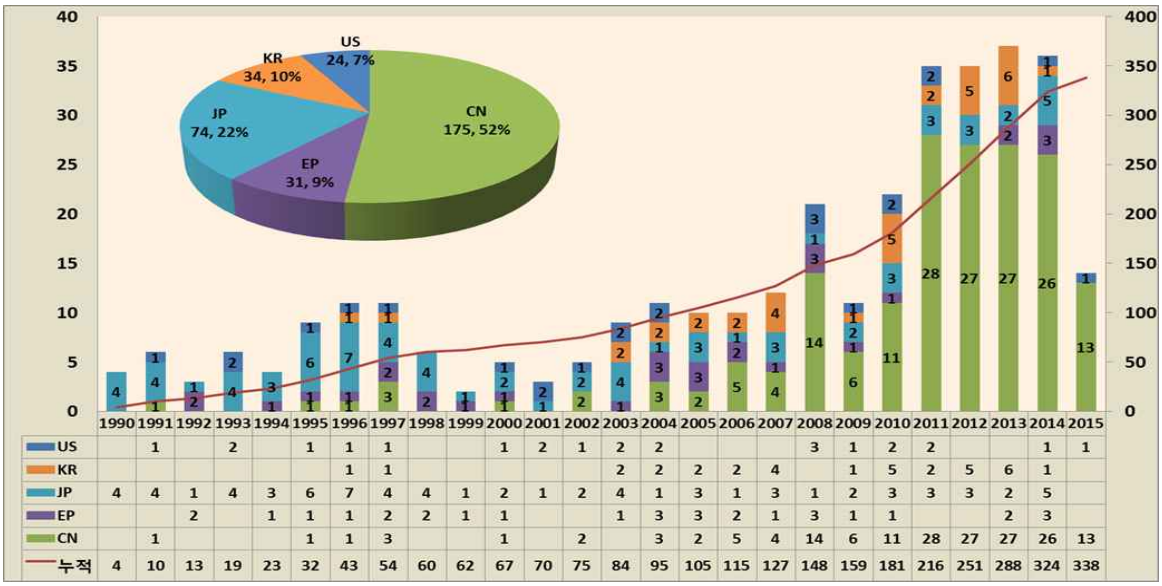
○ 관련 특허 현황

- 철도차량용 변압기 기술 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 338건의 관련 특허가 출원되고 있음

- 국가별 점유율 분포를 살펴보면, 중국이 175건으로 과반수 이상을 차지하고 있으며, 일본22%(74건), 한국 10%(34건), 유럽9%(31건), 미국 7%(24건) 순으로 나타남.

- 우리나라는 대체로 2000년대 후반 이후 간헐적인 출원이 이루어 졌으며 2010년 이후 출원이 소폭 증가하는 추세로 나타남

- 일본, 미국, 유럽의 출원이 비슷한 수준을 유지하고 있는 반면, 2010년 이후에 중국의 출원이 급속한 증가세를 나타나고 있다는 점에서 주목할만 함



	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
US		1		2		1	1	1			1	2	1	2	2				3	1	2	2			1	1
KR							1	1						2	2	2	2	4		1	5	2	5	6	1	
JP	4	4	1	4	3	6	7	4	4	1	2	1	2	4	1	3	1	3	1	2	3	3	3	2	5	
EP			2		1	1	1	2	2	1	1			1	3	3	2	1	3	1	1			2	3	
CN		1				1	1	3			1		2		3	2	5	4	14	6	11	28	27	27	26	13
누적	4	10	13	19	23	32	43	54	60	62	67	70	75	84	95	105	115	127	148	159	181	216	251	288	324	338

<그림 3-1> 연도별 출원 동향

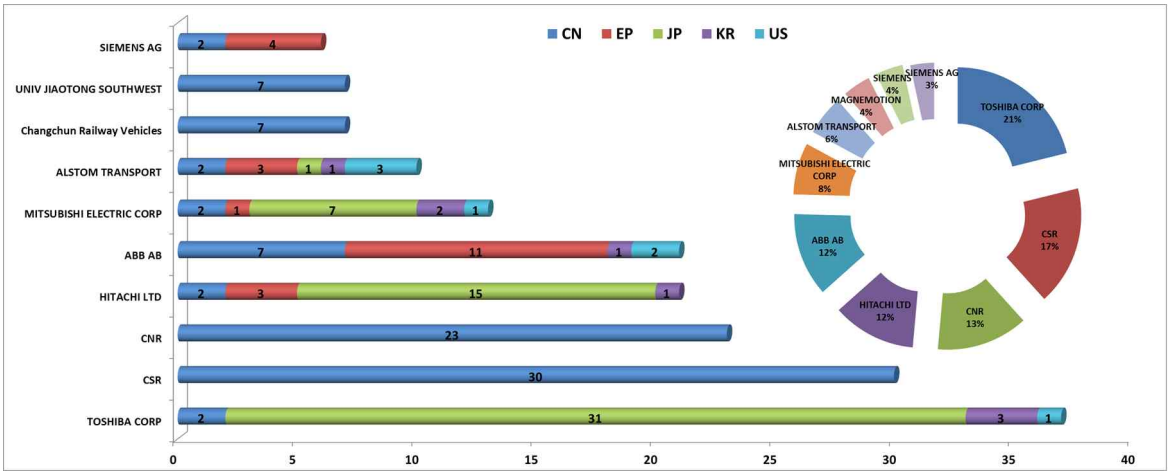
○ 주요 출원인 분석

- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(Top10 Assignee)을 살펴보면, TOSHIBA CORP가 최다 출원인이며, 차순위 최다 출원인은 중국의 CSR과 CNR로 나타났음. CSR과 CNR이 중국 공영철도 라는 점에서 최다 출원인으로 이 분야 기술을 주도할 수 있다는 점에서 의미가 있음.

- 그 외 주요 출원인으로는 HITACHI LTD, ABB AB, MITSUBISHI ELECTRIC CORP, ALSTOM TRANSPORT, Changchun Railway Vehicles, UNIV JIAOTONG SOUTHWEST, SIEMENS AG로 나타남

- 최다 출원인인 TOSHIBA CORP가 해외국가에 일부 출원하고 있으나 일본에

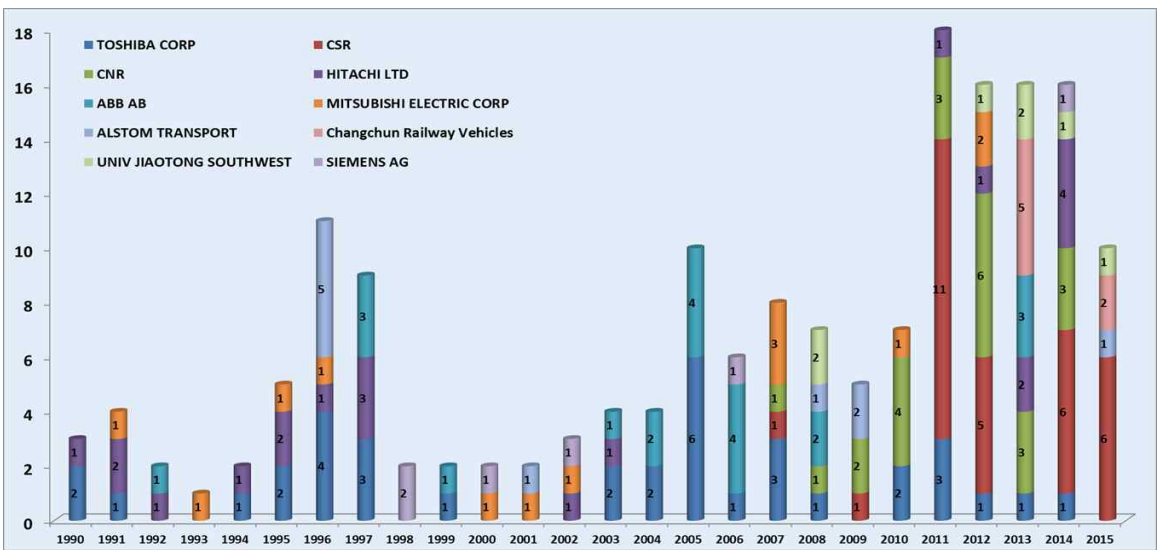
집중적으로 출원하고 있다는 점과, 중국공영철도인 CSR과 CNR은 자국에서만 출원하였다는 점에서 글로벌 특허기술 경쟁은 아직 치열하지 않은 것으로 보여짐



<그림 3-2> 주요 출원인 동향

- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 최다 출원인인 TOSHIBA CORP의 최근 출원이 다소 주춤하고 있음. 반면, 중국의 CSR은 2010년 이후 가장 많은 특허를 출원하고 있어 이 기술분야를 선도하고 있음을 확인할 수 있음

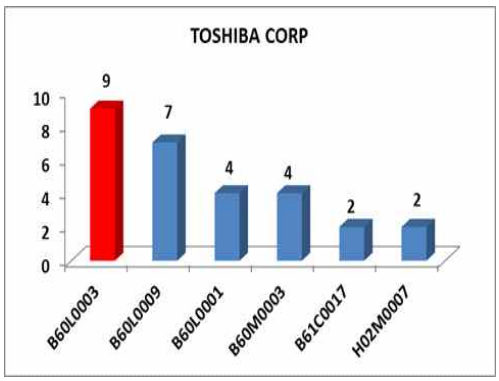
- 그 외 주요 출원인 대부분은 비교적 꾸준한 특허출원 동향을 보이고 있음



<그림 3-3> 주요 출원인 동향

○ IPC코드에 따른 주요출원인별 기술분야

(1) TOSHIBA CORP

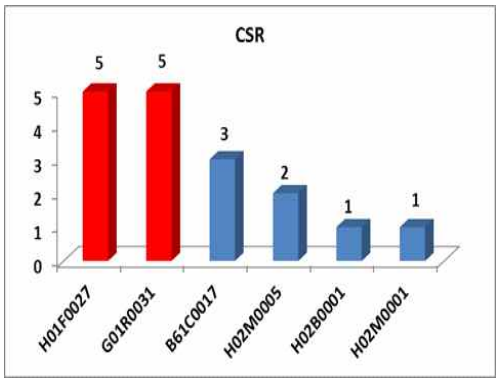


IPC	타이틀
B60L 0003	전기적 추진차량의 안전 목적의 전기적 장치; 동작변수 모니터링, 예. 속도, 가속도, 소비전력
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
B60L 0001	전기 추진차량의 보조장치에 전력공급
B60M 0003	차량에 설치된 집전장치나 접촉하는 전력선에 전원을 공급하는 것; 회생력을 소비하는 장치
B61C 0017	부품의 배열 또는 배치 달리 분류되지 않는 세부 또는 부속품; 제어 장치 및 제어 방식을 사용하는 것
H02M 0007	교류입력-직류출력변환; 직류입력-교류출력변환

· TOSHIBA CORP은 B60L0003, B60L0009, B60L0001, B60M0003 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

※B60L0003은 IPC코드 B60L 3/00을 표시한 것임

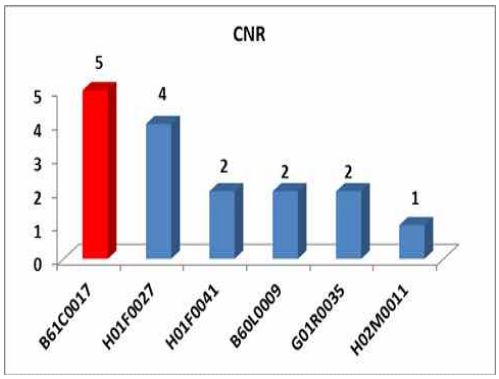
(2) CSR



IPC	타이틀
H01F 0027	일반적인 변성기 또는 인덕턴스의 세부
G01R 0031	전기적 특성을 시험하기 위한 장치; 전기적 고장의 위치를 나타내기 위한 장치; 달리 분류가 되지 않고 시험하는 것에 특징이 있는 전기적 시험을 위한 장치
B61C 0017	부품의 배열 또는 배치 달리 분류되지 않는 세부 또는 부속품; 제어 장치 및 제어 방식을 사용하는 것
H02M 0005	교류상호간의 변성, 예. 전압, 주파수 또는 상수의 변환용
H02B 0001	골조(frame works), 반, 패널, 책상, 케이스; 변전소 또는 스위치장치의 세부
H02M 0001	변환장치의 세부

· CSR은 H01F0027, G01R0031, B61C0017 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

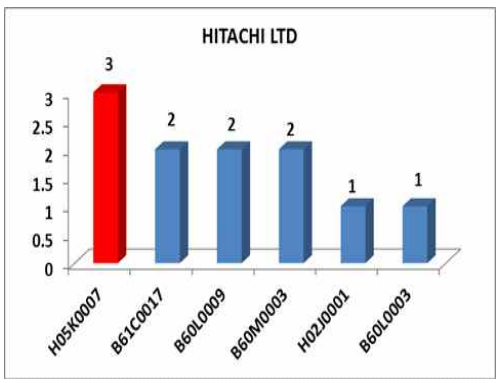
(3) CNR



IPC	타이틀
B61C 0017	부품의 배열 또는 배치 달리 분류되지 않는 세부 또는 부속품; 제어 장치 및 제어 방식을 사용하는 것
H01F 0027	일반적인 변성기 또는 인덕턴스의 세부
H01F 0041	이 서브클래스에 포함된 장치의 제조-또는 조합에 특히 적합한 장치 또는 공정
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
G01R 0035	이 서브클래스의 다른 그룹에 포함되는 장치의 시험 또는 교정
H02M 0011	이 서브클래스의 다른그룹에 포함되지 않는 전력변환시스템

· CNR은 B61C0017, H01F0027, H01F0041 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

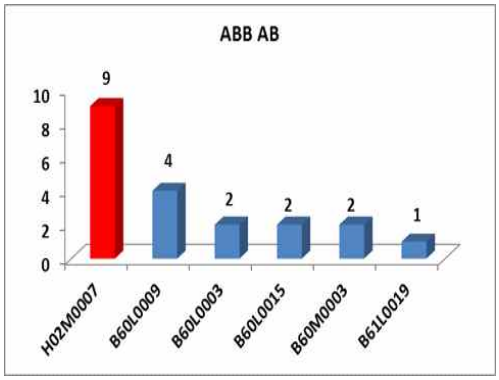
(4) HITACHI LTD



IPC	타이틀
H05K 0007	상이한 형의 전기장치에 공통된 구조적 세부
B61C 0017	부품의 배열 또는 배치 달리 분류되지 않는 세부 또는 부속품; 제어 장치 및 제어 방식을 사용하는 것
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
B60M 0003	차량에 설치된 집전장치나 접촉하는 전력선에 전원을 공급하는 것; 회생력을 소비하는 장치
H02J 0001	직류간선 또는 직류배전망을 위한 회로 장치
B60L 0003	전기적 추진차량의 안전 목적의 전기적 장치; 동작변수 모니터링, 예. 속도, 가속도, 소비전력

· HITACHI LTD는 H05K0007, B61C0017, B60L0009, B60M0003 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

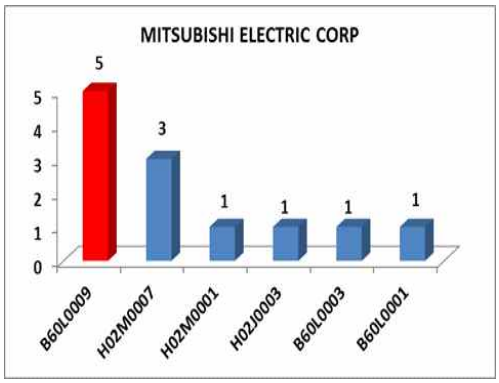
(5) ABB AB



IPC	타이틀
H02M 0007	교류입력-직류출력변환; 직류입력-교류출력변환
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
B60L 0003	전기적 추진차량의 안전 목적의 전기적 장치; 동작변수 모니터링, 예. 속도, 가속도, 소비전력
B60L 0015	전기 추진차량의 추진을 제어하는 방법, 회로 또는 장치, 예. 요구되는 성능을 달성하기 위한 차량의 견인 모터 속도; 고정된 장소, 차량의 대체 부품 또는 같은 차량 열차의 대체 차량으로부터 원격 작동을 위해 전기적 추진 자동차 제어 장치의 적용체
B60M 0003	차량에 설치된 집전장치나 접촉하는 전력선에 전원을 공급하는 것; 회생력을 소비하는 장치
B61L 0019	단일 연동 장치에 의하여 전철기와 신호기를 연동시키기 위한 장치

· ABB AB은 H02M0007, B60L0009, B60L0003 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

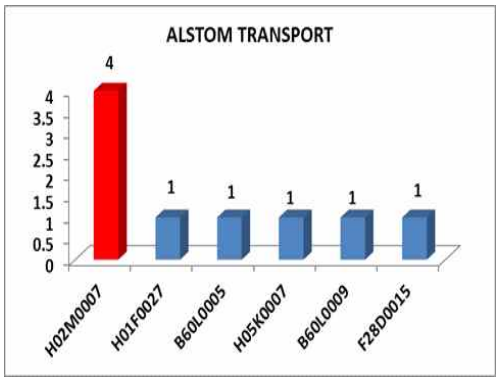
(6) MITSUBISHI ELECTRIC CORP



IPC	타이틀
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
H02M 0007	교류입력-직류출력변환; 직류입력-교류출력변환
H02M 0001	변환장치의 세부
H02J 0003	교류간선 또는 교류배전망을 위한 회로장치
B60L 0003	전기적 추진차량의 안전 목적의 전기적 장치; 동작변수 모니터링, 예. 속도, 가속도, 소비전력
B60L 0001	전기 추진차량의 보조장치에 전력공급

· MITSUBISHI ELECTRIC CORP는 B60L0009, H02M0007, H02M0001 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

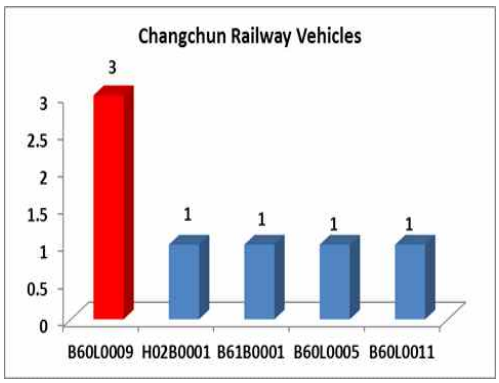
(7) ALSTOM TRANSPORT



IPC	타이틀
H02M 0007	교류입력-직류출력변환; 직류입력-교류출력변환
H01F 0027	일반적인 변성기 또는 인덕턴스의 세부
B60L 0005	전기적 추진차량의 동력공급선에 대한 집전장치
H05K 0007	상이한 형의 전기장치에 공통된 구조적 세부
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
F28D 0015	중간열전달매체를 사용하는 열교환장치

· ALSTOM TRANSPORT는 H02M0007 기술분야에 집중된 연구가 이루어지는 것으로 보이며, 그외에 H01F0027, H05K0007 등의 기술분야에서 연구가 이루어지고 있음

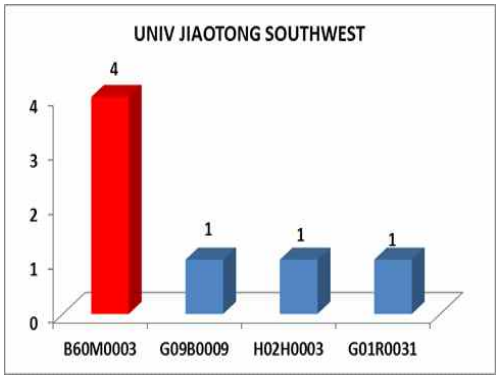
(8) Changchun Railway Vehicles



IPC	타이틀
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
H02B 0001	골조(frame works), 반, 패널, 책상, 케이스; 변전소 또는 스위치장치의 세부
B61B 0001	정차장; 플랫폼 또는 측선의 일반적 배치; 철도 네트워크; 차량의 조차 방식
B60L 0005	전기적 추진차량의 동력공급선에 대한 집전장치
B60L 0011	차량 내부에 동력공급원을 가지는 전기적 추진장치

· Changchun Railway Vehicles는 B60L0009 기술분야에 집중된 연구가 이루어지는 것으로 보이며, 그 외에 H02B0001, B61B0001 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 진행되고 있음

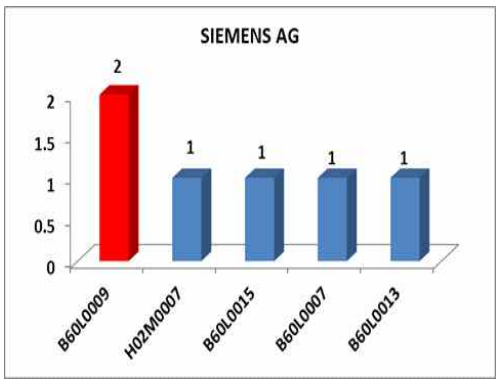
(9) UNIV JIAOTONG SOUTHWEST



IPC	타이틀
B60M 0003	차량에 설치된 집전장치나 접촉하는 전력선에 전원을 공급하는 것; 회생력을 소비하는 장치(차량에 급전되는 전력의 전압을 변화시키는 것에 의한 철도차량의 제어
G09B 0009	교습 또는 훈련목적의 시뮬레이터
H02H 0003	전기적으로 정상인 동작상태에서의 이상변화에 직접응답하고 자동개방을 위한 비상보호회로장치, 그 후에 있어서, 재폐로하는 경우 또는 하지 않는 경우도 포함한다
G01R 0031	전기적 특성을 시험하기 위한 장치; 전기적 고장의 위치를 나타내기 위한 장치; 달리 분류가 되지 않고 시험하는 것에 특징이 있는 전기적 시험을 위한 장치

· UNIV JIAOTONG SOUTHWESTI는 B60M0003 기술분야에 집중된 연구가 이루어지는 것으로 보이며, 그 외에 G09B0009, H02H0003 등의 기술분야에도 연구 및 개발이 진행되고 있음

(10) SIEMENS AG

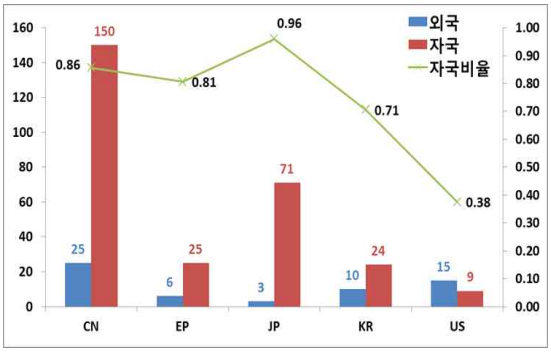


IPC	타이틀
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
H02M 0007	교류입력-직류출력변환;직류입력-교류출력변환
B60L 0015	전기 추진차량의 추진을 제어하는 방법, 회로 또는 장치, 예. 요구되는 성능을 달성하기 위한 차량의 견인 모터 속도; 고정된 장소, 차량의 대체 부품 또는 같은 차량 열차의 대체 차량으로부터 원격 작동을 위해 전기적 추진 자동차 제어 장치의 적용체
B60L 0007	차량용 전기적 제동방식일반
B60L 0013	모노레일차량, 차체현가차량, 랙(rack)식 철도를 위한 전기적 추진 장치; 차량용 자기현가 또는 부상

· SIEMENS AG는 B60L0009 H02M0007, B60L0015 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 이루어지고 있는 것으로 나타남

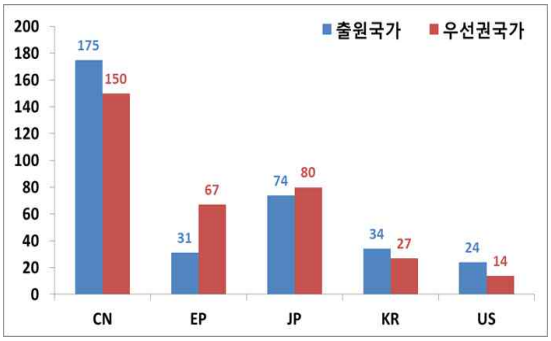
○ 국가별 특허현황

- 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있음.
- 특히 중국과 일본은 자국에 편중된 특허활동을 보이고 있어, 기술폐쇄성 및 자국의존도가 높음을 확인할 수 있음.
- 외국기관의 특허출원이 상대적으로 높게 나타나고 있는 미국은 기술 개방성이 높은 것으로 판단됨.



<그림 3-4> 국가별 특허 점유현황

- 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있음
- 일본과 유럽은 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 자국시장보다 해외시장 진출노력을 더 하는 것으로 추정됨. 반면, 중국, 미국, 한국에서는 자국에 출원된 특허건수가 우선권 보유건수를 상회하고 있어, 해외 진출에 대한 노력이 상대적으로 낮은 것으로 나타남



<그림 3-5> 국가별 출원특허 대비 우선권특허 현황

○ 우선권 국가 (Priority Country)별 특허분포 지수분석

(1) 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

- (지표 설명) 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 數가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함

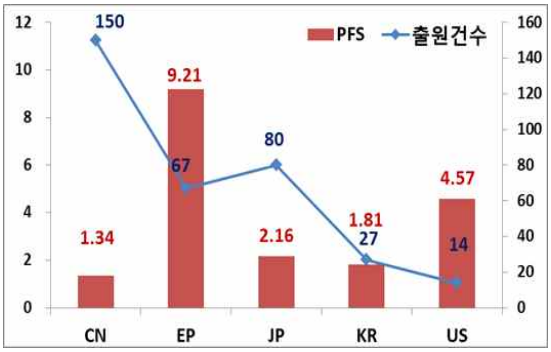
- (계산식) 국가별 시장확보지수(PFS) = (Σ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수

- (분석결과)

· 유럽의 시장확보지수(PFS)가 9.21로 가장 높고, 다음으로 미국 일본 순임

· 이는 해당 기관들이 해외진출을 위한 패밀리 특허를 많이 출원하였기 때문으로 판단됨

· 중국은 특허 건수는 가장 많지만, 시장확보지수는 가장 낮게 나타나고 있음



<그림 3-6> 국가별 출원건수 및 시장확보지수

(2) 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

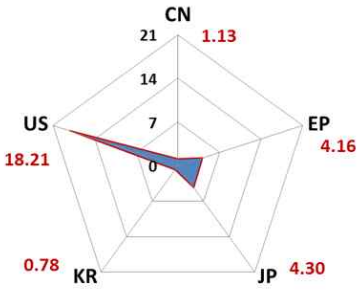
- (지표 설명) 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용함

- (계산식) 국가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수

- (분석결과)

· 미국의 인용도지수(CPP)가 18.21로 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단됨

· 한국은 인용도 지수(CPP)가 0.78로 가장 낮게 나타나고 있어, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단됨



<그림 3-7> 국가별 인용도지수

(3) 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

- (지표 설명) 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적 수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정국가의 기술보유양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적 수준)를 함께 나타냄

- (계산식)

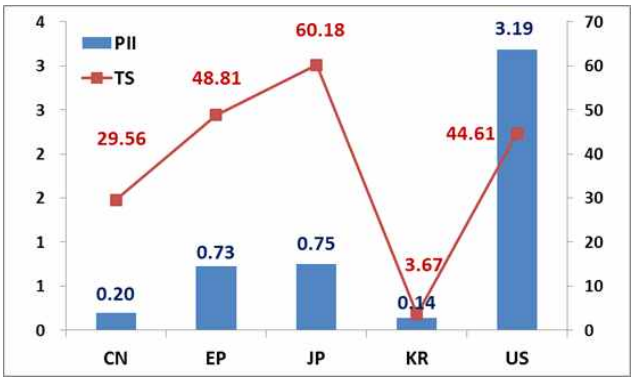
· 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수

· 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

- (분석결과)

· 미국의 영향력지수(PII)가 3.19로 나타나 질적 수준에서 우수하며, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 일본, 유럽, 미국 순으로 나타남

· 한국 특허는 인용도지수(CPP)가 낮게 나타나, 영향력지수가 가장 낮으며,, 기술력지수 또한 가장 낮음. 이는 원천특허/핵심특허의 비중이 낮은 것으로 판단할 수 있음



<그림 3-8> 국가별 영향력지수 및 기술력지수

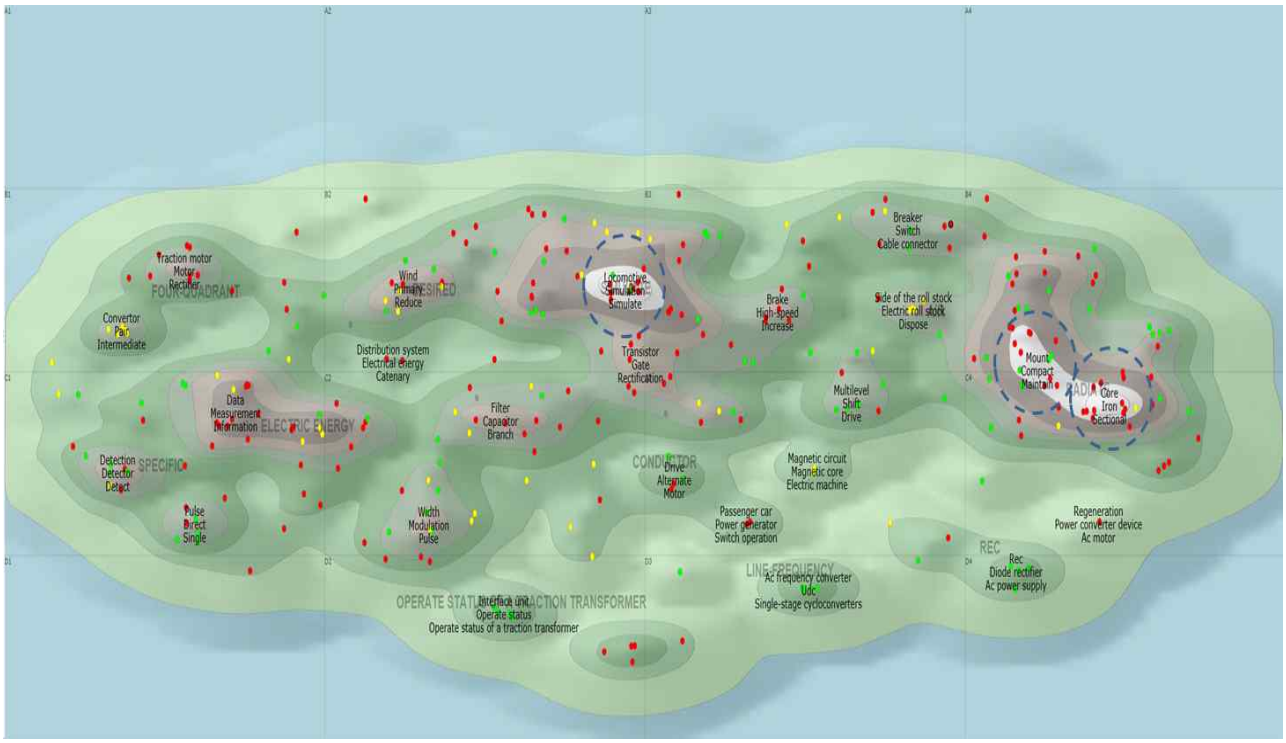
○ Text mining을 통한 기술분야 특허 분포도

- 철도차량 추진시스템(변압기) 기술분야 검색결과, 최종 332건의 출원된 특허기술이 분포함

- 이 분야의 특허기술 영역은 전반적으로 SIMULATE, RADIATE와 관련된 기술들이 많이 포함되어 있음

- 등고선 꼭짓점이 높은 Locomotive/Simulation/Simulate, Core/Iron/Sectional, Mount/Compact/Maintain 키워드를 포함하는 기술에 특허가 많이 분포하고 있어, 관련분야가 집중도가 높은 기술로 볼 수 있음

- 2016년 최근 공개된 특허기술을 보면 Traction inverter main circuit, Traction transformation device and method와 관련된 변압기 기술이 나타나고 있어 관련 기술이 최근 주목받고 있는 기술로 판단할 수 있음



<그림 3-9> 특허 등고선 맵

○ 주요 특허 현황

- 철도차량용 추진시스템(변압기) 기술 분야에 관한 유효특허 중, 전차선 전압의 검출 및 제어와 관련된 일본 Toshiba Corp.의 공개특허 JP8308252A(IPC: H02M 7/537, B60L 3/00, B60L 9/24, H02M 7/483, H02P 27/06)의 피인용 건수가 23건으로 가장 많음. 피인용 수가 많은 등록 특허를 핵심특허로 하여 권리분석을 할 수 있으며 해당 특허는 변압기의 철도차량 응용과 관련된 특허임.

○ 특허 회피 전략

- 첨단 철도차량용 변압기의 기술개발은 주로 전력전자 기술을 활용한 응용기술을 개발

- 특허의경향: Topology의 AC-DC 변환 및 DC-DC 변환기술의 다양한 Topology를 적용

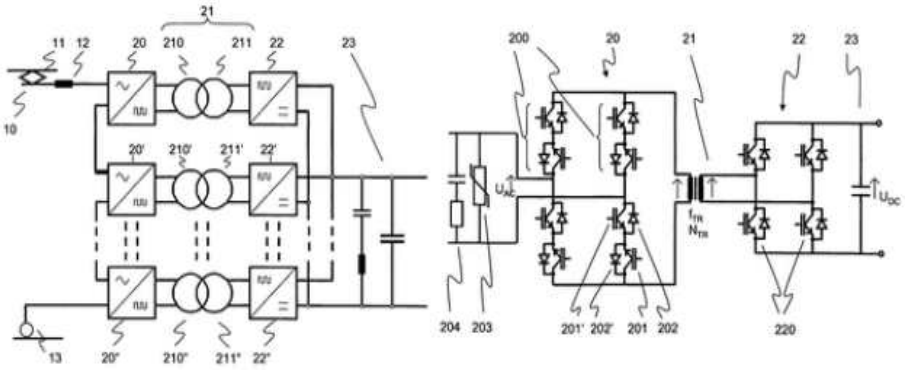
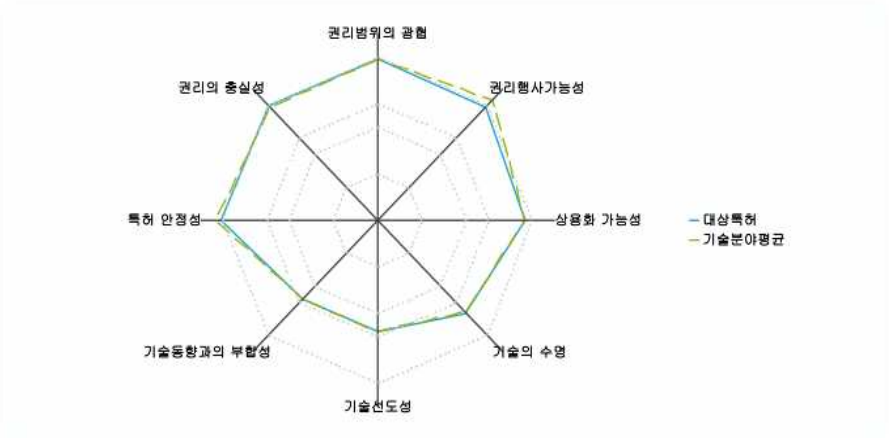
- 회피전략: 첨단 변압기를 철도차량에 적용하는 경우 철도차량과의 인터페이스 회로의 변경부분을 적용한 적절한 Topology와 제어 방법의 채택 및 철도차량 인터페이스 회로의 최적화 등을 통하여 기존의 선행 특허를 충분히 회피 할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 3-1> 주요 특허 현황(피인용순)

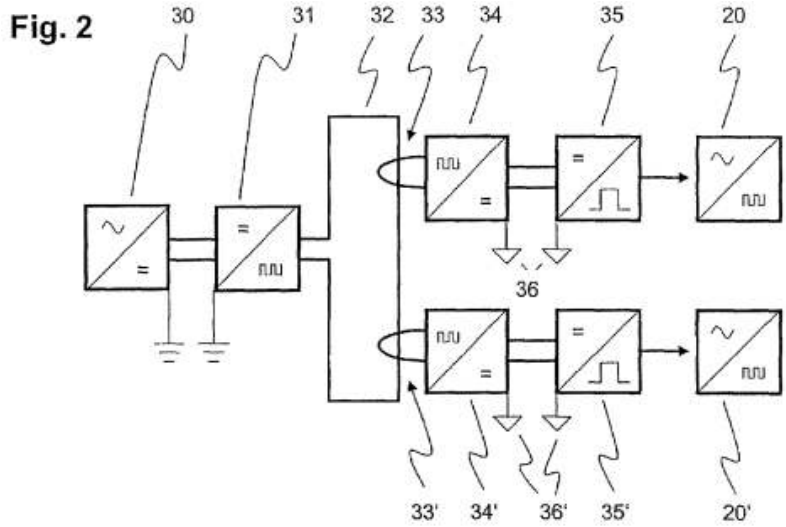
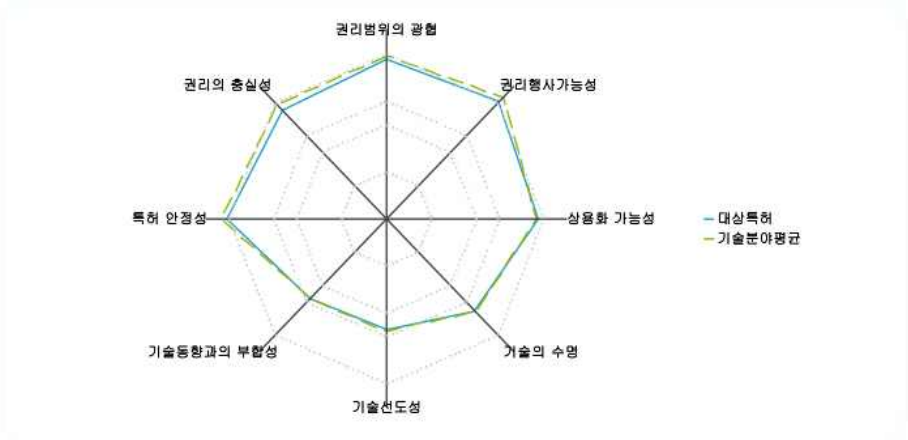
순번	공개번호	발명의 명칭	IPC	출원인	피인용수
1	JP8308252A	POWER CONVERTER	H02M 7/537, B60L 3/00, B60L 9/24, H02M 7/483, H02P 27/06	TOSHIBA CORP	23
2	JP2001320804A	POWER SUPPLY FACILITY AND ELECTRIC CAR	B60L 9/30, B60L 9/18, B60L 9/24	MEIDENSHA ELECTRIC MFG CO LTD	18
3	US5687071A	Voltage lowering device and asynchronous traction system supplied from a single-phase mains supply incorporating a device of this kind	H02M 7/21, B60L 9/22, H02J 3/36, H02J 5/00, H02M 3/28, H02M 3/335, H02M 7/12, H02M 7/521	GEC ALSTHOM TRANSPORT SA	18
4	US5255152A	Controller for fixed-time pull-in of a relay	H01H 47/00, H01H 9/56, H01H 47/32	EATON CORP	17
5	CN101434206A	Automatic power-passing phase-splitting apparatus of AC drive electric locomotive	B60M 3/04	UNIV JIAOTONG SOUTHWEST	15
6	JP8079901A	CONTROLLER FOR ELECTRIC VEHICLE	B60L 3/00, B60L 9/24	TOSHIBA CORP	15
7	JP6233538A	CONTROLLER OF AC ELECTRIC CAR	B60L 9/24, H02M 1/14, H02M 7/12, H02M 7/155, H02P 27/06	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	15
8	US7558087B2	Multilevel AC/DC converter for traction applications	H02J 3/36, H02M 7/08	ABB RESEARCH LTD	14
9	JP10210606A	ELECTRIC ROLLING STOCK CONTROL EQUIPMENT	B60L 3/00, B60L 9/24, H02M 7/06, H02M 7/12	TOSHIBA CORP	14
10	JP9065507A	AC-DC SWITCHING CIRCUIT OF AC-DC DUAL SYSTEM ELECTRIC CAR	H02J 5/00, B60L 3/00, B60L 9/14	HITACHI LTD	13
11	EP1750360A1	Multilevel converter arrangement and use thereof	H02M 7/00, B60L 9/28, H01F 27/12, H05K 7/20	ABB RESEARCH LTD	12
12	JP2004336833A	CONTROLLER OF ELECTRIC POWER TRANSFORMER FOR ROLLING STOCK	B61C 17/12, B60L 9/18, B60L 11/08, B60L 11/12, H02M 7/493	HITACHI LTD	12
13	CN1558539A	Transformer clamping zero voltage switch three level full bridge converter and its expansion circuit	H02M 3/06	UNIV NANJING AERONAUTICS	11
14	EP1470948A1	Traction transformer and method for monitoring an operating status of a traction transformer	B60L 3/12, B60L 9/08, H01F 27/10, H01F 27/40, H02H 7/04	ABB SECHERON SA	9
15	JP9246767A	POWER CONVERTER FOR ELECTRIC CAR	H05K 7/20, B61C 17/04, B61D 27/00, H01L 23/473	HITACHI LTD	9

○ 주요 특허 심층 분석

<표 3-2> 주요 핵심특허 현황

<table>
<tr><td>1</td><td>기술 분류</td><td>철도차량 추진시스템(변압기)</td><td>특허번호 (출원번호)</td><td>US200868101A</td><td>특허번호 (공개번호)</td><td>US7558087B2</td></tr>
<tr><td colspan="2">출원인</td><td>ABB RESEARCH LTD</td><td>출원일</td><td>2008-02-01</td><td>공개일</td><td>2005.08.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">Multilevel AC/DC converter for traction applications</td></tr>
<tr><td colspan="2">대표도면</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요 내용</td><td colspan="5">Multilevel 전력변환장치를 이용하여 주변압기를 대체하기 위한 장치를 구성</td></tr>
<tr><td colspan="2">SMART 특허분석평가</td><td colspan="5">
전체 평가 분석
<table>
<tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">중분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">소분류(전기기계/에너지)</th></tr>
<tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr>
<tr><td>권리성 (40점)</td><td>25.2</td><td>BB</td><td>54.8</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>54.9</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>34.4</td><td>25.1</td><td>2.4</td></tr>
<tr><td>기술성 (20점)</td><td>16</td><td>BBB</td><td>23.7</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>23.7</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>20.4</td><td>15.3</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>활용성 (40점)</td><td>27.8</td><td>B</td><td>67.4</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>67.4</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>67.0</td><td>28.4</td><td>1.6</td></tr>
<tr><td>총점 (100점)</td><td>69</td><td>BB</td><td>47.3</td><td>68.7</td><td>3.8</td><td>47.4</td><td>68.8</td><td>3.8</td><td>32.7</td><td>67.5</td><td>3.7</td></tr>
</table>


※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치
</td></tr>
<tr><td colspan="2">분석결과</td><td colspan="5">- 미국내에 등록이 진행 중인 패밀리 특허가 존재하며, 관련 해외 특허 출원이 6개가 있어 해외 특허망을 형성하고 있음. 다만, 후행특허가 다수 등록되었으며, 독립청구항에서 권리의 제한 어구가 많아 회피방안의 마련 및 상용화 가능성이 충분한 것으로 분석됨</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>2</td><td>기술
분류</td><td>철도차량
추진시스템(변압기)</td><td>특허번호
(출원번호)</td><td>1202539</td><td>특허번호
(공개번호)</td><td>0755482</td></tr>
<tr><td colspan="2">출원인</td><td>ABB Research Ltd</td><td>출원일</td><td>2008.02.04</td><td>공개일</td><td>2009.06.30</td></tr>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">multilevel converter arrangement</td></tr>
<tr><td colspan="2">대표도면</td><td colspan="5">
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요 내용</td><td colspan="5">Multilevel 전력변환장치를 이용하여 주변압기를 대체하기 위한 장치를 구성</td></tr>
<tr><td colspan="2">SMART
특허분석평가</td><td colspan="5">
전체 평가 분석
<table>
<tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">중분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">소분류(전기기계/에너지)</th></tr>
<tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr>
<tr><td>권리성 (40점)</td><td>21.8</td><td>CC</td><td>89.2</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>89.4</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>82.0</td><td>25.1</td><td>2.4</td></tr>
<tr><td>기술성 (20점)</td><td>15</td><td>BB</td><td>55.3</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>55.4</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>51.7</td><td>15.3</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>활용성 (40점)</td><td>28.9</td><td>BBB</td><td>30.5</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>30.5</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>28.1</td><td>28.4</td><td>1.6</td></tr>
<tr><td>총점 (100점)</td><td>65.7</td><td>CCC</td><td>78.8</td><td>68.7</td><td>3.8</td><td>79.0</td><td>68.8</td><td>3.8</td><td>67.1</td><td>67.5</td><td>3.7</td></tr>
</table>


※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치
</td></tr>
<tr><td colspan="2">분석결과</td><td colspan="5">- 미국내에 등록이 진행 중인 패밀리 특허가 존재하며, 관련 해외 특허 출원이 6개가 있어 해외 특허망을 형성하고 있음. 다만, 후행특허가 다수 등록되었으며, 독립청구항에서 권리의 제한 어구가 많아 회피방안의 마련 및 상용화 가능성이 충분한 것으로 분석됨</td></tr>
</table>

2. 논문 동향 분석

○ 논문 분석 기준

- 논문 분석 범위

구 분	분석 기준
논문검색 DB	Web of Science, Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~2016.03.01
검색범위	Title, Abstract

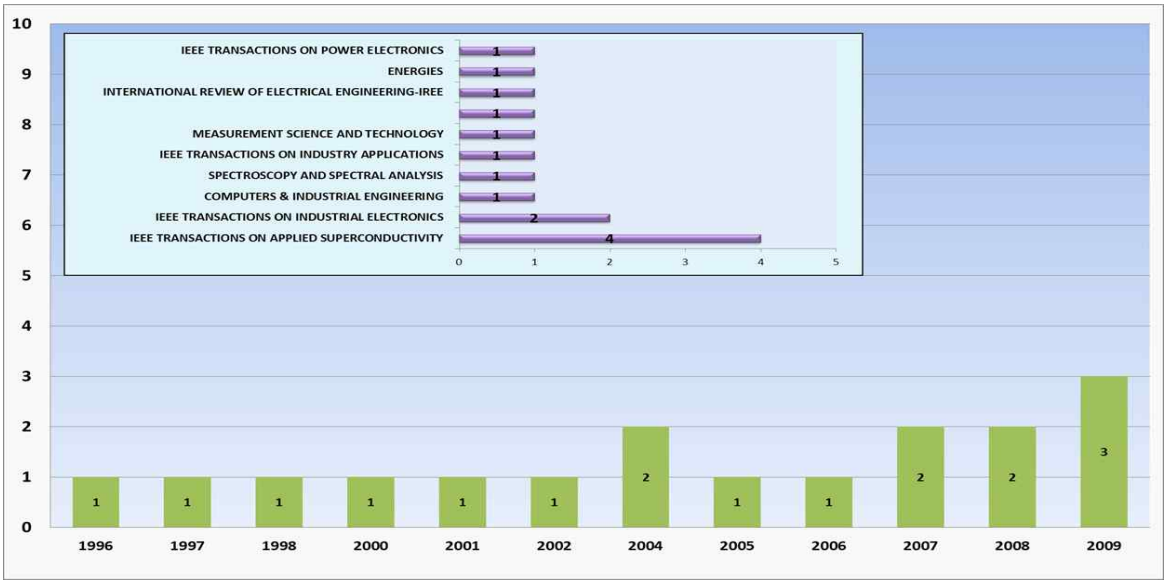
- 검색 조합식

기술구분	검색 조합식	관련 논문
철도 차량용 변압기	ALL=((traction or propulsion) and inverter and ((rolling adj stock) or EMU or (multiple adj unit) or locomotive or train or metro or subway));	53
	ALL=((traction or propulsion) near2 motor and ((rolling adj stock) or EMU or (multiple adj unit) or locomotive or train or metro or subway));	

○ 관련 논문 현황

- 철도차량용 변압기 기술 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 17건의 관련 논문이 발표되고 있음.

- 전체적인 논문건수가 매우 적어 일반화된 동향분석을 수행하기는 어려우나 17건의 관련논문이 모두 2000년 이후 게재되었다는 점에서 최근 관심분야로서 부각되고 있음을 예측할 수 있음

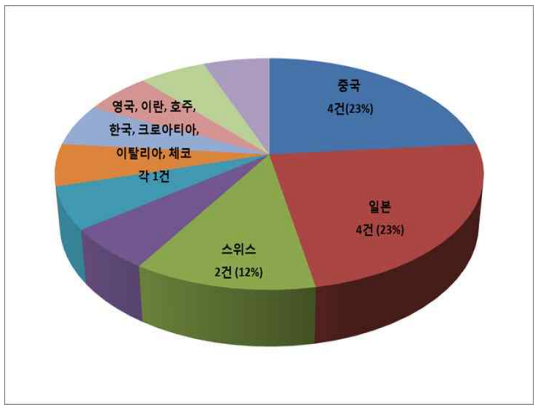


<그림 3-10> 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널

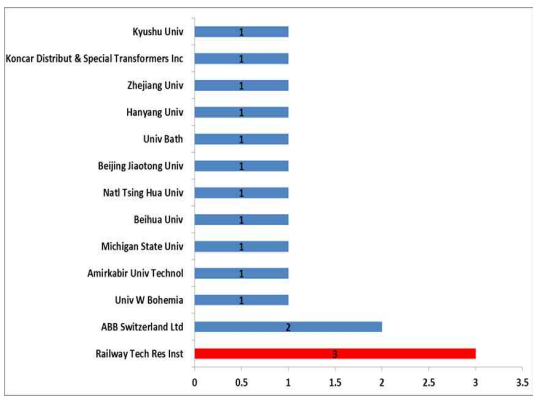
○ 주요기관 논문발표 현황

- 이 기술 분야 논문은 중국과 일본이 각각 4건으로 가장 많고, 스위스 2건 순으로 나타남. 그 외 영국, 이란, 호주, 한국, 크로아티아, 이탈리아, 체코의 연구기관이 각각 1건의 관련 논문을 발표하였음

- 논문 발표기관으로, 일본의 Railway Tech Res Inst 3건, 스위스의 ABB Switzerland Ltd가 2건의 논문을 발표하였으며, 한국의 기관으로는 한양대학교가 포함되어 있음



<그림 3-11> 논문 발표 주요 국가



<그림 3-12> 논문 발표 주요 기관

○ 논문현황

- 유효 논문의 피인용도를 기준으로 하는 주요 논문은 영국 Univ Bath의 A novel approach to the classification of the transient phenomena in power transformers using combined wavelet transform and neural network가 75회로 가장 높은 피인용도를 가지고 있어 주요 논문으로 볼 수 있어 연구에 참고할 필요성이 있음

<표 3-3> 주변압기 시스템 주요 논문현황

번호	논문제목	발표기관	저 널 명	피인용도
1	A novel approach to the classification of the transient phenomena in power transformers using combined wavelet transform and neural network	UnivBath	IEEETRANSACTIONSONPOWERDELIVERY	75
2	New Configuration of Traction Converter With Medium-Frequency Transformer Using Matrix Converters	UnivWBohemia	IEEETRANSACTIONSONINDUSTRIALELECTRONICS	25
3	Power Electronic Traction Transformer-Low Voltage Prototype	ABBSwitzerlandLtd	IEEETRANSACTIONSONPOWERELECTRONICS	18
4	Tests of superconducting traction transformer for railway rolling stock	RailwayTechResInst	IEEETRANSACTIONSONAPPLIEDSUPERCONDUCTIVITY	15
5	Design and Development of High-Power DC-DC Converter for Metro Vehicle System	MichiganStateUniv	IEEETRANSACTIONSONINDUSTRYAPPLICATIONS	8
6	Fabrication of inner secondary winding of high-T-C Superconducting traction transformer for railway rolling stock	RailwayTechResInst	IEEETRANSACTIONSONAPPLIEDSUPERCONDUCTIVITY	4
7	Fabrication of winding model of high-T-c superconducting transformer for railway rolling stock	RailwayTechResInst	IEEETRANSACTIONSONAPPLIEDSUPERCONDUCTIVITY	4
8	Power Electronic Traction Transformer-Medium Voltage Prototype	ABBSwitzerlandLtd	IEEETRANSACTIONSONINDUSTRIALELECTRONICS	4
9	Feasibility study of oxide superconducting transformers for Shinkansen rolling stock	KyushuUniv	IEEETRANSACTIONSONAPPLIEDSUPERCONDUCTIVITY	3
10	A Novel Algorithm Based on Wavelet and Parallel Neural Networks for Diagnosing Power Transformer Status		INTERNATIONALREVIEWOFELECTRICALENGINEERING-IREE	3
11	Application of Optimized Parameters SVM Based on Photoacoustic Spectroscopy Method in Fault Diagnosis of Power Transformer	BeihuaUniv	SPECTROSCOPYANDSPECTRALANALYSIS	1
12	ANN and Cross-correlation based	Amirkabir	IEEETRANSACTIONSONDI	1

	Features for Discrimination between Electrical and Mechanical Defects and their Localization in Transformer Winding	UnivTechnol	ELECTRICSANDELECTRICALINSULATION	
13	External magnetic field density of main traction transformer for EMU	KoncarDistribut&SpecialTransformersInc	COMPEL-THEINTERNATIONALJOURNALFORCOMPUTATIONANDMATHEMATICSINELECTRICALANDELECTRONICENGINEERING	0
14	Magnetic-Field Analysis on Winding Disposition of Transformer for Distributed High-Speed Train Applications	HanyangUniv	IEEETRANSACTIONSONMAGNETICS	0
15	Harmonic Loss Analysis of the Traction Transformer of High-Speed Trains Considering Pantograph-OCS Electrical Contact Properties	BeijingJiaotongUniv	ENERGIES	0
16	Intelligent engineering asset management system for power transformer maintenance decision supports under various operating conditions	NatlTsingHuaUniv	COMPUTERS&INDUSTRIALENGINEERING	0
17	A method of real-time fault diagnosis for power transformers based on vibration analysis	ZhejiangUniv	MEASUREMENTSCIENCEANDTECHNOLOGY	0

제 2 절 차량용 추진제어장치 특허 및 논문 동향분석

○ 기술의 정의

- 철도차량용 추진제어장치의 안정화 및 경량화를 위한 기술분석

- 첨단 소자를 활용한 추진제어장치 개발

1. 특허 동향 분석

○ 특허 분석 기준

- 특허 분석 범위

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~2016.03.01				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

- 검색 조합식

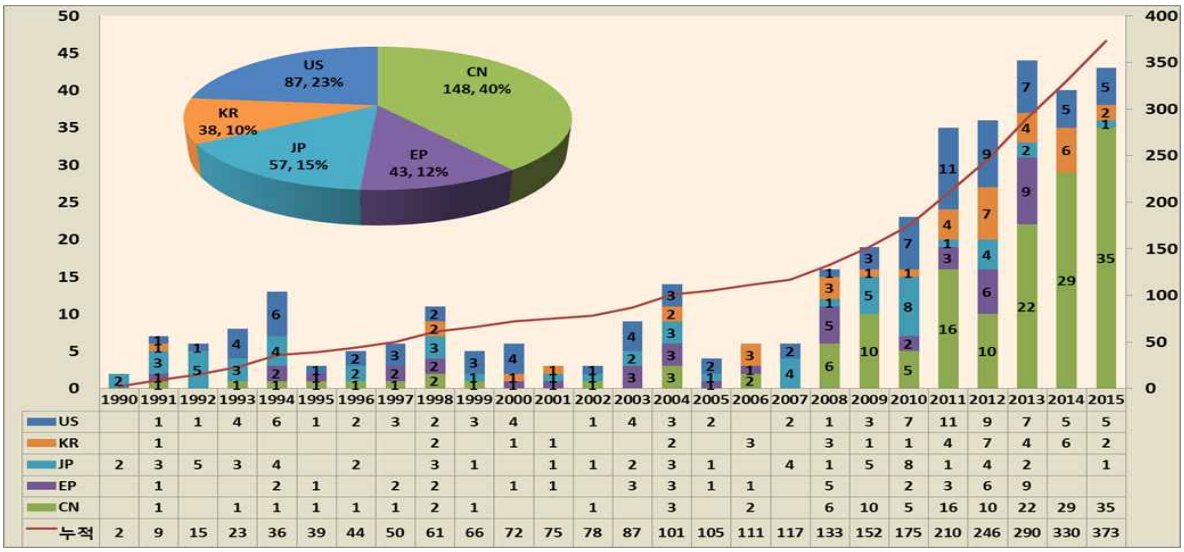
기술구분	검색 조합식	유효 특허
철도 차량용 추진 제어장치 및 견인 전동기	TAB=((traction or propulsion) and inverter and ((rolling adj stock) or EMU or (multiple adj unit) or locomotive or train or metro or subway)) AND DP>=(19900101);	373
	TAB=((traction or propulsion) near2 motor and ((rolling adj stock) or EMU or (multiple adj unit) or locomotive or train or metro or subway)) AND DP>=(19900101);	

○ 관련 특허 현황

- 철도차량용 추진 제어장치 및 견인 전동기 기술 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 373건의 관련 특허가 출원되고 있음

- 국가별 점유율 분포를 살펴보면, 중국이 148건으로 최다이며, 미국(87건), 일본(57건), 유럽(43건), 한국(38건) 순으로 나타남

- 2000년대 중후반 이후에 중국의 출원이 급속한 증가세를 나타내고 있으며, 또한 한국과 미국의 출원 증가도 주목할만 함. 이처럼 중국, 미국, 한국의 출원 동향을 봤을 때, 최근 관련 분야 관심이 증가하고 있다고 보여짐.



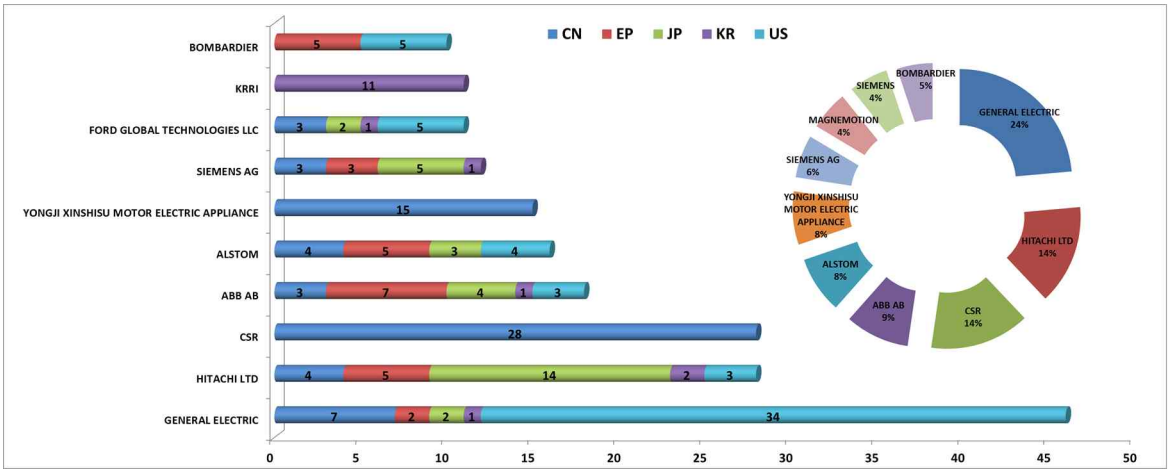
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
US		1	1	4	6	1	2	3	2	3	4		1	4	3	2		2	1	3	7	11	9	7	5	5
KR		1							2		1	1			2		3		3	1	1	4	7	4	6	2
JP	2	3	5	3	4		2		3	1		1	1	2	3	1		4	1	5	8	1	4	2		1
EP		1			2	1		2	2		1	1		3	3	1	1		5		2	3	6	9		
CN		1		1	1	1	1	1	2	1			1		3		2		6	10	5	16	10	22	29	35
누적	2	9	15	23	36	39	44	50	61	66	72	75	78	87	101	105	111	117	133	152	175	210	246	290	330	373

<그림 3-13> 연도별 출원 동향

○ 주요 출원인 분석

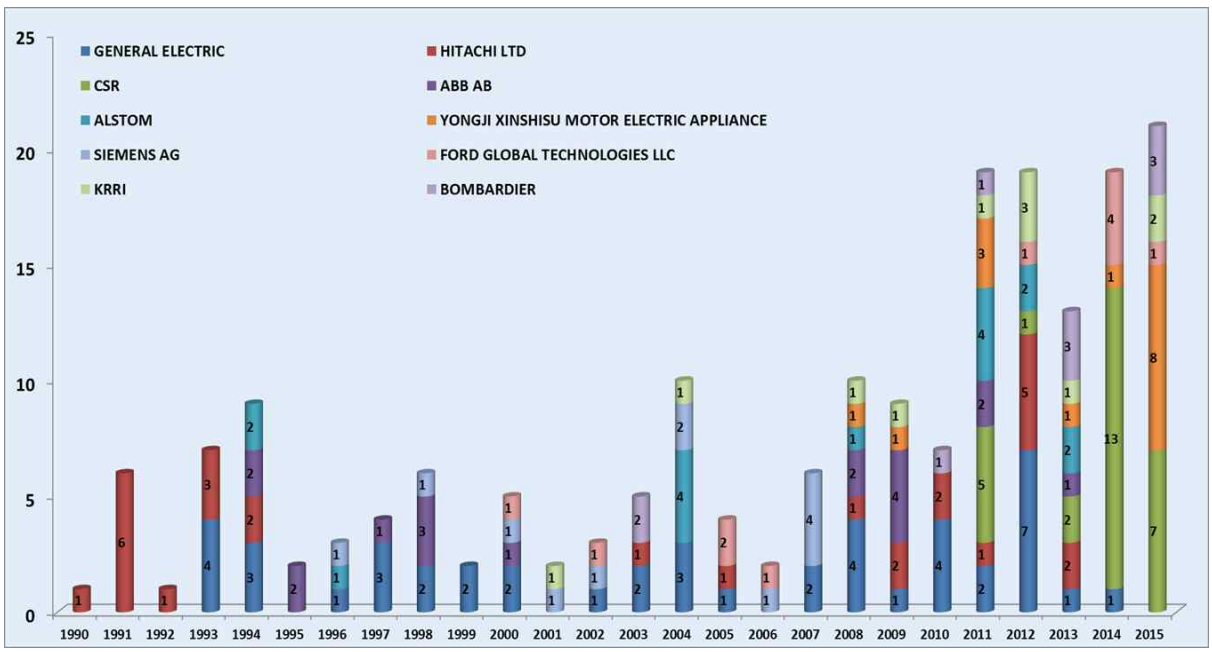
- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(Top10 Assignee)을 살펴보면, General Electric가 최다 출원인이며, 차순위 최다 출원인은 HITACHI LTD와 중국의 CSR임. 그 외 글로벌 기업인 ABB, ALSTOM, YONGJI XINSHISU MOTOR ELECTRIC APPLIANCE, SIEMENS AG, FORD GLOBAL TECHNOLOGIES LLC, BOMBARDIER등이 주요 출원인으로 나타났으며 한국의 KRRI가 주요 출원인에 포함되어 있음

- 최다 출원인인 GENERAL ELECTRIC를 포함한 주요 출원인은 자국뿐만 아니라 해외출원에도 높을 비중을 보이고 있으나 중국의 CSR과 YONGJI XINSHISU MOTOR ELECTRIC APPLIANCE, 한국의 KRRI는 자국에서만 출원하고 있음



<그림 3-14> 주요 출원인 동향

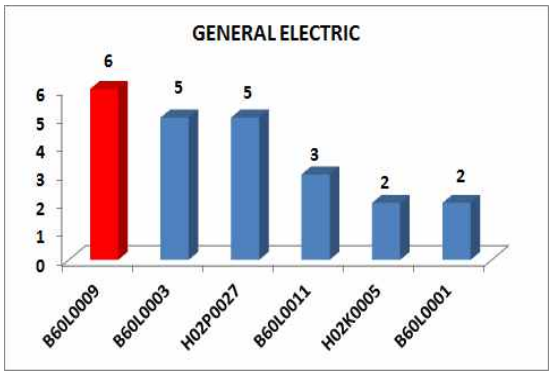
- HITACHI LTD 1990년대 중반 이후 출원이 나타나지 않다가 2000년대 중후반 이후 기술개발을 재개하는 것으로 나타나고 있어 시장진출에 대한 관심이 증가하고 있다고 보여짐



<그림 3-15> 주요 출원인 동향

○ IPC코드에 의한 주요출원인별 기술분야

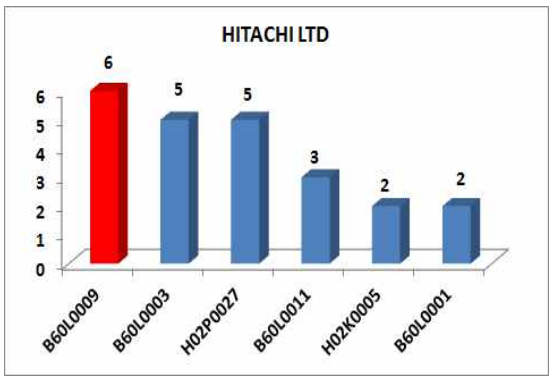
(1) General Electric



IPC	타이틀
B60L 0003	전기적 추진차량의 안전 목적의 전기적 장치; 동작변수 모니터링, 예. 속도, 가속도, 소비전력
H02M 0007	교류입력-직류출력변환; 직류입력-교류출력변환
B60L 0011	차량 내부에 동력공급원을 가지는 전기적 추진장치
H03K 0017	전자적 스위칭 또는 게이팅, 즉 메이크 및 브레이크접점에 의하지 않는 것
B61C 0015	보조 장치 및 보조 수단에 의한 시동력 또는 제동력의 지속 장치와 증대 장치; 차륜 미끄럼 방지 장치; 구동륜간의 견인력의 제어 분배 장치
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치

- General Electric은 B60L 0003, H02M 0007, B60L 0011, H03K 0017 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

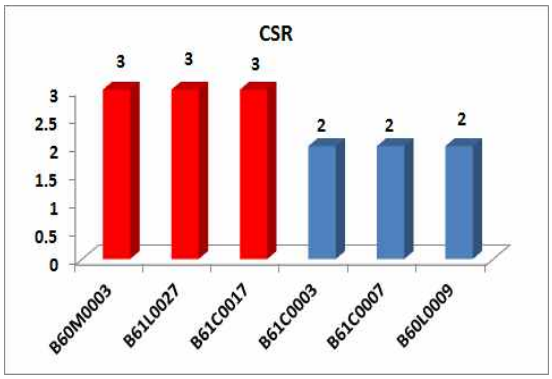
(2) HITACHI LTD



IPC	타이틀
B60L 0009	전기적 추진차량의 안전 목적의 전기적 장치; 동작변수 모니터링, 예. 속도, 가속도, 소비전력
B60L 0003	전기적 추진차량의 안전 목적의 전기적 장치; 동작변수 모니터링, 예. 속도, 가속도, 소비전력
H02P 0027	공급 전압의 종류에 특징을 가지는 교류 전동기의 제어장치 또는 제어방법
B60L 0011	차량 내부에 동력공급원을 가지는 전기적 추진장치
H02K 0005	케이싱(Casings); 외부포장(Enclosures); 지지체 (Supports)
B60L 0001	전기 추진차량의 보조장치에 전력공급

- HITACHI LTD는 B60L 09/, B60L 03/, H02P/ 27, 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

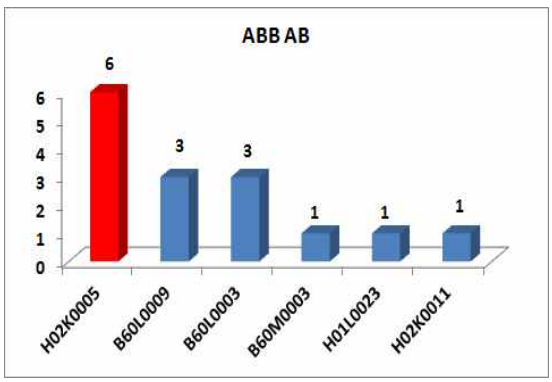
(3) CSR



IPC	타이틀
B60M 0003	차량에 설치된 집전장치나 접촉하는 전력선에 전원을 공급하는 것; 회생력을 소비하는 장치
B61L 0027	집중 제어 방식
B61C 0017	부품의 배열 또는 배치 달리 분류되지 않는 세부 또는 부속품; 제어 장치 및 제어 방식을 사용하는 것
B61C 0003	전기 기관차 또는 동력차
B61C 0007	사용동력장치의 양식에 특징이 있는 다른 기관차 또는 동력차; 두가지 혹은 그 이상의 다른 종류나 양식의 동력을 사용하는 기관차 또는 동력차
B60L 0009	사용되고 있는 변속 방식의 형식에 특징을 갖는 기관차 또는 동력차 기관차 또는 동력차에 쓰이고 있는 특별한 변속 방식

- CSR은 B60M 0003, B61L 0027, B61C 0017, 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

(4) ABB AB

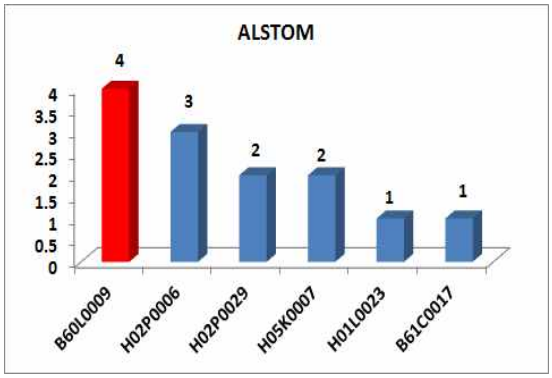


IPC	타이틀
H02K 0005	케이싱(Casings); 외부포장(Enclosures); 지지체 (Supports)
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
B60L 0003	전기적 추진차량의 안전 목적의 전기적 장치; 동작변수 모니터링, 예. 속도, 가속도, 소비전력
B60M 0003	차량에 설치된 집전장치나 접촉하는 전력선에 전원을 공급하는 것; 회생력을 소비하는 장치
H01L 0023	반도체 또는 다른 고체장치의 세부
H02K 0011	측정 또는 보호기구 혹은 전기부품(예. 저항 또는 스위치)과 회전-전기 기계의 구조적 결합

- ABB AB는 H02K 0005, B60L 0009, B60L 0003 등의 기술분야에서 연구 및

개발이 활발한 것으로 나타남

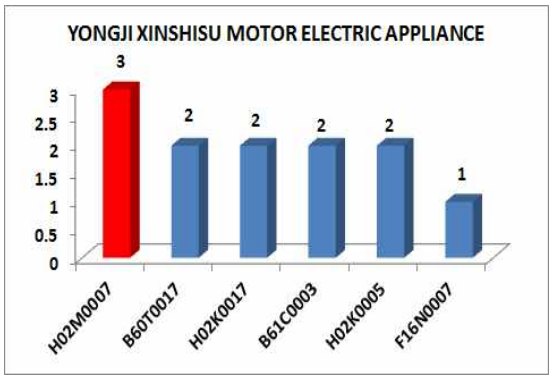
(5) ALSTOM



IPC	타이틀
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
H02P 0006	회전자의 위치에 종속되는 전자 정류자를 갖는 동기 전동기 또는 다른 전동기의 제어장치; 그러한 전자 정류자
H02P 0029	교류 전동기 및 직류전동기 양측에 적합한 조정 또는 제어장치
H05K 0007	상이한 형의 전기장치에 공통된 구조적 세부
H01L 0023	반도체 또는 다른 고체장치의 세부
B61C 0017	부품의 배열 또는 배치 달리 분류되지 않는 세부 또는 부속품; 제어 장치 및 제어 방식을 사용하는 것

- ALSTOM은 B60L 0009, H02P 0006, H02P 0029, H05K 0007 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

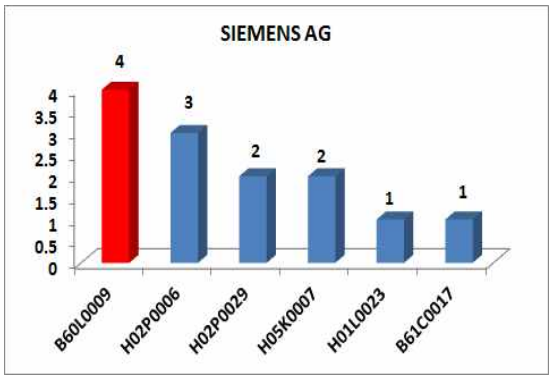
(6) YONGJI XINSHISU MOTOR ELECTRIC APPLIANCE



IPC	타이틀
H02M 0007	교류입력-직류출력변환; 직류입력-교류출력변환
B60T 0017	별도의 특징이 있는 동력제동방식의 구성부품 세부 또는 부속품
H02K 0017	유도전동기, 유도발전기
B61C 0003	전기 기관차 또는 동력차
H02K 0005	케이싱(Casings); 외부포장(Enclosures); 지지체 (Supports)
F16N 0007	고정되어 있는 저장구 또는 그것에 상당하는 것으로부터 윤활하여야 할 기계 또는 부재에 기름 또는 특정하지 않는 윤활제를 공급하기 위한 장치

- YONGJI XINSHISU MOTOR ELECTRIC APPLIANCE는 H02M0007, B60T0017, H02K0017 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

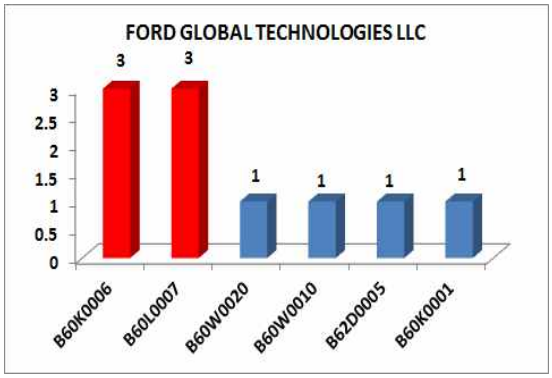
(7) SIEMENS AG



IPC	타이틀
H02M 0007	교류입력-직류출력변환; 직류입력-교류출력변환
H02P 0021	벡터 제어에 의한 전기기기의 제어장치 또는 제어 방법. 예)필드지향(field orientation)의 제어에 의하는 것
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
B60L 0007	차량용 전기적 제동방식일반
H02P 0027	공급 전압의 종류에 특징을 가지는 교류 전동기의 제어장치 또는 제어방법
B60L 0015	전기 추진차량의 추진을 제어하는 방법, 회로 또는 장치, 예. 요구되는 성능을 달성하기 위한 차량의 견인 모터 속도; 고정된 장소, 차량의 대체 부품 또는 같은 차량 열차의 대체 차량으로부터 원격 작동을 위해 전기적 추진 자동차 제어 장치의 적용체

- SIEMENS AG는 H02M0007, H02P0021, B60L0009, B60L0007 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

(8) FORD GLOBAL TECHNOLOGIES LLC

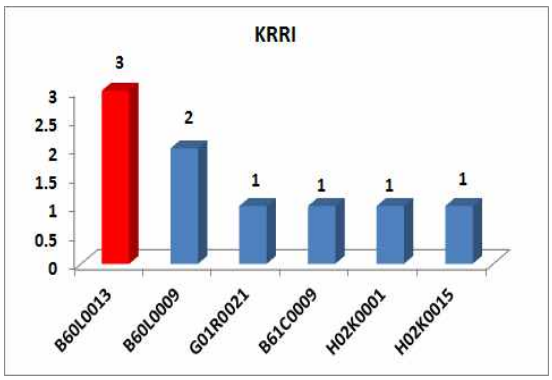


IPC	타이틀
B60K 0006	상호 추진 또는 공동 추진을 위한 복수개의 다양한 원동기 배치 또는 설치, 예. 전기 모터와 내연기관 엔진을 포함하는 하이브리드(hybrid) 추진 시스템
B60L 0007	차량용 전기적 제동방식일반
B60W 0020	하이브리드 차량에 특별히 적합한 제어 시스템 , 즉, 모두 차량의 추진에 사용되는 2이상의 종류의 2이상의 원동력, 예.전동기와 내연기관, 을 가지는 차량
B60W 0010	다른 종류 또는 다른 기능의 차량용 부품의 관련 제어
B62D 0005	동력 보조 또는 동력 구동되는 조향
B60K 0001	전기적 추진장치의 배치 또는 설치

- FORD GLOBAL TECHNOLOGIES LLC는 B60K0006, B60L0007, 등의

기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

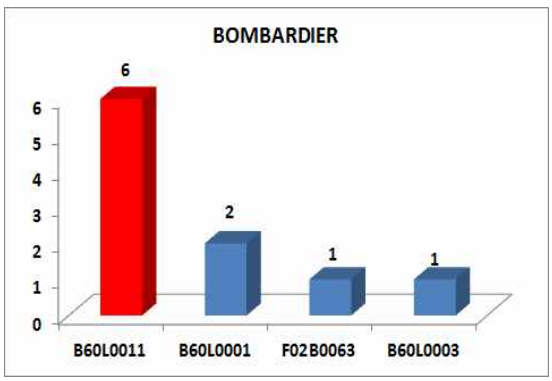
(9) KRRI



IPC	타이틀
B60L 0013	모노레일차량, 차체현가차량, 랙(rack)식 철도를 위한 전기적 추진 장치; 차량용 자기현가 또는 부상
B60L 0009	차량의 외부로부터 동력을 공급하는 전기적 추진 장치
G01R 0021	전력 또는 역률의 측정장치
B61C 0009	사용되고 있는 변속 방식의 형식에 특징을 갖는 기관차 또는 동력차 기관차 또는 동력차에 쓰이고 있는 특별한 변속 방식
H02K 0001	자기회로의 세부
H02K 0015	회전-전기 기계의 제조, 조립, 보수 또는 수리에 특히 적합한 방법 혹은 기구

- KRRI는 B60L0013, B60L0009 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

(10) BOMBARDIER



IPC	타이틀
B60L 0011	차량 내부에 동력공급원을 가지는 전기적 추진장치
B60L 0001	전기 추진차량의 보조장치에 전력공급
F02B 0063	펌프, 수동공구 또는 발전기를 구동하기 위한 기관의 응용; 기관에 의해 구동되는 장치가 있는 휴대 가능한 조합(회전식 피스톤 또는 요동식 피스톤 기관
B60L 0003	전기적 추진차량의 안전 목적의 전기적 장치; 동작변수 모니터링, 예. 속도, 가속도, 소비전력

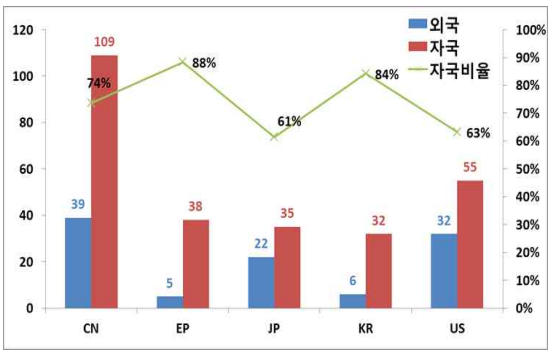
- BOMBARDIER는 B60L0011, B60L0001 등의 기술분야에서 연구 및 개발이 활발한 것으로 나타남

○ 국가별 특허현황

- 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있음.

- 특히 유럽과 한국은 자국에 편중된 특허활동을 보이고 있어, 기술폐쇄성 및 자국의존도가 높음을 확인할 수 있음.

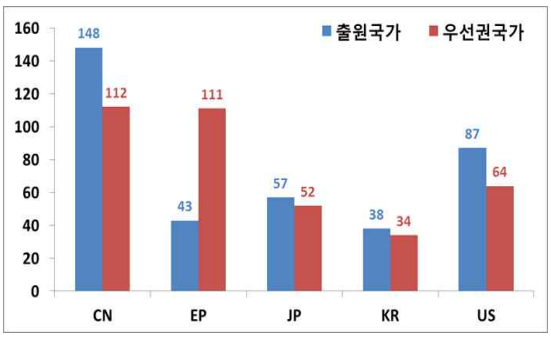
- 외국기관의 특허출원이 상대적으로 높게 나타나고 있는 미국과 일본은 기술 개방성이 높은 것으로 판단됨.



<그림 3-16> 국가별 특허 점유현황

- 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있음

- 유럽은 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 자국시장보다 해외시장 진출노력을 더 하는 것으로 추정됨. 반면, 중국, 미국에서는 자국에 출원된 특허건수가 우선권 보유건수를 상회하고 있어, 해외 진출에 대한 노력이 상대적으로 낮은 것으로 나타남



<그림 3-17> 국가별 출원특허 대비 우선권 특허 현황

○ 우선권 국가 (Priority Country)별 특허분포 지수분석

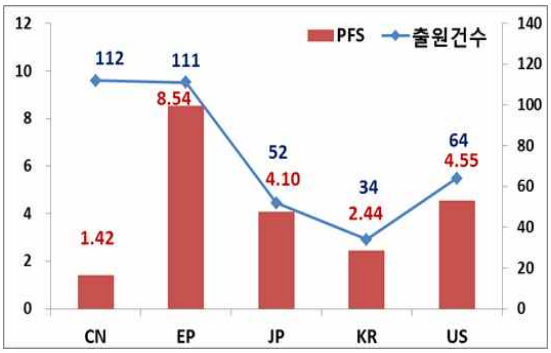
(1) 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

- (지표 설명) 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 數가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함

- (계산식) 국가별 시장확보지수(PFS) = (∑ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수

- (분석결과)

· 유럽의 시장확보지수(PFS)가 8.54로 가장 높고, 다음으로 미국 일본 순임
· 이는 해당 기관들이 해외진출을 위한 패밀리 특허를 많이 출원하였기 때문으로 판단됨
· 중국은 특허 건수에 비해 시장 확보력이 상대적으로 낮게 나타나고 있음



<그림 3-18> 국가별 출원건수 및 시장확보지수

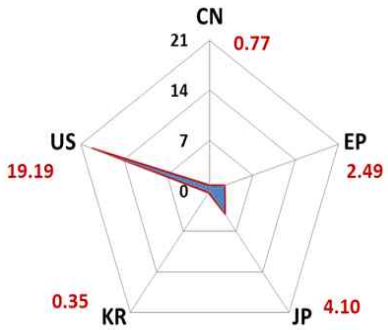
(2) 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

- (지표 설명) 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용함

- (계산식) 국가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수

- (분석결과)

· 미국의 인용도지수(CPP)가 19.19로 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단됨
· 한국은 인용도 지수(CPP)도 0.35로 가장 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음



<그림 3-19> 국가별 인용도지수

(3) 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

- (지표 설명) 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적 수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적지수)를 함께 나타냄

- (계산식)

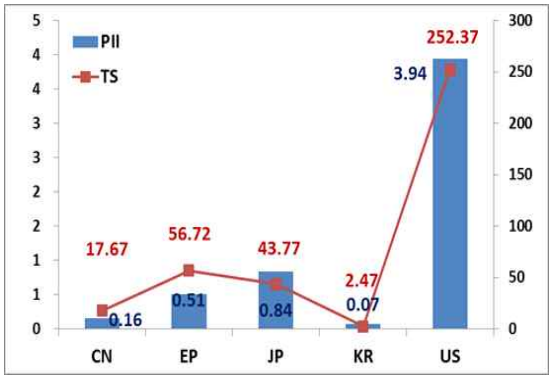
· 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수

· 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

- (분석결과)

· 미국의 영향력지수(PII)가 3.94로 나타나 질적 수준에서 우수하며, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 미국이 우수한 것으로 나타남

· 한국 특허는 인용도지수(CPP)가 낮게 나타나, 영향력지수가 가장 낮으며,, 기술력지수 또한 가장 낮음. 이는 원천특허/핵심특허의 비중이 낮은 것으로 판단할 수 있음



<그림 3-20> 국가별 영향력지수 및 기술력지수

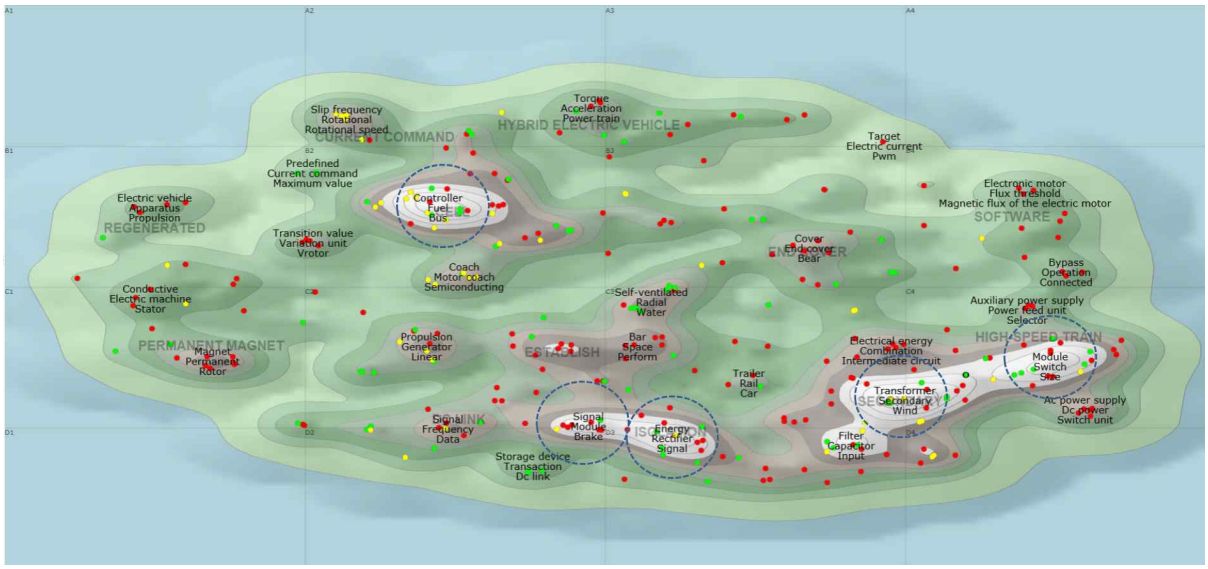
○ Text mining을 통한 기술분야 특허 분포도

- 추진시스템 적용 기술분야 검색결과, 최종 373건의 출원된 특허기술이 분포함

- 이 분야의 특허기술 영역은 전반적으로 CELL, ISOLATION, SECONDARY, HIGH-SPEED TRAIN과 관련된 기술들이 많이 포함되어 있음

- 등고선 꼭짓점이 높은 Module/Switch/size, Transformer/Secondary/Wind, Energy/Rectifier/Single, Signal/Module/Brake, Controller/Fuel/Bus 기술에 특허가 많이 분포하고 있어, 관련분야가 집중도가 높은 기술로 볼 수 있음

- 2016년 최근 공개된 특허기술을 보면 Rotating to judging system and method of motor train unit traction motor, A kind of one train constant speed operation and control method와 관련된 기술이 나타나고 있어 관련 기술이 최근 주목받고 있는 기술로 판단할 수 있음



<그림 3-21> 특허 등고선 맵

○ 주요 특허 현황

- 철도차량용 추진 제어장치 및 견인 전동기 기술 분야에 관한 유효특허 중, 열차 전원 제어와 관련된 미국 ROSEN MOTORS의 미국공개특허 US5568023A의 피인용 건수가 185건으로 가장 많음. 피인용 수가 많은 등록 특허를 핵심특허로 하여 권리분석을 할 수 있음

○ **특허 회피 전략**

- 철도차량용 추진시스템 중 추진용 전동기의 기술은 주로 영구자석형 동기전동기의 최적 설계를 통한 효율 향상과 부피 저감이 목표이며 고정자의 권선 방법과 회전자의 영구자석 형상에 대한 개선에 의한 방법이 개발되고 있다. 또한 추진용 인버터의 기술은 새로운 저손실 스위칭 소자를 이용한 인버터 토폴로지와 인버터 회로 구조의 변경에 따른 안전성 향상과 고장에 강인한 다상구조 및 게이트 회로의 개선에 대한 연구가 이루어지고 있다. 추진용 전동기의 경우 영구자석형 동기전동기의 회전자 구조에 대한 특허는 영구자석의 형상과 릴럭턴스 토크를 최대화하여 희토류 저감을 통한 가격 저하와 온도에 영향이 적은 구조 설계에 따라 새로운 특허출원이 가능하므로 기존의 선행 특허를 회피하는 것이 충분히 가능하며, 추진용 인버터의 다상 구조는 기존의 5상 구조의 토폴로지로서는 특허를 출원한 예가 없으며 기본적인 토폴로지에서 벗어나지 않으므로 새로운 제어방식을 적용한 5상구조의 인버터 회로와 제어에 관한 특허로 기존 특허를 회피할 수 있다.

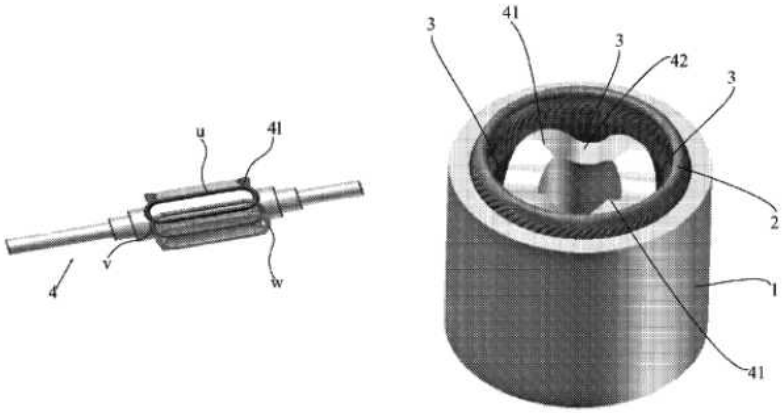
<표 3-4> 주요 특허 현황 (피인용순)

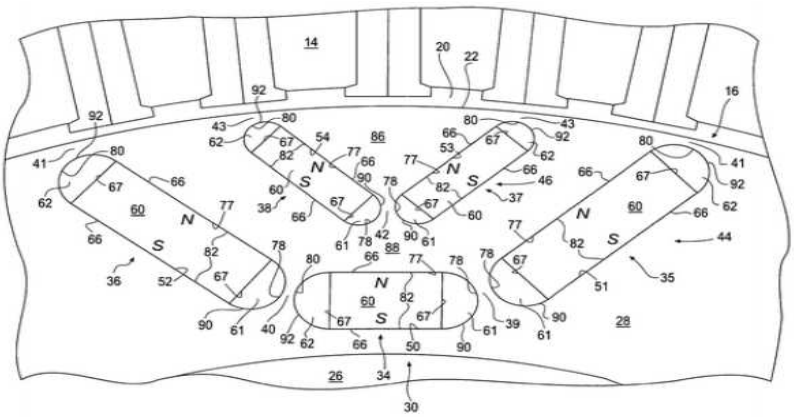
공개번호	발명의 명칭	IPC코드	출원인	피인용도
US5568023A	Electric power train control	F02D002906, B60K000630, B60K000646, B60L001112, B60L001114, B60W001006, B60W001008, B60W002000	ROSEN MOTORS	185
US5337848A	Hybrid drive for a motor vehicle	B60K000636, B60K000648, B60W001008, F16H0003091, F16H000312, F16H005942, F16H006104	Mercedes Benz AG	141
US6023137A	Use of traction inverter for supplying power for non-traction applications	B60L001112, F01M000502, B60K000620, F01M000112	GENERAL ELECTRIC	110
US5992950A	Controlled stop function for locomotives	B60L000722	GENERAL ELECTRIC	104
US5528445A	Automatic fault current protection for a locomotive propulsion system	B60L000300	GENERAL ELECTRIC	82
US5712802A	Thermal protection of traction inverters	B60L000312, F16C003700, G01K000114	GENERAL ELECTRIC	66
US5392716A	Locomotive traction motor control system	G05D002319, H05K000720	GENERAL ELECTRIC	66
US5369540A	Electric vehicle drive train with contactor protection	B60L000300, B60L001118, H02H0007122, H02H001100	GENERAL ELECTRIC	59
US6087791A	Control apparatus for internal combustion type electric locomotive	F02D002906, B60L000918, B60L001108	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	47
US5483436A	Gate drive power supply operable from a source of unregulated DC electric power	B60L000922, B60L001118, H02M00075387	GENERAL ELECTRIC	46
US5901683A	Indirect monitoring and control of visible exhaust emissions from a diesel engine	B60L000300, H02H000706	GENERAL ELECTRIC	45
US5528444A	Automatic overvoltage protection for an alternator in a locomotive propulsion system	B60L001108, F02D002906	GENERAL ELECTRIC	45
US6163121A	Torque maximization and vibration control	B61C001508	GENERAL	43

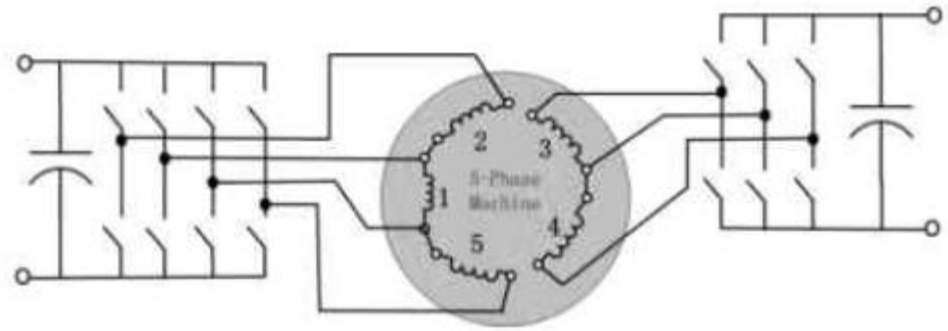
	for AC locomotives		ELECTRIC	
US5841254A	Torque maximization and vibration control for AC locomotives	B61C001508	GENERAL ELECTRIC	41
US6291987B1	Method and system for detecting incipient failures in a power inverter	H02M0007521, G01R003142	GENERAL ELECTRIC	34
US6581464B1	Traction motor speed sensor support arrangement	G01P000102	GENERAL ELECTRIC	33
US5929610A	Method and apparatus for shoot-through detection and accommodation in an electric power system including a synchronous generator power source	H02H000706, H02H0007122	GENERAL ELECTRIC	29
US7240751B2	Dual rotor motor for a hybrid vehicle transmission	B60K000100, B60K000626, B60K0006387, B60K000648	FORD GLOBAL TECHNOLOGIES LLC	24

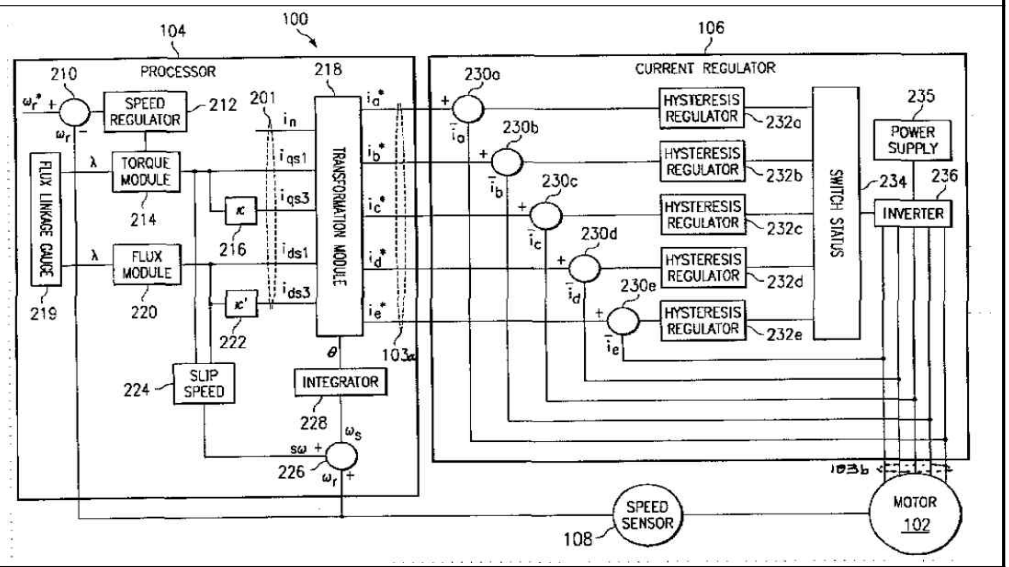
○ 주요 특허 심층 분석

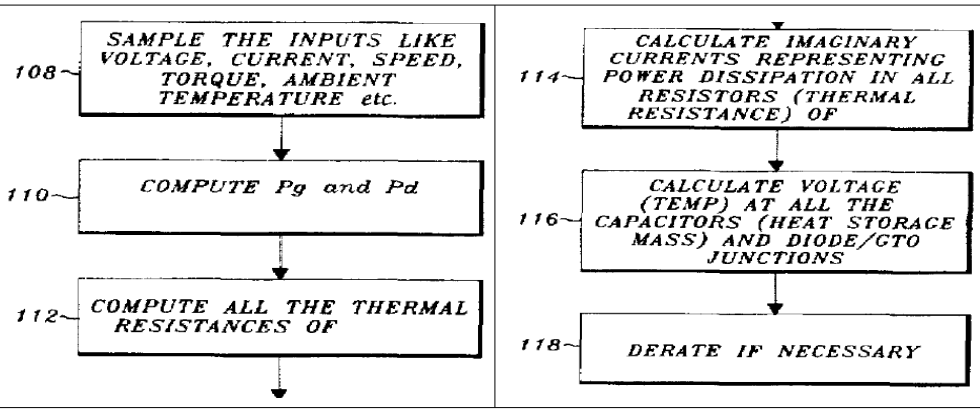
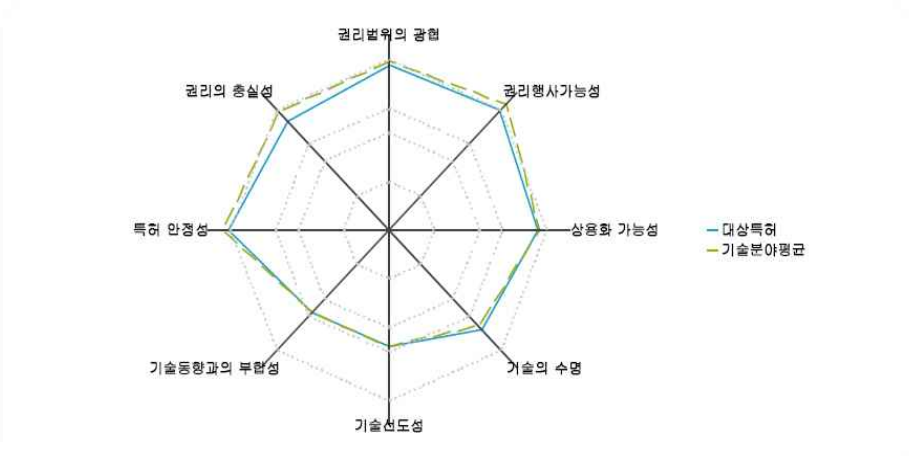
<표 3-5> 추진제어장치 주요 핵심특허 현황

1	기술 분류	추진제어장치/견인전동기	특허번호 (출원번호)	13327136	특허번호 (공개번호)	20120153764
출원인		Giampiero Tassinario Infranor Holding SA Ivan Flotats Francesc Cruellas	출원일	2011.12.15	공개일	2012.06.21
발명의 명칭		Synchronous motor with permanent magnets				
대표도면						
IPC 분류		H02K 1/27 H02K 3/47 H02K 1/16 H02K 21/14				
주요내용		본 발명은 권선 (U, V, W)을 구비 한 원통형의 고정자 내부에 영구자석을 구비 한 원통형의 회전자를 포함하는 동기 모터에 관한 것으로, 상기 로터는 상기 권선에 대향 돌기가 제공되는 것을 특징으로하는 방법.				
회피방안		- 본 특허는 전동기의 분류 중 영구자석형 동기전동기에 대한 구조에 대한 내용으로서 회전자에 영구자석을 부착한 형태를 포함한다. 따라서 추진시스템에 사용되는 견인전동기를 영구자석형 동기전동기로 개발하는 과정에서 필요한 특허 내용을 포함하고 있으나 회전자에 영구자석의 형태와 돌기의 구조를 변경하여 본 특허를 회피할 수 있다.				

2	기술 분류	추진제어장치/견인전동기	특허번호 (출원번호)	11261771	특허번호 (공개번호)	20070096578
출원인		Caterpillar Inc. Wisconsin Alumni Research Foundation	출원일	2005.10.31	공개일	2007.05.03
발명의 명칭		Rotor having multiple permanent-magnet pieces in a cavity				
대표도면						
IPC 분류		H02K 1/27				
주요 내용		전기 기계의 로터는 자기 투과성 물질로 구성된 회전자 코어를 포함한다. 회전자 코어 구조는 제 1 곡선형 단말 부분을 가지는 1 캐비티와 제 1 곡선형 단말 부분에 인접하여 배치하는 것으로 제 1 곡선형 단말 부분을 갖는 제1 공동과, 제 1 곡선형 단말 부분을 갖는 제2 공동을 포함할 수 있다. 회전자는 영구 자석의 클러스터를 포함 할 수 있다. 영구 자석 클러스터는 실질적으로 자기 방식으로 영구 자석 클러스터 밖에 배치한 로터 코어의 부분으로부터 영구 자석 클러스터안에서 배치한 로터 코어의 부분을 고립시키는 영구 자석 층을 포함할 수 있다. 영구 자석 층이 제 1 캐비티에 배치 된 하나 이상의 영구 자석 편 및 제 2 캐비티에 배치 된 하나 이상의 영구 자석 편을 포함 할 수 있다.				
회피방안		- 본 특허의 내용은 회전자의 캐비티에 영구자석을 삽입한 형태의 영구자석형 동기전동기 중 영구자석 저감과 릴럭턴스 토크를 증대하기 위한 2 레이어 형태의 동기전동기 이며 이 특허를 회피하여 추진시스템에 적용하고자 하는 희토류 저감형 영구자석 동기전동기를 개발하기 위해서는 본 특허의 구조와 같이 2 레이어 구조를 회피하여야 함. 따라서 3 레이어 또는 1 레이어 구조와 가운데의 캐비티 형상을 사용하지 않는 V 형태 또는 U 형태의 캐비티 구조를 갖는 회전자 구조로 특허를 출원할 수 있음				

3	기술 분류	추진제어장치/견인전동기	특허번호 (출원번호)	14335500	특허번호 (공개번호)	20150069949
출원인		Ali MOHAMMADPOUR RENSSELAER POLYTECHNIC INSTITUTE Leila PARSA	출원일	2014.07.18	공개일	2015.03.12
발명의 명칭		ASYMMETRICAL MULTI-LANE MULTI-PHASE MOTOR DRIVES				
대표도면						
IPC 분류		H02P 25/22 H02K 3/28				
주요 내용		모터 드라이브 및 드라이브 시스템이 제공된다. 본 발명의 모터 드라이브는 비대칭, 다중 차선, 다중 위상 모터 구동에 관하며, 모터 드라이브는 마스터 레인이 가지는 것보다 더 적은 위상을 가지는 마스터 레인과 종속적 레인을 포함할 수 있다. 각각의 레인은 단일의 직류 연결부에 의해 구동될 수 있다.				
회피방안		- 본 특허에서 등록된 내용은 5상과 3상 인버터를 동시에 사용하도록 하는 5상 구조의 전동기를 구동하는 방법으로서 다상전동기의 모터 구동에 대한 내용을 포함하고 있으며 본 특허를 회피하기 위해서는 3상 인버터 2대 또는 5상 구조의 인버터를 구동하는 새로운 방법을 제안할 필요가 있음.				

4	기술 분류	추진제어장치/견인전동기	특허번호 (출원번호)	09617393	특허번호 (공개번호)	
출원인		The Texas A&M University System	출원일	2000.07.17	공개일	
발명의 명칭		Multi-phase induction motor drive system and method				
대표도면						
IPC 분류		H02P 5/41				
주요 내용		본 특허에는 다상 유도 전동기 시스템에 관하며, 상기 시스템은 최소 5개 위상을 가지는 모터와 고정자 및 회전자를 포함한다. 각 위상의 경우, 모터는 명령 전류가 기본 주파수를 가지는 모터에 전력을 공급하기 위한 명령 전류를 수신한다. 프로세서는 각각의 위상에 대해, 기본 주파수를 나타내는 신호 중 적어도 하나의 고조파 성분, 고조파 성분과 기본 주파수로부터 명령 전류를 생성 및 결정하여 고정자 지령 전류를 공급한다. 또한, 다상 유도 전동기 시스템을 작동시키기 위한 방법이 기술된다. 제 1 명령 전류가 가지는 모터에 공급된다. 첫 번째 명령 전류는 기본 주파수를 가지며, 상기 모터는 고정자 및 회전자를 포함한다. 각 위상의 경우, 기본 주파수를 나타내는 신호 중 적어도 하나의 고조파 성분이 결정된다. 두 번째 명령 전류는 고조파 성분과 기본 주파수에서 생성된다. 두 번째 명령 전류는 고정자에 공급된다.				
회피방안		- 본 특허는 다상 전동기를 구동하기 위한 인버터 제어에 관한 내용을 포함하고 있으나 다상 전동기 구동을 위한 제어 방법은 다수의 토폴로지가 공개되어 있으며 본 특허에서 제시된 전류제어 방법은 다른 방법의 전류제어기 구조로 회피가 가능함				

<table>
<tr><td>3</td><td>기술 분류</td><td>추진제어장치/견인전동기</td><td>특허번호 (출원번호)</td><td>0863339</td><td>특허번호 (공개번호)</td><td>US0571280</td></tr>
<tr><td colspan="2">출원인</td><td>GENERAL ELECTRIC COMPANY</td><td>출원일</td><td>1996.04.1</td><td>공개일</td><td>1998.01.2</td></tr>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">thermal protection of traction inverter</td></tr>
<tr><td colspan="2">대표도면</td><td colspan="5">
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요 내용</td><td colspan="5">견인 인버터의 열보호를 위한 방법으로서 반도체/열 싱크 조합의 모델링</td></tr>
<tr><td colspan="2">SMART 특허분석평가</td><td colspan="5">
전체 평가 분석
<table>
<tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">중분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">소분류(반도체)</th></tr>
<tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr>
<tr><td>권리성 (40점)</td><td>20.8</td><td>C</td><td>96.1</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>96.2</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>96.4</td><td>25.1</td><td>2.2</td></tr>
<tr><td>기술성 (20점)</td><td>17.1</td><td>AA</td><td>4.3</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>4.4</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>4.5</td><td>15.3</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td>활용성 (40점)</td><td>27.7</td><td>B</td><td>70.9</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>71.0</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>78.1</td><td>28.4</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td>총점 (100점)</td><td>65.5</td><td>CCC</td><td>80.0</td><td>68.7</td><td>3.8</td><td>80.2</td><td>68.7</td><td>3.8</td><td>76.4</td><td>67.9</td><td>3.4</td></tr>
</table>


※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치
</td></tr>
<tr><td colspan="2">법적상태</td><td colspan="5">- 본 특허는 1996년 출원되어 현재 특허등록 유지되고 있음. 특허 권리 만료일(2016년4월1일)이 한달 미만이므로 이를 참고하여 기술개발에 활용할 필요가 있음
- 종합평가점수 CCC등급의 특허임. 기술성이 AA 등급, 활용성은 B등급, 권리성은 C등급으로 평가된 특허임.</td></tr>
</table>

2. 논문 동향 분석

○ 논문 분석 기준

- 논문 분석 범위

구 분	분석 기준
논문검색 DB	Web of Science, Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~2016.03.01
검색범위	Title, Abstract

- 검색 조합식

기술구분	검색 조합식	관련 논문
철도 차량용 추진 제어장치 및 견인 전동기	ALL=((traction or propulsion) and inverter and ((rolling adj stock) or EMU or (multiple adj unit) or locomotive or train or metro or subway));	53
	ALL=((traction or propulsion) near2 motor and ((rolling adj stock) or EMU or (multiple adj unit) or locomotive or train or metro or subway));	

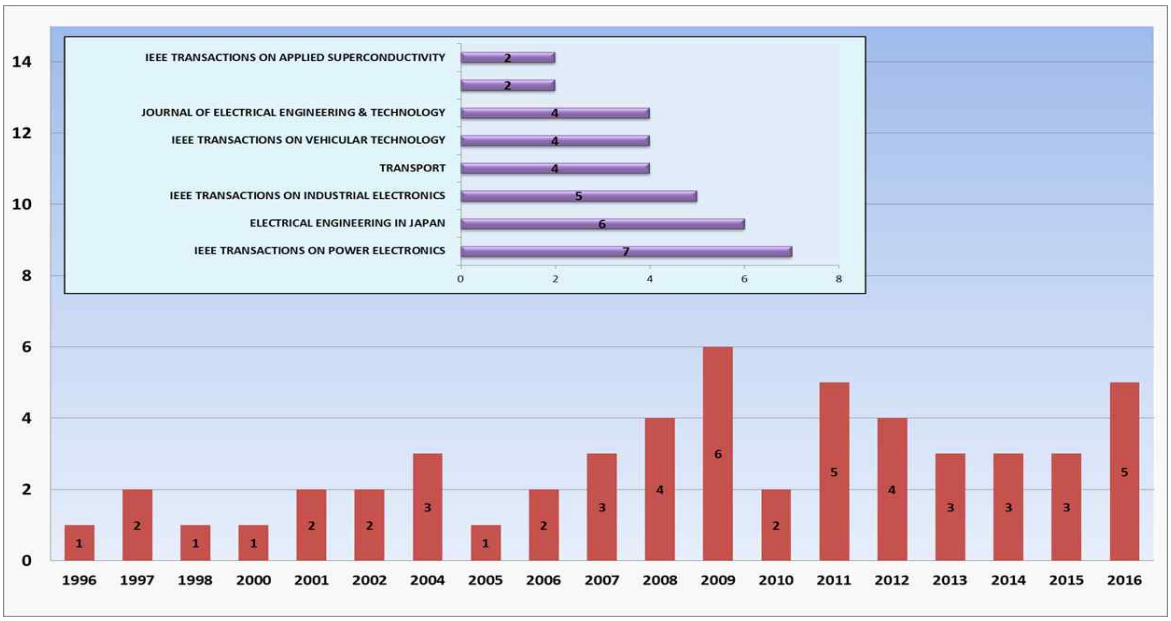
○ 관련 논문 현황

- 철도차량용 추진 제어장치 및 견인 전동기 기술 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 **총 53건의 관련 논문**이 발표되고 있음.

- 2000년대 중반까지 매년 약 2건 내외의 논문이 발표되었으며, 2000년대 후반 매년 약 4건 내외의 논문이 발표되고 있어 해당 관련기술에 대한 연구가 소폭의 증가세를 갖는 것으로 볼 수 있음

- 저널별로는 IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, ELECTRICAL ENGINEERING IN JAPAN, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, TRANSPORT, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING & TECHNOLOGY 등의 미국・유럽 저널에서 많은 논문이

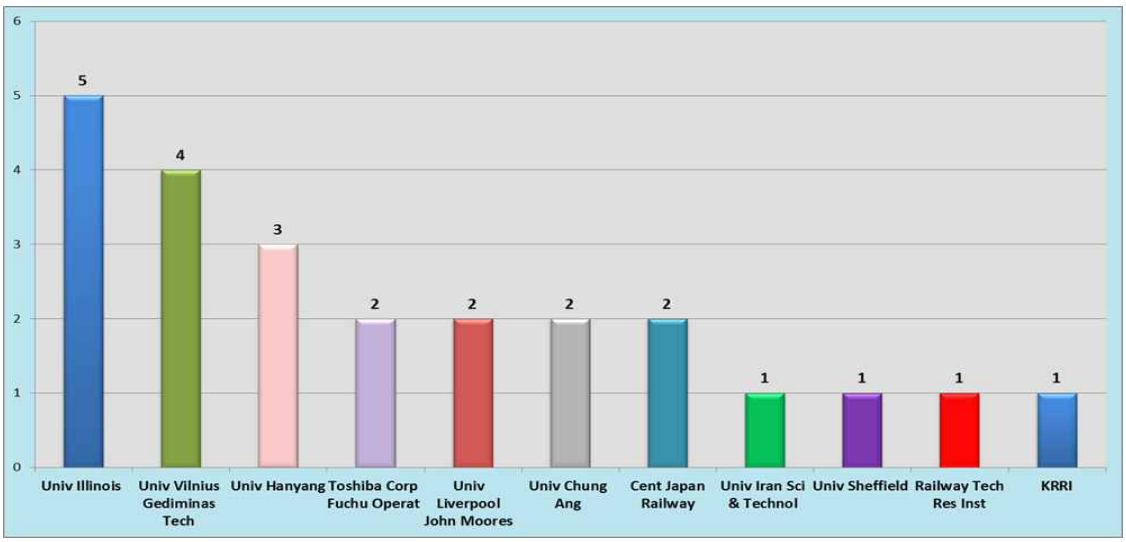
발표되고 있음



<그림 3-22> 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널

○ 주요기관 논문발표 현황

- 철도차량용 추진 제어장치 및 견인 전동기 기술 분야 논문은 **Univ Illinois가 최다 발표기관이며,** 그 뒤를 이어 Univ Vilnius Gediminas Tech, 일본의 Toshiba Corp Fuchu Operat, Univ Liverpool John Moores, Cent Japan Railway 등이 있으며, 한국의 주요 논문 발표기관으로는 한국의 Univ Hanyang, Univ Chung Ang 이 포함되어 있고, KRRI가 이 기술분야에 대한 1건의 논문을 발표한 것으로 나타남

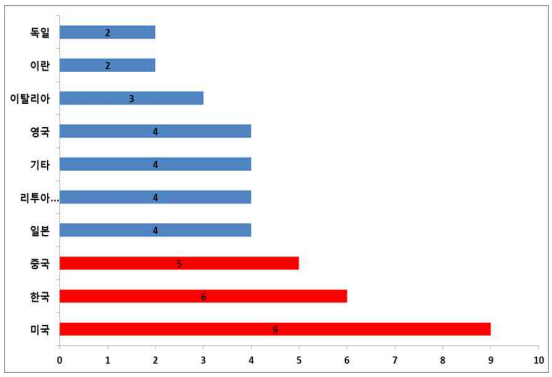


<그림 3-23> 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널

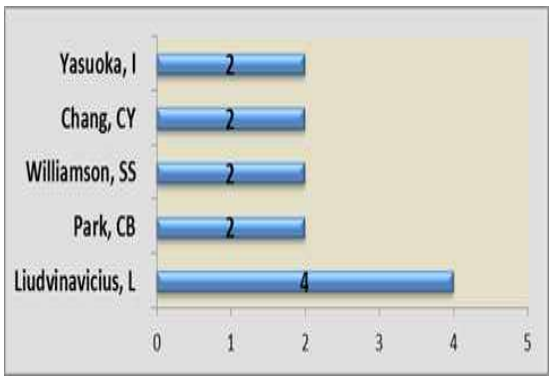
○ 국가별 주요저자별 논문발표 현황

- 철도차량용 추진 제어장치 및 견인 전동기 기술 분야 논문은 미국의 **Univ Illinois가 최다 발표기관이며,** 그 뒤를 이어 리투아니아의 Univ Vilnius Gediminas Tech, 일본의 Toshiba Corp Fuchu Operat, 영국의 Univ Liverpool John Moores, 일본의 Cent Japan Railway 등이 있으며, 한국의 주요 논문 발표기관으로는 한국의 Univ Hanyang, Univ Chung Ang 이 포함되어 있고, KRRI는 이 기술분야에 대한 1건의 논문을 발표한 것으로 나타남

- 이 기술 분야 논문의 주요 저자로는 리투아니아 Univ Vilnius Gediminas Tech의 Liudvinavicius, L이 4건의 논문을 발표하였고, Univ Hanyang의 Park, CB이 2건, Univ Chung Ang의 Chang, CY이 2건의 논문을 발표하였음



<그림 3-24> 논문 발표 기관 소속 국가



<그림 3-25> 논문 발표 주요저자

○ 주요 논문현황

- 유효 논문의 피인용도를 기준으로 하는 주요 논문은 영국 Univ Liverpool John Moores의 Multiphase electric machines for variable-speed applications, 스페인 Univ Cadiz의 Energy Management System of Fuel-Cell-Battery Hybrid Tramway, 미국Univ Illinois의 Comprehensive drive train efficiency analysis of hybrid electric and fuel cell 등으로 나타나 연구에 참고할 필요성이 있음

<표 3-6> 추진제어장치 주요 논문현황

번호	논문제목	발표기관	저 널 명	피인용도
1	Multiphase electric machines for variable-speed applications	UnivLiverpool JohnMoores	IEEETRANSACTIONSONINDUSTRIALELECTRONICS	383
2	Energy Management System of Fuel-Cell-Battery Hybrid Tramway	UnivCadiz	IEEETRANSACTIONSONINDUSTRIALELECTRONICS	65
3	Comprehensive drive train efficiency analysis of hybrid electric and fuel cell vehicles based on motor-controller efficiency modeling	UnivIllinois	IEEETRANSACTIONSONPOWERELECTRONICS	49
4	Comprehensive drive train efficiency analysis of hybrid electric and fuel cell vehicles based on motor-controller efficiency modeling	UnivIllinois	IEEETRANSACTIONSONPOWERELECTRONICS	49
5	Efficiency Analysis of Drive Train Topologies Applied to Electric/Hybrid Vehicles	UnivCoimbra	IEEETRANSACTIONSONVEHICULARTECHNOLOGY	29
6	Torsional-Vibration Assessment and Gear-Fault Diagnosis in Railway Traction System	UnivPicardieJulesVerne	IEEETRANSACTIONSONINDUSTRIALELECTRONICS	22
7	Hybrid electric sport utility vehicles	UnivIllinois	IEEETRANSACTIONSONVEHICULARTECHNOLOGY	21
8	On the design of high-efficiency linear induction motors for linear metro	UnivNagasaki	ELECTRICALENGINEERINGINJAPAN	21
9	Space Vector Modulation for Multiphase Inverters Based on a Space Partitioning Algorithm	MagnetiMarelliPowertrainSpA	IEEETRANSACTIONSONINDUSTRIALELECTRONICS	18
10	Railway Static Power Conditioners for High-speed Train Traction Power Supply Systems Using Three-phase V/V Transformers	UnivHunan	IEEETRANSACTIONSONPOWERELECTRONICS	14
11	A Fault-Tolerant Permanent-Magnet Traction Module for Subway Applications	UnivSoutheast	IEEETRANSACTIONSONPOWERELECTRONICS	12
12	Airborne concentrations of benzene and mineral spirits (stoddard solvent) during cleaning of a locomotive generator and traction motor	Exponent	JOURNALOFTOXICOLOGYANDENVIRONMENTALHEALTH-PARTA	11
13	Dynamic analysis of a high-speed train	PolitecnMilan	IEEETRANSACTIONSONVEHICULARTECHNOLOGY	11

14	Dynamic behaviour of Li batteries in hydrogen fuel cell power trains	CNR	JOURNALOFPOWERSOURCES	10
15	Electrodynamic braking in high-speed rail transport	UnivVilniusGediminasTech	TRANSPORT	8
16	Tests With One Module of the Brazilian Maglev-Cobra Vehicle	UnivFedFluminense	IEEETRANSACTIONSONAPPLIEDSUPERCONDUCTIVITY	8

제 3 절 마그네틱 감속구동장치 특허 및 논문동향분석

○ 기술의 정의

- 철도차량용 마그네틱 감속구동장치의 안정화 및 경량화를 위한 기술분석

- 첨단 소자를 활용한 감속구동장치 개발

1. 특허 동향 분석

○ 특허 분석 기준

- 특허 분석 범위

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~2016.03.01				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

- 검색 조합식

기술구분	검색 조합식	유효 특허
추진시스템 마그네틱 기어 기술	TI=((driving or reduction) near3 gear and ((rolling adj stock) or EMU or (multiple adj unit) or locomotive or train or metro or subway))AND DP>=(19900101);	17
	TAB=(magnetic and (driving or reduction) and gear and ((rolling adj stock) or EMU or (multiple adj unit) or locomotive or train or metro or subway)) AND DP>=(19900101);	

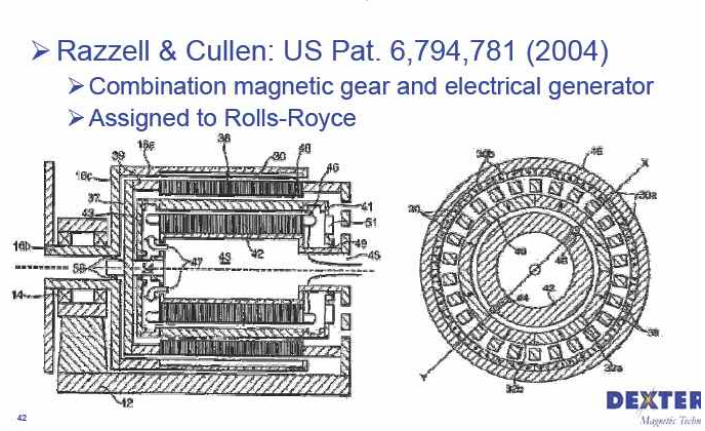
○ 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 특허 동향

- 앞서 기술동향에서 언급한 바와 같이, 마그네틱 기어의 개념은 20세기 초에 나왔으며 1913년 US 특허 출원서에서 본래의 Topology 갖는 전자기적 기어장치가 설명되었지만 그 당시에는 아무도 관심을 갖지 않았음.

- Faus가 1941년에 평기어와 유사한 마그네틱 기어방식를 제안하면서 점점 사람들은 마그네틱 기어에 관심을 가졌으나, 적은 이용률과 페라이트 영구자석의 낮은 성능으로 산업 전반에 사용하는 데에는 불가능했음.

- 1980년대에 희토류계 영구자석 재료가 발명되면서 마그네틱 기어에 관한 연구에 큰 관심을 불러 일으켰으며, 1999년도에 미국의 Ackerman이 기존의 마그네틱 기어에서 개선된 Magnetic Planetary 기어 특허를 출원함(US Pat. 5633555). 2001년 Atallah와 Howe는 외측 회전자와 내측 회전자 사이에 Pole Pieces를 포함하고 있는 고성능의 마그네틱 기어인 동축 마그네틱 기어 관련 특허를 출원함. 그 동작 원리는 강자성 Pole Pieces를 통해서 2개의 내외측 영구자석 회전자에 의해 생성되는 자기장의 변조에 기초하였으며, 기존의 마그네틱 기어와는 다르게 동축 마그네틱 기어는 고출력밀도를 가지는 것을 특징으로 함.

- 동축 마그네틱 기어에서 고출력밀도를 제공하면서 낮은 운전속도와 높은 토크로 구동시킬 수 있는 마그네틱 기어드 영구자석 기기로 응용범위가 확대됨. 2004년 Razzell과 Cullen은 마그네틱 기어와 발전기를 결합한 구조의 마그네틱 기어드 영구자석 기기에 대한 특허를 출원함(US Pat. 6794781). 마그네틱 기어드 영구자석 기기는 풍력발전과 전기자동차에 적용에 큰 관심이 집중되고 있음

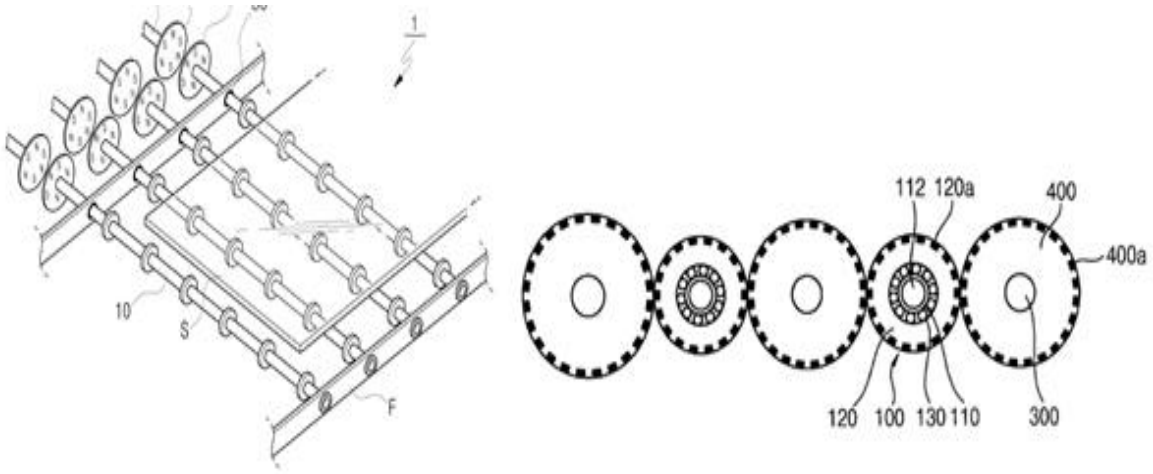


<그림 3-26> 마그네틱 기어드 영구자석 기기의 형상(2004년)

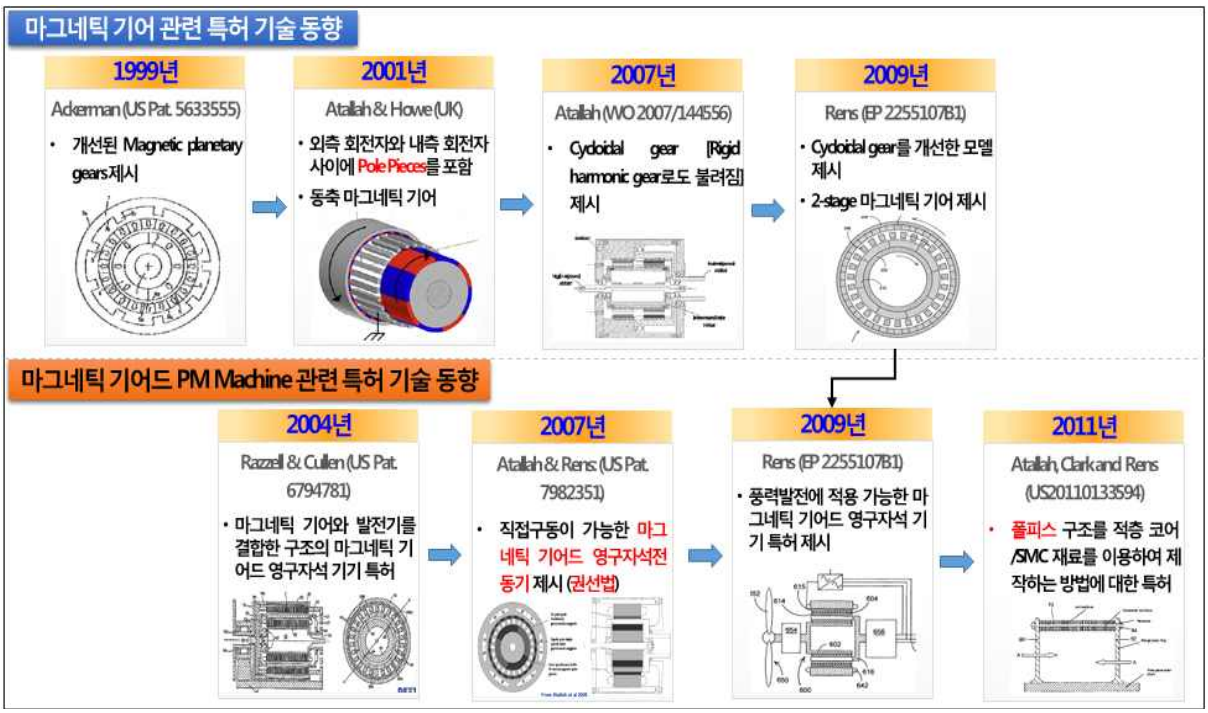
- 국내에서는 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 영구자석 기기 원천기술에 대한 특허 정보는 없으며, 2006년부터 마그네틱 기어의 응용 기술 관련 특허가 주를 이룸

- 2006년 ㈜에프엔에스테크에서 “평판형 마그네틱 기어를 이용한 마그네틱 컨베이어”관련 특허를 출원하였으며, 2007년 ㈜세메스에서 “마그네틱 기어를 활용한 동력전달 기어” 관련 특허를 출원함. 또한 2009년 임광윤씨는 “마그네틱 기어를 이용한 대면적 객체 이송용 컨베이어” 관련 특허를 출원함

- 대부분의 국내에서 출원된 마그네틱 기어 관련 특허는 물류이송용 컨베이어 등의 응용 기술 관련 특허이며, 마그네틱 기어의 구조 관련 특허는 전무함. 더불어 마그네틱 기어와 영구자석형 회전기가 결합된 마그네틱 기어드 영구자석 기기 관련 국내 특허는 없는 상황임



<그림 3-27> 마그네틱 기어 관련 국내에 출원된 대표 특허 현황
(a) 마그네틱 기어 활용 마그네틱 컨베이어 b) 마그네틱 기어 활용 동력 전달 기어



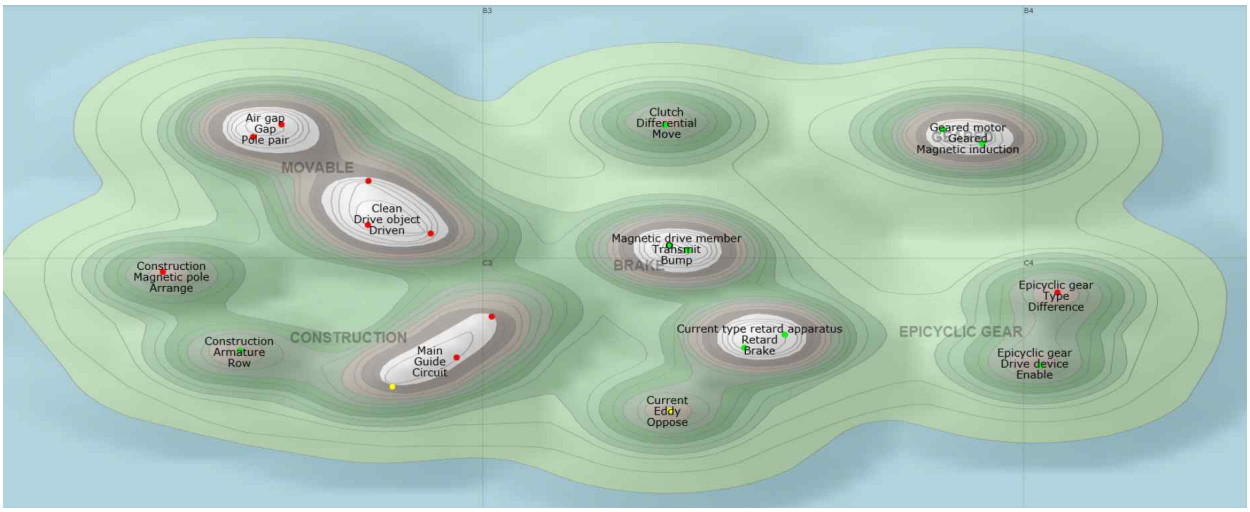
<그림 3-28> 마그네틱 기어와 기어적용 PM Machine의 특허 기술 발전 동향

○ Text mining을 통한 기술분야 특허 분포도

- 이 분야의 특허기술 영역은 전반적으로 MOVABLE, CONSTRUCTION, BRAKE, EPICYCLIC GEAR와 관련된 기술들이 많이 포함되어 있음

- 등고선 꼭짓점이 높은 Clean/Drive object/Driven, Air gap/Gap/Pole pair, Main/Guide/Circuit, Magnetic drive member/Transmit/Bump, Current type retard apparatus/Retard/Brake, Geared motor/Geared/Magnetic induction 등의 기술에 특허가 많이 분포하고 있으어, 관련분야가 집중도가 높은 기술로 볼 수 있음

- 2015년 출원되어 최근 공개된 특허기술을 보면 One of magnetic suspension vehicle system and method of vehicle tire, Inherently Torque Limited Magnetically-Coupled Wheels와 관련된 기술이 나타나고 있어 관련 기술이 최근 주목받고 있는 기술로 판단할 수 있음



<그림 3-29> 특허 등고선 맵

● 2010년 이후 ● 2000-2009 ● 1990-1999

○ 주요 핵심 특허의 권리성 분석

- 주요 핵심특허로는 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 영구자석 기기 관련 연구를 활발히 하고 있는 영국의 Magnimatics사의 유럽 등록특허 EP2255107B1건과 미국 등록특허 US7982351B2건은 마그네틱 기어의 응용 특허로써 마그네틱 기어에 영구자석 기기의 기능을 추가한 특허임

- 상기의 특허는 본 과제에서 연구하고자 하는 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기의 구조와 유사한 구조로써, 기술의 관련도가 상당히 높음

- 상기의 특허의 개량 특허들이 계속 출원되고 있어, 향후 관련 기술 개발 시 본 특허의 분석을 통해 참고가 필요할 것으로 판단됨

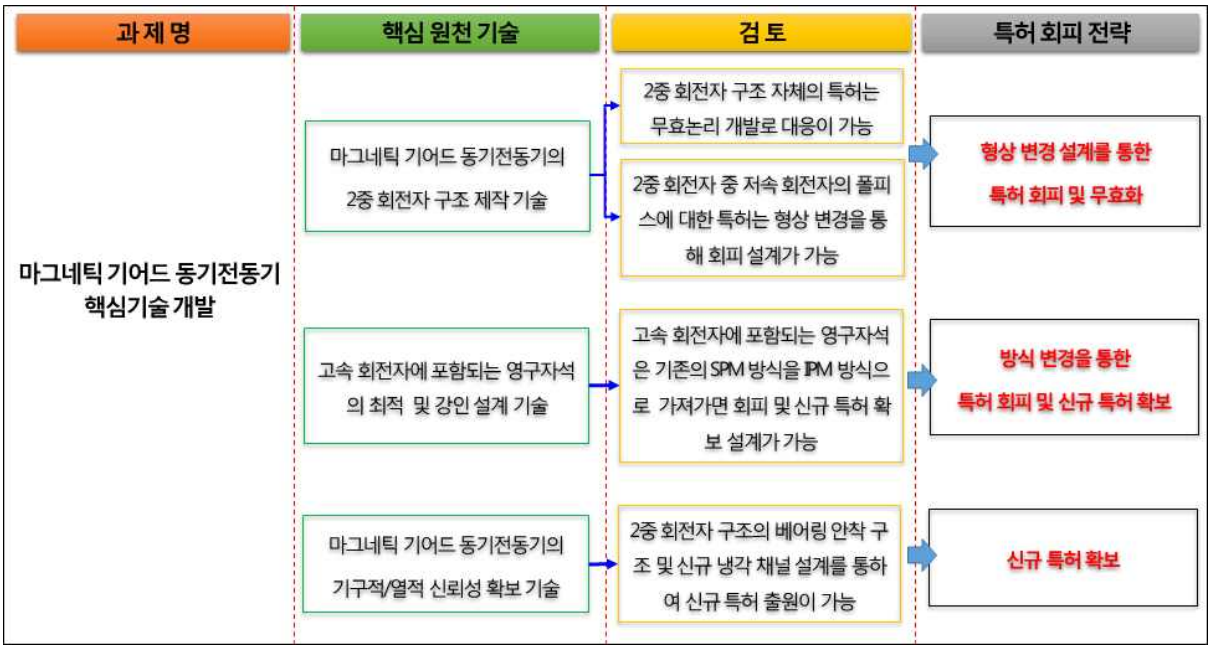
○ 특허 회피 전략

① 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 개발을 위한 핵심 원천 기술은 다음과 같음

- 마그네틱 기어드 동기전동기의 2중 회전자 구조 제작 기술
- 고속 회전자에 포함되는 영구자석의 최적 및 강인 설계 기술
- 마그네틱 기어드 동기전동기의 기구적/열적 신뢰성 확보 기술

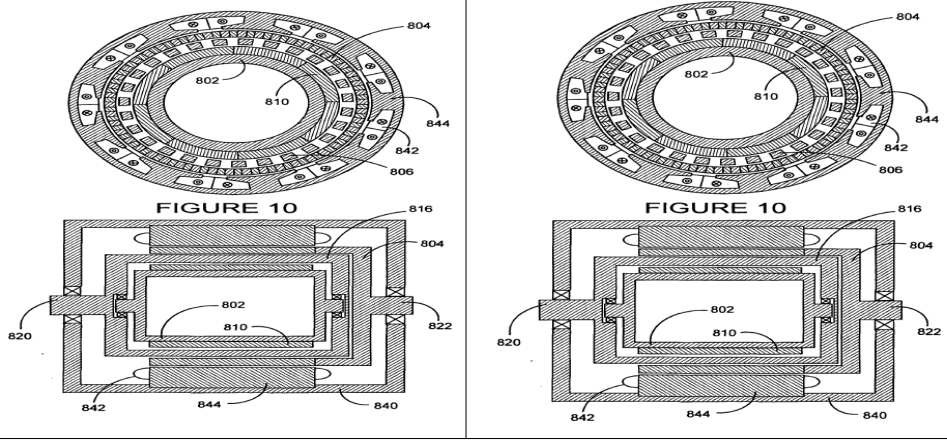
② 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 관련 기존 특허 회피 가능성 검토 결과 및 특허 회피 전략은 다음과 같음

- 마그네틱 기어드 동기전동기의 2중 회전자 구조 제작 기술
  ☞ 2중 회전자 구조 자체의 특허는 무효논리 개발로 대응이 가능
  ☞ 2중 회전자 중 저속 회전자의 폴피스에 대한 특허는 형상 변경을 통해 회피 설계가 가능
- 고속 회전자에 포함되는 영구자석의 최적 및 강인 설계 기술
  ☞ 고속 회전자에 포함되는 영구자석은 기존의 SPM 방식을 IPM 방식으로 가져가면 회피 및 신규 특허 확보 설계가 가능
- 마그네틱 기어드 동기전동기의 기구적/열적 신뢰성 확보 기술
  ☞ 2중 회전자 구조의 베어링 안착 구조 및 신규 냉각 채널 설계를 통하여 신규 특허 출원이 가능

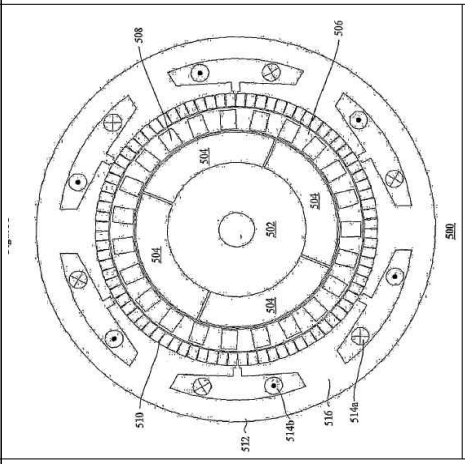
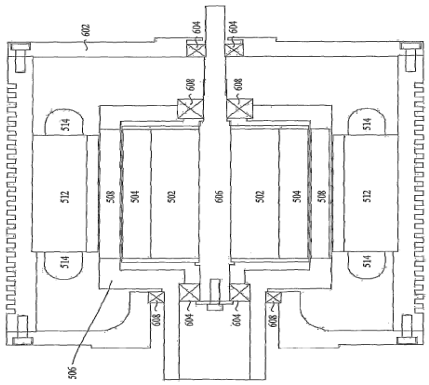


<그림 3-30> 기존 특허 회피 전략도

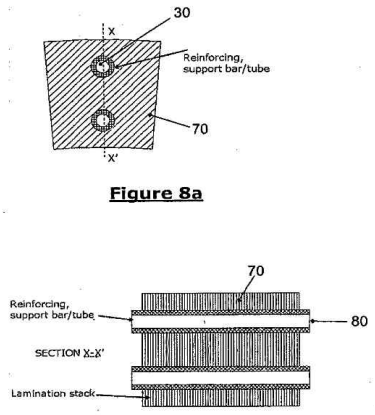
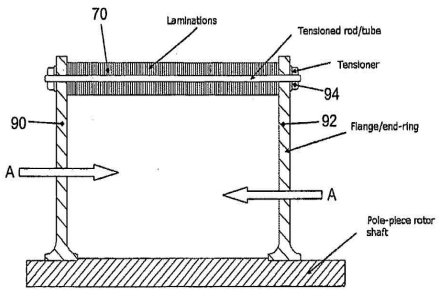
<표 3-7> 속도 가변형 마그네틱 기어에 관한 주요 핵심특허

기술분류	속도 가변형 마그네틱 기어	특허번호 (출원번호)	09712378.0	특허번호 (공개번호)	EP2255107B1
출원인	Rens and Atallah	출원일	2009	공개일	2012
발명의 명칭	Variable magnetic gears				
대표도면					
주요 내용	마그네틱 기어의 고속측과 저속측 사이의 기어비를 외측 전기자에서 제어할 수 있는 구조의 속도 가변형 마그네틱 기어				
주 요 청구항	1. A magnetic gear comprising: a first movable member (502) having a first set of magnetic poles (510), a second movable member (504) having a second set of magnetic poles (514), and a third movable member (516) having a set of pole pieces (506); wherein the first and second members (502, 504) have magnetic poles (510, 514) at different spacings and the pole pieces (506) are arranged to modulate the magnetic field acting between the magnetic poles (510, 514), and characterised by control means arranged to control rotation of one of the members (504) so as to vary the gear ratio between the other two members (502, 516), wherein the control means comprises an electrical machine comprising a plurality of coils and a plurality of drive magnets (515) having a set of magnetic poles, wherein the drive magnets (515) are mounted on one of the members.				

<표 3-8> 마그네틱 기어 응용 관련 주요 핵심특허

기술분류	마그네틱 기어 응용	특허번호 (출원번호)	12/298444	특허번호 (공개번호)	US7982351B2
출원인	Atallah and Rens	출원일	2007	공개일	2011
발명의 명칭	Electrical machine				
대표도면					
주요 내용	마그네틱 기어의 고속측과 저속측 사이의 기어비를 외측 전기자에서 제어할 수 있는 구조의 속도 가변형 마그네틱 기어				
주 요 청구항	1. 1. A method of operating an electrical machine comprising the steps of: producing a magnetically motivated geared interaction between first and second moveable elements of the electrical machine by modulating a magnetic field generated by a first plurality of permanent magnets associated With the first moveable element; and energiZing a Winding arranged to interact With the magnetic field associated With the first moveable element; Wherein modulating the magnetic field comprises moving a plurality of pole-pieces With the second moveable element to cause the first and second movable elements to interact so that rotation of one of the first and second moveable elements induces rotation of the other of the first and second moveable elements in a geared manner, and the plurality of pole-pieces magnetically couple the first plurality of permanent magnets to a secondplurality of permanent magnets.				

<표 3-9> 마그네틱 기어드 영구자석 기기에 관한 주요 핵심특허

기술분류	마그네틱 기어드 동기모터	특허번호 (출원번호)	US 12/992,141	특허번호 (공개번호)	US20110133594 A1
출원인	Atallah, Clark and Rens	출원일	2009	공개일	2011
발명의 명칭	Magnetic pole-piece structure				
대표도면					
주요 내용	마그네틱 기어나 마그네틱 기어드 동기전동기에 있어서 중요한 부분 중 하나인 폴피스 구조와 관련된 특허로써, 적층 코어를 적용하는 방법이나 SMC 재료를 이용하여 제작하는 방법에 대한 특허				
주 요 청구항	1. A magnetic pole-piece comprising a magnetic part and a retaining part, wherein the retaining part supports the magnetic part. 22. A magnetic pole-piece having a high strength portion and a low-conductivity portion, the high strength portion provided by a retaining structure and the low-conductivity structure provided by an array of laminate parts or a soft magnetic composite material supported by the retaining structure. 24. A magnetic pole-piece comprising an array of laminate parts secured in place by a retaining structure. 25. A magnetic pole-piece comprising a soft magnetic composite material secured in place by a retaining structure.				

2. 논문 동향 분석

○ 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 논문 동향

- 해외에서는 마그네틱 기어나 마그네틱 기어드 영구자석 기기에 대한 학술 연구가 다수 진행되고 있으며, 마그네틱 기어나 마그네틱 기어드 영구자석 기기 관련 학술 연구는 주로 대학에서 진행이 되었으며, 대부분이 구조 설계 및 이의 응용과 관련된 연구임.

- 마그네틱 기어드 영구자석 기기 관련 다수의 논문을 검색하여 본 연구에서 수행하고자 하는 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기 기술과 관련도가 높은 유효 논문으로 총 5건을 도출함

- 대표적으로 2007년과 2009년에 홍콩대학교에서 발표한 논문 “Design of a Magnetic-Geared Outer-Rotor Permanent-Magnet Brushless Motor for Electric Vehicles”과 “Design and Analysis of an Integrated Halbach-magnetic-geared Permanent-magnet Motor for Electric Vehicles”에서는 전기자동차 구동용 인-휠전동기로 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기를 적용하기 위한 설계 논문으로써, 토크 밀도를 향상시키기 위하여 외부 회전자 구조에 영구자석을 할박 자화 구조로 적용한 내용이며, 2013년과 2014년에 오사카 대학교에서 발표한 논문 “Cogging Torque Characteristics of a Magnetic-Geared Motor” 과 “Design and Analysis of Magnetic-Geared Motor With Field Windings”에서는 고속분야의 응용을 위하여 내부 회전자 구조를 적용하였으며, 토크 리플을 줄이기 위한 설계 및 제어 연구에 관한 내용임.

- 철도차량 견인용 구동장치의 경우, 고속회전을 하는 견인전동기와 저속회전을 하는 휠 사이에 기계식 감속기가 설치되는 구조이기 때문에 홍콩대학교에서 연구한 외부 회전자 회전형 마그네틱 기어드 동기전동기의 구조 분석이 더욱 필요한 상황임

<표 3-10> 마그네틱 기어드 영구자석 기기 관련 해외 유효논문 현황

순번	논문 제목	발표년도	저널명	소속
1	Design and Analysis of Magnetic-Geared Motor With Field Windings	2014	IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS	Osaka University
2	Design and Analysis of an Integrated Halbach-magnetic-geared Permanent-magnet Motor for Electric Vehicles	2009	Journal of Asian Electric Vehicles	University of Hong Kong
3	Cogging Torque Characteristics of a Magnetic-Geared Motor	2013	Electrical Engineering in Japan	Osaka University
4	Design of a Magnetic-Geared Outer-Rotor Permanent-Magnet Brushless Motor for Electric Vehicles	2007	IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS	University of Hong Kong
5	COMPARISON OF MAGNETIC-GEARED PERMANENT-MAGNET MACHINES	2013	Progress In Electromagnetics Research	Southeast University, Nan-jing

○ 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 핵심논문 심층분석

- SCI 논문 :「Design of a Magnetic-Geared Outer-Rotor Permanent-Magnet Brushless Motor for Electric Vehicles」

· 저널명 : IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 2014

· 저자 : K. T. Chau 외 4명 (Univ. Hongkong, China)

· 주요 내용

☞ 본 논문은 전기자동차 구동용 인-휠 전동기에 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기를 적용하기 위한 설계 논문으로써, 2kW급 용량에 저속 회전자와 고속 회전자의 속도비가 600rpm/4400rpm 인 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기임. 본 논문에서는 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기의 토크 밀도를 향상시키기 위하여 외부 회전자 구조에 영구자석을 할박 자화 구조로 적용함.

Design of a Magnetic-Geared Outer-Rotor Permanent-Magnet Brushless Motor for Electric Vehicles

K. T. Chau[1], Dong Zhang[2], J. Z. Jiang[2], Chunhua Liu[1], and Yuejin Zhang[2]

[1]Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Hong Kong, Hong Kong, China
[2]Department of Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China

This paper proposes a novel in-wheel motor, which artfully integrates a magnetic gear into a permanent-magnet brushless (PMBL) DC motor so that they can share a common PM rotor, hence offering both high efficiency and high power density. Moreover, the low-speed requirement for direct driving and the high-speed requirement for compact motor design can be achieved simultaneously. A 2-kW 600/4400-rpm magnetic-geared outer-rotor PMBL DC motor is designed and analyzed, which is particularly suitable for battery-powered electric motorcycles.

Index Terms—Electric vehicle, magnetic gear, outer rotor, permanent-magnet motor.

I. Introduction

In-wheel permanent-magnet brushless (PMBL) motors are very attractive for electric vehicles, since they can provide electronic differential action [1]. As the wheel speed is only about 600 rpm, the in-wheel PMBL motor is either a low-speed gearless outer-rotor one or a high-speed planetary-geared inner-rotor one. Although the former one takes the advantage of gearless operation, its low-speed operation causes bulky size and heavy weight. On the other hand, although the latter one takes the merits of reduced overall size and weight, the planetary gear inevitably involves transmission loss, acoustic noise, and regular lubrication [2].

Magnetic gearing is becoming attractive, since it offers the advantages of high efficiency, reduced acoustic noise, and maintenance free [3]. The purpose of this paper is to artfully integrate the magnetic gear into a PMBL DC motor so that the low-speed requirement for direct driving and the high-speed requirement for motor design can be achieved simultaneously. A prototype will be designed for an electric motorcycle.

II. Design

Fig. 1 gives a schematic comparison of the proposed magnetic-geared outer-rotor topology and the existing planetary-geared inner-rotor topology for in-wheel motors, in which the tire rim is directly mounted onto the outer rotor of the magnetic gear and the ring gear of the planetary gear, respectively. It can be seen that the proposed topology not only offers reduced size and weight, but also eliminates all the drawbacks due to the mechanical gear.

The detailed configuration of the proposed motor is shown in Fig. 2. The artfulness is the share of a common PM rotor, namely the outer rotor of a PMBL DC motor and the inner rotor of a concentrically arranged magnetic gear. This magnetic gear was first proposed in [3]. The common PM rotor is designed with 3 pole-pairs for high-speed operation, whereas the gear outer rotor is designed with 22 pole-pairs for low-speed operation. The stationary ring sandwiched between the two PM rotors incorporates with steel pole-pieces, which functions to modulate the airgap flux density space harmonics. The stator of the

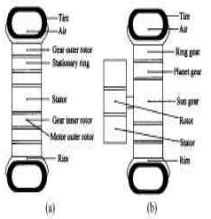


Fig. 1. Cross-sectional views of in-wheel motors: (a) Proposed magnetic-geared topology. (b) Existing planetary-geared topology.

motor adopts a 3-phase winding with fractional slots per pole per phase, hence offering low cogging torque which is highly desirable for vehicle operation.

The principle of operation is similar to a high-speed planetary-geared inner-rotor motor, but with the difference that the proposed motor is an outer-rotor one. Firstly, the stator is fed by 3-phase voltages, which are rated at 220 Hz, to achieve the rated speed of 4400 rpm. Then, the magnetic gear steps down the rated speed to 600 rpm, which in turn boosts up the torque for direct driving.

The torque transmission is based on the modulation of the airgap flux density distributions along the radial and circumferential directions. According to [4], it can be deduced that the number of pole-pairs and the speed of the flux density space harmonics are respectively given by

$$p_{h,k} = |kp + ls|; \quad \omega_{h,k} = \frac{kp}{|kp + ls|}\omega_r \qquad (1)$$

where $n = 1, 3, 5, \ldots, \infty, k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots, \pm\infty$, ω_r is the speed of the gear inner rotor, p is the number of pole-pairs of the gear inner rotor, and s is the number of stationary steel pole-pieces. Thus, in order to transmit torque from the gear inner rotor to the gear outer rotor, the number of pole-pairs and the speed of the gear outer rotor must equal $p_{h,k}$ and $\omega_{h,k}$, respectively. Since the combination of $n = 1$ and $k = -1$ results in the highest asynchronous space harmonic, the gear ratio of inner rotor to outer rotor can be obtained as $G_r = |p - s|/p$. Hence, with $p = 3$ and $s = 25$, it yields $G_r = 22/3 = 7.33 : 1$.

Digital Object Identifier 10.1109/TMAG.2007.893714

0018-9464/$25.00 © 2007 IEEE

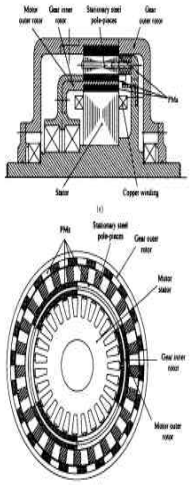


Fig. 2. Proposed motor configuration. (a) Front view. (b) Side view.

III. Results

Since the proposed motor is composed of two magnetic devices (PMBL DC motor and magnetic gear) and three airgaps (inner, middle, and outer), the finite element method (FEM) is employed. The design data is listed in Table I, which is dedicated to an electric motorcycle. Notice that the outer airgap is relatively wide (1 mm) since the outer rotor needs more mechanical tolerance. Fig. 3(b) and (c) compare the field distributions at no load and full load, whereas Fig. 3(c) and (d) compare the field distributions at full load with and without the magnetic gear. The results show that the armature current field does not cause significant flux distortion on the magnetic gear, whereas the existence of magnetic gear does not significantly affect the PMBL DC motor operation. Fig. 4 shows the back EMF waveforms of the proposed motor at the rated speed, which well agrees with the design data. Then, the radial flux densities in the inner, middle, and outer airgaps are shown in Figs. 5, 6 and 7, respectively. It can be seen that the largest space harmonic is successfully modulated by the stationary steel pole-pieces from 3 pole-pairs in the inner airgap to 22 pole-pairs in the outer airgap.

Since the proposed motor adopts the fractional-slot winding, the cogging torque is confirmed to be very small as shown in Fig. 8. When any two phases of the motor are fed by 100 A, the torque-angle relationship is shown in Fig. 9. Taking into account 3-phase operation, the generated torque in the inner rotor is shown in Fig. 10. It can be found that the maximum value is about 15 Nm which is insufficient to launch the motorcycle.

TABLE I
Design Data

Number of phases	3
Rated power	2 kW
Rated phase voltage	36 V
Rated frequency	220 Hz
Rated gear inner-rotor speed	4400 rpm
Rated gear outer-rotor speed	600 rpm
Number of stator slots	27
Number of gear inner-rotor pole-pairs	3
Number of gear outer-rotor pole-pairs	22
Number of stationary steel pole-pieces	25
Number of turns per armature coil	27
Stator diameter	120 mm
Gear inner-rotor outside diameter	142.8 mm
Gear outer-rotor outside diameter	194 mm
Inner airgap length	0.6 mm
Middle airgap length	0.6 mm
Outer airgap length	1 mm
Stack length	40 mm
PM material	38SH NdFeB

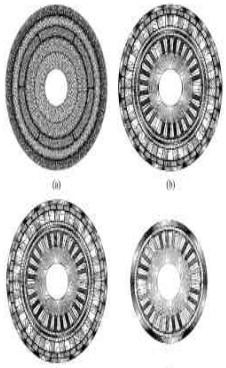


Fig. 3. FEM analysis. (a) Mesh. (b) No-load field distribution. (c) Full-load field distribution. (d) Full-load field distribution with no magnetic gear.

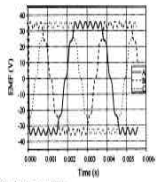


Fig. 4. Back EMF waveforms.

Meanwhile, with the use of magnetic gearing, this torque value can be significantly amplified to about 103 Nm as shown in

제 4 장 기술 예측

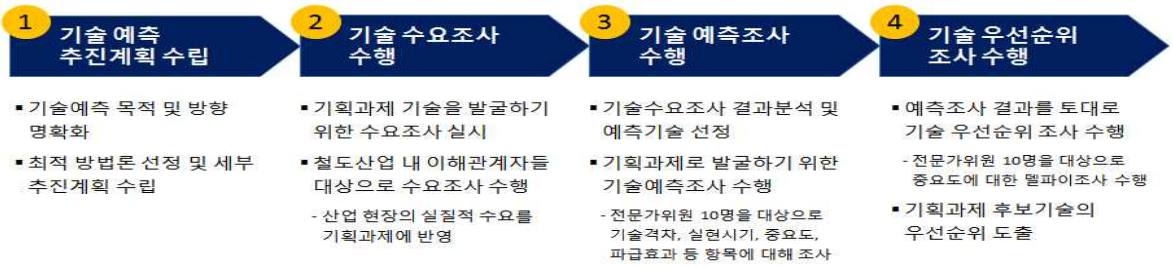
제 1 절 기술예측 개요

1. 기술 예측 추진계획

□ 기술 예측 프로세스 수립

○ R&D 기획 과제로 추진할 관련 기술을 발굴하고, 개발 우선순위를 도출하기 위해 수요조사, 예측조사, 델파이조사 방법론을 활용한 기술 예측 프로세스를 수립

본 연구의 목적에 부합하면서 산업 내의 개발 수요가 있는 기술을 발굴하기 위해 수요조사 및 예측조사, 우선순위 조사(수정된 델파이 조사) 등 3단계 조사 체계를 구축



<그림 4-1> 기술 예측 추진 프레임워크

○ (**기술예측 추진계획 수립**) 본 기획연구에서 수행하는 기술 예측의 목적 및 방향을 명확히 정의하고, 최적의 결과를 얻기 위해 방법론 및 세부 추진계획을 사전에 수립

본 기획과제의 추진배경과 목표를 고려하여 첨단기술을 활용한 철도차량 추진시스템 기술과제를 선별할 수 있도록 조사 방법 및 세부적인 추진계획을 수립

○ (**기술 수요조사 수행**) 관련 산업 내 기술개발 수요를 반영하여 과제를 기획하기 위해 관련 기업, 연구기관, 대학 등 영역별 전문가들을 대상으로 기술 수요조사를 수행

수요조사는 철도차량 추진시스템 관련 산업 내 수요를 반영하고자 철도차량 기술개발을 수행하는 산학연 대상으로 방문 혹은 e-Mail을 통해 관련 기술의 개발 수요를 파악

○ (**기술 예측조사 수행**) 수요조사 결과를 토대로 예측기술을 선별하고, 기술격차·실현시기 ·중요도·파급효과 등 기술 예측항목에 대해 전문가 위원을 대상으로 조사를 수행

수요조사에 수집된 기술 중 본 기획과제의 목표 부합성, R&D 인프라 적정성, 타 R&D과제와의 중복성, 기술 개발 후 산업 활용성 등의 관점에서 평가하여 기술예측조사 대상 수요기술을 선별

기술예측조사는 본 기획의 기술개발 추진전략 수립을 위해 필요한 정보를 확보하기 위해 실현시기, 획득방식, 정부개입 필요성, 중요도 항목에 대한 전문가 조사를 수행

○ (**기술 우선순위 조사 수행**) 예측조사 결과 내용을 기반으로 전문가위원의 델파이조사를 수행하여 예측기술들의 기획과제 우선순위를 평가

사전에 선정한 전문가위원을 대상으로 필요성, 부합성, 시급성, 성공가능성, 파급효과 측면에서 각 기술별 정량점수로 평가하여 기획과제의 기술개발 우선순위를 결정

제 2 절 기술 수요조사 및 기술 예측

1. 기술 수요조사 및 후보과제

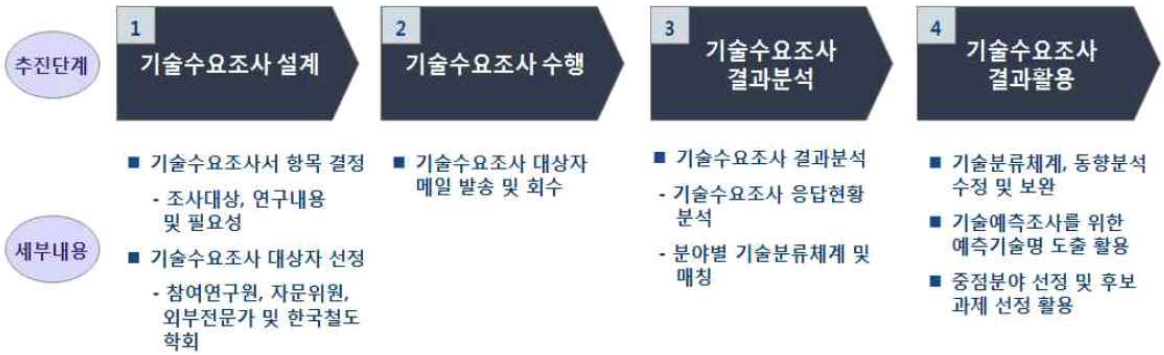
가. 기술 수요조사의 개요

□ 기술 수요조사의 목적

○ 본 기획연구에서 기술 수요조사의 목적은 미래 국가 및 기업에서 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 세부기술과제 수준에서 도출하는 것

○ 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당

□ 기술 수요조사의 절차



<그림 4-2> 기술수요조사 프로세스

□ 기술 수요조사의 활용

○ 기술수요조사 결과를 활용한 기술분류체계, 동향 및 환경분석 보완

○ 기술예측조사를 위한 예측 기술명 도출에 활용

○ 향후 중점분야 선정 및 수행과제 선정에 활용

○ 중점분야별 후보기술 발굴의 자료로 활용

□ 기술 수요조사 발송 및 응답 결과

○ 기술수요 조사 대상은 기획 참여연구원, 자문위원, 외부전문가를 대상으로 방문 협의 및 메일 발송을 통해 조사

<표 4-1> 기술수요조사 내용 및 응답 결과

구 분	내 용
조사기간	방문조사 : 2015. 12. 3 ~ 12. 15 방문조사기관: 서울메트로, 서울도시철도공사, 철도공사, 부산교통공사 이메일 : 2015. 12. 16 ~ 12. 30 이메일조사기관: 현대로템, 다원시스, 우진산전, 효성중공업, 중앙대학교, 교통대학교, 전기연구원, 철도연구원
조사대상	참여연구원, 자문위원, 외부전문가
조사방법	이메일을 통한 설문조사
응답기관	철도공사, 서울메트로, 서울도시철도공사, 현대로템, 교통대학교, 철도연구원
기술수요조사 응답건수	변압기 : 4건 견인인버터 : 8건 견인전동기 : 4건 구동기어 : 6건 기타 : 차단기, 전압/전류센서, 커플러, 팬터그래프, 추진계통 보호협조

나. 기술 수요조사 결과 분석

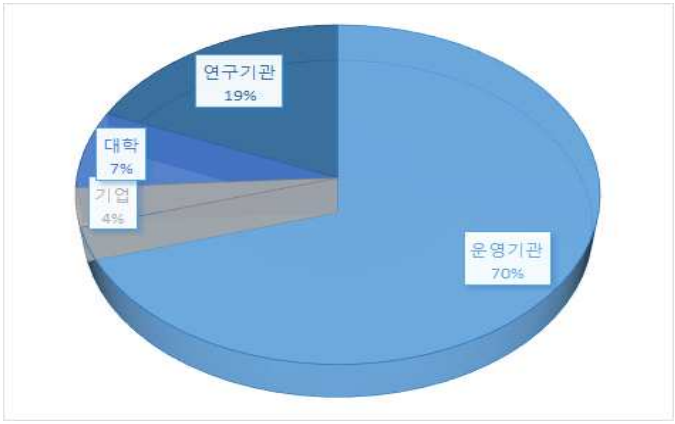
□ 기술 수요조사 결과 분류

○ 회신된 기술수요조사서의 응답 현황을 중점분야별/연구수행기관별로 분석

<표 4-2> 중점분야별/연구수행기관별 기술수요조사 결과

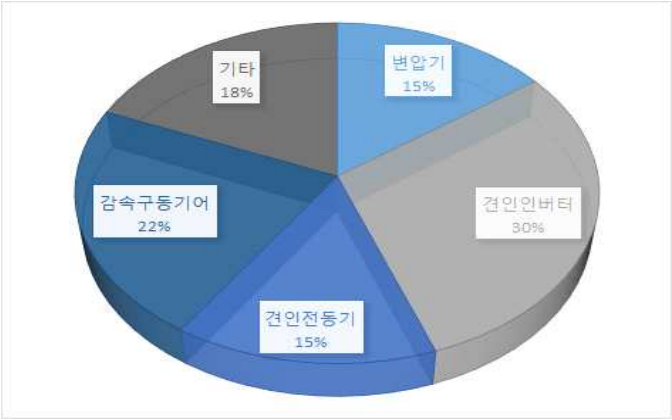
구분		중점분야					계
		변압기	견인인버터	견인전동기	구동기어	기타	
연구수행기관	운영기관	3	6	3	2	5	19
	기업	·	1	·	·	·	1
	대학	·	·	1	1	·	2
	연구기관	1	1	·	3	·	5
	계	4	8	4	6	5	27

○ 연구수행기관별로는 운영기관(70%), 연구기관(19%)의 순서로 기술수요조사 응답이 높음.



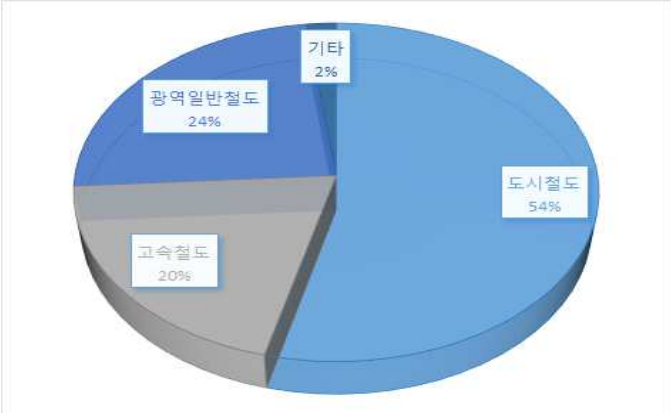
<그림 4-3> 기관별 기술수요조사 제안과제 결과

○ 중점분야별 기술수요조사는 견인인버터, 감속구동기어, 기타 장치의 순으로 응답하여 운영기관의 기술개발 의지가 반영된 것으로 판단됨.



<그림 4-4> 중점분야별 기술수요조사 제안과제 결과

○ 제안과제의 적용대상에 대한 기술수요조사는 도시철도차량이 가장 높게 나타남.



<그림 4-5> 적용대상 차량별 기술수요조사 제안과제

○ 추진시스템의 중점분야별 대상장치에 기술수요조사 제안과제를 매칭하면 다음과 같음.

<표 4-3> 기술수요조사 제안과제 매칭 및 적용 대상차량

중점분야	대상장치	과제명	적용 대상차량			
			도시철도	고속철도	광역일반철도	기타
주변압기	몰드형 변압기	철도차량용 몰드형 변압기 개발	○	○	○	
	반도체 변압기	친환경 절전형 양방향 반도체 변압기 개발	○			
	유입형 변압기	유입변압기 최적 구조설계	○	○	○	
		철도차량용 유입형 주변압기 상태진단 기술개발	○	○	○	
추진제어장치	직/교류 겸용 추진제어 컨버터/인버터	3레벨 컨버터 적용 추진제어장치 개발	○			
		전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	○	○	○	
		SiC 소자적용 전력변환장치 개발	○	○	○	
	추진제어 인버터	추진제어장치 시스템 간소화	○			
		고효율 다상 인버터 개발	○	○	○	
		인공지능형 추진제어장치 개발	○			
		주요소자 국산화 개발	○			
		지능형 인버터 개발	○			
견인전동기	다상 전동기	고효율 다상 전동기 개발	○	○	○	
	동기전동기	210kW급 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	○			
		영구자석을 이용한 동기전동기(PMSM) 개발	○	○	○	
	유도전동기	무보수(장수명) 유도전동기 개발	○			
감속기/커플링	비접촉 감속기	210kW급 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	○			
	비접촉 감속기	비접촉식 감속기어 기술개발	○	○	○	
	감속기	철도차량용 차동기어유니트 개발	○			

중점 분야	대상장치	과제명	적용 대상차량			
			도시 철도	고속 철도	광역 일반 철도	기타
	비접촉 커플링	비접촉식 커플링 기술개발	○	○	○	
	비접촉 베어링	마그네틱 베어링 기술개발	○	○	○	
기타 기기	연결기	지능형 커플러 개발	○			
	전압/전류 센서	전압/전류 센서 국산화 개발	○			
	진공차단기	소형/경량화 전자식 진공차단기 개발	○			
	고속차단기	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발	○			
	팬터그래프	적응형대용량 팬터그래프 개발	○			
	전력시스템	추진계통 구성장치의 보호특성값	○	○	○	○

□ 중점분야별 기술 수요조사 제안과제명 및 연구내용 분류

○ 중점분야별 기술 수요조사 제안과제명 및 연구내용은 다음과 같음.

<표 4-4> 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구개발 내용

중점 분야	대상기기	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
주변 압기	유입형 변압기	철도차량용 유입형 주변압기 상태진단 기술개발	실시간 상태진단기술
	유입형 변압기	유입변압기 최적 구조설계	냉각/절연구조 최적화 설계
	몰드형 변압기	철도차량용 몰드형 변압기 개발	몰드형 변압기 개발
	반도체 변압기	친환경 절전형 양방향 반도체 변압기 개발	전력반도체 적용 양방향 전력제어 전력전자 변압기 개발
추진 제어 장치	직/교류 겸용 추진제어 컨버터/인버터	SiC 소자적용 전력변환장치 개발	SiC소자 적용 전력변환장치 개발(기존장치 대체)
		3레벨 컨버터 적용 추진제어장치 개발	3레벨 스위칭 적용 컨버터 개발
		전력변환장치 결함진단 및	결함진단 및 수명예측 기술개발

중점분야	대상기기	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
		수명예측 기술개발	
	추진제어 인버터	지능형 인버터 개발	고속스위칭 전력반도체 적용기술개발 전압/전류 검출 센서 개발
		추진제어장치 시스템 간소화	안전운행 대응 제어시스템 개발
		인공지능형 추진제어장치 개발	이상상태 적응형 추진제어장치
		주요소자 국산화 개발	대전력 소자 개발
		고효율 다상 인버터 개발	다상전동기 구동 인버터 개발
견인 전동기	동기전동기	210kW급 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	감속기 일체구조 동기전동기 개발
		영구자석을 이용한 동기전동기(PMSM) 개발	PMSM 개발(기존장치 대체)
	다상 전동기	고효율 다상 전동기 개발	다상전동기 개발
	견인전동기	무보수(장수명) 유도전동기 개발	무보수 베어링 개발
감속기/커플링	비접촉 감속기	210kW급 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	전동기 일체형 감속기 개발
		비접촉식 감속기어 기술개발	비접촉 감속기 개발
	감속기	철도차량용 차동기어유니트 개발	급곡선 통과형 차동기어장치 개발
	비접촉 커플링	비접촉식 커플링 기술개발	비접촉 커플링 개발
	비접촉 베어링	마그네틱 베어링 기술개발	마그네틱 베어링 개발
기타 기기	연결기	지능형 커플러 개발	사물인터넷에 의한 커플러 파손 검지
	전압/전류 센서	전압/전류 센서 국산화 개발	차량용 전류/전압 검출 센서 개발
	진공차단기	소형/경량화 전자식 진공차단기 개발	전자식 진공차단기 개발
	고속차단기	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발
	팬터그래프	적응형대용량 팬터그래프 개발	집전용량 증대 및 과도상승 방지 형 팬터그래프 개발
	전력시스템	추진계통 구성장치의 보호특성값	전기차량 추진계통 상호간 보호협조기준 설정

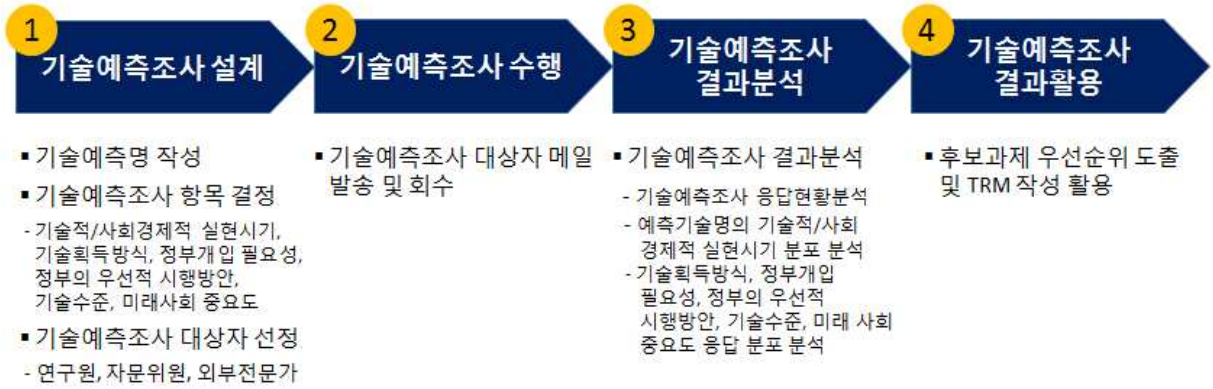
2. 기술 예측조사

가. 기술 예측조사의 개요

□ 기술 예측조사의 목적

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

□ 기술 예측조사의 절차



<그림 4-6> 기술예측조사 프로세스

□ 기술예측조사 조사방법

○ 조사기간 : 2016. 1. 18 ~ 2016. 1. 29 (2주간)

○ 조사대상 : 산학연 관련 전문가

○ 조사방법 : 현장 방문 조사 및 이메일 조사

□ 기술예측조사 조사항목

○ **'기술적 실현시기'**는 2015년 기준, 해당 예측기술의 기술적 문제가 해결되어 프로토타입 등의 기술개발이 실험실 수준에서 완료되는 예상시점(Single Point Time)

○ **'사회경제적 실현시기'**는 2015년 기준, 해당 예측기술의 경제성이 확보되어 시제품으로 상용화되거나 사회적으로 널리 활용되는 예상시점(Single Point Time)

○ **'기술적 실현시기'**에 대한 세계 시기와 국내 시기와의 격차는 기술수준에 대한

격차로 해석할 수 있으며, 이는 해당과제에 대한 추진전략 설정에 활용

○ **'기술적 실현시기'**와 **'사회경제적 실현시기'**와의 격차는 실용화 능력 혹은 사회적 수용성에 대한 대리지표로 활용 가능

○ **'기술획득방식'**은 해당 예측기술명의 기술개발을 위한 적합한 연구 주체를 조사

예측기술명에 대해 아래의 4개의 조사 항목 중 적합한 연구 주체를 선택

<표 4-5> 기술획득방식 조사항목

조사항목		내용
자체 개발	민간주도	기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 적합
	정부주도	기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초 단계 연구개발이 필요하여 정부출연 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 적합
	정부·민간 주도	정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발하여 추진하는 것이 바람직함
기술도입 및 공동연구		국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감

○ **'정부개입 필요성'**은 해당 예측기술명의 개발과 경쟁력 확보를 위해 정부 개입의 필요성 정도를 조사

"정부개입 필요성"은 5점 척도(매우높음 : 5점, 높음 : 4점, 보통 : 3점, 낮음 : 2점, 매우낮음 : 1점)로 조사함.

○ **'기술적 실현을 위한 정부의 우선적 시행 방안'**은 해당 예측기술명의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 정책을 조사

해당 예측기술명에 대해 아래의 5개의 조사 항목 중 정부가 우선적으로 시행해야할 정책을 선택

<표 4-6> 기술적 실현을 위한 정부시행방안 조사항목

조사항목	내용
인력양성	해당기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요
협력교류 활성화	기술의 성격상 다학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요
인프라 구축	기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라 구축이 필요
연구비 확대	기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요
제도 개선	규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요

○ **'기술수준'**은 해당 예측기술명의 특정시점에서의 최고기술보유국 대비 우리나라의 기술수준을 조사

해당 예측기술명의 최고기술 보유국과 최고기술 보유국 대비 우리나라 기술수준(%)을 작성

<표 4-7> 기술수준 조사항목

조사항목	내용
최고기술 보유국	해당기술 분야에서 가장 높은 기술수준을 보유한 국가
우리나라 기술수준	현재시점에서 최고기술보유국의 기술수준을 100%라고 했을 때 우리나라의 기술수준 정도

○ **'미래사회에서의 중요도'**는 해당 예측기술명에 대해 다음의 3가지 항목에 대해 5점 척도로 조사

5점 척도(매우높음 : 5점, 높음 : 4점, 보통 : 3점, 낮음 : 2점, 매우낮음 : 1점)로 조사

<표 4-8> 미래사회 중요도 조사항목

조사항목	내용
과학기술적 중요도	과학기술적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면의 중요도
사회공공적 중요도	사회문제의 해결 및 공익 측면의 중요도
경제산업적 중요도	경제산업적 부가가치 창출 측면의 중요도

나. 예측기술 선정

□ 예측기술 선정 개요

○ 기술수요조사에서 도출된 27개 제안과제를 토대로 기획과제로 추진하기 위한 예측기술을 선정

예측기술은 기획연구진이 관련 기술에 대한 국·내외 동향 분석 자료, 특허 정보 등을 분석하여 후보 예측기술 List를 작성한 후, 전문가 위원회의 검토를 거쳐 최종 확정

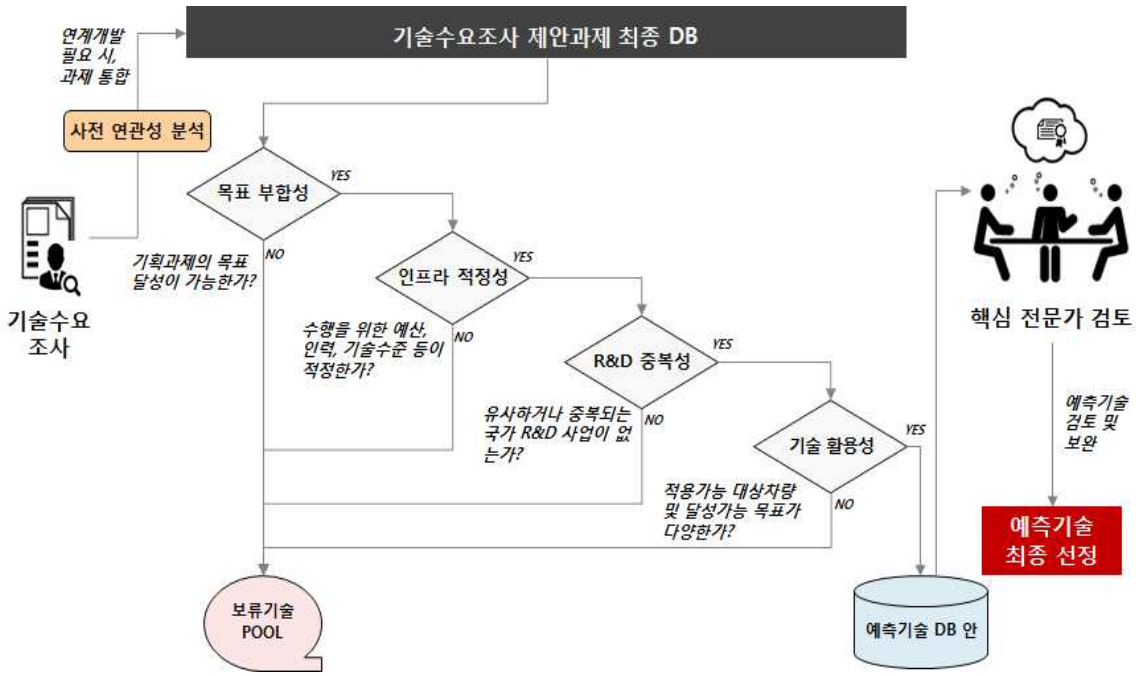
예측기술 선정은 27개의 제안과제에 대해 목표 부합성, 인프라 적정성, R&D 중복성, 기술 활용성 등 4개의 측면에서 검토하여 적합한 제안과제를 선정

- (목표 부합성) 제안과제가 본 기획과제의 목표인 '경량화' 및 '안정성 향상'에 부합하는가를 평가
- (인프라 적정성) 국내의 제반 여건 하에서 제안과제의 수행이 가능한지 검토하기 위해, 연구개발 비용 및 전문 인력, 보유 특허, 국내 기술수준 등이 적정한가를 평가
- (R&D 중복성) 제안과제의 연구목표 및 내용이 기존에 수행되었거나 현재 수행중인 다른 국가 연구개발 사업과 중복되지 않는 가를 평가

· (기술 활용성) 한정된 국가 R&D 예산을 효율적으로 배분하기 위해, 제안과제의 기술적 활용도가 높은가를 평가

평가에 앞서 '사전 연관성 분석'을 통해 제안과제의 내용을 검토하고, 과제 간 연계개발의 필요성이 높은 경우 하나의 제안과제로 통합

예측기술 선정은 <그림 4-6>에 제시된 바와 같이 단계별로 진행하며, 해당 평가항목을 충족하는 경우에만 다음 평가단계로 이행



<그림 4-7> 예측기술 선정 프로세스

□ 사전 연관성 분석

○ 연구개발 내용 및 기술활용 관점에서 복수 이상의 제안과제 간 연관성 정도를 분석하고, 연계 개발 필요성이 높은 과제군의 경우 하나의 과제로 통합

수요조사서 및 관련 문헌 검토를 통해 사전 연관성 분석을 수행

○ 분석 결과 연계개발이 필요한 과제는 총 5개(2개 그룹)로, 이를 2개의 과제로 통합하여 최종 제안과제 수는 24개로 확정하고 임의의 과제번호를 부여

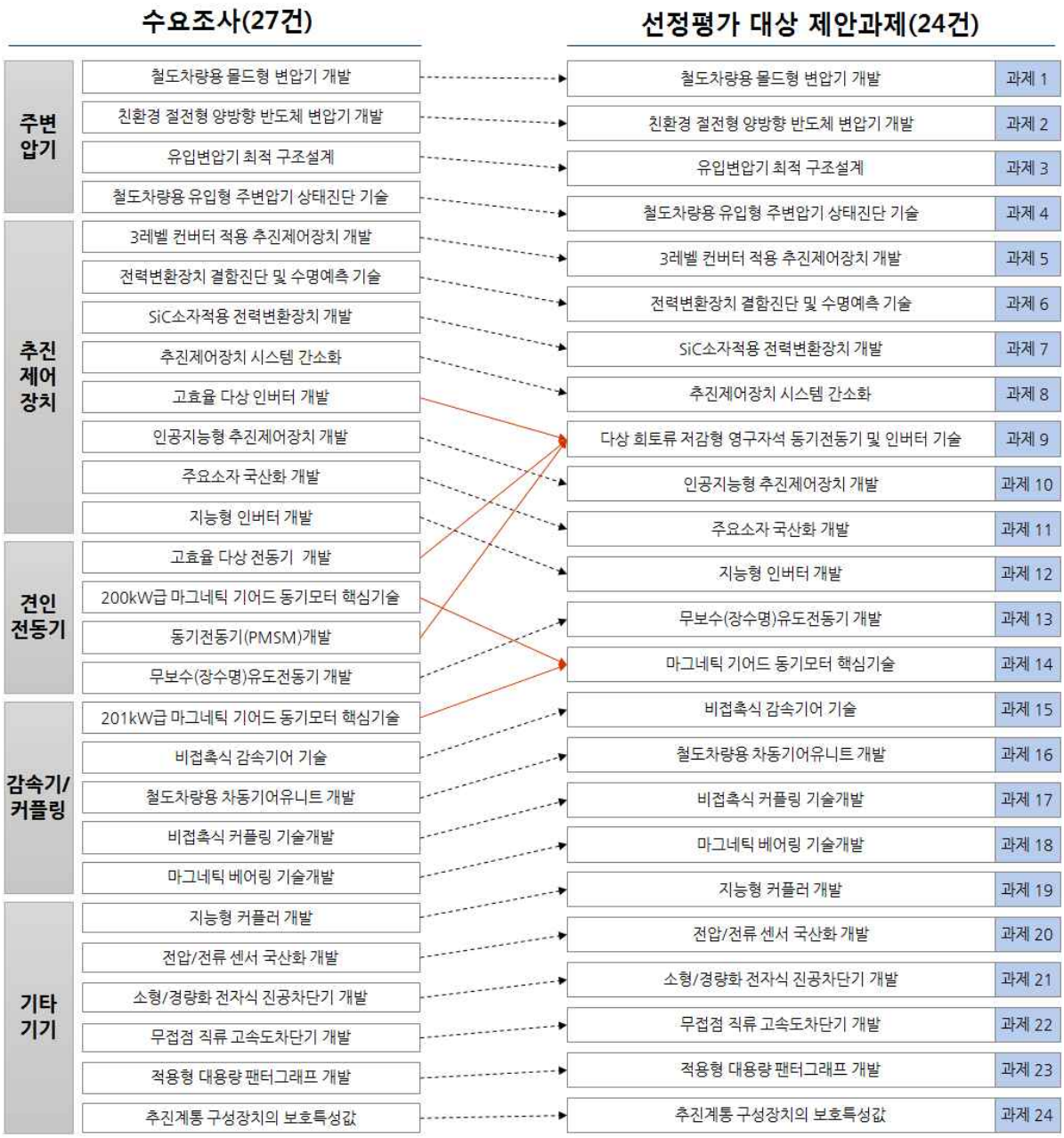
고효율 다상인버터 개발, 고효율 다상전동기 개발, 영구자석을 이용한 동기전동기(PMSM) 개발 과제의 경우, 기술 활용 및 적용 차원에서 연계개발의 필요성이 높아 통합

· 통합 과제는 '다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발'로 명칭

동기전동기 및 비접촉 감속기를 대상으로 하는 '210kW급 마그네틱 기어드 동기모터

핵심 기술개발'은 감속기와 전동기의 일체형을 개발하는 기술로 기준장치가 상이할 뿐 최종 산출물이 동일하므로 통합

· 통합 과제는 '마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발'로 명칭



<그림 4-8> 사전연관성 검토 수행 결과 도출된 선정평가 대상 제안과제 목록

□ 선정평가1 목표 부합성 평가

○ 제안과제의 개발기술이 본 기획의 목표인 '철도차량 안전성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 개발'을 달성하는 데 부합하는가를 평가

제안과제가 철도차량 추진시스템에 적용 가능한 신기술로, 철도차량의 '안정성 향상'

및 ‘경량화’ 중 하나 이상의 달성이 가능한 경우 ‘적합’으로 판정하고, 그렇지 않은 경우 ‘부적합’ 판정

‘적합’ 판정 과제는 다음단계 평가대상이 되고, ‘부적합’ 판정 과제는 보류기술로 분류

○ 24개 제안과제에 대한 목표 부합성 평가결과, 총 21개의 제안과제가 본 기획과제의 목표에 부합한 것으로 나타났으며, 나머지 3개의 과제는 보류기술로 분류

(과제11, 과제20) ‘주요소자’ 및 ‘전압/전류’의 국산화 개발은 외산의존도가 높은 장치와 부품의 국산화를 통한 비용절감 및 유지보수 편의성 제고* 등이 핵심 연구목표로 본 기획의 목표와 관련성이 낮음.

* 4호선 전동차 추진제어장치의 경우, 외산 부품 사용 시 제작 단종으로 인한 재구매의 어려움, 비용과다 및 납품기한 지연 발생으로 국산제품으로 대체(이길형 외(2014), ‘4호선 전동차 추진제어장치 고장원인에 관한 연구’)

(과제24) ‘추진계통 구성장치의 보호특성값’은 해당기술의 적용 수치 기준 발굴을 위한 연구로 철도차량 관련 핵심 유망기술을 도출하는 본 연구의 목표와 거리가 있음.

<표 4-9> 선정평가 1단계 - 목표 부합성 평가결과

제안과제 번호	제안과제명	평가 결과
과제1	철도차량용 몰드형 변압기 개발	적합
과제2	친환경 절전형 양방향 반도체 변압기 개발	적합
과제3	유입변압기 최적 구조설계	적합
과제4	철도차량용 유입형 주변압기 상태진단 기술개발	적합
과제5	3레벨 컨버터 적용 추진제어장치 개발	적합
과제6	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	적합
과제7	SiC 소자적용 전력변환장치 개발	적합
과제8	추진제어장치 시스템 간소화	적합
과제9	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	적합
과제10	인공지능형 추진제어장치 개발	적합
과제11	주요소자 국산화 개발	부적합
과제12	지능형 인버터 개발	적합

제안과제 번호	제안과제명	평가 결과
과제13	무보수(장수명) 유도전동기 개발	적합
과제14	마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	적합
과제15	비접촉식 감속기어 기술개발	적합
과제16	철도차량용 차동기어유니트 개발	적합
과제17	비접촉식 커플링 기술개발	적합
과제18	마그네틱 베어링 기술개발	적합
과제19	지능형 커플러 개발	적합
과제20	전압/전류 센서 국산화 개발	부적합
과제21	소형/경량화 전자식 진공차단기 개발	적합
과제22	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발	적합
과제23	적응형대용량 팬터그래프 개발	적합
과제24	추진계통 구성장치의 보호특성값	부적합

□ 선정평가2 - 인프라 적정성 평가

○ 과제수행을 위해 필요한 제반 인프라가 갖추어져 있는가를 평가하는 항목으로, 개발 비용, 관련 인력현황, 보유 특허 현황, 선진국과의 기술격차 등을 감안하여 평가

제안과제가 아래의 3가지 요건을 모두 충족하는 경우 '적정'으로 평가하고, 하나라도 충족하지 못하는 경우 '미흡'으로 판정

- 기술개발 예상소요 비용이 본 기획과제의 예산 수준에 부합할 것
- 과제를 수행할 수 있는 해당 분야의 전문 연구 인력이 국내에 충분할 것
- 과제 수행에 필요한 제반 특허 및 기술력을 국내 기관(기업 포함)이 보유하고 있을 것

'적정' 판정 과제는 다음단계 평가대상이 되고, '미흡' 판정 과제는 보류기술로 분류

○ 21개 제안과제에 대한 인프라 적정성 평가결과, 20개 과제는 요건을 충족하나 1개 과제의 경우 관련 기술수준이 미흡한 것으로 나타나 보류기술로 분류

(과제10) '인공지능형 추진제어장치 개발' 과제는 철도 운행 간 발생하는 주변 상황을 인지하고 대처하는 인공지능기술이 핵심기술로, 인공지능 기술의 경우 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직 개발수준이 미흡하여 적용에 한계 존재

- 기계학습을 위한 딥러닝 기술은 Google, 마이크로소프트 등 글로벌 기업을 중심으로 연구개발 중이나, 국내의 경우 관련 전문가 및 데이터가 부족한 상황(SW정책연구소('16.01), '기계학습의 발전 동향, 산업화 사례 및 활성화 정책방향')

<표 4-10> 선정평가 2단계 - 인프라 적정성 평가결과

제안과제 번호	제안과제명	평가 결과
과제1	철도차량용 몰드형 변압기 개발	적정
과제2	친환경 절전형 양방향 반도체 변압기 개발	적정
과제3	유입변압기 최적 구조설계	적정
과제4	철도차량용 유입형 주변압기 상태진단 기술개발	적정
과제5	3레벨 컨버터 적용 추진제어장치 개발	적정
과제6	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	적정
과제7	SiC 소자적용 전력변환장치 개발	적정

제안과제 번호	제안과제명	평가 결과
과제8	추진제어장치 시스템 간소화	적정
과제9	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	적정
과제10	인공지능형 추진제어장치 개발	미흡
과제12	지능형 인버터 개발	적정
과제13	무보수(장수명) 유도전동기 개발	적정
과제14	마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	적정
과제15	비접촉식 감속기어 기술개발	적정
과제16	철도차량용 차동기어유니트 개발	적정
과제17	비접촉식 커플링 기술개발	적정
과제18	마그네틱 베어링 기술개발	적정
과제19	지능형 커플러 개발	적정
과제21	소형/경량화 전자식 진공차단기 개발	적정
과제22	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발	적정
과제23	적응형대용량 팬터그래프 개발	적정

□ 선정평가3 - R&D 중복성 평가

○ 제안과제의 내용이 기존에 수행되었거나 현재 수행 중인 다른 국가 연구개발사업과 중복되는 가를 평가하는 항목

제안과제의 연구목표, 연구내용 및 연구방법 등이 기존의 국가 R&D 사업과 유사하거나 중복되는 경우 '중복'으로 평가하고, 유사한 사업이 없는 경우 '없음'으로 평가

· R&D 중복성 여부는 NTIS 및 국토교통과학기술진흥원에서 제공되는 국가 R&D 과제 정보를 참고하여 판별

'중복' 판정 과제는 보류기술로 분류하고, 나머지 과제는 다음단계 평가로 이행

○ 20개 제안과제에 대한 R&D 중복성 평가결과, 총 19개의 제안과제가 해당사항이 없는 것으로 나타났으며, 1개의 과제는 유사 과제가 존재하여 보류기술로 분류

(과제12) '지능형 인버터 개발'의 경우, '13년 국토교통기술 국가 R&D 연구개발사업인 '도시철도 핵심부품 국산화 및 장치 고도화 개발 1단계 세부과제(전동차 동력제어용 모듈형 IGBT개발)'와 연구내용이 중복되어 제외

· 해당 과제는 서울도시철도에서 수행했던 과제로 '고속스위칭이 가능한 IGBT 개발'을 연구의 핵심 내용으로 하고 있음.

<표 4-11> '지능형 인버터 기술개발(과제 12)'과 연구내용이 유사한 국가 R&D 과제

구분	내용
과제명	도시철도 핵심부품 국산화 및 장치 고도화 개발 (1단계)
연구기간	2013. 12 ~ 2017. 06
기관명	국토교통과학기술진흥원
주요내용	▪ 고속스위칭이 가능한 IGBT 개발을 통해 철도차량의 안정성 확보 ▪ 대전류 IGBT 개발을 통해 철도차량의 안정성 향상 도모

<표 4-12> 선정평가 3단계 - R&D 중복성 평가결과

제안과제 번호	제안과제명	평가 결과
과제1	철도차량용 몰드형 변압기 개발	없음
과제2	친환경 절전형 양방향 반도체 변압기 개발	없음
과제3	유입변압기 최적 구조설계	없음
과제4	철도차량용 유입형 주변압기 상태진단 기술개발	없음

제안과제 번호	제안과제명	평가 결과
과제5	3레벨 컨버터 적용 추진제어장치 개발	없음
과제6	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	없음
과제7	SiC 소자적용 전력변환장치 개발	없음
과제8	추진제어장치 시스템 간소화	없음
과제9	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	없음
과제12	지능형 인버터 개발	중복
과제13	무보수(장수명) 유도전동기 개발	없음
과제14	마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	없음
과제15	비접촉식 감속기어 기술개발	없음
과제16	철도차량용 차동기어유니트 개발	없음
과제17	비접촉식 커플링 기술개발	없음
과제18	마그네틱 베어링 기술개발	없음
과제19	지능형 커플러 개발	없음
과제21	소형/경량화 전자식 진공차단기 개발	없음
과제22	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발	없음
과제23	적응형대용량 팬터그래프 개발	없음

□ 선정평가4 - 기술 활용성 평가

○ 한정된 예산 하에서 효율적인 과제기획을 위해 제안과제 개발기술의 활용 다양성을 평가하는 항목

기술 활용성에 대한 평가는 ①다양한 철도유형에의 적용 가능성과 ②기획목표 달성의 다양성 등 2개 세부항목에 대해 평가

- 철도유형은 도시철도, 고속철도, 광역일반철도 등 3개의 유형으로 나누고, 제안과제의 개발기술이 적용 가능한 철도 유형을 체크
- 본 기획의 2개 목표인 '안정성' 및 '경량화' 중 제안과제를 통해 달성할 수 있는 목표 유형을 체크

2개 세부항목에 대한 평가 결과를 토대로 상/중/하 3개의 배점 부여

- (상) 모든 차량유형에 적용 가능하고, 2개의 기획목표를 모두 달성 가능한 경우
- (중) 모든 차량유형에 적용 가능하거나 또는 2개의 기획목표를 모두 달성 가능한 경우
- (하) 1-2개 차량에만 적용 가능하고, 1개의 기획목표만을 달성 가능한 경우

기술 활용성이 낮은 제안과제('하' 평점)는 보류기술로 분류하고, 기술 활용성이 높다고 판단되는 제안과제('상'과 '중' 평점)는 전문가 협의를 거쳐 최종 예측기술로 선정

○ 19개 제안과제에 대한 기술 활용성 평가결과, 총 12개의 제안과제가 요건을 충족하였으며, 7개의 과제는 보류기술로 분류

(과제 8, 13, 16, 19, 21, 22, 23) 적용 대상차량이 도시철도 1개 유형에 한정되고, 해당 기술을 통해 달성 가능한 목표유형 또한 1개에 불과하여 기술 활용성이 낮은 것으로 판정

<표 4-13> 선정평가 2단계 - 기술 활용성 평가결과

제안 과제 번호	제안과제명	적용대상차량			목표연관성		평가 결과
		도시 철도	고속 철도	광역 일반철도	안정성	경량화	
과제1	철도차량용 몰드형 변압기 개발	O	O	O	O	O	상
과제2	친환경 절전형 양방향 반도체 변압기 개발	O			O	O	중
과제3	유입변압기 최적 구조설계	O	O	O	O	O	상
과제4	철도차량용 유입형 주변압기 상태진단 기술개발	O	O	O	O		중

제안 과제 번호	제안과제명	적용대상차량			목표연관성		평가 결과
		도시 철도	고속 철도	광역 일반철도	안정성	경량화	
과제5	3레벨 컨버터 적용 추진제어장치 개발	O			O	O	중
과제6	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	O	O	O	O		중
과제7	SiC 소자적용 전력변환장치 개발	O	O	O	O	O	상
과제8	추진제어장치 시스템 간소화	O			O		하
과제9	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술	O	O	O	O	O	상
과제13	무보수(장수명) 유도전동기 개발	O			O		하
과제14	마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	O			O	O	중
과제15	비접촉식 감속기어 기술개발	O	O	O	O		중
과제16	철도차량용 차동기어유니트 개발	O			O		하
과제17	비접촉식 커플링 기술개발	O	O	O	O		중
과제18	마그네틱 베어링 기술개발	O	O	O	O		중
과제19	지능형 커플러 개발	O			O		하
과제21	소형/경량화 전자식 진공차단기 개발	O				O	하
과제22	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발	O			O		하
과제23	적응형대용량 팬터그래프 개발	O			O		하

<표 4-14> 예측기술 선정평가 결과

제안과제번호	제안과제명	평가 항목			
		목표 부합성	인프라 적정성	R&D 중복성	기술 활용성
과제1	철도차량용 몰드형 변압기 개발	적합	적정	없음	상
과제2	친환경 절전형 양방향 반도체 변압기 개발	적합	적정	없음	중
과제3	유입변압기 최적 구조설계	적합	적정	없음	상

제안과제번호	제안과제명	평가 항목			
		목표 부합성	인프라 적정성	R&D 중복성	기술 활용성
과제4	철도차량용 유입형 주변압기 상태진단 기술개발	적합	적정	없음	중
과제5	3레벨 컨버터 적용 추진제어장치 개발	적합	적정	없음	중
과제6	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	적합	적정	없음	중
과제7	SiC 소자적용 전력변환장치 개발	적합	적정	없음	상
과제8	추진제어장치 시스템 간소화	적합	적정	없음	하
과제9	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	적합	적정	없음	상
과제10	인공지능형 추진제어장치 개발	적합	미흡	-	-
과제11	주요소자 국산화 개발	부적합	-	-	-
과제12	지능형 인버터 개발	적합	적정	중복	-
과제13	무보수(장수명) 유도전동기 개발	적합	적정	없음	하
과제14	마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발	적합	적정	없음	중
과제15	비접촉식 감속기어 기술개발	적합	적정	없음	중
과제16	철도차량용 차동기어유니트 개발	적합	적정	없음	하
과제17	비접촉식 커플링 기술개발	적합	적정	없음	중
과제18	마그네틱 베어링 기술개발	적합	적정	없음	중
과제19	지능형 커플러 개발	부적합	적정	없음	하
과제20	전압/전류 센서 국산화 개발	부적합	-	-	-
과제21	소형/경량화 전자식 진공차단기 개발	적합	적정	없음	하
과제22	전력반도체 이용 무접점 직류 고속도차단기 개발	적합	적정	없음	하
과제23	적응형대용량 팬터그래프 개발	적합	적정	없음	하
과제24	추진계통 구성장치의 보호특성값	부적합	-	-	-

□ 최종 예측기술 선정

○ 4단계의 예측기술 선정평가를 거쳐 적합한 것으로 판명된 제안과제를 대상으로, 핵심 전문가 협의를 거쳐 최종 12개의 예측기술을 선정

선정된 예측기술을 대상으로 기술예측조사를 수행하고, 이를 토대로 후보과제를 도출

<표 4-16> 선정평가단계별 제안과제수 변화



<표 4-15> 최종 선정된 예측기술

분야	예측기술	연구개발 내용
첨단 주변압기	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	전력반도체 적용 양방향 전력제어 전력전자 변압기 개발
	철도차량 안정성 향상을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	실시간 상태 감시 정보의 분석 및 고장 예측 기술 개발
	철도차량용 몰드형 건식 변압기 개발	공진모드 분석 및 내진동 구조의 성형 권선 설계, 장착 구조의 설계 및 제작 기술 개발 등
	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	변압기 코일 구조 및 냉각 성능의 최적화 설계 등
첨단 추진장치	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	철도추진용 희토류 저감 구조의 매입형 영구자석 동기전동기 개발 등
	SiC 적용 전력변환장치 개발	SiC-IGBT스위치 모듈을 적용한 인버터, 제어기 개발
	멀티레벨 전력변환장치 개발	고속철도의 추진시스템용 인버터를 저전압 정격의 스위치를 적용하여 고압, 대전력 시스템에 적용
	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	철도차량 추진시스템의 전력변환장치 결함진단을 통한 수명연한 설정 등
첨단 감속구동 장치	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	마그네틱 기어드 동기모터의 해석 및 설계, 구동을 위한 제어알고리즘 연구 등
	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	철도차량용 마그네틱 감속기어 해석 및 설계, 마그네틱 감속기어 최적 구조 연구 등
	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	철도차량용 고토크 마그네틱 커플러 설계, 축 정렬 불량에 대응할 수 있는 구조 제안 등
	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	철도차량용 마그네틱 베어링 설계 및 제작 등

다. 기술 예측조사 결과 분석

□ 기술적/사회경제적 실현시기

○ 12건의 예측기술에 대한 기술적/사회경제적 실현시기를 조사한 결과, 기술적 실현이 이루어진 후 사회경제적으로 실현되기까지 평균 약 4년 정도 소요

일부 예측기술의 경우 이미 기술적/사회경제적으로 실현된 상황임.

○ 세계 기술적 실현시기는 2014년 이전(30%)에 집중되어 있으며, 국내는 2020년(29.2%)에 집중되어 있음.

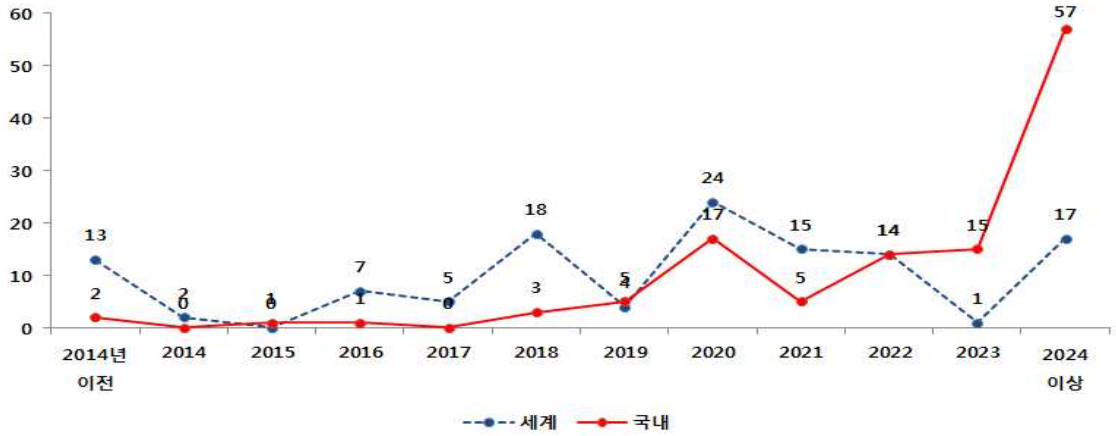
○ 세계 사회경제적 실현시기는 2020년에 집중(16.7%)되어 있으며, 국내 사회경제적 실현시기는 2024년 이후에 집중(47.5%)되어 있음.

<표 4-17> 기술적/사회경제적 실현시기 응답수 분포결과

구분			2014 이전	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024 이상	합계
기술적 실현 시기	세계	응답수	36	11	10	7	6	24	10	12	1	0	0	3	120
		비중(%)	30.0%	9.2%	8.3%	5.8%	5.0%	20.0%	8.3%	10.0%	0.8%	0.0%	0.0%	2.5%	100%
	국내	응답수	8	1	3	0	8	13	13	35	10	7	5	17	120
		비중(%)	6.7%	0.8%	2.5%	0.0%	6.7%	10.8%	10.8%	29.2%	8.3%	5.8%	4.2%	14.2%	100%
사회/ 경제적 실현 시기	세계	응답수	13	2	0	7	5	18	4	24	15	14	1	17	120
		비중(%)	10.8%	1.7%	0.0%	5.8%	4.2%	15.0%	3.3%	20.0%	12.5%	11.7%	0.8%	14.2%	100%
	국내	응답수	2	0	1	1	0	3	5	17	5	14	15	57	120
		비중(%)	1.7%	0.0%	0.8%	0.8%	0.0%	2.5%	4.2%	14.2%	4.2%	11.7%	12.5%	47.5%	100%



<그림 4-9> 전체 예측기술의 세계/국내 기술적 실현시기 응답수 분포



<그림 4-10> 전체 예측기술의 세계/국내 사회경제적 실현시기 응답수 분포

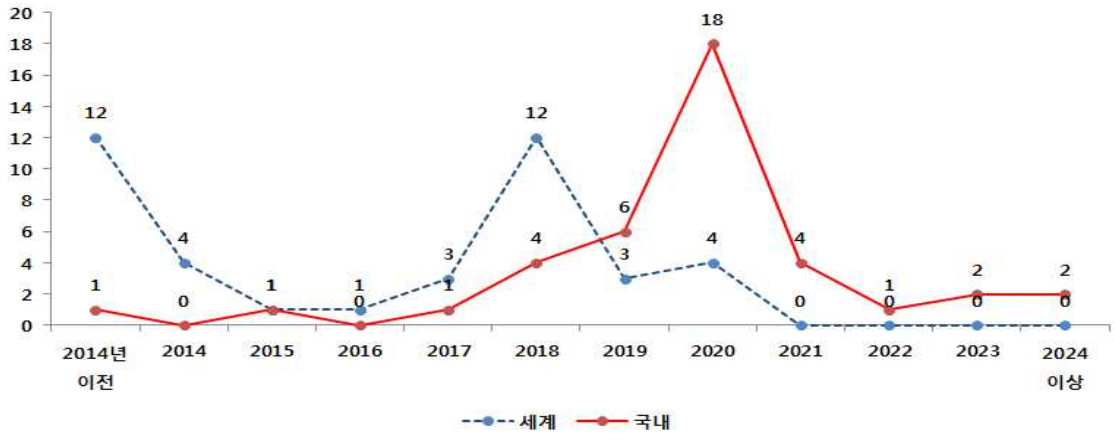
○ 첨단 주변압기 분야의 기술적 실현시기는 주요 선진국 대비 약 5년 정도 앞서 있는 것으로 나타났으며, 사회경제적 실현시기는 약 4.8년 앞서 있는 것으로 나타남.

(기술적 실현시기) 일부 예측기술(3건)은 해외에서 이미 실현되었거나 2016년에 실현될 것으로 응답했으며, 국내에서는 2020년 전후에 실현될 것으로 예측됨.

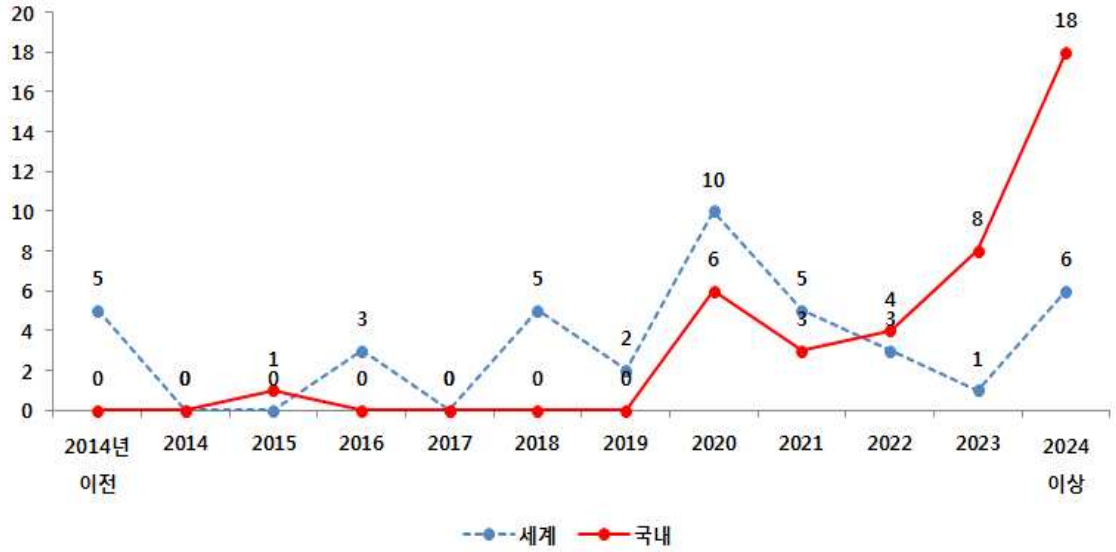
(사회경제적 실현시기) 해외에서의 사회경제적 실현시기는 2020년에 집중되어 있으며, 국내의 경우에는 2023년 이후에 실현될 것으로 응답함.

<표 4-18> 첨단 주변압기 중점분야 예측기술별 기술적/사회경제적 평균 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회경제적 실현시기	
		세계	국내	세계	국내
A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	14	19	19	24
A2	철도차량 안정성 향상을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	14	19	19	23
A3	철도차량용 몰드형 건식 변압기 개발	15	20	20	24
A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	16	21	18	24



<그림 4-11> 첨단 주변압기 분야 세계/국내 기술적 실현시기 응답수 분포



<그림 4-12> 첨단 주변압기 분야 세계/국내 사회경제적 실현시기 응답수 분포

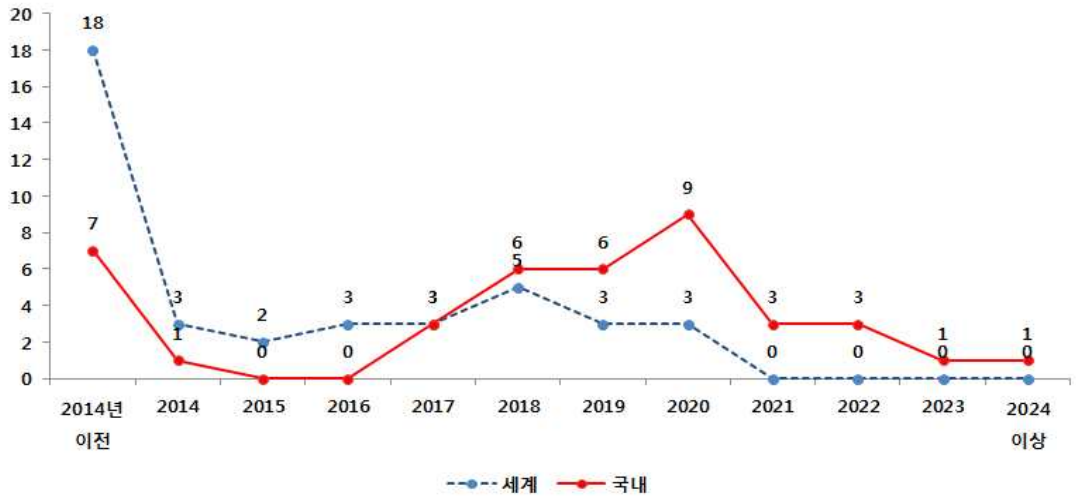
○ 첨단 추진장치 분야의 세계 및 국내 기술적 실현시기를 비교한 결과 주요 선진국들이 국내보다 약 5년 앞서있으며, 사회경제적 실현시기는 약 4.8년 앞서 있는 것으로 나타남.

(기술적 실현시기) 해외에서 첨단 추진장치 분야의 예측기술(4건)은 이미 실현되었으며, 국내에서는 2건의 예측기술이 2020년 이전에 실현될 것이라고 응답

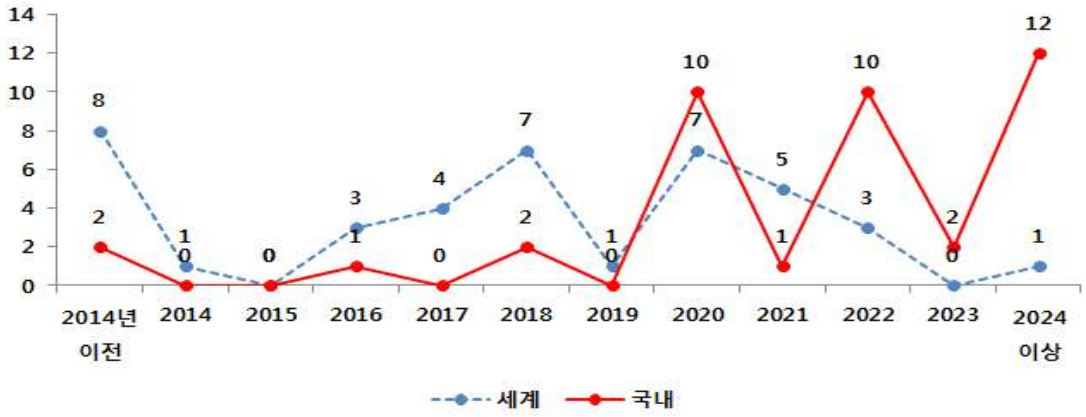
(사회경제적 실현시기)세계의 사회경제적 실현시기는 2016년~2019년으로 예측되며, 국내의 경우 2019년 이후에 실현될 것으로 예측

<표 4-19> 첨단 추진장치 중점분야 예측기술별 기술적/사회경제적 평균 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적 실현시기	
		세계	국내	세계	국내
B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	13	20	17	22
B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	14	20	17	23
B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	08	14	15	19
B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	13	19	18	23



<그림 4-13> 첨단 추진장치 분야 세계/국내 기술적 실현시기 응답수 분포



<그림 4-14> 첨단 추진장치 분야 세계/국내 사회경제적 실현시기 응답수 분포

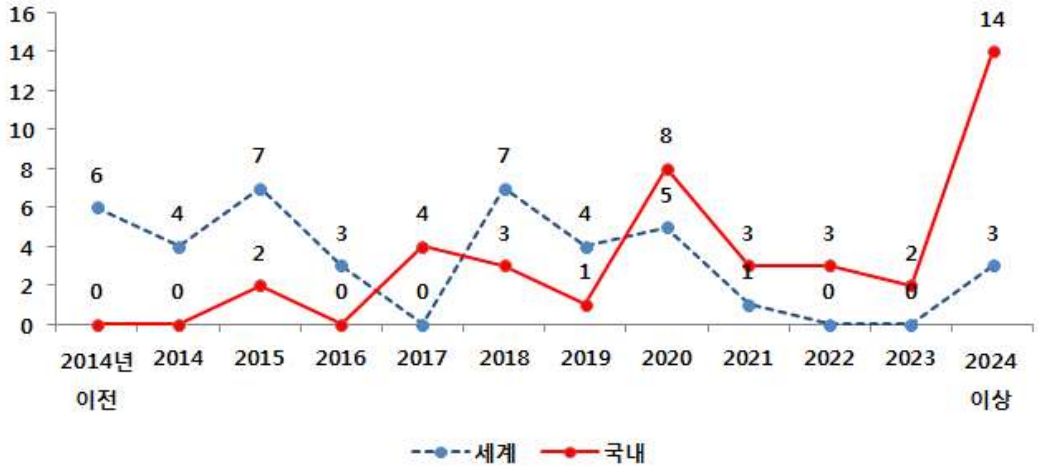
○ 첨단 감속구동장치 분야의 세계 및 국내 기술적 실현시기 및 사회경제적 실현시기는 해외가 국내보다 약 4년가량 앞서 있는 것으로 나타남.

(기술적 실현시기)세계 예측기술(4건)은 2016년~2018년에 실현될 것으로 예측되며, 국내 기술은 2020년 이후에 실현될 것으로 예측

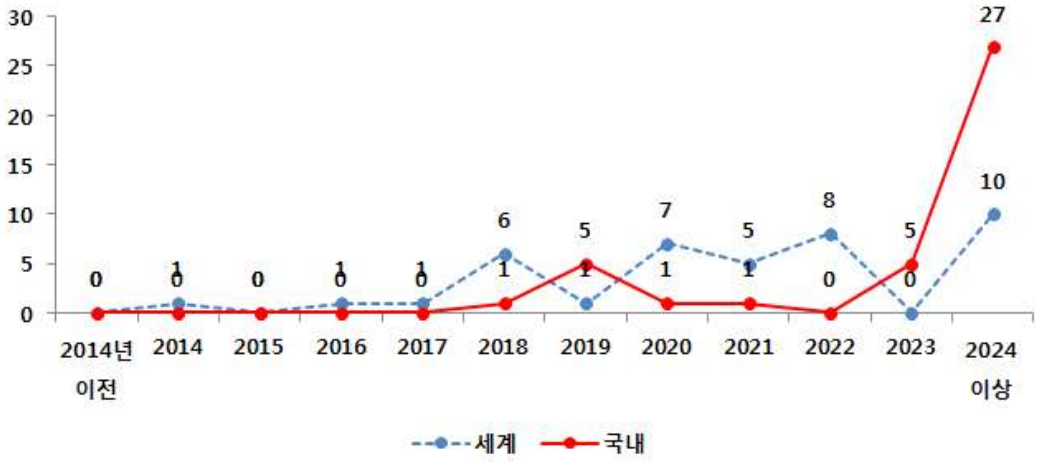
(사회경제적 실현시기)세계 사회경제적 실현시기는 2021년~2022년으로 예측되며, 국내의 경우 이보다 약간 늦은 2024년 이후에 실현될 것으로 예측

<표 4-20> 첨단감속구동장치 중점분야 예측기술별 기술적/사회경제적 평균 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적 실현시기	
		세계	국내	세계	국내
C1	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	18	21	22	25
C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	17	21	21	25
C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	18	22	22	27
C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	16	20	21	25



<그림 4-15> 첨단 감속구동장치 분야 세계/국내 기술적 실현시기 응답수 분포



<그림 4-16> 첨단 감속구동장치 분야 세계/국내 사회경제적 실현시기 응답수 분포

□ 기술획득 방식 및 정부개입의 필요성

○ 기술획득 방식은 '정부/민간 공동' 항목에 대해 가장 높은 응답률이 나타났으며(63.6%), 기술획득을 위한 정부 개입의 필요성도 비교적 높게 나타남(3.4점).

'정부/민간 공동' 항목의 응답률이 가장 높은 분야는 '첨단 추진장치'분야이며(71.8%), 반면, '첨단 감속구동장치'분야는 '정부 주도' 항목의 응답률이 가장 높게 나타남(25.6%).

정부개입의 필요성이 가장 높은 분야는 '첨단 감속구동장치'분야로 나타남(3.5점).

'민간 주도'의 기술획득 방식에 대한 응답률은 유사하게 나타남.

<표 4-21> 기술획득 방식 및 정부개입의 필요성

구분	기술획득 방식				정부개입의 필요성 평균 (5점 척도)
	자체개발			기술도입 및 공동연구(개)	
	민간주도	정부주도	정부/민간 공동		
전체	22.9%	13.6%	63.6%	1.9	3.4
중점분야1 (첨단 주변압기)	22.5%	10.0%	67.5%	1.5	3.4
중점분야2 (첨단 추진장치)	23.1%	5.1%	71.8%	2.3	3.3
중점분야3 (첨단 감속구동장치)	23.1%	25.6%	51.3%	2.0	3.5

○ '첨단 주변압기'분야의 기술획득 방식은 정부/민간 공동 연구(67.5%)가 가장 높게 나타났으며, 정부개입의 필요성은 3.4점으로 나타남.

'첨단 주변압기'분야 대부분의 예측기술은 정부/민간 공동연구를 통한 기술획득이 필요하며, 특히 A1(반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술), A4(철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술)는 정부/민간 공동연구 비중이 80% 이상으로 높게 나타남.

A2(주변압기 실시간 상태 진단기술), A3(철도차량용 몰드형 건식 변압기 개발기술)의 기술획득 방식은 정부/민간 공동연구를 통한 기술획득 비중이 각각 60%, 50%로 나타남.

정부 개입의 필요성이 가장 높은 기술은 A1(반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발)이 4.5로 나타나 정부 주도의 민관 공동 연구 체계를 구축하여 기술 개발을 추진해야 하는 것으로 보임.

<표 4-22> 첨단 주변압기 중점분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기술획득방식 비중(%, 개)				정부개입 필요성 (5점척도)
		자체개발			기술도입 및 공동연구	
		민간주도	정부주도	정부/민간 공동		
A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	10.0%	10.0%	80.0%	3	4.5
A2	철도차량 안정성 향상을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	20.0%	20.0%	60.0%	1	3.1
A3	철도차량용 몰드형 건식 변압기 개발	40.0%	10.0%	50.0%	1	2.9
A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	20.0%	0.0%	80.0%	1	3.1

○ ‘첨단 추진장치’분야의 기술획득 방식은 정부/민간 공동연구(71.8%)가 가장 높게 나타났으며, 정부개입의 필요성은 3.3점으로 나타남.

‘첨단 추진장치’분야 대부분의 예측기술은 정부/민간 공동연구를 통한 기술획득이 필요하며, 특히 B2(SiC 적용 전력변환장치 기술), B4(전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술)는 정부/민간 공동연구 비중이 80% 이상으로 높게 나타남.

B1(다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술)은 정부/민간 공동연구를 통한 기술획득이 60%로 높게 나타났으며, B3(멀티레벨 전력변환장치 기술)의 경우 민간주도 및 정부/민간 공동연구를 통한 기술획득이 50%로 높게 나타남.

정부 개입의 필요성이 가장 높은 기술은 B1(다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발), B2(SiC 적용 전력변환장치 개발)로 나타났으며, B2의 경우에는 민관 공동 연구 체계를 통해 기술 개발을 추진해야 하는 것으로 보임.

<표 4-23> 첨단 추진장치 중점분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기술획득방식 비중(%, 개)				정부개입필요성 (5점척도)
		자체개발			기술도입 및 공동연구	
		민간주도	정부주도	정부/민간 공동		
B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	20.0%	10.0%	60.0%	4	3.6
B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	10.0%	0.0%	90.0%	3	3.6
B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	50.0%	0.0%	50.0%	1	2.8
B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	10.0%	10.0%	80.0%	1	3.2

○ 첨단 감속구동장치 분야의 기술획득 방식은 정부/민간 공동연구(51.3%)가 가장 높게 나타났으며, 정부개입의 필요성은 3.5점으로 나타남.

첨단 감속구동장치 분야의 예측기술은 기술도입 및 국제협력을 통한 기술획득이 필요하며, 특히 C1(마그네틱 기어드 동기모터 핵심 기술), C2(감속기어 기술), C3(커플링 기술)은 정부/민간 공동연구 비중이 50% 이상으로 나타남.

C1(철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발), C2(철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술 개발)의 기술획득에서 정부 개입이 필요한 것으로 나타남.

<표 4-24> 첨단 감속구동장치 중점분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기술획득방식 비중(%, 개)				정부개입필요성 (5점척도)
		자체개발			기술도입 및 공동연구	
		민간주도	정부주도	정부/민간 공동		
C1	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	10.0%	30.0%	60.0%	3	3.7
C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	20.0%	30.0%	50.0%	2	3.8
C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	30.0%	20.0%	50.0%	1	3.3
C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	30.0%	20.0%	40.0%	2	3.2

□ 정부 우선 시행방안

○ 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 연구비 확대 및 인프라 구축인 것으로 나타남.

3개 중점분야 공통적으로 기술 개발을 위한 연구개발비 확대 및 신규 투자(62.5%)가 가장 시급한 것으로 나타났으며 다음으로 인프라 구축(20.8%)이 필요한 것으로 나타남.

<표 4-25> 중점분야별 정부시행방안 결과

구분	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선	합계
전체	4.2%	10.0%	20.8%	62.5%	2.5%	100.0%
중점분야1 (첨단 주변압기)	10.0%	2.5%	10.0%	75.0%	2.5%	100.0%
중점분야2 (첨단 추진장치)	2.5%	22.5%	35.0%	40.0%	0.0%	100.0%
중점분야3 (첨단 감속구동장치)	0.0%	5.0%	17.5%	72.5%	5.0%	100.0%

○ ‘첨단 주변압기’ 분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 하는 것으로 연구비 확대(75%)가 가장 높게 나타남.

A1(주변압기 경량화 기술), A2(주변압기 실시간 상태 진단 기술), A4(유입변압기

최적 구조설계 기술)는 연구비확대가 시급한 것으로 나타남(70% 이상).

A3(몰드형 건식 변압기 개발)은 연구비 확대(50%)와 인력양성(30%)에 대한 지원이 필요한 것으로 나타남.

<표 4-26> 첨단 주변압기 중점분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력 양성	협력 교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도 개선	합계
A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	0%	0%	0%	100%	0%	100%
A2	철도차량 안정성 향상을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	0%	0%	10%	80%	10%	100%
A3	철도차량용 몰드형 건식 변압기 개발	30%	0%	20%	50%	0%	100%
A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	10%	10%	10%	70%	0%	100%

○ 첨단 추진장치 분야의 기술적 실현을 위한 정부 우선 시행방안으로 연구비 확대(40%)가 가장 필요한 것으로 나타남.

B1(다상 희토류 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술)은 연구비 확대(90%)가 가장 시급한 것으로 나타났고, B2(SiC 적용 전력변환장치 기술)는 연구비 확대와 인프라 구축이 50%로 가장 시급한 것으로 나타남.

B3(멀티레벨 전력변환장치 기술)은 협력 교류 활성화가 60%로 시급한 것으로 나타난 반면, B4(결함진단 및 수명예측 기술)는 인프라 구축이 60%로 시급한 것으로 나타남.

<표 4-27> 첨단 추진장치 중점분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력 양성	협력 교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도 개선	합계
B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	0%	10%	0%	90%	0%	100%
B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	0%	0%	50%	50%	0%	100%
B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	10%	60%	30%	0%	0%	100%
B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	0%	20%	60%	20%	0%	100%

○ 첨단 감속구동장치 분야의 기술적 실현을 위해 연구비 확대 및 인프라 구축이 필요한 것으로 나타남.

C1(마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술), C2(비접촉식 감속기어 기술)은 인프라 구축이 50% 이상으로 시급한 것으로 나타남.

C3(비접촉식 커플링 기술), C4(마그네틱 베어링 기술)는 연구비 확대가 80% 이상으로 시급한 것으로 나타남.

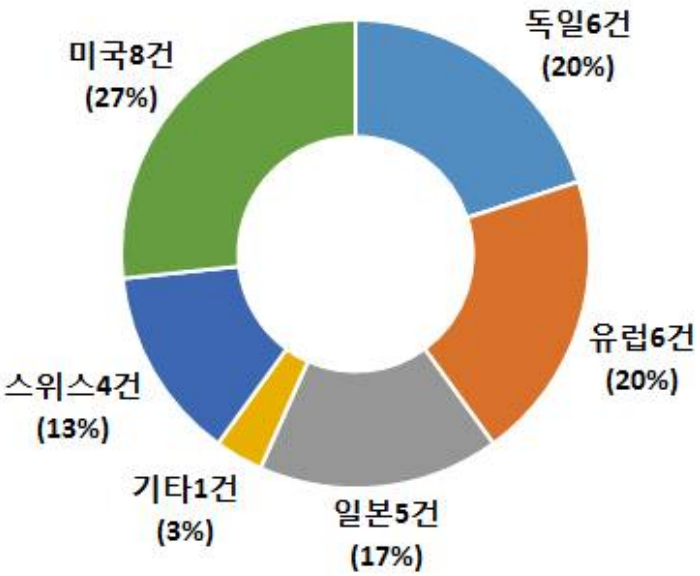
<표 4-28> 첨단 감속구동장치 중점분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력 양성	협력 교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도 개선	합계
C1	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	0%	0%	60%	0%	0%	60%
C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	0%	0%	50%	40%	10%	100%
C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	0%	10%	0%	80%	10%	100%
C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	0%	0%	0%	100%	0%	100%

□ 최고기술보유국

○ 동 사업의 12개 예측기술명별로 최고기술보유국을 조사한 결과 미국이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남.

미국 8건(27%), 독일 6건(20%), 유럽 6건(20%), 일본 5건(17%), 스위스 4건(13%)의 기술에서 최고기술을 보유한 것으로 나타남.



<그림 4-17> 최고기술보유국 현황

○ 첨단 주변압기 분야의 최고기술 보유국은 미국으로 나타났으며, 유럽(63.3%), 독일(60%) 순으로 나타남.

미국은 첨단 주변압기 관련 2가지 기술(A3, A4)에 대하여 최고기술 수준(80%)을 보유한 것으로 조사됨.

<표 4-29> 첨단 주변압기 중점분야 최고기술보유국 비중 및 기술수준

구분	예측기술명	최고기술보유국		비중
A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	1 순위	독일, 유럽	60%
		2 순위	일본	55%
A2	철도차량 안정성을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	1 순위	유럽, 기타	70%
		2 순위	일본, 독일	60%
A3	철도차량 경량화 및 안정성을 위한 몰드 변압기 기술개발	1 순위	미국	80%
		2 순위	스위스	60%
A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	1 순위	미국	80%
		2 순위	독일, 유럽	60%

○ 첨단 추진장치 분야의 최고기술 보유국은 스위스(76.5%)로 나타났으며, 독일(60%), 미국(59.3%) 순으로 나타남.

<표 4-30> 첨단 추진장치 중점분야 최고기술보유국 비중 및 기술수준

구분	예측기술명	최고기술보유국		비중
B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터기술 개발	1 순위	미국, 스위스	80%
		2 순위	일본	53%
B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	1 순위	미국	60%
		2 순위	일본	40%
B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	1 순위	스위스	73%
		2 순위	독일	60%
B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	1 순위	일본, 유럽	50%
		2 순위	미국	38%

○ 첨단 감속구동장치 분야의 최고기술 보유국은 독일로 나타났으며, 스위스(60%), 유럽(56%) 순으로 나타남.

독일은 첨단 감속구동장치 관련 2개의 기술(C1, C4)에 대하여 최고기술 수준(65%)을 보유한 것으로 조사됨.

<표 4-31> 첨단 감속구동장치 중점분야 최고기술보유국 비중 및 기술수준

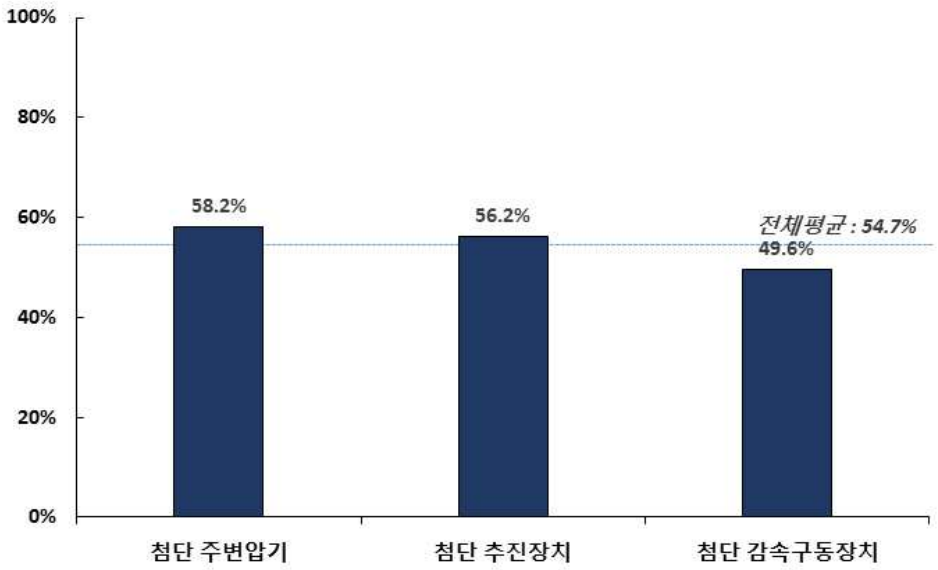
구분	예측기술명	최고기술보유국		비중
C1	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	1 순위	독일	70%
		2 순위	유럽	55%
C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	1 순위	유럽	57%
		2 순위	미국	43%
C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	1 순위	스위스	60%
		2 순위	미국	43%
C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	1 순위	독일	60%
		2 순위	미국	43%

□ 최고기술 보유국 대비 우리나라 기술수준

○ 12개 예측기술의 평균 국내 기술수준은 최고기술 보유국 대비 54.7%로 조사됨.

첨단 주변압기 분야의 기술수준은 58.2%로 전체 기술수준 평균보다 3.5% 높으며, 타 중점분야의 기술수준 대비 가장 높은 것으로 나타남.

첨단 감속구동장치 분야의 기술수준은 49.6%로 전체 기술수준 평균보다 5.1% 낮으며, 타 중점분야의 기술수준에 비해 가장 낮은 것으로 나타남.

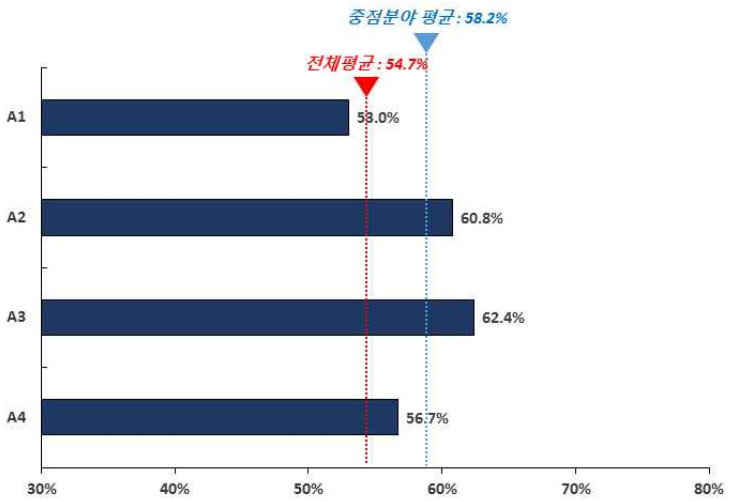


<그림 4-18> 중점분야별 기술수준

○ 첨단 주변압기 중점분야의 기술수준(평균 58.2%)은 전체평균(54.7%) 보다 3.5% 높은 것으로 나타남.

A3(철도차량 경량화 및 안전성을 위한 몰드변압기 기술)의 기술수준은 62.4%로 동 분야에서 가장 높은 기술수준을 보유하고 있는 것으로 나타남.

A1(반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술)의 기술수준은 53.0%로 동 분야에서 가장 낮은 기술수준을 보유하고 있는 것으로 나타남.

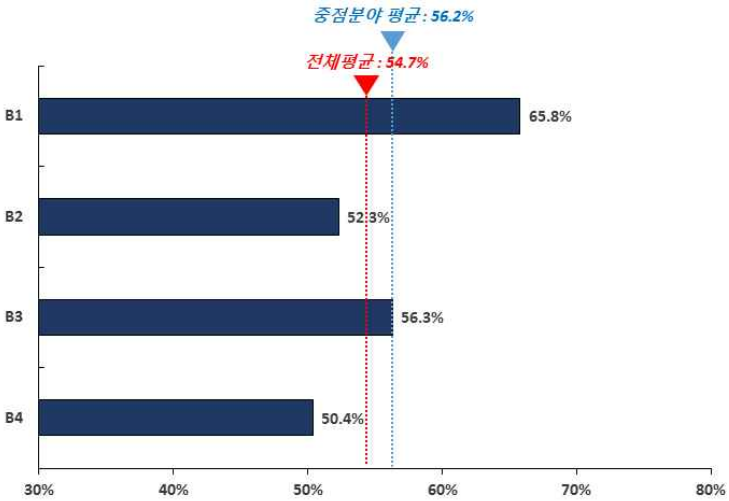


<그림 4-19> 첨단 주변압기 중점분야 기술수준

○ 첨단 추진장치 중점분야의 기술수준(평균 56.2%)은 전체평균(54.7%) 보다 높은 것으로 나타남.

B1(다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술)의 기술수준은 65.8%로 동 분야에서 가장 높은 기술수준을 보유하고 있는 것으로 나타남.

B4(전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술)의 기술수준은 50.4%로 동 분야에서 가장 낮은 기술수준을 보유하고 있는 것으로 나타남.

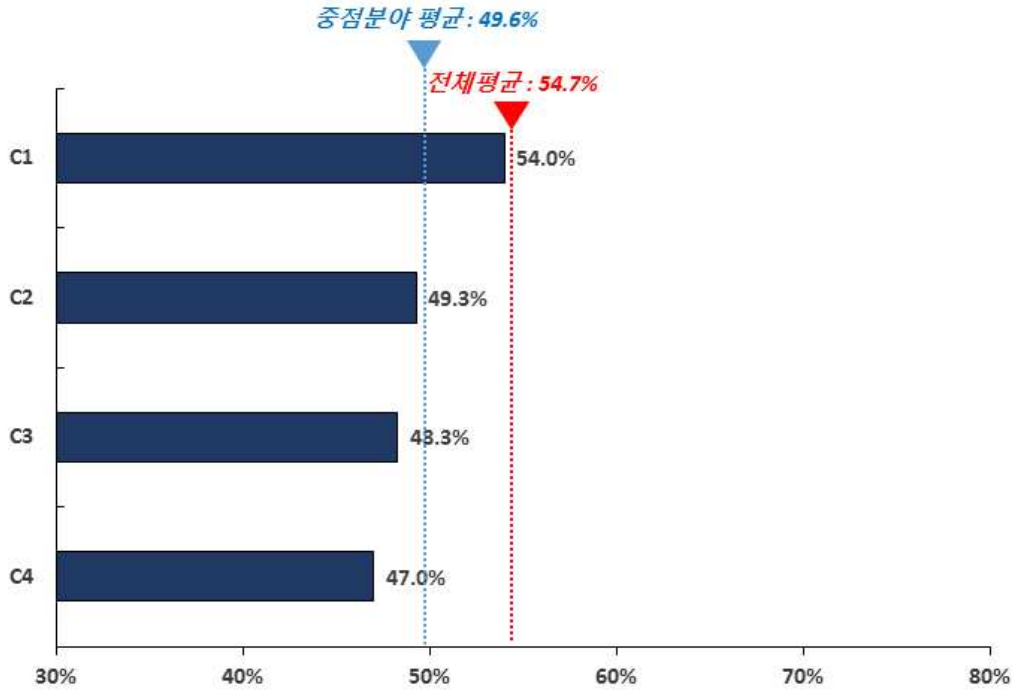


<그림 4-20> 첨단 추진장치 중점분야 기술수준

○ 첨단 감속구동장치 중점분야의 기술수준(평균 49.6%)은 전체평균(54.7%) 보다 낮은 것으로 나타남.

C1(철도차량 안전성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술)의 기술수준은 54.0%로 동 분야에서 가장 높은 기술수준을 보유하고 있는 것으로 나타남.

C4(철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술)의 기술수준은 47.0%로 동 분야에서 가장 낮은 기술수준을 보유하고 있는 것으로 나타남.



<그림 4-21> 첨단 감속구동장치 중점분야 기술수준

□ 미래사회에서의 중요도

○ 미래사회에서의 중요도 평균은 3.6점으로 각 중점분야별로 유사한 수준으로 나타남.

첨단 주변압기 분야는 경제산업적 측면에서 가장 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타났으며, '반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발'이 가장 높은 중요도를 가지는 것으로 나타남

첨단 추진장치 분야는 과학기술적 혁신 측면에서 가장 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타났고, 'SiC 적용 전력변환장치 개발'이 가장 높은 중요도를 가지는 것으로 나타남.

첨단 감속구동장치 분야는 과학기술적 혁신 측면에서 가장 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타났고, '철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발'이 가장 높은 중요도를 가지는 것으로 나타남.

<표 4-32> 중점분야별 미래사회의 중요도

	미래사회에서의 중요도(5점 척도)			
	과학기술적	사회공공적	경제산업적	평균
전체	3.7	3.5	3.6	3.6
중점분야1 (첨단 주변압기)	3.5	3.5	3.6	3.5
중점분야2 (첨단 추진장치)	3.8	3.6	3.8	3.7
중점분야 3 (첨단 감속구동장치)	3.7	3.6	3.6	3.6

○ 첨단 주변압기 중점분야는 경제산업적 부가가치 창출 측면에서의 중요도가 3.6점으로 가장 높게 나타남.

A1(반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화)은 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도(4.3점)를 가지고 있으며, 과학기술적 혁신 및 사회공공적 측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남.

<표 4-33> 첨단 주변압기 중점분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점 척도)				
		과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균	순위
A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	4.5	4.4	4.1	4.3	1
A2	철도차량 안정성을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	3.3	3.4	3.3	3.3	2
A3	철도차량 경량화 및 안정성을 위한 몰드 변압기 기술개발	3.1	3.0	3.4	3.2	3
A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	3.2	3.1	3.4	3.2	3

○ 첨단 추진장치 중점분야는 과학기술적(혁신, 새로운 지식의 창출 측면) 및 경제산업적 (부가가치 창출 측면) 중요도가 3.8점으로 가장 높게 나타남.

B2(SiC 적용 전력변환장치 기술)은 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도를 나타내고 있고, B3(멀티레벨 전력변환장치 기술)은 가장 낮은 중요도를 나타내고 있음.

<표 4-34> 첨단 추진장치 중점분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점 척도)				
		과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균	순위
B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	4.1	3.5	3.7	3.8	2
B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	4.4	4.1	4.4	4.3	1
B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	3.1	3.1	3.3	3.2	4
B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	3.4	3.5	3.6	3.5	3

○ 첨단 감속구동장치 중점분야는 과학기술적(혁신, 새로운 지식의 창출 측면) 중요도가 3.7점으로 가장 높게 나타남.

C1(마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술)은 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도를 나타내고 있으며, 과학기술적 중요도가 가장 높은 것으로 나타남.

<표 4-35> 첨단 감속구동장치 중점분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점 척도)				
		과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균	순위
C1	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	4.0	3.7	3.8	3.8	1
C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	3.7	3.7	3.6	3.7	3
C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	3.6	3.6	3.5	3.6	3
C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	3.6	3.4	3.4	3.5	2

□ 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

○ 기술수준-중요도 포트폴리오 분석은 R&D 프로젝트의 전략적 방향설정 및 성과극대화의 도구로써 활용

R&D 프로젝트 전체를 시장성, 기술성, 전략성 등 다양한 관점에서 분석하고 전체 프로젝트의 가치가 극대화될 수 있도록 유망프로젝트에 자원을 배분하는 관리도구[3)]

기술수준-기술중요도 포트폴리오는 Booz-Allen & Hamilton의 R&D 포트폴리오를 차용한 것임.

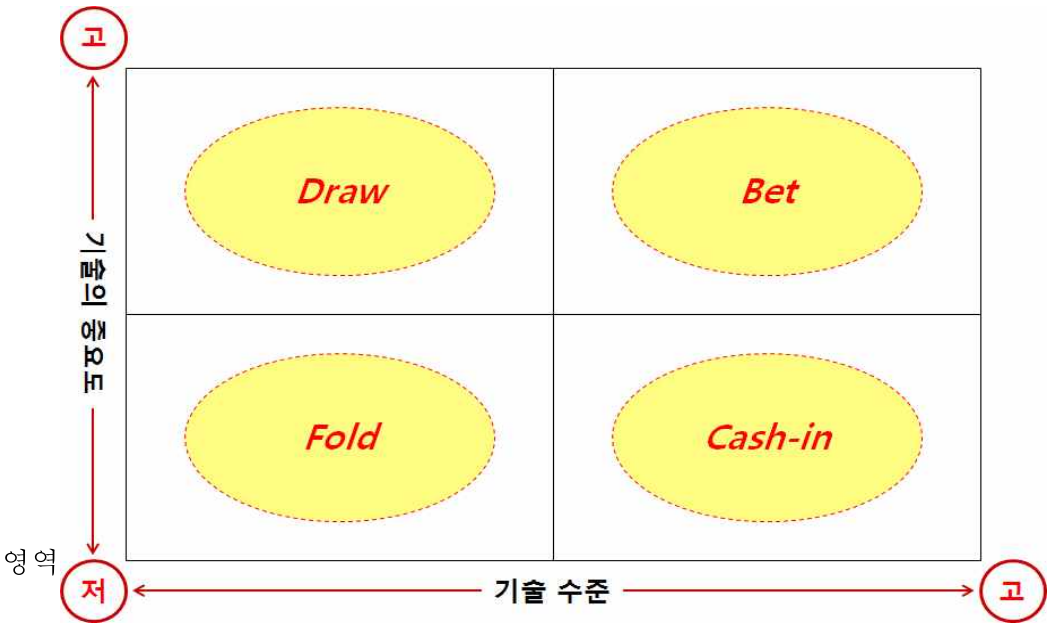
○ 4분면별 전략은 기술 수준과 평균 중요도를 축으로 함.

Bet(1사분면) : 현재 시장이 형성중인 기술로서 해당되는 기술에 대한 투자/육성을 통해 포지션을 유지하는 것이 요구되는 영역

Draw(2사분면) : 연구개발 재원의 확보여부에 따라 해당되는 기술에 대해 적극적인 투자를 통해 Bet 영역으로 이동을 검토해야하는 영역

Fold(3사분면) : 기술개발의 포기 또는 감축을 고려해야 되는 영역

Cash In(4사분면) : 해당되는 기술은 현금화(기술이전, 판매) 또는 다른 영역과 연계성을 전략적으로 고려하여 투자/지원을 결정해야하는 영역



<그림 4-22> 기술수준-중요도 포트폴리오

○ 동 사업에서는 '첨단 추진장치'분야가 Bet(1사분면), '첨단 감속구동장치'분야는 Draw (2사분면), '첨단 주변압기'분야는 Cash-in(4사분면)영역에 포함되는 것으로 나타남.

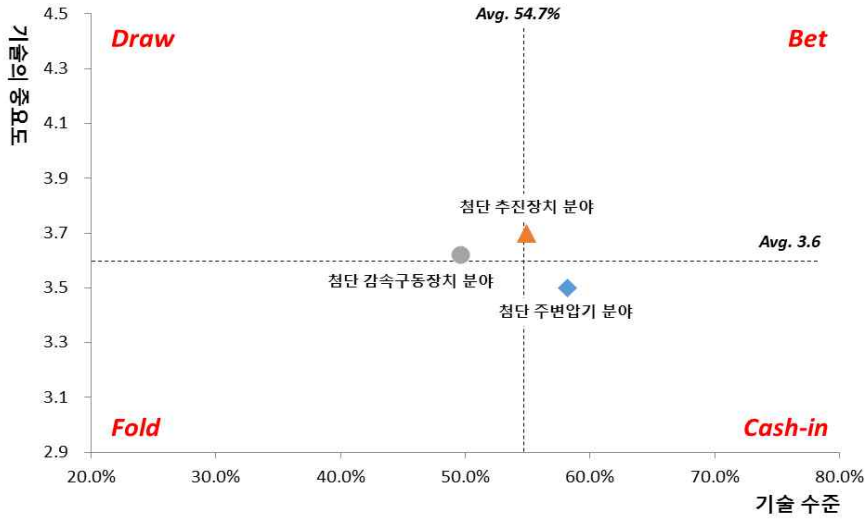
첨단 추진장치 분야가 속한 Bet(1사분면) 영역은 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역임.

첨단 주변압기 분야가 속한 Cash-in(4사분면) 영역은 기술의 부가가치는 높지 않으나 수익성이 양호한 분야로 다른 핵심기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야하는 영역임.

첨단 감속구동장치 분야가 속한 Draw(2사분면) 영역은 새로이 중요시 되지만

3) R&D Strategy And Organisation(Vittorio Chiesa), ADL 제3세대 R&D

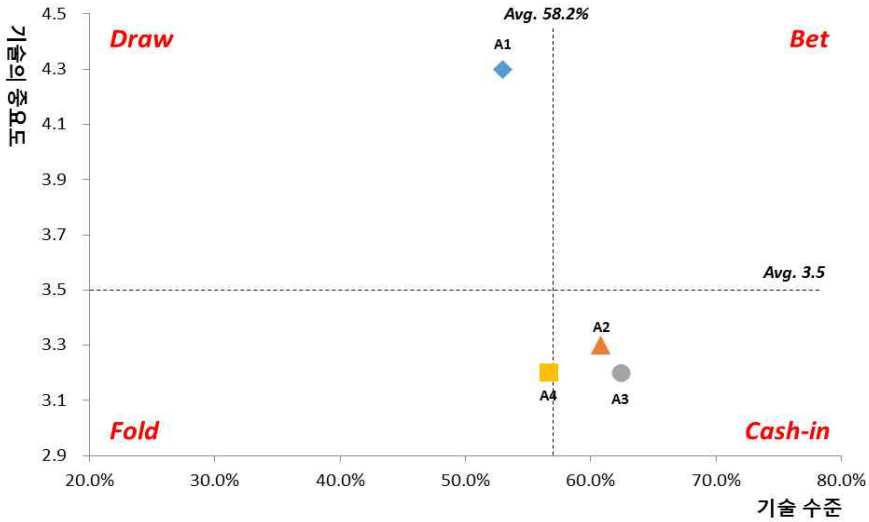
기술개발에 대한 위험성이 큰 영역임.



<그림 4-23> 중점분야별 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

○ 첨단 주변압기 중점분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 대부분 Draw, Cash-in영역에 포함되는 것으로 나타남.

A4(유입변압기 최적 구조설계 기술)은 Fold 영역에 포함되나 해당기술의 중요도가 높음에 따라(3.2이상) 투자를 긍정적으로 고려할 수 있음(Draw 전략 검토).

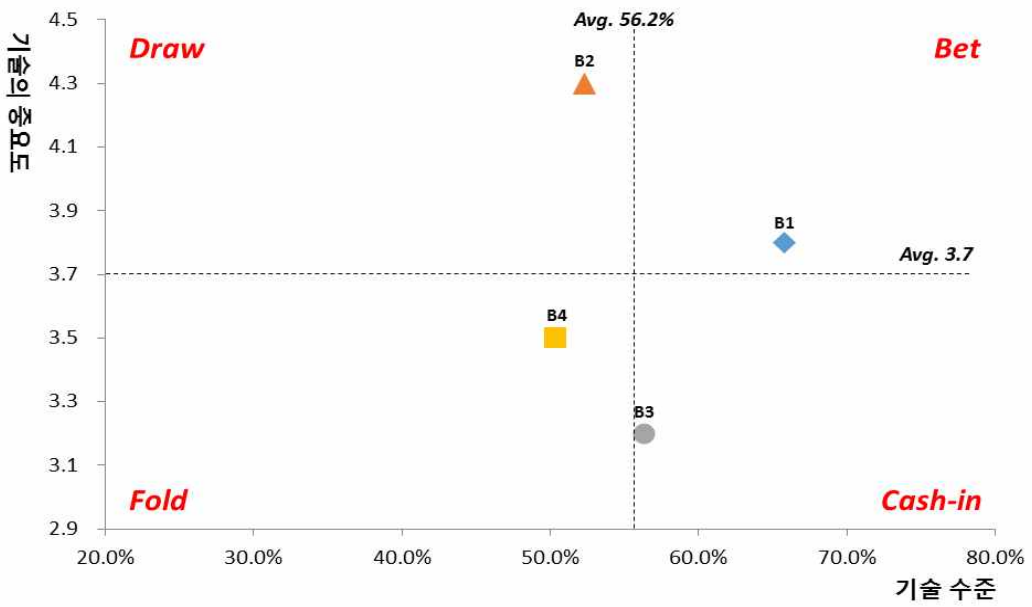


<그림 4-24> 첨단 주변압기 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

A1 : 반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술을 개발한다.
A2 : 철도차량 안정성을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술을 개발한다.
A3 : 철도차량 경량화 및 안정성을 위한 몰드 변압기 기술을 개발한다.
A4 : 철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술을 개발한다.

○ 첨단 추진장치 중점분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 전 영역에 포함되는 것으로 나타남.

B4(전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발)은 Fold 영역에 포함되나 해당기술의 중요도가 높음에 따라(3.2이상) 투자를 긍정적으로 고려할 수 있음(Draw 전략 검토).

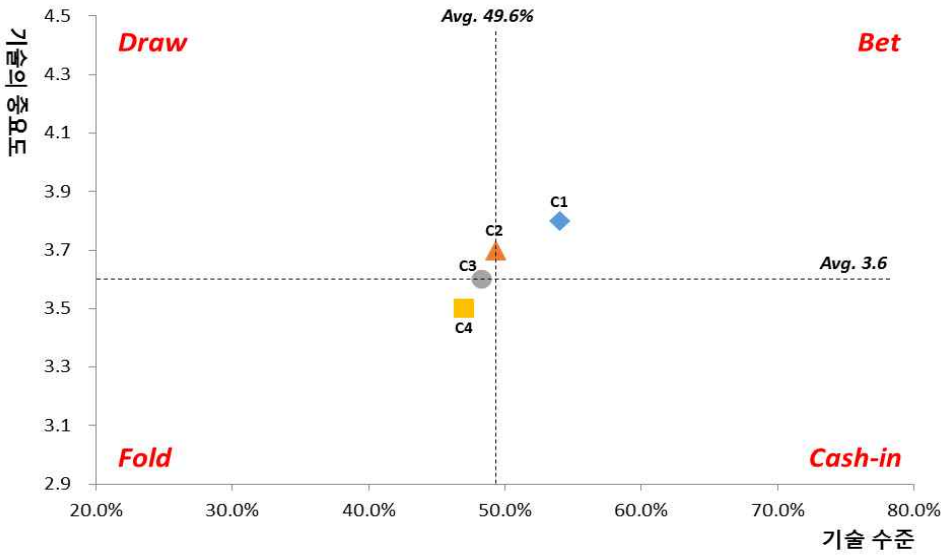


<그림 4-25> 첨단 추진장치 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

B1 : 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술을 개발한다.
B2 : SiC(Silicon Carbide) 적용 전력변환장치를 개발한다.
B3 : 멀티레벨 전력변환장치를 개발한다.
B4 : 전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술을 개발한다.

○ 첨단 감속구동장치의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 Bet, Draw영역에 포함되는 것으로 나타남.

C4(마그네틱 베어링 기술)은 Fold 영역에 포함되나 해당기술의 중요도가 높음에 따라(3.3이상) 투자를 긍정적으로 고려할 수 있음(Draw 전략 검토).



<그림 4-26> 첨단 감속구동장치 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

C1 : 철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술을 개발한다.
C2 : 철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술을 개발한다.
C3 : 철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술을 개발한다.
C4 : 철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술을 개발한다.

3. 결과의 활용

□ 최종과제 선정을 위한 후보과제 도출

○ 기술수요조사 및 기술예측조사를 토대로 철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발을 위한 후보과제를 도출

연구개발 목표 달성을 위해 개발 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 도출하고, 이를 토대로 기술개발 중점분야 및 후보과제를 선정

관련 분야의 내·외부 전문가(산학연 포함)를 대상으로 조사를 시행함으로써 조사결과의 전문성과 신뢰성을 제고

○ 기술예측조사 결과를 활용하여 후보과제 설정 시 다음 사항의 고려 필요

과제추진시기를 고려하여 기술적 실현이 2024년 이후인 과제는 배제

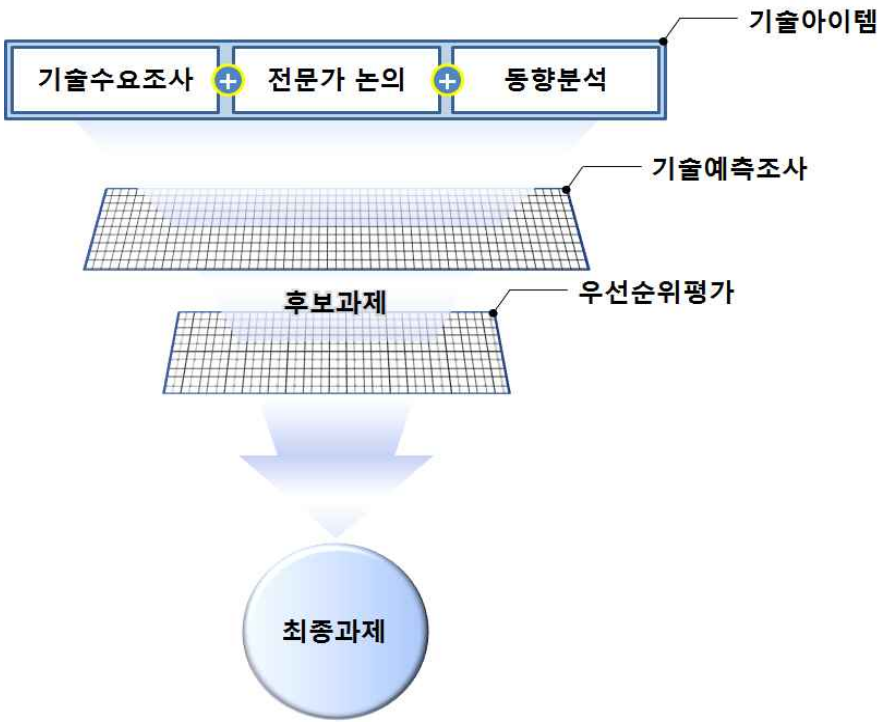
· 본 기획의 기술예측조사 결과 기술적 실현시기가 2024년 이후인 과제는 없음.

정부/민간 공동연구 및 정부개입 필요성이 높은 과제 우선 추진

과학기술적/사회공공적/경제산업적 중요도가 높은 과제 우선 추진

Fold 영역 해당 과제 추진 필요성 검토

○ 도출된 후보과제는 기술예측조사, 기술수준-중요도 포트폴리오 분석, 우선순위평가 등을 거쳐 본 기획의 최종 과제 선정 시 활용



<그림 4-27> 최종과제 도출절차

□ 우선순위평가 및 기술개발 추진전략 수립을 위한 기초자료

○ 제약된 자원의 효율적인 배분을 위해서는 후보과제에 대한 세밀한 분석을 토대로 한 우선순위의 평가 및 기술개발 추진전략 수립 필요

연구개발의 목표는 물론이고, 정부의 정책방향에 부합하는 과제를 선정할 수 있도록 기술적 차원은 물론이고, 정부정책 차원의 분석도 중요

○ 기술예측조사는 기술의 실현시기, 획득방식, 정부개입 필요성, 정부시행방안, 기술수준, 미래사회에서의 중요도 등을 조사·분석하여 의사결정 과정의 기초자료로 활용 가능

특히, 기술수준-중요도 포트폴리오 분석은 중점분야 및 후보과제를 시장성, 기술성, 전략성 등 다양한 관점에서 검토함으로써 전략수립의 방향성을 제공

○ 후보과제의 우선순위평가에서는 기술예측조사 결과를 참고하여 영향력, 시급성 및 용이성 등을 평가기준으로 활용 가능

(영향력) 각 후보과제에서 개발하고자 하는 기술의 비전목표 부합성 및 과학기술적/사회경제적 파급효과 평가

(시급성) 각 기술개발의 추진 시급성 평가

(용이성) 각 기술개발의 성공가능성 및 연구 수행을 위한 국내 연구개발역량(인력, 장비 등의 연구인프라 및 기반기술 역량 등)평가

제 3 절 우선순위 평가

1. 우선순위 평가 개요

□ 우선순위평가의 개요

○ 기술로드맵에 반영하고자 하는 후보과제의 우선순위를 도출하기 위해, 5개의 우선순위 도출 기준에 따라 5점척도 평가 실시

5점 척도 기준 : 5점(매우 높음), 4점(높음), 3점(보통), 2점(낮음), 1점(매우 낮음)

○ 보다 객관적인 전문가 의견수집을 위해 수정된 델파이 기법을 적용하여, 산학연 관련 전문가 10인을 대상으로 총 3회에 걸친 조사 시행

(조사기간) 2016. 2. 25 ~5. 16

(조사방법) 전문가 델파이 조사(e-mail 조사)

· 2, 3차 조사 시 이전 차수의 조사결과를 제공하여 전문가간의 합의된 결과를 도출

(조사항목) 후보과제 우선순위 평가기준의 가중치 설정, 후보과제별 우선순위 평가(5점 척도), 중점분야별 우선순위 평가(5점 척도)

□ 우선순위 평가기준

○ “기술개발 필요성”은 철도차량 추진시스템 시장, 정책 및 기술동향 관점에서 정부 연구개발사업으로 추진이 이루어져야 하는 정도 평가

○ “목표 부합성”은 해당 후보과제가 철도차량 추진시스템(차량변압기, 견인인버터, 견인 전동기, 감속구동기어 등) 기획 연구사업의 목표 달성에 부합하는 정도 평가

[연구사업의 목표] 철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술 개발

○ “기술개발 추진 시급성”은 사회적, 정책적, 기술적 변화에 의해 수요가 급증할 것으로 예상되어 해당 후보과제에 대한 연구개발이 시급하게 추진해야 하는지 여부 평가

○ “기술개발 성공가능성”은 연구 수행을 위한 국내 연구개발역량(인력, 장비 등의 연구인프라 및 기반기술 역량 등)을 평가하고, 이로 인한 기술개발 성공가능성 평가

○ ″파급효과“는 과학기술적, 사회공공적, 경제산업적 파급효과를 평가하는 항목으로 다음을 고려

[과학기술적 파급효과] 과학적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면의 파급효과

[사회공공적 파급효과] 사회문제 해결 및 공익 측면의 파급효과

[경제산업적 파급효과] 경제산업적 부가가치 창출 측면의 파급효과

[참고] 수정된 델파이 기법

□ 델파이 기법의 개요

○ (정의) 전문가들의 의견수립, 중재, 타협의 방식으로 반복적인 피드백을 통한 하향식 의견 도출 방법으로 문제를 해결하는 기법

현재의 상태에 대한 일반화 표준화된 자료가 부족한 경우, 문제에 관한 전문가들의 견해를 유도하고 종합하여 집단적 판단으로 정리하는 일련의 절차

○ (특징) 전문가들에게 개별적으로 설문서와 그 종합된 결과를 전달 회수하는 과정을 거듭함으로써 독립적이고 동등한 입장에서 의견을 공유하고 합의할 수 있도록 운용

전통적인 회의식기법이 갈등이 심하고 토의 분위기에 영향을 받아 주관적 판단을 흐리게 된다는 비판위에서 대두

□ 델파이 기법의 수행

○ (1차 조사) 추정·해결하고자 하는 문제 분야의 전문가 패널을 구성하고, 구성된 패널 대상으로 개방형 질문을 통해 가능한 많은 견해를 수집

○ (2차 조사) 1차 질의 결과를 토대로 구성된 폐쇄형 질의서를 발송하고, 문항에 점수를 주거나 중요도를 측정하는 등 평가

○ (3차 조사) 2차 질의에서 수집된 결과를 종합하여 항목별 도수, 평균, 표준편차 등의 수치로 제시하고, 문항별로 재평가 시행

○ (4차 조사) 3차 결과를 가지고 면담을 실시하여, 전문가들 사이에 어떤 합의점을 찾을 때까지 여러 차례 설문을 통해 최종 결과를 획득

※ *본 연구에서는 기술수요조사, 기술예측조사 등 사전에 전문가들의 의견수렴 절차(1차 조사와 유사)를 거쳤기 때문에 개방형 질의를 생략하고, 폐쇄형 질의서 발송(2차 조사) 및 수치결과 제공 및 재평가(3,4차 조사) 등 2단계에 걸쳐 델파이 기법을 적용*

□ 델파이 기법의 장·단점

○ (장점) 익명성 보장을 통해 외부 영향력을 최소화하여 결론이 왜곡되는 것을 방지하고, 전문가들을 대상으로 특정 문제에 초점을 맞추어 집중·반복적으로 검토하여 의견일치를 유도함으로써, 결과의 신뢰성 제고 및 의사결정 과정에 효과적으로 활용 가능

○ (단점) 구성된 패널의 자질, 역량, 책임감, 대표성 확보가 전체 결과의 신뢰성을 좌우할 수 있으며, 익명으로 인한 응답 불성실 및 조작 가능성, 개인의 주관적 판단에 의존함에 따른 응답결과의 추상성 극복 논란 등이 존재

2. 우선순위 평가 결과

(1) 1차 우선순위평가

□ 조사 방법

○ 기술수요조사 및 기술예측조사를 통해 도출된 12개 후보과제의 우선순위에 대한 1차 조사로, 우선순위 도출기준별로 5점 척도 기준으로 평가 요청

평가에 필요한 과제 정보 및 국내외 기술 관련 정보를 함께 제공하여 전문가들의 의사결정을 지원

<표 4-36> 후보과제 우선순위평가시 제공정보 항목

구분	항목
과제 정보	제안기술명, 기술개발 필요성, 기술개발 내용, 최종 성과물, 총 개발기간, 총개발비용, 기술개발 단계(TRL 기준), 기대효과
기술 관련 정보	기술개발 동향, 관련 정책 동향, 관련 시장 동향, 국내 유사 R&D와이 차이점

(조사기간) 2016. 2. 25 ~ 2. 29

(조사항목) 후보과제 우선순위 평가기준의 가중치 설정, 후보과제별 우선순위 평가(5점 척도), 중점분야별 우선순위 평가(5점 척도) 등 정량평가점수

(조사 참여 전문가) 델파이 조사 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 철도차량 추진시스템 분야의 전문가를 섭외하여 조사를 수행

<표 4-37> 델파이 조사 참여 전문가 리스트

No.	이름	소속	No.	이름	소속
1	손OO	한국철도공사 기술연구원	6	김OO	원광대학교 전기공학과
2	이OO	교통대학교 전기과	7	윤OO	서울도시철도 기술연구소
3	김OO	서울메트로 도시철도연구원	8	김OO	한양대학교 조교수
4	정OO	현대로템 기술연구소	9	김OO	전기연구원
5	곽OO	중앙대학교 전기전자공학부	10	정OO	효성중공업

○ 취합된 1차 조사결과의 평균값을 계산하여 2차 우선순위평가 시 제공

□ 조사 결과

○ (평가기준 가중치) 1차 조사결과는 기술개발 필요성(29.0%), 기술개발 추진시급성(23.0%), 목표 부합성(20.0%), 기술개발 성공가능성(14.0%), 파급효과(14.0%) 순

<표 4-38> 1차 우선순위 평가기준 가중치 결과

구분	기술개발 필요성	목표 부합성	기술개발 추진시급성	기술개발 성공가능성	파급효과	소계
가중치	29.0%	20.0%	23.0%	14.0%	14.0%	100%

(후보과제 우선순위) 후보과제의 1차 우선순위 조사결과는 A1(3.98점), B2(3.83점), B1(3.78점), C1(3.31점) 순

<표 4-39> 1차 우선순위 평가결과(총괄)

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	3.98
2	B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	3.83
3	B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	3.78
4	C1	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	3.31
5	C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	3.23
6	A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	3.20
7	C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	3.04
8	A2	철도차량 안정성을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	3.03
9	B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	2.95
10	A3	철도차량 경량화 및 안정성을 위한 몰드 변압기 기술개발	2.92
11	C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	2.91
12	B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	2.83

(2) 2차 우선순위평가

□ 조사 방법

○ 1차 조사결과(평균값)를 송부하여 후보과제의 우선순위에 대한 재평가를 요청하고, 1차 조사 평균값과 응답자의 의견이 상이한 경우 관련 사항의 주관 응답을 요구

(조사기간) 2016. 3. 11 ~ 3. 15

(조사항목) 후보과제 우선순위 평가기준의 가중치 설정, 후보과제별 우선순위 평가(5점 척도), 중점분야별 우선순위 평가(5점 척도) 등 정량평가점수

○ 취합된 2차 조사의 경우 항목별 평균값과 주관 응답 내용을 3차 조사 시에 제공

□ 조사 결과

○ (평가기준 가중치) 2차 조사결과 가중치간 우선순위의 변동은 없었으나, 파급효과의 가중치가 -2.3%p 하락하였고 나머지 4개 항목의 가중치 평균이 소폭 상승

<표 4-40> 2차 우선순위 평가기준 가중치 결과

구분	기술개발 필요성	목표 부합성	기술개발 추진시급성	기술개발 성공가능성	파급효과	소계
1차 조사	29.0%	20.0%	23.0%	14.0%	14.0%	100.0%
2차 조사	29.3%	20.5%	23.4%	14.1%	12.7%	100.0%
변동	+0.3%p	+0.5%p	+0.4%p	+0.1%p	-2.3%p	-

○ (후보과제 우선순위) 후보과제의 2차 우선순위 조사결과 1차 조사결과와 순위 동일

<표 4-41> 2차 우선순위 평가결과(총괄)

순위	연번	후보과제명	2차 조사	1차 조사	변동
1	A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	3.94	3.98	-0.04

순위	연번	후보과제명	2차 조사	1차 조사	변동
2	B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	3.86	3.83	+0.03
3	B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	3.72	3.78	-0.06
4	C1	마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	3.43	3.31	+0.12
5	A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	3.15	3.20	-0.05
6	A2	철도차량 안정성을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	3.08	3.03	+0.05
7	C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	3.07	3.23	-0.16
8	C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	3.04	3.04	-
9	B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	3.01	2.95	+0.06
10	A3	철도차량 경량화 및 안정성을 위한 몰드 변압기 기술개발	3.00	2.92	+0.08
11	C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	2.96	2.91	+0.05
12	B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	2.95	2.83	+0.12

<표 4-42> 2차 우선순위평가 조정의견

분야	연번	조정 의견
첨단 주변 압기	A1	▪ 철도차량 외 기존 전력계통에의 파급 효과가 클 것으로 기대됨 * 기술예측조사 결과, A1과제의 사회공공적 파급효과는 4.4점(5점 만점), 경제산업적 파급효과는 4.1점(5점 만점)으로 전체 평균 대비(각 3.5점, 3.6점)높아 파급효과가 매우 큰 편
	A2	(조정의견 없음)
	A3	▪ 경량화 및 안전성 향상을 위한 목표 부합성 및 기술개발 필요성이 높음 ▪ 국내 산업에의 적용이 용이하여 파급효과가 높을 것으로 기대됨
	A4	▪ 경량화 및 무부하손실 절감을 위한 기술개발 필요성이 높음
첨단 추진 장치	B1	▪ 전동기는 적용되는 분야에 따라 재설계가 필요하여 파급효과는 낮은 편 * 기술예측조사 결과, B1과제의 사회공공적 파급효과 및 경제산업적 파급효과는 평균에 그치고 있으나, 2차 조사 평균 파급효과는 평균인 2.9점을 상회하고 있음

분야	연번	조정 의견
	B2	▪ 도시철도 및 컨버터에 SiC-IGBT 적용연구가 활발히 진행되고 있어, 본 과제에서의 기술개발 필요성이 낮음 ▪ 철도차량을 위한 고전압/대용량 SiC 소자 부재로 기술개발 성공가능성이 낮음 ▪ 선진국과의 기술격차가 매우 커서 기술개발의 추진시급성 및 파급효과가 낮음 * 해당 분야 기술수준은 최고기술보유국 대비 52.3%에 불과
	B3	▪ 경량화/안정화와의 관련성이 상대적으로 낮고, 기술개발 필요성 또한 낮음 * B3 과제에의 정부개입 필요성은 2.8점(5점 만점)으로 과제 평균(3.4점) 대비 낮은 수준
	B4	▪ 인터버 장애에 따른 차량고장이 매우 잦은 상황으로 기술개발 필요성이 높음 ▪ 기술개발 성공가능성은 낮으나, 성공시 기술의 파급효과는 높을 것으로 보임
첨단 감속 구동 장치	C1	▪ 기존의 기계식 감속장치를 대체하여 기계적 손실과 소음/진동을 낮출 수 있어 기술개발의 필요성이 높음 ▪ 국내 철도기술 향상에의 파급효과가 보다 클 것으로 보임 * 기술예측조사 결과, 과학기술적 파급효과가 4.0점(5점 만점)으로 평균 3.7점보다 높음
	C2	철도차량에의 적용이 어려워 기술개발 필요성이 상대적으로 낮음 * C2 과제는 국내의 기술적 실현시기('21년) 및 사회경제적 실현시기('25년) 모두 가장 느린 과제 군에 속함
	C3	(조정의견 없음)
	C4	(조정의견 없음)

(3) 최종결과 3차 우선순위평가

가. 조사 방법

□ 조사 방법

○ 2차 조사결과(평균값 및 조정의견)를 송부하여 후보과제의 우선순위에 대한 재평가 요청

(조사기간) 2016. 5. 09 ~ 5. 16

· 전문가들의 신중한 검토를 위해 1,2차 대비 조사기간을 연장

(조사항목) 후보과제 우선순위 평가기준의 가중치 설정, 후보과제별 우선순위 평가(5점 척도), 중점분야별 우선순위 평가(5점 척도) 등 정량평가점수

○ 취합된 3차 조사결과는 우선순위평가의 최종 결과 값으로 과제 기획 시 반영

나. 조사 결과

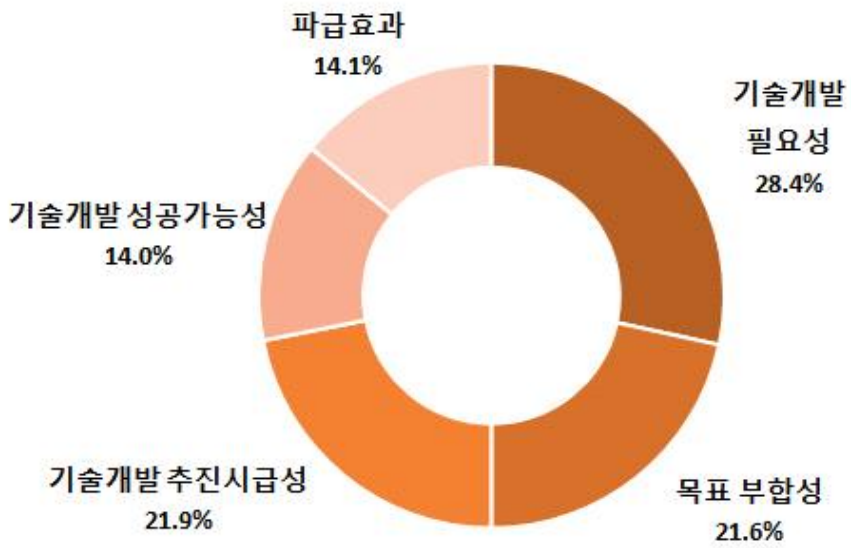
□ 우선순위 평가기준

○ 우선순위 평가기준 가중치 중 기술개발 필요성이 28.4%로 가장 높게 조사됨.

○ 기술개발 필요성 외에 기술개발 추진시급성(21.9%), 목표 부합성(21.9%), 파급효과(14.1%), 기술개발 성공가능성(14.0%) 순으로 조사됨.

<표 4-43> 2차 우선순위 평가기준 가중치 결과

구분	기술개발 필요성	목표 부합성	기술개발 추진시급성	기술개발 성공가능성	파급효과	소계
1차 조사	29.0%	20.0%	23.0%	14.0%	14.0%	100.0%
2차 조사	29.3%	20.5%	23.4%	14.1%	12.7%	100.0%
최종	28.4%	21.6%	21.9%	14.0%	14.1%	100.0%
변동 (1차 대비)	-0.6%p	+1.6%p	-1.1%p	-	+0.1%p	-



<그림 4-28> 우선순위 평가기준 가중치

□ 전체 우선순위 평가 결과(총괄)

○ 우선순위 평가기준의 가중치를 고려한 12개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음.

A1(반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발) 후보과제의 평가점수가 3.87로 가장 높음.

B1(영구자석 등기전동기 및 인버터 기술 개발), B2(SiC 적용 전력변환장치 개발), C1(마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발) 순으로 우선순위가 높게 나타남.

<표 4-44> 우선순위 평가결과(총괄)

순위	연번	후보과제명	기술개발 중요성	목표 부합성	기술개발 추진시급성	기술개발 성공가능성	파급 효과	합계
			28.4%	21.6%	21.9%	14.0%	14.1%	
1	A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	1.22	0.89	0.77	0.49	0.51	**3.87**
2	B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	0.77	0.85	0.68	0.66	0.75	**3.71**
3	B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	0.94	0.67	0.81	0.69	0.51	**3.62**
4	C1	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	1.05	0.76	0.61	0.42	0.38	**3.22**
5	A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	1.05	0.78	0.61	0.41	0.32	**3.17**
6	C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	1.02	0.71	0.57	0.41	0.37	**3.08**
7	A3	철도차량 경량화 및 안정성을 위한 몰드 변압기 기술개발	0.97	0.73	0.57	0.38	0.35	**3.00**
8	A2	철도차량 안정성을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	0.91	0.71	0.61	0.41	0.35	**2.99**
9	B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	0.91	0.67	0.59	0.36	0.38	**2.91**
10	C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	0.97	0.67	0.57	0.35	0.35	**2.91**
11	B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	0.82	0.63	0.59	0.52	0.34	**2.90**
12	C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	0.97	0.65	0.55	0.36	0.37	**2.89**

※ *우선순위 평가기준에 따른 평가결과는* ***평가기준별 5점척도 점수 × 평가기준 가중치 점수****임*

□ 분야별 우선순위 평가 결과

○ 우선순위 평가기준의 가중치를 고려한 분야별 우선순위 결과는 다음과 같음.

첨단 주변압기 분야(3.88)와 첨단 추진장치 분야(3.71)의 우선순위가 첨단 감속구동장치 분야(3.15) 대비 높게 나타남.

<표 4-45> 중점분야별 우선순위 평가결과

순위	연번	중점분야명	평가점수
1	A	첨단 주변압기	3.88
2	B	첨단 추진장치 분야	3.71
3	C	첨단 감속구동장치 분야	3.15

□ 중점분야 우선순위 평가 결과

○ 첨단 주변압기 분야 4개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음.

A1(반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발) 후보과제의 우선순위가 가장 높은 것으로 조사됨.

· 해당 기술은 철도차량의 경량화에 크게 기여하고, DC배전이 확산되고 있는 전기분야에의 파급효과가 매우 커 우선적으로 개발이 필요하다는 응답

<표 4-46> 우선순위 평가결과(첨단 주변압기 분야)

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	A1	반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발	3.87
2	A4	철도차량 경량화를 위한 유입변압기 최적 구조설계 기술개발	3.17
3	A3	철도차량 경량화 및 안정성을 위한 몰드 변압기 기술개발	3.00
4	A2	철도차량 안정성을 위한 주변압기 실시간 상태 진단기술 개발	2.99

○ 첨단 추진장치 분야 4개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음.

B1(다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술) 후보과제의 우선순위가 가장 높은 것으로 조사됨.

· 해당 기술은 온도변화에 따른 제어성능 저하를 개선함으로써 철도차량의 안정성을 향상시키고, 경량화 및 에너지 절감 차원에서의 파급효과 또한 크다는 응답

<표 4-47> 우선순위 평가결과(첨단 추진장치 분야)

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	B1	다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발	3.71
2	B2	SiC 적용 전력변환장치 개발	3.62
3	B4	전력변환장치 결함진단 및 수명예측 기술개발	2.91
4	B3	멀티레벨 전력변환장치 개발	2.90

○ 첨단 감속구동장치 분야 4개 후보과제의 우선순위 결과는 다음과 같음.

C1(철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발) 후보과제의 우선순위가 가장 높은 것으로 조사됨.

· 모토와 감속기 일체형 개발을 통해 출력밀도의 향상, 철도차량 경량화 등이 기대되며, 파급효과 또한 커 우선적으로 개발이 필요하다는 응답

<표 4-48> 우선순위 평가결과(첨단 감속구동장치 분야)

순위	연번	후보과제명	평가점수
1	C1	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술 개발	3.22
2	C3	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발	3.08
3	C2	철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 기술개발	2.91
4	C4	철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 베어링 기술개발	2.89

제 5 장 연구개발 역량 분석 및 성공가능성

제 1 절 연구개발 역량분석

1. 첨단 주변압기 분야

□ 연구진의 인적 능력

○ 최초의 수도권 전동차로 주변압기를 탑재한 직/교류 겸용 전동차가 운행하기 시작하였으며, 이후 전기기관차 및 고속철도의 개통과 함께 간선형 직행열차, 대도시 광역전철 등 다양한 철도차량이 교류 25kV의 전철노선에서 운영하며, 철도차량용 주변압기의 종류와 형식이 다양하게 사용되고 있다.

○ 이와 함께 수입에 의존하는 철도차량용 주변압기를 국내 생산하기 위한 국산화 시도가 여러 기업에서 시도되었으나, 낮은 채산성과 높은 기술적 난이도 및 국내의 경제적 환경 등으로 철도차량용 주변압기와 관련된 기술을 보유하고 있는 업체가 지속적인 기업활동을 지속하지 못하였다.

○ 고속철도의 개통과 운영기관의 유지보수성 개선을 위한 노력으로 **현대중공업** 등에서 한국형 고속철도(KTX 산천)에 탑재되는 6MVA급 주변압기를, 국제전기에서 통근형 광역 도시철도차량용 2MVA 급 주변압기의 국산화에 성공하였으나 현재는 **국제전기**만이 철도차량용 주변압기를 생산하는 기업으로 기업활동을 지속하고 있다.



<그림 5-1> 철도차량용 주변압기 국내 개발 사례
6MVA급, KTX 산천　　2MVA급, 광역도시철도차량

○ 특히, **국제전기**에서는 HEMU-430X 차세대 고속철도에 탑재되는 분산형 추진시스템에 적합한 4 MVA급 주변압기의 개발에 성공하였고, 또한 터키 등지에 주변압기

를 수출한 실적을 가지고 있다.

○ 종래의 철도차량용 변압기는 대전력 특고압을 직접 사용하는 단일의 전력기기로서, 권선/코어/절연물 등 기초기술을 필요로 하고 있으나, 일반 산업부문에서 확보하고 있는 국내의 기술능력이 철도부문에서 활용하지 못하고 있는 실정으로 해외 기술과의 성능/품질관련 기술격차가 상당히 존재하고 있어 다른 기초기술 분야와 마찬가지로 장기간에 걸친 기술투자와 신뢰성 확보 노력을 필요로 하고 있다.

○ 이와는 대조적으로 반도체 변압기는 전력제어기술을 기반으로 하고 있으며, 멀티레벨 컨버터 및 DC-DC 컨버터 구성 및 제어, 고주파 변압기의 설계 및 제작 등 요소기술을 필요로 하고 있어, 종래의 변압기에 요구되는 기술과는 다르게 철도차량의 추진제어를 비롯한 신재생에너지, 스마트 그리드, UPS 등 유사 기술 분야에서 기술을 축적한 폭넓은 인적 능력을 기반으로 하고 있으며, 반도체 변압기의 시작품 단계의 연구도 이미 진행 되어 있는 상황이다.

- 전세계적으로도 종래의 대용량 전력변압기를 대체하기 위한 기술로 관심을 받고 있으나 철도차량분야가 유일하게 반도체 변압기가 적용된 사례임.

<표 5-1> 첨단 변압기관련 국내 기술수준 주요현황

기관명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
국제전기 현대로템	절연 및 권선설계, 코어설계, 시스템엔지니어링, 성능검증	다량의 철도차량개발 및 철도차량 변압기 관련 시스템 엔지니어링,성능검증 등 기술 보유	철도차량용 주변압기에 대한 기본 사양 및 성능검증 관련 연구과제 수행
		철도차량용 변압기 및 유입형 변압기 관련 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준 70%	
전기연구원 전력연구원 아주대학교 경북대학교	저압 직류배전망 요소기기 기술, 고압 AC/DC 정류기, DC/DC컨버터, 양방향 SST 회로, 고주파 변압기 기술	저압 직류배전망, 직류 마이크로그리드관련 기기개발 및 실증 시험장 구축 관련 기술 보유	직류 마이크로그리드 기기 및 핵심기술개발 연구과제 수행
		양방향 산업용 반도체변압기 분야 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준 60%	
철도연	25 kV급 AC/DC 정류기, DC/DC 컨버터, 양방향 에너지 제어 기술 보유 및 철도차량용 변압기 성능검증 설비 보유	반도체 변압기 Topology및 제어관련 기술 보유	다수의 철도차량개발 및 전력변환장치 설계 및 제어분야 전문가 다수 보유
		반도체 변압기 회로 설계 및 제어 관련 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준 70%	

○ 전세계적으로 시작되는 기술이므로 해외 기술진과의 공동연구등도 용이하게 진행할 수있을 것으로 판단된다.

○ 국내 산학연 전문가의 전력전자 토폴로지 및 제어 등 핵심기술은 이미 국제 수준

에 근접해 있으므로, 관련 기술진을 활용하는 경우 성공적으로 연구를 진행할 수 있음

<표 5-2> 요소기술별 선진국 대비 기술수준

기술명	현재 기술수준			기술개발 완료 시 국내 기술 수준		
	기술수준(%)	기술격차(년)	비고	기술수준(%)	기술격차(년)	비고
25kV AC/DC, DC/DC 회로설계 기술	60	3	경쟁	80	1	경쟁
멀티레벨 제어 및 제어기 기술	70	2	경쟁	85	0.5	성숙
고압 절연 / 고주파 변압기 설계 기술	60	3	도입	80	1	경쟁
운용기술 및 성능검증 기술	80	1	경쟁	90	0	성숙

□ 활용 장비

○ 필요 H/W

- AC/DC Power Supply : 시제품 전원공급
- Multi-Meter : 시제품의 간단한 전류/전압 측정 테스트
- Oscilloscope : 시제품 제작시 측정용
- MCU Emulator : 시제품 제작 MCU Writing 및 Debugging
- Power Analyzer : 전력사용량 측정 및 분석
- PXI Host : Real Target 장비 Control용 PXI 장비
- DAQ : Test-bed 구성품 Data Logging용
- 내전압(유도/뇌충격) 시험기 : 절연성능 검증
- 25kV 전원설비 및 진동시험기

○ 필요 S/W

- Maxwell 2D/3D Ver.11 : 자기장 해석을 통한 특성 분석 및 설계
- Simplorer/Matlab-Simulink : 제어 알고리즘 개발 및 특성 분석
- JAVA Software : AMI Prototype MCU Source Programming
- LabVIEW : 축소형 시제품 모델의 성능계측용 PXI장비 및 DAQ 구동 및 분석





<그림 5-2> 첨단 변압기 시험 설비(전원설비 및 진동시험기, 철도기술연구원)

○ 첨단 변압기 시스템에 대한 기술개발을 위해서는 25kV 전원 설비와 부하설비가 필요하다. 이를 위해서는 철도연구원이 보유하고 있는 추진장치 부하설비를 활용하여 직류 전원을 첨단변압기로부터 공급 받아 M-G Set 부하설비로 운행해서 전체 첨단 변압기의 성능시험을 완료 하여야 한다.

○ 또한, 개발된 제품이 철도차량의 운영환경에서 겪게되는 기계적인 진동/충격에 대한 내구성 검증을 위하여 실모델 진동시험(철도연구원 보유)에 의한 내진동/충격 성능 검증이 필요하다.

<표 5-3> 첨단 변압기 개발 인프라 수준

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
고효율 전력변환	연구 인력 및 설비		O			
고주파 변압기	연구 인력 및 설비	O				
차량용품 실장	성능검증 설비		O			
운용/성능검증	성능검증 설비			O		

□ SWOT 분석

○ 기술 동향분석 자료, 기술 수준분석 자료, 연구 인프라 및 연구개발 역량, 지적재산권 확보 가능성 등을 종합적으로 분석하여 Strength(강점), Weakness(약점), Opportunity(기회), Threat(위협) 요인 분석을 위한 내/외부의 긍정적 요인과 부정적 요인을 분석/취합하여 적합한 기술개발 전략에 활용하고자 함

	긍정적 요인	부정적 요인
내부	Strengths • 변압기시스템에 대한 설계 및 제작 경험과 know-how • 정부의 강력한 철도 기술투자 및 건설 정책 • 전력전자분야 고급 연구인력 및 전문 제작사 보유 • 전기, 전자, IT 등 유관 산업의 기술력 보유 • 정부 주도 연구개발 사업을 통해 응용 기술개발에 대한 기반 기술을 축적	Weaknesses • 첨단변압기와 같은 새로운 기술개발 시도를 통한 세계 선도기술에 대한 경험이 부족 • 협소한 국내 철도 변압기 시장 규모 • 미래 선도 먹거리 기술 미흡 • 기업의 기술개발 환경 미흡 • 철도기술 분야의 폐쇄성 • 취약한 소자/재료 기술
외부	• 세계철도시장중 전기철도차량시장 성장 추세 • 첨단기술이 적용된 다양한 철도시스템 개발 • 첨단 소자 개발/공급자의 다변화 • 노후 철도차량의 교체시기 도래 및 신규 도시철도전동차 수요기대 Opportunities	• 후발 중국의 특허 및 논문 분야의 약진 • 철도 선진국의 시장 선점 • 철도차량 핵심 소자/재료의 전략 무기화 • 첨단 변압기 분야의 기술개발 격차 Threats

<그림 5-3> 첨단 변압기 기술개발의 내/외부적 긍정적/부정적 요인

○ 분석된 내/외부의 긍정적/부정적 요인에 대하여 각각을 기회(외부-긍정적 요인), 위협(외부 - 부정적 요인), 강점(내부 - 긍정적 요인), 약점(내부 - 부정적 요인)으로 하여 대응전략을 분석한 SWOT Matrix는 다음과 같다.

	Opportunities (외부 – 긍정적 요인)	Threates (외부 – 부정적 요인)
Strengths (내부 – 긍정적 요인)	S-O 전략 • 정부 주도 연구개발 사업을 통해 응용 기술개발에 대한 기반 기술을 축적 • 유관 산업분야의 기술력을 적극 활용	S-T 전략 • 전통적 변압기 방식이 아닌 전력전자 분야 기술이 적용된 첨단 변압기를 개발 타겟으로 함
Weakeness (내부 – 부정적 요인)	W-O 전략 • 다양한 소자/부품 공급자를 개발하여 기술 종속 탈피 • 국내/해외 노후 철도차량의 교체시기를 활용한 개발기술의 검증 추진	W-T 전략 • 정부 주도 연구개발 사업을 활용한 첨단분야 응용기술 개발을 통한 수출 경쟁력 제고로 미래 선도 먹거리 기술을 확보하여야 함

<그림 5-4> 첨단 변압기 기술개발 전략 Matrix



<그림 5-5> SWOT 분석 결과를 바탕으로한 기술개발 전략

○ 상기의 SWOT 분석 결과와 같이 해외 철도선진국에 비해 관련기술 확보 및 연구개발에 부족한 부분이 있으나, 전력용 반도체 제어 원천기술과 경험은 충분히 확보되어있는 것으로 판단되며, 이러한 강점을 활용하여 아직 시장이 성숙되지 아니한 첨단변압기 관련분야별 각 연구기관과 제작사, 운영기관 등의 공동 연구를 통해 첨단 변압기 기술개발은 성공가능성이 충분히 높은 것으로 판단 됨

2. 첨단 추진장치 분야

○ 1975년 서울지하철 1호선이 상업운전을 개시한 이래 1기 지하철(1~4호선) 및 2기 지하철(5~8호선) 및 9호선이 개통되어 운행되고 있으며, 지방대도시에서도 부산 1,2,3호선, 대구 1,2,3호선, 대전1호선 및 광주1호선, 인천1,2호선 등에서 유도전동기 추진시스템이 도입되어 운행되고 있다. 앞으로 건설되는 지하철 시스템은 운영자 측면에서 인버터 구동에 의한 유도전동기 추진방식을 적용하는 것으로 계획되고 있다.

○ 국내의 경우 도시철도의 비약적인 양적 성장과 발전에도 불구하고 국내 차량제작사의 기술 수준은 외국기술을 도입하여 단순조립, 생산하는 단계로서 이 또한 기술도입선이 업체별, 노선별로 서로 달라 부품간의 호환성이 없고 고장 시 신속한 원인 규명이 곤란한 문제 들 운영체계에 많은 어려움이 상존하고 있다. 국내의 교류 구동식 차량시스템 기술은 시작단계에 불과하며 이러한 적용기술은 차량 제작사뿐만 아니라 추진제어시스템 등 전장품 전문 제작사와 연계하여 개발해 나가야 한다.

○ 특히 전동차 추진시스템에서 견인전동기는 이를 구동시키는 제어시스템과 상호 밀접한 관계를 가지는 전장품이면서 회전기라는 특수한 분야로서 전기적 특성과 기계적 특성에 있어서 신뢰성과 구조적 건전성이 매우 중요하여 철도 차량의 전체 성능을 좌우하는 핵심부분이지만 이에 대한 국내의 경험이나 기술축적이 매우 빈약한 수준이다. 그러므로 사람의 운송을 목적으로 하는 지하철에 있어서 운행의 안정성뿐만 아니라, 설계단계에서 안정성 확보를 도모하기 위해서는 차량의 주요 핵심장치인 인버터와 견인전동기를 포함한 추진 제어장치 분야의 설계기반기술 확보가 시급하며, 이를 기반으로 우리 실정에 적합한 도시철도차량의 표준모델을

구성하여 차량시스템과의 통합 시스템화를 체계화함으로써 전기철도분야의 독자적인 기술 확보가 가능할 것이다. 또한 도시철도 차량 전체에 대한 표준사양의 제정과 성능시험기준, 안전기준, 정밀진단기준, 품질인증기준 등 차량성능, 안전을 확보하기 위한 체계구축이 국가적 차원에서 중요한 과제라고 생각한다.

○ 전동차의 추진 제어장치에 사용되는 견인전동기는 기동 시 및 상구배에서 큰 토크를 발생시키고, 속도제어가 용이하며, 광범위한 속도범위에서 고효율운전이 가능하고, 빈번한 기동과 정지에 따른 과부하와 전원전압의 급변에도 잘 견딜수 있는 전기적 특성을 구비해야 한다. 그리고 진동, 충격 및 터널내 먼지 등의 악조건하에서도 충분히 견디면서 유지보수가 편리한 구조로 제작되어야 한다.

○ 현재 철도차량용 추진장치에 대한 성능시험을 하기 위해서는 대용량 부하설비가 필요하다. 이는 철도기술연구에서 보유하고 있는 추진제어장치 조합시험 설비 및 견인전동기 특성시험기가 활용 가능할 것으로 판단된다.



〈그림 5-6〉 국내 보유중인 추진제어장치 조합 성능시험 설비

○ 현재 차량 추진시스템에 사용되는 전동기의 형식은 전기방식에 따라 직류 전동기와 교류전동기로 대별하고 있으며, 최근 전력전자 기술의 발달에 힘입은 VVVF 인버터 제어시스템의 적용으로 가감속 제어성 및 승차감이 양호하고 전기 제동 시 큰 회생전력을 발생하여 운행에너지를 절감할 수 있는 교류전동기가 주로 사용되고 있다. 교류전 동기 중에서도 3상 농형 유도전동기는 직류 전동기에 비하여 정류자와 브러쉬가 없는 단순구조로서 유지·보수 측면에서 큰 장점을 가지며, 차량의 성능향상과 직결되는 소형·경량화, 고효율 및 저유지·보수 요구에 잘 부합되므로 현재 전동차의 추진 제어장치에 널리 사용되고 있다. 또한 기술발전의 관점에서 농형 유도전동기외에도 권선형 동기전동기와 영구 자석형 동기전동기가 철도차량용으로 개발되어 채택된 실적이 있다. 이들 전동기는 모두 3상 교류전원으로서 회전자계를 발생시키기 위한 고정자 권선 구조를 가지기 때문에 가변속 운전을 위한 구동장치로 VVVF 인버터를 공통적으로 사용할 수 있으며 단지 기계적인 회전운동을 하는 회전자만이 상이한 구조로 되어있다. 표2.1은 교류전동기의 구조적 차이에 의한 특성을 비교, 요약한 것으로, 농형유도전동기의 경우 단순한 구조를 특징으로 중소형 기기에 적합하여 대부분의 전동차에 쓰이고 있으며, 고효

율 대용량기에 적합한 권선형 동기전동기는 동력 집중형 고속전철에 쓰이고 있다. 또한, 가장 효율이 높은 영구자석 동기전동기의 경우 기기용량의 대형화는 기술적인 한계가 있지만 일부 경량전철에 사용되고 있는 사례가 있다.

<표 5-4> 교류전동기의 구조적 차이에 의한 특성

		농형 유도전동기	권선형 동기전동기	영구자석 동기전동기
구조	고정자	다상(3상) 권선		
	회전자	농형회전자도체	권선형회전자	영구자석
회전원리	고정자자계	3상 교류전원에 의하여 회전자계 발생		
	회전자자계	전자유도현상	별도의 외부전원	영구자석의 보자력
	회전력	Lorentz 힘	자계의 얼라인먼트	자계의 얼라인먼트
구동장치		VVVF 인버터	VVVF 인버터 + 여자장치	VVVF 인버터
효율		90~93%	95%이상	97%이상
비고		간단한 회전자 구조로 제작성, 유지보수면에서 우수하다	권선형 회전자 구조로 제작성이 복잡하며, 외부전원을 공급하기 위한 기계적인 마찰부위로 유지보수 증가함	회전자 영구자석에 강한 보자력의 희토류 자석을 사용하여 대용량기의 제작이 곤란하며 수명이 제한적임.

<표 5-5> 국내 추진장치 기술수준 주요현황

기관명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
현대로템	전동기 설계 및 제어 기술	다량의 철도차량용 추진시스템 개발 경험을 통한 기술 보유 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준 70%	추진시스템에 대한 설계 및 제작능력 보유
한양대	IPM 최적설계 및 열해석 관련 기술	IPM 관련 서적을 저술한 만큼 최적설계 및 관련 기술 보유 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준 70%	다수의 관련 연구과제 수행
철도연	전동기 및 전장품을 포함한 추진시스템 관련 SE 기술	고출력밀도를 위한 추진시스템의 설계 및 제어 기술 보유 세계최고 기술수준 대비 상대적 수준 70%	모터 및 전력변환장치 전문가 다수 보유

<표 5-6> 국내 기술개발 수준

기술명	현재 기술수준			기술개발 완료시 국내 기술 수준		
	기술 수준(%)	기술 격차(년)	비고	기술 수준(%)	기술 격차(년)	비고
IPSM 설계 및 제어기술	70	2	경쟁	85	0.5	성숙
소재 응용기술	50	3	도입	80	1	경쟁
냉각 기술	50	3	도입	80	1	경쟁
성능평가 기술	80	1	경쟁	90	0	성숙

〈표 5-7〉 국내연구 인프라 수준

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
고출력밀도 추진시스템	추진시스템 시험장치		O			
IPMSM 설계	연구 인력 및 설비		O			
IPMSM 제작	연구 인력 및 설비		O			
냉각	연구 인력 및 설비	O				

□ SWOT 분석

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

〈표 5-8〉 첨단 추진장치 SWOT분석

강점	약점
• 기존 도시철도용 추진시스템에 대한 설계 및 제작 기술은 선진국 대비 90% 정도로 원천기술과 지적재산권을 확보하고 있음 • 정부 주도 연구개발 사업을 통해 응용기술개발에 대한 기반기술은 축적	• 새로운 시도를 통한 세계 선도기술에 대한 경험이 부족 • 국내 철도차량 첨단추진시스템 부품 산업 및 요소기술 기반 취약
기회요인	**위협요인**
• 저탄소 녹색성장, 에너지절감 등의 측면에서 세계적으로 추진시스템에 대한 경량화 및 안정화 대한 관심과 필요성 증가 • 추진시스템에 대한 안정화 및 경량화에 대한 요구가 증대됨(운영기관, 제작사 등) • 노후 철도차량의 교체시기가 도래하여신규 도시철도전동차 수요기대	• 해외의 경우 자동차 분야에 다상추진시스템을 적용한 사례가 있으며, 다양한 응용기술을 이용한 다상 추진제어기술을 보유하고 있음 • 해외선진국의 경우 첨단 추진장치 관련기술개발 및 연구가 국내보다 앞서 활발하게 진행되고 있음

○ 상기의 SWOT 분석 결과와 같이 해외 철도선진국에 비해 관련기술 확보 및 연구개발에 부족한 부분이 있으나, 5상인버터 제어 및 5상 전동기에 대한 원천기술과 경험은 충분히 확보되어있는 것으로 판단되며, 관련분야별 각 연구기관과 제작사, 운영기관 등의 공동 연구를 통해 첨단 추진장치 기술개발은 성공가능성이 충분히 높은 것으로 판단 됨

<표 5-9> 첨단 추진장치 기술개발 전략 Matrix

	긍정적 요인	부정적 요인
강점	S-O 전략 • 정부주도의 연구개발 사업을 통한 응용기술 기반기술 축적 • 산업체 제작기술 활용	S-T 전략 • 전통적인 방식의 유도전동기와 3상 인버터 구조를 탈피해야 하므로 새로운 전동기 설계 SW와 제어회로 개발 필요
약점	W-O 전략 • 추진시스템 안정화를 위한 원천기술 확보로 기술 종속 탈피 • 노후차량 교체 시기를 목표로 개발 일정 단축	W-T 전략 • 선진 철도 추진시스템 연구의 추격보다는 새로운 구조에 대한 혁신적 연구로 새로운 시장 창출과 경쟁력 확보

3. 첨단 감속구동장치 분야

□ 연구진의 인적 능력

○ 마그네틱 기어와 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우 실제 제작과 상용화에 성공한 국내 기업은 아직 찾아볼 수 없으며, 해외 기업에서도 아직 개발 초기 단계임

○ 학계의 경우 국내 대학에서 논문 및 국가 R&D 과제를 통해 기초이론을 축적하고 있음

<표 5-10> 마그네틱 기어 관련 국가 R&D 수행 상황

과제명	고출력 저진동 풍력발전기용 마그네틱 기어 개발	고기어비/고전달토크 구현 가능 마그네틱 기어	고속 영구자석 전동기의 비접촉 기계부하 결합을 위한 마그네틱 디바이스 설계기술 개발
수행처	동아대학교	한국교통대학교	충남대학교
발주처	교육과학기술부	교육과학기술부	미래창조과학부
수행기간	2012 ~ 2013	2013 ~ 2016	2014 ~ 2017
연구내용	토크 전달율과 동력전달 성능을 향상시키기 위한 동력전달 메커니즘 분석 및 자기에너지 최소화 설계	모듈레이터 개념을 이용한 비접촉식 마그네트 기어의 개념 정립, 이론 전개, 분석, 최적화 및 하드웨어 구현과 검증	- 영구자석형 자기커플링의 전자기 특성해석과 설계기법을 확보 및 설계 제작

○ 2014년도에 충남대학교에서 발표한 논문에서는 이차원 유한요소해석을 이용해 평행방향과 할박 자화 마그네틱 기어의 기어비를 선정하고, 내측과 외측 영구자석 두께, 철심 각도, 할박 세그먼트 개수, 내측과 외측 영구자석 자화 패턴과 같은 설계 변수에 따라 토크 해석을 수행하였음

○ 마그네틱 기어나 영구자석 동기전동기에 대한 개별적인 학술 연구 및 과제는 진행되었지만 마그네틱 기어 일체형 동기전동기에 대한 학술적 연구는 매우 제한적인 상태임

○ 2016년 충남대학교가 발표한 논문에서 마그네틱 기어드 모터의 자속 변조 철심 구조를 고려한 특성해석 및 설계에 대한 내용을 다루었으며, 그 외에는 마그네틱 기어드 모터에 대한 국내 논문은 찾아보기 힘듦

○ 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 개발을 위한 최적 인적 구성은 마그네틱 기어드 동기전동기에 대한 설계 및 해석, 제어, 부하장치를 적용한 성능 시험 경험이 있는 전문가가 최소 20명 이상 필요함

○ 자기장 해석, 전동기 제어 등 기술에 대한 연구인력은 전기기기 관련 연구를 수행하는 산학연 기관에서 충분히 확보할 수 있음

○ 국내에 마그네틱 기어드 모터에 대한 연구개발 및 제작 인프라는 아직 미비하나, 실험 및 검증은 일반적인 동기전동기와 같은 환경에서 진행할 수 있을 것으로 예상되므로, 기존 국내 연구기관 및 기업에 존재하는 M-G Set을 이용하여 성능검증을 할 수 있을 것으로 예상됨

○ 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기의 제작은 국내 다수 존재하는 전동기 제작 업체와 영구자석 제작 업체와의 연계를 통해 제작기술 개발을 병행하며 연구를 진행하여야 할 것임

○ 한국교통대학교와 한국철도기술연구원은 마그네틱 기어드 동기전동기의 핵심기술 중 하나인 영구자석 동기전동기 관련 110kW급 경전철용 IPMSM부터 210kW급 도시철도용 수냉각재킷 적용 IPMSM까지 설계부터 추진장치 성능시험설비를 활용 성능평가를 진행하여 영구자석 동기전동기 관련 핵심 기술을 보유하고 있는 상황임

○ 해외에 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 전문가가 다수 존재하나, 현재 마그네틱 기어드 동기전동기의 핵심기술인 영구자석 동기전동기에 대한 핵심기술은 선진국 대비 조금 2-3년 정도 격차가 있어 본 연구사업으로 기술격차를 줄일수 있음.

<표 5-11> 마그네트 기어드 동기전동기 관련 기술 국내 기술개발 수준

기술명	현재 기술수준			기술개발 완료시 국내 기술수준		
	기술 수준(%)	기술 격차(년)	비고	기술 수준(%)	기술 격차(년)	비고
마그네트 기어 기술	60	3	도입	80	1	경쟁
동기전동기 기술	70	2	경쟁	85	0.5	성숙
동기전동기 제어기술	70	2	경쟁	80	1	성숙
마그네트 기어드 동기전동기 기술	50	5	도입	70	2	경쟁

<표 5-12> 마그네트 기어드 동기전동기 관련 기술 국내연구 인프라 수준

기술분야	선진국 대비 인프라 수준				
	부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
마그네트 기어 기술		O			
동기전동기 기술			O		
동기전동기 제어기술		O			
마그네트 기어드 동기전동기 기술	O				

□ 활용 장비

○ 필요 H/W

- AC/DC Power Supply : 축소 시제품 전원공급
- Multi-Meter : 축소 시제품의 간단한 전류/전압 측정 테스트
- Oscilloscope : 축소 시제품 제작시 측정용
- MCU Emulator : 축소 시제품 제작 MCU Writing 및 Debugging
- Power Analyzer : 전력사용량 측정 및 분석
- PXI Host : Real Target 장비 Control용 PXI 장비
- DAQ : Test-bed 구성품 Data Logging용

○ 필요 S/W

- Maxwell 2D/3D Ver.11 : 자기장 해석을 통한 특성 분석 및 설계
- Simplorer/Matlab-Simulink : 제어 알고리즘 개발 및 특성 분석
- JAVA Software : AMI Prototype MCU Source Programming
- LabVIEW : 축소형 시제품 모델의 성능계측용 PXI장비 및 DAQ 구동 및 분석

○ 현재 철도차량용 마그네틱 기어드 모터 성능시험을 위해서는 기존 철도차량 기어 성능시험기 및 견인전동기 부하시험기가 필요하며, 새로운 신기술 제품에 대한 성능시험설비의 변경 및 업그레이드가 필요할 것으로 판단된다.




<그림 5-7> 국내 보유중인 기어 시험 관련 설비

□ SWOT 분석

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

<표 5-13> 첨단 감속구동장치 SWOT분석

강점	약점
• 다양한 사업을 통한 관련 기술 축적 및 인적인프라 풍부 • 대학 및 연구원과의 연구 협동체제 확립을 통한 효과적인 연구 추진 체계 마련	• 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 직접적인 연구 경험의 부족 • 마그네틱 기어드 동기전동기의 철도 및 전기자동차 구동용 시스템으로의 적용 사례 전무 • 고출력밀도 달성을 위하여 희토류 마그넷이 많이 필요하나, 희토류 마그넷의 국제적 가격 및 수급 불안
기회요인	위협요인
• 기계적 감속기와 견인전동기 구조를 가지는 기존 구동시스템의 유지보수 문제의 지속적 대두 • 친환경적이며 경량화된 교통수단의 지속적 필요성 증대	• 세계철도 산업의 경쟁 심화 • 영국의 Magnomatics사 등 해외 시장에서 이미 유사 기술을 보유하고 있는 기업들이 이미 존재하여 치열한 경쟁이 불가피함

○ SWOT 분석 결과를 바탕으로 한 기술 개발 전략 추진

☞ SO전략(시너지 창출 전략) : 기 확보된 기술, 인력 및 인프라를 적극 활용하고

대학 및 국가연구원과의 공동연구를 통하여 단시간에 핵심요소 기술을 확보함으로써 향후 발생될 기술 수요에 대응

☞ WO전략(보완 전략) : 다양한 철도차량용 구동시스템의 성능시험 경험과 한국철도기술연구원이 보유하고 있는 추진장치 성능시험설비를 바탕으로 45kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 시제품 제작부터 성능평가까지 단기간에 수행하여 향후 본 기술의 수요를 창출하기 위한 데이터로의 활용 계획 수립

☞ ST전략(위험 최소화 전략) : 한국철도기술연구원이 보유하고 있는 추진장치 성능시험설비를 활용하여 성능 검증 비용 및 기간을 단축

☞ WT전략(위험 극복 전략) : 대학 및 국가연구원과의 공동연구를 통하여 마그네틱 기어드 동기전동기의 제작성을 고려한 설계 및 제어 기술의 개발을 수행하며, 국내 기업 또는 필요 시 국외 기업과도 공동 연구 또는 전략적 제휴 모색 필요

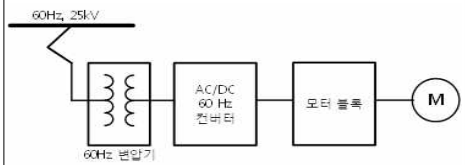
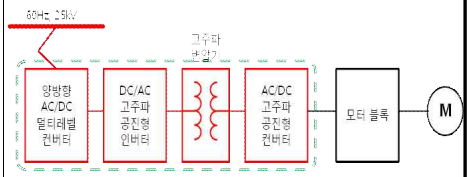
제 2 절 연구개발 성공가능성 검토

1. 첨단 변압기 목표수준 및 성공가능성

○ 주변압기는 교류 철도차량에서 전차선 전압을 추진장치 및 보조전원장치에 적합한 전압으로 변환하여 공급하는 역할을 하고 있으며 추진장치 및 보조전원장치 등에 전원을 공급하기에 충분한 용량을 가져야 한다. 따라서, 가속시에 필요한 Peak 에너지의 공급과 감속시 발생하는 회생에너지를 전차선으로 넘겨 주어야 한다. 또한, 차량의 운행 중 발생하는 진동 및 충격에 충분히 견딜 수 있어야 하며, 과전류 및 과온 등에 따른 보호기능을 갖추어 한다.

○ 첨단 주변압기를 적용하므로서 기존에 추진제어장치에 포함된 컨버터는 더이상 사용할 필요가 없으며, 직류전용 철도차량에 적용하는 방식의 인버터 만으로 추진제어장치를 구성할 수 있게 되어 추진시스템을 단순화 시킬 수 있는 장점이 있다. 다음 표에 광역 도시철도에 적용하기 위한 시스템 구성을 기반으로 기존의 주변압기 사양과 비교하여 신규 개발 사양을 제시하였다.

<표 5-14> 광역 도시철도용 주변압기 규격 및 첨단 변압기 개발 목표 사양

항 목	주변압기	첨단 변압기
입력전압	25 kV	25 kV
편성열차구성	5M5T(1C4M)	5M5T(1C4M)
출력용량	200kW IM 8대	210kW IM 8대
출력전압	단상 교류 840V	직류 1,500 V
냉각방식	강제송유 풍냉	강제냉각 혹은 자연냉각
절연등급	H종 이상	해당없음
보호동작	안전밸브(과도압력 보호)	과전압/저전압/과전류
중량	변압기:3,400 kg 컨버터: 1,440 kg x 2대	3,400 kg 이하 (컨버터포함)
부피	6㎥	6㎥
고장시 비상운전	불가능	가능
주회로 구성	 별도의 컨버터로 직류변환 필요	 직류 출력으로 컨버터 불필요

○ 8대의 유도전동기를 구동하기 위하여 종래의 유입식 변압기를 적용하는 경우 주변압기와 컨버터의 하중은 6 ton 규모로 출력밀도가 약 0.3 kW/kg 수준이며, 출력밀도를 0.2 kW/kg 정도만 향상하여도 편성중량의 2% 경량화 효과를 가져올 수 있다.

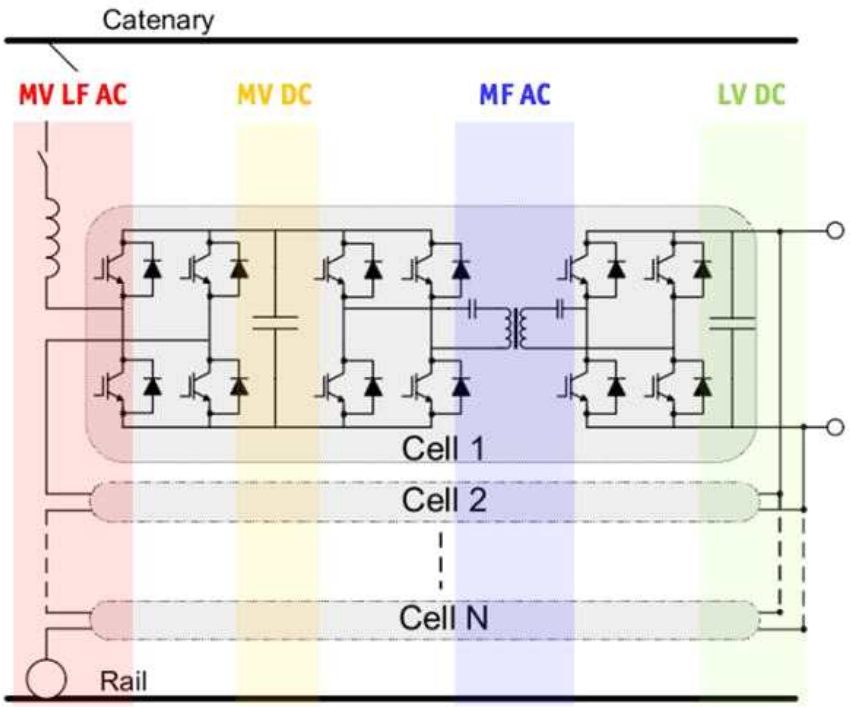
○ 첨단 주변압기의 요소기술인 멀티레벨 인버터, DC-DC 컨버터 및 고주파변압기 등에 기술축적이 풍부한 국내의 연구진과 철도차량의 개발 경험을 가지고 있는 철도기술연구원의 기술적 know-how를 결합하여 기술개발을 수행하므로써 첨단 주변압기의 개발 목표 도달 가능성이 높일 수 있다.

○ 첨단 주변압기의 경우 전세계적으로 철도차량용으로 실용화 된 사례가 없는 선도형 기술이며, 스위스의 ABB 사에서 유일하게 실차에 적용하여 시운전된 사례가 있고 주요 특징은 다음과 같다.

- 출력: 1,200 MVA(연속), 1,800 MVA(최대)
- 중량: 4,500 ton(출력밀도 0.27 kW/kg)
- 스위칭 주파수: 1.75 kHz



<그림 5-8> SST demonstrated on the SBB Ed933 locomotive



<그림 5-9> ABB에서 개발한 반도체변압기 회로도

2. 첨단 추진장치 목표수준 및 성공가능성

(1) 첨단 추진장치용 견인전동기 목표수준 및 성공가능성

견인전동기는 빈번한 기동, 정지, 전동차의 진동 및 터널 내 먼지 등과 같은 조건 속에도 견딜 수 있어야 한다. 공기 흡입구에는 필터를 사용하고 소음발생을 최소화 하는 구조를 사용해야 한다. 그리고 고정자와 회전자는 고조파 전류에 의한 온도상승과 손실을 최소화 할 수 있는 구조여야 하며 전동기의 기계적 강도를 위해 최고허용회전 속도는 차량의 최고속도에 해당하는 회전속도의 120% 이상 만족해야 한다. 전동차 견인용 전동기의 정격 규격에 대해 아래표에서 볼 수 있다.

<표 5-15> 전동차 견인용 전동기 정격 규격

항 목	규 격
정격전압	1,100 VAC
출력	200KW 이상
회전속도	1,950rpm 이상
효율	92% 이상
최대토크	2,100Nm
최고운전속도	4,950rpm
절연등급	H종 이상(IEC 349-2)

아래표는 서울메트로 2,3호선 실 차량용 유도전동기 사양 및 신규개발 영구자석 보조형 동기전동기 사양을 나타낸다. 이 기존 유도전동기와 비교하여 210kW급 영구자석 보조형 동기전동기를 설계하였을 때 고정자 외경 및 적층길이를 30% 이상 저감할 수 있으며 그에 따라 같은 출력에서 부피와 중량을 각각 50% 가량 저감하여 중량 당 출력밀도를 0.45kW/Kg에서 0.9kW/Kg이상으로 두배이상 증가할 수 있다. 따라서 영구자석 보조형 동기전동기를 철도추진시스템에 적용하였을 때의 목표사양은 다음과 같다. 철도차량은 많은 수용인원을 탑승하고 고속으로 운전하기 위해서 제한된 공간에서의 높은 출력 밀도를 가지는 견인용 전동기를 필요로 한다. 최근 2층 열차, 저상 트램 등의 확산에 따라, 차량 바닥의 높이가 낮아짐에 따라 차량 하부에 장착되는 견인용 전동기의 설치 공간이 작아지고 있으며, 이에 따라 중량 및 점유공간을 최소화 할 수 있는 고출력밀도 견인전동기의 요구가 커지고 있으며 철도연구원은 210kW급 영구자석형 동기전동기의 개발 경험을 통한 신규개발 목표사양 달성 가능성이 높음.

<표 5-16> 유도전동기 및 영구자석 보조형 동기전동기 설계 치수

항 목	유도전동기	영구자석 보조형 동기전동기
고정자 외경	520	392
고정자 내경	330	262
고정자 슬롯 수	48	54
공 극	2	1
사용도체	(5x1.4)x2	(7x3.5)x1
슬롯당 도체 수	18	10
권선방법	2층 분포권	2층 분포권
결선방법	2 x STAR	2 x STAR
회전자 외경	326	260
회전자 내경	160	150
적층길이	270	220

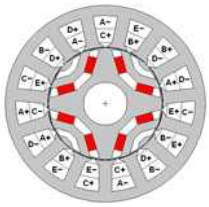
<표 5-17> 유도전동기 및 신규개발 목표 사양

항 목	서울메트로 2,3호선	신규개발 목표
형식	농형 유도전동기	영구자석 보조형 동기전동기
출력	210kW	210kW
전압	1,100V	1,100V
전류	136A	120A 이하
효율	92%	96% 이상
부피	57.33L	55L 이하
중량	451.57Kg	230Kg 이하
출력밀도	0.45kW/Kg	0.9kW/Kg 이상

○ 최근 2층 열차, 저상 트램 등의 확산에 따라, 차량 바닥의 높이가 낮아짐에 따라 차량 하부에 장착되는 견인용 전동기의 설치 공간이 작아지고 있으며, 이에 따라 중량 및 점유공간을 최소화 할 수 있는 고출력밀도 견인전동기의 요구에 대응하여 철도연구원은 210kW급 영구자석형 동기전동기를 개발하였으며, 이러한 경험을

통한 신규개발 목표사양 달성 가능성이 높은 것으로 판단된다.

<표 5-18> 철도선진국의 도시철도 추진용 전동기 사양 및 목표사양 비교

항 목	ALSTOM	TOSHIBA	목표 사양
형상			
전동기 형식	영구자석 동기전동기	영구자석 동기전동기	영구자석 저감형 동기전동기
출력 전력 (kW)	150	205	210
무게 (kg)	330	560	230
부피(L)	69.2	140.2	55
냉각 방식	공냉식	공냉식	공냉 또는 수냉식

○ 철도 선진국인 프랑스의 Alstom사와 일본의 Toshiba사에서 각각 2010년대에 개발하여 도시철도의 추진시스템에 적용중인 전동기는 주로 영구자석을 채용한 동기전동기로써 공랭식 냉각방식을 적용하여 수냉식에 비하여 상대적으로 무게와 부피가 크므로 Alstom사와 Toshiba사에서도 수냉각 방식을 적용한 영구자석 동기전동기를 개발하고 있다.

○ 현재 Alstom사와 Toshiba사에서 개발하여 적용 중인 영구자석 동기전동기의 출력밀도는 각각 0.45kg/kW, 0.37kg/kW이며 Alstom사에서 최근 개발 중인 수냉각 방식의 전동기는 최대 1.1kg/kW의 출력밀도를 갖는 경량화 구조의 영구자석 동기전동기를 개발중인 것으로 알려져 있다. 본과제에서 목표로 하는 영구자석 저감형 동기전동기는 약 0.91kg/kW이상의 출력밀도를 갖는 고출력 경량화 구조를 갖는 전동기의 개발이 가능한 것으로 판단된다.

(2) 첨단 추진장치용 인버터 목표수준 및 성공가능성

전동차 견인용 전동기의 정격 규격은 대해 아래와 같이 규정되어 있으며 서울 메트로의 5호선과 7호선의 유도전동기 구동용 인버터는 2레벨 3상 전압형 PWM 방식의 인버터 방식을 3.3kV/1,200A IGBT 소자로 구현하고 있다. 이 경우 인버터의 최대 전류는 약 500A의 출력을 필요로 하며 속도 증가에 따라 고조파 성분의 증가에 따른 안전율을 고려하여 1,200A급의 IGBT를 적용하고 있으나 인버터의 고장원인 분석에 따르면 전력반도체의 기대수명인 30년에 크게 못미치는 14년 이후 고장이 급격히 증가하며 고장원인 분석에 따르면 스위칭 소자에 가장 큰 영향을 미치는 부하 증가 및 고조파에 의한 열 발생이 주 원인이다. 따라서 최근에는 3.3kV/1,500A급 IGBT 소자로 대체하는 추세이나 근본적인 원인 제거에는 미흡하다.

<표 5-19> 전동차 견인용 인버터 정격 규격

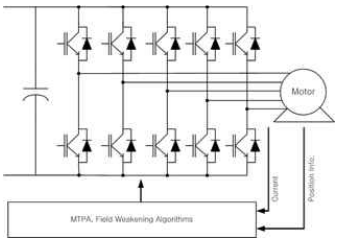
항 목	규 격
주회로 방식	일괄제어방식(1C 4M)
제어방식	전압형 PWM 변조제어 VVVF인버터 역행제어, 회생제어를 병용한 자동 가감속제어방식
정격입력전압	1,500VDC (전압변동범위 : 1,000~1,800V, DC)
정격출력(연속)	1,100kVA 이상
최대 출력	1,600kVA(1분 정격)
냉각 방식	자연 냉각 방식
제어 용량	800kW이상 (200kW 이상 전동기 4대 병렬 접속)
정격출력전압	1,170VAC
제어 소자	IGBT
제어 전압	100V, DC (전압변동범위 : 70~110V, DC)

5상 인버터를 적용한 신규개발 목표사양은 같은 1,200A급 IGBT 스위치 소자를 적용한 경우 기존 3상 인버터의 최대전류인 500A의 60% 수준의 300A의 최대전류가 필요로 하며 5상의 인버터는 3상에 비해 리플전류가 30% 가량 감소되며 그에따른 고조파 성분의 감소에 따라 인버터의 기대수명을 약 1.5배 증가시킬 수 있으므로 추진시스템에서 가장 고장율이 높은 인버터의 안정성을 크게 개선시키는 효과가 기대된다. 철도기술연구원은 추진인버터 및 전력반도체 구동회로 설계기술과 인력을 보유하고 있으며 3상 및 5상 동기전동기용 인버터 제어기술을 기 보유하고 있으므로 신규개발 목표사양에 부합하는 5상 인버터 개발 성공가능성이 매우 높다.

<표 5-20>기존 인버터 및 신규개발 목표 사양

항목		서울메트로 5, 7호선(연장구간)	신규개발 목표
인버터 방식		2 Level 3상 전압형 PWM	2 Level 5상 전압형 PWM
소자정격		3.3KV/1,200A 모듈형 IGBT	3.3KV/1,200A 모듈형 IGBT
주위온도		~25℃ ~ +45℃	~25℃ ~ +45℃
냉각방식		히트파이프를 적용한 자연냉각 방식	자연냉각 또는 수냉각 방식
정격	입력전압사양	연속정격 DC 1,500V	연속정격 DC 1,500V
		최고 DC 1,800V	최고 DC 1,800V
		최저 DC 900V	최저 DC 900V
	출력사양	전압3상 0V~1,100V (rms)	전압5상 0V~1,100V (rms)
		주파수 0~160Hz	주파수 0~160Hz
		최대전류 497A (rms)	최대전류 298A (rms) 이하

<표 5-21> 철도선진국의 도시철도 추진용 인버터 사양 및 목표사양 비교

항 목	TOSHIBA	목표 사양
외면		
출력 전력 (kW)	205	250
소자정격(kV/A)	3.3/1,500	3.3/1,200
무게 (kg)	455	450
부피(L)	1467	1400
냉각 방식	자연냉각식	자연냉각 또는 수냉식

○ 현재 Toshiba사에서 개발하여 도시철도에 적용 중인 영구자석 동기전동기용 인버터는 3상 출력전압을 갖는 2level 3상 전압형 PWM 인버터이며 기존의 3.3kV/1,200A급 IGBT 소자의 고장율을 낮추고 인버터의 안전성 향상을 위하여 3.3kV/1,500A급 IGBT 소자를 자체 개발하여 적용하고 있다. 현재 국내 도시철도에 적용 중인 IGBT 소자는 3.3kV/1,200A급이며 Toshiba사에서 개발한 3.3kV/1,500A IGBT 소자는 일본의 철도부품 경쟁력 유지를 위하여 수출을 꺼리고 있는 상황이다. 따라서 본 과제에서 제안한 5상 전압형 PWM 인버터는 기존의 3상 인버터에 비하여 출력 전류를 40% 저감할 수 있으므로 기존의 3.3kV/1,200A급 IGBT 소자를 적용하여도 Toshiba사의 최신 3.3kV/1,500A급 IGBT 소자를 적용한 인버터보다 낮은 고장율과 인버터의 안전성 향상이 가능하다.

3. 첨단 감속구동장치 목표수준 및 성공가능성

○ 철도, 전기자동차 등에서 저속・고토크 영역에서의 운전이 요구되고 있고, 현재는 이를 만족시키기 위해 고속・저토크 전동기에 기계식 기어를 결합함으로써 속도-토크 조건을 만족시키고 있다. 하지만 기계식 기어는 기계적 접촉으로 인한 효율 감소, 유지보수 증가, 소음진동 발생 등 여러 가지 문제를 가지고 있다. 마그네틱 기어로 기계식 기어를 대체하거나, 한 단계 더 나아가 마그네틱 기어와 전동기를 결합한 마그네틱 기어드 전동기를 개발한다면 이러한 문제점에 대한 해결책이 된다.

○ 마그네틱 기어는 부피나 무게의 증가를 최대한 억제하고, 토크 전달 효율 99% 이상을 달성해야 하며, 부피와 무게 증가로 인한 경제적 손실과 유지보수 비용 절감으로 인한 경제적 이익에 대한 분석을 통해 유효성을 보여야 한다. 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우 현재 전동기와의 단독비교가 아닌 감속기를 포함한 시스템과의 비교를 통해 우위를 입증해야 한다. 출력은 기존 전동기와 동등한 수준을 유지해야 하며, 효율의 경우 영구자석 동기전동기 방식 채용으로 인해 유도전동기보다 5% 내외의 효율 개선을 보이게 될 것이나, 마그네틱 기어 구조 결합으로 인해 순수 동기전동기 방식보다는 효율 저하가 있을 수 있다. 하지만 마그네틱 기어드 동기전동기는 기계식 기어로 인한 손실을 제거하게 되므로, 전동기와 기어로 이루어진 시스템 효율에서는 유도전동기+기계식 기어 시스템은 물론 영구자석 동기전동기+기계식 기어 시스템보다도 높은 효율을 보일 것으로 예상된다.

○ 마그네틱 기어드 동기전동기의 고효율화와 소형경량화 조건을 만족시키기 위해서는 에너지적이 높고 감자특성이 우수한 영구자석의 사용이 필수적이다. 일반적으로 고에너지적을 갖는 희토류계열의 영구자석은 고온에서 쉽게 감자되는 특성을 갖는다. 이러한 영구자석의 자기적 특성은 B-H 곡선의 2상한에서 표현되며, 이는 영구자석의 동작 특성에 많은 영향을 끼친다. 보통 희토류계열의 영구자석의 경우, 온도가 높아지면 잔류자속밀도가 일정 비율로 감소하는 고온 감자 특성을 가지며 온도에 따른 잔류자속 밀도의 감소율은 희토류계열의 경우 약 -0.1%/℃을 갖는다. 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우, 고정자와 2중 회전자의 철손 및 동손의 손실은 열의 형태로 발생하며, 이는 마그네틱 기어드 동기전동기 자체의 온도를 상승시키는 결과를 초래한다. 이로 인하여 영구자석의 주변온도 상승 및 내부의 와류손에 의한 잔류자속 밀도의 감소로 예기치 못한 불가역 감자를 발생시키게 되며 이는 마그네틱 기어드 동기전동기 자체의 성능저하로 이어지므로 반드시 설계 단계에서 이를 고려한 설계가 필수적이라고 할 수 있다. 따라서, 마그네틱 기어드 동기전동기의 성능 및 수명에 있어서 고신뢰성을 확보하기 위하여 내부에서 사용되어지는 영구자석의 신뢰성 확보 방안이 필요하다.

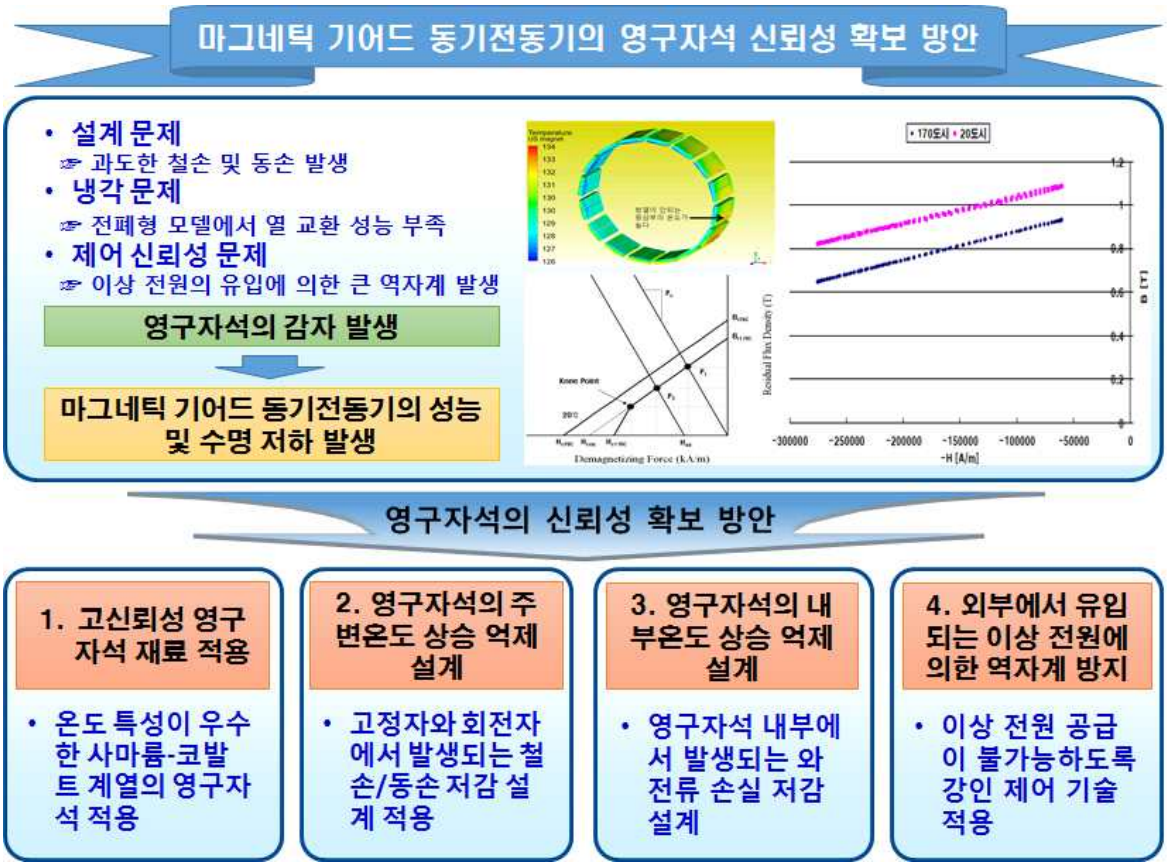
○ 본 연구에서는 마그네틱 기어드 동기전동기용 영구자석의 고신뢰성 확보를 위하여 다음의 방안을 제시한다.

① 고신뢰성 영구자석 재료 적용 : 사마륨-코발트 계열

② 고정자와 회전자에서 발생되는 철손/동손 저감 설계 적용을 통하여 영구자석의 주변온도 상승 억제

③ 영구자석 내부에서 발생되는 와전류 손실 저감 설계 적용을 통하여 영구자석의 내부온도 상승 억제

④ 이상 전원 공급이 불가능하도록 강인 제어 기술을 적용하여 외부에서 유입되는 이상 전원에 의한 역자계 발생 방지



○ 이러한 사항을 반영하여 아래 표와 같이 기존 도시철도차량(서울지하철 7호선)용 감속기/견인전동기 사양을 근거로 하여 마그네틱 기어드 동기전동기의 목표사양을 도출하였다.

<표 5-22> 기존 감속기/견인전동기 사양과 마그네틱 기어드 동기전동기 목표사양 비교

항 목	기존 서울지하철 7호선 도시철도차량의 구동장치 사양	신규개발 목표
형식	평행 1단 감속기 + 농형 유도전동기 	마그네틱 기어드 동기전동기 
감속기 필요 여부	필요	불필요 (일체형 구조)
냉각방식	자기 통풍식	자기 통풍식 또는 수냉식
견인전동기 출력	210 kW	210kW
감속비	5.75	5.75
토크	견인전동기 출력부 402 Nm 감속기 출력부 2,312 Nm	고속부 402 Nm 저속부 2,312 Nm
회전수	견인전동기 출력부 5,000 rpm 감속기 출력부 870 rpm	고속부 5,000 rpm 저속부 870 rpm
효율	92 % (감속기어 손실 제외)	92% 이상 (기어 손실 포함)
부피	57.33 L (견인전동기) 48.12 L (기어박스)	57L 이하 (기어 포함)
견인전동기 중량	645 kg (견인전동기) 440kg (기어박스)	525 kg 이하 (기어 포함) (20% 이상 개선)
출력밀도	0.33 kW/Kg	0.40 kW/Kg 이상 (20% 이상 개선)

○ 마그네틱 기어와 마그네틱 기어드 동기전동기는 유지보수 등의 장점이 명확하여 단점 개선을 통해 쉽게 수요가 창출될 수 있는 분야로, 연구개발 성과의 실용화 성공 가능성이 높다고 할 수 있다. 또한 개발에 사용되는 기술은 주로 자기장 해석과 최적화 설계이며, 이에 대한 기술을 보유하고 있는 국내외 전문가는 다수 확보되어 있어 연구인력 부족으로 인한 실패 가능성은 매우 낮다. 특히 교통대나 충남대 등과 같은 국내 대학에서 이미 해당 분야에 대한 연구를 시작하고 있으며 논문 등을 통해 이론적 기초를 쌓고 있는 단계이기 때문에 산학연 협업을 통해 개발 성공확률을 높일 수 있다.

제 6 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

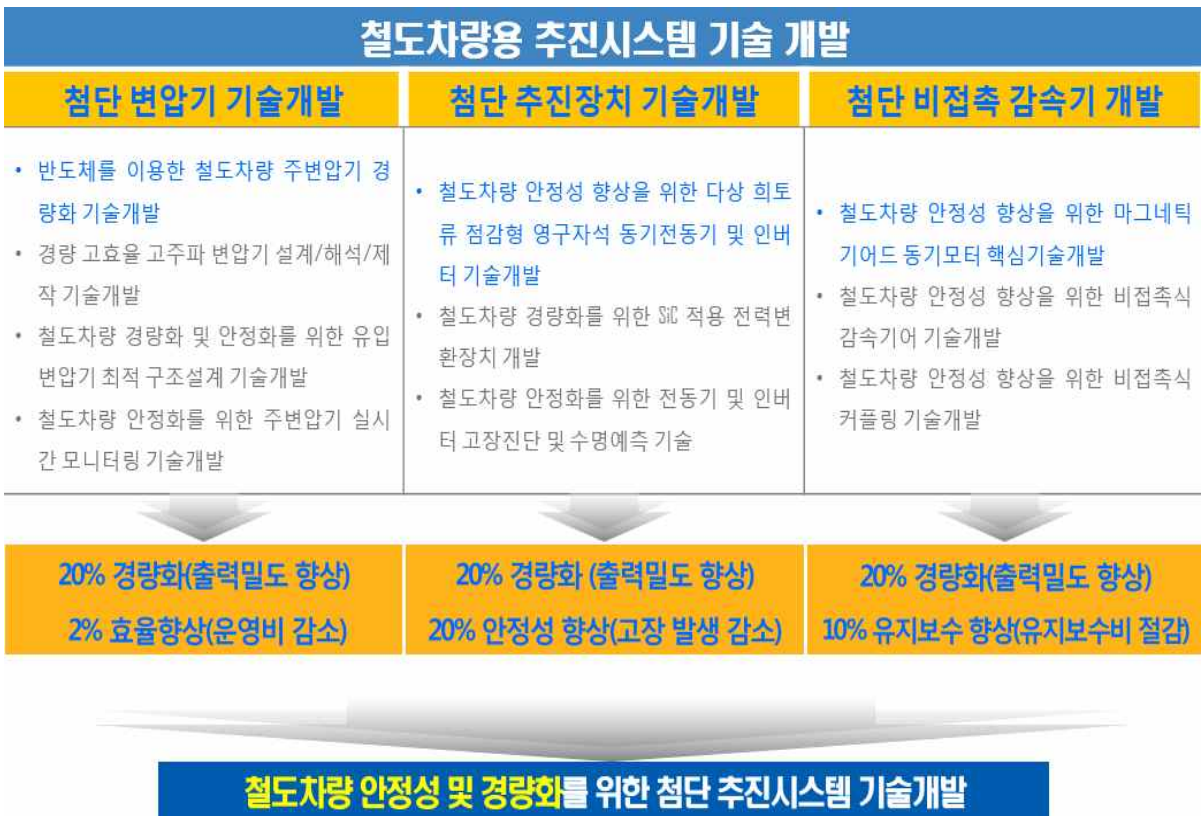
제 1 절 비전 및 목표

1. 비전

○ 본 과제는 철도차량의 안정성을 향상시키고, 경량화를 추진하기 위해 추진시스템에 대한 첨단 기술을 접목하여 철도의 경쟁력 강화를 위해 “첨단 추진시스템 기술 확보” 라는 비전을 설정하였고, 이에 따른 미션, 목표, 전략을 설정하였음.

○ 연구의 전략적 목표는 첨단 추진시스템 기술 개발을 통해 각 추진시스템에 대한 20~30% 경량화 달성 및 20% 안정성 향상 등 철도차량 핵심부품에 대한 선도적 기술 개발을 목표로 설정하였음

○ 아래의 연구분야에 대한 연구개발 목표를 달성하기 위한 전략으로는 국내외 추진시스템에 대한 원천기술 확보와, 철도차량 주전력시스템에 대한 종합인터페이스 기술, 실용화를 위한 신뢰성 및 안정성 확보기술에 대한 각 분야별로 연구개발기간 중에 달성 가능하도록 목표를 제시하였음.



<그림 6-1> 비전 및 목표

2. 연구목표 및 세부과제별 목표

가. 최종 목표

○ 철도차량 안정성 및 경량화를 위한 첨단 변압기, 첨단 추진장치, 첨단 비접촉 감속기 기술개발.

나. 세부과제별 목표

○ 반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발
<광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 개발>
- 컨버터 일체형 전력변환 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 연구
- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발

○ 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발
<도시철도 추진용 다상 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발>
- 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 설계/해석 기술 개발
- 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 제작 기술 개발
- 210kW급 희토류 저감형 동기전동기의 냉각 구조 개발
- 250kW급 5상구동 및 비상시 3상 구동이 가능한 동기전동기 인버터 H/W 개발
- 250kW급 5상 및 3상 구동 동기전동기 인버터 제어 알고리즘 개발
- 250kW급 동기전동기 인버터 냉각 구조 개발
- 다상 영구자석 동기전동기의 도시철도차량용 구동장치 적용을 위한 실용화 기술 및 성능 평가기술 개발

○ 철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발
<비접촉 방식의 감속기와 견인전동기가 일체화된 마그네틱 기어드 동기전동기 기술개발>
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 설계/해석 기술 개발
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 제작 기술 개발
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 제어 알고리즘 및 구동 드라이버 기술 개발
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 구조 및 냉각성능 확보 기술 개발
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 철도차량용 구동장치 적용을 위한 성능평가 기술 개발

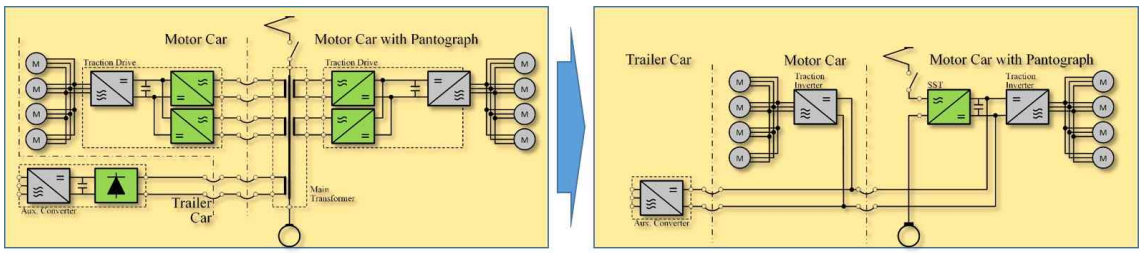
제 2 절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 첨단 주변압기 분야

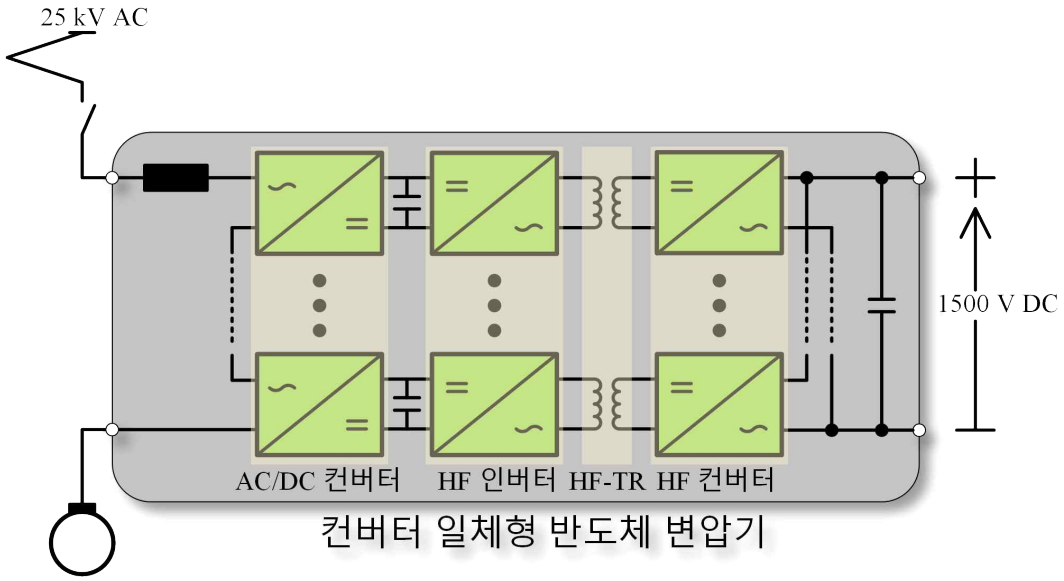
가. 광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 기술개발

◉ 광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 개발

- 컨버터 일체형 전력변환 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 연구
- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발
-



<그림 6-2> 컨버터 일체형 주변압기 구성도



<그림 6-3> 컨버터 일체형 주변압기 개발(안)

나. 현황 및 미래상

◉ 광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 개발

현황 (As-Is)

○ 기존 철도차량 전력변압기는 고전압 대전력을 사용하는 유입식 변압기로 대형, 중량의 중전기 부품임(중량 : 3 ~ 7 ton, 체적 : 6 ~ 10 m^3)

○ 기존 전력변압기의 **구조적 한계성**

- 60 Hz 전원주파수에서 전압을 변환시키므로 높은 인덕턴스를 유지하기 위한 대량의 철심과 권선이 필요함
- 견인전동기 구동 및 승객서비스를 위한 보조전원으로 사용하기 위해 추가적인 변환장치(컨버터, 정류기 등)가 필요
- 단순히 전압의 크기만을 변환시키는 수동형 기기로서 입/출력 전압/전류의 품질을 관리 기능이 없음
- 대량의 절연유 사용과 이에 따라 절연성능을 유지하기 위한 전담의 유지보수 인원 운영으로 절연유의 점검과 이물질의 제거 및 주기적인 절연유의 교체 등 주기적인 유지관리 필요
- 절연유의 온도상승을 방지하기 위한 펌프 및 냉각용 송풍기의 사용으로 소음, 진동이 발생(최근 자연냉각 및 절연유의 사용량을 획기적으로 낮춘 선진 제품이 발표되고 있으나 수입의존 적이며, 절연유의 사용에 따른 유지보수의 문제는 여전히 존재함)
- 단락, 지락 등 사고 발생 시 폭발, 환경 오염 및 화재의 가능성 등 존재

○ 기존 전력변압기의 **성능적 한계성**

- 추가적인 컨버터(정류기)와 함께 낮은 중량 대 전력비(약 0.3~0.4 kW/kg
- 고장 발생 시 차량의 운행이 중단되어야 하는 시스템적 문제와 계통에 파급효과가 큼
- 단순 전압의 크기만을 변환하는 수동형 기기로 입/출력 전압/전류의 관리 기능이 없음

210kW전동기 8대 구동 장치 중량:	210kW전동기 8대 구동 장치 중량:
1.85MVA급 유입 변압기(**3.4 ton**) + Converter/Inverter(1.4 ton x 2대) = 6.2 ton	1.85 MVA급 컨버터 일체형 주변압기 중량 **3.4 ton**

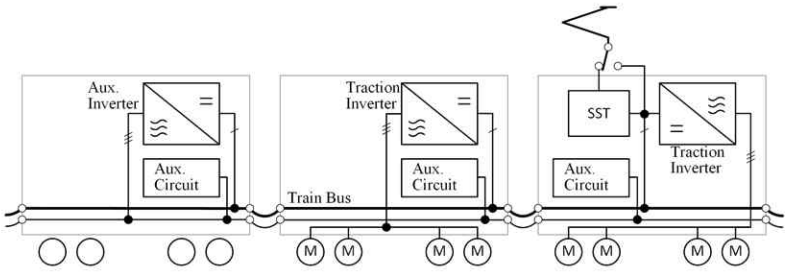
⇩

주요 연구 내용

○ 컨버터 일체형 주변압기 전력변환 기술 개발

- 모듈컨버터 및 직렬구조 설계/제작
- 양방향/손실저감 제어 알고리즘 및 제어기 설계/제작
- 컨버터 일체형 주변압기 성능 시뮬레이션 모델링 및 성능예측기술 개발
- 전력변환 스택 및 냉각구조 설계/제작

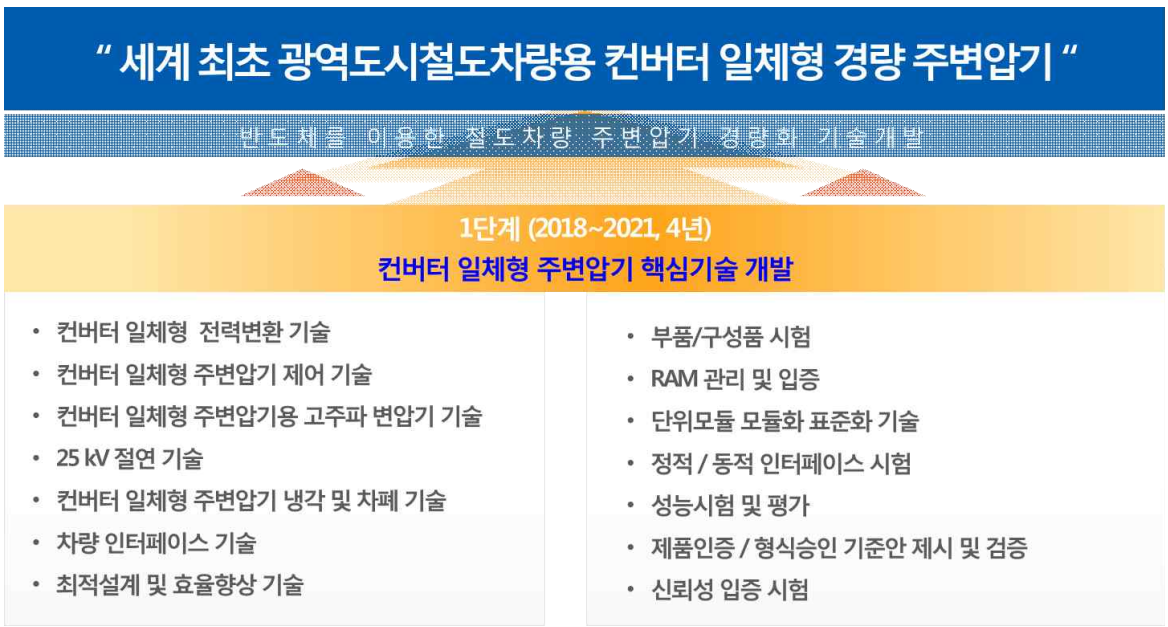
	• 컨버터 일체형 주변압기 모듈/제어기 시험 기술 ○ 컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발 • 25kV 절연 구조 설계 • 고주파 전자기회로 설계 • 고주파 변압기 효율 향상 및 발열해석, 냉각설계 • 고주파 변압기 제작 • 고주파 변압기 시험기술 ○ 컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발 • 25 kV 절연 구조 설계/제작 • 경량 모듈화 구조 설계 및 제작 • 컨버터 일체형 주변압기 차폐 설계 • 컨버터 일체형 주변압기 안정성 시험 및 신뢰성 시험 • 컨버터 일체형 주변압기 형식승인 시험 • 컨버터 일체형 주변압기 정적/동적 입증시험 ○ 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 및 실용화 기술 개발 • 컨버터 일체형 주변압기 차량 제어/운영 시나리오 개발 • 컨버터 일체형 주변압기 차량 인터페이스 설계 • 철도차량 운영 인터페이스 기술 개발 • 컨버터 일체형 주변압기 종합 인터페이스 시험설비 구축 연구 • 컨버터 일체형 주변압기 시스템 조합시험/종합인터페이스 시험 • 컨버터 일체형 주변압기 실차시험 ○ 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발 • 컨버터 일체형 주변압기 시스템 요구사항 개발 • 컨버터 일체형 주변압기 설계 최적화 기술 개발 • 컨버터 일체형 주변압기 인증/검증 기준안 개발 • 컨버터 일체형 주변압기 TEST-BED 설계/구축/운영 • 컨버터 일체형 주변압기 신뢰성 평가 및 입증
	⇩
미래상 (To-Be)	○ 전력반도체를 이용하는 광역 도시철도차량용 컨버터 일체형 주변압기의 핵심기술 개발 - 전력변환장치 적용 시스템으로써 기존 광역철도차량용 주변압기 대비 경량화된 차량 및 철도차량 전력 시스템 구축 가능 - 기존 유입식 변압기의 유지보수 문제 해결 및 경제적인 추진시스템 구축 가능 - 차체 구조 및 지지구조물의 크기, 강도 저감이 가능 - 기기배치 공간의 감소 및 경량화를 통해 전체 차량시스템 효율 증대 가능 - 선진국 주도의 전력변압기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보 - 전기기관차, 고속철도 적용 컨버터 일체형 주변압기 용량증대 연구 및 확대 적용



철도차량 적용 컨버터 일체형 주변압기 개요

다. 세부 연구개발 과제 구성

◉ 세부과제 1 : 광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 기술개발



<그림 6-4> 컨버터 일체형 주변압기 과제 구성

◉ 컨버터 일체형 주변압기 핵심기술 개발(2018~2021, 4년)

세부기술	주요 추진 내용
컨버터 일체형 전력변환 기술개발	○전력변환 모듈/제어기 설계 및 제어 기술 개발 - 선행기술 검토 및 분석 - 핵심 요소기술 분석 및 방식 선정 - 하드웨어 및 제어 설계

	- 해석 모델 구축 및 성능예측 - 전력변환 모듈/제어기 기초/상세 설계 ○전력변환 모듈/제어기 시작품 제작 및 최적화 - 전력변환 모듈/제어기 시작품 제작 - 전력변환 모듈/제어기 최적 설계 - 효율/출력밀도 향상 연구 ○2MVA급 전력변환 모듈/제어기 시제품 개발, 성능검증 - 전력변환 모듈/제어기 시제품 설계 및 제작 - 전력변환 모듈/제어기 구성품 성능검증 및 신뢰성 시험
컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 기술 개발	○ 고주파 변압기 설계 기술 개발 - 선행기술 검토 및 분석 - 핵심 요소기술 분석 및 방식 선정 - 고주파 변압기 발열, 전자계 해석 및 성능예측기술 개발 - 고주파 변압기 절연 기술 개발 - 고주파 변압기 기초/상세 설계 ○ 고주파 변압기 제작 - 고주파 변압기 시작품 제작 - 고주파 변압기 최적 설계 - 효율/출력밀도 향상 연구 ○ 고주파 변압기 시제품 개발, 성능검증 - 고주파 변압기 2차 시작품 설계 및 제작 - 고주파 변압기 구성품 성능검증 및 조합시험
컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발	○ 컨버터 일체형 주변압기 실장 기술 개발 - 선행기술 검토 및 분석 - 모듈화 설계 및 최적 인터페이스 연구 ○ 컨버터 일체형 주변압기 시스템 설계 - 절연 및 배선/인터페이스 연구 - 구조 및 차폐 연구 - 경량화 설계 ○ 컨버터 일체형 주변압기 시스템 제작 및 신뢰성 평가 - 컨버터 일체형 주변압기 제작 - 컨버터 일체형 주변압기 안정성 시험 및 신뢰성 시험
컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 및 성능 평가	○ 차량시스템 인터페이스 연구 - 차량 운영 시나리오 검토 및 분석 - 차량시스템 인터페이스 설계 - 차량시스템 인터페이스 검증 절차 도출 ○ 컨버터 일체형 주변압기 종합 인터페이스 시험 - 종합인터페이스 실험설비 구축 - 추진/열차제어 인터페이스 시험 - 시스템 종합 인터페이스 시험 ○ 컨버터 일체형 주변압기 정적/동적 시험

컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발	○컨버터 일체형 주변압기 시스템 통합 및 최적화 - 철도시스템 인터페이스 분석 - 시스템 요구사항 및 사양 제시 - Topology 최적 설계 SE ○성능검증 연구 및 시험절차 개발 - 컨버터 일체형 주변압기 성능 및 시험 요구사항 분석 - 컨버터 일체형 주변압기 형식승인 기준안 및 시험안 제시 - 컨버터 일체형 주변압기 조합 신뢰성 시험 ○컨버터 일체형 주변압기 Test-Bed 기술 개발 - Test-Bed 요구사항 분석 - Test-Bed 설계/구축 및 운영 - 주행선로 시운전 형식시험 / 신뢰성 입증시험

라. 주요연구내용

	연구개발 목표	연구개발 내용	기술 성과
1차 년도	컨버터 일체형 주변압기 기초 설계 및 해석기술 연구	• 선행기술 검토 및 핵심요소기술분석 연구 • 컨버터 일체형 전력변환 모듈/제어기 기초설계/제어로직 개발 • 고주파 변압기 전자기 회로 기초설계 및 해석모델 구축 • 발열/구조/차폐특성 해석 및 성능예측 • 25kV 절연 설계 기술 개발	· 세계 최초의 광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 설계 기법 도출
2차 년도	컨버터 일체형 주변압기 최적화, 효율/출력밀도 향상 기술 연구	• 컨버터 일체형 전력변환 모듈 효율/출력밀도 향상 연구 • 최적제어 및 효율 향상 제어 기법 연구 • 고주파 변압기 최적 설계 연구 • 컨버터 일체형 주변압기 모듈화 설계 및 최적 인터페이스 연구 • 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 상세설계 및 최종 모델 확정 • 종합인터페이스 시험 설비 구축 / TEST-BED 설계	· 광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 최적 설계 및 제어 기술 확보
3차 년도	광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 성능평가 기술 연구	• 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시제품 제작 • 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 부품/구성품 시험 • 시스템 조합시험 및 종합인터페이스 시험 • 컨버터 일체형 주변압기 TEST-BED 구축, 인증/승인 절차 개발	· 광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 성능평가 기술 확보
4차 년도	광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 시운전 성능입증 및 실차 신뢰성 시험	• 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 정적 및 동적 입증 시험 • 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 주행선로 시운전 형식시험 • 신뢰성 입증 시험	· 광역도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 주변압기 실차 성능 및 신뢰성 입증

세부과제 1 : 컨버터 일체형 주변압기 기술 개발

연차	주요 연구내용	세부 연구내용
1차년도 (2018년)	■ 선행기술 검토 및 분석 연구 ■ 철도시스템 인터페이스 연구 ■ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 ■ 컨버터 일체형 전력변환 기술 개발	■ 선행기술 검토 및 분석 연구 • 컨버터 일체형 주변압기 관련 선행기술 조사 및 분석 • 관련 특허/논문/시장 세부 분석 ■ 철도시스템 인터페이스 연구 • 철도시스템 인터페이스 검토 및 분석

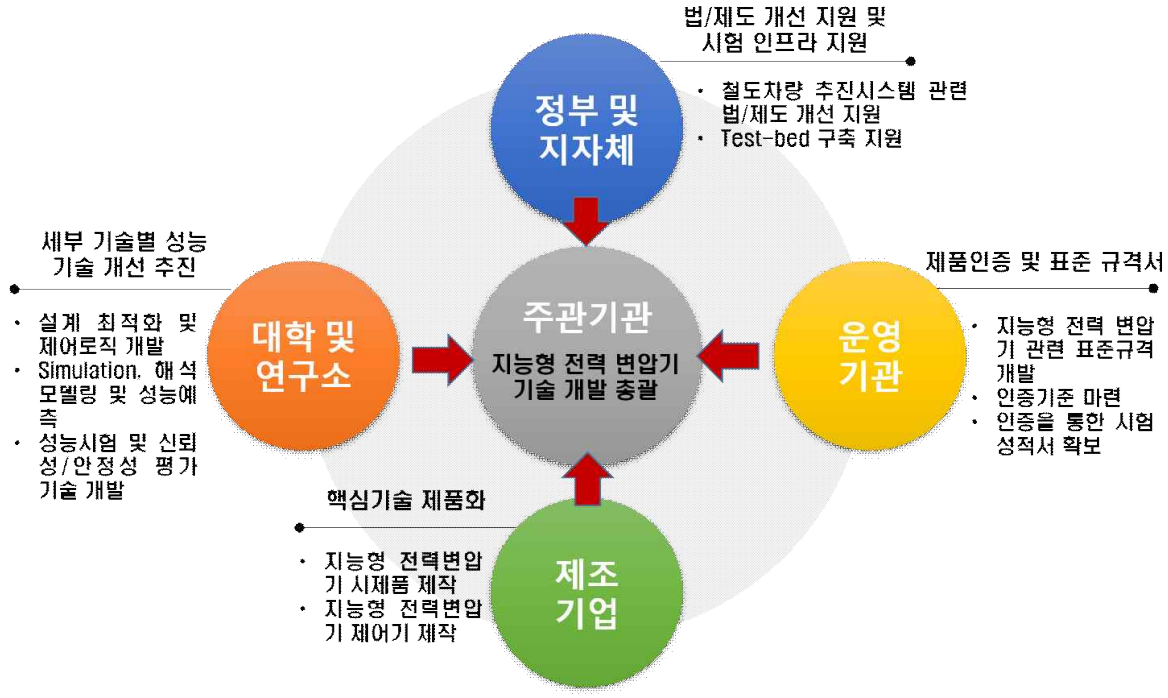
	■ 고주파 변압기 설계 기술 개발 ■ 컨버터 일체형 주변압기 절연 기술 개발 ■ 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스요구사항 도출	• 시스템 요구사항 및 사양 제시 • Topolgy 최적 설계 SE ■ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 • Topology 구성별 특성 분석 • 핵심 요소기술에 따른 특성 비교 분석 후 방식 선정 ■ 컨버터 일체형 전력변환 기술 개발 • 전력변환 모듈/제어기 기본 설계 • 제어 알고리즘 및 해석 모델 구축 • 특성 해석 및 성능 분석 • 모듈컨버터 및 직렬구조 설계안 도출 ■ 고주파 변압기 최적 설계 기술 개발 • 25kV 절연 고주파 변압기 요구사항 검토 및 분석 • 기본설계 및 발열/전자계 해석모델 구축 • 특성 해석 및 성능 분석 • 설계안 도출 ■ 컨버터 일체형 주변압기 절연기술 개발 • 절연 및 배선/인터페이스 요구사항 검토 및 분석 • 시스템 기본 설계 • 절연/차폐 최적화 연구 • 설계안 도출 ■ 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 연구 • 차량 운영 시나리오 검토 및 분석 • 차량시스템 인터페이스 설계 • 종합인터페이스 Test-Bed 기본 설계
2차년도 (2019년)	■ 컨버터 일체형 주변압기 전력변환 손실저감 기술 개발 ■ 고주파 변압기 효율 향상 설계 기술 개발 ■ 컨버터 일체형 주변압기 시스템 모듈화 실장 기술 개발 ■ 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스설계 ■ 컨버터 일체형 주변압기 성능 검증 연구	■ 컨버터 일체형 전력변환 손실저감 기술 개발 • 2MVA급 전력변환 모듈/제어기 시작품 제작/설계검증 • 고속도 반도체 소자 적용 검토 • 전력변환 모듈/제어기 최적 설계 • 효율/출력밀도 향상 제어 기술 개발 • 전력변환 모듈/제어기 최종모델 도출 ■ 고주파 변압기 효율 향상 설계 기술 개발 • 고주파 변압기 시작품 제작/설계 검증

		• 고주파 변압기 효율/출력밀도 향상 연구 • 고주파 변압기 최종모델 도출 ■ 컨버터 일체형 주변압기 시스템 모듈화 실장 기술 개발 • 25kV 절연 실장 랙 시작품 제작 • 경량화 유지보수성 향상 연구 • 컨버터 일체형 주변압기 모듈화 구조설계 • 최종 모델 도출 ■ 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 연구 • 차량시스템 인터페이스 검증 절차 도출 • 종합인터페이스 설비 구축 ■ 컨버터 일체형 주변압기 성능검증 연구 • 컨버터 일체형 주변압기 성능 및 시험 요구사항 분석 • 컨버터 일체형 주변압기 형식승인 기준안 및 시험안 개발 • 컨버터 일체형 주변압기 Test-Bed 요구사항 분석
3차년도 (2020년)	■ 컨버터 일체형 주변압기 시제품 제작 ■ 컨버터 일체형 주변압기 부품/구성품 시험 ■ 컨버터 일체형 주변압기 성능검증 연구	■ 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 최종모델 제작 ■ 컨버터 일체형 주변압기 부품/구성품 시험 • 컨버터 일체형 주변압기 전력변환 모듈 시제품 제작 • 단위모듈 및 직렬모듈 성능시험 • 구성품 신뢰성 시험 • 종합인터페이스 시험 ■ 고주파 변압기 신뢰성 기술 개발 • 고주파 변압기 시제품 제작 • 고주파 변압기 성능시험 ■ 컨버터 일체형 주변압기 성능검증 연구 • 컨버터 일체형 주변압기 시스템 조합시험 • 컨버터 일체형 주변압기 종합 인터페이스 시험 • 컨버터 일체형 주변압기 형식승인 기준안 및 시험안 개발 • 컨버터 일체형 주변압기 Test-Bed 구축

4차년도 (2021년)	■ 컨버터 일체형 주변압기 정적 및 동적 입증 시험 ■ 컨버터 일체형 주변압기 주행선로 시운전 형식시험 ■ 컨버터 일체형 주변압기 신뢰성 입증 시험	■ 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 실차 시험 준비 ■ 컨버터 일체형 주변압기 정적 입증시험 • 컨버터 일체형 주변압기 차량 인터페이스 검증 ■ 컨버터 일체형 주변압기 동적 입증시험 ■ 컨버터 일체형 주변압기 주행선로 시운전 형식시험 ■ 컨버터 일체형 주변압기 신뢰성 입증 시험

마. 세부과제별 추진전략 및 추진체계

◉ 추진 전략



<그림 6-5> 컨버터 일체형 주변압기 기술개발 추진 전략

○ Top-down 방식으로 원천기술 개발
- 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
- 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증

○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
- 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
- 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발
- 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진
- 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증

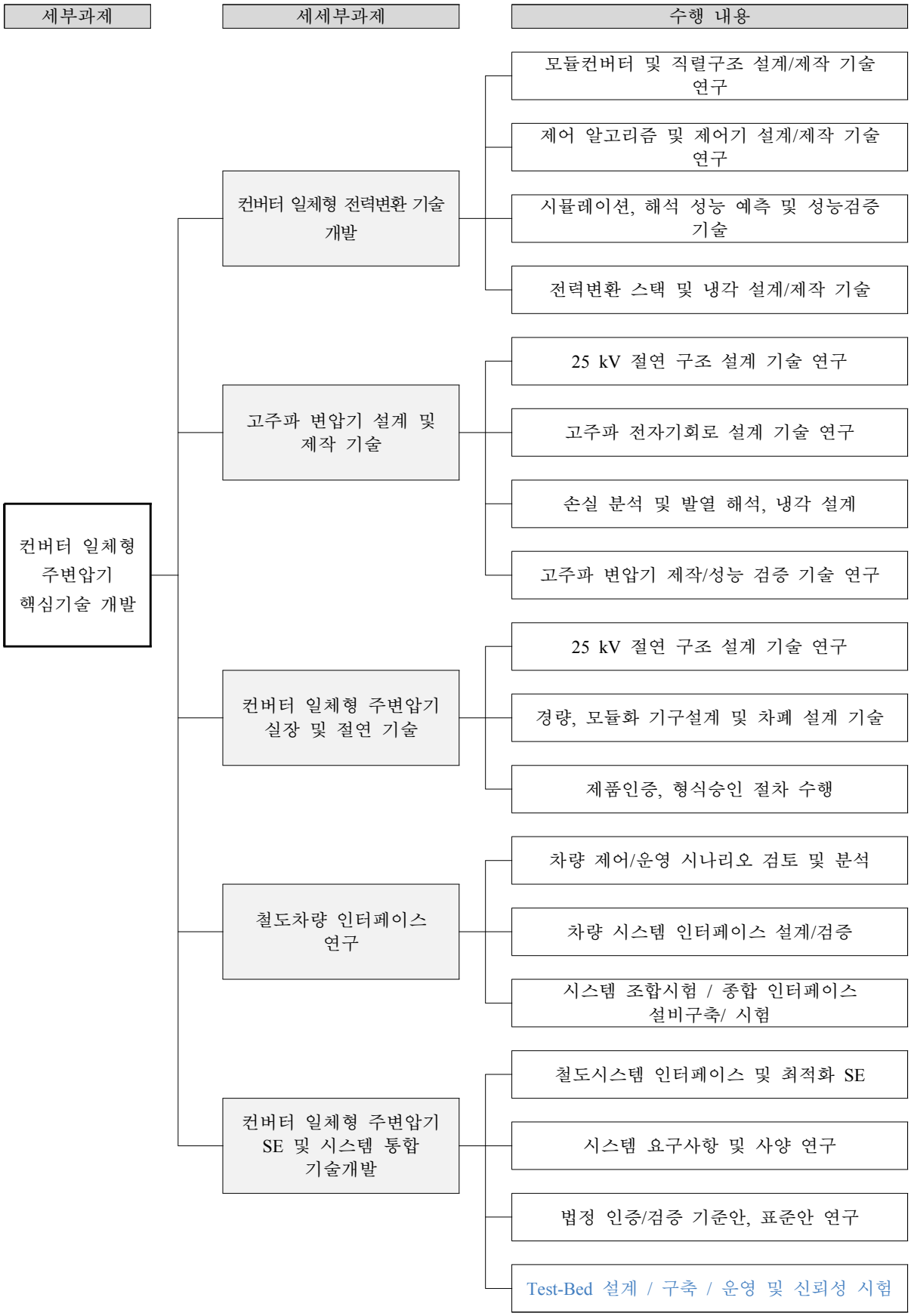
○ 새로운 추진시스템의 적용과 테스트베드 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도

○ 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화 추진

○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용

○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력

◉ 추진 체계


세부과제
세세부과제
수행 내용
컨버터 일체형 주변압기 핵심기술 개발
컨버터 일체형 전력변환 기술 개발
모듈컨버터 및 직렬구조 설계/제작 기술 연구
제어 알고리즘 및 제어기 설계/제작 기술 연구
시뮬레이션, 해석 성능 예측 및 성능검증 기술
전력변환 스택 및 냉각 설계/제작 기술
고주파 변압기 설계 및 제작 기술
25 kV 절연 구조 설계 기술 연구
고주파 전자기회로 설계 기술 연구
손실 분석 및 발열 해석, 냉각 설계
고주파 변압기 제작/성능 검증 기술 연구
컨버터 일체형 주변압기 실장 및 절연 기술
25 kV 절연 구조 설계 기술 연구
경량, 모듈화 기구설계 및 차폐 설계 기술
제품인증, 형식승인 절차 수행
철도차량 인터페이스 연구
차량 제어/운영 시나리오 검토 및 분석
차량 시스템 인터페이스 설계/검증
시스템 조합시험 / 종합 인터페이스 설비구축/ 시험
컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술개발
철도시스템 인터페이스 및 최적화 SE
시스템 요구사항 및 사양 연구
법정 인증/검증 기준안, 표준안 연구
Test-Bed 설계 / 구축 / 운영 및 신뢰성 시험

○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행

○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함

○ 원천기술 및 시제품의 테스트베드를 통한 실증을 위해 도시철도 운영기관의 참여가 바람직함

○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것

○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함

○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

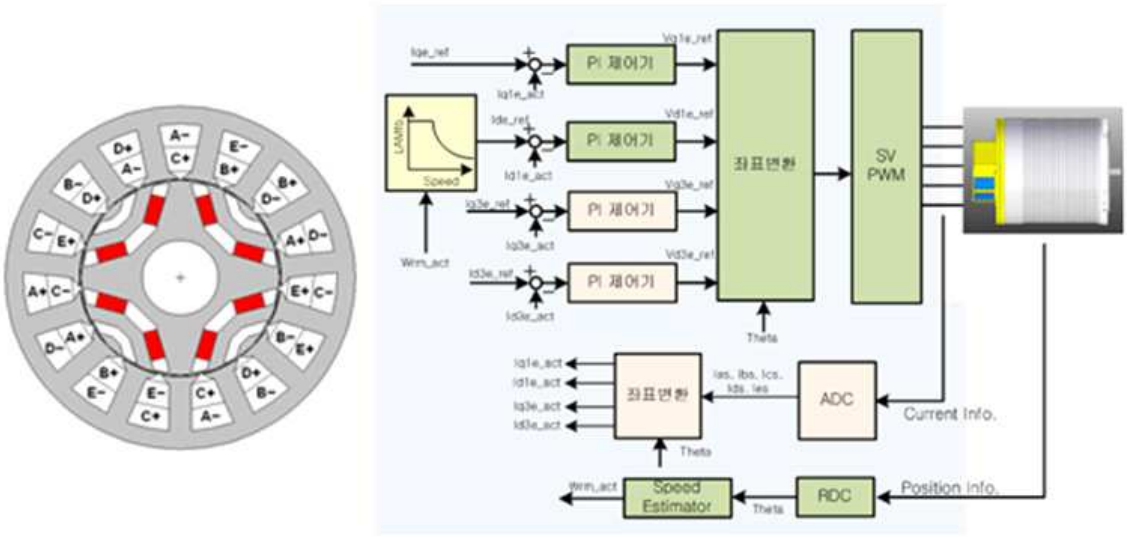
○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

2. 첨단 추진장치 분야

가. 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발

◉ 세계 최초의 210kW급 도시철도차량용 5상 희토류 저감형 동기전동기 및 인버터 핵심기술개발

- 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기의 설계/해석 기술 개발
- 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기의 제작 기술 개발
- 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기의 제어 알고리즘 및 구동 드라이버 기술 개발
- 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기 및 인버터의 냉각성능 확보 기술 개발
- 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기의 철도차량용 구동장치 적용을 위한 실용화 기술 및 성능 평가기술 개발

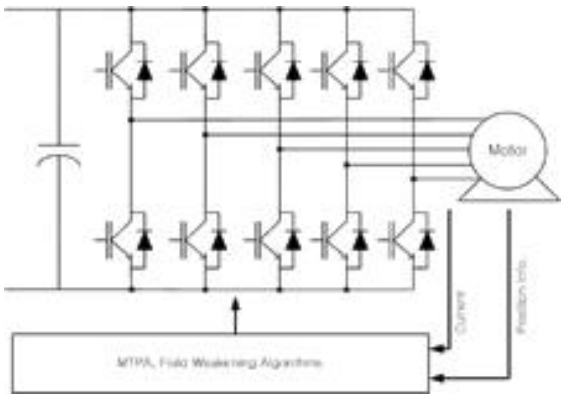


<그림 6-6> 도시철도차량용 5상 희토류 저감형 동기전동기 및 인버터 개발(안)

나. 현황 및 미래상

◉ 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발

<table>
<tr><td>현황
(As-Is)</td><td>
○ 기존의 철도차량용 구동 장치는 주로 3상 유도전동기 시스템으로 구성되어 낮은 효율과 큰 부피를 가짐
- 대부분의 철도 선진국들은 영구자석을 이용한 동기전동기를 적용하여 높은 효율과 출력밀도를 갖는 추진시스템을 개발하여 적용 중임
○ 기존 구동장치의 구조적 한계성
- 유도전동기 기반의 추진시스템은 시스템 크기 및 무게를 줄이는데 한계가 있음
- 기존의 3상 구동방식은 전동기 또는 인버터의 1상에서 고장이 발생하였을 때 전체 시스템이 동작 불가하므로 안전성이 낮음
○ 기존 구동장치의 성능적 한계성
- 견인전동기로 유도전동기에 따른 저효율 (최대 92%) 문제
- 3상 전동기와 인버터를 적용한 3상 시스템은 5상 시스템에 비하여 토크 리플이 약 60% 높으므로 진동과 소음 저감에 취약함
- 3상 구동 인버터는 인가할 수 있는 전압벡터가 8개이므로 32개의 인가 전압벡터를 갖는 5상 인버터에 비하여 제어 정밀도가 매우 낮음
<table>
<tr><td>기존 유도전동기+3상 인버터 효율
92% × 96% = 88%</td><td>영구자석 동기전동기+5상 인버터 효율
97% × 97% = 94% (▲6%)</td></tr>
</table>
○ 최근 철도차량 견인전동기로 고효율, 경량화가 가능한 영구자석 동기전동기(PMSM)로의 개선 연구가 활발히 진행되고 있으나, 희토류 영구자석의 가격상승과 저온에서의 영구자석 성능 저하에 따른 희토류 저감형 동기전동기의 개발이 필요함
○ 기존의 3상 구동 인버터는 고장에 취약한 구조를 가지고 있으므로 추진시스템의 안정성 향상과 고장 발생 시 3상으로 전환하여 비상운전 모드로 구동이 가능한 5상 시스템 도입이 필요함
</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>주요
연구</td><td>
○ 5상 희토류 저감형 동기전동기 설계 및 해석 기법 연구
• 5상 희토류 저감형 동기전동기의 설계 기법 연구
• 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기의 설계 및 해석 연구
</td></tr>
</table>

내용	○ 5상 희토류 저감형 동기전동기 동기전동기의 최적화 연구 • 유전 알고리즘을 적용한 최적화 설계 기법 적용 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기의 시제품 제작 연구 ○ 제어 알고리즘 및 전용 드라이브 연구 • 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기의 구동을 위한 제어알고리즘 및 전용 드라이브 연구 ○ 5상 희토류 저감형 동기전동기의 구조 및 냉각 성능 연구 • 전폐형 전동기 구조에 대한 고신뢰성 확보를 위한 냉각 구조 기술 연구 • 전동기와 인버터의 냉각 일체화 구조 연구 ○ 성능 평가 기술 연구 • 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기의 성능 평가 항목 및 기법 도출 • 부하성능시험장치 활용 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기와 인버터의 조합 성능평가 수행
⇩	
미래상 (To-Be)	○ 5상 희토류 저감형 동기전동기의 설계 및 고장에 강인한 5상 인버터 제어 핵심기술 개발 - 기존 철도차량용 유도전동기 기반의 구동시스템 대비 경량화된 차량 및 구동시스템 구축 가능 - 기존 3상 구동 추진시스템의 안전성 문제 해결이 가능, 고장에 강인하고 고장 발생 시 비상운전이 가능한 추진시스템 구축 가능 - 선진국 주도의 영구자석형 동기전동기 기반의 추진시스템에 대한 독자적 기술 확보 및 5상 추진시스템을 적용한 기술 우위 선점  다상 구동시스템 구성 안

다. 세부 연구개발 과제 구성

◉ 세부과제 2 : 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술 개발



◉ 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술 개발(2018~2021, 4년)

세부기술	주요 추진 내용
210kW급 희토류 저감형 동기전동기 설계/해석 기술 개발	○ 선행기술 검토 및 분석 연구 - 5상 희토류 저감형 동기전동기 관련 선행기술 조사 및 분석 - 관련 특허/논문/시장 세부 분석 ○ 부하조건에 따른 용량 산정 연구 - 운행속도, 최대경사, 중량, 주행저항 등을 고려한 부하조건 산정 - 부하토크곡선에 따른 용량 산정 ○ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 - 5상 희토류 저감형 동기전동기의 설계 파라미터 선정 - 최적 설계를 위한 목적함수 설정 ○ 기초 및 상세 설계 연구 - 제약조건을 고려한 기초 형상 설계 - 전자계 해석 및 성능 분석 - 강성 해석 및 성능 분석 - 상세 설계안 도출 ○ 효율 향상 연구

	- 손실 분석 - 철손/동손 최소화 방안 및 재료 분석 - 영구자석 와류손 최소화 방안 연구 - 기계손 최소화 방안 연구 ○ 출력밀도 향상 연구 - 영구자석 구조 분석 - 권선법 분석 - 자성재료 분석 ○ 최적 설계 연구 - 유전알고리즘을 적용한 최적설계 알고리즘 개발 - 자기회로법을 이용한 최적설계 프로세스 개발
250kW급 5상구동 및 비상시 3상 구동이 가능한 동기전동기 인버터 H/W 개발	○ 선행기술 검토 및 분석 연구 - 5상 동기전동기 제어 관련 선행기술 조사 및 분석 - 관련 특허/논문/시장 세부 분석 ○ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 - 5상 구동시스템 벡터제어 특성 분석 - 인버터 스위치 모듈 선정 ○ 제어 알고리즘 개발 - 속도 프로파일 분석 - 제약조건 분석 - 제어 시뮬레이션 모델링 - 실시간 파라미터 도출 기법 개발 - 성능 검증 ○ 고정밀 제어기법 개발 - 제어 정밀도 향상 기법 개발 - 고정밀 속도제어 및 정밀 제어 기술 개발 - 약계자 운전 제어 기술 개발 - 희토류 저감형 동기전동기 연동 제어모델 해석 ○ 인버터 효율 향상 연구 - 스위칭 손실 분석 - 손실 최소화를 위한 스위칭 기법 연구
210kW급 희토류 저감형 동기전동기의 냉각 구조 개발	○ 전동기 냉각 기구 설계 기술 연구 - 전동기 냉각 구조 설계 및 강성 확보 기술 연구 - 강성 및 안전/안정성 해석 기법 연구 ○ 인버터 냉각 구조 설계 기술 연구 - 인버터 열해석에 따른 냉각 방열구조 분석 - 냉각시스템 용량 및 방식 선정 - 유동해석을 통한 설계 및 성능 검증
다상 영구자석	○ 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 연구

동기전동기의 도시철도차량용 구동장치 적용을 위한 실용화 기술 및 성능 평가기술 개발	- 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 ○ 시제품의 단품 성능 시험 및 평가 - 희토류 저감형 동기전동기 - 5상 인버터 ○ 시제품 조합시험 및 평가 - 부하설비 활용 조합성능시험 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 성능 목표 검증
인터페이스 기술	○ 대차시스템 연계 기술 ○ 실대차 제작 및 전동기 및 인버터 취부
고장회피 제어기술	○ 5상 구동시스템의 비상운전 모드 제어 기술 - 고신뢰성을 위한 전동기 및 인버터 실시간 결함 진단 기술 - 고장 발생 시 3상 운전이 가능한 인버터 제어기술 - 추진시스템 유지보수비 절감을 위한 수명예측 기술
고신뢰성 부품기술	○ 고신뢰성 인버터 스위치 모듈 - Wide band gap(WBG) IGBT 모듈을 적용한 인버터 개발 - WBG IGBT 스위칭을 위한 gate drive 시스템 개발 ○ 비접촉 고수명 베어링 기술 - 비접촉 수은 베어링의 철도 추진시스템 적용 기술
성능시험 및 평가	○ 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 - 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 ○ 실대차 시험 성능 시험 및 평가 - 희토류 저감형 동기전동기 - 5상 인버터 - 실시간 결함진단 알고리즘 ○ 조합시험 및 평가 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 성능 목표 검증
실차 적용기술	○ 실차 적용 기술 ○ 5상 희토류 저감형 동기전동기와 인버터의 실 운전 ○ 운영 및 유지관리 기술
다중화 기술	○ 5상 희토류 저감형 동기전동기의 적용대상 확대를 위한 다중화 기술 - 5상 희토류 저감형 동기전동기 기술의 일반철도 및 고속철도 적용 기술 - 고출력 5상 희토류 저감형 동기전동기 및 인버터 개발

라. 주요연구내용

세부과제 2 : 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술 개발

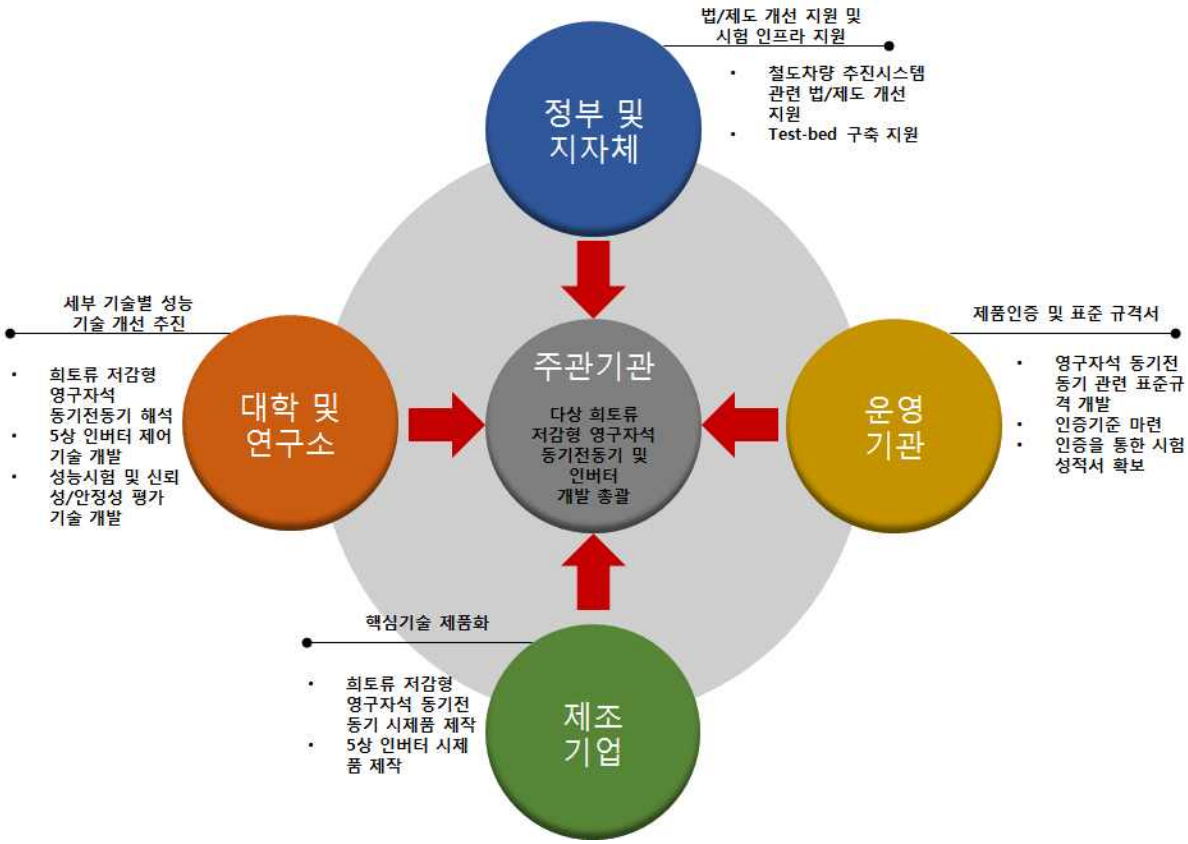
연차	연구목표	주요연구내용
1차년도 (2017년)	■ 선행기술 검토 및 분석 연구 ■ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 ■ 5상 희토류 저감형 동기전동기 설계 기법 연구 ■ 전동기와 인버터 냉각구조 및 냉각시스템 설계 기술 연구 ■ 5상 동기전동기의 인버터 제어 기법 연구 ■ 시제품(3kW급) 제작 및 설계 기법 유효성 검증 시험	■ 선행기술 검토 및 분석 연구 • 5상 희토류 저감형 동기전동기 관련 선행기술 조사 및 분석 • 관련 특허/논문/시장 세부 분석 ■ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 • 희토류 저감형 동기전동기 특성 분석 • 희토류 저감 구조에 따른 출력토크특성 분석 ■ 5상 희토류 저감형 동기전동기 설계 기법 연구 • 부하토크곡선에 따른 용량 산정 • 제약조건을 고려한 기초 형상 설계 • 전자계 해석 및 성능 분석 • 상세 설계안 도출 ■ 전동기 및 인버터 냉각구조 및 냉각시스템 설계 기술 연구 • 전동기 발열해석 기술 연구 • 전폐형 동기전동기 모델의 열유동 해석 기법 연구 • 전폐형 동기전동기 모델의 냉각 구조 연구 ■ 5상 희토류 저감형 동기전동기의 제어 기법 연구 • 제어 시뮬레이션 모델링 연구 • 실시간 파라미터 도출 기법 연구 • 소형 시제품 제작 및 제어 기법 성능 검증 ■ 시제품(3kW급) 제작 및 설계기법 유효성 검증 시험 • 3kW급 영구자석형 동기전동기와 희토류 저감형 동기전동기 제작 후 성능 비교시험 • 3kW급 3상 및 5상 인버터 제작 후 성능 비교시험

2차년도 (2018년)	■ 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기 기초/상세 설계 연구 ■ 5상 희토류 저감형 동기전동기 최적 설계 연구 ■ 5상 희토류 저감형 동기전동기 효율 향상 및 출력밀도 향상 연구 ■ 5상 인버터 제어기법 개발 및 제어 효율 향상 연구 ■ 냉각시스템 적용 하우징 최적 설계 기술 연구 ■ 210kW급 시제품 제작 및 성능 평가 기술 확보 연구	■ 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기 기초/상세 설계 연구 • 부하토크곡선에 따른 용량 산정 • 제약조건을 고려한 기초 형상 설계 • 전자계 해석 및 성능 분석 • 상세 설계안 도출 ■ 5상 희토류 저감형 동기전동기 최적 설계 연구 • 유전알고리즘을 이용한 최적 형상 설계 • 자기회로법과 유한요소 해석을 통한 설계 프로세스 정립 ■ 5상 희토류 저감형 동기전동기 효율 향상 연구 및 출력밀도 향상 연구 • 철손/동손 최소화 방안 및 재료 분석 • 영구자석 구조 분석 및 영구자석 와류손 최소화 방안 연구 • 기계손 최소화 방안 연구 • 권선법 및 자성재료 분석 ■ 5상 인버터 제어기법 개발 및 제어 효율 향상 연구 • 5상 벡터제어 알고리즘 개발 • 고정밀 속도제어 기술 개발 • 고속운전영역 약계자 운전 제어 기술 개발 • 희토류 저감형 동기전동기연동 제어모델 해석 • 손실 분석 및 손실 최소화 방안 연구 ■ 냉각시스템 적용 하우징 최적 설계 기술 연구 • 전폐형 전동기 열분포 해석 • 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기용 냉각시스템 용량 및 방식 선정 • 유동해석을 통한 설계 및 성능 검증 ■ 냉각시스템 적용 하우징 제작 기술 개발 ■ 210kW급 시제품 제작 및 성능 평가 기술 확보 연구 • 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 제작 • 부하성능시험설비를 활용한 성능평가 방안 개발 • 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 연구

3차년도 (2019년)	■ 250kW급 5상 인버터 제어용 DSP 하드웨어 설계 ■ 250kW급 5상 인버터 게이트 드라이브 회로 설계 및 제작 ■ 250kW급 5상 인버터 드라이브 시제품 단품 성능시험 및 평가 ■ 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 및 5상 인버터 시제품 조합시험 및 평가 ■ 성능평가를 통한 수정 보완 사항 및 최종 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 모델 도출	■ 250kW급 5상 인버터 하드웨어 설계 연구 • 전동기 부하에 따른 스위칭 모듈 용량 산정 • 5상 인버터 제어를 위한 DSP 보드 설계 • 속도 및 토크 제어를 위한 센서 인터페이스 회로 설계 • 속도 센싱용 엔코더 및 전류센서 설계 • 인버터 냉각시스템 하우징 설계 및 제작 ■ 250kW급 5상 인버터 제어 알고리즘 개발 • 5상 인버터 벡터제어 알고리즘 개발 • 속도 및 전류신호 변환을 위한 신호처리 기법 개발 • 인버터 실시간 결함진단 신호처리 알고리즘 개발 ■ 250kW급 5상 인버터 시제품 조합시험 및 평가 • 부하성능시험설비를 활용한 시제품의 조합성능시험 ■ 성능평가를 통한 수정 보완 사항 및 최종 5상 희토류 저감형 동기전동기 및 인버터 모델 도출
4차년도 (2020년)	■ 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기 신뢰성 및 공인인증 시험 ■ 250kW급 5상 인버터 신뢰성 및 공인인증 시험 ■ 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기 실차적용 시험 ■ 250kW급 5상 인버터 실차적용 시험	■ 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기 시험 • 신뢰성 평가 및 공인인증 시험 ■ 250kW급 5상 인버터 시험 • 신뢰성 평가 및 공인인증 시험 ■ 210kW급 5상 희토류 저감형 동기전동기 실차적용 시험 • 실차적용 시험을 위한 대차 개조 • 실차 운행을 통한 출력특성 시험 ■ 250kW급 5상 인버터 실차적용 시험 • 실차적용 시험을 위한 전원장치 개조 • 실차 운행을 통한 출력특성 및 손실 측정 시험

마. 세부과제별 추진전략 및 추진체계

◉ 추진 전략



<그림 6-7> 첨단추진시스템 세부과제 추진 전략

○ Top-down 방식으로 원천기술 개발
- 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
- 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증

○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
- 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
- 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발
- 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진
- 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증

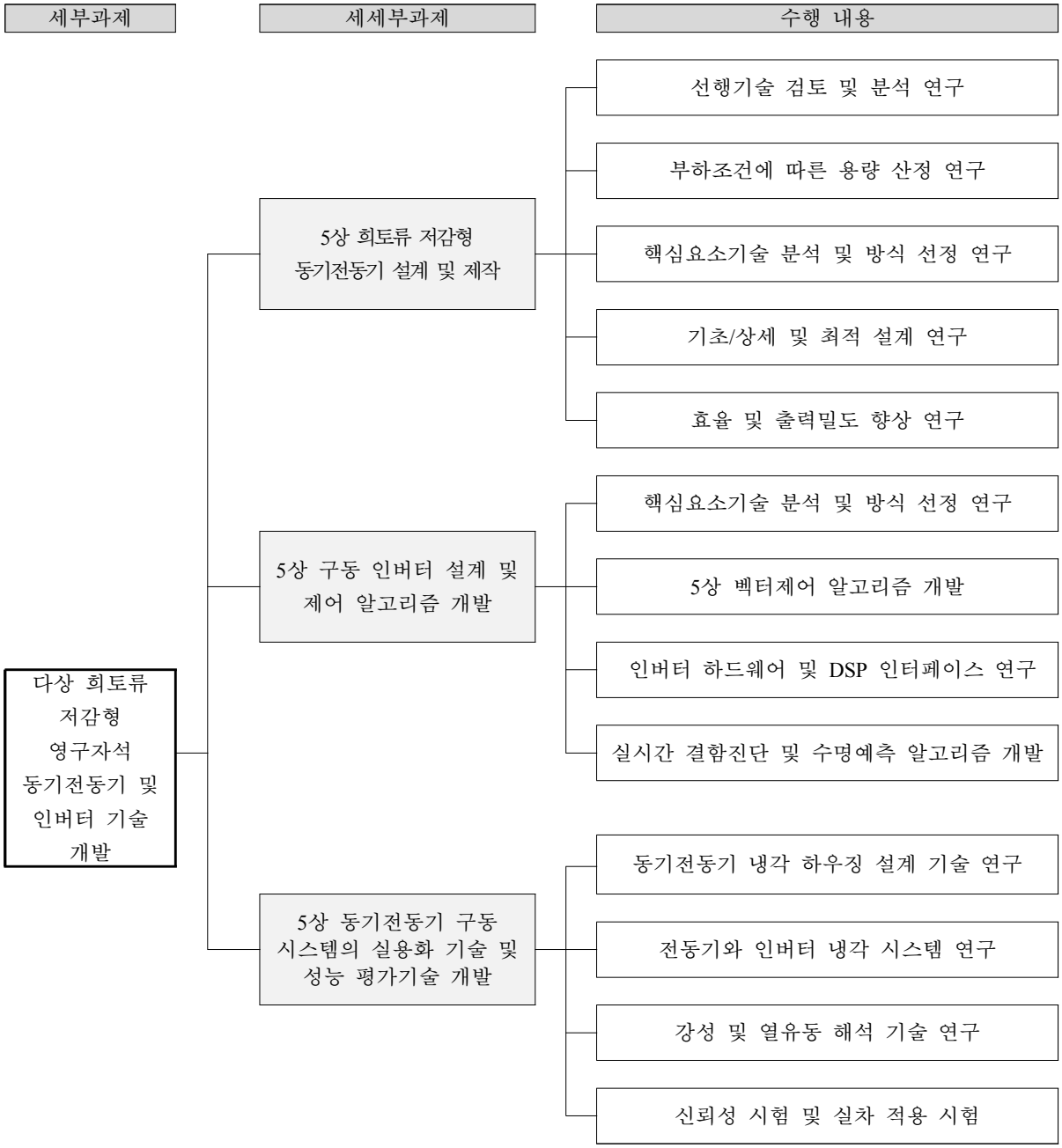
○ 새로운 추진시스템의 적용과 테스트베드 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도

○ 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화 추진

○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용

○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력

◉ 추진 체계



○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행

○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함

○ 원천기술 및 시제품의 테스트베드를 통한 실증을 위해 도시철도 운영기관의 참여가 바람직함

○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것

○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함

○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

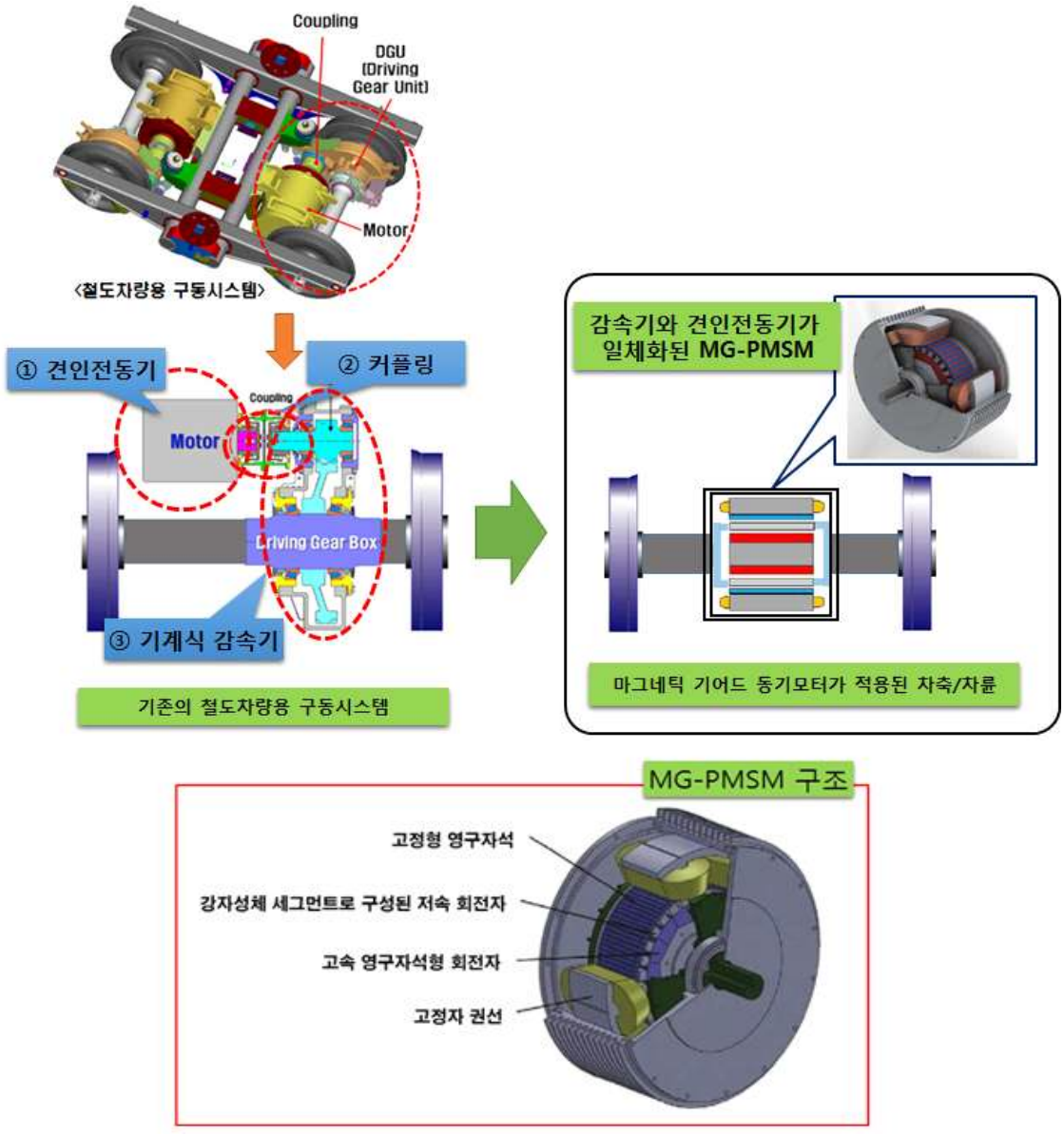
3. 첨단 감속기 분야

가. 마그네틱 기어드 동기전동기

◉ 세계 최초의 210kW급 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발

비접촉 방식의 감속기와 견인전동기가 일체화된

- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 설계/해석 기술 개발
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 제작 기술 개발
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 제어 알고리즘 및 구동 드라이버 기술 개발
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 구조 및 냉각성능 확보 기술 개발
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 철도차량용 구동장치 적용을 위한 성능 평가기술 개발



〈그림 6-8〉 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 개발(안)

나. 현황 및 미래상

◉ 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발

현황 (As-Is)

○ 기존의 철도차량용 구동 장치는 견인전동기, 1단 또는 2단의 기계적 감속기와 휠로 구성되어 **시스템이 복잡함**

- 견인전동기에서 발생되는 고속/저회전력이 기계적 감속기를 거쳐서 휠에 저속/고회전력을 전달하는 방식임

○ 기존 구동장치의 **구조적 한계성**

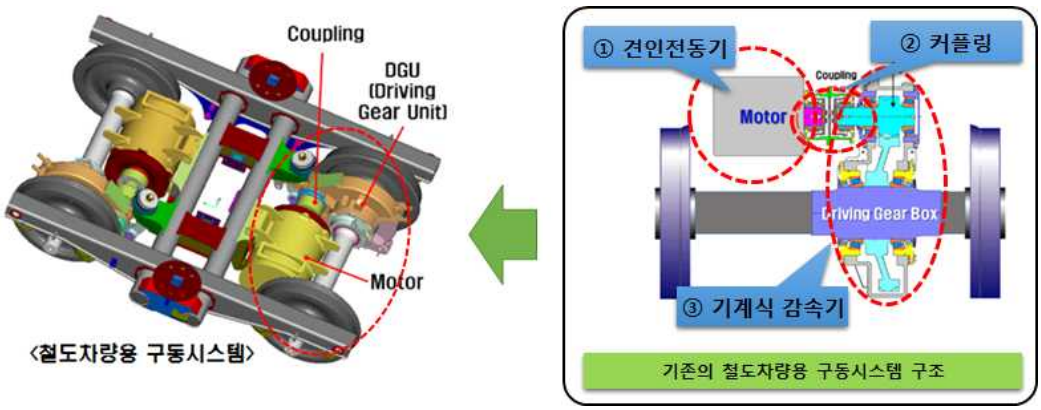
- 견인전동기가 감속기를 통해서 차축에 병렬로 연결되는 구조이므로 전체적인 시스템이 복잡함
- 시스템 크기 및 무게를 줄이는데 한계가 있음
- Transmission Oil 및 기계적 소음/진동 문제 발생
- 감속기 기어 치의 마모에 의한 유지보수 비용 증가 초래

○ 기존 구동장치의 **성능적 한계성**

- 견인전동기로 유도전동기에 따른 저효율 (최대 92%) 문제
- 기계적 감속기로 인한 추가적인 동력손실 존재 (약 3%)
- 철도차량에 따라서는 구동장치에 Overload Protection을 위한 추가적 장치가 필요함

기존 유도전동기+기계적 감속기 효율	마그네틱 기어드 동기전동기 효율
92% × 97.5% = **89.7%**	**92%** (▲2.3%)

○ 최근 철도차량 견인전동기로 고효율, 경량화가 가능한 영구자석 동기전동기(PMSM)로의 개선 연구가 활발히 진행되고 있지만 **여전히 기계적 감속기를 사용하는 구조**임



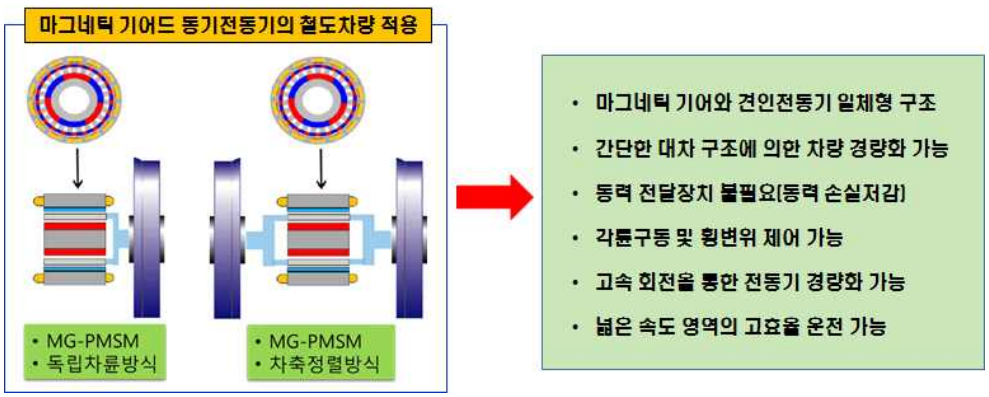
기존의 감속 구동장치 구조

⇩

주요 연구

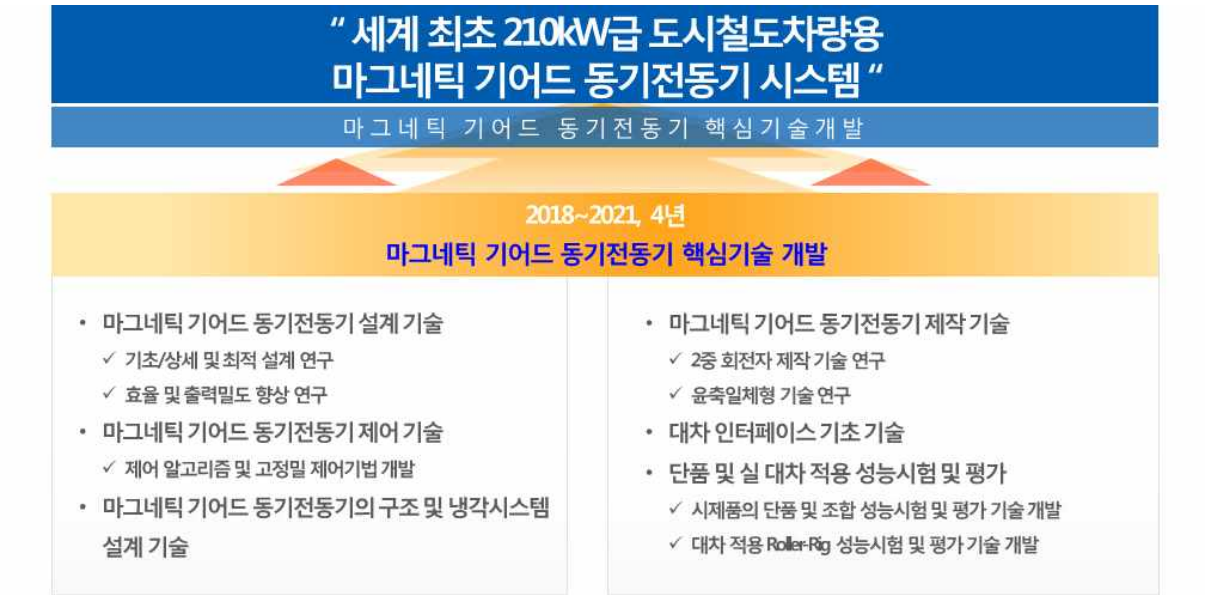
○ 마그네틱 기어드 동기전동기 설계 및 해석 기법 연구

- 마그네틱 기어드 동기전동기의 설계 기법 연구
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 기본/상세 설계 및 해석 연구

내용	○ 마그네틱 기어드 동기전동기의 최적화 연구 • 최적화 설계 기법 적용 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 시제품 제작 연구 ○ 제어 알고리즘 및 전용 드라이브 연구 • 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 구동을 위한 제어알고리즘 및 전용 드라이브 연구 ○ 마그네틱 기어드 동기전동기의 구조 및 냉각 성능 연구 • 2중 회전자 모델에 대한 고신뢰성 확보를 위한 회전체 구조 및 강성 확보 기술 연구 • 2중 회전자와 차축 체결 구조 및 신뢰성 확보 기술 • 전폐형 이중 회전자 모델에 대한 고신뢰성 확보를 위한 냉각성능 확보 기술 연구 ○ 성능 평가 기술 연구 • 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 성능 평가 항목 및 기법 도출 • 부하장치 활용 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기와 전용 드라이브의 조합 성능평가 수행
⇩	
미래상 (To-Be)	○ 마그네틱 기어와 영구자석 동기전동기를 구조적으로 일체화 시킨 마그네틱 기어드 동기전동기의 핵심기술 개발 - 일체화된 시스템으로써 기존 철도차량용 구동시스템 대비 경량화된 차량 및 구동시스템 구축 가능 - 기존 기계식 감속기의 유지보수 문제 해결이 가능, 경제적인 추진시스템 구축 가능 - 대차 및 차륜 등 지지구조물의 크기, 강도 저감이 가능 - 차량의 저상화 및 경량화를 통해 전체 차량시스템 효율 증대 가능 - 선진국 주도의 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보  첨단 감속기 개발 안

다. 세부 연구개발 과제 구성

◉ 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발



<그림 6-9> 첨단감속기 세부과제 구성

◉ 1단계(2018~2021, 4년) : 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발

세부기술	주요 추진 내용
마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기술	○ 선행기술 검토 및 분석 연구 - 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 선행기술 조사 및 분석 - 관련 특허/논문/시장 세부 분석 ○ 부하조건에 따른 용량 산정 연구 - 운행속도, 최대경사, 중량, 주행저항 등을 고려한 부하조건 산정 - 부하토크곡선에 따른 용량 산정 ○ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 - 윤축일체형 특성 분석 - 외전형/내전형 구조에 따른 특성 비교 분석 후 방식 선정 ○ 기초 및 상세 설계 연구 - 제약조건을 고려한 기초 형상 설계 - 전자계 해석 및 성능 분석 - 강성 해석 및 성능 분석 - 상세 설계안 도출 ○ 효율 향상 연구 - 손실 분석 - 철손/동손 최소화 방안 및 재료 분석

	- 영구자석 와류손 최소화 방안 연구 - 기계손 최소화 방안 연구 ○ 출력밀도 향상 연구 - 영구자석 구조 분석 - 권선법 분석 - 자성재료 분석 ○ 최적 설계 연구 - 멀티피직스(전자계해석·열해석·유동해석·구조해석) 분석 기법 정립 - 실험계획법을 통한 최적설계
마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술	○ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 - 윤축일체형 특성 분석 - 전력변환 방식 선정 ○ 제어 알고리즘 개발 - 속도 프로파일 분석 - 제약조건 분석 - 제어 시뮬레이션 모델링 - 실시간 파라미터 도출 기법 개발 - 성능 검증 ○ 고정밀 제어기법 개발 - 서보급 정밀도 향상 기술 개발 - 고정밀 속도제어 및 고속응성 제어 기술 개발 - 대역 약계자 운전 제어 기술 개발 - 마그네틱 기어드 동기전동기 연동 제어모델 해석 ○ 효율 향상 연구 - 손실 분석 - 손실 최소화 방안 연구 ○ 출력밀도 향상 연구 - 전장품 배치 분석 및 부피 최소화 방안 도출 - 경량화 기술 개발
마그네틱 기어드 동기전동기의 구조 및 냉각시스템 설계 기술	○ 기구 설계 기술 연구 - 2중 회전자 모델에 대한 고신뢰성 확보를 위한 회전체 구조 설계 및 강성 확보 기술 연구 - 강성 및 안전/안정성 해석 기법 연구 ○ 냉각시스템 설계 기술 연구 - 전폐형 2중 회전자 모델의 열해석 메커니즘 분석 - 냉각시스템 용량 및 방식 선정 - 유동해석을 통한 설계 및 성능 검증

마그네틱 기어드 동기전동기 제작 기술	○ 2중 회전자 제작 기술 개발 - 외측 회전자용 폴피스 및 하우징 제작 기술 개발 - 내측 회전자 제작 기술 개발 ○ 윤축일체형 기술 개발 - 차륜-마그네틱 기어드 동기전동기 연결 기술 - 베어링 적용 기술 - 강성유지 기술 - 안전/안정성 기술 ○ 냉각시스템 적용 하우징 제작 기술 개발
인터페이스 기초 기술	○ 2중 회전자와 윤축 체결을 위한 커플링 연계 기초 기술 연구 ○ 대차시스템 연계 기초 기술 연구 ○ 대차시스템에 시제품 장착을 위한 구조 검토 연구 ○ 운영 및 유지관리 기술 ○ 유지보수비용 절감효과 검토 연구
성능시험 및 평가	○ 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 연구 - 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 ○ 시제품의 단품 성능 시험 및 평가 - 마그네틱 기어드 동기전동기 - 전력변환장치 ○ 시제품 조합시험 및 평가 - 부하설비 활용 조합성능시험 ○ 시제품의 실 대차 장착 후의 성능시험 및 평가 - Roller-Rig 설비 활용 실 대차 주행성능시험 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 성능 목표 검증

◉ 2단계(2022~2023, 2년) : 마그네틱 기어드 동기전동기 실용화 기술 개발

세부기술	주요 추진 내용
인터페이스 기술	○ 대차시스템 연계 기술 ○ 실대차 제작 및 전동기 취부 최적화 기술
일체형 기술	○ 마그네틱 기어드 동기전동기+드라이브 일체화 기술 - 출력밀도 향상 및 고신뢰성을 위한 일체화 기술 - 일체형 전동기시스템의 냉각 기술 - 일체형 전동기시스템의 유지보수 기술

고신뢰성 부품 기술	○ 윤축 커플링 기술 - 고토크 동력전달용 윤축 커플링 기술 연구 - 커플링 유지보수 기술 ○ 고강도 베어링 기술 - 2중 회전자 구조에 따른 고강도/소형 윤축일체형 베어링 기술
실차 적용 기술	○ 실차 적용 기술 ○ 마그네틱 기어드 동기전동기 조합의 실 운전 ○ 운영 및 유지관리 기술
다중화 기술	○ 실용화 및 안전을 위한 다중화 기술 - 다상 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 (비상시 상 변환에 의한 자체 구원운전 기술) - 다중 드라이버 기술 (비상시 중복 드라이버에 의한 자체 구원운전 기술)
성능시험 및 평가	○ 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 - 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 ○ 실차 적용 성능 시험 및 평가 - 마그네틱 기어드 동기전동기 - 전력변환장치 - 윤축 커플링 ○ 조합시험 및 평가 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 성능 목표 검증

라. 1단계 주요연구내용

□ 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발

	연구개발 목표	연구개발 내용	기술 성과
1차 년도	도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 기초 설계 및 제어기술 연구	• 선행기술 검토/분석, 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 • 마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기법 연구 • 구조 및 냉각시스템 설계 기술 연구 • 마그네틱 기어드 동기전동기의 제어 기법 연구 • 2중 회전자 구조 제작 기술 개발 • 소형 시제품(1kW급) 샘플 제작 및 설계기법 유효성 검증 시험	· 세계 최초의 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기법 도출
2차 년도	마그네틱 기어드 동기전동기 상세설계 및 성능향상 기술 연구	• 45kW급 마그네틱 기어드 동기전동기(1차 시제품) 기초/상세 설계 연구 • 최적 설계 및 효율 향상 및 출력밀도 향상 연구 • 고정밀 제어기법 개발 및 제어 효율 향상 연구 • 냉각시스템 적용 하우징 최적 설계 기술 연구 • 45kW급 시제품 제작 및 성능 평가 기술 확보 연구	· 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 설계/제어 기술 확보
3차 년도	210kW급 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 제작 및 단품 성능평가 기술 연구	• 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기(2차 시제품) 기초/상세 설계 연구 • 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 전용 전력변환장치 출력밀도 향상 연구 • 마그네틱 기어드 동기전동기의 2중 회전자와 대차의 윤축 체결을 위한 커플링 연계 기초 기술 연구 • 시제품 단품 성능시험 및 조합시험 평가	· 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 단품 성능평가 기술 확보
4차 년도	마그네틱 기어드 동기전동기 실 대차 적용 성능평가 기술 연구	• Roller-Rig 성능시험을 위한 실 대차 제작 • 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기/구동 드라이브 구성품의 대차 취부/조립 • 마그네틱 기어드 동기전동기의 대차 적용 Roller-Rig 성능시험 및 평가 • 최종 보완사항 도출	· 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 실 대차 성능평가 기술 확보

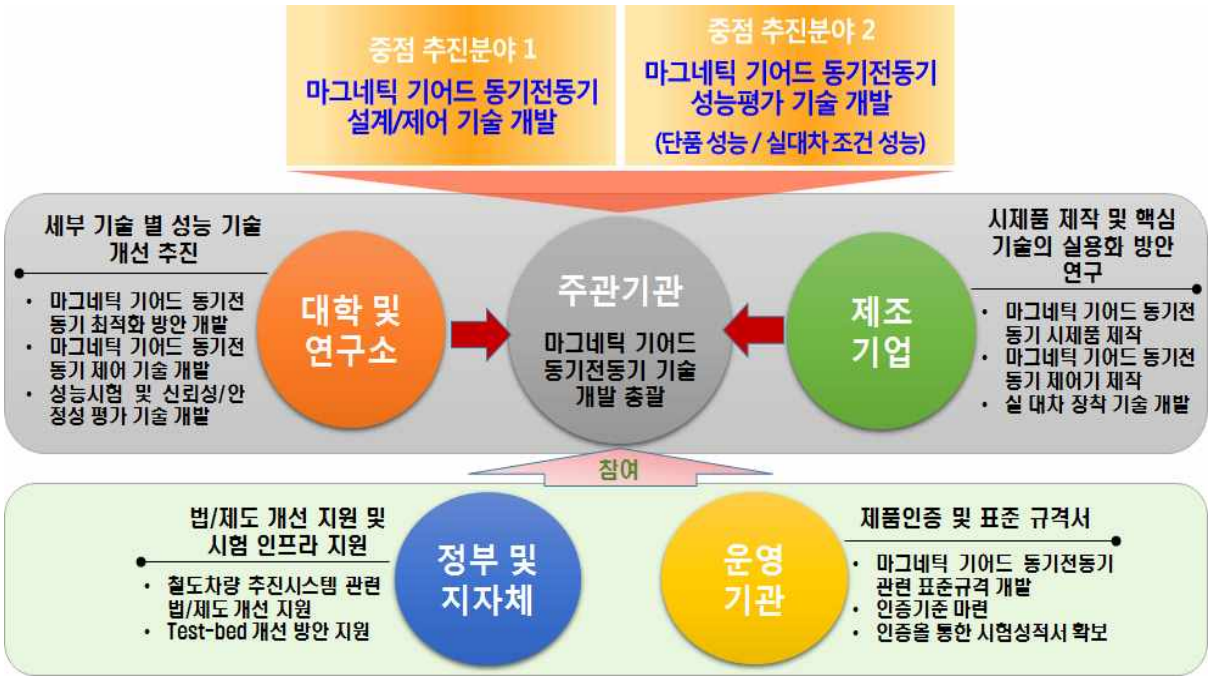
연차	주요 연구내용	세부 연구내용
1차년도 (2018년)	■ 선행기술 검토 및 분석 연구 ■ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기법 연구 ■ 구조 및 냉각시스템 설계 기술 연구 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기의 제어 기법 연구 ■ 2중 회전자 구조 제작 기술 개발 ■ 소형 시제품(1kW급) 샘플 제작 및 설계기법 유효성 검증 시험	■ 선행기술 검토 및 분석 연구 • 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 선행기술 조사 및 분석 • 관련 특허/논문/시장 세부 분석 ■ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구 • 윤축일체형 특성 분석 • 외전형/내전형 구조에 따른 특성 비교 분석 후 방식 선정 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기법 연구 • 부하토크곡선에 따른 용량 산정 • 제약조건을 고려한 기초 형상 설계 • 전자계 해석 및 성능 분석 • 상세 설계안 도출 ■ 구조 및 냉각시스템 설계 기술 연구 • 2중 회전자 모델의 회전체 구조 설계 및 강성 확보 기술 연구 • 전폐형 마그네틱 기어드 동기전동기 모델의 열유동 해석 기법 연구 • 전폐형 마그네틱 기어드 동기전동기 모델의 냉각시스템 설계 연구 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기의 제어 기법 연구 • 제어 시뮬레이션 모델링 연구 • 실시간 파라미터 도출 기법 연구 • 소형 시제품 제작 및 제어 기법 성능 검증 ■ 2중 회전자 구조 제작 기술 개발 • 외측 회전자용 폴피스 및 하우징 제작 기술 개발 • 내측 회전자 제작 기술 개발 ■ 소형 시제품(1kW급) 제작 및 설계기법 유효성 검증 시험 • 다양한 1kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 제작 후 범용 인버터를 통한 성능시험
2차년도 (2019년)	■ 45kW급 마그네틱 기어드 동기전동기(1차 시제품) 기초/상세 설계 연구 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기 최적 설계 연구 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기 효율 향상 및 출력밀도 향상	■ 45kW급 마그네틱 기어드 동기전동기(1차 시제품) 기초/상세 설계 연구 • 부하토크곡선에 따른 용량 산정 • 제약조건을 고려한 기초 형상 설계 • 전자계 해석 및 성능 분석 • 상세 설계안 도출 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기 최적 설계 연구

	연구 ■ 고정밀 제어기법 개발 및 제어 효율 향상 연구 ■ 냉각시스템 적용 하우징 최적 설계 기술 연구 ■ 45kW급 시제품 제작 및 성능 평가 기술 확보 연구	• 실험계획법을 통한 최적 형상 설계 • 멀티-피직스(전자계해석·열해석·유동해석·구조해석) 분석 기법 정립 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기 효율 향상 연구 및 출력밀도 향상 연구 • 손실 분석 • 철손/동손 최소화 방안 및 재료 분석 • 영구자석 구조 분석 및 영구자석 와류손 최소화 방안 연구 • 기계손 최소화 방안 연구 • 권선법 및 자성재료 분석 ■ 고정밀 제어기법 개발 및 제어 효율 향상 연구 • 서보급 정밀도 향상 기술 개발 • 고정밀 속도제어 및 고속응성 제어 기술 개발 • 대역 약계자 운전 제어 기술 개발 • 마그네틱 기어드 동기전동기 연동 제어모델 해석 • 손실 분석 및 손실 최소화 방안 연구 ■ 냉각시스템 적용 하우징 최적 설계 기술 연구 • 전폐형 이중 회전자 모델의 열해석 메커니즘 분석 • 45kW급 마그네틱 기어드 동기전동기용 냉각시스템 용량 및 방식 선정 • 유동해석을 통한 설계 및 성능 검증 ■ 냉각시스템 적용 하우징 제작 기술 개발 ■ 45kW급 시제품 제작 및 성능 평가 기술 확보 연구 • 45kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 및 구동 드라이브 시제품 제작 • 부하성능시험설비를 활용한 성능평가 방안 개발 • 부하성능시험설비를 활용한 시제품의 조합성능시험 • 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 연구
3차년도 (2020년)	■ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기(2차 시제품) 기초/상세 설계 연구 ■ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 전용 전력변환장치 출력밀도 향상 연구 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기의 2중 회전자와 대차의 윤축 체결을 위한 커플링 연계 기초 기술 연구 ■ 210kW급 마그네틱 기어드 동	■ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기(2차 시제품) 기초/상세 설계 연구 • 부하토크곡선에 따른 용량 산정 • 제약조건을 고려한 기초 형상 설계 • 전자계 해석 및 성능 분석 • 실험계획법 활용 상세/최적 설계 모델 도출 • 멀티-피직스(전자계해석·열해석·유동해석·구조해석) 활용 설계 모델의 특성 분석 ■ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 전용 전력변환장치 출력밀도 향상 연구 • 전장품 배치 분석 및 부피 최소화 방안 도출

	기전동기 및 구동 드라이브 시제품 단품 성능시험 및 평가 ■ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 및 구동 드라이브 시제품 조합시험 및 평가	• 경량화 기술 개발 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기의 2중 회전자와 대차의 윤축 체결을 위한 커플링 연계 기초기술 연구 • 차륜-마그네틱 기어드 동기전동기의 동축 연결을 위한 윤축일체형 기술 개발 • 베어링 적용 기술 • 강성/안전성 유지 기술 ■ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 및 구동 드라이브 시제품 단품 성능시험 및 평가 • 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 및 구동 드라이브 시제품 제작 • 경부하를 활용한 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 및 구동 드라이브 시제품 단품 성능시험 수행 ■ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 및 구동 드라이브 시제품 조합시험 및 평가 • 부하성능시험설비 활용 도시철도차량 성능시험 규격에 부합되는 조합성능시험 수행
4차년도 (2021년)	■ Roller-Rig 성능시험을 위한 실 대차 제작 ■ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기/구동 드라이브 구성품의 대차 취부/조립 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기의 대차 적용 Roller-Rig 성능시험 및 평가 ■ 성능평가를 통한 수정 보완 사항 및 최종 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 모델 도출	■ Roller-Rig 성능시험을 위한 실 대차 제작 • 마그네틱 기어드 동기전동기 및 구동 드라이브 탑재를 위한 도시철도차량용 실 대차 시제품 변형 제작 ■ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기/구동 드라이브 구성품의 대차 취부/조립 • 구성품의 대차 탑재를 위한 각종 지그 설계 및 제작 • 구성품의 대차 취부 및 조립 ■ 마그네틱 기어드 동기전동기의 대차 적용 Roller-Rig 성능시험 및 평가 • 마그네틱 기어드 동기전동기 적용 대차의 주행성능 평가를 위한 Roller-Rig 성능시험 구성품 제작 • Roller-Rig 설비 활용 도시철도차량 성능시험 규격에 부합되는 주행성능시험 수행 ■ 성능평가를 통한 수정 보완 사항 및 최종 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 모델 도출

마. 세부과제별 추진전략 및 추진체계

◉ 추진 전략



<그림 6-10> 첨단 감속 구동장치 세부과제 추진 전략

○ Top-down 방식으로 원천 핵심기술 개발
- 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
- 테스트베드(Roller-Rig)에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증

○ 중점 추진분야는 마그네틱 기어드 동기전동기 설계/제어 기술 개발과 성능평가 기술 개발로 구분하여 관련 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로써, 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발, 실증 역량 확충, 철도 운영처로 다각화 추진

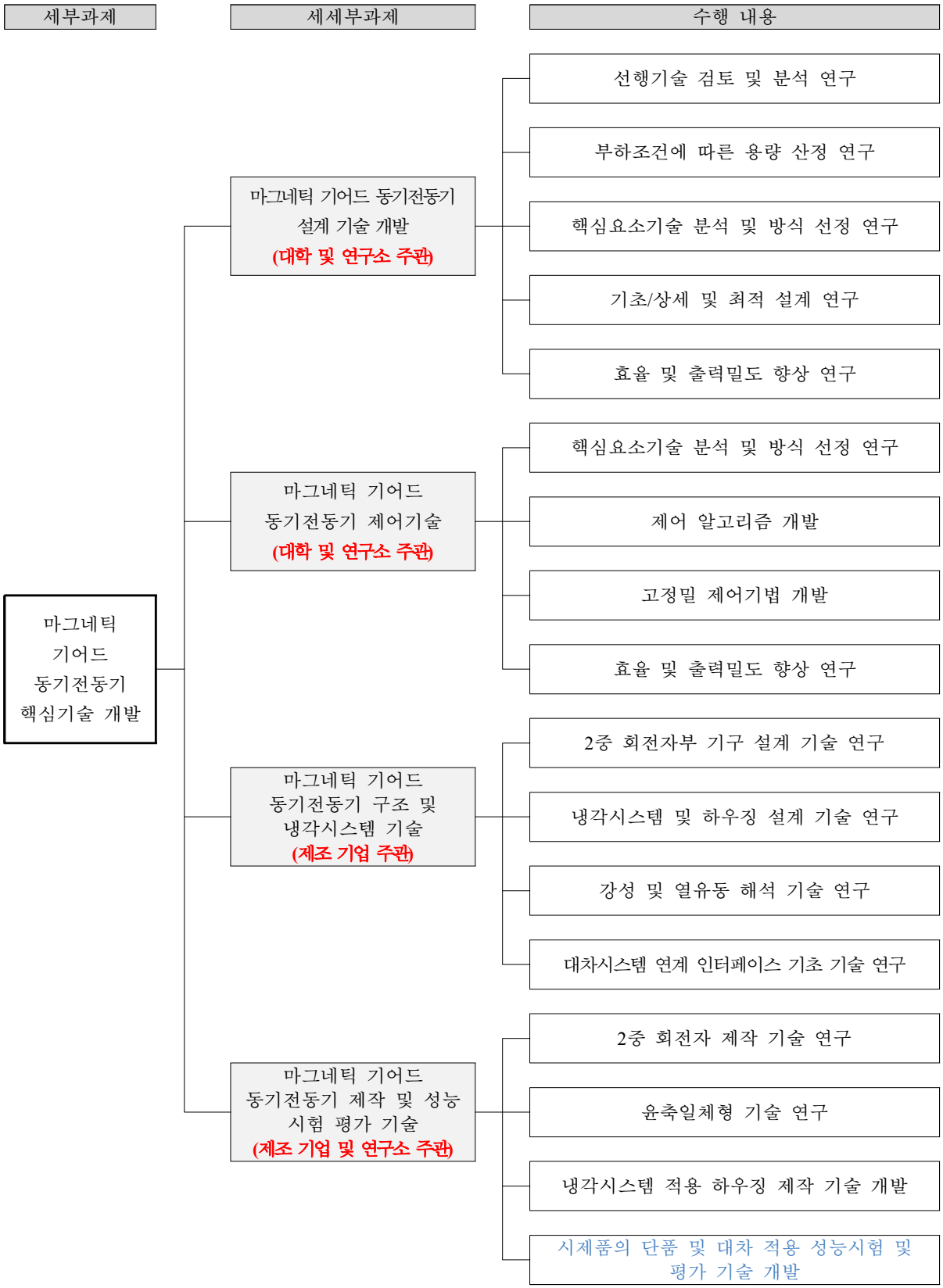
○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
- 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
- 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발
- 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진
- 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증

○ 새로운 추진시스템의 적용과 테스트베드 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도

○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용

○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력

◉ 추진 체계


세부과제
세세부과제
수행 내용
마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술 개발
마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기술 개발 (대학 및 연구소 주관)
선행기술 검토 및 분석 연구
부하조건에 따른 용량 산정 연구
핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구
기초/상세 및 최적 설계 연구
효율 및 출력밀도 향상 연구
마그네틱 기어드 동기전동기 제어기술 (대학 및 연구소 주관)
핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구
제어 알고리즘 개발
고정밀 제어기법 개발
효율 및 출력밀도 향상 연구
마그네틱 기어드 동기전동기 구조 및 냉각시스템 기술 (제조 기업 주관)
2중 회전자부 기구 설계 기술 연구
냉각시스템 및 하우징 설계 기술 연구
강성 및 열유동 해석 기술 연구
대차시스템 연계 인터페이스 기초 기술 연구
마그네틱 기어드 동기전동기 제작 및 성능 시험 평가 기술 (제조 기업 및 연구소 주관)
2중 회전자 제작 기술 연구
윤축일체형 기술 연구
냉각시스템 적용 하우징 제작 기술 개발
시제품의 단품 및 대차 적용 성능시험 및 평가 기술 개발

○ 본 연구의 핵심기술 개발을 위하여 국내 철도차량, 추진시스템 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행하는 것이 바람직함

○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 추진시스템 구성품 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 핵심기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함

○ 원천기술 및 시제품의 테스트베드를 통한 실증을 위해 도시철도 운영기관의 자문 및 참여가 바람직함

○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것

○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함

○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

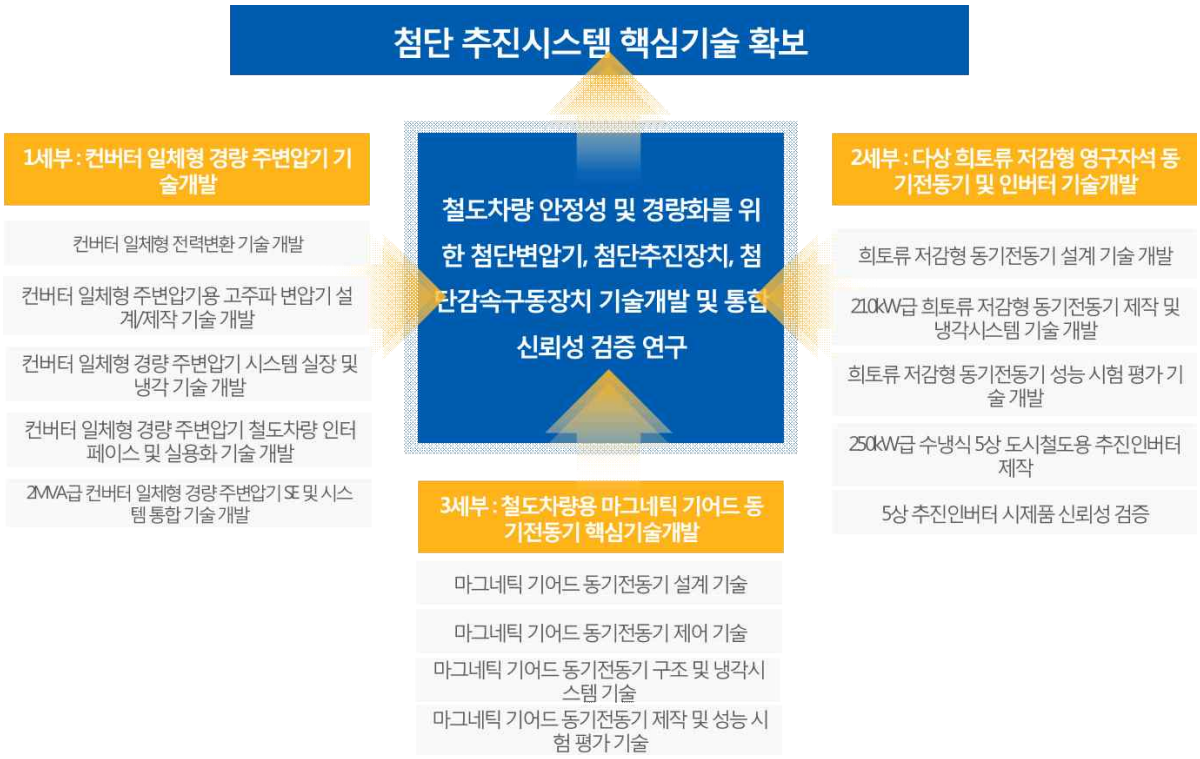
○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

제 3 절 세부과제간 연계관계

○ 본 연구과제는 철도차량 주전력시스템 (주변압기, 추진장치, 모터 및 감속구동장치)에 대한 안정화 및 경량화를 통해 친환경 철도차량의 운행 효율향상에 기여하는 것을 목적으로 함.

○ 본 연구과제의 목표를 달성하기 위해 철도차량의 사고 및 안전 운행에 저해 요소인 차량용 주변압기의 첨단화를 통해 무게 20% 절감 효율 2% 향상하고, 추진장치의 무게를 20% 절감고장율 20% 개선을 목표로 연구를 진행함. 또한 감속구동장치의 20% 경량화 및 유지보수 10% 향상을 목표를 달상하여 철도차량의 전체 경량화에 기여하고 또한 고장 및 유지보수의 편의성을 확보할 예정임.



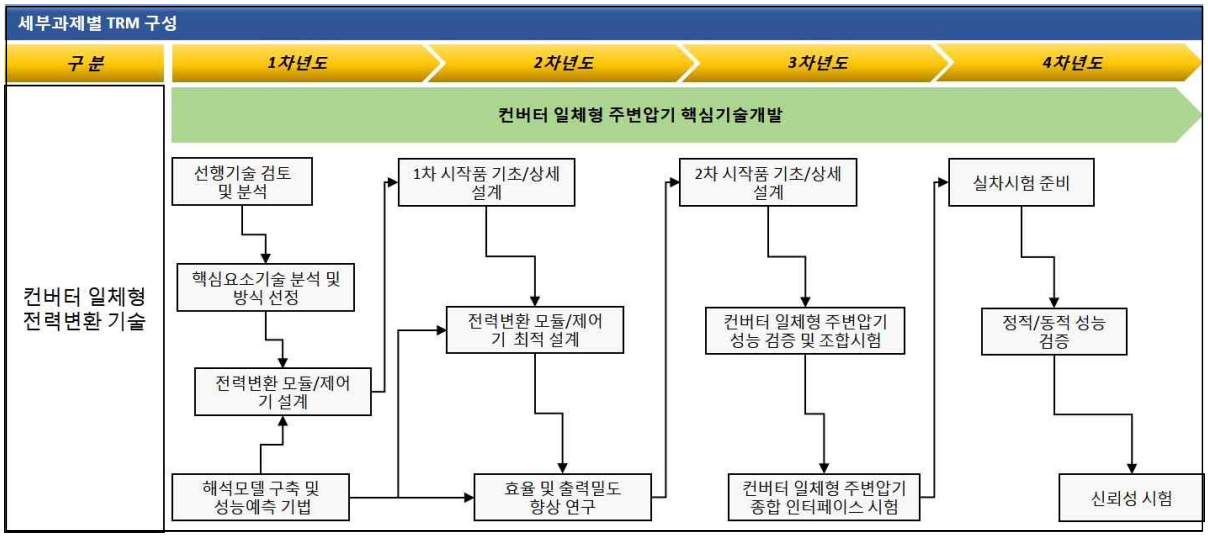
<그림 6-11> 세부과제간 연계관계

제 4 절 과제별 기술로드맵 및 성과로드맵

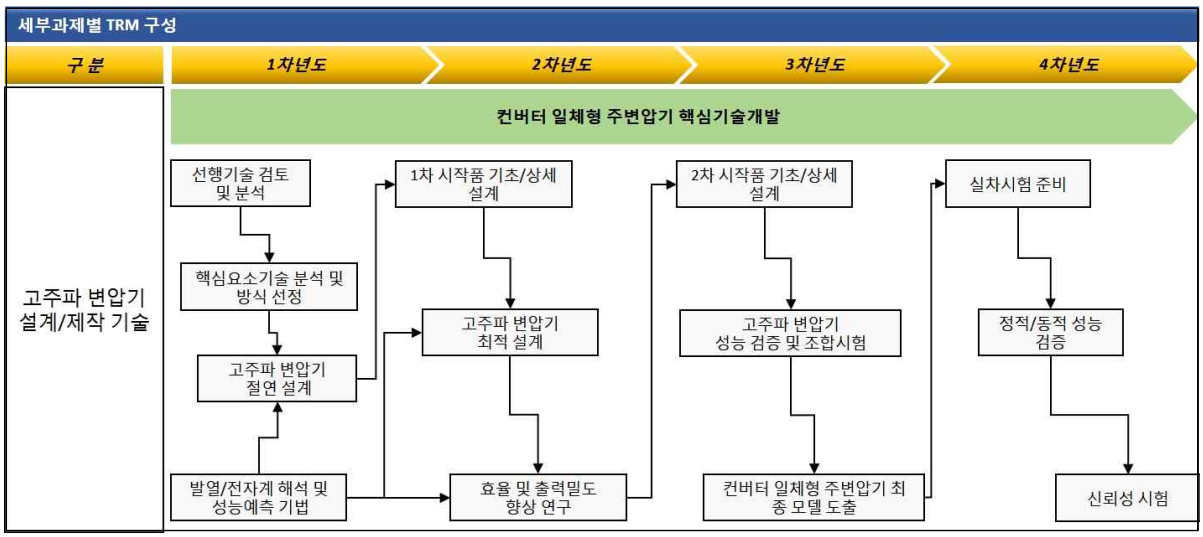
1. 세부 과제별 기술로드맵

가. 첨단 주변압기 세세부 과제별·연차별 기술로드맵

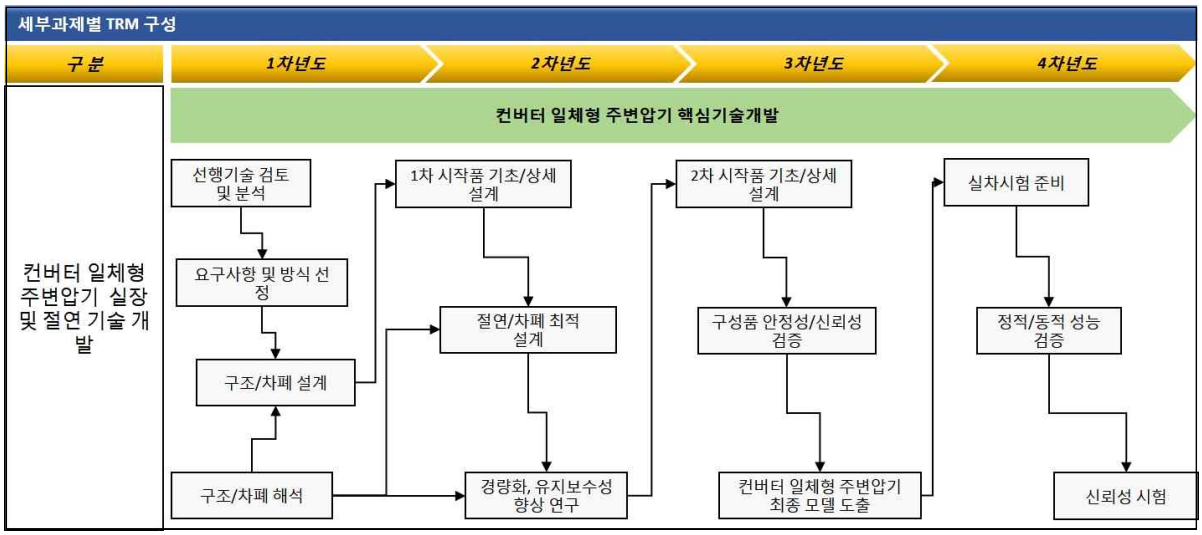
○ 컨버터 일체형 전력변환 기술



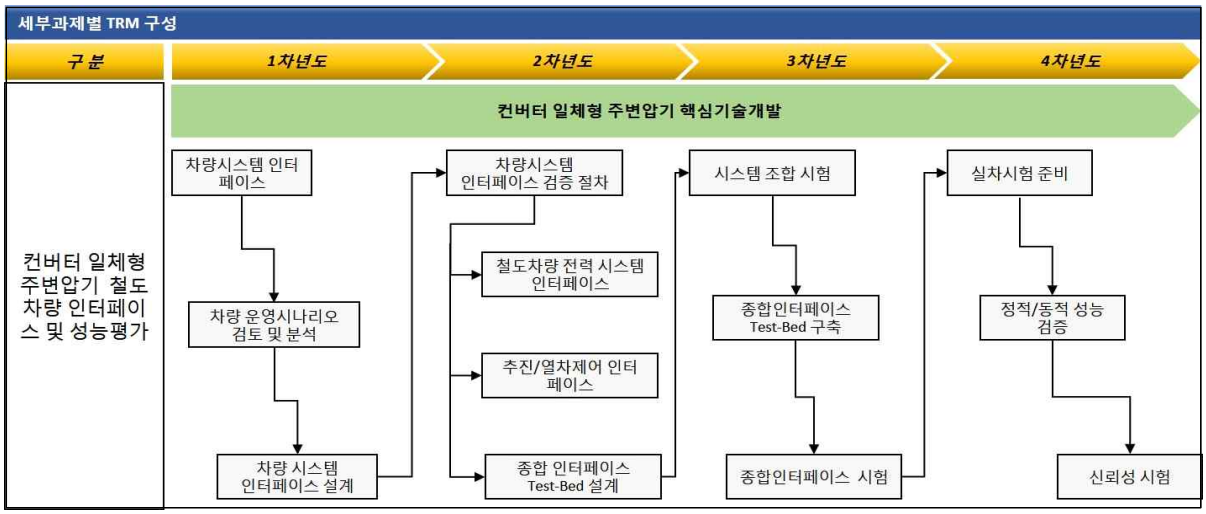
○ 컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발



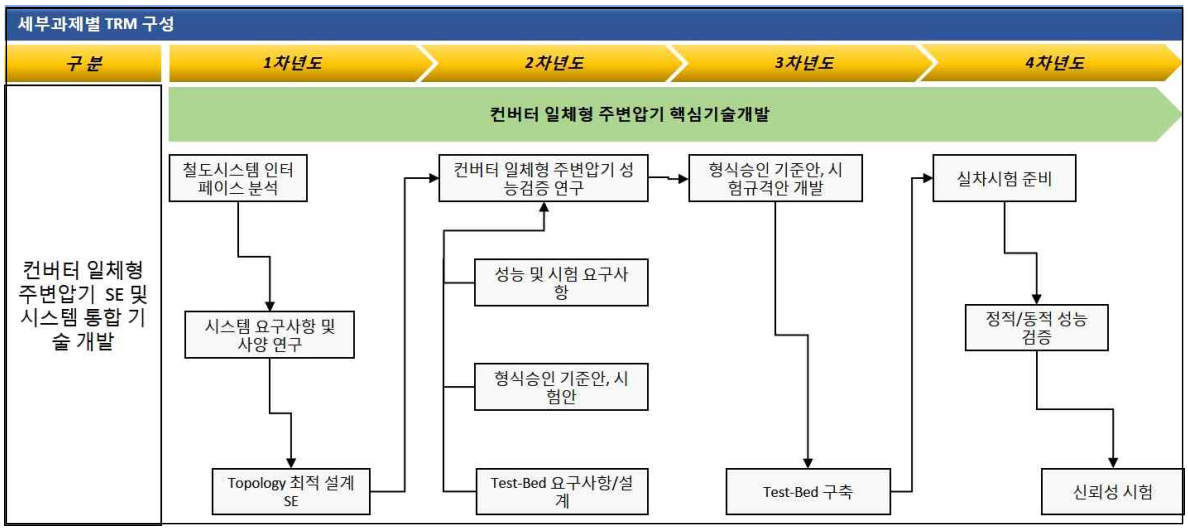
○ 컨버터 일체형 주변압기 실장 및 절연 기술 개발



○ 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 및 성능 평가

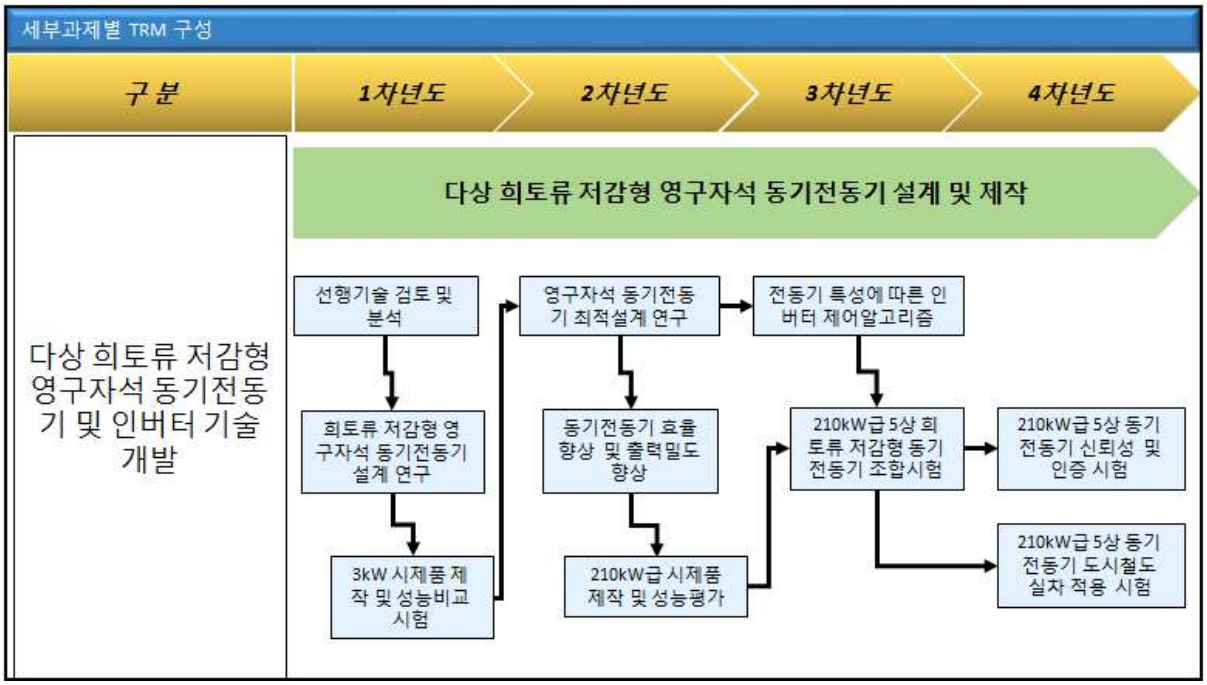


○ 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발

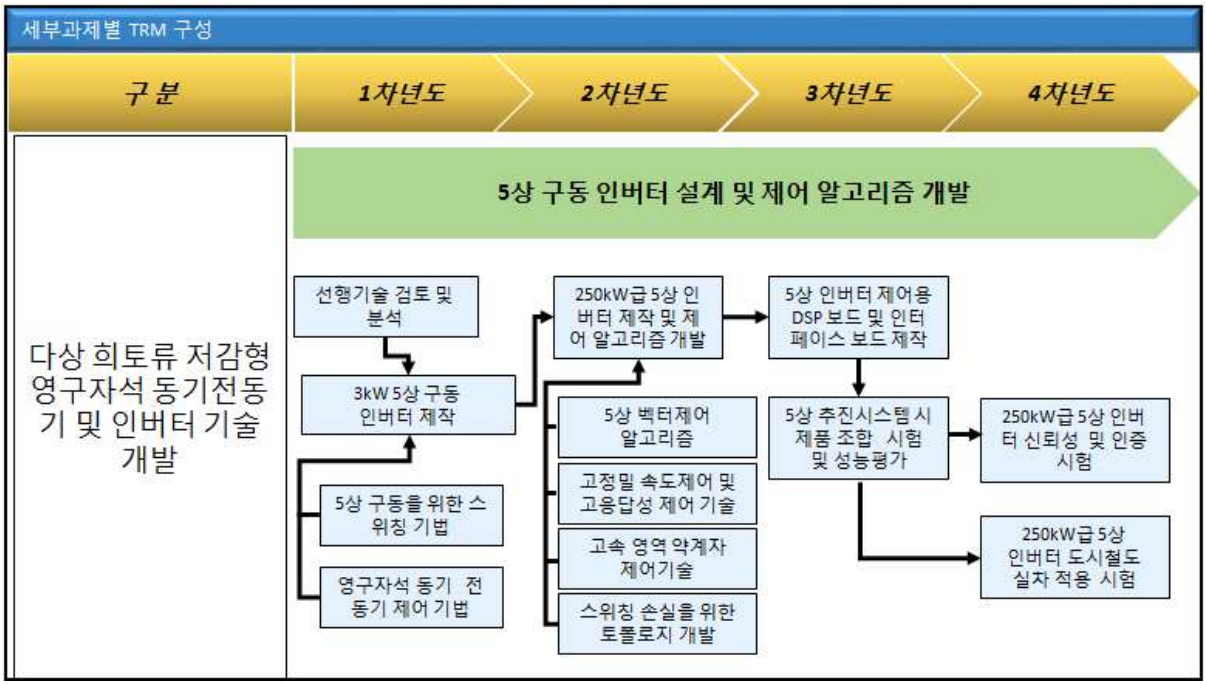


나. 첨단 견인전동기 및 인버터 세세부 과제별·연차별 기술로드맵

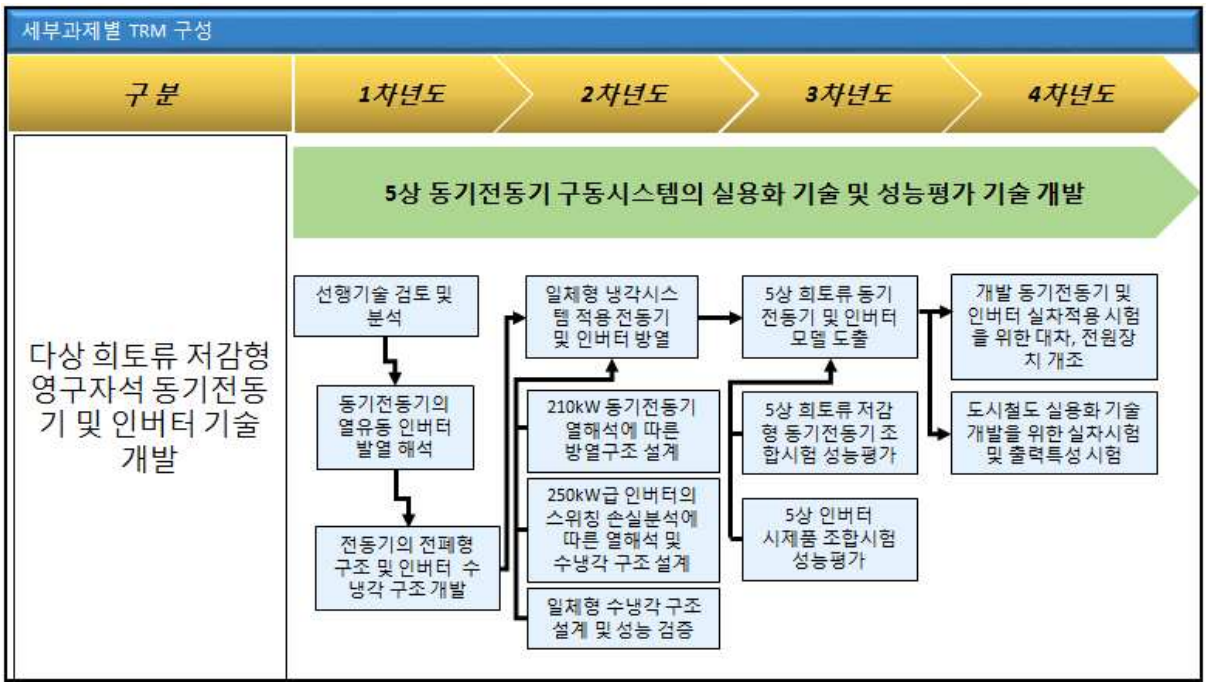
○ 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 설계 및 제작



○ 5상 구동 인버터 설계 및 제어 알고리즘 개발

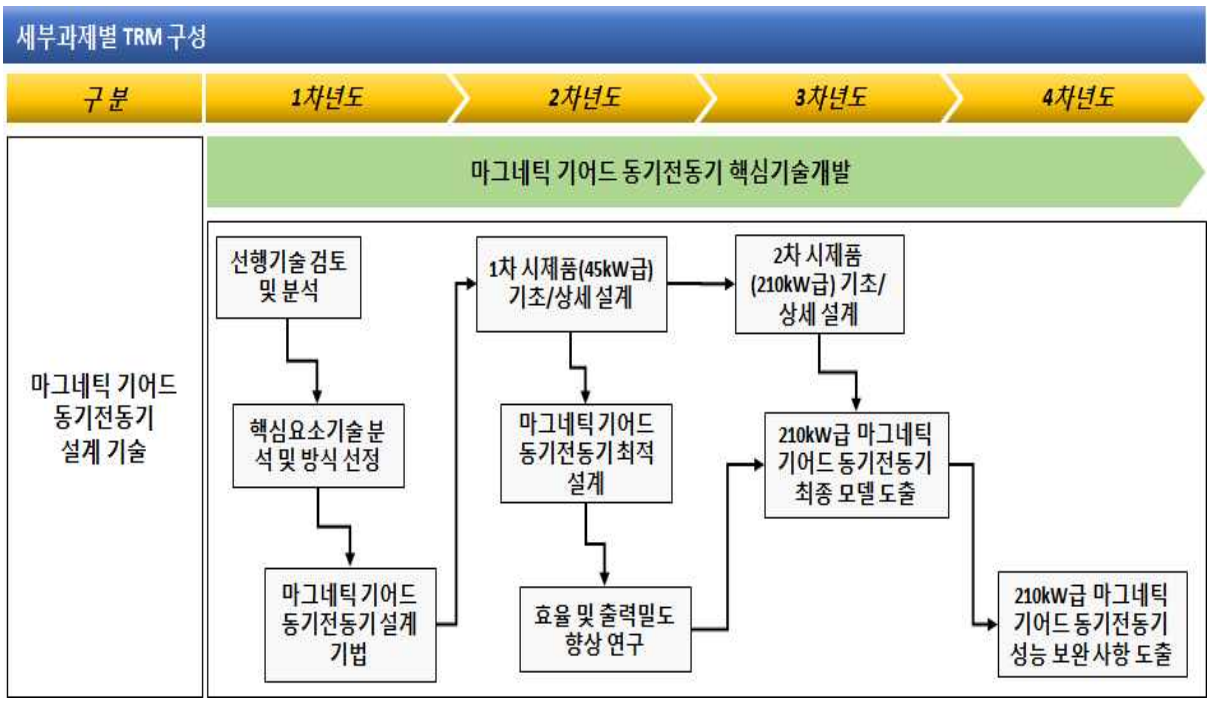


○ 5상 동기전동기 구동 시스템의 실용화 기술 및 성능 평가기술 개발

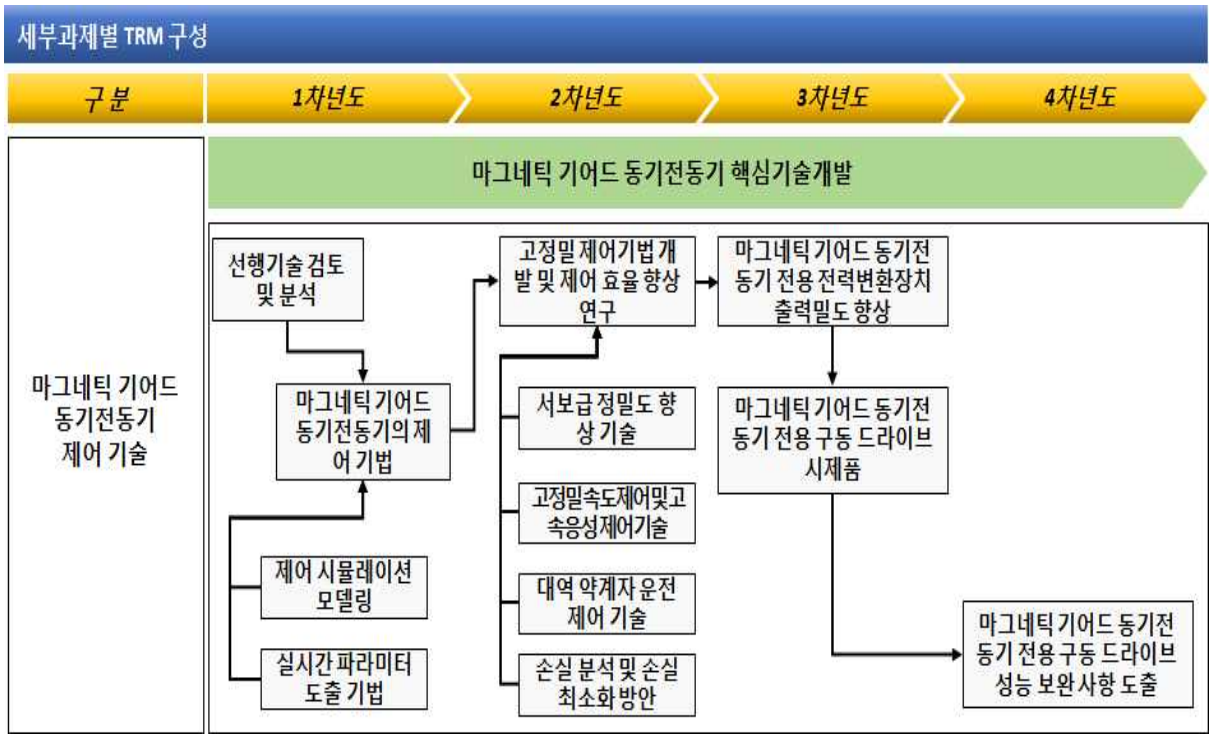


다. 첨단 감속 구동장치 과제별·연차별 기술로드맵

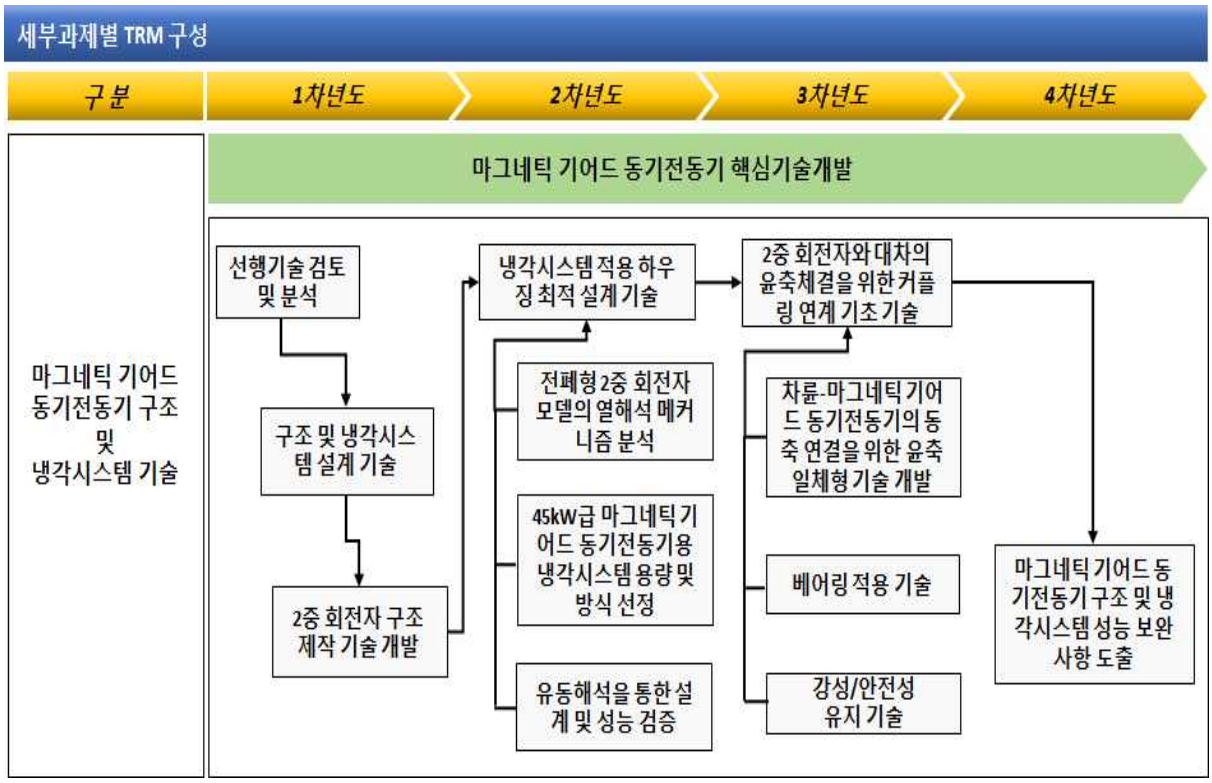
○ 마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기술



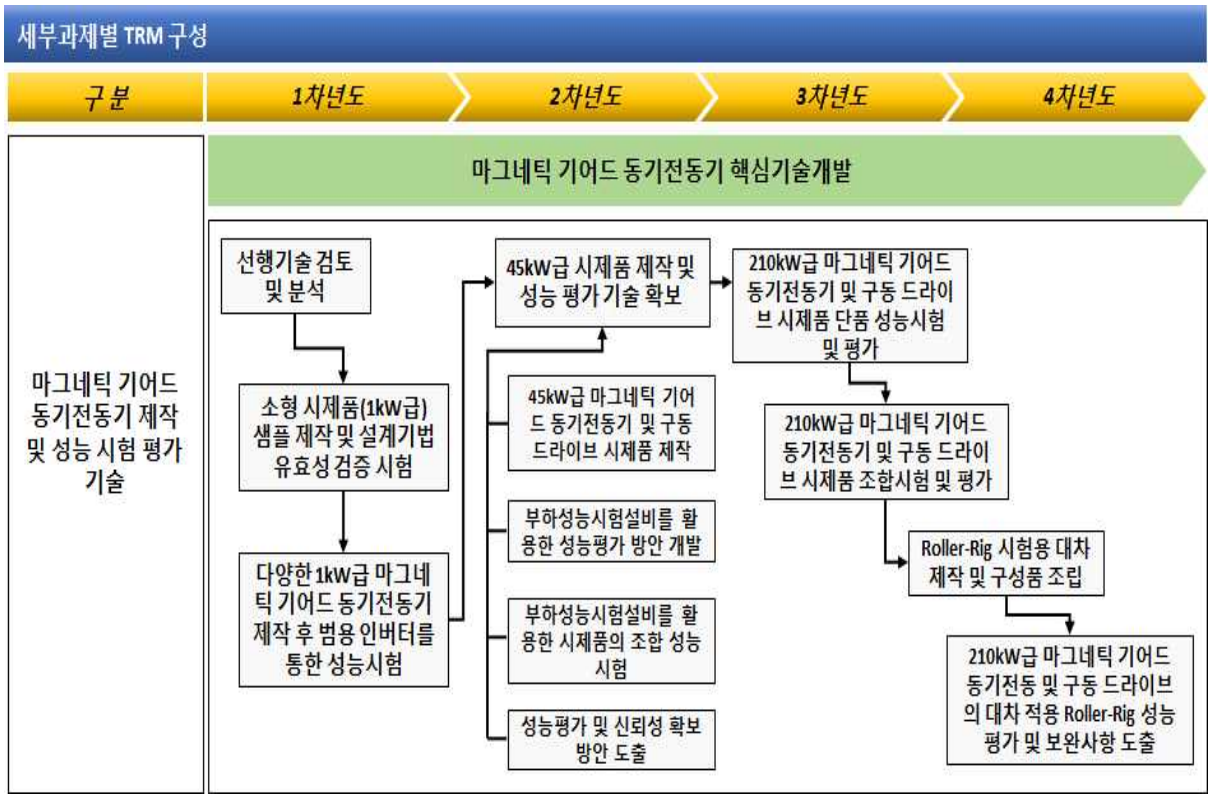
○ 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술



○ 마그네틱 기어드 동기전동기 구조 및 냉각시스템 기술



○ 마그네틱 기어드 동기전동기 제작 및 성능 시험 평가 기술



2. 과제별 성과목표 및 성과지표

가. 컨버터 일체형 주변압기 핵심기술개발

□ 성과목표

단계	세세부 분야	성 과
컨버터 일체형 주변압기 핵심기술개발 (2018~2020)	컨버터 일체형 전력변환 기술 개발	• 모듈컨버터 및 직렬구조 설계/제작 기술 • 양방향/손실저감 제어 알고리즘 및 제어기 설계/제작 기술 • 컨버터 일체형 주변압기 성능 시뮬레이션 모델 • 전력변환 스택 및 냉각구조 설계/제작 기술
	컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계 및 제작 기술	• 25kV 절연 구조 설계 기술 • 고주파 전자기회로 설계 기술 • 고주파 변압기 효율 향상 및 발열해석, 냉각 설계 기술 • 고주파 변압기 제작 기술
	컨버터 일체형 주변압기 실장 및 절연기술	• 25 kV 절연 구조 설계 기술 • 경량 모듈화 구조 설계 및 제작 기술 • 컨버터 일체형 주변압기 차폐 설계 기술
	컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 연구	• 컨버터 일체형 주변압기 차량 제어/운영 시나리오 • 컨버터 일체형 주변압기 차량 인터페이스 설계 기술 • 컨버터 일체형 주변압기 종합 인터페이스 시험 기술
	컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술개발	• 컨버터 일체형 주변압기 시스템 요구사항 • 컨버터 일체형 주변압기 설계 최적화 기술 • 컨버터 일체형 주변압기 형식승인 기준안 • 컨버터 일체형 주변압기 신뢰성 시험 절차 • 컨버터 일체형 주변압기 정적/동적 검증 기술 • 컨버터 일체형 주변압기 시운전 성능평가 기술

□ 성과목표에 대한 성과지표

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0 ~ 1)	목표치 설정근거
컨버터 일체형 주변압기 핵심기술개발	입출력 전압	• 모의 시뮬레이션 • 시작품 제작 및 성능시험 • 저속부와 고속부에서의 전부하 토크 측정	V	입력 25 kV 60 Hz 단상, 출력 1500 V DC	0.2	• 컨버터 일체형 주변압기는 기존의 차량용 유입식 변압기와 정류형 컨버터를 대체하기 위한 장치임 • 컨버터 일체형 주변압기는 직류구간의 전차선 전압과 동일한 직류 1500V를 출력하여야 함
	정격 출력	• 시작품의 정격부하 측정	MVA	1.85	0.2	• 컨버터 일체형 주변압기는 기존의 차량용 유입식 변압기와 정류형 컨버터를 대체하기 위한 장치임 • 기존 광역도시철도차량용 변압기 정격용량을 적용
	중량	• 시작품의 중량 측정	톤	3.4	0.2	• 기존 광역도시철도차량용 변압기 중량을 적용
	부피	• 시작품의 칫수 측정	m^3	6	0.1	• 기존의 광역도시철도차량용 변압기 부피를 적용
	효율	• 시작품의 각 구성 모듈별 효율로부터 산정	%	92	0.1	• 각 모듈별 효율의 합산 효율을 적용
	소음	• 1차/2차 시작품의 전부하 운전시 발생소음 측정	dB	75	0.1	• 기존 컨버터/인버터의 소음 기준을 적용
	입력역률	• 운전시 입력전류 역률측정	-	1	0.1	• 기존 컨버터의 제어기능

나. 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발

□ 성과목표

단계	세세부 분야	성 과
다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술 개발	5상 영구자석 동기전동기와 희토류 저감형 동기전동기	• 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 설계/해석 기술 개발 • 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 제작 기술 개발 • 210kW급 희토류 저감형 동기전동기의 냉각 구조 개발
	5상 인버터 동기전동기 구동	• 250kW급 5상구동 및 비상시 3상 구동이 가능한 동기전동기 인버터 H/W 개발 • 250kW급 5상 및 3상 구동 동기전동기 인버터 제어 알고리즘 개발 • 250kW급 5상 인버터 냉각 구조 개발
	5상 동기전동기 구동 시스템의 실용화 기술 및 성능 평가기술 개발	• 다상 영구자석 동기전동기의 도시철도차량용 구동장치 적용을 위한 실용화 기술 및 실차 적용 시험을 통한 성능 평가기술 개발

□ 성과목표에 대한 성과지표

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0 ~ 1)	목표치 설정근거
210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술 개발	5상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기의 출력밀도	• 동기전동기 각 부품 별 중량 측정 • 방열을 위한 하우징과 냉각용 시스템 제외	kW/kg	0.9	0.3	• 기존 도시철도차량에서 사용하는 견인전동기(유도전동기)의 출력밀도 대비 2배 향상
	5상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기의 최대효율	• 210kW급 시제품 제작 및 부하장치를 통한 성능시험 • 최대 출력토크와 최대 회전수 측정	%	95	0.2	• 기존 도시철도차량에서 요구하는 견인전동기의 출력 토크와 속도를 고려 • 기존 유도전동기의 최대효율 90% 대비 5% 향상

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0 ~ 1)	목표치 설정근거
	5상 인버터의 최대 효율	• 250kW급 시제품 제작 및 부하장치를 통한 성능시험 • 입력 DC 전압 전류 측정 및 출력 AC 전압 전류 측정에 의한 입출력 최대효율 측정	%	97	0.2	• 기존 유도전동기 구동용 3상 인버터 최대효율 95% 대비 2% 향상
	5상 인버터의 출력 리플율	• 출력 rms 전류 Fundamental 성분과 그 외 고조파 노이즈 비율 측정	%	70	0.3	• 기존 유도전동기 구동용 3상 인버터의 출력 리플율 100% 대비 30% 이상 개선 • 기존 유도전동기 구동용 3상 인버터의 제어 정밀도 100% 대비 30% 이상 개선

다. 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발

□ 성과목표

단계	세세부 분야	성 과
마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발 (2017~2019)	마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기술	• 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 기초/상세 및 최적 설계 기법 정립 • 마그네틱 기어드 동기전동기의 효율 및 출력밀도 향상 기법 개발
	마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술	• 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 구동을 위한 제어 알고리즘 기술 개발 • 백러쉬가 없는 고정밀 제어기법 개발 • 구동용 드라이브의 효율 및 출력밀도 향상 기법 개발
	마그네틱 기어드 동기전동기 구조 및 냉각시스템 기술	• 2중 회전자부 기구 설계 기술 개발 • 냉각시스템 및 하우징 설계 기술 개발 • 강성 및 열유동 해석 기술 개발 • 대차시스템 연계 인터페이스 기초 기술 개발
	마그네틱 기어드 동기전동기 제작 및 성능 시험 평가 기술	• 2중 회전자 제작 기술 개발 • 윤축일체형 기술 개발 • 냉각시스템 적용 하우징 제작 기술 개발

단계	세세부 분야	성 과
		• 시제품의 단품 및 조합 성능시험 및 평가 기술 개발 • 시제품의 실 대차 적용 및 Roller-Rig 설비 활용 성능평가 기술 개발

□ 성과목표에 대한 성과지표

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0 ~ 1)	목표치 설정근거
210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술 개발	마그네틱 기어드 동기전동기의 최대 토크	• 모의 시뮬레이션 • 210kW급 시제품 제작 및 부하장치를 통한 성능시험 • 저속부와 고속부에서의 전부하 토크 측정	Nm	고속부 402 / 저속부 2312	0.2	• 저속부와 고속부의 기어비는 5.75로 산정 • 기존 도시철도차량에서 요구하는 견인전동기와 감속기 사이의 감속비(5.733~7.071)를 고려하여 이에 따른 요구 토크 설정
	마그네틱 기어드 동기전동기의 최대 회전수	• 모의 시뮬레이션 • 210kW급 시제품 제작 및 부하장치를 통한 성능시험 • 저속부와 고속부 측정	rpm	고속부 5000 / 저속부 870	0.2	• 저속부와 고속부의 기어비는 5.75로 산정 • 기존 도시철도차량에서 요구하는 견인전동기와 감속기 사이의 감속비(5.733~7.071)를 고려하여 설정
	마그네틱 기어드 동기전동기의 효율 향상	• 모의 시뮬레이션 • 210kW급 시제품 제작 및 부하장치를 통한 성능시험 • 정격효율을 측정	%	92(2.3 % ↑)	0.2	• 기존 유도전동기+기계적 감속기 효율 92% × 97.5% = **89.7%** • 이에 대한 2.3% 개선 목표 설정
	마그네틱 기어드 동기전동기의 출력밀도 향상	• 모의 시뮬레이션 • 기존의 견인전동기와 기계식 감속기를 합친 중량과 비교	%	15(↑)	0.2	• 기존의 도시철도차량용 견인전동기와 기계식 감속기를 합친 중량과 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품의 중량을 비교하여 출력밀도의 15% 이상 개선 목표 설정
	마그네틱 기어드 동기전동기의 온도 성능 향상	• 모의 시뮬레이션 • 210kW급 시제품의 부하장치를 통한 정격운전 조건에서의 연속구동 • 성능시험 시 1시간 동안의 온도변화가 2℃이내로 될 때 권선의 온도와 저항 측정	℃	180(↓)	0.1	• 전폐형 구조에서 권선의 H종 절연실시 • H종 절연의 온도상승 한계가 180℃ 임

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0 ~ 1)	목표치 설정근거
	실 대차 장착 Roller-Rig 성능시험을 통한 주행속도 안정성 확보	• 도시철도차량용 실대차에 마그네틱 기어드 동기전동기 구성품 장착 • Roller-Rig 활용하여 100km/h까지 주행성능 시험 수행	km/h	100	0.1	• 도시철도차량용 대차의 일반적 성능시험은 Roller-Rig 시험기를 활용하여 100km/h까지 주행속도를 측정

○ 상기의 성과지표 및 성과의 검증을 위해서 별도의 성능 시험 인프라가 요구됨

○ 본 연구에서 개발된 마그네틱 기어드 동기전동기 및 구동 드라이브의 도시철도차량 구성품 성능시험 기준에 준하는 단품 및 조합 성능시험을 위하여 견인전동기와 인버터를 조합하여 성능을 계측할 수 있는 조합성능시험 설비가 요구됨

○ 추가적으로 마그네틱 기어드 동기전동기 및 구동 드라이브의 실 대차 장착 후 주행성능 분석을 위하여 대차 동특성 시험설비가 요구됨

성과지표	측정 가능 설비
마그네틱기어드 동기전동기 및 구동 드라이브의 1. 최대 토크 달성 2. 최대 회전수 달성 3. 효율 향상 4. 출력밀도 향상 5. 온도 성능 향상	

<table>
<tr><td></td><td>
<추진장치 조합성능시험설비></td></tr>
<tr><td>실 대차 장착
Roller-Rig 설비 활용
성능시험을 통한
주행속도 안정성 확보</td><td>

<대차 동특성 시험설비></td></tr>
</table>

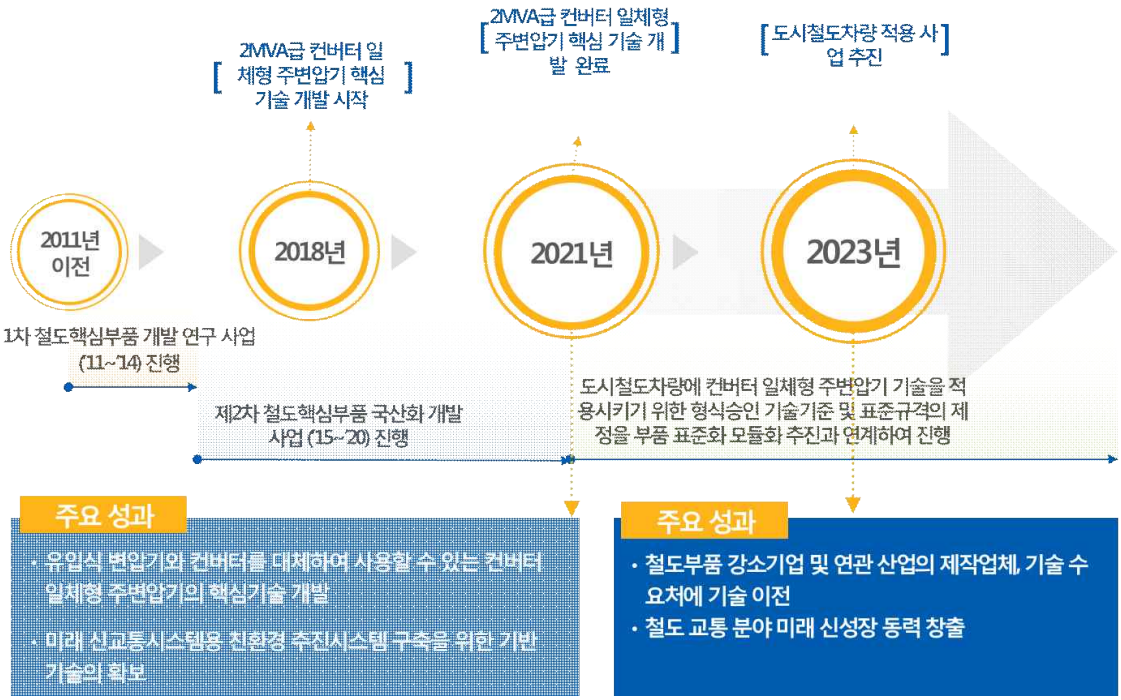
3. 과제별 실용화 방안 및 성과로드맵

□ 컨버터 일체형 주변압기 핵심기술개발

○ 철도부품 국산화 사업에 컨버터 일체형 주변압기 기술을 포함시킬 수 있도록 2018~2021의 기간동안 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 핵심 기술 개발과 실차적용에 의한 신뢰성 검증을 완료하도록 함

○ 컨버터 일체형 주변압기의 실용화를 위해 '철도차량산업 육성대책(2016.8.)' 중 "부품 표준화 및 모듈화 추진"과 연계하여 컨버터 일체형 주변압기의 철도용품 형식승인을 위한 기술기준 및 표준규격을 제정 시행하므로써 제도적 기반에서 실용화를 추진하도록 함.

○ 개발 완료된 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기는 2023년 이후의 신규로 제작되는 광역도시철도차량에 적용하는 사업을 추진하고자 함

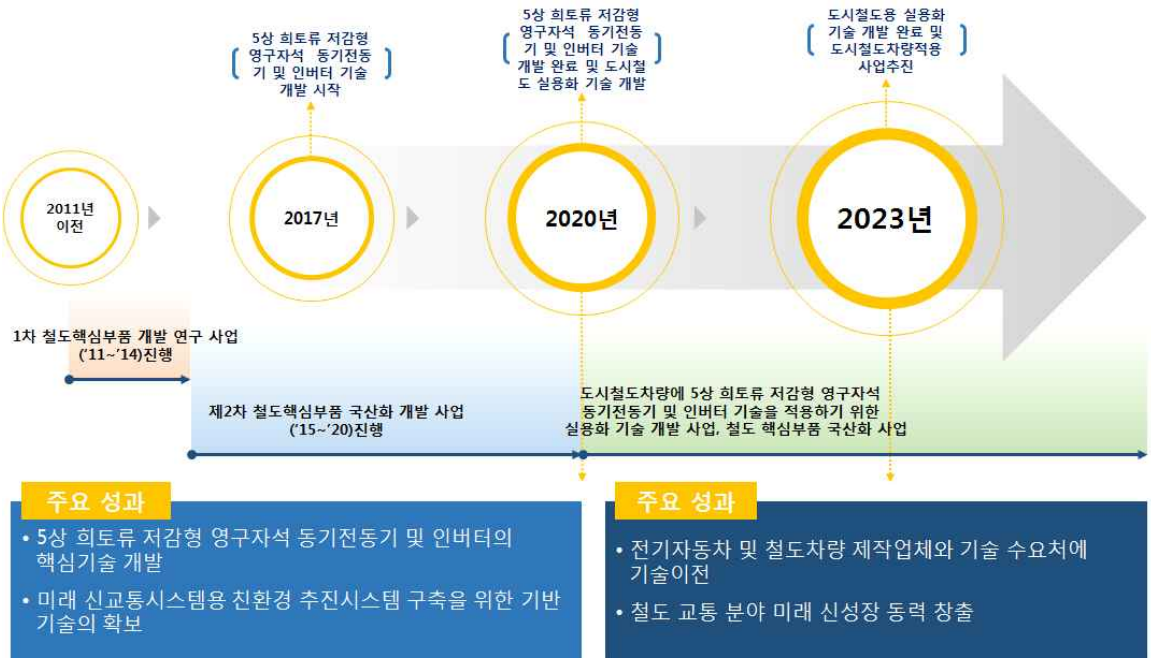


□ 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술 개발

○ 5상 희토류 저감형 영구자석 전동기와 인버터 기술을 도시철도차량에 적용하기 위한 실용화 사업을 철도부품 국산화 사업에 포함시켜서 도시철도(경전철, 중전철)에 적용 가능한 수준으로 실용화 기술을 준비

○ 철도부품 국산화 사업에 5상 희토류 저감형 영구자석 전동기와 인버터 기술을 포함시킬 수 있도록 2017~2020년에 5상 희토류 저감형 영구자석 전동기와 인버터 핵심 기술 개발 완료 및 철도부품 국산화 사업에서 도시철도용 실용화 기술을 개발 완료하도록 함

○ 개발 완료된 210kW급 희토류 저감형 영구자석 전동기와 250kW급 인버터 기술을 향후 2023년 이후의 신규 도시철도차량에 적용하는 사업을 추진하고자 함



□ 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발

○ 세계시장 선도형 연구개발(R&D)을 통해 철도차량 기술경쟁력을 확보하고, 해외시장에 적극 진출하기 위한 장기적 실용화 방안 모색함

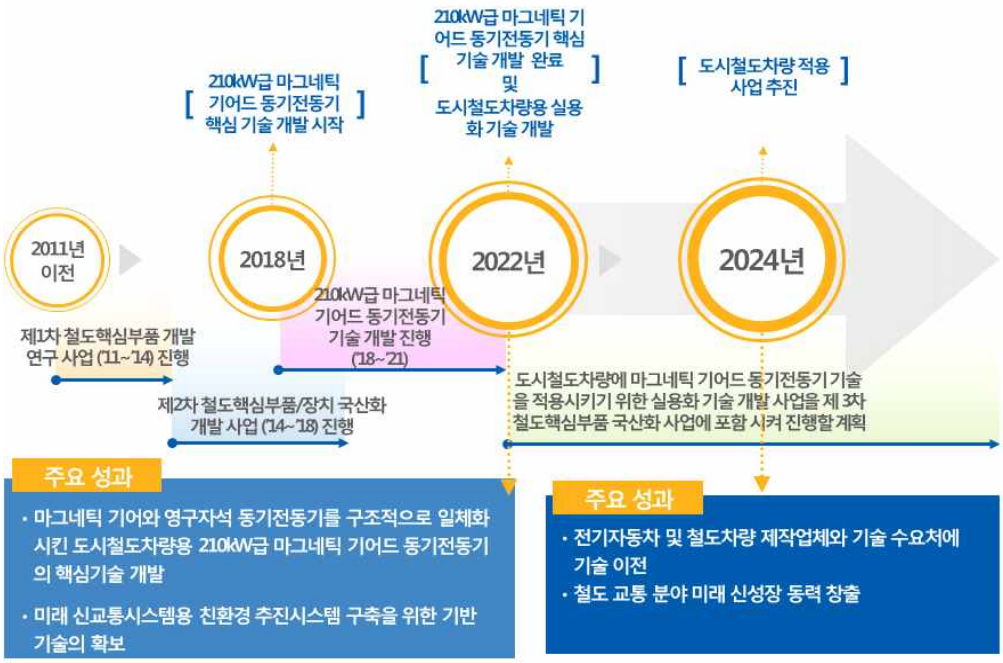
＊ 철도분야 국가 R&D 투자 : '13년 976억원, '14년 1,025억원, '15년 976억원, '16년 945억원

○ 철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기의 실용화를 위해 정부의 "철도차량산업 육성대책" 중 "부품 표준화 및 모듈화 추진" 과 "철도핵심부품/장치 국산화 사업"에 포함시켜서 도시철도(경전철, 중전철)에 적용 가능한 수준으로 실용화 기술을 준비시켜야함

○ 철도 핵심부품/장치 국산화 사업에 마그네틱 기어드 동기전동기 기술을 포함시킬 수 있도록 1단계(2018~2021)에 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심 기술 개발을 완료하고, 2단계(2022~2023)에 향후 진행될 제3차 철도핵심부품/장치 국산화 사업에서 도시철도용 실용화 기술을 개발 완료하도록 함

○ 개발 완료된 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기를 향후 2024년 이후의 노후 도시철도차량에 기존 견인전동기와 기계적 감속기 시스템의 대체품으로 적용하는 사업을 추진하고자 함

＊ 20년 이상 노후차량 : 기존 운행차량(22,775량) 중 18.4%(4,200량) 차지



제 5 절 연구성과의 활용방안

가. 연구결과의 활용방안

○ 2020년 이후에 발주되는 노후교체용 대폐차량에 적용하여 고효율, 고안정성 추진 시스템의 실용화가 가능

○ 첨단 기술을 접목한 고효율, 고안정성으로 차별화된 추진시스템 핵심기술 확보 및 실용화

○ 철도차량 제작업체 및 부품제작업체 등 기술 수요처에 기술 이전을 통한 수출 경쟁력 확보

○ 용량 증대 연구를 통한 고속철도 및 전기기관차 등에 적용하므로서 철도선진국 수준의 철도차량 추진기술 확보

○ 미래 신교통시스템용 친환경 추진시스템 구축을 위한 기반 기술의 확보

○ 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출

나. 기대성과 및 파급효과

1) 기술적 측면

○ 첨단 기술을 접목한 고효율, 고안정성으로 차별화된 추진시스템 핵심기술 확보

○ 반도체형 주변압기에 의해 기존의 컨버터 및 주변압기를 대체 하여 30% 이상 경량화된 차량 및 전력시스템 구성

- 기존 변압기의 절연확보를 위하여 사용하는 절연유의 미사용으로 유지보수성 향상 및 환경친화적 시스템 구축

- 변압기의 고장시 고장 여유도 확보 및 비상운전이 가능

○ 고효율 고안정성 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터를 적용한 철도차량의 효율향상 및 안정성 향상

- 기존 유도전동기와 비교하여 210kW급 영구자석 보조형 동기전동기를 설계하였을 때 고정자 외경 및 적층길이를 30% 이상 저감할 수 있으며 그에 따라 같은 출력에서 부피와 중량을 각각 50% 가량 저감

- 5상의 인버터는 3상에 비해 리플전류가 30% 가량 감소되며 그에 따른 고조파 성분의 감소에 따라 인버터의 기대수명을 약 1.5배 증가시킬 수 있으므로 추진시스템에서 가장 고장율이 높은 인버터의 안정성을 크게 개선시키는 효과가 기대

○ 마그네틱 기어드 동기전동기는 비접촉 방식의 감속기가 일체화된 시스템으로써, 기존 철도차량용 구동시스템 대비 소형 경량화된 시스템 구축이 가능

- 마그네틱 기어드 동기전동기의 적용을 통하여 대차 및 차륜 등 지지구조물의

크기, 강도 저감이 가능하며, 전체적인 차량의 저상화 및 경량화를 통해 전체 차량시스템 효율 증대 가능

- 선진국 주도의 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보

○ 미래형 교통수단에 대한 일본, 독일, 미국 등 선진국과 강력한 후발주자인 중국의 기술선점 및 특허장벽에의 극복

2) 경제적 측면

○ 기존의 유입식 변압기 및 기계식 감속기가 가지고 있는 유지보수 문제 해결이 가능하여 경제적인 추진시스템 구축이 가능

○ 고효율 추진시스템 구성에 의해 운영기관의 에너지 비용 절감이 가능

○ 철도차량의 하중저감에 의한 인프라 시공 및 유지보수 비용 저감 가능

○ 전기철도의 핵심인 추진시스템의 고도화에 의한 고부가가치 창출 및 해외 수출시 경쟁력 강화

○ 정부의 철도망 확충 및 녹색교통과 연계 시너지효과 극대화

○ 철도차량업체의 인력 고용 향상과 경기부양 효과 기대

3) 산업적 측면

○ 요소기술의 국산화 및 제어기법은 향후 철도분야 및 타 산업분야에 다양하게 응용될 미래첨단기술개발의 발판이 됨

- 추진시스템 설계/해석 기술 : 자동차, 선박 및 항공 추진시스템 등
- 고효율 제어 기술 : 스마트 배전시스템, 전자제어 산업의 파급효과 기대
- 소재 및 부품 기술 : 전력기기의 기술 향상 기대

○ 각종 산업 현장에서 전동기와 기계식 기어를 함께 사용하고 있는 부분이 많이 존재하는데, 이러한 부분에 마그네틱 기어드 동기전동기 적용을 통한 관련 설비 소형화 및 고효율화 가능

○ 신형식의 견인전동기 설계 및 제어 기술 향상과 더불어 관련 전자제어 산업의 파급효과 기대

○ 견인전동기 및 전장품, 감속기 관련 설계/제어/시험평가 전문인력 양성

○ 학계 및 산업계 대용량 철도 추진시스템 관련 인력 확충

○ 산업계 기술이전에 의한 산업지원

○ 국산화 개발을 통한 유지보수 비용 절감

○ 향후 상용전기차(버스, 트럭 등)에 활용 가능

제 6 절 연구수행체계 제안

1. 과제수행체계

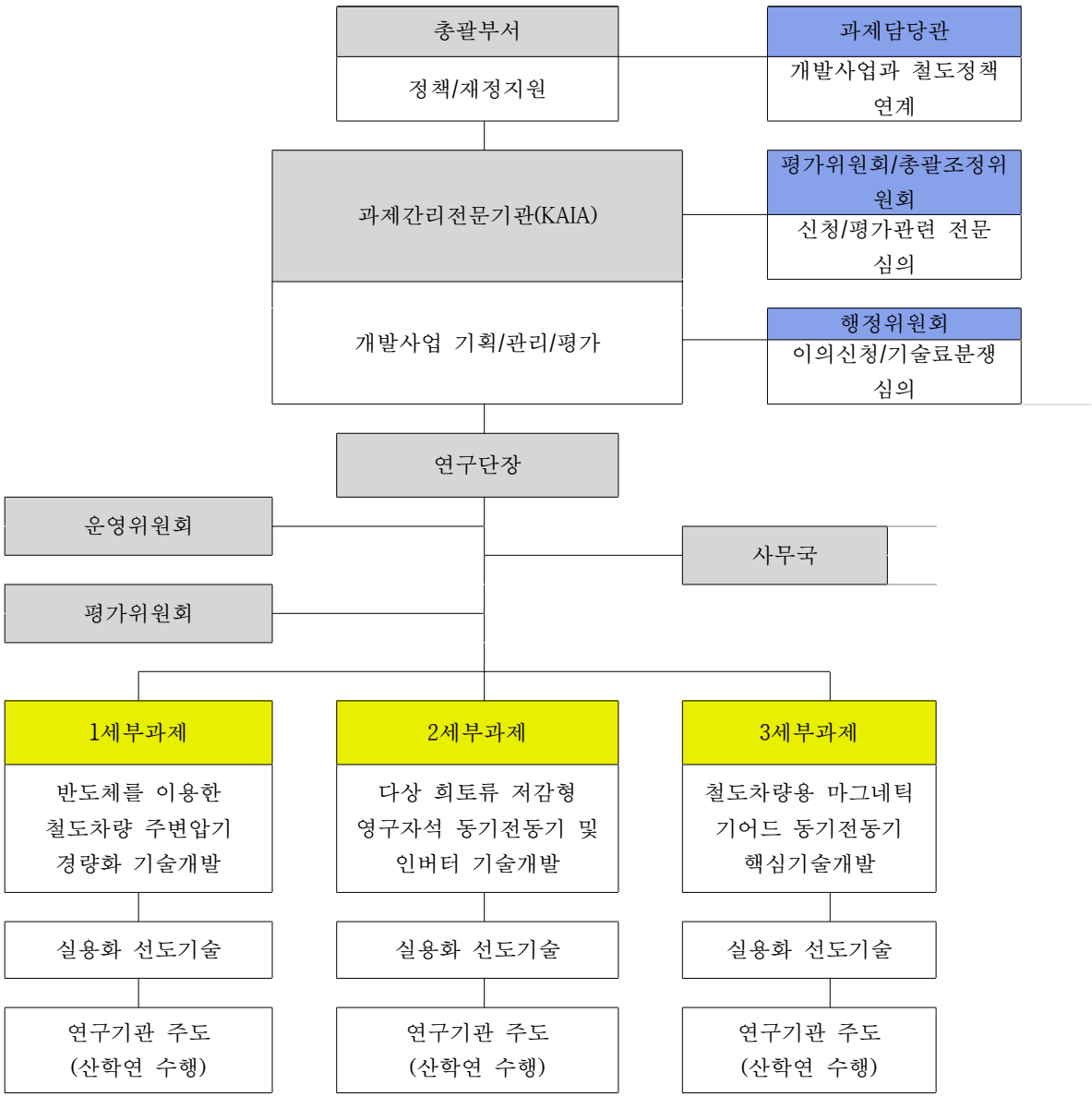
○ 본 연구과제는 차량에 가장 핵심이 되는 주전력시스템에 대한 첨단 기술을 적용하여 기존 시스템에 비해 세계 선도기술에 해당하는 기술이 적용되어 추진됨. 이에 기존 국산화 및 실용화 기술에 비해 많은 전문 연구인력이 투입이 가능하여야 하며, 새로운 시스템 제작에 있어서도 문제가 없는 제작 업체가 필요함. 세계 선도기술에 대한 다양한 시뮬레이션을 통해 시스템 제작 이전에 관련된 모든 문제점을 파악하고 이에 대한 해결책을 확보하여야 함. 이러한 첨단 추진시스템에 대한 제작을 통해 통합시스템에 대한 신뢰성 평가가 이루어 져야 하며 이러한 신뢰성 평가를 위해 상호 인터페이스 및 신뢰성 시험을 위해 본과제는 연구단 과제로 추진되어야 함.

○ 1세부과제의 반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발 과제의 경우 철도변압기 전문가와 제작시 고주파 변압기의 냉각기술의 시뮬레이션이 필수적이며, 이러한 산학연 컨소시엄을 통해 과제가 진행되어야 함.

○ 2세부과제의 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발 과제는 전기자동차 분야에서는 일부 적용된 사례가 있으나, 철도차량시스템에는 세계 최초로 적용되는 기술로서 다상시스템 적용을 통한 에너지 고효율화 및 경량화를 추진하기 위해서는 관련 산학연 전문가와 긴밀한 협조를 통해 과제가 진행 되어야 함.

○ 3세부과제의 철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발 과제는 세계 최초로 시도되는 마그네틱 감속기가 일체화된 동기전동기 기술 적용으로 본과제의 성공은 세계 철도차량 추진기술을 선도할 수 있는 기술이며, 산학연 컨소시엄을 통해 과제가 진행되어야 함.

○ 본 연구과제의 수행체계는 3개 세부과제에서 도출되는 연구성과를 연구단장이 최종 신뢰성 검토 및 실용화를 추진하는 구조로 추진되는것이 연구성과 실용화를 위해 가장 적합한 방법으로 검토됨



제 7 장 사전타당성 검토

제 1 절 정책적 타당성

1. 상위계획과의 부합성

가. 정부/부처의 상위유관계획과의 부합성

○ 동 연구단은 정부의 국정목표 및 국정과제, 「‘12~’16 국가재정운용계획(‘12)」, 「제2차 철도산업발전 기본계획(‘12)」의 범지구적환경문제에 주도적으로 대응하고 녹색기초원천기술을 확보하고자 하는 방향성을 반영하고 있음

- 정부의 국정목표 및 국정과제(‘13)」는 전략으로 ‘쾌적하고 지속가능한 환경조성’을 포함하고 있으며 이를 통해 기후변화 등 범지구적 환경문제에 주도적으로 대처하고, 쾌적한 환경관리로 지속가능한 발전토대 및 자원순환형 사회기반을 구축하고자 함[4)]

- 「‘16~‘20 국가재정운용계획(‘12)」은 R&D분야 및 환경분야 재정운영방향으로 기술혁신에 기반한 미래 성장동력 분야 육성과 4차 산업혁명대응을 위한 산업구조혁신 지원을 강화하고 민간의 자발적 연구와 투자 유인이 어려운 기초연구와 대형연구 지원 확대를 수반하고 있음[5)]

  ※ R&D분야 재원배분 계획: (‘16) 19.1조원 →(‘18) 19.7조원 →(‘20) 20.2조원

○ 동 연구단의 철도경량화 기술은 「제 3차 철도산업발전기본계획 수립을 위한 연구(‘16)」에서 제시된 철도기술연구사업 지속·확대되는 추진과제 중 신개념 철도추진·제어 기술 관련 추진과제와 연계됨

- 「제 3차 철도산업발전기본계획 수립을 위한 연구(‘16)」는 안전하고 경제적인 철도 개발 및 철도 산업의 고부가가치 신성장동력으로 육성하기 위해 ‘수송력 향상’, ‘안전·편의 향상’, ‘건설·운영비 절감’, ‘소재·부품·장치 고도화’ 측면의 기술분야를 중점분야로 선정하고 기술을 확보하고자 함

4) 정부 국정비전 및 국정목표, 2013
5) ‘16~’20 국가재정운용계획, 기획재정부, 2016

<표 7-1> 철도기술연구사업의 목표

효 과	내 용
중기전략 ('14~'18)	- 철도 수송분담률 27% 달성, 철도수송 효율 15% 향상 - 열차운행 100만 ㎞당 사고 건수 10% 저감 - 철도건설·운영유지비 5% 절감 - 철도부품 강소기업 3개 육성, 양질의 일자리 1천개 이상 창출
장기전략 ('19~'23)	- 철도 수송분담률 30% 달성, 세계시장 점유율 4% 달성 - 열차운행 100만 ㎞당 사고 건수 20% 저감 - 철도건설·운영유지비 10% 절감 - 철도부품 강소기업 5개 육성, 세계 일등 철도부품 5개 이상 확보

- 「제 3차 철도산업발전기본계획」에 포함된 '철도기술연구사업'에서 민간 수요 및 투자 가능한 철도 소재·부품 고도화 기술 개발 및 강소기업 육성 투자 확대를 추진계획에 포함하고 있음

○ 동 연구단의 신기술을 적용한 철도차량 추진시스템 기술은 향후 철도 기술 전반의 기술수준을 선진국 수준으로 상승시킬수 있다는 점에서 「제 3차 국가교통기술개발계획('14)」의 첨단 소재 활용 철도차량 경량화 기술개발 등 관련 추진과제와 연계됨

- 「제 3차 국가교통기술개발계획('14)」의 철도기술개발 전략은 ⅰ) 빠르고 지능정적인 철로(SMART Railroad), ⅱ) 안전하고 편리한 철도(SAFE Railroad), ⅲ)정확하고 경제적인 철도(ECONOMICAL Railroad) 등 4개 분야의 세부 개발 기술로 정의하여 '14년~'18년 동안 총 1조 738억 원 투자

- 위 전략을 바탕으로 한 철도기술개발의 기대효과는 고속철도 세계 4위권 기술 확보로 2015년 이후 약 6.5조 원 이상의 국내 수요에 대응하고, 수송 효율성 50% 이상 향상 기여 등

※ '18년까지 선진국 대비 철도기술 전반의 기술수준을 95%수준으로 상승 목표

○ 동 연구단의 철도차량 안전성을 위한 추진시스템 기술은 제3차 국가철도망구축계획('16)의 추진과제인 '안전하고 이용하기 편리한 시설 조성'의 노후철도 시설 적기 개량 및 철도운행 안전성 강화와 연계됨

- 「제 3차 국가철도망구축계획('16)」의 안전하고 이용하기 편리한 시설 조성 중 노후철도 시설 적기 개량 및 철도운행 안전성 강화를 위한 본 기획과제와 연계 가능

○ 동 연구단의 철도차량 경량화 및 안정성 향상을 위한 추진시스템 기술개발은 중소기업 적합 아이템인 철도차량용 변압기, 견인전동기 및 추진제어인버터, 감속구동

장치에 대하여 ICT 및 전력기술을 연계한 핵심전장품의 선도형 기술개발을 통하여 미래 먹거리를 창출하기 위한 과제로 국토교통부의 철도차량산업 육성목표와 연계됨

- 국토교통부는 철도차량산업 육성 목표 및 추진전략으로 “2030 글로벌 시장을 향한 신성장동력산업 육성”을 비전으로 제시하며, 철도차량 제작사, 부품강소기업, .R&D 경쟁력, After Market 및 해외수주, 법·제도 정비의 5개 부문에 대하여 기본방향과 핵심과제 및 연계과제를 발표하였음 [국토교통부(2016)]



<그림 7-1> 철도차량산업 육성 목표 및 추진전략
(국토교통부, 2016)

- 철도차량 경량화 및 안정성 향상을 위한 추진시스템 개발을 위한 본과제의 방향에 해당하는 부품분야에서 기술발전 속도가 빠르고 차량의 성능을 좌우하는 전장품의 교체 주기가 15~20년으로 After Market 수요를 형성하기에 유리하며, 기술력 및 품질안전 요구에 따라 전문성 있는 부품업체의 중요성이 증대되고 있으며, 전장품 등 핵심부품의 고부가가치화 경향임을 적시하고 중소기업 적합 아이템을 발굴하여 연구개발 및 사업화를 지원하고 부품개발 우선순위 설정 및 사업화·해외진출을 위한 전략을 마련하므로서 “부품 강소기업 육성”을 할 것과 세계적 기술을 보유하고 있는 ICT, 전철·전력분야와 연계하여 전력제어장치 등 핵심 전장품 발굴, R&D 공동추진 등을 지원하는 “고부가가치 전장품 집중개발”을 주요 핵심과제로 선정

- R&D 분야에서 기술경쟁력 강화를 위한 R&D 기본전략 하에, 미래 성장동력확보를 위한 브랜드·첨단기술의 장기간·대규모 개발 필요성을 인식하고 부품 공급망 구축, 철도차량 품질안전 제고, 철도부품 강소기업 육성 등을 위한 철도부품·소재 핵심기술 개발을 핵심과제로 선정

- 철도차량 경량화 및 안정성 향상을 위한 추진시스템 기술개발은 이러한 정부의 정책에 부합되는 개발 사업으로 중소기업 적합아이템인 철도차량용 변압기, 견인전동기 및 추진제어인버터, 감속구동장치 등 중소기업 적합 아이템의 전문업체에서 ICT 및 전력기술을 연계한 핵심전장품의 선도형 기술개발을 통하여 미래 먹거리 창출을 위한 과제임

나. 정부/부처의 중장기 R&D계획과의 부합성

○ 동 연구단은 「제 3차 과학기술기본계획(‘12)」의 추진전략/중점기술을 반영한 철도경량화 추진시스템 기술개발을 추진함

- 「제 3차 과학기술기본계획(‘12)」의 ‘(High 2) 국가전략기술개발 추진전략’에서 설정한 5대분야 30대 중점기술*에 첨단철도기술이 포함됨

  * ‘IT융합 신산업 창출 분야’의 ‘스마트 물류·교통 시스템 구축’ 추진과제에 포함

○ 동 연구단을 통해 개발될 기술은 향후 고속철도인프라 유지보수비용 절감에 기여할 것으로 예상되며, 이는 철도운영비용을 절감하고자 하는 「건설교통기술 R&D 중장기계획(‘14)」의 목표와 하위 사업영역에 부합됨

- 「건설교통기술 R&D 중장기계획(‘14)」의 5대 목표 중 글로벌 시장을 선도하고 안전하고 편리한 국토공간 조성을 위해 스마트 철도교통시스템 프로젝트를 발굴하고 집중 지원[6)]

- 「건설교통기술 R&D 중장기계획(‘14)」의 하위 사업 중 스마트 철도교통시스템 기술 개발은 도시 간, 도시 내 생활교통수단으로서 수송성·정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도교통시스템의 안전성·경제성 및 효율성을 제고하기 위한 제반 기술 확보[7)]

  * 철도 에너지 절감, 인프라 성능 대비 건설·운영비 최적화 기술 및 철도운영 효율화 기술 등 개발

6) 건설교통기술중장기계획, 국토교통부, 2014
7) 上同

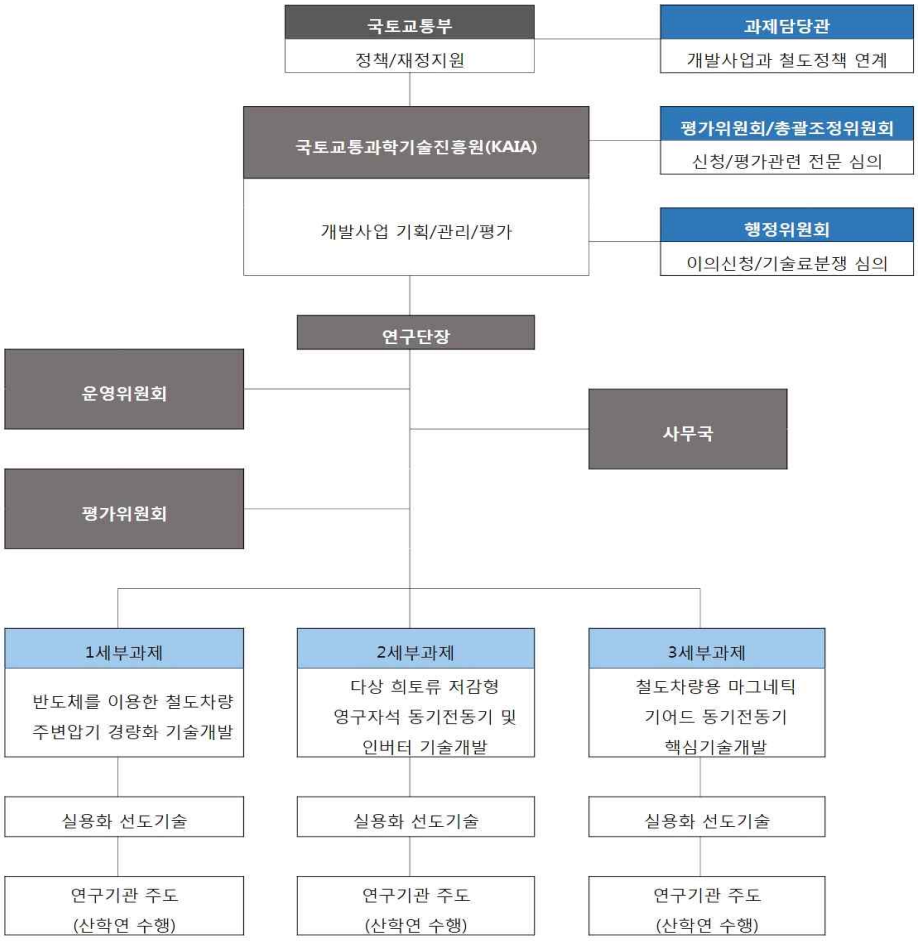
2. 사업 추진체계 및 추진의지

가. 사업 추진체계

○ 1세부과제는 첨단 주변압기 분야인 '반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발' 로 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술개발, 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 입력 변환기 설계/제작 기술개발 등을 통해 철도 차량 20% 경량화 및 운영비 감소를 목표로 함

○ 2세부과제는 첨단 추진장치 분야인 '다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술개발' 로 희토류 저감형 동기전동기 설계 기술개발, 210kw급 희토류 저감형 동기전동기 제작 및 냉각시스템 기술 개발 등을 통해 고장 발생률을 감소시켜 철도차량 안전성 향상을 목표로 함

○ 3세부과제는 첨단 감속구동장치 분야인 '철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발' 로 마그네틱기어드 동기전동기 설계 기술, 제어기술 개발 등을 통해 철도차량 20% 경량화 및 유지보수비 절감을 목표로 함



<그림 7-2> 사업 추진체계

나. 정책적 추진의지

○ 동 과제는 국토교통부에서 예산비중을 확대하고 있는 ‘철도 건설·운영비 절감 기술’ 분야에 해당되는 과제로 세부기술분야로는 철도 운영 및 유지관리 기술, 저비용 철도 인프라 건설기술, 친환경 철도기술이 있음

- 국토교통부에서는 국민 행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도 개발 및 고부가가치 창조형 신성장 동력으로서 철도산업 육성을 목표로 철도기술연구사업을 추진하고 있으며, 그 중 철도 건설·운영비 절감 기술 분야에 대한 예산비중을 높여가고 있음*

  * 철도기술연구사업 투자실적: 102,475백만원(‘14)→97,589백만원(’15)→94,454백만원(’16)
  * 16년도 중점 추진 : 94,454백만원 (종료 4개, 계속 18개, 신규 10개)
  (철도안전성 및 철도 이용 편의 향상, 철도건설·운영비 절감 기술 개발 지속 지원)
  * 전체 철도기술연구사업 중 철도 건설·운영비 절감 기술 예산이 차지하는 비중(%)은 16.3(‘13)→21.5(’14)→28.5(‘15)→24.0(’16)→37.2(’17～)으로 증가세

<표 7-2> 국토교통부 철도기술연구사업 투자실적 및 계획추이

[단위: 백만원]

구분		‘07~’ 12	‘13	‘14	‘15	‘16	‘17~
철도기술연구사업		669,776	97,627	102,475	97,589	94,454	247,674
	철도 수송력 향상 기술	490,775	56,932	50,688	29,514	27,508	57,346
	철도 안전·편의 향상 기술	102,015	18,598	21,712	24,725	24,608	66,647
	철도 건설·운영비 절감 기술	**7,200**	**15,900**	**22,059**	**27,800**	**22,688**	**92,172**
	철도 소재·부품·장치 고도화 기술	69,786	6,197	8,016	15,550	19,650	31,509

자료: 국토교통과학기술진흥원 Homepage(‘16)

○ 동 과제는 철도차량 추진시스템에 신기술을 적용하여 ‘철도차량의 안정성 향상 및 경량화 달성’ 을 목표로 하고 있으며, 주요 선진국은 첨단추진시스템 도입을 통해 지속적으로 기술개발

- (전동기) 일본 JR-east는 21C형 도심전차용 추진시스템에 내전형(Inner-Rotor)방식 영구자석동기전동기(PMSM)을 채용하여 경량화 및 저가격화, 유지보수필요성을 최소화시킴

〈표 7-3〉 영구자석동기전동기(PMSM) 사용 효과

효 과	내 용
25% 경량화	전동기 정토크 영역을 확장하여 철심을 경량화하고, 기술적 최적화를 통해 25%의 경량화를 달성
원가 경쟁력 확보	분말자성코어 및 대형 자석을 사용하여 조립 및 제작공정 단순화를 통한 원가
13년 무보수 추구	전폐자냉식 및 윤활 Grease를 사용하지 않도록 설계하여 13년 무보수 추구

- (인버터) 스페인 2세대 고속열차, 중국과 러시아의 고속철도 차량의 동력 분산식 차량구조(Siemens사의 ICE3)는 동력집중방식에 비해 각 인버터의 용량 및 부피 저감 가능, 차량 내 승차 공간 확보, 곡선 주로 주행시 차축의 부하 감소, 대용량 멀티레벨 인버터 등의 사용을 통해 보다 큰 견인력을 이끌어 낼 수 있음

○ 동 과제는 「국토교통 연구개발 중장기 전략(‘14~’23)」*에 포함되어 있어, 국토교통부의 사업 추진의지가 높은 것으로 분석됨

* 10대 중점 프로젝트인 ‘스마트 철도교통시스템’에 해당됨

- 「국토교통 연구개발 중장기 전략(‘14~’23)」은 2014~2017년에 수행할 국토교통 분야 R&D사업에 대한 종합계획으로 국토교통 연구개발사업의 상위 계획임

* 산업·시장·기술 여건 및 미래전망 등을 바탕으로 창조경제 및 국민행복을 위해 4대 전략 수립 및 중점프로젝트 발굴·제시

3. 법·제도적 위험요인 검토 결과

○ 법·제도 기반 마련을 통한 핵심 원천기술 개발 및 상용화 추진

- 철도안전법은 철도안전을 확보하기 위해 필요한 사항을 규정하고 철도안전관리 체계를 확립함으로써 공공복리의 증진에 이바지하고자 제정한 법

<표 7-4> 철도안전법 시행 (2017.1.20.)

구분	내 용
제26조 (철도차량 형식승인)	① 국내에서 운행하는 철도차량을 제작하거나 수입하려는 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 해당 철도차량의 설계에 관하여 국토교통부장관의 형식승인을 받아야 한다.
제26조의3 (철도차량 제작자승인)	② 국토교통부장관은 제1항에 따른 제작자승인을 하는 경우에는 해당 철도차량 품질관리체계가 국토교통부장관이 정하여 고시하는 철도차량의 제작관리 및 품질유지에 필요한 기술기준에 적합한지에 대하여 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 제작자승인검사를 하여야 한다.
제26조의6 (철도차량 완성검사)	① 제26조의3에 따라 철도차량 제작자승인을 받은 자는 제작한 철도차량을 판매하기 전에 철도차량이 제26조에 따른 형식승인을 받은대로 제작되었는지를 확인하기 위하여 국토교통부장관이 시행하는 완성검사를 받아야 한다. ② 국토교통부장관은 철도차량이 제1항에 따른 완성검사에 합격한 경우에는 철도차량제작자에게 국토교통부령으로 정하는 완성검사필증을 발급하여야 한다.

- 철도차량 기술기준은 철도안전법 제26조(철도차량 형식승인), 제26조의3(철도차량 제작자승인) 및 제26조의6(철도차량 완성검사)에 근거하여 형식승인 및 제작자승인에 필요한 기술기준을 마련하기 위해 제정

- 철도안전법에 따른 철도안전관리체계 승인검사, 철도종합시험운행결과검토, 철도안전정보 종합관리 등은 교통안전공단에서 수행하고 있음

<철도차량기술기준>

구분	내용	
주변압기	• IEC 60310규격에 맞게 설계 및 제작 • 주변압기의 절연등급은 H종 이상으로 하며 절연유는 실리콘유를 사용 • 주변압기의 철심, 외함, 권선의 동선 및 절연재 등 주요재료는 KS표시품 또는 동등이상의 재료를 사용하여야 하며, 권선은 용량에 적합하여야 한다. • 주변압기 설계 및 입증에 관한 사항은 IEC60310, KSC IEC60310, IEC 60836 등 참고 가능	국토교통부 (고속철도차량 기술기준(안) 2016.1.31
인버터/ 컨버터	• 전원 차단 시 충전상태가 장기간 유지되는 부품은 방전시킬 수 있는 회로가 구성되어야 함 • 고전압의 경우 외부에 방전여부를 확인할 수 있는 장치 및 주의표시가 추가되어야 함	국토교통부(고속철도차량 기술기준) 2014.12.5
견인전동기	• 견인전동기는 운행중 설치볼트가 파손된 경우에도 주행장치에서 분리되지 아니하도록 설치 • 견인전동기와 그 축에 설치되는 베어링에는 축전류 및 차체로부터의 누설전류 등에 대한 보호 방안이 강구되어야 함 • KS C IEC 60310, KS C IEC 60349-1, KS C IEC 60349-2 등 참고 가능	

제 2 절 기술적 타당성

1. 기획과정의 적절성

○ 세부과제의 개발대상 기술들은 논리적으로 타당한 절차를 통하여 선정됨

- 본 과제에서 개발대상 기술로 선정된 주변압기, 추진장치, 감속장치 등의 세부 첨단기술은 철도공사 등 5개 기관의 연구원, 자문위원, 외부전문가를 대상으로 기술 수요조사를 통해 수집된 기술을 목표부합성, 인프라 적정성, R&D 중복성, 기술 활용성 부문을 고려하여 최종 예측기술을 선정함

- 기술 예측 조사를 통해 기술 실현시기, 기술 획득방식, 정부개입 필요성, 기술 수준, 중요도 등을 조사

- 기술 예측 조사의 대상 기술에 대해 10명의 외부 전문가를 대상으로 델파이 조사를 수행하여 개발 우선순위를 결정함

○ 본 연구에서 철도차량 첨단 추진시스템 기술 개발과 관련된 국내외 기술개발동향 및 세부 요소기술별 기술수분에 대한 분석을 수행했으며, 기술개발 인프라, 차량제조업체 및 운영사의 수요, 세부기술의 중요도, 기술개발 성공가능성, 기술의 난이도 등을 종합적으로 고려한 기술개발 로드맵이 체계적으로 수립되었음

- 철도차량 첨단 추진시스템 기술 개발에 필요한 세부요소기술들이 체계적으로 분류되어 있으며, 기술개발을 통해 실용화하고자 하는 End Time이 명확하게 제시되어 있음

- 기술개발 로드맵의 경우 세부요소기술간 연관관계가 도식적으로 표현되어 구체적인 기술개발 계획 및 기술개발의 추진경과를 명확하게 파악할 수 있음

- 기술개발 로드맵에 종래 및 현재기술의 문제점을 극복하기 위한 기술개발 계획이 명확하게 제시되어 있음

- 기술개발 성공가능성을 향상시키기 위하여 기술개발 과정에서 직면하게 될 기술적 위험성을 사전에 분석하고 위험요인을 극복하기 위한 추진전략이 구체적이고 체계적으로 제시되어 있음

2. 연구목표의 적절성

○ 본 연구의 총괄목표는 주변압기, 추진장치, 감속장치 등 “철도차량 추진시스템에 신기술을 적용하여 철도차량의 안정성 향상 및 경량화 달성으로 철도 운영의 효율화 및 철도교통의 경쟁력 확보”를 총괄목표로 설정하였음

- 반도체 변압기의 철도차량 적용을 위한 “첨단 주변압기”의 핵심기술개발을 통

해 기존의 유입식 변압기 대비 약 20% 경량화와 2% 효율 향상의 달성을 목표로 함

- SiC를 적용한 다상 추진제어장치, 영구자석저감형 동기전동기 등 “첨단 추진장치”의 핵심기술개발을 통해 추진시스템의 고장률 20% 개선 및 약 20%의 경량화 달성을 목표로 함

- 비접촉식 마그네틱 감속기어 등 “첨단 감속장치”의 핵심기술개발을 통해 약 10%의 경량화 및 유지보수성 10% 향상을 목표로 함

○ 본 연구의 목표는 각 기회과제에 속해 있는 세부 기술개발 과제별로 개발 목표가 설정되어 있으며, 과제별로 구체적으로 정의하여 적절하다고 판단됨

- 본 연구의 목표는 세부 기술개발 과제별로 정의되어 있으며, 각 세부 과제별로 최종 개발기술의 산출물을 구체적으로 명시하였음

<표 7-5> 기획과제별 세부 개발기술 목표

세부과제명	세부 과제별 개발기술의 최종 산출물
반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술 개발	- 광역도시철도차량용 경량 컨버터 일체형 주변압기 개발 - 컨버터 일체형 주변압기 전력변환 기술 개발 - 컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발 - 컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발 - 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 연구 - 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발
다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 기술 개발	- 도시철도 추진용 다상 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발 - 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 설계/해석 기술 개발 - 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 제작 기술 개발 - 210kW급 희토류 저감형 동기전동기의 냉각 구조 개발 - 250kW급 5상구동 및 비상시 3상 구동이 가능한 동기전동기 인버터 H/W 개발 - 250kW급 5상 및 3상 구동 동기전동기 인버터 제어 알고리즘 개발 - 250kW급 동기전동기 인버터 냉각 구조 개발 - 다상 영구자석 동기전동기의 도시철도차량용 구동장치 적용을 위한 실용화 기술 및 성능 평가기술 개발
철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 핵심기술 개발	- 비접촉 방식의 감속기와 견인전동기가 일체화된 마그네틱 기어드 동기전동기 기술개발 - 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 설계/해석 기술 개발 - 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 제작 기술 개발 - 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 제어 알고리즘 및 구동 드라이버 기술 개발 - 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 구조 및 냉각성능 확보 기술 개발 - 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 철도차량용 구동장치 적용을 위한 실용화 기술 및 성능 평가기술 개발

3. 연구 세부활동 구성 및 내용의 적절성

○ 철도차량의 안정성을 향상시키고, 경량화를 달성하기 위해 첨단기술을 접목한 추진시스템 기술확보를 위한 기반 연구 조사를 추진함

- 철도차량의 운영·관리 측면에서 효율성을 제고시키기 위해 철도차량에 적용할 수 있는 첨단기술 개발 연구의 추진방향 설정 및 이를 위한 기술 개발 로드맵을 구축함

- 첨단기술이 적용가능한 주변압기, 추진장치, 감속장치 등 추진시스템을 대상으로 관련 기술을 정의하고 핵심기술 및 기술개발 과제 추진 계획 방향을 도출함

○ 총 10개의 세부 기획과제는 첨단 주변압기 분야 기술과제 4개, 첨단 추진장치 분야 기술과제 3개, 첨단 감속장치 기술과제 3개로 구분할 수 있음

〈표 7-6〉 기획과제의 기술개발 내용

첨단 주변압기 기술개발	첨단 추진장치 기술개발	첨단 감속장치 기술개발
· 반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발 · 경량 고효율 고주파 변압기 설계· 해석·제작 기술개발 · 철도차량 경량화 및 안정화를 위한 유입 변압기 최적 구조설계 기술개발 · 철도차량 안정화를 위한 주변압기 실시간 모니터링 기술개발	· 철도차량 안정성 향상을 위한 다상 희토류 점감형 영구자성 동기전동기 및 인버터 기술개발 · 철도차량 경량화를 위한 SiC 적용 전략 변환장치 개발 · 철도차량 안정화를 위한 전동기 및 인버터 고장진단 및 수명예측 기술개발	· 철도차량 안정성 향상을 위한 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술개발 · 철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 감속기어 · 철도차량 안정성 향상을 위한 비접촉식 커플링 기술개발

○ 기획과제별 기술개발내용은 철도차량의 경량화 및 안정성 향상을 위한 개발대상 장치로 선정된 주변압기, 추진장치, 감속장치들을 20%이상 경량화하고 고장율을 10%이상 개선하는 목표를 달성할 수 있도록 구성되었음

- 제 1세부과제의 경우 기존 주변압기의 중량보다 약 20% 경량화되고, 효율성 2% 향상된 첨단 주변압기 기술을 개발하는 내용으로 구성됨

- 제 2세부과제의 경우 기존 추진장치의 중량보다 약 20% 경량화되고, 고장율

20% 개선하는 첨단 추진장치 기술을 개발하는 내용으로 구성됨

- 제 3세부과제의 경우 기존 감속장치의 중량보다 약 20% 경량화되고, 유지보수성 10% 개선하는 첨단 추진장치 기술을 개발하는 내용으로 구성됨

- 기획과제 추진을 통해 철도차량의 추진시스템 영역에서 최대 70%까지 경량화하고 효율성, 고장율 개선, 유지보수 편의성 제고 등 기타 효과의 확보를 목표로 구성함

4. 기술개발 성공가능성(기술 추세, 기술수준 분석)

□ 기술수준 분석

○ 국내 전문가들을 대상으로 기술예측조사를 수행한 결과, 본 과제에서 기획 중인 기술분야에서 최고기술을 가장 많이 보유하고 있는 국가는 미국으로 나타남

- 미국 8건(27%), 독일 6건(20%), 유럽 6건(20%), 일본 5건(17%), 스위스 4건(13%) 기술에서 최고기술을 보유한 것으로 나타남

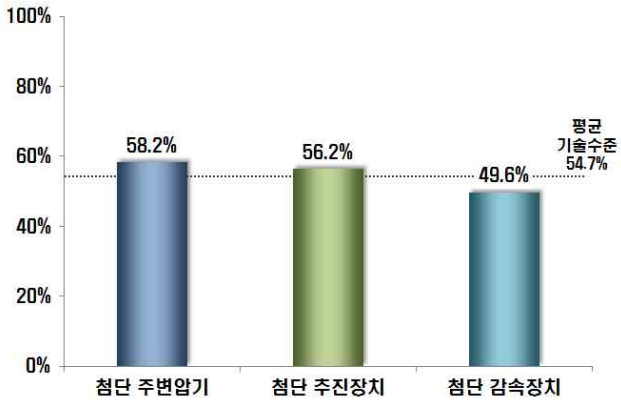


<그림 7-3> 최고기술보유국 현황

○ 우리나라의 기술수준은 최고선진국 대비 54.7%로 조사됨

- 첨단 주변압기 분야와 첨단 추진장치 분야의 기술수준은 각각 58.2%, 56.2%로 전체 기술수준 평균보다 3.5%, 1.5% 높은 것으로 나타남

- 첨단 감속구동장치 분야의 기술수준은 49.6%로 전체 기술수준 평균보다 5.1% 낮으며, 타 중점분야의 기술수준에 비해 가장 낮은 것으로 나타남.



<그림 7-4> 세부 기획과제 기술별 기술수준

- 몰드 변압기 기술이나 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 기술의 경우 선진국 대비 상당한 기술 수준(80% 이상)에 도달한 분야도 존재함

□ 기술개발의 성공가능성

○ “첨단 주변압기기 기술개발”과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고, 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발의 성공가능성을 향상시키고자 함

세부기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
첨단 주변압기기 기술개발	・첨단 변압기와 같은 새로운 기술개발 시도를 통한 선도 기술에 대한 경험이 부족 ・기업의 기술개발 환경 미흡 ・취약한 소자/재료 기술	・다양한 소자/부품 공급자를 발굴하여 기술 종속 탈피 ・전력전자분야 기술이 적용된 첨단 변압기를 타겟으로 개발

○ “첨단 추진장치 기술개발”과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고, 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발의 성공가능성을 향상시키고자 함

세부기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
첨단 추진장치 기술개발	・국내 철도차량 첨단 추진시스템과 관련된 부품산업 및 요소기술 기반 취약	・추진시스템 안정화를 위한 원천기술 확보로 기술 종속 탈피 ・새로운 전동기 설계SW와 제어회로 개발

○ “첨단 감속장치 기술개발”과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고, 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발의 성공가능성을 향상시키고자 함

세부기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
첨단 감속장치 기술개발	・마그네틱 기어드 동기전동기 관련 연구 경험 부족 ・철도 및 전기자동차 구동용 시스템으로의 적용 사례 전무	・관련 기술 개발을 위한 국제적 프로젝트 참여 및 협력 ・Test-Bed 구축을 통한 개발 기술의 성능평가 및 검증 수행

5. 기술성숙도(TRL) 수준

○ 국토교통 R&D 사업은 기술성숙도에 따라 다음과 같이 TRL 단계를 분류 및 정의하고 있음

<표 7-7> 국토교통 R&D 사업의 기술성숙도(Technology Readiness Level, TRL) 정의

TRL 단계			단계별 정의
기초연구	1	【기초실험】 기본원리발견	• 기초이론 정립 단계
	2	【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립	• 기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계
실험	3	【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증	• 실험실 환경에서 실험 또는 전산 시뮬레이션을 통해 기본 성능이 검증될 수 있는 단계 • 개발하려는 부품 또는 시스템의 기본 설계도면을 확보하는 단계 등
	4	【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발	• 시험샘플을 제작하여 핵심성능에 대한 평가가 완료된 단계 • 3단계에서 도출된 다양한 결과 중에서 최적의 결과를 선택하는 단계 • 컴퓨터 모사가 가능한 경우 최적화를 완료하는 단계
시제품	5	【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증	• 확정된 공법/재료/시스템의 실험실 시제품 제작 및 성능 평가가 완료된 단계 • 개발 대상의 생산을 고려하여 설계하나 실제 제작한 시제품 샘플은 1~수개 미만인 단계 • 경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심성능으로만 볼 때, 실제로 판매가 될 수 있는 정도로 목표 성능을 달성한 단계
	6	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발	• 파일롯 규모(복수 개 ~ 양산규모의 1/10 정도)의 시제품 제작 및 평가가 완료된 단계 • 파일롯 규모 생산품에 대해 생산량, 생산용량, 생산수율, 불량률 등 제시 • 파일롯 생산을 위한 대규모 투자가 동반되는 단계 • 생산기업이 수요기업 적용환경에 유사하게 자체 현장테스트를 실시하여 목표성능을 만족시킨 단계 • 성능평가 결과에 대해 가능하면 공인인증 기관의 성적서 확보
실용화	7	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모	• 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계 • 장치 및 재료개발의 경우 수요업체에서 직접 파일롯 시제품을 현장 평가(성능뿐만 아니라 신뢰성에 대해서도 평가) • 가능하면 KOLAS 인증기관 등의 신뢰성 평가 결과 제출 등
	8	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증	• 표준화 및 인허가 취득 단계
양산	9	【사업화】 상용제품생산	• 본격적인 양산 및 사업화 단계

○ 본 과제의 세부과제별 현재상태와 과제가 완료된 시점에서의 TRL 수준을 국토교통 R&D 사업의 정의에 따라 구분하면 다음과 같다.

	현재수준	기술개발의 목표 수준	비고
첨단 주변압기 기술	TRL 3	TRL 7	
첨단 추진장치 기술	TRL 3	TRL 7	
첨단 감속장치 기술	TRL 2	TRL 5	

6. 기존 사업과의 중복성

○ 본 과제와의 차이점을 도출하기 위하여 유기적으로 연결된 기존 과제를 분석함

- 도시철도차량용 25kV 1,060KVA급 고효율 친환경 아몰퍼스 주변압기 국산화 개발 과제는 주변압기의 기본 설계·상세 설계, 시제품 제작, 개발품 현장 적용시험 및 보완 등이 진행되었으며 아몰퍼스 코어 적용, AI도체 등을 활용한 점과 기술개발 및 현장 적용을 주목표로 하는 점이 본 과제와 차이점으로 나타났으며,

- 철도차량의 성능향상을 위한 핵심기술(열차제어, 제동, 주행장치)개발 과제는 고성능 접촉식 제동매커니즘 및 제동 핵심기술 개발 및 기본설계가 진행됐으며 트램 및 트레인용 차량시스템을 위한 제동장치 핵심기술 개발이라는 점이 본 과제와 차이점으로 나타남

- SiC 전력용 파워모듈을 이용한 190kVA급 철도차량용 고효율 전력인버터 및 시스템 적용 기술개발 과제에선 SiC 전력용 파워모듈을 활용한 전력 인버터와 소자 개발이 진행되었으며, 전력 인버터의 기본 설계 및 수동소자 설계·개발한 것이 차이점로 나타남

<표 7-8> 기존 기술개발과제 연구내용 및 차이점

과제명	연구기관	연구내용	차이점
미래도시철도차량용 슈퍼프리미엄급 IPMSM 개발 및 성능평가/운용 기술 인력양성	한밭대학	- IPMSM 상용화 핵심 기술 개발 - 고출력밀도/슈퍼프리미엄급 IPMSM 설계 기술 - IPMSM 고효율 제어기술 개발 - IPMSM 성능평가 기술 개발 - 관련 연구인력양성 및 고용창출	- 견인 전동기 상용화 기술 개발 - 인력 양성
도시철도차량용 25kV 1,060KVA급 고효율 친환경 아몰퍼스 주변압기 국산화 개발	비츠로씨앤씨	- 주변압기 기본 설계 및 상세 설계 - 시작품 제작 및 보완 - 개발 완제품 제작 및 성능인증 - 개발품 현차 적용시험 및 보완 - 개발품 본선 시운전 및 보완	- 몰퍼스 코어 적용, AI 도체 등을 활용 - 기술개발 및 현장 적용
철도차량의 성능향상을 위한 핵심기술(열차제어, 제동, 주행장치)개발	한국철도기술연구원	- 고성능 접촉식 제동시스템 핵심장치 개념설계 및 기본설계 - 모듈형 열차제어시스템 프레임워크 설계 - 주행장치 기본 및 부품설계 - 트램-트레인용 차량시스템 사양 작	- 트램 및 트레인용 차량시스템을 위한 제동장치 핵심기술 개발

과제명	연구 기관	연구내용	차이점
		성 및 저상대차 기본설계	
SiC 전력용 파워모듈을 이용한 190kVA급 철도차량용 고효율 전력인버터 및 시스템 적용 기술개발	브이씨텍	- 전력 인버터 시스템 사양 도출 및 제어보드·SW 설계 및 제작 - SiC Power Stack 요구사항 도출 - Bus plate 기계적 모델 설계 및 해석 등가회로모델 도출 - 자기장 커플링 분석을 통한 Power Stack 최적 설계안 도출 - SiC 전력인버터용 수동소자 목표사양 수립 - 유한요소법을 적용한 수동소자 전자장 해석 및 설계 - SiC 전력인버터용 GDU 설계 및 시작품 시험 - SiC 전력인버터 핵심부품소자 기술기준 및 자료구축	- 전력 인버터의 기본 설계 - 수동소자 설계·개발

제 3 절 경제적 타당성

1. 서론

가. 연구의 배경

○ 대표적인 친환경 교통수단인 철도차량은 운행의 안정성 및 정시성 확보와 함께 유지보수 비용의 절감은 반드시 이뤄어져야 할 과제임

○ 프랑스, 독일, 일본 등에 있는 철도 선진기업의 경우 철도차량용 추진시스템의 안정성과 효율을 개선하기 위한 발전을 거듭하고 있는 반면 국내의 철도차량 추진시스템은 종래 기술의 틀에서 벗어나지 못하고 있는 실정

○ 안정성 향상 및 경량화 등 성능 개선, 유지보수 효율 향상을 위한 기술개발이 뒤쳐질 경우 또다시 철도산업이 외국기술에 종속될 가능성 있음.

○ 철도 현장 중심의 국내 철도기술 수준을 높여 열차이용의 안전성 및 유지보수성을 확보하여야 하나 철도기술은 선진국 대비 차량분야 83.5%(‘20), 시설분야 89.2%(’ 20), 운영 및 환경분야 91.5%(‘20) 로 예상하고 있어 시급히 철도차량 분야에 기술개발이 필요함.

○ 국내 철도분야 전력사용량 매년 급격한 증가 추세로 철도 전력 사용량의 2/3를 차지하는 전철전력이 매년 증가 추세이며, 특히 KTX가 도입된 2004년 이후 전철전력 사용량 증가율이 이전 15년에 비해 2.4배로 급증하고 있어 에너지 절약을 위한 대책이 시급함.



[인용 : 한국철도공사 전철전력사용량, 『철도통계연보』 2010]

<그림 7-5> 철도공사 전철전력 사용량

○ 철도에너지 증가에 따른 대책으로 철도시스템 구축시 차량 부품 경량화를 세계적으로 추진하고 있으며 Talgo AVRIL 차량의 경우 차량 30% 경량화를 통해 약 18%의 에너지 절감 효과를 달성하였음.

나. 연구의 목적

○ 철도차량 추진시스템에 신기술을 적용하여 철도차량의 안정성 향상 및 경량화를 달성으로 유지보수 비용절감에 필수적인 변압기와 컨버터 도입의 경제성을 검토하는 것을 목표로 함

다. 연구의 범위

○ 연구의 기초가 되는 자료는 2016년을 기준으로 함

○ 도시철도를 대상으로 함

2. 비용편익 분석법

가. 개요

○ 비용편익분석은 가장 최신본인 국토교통부 고시 제2013-807호로 고시된 교통시설 투자평가지침 제5차 개정본[1]의 내용을 준용하여 분석하였음.

○ 공공투자사업의 경제성 분석에 있어 할인율은 사업의 편익과 비용을 현재가치로 환산하는데 결정적인 파라미터로 작용하기 때문에 이 지침에서 제시하는 5.5%를 사용함

○ 경제적 타당성 분석의 분석기간은 30년으로 하며, 철도사업의 경우 분석기간을 40년으로 하도록 되어 있으나 철도차량에 그대로 적용은 어려움

○ 2012년 철도차량의 내구연한은 철폐되었으나 재논의가 이루어지고 있는 현실을 반영하여 철도안전법에서 규정했던 25년을 분석기간으로 설정함

○ 경제성 평가는 기준시점을 기준으로 하여 미래에 발생하는 편익과 비용을 산정하여 이의 크기를 비교하는 방식으로 진행함

○ 미래에 발생하는 편익과 비용은 가격기준시점의 불변가격으로 산정하며, 만약에 편익과 비용을 경상가격으로 산정하는 경우 할인율을 경상할인율로 사용함

○ 2013년 교통시설투자평가지침의 원단위는 가격변환지수로 매년 발표되는 '소비자물가지수'를 적용하여 환산함

---

1) 제6차 개정본은 개정연구중
(연구기관: 서울과학기술대학교 산학협력단, 연구기간: 2016.2.1. ~ 2016.11.30)

나. 편익 및 비용의 현재가치 산정방법

1) 비용-편익비 (B/C Ratio)

○ 수익성 지수법(Profitability Index Method)이라고도 하며, 개별 대안사업별로 편익을 비용으로 나눈 값이 가장 큰 대안을 선택하는 방법

○ 사업의 비용과 편익은 오랜시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정시간(일반적으로 현재 년도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 '현재가치화'라고 함

○ 각 사업의 비용-편익비는 현재가치로 환산된 비용과 수입으로 나타내는 것이 일반적임

○ 비용-편익비의 산정식은 다음과 같음

$$\text{비용·편익비(B/C비율)} = \text{비용} - \text{편익비} = \frac{\text{수입의 현재가치}}{\text{비용의 현재가치}}$$

$$= \sum_{n}^{N} BPV_n / \sum_{m}^{M} CPV_m$$

$$= TBPV \ / \ TCPV$$

여기서, $BPVn$: n항목 편익의 현재가치
$CPVm$: m항목 비용의 현재가치
n, N : 편익 항목의 종류
m, M : 비용 항목의 종류

○ 위의 식에 적용되는 각 편익항목 및 비용항목의 현재가치 산정식은 다음과 같이 산정

$$BPV_n = \sum_{t=0}^{T} \frac{B_{nt}}{(1+r)^t}$$

$BPVn$: n항목 편익의 현재가치,
T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수
t : 기준 연차를 0으로 하는 연차
Bnt : 기준 연차로부터 t년째의 n항목의 편익
r : 사회적 할인율,
n : 편익의 종류

$$CPV_n = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_{nt}}{(1+r)^t}$$

$CPVn$: n항목의 비용의 현재가치
T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수
t : 기준 연차를 0으로 하는 연차
Cnt : 기준 연차로부터 t년째의 n항목의 비용
r : 사회적 할인율,
n : 비용의 종류

○ 단일투자안과 상호 독립적 투자안의 경우는 투자안의 PI가 1 보다 크면 선택 투자안을 선택

○ 상호 배타적 투자안의 경우 PI > 1인 투자안 중 PI가 가장 큰 투자안을 선택

○ 순현재가치법처럼 화폐의 시간가치를 고려하고 있으며, 현금흐름을 기초로 한다는 면에서 이론적으로 우수한 수익성 분석방법중의 하나이며, 단점으로는 투자안의 자본비용(r)를 추정하기가 어려움

2) 순현재가치(NPV)

○ 순현재가치는 사업의 경제성을 평가하는 척도중의 하나로서 현재가치로 환산된 장래의 연차별 편익의 합계에서 현재가치로 환산된 장래의 연차별 비용의 합계를 뺀 값을 의미

○ 순현재가치는 대안의 선택에 있어서 정확한 기준을 제시해주고, 계산이 비교적 용이하여 교통투자사업의 보편적으로 사용되지만 비용-편익비와 같이 비용항목과 수입항목의 결정과 산정에 분석자의 주관개입이 문제될 수 있음

○ 순현재가치(NPV)의 산정식은 다음과 같음

$$\text{순현재가치(NPV)} = \sum_{t=0}^{T} \frac{\sum_{i=n}^{N} B_{it} - \sum_{j=m}^{M} C_{jt}}{(1+r)^t}$$

여기서, Bit : i항목의 t연도 편익
Cjt : j항목의 t연도 비용
n,N : 편익 항목의 종류
m,M : 비용 항목의 종류
T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수
t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

○ 의사결정기준은 단일 투자안과 상호 독립적 투자안의 경우 투자안의 NPV가 0 보다 높으면 선택하며 상호 배타적 투자안의 경우는 NPV가 0보다 높은 투자안 중 NPV가 가장 큰 투자안을 선택

○ 동 방법은 화폐의 시간가치가 고려될 뿐만 아니라 수입의 기대치와 자본비용만으로 투자가치를 평가하므로, 자의적 요인을 제거할 수 있다는 장점이 있고, 가치가산의 원칙(Value Additivity Principle)이 성립함

○ 상호 독립적인 투자안 A,B에 대해 두 투자안에 동시에 투자되는 결합투자의 현재가치는 각 투자안의 순현재가치의 합으로 이를 수학적으로 표현하면, 투자안 A의 NPV가 10이고 투자안 B의 NPV가 15라면 투자안에 동시에 투자하는 경우의 NPV는 25가 됨

○ 이는 다른 수익성 분석방법보다 이론적인 면에서 우월하여 실무적으로 가장 보편화되어 있는 수익성분석 방법이나 자안의 자본비용(r) 즉, 할인율을 추정하기가 어렵다는 단점이 있음

3) 내부수익률(IRR)

○ 일반적으로 공공교통시설 개발사업의 경우 비용이 평가대상 기간의 초기에 집중되고 편익이 시설 완성 후와 평가대상 기간 내에 지속적으로 발생함

○ 경제적 내부수익률이 크다는 것은 미래의 편익을 낮게 평가함에도 불구하고 사업의 효과가 있다는 것을 의미하는 것이므로 경제적 내부수익률이 큰 공공교통시설 개발사업은 우량한 사업이라 할 수 있으며, 산정식은 다음과 같음

$$\text{내부수익률(IRR)} = \sum_{t=0}^{T} \frac{\sum_{i=n}^{N} B_{it} - \sum_{j=m}^{M} C_{jt}}{(1+ir)^t} = 0$$

여기서, Bit : i항목의 t연도 편익
Cjt : j항목의 t연도 비용
n,N : 편익 항목의 종류
m,M : 비용 항목의 종류
T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수
t : 기준 연차를 0으로 하는 연차
ir : 내부수익률

3. 비용-편익 항목 설정

가. 첨단 변압기

○ 차량의 도입에 따른 총비용 중 연구개발비와 첨단 변압기 도입에 따른 추가 비용을 비용항목으로 계상함

○ 경제성분석에서 비용부문은 일반적으로 유사사업의 실적자료와 비교 검토를 통하여 비용을 검증하여 항목별로 값을 제시하여야 하며, 이때 제시되어야 하는 항목은 세분류 되어야 함

○ 각각의 항목에 대한 구체적인 구성항목은 표와 같음

<표 7-9> 첨단 변압기 비용부문 세부항목

구 분		세 부 항 목
구입비	추가 구입 비용	•부품구입 절감 및 추가비용
유지관리비	유지보수비	•유지 보수 추가비용

○ 첨단 변압기 도입에 따른 편익 항목임

<표 7-10> 첨단 변압기 도입에 따른 편익 항목 분류

구 분		세부 항목	비고
직접 편익	철도 이용자 편익	소음 저감	
		분진 저감	
		편의성 및 승차감 향상	미반영
		주행 안전성 향상	미반영
	운영자 편익	철도차량 유지보수 비용 절감	
		차량 가용성 증가	
		구입비 감소	
		운영비용(에너지 비용) 절감	

나. 첨단 추진장치

○ 차량의 도입에 따른 총비용 중 연구개발비와 추진장치 도입에 따른 추가 비용을 비용항목으로 계상함

○ 경제성분석에서 비용부문은 일반적으로 유사사업의 실적자료와 비교 검토를 통하여 비용을 검증하여 항목별로 값을 제시하여야 하며, 이때 제시되어야 하는 항목은 세분류 되어야 함

○ 각각의 항목에 대한 구체적인 구성항목은 표와 같음

<표 7-11> 추진장치 비용부문 세부항목

구 분		세 부 항 목
구입비	추가 구입 비용	•부품구입 절감 및 추가비용
유지관리비	유지보수비	•유지 보수 추가비용

○ 추진장치 도입에 따른 편익 항목임

<표 7-12> 추진장치 도입에 따른 편익 항목 분류

구 분		세부 항목	비고
직접 편익	철도 이용자 편익	소음 저감	
		분진 저감	해당없음
		편의성 및 승차감 향상	미반영
		주행 안전성 향상	미반영
	운영자 편익	철도차량 유지보수 비용 절감	
		차량 가용성 증가	
		운영비용(에너지 비용) 절감	

다. 첨단 감속구동장치

○ 차량의 도입에 따른 총비용 중 연구개발비와 감속구동장치 도입에 따른 추가 비용을 비용항목으로 계상함

○ 경제성분석에서 비용부문은 일반적으로 유사사업의 실적자료와 비교 검토를 통하여 비용을 검증하여 항목별로 값을 제시하여야 하며, 이때 제시되어야 하는 항목은 세분류 되어야 함

○ 각각의 항목에 대한 구체적인 구성항목은 표와 같음

○ 추가 구입비용 절감은 편익으로 산정함

<표 7-13> 첨단 감속구동장치 비용부문 세부항목

구 분		세 부 항 목
구입비	추가 구입 비용	•부품구입 추가비용
유지관리비	유지보수비	•유지 보수 추가비용

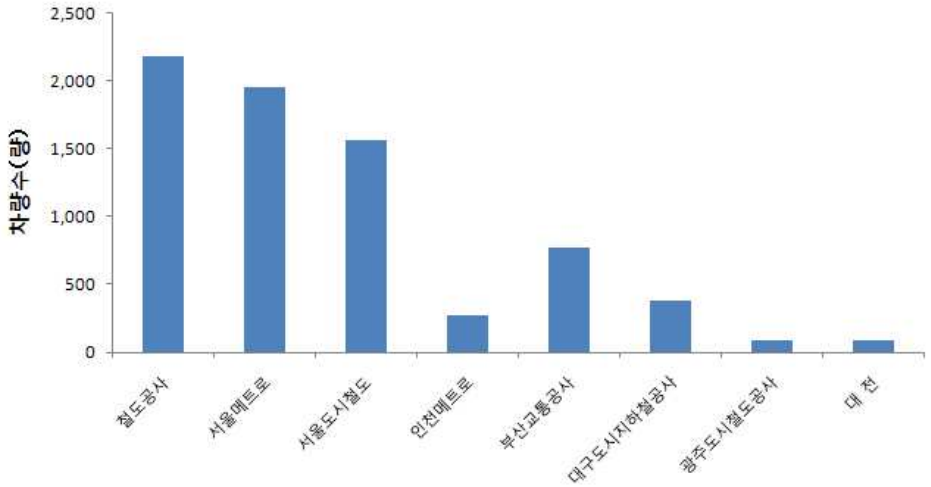
○ 첨단 감속구동장치 도입에 따른 편익 항목임

<표 7-14> 감속구동장치 도입에 따른 편익 항목 분류

구 분		세부 항목	비고
직접 편익	철도 이용자 편익	소음 저감	해당없음
		분진 저감	해당없음
		편의성 및 승차감 향상	미반영
		주행 안전성 향상	미반영
	운영자 편익	철도차량 유지보수 비용 절감	
		차량 가용성 증가	
		구입비 절감	
		운영비용 절감(에너지 비용 감소)	

4. 분석대상 설정

○ 도시철도 운용 차량은 현재 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전에서 운영 중인 전동차와 철도공사 운영차량 포함 총 7,473량, 총914편성임



<그림 7-6> 도시철도 운영기관별 전동차 보유량 수

○ 도시철도차량에 한정하여 경제성 분석함 : 총 7,473량(총 914편성)

○ 도시철도차량의 운행횟수는 9091회/일 이며 총 연장은 619.6km 임

○ 국내 도시철도 시장은 년간 270량 규모로 연구의 경제적 타당성 분석을 위한 연구결과의 적용 시나리오를 낙관적 시나리오와 보수적 시나리오로 구분함.

- 낙관적 시나리오로 도시철도차량을 신규 도입하는 운영기관의 절반 이상에서 연구결과를 적용하는 경우 약 60% 가량의 신규도입 차량에 적용이 가능함

- 비관적 시나리오는 시범사업 등을 통하여 정부지원 등의 제도적 지원으로 특정의 하나 혹은 둘의 노선에만 적용되는 경우로 구분하여 분석하였다.

<표 7-15> 연구결과의 적용 시나리오

적용 시나리오	낙관적 분석	보수적 분석 [I]	보수적 분석 [II]
적용 구분	신규차량 60% 적용	1개노선 적용	2개 노선 적용
적용 차량 수	160량/년	50량/년	110량/년 규모

○ 기존 차량의 개조는 비용대비 효과면에서 타당성이 없다고 판단하여 포함하지 않음

5. 비용 산정

가. 첨단 변압기

1) 연구개발비

○ 첨단 변압기의 연구개발비는 2018년부터 4년간 82억으로 연평균 20억이 투입될 것으로 계획되었다.

<표 7-16> 첨단 변압기 개발 연구비 투입 계획

년도	금액	비고
2018년	15억원	
2019년	30억원	
2020년	22억원	
2021년	15억원	
총액	82억원	

2) 추가 차량 가격

○ 첨단 변압기의 채택으로 기존 변압기 대비 약 3배가량 변압기의 가격은 상승할 것으로 예상되나 추진제어장치에서 컨버터가 필요없게 되어 차량의 가격측면에서 첨단 변압기의 개발에 따른 추가비용의 변화는 없을 것으로 예상됨

○ 제품출시는 2025년으로 예상하고 있음

<표 7-17> 첨단 변압기 도입에 따른 차량 구입비 변화

품목	기존 (유입 변압기 + 컨버터)	변경후 (첨단 변압기)
변압기	1.2억원/EA	3.5억원/EA
컨버터	1.5억원/EA	구입 불필요
합계	11.1억원/편성 (변압기 3대+컨버터5대 적용)	10.5억원/편성 (첨단 변압기 3대만 적용)

※1. 컨버터 가격은 C/I 구입가격의 50%를 적용
※2. 도시철도차량 1편성(5M5T) 기준 : 변압기 3EA, 컨버터 5EA 소요

나. 첨단 추진장치

1) 연구개발비

○ 추진장치의 연구개발비는 2018년부터 4년간 71억으로 연간 18억이 투입될 것으로 계획되었다.

<표 7-18> 첨단 추진장치 개발 연구비 투입 계획

년도	금액	비고
2018년	13억원	
2019년	28억원	
2020년	18억원	
2021년	12억원	
총액	71억원	

2) 추가 차량 가격

○ 새로운 추진장치의 개발에 따른 부품비의 변화는 없을 것으로 예상됨

○ 제품출시는 2025년으로 예상하고 있음

<표 7-19> 첨단 추진장치 도입에 따른 차량 구입비 변화

품목	기존	변경후
인버터	1.5억원/EA	1.5억원/EA
모터	0.35억원/EA	0.35억원/EA
합계	14.5억원/편성 7.5억(인버터 5EA)+7억(모터 20 EA)	14.5억원/편성 7.5억(인버터 5EA)+7억(모터 20 EA)

※도시철도차량 1편성(5M5T) 기준 : 인버터 5EA, 모터 20EA 소요

다. 첨단 감속구동장치

1) 연구개발비

○ 감속구동장치의 연구개발비는 2018년부터 4년간 42억으로 년평균 10억 정도가 투입될 것으로 계획

<표 7-20> 첨단 감속구동장치 개발 연구비 투입 계획

년도	금액	비고
2018년	10억원	
2019년	11억원	
2020년	11억원	
2021년	10억원	
총액	42억원	

2) 추가 부품 비용

○ 첨단 감속구동장치의 개발에 따라 부품비는 개당 2,000,000원의 감소가 예상됨

○ 제품출시는 2025년으로 예상하고 있음

○ 도시철도차량(5M5T) 1편성 기준은 감속기+견인전동기 20 SET 이며 개발될 첨단 감속구동장치도 20 SET 소요 됨

<표 7-21> 첨단 감속구동장치 도입에 따른 차량 구입비 변화

품목	기존 (기계식 감속기+유도전동기 시스템)	변경후 (첨단 감속구동장치)
감속구동장치	0.17억원/EA	0.5억원/EA (목표가)
	0.35억원/EA	
합계	0.52억원/SET	0.5억원/EA

6. 편익 산정

가. 첨단 변압기

1) 소음 감소 편익

○ 소음가치의 산정을 위해서는 사업시행으로 발생하는 소음변화량과 단위 소음당 원단위에 대한 정보가 필수적

ㅇ 기존 주변압기는 냉각방식이 강제송풍식 송유풍냉방식으로 절연유의 순환을 위한 오일펌프와 냉각용 송풍기에 의한 기계소음이 발생하고 있음 - 소음을 관리하기 위하여 소음시험을 실시하고 있으며, 소음기준으로 85 dB (A)를 적용하고 있음 ㅇ 새로이 개발하는 첨단 변압기는 자연냉각방식으로 개발 될 예정이며, 이의 냉각구조는 기존의 컨버터와 유사한 구조를 갖게 될 것이며, 컨버터의 경우 소음기준으로 70 dB(A)를 적용하고 있으나, 첨단 변압기의 경우 고주파 변압기의 고주파 전류에 따른 자기음 발생이 있을 것으로 예상됨 ㅇ 소음기준으로 80 dB(A)를 적용하는 경우 발생소음은 5 dB(A)의 성능 개선이 예상됨

○ 본 분석에서 소음 감소는 평균 5db로 예상함

○ 총 대상 차량은 연도별 대상차량으로 2023년부터 신규 도입 270량이 변압기 및 컨버터를 설치하는 것으로 가정하였다.

○ 소음비용은 다음의 소음가치 평균원단위를 적용하여 산출한다.

<표 7-22> 소음가치의 평균원단위(단위: 원/dB·년·m) (2013년 기준)

구 분	도 시 부	지 방 부	평 균
소음가치의 평균원단위	4,558	2,596	3,061

자료: 한국개발연구원, 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제4판), 2004
주 : 소비자 물가지수를 이용하여 2016년 자료로 보정함

○ 사업으로 인한 소음비용(편익)을 산정하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\sum_{i}\sum_{j}(P\times l_{ij}\times L_{ij})$$

여기서,

P : 소음가치의 원단위, l_{ij} : 대상노선연장길이

L_{ij} : 예측소음도, i : 선로구분(고속철도, 지하철, 전철, 등)

j : 영향권 내 개별링크

○ 차량의 도입이 연차적으로 이루어지는 것을 감안하여 도입차량비율로 절감액 적용함

2) 유지보수비 감소

ㅇ 기존의 유지보수 체계는 주변압기의 유지보수와 컨버터의 유지보수 인원을 별도로 운영하고 있음 ㅇ 주변압기의 경우 절연유의 주기적인 절연성능 관리와 교체 및 송풍전동기와 오일펌프의 관리를 필요로 함. ㅇ 전력전자기술을 적용한 첨단 변압기는 기존의 컨버터 유지보수 체계와 유사한 전력변환장치의 유지보수체계에 의하여 관리를 하여야 함. ㅇ 첨단 변압기를 도입하는 경우 주변압기와 컨버터를 대체하게 되며, 기존의 컨버터 유지보수 인원으로 첨단 변압기의 유지보수가 가능하게 됨. ㅇ 10량1편성으로 운행하는 광역도시철도차량의 경우 주변압기는 3대와 컨버터 5대가 설치되며 년간 유지보수비는 재료비가 구입비의 3%, 인건비가 구입비의 3% 수준으로 0.67억원/편성(=6,700,000원/량)이 소요된다 ㅇ 첨단 변압기로 교체하는 경우 년간 유지보수비는 재료비를 구입비의 3%, 인건비는 기존 컨버터 유지보수 인력에 해당하는 구입비의 2%를 적용하여 0.56억원/편성(=5,600,000원/량)의 유지보수비가 예상되며, 이는 기존대비 16.4% 감소된 비용이다.

○ 기존 컨버터 유지보수 체계에 의하여 첨단 변압기 유지보수를 하게 되어 기존의 변압기 유지보수 체계는 운영 필요성이 없어짐

○ 기기용적 감소함

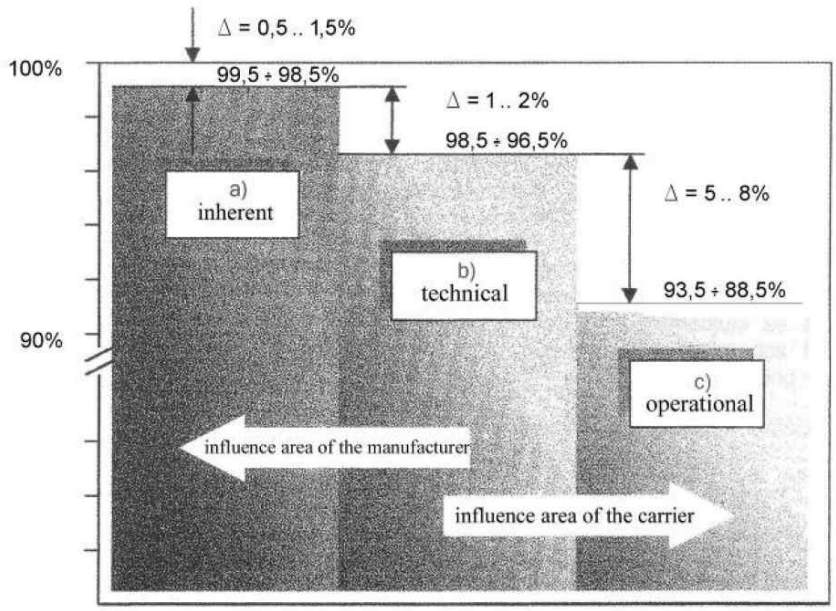
○ 첨단 변압기 도입에 따라 유지보수 비용은 6,700,000원/량으로 기존대비 16.4%에 해당하는 년간 1,100,000원/량이 절감될 것으로 예측 됨

○ 총 대상 차량은 연도별 대상차량으로 2025년부터 신규 도입 270량이 변압기 및 컨버터를 설치하는 것으로 가정

3) 차량 가용성

ㅇ철도차량의 가용성은 전체비가동 시간을 줄이므로서 향상 시킬 수 있음

ㅇ가용성의 산정 조건에 따라 전체비가동시간은 예방정비 시간, 고장처치 시간, 행정소요시간 및 보수품 대기시간 등 정비시 발생하는 시간의 구분에 따라 고유 가용성과 성취 가용성 및 운영 가용성으로 구분할 수 있음.



<그림 7-7> 가용성 구분 및 현대식 철도차량의 평균 가용성 수준

ㅇ첨단 변압기의 유지보수 체계는, 기존의 전력변압기에서 필요로 하는 모든 정비체계 및 유지보수 부품에 전체적인 변화를 가져오게 되며, 전기장치의 유지보수에서 주변압기가 차지하는 비중을 고려할 때 가용성 향상은 더욱 클 것으로 예측 할 수 있음

ㅇ유입식 변압기의 송풍기, 펌프, 절연유 등에 대한 정비 및 보수품 등이 불필요하며 기존 컨버터의 정비체계에서 수행하는 반도체 소자 및 전자회로기판 등에 대한 정비체계에서 이를 포함하여 수행하게 됨

ㅇ아울러, 단위 모듈의 직/병렬 연결 구조를 갖는 첨단 변압기의 구조적 특성상 모듈화 구조의 고지능 진단 기능을 갖추게 되어 예방정비 및 고장처치를 위한 식별/교체 작업이 신속하게 진행 될 수 있으며, 비상운전이 가능하므로 보수품 대기시간이 불필요하게 됨

ㅇ따라서 예방정비에 따른 고유가용성의 0.5% 향상, 고장처치 시간을 포함하는 성취가용성에서 0.5% 향상, 행정소요시간의 단축 및 보수품의 대기시간을 포함하는 운영 가용성에서 1%의 추가적인 가용성 향상이 예상되어 전체적으로 철도차량의 가용성 향상효과가 2%에 도달 할 것으로 예측 됨

○ 유지보수 기간의 단축에 따른 차량 가용성의 증가에 따른 수입 증가분을 고려

○ 차량 가용성 제고 효과: 2% 제고

○ 도시철도의 수입 중 평균 59%는 운영비이므로 31%를 수입으로 계상하였다.

○ 총 대상 차량은 연도별 대상차량으로 2023년부터 신규 도입 270량이 변압기 및 컨버터를 설치하는 것으로 가정하였다.

4) 에너지 절감효과

ㅇ중량 저감 효과
- 직교류겸용 전동차용 유입식 변압기 : 1.85 MVA / 3.4 ton
- 컨버터/인버터의 중량: 1.4 ton (컨버터부 4개 reg, 인버터 부 3개 reg로 컨버터부의 중량은 전체의 2/3로 산정)
- 210kW 견인전동기 8대를 구동하기 위한 전력회로의 출력밀도는 약 0.22kW/kg
- 첨단 변압기 1.85 MVA 예상중량이 2.4 ton 이므로 10량1편성의 전체 중량을 계산하면 약 10ton/편성의 경량화(2.5%) 가능

ㅇ효율 예측
- 유입식 변압기와 컨버터의 효율은 각각 0.97로 종합효율 0.94 임
- 첨단 변압기는 4단계의 전력변환을 하므로 각각 0.98로 고효율화 개발 시 시스템 효율 0.92로 약 2.2%의 효율 저하 예상

ㅇ따라서 중량저감 효과에 의한 효율 상승과 4단계의 전력변환에 따른 효율 손실을 고려하면 전체적으로 약0.3%의 에너지 효율이 상승할 것으로 예측 됨

○ 2015년 서울도시철도공사의 경우 75,520백만원을 전기요금으로 지출하였고 연간 전력 사용량은 575,340Mwh, Kwh당 126원

○ 서울도시철도공사는 1,617량을 운행하고 있어 량당 연간 355,807kwh를 사용

○ 총 도시철도차량에서 새로운 변압기 및 컨버터 도입차량의 비율을 적용하여 계산

○ 평균 0.3%의 절감효과를 예측

○ 연간 1,067kwh/량의 절감으로 134,495원의 절감효과를 예측

5) 전제조건

○ 분석기간은 25년, 할인율 0.055를 적용하였다.

나. 첨단 추진장치

1) 유지보수비 감소

ㅇ5상 인버터를 적용한 신규개발 목표사양은 같은 1,200A급 IGBT 스위치 소자를 적용한 경우 기존 3상 인버터의 최대전류인 500A의 60% 수준의 300A의 최대전류가 필요로 하며 5상의 인버터는 3상에 비해 리플전류가 30% 가량 감소되며 그에 따른 고조파 성분의 감소에 따라 인버터의 기대수명을 약 1.5배 증가시킬 수 있음

ㅇ10량1편성으로 운행하는 광역도시철도차량의 경우 인버터가 5대, 견인전동기가 20대가 설치되며 년간 유지보수비는 재료비가 구입비의 3%, 인건비가 구입비의 3% 수준으로 0.87억원/편성(=8,700,000원/량)이 소요된다.

ㅇ신규개발 추진장치를 도입하면 인건비는 구입비의 2%를 적용하며, 장치 운전의 피로도 및 기대수명 향상에 따라 재료비는 구입비의 3%를 적용하여 편성당 0.73억원(=7,300,000원/량)의 유지보수비가 예상되며, 이는 기존대비 약 16.1% 감소된 비용이다.

○ 단순 점검개소는 증가하나 교체비용과 재료비 감소함

○ 기기용적 감소함

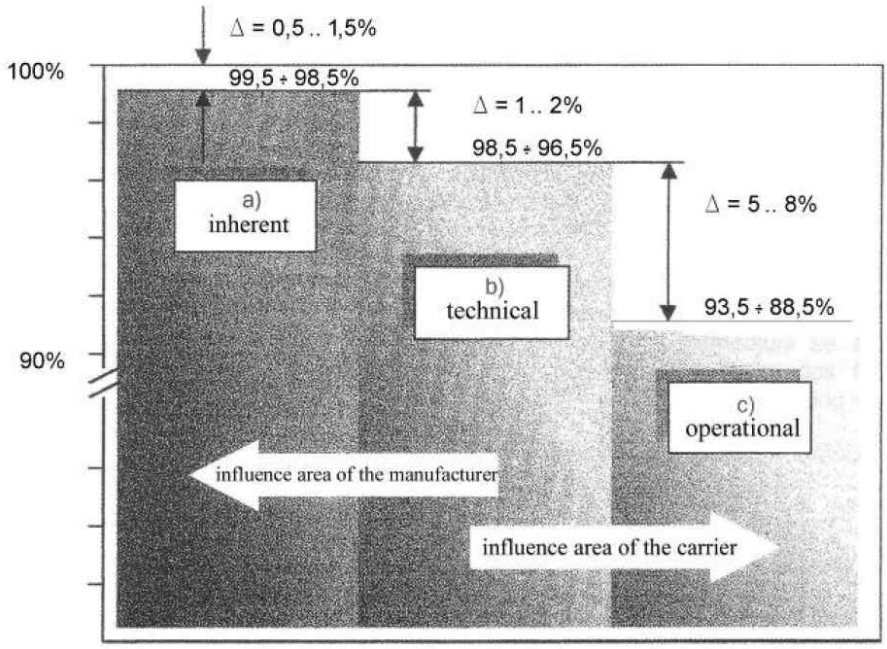
○ 추진장치 도입에 따른 유지보수 비용은 7,300,000원/량으로 기존대비 16.1%에 해당하는 년간 1,400,000원/량이 절감될 것으로 예측됨

○ 총 대상 차량은 연도별 대상차량으로 2025년부터 신규 도입 270량이 설치하는 것으로 가정하였다.

2) 차량 가용성

ㅇ철도차량의 가용성은 전체 비가동 시간을 줄이므로서 향상 시킬 수 있음

ㅇ가용성의 산정 조건에 따라 전체비가동시간은 예방정비 시간, 고장처치 시간, 행정소요시간 및 보수품 대기시간 등 정비시 발생하는 시간의 구분에 따라 고유 가용성과 성취 가용성 및 운영 가용성으로 구분할 수 있음.



<그림 7-8> 가용성 구분 및 현대식 철도차량의 평균 가용성 수준

ㅇ영구자석 보조형 동기전동기는 전폐형 구조를 하고 있어 기존 유도전동기에서 필요로 하는 유지보수 체계를 절감시킬 수 있으며, 전기장치의 유지보수에서 견인전동기가 차지하는 비중을 고려할 때 가용성 향상은 더욱 클 것으로 예측할 수 있음.

ㅇ또한 다상 인버터가 가지는 장치 피로도의 저하 및 기대수명의 향상에 따라 정비 및 보수품 등의 운영이 감소되며, 비상운전이 가능하므로 보수품 대기시간이 불필요하게 됨

ㅇ따라서 예방정비에 따른 고유가용성의 0.5% 향상, 고장처치 시간을 포함하는 성취 가용성에서 0.5% 향상, 행정소요시간의 단축 및 보수품의 대기시간을 포함하는 운영 가용성에서 1%의 추가적인 가용성 향상이 예상되어 전체적으로 철도차량의 가용성 향상효과가 2%에 도달 할 것으로 예측 됨

○ 유지보수 기간의 단축에 따른 차량 가용성의 증가에 따른 수입 증가분을 고려

○ 차량 가용성 제고 효과: 2% 제고

○ 도시철도의 수입 중 평균 59%는 운영비이므로 31%를 수입으로 계상하였다.

○ 총 대상 차량은 연도별 대상차량으로 2025년부터 신규 도입 270량이 설치하는 것으로 가정하였다.

3) 에너지 절감효과

ㅇ기존 도시철도차량용 유도전동기와 비교하여 영구자석 보조형 동기전동기는 고정자 외경 및 적층길이를 30% 이상 저감할 수 있으며, 같은 출력으로 전동기를 설계하는 경우 부피와 중량을 50% 가량 저감하여 중량 당 출력밀도를 0.9 kW/kg 이상으로 두배 이상 증가할 수 있다. 이는 5도시철도차량에서 unsprung mass의 절감효과로 에너지 효율을 평균 3.3% 향상시킬 수 있다.

○ 2015년 서울도시철도공사의 경우 75,520백만원을 전기요금으로 지출하였다. 연간 전력 사용량은 575,340Mwh, Kwh당 126원

○ 서울도시철도공사는 1,617량을 운행하고 있어 량당 연간 355,807kwh를 사용

○ 총 도시철도차량에서 새로운 부품 도입차량의 비율을 적용하여 계산

○ 평균 3.3%의 절감효과를 예측

○ 연간 11,742kwh/량의 절감으로 1,479,492원의 절감효과를 예측한다.

다. 첨단 감속구동장치

1) 유지보수비 감소

ㅇ마그네틱 기어드 동기전동기는 비접촉 동력전달을 특징으로 하는 전폐형 구조를 하고 있으므로 기존 유도전동기 대비 유지보수 주기를 3배가량 증가 시킬 수 있으며, 기계식 감속 구동장치에서 필요로 하는 윤활유의 주기적인 정비와 치차 등에 대한 정비가 필요하지 않음

ㅇ따라서 기존의 기계식 감속 구동장치에서 필요로 하는 정비체계 및 유지보수 부품이 전체적인 변화를 가져올 것으로 예측할 수 있음

ㅇ10량1편성으로 운행하는 광역도시철도차량의 경우 견인전동기 및 감속 구동장치가 각각 20대가 설치되며 년간 유지보수비는 재료비가 구입비의 3%, 인건비가 구입비의 3% 수준으로 편성당 0.62억원(=6,200,000원/량)이 소요된다.

ㅇ마그네틱 기어드 동기전동기를 도입하면 기존 견인전동기의 유지보수 조직에 의한 유지보수가 가능해지며, 비접촉 동력전달로 유지보수 부품 비용이 감소됨에 따라 재료비 3% 와 인건비를 약 2% 수준으로 적용하여, 편성당 0.52억원(=5,200,000원/량)의 유지보수비가 예상되며, 이는 기존대비 약 16.1% 감소된 비용이다.

○ 유지보수 대상 기기의 감소 및 유지보수 주기의 연장으로 점검개소와 유지보수

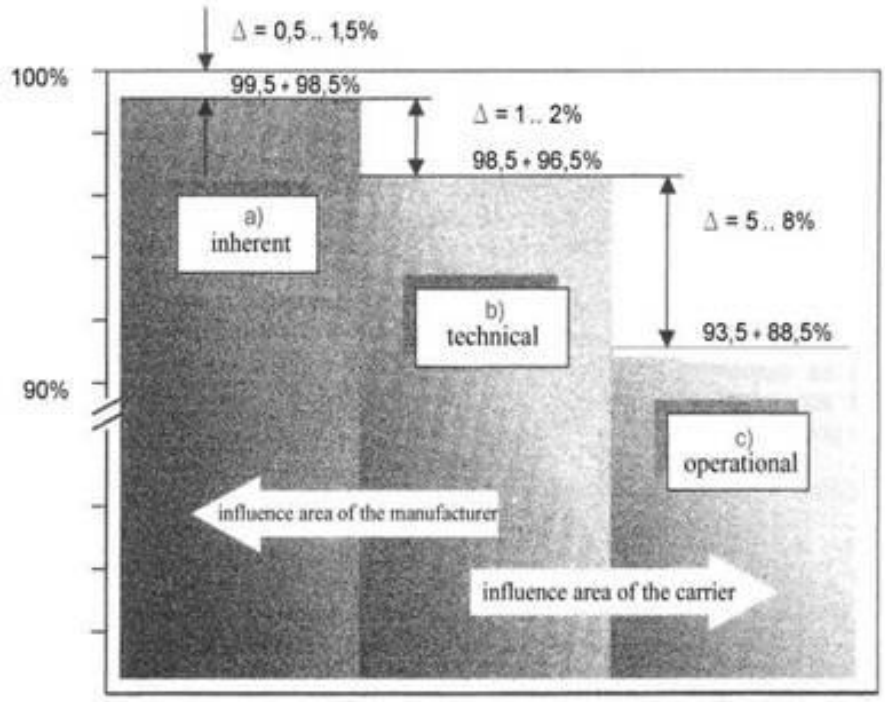
비용이 감소 함.

○ 출력밀도의 향상으로 기기용적이 감소 함.

○ 마그네틱 기어드 동기전동기 도입에 따른 유지보수 비용 감소는 5,200,000원/량으로 기존대비 16.1%에 해당하는 년간 1,000,000원/량이 절감될 것으로 예측됨. 총 대상 차량은 연도별 대상차량으로 2025년부터 신규 도입 270량이 설치하는 것으로 가정함.

2) 차량 가용성

ㅇ철도차량의 가용성은 전체비가동 시간을 줄이므로서 향상 시킬 수 있음
ㅇ가용성의 산정 조건에 따라 전체비가동시간은 예방정비 시간, 고장처치 시간, 행정소요시간 및 보수품 대기시간 등 정비시 발생하는 시간의 구분에 따라 고유 가용성과 성취 가용성 및 운영 가용성으로 구분할 수 있음.



<그림 7-9> 가용성 구분 및 현대식 철도차량의 평균 가용성 수준

ㅇ마그네틱 기어드 동기전동기의 유지보수 체계는, 기존의 기계식 감속 구동장치에서 필요로 하는 모든 정비체계 및 유지보수 부품에 전체적인 변화를 가져오게 되며, 비접촉식 동력전달장치의 채용이라는 점에서 가용성 향상은 더욱 클 것으로 예측할 수 있음
ㅇ기계식 감속 구동장치의 윤활유 및 치차 등에 대한 정비 및 보수품 등이 불필요함.
ㅇ이러한 특성은 예방정비에 따른 고유가용성의0.5% 향상, 고장처치 시간을 포함하는 성취 가용성에서0.5% 향상, 행정소요시간의 단축 및 보수품의 대기시간을 포함하는 운영 가용성에서1%의 추가적인 가용성 향상이 예상되어 전체적으로 철도차량의 가용성 향상효과가 2%에 도달 할 것으로 예측 됨

○ 유지보수 기간의 단축에 따른 차량 가용성의 증가에 따른 수입 증가분을 고려

○ 차량 가용성 제고 효과: 2% 제고

○ 도시철도의 수입 중 평균 59%는 운영비이므로 31%를 수입으로 계상하였다.

○ 총 대상 차량은 연도별 대상차량으로 2025년부터 신규 도입 270량이 설치하는 것으로 가정하였다.

3) 에너지 절감효과

ㅇ기존 도시철도차량용 유도전동기와 비교하여 마그네틱 기어드 동기전동기는 기존의 기계식 감속기(효율 0.975)와 유도전동기(효율 0.9)로 구성된 시스템보다 출력밀도와 영구자석 채용에 의한 시스템 효율을 높게(감속부분 0.95, 전동기 0.95) 할 수 있어 효율이 약 2.5% 향상 시킬 수 있음 ㅇ또한, 동축 구조를 갖게 되어 기계적 구조물을 간략하게 할 수 있음 ☞ 기존의 기계식 감속기(약 330 ~ 370kg) + 유도전동기(약 640kg) 시스템보다 첨단 감속구동장치 의 중량을 150kg/SET 이상 감소 (출력밀도 15% 감소 목표) ☞ 도시철도차량(5M5T) 1편성 기준 : 150kg * 20 SET = 3,000 kg 중량 저감 (300톤 이상 차량 전체 중량의 약 1% 감소 ☞ 이에 따른 에너지 사용량 저감) ☞ 차량 축중의 감소에 의한 궤도 피로 부담 감소에 따른 유지보수비 저감

○ 2015년 서울도시철도공사의 경우 75,520백만원을 전기요금으로 지출하여 연간 전력 사용량은 575,340Mwh, Kwh당 126원임.

○ 서울도시철도공사는 1,617량을 운행하고 있어 량당 연간 355,807kwh를 사용

○ 총 도시철도차량에서 새로운 변압기 및 컨버터 도입차량의 비율을 적용하여 계산

○ 평균 2.5%의 절감효과를 예측.

○ 연간 8,895kwh/량의 절감으로 1,120,792원/년의 절감효과를 예측.

4) 전제조건

○ 분석기간은 25년, 할인율 0.055를 적용하였다.

7. 비용-편익 분석 결과

가. 첨단 변압기

○ 비용편익분석 결과 첨단 변압기 도입은 경제적 타당성이 있는 것으로 나타남

○ 비용편익분석 결과 유지보수비 편익이 가장 큰 편익으로 나타남

<표 7-23> 첨단변압기 개발 비용편익분석 결과

	NPV	IRR	B/C
보수적 분석[Ⅰ]	94.6억	4.73%	2.20
보수적 분석[Ⅱ]	267.9억	9.71%	4.40
낙관적 분석	441.18억	13.1%	6.61

<표 7-24> 첨단변압기 개발 편익 가치 요약 (현재가치)

구분	보수적 분석[Ⅰ]	보수적 분석[Ⅱ]	낙관적 분석
차량 유지보수비용 편익	90.4억	180.9억	271.3억
소음감소 편익	10.9억	21.7억	32.6억
운영비용(에너지) 편익	11.1억	22.1억	33.2억
구입비용 감소 편익	45.8억	91.6억	137.4억
가용성 편익	15.1억	30.3억	45.4억

나. 첨단 추진장치

○ 비용편익분석 결과 추진장치 도입은 경제적 타당성이 있는 것으로 나타남

○ 비용편익분석 결과 유지보수비 편익이 가장 큰 편익으로 나타남

<표 7-25> 첨단 추진장치 개발 비용편익분석 결과

	NPV	IRR	B/C
보수적 분석[Ⅰ]	157.3억	6.44%	3.21
보수적 분석[Ⅱ]	385.8억	10.99%	6.42
낙관적 분석	614.2억	13.96%	9.63

<표 7-26> 첨단 추진장치 개발 편익 가치 요약 (현재가치)

구분	보수적 분석[Ⅰ]	보수적 분석[Ⅱ]	낙관적 분석
차량 유지보수비용 편익	104.4억	208.8억	313.2억
에너지 편익	110.3억	220.7억	331.0억
가용성 편익	13.7억	27.5억	41.2억

다. 첨단 감속구동장치

○ 비용편익분석 결과 감속구동장치 도입은 경제적 타당성이 있는 것으로 나타남

○ 비용편익분석 결과 유지보수 비용 절감이 가장 큰 편익으로 나타남

<표 7-27> 첨단 감속구동장치 개발 비용편익분석 결과

	NPV	IRR	B/C
보수적 분석[Ⅰ]	148억	7.85%	3.78
보수적 분석[Ⅱ]	349억	12.93%	7.57
낙관적 분석	550억	16.32%	11.35

<표 7-28> 첨단 감속구동장치 개발 편익 가치 요약 (현재가치)

구분	보수적 분석[Ⅰ]	보수적 분석[Ⅱ]	낙관적 분석
차량 유지보수비용 편익	74.6억	149.2억	223.8억
운영비 절감(에너지)	83.6억	167.2억	259.8억
구입비 절감	29.0억	57.9억	87.0억
가용성 편익	13.7억	27.5억	41.1억

제 8 장 인력투입계획 및 소요예산 산정

제 1 절 연구일정에 따른 인력투입계획

1. 전체사업 인력투입계획

총괄 소요인력 (단위 : 명)					
구분	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
에너지효율 및 안정성 향상을 위한 도시철도 차량용 추진시스템 개발	51	73	64	52	240

2. 세부과제별 인력투입계획

세부과제별 소요인력 (단위 : 명)					
구분	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발	18	27	24	18	87
도시철도차량용 고효율, 고안정성 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발	18	24	20	17	79
도시철도차량용 신개념 구동용 마그테틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발	15	22	20	17	74

제 2 절 소요예산 산정

1. 전체사업 소요 예산

(단위: 백만원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		합계		총계
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
에너지효율 및 안정성 향상을 위한 도시철도 차량용 추진시스템 개발	3,800	1,290	6,900	2,370	5,100	1,770	3,700	1,240	19,500	6,670	26,170

2. 세부과제별 소요 예산

(단위: 백만원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		합계		총계
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발	1,500	500	3,000	1,000	2,200	800	1,500	500	8,200	2,800	11,000
도시철도차량용 고효율, 고안정성 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발	1,300	450	2,800	1,000	1,800	600	1,200	400	7,100	2,450	9,550
도시철도차량용 신개념 구동용 마그테틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발	1,000	340	1,100	370	1,100	370	1,000	340	4,200	1,420	5,620
계	3,800	1,290	6,900	2,370	5,100	1,770	3,700	1,240	19,500	6,670	26,170

3. 세부 기술별 소요 예산

□ 1세부과제 : 도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발

(단위: 백만원)

핵심성과 (Lv1)		성과물 (Lv2)		단위활동 (Lv3)		상세내용 (Lv4)	소요예산 (백만원)	
							개별	소계
A	도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발	A-1	컨버터 일체형 주변압기 전력변환 기술 개발	A-1-1	모듈컨버터 및 직렬구조 설계/제작 기술	양방향 모듈컨버터 설계/제작기술	400	800
						직/병렬구조 양방향컨버터 설계/제작 기술	400	
				A-1-2	양방향/손실저감 제어 알고리즘 및 제어기 설계/제작 기술	제어알고리즘	300	900
						제어기 아키텍쳐 개발 및 제어기 제작	600	
				A-1-3	컨버터 일체형 주변압기 성능 시뮬레이션 모델	컨버터 성능 시뮬레이션 모델	150	300
						컨버터 성능 예측	150	
				A-1-4	전력변환 스택 및 냉각구조 설계/제작 기술	고전압절연 스택설계	200	900
						손실 해석 및 냉각구조 설계	200	
						전력변환 스택 제작	500	
		A-1 소계						2,900
		A-2	컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계 및 제작 기술	A-2-1	25kV 절연 구조 설계 기술	절연구조 설계	200	300
						고주파 변압기 최적 모듈 설계 기술 개발	100	
				A-2-2	고주파 전자기회로 설계 기술	고주파 전자기회로 설계기술	400	400
				A-2-3	고주파 변압기 효율 향상 및 발열해석, 냉각설계 기술	고주파 변압기 성능 시뮬레이션	200	800
						고주파 변압기 발열해석	300	
						고주파 변압기 냉각설계	300	
				A-2-4	고주파 변압기 제작 기술	고주파 변압기 제작기술	400	400
		A-2 소계						1,900
		A-3	컨버터 일체형 주변압기 실장 및 절연기술	A-3-1	25 kV 절연 구조 설계/제작 기술	25kV 절연구조 설계/제작	400	900
						IO 인터페이스 설계/제작	500	
				A-3-2	경량 모듈화 구조 설계 및 제작 기술	이중절연 모듈랙 설계/제작	400	800
						경량 구조 설계/제작	400	
				A-3-3	컨버터 일체형 주변압기 차폐 설계 기술	EMC 해석	150	300
						차폐 설계	150	
		A-3 소계						2,000
		A-4	컨버터	A-4-1	컨버터 일체형 주변압기	철도차량 전력회로 인터페이스 기술 개발	100	300

핵심성과 (Lv1)	성과물 (Lv2)	단위활동 (Lv3)		상세내용 (Lv4)	소요예산 (백만원)	
					개별	소계
	일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 연구		차량 제어/운영 시나리오			
				철도차량 제어인터페이스 기술 개발	100	
				철도차량 운영 시나리오	100	
		A-4-2	컨버터 일체형 주변압기 차량 인터페이스 설계 기술	전력회로 인터페이스 설계	600	1200
				제어회로 인터페이스 설계	600	
		A-4-3	컨버터 일체형 주변압기 종합 인터페이스 시험 기술	종합인터페이스 시험설비 구축	500	700
				종합인터페이스 시험	200	
	A-4 소계					2,200
	A-5 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술개발	A-5-1	컨버터 일체형 주변압기 시스템 요구사항	컨버터 일체형 주변압기 시스템 요구사항	100	100
		A-5-2	컨버터 일체형 주변압기 설계 최적화 기술	컨버터 일체형 주변압기 최적 설계 알고리즘 개발	100	300
				시스템 효율 및 출력밀도 예측 알고리즘 개발	200	
		A-5-3	컨버터 일체형 주변압기 인증/검증 기준안	컨버터 일체형 주변압기 형식승인 기술기준 연구	200	400
				컨버터 일체형 주변압기 성능평가 시험규격 연구	200	
		A-5-4	컨버터 일체형 주변압기 단품성능 및 조합성능 시험 기술	컨버터 일체형 주변압기 테스트베드 요구사항 연구	100	1200
				컨버터 일체형 주변압기 테스트베드 구축 및 검증	500	
				컨버터 일체형 주변압기 테스트베드 운영	600	
	A-5 소계					2,000
전체 연구소요 예산						11,000

□ 2세부과제 : 도시철도차량용 고효율, 고안정성 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발

(단위: 백만원)

핵심성과 (Lv1)		성과물 (Lv2)		단위활동 (Lv3)		상세내용 (Lv4)	소요예산 (백만원)	
							개별	소계
B	도시철도 차량용 고효율, 고안정성 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발	B-1	희토류 저감형 영구자석 동기전동기 설계 및 제작 기술	B-1-1	영구자석 동기전동기 설계 기술 개발	선행기술 검토/분석 및 부하조건에 따른 용량 산정 연구	200	1,000
						자기회로법과 최적화 알고리즘을 이용한 동기전동기 설계 프로그램 개발	200	
						전자장 수치해석과 전동기 구동 회로시뮬레이션을 이용한 분석 기법 개발	300	
						효율 및 출력밀도 향상 연구	300	
				B-1-2	희토류 저감형 동기전동기 제작 및 냉각시스템 기술 개발	고정자 권선 및 회전자 제작 기술 개발	600	2,200
						영구자석 착자기, 베어링 고정용 케이스 제작	800	
						냉각용 전동기 워터자켓 및 냉각시스템 개발	800	
				B-1-3	전동기 성능 시험 평가 기술 개발	동기전동기와 부하전동기 연결용 커플링 및 토크미터 제작	400	1,700
						시제품 단품, 조합성능시험 및 신뢰성 평가기술 개발	400	
						시제품 실차시험을 위한 차량 개조 및 도시철도 적용 시험	900	
		B-1 소계						4,900
		B-2	다상인버터 설계 및 제작 및 성능평가 기술	B-2-1	5상 인버터 제작	스위치 모듈 및 구동 게이트 드라이브 H/W 개발	750	3,150
						인버터 제어 및 센서신호처리 알고리즘 개발	900	
						인버터 고장진단 및 수명예측 알고리즘 개발	800	

						인버터 냉각 케이스 및 냉각시스템 개발	700	
				B-2-2	인버터 제어기 성능 시험 평가 기술 개발	시제품의 단품, 조합 성능시험 및 신뢰성 평가 기술 개발	700	1,500
						시제품 실차시험을 위한 차량 개조 및 도시철도 적용 시험	800	
		B-2 소계						4,650
전체 연구소요 예산								9,550

□ 3세부과제 : 도시철도차량용 신개념 구동용 마그테틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발

(단위: 백만원)

핵심성과 (Lv1)		성과물 (Lv2)		단위활동 (Lv3)		상세내용 (Lv4)	소요예산 (백만원)	
							개별	소계
C	도시철도 차량용 신개념 구동용 마그테틱 기어드 동기전동기 핵심기술 개발	C-1	마그네틱 기어드 동기전동기 설계 및 제어 기술	C-1-1	마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기술 개발	선행기술 검토/분석 및 부하조건에 따른 용량 산정 연구	100	1,000
						핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구	300	
						기초/상세 및 최적 설계 연구	300	
						효율 및 출력밀도 향상 연구	300	
				C-1-2	마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술 개발	핵심요소기술 분석 및 방식 선정 연구	200	1,000
						제어 알고리즘 및 고정밀 제어기법 개발	400	
						효율 및 출력밀도 향상 연구	400	
				C-1-3	마그네틱 기어드 동기전동기 구조 및 냉각시스템 기술 개발	2중 회전자부 기구 설계 기술 연구	200	1,200
						냉각시스템 및 하우징 설계 기술 연구	400	
						강성 및 열유동 해석 기술 연구	300	
						대차시스템 연계 인터페이스 기초 기술 연구	300	
		C-1 소계						3,200
		C-2	마그네틱 기어드 동기전동기 제작 및 성능평가 기술	C-2-1	마그네틱 기어드 동기전동기 제작 기술 개발	2중 회전자 제작 기술 연구	420	1,120
						윤축일체형 기술 연구	300	
						냉각시스템 적용 하우징 제작 기술 개발	400	
				C-2-2	마그네틱 기어드 동기전동기 성능 시험 평가 기술 개발	시제품의 단품 및 조합 성능시험 및 평가 기술 개발	300	1,300
						Roller-Rig 시험용 대차 제작 및 구성품 조립	500	
						대차 적용 Roller-Rig 성능시험 및 평가 기술 개발	500	
		C-2 소계						2,420
전체 연구소요 예산								5,620

제 9 장 과제 제안요구서

제 1 절 과제 제안요구서 (RFP)

1. 과제 제안요구서 1안 (연구단)

□ 연구단과제 제안서

연구개발과제명	에너지효율 및 안정성 향상을 위한 도시철도 차량용 추진시스템 개발
1. 연구개발 목표	

○ 도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발

- 최소사양(안)

*양방향 에너지 전달이 가능한 25kV AC 입력, 1.5kV DC 출력형 반도체 변압기

*정격절연전압 25kV AC, 운전주파수 1kHz 이상 고주파 변압기

*출력용량 210kW 견인전동기 8대

*냉각방식: 강제냉각 혹은 자연냉각

*무게 대 출력비: 0.5kW/kg 이상

*고장시 비상운전이 가능하여야 함

○ 도시철도차량용 고효율, 고안정성 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발

- 최소사양(안)

*210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 사양

· 토크 (Nm) : 402
· 회전속도 (rpm) : 5,000
· 효율 (%) : 96 이상
· 출력 밀도 (kW/kg) : 0.9 이상
· 온도 및 절연 성능 :H 종 (180 ℃ 이하)

*250kW급 5상 인버터 사양

· 효율 (%) : 95 이상
· 제어정밀도 (%) : 98 이상
· 결함진단 및 수명예측 정확도 (%) : 95 이상

○ 도시철도차량용 신개념 구동용 마그테틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발

- 최소사양(안)

*용량 : 210kW
*목표 토크 및 회전속도 : 고속부 402Nm, 5000rpm /
저속부 2312Nm, 870rpm
*목표 효율 및 출력밀도 : 92%(감속 기어부 포함), 기존 대비 20% 이상 개선
*온도 및 절연성능 : H종 절연(180 ℃ 이하)

2. 연구개발의 필요성 및 기술동향

□ 연구개발의 필요성

○ 광역도시철도차량의 주동력을 공급하기 위한 주변압기와 컨버터의 낮은 전력밀도를 개선하여 철도차량의 경량화에 기여

- 주변압기는 상용 전원주파수(60Hz)를 사용하여 대량의 권선 및 철심이 필요하며 전력밀도가 낮음(주변압기 : 0.5 ~ 0.7 MVA/ton, 컨버터 : 0.5 ~ 0.8 MVA/ton)

☞ 통근형 AC/DC 차량: 1.9 MVA/(3.4 + 1.4x2)ton ≒ 0.3 MVA/ton

☞ 대만 EMU(Toshiba): 1.98 MVA/(3.45 + 0.8x2)ton ≒ 0.4 MVA/ton

- 대전력, 특고압의 직접 사용 및 진동/충격 등 차량의 사용환경에 의한 기기 스트레스에 대해 대량의 철심/코일 및 절연물로 구성되는 구조적 취약성으로 대형 고장사고의 잠재적 요인

- 대량의 절연유에 의한 특고압 절연으로 정기적 유지보수 및 환경문제의 유발 가능성

- 대전력기기의 경량화/소형화는 동력차의 축중감소에 기여하며, 궤도유지보수 비용 절감가능

- 기존 광역도시철도차량의 경량화 및 안정성향상, 에너지효율 향상, 유지보수 비용 절감을 위하여 반도체를 이용한 철도차량 주변압기의 경량화 기술개발이 필요함

○ 철도차량의 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템의 전동기의 희토류 저감형 동기전동기 개발을 통해 기존 유도전동기 대비 20% 경량화와 5상구조의 인버터 적용을 통한 3상구조 대비 전력 리플 저감을 통한 인버터 고장율 감소와 3상 비상운전이 가능한 제어기 개발로 철도차량 안정성 50% 향상이 필요함

○ 철도차량 구동용 유도전동기는 효율이 최대 92%로 낮고, 원천적으로 크기를 줄이는 데 한계가 있기 때문에 최근 고효율(최대 95%), 경량화가 가능한 영구자석 동기전동기로의 개선

	연구가 활발히 진행되고 있지만, 여전히 기계적 감속기어를 사용하기 때문에 최종 동력전달효율은 90% 초반대로 떨어지기 때문에 마그네틱 기어드 동기모터 개발이 필요함 - 특히 철도차량용 구동장치에 있어서, 국내는 높은 유지보수 비용에도 불구하고 견인전동기와 기계적 감속장치를 결합하여 사용하는 기존 방식의 틀에서 벗어나지 못하고 있는 실정임 - 마그네틱 기어 기술이 적용된 비접촉 방식의 감속기와 고효율의 영구자석 동기전동기가 일체화된 마그네틱 기어드 동기전동기의 철도차량용 구동장치로의 적용을 위한 관련 원천기술 개발이 필요함
□ 기술동향	○ 국내 기술동향 - 철도차량용 변압기는 유입식 변압기가 사용되고 있으나, 일반 산업분야의 유입식 변압기 관련 기술수준에도 불구하고 차량 시스템 구성에 따른 다양한 기술적인 요구사항으로 해외에서 도입한 원설계를 변경없이 국산화 제작하는 수준의 변압기만이 사용되는 실정임 - 최근, 한국형 고속철도에 탑재되는 6MVA급 유입식 변압기와 통근형 광역도시철도차량용 2MVA급 유입식 변압기의 국산화가 이루어졌으며, 특히 차세대 고속철도에 탑재되는 4MVA급의 유입식 변압기에 대한 개발 및 시운전 적용으로 철도차량 주변압기의 철도차량 적용을 위한 시스템통합기술을 확보 - 반도체를 이용한 철도차량 주변압기의 경량화 기술은 전세계적으로 개발 초기의 기술이며, 국내에서는 이에 대한 연구경험이 없음 - 스마트 그리드용 배전시스템에 적용하기 위하여 한국전력공사의 전력연구원에서 2009~2013까지 지식경제부 에너지기술 개발사업 중 6.6kV, 30kVA 급 양방향 반도체 변압기 시작품 개발 - 대학에서는 명지대학교 한병문 교수 연구팀에서 양방향 반도체 변압기 관련 연구를 진행 중이며 단상 1.9kV, 2kVA급 반도체 변압기를 제작 및 시험하였으며, 이후 단상 반도체 변압기 모듈 3대를 Y결선하여 3.3kV, 6kVA급 3상 반도체

변압기로 구성하는 연구를 진행하였음

- 2012년 전기연구원에서 희토류 저감형 이중돌극형 선형전동기를 개발하여 정밀위치제어응용 시스템, 공작기계, 검사장비의 이송계, 로봇 등 다방면에 걸쳐 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있으며 희토류 영구자석을 40% 저감하였음.

- 도시철도 추진인버터는 1993년 과천 4호선을 시작으로 농형 유도전동기를 사용한 VVVF 인버터 제어방식이 적용되었으며 현재 대부분의 전동차 제어에 적용 중임.
- 한국형 초고속열차 HEMU는 IGBT 소자 방식의 인버터를 채용하였으나. 국내에서는 철도차량용 추진시스템의 안전성 향상을 위한 인버터 구조 및 제어기술에 대한 구체적인 연구실적은 없음.
- 5상 이상의 다상 추진시스템은 주로 저소음과 고 신뢰성이 요구되는 선박용 추진시스템과 저소음 및 고 토크가 요구되는 잠수함 무기체계에 적용되고 있으며, 국내의 해군에서 개발한 어뢰용 7상 추진용 전동기를 개발하여 적용중이며, 선박 추진용 36상 및 12상 영구자석형 동기전동기와 인버터 추진시스템을 적용하여 사용 중임.
- 마그네틱 기어 관련 연구는 주로 대학에서 진행이 되었으며, 실모델 제작까지 이어진 연구는 적으며, 대부분이 설계단계까지 진행이 되었음
- 마그네틱 기어 관련 국가 R&D는 2012~2013년 교육과학기술부 발주로 “고출력 저진동 풍력발전기용 마그네틱 기어 개발” 과제를 동아대학교가 수행하면서 1kW급 동축 마그네틱 기어를 개발함
- 국내에서는 마그네틱 기어나 영구자석 동기전동기에 대한 개별적인 학술 연구는 다수 진행되었지만. 마그네틱 기어 일체형 동기전동기에 대한 학술적 연구 실적은 없는 상황임. 마그네틱 기어 관련 학술 연구는 주로 대학에서 진행이 되었으며, 대부분이 설계와 관련된 연구임

○ 국외 기술동향

- 미 전력연구원(EPRI) 주관으로 Virginia 공대와의 공동 연구로 기존 변압기를 대체하는 반도체 변압기의 타당성 검토하여 92%의 시스템 효율을 달성하였으며, 미국의 MIT에서는 2011년에 10대 유망 기술 중의 하나로 선정하는 등 최근 급격히 각광을 받고 있음

- 배전시스템 부문에서 GE에서는 2011년 SiC 소자를 사용한 20 kHz의 스위칭 주파수를 가지는 변전소용 1MVA 반도체 변압기를 개발하였으며, 60Hz용 전력변압기와 비교하였을 때, 25%의 중량감소 및 50%의 크기 감소를 이루었으며 효율은 97%에 달하고 있음

- 철도차량 분야의 선두 기업중 하나인 지멘스에서는 모듈형 멀티레벨 구조의 topolgy 개발에 주력하며, 반도체 변압기의 핵심 기술 중 하나인 고주파 변압기와 관련 연구를 진행하여 2009년 450kW 용량의 5.6kHz 스위칭 주파수를 가지는 고주파 변압기의 모듈을 개발한 사례가 있으며, 또다른 선두기업인 봄바르디어는 350kW 용량의 8kHz 스위칭 주파수를 가지는 고주파 변압기 모듈을 개발하였음

- 프랑스의 알스톰은 2003년에 180kW 용량의 5kHz 스위칭 주파수를 가지는 모듈을 Cascade 형태로 직렬 연결하는 형식으로 반도체 변압기의 초기 모델을 만들어 시험하였으며, 2007년도에 2차 모델을 만들어 시험하였음

- 스위스의 ABB는 반도체 변압기와 관련된 연구를 가장 활발히 진행하였으며, 2011년에 Cascade 형태의 직렬 연결 형태인 입력측 변환기와 LLC 공진형 DC/DC 변환기를 출력측에 적용한 1.2MVA용량의 반도체 변압기를 개발하였으며, 2013년까지 전기기관차를 이용한 약 70,000km의 운영 실적을 보유하고 있음

- 일본 도시바의 영구자석 동기전동기는 2006년 JR-East에 우선 채택되어 사용하였고, 2009년에 도쿄지하철(주)에 양산 적용되었으며, 2010년에는 일본화물철도(주)의 기관차에도 실차 적용되었음.

- 희토류 저감형 동기전동기는 일본의 Toyota 및 Honda에서 30kW급 하이브리드 자동차용 전동기를 개발하여 적용중이

며 독일의 BMW도 하이브리드 및 전기자동차의 추진용 전동기에 적용하고 있다. 또한 미국의 경우 80~100kW급의 전기자동차의 추진용 전동기를 Remy사에서 개발하여 Ford와 GM등에 납품하고 있음.

- 영구자석 동기전동기의 인버터는 일본의 히타치와 캐나다 봄바디어, 독일의 지멘스, 스위스의 ABB, 프랑스의 알스톰사가 기 개발한 철도차량용 고효율 추진용 인버터를 적용중임.
- 5상 이상의 다상 구조의 인버터는 주로 리플 저감을 통한 고주파 노이즈 저감으로 시스템의 신뢰성 확보가 필요한 선박과 항공 추진시스템에 적용되고 있으며 미국의 해군용 선박과 전기자동차의 추진시스템에서 연구 중임.
- 해외에서는 마그네틱 기어, 마그네틱 기어드 동기전동기에 대한 연구가 다수 진행되고 있음
- 전기자동차나 풍력발전 분야에서 마그네틱 기어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대표적으로 영국의 Magnomatics사는 마그네틱 기어와 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 특허를 다수 보유하고 있으며, 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우 전기자전거부터 전기자동차, 철도차량, 잠수함 추진용으로 300kW급까지 개발함
- 하지만 해외에서도 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기가 견인전동기용으로 실용화된 사례는 없음
- Magnomatics사는 도시용 운송차량 및 버스 등에 적용이 가능한 22인치, 2~4kNm급 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기가 적용된 Direct Drive wheel-Motor 시제품을 개발하였으며, 메카와트 머신의 추진용으로 300kW, 16kNm급 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기 시제품을 개발하여 성능시험을 수행하였음. 또한 자동차용 기계식 변속기를 대신할 마그네틱 CVT(변속기) 시제품을 개발하여 성능시험을 수행하였음
- 철도 분야에서는 아직 마그네틱 기어나 마그네틱 기어드 동기전동기의 개발 사례가 없으며, 여전히 기계식 감속기와 견인전동기를 구동시스템으로 사용하고 있으며. 기계식 감속기

시장은 거의 유럽(독일)의 감속기 제작사인 VOITH에 의해 주도되고 있음

3. 연구개발내용

☐ 컨소시엄 공모 (금회공모)

○ 도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발
- 컨버터 일체형 전력변환 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 및 실용화 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 단품성능 및 조합성능 시험 기술 연구

○ 도시철도차량용 고효율 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발
- 도시철도차량용 다상 동기전동기 제작
- 210kW급 희토류 저감형 도시철도용 추진전동기 제작
- 개발 시제품 단품성능시험 및 조합성능시험
- 도시철도차량용 다상 인버터 제작
- 250kW급 5상 도시철도용 추진인버터 제작
- 개발 시제품 단품성능시험 및 조합성능시험

○ 도시철도차량용 신개념 구동용 마그테틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발
- 마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기술
- 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술
- 마그네틱 기어드 동기전동기 구조 및 냉각시스템 기술
- 마그네틱 기어드 동기전동기 제작 및 성능 시험 평가 기술

○ 도시철도차량용 첨단 추진장치 조합시험 및 신뢰성시험 기술 개발
- 첨단 추진시스템 조합 성능시험 기술
- 첨단 추진시스템 현차 신뢰성 검증 시험

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략	○ Top-down 방식으로 원천기술 개발 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증 ○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 - 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발 - 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진 - 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증 ○ 새로운 추진시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화 추진 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
□ 추진체계	○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행 ○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함 ○ 원천기술 및 시제품의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 도시철도 운영기관의 참여 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물(주요 최종성과물)

○ 도시철도차량용 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시제품
- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 제작사양서, 설계도면, 차량 인터페이스 도면
- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시제품
- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시뮬레이션 모델 및 해석 결과

○ 컨버터 일체형 주변압기 제어 기술
- 컨버터 일체형 주변압기 입력 변환기 제어 알고리즘
- 컨버터 일체형 주변압기 출력 변환기 제어 알고리즘
- 컨버터 일체형 주변압기 제어 아키텍쳐 및 제어기

○ 컨버터 일체형 주변압기 성능평가 시험기준안
- 성능계측시스템 구성안
- 구성 모듈 성능평가 시험기준안
- 컨버터 일체형 주변압기 시스템 조합 시험기준안
- 컨버터 일체형 주변압기적용 철도차량 정적/동적 시험기준안
- 전용 성능시험설비에서 성능평가 보고서 및 시험성적서

○ 도시철도차량용 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기
- 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 설계사양서, 설계도면
- 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 시제품

○ 전동기 특성시험 결과 및 신뢰성 평가결과 보고서
- 성능계측시스템 구성안
- 성능평가 시험기준안
- 전용 테스트베드에서 성능평가 보고서 및 시험성적서

○ 도시철도차량용 5상 추진인버터
- 인버터 설계사양서, 설계도면
- 인버터 시제품
- 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 제어 알고리즘
- 인버터 고장진단 및 수명예측 알고리즘
- 벡터제어 알고리즘 성능평가 시험기준안
- 고속회전 시 영구자석 back-emf 구속 제어기법

○ 인버터 특성시험 결과 및 신뢰성 평가결과 보고서

- 성능계측시스템 구성안
- 성능평가 시험기준안
- 전용 성능시험설비에서 성능평가 보고서 및 시험성적서

○ 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품
- 마그네틱 기어드 동기전동기 설계사양서, 설계도면
- 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품
- 전력변환장치 설계사양서, 설계도면
- 전력변환장치 시제품
- 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 알고리즘

○ 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술
- 마그네틱 기어드 동기전동기 구동을 위한 제어 알고리즘
- 제어 알고리즘 성능평가 시험기준안
- 백러쉬가 없는 고정밀 제어기법

○ 마그네틱 기어드 동기전동기 성능평가 시험기준안
- 성능계측시스템 구성안
- 성능평가 시험기준안
- 전용 성능시험설비에서 성능평가 보고서 및 시험성적서

6. 활용방안 및 기대효과

□ **활용방안**

○ 2020년 이후 발생하는 노후 대폐차 도시철도차량의 추진시스템에 적용

○ 2019년 이후 발생하는 추진시스템 개량사업에 본 첨단 추진시스템 활용

○ 신개념 광역도시철도차량용 친환경 추진시스템 구축을 위한 기반 기술의 확보

○ 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출

○ 철도차량용 컨버터 일체형 전력 반도체의 핵심 기술 확보 및 실용화 준비

○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용

○ 반도체 변압기 기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척

○ 컨버터 일체형 주변압기 설계파라미터, 관련데이터 축적 및 특허, 노하우 확보

○ 컨버터 일체형 주변압기 적용 고출력밀도 추진시스템 설계/제어 요소 기술 및 툴 개발에 활용
○ 광역 도시철도 추진시스템 개발을 통한 간선철도 및 고속철도 등의 범용 철도 추진시스템을 차량 제작사 및 운영기관 현장에 확대 적용
○ 도시철도추진용 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 핵심 설계기술 확보 및 실용화 준비
○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용
○ 도시철도추진용 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 도시철도추진용 250kW급 5상 추진인버터기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척
○ 비접촉 방식의 감속기와 견인전동기가 일체화된 마그네틱 기어드 동기모터의 핵심 기술 확보 및 실용화 준비
○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용
○ 마그네틱 기어드 동기모터 기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척
○ 개발 추진시스템 적용에 따른 철도차량 경량화 및 안정성 향상을 통해 국가철도안전목표 달성에 기여

□ 기대효과

○ 반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발
- 컨버터 일체형 주변압기에 의해 기존 주변압기를 대체 하여 경량화 된 차량 및 전력시스템 구성이 가능
- 기존 변압기의 절연확보를 위하여 사용하는 절연유의 미사용으로 유지보수성 향상 및 환경친화적 시스템 구축
- 철도차량 축중의 감소에 따른 궤도 유지보수 비용의 절감
- 변압기의 고장시 고장 여유도 확보 및 비상운전이 가능
- 선진국 주도의 주변압기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보 가능

지표	2010년		2019년
광역도시철도용 주변압기 출력밀도(kW/kg)	0.5	➡	0.7
광역도시철도용 주변압기 출력전압(V)	단상 840		직류 1500
고장시 비상운전	불가능		가능

○ 기존 유도전동기와 비교하여 210kW급 영구자석 보조형 동기전동기를 설계하였을 때 고정자 외경 및 적층길이를 30% 이

상 저감할 수 있으며 그에 따라 같은 출력에서 부피와 중량을 각각 50% 가량 저감

○ 5상의 인버터는 3상에 비해 리플전류가 30% 가량 감소되며 그에 따른 고조파 성분의 감소에 따라 인버터의 기대수명을 약 1.5배 증가시킬 수 있으므로 추진시스템에서 가장 고장율이 높은 인버터의 안정성을 크게 개선시키는 효과가 기대

○ 철도 선진국 수준의 추진용 전동기와 인버터 기술확보

기존 유도전동기+VVVF 인버터 효율	5상 동기전동기 + 인버터 효율
92% × 95% = **87.4%**	96% × 95% = **91.2% (▲3.8%)**

○ 마그네틱 기어와 영구자석 동기전동기를 구조적으로 일체화 시킨 마그네틱 기어드 동기전동기의 핵심기술 개발을 통하여,

- 일체화된 시스템으로써 기존 철도차량용 구동시스템 대비 경량화된 차량 및 구동시스템 구축 가능
- 기존 기계식 감속기의 유지보수 문제 해결이 가능, 경제적인 추진시스템 구축 가능
- 대차 및 차륜 등 지지구조물의 크기, 강도 저감이 가능
- 차량의 저상화 및 경량화를 통해 전체 차량시스템 효율 증대 가능

기존 유도전동기+기계적 감속기 효율	마그네틱 기어드 동기전동기 효율
92% × 97.5% = **89.7%**	**92% (▲2.3%)**

- 선진국 주도의 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : '18.1 ~ '21.12(4년)

- 1차년도 연구개발기간 : '18.1 ~ '18.12(12개월)

○ 총 연구개발비 : 26,170백만원 이내(정부출연금 19,500백만원 이내)

- 1차년도 연구개발비:5,090백만원 이내(정부출연금 3,800백만원 이내)

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 연구단에 할당된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용

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

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시

- 핵심성과물 및 성과유형 제시
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시

- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항

- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음

- 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음

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

○ 「철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 기획연구」최종보고서 참고

2. 과제 제안요구서 2안 (연구단, 일반과제)

□ 연구단과제 제안서

연구개발과제명	에너지효율 및 안정성 향상을 위한 도시철도 차량용 추진시스템 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발 - 최소사양(안) *양방향 에너지 전달이 가능한 25kV AC 입력, 1.5kV DC 출력형 반도체 변압기 *정격절연전압 25kV AC, 운전주파수 1kHz 이상 고주파 변압기 *출력용량 210kW 견인전동기 8대 *냉각방식: 강제냉각 혹은 자연냉각 *무게 대 출력비: 0.5kW/kg 이상 *고장시 비상운전이 가능하여야 함 ○ 도시철도차량용 고효율, 고안정성 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발 - 최소사양(안) *210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 사양 · 토크 (Nm) : 402 · 회전속도 (rpm) : 5,000 · 효율 (%) : 96 이상 · 출력 밀도 (kW/kg) : 0.9 이상 · 온도 및 절연 성능 :H 종 (180 ℃ 이하) *250kW급 5상 인버터 사양 · 효율 (%) : 95 이상 · 제어정밀도 (%) : 98 이상 · 결함진단 및 수명예측 정확도 (%) : 95 이상
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 광역도시철도차량의 주동력을 공급하기 위한 주변압기와 컨버터의 낮은 전력밀도를 개선하여 철도차량의 경량화에 기여 - 주변압기는 상용 전원주파수(60Hz)를 사용하여 대량의 권선 및 철심이 필요하며 전력밀도가 낮음(주변압기 : 0.5 ~ 0.7 MVA/ton, 컨버터 : 0.5 ~ 0.8 MVA/ton)

☞ 통근형 AC/DC 차량: 1.9 MVA/(3.4 + 1.4x2)ton ≒ 0.3 MVA/ton

☞ 대만 EMU(Toshiba): 1.98 MVA/(3.45 + 0.8x2)ton ≒ 0.4 MVA/ton

- 대전력, 특고압의 직접 사용 및 진동/충격 등 차량의 사용환경에 의한 기기 스트레스에 대해 대량의 철심/코일 및 절연물로 구성되는 구조적 취약성으로 대형 고장사고의 잠재적 요인
- 대량의 절연유에 의한 특고압 절연으로 정기적 유지보수 및 환경문제의 유발 가능성
- 대전력기기의 경량화/소형화는 동력차의 축중감소에 기여하며, 궤도유지보수 비용 절감가능
- 기존 광역도시철도차량의 경량화 및 안정성향상, 에너지효율 향상, 유지보수 비용 절감을 위하여 반도체를 이용한 철도차량 주변압기의 경량화 기술개발이 필요함

○ 철도차량의 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템의 전동기의 희토류 저감형 동기전동기 개발을 통해 기존 유도전동기 대비 20% 경량화와 5상구조의 인버터 적용을 통한 3상구조 대비 전력 리플 저감을 통한 인버터 고장율 감소와 3상 비상운전이 가능한 제어기 개발로 철도차량 안정성 50% 향상이 필요함

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 철도차량용 변압기는 유입식 변압기가 사용되고 있으나, 일반 산업분야의 유입식 변압기 관련 기술수준에도 불구하고 차량 시스템 구성에 따른 다양한 기술적인 요구사항으로 해외에서 도입한 원설계를 변경없이 국산화 제작하는 수준의 변압기만이 사용되는 실정임
- 최근, 한국형 고속철도에 탑재되는 6MVA급 유입식 변압기와 통근형 광역도시철도차량용 2MVA급 유입식 변압기의 국산화가 이루어졌으며, 특히 차세대 고속철도에 탑재되는 4MVA급의 유입식 변압기에 대한 개발 및 시운전 적용으로 철도차량 주변압기의 철도차량 적용을 위한 시스템통합기술을 확보
- 반도체를 이용한 철도차량 주변압기의 경량화 기술은 전세계적으로 개발 초기의 기술이며, 국내에서는 이에 대한 연구경험이 없음

- 스마트 그리드용 배전시스템에 적용하기 위하여 한국전력공사의 전력연구원에서 2009~2013까지 지식경제부 에너지기술 개발사업 중 6.6kV, 30kVA 급 양방향 반도체 변압기 시작품 개발

- 대학에서는 명지대학교 한병문 교수 연구팀에서 양방향 반도체 변압기 관련 연구를 진행 중이며 단상 1.9kV, 2kVA급 반도체 변압기를 제작 및 시험하였으며, 이후 단상 반도체 변압기 모듈 3대를 Y결선하여 3.3kV, 6kVA급 3상 반도체 변압기로 구성하는 연구를 진행하였음

- 2012년 전기연구원에서 희토류 저감형 이중돌극형 선형전동기를 개발하여 정밀위치제어응용 시스템, 공작기계, 검사장비의 이송계, 로봇 등 다방면에 걸쳐 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있으며 희토류 영구자석을 40% 저감하였음.

- 도시철도 추진인버터는 1993년 과천 4호선을 시작으로 농형 유도전동기를 사용한 VVVF 인버터 제어방식이 적용되었으며 현재 대부분의 전동차 제어에 적용 중임.

- 한국형 초고속열차 HEMU는 IGBT 소자 방식의 인버터를 채용하였으나. 국내에서는 철도차량용 추진시스템의 안전성 향상을 위한 인버터 구조 및 제어기술에 대한 구체적인 연구실적은 없음.

- 5상 이상의 다상 추진시스템은 주로 저소음과 고 신뢰성이 요구되는 선박용 추진시스템과 저소음 및 고 토크가 요구되는 잠수함 무기체계에 적용되고 있으며, 국내의 해군에서 개발한 어뢰용 7상 추진용 전동기를 개발하여 적용중이며, 선박 추진용 36상 및 12상 영구자석형 동기전동기와 인버터 추진시스템을 적용하여 사용중임.

○ 국외 기술동향

- 미 전력연구원(EPRI) 주관으로 Virginia 공대와의 공동 연구로 기존 변압기를 대체하는 반도체 변압기의 타당성 검토하여 92%의 시스템 효율을 달성하였으며, 미국의 MIT에서는 2011년에 10대 유망 기술 중의 하나로 선정하는 등 최근 급

격히 각광을 받고 있음

- 배전시스템 부문에서 GE에서는 2011년 SiC 소자를 사용한 20 kHz의 스위칭 주파수를 가지는 변전소용 1MVA 반도체 변압기를 개발하였으며, 60Hz용 전력변압기와 비교하였을 때, 25%의 중량감소 및 50%의 크기 감소를 이루었으며 효율은 97%에 달하고 있음

- 철도차량 분야의 선두 기업중 하나인 지멘스에서는 모듈형 멀티레벨 구조의 topolgy 개발에 주력하며, 반도체 변압기의 핵심 기술 중 하나인 고주파 변압기와 관련 연구를 진행하여 2009년 450kW 용량의 5.6kHz 스위칭 주파수를 가지는 고주파 변압기의 모듈을 개발한 사례가 있으며, 또다른 선두기업인 봄바르디어는 350kW 용량의 8kHz 스위칭 주파수를 가지는 고주파 변압기 모듈을 개발하였음

- 프랑스의 알스톰은 2003년에 180kW 용량의 5kHz 스위칭 주파수를 가지는 모듈을 Cascade 형태로 직렬 연결하는 형식으로 반도체 변압기의 초기 모델을 만들어 시험하였으며, 2007년도에 2차 모델을 만들어 시험하였음

- 스위스의 ABB는 반도체 변압기와 관련된 연구를 가장 활발히 진행하였으며, 2011년에 Cascade 형태의 직렬 연결 형태인 입력측 변환기와 LLC 공진형 DC/DC 변환기를 출력측에 적용한 1.2MVA용량의 반도체 변압기를 개발하였으며, 2013년까지 전기기관차를 이용한 약 70,000km의 운영 실적을 보유하고 있음

- 일본 도시바의 영구자석 동기전동기는 2006년 JR-East에 우선 채택되어 사용하였고, 2009년에 도쿄지하철(주)에 양산 적용되었으며, 2010년에는 일본화물철도(주)의 기관차에도 실차 적용되었음.

- 희토류 저감형 동기전동기는 일본의 Toyota 및 Honda에서 30kW급 하이브리드 자동차용 전동기를 개발하여 적용중이며 독일의 BMW도 하이브리드 및 전기자동차의 추진용 전동기에 적용하고 있다. 또한 미국의 경우 80~100kW급의 전기자동차의 추진용 전동기를 Remy사에서 개발하여 Ford와 GM등에 납품하고 있음.

- 영구자석 동기전동기의 인버터는 일본의 히타치와 캐나다 봄바디어, 독일의 지멘스, 스위스의 ABB, 프랑스의 알스톰 사가 기 개발한 철도차량용 고효율 추진용 인버터를 적용중임.

- 5상 이상의 다상 구조의 인버터는 주로 리플 저감을 통한 고주파 노이즈 저감으로 시스템의 신뢰성 확보가 필요한 선박과 항공 추진시스템에 적용되고 있으며 미국의 해군용 선박과 전기자동차의 추진시스템에서 연구 중임.

3. 연구개발내용

☐ 컨소시엄 공모 (금회공모)

○ 도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발
- 컨버터 일체형 전력변환 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 및 실용화 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 단품성능 및 조합성능 시험 기술 연구

○ 도시철도차량용 고효율 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발
- 도시철도차량용 다상 동기전동기 제작
- 210kW급 희토류 저감형 도시철도용 추진전동기 제작
- 개발 시제품 단품성능시험 및 조합성능시험
- 도시철도차량용 다상 인버터 제작
- 250kW급 5상 도시철도용 추진인버터 제작
- 개발 시제품 단품성능시험 및 조합성능시험

○ 도시철도차량용 첨단 추진장치 조합시험 및 신뢰성시험 기술 개발
- 첨단 추진시스템 조합 성능시험 기술
- 첨단 추진시스템 현차 신뢰성 검증 시험

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략	○ Top-down 방식으로 원천기술 개발 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증 ○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 - 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발 - 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진 - 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증 ○ 새로운 추진시스템의 적용과 성능시험설비 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화 추진 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
□ 추진체계	○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행 ○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함 ○ 원천기술 및 시제품의 성능시험을 통한 제품의 실용화 가능성 검토를 위해 도시철도 운영기관의 참여 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요 ○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물(주요 최종성과물)

○ 도시철도차량용 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시제품
- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 제작사양서, 설계도면, 차량 인터페이스 도면
- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시제품
- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시뮬레이션 모델 및 해석 결과

○ 컨버터 일체형 주변압기 제어 기술
- 컨버터 일체형 주변압기 입력 변환기 제어 알고리즘
- 컨버터 일체형 주변압기 출력 변환기 제어 알고리즘
- 컨버터 일체형 주변압기 제어 아키텍쳐 및 제어기

○ 컨버터 일체형 주변압기 성능평가 시험기준안
- 성능계측시스템 구성안
- 구성 모듈 성능평가 시험기준안
- 컨버터 일체형 주변압기 시스템 조합 시험기준안
- 컨버터 일체형 주변압기적용 철도차량 정적/동적 시험기준안
- 전용 성능시험설비에서 성능평가 보고서 및 시험성적서

○ 도시철도차량용 다상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기
- 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 설계사양서, 설계도면
- 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 시제품

○ 전동기 특성시험 결과 및 신뢰성 평가결과 보고서
- 성능계측시스템 구성안
- 성능평가 시험기준안
- 전용 테스트베드에서 성능평가 보고서 및 시험성적서

○ 도시철도차량용 5상 추진인버터
- 인버터 설계사양서, 설계도면
- 인버터 시제품
- 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 제어 알고리즘
- 인버터 고장진단 및 수명예측 알고리즘
- 벡터제어 알고리즘 성능평가 시험기준안
- 고속회전 시 영구자석 back-emf 구속 제어기법

○ 인버터 특성시험 결과 및 신뢰성 평가결과 보고서

	- 성능계측시스템 구성안 - 성능평가 시험기준안 - 전용 성능시험설비에서 성능평가 보고서 및 시험성적서
6. 활용방안 및 기대효과	
□ **활용방안**	○ 2020년 이후 발생하는 노후 대폐차 도시철도차량의 추진시스템에 적용 ○ 2019년 이후 발생하는 추진시스템 개량사업에 본 첨단 추진시스템 활용 ○ 신개념 광역도시철도차량용 친환경 추진시스템 구축을 위한 기반 기술의 확보 ○ 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출 ○ 철도차량용 컨버터 일체형 전력 반도체의 핵심 기술 확보 및 실용화 준비 ○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용 ○ 반도체 변압기 기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척 ○ 컨버터 일체형 주변압기 설계파라미터, 관련데이터 축적 및 특허, 노하우 확보 ○ 컨버터 일체형 주변압기 적용 고출력밀도 추진시스템 설계/제어 요소 기술 및 툴 개발에 활용 ○ 광역 도시철도 추진시스템 개발을 통한 간선철도 및 고속철도 등의 범용 철도 추진시스템을 차량 제작사 및 운영기관 현장에 확대 적용 ○ 도시철도추진용 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 핵심 설계기술 확보 및 실용화 준비 ○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용 ○ 도시철도추진용 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 도시철도추진용 250kW급 5상 추진인버터기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척 ○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용 ○ 개발 추진시스템 적용에 따른 철도차량 경량화 및 안정성 향상을 통해 국가철도안전목표 달성에 기여

□ 기대효과

○ 반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발
- 컨버터 일체형 주변압기에 의해 기존 주변압기를 대체 하여 경량화 된 차량 및 전력시스템 구성이 가능
- 기존 변압기의 절연확보를 위하여 사용하는 절연유의 미사용으로 유지보수성 향상 및 환경친화적 시스템 구축
- 철도차량 축중의 감소에 따른 궤도 유지보수 비용의 절감
- 변압기의 고장시 고장 여유도 확보 및 비상운전이 가능
- 선진국 주도의 주변압기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보 가능

지표	2010년		2019년
광역도시철도용 주변압기 출력밀도(kW/kg)	0.5	➡	0.7
광역도시철도용 주변압기 출력전압(V)	단상 840		직류 1500
고장시 비상운전	불가능		가능

○ 기존 유도전동기와 비교하여 210kW급 영구자석 보조형 동기전동기를 설계하였을 때 고정자 외경 및 적층길이를 30% 이상 저감할 수 있으며 그에 따라 같은 출력에서 부피와 중량을 각각 50% 가량 저감

○ 5상의 인버터는 3상에 비해 리플전류가 30% 가량 감소되며 그에 따른 고조파 성분의 감소에 따라 인버터의 기대수명을 약 1.5배 증가시킬 수 있으므로 추진시스템에서 가장 고장율이 높은 인버터의 안정성을 크게 개선시키는 효과가 기대

○ 철도 선진국 수준의 추진용 전동기와 인버터 기술확보

기존 유도전동기+VVVF 인버터 효율	5상 동기전동기 + 인버터 효율
92% × 95% = **87.4%**	96% × 95% = **91.2% (▲3.8%)**

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : ’18.1 ~ ’21.12(4년)
- 1차년도 연구개발기간 : ’18.1 ~ ’18.12(12개월)

○ 총 연구개발비 : 20,550백만원 이내(정부출연금 15,300백만원 이내)
- 1차년도 연구개발비:3,750백만원 이내(정부출연금 2,800백만원 이내)

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 연구단에 할당된 총 정부출연금 범위 내에서 편

성

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용

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

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시

- 핵심성과물 및 성과유형 제시
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발

계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시

- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항

- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음

- 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음

○ 필요시 연구종료 후 2년간 연구결과물의 지속적인 현장시험이

가능하도록 하여야 함

○ 「철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 기획연구」최종보고서 참고

□ 일반과제 제안서

연구개발과제명	도시철도차량용 신개념 구동용 마그테틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발

1. 연구개발 목표

○ 도시철도차량 경량화를 위한 신개념 구동용 마그네틱 기어드 동기전동기 및 성능평가 기술 개발

- 개발품 상세설계 및 시제품 제작
- 최소사양(안)

*용량 : 210kW

*목표 토크 및 회전속도 : 고속부 402Nm, 5000rpm /
저속부 2312Nm, 870rpm

*목표 효율 및 출력밀도 : 92%(감속 기어부 포함), 기존 대비 20% 이상 개선

*온도 및 절연성능 : H종 절연(180 ℃ 이하)

- 시제품의 단품 및 제어기 조합 성능시험 및 평가 기술 개발
- 시제품의 실 대차 적용 및 Roller-Rig 성능시험 및 평가 기술 개발

2. 연구개발의 필요성 및 기술동향

□ 연구개발의 필요성

○ 국내 철도차량의 구동 장치는 견인전동기, 1단 또는 2단의 기계적 감속장치와 휠로 구성됨

○ 견인전동기 출력으로 발생되는 고속/저회전력이 기계적 감속장치를 거쳐서 저속/고회전력을 휠에 전달되는 구조로써, 견인전동기로는 유도전동기, 기계적 감속장치에는 평행 또는 수직기어가 일반적으로 적용되고 있으며, 휠에 과부하가 걸렸을 경우 견인전동기를 보호하기 위하여 Overload Protection 장치가 별도로 구성되어 있음

○ 기존의 철도차량용 구동 장치의 경우, 별도의 구성품이 기계적으로 연결이 되어 있는 구조이므로 시스템이 복잡하며, 시스템 전체의 크기 및 무게를 증대시키는 요인이 됨. 특히 최근 저상 철도차량에 대한 연구가 증대되면서 구동장치의 구조 및 크기 개선의 필요성이 대두되고 있음

○ 추가적으로, 기계적 감속장치를 사용하기 때문에 기계적 소음

과 진동이 크며, 감속장치 내부 기어 치의 마모에 의한 정기적인 부품 교체가 필요하기 때문에 유지보수 비용의 증가를 초래함

○ 철도차량 구동용 유도전동기는 효율이 최대 92%로 낮고, 원천적으로 크기를 줄이는 데 한계가 있기 때문에 최근 고효율(최대 95%), 경량화가 가능한 영구자석 동기전동기로의 개선 연구가 활발히 진행되고 있지만, 여전히 기계적 감속기어를 사용하기 때문에 최종 동력전달효율은 90% 초반대로 떨어지는 문제가 존재함

○ 특히 철도차량용 구동장치에 있어서, 국내는 높은 유지보수 비용에도 불구하고 견인전동기와 기계적 감속장치를 결합하여 사용하는 기존 방식의 틀에서 벗어나지 못하고 있는 실정임

○ 마그네틱 기어 기술이 적용된 비접촉 방식의 감속기와 고효율의 영구자석 동기전동기가 일체화된 마그네틱 기어드 동기전동기의 철도차량용 구동장치로의 적용을 위한 관련 원천기술 개발이 필요함

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내에서는 마그네틱 기어나 영구자석 동기전동기에 대한 개별적인 연구는 다수 진행되었으나, 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기에 대한 연구 경험은 없음

- 마그네틱 기어 관련 연구는 주로 대학에서 진행이 되었으며, 실모델 제작까지 이어진 연구는 적으며, 대부분이 설계단계까지 진행이 되었음

- 마그네틱 기어 관련 국가 R&D는 2012~2013년 교육과학기술부 발주로 “고출력 저진동 풍력발전기용 마그네틱 기어 개발” 과제를 동아대학교가 수행하면서 1kW급 동축 마그네틱 기어를 개발함

- 또한 2013~2016년 교육과학기술부 발주로 “고기어비/고전달토크 구현 가능 마그네틱 기어” 과제를 한국교통대학교가 수행하면서 모듈레이터 개념을 이용한 비접촉식 마그네트 기어의 개념 정립, 이론 전개, 분석, 최적화 그리고 하드웨어 구현과 검증을 수행하였음

- 마지막으로, 2014~2017년 미래창조과학부 발주로 “고속 영

구자석 전동기의 비접촉 기계부하 결합을 위한 마그네틱 디바이스 설계기술 개발” 과제를 충남대학교가 수행하면서 고속회전용 영구자석 자기 커플링 기술을 개발 중임

- 국내에서는 마그네틱 기어나 영구자석 동기전동기에 대한 개별적인 학술 연구는 다수 진행되었지만. 마그네틱 기어 일체형 동기전동기에 대한 학술적 연구 실적은 없는 상황임. 마그네틱 기어 관련 학술 연구는 주로 대학에서 진행이 되었으며, 대부분이 설계와 관련된 연구임

○ 국외 기술동향

- 해외에서는 마그네틱 기어, 마그네틱 기어드 동기전동기에 대한 연구가 다수 진행되고 있음
- 전기자동차나 풍력발전 분야에서 마그네틱 기어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대표적으로 영국의 Magnomatics사는 마그네틱 기어와 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 특허를 다수 보유하고 있으며, 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우 전기자전거부터 전기자동차, 철도차량, 잠수함 추진용으로 300kW급까지 개발함
- 하지만 해외에서도 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기가 견인전동기용으로 실용화된 사례는 없음
- Magnomatics사는 도시용 운송차량 및 버스 등에 적용이 가능한 22인치, 2~4kNm급 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기가 적용된 Direct Drive wheel-Motor 시제품을 개발하였으며, 메카와트 머신의 추진용으로 300kW, 16kNm급 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기 시제품을 개발하여 성능시험을 수행하였음. 또한 자동차용 기계식 변속기를 대신할 마그네틱 CVT(변속기) 시제품을 개발하여 성능시험을 수행하였음
- 철도 분야에서는 아직 마그네틱 기어나 마그네틱 기어드 동기전동기의 개발 사례가 없으며, 여전히 기계식 감속기와 견인전동기를 구동시스템으로 사용하고 있으며. 기계식 감속기 시장은 거의 유럽(독일)의 감속기 제작사인 VOITH에 의해 주도되고 있음

3. 연구개발내용	

□ 컨소시엄 공모 (금회공모)	○ 마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기술 - 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 기초/상세 및 최적 설계 기법 정립 · 목표 토크 및 회전속도 : 고속부 402Nm, 5000rpm / 저속부 2312Nm, 870rpm - 마그네틱 기어드 동기전동기의 효율 및 출력밀도 향상 기법 개발 · 목표 효율 및 출력밀도 : 92%(감속 기어부 포함), 20% 이상 개선 ○ 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술 - 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 구동을 위한 제어 알고리즘 기술 개발 - 백러쉬가 없는 고정밀 제어기법 개발 - 구동용 드라이브의 효율 및 출력밀도 향상 기법 개발 ○ 마그네틱 기어드 동기전동기 구조 및 냉각시스템 기술 - 210kW급 2중 회전자부 기구 설계 기술 개발 - 냉각시스템 및 하우징 설계 기술 개발 - 강성 및 열유동 해석 기술 개발 - 대차시스템 연계 인터페이스 기초 기술 개발 ○ 마그네틱 기어드 동기전동기 제작 및 성능 시험 평가 기술 - 210kW급 2중 회전자 제작 기술 개발 - 윤축일체형 기술 개발 - 냉각시스템 적용 하우징 제작 기술 개발 · 온도 및 절연성능 : H종 절연(180 ℃ 이하) - 시제품의 단품 및 조합 성능시험 및 평가 기술 개발 - 시제품의 실 대차 적용 및 Roller-Rig 성능시험 및 평가 기술 개발 · Roller-Rig 활용하여 100km/h까지 주행안정성 확보
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ Top-down 방식으로 원천 핵심기술 개발 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발 - 테스트베드(Roller-Rig)에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증 ○ 중점 추진분야는 마그네틱 기어드 동기전동기 설계/제어 기술 개발과 성능평가 기술 개발로 구분하여 관련 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로써, 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화

	추진 ○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 - 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발 - 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진 - 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증 ○ 새로운 추진시스템의 적용과 테스트베드 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
□ **추진체계**	○ 본 연구의 핵심기술 개발을 위하여 국내 철도차량, 추진시스템 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원하에 연구를 수행하는 것이 바람직함 ○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 추진시스템 구성품 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 핵심기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함 ○ 원천기술 및 시제품의 테스트베드를 통한 실증을 위해 도시철도 운영기관의 자문 및 참여가 바람직함 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

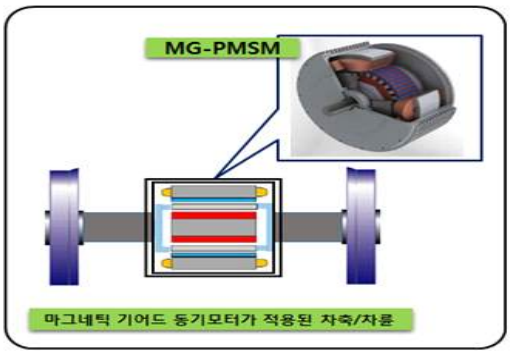
5. 최종성과물(주요 최종성과물)

○ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품

- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 설계사양서, 설계도면
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품

210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품 최속 목표 사양		
출력 용량 (kW)		210 이상
토크 (Nm)	고속부	402
	저속부	2312
회전속도 (rpm)	고속부	5000
	저속부	870
효율 (%)		92 % 이상 (감속 기어부 포함)
출력 밀도 개선 (%)		20 % 이상
온도 및 절연 성능		H 종 (180 ℃ 이하)

- 전력변환장치 설계사양서, 설계도면
- 전력변환장치 시제품
- 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 알고리즘
- 마그네틱 기어드 동기전동기와 구동 드라이브가 장착된 대차 시제품 ☞ 실 대차 장착 후 100km/h까지 주행안정성 확보



< 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 적용(안) >

○ 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술

- 마그네틱 기어드 동기전동기 구동을 위한 제어 알고리즘
- 제어 알고리즘 성능평가 시험기준안
- 백러쉬가 없는 고정밀 제어기법

○ 마그네틱 기어드 동기전동기 성능평가 시험기준안

- 성능계측시스템 구성안

- 성능평가 시험기준안
- 전용 테스트베드 및 Roller-Rig에서의 성능평가 보고서 및 시험성적서

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 미래 신교통시스템용 친환경 추진시스템 구축을 위한 기반 기술의 확보

○ 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출

○ 비접촉 방식의 감속기와 견인전동기가 일체화된 마그네틱 기어드 동기모터의 핵심 기술 확보 및 실용화 준비

○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용

○ 마그네틱 기어드 동기모터 기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척

○ 마그네틱 기어드 동기모터 설계파라미터, 관련데이터 축적 및 특허, 노하우 확보

○ 마그네틱 기어드 동기모터 적용 고출력밀도 추진시스템 설계/제어 요소 기술 및 툴 개발에 활용

○ 향후 확보된 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술을 통하여 상용화를 위한 국가 R&D 사업 도출

○ 철도차량 제작업체 및 수요처에 기술 이전

□ 기대효과

○ 마그네틱 기어와 영구자석 동기전동기를 구조적으로 일체화 시킨 마그네틱 기어드 동기전동기의 핵심기술 개발을 통하여,

- 일체화된 시스템으로써 기존 철도차량용 구동시스템 대비 경량화된 차량 및 구동시스템 구축 가능
- 기존 기계식 감속기의 유지보수 문제 해결이 가능, 경제적인 추진시스템 구축 가능
- 대차 및 차륜 등 지지구조물의 크기, 강도 저감이 가능
- 차량의 저상화 및 경량화를 통해 전체 차량시스템 효율 증대 가능

기존 유도전동기+기계적 감속기 효율 92% × 97.5% = **89.7%**	마그네틱 기어드 동기전동기 효율 **92% (▲2.3%)**

- 선진국 주도의 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : ’18.1 ~ ’21.12(4년)

- 1차년도 연구개발기간 : ’18.1 ~ ’18.12(12개월)

○ 총 연구개발비 : 5,620백만원 이내(정부출연금 4,200백만원 이내)

- 1차년도 연구개발비:1,340백만원 이내(정부출연금 1,000백만원 이내)

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 연구단에 할당된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용

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

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로

수정하여 제안할 수 있음

○ 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시
- 핵심성과물 및 성과유형 제시
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항
- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표

작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음

- 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음

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

○ 「컨버터 일체형 철도안전 융합시스템 기술개발 기획연구」최종보고서 참고

3. 과제 제안요구서 3안 (세부과제별)

□ 1세부과제

연구개발과제명	도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 도시철도차량용 컨버터 일체형 경량 반도체형 주변압기 개발 - 컨버터 일체형 전력변환 기술 개발 - 컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발 - 컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발 - 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 연구 - 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발 - 최소사양(안) *양방향 에너지 전달이 가능한 25kV AC 입력, 1.5kV DC 출력형 반도체 변압기 *정격절연전압 25kV AC, 운전주파수 1kHz 이상 고주파 변압기 *출력용량 210kW 견인전동기 8대 *냉각방식: 강제냉각 혹은 자연냉각 *무게 대 출력비: 0.5kW/kg 이상 *고장 시 비상운전이 가능하여야 함
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 도시철도차량의 주동력을 공급하기 위한 주변압기와 컨버터의 낮은 전력밀도를 개선하여 철도차량의 경량화에 기여 - 주변압기는 상용 전원주파수(60Hz)를 사용하여 대량의 권선 및 철심이 필요하며 전력밀도가 낮음(주변압기 : 0.5 ~ 0.7 MVA/ton, 컨버터 : 0.5 ~ 0.8 MVA/ton) ☞ 통근형 AC/DC 차량: 1.9 MVA/(3.4 + 1.4x2)ton ≒ 0.3 MVA/ton ☞ 대만 EMU(Toshiba): 1.98 MVA/(3.45 + 0.8x2)ton ≒ 0.4 MVA/ton - 대전력, 특고압의 직접 사용 및 진동/충격 등 차량의 사용환경에 의한 기기 스트레스에 대해 대량의 철심/코일 및 절연물

로 구성되는 구조적 취약성으로 대형 고장사고의 잠재적 요인

- 대량의 절연유에 의한 특고압 절연으로 정기적 유지보수 및 환경문제의 유발 가능성
- 대전력기기의 경량화/소형화는 동력차의 축중감소에 기여하며, 궤도유지보수 비용 절감가능
- 기존 광역도시철도차량의 경량화 및 안정성향상, 에너지효율 향상, 유지보수 비용 절감을 위하여 반도체를 이용한 철도차량 주변압기의 경량화 기술개발이 필요함

□ 기술동향 ○ 국내 기술동향

- 철도차량용 변압기는 유입식 변압기가 사용되고 있으나, 일반 산업분야의 유입식 변압기 관련 기술수준에도 불구하고 차량 시스템 구성에 따른 다양한 기술적인 요구사항으로 해외에서 도입한 원설계를 변경없이 국산화 제작하는 수준의 변압기만이 사용되는 실정임
- 최근, 한국형 고속철도에 탑재되는 6MVA급 유입식 변압기와 통근형 광역도시철도차량용 2MVA급 유입식 변압기의 국산화가 이루어졌으며, 특히 차세대 고속철도에 탑재되는 4MVA급의 유입식 변압기에 대한 개발 및 시운전 적용으로 철도차량 주변압기의 철도차량 적용을 위한 시스템통합기술을 확보
- 반도체를 이용한 철도차량 주변압기의 경량화 기술은 전세계적으로 개발 초기의 기술이며, 국내에서는 이에 대한 연구경험이 없음
- 스마트 그리드용 배전시스템에 적용하기 위하여 한국전력공사의 전력연구원에서 2009~2013까지 지식경제부 에너지기술 개발사업 중 6.6kV, 30kVA 급 양방향 반도체 변압기 시작품 개발
- 대학에서는 명지대학교 한병문 교수 연구팀에서 양방향 반도체 변압기 관련 연구를 진행 중이며 단상 1.9kV, 2kVA급 반도체 변압기를 제작 및 시험하였으며, 이후 단상 반도체 변압기 모듈 3대를 Y결선하여 3.3kV, 6kVA급 3상 반도체 변압기로 구성하는 연구를 진행하였음

○ 국외 기술동향

- 미 전력연구원(EPRI) 주관으로 Virginia 공대와의 공동 연구로 기존 변압기를 대체하는 반도체 변압기의 타당성 검토하여 92%의 시스템 효율을 달성하였으며, 미국의 MIT에서는 2011년에 10대 유망 기술 중의 하나로 선정하는 등 최근 급격히 각광을 받고 있음

- 배전시스템 부문에서 GE에서는 2011년 SiC 소자를 사용한 20 kHz의 스위칭 주파수를 가지는 변전소용 1MVA 반도체 변압기를 개발하였으며, 60Hz용 전력변압기와 비교하였을 때, 25%의 중량감소 및 50%의 크기 감소를 이루었으며 효율은 97%에 달하고 있음

- 철도차량 분야의 선두 기업중 하나인 지멘스에서는 모듈형 멀티레벨 구조의 topolgy 개발에 주력하며, 반도체 변압기의 핵심 기술 중 하나인 고주파 변압기와 관련 연구를 진행하여 2009년 450kW 용량의 5.6kHz 스위칭 주파수를 가지는 고주파 변압기의 모듈을 개발한 사례가 있으며, 또다른 선두 기업인 봄바르디어는 350kW 용량의 8kHz 스위칭 주파수를 가지는 고주파 변압기 모듈을 개발하였음

- 프랑스의 알스톰은 2003년에 180kW 용량의 5kHz 스위칭 주파수를 가지는 모듈을 Cascade 형태로 직렬 연결하는 형식으로 반도체 변압기의 초기 모델을 만들어 시험하였으며, 2007년도에 2차 모델을 만들어 시험하였음

- 스위스의 ABB는 반도체 변압기와 관련된 연구를 가장 활발히 진행하였으며, 2011년에 Cascade 형태의 직렬 연결 형태인 입력측 변환기와 LLC 공진형 DC/DC 변환기를 출력측에 적용한 1.2MVA용량의 반도체 변압기를 개발하였으며, 2013년까지 전기기관차를 이용한 약 70,000km의 운영 실적을 보유하고 있음

3. 연구개발내용

□ 컨소시엄 공모 (금회공모)

○ 컨버터 일체형 전력변환 기술 개발

- 모듈컨버터 및 직렬구조 설계/제작
- 양방향/손실저감 제어 알고리즘 및 제어기 설계/제작
- 컨버터 일체형 주변압기 모델링 및 성능예측기술 개발

- 전력변환 스택 및 냉각구조 설계/제작
- 컨버터 일체형 주변압기 모듈/제어기 시험 기술

○ 컨버터 일체형 주변압기용 고주파 변압기 설계/제작 기술 개발
- 25kV 절연 구조 설계
- 고주파 전자기회로 설계
- 고주파 변압기 효율 향상 및 발열해석, 냉각설계
- 고주파 변압기 제작
- 고주파 변압기 시험기술

○ 컨버터 일체형 주변압기 시스템 실장 및 절연 기술 개발
- 25 kV 절연 구조 설계/제작
- 경량 모듈화 구조 설계 및 제작
- 컨버터 일체형 주변압기 차폐 설계
- 컨버터 일체형 주변압기 안정성 시험 및 신뢰성 시험
- 컨버터 일체형 주변압기 형식승인 시험
- 컨버터 일체형 주변압기 정적/동적 입증시험

○ 컨버터 일체형 주변압기 철도차량 인터페이스 및 실용화 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 차량 제어/운영 시나리오 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 차량 인터페이스 설계
- 철도차량 운영 인터페이스 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 종합 인터페이스 시험설비 구축연구
- 컨버터 일체형 주변압기 시스템 조합시험/종합인터페이스시험
- 컨버터 일체형 주변압기 실차시험

○ 컨버터 일체형 주변압기 SE 및 시스템 통합 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 시스템 요구사항 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 설계 최적화 기술 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 인증/검증 기준안 개발
- 컨버터 일체형 주변압기 TEST-BED 설계/구축/운영
- 컨버터 일체형 주변압기 현차 신뢰성 평가 및 입증

- 최소사양(안)

*양방향 에너지 전달이 가능한 25kV AC 입력, 1.5kV DC 출력형 반도체

	변압기 *정격절연전압 25kV AC, 운전주파수 1kHz 이상 고주파 변압기 *출력용량 210kW 견인전동기 8대 *냉각방식: 강제냉각 혹은 자연냉각 *무게 대 출력비: 0.5kW/kg 이상 *고장 시 비상운전이 가능하여야 함
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ Top-down 방식으로 원천기술 개발 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발 - 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증 ○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 - 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발 - 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진 - 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증 ○ 새로운 추진시스템의 적용과 테스트베드 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로 3년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화 추진 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
□ 추진체계	○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행 ○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함 ○ 원천기술 및 시제품의 테스트베드를 통한 실증을 위해 도시철도 운영기관의 참여가 바람직함 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적

위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물(주요 최종성과물)

○ 도시철도차량용 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시제품

- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 제작사양서, 설계도면, 차량 인터페이스 도면
- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시제품

2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 사양	
입력전압	25 kV
출력용량	210kW 견인전동기 8대
출력전압	직류 1,500 V
운전주파수	1kHz 이상
냉각방식	강제냉각 혹은 자연냉각

- 2MVA급 컨버터 일체형 주변압기 시뮬레이션 모델 및 해석결과

○ 컨버터 일체형 주변압기 제어 기술

- 컨버터 일체형 주변압기 입력 변환기 제어 알고리즘
- 컨버터 일체형 주변압기 출력 변환기 제어 알고리즘
- 컨버터 일체형 주변압기 제어 아키텍쳐 및 제어기

○ 컨버터 일체형 주변압기 성능평가 시험기준안 및 시험성적서

- 성능계측시스템 구성안
- 구성 모듈 성능평가 시험기준안 및 시험성적서
- 컨버터 일체형 주변압기 시스템 조합 시험기준안 및 시험성적서
- 컨버터 일체형 주변압기 종합인터페이스 시험 기준안 및 결과보고서
- 컨버터 일체형 주변압기적용 철도차량 정적/동적 시험기준안 및 시험성적서
- 컨버터 일체형 주변압기 실차 특성시험 결과 보고서

- 컨버터 일체형 주변압기 신뢰성 평가 보고서

6. 활용방안 및 기대효과

□ **활용방안**

○ 신개념 광역도시철도차량용 친환경 추진시스템 구축을 위한 기반 기술의 확보

○ 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출

○ 철도차량용 컨버터 일체형 전력 반도체의 핵심 기술 확보 및 실용화 준비

○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용

○ 반도체 변압기 기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척

○ 컨버터 일체형 주변압기 설계파라미터, 관련데이터 축적 및 특허, 노하우 확보

○ 컨버터 일체형 주변압기 적용 고출력밀도 추진시스템 설계/제어 요소 기술 및 툴 개발에 활용

○ 광역 도시철도 추진시스템 개발을 통한 간선철도 및 고속철도 등의 범용 철도 추진시스템을 차량 제작사 및 운영기관 현장에 확대 적용

○ 개발 추진시스템 적용에 따른 철도차량 경량화 및 안정성 향상을 통해 국가철도안전목표 달성에 기여

□ **기대효과**

○ 반도체를 이용한 철도차량 주변압기 경량화 기술개발을 통하여,

- 컨버터 일체형 주변압기에 의해 기존 주변압기를 대체 하여 경량화 된 차량 및 전력시스템 구성이 가능
- 기존 변압기의 절연확보를 위하여 사용하는 절연유의 미사용으로 유지보수성 향상 및 환경친화적 시스템 구축
- 철도차량 축중의 감소에 따른 궤도 유지보수 비용의 절감
- 변압기의 고장시 고장 여유도 확보 및 비상운전이 가능

성능 지표	2015년		2020년
광역도시철도용 컨버터 포함 주변압기 출력밀도(kW/kg)	0.3	➡	0.5
광역도시철도용 주변압기 출력전압(V)	단상 840		직류 1500
고장시 비상운전	불가능		가능

- 선진국 주도의 주변압기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : ’18.1 ~ ’21.12(4년)

- 1차년도 연구개발기간 : '18.1 ~ '18.12(12개월)

○ 총 연구개발비 : 11,000백만원 이내(정부출연금 8,200백만원 이내)

- 1차년도 연구개발비:2,000백만원 이내(정부출연금 1,500백만원 이내)

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 연구단에 할당된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용

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

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 "일반과제"임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시

- 핵심성과물 및 성과유형 제시
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시

- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항

- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음
- 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음

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

○ 「철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 기획연구」 최종보고서 참고

□ 2세부과제

연구개발과제명	도시철도차량용 고효율, 고안정성 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 인버터 개발

1. 연구개발 목표

○ 도시철도차량용 5상 영구자석 동기전동기 개발
- 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 설계/해석 기술 개발
- 210kW급 희토류 저감형 동기전동기 제작 기술 개발
- 210kW급 희토류 저감형 동기전동기의 냉각 구조 개발

○ 도시철도차량용 5상 인버터 개발
- 250kW급 5상구동 및 비상시 3상 구동이 가능한 동기전동기 인버터 H/W 개발
- 250kW급 5상 및 3상 구동 동기전동기 인버터 제어 알고리즘 개발
- 250kW급 동기전동기 냉각시스템 구조 개발

○ 도시철도차량용 5상 추진시스템 성능평가 기술개발
- 5상 영구자석 동기전동기의 도시철도차량용 구동장치 적용을 위한 실용화 기술 및 조합성능 평가기술 개발
- 5상 영구자석 동기전동기 및 인버터의 실차 적용을 위한 대차개조 및 실차 적용 시험기술 개발

○ 연구개발 사양(안)
- 최소사양(안)

*210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 사양
- 토크 (Nm) : 402
- 회전속도 (rpm) : 5,000
- 효율 (%) : 96 이상
- 출력 밀도 (kW/kg) : 0.9 이상
- 온도 및 절연 성능 :H 종 (180 ℃ 이하)

*250kW급 5상 인버터 사양
- 효율 (%) : 95 이상
- 제어정밀도 (%) : 98 이상
- 결함진단 및 수명예측 정확도 (%) : 95 이상

2. 연구개발의 필요성 및 기술동향

□ 연구개발의 필요성

○ 국내 철도차량의 추진시스템은 유도전동기와 구동을 위한 VVVF 3상 PWM 인버터가 100% 적용되고 있음

○ 철도 추진시스템의 경량화와 안전성 향상을 위한 해외의 철도 선진국의 연구는 영구자석 동기전동기를 적용하여 기존의 유도전동기 시스템의 출력밀도를 2배이상 향상시키는 방향으로 진행

	되었으며 현재 도시철도 및 고속철도의 추진시스템에 적용되고 있음 ○ 국내의 연구에서도 도시철도의 추진시스템 개선을 위한 직접 구동 형태의 차세대 전동차가 개발되었으나 직접구동 방식에 의한 동기전동기의 크기와 무게의 증가 및 부하가 축에 직접 전달되는 방식의 안전성 문제로 실용화되지는 않았음 ○ 철도차량의 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템의 전동기의 희토류 저감형 동기전동기 개발을 통해 기존 유도전동기 대비 20% 경량화와 5상구조의 인버터 적용을 통한 3상구조 대비 전력 리플 저감을 통한 인버터 고장율 감소와 3상 비상운전이 가능한 제어기 개발로 철도차량 안정성 50% 향상이 가능함
□ 기술동향	○ 국내 기술동향 - 국내의 전동차량의 기술수준은 1970년대 직류직권전동기 단계, 1980년대 유도전동기 단계로 발전하여 약 30년 동안 유도전동기 단계에서 머물러 있음. - 고속철도의 경우, KTX는 권선형 동기전동기를 채용하였으며, 한국형 고속열차 KTX II는 유도전동기를 채용하였음. 한국형 초고속열차 HEMU는 1C4M의 유도전동기와 1C1M의 영구자석 동기전동기를 병행하여 개발되었으나 실차적용은 이루어지지 않았으며, 도시철도용으로 매입형 영구자석 동기전동기가 개발되었으나 국내에서는 아직 실용화 연구실적이 없음. - 2012년 전기연구원에서 희토류 저감형 이중돌극형 선형전동기를 개발하여 정밀위치제어응용 시스템, 공작기계, 검사장비의 이송계, 로봇 등 다방면에 걸쳐 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있으며 희토류 영구자석을 40% 저감하였음. - 도시철도 추진인버터는 1993년 과천 4호선을 시작으로 농형 유도전동기를 사용한 VVVF 인버터 제어방식이 적용되었으며 현재 대부분의 전동차 제어에 적용 중임. - 한국형 초고속열차 HEMU는 IGBT 소자 방식의 인버터를 채용하였으나. 국내에서는 철도차량용 추진시스템의 안전성 향상을 위한 인버터 구조 및 제어기술에 대한 구체적인 연구실적은 없음.

- 5상 이상의 다상 추진시스템은 주로 저소음과 고 신뢰성이 요구되는 선박용 추진시스템과 저소음 및 고 토크가 요구되는 잠수함 무기체계에 적용되고 있으며, 국내의 해군에서 개발한 어뢰용 7상 추진용 전동기를 개발하여 적용중이며, 선박 추진용 36상 및 12상 영구자석형 동기전동기와 인버터 추진시스템을 적용하여 사용 중임.

○ 국외 기술동향

- 일본 도시바의 영구자석 동기전동기는 2006년 JR-East에 우선 채택되어 사용하였고, 2010년이후 일본내의 도시철도 전동차의 추진시스템에는 80%이상 영구자석 동기전동기를 적용하고 있음.

- 희토류 저감형 동기전동기는 일본의 Toyota 및 Honda에서 30kW급 하이브리드 자동차용 전동기를 개발하여 적용중이며 독일의 BMW도 하이브리드 및 전기자동차의 추진용 전동기에 적용하고 있다. 또한 미국의 경우 80~100kW급의 전기자동차의 추진용 전동기를 Remy사에서 개발하여 Ford와 GM 등에 납품하고 있음.

- 영구자석 동기전동기의 인버터는 일본의 히타치와 캐나다 봄바디어, 독일의 지멘스, 스위스의 ABB, 프랑스의 알스톰사가 기 개발한 철도차량용 고효율 추진용 인버터를 적용중임.

- 5상 이상의 다상 구조의 인버터는 주로 리플 저감을 통한 고주파 노이즈 저감으로 시스템의 신뢰성 확보가 필요한 선박과 항공 추진시스템에 적용되고 있으며 미국의 해군용 선박과 전기자동차의 추진시스템에서 연구 중임.

3. 연구개발내용

□ 컨소시엄 공모 (금회공모)

○ 5상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 설계 기술

- 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 기초/최적 설계 S/W 개발

☞ 자기회로법에 의한 기초설계 S/W(정밀도 95% 이상), 최적화 알고리즘을 이용한 최적설계 S/W(최적화율 95% 이상)

- 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 효율 및 출력

밀도 향상 기법 개발

☞ 목표 효율 96% 이상, 목표 출력밀도 0.9kg/kW 이상

○ 5상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 제작 및 냉각시스템 기술

- 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 고정자 권선법 개선에 의한 효율 향상 및 출력밀도 향상 기술 개발
- 냉각시스템 및 하우징 설계기술 개발

○ 5상 인버터 설계기술

- 250kW급 5상 추진인버터 IGBT 모듈 게이트 드라이브 및 제어용 DSP 인터페이스 H/W 설계기술 개발
- 동기전동기 토크 및 속도제어를 위한 전류, 전압, 속도센서 인터페이스 H/W 설계기술 개발
- 인버터 IGBT 모듈의 냉각을 위한 냉각시스템 개발

○ 5상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 제어를 위한 인버터 제어 S/W 기술

- 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 제어를 위한 PWM 스위칭 기법 개발
- 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 고속제어를 위한 릴럭턴스 토크 제어기술 개발

☞ 제어정밀도 98% 이상

- 250kW급 5상 추진인버터의 실시간 결함진단 및 수명예측 S/W 개발

☞ 인버터 실시간 결함진단 및 수명예측 정확도 95% 이상

- 250kW급 5상 추진인버터의 고장 발생 시 3상 구동으로 전환 가능한 비상운전모드 제어기술 개발

○ 5상 희토류 저감형 동기전동기와 인버터의 도시철도 적용 실용화 기술 개발

- 5상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기의 대차연계 인터페이스 설계 및 제작 기술 개발
- 5상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기와 인버터의 신뢰성 평가 및 인증을 위한 조합시험 성능평가 기술 개발
- 5상 희토류 저감형 영구자석 동기전동기와 인버터의 도시철

도 적용 실용화를 위한 실차시험 기술 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ Top-down 방식으로 원천기술 개발
- 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
- 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증

○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진
- 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
- 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발
- 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진
- 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증

○ 새로운 추진시스템의 적용과 테스트베드 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도

○ 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로 3년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화 추진

○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용

○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력

○ 도시철도 추진시스템 현재기술, 차량제작사의 추진시스템 제작기술과 도시철도 운영사 요구사항이 포함되는 세부 계획을 수립하여 추진

□ 추진체계

○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행

○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함

○ 원천기술 및 시제품의 테스트베드를 통한 실증을 위해 도시철도 운영기관의 참여가 바람직함

○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것

○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함

○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물(주요 최종성과물)

○ 도시철도차량용 5상 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기

- 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 설계사양서, 설계도면
- 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 시제품

210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 사양	
토크 (Nm)	402
회전속도 (rpm)	5,000
효율 (%)	96 이상
출력 밀도 (kW/kg)	0.9 이상
온도 및 절연 성능	H 종 (180 ℃ 이하)

○ 전동기 특성시험 결과 및 신뢰성 평가결과 보고서

- 성능계측시스템 구성안
- 성능평가 시험기준안
- 전용 테스트베드에서 성능평가 보고서 및 공인 시험성적서

○ 도시철도차량용 250kW급 5상 추진인버터

- 250kW급 인버터 설계사양서, 설계도면
- 250kW급 인버터 시제품
- 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 제어 알고리즘
- 인버터 고장진단 및 수명예측 알고리즘
- 벡터제어 알고리즘 성능평가 시험기준안
- 고속회전 시 영구자석 back-emf 구속 제어기법

250kW급 5상 인버터 사양	
효율 (%)	95 이상
제어정밀도 (%)	98 이상
결함진단 및 수명예측 정확도 (%)	95 이상

○ 인버터 특성시험 결과 및 신뢰성 평가결과 보고서

- 성능계측시스템 구성안
- 성능평가 시험기준안
- 전용 테스트베드에서 성능평가 보고서 및 공인 시험성적서

○ 전동기 및 인버터 실차 특성시험 결과 보고서
- 실차 시험 시스템 구성안
- 실차 시험시험기준안
- 실차 시험 성능평가 보고서 및 시험성적서

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 도시철도 추진시스템 개발을 통한 일반철도 및 고속철도 등의 범용 철도 추진시스템을 차량 제작사 및 운영기관 현장에 확대 적용

○ 미래 신교통시스템용 친환경 추진시스템 구축을 위한 기반 기술의 확보

○ 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출

○ 도시철도추진용 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 핵심 설계기술 확보 및 실용화 준비

○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용

○ 도시철도추진용 210kW급 희토류 저감형 영구자석 동기전동기 및 도시철도추진용 250kW급 5상 추진인버터기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척

○ 도시철도추진용 250kW급 5상 추진인버터 설계파라미터, 관련 데이터 축적 및 특허, 노하우 확보

○ 도시철도추진용 250kW급 5상 추진인버터 적용 고출력밀도 추진시스템 설계/제어 요소 기술 및 툴 개발에 활용

○ 향후 확보된 도시철도추진용 250kW급 5상 추진인버터 핵심기술을 통하여 상용화를 위한 국가 R&D 사업 도출

○ 철도차량 제작업체 및 수요처에 기술 이전

○ 개발 추진시스템 적용에 따른 철도차량 경량화 및 안정성 향상을 통해 국가철도안전목표 달성에 기여

□ 기대효과

○ 철도 선진국 수준의 추진용 전동기와 인버터 기술확보

기존 유도전동기+VVVF 인버터 효율	5상 동기전동기 + 인버터 효율
92% × 95% = **87.4%**	96% × 95% = **91.2% (▲3.8%)**

○ 기존 유도전동기와 비교하여 210kW급 영구자석 보조형 동기전동기를 설계하였을 때 고정자 외경 및 적층길이를 30% 이상 저감할 수 있으며 그에 따라 같은 출력에서 부피와 중량을 각각 50% 가량 저감

○ 5상의 인버터는 3상에 비해 리플전류가 30% 가량 감소되며 그에따른 고조파 성분의 감소에 따라 인버터의 기대수명을 약 1.5배 증가시킬 수 있으므로 추진시스템에서 가장 고장율이 높은 인버터의 안정성을 50% 이상 개선시키는 효과가 기대

○ 선진국에서 개발된 도시철도 전동차의 추진용 영구자석 동기전동기와 인버터의 동등 성능 또는 그 이상의 성능과 안정성을 확보할 경우 예상되는 매출액은 2020년 이후 교체되는 국내차량에 20% 이상 적용 시 392억원 가량이며 수출 경쟁력 확보와 일반철도와 고속철도의 추진시스템 기술기반 확보를 위해 필수적임

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : ’18.1 ~ ’21.12(4년)

- 1차년도 연구개발기간 : ’18.1 ~ ’18.12(12개월)

○ 총 연구개발비 : 9,550백만원 이내(정부출연금 7,100백만원 이내)

- 1차년도 연구개발비:1,750백만원 이내(정부출연금 1,300백만원 이내)

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 연구단에 할당된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용

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

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고

판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시

- 핵심성과물 및 성과유형 제시
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항
- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음
- 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음

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

○ 「철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 기획」최종보고서 참고

□ 3세부과제

연구개발과제명	도시철도차량용 신개념 구동용 마그테틱 기어드 동기전동기 핵심기술개발
1. 연구개발 목표	
	○ 도시철도차량 경량화를 위한 신개념 구동용 마그네틱 기어드 동기전동기 및 성능평가 기술 개발 - 개발품 상세설계 및 시제품 제작 - 최소사양(안) *용량 : 210kW *목표 토크 및 회전속도 : 고속부 402Nm, 5000rpm / 저속부 2312Nm, 870rpm *목표 효율 및 출력밀도 : 92%(감속 기어부 포함), 기존 대비 20% 이상 개선 *온도 및 절연성능 : H종 절연(180 ℃ 이하) - 시제품의 단품 및 제어기 조합 성능시험 및 평가 기술 개발 - 시제품의 실 대차 적용 및 Roller-Rig 성능시험 및 평가 기술 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내 철도차량의 구동 장치는 견인전동기, 1단 또는 2단의 기계적 감속장치와 휠로 구성됨 ○ 견인전동기 출력으로 발생되는 고속/저회전력이 기계적 감속장치를 거쳐서 저속/고회전력을 휠에 전달되는 구조로써, 견인전동기로는 유도전동기, 기계적 감속장치에는 평행 또는 수직기어가 일반적으로 적용되고 있으며, 휠에 과부하가 걸렸을 경우 견인전동기를 보호하기 위하여 Overload Protection 장치가 별도로 구성되어 있음 ○ 기존의 철도차량용 구동 장치의 경우, 별도의 구성품이 기계적으로 연결이 되어 있는 구조이므로 시스템이 복잡하며, 시스템 전체의 크기 및 무게를 증대시키는 요인이 됨. 특히 최근 저상 철도차량에 대한 연구가 증대되면서 구동장치의 구조 및 크기 개선의 필요성이 대두되고 있음 ○ 추가적으로, 기계적 감속장치를 사용하기 때문에 기계적 소음

과 진동이 크며, 감속장치 내부 기어 치의 마모에 의한 정기적인 부품 교체가 필요하기 때문에 유지보수 비용의 증가를 초래함

○ 철도차량 구동용 유도전동기는 효율이 최대 92%로 낮고, 원천적으로 크기를 줄이는 데 한계가 있기 때문에 최근 고효율(최대 95%), 경량화가 가능한 영구자석 동기전동기로의 개선 연구가 활발히 진행되고 있지만, 여전히 기계적 감속기어를 사용하기 때문에 최종 동력전달효율은 90% 초반대로 떨어지는 문제가 존재함

○ 특히 철도차량용 구동장치에 있어서, 국내는 높은 유지보수 비용에도 불구하고 견인전동기와 기계적 감속장치를 결합하여 사용하는 기존 방식의 틀에서 벗어나지 못하고 있는 실정임

○ 마그네틱 기어 기술이 적용된 비접촉 방식의 감속기와 고효율의 영구자석 동기전동기가 일체화된 마그네틱 기어드 동기전동기의 철도차량용 구동장치로의 적용을 위한 관련 원천기술 개발이 필요함

□ 기술동향

○ 국내 기술동향

- 국내에서는 마그네틱 기어나 영구자석 동기전동기에 대한 개별적인 연구는 다수 진행되었으나, 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기에 대한 연구 경험은 없음

- 마그네틱 기어 관련 연구는 주로 대학에서 진행이 되었으며, 실모델 제작까지 이어진 연구는 적으며, 대부분이 설계단계까지 진행이 되었음

- 마그네틱 기어 관련 국가 R&D는 2012~2013년 교육과학기술부 발주로 “고출력 저진동 풍력발전기용 마그네틱 기어 개발” 과제를 동아대학교가 수행하면서 1kW급 동축 마그네틱 기어를 개발함

- 또한 2013~2016년 교육과학기술부 발주로 “고기어비/고전달토크 구현 가능 마그네틱 기어” 과제를 한국교통대학교가 수행하면서 모듈레이터 개념을 이용한 비접촉식 마그네트 기어의 개념 정립, 이론 전개, 분석, 최적화 그리고 하드웨어 구현과 검증을 수행하였음

- 마지막으로, 2014~2017년 미래창조과학부 발주로 “고속 영

구자석 전동기의 비접촉 기계부하 결합을 위한 마그네틱 디바이스 설계기술 개발” 과제를 충남대학교가 수행하면서 고속회전용 영구자석 자기 커플링 기술을 개발 중임

- 국내에서는 마그네틱 기어나 영구자석 동기전동기에 대한 개별적인 학술 연구는 다수 진행되었지만. 마그네틱 기어 일체형 동기전동기에 대한 학술적 연구 실적은 없는 상황임. 마그네틱 기어 관련 학술 연구는 주로 대학에서 진행이 되었으며, 대부분이 설계와 관련된 연구임

○ 국외 기술동향

- 해외에서는 마그네틱 기어, 마그네틱 기어드 동기전동기에 대한 연구가 다수 진행되고 있음
- 전기자동차나 풍력발전 분야에서 마그네틱 기어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대표적으로 영국의 Magnomatics사는 마그네틱 기어와 마그네틱 기어드 동기전동기 관련 특허를 다수 보유하고 있으며, 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우 전기자전거부터 전기자동차, 철도차량, 잠수함 추진용으로 300kW급까지 개발함
- 하지만 해외에서도 마그네틱 기어 및 마그네틱 기어드 동기전동기가 견인전동기용으로 실용화된 사례는 없음
- Magnomatics사는 도시용 운송차량 및 버스 등에 적용이 가능한 22인치, 2~4kNm급 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기가 적용된 Direct Drive wheel-Motor 시제품을 개발하였으며, 메카와트 머신의 추진용으로 300kW, 16kNm급 마그네틱 기어드 영구자석 동기전동기 시제품을 개발하여 성능시험을 수행하였음. 또한 자동차용 기계식 변속기를 대신할 마그네틱 CVT(변속기) 시제품을 개발하여 성능시험을 수행하였음
- 철도 분야에서는 아직 마그네틱 기어나 마그네틱 기어드 동기전동기의 개발 사례가 없으며, 여전히 기계식 감속기와 견인전동기를 구동시스템으로 사용하고 있으며. 기계식 감속기 시장은 거의 유럽(독일)의 감속기 제작사인 VOITH에 의해 주도되고 있음

3. 연구개발내용	

□ 컨소시엄 공모 (금회공모)	○ 마그네틱 기어드 동기전동기 설계 기술 - 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기의 기초/상세 및 최적 설계 기법 정립 · 목표 토크 및 회전속도 : 고속부 402Nm, 5000rpm / 저속부 2312Nm, 870rpm - 마그네틱 기어드 동기전동기의 효율 및 출력밀도 향상 기법 개발 · 목표 효율 및 출력밀도 : 92%(감속 기어부 포함), 20% 이상 개선 ○ 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술 - 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 구동을 위한 제어 알고리즘 기술 개발 - 백러쉬가 없는 고정밀 제어기법 개발 - 구동용 드라이브의 효율 및 출력밀도 향상 기법 개발 ○ 마그네틱 기어드 동기전동기 구조 및 냉각시스템 기술 - 210kW급 2중 회전자부 기구 설계 기술 개발 - 냉각시스템 및 하우징 설계 기술 개발 - 강성 및 열유동 해석 기술 개발 - 대차시스템 연계 인터페이스 기초 기술 개발 ○ 마그네틱 기어드 동기전동기 제작 및 성능 시험 평가 기술 - 210kW급 2중 회전자 제작 기술 개발 - 윤축일체형 기술 개발 - 냉각시스템 적용 하우징 제작 기술 개발 · 온도 및 절연성능 : H종 절연(180 ℃ 이하) - 시제품의 단품 및 조합 성능시험 및 평가 기술 개발 - 시제품의 실 대차 적용 및 Roller-Rig 성능시험 및 평가 기술 개발 · Roller-Rig 활용하여 100km/h까지 주행안정성 확보
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ Top-down 방식으로 원천 핵심기술 개발 - 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발 - 테스트베드(Roller-Rig)에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증 ○ 중점 추진분야는 마그네틱 기어드 동기전동기 설계/제어 기술 개발과 성능평가 기술 개발로 구분하여 관련 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로써, 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화

	추진 ○ 산학연 협동 및 단계별 기술개발 추진 - 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축 - 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발 - 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진 - 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증 ○ 새로운 추진시스템의 적용과 테스트베드 구축/운영을 위해 철도 운영기관 참여 유도 ○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용 ○ 연구성과 홍보를 통해 기술이전 및 실용화 확산 노력
□ **추진체계**	○ 본 연구의 핵심기술 개발을 위하여 국내 철도차량, 추진시스템 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원하에 연구를 수행하는 것이 바람직함 ○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 추진시스템 구성품 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 핵심기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함 ○ 원천기술 및 시제품의 테스트베드를 통한 실증을 위해 도시철도 운영기관의 자문 및 참여가 바람직함 ○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것 ○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함 ○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

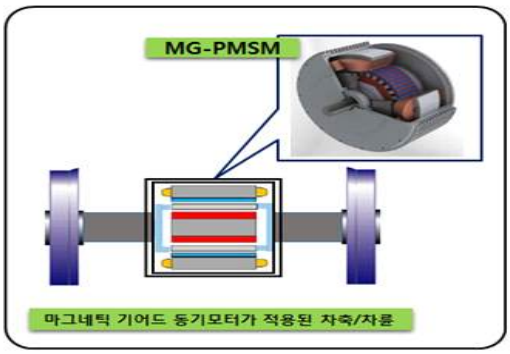
5. 최종성과물(주요 최종성과물)

○ 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품

- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 설계사양서, 설계도면
- 210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품

210kW급 마그네틱 기어드 동기전동기 시제품 최속 목표 사양		
출력 용량 (kW)		210 이상
토크 (Nm)	고속부	402
	저속부	2312
회전속도 (rpm)	고속부	5000
	저속부	870
효율 (%)		92 % 이상 (감속 기어부 포함)
출력 밀도 개선 (%)		20 % 이상
온도 및 절연 성능		H 종 (180 ℃ 이하)

- 전력변환장치 설계사양서, 설계도면
- 전력변환장치 시제품
- 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 알고리즘
- 마그네틱 기어드 동기전동기와 구동 드라이브가 장착된 대차 시제품 ☞ 실 대차 장착 후 100km/h까지 주행안정성 확보



< 도시철도차량용 마그네틱 기어드 동기전동기 적용(안) >

○ 마그네틱 기어드 동기전동기 제어 기술

- 마그네틱 기어드 동기전동기 구동을 위한 제어 알고리즘
- 제어 알고리즘 성능평가 시험기준안
- 백러쉬가 없는 고정밀 제어기법

○ 마그네틱 기어드 동기전동기 성능평가 시험기준안

- 성능계측시스템 구성안

- 성능평가 시험기준안
- 전용 테스트베드 및 Roller-Rig에서의 성능평가 보고서 및 시험성적서

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 미래 신교통시스템용 친환경 추진시스템 구축을 위한 기반 기술의 확보

○ 철도 교통 분야 미래 신성장 동력 창출

○ 비접촉 방식의 감속기와 견인전동기가 일체화된 마그네틱 기어드 동기모터의 핵심 기술 확보 및 실용화 준비

○ 기존의 다양한 철도차량 및 산업계에의 기술 적용을 위한 실용화 사업 기획에 활용

○ 마그네틱 기어드 동기모터 기술의 해외 수출 및 세계 시장 개척

○ 마그네틱 기어드 동기모터 설계파라미터, 관련데이터 축적 및 특허, 노하우 확보

○ 마그네틱 기어드 동기모터 적용 고출력밀도 추진시스템 설계/제어 요소 기술 및 툴 개발에 활용

○ 향후 확보된 마그네틱 기어드 동기모터 핵심기술을 통하여 상용화를 위한 국가 R&D 사업 도출

○ 철도차량 제작업체 및 수요처에 기술 이전

□ 기대효과

○ 마그네틱 기어와 영구자석 동기전동기를 구조적으로 일체화 시킨 마그네틱 기어드 동기전동기의 핵심기술 개발을 통하여,

- 일체화된 시스템으로써 기존 철도차량용 구동시스템 대비 경량화된 차량 및 구동시스템 구축 가능
- 기존 기계식 감속기의 유지보수 문제 해결이 가능, 경제적인 추진시스템 구축 가능
- 대차 및 차륜 등 지지구조물의 크기, 강도 저감이 가능
- 차량의 저상화 및 경량화를 통해 전체 차량시스템 효율 증대 가능

기존 유도전동기+기계적 감속기 효율 92% × 97.5% = **89.7%**	마그네틱 기어드 동기전동기 효율 **92%** (▲2.3%)

- 선진국 주도의 마그네틱 기어드 동기전동기 기술 종속 탈피 및 독자적 기술 확보 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : ’18.1 ~ ’21.12(4년)

- 1차년도 연구개발기간 : ’18.1 ~ ’18.12(12개월)

○ 총 연구개발비 : 5,620백만원 이내(정부출연금 4,200백만원 이내)

- 1차년도 연구개발비:1,340백만원 이내(정부출연금 1,000백만원 이내)

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 연구단에 할당된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용

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

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로

수정하여 제안할 수 있음

○ 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시
- 핵심성과물 및 성과유형 제시
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항
- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표

작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음

- 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음

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

○ 「컨버터 일체형 철도안전 융합시스템 기술개발 기획연구」 최종보고서 참고

제 2 절 평가기준 설정

1. 연구목표의 적절성, 연구개발 필요성 및 타당성 : 배점 30점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구목표의 적절성	연구목표의 적절성 및 제안요구서와의 부합성	10	8	6	4	2
연구개발의 필요성	연구추진 및 기술개발 필요성	10	8	6	4	2
연구개발의 타당성	정책/기술/경제적/정부지원 타당성	10	8	6	4	2
소계						

2. 연구계획의 적정성 : 배점 50점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구추진체계의 합리성	연구추진체계 및 추진일정의 합리성	10	8	6	4	2
연구추진전략의 적정성	목표 달성을 위한 연구추진전략의 적정성	10	8	6	4	2
연구성과목표 및 지표의 적정성	연구성과목표 및 지표의 적정성	10	8	6	4	2
연구성과의 활용성	연구성과의 실용성 및 활용성, 기대효과	10	8	6	4	2
연구비 편성의 적정성	연구내용대비 예산 규모, 예산 편성의 적정성	10	8	6	4	2
소계						

3. 연구기관의 적정성 : 배점 20점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구기관의 규모	연구기관의 규모, 연구인력 및 전문성	10	8	6	4	2
연구기관의 전문성	유사연구 수행실적 및 경험	10	8	6	4	2
소계						

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서 입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

ISBN : 979-11-88058-07-5