

곡선주행성능 향상을 위한 각륜 구동 전동기 개발기획 보고서

2014. 12.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 /
한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 개발기획연구" 과제의 보고서로 제출합니다.

2014. 12.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

주관연구책임자 : 박 현 준 수석연구원

연구원 : 김 길 동 수석연구원

연구원 : 이 장 무 책임연구원

연구원 : 이 한 민 책임연구원

연구원 : 박 찬 배 선임연구원

보고서 요약서

과제고유번호	14RDPP-C 074904-01	해 당 단 계 연 구 기 간	2014.5.16.~ 2014.11.15. (6개월)	단 계 구 분	1/1
연 구 사 업 명	국토교통연구기획사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 개발 기획			
	단위과제명				
연 구 책 임 자	박현준	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 5 명 내부 : 5 명 외부 : 0 명	총연구비	정부: 60,000천원 기업 : 0천원 계: 60,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부		참여기업명	-	
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
○ 곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 기술개발의 본격적인 연구 과제의 추진에 앞서 대규모 예산 투입에 따른 예산 효율성과 연구개발 성공 가능성을 높이기 위해 연구 과제의 전략적 방향성 및 실행방안을 제시 ○ 주요 연구내용 - 시스템 요구수준 및 적용 대상 제시 - 각륵구동 전동기 설계 및 제작 핵심요소기술 제시 - 각륵구동 전동기 개발 사전 타당성 검토 ○ 과제별·연차별 기술로드맵 제시, 인력투입계획 및 소요예산 산정 ○ 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	각륵구동 전동기, 영구자석 동기전동기, 철도 견인전동기, 고효율, 급곡선 주행			
	영 어	In-wheel Motor, Permanent magnet synchronous motor(PMSM), Railway traction motor, High efficiency, Sharp curving driving			

요약문

I. 제목

- 곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 개발 기획

II. 연구 목표 및 필요성

1. 연구 목표

(본사업 1단계 목표)

급곡선 구간에서 주행성능을 향상시켜 스킵소음을 낮추고 전동차 차륵 플랜지 마모를 줄이는 각륵전동기 개발

- 전동기 출력 110kW, 효율 96%, 출력밀도 0.2kW/kg, 소음 20dB(A)저감

곡선 주행 성능을 향상시키기 위한 각륵구동전동기 핵심 기술 확보

비 전 : 곡선주행 성능향상 핵심기술을 통한 저비용 및 고효율 확보

(최종목표)

곡률반경 300R, 속도제한 55km/h인 급곡선구간을 포함한 곡선구간에서 주행성능을 향상시켜 스킵소음을 5dB(A) 낮추고 전동차 차륵 플랜지 마모를 25% 줄여 유지보수비용을 절감할 수 있는 철도차량시스템 핵심기술을 개발

※ 최종목표 : 본 사업 1~3단계 종료 후 달성목표

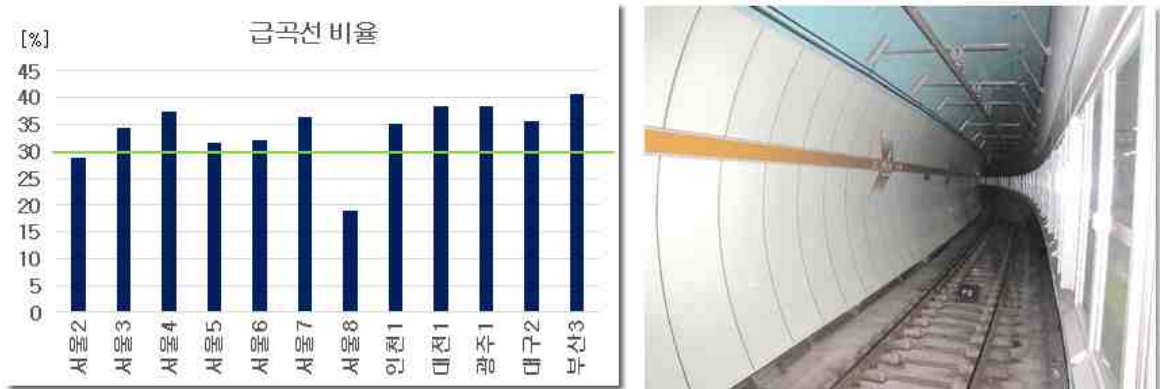
각륵구동 전동기 핵심기술개발을 통한
저비용 및 고효율 운영



<곡선주행 성능향상을 위한 각륵구동전동기 핵심기술 개발 방향>

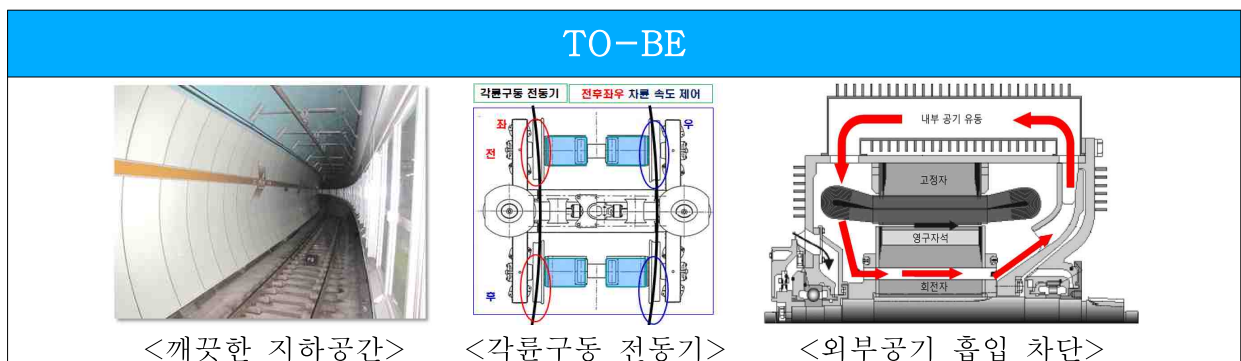
2. 필요성

- 국내 도시철도 구간의 30% 이상이 급곡선 노선임



<국내 급곡선 비율 및 예시>

- 철도차량은 구조적 특성 상 급곡선을 통과하는 데 어려움이 있으며, 차륜/레일 과대마모 및 스킬 소음(Squeal Noise)의 문제를 안고 있음. 특히 지하구간에 있어서는 차륜/ 레일 마모에 의해 터널 내 분진(60% 이상이 철분)이 발생하고 있으며, 이로 인해 공기질 저하 및 각종기기 고장의 원인이 되고 있음. 또한 마찰로 인한 스킬소음은 승객 쾌적성에 영향을 주고, 소음 민원을 자주 발생시키고 있음.

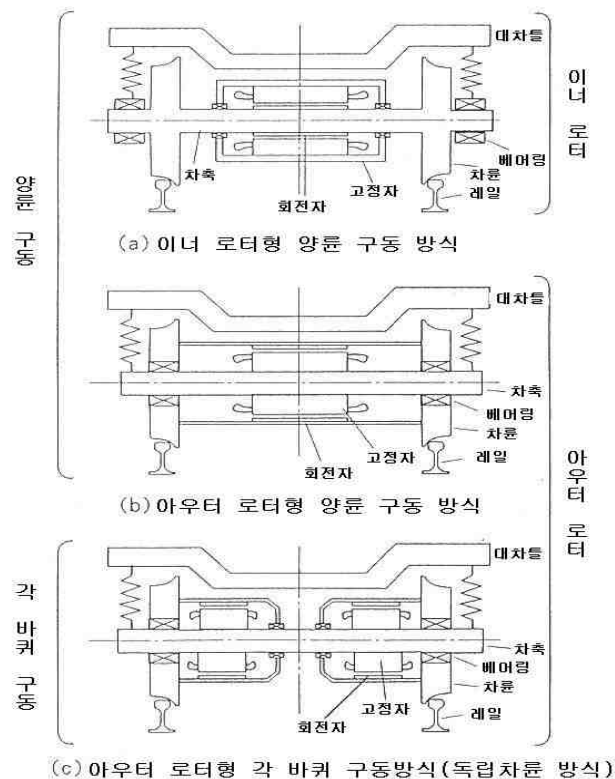


- 이를 해결하기 위해서는 차륜/ 레일 마모 및 소음감소, 승차감향상 등을 위해 기존 급곡선 선로에서 원활한 주행이 가능한 차량 핵심요소기술 개발 필요
- 에너지 소모의 최소화 및 유지보수성을 고려하기 위해서는 운행시 에너지 소모 및 운영 유지비를 최소화해야 하며 이를 위해 추진장치의 중량을 최소화하는 기술 개발이 필요함
- 운동 자유도가 제한된 급곡선 궤도를 원활히 추종하기 위해서는 독립차륜형 대차에 능동형 조향장치인 각륜구동전동기의 적용이 필요함
- 각륜구동전동기는 능동조향 방식의 일환으로서 차륜 각각의 회전수를 제어하여 조향하는 각륜구동 방식에 사용되는 전동기임
- 각륜구동전동기는 기어와 플렉시블 커플링 없이 토크를 직접 윤축에 전달하기 때문에 전송 손실, 소음, 유지보수, 질량과 부피를 줄일 수 있는 장점이 있으며, 기어가 없어지면 전동기는 고토크와 고제어정밀성을 제공해야하므로 기존의 비동기전동기가 아닌 동기전동기의 사용이 필요함

Ⅲ. 국내외 기술개발 현황

1. 국내기술 동향 및 현황

- 기존의 전기철도 차량에서 견인전동기 구동력은 플렉시블 커플링과 감속기어를 통하여 차륜에 전달되며 견인전동기의 토크는 기어비만큼 배가될 수 있음. 근래에는 기존의 AC 비동기 모터를 대신할 차륜일체형 영구자석 동기 전동기가 많이 개발되고 있는데 이는 최근 수 십년간 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 때문이다
- 각륜구동전동기의 토크는 기어와 플렉시블 커플링 없이 직접적으로 윤축에 전달되기 때문에 전송 손실(이에 따른 에너지 손실), 소음, 유지보수, 질량과 부피를 줄일 수 있다는 장점이 있음. 기어가 없어지면 전동기는 더 높은 토크를 제공해야하는데 비동기 전동기는 이러한 조건을 만족 시킬 수 없고 차륜 장착 구조가 불가능함
- transversal flux motors 외에 영구자석 동기전동기는 높은 토크 특성으로 인해 차륜일체형 구조를 만족시킬 수 있는 유망한 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



<이너로터 및 아웃터 로터 방식>

- 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.
- 다음으로 회전축의 분리여부에 따라 회전축 구동방식과 독립 차륜방식으로 구분할 수 있음. 회전축 구동방식은 기존의 철도차량에서 좌우 양단의 차륜이 회전축을 통하여 결합되어 동시에 회전하도록 하는 것으로, 그림의 (a), (b)가 이에 해당됨. 이에 반해, 외측 회전 형식 전동기를 차축의 중앙에서 좌, 우 두 개로 분리하여 (c)와 같이 구성함으로써 좌우 차륜이 서로 독립적으로 회전이 가능하도록 독립차륜구동방식으로 구성할 수 있고 이는 궤간 가변이 가능한 독립구동형 대차를 가능하게 함
- 영구자석 동기전동기의 장점은 기어 및 플렉시블 커플링이 없기 때문에 유지보수를 경감할 수 있으며, 작은 부피와 직접구동 방식은 저상 및 2층 구조 방식의 차량에 적용이 가능하고 독립차륜 구동방식을 통해 궤간가변차량에 적용할 수 있음. 이외에 공기냉각 보다 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)으로서 외전형(Outer rotor type) 각륜 구동전동기의 개발은 일부에 그치고 있음
- 국내 철도차량의 경우 각륜구동전동기는 개발된 사례가 없음



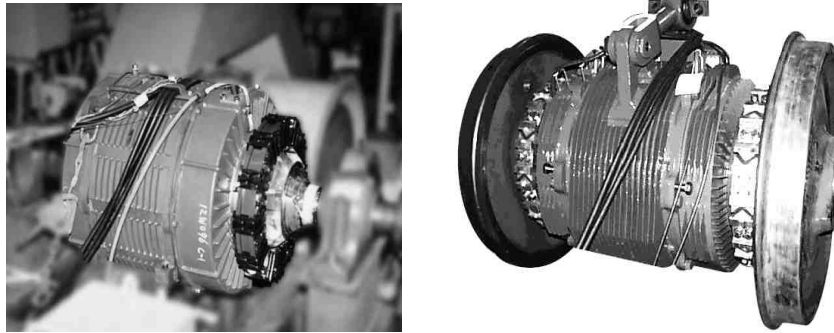
<Direct Drive In-wheel 전동기>



<국내 NEV용 In-wheel
PMSM 제작 예>

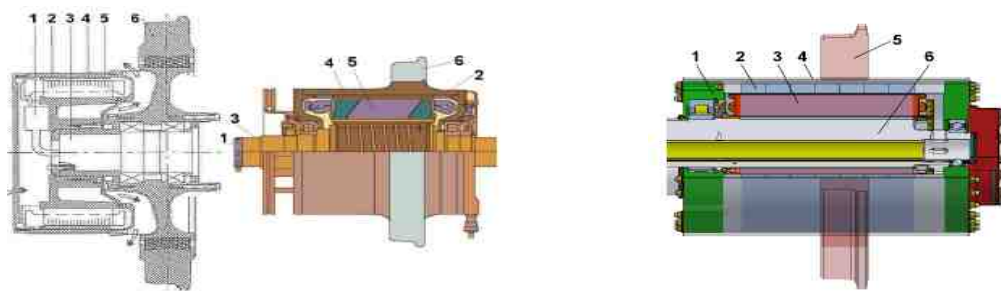
2. 국외기술 동향 및 현황

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



<후지전기의 직접구동형 동기전동기 및 차축>

- 철도차량의 소비에너지 및 유지보수비 저감을 위하여 감속기를 사용하지 않고 직접 차량의 차축이나 휠을 구동하는 DDM의 적용 및 이의 고효율화를 위한 연구가 유럽의 선진사 및 일본을 중심으로 활발히 수행중임
- 이러한 연구는 혁신적으로 무게를 줄이기 위한 PMSM의 연구에 집중되고 있으며, 그 설계의 방향은 다음과 같음



<각륜구동 PMSM의 설계 예>

- 최적성능의 보증 및 무게 절감을 위해 가장 높은 에너지적을 갖는 영구자석을 사용한 PMSM의 설계 적용
 - 전동기의 기본 성능, 냉각성능 및 보수성을 고려한 PMSM의 극 조합 및 냉각 구조의 최적화
 - Wheel 일체형 PMSM의 조립 구조 및 신뢰성 확보를 위한 구조 연구
- 일본 RTRI는 60kW급 각륜구동 전동기를 개발함. 좌우 차륜이 독립적으로 회전하는 방식

이기 때문에 각 전동기의 회전자는 차륜에 설치된 베어링과 전동기에 설치된 베어링에 의해 지지되는 구조로 좌우의 차륜이 독립적으로 회전함. 직선부의 주행 안정성 향상이나 미끄러지는 곡선 통과성능 향상 등의 장점이 있고, 좌우가 기계적으로 독립이기 때문에 궤간 조절이 가능하므로 궤간가변 대차에 적용함으로서, 차륜 일체형 전동기의 큰 특징 중 하나가 됨. 현재 요산선 시험을 완료하여 실용화하였으며 축당 용량이 120kW수준으로 차량에 따라서는 용량으로 인해 적용 한계가 있다는 단점이 있음.



각륜구동 전동기



단품도



요산선

<RTRI의 궤간가변 차량 적용 각륜구동 전동기>

IV. 연구내용

1. 단계별 주요 연구내용 및 성과물

가. 1단계(2016~2018, 3년) : 전동기 핵심기술개발

세부기술	주요 추진 내용 및 성과물
각류구동전동기 설계기술	○ 부하조건에 따른 용량 산정 - 운행속도, 최대경사, 중량, 주행저항 등을 고려한 부하조건 산정 - 부하토크곡선에 따른 용량 산정 ○ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 - 차륜일체형 특성 분석 - 외전형, 내전형, 일체형 등 방식 검토 ○ 기초 및 상세 설계 - 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 최적화 연구 - 영구자석 구조 분석 - 권선법 분석 - 자성재료 분석 ○ 냉각시스템 설계 - 열원 분석 - 냉각시스템 용량 및 방식 선정 - 유동해석을 통한 설계 및 성능 검증 ○ 기구 설계 - 차륜 취부 회전체 구조 해석 - 강성 해석 - 안전/안정성 해석 ○ 최적 설계 - 멀티피직스(전자계해석·열해석·유동해석·구조해석) 분석 - 실험계획법을 통한 최적설계
각류구동전동기 제어기술	○ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 - 차륜일체형 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 - 대전류 전동기의 서보급 정밀도 향상 기술 개발 - 좌우 각률편동기의 선속도 분석 - 좌우 각률편동기의 고정밀 속도제어 - 고속응성 제어 - 대역 약계자 운전 제어 - 전동기 연동 해석 ○ 효율 향상 연구 - 손실 분석 - 손실 최소화 방안 연구 ○ 출력밀도 향상 연구 - 전장품 배치 분석 및 부피 최소화 방안 도출 - 경량화 기술 개발
각률편동전동기 제작기술	○ 차륜 일체형 기술 개발 - 차륜-전동기 연결 기술 - 베어링 적용 기술 - 제동장치 기구적 배치 분석 - 강성유지 기술 - 안전/안정성 기술 ○ 냉각구조 하우징 기술
인터페이스 기술	○ 대차시스템 연계 기초 기술 ○ 조향기능과 각률편동 전동기 조합 기술 ○ 운영 및 유지관리 기술 ○ 유지보수비용 절감효과 검토
단품 성능시험 및 평가	○ 단품 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 - 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 ○ 시제 단품 성능 시험 및 평가 - 각률편동전동기 - 전력변환장치 - 냉각장치 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 단품 성능 목표 검증

나. 2단계(2019~2021, 3년) : 전동기 실대차 시험 및 보완 기술개발

인터페이스 기술	○ 대차시스템 연계 기술 ○ 조향기능과 각률편동 전동기 조합 ○ 실대차 제작 및 전동기 취부
일체형 기술	○ 모터+드라이브 일체화 기술 - 출력밀도 향상 및 고신뢰성을 위한 일체화 기술 - 일체형 전동기시스템의 냉각 기술

	- 일체형 전동기시스템의 유지보수 기술
고신뢰성 부품 기술	○ 고강도 베어링 기술 - 차륜일체형 베어링 - 윤축 베어링
대차 조합 성능시험 및 평가	○ 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 - 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 ○ 실험대차 성능 시험 및 평가 - 각륜구동전동기 - 전력변환장치 - 냉각장치 - 대차 조향 기능 ○ 대차 조합시험 및 평가 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 성능 목표 검증

다. 3단계(2022~2023, 2년) : 전동기 실차 시험 및 실용화 기술 개발

실차 적용 기술	○ 실차 적용 기술 ○ 각륜구동전동기 조합의 실운전 ○ 운영 및 유지관리 기술
다중화 기술	○ 실용화 및 안전을 위한 다중화 기술 - 다상 전동기 기술 (비상시 상 변환에 의한 자체 구원운전 기술) - 다중 드라이버 기술 (비상시 중복 드라이버에 의한 자체 구원운전 기술)
실차 성능시험 및 평가	○ 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 - 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 - 신뢰성 평가기술 개발 ○ 실차 성능 시험 및 평가 - 각륜구동전동기 - 전력변환장치 - 냉각장치 - 대차 조향 기능 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 성능 목표 검증

V. 성과물 및 활용방안

1. 성과물

단계	연구목표	최종성과물	추진전략 및 방법
1	각륜전동기 핵심기술 개발 - 출력 110kW, 효율 96%, 출력 밀도 0.2kW/kg, 전동기 소음 20dB 저감 각륜구동 전동기 개발	○ 각륜구동 전동기 설계 도면 ○ 차륜일체형 전동기 금형 ○ 차륜일체형 전동기 시험용 지그(JIG) ○ 차륜일체형 전동기용 토크 측정 성능시험 측정기 ○ 차륜 일체형 각륜구동 전동기 시제품	- 운영환경 및 부하조건을 고려한 용량 산정 - 핵심 요소기술을 분석하여 외전형, 내전형, 일체형 등 방식을 비교 - 상세 설계 및 최적화를 통해 최적설계안 도출 - 정밀 제어를 위한 고정밀 제어기법 개발 - 단품 성능시험 측정기를 활용하여 일체형 전동기 성능 측정
2	전동기 실대차 시험 및 보완기술 개발 - 일반대차 대비 횡압 70%대로 저감	○ 대차 및 연계 도면 ○ 모터+드라이브 일체형 시제품 ○ 전동기가 취부된 대차 ○ 실대차 조합성능시험 보고서 및 수정 보완사항	- 출력 밀도 향상 및 고신뢰성을 위한 일체화 기술 적용 - 대차와의 인터페이스 중 가장 고신뢰성이 필요한 영구자석과 베어링에 대한 연구 및 최적 부품 도출 - 실대차 2대를 이용한 대차조합시험을 통해 조합성능 결과를 확인하고 수정 보완사항 도출
3	전동기 실차시험 및 실용화 기술 개발 - 스킵 소음 5dB(A), 차륜 플랜지 마모 25% 저감 (곡률 반경 300R, 속도제한 55km/h 급곡선 구간 포함)	○ 각륜구동전동기 적용 실차 ○ 실차 성능시험 테스트베드 ○ 실차 성능시험 보고서 및 수정보완사항	- 실차를 테스트할 수 있는 테스트 베드 구축 후 운영 및 유지하여 안정적인 시험환경 구축 - 실용화 및 안전을 고려한 다중화 기술을 적용하여 비상시 대처에 유연성 고려 - 실차(1량)과 기존차량을 조합하여 시험을 수행하여 소음(실차 차륜 근처에서 소음 측정 실시), 플랜지 마모 등에 대한 비교시험 수행하여 결과를 확인하고 수정보완사항 도출

2. 활용방안

- 1단계 사업종료 후 성과 활용을 위한 연계방안은 대차를 이용한 시험(2단계)과 실차를 이용한 시험(3단계)으로 구분될 수 있음.
 - 대차는 독립차륜방식을 적용하고 각륜구동전동기를 취부 할 수 있도록 1SET 개발 및 제작 할 예정임
 - 대차와의 인터페이스 연계를 위해 베어링 등 중요부품의 신뢰성을 고려하여 전동기가 취부될 수 있도록 할 예정임
 - 실차시험을 통해 실용화를 위해서는 실차시험이 필수적이며 실차 구매를 위한 소요비용 감축과 동시에 기존의 연구성과물 활용을 위하여 차세대 전동차의 일부를 활용하도록 추진할 예정임
 - 실차 시험의 테스트베드는 현재 차세대 전동차의 테스트 베드인 대불선을 활용할 수 있도록 추진할 예정이며 실차시험을 통해 신뢰성까지 고려되는 방향으로 추진되도록 할 예정임
- 2, 3단계로 연계되는 연구를 통해 1단계의 단품 성과물인 각륜구동전동기 개발에 한정되지 않고 도시철도차량에 대한 적용성, 신뢰성 및 확장성까지 고려하도록 계획함.
- 이를 통해 확보된 설계능력 및 시스템 인터페이스 기술은 각륜구동 전동기 적용을 원하는 수요처의 요청에 따라 신규 차량시스템 개발에 동시적용을 하거나 기존차량의 개량을 통한 적용이 가능하도록 기술적 토대를 제공함. 또한 부품단위의 실용화뿐만 아니라 시스템과의 결합을 통해 시스템 단위의 실용화까지 가능하도록 시너지효과를 얻을 수 있음.
- 2, 3단계의 성능검증 결과물은 향후 실용화 단계에서 성과홍보를 위한 기반자료로 활용이 가능함.

VI. 기존 기술과의 차별성 및 실용화 전략

1. 기존 기술과의 차별성

○ 곡선주행 성능 향상을 위한 차량시스템 기술의 한계와 문제점

- 소음저감, 유지보수비용 저감, 전동기 효율 향상, 에너지 절감을 충족시킬 수 있는 추진시스템 핵심기술 부재.

○ 각륜구동전동기 적용에 차별성

- 각륜구동 전동기는 기존 유도전동기를 적용한 시스템에서 요구되는 기어박스가 필요하지 않음에 따라 부품수가 감소함.
- 전폐형 구조로 인해 먼지의 유입이 없음에 따라 전동기 고장확률이 기존 유도전동기에 비해 적으며 유지보수기간이 획기적으로 증대되어 Maintenance Free에 가까운 효과가 기대됨. 따라서 기존 전동기에 비해 요구되는 유지보수 시설 및 인력이 오히려 줄어듦.
- 효율성이 기존 전동기에 비해 좋으며 에너지 소비량이 적기 때문에 시스템 측면에서의 에너지 사용량 감소는 운영비 절감으로 연계될 수 있음.

2. 실용화 장벽 및 전략

○ 신기술, 신제품에 대한 실용화의 장벽은 존재하고 있으며 장애요인은 요약하면 다음과 같음

- 신기술 적용에 따라 성능은 우수해지나, 가격이 다소 상승할 가능성이 있음에 따라 최저가 입찰방식은 실용화에 장애요인으로 작용함
- 운영기관은 제품 구매시 운영실적 및 납품실적을 요구하고 있음에 따라 연구개발제품의 경우 실용화 장애요인에 어려움이 있음.
- 성능향상에 따른 가격상승 부분에 대해 정부차원의 신기술 신제품 우선구매 및 재정지원 제도를 도입하여 운영기관 부담 완화와 신제품 구매를 유도하여 연구개발품에 대한 법·제도적 지원 미비점 보완이 필요함
- 신규개발 부품이나 차량의 적용에 대해 운영기관은 거부감을 가지고 있으며 이는 신기술 적용된 시스템에 대해 별도 유지보수설비 구축 및 적용에 따른 현장 운영인력의 재교육이 필요한 점으로 인해 기인한 것임. 또한 운전이력 및 운영실적 부족에 따른 최초 운영위험성에 대해 보수적 관점에서 접근하고 있기 때문임.

○ 각륜구동전동기의 실용화 전략 및 성과활용방안

- 각륜구동전동기 개발이후 대폐차 계획이 있는 운영기관을 직접 찾아가 우수성 홍보

- 각륜구동전동기의 에너지 고효율성에 대한 유관기관 홍보(성능시험 결과 활용)
- 철도분야 고효율 에너지기기 사용 지원제도 마련 협의를 통해 신기술 신제품에 대한 실용화 촉진 기반 구축
- 신기술이 적용된 제품과 기존 제품에 대해 도입단가, 내구연한 동안 절감 가능한 에너지, 전생애주기 유지보수비용 및 소음감소로 인한 사회편익비용 등을 분석한 자료를 기반으로 운영기관에 홍보

VII. 정부 지원 필요성

1. 기술개발투자의 시의성, 시급성

- 각륜구동 전동기 기술은 현재 일부 선진국에서 개발 및 시험 완료 후 상용화를 추진하고 있으며 기술적 우위를 바탕으로 시장을 독식할 가능성이 있음 따라서 조속한 연구개발을 통해 핵심기술 확보가 시급함
- 국가 철도망 계획(2020년까지 88조 투입 정책)에 따른 철도 건설 예산 절감 및 효율적 투자를 위한 기술개발에 역점을 둠. 이는 철도 건설예산 절감을 유도하고 고효율을 지향할 수 있는 정책적 방향 도출됨.
- 이를 위해 저탄소 녹색성장의 견인을 위해 녹색기술 및 미래핵심기술 “Green-Up 30”에 지속적으로 투자할 계획이며, 본 기획과제는 국가 R&D 정책방향에 포함되어 있음.
- 곡선구간이 많은 도시철도의 환경 요인과 함께 여러 복합적인 요인을 모두 만족할 수 있는 기술개발이 필요함
- 곡선주행 성능을 갖는 차량기술과 소음 및 유지보수비 저감 등의 저비용 기술 등 다양한 분야에 대한 연구를 통하여 경제적이며 최적의 시스템 도출이 요구됨
- 고속으로 주행하면서 차량 하중을 지지하고, 횡방향 자유도가 최대한 확보되어 국가 대중교통망 설계시 효과적으로 대응이 될 수 있도록 범국가적 연구개발이 필요함.
- 국가 대중교통의 시장 정책적 방향은 도심 교통수단으로 환경 친화성과 수송효율이 높은 도시철도에 대한 수요의 급증에 대처하고, 도시의 미관을 해치지 않고 안전성이 확보 될 수 있는 새로운 철도시스템의 필요성에 대응하는 것임
- 곡선주행 성능향상 핵심기술개발은 조속히 추진되어야 하며, 신뢰성/ 안전성을 확보 후 실용화를 위한 노력이 필요함

2. 정부 주도의 개발 및 지원 필요성

- 정부에서 계획하고 있는 2013년까지 85%의 선진국 대비 기술력 달성 및 세계 7위의 철도시장 점유 목표 달성, 2018년까지 90%의 기술력 달성 및 세계 5위의 점유 목표 달성을 위해서는 선진국 기술의 국산화 개발방식(fast-follower)에서 탈피하여 첨단철도 신기술 선도개발(leading innovator)분야로 R&D 확대 필요
- 각륜구동 시스템 기술은 시장형성 단계인 미래철도차량 기술로서 미래 기술 및 국내 철도차량 기술 경쟁력 제고 측면에서 국가적 기술개발을 통한 장기적 접근 및 정부지원이 필요한 기술 분야임.
- 도심지의 교통난이 가중되고 환경 및 에너지 문제가 심각해질수록 유지보수비용이 저렴한 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 경제성이 높은 기술에 대한 수요가 늘어날 것으로 전망됨.

- 곡선주행 조건에서 소음 및 유지보수비 저감 기술개발 등 핵심장치 개발 및 검증이 정부 주도로 선행되어야 할 필요가 있음.

3. 정부 미지원시 문제점

- 소음/마모 문제를 해결할 수 있는 근본적 원천기술의 미확보에 따른 대국민 서비스 질의 저하 및 관련 편익비용 지출
- 미래지향적인 원천 핵심기술의 미확보로 인해 국외 기술에 종속시 막대한 국부유출 및 국내환경에 부적합한 유지관리로 인한 운영비효율성 문제 발생

목 차

1장. 기술의 정의 및 필요성	1
1절. 기술의 정의 및 필요성	1
1. 기술의정의	1
2. 기술의 필요성	2
2절. 기획목적 및 추진방향	13
1. 기획목적	13
2. 연구 추진 방향	14
2장. 국내외 동향 및 환경 분석	16
1절. 국내외 정책 동향	16
1. 국내 정책동향	16
2. 해외 정책동향	18
2절. 국내외 시장 현황 및 전망	21
1. 국내 시장 현황	21
2. 해외 시장 현황	32
3절. 기술동향 분석	42
1. 전동기 기술동향	42
2. 조향대차 기술동향	52
4절. 특허동향 분석	65
1. 분석배경 및 목적	65
2. 분석범위	66
3. 국가별 Landscape	74
4. 경쟁자 Landscape	80
5. 세부기술 Landscape	82
6. IP History 분석 및 핵심특허	85
7. 세부기술 현황분석결과	91
8. 결 론	92
5절. 연구개발 인프라 분석	94
3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	95
1절. 비전 및 목표	95
1. 비전 및 연구목표	95

2절. 기술개발에 따른 미래상	96
1. 현황 및 미래상	96
3절. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표	97
1. 핵심기술요소(CTE) 도출	97
2. 기술성숙도(TRL) 단계별 목표	105
4절. 연구개발과제 구성	106
1. 연구개발 과제 구성	106
2. 기술개발 전략 수립(SWOT 분석)	107
5절. 세부과제 주요 내용 및 기대효과	109
1. 핵심 요구사항	109
2. Key Technology	113
3. 주요내용(설계 및 사양)	117
4. 연구개발 기대효과	143
6절. 단계별·연차별 기술로드맵 및 성과로드맵	159
1. 단계별·연차별 기술로드맵	159
2. 단계별 주요 연구내용 및 성과물	160
3. 성과목표 및 성과지표	163
7절. 성과의 활용방안 및 실용화 전략	164
1. 성과의 활용방안	164
2. 단계별 최종 성과물 및 연구방법	167
3. 실용화 전략 및 추진방안	168
8절. 연구수행체계	172
1. 연구추진조직	172
2. 연구추진체계	172
 4장. 사전타당성 검토	174
1절. 정책적 타당성	174
2절. 기술적 타당성	180
3절. 경제적 타당성	182
1. 분석 범위 및 기초	182
2. 비용편익 분석법	185
3. 각륜구동전동기 도입 편익	188
4. 비용편익 분석결과(서울메트로 1,2,3,4호선에 적용한 경우)	199
4절. 기술개발 필요성	200
5절. 정부지원 타당성	202

1. 기술개발투자의 시급성	202
2. 정부 주도의 개발 및 지원 필요성	202
3. 정부 미지원시 문제점	203
5장. 인력투입 계획 및 소요예산 산정	204
1절. 연구일정에 따른 인력투입계획	204
1. 인력투입계획	204
2절. 소요예산	205
1. 소요예산 예산산출	205
2. 2~3 단계 소요예산(안)	208
6장. 과제 제안요구서	211
1절. 과제 제안요구서(RFP)	211
1. 본 과제 RFP	211
참고문헌	216

그림 목차

[그림 1] 곡선주행 성능향상을 위한 각륜구동전동기 핵심기술 개발 방향	1
[그림 2] 각륜구동전동기 예시	2
[그림 3] 국내 급곡선 비율 및 예시	4
[그림 4] 레일 도유기	4
[그림 5] 소음원의 소음파워레벨	5
[그림 6] 단일축 대차	5
[그림 7] 견인전동기 및 전동기 팬	6
[그림 8] 독립차륜 및 좌우차륜 전동기 독립 부착 방식	6
[그림 9] 전폐형 PMSM 전동기 방식	7
[그림 10] 단일축 방식	8
[그림 11] 독립차륜방식	8
[그림 12] 액츄에이터 구동방식 및 방법	9
[그림 13] 각륜구동 방식	9
[그림 14] 각륜구동전동기의 개념 및 적용 예	13
[그림 15] 기획연구 추진방향	15
[그림 16] 환승시 이용객의 불편	17
[그림 17] 선진국 대비 기술력 달성 목표	18
[그림 18] 전동기 전주기 비용 내 에너지 차지 비중	21
[그림 19] 국내외 고효율 전동기 최저효율제 시행 현황	22
[그림 20] 국내 교류전동기 수출입 현황	22
[그림 21] 저스텍사 JTR24 시리즈	23
[그림 22] 임직원 수 별 철도차량 부품회사 현황(통계청, 2010)	24
[그림 23] 철도차량 부품 수출현황	24
[그림 24] 수출비중이 높은 품목	24
[그림 25] 해외철도 토목분야 수주현황	25
[그림 26] 국내 경전철 계획 현황 및 수요 분석	30
[그림 27] 직구동 전동기 시스템 수요분야 및 공급기업 현황	33
[그림 28] 철도기술 시장의 분야별 비율	37
[그림 29] 세계 Top 10 철도 시장	39
[그림 30] 철도차량업체 점유율	40
[그림 31] VOITH사 매출추이	40
[그림 32] KNORR-BREMSE사 매출추이	40
[그림 33] 전세계 2006~2010년 경전철 생산 수에 따른 업체 점유율	40

[그림 34] JR 동일본 철도의 사업영역	41
[그림 35] 주요 선진국의 철도 부품회사 보호노력	41
[그림 36] 지하 먼지 및 분진의 외부공기 흡입 냉각	42
[그림 37] 영구자석 동기 전동기와 유도 전동기의 운전 효율비교	43
[그림 38] 이너로터 및 아우터 로터 방식	44
[그림 39] Direct Drive In-wheel 전동기 (해외)	45
[그림 40] 국내 NEV용 In-wheel PMSM 제작 예	45
[그림 41] 동다이캐스팅 기술개발 현황	46
[그림 42] 일본 신칸센의 주전동기 비교	49
[그림 43] 후지전기의 직접구동형 동기전동기 및 차축	49
[그림 44] 후지전기의 PMSM DDM 적용 철도차량	50
[그림 45] 각륜구동 PMSM의 설계 예	50
[그림 46] RTRI의 궤간가변 차량 적용 각륜구동 전동기	51
[그림 47] Vienna 공대 PMSM 시제품 및 제어 개념도	51
[그림 48] 한국형 틸팅열차의 자기조향 대차	53
[그림 49] Scheffel 자기조향 대차	54
[그림 50] 전후축 비대칭 강성 조향 대차	55
[그림 51] 대차각연동 Z-링크식 조향대차	55
[그림 52] 대차각연동 유도조향대차	56
[그림 53] Resco사의 강제조향대차	57
[그림 54] 봄바르디어의 단축관절 조향대차	57
[그림 55] 대차 각 능동 조타 대차의 개념도	58
[그림 56] 차동기어를 이용한 조향대차	59
[그림 57] Active bogie steering 원리	59
[그림 58] 곡률반경 정보를 이용한 조향 제어	60
[그림 59] 어스시트 액추에이터 구성	60
[그림 60] FLEXX Tronic technology 응용 시제 대차	61
[그림 61] 독립 차륜에 의한 조향 방법	61
[그림 62] 유럽 독립대차 기술	62
[그림 63] 독립차륜대차의 대표 구조 예시	62
[그림 64] 철도차량 곡선부 조향기술 발전 단계	64
[그림 65] 전체 연도별 동향	74
[그림 66] 주요출원국 내·외국인 특허출원현황	76
[그림 67] 연도별 주요출원국 내·외국인특허 출원현황	77
[그림 68] 주요 4개국 통합 기술 성장단계	78

[그림 69] 국가별 기술성장 단계	79
[그림 70] 세부기술별 추세선 분석	82
[그림 71] 세부기술별(중분류) 점유율 분석	83
[그림 72] 세부기술별(중분류) 주요출원인 동향 분석	84
[그림 73] 5년 구간별 RTRI의 IP-History	85
[그림 74] 5년 구간별 TOSHIBA의 IP-History	86
[그림 75] 5년 구간별 ALSTHOM의 IP-History	87

표 목차

[표 1] 차륜 및 조향방식 분류 및 특징	10
[표 2] 철도차량 차륜형식에 따른 조향성능해석	11
[표 3] 서울메트로 대폐차 계획	12
[표 4] 국내 중전철 현황	26
[표 5] 수도권 전철현황	27
[표 6] 서울시의 경전철 건설 계획	28
[표 7] 경기수도권의 경전철 건설 계획	29
[표 8] 기타 지방권의 경량전철 건설계획	30
[표 9] 수도권 통행 수단 분담률	31
[표 10] 세계 주요 대도시권 철도망 비교	31
[표 11] 광역시 통행 수단 분담률	31
[표 12] 철도시장 규모	37
[표 13] 세계 도시철도 차량 시장 규모(2009년)	37
[표 14] 세계 도시철도 차량 시장 전망	38
[표 15] 향후 철도기술 3개 분야 전체 시장 전망	38
[표 16] 철도차량에 PMSM을 적용한 사례	48
[표 17] 국외 국가 기술수준	48
[표 18] 프랑스 알스톰 기술수준	48
[표 19] 국내 경량전철 시스템엔지니어링 적용 현황	52
[표 20] 철도차량업체 독립차륜대차 기술수준]	63
[표 21] 검색 DB 및 검색범위	64
[표 22] 분석대상 기술의 기술분류체계	67
[표 23] 분석대상 기술분류 기준	67
[표 24] 기술분류체계에 따른 최종 검색식	68
[표 25] 추가 검색식	69
[표 26] 유효특허 선별기준	70
[표 27] 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야의 유효특허 선별결과	71
[표 28] 출원인 명칭의 통일	72
[표 29] 상위 5개 IPC 분류	73
[표 30] 경쟁자 Landscape	80
[표 31] 특허기술 Landscape 현황 정리	91

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의 및 필요성

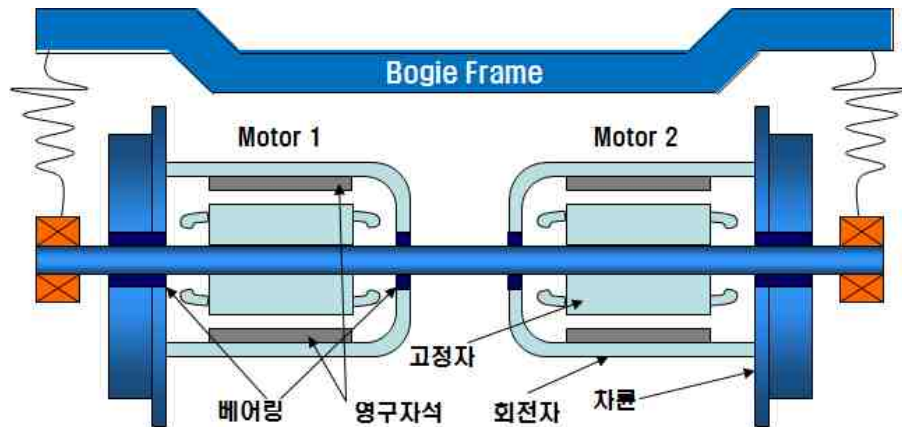
1. 기술의정의

- 「곡선주행 성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 기술 개발」은 곡률반경 300R, 속도제한 55km/h인 급곡선구간을 포함한 곡선구간에서 주행성능을 향상시켜 스킬소음을 5dB(A) 낮추고 전동차 차륜 플랜지 마모를 25% 줄여 유지보수비용을 절감할 수 있는 각륜구동 전동기를 개발하는 것이 연구 최종목표임.
- 곡선 주행성이란 일반 완만한 곡선 궤도뿐만 아니라 급곡선 조건의 궤도에서도 차량의 원활한 주행이 가능한 것임
- 운동 자유도가 제한된 급곡선 궤도를 원활히 추종하기 위해서는 독립차륜형 대차에 능동형 조향장치인 각륜구동전동기의 적용이 필요함
- 현재, 급곡선 빈도가 높은 도심구간을 통과하는 도시철도에 있어서도 환경적 측면에서 차륜 플랜지 마모 및 스킬 소음에 대한 현안 문제를 시급히 해결할 필요가 있음



[그림 1] 곡선주행 성능향상을 위한 각륜구동전동기 핵심기술 개발 방향

- 각륜구동전동기는 능동조향 방식의 일환으로서 차륜 각각의 회전수를 제어하여 조향하는 각륜구동 방식에 사용되는 전동기임
- 각륜구동전동기는 기어와 플렉시블 커플링 없이 토크를 직접 윤축에 전달하기 때문에 전송 손실, 소음, 유지보수, 질량과 부피를 줄일 수 있는 장점이 있으며, 기어가 없어지면 전동기는 고토크와 고제어정밀성을 제공해야하므로 기존의 비동기전동기가 아닌 동기전동기의 사용이 필요함



[그림 2] 각륜구동전동기 예시

2. 기술의 필요성

가. 배경

- 세계적으로 경제성과 운영효율성을 극대화하면서도 환경 친화적으로 복잡한 도시환경에 적합한 스마트 도시철도시스템에 대한 기술개발이 요구됨
- 2010년 이후 철도 정책방향은 국민의 삶의 질 향상을 위한 인프라/안전 등 공공기반기술 위주로서, 정부의 역할이 상대적으로 중요하게 다루어지고 있음. 또한 국내외 시장에서는 이러한 트렌드를 반영하여 지속적으로 활발히 투자가 이루어지고 있음
- 도시철도시스템의 진화는 여러 단계로 변화되었음. 처음의 도시철도는 노면에서 운행하기 시작했으나 도시가 복잡해짐에 따라 타 교통수단의 운행에서 걸림돌로 작용했고 이로 인해 교통 혼잡 유발, 소음과 진동 등의 문제점으로 인해 도시민의 혐오 시설로 전락하게 됨
- 두 번째 단계로 소음과 진동, 도시혼잡 등의 문제를 해결할 수 있는 지하철로 트렌드가 바뀌게 되었지만 막대한 건설비, 유해한 미세먼지, 환송문제 등이 대두되었음. 그 다음으로 지하철의 문제점을 해결하기 위해 지하철에 비해 경제적인 고가 경전철시스템이 보편화 되었으나 수송수요에 비해 막대한 건설비, 도시미관 저해, 소음과 진동 등 모든 문제점을 해결하진 못함
- 이러한 문제를 해결하기 위해서는 도시철도시스템 기술이 한 단계 더 발전해야 됨. 독일, 일본 등 철도 선진국에서는 세계 시장선점을 위해 새로운 도시철도시스템 기술을 확보하고자 꾸준한 연구투자를 하고 있음
- 전 세계적으로 다양한 도시철도시스템이 도입·운영되고 있는 가운데, 최근 들어 경제적인 건설이 가능하면서도 도시미관, 환경소음 등의 여러 환경 요인과 곡선주행시 문제점 등 제약조건이 많은 복잡한 도시환경 등 여러 복합적인 요인을 모두 고려할 수 있는 미래 친환경적이고 도시민에게 한층 더 친숙하게 다가 설 수 있는 “신개념(Fresh) 도시철

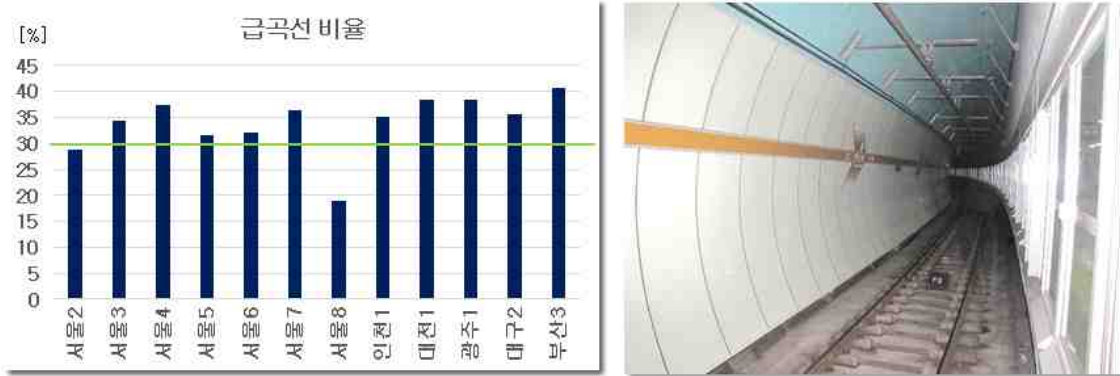
도시시스템 기술개발”이 필요함

- 국가 교통분야의 정책적 방향은 고부가가치 녹색교통기술 육성으로 국가 성장 동력을 창출하여 국토 통합 및 균형발전 및 글로벌 경쟁력 향상을 지향하고 있음
- 국토해양부 R&D 정책적 추진방향은 저탄소 녹색 성장 견인을 위해 녹색기술개발에 지속적인 투자와 시장 수요변화에 탄력적 대응을 위한 과제 발굴과 기획 고도화를 추진하고 있음. 이를 위해 지속적으로 투자비를 늘리고 있음
- 철도 산업의 확대를 위하여 기존에 개발된 기술보다 향상된 새로운 개념의 철도 기술 확보가 필요하며, 이를 통하여 철도 시장에서의 시장 경쟁력 및 기술적 우위확보가 가능함
- 국가 철도망 계획(2020년까지 88조 투입 정책)에 따른 철도 건설 예산 절감 및 효율적 투자를 위한 기술개발에 역점을 둠. 이는 철도 건설예산 절감을 유도하고 고효율을 지향할 수 있는 정책적 방향을 도출함
- 이를 위해 저탄소 녹색성장의 견인을 위해 녹색기술 및 미래핵심기술 “Green-Up 30”에 지속적으로 투자할 계획이며, 본 기획과제는 국가 R&D 정책방향에 포함되어 있음
- 곡선구간이 많은 도시철도의 환경 요인과 함께 여러 복합적인 요인을 모두 만족할 수 있는 기술개발이 필요함
- 곡선주행 성능을 갖는 차량기술과 소음 및 유지보수비 저감 등의 저비용 기술 등 다양한 분야에 대한 연구를 통하여 경제적이며 최적의 시스템 도출이 요구됨
- 에너지 소모의 최소화 및 유지보수성을 고려하기 위해서는 운행시 에너지 소모 및 운영 유지비를 최소화해야 하며 이를 위해 추진장치의 중량을 최소화하는 기술 개발이 필요함
- 국가 대중교통의 시장 정책적 방향은 도심 교통수단으로 환경 친화성과 수송효율이 높은 도시철도에 대한 수요가 급증에 대처하고, 도시의 미관을 해치지 않고 안전성이 확보 될 수 있는 새로운 철도시스템의 필요성에 대응하는 것임
- 곡선주행 성능향상 핵심기술개발은 조속히 추진되어야 하며, 신뢰성/ 안전성을 확보 후 실용화를 위한 노력이 필요함

나. 곡선주행 성능향상을 위한 방안

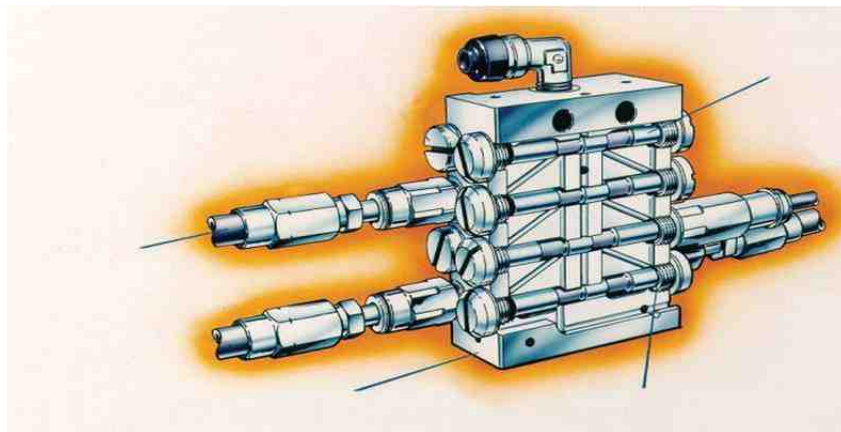
곡선주행 성능향상 효과는 곡선구간에서 차륜 및 레일 마모와 소음의 저감임

- 국내 도시철도 구간의 30% 이상이 급곡선 노선임



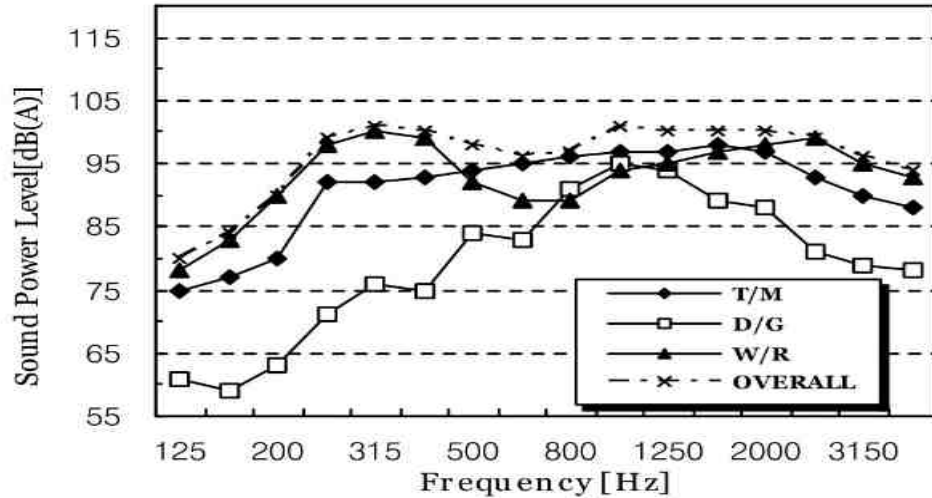
[그림 3] 국내 급곡선 비율 및 예시

- 현재 운영기관에서는 급곡선부에서 레일과 차륜의 마모 및 소음 두 가지 문제를 저감시키기 위하여 도유기를 설치함. 도유기는 곡선부에 열차바퀴와 선로사이에 마모도 줄이고 소음도 줄이라고 기름을 자동으로 뿌리는 장치임. 뿐만 아니라 마모된 레일을 연마를 하는데, 이는 선로가 매끄럽지 않으면 소음이 발생하므로 연마작업을 수행함. 그러나 여전히 소음이 발생하고 있으며, 근본적인 해결 방안이 되고 있지 못함.



[그림 4] 레일 도유기

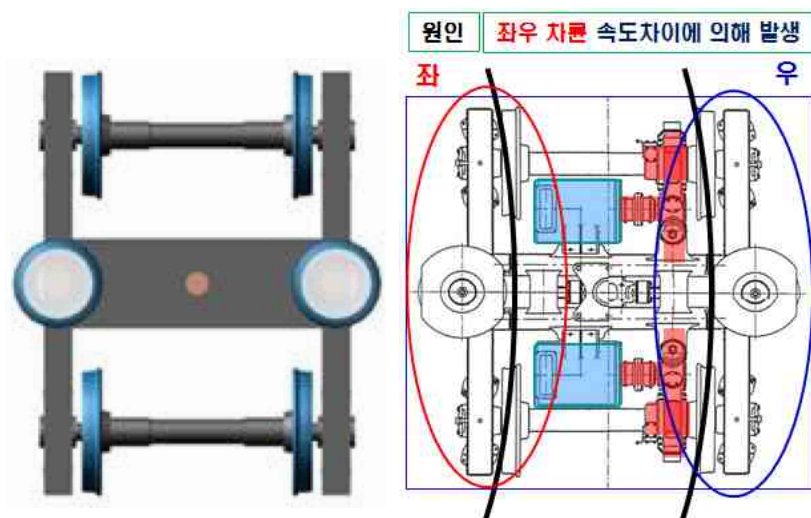
- 철도분야에서의 소음저감은 소음 전달과정에서 능동제어 혹은 수동소자를 이용하여 저감 및 차폐를 하는 연구와 소음원에 대한 연구가 다양하게 이루어져야 함. 이는 철도분야는 다양한 소음원을 가지고 있으며 소음원에서 발생하는 소음을 줄일 수는 있지만 없앨 수는 없기 때문임. 80km/h 주행 중인 차량 소음원의 소음레벨은 차륜과 레일 접촉 소음(W/R)이 가장 큰 값을 가지며, 다음으로는 견인 전동기 소음(T/M)이 큰 값을 가짐. 그리고 구동 기어 소음(D/G)이 큰 값을 가짐.



※자료 : 2호선(구형) 전동차 실내소음 저감을 위한 연구, 이승우 학위논문 2009년

[그림 5] 소음원의 소음파워레벨

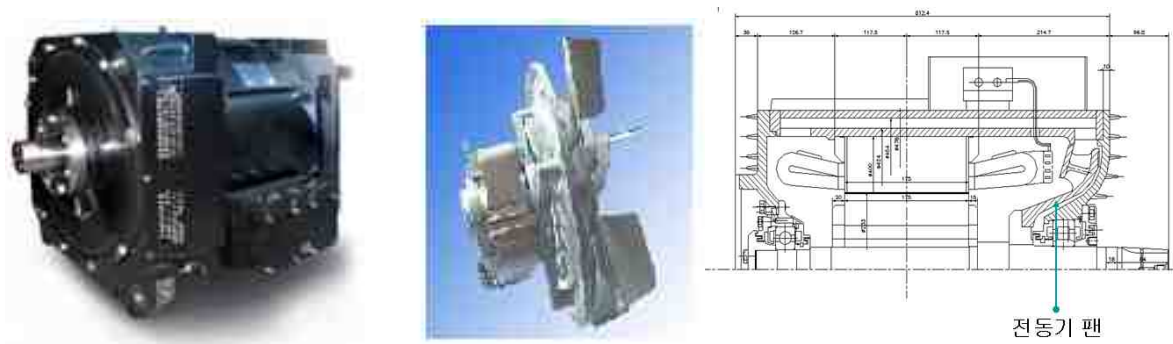
- 차륜과 레일 접촉소음 및 견인 전동기 소음의 근본 원인을 살펴보면, 전동차의 대차방식이 단일축 방식의 대차로서 곡선 주행시 내측과 외측 반경차에 의한 속도 차이로 한쪽 차륜이 끌려가므로 차륜과 레일이 마모되어 소음이 발생하는 것임.



[그림 6] 단일축 대차

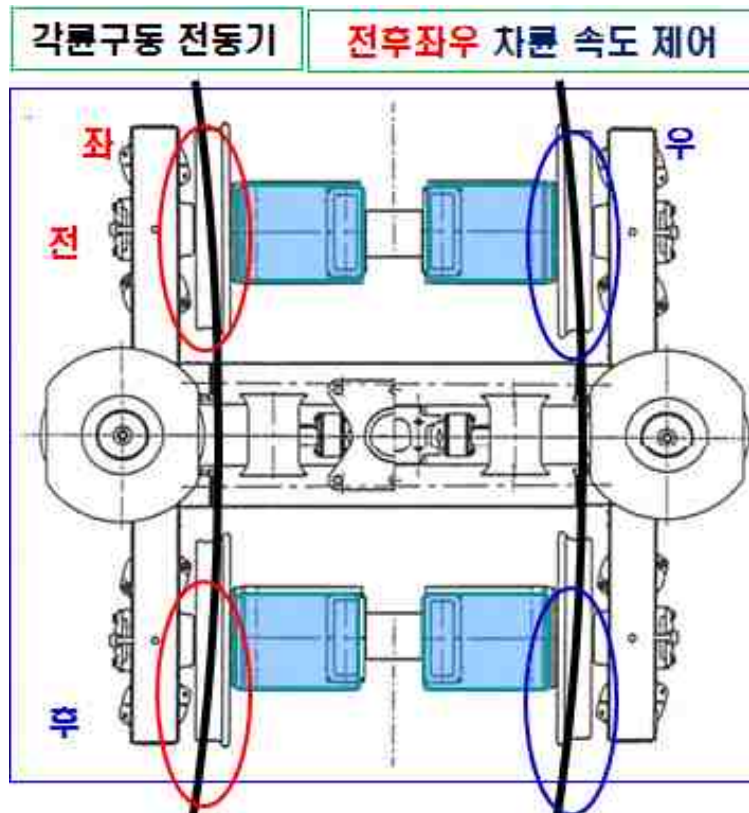
- 그리고 견인 전동기 소음은 현재 전동기 내부의 팬 소음이 밖으로 나가 소음이 크게 발생하는 것임.
- 곡선 주행시 내외측 곡선 반경차에 의한 속도차이와 전동기 자체 소음을 극복함으로써 소음원 측면에서의 접근을 통한 저감 방안을 마련할 수 있으며 소음과 같이 발생하는 마

모에 대한 효과도 기대될 수 있음.

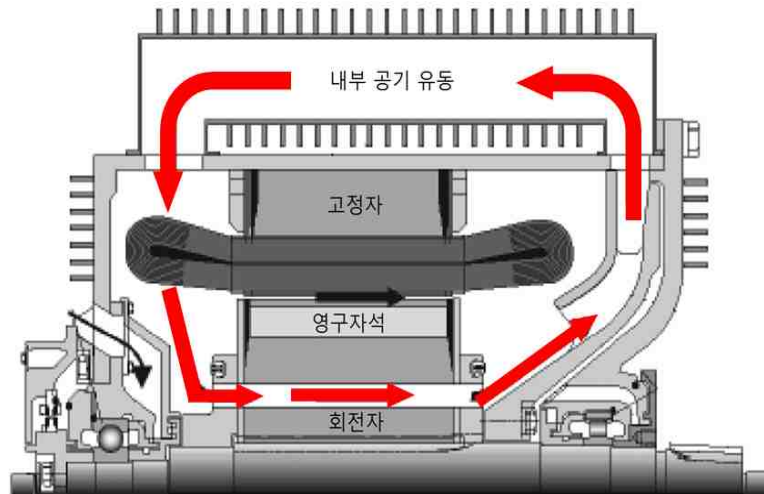


[그림 7] 견인전동기 및 전동기 팬

- 즉, 급곡선 주행시 좌우 차륜이 독립적으로 회전을 해야 차륜과 레일간의 공격각을 줄임으로서 차륜과 레일 접촉소음 및 차륜 플랜지 마모의 근본적인 저감방안이 될 수 있음.
- 이를 위해서는 좌우 차륜이 독립적으로 회전하기 위해 좌우차륜에 각각의 전동기가 부착이 되어 정밀제어가 되어야 하며, 대차는 독립차륜방식이 되어야 함.
- 또한 전동기 자체의 소음을 차폐를 통해 더욱 줄이기 위해서는 전폐형으로 만들어야 하는데 열발생 문제가 발생하므로 효율이 높은 영구자석 고토크 전동기인 PMSM 전동기 개발이 필요함.



[그림 8] 독립차륜 및 좌우차륜 전동기 독립 부착 방식



[그림 9] 전폐형 PMSM 전동기 방식

◎ 곡선주행능력 향상을 통해 소음원인 및 차륜 마모 해결 :

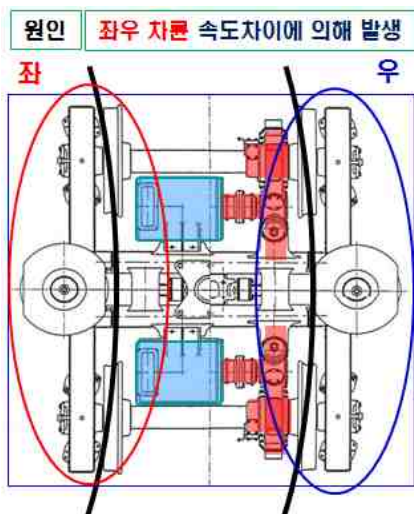
(방안)

- 좌우차륜 각각에 전동기 부착(차륜 일체형 전동기)
- 대차는 좌우 차륜을 독립적으로 회전시키기 위한 차륜(독립차륜 방식)
- 전폐형 전동기의 열발생을 저감하기 위한 영구자석 고투크 전동기(전폐형 PMSM 방식)

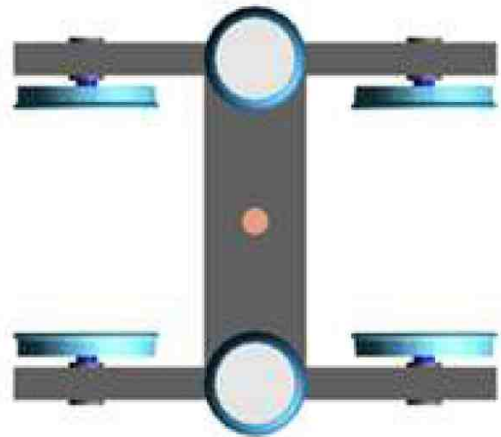
○ 차륜 방식

(1) 단일축 방식

- 특징 : 곡선구간 주행시 좌우 차륜간 회전속도가 동일함
- 장점 : 직선구간 주행시 궤간 중심으로 복원 기능 있음
- 단점 : 차륜의 공격각을 줄이고자 하나 물리적으로 좌우 차륜의 회전수가 동일하여 곡선주행성능의 한계가 있음. 따라서 차륜과 레일간에는 공격각이 발생하고 차륜의 종/횡방향으로 불필요한 작용력이 발생하게 되어 차륜의 마모나 소음이 발생함. 곡선 구간에서 마모 및 소음 발생 원인은 철도차량의 윤축이 곡선부를 통과할 때 내/외측 차륜의 회전속도는 동일하나 내측차륜보다 외측차륜의 이동거리가 길어 발생하는 미끄러짐 때문임



[그림 10] 단일축 방식



[그림 11] 독립차륜방식

(2) 독립차륜방식

- 특징 : 독립차륜은 좌/우 차륜을 각각 독립적으로 회전할 수 있음
- 장점 : 임계속도 향상을 통해 고속주행이 가능함. 차량의 저상화가 가능함. 곡선주행 성능을 향상시켜 마모와 소음을 줄일 수 있음.
- 단점 : 직선구간 주행시에 단일축 차륜에서의 가능한 궤간 중심으로의 복원 기능 필요함.

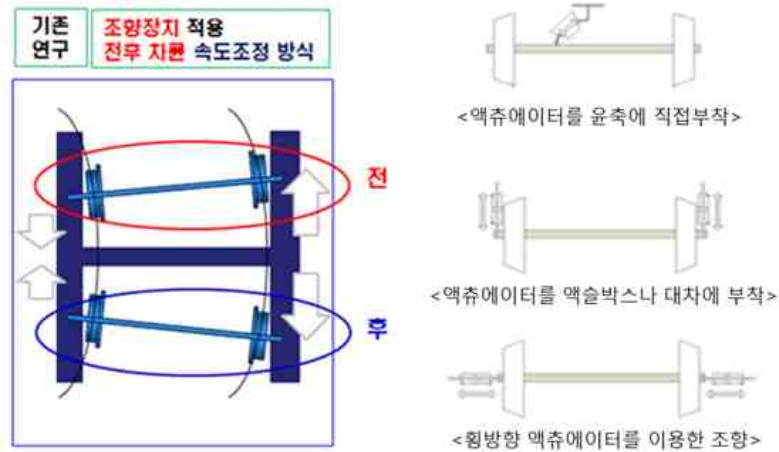
○ 조향방식

단일축 방식에서의 조향방식은 자기조향방식과 액츄에이터를 이용한 능동조향방식이 있음. 독립차륜 방식에서의 조향방식은 각륜구동시스템방식이 있음.

(1) 액츄에이터 구동 방식(단일축 방식, 능동조향)

- 특징 : 액츄에이터 구동에 의한 공격각 제어 능동조향 방식

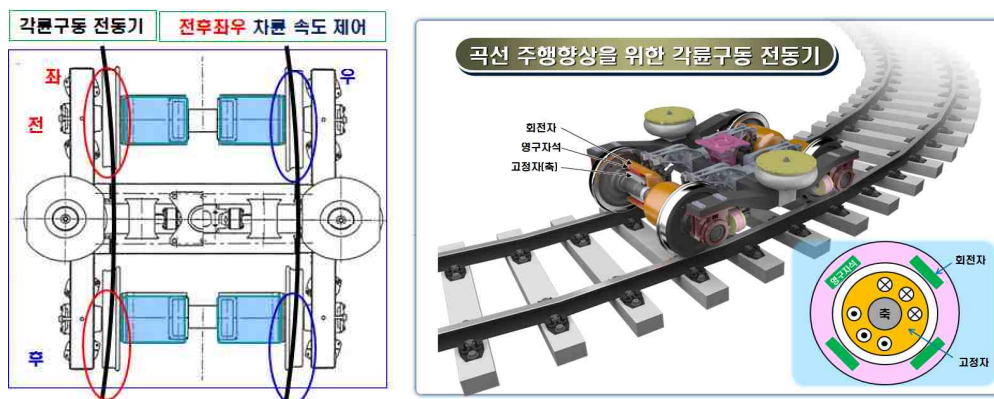
- 장점 : 액추에이터를 통해 윤축에 힘을 전달하여 윤축의 조향을 도와주는 방법으로 단일 축 방식에 대해 적용하기 위한 진화된 시스템
- 단점 : 액슬박스에 액추에이터를 직접 부착해야 하기 때문에 공간의 제약이 많고, 복잡한 설계가 필요할 수도 있음.



[그림 12] 액추에이터 구동방식 및 방법

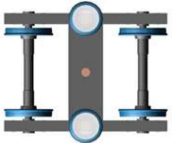
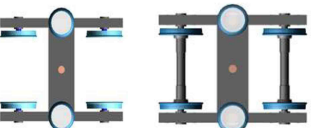
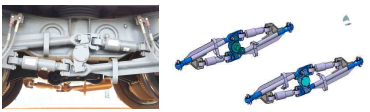
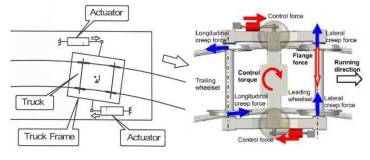
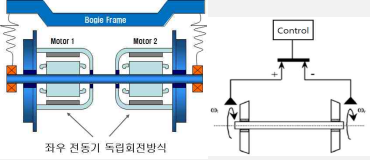
(2) 각륜구동 방식(독립차륜방식, 능동조향)

- 특징 : 각각 차륜에 전동기가 장착되어 차륜을 직접 회전시키는 방식으로 공격각 제어뿐만 아니라 슬립제어도 가능함
- 장점 : 각각의 차륜에 전동기가 장착되는 독립차륜 형태이므로 좌/우 차륜의 회전속도를 곡선반경에 따라 달리하는 것이 가능하여 차륜의 마모나 소음을 줄일 수 있음. 별도 조향장치없이 조향이 가능하며 향상된 조향성능을 발휘할 수 있음. 정밀제어를 통해 궤간 중심으로의 복원제어가 가능하므로 고속주행이 가능함. 독립차륜 방식에 적용하기 위한 진화된 시스템
- 단점 : 대차 프레임과 떨어져 설치됨에 따라, 스프링하중량이 증가하게 되어 충격흡수 능력이 저하되므로 취부 전동기의 경량화 필요함. 각각의 차륜에 대한 정밀제어를 수행하기 위한 높은 수준의 기술이 필요함.



[그림 13] 각륜구동 방식

[표 1] 차륜 및 조향방식 분류 및 특징

			특징	장점	단점	비고
차륜 방식	단일축 방식		-곡선구간 주행시 좌우 차륜간 회전속도가 동일함 -외측차륜의 미끄러짐 때문에 곡선 구간에서 소음 및 마모 발생	-직선구간 주행시 궤간 중심 복원 기능 있음.	-소음 및 마모발생	
	독립차륜 방식 (IRW)		-축의 유/무와 상관없이 좌우 차륜이 각각 독립적으로 회전	-임계속도 향상을 통해 고속주행 가능 -차량 저상화 가능	-궤간 중심으로 복원 기능 필요 -조향성능에 대한 향상 필요	
조향 방식	단 일 축	자기 조향 시스템	-윤축 간 조향링크 연결 (윤축에 외력 전달 없음)	-구조가 간단 -설계에 따른 조향성능	-설계된 링크 값 외에는 조향에 불리하여 조향한계	
		액추에이터 조향 (진화형)	-액추에이터 구동에 의한 능동 조향	-조향성능 우수 -다양한 조향 조건의 선택 가능 -단일축 방식에 적용가능한 진화형 시스템	-액슬박스에 액추에이터를 직접 부착해야하므로 공간 제약이 큼 -복잡한 설계	
	독립차륜	능동형 조향시 스템 각륜 구동 시스템 (진화형)	-독립차륜 방식 적용 -좌우 독립적인 전동기의 회전 수 제어에 의한 능동조향	-조향성능 향상 -별도 조향장치 없이 조향 가능 -정밀제어로 궤간 중심으로의 복원 가능 -독립차륜 방식에 적용가능한 진화형 시스템	-좌우 전동기 정밀제어를 구현하기 위한 고도 기술 필요	

[표 2] 철도차량 차륜형식에 따른 조향성능해석

구 분	단일축 방식			독립차륜 방식	
	일반대차	자기조향	능동조향 적용시	능동조향 적용시	능동조향 미적용시
			액츄에이터 조향	각륜구동 방식	
중심복원력	○	○	○	○	X
좌/우 차륜 속도 조정	X	X	X	○	○
조향각	1 (0.31rad)	2.7 (0.12rad)	5.4 (0.058rad)		0.8 (0.388rad)
횡압	1 (18.5kN)	0.92 (17.04kN)	0.73 (13.5kN)		1.07 (20.0kN)
소음	125.0dB(A)	123.3dB(A)	119.4dB(A)		126.6dB(A)
차륜마모 (113,911km 주행시)	3mm	2.76mm	2.19mm		3.23mm

※ 철도차량 차륜형식에 따른 조향성능해석, 2014년 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 자세대 전동차 신뢰성 평가 2차년 보고서, 도시형 친환경 열차 대차 보고서 참조

※ 횡익 데이터를 기준으로 기존 능동조향의 소음분석을 통해 소음을 선형적으로 분석하고, 기존 일반대차의 다모 분석을 통해 마모를 선형적으로 분석함

- 따라서 각륜구동 방식의 전동기는 고출력밀도 경량화 및 조정밀 제어 기술의 개발이 필수적임
- 또한 곡선 주행성능 향상을 위한 각륜구동전동기의 기술개발이 완료되면, 다음과 같은 장점을 추가로 확보할 수 있음
 - (1) 독립차륜방식에 대해 능동조향방식을 적용함에 따라 조향성능이 기존 대차에 비해 약 5배 향상 가능
 - (2) 감속기로 인한 주행저항 저감(최대 70% 예상)에 따른 효율 향상 가능
 - (3) 기존 전동기(최고 회전수 5600RPM) 대비 각륜구동전동기의 회전수가 1/7로 줄어들어 전동기 소음 약20dB(A) 저감 가능
 - (4) 감속기 제거(기어손실 감소) 및 고효율 전동기 사용(열손실 감소)으로 전동차의 사용에너지 약 10%이상 절감 가능
 - (5) 전폐구조와 영구자석 동기전동기 적용시 획기적인 유지보수 비용 감축 가능(25년 기준,

전동기 유지보수 필요 횟수 : 1~2회 예상)

- 이러한 장점으로, 내구연한 25년이 되어가는 노후 전동차의 대폐차(서울 메트로 등)에 적용함으로써 고효율, 저소음, 에너지사용량 감소, 유지보수 비용 절약 등에서 획기적으로 파급효과를 가져올 기술로서 반드시 개발이 필요함

[표 3] 서울메트로 대폐차 계획

호선 대폐 년도	1호선	2호선	3호선	4호선	연도 합계
2013					
2014	64	78			142
2015		67	71		138
2016		177	33		210
2017		80	64		144
2018		66	14	128	208
2019		20		290	310
2020		20		52	72
2021					
2022					
2023	20				20
2024	40				40
2025					
호선별 합계	124	508	182	470	총합 1,284

※ 2호선 전동차 ATO사업 추진방안 기술응역 보고서 참조

- 하지만, 철도 분야에 필요한 대용량 각륜구동전동기에 대한 개발은 전무하며, 국내 전기 자동차 분야에서 일부 소용량의 각륜구동전동기가 시험개발되고 있음.
- 철도기술 선진국 중 하나인 일본의 연구기관인 RTRI은 출력 60kW(60kW x 2대=120kW/축)의 각륜구동전동기를 개발하여 시험 완료함.

2절. 기획목적 및 추진방향

1. 기획목적

- 차량용 각륵구동전동기 핵심기술 개발 달성을 위한 기반 연구 조사 추진을 통하여 친환경 대중교통으로 철도 시스템이 구축될 수 있도록 각륵구동전동기를 철도에 적용할 수 있는 실용화 기술 개발 연구 추진 방향 설정 및 이를 위한 기술 개발 로드맵 구축
- 각륵구동전동기 적용이 예상되는 곡선구간이 많은 도시철도를 대상으로 관련 필요 기술 정의 및 기술 개발 할 수 있도록 핵심기술 도출 및 기술 개발 과제 추진 계획 방향 도출
- 개발될 기술에 대한 사양 도출 및 연구 추진 방향 설정 추진과 기술 및 환경 현황 조사를 통하여 기술 사양 정의



[그림 14] 각륵구동전동기의 개념 및 적용 예

2. 연구 추진 방향

- 기술개발 현황 파악을 위하여 국내외 곡선주행 성능향상 기술 개발 현황 및 실용화 현황 조사
 - 철도분야에서의 각륜구동전동기 기술 개발 및 적용 현황(기술수준, 개발사양, 업체현황, 관련특허 등) 조사 및 장단점 분석과 전체적인 연구 추진 현황 파악을 위하여 타 분야에서의 각륜구동전동기 개발 및 적용현황 조사
- 기술의 내외부 환경, 기술동향, 정책 동향, 시장 동향 등의 분석을 통하여 각륜구동전동기 기술의 현황 파악
- 기 개발된 전기차량 각륜구동전동기 기술의 활용 가능성 분석을 통하여 기술 개발 효율화 추진 방안 도출
- 각륜구동전동기 기술 개발에 필요한 기술 수요조사를 통하여 대상 기술을 도출 및 분류
 - 철도 분야에서 각륜구동전동기 개발을 위해 필요한 핵심기술에 대한 정의
- CTE를 고려한 과제의 우선순위를 결정하고 이를 통하여 기술 개발에 대한 로드맵 구축
 - 각륜구동전동기 기술의 과거, 현재, 미래에 대한 로드맵 및 연계성 도출과 기술 단계별 고효율, 고정밀제어를 위한 중장기 기술개발 계획(목표 사양 및 기술개발 달성 시점 명시) 추진 계획 도출
- 각륜구동전동기 개발 사양 도출
 - 고효율, 고정밀제어를 위한 추가 기술개발 도출 및 개발 요구사양 검토
 - 각륜구동전동기의 목표 설계 및 사양 도출
 - 설계/제조를 위한 세부 핵심기술 선정 및 기술획득 전략 수립
- 기술 로드맵을 통하여 세부 단계별 기술 개발 추진 계획 및 성과목표 도출
 - 최종적으로 각륜구동전동기 방식을 적용하기 위한 관련 철도 기술개발을 위한 기존 기술 분석 및 분석 자료를 기반으로 한 세부과제(핵심요소기술) 도출
- 타당성 검토를 통해 각륜구동전동기 기술개발의 필요성 도출
 - 정책, 기술, 경제적 타당성 분석에 의한 파급효과 및 기대효과 분석
 - 정부지원 타당성 및 기술투자의 시급성 도출
- 철도분야에서의 각륜구동전동기 실용화 전략 및 사후연계방안 제시
 - 신기술 제품에 대한 실용화 방안 검토

- 사후연계 방안 제시

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

[그림 15] 기획연구 추진방향

동향분석	기술수요조사 및 과제도출	우선순위 결정 및 로드맵 작성	세부실행계획 및 실용화 방안
내/외부 환경분석 • 환경분석 • 정부정책	기술수요조사 대상기술 • 곡선주행 성능 향상 관련 기술	우선순위 도출 • CTE 후보 도출 • CTE 선정 • CTE별 TRL 목표 설정	실용화 적용 방안 수립 • 구체적인 실용화 적용 방안 • 시범사업 설치대상 가능성 검토
기술동향분석 • 기술 수준/역량 분석 • 국내외 지식재산권 현황 분석	수요조사 대상 • 철도 관련 산업체, 대학, 연구소	기술로드맵 작성 • 연구개발과제 도출 후 중요 과제 선정하여 작성 • 중요과제 대상으로 연구수행 형태 제시	추진 운영 방안 수립 • 사업에 대한 추진 운영 방안 • 참여 주체들에 대한 운영 방안 수립
정책동향분석 • 철도기술관련 과제의 성과 및 정책 연관성 검토	조사실시 프로세스 • 전문가 회의를 통한 과제 적절성, 중복성 검토		활요성 및 파급력 확장방안 • 관련부처 및 기관과의 연계
시장동향분석 • 철도시장 각류구동 전동기 방식 개발, 적용 현황 수집/분석	후보과제 도출 • 기술개발 동향 및 환경분석 • 중점 분야별 후보과제 도출		

2장. 국내외 동향 및 환경 분석

1절. 국내외 정책 동향

1. 국내 정책동향

- 국토해양부에서 추진하고 있는 철도 정책은 녹색 교통 구현을 위한 철도 인프라 확충을 주 내용으로 비용절감, 첨단 철도기술 개발 및 해외 진출 활성화 등을 목표로 하고 있음 [국토해양부 교통정책실 철도정책 2010]
 - 녹색 교통을 구현하는 철도 인프라 확충 : KTX서비스를 전국적으로 확대하고, 광역/도시 철도 및 저비용 고효율 철도물류 인프라를 확충할 계획임
 - 철도 건설/운영 전반의 비용 절감화 및 효율화 : 비용 절감을 위해 계획 설계 과정과 건설 과정의 비용을 절감할 수 있는 방안을 지원할 계획임
 - 첨단 철도기술 개발과 해외진출 활성화 : 첨단 철도 차량 기술 개발, 철도 신호 / 궤도 기술 선진화를 통해 해외 진출을 활성화 하고자 함
 - 쾌적하고 안전하고 편리한 이용환경 조성
- 광역도시철도와 관련하여 국토해양부에서는 속도경쟁력을 갖춘 효율적 광역·도시철도망 구축을 목표로 정책 방향을 수립하였음[국토해양부 광역도시철도정책 2012]
 - 빠르고 편리한 도시교통 실현 : 광역도시철도 지속 확충 및 개통을 마무리하고, 수도권 광역급행철도 본격 추진할 계획임
 - 수요자 지향 생활철도 구현 : 환승역 이동편의시설 및 장애인 승차 편의 개선 등 도시철도 편의시설을 개선할 계획임
 - 미래도시철도 성장 동력 육성 : 지하·지상부문 안전대책을 강구하고, 미래형 도시철도 차량 개발을 추진할 계획임
 - 철도 건설, 운영 효율성 구현 : 도시철도법 전부개정 및 광역철도 제도를 개선하고, 경전철 민간투자사업 제도를 개선할 계획임
- 국토해양부의 철도정책 및 광역도시철도정책에 나타나 있는 정책 방향은 유지보수 및 에너지 비용을 절감하고 효율적인 운영이 가능할 뿐만 아니라 쾌적한 도시철도 이용이 가능하면서 환경친화적이고 승객친화적인 “곡선 주행성능 향상을 위한 각륜구동전동기 기술개발”과 정책적으로 매우 부합됨
- 서울과 도시철도시스템이 잘 발달된 동경을 비교해 보면 두 도시가 비슷한 면적의 조건에서 (서울 605km², 동경 621km²) 도시철도의 연장은 서울 362km, 동경 704km, 이며, 도시철도 밀도는 서울 0.598km/km², 1.13km/km²임. 특히 철도의 수송분담율 측면에서 보면 서울 34.8%, 동경 64.1%로 압도적인 차이를 보임. 이러한 원인으로 두 도시의 개인별 승용차

보유는 서울 0.28(대/인), 동경 0.19(대/인)의 결과를 초래함

- 도시교통시스템은 도시의 특성에 맞게 설계 및 적용 되어야 함. 예를 들어 서울의 경우 강북과 강남의 도로망 형태(강남 그리드, 강북 혼합형)가 서로 다른 패턴이며 유동인구의 특성, 지표면의 특성 등 다양한 요인들이 차이날 수 있음
- 이처럼 도시환경에 따라 도시교통 수단은 선택적으로 적용되어 대중교통 적용에 따른 부작용을 최소화 하여야 함



<환승거리 500m이상(종로3가)>



<환승시설이용 혼잡사례(사당역)>

[그림 16] 환승시 이용객의 불편

- 교통소음은 다른 환경 공해와는 대조적으로 현재까지도 지속적으로 증가하고 있으며 정신적 또는 생리학적인 많은 문제를 야기하기 때문에 이미 여러 국가에서 심각한 사회문제로 대두되고 있음
- 교통소음 피해는 시장 가격 측정과 피해예방비용 및 복구비용(치료비용)을 종합하여 산출하며 국민소득의 0.1% ~ 1.4%정도를 차지하는 것으로 나타남
- 여러 교통수단 중에 철도는 공공성을 띠고 있기 때문에 소음기준 수립에 어려움이 많았으며 방음벽 같은 보편적인 저감 대책은 이미 한계에 도달함
- 또한, 점차 열차의 노선이 복잡화되고 있기 때문에 급곡선 환경에서 발생하는 차륜마모 소음을 근본적으로 해결할 수 있는 연구가 필요하다고 판단됨
- 국토해양부의 철도 R&D 추진방향은 국가철도망계획(2020년까지 88조 투입)에 따라 철도 건설 예산절감을 위한 기술개발과 철도시설 유지보수, 관리시스템 등 운영효율성 제고기술 개발에 집중하는 것을 계획하고 있으며 저탄소 녹색성장 견인을 위한 녹색기술 개발에 지속적으로 투자할 계획으로 있음
- 기초·원천 연구역량 강화로 핵심기술의 해외의존을 탈피하고자 하는 정부의 의지를 반영하고 있음
- 창조형 혁신을 주도할 핵심 과학기술인재의 양성·활용과 창의적·도전적 연구지원 강화를 목표로 하는 방향과도 부합하고 있음

- 정부에서 계획하고 있는 2013년까지 85%의 선진국 대비 기술력 달성 및 세계 7위의 철도시장 점유 목표 달성, 2018년까지 90%의 기술력 달성 및 세계 5위의 점유 목표 달성을 위해서는 기술 추종형 연구개발이 아닌 기술 선도형 연구개발이 반드시 필요함



[그림 17] 선진국 대비 기술력 달성 목표

- 『도시철도차량의 성능시험에 관한 기준』(국토해양부고시 제 2009-641호)에서 도시철도 차내 실내 및 실외소음에 대하여 규정하고 있으며, 도시철도차량에 대해서도 이에 부합하도록 기술 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 선진국들의 R&D 투자가 증대되고 있으며 국내에서도 정부 및 지자체의 친환경, 저비용, 고효율 수송시스템에 대한 관심이 고조되고 있음
- 국가기간교통망 계획 제19조2항에는 국가교통기술개발계획을 수립하도록 명시하고 있고, 제21조3항에는 신교통기술의 지정과 활용에 대해 설명하고 있으며, 제21조4항에는 신교통기술의 시범사업 계획에 대한 근거를 제시하고 있으므로 이러한 법 조항을 기초로 새로운 미래형 철도차량 추진시스템의 개발이 필요함(교통체계효율화법시행령([시행 2010.1.7] [대통령령 제21985호, 2010.1.7 전부개정] 주요내용 中))
- 녹색성장 정책은 에너지 소비절약/사용 효율화, 저탄소·친환경 인프라 구축, 녹색기술에 대한 R&D 투자, 신 재생에너지 등 녹색산업 육성 및 수출 산업화, 세계시장 선점 지원 등이 핵심임. 고효율 각륜구동 전동기 기술개발은 이런 흐름과 매우 부합되는 새로운 사업임

2. 국외 정책동향

- 유럽은 2007년 브뤼셀 협의를 통하여, 철도시스템의 최종 소음저감 3dB(A) 목표로 관련 기준 및 저감대책 도출을 위한 연구 진행

- 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(강승우 등, 2009))
- 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 유럽 철도 네트워크에서 철도를 운영하기 위해 안전인증을 확보하도록 함. 둘째, Directives96/48과 2001/16을 통해 Interoperability의 기본원리들을 보장함. 셋째, 효율적인 운영기구인 the European Railway Agency를 설립함. 넷째, 철도물류시장의 개방을 확대하고 가속함. 마지막으로, 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
 - 'Revitalization of Railways' 외에도 'Promotion of Intermodal Freight Transport'라는 정책으로 인터모달 물류교통 증대정책이 있음
 - 본 정책의 일환으로 유럽 의회는 2002년 2월 4일, 인터모달 물류 교통을 지원하기 위해 Marcopolo 프로그램을 제안하였음. 본 프로그램은 가능한 도로물류 대신책이 될 수 있는 새로운 국제솔루션을 재정적으로 뒷받침함
 - 연간 120억톤-킬로미터의 증가율이 예상되는 혼잡한 도로부문 물류를철도로, 단거리 해상물류와 내륙수로 등의 친환경 교통수단으로의 전환을 도와줌. 교통 협의회는 2002년 12월 5일, 마르코 폴로 프로그램에 대해 정치적 합의를 이루었고, 마르코 폴로 프로그램은 2003년-2006년 7,500백만 유로를 지원했음
- EU에서는 연구예산이 2천만 유로에 달하는 MODURBAN 연구 프로그램을 통해 차세대 자동 유도궤도 차량 연구 개발을 목적으로 메트로를 포함하고 있는 도시철도 연구 과제를 추진하고 있음
- 프랑스의 철도부문 최근 정책은 유럽의 정책과 같은 방향으로써, 도로교통을 철도교통으로의 대체에 초점을 맞추고 있음. 'Grands chantiers de transports complémentaires à la route' 정책은 도로교통 대체를 위한 교통 개발 프로젝트로써, 특히 TGV 네트워크의 확장이 주요사항임. TGV 네트워크 확장을 위해서 재정, 건설, 새로운 고속도로의 개통을 가속화 하고 현재, 3개의 추가 TGV 고속철 노선을 동시에 진행 중에 있음
- 영국의 철도정책은 철도부문의 수송용량을 늘리고 철도로의 수송모드변환, 철도자체의 온실가스 배출량 저감으로 요약할 수 있음

- 영국 정부는 R&D 에 대한 투자 지원을 통하여, 철도산업체들이 저탄소 차량 개발을 할 수 있도록 지원하고 있음. 철도 물류의 경우 1995/96년에 비해 톤-킬로미터 단위로 계산 시 55퍼센트의 성장률을 보이고 있음. 정부는 현재 매년 800,000 대의 화물자동차를 대체 하기 위해 2천만 파운드를 투자하고 있음
- 아시아에서도 일본과 중국을 중심으로 주요 철도 정책을 수립하여 추진하고 있음
 - 일본의 철도분야 대책은 철도 자체의 에너지효율 향상을 위해 2010년까지 1995년 대비 에너지 소비 원단위를 약 7% 감축을 목표로 하고 있으며 대륙으로의 진출을 위해, 궤간가변열차(각륜구동전동기)에 대한 연구를 꾸준히 진행하고 있음
 - 중국의 경우 [중장기 철도망 건설계획]에 의거 2020년 까지 4종 4형의 여객전용선 건설을 통해 전 국토를 거미줄처럼 연결하여 국토의 균형 발전을 꾀하고 있으며, 철도 속도증강을 통해 철도가 경제도약의 원동력이 될 수 있도록 철도 정책을 추진하고 있음. 도심 내 이동의 경우 지하철을 주요 수단으로 추진 중 임

2절. 국내외 시장 현황 및 전망

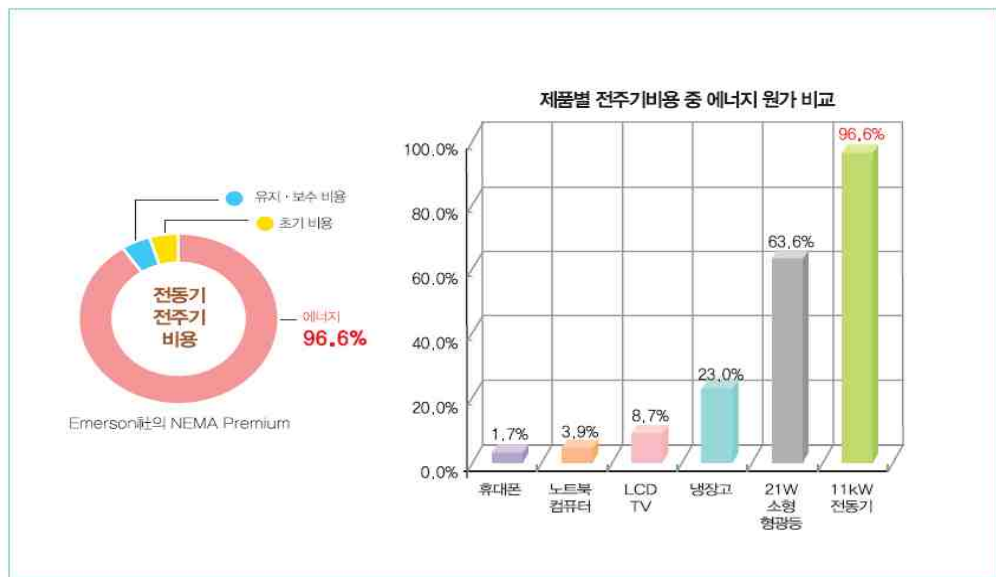
1. 국내 시장 현황

가. 국내 전동기 산업 현황

○ 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

제품별 전주기비용 중 에너지원가 비교 (예: 11kW 유도전동기 96.6%)

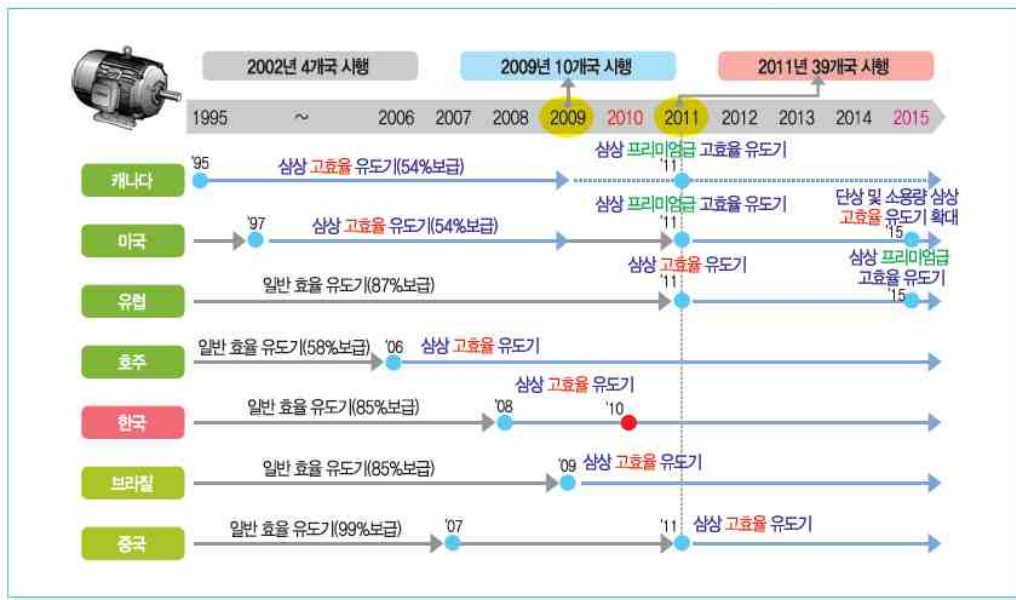


※ 자료 : 온실가스감축기술 전략로드맵 2011, 전능기, 지식경제부, 한국에너지기술연구원

[그림 18] 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)

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



※ 자료 : 온실가스감축기술 전략로드맵 2011, 전능기, 지식경제부, 한국에너지기술연구원

[그림 19] 국내외 고효율 전동기 최저효율제 시행 현황

- 고효율 전동기를 포함한 산업용 교류 전동기를 중심으로 국내시장 현황을 분석해보면 2015년 유도전동기 국내시장은 7,497억원 규모로 추산됨
- 효성, 현대, 하이젠 등 대기업 및 중견기업에서는 37kW 이상 중대형 용량을 중심으로 생산하고 있으며, 을지, 신명 등 중소기업에서는 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 : 2011년 전기산업 경기전망 (한국전기 산업진흥회, 2010)

[그림 20] 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

○ PMSM 직구동 전동기

- Rotary Indexer, Turret, 로봇 암, 반도체 장비 제작 분야의 시장이 확대됨에 따라 전용 제어기와 결합된 가공설비와 고정밀기기·고정밀, 고신뢰성을 갖는 직구동 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 직구동 전동기 수요가 증가 추세에 있음. 국내 업체 중에서는 저스텍과 LS메카피온에서 최근 토크 50Nm이하 출력 1kW 이하의 직구동 전동기 제품을 출시하였으나, 응용시스템이 FA 및 반도체, FPD 분야에 편중된 제품들로 출력 토크의 범위가 높지 않아서 다양한 산업분야에 적용하기에는 한계가 있음



[그림 21] 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 고풍력 전동기의 수요가 증가하고 있으나, 대부분 일본 또는 독일 등의 선진국 제품을 수입하여 사용하고 있음

나. 국내 철도산업 현황

- 철도차량 부품 제조업체의 수는 증가하고 있으나, 대부분 임직원 수 50인 이하인 중소기업체로 구성
- 확보된 기술 및 부품의 경쟁력을 통한 국내 철도부품산업의 안정적인 기업활동과 적극적 해외시장 진출을 통한 시장확보 필요



• 임직원 수 별 철도차량 부품회사 현황



[그림 22] 임직원 수 별 철도차량 부품회사 현황(통계청, 2010)

○ 한미 FTA체결에 따른 철도차량 부품 해외진출 기대

- 한미 FTA체결에 따른 관세철폐(미국 2.8%)로 가격경쟁력 향상
- 철도차량 및 부품관련 수출이 큰 폭으로 증가 추세(2011년 기준 약 900억, 국내 매출액의 약 12%)
- FTA 체계로 철도차량 부품관련 신규사업의 해외진출 기회 확대
- 하지만 해외시장 점유율 확보를 위한 핵심기술 개발 및 국산화 시급

• 철도차량 부품 수출현황(미국)



[그림 23] 철도차량 부품 수출현황
(한국무역협회, 2012)

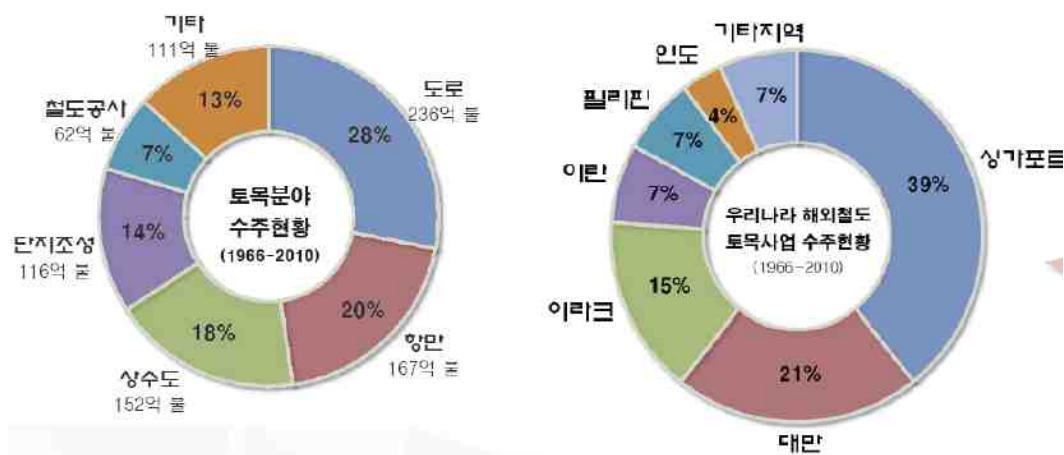
• 수출비중이 높은 품목(미국)

구분	HS CODE	세부 품목	수출액(\$)
보우기와 비셀보우기	8607110000	구동식 보우기와 비셀보우기	-
	8607120000	기타 보우기와 비셀보우기	72,730
차축, 차륜, 윤축 및 이들 부분품	8607191000	차축	-
	8607192000	차륜	431,994
	8607193000	윤축	-
	8607199000	기타	12,040,031
제동장치와 그 부분품	8607210000	공기식 제동장치와 그 부분품	-
	8607290000	기타	166,086
축과 기타 연결장치, 완충장치 및 이들 부분품	8607301000	축	3,020
	8607302000	연결장치	-
	8607302000	완충장치	-
	8607309000	기타	612,230
기타	8607910000	기타 기관차용의 것	40,060
	8607990000	기타	54,839,299
계			68,205,450

[그림 24] 수출비중이 높은 품목
(한국관세무역개발원, 2011)

○ 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



※ 자료 : “철도사업 해외진출 활성화 방안”, 2012, 문진수 한국교통연구원 연구위원

[그림 25] 해외철도 토목분야 수주현황

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

다. 국내 철도시장 규모 및 전망

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

[표 4] 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 (8)	1호선	7.8	10	서울역~청량리	330	'74.08.15
	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 (4)	1호선	32.5	34	노포동~신평	9,751	'85.07.19
	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 (2)	1호선	25.9	30	대곡~안심	15,187	'97.11.26
	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 2012

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

[표 5] 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 2012

- 도시철도의 투자액 추이를 보면 1980년대 3조9천억 원, 1990년에 12조7천억 원, 2000년대 11조4천억원을 각각 투자함. 현재는 각 도시별로 공기업 형태로 운영되고 있음
- 곡선 구간이 많은 국내 도심의 경우, 중전철 시장보다 경전철 시장이 커질 것으로 예상됨. 경전철의 경우, 의정부와 용인, 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 추산됨. 서울시는 2014년부터 단계적 개통을 목표로 경전철에 대한 계획을 수립하거나 검토 중에 있음
- 서울시는 총 건설비(4조8,503억원) 중 28%(1조4,090억원)만을 부담 나머지는 민간자본을

유치할 계획이며, 도시철도기본계획(국토해양부, 2011. 11. 12)에 따른 경전철 공사 계획은 다음과 같음

[표 6] 서울시의 경전철 건설 계획

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	공사비 (억원)	차량	진행현황
1	우이-신설선	11.4	6,961	5,724	AGT(지하)	2013년 완공 예정
2	우이-신설 연장선	3.5	2,277	1,872	AGT(지하)	도시철도기본계획 확정
3	신림선	7.7	5,390	4,300	AGT(지하)	도시철도기본계획 확정
4	면목선	9	6,300	4,950	AGT(지하)	도시철도기본계획 확정
5	서부선	12.5	8,750	6,875	AGT(지하)	도시철도기본계획 확정
6	동북선	13.2	9,240	7,260	AGT(지하)	도시철도기본계획 확정
7	목동선	11.9	7,490	5,500	AGT(지하)	도시철도기본계획 확정
8	DMC(상암)	6.5	2,000	1,300	모노레일 (고가)	도시철도기본계획 확정
9	금전선	7.2	5,200	4,100	AGT(지하)	서울시 검토 중
10	홍제-길음선	8.7	6,100	4,900	AGT(지하)	서울시 검토 중
11	시청-은평선	11.4	7,980	6,270	AGT(지하)	서울시 검토 중
12	송파 노면전차	5.5	2,000	1,200	노면전차 (지상)	서울시 검토 중

※ 자료 : 통계로 보는 한국철도 2012

○ 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 7] 경기수도권의 경전철 건설 계획

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	공사비 (억원)	차량	진행현황
1	용인선	18.8	6,970	5,553	LIM(고가)	공사완료, 개통 준비중
2	의정부선	11.08	4,750	3,489	고무차륜 AGT(고가)	공사중
3	광명선	10.3	4,512	3,400	고무차륜 AGT(고가)	실시협약완료
4	수원선	18.7	9,419	6,700	노면전차 (지상)	기본설계 준비중
5	김포선	25	14,000	12,560	AGT(지하)	예비타당성 조사 진행중
6	고양선	11.4	5,300	3,700	모노레일 (고가)	전격성 심사중
7	성남선	20.7	7,556	5,605	노면전차 (지상)	예비타당성 조사 진행중
8	인천 자기부상	6.1	4,140	3,400	자기부상 (고가)	건교부 시범 사업
9	인천 월미도선	6.1	830	760	모노레일 (고가)	재정 사업
10	시흥선	14.5	6,775	5,600	AGT(고가)	예비타당성 조사 진행중
11	인천 2호선	29.2	6,000	5,000	AGT(고가)	공사중

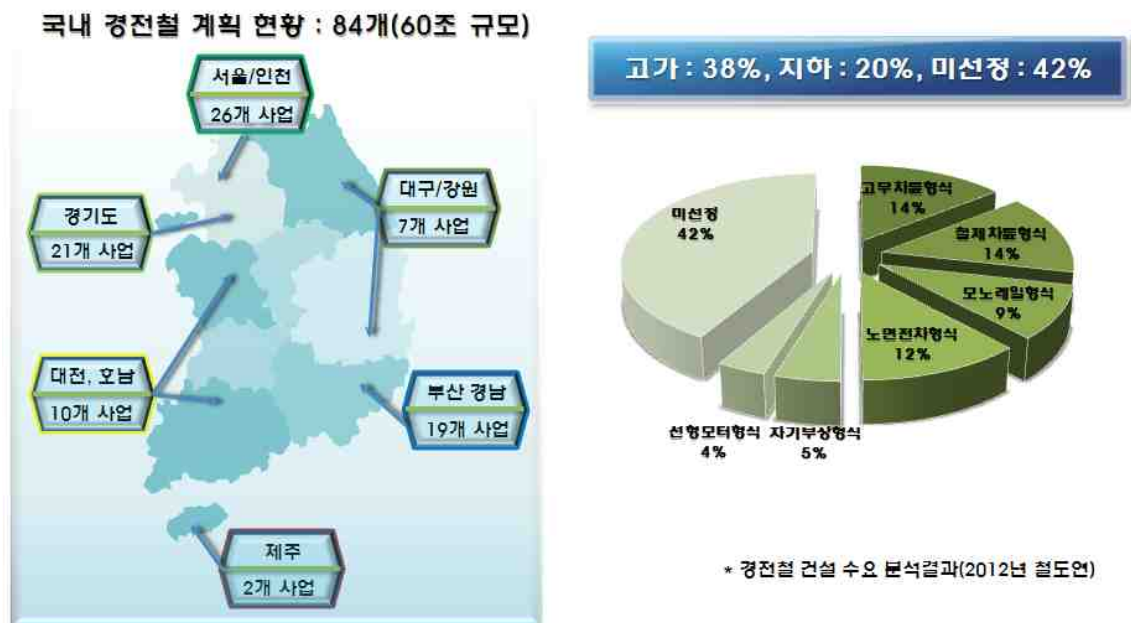
※ 자료 : 통계로 보는 한국철도 2012

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

[표 8] 기타 지방권의 경량전철 건설계획

번호	노선명	연장 (km)	총사업비 (억원)	차량	진행현황
1	부산 반송선	12.7	10,492	K-AGT(지하, 고가)	운행중
2	부산 김해선	23.7	7,742	철제 차륜(고가)	운행중
3	부산 초읍선	7.3	2,890	AGT(고가)	현상 중단
4	대구 3호선	23.9	11,100	모노레일(고가)	공사중 (재정사업)
5	대전 2호선	30.8	15,204	AGT(고가)	대전시 검토중
6	울산 1호선	11.3	4,268	노면전차(지상)	기본 설계 진행중
7	광주 2호선	41.7	17,394	AGT(지하)	적격성 심사중
8	천안선	12.3	4,898	K-AGT(고가)	기본계획 수립완료

※ 자료 : 통계로 보는 한국철도 2012



[그림 26] 국내 경전철 계획 현황 및 수요 분석

- 수도권의 철도 수단 부담률은 매우 낮은 수준으로 2006년 수도권 가구통행실태 조사 자료에 따르면 전철 또는 철도를 교통수단으로 이용하는 통행이 전체 통행량의 7.9%에 해당하는 것으로 나타남
- 수도권 철도 이용이 낮은 원인은 철도 인프라 부족으로 수도권과 비슷한 규모의 인구와 면적을 가진 선진국에 비해 철도 인프라가 상당히 부족한 것으로 조사됨

[표 9] 수도권 통행 수단 부담률

단위 : %

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 10] 세계 주요 대도시권 철도망 비교

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

- 도시철도가 운행되고 있는 광역시 통행 수단 부담률 조사 결과 부산과 인천을 제외한 모든 지역에서 10% 미만의 부담률을 보이는 것으로 나타남

[표 11] 광역시 통행 수단 부담률

단위 : %

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
- 곡선주행 문제는 오랜 철도기술의 발전사에서 해결되지 못한 가장 큰 문제점으로 들 수 있으며, 그로 인한 철도차량의 승차감과 안정성 저하, 그리고 부차적인 유지관리 비용의 증가는 반드시 해결되어야 할 사항임. 아직까지 국내의 경우 해외 선진국에 비해 조향시스템 분야에서 축적된 기술력이 크지 않은 만큼 기술적인 격차를 좁히기 위한 연구개발이 더욱 요구됨
- 국토해양부에서 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

2. 국외 시장 현황

가. 국외 전동기 산업 현황

- 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
- PMSM 직구동 전동기
 - 공작기계, 전동프레스 인텍서 등 고출력 소요 동력 부분의 직구동 전동화 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 직구동 전동기 수요 분야와 기업 분포는 아래와 같음. 일반 서보전동기의 연평균 성장률은 7.7% 정도이나, 기존의 정밀기기 또는 자동화 시스템에서 기계장치의 소형화, 경량화 요구의 증가로 인해 직구동 전동기의 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 : 온실가스감축기술 전략로드맵 2011, 전능기, 지식경제부, 한국에너지기술연구원 / 최진영서보시스템((유)데이터기술연구소, 2007)

[그림 27] 직구동 전동기 시스템 수요분야 및 공급기업 현황

나. 국외 철도산업 현황

- 세계시장은 BT(Build Transfer) 방식에서 BOT(Build Operation Transfer), BLT(Build Lease Transfer) 방식 및 E&M Turn-key Base 형식으로 발주 (원스톱 서비스 요구)
 - 철도사업을 시행처(지자체/정부)는 철도에 대하여 각각의 부분보다 전체로 인식하는 전형적인 시스템 사업화
 - 국내 시장과는 달리 사업의 타당성 조사, 설계, 시공, 사업관리 (PM), 운영관리 등을 한번에 해결하는 원스톱 서비스 요구
- 도시철도 공급자는 새로운 시장을 얻기 위한 경쟁력을 갖추기 위해 사전 대비형 접근 방식 추진 필요
- 도쿄/뉴욕/파리/런던 등 대도시에서는 지하철망이 정비되어 연간 이용수가 총 10억명 이상. 신흥국의 대도시에서는 인구증가에 따른 교통량의 증가 → 도시철도 인프라 정비의 수요가 급격히 확대
 - 노면전차는 유럽(독일, 러시아 등), 모노레일은 일본, AGT는 각 대륙의 선진국을 중심

으로 활성화

- 현재 20여개의 고가 지하궤도 경전철노선이 건설 중, 10여개의 노선이 제안된 상태, 노면전차는 100여개 노선이 건설 중
- 세계 도시철도 시장의 큰 성장 추이는 차량 기업들의 아시아(중국/인도/일본), NAFTA 및 아프리카 또는 중동에 있는 지하철 차량 공급에서 나타남
- 아시아/태평양지역은 역동적인 성장으로 2016년까지 세계 2번째 도시철도산업시장으로 예상
- 서유럽은 앞으로 9년 동안 2.0% 성장이 유지될 것으로 예상

다. 국가별 동향

- 중국은 현재 철도 총연장이 약 8만km(지상+지하철)이지만, 20년에 1.5배인 약 12만km로 확대방침임.
- 인구가 100만 명을 넘으면 지하철 수요가 발생한다고 하지만, 07년 말 중국의 100만 도시는 약 120개임
- 11개 도시 20개의 지하철을 운영하지만, 4개 도시를 더해 15개 도시/약 50개 지하철이 건설 중 → 향후 20개 도시에 건설 계획
- 대기오염이 심각한 중국 중칭에서 일본기업의 대처 상황 : 총연장 300km 이상의 지하철·모노레일 망 계획 중이며, 열차제어 시스템 일부를 히타치 제작소가 수주
- 동양전기제조는 2009년 7월에 베이징시 지하철 3노선 528량분의 차량용 전기품 수주
- 미츠비시 전기도 베이징 지하철 8호선에 전기품 수주
- 일본 신호는 베이징 지하철 15호선에 무선 열차제어 시스템을 약 20억엔 수주
- 가와사키 중공업은 지하철의 터널 굴착 수요를 예측하여 중국 굴착기 제조회사에 14.5%를 출자하고, 향후 3년간 연간 300억~400억엔의 수요를 전망
- 브레이크 시스템을 다루는 나브테스코는 중국시장에서 수주확대를 노리며, 2-3년에서 현지 합병생산 예상
- 동남아시아는 도시철도 건설을 계획 중이며, 정부개발원조(ODA)를 발판으로 일본이 관심을 가지고 있음
- 1990년대부터 일본은 동남아시아 도시철도의 엔차관 프로젝트 확대 중
- 국제협력기구(JICA)의 관계자에 따르면, 성장기를 뛰어넘은 동남아시아 정부에서 ODA 엔차관사업이 가속화, (방콕/마닐라에서의 성공 모델 케이스)

- 철도차량 빅3(알스톰/지멘스/봄바디)를 제치고, ODA를 배경으로 하는 일본이 유리하며 예로 호치민에서 진행 중인 최초 지하철 프로젝트(6개 노선으로 시 중심부와 연결)에서 일본은 2007년 엔차관으로 약 209억엔의 공여를 결정하였음 → 2014년 개통목표인 1호선(20km)에 가와사키 중공업 등 일본 4그룹이 입찰 확정
 - 방콕에서는 퍼플라인(반야이~반스 간 23km), 레드라인(반스~란시트 간 26km)이 엔차관 조인을 진행 중
 - 인도에서는 텔리 메트로 2개 중 80km가 엔차관 사업으로 건설 중(남부 벵갈루루나 친나이, 동부 코르카타)
 - 홍콩에서는 미츠비시 전기가 서강도 신선에 철도차량용 기기 약 80량분을 수주
 - 마닐라에서는 고가철도의 신설 및 연장이 진행 중
 - 싱가포르에서는 2020년까지 지하철을 2배로 늘릴 계획이며, 가와사키 중공업은 지하철 132량을 수주
- 미국은 지하철이나 경량전철 건설에 연방정부자금 투자가 증가할 예정, 도시교통정비일환으로서 도심부만을 운행하는 ‘Streetcar’의 정비가 진행 중
- 미국 뉴욕 지하철은 1904년 10월에 개통돼 영업거리는 371km, 노선 수는 27개, 역수는 468개, 종업원 수는 2만7,322명, 수송인원은 14억5,000만 명, 궤간은 1,435mm, 전기방식은 직류 625V, 집전방식은 제3궤조, 차량은 6,183량 등임
 - 뉴욕 시영지하철 차량 점유율에서 일본의 미츠비시 중공업이 캐나다의 봄바디어를 넘는 최고 점유율을 보임
 - 미츠비시 중공업은 무인운전차량(AMP)을 강화하고 마이애미 등 2011년 4건의 운전/보수업무를 수주
 - 최근 ‘Streetcar(저상식 신형 차량)’는 지역 재개발을 위하여 기존의 제한 운행을 탈피하여 종일 운행 (포틀랜드, 타코마, 시애틀 3도시에서 지역 활성화에 기여함)
- 유럽은 현재 고령화 및 환경문제 대응으로 거대 도시뿐만 아니라 인구 20만이하 소도시에서도 도입 활성화, 도시교통정비일환으로서 도심부만 운행하는 ‘Streetcar’의 정비가 진행 중
- 도로 위를 달리는 노면 전차가 철도노선에 직통하는 ‘트램-트레인’이 주목 받음
 - 프랑스는 07년 10월(환경 그루빌 회의) 사르코지 대통령이 지구 온난화 대책으로 20년까지 트램 중심의 1,500km 규모의 공공교통기관을 신설 선언. 프랑스 파리 지하철은 1900년 7월 개통된 뒤 14개 노선에 297개 역, 영업거리 212.1km로 종업원 수는 16,089명, 수송인원 12억4,800만 명, 궤간은 1,435mm, 집전방식은 제3궤도며 전기방식은 750V, 차량 수는 3,533량에 달함

- 영국은 세계 최초로 1863년 지하철을 개통함. 지하철이라는 이름에도 불구하고, 전체 노선의 55%는 지상임. 보통 ‘The underground(지하철)’ 또는 지하철 터널 모양을 본뜬 이름인 ‘The tube(튜브)’라고 부르기도 함. 세계 각국의 도시철도 운영조직은 초기에는 민간이 담당하다 1930년 이후부터는 공공부문에서 담당함. 주로 시(市) 직영이거나 공단·공사들이 맡되 독일의 경우 시가 주식을 가진 준공영적인 조직형태로 운영돼 왔음. 중전철의 경우 영국 런던 지하철은 12개 노선에 275개 역, 총 연장 408km에 달하고 종업원 수는 10,246명, 수송인원 9억4,769만 명, 궤간은 1,435mm, 전기방식은 직류 630V, 집전방식은 제3, 제4궤도 방식, 차량은 2,796량이 운행 중임
- 1902년 8월 개통한 독일 베를린 지하철은 9개 노선에 영업거리 152.7km, 170개 역, 종업원 수 2,954명에 수송인원 4억5,790만 명, 궤간은 1,435mm, 전기방식은 직류 750V, 집전방식은 제3궤도, 차량 수는 1,388량이 운행 중임
- 스페인 마드리드 지하철은 1919년 10월에 개통된 후 영업거리는 226.7km, 노선 수 12개, 190개 역, 종업원 수는 5,495명, 수송인원은 6억200만 명, 궤간은 1,445mm, 전기방식은 직류 600/1,500V, 집전방식은 가공선, 차량은 1,514량을 보유하고 있음
- 이탈리아 로마 지하철은 1955년 2월에 개통돼 영업거리 36.5km, 노선 수는 2개, 종업원 수는 2,500명, 수송인원은 2억7,300만 명, 궤간은 1,435mm, 전기방식은 직류 1,500V, 집전방식은 가공선이고 차량은 450량이 있음
- 네덜란드 암스테르담 지하철은 1977년 개통됐으며 영업거리는 65km, 노선 수는 4개, 역수는 52개, 종업원 수는 650명, 수송인원은 8,300만 명, 궤간은 1,435mm, 전기방식은 직류 600/750V, 집전방식은 제3궤도와 가공선 모두 사용하고 있고, 차량은 212량임
- 대만 타이페이 지하철은 1997년 3월에 개통한 뒤 65.5km, 노선 수는 6개, 역수는 62개, 종업원 수는 3,057명, 수송인원은 3억1,600만 명, 궤간은 1,435mm, 전기방식은 직류 750V, 집전방식은 제3궤조이며 차량 수는 450량임

라. 세계 철도시장 규모 및 전망

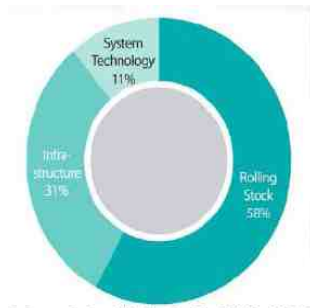
- 세계시장규모는 09년 10조 5천억원 규모에서 매년 3.7%씩 성장하여 14년에는 약 13조원 전망
- 분야별 비율은 철도 차량 58%, 인프라구조물 31%, 시스템기술 11%를 차지
- 기존의 철도운영에 따른 판매 후 사업 분야보다 신규 사업의 성장률이 높아질 것으로 예상

[표 12] 철도시장 규모

기술분야	현재시장규모		CAGR(' 09~ ' 14)
	백만 유로	십억원	
인프라구조물(궤도시스템, 전철화)	39,500	61,620	+5.5%
시스템기술(IT산업)	13,200	20,592	+4.1%
철도차량(일반철도, 도시철도)	73,800	115,128	+3.7%
총 계	126,500	197,340	+4.2%

※ CAGR(Compound Annual Growth Rate, 년평균 성장률)

※ 자료: SCI/Verkehr, "The Worldwide Railway Technology Market 2009~2014", 2009



사업유형	현재시장규모		CAGR(' 09~ ' 14)
	백만 유로	십억원	
신 규	55,100	85,956	+5.1%
판매 후	71,400	111,384	+3.6%
총 계	126,500	197,340	+4.2%

※ 자료: SCI/Verkehr, "The Worldwide Railway Technology Market 2009~2014", 2009

[그림 28] 철도기술 시장의 분야별 비율

- 세계 도시철도차량 시장 규모는 09년 기준으로 신차 시장이 약 6조 5천억원, 평균 증가율 3.7%로 14년 신차 시장이 약 8조 8천억원, 판매 후 시장이 4조 9천억원 예상
- 서유럽과 아시아 시장이 비슷한 규모로 가장 큰 부분을 차지하고 있음
- 판매 후 시장은 상대적으로 차량비율이 높은 서유럽 지역에서 신차 시장보다 조금 큰 규모, 아시아의 경우에는 일본을 제외하고는 판매 후 시장의 규모는 작게 나타남

[표 13] 세계 도시철도 차량 시장 규모(2009년)

구분	서유럽	동유럽	북미	중남미	아시아	아프리카/중동	CIS	오세아니아	계	
									백만 유로	조원
신규	1,190	120	965	290	1,320	280	45	0	4,200	6.5
판매후	950	80	860	90	480	30	110	0	2,600	4.0

※ 자료: SCI/Verkehr, "The Worldwide Railway Technology Market 2009~2014", 2009

[표 14] 세계 도시철도 차량 시장 전망

구분	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	CAGR
신규	6.74	7.00	7.25	7.52	7.79	8.08	3.7%
판매후	4.15	4.30	4.46	4.63	4.80	4.79	3.7%

※ 자료: SCI/Verkehr, "The Worldwide Railway Technology Market 2009~2014", 2009

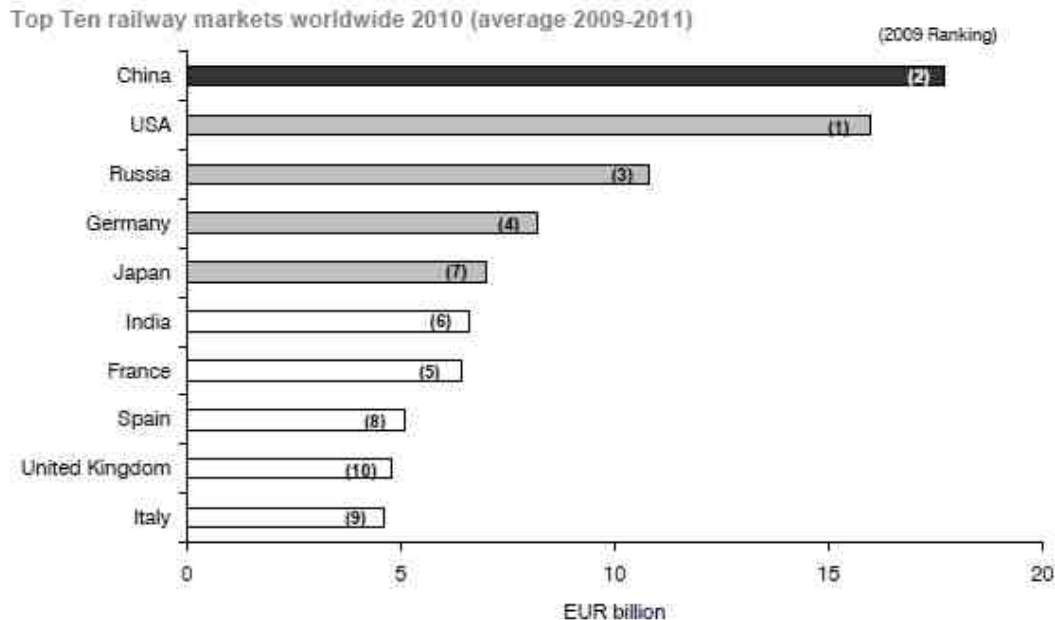
[표 15] 향후 철도기술 3개 분야 전체 시장 전망

구분	서유럽	동유럽	북미	중남 미	아시아	아프 리카 /중동	CIS	오세 아니아	계	
									백만유로	조원
2014 까지	34,970	18,763	8,900	15,621	123,983	54,356	35,355	3,007	294,955	454.6
2015 이후	182,471	29,132	309,172	33,499	101,786	25,915	70,155	3,289	755,419	1,164.3
합계	217,441	47,895	318,072	49,120	225,769	80,271	105,510	6,296	1,050,374	1,618.9

※ 자료: SCI/Verkehr, "The Worldwide Railway Technology Market 2009~2014", 2009

- 2014년까지의 중국을 비롯한 아시아시장이 가장 큼 그러나, 2015년 이후에는 북미시장이 3배 이상 커짐. (아시아 시장의 3배, 서유럽 시장의 1.7배 규모)
- 2015년 이후에는 이전보다 2배 이상 예상 그러나, 아시아/오세아니아 시장은 정체, 아프리카/ 중동시장은 절반 이하로 큰 축소 예상됨
- 해외 철도사업은 해당국가의 재정여건에 따라 다양한 형태로 추진
 - 중동, 북아프리카 지역 등 국가재정 풍부 국가는 재정사업 빈도 높음
 - 아시아, 아프리카 등 정부재원 부족 국가는 ODA 및 민자사업으로 추진 경향
 - 영국, 미국 등도 일부 민간자본 활용하는 사업형태 추진
- 최근 일괄발주형 민자사업이 많이 등장하는 추세
 - 브라질 고속철도 사업 등 사업의 설계, 시공, 구매, 운영 및 관리까지 담당 → 민간사업자의 금융조달 능력이 중요한 요소로 등장
- 주요 국가들은 해외 철도사업에 대해 정부차원의 적극적 노력 경주
 - 일본과 프랑스는 오래 전부터 JARTS, SYSTRA 등을 통해 해외철도 시장 선점

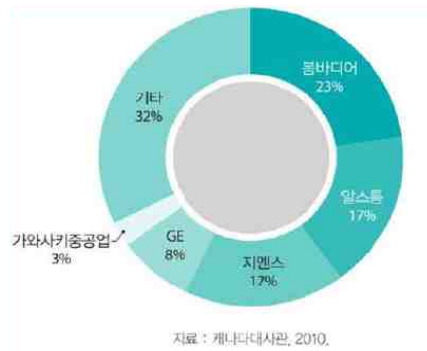
- 중국 등은 막강한 자금력을 바탕으로 개도국 철도사업 진출



※ 출처: The worldwide market for railway technology 2012, SCL Verkehr GmbH

[그림 29] 세계 Top 10 철도 시장

- 경량전철은 유럽을 중심으로 하여 일본, 싱가포르, 말레이시아, 미국, 캐나다 등지에서 운행 중이며, 기존 지하철의 연결을 통한 교통망 구축, 환경정책과 교통혼잡 문제 해결, 신개발지역과 도심과 연결을 주목적으로 하여 도입되고 있음
- 국외는 중국, 미국을 중심으로 철도시장이 형성되고 있으며, 현재 대표 도시교통수단으로 각광받고 있는 경전철시스템에 대하여서도 세계 신규 경전철 차량생산 추이에서도 보듯이 경전철 시장이 지속적으로 성장하고 있음
- 현재 여러 국가에서 다양한 경전철시스템이 운영 및 건설 중에 있고, 향후에도 그 시장은 확대되는 추세에 있음. 상기 철도시장의 톱을 달리고 있는 중국의 경우에도 가까운 장래에 경전철시스템이 도입된다면 매머드급 시장이 형성될 것으로 판단됨
- 세계 주요 차량 제작사들은 Ansaldo의 Sirio family 표준 모듈차량은 전두부와 실내디자인을 수요처의 요구사항에 적합한 맞춤형 생산을 하고 있으며, Bombardier에서는 City runner와 Flexity, Cobra 등의 차종을 시장에 내놓고 있음
- 세계 경전철 시장은 Bombardier, Alstom, Siemens가 분할하고 있으며 70% 저상형 시장은 Bombardier가, 100% 저상형 시장은 Alstom에서 주도하고 있으며 중장기적으로 유럽 및 미주시장에서의 수요 확대가 이루어 질것으로 예측됨
- 2010년 기준으로 Bombardier, Alstom, Siemens 3사가 세계 시장의 약 58% 점유 (Bombardier 23%, Alstom 17%, Siemens 17%, GE 7.8%, 가와사키중공업이 3.3% 점유)

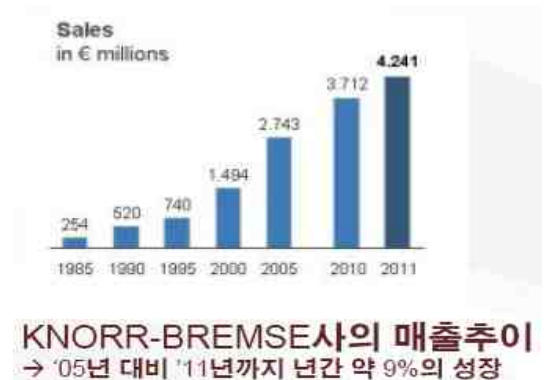


[그림 30] 철도차량업체 점유율

- 그러나, SIL인증을 받은 해외철도 핵심부품업체는 이와 상관없이 지속적인 매출성장(참고 : 신차시장 증가율 3.7%)



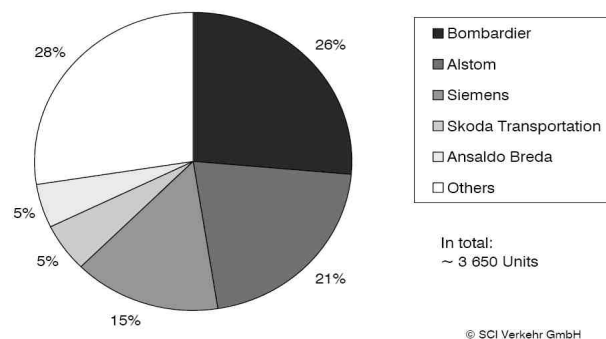
[그림 31] VOITH사 매출추이



[그림 32] KNORR-BREMSE사 매출추이

- Siemens는 기존의 Combino 클래식의 차종이외에 Avenio을 중점 모델로 마케팅 하고 있음. 후발주자로 들어선 CAF, Stadler, SKODA 역시 각자 모델을 개발하여 시장에 내놓고 있음

Worldwide delivery by Manufacturer LRV 2006-2010 [Number of Units]



[그림 33] 전세계 2006~2010년 경전철 생산
수에 따른 업체 점유율

마. 해외 기업의 철도기술선점을 위한 노력

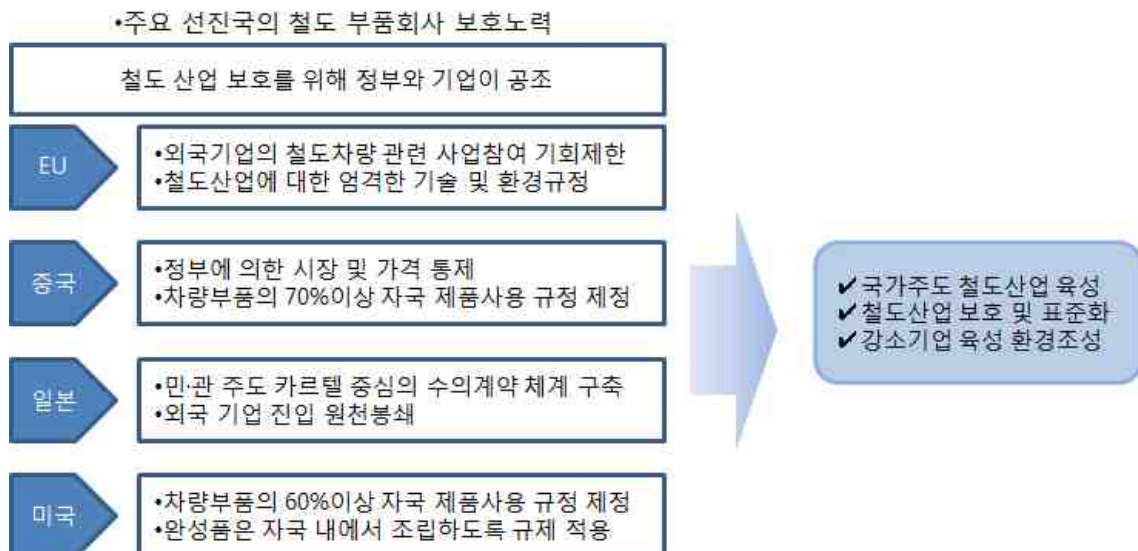
- (JR 동일본 철도) 부품관련 계열사 확보를 통한 안정적 부품 공급체계 구축 및 운영의 안정성 높임 ⇒ 철도 제작, 부품관련 계열사의 적극적 사업화를 통해 철도운영의 안정성 강화 및 수익 다변화 확보



[그림 34] JR 동일본 철도의 사업영역

○ 선진국의 철도차량 부품산업 보호정책

- 국가차원의 자국산업 보호와 육성 정책을 통한 부품산업의 해외시장 진출을 적극 지원
- 우리나라의 경우 외국 철도회사의 진출에 제한규정 전무(공개경쟁 계약) ⇒ 철도산업 보호를 위해 정부/기업/운영사의 공조로 기술 개발 필요함.



[그림 35] 주요 선진국의 철도 부품회사 보호노력

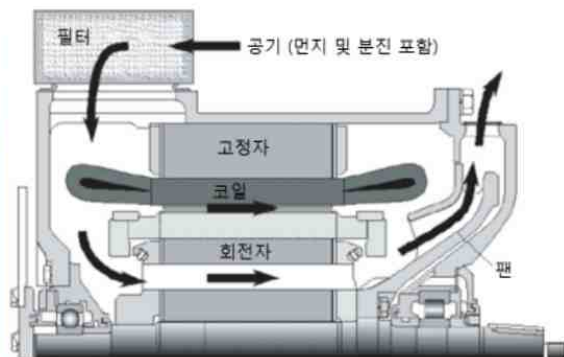
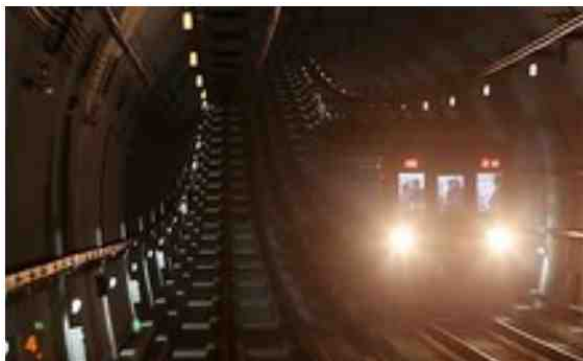
3절. 기술동향 분석

1. 전동기 기술동향

가. 국내 기술동향

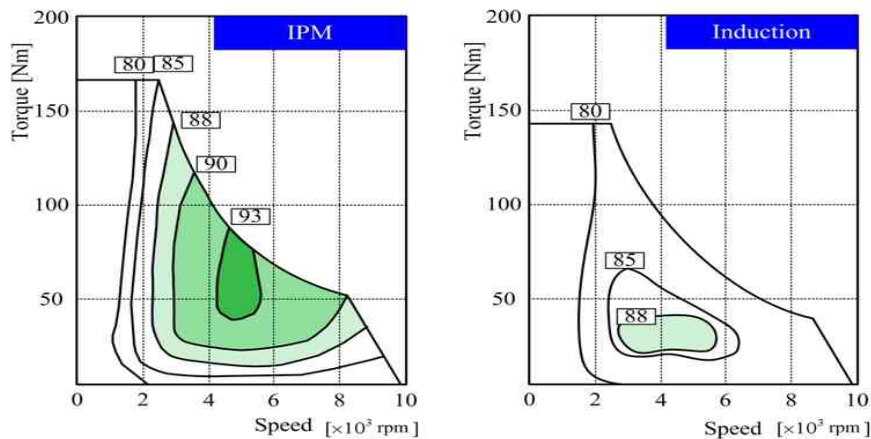
(1) 철도 견인전동기 발전 동향

- 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
- 1983년 일본의 미츠비시(三菱) 기술을 사용한 초퍼제어방식의 차량이 운행됨. 기존의 저항 방식과는 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 초퍼방식과 일본식의 초퍼방식이 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
- 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 36] 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



※ 출처 : EV50 (Toyota 기술자료)

[그림 37] 영구자석 동기 전동기와 유도 전동기의 운전 효율비교

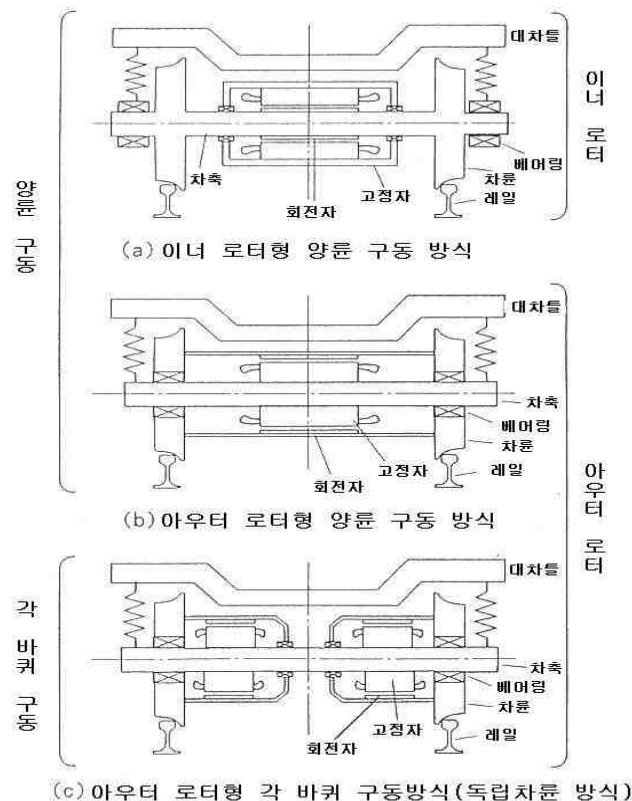
- 고속철도의 경우, KTX는 GTO Thyristor 인버터와 권선형 동기전동기를 채용
- 한국형 고속열차 KTX II는 IGBT 소자 방식의 인버터와 유도전동기를 채용
- 한국형 초고속열차 HEMU는 1C4M의 유도전동기와 1C1M의 영구자석동기전동기를 병행하여 채용하고 있으나, 국내에서는 철도차량용 추진시스템의 고출력밀도화 기술에 대한 구체적인 연구실적은 없음
- 오히려 고출력밀도 추진시스템 핵심요소기술에 대한 연구는 전기자동차를 중심으로 중점 수행되고 있음
- 일례로 현대자동차에서 하이브리드 자동차 견인용 모터로서 일본에서 도입한 IPMSM을 적용하여 고효율 운전을 위해 개발을 진행 중에 있으나 그 외의 분야에서 적용은 거의 전무한 상태임

(2) 영구자석 동기전동기 및 응용분야

- 기존의 전기철도 차량에서 견인전동기 구동력은 플렉시블 커플링과 감속기어를 통하여 차륜에 전달되며 견인전동기의 토크는 기어비만큼 배가될 수 있음. 근래에는 기존의 AC 비동기 모터를 대신할 차륜일체형 영구자석 동기 전동기가 많이 개발되고 있는데 이는 최근 수 십년간 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
- 각륜구동전동기의 토크는 기어와 플렉시블 커플링 없이 직접적으로 윤축에 전달되기 때문

에 전송 손실(이에 따른 에너지 손실), 소음, 유지보수, 질량과 부피를 줄일 수 있다는 장점이 있음. 기어가 없다면 전동기는 더 높은 토크를 제공해야하는데 비동기 전동기는 이러한 조건을 만족 시킬 수 없고 차륜 장착 구조가 불가능함

- transversal flux motors 외에 영구자석 동기전동기는 높은 토크 특성으로 인해 차륜일체형 구조를 만족시킬 수 있는 유망한 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 회전자기 차륜에 직결되어 있고 외곽의 고정자가 베어링을 통하여 회전을 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.



[그림 38] 이너로터 및 아웃터 로터 방식

- 다음으로 회전축의 분리여부에 따라 회전축 구동방식과 독립 차륜방식으로 구분할 수 있음. 회전축 구동방식은 기존의 철도차량에서 좌우 양단의 차륜이 회전축을 통하여 결합되어 동시에 회전하도록 하는 것으로, 그림의 (a), (b)가 이에 해당됨. 이에 반해, 외측 회전 형식 전동기를 차축의 중앙에서 좌, 우 두 개로 분리하여 (c)와 같이 구성함으로써 좌우 차륜이 서로 독립적으로 회전이 가능하도록 독립차륜구동방식으로 구성할 수 있고 이는 궤

간 가변이 가능한 독립구동형 대차를 가능하게 함

- 영구자석 동기전동기의 장점은 기어 및 플렉시블 커플링이 없기 때문에 유지보수를 경감할 수 있으며, 작은 부피와 직접구동 방식은 저상 및 2층 구조 방식의 차량에 적용이 가능하고 독립차륜 구동방식을 통해 궤간가변차량에 적용할 수 있음. 이외에 공기냉각 보다 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)으로서 외전형(Outer rotor type) 각륜 구동전동기의 개발은 일부에 그치고 있음



[그림 39] Direct Drive In-wheel 전동기
(해외)



[그림 40] 국내 NEV용 In-wheel
PMSM 제작 예

- 국내 철도차량의 경우 각륜구동전동기는 개발된 사례가 없음

나. 국외 기술동향

1) 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



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

[그림 41] 동다이캐스팅 기술개발 현황

2) 영구자석 동기전동기 및 응용분야

- 최근 산업용 직구동 전동기가 각광받고 있는 분야는 공작기계 분야로 직구동 전동기를 적용한 Rotary Table을 공작기계에 구현한 기업 중 가장 대표적인 곳은 모리세이키(Mori Seiki, 일본)임. 고속 가공에 대응하기 위하여 테이블에 직구동 전동기 기술을 적용하였고 주목적은 고속 인택싱, 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

- 직구동 전동기 서보 시스템을 공급하고 있는 국외 기업으로는 YASKAWA, ShinMaywa, NIKKI DENSO 등의 일본 기업과 스위스의 SERVAX, ETEL, 미국의 DANAHER 그 외 독일의 OSWALD, SIEMENS가 있음. 스위스 ETEL社의 경우 전동기의 제작성 향상, 전동기와 결합하는 기계장치의 자유도 증가, 냉각 성능 극대화를 통해서 프레임리스 타입의 중공형 고토크용 직구동 전동기를 개발하여 상품화하고 있음
- 독일의 SIEMENS社의 경우 다양한 용량 및 토크 범위의 직구동 전동기 및 드라이브를 개발하여 공작기기를 비롯한 장치산업 분야에 제품을 공급하고 있음
- 독일의 OSWALD社의 경우 저속 고토크 직구동 서보전동기 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
- 직구동 전동기 구동에 요구되는 중공형 센서의 구성에 있어서는 멀티턴 절대치 엔코더의 정전 시 위치 변화 감지기능 내장이 필수적임
- 소형 경량화 및 소비전력량 저감, 우수한 유지보수성 및 소음 특성을 갖춘 영구자석 동기 전동기(PMSM : Permanent Magnet Synchronous Motor)에 대한 수많은 연구 개발이 진행중이며, 이를 토대로 다양한 철도건인용 전동기의 개발이 진행중임

[표 16] 철도차량에 PMSM을 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		
München 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	

[표 17] 국외 국가 기술수준

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

[표 18] 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 (%)

○ JR-east는 1995년부터 21C형 도심전차용 직접구동 시스템을 개발하고 있음. 후지전기와 공

동개발하고 있으며, 내전형(Inner-Rotor) 방식 영구자석동기전동기(PMSM)을 채용하여 경량화 및 저가격화 뿐만 아니라 유지보수필요성을 최소화함으로써 다음과 같은 효과를 얻고 있음

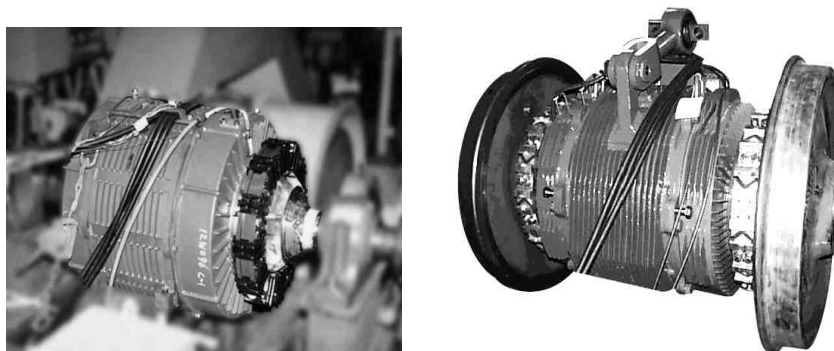
- 전동기 정토크 영역을 확장하여 철심을 경량화하고, 기술적 최적화를 통해 25%의 경량화를 달성
- 고성능 Nd계 희토류 자석을 사용하고, 온도에 의한 영구감자 방지를 위해 냉각효율 향상을 도모
- 분말자성코어 및 대형 자석을 사용하여 조립 및 제작공정 단순화를 통한 원가경쟁력 확보
- 전폐자냉식 및 윤활 Grease를 사용하지 않도록 설계하여 13년 무보수 추구



직류전동기(효율90%) 유도전동기(효율92%) 영구자석전동기(효율96%)

[그림 42] 일본 신칸센의 주전동기 비교

- 도시는 1992년부터 단순소형화, 경량화 및 에너지절감, 유지보수 최소화를 목표로 고속철도, 도시철도 및 지하철용 PMSM을 개발하기 시작하여 2006년 도시철도에 200kW급 DDM의 사업화를 시작으로 양산 모델을 다각화하고 있음



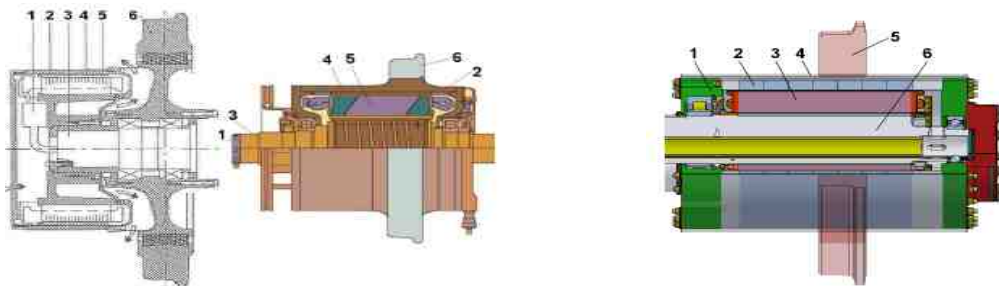
[그림 43] 후지전기의 직접구동형 동기전동기 및 차축

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



[그림 44] 후지전기의 PMSM DDM 적용 철도차량

- 철도차량의 소비에너지 및 유지보수비 저감을 위하여 감속기를 사용하지 않고 직접 차량의 차축이나 휠을 구동하는 DDM의 적용 및 이의 고효율화를 위한 연구가 유럽의 선진사 및 일본을 중심으로 활발히 수행중임
- 이러한 연구는 혁신적으로 무게를 줄이기 위한 PMSM의 연구에 집중되고 있으며, 그 설계의 방향은 다음과 같음



[그림 45] 각륜구동 PMSM의 설계 예

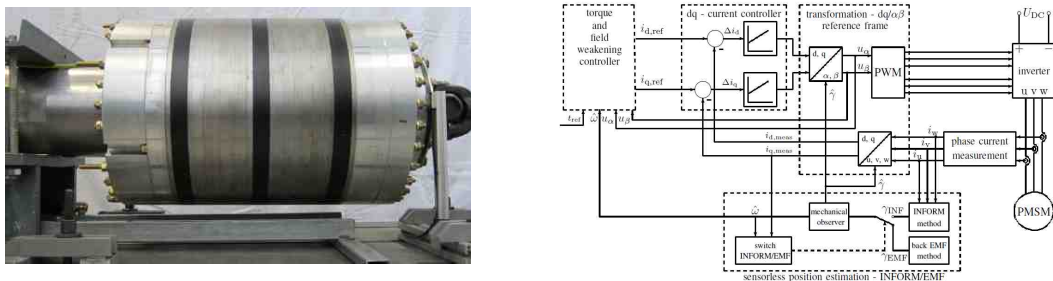
- 최적성능의 보증 및 무게 절감을 위해 가장 높은 에너지적을 갖는 영구자석을 사용한 PMSM의 설계 적용
 - 전동기의 기본 성능, 냉각성능 및 보수성을 고려한 PMSM의 극 조합 및 냉각 구조의 최적화
 - Wheel 일체형 PMSM의 조립 구조 및 신뢰성 확보를 위한 구조 연구
- 일본 RTRI는 60kW급 각륜구동 전동기를 개발함. 좌우 차륜이 독립적으로 회전하는 방식이기 때문에 각 전동기의 회전자는 차륜에 설치된 베어링과 전동기에 설치된 베어링에 의해 지지되는 구조로 좌우의 차륜이 독립적으로 회전함. 직선부의 주행 안정성 향상이나 미끄러지는 곡선 통과성능 향상 등의 장점이 있고, 좌우가 기계적으로 독립이기 때문에 궤간 조정이 가능하므로 궤간가변 대차에 적용함으로서, 차륜 일체형 전동기의 큰 특징 중 하나가 됨. 현재 요산선 시험을 완료하여 실용화하였으며 축당 용량이 120kW수준으로 차

량에 따라서는 용량으로 인해 적용 한계가 있다는 단점이 있음.



[그림 46] RTRI의 궤간가변 차량 적용 각률큐동 전동기

- 오스트리아 Vienna 공대는 Bombardier와 함께 각률큐동을 위한 In-wheel PMSM 및 Sensorless Driver Proto type을 제작하여 기존의 유도전동기와 성능 및 효율을 비교하는 등 상용화 노력 중



[그림 47] Vienna 공대 PMSM 시제품 및 제어 개념도

- 스웨덴 KTH에서도 스웨덴의 Green Train 및 오스트리아 Bombardier 등과 PMSM관련 DDM에 관한 연구가 시제품 제작 및 시험, 실차 시험 등을 실시

2. 조향대차 기술동향

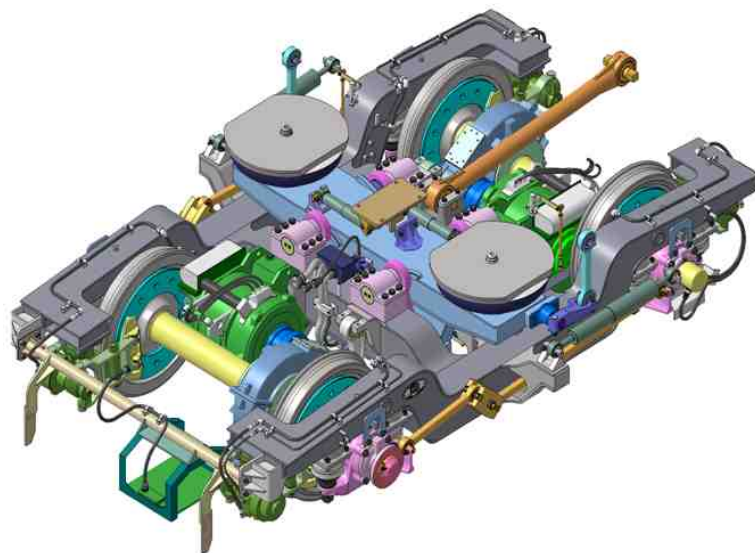
가. 국내 기술동향

- 한국철도기술연구원은 그동안 철도분야 인터페이스 설계/관리 및 설비성능 최적화 설계/관리기술을 선도
 - 고무차륜 AGT(Automatic Guided Transit : 자동무인운전 경량전철)시스템을 개발하기 위해 관련 기술을 부분적으로 적용하였으며, 시스템 개발을 위한 목표사양 정의, 시험선 건설 및 종합시험평가 등을 수행
 - 한국철도기술연구원은 350km/h 한국형 고속전철 기술개발사업, 200km/h 틸팅열차 기술개발사업 등을 주관하면서, 시스템 개발의 성공을 위해 시스템 기술개발 관점에서 관련 기술을 적용함
- 서울메트로, 한국철도시설공단 등에서 관련 기술 인력양성 및 기반기술 축적에 노력하고 있으나, 이를 사업에 적용하기에는 미흡한 실정이며, 기타 운영 기관에서는 기술이해 및 기반기술 확보 준비 중임
- 현대로템(주), 우진산전(주) 등에서 철도차량분야에 대한 관련 기술 경험을 보유하고 있으나, 상위 시스템 수준의 기술 확보는 미미한 실정임
- 국내 여건으로 국내 철도 사업의 경우 해외 선진국의 엔지니어링 관련 기관들이 국내 시장을 거의 독점하고 있는 실정이며, 국내 기업은 해외기업의 하부 기관형태로 참여하고 있음
 - 국내에 진출한 주요 해외기관 : 이태리 디아폴로니아(부산-김해 경량전철), 캐나다 봄바디어(용인경량전철), 독일 지멘스(의정부경전철), 일본 코벨코(부산지하철 4호선) 등
 - 국내 업체 : 한국철도기술연구원(고무차륜 K-AGT 개발), 현대로템(차량제작사), 우진산전(차량제작사), 유텍코리아(신분당선, 경량전철 시스템엔지니어링 체계개발 국책과제) 등

[표 19] 국내 경량전철 시스템엔지니어링 적용 현황

프로젝트	주관사	SE 수행	사업비(억원)	비 고
부산~김해	현대산업	이태리 디아폴라니아	92	영업운전중
용인	봄바르디아	캐나다 봄바르디아	158	영업운전 준비중
의정부	GS건설	독일 지멘스	314	시운전중
신분당연장선	두산건설	미국 DMJM+유텍코리아	150	영업운전중
우이~신설	포스코	포스코(해외협력)	46.5	시행중
반송선	우진산전	일본 코벨코	120	영업운전중
광명경량전철	고려개발	LS산전+일본MHI	150	계약단계
계			1030.5	

- 도시철도 차량시스템 개발 방향은 저비용 건설이 가능하도록 하기 위해 노선 설계시 도로와 동일한 노선으로 설계가 가능하고 터널 단면을 최소화 할 수 있어야 함. 이는 곡선 주행성과 고속성을 만족시킬 수 있는 기술이 개발되어야 함
- 국토해양부 과제로 “무가선 저장트램 차량시스템”이 개발되고 있으며, 현재 기술목표사양은 설계 최고속도 70km/h, 최소곡선반경 25m, 2차 전지(Battery)를 이용한 무가선 방식 등으로 개발이 진행되고 있음. 대차측면에서 최소곡선반경 25m 주행에 관한 연구임.(2009. 12 - 2013. 4, 3년 5개월)
- 2001년부터 시작된 “기존 철도기술개발사업”의 한국형 틸팅열차에 조향시스템을 적용하고 있으나, 자기조향 방식으로 조향성능이 기존 철도차량에 비해 향상되었으나, 급곡선이 많은 도시철도에 적용하기에는 무리가 있음
- 도시철도가 안고 있는 가장 큰 기술적 문제인 곡선 주행에 따른 마모, 소음 문제 해소를 위한 기술 수요에 대응하기 위해 한국건설교통기술평가원 기획과제로 ”도시철도차량용 능동 조향대차 기술개발 기획연구“(2010. 12 - 2011.6)가 아주대학교에 의해 수행된 바 있음
- 곡선 주행기술의 경우, 국내 기술 현황으로는 한국철도기술연구원이 개발한 ‘틸팅차량용 자기조향 주행장치 기술’이 과학기술부가 주관하고 한국산업기술진흥협회가 시행하는 신기술(NET)인증을 받았음



[그림 48] 한국형 틸팅열차의 자기조향 대차

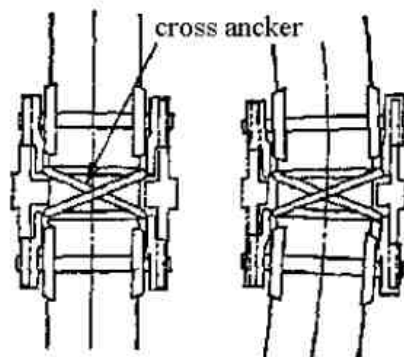
- 이 기술은 곡선 구간 주행 시 차축이 스스로 곡선방향으로 정렬되도록 하는 자기조향장치와 차체를 기울이는 틸팅장치를 차체와 레일 사이에 있는 주행장치에 장착하는 것임. 여기서 자기 조향장치는 기차 바퀴와 선로 사이에서 발생하는 힘을 감소시키고 틸팅장치는 승객에 부가되는 원심력을 감소시키는 역할을 함. 이를 통해 틸팅열차는 직선구간에서 최고속도 200km/h에서 안전하게 주행이 가능하며, 곡선반경이 300m일 경우 일반열차가 70km/h로 달리는 곡선 구간을 틸팅열차는 100km/h로 달릴 수 있음

- 국내 독자기술로 개발된 이 장치는 현재 완성차량을 시험 중인 한국형 틸팅열차에 적용되었고 한국형 틸팅열차는 2001년 시작된 건설교통부 국가연구개발사업인 ‘기존선 속도향상 기술개발 사업’의 일환으로 개발됨

나. 국외 기술동향

(1) 수동형 조향대차

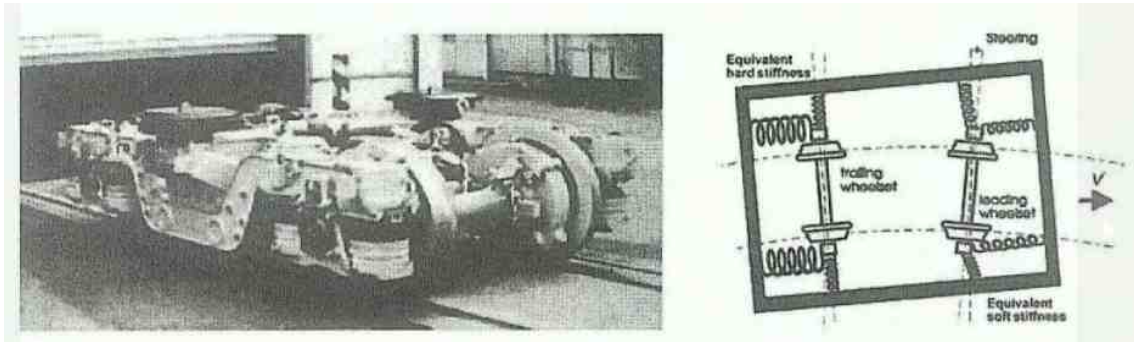
- 자기조향대차는 윤축의 자기 조향성을 이용한 대차로 링크를 이용하는 방식이나 일차현가계의 전후강성을 이용한 방법 있음. 이는 cross anchor와 같은 링크기구 등을 이용하여 주행안정성과 곡선추종성능 모두를 도모하는 대차이고 이 종류의 대차로서 실용화되고 있는 대표적인 것이 남아프리카 연방의 Scheffel 대차임. Scheffel 대차는 남아프리카연방 철도에서 시작 시험된 후 1970년대에 실용화됨. cross anchor의 기능은 2개의 윤축의 상대 변위 모드를 고려하여, 등가전단모드를 구속하고 등가 굽힘 모드는 허용하는 것임
- 곡선 주행시 2개의 윤축은 곡선에 따라 선회하는 것이 가능하고 기타의 운동은 구속하는 것에 따라 안정화를 도모할 수 있음. 그 때문에 통상의 대차보다도 동일 한 안정성을 유지하면서 조향성능이 향상됨. Scheffel 대차는 그 이후에 cross anchor가 여러 형태로 변경되어 점차 개선된 성능의 대차로 발전됨



[그림 49] Scheffel 자기조향 대차

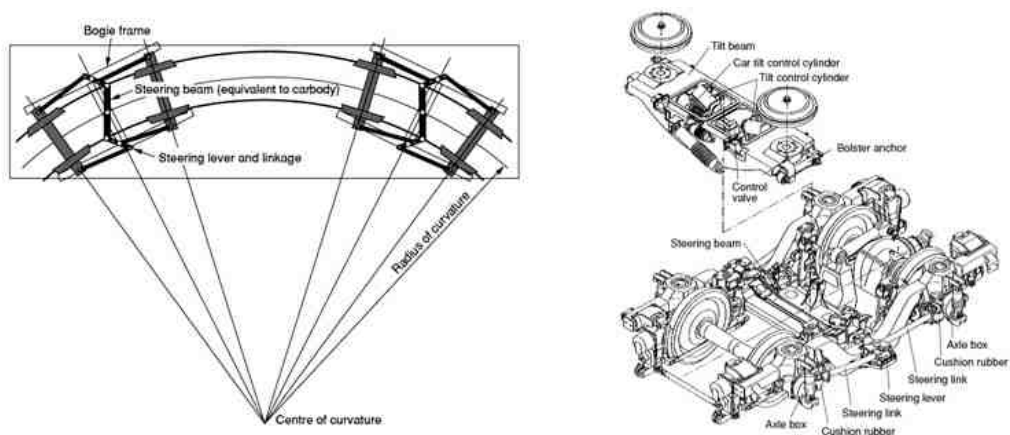
- 일차현가계의 강성을 이용한 자기조향 방식의 대표적인 것은 일본에서 실용화된 전후 축 비대칭 강성 조향대차임. 기존의 대차는 직선선로에서의 주행안정성 향상에 초점을 두고 윤축을 지지하는 축 스프링의 전후강성을 경하게 함으로서 곡선에의 윤축의 조향성능이 취약하고 횡압 증가의 원인이 되는 구조임
- 이에 비해, 전후 축 비대칭 강성 조향대차는 전축의 전후강성을 유연하게 하여 자기조향성능을 강화하고 후 축의 전후강성은 기존의 강성을 유지하고 직선 선로에서의 주행안정성을 담당하는 구조임. 이 대차는 JR 도카이 특급차량에 실용화되었으나 구조가 간단하여 적용성 및 유지보수성은 양호하나 횡압저감에는 한계가 있고 볼스타리스 대차이외의 대차에

는 진행 방향의 교환이 필요한 단점이 있음



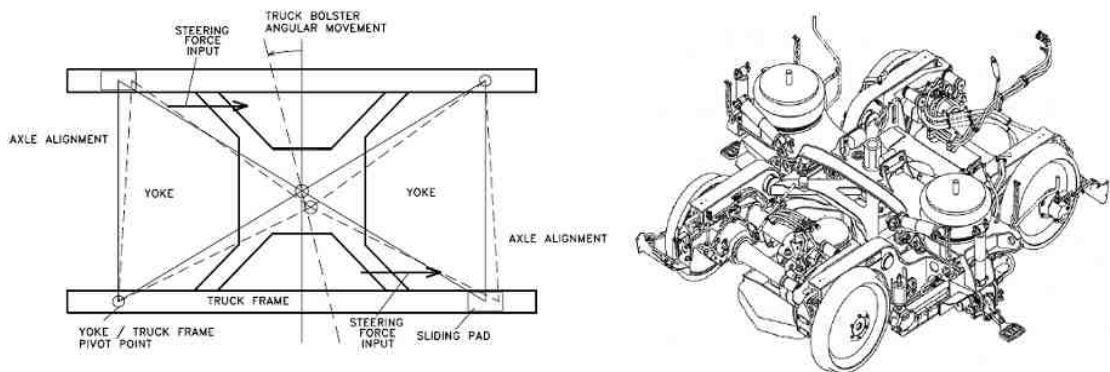
[그림 50] 전후축 비대칭 강성 조향 대차

- 강제 조향 대차는 차체와 대차사이의 상대 변위나 윤축과 대차사이의 상대 변위를 링크 등의 기구학적 구조를 이용하여 증폭한 후 이 힘을 이용하여 윤축을 선회시키는 방법임. 설계에 따라 공격각을 영으로 만들 수 있으며 구조가 다소 간단하여 실용화가 용이함. 일본에서는 1984년에 당시 시험대차 DT953을 제작하여 각 조향방식을 적용하였고 이에 대한 곡선주행시험을 수행한 것이 이 분야에서 큰 출발점이 됨
- 강제조향 대차의 대표적인 시스템으로 JR 홋카이도에서 틸팅 시스템과 병행하여 사용된 z-link 방식임. 이 시스템은 반경이 작은 곡선이 많고 궤도 조건이 취약하여 큰 횡압이 걸리던 노선에 투입되어 횡압을 본래 대차의 30~50% 정도 저감시킴. 아래 그림은 z-link 방식의 대표적인 대차 시스템인 JR 홋카이도 시리즈 283 DMU 대차 시스템임
- 곡선을 주행할 때의 레일에 주는 횡압을 최대한 저감할 수 있도록 아래 그림과 같은 대차 각연동 Z-링크식 윤축 조향장치를 개발·적용함. 즉, 윤축을 대차프레임에 대하여 전후방향(레일방향)으로 유연하게 지지하고, 대차가 곡선에 진입하여 자기 조향성에 의해 차체에 대하여 선회하는 각도(대차각)를 링크기구에 의하여 윤축으로 전달하고, 윤축의 축중심이 곡선의 곡률중심으로 향하도록 강제적으로 조향시키는 방식임



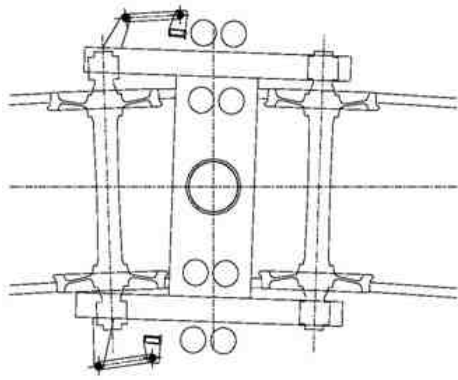
[그림 51] 대차각연동 Z-링크식 조향대차

- 강제조향 대차의 또 다른 메커니즘으로 현재 실용화 되어 있는 방식은 대차 각 연동 조향 대차 시스템으로 유도조향대차라고도 불리는 시스템임. 이 방식은 캐나다의 Sky train에 적용되어 실용화 되었으며 MK-I, MK-II 시스템을 거쳐 용인경전철 시스템에도 적용 된 것으로 알려져 있음
- 조향의 기본 원리는 차체와 대차프레임간의 상대각을 조향링크로 윤축에 전달하는 방식으로 선두 대차의 경우, 대차는 차체에 대하여 좌로 회전하는 요(yaw)운동을 한다면 선두 윤축과 결합된 링크와 차체와의 결합 점은 뒤로 향해 이동하게 되고 윤축을 조향 시키게 됨. 마찬가지로 후 축 링크도 후방으로 이동하고 윤축을 조향시키는 방식임



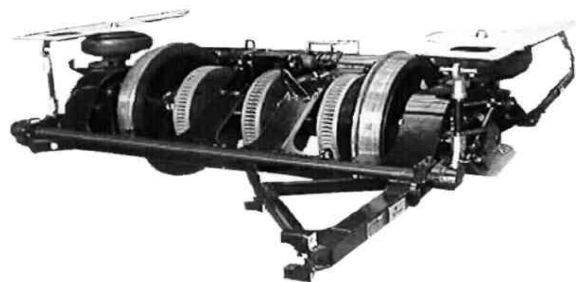
[그림 52] 대차각연동 유도조향대차

- 일본 철도 총연은 차체경사중심을 낮게 하거나 경사제어의 응답성을 향상한 신형 틸팅장치와 여객차용 대차로서는 일본 최초의 윤축 조향장치 등을 구비한 차체경사기구와 차체경사제어실린더를 틸팅프레임에 내재하는 등의 내한·내설 구조를 채용한 신형 틸팅대차를 제안하고 JR홋카이도와 공동으로 283계 틸팅식 특급전기동차를 개발함
- 강제조향대차 시스템은 링크의 적절한 구성에 의해 여러 방법으로 응용될 수 있는데 Resco사는 2003년에 강제 조향 대차 시스템을 적용한 화차를 선보임. 이 시스템은 차체와 대차의 상대변위를 이용하는 방법으로 차체와 하나의 휠셋을 링크를 통하여 직접 연결하여 곡선 주행 시 발생하는 차체의 상대 운동을 링크를 통하여 휠셋에 직접 전달하는 방법임. 차체의 상대 운동은 링크에 연결된 휠셋에 요 운동을 일으켜 휠셋을 조향하게 되고 조향된 휠셋과 대차 및 대차에 고정된 휠셋의 상대 변위에 의하여 다른 휠셋이 뒤따라서 조향되게 됨. Resco사는 이 방식을 이용하여 시험선로에서 실차 시험을 하였으며 주행 안정성 및 곡선 주행 성능의 향상을 이룩함



[그림 53] Resco사의 강제조향대차

- 2002년도 스위스의 봄바르디어사는 관절 대차용 단축 조향 시스템을 선보임. 이 대차는 최근에 차량이 보다 넓어짐과 동시에 길이가 짧아지는 추세에 맞추어 적용 예가 늘어나고 있는 관절 대차 시스템의 문제점을 극복하기 위한 방안으로 연구된 것으로서 하나의 휠셋을 가지고 있는 단축 대차와 단축 대차 사이를 링크로 연결한 관절 대차 시스템임

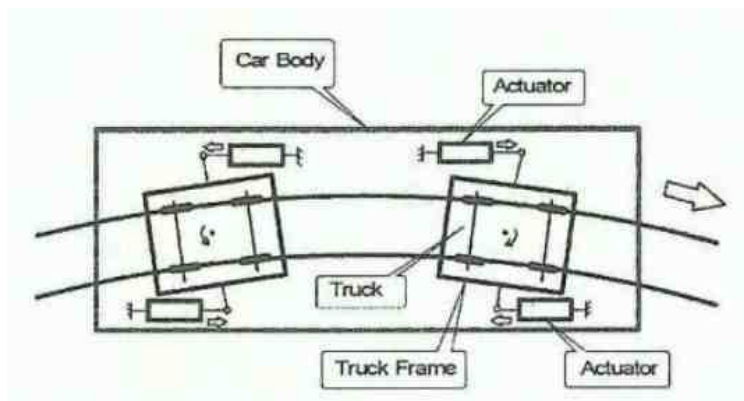


[그림 54] 봄바르디어의 단축관절 조향대차

- 좌우 차륜이 윤축에 고정되어 같은 회전 속도를 가지고 회전을 하기 때문에 곡선 주행 시 좌우 차륜의 반경차를 이용하여 조향이 이루어짐. 따라서 일차 현가계의 휠셋(wheelset)을 구속하지 않는다면 자기 조향 메커니즘에 의해 휠셋은 횡압이 최소가 되는 순수 구름(pure rolling)을 할 수 있도록 적절한 제어를 통해 조향을 일으키는 방법이 있음

(2) (반)능동 조향대차

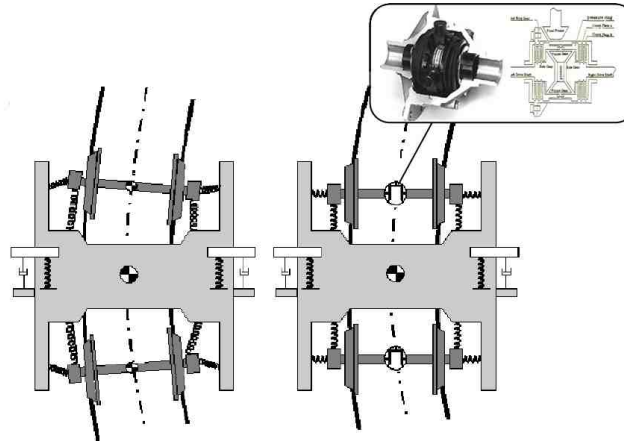
- (반)능동 조향 대차에 대한 아이디어는 1970년대 후반에 시작되었으나 그 당시 기술로는 실제 구현되기는 어려웠던 것으로 판단됨. 이후 제어 공학의 비약적인 발전에 힘입어 1990년대 중반부터 활발히 연구되기 시작됨. 반능동은 크게 4가지로 나눌 수 있음
 - 조향 운동을 (반)능동 구동 장치를 통해 직접 구현
 - 조향 운동을 차륜 답면에 의한 자기 조향으로 구현하고 (반)능동 장치는 주행 안정성을 담당
 - 독립차륜을 이용하는 방법
 - 기타
- 대차(Bogie) 각 능동조타대차로 일본 도쿄 대학의 수다(Suda)교수와 일본 교통 시스템부 그리고 스미토모 금속 테크놀로지사가 공동으로 연구한 방법으로 급 곡선 주행 시 과도하게 발생하는 차륜/레일의 마모를 저감하기 위하여 과도한 횡압 및 공격각을 줄이는 것을 목표로 대차 자체를 곡선 반경에 대하여 조향하는 방법이 있음
- 이 방법은 대차 시스템의 구성을 기존 그대로 사용할 수 있고 차체와 대차 사이에 삽입된 액추에이터를 사용하여 대차를 조향시킴. 액추에이터는 기존 철도 시스템의 요댐퍼(yaw damper)를 대체하여 사용됨. 능동 액추에이터의 고장 및 오작동시 발생할 수 있는 신뢰성 저하 문제를 극복하기 위하여 능동 액추에이터와 병렬로 기존 수동형 요소를 유지하는 방법도 제시됨



[그림 55] 대차 각 능동 조타 대차의 개념도

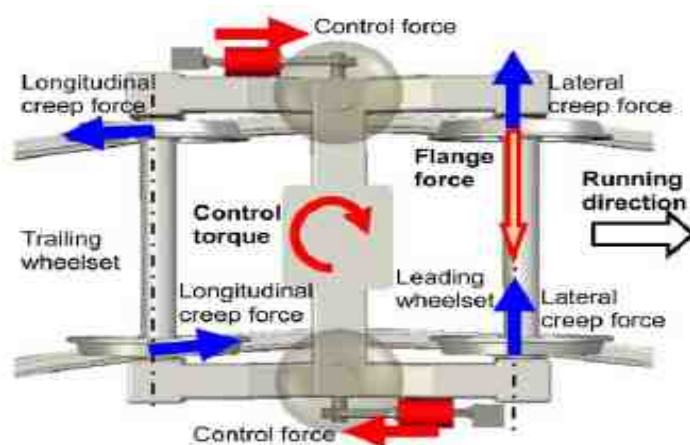
- 차동 기어(Differential gear)를 이용한 조향 방법은 ITTS사의 Gajdar가 제안한 방법으로 고정 축에 연결된 좌우 차륜의 회전 속도가 같음으로 인해 발생하는 조향 성능의 저감을 자동차의 차동 기어와 같이 철도에 차동 기어 시스템을 적용하여 해결하고자 하는 방법임. 직선 궤도를 주행 시에는 좌우 차륜이 같은 회전 속도를 가지며 주행을 하게 되고 곡선 주행 시에는 차동 기어에 의하여 좌우 차륜이 서로 다른 회전 속도를 가지게 됨. 독립 차륜의 문제점 중 하나로 지적되는 자기 복원력 손실에 의한 주행 안정성 저하는 차동 기어 내의 클러치 시스템을 두어 직진 주행시에는 클러치에 의하여 좌우 차륜을 단단하게 고정시키고 곡선 주행 시에는 클러치를 풀어서 좌우 차륜의 독립 회전을 도모하여 해결 할 수

있음. 이 방법을 응용하면 클러치의 조작을 능동 제어 요소를 통해 자동으로 제어할 수 있는 방안도 고려될 수 있음. 아래 그림 차동기어를 이용한 철도 시스템의 조향 휠셋에 대한 개념도임



[그림 56] 차동기어를 이용한 조향대차

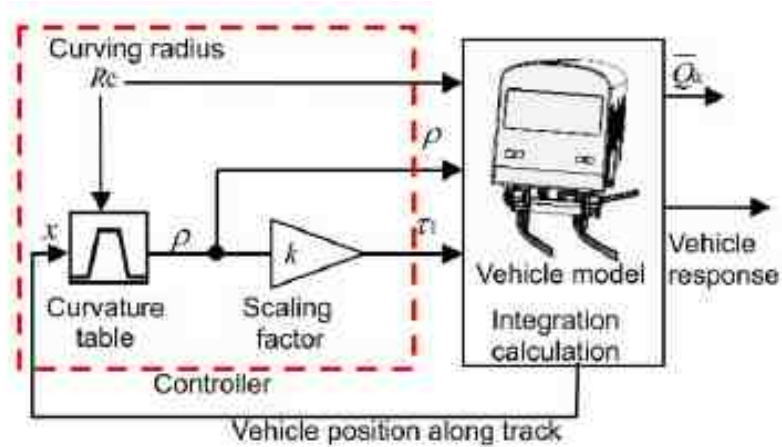
- 일본 도쿄대학의 수다교수와 일본 교통시스템부, 스미토모금속이 공동으로 대차각 능동조향제어 방법을 적용한 반차량 능동조향대차 시제를 개발하였으며 주행시험대상에서 조향 제어 실험을 수행하였음. 차체/대차간 요댐퍼를 능동 액추에이터로 대체함으로서 용이하게 구현 가능함



[그림 57] Active bogie steering 원리

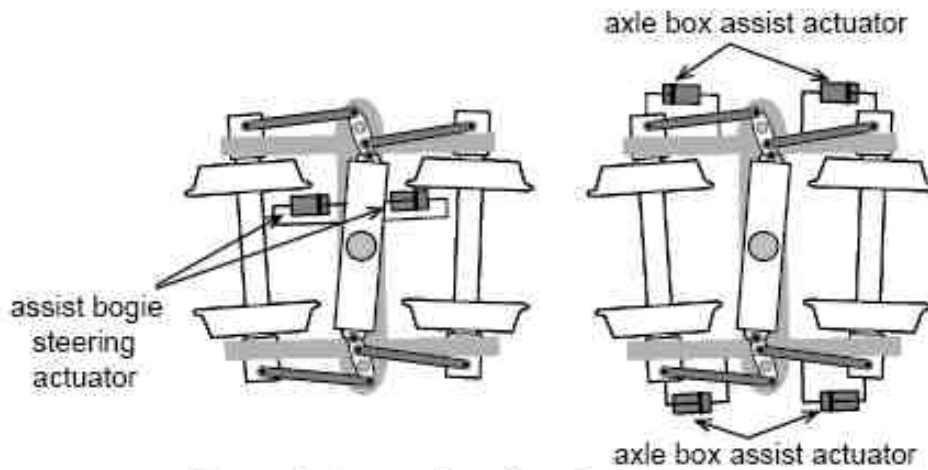
- 대차각 능동 조향제어는 곡률반경(R_c)와 곡률반경 추정값(ρ)를 입력으로 하여 보정치(k)를 곱한 제어력(F)은 아래 식과 같이 계산됨.

$$F = k(R_c) \cdot \rho$$



[그림 58] 곡률반경 정보를 이용한 조향 제어

- 어시스트 조향방식으로 일본 철도총연에서는 어시스트 대차 조향 액추에이터와 액슬박스 어시스트 액추에이터를 이용한 조향방식에 대한 연구를 수행하고 있음. 대차와 액슬박스의 요운동을 보완하는 방식으로 시제차량에 적용하여 곡률반경 100m의 급곡선에 대한 주행 시험을 수행하였음. 주행시험결과, 어시스트 대차 조향방식에 비하여 액슬박스 어시스트 조향방식의 횡압 저감 효과가 큼을 보임. 어시스트 조향방식은 기존 차량시스템의 간단한 구조 변경으로도 횡압 저감 효과를 기대할 수 있고 또한 fail-safe 측면에서 매우 양호한 방식이라 할 수 있음. 이 방식을 이용한 고속 주행 시의 조향제어 연구가 추후 진행될 계획임



[그림 59] 어시스트 액추에이터 구성

- 봄바르디어사는 “메카트로닉 대차(Mchatronic bogie)”라는 능동 제어기술이 적용된 대차시스템을 개발하였음. “메카트로닉 대차”에서 능동 제어의 목적은 주행안정성 향상과 곡선부 주행성능 향상이라는 두 목표를 동시에 충족시키기 위함. “메카트로닉 대차”는 전기 모터와 윤축의 액슬박스를 링크에 의하여 연결하고 윤축의 좌우차륜 또한 링크로 연결되어 모터가 회전하게 되면 윤축에 요운동이 발생하는 메커니즘으로 구성되어 있음. 유럽 각국 중에서 상이한 궤도시스템에 대해 향상된 호환 기능을 가지고 있으며 rotary electro-mechanical

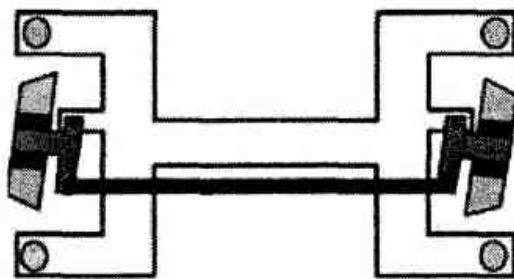
actuator를 장착한 윤축 조향제어 방식을 적용하고 있음. 현재 스웨덴 “Green Project”로 개발된 Regina 250 시제대차를 개발하여 시운전 중에 있음.

- Mechatronic Train은 저소음, 저마모, 에너지 소비 저감을 위한 친환경 주행장치로 최적의 운용조건을 제공하기 위한 능동조향, 능동현가, 틸팅시스템, 스마트 센서 기술 등이 모듈화되어 집약된 미래 원천 기술임. Mechatronic Train 기술은 응용 목적에 따라 FLEXX Tronic(mechatronic technology), FLEXX Track(track condition monitoring), FLEXX Guide (bogie condition monitoring) 기술 형태로 개발되고 있으며 다음과 같은 개발의 이점을 가지고 있음



[그림 60] FLEXX Tronic technology응용 시제 대차

- 독립차륜(Independent Rotating Wheel: IRW)은 좌우 차륜이 하나의 윤축에 고정되어 같은 회전 속도를 가짐으로써 야기되는 여러 문제를 해결하기 위하여 오래전부터 검토되어온 방식임. 조향성능을 향상시키기 위한 제어기술과 안정성을 확보하기 위한 제어 기술이 함께 적용되어함에 따라한다는 기술적 부담감이 있음.
- 따라서, 이러한 부담감을 줄이기 위해 다양한 방법이 시도되고 있는데, 대표적인 것으로 그림과 같이 좌우차륜을 동일 축으로 결합하지 않고 평행링크로 결합하여 조향시키는 방식이 있으며 전륜 측은 기존의 고정차륜을 사용하고 후륜 측에만 독립차륜을 사용하는 방법 등이 제시됨



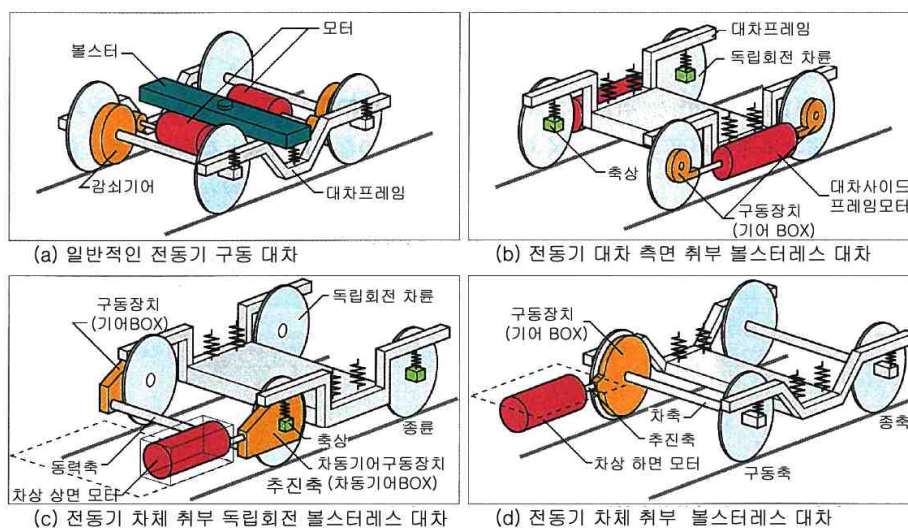
[그림 61] 독립 차륜에 의한 조향 방법

- 유럽에서는 독립차륜대차차량을 구축하고자 하는 움직임이 활발하며 일본 내에서는 기술 도입과 독자적인 기술의 파생 등으로 최근, 독립차륜대차차량 연구가 추진되고 있어 우리나라도 기술변화에 빠르게 반영할 필요가 있음



[그림 62] 유럽 독립대차 기술

- [독립차륜대차용 차량]에는 차내의 상면에 고상부와 저상부가 존재하는 [축이 있는 일부 저상차량]과 플랫폼 저상부를 실현시키고 있는 [독립차륜대차용 차량]의 2종류가 있음. [독립차륜대차용 차량]은버스와 같이 차내에 돌출된 [타이어 하우스]구조를 좌석 등에 활용하고 있음
- [축이 있는 대차의 차량]의 경우에는 아래 그림 (a)에 나타낸 것처럼 일반적으로 볼스터 부착 보기 대차(차체에 대해 회전을 허용하는 대차)를 사용할 수 있는데 대차 중앙부에 볼스터와 모터 등이 있음



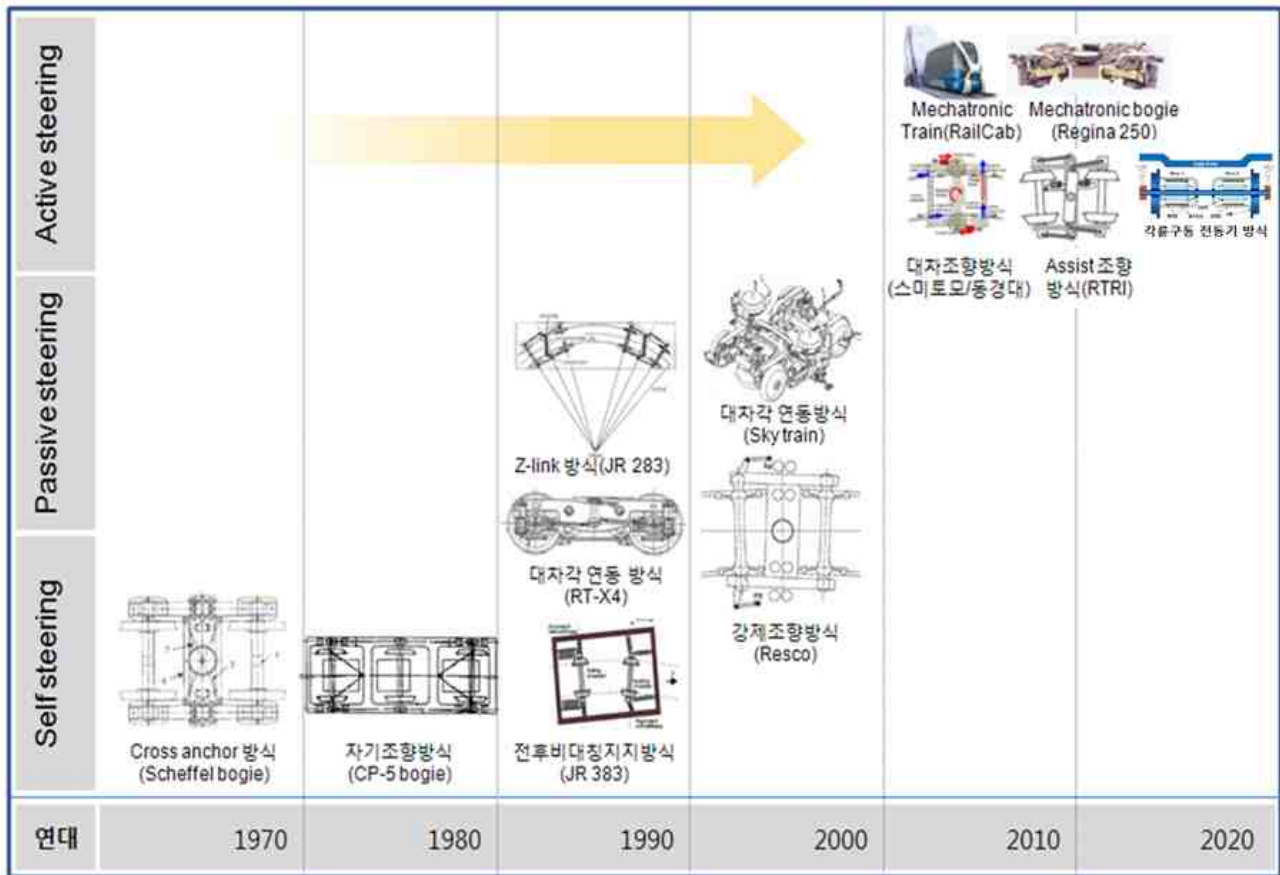
[그림 63] 독립차륜대차의 대표 구조 예시

- 독립차륜대차의 LRV(Light Rail Vehicle)는 스텝이 없는 상면을 정류소와 같은 높이로 하고 주행로에서 반경 수십m의 평면 급 곡선 주행을 실현시키기 위해 대차 구조와 차체 구성의 두 가지 방향으로 연구가 필요함

[표 20] 철도차량업체 독립차륜대차 기술수준

회사명	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
Bombardier	A32, Flexity 차량에 적용	부분 저장 기술	
		세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(100%)	
Alstom	Dualis, Regio-Citadis	Tram-Train, Train-Tram을 차별화함.	관련 특허 출원
		세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(70%)	
Siemens	AVANTO	T4라인에 실용화	
		세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(70%)	
Stadler	TANGO	부분 저장 기술	
		세계최고 기술수준 대비 상대적 수준(100%)	

- 유효 답면구배를 설정하거나 조향성능을 동시에 만족시킬 수 있는 조향대차(Steering Bogie)의 연구개발이 기술적인 대안으로 제시되고 있지만, 차륜 플랜지와 레일 접촉면 사이에서 일어나는 상기 문제점을 근본적으로 방지하기 위한 기술이 필요
- 대차(Bogie)는 2개의 차륜이 하나의 윤축에 고정되어 있고, 이러한 윤축 2~3개가 하나의 대차에 고정된 상태로 차량을 구성하게 되며 차륜과 윤축이 고정되어 있기 때문에 곡선 구간에서 원활한 조향을 보조할 수 없으며, 이로 인해 차륜/레일 간의 원천적인 공격각(Inherent Angle of Attack)을 지니게 되므로 공격각을 최소화 할 수 있는 기술연구가 필요함
- 독일의 봄바디어(Bombardier)에서 개발하여 Sweden Regina Train에 적용하고 있는 FLEXX Tronic Bogie가 유일하고 일본, 독일, 이탈리아 등 자체적인 철도기술을 보유한 여러 국가에서도 이와 관련된 연구를 활발히 진행하고 있음
- Squeal noise를 저감하기 위해서는 곡선 주행시 레일과 휠과의 마찰을 최소화할 수 있는 구조적 연구가 필요함
- 곡선통과시 좌측레일과 우측레일 사이에 곡선 거리차이로 인해 레일이 미끄럼이 발생하게 됨. 이는 좌우측레일의 곡선 주행시 회전속도 차이로 인해 발생하게 되는데 이를 해결하기 위해서 모터 제어시 각각의 휠의 속도차를 제어할 수 있는 기술이 필요함



[그림 64] 철도차량 곡선부 조향기술 발전 단계

4절. 특허동향 분석

1. 분석배경 및 목적

가. 분석배경

- 본 『곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 개발기획』은 철도분야의 전동차용 각륵구동 전동기 기술 개발에 관한 것으로서, 곡선 구간에서의 주행성능 향상을 위한 필수적인 기술을 제공하기 위하여 개발되는 것이고, 이러한 각륵구동 전동기 개발 기술은 전동기의 안정성과 효율을 모두 겸비한 최신의 요소기술의 개발과 직결되기 때문에 미래철도 기술 개발 정책 수립의 기초자료로 활용 가능할 뿐만 아니라, 새로운 시장으로써 파괴력이 크고 기술적 우위를 선점하는 경우 철도 시장의 매출 향상과 더불어 에너지 절약 효과 면에서도 큰 영향을 줄 수 있는 고부가 가치 기술임
- 또한, 곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 기술은 타 산업 분야로의 부가가치 및 파급효과가 큰 핵심산업으로, 이에 대한 국가 경쟁력확보가 요구됨

나. 분석목적

- 본 특허동향조사 보고서에서는 곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 기술을 개발함에 있어, 그 핵심 요소 기술인 PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor) 및 DDM(Direct Drive Motor) 기술을 포함하는 각륵구동 전동기 기술에 대하여 특허동향을 분석을 실시함
- 이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 주요 출원인들의 연구개발 동향 및 기술흐름을 파악하며, 기술장벽도 분석을 통한 지재권 확보 가능성 등을 도출하여, 전략적인 연구개발 계획 수립에 활용할 수 있도록 함으로써, 중복연구를 방지하고, 본 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 객관적인 특허정보를 제공하기 위함

2. 분석범위

가. 분석대상 특허¹⁾

[표 21] 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	WIPS DB	~ 2014.9	특허공개 및 등록 전체문서
	미국	WIPS DB		특허공개 및 등록 전체문서
	일본	WIPS DB		특허공개 및 등록 전체문서
	유럽특허 (EPO, 4개국 특허 ²⁾)	WIPS DB		특허공개 및 등록 전체문서

※ 질량분석구간: 한국, 미국, 일본, 유럽 - ~ 2012. 12(출원년도 기준)

※ 질량분석구간: 한국, 미국, 일본, 유럽 - ~ 2014. 9(공개·등록년도 기준)

- 1) 출원일 기준으로 분석하며, 임의적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 대에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2013~2014년 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 ~ 2012년 12월까지 한정함.
- 2) 유럽 4개 각국 특허청 : 유럽특허제도는 유럽특허조약의 회원국 사이에서 유효한 유럽특허를 부여하기 위해 만들어진 제도로써 유럽특허조약(EPC : European Patent Convention)에 따라 유럽특허청(EPO)에서 운영됨. 유럽특허청(EPC)에 출원칙과 관계없이 유럽의 각국 특허청에 출원한 특허를 포함하여 분석함. (DE, FR, GB, AT)

나. 분석대상 기술 및 검색식 도출

(1) 기술분류체계

- 본 분석에서는 해당 과제의 기획위원들과의 협의를 통해 기술분류를 확립하여 동향분석(정량분석)을 실시하였으며, 상기 동향분석에서의 기술 분야와 심층분석의 기술 분야를 동일하게 적용함

[표 22] 분석대상 기술의 기술분류체계

대분류	중분류
곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기획 (A)	PMSM / DDM (AA)
	각륜구동 기술 (AB)

(2) 기술분류기준

[표 23] 분석대상 기술분류 기준

대분류	중분류	검색개요 (기술범위)
곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기획 (A)	PMSM / DDM (AA)	- 철도 분야에 적용되는 영구자석 동기전동기 (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM) 기술 - 철도 분야에 적용되는 직접구동용 전동기 (Direct Drive Motor, DDM) 중 외륜형 회전자 방식의 전동기(outer rotor motor) 기술
	각륜구동 기술 (AB)	- 철도 분야에 적용되어 각각의 차륜이 독립적으로 구동 가능하도록 제어되는 각륜구동 기술

(3) 핵심 키워드 도출

- 한국철도기술연구원에서 제공한 각률푁동 전동기 기술 분야의 기술분류 및 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 연구원들과의 기술미팅을 거쳐 2차 키워드를 도출하였음

(4) 검색식 도출 과정

- 본 보고서에 사용된 검색식은 상기 방법을 통해 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술분류를 포함할 수 있는 검색식을 작성하였으며, 한국철도기술연구원의 검토를 반영하여 최종 검색식을 완성함

(5) 검색식

- 기술분류체계에 따른 최종 검색식은 다음과 같음

[표 24] 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	검색식(국/영문)	검색건수				
			한국 (KIP O)	미국 (USP TO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	합계
곡선주행성능 향상을 위한 각률푁동 전동기 개발 기획 (A)	PMSM / DDM (AA)	((철도* 기차* 전동차* 기관차* 지하철* 차륜* 각륜* 대차*) and ((영구* and 자석* and 동기* and (전동기* 모터*)) PMSM ((직접* 직렬* 직결* 다이렉트*) and (구동* 드라이브*) and (전동기* 모터*)) ((외전* 외륜* 아우터*) adj (로터* 전동기* 모터*)) DDM)).key.	211	3,893	1,050	721	5,875
		((railroad* railway* subway* locomotive* train* tram* metro* rail* bogie*) and ((permanent* and magnet* and synchronous* and motor*) PMSM (direct* and drive* and motor*) (outer* and rotor*))).key.					
	각률푁동 기술 (AB)	((철도* 기차* 전동차* 기관차* 지하철* 차륜* 대차*) and (독립* 각륜* 개별* 인휠* 인디펜던트* 인디펜던트* 휠마운트* * 휠마운트*) and (전동기* 모터* 로터* *)).key. (railroad* railway* subway* locomotive* train* tram* metro* rail* bogie*) and (inwheel in-wheel independent* independentwheel independent-wheel ((in independent) adj wheel) wheelmounted wheel-mounted (wheel adj mounted)) and (drive* motor* rotor*)).key.	188	2,661	1,496	975	5,320
총 계			399	6,554	2,546	1,696	11,195

- 본 분석에서는 기본 검색식 이외에도 본 과제 기술분야의 대표적 출원인들을 선별하여 출원인별 추가 검색을 수행함으로써 누락건을 최소화하였으며, 아래에 본 분석에 사용된 출원인별 추가 검색식의 일부를 나타내었음

[표 25] 추가 검색식

대분류	검색식
곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기획 (A)	((uic rtri (railway adj technical adj research adj institute) (international adj union adj railways) (deutsche adj bahn) db snCF sbb banverket (danske adj statsbaner) trenitalia sj unife (union adj european adj railway adj industries) bombardier vienna (siemens adj transportation adj systems) alstom alsthom)).AP.

다. 유효특허 선별 기준 및 결과

(1) 유효특허 선별 기준

- 곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 개발 기술의 Raw Data에 대한 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용하였으며, 유효특허 선별기준은 아래와 같음

[표 26] 유효특허 선별기준

대분류	중분류	검색식 골격	노이즈제거 및 유효특허추출기준
곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 개발 기획 (A)	PMSM / DDM (AA)	((철도* 기차* 전동차* 기관차* 지하철* 차륵* 각륵* 대차*) and ((영구* and 자석* and 동기* and (전동기* 모터*)) PMSM ((직접* 직렬* 직결* 다이렉트*) and (구동* 드라이브*) and (전동기* 모터*)) ((외전* 외륵* 아우터*) adj (로터* 전동기* 모터*)) DDM)).key.	일반적인 전동기 기술은 제외 - 전기자동차나 산업용 또는 가정용 기기에 사용되는 전동기 기술은 제외 영구자석형 동기전동기(PMSM) 개발기술 - 철도 분야에 적용되는 PMSM 기술로 한정 직접구동용 전동기(DDM) 개발기술 - 철도 분야에 적용되는 DDM 기술로 한정 - Inner rotor motor 방식은 제외하고, Outer rotor motor 방식의 전동기만을 포함
	각륵구동 기술 (AB)	((철도* 기차* 전동차* 기관차* 지하철* 차륵* 대차*) and (독립* 각륵* 개별* 인휠* 인디펜던트* 인디펜던트* 휠마운티드* 휠마운트*) and (전동기* 모터* 로터*))).key.	일반적인 독립구동형 전동기 기술은 제외 - 전기자동차나 산업용 또는 가정용 기기에 사용되는 전동기 기술은 제외 차륵의 독립 구동을 가능하게 하는 각륵구동 기술 - 철도 분야에 적용되는 각륵구동 기술로 한정

(2) 유효특허 선별 결과

○ 위의 선별기준을 통하여 유효특허를 선별한 결과 아래와 같이, PMSM/DDM기술이 49건, 각륜구동 기술이 57건 도출되었음

[표 27] 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야의 유효특허 선별결과

대분류	중분류	유효특허 건수 ³⁾				
		한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	계
곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기획 (A)	PMSM / DDM (AA)	6	7	22	14	49
	각륜구동 기술 (AB)	2	6	19	30	57
총계		8	13	41	44	106

3) 유효특허 건수는 각각의 기술 분야에 중복 포함된 특허를 모두 카운팅한 건수이며 각각의 기술 부류별 중복 포함을 제외한 유효특허 건수는 한국 7건, 미국 12건, 일본 35건, 유럽 40건으로 총 94건임

라. 출원인 명칭의 통일

- 본 분석에서는 아래 표에 나타난 바와 같이, 현재 기업이 인수 합병되거나, 도일한 지주 회사를 가지고 있는 해외 법인들의 경우, 그 출원인의 명칭을 하나의 통일된 명칭으로 통합하여 표기하였으며, 철도 기술 분야에서 널리 알려져 있는 기업이나 연구소 등의 경우 분석 그래프 상의 시인성 향상을 위하여 일반적으로 통용되는 약어로 표기하였음

[표 28] 출원인 명칭의 통일

순번	출원인 통합 전	출원인 통합 후
1	AICHI STEEL WORKS LTD	AICHI
2	AISIN AW CO LTD	AISIN
3	ALSTOM	ALSTHOM
	GEC Alsthom Transport SA	
	Alstom Technology Ltd	
	ALSTOM RENOVABLES ESPANA, S.L.	
	ALSTOM SWITZERLAND LTD	
	Alstom Wind, S.L.U.	
	지이씨 알스톰 트랜스포트 에스에이	
	ALSTHOM GEC	
	GEC ALSTHOM SA	
4	ANSALDOBREDA S.p.A.	ANSALDOBREDA
5	FI. RE. MA. System S.p.A.	FI. RE. MA. System
6	Jeumont S.A.	JEUMONT
	JEUMONT IND	
7	KAWASAKI HEAVY IND LTD	KAWASAKI
8	MITSUBISHI HEAVY IND LTD	MITSUBISHI
9	NISSAN MOTOR CO LTD	NISSAN
10	Patentes Talgo, S.A.	TALGO
	TALGO PATENTES	

마. Main IPC 분류



[표 29] 상위 5개 IPC 분류

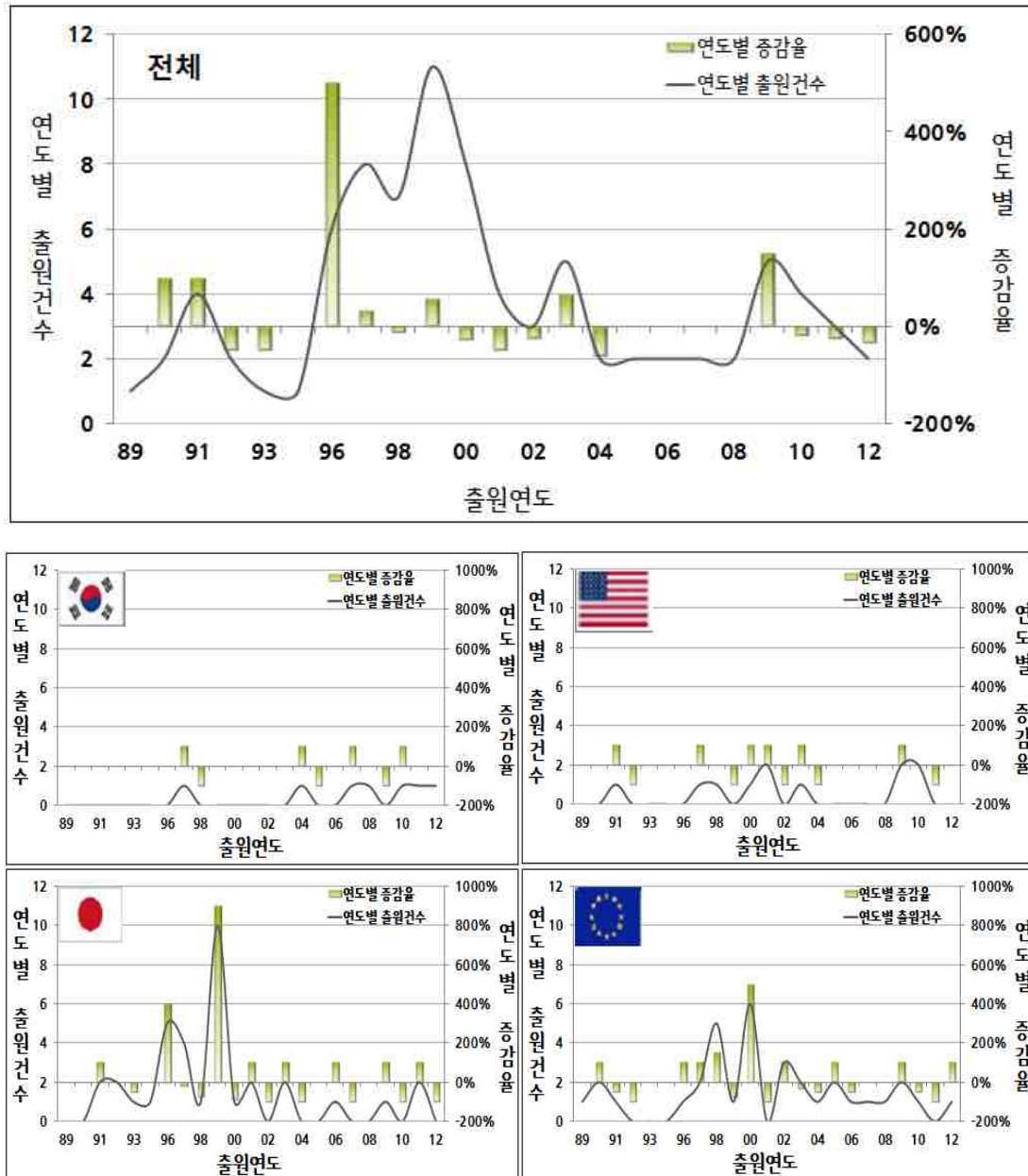
Main IPC	IPC설명	건수
B61C	기관차, 동력차	25
B61F	철도 차량 현가 장치	24
H02K	발전-전기 기계	23
B60L	전기 추진차량의 추진	11
B60B	차륜, 캐스터(caster), 차축	6

- 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야의 유효특허들에 나타난 주요 IPC들을 살펴보면, B61C, B61F 및 H02K 등의 순으로 나타났으며, 이들은 각각 기관차, 동력차, 철도 차량 현가 장치 및 발전-전기 기계 분야의 특허분류코드로서 본 과제의 기술분야는 주로 기관차, 동력차, 철도차량 현가 장치 및 발전-전기 기계 분야인 것으로 나타남

3. 국가별 Landscape

가. 주요출원국 기술개발 활동현황

(1) 주요출원국 연도별 특허동향



[그림 65] 전체 연도별 동향

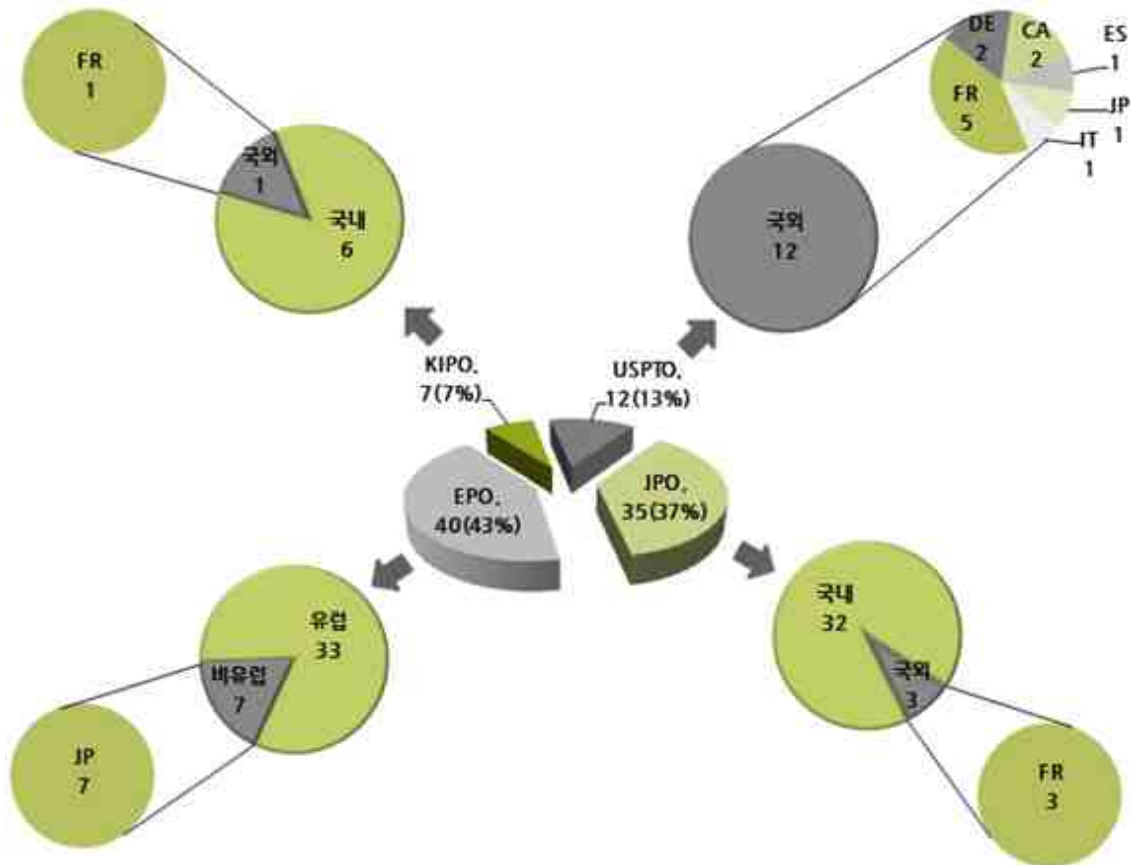
- 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 1990년대 후반부터 2000년대 초반에 상대적으로 높은 특허출원 활동이 이루어진 것으로 나타나며, 최근들어 그 특허활동이 다시 소폭 증가하고 있는 것으로 나타남
- 한국과 미국의 경우 그 출원 건수가 매우 저조한 것으로 나타나고 있어, 해당 기술 분야

의 경우 한국 및 미국의 기업 및/또는 연구기관 등이 소극적인 연구개발을 진행했던 것으로 파악됨

- 일본과 유럽의 경우 1980년대 후반부터 꾸준한 특허활동이 이루어지고 있는 가운데, 1990년대 초반부터 2000년대 초반까지 상대적으로 활발한 특허활동을 보이고 있어, 해당 기술 분야의 경우 일본 및 유럽의 기업 및/또는 연구소 등이 적극적인 연구개발을 진행했던 것으로 파악됨
- 특히, 일본과 유럽의 경우 1990년대 후반에 해당 기술 분야에 대한 연구개발 활동이 집중되었던 것으로 나타나며, 2000년대에 접어들면서부터 상대적으로 적은 특허출원 활동이 이루어진 것으로 나타남
- 전반적으로 살펴볼 때, 한국과 미국은 해당 기술 분야에 대한 특허출원 활동이 저조한 것으로 나타나며, 일본과 유럽의 경우에는 1990년대 후반에 상대적으로 활발한 특허활동이 이루어진 후, 2000년대 접어들면서 해당 기술 분야에 대한 특허활동이 감소하기는 하였으나, 최근 들어 그 특허활동이 다시 소폭 증가하고 있어, 해당기술 분야에 대한 연구개발을 다시 진행하고 있는 것으로 판단됨

(2) 주요출원국 내·외국인 특허출원 현황

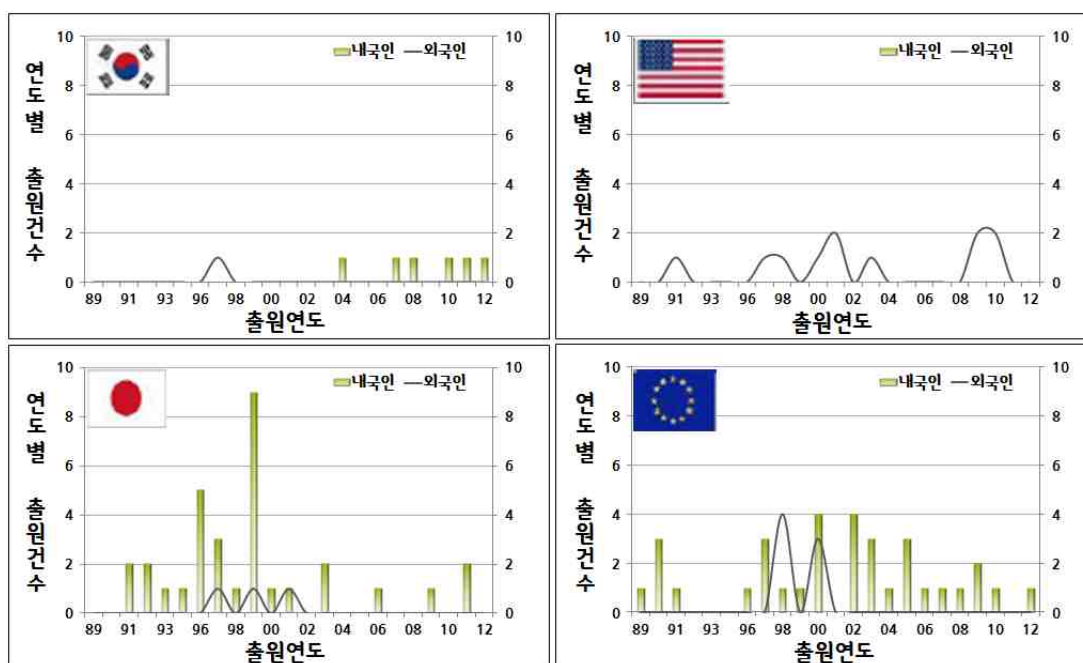
- 아래 그림은 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술과 관련하여 한국, 미국, 일본 및 유럽특허청에 출원된 특허의 자국 출원인과 외국 출원인의 구성 분포를 보여주고 있는 그래프이며, 다음 장의 그림은 자국 출원인과 외국 출원인의 연도별 특허동향을 보여주고 있는 그래프임



[그림 66] 주요출원국 내·외국인 특허출원현황

- 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야의 국가별 특허동향을 살펴보면, 유럽 및 일본에서의 출원이 각각 전체의 43% 및 37%를 차지하는 것으로 나타나, 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야의 특허활동이 일본과 유럽에 집중되어 있는 것으로 파악됨
- 한국과 미국은 각각 7% 및 13%를 차지하고 있는 것으로 나타나, 해당 기술 분야에서의 특허활동이 매우 저조한 것으로 나타남
- 출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 한국 및 일본특허에서는 자국 출원인에 의한 출원이 외국 출원인에 의한 출원보다 상대적으로 많은 비중을 보이고 있으며, 미국특허에서는 외국 출원인에 의한 특허가 대부분으로 이는 미국의 경우에는 타 주요국가 출원인들의 적극적인 진입으로부터 그 시장성이 상대적으로 높은 것으로 보임

- 유럽특허의 경우, 유럽연합(European Union, EU)에 속한 국가들과 유럽연합에 속하지 않은 비유럽 국가들로 나누어 연도별 특허 출원 동향을 나타내었으며, 그래프에 나타난 바와 같이 유럽 출원인에 의한 출원이 비유럽 출원인에 의한 출원보다 상대적으로 많은 비중을 차지하고 있음
- 한편, 한국, 미국, 일본 및 유럽특허에서의 외국 출원인을 살펴보면 대부분 일본 또는 프랑스 국적 출원인의 출원비중이 가장 높은 것으로 나타나고 있어, 해당 기술 분야의 경우 프랑스와 일본의 시장확보력이 상대적으로 높은 것으로 파악됨

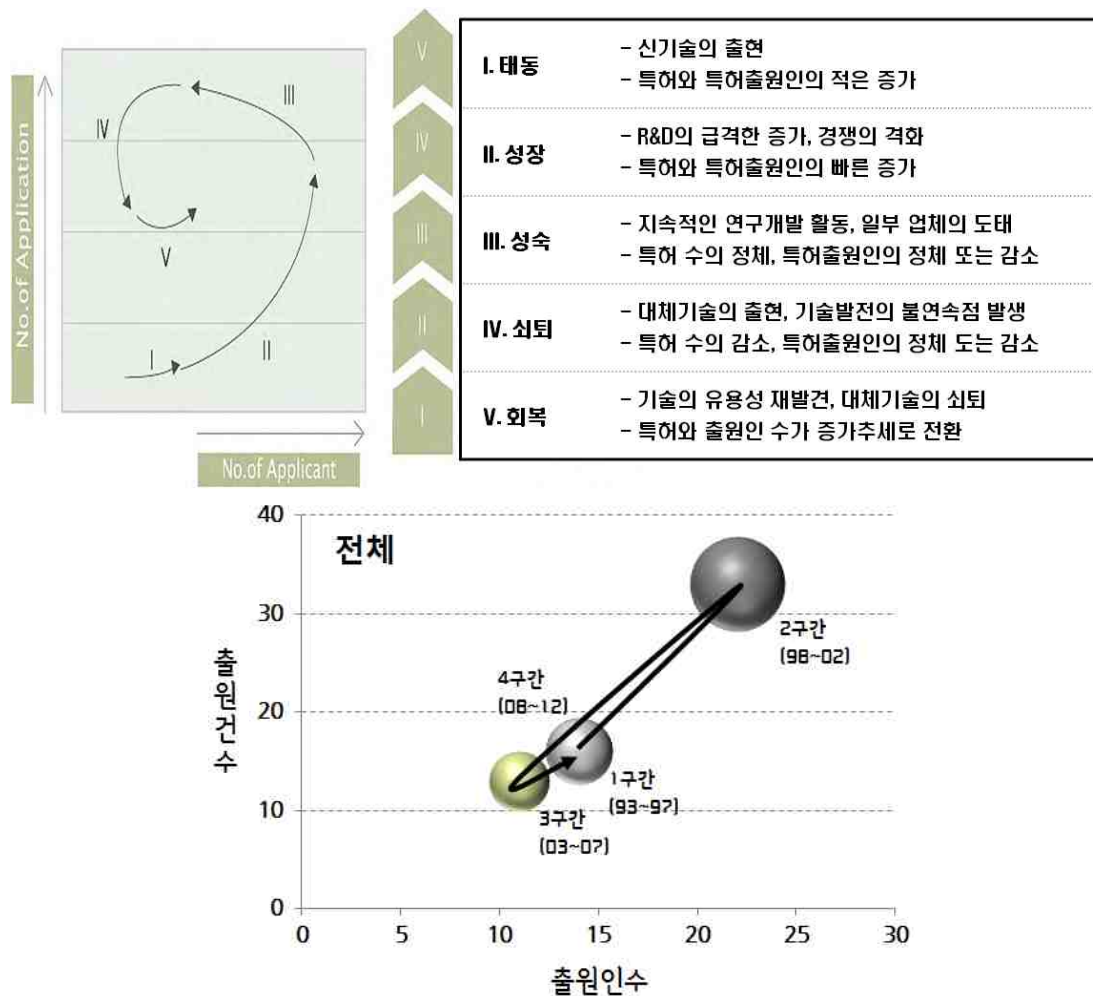


[그림 67] 연도별 주요출원국 내·외국인 특허출원현황

- 각국의 자국 출원인과 외국 출원인의 연도별 특허동향을 살펴보면, 한국 및 일본의 경우 자국 출원인의 특허활동이 전체 특허의 대부분을 차지하는 것으로 나타나 자국 출원인의 특허활동에 비해 외국 출원인의 특허활동이 상대적으로 저조한 것으로 나타남
- 이에 반해, 미국의 경우 해외 출원인에 의한 특허활동이 대부분인 것으로 나타남
- 유럽은 유럽 국가 출원인들이 꾸준한 특허활동을 보이고 있는 가운데, 비유럽 국가 출원인들의 특허활동은 1990년대 후반부터 2000년대 초반에 집중되어 있는 것으로 나타남

나. 기술 성장단계 파악

- 다음 그림들은 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야의 기술성숙도를 알아보기 위한 그래프로서 1993년부터 2012년 까지 최근 20년간 출원된 특허를 각 5년 단위로 4개구간으로 나누어 해당 각 기간 동안의 총 출원인수와 총 출원건수의 변화를 보여주고 있는 그래프임. 각 구간은 1구간(1993년~1997년), 2구간(1998년~2002년), 3구간(2003년~2007년), 4구간(2008년~2012년)으로 나누었음



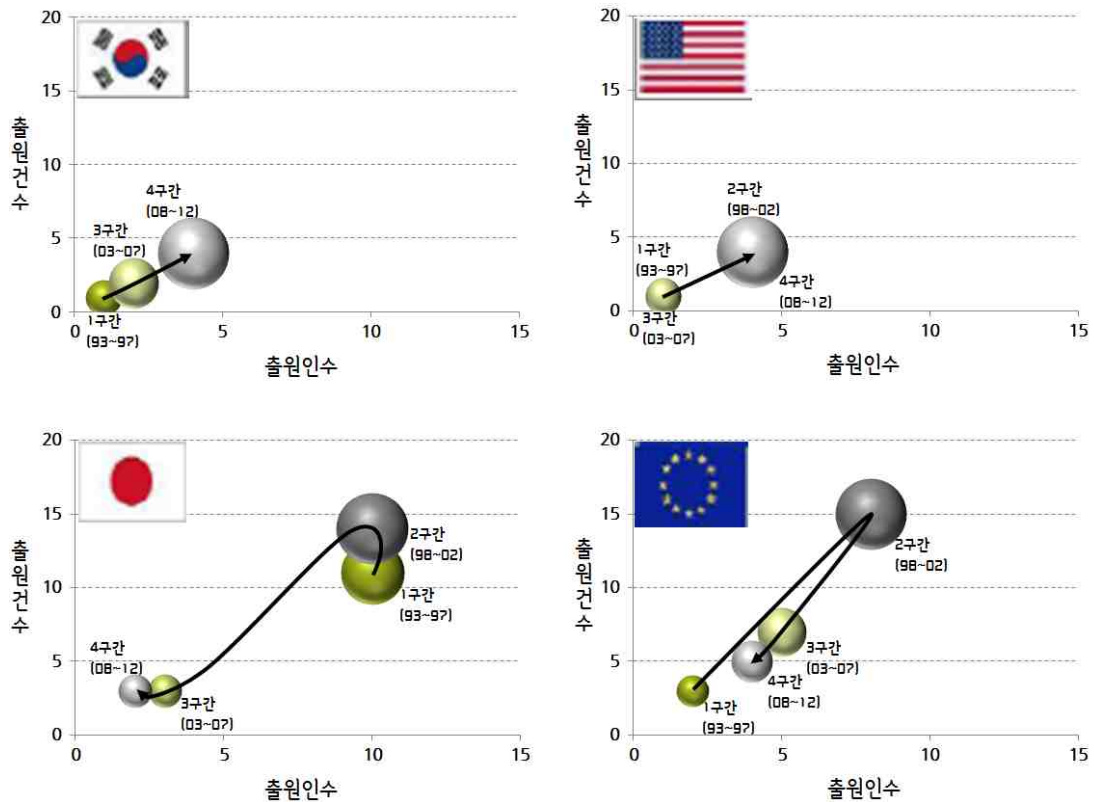
※ 분석구간 : 한국, 미국, 일본, 유럽 - '93~'97, '98~'02, '03~'07, '08~'12 (출원년도)

※ X축 : 출원인수, Y축 : 출원건수

[그림 68] 주요 4개국 통합 기술 성장단계

- 새로운 기술이 개발되면 기술 분야의 성장단계는 태동, 성장, 성숙, 쇠퇴, 회복의 단계로 특허출원양상이 나타나며, 포트폴리오 맵은 기술 분야의 현재단계가 어디쯤 와 있는지 알 수 있음과 동시에 미래의 움직임을 예측하는데 유용함
- 포트폴리오로 나타낸 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야 전체특허의 기술 위치는 1구간(1993~1997)에서 2구간(1998~2002)까지 특허출원건수 - 특허출원인수가 빠르게 증가하는 성장기 단계에 있다가 3구간(2003~2007)에서 출원건수 및 출원

인수가 급격히 감소한 이후 4구간(2008~2012)에서 다시 출원건수 및 출원인수가 소폭 증가하는 추세를 보이고 있음



[그림 69] 국가별 기술성장 단계

- 각 국가별 특허의 기술 위치를 살펴보면, 한국과 미국의 경우 1구간(1993~1997) 부터 4구간(2008~2012) 까지 전체적으로 특허출원건수 - 특허출원인수의 증가세가 소폭으로 지속되고 있어, 태동기 단계인 것으로 나타남
- 일본과 유럽은 1구간(1993~1997)에서 2구간(1998~2002)까지 출원건수 및 출원인수가 증가한 이후, 3구간(2003~2007)에서 4구간(2008~2012)까지 출원건수 및 출원인수가 감소하는 추세를 보이고 있어, 쇠퇴기에 해당하는 것으로 볼 수 있음
- 따라서, 현재 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야는 한국, 미국, 일본 및 유럽의 성장단계를 전반적으로 고려할 때 전체적으로 회복기 단계 정도에 있다고 봄이 타당함

4. 경쟁자 Landscape

가. 주요 경쟁자 현황 및 IP로 본 출원국

[표 30] 경쟁자 Landscape

출원인	출원인 국적	주요IP출원국(건수,%)					특허출원 증가율 (최근5년)	주력기술분야
		한국	미국	일본	유럽	IP출원 국종합		
		KIPO	USPTO	JPO	EPO			
ALSTHOM	프랑스	1 7%	4 27%	2 13%	8 53%	유럽	0%	PMSM/DDM, 각륜구동 기술
RTRI	일본	0	0	11 100%	0	일본	0%	PMSM/DDM, 각륜구동 기술
MITSUBISHI	일본	0	0	8 73%	3 27%	일본	0%	각륜구동 기술
TOSHIBA	일본	0	0	9 100%	0	일본	0%	PMSM/DDM
SIEMENS	독일	0	2 22%	0	7 78%	유럽	13%	각륜구동 기술
AISIN	일본	0	1 17%	1 17%	4 66%	유럽	0%	PMSM/DDM
TALGO	스페인	0	1 20%	0	4 80%	유럽	0%	각륜구동 기술
JEUMONT	프랑스	0	1 25%	1 25%	2 50%	유럽	0%	PMSM/DDM
한국철도기술 연구원	한국	3 100%	0	0	0	한국	-40%	PMSM/DDM
GUILLEMAU T HENRI	프랑스	0	0	0	3 100%	유럽	0%	각륜구동 기술
현대로템	한국	3 100%	0	0	0	한국	-40%	PMSM/DDM

- 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 과제의 주요출원인을 추출한 결과, 프랑스의 ALSTHOM이 전체 다출원인 1위로 나타났으며, 그 뒤를 이어 일본의 RTRI, MITSUBISHI 및 TOSHIBA 등이 이 분야에서 다수의 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남. 특히, 주요출원인 Top7 중 일본 국적의 출원인이 4명으로 나타나 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야에서 일본이 두각을 나타내는 것으로 분석됨
- 이들 주요출원인들의 주요 시장국과 최근 연구활동 및 기술력, 주력 기술분야의 파악을 위하여 주요 시장국별 출원건수, 최근 5년간의 특허출원 증가율을 비교분석한 결과, 주요

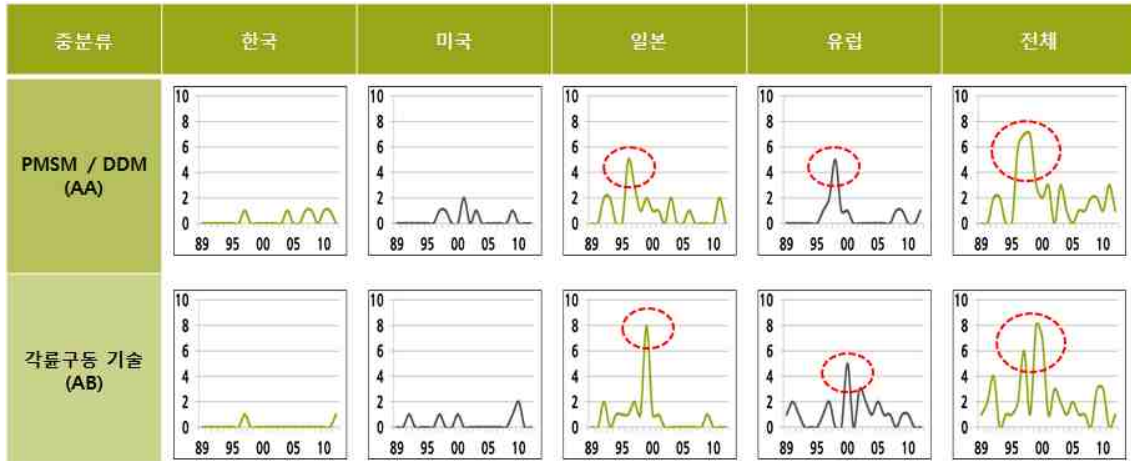
출원인들 중 유럽 국적의 출원인들은 전반적으로 주요 시장국 모두에서 특허활동을 하고 있는 것으로 나타나나, 일본 국적의 출원인 들은 자국 시장을 중심으로 활발한 특허활동을 진행하는 것으로 나타남

- 다출원인 1위인 ALSTHOM은 주요시장국 모두에서 상대적으로 활발한 특허출원을 하고 있어, 국제적인 시장경쟁력을 확보한 것으로 판단되며, PMSM/DDM 및 각륜구동 기술 두 분야 모두에서 연구개발 활동을 진행하고 있는 것으로 파악됨
- 다출원인 2위인 RTRI의 경우, 일본 내에서의 출원활동만 진행하고 있을 뿐, 타국에서의 출원은 진행하고 있지 않는 것으로 나타나며, RTRI 역시, PMSM/DDM 및 각륜구동 기술 두 분야 모두에서 연구개발 활동을 진행하고 있는 것으로 파악됨
- 또한, 상위 출원인 대부분이 일본의 기업으로 나타난 가운데, TOSHIBA와 AISIN은 PMSM/DDM 분야에서 활발한 특허활동을 진행하고 있으며, MITSUBISHI의 경우 각륜구동 기술 분야에서 활발한 특허활동을 진행하고 있는 것으로 파악됨

5. 세부기술 Landscape

가. 세부기술별 출원증가율 및 점유율 분석

(1) 세부기술별 추세선을 통한 출원증가율 분석

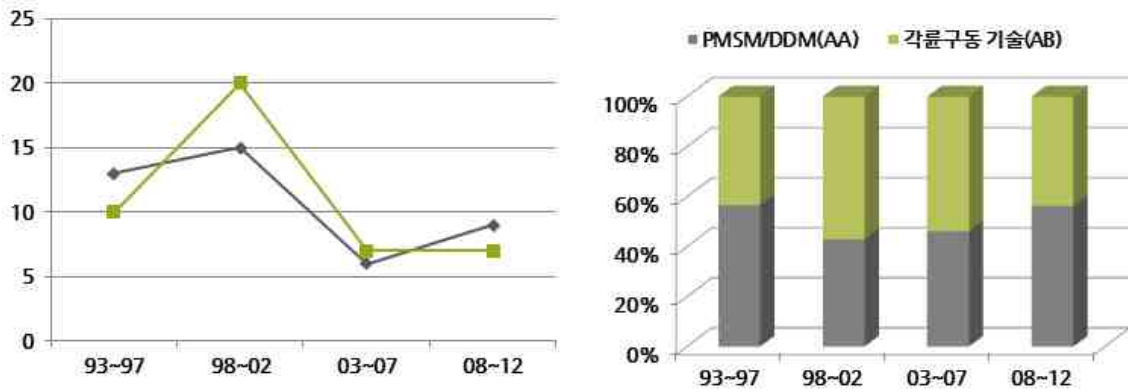


[그림 70] 세부기술별 추세선 분석

- 전체적으로 1990년대 중반 이후부터 특허활동이 활발하게 이루어지고 있는 것으로 나타나며, 1990년대 후반부터 2000년대 초반에 특허활동이 집중되어 있는 것으로 나타남
- 2000년대 중반에 들어서면서 특허출원활동이 다소 감소하기는 하였으나, 최근들어 그 출원활동이 소폭 증가하고 있는 것으로 보임
- PMSM/DDM 분야와 각륜구동 기술 분야의 기술 추세선의 변화가 유사한 것으로 나타나고 있어, 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야에서는 PMSM/DDM 기술 및 각륜구동 기술이 서로 연계되어 개발이 동시에 진행되고 있음을 짐작할 수 있음

(2) 세부기술별 점유율 분석

- 아래의 그래프에서는 각 중분류별로 연도 구간별 특허기술의 출원 경향을 알 수가 있음
왼쪽의 그래프는 출원건수를 통한 절대치를 나타내며, 오른쪽의 그래프는 세부기술에 대한 연도구간별 상대비교를 보여주고 있음

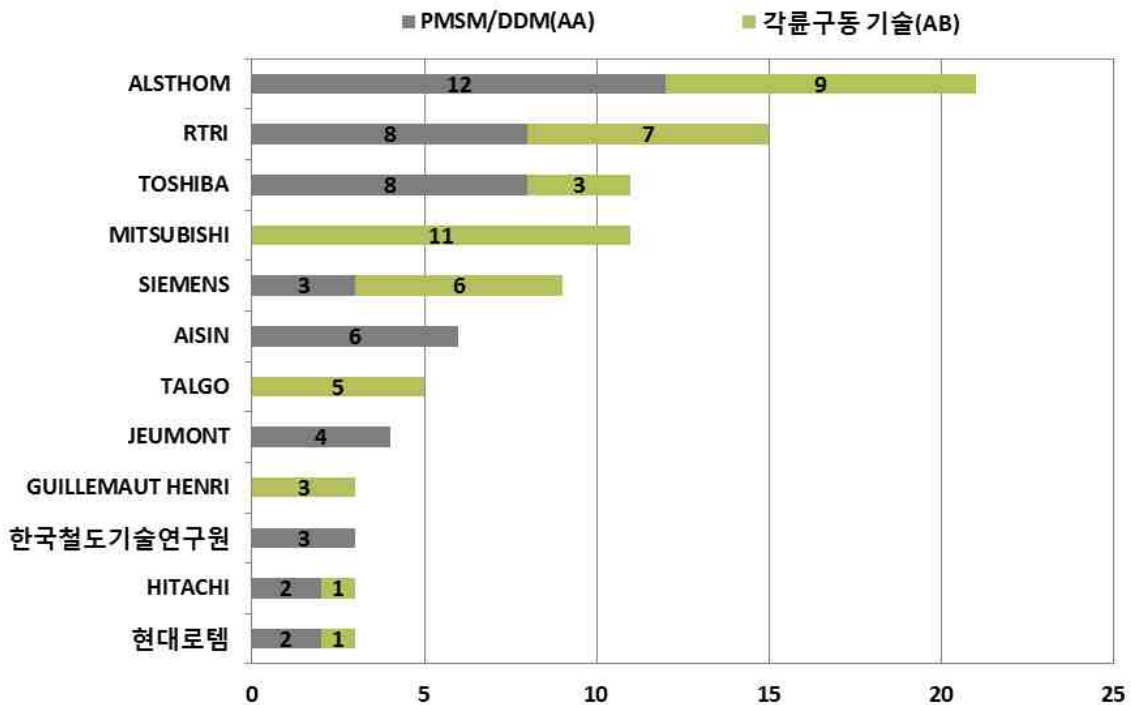


[그림 71] 세부기술별(중분류) 점유율 분석

- 곡선주행성능 향상을 위한 각률구동 전동기 개발 기술분야의 구간별 특허 출원 경향을 살펴보면, PMSM/DDM과 각률구동 기술 분야 모두 '98~02년 구간에 그 출원건수가 증가하다가, '03~07년 구간에 접어들면서 출원건수가 급격하게 감소한 것으로 나타나며, 최근 '08~12년 구간에서는 각률구동 기술 분야는 출원건수가 일정하게 유지되는 반면, PMSM/DDM 분야는 그 출원건수가 소폭 증가하는 추세를 보이고 있음
- 세부기술별 점유율 변화를 살펴보면, PMSM/DDM 분야의 출원비중이 점차 감소하다가 최근 들어 그 출원비중이 소폭 증가하는 것으로 나타나나, PMSM/DDM 및 각률구동 기술 분야의 출원비중이 전체적으로 큰 차이는 없는 것으로 나타남

나. 세부기술별 주요출원인 동향분석

- 세부기술별 주요출원인의 동향을 살펴보면, 곡선주행성능 향상을 위한 각륵구동 전동기 개발 기술 분야의 주요 출원인으로는 프랑스의 ALSTHOM과 일본의 RTRI 및 TOSHIBA 등이 이 분야에서 다수의 특허를 출원하고 있는 것으로 관찰되었으며, 프랑스의 ALSTHOM과 일본의 RTRI, TOSHIBA 및 AISIN은 PMSM/DDM 기술분야에 상대적으로 많은 특허출원을 보이는 것으로 나타나며, 일본의 MITSUBISHI, 독일의 SIEMENS 및 스페인의 TALGO는 각륵구동 기술 분야에 그 출원비중이 높은 것으로 파악됨
- 특히, 일본의 MITSUBISHI 및 스페인의 TALGO는 각륵구동 기술 분야에 집중 출원하는 것으로 보이고, 일본의 AISIN 및 프랑스의 JEUMONT는 PMSM/DDM 분야에 집중 출원하고 있는 것으로 보임
- 한편, 한국의 경우 한국철도기술연구원과 현대로템이 주요출원인에 올라 있기는 하나, 그 출원건수가 매우 저조하며, 한국 기업들은 대부분 PMSM/DDM 분야에 특허출원을 집중하고 있는 것으로 파악됨

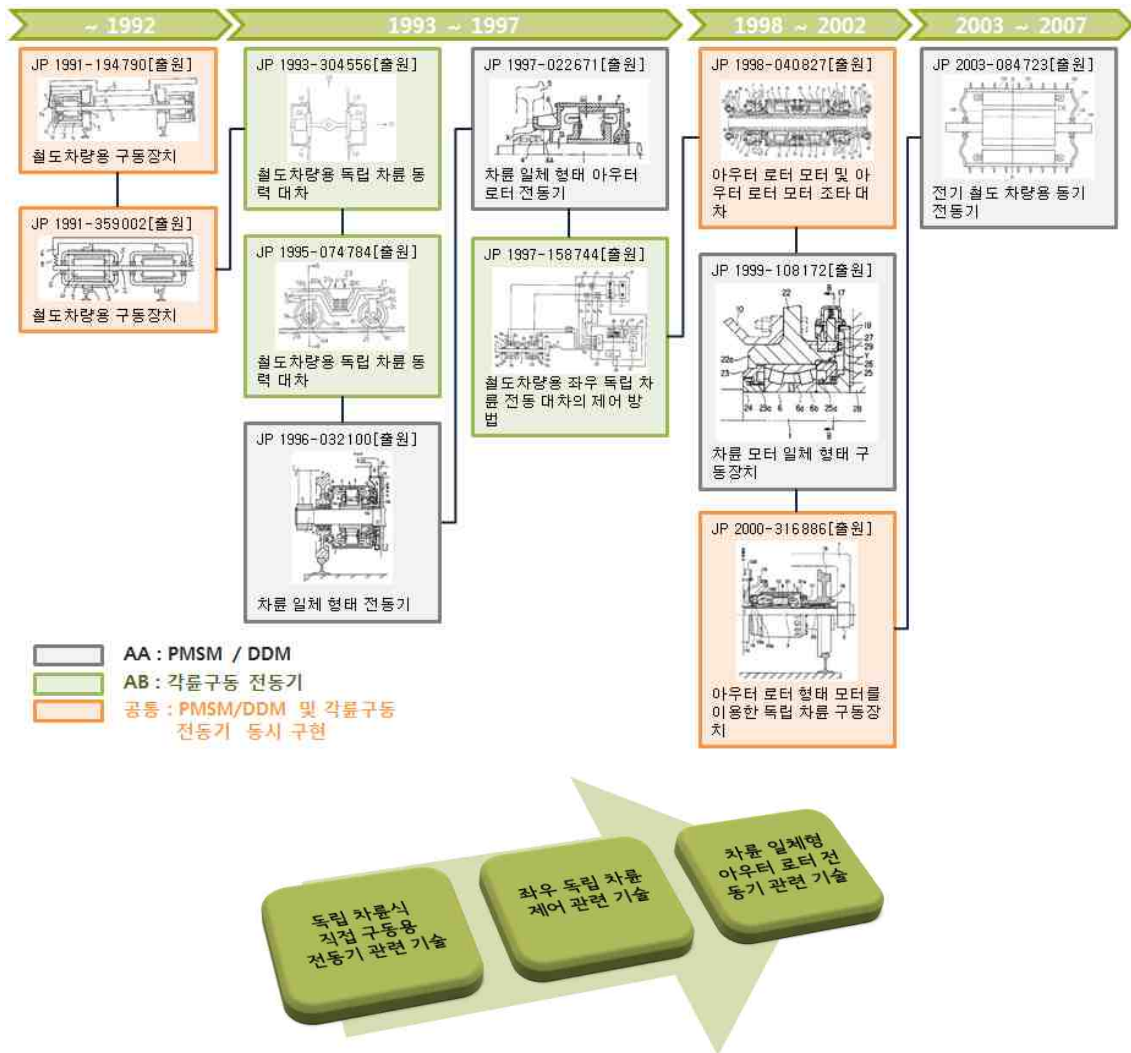


[그림 72] 세부기술별(중분류) 주요출원인 동향 분석

6. IP History 분석 및 핵심특허

가. Key Player의 IP History

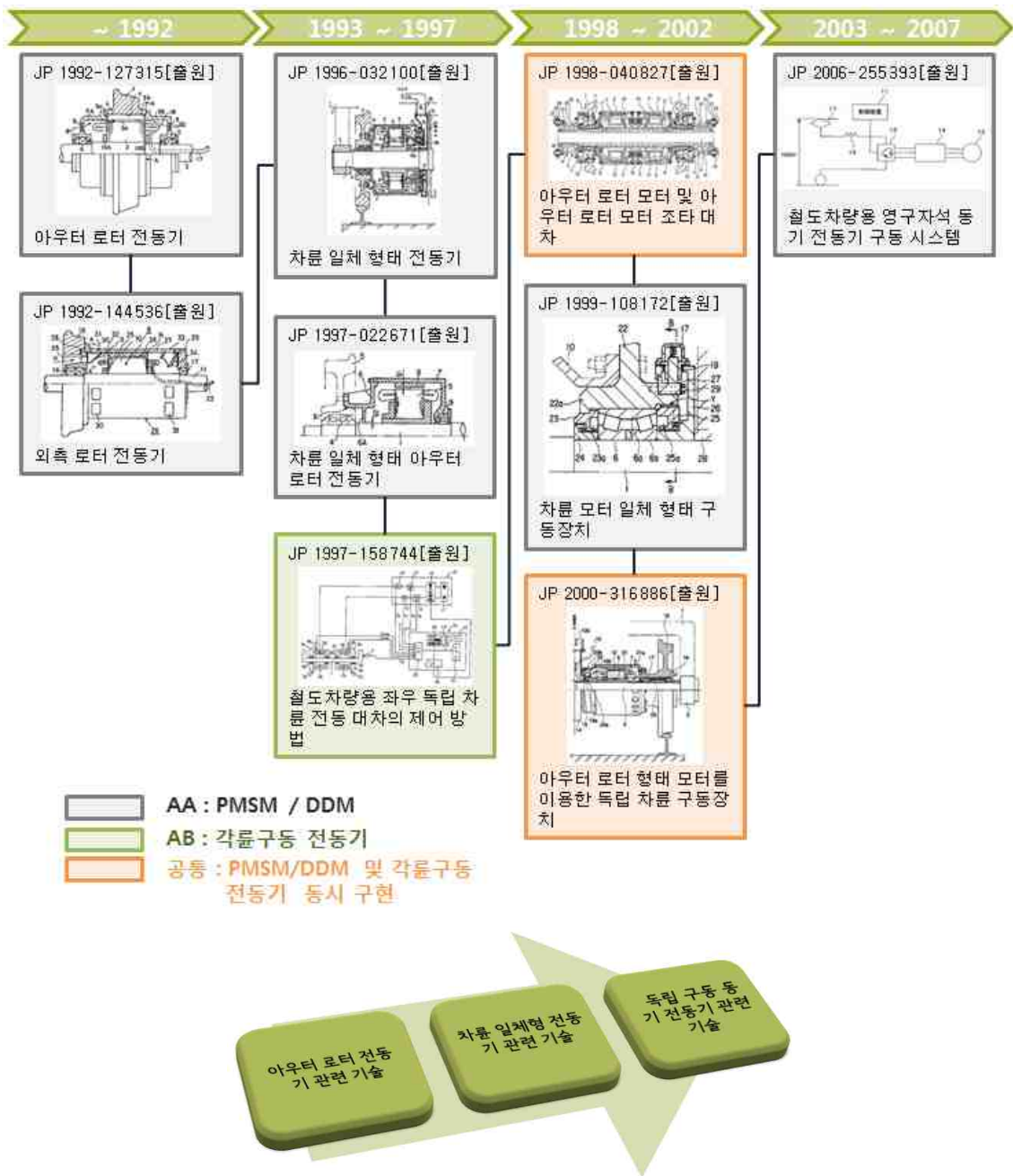
(1) RTRI(Railway Technical Research Institute)



[그림 73] 5년 구간별 RTRI의 IP-History

- 일본 RTRI의 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야에 대한 기술흐름(발전)을 살펴본 결과, 1990년대 초반에 독립 차륜식 직접 구동용 전동기 관련 기술분야에 대한 출원이 진행되다가, 1990년대 중반에 접어들면서 좌우 독립 차륜 대차 및 독립 차륜 대차 제어 기술 분야에 대한 특허출원이 이루어진 것으로 관찰되었음
- 이후, 2000년대 초반에 접어들면서부터 차륜일체형 아우터 로터 전동기 및 이를 적용한 독립 차륜 구동 관련 기술 분야에 대한 특허출원이 이루어지고 있는 것으로 나타나며, 향후 이러한 추세가 지속될 것으로 예상됨

(2) TOSHIBA

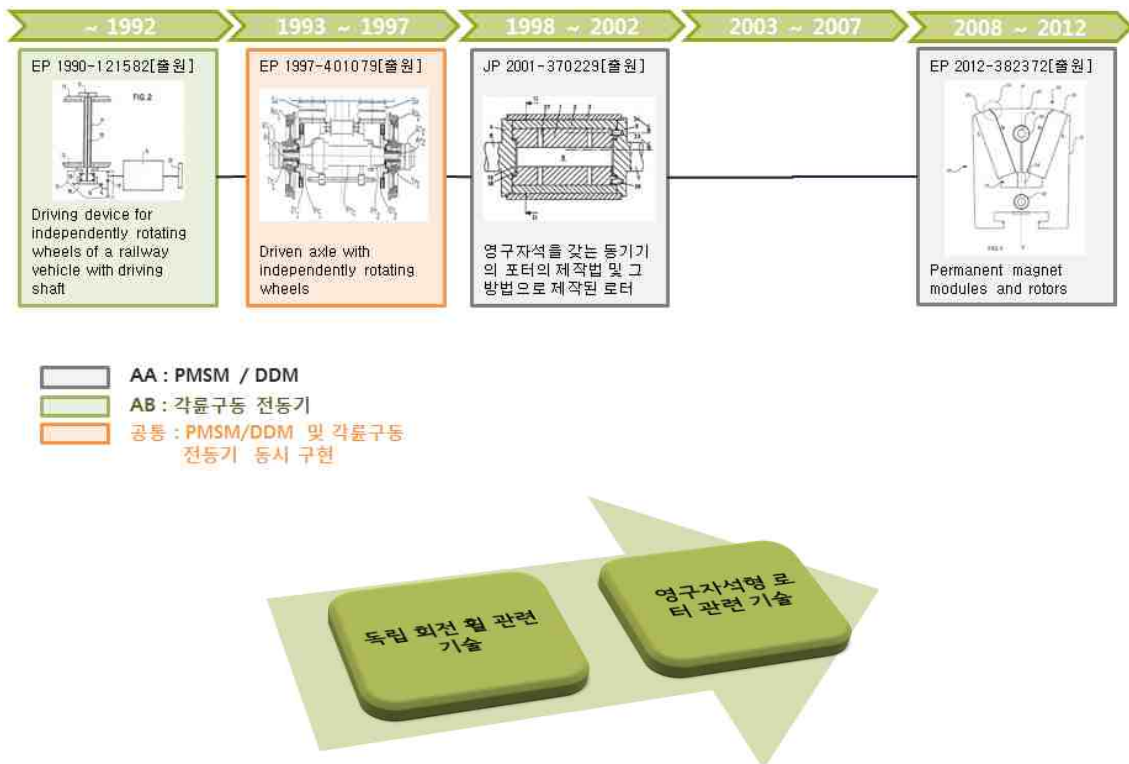


[그림 74] 5년 구간별 TOSHIBA의 IP-History

- 일본 TOSHIBA의 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야에 대한 기술흐름(발전)을 살펴보면, TOSHIBA의 경우 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야에서 주로 RTRI와 공동으로 특허출원을 진행하고 있는 것으로 파악된 가운데, 1990년대 초반 독자적으로 아우터 로터 전동기 관련 기술 분야에 대한 출원이 진행되다가, 1990년대 중반부터 2000년대 초반에 RTRI와 공동으로 아우터 로터 형태의 전동기 및 이를 이용한 차륜 일체형 전동기 관련 기술 분야에 대한 특허출원이 이루어진 것으로 관찰되었음

- 이후, 2000년대 중반에 접어들면서부터 독자적으로 영구자석 동기전동기 관련 기술 분야에 대한 특허출원이 이루어지고 있는 것으로 나타남

(3) ALSTHOM



[그림 75] 5년 구간별 ALSTHOM의 IP-History

- 프랑스 ALSTHOM의 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야에 대한 기술흐름(발전)을 살펴보면, 1990년대에 독립 회전 휠 관련 기술 분야에 대한 출원이 진행되다가, 2000년대에 접어들면서부터 영구자석형 동기전동기 및 로터 관련 기술 분야에 대한 특허출원이 이루어진 것으로 관찰되었음
- ALSTHOM의 경우, 다출원 순위 1위이기는 하나, 신규 기술의 개발 보다는 기존 출원된 기술에 대한 보완 및/또는 개량 기술의 출원이 주를 이루고 있으며, 동일 기술에 대한 패밀리 특허 출원이 많은 것으로 파악되어, 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야에서의 국제적인 시장 경쟁력을 확보하고 있는 것으로 보이며, 각륜구동 전동기 개발 기술 분야의 기술 흐름을 주도하고 있는 것으로 보임

나. 핵심특허 리스트

연번	증분류	특허 (등록/공개) 번호	출원일자	출원인	권리 상태	발명의 명칭	등급
1	AA	EP0810137	1997-05-15	ALSTHOM	등록	Driven axle with independently rotating wheels	S
2	AA	EP0860929	1998-02-19	AISIN	등록	Permanent magnet type synchronous motor	A
3	AA	EP1140601	1999-12-22	JEUMONT	공개	DEVICE FOR DRIVING A VEHICLE AND IN PARTICULAR A RAILWAY VEHICLE	B
4	AA	EP2300261	2009-07-02	Siemens	등록	RAIL VEHICLE WHICH HAS A PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR AS TRACTION MOTOR	S
5	AA	EP2712060	2012-09-25	ALSTHOM	공개	Permanent magnet modules and rotors	A
6	AA	JP1993-328687	1992-05-20	TOSHIBA	공개	아우터 로터 전동기	S
7	AA	JP1993-344682	1992-06-04	TOSHIBA	공개	외측 로터 전동기	A
8	AA	JP1998-056763	1996-08-06	AICHI	공개	저속 전동차용 다이렉트 드라이브형 전동차륜	B
9	AA	JP1998-056764	1996-08-06	AICHI	공개	저속 전동차용 다이렉트 드라이브형 전동차륜	B
10	AA	JP2004-297868	2003-03-26	RTRI	공개	전기 철도 차량용 동기 전동기	A
11	AA	JP2815727	1991-07-09	RTRI	등록	철도차량용 구동장치	S
12	AA	JP2915197	1991-12-28	RTRI	등록	철도차량용 구동장치	S
13	AA	JP3162622	1996-02-20	RTRI TOSHIBA	등록	차륜 일체 형태 전동기	B
14	AA	JP3415385	1997-02-05	RTRI TOSHIBA	등록	차륜 일체 형태 아우터 로터 전동기	S
15	AA	JP3530003	1998-02-23	RTRI TOSHIBA	등록	아우터 로터 모터 및 아우터 로터 모터 조타 대차	A
16	AA	JP3538064	1999-04-15	RTRI TOSHIBA	등록	차륜 모터 일체 형태 구동장치	A
17	AA	JP3702165	2000-10-17	RTRI TOSHIBA	등록	아우터 로터 형태 모터를 이용한 독립 차륜 구동장치	S
18	AA	JP4095795	2001-12-04	ALSTHOM	등록	영구자석을 갖는 동기기의 로터의 제작법 및 그 방법으로 제작된 로터	A

19	AA	JP5172122	2006-09-21	TOSHIBA	등록	철도차량 용영구자석 동기 전동기 구동 시스템	A
20	AA	KR0874142	2007-07-13	한국철도기술연구원	등록	철도차량용 축방향 직접 구동 견인전동기(Axial direct driving hauling motor for rail cars)	B
21	AB	EP0428091	1990-11-12	ALSTHOM	등록	Driving device for independently rotating wheels of a railway vehicle with driving shaft	A
22	AB	EP0810137	1997-05-15	ALSTHOM	등록	Driven axle with independently rotating wheels	A
23	AB	EP1063143	2000-02-29	MITSUBISHI	공개	Single axle and independent wheels bogie for a railway vehicle	B
24	AB	EP1065123	2000-06-09	MITSUBISHI	등록	Independent wheel steering bogie	B
25	AB	EP1103438	2000-11-16	TALGO	등록	Disseminated traction arrangement applied to single-axle train wheel sets provided with independent wheels	S
26	AB	EP1318058	2002-12-10	TALGO	등록	Variable-gauge wheelset for a railway vehicle with independent drive wheels directly coupled to coaxial motors	S
27	AB	EP1789301	2005-09-02	Guillemaut, Henri	등록	TRUCK FOR RAILWAY VEHICLES HAVING INDEPENDENT WHEELS THAT CAN BE ORIENTED ACCORDING TO THE CURVATURE OF THE TRACKS	B
28	AB	EP2054285	2007-08-03	ANSALDO BREDA	공개	GEARLESS POWER BOGIE WITH INDEPENDENT WHEELS FOR A LOW FLOOR TRAMWAY VEHICLE	A
29	AB	EP2301789	2010-08-17	Siemens	공개	Rail vehicle with single wheel drives	A
30	AB	JP1998-094112	1996-09-19	HITACHI	공개	철도차량용DDM 구동방식대차	B
31	AB	JP2000-309268	1999-04-26	MITSUBISHI	공개	철도 차량용 독립 차륜 구동 컴포넌트	A
32	AB	JP2000-309269	1999-04-26	MITSUBISHI	공개	철도 차량용 독립 차륜 구동 컴포넌트	A
33	AB	JP2010-268566	2009-05-13	NISSAN	공개	독립 차륜 구동 전동차의 제어 장치	A

34	AB	JP2815727	1991-07-09	RTRI	등록	철도차량용 구동장치	A
35	AB	JP2915197	1991-12-28	RTRI	등록	철도차량용 구동장치	A
36	AB	JP3102978	1993-11-11	RTRI	등록	철도차량 용독립 차륜 동력 대차	B
37	AB	JP3176247	1995-03-31	RTRI	등록	철도차량 용독립 차륜 동력 대차	B
38	AB	JP3499403	1997-06-16	RTRI TOSHIBA	등록	철도차량 용좌우 독립 차륜 전동 대차의 제어 방법	B
39	AB	JP3530003	1998-02-23	RTRI TOSHIBA	등록	아우터 로터 모터 및 아우터 로터 모터 조타 대차	B
40	AB	JP3702165	2000-10-17	RTRI TOSHIBA	등록	아우터 로터 형태 모터를 이용한 독립 차륜 구동장치	A
41	AB	JP5013634	2001-02-09	KAWASA KI	등록	철도차량 용독립 차륜 대차와 그 제어 방법	A
42	AB	US2010-032078 9	2009-06-19	Larry Markus Karlson	공개	Railway car independent axles	B

7. 세부기술 현황분석결과

[표 31] 특허기술 Landscape 현황 정리

대분류	중분류	IP 시장성 (구간별 출원 증가율)	상위출원인 동향	시사점
곡선주 행성능 향상을 위한 각륜구 동 전동기 개발 기획	PMSM/DDM	유럽과 일본시장에 특허활동이 집중되어 있는 것으로 나타나며, 1990년대 후반에서 2000년 초반에 상대적으로 활발한 특허활동이 이루어진 후, 해당 기술분야의 특허출원이 급격하게 감소하고 있기는 하나 최근 들어 그 출원건수가 다시 소폭 증가하고 있는 것으로 나타남	1출원인 : ALSTHOM 2출원인 : RTRI 3출원인 : TOSHIBA ALSTHOM은 주요시장국 모두에서 상대적으로 활발한 특허활동을 진행하여 다수의 패밀리 특허들을 확보함으로써, 국제적인 시장경쟁력을 확보한 것으로 보이며, RTRI 및 TOSHIBA는 자국내에서의 특허활동에 집중하고 있기는 하나, 공동출원을 통한 기술경쟁력을 확보하고 있는 것으로 보임	해외의 출원 점유율이 높은 가운데, 해외에서 해당 기술분야와 관련도 높은 특허들이 다수 존재하므로, 다양한 응용기술의 확보가 필요함
	각륜구동 기술	유럽과 일본시장에 특허활동이 집중되어 있는 것으로 나타나며, 1990년대 후반에서 2000년 초반에 상대적으로 활발한 특허활동이 이루어진 것으로 나타나며, 2000년 초반 이후 출원건수가 급격히 감소 하였으나, 최근 까지도 꾸준히 특허활동이 진행되고 있는 것으로 나타남	1출원인 : MITSUBISHI 2출원인 : ALSTHOM 3출원인 : RTRI MITSUBISHI의 특허활동이 가장 활발한 것으로 나타나나, 그 출원건수에 있어서는 큰 차이가 없는 것으로 나타남	국내에 비해 해외의 기술 경쟁력이 상대적으로 높은 것으로 나타나고 있어, 적극적인 연구개발 및 해외 특허활동이 요구됨

8. 결 론

- 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 1990년대 후반부터 2000년대 초반에 상대적으로 높은 특허출원 활동이 이루어진 것으로 나타나며, 이후 특허출원 활동이 다소 감소하고 있으나, 최근들어 그 특허출원 활동이 다시 소폭 증가하고 있는 것으로 나타남
- 출원국가별 기술시장 성장단계를 분석해본 결과, 현재 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야는 전체적으로 회복기 단계 정도에 있다고 볼 수 있음
- 국가별/출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 유럽 및 일본에서의 출원이 각각 전체의 43% 및 37%를 차지하는 것으로 나타나, 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야의 특허활동이 일본과 유럽에 집중되어 있는 것으로 파악됨
- 국가별/출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 한국, 일본 및 유럽특허에서는 자국 출원인에 의한 출원이 외국 출원인에 의한 출원보다 상대적으로 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타난 반면, 미국특허에서는 외국 출원인에 의한 특허가 대부분인 것으로 파악됨
- 포트폴리오로 나타난 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 분야 전체특허의 기술 위치는 1구간(1993~1997)에서 2구간(1998~2002)까지 특허출원건수 - 특허출원인수가 빠르게 증가하는 성장기 단계에 있다가 3구간(2003~2007)에서 출원건수 및 출원인수가 급격히 감소한 이후 4구간(2008~2012)에서 다시 출원건수 및 출원인수가 소폭 증가하는 추세를 보이고 있어 전체적으로 회복기 단계 정도에 있다고 봄이 타당함
- 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술 과제의 주요출원인을 추출한 결과, 프랑스의 ALSTHOM이 전체 다출원인 1위로 나타났으며, 그 뒤를 이어 일본의 RTRI, MITSUBISHI 및 TOSHIBA 등이 이 분야에서 다수의 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남. 특히, 주요출원인 Top7 중 일본 국적의 출원인이 4명으로 나타나 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야에서 일본이 두각을 나타내는 것으로 분석됨
- 세부기술별 출원증가율을 살펴보면, 전체적으로 1990년대 후반부터 2000년대 초반에 특허활동이 집중되어 있는 것으로 나타나며, 2000년대 중반에 들어서면서 특허출원활동이 다소 감소하기는 하였으나, 최근들어 그 출원활동이 소폭 증가하고 있는 것으로 보임
- 세부기술별 출원증가율을 살펴보면, PMSM/DDM 분야와 각륜구동 기술 분야의 기술 추세선의 변화가 유사한 것으로 나타나고 있어, 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야에서는 PMSM/DDM 기술 및 각륜구동 기술이 서로 연계되어 개발이 동시에 진행되고 있음을 짐작할 수 있음
- 세부기술별 점유율 변화를 살펴보면, PMSM/DDM 분야의 출원비중이 점차 감소하다가 최근 들어 그 출원비중이 소폭 증가하는 것으로 나타나나, PMSM/DDM 및 각륜구동 기술 분야의 출원비중이 전체적으로 큰 차이는 없는 것으로 나타남

- 세부기술별 주요 출원인을 살펴본 결과, 프랑스의 ALSTHOM 과 일본의 RTRI, TOSHIBA 및 AISIN은 PMSM/DDM 기술분야에 상대적으로 많은 특허출원을 보이는 것으로 나타나며, 일본의 MITSUBISHI, 독일의 SIEMENS 및 스페인의 TALGO는 각륜 구동 기술 분야에 그 출원비중이 높은 것으로 파악됨
- 특히, 일본의 MITSUBISHI 및 스페인의 TALGO는 각륜구동 기술 분야에 집중 출원하는 것으로 보이고, 일본의 AISIN 및 프랑스의 JEUMONT는 PMSM/DDM 분야에 집중 출원하고 있는 것으로 보임
- 곡선주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 개발 기술분야의 주요 장벽특허 권리분석을 해본 결과, 일본의 RTRI, TOSHIBA 및 MITSUBISHI와 프랑스의 ALSTHOM, 독일의 SIEMENS 및 스페인의 TALGO 등이 주요 장벽특허를 보유하고 있는 것으로 파악되었으며, 본 기술분야의 기술적 사상과 부합하는 선행기술이 파악되고 있어, 향후 기술개발 또는 연구개발을 수행하고자 하는 경우 분쟁가능성이 있는 특허에 대한 면밀한 검토가 요망됨은 물론, 장벽특허에 대응할 수 있는 대응 특허를 발굴하여 확보함으로써 기술 경쟁력을 유지하는 R&D 전략수립이 필요한 것으로 판단됨

5절. 연구개발 인프라 분석

- 국가연구개발사업의 기획 및 연구수행과 관련하여 15년 이상 경험을 가진 주관책임자와 다년간 철도분야 국가 R&D 기획과 수행경험이 있는 참여연구진으로 기획과제 연구진이 구성됨
- 본 연구원은 전동기 개발, 시험 전공자를 보유하고 있어, 본 과제와 관련하여 수시 기술자문이 가능하며, 외부 자문위원으로서 학계, 전동기 개발 관련 기술 보유업체, 일본 RTRI (일본철도종합기술연구소) 등에 소속된 전문가로 외부 전문가 풀을 구성하여 본 과제의 완결성을 높이는 데 활용함
- 한국철도기술연구원 활용 장비
- H/W 활용 방안
 - 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
- S/W 활용 방안
 - Maxwell 2D/3D Ver.11 : 각륜구동 전동기의 설계 및 특성 분석
 - Simplorer/Matlab-Simulink : 각륜구동 전동기의 제어 알고리즘 개발 및 특성 분석
 - JAVA Software : AMI Prototype MCU Source Programming
 - LabVIEW : 축소형 시제품 모델의 성능계측용 PXI장비 및 DAQ 구동 및 분석

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

1. 비전 및 연구목표

(본사업 1단계 목표)

급곡선 구간에서 주행성능을 향상시켜 스킬소음을 낮추고 전동차 차륜 플랜지 마모를 줄이는 각륜전동기 개발

- 전동기 출력 110kW, 효율 96%, 출력밀도 0.2kW/kg, 소음 20dB(A)저감

곡선 주행 성능을 향상시키기 위한 각륜구동전동기 핵심 기술 확보

비 전 : 곡선주행 성능향상 핵심기술을 통한 저비용 및 고효율 확보

(최종목표)

곡률반경 300R, 속도제한 55km/h인 급곡선구간을 포함한 곡선구간에서 주행성능을 향상시켜 스킬소음을 5dB(A) 낮추고 전동차 차륜 플랜지 마모를 25% 줄여 유지보수비용을 절감할 수 있는 철도차량시스템 핵심기술을 개발

※ 최종목표 : 본 사업 1~3단계 종료 후 달성목표

2절. 기술개발에 따른 미래상

1. 현황 및 미래상

현황 (As-Is)	○ 곡선 주행시 소음저감, 차륜 마모 저감, 전동차 에너지 저감이 가능한 독립차륜방식 적용능동형 조향 기술 부재 ○ 소음감소 및 승차감향상 등 기존 급곡선 선로에서 원활한 주행이 가능한 차량 핵심요소기술 개발 필요 ○ 도시의 발달로 교통수단의 다양화가 요구됨. 특히 도심내 공간 활용의 극대화하며, 친환경적인 미래형 교통수단의 수요가 제기됨 ○ 더불어 경제성, 접근성 및 타 교통수단과의 연계성이 우수한 대중교통 시스템 개발 필요 ○ 취약구간에 적용 가능한 철도차량 대차 및 추진시스템 등 핵심기술개발 필요
---------------	---



주요 연구 내용	○ 각륜구동 전동기 설계 기술개발 ○ 각륜구동 전동기 제어 기술개발 ○ 각륜구동 전동기 제작 기술개발 ○ 인터페이스 기술 개발 ○ 주행 성능 시험 및 평가
----------------	--



미래상 (To-Be)	○ 곡률반경 300R, 속도제한 55km/h인 급곡선구간을 포함한 곡선구간이 많은 도심철도에서 차량의 곡선주행 성능 향상을 위해 각륜구동 전동기 핵심기술들을 개발하여 적용 - 곡선구간 스킬소음을 낮춰 주변 소음감소 - 전동차 플랜지마모를 감소, 부품수 감소 및차량내구연한(25년 기준) 동안 전동기 유지보수 횟수 획기적 감소를 통해 유지보수비용 절감 - 고효율 전동기 적용으로 에너지 사용량 절감
----------------	---

3절. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

1. 핵심기술요소(CTE) 도출

가. 곡선주행 성능향상을 위한 각륜구동 전동기 기술개발

(1) 설계 기술

○ 핵심기술요소(CTE) 후보

No.	CTE명
후보1	부하조건에 따른 용량 산정 기술
후보2	차륜일체형 특성 분석 및 외전형, 내전형, 일체형 등 방식 선정 기술
후보3	제약조건을 고려한 기초 형상 설계 기술
후보4	전자계 해석 및 성능 분석 기술
후보5	철손/동손 최소화 방안 및 재료 분석 기술
후보6	영구자석 와류손 최소화 방안 기술
후보7	출력밀도 향상 기술
후보8	냉각시스템 기술
후보9	차륜 취부 회전체 구조 해석 기술
후보10	강성 해석 기술
후보11	멀티피직스(전자계해석·열해석·유동해석·구조해석) 분석 기술
후보12	모터+드라이브 일체화 기술
후보13	다중화 기술(다상 전동기 기술, 다중 드라이버 기술)

○ 핵심기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보 1	후보 2	후보 3	후보 4	후보 5	후보 6	후보 7	후보 8	후보 9	후보 10	후보 11	후보 12	후보 13	비고
1. 이 기술이 사용 요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?		○					○		○		○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한(실패)위험이 예상되는가?	○			○				○						하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가		○							○			○	○	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?							○							
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?			○		○	○				○				
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?		○					○							하나 이상 충족
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	○	×	×	×	×	○	×	○	×	○	○	○	

○ 핵심기술요소(CTE) 목록

CTE	유형*○	CTE명	최종 TRL
1	재료·자재	차륜일체형 특성 분석 및 외전형, 내전형, 일체형 등 방식 선정 기술	5
2	재료·자재	출력밀도 향상 기술	5
3	시스템	차륜 취부 회전체 구조 해석 기술	6
4	재료·자재	멀티피직스(전자계해석·열해석·유동해석·구조해석) 분석 기술	5
5	시스템	모터+드라이브 일체화 기술	6
6	시스템	다중화 기술(다상 전동기 기술, 다중 드라이버 기술)	6

(2) 제어 기술

○ 핵심기술요소(CTE) 후보

No.	CTE명
후보1	전력변환 방식 선정 기술
후보2	제어 시뮬레이션 모델링 기술
후보3	실시간 파라미터 도출 기법 개발 기술
후보4	대전류 전동기의 서보급 정밀도 향상 기술
후보5	좌우 각륜전동기의 고정밀 속도제어 기술
후보6	효율 향상 기술
후보7	전장품 배치 분석 및 부피 최소화 방안 도출 기술

○ 핵심기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	비고
1. 이 기술이 사용 요구조건, 비용, 일정 등에 직접 적으로 영향을 미치는가?				○	○		○	반드시 충족
2. 해당기술을 개 발하거나 시연 하는데 중대한 (실패)위험이 예 상되는가?				○	○		○	하나 이상 충족
3. 해당기술이 새 롭거나 독창적 인가					○			
4. 기존에 성공적 으로 적용된 이 후에, 이번에 개 발시 변경된 기 술인가?	○		○	○		○	○	
5. 해당기술이 유 사환경에서 실 현되도록 재개 발되는가?		○						
6. 이 기술이 임의 의 환경에서 작 동할 것으로 기 대되거나 당초 의 설계 의도 혹은 규정된 성 능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되 는가?					○			
핵심기술요소 (CTE) 선정여부	×	×	×	○	○	×	○	

○ 핵심기술요소(CTE) 목록

CTE	유형*○	CTE명	최종 TRL
1	재료·자재	대전류 전동기의 서보급 정밀도 향상 기술	6
2	재료·자재	좌우 각륜전동기의 고정밀 속도제어 기술	6
3	시스템	전장품 배치 분석 및 부피 최소화 방안 도출 기술	6

(3) 제작 기술

○ 핵심기술요소(CTE) 후보

No.	CTE명
후보1	차륜-전동기 연결 기술
후보2	베어링 적용 기술
후보3	제동장치 기구적 배치 분석 기술
후보4	강성유지 기술
후보5	안전/안정성 기술
후보6	냉각구조 하우징 기술
후보7	Sealed gear 기술

○ 핵심기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	비 고
1. 이 기술이 사용 요구조건, 비용, 일정 등에 직접 적으로 영향을 미치는가?	○	○	○		○		○	반드시 충족
2. 해당기술을 개 발하거나 시연 하는데 중대한 (실패) 위험이 예상되는가?		○						하나 이상 충족
3. 해당기술이 새 롭거나 독창적 인가							○	
4. 기존에 성공적 으로 적용된 이 후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?			○	○		○		
5. 해당기술이 유 사환경에서 실 현되도록 재개 발되는가?					○			
6. 이 기술이 임의 의 환경에서 작 동할 것으로 기 대되거나 당초 의 설계 의도 혹은 규정된 성 능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되 는가?								
핵심기술요소 (CTE) 선정여부	×	○	○	×	○	×	○	

○ 핵심기술요소(CTE) 목록

CTE	유형*○	CTE명	최종 TRL
1	재료·자재	베어링 적용 기술	5
2	시스템	제동장치 기구적 배치 분석 기술	6
3	시스템	안전/안정성 기술	6
4	재료·자재	Sealed gear 기술	6

(4) 인터페이스 및 시험평가 기술

○ 핵심기술요소(CTE) 후보

No.	CTE명
후보1	운영 및 유지관리 기술
후보2	대차시스템 연계 기술
후보3	조향기능과 각륜구동 전동기 조합 기술
후보4	실대차 제작 및 전동기 취부 기술
후보5	시제 단품 성능 시험 및 조합시험 평가 기술
후보6	실대차 성능 시험 및 평가
후보7	성능평가 및 신뢰성 확보방안 기술
후보8	실차 성능 시험 및 평가

○ 핵심기술요소(CTE) 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	후보8	비고
1. 이 기술이 사용 요구조건, 비용, 일정 등에 직접 적으로 영향을 미치는가?		○			○	○		○	반드시 충족
2. 해당기술을 개 발하거나 시연 하는데 중대한 (실패) 위험이 예상되는가?		○	○	○					하나 이상 충족
3. 해당기술이 새 롭거나 독창적 인가					○	○			
4. 기존에 성공적 으로 적용된 이 후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?	○				○	○	○	○	
5. 해당기술이 유 사환경에서 실 현되도록 재개 발되는가?		○						○	
6. 이 기술이 임의 의 환경에서 작 동할 것으로 기 대되거나 당초 의 설계 의도 혹은 규정된 성 능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되 는가?					○				
핵심기술요소 (CTE) 선정여부	×	○	×	×	○	○	×	○	

○ 핵심기술요소(CTE) 목록

CTE	유형*○	CTE명	최종 TRL
1	시스템	대차시스템 연계 기술	6
2	시스템	시제 단품 성능 시험 및 조합시험 평가 기술	7
3	시스템	실대차 성능 시험 및 평가	8
4	시스템	실차 성능 시험 및 평가	9

2. 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

연구과제명		전동기 핵심기술 개발			유형					
프레임워크		선행단계		시제품 제작 및 시연			현장적용		제품화/실용화	
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL							
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	1차 년도	2차 년도	3차 년도	1차 년도	2차 년도(종료)
마일스톤 일정		'14.11	'16.12	'17.12	'18.12	'19.12	'20.12	'21.12	'22.12	2023.12.31
CTE No.	기술명									
CTE 1	차륜일체형 특성 분석 및 외전형, 내전형, 일체형 등 방식 선정 기술		5							
CTE 2	출력밀도 향상 기술		5							
CTE 3	차륜 취부 회전체 구조 해석 기술		6							
CTE 4	멀티피직스(전자계해석·열해석·유동해석·구조해석) 분석 기술		5							
CTE 5	모터+드라이브 일체화 기술					6				
CTE 6	다중화 기술(다상 전동기 기술, 다중 드라이버 기술)								6	
CTE 7	대전류 전동기의 서보급 정밀도 향상 기술		6							
CTE 8	좌우 각륜전동기의 고정밀 속도제어 기술		6							
CTE 9	전장품 배치 분석 및 부피 최소화 방안 도출 기술		6							
CTE 10	베어링 적용 기술			5						
CTE 11	제동장치 기구적 배치 분석 기술			6						
CTE 12	안전/안정성 기술			6						
CTE 13	Sealed gear 기술						6			
CTE 14	대차시스템 연계기술					6				
CTE 15	시제 단품 성능 시험 및 평가 기술				7					
CTE 16	실대차 성능 시험 및 평가							8		
CTE 17	실차 성능 시험 및 평가									9

4절. 연구개발과제 구성

1. 연구개발 과제 구성



가. 과제별 연구내용

세부과제	세부 기술
각률클구동전동기 설계기술	○ 차륜일체형 특성 분석 및 외전형, 내전형, 일체형 등 방식 선정 기술 ○ 출력밀도 향상 기술 ○ 차륜 취부 회전체 구조 해석 기술 ○ 멀티피직스(전자계해석·열해석·유동해석·구조해석) 분석 기술 ○ 모터+드라이브 일체화 기술 ○ 다중화 기술(다상 전동기 기술, 다중 드라이버 기술)
각률클구동전동기 제어기술	○ 대전류 전동기의 서보급 정밀도 향상 기술 ○ 좌우 각륜전동기의 고정밀 속도제어 기술 ○ 전장품 배치 분석 및 부피 최소화 방안 도출 기술
각률클구동전동기 제작기술	○ 베어링 적용 기술 ○ 제동장치 기구적 배치 분석 기술 ○ 안전/안정성 기술
인터페이스 및 시험평가 기술	○ 대차시스템 연계 기술 ○ 시제 단품 성능 시험 및 조합시험 평가 기술 ○ 실대차 성능 시험 및 평가 ○ 실차 성능 시험 및 평가

2. 기술개발 전략 수립(SWOT 분석)

○ 곡선주행 성능향상을 위한 각륜구동 전동기 기술개발을 위한 swot분석을 수행함.

- 국내외 기술, 시장, 정책 동향 분석 결과를 바탕으로 기회 및 위협 요인 도출
- 국내 기술 인프라·기술 인력 현황 분석 결과와 기술예측결과를 바탕으로 강점과 약점 도출
- SWOT 분석을 통해 기회요인을 활용하여 강점을 살리고, 위협요인에 대처하면서 약점을 보완하는 전략 수립

내부 환경 분석	강점 (Strength)	약점 (Weakness)
	▪ 국내 업체들에 의한 시스템기술의 발전 ▪ 주요 에너지 다소비 기기 중 하나로 에너지 절약 효과 우수 ▪ 부품 감소 및 유지보수기간의 획기적 증대를 통해 유지보수 비용 절감 ▪ 고효율 제품 개발로 기존 전동기 산업 기술 경쟁력 증대 및 고부가가치화 달성 ▪ 기존 철도차량 전동기 및 직접구동 전동기에 대한 다양한 기술력을 보유하고 있음	▪ 미래철도 견인전동기 분야에 대한 연구개발을 위한 정부의 투자가 타 분야에 비해 현저히 적었으며, 연구개발도 부진하였음 ▪ 요소기술의 미확보로 개발기간이 다소 필요함 ▪ 일본 및 유럽의 선진 기업에 대한 기술 의존도가 높고 선진사의 시장 선점 및 제품의 기술경쟁력이 저평가됨 ▪ 이공계 기피로 인한 연구인력 확충 미흡
외부 환경 분석	기회 (Opportunity)	위협 (Threat)
	▪ 고효율 전동기 보급 확대를 통해 에너지를 절감하기 위한 최저효율제의 성공적 도입 및 시행 ▪ 기후협약 등으로 고효율 제품 사용에 대한 공감대 확산 ▪ 자동차, 조선, 신재생 등 고효율 전동기 적용 분야 新시장 활성화 및 수요 증가 ▪ 소형·경량화, 청정화 기술을 위한 주변 기술 개발	▪ 중국 등 후발 국가의 기술도약, 투자 및 시장 점유 확대 (선진국과 개도국 사이 샌드위치 신세) ▪ 선진업체 제품의 시장 선점에 따른 진입장벽 높음 ▪ 구리, 철광석 등 국제 원자재 가격의 불안정 및 지속적 상승 ▪ 철도 견인전동기 신기술에 대한 연구 및 기술력이 부진함 ▪ 선진국에서 자국 기술력을 보호함에 따른 후발주자의 애로 ▪ 중장기 연구개발 및 평가가 필요하고 연구가 많이 소요됨

○ 도심내 곡선 주행 성능향상이 가능한 능동형 조향대차 기술 도입함으로써 곡선반경 제한으

로 인해 발생하는 건설비를 줄일 수 있으며, 이는 초기건설비의 절감(타 경전철의 1/3 수준) 및 건설기간(타 경전철의 1/5 수준)을 단축시킬 수 있음.

○ 곡선주행 철도차량 기술 확보로 철도 노선 설계의 자유도가 대폭 향상되어, 산악지형 철도, 도시철도 등 도시친환경적인 설계 기술을 확보하여 전 세계적 기술을 선도하고 수입대체효과와 기술수출을 이루게 될 것임.

○ 성공 요소 분석

- 철도 수요 및 경제성 증가 요소 가능 : 외부 통행시간 단축으로 기존 철도시스템 대비 수단 부담률 3%이상 발생 유도 가능
- 편익 증가, 비용 감소로 인한 사업 타당성(B/C) 증가
- 정책적 지원 등을 위한 통한 세계적 기술 선도 이미지 부각 : 첨단 교통시스템 도입을 통한 도시 랜드 마크 및 국가 자존심 부각
- 국내 첨단 기술력 극대화로 충분한 검증 : 공사비 단축을 위한 최첨단 공법 기술 개발, 차량 및 시스템 표준화 기술개발 등

5절. 세부과제 주요 내용 및 기대효과

연구개발과제인 곡선주행 성능향상을 위한 각류구동전동기 기술에 대한 요구사항과 세부기술 주요내용 및 개발 기대효과는 다음과 같음.

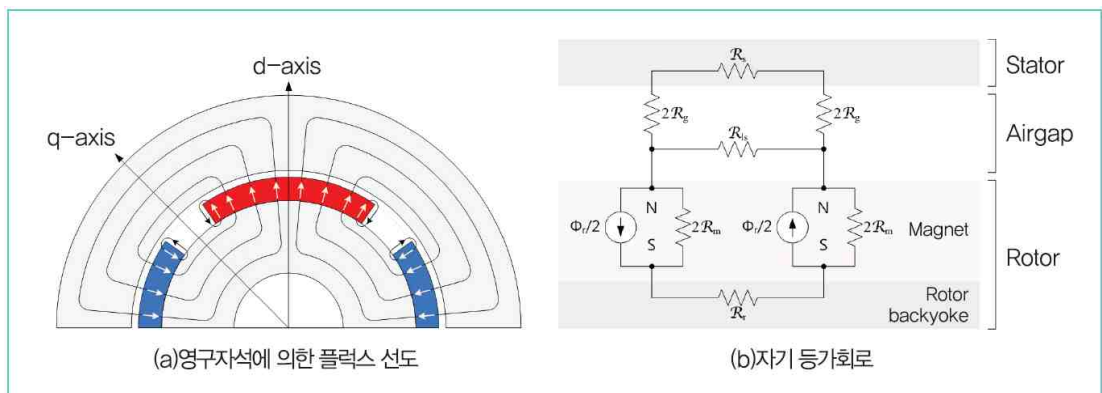
1. 핵심 요구사항

가. 시장요구사항

- 소형 정밀기기 분야에서부터 공작기계, 전동프레스 인텍서 등 고출력 소요동력 부분의 직구동 전동화 추세에 있음, 특히, 최대출력 1,000kW, 토크 및 속도범위 37,000N.m, 1,000rpm급 제품이 상용화 되어 있으며, 기계 및 유압장치 부분의 하이브리드 유압식 및 전동식으로 교체되고 있음
- 일반 서보전동기의 연평균 성장률은 7.7% 정도인 반면에 기존의 정밀기기 또는 자동화 시스템에서 기계장치의 소형화·경량화 요구의 증가로 인해 직구동 전동기의 성장률은 13.7%에 이름. 따라서, 온실가스 저감 및 에너지 효율향상을 위해서 직구동 전동기의 고 효율화가 시급히 요구되고 있음

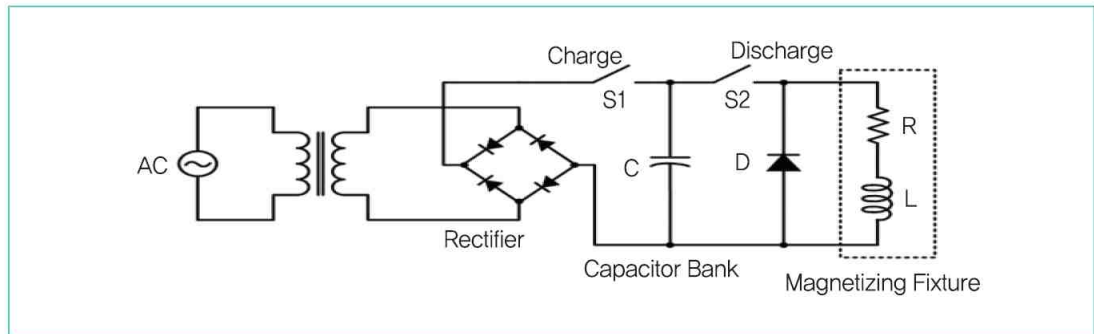
나. 기술요구사항

- 직구동 전동기 설계 및 제조기술
 - 고토크 직구동 전동기 자기회로 최적설계 기술
 - 전동기 형상에 따른 자기회로 설계 기술 개발
 - 자기회로를 이용한 토크 및 역기전력 예측 기술 개발
 - 자기회로를 이용하여 용량에 따른 초기 sizing 기술 개발



- Multiphysics를 고려한 연성해석 기술
 - 전동기 형태에 따른 열등가회로 모델링 기법 개발
 - 전동기 온도 분포 예측기술 개발
 - 3D solid 모델링 및 FEM 기반 3D 전동기 구조 및 강성해석 기법 개발
 - 고유모드 예측 기술 개발
- 직구동 전동기 제작 및 조립공정 기술 (권선기술, 영구자석 착자기술, 베어링설계 및 조립기술)
 - 코깅토크 최소화 및 역기전력의 고조파 저감을 위한 권선 개발
 - 양산을 고려한 착자요크 최적설계 기술 개발
 - 고유진동수를 고려한 베어링 설계 필요
 - 공차 및 편심 최소화 조립 및 공정기술 개발

착자 시스템의 등가회로



- 자기적 최적화·기구적·냉각구조 최적화 기술
 - FEM을 이용한 연동해석 기술 개발
- 고밀도 에너지적의 영구자석 소재개발 기술
 - 잔류자석 밀도와 보자력이 큰 영구자석 소재 개발
 - 열감자 내력이 높은 영구자석 소재 개발
- 자성분말코어 소재 개발 및 가공 기술
 - 고강도의 자성 분말코어 소재 개발

- 공차를 최소화하는 가공기술 개발

○ 각류구동 전동기 드라이브 제작기술

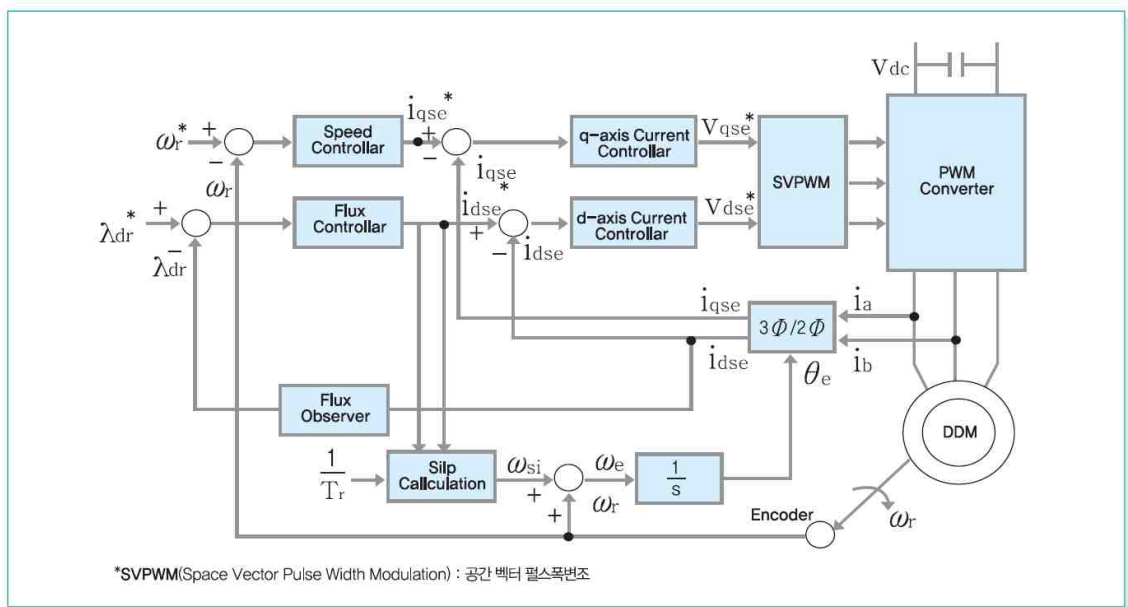
• Interface 기술 개발

- 다량의 제어 및 계측 데이터에 대한 저장 및 처리, 응용 후 분배 기술 개발
- 시스템의 효율적 운용, 운영비 절감, 시스템의 유연성 확대를 위해 표준화된 프로토콜에 기반을 둔 개발

• Full Closed Loop 제어기 개발

- 속도 및 위치 추정 알고리즘 개발
- 벡터제어 시 전류 독립 제어를 위한 전류 연산 처리 알고리즘 개발
- 피드백 센서의 정밀도를 높이기 위한 인터페이스 회로 개발
- 피드백 센서 신호 대 전동기의 실시간 제어 주기 사이의 관계 연구

직구동 전동기 제어 블록도



• 고효율, 고밀도, 고신뢰성 제어기 기술

- 병렬 스위칭 소자 모듈을 통한 제어기 고효율화 기술 개발
- 수냉 방식을 이용한 제어기 냉각 기술 개발
- 전동기 제어기의 소형화 및 경량화 기술

- 전동기 타입별 최적제어 알고리즘 연구
- DSP와 전용ASIC 및 실시간 운전제어프로그램 구성 기술이 요구
- 저가, 고정밀 센서기술
 - Activation Magnet과 방향성 Hall IC를 통한 저가형 고정밀 센서 기술 개발
 - 저정밀 센서와 속도 추정 알고리즘을 결합한 속도 추정 알고리즘 개발

2. Key Technology

가. Key Technology 선정

핵심기술	세부핵심기술	필요성/중요성
각륜구동 전동기 설계 및 제조 기술	고토크 자기회로 최적설계기술	고효율화 및 고출력밀도화를 위해 직구동 전동기 전자계 설계 및 최적설계기술과 필요
	Multiphysics를 고려한 연성해석 기술	직구동 전동기의 설계의 정밀도 향상과 전동기의 신뢰성 향상을 위해서 Multiphysics를고려한 연성해석기술 개발이 필요
	직구동 전동기 제작 및 조립공정 기술 (권선기술, 영구자석 착자기술, 베어링설계 및 조립기술)	개발기술의 실용화 및 제품의 국산화를 위한 전동기의 제작과 조립공정에 대한 기술개발 필요
	고밀도 에너지적의 영구자석 소재개발 기술	직구동 전동기의 고효율화 설계를 위한 소재개발 및 응용기술 개발 필요
각륜구동 전동기 구동용 인버터 및 제어기 설계기술	Interface 기술	직구동드라이브와 상위 모션제어장치와의 고속 정보통신용 인터페이스 기술탐재가 중요함
	속도 제어기	고정밀 속도 제어기술을 위한 2중위치 피드백 기술 구현을 위한 H/W 및 S/W의 기술 개발이 중요함

나. 기술수준 비교

세부핵심기술	기술 격차(년)	기술 수준(%)	현 최고 대표 기술	
			국내	국외
고토크 자기회로 최적설계기술	3	80	일반적 설계 알고리즘	최적화 설계 알고리즘
Multiphysics를 고려한 연성해석기술	3	70	일반적 설계 알고리즘	최적화 설계 알고리즘
각륜구동 전동기 제작 및 조립공정 기술 (권선기술, 영구자석 착자기술, 베어링설계 및 조립기술)	3	70	Pilot 형태의 제품개발	양산제품 개발 활발
고밀도 에너지적의 영구자석 소재개발 기술	3	70	Pilot 형태의 제품개발	양산제품 개발 활발
Interface 기술	2	80	일반적 설계 알고리즘	양산제품 개발 활발
속도 제어기	2	80	-	조정밀 속도제어용 상용화

[출처 : 온실가스감축기술 전략로드맵 2011, 전동기, 지식경제부, 한국에너지기술연구원]

다. 기술목표

세부핵심기술	지표	최종목표
고토크 자기회로 최적설계기술	효율, 용량	효율 96%, 출력 110kW
Multiphysics를 고려한 연성해석기술	효율, 용량	효율 96%, 출력 110kW
각륜구동 전동기 제작 및 조립공정 기술 (권선기술, 영구자석 착자기술, 베어링설계 및 조립기술)	효율, 용량	효율 96%, 출력 110kW
고밀도 에너지적의 영구자석 소재개발 기술	최대 에너지 적용	Nd 자석과 동등 이상의 에너지적용
Interface 기술	구성방식/전송속도	Open Protocol/100Mbps 네트워크 기반 실시간 제어 기술개발
속도 제어기	처리주기	제어주기 50 μ s이하

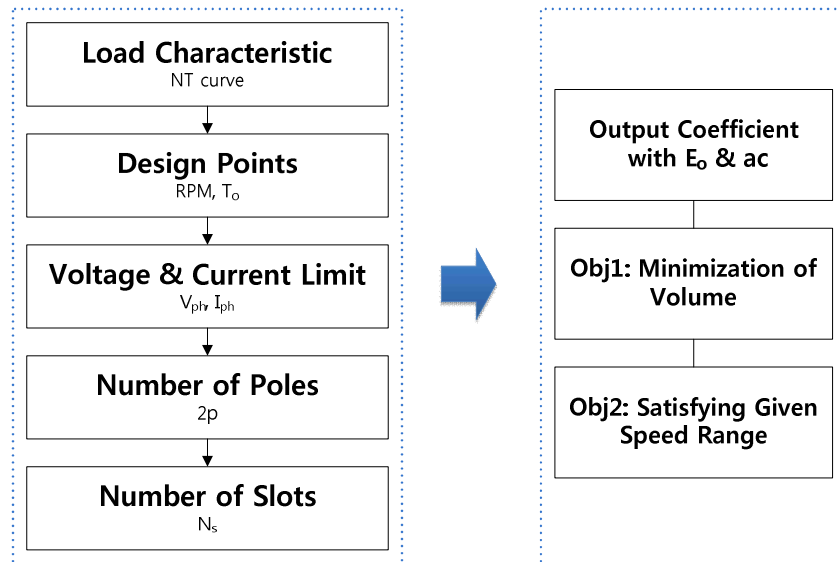
라. 기술획득 전략

세부핵심기술	기술획득 세부전략
고토크 자기회로 최적설계기술	·전자계 설계기법 정립 ·전동기 손실특성 해석 및 분석하여 설계에 반영 ·효율향상을 위해서 학교 및 연구소에서 전동기 형상 최적화 설계 기술 연구하고 이를 기업이 전수받아 제품개발에 활용
Multiphysics를 고려한 연성해석기술	·정확한 전동기 성능을 예측을 하기 위하여 학교 및 연구소에서 Multiphysics를 고려한 연성해석기술을 개발하고 이를 기업이 전수받아 제품개발에 활용
각륜구동 전동기 제작 및 조립공정 기술 (권선기술, 영구자석 착자기술, 베어링설계 및 조립기술)	·전체적인 공정 및 기술은 자체 개발 ·해외 선진기술 습득 및 제휴
고밀도 에너지적의 영구자석 소재개발 기술	·전체적인 공정 및 기술은 자체 개발 ·해외 선진기술 습득 및 제휴
Interface 기술	·다수의 개방형 표준 네트워크 방식 설정 ·네트워크 모듈에 의한 다축 실시간 동기 제어 기술 개발 ·모듈형 또는 집적형으로 전문기업을 통한 상용화
Full Closed Loop 제어기	·고정밀 위치검출 센서의 신호처리 방식 설정 ·센서 및 각륜구동제어기 전문기업 간의 기술협력 ·전문기업을 통한 드라이브 상용화 및 보급화

3. 주요내용(설계 및 사양)

가. 영구자석 동기 전동기의 설계

- 목적함수(제약조건 등)를 고려한 전동기 설계 수순을 보여주고 있음. 그림 2.1 에서와 같이 우선 주요 전동기 설계 파라미터인, 전압 및 전류제한 그리고 극수, 슬롯수를 정하고 난 뒤 설계 목적에 맞게 역기전력 제한치와 비전기장하를 선택하게 됨

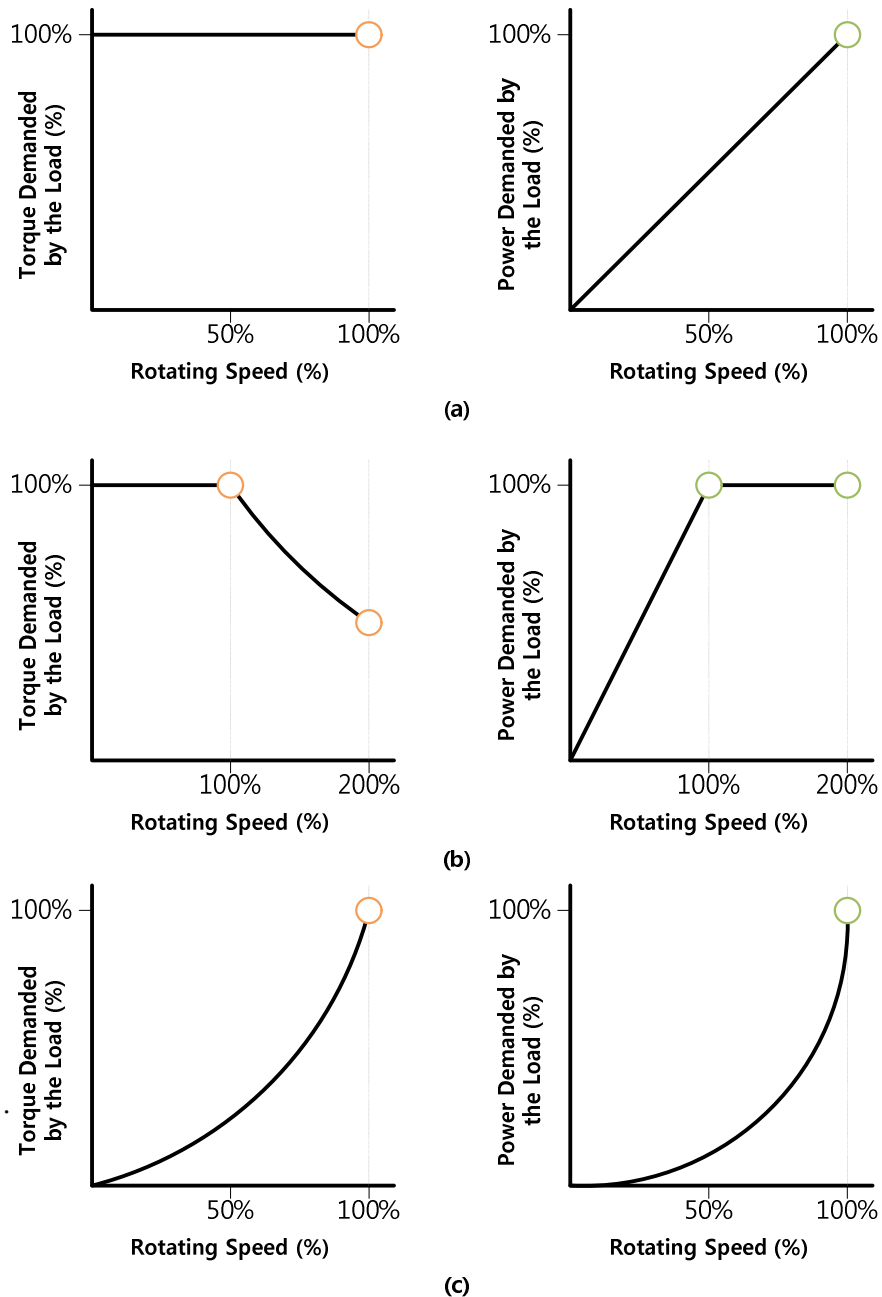


[전동기 설계 수순]

- 효율 및 역률도 고려해야 하며 비용 및 제작 등의 문제도 고려해야 함. 따라서 여기서 말하는 사이즈 최소화 및 광범위 운전을 위한 설계라 함은 설계시에 이러한 사항을 우선 시하여 고려함

(1). 부하의 종류에 따른 설계 방향 선정

- 정토크 특성의 부하 : 속도의 여하에 상관없이 거의 일정한 토크를 필요로 하는 특성을 가진 부하. 이러한 부하의 예로는 컨베이어, 사출성형기 등이 있음. 정토크는 충격부하, 과부하 혹은 관성이 큰 부하를 만났을 때 요구 됨
- 정출력 특성의 부하 : 큰 토크가 요구될 때는 회전 속도를 떨어뜨려 운전하고, 반대로 회전속도가 빠를 때는 필요한 토크가 작아도 되는 특성을 가진 부하. 이러한 부하의 예로는 철강압연기, 공작기계 등이 있음
- 증가토크 특성의 부하 : 토크가 속도의 거의 제곱에 비례하여 증가하는 특성을 가진 부하. 이러한 부하의 예로는 팬, 펌프 그리고 블로어 등이 있음. 이러한 타입의 부하는 고속에 비해 저속에서 매우 작은 토크를 요구함



[부하의 종류에 따른 부하특성 및 출력특성 (a) 정토크 특성 부하, (b) 정출력 특성 부하, (c) 증가토크 특성 부하]

(2) 설계 포인트의 설정

- 설계 포인트란 속도-토크 그래프상의 어떠한 포인트를 의미하며 그림 2.2에서 표시한 곳임. 설계 포인트를 설정하는 일은 부하특성을 만족할 수 있는 전동기의 출력을 결정함
- 정토크특성 및 증가토크특성을 가지는 부하의 경우, 설계 포인트는 최대속도와 최대속도에서의 토크가 되며, 정출력 특성을 가지는 부하의 경우에는 기저속도와 기저속도에서의 토크, 그리고 최대속도와 최대속도에서의 토크가 됨
- 정출력 특성을 가지는 영구자석형 동기전동기기를 설계하기 위해서는 약계자를 고려한

설계가 반드시 수반되어야 함

(3) 입력 전압의 설정

- 인버터 구동 전동기의 경우 입력전압 및 전류는 DC링크단 전압과 스위칭 소자의 특성에 따라 달라지게 됨. 스위칭 소자가 전동기에서 필요한 충분한 전력을 공급할 수 있다고 가정하면 결국 DC링크단 전압이 전동기의 입력전압을 제한하게 됨. 역으로 생각하면 전동기의 입력전압을 먼저 설정하게 되면 이를 위한 DC링크단의 전압을 결정할 수 있음.
- 설계제약조건으로 DC링크단 전압이 결정된 상태라면 이를 만족하는 전동기를 설계하면 되지만, 그렇지 않은 경우에는 설계자가 DC링크단 전압을 결정해야 함. 전동기의 입력전압의 경우, 출력이 커짐에 따라 전압도 커져야 하는데 그 기준은 명확히 없음. 하지만, 산업계에서 많이 쓰이는 전압을 입력전압으로 한정하게 되면, 용량 대에 따라 미리 선정된 전압을 적절히 선택할 수 있음

(4) 극수의 선택

- 영구자석의 극수 중 산업에 가장 많이 쓰이고 있는 극수는 4극~16극 사이임
 - 영구자석 재질과 등급
 - 회전자 속도
 - 철손(설계방향)
 - 스위칭 주파수
 - 누설계수

(5) 슬롯수의 선택

- 다음 사항을 고려하여 슬롯수를 선택함
 - 코깅토크
 - 권선배치
 - 권선계수 및 유효턴수
 - Radial force
 - 제작비용
 - 출력밀도

- 기계적인 구조

(6) 장하의 정의

- 공극에서의 총 자속량 $2p\phi_g$ 을 총 자기장하라 부르고 평균 공극자속밀도 B_{gav} 를 비자기장하라 부름. 여기서 ϕ_g 는 극당 평균 공극자속량임

$$Totalmagneticloading = 2p\phi_g \quad [Wb] \quad (1)$$

$$B_{gav} = \frac{2p\phi_g}{\pi D_g L_{stk}} [T] \quad (2)$$

- 전기자(혹은 고정자) 총 암페어 컨덕터 수 $I_a Z$ 를 총 전기장하라 부르며, 이를 공극에서의 원주로 나눈 값을 비전기장하 ac 라 부름

$$Total electric loading = I_a Z \quad [Ampere Conductor] \quad (3)$$

$$ac = \frac{I_a Z}{\pi D_g} \quad [Ampere conductor / m] \quad (4)$$

여기서 Z 는 총 전기자 총 도체수로 상수 m 인 기기에 대해서 다음과 같음

$$Z = 2mN_{ph} \quad (5)$$

즉, 3상 전동기에서는

$$Z = 6N_{ph} \quad (6)$$

(7) 출력계수의 유도

- 영구자석 전동기의 토크식

$$T = \frac{3}{2} p \lambda_{pm} I_a \cos \beta + \frac{3}{4} p (L_q - L_d) I_a^2 \sin 2\beta = T_m + T_r \quad [N \cdot m] \quad (1)$$

여기서 T_m 은 마그네틱 토크, T_r 은 릴럭턴스 토크를 의미하며 다음과 같음

$$T_m = \frac{3}{2} p \lambda_{pm} I_a \cos \beta \quad (2)$$

$$T_r = \frac{3}{4} p (L_q - L_d) I_a^2 \sin 2\beta \quad (3)$$

토크식을 사이즈에 관한 식으로 나타냄

$$T_m = \frac{3}{2} k_w N_{ph} I_a \widehat{B}_{g1} \cos \beta D_g L_{stk} \quad (4)$$

$$I_a N_{ph} = \frac{\pi D_g}{6} ac \quad (5)$$

$$T_m = \left(\frac{\pi}{4} k_w \widehat{B}_{g1} accos \beta \right) D_g^2 L_{stk} \quad (6)$$

- 위 수식으로부터 마그네틱 토크는 비자기장하 및 비전기장하가 같을 경우 $D_g^2 L_{stk}$ 에 비례함을 알 수 있음. 릴럭턴스 토크 또한 사이즈에 관련된 식으로 나타내면

$$T_r = \frac{3}{4} p (3L_m) I_a^2 \sin 2\beta = \frac{9}{4} p \frac{1}{\pi} \left(\frac{k_w N_{ph} I_a}{p} \right) D_g L_{stk} G_{a1} \sin 2\beta \quad (7)$$

$$T_r = \left(\frac{\pi}{16} \frac{1}{p} k_w^2 ac^2 G_{a1} \sin 2\beta \right) D_g^3 L_{stk} \quad (8)$$

- 위 수식으로부터 릴럭턴스 토크는 $D_g^3 L_{stk}$ 에 비례함을 알 수 있음. 결국 토크식은 다음과 같이 표현 가능함

$$T = \left(\frac{\pi}{4} k_w \widehat{B}_{g1} accos \beta \right) D_g^2 L_{stk} + \left(\frac{\pi}{16} \frac{1}{p} k_w^2 ac^2 G_{a1} \sin 2\beta \right) D_g^3 L_{stk} \quad (9)$$

여기서 출력계수를 다음과 같이 정의함

$$C_{om} \equiv \frac{\pi}{4} k_w \widehat{B}_{g1} accos \beta \quad (10)$$

$$C_{or} \equiv \frac{\pi}{16} \frac{1}{p} k_w^2 ac^2 G_{a1} \sin 2\beta \quad (11)$$

(8) 사이징

- 영구자석 전동기의 경우 주 토크는 영구자석에 의한 마그네틱 토크이며 릴럭턴스 토크는 보조적인 역할을 하는 경우가 대부분이므로 초기 사이징 시에는 마그네틱 토크식을 이용한 사이징 방법을 써 볼 수 있음. 하지만 영구자석 보조 동기 릴럭턴스 전동기 (PMA-SynRM)의 경우에는 릴럭턴스 토크를 주 토크로 생각해서 릴럭턴스 토크식을 이용한 사이징법을 사용해 볼 수 있음
- 돌극비가 1인 경우에는 전류 위상각 $\beta = 0$ 이며 토크식 및 출력계수 C_{om} 을 다음과 같이 쓸 수 있음

$$T = C_{om} D_g^2 L_{stk} \quad \because C_{om} = \frac{\pi}{4} k_w \widehat{B}_{g1} ac \quad (1)$$

- $D_g^2 L_{stk}$ 은 회전자의 사이즈(부피)에 비례하므로 결국 전동기의 사이즈는 토크에 비례하게 되며 그 정도는 비장하의 선택에 따라 달라짐. 요구토크가 결정되었다면 $D_g^2 L_{stk}$ 값은 다음 식과 같이 적절한 비자기장하와 비전기장하를 선택함으로써 결정 가능함

$$D_g^2 L_{stk} = \frac{T}{C_{om}} \quad (2)$$

- 단, 출력계수에 쓰이는 공극자속밀도는 기본파의 피크치이므로, 비자기장하 즉 평균 공극자속밀도로부터 공극자속밀도의 기본파 피크치를 구해 내야 함. 이를 위해서는 극호율 α_m 이 미리 정의 되어야 함

$$\widehat{B}_{g1} = \frac{4}{\pi} \frac{B_{gav}}{\alpha_m} \sin \frac{\alpha_m \pi}{2} \quad (3)$$

- 평균 공극자속밀도는 영구자석의 등급과 극호율에 매우 의존하는데, 극호율의 경우 역기전력의 파형 및 인덕턴스에도 영향을 미침. 정현적인 역기전력을 얻기 위해서 대략 0.7~0.9 사이에서 극호율을 정하게 되므로 극호율에 따른 공극자속밀도 변화분은 비교적 크지 않음
- 평균 공극자속밀도는 극호율 보다는 영구자석의 종류와 등급에 훨씬 의존하게 된다. 희토류계열의 영구자석은 1.0Tesla 이상의 잔류자속밀도를 가지기 때문에 대략 0.6~1.0Tesla 사이의 공극자속밀도를 얻을 수 있으며 페라이트의 경우 0.4Tesla 이상의 잔류자속밀도를 가지기 힘들므로 대략 0.2~0.3Tesla 정도의 공극자속밀도를 얻을 수 있다. 따라서 초기 사이징 시 비자기장하는 영구자석의 재질과 등급을 고려해야 함
- 비전기장하의 경우에는 그 선택기준이 명확하지 아니하며, 경험값을 많이 사용함. 예를 들면, 기존에 만들어진 전동기에 대해 토크에 대한 비전기장하를 테이블에 저장해 뒀다가 추후 새로운 전동기 설계 시 전동기 사양에 맞는 비전기장하를 기존테이블에서 찾아 쓰는 형식이다. 이러한 방법은 기존데이터가 없는 경우 적용하기 힘들며, 비전기장하에 대한 명확한 선택기준이 없으므로 이를 통해 설계된 전동기는 효율, 사이즈, 출력밀도 등 여러 가지 면에서 최적화된 전동기라 말하기 힘들
- 이러한 문제를 해결하기 위해서는 설계 시에 상대적으로 결정하기 쉬운 비자기장하를 먼저 결정하고 이에 대해 다양한 비전기장하의 조합으로 대략적인 전동기 설계를 한 후 전동기의 특성 추이를 살피고 이를 참고해 적당한 비전기장하를 찾아 볼 수 있음
- 비전기장하가 작은 값을 가지는 경우 출력계수 또한 상대적으로 작은 값을 가지며 결국

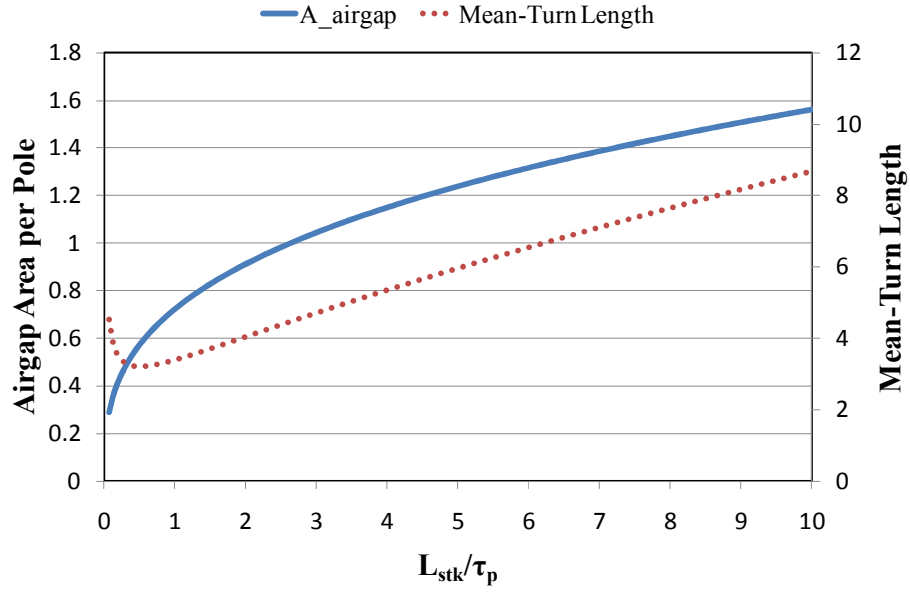
회전자의 부피는 이에 반비례해 커지게 됨. 하지만 전동기 전체 부피로 비교해 보면 전기장하가 커짐에 따라 고정자 슬롯이 커져야 하므로 전기장하를 무한정 키운다고 해서 출력밀도를 높일 수는 없음. 또한 비전기장하가 커짐에 따라 동손은 증가하므로 효율이 중요시 되는 전동기의 경우에는 적절한 비장하를 선택하는 것이 매우 중요함

(9) D와 L의 분리

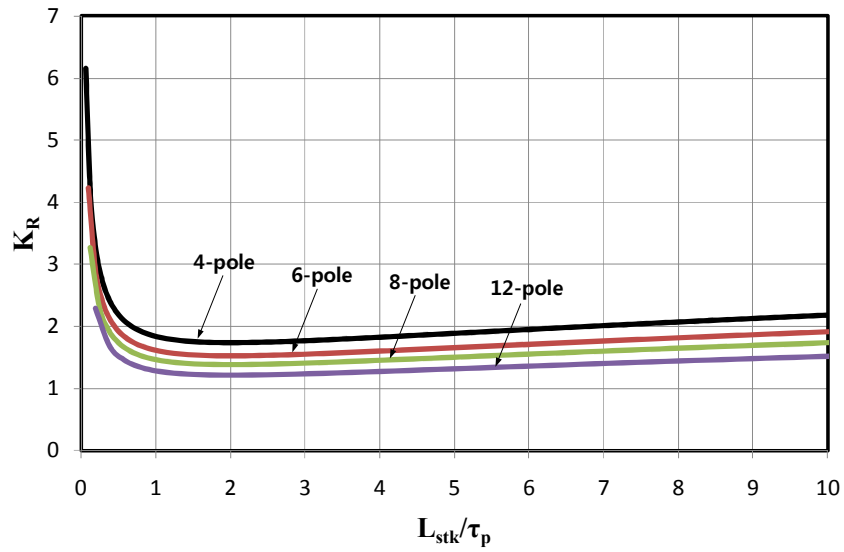
- 공극자속밀도가 같을 경우 D_g 와 L_{stk} 의 비에 따라 극당 자속량이 달라지고, 권선의 평균 턴당 길이가 바뀜. 극당 자속량은 영구자석에 의한 전기자 쇄교자속과 밀접한 관계가 있음. D_g 와 L_{stk} 의 분리를 위해서는 일반적으로 형상치수비가 사용 됨
- 형상치수비는 D_g 와 L_{stk} 의 비율인 L_{stk}/D_g 로 정의 되거나 L_{stk} 과 극피치 τ_p 의 비율은 L_{stk}/τ_p 로 정의됨. 형상치수 비를 L_{stk}/D_g 로 정의한 경우에는 L_{stk}/D_g 에 대한 $D_g L_{stk}$ 정보를 쉽게 얻을 수 있는데, $D_g L_{stk}$ 는 공극자속량 및 인덕턴스에 영향을 주는 값이므로 결국 형상치수 비에 따른 공극자속량을 결정하는데 유리함
- 형상치수 비를 L_{stk}/τ_p 로 정의하게 되면 권선의 대략적인 평균 턴당 길이를 알아보는데 유리한데 이는, 권선을 감을 때 많은 경우 권선 피치가 극피치에 가깝게 감기 때문에 $2(L_{stk} + \tau_p)$ 를 평균 턴당 길이로 볼 수 있음
- 공극자속은 공극자속밀도가 결정된 상태에서 공극면적 즉, $D_g L_{stk}$ 에 비례하게 되므로 결국 권선의 길이는 평균 턴길이를 $D_g L_{stk}$ 으로 나눈 값에 비례 하게 됨

$$R_a \propto \frac{\tau_p + L_{stk}}{D_g L_{stk}} = K_R \quad (1)$$

- 동손을 줄이기 위해서는 L_{stk}/τ_p 의 비를 대략 2근처 값으로 가져 가는 것이 좋으며 초박형 전동기와 같이 축방향 길이가 아주 작은 전동기의 경우 급격히 동손이 증가하게 됨
- 물론 L_{stk}/τ_p 의 비가 2 이상에서는 동손의 증가율이 크지 않지만, 극당 면적은 L_{stk}/τ_p 에 비례해 커지게 되므로 영구자석 사용량도 이에 비례해 늘어나게 됨. 따라서 영구자석의 사용량을 줄이면서 동손을 최소화 할 수 있는 L_{stk}/τ_p 의 값은 대략 1~2 사이값임



[L_{stk}/τ_p 의 비에 따른 극당 공극 면적 및 평균턴 길이의 변화 (4극)]



[L_{stk}/τ_p 의 비에 따른 상저항 비례계수]

형상치수 비를 다음과 같이 L_{stk} 과 D_g 의 비로 잡으면,

$$K_{ld} = L_{stk}/D_g \quad (2)$$

공극직경과 축방향 길이는 다음과 같이 계산됨

$$D_g = \sqrt[3]{\frac{T}{C_{om}K_{ld}}} \quad (3)$$

$$L_{stk} = K_{ld} D_g \quad (4)$$

또한 형상치수비를 다음과 같이 L_{stk} 과 τ_p 의 비로 잡으면,

$$K_{lt} = L_{stk} / \tau_p \quad (5)$$

여기서 극피치 τ_p 는

$$\tau_p = \frac{\pi D_g}{2p} \quad (6)$$

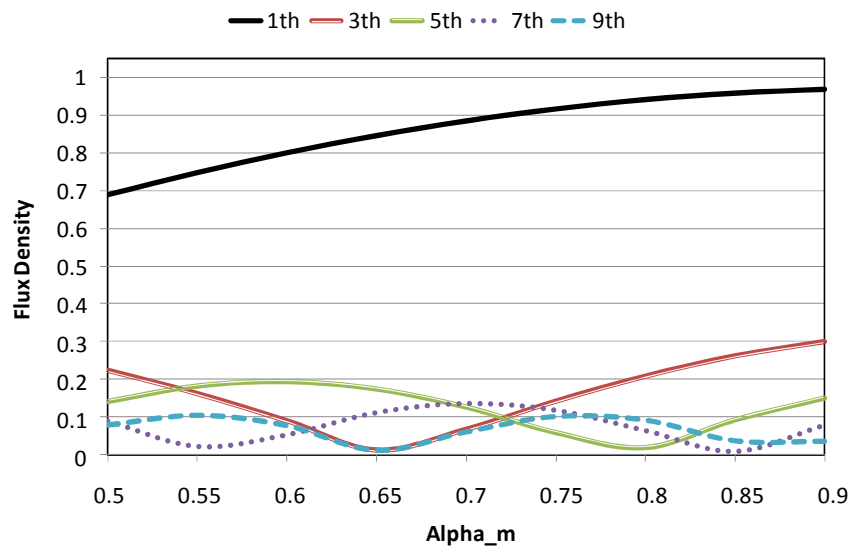
식(3)에 대입하여 D_g 와 L_{stk} 에 관해 정리하면,

$$D_g = \left(\frac{T}{C_{om}} \frac{2p}{\pi K_{lt}} \right)^{1/3} \quad (7)$$

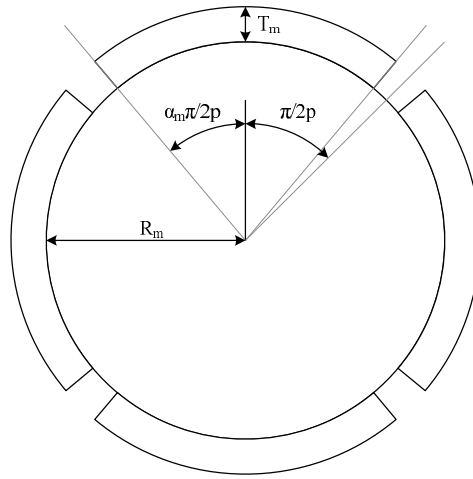
$$L_{stk} = K_{lt} \frac{\pi D_g}{2p} \quad (8)$$

(10) 회전자 형상

- 회전자의 직경은 사이징을 통해 구해진 공극 직경에서 공극 길이를 빼준 값이 되며 극 효율은 초기값으로 0.7~0.8사이 값으로 하면 정현적인 역기전력 파형을 얻음



[극효율에 따른 공극자속밀도 고조파 성분]

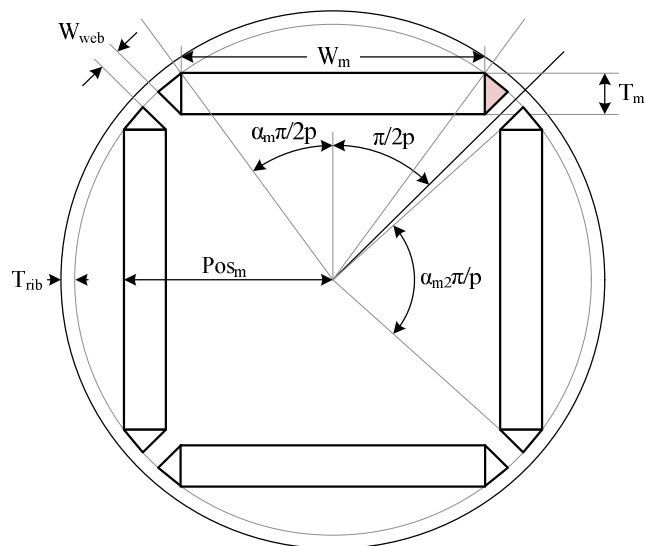


[표면부착형 영구자석 전동기의 회전자 치수정보]

- 영구자석의 두께는 영구자석의 감자특성, 사용률, 동작점 등을 고려해 정함. PC라인이 대략 5~10사이에 오도록 공극 길이의 5~10배 정도로 결정함. 회전자 직경과 영구자석 두께가 결정되면 영구자석까지의 반경은 다음 식으로 구할 수 있음

$$R_m = R_{ro} - T_m \quad (1)$$

- 립 두께는 제작성 및 고속회전 시 관성에 의해 폴피스 및 영구자석이 비산되지 않을 정도의 최소한의 두께를 선택하는 것이 좋음. 회전자 사이즈에 및 회전속도에 따라 달라지는 값이지만 대략 1mm 내외로 정하면 적당함
- 다음 그림의 바타입 매입형 영구자석 전동기 회전자 형상치수는 다음 수식들에 의해 구할 수 있음



[바타입 매입형 영구자석 전동기 회전자 형상치수 정보]

영구자석 너비:

$$W_m = 2 \left(\frac{D_{ro}}{2} - T_{rib} \right) \sin \left(\alpha_m \frac{\pi}{2p} \right) \quad (2)$$

영구자석 위치 (원점으로부터 영구자석 상단까지의 직선거리):

$$Pos_m = \left(\frac{D_{ro}}{2} - T_{rib} \cos \left(\alpha_m \frac{\pi}{2p} \right) \right) \quad (3)$$

웹 폭:

$$W_{web} = \frac{\pi}{p} (1 - \alpha_{m2}) \sqrt{\left(\frac{W_m}{2} \right)^2 + (Pos_m - T_m)^2} \quad (4)$$

$$\alpha_{m2} = \frac{2p}{\pi} \arctan \left(\frac{W_m}{2(Pos_m - T_m)} \right) \quad (5)$$

(11) 고정자 형상 설계

- 고정자 형상설계를 위해서는 크게 세 가지 제약조건이 있음
 - 고정자 외경 혹은 내경,
 - 슬롯면적
 - 치 포화 자속밀도
- 고정자 외경 혹은 내경은 고정자 치와 슬롯 디자인을 위한 기준 반경이 됨. 외경과 내경 둘 중 하나는 반드시 먼저 사이징 혹은 제약조건으로부터 결정이 되어야 함
- 슬롯면적은 열에 대한 제약조건이라 할 수 있는데, 결국 전류밀도 제약과 점적률 제약으로부터 결정됨
- 치 포화 자속밀도는 자기 포화를 방지하기 위한 제약조건이라 할 수 있음. 사이징을 통해 고정자 내경이 결정된 경우 슬롯면적에 대한 제약조건과 치 포화 자속밀도에 대한 제약조건에 의해 고정자 형상을 설계하는 함
- 슬롯면적은 슬롯에 들어가는 도체수와 도체의 단면적 그리고 점적률을 알면 계산 가능함

$$A_{slot} = \frac{Z_{slot} A_z}{K_{sf}} \quad (1)$$

(Z_{slot} 은 슬롯당 도체수, A_z 는 도체 면적, K_{sf} 는 점적률)

- 슬롯당 도체수를 구하기 위해서는 우선 총 도체수를 구할 필요가 있음.

총 도체수는 다음과 같이 구할 수 있음

$$Z_{total} = 2maN_{ph} \quad (2)$$

(m 은 상수, a 는 병렬회로수, N_{ph} 는 상당 직렬 턴수, Q 는 슬롯수)

슬롯당 도체수는

$$Z_{slot} = \frac{Z_{total}}{Q} \quad (3)$$

또한 도체면적은 전류와 전류밀도의 관계로부터,

$$A_z = \frac{I_z}{J_\sigma} \quad (4)$$

(I_z 는 도체에 흐르는 전류, 상전류를 병렬회로수로 나눈 값임.)

$$I_z = \frac{I_a}{a} \quad (5)$$

슬롯 면적은,

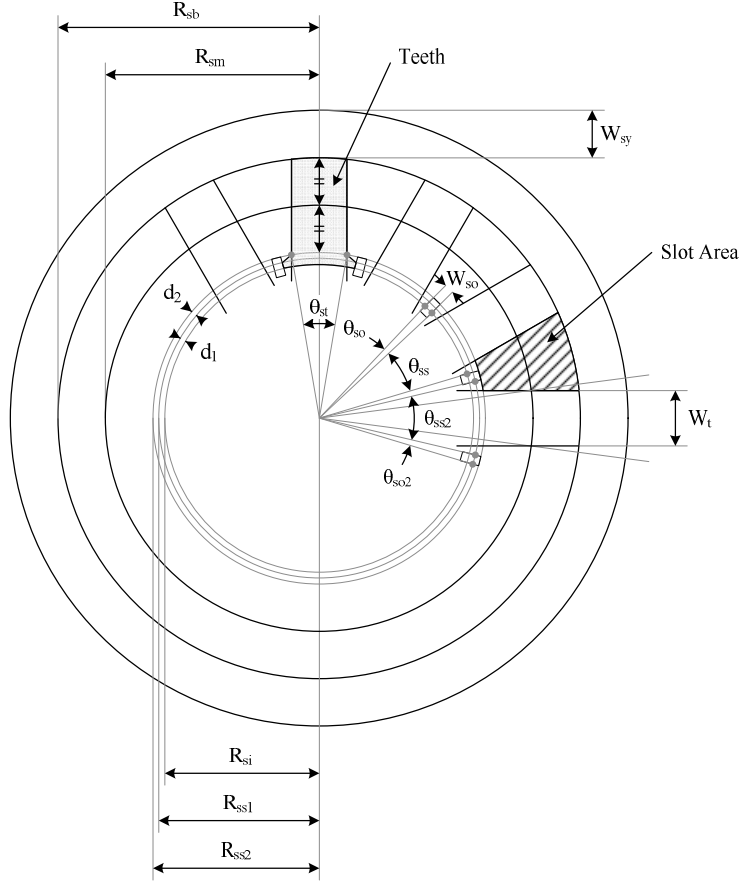
$$A_{slot} = \frac{Z_{slot}A_z}{K_{sf}} = \frac{2mN_{ph}I_a}{K_{sf}QJ_\sigma} \quad (6)$$

- 공극 직경에 공극 길이를 더해 구할 수 있음. 슬롯 면적은 위 식 을 통해 구할 수 있으며 슬롯 개구폭은 권선직경의 3~4배 정도로 함. 유한요소 해석을 통한 세부설계 시에 코깅토크나 역기전력의 고조파 등을 최소로 할 수 있는 크기를 재선정 해 볼 수 있음.
- 슬롯 면적을 사용해 고정자 슬롯 형상치수를 계산하기 위해서는 우선 치 폭을 결정해야 함. 치 폭은 자기포화를 고려해 최소한의 두께를 선정해 볼 수 있음.

- 치포화 자속밀도를 B_{tm} 이라 하면,

$$N_{sm} B_{tm} W_{tb} L_{stk} = \phi_g \quad (7)$$

여기서 N_{sm} 은 극당 슬롯수로 $Q/2p$ 와 같음



[일자형 치를 가지는 고정자 구조]

최소 치폭은,

$$W_{tb} = \frac{\phi_g}{N_{sm} B_{tm} L_{stk}} = \frac{2p\phi_g}{QB_{tm} L_{stk}} \quad (8)$$

치 중앙까지의 반지름을 R_{sm} 이라 가정하면, 슬롯면적은 다음의 식으로 구할 수 있음

$$A_s = 2\alpha_{slot} R_{sm} \theta_s (R_{sm} - R_{ss2}) \quad (9)$$

(R_{ss2} 는 슈 윗단까지의 반지름, θ_s 는 슬롯피치각, α_{slot} 은 치 몸통 중앙에서의 슬롯피치와 슬롯너비의 비)

$$\alpha_{slot} = \frac{R_{sm}\theta_s - W_t}{R_{sm}\theta_s} \quad (10)$$

- α_{slot} 은 결국 치 폭을 결정하며 대략 0.5~0.7 사이값을 가지면 무난함. 단, 비장하 값이 클 경우 α_{slot} 을 너무 크게 가져가면 치가 포화되므로 주의해야 함

식을 풀어 R_{sm} 에 대해 정리하면 다음과 같은, R_{sm} 에 대한 2차 방정식을 얻게 됨

$$2\alpha_{slot}\theta_s R_{sm}^2 - 2\alpha_{slot}\theta_s R_{ss2}R_{sm} - A_s = 0 \quad (11)$$

식을 풀면,

$$R_{sm} = \frac{2\alpha_{slot}\theta_s R_{ss2} + \sqrt{(2\alpha_{slot}\theta_s R_{ss2})^2 + 4\alpha_{slot}\theta_s A_s}}{4\alpha_{slot}\theta_s} \quad (12)$$

- 식 (11)에서 R_{ss2} 를 제외한 모든 값은 계산 가능한 값이므로만 주어진다면 R_{sm} 을 구할 수 있음. R_{ss2} 는 회전자 반경에 슈 높이를 더한 값인데, 슈 높이가 미리 결정된 경우라면 R_{ss2} 는 쉽게 구할 수 있지만 그렇지 않은 경우에는 슈 높이를 먼저 구해야 함. 슈 높이는 일반적으로 치 몸통길이에 대비하여 10%~20% 사이 값으로 주면 무난함

$$d_1 + d_2 = \alpha_{sd} W_{tb} \quad (13)$$

결국

$$R_{ss2} = R_{ro} + d_1 + d_2 \quad (14)$$

이로부터 고정자 보어까지의 반경을 구하면,

$$R_{sb} = R_{ss2} + 2(R_{sm} - R_{ss2}) = 2R_{sm} - R_{ss2} \quad (15)$$

- 백요크의 두께는, 최소 치폭의 결정과 비슷하게 자기포화를 고려하여 최소한의 두께를 결정해 볼 수 있음. 한 극에서 나오는 자속은 치를 거쳐 백요크를 타고 흘러 반대극으로 들어가게 되는데, 이때 자속은 시계방향 및 반시계방향으로 2등분 되어 흐르게 됨. 따라서 극당 자속의 절반을 백요크에서 자기포화 없이 흘릴 수 있어야 함

백요크의 포화 자속밀도를 B_{ym} 이라 하면,

$$2B_{ym} W_{sy} L_{stk} = \phi_g \quad (16)$$

따라서 최소 백요크의 두께는,

$$W_{sy} = \frac{\phi_g}{2B_{ym}L_{stk}} \quad (17)$$

요크폭과 치폭의 관계를 다음과 같음

$$W_{sy} = \frac{1}{2} \frac{Q}{2p} \frac{B_{tm}}{B_{ym}} W_{tb} \quad (18)$$

- 치포화 자속밀도 B_{tm} 과 백요크 포화 자속밀도 B_{ym} 은 실제 코어의 자속 포화레벨보다 더 작게 잡아 주는 것이 일반적인데 이는 전기자 반작용을 고려함. 일반적인 전기강판의 포화레벨이 1.6~1.7 Tesla이므로 대략 1.2~1.5 Tesla정도 이면 적당함
- 백요크 보다는 치가 전기자 반작용에 민감하여, 전기자 반작용이 큰 전동기의 경우 치포화 자속밀도를 백요크 포화 자속밀도보다 낮게 설정해 주는 것이 좋음
- B_{tm}/B_{ym} 은 일반적으로 1이하의 값을 갖게 됨. 나머지 세부적인 슈 (혹은 슬롯) 형상 그리기 위해 필요한 여러 가지 각도는 다음과 같이 계산 할 수 있음

$$\sin\left(\frac{\theta_{st}}{2}\right) = \frac{W_t}{2R_{ss2}} \rightarrow \theta_{st} = 2\sin^{-1}\left(\frac{W_t}{2R_{ss2}}\right) \quad (19)$$

$$2R_{si}\sin\left(\frac{\theta_{so}}{2}\right) = W_{so} \rightarrow \theta_{so} = \sin^{-1}\left(\frac{W_{so}}{2R_{si}}\right) \quad (20)$$

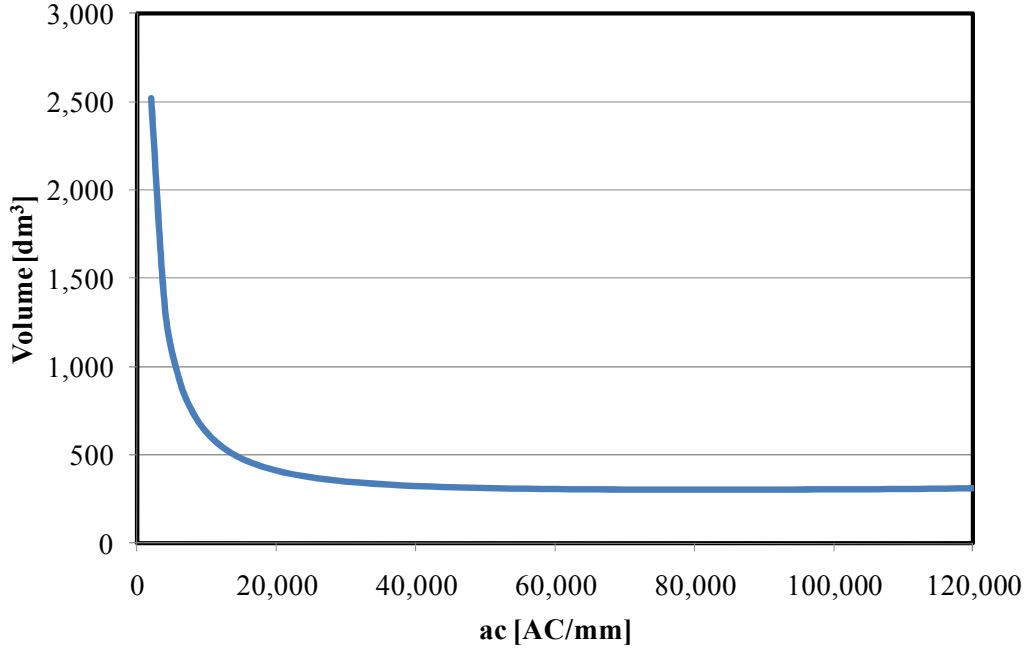
$$\theta_s = \theta_{ss} + \theta_{so} \rightarrow \theta_{ss} = \theta_s - \theta_{so} \quad (21)$$

$$2R_{ss1}\sin\left(\frac{\theta_{so2}}{2}\right) = W_{so} \rightarrow \theta_{so2} = \sin^{-1}\left(\frac{W_{so}}{2R_{ss1}}\right) \quad (22)$$

$$\theta_s = \theta_{ss2} + \theta_{so2} \rightarrow \theta_{ss2} = \theta_s - \theta_{so2} \quad (23)$$

(12) 설계 수순사이즈 최소화

- 비전기장하가 특정 값 이상으로 커지게 되면 총 부피의 감소에는 큰 영향을 주지 않으며 오히려 부피가 커지게 됨. 따라서 비전기장하의 증가 폭에 대한 전체부피의 증가율이 특정범위 이내로 들어올 때까지 비전기장하를 키워가며 설계를 해 볼 수 있음. 이를 위해 비전기장하의 증가에 대한 부피의 증가율을 계산하여 이 값이 특정 범위 내로 들어오는지 판단하게 됨



[ac에 따른 전체부피의 변화]

- 영구자석의 공극자속밀도를 계산하고 회전자 사이징 및 D_g 와 L_{stk} 를 분리하는 부분임. 이 두 과정은 동시에 이루어지게 되는데, 공극자속밀도를 정확하게 구하기 위해서는 립 누설자속을 정확히 계산해야 하고, 이를 위해서는 영구자석 사이징이 이루어져야 함
- 공극자속밀도를 구하기 위한 수식은 회전자 형상 별로 다름. 특별히 B_{leak} 는 립 누설자속에 대한 등가 누설 자속밀도임. 바타입 매입형 영구자석 전동기의 경우 등가 누설자속밀도는 다음과 같은 수식임

$$B_{leak} = \frac{2B_{sat}t_{rib}}{W_m} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \hat{B}_{g1} &= \frac{p}{\pi} \int_{-\pi/p}^{\pi/p} B_g(\theta) \cos(p\theta) d\theta = \frac{2p}{\pi} \int_0^{\pi} B_g(\theta) \cos(p\theta) d\theta \\ &= \frac{4p}{\pi} \int_0^{\theta_m/2} B_g \cos(p\theta) d\theta \\ &= \frac{4}{\pi} B_g \sin \frac{p\theta_m}{2} \end{aligned} \quad (26)$$

- 공극자속밀도 B_g 는 공극자속밀도 파형을 가정한 상태에서의 값이며 공극자속밀도 파형은 극호율에 따라 변하게 됨. 극호율은 초기 설계 시 미리 결정한 값이므로 공극자속밀도의 기본파 성분을 식 (26) 같이 구할 수 있음

$$N_{ph} = \frac{E_0}{k_w \phi_{g1}} \quad (27)$$

- 공극자속밀도 기본과 성분과 D_g 와 L_{stk} 이 결정된 상태에서는 기본과 성분에 의한 공극자속량을 식 을 이용하여 구할 수 있음. 공극자속량은 결국 권선의 직렬 턴수를 계산하기 위해 사용됨. 식(27) 을 사용하면 상당 직렬 턴수를 구할 수 있음

나. 전동기 사양 및 해석모델

(1) 각륜구동 전동기의 제약조건에 따른 설계 예시

- 각륜구동 전동기 견인력 및 용량 산정

(가) 주행저항 (최고속도 100 km/h에서)

$$\begin{aligned} R_r[kgf] &= (1.82 + 0.0359 V) W + 0.0745 V^2 \\ &= (1.82 + 0.0359 \times 100) \times 357.2 + 0.000745 \times 100^2 \\ &= 1940[kgf] = 19,000[N] \end{aligned}$$

(나) 기동 시 견인력(FE)

$$\begin{aligned} F_E &= 28.35 \times W \times 1.05 \times \alpha + R_s \times W \quad [kgf] \\ &= 28.35 \times 357.2 \times 1.05 \times 3.0 + 4 \times 357.2 \\ &= 33,330 [kgf] = 326,700 [N] \end{aligned}$$

(차량1편성, 전동기40 [EA]=5모터카*2대차*4전동기)

(다) 전동기 1대당 토크 (기동토크)

$$T = \frac{F_E \times r}{N \times \rho \times \eta} \quad [Nm]$$

여기서, N : 전동기 수 = 40

ρ : 전동기와 차륜의 치차비 = 1 (직축)

η : 동력전달율 = 1 (직축)

F_E : 총 견인력 = 326,700 [N]

r : 차륜반경 = 0.44 [m]

먼저 치차비를 계산하면,

- ① 차륜직경 = 0.88 [m] [반마모 직경은 약 0.82[m]가 적정]
- ② 최고속도 100 [km/h] 일 때 초당 속도 : $\frac{100,000}{3,600} = 27.78 [m/s]$
- ③ 최고속도에서의 차륜당 초당 회전수 : $\frac{27.78}{2.576} = 10.784 [rps]$
- ④ 직축구동의 경우, $10.784 \times 60 = 647.04 [rpm]$
- ⑤ 감속비(치차비) : 직축구동의 경우, 치차비는 1

∴ 전동기 1대당 기동토크

$$T_s = \frac{F_E \times r}{N \times \rho \times \eta} = \frac{326,700 \times 0.41}{40 \times 1} = 3350 [Nm]$$

(라) 최고속도(100 [km/h])에서의 전동기 1대당 토크

$$T_{ms} = \frac{38,000 \times 0.41}{40} = 390 [Nm]$$

(마) 전동기 1대당 출력은 (40km/h에서), (단, 정격속도는 표정속도도, 최고속도도 아닌 역 간의 평균속도 부근으로 정한다.)

$$P = T_s \times w = 3,350 \times 260 \times \frac{2\pi}{60} \doteq 91 [kW]$$

차량의 기동 전인력과 주행속도를 이용한 식으로 출력을 검증해보면,

$$P = \frac{F_E \times V}{367.3} = \frac{33,330 [kgf] \times 40 [km/h]}{367.3 \times 40 \text{대}} \doteq 91 [kW]$$

설계 여유율을 고려하면,

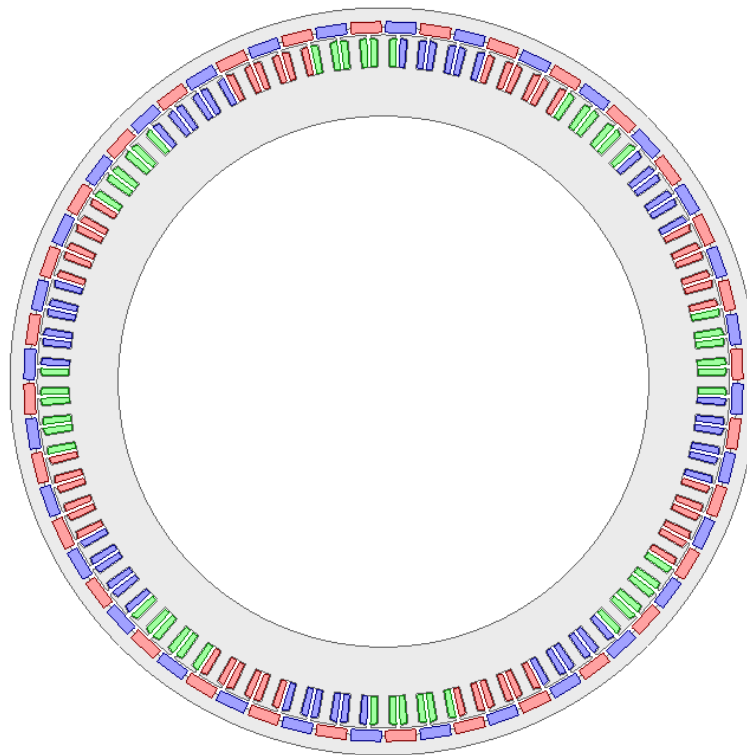
$$P = 91 \times 1.2 (\text{여유율}) \doteq 110 [kW]$$

$$\begin{aligned}\text{견인전동기의 견인력(kN)} &= \frac{\text{출력} \times 3600 \times \text{기어효율} \times \text{견인전동기 대수}}{1000 \times \text{속도(km/h)}} \\ &= \frac{110 \times 3600 \times 0.975 \times 40}{1000 \times \text{속도(km/h)}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{견인전동기의 토크(Nm)} &= \frac{\text{견인력} \times 1000 \times \text{차륜의 반지름(m)}}{\text{기어비} \times \text{기어효율} \times \text{견인전동기 대수}} \\ &= \frac{\text{견인력} \times 1000 \times 0.41}{40}\end{aligned}$$

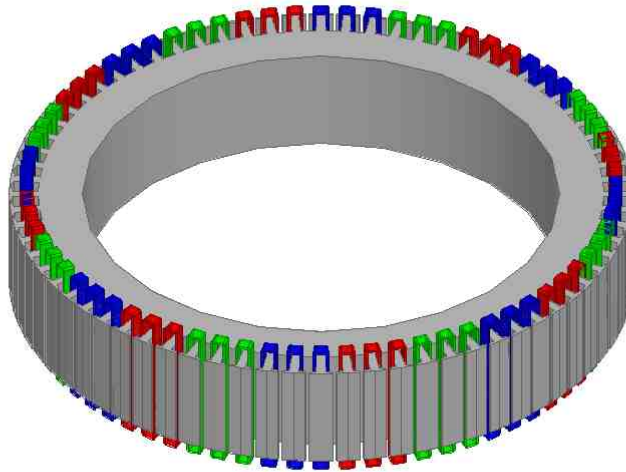
(2) 전동기 해석모델

- 아래 그림은 Traction 전동기의 2차원 해석 모델이다. 실제 FEM 해석에서는 1/8 Model 만을 사용하여 계산하게 된다.



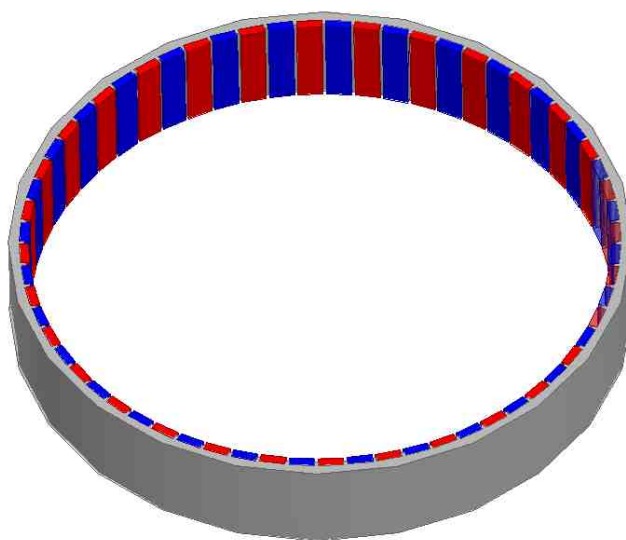
[64 극 72 슬롯 구조 Traction]

- 아래 그림은 고정자와 권선 조립도이다.



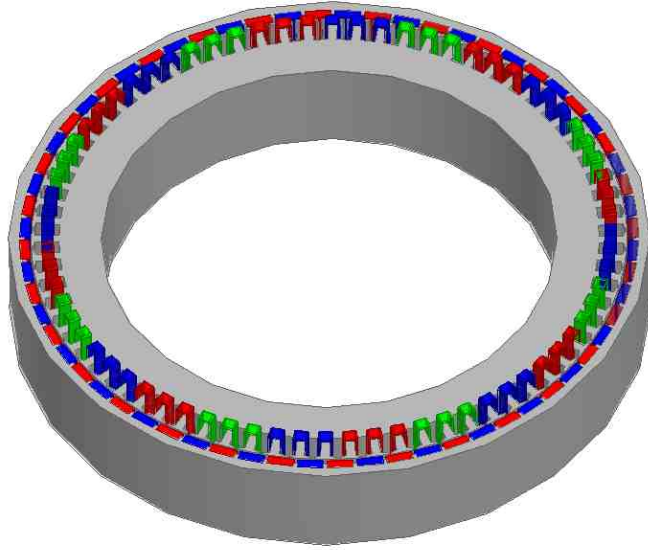
[고정자와 권선 조립도]

- 다음 그림은 회전자 요크와 영구자석의 조립도이며, 이 회전자 유닛이 전동차륜과 직결되어 회전하면서 추진력을 발생시키게 된다.



[회전자 요크 및 영구자석 조립도]

- 전체 직구동 전동기의 조립 구조 예상도는 다음과 같다.



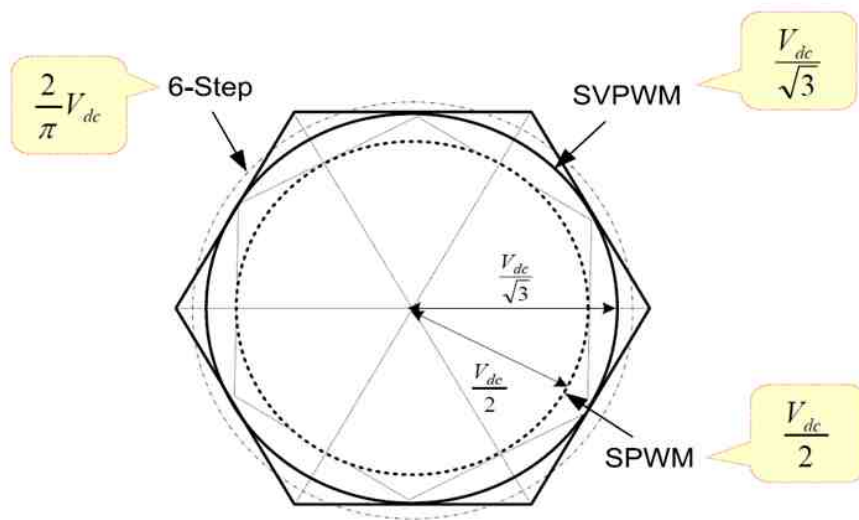
[직구동 외륜형 Traction PMSM 예상 구조도]

다. 추진제어장치의 전기적 제한사항

(1) 전압

- DC 1,500V 입력시
- SVPWM 기준 상전압 제한치 :

$$V_{\max} < \frac{V_{DC}}{\sqrt{3}} = \frac{1500}{\sqrt{3}} = 866 [V_{peak}]$$



< 전압제한 >

	Six-step 구형파	SPWM	SVPWM	DC1,500V 적용시(SVPWM)
상전압 Peak	$\frac{2}{\pi} V_{DC}$	$\frac{1}{2} V_{DC}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} V_{DC}$	866 [V]
상전압 RMS	$\frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{DC}$	$\frac{1}{2\sqrt{2}} V_{DC}$	$\frac{1}{\sqrt{6}} V_{DC}$	612 [V]
선간전압 Peak			V_{DC}	1,500 [V]
선간전압 RMS			$\frac{1}{\sqrt{2}} V_{DC}$	1,060 [V]

(2) 무부하 역기전력 제한치

- 최고속도에서 무부하 타행시 발생하는 전압을 견디도록 IGBT 사용

- IGBT 소자 : 2,000V, 600A 사용
 - 상전압 기준으로 하면, $2000/\sqrt{3} = 1,155 \text{ V}$
 - 최고속도에서 1,155 [V_{peak}]
 - 정격속도에서의 스위치 피크 전압보다 E_0 가 낮도록 설정
 - 정격속도에서 무부하 역기전력 462 [V_{peak}] 이하의 영구자석 설계
- 공급 전압의 최대치는 866 [V_{peak}] 이므로,
 - 정토크 구간에서는 무부하 역기전력이 866 [V_{peak}]를 넘지 말아야 함
 - 정출력 구간에서는 최고속도까지 약계자 제어를 하므로 최고속도에서의 역기전력 또한 866 [V_{peak}]를 넘지 말아야 함

(3) 불가역 감자 전류 제한치 : 우선 비교려

(4) 전류

- 추진제어장치의 요구되는 전류(모터 입력 전류)는

$$P [kW] = 3 \cdot V_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \eta \cdot \cos\phi$$

- 직류 링크 전압(Vdc) : 1,500V
- 인버터 출력 전압 = $V_{dc} \div \sqrt{2} \simeq 1,060\text{V}$ (선간전압 RMS)
- 모터 역률 : 0.9
- 모터 효율 : 0.96
- 모터 정격 용량 : 110 kW

$$I_{ph} [A] = \frac{P \cdot 10^3 [W]}{3 \cdot V_{ph} \cdot \eta \cdot \cos\phi} = \frac{110 \cdot 10^3 [W]}{3 \cdot \frac{1500}{\sqrt{6}} \cdot 0.96 \cdot 0.9} = 59.8 \simeq 69 [A]$$

(5) 용량

$$P_{input} [kVA] = \frac{P_{output} [kW]}{\eta \cdot \cos\phi} = \frac{110 [kW]}{0.96 \cdot 0.9} \simeq 127 [kVA]$$

- 인버터 용량

$$127[kVA] \times 1 = 127[kVA] \quad (1C1M)$$

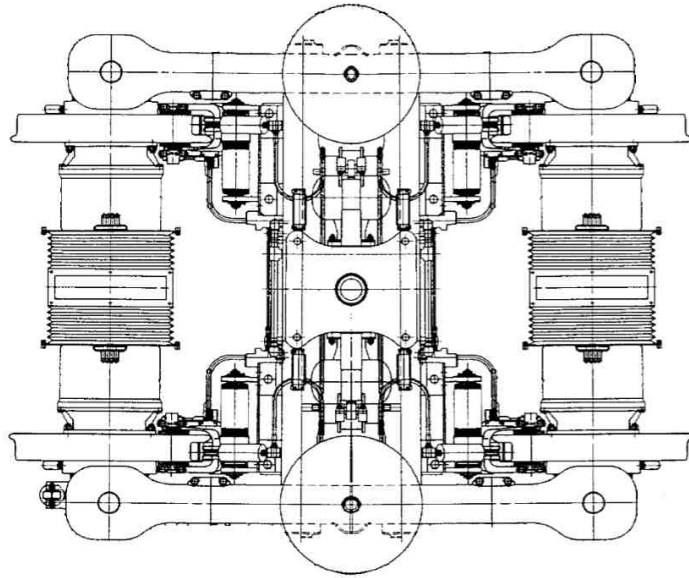
- 인버터 출력 전류

$$\frac{127kVA}{\sqrt{3} \times 1060V} = 69[A]$$

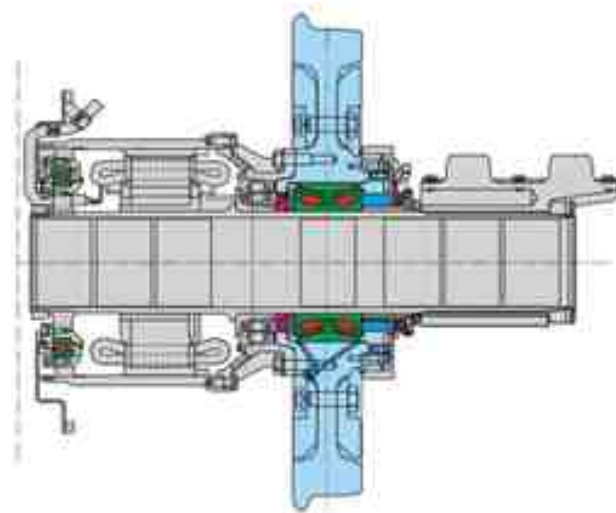
최고속도	100 [km/h] (선속도 27.78[m/s])
가속도	3.0 [km/h/s]
1편성	10량 (5M5T)
1편성 전동차 무게	357.2 [ton]
량당 전동기 수	8 대
총 전동기 수	40 대
최고속도에서의 주행저항 (no slope)	19,000 [N]
기동시 견인력	326,700 [N]
차륜직경	0.88[m] (반마모 0.82[m])
공급전압	DC 1,500 [V]
제어법	SVPWM
공급 전류	69 [A]
인버터 용량	127 [kVA]
기어비	1
전동기 대당 용량	110 [kW]
전동기 당 기동토크	3350 [Nm]
전동기 최고속도	647 [rpm]

라. 각륜구동 전동기의 탑재형상

- 독립차륜시스템의 각륜구동 전동기는 대차와 차축방향으로의 차축상의 차륜슬라이딩의 특징을 갖는다. 차륜에 직접 전동기를 탑재할수 있는 직결구동형 각륜구동 전동기임. 대차에 장착된 각륜구동 전동기의 위에서 보는 모습과 측면에서 보는 모습에 대한 예시는 다음 그림과 같음.



[각륜구동 전동기 대차 장착 상부 모습(예시)]



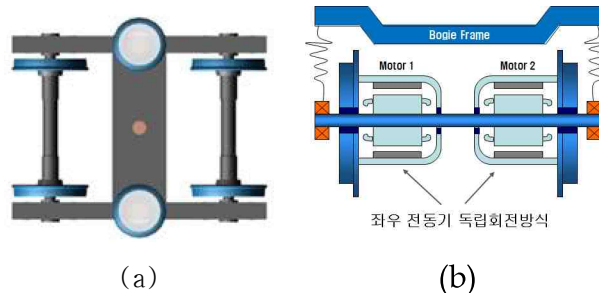
[각륜구동 전동기 대차 장착 측면 모습(예시)]

- 차륜과 주전동기를 일체로 하는 독립 차륜 회전방식의 대차이다. 차축은 비회전축으로 그 양단에 고정되어있음. 차륜은 측면에 브레이크 디스크를 붙여 차륜의 보스부에 주전동기 회전자가 볼트결합으로 되어 일체의 유닛으로 되도록 함. 이 유닛은 차륜의 내측과 주전동기 내측의 축수를 두어 외통에 대해 회전가능 하게 지지 되도록 함. 이에 따라, 좌우의 차륜은 각각 독립적으로 회전함.

4. 연구개발 기대효과

가. 소음 및 마모

- 일반적인 철도차량의 윤축은 단일축 차륜(solid-axle wheelset)으로서 좌우 차륜과 차축이 하나의 조립체로 구성됨. 수동형 차량이 곡선구간을 주행할 때, 원활한 곡선주행을 위해선 내외궤 차륜간 구름회전수의 차이가 요구됨. 그러나 단일축 차륜의 경우에는 이 조건을 충족시키지 못하여 차륜과 레일간에는 공격각이 발생하고 차륜의 종/횡방향으로 불필요한 작용력이 발생하게 되어 차륜의 마모나 소음발생의 요인이 되고 있음. 따라서 이를 개선하기 위하여 좌우 차륜이 각각 독립적으로 회전할 수 있는 독립차륜(independently rotating wheelset) 방식에 능동조향까지 가능하기 위해서는 각 차륜의 회전속도도 제어할 수 있는 각륜구동 전동기가 필요함. 본 절에서는 철도차량의 곡선주행성능에 한정하여 단일축 차륜과 독립차륜(각륜구동전동기 적용)을 대상으로 윤축의 조향성능을 분석하고자 함.
- 단일축 및 독립차륜 형식(각륜구동전동기 적용)에 대해 곡률반경 300m인 R300곡선 주행시를 가정하여 곡선구간 주행 시 윤축의 조향성능을 분석하였음.
 - (a) 단일축 차륜 방식
 - (b) 독립차륜의 능동조향 방식(각륜구동 방식)



[차륜 및 조향 방식]

- 다음 표의 조향성능 해석 결과를 통해 공격각, 횡압특성이 가장 큰 윤축에 대해 살펴보면 단일축 방식에 비하여 독립차륜 형식에 적용한 능동조향의 경우(각륜구동 방식)에 공격각과 횡압의저감 효과가 큼을 알 수 있음. 따라서 곡선주행성능관점에서만 보면 윤축의 원활한 조향성능 구현을 위해선 독립차륜형식 윤축에 능동조향기술을 적용한 윤축 조향방식인 각륜구동 방식이 효율적일 것으로 기대됨.

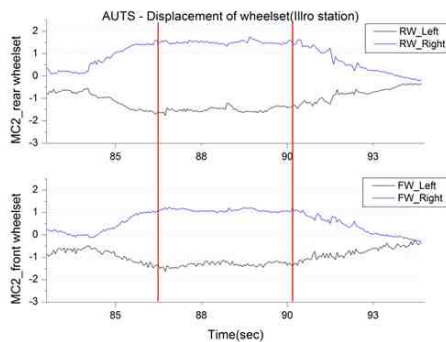
구 분	일반대차	능동조향
횡압	1 (약18.5kN)	0.73 (약13.5kN)
공격각	1 (약0.3kN)	0.16 (약0.05kN)

※ 자료 : 철도차량 차륜명스에 따른 조향성능해석, 2014년 한국철도학회 춘계학술대회 논문집.

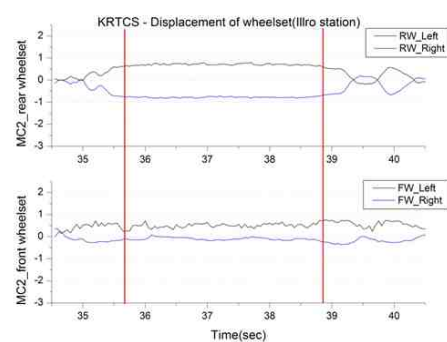
차세대 전동차 신뢰성 평가 3차년 보고서, 도시형 친환경 열차-대차 보고서 참조

- 자기조향 방식의 경우는 실제 측정된 조향각 결과를 바탕으로 횡압을 비례값으로 가정하여 도출하였음. 차세대전동차에 설치되어 있는 자기조향장치의 조향각과 기존 전동차(KRTCS)의 조향각을 동일구간 주행을 통해 측정하였음. 조향각 측정은 레이저 측정장치를 이용하여 수행하였는데 레이저빔 송신단에서 레이저 빔을 쏘면 조향대차 맞은 편에 있는 반사판에서 빔을 반사하고 이를 송신단 옆에 붙어있는 수신단에서 체크하는 식으로 진행하였음. 송신단에서 보낸 레이저 광선이 수신단에 꺾여서 들어오는 정도를 계측하여 곡선부 통과시 어느 정도 꺾일 수 있는지 체크함으로써 조향각을 측정하였음.

(차세대전동차 조향각 : 0.0024 [rad], 기존전동차 조향각 : 0.0009 [rad])



[차세대전동차 윤축의 조향변위]



[KRTCS 전동차 윤축의 조향변위]

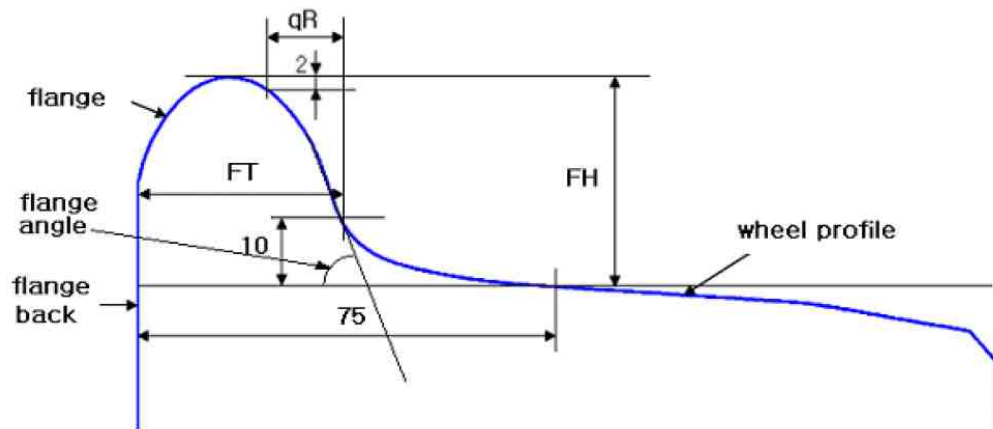
○ 차륜 마모 특성

- 현 도시철도차량의 주행 상태 파악을 위한 실험적 연구를 한국철도기술연구원에서 2007년~2008년에 실험적 연구를 수행하였음. 주행거리 누적에 따른 주행특성, 차륜 마모, 소음을 분석하기 위하여 도시철도용 전동차를 대상으로 현차 시험을 수행하였음. 시험차는 차량 상태가 양호하고 3Y 수준으로 검수 완료한 차량 1편성을 대상으로 하였음. 시험

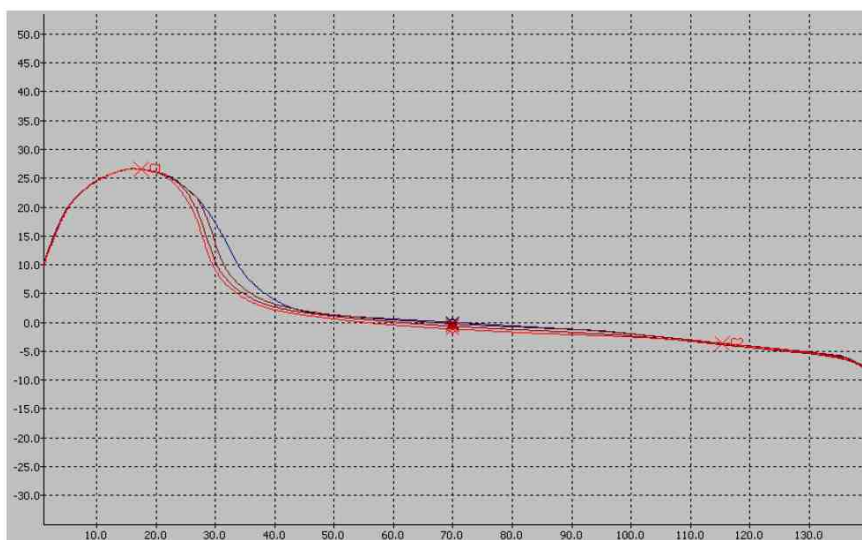
기간은 12개월 이상하였고, 누적주행거리는 약 113,911km이었음. 차륜의 마모 결과는 다음 표와 같음.

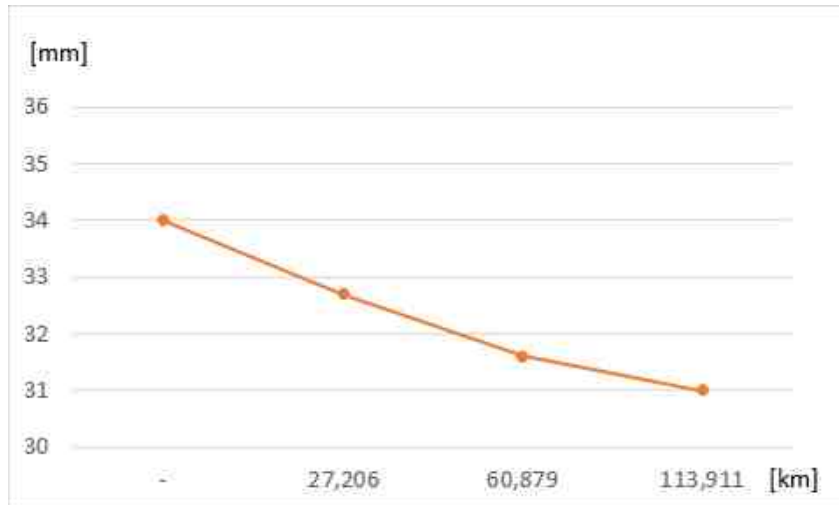
구 분	시험일	누적주행거리(km)	플랜지두께(mm)
1차	2007.4.26	0	34.0
2차	2007.8.5	27,206	32.7
3차	2007.11.28	60,879	31.6
4차	2008.5.23	113,911	31.0

- 누적주행거리 113,911km의 4차시 플랜지 두께 평균은 34.0mm에서 31.0mm로서 초기 원형상태에 비하여 3.0mm의 마모가 진전되었음.



[차륜 주요 치수]

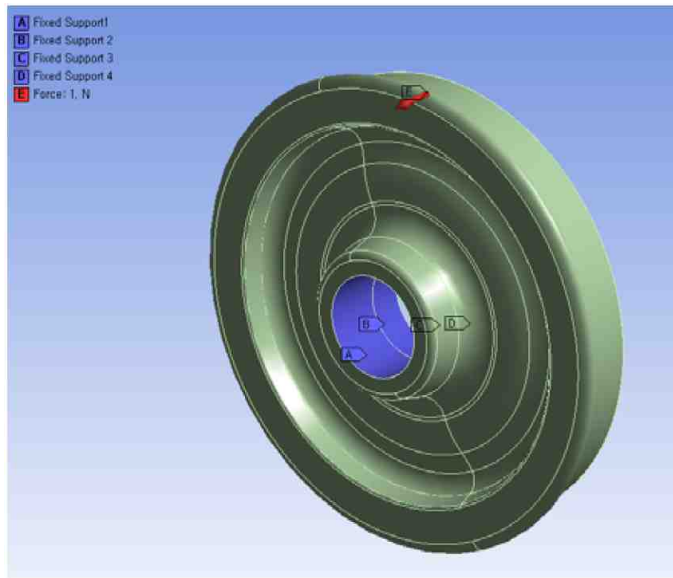




[플랜지 두께 변화]

○ 능동조향제어에 의한 소음저감효과 특성

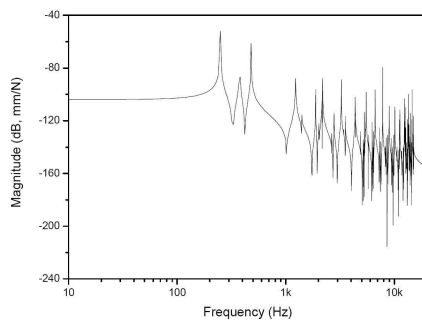
- 능동조향에 의한 곡선부 소음 저감효과를 살펴보면, 먼저 곡선부 소음은 진동음 외에 진행방향의 스틱-슬립에 의한 스킨음과 횡방향의 스틱-슬립에 의한 스킨음 및 플랜지 스킨음으로 분류됨. 이러한 스킨음들은 차량이 곡선부를 스틱-슬립 현상이 없이 마치 직선부를 주행하는 것처럼 자연스럽게 통과하는 경우에는 발생하지 않거나 매우 낮은 소음 수준을 가질 것으로 예상됨. 즉, 스틱-슬립 현상과 플랜지 접촉현상이 없으면 그에 따른 소음도 없을 것으로 예상되는 것임. 외국의 연구결과에 의하면 스틱-슬립 스킨음과 플랜지 스킨음 모두 곡선부에서 차량에 가해지는 종방향 및 횡방향 크립력에 의해 차량의 고유진동모드 성분이 공진이 되어 방사소음을 발생함에 그 원인이 있다고 알려져 있음. 즉, 곡선부 소음은 차량의 공진모드와 직접적인 관련이 있는 것임.
- 따라서 능동조향제어에 의해 곡선부를 스틱-슬립 및 플랜지 접촉없이 원활히 주행하도록 하면 곡선부 소음이 매우 저감될 것으로 판단됨.
- 다음 그림들은 차량/레일 접촉점에서 가진을 하였을 경우에 대한 차량의 전달함수를 보여주고 있음. 총 4가지 경우에 대해 검토를 한 바, 횡방향 가진력이 작용한 상태에서의 횡방향 전달함수가 다른 경우에 비하여 상대적으로 가장 강하게 영향을 받음을 알 수 있었음. 곡선부에서의 횡방향 스틱-슬립 스킨음 및 플랜지 스킨음 모두 횡방향 가진력에 영향을 받는 부분이므로 차량에 작용하는 횡압이 곡선부 소음에 가장 큰 영향을 줄 수 있음.



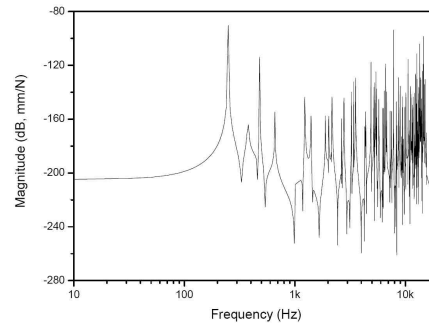
[차륜의 모드해석을 위한 FEM 모델]

- 해석조건

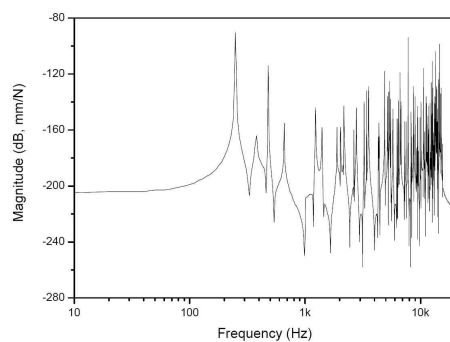
- 답면에 Harmonic Lateral Force 및 Longitudinal Force 인가
- 차축삽입부 고정
- Point “E” 변위량 해석



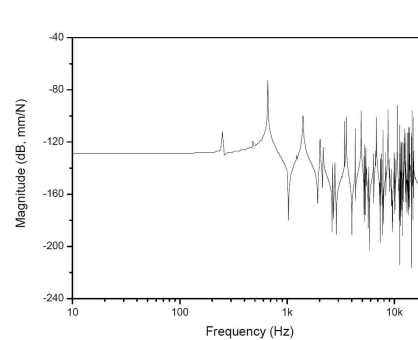
[Frequency Response for
Lateral Displacement in
Lateral Excitation]



[Frequency Response for
Longitudinal Displacement in
Lateral Excitation]

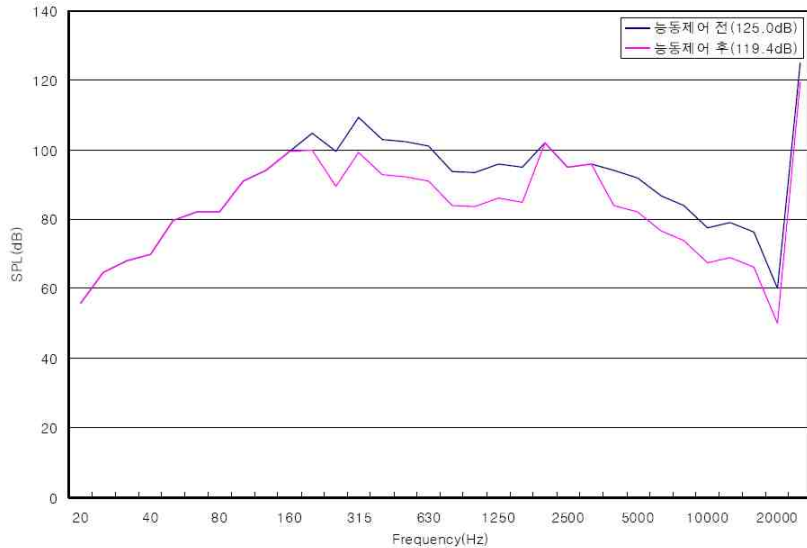


[Frequency Response for
Lateral Displacement in
Longitudinal Excitation]



[Frequency Response for
Longitudinal Displacement in
Longitudinal Excitation]

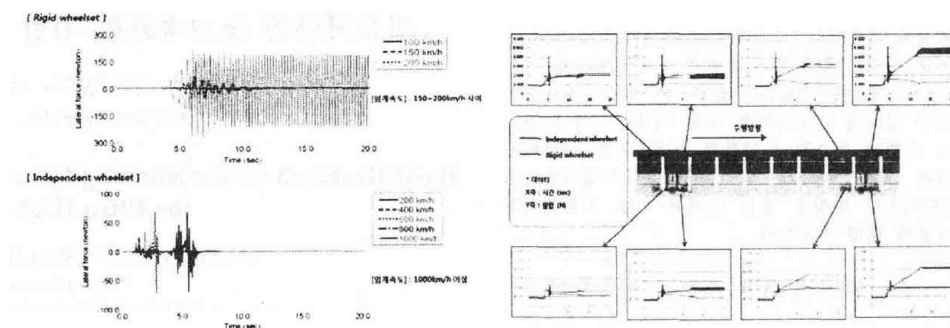
- 다음 그래프는 능동조향제어 전후의 곡선부소음의 차이를 시뮬레이션하여 1/3-옥타브밴드 데이터로 나타낸 결과이다. 전체적으로 능동제어 전에 비해 능동제어 후의 소음수준이 약 5dB(A) 감소할 것으로 예측됨.



[능동조향제어 전·후의 소음수준 예측결과]

○ 주행안정성 검토

- 일체형 윤축은 필연적으로 동역학적인 임계속도가 존재하며 이 속도제한으로 인해 초고속화의 첫 번째 걸림돌이 됨. 좌우측 차륜을 독립시켜 다른 회전수로 주행할 수 있도록 한 독립차륜 방식은 이론적으로 이와 같은 임계속도가 없는 것으로 알려져 있으며 500km/h를 상회하는 초고속화를 이루기 위해선 채택이 불가피한 방식임. 동역학적 임계속도를 예측하기 위해 이상적인 직선궤도에 초기 외란을 주고 속도를 증가시켜가며 외란에 의한 초기 진동이 감소되어 가는 정도를 보고 안정성이 상실되는 속도를 추정하기 위하여 수치해석은 ADAMS-Rail(현 VI-Rail) S/W를 사용하였음.



[임계속도 해석결과]

[곡선추종성 해석결과]

※ 철도차량의 초고속화를 위한 독립차륜형 주행장치 기초연구, 2013년 대한기계학회 논문집 및 제어부분 춘계학술대회 논문집 참조

또한 곡선 추종성능을 파악해 보기 위해 500m 반경, 캔트 50mm, 완화곡선장 350m의 궤도 불규칙이 없는 이상적 곡선궤도를 주행하는 시뮬레이션을 수행하였음. 해석속도는 150km/h를 적용하였음.

임계속도 해석결과에 따르면 일체형 차륜의 기존 전동차 모델의 경우 임계속도가 150에서 200km/h 범위에 있는 것으로 나타났으며 독립차륜의 경우 1000km/h까지 불안정성이 나타나지 않는 것으로 나타났음

일체형 윤축과 독립차륜에 대한 곡선추종성 해석결과에 따르면 직전에서 완화곡선, 본곡선으로 이어지는 구간에서 곡선 외측과 내측에 발생하는 횡방향 하중에 대한 결과를 비교한 것으로 독립차륜 모델이 일반차륜보다 더 큰횡압이 발생하는 것으로 나타났음. 하지만 능동조향과 같은 조향제어를 통해 횡압을 낮출 수 있으므로 독립차륜방식은 각륜구동전동기와 같은 능동조향방식의 적용이 필수적이라고 할 수 있음

○ 결론

- 다음 표는 앞서 검토한 데이터를 근거로 작성되었음. 횡압 데이터를 기준으로 기존 능동조향이 소음분석을 통해 소음값을 계산하고, 소음과 마모는 밀접한 관계가 있으므로 기존 일반대차 마모 분석을 통해 마모를 선형 비례값으로 예측한 것임. 따라서 각륜구동전동기를 적용할 경우 기존 대비 스킵 소음 5dB(A), 마모 25%를 저감할 수 있을 것으로 예상됨.

구 분	일반대차	자기조향	능동조향	독립차륜
조향각	1 (0.31rad)	2.7 (0.12rad)	5.4 (0.058rad)	0.8 (0.388rad)
횡압	1 (18.5kN)	0.92 (17.04kN)	0.73 (13.5kN)	1.07 (20.0kN)
소음	125.0dB(A)	123.3dB(A)	119.4dB(A)	126.6dB(A)
차륜마모 (113,911km 주행시)	3mm	2.76mm	2.19mm	3.23mm

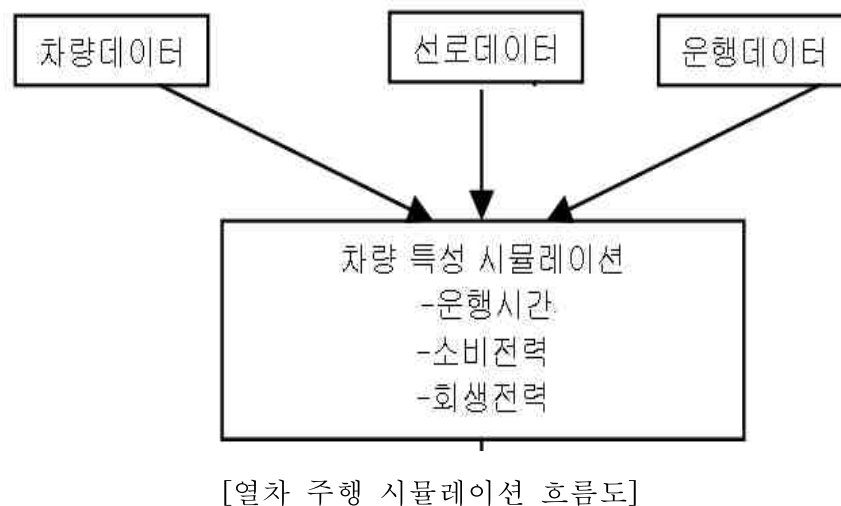
※ 철도차량 차륜형식에 따른 조향성능해석, 2014년 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 자세대 전동차 신회성 평가-2차년 보고서, 도시형 친환경 열차 대차 보고서 참조

※ 횡압 데이터를 기준으로 기존 능동조향의 소음분석을 통해 소음을 선형적으로 분석하고, 기존 일반대차의 마모분석을 통해 마모를 선형적으로 분석함

나. 에너지 절감

(1) 열차 주행시뮬레이션(TPS) 수행

- 전철차량의 부하 및 전력사용량은 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 구한다. 열차는 급전계통에서 보면 계속 이동하는 집중부하이므로 그 변화가 매우 심하고 다른 열차와의 간격에 따른 영향도 시시각각 다르게 나타남. 따라서 급전계통에 나타나는 현상을 정확히 파악하기 위해서는 급전계통 자체의 전기적인 특성이외에도 열차의 주행 특성 및 전력 소비 패턴, 궤도의 구배 및 곡선반경 등 종합적인 시스템에 대한 해석이 필요함.
- 열차주행시뮬레이션(TPS, Train Performance Simulation)은 차량데이터, 선로, 운행조건을 입력조건으로 하여 열차운행시간, 역행전력 및 회생전력을 구해낸다. 차량데이터로는 차량무게, 편성, 가속도, 감속도, 보조동력, 최고속도, 견인효율, 제동효율, 공칭전압 등이 입력되고, 선로데이터로는 곡선 및 구배, 역사위치, 운행조건으로는 정차시간 등이 입력됨.
- 전동차 운전모드는 수동운전모드와 자동운전모드가 있으며, 두 운전모드에 따라 회생제동시 발생하는 회생전력량이 다르게 나타남. 수동운전모드는 운전자에 따라 같은 구간을 운전할지라도 항상 다른 운전패턴을 보이므로 시뮬레이션으로 구현해내기가 사실상 불가능함. 따라서 시뮬레이션은 동일 구간을 항상 일정하게 운행하고, 동일 패턴의 회생에너지를 발생하는 자동운전모드로 수행하게 됨. 차량데이터, 선로데이터, 운행데이터의 입력조건을 통해 자동운전모드의 열차주행시뮬레이션이 수행이 됨. 이러한 열차 주행 시뮬레이션의 흐름을 아래에 나타내었음.



- 본 기획과제에서는 열차 주행 시뮬레이션을 통해 기존 전동기와 PMSM 각륜구동 전동기의 사용에너지를 비교·분석하였음. 대상노선은 4호선 상계~사당구간으로 하였음.

(2) 서울 4호선 적용

(가) 입력데이터

① 차량제원

- 최고속도 : 100 [km/h]
- 가감속도 : 가속도 : 3.0[km/h/s]
감속도 : 상용 3.5[km/h/s]
- 전동차 편성 : 10량 (TC-M-M'-T-M'-T1-T-M-M'-TC)
- 전동차 무게 : 357.2[ton]
(Tc: 33.1ton, M: 40.0ton, M': 42.0ton, T: 26.5ton, T1:32.0ton)
- 제어방식 : VVVF제어
- 주전동기 : 200kW
- 보조동력 : 180 kVA
- 기존 전동기 효율 : 92%
- 각률클구동 전동기 효율 : 96%

② 역 위치

구분	역사명	역 위치[m]	구분	역사명	역 위치[m]
101	상계	1220	113	동대문운동장	16190
102	노원	2260	114	충무로	17460
103	창동	3693	115	명동	18180
104	쌍문	5043	116	회현	18920
105	수유	6499	117	서울역	19770
106	미아	7850	118	숙대입구	20763
107	미아삼거리	9370	119	삼각지	21993
108	길음	10620	120	신용산	22660
109	성신여대	12050	121	이촌	23925
110	한성대입구	13065	122	동작	26602
111	혜화	14065	123	충신대입구	28379
112	동대문	15480	124	사당	29537

③ 선로 데이터

㉠ 곡선

시작[m]	끝[m]	곡선[m]	시작[m]	끝[m]	곡선[m]
850	1013	175	15840	16001	350
1134	1248	1000	16039	16434	400
1371	1612	250	16469	16511	1000
1674	1827	260	17387	17660	600
1889	2050	300	17754	17923	700
2911	3085	500	18347	18571	370
3133	3315	500	18750	18889	400
4160	4358	1000	18954	19157	400
4539	4866	250	19267	19649	250
5511	5751	1000	19694	19887	1000
6649	6979	300	20107	20284	600
7039	7215	800	20563	20723	900
8170	8207	6000	21352	21461	2000
8830	9058	600	21539	21853	250
9362	9399	3000	22452	22516	2000
9546	9699	900	22763	23241	250
9739	9953	260	23323	23514	350
10081	10283	900	23706	23758	1000
10350	10574	400	24394	24460	2000
11260	11562	900	24514	24912	250
11777	11856	850	25016	25183	600
11896	12156	400	26351	26818	400
12198	12382	320	26856	27240	298
12496	12539	1200	27304	27511	400
12660	12747	1000	27757	27886	1500
12835	12861	1200	28006	28229	1200
13039	13178	1500	28265	28466	1200
13220	13841	400	29125	29196	1500
14040	14202	720	29320	29372	900
14382	14710	250	29395	29455	900
14730	14902	250	29777	29976	300
15334	15779	450			

㉡ 구매

시작[m]	끝[m]	구매[%]	시작[m]	끝[m]	구매[%]
760	1097	-2	15285	15590	-2
1097	1350	-3	15590	15840	3
1350	1860	-12	15840	16090	3
1860	2110	2	16090	16340	6
2110	2370	-2	16340	16690	21
2370	2600	0	16690	17020	2
2600	2800	29	17020	17320	25
2800	3140	-20	17320	17560	-2
3140	3340	-16	17560	18020	3
3340	3865	-4	18020	18320	-2
3865	4310	-34	18320	19060	2
4310	4910	15	19060	19260	-13
4910	5320	7	19260	19460	-12
5320	5680	-29	19460	19670	-7
5680	6080	12	19670	20380	-3
6080	6360	-11	20380	20630	-23
6360	6610	3	20630	20870	-6
6610	7120	11	20870	21070	-1
7120	7320	8	21070	21396	-1
7320	7760	2	21396	21880	-7
7760	7960	-8	21880	22120	-2
7960	8300	5	22120	22320	10
8300	8560	-8	22320	22520	-15
8560	8940	-4	22520	22889	2
8940	9220	-23	22889	23293	12
9220	9470	-5	23293	23805	-5
9470	9810	5	23805	24120	6
9810	10010	3	24120	24440	-2
10010	10210	2	24440	24660	24
10210	10450	7	24660	25007	32
10450	10725	-2	25007	25247	26
10725	11300	4	25247	26450	1
11300	11640	-10	26450	26780	-4
11640	11970	-5	26780	27000	-4
11970	12180	5	27000	27600	-32
12180	12610	14	27600	27860	-5
12610	12960	0	27860	28260	-9
12960	13200	7	28260	28510	3
13200	13510	16	28510	28710	18
13510	13880	-17	28710	28920	14
13880	14125	-7	28920	29205	-28
14125	14600	4	29205	29425	-3
14600	14996	-15	29425	29640	-2
14995	15285	-34	29640	30000	2

(3) 전동차 주행 시뮬레이션 결과

- 상계~사당 구간을 기존 전동기를 적용한 전동차와 PMSM 각률푼동 전동기를 적용한 전동차로 구분하여 주행하는 상황을 열차데이터, 선로데이터를 사용하여 열차 주행 시뮬레이션을 수행함. 시뮬레이션 결과는 다음과 같음.
- 기존 전동기 적용시보다 PMSM 각률푼동 전동기 적용시 약 10.4% 에너지 절감.

구 분	역행에너지[kWh]	회생에너지[kWh]	계[kWh]
기존 전동기	1771.9	691.1	1,080.8
PMSM 각률푼동 전동기	1654.1	685.9	968.2
저감			112.6

- 약 10.4%의 에너지 절감을 기준으로 전국 도시철도차량의 전력 절감비를 계산하면 약 155억원/년 절감할 수 있음. 또한 상계~사당 왕복시 약 74.2초 주행시간을 줄일 수 있음.
- 현재 국내에서 운행중인 도시철도용 차량의 수: 7,958량
- 도시철도차량이 사용하는 전력요금: 1,991억원/년
- 에너지 절감율: 기존 전동기 적용 전동차 대비 10.4%
- 전력요금 절감액: 1,991억원 × 0.104 = 207.06억원/년

※ 산출근거

- 2010년 1월~2010년 12월 1년간 서울메트로의 보유차량은 1,954량이고, 차량이 사용한 총 전력량은 543,280,156kWh임. 이를 근거로 각 운영사가 보유한 차량의 수와 사용전력량을 비례관계로 계산하면 아래의 표와 같은 전력량을 추산할 수 있음. 단, 10량/편성, 전력요금은 90원/kWh로 가정함.

[1년간 전국 도시철도차량의 전력사용량 및 전력요금]

구분	차량 수 [량]	차량 사용전력량 [kWh]	요금 [원/년]
한국철도공사	2,340	650,601,619	58,554,145,779
서울도시철도	1,561	434,011,074	39,060,996,660
서울메트로	1,954	543,280,156	48,895,214,040
전국 지자체	2,103	584,705,502	52,623,495,180
합계	7,958	2,212,598,351	199,133,851,659

○ 기존 전동기 적용 시

● 운행방향 (상계 → 사당)

구 간	위치	역간 거리	역행	회생	계
	[m]		[kWh]		
상계-->노원	2260	1040	30.5	-15.2	15.3
노원-->창동	3693	1433	41.9	-18.7	23.2
창동-->쌍문	5043	1350	34.8	-16.9	17.9
쌍문-->수유	6499	1456	41.6	-17.4	24.2
수유-->미아	7850	1351	46.2	-14.7	31.5
미아-->미아삼거리	9370	1520	42	-18.8	23.2
미아삼거리-->길음	10620	1250	39.3	-14.2	25.1
길음-->성신여대	12050	1430	42.5	-17	25.5
성신여대-->한성대입구	13065	1015	37.8	-13.6	24.2
한성대입구-->혜화	14065	1000	35.8	-14.5	21.3
혜화-->동대문	15480	1415	34.4	-17.6	16.8
동대문-->동대문운동장충무로	16190	710	27.4	-11.1	16.3
동대문운동장충무로-->충무로	17460	1270	47.5	-12.6	34.9
충무로-->명동	18180	720	27.4	-11.6	15.8
명동-->회현	18920	740	27.6	-11.1	16.5
회현-->서울역	19770	850	20.8	-10.5	10.3
서울역-->숙대입구	20763	993	32	-14.9	17.1
숙대입구-->삼각지	21993	1230	32.9	-14.5	18.4
삼각지-->신용산	22660	667	25.2	-11.6	13.6
신용산-->이촌	23925	1265	42.5	-15.8	26.7
이촌-->동작	26602	2677	81.8	-20.3	61.5
동작-->충신대입구	28379	1777	40.3	-23.8	16.5
충신대입구-->사당	29537	1158	36.3	-16	20.3
합계			868.5	-352.4	

● 운행방향 (사당 → 상계)

구 간	위치	역간 거리	역행	회생	계
	[m]		[kWh]		
사당-->충신대입구	30695	1158	38.1	-15.7	22.4
충신대입구-->동작	32472	1777	59.4	-13.3	46.1
동작-->이촌	35149	2677	60.4	-28.5	31.9
이촌-->신용산	36414	1265	33.5	-14.3	19.2
신용산-->삼각지	37081	667	26.1	-10.9	15.2
삼각지-->숙대입구	38311	1230	41.7	-14.5	27.2
숙대입구-->서울역	39304	993	38.2	-12.1	26.1
서울역-->회현	40154	850	34.1	-10.6	23.5
회현-->명동	40894	740	27.3	-12	15.3
명동-->충무로	41614	720	26.9	-11.6	15.3
충무로-->동대문운동장동대문	42884	1270	34	-18.4	15.6
동대문운동장동대문-->동대문	43594	710	26.2	-11.8	14.4
동대문-->혜화	45009	1415	46.7	-11.3	35.4
혜화-->한성대입구	46009	1000	37	-13.4	23.6
한성대입구-->성신여대	47024	1015	32.5	-15.4	17.1
성신여대-->길음	48454	1430	45	-16.1	28.9
길음-->미아삼거리	49704	1250	38.4	-16.7	21.7
미아삼거리-->미아	51224	1520	50.5	-16.2	34.3
미아-->수유	52575	1351	35.3	-16.1	19.2
수유-->쌍문	54031	1456	44.4	-16.1	28.3
쌍문-->창동	55381	1350	39.6	-13.9	25.7
창동-->노원	56814	1433	47.6	-17	30.6
노원-->상계	57854	1040	40.5	-12.8	27.7
합계			903.4	-338.7	

○ PMSM 각륜구동 전동기 적용 시

- 운행방향 (상계 → 사당)

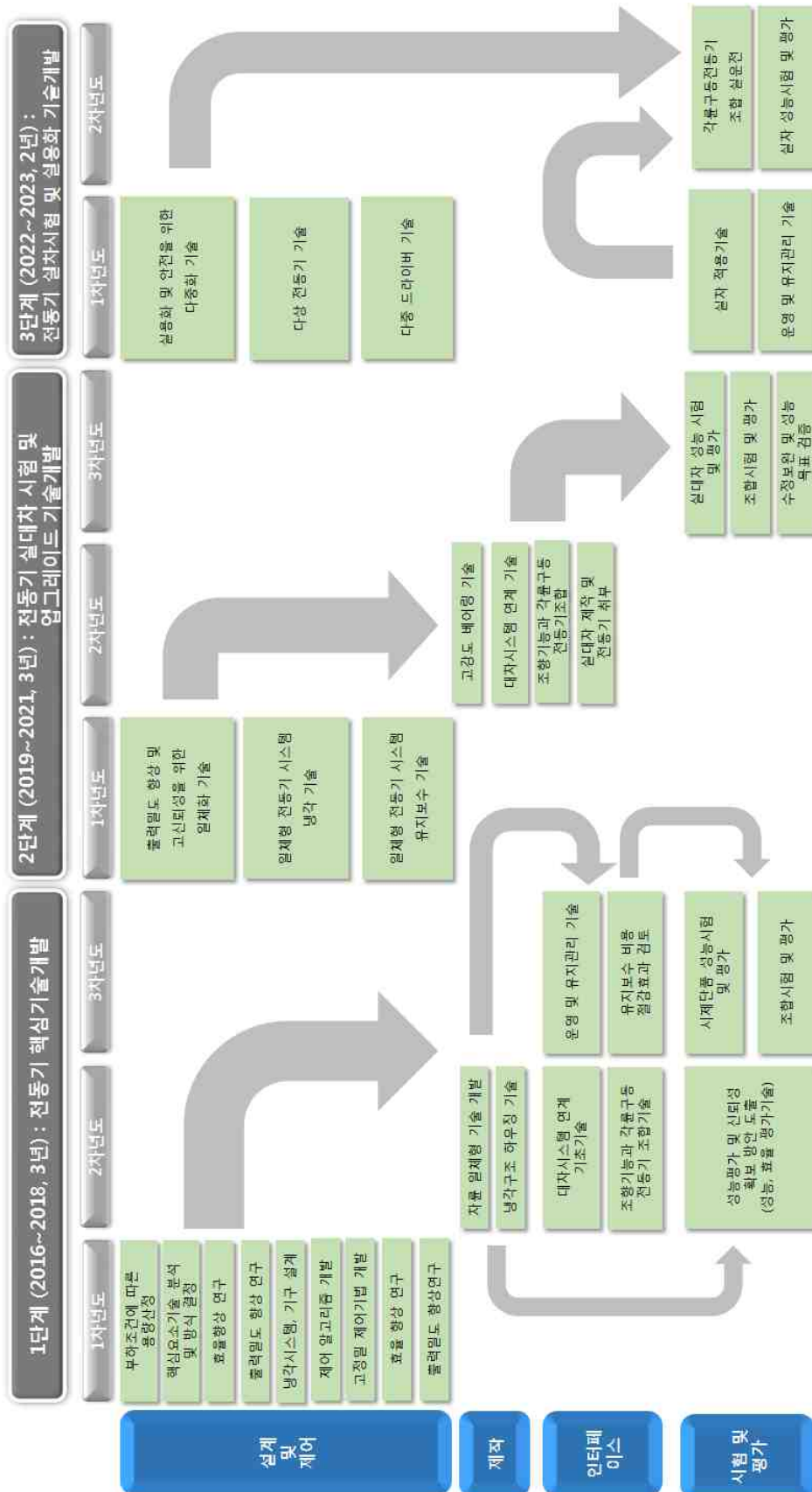
구 간	위치	역간 거리	역행	회생	계
	[m]		[kWh]		
상계-->노원	2260	1040	29.2	-15.8	13.4
노원-->창동	3693	1433	40.2	-19.5	20.7
창동-->쌍문	5043	1350	31.2	-16.7	14.5
쌍문-->수유	6499	1456	37.1	-14.9	22.2
수유-->미아	7850	1351	44.3	-15.4	28.9
미아-->미아삼거리	9370	1520	37.9	-14.3	23.6
미아삼거리-->길음	10620	1250	37.2	-15.1	22.1
길음-->성신여대	12050	1430	37.7	-15.3	22.4
성신여대-->한성대입구	13065	1015	36.2	-14.2	22
한성대입구-->혜화	14065	1000	34.4	-15.1	19.3
혜화-->동대문	15480	1415	34.9	-18.1	16.8
동대문-->동대문운동장충무로	16190	710	26.3	-11.6	14.7
동대문운동장충무로-->충무로	17460	1270	45.5	-13.1	32.4
충무로-->명동	18180	720	26.3	-12.2	14.1
명동-->회현	18920	740	26.4	-11.7	14.7
회현-->서울역	19770	850	19.9	-10.9	9
서울역-->숙대입구	20763	993	30.1	-15.6	14.5
숙대입구-->삼각지	21993	1230	31.5	-15.1	16.4
삼각지-->신용산	22660	667	24.2	-12.1	12.1
신용산-->이촌	23925	1265	40.8	-16.5	24.3
이촌-->동작	26602	2677	66.8	-17.3	49.5
동작-->충신대입구	28379	1777	32.7	-18.6	14.1
충신대입구-->사당	29537	1158	34.8	-16.7	18.1
합계			805.6	-345.8	

• 운행방향 (사당 → 상계)

구 간	위치	역간 거리	역행	회생	계
	[m]		[kWh]		
사당-->충신대입구	30695	1158	36	-16.4	19.6
충신대입구-->동작	32472	1777	57	-13.9	43.1
동작-->이촌	35149	2677	47.1	-26	21.1
이촌-->신용산	36414	1265	32.1	-14.9	17.2
신용산-->삼각지	37081	667	25	-11.4	13.6
삼각지-->숙대입구	38311	1230	40	-15.1	24.9
숙대입구-->서울역	39304	993	36.6	-12.6	24
서울역-->회현	40154	850	32.6	-11.1	21.5
회현-->명동	40894	740	26.1	-12.5	13.6
명동-->충무로	41614	720	25.8	-12.1	13.7
충무로-->동대문운동장동대문	42884	1270	31.7	-15.7	16
동대문운동장동대문-->동대문	43594	710	25.1	-12.3	12.8
동대문-->혜화	45009	1415	44.7	-11.8	32.9
혜화-->한성대입구	46009	1000	35.5	-13.9	21.6
한성대입구-->성신여대	47024	1015	33.1	-15	18.1
성신여대-->길음	48454	1430	39.6	-16	23.6
길음-->미아삼거리	49704	1250	36.8	-17.4	19.4
미아삼거리-->미아	51224	1520	46.4	-15.8	30.6
미아-->수유	52575	1351	33.4	-16.6	16.8
수유-->쌍문	54031	1456	41.6	-14	27.6
쌍문-->창동	55381	1350	37.9	-14.5	23.4
창동-->노원	56814	1433	45.6	-17.8	27.8
노원-->상계	57854	1040	38.8	-13.3	25.5
합계			848.5	-340.1	

6절. 단계별·연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 단계별·연차별 기술로드맵



2. 단계별 주요 연구내용 및 성과물

가. 1단계(2016~2018, 3년) : 전동기 핵심기술개발

세부기술	주요 추진 내용 및 성과물
각류구동전동기 설계기술	○ 부하조건에 따른 용량 산정 - 운행속도, 최대경사, 중량, 주행저항 등을 고려한 부하조건 산정 - 부하토크곡선에 따른 용량 산정 ○ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 - 차륜일체형 특성 분석 - 외전형, 내전형, 일체형 등 방식 검토 ○ 기초 및 상세 설계 - 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 최적화 연구 - 영구자석 구조 분석 - 권선법 분석 - 자성재료 분석 ○ 냉각시스템 설계 - 열원 분석 - 냉각시스템 용량 및 방식 선정 - 유동해석을 통한 설계 및 성능 검증 ○ 기구 설계 - 차륜 취부 회전체 구조 해석 - 강성 해석 - 안전/안정성 해석 ○ 최적 설계 - 멀티피직스(전자계해석·열해석·유동해석·구조해석) 분석 - 실험계획법을 통한 최적설계
각류구동전동기 제어기술	○ 핵심요소기술 분석 및 방식 선정 - 차륜일체형 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

	- 대전류 전동기의 서보급 정밀도 향상 기술 개발 - 좌우 각륜전동기의 선속도 분석 - 좌우 각륜전동기의 고정밀 속도제어 - 고속응성 제어 - 대역 약제자 운전 제어 - 전동기 연동 해석 ○ 효율 향상 연구 - 손실 분석 - 손실 최소화 방안 연구 ○ 출력밀도 향상 연구 - 전장품 배치 분석 및 부피 최소화 방안 도출 - 경량화 기술 개발 ○ 전동기 통합 제어기술 기초 연구
각륜구동전동기 제작기술	○ 차륜 일체형 기술 개발 - 차륜-전동기 연결 기술 - 베어링 적용 기술 - 제동장치 기구적 배치 분석 - 강성유지 기술 - 안전/안정성 기술 ○ 냉각구조 하우징 기술
인터페이스 기술	○ 대차시스템 연계 기초 기술(1C1M에 따른 차량구조 포함) ○ 조향기능과 각륜구동 전동기 조합 기술 ○ 운영 및 유지관리 기술(전동기와 차륜 분해용 전용지그 포함) ○ 유지보수비용 절감효과 검토 ○ 곡선부 주행안전성 상세검토 ○ 기존 전동차시스템 호환성 및 적용에 따른 추가 비용 검토(상세설계 반영)
단품 성능시험 및 평가 (기타)	○ 단품 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 - 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 ○ 시제 단품 성능 시험 및 평가 - 각륜구동전동기 - 전력변환장치 - 냉각장치 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 단품 성능 목표 검증 ○ 상용화에 대한 사례조사(기타) ○ 상용화에 대한 문제점 사전검토 및 분석(기타)

나. 2단계(2019~2021, 3년) : 전동기 실대차 시험 및 보완 기술개발

인터페이스 기술	○ 대차시스템 연계 기술 ○ 조향기능과 각륜구동 전동기 조합 ○ 실대차 제작 및 전동기 취부
일체형 기술	○ 모터+드라이브 일체화 기술 - 출력밀도 향상 및 고신뢰성을 위한 일체화 기술 - 일체형 전동기시스템의 냉각 기술

	- 일체형 전동기시스템의 유지보수 기술
고신뢰성 부품 기술	○ 고강도 베어링 기술 - 차륜일체형 베어링 - 윤축 베어링
대차 조합 성능시험 및 평가	○ 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 - 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 ○ 실험대차 성능 시험 및 평가 - 각륜구동전동기 - 전력변환장치 - 냉각장치 - 대차 조향 기능 ○ 대차 조합시험 및 평가 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 성능 목표 검증

다. 3단계(2022~2023, 2년) : 전동기 실차 시험 및 실용화 기술 개발

실차 적용 기술	○ 실차 적용 기술 ○ 각륜구동전동기 조합의 실운전 ○ 운영 및 유지관리 기술
다중화 기술	○ 실용화 및 안전을 위한 다중화 기술 - 다상 전동기 기술 (비상시 상 변환에 의한 자체 구원운전 기술) - 다중 드라이버 기술 (비상시 중복 드라이버에 의한 자체 구원운전 기술)
실차 성능시험 및 평가	○ 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 - 성능 평가기술 개발 - 효율 평가기술 개발 - 신뢰성 평가기술 개발 ○ 실차 성능 시험 및 평가 - 각륜구동전동기 - 전력변환장치 - 냉각장치 - 대차 조향 기능 ○ 수정 보완 및 재시험을 통한 성능 목표 검증

3. 성과목표 및 성과지표

최종 목표	성과목표	세부 성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
곡선 주행 성능 향상 기술	곡선 주행용 각륜구동 전동기 핵심기술 개발 (1단계)	전동기 출력	출력측정 시험	kW	110	0.25	도시철도용 각륜구동 전동기 개발을 위해 측 당 220kW 개발필요
		전동기 효율	효율측정 시험	%	96	0.25	기존 유도전동기 92% 대비 104% 향상
		전동기 출력밀도	출력밀도 시험	kW/kg	0.2	0.25	기존 직접구동전동기 0.17kW/kg대비 117%향상
		전동기 소음	모의 시험장치를 통해 측정	dB(A)	20dB (A) 저감	0.25	기존대비 20dB(A) 저감

※ 2단계(전동기 실대차 시험 및 보완기술 개발) : 일반대차 대비 횡압 70%대로 저감

※ 3단계(전동기 실차시험 및 실용화 기술 개발) : 스킵소음 5dB(A), 차륜 플랜지 마모 25%
저감(곡률반경 300R, 속도제한 55km/h 급곡선구간 포함)

7절. 성과의 활용방안 및 실용화 전략

1. 성과의 활용방안

- 연구결과의 활용성 확보, 현장요구의 수용, 시험운전 및 시운전과 관련한 부분의 지원 및 문제해결을 위해서는 도시철도 관련 공기업과 연계를 필요로 하므로 연구수행에 주도적인 참여가 필요함.
- 또한 제작·설계 관련 기술은 국내의 전동기기 제조사, 전력변환기 제조사 등이 컨소시엄을 구성하여 연구를 수행하고, 해석과 평가는 학계와 연구소가 수행, 앞서의 사용주체인 공기업의 3원체제로 단일화 및 객관화하는 연구체계가 필요한 연구내용임.

가. 상품화 연구개발

- 개발목표 수준을 명확히 하여 개발완료 후 상품화 단계를 거쳐 판매가 가능한 수준의 연구결과를 도출함.
- 시험 및 평가로 할당된 기간 동안 실증이 가능하도록 충분한 실험을 통해 인증을 받을 수 있는 수준으로 각륜구동 전동기를 개발해야 함.
- 개발기술의 획득으로 국내외 시장에 적용할 기술의 선점에 초점을 맞추어 대내외의 지적재산권 등록에 역량을 강화해야 함.

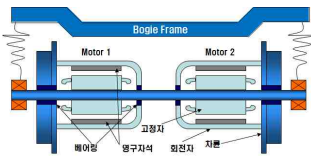
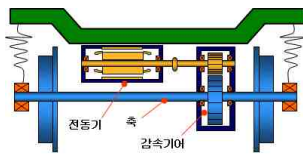
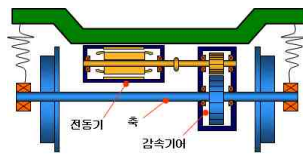
나. 판매 전략

- 친환경 녹색성장이 모토가 되고 해당 분야의 산업이 국가의 성장동력 사업으로 대두가 되는 시점에서 각륜구동 전동기의 개발은 청정 도시환경 조성, 고효율 에너지 사용, 도시교통 문제 해소와 맞물려 새로운 철도 수요를 창출할 것으로 예상됨.
- 국내의 경우 2세대 철도차량의 보급이 완료되었고, 노후 차량의 교체 사업이 단계적으로 진행되고 있으며, 신규 및 연장 노선의 개발로 새로운 수요가 발생하고 있음.
- 각륜구동 전동기 기술에서는 출력밀도를 향상하고, 고효율 기기로 개발을 할 경우 세계 수준의 경쟁력을 확보할 수 있고 수출가능성 매우 높음.
- 각륜구동 전동기는 다양한 차량 적용 모델을 개발하여 상품화하는 전략추진 필요.
- 기술, 가격, 신뢰성을 확보할 수 있도록 제조사의 개발 참여를 유도하며, 또한 조기에 경쟁력 있는 제품과 기술을 확보하도록 제조사와 철도 운영기관의 컨소시엄을 구성하여 사업을 수행함. 산학연의 공동 연구개발 체계를 구축하고 설계 및 해석, 평가가 이루어질 수 있는 추진체계를 구축하여 개발완료 후 즉시 상용화가 가능하도록 클러스터를 구축함.

- 연구개발과 더불어 각륵구동 전동기에 대한 전동차 표준규격을 마련해야 할 것임. 또한 녹색성장에 부합하는 기술의 경우 국가차원의 법 제도적인 지원 체계 마련이 필요함. 따라서 각륵구동 전동기가 실용화가 될 수 있도록 법과 제도를 마련해야 함.
- 실증 시험을 통해 검증하고, 그 결과를 공인시험성적서 및 신기술 인증서를 획득하여 언론매체 등 홍보를 통해 실용화를 가속화할 수 있음.

다. 기존 기술(연구)과의 차별성

○ 유기적으로 연결된 기존 과제를 분석하여 본 과제와의 차이점을 도출함

과제명	곡선주행 성능향상을 위한 각륵구동 전동기 개발기획	고출력밀도 추진시스템 원천기술 연구	도시철도차량 영구자석식 견인전동기 개발
전동기 형식	각륵구동 전동기 	카르단 방식(기어포함) 	카르단 방식(기어포함) 
전동기 출력	220kW/축	110kW/축	210kW/축
대차방식	독립차륵대차	단일축 대차	단일축 대차
조향기능	O	X	X
차별성	·독립대차이며 정밀제어를 통한 조향기능향상 ·각륵구동 방식으로 소음 및 마모를 줄일 수 있어 급곡선을 포함한 곡선주행 성능이 향상된 전동기임	·기존 단일축 카르단 방식에 취부되어 기어를 통해 동력 전달 ·좌우 차륵의 독립적인 조향기능이 없어 곡선주행 성능향상 전동기가 아님	·기존 단일축 카르단 방식에 취부되어 기어를 통해 동력 전달 ·좌우 차륵의 독립적인 조향기능이 없어 곡선주행 성능향상 전동기가 아님

- 고출력밀도 추진시스템 원천기술 연구는 경량전철용 110kW급 IPMSM을 개발하는 것임. 경량전철용 110kW급 IPMSM 설계만 수행하고 연구가 종료됨(1년). 곡선주행 성능향상을 위한 조향기능은 없음
- 도시철도차량 영구자석식 견인전동기 개발 사업은 기존 단일축 대차의 카르단 방식에 210kW급 IPMSM을 개발하는 것임. 곡선주행 성능향상을 위한 조향기능은 없음

라. 기존 사업과의 연계성

○ 기존 과제를 분석하여 연계성을 도출하며 이를 본 과제에 활용함

- 차세대 고속철도 기술개발 사업 및 도시철도차량 영구자석식 전인전동기 개발 사업에서 개발된 IPMSM 및 추진용 인버터 성능 평가 시험방법 및 절차를 분석하여 본 과제에 적용할 수 있는 부분을 정리하여 활용 예정임.
- 고출력밀도 추진시스템 원천기술 연구와 녹색열차 구현을 위한 철도차량시스템 경량화 연구 과제에서 도출된 고출력밀도 IPMSM 설계 및 해석 기법, 특히 열 특성 분석 기법을 본 과제에서 활용할 예정임.

마. 단계별 시험 검증 및 방법

- 1단계 : 전동기 핵심기술개발
 - 1차년도 : 각륜구동 전동기 설계 및 제작
 - 2차년도 : 각륜구동 전동기 시제품 제작, 시제품 시험용 대차 지그제작
 - 3차년도 : 각륜구동 전동기 시제품 보완 및 시험
- 2단계 : 전동기 실대차 시험 및 업그레이드 기술개발
 - 1차년도 : 전동기 및 전력변환기 일체화 기술 설계 및 제작
 - 2차년도 : 실대차 제작 및 전동기 취부(맞춤형 제작 : 대차 2대)
 - 3차년도 : 실대차 성능 시험 및 평가(전동기 적용 대차의 성능확인)
- 3단계 : 전동기 실차시험 및 실용화 기술개발
 - 1차년도 : 다상 전동기 및 다중 드라이버 기술 개발
 - 2차년도 : 실차 적용 및 성능평가(전동기 적용 실차 1량과 일반차량의 조합활용)

2. 단계별 연구목표, 최종 성과물 및 추진방법

○ 단계별 연구목표와 최종성과물, 추진전략 및 방법은 다음과 같음.

단계	연구목표	최종성과물	추진전략 및 방법
1	각륜전동기 핵심기술 개발 - 출력 110kW, 효율 96%, 출력 밀도 0.2kW/kg, 전동기 소음 20dB 저감 각륜구동 전동기 개발	○ 각륜구동 전동기 설계 도면 ○ 차륜일체형 전동기 금형 ○ 차륜일체형 전동기 시험용 지그(JIG) ○ 차륜일체형 전동기용 토크 측정 성능시험 측정기 ○ 차륜 일체형 각륜구동 전동기 시제품	- 운영환경 및 부하조건을 고려한 용량 산정 - 핵심 요소기술을 분석하여 외전형, 내전형, 일체형 등 방식을 비교 - 상세 설계 및 최적화를 통해 최적설계안 도출 - 정밀 제어를 위한 고정밀 제어기법 개발 - 단품 성능시험 측정기를 활용하여 일체형 전동기 성능 측정
2	전동기 실대차 시험 및 보완기술 개발 - 일반대차 대비 횡압 70%대로 저감	○ 대차 및 연계 도면 ○ 모터+드라이브 일체형 시제품 ○ 전동기가 취부된 대차 ○ 실대차 조합성능시험 보고서 및 수정 보완사항	- 출력 밀도 향상 및 고신뢰성을 위한 일체화 기술 적용 - 대차와의 인터페이스 중 가장 고신뢰성이 필요한 영구자석과 베어링에 대한 연구 및 최적 부품 도출 - 실대차 2대를 이용한 대차조합시험을 통해 조합성능 결과를 확인하고 수정 보완사항 도출
3	전동기 실차시험 및 실용화 기술 개발 - 스킵 소음 5dB(A), 차륜 플랜지 마모 25% 저감 (곡률 반경 300R, 속도제한 55km/h 급곡선 구간 포함)	○ 각륜구동전동기 적용 실차 ○ 실차 성능시험 테스트베드 ○ 실차 성능시험 보고서 및 수정보완사항	- 실차를 테스트할 수 있는 테스트 베드 구축 후 운영 및 유지하여 안정적인 시험환경 구축 - 실용화 및 안전을 고려한 다중화 기술을 적용하여 비상시 대처에 유연성 고려 - 실차(1량)과 기존차량을 조합하여 시험을 수행하여 소음(실차 차륜 근처에서 소음 측정 실시), 플랜지 마모 등에 대한 비교시험 수행하여 결과를 확인하고 수정보완사항 도출

3. 실용화 전략 및 추진방안

가. 사후 연계방안

- 1단계 사업종료 후 성과 활용을 위한 연계방안은 대차를 이용한 시험(2단계)과 실차를 이용한 시험(3단계)으로 구분될 수 있음.
- 대차는 독립차륜방식을 적용하고 각륜구동전동기를 취부 할 수 있도록 1SET 개발 및 제작 할 예정임
- 대차와의 인터페이스 연계를 위해 베어링 등 중요부품의 신뢰성을 고려하여 전동기가 취부될 수 있도록 할 예정임
- 실차시험을 통해 실용화를 위해서는 실차시험이 필수적이며 실차 구매를 위한 소요비용 감축과 동시에 기존의 연구성과물 활용을 위하여 차세대 전동차의 일부를 활용하도록 추진할 예정임
- 실차 시험의 테스트베드는 현재 차세대 전동차의 테스트 베드인 대불선을 활용할 수 있도록 추진할 예정이며 실차시험을 통해 신뢰성까지 고려되는 방향으로 추진되도록 할 예정임
- 2, 3단계로 연계되는 연구를 통해 1단계의 단품 성과물인 각륜구동전동기 개발에 한정되지 않고 도시철도차량에 대한 적용성, 신뢰성 및 확장성까지 고려하도록 계획함.
- 이를 통해 확보된 설계능력 및 시스템 인터페이스 기술은 각륜구동 전동기 적용을 원하는 수요처의 요청에 따라 신규 차량시스템 개발에 동시적용을 하거나 기존차량의 개량을 통한 적용이 가능하도록 기술적 토대를 제공함. 또한 부품단위의 실용화뿐만 아니라 시스템과의 결합을 통해 시스템 단위의 실용화까지 가능하도록 시너지효과를 얻을 수 있음.
- 2, 3단계의 성능검증 결과물은 향후 실용화 단계에서 성과홍보를 위한 기반자료로 활용이 가능함.

나. 실용화 방안

- 각륜구동 전동기 개발에 따른 실용화 전략수립을 위해 외부 운영기관 전문가를 초청한 자문회의(2014.11.12.)를 개최함. 자문회의 내용은 다음과 같음.

자문위원	자문 결과	반영 내역
서울메트로 신사업본부장, 정수영 자문위원	각륜구동전동기의 실현은 근본적으로 제어기술과 재료제작기술의 향상에 기인한 것으로 각 차륜을 구동하면 여러 가지 장점이 많을 것으로 사료됨. 예를 들어 구배구간이 많은 도시철도 특성상 조향능력이 향상되고 개별 모터의 소형화 및 효율향상으로 에너지 절감이 가능할 것으로 판단됨. 해외에서도 각륜구동방식으로 추진하는바 국내에서도 개발필요성이 있는 것으로 판단함.	각륜구동전동기의 장점으로 조향능력향상과 효율향상을 반영하였음
대전도시철도공사 연구개발센터장, 이희선 자문위원	각륜구동 채용시 유지보수 용이성을 고려하여 개발하고 급곡선 구간주행시 소음저감 및 소형화 고효율로 개발할 필요가 있음. 제어기술 향상으로 슬립/슬라이드 발생시 대처기술을 개발할 필요가 있음	각륜구동전동기의 장점으로 소음저감 및 소형화 고효율성을 반영하였음. 슬립/슬라이드 발생시 대처기술과 유지보수의 용이성은 본 사업 단계에서 수행할 상세설계를 통해 반영할 예정임.
서울특별시도시철도공사 차량처장, 최용운 자문위원	유지관리 효율화를 위해 전폐형 전동기 개발이 필요하며, 선진국 기술개발에 뒤처지지 않도록 개발을 앞당겨야 할 것으로 판단됨. 각륜구동방식 채택으로 곡선부 소음, 진동저감 및 유지보수 비용 효율화 등을 위해 개발이 필요함. 각륜 구동방식으로 에너지 효율화에 기여할 수 있으며 기어박스 제거로 주행저항 저감이 기대되는 등 국가 R&D 과제로 적극 추진함이 필요하다고 판단함.	각륜구동전동기는 기어박스가 없는 전폐형 전동기임. 각륜구동전동기의 채택에 따른 소음저감 및 유지보수 비용은 경제성 검토를 통해 반영하였음.

○ 신기술, 신제품에 대한 실용화의 장벽은 존재하고 있으며 장애요인은 요약하면 다음과 같음

- 신기술 적용에 따라 성능은 우수해지나, 가격이 다소 상승할 가능성이 있음에 따라 최저가 입찰방식은 실용화에 장애요인으로 작용함
- 운영기관은 제품 구매시 운영실적 및 납품실적을 요구하고 있음에 따라 연구개발제품의 경우 실용화 장애요인에 어려움이 있음.
- 성능향상에 따른 가격상승 부분에 대해 정부차원의 신기술 신제품 우선구매 및 재정지원 제도를 도입하여 운영기관 부담 완화와 신제품 구매를 유도하여 연구개발제품에 대한 법·제도적 지원 미비점 보완이 필요함
- 신규개발 부품이나 차량의 적용에 대해 운영기관은 거부감을 가지고 있으며 이는 신기술 적용된 시스템에 대해 별도 유지보수설비 구축 및 적용에 따른 현장 운영인력의 재교육이 필요한 점으로 인해 기인한 것임. 또한 운전이력 및 운영실적 부족에 따른 최초 운영위험성에 대해 보수적 관점에서 접근하고 있기 때문임.

○ 각륜구동전동기의 실용화 전략 및 성과활용방안

- 각륜구동전동기 개발이후 대폐차 계획이 있는 운영기관을 직접 찾아가 우수성 홍보
- 각륜구동전동기의 에너지 고효율성에 대한 유관기관 홍보(성능시험 결과 활용)
- 철도분야 고효율 에너지기기 사용 지원제도 마련 협의를 통해 신기술 신제품에 대한 실용화 촉진 기반 구축
- 신기술이 적용된 제품과 기존 제품에 대해 도입단가, 내구연한 동안 절감 가능한 에너지, 전생애주기 유지보수비용 및 소음감소로 인한 사회편익비용 등을 분석한 자료를 기반으로 운영기관에 홍보
- 12년마다 유지보수 절감, 스킬소음 저감, 마모도 감소 등에 대해 시험인증기관을 통한 객관적 시험검증 및 인증획득
- 철도안전법, KS C IEC 60349-2(전기 견인 철도차량용 및 도로 차량용 회전기기) 등 현재 운영기관 납품 전동기 대상에 적용되는 규격, 법 등을 검토하여 호환성 확인 및 적용을 통해 실용성 및 법적 적용 타당성 기반 마련

○ 각륜구동전동기 적용에 따른 운영측면에서의 장점

- 각륜구동 전동기는 기존 유도전동기를 적용한 시스템에서 요구되는 기어박스가 필요하지 않음에 따라 부품수가 감소함.
- 전폐형 구조로 인해 먼지의 유입이 없음에 따라 전동기 고장확률이 기존 유도전동기에 비해 적으며 유지보수기간이 획기적으로 증대되어 Maintenance Free에 가까운 효과가

기대됨. 따라서 기존 전동기에 비해 요구되는 유지보수 시설 및 인력이 오히려 줄어듦.

- 효율성이 기존 전동기에 비해 좋으며 에너지 소비량이 적기 때문에 시스템 측면에서의 에너지 사용량 감소는 운영비 절감으로 연계될 수 있음.
- 각륜구동전동기의 장점은 차세대 전동차에 적용된 직접구동형 영구자석전동기(전폐형)의 사례를 통해 상당부분 확인이 가능함. 총 주행거리 13만 km이상 시험운행을 하였던 영구자석형 전동기(전폐형)를 분해하여 상태진단을 하였을 때 내부 먼지 유입이 불가능함에 따라 부품들이 매우 깨끗한 상태임. 또한 과온으로 인한 코일층 손상이 없음에 따라 내부 환류가 원활함을 확인할 수 있음.



[직접구동형 영구자석전동기 분해 전 모습]



[직접구동형 영구자석전동기 분해 후 모습]

8절. 연구수행체계

1. 연구추진조직

- 도시철도의 비전 및 연구목표 달성을 위해 산학연 공동연구 수행을 추진하는 것이 필요함
- 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행
- 시작품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함
- 기술의 활용을 위해 도시철도 운영기관의 참여가 바람직함
- 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

2. 연구추진체계

가. 명확한 연구목표 위주의 추진체계

- 연구추진시 주관과 공동 및 위탁 연구기관은 모두 성과물을 도출하고 이를 활용할 수 있도록 연구추진체계를 구성
- 연구 계획시부터 달성이 가능한 성과목표 및 성과지표를 제안·유도하고 연구 진행 중 성과목표의 달성 및 관리방안을 정립하여 주기적인 관리시행
- 최적의 연구성과물 도출을 위하여 연구 성과물의 현장 적용성 평가 및 관련 기술이전 등 연구성과 확산체계 수립
- 연구 종료후에도 지속적 관리를 통하여 파생기술 및 효과가 생활전면에 파급되도록 통합관리 방안 수립

나. 종합적 관리 체계

- 연구추진시 세부과제별 연계성 확보를 통한 종합목표 도출 추진체계 수립
- 세부과제별 연구성과 및 문제점을 공유, 개선하는 관리체계 마련
- 연구단 과제진행을 통하여 선택과 집중, 우선순위에 따른 결과도출이 되도록 체계수립

다. 연구추진 전략

- 다양한 분야의 전문가 집단이 연구결과 도출을 위하여 연구진으로 구성
- 기술개발이 전동차에 적용되고 성능 향상을 통해 승객 만족도 증대 및 서비스 증대가 이루어지도록 개발기술 적용 및 제한 사항 등 검토를 위해서 도시철도 운영기관 참여 유도
- 세부 과제 도출을 위하여 산업계, 학계, 연구소 등이 구성된 연구체계 구축과 우수한 성과를 도출한 연구기관이 참여한 연구진 구성
- 우수성과 연구진 참여시 가점 부여 및 주관 연구책임자 최소 자격 기준 설정
- 참여 연구기관의 최소 연구성과 기준 설정

4장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성

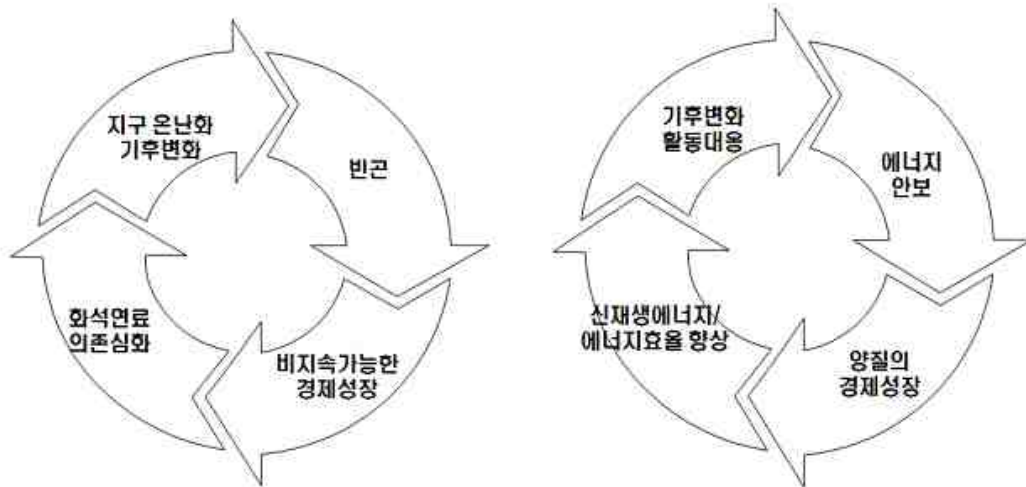
- 국토해양부에서 추진하고 있는 철도 정책은 녹색 교통 구현을 위한 철도 인프라 확충을 주 내용으로 비용절감, 첨단 철도기술 개발 및 해외 진출 활성화 등을 목표로 하고 있음 [국토해양부 교통정책실 철도정책 2010]
 - 녹색 교통을 구현하는 철도 인프라 확충: KTX서비스를 전국적으로 확대하고, 광역/도시 철도 및 저비용 고효율 철도물류 인프라를 확충할 계획임
 - 철도 건설/운영 전반의 비용 절감화 및 효율화: 비용 절감을 위해 계획 설계 과정과 관설 과정의 비용을 절감할 수 있는 방안을 지원할 계획임
 - 첨단 철도기술 개발과 해외진출 활성화: 첨단 철도 차량 기술 개발, 철도 신호 / 궤도 기술 선진화를 통해 해외 진출을 활성화 하고자 함
 - 쾌적하고 안전하고 편리한 이용환경 조성
- 광역도시철도와 관련하여 국토해양부에서는 속도경쟁력을 갖춘 효율적 광역·도시철도망 구축을 목표로 정책 방향을 수립하였음[국토해양부 광역도시철도정책 2012]
 - 빠르고 편리한 도시교통 실현: 광역도시철도 지속 확충 및 개통을 마무리하고, 수도권 광역급행철도 본격 추진할 계획임
 - 수요자 지향 생활철도 구현: 환승역 이동편의시설 및 장애인 승차 편의 개선 등 도시철도 편의시설을 개선할 계획임
 - 미래도시철도 성장 동력 육성: 지하·지상부문 안전대책을 강구하고, 미래형 도시철도 차량 개발을 추진할 계획임
 - 철도 건설, 운영 효율성 구현: 도시철도법 전부개정 및 광역철도 제도를 개선하고, 경전철 민간투자사업 제도를 개선할 계획임
- 국토해양부의 철도정책 및 광역도시철도정책에 나타나 있는 정책 방향은 유지보수 및 에너지 비용을 절감하고 효율적인 운영이 가능할 뿐만 아니라 쾌적한 도시철도 이용이 가능하고 환경친화적이며 승객친화적인 “곡선 주행성능 향상을 위한 각륜구동 전동기 기술 개발”과 정책적으로 매우 부합됨
 - 서울과 도시 철도시스템이 잘 발달된 동경을 비교해 보면 두 도시가 비슷한 면적의 조건에서 (서울 605km², 동경 621km²) 도시철도의 연장은 서울 362km, 동경 704km,이며, 도시철도 밀도는 서울 0.598km/km², 1.13km/km²임. 특히 철도의 수송분담율 측면에서 보면 서울 34.8%, 동경 64.1%로 압도적인 차이를 보임. 이러한 원인으로 두 도시의 개인별 승용차 보유는 서울 0.28(대/인), 동경 0.19(대/인)의 결과를 초래함

- 도시교통시스템은 도시의 특성에 맞게 설계 및 적용 되어야 함. 예를 들어 서울의 경우 강북과 강남의 도로망 형태(강남 그리드, 강북 혼합형)가 서로 다른 패턴이며 유동인구의 특성, 지표면의 특성 등 다양한 요인들이 차이날 수 있음
 - 이처럼 도시환경에 따라 도시교통 수단은 선택적으로 적용되어 대중교통 적용에 따른 부작용을 최소화 하여야 함
- 글로벌 경쟁 심화, 지식기반 경제 도래, 에너지·자원 위기 속에서 세계 각국의 새로운 성장 동력 확보 경쟁이 치열해 지고 있음. 건강, 식량, 환경 등 인류 난제 해결에 필요한 바이오신약, 제품 및 IT 융합의료기기 개발을 통해 고부가가치 미래신산업 창출하고자 함.
- ‘성공 가능성’과 ‘과급효과’, ‘경제·사회적 문제 해결’ 측면을 고려하여 6대 분야, 22개 신성장 동력 발굴
 - 기후 변화, 고령 사회 등 현안 문제를 해결하면서 고성장이 예상되는 분야 : 에너지·환경, 바이오
 - 세계시장 규모, 국내기업 점유율, 우리의 기술역량 고려 : 수송시스템, New IT, 융합신산업
 - 일자리 창출과 타 산업 과급효과 고려 : 지식서비스

[2008 신성장 동력 6대 분야]

6대 분야		22개 신성장 동력
에너지·환경	(6)	무공해 석탄에너지, 해양 바이오 연료, 태양전지, 이산화탄소 회수 및 자원화, 연료전지 발전시스템, 원전 플랜트
수송시스템	(2)	Green Car, 선박·해양 시스템
New IT	(5)	반도체, 디스플레이, 차세대 무선통신, LED 조명, RFID/USN
융합신산업	(4)	로봇, 신소재·나노융합, IT융합 시스템, 방송통신 융합미디어
바이오	(1)	바이오 신약 및 의료기기
지식서비스	(4)	소프트웨어, 디자인, Healthcare, 문화 콘텐츠

- 철도차량 곡선주행 성능향상 각륜구동 전동기는 운송 시스템 혁신을 가져오는 신기술로, 미래 신성장 동력으로 반드시 정부의 투자가 필요한 부분임. 현재 자동차 기반의 수송 시스템의 한계를 극복하고, 기존의 상부 가선식의 열차 시스템에서 탈피하게 됨으로써, 도심에 적합한 철도 개발이 가능하고, 나아가 중전철 및 고속 전철에 적용 시 파급효과가 막대한 새로운 신성장 산업이 될 것임.
- 국제 온실가스 규제대응, 저탄소 친환경 신성장 전략사업 창출, 환경규제에 대한 국가경쟁력 향상 및 세계시장 선점을 위한 정책들을 현재 정부에서는 적극적으로 추진하고 있음. 저탄소 녹색성장(Low Carbon, Green Growth)은 온실가스와 환경오염을 줄이는 지속 가능한 성장으로 녹색기술과 청정에너지를 활용하여 신성장 동력과 일자리를 창출하는 신 국가 발전 패러다임임.
- 세계는 환경문제에 대한 고려 없이는 경제발전도 생각할 수 없는 메커니즘으로 운영되고 있고, 녹색성장의 핵심은 경제성장을 추구하되 자원이용과 환경오염을 최소화하고, 이를 다시 경제성장의 동력으로 활용하는 '선순환구조'에 있음
- 정책적 목표
 - 신 재생에너지 비율 확대 : '06년 2.4% $\Rightarrow$ 30년 11% $\Rightarrow$ 50년 20% 이상
 - LED, 무공해석탄, 녹색기술 R&D등 그린 에너지 기술개발 확대
 - 그린홈 100만호 프로젝트 추진
 - 하이브리드 등 그린카 육성
- 10대 추진방향
 - 온실가스 줄이는 저탄소 정책, 녹색기술을 새로운 성장동력으로 선정
 - 고도의 융합기술 정책, 새로운 일자리 창출
 - 기업의 경쟁력 강화, 국토·도시·건축·교통 개조
 - 소비패턴까지 바꾸는 생활혁명, 녹색성장은 교육·환경정책
 - 환경 친화적인 세제정책, 국가브랜드를 높이는 외교정책



※ 자료 : 대한민국 정책 포털 <http://green.korea.kr/>

[악순환 구조(좌)와 선순환 구조(우)]

- 국회 기후변화대책 특별위원회에서 ‘저탄소 녹색성장 기본법안’을 상정하여 현재 위원회 심사 진행 중임. 다수 부처에서 개별 법률로 진행 중인 기후변화, 신재생에너지 등의 정책을 통합하여 효율적, 체계적으로 관리하기 위한 제도적 장치를 마련하고 있음
- 녹색성장 국가전략을 대통령 소속으로 설치되는 녹색성장위원회 등의 심의를 거쳐 수립·시행하도록 함(안 제9조)
- 녹색경제·녹색산업의 창출, 녹색경제·녹색산업으로의 단계적 전환 촉진 등을 위하여 녹색경제·녹색산업의 육성·지원 시책을 마련(안 제22조 및 23조)
- 녹색산업과 관련된 기술개발 및 사업을 활성화하기 위하여 녹색산업 등에 자산을 투자하여 그 수익을 투자자에게 배분하는 것을 목적으로 하는 녹색산업 투자회사를 설립할 수 있도록 함(안 제29조)
- 정부는 온실가스를 획기적으로 감축하기 위하여 온실가스 배출 중장기 감축목표 설정 및 부문별·단계별 대책, 에너지 수요관리 및 안정적 확보대책 등을 포함한 ‘기후변화대응 기본계획’과 ‘에너지기본계획’을 수립 및 시행하도록 함(안 제40조 및 41조)
- 정부는 온실가스 감축, 에너지 절약과 에너지 이용효율 향상 및 신·재생에너지 보급 확대를 위하여 중장기 및 단계별 목표를 설정하고, 일정 수준 이상의 온실가스 다 배출업체 및 에너지 다소비업체로 하여금 매년 온실가스 배출량 및 에너지 사용량을 정부에 보고하도록 하며, 정부는 온실가스 종합정보 관리체계를 구축·운영하도록 함(안 제42조, 44조, 45조)
- 정부는 시장기능을 활용하여 효율적으로 온실가스를 감축하고 국제적으로 팽창하는 온실가스 배출권 거래시장에 대비하기 위하여 온실가스 배출허용 총량을 설정하고 배출허

용량을 거래하는 ‘총량제한 배출권 거래제’ 등을 실시하되, 배출허용량의 할당·등록 및 관리방법 등은 따로 법률로 정하도록 함(안 제46조)

- 정부는 건강하고 쾌적한 환경과 사회·경제개발이 조화를 이루는 녹색 국토를 조성하고, 저탄소 교통체계를 구축하며, 녹색성장을 위한 생산·소비문화를 확산시키고 녹색생활 실천을 위한 교육·홍보 등을 강화함으로써 지속가능발전을 실현할 수 있도록 함(안 제52조, 제54조, 제58조 및 제60조)
- 정부가 추진하고 있는 녹색성장 정책은 에너지 소비절약/사용 효율화, 저탄소·친환경 인프라 구축, 녹색기술에 대한 R&D 투자, 신 재생에너지 등 녹색산업 육성 및 수출 산업화, 세계시장 선점 지원 등이 핵심임
- 철도차량 곡선주행 성능향상 각륜구동 전동기 핵심기술 개발은 이런 정부의 녹색 성장 정책과 매우 부합되는 새로운 사업임. 도심 내 철도 서비스를 활성화하여 에너지 사용을 효율화 하고, 저탄소 친환경 인프라를 구축할 수 있음. R&D 투자를 통해 국내 철도 기술을 발전시킴으로, 나아가 해외 수출 및 해외 시장을 선점할 수 있는 교두보를 마련할 수 있을 것임
- 국가 과학기술의 주요 정책은 신성장동력 발굴, 저탄소 녹색성장을 위한 R&D 지원 기초·원천연구 강화, 연구자 친화적 제도개선 등이 주요 내용임

[국가 과학기술 정책 주요시책]

주요시책	내 용
5% 투자 달성	● 정부 : '09년도 정부R&D 예산안 12.3조원(10.8% 증가) ● 민간 : 세제지원 등으로 연평균 16.5%(매년 5.5조원) 확대 ※ R&D 시설투자 세액공제 한도 확대(투자금액의 7 → 10%), 중소기업 R&D비용 세액공제 확대(당해 연도 지출분의 15 → 25%), R&D 투자 준비금의 손금 산입제도 도입(매출액의 3%) 등
7대 기술분야 집중육성	● 총 4조 6,282억 원 투자, '08년 4조 1,210억 원 대비 12.3% 증가 ※ 신성장동력 발굴 1조 1,923억원, 녹색기술 연구개발 1조 3,297억원 등
7대 시스템 선진화	● 총 3조 6,257억 원 투자, '08년 2조 8,293억 원 대비 28.1% 증가 ※ 인력양성 8,123억 원, 기초·원천연구 8,521억 원, 출연(연) 안정적 인건비 확대 (30.8% → 50.2%), 기초연구투자 확대 (25.6% → 29.3%)등

- 투자규모는 2009년도 정부예산안 기준으로 총 8조 2,569억 원 규모로 50개 중점과제 분야의 08년도 투자액 대비 19.5% 증가한 규모

※ 7대 기술 분야 : 4조 6,282억 원, 7대 시스템 분야 : 3조 6,257억 원 등

※ 시행계획 범위 : 50개 중점과제 관련 R&D사업, 과학문화 확산 등 비 R&D사업, 정책·제도개선을 포함하고, 인문사회계 연구, 출연(연) 기본사업, 비밀로 분류된 국방연구 등 제외

- 연구자 친화적 연구 관리제도 구축, PBS 제도개선, 기초원천기술연구 확대 등 과학기술 기본계획 중점추진과제의 주요시책을 포함
- 철도차량 곡선주행 성능향상 각륜구동 전동기의 개발은 새로운 신성장 동력 사업으로 도시철도 뿐만 아니라 고속 전철까지 적용 가능한 핵심 원천 기술 개발을 1차적 목표로 하고 있으며, 이는 현재 국가적으로 추진하고 있는 국가 과학 기술 정책과 매우 부합되는 새로운 연구 개발 사업임

2절. 기술적 타당성

- 한국의 철도기술은 지속적으로 발전하고 있으나 선진국 대비 기술수준은 2009년 기준으로 74% 정도인 것으로 평가하고 있음
- 2001년 발간된 철도기술백서에서는 선진국 대비 기술수준을 40% 내외로 평가하였으며, 2002년 국가기술지도에서도 40~50% 수준으로 평가함
- 2005년 한국철도시설공단 전문가 설문조사 결과에서는 선진국 대비 60~70% 수준의 기술력을 보유하고 있다고 평가함
- 2007년 건설교통기술 중장기 R&D로드맵에서는 주요국(독일, 프랑스, 일본) 기술수준 대비 76.2%이라고 평가함
- 철도 핵심 기술 분야 상세 기술별 기술개발 인식도 현황을 Likert 5점 척도로 설문 분석한 결과에 따르면 평균적으로 연구개발의 필요성 4.36점, 연구개발의 시급성 4.13점, 연구개발의 중요성 4.28점, 연구개발의 파급효과 4.21점으로 인식하고 있었음
- 철도 요소기술 분야에는 급전/전력, 역사건설/운영, 궤도/토목, 유지보수, 철도차량, 철도정책/운영/물류, 안전/방재, 환경/에너지, 신호통신/제어, 시스템 엔지니어링 기술 있음
- 최고 국가 대비 기술수준이 가장 높은 철도 요소기술은 급전/전력 기술로써 세계최고 기술수준 대비 평균 84.93%, 기술격차는 평균 5.64년이며, 기술수준이 가장 낮은 기술은 시스템 엔지니어링 기술로 세계최고 기술수준 대비 평균 76.18%, 기술격차는 평균 7.57년으로 분석됨

[철도기술 기술개발 인식도 현황]

철도기술 분야	기술개발 인식도 현황 (Likert 5점 척도)			
	필요성	시급성	중요성	파급효과
유지보수 기술	4.37	4.16	4.32	4.12
고속화 기술	4.34	3.98	4.26	4.36
물류 기술	4.29	4.13	4.21	4.21
철도정책 및 운영 기술	4.30	4.07	4.17	4.08
안전/방재 기술	4.48	4.30	4.47	4.21
표준화 기술	4.45	4.26	4.38	4.26
대륙철도 기술	4.10	3.77	3.96	4.07
친환경/에너지 기술	4.58	4.38	4.49	4.38
평균	4.36	4.13	4.28	4.21

※ 자료 : 철도기술연구회(2008), 2008년 철도기술수준조사 결과 보고서

[철도 요소기술 분야 선진국대비 기술수준 및 기술격차]

철도 요소기술 분야	최고수준국가	세계최고 대비 기술수준(%)	세계최고 대비 기술격차(년)
급전/전력	일본	84.93	5.64
유지보수 기술	일본	82.13	6.82
철도차량	일본	80.39	7.07
시스템 엔지니어링	일본	76.18	7.57

※ 자료 : 철도기술연구원(2008), 2008년 철도기술수준조사 결과 보고서

- 철도 요소기술 분야 상세 기술별 기술개발 인식도 현황을 Likert 5점 척도로 설문 분석하였고, 평균적으로 연구개발의 필요성 4.41점, 연구개발의 시급성 4.22점, 연구개발의 중요성 4.34점, 연구개발의 파급효과 4.27점으로 인식하고 있었음

[철도 요소기술 분야 기술개발 인식도 현황]

철도 요소기술 분야	기술개발 인식도 현황 (Likert 5점 척도)			
	필요성	시급성	중요성	파급효과
급전/전력	4.19	3.91	4.19	4.08
유지보수 기술	4.36	4.19	4.31	4.16
철도차량	4.42	4.15	4.29	4.33
시스템 엔지니어링	4.50	4.35	4.45	4.38

※ 자료 : 철도기술연구원(2008), 2008년 철도기술수준조사 결과 보고서

- 분야별 전체 인용도 대비 각국의 분야별 인용도 수준인 기술영향력지수에서는 유럽국가들은 철도 에너지 절감 및 최적화분야에서 질적으로 우수한 특허를 다수 보유하고 있음
- 한국의 경우, 특허의 양적/질적 성과가 부족하여 해당 기술개발 분야를 선도하지 못하고 있는 것으로 나타나 국가차원의 연구개발투자를 통해 관련 분야의 연구 활성화를 촉진할 필요가 있는 것으로 파악됨
- 특히 글로벌 기술경쟁력을 확보하기 위해서는 특허인용도가 높은 선진기술에 대한 검토를 실시하여 해외 주요 연구주체들이 구축하고 있는 특허포트폴리오를 회피하여 특허권을 확보할 필요가 있으며 공백기술 영역을 파악하여 집중적인 연구개발을 추진할 필요가 있음
- 특히 드러난 연구과제들을 해결할 수만 있다면 국내는 물론이고 국외에서도 다른 연구기관이 가지지 못한 첨단기술을 보유할 수 있게 되어 전철추진시스템에 관한 선도적 위치를 점유할 수 있게 되어 전 세계에 기술력 과시는 물론 상업화에도 유리한 고지를 선점할 수 있을 것으로 예상되어 도전해 볼만한 가치가 있는 기술로 인정됨

3절. 경제적 타당성

1. 분석 범위 및 기초

- 연구의 기초가 되는 자료는 2013년을 기준으로 함
- 서울메트로를 대상으로 하며 대폐차계획에 따라 도입되는 것을 가정함
- 서울메트로 현황
 - 서울메트로는 서울특별시 지하철 1, 2, 3, 4호선의 운영을 전담하는 기관으로 1970년 설립됨
 - 현재 137.9km구간 120개 역을 운영하고 있고 2013년 통계로 1,523,692,659명의 인원이 이용하고 있는 수도권의 중요한 교통수단임
 - 3개의 사업단, 4개의 본부체제로 되어 있음
 - 2013년 수입금은 총 8,965억원이며 일평균 24억 5천만원임

[서울메트로 운영시설]

구 분		계	1호선	2호선	3호선	4호선
구 간		4개노선	서울역↔청량리	성수↔성수	지축↔오금	당고개↔남태령
연 장	영 업	137.9km	7.8	60.2	38.2	31.7
	건 설	146.8km	9.9	62.1	41.4	33.4
역 수		120개역	10	50	34	26

[서울메트로 운영현황]

호선 구분		계	1호선	2호선			3호선	4호선
				본 선	성수지선	신정지선		
구간		4개 노선	서울역↔ 청량리	성수↔성수	성수↔ 신설동	신도림↔ 까치산	지축↔오금	당고개↔ 남태령
영업거리		137.9 km	7.8	48.8	5.4	6.0	38.2	31.7
역수		120 개	10	43	4	3	34	26
운행시격		2.5~6.5 분	3.0~5.0	2.5~6.0	7.0~10.0	10.0	3.0~6.5	2.5~5.5
운 행 횟 수	평일	2,427 회	517	552	226	224	410	498
	토요일	2,151 회	480	476	208	214	351	422
	휴일	2,095 회	480	420	208	214	351	422
소요시분		243.5 분	16	87	9	11	67.5	53
차량기지		5개소	군자	군자 신정	군자	신정	지축 수서	창동
운 행 편 성	R.H	162편성	13	62	4	3	40	40
	N.H	87편성	8	31	3	3	23	19
전동차보유		200 편성	16	79	5	4	49	47

[수송통계]

구 분		계	1호선	2호선	3호선	4호선
2013	수송인원(명)	1,523,692,659	168,206,476	759,307,998	289,692,822	306,485,363
	운수수입 (천 원)	896,524,748	81,226,561	470,105,559	165,034,932	180,157,696
2012	수송인원(명)	1,513,665,253	167,784,425	752,917,456	286,036,938	306,926,434
	운수수입 (천 원)	914,549,773	83,199,967	479,304,174	166,746,911	185,298,721
2011	수송인원(명)	1,509,528,662	170,110,521	747,577,667	282,997,903	308,842,571
	운수수입 (천 원)	806,236,493	74,600,205	419,973,167	146,391,797	165,271,324
2010	수송인원(명)	1,475,348,937	164,409,302	731,847,885	275,466,721	303,625,029
	운수수입 (천 원)	790,114,894	72,203,954	411,367,805	143,780,321	162,762,814
2009	수송인원(명)	1,450,530,740	163,860,092	732,037,588	257,501,239	297,131,821
	운수수입 (천 원)	783,888,134	71,889,954	415,705,823	136,641,092	159,651,265
2008	수송인원(명)	1,446,924,426	168,096,727	727,057,819	256,547,773	295,222,107
	운수수입 (천 원)	790,898,672	74,417,772	417,962,048	138,732,931	159,785,921
2007	수송인원(명)	1,431,757,456	169,635,080	707,328,238	256,172,707	298,621,431
	운수수입 (천 원)	767,778,972	74,084,061	396,992,811	136,879,509	159,822,591
2006	수송인원(명)	1,430,996,090	169,903,083	699,222,041	257,543,491	304,327,475
	운수수입 (천 원)	700,174,286	68,411,060	357,520,807	125,600,318	148,642,101
2005	수송인원(명)	1,436,414,342	171,943,936	698,775,955	259,165,710	306,528,741
	운수수입 (천 원)	714,484,488	71,804,293	361,450,869	128,810,631	152,418,695
2004	수송인원(명)	1,453,858,667	172,081,871	703,795,715	265,398,537	312,582,544
	운수수입 (천 원)	659,377,114	66,011,252	330,908,541	120,601,140	141,856,181

2. 비용편익 분석법

가. 개요

- 2013년 제정된 교통시설투자평가 지침의 내용을 준용하여 분석함
- 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

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

$$\begin{aligned}\text{비용·편익비(B/C비율)} &= \text{비용} - \text{편익비} = \frac{\text{수입의 현재가치}}{\text{비용의 현재가치}} \\ &= \sum_n^N BPV_n / \sum_m^M CPV_m \\ &= TBPV / TCPV\end{aligned}$$

여기서, BPV_n : n항목 편익의 현재가치

CPV_m : 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

$$BPV_n = \sum_{t=0}^T \frac{B_{nt}}{(1+r)^t}$$

BPV_n : n항목 편익의 현재가치,

T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

B_{nt} : 기준 연차로부터 t년째의 n항목의 편익

r : 사회적 할인율,

n : 편익의 종류

$$CPV_n = \sum_{t=0}^T \frac{C_{nt}}{(1+r)^t}$$

CPV_n : n항목의 비용의 현재가치

T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

C_{nt} : 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 $PI > 1$ 인 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, B_{it} : i 항목의 t 연도 편익

C_{jt} : j 항목의 t 연도 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 투자 가치를 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 현재 가치는 각 투자안의 순현재가치의 합으로 이를 수학적으로 표현하면, 투자안 A의 NPV가 10 이고 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 : i 항목의 t 연도 편익

Cj_t : j 항목의 t 연도 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. 각륜구동전동기 도입 편익

가. 비용-편익 항목 설정

- 차량의 도입에 따른 총비용 중 각륜구동전동기 도입에 따른 추가 비용을 비용항목으로 계상함
- 경제성분석에서 비용부문은 일반적으로 유사사업의 실적자료와 비교 검토를 통하여 비용을 검증하여 항목별로 값을 제시하여야 하며, 이때 제시되어야 하는 항목은 세분류되어야 함
- 각각의 항목에 대한 구체적인 구성항목은 표와 같음

[각륜구동전동기 비용부문 세부항목]

구 분		세 부 항 목
구입비	추가 구입 비용 (량당)	• 각륜구동전동기구입 절감 및 추가비용
유지관리비	전동기 유지보수비	• 유지 절감액 및 추가비용

- 각륜구동전동기 도입에 따른 편익 항목임

[각륜구동전동기 도입에 따른 편익 항목 분류]

구 분		세 부 항 목	비 고
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	
		레일 유지보수비 절감	
		소음 /진동 민원 저감	미반영
		급곡선부 속도 향상으로 인한 영업 수익 제고 (현재 급곡선부 소음발생으로 인한 속도 제한)	미반영
		신선로 계획 시 급곡선 설계에 따른 저해요인 해소 (소음 발생, 속도 제한, 유지보수비용 증대 등의 급곡선 설치에 따른 저해요인 해소)	미반영

나. 전동차 도입 계획 설정

- 서울메트로의 대폐차 계획에 따라 도입하는 것으로 함

[서울메트로 대폐차 계획]

대폐 년도 \ 호선	1호선	2호선	3호선	4호선	연도 합계
2013					
2014	64	78			142
2015		67	71		138
2016		177	33		210
2017		80	64		144
2018		66	14	128	208
2019		20		290	310
2020		20		52	72
2021					
2022					
2023	20				20
2024	40				40
2025					
호선별 합계	124	508	182	470	총합 1,284

다. 비용 산정

(1) 추가 차량 가격

- 각륜구동 전동기 도입에 따라 기존 모터 4대와 기어4대, 전력변환 장치 및 제어기가 삭제되고 각륜구동전동기 8대와 전력변환장치 및 제어기가 신규 장착됨

[각륜구동전동기 도입에 따른 구입비 변화]

품목	기존	변경후
모터부	모터 1C4M 210kW급 4대 = 2500만원*4=1억	각륜구동 1C1M 90kW급 모터 8대 = 2000만원*8=1.6억
기어부	기어 4대 = 500만원*4=2000만원	-
제어부	전력변환장치 + 제어기 = 각 1대 = 1.5억	전력변환장치 + 제어기 = 각 8대 = 2000만원*8=1.6억
총 액	2.7억	3.2억

- 현재 차량당 약 13억원을 가정하면 각륜구동전동기 도입으로 1량당 0.5억 도입가의 증가로 예측됨

- 유지보수비는 구입비의 5%가 일반적이거나 대차의 추가가 아닌 개선품임을 감안하고 기어 4대 삭제에 따른 유지보수비 감소액과 각륜구동 모터 4기의 증가가 상쇄되는 것으로 가정함

- 따라서 각륜구동전동기의 도입에 따른 추가 비용은 없을 것으로 예상됨

(2) 추가 차륜 개발비

- 각륜구동전동기는 기존 차륜을 볼트 체결등을 통해 활용이 가능함에 따라 차륜의 재개발 필요성이 없음
- 기존 차륜 활용이 가능함에 따라 차륜 삭제, 검수 등을 위한 검수설비 변경이 필요없음. 다만 전동기와 차륜간 분해를 위해 사용될 전용지그가 필요하며 상세설계를 포함하는 단계에서 고려되어야 할 사항임.

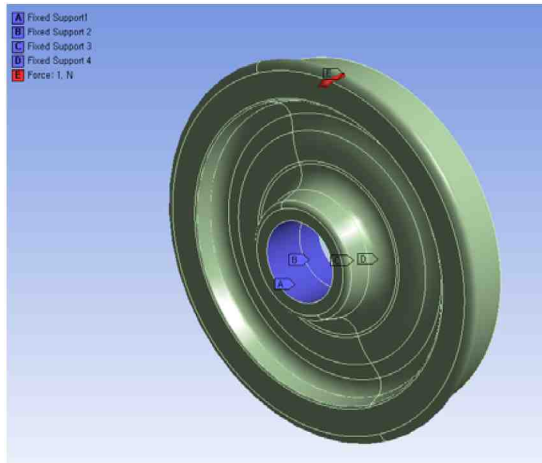
라. 편익 산정

(1) 소음 감소 편익

- 소음가치의 산정을 위해서는 사업시행으로 발생하는 소음변화량과 단위 소음당 원단위에 대한 정보가 필수적
- 곡선부 소음은 진동음 외에 진행방향의 스틱-슬립에 의한 스킨음과 횡방향의 스틱-슬립에 의한 스킨음 및 플랜지 스킨음으로 분류됨
- 이러한 스킨음들은 차량이 곡선부를 스틱-슬립 현상이 없이 마치 직선부를 주행하는 것처럼 자연스럽게 통과하는 경우에는 발생하지 않거나 매우 낮은 소음수준을 가질 것으로 예상됨
- 외국의 연구결과에 의하면 스틱-슬립 스킨음과 플랜지 스킨음은 모두 곡선부에서 차륜에 가해지는 종방향 및 횡방향 크립력에 의해 차륜의 고유진동모드 성분이 공진이 되어 방사소음을 발생함에 그 원인이 있다고 알려져 있음
- 따라서 능동조향제어에 의해 곡선부를 스틱-슬립 및 플랜지 접촉없이 원활히 주행하도록 하면 곡선부 소음이 매우 저감될 것으로 판단됨
- 기존 해외사례를 보면 Bombardier의 능동조향차량 스위스연방철도(SBB) 적용 타당성 검토 결과에서 최대 4dB 차내 소음 저감을 보고함
- Paderborn 대학 Mechatronic Train 시험결과는 최대 5dB 저감으로 보고됨
- 다음 그림들은 차륜/레일 접촉점에서 가진을 하였을 경우에 대한 차륜의 전달함수를 보여주고 있음
- 총 4가지 경우에 대해 검토를 한 바, 횡방향 가진력이 작용한 상태에서의 횡방향 전달함

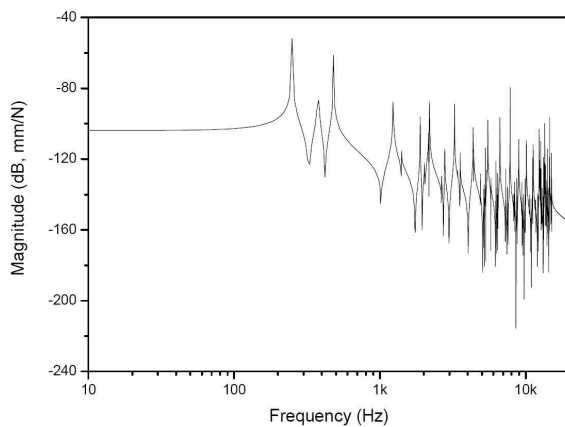
수가 다른 경우에 비하여 상대적으로 가장 강하게 영향을 받음을 알 수 있음

- 곡선부에서의 횡방향 스틱-슬립 스킬음 및 플래지 스킬음 모두 횡방향 가진력에 영향을 받는 부분이므로 차륜에 작용하는 횡압이 곡선부 소음에 가장 큰 영향을 줄을 알 수 있음

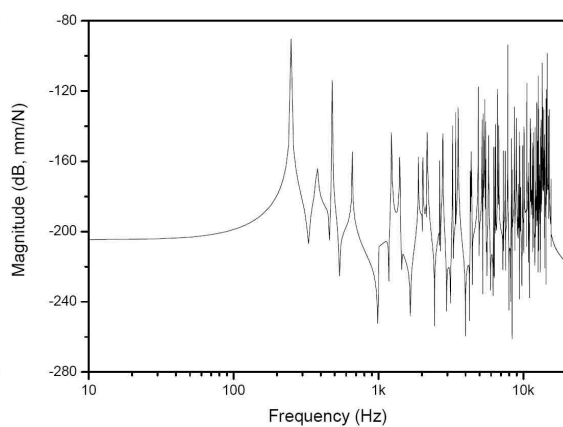


[차륜의 모드해석을 위한 FEM 모델]

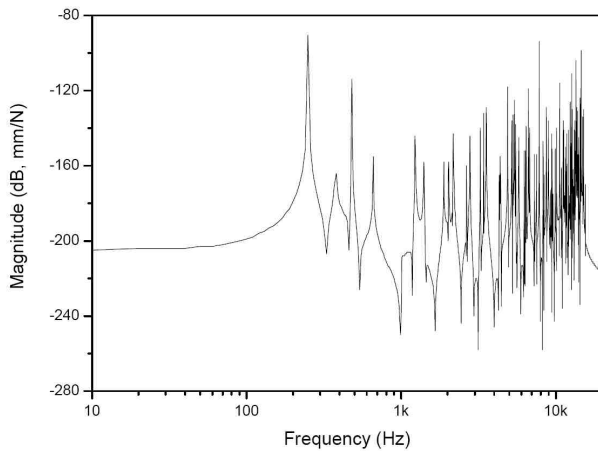
- 해석조건은 답면에 Harmonic Lateral Force 및 Longitudinal Force 인가, 차축삼입부 고정, Point “E” 변위량 해석 임



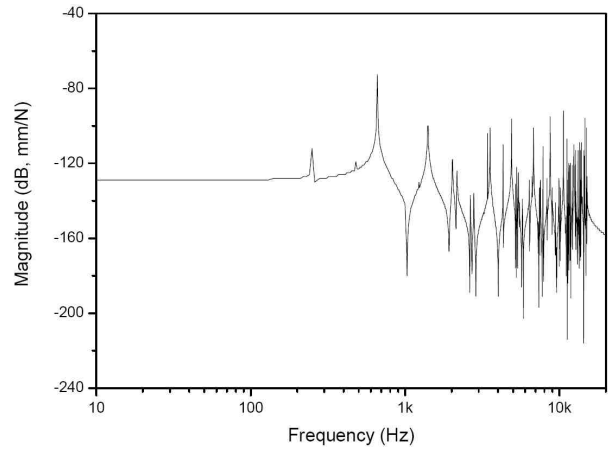
[Frequency Response for Lateral Displacement in Lateral Excitation]



[Frequency Response for Longitudinal Displacement in Lateral Excitation]



[Frequency Response for Lateral Displacement in Longitudinal Excitation]



[Frequency Response for Longitudinal Displacement in Longitudinal Excitation]

- 본 분석에서 소음 감소는 평균 5db로 예상함
- 소음비용은 다음의 소음가치 평균원단위를 적용하여 산출한다.

[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 2013년 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) 분진 감소 편익

- 기존 일반대차 마모 분석을 통해 마모를 선형비례값으로 예측함

○ 따라서 각륜구동 전동기를 적용할 경우 기존 대비 마모 25%를 저감할 수 있음

[소음 및 마모 비교]

구 분	일반대차	자기조향	능동조향	독립차륜
조향각	1 (0.31rad)	2.7 (0.12rad)	5.4 (0.058rad)	0.8 (0.388rad)
횡압	1 (18.5kN)	0.92 (17.04kN)	0.73 (13.5kN)	1.07 (20.0kN)
소음	125.0dB(A)	123.3dB(A)	119.4dB(A)	126.6dB(A)
차륜마모 (113,911km 주행시)	3mm	2.76mm	2.19mm	3.23mm

※ 철도차량 차륜형식에 따른 조향성능해석, 2014년 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 자세대 전동차 신뢰성 평가 2차년 보고서, 도시형 친환경 열차 대차 보고서 참조

※ 횡압 데이터를 기준으로 기존 능동조향의 소음분석을 통해 소음을 선형적으로 분석하고, 기존 일반대차의 마모분석을 통해 마모를 선형적으로 분석함

○ 대기분진 저감편익 은 대기오염비용 원단위의 도시부 계수를 이용하여 산정

[대기오염비용 및 온실가스 원단위 (단위: 원/kg)(2013년 기준)]

구 분	CO	HC(VOC)	NO _x	PM		CO ₂
				도시부	비도시부	
원단위	12,344	13,790	14,279	958,751	88,529	183.7

※ 자료 : 철도차량평가편입 전연구개발 연구, 한국철도시설공단, 한국교통연구회, 2010

※ 주 : CO₂의 가치는 2007년 기준으로 설정된 가치로, 소비재물가지수를 적용하여 2013년도로 환산하였고 그 외 2008년 가치를 기준으로, 소비재물가지수를 적용하여 2013년도로 환산함

○ 분진발생량은 15g/대 감소하는 것으로 예측됨

○ 차륜 평균삭정(14개월) 시의 마모량 계산

- 마모차륜 : FT 30.1mm가정

- 차륜당 마모량(g) : 4.39g

$$\text{마모체적} \times \text{밀도} = 0.559\text{cm}^3 \times 7.85\text{g/cm}^3 \approx 4.39\text{g}$$

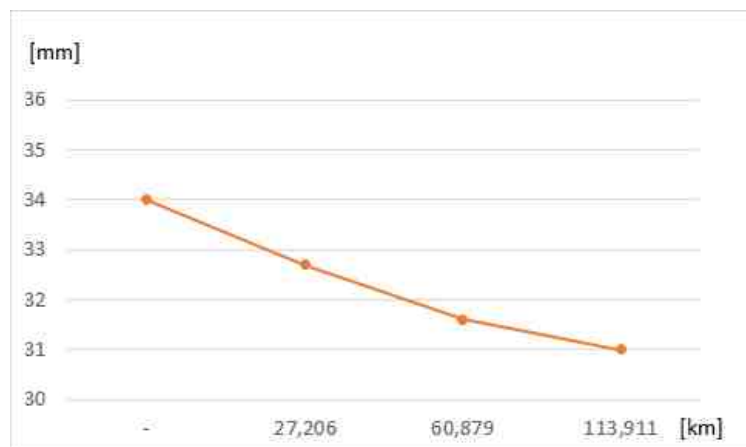
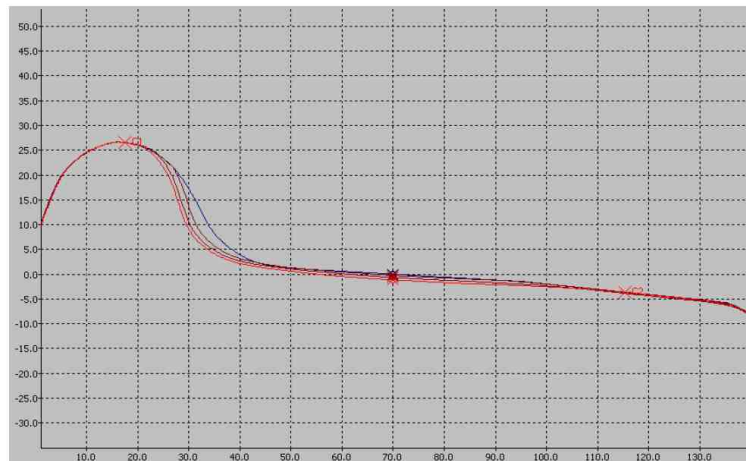
- 25년간 마모량(g) : 삭정시마모량 $\times$ 총삭정회수 = $4.39\text{g} \times (25 \times 12) / 14 \approx 94.1\text{g}$

- 차량당 연간 차륜 마모저감량(g) : 마모 25% 저감 가정

$$\text{차륜 연간마모량} \times \text{차륜수} \times \text{마모저감율} = 94.1/25g \times 8 \times 0.25 \approx 7.53g$$

- 차량당 연간 차륜, 레일 마모저감량(g) : 레일도 등가 수준 저감 가정하면

$$\text{차량당 연간차륜 마모저감량} \times 2 = 7.53g \times 2 \approx 15.0g$$



[플랜지 두께 변화]

(3) 차량 가용성

- 유지보수 기간의 단축에 따른 차량 가용성의 증가에 따른 수입 증가분을 고려
- 서울메트로의 전체 차량수는 2,000량, 200편성이며 예비율은 12.3%임
- 연간 삭정차량은 3년 평균 1,165량이며 량당 차륜 삭정시간 8시간임
- 2013년 연간 운영수입은 편성당 44.8억임
- 연간 차륜삭정으로 운휴되는 차량 편성은 총 200편성 중 평시 162편성이 운영 중이므로 운휴되는 차량편성 비율은 1.9%
- 차륜마모 25% 개선 시, 차량 가용성 제고 효과: 0.475% 제고 : 운휴 차량편성 비율

(1.9%) X 차륜마모 개선효과 (25%) = 0.475%

(4) 레일 유지보수 비용 절감 편익

- 각륜구동전동기 적용으로 곡선부 주행 시 차륜/레일간 슬립 발생, 횡압, 구름접촉피로 현상의 저감이 가능할 것으로 기대됨
- 횡압은 기존의 연구 사례를 통하여 볼 때 최소 30% 이상 저감이 가능할 것으로 예상되며 구름접촉피로현상도 약 50% 정도 개선될 것으로 예상됨
- Bombardier의 능동조향차량 스위스연방철도(SBB) 적용 타당성 검토 결과를 참조하면 레일 수명은 최대 약 2.7배까지 연장 가능할 것으로 분석
- 국내 도시철도의 경우, 곡선의 빈도, 선형 특성, 차량 운용조건 등에 따라 그 효과가 상이하나 레일의 수명도 차륜의 수명 연장 효과 그 이상으로 연장 가능하며 레일 유지보수 비용 저감 효과도 SBB적용사례와 동등 수준 이상일 것으로 추정됨
- 연간 레일 유지보수비용은 레일교체비용, 레일연마비용, 도유기 비용으로 구성됨
 - 레일교체비용 : 3.89억원(2013년, 재료비, 노무비 포함)
 $2.56km(\text{교환거리}) \times 152,016,310\text{원}/km(km\text{당 레일교환비용}) = 3.89\text{억원}$
 - 레일연마비용 : 18.95억원(2014년, 인건비, 장비비 포함)
 $162.2km(\text{연마거리}) \times 12,549,670\text{원}/km(km\text{당 레일연마비용}) = 20.36\text{억원}$
 - 도유기비용 : 3.89억원(2013년, 재료비)
- 연간 레일 유지보수 비용 절감은 기준 대비 50% 예상함
- 차량의 도입이 연차적으로 이루어지는 것을 감안하여 도입차량비율로 절감액 적용함

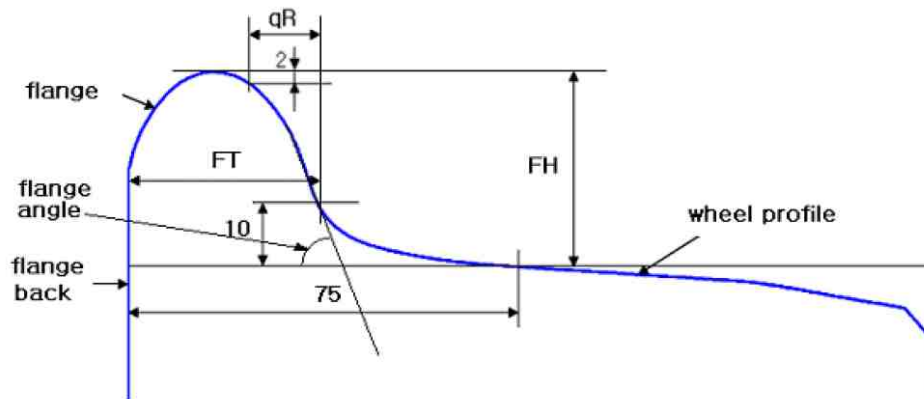
(5) 차륜 유지보수비용 절감

- 현 도시철도차량의 주행 상태 파악을 위한 실험적 연구를 한국철도기술연구원에서 2007년~2008년에 실험적 연구를 수행함
- 주행거리 누적에 따른 주행특성, 차륜 마모, 소음을 분석하기 위하여 도시철도용 전동차를 대상으로 현차 시험을 수행함
- 시험차는 차량 상태가 양호하고 3Y 수준으로 검수 완료한 차량 1편성을 대상으로 하였으며 시험 기간은 12개월 이상하였고, 누적주행거리는 약 113,911km임
- 차륜의 마모 결과는 다음 표와 같음

[차륜마모 결과]

구 분	시험일	누적주행거리(km)	플랜지두께(mm)
1차	2007.4.26	0	34.0
2차	2007.8.5	27,206	32.7
3차	2007.11.28	60,879	31.6
4차	2008.5.23	113,911	31.0

- 누적주행거리 113,911km의 4차시 플랜지 두께 평균은 34.0mm에서 31.0mm로서 초기 원형상태에 비하여 3.0mm의 마모가 진전됨



[차륜 주요 치수]

- 전동차 차륜 플랜지 두께 관리 기준이 23 ~ 34mm이므로 약 414,000km 주행마다 차륜을 교체해야 함.
- 각륜구동 전동기 차량의 횡압을 단일축 독립차륜에 능동조향의 기능이 있는 것과 동일 이상인 경우로 가정시, 단일축 차륜의 횡압을 1인 경우, 각륜구동 전동기 차량의 횡압은 0.42에 해당하므로, 약 113,000km 주행시 1.26mm 마모되는 것으로 환산 가능함.
- 따라서 약 986,508km 주행마다 차륜을 교체해야 함.

[주행거리에 따른 플랜지 두께]

누적주행거리(km)		0	27,206	60,879	113,911
플랜지두께(mm)	단일축	34.0	32.7	31.6	31.0
	각륜구동전동기	34.0	33.45	32.99	32.74

- 전동차 25년간 운행시 단일축 차량은 약 8회, 각륜구동 전동기 차량은 약 3회 차륜을 교체함.
- 전동차 25년간 사용시, 기존 단일축 차량은 8회의 차륜 교체비용이 들어가고 각륜구동

전동기 차량은 3회의 차륜 교체비용이 들어감.

- 기존 차륜 삭정 평균주기(1년 2개월)에 따른 삭정 시 차륜교체 한도까지 약 4회 삭정이 가능하며 5회째 삭정 도래 시 차륜교체 직경한도(774mm)에 도달

→ 차륜수명은 1년 2개월 × 5 ≒ 약 5년 10개월 사용

- 각륜구동전동기 적용에 따른 차륜마모 25% 저감을 가정하였을 경우, 기존 차륜 삭정 평균주기(1년 2개월)에 따른 삭정 시 차륜교체 한도까지 약 7회 삭정이 가능하며 8회째 삭정 도래 시 차륜교체 직경한도에 도달

→ 차륜수명은 1년 2개월 × 8 ≒ 약 9년 4개월 사용

- 따라서 각륜구동전동기 적용으로 차륜마모 25% 저감 시 차륜수명은 최소 약 60% 이상 연장될 것으로 예상됨

- 차량 1량당 연간 유지보수비용 절감: 852,000원/량

- 현재 차량당 차륜유지보수비용

$$\frac{\text{차량당 차륜총비용}}{\text{내구연한(년)}} = \frac{\text{차륜구입비용} + \text{삭정비용}}{\text{내구연한(년)}} = \frac{32,120,000\text{원} + 37,840,000\text{원}}{25\text{년}}$$
$$\approx 69,960,000\text{원}$$

$$\begin{aligned} \text{※ 차륜구입비용} &: = (\text{내구연한}/\text{차륜수명}) \times \text{차량당 차륜수} \times \text{차륜단가} \\ &\approx (25\text{년} \times 12\text{월}/70\text{월}) \times 8 \times 803,000\text{원} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{※ 차륜삭정비용} &: = (\text{내구연한}/\text{삭정주기}) \times \text{차량당 차륜수} \times \text{삭정비용} \\ &\approx (25\text{년} \times 12\text{월}/14\text{월}) \times 8 \times 220,000\text{원} \end{aligned}$$

- 차륜마모 30% 개선 시 차량당 차륜유지보수비용

$$\frac{\text{차량당 차륜총비용}}{\text{내구연한(년)}} = \frac{\text{차륜구입비용} + \text{삭정비용}}{\text{내구연한(년)}} = \frac{19,272,000\text{원} + 29,392,000\text{원}}{25\text{년}}$$
$$\approx 48,664,000\text{원}$$

$$\begin{aligned} \text{※ 차륜구입비용} &: = (\text{내구연한}/\text{차륜수명}) \times \text{차량당 차륜수} \times \text{차륜단가} \\ &\approx (25\text{년} \times 12\text{월}/112\text{월}) \times 8 \times 803,000\text{원} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{※ 차륜삭정비용} &: = (\text{내구연한}/\text{삭정주기}) \times \text{차량당 차륜수} \times \text{삭정비용} \\ &\approx (25\text{년} \times 12\text{월}/18\text{월}) \times 8 \times 220,000\text{원} \end{aligned}$$

- 내구연한내 차량당 차륜유지보수비용 절감

$$\begin{aligned} &(\text{현재 차량당 차륜유지보수비용}) - (\text{차륜마모 30\% 개선시 차량당 차륜유지보수비용}) \\ &= 69,960,000\text{원} - 48,664,000\text{원} \approx 21,296,000\text{원} \end{aligned}$$

- 차량당 연간 차륜유지보수비용 절감

$$\begin{aligned} & (\text{내구연한내 차량당 차륜유지보수비용 절감}) / (\text{내구연한}) = 21,296,000\text{원} / 25\text{년} \\ & \approx 852,000\text{원} \end{aligned}$$

○ 각륜구동전동기 도입비율에 따라 편익 산정함

4. 비용편익 분석결과(서울메트로 1,2,3,4호선에 적용한 경우)

- 비용편익분석 결과 서울메트로의 각륜구동전동기 도입은 경제적 타당성이 있는 것으로 나타남.(2,000량, 200편성, 2013~2025까지 대폐차 계획 반영, 건설노선 146.8km 반영)
- 비용편익분석 결과 가용성 편익이 가장 큰 편익으로 나타남

[비용편익분석 결과]

NPV	IRR	B/C
437.78억	7.73%	1.81

[편익 가치 요약]

구분	현재가치 환산전	현재가치 환산시
차량 유지보수비용 편익	247.10억	123.89억
레일유지보수 편익	295.92억	148.38억
소음감소 편익	485.11억	243.23억
분진감소 편익	4.17억	2.09억
가용성 편익	988.01억	422.02억

4절. 기술개발 필요성

- 세계적으로 경제성과 운영효율성을 극대화하면서도 환경 친화적으로 복잡한 도시환경에 적합한 스마트 도시철도시스템에 대한 기술개발이 요구됨
- 도시철도시스템의 노면 운행에 따른 도시의 복잡성 증가와 이에 따른 교통 혼잡 유발, 소음과 진동 등의 문제점 등이 노출되었으며, 지하철에 의한 지하 운행에 따른 소음과 진동, 도시혼잡 등의 문제는 해결할 수 있었지만, 막대한 건설비, 유해한 미세먼지, 환승 문제 등이 대두되었음. 그 다음으로 지하철의 문제점을 해결하기 위해 지하철에 비해 경제적인 고가 경전철시스템이 보편화 되었으나 수송수요에 비해 막대한 건설비, 도시미관 저해, 소음과 진동 등 모든 문제점을 해결하진 못함
- 이러한 문제를 해결하기 위해서는 도시철도시스템 기술이 한 단계 더 발전해야 하며, 독일, 영국, 일본 등 철도 선진국에서는 세계 시장선점을 위해 새로운 도시철도시스템 기술을 확보하기 위해 꾸준한 연구투자를 하고 있음
- 전 세계적으로 다양한 도시철도시스템이 도입·운영되고 있는 가운데, 최근 들어 경제적인 건설이 가능하면서도 도시미관, 환경소음 등의 여러 환경 요인과 급곡선, 급구배 등 제약조건이 많은 복잡한 도시환경 등 여러 복합적인 요인을 모두 고려할 수 있는 미래 친환경적이고 도시민에게 한층 더 친숙하게 다가 설 수 있는 “신개념(Fresh) 도시철도시스템 기술개발”이 필요함
- 도심지내 도로 하부 지하공간을 이용하여 경제적으로 건설이 가능할 뿐만 아니라 도시미관, 환경소음 등의 여러 환경 요인과 함께 급곡선, 급구배 등 제약조건이 많은 복잡한 도시환경 등 여러 복합적인 요인을 모두 만족할 수 있는 기술개발이 필요함
- 또한, 용인 구갈~전대리 18km 무인 경전철 시공 후 승객수요 재검증 결과 11만명이 과대평가되어 개통이 연기되는 문제점에서 확인할 수 있듯이, 도시철도 시스템이 효율적으로 운행되기 위해서는 건설·운영주체(지자체 혹은 민간)의 소요 비용을 최소화 할 필요가 있으며 이에 따라 적정 규모 산정을 통한 건설 및 유지보수비용이 최소화된 기술이 필요함
- 곡선주행 성능을 갖는 차량기술과 급속시공, 소음진동저감, E&M설비 최적화 및 슬림화 등의 저비용 인프라 기술 등 다양한 분야에 대한 연구를 통하여 경제적이며 최적의 시스템 도출이 요구됨
- 고속용 도심내 도로와 같은 곡선 조건에서도 차량의 주행이 원활한 국내의 도심내 곡선 반경은 가혹한 (20~25m) 상태이므로 차량의 원활한 주행이 가능하고 고속으로 주행하면서 차량의 하중을 지지하고, 횡방향 자유도가 최대한 확보할 수 있는 연구가 필요함
- 에너지 소모의 최소화 및 유지보수성을 고려하기 위해 운행시 에너지 소모 및 운영유지비를 최소화하기 위해서는 추진장치의 중량을 최소화 하여야 하는 기술 개발이 필요함
- 국가 대중교통의 시장 정책적 방향은 도심 교통수단으로 환경 친화성과 수송효율이 높은

도시철도에 대한 수요가 급증에 대처하고, 도시의 미관을 해치지 않고 안전성이 확보 될 수 있는 새로운 철도시스템의 필요성에 대응하는 것임

- 국내 지자체(광주, 대전, 김포 등)에서는 철도 도입을 위해 적극적인 지원을 요청하고 있음. 이는 경전철시스템에서 보유한 도시미관, 소음, 건설비 과대 등을 해결 수 있는 신개념 기술을 요구하고 있음
- 각륜구동 전동기 핵심기술개발은 조속히 추진되어야 하며, 신뢰성/ 안전성을 확보 후 실용화를 위한 노력이 필요함
- 전세계적으로 급곡선 300R을 주행할 수 있고 고속저상인 대차시스템 확보를 통한 철도 기술 선진화에 기여
- 세계최고수준의 경제성을 갖는 철도시스템 기술의 확보로 선진철도기술시장의 선점효과 및 철도산업의 수출을 통한 수익창출 가능

5절. 정부지원 타당성

1. 기술개발투자의 시급성

- 각륵구동 전동기 기술은 현재 일부 선진국에서 개발 및 시험 완료 후 상용화를 추진하고 있으며 기술적 우위를 바탕으로 시장을 독식할 가능성이 있음 따라서 조속한 연구개발을 통해 핵심기술 확보가 시급함
- 국가 철도망 계획(2020년까지 88조 투입 정책)에 따른 철도 건설 예산 절감 및 효율적 투자를 위한 기술개발에 역점을 둠. 이는 철도 건설예산 절감을 유도하고 고효율을 지향할 수 있는 정책적 방향 도출됨.
- 이를 위해 저탄소 녹색성장의 견인을 위해 녹색기술 및 미래핵심기술 “Green-Up 30”에 지속적으로 투자할 계획이며, 본 기획과제는 국가 R&D 정책방향에 포함되어 있음.
- 곡선구간이 많은 도시철도의 환경 요인과 함께 여러 복합적인 요인을 모두 만족할 수 있는 기술개발이 필요함
- 곡선주행 성능을 갖는 차량기술과 소음 및 유지보수비 저감 등의 저비용 기술 등 다양한 분야에 대한 연구를 통하여 경제적이며 최적의 시스템 도출이 요구됨
- 고속으로 주행하면서 차량 하중을 지지하고, 횡방향 자유도가 최대한 확보되어 국가 대중교통망 설계시 효과적으로 대응이 될 수 있도록 범국가적 연구개발이 필요함.
- 국가 대중교통의 시장 정책적 방향은 도심 교통수단으로 환경 친화성과 수송효율이 높은 도시철도에 대한 수요의 급증에 대처하고, 도시의 미관을 해치지 않고 안전성이 확보 될 수 있는 새로운 철도시스템의 필요성에 대응하는 것임
- 곡선주행 성능향상 핵심기술개발은 조속히 추진되어야 하며, 신뢰성/ 안전성을 확보 후 실용화를 위한 노력이 필요함

2. 정부 주도의 개발 및 지원 필요성

- 정부에서 계획하고 있는 2013년까지 85%의 선진국 대비 기술력 달성 및 세계 7위의 철도시장 점유 목표 달성, 2018년까지 90%의 기술력 달성 및 세계 5위의 점유 목표 달성을 위해서는 선진국 기술의 국산화 개발방식(fast-follower)에서 탈피하여 첨단철도 신기술 선도개발(leading innovator)분야로 R&D 확대 필요
- 각륵구동 시스템 기술은 시장형성 단계인 미래철도차량 기술로서 미래 기술 및 국내 철도차량 기술 경쟁력 제고 측면에서 국가적 기술개발을 통한 장기적 접근 및 정부지원이 필요한 기술 분야임.
- 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.

- 곡선 조건에서 주행가능한 추진장치 기술 개발이 필요하며 소음 저감 기술개발 등 핵심 장치 개발 및 검증이 정부 주도로 선행되어야 할 필요가 있음.
- 도시철도 시스템 성공 요소 분석
 - 철도 수요 및 경제성 증가 요소 가능 : 외부 통행시간 단축으로 기존 철도시스템 대비 수송 분담률 3%이상 발생 유도 가능
 - 편익 증가, 비용 감소로 인한 사업 타당성(B/C) 증가
 - 정책적 지원 등을 위한 통한 세계적 기술 선도 이미지 부각 : 첨단 교통시스템 도입을 통한 도시 랜드 마크 및 국가 자존심 부각
 - 국내 첨단 기술력 극대화로 충분한 검증 : 공사비 단축을 위한 최첨단 공법 기술 개발, 차량 및 시스템 표준화 기술개발 등

3. 정부 미지원시 문제점

- 소음/마모 문제를 해결할 수 있는 근본적 원천기술의 미확보에 따른 대국민 서비스 질의 저하 및 관련 편익비용 지출
- 미래지향적인 원천 핵심기술의 미확보로 인해 국외 기술에 종속시 막대한 국부유출 및 국내환경에 부적합한 유지관리로 인한 운영비효율성 문제 발생

5장. 인력투입 계획 및 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력투입계획

1. 인력투입계획

- 본 기획과제를 통해 도출된 RFP는 본사업의 1단계에 해당되는 부분으로 이에 대한 구체적인 인력투입계획을 수립함.
- 기술의 개발 목표를 달성하기 위해 핵심기술을 바탕으로 선별된 세부과제의 연구내용에 따라 전문 인력을 배치하여 연구 추진
- 각 세부 과제별로 수행할 업무와 협력할 연구내용을 구분하여 참여 연구인력의 전문 분야에 따라 연구 업무를 구분하여 배치
- 연구 사업 초기에는 최적 설계 및 제작 통한 시제품 개발을 위한 인력 배치, 연구 사업 후기에는 성능시험 및 보완을 위한 인력을 중점배치
- 본 사업의 성공적인 수행을 위해서 연차별로 10~14명이 투입되며 전체적으로는 3년 동안 37명이 본 연구를 수행하도록 계획되었음.

과제명	투입인원			
	1차년	2차년	3차년	계
곡선주행 성능향상을 위한 각륜구동 전동기 기술개발	10명	13명	14명	37명

2절. 소요 예산

1. 소요 예산 예산산출

- 본 기획과제를 통해 도출된 RFP는 본사업의 1단계에 해당되는 부분으로 이에 대한 구체적인 소요예산 예산을 산출하였음.
- 예산은 연구장비 재료비(재료비, 시제품 제작비 등)가 상당 부분 차지하게 되는데 이는 차륜일체형 베어링, 전동기, 제어시스템, 시뮬레이터 등을 제작하기 위한 제작비 및 각종 시험기 제작을 포함한 것으로, 연구장비 재료비는 3,374백만원(약 51.9%), 연구활동비와 연구과제추진비 및 연구수당은 588백만원(약 9.0%)으로 총 사업비 중 61%에 해당된다. 또한, 인건비는 학술연구용역 인건비기준단가의 대학 조교수 수준(기본급) 43백만원으로 투입인원 37명, 연구기간이 3년 및 참여율 약 65% 수준으로 1,489백만원(약 22.9%) 예산을 책정하였고, 간접비는 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제12조제7항에 따라 2013년 12월27일 고시한 국가연구개발사업 간접비 계상기준에 제시된 직접비의 16.48%(철도연 기준)을 적용한 898백만원(약 13.8%)로 책정하여 총 소요예산(정부출연금)은 6,500백만원이 예상된다.
- 정부출연금 : 65억원
 - 공정성 및 객관성이 필요한 부분은 민간부담금 없이 정부주도로 추진
 - 국토해양부소관 연구개발 사업운영규정과 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준에 따라 달라질 수 있음.
- 민간부담금 : 21억원
 - 장치 설계 및 제작생산 관련 민간부담금 포함
- 주요 연구내용에 따른 소요예산 구분
 - 인터페이스 : 정부출연금 19.5억
 - 설계 : 정부출연금 19.5억
 - 제작 : 정부출연금 6.5억+민간 21억
 - 검증 : 정부출연금 19.5억

○ 예산 총괄표(1단계, RFP)

단위 : 천 원

항목	연도 비목		1차년도		2차년도		3차년도		합계		비고
			금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	
직접비	미지급 인건비		0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	지급 인건비	현금	402,480	21.3%	523,224	22.2%	563,472	25.0%	1,489,176	22.9%	
		현물	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	학생인건비		0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	소계		402,480	21.3%	523,224	22.2%	563,472	25.0%	1,489,176	22.9%	
	연구장비 재료비	현금	1,017,404	53.9%	1,253,825	53.1%	1,102,966	49.0%	3,374,195	51.9%	
		현물	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
	연구활동비		46,811	2.5%	60,854	2.6%	65,535	2.9%	173,200	2.7%	
	연구과제추진비		31,669	1.7%	41,169	1.7%	44,336	2.0%	117,174	1.8%	
	연구수당		80,496	4.3%	104,645	4.4%	112,694	5.0%	297,835	4.6%	
	소계		1,176,379	62.3%	1,460,493	61.9%	1,325,531	58.9%	3,962,404	61.0%	
	위탁연구개발비		50,000	2.6%	50,000	2.1%	50,000	2.2%	150,000	2.3%	
간접비			260,196	13.8%	326,917	13.8%	311,308	13.8%	898,420	13.8%	
연구개발비총액		현금	1,889,055	100.0%	2,360,634	100.0%	2,250,311	100.0%	6,500,000	100.0%	
		현물	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	
		총액	1,889,055	100.0%	2,360,634	100.0%	2,250,311	100.0%	6,500,000	100.0%	

○ 연차별 예산(1단계, RFP)

단위 : 천원

1차년도 비목별 명세				
비목		금액	구성비(%)	
직접비	미지급 인건비		0.0	
	지급인건비	현금	402,480	21.3
		현물		0.0
	학생 인건비		0.0	
	소계		402,480	21.3
	연구장비 재료비	현금	1,017,404	53.9
		현물		0.0
	연구활동비		46,811	2.5
	연구과제추진비		31,669	1.7
	연구수당		80,496	4.3
	소계		1,176,379	62.3
	위탁연구개발비		50,000	2.6
간접비			260,196	13.8
총계		현금	1,889,055	100.0
		현물		0.0
		합계	1,889,055	100.0

2차년도 비목별 명세				
비목		금액	구성비(%)	
직접비	미지급 인건비		0.0	
	지급인건비	현금	523,224	22.2
		현물		0.0
	학생 인건비		0.0	
	소계		523,224	22.2
	연구장비 재료비	현금	1,253,825	53.1
		현물		0.0
	연구활동비		60,854	2.6
	연구과제추진비		41,169	1.7
	연구수당		104,645	4.4
	소계		1,460,493	61.9
	위탁연구개발비		50,000	2.1
간접비			326,917	13.8
총계		현금	2,360,634	100.0
		현물		0.0
		합계	2,360,634	100.0

3차년도 비목별 명세				
비목		금액	구성비(%)	
직접비	미지급 인건비		0.0	
	지급인건비	현금	563,472	25.0
		현물		0.0
	학생 인건비		0.0	
	소계		563,472	25.0
	연구장비 재료비	현금	1,102,966	49.0
		현물		0.0
	연구활동비		65,535	2.9
	연구과제추진비		44,336	2.0
	연구수당		112,694	5.0
	소계		1,325,531	58.9
	위탁연구개발비		50,000	2.2
간접비			311,308	13.8
총계		현금	2,250,311	100.0
		현물		0.0
		합계	2,250,311	100.0

2. 2~3 단계 소요예산(안)

- 본 기획과제를 통해 도출된 RFP는 본사업의 1단계에 해당되는 부분임. 단계별 주요 연구내용 및 성과물을 통해 2 ~ 3 단계에 대한 연구내용과 성과물을 제시함에 따라 2 ~ 3 단계에 대한 대략적인 소요예산을 다음과 같이 산출함.

단계	소요예산	핵심 기자재 예상 소요액
2	95억	대차 1SET 개발 및 시험비용(20억) 포함
3	90억	실차 개조비용 50억 포함

- 2단계 연차별 예산

단위 : 천 원

1차년도 비목별 명세				
비목		금액	구성비(%)	
직접비	미지급 인건비		0.0	
	지급인건비	현금	603,720	24.5
		현물		0.0
	학생 인건비		0.0	
	소계		603,720	24.5
	연구장비 재료비	현금	1,265,201	51.4
		현물		0.0
	연구활동비		47,236	1.9
	연구과제추진비		31,956	1.3
	연구수당		120,744	4.9
	소계		1,465,138	59.6
위탁연구개발비		50,000	2.0	
간접비		340,948	13.9	
총계		현금	2,459,806	100.0
		현물		0.0
		합계	2,459,806	100.0

2차년도 비목별 명세				
비목		금액	구성비(%)	
직접비	미지급 인건비			0.0
	지급인건비	현금	764,712	17.6
		현물		0.0
	학생 인건비			0.0
	소계		764,712	17.6
	연구장비 재료비	현금	2,663,421	61.4
		현물		0.0
	연구활동비		59,833	1.4
	연구과제추진비		40,478	0.9
	연구수당		152,942	3.5
	소계		2,916,675	67.2
위탁연구개발비		50,000		1.2
간접비		606,692		14.0
총계		현금	4,338,079	100.0
		현물		0.0
		합계	4,338,079	100.0

3차년도 비목별 명세				
비목		금액	구성비(%)	
직접비	미지급 인건비			0.0
	지급인건비	현금	845,208	31.3
		현물		0.0
	학생 인건비			0.0
	소계		845,208	31.3
	연구장비 재료비	현금	1,151,765	42.6
		현물		0.0
	연구활동비		66,131	2.4
	연구과제추진비		44,739	1.7
	연구수당		169,042	6.3
	소계		1,431,677	53.0
위탁연구개발비		50,000		1.9
간접비		375,231		13.9
총계		현금	2,702,115	100.0
		현물		0.0
		합계	2,702,115	100.0

○ 3단계 연차별 예산

단위 : 천 원

1차년도 비목별 명세				
비목		금액	구성비(%)	
직접비	미지급 인건비			0.0
	지급인건비	현금	603,720	12.1
		현물		0.0
	학생 인건비			0.0
	소계		603,720	12.1
	연구장비 재료비	현금	3,394,904	67.9
		현물		0.0
	연구활동비		76,412	1.5
	연구과제추진비		51,694	1.0
	연구수당		120,744	2.4
	소계		3,643,754	72.9
위탁연구개발비		50,000		1.0
간접비		699,984		14.0
총계		현금	4,997,458	100.0
		현물		0.0
		합계	4,997,458	100.0

2차년도 비목별 명세				
비목		금액	구성비(%)	
직접비	미지급 인건비			0.0
	지급인건비	현금	764,712	19.1
		현물		0.0
	학생 인건비			0.0
	소계		764,712	19.1
	연구장비 재료비	현금	2,313,401	57.8
		현물		0.0
	연구활동비		96,788	2.4
	연구과제추진비		65,479	1.6
	연구수당		152,942	3.8
	소계		2,628,611	65.7
위탁연구개발비		50,000		1.2
간접비		559,220		14.0
총계		현금	4,002,542	100.0
		현물		0.0
		합계	4,002,542	100.0

6장. 과제 제안요구서

1절. 과제 제안요구서(RFP)

1. 본 과제 RFP

연구과제명	곡선주행성능을 향상시키기 위한 각률큐동전동기 핵심기술 개발
1. 연구 목표	○ 급곡선 구간에서 주행성능을 향상시켜 스킨소음을 낮추고 전동차 차륜 플랜지 마모를 줄이는 각률큐동기 개발 - 전동기 출력 110kW, 효율 96%, 출력밀도 0.2kW/kg, 소음 20dB(A)저감
2. 연구개발 필요성 및 기술개발 동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국내 도시철도 구간의 30% 이상이 급곡선 노선인 반면 철도차량은 구조적 특성 상 곡선 주행시 한쪽 차륜이 끌려가므로 차륜과 레일이 마모되어 유지보수 비용 증가를 초래하고 있음 ○ 지하구간에서 차륜/ 레일 마모에 의해 분진(60% 이상이 철분)이 발생하고 있으며, 이로 인해 공기질 저하 및 각종기기 고장의 원인으로 작용함 ○ 기존유도전동기는 효율이 최대 92%로 낮고 외부공기로 냉각하는 방식으로 이물질 유입으로 인해 잦은 유지보수가 필요함 ○ 급곡선에서 차륜과 레일간 마찰로 인해 발생하는 스킨소음과 기존 유도전동기 내부에서 발생하는 팬소음은 승객 쾌적성에 영향을 주고, 소음민원을 자주 야기하고 있음. ○ 따라서 기존 전동기에 비해 효율이 높고 전폐형으로 외부 이물질 유입이 적으며, 곡선 주행시 차륜이 각각 회전하므로 곡선 추종성을 향상시켜 소음과 유지보수비용을 줄일 수 있는 각률큐동 전동기 기술 개발이 필요함. ○ 국내 전기자동차 분야에서 소용량의 각률큐동 전동기가 개발되고 있으나 철도분야에 필요한 대용량 각률큐동 전동기에 대한 개발은 전무한 상황임. □ 기술동향 ○ 철도차량의 소비에너지 및 유지보수비 저감을 위하여 감속기를 사용하지 않고 직접 차량의 차축이나 휠을 구동하는 직접구동모터(DDM, Direct Drive Motor)의 적용 및 이의 고효율화를 위한 연구가 유럽의 선진국 및 일본을 중심으로 활발히 수행중임. 이러한 연구는 혁신적으로 무게를 줄이기 위한 영구자석동기전동기(PMSM, Permanent Magnet Synchronous Motor)의 최적 설계 및 구조 연구에 집중되고 있음 ○ JR-east는 1995년부터 210형 도심전차용 직접구동 시스템을 개발하고 있음. 후지전기와 공동개발하고 있으며, 내전형(Inner-Rotor) 방식 영구자석 동기전동기(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
- 도시바는 1992년부터 단순소형화, 경량화 및 에너지절감, 유지보수 최소화를 목표로 고속철도, 도시철도 및 지하철용 PMSM을 개발하기 시작하여 2006년 도시철도에 200kW급 DDM의 사업화를 시작으로 양산 모델을 다각화하고 있음. 도시바의 PMSM은 2006년 JR-East에 우선 채택되어 사용하였고, 2009년에 도쿄지하철(주)에 양산 적용되었으며, 2010년에는 일본화물철도(주)의 기관차에도 실차 적용되었음.
- 일본 RTRI는 60kW급 각륜구동 전동기를 개발함. 좌우 차륜이 독립적으로 회전하는 방식이기 때문에 각 전동기의 회전자는 차륜에 설치된 베어링과 전동기에 설치된 베어링에 의해 지지되는 구조로 좌우의 차륜이 독립적으로 회전함.
- 오스트리아 Vienna 공대는 Bombardier와 함께 각륜구동을 위한 In-wheel PMSM 및 Sensorless Driver Proto type을 제작하여 기존의 유도전동기와 성능 및 효율을 비교하는 등 상용화 노력 중
- 스웨덴 KTH에서도 스웨덴의 Green Train 및 오스트리아 Bombardier 등과 PMSM관련 DDM에 관한 연구가 시제품 제작 및 시험, 실차 시험 등을 실시

3. 연구개발 내용

- 각륜구동전동기 설계기술
 - 부하조건에 따른 용량 산정
 - 핵심요소기술 분석 및 방식 선정
 - 기초 및 상세설계
 - 효율 향상 연구
 - 출력밀도 향상 연구
 - 냉각시스템 설계
 - 기구 설계
 - 최적 설계
- 각륜구동전동기 제어기술
 - 핵심요소기술 분석 및 방식 선정
 - 제어알고리즘 개발
 - 고정밀 제어기법 개발
 - 전동기 통합 제어기술 기초 연구
- 각륜구동전동기 제작기술
 - 차륜 일체형 기술 개발
 - 냉각구조하우징 기술
- 인터페이스 기술

- 대차시스템 연계 기초 기술(1C1M에 따른 차량구조 포함) - 조향기능과 각륜구동 전동기 조합 기술 - 운영 및 유지관리 기술(전동기와 차륜 분해용 전용지그 포함) - 유지보수비용 절감효과 검토 - 곡선부 주행안전성 상세검토 - 기존 전동차시스템 호환성 및 적용에 따른 추가 비용 검토(상세설계 반영)	
○ 성능시험 및 평가 - 성능평가 및 신뢰성 확보방안 도출 - 시제 단품 성능 시험 및 평가 - 조합시험 및 평가 ○ 기타 - 현재 각 도시철도 노선의 급곡선부 소음 및 마모발생현황 조사 - 상용화에 대한 사례조사 - 상용화에 대한 문제점 사전검토 및 분석	
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 시작품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여 유도 ○ 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체계 구축 - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴 - 현장 애로사항 및 의견 반영 ○ 성능 시험을 통한 제품 신뢰성 확보 ○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가로 구성된 자문 그룹 활용
□ 추진체계	○ 산업계, 학계, 연구소 등이 구성된 연구체계 구축과 우수한 성과를 도출한 연구기관이 참여한 연구진 구성 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성 도모 ○ 참여기관 간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 각륜구동 전동기 설계 도면 ○ 차륜일체형 전동기 금형 ○ 차륜일체형 전동기 시험용 지그(JIG) ○ 차륜일체형 전동기용 토크 측정 성능 시험기 ○ 차륜 일체형 각륜구동 전동기 시제품
6. 기대효과 및 파급효과	

- 곡선부 주행성능을 향상시킨 미래철도차량 주행장치 원천기술을 선점하여 교통기술 선진화 및 해외진출 기반 마련
- 첨단교통기술개발을 통한 국내 수요대응 등으로 수입대체 효과 달성
- 쾌적하고 안전하고 편리한 철도이용환경 조성으로 대국민 철도서비스질 향상
- 각륜구동 전동기 적용시 서울메트로 1,2,3,4호선 25년간 대폐차 계획에 따른 편익가치(현재가치)
 - 차량 유지보수비용 편익 : 약 124억
 - 레일유지보수 편익 : 약 148억
 - 소음감소 편익 : 약 243억
 - 분진감소 편익 : 약 2억
 - 가용성 편익 : 약 422억

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 2016.01 ~ 2018.12 (36개월)
 - 1차년도 연구기간 : 2016.01 ~ 2018.12 (12개월)
- 총 정부출연금 : 6,500백만원
 - 1차년도 정부출연금 : 1,900백만원 이내

8. 기타

- 연구신청자는 제안요청서에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 충분한 관련근거를 제시하고 연구내용을 수정하여 제안할 수 있음
- 연구수행기관으로 선정된 이후 필수 이행사항은 아래와 같음
 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술성과물의 목표 수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행 실적이 있고 과제추진시 역할(자료기술조사, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발 결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
 - 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출 근거
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도 기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목

록 참조

- 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
- 연구관리 전문기관(국토교통과학기술진흥원)은 필요시 선정된 동 과제 연구책임자와 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구기간 변경, 연구목표·내용 및 범위 등의 구체화·명확화)할 수 있음
- 예산상세내역 및 장비구축계획 제출
 - 연구개발과 직접적인 관련이 없거나 양산설비 구축에 해당하는 예산은 삭감 조치

[참고문헌]

1. 철도차량 차륜형식에 따른 조향성능해석, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2014
2. 차세대 전동차 신뢰성 평가 3차년 보고서, 한국철도기술연구원, 2014
3. 도시형 친환경 열차 대차 보고서, 한국철도기술연구원, 2008
4. 능동/반능동 조향기술 기초연구, 한국철도기술연구원, 2009
5. 능동/반능동 조향기술 기초연구, 한국철도기술연구원, 2010
6. 전기자동차용 In-wheel모터 드라이브 시스템 개발, 경기과학기술진흥원, 2011
7. 온시가스감측기술 전략로드맵 2011, 한국에너지기술평가원, 2011
8. 2호선(구형) 전동차 실내소음 저감을 위한 연구, 이승우 학위논문 2009
9. 철도차량의 초고속화를 위한 독립차륜형 주행장치 기초연구, 대한기계학회 동역학 및 제어부분 춘계학술대회 논문집, 2013

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.