

Ministry of Land Infrastructure and Transport
R&D Report

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()
철도기술연구사업 4차년도 최종보고서

R&D /
16RTRP-B070556

도시형 자기부상철도 차량시스템 성능향상 최종보고서

2017. 7. .

주관연구기관 / 한국기계연구원
협동연구기관 / 대전도시철도공사
협동연구기관 / 브이씨텍
협동연구기관 / 팍테크
협동연구기관 / 유진기공산업
협동연구기관 / 현대로템
협동연구기관 / 대명엔지니어링
위탁연구기관 / 건국대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘도시형자기부상철도 차량시스템 성능향상’(연구개발 기간 : 2013.12.27 ~ 2017.04.26) 과제의
최종보고서 12부를 제출합니다.

2017. 7. .

주관연구기관명 :	한국기계연구원	(대표자)	(인)
공동연구기관명 :	대전도시철도공사	(대표자)	(인)
공동연구기관명 :	브이씨텍	(대표자)	(인)
공동연구기관명 :	팩테크	(대표자)	(인)
공동연구기관명 :	유진기공산업	(대표자)	(인)
공동연구기관명 :	현대로템	(대표자)	(인)
공동연구기관명 :	대명엔지니어링	(대표자)	(인)
위탁연구기관명 :	건국대학교	(대표자)	(인)

참여기관명 :	한구기계연구원	(대표자)	(인)
---------	---------	-------	-----

주관연구기관책임자: 박도영

공동연구기관책임자: 이희선, 김주범, 장경현, 김기남, 강병관, 김석민

위탁연구기관책임자: 목 형 수

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.
--

보고서 요약서

과제 고유 번호	16RTRP -B070542-04	해당 단계 연구 기간	2013.12.27. ~ 2017.04.26	단계구분	1/1
연구사업명	중사업명	철도 기술 연구 사업			
	세부사업명	도시형자기부상철도 운영안정화 및 최적화			
연구과제명	대과제명	도시형자기부상철도 운영안정화 및 최적화			
	세부과제명	도시형자기부상철도 차량시스템 성능향상			
연구책임자	박도영	해당단계 참여 연구원 수	총: 94명 내부: 16명 외부: 78명	해당단계 연구개발비	정부: 966,000천원 기업: 322,000천원 정부 외: 0천원 계: 1,288,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 94명 내부: 16명 외부: 78명	총 연구개발비	정부: 5,670,000천원 기업: 2,041,000천원 정부 외: 0천원 계: 7,711,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국기계연구원(자기부상연구실)			참여기업명 : 대전도시철도공사, 브이 씨텍, 팩테크, 유진기공산업, 현대로 템, 대명엔지니어링, 건국대학교	
국제공동연구	상대국명 :			상대국 연구기관명 :	
공동연구	연구기관명: 대전도시철도공사			연구책임자: 이희선	
공동연구	연구기관명: 브이씨텍			연구책임자: 김주범	
공동연구	연구기관명: 팩테크			연구책임자: 장경현	
공동연구	연구기관명: 유진기공산업			연구책임자: 김기남	
공동연구	연구기관명: 현대로템			연구책임자: 강병관	
공동연구	연구기관명: 대명엔지니어링			연구책임자: 김석민	
위탁연구	연구기관명: 건국대학교			연구책임자: 목형수	
● 본 과제는 도시형 자기부상철도 차량 시스템 성능향상 과제를 수행함에 있어 다음과 같은 내용을 포함함 • 도시형 자기부상열차 차량시스템 성능향상 및 준고속 자기부상열차 핵심기술(추진/부상/안내/제동) 개발 • 도시형 자기부상열차 성능 및 효율 향상 • 도시형 자기부상 LIM 추진제어 시스템 제작 및 추진 인버터 경량화/성능향상 연구 • 도시형 자기부상열차 제동시스템 성능향상 개발 및 준고속 자기부상열차 제동시스템 개발 • 도시형 자기부상열차 성능향상 및 준고속 차량사양 개발 • 비상운전 속도 향상을 위한 롤러개발 및 성능 시험 • 준고속 자기부상 핵심기술(추진/부상/안내/제동) 개발				보고서 면수 109장	

〈 국문요약문 〉

연구의 목적 및 내용	- 도시형 자기부상열차 차량시스템 성능향상 및 준고속 자기부상열차 핵심기술(추진/부상/안내/제동) 개발 - 도시형 자기부상열차 성능 및 효율 향상 - 도시형 자기부상 LIM 추진제어 시스템 제작 및 추진 인버터 경량화/성능향상 연구 - 도시형 자기부상열차 제동시스템 성능향상 개발 및 준고속 자기부상열차 제동시스템 개발 - 도시형 자기부상열차 성능향상 및 준고속 차량사양 개발 - 비상운전 속도 향상을 위한 롤러개발 및 성능 시험 - 준고속 자기부상 핵심기술(추진/부상/안내/제동) 개발				
연구개발성과	- 도시형 자기부상열차 성능 및 효율 향상 - 준고속 자기부상열차 추진/부상/안내/제동 핵심기술 개발				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 자기부상열차 실용화 사업으로 개발된 도시형 자기부상열차(ECOBEE)는 인천공항 시범 노선에 적용되어 현재 성공적으로 운영 중, 더불어 실 운영을 통해 추가적인 성능 및 개선사항이 도출되어 본 과제를 통해 현 시스템에 대한 안정성 확보와 향후 건설·제작될 유사 시스템의 안정 및 기술향상을 기대할 수 있고, 관련기술의 경쟁력 강화로 국외시장 진출의 교두보역할이 가능함 - 도시형 자기부상열차의 추진시스템 성능개선을 통하여 인천공항 자기부상 시스템은 물론 추후 실용화 되는 각 운영처에서 운영될 차량의 운영비 절감 및 차량 성능 개선에 기여 할 수 있음 - 단기적으로 개발된 도시형 자기부상열차 실용화 사업의 차량에 적용하여 전력 소비량 저감 및 운영 효율 향상에 기여할 수 있으며 장기적으로는 국내외 친환경 도시철도 수용에 적용 가능				
핵심어	자기부상열차	부상시스템	추진시스템	제동시스템	집전시스템

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	- Development of vehicle performance improvement technologies for Urban maglev system and development of core technologies for semi-high speed maglev vehicle. - Improvement of the performance and efficiency of urban maglev train - Development of LIM propulsion system and research of the propulsion inverter for light weight and performance improvement - Improvement of the braking system performance for urban maglev and development of braking system for semi-high speed maglev - Specification development for the semi high speed maglev and the vehicle performance improvement for the urban maglev - Development of emergency roller for higher speed rescue operation - Development of magnetic levitation core technology in semi-high speed maglev				
Results	- Performance and efficiency improvement for Urban maglev system - Development of core technologies for semi-high speed maglev vehicle				
Expected Contribution	- Urban maglev train at Incheon airport lane has been operated as the first maglev vehicle in Korea. Vehicle performance improvement is required through the commercial operation, and it could be helpful for the stability and the technology of a similar system. This could be a stepping stone for the foreign markets to strengthen the competitiveness of related technology. - Through the improvement of urban maglev train of the propulsion system performance, the operating costs of the vehicle could be reduced for the Incheon International Airport maglev system and the future practical use - Through this project, it could contribute to reduce the power consumption and get higher operation efficiency. In a vehicle of practical business, in the long term, the construction and operation cost could be decreased.				
Keywords	Maglev vehicle	Levitation system	Propulsion system	Brake system	Power collector

〈 목 차 〉

1. Outline of Research and Development Project	1
2. Status of domestic and overseas technology development	2
3. Research performance and achievements	4
4. Achievement of goals and contribution to related fields	107
5. Use of Research and Development and Planning	109
6. Overseas science and technology information collected during the research process ..	109
7. research and development achievements of security clearance	110
8. Research facilities and equipment registered in the National Science and Technology Comprehensive Information System	111
9. research and development laboratory, including safety measures are implemented in accordance with the performance of the tasks performed	111
10. The representative research results of research and development projects	111
11. Others	113
12. References	113

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 국내외 기술 개발 현황	2
3. 연구 수행 내용 및 성과	4
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	107
5. 연구개발성과의 활용 계획	109
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	109
7. 연구개발성과의 보안등급	110
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	111
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	111
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	111
11. 기타 사항	113
12. 참고 문헌	113

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

본 과제는 도시형 자기부상철도 차량시스템 성능향상에 그 목적이 있으며 이는 도시형 자기부상열차 성능 및 효율향상과 준고속 자기부상열차 추진/제동/부상/안내 핵심기술 개발을 포함한다.

도시형 자기부상열차 성능 및 효율향상은 현재 실용화 사업을 통해 개발된 자기부상열차의 운전성능 향상을 위한 것으로 추진제어시스템 제어알고리즘개선/비상운전 속도향상연구/부상제어시스템 이중계 설계 및 제작/제3궤조 집전시스템 성능향상 설계 및 제작/비상운전 속도향상을 위한 롤러 개발/도시형 자기부상열차 차량 성능향상시험의 수행을 목표로 한다.

시속 200km/h급의 광역권내 급행 연결을 목표로 하는 준고속 자기부상열차 핵심기술 개발은 추진/제동/부상/안내 시스템 설계 및 제작과 함께 각 핵심기술을 시험할 수 있는 시험 시스템의 설계 및 제작, 시험을 통한 준고속 자기부상열차 핵심기술(추진/제동/부상/안내)의 안정화 기술개발의 수행을 목표로 한다.

2. 연구개발의 필요성

도시형 자기부상열차 실용화 사업을 통해 확보한 자기부상열차 기술의 우위를 계속 유지하고 격차를 더 넓히기 위해서는 개발된 자기부상열차의 성능향상이 필요하며 이는 차량 시스템의 안정성 확보 및 기타 운송수단과의 경쟁력 확보에 도움이 될 수 있다. 특히 추진 제어 시스템의 성능 개선 및 부상제어 시스템의 이중계 설계 개발, 비상운전 속도 향상 연구개발은 도시형 자기부상열차의 성능 향상 뿐 아니라 도시철도로서의 운영 효율 향상에 있어서도 매우 필요한 기술이라 할 수 있다. 도시철도용 중저속 자기부상열차의 경우 실용화 사업을 통하여 개발이 진행되었으나 광역 철도용으로 적합한 준고속 자기부상열차의 경우는 연구개발이 부족한 상태이며 특히 준고속 자기부상 핵심기술의 확보는 새로운 시장의 개척 및 자기부상열차 기술 선도의 역할에 중요한 의미가 있다. 준고속 자기부상열차의 핵심 기술이라고 할 수 있는 추진/제동/부상/안내 시스템의 경우 중저속 차량인 도시형 자기부상열차에서 개발된 기술보다 진일보한 기술이며 선형 동기 전동기를 이용한 초고속 자기부상열차기술과도 차별화 되는 기술이다.

자기부상열차는 다른 도시철도 전동 차량에 비하여 상대적으로 많은 전력을 소비를 하고 있는 실정으로 친환경 저에너지 운송수단의 필요성이 부각되는 상황에서 도시형 자기부상열차의 운영 경쟁력 확보를 위해 성능 및 효율 향상 연구개발이 필요하다고 할 수 있다. 자기부상열차는 기계, 전기/전자, 통신 및 시스템 등 다양한 분야의 기술이 종합적으로 완성되었을 때에만 구현 가능한 시스템으로 이와 관련된 부품 산업 및 장치 산업까지 포함하면 산업 전반에 걸쳐 큰 시장 창출이 가능한 시스템이다. 준고속 자기부상열차는 기존 중저속 열차시장의 레드오션에서 블루오션으로의 전환에 따른 시장 선도자로서의 역할을 기대할 수 있으며 새로운 시장의 개척 및 연관 산업의 부흥을 견인할 수 있는 기회가 될 수 있을 것이다.

자기부상열차는 전기/기계/토목 등의 기술이 집약적으로 적용된 첨단과학기술 시스템으로 자기부상열차 기술의 구현을 통하여 과학문화 확산에 큰 도움이 될 수 있으며, 자기부상열차를 적용한 철도 시스템은 저소음/저진동의 승차감을 제공하는 환경 친화적인 시스템으로, 기존의 철도로는 제공하기 어려운 광역 교통수단으로 여객수송이 가능하며, 국토의 효율적인 활용 및 교통문제의 해소, 국가 경쟁력 확보의 기반이 되는 기술이다.

도시형 자기부상열차는 분진, 소음 발생이 적어 탁월한 승차감을 보유한 미래지향형 교통수단으로 앞으로도 지속적인 연구 개발을 통해 국민의 삶의 질 향상에 도움이 될 수 있는 시스템이며, 정숙한 주행성능을 보유한 도시형 자기부상열차는 도심 내에서의 운영에 적합할 뿐 아니라 고속화 개발을 통해 광역 교통수단으로의 적용이 가능할 것으로 보인다.

3. 연구개발 범위

본 과제의 연구개발 범위는 도시형 자기부상열차 성능 및 효율향상과 준고속 자기부상열차 추진/제동/부상/안내 핵심기술 개발이다. 그중 도시형 자기부상열차 성능 및 효율향상을 위해서는 추진제어시스템 제어알고리즘개선/비상운전 속도향상연구/부상제어시스템 이중계 설계 및 제작/제3궤조 집전시스템 성능향상 설계 및 제작/비상운전 속도향상을 위한 롤러 개발/도시형 자기부상열차 차량 성능향상시험을 수행하며, 준고속 자기부상열차 핵심기술 개발은 추진/제동/부상/안내 시스템 설계 및 제작을 포함한다.

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 독일

독일은 1969년 HSR연구소에서 고속철도 시스템에 대한 개발에 대한 투자를 시작으로 자기부상열차에 대한 연구개발이 시작되었고, 1969년부터는 Transrapid(TR)의 자기부상열차의 개발이 시작되었다. 1987년에는 TVE 시험선(31.5km)을 건설, 개통하였으며 이때 시험된 TR06(상전도 흡입, 초고속형)은 최고 운행속도 430km/h로 2003년 중국의 상하이-푸둥 국제공항 31km 구간에 상용화되었다. 중국에서의 상용화는 고속 자기부상열차의 장거리 교통수단 및 지역 내 교통시스템으로서 자기부상열차의 활용가능성을 입증하였다. 상해 국내선 공항까지의 연장선 및 항주까지의 연장계획도 구체적으로 제시되고 검토되었으나, 중국 철도차량제작사가 선진 고속열차기술을 성공적으로 도입하여 자체적으로 시속 300km급까지의 고속열차를 개발하면서 고속 자기부상열차를 향한 관심이 식어버렸다.

상해 Transrapid의 개량형인 TR09도 개발하여 TVE 시험선에서 각종 시험도 수행하면서 뮌헨 공항노선 및 북미시장에도 진출하려고 많은 노력을 기울였지만 결국 아무런 성과를 올리지 못하고 담당회사 Transrapid International이 해체되었으며, TVE 시험선의 운영도 2011년 12월에 종료되었다. 따라서 Transrapid에 대한 마케팅과 연구개발은 추진동력을 상실한 것으로 판단된다. 향후 상해 Transrapid를 포함한 Transrapid에 대한 연구개발의 주도권은 중국으로 넘어간 것으로 판단된다.



<상해 Transrapid>



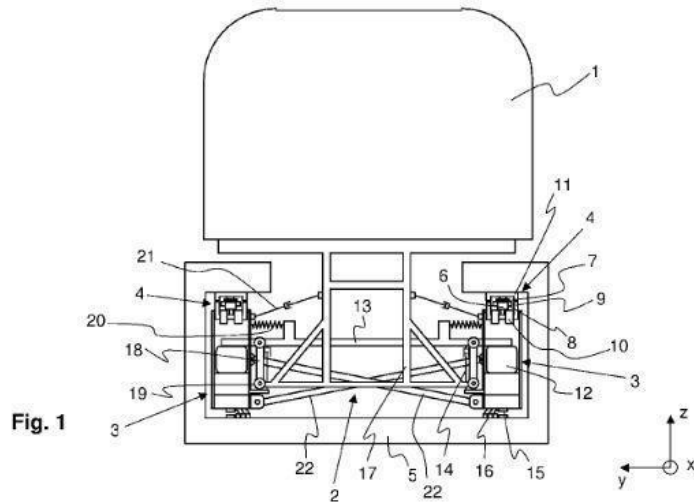
<Transrapid09>

최근에 독일의 Boegl사에서 새로운 형태의 중저속 자기부상열차를 개발하여 시험 중인 것으로 알려졌다. Boegl사에서는 이에 대한 상세한 정보를 아직은 공개하지 않고 있다. 이의 기술적인 형태는 2012년 특허에서 보이는 바와 같이 추진 및 부상시스템이 가이드웨이의 내부에 위치하는 형태로 추정된다. 아래 사진은 새로 개발된 자기부상열차 차량 및 시험선 사진들이다. 상업운전을 수행할 정

도의 완성도는 아닌 것으로 보이며, 상당기간의 개발시간이 소요될 것으로 판단된다.

(54) Title: VEHICLE FOR A MAGNETIC LEVITATION TRACK

(54) Bezeichnung : FAHRZEUG EINER MAGNETSCHWEBEBAHN



(57) Abstract: The present invention relates to a vehicle for a magnetic levitation track having a coach body (1) and a propulsion and supporting device (4) as well as at least one levitation frame (2) fastened on the coach body (1) and the propulsion and supporting device (4). The levitation frame (2) can be deflected transversely to the longitudinal axis of the propulsion and supporting device (4) and a spring suspension system (12, 14, 20, 21) is arranged between the levitation frame (2) and propulsion and supporting device (4). The levitation frame (2) has a traverse (13) and a carrier (17) which are connected to each other in an articulated fashion.

<Boegl 사의 중저속 자기부상열차>



<Boegl 사의 중저속 자기부상열차 시험 노선>

2. 일본

일본은 상전도 흡인식(EMS)의 도시형 자기부상열차를 2005년 4월 Aichi EXP0에 맞추어 애지현 국제 박람회장~나고야 후지가오카 전철역을 연결하는 8.9km 구간에 세계 최초로 LIM 방식 Linimo를 상용화 운영을 시작했다. 한편 이와 함께 일본은 초전도 반발식(EDS)의 자기부상열차를 개발 중이며 2015년에 603km/h 의 최고 속도 기록을 갱신한바 있다. 2045년까지 도쿄와 나고야 및 오사카를 연결하는 추오신칸센 라인의 건설이 2014년부터 진행 중이다. JR Central사는 도쿄와 나고야 구간을

2027년에 개통시킬 목표로 공사를 진행하고 있다.

추오신칸센 건설의 필요성의 하나는 일본 경제의 대동맥인 도쿄, 나고야 및 오사카를 연결하는 도카이도 신칸센 노선이 운영된 지가 이미 50년을 넘어 노후화 되고 있고, 지진 등 자연재해가 빈발하는 일본의 입장에서는 만일의 사태에 일본 경제의 대동맥이 마비되는 사태를 막기 위해 별도의 노선이 필요하다는 것이다. 따라서 현재 도카이도 신칸센 노선은 해안을 따라 건설되어 있으나 추오신칸센은 도쿄, 나고야 및 오사카를 최단거리로 연결하는 내륙지방에 별도로 건설되고 있다. 추오신칸센 노선도는 아래 그림의 실선과 같으며 이의 86%는 터널로 예상된다. 총 공사비는 5조5천억 엔(일부에서는 9조 엔으로 추정)으로 추정된다.

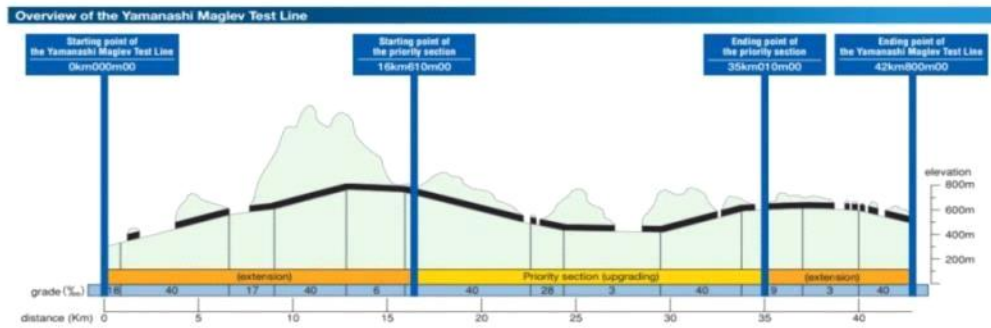


<일본 야마나시 자기부상선로>



<일본 초고속 자기부상열차>

일본의 초전도 고속자기부상열차 개발은 1962년에 착수되었고, 1977년에 미야자키 현 시험선에서 주행시험을 시작하였다. 1977년에는 야마나시 현에 18.4km의 시험선을 건설하여 주행시험을 시작하였다. 야마나시 시험선은 2013년에 42.8km로 연장되었으며, 이는 건설되고 있는 추오신칸센의 일부 구간이 될 것이다. 현재 시험 중인 차량은 영업운전 사양을 적용한 28m 길이의 L0 차량이며, 이 L0 차량은 주행 중 공기저항을 최소화하기 위해 전두부의 길이가 15m에 이른다. 이미 실질적인 기술은 확립되었으나 승차감 향상 및 유지보수성 향상 등을 위한 기술개발은 계속 진행되고 있다.



<일본 야마나시 자기부상선로 개략도>

3. 중국

중국은 '90년대 초반부터 남서자오통대학, 중국철도대학, 중국국방대학 등을 주축으로 하는 3개 그룹에서 각기 독자적으로 일본 HSST 도시형 자기부상열차를 벤치마킹하여 도시형 자기부상열차를 개발해 왔으며, 그 외 다른 연구조직에서 초전도체를 이용하여 자기부상열차 부상시험을 하는 등 자체 기술개발에 많은 노력을 기울여 왔다. 상기 3개의 도시형 자기부상열차 연구개발 그룹은 독자적인 개발을 위해 별도의 시험선을 건설하여 도시형 자기부상열차를 개발하고 있으며, 이들 시험선은 각각 당산, 소주, 상해에 위치하고 있다.

○ 중국 도시형 자기부상열차 시험선 현황

구분	당산 시험선	소주 시험선	상해 시험선
궤간	2,000mm	1,860mm	1,900mm
시험선 길이	1.5km	1.5km	1.7km
최소 곡선	R50m	R50m	R50m
최대 구배	7%	7%	7%
시험선 사진			
적용노선	북경 S1노선 예정	창사 공항선	미정

이들 연구개발 결과 실용화의 첫 번째 적용은 후난성 창사시 창사공항 - 창사중앙역 노선의 개통이다. 창사의 자기부상열차 노선의 길이는 18.55km이고, 열차의 설계최고속도는 120km/h이고 운영 최고속도는 100km/h라고 알려져 있으며, 2014년에 건설이 시작되었고, 2016년 5월에 개통하였다.

◦ 창사노선 개요

- 장소 : 중국 후난성(湖南省) 창사시(長沙市)
- 개통일시 : '16년 5월 6일 09시

- 노선길이 : 18.55km (전 구간 고가방식)
- 역 이름 : 고속철도역(高鐵站 Changshanan station)~랑리역(榔梨站 Langli station)~공항역(機場站 Huanghua Airport station)
 - 향후 2개역을 추가 설치할 예정
- 운영시간 : 09시 ~ 18시 (운영시각 : 24분30초)
- 편도운행 소요시간(고속철도역~공항역) : 19분30초
 - 1년간의 시운영(試運營) 후 수요에 따라 운영시간 연장 예정
- 특기사항
 - 세계 최장 길이의 도시형 자기부상열차라고 선전하고 있음
 - 해외진출을 염두에 두고 EPC 건설방식 채택
 - 향후 해외시장에서 우리나라 ECOBEE와 치열한 경쟁 예상됨
- 노선 건설비
 - 사업 착공시기 : '14년 5월
 - 추정 총사업비 : 46억 위안 (\$7.49억, 2.48억 위안/km)
 - 446억 원/km (환율 1 위안 = 180 원 가정)
 - 중국 1km당 건설비 : 지하철 5~8억 위안, 경전철 2~3억 위안
 - 중국에서 처음으로 EPC방식으로 진행된 궤도교통사업
 - EPC(Engineering, Procurement, Construction) : 설계 및 자금조달, 시공까지의 전 과정을 수주하는 우리나라의 턴키 사업과 유사한 방식
- 자기부상열차
 - 제작사 : 중국중차그룹 주주전력기차유한공사(株洲電力機車有限公司)
 - 편성 : 3량 1편성 (Mc1+M+Mc2, 길이46.4m, 폭2800mm, 높이3650mm, 일본 리니모 자기부상열차와 동일한 형식)
 - 부상방식 : 상전도 흡인식 (부상높이 : 8 mm)
 - 최고속도 : 운영 100km/h (설계 120km/h)
 - 편성 당 승객 수 : 363명
 - 운전방식 : 기관사가 운전하는 유인운전(有人運轉)
 - 차량 당 대차 수 : 5개 (일본 리니모 자기부상열차 방식)
 - 우리나라 ECOBEE는 차량 당 4개 대차



<중국 창사 자기부상선로>



<중국 창사 자기부상열차>



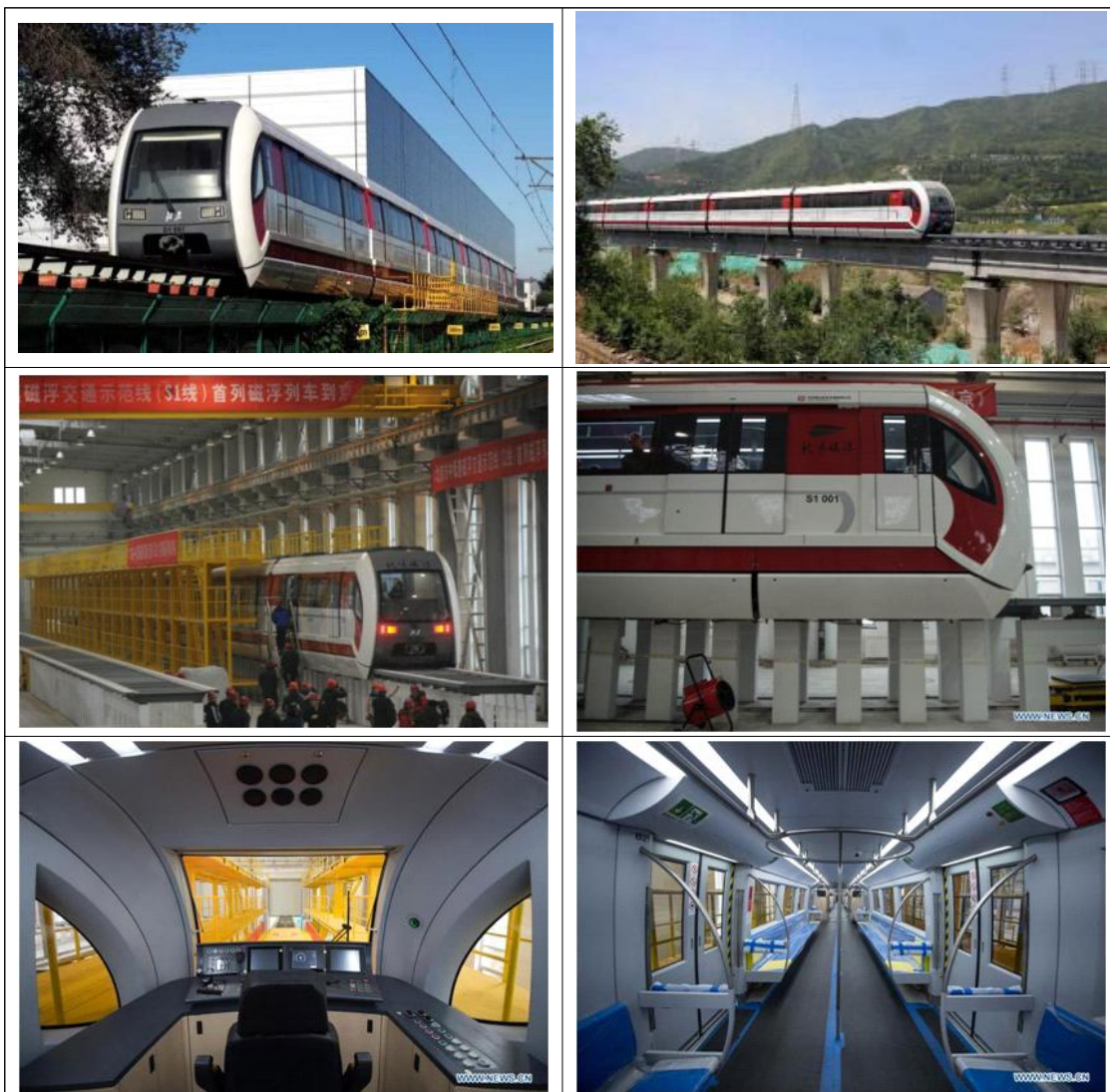
<중국 창사 maglev Airport station 내부>

중국에는 창사 이외에도 베이징에 중저속 자기부상열차가 건설되고 있으며, 2016년 말 차량이 제작 완료되어 시험운영에 들어간 것으로 알려져 있다. 베이징 자기부상열차 노선은 S1노선으로 알려져 있으며 열차명은 Linglong으로 알려져 있다. 노선은 Mentougou역부터 Pingguoyuan역까지 8개역사로 이루어져 있다. 현재까지 알려진 추정 건설비는 km당 4억 위안(720억 원/km)으로 추정된다. 1개 편성은 6량의 열차로 구성되어 있으며, 최고속도 100km/h로 편성당 최고 1,302명을 수송할 것이다. 2016년 12월에 10개 편성이 인도되었고, 2017년 하반기에 시운전을 시작할 예정이다. 북경 S1노선에 적용될 자기부상열차는 창사선과 동일하게 차량 당 5개의 대차가 있음을 알 수 있으며, 이는 일본 Linimo의 영향을 많이 받았음을 보여준다. 또한 선로역시 궤도 부분은 Linimo의 영향을 많이 받

았음을 알 수 있다. 북경 S1 노선의 노선도와 여기에서 운영될 자기부상차량의 사진은 아래와 같다.



<중국 베이징 자기부상열차 노선>



<중국 베이징 자기부상열차>

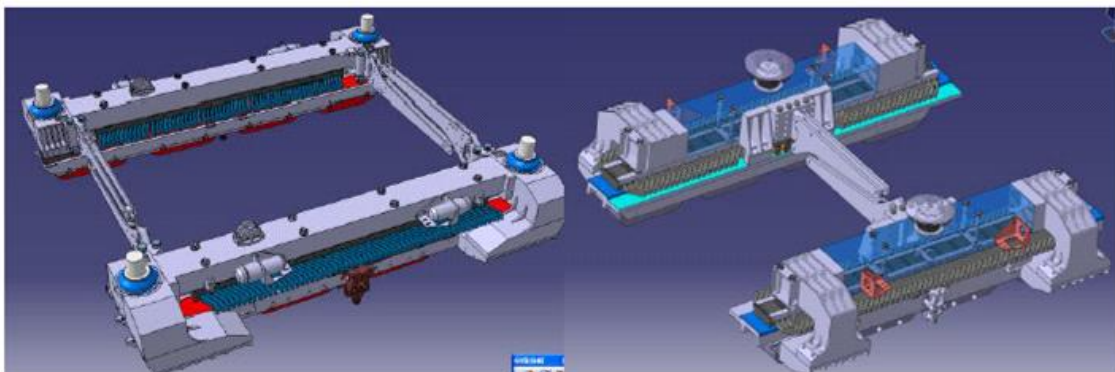
향후 중국의 자기부상열차분야 연구개발은 고속 자기부상열차와 중저속 자기부상열차 분야의 두 가지 방향으로 진행될 예정이다. 고속 자기부상열차분야에서는 중국의 과학기술부와 상해시 정부가 12번째 5개년계획(2011 ~ 2015)의 일환으로 상해 자기부상열차 노선의 운영 및 유지보수를 중점으로 연구개발을 수행하였다. 국립 자기부상 수송기술 연구개발센터(National Maglev Transportation Engineering R&D Center)에서 향후 새로운 프로젝트를 대비하여 설비의 국산화 및 가이드웨이 최적화 연구를 주도하고 있다. 2016년부터는 13번째 5개년계획(2016 ~ 2020)에 따라 중국 최대 철도차량제작사인 중국중차(中國中車, CRRC)의 CRRC Qingdao Sifang Co. Ltd.에서 600km/h급 자기부상열차 연구개발을 담당하게 되었다.

중저속 자기부상열차 분야에서는 창사 공항노선의 개통이후 급속한 도시화로 인한 교통난을 안고 있는 많은 지방정부에서 관심을 가지게 되었으며, 특히 아래 지도에서 보는 바와 같이 Chengdu와 Urumqi 등에서 자기부상열차 노선 계획을 수립할 것으로 알려져 있다.



<중국 자기부상열차 계획>

한편, 창사시가 소재한 후난성 정부는 2016년 9월에 중국국방대학교와 자기부상 연구센터를 설립하기로 협정을 체결했다. 신설되는 연구센터에서는 창사공항 자기부상열차를 공급한 CRRC Zhuzhou사와 함께 160km/h급(최고속도: 200km/h급) 자기부상열차를 개발하고, 개발된 자기부상열차를 2017년부터 개발에 착수하는 Xiangjiang 지역에 두 번째 자기부상열차 노선으로 투입될 예정이라고 한다. 아래 그림은 창사공항노선에 적용된 기존의 100km/h급 자기부상열차의 대차와 새로 개발될 160km/h급 대차 설계안을 보여준다.



<중국 160km/h급 자기부상열차 대차설계안>

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

본 과제는 목표는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째 목표는 향후 연구개발 될 속도 200km/h급 준고속 자기부상열차의 핵심기술인 추진, 부상, 안내시스템에 대한 기반기술을 확보하는 것이며, 두 번째 목표는 현재 상업운전중인 도시형 자기부상열차의 상품성을 제고하기 위하여 추진, 부상, 제동 등 차량의 핵심적인 분야에서의 성능향상 기술을 확보하는 것이다. 본 과제에서 수행한 기존 자기부상열차의 성능향상을 위해 수행한 연구내용 및 그 결과를 간단히 정리하면 아래 표와 같다.

<기존 자기부상열차의 성능향상을 위해 수행한 내용 및 성과>

개발기술	목표	실적
에너지 절약형 추진제어 알고리즘	전력 소비량 10% 이상 저감	벡터 제어 방식 슬립주파수 변경 추진 알고리즘 - 인천공항 자기부상노선 적용 시 전력 소비량 12.6% 저감 - 열차 1회 왕복 운행 시 7.5kWh 전력 소비 저감(59.74kWh → 52.20kWh)
부상 제어 시스템 이중화	부상제어 시스템 이중화 구현	부상제어 시스템 이중화 구현 - 제어주기 2cycle 이내 Master/Slave 절체
추진 인버터 경량화 및 성능향상	인버터 최적화 설계 및 경량화	인버터 최적화 설계 및 경량화 - 추진 인버터 경량화(98.4kg 경감) - 필터리액터(285kg → 216kg), 제동초퍼(19.1kg → 14.1kg), 인버터스택(31.4kg → 26.6kg)X3, 인버터 Box(95kg → 85kg)
제동 시스템 성능향상	공유압 제동 시스템 → 유압 제동 시스템 유압 캘리퍼 성능 개선	공유압제동 시스템 → 유압제동시스템 - 경량화(91.1kg → 59.0kg), 응답속도 (0.4초 → 0.2초) - 기존 압부력 만족 및 좌/우 15도 편위 시 센터링 확인
비상 롤러 시스템 속도향상	25km/h → 35km/h	비상 롤러 시스템 속도 향상 구현 - 공장 내 소음 성능 검사(102.14dB → 91.75dB) - 2만 회전 시험(인천공항 구원운전 기준) 및 35km/h 속도 주행 완료
제3궤조하면접촉 집전시스템	측면접촉 방식 → 하면접촉방식	하면접촉방식 집전시스템 - 경량화(20kg → 14kg), 습동율(100%), 전차선 편위(±30mm 이내), 습동이선율(0%), 아크 특성(소이선/3회 이내) 만족

또한 연구 성과의 적용시의 정량적 효과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

<연구 성과 적용 시의 정량적 효과>

항목	내용
- 인버터 등 주요부품의 경량화에 따른 에너지절감효과	• 인버터, 제동시스템 경량화: 78.76 kg -> 전체 차량무게 대비 0.4% -> 전력소비 0.4% 저감 예상
- 유지보수성 개선 효과	• 인버터: 인버터 유지 보수 인건비 66%저감 예상(48,000원 -> 16,000원) • 유압제동시스템: 유지보수 및 소요인원 단축을 통한 유지보수 고정비 절감(50%, 부품교체시간(8시간->4시간), 작업인원(4명->3명))
- 유압제동 방식 채택으로 인한 효과	• 제동거리 단축: 응답시간 단축으로 비상 제동 시 제동거리 단축(약 4.4m) • 안전성 향상 효과: 제어 정확도 향상을 통한 제동 압력 정확도 확보 및 내환경성 향상으로 극한기 운용성 및 안정성 개선 효과
- 추진시스템 효율향상에 따른 운영비 절감	• 편성단위 왕복 운행 소모 전력량 저감(59.74 kWh -> 52.20 kWh(7.54 kWh, 12.6%저감))에 따른 연간 운영비 30,112,500 원 절감 * 연간 전력소비 저감량 : 7.54 kWh*79회/일*365일 = 217,416kWh * 산업용 전기요금 138.5원/kWh 적용

본 과제에서는 기존 도시형자기부상열차의 성능향상을 위하여 벡터제어 기반의 추진 제어 알고리즘 개발, 인버터 경량화 개발, 이중화 부상제어시스템 개발, 유압제동시스템 개발, 하면접촉방식 집전시스템 개발, 속도향상 비상롤러시스템 개발 등의 연구를 수행하였다. 본 과제에서 수행한 연구는 단순히 설계 및 시뮬레이션에 그치는 것이 아니라 실제로 제품을 제작하고, 성능시험을 수행하였음. 추진 제어 알고리즘은 인천공항 영업노선에 적용하여 시험을 수행하고, 이중화 부상제어시스템, 유압제동시스템, 하면접촉방식 집전시스템, 속도향상 비상롤러시스템은 기계연구원 시험선의 시제차량에 적용하여 목표 달성 여부를 확인하였다. 경량화 인버터는 시제품을 제작하여 진동 및 충격에 대하여 KOLAS 공인시험을 수행하였으며, 본 과제의 연구 성과로 제시된 개발품들은 철도안전법 제3조에 따른 시험 및 승인을 득한 후 아래 표와 같이 기존 도시형 자기부상열차에 적용이 가능하다. 본 과제에서 도출된 연구 성과의 적용시의 고려사항 및 예상 문제점은 다음표와 같다.

<연구 성과 적용 시의 예상 문제점 및 검토사항>

	연구성과	적용 가능 성	적용 시 고려사항	적용방안	예상 문제점 및 추가 검토사항 (소요비용)
1	벡터 제어 방식 슬립주파수 변경 추진 알고리즘	가능	- 저크 고려한 정위치 정차를 위한 신호시스템 튜닝 - 감속도 및 블랜딩 제동 시점 튜닝 및 조정	기존 프로그램 대체	- 신호시스템 제작사(포스코 ENG, 로템) 사업 지속여부 확인 및 프로그램 변경비용
2	경량화 인버터	가능	- 신규차량 적용 시 인버터 사이즈 변경에 따라 취부를 위한 bracket 위치 변경 필요	기존 인버터 대체	- 인버터 생산비(58백만원/set)
3	이중화 부상제어시스템	가능	- 통신 프로토콜 수정	기존 제어기 대체	- 인터페이스 수정(2개월, 30백만원/SET) - 현차적용 교체 및 시험비용(1개월, 20백만원/set)
4	유압제동 시스템	가능	- TCMS와의 인터페이스 · 현시 내용 및 프로토콜) - 신호시스템과의 인터페이스 · 응답특성, 정위치 정차에 따른 제동 반을시간 반영 · 신호시스템과 제동시스템 튜닝. - 적용 방안기존 공유압시스템을 유압시스템으로 개조 · 인터페이스 변경에 따라 설치구조물 필요	기존 공유압 제동시스 템 대체	- 시스템 종량변경에 따른 제동계산서 수정 필요. - 공기압축기 가동을 저하에 따른 관리 필요. - 시스템 개조 비용(30백만원/set)
5	하면 접촉방식 집전시스템	가능	- 시설물(역사, 분기기등) 간섭을 고려한 전차선 설치 높이 설계 - 전차선 높이 설계 변경에 맞춘 차량 집전시스템 인터페이스 설계 - 하면접촉식 전차선 선시공 필요	기존 측면 접촉식 판토 대체	- 차량 집전시스템 설계 변경 및 제작비용(850만원/set) ※ 개발 완료 품으로설계비용 없음
6	속도향상 비상롤러 시스템	가능	- 대차 설치공간에 맞춘 외형 설계 변경 (기계연, 인천 열차 대차 형태 조금 다름)	기존롤러 대체	- 비상롤러 설계변경 및 제작 비용 · 제작비용 : 130만원/set ※ 개발 완료품으로 설계비용 없음

1. 준고속 자기부상핵심기술 성능평가(한국기계연구원)

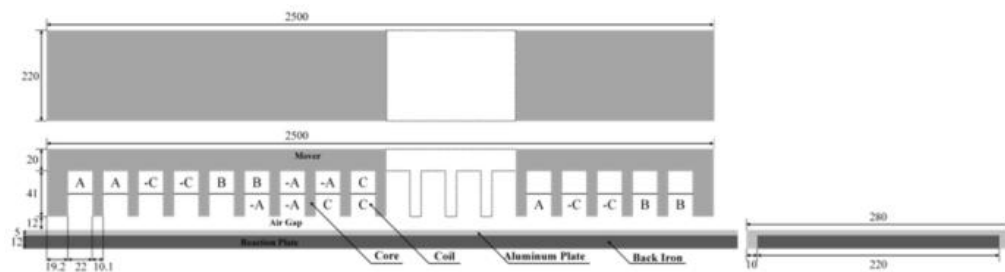
1-1. LIM 추진/제동 성능시험기 특성시험 및 개선 설계(한국기계연구원)

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
추진 전동기 개선 설계안 검토 및 제작	시제품 1건	시제품 1건	추진 전동기 개선 및 검토, 제작
추진전동기 속도 특성 시험 및 성능평가	200km/h	200km/h	준고속 자기부상열차 속도 사양에 따라 결정
추진 전동기 추력 특성 시험 및 성능평가	4kN	4kN	200km/h 주행을 위한 가속도 특성 및 주행 저항을 고려하여 환산된 추력

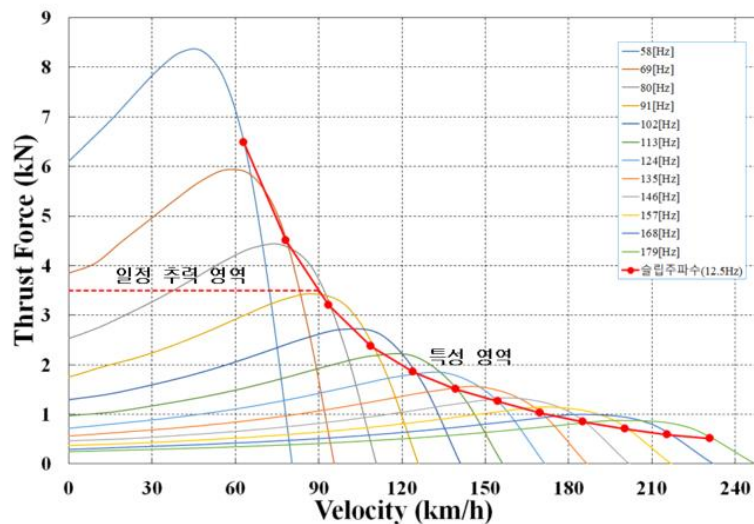
가. 추진 전동기 개선 설계안 검토 및 제작

(1) 준고속 추진 시스템 기술 개발

- 등가회로 해석 기법을 활용하여 초기 사이즈를 선택하고 최종적으로 FEM 자계 해석 결과를 바탕으로 설계를 완료 하였다. 아래 그림은 초기 설계된 준고속 자기부상열차 추진용 선형 유도전동기의 설계 도면과 FEM해석 결과이다.



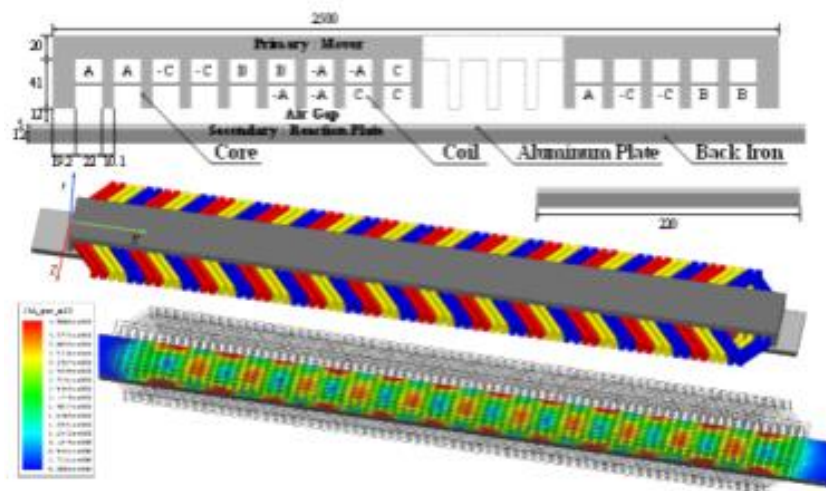
설계된 선형 유도전동기의 도면



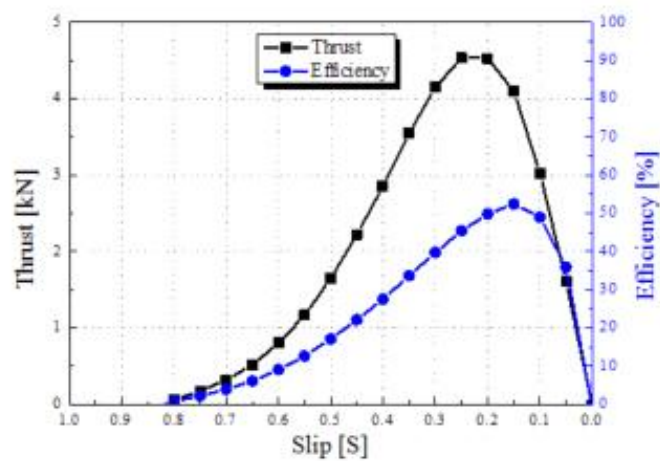
설계된 선형 유도전동기의 능력 곡선

(2) 추진/제동 성능시험기 기술 개발

- 준고속 자기부상열차의 추진/제동을 위한 선형 유도전동기의 상세 특성을 분석하였다. 분석에는 FEM해석 기법을 사용하였고 3D로 모델링 하여 2차 측 오버행을 고려한 해석 결과를 도출 하였다. 유도전동기의 특성인 슬립에 따른 추력 및 효율 곡선을 도출하고 정격 운전 슬립을 결정하였다.



선형 유도전동기의 상세 사양 및 3D 해석 모델



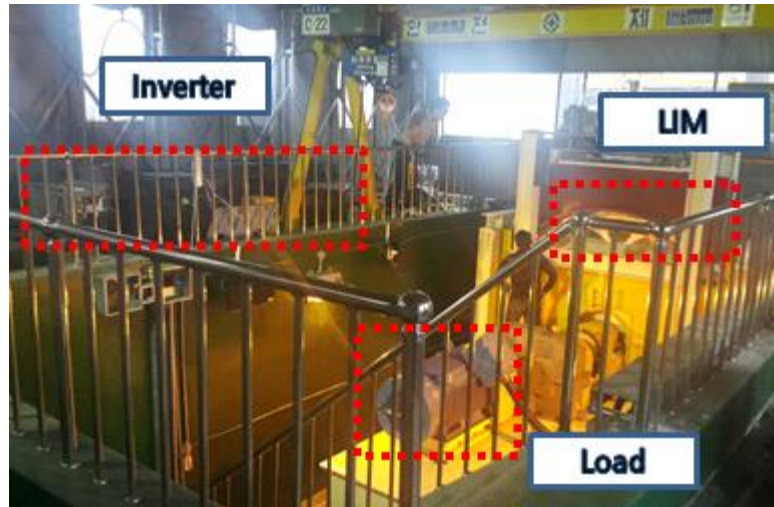
슬립에 따른 추력 및 효율 특성

(3) LIM 추진/제동 성능시험기 특성시험

- 설계된 선형 유도전동기의 특성 시험을 위한 성능 시험기를 제작하였다. 무한궤도 실험을 위하여 선형 유도전동기를 아크 형태로 변경 설계 및 제작을 진행하였다.



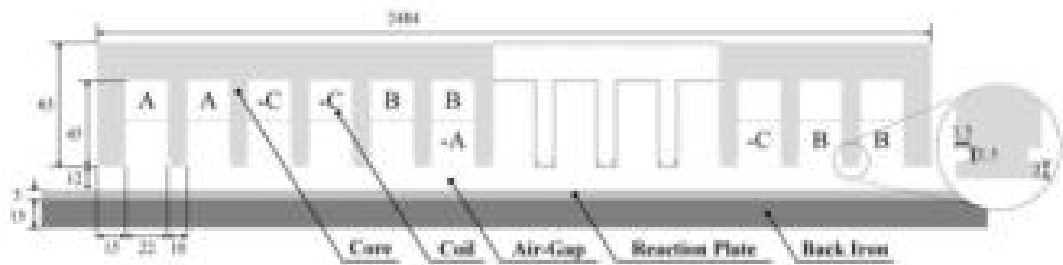
제작 완료된 아크타입 선형 유도전동기



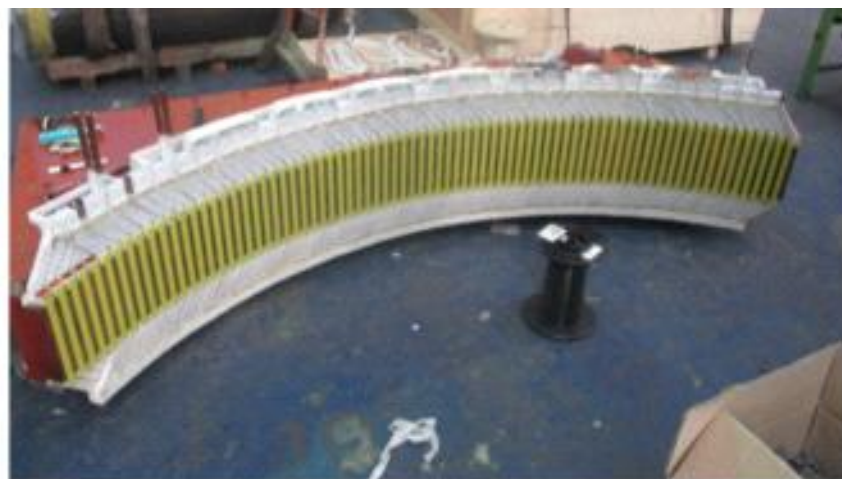
선형 유도전동기의 성능평가를 위한 성능시험기

(4) 추진 전동기 개선 설계안 검토 및 제작

- 앞서 제작된 선형 유도전동기의 구동 조건에 따라 절연 성능 증가를 위한 권선의 개선 설계 및 제작을 하였다. 웨지의 설계를 변경하고 권선 사양에서 절연성능을 향상시켜 제작을 완료 하였다.



웨지를 적용한 선형 유도전동기의 최종 설계도면

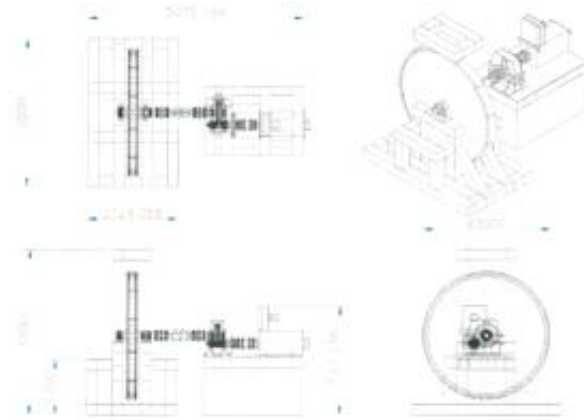


절연 성능 향상을 위한 권선 작업 및 3상 결선 작업 완료

나. 추진전동기 속도 특성 시험 및 성능평가

(1) 준고속 추진/제동 성능시험기 기술 개발

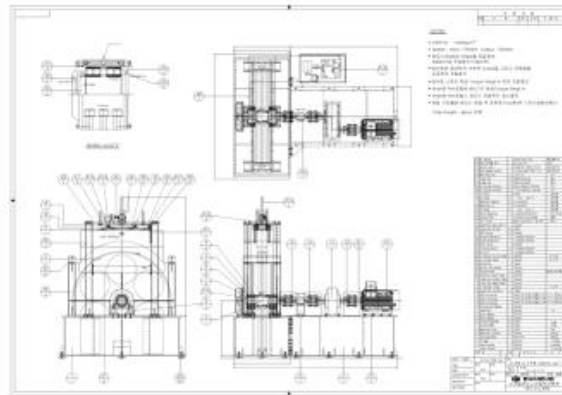
- 준고속 자기부상열차용 선형 유도전동기의 추진 및 제동 성능시험을 위한 회전형 시험기를 개발하였다. 다이내모 시스템에 대한 컨셉과 초기 설계를 진행하고 아크형 선형 유도전동기의 특성 해석을 실시하였다.



추진/제동 성능시험기 초기 설계도면

(2) 추진/제동 성능시험기 기술 개발

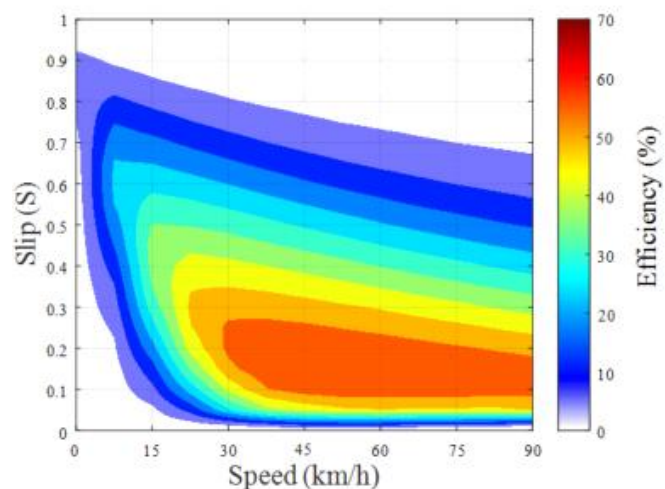
- 준고속 자기부상열차의 추진 및 제동 성능시험을 위한 시험기의 최종 설계도면을 도출하였다. 3m 직경의 휠을 레일로 적용하고 100kW급 유도전동기를 다이내모로 하는 시스템의 설계를 완료 하였다.



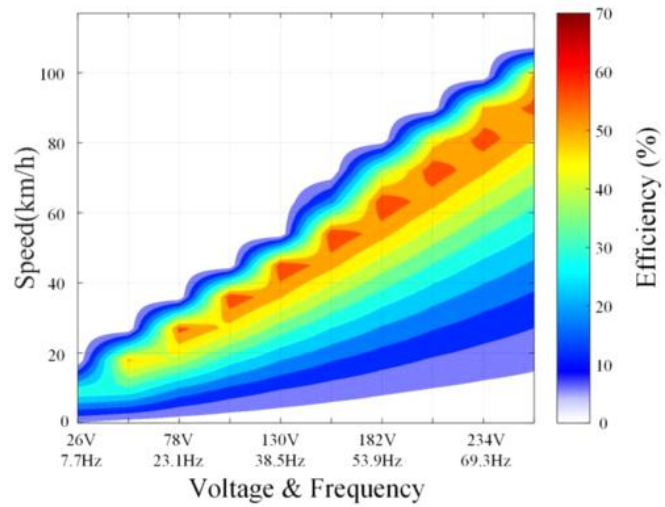
회전형 성능시험기 설계도면

(3) LIM 추진/제동 시스템 성능개선 보완설계

- 선형 유도전동기의 일정 추력 영역의 속도에 대한 운전 효율을 분석하였다. 분석된 효율맵을 바탕으로 최적 운전 조건을 도출하고 도출된 결과를 바탕으로 성능 개선을 위한 보완설계를 진행 하였다.



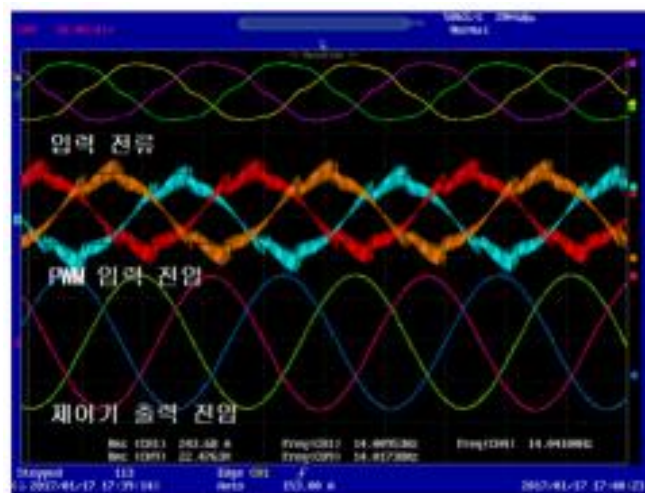
일정 추력 영역의 속도-슬립에 따른 효율맵



V/f 구동 조건의 속도에 따른 효율맵

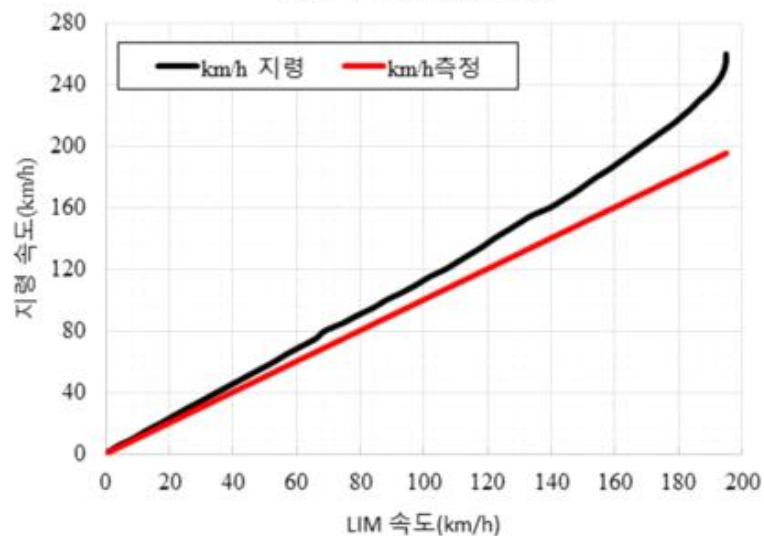
(4) 추진 전동기 속도 특성 시험 및 성능 평가

- 제작 완료된 성능시험기에서 준고속 자기부상열차 추진용으로 개발된 선형 유도전동기의 특성시험을 진행하였다. 최고 속도(200km/h) 달성에 성공 하였고 시험 결과는 정격 추력 특성과 함께 다음 장에 제시 하였다.



200km/h 구동 시 전압 전류

LIM 무부하 속도 측정

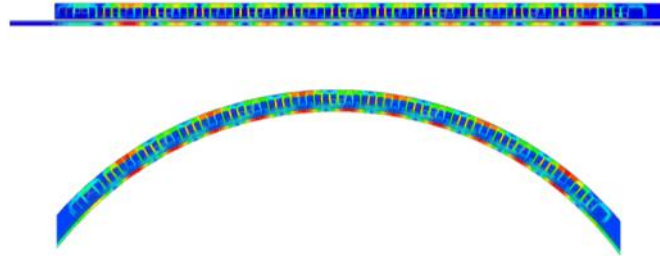


선형 유도전동기의 지령 속도에 대한 실제 속도 그래프

다. 추진 전동기 추력 특성 시험 및 성능평가

(1) 준고속 추진/제동 성능시험기 기술 개발

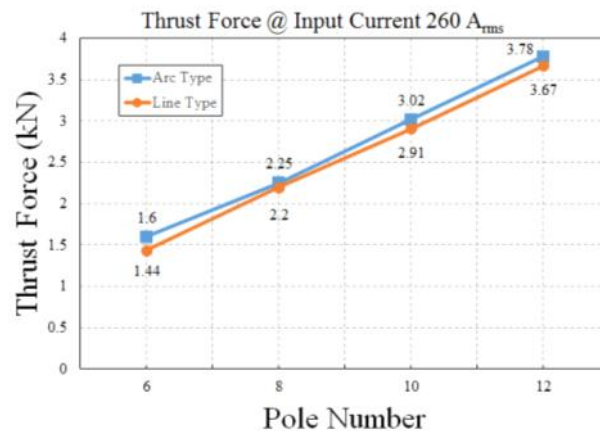
- 준고속 자기부상열차 추진용 선형 유도전동기의 성능시험을 위한 기술개발을 진행하였다. 무한궤도 실험을 위하여 선형 유도전동기를 아크 형태로 근사화 하여 설계하고 궤도는 직경 3m의 휠로 적용 하였다. 선형 유도전동기와 아크형 유도전동기의 성능을 비교하여 성능시험기의 타당성을 검증 하였다.



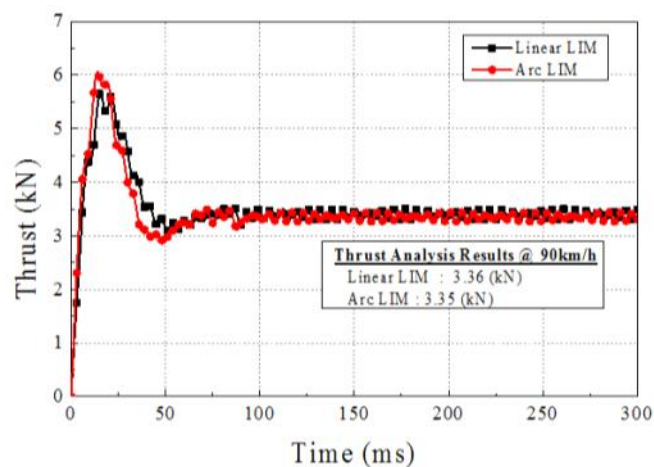
선형 유도전동기 모델과 아크형 모델의 FEM 해석 결과

(2) 추진/제동 성능시험기 기술 개발

- 선형 유도전동기의 추진/제동 성능시험을 위한 아크형 유도전동기의 특성을 분석하여 비교하였다. 두 모델의 정격 추력특성을 비교하여 아크형 유도전동기를 통한 성능시험의 타당성을 검증 하였다.



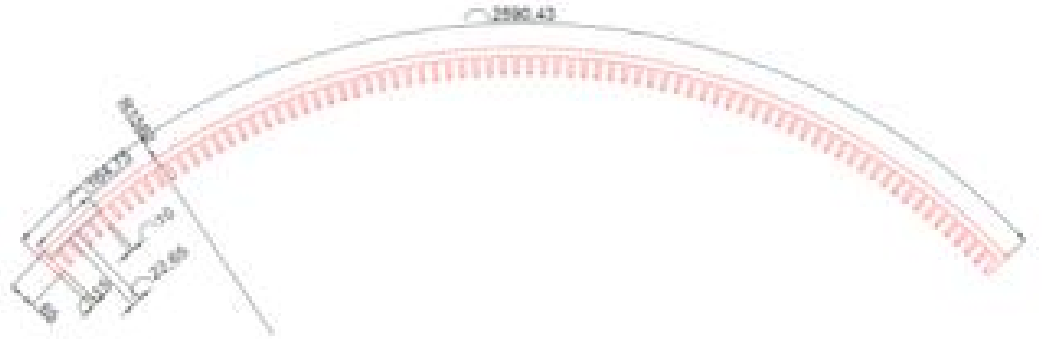
선형 LIM과 아크형 LIM의 극수에 따른 추력 해석 결과



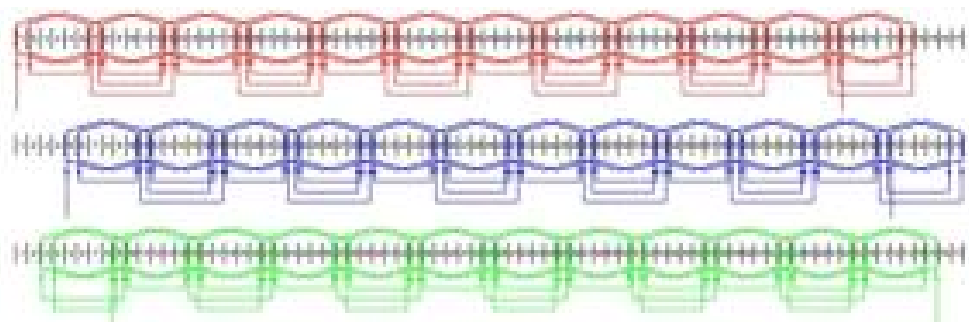
선형 유도전동기와 아크형 유도전동기의 추력 특성 비교

(3) LIM 추진/제동 시스템 성능개선 보완 설계

- 선형 유도전동기의 구동 속도에 따른 효율을 분석하여 개선 설계안을 도출하고 최종 설계 도면을 작성 하여 아크형 유도전동기를 제작 하였다.



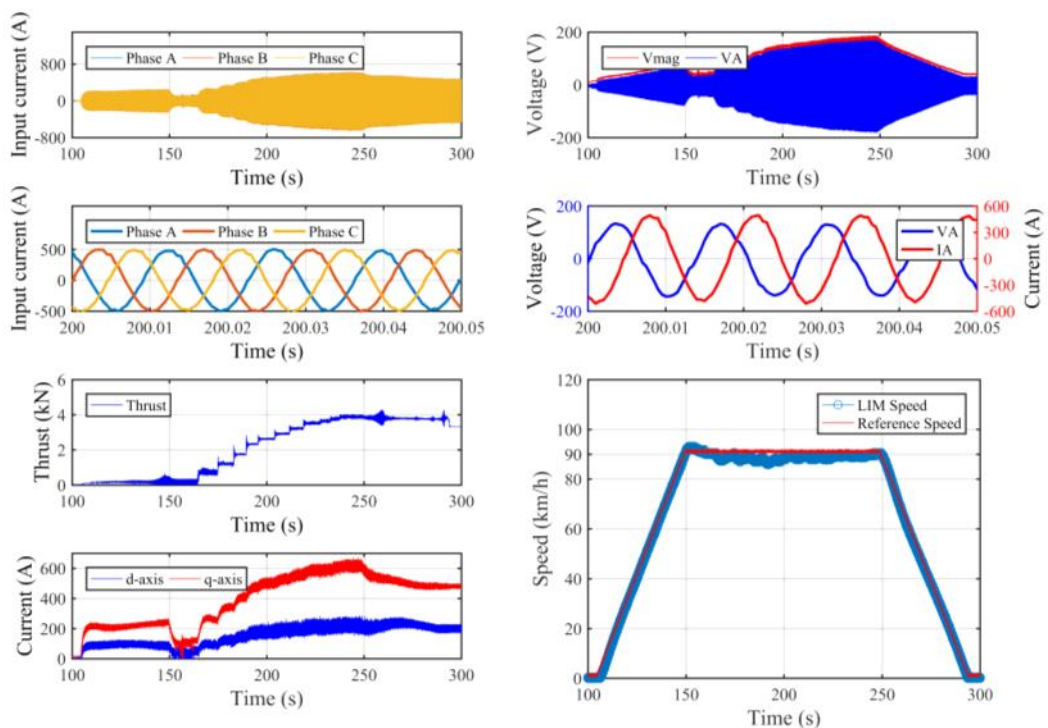
아크형 유도전동기의 코어 도면



3상 12극 선형(아크형) 유도전동기의 권선 도면

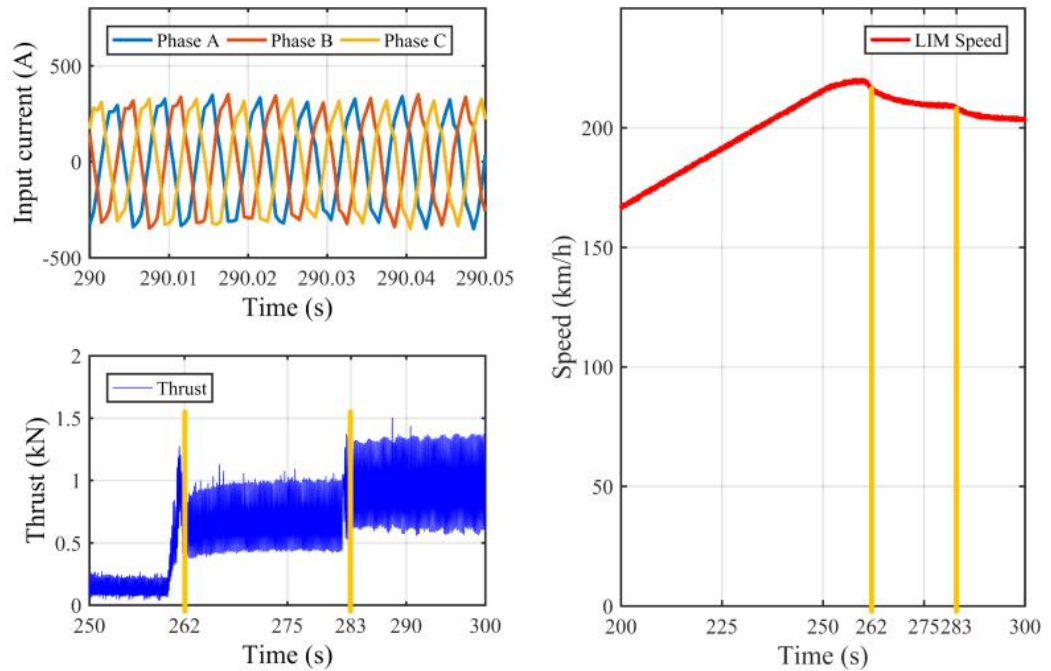
(4) 추진 전동기 추력 특성시험 및 성능 평가

- 간접 벡터제어 알고리즘을 활용한 부하 특성시험을 수행하였다. 정격 속도 90km/h 에서 목표 정격 추력인 4kN을 달성 하였고 아래 그림에 시험 결과를 제시 하였다.

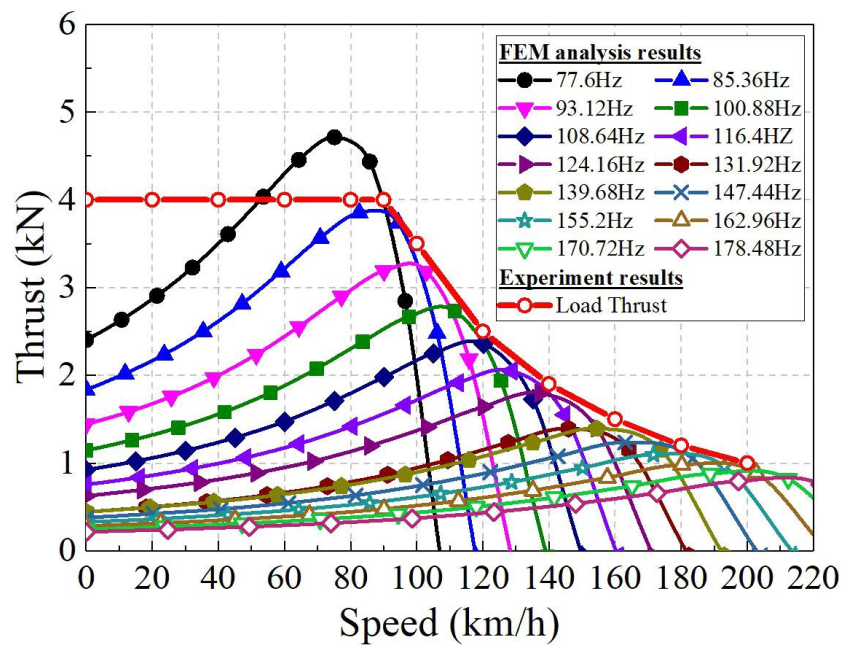


정격 속도(90km/h) 정격부하(4kN) 특성 시험 결과

- 아래의 그래프는 준고속 자기부상열차의 최고 속도인 200km/h에서의 부하 특성 시험 결과 이다. 시험장치의 특성상 무부하에서 최고 속도를 도달한 후 부하를 인가하는 방식으로 시험을 실시하였다. 시험 결과 목표 추력인 1kN까지 무리 없이 도달하였다.



최고 속도(200km/h)에서 부하 특성 시험 결과



선형 유도 전동기 특성 곡선

- 정격 특성 시험과 최고 속도 시험 결과 요구 특성을 모두 만족하였고, 실험을 통해 도출된 선형 유도 전동기의 특성 곡선을 통해 준고속 자기부상열차의 추진을 위한 선형 유도전동기의 개발이 성공적으로 수행 되었다고 판단할 수 있다.

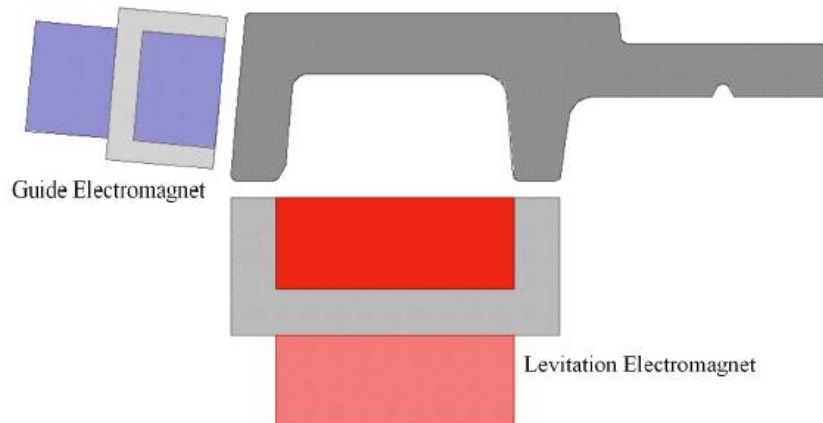
1-2. 준고속 부상 및 안내 시스템 성능시험 및 개선 설계

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
부상/안내 시스템 특성 시험 및 성능 평가	1건	1건	준고속 자기부상 시스템에 적합한 사양을 확인하기 위한 성능평가

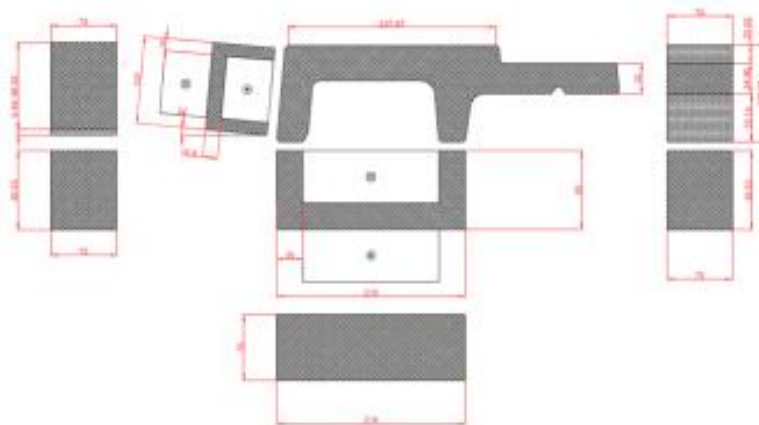
가. 부상/안내 시스템 특성 시험 및 성능 평가

(1) 준고속 부상/안내 전자석 및 시험기 기술 개발

- 준고속 자기부상열차의 열차 사양을 바탕으로 부상/안내 전자석 사양을 결정하고 FEM 해석을 통한 제작 도면을 도출 하였다.



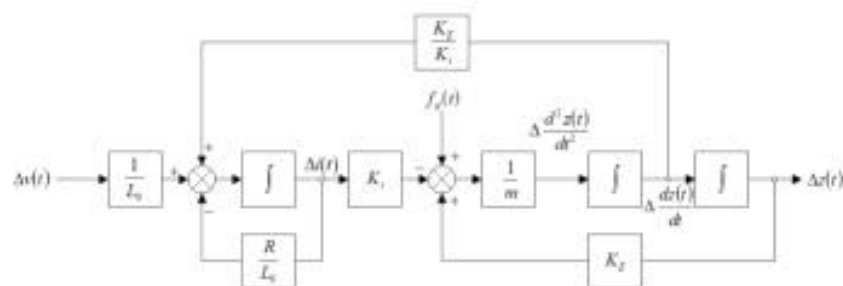
부상/안내 전자석의 FEM 해석 모델



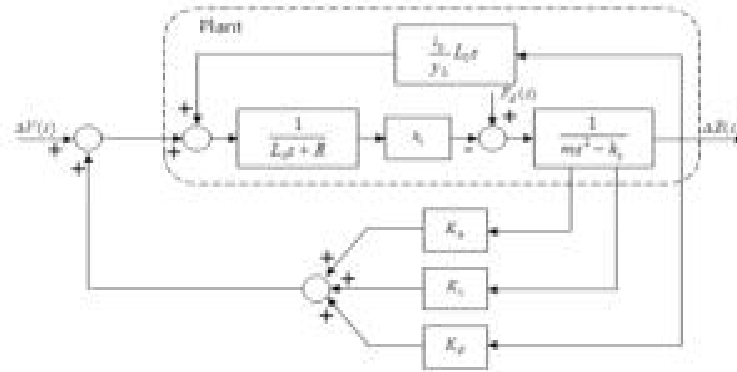
부상/안내 전자석의 설계도면

(2) 부상/안내 전자석 설계를 및 알고리즘 개발

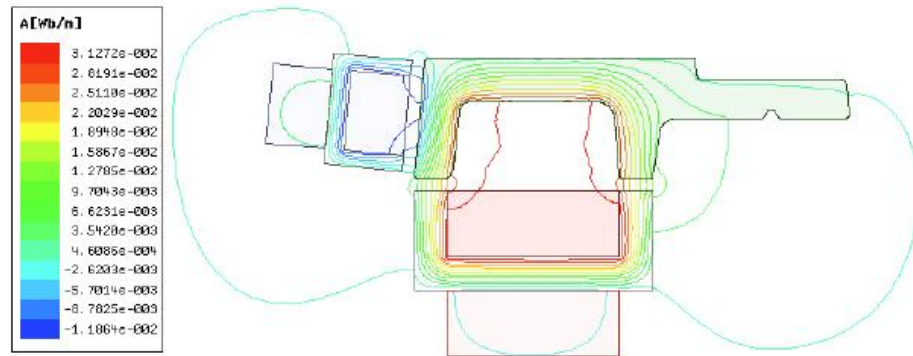
- 부상/안내 시스템의 독립적인 제어 알고리즘을 개발하고 자세한 FEM해석을 바탕으로 전자석의 사양을 결정 하였다.



부상 시스템의 제어 블록



상태 궤환 안내 제어 블록



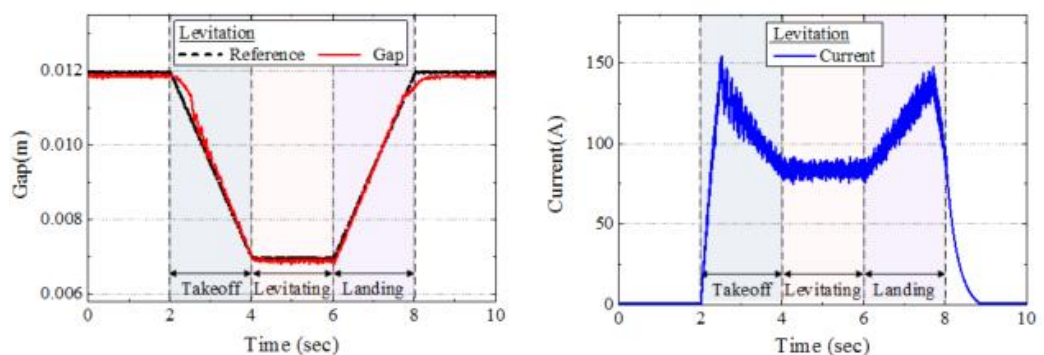
부상/안내 전자석의 자속선도 해석 결과

	부상	안내
요구힘	8500 [N]	2500 [N]
권선 면적	$3 \times 10 = 30 \text{ [mm}^2\text{]}$	
턴수	187 [turn]	78 [turn]
일회전류	10300 [A·turn]	7500 [A·turn]
	55 [A]	96 [A]
해석결과	8529 [N]	2616 [N]
전류밀도	1.83 [A/mm ²]	3.22 [A/mm ²]
저항	0.192 [Ω]	0.077 [Ω]
인덕턴스	0.0996 [H]	0.0128 [H]

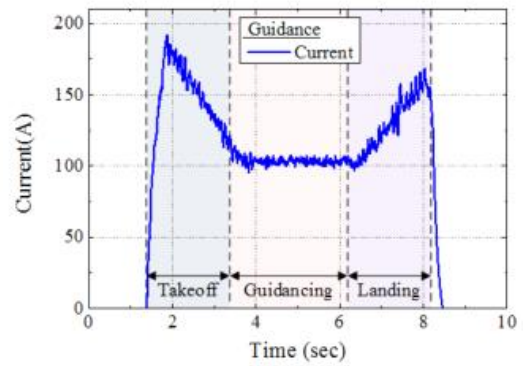
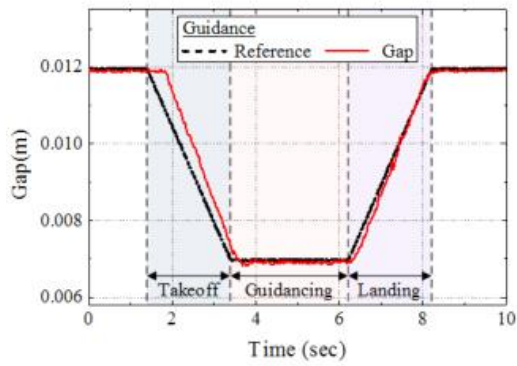
부상/안내 전자석 사양

(3) 부상/안내 성능시험기 특성 시험

- 설계 완료된 준고속 자기부상열차의 부상/안내 전자석의 성능 확인을 위한 시험기를 제작 완료 하였다. 또한 실험을 통하여 부상 추종성 및 안내 추종성 6Hz를 만족하는 결과를 도출 하였다.

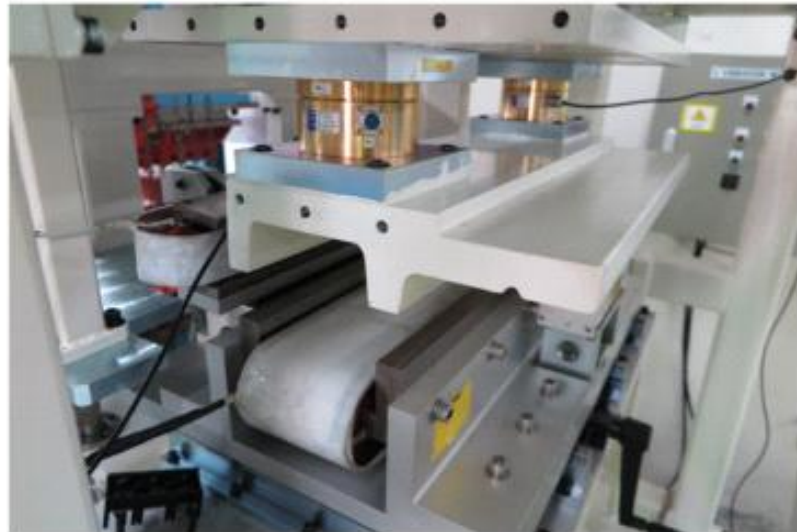


부상 실험 결과

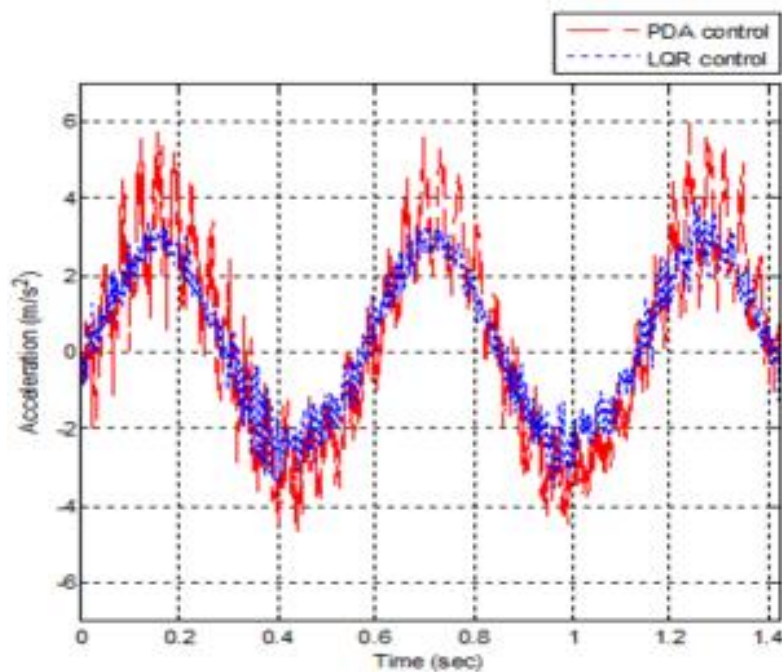


안내 실험 결과

- 부상/안내 성능시험기의 성능을 개선하기 위한 보완 설계를 진행하였다. 부상/안내 전자석에서 발생하는 자기력에 의한 힘을 직관적으로 측정하기 위하여 다축 로드셀을 장착하였다. 또한 강인한 제어를 위한 LQR 제어기를 설계하여 시험을 완료 하였다.



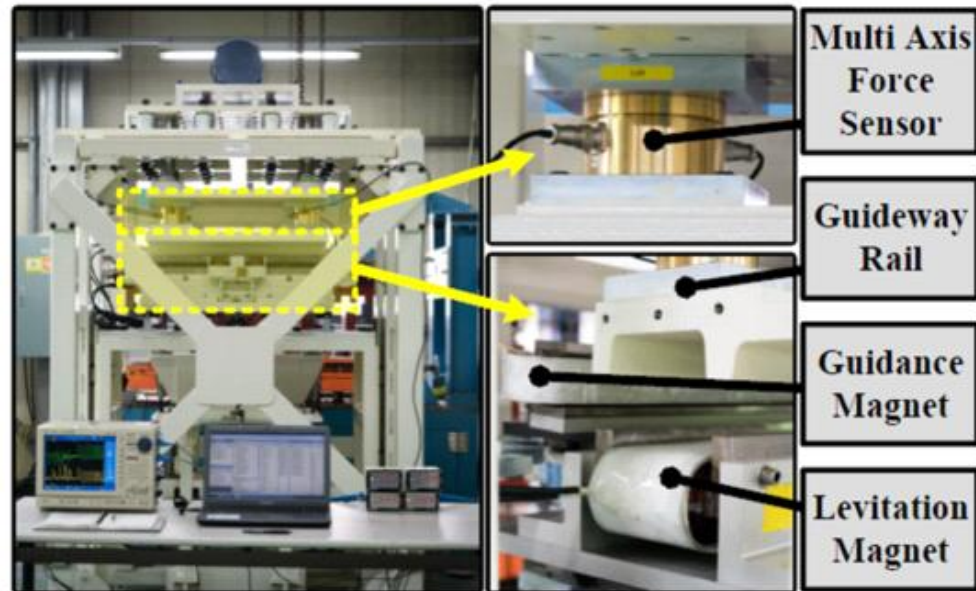
부상/안내 시험기에 설치된 다축 로드셀



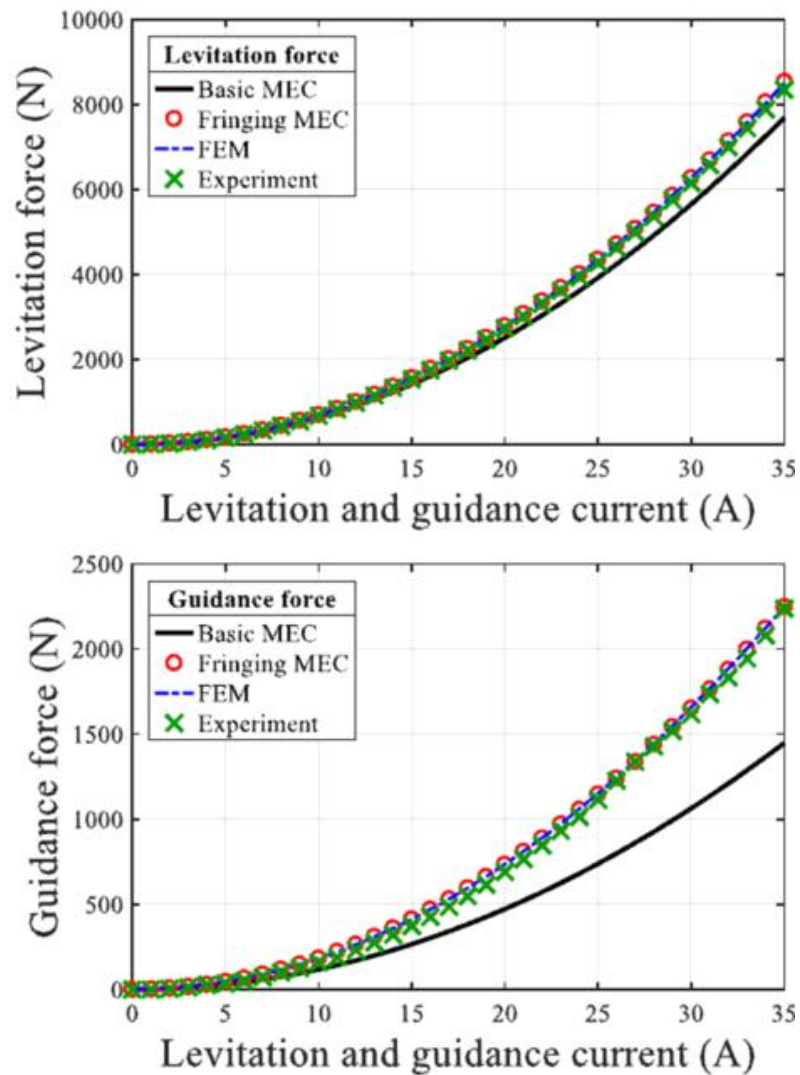
1.8Hz 외란에서 각 제어기의 객차 가속도

(4) 부상/안내 시스템 특성 시험 및 성능 평가

- 제작 완료된 부상/안내 성능 시험기의 힘 측정 센서를 이용한 설계의 타당성을 검증 완료 하였다. FEM해석 결과와 자기등가회로 모델과 실험 결과를 비교하여 모두 3%미만의 오차를 보였다.



부상/안내 전자석의 테스트베드



부상/안내 전자석의 성능평가 결과

1-3. 추진/부상/안내 안정화 기술 개발

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
도시형 자기부상열차 성능향상 항목 정리 및 평가	1건	1건	준고속 자기부상열차 상용화시 사용성 확인 을 위한 기준 마련

가. 도시형 자기부상열차 성능향상 항목 정리 및 평가

(1) 부상 장치 성능 향상 결과

(가) 기존 부상 제어 시스템

- 아래의 표는 자기부상열차 부상 장치의 주요사항이다.

자기부상열차 부상 장치 주요사항

항 목	주 요 사 양
전자석 수량	32 set/량 (8 set/대차)
정격 부상공극	전기 공극 : 8 mm / 기계공극 : 6 mm
착지 공극	14 mm
최고속도	110 km/h
Redundancy	Power Back-up (Battery, DC 330V)
부상제어	4Edge + Side Control + Flux feed back
정격 부상력	8,142 N/전자석 (모듈 당 32.5 kN)

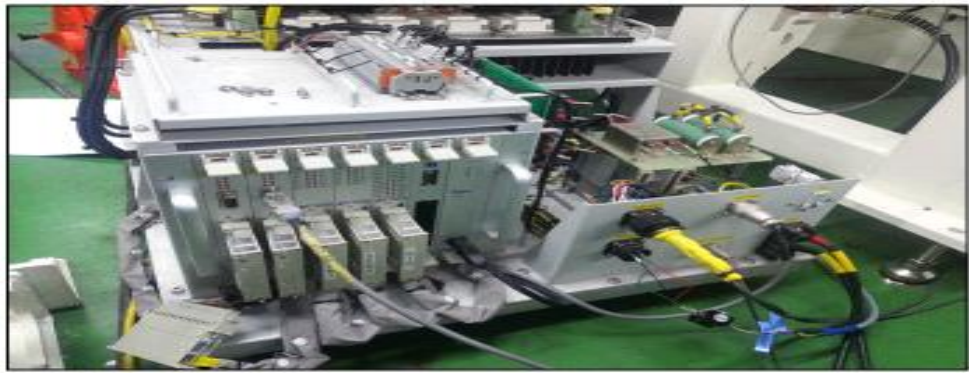
- 부상 장치 성능 향상 결과에서 적용될 기술 항목은 아래와 같다.

[표 2] 자기부상열차 부상 장치 성능향상 기술항목

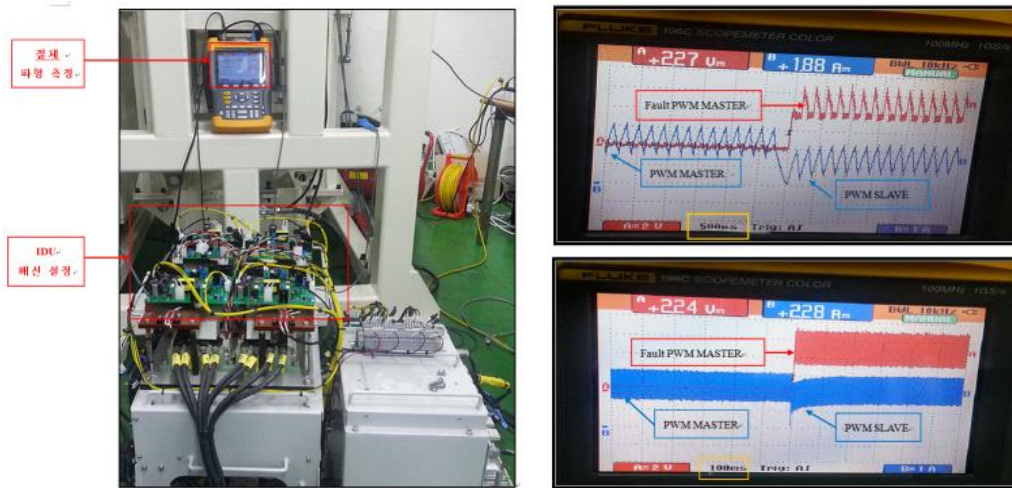
항 목	주 요 내 용
부상제어시스템 제어부 이중화	▶ 실시간 백업운전이 가능한 이중화 제어기 개발
기존장치와 내외부 호환성	▶ 기존 자기부상 제어시스템과 호환 가능한 외함 구조로 개발
외부 전기적 인터페이스	▶ 기존 자기부상 제어시스템과 외부 전기적 인터페이스 호환성 유지
이중화 제어기 설계	▶ 제어기 이중화 설계 및 성능검증
마스터와 슬레이브 제어기 실시간 공유	▶ 마스터제어기와 슬레이브 제어기의 내부제어변수 실시간 공유

(나) 이중화 부상 제어 시스템

- ① 시험기를 통한 이중화 시험 : DSP Master & Slave 제어기 이중화 절체 기능을 구현하기 위해서 DSP Master & Slave PWM의 출력을 확인하고 IDU에서의 PWM 동작을 확인하였다. 이중화 기능 시험은 Master가 제어권을 가지고 동작하는 상태에서 DSP Master의 Fault 신호를 발생시켜 Master의 주기 시간을 측정하였다. 한 주기검지 후 제어권을 Slave가 가지고 PWM을 출력시키는 것을 확인하였고, PWM 파형이 연속적으로 나오는 것으로 정상 동작을 하고 있다는 결과를 얻을 수 있다.

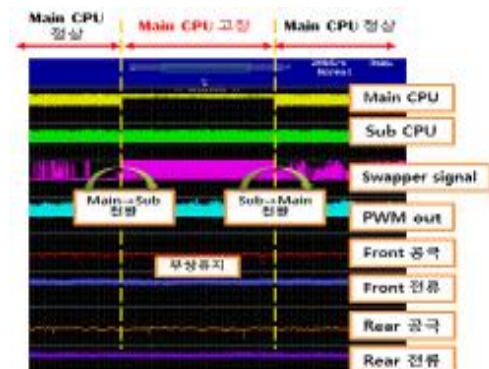


제어기 랙 및 LK/CHK/OUT_K등의 동작 확인 및 설정



자기부상 이중화 절체시험 및 동작 파형 측정

- ② 이중화절체 현차 시험 : 자기부상열차 운행 중 DSP Master & Slave 제어기 이중화 절체 시험 시 문제가 발생하는지 확인하는 시험을 진행하였으며 절체 시험 시 PWM 한 주기 이후 절체되는 파형을 확인할 수 있었다. Master & Slave 이중화 절체 기능 시험을 보면 PWM MASTER가 동작하는 상태에서 DSP Master를 임의로 고장 발생 조건을 만들어 DSP MASTER의 Fault 신호를 발생시킨다. Fault 신호 발생 시 동시에 DSP Master 보드에서 DSP Slave 보드로 변경하여 PWM을 출력시킨다. PWM 파형이 결과적으로 연속적으로 나오는 것으로 정상 동작을 하고 있다는 것을 확인하였다.



이중화 절체시험

- (2) 추진 장치 성능 향상 결과
(가) 추진 장치 성능향상 목적

- ① 실용화 사업의 차량에 적용하여 전력 소비량 저감 및 운영 효율 향상에 기여할 수 있으며, 장기적으로는 광역철도망의 구축과 관련된 열차 수요 발생 시 대처가 가능
- ② 광역 운송 수단으로서의 활용 가능성 및 다양한 속도의 운송수단 라인업 구축에 기여

연구 범위 및 내용

연구범위	연구수행방법
성능 향상	▪ 필터리액터 성능 향상 적용 제작 ▪ 인버터 유지보수 방법 개선 적용 제작 ▪ Heat Sink 개선으로 인한 인버터 중량 감소 ▪ 유지보수방법 개선 적용 제작 ▪ 자기부상열차 유지보수 효율화를 위한 부품개선

(나) 추진 장치 성능향상 결과

- 아래와 같은 항목의 성능 향상 결과를 얻었다.

- ① 유지보수 효율화를 위한 부품 개선
- ② 추진 장치 성능 및 효율 향상
- ③ 전력 소비량 저감을 위한 최적 설계
- ④ 운영효율 향상을 위한 유지보수성 개선
- ⑤ 추진 인버터 성능 검증

(3) 제동장치 성능 향상 결과

(가) 유압제동장치 개선 사항

- ① 자기부상열차 제동장치 개선사항 : 자기부상열차의 제동장치의 주요 개선사항으로는 공기제동시스템을 유압제동시스템으로 변경한 것이다. 이를 통해 공유압변환기가 제거되고 이에 따른 손실 방지하였다. 그리고 공유압변환기 및 일부 부품 제거를 통해 경량화 하였다.

유압제동장치 성능 개선전후 비교

구분	개선 전	개선 후	비고
중량	약 91.1 kg	약 59 kg	
공주시간	3.0초	2.0초	상용공기제동
응답시간	0.4초	0.2초	공유압 -> 유압
소비전력	120W	30W	제어기기
온도특성	-25℃	-35℃	

2. 도시형 자기부상 열차성능 및 효율 향상 연구

2-1. 시스템 개선 요구사항 분석 결과 도출 및 정리

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
시스템 개선 요구사항 분석 결과 도출 및 정리	보고서 1건	보고서 1건	기 개발된 자기부상열차의 차량 안정성 확보를 위한 부상시스템의 이중계, 성능 향상된 제동시스템 개발, 열차추진 시스템 개선 등에 대한 개선 요구사항을 분석 결과 도출 및 정리

가. 시스템 개선 요구사항 분석 결과 도출 및 정리

(1) 자기부상 성능/효율 향상 자료 수집 및 사례조사

- 자기부상열차 성능/효율 향상 자료 수집 및 사례조사를 통해 현재의 자기부상열차의 현 상황을 파악하고 개선하기 위한 기초자료를 구축하여 향후 개선할 분야를 파악하였다. 이중 성능 효율향상 대상 기술 검토 및 분석을 통해 자기부상열차의 성능/효율 향상을 위한 기반을 구축하였다.

(2) 시스템별 개선사항 분석 및 적용성 검토

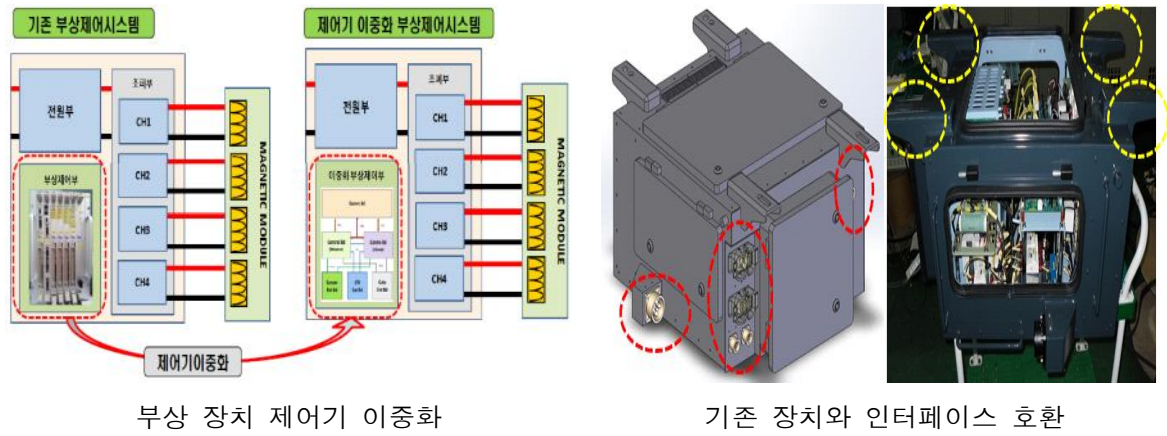
- 자기부상열차의 성능/효율 향상을 위한 시스템별 개선사항을 도출하고 이에 대한 기술적 분석을 통하여 우선순위를 설정하여 개선사항을 정리하고 자기부상열차에 직접 적용 가능한 기술을 토대로 적용 가능한 시스템 분야를 도출하여 이에 대한 적용성을 검토하였다.

(3) 시스템별 개선분야별 시험 및 성능분석

- 시스템별 개선사항으로 부상, 추진, 제동 장치의 개선분야를 선정하고 이에 대해 기술개발 및 각종 시험을 통해 각 분야별 성능 분석을 하였다. 부상 장치는 제어기 이중화를 통해 부상실패의 가능성을 낮추고 추진 장치는 전체 장치를 소형 경량화를 통하여 효율을 향상시키고 유지보수시간을 단축시킬 수 있는 구조로 변경하고 각 제어기 보드를 ONE보드화 및 부품 단종에 따른 대체품을 적용하여 유지보수성 및 안정성을 강화하였다. 제동장치는 자기부상열차에서 사용하고 있는 공압을 유압으로 변경하여 사용하는 시스템에서 오로지 유압으로만 사용하는 유압시스템으로 변경하여 응답성을 향상 시켰다.

(4) 시스템 개선 요구사항 분석 결과 도출 및 정리

- 자기부상철도의 시스템 개선 요구사항 분석 결과 도출 및 정리를 통해 자기부상철도의 개선사항과 이에 대한 기술적 검토와 성능향상 효율성을 정리하였다.
- 우선 부상 장치는 제어기의 이중화를 통해 현재 부상 장치의 부상실패의 가능성을 낮추어 부상 장치의 신뢰성을 강화 하였으며 기존 부상 장치의 MD박스에 직접 설치할 수 있도록 인터페이스 호환성을 유지하였다.



- 추진 장치는 기존 추진 장치의 효율을 높이기 위해 열해석을 통해 설계를 최적화하여 추진 장치를 소형 경량화 하였다.

BOX 명칭	기존품(kg)	성능향상품(kg)	감소율
INVERTER_BOX	347	333	4%
FL_BOX	287	217	24%
합계	634	550	13%

- 추진 장치의 보드 개선을 위해 단종품은 좀 더 성능이 좋거나 비슷한 대체품으로 변경하고 DIP타입의 부품을 고장률이 적은 SMD타입으로 변경하였으며 제어기를 효율 및 유지보수성을 위해 ONE 보드타입으로 개선하였으며 유지보수성 향상을 위하여 추진 장치의 구조를 변경하여 유지보수시간을 단축하였다.

유지보수 방법 개선을 통한 인버터 최적화 방안		
	기존 유지보수 방법	개선
유 지 보 수		
시간	60분	30분
인원	3인	2인

- 제동장치는 공유압 변환 시스템에서 자기부상철도 최초로 유압시스템을 적용하여 공주시간 및 응답시간 등을 개선하고 약간의 무게도 감소시켰다.

구분	개선 전	개선 후	비고
중량	약 91.1 kg	약 59 kg	
공주시간	3.0초	2.0초	상용공기제동
응답시간	0.4초	0.2초	공유압 -> 유압
소비전력	120W	30W	제어기기
온도특성	-25℃	-35℃	

2-2. 시스템 성능 시험방안 결과 도출

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
시스템 성능 시험결과 도출	보고서 1건	보고서 1건	기 개발된 자기부상열차의 차량 안정성 확보를 위한 주요 개선사항에 대해 성능 및 효율 향상검증을 위한 종합성능 시험결과 도출

가. 시스템 성능 시험결과 도출

(1) 종합성능 시험방안 검토

- 자기부상열차의 차량 안정성 확보를 위해서는 종합성능시험이 필요하며, 기존에 있는 장치와 더불어 성능 개선된 제품들은 별도의 성능시험이 필요하다 따라서 자기부상열차의 각 장치별 성능 시험자료를 수집하고 기존 철도 및 도시철도 차량의 성능시험 법령 및 기준 등을 수집하여 자기부상열차의 시험방안을 검토하였다.

(2) 종합 성능시험 방안 구축

- 자기부상열차의 각 장치별 수집한 성능 시험자료를 기반으로 각 장치별 개선분야 성능 평가기준을 수집하고 이를 분석하여 성능 평가방안을 구축하였다.

(3) 장치별 성능 평가기준 비교·분석 및 최적안 제시

- 자기부상열차의 성능향상관련 장치들의 성능향상 부분은 확인하고 이에 대한 평가방법에 대해 검토하고 평가기준을 비교분석하여 각 장치별 시험 포인트에 관련된 시운전 평가기준 최적안을 제시하였다.

(4) 시스템 성능 시험결과 도출

- 자기부상열차의 기존 성능 평가기준에 입각하여 각 성능 향상된 장치들의 성능향상 포인트를 확인하고 이를 검증하기 위한 성능검증 기준을 다른 성능기준과의 비교를 통해 최적의 성능 평가기준을 제시하고 이를 정리하여 성능시험방안을 도출하였다.

2-3. 제 3궤조 집전 시스템 개선품 성능 검증

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
제 3궤조 집전시스템 개선품 성능 검증	보고서 1건	보고서 1건	현 도시형 자기부상열차 기술개발 사업의 연장선에서 제3궤조 집전시스템(측면접촉 컬렉터 슈)의 문제점을 도출하고 이에 대한 성능 및 기능개선을 하고 시제품을 제작하고 개선품 성능 검증을 통해 자기부상열차 시스템의 안정화에 기여

가. 제 3궤조 집전시스템 개선품 성능 검증

(1) 제3궤조 집전시스템 장·단점 조사

- 자기부상열차의 집전시스템이 제3궤조 집전시스템이다. 이를 개선하기 위해 제3궤조 집전시스템의 각 방식별 장·단점을 조사하고 국내외에 설치되어 운용 중인 집전시스템의 개선사례를 기반으로 개선사항을 조사하였다. 현재 인천 자기부상열차의 제3궤조 집전시스템의 현차 시험분석을 통해 현 집전장치의 문제점을 파악하였다.

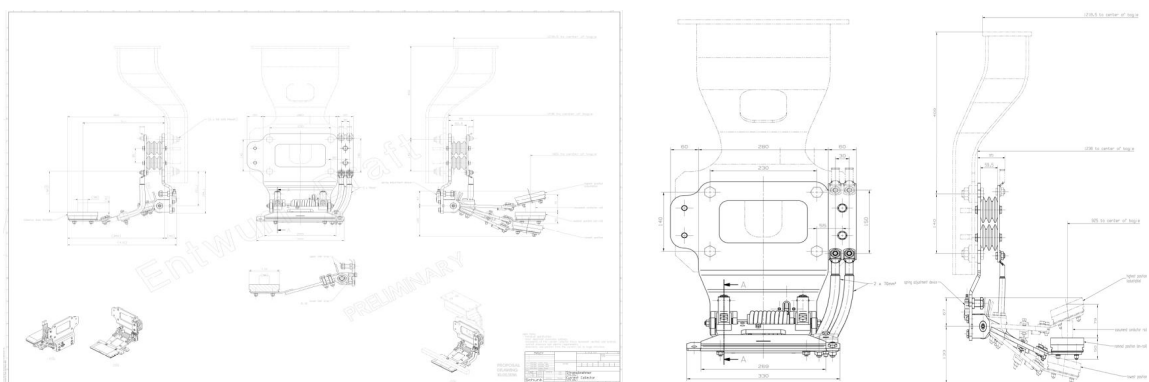
(2) 제3궤조 집전시스템 시제품 설계 및 제작

- 자기부상열차의 제3궤조 집전장치의 문제점을 파악하고 개선하고자 측면접촉식 집전장치에서 하면접촉식 집전장치로 집전형태를 변경하였다. 측면접촉식 집전장치보다 하면접촉식 집전장치가 환경에 영향을 적게 받아 사용 및 유지보수의 측면에서 장점이 있다.

하면접촉식 집전장치 초도품	주요사양
	• Nominal Voltage: 0,75 kV • Nominal Current: 1,0 kA • Max. Short Circuit Current: 30 kA for 50 ms • Vehicle Speed: 80 km/h • Contact to current rail: from below • Material of Contact Shoe: Steel • Applied Pressure: app. 130 N • Pneumatic Cylinder: • Mode of Operation: Permanent pressure • Air Pressure: 0,5 ~ 0,8 MPa • Insulation: DIN EN 50124-1, double insulation • Weight: <30kg:

(3) 제3궤조 집전시스템 성능보완

- 하면접촉식 집전장치의 시제품 성능평가 결과를 바탕으로 성능보완 및 설계 변경을 수행했다. 우선 집전장치의 성능검증을 위해 한국기계연구원의 시제차량에 설치하기 위해서는 기존 대차와의 인터페이스 호환을 고려해야 하고 하면 전차선의 지지 금구등 주변 시설물과의 간섭 등 전체적인 인터페이스 호환도 검토해야 한다. 여러 가지 도면 검토 및 회의를 통해 자기부상열차 하면접촉식 집전장치의 설계를 진행 하고 집전장치 시제품을 다시 제작하였다.



하면접촉식 집전장치 설계도면

하면접촉식 집전장치 시제품	주요사양
	• Nominal Voltage : DC 1,500V • Nominal Current : 1.5kA • Max. Current : 2.0kA • Vehicle Speed : 80km/h(120km/h) • Contact to current rail : Bottom contact • Material of Contact Shoe : Carbon • Applied Pressure : 107 ± 15N • Movement Displacement : 50mm(Up), 79mm(Down) • Mode of Operation: Permanent pressure • Air Pressure : 0.5 ~ 0.8MPa • Insulation : DIN EN 50124-1, double insulation • Weight : 14kg±2 • Dimensions W x H x D: app. 340 x 400 x 410 mm • Operating Temperature: -30° C ~ +70° C • Vibration and Shock: KSC IEC 61373

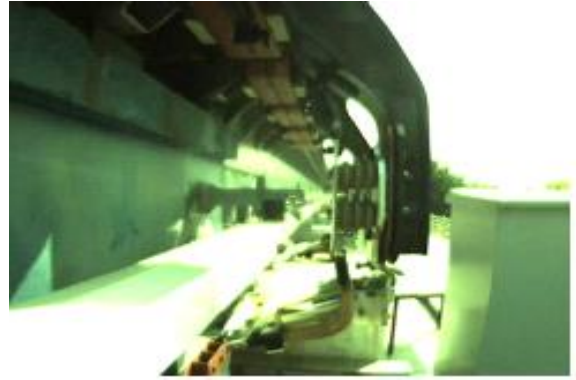
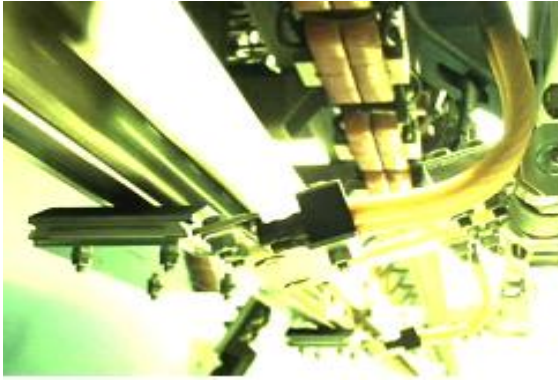
- 하면접촉식 집전장치와 시설물 사이의 간섭 및 집전상태를 확인하기 위하여 영상전용 카메라를 설치하여 전 구간 저속으로 이동하면서 확인하였으며, 전차선 편위 수정을 통해 자기부상열차에서 집전장치로 전기를 공급받고 운행하는 데는 이상 없음을 확인하였다.



하면접촉식 집전장치 시설물 간섭확인

(4) 제3궤조 집전시스템 개선품 성능 검증

- 자기부상열차 하면접촉식 집전장치를 설치하고 성능검증을 위하여 집전장치의 전체 설치상태와 전차선과의 습동상태, 이선률 측정 등을 측정 및 모니터링을 하였으며, 전차선과 집전장치의 습동상태는 양호한 것으로 나타났다.



하면접촉식 집전장치 습동상태 시험

- 자기부상열차 집전장치의 설계기준에 적합한지 여부를 확인하기 위하여 압상력을 측정하였다. 압상력의 측정결과 모두 설계기준에 적합한 것으로 나타났다.



하면접촉식 집전장치 압상력 측정

	1	2	3	4	5	6	7	8
압상력 [N]	양호 107	양호 115	양호 104	양호 105	양호 109	양호 112	양호 115	양호 112

- 전차선과 하면접촉식 집전장치와의 아크 발생 상태를 확인하기 위하여 카메라를 설치하여 아크발생여부를 확인한 결과 아크의 발생은 없었다.



- 하면접촉식 집전장치와 측면접촉식 집전장치간의 소음 측정을 통해 하면접촉식의 성능을 확인해 보았다. 결과는 하면접촉식 집전장치가 조금의 소음 감소를 보였다.

측면접촉식 집전장치				하면접촉식 집전장치		
속도	암소음 평균[dB]	주행소음 평균[dB]	소음차이 [dB]	암소음 평균[dB]	주행소음 평균[dB]	소음차이 [dB]
20km/h	65.86	78.13	12.26	65.92	78.10	12.17
30km/h	66.01	81.08	15.07	66.70	80.5	13.80

- 하면접촉식 집전장치의 환경성 유리한 부분을 측면접촉식 집전장치와 하면접촉식 집전장치 모두 눈이 내린 후의 상태를 비교해 본 결과 하면접촉식 집전장치에는 커버를 설치하여 전차선과 집전장치가 접촉하는 부분에는 눈이나 얼음에 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.



측면접촉식 전차선의 눈 내린 후 모습



하면접촉식 전차선의 눈 내린 후 모습

- 집전장치 자체의 동결에 대한 문제는 국내·외 운영기관의 운영사례와 학술적인 자료를 참조할 때 기계적인 방지대책을 적용하지 않는다. 집전장치는 AC 25,000V 또는 DC 1,500V의 고압을 직접 접촉하여 수전하는 1차 수전 장치로 기계적인 방법을 적용하게 될 때 고압, 고전류에 따른 절연 등의 문제와 전차선 구조물에 의한 간섭이 발생하기 때문이다.
- 기존 유관기관에서는 동절기 주위 환경온도가 영하가 될 때 시스템 보호를 위해서 차량을 24시간 기동하고 있으나 이는 근본적인 해결 방안이라고 할 수 없다.
- 최근 동결 방지 대책으로 사용하고 있는 방식이 동결방지제의 도포이다. 이 동결방지제는 현재 지속적인 개발과 현장적용을 통해 충분히 효과를 얻고 있는 실정이다.
- 동결방지를 위해서는 결빙방지제를 도포하기 위한 장비가 따로 제작 구축이 되어져야 하고 그 장비를 운영하기 위해서 지속적인 점검과 관리가 필요하여 유지보수비

용이 추가 계상되어야 하며, 동결방지제를 지속적으로 구매하여야 하는 단점이 있다.

2-4. 비상롤러운전 속도향상 방안 결과 도출

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
비상운전 속도향상 방안 결과 도출	보고서 1건	보고서 1건	자기부상열차 차량에 대하여 이상 현상 발생 시 원활한 영업운행을 위해 차량의 비상운전기능 향상 및 기능개선으로 비상운전 속도 향상되고 본선 운행 시 운영효율화와 안전화에 기여

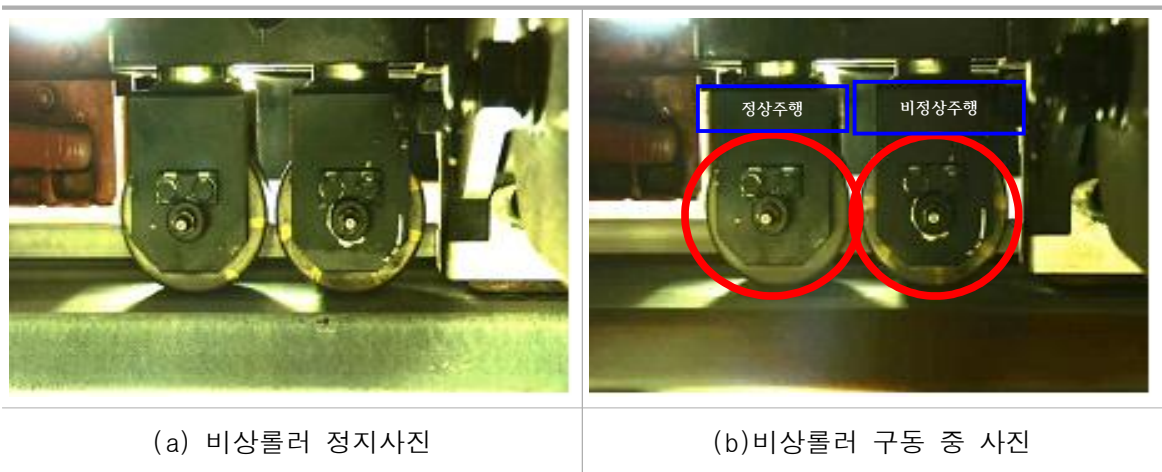
가. 비상운전 속도향상 방안 결과 도출

(1) 자기부상 비상운전자료 수집 및 사례조사

- 자기부상열차는 궤도와 접촉 없이 부상하여 주행하는 방식의 특징을 가지고 있다. 하지만 부상 장치의 고장 시에는 열차의 주행이 어려워진다. 이를 해결하기 위해 비상롤러시스템이 적용되어 있다. 자기부상열차 비상운전 자료 수집 및 사례조사를 통하여 현 비상롤러시스템의 장단점을 파악하고 적용 가능한 비상운전 기술 검토를 실시하였다. 비상롤러 시스템은 유압발생장치와 비상롤러 조립체로 구성되는데 이 각 장치들의 세부 기능을 분석하고 적용 가능한 기술을 검토하였다.

(2) 비상운전 개선방안 도출

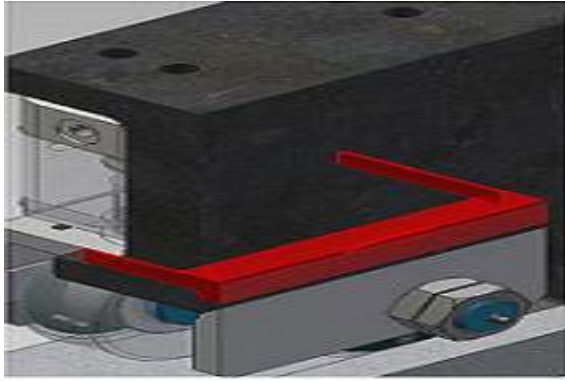
- 비상롤러운전 개선방안으로 현재의 문제점을 파악하기 위하여 카메라를 이용하여 비상롤러의 상태를 확인해 보았다. 확인 결과 두 개의 롤러가 주행 시에 구동이 정확히 이루어져야 하는데 비정상구동하는 현상을 확인할 수가 있었다.



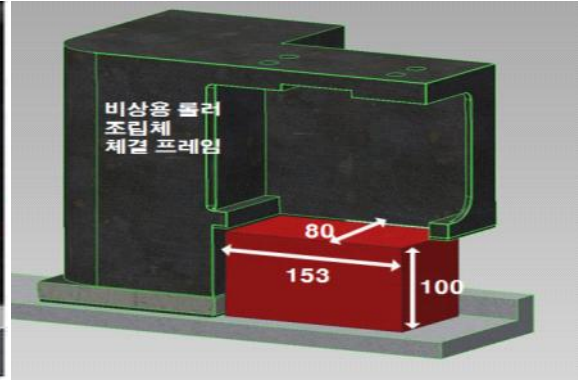
(3) 비상롤러운전 성능향상 시제품 기능분석

- 개선한 비상롤러 시스템 상하부 구조 분석을 통하여 비상롤러의 개선사항 및 성능을 분석하였다. 또한 비상롤러 개선품을 현차 시험을 위하여 현차 설치 시 주의할 점을 미리 확인하고 협의하여 시험을 수행하였다.

- 비상롤러시스템을 현차에서 시험하기 위해서 현차 프레임과의 호환여부도 검토를 하였다.



롤러 구조 구현 시 대차프레임



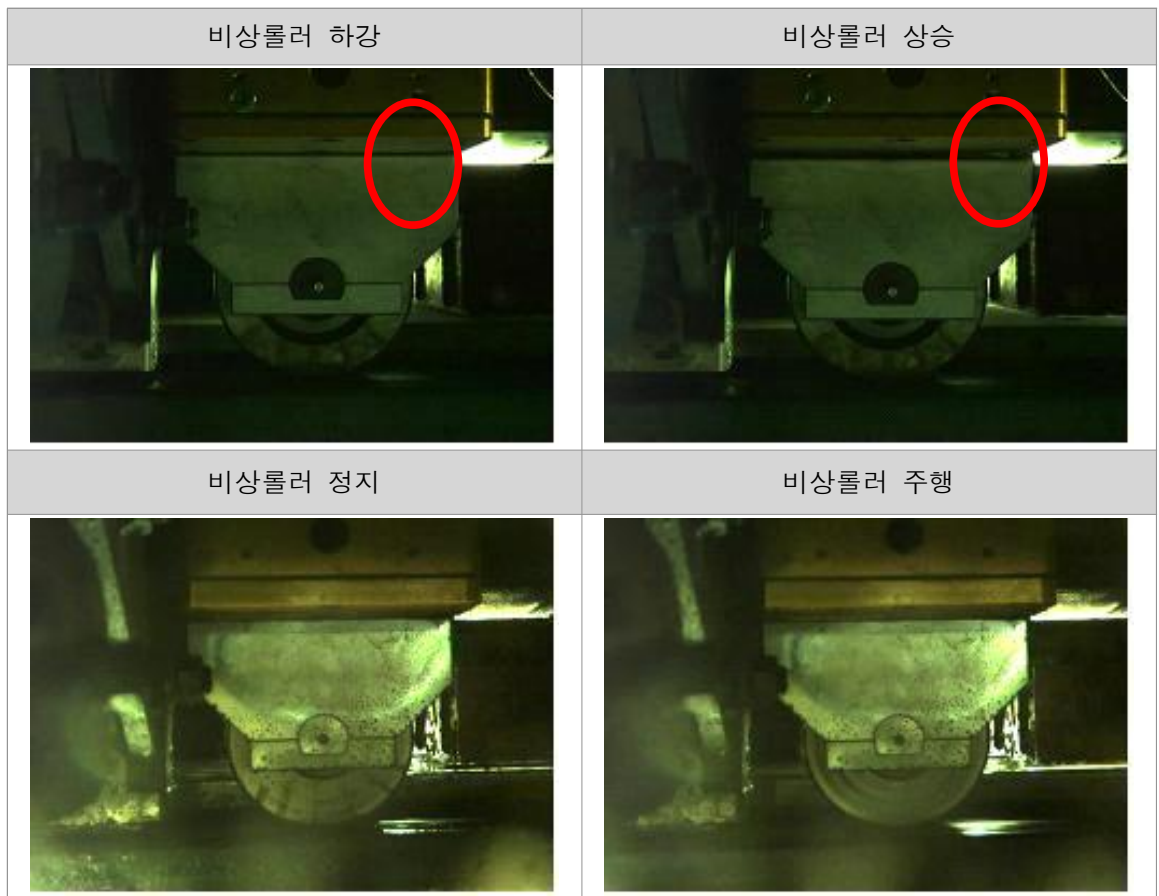
하부롤러 설치가능범위

(4) 비상운전 속도향상 방안 결과 도출

비상롤러 성능향상 시제품을 대명엔지니어링에서 제작한 사양을 확인해 보면 아래의 표와 같이 나타난다.

항목	기존품	성능향상품
주행 속도	25km/h	35km/h
롤러 크기	Ø80	Ø113
프레임	분리형	단독형
베어링	NUTR2052	NUTR3072
재질	강재(STS440C)	강재(SKD11)
베어링 -롤러 체결	스페이서 보유 스냅링 체결부 : KS규격 최소깊이	스페이서 제거 스냅링 체결부 깊이 증가
베어링 동정격 하중	32000 N	48000 N
체결	멈춤 나사와 정면 나사 2ea로만 체결 샤프트 후면은 걸침용도 : 주행로 돌출부 걸림 방지	샤프트 전/후면 양쪽 지지

- 비상롤러 성능향상 시제품을 한국기계연구원 시제차량에 설치하여 동작 시험을 하여 정상동작여부를 확인하였다. 비상롤러의 상승하강 동작은 정상적으로 잘 이루어졌으며 주행 시험 시에도 기존에 나타났던 문제점이 해소되었다.



- 비상롤러 속도향상 방안의 주요 목표인 35km/h 주행을 시험하기 위하여 수동으로 주행시험을 진행하였다. 주행시험결과 35km/h 이상의 속도로 주행 시 아무런 문제가 발생하지 않고 정상주행이 가능한 것을 확인할 수 있었다.



- 비상롤러 성능향상 시제품과 기존 비상롤러의 주행소음을 비교해 보았다. 결과는 기존 비상롤러 대비 비상롤러 개발품이 약간의 소음 개선이 되었다.

구분		기존 비상롤러 시스템			비상롤러 시스템 개발품		
측정위치		암소음 평균[dB]	주행소음 평균[dB]	소음 차이[dB]	암소음 평균[dB]	주행소음 평균[dB]	소음 차이[dB]
실내	앞쪽	53.05	79.03	26.58	53.01	79.52	26.51
	중간	52.54	78.87	26.33	52.26	77.97	25.70
	뒤쪽	52.41	78.84	26.43	53.57	77.91	24.34
실외(롤러인접)		73.84	107.45	33.61	72.57	105.55	32.98

- 결과적으로 비상운전 속도향상을 위하여 제작한 개발품은 속도향상과 소음개선이 이루어졌음을 알 수 있다.

3. LIM 추진시스템 성능향상 및 중고속용 개발

3-1. 추진제어 시스템 성능 시험

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
추진제어 시스템 성능 시험	1건	1건	공인기관 진동 및 충격 시험

가. 추진제어 시스템 성능 시험

(1) 추진제어 시스템 설계

(가) 시스템 설계서 및 도면

- ① 시스템 설계 및 사양 : 도시형 자기부상열차에 적용되는 VWF 인버터 장치는 선형유도전동기 8대를 동일 군으로 일괄 제어하고 제어방식은 PWM 기반으로 가변전압 가변주파수/슬립주파수 제어를 통해 역행 및 제동 시 정토크, 정출력, 정전압 제어를 수행하고 응하중 제어, 재점착 제어, 회생 시 가선전압 한계 제어 등의 기능을 갖추고 있다.

항 목	성 능	비 고
정격 가선 전압	역행 : DC 1,500V 회생 : DC 1,650V	
가선 전압 변동 범위	DC 900V ~ 1,800V	
최고 운행속도	110km/h (설계 최고속도 : 110km/h)	
가속도	4.0km/h/s(조건 : 정지 → 45km/h)	
감속도	상용감속도 : 4.0km/h/s 비상감속도 : 4.5km/h/s	
제동 방식	회생 및 공기 제동의 혼합 제동	

추진 시스템 일반사양

항 목	성 능	비 고
제어 방식	전압형 PWM, VWF 제어, 응하중 제어 등	
연속 정격 용량	900kVA	
최대 용량	1,448kVA	
출력 전압	AC 0 ~ 1,100V	무부하 1,170V
출력 주파수	0 ~ 100Hz	
제어 전원	DC 100V(변동범위 : 70V ~ 110V)	
냉각 방식	강제냉각 방식	
스위칭 모드	비동기 - 과변조 - 1펄스	

VWF 인버터 시스템 성능 사양

- ② 시스템 도면 : 시스템의 도면은 VWF 주회로 도면 및 저압배선도 포함 30건이 있다.

(나) 제어기 설계

- ① 제어기 구성 및 설계 : 제어기의 구성품으로는 차량의 배터리로부터 메인 컨트롤러에 안정적인 전압을 공급하기 위한 필터유닛(PFU) 회로와 제어기의 주요 로직 IC 및 MCU에 전원을 공급하는 CPS 회로와 IGBT 구동을 위한 GDU 회로와 초기충전회로 등 주요 컨텍터를 구동하기 위해 Relay 회로 등이 있다. 위 기능을 갖는 제어기 회로는 Orcad , Pads 등의 툴을 이용하여 설계한다.

(다) 인터페이스 설계

- ① 차량 내 통신 인터페이스 설계 : 차량과의 인터페이스는 차량 내 TCMS와 VVVF 인버터의 제어기의 통신을 위해 MVB 통신을 이용한다. MVB의 사양은 2 Channel를 갖고 Master/slave 통신을 하고 통신제약 거리는 200m이다.

② 차량 내 MVB 통신 통신포트

Physical address	Node Type	Description	Location
\$01 hex	class 1.2	VVVF Controller 2	Mc1 car
\$02 hex	class 1.2	VVVF Controller 2	Mc2 car

Transmission Data Port Address

(2) 추진제어 시스템 설계, 제작, 시험

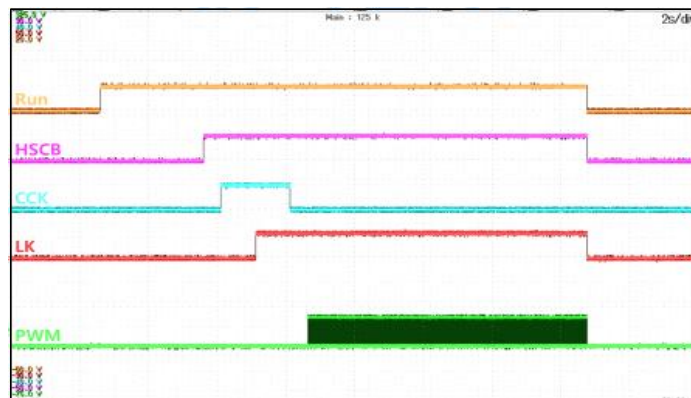
(가) 주요부품 발주 및 입고관리

- ① 발주 품목 : IGBT(CM1200HC-66H , CM800E2C-66H), FC(DCMKP2.0/2.5mF) 외 제어기 A'ssy 및 센서류(LT2005-S/SP1 , CS300BR, LV100-2000/SP5) 등을 발주 및 입고관리

(나) 제어기 알고리즘 적용 및 검증시험

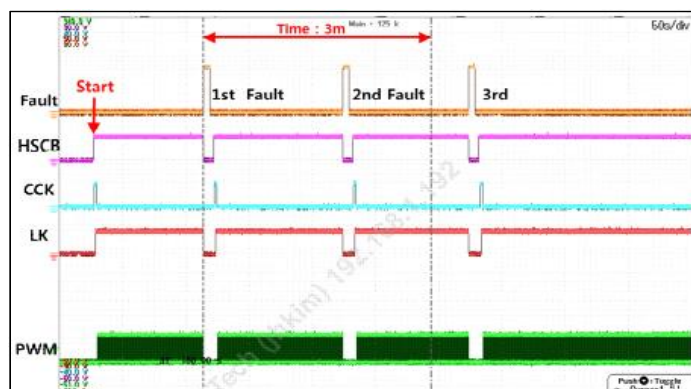
- 제어기 알고리즘 검증시험은 크게 시퀀스 시험 , 고장검출 시험 , 고압시험이 있다.

- ① 시퀀스 시험 : 초기 구동 및 종료 시 HSCB, LK, CCK 등이 목적에 맞게 동작 하였는지를 검증한다.



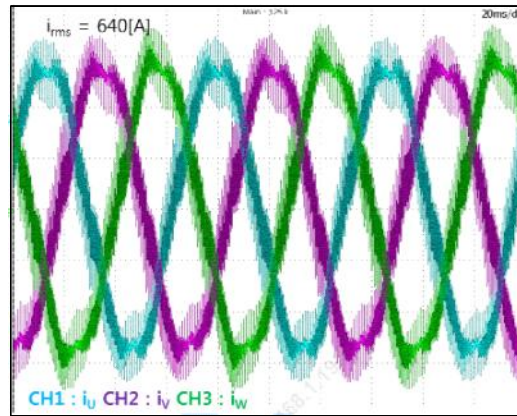
시퀀스 시험 결과 파형

- ② 고장검출 시험 : VVVF 인버터의 고장이 검출되면 PWM을 중지시키고 HSCB, LK, CCK를 중지시켜 시스템을 보호한다.



고장검출 시험파형

③ 고압 시험 : VWF 인버터의 전압 및 전류 사양이 적합하게 개발되었는지를 확인한다.

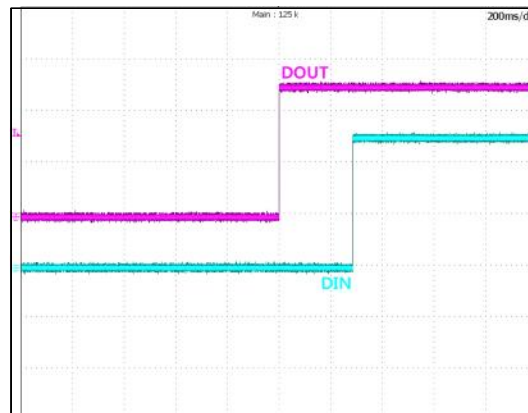


고압 시험파형

(다) 주요 세부 부품 제작 및 단품시험

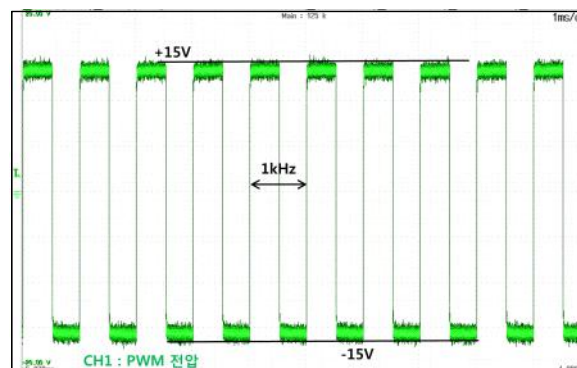
- 주요 세부 부품 제작 및 단품시험은 DI/O , DAC 및 GDU 시험이 있다.

① DI/O , DAC 시험 : DI/O 시험은 Relay 구동 및 시스템 동작 신호를 제어기가 신호를 읽어 들이는 부분이다. 시험방법은 제어기에서 DOUT 신호를 출력하여 DI를 통하여 확인하고 그것을 DAC를 통해 출력한다.



DI/O , DAC 시험파형

② GDU 시험 : 제어기에서 출력되는 EPWM 신호는 Optic 보드에서 전기적 신호를 광신호로 변환하여 GDU보드에 광 신호로 전달된다. GDU 시험은 PWM 출력을 확인하므로 검증한다.



GDU 시험파형

(라) 추진시스템 BOX A'ssy 제작

- 추진시스템 BOX는 VVVF 인버터 BOX , FL BOX , FUSE/PDS BOX , LB BOX , 0VRe BOX 5종류를 갖는다. 아래는 추진시스템 제품의 제작 사진이다.

① VVVF 인버터 BOX



VVVF 인버터 BOX 사진

② FL BOX



FL BOX 사진

(3) 200km/h급 추진 인버터 설계

(가) 추진시스템 사양검토 및 확정

- 200km/h급 자기부상열차에 적용되는 VVVF 인버터 장치는 선형유도전동기 8대를 동일 군으로 일괄 제어하고 제어방식은 PWM 기반으로 가변전압 가변주파수/슬립주파수 제어를 통해 역행 및 제동 시 정토크, 정출력, 정전압 제어를 수행하고 응하중 제어, 재점착 제어, 회생 시 가선전압 한계 제어 등의 기능을 갖추고 있다.

① 200km/h 시스템 사양

항 목	성 능	비 고
정격 가선 전압	역행 : DC 1,500V 회생 : DC 1,650V	
가선 전압 변동 범위	DC 900V ~ 1,800V	
최고 운행속도	200km/h (설계 최고속도 : 200km/h)	
가속도	4.0km/h/s(조건 : 정지 → 45km/h)	
감속도	상용감속도 : 4.0km/h/s 비상감속도 : 4.5km/h/s	
제동 방식	회생 및 공기 제동의 혼합 제동	

200km/h 시스템 사양

(나) 추진인버터 용량 계산 검토

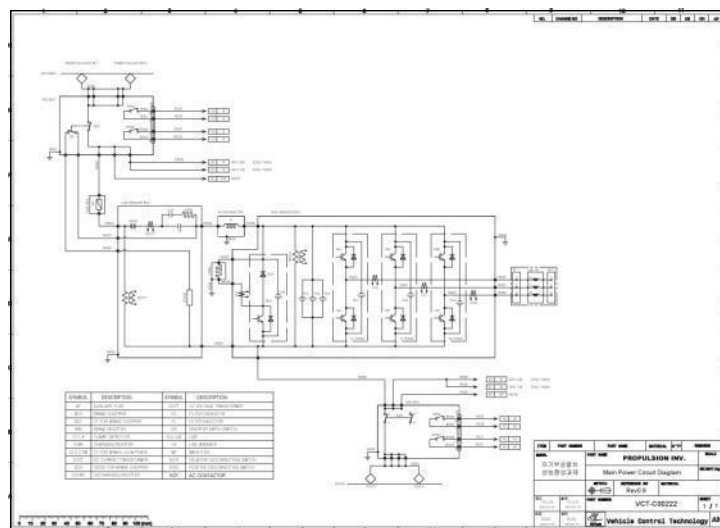
- VVVF 인버터는 인버터 암유니트의 IGBT, 부스바, 제어 유닛, 과전압 보호회로, 릴레이 유닛, 필터 커패시터, 전류 센서, 전압센서를 선정해야 하므로 용량 계산 검토가 필요하다.

품 명	기 호 (또는 약호)	정 격	수 량	비 고
인버터 암유니트	-	IGBT(3,300V/1,200A) Heatsink(Brazing)	3	강제냉각방식
제어 유닛	CONTROL	-	1	32Bit DSP
과전압 보호회로	OVCRf	3,300V/800A	1	
릴레이 유닛	RELAY	-	1	
필터 커패시터	FC	2,500 μ F/2000V	3	
전류 센서	BCT	300A/150mA	1	
	CTU, CTV, CTW	2,000A/400mA	3	
전압 센서	DCPT	2,000V/50mA	1	

용량계산 검토

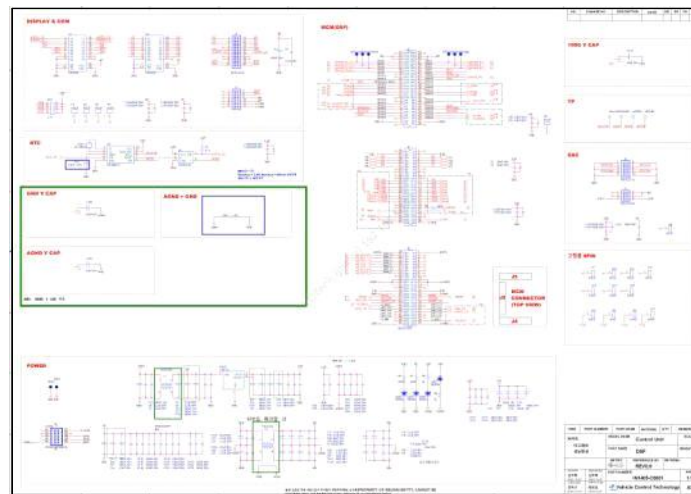
(다) 추진인버터 회로설계

① 주회로 도면



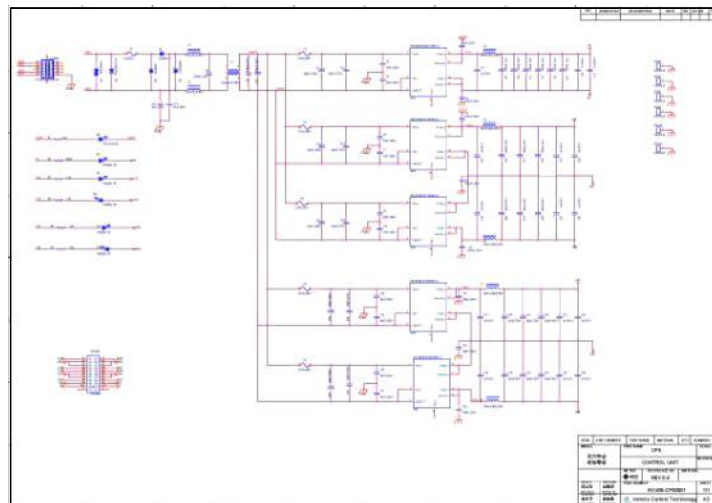
주회로 회로도면

② ACM 보드 도면



ACM 보드 회로도면

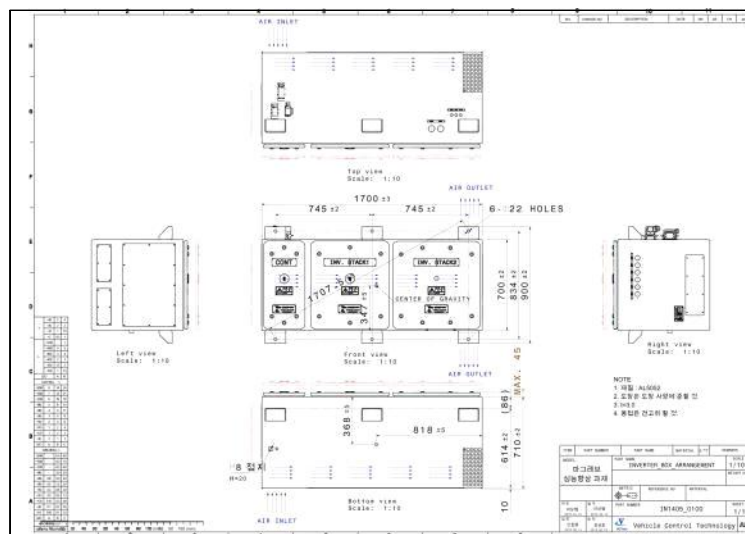
③ CPS 보드 도면



CPS 보드 회로도면

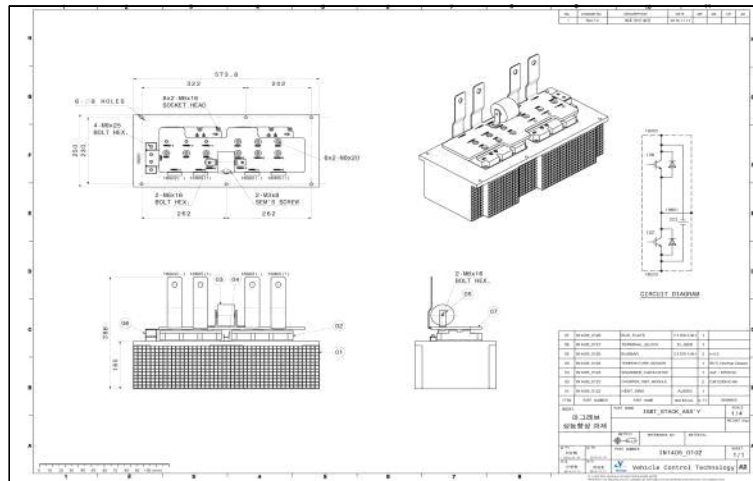
(라) 추진인버터 기구설계

① VVVF 인버터 BOX 기구도면



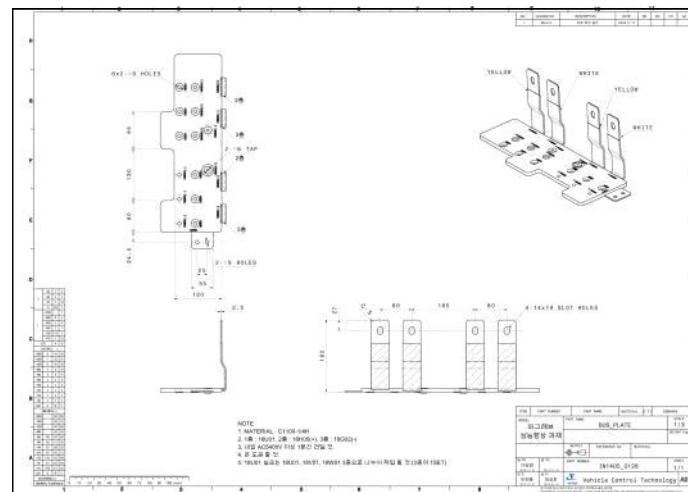
VVF 인버터 BOX 기구도면

② VWF 인버터 스택 기구도면



WVF 인버터 스택 기구도면

③ 부스플레이트 기구도면

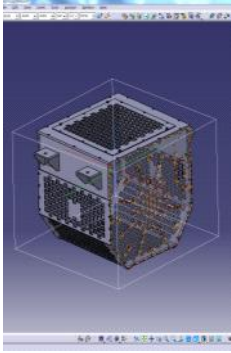
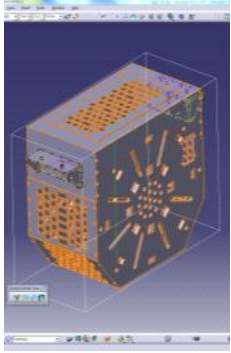


부스플레이트 기구도면

(4) 추진인버터 경량화 및 성능향상 연구

(가) FL BOX 제작

- ① FL 설계 : 공심형 리액터 특성 해석 결과 초기 모델과 동일 인덕턴스를 갖는 철심 리액터의 특성을 해석하고, 필터리액터(FL)의 전자기해석 및 열해석 결과를 설계 반영하여 필터 리액터(FL)를 설계한다.

	개선 전	개선 후
B0X 사이즈 변경 결과 16.8 kg 감량		
사이즈	707 * 990 * 771	707 * 990 * 413
중량	83.3 kg(100%)	66.5 kg(80%)

FL 설계

② FL 제작



FL 제작

(나) 제어기 A'ssy 제작

① 제어기 A'ssy 설계 계산서

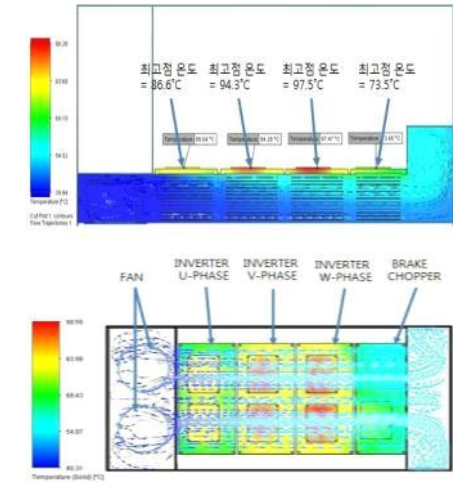
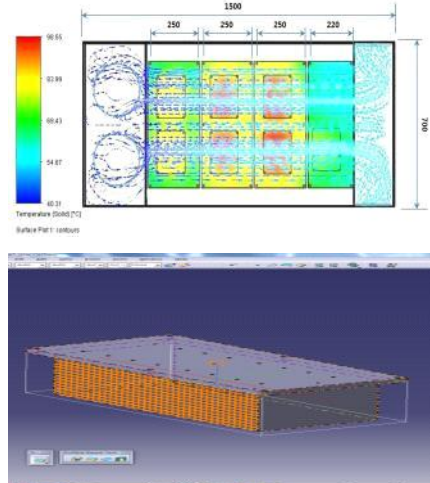
고장항목			측정지	최대값
배터리 고장(BFSF)				70V±10%
+15V고장				동작안함
-15V고장				동작안함
24V고장				동작안함
IGBT 고장	U상	(GDFU)		Low
	V상	(GDFV)		Low
	W상	(GDFW)		Low
	X상	(GDFX)		Low
	Y상	(GDFY)		Low
	Z상	(GDFZ)		Low
	BCH	(GDFD)		Low
입력 과전류			(IOCD) DCCT1	4.89 ± 10% 523.00 ± 10%
전동기 과전류			(MOCD) CTU,V,W	4.50 ± 10% 960.00 ± 10%
BCH 과전류			(BOCD) BCT	4.65 ± 10% 300.00 ± 10%
전동기 상불평형			(PUD)	
가선 과전압			(VLOVD) DCPT1	3.60 ± 10% 900.00 ± 10%
가선 저전압			(VLLVD) DCPT1/SW	± 10% 550.00 ± 10%
FC 과전압			(FCOVD) DCPT2	3.60 ± 10% 1000.00 ± 10%
FC 저전압			(FCLVD) DCPT2/SW	± 10% 550.00 ± 10%
검출기 전원 고장				21.6V±10%
				-21.6V±10%
주회로 접지		(LGD)		0.75V±10% (V_line < 300V)
스택 과온도	POT1			90°C (short)
	POT2			90°C (short)
	POT3			90°C (short)
팬 고장	FAN1			Low
	FAN2			Low

제어기 설계 계산서

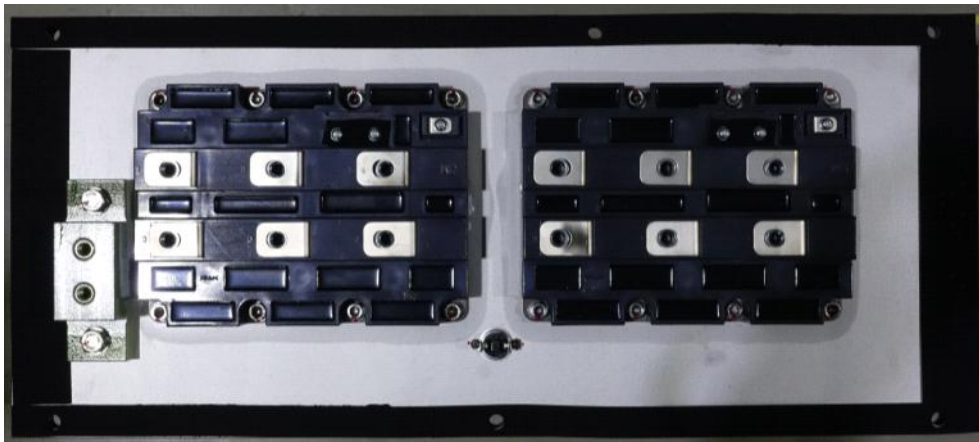
(다) Heat Sink 개선 적용

- Heatsink 최적화 설계를 통해 인버터 중량을 개선한다. 도출된 용량으로 시뮬레이션 툴을 이용한 손실을 계산하고 계산된 손실을 이용한 열해석을 하여 히트싱크를 최적화 한다.

① Heat Sink 열해석

열해석 후 소자의 배치 변경 및 열해석을 통한 Heatsink 최적화 설계		
	개선 전	개선 후
최적화 설계		
사이즈	544 * 300 * 165	544 * 250 * 165
중량	18.3 kg(100%)	14.9 kg(82%)

② Heat Sink 사진



Heat Sink 사진

(라) 인버터 유지보수 편리성 검토 및 적용

① 인버터 유지보수 편리성을 위한 최적화 방안

	기존 유지보수 방법	연구된 개선 1안	연구된 개선2안
유 지 보 수			
시간	60분	30분	
인원	3인	2인	

인버터 유지보수 편리성을 고려한 최적화 방안

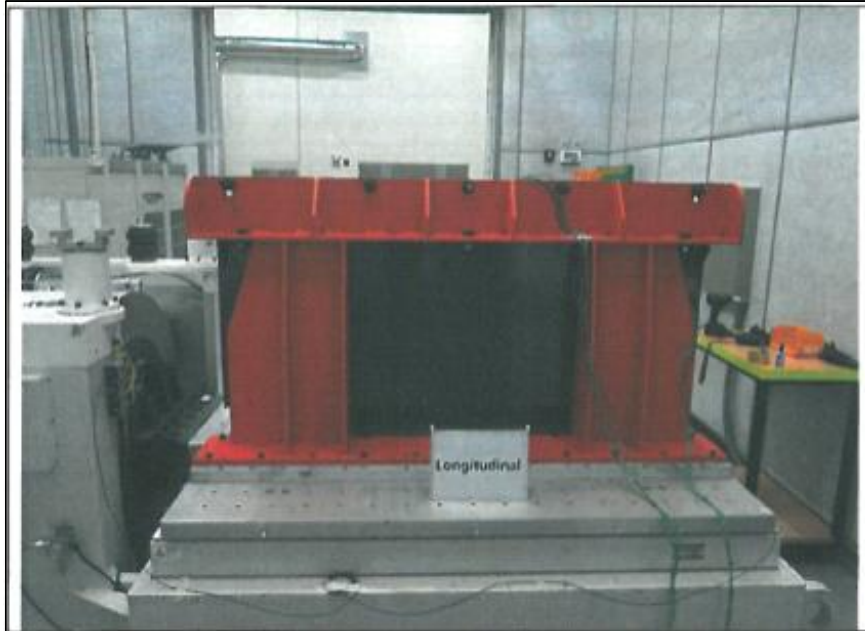
② 인버터 유지보수 편리성을 적용한 사진



인버터 유지보수 편리성을 적용한 사진

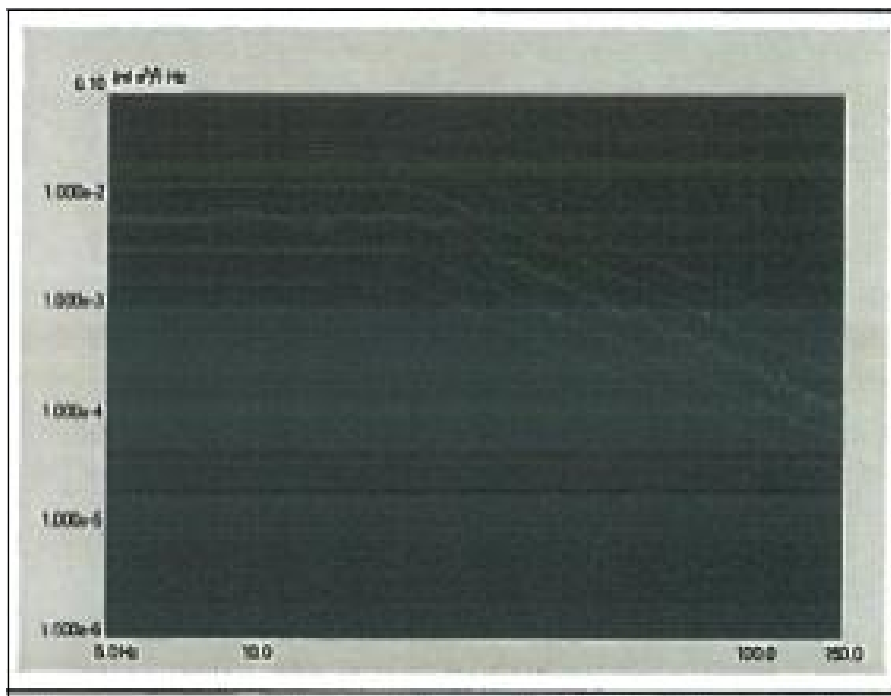
(5) 추진제어 시스템 성능시험

(가) 시제품 및 진동 및 충격 시험 사진



진동 및 충격사진 시험 파형

(나) 시제품 및 진동 및 충격 시험 결과



진동 및 충격사진 시험 사진

3-2. 추진제어 시스템 제어 알고리즘 적용

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
추진시스템 알고리즘 적용 시험	1건	1부	기계연구원 입고 Lim 연동 시험

가. 추진시스템 알고리즘 적용 시험

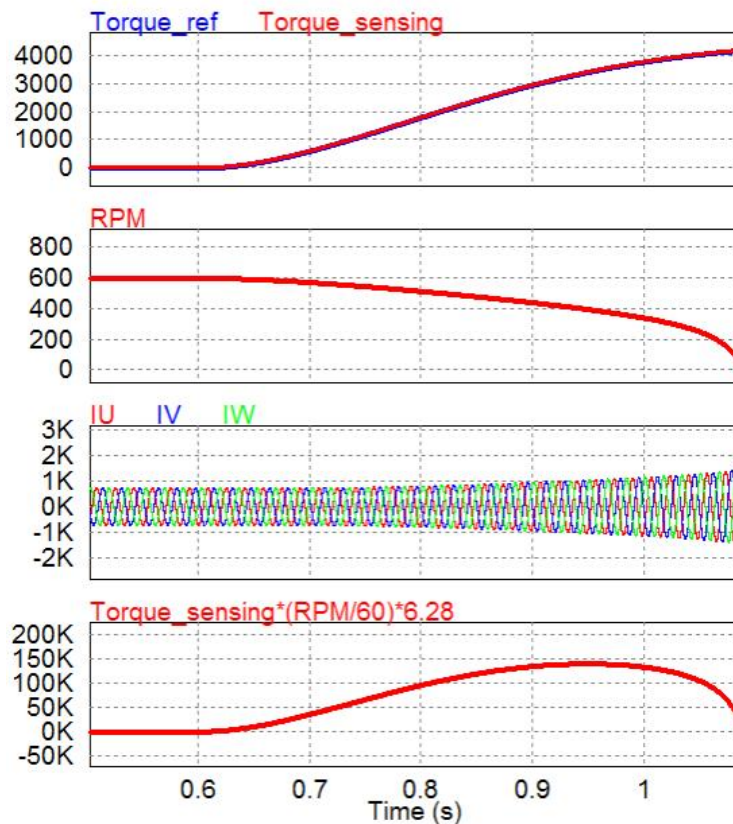
(1) 200km/h LIM 검증

(가) 200km/h LIM 검증

정격 전력	150kW	
정격 상전압	240V	
정격 주파수	60Hz	
극수	12극	
정격 RPM	600 RPM	
정격 LIM RPM	157 RPM	
정격 속도	90 m/s	

LIM 사양 및 기계연 3D 모델링

(나) 200km/h LIM PSIM 시뮬레이션 결과

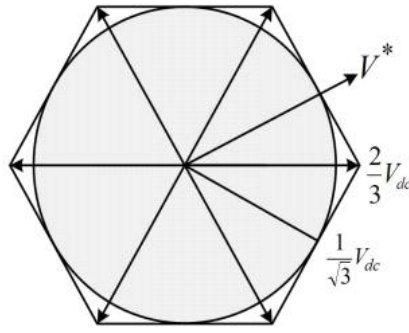


LIM PSIM 시뮬레이션 결과

(2) 가속을 위한 스위칭 기법 검증

- 소프트 한 속도증가를 위해 PWM 기법을 변경해야 한다.
- PWM 기법의 변환은 정상상태 → 영역1 → 영역2 → 6STEP 으로 PWM을 변환하므로 최고속도를 구현할 수 있고, 소프트한 속도증가를 확인할 수 있다.

(가) 소프트 한 속도 증가를 위한 과변조 적용 스위칭 기법



스위칭 벡터도

과변조 영역 1 ($0.9069 \leq m < 0.9514$)	
출력전압의(m)	변환전압의 근사(m_{v2})
$0.9069 \leq m < 0.94$	$m_{v2} = 1.731 \times m - 0.6656$
$0.94 \leq m < 0.951$	$m_{v2} = 5.48 \times m - 4.19$
$0.951 \leq m < 0.9514$	$m_{v2} = 35.82 \times m - 33.04$

과변조 영역1의 변환 근사식

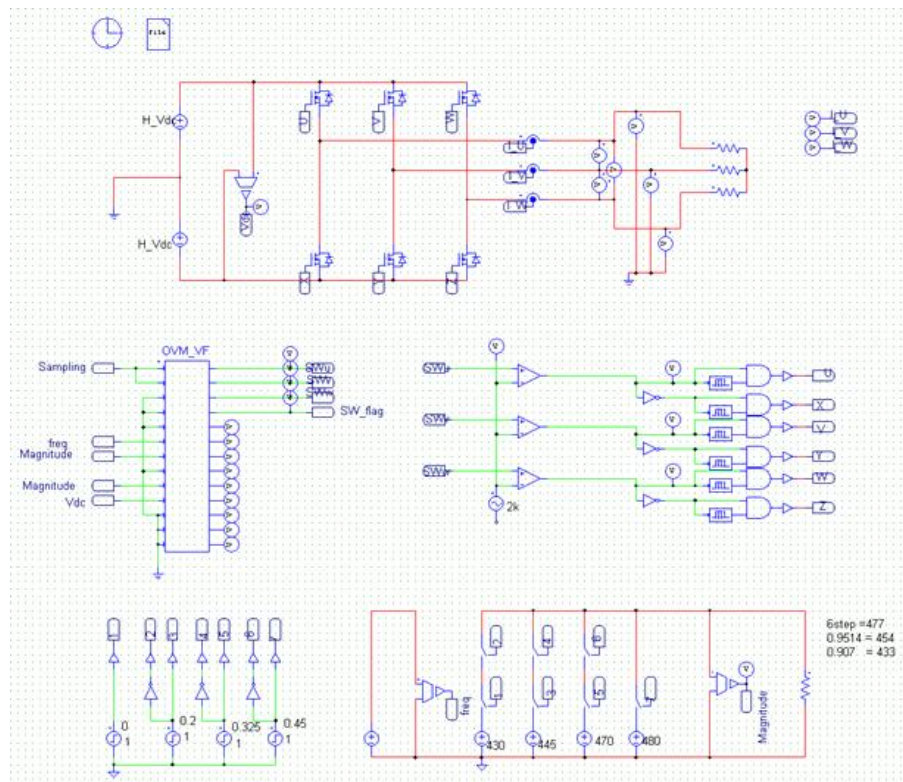
과변조 영역 2 ($0.9514 \leq m < 1$)	
출력전압의(m)	변환전압의 근사(a_h)
$0.9514 \leq m < 0.955$	$a_h = 20.73 \times m - 19.71$
$0.955 \leq m < 0.995$	$a_h = 7.797 \times m - 7.351$
$0.995 \leq m < 1$	$a_h = 19.87 \times m - 19.37$

과변조 영역2의 변환 근사식

(나) 추진제어 알고리즘 시뮬레이션

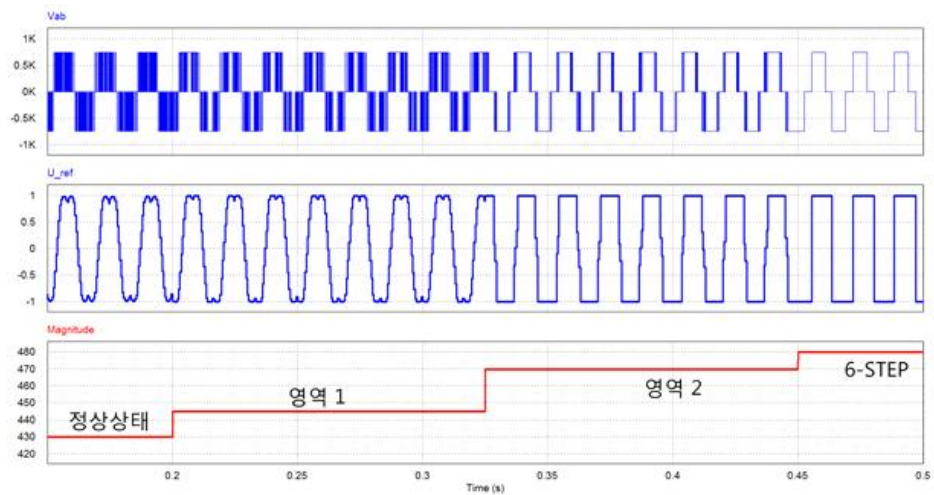
① PSIM 시뮬레이션 구성 및 결과

- 자기부상열차의 전압 활용률을 확보하기 위하여 PSIM시뮬레이션을 수행하였다.



PSIM 시뮬레이션 구성도

- 수행 결과는 다음과 같다. 정상상태에서 전압 사용을 증가를 위한 영역 1, 영역 2, 6-STEP으로 변화하며 전압 사용 율을 증가시킨다.

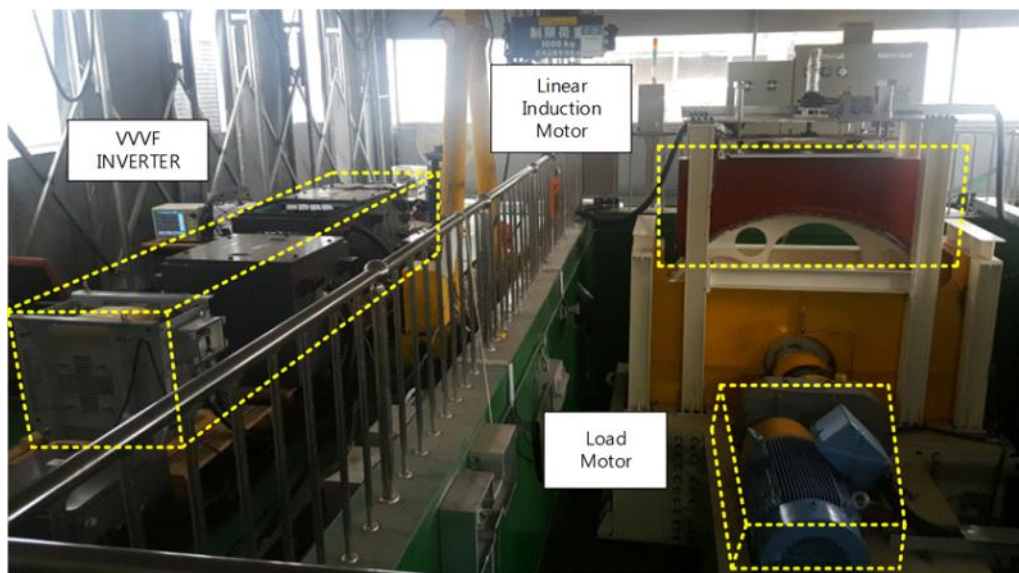


PSIM 시뮬레이션 결과

(3) 추진제어 시스템 성능시험

(가) 추진시스템 알고리즘 적용시험 사진

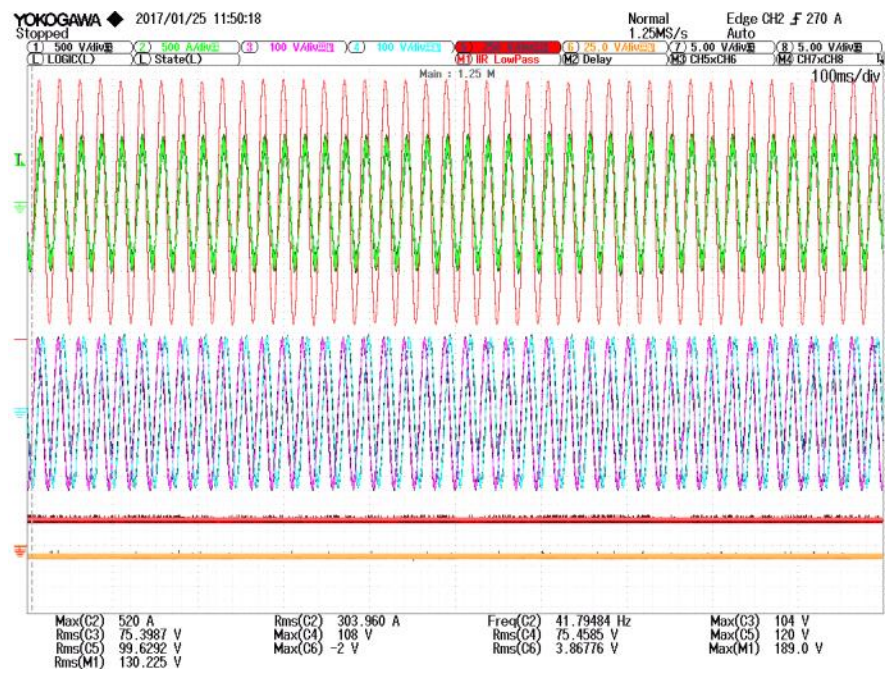
- 기계연구원에 설치된 추진시스템 및 구동 인버터의 조합시험 현장이다.



추진제어 알고리즘 적용시험 사진

(나) 추진시스템 알고리즘 적용시험 결과파형

V/F 최고속도 시험 및 모터 성능검토 시험을 완료 하였으며, 200km/h의 최고 속도와 정격 속도에서의 4kN의 최대 추력을 만족하였다.



추진제어 알고리즘 적용시험 파형

4. 도시형 자기부상 철도 부상안내 시스템 성능향상

4-1. 도시형 부상 제어시스템 이중계

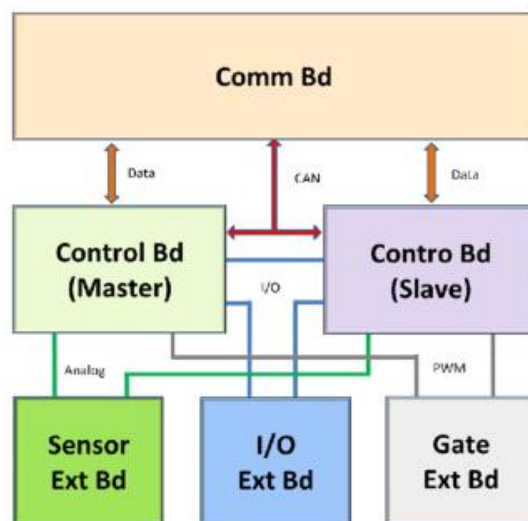
질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
도시형 자기부상열차 성능시험	1건	성능시험 결과 보고서 1건	도시형 자기부상열차 부상제어 시스템 성능시험 지원의 일환으로 제어주기 2 사이클 이내 이중계 절체성능 구현

가. 도시형 자기부상열차 성능시험

- 도시형 자기부상열차 부상제어 시스템 성능개선에 관한 연구내용으로서 현재 영종도에 시험운행중인 부상제어시스템이 단일제어기로 이중화 설계 및 제작이 되어 있지 않으므로 차량운행의 안정성 및 신뢰성을 향상시켜야 한다. 또한 추진 장치의 추진력 변동에 따른 수직력 변동을 고려한 전자식 부상제어가 가능하도록 개발되어야 한다.

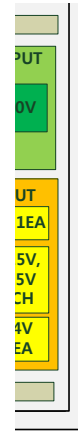
(1) 부상제어시스템 제어기 이중계 설계 및 제작

- 본 과제를 통해 개발된 성과로 자기부상열차의 이중계 시스템을 개발하였으며, Master Slave Swapper 회로를 적용하여 Master 고장 시 Slave로 자동 절체 되어 연속적인 운전이 가능하도록 제어기 이중화를 도모하였다.

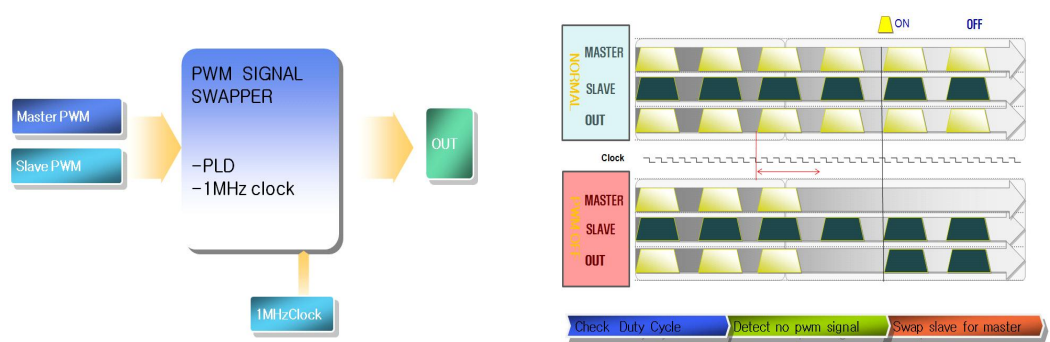


제어기 이중화 방안 구조도

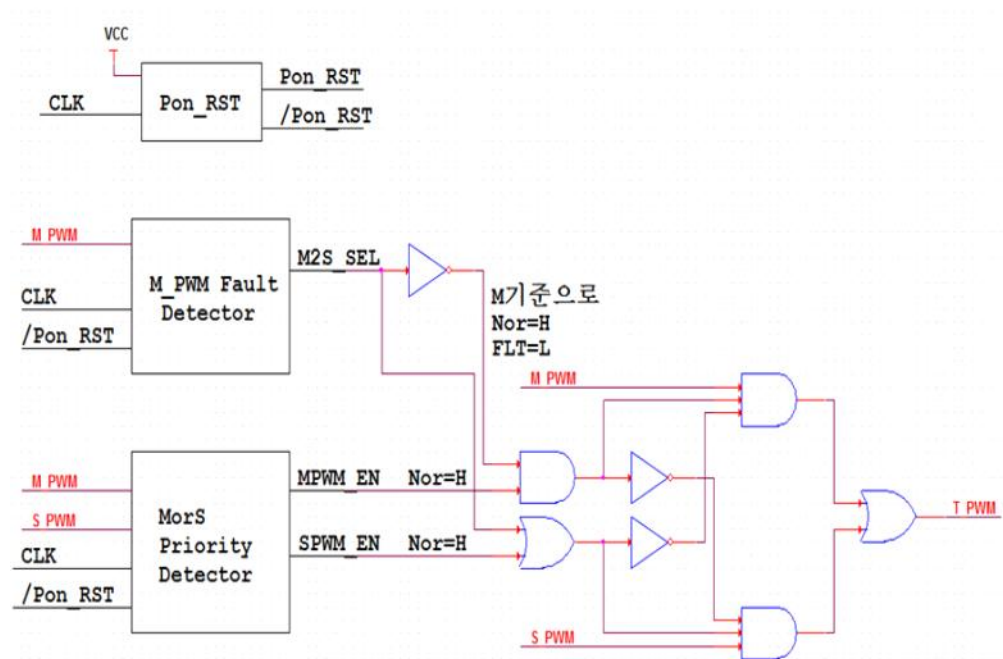
- 평소 Master 제어기로 동작하다가, Master 제어기 고장 시 Slave 제어기 백업 가동되도록 Master/Slave 내부 제어변수 실시간 공유하도록 설계되었다.
- 제어기의 Master 보드와 Slave 보드에서 PWM 신호를 Master Slave Swapper 제어부로 동시에 입력시켜 Master 제어부에서 신호가 나오지 않아도 Slave 제어부에서 바로 PWM 신호를 사용하여 부상실패 없이 동작되도록 함으로써 제어기 이중화가 구현되도록 하였다.



자기부상 이중화 제어기 랙 구성도

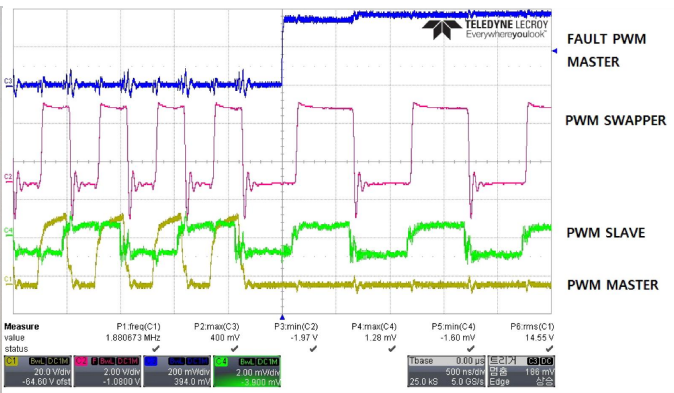


PWM Signal Swapper 제어부 구조 및 결과 파형



Master Slave Swapper 제어부의 Main Logic Circuit

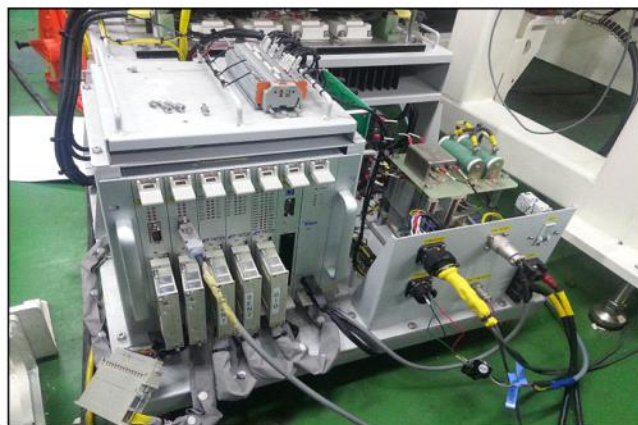
- Master 컨트롤러가 기본 제어권을 가지고 도시형 자기부상열차 전수시험 항목과 동등하게 시험하였으며, Master 컨트롤러 에러 발생을 인위적으로 시켰을 때 Slave 컨트롤러에서 제어권을 획득하고 Slave Control PWM이 출력하도록 구현되었다.



- Master Slave Swapper와 관련한 한국철도학회 논문집에 1편 기고하였으며, 이와 관련된 특허 1건을 출원하여 등록되었다.



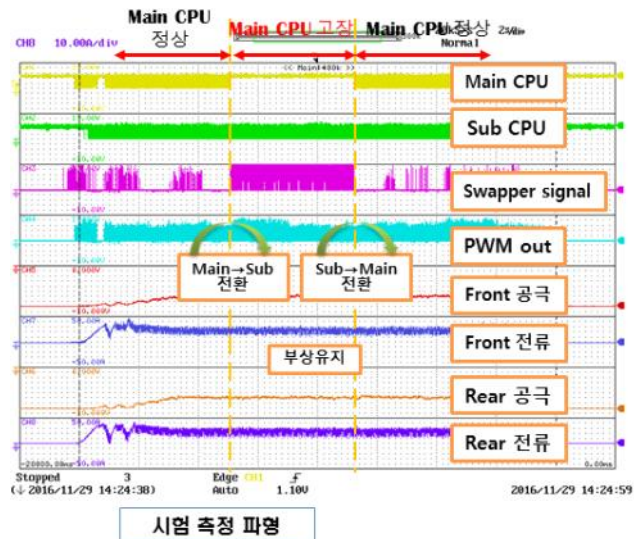
- 도시형 자기부상열차 부상제어시스템 이중계 성능 구현 및 시제품을 제작 완료하였으며, 제어기 이중계 현차 시험을 통해 부상실패 없이 제어기를 동작하도록 구현함으로써 Master제어기의 PWM 게이트 신호가 안 나와도 Slave PWM 게이트 신호가 제어주기 2 사이클 이내에 출력함으로써 부상실패 없이 안정적인 영업운전이 이루어지도록 제어기 이중화를 검증하였다.



- 56 -



현차 적용 제어기 이중계 성능 시험 지원



현차 연계 제어기 이중화 절체 시험 파형

4-2. 부상/안내 제어시스템 개발

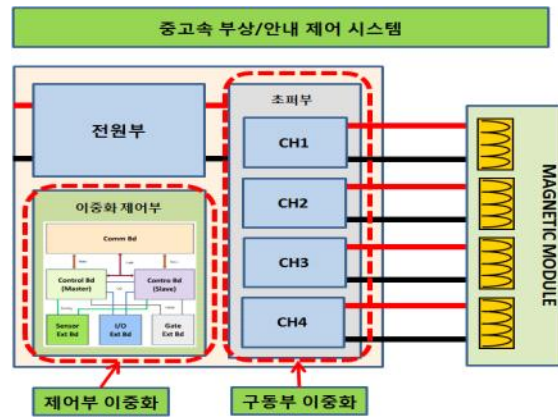
질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
핵심성능 검증용 부상/안내 제어시스템 전수시험	1건	전수시험 결과 보고서 1건	제어기 및 전력회로부 이중화 시스템 레벨 절체 성능 시험

가. 핵심성능 검증용 부상/안내 제어 시스템 전수 시험

- 준고속 자기부상열차의 부상/안내 제어시스템 개발에 관한 연구내용으로서 부상 및 안내를 담당하는 마그네트 드라이브는 가속도 센서 및 갭센서 등으로부터 신호를 입력 받아 부상용 전자석에 필요한 전류를 공급함으로써 자기부상열차의 부상을 제어하는 장치이다. 또한 준고속 자기부상열차의 시험대차에 적용되도록 설계 및 제작되어야 하며 전력밀도 향상을 통해 무게 및 사이즈 개선, 수직력 변동을 고려한 전자석 부상제어, 자기진단 기능 강화, 제어부 및 전자석 구동부인 전력회로부 이중화로 개발되어야 한다.

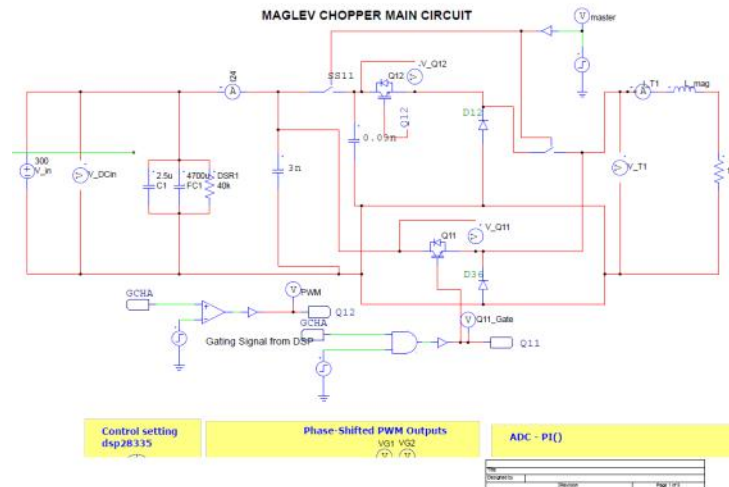
(1) 부상/안내 제어시스템의 제어기 및 전력회로부 이중계 설계 및 제작

- 본 과제를 통해 개발된 성과로 부상/안내 제어시스템의 이중계 시스템을 개발하였으며, 제어부와 구동부 이중화를 실현하였다.



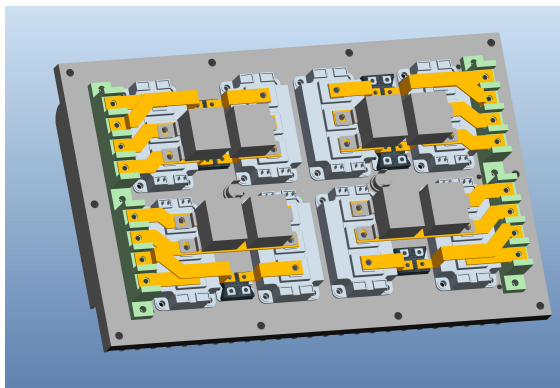
부상/안내 제어시스템의 이중화
부상제어시스템

- 이중화 초퍼의 기본적인 개념은 실시간 절체에 의한 Hot-Backup이며, 이러한 절체가 가능하도록 기존 제품과 호환성을 유지하면서 전력밀도를 증대시키기 위한 방안으로 기존에 Magnetic Contact 대신에 IGBT 스위치로 구성된 2개의 스위치 증가만으로 최적화된 전력밀도 향상을 위한 새로운 방식의 전력회로부 이중화 방안을 제시하였다.

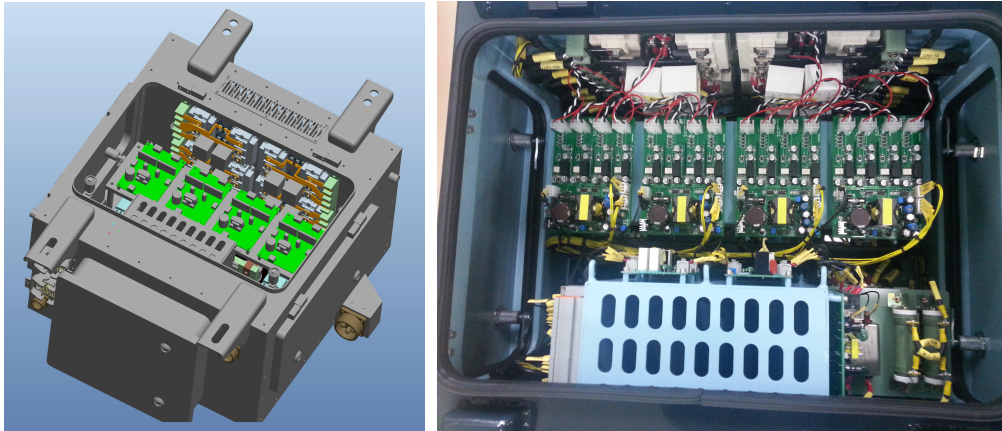


최적화된 MD용 전력회로부 이중화 블록도

- 최적화된 MD용 전력회로부는 정상 동 작시 Master로 동작하다가 IGBT 또는 Diode의 손에 의한 주회로 고장 시 Master 회로에서 Slave로 정상적으로 절체 되어 정상운전이 가능하도록 설계 되었다. MD 박스 내부에 구성된 파워스택은 전력밀도 향상을 위해 파워스택을 기존시스템과 동일한 사이즈로 구성하였다.

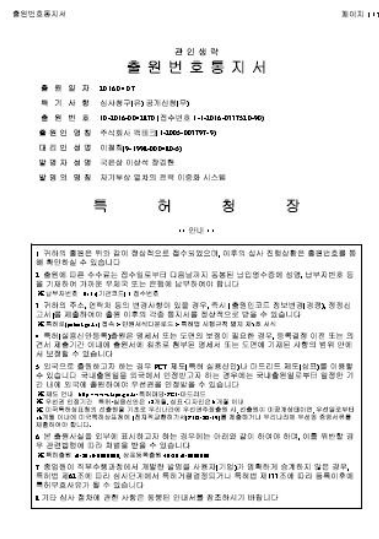


전력회로부 이중화 3D 모델링과 파워스택 시제품



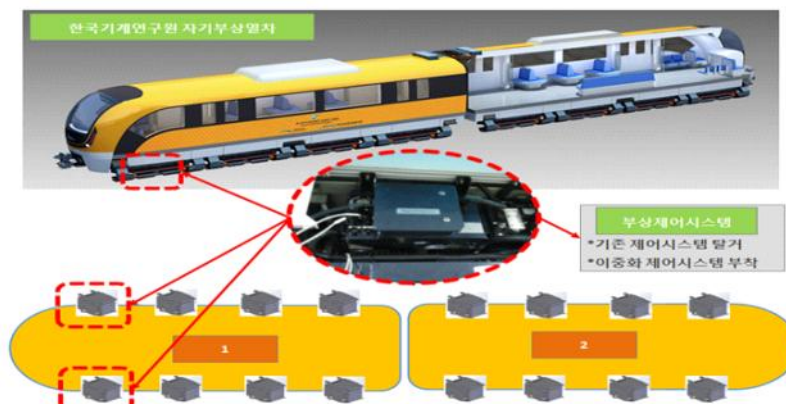
부상/안내제어기 이중화가 적용된 3D 모델과 MD 박스 시제품

- 최적화된 MD용 전력회로부 이중화와 관련한 대한전기학회 춘계학술대회 논문집에 1편 기고하였으며, 이와 관련된 특허 1건을 출원하였고, 추가 특허 1건을 출원 진행 중에 있다.



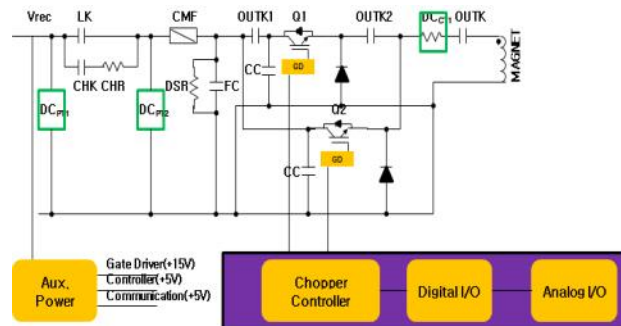
대한전기학회 학술논문 기고와 전력회로부 이중화 특허출원서

- 부상/안내제어시스템의 제어기 및 전력회로부 이중화가 적용된 MD 박스 실차 시험을 위한 항목 및 방법을 제시하였으며, 부상제어장치 2대를 기존 제품과 교체하여 정차 및 주행 시 임의 고장 발생 후 성능 검증을 실시하였다.

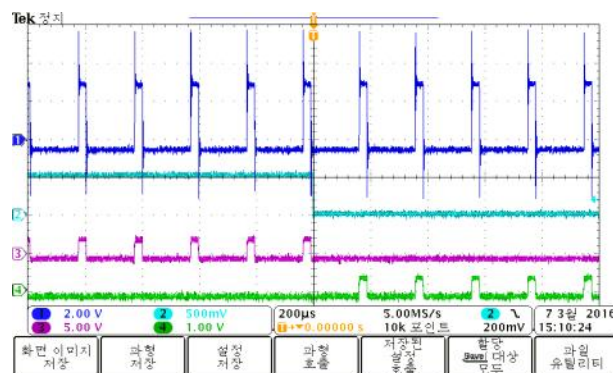


현차 성능 검증

- 부상/안내 제어시스템의 전력회로부 이중화를 통해 기존 시스템과 호환성을 유지하면서 전력밀도를 증대시켜 기존 부상/안내 제어시스템과 외형치수를 동일한 구조로 설계하여 호환성을 유지하도록 하였으며, 새롭게 제안한 최적화된 MD용 전력회로부 이중화 파워스택을 개발하여 Master Fault 발생시 Slave로 전환되어 끊임 없이 연속적으로 PWM 게이트 파형이 출력되어 정상적인 동작이 됨을 확인 하였다.



부상/안내제어기 전력회로부 이중화 블록도



부상/안내제어기 고장발생시 Master에서 Slave로 절체되는 게이트 드라이브 파형



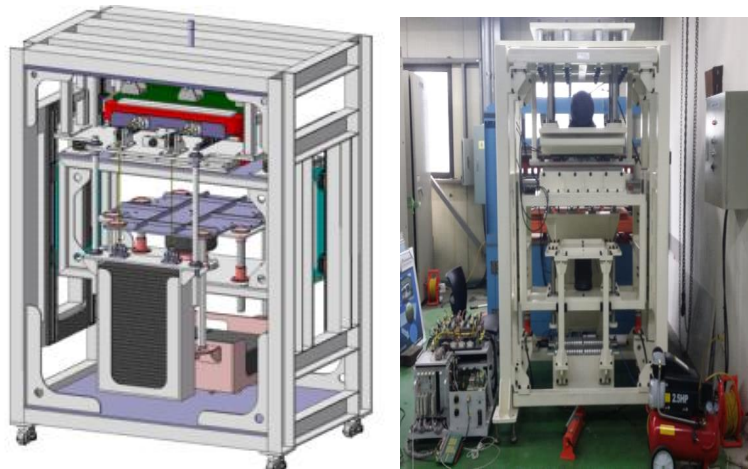
부상/안내제어기 이중화가 적용된 MD 박스
시제품

- 준고속 자기부상열차 개발환경 구축을 위한 전원설비 제작 및 부하시험기 제작을 완료 하였다. 여기서 부상/안내 제어시스템용 DC 전원설비와 시험용 부하설비를 제작하여 실제 유사한 환경으로 성능시험 하도록 제작 되었다.



개발환경 구축을 위한 전원설비와 부하설비
시제품

- 준고속 자기부상열차의 부상/안내 제어시스템의 성능을 실제 환경으로 평가할 수 있는 성능시험기 제작을 통해 가이드웨이 설계 파라미터 영향에 대한 평가, 부상/안내 추종 성능, 현가장치의 영향평가, 제어기/전자석/승차감 평가를 할 수 있는 기반을 확보하였다.



5. 도시형자기부상열차 제동시스템 성능향상 개발 및 준고속 자기 부상 열차 제동 시스템 개발

5-1. 운행지연여부

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
고장 보고서	1%이내	진행 중	개발품에 대한 FIELD DATA 수집 통한 고장을 분석 및 목표를 설정하여 신뢰성 향상을 위함

가. 고장보고서

(1) 상세내용

(가) Error Code

- 유압제동장치 고장정보는 아래와 같다.

BCU Error code for Maglev				
No.	Error code name	Define	Description & Cause of occurrence	Remark
1	Motor run error	▪ Excess motor run error	1) Relay fail for BCU 2) Flow blockage for filter(by pass valve "ON")	Fault
		▪ Motor command mismatch error	1) Relay fail for BCU 2) Signal contact fault	
		▪ Pressure charge error	1) 2 cycle charging error(Emergency break "on") 2) Flow blockage for filter(by pass valve "ON") 3) Signal contact fault	
		▪ Main line pressure sensor error	1) Pressure valve abnormal or breakdown 2) Signal contact fault	
2	Main line pressure <120bar	▪ Pressure deficit	1) Overcommitment 2) Operating of hand valve	Alarm
3	Control line(BC line) pressure reg. Fault	▪ failure of Proportional valve failure ▪ Failure of pressure sensor ▪ Oil leakage	1) regulating pressure drop 2) regulating pressure over (pressure switch "ON") 3) Oil leakage of control line 4) Release valve "on" state or Failure 5) Pressure valve abnormal or breakdown 6) Signal contact fault	Fault
▶ Caution: Limitation of Motor operating time: Max.90sec ▶ Motor duty rate : S1 25%				

Error code

(나) 현차 모니터링 점검 결과보고서

- 현차 모니터링 및 고장발생 건수 확인을 위해 작성된 점검결과보고서는 아래와 같다.



유압제동시스템 점검 결과 기록서 (10)							
차량번호	차종	점검 현황		점검내용 및 결과			특이사항
		점검장소	점검일시	유압제동장치	유압제어장치	작동 및 통신상태	
1	MC1	한국기계연구원	2016.10.13	이상없음	이상없음	이상없음	* 지크 이상을 위한 정동시행 진행중임
2	MC2	한국기계연구원	2016.10.13	이상없음	이상없음	이상없음	

* 차량번호 (판공식) 기준 : L436J3944 km (초점-계구간: 44 km)

* 주행거리(점검시각 기준) : L 616,994.968 km (주행+정거간: 44 km)



[그림 3] 10월 유압제동시스템 점검 관련 상태 사진

	[기 술 검 토 서] 고장보고서 [자기부상열차 유압제동시스템]	문서번호 : RTE-17-0373 작성일자 : 2017-03-16 개정이력 : Rev.A 페이지 : 5 / 6
---	---	---

2.2 유지보수 목표

유효성 입증 기간이 끝날 때까지 다음 한 가지 유지보수 목표를 모두 달성해야 한다.

- 플러싱 작업시간: 2시간 이내(1량당)

플러싱 작업을 위해 품목을 분리하고 작업 진행하는데 필요한 시간과 실제 부품 교체 시간이 포함되며, 유지 보수 인력의 여분 또는 이동 시간은 비 가용성이므로 운행지연 범위에서 배제합니다.

3. 신뢰성 성능 평가

고장을 인증의 입력 데이터로 FRACAS 데이터베이스가 사용된다. 모든 장애 관련 데이터는 유진기공산업(주)에 의해 수집되었으며 데이터베이스로 유지 관리된다.

연구개발 성과지표에 따른 고장률 1%이내에 대한 측정이 진행되었으며, 고장률 측정 결과 0%로 목표치 1 % 이내의 목표를 충족한다.

3.1 운행 일수

표 1. 운행 일수(운행 횟수)

구분	운행 일수(운행 횟수)		비고
	현재 (2017.03)	누적 (2016.06)	
시험대차	69	0	한국기계연구원
총합	69	0	

▶ 운행일수 산정: 한국기계연구원 자기부상열차 내방지원 실적자료 참고함.

▶ 1회 운행거리: 2km

3.2 고장 횟수

표 2. 유압제동시스템 고장 횟수

열차 No	서비스 중단 장애		비 서비스 중단 장애		비고
	현재 (2017.03)	누적 (2016.06)	현재 (2011 2월)	누적 (2016.06)	
시험대차	0	0	0	0	
총합	0	0	0	0	

(라) 유압제동장치 신뢰성 입증 결과

유압제동시스템의 신뢰성 입증을 위해 진행된 중고장률 측정결과 아래 그림과 같이 연구개발 성과 지표에 대한 중고장률 1%이내에 대한 측정이 진행되었으며, 중고장률 측정결과 0%로 목표치인 1%이내에 충족하며, 상기 (다)항의 고장보고서 내용에 대한 주요내용 요약사항은 아래 그림과 같다.

구분	From	To
자료 수집	2016.06.27	2017.03.16

표 1. 운행 일수(운행 횟수)

구분	운행 일수(운행 횟수)		비고
	현재 (2017.03)	누적 (2016.06)	
시험대차	69	0	한국기계연구원
총합	69	0	

▶ 운행일수 산정: 한국기계연구원 자기부상열차 내방지원 실적자료 참고함.

▶ 1회 운행거리: 2km

표 2. 유압제동시스템 고장 횟수

열차 No	서비스 중단 장애		비 서비스 중단 장애		비고
	현재 (2017.03)	누적 (2016.06)	현재 (2017.2월)	누적 (2016.06)	
시험대차	0	0	0	0	
총합	0	0	0	0	

· 신뢰성 평가

— 측정 결과 중고장률 1% 이내 만족

• 측정 방법 : 고장횟수/운행일수

중고장률 측정 결과 0%

[신뢰성 입증 결과]

또한, 전반적인 제동시스템 변경에 따른 신뢰성 개선사항은 아래 표와 같다.

구분	공유압제동시스템	유압제동시스템
고장개소 감소	2개소(공기, 유압)	1개소(유압)
유지보수	취거/취부 접근성: 불편함 (제동장치: 타 장치 분리 필요)	취거/취부 접근성: 용이함
응답성	0.4sec	0.2sec
히스테리시스 (제어 신뢰성)	0.31 bar	0.18 bar
내환경성 (최저 작동온도)	-25℃	-35℃

[신뢰성 개선사항]

5-2. 유지보수진행

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
유지보수 매뉴얼 작성	1량 당 2시간 이내	진행 중	유지보수 매뉴얼에 대한 유효성 평가를 위해 목표를 설정

가. 유지보수 매뉴얼 작성

(1) 유지보수를 위한 플러싱 장비 확보

- 해외 유압제동 시스템 유지보수를 위한 플러싱 장비에 대한 기능 분석 및 사용방법에 대한 검토를 완료하여 플러싱 장비에 대하여 국산화 제작 개발을 완료하였다.



해외 차량사 유압제동장치용 플러싱 장비 매뉴얼

	[기술 검토서]	문서번호 : RTE-14-0767
	플러싱 장비 성능 확인을 위한 시운전 결과 보고	작성일자 : 2014-06-23
		개정사항 : Rev. A
		페이지 : 11 / 12

4. 시운전 진행

상기 3항에 항목별 시운전 절차에 따라 아래 그림과 같이 플러싱 장비 2종에 대한 시운전을 진행하였다.



그림 1 플러싱 장비 시운전 진행 사진

(2) 플러싱 장비 운용기술 확보 및 운용능력 향상

- 2차년도 유압 제동시스템으로 개조한 한국기계연구원에 운용중인 시제차량 1량 및 트램 차량에 대한 플러싱 작업을 통한 장비 운용기술을 확보하였다.



자기부상열차 플러싱 작업

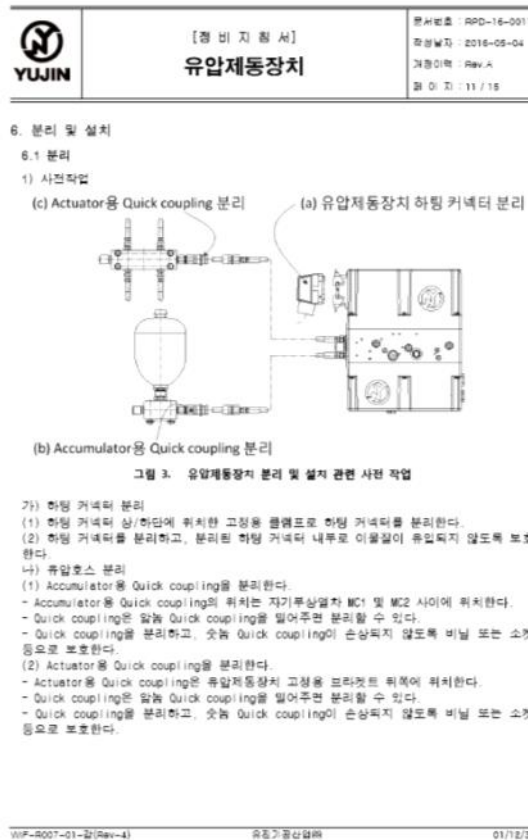


트램차량 플러싱 작업

(3) 유지보수 매뉴얼 작성

(가) 유압제동장치 유지보수 매뉴얼 작성

- 유압제동장치에 대한 유지보수 매뉴얼에 대하여 작성 및 평가결과는 아래 그림과 같다.



유압제동장치 정비지침서

[시험 결과보고서]

유압제동장치 유지보수매뉴얼 유효성 시험 결과보고서

문서번호 : RTE-16-0519
작성일자 : 2016-05-11
개정이력 : Rev.A
페이지 : 5 / 5

3. 유효성 시험 결과보고서

프로젝트	도시형 자기부상열차 제동시스템 성능향상 3단계	위 사 자	현 회 권	
제 작 사	유전기공사업(주)	확 인 자	황 성 문	
수 형	1 ea	승 인 자	김 기 남	
검 정 일	2016.04.04	감 장	박철	

【대 표 사 진】

No	검사항목	검 사 기 준	검사구분	
			측정값	비고
1	작업 인원	유압제동장치 취부 및 취거 작업인원은 3명 이하일 것.	3명	
2	취부 시간	유압제동장치 취부 작업 시간은 30분 이하일 것.	25분	
3	취거 시간	유압제동장치 취거 작업 시간은 30분 이하일 것.	21분	

유효성 시험결과보고서

(나) 유압제어장치 유지보수 매뉴얼 작성

- 유압제어장치에 대한 유지보수 매뉴얼에 대하여 작성 및 평가결과는 아래 그림과 같다.

	[정비지침서] 유압제어장치	문서번호 : RPD-16-0078 작성일자 : 2016-05-04 개정이력 : Rev.A 페이지 : 12 / 16
---	-------------------------------------	---

6. 분리 및 설치

6.1 분리

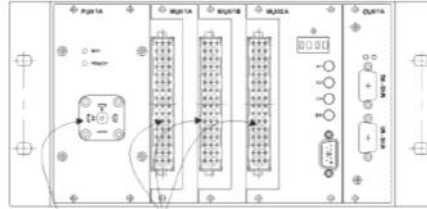


그림 2. 유압제어장치 DIN 커넥터 구분

- 1) 전원 공급 상태 확인
 - 가) 유압제어장치에 연결된 커넥터를 탈거하기 전에 전원 공급 상태를 확인하고 작업을 실시한다.
 - 나) 유압제어장치에 전원이 공급되고 있을 경우, 유압자동전원공급장치 하단에 차단기를 내려 전원을 차단한다.
- 2) 커넥터 분리
 - 가) 제어용 DIN 커넥터는 육각 L렌치를 사용하여 상/하단에 위치한 체결용 볼트를 제거하여 탈거한다.
 - 나) 전원용 DIN 커넥터는 (+) 드라이버를 사용하여 체결용 볼트를 제거하여 탈거한다.
 - 다) 제어용 및 전원용 DIN 커넥터 탈거 후 이물질 또는 파손되지 않도록 주의한다.
- 3) 유압제어장치 분리
 - 가) 유압제어장치는 (+) 드라이버를 사용하여 유압제어장치 좌/우 측을 체결하고 있는 4개의 체결용 볼트를 제거하여 탈거한다.

6.2 설치

- 1) 전원 공급 상태 확인
 - 가) 유압제어장치에 연결된 커넥터를 탈거하기 전에 전원 공급 상태를 확인하고 작업을 실시한다.
 - 나) 유압제어장치에 전원이 공급되고 있을 경우, 유압자동전원공급장치 하단에 차단기를 내려 전원을 차단한다.
- 2) 유압제어장치 설치
 - 가) 유압제어장치를 유압자동전원공급장치에 위치시키고, (+) 드라이버를 사용하여 유압제어장치 좌/우 측을 4개의 체결용 볼트를 조립한다.

WPF-R007-01-갑(Rev-4)

유도기공사업부

01/12/3

유압제어장치 정비지침서

	[시험 결과보고서] 유압제어장치 유지보수매뉴얼 유효성 시험 결과보고서	문서번호 : RTE-16-0520 작성일자 : 2016-05-11 개정이력 : Rev.A 페이지 : 5 / 5
---	---	---

3. 유효성 시험 결과보고서

프로젝트	도시형 자기부상열차	검 사 자	권 회 권
제 작 사	유진기공산업(주)	확 인 자	홍 성 문
수 량	1 대	승 인 자	김 기 남
결 정 일	2016.04.04	관 장	적합

【대 표 사 진】



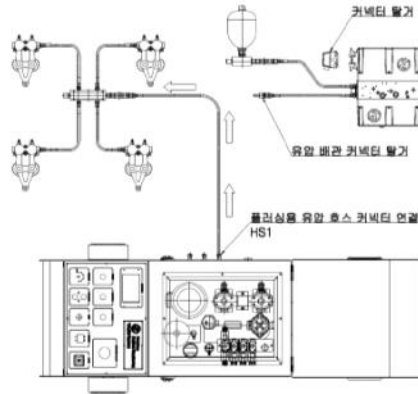
No	검사항목	검 사 기 준	검 사 구 분	
			측정값	비고
1	작업 인원	유압제어장치 해부 및 회거 작업인원은 3명 이하일 것.	1 명	
2	해부 시간	유압제어장치 해부 작업 시간은 15분 이하일 것.	12 분	
3	회거 시간	유압제어장치 회거 작업 시간은 15분 이하일 것.	10 분	

유효성 시험결과보고서

(4) 유지보수 매뉴얼 작성
(가) 플러싱 매뉴얼 작성

	[기술 검토서]		문서번호 : RTE-16-10541
	자기부상열차 유압 제동 시스템		작성일자 : 2016-10-31
	플러싱 작업 절차서		개정이력 : Rev.A
			페이지 : 14 / 16

7.3 부수대차 작업 및 점검 방법
7.3.1 유압 배관 및 캘리퍼 내압 시험



FLUSHING & PARTICLE MONITORING DEVICE

그림 1. 부수대차 내압 시험시 플러싱용 유압호스 연결 위치 및 방법

- (1) 캘리퍼 및 유압 배관의 외관 상태를 확인한다.
- (2) 플러싱 장치 측면의 HS1 포트와 전기유압동력장치 연결용 유압 배관 커넥터에 플러싱용 유압호스를 연결한다.
- (3) 플러싱 장치의 SELECT 5 기능을 통하여 '유압 배관 및 캘리퍼 내압 시험'을 실시한다.

W/P-R007-01-결(Rev-4)

유진기공산업(주)

01/12/3

플러싱 작업절차서

(나) 유효성 시험 결과보고서

	[기술 검토서]		문서번호 : RTE-17-0261
	유압 제동 시스템 플러싱 작업 절차서		작성일자 : 2017-03-13
	유효성 시험 결과보고서		개정이력 : Rev.A
			페이지 : 5 / 5

3. 유효성 시험 결과보고서

프로젝트	도시형 자기부상열차 제동시스템 성능향상	검 사 자	전 회 권	신익원
제 작 사	유진기공산업(주)	확 인 자	황 성 운	황성운
수 량	1 량(MC2 CAR)	승 인 자	김 기 남	김기남
검 경 일	2017. 03. 03	판 경	정 합	정합
【대 표 사 진】				
				
No	검사항목	검 사 기 준	검사구분	
			측정값	비고
1	작업 인원	플러싱 작업인원은 3명 이하일 것.	2 명	
2	작업 시간	1량당 유압제동장치 플러싱 작업시간은 2시간 이하일 것.	1시간49분	

5-3. 유압캘리퍼

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
유압캘리퍼 특성 시험(B7)	20.67kN이상	21.32kN이상	기존 제품대비 동등한 성능을 확보
유압캘리퍼 특성 시험(EB)	23.25kN이상	23.96kN이상	기존 제품대비 동등한 성능을 확보

가. 유압캘리퍼 특성 시험(B7)

(1) 유압캘리퍼 시작품 성능시험 결과보고

- 유압캘리퍼 성능향상 요구사항 분석 및 성능 개선 설계 방안 내용이 반영된 시작품에 대한 성능시험을 진행하였으며 성능시험 결과는 아래 그림과 같다.

	[성능시험 결과보고서] 유압 캘리퍼(시작품)	문서번호: RPS-BSE-903-01 작성일자: 2018.05.04 개정이력: Rev.0 페이지: 4 of 5
---	-----------------------------	--

4. 부품 시험 및 검사보고서

프로젝트	도시형 자기부상열차 제동시스템 성능향상 3 단계	검 사 자	전희준
제 작 사	유진기공산업(주)	확 인 자	홍성민
수 량	1 대	승 인 자	김기남
검 정 일	2016.05.04	판 정	합 격(PASS)

【대 표 도】

No	검사항목	검 사 기 준	검사구분	
			측정값	비고
1	외관검사	사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없음 것.	PASS	
2	치수검사	A	0.3/8	PASS
		B	72 ±0.3	72.29
		C	321 ±5	322
		D	292 ±5	293
3	작동시험	최적 상용제동압력(B7)으로 유압캘리퍼를 수 회 작동 후 계통 및 관해 상태를 육안으로 확인한다. 판정기준: 계통 및 관해가 정상 일 것.	PASS	
4	내압시험	100bar 의 압력을 공급하여 1 분 경과 후 누유 상태를 육안으로 검사한다. 판정기준: 용거음, 영구변형, 부품의 파괴 등이 없음 것.	PASS	공급압력 (110bar)
5	누유시험	100bar 의 압력을 공급하여 1 분 경과 후 누유 상태를 육안으로 검사한다. 판정기준: 각 결합부에 누유가 없음 것.	PASS	공급압력 (110bar)
6	압부력시험	상용 물 계통압력(B7) 및 비상계통압력(EB)을 공급하여 유압 캘리퍼에 압부력을 측정한다. 판정기준: B7: 20.67kN 이상, EB: 23.25kN 이상일 것.	PASS	B7(100bar): 20.96kN EB(150bar): 24.17kN

WF-R007-01-값(Rev-4)

유진기공산업

01/12/8

	[성능시험 결과보고서] 유압 캘리퍼(시작품)	문서번호: RPS-BSE-903-01 작성일자: 2018.05.04 개정이력: Rev.0 페이지: 5 of 5
---	-----------------------------	--

5. 부품 시험 및 검사 공정 사진



WF-R007-01-값(Rev-4)

유진기공산업

01/12/8

성능시험 결과보고서

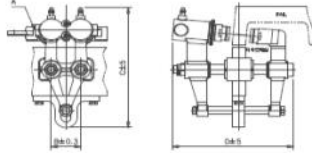
(2) 유압캘리퍼 시제품 성능시험 결과보고

- 유압캘리퍼 성능향상 요구사항 분석 및 성능 개선 설계 방안 내용이 반영된 시작품에 대한 성능시험을 진행하였으며 성능시험 결과는 아래 그림과 같다.

4. 부품 시험 및 검사보고서

프로젝트	도시형 자기부상열차 제동시스템 성능향상 4단계	검 사 자	전 회 권
제 작 사	유진기공산업(주)	확 인 자	황 영 운
수 량	1 ea	승 인 자	김 기 남
검 정 일	2016.12.20 / 12.29(변동형과도측정시험)	판 정	합 격(PASS)

【대 표 도】



No	검사항목	검 사 기 준	검사구분
1	외관검사	사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없을 것.	PASS
2	치수검사	A: G 3/8 B: 72 ±0.3 C: 321 ±5 D: 292 ±5	PASS 72.01 323 293
3	작동시험	최저 작동제동압력(B1)으로 유압캘리퍼를 수 회 작동 후 작동 및 관해 상태를 육안으로 확인한다. 판정기준: 작동 및 관해가 정상일 것.	PASS
4	내압시험	100bar의 압력을 공급하여 1분 경과 후 누유 상태를 육안으로 검사한다. 판정기준: 절거름, 영구변형, 부품의 파괴 등이 없을 것.	PASS 공급압력 (100bar)
5	누유시험	100bar의 압력을 공급하여 1분 경과 후 누유 상태를 육안으로 검사한다. 판정기준: 각 결합부에 누유가 없을 것.	PASS 공급압력 (100bar)
6	압부력시험	상동 을 작동압력(B7) 및 비상작동압력(EB)을 공급하여 유압 캘리퍼에 압부력을 측정한다. 판정기준: B7: 20.67kN 이상, EB: 23.25kN 이상일 것.	PASS B7(170bar): 21.32kN EB(230bar): 23.90kN

5. 부품 시험 및 검사 공정 사진



외관 검사 및 치수 검사(2016.12.20)



작동/내압/누유/압부력 시험(2016.12.20)

WIP-R007-01-검(Rev-4)

유진기공산업㈜

01/12/3

WIP-R007-01-검(Rev-4)

유진기공산업㈜

01/12/3

성능시험 결과보고서

나. 유압캘리퍼 특성 시험(EB)

(1) 유압캘리퍼 시제품 성능시험 결과보고(3차년도)

- 상기 가.(1)항의 유압캘리퍼 성능시험 결과보고서상의 N0.6 압부력 시험 검사결과 참조.

(2) 유압캘리퍼 시제품 성능시험 결과보고(4차년도)

- 상기 가.(2)항의 유압캘리퍼 성능시험 결과보고서상의 N0.6 압부력 시험 검사결과 참조.

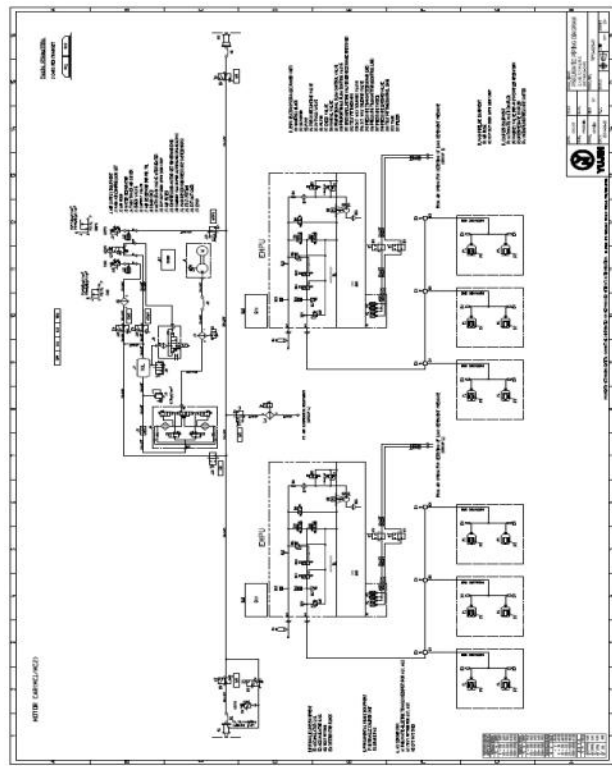
5-4. 제작사양서

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
제품 사양서	좌/우 15도 이내일 것	좌/우 15도	기존 제품대비 센터링 성능시험항목을 추가

가. 제품 사양서

(1) 준고속 차량의 요구사양 분석

- 차량의 요구사양 분석통한 제동시스템 설명서 및 관련 결과물은 아래 그림과 같다.



제동설명서 및 Piping diagram

 YUJIN	YUJIN MACHINERY LTD. HALLIGHT OF PRODUCTS AND CENTER TEL: 40-51-406-4502 FAX: 40-51-806656	本社営業：海峽東洋 本社営業：アジア東南部 本社営業：MENA-Middle East 本社営業：中国	本社営業：RPO-505-03 本社営業：new 本社営業：2014-07-10 本社営業：中国
---	--	--	---

다음과 같이 F_{getid} 함수를 정의한다.

외형상 외형지속 실험:				
H_{AB}	1	1	1	1
외형지속상 외형지속 실험:				
H_{AB}	2	2	2	2

F ₂ 株	n	F ₂ 株の F ₂ 株 a.b.w								(I)
		株 A1	株 A2	株 B2	株 B1	-	-	-	-	
高	11.111	11.111	11.111	11.111						44.44 (37)
低	14.722	14.722	14.722	14.722						58.89

B.D	F_FB=ISW										
	McA1	McA2	McB1	McB1	-	-	-	-	-	-	(2)
高力	0.29	0.29	0.29	0.29							1.11
中力	0.29	0.29	0.29	0.29							1.11

(m/s²)

[illegible][illegible]

F_TR	n	IF_FB=F_ED+F_R+F_G
실험1	44.44	44.44
실험2	44.44	44.44
실험3	44.44	44.44
실험4	44.44	44.44
실험5	44.44	44.44
실험6	44.44	44.44
실험7	44.44	44.44
실험8	44.44	44.44
실험9	44.44	44.44
실험10	44.44	44.44
실험11	44.44	44.44
실험12	44.44	44.44
실험13	44.44	44.44
실험14	44.44	44.44
실험15	44.44	44.44
실험16	44.44	44.44
실험17	44.44	44.44
실험18	44.44	44.44
실험19	44.44	44.44
실험20	44.44	44.44
실험21	44.44	44.44
실험22	44.44	44.44
실험23	44.44	44.44
실험24	44.44	44.44
실험25	44.44	44.44
실험26	44.44	44.44
실험27	44.44	44.44
실험28	44.44	44.44
실험29	44.44	44.44
실험30	44.44	44.44
실험31	44.44	44.44
실험32	44.44	44.44
실험33	44.44	44.44
실험34	44.44	44.44
실험35	44.44	44.44
실험36	44.44	44.44
실험37	44.44	44.44
실험38	44.44	44.44
실험39	44.44	44.44
실험40	44.44	44.44
실험41	44.44	44.44
실험42	44.44	44.44
실험43	44.44	44.44
실험44	44.44	44.44
실험45	44.44	44.44
실험46	44.44	44.44
실험47	44.44	44.44
실험48	44.44	44.44
실험49	44.44	44.44
실험50	44.44	44.44
실험51	44.44	44.44
실험52	44.44	44.44
실험53	44.44	44.44
실험54	44.44	44.44
실험55	44.44	44.44
실험56	44.44	44.44
실험57	44.44	44.44
실험58	44.44	44.44
실험59	44.44	44.44
실험60	44.44	44.44
실험61	44.44	44.44
실험62	44.44	44.44
실험63	44.44	44.44
실험64	44.44	44.44
실험65	44.44	44.44
실험66	44.44	44.44
실험67	44.44	44.44
실험68	44.44	44.44
실험69	44.44	44.44
실험70	44.44	44.44
실험71	44.44	44.44
실험72	44.44	44.44
실험73	44.44	44.44
실험74	44.44	44.44
실험75	44.44	44.44
실험76	44.44	44.44
실험77	44.44	44.44
실험78	44.44	44.44
실험79	44.44	44.44
실험80	44.44	44.44
실험81	44.44	44.44
실험82	44.44	44.44
실험83	44.44	44.44
실험84	44.44	44.44
실험85	44.44	44.44
실험86	44.44	44.44
실험87	44.44	44.44
실험88	44.44	44.44
실험89	44.44	44.44
실험90	44.44	44.44
실험91	44.44	44.44
실험92	44.44	44.44
실험93	44.44	44.44
실험94	44.44	44.44
실험95	44.44	44.44
실험96	44.44	44.44
실험97	44.44	44.44
실험98	44.44	44.44
실험99	44.44	44.44
실험100	44.44	44.44

圖 10-4-2

[illegible]

유형기 종산영(부) / 재출판제 1회

© 1998 JGIM

PAGE: 16 / 29

	[기술 검토서] 유압 제동 시스템 제안 설명서	문서번호 : RTE-13-0770 작성날자 : 2013-07-14 개정이력 : Rev.A 페이지 : 5 / 16
---	--	--

1. 목적

본 문서는 자기부상열차에 적용되어 있는 전압 및 주입률 이용한 제동 시스템을 보다 안정적으로 운용하기 위해서 기존열차 전압 제어 방식에서 전기 규압 동력 장치("Electro Hydraulic Power Unit" 이하 "EHPU"라 함)를 이용한 규압 제어 방식의 제동 시스템으로 대체하기 위해 작성된 문서이다.

2. 현황

2.1 차량 구성

자기부상 열차는 [그림 1] 과 같이 구성되어 있으며 공압 제어 방식의 제동 장치는 Mc1 및 Mc2에 각 1set씩 설치되어 있다.



그림 1 자기부상열차 차량구성 상태

2.2 시스템 블록 다이어그램

기존 적용되어 있는 제어 시스템은 [그림 2] 에서와 같이 1set의 공압 제동 장치로 2개의 공압압 변환기를 통해 4개의 유압 릴리프를 제어하는 시스템으로 설계되어 있다.



그림 2 기존 제어시스템 블록 다이어그램

WF-007-01-22 (Rev-4)

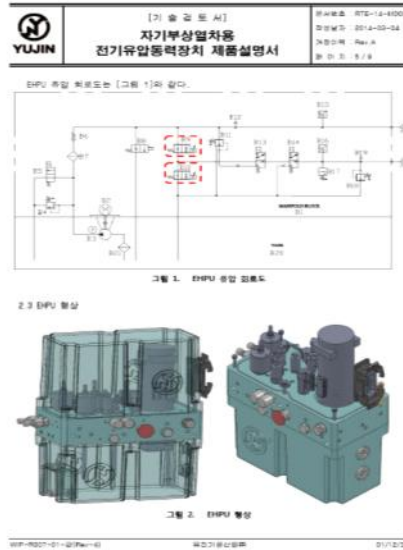
유전기공산업부

01/12/3

제동계산서 및 유압 제동시스템 제안 설명서

(2) 기본설계

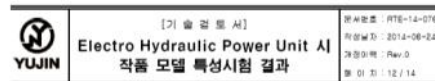
- 유압제동장치에 대한 기본설계 관련 결과물은 아래 그림과 같다.



전기유압동력장치 제품설명서



유압제동장치 및 제어장치 시제품



3.3 일렉트릭 제어 가능 확인

ENPU는 시스템 요구사항에 따라 Stepped / Proportional 제어가 선택적으로 제어 가능해야 하기 때문에 시제품 모델에 대하여 기능 구현 여부에 대한 확인 시험을 진행하였다.

시험 결과 시제품에 적용된 2종의 제어모드는 Stepped / Proportional 제어 가능 구현이 가능하여 시험 결과 그래프는 [그림 8], [그림 9]와 같다.

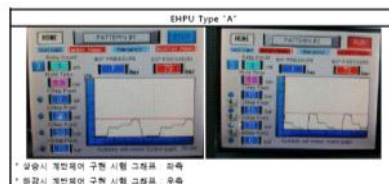


그림 8. Stepped 제어 구현 시험 결과 그래프

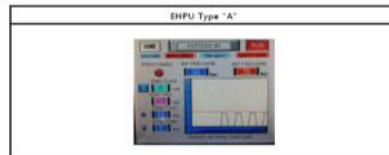


그림 9. Proportional 제어 구현 시험 결과 그래프

추가 사항으로 본 시험이 시제품에 대한 기능 구현을 위한 진행될 시험으로 주입 시스템에 대한 제어 특성에 대한 검토를 하기에는 부족하여, 향후 BCU 및 역주액이터

시제품 모델 특성시험 결과

(3) 유압제동장치 시제품 제작

- 유압제동장치 시제품 제작상태는 아래 그림과 같다.



유압제동장치 시제품

(4) 유압제동장치 성능시험 보고서

- 유압제동장치(전기유압동력장치) 시제품에 대한 성능시험 결과보고서는 아래 그림과 같다.

[시험 결과 보고서]

문서번호 RTE-14-1500

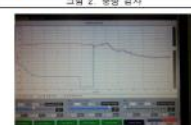
작성일자 2014-11-14

개정일자 Rev.B

페이지 5 / 6

자기부상열차용 전기유압동력장치 성능시험 결과 보고서

순번	시험 항목	시험 방법	시험 결과
5	주입 공압 및 순기 시험	포화에 전압을 공급하여 35 ± 5 s 이내에 압력 게이지(MPI)의 압력이 140 ± 5 bar에 도달할 것. 수동 펌프 밸브를 작동하여 압력 게이지(MPI)의 압력을 감하시켜 오차를 측정시키고, 압력 게이지(MPI)의 압력이 10 ± 2 s 이내에 140 ± 5 bar에 도달할 것.	양호 140.6 bar 38 s
6	누출 시험	포화에 전압을 공급하여 약 100 bar 이상의 압력을 형성하고, 포화의 전압을 차단하여 1 분간 안정화 시간을 갖고 2 분간 2 bar 이상의 압력 감하가 발생하여 줄 것.	양호 1.69 bar 순기 압력 130.30 1분 안정화 134.22 bar 2분 경과 132.63 bar
7	수동 펌프 시험	여과필터이후의 압력(MPI)은 최고 압력 도달 후 60 s 이후 10 bar 이상 감하되지 않아야 하며, 2분 이내 5 bar 이상 감하되지 않을 것.	양호
8	비상 상용 계동 시험	수동 펌프 밸브를 작동하였을 때 압력 게이지의 압력은 1 bar 이하일 것.	양호
9	보통 계동 시험	포화에 전압을 공급하여 140 ± 5 bar의 압력을 형성하고, 비상, 상용 계동 밸브에 전압을 공급하여 압력 계단 밸브(MPI)를 100 ± 5 bar로 설정할 것. 포화에 전압을 공급하여 140 ± 5 bar의 압력을 형성하고, 비상, 상용 계동 밸브에 전압을 공급하여 압력 계단 밸브(MPI)가 100 ± 5 bar의 압력을 형성할 것.	양호 101.02 bar
10	완해 시험	포화에 전압을 공급하여 140 ± 5 bar의 압력을 형성하고, 보통 계동 밸브에 전압을 공급하여 압력 계단 밸브(MPI)를 40 ± 5 bar로 설정할 것. 포화에 전압을 공급하여 140 ± 5 bar의 압력을 형성하고, 보통 계동 밸브에 전압을 공급하여 압력 계단 밸브(MPI)가 40 ± 5 bar의 압력을 형성할 것.	양호 40.72 bar
11	불연계 시험	완해 밸브에 전압을 공급하여 압력 게이지(MPI)의 압력이 1 bar 이하인지 확인한다.	1.52 bar
12	내전압 시험	DC 500 V MEGA-ohm TESTER로 도전부와 절체 사이의 저항을 측정하였을 때 저항 값이 10 MΩ 이상일 것.	양호
13	루트 시험	상용 주파수의 AC 1500 V를 도전부와 절체 사이에 1분간 가압하였을 때 이상이 없을 것.	양호
14	살수 시험	KS R 9213 (절도 차량 부품 — 고온 및 저온 시험 방법)에 따라 시험을 실시하여 이상이 없을 것.	양호
15	전동 시험	KS V 8011의 규격에 따라 시험을 실시하여 이상이 없을 것.	양호
16	전동 시험	KS R 9144 2호 5 (절도 차량 부품의 전동시험 방법)에 따라 시험을 실시하여 이상이 없을 것(노출물까지 진공 설계변경이 완료 제품의 경우 기 시험 보고서로 대체).	양호

[시험 결과 보고서]		
YUJIN 자기부상열차용 전기유압동력장치 성능시험 결과 보고서		
문서번호: RTE-14-1500 작성일자: 2014-11-14 개정일자: Rev.B 페이지: 6 / 6		
4. 시험 및 검사 결과사진		
 		
 		
 		

WIF-R007-01-01(Rev-4)

유진기공산업

01/12/3

WIF-R007-01-01(Rev-4)

유진기공산업

01/12/3

전기유압동력장치 성능시험 결과보고서

(5) 유압제동장치 제품사양서

- 유압제동장치(전기유압동력장치) 제품사양서(제품규격서)는 아래 그림과 같다.

4. 검사 및 시험

시험 책임자는 VDE 안전 규정을 숙지하고 있어야 한다. 시험 결과는 시험 보고서에 기록한다. 시험 결과는 아래에 기재되어 있으며 자동화 시험 장치에서 수행되어야 한다. 전기유압동력장치(EHPU)가 정상적으로 설치되었는지 확인한다.

[주요]

DC 모드의 유압 사이클은 15%(53)를 초과하지 않아야 한다. 즉 최대 가동 시간을 10분 간 90초 이내여야 한다.

4.1 검사

4.1.1 검사 항목

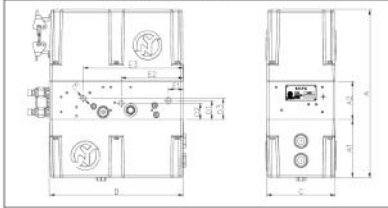
4.1.1.1 외관 검사

- 감도알은 사용상 하로만 쏘, 녹, 오손과 변형이 없어야 한다.
- 도장면 손상 도장 규격서의 기준을 만족해야 한다.

4.1.1.2 치수 검사

- 다음 치수를 만족해야 한다.

표 3. 치수 검사 기준



WPF-R007-01-01(Rev-4)

유압제어장치

01/12/3

여 압력이 감지되는지 확인한다.

②압력 게이지(MG1, MG2)의 압력은 1 bar 이하이어야 한다.

4.2.1.4 비상, 상용 작동 시험

4.2.1.4.1 설정

①모터에 전원을 공급한다.

②압력 게이지(MG1, MG2)의 압력을 확인한다.

③비상, 상용 작동 밸브에 전원을 공급한다.

④압력 제한 밸브(mb)의 조정 스크류로 압력을 100 + 5 bar 로 설정한다.

⑤압력 제한 밸브(mb) 조정 후 조정 스크류를 고정한다.

⑥압력 제한 밸브(mb)의 압력은 5 bar 강격으로 조정한다.

4.2.1.4.2 시험

①모터에 전원을 공급한다.

②압력 게이지(MG1, MG2)의 압력을 확인한다.

③비상, 상용 작동 밸브에 전원을 공급한다.

④비상, 상용 작동 밸브의 압력 제한 밸브(mb)의 설정 압력 100 + 5 bar 까지 강하 되는지 압력 게이지(MG1, MG2)를 확인한다.

4.2.1.5 보충 작동 시험

4.2.1.5.1 설정

①모터에 전원을 공급한다.

②압력 게이지(MG1, MG2)의 압력을 확인한다.

③보충 작동 밸브에 전원을 공급한다.

④압력 제한 밸브(mb)의 조정 스크류로 압력을 40 + 5 bar 로 설정한다.

⑤압력 제한 밸브(mb) 조정 후 조정 스크류를 고정한다.

WPF-R007-01-01(Rev-4)

유압제어장치

01/12/3

전기유압동력장치 제품규격서

(6) 유압제어장치 시제품 제작

- 유압제어장치 시제품 제작상태는 아래 그림과 같다.



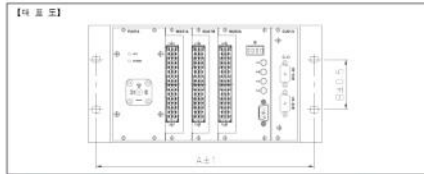
유압제어장치 시제품

(7) 유압제어장치 성능시험 보고서

- 유압제어장치 시제품에 대한 성능시험 결과보고서는 아래 그림과 같다.

	[시험 결과 보고서]		문서번호 : RTE-15-0610
	자기부상열차용		작성일자 : 2015-03-21
	제동제어장치(BCU)		개정일자 : Rev.A
	성능시험 결과 보고서		페이지 : 5 / 6

3. 시험 내용 및 결과



No	검사항목	검 사 기 준	검사결과
1	외형 검사	사용 상 하로문 총, 복, 후송 및 변형이 없을 것	양호
2	차수 검사	Altitude: 251 ± 1.0 Wind: 57.1 ± 0.5	양호
3	중량 검사	-	5.155 kg
4	특성 성능 시험	기본 차량의 제어신호와 제동제어장치 및 입출력이 정상적으로 작동해는지 확인한다.	양호
5	상간접압 분하 시험	상간, 상간접압 16.8V~25.4V에서 제동제어장치의 입력과 출력 확인한다.	양호
6	온도시험	상온(보통온도: 25℃~40℃) / 제동제어장치의 입력과 출력을 확인한다.	양호
7	EMI/EMC 시험	Electrostatic Discharge (IEC 61000-4-2) Conductive Noise (EN61011) Radiation Emission (EN61011) Radio Frequency Fields Immunity (IEC 61000-4-3) Electrical Fast Transient/Burst Immunity (IEC 61000-4-4) Surges & Interruptions of Voltage Supply (IEC 61000-4-6) Conducted Disturbance Immunity (IEC 61000-4-5)	3차년도 시험 예정
8	절연저항시험	도전부와 케이스사이를 DC500V Meg-ohm Tester로 저항을 측정하고, 1 MΩ 이상일 것	양호
9	내전압 시험	1분간 도전부와 케이스사이에서 AC 500V의 상용주파수가 적용 되었을 때, 결함이 없을 것	양호
10	진동시험	KS R 9144 철도차량부품의 진동시험 방법 1종 1A에 준하여 시험 한 후에 성능시험을 하였을 때 이상이 없을 것	양호

WF-R007-01-01(Rew-4)

유진기공상업

01/12/3

	[시험 결과 보고서]		문서번호 : RTE-15-0610
	자기부상열차용		작성일자 : 2015-03-21
	제동제어장치(BCU)		개정일자 : Rev.A
	성능시험 결과 보고서		페이지 : 5 / 6

4. 시험 및 검사 공정사진



WF-R007-01-01(Rew-4)

유진기공상업

01/12/3

유압제어장치 성능시험 결과보고서

(8) 유압제어장치 제품사양서

- 유압제어장치 제품사양서(제품규격서)는 아래 그림과 같다.

	[제 품 규 격 서]		문서번호 : RPD-15-0155
	제동제어장치(BCU)		작성일자 : 2015-03-03
			개정일자 : Rev.0
			페이지 : 4 / 13

1. 적용범위

본 규격서는 도시형 자기부상열차에 적용하여 유압제동장치를 제어하는 제동제어유니트(Brake Control Unit 이하 'BCU'라 함)에 대하여 적용한다.

2. 적용규격

2.1 한국공업규격(KS)

A 0006:2001 시험 장소의 표준 상태
R 9113:2007 철도차량부품 - 고온 및 저온 시험방법
C 0210:1996 환경시험방법 - 전기·전자 - 온도 시험방법
C 0220:1999 환경시험방법 - 전기·전자 - 저온(내한성) 시험방법
C 0221:1999 환경시험방법 - 전기·전자 - 고온(내열성) 시험방법
C 0225:2001 환경시험방법 - 전기·전자 - 온도 변화 시험방법
R 9197:1996 제어기기와 릴레이기, 절연저항 및 내전압
R 9111:2001 철도차량용어 (일반)
R 9156:2002 철도차량용 전자기기와 시험방법
R 9156:2002 전자차량 제어기기와 시험방법

2.2 EMI/EMC 시험 규격

EN 55011: Industrial, scientific and medical equipment. Radio-frequency disturbance characteristics. Limits and methods of measurement.
IEC 61000-4-3 Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test.
IEC 61000-4-4 Electrical Fast Transient / Burst Immunity Test.
IEC 61000-4-5 Testing and measurement techniques - Surge immunity test.
IEC 61000-4-6 Testing and measurement techniques - Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields.

3. 필요조건

3.1 재료

본 장치는 반도체 소자로 구성된 마이크로 컴퓨터 시스템 장치로서 열차의 제동 요구사항을 달성하기 위해 하드웨어(유압제동장치)를 제어하는 소프트웨어 장치이다.

3.2 구조

본 장치는 서브타입(Subrack type)으로 제작되며, 차량 내측 또는 별도의 박스 내부에 장착되는 방식으로 제작되며, 진동, EMI & EMC, 온도, 전압 변동범위 내에서도 안정적으로 작동할 수 있는 구조로 설계 및 제작한다.

3.3 제품 규격

WF-R007-01-01(Rew-4)

유진기공상업

01/12/3

	[제 품 규 격 서]		문서번호 : RPD-15-0155
	제동제어장치(BCU)		작성일자 : 2015-03-03
			개정일자 : Rev.0
			페이지 : 10 / 13

(2) 상간 전압 감차시험

전압 변동(16.8V~25.4V) 시 BCU의 기본성능을 확인하는 시험으로, 성능보증 상간 전압, 16.8V와 25.4V를 번갈아 가며, 각각에 대하여 제동제어장치와 입출력이 정상적으로 작동해는지 확인한다.

(3) 온도시험

주위온도를 성능보증온도의 상한치(40℃)와 하한치(-25℃)의 사이에 두고, 특성 시험과 상간 전압 감차시험을 진행한다.

(4) EMI/EMC 시험

Electrostatic Discharge (IEC 61000-4-2)
Conductive Noise (EN61011)
Radiation Emission (EN61011)
Radio Frequency Fields Immunity (IEC 61000-4-3)
Electrical Fast Transient/Burst Immunity (IEC 61000-4-4)
Surges & Interruptions of Voltage Supply (IEC 61000-4-5)
Conducted Disturbance Immunity (IEC 61000-4-6)
※ EMI/EMC 시험은 외부환경 기구 성적서를 제출한다.

(5) 절연 저항 시험

도전부와 케이스사이를 DC 500V MegTester로 저항을 측정하고, 1 MΩ 이상이어야 한다.

(6) 내전압시험

1분간 도전부와 케이스사이에서 AC 500V의 상용주파수가 적용되었을 때 결함이 없어야 한다.

※ 내전압 시험한 후론 커넥터를 풀고 난 후 시험을 실시해야 한다.

(7) 진동시험

KS R 9144 1종 1A 철도차량부품의 진동시험 방법에 준하여 시험 한 후에 성능시험을 하였을 때 이상이 없어야 한다.

※ 시험은 특별한 지시가 없는 한 KS A0006 (시험장소와 표준상태)에 지정하는 표준온도 15급(20 ± 15℃)으로 한다.

WF-R007-01-01(Rew-4)

유진기공상업

01/12/3

유압제어장치 제품규격서

(9) 시험보고서

- 한국기계연구원의 시험 노선에 운용중인 자기부상열차에 설치된 유압제동시스템에 대한 제동시험보고서는 아래 그림과 같다.



- 77 -



추가1량(MC2 CAR) 유압제동시스템 설치 상태

	[시험 결과 보고서]		문서번호 : RTE-16-0608
	자기부상열차 추가1량		작성일자 : 2016-06-08
	동적 시험 결과 보고서		개정일자 : Rev.A
			페이지 : 4 / 12

1. 적용 범위

본 동적 시험 결과 보고서는 시험 절차서 "RPD-15-0202-자기부상열차 유압제동시스템 동적 시험절차서"에 따라 시험 결과 보고서를 작성할 목적으로 한다.

2. 시험 및 검사 항목

표 1. 시험 항목

구분	실시 일자	실시 여부	비고
상용제동 시험, 공기제동 100% 적용	2016. 06. 02	○	
상용제동 시험, 혼합제동(전기제동 + 공기제동) 적용	2016. 06. 02	○	
비상제동 시험, 마스콘 비상 적용	2016. 06. 02	○	
비상제동 시험, 비상제동 스위치 적용	2016. 06. 02	○	
비상제동 시험, 계동 중 비상제동 적용	2016. 06. 02	○	

[비고]
동적 시험 항목은 전수시험으로 진행하여, 특별히 요구되는 조건이 없을 경우 공
차율 기준으로 시험을 실시한다.
상용제동 및 비상제동 압력은 초도 명상 시험 결과에 따라 변동될 수 있다.

WF-R007-01-공(Rew-4)

유압기동시험장

01/12/3

	[시험 결과 보고서]		문서번호 : RTE-16-0608
	자기부상열차 추가1량		작성일자 : 2016-06-08
	동적 시험 결과 보고서		개정일자 : Rev.A
			페이지 : 6 / 12

3. 시험 내용 및 결과

No	검사항목	검 사 기 준	검사결과
1	상용제동 시험, 공기제동 100% 적용	[구원 1] 및 [표 1]의 시험 결과 참고	양호
2	상용제동 시험, 혼합제동(전기제동 + 공기제동) 적용	[구원 2] 및 [표 2]의 시험 결과 참고	양호
3	비상제동 시험, 마스콘 비상 적용	[구원 3]의 시험 결과 참고	양호
4	비상제동 시험, 비상제동 스위치 적용	[구원 4]의 시험 결과 참고	양호
5	비상제동 시험, 계동 중 비상제동 적용	[구원 5]의 시험 결과 참고	양호

[비고]

WF-R007-01-공(Rew-4)

유압기동시험장

01/12/3

표 2. 상용제동 시험, 공기제동 100% 적용, 시험 차트

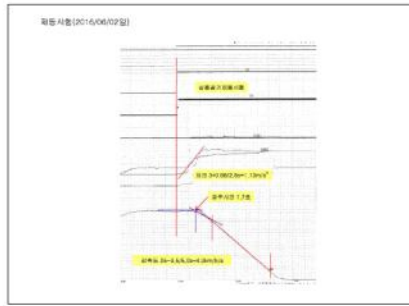
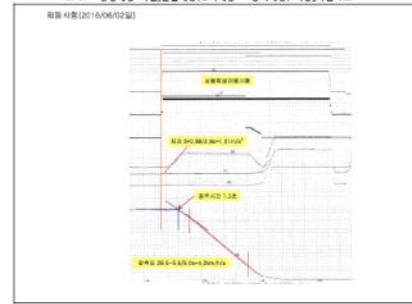


표 3. 상용제동 시험, 혼합제동(전기제동 + 공기제동) 적용, 시험 차트



유압제동시스템 추가1량 동적시험 결과보고서

(11) 제작사양서

- 유압캘리퍼 성능향상 모델 개발과 관련하여 시제품 모델에 대한 제작사양서(제품 규격서) 및 센터링 각도시험 결과는 아래 그림과 같다.

	[제 품 규 격 서] 자기부상열차용 유압캘리퍼	문서번호 : RPD-16-0257 작성일자 : 2016-09-29 개정이력 : Rev.A 페이지 : 5 / 5
1. 적용범위	본 제작 사양서는 도시행 자기부상 성능향상 과제의 일환으로 한국 기계연구원에서 운용되고 있는 시험 차량의 유압캘리퍼에 대한 성능향상 모델 개발과 관련하여 사양서 모델 대하여 적용한다.	
2. 적용규격	DIN EN 1706 Aluminum and aluminium alloys - Castings - Chemical composition and mechanical properties	
3. 필요조건	3.1. 치수 및 형상 치수 및 형상은 제작도면에 의한다.	
3.2. 규격	(1) 형식 : HC32 (2) 실린더 직경 : 32 mm (3) 유효 단면적 : 16,085 cm² (4) 스트로크 : 최대 30 mm (5) 최대 압력(압력) : 25 kN 이상(비상제동시)	

WPF-R007-01-02(Raw-A)

유압기부상열차용

01/12/3

	[제 품 규 격 서] 자기부상열차용 유압캘리퍼	문서번호 : RPD-16-0257 작성일자 : 2016-09-29 개정이력 : Rev.A 페이지 : 5 / 5
5. 검사기준	【도 표 도】	
No	검 사 기 준	검사구분
1	외관검사 사용상에 해로운 흠, 파, 변형 및 조립이 완용감	측정값
2	치수검사 A : 55.5 B : 72 ±0.3 C : 581 ±0.5 D : 292 ±0.5	비고
3	작동시험 최저 상용계동압력(10)으로 부압캘리퍼를 수 회 작동 후 계동 후 관의 상태를 확인으로 확인한다. 판정기준 : 계동 후 유압이 정상 작동	
4	내압시험 100bar의 압력을 공급하여 1분 경과 후 누출 상태를 확인으로 검사한다. 판정기준 : 누출 없음, 유압변형, 부품의 파손 등이 없을 것	
5	누출시험 100bar의 압력을 공급하여 1분 경과 후 누출 상태를 확인으로 검사한다. 판정기준 : 각 압입부에 누출이 없을 것	
6	압부력시험 상용 계동압력(57) 및 비상계동압력(25)을 공급하여 유압 릴리프에 압부력을 측정한다. 판정기준 : 27.25kN이상, 25.25kN 이상일 것	
7	센터링 각도 측정시험 유압 캘리퍼의 Safety를 제거한 상태에서 인위적으로 외력을 인가한 후 제거시 센터링 되어야 하며, 이 때 센터링이 가능한 각도를 측정한다. 판정기준 : 좌/우 15도 이내일 것	

WPF-R007-01-02(Raw-A)

유압기부상열차용

01/12/3

유압캘리퍼 제품규격서



	[성능시험 결과보고서] 유압 캘리퍼(시제품)	문서번호: RPS-17-0062 작성일자: 2017.01.17 개정이력: Rev.1 페이지: 5 of 6
--	---	--

No	검사항목	검 사 기 준	검사구분
			측정값
7	센터링 각도 측정시험	유압 캘리퍼의 Safety block 을 제거한 상태에서 인위적으로 외력을 인가한후 제거시 센터링 되어야 하며, 이 때 센터링이 가능한 각도를 측정한다. 판정기준 : 좌/우 15도 이내일 것.	PASS 좌/우 : 15도

센터링 각도측정시험 결과 및 관련사진

6. 도시형 자기부상 열차 성능향상 및 준고속 차량 사양 개발

6-1. 기존 차량시스템 성능향상 검토 및 적용

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
장애사항 발생 빈도 정리	분석보고서 1건	분석보고서 1건	시범노선운행차량 신뢰성 향상

가. 장애사항 발생 빈도 정리

(1) 장애사항 발생 빈도 정리

(가) 각 편성별 운행거리

- 아래 결과는 사전 점검 및 시험 등을 위한 주행은 제외한 정식 다이아 운행 누적 거리 이다.

[2017년 1월 31 일 기준]

편성	1호 편성	2호 편성	3호 편성	4호 편성	계
16년 02월 주행거리	3,226.9	2,257	2,360.7	3,269.6	11,114
16년 03월 주행거리	3,739.3	3,434.3	3,519.7	2,732.8	13,426
16년 04월 주행거리	2,372.9	3,775.9	3,257.4	3,599	13,005
16년 05월 주행거리	2202.1	3672.2	2464.4	5087.4	13,426
16년 06월 주행거리	3440.4	2848.7	2610.8	4093.1	12,993
16년 07월 주행거리	3373.3	3226.9	2745	3965	13,310
16년 08월 주행거리	3056.1	2946.3	3159.8	3861.3	13,024
16년 09월 주행거리	3196.4	2897.5	4306.6	2580.3	12,981
16년 10월 주행거리	4093.1	3050	3123.2	3782	14,048
16년 11월 주행거리	4392	2421.7	4465.2	3178.1	14,457
16년 12월 주행거리	4373.7	2427.8	4550.6	3586.8	14,939
17년 01월 주행거리	4,160	1,891	5,179	3,575	14,805
총 누적 주행거리[km]	41,626.2	34,849.3	41,742.4	43,310.4	161,528

※ 10월 20일부터 운행시간 변경(09:00 ~ 18:00 => 09:00 ~ 19:00)

(나) 월별 탑승객 수

- 탑승객 인원수는 게이트 통제 설비의 카운터에 의해 집계된 인원수로서 101억에서 탑승한 인원수를 계산하였다. 탑승객들은 대부분 왕복 탑승을 하므로 실제 탑승 인원은 산출된 인원수 보다 더 많을 것으로 예상 된다.

[1월 31 일 기준]

월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월
탑승객수[명]	70,833	69,569	82,943	85,937	74,143	78,175	101,250

월	9월	10월	11월	12월	1월	계
탑승객수[명]	78,919	69,940	53,723	58,019	60,108	883,559

(2) 기존 차량시스템 성능 향상

6-2. 성능향상 종합 성능시험 지원

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
시험 차 성능 개선 현차 지원	보고서 1건	보고서 1건	성능향상 종합 시험 시 현차 적용 지원

가. 시험 차 성능 개선 현차 지원

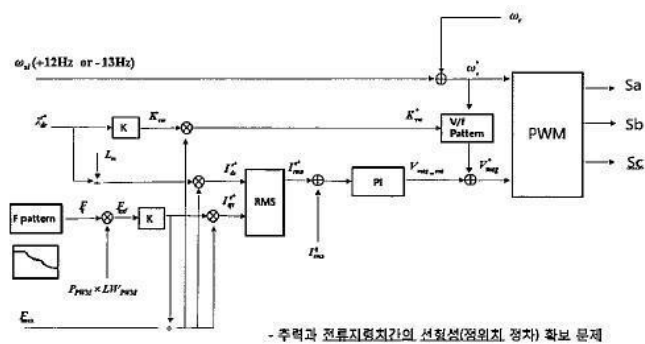
(1) 추진 소비전력 저감을 위한 벡터제어 가능 유무 현차 시험

(가) 서론

- 자기부상열차의 추진 제어는 리니어 모터 특성상 부상용 레일 기준으로 슬립 주파수에 따라서 흡인력 또는 반발력이 발생 된다. 종래에는 부상제어계의 외란을 줄이기 위하여 일정 흡인력이 발생하는 슬립주파수를 고정 시켜 제어 하였다. 본 시험은 추진 시 소비전력량 저감을 위하여 벡터제어 가능 유무를 판단하기 위하여 시험을 실시하였다.

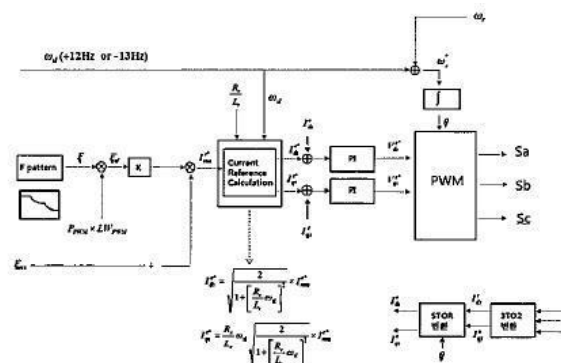
① 제어 블록도

㉠ 슬립주파수 일정 스칼라 제어



슬립주파수 일정 스칼라 제어

④ 슬립주파수 일정 벡터 제어



슬립주파수 일정 벡터 제어

(나) 시험지원 내용

① 역행 시 제어 깨짐 현상

- 기존 스칼라 제어 적용 시 DAMP 비율을 벡터 제어 적용 시 DAMP 비율로 조절

② 초기 기동 시 전류 튀는 현상

- 전류 제어기 Feedback 성분 제거

③ 회생 시 제어 깨짐 현상

- 전류제어용 게인 값 수정

(2) 저속도에서 기계 제동 체결 가능성 시험

(가) 서론

- 차량의 승차감 향상 및 기계 제동 시 제동 패드 소모량을 최소로 하기 위하여 저속도에서 기계 제동 체결 가능성을 시험 한다.

(나) 기존 상태

- 기계연 내에서 운행하는 자기부상열차의 경우, ECU의 ON/OFF와 상관없이 6km/h정도에서 BEA(Brake effect achieved), F0(Fade out)이 바뀌면서 역상제동에서 블랜딩으로 모드전환이 일어나고, 2km/h정도에서 BEA(Brake effort achieved), BCV(Brake current valid)가 바뀌면서 블랜딩에서 순수 기계 제동으로 모드전환 됨.
- 그러나 최저 속도에서 기계 제동 체결 시 다음 사항을 검토 필요
- ① 역상 제동 패턴 Linear pattern 저감 시: 차량 정지 → 반대방향 가속 발생
- ② 역상 제동 패턴 Linear pattern 저감 게이팅 차단 시
 - 차량 정지 시 급격한 정지 저크 발생
 - 역상제동 F0 시작 직후 → 정지까지 불안정 블랜딩 Total 제동에 의한 저크 발생
- ③ 역상 제동 패턴 변경 시: 별도 패턴 검토 필요
 - 역상 패턴 변경 시 total 제동 불안정 및 저크 발생

(다) 시험지원 내용

- 추진제동 알고리즘을 변경하여, 블랜딩 시작 시점을 현 6km/h에서 4/3/2/1 km/h로 변경시험

(3) 추진시스템 소비전력 저감 시험

- 자기부상열차의 소비 전력중 약 70%를 차지하는 추진시스템의 개선은 차량 전체 소비전력에 큰 영향을 미친다. 따라서 시험차(기계연 내)를 이용하여 추진시스템의 소비전력 저감을 위한 시험지원을 실시하였다.

(가) 시험방법 : 현재 탑재되어 있는 스칼라(일정 주파수 제어)제어를 벡터제어 알고리즘을 적용하여 공극 변동에 따른 추진전력 소모량 측정 시험을 실시한다.

- ① 공극변동 : 8, 9, 10, 11 mm
- ② 추진조건 : P3-B6, P3-B7, P4-B6, P4-B7
- ③ 최고속도 : 35km/h

(나) 지원내용

- ① 추진제어장치내 벡터제어 알고리즘 포팅
- ② 공극 변동을 위한 부상제어 공극 변동

6-3. 준고속 자기부상열차 차량 사양 개발

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
준고속 자기부상열차 차량사양 확정	보고서 1건	보고서 1건	준고속 자기부상열차 사양 개발

가. 준고속 자기부상열차 차량사양 확정

(1) 준고속 자기부상열차 차량사양 조사

(가) 서론

- 본 문서는 준고속 자기부상열차 차량 사양을 검토를 위하여 해외 제작사(일본)이 미국 콜로라도에 제안한 차량 사양에 대하여 검토 한다.

(나) 검토조건

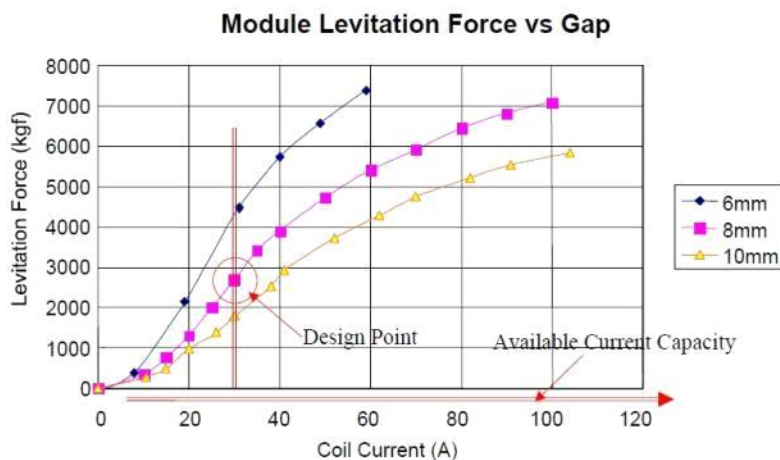
기온	-10℃ ~ 40℃
풍속	72 kph
가속도	5.76kph/sec
차량속도	250 kph(최대)
구배등판	최대 10%
곡선통과	150 mR

(다) 차량 사양

길이	24.3m
길이	3.2m
높이	3.65m
승객수/량	103seat
열차 편성	2량/편성
중량/량	44톤
추진	10 LIM/car
Bogie System	5 modules/car
가선전압	3000VDC
운전	자동

① 부상

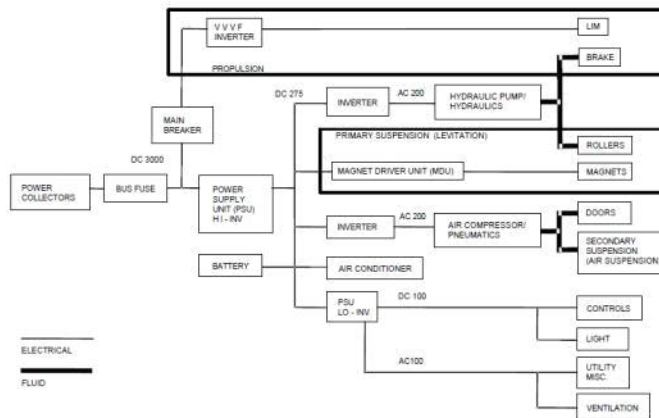
- 전기 공극 : 8mm
- 기계공극 : 6mm
- 흡인력 : 1,040kgf/m or 2,600 kg-f/module
- 입력전압 : 275VDC



공극 대비 부상력

② 전원공급

- 입력전압 : 3,000VDC
- 제어전원 : 100VDC
- 부상/에어컨 : 275VDC
- 기타 : 100VAC , 60Hz



전원 공급도

③ LIM 사양

- 추진력 : 7,000N/LIM
- 극수 : 3상, 10극
- 최대전류 : 386A
- 2차 도체 : 4mm(AL)
- 공극 : 12 ~ 15mm

(2) 준고속 자기부상열차 개념 및 기본설계

(가) 차량 형식 및 기본 성능

아래의 표는 기 검토된 차량 사양에 대한 비교 검토 표이다.

항 목		기 검토 사양	변경 검토 안	비 고
차량형식		경량 금속 구조체	상전도 흡인식	
열차편성		6량1편성	2량1편성	
궤간		1,850mm	1,700mm	
가선 공칭 전압		AC 25kV	DC 3,000V	
전차선 방식		가공 단선식 커티너리	제 3 궤조	
차량	공차	35톤/량	37.3톤/량	
	만차	41.5톤/량	44톤/량	
설계최고속도		200 km/h		
최고 운행속도		180 km/h		
최대 가속도		2.0 km/h/s	3.0 km/h/s	
감속도	사용	3.0 km/h/s	3.0 km/h/s	
	비상	4.0 km/h/s	4.0 km/h/s	
공극	부상	10 mm	10 mm	
	추진	11 mm	11 mm	
속도제어		가변전압 가변주파수(VVVF) 인버터에 의한 제어		
제동방식		회생제동 병용, 전기 지령식 유압 제동		

(나) 준고속 자기부상열차 대차

아래의 표는 기 검토된 대차 사양에 대한 비교 검토 표이다.

항 목	기 검토 사양		변경 검토 안		비 고
대차형식	경량 금속 구조체 , 공기 스프링 지지				
수 량	6대/량		5대/량		
대차 종류	TC 1,6	부상, 안내전자석	1,5	안내	
	TC 2,3,4,5	부상, 기초제동			
	M 1,6	LIM, 부상, 안내	2,3,4	기초제동	
	M2,3,4,5	LIM, 부상, 기초제동			
기초제동	레일 압착				
비상장치	비상 착지 휠, 착지 스키드, 배장기				
조향방식	조향실린더		링크식 조향		

(다) 추가 검토 사항

- ① 차량 : 차량 속도가 150 km/h 이상 되므로 중량 분포 및 공기 흐름에 대한 검토가 이루어져야 한다. 자기부상열차의 지지 방식이 전자석에 의한 지지 방식으로 외부 충격(바람)에 민감하므로 공기 흐름에 대한 해석이 이루어져야 하며, 기기 배치 시 차량 좌우/길이 방향의 중량 분포가 균일하게 이루어 져야 하며, 주행저항, 하부 기기 보호를 위하여 막음처리가 고려 되어야한다.
- ② 추진 시스템 : 선형 유도전동기는 구조상 앞/뒤 부분에서 End Effect 효과에 의해 부상 시스템에 외란을 발생 시킨다. 따라서 사전 시험을 통하여 발생하는 End Effect 영향을 정량적으로 산출 되어야 한다. 또한, 입력전압 3,000V로 가감속 성능을 만족하기 위해서는 대용량의 추진 인버터가 필요하다. 작은 공간 내 설치를 위해서는 집적화/최적화 된 VWF Inverter 설계가 되어야 한다.
- ③ 부상/안내 시스템 : 안정적인 부상을 유지하기 위해서는 부상용전자석 설계, 부상제어기의 신뢰성 확보가 이루어져야 한다. 속도 증가에 따른 전자석의 Drag Force는 부상력을 저감 시키는 요소로 속도에 따른 Drag Force를 계산하여야 하며, 최적의 설계로 중량 절감이 반드시 필요하다. 또한 차량의 안정성을 확보하기 위하여 안내 전자석이 필요하다. 1, 5번 대차에 안내 전자석 설치를 위해서는 대차 구조의 면밀한 검토가 필요하며 좌/우측을 연결하는 Anti-Roll Beam의 구조도 검토 되어야 한다.
- ④ 집전장치 : 가장 큰 문제점으로 100km/h 이상 차량에 3궤조 방식의 집전장치는 적용된 사례가 없다. 만약 기 검토된 카테너리 방식을 사용할 경우 회귀 전류를 위해 상부에 두 개의 카테너리가 설치되어야 한다. 즉 일반 철제 차량의 경우 레일과 차량의 접촉을 통하여 전류가 안정적인 회귀 되지만 자기부상열차는 플로팅 되므로 카테너리 집전 방식은 여러 가지 제약 조건이 있다.
- ⑤ 차량 내 전원 공급 장치 : 집전장치로부터 수전 후 차내 필요전원 공급을 위하여, 추진 제어전원장치, 부상제어 전원 공급 장치, 실내설비 전원 공급 장치, 제어용 전원 공급 장치, 비상시 백업용 배터리 전원 공급 장치 등 가장 합리적인 방식의 차내 전원 공급 구분이 필요하다.

(라) 결론

- 이상과 같이 중저속용 자기부상열차와 달리 준고속 자기부상열차는 세계 어디에도 접근한 사례가 없어 독자적인 개발이 필요하다. 따라서 예상되는 기술적인 현안 사항에 대하여 장기적으로 면밀한 검토가 필요하다.

7. 비상운전 속도향상을 위한 롤러 개발 및 성능시험

7-1. 롤러시스템 시제품 실사 주행 시험

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
성능시험을 위한 현차 적용	롤러 시스템 32set 시제품 제작 및 현차적용	100 %	테스트 베드에서의 성능이 실제 현차에 장착해서도 나오는지 확인
현차 적용 연계 시험	- 현차장착 35km/h 주행속도 시험 - 현차장착 롤러 내구성 및 소음시험	100 %	- 견인 속도도 향상과 소음 절감효과 - 개발된 롤러 시스템 성능 및 내구성 확인

가. 성능시험을 위한 현차 적용

(1) 기존 비상용 롤러와 개발한 롤러 시스템 호환성 확인위한 기존 롤러 분리

(가) 기존의 비상용 롤러 시스템과 개발한 비상용 롤러 시스템의 호환성을 확인하기 위하여 기존의 비상용 롤러 시스템을 분리 하고 개발한 비상용 롤러 시스템을 부착하여 유압 배관의 위치나 장착 위치 등 호환성 여부를 확인하였다.



기존 롤러 시스템 분리작업



기존 롤러 시스템 분리작업



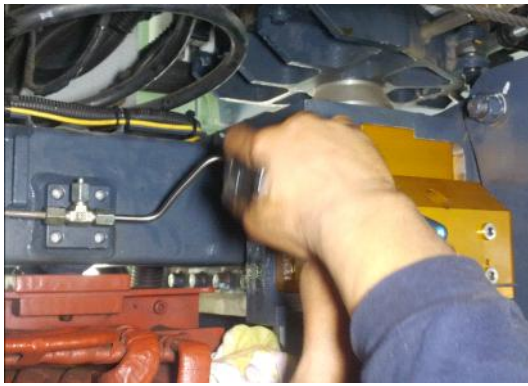
기존 롤러 시스템 분리작업



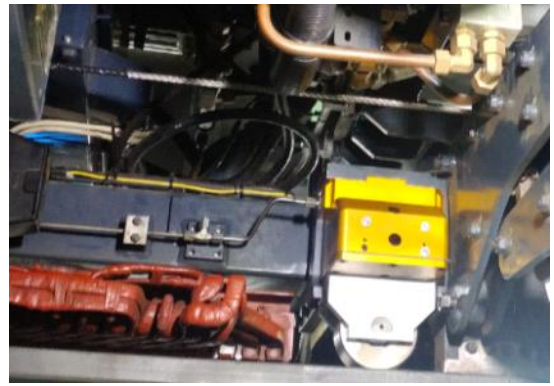
기존 롤러 시스템 분리작업

(2) 연구개발 비상용 롤러 장착

(가) 연구개발 비상용 롤러 조립품을 기존 롤러 시스템을 분리한 위치에 장착하여 유압 배관을 연결한다.



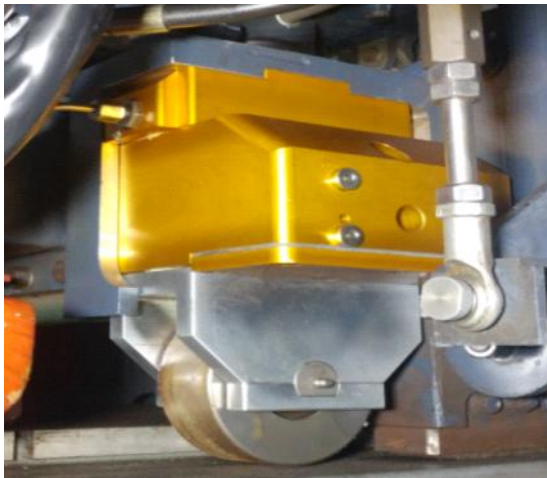
연구개발 비상용 롤러시스템 장착



연구개발 비상용 롤러시스템 장착

(3) 에어 제거 및 롤러 시스템 승강실험

(가) 비상롤러 시스템의 유압실린더 내부의 에어를 제거해주는 작업 후 비상롤러의 승강 및 하강동작을 반복하여 동작이 원활하게 이루어지는지 확인한다. 확인 결과 기존의 롤러 시스템에 비하여 복귀력 향상을 확인 할 수 있었다.



승강



하강

(4) 자기부상열차 시제차량 장착용 롤러 시스템 제작 및 조립

(가) 기존의 비상용 롤러와 개발된 비상용 롤러의 호환성에 문제가 없음을 확인 한 후 시제 차량의 장착용 롤러 시스템 32개 품목에 대한 부품제작을 하였으며, 제작된 부품은 품질 팀에서 전수검사를 실행하였다. 검사에 합격한 품목에 한해서 조립 작업을 실행 하였고, 조립이 완료된 조립품은 단동 테스트를 실행 하였다.



비상롤러 제작 부품



조립완료 및 시험대기

(5) 자기부상열차 비상용롤러 기계연구원 현차 장착 및 시험

- (가) 기존 롤러를 제거하기 전 실내 및 실외의 소음을 측정 한 후 개발한 비상용 롤러를 현차에 장착한다. 기존의 롤러를 제거하고 개발된 비상용 롤러를 장착하고 유압배관을 연결하여 준다. 총 32개 비상용 롤러를 장착하도록 한다.



기존롤러제거



개발품 장착

- (6) 비상용 롤러 현차 장착 후 주행 시험 및 소음 측정 진행

- (가) 20 km/h의 속도로 기존 비상용 롤러 교체 전의 실내 소음과 실외소음을 측정 하고 개발된 비상용 롤러로 교체 후 실내 소음과 실외 소음을 측정 하였다. 또한 최고 35 km/h 이상의 속도에서 실내와 실외 소음을 측정 하였다.

나. 현차 적용 연계 시험

- (1) 비상용 롤러 성능시험은 아래와 같은 항목을 측정 하도록 한다.

시험대상	시험항목	시험명	측정항목
보완 제작한 롤러 시스템 현차 장착 시험	성능향상 과제 시제품 및 한국기계연구원 자기부상열차 시제차량 장착 비상용 롤러	비상용 롤러 주행속도 35km/h 주행시험	기존 롤러 대비 주행속도 평균 값 및 최고값 산출
		비상용 롤러 소음측정시험	소음측정 평균 및 최고값 산출

- (2) 비상용 롤러 성능시험 방법

- (가) 비상용 롤러 교체 전 20 km/h로 주행하여 실내 및 실외 소음을 측정하고 교체 후 20 km/h로 주행하여 실내 및 실외 소음을 측정 하여 비교한다. 또한 최고 속도 35 km/h로 주행하였을 경우 소음을 측정 하도록 한다.



실외 소음측정



실내 소음측정

(3) 비상롤러 시스템 소음 비교

(가) 기존 비상롤러 시스템과 개발된 비상롤러와의 소음을 비교하기 위해 같은 속도로 주행 시 소음측정 결과를 비교한 결과 기존 비상롤러 시스템에 비해 개발된 비상롤러에서의 소음이 1dB가량 감소한 것으로 나타났다.

(4) 비상롤러 시스템 동작 영상촬영

(가) 한국기계 연구원의 시험차량으로 20km/h 과 35km/h 주행 시의 주행상태를 촬영한 결과 기존의 비상롤러에서 발행하였던 롤러가 레일에 밀착되지 않거나 헛도는 현상이 발생하지 않았다.

7-2. 최종 보고서 작성

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
최종 보고서 작성	비상용 롤러 시스템 최종 보고서 작성	100 %	목표 설정 기준 및 이유 작성
유지관리 지침서 작성	비상용 롤러 유지관리 지침서 작성	100 %	비상롤러의 원활한 동작과 유지관리를 위함

가. 최종 보고서 작성

(1) 기존 비상롤러의 문제점

(가) 기존 비상롤러는 최고속도 25km/h 이상 주행이 불가 하였고 진동과 소음이 심하였다. 이를 개선하기 위하여 견인차량 구동용 비상용 롤러를 개발하도록 하였다.

(2) 롤러 구조 설계 진행 후 롤러 시제품 제작

(가) 견인차량 구동용 롤러 개발을 위한 설계 진행을 하였다. 2롤러 구조와 3롤러 구조 설계 완료 후 구조해석을 하였고 시제품을 제작 하도록 하였다.



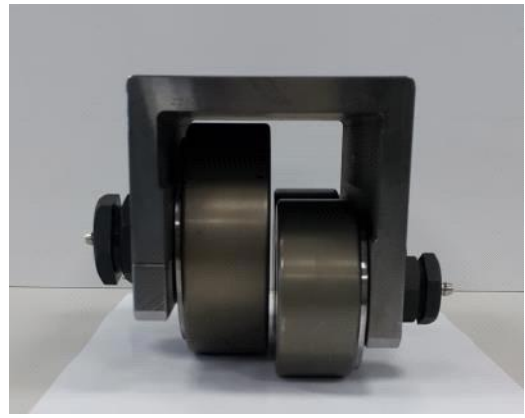
2롤러 시제품(옆)



2롤러 시제품(앞)



3롤러 시제품(옆)

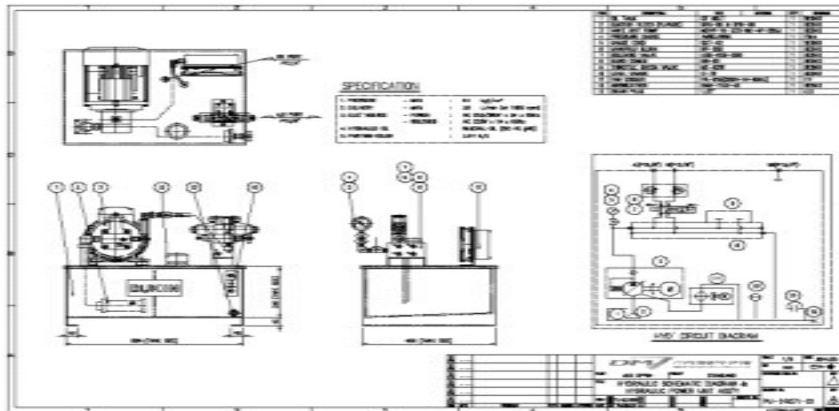


3롤러 시제품(앞)

(3) 차량 구동용 롤러 리프팅 유압시스템 발생장치 개발

(가) 자기부상 개발차량의 비상롤러 장치를 개발하는 것을 목적으로 유압실린더의 작동으로 차체를 부상시켜 유지시켜 줄 수 있는 유압장치를 개발한다.

(나) 최대 동하중 4톤 과 최고 작동 압력이 210 kg/cm^2 가 가능하도록 설계를 하도록 한다.



유압 발생장치 2D 도면

(4) 차량구동용 롤러 리프팅 유압시스템 시제품 제작

(가) 개발된 롤러 구조의 최대 동하중 4톤으로 하강할 목적으로 설계하여 시제품 제작함.



유압 발생장치 시제품

(5) 구동용 롤러 리프팅 장치 제어 시스템 시제품 제작 및 테스트 베드 구축

(가) 스트로크 7mm, 최고 작동 압력 210 kg/cm^2 , 최대동하중 4톤의 유압실린더 작동으로 차체를 부상시켜 유지 할 수 있는 유압장치를 구성하였다.



비상롤러 실린더 시제품제작

(6) 개발된 롤러 시스템 성능시험 및 내구성 시험

(가) 성능 시험 및 테스트 구동시험을 하면서 소음 측정을 실행 하였다. 시험 결과는 아래와 같다.

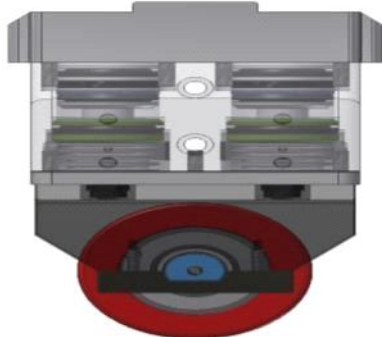
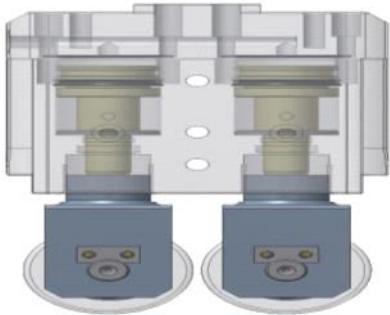
롤러 테스트베드 내 소음측정 결과

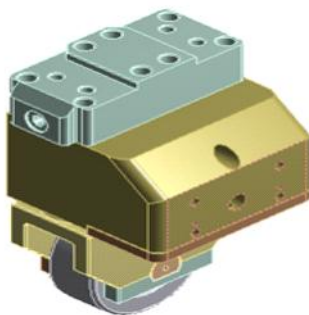
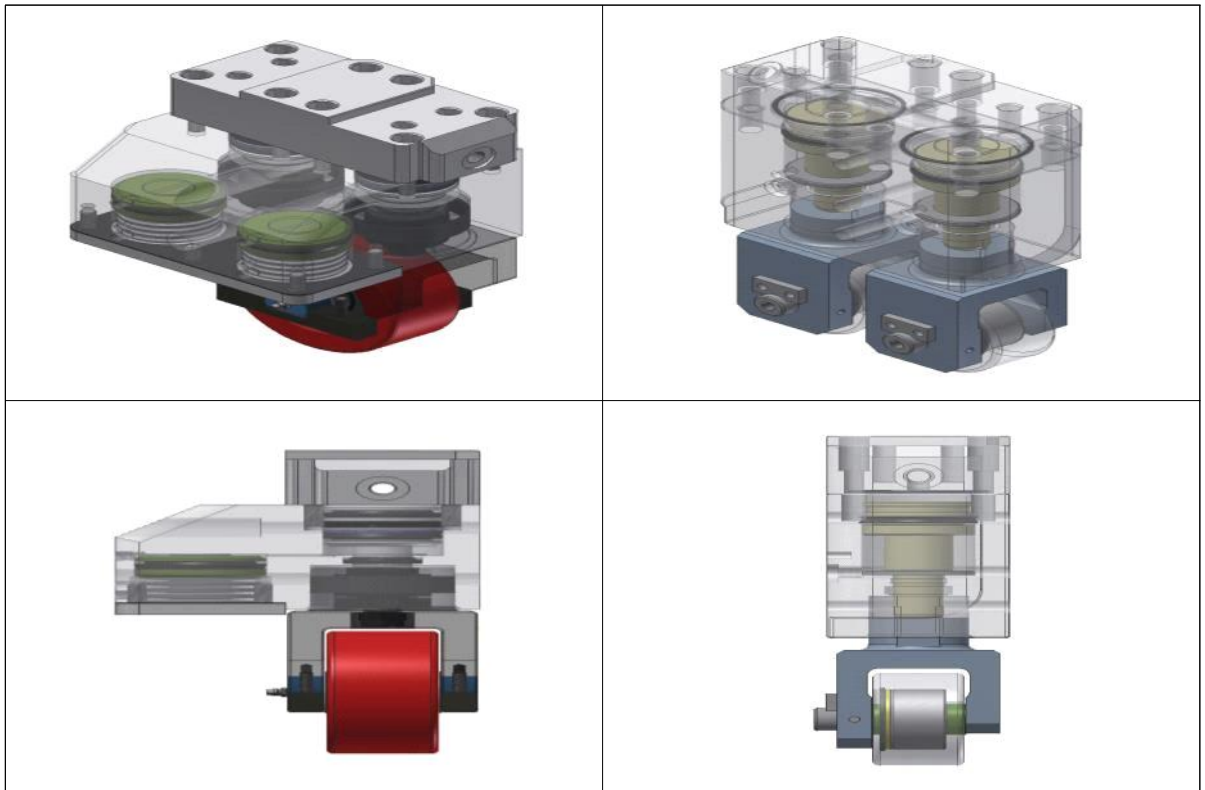
2 톤	5Hz		10Hz	
단차	일반구간	단차구간	일반구간	단차구간
10	70	73-74	74	83-86
30	73	76-79	75	84-87
50	74	75-77	76	85-87
70	74	74-80	78	86-87

(7) 개발한 롤러 구조적용 롤러 시스템 최적화 보완 설계 진행 및 응력 해석 진행

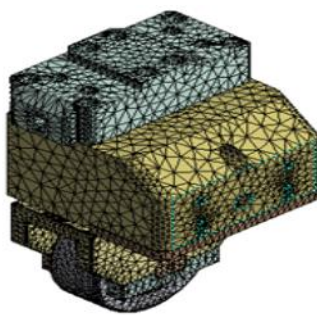
(가) 개발한 비상 롤러 시스템의 최적화를 위하여 보완 설계를 진행 하였고 설계 도면을 응력 해석을 통하여 설계 안전성을 확인 하였다.

성능향상 비상롤러 시제품 상세 모델링과 기존 비상롤러 모델링

성능향상 과제 시제품	한국기계연구원 자기부상열차 시제차량
	

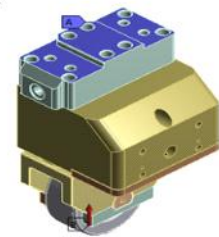


GEOMETRY MODEL



MESH MODEL

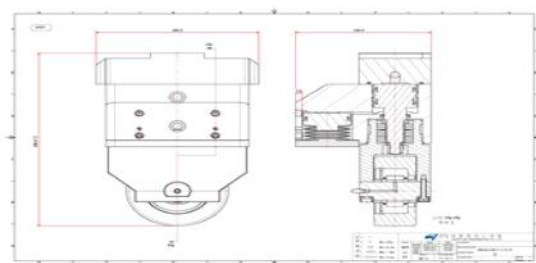
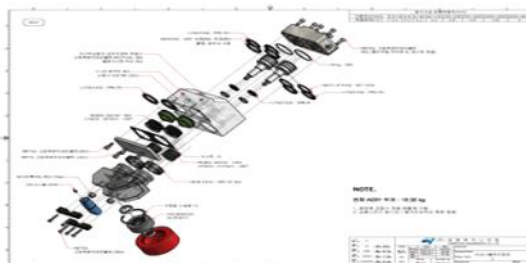
A: Static Structural
Static Structural
Time: 1 s
2016-05-03 오전 10:14
Fixed Support
Force: 19600 N

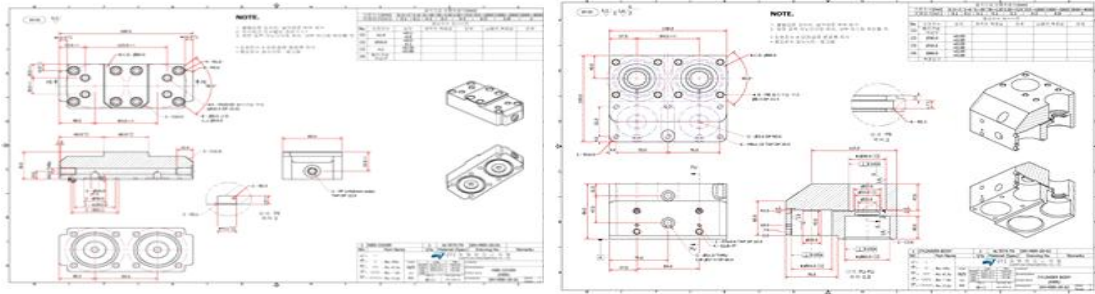


경계조건

(8) 비상용 롤러 시스템 시제 도면 작성

(가) 설계 완료된 3D도면을 2D로 바꾸어 제작이 가능하도록 하였다.

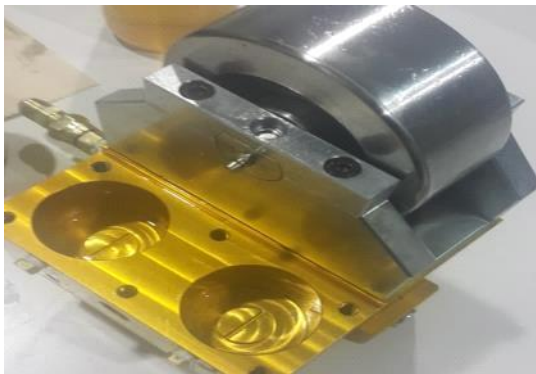




설계 2D 도면

(9) 비상용 롤러 시제품 제작

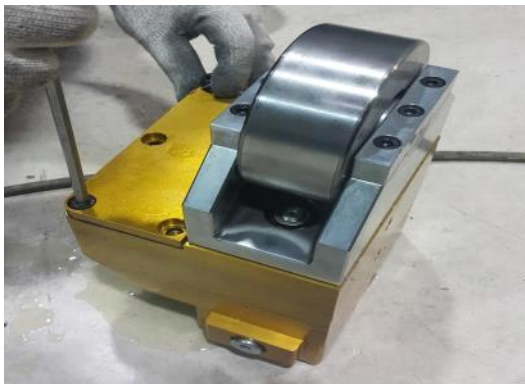
(가) 설계 도면에 따라 시제품 가공을 하였으며 가공이 완료된 제품을 조립을 하였다.



비상용 롤러시스템 조립과정 1



비상용 롤러시스템 조립과정 2



비상용 롤러시스템 조립과정 3



비상용 롤러 조립체

(10) 기존 비상용 롤러와 개발한 롤러 시스템 호환성 확인위한 기존 롤러 분리

(가) 기존 비상용 롤러 시스템과 개발한 비상용 롤러 시스템의 호환성을 확인하기 위하여 기존의 비상용 롤러 시스템을 분리 하고 개발한 비상용 롤러 시스템을 부착하여 유압 배관의 위치나 장착 위치 등 호환성 여부를 확인하였다.



기존 롤러 시스템 분리작업 1



기존 롤러 시스템 분리작업 2



기존 롤러 시스템 분리작업 3



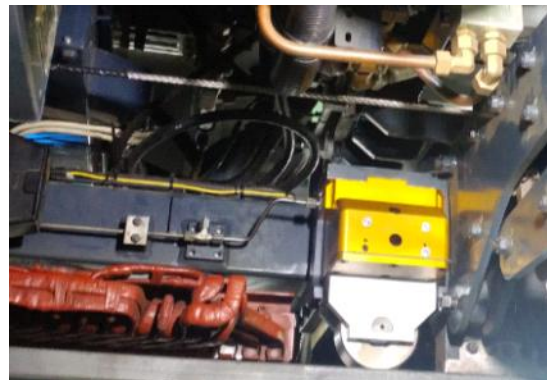
기존 롤러 시스템 분리작업 4

(11) 연구개발 비상용 롤러 장착

(가) 연구개발 비상용 롤러 조립품을 기존 롤러 시스템을 분리한 위치에 장착하여 유압 배관을 연결한다.



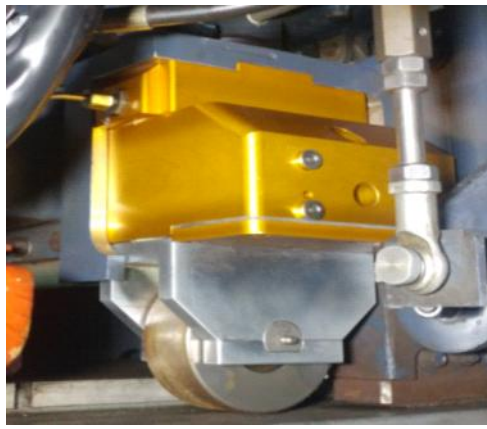
연구개발 비상용 롤러시스템 장착 1



연구개발 비상용 롤러시스템 장착 2

(12) 에어 제거 및 롤러 시스템 승강실험

(가) 비상롤러 시스템의 유압실린더 내부의 에어를 제거해주는 작업 후 비상롤러의 승강 및 하강동작을 반복하여 동작이 원활하게 이루어지는지 확인한다. 확인 결과 기존의 롤러 시스템에 비하여 복귀력 향상을 확인 할 수 있었다.



승강



하강

(13) 자기부상열차 시제차량 장착용 롤러 시스템 제작 및 조립

(가) 기존의 비상용 롤러와 개발된 비상용 롤러의 호환성에 문제가 없음을 확인 한 후 시제 차량의 장착용 롤러 시스템 32개 품목에 대한 부품제작을 하였으며, 제작된 부품은 품질 팀에서 전수검사를 실행하였다. 검사에 합격한 품목에 한해서 조립 작업을 실행 하였고, 조립이 완료된 조립품은 단동 테스트를 실행 하였다.



비상롤러 제작 부품



조립완료 및 시험대기

(14) 자기부상열차 비상용롤러 기계연구원 현차 장착 및 시험

(가) 기존 롤러를 제거하기 전 실내 및 실외의 소음을 측정 한 후 개발한 비상용 롤러를 현차에 장착한다. 기존의 롤러를 제거하고 개발된 비상용 롤러를 장착하고 유압배관을 연결하여 준다. 총 32개의 비상용 롤러를 장착하도록 한다.



기존롤러제거



개발품 장착

(15) 비상용 롤러 현차 장착 후 주행 시험 및 소음 측정 진행

(가) 20 km/h의 속도로 기존 비상용 롤러 교체 전의 실내 소음과 실외소음을 측정 하고 개

발된 비상용 롤러로 교체 후 실내 소음과 실외 소음을 측정 하였다. 또한 최고 35 km/h 이상의 속도에서 실내와 실외 소음을 측정 하였다.

(16) 비상롤러 시스템 소음 비교

- (가) 기존 비상롤러 시스템과 개발된 비상롤러와의 소음을 비교하기 위해 같은 속도로 주행 시 소음측정 결과를 비교한 결과 기존 비상롤러 시스템에 비해 개발된 비상롤러에서의 소음이 1dB가량 감소한 것으로 나타났다.

나. 유지관리 지침서 작성

(1) 비상롤러 점검

- (가) 일반 점검 : 비상용 롤러 손상, 마모, 부식 등의 상태를 점검하고 월 1회 이상 시행한다.
- (나) 정밀 점검 : 비상용 롤러를 분해하여 베어링의 상태와 내부 패킹 및 O-ring의 상태를 점검하고 연 1회 이상 시행하도록 한다.
- (다) 기능 점검 : 비상용 롤러는 수시로 리프팅/원복 작업을 통하여 정상 동작하는지 확인한다.

(2) 일반 점검 항목

- (가) 비상용 롤러 바퀴손상을 육안으로 확인한다.
- (나) 비상용 롤러 상승 및 하강 기능을 확인한다.
- (다) 기름 누유 상태를 확인한다.
- (라) 간격 간 및 체결상태를 확인한다.

(3) 정밀 점검 항목

- (가) 베어링 마모 및 동작 상태를 확인한다.
- (나) O-ring상태를 확인 한다.
- (다) 기름 누유 상태를 확인한다.
- (라) U-Packing 상태를 확인한다.

(4) 비상롤러 하자보수

- (가) 하자 발생 시 신속하게 대응 할 수 있는 체계를 확립하기 위하여 납품 업체에 대한 비상연락망을 구축한다.
- (나) 효율적인 유지관리를 위한 정기점검 계획을 수립하여 시행한다.
- (다) 하자발생이 예상되는 기본 소모품 및 기능품은 스페어를 확보하여 보유한다.

8. 선형유도 전동기 특성 연구 및 AT0 운전 패턴을 고려한 가변 슬립 주파수 패턴 생성 및 운전 전략(위탁-건국대)

질적 성과 지표	목표치	달성치	비고
선형유도 전동기 특성 연구 및 AT0 운전 패턴을 고려한 가변 슬립 주파수 패턴 생성 및 운전 전략	1건	1건	자기부상열차의 슬립 주파수에 따른 효율성 향상

8-1. 선형유도 전동기 특성 연구 및 AT0 운전 패턴을 고려한 가변 슬립 주파수 패턴 생성 및 운전 전략

가. 선형유도 전동기 구동 시스템 모델링

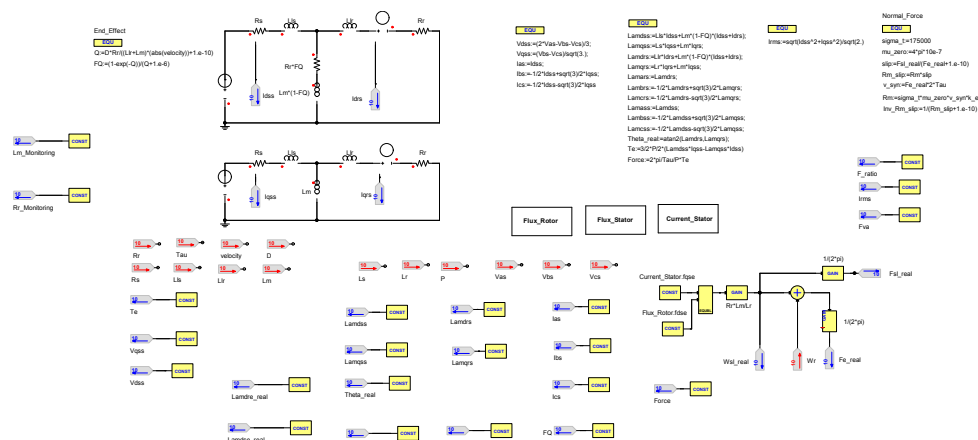
- 선형 유도전동기 구동 시스템을 모델링하기에 앞서 회전형 전동기에서는 축대칭으로 수직력이 상쇄되지만 편축식 선형 전동기에서는 수직력이 발생한다. 이러한 수직력은 열차의 부상시스템에 영향 주기 때문에 열차의 수직력, 추진력, 슬립주파수와 관계를 먼저 확인하였다. 이후 이러한 영향을 고려한 선형유도 전동기를 회전형 유도전동기의 등가식으로 모사한 후 선형 유도 전동기 구동 시스템을 모델링 하였다. 이때 모델링을 이용하여 구현한 시뮬레이션은 Simplorer를 이용하였다.

$$\begin{array}{ccccccc}
 R_s & L_{ls} & \omega_r L_d i_d & (\omega_r - \omega_r) L_q i_q & L_{lr} & R_r & \\
 + & & - & + & & & \\
 & i_{ds} & & & & & i_{dr} \\
 & & & & dr & & \\
 V_{ds} & & ds & & & & \\
 & & R_r & L_m (1 -) & & & \\
 - & & & & & &
 \end{array}$$

선형유도 전동기 d축 등가회로

$$\begin{array}{ccccccc}
 R_s & L_{ls} & \omega_r L_{q1} i_q & (\omega - \omega_r) L_{d1} i_d & L_{lr} & R_r & \\
 + & & - & + & & & \\
 & i_{qs} & & & & & i_{qr} \\
 V_{qs} & & & & & & \\
 & & qs & & qr & &
 \end{array}$$

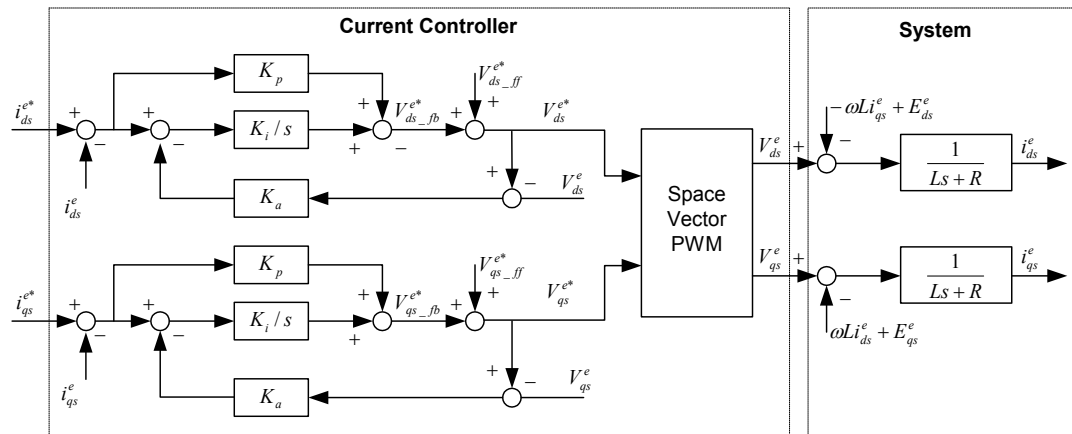
선형유도 전동기 q축 등가회로



선형유도 전동기 구동 시스템 모델링

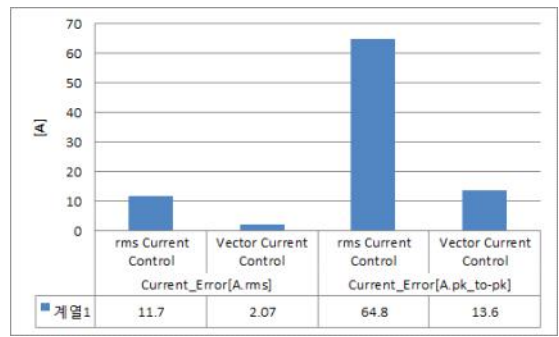
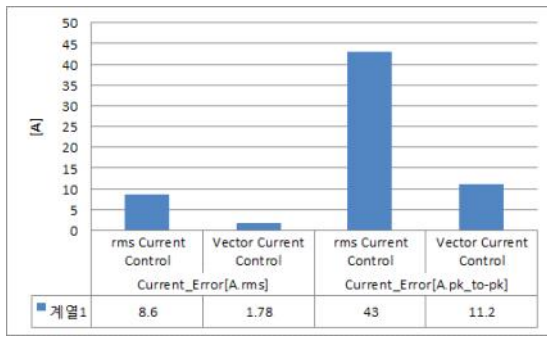
나. 슬립주파수 일정 실효치 전류제어와 벡터제어 기반 순시전류제어와의 비교

- 슬립주파수 일정 전류 실효치 제어 알고리즘은 3상전류의 실효값을 바탕으로 제어하기 때문에 전류제어기의 대역폭이 수 Hz로 넓지 못하여 전류제어의 응답특성이 느리다. 자기부상열차 인버터의 스위칭 주파수가 900Hz로 전류제어기의 이득선정이 Trial and Error 방식을 사용하기 때문에 비교적 어렵다.
- 벡터제어 동기좌표계 PI제어기를 사용할 경우 그림 4.2의 경우에서처럼 d-q축 동기좌표계 PI전류제어기를 사용하며, 순시전류제어를 수행한다. 추진력 지령치에 해당하는 실효전류 지령값을 출력하면 슬립주파수에 해당하는 d-q축 순시전류 지령값을 출력하고 3상전류를 측정 후 3상/2상변환과 정지/동기 좌표변환으로부터 d-q축 순시값으로 변환 각각 순시전류제어를 수행한다. 이때 인버터의 각도 지령은 슬립주파수와 전동기의 속도에 의해 계산하고, 이를 적분하여 각도를 출력한다. 제어기의 대역폭은 수십 Hz 정도로 슬립주파수 일정 전류 실효치 제어에 비해 약 5배 이상 응답이 빠르다.



벡터제어 동기좌표계 PI 전류제어방식

- 아래 그림은 전류제어 방식의 성능을 비교해 놓았다. 추진 제어 시에는 벡터전류 제어방식을 사용함으로써 실효전류제어방식에 비해 전류오차가 실효치 기준 79%, pk_to_pk 기준 74% 감소하고, 제동 제어 시에는 82.3%, 79% 감소한다. 전류오차는 바로 추진력 혹은 제동력의 오차를 의미하며, peak_to_peak 값은 추진력 혹은 제동력의 리플 값이 줄어듦을 의미한다.
- 따라서 벡터전류제어를 수행하면 추진력, 제동력의 오차를 약 80% 저감하고, 진동을 유발하는 리플의 크기도 74% 이상 저감이 가능하다. 자기부상열차의 성능향상을 위해서는 기존의 슬립주파수일정 실효전류제어방식에서 슬립주파수 일정 벡터전류 제어방식으로의 전환이 필요함을 알 수 있다.



전류제어방식의 성능 비교 (좌 :추진제어, 우 : 제동제어)

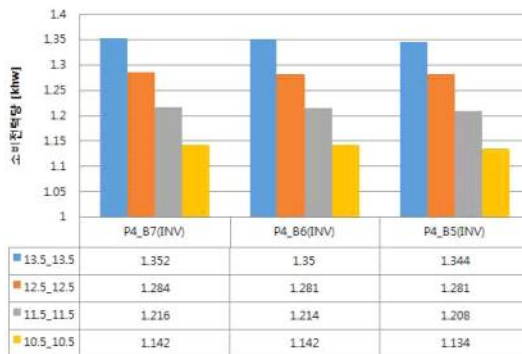
다. 벡터제어 기법을 통한 회생제동구간 확대 및 에너지 효율향상

- 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 이용한 열차 운행 효율 검증 및 최적 효율 슬립 주파수를 추출하기 위하여 구현한 알고리즘을 시제차량에 탑재하여 시험을 실시 그 결과를 비교하였다. 시험 방안은 운행 중 운전 조건인 노치 지령과 슬립주파수를 변경하며 시험을 실시 그 효율을 비교 하였으며 그 결과는 아래 표와 같다.

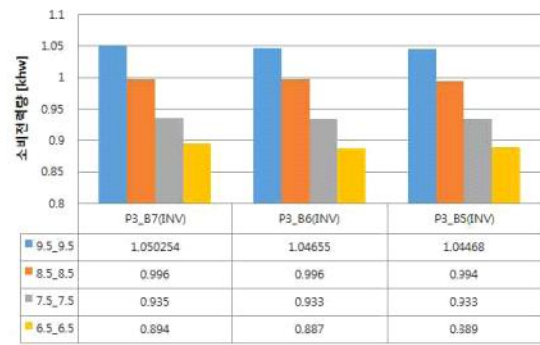
P4_B7 ~ P4_B5 전력량 비교(13.5~10.5)							
		전력량 합				전력량 합	
		A+B+C	A+B+C+D			A+B+C	A+B+C+D
13.5_13.5	P4_B7	1.536kwh	1.695kwh	11.5_11.5	P4_B7	1.428kwh	1.579kwh
13.5_13.5	P4_B6	1.590kwh	1.765kwh	11.5_11.5	P4_B6	1.44kwh	1.602kwh
13.5_13.5	P4_B5	1.600kwh	1.788kwh	11.5_11.5	P4_B5	1.468kwh	1.641kwh
12.5_12.5	P4_B7	1.500kwh	1.656kwh	10.5_10.5	P4_B7	1.343kwh	1.487kwh
12.5_12.5	P4_B6	1.539kwh	1.706kwh	10.5_10.5	P4_B6	1.379kwh	1.535kwh
12.5_12.5	P4_B5	1.537kwh	1.717kwh	10.5_10.5	P4_B5	1.380kwh	1.546kwh

P3_B7 ~ P3_B5 전력량 비교(9.5~6.5)							
		전력량 합				전력량 합	
		A+B+C	A+B+C+D			A+B+C	A+B+C+D
9.5_9.5	P3_B7	1.272kwh	1.428kwh	7.5_7.5	P3_B7	1.129kwh	1.282kwh
9.5_9.5	P3_B6	1.284kwh	1.45kwh	7.5_7.5	P3_B6	1.165kwh	1.330kwh
9.5_9.5	P3_B5	1.327kwh	1.508kwh	7.5_7.5	P3_B5	1.168kwh	1.343kwh
8.5_8.5	P3_B7	1.213kwh	1.367kwh	6.5_6.5	P3_B7	1.116kwh	1.276kwh
8.5_8.5	P3_B6	1.229kwh	1.394kwh	6.5_6.5	P3_B6	1.111kwh	1.277kwh
8.5_8.5	P3_B5	1.226kwh	1.399kwh	6.5_6.5	P3_B5	1.118kwh	1.297kwh

슬립주파수에 따른 소비전력량 변화 추이
(시뮬레이션, P4)



슬립주파수에 따른 소비전력량 변화 추이
(시뮬레이션, P3)



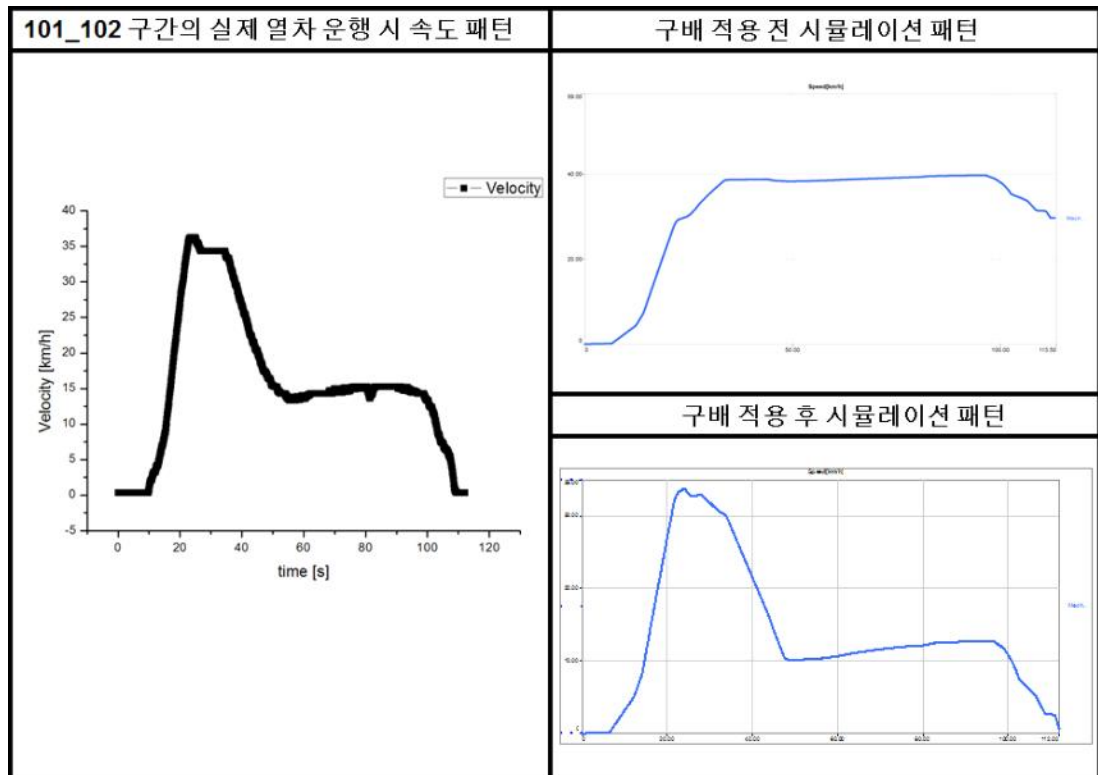
슬립주파수와 운전조건 변경에 따른 운행효율

- 위 표와 그래프는 운전조건에 따른 열차의 DC Link 에너지를 나타낸 것이다. 이 그래프를 살펴보면 P4_B7 13.5Hz에서 P3_B5 6.5Hz로 낮추었을 시 DC Link의 에너지 1.402kWh에서 0.898kWh로 약 0.504kWh, 35.95%의 에너지 감소를 보였다. 즉 전조건과 슬립주파수를 함께 고려했을 때 더 효율적인 운전이 가능하다.

라. 실제 차량을 이용한 시험 결과

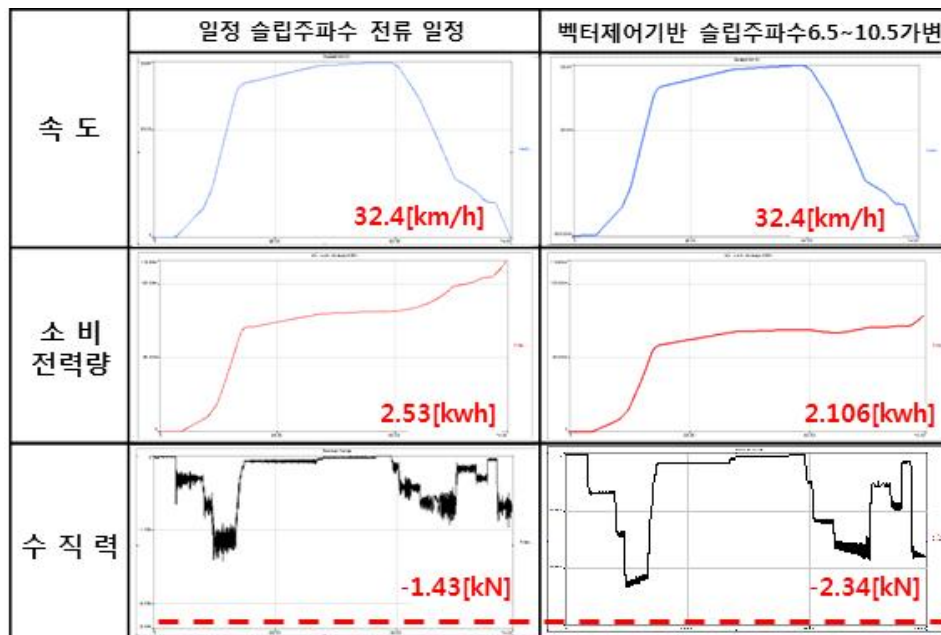
- 본 시험은 영종도의 실제 차량을 이용하여 실시되었으며 시험 방법은 실제 열차의 속도와 Notch 지령 데이터를 이용 열차 운행 중 열차의 운전조건에 맞추어 슬립주파수가 가변하도록 실시하였다. 영종도 시험은 시제차량을 이용한 이전 시험과 달

리 시험환경에 있어 열차레일의 구배가 존재하는 차이점이 존재한다. 이에 따라 구배를 고려하여 시뮬레이션과 알고리즘을 수정 후 시험을 실시하였다. 아래 표는 구배 데이터를 적용하였을 때 와 적용하지 않았을 때 영종도 101_102구간에서의 속도 패턴에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.



인천국제공항 정거장과 장기주차장역 구간의 구배 적용 전/후 속도 패턴

- 왼쪽 그래프는 실제 열차의 시간에 따른 속도패턴을 나타내고 있으며 오른쪽 위의 그래프는 Simplorer를 이용한 시뮬레이션 시 구배에 관한 데이터를 미적용 하였을 시 오른쪽 아래의 그래프는 구배에 관한 데이터를 적용하였을 때의 시간에 따른 속도 패턴을 나타내고 있다. 결과를 살펴보면 구배를 적용하지 않았을 경우 실제와 전혀 다른 패턴이 생성 된 것을 볼 수 있다, 추진력을 생성하는 전류 지령의 값은 실제 운행되는 열차의 속도와 노치 지령으로부터 생성되기 때문에 정확한 결과를 위해서는 구배를 적용 하여야 한다.

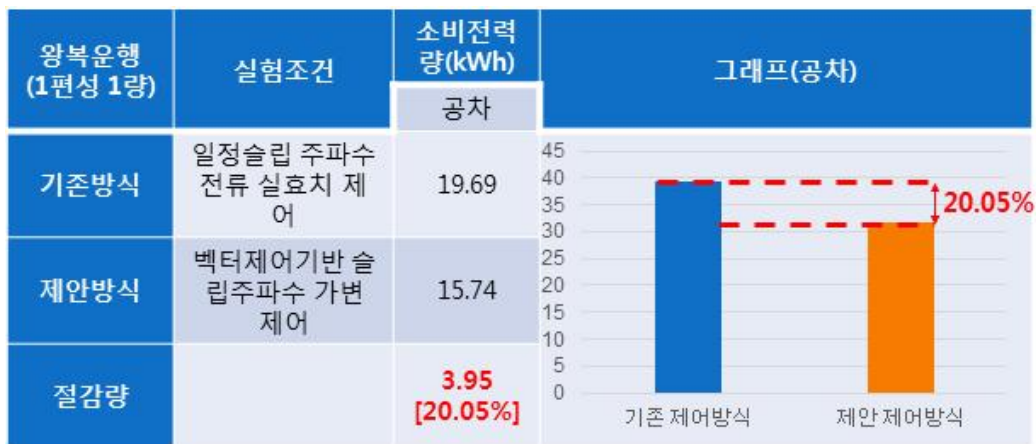


제안방식 사용에 따른 소비 전력량 비교

- 앞장의 아래 그림은 이러한 조건들을 고려하였을 때 제안 알고리즘 사용 영종도의 103_104 구간 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 벡터제어 기반 제안 방식 적용 시 소비전력량은 2.53Wh로 기존 2.106kWh대비 0.424kWh, 약 16.76% 향상됨을 알 수 있다. 이를 영종도의 실제 구간에 적용하였을 때 결과는 아래 그림과 같다.



영종도 자기부상 열차 운행 구간 별 향상 효율



소비 전력량 비교

- 위 표는 영종도 실차에 대한 시뮬레이션 시 결과를 나타내고 있다. 이때 시험 조건은 왕복 운동을 기준으로 실시하였으며 편성은 1편성 1량을 기준으로 하였다. 이는 실차 실험 시 차량이 2대의 인버터 중 1단을 기준으로 시험 결과를 추출 하였기에 이에 맞추어 주기 위함이다. 결과를 살펴보면 제안 방식 사용 시 소비전력량은 약 15.74kWh로 기존 방식 약 19.69kWh 보다 약 3.95kWh 절감하였으며 20.05%의 효율 향상을 보이고 있다. 다음 장의 표는 영종도에서 실시한 실차실험과 시뮬레이션 결과를 비교하고 있다.



시뮬레이션과 실차실험 결과 비교

- 실차시험 시 기존제어 22.28kWh, 제안제어 18.29kWh의 소비 전력량과 약 17.91%의 감소율을 나타내고 있으며, 이와 유사하게 모의시험 시, 기존제어 19.69kWh, 제안제어 15.74kWh의 소비 전력량과 약 20.05%의 감소율을 나타내고 있다. 실차시험과 모의시험 사이에 약 2.13%의 감소율 오차를 나타내고 있으며, 이는 모의시험과 실차시험이 매우 유사함을 나타내고 있다.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

	세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
주관-기 계 연 구 원	추진 전동기 개선 설계안 검토 및 제작	4	4 (100%)	- 추진 전동기 개선 설계를 반영한 추진 시스템 시험을 위한 시험 장치 구축 완료 - 시험시스템 구축 완료
	추진 전동기 속도 특성 시험 및 성능평가	4	4 (100%)	- 추진 전동기 개선 설계안에 대한 실험적 검증 200 km/h 속도 구동 시험 완료 4kN 부하 추력 시험 완료
	추진 전동기 추력 특성 시험 및 성능평가	4	4 (100%)	- 추진 전동기 개선 설계안에 대한 추력 특성 시험 및 성능 평가 - 추진 전동기 특성 시험 완료
	부상/안내 시스템 특성 시험 및 성능평가	4	4 (100%)	- 부상/안내 시스템 성능 시험 장치 성능 시험 완료 - 부상시스템 시험을 통한 부상 성능 확인 - 안내시스템 시험을 통한 안내 성능 확인
	도시형 자기부상열차 성능향상 항목 정리 및 평가	4	4 (100%)	- 도시형 자기부상열차 성능향상 항목 정리 및 평가 - 주요 구성 품 개선사항 정리 - 현차 시험을 통한 성능 확인
공동-대 전 도 시 철 도 공사	시스템 개선 요구사항 분석 결과 도출 및 정리	4	4 (100%)	- 시스템별 개선 요구사항 분석 결과 도출 및 정리 - 부상/추진/제동장치의 개선사항 정리 - 현차 시험을 통한 성능 확인
	시스템 성능 시험결과 도출	4	4 (100%)	- 시스템 성능 시험결과 도출 - 시스템별 성능 시험 방법 도출 - 시스템별 성능 평가방안 정립
	제3궤조 집전시스템 개선품 성능 검증	4	4 (100%)	- 제3궤조 집전시스템 개선품 성능 검증 - 하면접촉식 집전장치 개선품 성능 향상 항목 정리 - 하면접촉식 집전장치 현차시험 - 기존 집전장치와의 성능 비교
	비상운전 속도향상 방안 결과 도출	4	4 (100%)	- 비상운전 속도향상 방안 결과 도출 - 비상롤러 최고속도 개선을 위한 구조변경 - 비상롤러 개선사항 분석 - 비상롤러 성능검증을 위한 현차 시험
공동-브 이 씨 텍	추진제어 시스템 성능시험	4	4 (100%)	- 추진제어 시스템 성능검증 - 인버터 박스 부피 및 질량 성능 향상 - 외부기관 인증을 통한 성능 향상 검증
	추진시스템 알고리즘 적용 시험	4	4 (100%)	- 추진시스템 알고리즘 개발 및 적용 - V/F 알고리즘을 통한 모터 성능 검증 - IFOC 알고리즘을 통한 동자 검증시험 - Backstepping IFOC를 통한 고효율 운전 검증
공동-팩 테 크	도시형 자기부상열차 성능시험	4	4 (100%)	- 도시형 이중화 부상제어시스템 시험 및 시험지원 - 부상제어시스템 이중화 제어기 실차 시험 연계 절체 시험 연속제어 성공 - 제어 주기 2cycle이내 Master => Slave 절체 시험 - 특허 1건 등록완료
	핵심성능 검증용 부상/안내 제어시스템 전수시험	4	4 (100%)	- 준고속 부상/안내 제어시스템 핵심성능 시험 - 부상/안내 제어시스템 제어기 이중화 시제품 제작

				- 부상/안내 제어시스템 전력회로부 이중화 시 제품 제작 완료 - 부상/안내 제어시스템 전수시험 완료(제어기 및 전력회로부 이중계 구현 설계 및 성능 확인) - 특허 1건 출원
공동-유진기공업	고장보고서	4	4 (100%)	• 고장보고서 작성 완료
	유지보수 매뉴얼 작성	4	4 (100%)	• 유지보수 매뉴얼 작성 완료
	유압캘리퍼 특성 시험(B7)	4	4 (100%)	• 성능시험 결과보고서 작성 완료 - 압부력 측정(기준: B7 => 20.67kN이상) : 20.9kN
	유압캘리퍼 특성 시험(EB)	4	4 (100%)	• 성능시험 결과보고서 작성 완료 - 압부력 측정(기준: EB => 23.25kN이상) : 24.17kN
	제품사양서	4	4 (100%)	• 제품사양서 작성완료 - 센터링각도 측정(좌/우 15도 이내) : 좌/우 15.1도
공동-현대로템	장애사항 발생 빈도 정리	4	4 (100%)	• 개통 후 약 3개월 동안 현장 근무하여 요구사항, 이례상황 대처 • 차량의 안정성/신뢰성 향상을 위하여 개통 초기 즉각 대처 및 개선 방향 확정 후 운영처와 협의를 통하여 현차 반영 • 개통 후 운영에 영향을 준 사례는 없음 • 목표 달성
	시험차 성능 개선 현차 지원	4	4 (100%)	• 기계연 시험 차량 성능향상 시험 시 담당자 사전 협의 및 현장 출장 실시 • 월간 공정 회의 시 요구 사항 전달 등 회의를 통하여 실제 운영 중인 차량의 개선 사항 등을 전파 • 목표 달성
	준고속 자기부상열차 차량사양 확정	4	4 (100%)	• 기 작성된 차량 사양 검토 • 추가 고려 사항 검토 • 목표 달성
공동-대명엔지니어링	성능시험을 위한 현차적용	4	4 (100%)	• 성능시험을 위한 현차 적용 - 기존 비상용 롤러와 연구개발 비상용 롤러 호환성검토 - 자기부상열차 시제차량 장착용 롤러시스템 제작 및 조립 - 자기부상열차 비상용롤러 기계연구원 현차 장착 및 시험 실행
	현차적용 연계시험	4	4 (100%)	• 현차적용 연계시험 - 보완 제작한 롤러 시스템 현차 장착 - 비상용 롤러 속도 성능시험 - 비상용 롤러 소음측정 - 비상용 롤러 동영상촬영 동작확인
	최종보고서 작성	4	4 (100%)	• 최종보고서 작성 - 비상용 롤러 상세 설계 및 구조해석 - 비상용롤러 테스트베드 구축 및 내구성 시험 - 비상용 롤러 시제품 제작 - 비상용 롤러 시제품 현차 장착 및 성능시험
	유지관리 지침서 작성	4	4 (100%)	• 유지관리 지침서 작성 - 비상용 롤러 명칭 설명 - 비상용 롤러 관리

				- 비상용 롤러 유지보수
합계	100점	100점 (100%)		

2. 관련 분야 기여도

- 준고속 자기부상열차의 추진/부상/안내/제동에 관한 핵심기술 개발수행
- 시험기에서의 시험을 통해 성능 검증
- 경량화와 에너지 절감효과를 높인 추진제어 시스템 개발
- Master 고장 시 Slave로 자동 절체 되어 부상실패 없이 안정적인 영업운전이 가능하도록 함으로 제품에 대한 신뢰성과 안정성 향상에 기여 및 고객 서비스 만족도 확대
- 국내에서도 철도차량이 도시철도의 주요 교통수단으로 발전하면서 경량화에 대하여 많은 노력을 하고 있으며 연구개발이 완료되고, 자기부상열차가 상용화 될 경우 국내 독자적인 기술로 대처가 가능함
- 자기부상열차 시범노선 운행으로 자기부상열차의 신뢰성, 유지보수성, 향후 개선 사항 발굴
- 견인 속도를 향상시킨 차량구동용 롤러 개발
- 기존의 비상용 롤러보다 소음이 감소된 비상용 롤러 개발

제5장. 연구개발성과의 활용계획

- 향후 제작될 200km/h급의 준고속 자기부상열차 개발에 있어 기초자료로 활용 가능
- 자기부상열차의 차량 개발을 위한 미래원천기술을 확보
- 부상 및 안내제어시스템 이중화 기술은 자기부상열차 이외에도 고속철도, 전동차, 전기기관차 등 철도차량과 일반 산업용 전원장치에 활용 가능
- 향후 국내 도시 간 또는 국가 간 초고속 열차의 수요 발생 시 국내 기술로 대처가 가능
- 단기적으로는 공항내의 무빙워크를 대체하거나 터미널간의 승객을 환경 친화적으로 이송할 수 있는 시스템 개발에 적용하여 새로운 운송수단 산업을 창출할 수 있다고 판단됨
- 국가 철도계획에 따른 수요에 대응
- 해외 전시회 출품을 통한 해외 홍보
- 국내 여러 지자체에 대한 실물 견학 및 홍보
- 해외 수요자에 대한 운행 실적 확보
- 차량 시험 운행 및 운영상 유지보수 경험을 바탕으로 유지/보수에 대한 경험 축적
- 국내 신규 신 교통 도입 시 수입 대체 효과
- 신 교통 확산에 따른 국내 철도 산업 발전에 기여
- 상용화시 적용가능성 확보 가능
- 기존의 비상롤러 대비 속도 향상으로 인하여 견인 속도의 증가로 인하여 상용화시 적용가능성 확보 하였다.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

- 중국의 도시형 자기부상열차 진행사항 확인(창사의 자기부상열차 개통하였고 베이징 S1라인에서 현재 시험 운행이 가동되고 있는 것으로 확인됨)
- 각 지역 도시철도공사의 자기부상열차 도입에 활용
- 유압제동시스템 선행자료 조사

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황0 어떤 분야?

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 정기적인 안전교육
- 정확한 시험 절차 및 시험 간 발생 할 수 있는 위험 예측요소 사전 검토 및 제거 이후 시험
- 시험 시 해당 기간의 안전수칙에 대한 규정 준수
- 연구개발의 결과물과 연구내용은 당사의 보안규정에 의거하여 관리되고 있으며 참여연구원 및 과제 관련자 이외의 자가 열람이나 접근이 불가능하며, 모든 문서들은 복호화시스템으로 저장 및 열람이 가능한 보안시스템에서 관리되고 있음
- 연구원들은 별도의 출입관리시스템이 구축된 환경에서 근무를 하고 있으며, 추가적인 안전 확보를 위한 대책은 필요 없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	논문 (1차년 도)	Discrete event simulation of Maglev transport considering traffic waves	KIMM	공저 자	Journal of computatio nal design and engineerin g	-	2014.07.01	단독 사사	SCIE
	논문 (2차년 도)	A Study on Analysis of Operation Pattern for Energy Consumption Optimization of Maglev Train	DJET	주저 자	Internatio nal journal of applied engineerin g research (IJAER)	-	2014.09.01	단독 사사	SCOPUS
	논문 (2차년 도)	Characteristic Analysis of a Linear Induction Motor for 200-km/h Maglev	KIMM	주저 자	Internatio nal journal of railway	-	2015.03.01	단독 사사	비SCI
	논문 (2차년 도)	The Study on Miniaturizatio n and Weight Reduction of Auxiliary Power Unit in Magnetic	브이씨 텍	주저 자	Internatio nal journal of railway	-	2015.03.01	단독 사사	비SCI

		Levitation Train							
	논문 (2차년도)	Development of Redundant Levitation and Guidance Control System of the Urban and Medium to High Speed Magnetic Levitation Train	팩테크	주저자	International journal of railway	-	2015.03.01	단독 사사	비SCI
	논문 (2차년도)	Maglev(UTM-02) Brake System Change from Pneumatic Brake System to Hydraulic Brake System	유진기 공산업	주저자	International journal of railway	-	2015.03.01	단독 사사	비SCI
	논문 (3차년도)	A Study on Energy Efficiency Analysis by Changing Maglev Train Slip Frequency		주저자	International Journal of Applied Engineering Research	-	2016.01.31	단독 사사	SCOPUS
	논문 (3차년도)	자기부상체 적용을 위한 전자파 흡수체의 특성 분석		주저자	The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers. P(전기학회 논문지)	-	2016.05.11	단독 사사	SCOPUS
	논문 (4차년도)	Design and Study of Levitation and Guidance Systems for a Semi-High-Speed Maglev Train(2017)	KIMM	주저자	JEET	-	2017.01	단독 사사	SCIE
	논문 (4차년도)	A Study on Improvement of Operation Efficiency of Magnetic Levitation Train Using Linear Induction Motor	건국 대학교	주저자	IJR	-	2017.01.31	단독 사사	비SCI
	논문	자기부상열차의	대전도	주저	대한전기학	-	2017.03.01	단독 사사	비SCI

	(4차년도)	주행 환경을 고려한 집전자 마모도 평가	시철도 공사	자	회논문지P				
	특허(4차년도)	펄스 개수의 카운트 결과를 이용한 제어신호 출력제어방법 및 그 장치	(주)팩테크	-	대한민국	-	2016.11.08	-	-
	특허(4차년도)	강자성체 플레이트를 갖는 자기 부상 시스템	한국기계연구원	-	대한민국	-	2016.08.23	-	-
	특허(4차년도)	유압 제동 시스템용 전기 유압 동력 장치	유진기 공산업	-	대한민국	-	2016.01.06	-	-
	특허(4차년도)	도시형 자기부상열차용 추진 시스템	(주)브이씨텍	-	대한민국	-	2016.11.08	-	-
	특허(4차년도)	유압 제동 시스템용 전기 유압 동력 장치	유진기 공산업	-	대한민국	-	2016.09.21	-	-

제11장. 기타 사항

제12장. 참고 문헌

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 철도 기술 연구 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

