

HEMU-400X와 해외 주전력 변환장치 시스템기술 분석

Technological overview of the main converter/inverter between HEMU-400X and abroad High Speed Trains

소진섭* 이영엽** 이진형** 손경소** 이종호** 국문석** 윤차중**

So, Jin-Sub, Lee, Young-Yeob, Lee Jin Houg, Son, Kyoung-So, Lee Jong-Ho,
Kook, Moon-Seok, Yun Cha-Jung

ABSTRACT

The technologies of the main converter/inverter, which is indispensable for securing a safety and reliability of traction performance in rolling stock, have been compared and analyzed between HEMU-400X and High Speed Trains in Japan, France and Germany through this study. The result of this study indicates that home and abroad technologies aim at a small-sized and lightweight main converter/inverter as well as the prevention of noise in electric ventilator.

1. 서 론

동력분산형 고속철도(HEMU-400X: Highspeed Electric Multiple Unit-400km/h eXperiment) 기술개발 사업은 총 6년 동안 진행되며, 올해는 1단계 사업으로 2차년도 연구가 현재 진행 중이다. 국내 고속철도 기술의 경쟁력 제고를 통해 국내·외 고속철도 시장의 능동적 대응과 지속가능한 미래 성장동력 산업의 기반기술 확보를 위한 최고시험속도 400km/h(영업속도 350km/h) 차량시스템 엔지니어링 기술개발을 과제로 하고 있다. 코레일은 본 연구에 세부주관 연구기관으로 참여를 하고 있으며, 코레일의 사용자 운영 요구조건을 반영하여 고속차량 시스템 사양이 결정된다. 기본설계와 상세설계 검토단계를 거쳐 실용화 기술개발사양(안)이 작성된 후 연구사업단의 의견을 수렴하여 최종안을 작성하고 최종사양을 바탕으로, 현대로템(주)이 주관하여 차량제작을 진행하게 되며 완성된 차량을 종합 성능시험을 통해 시제차량이 완성된 후 시제차량의 활용방안을 수립하는 단계로 진행될 예정이다. 본 연구에서는 HEMU-400X와 해외 철도차량 추진성능의 안전성과 신뢰성 확보에 핵심장치 전장품인 주전력변환장치 기술을 비교 분석하고자 한다.

2. 본 문

2.1 HEMU-400X

본 연구개발과제의 HEMU-400X 시제차량(6량)과 영업운행 8량 편성에 대한 레이아웃은 다음과 같다. 시제차량 6량편성 구성은 Tc + M1 + M2 + M3 + M4 + Mc (5M1T) 이다.

Tc(제어객차)는 공기압축기 2대와 보조전원장치(APS)/Battery/Charger 1조로 구성되는 “운전실이 있는 객차(특실-다용도실/시험계측실)”이며, M1(동력객차 1)은 팬터그래프 및 주회로차단기 1대, 주변압기 1대로 구성되는 “집전장치가 있는 동력객차(특실)”, M2(동력객차 2)는 유도전동기용 주 전력 변환장치 2

* 책임저자 : 정희원, 코레일 연구원, 기술연구팀, 차장
E-mail : sojin71@korail.com
TEL : (042)609-3991 FAX : (042)609-3720
** 정희원, 코레일

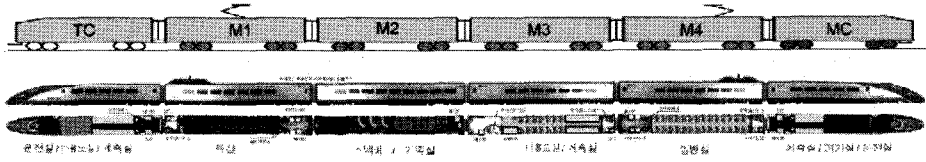


그림 1. 시제차량 6량 편성 레이아웃

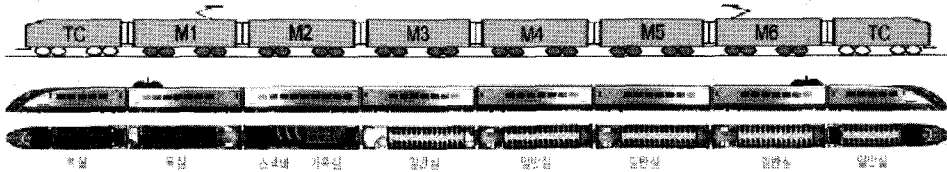


그림 2. 영업운행 8량 편성 레이아웃

조로 구성된 “추진장치가 있는 동력객차(스벡바/가속실)”, M3(동력객차 3)는 유도전동기용 주 전력 변환장치 2조로 구성되는 “추진장치가 있는 동력객차(일반실-다용도실/시험계측실)”, M4(동력객차 4)는 팬터그래프 및 주회로차단기 1대, 주변압기 1대로 구성되는 “집전장치가 있는 동력객차(일반실)”, Mc(제어동력객차)는 동기전동기용 주변압기와 주 전력 변환장치 1대, 보조전원장치(APS)/Battery/Charger 1조로 구성되는 “운전실이 있는 동력객차(일반실-기기실/시험계측실)”를 말한다.

영업운행 차량은 8량 1편성으로 주요구성은 Tc1 + M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M6 + Tc2 (6M2T)이다. Tc1(제어객차 1)은 공기압축기 2대, Battery/Charger 1조로 구성되는 “운전실이 있는 객차(특실)”이며, M1(동력객차 1)은 팬터그래프 및 주회로차단기 1대, 주변압기 1대로 구성되는 “집전장치, 주변압기 있는 동력객차(특실)”, M2(동력객차 2)는 주 전력 변환장치 2조로 구성되는 “추진장치가 있는 동력객차(스벡바/가속실)”, M3(동력객차 3)는 주변압기 1대로 구성되는 “주변압기가 있는 동력객차(일반실)”, M4(동력객차 4)는 주 전력 변환장치 2조로 구성되는 “추진장치가 있는 동력객차(일반실)”, M5(동력객차 5)는 주 전력 변환장치 2조와 25kV 차단스위치로 구성되는 “추진장치가 있는 동력객차(일반실)”, M6(동력객차 6)는 팬터그래프 및 주회로차단기 1대, 주변압기 1대로 구성되는 “집전장치, 주변압기가 있는 동력객차(일반실)”, Tc2(제어객차 2)는 공기압축기 2대와 보조전원장치(APS)/Battery/Charger 1조가 있는 “운전실이 있는 객차(일반실)”를 말한다.

표 1. HEMU-400X 주전력 변환장치 사양

항 목		컨버터	인버터	비고	
전기적 사양	용 량	약 1,850kW(2대)	약 2,050kW	변경가능	
	입력측	정격전압	1,400VAC		2,500VAC
		정격전류	약 696A×2		약 740A
	출력측	출력전압	2,500VDC		0~1,940VAC
출력전류		약 740A	약 610A		
시스템 사양	구 성	컨버터2대병렬운전	1C4M		
	전력소자	IGBT	IGBT		
	냉각 방식	강제냉각	강제냉각		
	제어 방식	PWM제어	VVVF		

주전력변환장치는 교류전력을 직류로 바꾸는 컨버터 유니트와 그 직류전력을 3상 교류로 변환하여 주전동기를 구동하는 인버터 유니트로 구성된다. HEMU-400X 주전력 변환장치는 아래 표와 같이 컨버터부는 4상한 PWM컨버터 2대를 병렬운전하고, 인버터부는 전압형 3상 PWM을 사용하여 유도전동기 4대를 구동하도록 설계를 하고자 한다.

상세적인 사양설명은 다음과 같다. 주전력변환장치는 2대가 1조로 동력차량 M2 하부에 탑재되어 동력차 2량의 부하를 담당한다. 1대의 주전력변환장치는 주변압기 2차 권선에 연결된 컨버터 2대와 인버터 1대로 구성되며, 인버터 1대로 견인 전동기 4대를 구동하는 구조로 구성된다. 단, 시제편성의 Mc차에 설치되는 주전력변환장치의 설치 위치는 상세 설계시 결정하기로 한다. 주전력변환장치(MPS)를 구성하는 전력용반도체 소자는 충분한 전기적 용량의 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용할 계획이다. 전력용반도체 소자의 냉각장치는 충분한 냉각성능을 가지도록 설계되며, 반도체소자는 소형경량화를 위해 스택형태로 조립된다. 주전력변환장치의 제어유니트는 고속,정밀제어를 위해 최신형 마이크로프로세스를 사용하여 계전기를 사용한 유접점 회로는 최소화할 예정이다. 주전력변환장치는 자기진단기능을 수행하면서 성능에 대한 기록이 자동으로 저장되며 동작상태와 고장내용 등은 차량 진단제어장치와 통신하면서 운전실 모니터에 현시될 것이다. 설계단계에서는 전자파 적합성(EMC)과 고조파 저감을 위해 PWM 제어와 승차감 향상을 위한 제어기술을 적용하도록 할 예정이며, 주전력변환장치의 완성품은 설계내용을 평가할 수 있는 시뮬레이터에 의한 시험을 완료한 후 차량에 설치,보완할 계획이다.

2.2 일본의 기술

일본의 경우 주전력변환장치는 철도차량 전장품 제작업체가 모두 참여하여 각 유니트별 자사 제작품을 취부하고 전체적인 시스템은 차량제작사에서 조합하여 컨트롤 하도록 제작되었다. 제1유니트는 HITACHI, 제2유니트는 TOSHIBA, 제3유니트는 MITSUBISHI 제작품이다. 각각의 특성은 다음과 같다.

제1유니트는 HITACHI 제작품으로, 주전력변환장치의 냉각에 수(水)순환과 주행풍을 이용한 자연냉각방식을 채용하여, 주전력변환장치의 전동 송풍기를 폐지한 타입으로 제1유니트에서는 현재 전동송풍기에서 강제적으로 냉각하고 있는 주전력변환장치의 냉각방법을 변경하여 수(水)순환과 주행풍을 이용한 자연냉각으로 하여 전동송풍기를 제거했다. 이것으로 기기의 소형화, 경량화, 저소음화를 도모함과 동시에 순환수의 라지에터부 이외는 밀봉구조로 되어있기 때문에 기기내 청소의 절감이 기대된다. 차축의 공기 흡입구로부터 충분한 주행풍을 받아들여 고속주행시에도 흡입구가 소음원이 되지 않도록 하는 것이 개발의 포인트로 흡입구 형상을 개발하고 흡음재를 배치하는 것으로 문제를 해결하게 되었다.

제2유니트는 TOSHIBA 제작품으로, 주전동기에 자기통풍 냉각식의 영구자석 동기전동기를 채용하여 주전동기용 전동송풍기를 제거한 타입으로, 제2유니트에서는 주전동기를 현재의 유도전동기에서 대체한 영구자석 동기전동기로 하였다. 영구자석 동기전동기는 원리적으로 로터 바에서의 유도손실이 발생하지 않기 때문에 유도전동기보다도 효율이 좋고 발열이 작으나 본 유니트에서는 이 메리트를 살려서 주전동기의 냉각방식을 기존의 강제 냉풍 방식에서 자기 통풍식으로 변경하여 전동송풍기를 제거하였다. 이것으로 구조의 간소화와 역 정차중의 소음절감을 도모하는 것이 가능하였다. 또한, 동기전동기 방식은 1모터당 1인버터 제어로 되어 1인버터로 복수 모터의 제어가 가능한 유도전동기 방식에 비하여 주전력변환장치가 대형화되는 경향이 있으나 본 유니트에서는 주전동기용의 전동송풍기를 제거하는 것으로 결점을 보완하였다. 주전력변환장치 인버터부는 소형경량의 2레벨 PWM 인버터를 채용하고 있다. 제3유니트는 [MITSUBISHI 제작품으로 주변압기의 냉각에 주행풍을 보조적으로 이용하여 기기의 소형화와 전동송풍기의 저소음화를 도모한 타입으로 제3유니트에서는 주변압기의 냉각에 주행풍을 보조적으로 이용하고 있다. 주변압기는 주전력변환장치에 비해 발열량이 크고 게다가 열 시정수가 길기 때문에 전동송풍기를 제거하는 것이 불가능하나 주행풍 냉각을 보조적으로 이용하는 것으로 전동송풍기의 풍량을 낮추는 것이 가능하게 된다. 이것을 활용하여 본 유니트에서

는 전동송풍기 FAN을 종래의 2단축류 방식에서 원심축류 방식으로 변경하여 소음의 절감을 도모하고 있다. 또한, 주전력변환장치 인버터부는 소형 경량의 2레벨 PWM 인버터를 채용하고 있다. 각각의 방식에 대하여는 실제의 주행시험을 통하여 시험.평가를 진행할 예정이다. 다음은 신간선 동력분산형 전기동차의 주요특성 비교이다.

표 2. 일본의 주전력변환장치 주요사양

형 식		E2계-100번 대	히다찌 (②③호차)	도시바 (④⑤호차)	미찌비시 (⑥⑦호차)	
		CI11계	CI906형	CI907형	CI908형	
방 식	컨버터	단상 전압형 3레벨 PWM				
	인버터	3상 전압형 3레벨 PWM		3상 전압형 2레벨 PWM		
정 격	컨버터 (kVA)	1285 (단상교류1500V, 875A)	825kVA×2군 (단상교류 1300V, 535A×2군)	983(단상교류1500V, 655A영업특성최대) ×2군 1053(단상교류1500V, 702A,시험특성최대) ×2군	776(단상교류1650V, 470A)2MM	
	평활부 (kW)	1296 (직류300V,432A)	804kVA×2군 (직류2800V,309A ×2군)	963(직류2800V,344A, 영업특성최대)×2군 1032(직류2800V,369A, 시험특성최대)×2군	770(직류3300V, 230A)2MM	
	인버터 (kVA)	1475 (3상교류2300V,424A)	936kVA×2군 (3상교류2000V, 270A,2군)	543×2MM(3상교류 2150V,243A×2 영업 특성최대)×2군 581×2MM(3상교류 2150V,243A×2 영업 특성최대)×2군	906(3상교류2540V, 210A)2MM	
소 자 구 성	컨 버 터	구 성	2P×4S×2상	2P×4S×2상×2군	1P×4A×2상×2군	1P×4S×2상×2군
		소 자	IGBT (3300V,1200A)	(4.5kV900A), (3.3kV,1200A)	(3300V,1200A)	IPM(3300V,1200A)
		스위칭 주파수	1250(Hz)	1250(Hz)	1250(Hz)	850(Hz)
	인 버 터	구 성	1P×4S×3상	1P×4S×3상×2군	1P×2A×3상×2 인버터×2군	1P×2S×3상×2군
		소 자	IGBT (3300V,1200A)	IGBT(4.5kV900A), IGBT(3.3kV,1200A)	IGBT(4500V, 900V)	IGBT(6500V,600A)
		스위칭 주파수	500~1000(Hz)	500~1000(Hz)	500~1000(Hz)	500(Hz)

2.2 프랑스의 기술

AGV는 관절대차를 적용한 최초의 동력분산형 차량으로 제작되어 시험 중이며 2009~2010년을 상용화 목표로 진행 중이다. 관절대차를 채용한 TGV의 특성상 객차말에 견인전동기 장착을 위한 모터 소형화의 성공으로 동력 분산형 AGV가 가능하였다. AGV에는 최신 전기구동 장치인 동기영구자석 모터가 탑재되어 있으며, 현재 유럽에서 사용되고 있는 4전압(25kV 50Hz / 15kV 16.7Hz / 3kVdc /

1.5kVdc)에서 모두 작동하도록 되어있다.

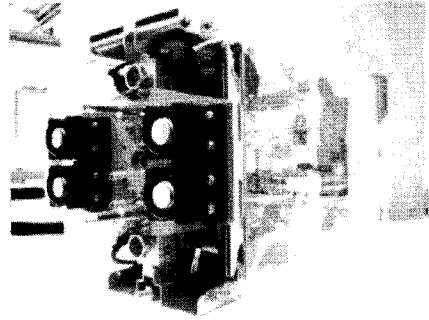
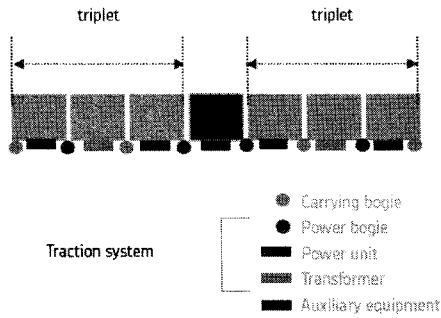


그림 3. AGV 기본편성도 및 주전력변환장치

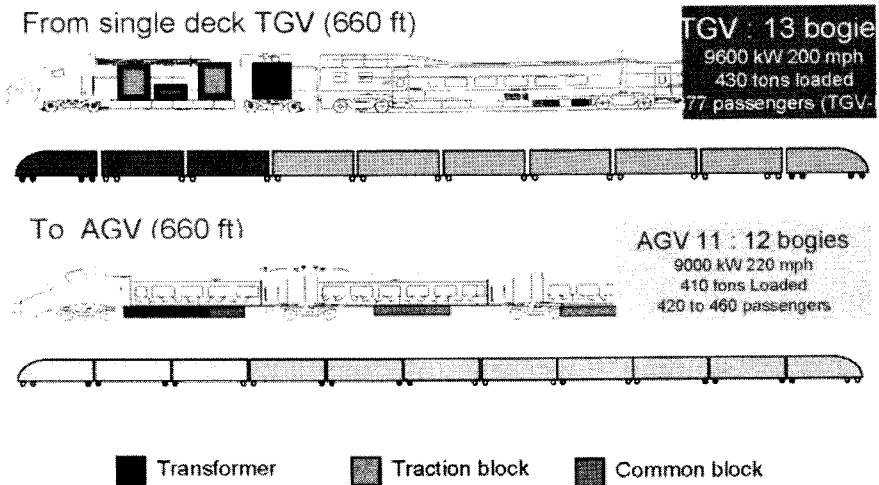


그림 4. TGV와 AGV 주요기기 배치도

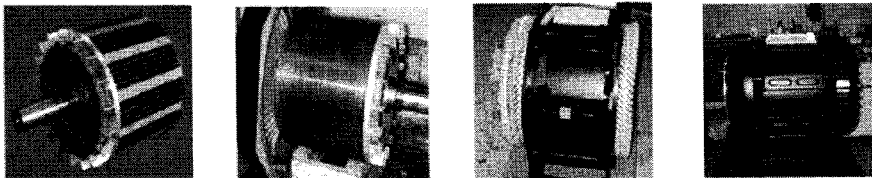


그림 5. 영구자석형전동기

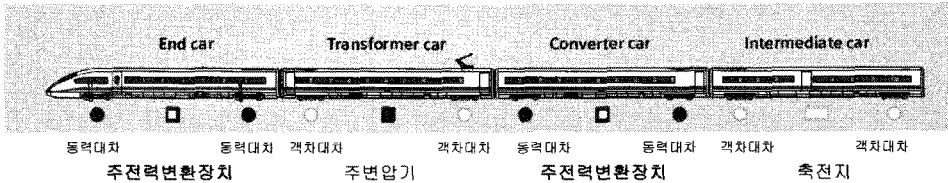
기존 TGV에 비해 좌석 수와 대차 수 등 동일 열차길이를 기준으로 용량이 확대하였으며, 전력 및 유지보수 운영비용을 최적화하였다. 전력변환장치는 1대의 주변압기에 의해 2대의 주전력 변환장치로 전원을 공급하며, 각 주전력 변환장치는 독립적인 컨버터를 통하여 2대의 견인전동기를 제어한다. 그리고 최신사양의 IGBT(6.5kV, 600A) 기술을 채택하였고, 견인전동기 냉각시스템으로는 수냉방식(modules ONIX 233)을 사용하였다. 차량의 종류는 크게 운전실을 가지고 있는 차량과 중간차량 등으로 구분되며, 동기전동기를 가지는 2대의 동력대차와 1대의 부수대차를 가지는 차량3량을 기본 편성으로 하고 있으며, 이를 활용하여 다양한 편성조립이 가능토록 설계된 것이 특징이다.

견인전동기는 그림5 와 같이 760kW급 영구자석형전동기를 채택하고 있으며, 냉각방식을 폐쇄형 자동방식에서 Maintenance free 전동기를 적용하여 유지보수 효율을 높였다.

2.3 독일의 기술

ICE3를 기본으로 Siemens에서 제작된 Velaro는 사용되는 나라에 따라 Velaro E, Velaro RUS, Velaro CN등으로 불리고 있으며, Velaro의 주요장치 배치는 표 3과 같다.

표 3. Velaro 주요장치 배치도



주변압기는 2호차 하단에 위치하고, 동력대차가 위치한 인접객차 하단에 주전력 변환장치가 위치해 있으며, 전력변환 개요도는 그림 6과 같다.

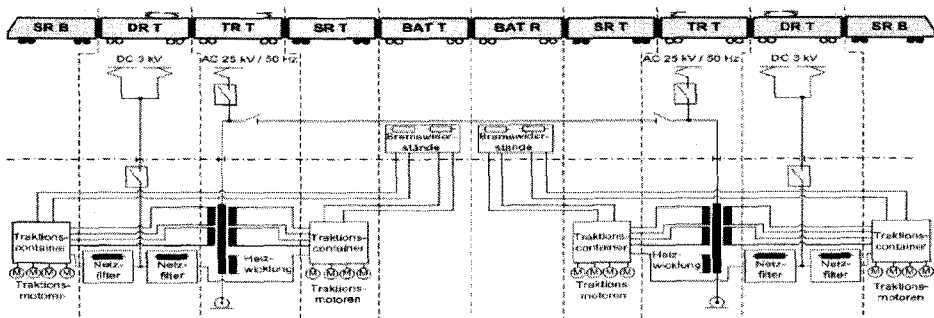


그림 6. Velaro 전력변환 개요도



그림 7. 주전력 컨버터와 보조전력 컨버터

SR B와 SR T객차의 하단에 설치된 4전류 컨버터는 2개의 4상한 초퍼와 중간전압회로, 펄스폭제어 인버터(PWR), 제동초퍼로 구성되어 있다. 전력반도체 소자로는 수냉식 위상 모듈로 구성된 6.5KV IGBT를 사용하여 무게와 용량을 줄였으며 주전력 컨버터와 보조전력 컨버터의 외관은 그림 7과 같다.

4개의 주전력변환장치는 SR B및 SR T차량(개요도의 1,4,7,10호차)의 하부에 설치되어 있으며, 2개의 4상한 초퍼(4-quadrant chopper), 중간전압회로, PWM(Pulse-Width Modulated) 인버터, 제동 chopper, 직렬공진회로로 구성된다. 전력반도체는 경량화 및 소형화에 유리하도록 6.5kV IGBT를 사용하고 수냉식을 채택하였으며 제어장치는 Sibas 32 TCU를 사용하였다. 보조컨버터는 IGBT기술을

적용하였으며 공랭식으로 견인 DC-Link로부터 PWM인버터에 직접 연결되었다. 6개의 PWR 병렬운전을 위한 3상 440V/60Hz 버스바에 전력을 공급하며 제어장치는 Sibas microprocessor compact control을 사용하였다. 지난해 독일에서 개최된 Innotrans 2008박람회에서 분산형고속차량에 대한 자료를 수집하였으나 Alstom의 AGV에 대한 상세자료는 보안문제로 더 이상 확인하기 어렵고, 철도차량제작업체로서 기술적 보안이 요구되는 사항에 대하여 철저히 정보공개를 하지않아 더 이상 세부 자료를 찾기는 어려웠다. 국내의 경우에도 대외적으로 기술보안의 필요성이 있으며 핵심 및 원천기술의 국산화를 통한 기술우위가 필요함을 다시금 느꼈다.

3. 결 론

본 연구에서는 HEMU-400X와 해외 철도차량 추진성능의 안전성과 신뢰성 확보에 핵심장치 전장품인 주전력변환장치 기술을 비교 분석하였다. 국내외 기술 모두 소형 경량화와 전동송풍기의 저소음화를 주안점에 두고 있음을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 한국철도공사 (2008), “차세대고속철도기술개발사업- 국외출장보고서”
2. 한국철도공사 (2008), “차세대고속철도기술개발사업- 사용자운영요구조건(안)”
3. (주)현대로템 (2009), “차세대고속전철 차량시스템 규격서(안)”