

# 한국형 고속전철을 움직이는 힘, “국산 전장품”

• 최종목, 이병석, 김 현, 김정철, 조현욱 / (주)로템 중앙연구소

## 개 요

한국형 고속전철은 국책과제인 G7(선도기술개발사업) 고속전철기술개발사업의 일환으로 개발되었다. 이로 인해 우리의 독자적인 기술이 해외 선진국과 경쟁할 수 있는 능력을 보여 줬을 뿐 아니라, 21세기 국가철도망 요소 중 가장 중요한 한국형 고속전철차량을 국내 기술로 구축할 수 있게 되어, 향후 수입 대체, 관련 산업 기술 파급 및 수출 증대 등 효과가 클 것으로 기대된다. 특히 고속전철의 핵심이라고 할 수 있는 주요 전장품을 자체 개발하였으며 300km/h 주행 성공 및 지속적인 안정화 시험을 통해 그 성능을 입증해 보이고 있다. 본 글에서는 한국형 고속전철의 주요 전장품인 주전력 변환장치, 보조전원장치, 견인전동기의 주요 성능 및 특징에 대해 설명하고자 한다.

## 주전력 변환장치

주전력 변환장치는 견인전동기에 공급되는 전력을 제어하여 열차의 속도제어를 위한 장치로 3MW급 대용량 기기로는 세계 최초로 가장 진보된 전력용 반도체 소자인 IGCT(Integrated Gate Commutated Thyristor) 소자를 이용하여 주회로를 구성하였고, 고조파(전기적 간섭 유발전파)를 기존철도(전기기관차 기준)에 비하여 약 49% 감소시켰으며, 효율과 제어성을 향상하였다.

주전력 변환장치는 그림 1과 같이 Motor Block 단

위로 구성되며 하나의 Motor Block은 단상 교류 전원을 직류전원으로 변환하는 장치인 컨버터부와 직류전원을 다시 3상 교류 전원으로 변환하여 견인전동기를 구동하는 인버터부, 그리고 가선이상이든지 입력전원에 이상이 발생하여 보조전원이 작동하지 않을 때와 주회로 소자 Stack부의 냉각용으로 사용되는 Ventilation Inverter로 이루어져 있다. 현재 한국형 고속전철 개발차량(7량 1편성)은 총 6개의 Motor Block으로 추진되며 하나의 Motor Block 이 두 대의 견인전동기를 제어하고 있다.

주전력 변환장치의 가장 큰 특징 중 하나는 기존의 고속전철 차량(KTX)에 사용하는 GTO(Gate Turn-Off Thyristor)방식을 사용하지 않고 IGCT라는 새로운 스위칭 소자를 사용한 것이라 할 수 있다. IGCT는 종래 GTO가 갖는 스위칭 손실을 대폭 줄이면서 빠른 스위칭을 할 수 있는 구조를 갖고 있다. 또한 IGCT를 사용한 시스템은 GTO 보다 구성 부품수가 적어 고장을 면에서도 장점을 가지고 있다. 예를 들면, 현재 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 소자의 최대 용량은 3300V, 1200A 이고, IGCT의 경우는 4500V, 4000A 이상이므로 시스템 정격이 3000A 이상이 요구될 경우 IGBT를 사용하면 부품 수는 3배로 늘어나 그만큼 고장율도 높아지므로, IGCT를 사용하게 되면 줄어든 부품 수만큼 고장율을 낮출 수 있는 장점이 있다.

주전력 변환장치의 주요 사양을 살펴보면, 컨버터부는 4상한 PWM컨버터 2대를 병렬운전하고, 인버터부는 전압형 3상 PWM을 사용한다. 추진시스템의 용량

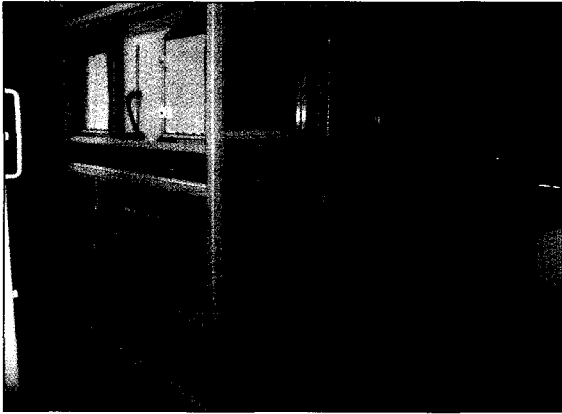


그림 1 MOTOR BLOCK 외형

은 부하로 작용하는 견인전동기 용량과 역률 및 효율에 의해 결정되는데 한국형 고속전철에 적용된 전력 변환

장치의 용량은 3MVA급이며, 세부 사양은 표 1~2와 같다.

## 보조전원장치

고속전철용 보조전원장치는 추진력을 얻는 주전력 변환장치와는 별도로 승객서비스장치 및 제어 장치에 전력을 공급하는 역할을 한다. 따라서 보조전원장치의 이상은 승객의 편의 설비와 주전력 변환장치 등의 제어 장치에 전력공급중단을 초래하게 되고 열차 운행에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 이런 측면에서 보조전원장치의 역할은 매우 중요하며 고 신뢰성을 요하는 부품이라고 할 수 있다.

보조전원 전체 계통을 살펴보면 그림 2와 같이 가선으로부터 AC 25[KV]를 판토틀레프를 통해서 수전하고 주차단기(VCB)를 거쳐서 주변압기 1차측에 입력된다.

주변압기는 1차측 AC 25[KV]를 변압하여 2차권선에서 감압한 교류 전원을 보조전원장치에 공급한다. 주변압기 보조권선인 2차 권선으로부터 감압된 교류전압은 Auxiliary Block의 보조 컨버터를 통해서 DC 670[V]로 변환시켜 이 직류 전압을 각 보조전원의 입력 전원으로 공급한다. 이 방식은 프랑스의 TGV뿐만 아니라 독일의 ICE2.2, 전기기관차 등에서도 채택하고 있는 방식으로 교류/직류 전력 변환 장치의 제어 방식에 따른 차이는 있으나 기본적으로 그 원리는 유사하다.

한국형 고속전철의 보조 전원장치는 크게 Auxiliary Block Converter, CVCF Inverter, VVVF Inverter, Battery Charger, Auxiliary

표 1 컨버터부 세부 사양

항목	사양			비고
	최소	정격	최대	
가선전압	19kVAC	25kVAC	27.5kVAC	* 컨버터 입력값은 2대 병렬운전 조건 시대 기준임. * 컨버터 효율은 0.95로 계산
입력전압	1,064VAC	1,400VAC	1,540VAC	
입력전류	1,224A	930A	846A	
출력전압	2,800VDC(변동율 ± 10%)			
출력전류	884A			
냉각방식	강제공냉식			
주전력소자	IGCT(4500V/4000A)			
제어전원	DC 72V(변동범위 54~90V)			
역률	0.9 이상			

표 2 인버터부 세부 사양

항목	내용	비고
제어 방식	전압형 PWM 변조제어 가변전압/가변주파수(VVVF) 인버터 가·감속 제어 회생제어	
연속정격 용량	2730 [kVA]	
최대정격 용량	3000 [kVA]	
출력 전압	AC 0~2183 [V]	
냉각 방식	강제공냉식	
제어 소자	IGCT (4,500V / 4,000A)	
주회로 방식	1C2M (1Inverter 2Motor)	
제어 전원	DC 72V (변동범위 : 54~90V)	
효율	0.97	

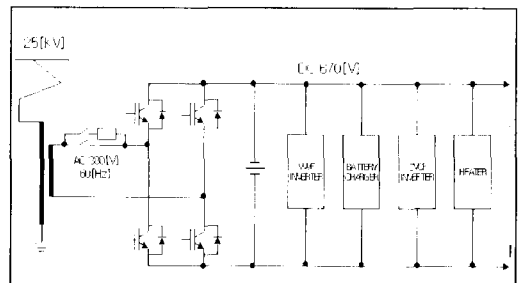


그림 2 보조전원장치의 개념도

Cubicle 등으로 구분된다. 각 장치의 구성과 특성을 간략히 요약하면 다음과 같다.

### 보조블럭 컨버터(Auxiliary Block Converter)

주 변압기의 보조권선인 2차권선으로부터 교류 입력 전압을 직류 전원 DC 670[V]로 전력변환 할 수 있는 IGBT를 사용한 1.4[MVA] 용량의 PWM 컨버터로 구성되어 있으며, 직류 출력단 필터 캐패시터의 초기 충전을 위한 충전부와 전력변환을 위한 전력변환 장치로서 4개의 Power Module로 이루어진 2군 2병렬 운전 회로 방식으로 구성되어 있다. 이 보조컨버터는 교류측 입력 역률을 1로 유지하면서 출력측 전압을 일정하게 제어하면서 CVCF Inverter, VVVF Inverter, Battery Charger 등의 전원을 공급한다. 현재 운행중인 KTX는 IGBT 소자 대신 제어 방식이 비교적 간단한 싸이리스터(Thyristor) 위상제어정류(PCR : Phase Control Rectifier)방식이 사용되었으나 위상제어 정류기는 입력전류의 파형에 많은 고조파를 함유하기 때문에 주전력 계통의 효율을 나쁘게 하는 단점이 있다.

#### VVVF Inverter

VVVF Inverter는 Auxiliary Block내에 4세트, Auxiliary Cubicle내에 2세트가 설치되어 있으며 보조

컨버터에서 공급되는 직류전원 670[V]를 입력받아 보조블럭 컨버터 냉각 팬과 Compressor Motor, 변압기 Oil Pump, 변압기 냉각 팬 등을 구동하기 위하여 IGBT 소자를 이용한 3상 가변전압/가변 주파수의 가변 출력을 갖는 전원을 공급하는 장치이다. KTX에서는 Switching 소자를 GTO로 사용하였으나 IGBT를 이용한 한국형 고속전철의 Inverter에 비하여 회로구성이 복잡하고 Switching 손실이 큰 단점이 있다.

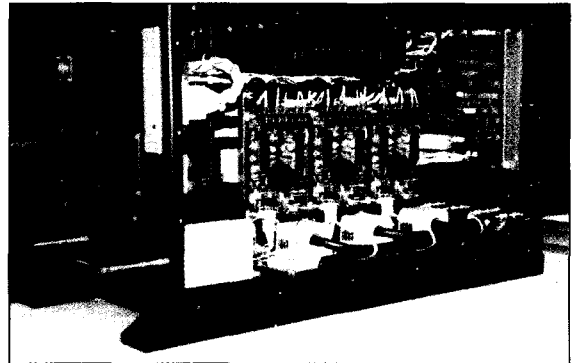


그림 4 52kVA VVVF INVERTER 구조

#### CVCF Inverter

객실의 에어컨과 여압기, 운전실 Heater 등 승객의 편의시설과 객차의 공기 순환을 위한 장치에 3상 3선식 AC 440[V] 전원을 공급하기 위하여 IGBT를 사용한 375[kVA]용량의 정전압/정주파수의 출력을 가진

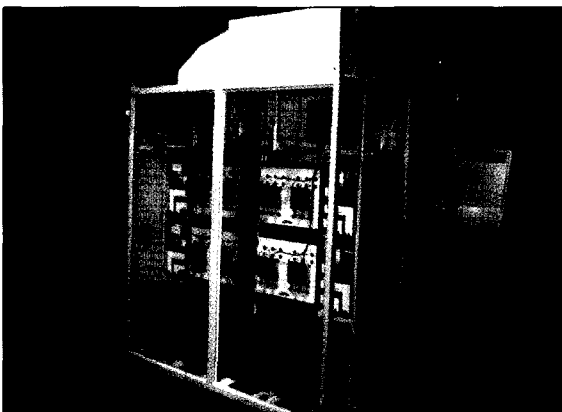


그림 3 Auxiliary Block Converter 구조

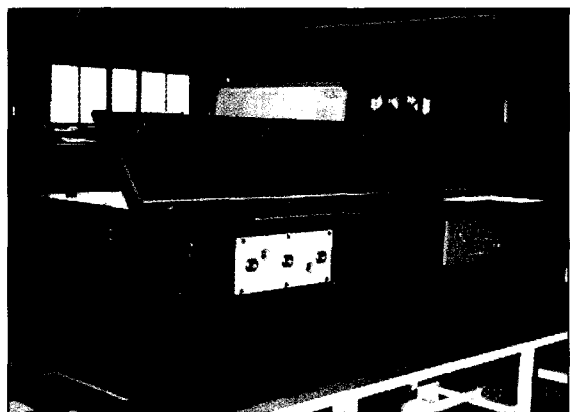


그림 5 CVCF Inverter 구조



Inverter 장치이다.

### Battery Charger

Battery Charger는 동력차용 및 객차용의 두 종류가 있으며 동력차용은 기본 단위 모듈 5[kW]를 2병렬로, 객차용은 5[kW] Charger를 10병렬로 운전하도록 설계하여 고압의 직류 보조전원 DC 670[V]를 ZVZCS(Zero Voltage Zero Current Switching) 소프트 스위칭 방식을 적용하여 저압의 직류 전원 DC 82[V]로 변환하여 Battery의 최적 충전 상태를 유지하기 위한 보조전원장치이다. 객차 및 동력차에 필요한 직류전원과 전동부 하 등에 사용된다.

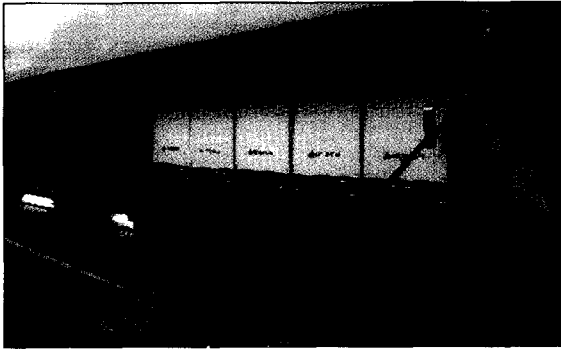


그림 6 차량에 탑재된 객차용 Battery Charger

### Auxiliary Cubicle

Auxiliary Cubicle은 동력 객차에 탑재되어 주 전력 변환장치에서 발생하는 전원측 고조파를 저감하기 위한 Active Filter 및 동력 객차용 변압기 냉각용 팬 및 오일 펌프에 전원을 공급하는 VVVF Inverter 2세트가 구성되어 있다. 또한 차량 제어에 필요한 Relay 및 Contactor가 함께 내부에 취부되어 있다.

### 견인전동기

과거의 철도차량용 견인전동기로는 직류직권전동기가 주류를 이루었으나, 근래에

와서는 전력용 반도체 소자의 급속한 발전으로 중량이 가벼우면서 출력이 크고, 높은 회전력을 얻을 수 있는 농형 유도전동기를 사용하고 있다. 뿐만 아니라 유도전동기는 유지 및 보수가 용이하고, 가변속 시스템에 유리한 장점을 가지고 있다.

고속전철용 견인전동기는 기본적으로 속도에 따른 운전특성을 충분히 만족시킬 수 있어야 한다. 또한 그림 7에서와 같이 바퀴와 이를 지탱해 주는 대차라고 하는 기계구조물 사이에 장착되기 위해서 부피 및 무게의 제한이 수반되며, 반도체 소자의 용량한계에 의한 입력전류의 한계, 전동기의 발열량, 병렬운전을 위한 조건 등을 만족시키면서, 고속운전에서의 안정성과 신뢰성을 가져야 한다.

한국형 고속전철용 견인전동기는 1100kW급 3상 농형 유도전동기로 설계 되었고 그 제원 및 단면도를 표 3과 그림 8에 나타내었다.

한국형 고속전철용 견인전동기의 냉각방식은 강제 공기냉각방식(Forced Air Ventilation)을 채택하여 전동기의 소형화, 저속에서의 냉각성능을 향상하였고, 견인전동기의 경우 열차의 하부에 설치되기 때문에 운전중에 Frame 외부는 추가적인 냉각이 이루어진다. 이

표 3 견인전동기 제원

정격용량 [kW]	1100
정격전압 [V]	2183
정격전류 [A]	342
주파수 [Hz]	143
정격속도 [rpm]	4300
절연등급	Class 200

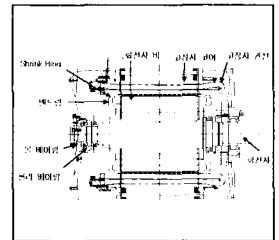


그림 8 견인전동기의 단면도

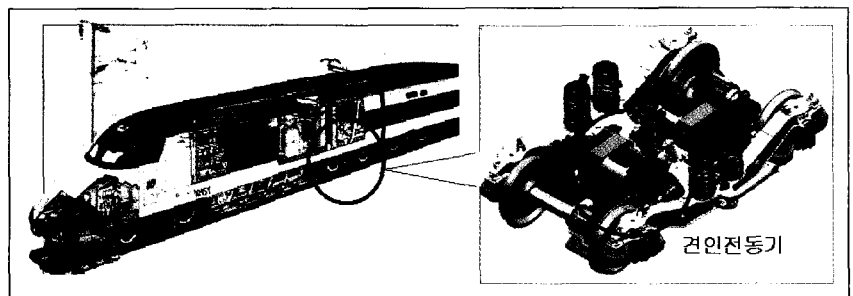
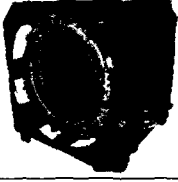





그림 7 고속전철용 차량 및 견인전동기 대차 취부 모습

표 4 한국형 고속전철(HSR 350x)용 견인전동기와 고속전철(KTX)용 견인전동기의 비교

	HSR 350x (유도전동기)	KTX (동기전동기)
고정자		
회전자		
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유지보수가 용이</li> <li>- 회전자 구조 간단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 높은 역률과 효율로 운전가능</li> <li>- 제어 용이</li> </ul>
적용사례	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 독일의 ICE 1250kW</li> <li>- 일본의 신간선 300kW</li> <li>- G7(한국형고속전철) 1100kW</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 프랑스 TGV 1130kW (ALSTOM의 2세대)</li> <li>- 경부고속전철 1130kW</li> </ul>
기술추세	고속철도용 견인전동기는 인버터 제어기술의 발달로 3상 유도전동기를 채택하고 있는 추세이다.	

러한 냉각의 효율성과 소형, 경량화를 위하여 견인전동기 구조물을 Frameless 방식으로 설계하였고, 구조의 견고성을 위하여 회전자 바(Bar)와 엔드링(End Ring)에 별도의 기계적 지지 구조물인 쉬링크링(Shrink Ring)을 부착하였다. 함침기법으로 진공기압함침(V.P.I.)방식을 적용하여 열전도도, 기계적인 안정성, 내전압, 내코로나 특성을 향상시켰다. 최적의 슬롯조합과 고정자와 회전자의 철심설계를 위하여 선진국의 고속전철용 견인전동기와와의 비교분석과 FEM 전자장해석을 통하여 설계하였다. 한국형 고속전철(HSR 350x)용 견인전동기와 현재 운행되고 있는 고속전철(KTX)용 견인전동기의 특징을 비교하면 표 4와 같다.

### 향후 전망

한국형 고속전철은 2003년 8월 300km/h 주행에 성공하였고 이후 차량의 안정화를 위한 300km/h 정속주행 시험을 계속 실시하였다. 시험초기 고속주행에 따른 여러 가지 문제점들이 발생하였으나 지속적인 데이터 분석과 기술보완으로 주행안정성을 확보하였으며, 현재는 이를 바탕으로 350km/h 증속을 목표로 시험주행이 진행 중에 있다. 이와 같은 한국형 고속전철의 전장품 국산화는 국내 고속전철시장의 수입대체 효과 및 관련 산업의 진일보는 물론 세계시장 진출도 기대할 수 있게 되었다.