

# 한국형 고속전철 보조전원장치 고장진단과 성능평가

## Fault Diagnosis and Performance Evaluation of Auxiliary Block for Korean High-Speed Train

한영재\* 김기환\* 김석원\* 김종영\* 김현\*\*  
Han, Young-Jae Kim, Gi-Khwan Kim, Seog-Won Kim, Jong-Young Kim, Hyun

### ABSTRACT

For the research, we developed the hardware and software of the measurement system for on-line test and evaluation. The software controls the hardware of the measurement data and acts as a interface between users and the system hardware. In this paper, we studied performances of the auxiliary block for high-speed railway vehicle. In order to performance these works, the conversion system was developed. Using this system, we obtained the important results, such as voltage values for the battery charger and auxiliary block. Also, we diagnosed the faults and performed the evaluation for auxiliary block using the measurement system and data.

### 1. 서론

철도차량을 이용한 교통시스템은 다른 대중교통 수단이 한계에 이르면서 그 수요가 증가하고 있다. 철도차량에 대한 공급이 증가함과 동시에 안전성과 신뢰성에 대한 확보가 그 어느 때보다도 더 절실히 요구되고 있다. 따라서 고속철도차량의 국내기술 확보를 위해 개발된 한국형 고속전철은 단품 시험, 완성차 시험, 공장 시험 등을 통해 기본적인 성능이 확인되었으며, 현재는 차량에 취부된 전장부들의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위하여 본선시운전 시험을 통해 종합적이고 체계적인 검증이 수행하고 있다.

고속전철의 안전성과 신뢰성을 크게 좌우하는 전장부들에서 보조전원장치(이하 Auxiliary Block)는 차량 내에서 중요한 역할을 수행하며, 일반 산업용에 비해 내진동, 내노이즈성 및 열악한 주변환경에서도 정상적으로 동작해야만 한다. 또한 차량에 취부된 Auxiliary Block은 차량의 성능에 직접적으로 영향을 주는 장치이기 때문에 철저하게 시험을 실시하고 있다. 그러나 그동안에는 Auxiliary Block의 전압, 전류, 온도 등을 측정하고 그 성능을 검증하기 위하여 본선시운전 시험마다 개별적인 시험 장치를 설치하여 실시하였다. 주로 노트북을 이용하여 데이터를 입력받거나, 레코더를 이용하여 그래프로 출력하는 수준이었다. 이와 같이 계측을 한 곳에서만 실시하기 때문에 전체 차량에서의 Auxiliary Block 성능에 대한 정확한 정보를 알기가 어려웠으며, 계측장비를 구축할 때의 비용을 상승시키고, 최적화된 계측시스템을 갖추는데 어려움이 많았다.

\* 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

\*\* 로템

본 연구에서는 한국형 고속전철을 평가하고 Auxiliary Block의 성능을 확인하기 위하여 하드웨어와 소프트웨어로 구성된 상시 계측시스템을 자체적으로 개발하여 구성하였다. 이것을 통해서 Auxiliary Block의 출력전압, 출력전류 및 입력전압 등에 대한 여러 정보를 습득하였으며 Auxiliary Block과 다른 장치와의 신호들을 서로 비교하여 Auxiliary Block의 성능을 평가하고 고장을 진단하였다.

## 2. Auxiliary Block의 기능과 사양

Auxiliary Block은 가선전압(AC 25kV, 60Hz)이 주변압기의 보조전선을 통해 감압된 교류전압(AC 380V)을 전력변환장치인 PWM(Pulse Width Modulation) 컨버터를 통하여 직류전압(DC 670V)을 만든다. 이 직류전압은 열차의 진입장치와 주변압기, Auxiliary Block, 진입전동기 등의 냉각팬 구동용 인버터의 전원, 그리고 승객서비스를 위한 냉난방장치 등과 오일펌프용 전동기, 공기압축기 등을 구동하기 위한 CVCF(Constant Voltage Constant Frequency) 인버터 전원, 진입장치의 제어기 등 각종 제어장치에 안정된 전원을 공급하기 위한 Battery Charger 구동용 위한 전압으로 사용된다.

### 2.1 보조컨버터 시스템

주변압기의 보조전선인 2차전선으로부터 입력된 교류전압(AC 380V)을 직류전압(DC 670V)로 전력 변환할 수 있는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용한 PWM 컨버터로 구성되어 있으며, 직류 출력단 필터 커패시터의 초기충전을 위한 충전부는 충전용 접속기와 충전저항으로 이루어졌다. 표 1은 보조컨버터의 주요 사양을 보여준다.

표 1. 보조컨버터의 주요 사양

구분	항 목	내 용
형식	주회로 방식	IGBT 다중 병렬 컨버터
	제어 방식	PWM 제어
	운전 방식	2군 2병렬 Redundancy
	냉각 방식	Heat Pipe + 송풍기에 의한 강제냉각
입력	경격 전압	25kV/380V, 단상 60Hz
	동작 범위	19~27.5kV(변압기 1차 전압)
	경격 전류	921A/Converter
	입력 역률	0.98
출력	경격 용량	1.4MW(350kW×4병렬)
	출력 전압	DC 670V±50V
	출력 전류	2089.6A
효율	97%이상(경격에서)	

수차단기, 전력변환을 위한 전력변환장치는 4개의 Power Module로 이루어진 다중병렬 회로로 구성되어 있다. 보조컨버터에서 1개의 Power Module에 불의의 사고로 인한 고장이 발생하게 되면, 고장 발생한 Power Module의 컨버터 군(Converter Group)은 컨버터의 부하와 분리되어 정상 운전중인 나머지 다른 Power Module의 컨버터 군으로 정상운전을 할 수 있도록 2군 2병렬 운전 회로방식으로 구성되어 있다.

가선전압이 19kV와 27.5kV 사이에서 입력전압의 변동에도 보조컨버터의 출력전압 DC 670V는 일정하게 출력되며, 모든 보조전원장치는 입력전압의 변동과 무관하게 입력전압 변동 범위 내에서 항상 정상적으로 작동할 수 있도록 설계되어 있다.

또한 대용량의 PWM 컨버터는 경격용량의 한계로 인하여 병렬운전 회로를 사용함으로써 대용

양의 부하에 대응할 수 있는 컨버터 시스템을 구성할 수 있으며, 이와 같은 병렬운전으로 단일운전시 보다 전류속 절류의 리플, 고조파를 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다.

## 2.2 VVVF 인버터

VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 인버터는 보조 컨버터에서 공급되는 직류전원 670V를 입력받아 냉각팬을 구동하기 위한 3상 가변전압/가변주파수의 가변출력을 갖는 교류전원을 만들어 용도별, 모드별 운전을 하는 장치이다. VVVF 인버터는 로직회로로부터 670V 정상신호가 인가되면, 인버터 동작명령신호 및 속도반감신호 인가여부에 따라 PWM 제이로 380VAC/60Hz, 281VAC/45Hz 및 190VAC/30Hz 출력전압이 일정하게 유지되도록 제어한다. 즉, 보조컨버터의 출력전압이 DC 620V와 DC 720V 사이에서 전압이 변동하더라도 VVVF 인버터의 전력회로 및 출력전압이 변동되지 않고, 입력전압의 변동과 무관하게 작동할 수 있는 성능을 갖는다.

VVVF 인버터는 Auxiliary Block 통풍용 냉각팬, 주변압기 통풍용팬, 주변압기 요입팬드용 전동기, 동력차 공기압축기용 전동기 부하를 구동하는데 사용된다. 그림 1은 VVVF 인버터 완성품을 보여주고 있으며, 표 2는 VVVF 인버터의 사양을 나타낸다.

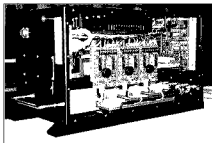


그림 1. VVVF 인버터

표 2. VVVF 인버터의 사양

항 목	사 양
입 력	DC 670V ± 50V
출 력	3상 AC 0~380V, 0~60Hz
용 량	38KW 연속, 46KW 5분
사용 소자	IGBT 소자
PWM 방식	Space Vector PWM
냉 각	각 해당블록의 냉각팬에 의해 강제냉각됨.
크 기	650×320×356mm
중 량	28kg
Box 재질	알루미늄
Control Unit	Control unit 내장형

## 2.3 CVCF 인버터

CVCF 인버터는 전원의 입력부로서 퓨즈, 전류속의 전압상승을 방지하기 위한 다이오드 모듈과 인버터 입력단의 전원 평활용 필터 커패시터로 되어있으며, 기동시 입력전압을 커패시터에 충전시키기 위한 충전부로서 초기 충전을 위한 충전용 컨택터와 전류 제한용 충전저항이 있으며, 또한 충전완료 후 주전원을 인버터 회로에서 공급 및 차단할 수 있는 주 차단기가 있다. 필터 커패시터로 안정화된 전원은 IGBT 모듈로 구성된 인버터와 전압 및 전류를 검지하기 위한 센서로 구성되어 있다.

## 2.4 Battery Charger

Battery Charger는 DC 670V를 DC 79V로 변환하여 객차 및 동력차에 필요한 직류전원을 안정되게 공급하고 Battery Charger의 고장 발생시 가장 중요하고 안전에 직결된 부하에 전원을 공급하는 Battery의 최저 충전상태를 유지하기 위한 보조적인 전원공급장치이다.

Battery Charger는 동력차용 및 객차용의 두 종류가 있으며 동력차용은 기존 단위 모듈 5KW를 2병렬로, 객차용은 5KW Charger를 10병렬로 운전하도록 설계되어 있다. 또한 기존 단위 모듈은 소프트 스위칭(ZVZCS: Zero Voltage Zero Current Switching) 기법을 사용하여 스위칭 손실을 줄여 고주 스위칭이 되도록 하여 변압기 및 리액터의 크기를 최소화 할 수 있도록 하였다.

## 3. 신호측정을 위한 센서와 장치

그림 2와 그림 3은 동력차에 설치되어 있는 Auxiliary Block 컨버터의 성능과 특성을 파악하기 위해 설치한 입출력 전압/전류 센서를 보여준다. 모두 2대의 Auxiliary Block 컨버터가 한국형 고속전철에 취부되어 있으며, 차량에서 필요로 하는 대부분의 보조전원을 공급해준다. 전기신호 변환시스템을 구성할 경우에는 전압, 전류, 속도 등 각종 센서로부터 입력된 신호는 단자대를 거쳐 변환기로 입력된 후에 신호변환과정을 거쳐 계측장비에 전기신호가 입력되도록 되어있다. 단자대는 센서, 전원공급기 및 변환기에 연결되는 신호선들이 전기적으로 연결될 수 있도록 하는 기능과 시세차량이 분리될 경우 차량간에 길게 연결된 선들의 분리가 용이하게 하는 기능이 있다.

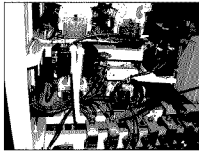


그림 2. 컨버터 입출력 전압센서

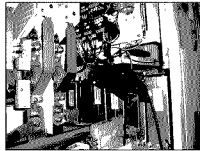


그림 3. 컨버터 출력 전류센서

## 4. 시험결과

앞에서 설명한 것처럼 Auxiliary Block은 주변압기의 보조권선으로부터 교류전압(AC 380V)을 입력받아서 직류전압(DC 670V)으로 변환해준다. 한국형 고속전철의 경우, Auxiliary Block 컨버터가 가동을 정지하면 Motor Block(이하 MB)을 냉각시켜 주는 냉각팬 구동을 인버터에 전원을 공급하지 못해 냉각팬이 돌지 않아서 MB도 가동을 멈추게 되어있다. 따라서 MB이 운행을 정지하면 당연히 차량의 속도도 줄어들게 된다.

그림 4를 통해 Auxiliary Block의 출력전압이 떨어진 시점을 기준으로 약 1초 뒤부터 차량의 속도가 낮아진 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상을 통해 Auxiliary Block 컨버터와 Battery Charger 등의 고장은 주변압기 및 추진장치의 고장으로 이어진다는 것을 보여준다.

그림 5는 프로그램을 수정하고 노이즈를 제거하는 등의 보완조치를 한 후에 Auxiliary Block의 출력전압을 측정할 결과이다. Auxiliary Block의 출력전압이 안정적으로 동작하고 기준치 이내에 존재함을 알 수 있다.

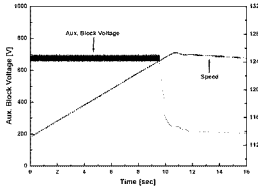


그림 4. Auxiliary Block 고장시의 전압과 속도

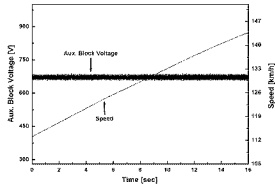


그림 5. Auxiliary Block 정상시의 전압과 속도

그림 6은 실제 본선시운전 시험에서 2시간 30분동안 한국형 고속전철을 운행하면서 Auxiliary Block 출력전압과 Battery Charger 출력전압을 측정된 결과이다. 가선전압이 순간적으로 떨어졌던 것은 사구간을 통과할 때 전압을 급전받지 못하기 때문이다. Auxiliary Block 출력전압의 변동범위가 DC 620~720V 사이인데, 전구간에 걸쳐 기준치 이내임을 확인할 수 있다.

그림 7은 위와 동일한 조건에서 차량을 주행하면서 Battery Charger의 출력전압을 측정된 결과이다. Auxiliary Block의 출력전압과 마찬가지로 전체 영역에 걸쳐 기준치 이내에 있는 것을 알 수 있다. 그림 6과 그림 7을 통해 장시간의 차량 운행에도 Auxiliary Block 컨버터와 Battery Charger가 안정적으로 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

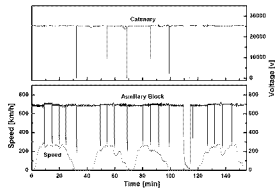


그림 6. Aux. Block 출력전압 파형

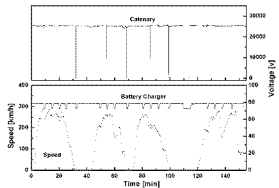


그림 7. Battery Charger 출력전압 파형

## 5. 결론

한국형 고속전철에 취부되는 Auxiliary Block은 차량의 안전성과 신뢰성 확보를 위해 매우 중요한 요소이다. 따라서 이 장치에 대한 전기 및 기계적 성능과 특성을 확인하는 것은 차량의 안전운행과 정시성 확보를 위해 중요한 요소라고 볼 수 있다.

본 논문에서는 한국형 고속전철 Auxiliary Block의 특성을 파악하기 위해 상시 계측시스템을 구성하였다. 이를 통해 본선시운전 시험에서 획득한 데이터를 분석하여 제작된 Auxiliary Block의 성능평가와 고장진단을 실시하였으며, 그 장치의 각 특성값이 기준치 이내에 존재함을 확인할 수 있었다. 본선시운전 시험의 초기에는 시험결과에서 볼 수 있는 것처럼, Auxiliary Block의 고장으로 추진시스템의 가동이 중단되어 속도가 갑자기 떨어지는 문제가 있었지만 프로그램 수정과 노이즈 저감을 통해 고장원인을 없앤 후에는 안정적으로 Auxiliary Block이 정상 동작하는 것을 보

수 있다. 또한 실제 본선시운전 시험에서 Auxiliary Block의 출력전압과 Battery Charger의 출력 전압을 측정하여 장시간의 운행에도 안정적으로 동작하는 것을 확인하였다.

## 후 기

본 내용은 건설교통부에서 시행한 고속철도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

## 참고문헌

- [1] Paolo Masini and Giovanni Puliti, "Virtual Acquisition Systems for Global Analysis (VASGA) in Experimentation", WCRP, pp. 279-286, 1997.
- [2] Y.J.Han et al., "A study on traction system characteristics of high speed train", pp. 1720-1723, ICCAS 2003.
- [3] 보조전원장치 개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2000), 건설부, 동산부, 과거치.
- [4] 김석원, 김영국, 백광선, 김진환, 한영재, "고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(1)-하드웨어", 철도학회 추계학술대회, pp. 168-173, 2002.
- [5] 김석원, 김진환, 최강윤, 박찬경, 김기환, "고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(2)-소프트웨어", 철도학회 추계학술대회, pp. 174-181, 2002.
- [6] The Measurement and Automation Catalog, National Instruments, 2001.