

## 한국형 고속열차 보조전원장치 고장진단과 성능평가

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

한영재<sup>†</sup> · 김석원\* · 김기환\* · 김상수\* · 구훈모\* · 조현욱\*\*

Young-Jae Han · Seog-Won Kim · Ki-Hwan Kim · Sang-Soo Kim · Hun-Mo Koo · Hyun-Wook Joo

### Abstract

As the on-board electric devices determine the performances of vehicles, production of reliable devices is important. To keep the reliability of devices constant, management of performance evaluation of the on-board devices is crucial. Because temperature has a serious effect on failures of the components of the devices, its measurement is the first step for good management. In this study, we described performance characteristics of domestic auxiliary block developed through G7 project. We measured the performances of auxiliary block during test running by the developed on-line measurement system. After we save the input real-time data from each signal of Korean High Speed Train through the network line, we can acquire necessary information through post-processing program. We verify the motor block characteristics of Korean High Speed Train by this system.

**Keywords** : High speed railway(고속철도), Auxiliary block(보조 블록), Fault diagnosis(고장 진단), Performance evaluation (성능 평가)

## 1. 서론

고속철도는 수많은 하이테크 기술의 결정체이며 이 중에서도 보조전원장치, 주변압기, 전력변환장치 등을 비롯한 주요 전기장치들은 차량의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 항공기와 선박 등 타교통수단과 비교하여 철도차량은 정시성, 안정성, 경제성 및 환경친화성의 장점을 가지고 있기 때문에 앞으로도 철도차량에 대한 의존도가 더욱 높아진 것으로 예상된다.

차량의 고속화와 관련해서는 안정성, 신뢰성, 유지보수비 및 에너지 저감 등이 요구됨에 따라 이러한 요구조건을 충족시킬 수 있는 전장품을 개발하기 위하여 선진국 업체들이 힘쓰고 있다[1-3].

고속전철의 안정성과 신뢰성을 크게 좌우하는 전장품들에서 차량 내에서 중요한 역할을 수행하는 보조전원장치는 일반 산업용에 비해 내진동, 내노이즈성 및 열악한 주변환

경에서도 정상적으로 동작해야만 한다.

또한 고속열차를 개발하기 위해서는 전체 시스템을 구성하는 개별 요소들의 성능 확보와 이들을 평가하는 시스템이 매우 중요하며, 이러한 계측 및 평가시스템은 고속전철 개발 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위해서 먼저 개발되어야 할 핵심기술이다[4-5].

본 연구에서는 한국형 고속열차 보조전원장치 성능을 확인하기 위하여 하드웨어와 소프트웨어로 구성된 상시 계측 시스템을 자체적으로 개발하였다.

이를 통해서 보조컨버터의 출력전압, 출력전류 및 입력전압 등에 대한 여러 정보를 습득하였으며, 보조전원장치와 다른 장치와의 신호들을 서로 비교하여 보조전원장치의 성능을 평가하고 고장을 진단하였다.

## 2. 본론

### 2.1 시제열차 편성

한국형 고속열차는 7량 1편성이며, 차량배치 및 차량별 용도는 그림 1과 같다. 표 1은 시제열차의 사양의 일부를 나타낸 것이다[6].

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단  
E-mail : yjhan@krti.re.kr  
TEL : (031)460-5614 FAX : (031)460-5649

\* 한국철도기술연구원

\*\* (주)로템

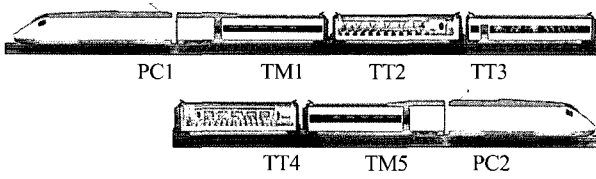


Fig. 1. KHST 배치도

Table 1. KHST 주요제원

항 목	내 용	
열차치수	열차길이(최대)	145m
	열차 폭(최대)	2.97m
대차수량	동력대차	6Sets
	부수대차	4Sets
차륜직경	신차륜	0.92m
	반마모	0.885m
	완전마모	0.85m
추진	전동기 수량	12EA
	전동기 출력(1대)	1,100kW
열차무게	W0	321.8톤
	W1	328.6톤
	W2	331.0톤
	W3	430.3톤
최대축중	17.0톤	

## 2.2 시험계측시스템의 구성

### 2.2.1 계측시스템 구성 및 배치도

시험계측시스템은 6개의 측정모듈과 2개의 모니터링 장치 및 Main Server(안전 모니터링으로 이용)로 구성되며, 각 측정모듈 및 별도의 모니터링(제동, 주행) 장치에서 상시 모니터링할 수 있도록 되어있다. 그림 2는 시험계측시스템의 구성도를 나타낸다[7-8].

4개의 계측모듈(DAM1, DAM2, DAM31, DAM32)과 2개의 모니터링 장치 및 Main Server는 Network Line으로 연결되어 계측데이터를 공유하고 있으며, Main Server에 의해 제어되도록 되어있다.

4개의 각 측정모듈에서 계측신호에 대해 항상 모니터링이 가능하며 별도의 모니터링(제동, 주행) 및 Main computer 장치에서 상시 모니터링할 수 있도록 되어있다.

TM1에 MWM과 DAM1이, TT3에 DAM2, 모니터링(제동, 주행)과 Main Server가, TM5에 DAM31, DAM32와 DAMP가 설치되어 있으며, TT3에서 중요한 계측신호의 모니터링이 가능하다.

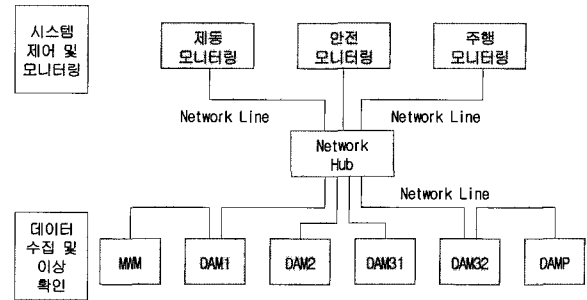


Fig. 2. 시험계측시스템 구성

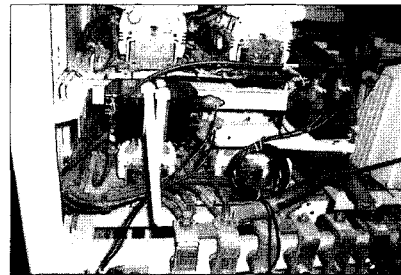


Fig. 3. 컨버터 입출력 전압센서

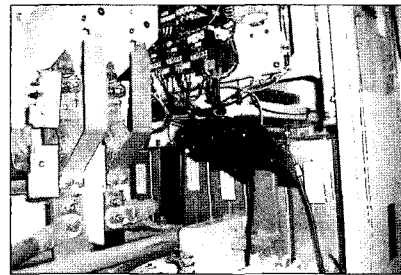


Fig. 4. 컨버터 출력 전류센서

### 2.2.2 신호측정을 위한 센서와 장치

그림 3과 그림 4는 동력차에 설치되어 있는 보조 컨버터의 성능과 특성을 파악하기 위해 설치한 입출력 전압/전류 센서를 보여준다. 모두 2대의 보조 컨버터가 한국형 고속전철에 취부되어 있으며, 차량에서 필요로 하는 대부분의 보조전원을 공급해준다. 전기신호 변환시스템을 구성할 경우에 전압, 전류, 속도 등 각종 센서로부터 입력된 신호는 단자대를 거쳐 변환기로 입력된 후에 신호변환과정을 거쳐 계측 장비에 전기신호가 입력되도록 되어있다.

단자대는 센서, 전원공급기 및 변환기에 연결되는 신호선들이 전기적으로 연결될 수 있도록 하는 기능과 시제차량이 분리될 경우 차량간에 길게 연결된 선들의 분리가 용이하게 하는 기능이 있다.

### 2.3 보조전원장치 기능과 사양

보조전원장치는 가선전압(AC 25kV, 60Hz)이 주변압기의 보조권선을 통해 감압된 교류전압(AC 380V)을 전력 변환장치인 PWM(Pulse Width Modulation) 컨버터를 통하여 직류전압(DC 670V)을 만든다.

이 직류전압은 열차의 견인장치와 주변압기, 보조전원장치, 견인전동기 등의 냉각팬 구동용 인버터의 전원, 그리고 승객서비스를 위한 냉난방장치 등과 오일펌프용 전동기, 공기압축기 등을 구동하기 위한 CVCF(Constant Voltage Constant Frequency) 인버터 전원, 견인장치의 제어기 등 각종 제어장치에 안정된 전원을 공급하기 위한 Battery Charger 구동을 위한 전압으로 사용된다.

#### 2.3.1 보조컨버터 시스템

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

주차단기, 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 컨버터군(Converter Group)은 컨버터의 부하와 분리되어 정상 운전중인 나머지 다른 Power Module의 컨버터 군으로 정상운전을 할 수 있도록 2군 2병렬 운전 회로방식으로 구성되어 있다.

Table 2. 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	정격 전압	25kV/380V, 단상 60Hz
	동작 범위	19~27.5kV(변압기 1차 전압)
	정격 전류	921A/Converter
	입력 역률	0.98
출력	정격 용량	1.4MW(350kW×4병렬)
	출력 전압	DC 670V±50V
	출력 전류	2089.6A
효율	97%이상(정격에서)	

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 정격용량의 한계로 인하여 병렬운전 회로를 사용함으로써 대용량의 부하에 대응할 수 있는 컨버터 시스템을 구성할 수 있으며, 이와 같은 병렬운전으로 단일운전시 보다 전원측 전류의 리플, 고조파를 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다.

### 2.4 VVVF 인버터

VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 인버터는 보조컨버터에서 공급되는 직류전원 670V를 입력받아 냉각팬을 구동하기 위한 3상 가변전압/가변주파수의 가변출력을 갖는 교류전원을 만들어 용도별, 모드별 운전을 하는 장치이다.

VVVF 인버터는 Logic 회로로부터 670V 정상신호가 인가되면, 인버터 동작명령신호 및 속도반감신호 인가여부에 따라 PWM 제어로 380VAC/60Hz, 281VAC/45Hz 및 190VAC/30Hz 출력전압이 일정하게 유지되도록 제어한다.

즉, 보조컨버터의 출력전압이 DC 620V~DC 720V 사이에서 전압이 변동하더라도 VVVF 인버터의 전력회로 및 출력전압이 변동되지 않고, 입력전압의 변동과 무관하게 작동할 수 있는 성능을 갖는다.

VVVF 인버터는 보조전원장치 통풍용 냉각팬, 주변압기 통풍용팬, 주변압기 오일펌프용 전동기, 동력차 공기압축기용 전동기 부하를 구동하는데 사용된다. 그림 5는 VVVF 인버터 완성품을 보여주고 있으며, 표 3은 VVVF 인버터의 사양을 나타낸다.

### 2.5 CVCF 인버터

CVCF 인버터는 전원의 입력부로서 퓨즈, 전원측의 전압상승을 방지하기 위한 다이오드 모듈과 인버터 입력단의 전

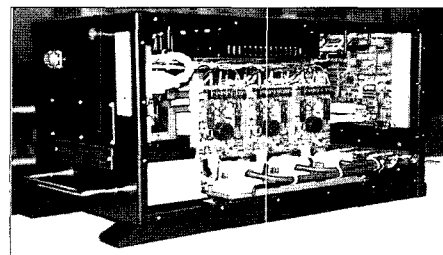


Fig. 5. VVVF 인버터

Table 3. 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 강제 냉각됨
크 기	650×320×356mm
중 량	28kg
Box 재질	알루미늄
Control Unit	Control unit 내장형

원 평활용 필터 커패시터로 되어있으며, 기동시 입력전압을 커패시터에 충전하기 위한 충전부로서 초기 충전을 위한 충전용 콘덴터와 전류 제한용 충전저항이 있다.

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 구성되었다.

## 2.6 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 최적 충전상태를 유지하기 위한 보조적인 전원공급장치이다.

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

## 2.7 시험결과

앞에서 설명한 것처럼, 보조컨버터는 변압기의 보조권선으로부터 AC 380V를 입력받아 DC 670V로 변환해준다.

한국형 고속전철의 경우, 보조컨버터가 가동을 정지하면, Motor Block(이하 MB)을 냉각시켜 주는 냉각팬 구동용 인버터에 전원을 공급하지 못해, 냉각팬이 돌지 않아서 MB도 가동을 멈추게 되어있다. 따라서 MB이 운행을 정지하면 자연히 차량의 속도도 줄어들게 된다.

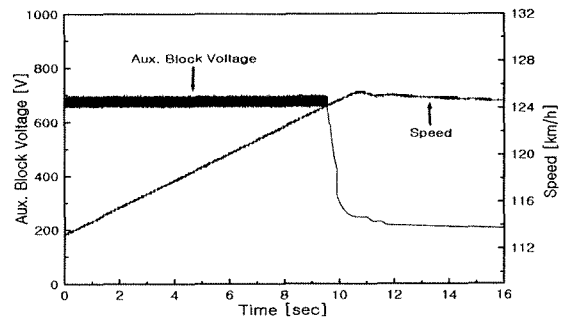


Fig. 6. 보조컨버터 고장시의 속도 파형

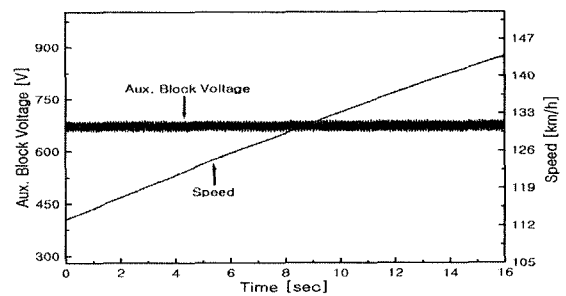


Fig. 7. 정상시의 보조컨버터 출력 전압

그림 6을 통해 보조컨버터 출력전압이 떨어진 시점을 기준으로, 약 1초 뒤부터 차량의 속도가 낮아진 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상을 통해 보조컨버터와 battery charger 등의 고장은 주변압기, 추진장치의 고장으로 이어진다는 것을 보여준다.

그림 7은 프로그램을 수정하고 노이즈를 제거하는 등의 보완조치를 한 후, 보조컨버터 출력전압을 측정된 결과이다. 보조컨버터 출력전압이 안정적으로 동작하고 기준치이내에 있는 것을 알 수 있다.

그림 8과 그림 9는 330km/h와 340km/h 속도로 차량을 운행하면서, VCB 전압과 보조컨버터 출력전압을 측정된 결과이다. 통상적인 운행속도인 300km/h보다도 높은 속도대역에서도 보조컨버터가 정상 동작하는지를 알 수 있다. VCB 전압이 0으로 떨어진 부분은 사구간을 통과할 때이다. 정상적인 경우, 보조컨버터 출력전압의 변동범위가 DC 620~720V이다.

시험을 통해 보조컨버터 출력전압이 전구간에 걸쳐 기준치 이내임을 확인할 수 있다. 이를 통해 장시간동안 300km/h 이상의 고속 영역에서도 고속열차의 보조컨버터가 안정적으로 동작한다는 것을 알 수 있다.

그림 10은 실제 본선시운전 시험에서 1시간 30분동안 한국형 고속전철을 운행하면서 보조컨버터 출력전압과 Battery Charger 출력전압을 측정된 결과이다. VCB가 순간적으로

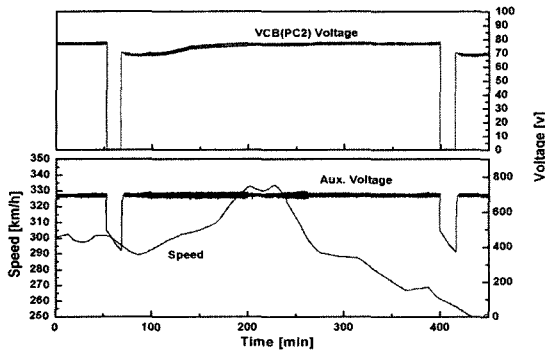


Fig. 8. 330km/h에서의 보조컨버터 출력전압

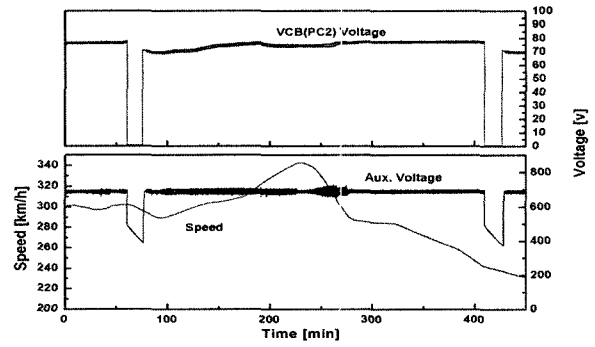


Fig. 9. 340km/h에서의 보조컨버터 출력전압

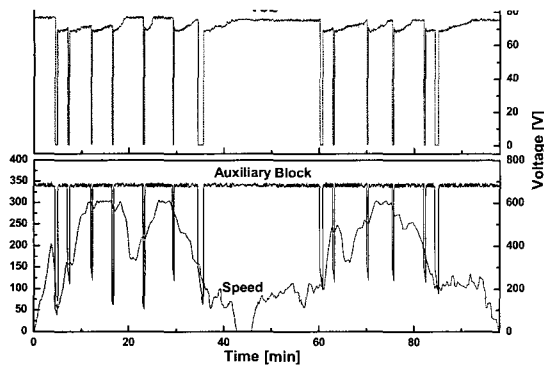


Fig. 10. 보조컨버터 출력전압 파형

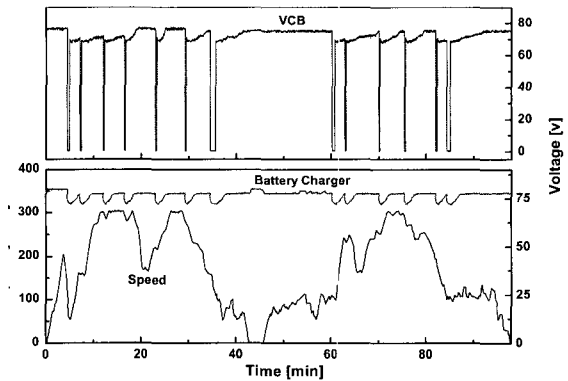


Fig. 11. Battery Charger 출력전압 파형

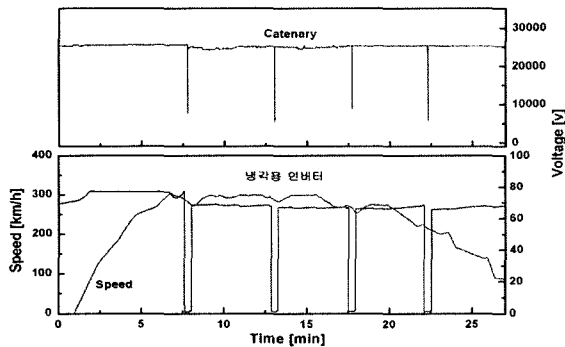


Fig. 12. 주변압기 냉각용 인버터

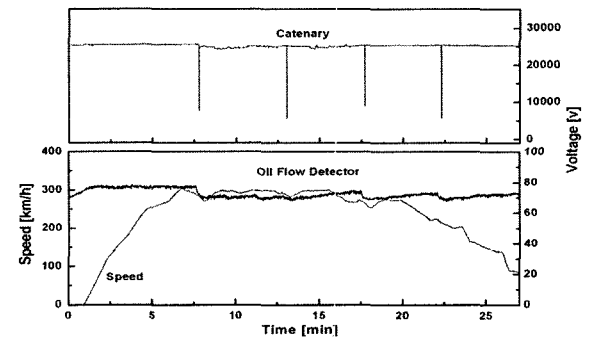


Fig. 13. 주변압기 Oil Flow Detector

떨어진 것은 사구간을 통과할 때 전압을 급전받지 못해 VCB가 차단되기 때문이다. 보조컨버터 출력전압의 변동범위가 DC 620~720V 사이인데, 전구간에 걸쳐 기준치 이내임을 확인할 수 있다.

그림 11은 위와 동일한 조건에서 차량을 주행하면서 Battery Charger의 출력전압을 측정된 결과이다. 보조컨버터의 출력전압과 마찬가지로 전체 영역에 걸쳐 기준치 이내에 있는 것을 알 수 있다. 그림 10과 그림 11을 통해 장시간의 차량 운행에도 보조컨버터와 Battery Charger가 안정적

으로 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 12와 그림 13은 오송에서 광명 방향으로 운행하면서 주변압기 냉각용 인버터와 주변압기 Oil Flow Detector 동작상태를 측정된 결과이다. 정상적인 경우, 주변압기 냉각용 인버터는 사구간을 제외한 전 구간에서 동작하고, 주변압기 Oil Flow Detector는 사구간에서도 '0'으로 떨어지지 않아야 한다.

주변압기 냉각용 인버터 Relay 전압이 '0'으로 나타난 구간은 절연구간으로 정상적으로 전원을 공급받지 못한 곳이다.

주변압기 Oil Flow Detector의 경우에는 사구간에서 '0'으로 떨어지지 않고 'High' 상태를 유지하는 것을 볼 수 있다. 시험을 통해 주변압기 냉각용 인버터와 Oil Flow Detector가 정상적으로 작동하고 있음을 확인하였다.

#### 4. 결론

한국형 고속전철에 취부되는 보조전원장치는 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 보조전원장치의 특성을 파악하기 위해 상시 계측시스템을 구성하였고, 이를 통해 본선시운전 시험에서 획득한 데이터를 분석하여 제작된 보조전원장치의 성능평가와 고장진단을 실시하였으며, 그 장치의 각 특성값이 기준치 이내에 존재함을 알 수 있었다.

시운전 시험 초기에는 시험결과에서 볼 수 있는 것처럼, 보조전원장치의 고장으로 추진시스템의 가동이 중단되어 속도가 갑자기 떨어지는 문제가 있었지만 프로그램 수정과 노이즈 저감을 통해 고장원인을 없앤 후에는 안정적으로 보조전원장치가 정상 동작하는 것을 볼 수 있었다.

또한 실제 본선시운전 시험에서 보조컨버터의 출력전압과 Battery Charger의 출력전압을 측정하여 장시간의 운행에도 안정적으로 동작하는 것을 알 수 있다. 이러한 시험결과를 통해 한국형 고속열차에 취부되어 있는 보조전원장치의 성능이 양호함을 확인하였다.

#### 후 기

본 내용은 건설교통부에서 시행한 고속철도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

#### 참 고 문 헌

1. Parker (1997), "The Overview of Trends of High-Speed Trains", Parker & Associates Inc.
2. G. Coset (1986), "The New Generation of SNCF high-speed rolling stock: The TGV-Atlantique Train", Rail Engineering International Edition No.3, pp.15-19.
3. J. Ito, Y. Hagiwara, N. Yoshie (1998), "Development of The IGBT Applied Traction Traction System For The Series 700 Shinkansen High-Speed Train", International Conference on Developments in Mass Transit System, 20-23 April, No.543, pp. 25-30.
4. W.T. Tomson (1994), "On-line Monitoring to Detect Electrical and Mechanical Faults in Three-phase Induction Motor Drives", Life management of plants, Conference Publication No.401, December, pp.12-14.
5. Paolo Masini and Giovanni Puliatti (1997), "Virtual Acquisition Systems for Global Analysis (VASGA) in Experimentation", WCRR, pp.279-286.
6. Y. J. Han et al. (2003), "A study on traction system characteristics of high speed train", ICCAS, pp.1720-1723.
7. 김석원, 김영국, 백광선, 김진환, 한영재 (2002), "고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(1)-하드웨어", 철도학회 추계 학술대회, pp.168-173.
8. 김석원, 김진환, 최강운, 박찬경, 김기환 (2002), "고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(2)-소프트웨어", 철도학회 추계 학술대회, pp.174-181.