

고속철도차량 보조전원장치 특성 연구

한영재\*, 김석원\*, 박찬경\*, 한성호\*, 이수길\*, 김종영\*, 김현\*\*  
 \*한국철도기술연구원, \*\*로템

A Study on Characteristic of Auxiliary Block for High Speed Railway Vehicle

Young-Jae Han\*, Seog-Won Kim\*, Chan-Kyoung Park\*, Seong-Ho Han\*, Su-Gil Lee\*, Jong-Young Kim\*, Hyun Kim\*\*  
 \*Korea Railroad Research Institute, \*\*ROTEM

**Abstract** - 현재, 고속철도차량의 국내기술확보를 위해 한국형 고속전철이 개발되어 단품시험, 완성차시험, 공장시험 등을 통해 기본적인 성능을 확인한 후 현재는 본선시운전 시험을 실시하고 있다. 시제차량의 성능 및 기능을 종합적이고 효율적으로 확인하기 위해 고속철도 시운전시험시 상시 계측시스템을 시제차량에 설치하여 운영하고 있다. 본 논문에서는 상시계측시스템을 이용하여 보조전원장치에 대한 성능평가와 고장진단을 실시한 것에 대하여 연구하였다.

- 객차용 Battery Charger : TT3
- 객차용 Inverter(CVCF) : TT4
- 동력차용 Battery Charger : TP1, TP2, TM5
- 동력차용 Inverter(VVVF) : TP1, TP2, TM5

2.2 Aux. Block 기능 및 주요 사양

보조전원장치는 가선으로부터 AC 25kV, 60Hz의 전압을 수전하여 주변압기 보조권선을 통해서 감압(AC 380V)한 교류전압을 Aux. Block내에 있는 전력변환장치인 PWM 컨버터를 통하여 DC 670V를 만든다. 이 직류전압은 열차의 견인장치와 주변압기, 보조 블록, 견인 전동기 등의 냉각 Fan 구동용 인버터의 전원, 그리고 승객서비스를 통한 냉난방장치 등과 오일 펌프용 전동기, 공기 압축기 등을 구동하기 위한 CVCF인버터 전원, 견인장치의 제어기 등 각종 제어장치에 안정된 전원을 공급하기 위한 Battery Charger 구동을 위한 전압을 만들어준다.

1. 서 론

철도차량을 이용한 교통시스템은 다른 대중교통 수단 이 한계에 이르면서 그 수요가 증가하고 있다. 철도차량에 대한 공급이 증가함과 동시에 안전성과 신뢰성에 대한 확보가 그 어느 때보다도 더 철저히 요구되고 있다.

차량의 안전성과 신뢰성을 크게 좌우하는 전장품중의 하나는 보조전원장치라고 할 수 있다. 철도차량에 취부되는 보조전원장치는 일반 산업용에 비해 내진동, 내노이즈성 및 열악한 주변환경에서도 정상적으로 동작해야만 한다.

차량의 성능에 직접적으로 영향을 주는 장치이기 때문에 철저하게 시험을 실시하고 있다. 단품시험, 완성차시험, 본선시운전 시험 등과 같은 기준을 마련하여 그대로 시행하고 있다.

그러나 그동안에는 보조전원장치시험을 위해 별도의 시험장치를 구성하였다. 주로 노트북을 이용하여 데이터를 입력받거나, 레코더를 이용하여 그래프로 출력해 버리고 시험을 종료하였다. 이와같이 계측을 한 곳에서만 실시하기 때문에 전체 차량에서의 보조전원장치 성능에 대한 정확한 정보를 알기가 어려웠다.

본 연구에서는 시운전시험을 수행하기 위해 자체적으로 개발된 상시계측시스템을 이용하여 보조전원장치와 타장치와의 신호를 비교하여 보조전원장치의 성능을 평가하고 고장을 진단하였다.

2. 본 론

2.1 Aux. Block의 배치

그림 1은 한국형 고속철도차량의 시제차량 7량 편성과 각 차량에 취부되는 보조전원장치의 종류를 보여준다.

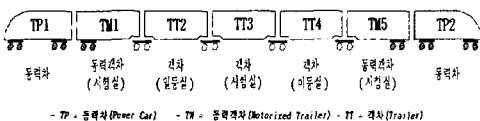


그림 1. KHST 배치도

- 동력차용 Aux. Block : TP1, TP2
- 동력객차용 Aux. Cubicle : TM5

가. 보조 컨버터 시스템

주변압기의 보조권선인 2차권선으로부터 교류 입력 전압을 직류전원 DC 670V로 전력변환 할 수 있는 IGBT를 사용한 PWM 컨버터로 구성되어 있으며, 직류 출력단 필터 캐패시터의 초기 충전을 위한 충전부는 충전용 접촉기와 충전저항으로 이루어졌다.

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

나. VVVF 인버터

52kVA IGBT VVVF 인버터는 고압 직류전원을 3상 교류전원으로 변환시키며, 가력전압과 주파수는 고정 또는 넓은 범위에 걸쳐 가변될 수 있다. 본 시스템은 Logic 회로로부터 670V 정상신호가 인가되면, Inverter 동작명령신호 및 속도 반감신호 인가 여부에 따라 PWM 제어로 380VAC/60Hz, 281VAC/45Hz 및 190VAC/30Hz 출력전압이 일정하게 유지되도록 제어한다.

52kVA 인버터는 보조블록 통풍용 팬, 주변압기 통풍용팬, 주변압기 오일 펌프용 전동기, 동력차 공기 압축기용 전동기 부하를 구동하는데 사용된다. 그림 2는

VVVF Inverter 완성품을 보인 것으로, 우측면의 Controller, 중간의 Power Supply Unit, IGBT Gate Driver 및 CT, 좌측면의 LED부를 볼 수 있다. 표 2는 VVVF inverter의 사양을 나타낸다.

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 강제 냉각 |
| 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                   |
| 효 율 | 97%이상(정격에서) |                           |

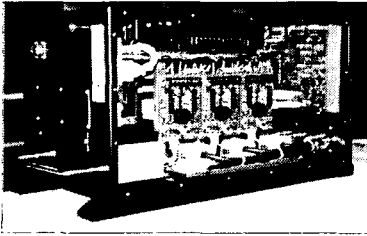


그림 2. 52kVA VVVF 인버터

표 2. 52kVA VVVF 인버터의 주요 사양

| 항 목          | 사 양                    |
|--------------|------------------------|
| 입 력          | DC670 ± 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       |

다. 객차용 VCFC 인버터

VCFC인버터는 전원의 입력부로서 Fuse, 전원측의 전압 상승을 방지하기 위한 Diode Module 과 인버터 입력단의 전원 평활용 Filter Capacitor로 되어있으며, 기동시 입력전압을 Capacitor에 충전하기 위한 충전부로서 초기 충전을 위한 충전용 컨택터와 충전전류 제한용 충전저항이 있으며, 또한 충전완료 후 주전원을 인버터 회로에서 공급 및 차단할 수 있는 주 차단기가 있다.

필터 캐패시터로 안정화된 전원은 IGBT 모듈로 구성된 인버터와 전압 및 전류를 검지하기 위한 센서로 구성되어 있다.

라. 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 보조전원장치이다. 한국형 고속전철의 시제차량 7량에 취부되어 있는 Battery Charger는 다음과 같다.

- 객차용 Battery Charger : TT3 (10kW × 5대)
- 동력차용 Battery Charger : TP1, TP2 (10kW × 2대)
- 동력객차용 Battery Charger : TM1, TM5 (10kW × 1대)

### 2.3 시험계측시스템의 구성

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 3은 시험계측시스템의 구성도를 나타낸다.

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 computer장치에서 상시 모니터링할 수 있도록 되어있다. TM1에 MWM1과 DAM1이, TT3에 DAM2, 모니터링(제동, 주행)과 Main server가, TM5에 DAM31, DAM32와 DAMP가 설치되어 있으며, TT3에서 중요한 계측신호의 모니터링이 가능하다.

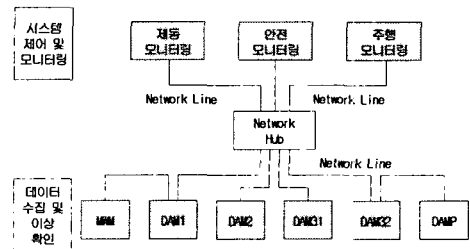


그림 3. 시험계측시스템의 구성

### 2.4 시험결과

앞에서 설명한 것처럼, 보조전원장치는 변압기의 보조 권선으로부터 AC 380V를 입력받아 DC 670V로 변환해준다.

한국형 고속전철의 경우, 보조전원장치 컨버터가 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.

그림 4를 통해 보조전원장치 출력전압이 떨어진 시점을 기준으로, 약 1초 뒤부터 차량의 속도가 낮아진 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상을 통해 보조전원장치 컨버터와 battery charger 등의 고장은 주변압기, 추진장치의 고장으로 이어진다는 것을 보여준다.

그림 5는 프로그램을 수정하고 노이즈를 제거하는 등의 보완조치를 한 후에 보조전원장치 출력전압을 측정된 결과이다. 보조전원장치 출력전압이 안정적으로 동작하

고 기준치이내에 있는 것을 알 수 있다.

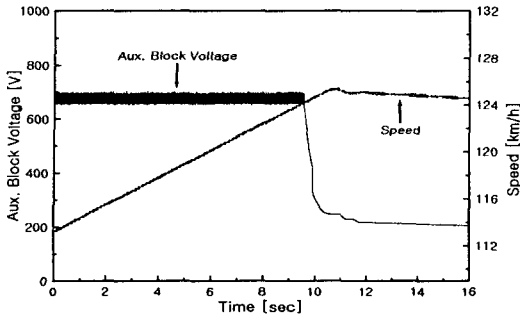


그림 4. 보조전원장치 고장시의 속도 파형

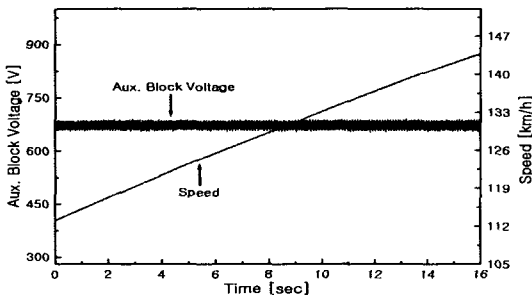


그림 5. 정상시의 보조전원장치 출력전압 파형

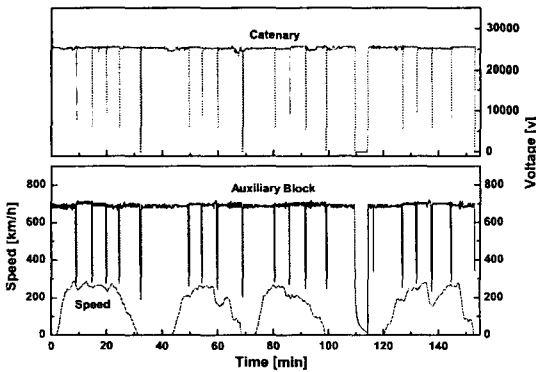


그림 6. Aux. Block 출력전압 파형

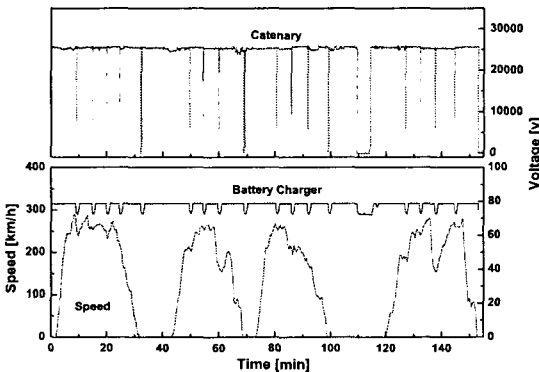


그림 7. Battery Charger 출력전압 파형

그림 6과 실제 본선에서 2시간 30분 동안 한국형 고속전철을 운행하면서 Aux. Block 출력전압과 Battery Charger 전압을 측정한 결과이다. 가선전압이 순간적으로 떨어진 것은 사구간을 통과할 때 전압을 급감받지 못하기 때문이다. Aux. Block 출력전압의 변동범위가 DC 620~720V사이인데, 전구간에 걸쳐 기준치 이내 임을 확인할 수 있다.

그림 7은 위와 동일한 조건에서 차량을 주행하면서 Battery Charger 출력전압을 측정한 결과이다. Aux. Block 출력전압과 마찬가지로 전영역에 걸쳐 기준치 이내에 있는 것을 알 수 있다.

그림 6과 그림 7을 통해 장시간의 차량 운행에도 Aux. Block 컨버터와 Battery Charger가 안정적으로 동작하는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

고속철도차량에 취부되는 보조전원장치는 차량의 안전성과 신뢰성 확보를 위해 매우 중요한 요소이다. 따라서 이 장치에 대한 특성을 확인하는 것은 차량의 안전운행과 정시성 확보를 위해 중요한 요소라고 볼 수 있다.

본 논문에서는 한국형 고속철도 시운전시험을 통해 보조전원장치의 특성을 파악하기 위해 상시 계측시스템을 구성하였다. 이를 통해 보조전원장치의 성능평가와 고장 진단을 실시하였다. 시운전 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 동작하는 것을 볼 수 있다.

또한 실제 본선에서 Aux. Block 출력전압과 Battery Charger 출력전압을 측정하여 장시간의 운행에도 안정적으로 동작하는 것을 확인하였다.

향후에는 보조전원장치의 출력전압 뿐만 아니라 입력 전압과 전류도 함께 측정하여 보다 정확하게 보조전원장치의 특성을 파악할 예정이다.

### 감사의 글

본 내용은 건설교통부에서 시행한 고속철도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Paolo Masini and Giovanni Puliatti, "Virtual Acquisition Systems for Global Analysis (VASGA) in Experimentation", WCRR, 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), 건교부, 통산부, 과기처
- [4] 김석원, 김영국, 백광선, 김진환, 한영재, "고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(1)-하드웨어", 철도학회 추계학술대회, pp. 168-173, 2002.