

한국형고속열차 보조전원장치 특성시험  
A characteristic test of Auxiliary power supply for High Speed  
Rolling stock 350 experimental (HSR-350x)

정상훈\*                      김동환\*\*                      이병송\*\*\*                      이태형\*\*\*  
Sang Hun Jeong, Dong Hwan Kim, Byung Song Lee, Tae Hyung Lee

---

ABSTRACT

Auxiliary power supply developed by domestic technology has very important function that not only effect on main power converter & inverter system, traction motor and train control system which are related to performance of train, but also influence on power supply for HVAC(Heat, Ventilation, Air-conditioning) and lighting device which are related to comfort of passengers. This paper shows characteristic test results of auxiliary power supply such as working condition and performance, which is associated with velocity of train, operating mode and surrounding equipment, through test running. Also it shows the results deduced from comparison analysis between designed data and manufactory test data as measuring in put voltage of auxiliary power supply. And, it propose a modification of design parameter for stabilizing operation and improving reliability.

---

1. 서론

국내에서 개발된 한국형고속열차(HSR-350x)는 동력집중식의 고속열차로 전차선에서 교류 25kV, 60Hz를 팬터그래프를 통해 동력차의 주변압기로 공급받는다. 주변압기는 1차 권선과 2차 권선으로 구분되며 2차 권선은 견인용 권선(AC 1,400V)과 보조전원용 권선(AC 380V)이 하나의 철심에 감겨져 있는 구조이다.

보조전원장치는 열차의 성능에 영향을 주는 주전력변환장치, 견인전동기, 열차제어장치 등과 여객의 편의성에 영향을 주는 냉난방전원, 조명장치의 전원공급을 담당하는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 고속열차 보조전원장치에 대해 실시간 모니터링과 데이터 저장이 가능한 여러 가지 계측기를 종합적으로 설치하고 동기화시켜 최고속도 300km/h로 운행하면서 열차속도, 운전모드, 주변장치의 동작과 연계하여 그 성능을 유지하는지 확인하기 위한 시험을 실시하였으며, 전차선전압과 보조전원장치 입력전압의 변동율 차이, 측정된 입력전압 파형과 설계 데이터, 공장시험 데이터와 비교 분석을 통해 차이점을 도출하였고, 향후 보조전원장치의 안정적인 동작과 신뢰성 향상을 위한 설계 파라미터 변경을 제안하였다.

---

\* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과, 한국철도시설공단

E-mail : jsh8654@hanmail.net

TEL : (02)897-9990 FAX : (02)897-9991

\*\* 서울산업대학교 교수

\*\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원

## 2. 한국형고속열차 보조전원장치

7량1편성(동력차+ 동력객차+ 객차3량+ 동력객차+ 동력차)으로 구성된 한국형고속열차의 보조전원장치는 그림 1과 같이 주변압기 보조권선으로부터 교류380V의 전원을 공급받아 보조전원장치내의 컨버터에서 직류 670V의 전력으로 변환한 후에 각 보조인버터, 충전기, 객차내의 객차인버터 유니트에 공급한다. 각종 보조인버터는 VVVF인버터로 3상 380V 60Hz의 전원을 생성하여 모터블록, 주변압기, 견인전동기 등의 냉각용 전동기를 구동하며, 공기압축기용 보조인버터는 압축공기 생산용 전동기를 구동한다. 충전기는 직류72V를 생성하여 배터리 충전과 각 제어전원 및 객실 내 조명장치에 전력을 공급한다. 객차인버터는 직류670V를 3상 교류 440V 전원으로 변환하여 공기조화장치를 비롯한 객실 내 각종 시설에 전원을 공급한다.[1]

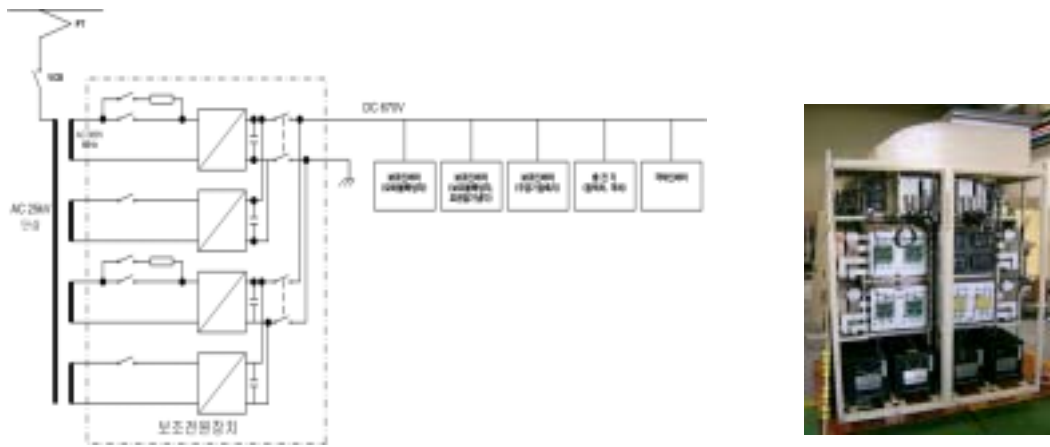


그림 1. 보조전원장치 블록 다이어그램과 실물 사진

## 3. 시험 방법 및 조건

### 3.1 시험계측기 구성

한국형고속열차는 고속으로 운행하는 대용량 전기차량이기 때문에 열차속도, 운전조건에 따라 보조전원 장치의 입·출력 및 동작상태의 변화 등 그 특성을 시험하기 위해 그림 2, 3, 4와 같이 측정회로를 구성한다.

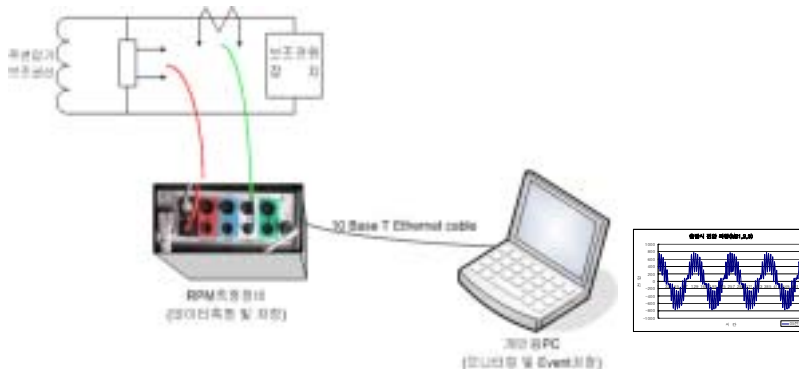


그림 2. 보조전원장치 입력전원 측정

그림 2는 보조전원장치 입력전원의 특성을 측정하기 위해서 실시간 모니터링과 데이터 저장이 가능한 FLUKE사의 전력분석기(Reliable Power Meters Power Recorder)를 사용하였다.

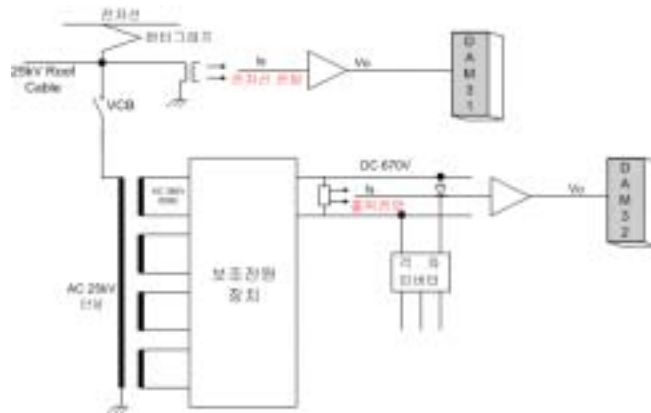


그림 3. 계측설비를 이용한 측정회로 구성

한국형고속열차 시험계측설비는 6개 측정모듈과 2개 모니터링 및 Main server로 구성되어 있으며 이는 기계 및 전기장치에 대해 시험계측이 가능하다. 그림 3은 전기적 신호 측정을 위해 계측설비를 구성한 측정회로를 보여주는 것이며, 전압/전류 센서에서 측정된 신호를 변환시켜주는 전압/전류 변환기가 있으며 계기용 변압기(PT), 계기용 변류기(CT)가 측정대상의 1차측 전압/전류에 비례하여 2차측에 전류  $I_s$ 를 출력시키고, 병렬저항을 통해  $-5V \sim +5V$ 로 변경되어 계측모듈로 보낸다.[2]



그림 4. 열차속도 측정

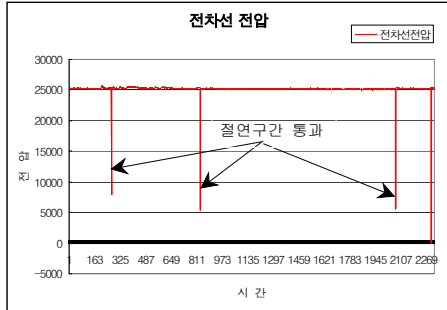
그림 4에서 열차의 속도측정은 속도계에 15V 구동전원을 공급하며, 속도계는 고정되어 있고 차측 단부에 장착된 포닉 휠의 치차(Phonic wheel teeth)가 센서의 마그네틱 스톨드(Magnetic stud) 앞에서 차측의 회전수와 동일한 회전수로 회전한다. 이때 교류전류가 센서의 코일에 형성되며 이 전류의 주파수가 차측의 회전수를 계산한다.[2, 3]

### 3.2 시험 조건

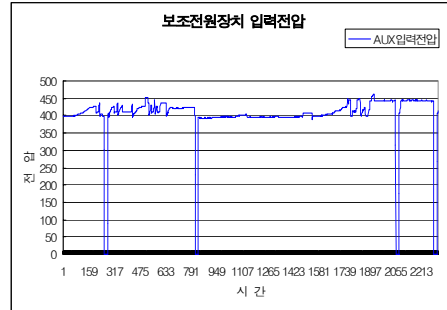
시험조건은 경부고속철도 신탄진~천안아산역 구간에서 시운전 열차를 반복운행하면서 시험하였으며 보조전원장치 1대를 차단한 무부하 상태와 동작하는 부하상태에서 각각 주회로차단기 투입시점, 주전력변환장치의 컨버터가 동작하는 시점, 열차출발시점 및 열차운행 속도 단계별로 측정하였다.

#### 4. 시험 결과 및 고찰

##### 4.1 보조전원장치 무부하시 입력전원

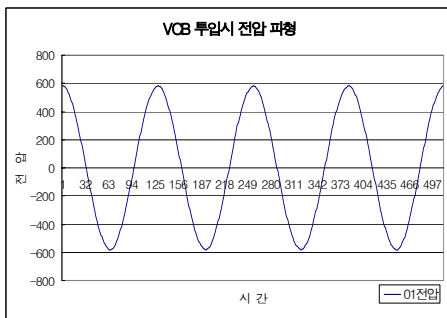


(a) 전차선전압

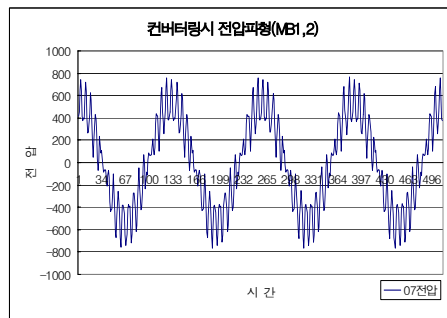


(a) 보조전원장치 입력전압

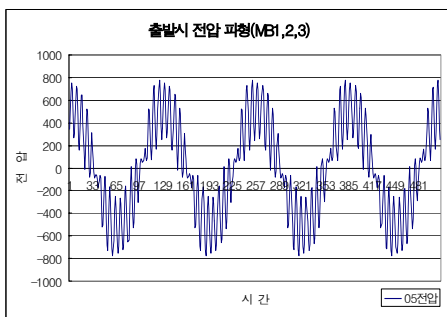
그림 5. 전차선전압 및 보조전원장치 입력전압



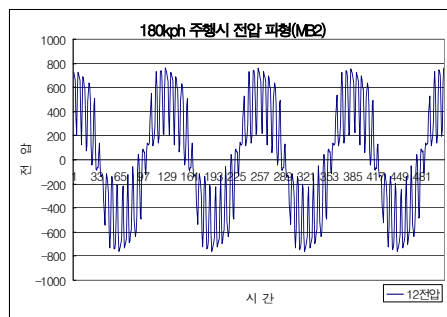
(a) 주회로차단기 투입



(b) 주전력변환장치 컨버터링



(c) 열차출발



(d) 180km/h

그림 6. 보조전원장치 입력전압 측정

그림 5는 보조전원장치 1대를 차단한 무부하 상태에서 전차선전압과 보조전원장치 입력전압에 대한 실험값을 비교한 것으로 각각 기준전압 대비 전차선전압 변동율(+2.76~-0.17%)에 비해 보조전원장치 입력전압 변동율(+21~-2%)이 크게 나타났으며, 그림 6은 차량에 전원을 공급하는 시점(a)에서는 이상적인 정현파였으나 주전력변환장치 동작시점(b)과 열차출발시점(c) 부터는 보조전원장치 입력파형에 왜곡이 나타났다. 이 현상으로 우리는 주변압기 견인권선과 보조권선이 동일 철심에 감겨있는 경우 전자기적 영향에 의해 차량의 소비동력의 대부분을 차지하는 견인동력에 의해 보조전원장치 입력전원에 왜곡이 발생하는 것을 알 수 있었으며, 또한 고조파 분석결과 15, 17, 19, 21조파가 포함되었다. 이는 전력변환장치의 PWM제어에서 낮은 차수의 고조파는 차단할 수 있지만 컨버터 스위칭에 의한 높은 고조파가 포함[4]된 것을 확인할 수 있었다.

## 4.2 보조전원장치 부하시 입력전원

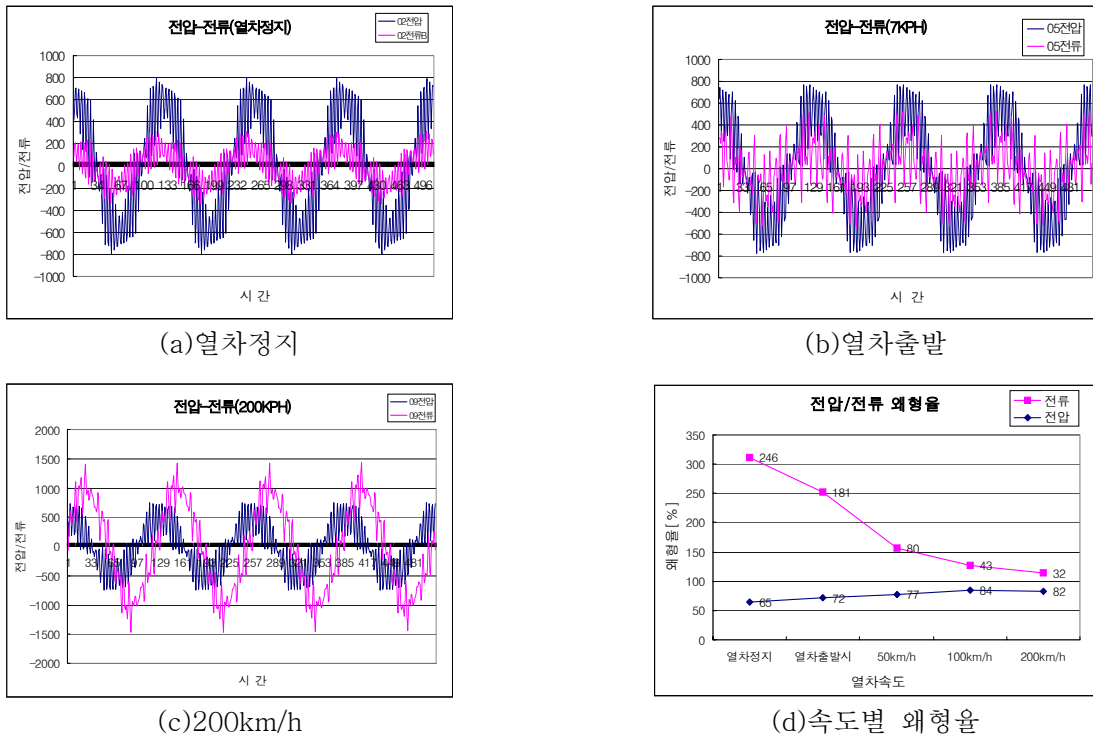
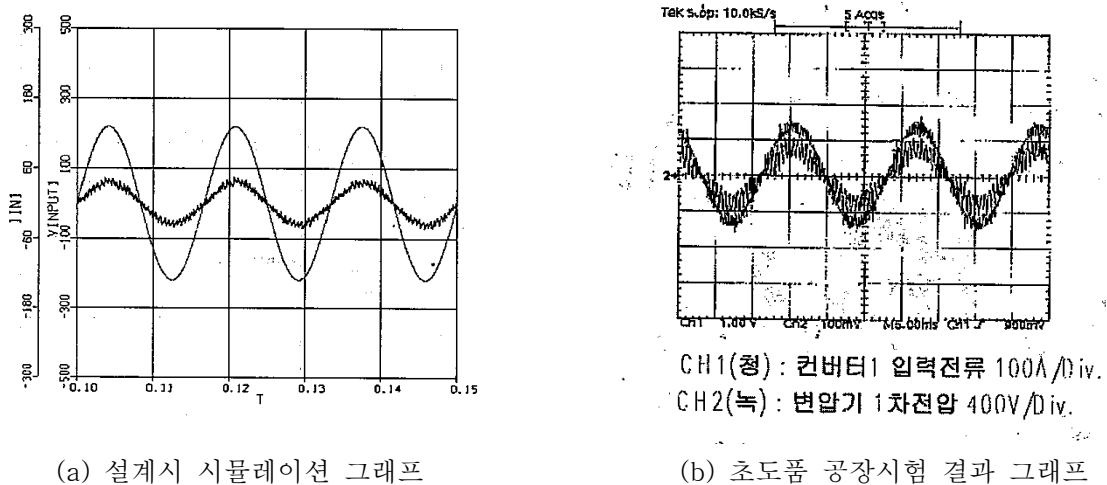


그림 7. 보조전원장치 부하시 입력전원

그림 7은 보조전원장치 입력단에서의 전압/전류 파형을 측정된 그래프로서 정차시(a)에는 전압과 전류의 위상이 동상을 유지하고 있으나 속도가 증가하면서 위상차이가 발생(b)(c)하는 것을 볼 수 있다. 그러나, 전류 왜형율은 그림 7의 (d)와 같이 속도에 비례해서 점차 개선되는 것을 볼 수 있다.



(a) 설계시 시뮬레이션 그래프

(b) 초도품 공장시험 결과 그래프

그림 8. 보조전원장치의 설계·제작시 입력 파형

그림 8은 보조전원장치 설계시 시뮬레이션 그래프(a)와 [5] 초도제작품에 대해 공장시험에서 측정된 그래프(b)이다[6]. 그림 6과 비교해 볼 때 파형의 왜곡과 전압파형과 전류파형과의 위상에서 차이가 있는 것을 알 수 있으며 이는 열차운행선상에서는 주전력변환장치, 주변압기 등의 외부장치에 의한 영향이 있

음을 입증하는 것이다. 따라서 향후 고속열차의 보조전원장치 설계단계에서 이에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

근본적으로 설계단계 부터 고조파를 저감할 수 있는 방안이 채택되어야 하지만 전기철도차량의 복잡성으로 인해 고조파 발생원을 근본적으로 제거하는 것이 그리 쉬운 일이 아니기 때문에 최소화하는 방안으로 설계되어야 하겠다. 대상기기에서는 고조파를 차단하는 필터장치를 설치하는 것도 하나의 대안이지만, 수동필터는 단순하고 가격이 저렴하며 고장이 날 염려가 없다는 장점이 있지만 전원측 임피던스 변동에 따라 필터 성능이 일정치 않으며 부피가 크다는 단점이 있다. 능동필터는 발생하는 고조파와 반대의 파형을 생성하여 고조파를 저감하는 기술이지만 현재 기술로는 컨버터의 용량과 같은 수준이 되어야 하며 비용이 많이 드는 단점이 있다.[7] 또한, 현재 운행 중인 동력집중식 고속열차의 동력차 축하중(Axle load)이 17톤으로 제한되기 때문에 중량의 증가와 설치 공간을 확보하기에는 현실적으로 어려움이 많다. 따라서, 다른 대안으로 대상기기의 고조파 내량을 높이는 설계가 이루어져야 한다. 본 시험에서 얻어진 시험데이터를 고려하여 설계에 적용되는 안전계수값 또는 설계피크값을 40%이상 높여 준다면, 고조파로 인한 고장을 줄여 부품의 신뢰성 확보와 수명 연장뿐만 아니라 시스템이 안정적으로 동작하는데 도움이 될 것이다.

#### 4.3 보조전원장치 부하시 출력전압

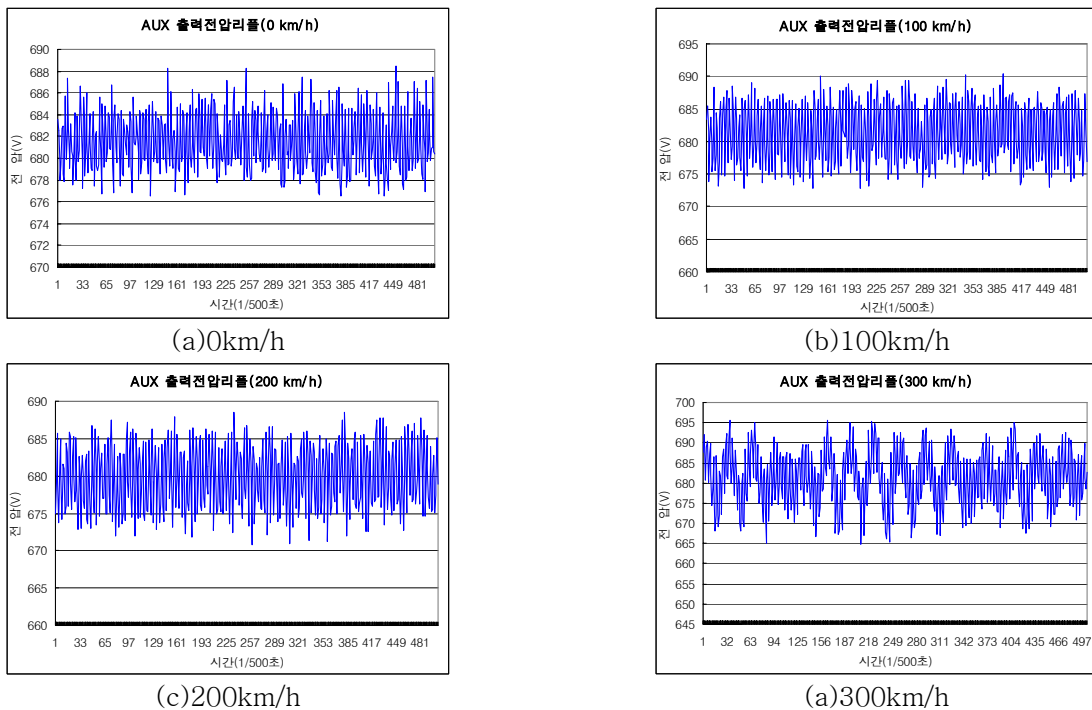


그림 9. 보조전원장치 출력전압 리플파형

표 1. 열차속도별 보조전원장치 출력전압 특성

	0km/h	100km/h	200km/h	300km/h
최대전압[V]	688.5	690.5	688.5	695.7
최저전압[V]	676.5	672.7	670.8	664.8
평균전압[V]	681.5	681.3	679.9	681.3
리플전압[V]	<b>12.0</b>	<b>17.6</b>	<b>17.7</b>	<b>30.9</b>
리플률	<b>0.017</b>	<b>0.025</b>	<b>0.026</b>	<b>0.045</b>

+ 리플전압 = 최대전압 - 최저전압

+ 리플률 = 리플전압 ÷ 평균전압

보조전원장치의 출력전압은 하부장치의 정상동작에 중요하게 작용한다. 열차속도별 출력전압은 그림 9와

표1에서 볼 수 있듯이 속도에 비례해서 리플전압이 증가하지만 기준전압  $670\pm 50[V]$ 와 리플 제한값 10%이내를 유지하는 것으로 평가할 수 있다.

## 5. 결론

고속열차 보조전원장치의 입력전원은 주변압기 보조권선으로부터 공급받고 있으며, 보조전원장치의 입력 전압변동율은 전차선의 전압변동을 보다 크게 나타냈고, 주전력변환장치의 동작모드에 따라 전력품질에 변화가 있으며, 이는 주전력변환장치의 영향임을 본 시험을 통해 확인할 수 있었다. 또한 시운전시험에서 얻어진 그래프와 보조전원장치 설계시 시뮬레이션 결과 및 공장에서의 단품시험 그래프와 비교한 결과 파형의 왜곡과 위상에서 차이가 있음을 알 수 있었다. 이는 보조전원장치의 신뢰성과 안정적인 동작을 위한 대책으로 고속열차 보조전원장치 설계단계시 적용하는 부품의 안전계수 또는 피크값을 상향 조정하여 부품의 고조파 내량을 높여야 할 것이다.

보조전원장치의 하부장치들의 정상동작에 영향을 주는 출력전압은 기준값을 충족하며 리플전압도 10% 이내임을 확인 할 수 있었다.

## [참고문헌]

- [1] (주)한국철도차량, Schematic Diagram for HSR 350 x, 2000.3
- [2] 한영재, 고속전철 추진 및 전기제동 시스템의 고장진단과 성능평가, 박사학위논문, 홍익대학교, 2003. 12
- [3] Korea TGV Consortium, Maintenance Training Manual Axles, 1997. 7. 17
- [4] Tae-Woong Kim, Hyo-Sung Kim, Jae-Ho Choi, Input filter design for current source PWM GTO converter, Power Conversion Conference, Yokohama 1993, Page : 32~37
- [5] (주)한국철도차량, 보조전원장치개발(1단계 보고서), 1999. 10.
- [6] (주) 로템, 보조전원장치개발(최종보고서), 2002. 10
- [7] 박상욱, 기존선 변전소에서 고조파 발생현황과 저감설비 설치효과 검토, 석사학위논문, 서울산업대학교, 2004