

# 시운전시험을 통한 고속전철 전장품의 성능 특성 (A Study on Performance Characteristic of Electric Equipments for High Speed Train by on-Line Test)

한영재\*      김석원\*      김기환\*      한성호\*      이수길\*      김종영\*      노애숙\*\*  
Han, Young-Jae   Kim, Seog-Won   Kim, Gi-Hwan   Han, Seong-Ho,   Lee, Su-Gil   Kim, Jong-Young   Kno, Ae-Suk

---

## ABSTRACT

An electric railway system is composed of high-tech subsystems, among which main electric equipments such as transformers, converter and traction motors are critical components determining the performance of rolling stock.

We developed a measurement system for on-line test and evaluation of performances of Korean High Speed Train. The measurement system is composed of software part and hardware part. Perfect interface between multi-users is possible. A new method to measure temperature was applied to the measurement system. By using the system, measurement and evaluation for the performance of electric equipments in Korean High Speed Train was conducted during test running.

---

## 1. 서론

최근들어 고속철도가 개통되고 남북철도나 대륙횡단열차 등에 대한 사업성에 대한 조사가 시작되면서 고속철도차량에 대한 관심이 증가하고 있다. 항공기와 선박 등 타교통수단과 비교하여 철도차량은 정시성, 안정성, 경제성 및 환경친화성의 장점을 가지고 있기 때문에 앞으로도 철도차량에 대한 의존도가 더욱 높아지고 고속화에 대한 관심도 많아지고 있다. 차량의 고속화와 관련해서는 안정성, 신뢰성, 유지보수비 및 에너지 저감 등이 요구됨에 따라 이러한 요구조건을 충족시킬 수 있는 전장품을 개발하기 위하여 선진국 업체들이 힘쓰고 있다.

전기철도시스템은 많은 최첨단 기기들로 구성되어 있으며, 이 가운데서도 변압기, 전력변환장치, 전동기는 차량성능에 중요한 요소로 작용한다. 이러한 전장품의 성능을 확인하기 위해, 본 연구에서는 상시 계측시스템을 구축하였고, 한국형 고속차량의 전장품의 각 신호를 network line을 통하여 실시간으로 입력받아 데이터를 저장한 후, 후처리 프로그램을 통해 필요한 정보를 얻을 수 있었다. 이를 통해 한국형 고속철도차량 핵심전장품인 주변환장치, 전동기, 변압기에 대한 특성을 분석하고 평가할 수 있었다.

---

\* 한국철도기술연구원, 정회원

\*\* 로템, 정회원

## 2. 본론

### 2.1 차량의 주회로시스템

고속전철의 기본편성인 20량 편성의 열차에 대한 성능 확인을 위해 제작되는 시제열차는 7량 1 편성이다.

추진시스템은 컨버터 2대를 병렬운전하고 인버터 1대로 견인전동기 2대를 구동하는 구조를 한 MB이며, 동력차의 경우는 3개의 MB로 구성된다. MB는 IGCT, diode 각 2개씩으로 구성된 브릿지 1arm을 하나의 stack으로 조립하여 컨버터용 4개 stack, 인버터용 3개 stack과 별도의 chopper stack 1개 등으로 구성되며 직류단 콘덴서, 각부의 전압, 전류검지기 및 제어부가 포함된다.

2병렬 4상한 초퍼로 구성된 컨버터 시스템은 직류 링크전압을 2,800V DC로 제어하고 컨버터 1 대 용량은 약 1,238kVA로 하며 입력단 전압은 1,400V AC이다. 이런 병렬 컨버터를 사용함으로써 입력 역률이 1에 근접하도록 제어가 가능하고 회생제동시에 에너지를 입력측으로 환원할 수 있으며 입력전류를 정현파 형태로 제어하므로 입력측 고조파 성분을 저감할 수 있다.

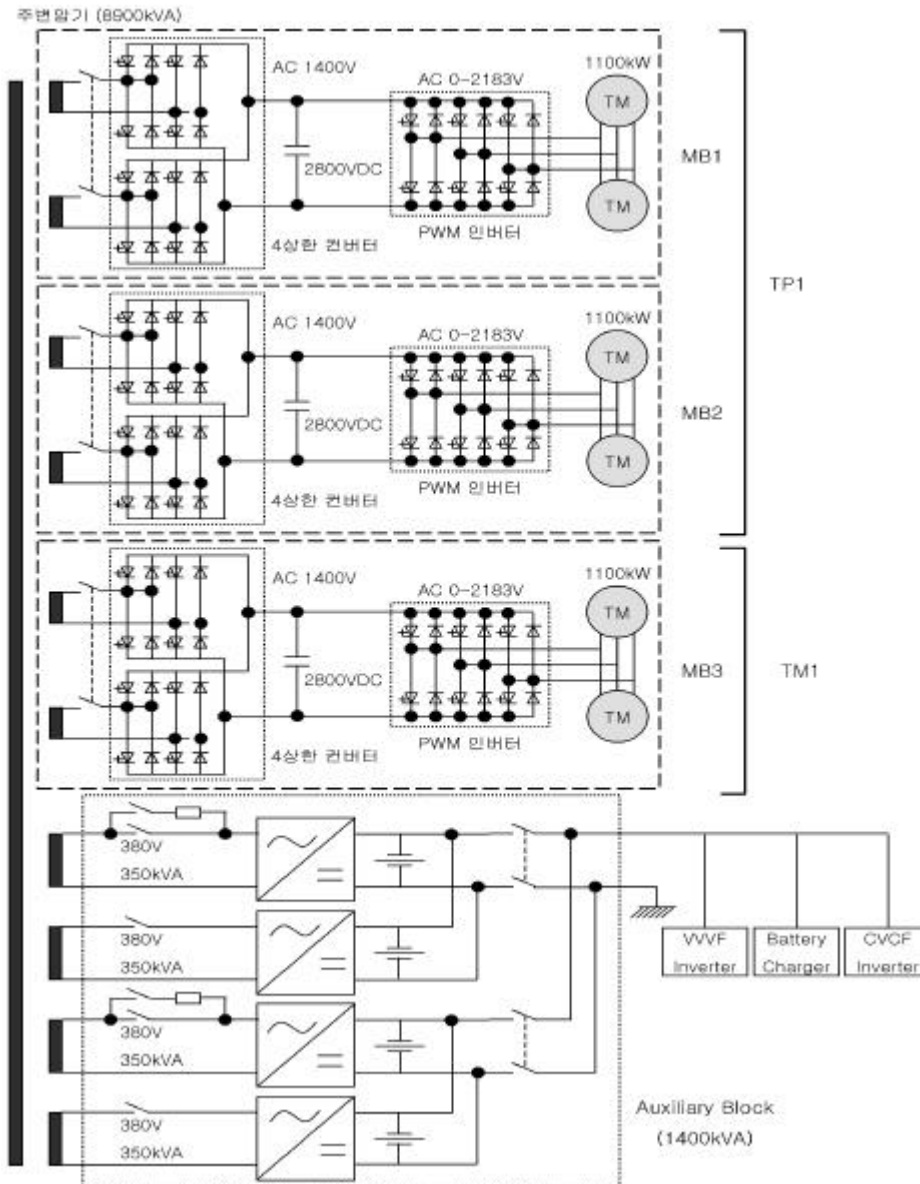


그림 1. 한국형 고속전철의 추진 시스템

### 2.3 변압기 및 전동기 설계 및 냉각

변압기의 소형·경량화를 위하여 권선의 전류밀도를 일반전력용 변압기보다 2~3배 정도로 높게 설정하고, 절연체계는 아라미드계열인 H종 절연물 및 난연성 절연유인 실리콘유를 사용한 high temperature insulation system을 적용하여 설계하였다. 이때 발생하는 열은 주변압기 온도측정방식에서 설명한 것처럼, 직접강제 송유풍냉식으로 냉각시키는 구조로 설계되었다.

변압기의 진동 및 충격에 대한 구조안정성을 위해 변압기의 무게중심을 하부쪽으로 이동시킬 필요가 있다. 이를 위해 중신을 일반적인 전력용 변압기와는 달리 수평으로 배치하여, 변압기 외함의 구조를 air duct의 역할을 하는 상부탱크 및 중신군이 들어있는 하부탱크의 두 부분으로 분리된 구조로 설계하였다.

전인전동기 냉각구조는 그림 2와 같이 냉각공기가 고정자, 공극, 회전자 통풍홀을 경유하는 구조로 된 강제냉각방식이다. 냉각성능 향상을 위해, 첫번째로 유도기의 프레임은 직류기와 달리 자속이 흐르는 경로가 아니어서 자속경로를 위한 프레임 두께가 요구되지 않으므로, 프레임레스 구조를 채택하여 외부와의 냉각되는 면적을 확대한 구조를 채택하였다.

두번째로 전동기 냉각공기의 방향은 대부분 inlet에서 outlet으로 배출되는 단방향 구조로 되어 outlet은 inlet에 비해 온도가 높아져 온도상승에 대한 제약을 받게 된다. 설계된 전동기는 반부하측으로부터 냉각공기가 유입되어 고정자 축방향 통풍홀, 공극, 회전자 통풍홀을 경유하여 부하측으로 공기가 배출되는 구조이다. 여기서, 고정자 및 회전자 축방향은 inlet에 유입된 냉각공기 일부가 outlet부의 고정자 코일 및 회전자 bar로 유출시켜 온도상승 감소를 도모하였다.

전동기에서 온도가 가장 높게 나타나는 지점은 전체 슬롯방향으로 흡입단에서 2/3지점이 통상적이다. 코어의 양쪽끝단부는 냉각공기의 유입과 배출이 자유로워 전동기 중심보다는 낮고 흡입단에서 출구단으로 가면서 코어에서의 열에너지를 흡수하기 때문이다. 전동기 온도가 가장 높은 위치는 2/3지점의 슬롯내부이지만, 슬롯내부에 센서를 부착시켜 제작하는데 어렵기 때문에 계측을 위한 전동기 온도센서는 냉각공기의 슬롯에서 출구단 바로 앞에 설치하였다.

이곳은 온도가 가장 높은 곳에서 10~14cm 정도 떨어져 있으며, 공장내 시험에서 실제 측정온도와 가장 높은 지점의 온도차이는 20~30℃ 정도로 측정되었다. 따라서 현재 측정된 온도가 100℃라면 온도가 가장 높게 나타나는 곳은 130℃ 정도이다.

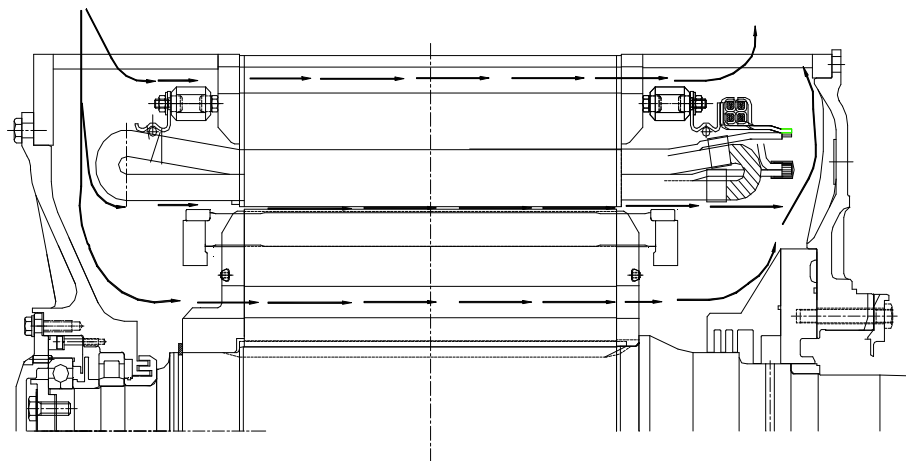


그림 3. 전인전동기 냉각 구조

### 3. 시험결과

전인전동기와 변압기는 서로 다른 기준온도를 갖고 있으며, 이 기준치를 넘어갈 경우에는 치명적인 고장을 일으킬 수가 있다. 이것을 방지하기 위해서 컨버터와 인버터의 게이트 드라이브 신호

출력을 차단하고 contactor를 차단하여 MB의 구동을 중단시키고 있다. 또한 변압기 과열의 경우에는 네트워크망을 통해 SCU에 고장신호를 내보내 가동을 중단시키고 있다. 기준온도는 견인전동기 180℃, 변압기오일 135℃, 변압기외함 190℃으로 설정되어 있다.

외기온도, 주행속도, 그리고 운행시간이 전동기와 변압기의 온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 2002년 8월부터 2003년 12월까지, 약 17개월 동안 오송기지에서 현차 시험을 수행한 내용을 속도별, 월별로 정리하였다. 참고로, 150km/h 속도 시험을 할 경우에 속도가 순간적으로 151km/h 또는 152 km/h를 나타냈어도 150km/h로 처리하였다. 월별의 경우, 8월 이후의 시험횟수가 많은데, 이는 2002년과 2003년에 걸쳐 시험했기 때문에 나타난 결과이다.

표 1. 본선시운전 시험 내용

구분	50~100km/h	101~150km/h	151~200km/h	201~250km/h	251~300km/h	계
1월	0	1	3	5	0	9
2월	0	0	0	2	3	5
3월	0	0	0	0	0	0
4월	0	1	0	2	1	4
5월	0	0	0	2	1	3
6월	0	0	0	0	3	3
7월	0	0	0	1	3	4
8월	1	1	2	1	3	8
9월	0	1	0	0	5	6
10월	1	4	4	1	0	10
11월	0	4	6	2	3	15
12월	0	1	3	0	0	4
계	2	13	18	16	22	71

그림 4와 그림 5는 변압기 온도를 월별, 주행 속도별로 측정한 결과를 보여준다. 그림 4에서 보는 바와 같이, 여름철에 외기 온도가 가장 높기 때문에 변압기의 경우에도 7, 8월이 가장 높게 나타나게 된다. 그림 5는 속도변화에 따른 변압기 온도 변화를 나타내고 있다. 속도가 상승함에 따라 변압기 온도가 상승하는 현상을 볼 수 있다.

전체적으로 모터블록 3대에 전력을 공급해주는 변압기(TF)1의 오일 온도와 외함 온도가 모터블록 2대에 전력을 제공하는 변압기(TF)2보다 높은 온도를 형성하는 것을 볼 수 있다. 또한 180~200km/h 속도대에서 가장 낮은 온도 분포를 보이는 이유는, 이 속도 영역에서의 시험이 주로 겨울철에 이루어져서 나타난 결과이다.

그림 6을 살펴보면, 외기온도가 가장 높은 7월과 가장 추운 1월의 온도차가 약 40℃정도로 나타났다. 그림 7은 속도에 따른 전동기 온도변화를 보여주는데, 전체적으로 속도가 상승함에 따라 온도도 상승하는 것을 알 수 있다. 130km~170km/h 부근에서 온도가 높게 형성된 것은 호남선 구간을 약 2시간 이상 운행하면서 측정한 결과를 포함했기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

그림 8은 한국형 고속철도를 전건인으로 운행하면서 얻은 시험값을 시뮬레이션한 계산값과 비교해 본 것이다. 전 속도영역에 걸쳐 계산값과 실측값이 거의 일치하고 있음을 볼 수 있다. 또한 정토크영역에서 정출력영역으로 바뀌는 속도는 100km/h 부근으로 나타났다.

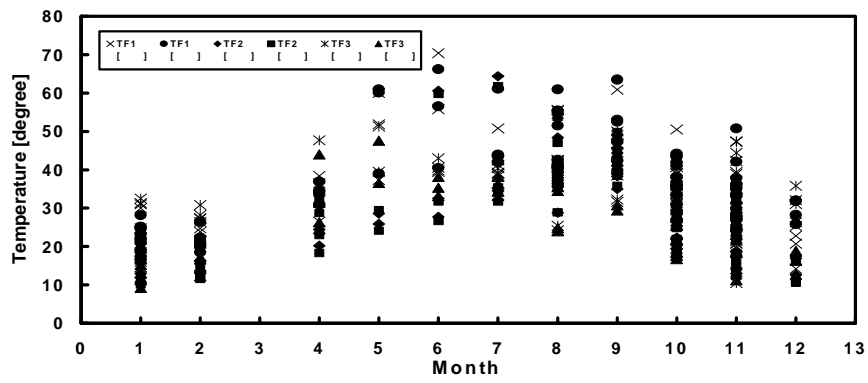


그림 4. 월별 변압기 온도

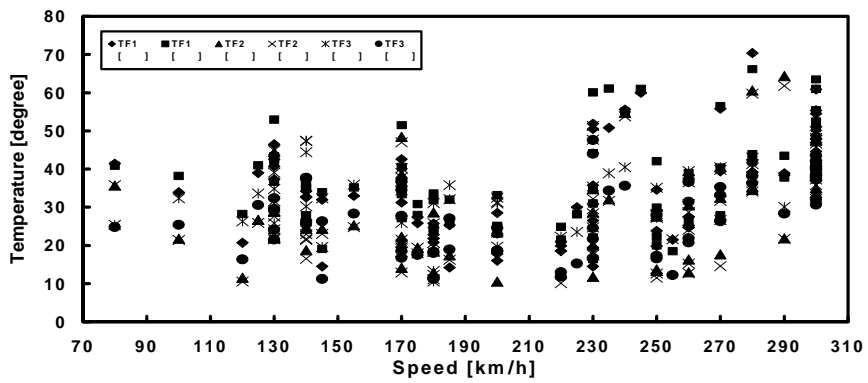


그림 5. 주행속도별 변압기 온도

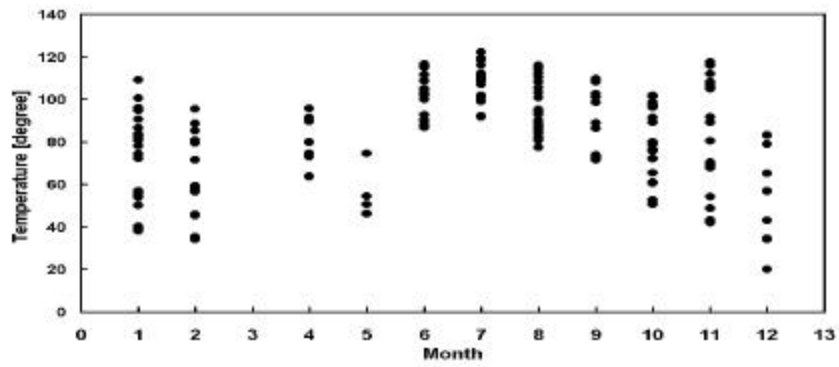


그림 6. 월별 견인전동기 온도

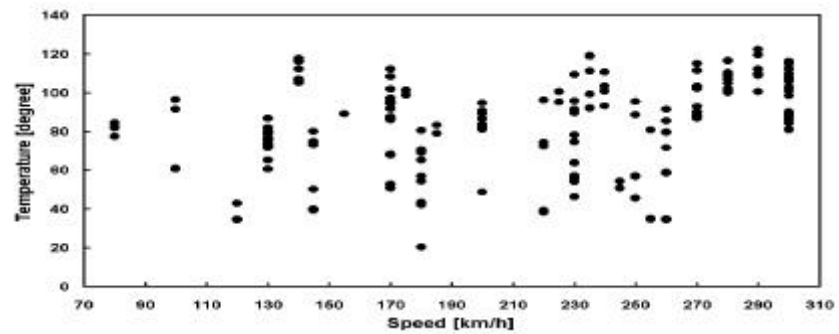


그림 7. 주행속도별 견인전동기 온도

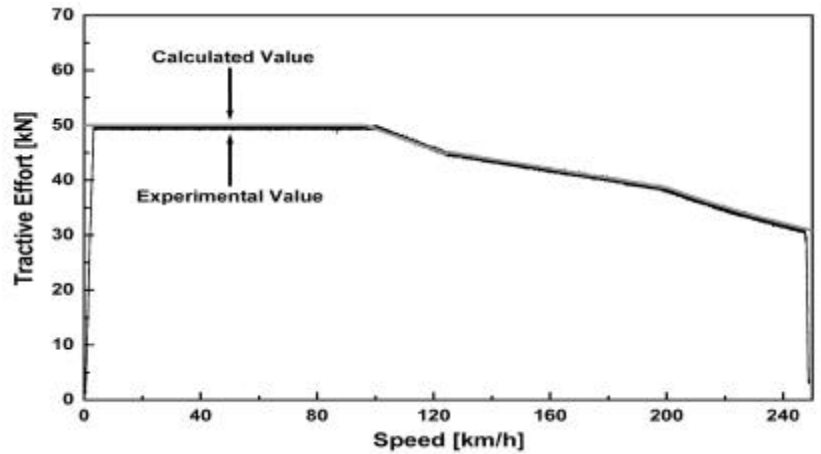


그림 8. 견인력에 대한 계산값과 실제값

#### 4. 결론

본 논문에서는 한국형 고속전철에 탑재되어 오송기지에서 시운전시험을 수행하고 있는 전장품의 성능 특성에 대하여 연구하였다. 시운전시험을 위해 자체적으로 상시계측시스템을 개발하였으며, 이 시스템을 통해 전동기 온도, 변압기 온도, 견인력 등과 같은 특성을 측정할 수 있었다. 71 회 정도의 시험결과를 통해 전동기와 변압기 온도가 기준값 이내이며, 견인력 시험을 통해 계산값과 실측값이 거의 일치함을 확인하였다.

앞으로는 보다 다양한 조건과 측정 위치에 따른 전동기 및 변압기 온도와 열화 특성에 대하여 살펴볼 필요가 있다고 사료된다.

#### 감사의 글

본 내용은 건설교통부에서 시행한 고속철도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

#### 참고문헌

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. 한영재외 4명, "고속철도차량용 전기장치의 온도특성에 관한 연구", 전기전자재료 학회지, pp. 1210~1216, 2003. 12.
4. 한영재외 4명, "고속철도 전기장치의 특성에 관한 연구", 대한전기학회 춘계학술대회, pp. 435~437, 2003. 4.
5. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2002), 건교부, 산자부, 과기처