

고속철도차량 주변압기 기계적 특성 분석

A Study on Mechanical Characteristic Analysis for Main Transformer of High Speed Railway

한영재* 김석원* 이태형* 구훈모* 조광우** 박상옥***

Han, Young Jae Kim, Seog Won Lee, Tae Hyoung Koo, Hun Mo Cho, Kwong Woo Park, Sang Ock

ABSTRACT

In this study, temperature sensors were adhered to transformer that is used in KHST(Korean High-Speed Train) to verify variation of temperature characteristics about transformer synthetically and efficiently. In the case that temperature of transformer exceeds reference temperature for running of KHST, overheating of transformer may cause a fatal accident of vehicle. Characteristics and main specifications of transformer in KHST were described in this paper. Also, measuring system for temperature measurement of transformer was explained in brief. Temperature data of transformer was acquired using measuring system, KRRI(Korea Railroad Research Institute) analyzed characteristic in contrast with comparing with temperature of transformer about month, running speed and running time.

1. 서론

한국형 고속전철의 전장품에서 가장 무겁고 부피가 큰 변압기는 차량의 주행속도에 큰 영향을 미치고 변압기를 설치할 수 있는 공간상의 제약이 따르므로 소형, 경량화가 매우 중요하다. 그러나 변압기의 소형, 경량화를 위해 권선의 전류 밀도를 높이는 방법은 권선에 매우 높은 열을 발생시키며 절연지와 절연물을 짧은 시간에 심하게 열화시킬 수 있다. 그래서 한국형 고속전철용 변압기의 냉각시스템은 실리콘유를 이용한 강제송유 풍냉식으로 냉각시키는 구조이다.

본 연구에서는 변압기의 온도 특성 변화를 확인하기 위해 차량에 취부된 변압기에 온도 센서를 부착하였다. 한국형 고속전철이 주행하는 동안 변압기의 온도가 기준 온도를 넘어갈 경우 차량의 치명적인 고장을 일으킬 수 있으므로 차량 내에 상시 계측시스템을 설치하여 변압기의 오일 온도와 외함 온도를 실시간으로 측정하였다. 그리고 계측시스템을 통해 획득한 변압기 온도 데이터를 바탕으로 월별, 주행 속도별 그리고 운행 시간별로 변압기 온도를 비교 분석하였다.

* 한영재, 정희원, 한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단

E-mail : yjhan@krri.re.kr

TEL : (031)460-5614 FAX : (031)460-5649

** 한국철도공사

*** 한국철도시설공단

2. 본문

2.1 변압기 주요 사양

고속전철용 변압기는 사용 목적상 일반 전력용 변압기와는 달리 운행 중에 차량의 최대 속도, 궤도 높이, 레일 형태, 침목의 크기, 지형의 특성에 따라 진동 및 충격을 겪으므로 구조 안정성이 확보되어야 한다.

먼저 변압기의 소형, 경량화를 위하여 권선의 전류 밀도를 일반 전력용 변압기보다 2~3배 정도로 높게 설정하고, 절연 체계는 아라미드 계열인 H중 절연물 및 난연성 절연유인 실리콘유를 사용한 고온도 절연 시스템을 적용하여 설계하였다. 이때 발생하는 열은 변압기 온도 측정 방식에서 설명한 것처럼 직접강제송유풍냉식으로 냉각시키는 구조로 설계되었다.

변압기의 진동 및 충격에 대한 구조 안정성을 위해 변압기의 무게 중심을 하부쪽으로 이동시킬 필요가 있으며, 이를 위해 중신을 일반적인 전력용 변압기와는 달리 수평으로 배치하여 변압기 외함의 구조를 공기 덕트(air duct)의 역할을 하는 상부 탱크와 중신군이 들어있는 하부 탱크 두 부분으로 분리된 구조로 설계하였다.

그림 1은 변압기의 냉각을 위한 오일과 공기 흐름을 보여주고 있다. 강제송유풍냉식을 냉각 방식으로 채택하고 있는 변압기의 상부 탱크는 통풍구의 역할을 하며 좌우에 설치된 냉각기를 통해 찬 공기가 공기 덕트와 팬을 통하여 순환하게 된다. 그리고 변압기 내의 실리콘유는 냉각기에서 냉각된 후 변압기 내에서 도체 표면 및 철심 측면을 지나면서 발생된 열을 흡수하여 오일 펌프로 흡출되고, 다시 냉각기로 보내져 열이 교환된다.

한국형 고속전철에는 두 종류의 변압기(동력차용과 동력객차용)가 취부되어 있는데, 변압기의 주요 사양은 표 1과 같다.

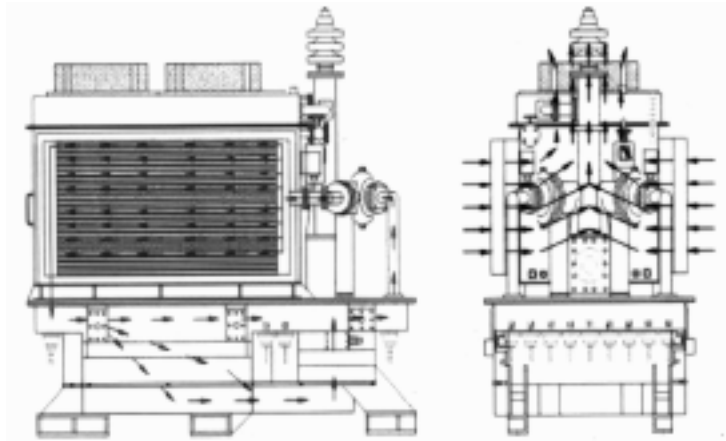


그림 1. 변압기의 오일 및 공기 흐름도

표 1. 변압기의 주요 사양

		동력차용	동력객차용
상수 및 주파수		단상 60Hz	
용량(kVA)	일차	8,900	2,640
	견인	1,250 × 6	1,250 × 2
	보조	350 × 4	140
전압(kV)	일차	25	25
	견인	1.4 × 6	1.4 × 2
	보조	0.380 × 4	0.3

2.2 변압기의 온도 측정

한국형 고속전철에 설치된 계측시스템은 4개의 계측 모듈과 2개의 모니터링 장치 및 Main Server(안전 모니터링으로 이용)로 구성되며, 각 계측 모듈 및 별도의 모니터링 장치에서 계측 신호를 상시 감시할 수 있도록 되어있다. 4개의 계측 모듈은 DAM(Data Acquisition Module)1, DAM2, DAM31, DAM32로 구성되며 2개의 모니터링 장치는 주행과 제동으로 구분된다. 메인 서버는 네트워크 라인으로 계측 모듈과 모니터링 장치와 서로 연결되어 시험 데이터를 공유하고 있으며, 메인 서버에 의해 제어된다.

그림 2는 고속전철 시제차량 시험계측시스템의 구성 및 배치도를 보여주고 있다. 계측시스템은 차량에서 발생하는 전기 및 기계장치에 대한 성능을 검증하기 위해 제작되었으며 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, TM1에 DAM1이, TT3에 DAM2, 안전, 주행 및 제동 모니터링이, TM5에 DAM31, DAM32가 설치되어 있으며, TT3에서 중요한 계측신호 모니터링이 가능하다.



그림 2. 계측시스템의 구성도

변압기의 온도 측정을 위해 계측시스템에 입력되는 방법은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째 방법은 측정 위치로부터 직접 계측 장비에 온도값이 입력되도록 한 경우이다. 이때는 노이즈 방지를 위해 접촉 부위에 온도를 사용하였다. 두 번째 방법은 제작시에 미리 심어둔 온도 센서로부터 온도를 입력받아 컨디셔너를 거친 후에 계측 장비로 입력되는 경우이다.

한국형 고속전철에서 변압기의 온도 측정에 대해 살펴보면 노이즈 차폐와 차량의 분리가 용이하게 하기 위해 동력차의 변압기는 각각 DAM1과 DAM32에서, 동력객차의 변압기는 DAM32에서 온도를 측정하였다. 그림 3은 변압기의 오일온도와 외함온도를 측정하기 위해 동력차와 동력객차의 변압기에 부착된 T-type 온도 센서의 여러 모습을 보여주고 있다.

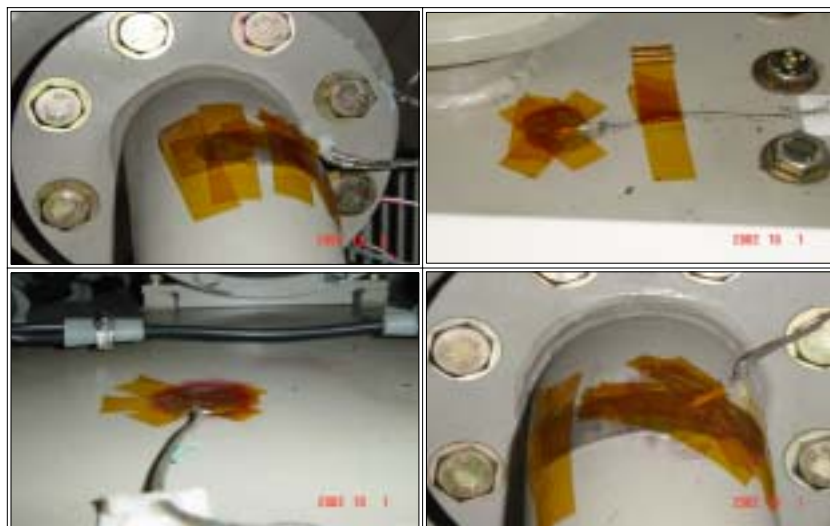


그림 3. 변압기 온도센서 부착 모습

2.3 시험결과

변압기는 설계시 기준 온도를 갖고 있으며, 이 기준치를 넘어갈 경우에는 치명적인 고장을 일으킬 수가 있다. 이것을 방지하기 위해서 컨버터와 인버터의 게이트 드라이브 신호 출력을 차단할 뿐만 아니라 접촉기를 차단한다. 또한 모터블록의 경우에는 네트워크 라인을 통해 SCU(Supervisory Control Unit)에 고장 신호를 내보내 가동을 중단시키고 있다. 변압기 오일의 기준 온도는 135 °C로, 변압기 외함의 기준 온도는 190 °C로 정해져 있다.

그림 4부터 그림 6까지는 외기 온도, 주행 속도 및 운행 시간이 변압기의 온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 2002년 8월부터 2006년 7월까지 약 48개월 동안 현차 시험을 수행한 내용을 월별, 주행 속도별, 운행 시간별로 변압기의 오일 및 외함 온도를 정리하여 분석한 결과이다.

표 2는 월별과 주행 속도별로 약 48개월 동안 수행한 결과로, 이 자료는 시운전 시험 중에 같은 시험 구간을 여러 조건하에 여러 번 왕복한 횟수를 모두 포함한 횟수이다. 실제 시운전 시험을 수행한 일수는 약 262회 정도이다.

참고로, 표 2에서 150 km/h 속도로 시운전 시험을 한 경우는 차량의 주행 속도가 순간적으로 149 km/h 또는 151 km/h를 나타냈어도 150 km/h로 처리하여 표기하였다.

표 2. 시운전시험 내용

단위 : km/h

구분	50~100	101~150	151~200	201~250	251~300	301~350	계(회)
1월	0	1	6	5	5	0	17
2월	0	0	1	3	23	0	27
3월	0	1	1	2	6	1	11
4월	0	1	0	3	6	0	10
5월	0	0	0	2	11	7	20
6월	0	0	0	1	19	2	22
7월	1	0	0	2	23	8	34
8월	1	1	2	1	12	0	17
9월	0	1	0	0	13	0	14
10월	1	4	4	0	20	2	31
11월	0	2	7	1	21	1	32
12월	0	2	15	1	9	0	27
계	3	13	36	21	168	21	262

그림 4는 월별 변압기 온도변화를 나타내고 있다. 여름철에 외기 온도가 가장 높기 때문에 변압기의 경우에도 온도가 6~8월에 가장 높게 측정되고 있다. 그림 5는 고속전철의 속도 변화에 따른 변압기의 온도 변화를 보여주고 있는데, 주행속도가 상승함에 따라 변압기 온도도 상승하는 현상을 볼 수 있다.

그림 6은 운행 시간에 따른 변압기의 온도 변화를 보여주는데, 시운전 시험시 주행 노선의 한계로 중간에 정차하는 시간이 많았기 때문에 시험 데이터를 통해 정확하게 분석하는데 한계가 있었다.

전체적으로 모터블록 3대에 전력을 공급해주는 변압기(TF)1의 오일 및 외함온도가 모터블록 2대에 전력을 제공하는 변압기(TF2)보다 높은 온도를 형성하는 것을 볼 수 있다. 또한 180~200 km/h 속도 대역에서 가장 낮은 온도 분포를 보이는 이유는, 이 속도 영역에서의 시운전 시험이 주로 겨울철에 수행되었기 때문이다.

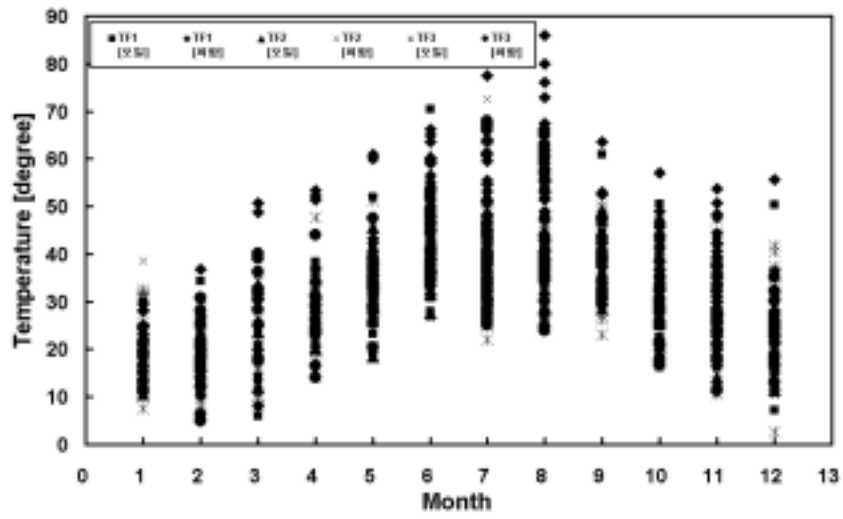


그림 4. 월별 변압기 온도

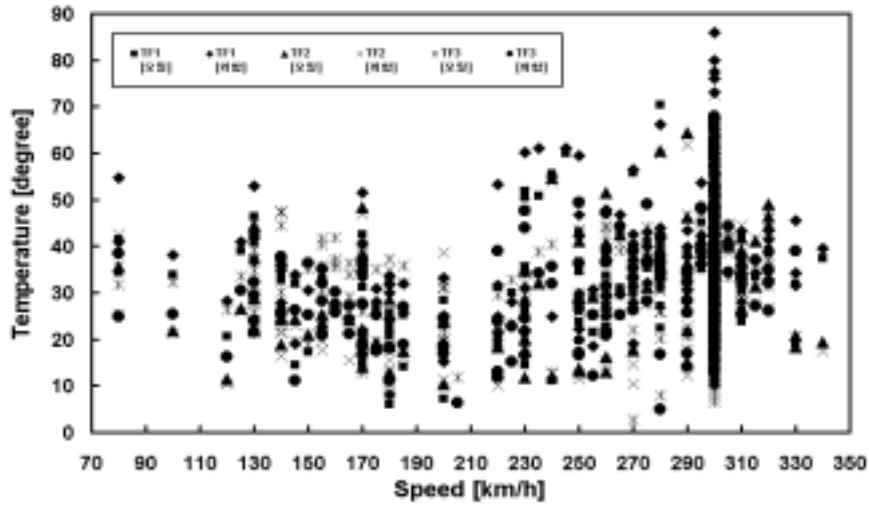


그림 5. 속도별 변압기 온도

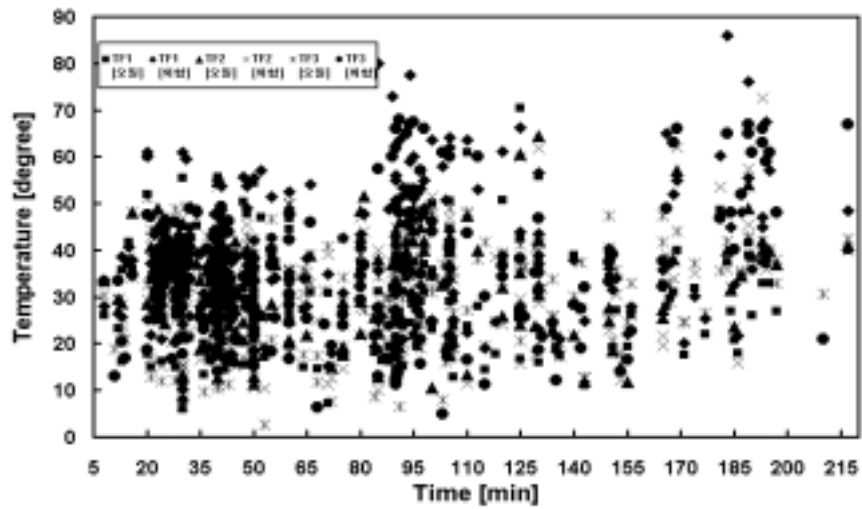


그림 6. 운행시간별 변압기 온도

3. 결론

고속열차의 주변압기는 차량에 취부되는 여러 전기장치에 전원을 공급하는 핵심 전장품으로, 본 연구에서는 시운전시험을 통해 변압기 오일 및 외함에 대한 온도변화를 월별, 주행 속도별, 운행 시간별로 살펴보았다.

이를 위해 한국형 고속전철의 변압기에 온도 센서를 부착하였으며, 상시 계측시스템과 분석프로그램을 통해 변압기의 온도 변화를 여러 조건에 따라 비교 분석하였다. 이를 통해 변압기의 오일온도와 외함온도는 운행 시간보다는 외기 온도와 주행 속도에 더 많은 영향을 받는 것으로 확인되었다.

앞으로는 변압기 온도 변화 특성과 함께, 변압기의 기동시간 경과에 따른 변압기의 열화 특성을 분석하여 변압기의 절연 특성을 파악할 계획이다.

후기

본 내용은 건설교통부에서 시행한 고속철도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

참고 문헌

1. 김석원, 한영재, 박찬경, 김진환, 백광선, “고속철도 시운전시험 계측시스템 개발에 관한 연구”, 한국철도학회지, 제5권, 제3호, p. 158, 2002.
2. 한영재, 양도철, 장호성, 최중선, 김정수, “고속철도차량용 전기장치의 온도특성에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회지, 제16권, 제12S호, p. 1210~1216, 2003.
3. Y. J. Han, S. W. Kim, S. I. Seo, Y. G. Kim, C. S. Park, “A study on the temperature characteristics of electric devices for high speed railway vehicles”, ICCAS, p. 1720, 2003.
4. Y. J. Han et al., “A study on traction system characteristics of high speed train”, pp. 1720~1723, ICCAS 2003.