

고속철도용 변압기의 온도특성 변화

한영재*, 김기환*, 김석원*, 목진용*, 이수길*, 김종영*
*한국철도기술연구원

Temperature Characteristic of Transformer in High-Speed Train

Young-Jae Han*, Ki-Hwan Kim*, Seog-Won Kim*, Jin-Yong Mok*, Su-Gil Lee*, Jong-Young Kim*
*Korea Railroad Research Institute

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. Therefore, after on-line measuring system was constructed in vehicle, oil temperature and tank temperature were measured on real-time. 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, KRRRI(Korea Railroad Research Institute) analyzed characteristic in contrast with comparing with temperature of transformer about month, running speed and running time.

1. 서 론

한국형 고속전철의 주요 전장품인 변압기는 판토그래프를 이용하여 가선으로부터 전력을 공급받아 전력 변환 장치, 견인 전동기 등의 각종 장치에 필요한 전원을 공급해주는 역할을 한다. 또한 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 강제송유풍냉식으로 냉각시키는 구조로 되어있다.

본 연구에서는 변압기의 온도 특성 변화를 확인하기 위해 차량에 취부된 변압기에 온도 센서를 부착하였다. 또한 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.

2. 본 론

2.1 변압기의 주요 사항

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 H종 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 있다. 이를 위해 중심을 일반적인 전력용 변압기와는 달리 수평으로 배치하여, 변압기 외함의 구조를 공기 덕트(air duct)의 역할을 하는 상부 탱크 및 중신군이 들어있는 하부 탱크의 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 순환된다. 그리고 변압기 내의 실리콘유는 냉각기에서 냉각된 후 변압기 내에서 도체 표면 및 철심 측면을 지나면서 발생된 열을 흡수하여 오일 펌프로 흡출되고, 다시 냉각기로 보내져 열 교환된다.

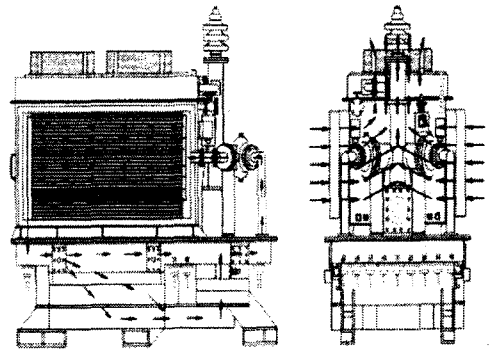


그림 1. 오일 및 공기 흐름도

한국형 고속전철에는 두 종류의 변압기(동력차용과 동력객차용)가 취부되어 있는데, 표 1은 변압기의 주요 사양을 보여준다.

표 1. 변압기의 주요 사양

상수 및 주파수		동력차용	동력객차용
		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 메인 서버(안전 모니터링으로 이용)로 구성되며, 각 계측 모듈 및 별도의 모니터링 장치에서 계측 신호를 상시 모니터링할 수 있도록 되어있다. 4개의 계측 모듈은 DAM(Data Aquisit Module)1, DAM2, DAM31, DAM32로 구성되며 2 모니터링 장치는 주행과 계동으로 구분된다. 메인 서버는 네트워크 라인으로 계측 모듈과 모니터링 장치와 서로 연결되어 시험 데이터를 공유하고 있으며, 메인 서버에 의해 제어되도록 되어있다.

계측시스템은 차량에서 발생하는 전기 및 기계장치에 대한 성능을 검증하기 위해 제작되었으며, 그림 2는 계측시스템의 구성도를 보여주고 있다.

그림 3은 계측시스템의 외형을 보여주고 있다. 위와 같이 계측시스템을 구성하므로 전압과 전류 및 속도 등과 관련된 전기신호들을 집중화할 수 있으며, 계측 장비 설계에 들어가는 시간도 줄일 수 있다. 또한 노이즈에 영향을 받지 않는 전기 신호들을 입력받을 수 있으므로 계측 장비의 제작 원가를 절감할 수 있다.

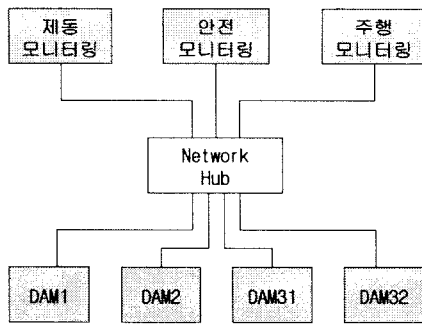


그림 2. 계측시스템의 구성도



그림 3. 계측시스템의 외형

변압기의 온도 측정을 위해 계측시스템에 입력되는 방법은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째 방법은 그림 4와 같이 측정 위치로부터 직접 계측 장비에 온도값이 입력되도록 한 경우이다. 이 때는 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 5는 변압기의 오일 온도와 외함 온도를 측정하기 위해 동력차와 동력객차에 취부되어 있는 변압기에 온도 센서를 부착한 여러 모습을 보여주고 있다.

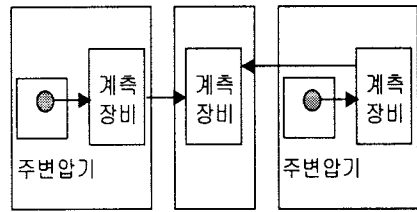


그림 4. 변압기의 온도 측정 구성도

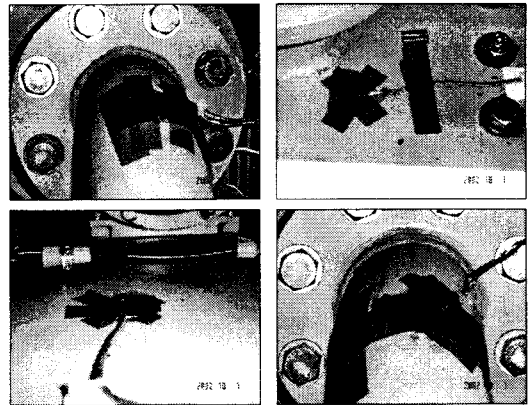


그림 5. 변압기 온도센서의 부착 모습

2.3 변압기 온도의 비교 분석

변압기는 어떤 기준 온도를 갖고 있으며, 이 기준치를 넘어갈 경우에는 치명적인 고장을 일으킬 수가 있다. 이것을 방지하기 위해서 컨버터와 인버터의 게이트 드라이브 신호 출력을 차단하고 접촉기를 차단하여 모터블록경우에는 네트워크 라인을 통해 SCU(Supervisory Control Unit)에 고장 신호를 내보내 가동을 중단시키고 있다. 변압기 오일의 기준 온도는 135℃로, 변압기 외함의 기준 온도는 190℃로 설정되어 있다.

외기 온도, 주행 속도, 그리고 운행 시간이 변압기의 온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 2002년 8월부터 2003년 12월까지, 약 17개월 동안 오송 기지에서 현 시험을 수행한 내용을 월별, 주행 속도별, 운행 시간별로 정리하였다. 표 2는 월별과 주행 속도별로 시운전 시험 수행 횟수를 기록해 놓은 것이다. 참고로 150km/h 속도 시험을 할 경우에도 순간적으로 151km/h 또는 152km/h를 나타냈으며 150km/h로 처리하였다. 월별 경우 8월 이후의 시험 횟수가 많은데, 이것은 2002년과 2003년에 걸쳐 시험했기 때문에 나타난 결과이다.

표 2. 시운전 시험의 수행 내용

구분	~100 km/h	~150 m/h	~200 m/h	~250 m/h	~300 m/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 6부터 그림 8까지는 변압기 온도를 월별, 주행 속도별, 그리고 운행 시간별로 측정된 결과를 보여준다. 그림 6에서 보는 바와 같이, 여름철에 외기 온도가 가장 높기 때문에 변압기의 경우에도 7, 8월이 가장 높게 나타나게 된다. 그림 7은 속도변화에 따른 변압기 온도 변화를 나타내고 있다. 속도가 상승함에 따라 변압기 온도가 상승하는 현상을 볼 수 있다. 그림 8은 운행 시간에 따른 변압기 온도 변화를 보여주는데, 시험 주행 노선의 한계로 중간에 정차하는 시간이 많기 때문에 시험 데이터를 통해 정확한 분석을 하는데는 한계가 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 높은 온도 분포를 보이는 이유는, 이 속도 영역에서의 시험이 주로 겨울철에 이루어져서 나타난 결과이다.

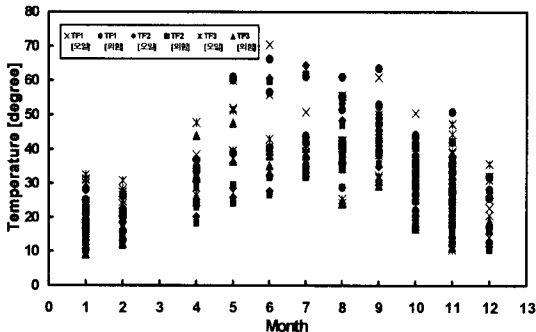


그림 6. 월별 변압기 온도

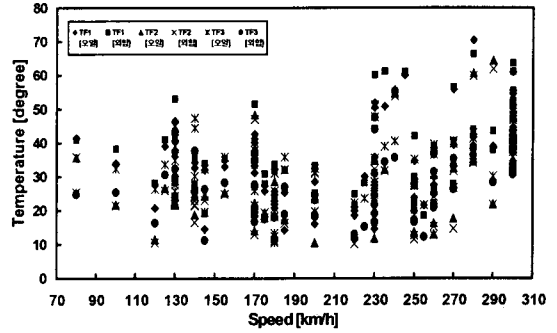


그림 7. 주행속도별 변압기 온도

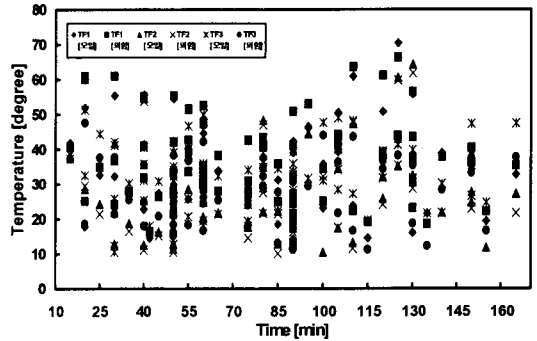


그림 8. 주행시간별 변압기 온도

3. 결 론

한국형 고속전철의 변압기는 차량의 전기장치들의 전원을 공급하는 중요한 전장품으로, 본 연구에서는 계절별, 주행속도별, 주행시간별로 변압기 온도 특성을 살펴 보았다. 이를 위해 변압기에 온도 센서를 부착하였으며, 계측시스템과 분석프로그램을 통해 변압기의 온도 특성을 여러 조건에 따라 비교, 분석할 수 있었다.

이를 통해 변압기의 오일과 외함온도는 주행시간보다는 외기온도와 주행속도에 더 많은 영향을 받는 것으로 확인되었다. 향후에는 보다 다양한 조건하에서의 변압기 온도 변화 특성과 함께 시간경과에 따른 변압기의 열화 특성을 분석하여 변압기의 수명, 절연 특성 및 성능 변화를 파악할 필요가 있다고 여겨진다.

[참 고 문 헌]

- [1] Paolo Masini and Giovanni Puliatti, "V Acquisition Systems for Global Analysis (VASGA Experimentation)", WCRR, pp.279~286, 1997.
- [2] Y.J.Han et al., "A study on traction s characteristics of high speed train", pp. 1720 ICCAS 2003
- [3] 한영재의 4명, "고속철도차량용 전기장치의 온도특성에 관한 연구", 2003년도 12월 특별호, pp. 1210~1216, 전자재료 학회지
- [4] 한영재의 4명, "고속철도 전기장치의 특성에 관한 연구" 2003. 4. pp. 435~437, 대한전기학회 춘계학술대회
- [5] 주변압기 견인전동기 개발, 고속전철기술개발사업연차보고서 (1999), 전교부, 산자부, 과기처.