

계측시스템을 이용한 변압기의 온도 특성 연구

A Study on Temperature Characteristics of Main Transformers using Measurement System

한영재^{1,a}, 김기환¹, 김석원¹, 목진용¹, 최중선², 김정수²
(Young-Jae Han^{1,a}, Ki-Hwan Kim¹, Seog-Won Kim¹, Jin-Yong Mok¹,
Jung-Sun Choi², and Jung-Su Kim²)

Abstract

Recently, as the road capacity reaches the limit and environmental problems becomes serious, there is gradually increased a need for railroad vehicles that are environment-friendly and have time regularity, reliability, and safety. Accordingly, in addition to conventional railroad vehicles, lots of vehicles are being newly developed. 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, KRRI(Korea Railroad Research Institute) analyzed characteristic in contrast with comparing with temperature of transformer about month, running speed and running time.

Key Words : High speed train, Transformer, Mesurement system, Temperature characteristic

1. 서 론

한국형 고속전철의 주요 전장품인 변압기는 팬터그래프를 이용하여 가선으로부터 전력을 공급받아 전력변환장치, 견인전동기 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 실리코유를 이용한 강제송유풍냉식으로 냉각시키는 구조로 되어있다[1].

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[2-5]. 그리고 계측시스템을 통해 획득한 변압기 온도 데이터를 바탕으로 월별, 주행 속도별 그리고 운행 시간별로 변압기 온도를 비교 분석하였다.

1. 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단
(경기도 의왕시 월암동)

2. 홍익대학교 전자전기공학부

a. Corresponding Author : yjhan@krii.re.kr

접수일자 : 2004. 9. 24

1차 심사 : 2004. 11. 10

2차 심사 : 2005. 11. 8

심사완료 : 2006. 1. 20

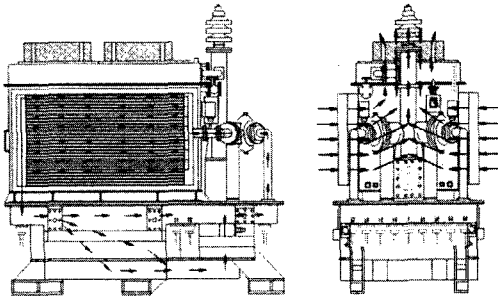


그림 1. 변압기의 오일 및 공기 흐름도.
Fig. 1. Flow of oil and air.

2. 변압기 주요제원 및 계측시스템

2.1 변압기의 주요제원

고속전철용 변압기는 사용 목적상 일반 전력용 변압기와는 달리 운행 중에 차량의 최대속도, 궤도 높이, 레일형태, 침목의 크기, 지형의 특성에 따라 진동 및 충격을 겪으므로 구조 안정성이 확보되어야 한다. 따라서 변압기의 무게 중심을 하부쪽으로 이동시킬 필요가 있으며, 이를 위해 중심을 일반적인 전력용 변압기와는 달리 수평으로 배치하여 변압기 외함의 구조를 공기 덕트의 역할을 하는 상부 탱크와 중심군이 들어있는 하부 탱크의 두 부분으로 분리된 구조로 제작하였다[1].

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 적용하였다. 이때 발생하는 열은 직접강제송유풍냉식으로 냉각되어진다.

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 찬공기가 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 열 교환된다.

한국형 고속전철에 취부되어 있는 변압기의 주요 사양은 표 1과 같다.

2.2 온도측정

한국형 고속전철에 설치된 계측시스템은 4개의

표 1. 변압기의 주요 사양.

Table 1. Specification of main transformers.

구 분		동력차용	동력객차용
상수 및 주파수		단상 60 Hz	
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

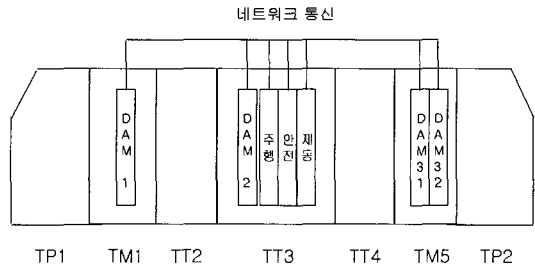


그림 2. 계측시스템의 구성도.
Fig. 2. Organization of measurement system.

계측 모듈과 2개의 모니터링 장치 및 메인 서버(안전 모니터링으로 이용)로 구성되며, 각 계측 모듈 및 별도의 모니터링 장치에서 계측 신호를 상시 감시할 수 있도록 되어있다. 4개의 계측 모듈은 DAM(Data Aquisition 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[6].

그림 2는 고속전철 시제차량 시험계측시스템의 구성 및 배치도를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, TM1에 DAM1이, TT3에 DAM2, 안전, 주행 및 제동 모니터링이, TM5에 DAM31, DAM32이 설치되어 있으며, TT3에서 중요한 계측 신호의 모니터링이 가능하다.

변압기의 온도 측정을 위해 계측시스템에 입력되는 방법은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째 방법은 그림 3과 같이 측정 위치로부터 직접 계측장비에 온도값이 입력되도록 한 경우이다. 두 번째

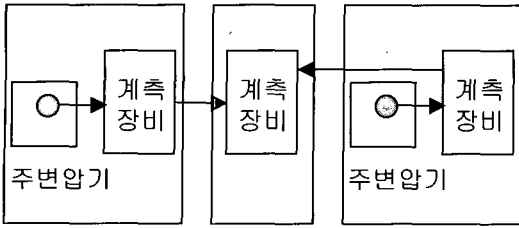


그림 3. 주변압기 온도측정 구성도.
Fig. 3. Composition of temperature measurement for main transformer.

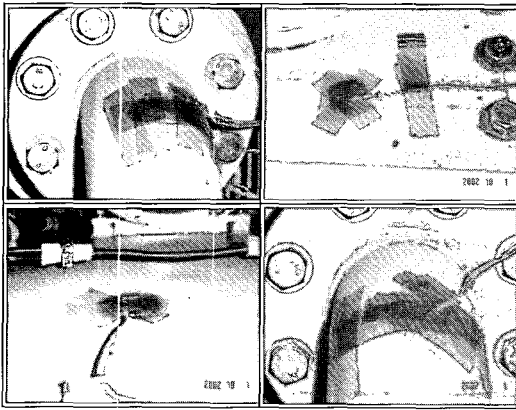


그림 4. 변압기 온도센서 부착 모습.
Fig. 4. Picture of transformer temperature sensor adhesion.

방법은 제작시에 미리 심어둔 온도 센서로부터 온도를 입력받아 컨디셔너를 거친 후에 계측장비로 입력되는 경우이다[7].

한국형 고속전철에는 TP1 1대, TM5 1대, 그리고 TP2 1대가 취부된다. 변압기의 온도 측정에 대해 살펴보면 노이즈 차폐와 차량의 분리가 용이하게 하기 위해 동력차의 변압기는 각각 DAM1과 DAM32에서, 동력객차의 변압기는 DAM32에서 온도를 측정하였다. 그림 4는 변압기의 오일온도와 외함온도를 측정하기 위해 동력차와 동력객차의 변압기에 부착된 T-type 온도 센서의 여러 모습을 보여주고 있다.

2.3 프로그램의 구성

모듈별 계측 프로그램은 Hardware configuration,

Software configuration, Diagnosis 및 Test의 4개 중요한 기능으로 분리되며, 동일한 프로그램으로 Hardware/Software configuration을 수정하여 계측 모듈에서 사용할 수 있도록 하였다[8,9].

Hardware configuration은 각 계측모듈에 사용된 NI제품인 Hardware를 정의하는 부분으로 각 모듈에 실제 사용된 chassis no., module no. 및 model no.를 NI에서 제공하는 Driver를 이용하여 Hardware의 설정을 행한다.

Software configuration은 Hardware적으로 설정된 채널에 대해 채널의 사용여부 판단, Calibration, 실제 물리량으로의 변환, 최대/최소값 설정, 계측제한범위 설정, 통합 모니터링 모듈로의 전송여부 판단 등을 하는 부분이다.

Diagnosis는 시운전 시험계측 전에 계측 신호의 이상여부를 확인하기 위하여 구성된 모듈로서 각 모듈별 계측 담당자는 계측 장비의 전원인가 후 각 채널의 이상 여부를 확인하여 시험계측 전에 원인 규명과 해결을 수행하기 위하여 구성하였다.

Test는 실제로 계측된 신호의 현시, 저장 및 이 신호를 이용하여 계산된 값을 저장하는 것이다. 계측의 시작/끝, 데이터의 저장은 Main computer의 지령에 따라 수행되며, 계측신호는 그림 5에서 볼 수 있는 바와 같이 각 모듈의 모든 신호의 현시와 이상여부의 확인이 가능하며, 선택적으로 일부 신호를 그래프로 모니터링할 수도 있도록 되어있다.

계측모듈에서 계측된 채널의 데이터를 동기시간과 함께 이진수로 저장을 한다. 시운전시험이 2시간 이상이 필요한 경우도 많기 때문에 가능하면 데이터의 저장용량을 줄이기 위해 이진수로 저장을 하도록 하였다. 각 모듈에 저장된 데이터는 외장 Hard Disk에 백업되며, 후처리 프로그램을 통해 시험결과를 분석할 수 있다.

후처리 프로그램은 분리/계산과 분석의 2과정으로 나누어진다. 분리/계산과정은 저장된 모든 채널의 데이터를 동기시간에 대하여 각 채널별로 분리시키고 동시에 특정한 목적에 필요한 계산을 수행한다. 이 과정에서 채널별로 분리된 데이터 및 계산데이터는 각 채널이름 및 계산에 사용된 이름으로 각각 저장된다.

분석과정은 각 채널별로 분리 및 계산이 완료된 후에 진행된다. 이 과정에서는 전 시험구간 및 특정구간의 계측데이터의 분석, 보고서 양식으로 플롯트 및 특정구간 데이터의 저장 등을 수행할 수 있다.

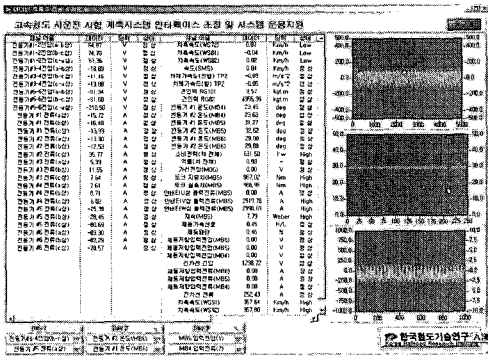


그림 5. Test 화면.
Fig. 5. Test picture.

2.4 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 ℃로, 변압기 외함의 기준 온도는 190 ℃로 정해져 있다.

그림 6은 광명-천안간 시운전 시험 중 300 km/h 속도에서 변압기의 온도 변화를 살펴본 것이다. 변압기의 초기 온도는 차량이 출발하기 전의 온도로서 약 28 ℃로 나타났다. 그림 6을 살펴보면 변압기의 오일온도와 외함온도가 계속 상승하다가 (a)에서 최고치를 기록하였으며, 최고 온도가 36~38 ℃로 나타났다.

그림 6의 (a)에서 변압기의 온도가 가장 높게 상승한 이유는 차량이 주행중일 때는 변압기의 냉각팬이 가동되어 변압기의 열을 식혀주지만, 차량이 정차해 있을 경우에는 변압기의 냉각팬이 가동되지 않기 때문에 변압기의 온도가 상승하기 때문이다. 여기서 오일과 외함의 최고 온도가 기준 온도 135 ℃와 190 ℃ 이내에 있음을 각각 확인할 수 있었다. 또한 초기 온도와 최고 온도의 차이는 약 7~9 ℃로 나타났다.

그림 7부터 그림 9까지는 외기 온도, 주행 속도 및 운행 시간이 변압기의 온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 2002년 8월부터 2004년 5월까지, 약 21개월 동안 현차 시험을 수행한 내용을 월별, 주

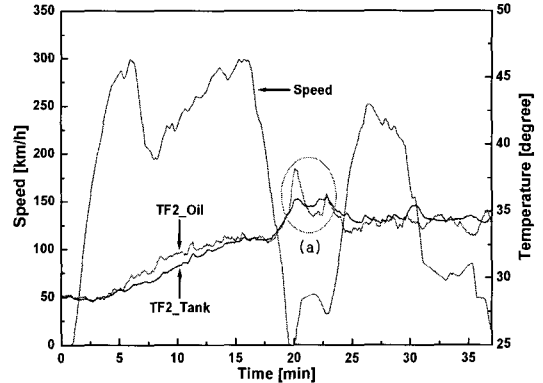


그림 6. 300 km/h에서의 변압기의 온도.
Fig. 6. Transformer temperature running 300 km/h.

표 2. 시운전시험 내용.

Table 2. Contents of on-line test.

단위 : km/h

구분 [월]	~100	~150	~200	~250	~300	~350	계
1	0	1	5	5	1	0	12
2	0	0	1	3	10	0	14
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	2	3	0	6
5	0	0	0	2	10	6	18
6	0	0	0	0	3	0	3
7	0	0	0	1	3	0	4
8	1	1	2	1	3	0	8
9	0	1	0	0	5	0	6
10	1	4	4	1	0	0	10
11	0	4	6	2	3	0	15
12	0	2	13	1	2	0	18
계	2	14	31	18	43	6	114

행 속도별, 운행 시간별로 변압기의 온도를 정리하여 분석한 결과이다.

표 2는 월별과 주행 속도별로 약 21개월 동안 수행한 결과로, 이 자료는 시운전 시험 중에 같은 시험 구간을 여러 조건 하에 여러 번 왕복한 횟수를 모두 포함한 횟수이다. 실제 시운전 시험을 수행한 일수는 약 75회 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

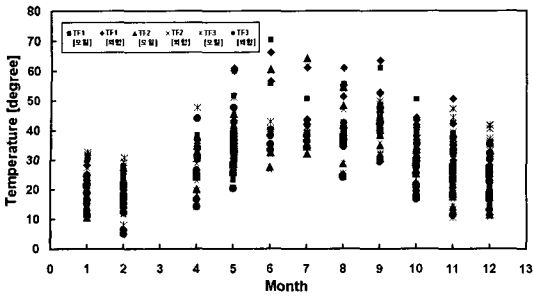


그림 7. 월별 변압기 온도.
Fig. 7. Transformer temperature according to month.

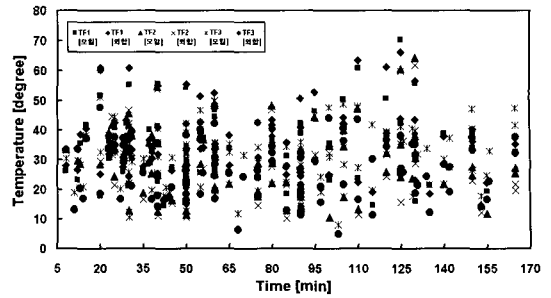


그림 9. 운행시간별 변압기 온도.
Fig. 9. Transformer temperature according to running time.

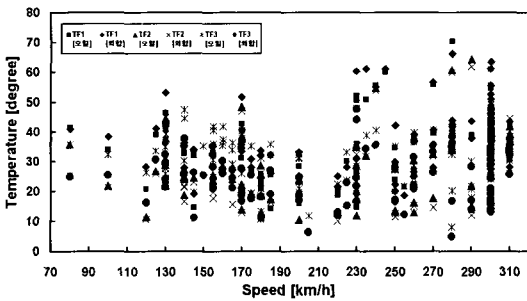


그림 8. 속도별 변압기 온도.
Fig. 8. Transformer temperature according to speed.

처리하여 표기하였다. 월별의 경우 3월에 수행한 시운전 시험 횟수가 전혀 없는데, 이것은 한국형 고속전철의 정기적인 차량 정비로 인해 시운전 시험 일정이 잡히지 않았기 때문이다.

또한 시운전 시험 중 대부분은 고속선에서의 결과이지만, 2003년 11월부터 2004년 1월 사이는 기존선에서의 결과로서 경부선과 호남선에서 한국형 고속전철이 150~160 km/h 속도로 시운전 시험을 수행하였다.

그림 7부터 그림 9까지는 변압기의 오일 및 외함온도를 월별, 주행 속도별, 그리고 운행 시간별로 측정된 결과이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 여름철에 외기 온도가 가장 높기 때문에 변압기의 경우에도 온도가 6, 7월에 가장 높게 나타나게 된다.

그림 8은 고속전철의 속도 변화에 따른 변압기의 온도 변화를 보여주고 있다. 주행 속도가 상승함에 따라 변압기 온도도 상승하는 현상을 볼 수 있다.

그림 9는 운행 시간에 따른 변압기의 온도 변화를 보여주는데, 시운전 시험시 주행 노선의 한계로 중간에 정차하는 시간이 많았기 때문에 시험 데이터를 통해 정확하게 분석하는데는 한계가 있었다.

전체적으로 모터블록 3대에 전력을 공급해주는 변압기(TF)1의 오일 및 외함온도가 모터블록 2대에 전력을 제공하는 변압기(TF)2보다 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.

3. 결론

한국형 고속전철의 변압기는 차량에 취부되는 여러 전기장치에 전원을 공급하는 주요 전장품으로, 본 연구에서는 월별, 주행 속도별, 운행 시간별로 변압기의 오일온도와 외함온도 변화를 살펴보았다.

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

앞으로는 보다 다양한 조건하에서 변압기 온도 변화 특성과 함께 변압기의 기동시간 경과에 따른 변압기의 열화 특성을 분석하여 변압기의 수명, 절연 특성 및 성능 변화를 파악할 필요가 있다고 여겨진다.

감사의 글

본 내용은 건설교통부에서 시행한 고속철도기술 개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

참고 문헌

[1] “변압기 개발”, 고속전철기술개발사업연차보고서, 건교부, 산자부, 과기처, 1999.

[2] 김석원, 한영재, 박찬경, 김진환, 백광선, “고속철도 시운전시험 계측시스템 개발에 관한 연구”, 한국철도학회지, 5권, 3호, p. 158, 2002.

[3] 한영재, 김기환, 박춘수, 최종선, 김정수, “센서를 이용한 전기장치 측정에 관한 연구”, 한국센서학회지, 12권, 4호, p. 164, 2003.

[4] 한영재, 김영국, 박찬경, 최종선, 김정수, “추진장치 성능측정 시스템에 관한 연구”, 한국센서학회지, 12권, 4호, p. 170, 2003.

[5] 한영재, 양도철, 장호성, 최종선, 김정수, “고속

철도차량용 전기장치의 온도특성에 관한 연구”, 전기전자재료학회논문지, 16권, 12S호, p. 1210, 2003.

[6] P. Masini and G. Puliatti, “Virtual acquisition systems for global analysis(VASGA) in experimentation”, WCRR, p. 279, 1997.

[7] Y. J. Han, S. W. Kim, S. I. Seo, Y. G. Kim, and C. S. Park, “A study on the temperature characteristics of electric devices for high speed railway vehicles”, ICCAS, p. 1720, 2003.

[8] Y. J. Han, K. H. Kim, S. I. Seo, C. K. Park, S. H. Han, J. Y. Kim, and A. S. Kno, “A study on measurement system for motor block of railway vehicle”, ICCAS, p. 1724, 2003.

[9] 한영재, 김기환, 박춘수, 김진환, 김 현, 민평오, “고속철도 전기장치의 특성에 관한 연구”, 대한전기학회 2003춘계학술대회논문집, p. 435, 2003.