

열화상을 이용한 몰드변압기의 진단

정승천, 천종철, 임용배
한국전기안전공사

The Diagnosis cast-resin Transformer using Infrared Thermography system

Sung-Cheon Jeong, Jong-Chul Chun, and Yong-Bae Lim
KESCO

Abstract

This paper presents the analyzing method for surface temperature distribution of a cast-resin transformer. For the study, the surface temperature of the transformer winding was measured and analyzed by a infrared thermography system. Alternating voltages were applied to simulate deterioration of the specimen transformer, and the hot-spot on the transformer surface was measured to analyze the condition for the winding. The hot line condition measured to the changes in surface temperature using infrared thermography camera and was set up the based of diagnostic method of the electric power apparatus. The results ould show the possibility of remote diagnosis using internet.

Key Words : surface temperature, cast-resin transformer, Infrared thermography Camera, diagnosis

1. 서 론

열화상 분석 방법은 현재 산업현장에서 작업자가 접근하기 어려운 조건의 온도 측정등으로 비접촉식 온도 측정에 의한 피측정체의 표면온도 분포를 알 수 있으므로 열전달 문제의 정성적인 해석에 적합하다. 본 연구에서는 열화상을 이용하여 피측정체의 표면 열 발생정도를 분석하고, 전력설비와 같이 접근하기 어려운 곳의 열화정도를 진단하고자 하였다. 열화상 장비는 대상물에서 방사되는 적외선을 화상 화 하는 장치로서 가시광선에 대해서는 민감하지 않다. 본 실험에 사용된 열화상장비는 정적이며, 열적으로 안정한 대상체 즉, 온도분포가 급격하게 변화하지 않는 대상에 대하여 적합하다고 하겠다. 전력설비의 방사되는 에너지는 물체의 온도와 관계하여 이 원리가 적외선을 이용하여 온

도를 측정하는 기본 원리로 흑체 방사의 스펙트럼 분포는 잘 알려져 있으며 이는 Plank에 의해서 처음으로 결정되었다.

$$W_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5} \left[e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right]^{-1}$$

여기서 W_{λ} 는 단파장의 복사 강도이며 λ 는 파장, T 는 온도, e 는 자연대수의 밑이고 C_1, C_2 는 상수이다. Plank 분포의 중요한 특성은 방사된 복사는 파장에 따라 연속적으로 변하고 어떤 파장에서도 방사되는 복사의 크기는 온도가 증가 할수록 증가하게 되고 복사가 집중되는 스펙트럼영역은 온도에 의존하여 지고 비교적 온도가 증가 할수록 짧

은 파장에서 더 많은 복사가 나타난다. 전력설비의 진단에 이와 같이 표면 열 온도 분포의 복사열을 이용하고 있는 열화상 장비를 이용한다면 더 효과적으로 진단 할 수 있을 것이다.

2. 실 험

2.1 실험 방법

몰드변압기의 표면온도 분포를 보기위해 그림1과 같은 몰드 변압기의 권선에 그림 2와 같은 실험 장치를 구성하여 실험 하였다. 실험에 사용된 몰드 권선은 무 금형인 도체에 수지를 함침 시켜 제작 한 함침형 몰드 권선을 사용하였다. 이 권선은 주형 몰드 형인 금형을 사용한 권선에 비해서 전기적 기계적 강도와 절연내력의 신뢰성이 떨어지고 또한 흡습성에도 약하기 때문에 표면 열 분포를 여러 가지 측면에서 관찰하고자 하였다. 이 실험에 사용된 권선은 가장 일반적으로 사용되는 IEC 76 BS 171 규격인 100℃ 권선온도상승한도 (hottest-spot temperature)인 F종 100kVA급과 절연물의 허용 최고온도(155℃)인 권선을 사용하여 교류전류를 인가하는 방법으로 가열하여 열화 시켰다. 이와 같은 방법으로 열화 시킨 권선은 적외선 열화상 카메라로 표면온도 분포를 측정하였으며, 시료의 초기특성을 파악하고 제 특성을 비교하기 위하여 $\tan\delta$ 값을 측정 했으며, $\tan\delta$ 값의 변화 추이를 비교분석하기 위하여 (TETTEX2818/5283, 스위스)유전 정점시험을 실시하였다. 그림 3에 시험장치의 개략도 를 구성하였다.

에폭시 수지는 1930년경 최초로 합성되었으며, 기계적 강도가 우수한 점, 경화 시 체적변화를 일으키지 않으므로 보이어나 갭이 생기지 않는 점, 자유로운 형상으로 가공이 가능한 점 등 여러 가지 장점이 있으므로 옥내나 밀폐구조의 지지절연물로 가장 많이 사용되고 있다. 에폭시 수지의 화학적 또는 기계적으로 취약한 부위, 예를 들면 마이크로 크랙, 수지와 충전제 사이의 공유영역, 불순물, 비균질성, 불균등한 교차결합영역에서 파괴경로를 형성하여 자유전자의 가속에 의해 균열이 시작되고 최종적으로 이온화의 붕괴에 의한 파괴에 이른다. 제조상태, 몰드 설계, 본질과 에폭시 몰드 자체의 선형열팽창의 차동계수에 따른 삼입물질인 구리나 알루미늄의 재질에 따라 파괴강도의 요소를 결정

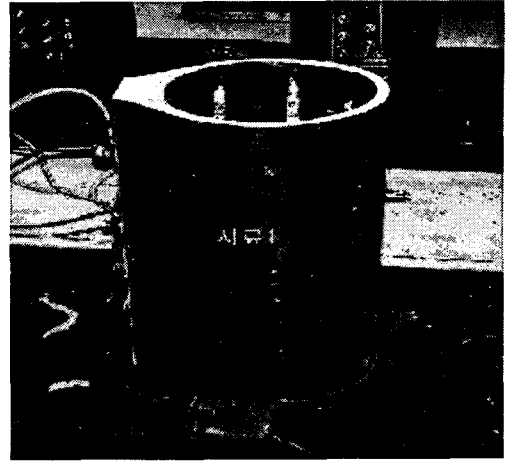


그림 1. 실험 시료.

하는 것을 통계적 부피효과라 하며, 물리적 부피효과는 음극으로부터 전자 방출로 발생된 저 에너지 부착점에서 전자 축적의 결과로 전계가 강화된 공간전하를 만든다. 또한 도체 또는 각 구성요소에서 전기적인 부하에 의해 생성된 열손실에 의해 열적으로 파괴 될 수 있으면 여기서 발생된 열은 주변

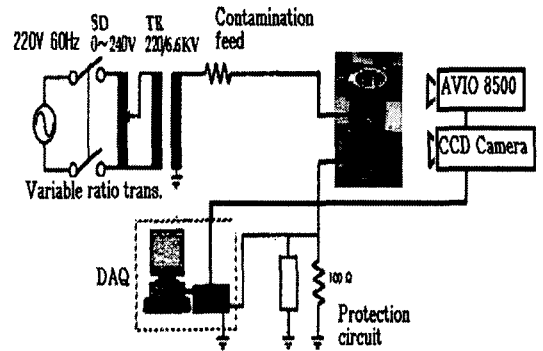


그림 2. 열화상 측정 및 실험 장치의 구성도.

에폭시 절연물에 전달되고 에폭시 절연물 자체에서 만들어진 유전손실은 열전도에 의하여 주변으로 분산 될 수 없게 되어 그 결과 에폭시 절연물에서 한계치 이상의 온도 상승이 발생한다. 교류전압의 경우, 유전체에서의 전력손실은 유전손실 인자 $\tan\delta$ 는 온도에 매우 민감하며 일반적으로 사용 [E: 전계강도 ϵ : 유전율 $\tan\delta$: 유전손실]

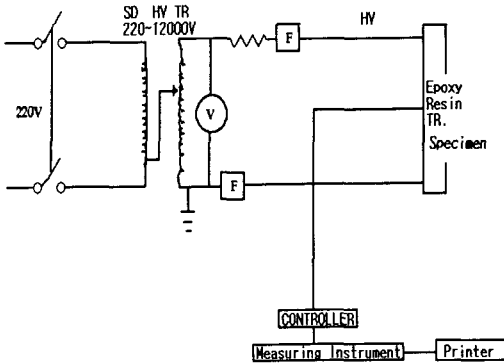


그림 3. 유전정접 실험장비의 구성도.

$$P = V^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \tan \delta$$

$$P = E^2 \cdot \omega \cdot \xi_0 \cdot \xi_r \cdot \tan \delta$$

온도 범위에서 주위온도에 따라 대략 지수 함수적으로 상승한다. 모든 절연물이 이런 관계에 따라 임계온도 이상으로 일정하게 과열된다면 그 결과는 전체적인 열적 파괴에 이른다. 이는 예측할 수 있는 바와 같이 임계온도보다 더 높아지면 열점 (HOT SPOT)이 만들어지는 국부적인 과열이 된다.

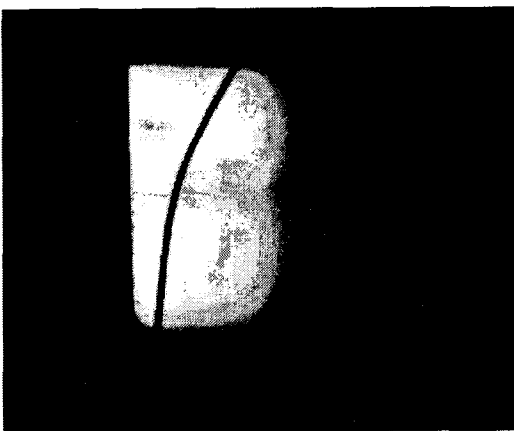


그림 4. 건전상태의 열화상.

이러한 열점은 예폭시 수지에서 국부적인 열 상승, 강한 전계강도에서 집중적인 파괴 강도를 가져온다.

3. 결과 및 고찰

각 열화 단계별로 측정된 열화상을 그림 4와 5에 나타내었다. 그림 4는 건전 상태의 시료를 가속 열화 시험 후의 열화상이며, 가속 열화 시험 후 충전 단락이 발생된 변화된 열화상을 그림 5에 나타낸 것으로 상반부에 충전 단락이 발생된 것을 유전정접의 유전손실의 값으로 알 수가 있었다. 건전 시료는 시료 상반부에 고온이 분포하고 충전 단락이 발생된 고장 시료는 상, 하반부에 고온이 집중되어 있는 것을 확인할 수 있다. 유전손실 시험 장비인 유전정접시험은 그림 3에 유전정접 실험장비의 회로도를 나타내었으며, 그림 6과 7에 열화 시간에 대한 유전손실의 크기 변화를 나타내었다.

그림 6은 교류전압 10KV로 측정된 유전정접과 2KV로 측정된 유전정접 사이의 차를 나타낸 것이다.

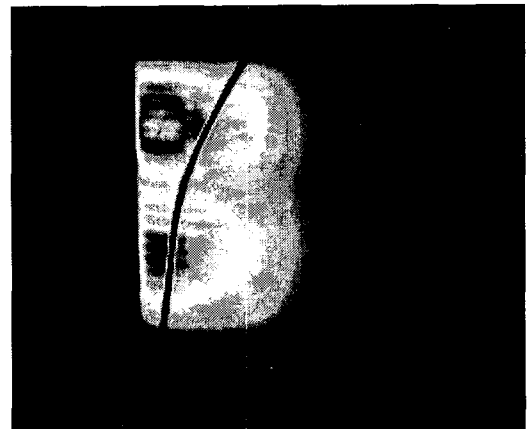


그림 5. 고장상태의 열화상.

열화 단계별로 측정된 유전정접은 가열되지 않은 초기상태에서는 상대적으로 높은 값을 가졌다. 그러나 열화가 진행됨에 따라 처음에는 값이 저하되다가 아레니우스의 이론을 바탕으로 한 환산 시간으로 17,000시간 부근에서 증가하기 시작하였

고, 기준 온도에서의 수명인 40,000시간 부근에서는 급격한 상승이 있었다. 그리고 기준 수명을 초과한 45,000시간에서는 권선에 층간 단락이 발생되었다. 10KV로 유전정접 측정시 실험 과정에서 열화 된 절연체 내부에서 부분방전이 발생되었으며, 2KV로 측정된 유전정접과 차이가 발생되었다.

특히 기준 온도의 수명인 40,000인 시간 부근에서 차이가 급격히 증가 하였다. 이것은 몰드 변압기 고장 전 열화상태의 화상을 상태 감시하여 원격 감시할 수 있는 가능성을 보여주는 것이다.

기준에 몰드 변압기에 대한 열화 상태 진단은 각 상별 및 1,2차 권선 메거 오름 측정 및 직류 내전압시험으로만 이루어졌기 때문에, 고압권선 내에서

선 내 탭을 분리한 후 그림 4 및 5와 같이 열화상을 측정하여, 층간에서 진행되는 열화현상을 예측해 보고자 하였다.

4. 결론

본 연구에서는 몰드 변압기에 대한 가속 열 열화 시험 시 잔여 수명 예측과 상태 진단에 적외선 열화상을 이용하였다. 권선에 가해지는 열 분포 분석으로 실비의 열화 시는 열접에 의하여 그 수명이 지수 함수적으로 감소되어짐을 알 수가 있다. 또한 기준 온도로 환산된 수명 단계별 유전정접 측정값으로 몰드 변압기 절연체 열화에 따른 변화 추이를 분석하여, 권선 부분 단락 고장 상태를 예측할 수가 있다. 그러나 이들 결과는 실험실에서 몰드 변압기의 고압 권선만을 대상으로 실시하였기 때문에 현장 적용을 위해서는 현장 실측을 통한 결과의 분석이 요구된다. 또한 권선의 열화정도를 신속, 정확하게 진단할 수 있는 신뢰성 있는 진단과 평가방법을 개발하는 것이 당면 과제로 지속적인 관심과 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Mattieu, P. "Calculating the Natural Vibrations of Transformer Core", Bulletin Ovrlikon, No 361, Feb, 1965.p.1~4.
- [2] O. Vanegas, Y. Mizuno, k. Naito, "Diagnosis of Oil-insulated Power Apparatus by using Neural Network Simulation", IEEE Trans. DEI Vol. 4 No. 3, 290~299(1997)
- [3] Gerald c. Holst, "Common Sense Approach to Thermal Imaging", JCD Publishing, p. 15, 2000
- [4] IEEE, "Draft Guide for Test Procedures for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Solid-Cast and Resin-Encapsulated Power and Distribution Transformers", p. 2~17. PC57.12.60-1998.

그림 6. 열화 시간에 의한 유전정접 측정값.

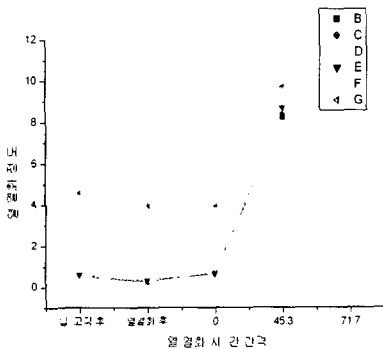
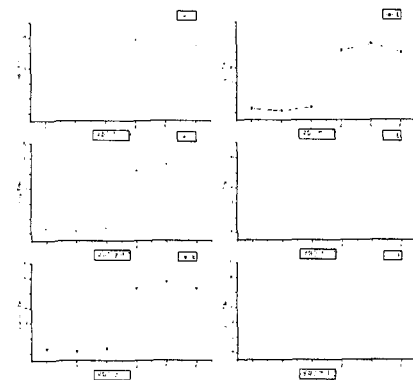


그림 7. 열화 시간에 의한 열열화 정도.

발생되는 층간 열화에 대해서는 정확한 진단 결과가 나오지 않았다. 그러나 본 연구에서는 고압 권