

## 지상변압기의 열분포 특성 연구

김상준\*, 강내국\*, 선종호\*\*, 이우영\*\*, 김광화\*\*  
 \* 한국전력공사, \*\* 한국전기연구소

### A study on thermal distribution characteristics of pad mounted transformers

S. J. Kim\*, N. K. Kang\*, J. H. Sun\*\*, W. Y. Lee\*\*, K. H. Kim\*\*  
 \* KEPCO, \*\* KERI

#### Abstract

In this paper, we describe the thermal distribution characteristics of 1 phase, 22.9kV 200kVA, pad mounted transformer. We made pad, tr. which had 71 temperature measuring points in windings and case.

In the results of pad, tr. temperature distribution, the highest and the lowest temperature points are placed in the high voltage windings and the temperature difference of high voltage winding is higher than that of low voltage winding.

#### 1. 서론

대도시를 중심으로 운용되고 있는 지중배전계통은 도시미관 유지, 선로경과지 및 공급신뢰도 확보 등의 필요성에 따라 계속 확대되고 있으며, 지중배전계통의 확대추세와 더불어 지중 배전용 변압기로서 사용되고 있는 지상변압기(Pad Mounted Transformer)의 설치대수도 계속 증가하고 있다.

일반적으로 변압기의 수명은 최고점 온도에 의하여 가장 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 변압기의 최적 운용을 위하여 최근 변압기의 최종 온도상승과 수명에 관한 많은 검토가 이루어져 수명관계식 개발이나 온도분포, 온도최고점을 규명하기 위한 많은 연구가 수행되고 있다.

지상변압기는 인적이 많고 상가등 부하가 밀집된 지역의 지상에 설치되어 있으며, 변압기의 외함은 2중의 외함으로 되어 있어 주상변압기등 다른 변압기에 비하여 대류저항 효과등으로 인하여 내부온도가 더 높게 상승할 우려가 있으므로 폭발 소손 고장과 같은 안전사고로 이행할 수도 있다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 지상변압기의 열분포 시험을 위하여 전원 및 제어장치, 온도측정장치를 제작하였으며, 열적으로 가장 취약한 단상 22.9kV, 200kVA급 시료용 모델 지상변압기를 제작하여 권선에 온도센서를 취부하여 단락법으로써 열분포 시험을 수행하였고, 열분포 특성을 분석하였다.

#### 2. 변압기 열분포 실험 방법

##### 가. 변압기의 온도시험법의 결정

변압기의 온도상승시험에 주로 사용되는 시험법으로서는 동손과 철손을 발생시키는 반환부하법과 동손만을 일으키는 단락법이 있다. 반환부하법은 실무하에 가까운 시험법이지만 1차측(고압측)에 정격전압이 인가되므로 권위가 높은 측정점에서는 온도센서의 절연문제나 높은 유기전압에 의한 큰 측정오차가

발생할 수 있으므로 본 연구에서는 철손이 발생하지 않는 단점이 있으나, 비교적 온도를 정확하게 온도를 측정할 수 있는 단락법을 적용하였다.

##### 나. 온도센서의 제작

지상변압기의 온도측정에 사용된 온도센서는 측정하려고 하는 온도측정범위에 가장 적합한 T형 열전대(온도측정범위:-270~300℃)이며, 온도센서가 도체에 직접 접촉되면 전압이 유기되어 측정오차 발생 및 측정시스템에 절연상의 문제점을 일으킬 수 있으므로 그림 1과 같이 온도센서를 열전도성이 양호하고 절연특성이 좋은 두께 50μm인 Kepton 절연필름위에 놓고 Epoxy 수지로서 몰드하여 사용하였다.

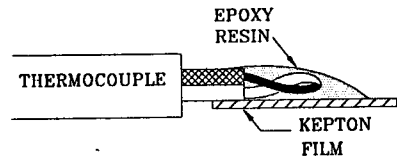


그림 1. 온도센서의 제작

##### 다. 시료변압기의 제작

###### 1) 시료변압기의 선정

현재 지상변압기는 삼상일괄형과 단상형이 사용되고 있으나 본 연구에서는 삼상에 비해 구조가 간단하여 온도센서의 취부 및 인출과 온도분포의 해석이 용이하고, 전원설비의 제작도 비교적 간단한 단상변압기를 선정하였으며, 단상 지상변압기의 손실에너지가 변압기 외함을 통하여 방출될 때 방열에너지가 큰 것이 온도분포의 연구면에서 유리한 것으로 사료되어 표 1에서 단위면적당 방열량이 가장 큰 단상 200kVA급을 시료변압기로서 결정하였다.

표 1. 단상지상 변압기의 단위면적당 방열량

변압기 용량	단위면적당 방열량
100 kVA	$5.84 \times 10^2 \text{ W/cm}^2$
200 kVA	$7.33 \times 10^2 \text{ W/cm}^2$

### 2) 온도센서의 취부

그림 2는 본 연구실험에 사용된 권선구조로서 권선을 위에서 내려다 본 형상이며, 저압부 14층, 고압부 21층으로 되어 있고 겹계 철한 부분은 유통로(DUCT)를 의미한다. 단상 지상변압기의 철심구조는 외철형으로서 권선의 4면중 2면은 철심에 싸여 있다. 철심에 싸여 있는 부분은 다른 부분에 비하여 유통로(DUCT)가 적고 철손 및 보온효과에 의하여 온도가 높으며, 철심부에서 떨어질 수록 온도가 낮아질 것으로 사료된다. 또한 권선의 구조가 대칭인 것을 고려하여 온도측정면을 그림 2와 같이 A, B, C면으로 하였으며, A면은 철심이 없는 면의 중앙면, B면은 철심이 있는 면의 중앙면, C면은 철심이 끝나는 부분에서 철심쪽으로 1cm정도 들어간 면을 뜻한다. 또한 권선의 높이에 따른 온도 측정을 위하여 한 면에서 같은 층에 권선 높이에 따라 2-3개의 온도센서를 취부하였으며, 상부는 권선 높이의 90%, 중앙부는 권선높이의 50%, 하부는 10%저절이다. 이상과 같이 하여 권선부의 온도측정개소는 A면 22개소, B면 23개소, C면 22개소, 총 67개소의 온도센서를 취부하였으며, 권선부 외에 상부유중, 방열기상하, 유 상부 기중부에 각 1개씩의 온도센서를 취부하였다.

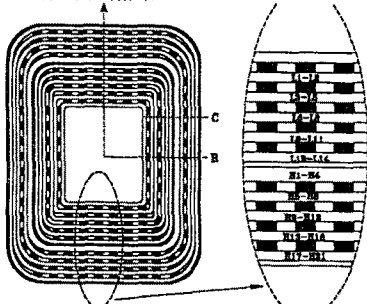


그림 2. 권선에서의 온도센서 취부면

### 3) 온도센서의 인출

권선에 설치된 온도센서는 각 권선의 층별 전위차로 인하여 취부된 온도센서 사이에도 전위차가 발생한다. 이러한 온도센서간의 전위차를 가능한 줄이기 위하여 온도센서를 6개의 그룹으로 분리하여 인출하였으며, 인출시 접지부인 외함과의 절연을 위하여 각 그룹을 6개의 절연 PVC 파이프를 통하여 외부로 인출하였다.

### 라. 전원 및 제어설비의 제작

단락법으로써 변압기의 열분포시험을 수행하는데 필요한 설비로서 우선 전원설비로서 동손을 공급하기 위한 보조변압기, 보조변압기를 제어하여 동손을 조정하기 위한 슬라이더, 변압기의 리액턴스를 보상하기 위한 진상용 콘덴서와 전원설비를 제어하기 위한 제어설비 등이 필요하며, 각 설비는 시료변압기의 용량에 맞게 설계 제작되어야 한다. 표 2는 본 연구실험을 위하여 제작된 각 시험설비의 정격사항을 보여주고 있다.

### 3. 열분포 실험

#### 가. 실험설비의 구성

지상변압기의 열분포실험을 위한 설비 배치는 그림 3과 같다. 그림 3에서 알 수 있듯이 지상변압기는 실외에 설치하였으며, 측정 및 전원 제어장치는 육내에 설치하였다. 백열상을 제

표 2. 전원설비의 정격사항

설비명	정격사항
- 보조 변압기	- 220/1350 V, 40 kVA
- 진상용 콘덴서	- 220 V, 2200 $\mu$ F
- 슬라이더	- 0 ~ 240 V, 15 kVA

작하여 주위온도를 측정하였으며, Data Acquisition System을 사용하여 온도측정 및 분석을 수행하였다.

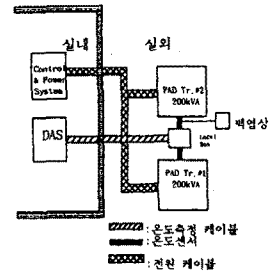


그림 3. 시험설비의 배치도

### 나. 인가부하조건

변압기의 온도분포 특성에서 분석해야 할 것은 몇%의 부하율에서 어느정도 온도가 상승하며, 최대온도는 어느곳에 위치하고 어떠한 형태로 온도가 분포하는 가이다. 본 연구에서는 표 3과 같이 부하인가 기준으로서 온도분포 시험을 수행하였으며, 충분히 온도를 포화시키기 위하여 침두부하 인가시간을 12시간으로 하였다.

표 3. 열분포시험을 위한 부하인가 기준

기저/침두	100%	130%	150%
60%	1	1	1

### 4. 열분포실험 결과

#### 가. 침두부하율에 따른 온도분포 특성

단락법으로써 지상변압기의 열분포시험을 수행한 결과 최고 온도점은 철심의 중앙부에 위치해 있는 고압부권선의 상부지점이며, 최하점은 철심이 없는 권선의 하부점에서 나타났다. 표 4는 각 침두부하율에서의 온도특성을 보여주고 있으며, 고압부에서 최고, 최저온도가 측정되었다. 그림 4는 침두부하 130%, 기저부하 60%에 대한 고압부의 부하인가 시간에 대한 최고, 최저온도 특성곡선이다.

#### 나. 권선 높이에 따른 온도분포 특성

그림 5는 고압권선과 저압권선의 권선높이에 대하여 온도가 상승중일 때와 포화되었을 때의 온도분포를 보여주고 있다. 그림 5에서 알 수 있듯이 고압권선은 권선의 높이에 따라 온도차가 현저하지만 저압권선은 큰 차가 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

표 4. 각 침두부하율에서의 온도특성

구분	저압부	고압부	상부 유	최고 주위 온도
최고온도	100%	79℃	80℃	65℃
	130%	104℃	105℃	
	150%	120℃	121℃	
최저온도	100%	63℃	59℃	83℃
	130%	79℃	74℃	
	150%	90℃	85℃	

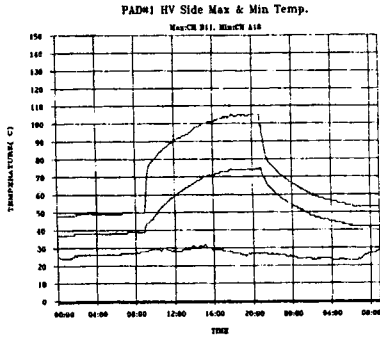


그림 4. 고압부 최고온도 특성곡선(침두부하 130%)

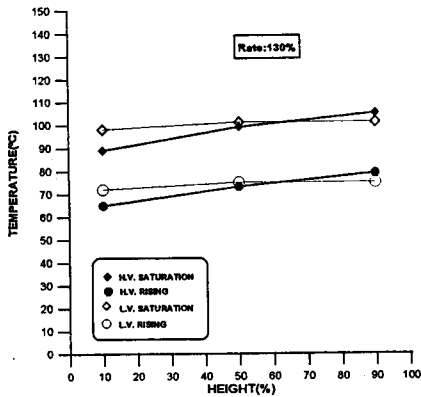


그림 5. 권선 높이에 따른 온도분포 특성

다. 권선 층에 따른 온도특성

그림 6은 온도가 가장 높은 B면의 온도가 상승중일 때와 포화되었을 때의 높이 90%지점의 각 층별 온도분포를 보여주고 있다. 그림 6의 결과에서 알 수 있듯이 저압과 고압이 인접해 있는 부분에서 온도가 가장 높고, H8-H9층에 있는 고압부의 DUCT는 온도를 급속히 저하시키고 있다.

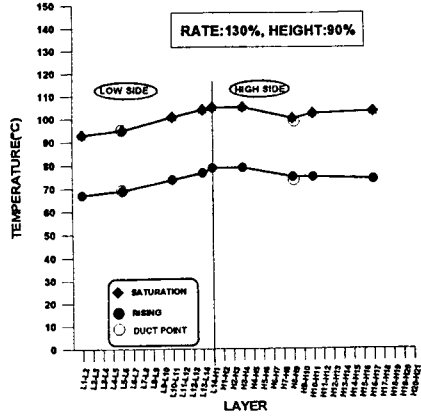


그림 6. 층별 온도분포 특성

5. 결 론

이상의 연구결과에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 지상변압기의 최고 온도지점은 B면의 고압부 상부지점이며, 최저온도는 고압부의 하부지점에서 나타났다.
2. 고압권선은 권선의 높이에 따라 온도차가 현저하지만 저압 권선은 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 권선의 열전도차에 의한 것으로 사료된다.
3. 층별 온도분포에서 권선의 저압부 보다는 고압부의 DUCT지점에서 높은 냉각효과를 보여주었다.

참 고 문 헌

[1] ANSI C.57. 91, "IEEE Guide for Loading Mineral Oil Immersed Overhead and Pad - Mounted Distribution Transformers", American National Standards Institute, 1981

[2] 宮島, 他, "센서와 주변회로", 秋葉出版, pp.35-42, 1984

[3] K. KARSAI D. Sc. et al., "Large Power Transformers", ELSEVIER, 1987