

## 과부하 및 경년 변압기 절연유 열화 특성 분석 연구

### Analysis of Aging Characteristics in Oil Immersed Pole Transformer

이병성\*, 송일근\*, 이재봉\*, 박동배\*, 한상옥\*\*

(\*한전전력공사, \*\*충남대학교)

Byung Sung Lee\*, Il Keun Song\*, Jae Bong Lee\*, Dong Bea Park\*, Sang Ok Han\*\*

(KEPCO KEPRI, Chungnam Univ.)

#### Abstract

In order to evaluate the aging of mineral oil immersed distribution transformers, it gathered some insulation oil in over loaded and long time(exceed their service life, 13yrs.) aged transformers in the field. we measured moisture content, acid number, dielectric strength of the oil as defined in KS C 2101 standard. And also, it had been measured dielectric constant, specific resistant,  $\tan\delta$  on aged transformer oil at from 10°C to 130°C. These results are compared with a new mineral oil. From this study, it can be considered that the analysis of mineral oil may be suitable for evaluation of life expectancy in distribution transformers

**Key Words** : Pole transformer, Mineral oil, moisture test, specific resistant.

#### 1. 서론

유압변압기의 수명은 운전중의 온도이력에 의한 절연유 및 권선절연지나 프레스보드 등의 절연재료의 열열화가 진행되고, 단락전류통과에 의한 전자기계력 등의 내력이 떨어지는 시점이다.

과부하율의 상승은 변압기 수명에도 영향을 준다고 볼 수 있다. 과부하 운전시 수명에 주는 영향은 6°C 온도상승 마다 절연지의 열화특성을 배로 증가하는 것으로서 대표적인 변압기 권선의 온도상승 특성에 대하여 과부하시의 열화축진량과 년간의 열화량과의 비교하여 수명율을 계산하고 허용 과부하율을 검토한다.

절연열화로 인한 절연파괴에 도달하는 위험성을 피하기 위해 실물 크기와 비슷한 변압기 모델에 의한 온도상승시험을 행하고 변압기 종류별로 권선의 온도상승특성을 파악하여 절연지가 받을 수 있는 열화 정도를 평가한다. 여기에 열화된 절연재료의 열화상태에 있어서 보다 정밀도가 높은 평가방법의 확립이 필요하다.

주상변압기의 열화특성을 평가하기 위해 현재

사용중인 과부하 및 경년변압기에 대한 열화특성 데이터를 수집할 필요가 있다. 이를 위해 현장에서 철거한 과부하 및 경년 변압기 50대를 선정 일정량의 절연유를 샘플링하여 KS C 2101에 따라 수분함량, 전산가, 절연내력시험을 하였으며, 또한 변압기의 일반적인 운전온도를 고려하여 10°C~130°C에서 유전율, 고유저항 및  $\tan\delta$  등을 측정하여 신유와 비교 분석하여 열화특성을 평가하였다.

#### 2. 실험

##### 2.1 과부하 및 경년 변압기 절연유

###### 가. 과부하 변압기

절연유 분석을 위해 발취한 과부하변압기는 12개 업체 변압기 26대였으며, 이들 변압기의 사용년 수는 평균 9년이며, 5년 이하 사용한 변압기가 7대(27%), 6년~10년 사용한 변압기가 7대(27%), 11년~14년 사용한 변압기가 12대 (46%)이었다.

이들 변압기의 전산 이용율이 100%이상인 것이 16대이며, 나머지 10대는 80%~100%이었다. 발취한 변압기 절연유의 육안상 관찰된 색도는 2대의

변압기에서 약한 변색된 상태를 보였으나, 대부분의 변압기 절연유는 신품과 거의 차이가 없었다. 변압기 용량별 시료발취 현황은 그림 1과 같다.

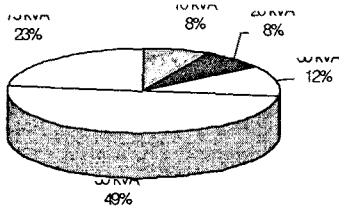


그림 1. 과부하 변압기 용량별 시료발취

### 나. 경년 변압기

경년변압기는 7개 제조업체 변압기 24대에 대해 절연유를 일부 발취하여 분석하였다. 대부분 13년 이상 현장에서 사용한 것으로 육안관찰상 정도의 차이는 있지만 발취한 절연유의 50% 정도는 변색되어 있었으며, 이들 변압기 중 4대는 절연유가 검게 탄화된 것도 있었다.

이들 변압기의 현장에서 평균 사용 년 수는 13.5 년이었으며, 전산상 평균 이용율은 61.5%로 나타났다. 용량별 시료발취 현황은 그림 2와 같으며, 용량별 고르게 절연유를 샘플링하여 측정하였다.

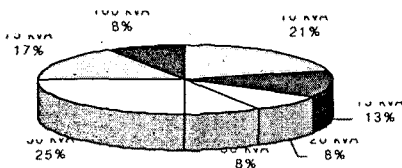


그림 2. 용량별 시료발취 현황

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수분, 전산가, 절연내력 시험결과

그림 3은 과부하 변압기에서 발취한 절연유에 대한 수분함량에 따른 절연내력과 전산가를 비교하여 나타낸 것이다. 발취한 변압기의 전산가는 모두 0.2 mgKOH/g 이하로 나타났으며, 수분함량은 대부분 10 ppm 이하였다. 또한, 절연내력시험에서 발취한 모든 시료가 30 kV 이상의 값을 보였으며, 그림 3에서와 같이 대체로 수분함량이 증가하게

되면 절연내력이 저하됨을 알 수 있었다.

KS C 2301에 따르면 변압기 절연유에 사용되는 1종 2호 광유의 경우 전산가는 0.02 mgKOH/g 이하이고, 120℃에서 72시간 열화시켰을 경우 0.6 mgKOH/g 이하로 규정하고, 절연과과전압은 30 kV (2.5mm 구경) 이상, 체적저항율은  $1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ (80℃)로 규정되어 있다.

또한 절연유 관리기준치로 판단할 때 대체로 수분함량이 40 ppm 이하이면 양호한 것으로 판정하고 있으므로 발취한 절연유는 고유의 특성 저하는 있었지만 사용상 상태는 양호한 것으로 판단된다.

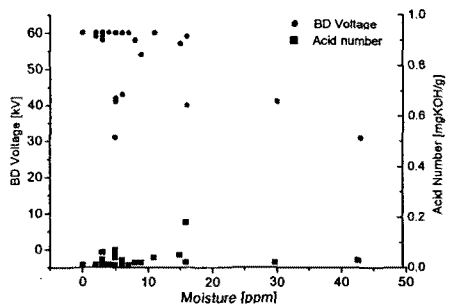


그림 3. 수분함량/전산가/절연내력 관계 비교

그림 4는 수분함량에 따른 절연내력 및 전산가를 분석한 그래프이다. 분석한 시료의 대부분은 수분함량이 40 ppm 이하로 나타났으나, 80 ppm 이상인 것도 있었다. 절연내력 시험에서 24대중 5대 변압기의 절연유가 절연내력 30 kV 이하를 나타내었다. 또한 이들 변압기 중 3대의 전산가가 0.2 mgKOH/g 이상으로 나타났다. 그림에서와 같이 유증의 수분량 약 40 ppm 이상부터 절연내력이 상당히 저하됨을 알 수 있다. 분석결과 발취한 절연유의 21%는 요주의 또는 불량한 특성을 나타냈다.

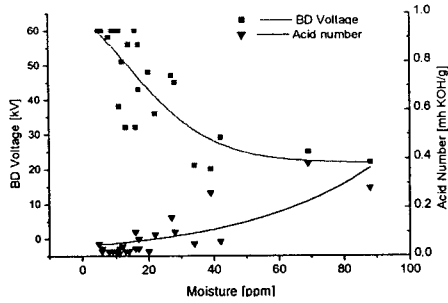


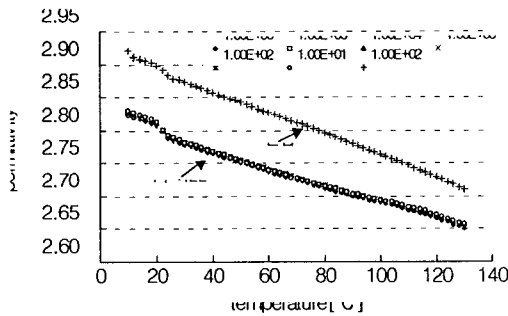
그림 4. 수분함량/절연내력/전산가 관계

장시간 운전함에 따라 일부변압기의 절연유는 수분함유량이 증가하였으며, 그림에서와 같이 절연유 중에 수분함량이 많을수록 절연내력이 저하됨을 알 수 있었다. 전산가는 수분함유량이 많고 절연내력이 저하된 절연유에서 증가하는 경향을 보였다. 이는 수분으로 인해 변압기 열화가 촉진되었기 때문으로 판단된다.

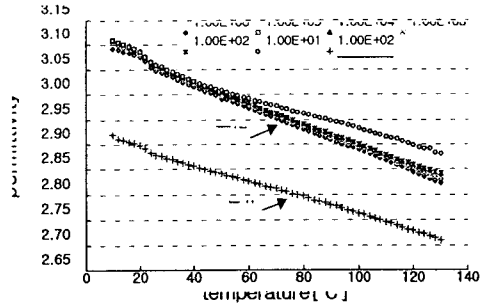
### 3.2 유전율 측정

측정온도는 10~130℃, 측정 주파수는 10Hz, 100Hz,  $1 \times 10^3$ Hz,  $1 \times 10^4$ Hz,  $1 \times 10^5$ Hz,  $1 \times 10^6$ Hz로 변화시켜 가면서 측정하였다. 유전율은 주파수의 영향을 받지 않고, 온도 증가에 따라 감소하였다.

그림 5는 열화되지 않은 신유에 대해 측정된 값과 과부하 변압기에서 발취한 절연유에 대해 유전율을 측정된 것이다. 현장에서 약 10년 정도 사용하였으며, 절연내력이 60 kV/2.5mm 이상인 과부하 변압기 절연유이다. 신유에 비해 유전율이 약간 변화한 것을 확인할 수 있었다.



(a) 과부하 변압기 절연유



(b) 경년 변압기 절연유

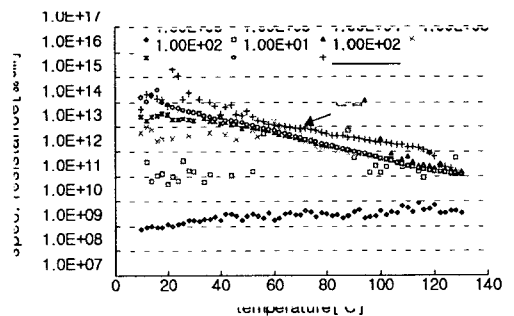
그림 5. 변압기 절연유의 유전율 분석결과

### 3.3 고유저항 측정

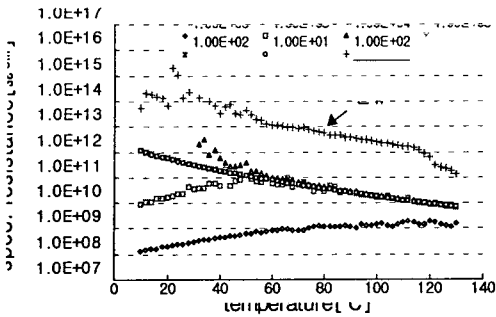
대체로 절연유의 경우 주파수가 높으면 고유저항이 저하되는 특성을 보이며, 온도가 높을수록 그 값이 약간씩 감소하는 경향을 보인다. 그림 6은 과부하 및 경년 변압기 절연유 시료에 대한 온도 및 주파수에 따른 고유저항을 측정한 그래프이다. 낮은 주파수 범위에서는 온도에 따라 고유저항이 다소 감소하는 경향을 보였으나 높은 주파수에서는 약간 증가하는 경향을 보였다. 100Hz에서 측정된 과부하 열화 시료는 신유와 비교할 때 고유저항 값이 약간 감소함을 보였다.

과부하 변압기 절연유 시료의 체적저항율이  $1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ (80℃) 이상의 값을 보여 절연유의 상태는 양호한 것으로 판단되었다.

또한, 시료의 절반 정도는 절연저항이 80℃에서  $1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  정도를 나타내어 요주의 상태를 보였으며, 그림과 같이 일부 시료는  $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  이하의 값을 보여 불량한 상태를 보였다.



(a) 과부하 변압기 절연유

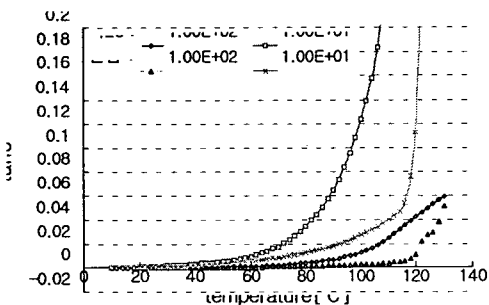


(b) 경년 변압기 절연유  
그림 6. 절연유 고유저항 측정

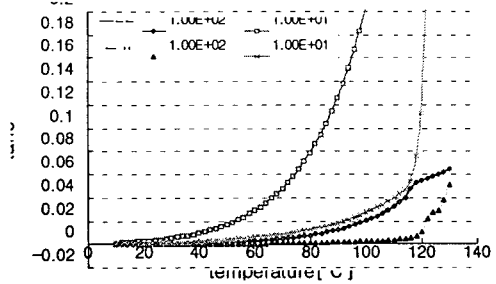
### 3.4 tan δ 측정

절연유의 경우 tanδ는 온도 상승과 함께 약간씩 증가하다가 일정온도 이상부터 온도의 상승과 함께 급속히 증가하는 경향을 보이며, 주파수가 높을수록 증가가 둔화된다. 그림 7에 온도 및 주파수에 따른 tanδ를 측정된 결과를 신제품과 과부하 변압기 및 경년 변압기에서 발취한 절연유 시료를 비교하여 나타내었다.

주파수는 10Hz와 100Hz에 대해 측정된 것으로 대체로 상용주파에서는 50℃ 이상부터 신제품과 과부하 시료의 tanδ값이 차이를 보였으며, 온도가 높을수록 그 차이가 컸다. 모든 시료가 유사한 결과를 보였다. 또한 측정된 유전정점 값이 50℃에서 1% 이하의 값을 보여 특성이 양호하였다.



(a) 과부하 변압기 절연유



(b) 경년 변압기 절연유  
그림 7. 절연유 유전손 측정

은 tanδ를 측정된 결과이며, 이를 신제품과 비교하여 나타내었다. 신제품에 비해 유전손실이 상당히 증가하였음을 알 수 있었으며, 과부하 변압기에서 발취한 절연유에 비해 대체로 낮은 온도에서 tanδ값의 증가가 시작됨을 알 수 있다.

### 4. 결론

과부하 및 경년변압기에서 발취한 절연유를 분석하여 주상변압기 열화특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 과부하변압기에서 발취한 절연유의 수분함량은 모두 40 [ppm]이하로 양호한 특성을 보였으며, 상대적으로 경년변압기에 비해 사용년수가 적은 과부하변압기는 수분함량이 적게 나타났다. 이는 사용기간이 길수록 변압기 기밀상태가 약화되어 나타나는 현상이라고 볼 수 있다.
- 고유저항값의 경우 과부하 변압기의 경우 신제품에 비해 크게 저하되지 않았으며 모두 80℃에서  $1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  이상의 값을 보였다. 경년 변압기의 경우는 저항값의 감소 폭이 컸으며, 대부분 요주의 상태인  $1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  정도의 값을 보였으며, 일부 시료는  $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  이하의 값을 보이기도 하여 열화로 인해 절연유 성능이 다소 저하되었음을 알 수 있었다.
- 과부하 변압기에서 발취한 절연유의 전산가는 모두 0.2 mgKOH/g 이하로 나타났으며, 경년 변압기의 경우는 분석시료의 3대만이 0.2 mgKOH/g 이상의 값을 보였다.

[참고문헌]

- [1] Masayuki Sakai, Naoki Kobayashi, Nobuyuki Daikuhara, "Research on Insulation Paper Thermal Deterioration in Oil-Immersed Transformer Over-Load Operation", Tokio Electric Power Company, TIEE Japan, B, Vol.121-B, No.4, pp.507-513, 2001.
- [2] R. Blue, D. Uttamchandani, O. Farish. "Infrared Detection of Transformer Insulation Degradation Due to Accelerated Thermal Aging" IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation Vol.5 No.2, 1998. 4
- [3] 전기절연유의 관리기준 및 분석방법에 관한 기술보고서, 전력연구원, 1998