

# 흡광도법에 의한 주상변압기 절연유의 열화판정기준 설정에 관한 연구

이 동 준\*, 정 중 옥\*, 김 경 화\*, 박 회 로\*, 윤 영 자\*\*  
송실대학교 전기공학과\*, 화학과\*\*

## A Study on Suggestion of Insulating Oil Ageing Degree in Pole-Transformer by Absorbance

Dong-zoon Lee\*, Jong-uk Jung\*, Kyung-hwa Kim\*, Hee-ro Kwak\*, Yong-ja Yun\*  
Dept. of Electrical Engineering\*, Dept. of Chemistry\*\* Soong Sil Univ.

**Abstract** — In this paper the criteria for insulating oil condition of pole transformer were suggested by applying the UV-Visible spectrophotometric method. Ageing of insulating oil caused the change in absorbances of oil as well as the deterioration of electrical properties of oil. By comparing the electrical properties such as  $\tan \delta$  and breakdown voltage with the UV-Visible absorbances of oil, criteria for absorbance values determining oil condition were established. This UV-Visible spectrophotometric method might be applied in ageing analysis of oil and be expected to replace the current method.

### 1. 서 론

산업이 급속히 발달함에 따라 양질의 전력공급과 공급 신뢰성 확보가 요구되고 있으며, 합리적인 전력설비의 진단에 관한 연구가 관심이 되고 있다. 154(kV)이상의 대용량 변압기에서는 돌발사고로 인한 영향이 광범위하고, 사고복구시 많은 시간이 걸리기 때문에 예방진단에 관하여 오래 전부터 연구가 되어 왔다.(1)(2)(5) 그러나 주상변압기는 전국에 산재해 있고 또한 수량이 약 90만대로 막대하여 정전사고시 사회적 문제를 불러일으키고 있음에도 불구하고 예방진단에 관한 연구는 미비한 실정이다. 현재 주상변압기는 절연유나 절연물에 대하여 특별한 진단을 하지 않고 간이수리후 중수리를 실시함으로써 주상변압기의 손상사고 방지와 주상변압기 내구수명을 연장하고 있다.(2) 이러한 수리점검과정은 많은 인력과 막대한 수리비용을 초래하고 있어 학술적인 연구를 통하여 예방진단에 대한 기초자료 및 예방진단법의 제시가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 주상 변압기 내에 있는 절연유는 경년 열화되면 분해산물이 유중에 축적되어 절연유의 색상이 변한다는 점에 착안하여 새로운 진단방법인 UV-Visible분광 광도법(6)으로 경년열화 절연유의 흡광도를 측정하여 기존의 대

용량 변압기에서 적용된 전기적 특성치인 절연파괴전압과  $\tan \delta$ 를 측정하고 이에 의한 판단기준과 비교 검토하여 절연유에 대한 UV-Visible 분광 광도법의 흡광도 값으로 이상 진단 판정치를 제시하였다.

### 2. 실험

실변압기에서 절연유가 경년에 따라 절연유 성질이 어떻게 변화하는 지를 알아보기 위하여 실변압기에서 경년 열화된 절연유를 채유하여 분석하였다. 또한, 실변압기에서의 경년열화와 가속열화방법에 의한 열화를 비교분석하기 위하여 가속열화장치로 절연유를 열화시켜 절연유의 성질이 어떻게 변화하는지를 알아보았다. 열화 실험용 반응기에는 주상변압기에 들어가는 절연재료를 중량비에 따라 투입하였으며 200℃, 230℃에서 절연유를 열화시켰다. 각각의 온도에서 실제변압기의 경년열화에 따른 값들과 유사해질 때까지 열화를 시켰으며, 가속열화시키는 동안에 소량의 절연유 시료를 채취하여 절연파괴전압과  $\tan \delta$ , UV-Visible 분광분석법으로 흡광도를 측정하였다. 그림 1은 가속열화에 사용된 실험장치의 개략도이다.

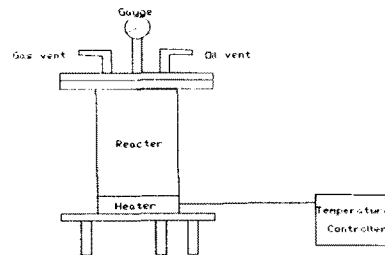


그림 1 가속열화실험장치

절연파괴전압 측정시험은 KS시험법에 의하여 전극은 구전극으로 하고 전극간의 거리를 2.5mm 로 유지한다음 전압상승을 3kV/sec 로 하여 측정하였다.(3)(4) 대표값으로는 KS 규격에 의하여 각시료당 5번의 측정을 하여 첫번째 측정값을 제외한 나머지 4개값의 평균으로 하였다.  $\tan \delta$  분석은 항온조에서 측

정온도 50℃를 유지하면서 상용주파수에서 측정하였다.

UV/Visible 분광분석실험에 사용된 기기는 SHIMAZDU사의 UV-3101PC 이며 시료는 oil : hexane = 0.5 : 9.5ml 와 oil : hexane = 0.1 : 9.9ml 두가지 방법으로 희석하여 사용하였고 흡수파장은 최대의 흡광도를 나타내는 380nm 를 선택하였다.(6)

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 절연유의 전기적 특성치

그림 2는 실변압기에서 채유한 절연유의 절연파괴전압을 나타낸것이다. 그림 2에서 보듯이 시간이 경과함에 따라 절연파괴전압이 저하하고 있음을 알 수 있다. 절연파괴전압은 절연유 중의 수분, 먼지등에 의하여 저하하게 되는데(3) 시간이 경과함에 따라 수분이나 먼지등이 변압기내에서 생성되거나 외부로부터 유입되고 있음을 알 수 있다.(5)

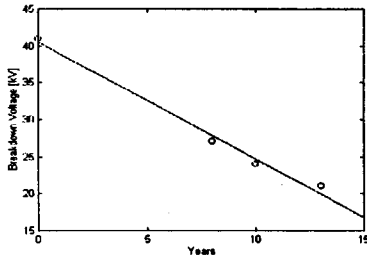


그림 2 경년에 따른 절연파괴전압의 변화

$\tan \delta$  측정값은 절연유의 열화정도를 측정하는 주요한 지표중의 하나이다.(1)(5) 경년에 따른 주상 변압기 절연유의  $\tan \delta$  값들은 신유는 0.1%, 8년된 절연유는 4.0%, 10년된 절연유는 4.5%, 그리고 13년된 절연유는 6.8% 로 그 값은 경년에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있다.

$\tan \delta$  측정치와 절연파괴전압 측정치를 동시에 감안하면 6년까지는 절연유가 아주 양호한 상태에 있으며 6-8년 경과 시 절연유의 전기적 특성치가 저하하기 시작하여 요주의 상태로 진입한다. 간이수리를 통과한 변압기는 대부분 10년이 경과하면 요주의 수준에 도달하는 것으로 생각된다.

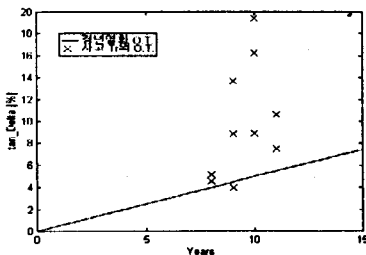


그림 3 과부하에 의해 사고난 절연유 및 경년열화 절연유의  $\tan \delta$

그림 3은 과부하로 인하여 사고난 주상변압기에서 절연유를 채유하여  $\tan \delta$ 를 측정하였다. 직선은 경년에 따른 절연유의  $\tan \delta$ 를 나타낸 것이고 가위표가 과부하로 사고난 절연유를 나타낸 것이다. 경년열화한 값보다 사고난 절연유의 값이 대개 큰 값을 나타내고 있다.

#### 3-2. 절연유의 흡광도

신유와 실주상변압기에서 채유한 절연유들의 경년에 따른 흡광도값의 변화를 그림 4에 도시하였다. 주상변압기 사용기간에 따라 절연유의 흡광도값이 선형적으로 증가하는 것이 관찰된다. 앞의 그림 2에서도 절연파괴 값이 변압기 사용기간에 따라서 선형적으로 변화하였으며 이 두가지 경우를 같이 감안하면 절연유의 물성변화는 장기간 사용시 급격한 변화를 보이지 않고 서서히 물성치 저하가 진행됨을 알 수 있다.

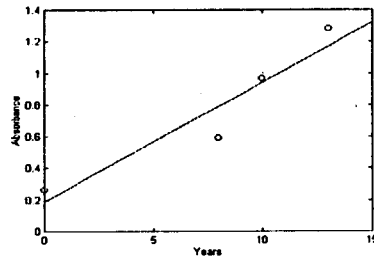


그림 4 경년에 따른 흡광도의 변화

200℃ 에서 가속열화시킨 절연유 시료의 흡광도 변화를 그림 5에 도시하였다. 200℃ 에서의 가속열화는 변압기 구성 성분비대로 철심, 동코일, 절연지와 보드를 투입하여 수행되었으며 가속열화기간이 경과함에 따라 흡광도가 증가하는 경향이 관찰된다. 57일 경과 시료의 흡광도가 실변압기의 8년 경과 절연유와 비슷한 흡광도를 보여 주었다.

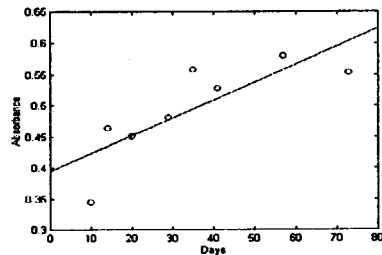


그림 5 경년열화시킨 절연유의 흡광도

사용기간 8년에서 11년 사이에 과부하로 인하여 고장난 주상변압기에서 채유한 절연유의 흡광도를 그림 6에 표시하였다. 그림 6에서 X점들은 과부하에 의해 사고난 절연유의 흡광도이고 직선은 고장나지 않은 변압기의 경년 열화 절연유의 흡광도이다. 소손된 변압기 절연유의 흡광도는 경년 열화 절연유의 흡광도보다 큰 값도 있고 작은 값도 있으나 평

군적으로 경년열화 절연유와 비슷한 값을 보여주고 있다. 그러나 10년 이후 사고난 변압기의 경우 경년열화 절연유보다 흡광도값이 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 흡광도법에 의한 절연유의 이상진단이 변압기 사고의 예방진단법으로 사용될 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

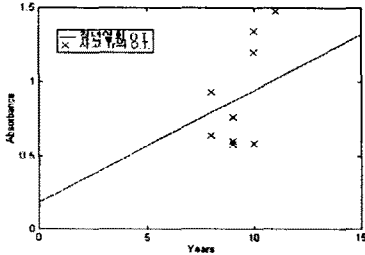


그림 6 과부하에 의해 사고난 절연유 및 경년열화 절연유의 흡광도

### 3-3. 흡광도법에 의한 절연유의 판정기준

UV-Visible 분광광도법에 의한 변압기 절연유의 이상진단이 주상변압기 예방진단에 사용될 수 있는 가능성을 확인하였기 때문에 이 방법의 실용화를 위하여 UV-Visible 분광광도법에 의한 절연유 판정기준을 제시하고자 한다. 현재 주상변압기 이상진단 판정기준이 마련되어 있지 않으므로 대용량 변압기에 사용하는 전기적 특성(2) ( $\tan \delta$ , 절연파괴전압)을 흡광도법과 연계하여 기준을 설정하고자 한다.

주상변압기에서 채유한 경년열화 절연유의 절연파괴전압과  $\tan \delta$  값을 흡광도와 비교하여 표 1에 표기하였다. 표 2에 수록한 기존의 대용량 변압기 절연유 판정기준을 이용하여 UV-Visible 분광광도법에 의한 절연유 판정기준을 설정하였다.

표 1. 실변압기 절연유의 절연파괴전압,  $\tan \delta$ , 흡광도값

Sample	절연파괴전압	$\tan \delta$	흡광도
신유	41 [kV]	0.1 [%]	0.261
8년	27 [kV]	4.0 [%]	0.589
10년	24 [kV]	4.5 [%]	0.965
13년	21 [kV]	6.8 [%]	1.279

표 2. 절연유의 판정기준

판 정	절연파괴전압[kV]	흡 광 도
양 호	30[kV] 이상	0.580 이하
요 주 의	25[kV]~30[kV]	0.580~0.900
불 량	25[kV] 미만	0.900 이상

표 1과 2에서 보듯이 절연파괴전압은 25-30 kV 가 되면 요주의로 판정되는데 10년 사용된 절연유들이 이 값에 해당되고,  $\tan \delta$  값은 5% 이상이 되면 요주의로 판정되는데 8년 사용된 절연유들이 이 값에 해당된다. 그래서 흡광도 값을 이 판정기준과 비교할 때 8년 사용된 절연유들의 흡광도값이 요주의에 해당된다고 할 수 있다. 그러므로 흡광도 값의 요주의, 불량 수준은 지금까지의 판단기준이었던 절연파괴전압과  $\tan \delta$  값을 비교해보면 흡광도 값이 0.580이상이 되는 8년이상 사용된 절연유들을 요주의로 볼 수 있고 흡광도 값이 0.900이상이 되는 10년이상 사용한 절연유들을 불량으로 볼 수 있다.

## 4. 결 론

UV-Visible 분광광도계를 사용하여 측정한 경년열화 절연유의 흡광도는 사용기간에 비례하여 선형적으로 증가하였다. 절연유의 흡광도를 측정함으로써 절연유의 이상여부를 판단할 수 있으며 대용량 변압기에 적용되는 절연파괴전압의 판정기준을 이용하여 설정한 주상변압기 절연유의 흡광도 판정기준은 0.580 이하이면 양호, 0.900 이상이면 불량, 또한 그 사이인 0.580 ~ 0.900 이면 요주의로 설정하였으며 추후 더 많은 자료를 축적하여 기준치를 보완하고자 한다.

## 5. 참고문헌

- (1) 곽희로 등, "전력용 변압기 절연유의 비파괴진단 시험법 비교연구" 대한전기학회지, 제40권, 제8호, pp.799~807, 1991.
- (2) 곽희로 등, "비파괴 및 비색법에 의한 주상변압기 절연유의 경년열화 분석" 한국조명·전기설비학회 추계학술 발표회 논문집, pp.115-117, 1995
- (3) R. Musil et. al, "Testing Practices for the AC Breakdown Voltage Testing of Insulation Liquids," IEEE, Vol.11, pp.21~26, 1995.
- (4) Andrzej B.S, "Characterization and Pretreatment of New Transformer Oils," IEEE, Vol.11, pp.8~20, 1995.
- (5) "電氣絶縁油ハンドブック," 日本石油學會, pp.1~48, 1987.
- (6) "기기 분석", 동화기술, 1996