

## 주상변압기의 열화에 따른 절연유내 금속성분 증가와 절연특성과의 관계

이동준\*, 김영찬, 정용기, 남궁미옥°, 윤영자°, 곽희로  
송실대학교 전기공학과, 화학과°

### The relation between increment of metallic content and dielectric characteristics in insulation oil according to degradation of pole transformer

Dong-Zoon Lee\*, Young-Chan Kim, Yong-Ki Jung, Mi-Ok NamGung°, Young-Ja Yun°, Hee-Rho Dept. of Electrical Eng., Chemistry°, Soong-Sil University

**Abstract** - In this paper, the relation between the increment of metallic content such as copper(Cu) and iron(Fe) according to degradation of pole-transformer oil and change of electrical characteristics according to increment of metallic content was studied. As the result, electrical characteristics was decrease according to increment of metallic content, especially copper content, and the trend of T.C.G(Total Carbonic Gas) agreed with the trend of copper content.

지를 살펴보았으며 구리와 철의 증가에 따른 전기적 특성치와의 관계를 조사하기 위하여 유전정접( $\tan \delta$ )과 절연파괴전압을 조사하였다. 또한, 구리 함유량이 증가하는 것과 가연성가스 총합(T.C.G)의 증가량을 비교하여 절연유 예방진단의 적용가능성을 검토하였다.

## 2. 실험방법

## 1. 서 론

본 논문에서는 실제 운전중인 변압기에서 경년에 따라 절연유에 용해되는 금속성분의 양을 조사해보기 위하여 일정기간이 경과한 실변압기의 절연유를 각각 5개씩 채유하였고, 전기적 특성치중 가장 대표적인 유전정접과 절연파괴전압과의 상관관계를 검토하였다. 또한, 가속열화에 의한 금속성분의 양을 분석하기 위하여 가속열화장치[3]에 주상변압기의 재료를 중량비에 따라 절연유(1종 2호) 1.35[l], 코아(core) 800[g], 코일(coil) 778[g] 그리고 절연지 40.5[g]을 넣은 후 절연유를 가속열화 시키면서 시간이 지남에 따라 생성되는 구리와 철의 양을 측정하였다. 또한, 구리와 철의 함유량의 변화에 따른 유전정접을 측정하여 분석하였다.

변압기가 장시간 운전하게 되면 변압기내 절연물에 여러 가지 열화가 발생하는데, 권선부의 발열에 의한 열열화, 국부적 고전계에 의한 방전열화, 산소와의 화학반응으로 인한 산화 및 수분흡수 등이 있다. 이와 같은 열화는 변압기내 절연유에 영향을 미치게 되어 전기적 성질이 나빠지게 되고, 이는 절연사고가 발생하는 원인이 되고 있다. 절연유, pressboard 및 kraft-paper 등의 절연 재료가 열화하면 CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 및 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 등의 탄화수소계 가스를 발생하여 그 대부분은 절연유 중에 용해된다[1]. 또한, 변압기가 열화하면 변압기 구성재료인 구리와 철이 절연유에 용해되는데 이 중 구리와 철 등의 2가 이상의 원자가를 가지는 생성물은 절연유 열화를 촉진하는 것으로 알려져 있다[2].

절연유내의 금속성분인 구리와 철의 양은 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-automatic emission spectrometer)를 이용하여 분석하였고, 유전정접( $\tan \delta$ ) 분석은 웨링브릿지를 이용한 측정기기를 사용하여 시험온도는 50(°C)로 고정하고 측정주파수는 상용주파수로 하여 측정하였으며, 절연파괴전압은 KS시험법에 따라 전극의 직경이 12.5(mm)인 구전극을 전극간 거리 2.5 (mm)로 유지한 다음 3(kV/sec) 전압상승률로 5번 측정하여 첫 번째 측정값을 제외한 나머지 4개의 평균으로 절연파괴전압을 결정하였다[4].

그래서, 본 논문에서는 주상변압기의 열화에 따라 용해되는 금속성분(Cu, Fe)의 양을 조사해 보고 또한 가속열화장치에 변압기 구성재료를 중량비대로 넣어 열화시킨 후 시간이 경과하면서 금속성분이 얼마나 증가하는

### 3. 실험결과 및 분석

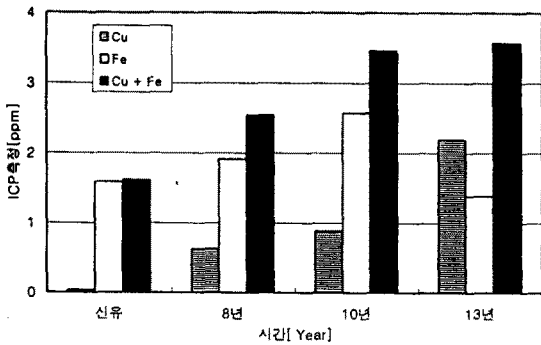


그림 1. 경년열화에 따른 구리와 철의 양

실변압기에서 경년에 따른 구리와 철의 함유량을 측정하여 본 결과 그림 1처럼 나타났다. 그림에서 보듯이 구리의 양은 경년에 따라 꾸준히 증가하는 것으로 나타났고, 또한, 철의 양은 13년 된 변압기에서 채유한 절연유에서는 줄었지만, 이는 샘플의 오차로 보이며 전반적으로 증가하는 추세이다.

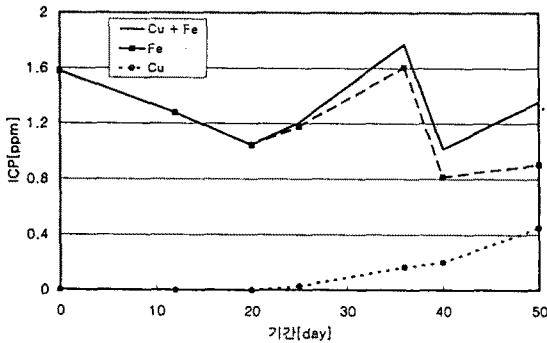


그림 2. 가속열화에 따른 구리와 철의 양

그림 2는 가속열화장치에 절연유와 변압기 구성재료를 넣고 온도를 140[°C]로 하여 50일간 지속적으로 가열하여 시간이 지남에 따른 절연유의 구리 함유량과 철 함유량의 변화에 대해서 실험해본 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 구리의 함유량은 약 20일까지 거의 측정되지 않다가 20일 이후부터 계속 증가하고 있으며, 또한 철의 함유량은 변화가 심하게 나타나고 있다.

그림 3은 실변압기에서 채유한 절연유의 구리 함유량과 철 함유량 그리고 전기적 특성치인 유전정접과 절연파괴전압에 대하여 비교 조사한 것을 나타낸 결과이다.

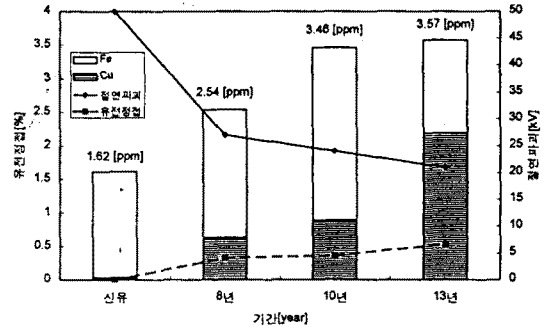


그림 3. 경년에 따른 구리와 철의 합과 절연파괴전압과 유전정접과의 관계

그림에서 보듯이 경년에 따라 구리와 철의 합이 증가하였으며, 특히 구리의 양이 증가함에 따라 절연파괴전압은 감소하였고 유전정접은 증가하는 등 절연유의 전기적 특성치가 나빠지고 있다.

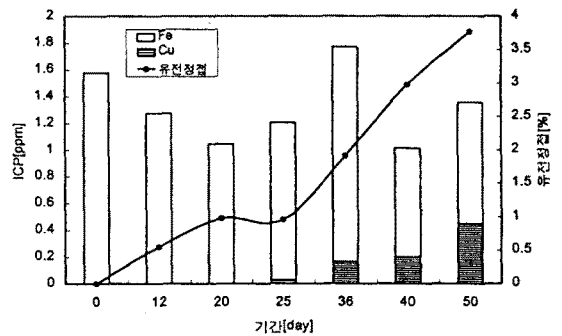


그림 4. 가속열화에 따른 구리와 철의 함유량과 유전정접과의 관계

그림 4는 가속열화에 따른 절연유내의 구리와 철의 함유량과 전기적 특성치인 유전정접과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 구리의 양이 증가함에 따라 유전정접도 증가하여 전기적 특성치가 나빠지고 있는 것을 보여주고 있다. 특히 구리의 양이 급증하고 있는 25일 이후에는 유전정접의 값이 급격히 커지고 있는 것을 알 수 있다.

그림 5는 변압기의 절연예방진단 방법으로 사용되고 있는 가스분석법 중 가연성가스의 총합(T.C.G)과 구리 함유량의 증가를 비교해보기 위하여 절연유를 가속열화시키면서 일정기간의 것을 조사한 것이다. T.C.G의 변화량을 측정하기 위하여 가속열화장치를 200[°C]에서 40일간 가속열화시켰다.

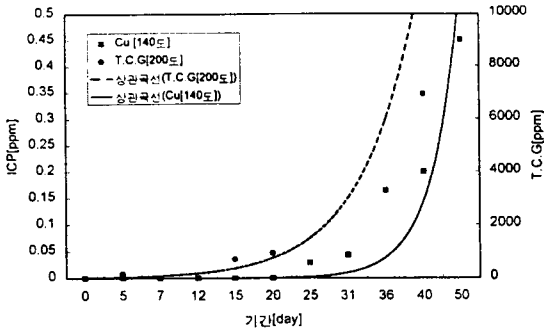


그림 5. 가속열화된 절연유의 구리와 가연성가스 총합(T.C.G)과의 관계

위에서 나타난 실선은 구리의 변화량을 지수함수로 최적화한 상관식이고 실선은 T.C.G의 변화량을 지수함수로 나타낸 상관식으로 그림에서 보듯이 두 개의 상관식이 유사하게 증가하고 있다. 그래서 구리의 증가량을 측정하여 절연유의 열화정도를 측정할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

실변압기에서 절연유가 경년 열화함에 따라 구리의 함유량이 증가하였고 또한, 전기적 특성치인 유전정접과 절연파괴전압이 나빠지는 것을 확인하였다. 그리고, 가속열화시키면서 절연유에 용해된 금속성분과 전기적 특성치의 관계를 조사해보니 실변압기에서처럼 금속성분이 증가함에 따라 유전정접이 나빠지는 것을 확인하였다. 또한, 절연유가 열화하며 절연유에 용해되는 구리의 함유량 증가는 현재 사용되는 절연유 가스분석법의 T.C.G 증가량과 유사하기 때문에, 절연유에 용해된 구리의 양을 측정하면 절연유와 변압기의 이상유무를 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

- [1] “電氣絶緣油ハンドブック,” 日本石油學會, pp.1~48, 1987.
- [2] 전영갑 외 2인, “절연유 열화센서를 이용한 절연유 열화상태 측정 연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집(E), p.1696, 1997.7.
- [3] 박희로 외 4인, “개스분석에 의한 주상변압기의 예방진단에 관한 연구 - 자외가시선 흡수 분광도법에 의한 절연유의 열화도 측정 -”, 한국조명·전기설비 학회지, Vol.10, No.5, PP. 94-100, 1996.
- [4] R. Musil et. al, “Testing Practices for the AC Breakdown Voltage of Insulation Liquids,” IEEE, Vol.11, pp.22~26,1995.
- [5] Andrzej B.S, “Characterization and Pretreatment of New Transformer Oils,” IEEE, Vol.11, pp.8~20, 1995.