

國產絕緣油의 電氣的 特性에 미치는

논문
22~4~5

酸化防止劑의 効果

The Effect of Antioxidant in the Electrical Properties of Homemade Insulating Oil

성영권* · 김은배* · 김호윤** · 이덕출***

(Young Kwon Sung, Eun Bae Kim, Ho Yoon Kim, Duk Chool Lee)

Abstract

The main purpose of this paper is to study on the influence of temperature effect on electrical-properties, i.e., dielectric breakdown voltage, dielectric constant and resistivity of homemade insulating oil containing antioxidant.

Transformer oil manufactured in Korea is taken for a sample, and this sample is classified into seven samples in which antioxidant is contained and not contained, and antioxidant is divided into three kinds of amount: 0.3%, 0.5%, 0.8%.

Changing the temperature of the samples by oil bath, the electric properties measured from the samples are as follows:

- (1) the variation of either the dielectric breakdown voltage or the resistivity are considerably large, but the dielectric constants are almost unchanging.
- (2) In view of electrical characteristic, The deterioration rate of the samples containing antioxidant is somewhat lower than that of other samples.
- (3) Nearly the same value is shown in the dielectric-breakdown voltage of the samples, in which contained the different amount of antioxidant: 0.3%, 0.5%, 0.8%, but the decrease rate of resistivity is lowest, 0.3%, of all.

As the result of the experiment,

This study can suggest that 0.3% be the optimum amount of antioxidant which will be added transformer oil manufactured in Korea and is useful for the understanding about the electrical properties of transformer oil containing antioxidant.

1. 序 論

天然鑛油인 절연유는 絶緣과 冷却이란 두가지 사명을 겸한 액체절연재료로 등장하자 그동안 여러가지 다른 조건과 환경하에서 절연유의 전기적 화학적인 특성조

사 및 열화기구의 해석과 그 방지 대책에 대하여 많은 연구가 행해져 왔다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ 그러나 발표된 대부분의 연구자료들은 거의 정성적인 것으로 아울러 산화방지제를 첨가하지않은 무침가절연유에 관한 것이다. 최근 油入電氣機器가 大容量, 고전압및 高効率化 되어감에 따라 良質의 합성유 제조에 관한 연구와 절연유 자체의 품질개선을 위한 연구에 관심이 높아질뿐 아니라 기기의 안정성과 壽命에 밀접한 관계가 있는 열화에 대한 방지책을 강화 시켜보려는 연구경향이 있으나 아직 완

* 정회원 : 고려대학교 이공대학교수(공학박사)
 ** 정회원 : 단국대학교 공과대학 조교수
 *** 정회원 : " 전임강사

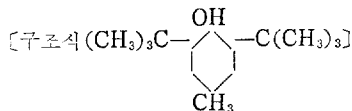
전한 해결책이 모색되지 않고 있는 현상이다.

1950년도에 Berberich⁷⁾ Halperin,⁸⁾ Tsaito⁶⁾ 등의 여러 연구자들로 부터 산화방지제를 첨가한 절연유에 대하여 주로 화학적 성질의 변화과정만을 실험으로 검토하여 산화방지제 첨가가 열화의 주원인이 되는 산화작용을 억제하나 전기적특성에는 별로 영향을 미치지 않는다는 유용한 실험결과를 가끔 발표하고 있다. 근래에 와서 우리나라에서도 국내 전기기기 제작소에서는 절연유의 열화방지책으로 산화방지제의 첨가를 기도하려고 관심이 높아짐에 따라 우리는 이와같은 사정을 감안하여 첨가할 산화방지제의 격량을 결정짓기위해 절연유중 변압기유를 시료로 택하여 그것에 산화방지제를 첨가하고 전기적인 특성(절연과괴전압, 유전율및 저항율)의 변화과정을 일차적으로 온도의 상승(냉각)으로 인한 상호관계를 실험을 통하여 고찰하였고, 첨가량 변화에 의한 전기적 특성변화도 일부 실험적으로 검토 함으로서 국산변압기유에 첨가할 산화방지제의 최적량을 제시할수 있었다. 특히 이번 실험에서는 시료인 변압기유를 酸性白土處理나 眞空脫氣處理등을 전혀 행하지 않고 오로지 實用的인 立場에서만 첨가절연유의 전기적 특성 이해에 도움이 되고 변압기유에 酸化防止劑를 사용할때 다소나마 좋은 참고자료가 될것으로 믿으며 이들에 대한 실험결과와 그 特性變化에 대한 고찰을 하겠다.

2. 實驗 및 考察

(1) 試 料

絶緣油는 國內 油入電氣機器製作所에서 사용하고 있는 天然礦油중 2號인 變壓器油를 試料로 擇하였으며 酸化防止劑는 여러종류 가운데 2.6 di-tertiary-Butyl para cresol을 사용하였다.

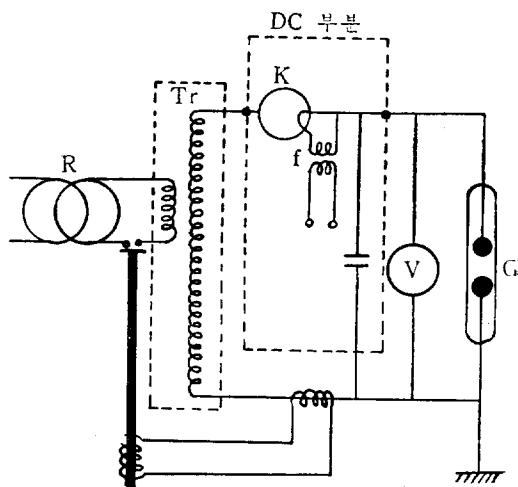


(2) 實驗方法 및 裝置

絶緣油는 微量의 不純物 含有 유무에 따라 電氣의 特性이 多小 좌우되기 때문에 實驗을 하기전에 容器와 電極을 아세톤 및 증류수로 깨끗이 씻은후 試料인 絶緣油로 한두번 씻었다. 試料에는 酸化防止劑添加量 0.3%, 0.5%, 0.8%인 添加絶緣油(以後 添加油)와 放置된 添加絶緣油(以後 放置添加油) 그리고 無添加絶緣油(以後 新油)와 放置된 無添加絶緣油(以後 放置油: 溫度를 95°C까지 올려 3時間以上 放置하였다가 다시 常溫으로 冷却시킨 과정을 세번 되풀이한 意味)로 分類 하였다. 이들 試料의 電氣의 特性이 溫度에 따라 變

化하는 과정을 검토하기 위하여 溫度調節器付 油槽(oil bath)로써 溫度上昇을 30°, 50°, 70°, 90°C (110°C)로 變化하면서 各溫度에서 電氣의 特性을 測定하였고 物體로 試料의 溫度를 50°, 70°, 90°C 씩으로 一定하게 유지하고 각각의 溫度에 대하여 經過時間을 1hr 및 3hr 간격으로 변화 시켰을때 다다 아래와 같은 實驗裝置로 電氣의 特性을 求하였다.

絶緣破壞試驗은 電極 直徑이 125mm의 鐵製 球-球電極을 만들어 間隙 1.5mm로 固定시켜 놓고 交流(60 Hz)와 直流高電壓을 印加 하고 實驗值의 正確性을 期하기 爲하여 每回 5~8回의 實驗을 반복하였으며 絶緣破壞試驗裝置에 對한 block-diagram은 그림1에 圖示한다.



- R : 전압조정기
- Tr : 시험용변압기
- K : Kenetron
- C : Condenser
- V : 靜電電壓計
- G : 球電極

그림 1. 交直兩用絶緣破壞試驗回路
Fig. 1. Circuit for test of dielectric breakdown phenomena.

固有抵抗測定은 絶緣과괴시험에 使用한 球-球電極을 gap 1mm로 하여 놓고 直流 250V를 印加 $\mu\mu$ Ammeter를 사용하여 계산으로 求하였다.

誘電率測定⁹⁾은 LC Meter(Tektronixco)와 Test Jig for dielectric (YEW)로써 각각의 溫度에서 各試料의 容量으로 比較測定하여 求하였다.

(3) 實驗結果 및 理論의 考察

(a) 溫度變化에 의한 絶緣破壞試驗

分類된 試料를 溫度 30°, 50°, 70°, 90°C로 順次的으로 上昇시키면서 交流 및 直流電壓을 印加하여 측정 한 絶緣破壞值를 plot한것이 그림 2,3이다.

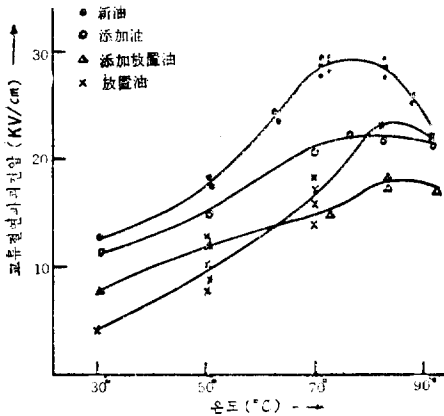


그림 2. 교류절연파괴 전압과 온도와의 관계
Fig. 2. AC breakdown voltage versus temperature.

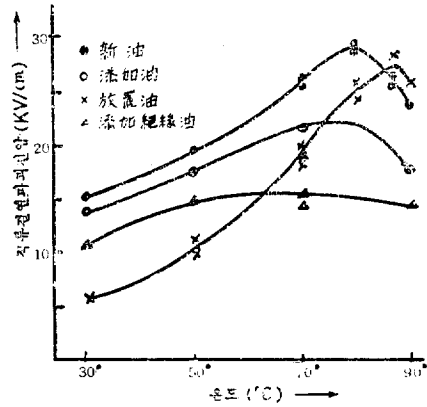


그림 3. 직류절연파괴 전압과 온도와의 관계
Fig. 3. DC breakdown voltage versus temperature.

그림 2, 3에서 보는바 처럼 溫度가 上昇함에 따라 대체로 0~50°C 부근까지는 溫度上昇에 수반하여 漸次增加하나 60~80°C에서 最大值로 되다가 이 이상의 溫度에서는 低下 하고 있다. 外國絶緣油에 대한 문헌³⁾에 의하면 0~70°C까지 조금씩 增加하나 70~100°C 범위에서 최대치를 이루다가 低下하는 경향 이다.

이와같이 國產絶緣油의 絶緣破壞電壓이 外國絶緣油의 것 보다 낮은 溫度의 범위에서 最大值를 나타내는 것이 대조적이다. 酸化防止劑를 添加한 絶緣油는 70°C 부근까지는 新油와 거의 비슷한 絶緣破壞值를 나타내다가 作用溫度(75°C)以上에서는 絶緣破壞值의 增大率이 매우 적다. 이는 外國文獻³⁾에서 지적한 바와 같이 溫度上昇으로 絶緣油에 含有된 水分, 氣泡 및 不純物의 溶解狀態가 變化 함으로 인하여 絶緣파괴치가 증대해나가는 것이 산화방지제를 첨가하므로써 負性酸化防

止劑의 電子 trap 등에 의한 용해상태의 급변을 저지하는 것으로 간주된다. 新油와 방치유의 絶緣파괴치가 작용온도에서 큰 차이를 보이고 온도변화에 따라 편차가 큰데 반하여 첨가유와 방치첨가유는 絶緣파괴치의 차이가 크지않고 비교적 완만한 변화를 보인다.

(b) 加熱時間 變化에 의한 絶緣破壞試驗

新油와 添加油(主로 0.3%)인 試料를 加熱하여 50°, 70°, 90°C 일때 마다 1hr 및 3hr 동안 各各 經過한후 交流 및 直流電壓을 印加 하여 絶緣破壞值를 plot한것이 그림4와 5이다.

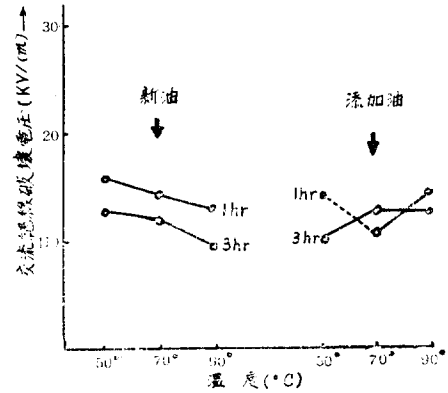


그림 4. 교류절연파괴전압과 온도와의 관계
Fig. 4. AC breakdown voltage versus temperature.

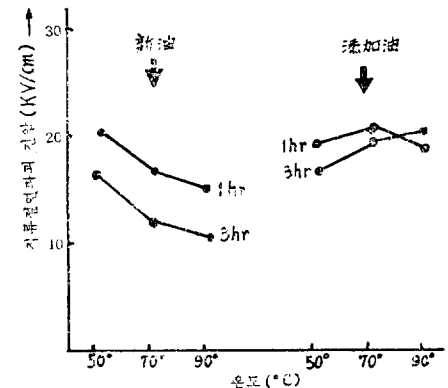


그림 5. 직류절연파괴전압과 온도와의 관계
Fig. 5. DC breakdown voltage versus temperature.

新油는 加熱時間에 따라 絶緣破壞值가 低下하는 반면 添加油는 거의 變하지 않는다. 그림 2, 3에서 新油 및 放置油의 絶緣破壞值가 현저히 저하 하고 있는데 反하여 添加油 및 放置添加油의 絶緣破壞值는 격차가 크지 않는점, 添加放置油는 放置油보다 破壞值가 높은점, 그림 4, 5에서 新油의 絶緣破壞值는 감소 하는 경향이나 添加油는 완만한 특성을 보이는점, 그리고 添加油가 新油 보다 溫度變化로 인한 sludge生成物質이 적은것

을 육안으로도 볼수 있었던 점, 등을 보아 絶緣油에 酸化防止劑를 添加하면 溫度變化에 依한 絶緣破壞値의 低下率을 완화 시킬것으로 確認 할수 있고 國產絶緣油의 劣化防止에 有效한 資料로 될것으로 본다.

(c) 添加量變化에 의한 絶緣破壞試驗

絶緣油에의 酸化防止劑의 添加量을 變化시키면서 測定한 絶緣破壞値를 plot한것이 그림 6, 그림 7이다.

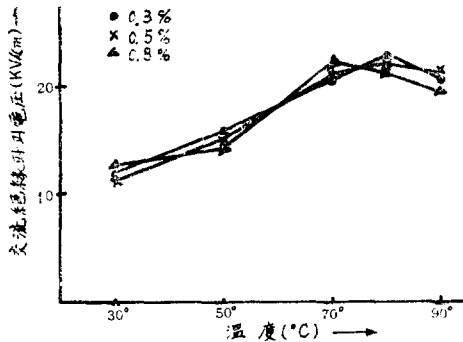


그림 6. 첨가량 변화에 대한 교류절연파괴전압과 온도와의 관계

Fig. 6. Relation between AC breakdown voltage and temperature.

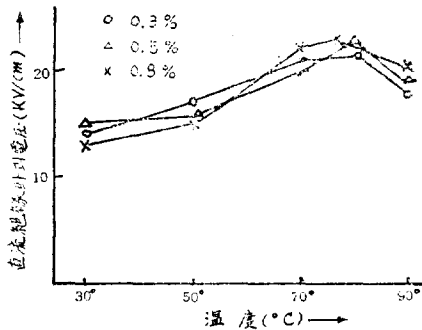


그림 7. 첨가량변화에 대한 직류절연파괴전압과 온도와의 관계

Fig. 7. Relation between DC breakdown voltage and temperature.

酸化防止劑의 添加量이 0.1~1% 범위내에서는 添加量의 多少 및 有無가 破壞値에 別로 影響을 주지않아 이結果만으로는 添加量의 最適量을 設定하기에는 곤란 하나 2-(3)-(5)항의 저항률측정에 의해 최적량을 測定 할 수 있다.

(d) 混合油에 대한 絶緣破壞試驗

長期間 使用도중 혹은 其他의 原因으로 油入變壓器內의 油가 누설 되었을 경우 新油로 보충 할때의 전기적특성을 조사 하였다. 新油 60%와 放置油 40% 混合한 試料를 容器에 넣어 前述한 실험방법에 따라 溫度를 上昇시켜 直流電壓을 印加하여 측정한 絶緣破壞値

를 plot한것이 그림 8이다. 그림 8에 圖示된 특성을 보아 混合油가 兩者의 平均의 性質을 보이지 않고 含有量

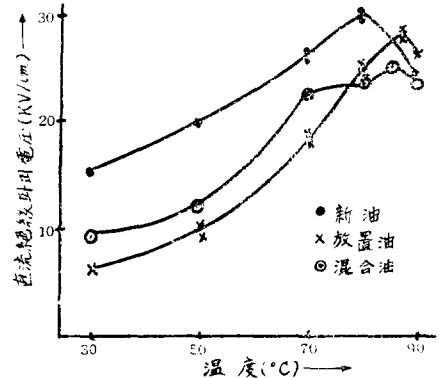


그림 8. 混合油에 대한 직류절연파괴전압과 온도와의 관계

Fig. 8. DC breakdown voltage versus temperature.

이 많은 新油보다 放置油의 特性에 가깝다는 것을 알 수 있다. 이러한 性質이 있으므로 絶緣油의 취급관리에 注意를 要하며 新油와 放置油와의 混合은 피해야 하며 放置油가 劣化의 촉진제로 됨을 알 수 있다.

(e) 誘電率 測定試驗

試料의 溫度를 上昇시키면서 각각의 溫度에서 測定한 誘電率을 plot한것이 그림 9이다.

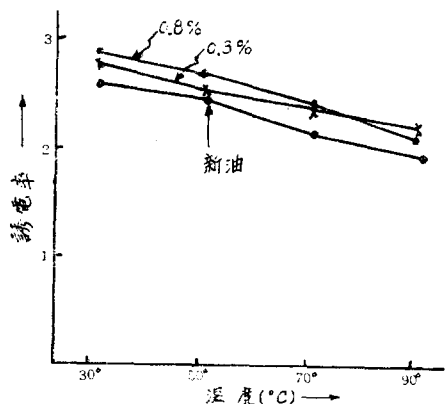


그림 9. 유전율과 온도와의 관계

Fig. 9. Dielectric constant versus temperature.

溫度가 增加함에 따라 微小한 誘電率의 變化가 있는것은 이온성物質 및 有極性物質의 生成으로 歸한것 같다.

(f) 固有抵抗 測定試驗

溫度를 上昇시키면서 前述한 實驗方法에 따라 求한 固有抵抗値를 plot한것이 그림 10이다. 機器의 性能을 左右하는 저항율이 溫度上昇과 더불어 감소 하고 있으

며 添加量이 0.3% 以下일때는 新油의 抵抗率과 비슷한 特性을 보이나 0.5% 以上 일때는 그값이 현저히 低下 되고 있다.

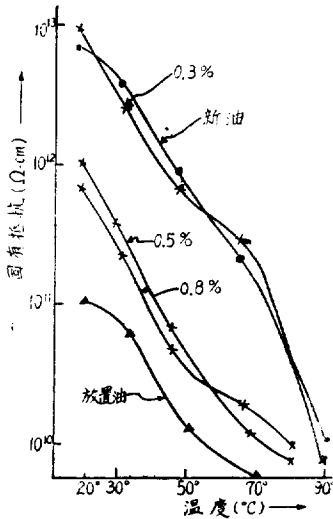


그림 10. 절연유의 고유저항과 온도와의 관계
Fig. 10. Relation between resistivity and temperature.

이와같이 저항율이 온도上昇에 따라 감소하는 것은 酸化物농도의 증가⁶⁾⁹⁾ 및 電離性不純物의 이온화促進등이 큰 原因으로 되겠다. 이러한 絶緣油에 酸化防止劑의 添加量을 增加시키면 온도上昇에 따라 酸化防止劑 自身の 이온化作用의 重疊으로 말미암아 添加油가 新油보다 더욱 저항율이 감소되는것 같다. 이러한 저항율의 기준以下의 減少는 電力機器의 事故發生의 原因이 되기 때문에 이러한 觀點下에 저항율의 低下率이 新油와 비슷한 것을 그림 6,7에서 얻은 結果로부터 國產變壓器油에 酸化防止劑 添加量은 0.3%가 最適量이라고 提示할 수 있다. 外國文獻에서는 0.5%가 最適量이라고 하지만 國산절연유는 0.3%라는것은 電氣의特性의 立場만으로부터 얻은 結果이지만 앞으로 化學的 物理的特性的의 관계와 다른 열화요인과의 상호관계를 검토하므로써 完전한 結論을 내겠다.

그러나 대체로 負性酸化防止劑의 電子 trap에 의한 것으로 생각되며 그 첨가량이 커짐에 따라 다른 因子에게 mask되어 버려서 절연파괴치의 完만한 特性이라던지 저항율의 急減을 招來케 되는것 같다.

3. 結 論

(1) 酸化防止劑 첨가량이 0.3%미만인 첨가유의 저항율은 신유의 저항율과 거의 같았으나 0.5%이상인 첨

가유는 현저한 低下를 나타낸다.

(2) 酸化防止劑 添加量이 1%미만의 범위에서 添加量 多少有無는 絶緣破壞值에 變化를 주지 않는다. 온도變化에 따른 添加油의 絶緣破壞值는 作用溫度(75°C)미단에서는 新油와 별 差異가 없었으나 以上の 溫度에서는 그 差異가 현저 하다.

(3) 放置油와 添加放置油의 特性變化를 보아 絶緣油를 長期間 使用할때 온도變化에 의한 絶緣破壞值의 低下는 酸化防止劑를 添加하면 감소 시킬수 있으며 國產 絶緣油가 外國絶緣油에 比하여 온도上昇으로 인한 絶緣破壞值가 最大로 되는 온도범위가 20~30°정도 낮았다.

(4) 新油에 放置油가 混合 될 경우 放置油가 劣化의 속도를 촉진한다. 그리고 添加油와 新油를 같은 조건에서 溫度를 上昇 시킨 결과 添加油에 sludge 生成物質이 현저히 적은것을 육안으로도 볼수 있었다. 이러한 결과로서 온도變化에 따른 첨가유의 전기적특성을 이해하는데 도움이 되고 변압기油에 산화방지제를 사용함에 國内油入機器製作所에서 사용하고 있는 변압기유에는 첨가량이 0.3%가 最適이라는 것을 제시 할 수 있다. 그러나 酸化防止劑의 實用문제에 있어서는 본연구의 실험방법에 따라 산가측정과 불순물및 유증의 산화방지제가 어떠한 기구로서 溶解해가며 電界作用下에 어떤 영향을 받는가 등을 검토하므로써 그 결론이 提示되겠기에 추후 계속 연구실험하여 발표하기로 하겠다.

참 고 문 헌

- (1) B.P. Kang; I.E.E.E. EL2 No. 1 1967, p.55 1965 pp.756~760.
- (2) Bartnikas; I.E.E.E. EL2. No.1 1967 p.33~50.
- (3) Clark; Dielectrics Vols 23 1963 pp.26~44.
- (4) I.Y. Megahed et al; I.E.E.E. Trans Vol. E.I-4 No. 4 (1969).
- (5) 山田貞吉; 絶緣油의劣化とその抑制方法 日電學誌 pp.65~70 (1955).
- (6) T. Saito; 日電試研報 No. 12. p.900~p.908.
- (7) Berberich; ASTM 1957 pp.65~73.
- (8) Halperin; E. Eng. 1951 pp.451~457.
- (9) Fink & Carroll; Standard Handbook for E. Eng. McG Hill 1968 ④ p143~148.
- (10) 牧島象二; 液體 및 非結晶體의物性工學 ohm社 1968 p.126.
- (11) 高木豊 澤田正三; 誘電體의物性工學. ohm社. 1968 pp.49~55, 129.