

## 산화방지제 및 대전방지제의 첨가에 따른 유동대전특성에 관한연구

최창락\*, 박재윤\*\*, 박상현\*\*, 나동근#, 김영일##, 이덕출\*,  
\* 인하대학교, \*\* 경남대학교, # 목포전문대학, ## 신구전문대학

### The Effect of antioxidant or anti-static agent on the streaming electrification of insulating oil

C. R. Choi\*, J. Y. Park\*\*, S. H. Park\*\*, D. K. Na#, Y. I. Kim##, D. C. Lee\*,  
\* Inha Univ., \*\* Kyungnam Univ., # Mokpo Junior Col., ## Shinkoo Junior Col.

#### ABSTRACT

The effects of temperature and additive on the streaming electrification of insulating oil have been investigated. The streaming current increases below the temperature of 45~50[°C] and decreases above that. The inverse phenomenon of streaming current is exhibited as the concentration of anti-static agent increases.

#### 1. 서론

절연성을 갖는 액체가 고체와 접촉하고 있을 때, 액체 중에 존재하는 정·부이온들이 고체의 특성에 따라 전기·화학적 포텐셜을 이루어 고체표면에 선택흡착되고 이 표면에 하전음이 콜롱인력에 의해 이끌려 전기이중층을 형성한다. 이 상태에서 액체가 유동하는 경우 유동대전에 의한 정전기가 발생되고 전하의 다량축적으로 각종 재해가 발생되고 있음은 이미 알고있다. 또한 선진각국에서 송전전압의 승압을 위하여 냉각효과의 증대 및 절연물의 절연향상을 이룬 전압용 변압기의 대용량화와 고전압화는 필연적이지만, 이로인한 변압기내의 유동전류가 커지고, 국부적으로 큰 전위차로 인한 폭발사고등의 재해가 증가하고 있는 실정이다. 유동대전현상을 방지하기 위한 대책으로 액체에 각종 대전 방지제를 적당량 혼입하여 액체의 도전율을 상승시킴으로서 전기적 시정수를 떨어뜨리는 방법, 침전극등을 이용하여 대전된 절연유에 역극성의 전하를 주어서 제전시키는 방법, 그리고 직경이 큰 관을 관로중에 삽입하여 수송속도를 떨어뜨림으로서 액체중에 이미 축적되어 있는 전하의 완화시간을 확보하는 방법등의 연구되어왔다. 본 실험에서는 실제 변압기에 사용되는 절연지, 프레스보드(press board)등의 재료들에 대한 온도변화에 따른 특성들과 대전방지제 및 산화방지제의 농도에 따른 영

향을 분석하여 유동대전현상으로 인한 재해를 줄일 수 있는 최적의 상태를 조사하였다.

#### 2. 실험

##### 1. 시료유, 첨가제 및 재료의 특성

본 실험에 사용된 시료유는 광유계의 전기절연유 KSC 2031 1종 4호이다. 이 절연유의 특성은 표 1에 나타낸다.

표 1 절연유의 특성

Table 1 Properties of insulating oil

특	성	규	격
주	성	분	광
비	중 ( 15/4℃ )		0.91 이하
동	40℃		13 이하
	75℃		6 이하
	100℃		-----
유	동	점	-27.5 이하
인	개	방	식
	밀	폐	식
중	98℃ 5시간		0.4 이하
	150℃ 24시간		-----
반	용		중
절	연	파	괴
유	전	정	점
비	유	전	율
부	피	저	항

산화방지제는 DBPC(2,6-Di-tert-butyl-p-cresol:  $C_{15}H_{24}O$ )이고, 대전방지제는 분자구조에 독립전자쌍을 갖는 질소원자의 수가 많을수록 강한 대전방지의 효과를 나타내는 특성을 지니므로 본 실험에서는 BTA (Benzotriazole:  $C_8H_5N_3$ )를 사용하였고 그 분자구조는 그림 1에 나타낸다.

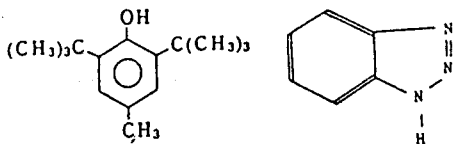


그림 1 DBPC와 BTA의 분자구조

Fig. 1 Molecular structure of DBPC and BTA

실험에 사용된 재료로는 현재 변압기내에 사용되고 있는 절연지 (공칭두께: 0.13 [mm], 밀도: 0.82 [ $g/cm^3$ ])와 프레스보드(press board) (공칭두께: 0.50 [mm], 밀도: 1.17 [ $g/cm^3$ ])을  $5 \times 5$  [ $mm^2$ ]로 잘라 20 [g]을 만들어 사용하였다.

## 2. 실험장치

본 실험장치는 크게 3단구조로 자체 설계 제작한 것이며, 상단부분은 절연유를 다양한분위로 조성하기 위한 장치로서, 원통형 스테인레스 (용량: 5 [l], 직경: 16.5 [cm], 길이: 45 [cm])로 제작하고 옆면에 유온을 조절하기 위하여 판히터 (용량: 2 [KW])를 설치하고 controller에 접속시켰다. 중간부분은 다양한 분위로 만들어진 절연유가 절연지와 프레스보드(press board)를 통과할 수 있도록 유리플라스크 (용량: 3 [l])의 윗부분을 가공하였다. 유리플라스크의 꼭지는 테프론으로 하여 유량을 조절하였다. 위의 두부분을 통과한 절연유가 최종적으로 저장되어, 유동대전된 전하량을 측정할 수 있도록 파라데이케이지 (지름: 17 [cm], 높이: 30 [cm])를 스테인레스로 제작하고, 그 외부에 외부 노이즈 차폐용 (지름: 27 [cm], 높이: 38.5 [cm]) 원통형 실드 챔버를 부착후 테프론으로 저장탱크와 절연하였다. 누설전류 측정장치로는  $10^{-12}$  [A]까지 측정가능한 미소전류계 (Electropicoam-meter: TAKEDA 8401)를 사용하였다. 외부에 대한 노이즈를 최소화하기 위하여 실험장치 전체를 구리판으로 차폐시키고, 앞면은 구리망으로 차폐후 접지시켰다. 또한 모든 전선은 차폐선을 사용하여 접속하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 1. 유동전류의 온도의존성

유량을 0.27 [l/min]로 일정하게 유지시키고, 유온을 25 ~ 75 [ $^{\circ}C$ ]로 변화시키면서 파라데이케이지 (Faraday Cage)를 통해 흐르는 유동전류를 측정하여 결과를 그림 2와 3에 도시하였다. 절연지와 프레스보드(press board)의 경우 45~50 [ $^{\circ}C$ ]부근에서 피크값을 나타내었다. 이와같은 현상은 고체-절연유와의 계면에서 절연유의 유동에 의해 발생하는 유동전류는 피크값이전에서는 유온의 증가함에 따라 고체와 액체의 계면부근에서 해리되는 이온수가 증가하는 것으로 사료된다.[2],[3]

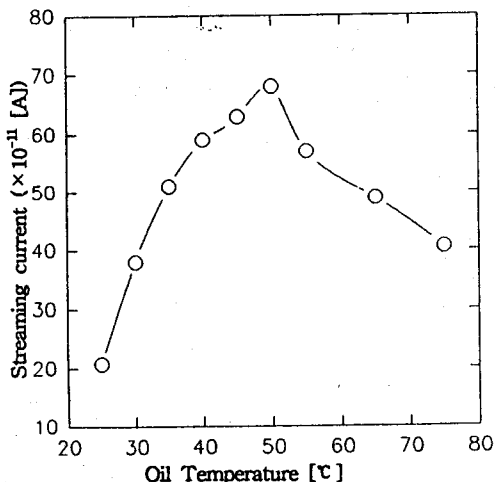


그림 2 유동전류의 유온 의존성 (절연지)

Fig. 2 Dependence of streaming current on oil temperature (Insulating paper)

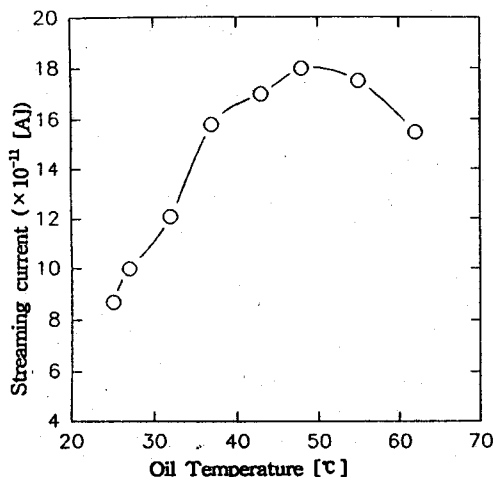


그림 3 유동전류의 유온 의존성 (프레스보드)

Fig. 3 Dependence of streaming current on oil temperature (press board)

전하의 완화시간  $\tau$ 는

$$\tau = \frac{\epsilon}{\delta}$$

여기서  $\epsilon$ 는 절연유의 유전율,  $\delta$ 는 절연유의 도전율이다. 피이크값이후 계속된 온도의 상승에 따른 급격한 도전율의 증가와 함께 완화시간  $\tau$ 의 감소로 유동전류가 감소하는 것으로 사료된다.[2],[3] 절연지와 프레스보드(press board)의 유온에 따른 유동전류의 차는 절연지의 두께가 프레스보드(press board)보다 적어 절연유와의 접촉면적이 넓음에 기인한다.

## 2. BTA의 농도 의존성

온도 25 [°C], 유량 0.13 [l/min]로 일정하게 유지시키고, BTA의 농도를 5~50 [ppm]으로 변화시키면서 농도증가에 따른 유동전류의 측정결과를 그림 4에 도시하였다. 질소원자와 산소원자는 화학적으로 포화되지않는 특성을 나타내는 독립전자쌍을 가지고 있다. 다수의 질소원자들을 가진 BTA는 쉽게 절연지에 부착되며, BTA에 이끌린 절연지에 있어서 절연지의 유동대전특성은 BTA의 특성을 그대로 나타낸다.[1] 즉 BTA를 흡수한 절연지의 표면은 과도한 전자들에 대해 포화되지않는 특성을 나타내며 이 경우 절연지는 정이온과 상호작용을 하여 절연유를 부이온으로 대전되는 것으로 사료되며, 농도가 증가할수록 그 크기는 증가한다. 이 실험에서는 5 [ppm]근처에서 BTA의 농도에 따른 유동전류의 제어가 최적임을 알수 있었다.

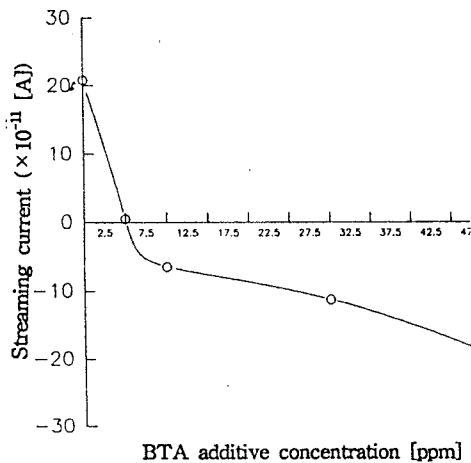


그림 4 BTA의 첨가량에 따른 대전경향

Fig. 4 Relation of BTA content and charging tendency

## 4. 결론

본 연구에서는, 고체와 절연유 계면에서 절연유가 유동할 때, 온도의 증가와 대전방지제의 농도증가에 따라 관측되는 유동대전특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유동전류는 유온의 변화에 따라서 45~50[°C]이하에서는 증가하고, 그 이상의 온도에서는 전하완화시간의 감소로 감소하는 경향을 나타낸다.
2. 절연유에 BTA를 5[ppm]정도 첨가시 유동전류가 거의 없는 최적의 상태가 나타난다.

## 참고문헌

- [1] M. Ieda, K. Goto, H. Okugo, T. Miyamoto, H. Tsukioka, Y. Kohno: "Suppression of static electrification of Insulating oil for large power transformers", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 23, NO. 1
- [2] 北原文雄, 渡邊昌: 界面電氣現象, 共立出版, 昭和 53 年
- [3] A. Klinkenbelg. L.L. Van Der Mine: "Electrostatics In The Petroleum Industry", 1958
- [4] 靜電氣學會誌: 靜電氣ハンドブック, オム社, 昭和 56年