

절연유의 유동대전현상에 미치는 계면활성제의 영향에 관한 연구  
 A Study on the Effect of Surfactants on the Streaming  
 Electrification of Insulating Oil

정광현\*, 임경범\*, 김용운\*\*, 박재윤\*\*\*, 조기선\*\*\*\*, 이덕출\*

\* 인하대학교 전기공학과, \*\* 영월공업전문대학 전기과  
 \*\*\* 경남대학교 전기공학과, \*\*\*\* 유한공업전문대 전기과

K. H. Chung\*, K. B. Lim\*, Y. W. Kim\*\*, J. Y. Park\*\*\*, K. S. Joe\*\*\*\*, D. C. Lee\*

\* Dept. of Electrical Engineering, Inha University  
 \*\* Youngwol Teck. Col. \*\*\* Kyungnam Univ., \*\*\*\* Yuhan Teck. Col.

ABSTRACT

In this paper, the streaming electrification phenomena of insulating oil by metal filters and the charge elimination method were investigated.

When BTA and surfactant is molten in insulating oil, BTA appear the prevention of electrification from about 5ppm and surfactant (SP-S10, SP-S30) appear the prevention of electrification from about 20ppm. BTA increase the conductivity of insulating oil but surfactant and antioxidant(DBPC) isn't affect that.

1. 서론

절연성 액체가 유동하는 경우 고체와의 계면에서 발생하는 정전기 대전현상, 즉 유동대전현상은 절연성 액체가 파이프내를 흐를 때 두 계면사이에서 전기·화학적 포텐셜의 차이에 의해 발생된 전기이중층의 형성으로 기인하며 오랫동안 석유산업등에서 문제로 되어 연구되어 왔다. 석유관계에서 유동대전이 특히 문제로 되는 것은 접촉면적이 상당히 큰 필터에 의한 대전이 주체이다. 본 논문에서는 필터를 통하여 흐르는 절연유의 유동대전현상과 이에 대한 방지대책으로 현재 변압기에서 널리 사용되고 있는 BTA 및 산화방지제, 그의 SP계열의 계면활성제를 절연유에 첨가하여 유동대전의 억제현상을 연구하였고 첨가제로 인한 절연유의 도전을 변화를 측정하였다.

2. 실험

2.1 절연유 및 첨가제의 특성

본 실험에 사용한 절연유는 광유계의 전기 절연유 KSC 2031 1종 4호이며, 첨가제로는 대전방지제로서 BTA (Benzo triazole : C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>N<sub>3</sub>)와 SP계열의 계면활성제 (Sorbitan mono[tri]-stearate : C<sub>7</sub>H<sub>11</sub>O<sub>6</sub>), 산화방지제로서 DBPC (2, 6-Di-tert-butyl -p-cresol : C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>O)를 사용하였으며 각각의 특성과 화학구조식을 그림 2.1에 나타낸다.

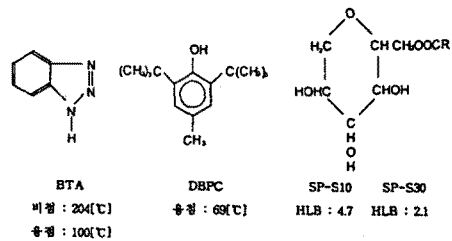


그림 2.1 첨가제의 분자구조와 특성  
 Fig. 2.1 Molecular structure and property of Additive

2.2 실험장치 및 측정기기

자연유하식 실험장치는 첨가제를 혼합한 절연유의 대전억제현상을 측정하기 위한 것으로 그 개략도를 그림 2.2에 나타낸다. 상단부분은 절연유를 다양한 분위기로 조성하기 위한 장치로서, 원통형 스테인레스(직경 170[mm], 길이 450[mm])

로 제작하였고 유온을 조절하기 위하여 판히터(용량 2[kW])를 설치하였다. 중간부분은 필터를 연결하여 절연유를 대전시키고 대전된 전하량을 측정할 수 있도록 하단부분에 파라데이 케이지(내부: 직경 170[mm], 길이 300[mm] 외부: 직경 270[mm], 길이 390[mm])를 스테인레스로 제작하였다. 금속필터는 길이 60[mm], 내경 20[mm], 외경 22[mm]인 테프론관으로 제작하였다. 금속망의 재질로는 구리를 사용하였다.

측정기기로는 절연유가 필터를 통하여 흐를 때 발생하는 대전전류를 측정하기 위하여 필터에 동리드선을 접속시켜 TAKEDA 8401의 미소전류계를 연결하고 시간경과에 따른 전류변화량을 측정하기 위하여 RIKADENKI(주)의 기록계를 연결하였다. 그리고 유동전류를 측정하기 위하여 스테인레스로 제작한 파라데이 케이지에 미소전류계를 접속하였다. 그리고 전기전도의 변화를 측정하기 위하여 TAKEDA RIKEN사에서 제작한 TR 44로서 주전극  $42\phi \times 70$ [mm], 주전극과 대향전극 사이의 거리 1.5[mm], 전극계수 637인 체적저항률 측정장치를 사용하였다.

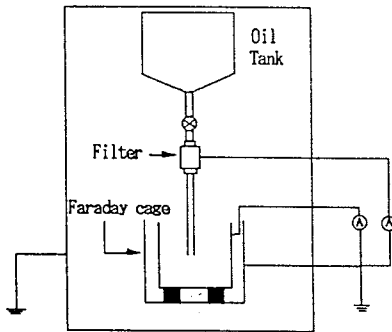


그림 2.2 자연유하식 실험장치 개략도  
Fig. 2.2 Schematic diagram of natural dripping experimental apparatus

### 2.3 실험방법

일정량의 절연유를 자연낙하시켜 구리필터에 의한 절연유의 대전전류를 측정하고 절연유에 첨가제를 1[ppm]에서 100[ppm]까지 교반기로 혼합하여 JIS규정에 따라 직류 250[V]를 가하여 전압인가

이후 10분이 경과한 전류치로서 도전율의 변화를 구하고 필터를 통하여 자연낙하할 때 발생하는 유동전류를 측정하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 첨가제의 유동대전 방지효과

유량을 5[l/min], 유온을 20[°C]로 일정하게 유지시키고 절연유에 BTA(Benzotriazole)와 산화방지제 그리고 SP계열의 계면활성제를 1~100[ppm]까지 첨가하여 구리망 5장을 삽입한 필터를 통해 흐르는 절연유에 의해 발생된 유동전류의 변화를 그림 3.1, 3.2에 나타낸다. 그림 3.1에서 BTA를 첨가한 절연유의 유동전류는 약 5[ppm]에서 극성반전을 보이고 농도가 증가할수록 점차적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 이것은 BTA분자에 포함된 질소원자들이 화학적으로 불포화 특성을 나타내는 독립전자쌍을 가지고 있어 구리필터는 절연유와의 계면에서 BTA의 질소원자를 흡착하여 결과적으로 절연유를 부로 대전시키는 것으로 생각된다. 또한 농도가 증가함에 따라 부의 유동전류가 증가하는 것은 BTA의 이온화에 의한 것으로 생각된다. 산화방지제는 변압기내 금속재료의 산화방지를 위한 목적으로 사용되고 있으며 유동전류의 변화가 없었다.

SP계열의 계면활성제로서 SP-S10과 SP-S30에 의한 절연유의 유동전류는 그림 3.2에서 알 수 있듯이 약 20[ppm]부터 대전억제 효과를 나타냈으나 SP-S10이 약 100[ppm]부근에서 극성반전을 보이는 반면, SP-S30의 농도가 증가함에 따라 유동전류가 서서히 감소하는 것을 알 수 있다. 이 현상은 계면활성제가 가지고 있는 친수기와 소수기가 금속필터와 절연유의 계면에서 분리되어 소수기는 절연유측에 배향하고 친수기는 금속필터에 흡착되어 계면에서의 표면장력을 감소시키고 전기·화학적 포텐셜에 의한 부이온의 흡착을 억제하는 것으로 생각된다. 또한 농도가 증가함에 따라 음이온의 증가로 인하여 절연유측에 발생된 정이온이 중화되는 것으로 사료된다. 그리고 두 계면활성제로 부터 나타나는 절연유의 대전특성의 차이는 그림 2.1에서 보이는 것처럼 HLB가 높은, 즉 친수성이 SP-S30보다 강한 SP-S10의 계면활성제가 계면에서 금속필터측으로 보다 많은 친수기를 분포시키기 때문인 것으로 사료된다.

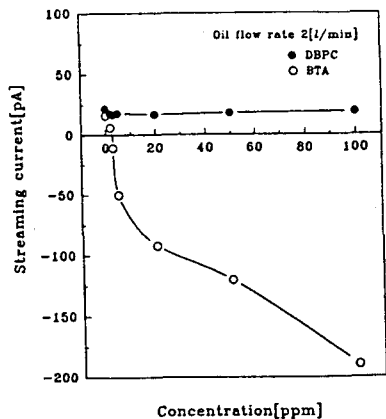


그림 3.1 BTA, DBPC의 농도에 대한 유동전류의 변화  
Fig. 3.1 The variation of streaming current on BTA, DBPC concentration

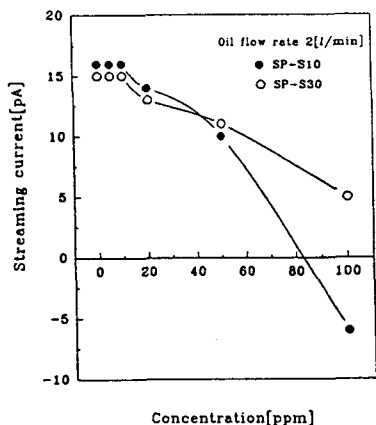


그림 3.2 계면활성제의 농도에 대한 유동전류의 변화  
Fig. 3.2 The variation of streaming current on Surfactant concentration

### 3.2 절연유의 전기전도에 미치는 첨가제의 영향

절연유에 첨가제를 혼입하였을 때 발생하는 도전율의 변화를 그림 3.3에 나타낸다. 이같은 결과는 전류 I를 측정함으로써 다음식에 의해 구해졌다.

$$\sigma = k \times \frac{I}{V}$$

여기서,  $\sigma$  : 도전율     $k$  : 전극계수     $V$  : 직류 전압     $I$  : 측정전류

이 그림에서 알 수 있듯이 BTA를 첨가한 절연유의 도전율은 농도가 증가함에 따라 증가한다. 이것은 BTA의 이온화에 의한 것으로 생각되며 도전율이 증가하면 대전량이 증가한다는 보고로 볼 때 대전량의 변화를 측정한 결과와 일치하

고 있다. 산화방지제와 SP계열의 계면활성제에 의한 절연유의 도전율은 변화가 나타나지 않았다. 따라서 절연유에 첨가하여도 불순물로서 작용을 않는 것으로 생각된다.

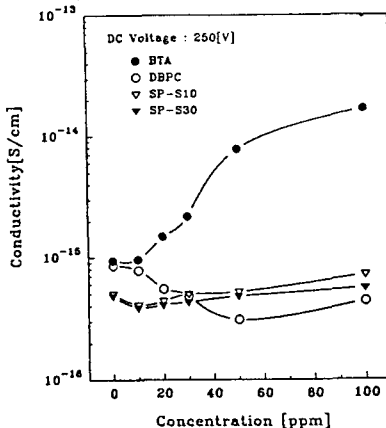


그림 3.3 첨가제의 농도에 대한 도전율 변화  
Fig. 3.3 The variation of electric conductivity on Additive concentration

## 4. 결론

본 연구에서는 계면활성제의 대전억제현상을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) BTA는 약 5[ppm]에서 극성반전을 보이고 SP계열의 계면활성제는 약 20[ppm]부터 대전방지 효과를 나타내며 SP-S10은 100[ppm]부근에서 극성반전 특성을 나타낸다. 산화방지제는 대전특성에 영향을 주지 않는다.

2) BTA는 절연유의 도전율을 증가시키고 SP계열의 계면활성제와 산화방지제는 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

### 참고문헌

- [1] JIS(C2101), pp.37~43, 1982
- [2] Joseph T. Leonard and Homer W. Carhart, "Effect of conductivity on Charge generation in Hydrocarbon fuels flowing through Fiber glass filters", Journal of Colloid and Interface Science, Vol.32, No.3, pp.383~394, March 1970.
- [3] A.Klinkenberg and J.L.Vander Minne, "Electrostatics in the Petroleum Industry", Elsevier, Amsterdam, 1958.