

첨가제의 영향에 따른 유동대전특성 조사

The Effect of Additive on the Streaming Electrification

최창락*
임헌찬
박재윤
정재희
성낙진
이덕출

인하대학교
대구공업전문대학
경남대학교
서울산업대학교
인천전문대학
인하대학교

C. R. Choi*
H. C. Lim
J. Y. Park
J. H. Jung
N. J. Seong
D. C. Lee

Inha Univ.
Teku Col.
Kyungnam Univ.
Seoul Industrial Univ.
Inchon Junior Col.
Inha Univ.

ABSTRACT

Since the streaming electrification phenomena of transformer were made clear on 1970s, many researches have been continued on the improvement of the transformer. This paper describes the effect of additive (BTA, DBPC) and temperature on the streaming electrification of the various materials. The streaming current in the various materials decreases in proportion to the concentration of BTA, results in the inverse electrification. We believe that these results will contribute to the optimal design of HV large-capacity transformer.

1. 서론

절연성을 액체와 고체재료 사이의 유동마찰로 인해 발생하는 유동대전현상은 오랫동안 석유산업 등에서 문제로 되어 연구되어 왔으나, 최근에는 냉각과 절연 효과를 향상시키기 위한 절연유의 화학적 특성의 개선, 폴리머(polymer)와 셀룰로오스(cellulose)와 같은 새로운 유전체의 사용, 그리고

냉각효과를 증대시키기 위한 유속의 증가 등으로 인하여, 석유 산업에서뿐만 아니라 전력용 대형 변압기에 있어서, 절연유의 순환 과정 및 항공기의 자동 연료 공급 장치 등과 같은 많은 분야에서 유동대전에 관한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 송전 전압의 승압을 위한 전압용 변압기에 있어서 냉각 효과의 증대 및 절연물의 향상을 위하여 변압기의 대용량화와 고전압화는 필연적이지만, 절연유가 고체 재료를 유동할 때 그 계면에서 발생한 미량의 공간전하·표면전하의 축적에 의하여 형성된 직류 전계가 부분적으로 절연유의 절연파괴 전계를 넘어서면 방전현상을 나타나게 하고, 이것이 변압기의 절연 파괴로까지 이행되는 등 재해가 증가하고 있는 실정이다.

본 실험에서는 실제 변압기에 사용되는 절연지, 프레스보드(press board) 등과 여러 가지 고체 재료들에 대한 첨가제(BTA, DBPC)의 농도에 따른 영향을 분석한 후, 유동 대전 현상으로 인한 재해를 최소화할 수 있는 최적의 조건을 조사하였다.

2. 실험

1. 시료유, 첨가제 및 재료의 특성

본 실험에 사용된 시료유는 광유계의 전기절연유 KSC 2031 1종 4호이고, 산화방지제 (DBPC: 2,6-Di-tert-butyl-p-cresol: C₁₅H₂₄O)와 대전방지제 (BTA: Benzotriazole: C₆H₅N₃)의 분자구조를 표 1과 그림 1에 나타낸다.

표 1 절연유의 특성

Table 1 Properties of insulating oil

특 성		규 격
주 성 분		광 유
비 중 (15/4℃)		0.91 이하
동 점 도 cSt (mm ² /sec)	40 ℃	13 이하
	75 ℃	6 이하
	100 ℃	-----
유 동 점		-27.5 이하
인 화 점 (℃)	개 방 식	
	밀 폐 식	140 이상
증 발 량 (%)	98 ℃ 5시간	0.4 이하
	150 ℃ 24시간	-----
반 응		중 성
절 연 파 괴 전 압 KV (2.5mm)		40 이상
유 전 정 접 % (60Hz, 80℃)		0.1 이하
비 유 전 율 (60Hz, 80℃)		-----
부 피 저항 율 Ω · cm (80℃)		5×10 ¹³ 이상

실험에 사용된 재료로는 현재 변압기내에 사용되고 있는 절연지 (공칭두께: 0.13 [mm], 밀도: 0.82 [g/cm³])와 프레스보드(press board) (공칭두께: 0.50 [mm], 밀도: 1.17 [g/cm³]) 5×5 [mm²]로 잘라 20 [g]을 만든 것과 동선 (지름 2 [mm], 길이 4 [m], 무게 110.5[g]), 폴리에스테르동선 (지름 2 [mm], 길이 4 [m], 무게 115 [g]), 알루미늄 (지름 2 [mm], 길이 4 [m], 무게 33 [g])을 사용하였다.

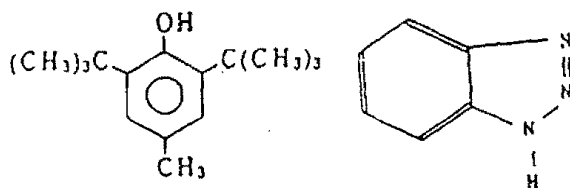


그림 1 DBPC와 BTA의 분자구조

Fig. 1 Molecular structure of DBPC and BTA

2. 실험장치

본 실험장치는 크게 3단구조로 자체 설계 제작한 것으로 실험장치의 개략도를 그림 2에 나타내었다. 상단부분은 절연유를 다양한 분위기로 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 분위기로 만들어진 절연유가 절연지와 프레스보드 (press board)를 통과할 수 있도록 유리 플라스크 (용량: 3 [l])의 윗 부분을 가공하였다. 유리 플라스크의 코르크는 테프론으로 하여 유량을 조절하였다. 위의 두부분을 통과한 절연유가 최종적으로 저장되어, 유동 대전된 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. 누설 전류 측정장치로는 10⁻¹² [A]까지 측정가능한 미소 전류계 (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.

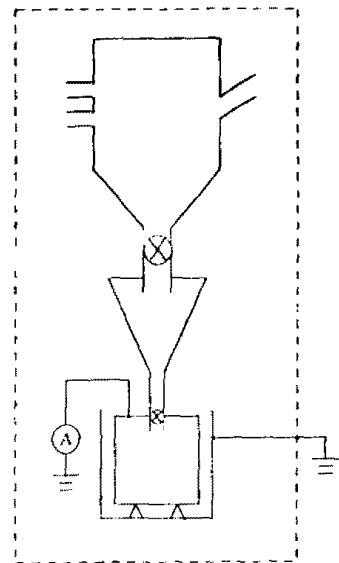


그림 2 실험 장치 개략도

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

3. 결과 및 고찰

1. BTA의 농도의존성

유량을 0.14 [l/min], 유온을 25[℃]로 일정하게 유지시키고, 동선, 폴리에스테르동선, 알루미늄에 BTA의 농도를 0~50 [ppm]으로 순차적으로 변화시켜가면서 파라데이케이지 (Faraday Cage)를 통해 흐르는 유동전류를 측정 한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그리고, BTA분자중에 포함된 독립전자쌍을 가진 질소의 원자수가 많을수록 뚜렷한 대전특성을 나타내는 것으로 알려지고 있다. 동족 BTA의 농도와 대전경향에 관해서는 그림 4에 나타내었다. BTA분자에 포함된 질소원자들은 화학적으로 불포화 특성을 나타내는 독립전자쌍을 가지고 있고, 분자당 2개 이상의 질소원자를 가진 BTA첨가시, BTA를 흡착한 재료들은 계면에서 과도전자들의 불포화특성을 나타내며, 이 경우 재료들은 정이온들과 상호작용을 하여 결과적으로 절연유를 부로 대전시킨다. BTA의 농도가 증가할수록 유동전류의 크기는 증가하는 것으로 관찰되었다. [2]

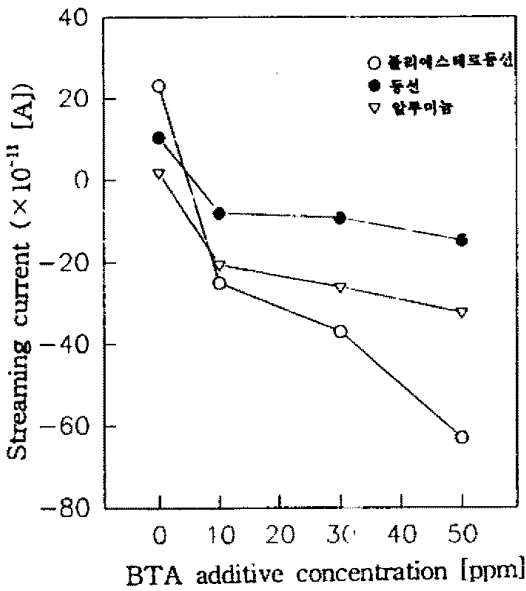


그림 3 BTA의 농도에 따른 대전경향
Fig. 3 Relation of BTA concentration and charging tendency

2. BTA의 농도와 온도의존성

유량 0.21 [l/min]로 일정하게 유지시키고, 유온을

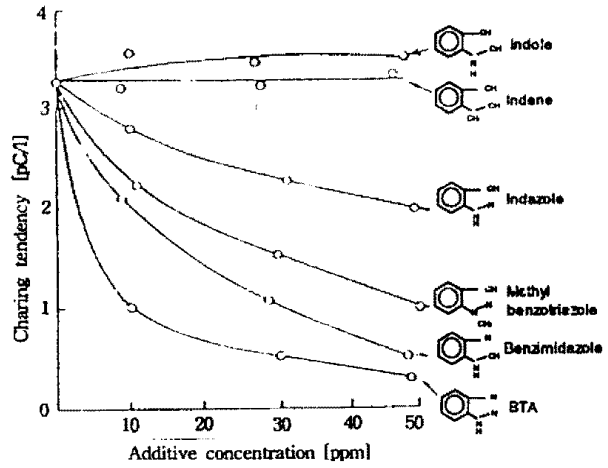


그림 4 동족BTA의 농도에 따른 대전경향
Fig. 4 Relation of BTA homolog concentration and charging tendency

25 ~75 [℃]로 변화시키면서 농도증가에 따른 유동전류의 측정결과를 그림 5에 나타내었다. BTA의 영향으로 인해 부극성을 나타내던 절연유가 온도가 증가함에 따라 극성 반전이 일어나는 것을 볼 수 있다. 유온의 증가에 따라 절연유속의 해리되는 이온수가 증가하며, BTA의 흡착으로 인해 상호작용을 하였던 정이온들의 결합력이 약해져 점차적인 유동전류의 증가현상을 보이는 것으로 사료된다.[1][3]

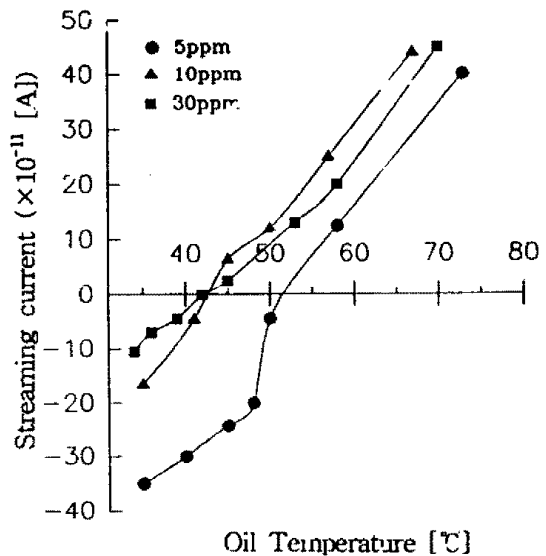


그림 5 BTA의 농도와 온도와의 관계
Fig. 5 Relation of BTA concentration and temperature

3. 산화방지제의 농도의존성

유속을 일정하게 유지시키면서, 산화방지제(DBPC)의 농도를 0~50 [ppm]으로 점차적으로 증가시키면서, 절연지와 프레스보드를 통해 흐르는 유동전류를 측정하여 그림 6에 나타내었다. 절연지와 프레스보드에 있어서 산화방지제는 변압기속 금속 재료들의 산화방지를 위한 목적으로 사용되고 있으며, 유동대전에는 거의 영향을 미치지 않는다고 생각된다. 실제 대용량 변압기의 제작에 있어서는 30 [ppm]정도를 첨가시키는 것으로 보고되고 있다.

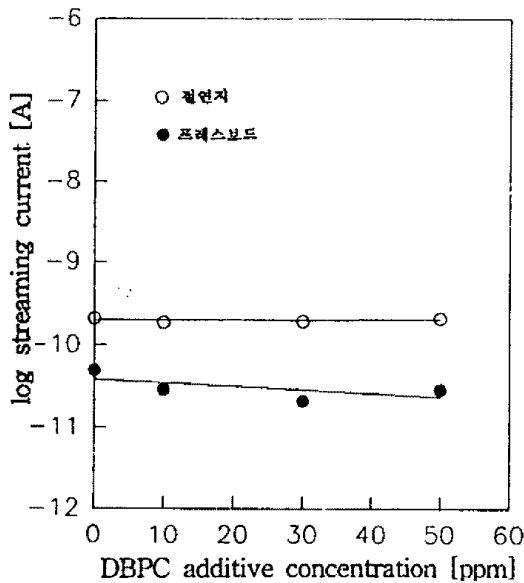


그림 6 DBPC 농도에 따른 대전경향
Fig. 6 Relation of BTA concentration and charging tendency

4. 결론

본 연구에서는, 여러 가지 고체재료와 절연유의 계면에서 절연유가 유동할 때, 첨가제의 영향에 따른 유동대전특성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. BTA의 첨가시 BTA 분자속의 독립전자쌍을 가진 질소원자들에 의해 절연유의 극성 반전이 일어나며, 농도가 증가할수록 유동전류의 양은 커진다.
2. BTA의 농도에 따른 온도특성에 있어서, 온도가

증가함에 따라 절연유속의 해리되는 이온수와 계면에서의 결합력의 약화로 인해 유동전류는 증가한다.

3. 산화방지제의 첨가시 대전특성에는 거의 영향을 끼치지 않으며, 변압기내의 산화방지를 목적으로 이용되고 있다.

참고문헌

- [1] 北原文雄, 渡邊昌: 界面電氣現象, 共立出版, 昭和 53 年
- [2] 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
- [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
- [5] 田村,外2: 靜電氣學會, 99. 10. 913. 1979

본 연구는 1995년도 기초전력공학공동연구소의 연구비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.