

유동대전 억제제에 의한 초고압 변압기유의 유전 특성

Dielectric Properties of Ultra-High Voltage Transformer Oils due to Streaming Electrification Suppressant

이태훈	광운대학교 전기공학과
신종열	삼육전문대학 자동차정비과
조경순	광운대학교 전기공학과
이용우	충남전문대학 전기과
이수원	철도전문대학 전기제어과
홍진웅	광운대학교 전기공학과

Tae-Hoon Lee	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Jong-Yeol Shin	Dept. of Automobile Maintenance, Sahmyook Junior College
Kyung-Soon Cho	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Yong-Woo Lee	Dept. of Electrical Eng., Chungnam Junior College
Soo-Won Lee	Dept. of Electrical Control, Korea Railroad College
Jin-Woong Hong	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.

Abstract

In this paper, specimens stirred with the several kinds of benzotriazole(following as BTA) addition which is very effective to decrease the streaming electrification, are tested to investigate the change of properties for insulating fluid using in ultra-high voltage transformer, and it will give a guideline to find out a proper quantity of BTA addition for the most effective suppression against the streaming electrification. In GC, we could not find out the change of the physical properties in an insulating fluid by BTA. In a flowing transformer oil, the characteristics on dielectric of specimen contained BTA 10[ppm] are superior to the others.

1. 서론

현재 전력 계통에서 사용되고 있는 전력용 변압기는 고가의 중요한 설비이므로, 고장없이 정확하게 운전되어야 한다. 일반적으로 대용량 변압기는 절연유의 냉각 효과를 높이기 위해 강제 순환 냉각방식을 선택하여 사용하고 있다. 변압기 내에서 강제 순환된 절연유가 고체 표면을 유동할 때 생기는 유동대전 현상은 대용량 전력용 변압기 제작 설계시 변압기 신뢰성을 위해 반드시 고려되어야 할 중요한 요소 중의 하나이다.

따라서 본 실험에서는 대전 억제제인 BTA를 첨가시 유동상태에서 유전특성과 BTA의 영향에 대해 연구하였다.

2-1. 시료

실험에 사용된 시료는 변압기에서 사용되고 있는 나프텐계 광유에서 얻어낸 순수 국산 변압기유로 국내 초고압 변압기에 사용하는 D사 DNI-4호를 시료로 한다.

최근 유동대전 억제제로 사용되고 있는 BTA의 화학구조식과 특성을 각각 그림 1과 표 1에 나타낸다.

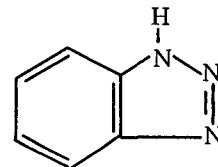


그림 1. BTA의 화학구조식

2. 실험

표 1. BTA의 물성

Classification	Physical properties
Molecular weight	119.12 [g/mole]
Melting point	95~97 [°C]
Solubility	120 [mg/ℓ] at 20 [°C] (Insulating oil)
Vapor pressure	0.04 [mmHg] at 30 [°C] 0.10 [mmHg] at 100 [°C]
Boiling point	205 [°C]

변압기유 2000[mℓ]에 BTA의 첨가량을 각각 5[ppm], 10[ppm], 30[ppm]이 되도록 교반시켜 세 종류의 시료를 제작하였으며, 제작된 시료의 구분은 아래 표 2와 같다.

표 2. 시료의 구분

Classification	Amount of Insulating Oil [mℓ]	Content of BTA [mg]	Concentration of BTA [ppm]
Specimen #1	2000	0	0
Specimen #2		10	5
Specimen #3		20	10
Specimen #4		60	30

시료의 교반 시간은 모두 9시간이며, 교반 후에 교반 과정에서 발생된 기포에 의한 시료의 물성 및 유동대전 특성에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 10⁻²[Torr]에서 2시간 동안의 진공탈기 과정을 거친 다음 실험을 하였다.

2-2. 유전특성 실험

액체의 절연성을 평가하기 위해 변압기유를 유동시켜 시료의 유전 특성을 측정하였으며, 장치에 대한 개략도는 그림 2와 같다. 유전측정 장치는 주파수를 30[Hz]에서 150[kHz]까지 변화시킬수 있으며, 인가전압은 300[mV]에서 1500[mV]까지 변화시키면서 측정할 수 있는 Videobridge 2150을 사용하였다.

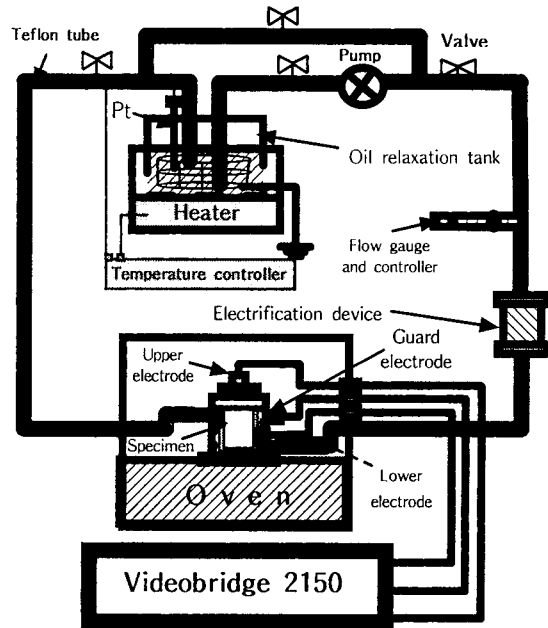


그림 2. 유동시 유전특성 실험장치의 개략도

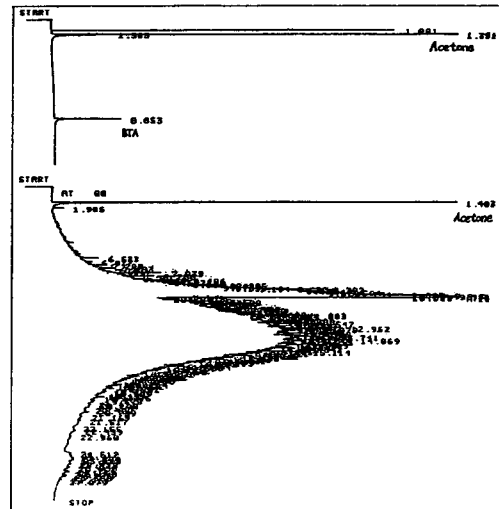


그림 3. 시료의 가스 크로마토그래피

3. 결과 및 고찰

3-1. 물성분석

BTA를 첨가한 변압기유의 화학적 물성변화를 알기 위해 GC를 이용하였다.

아세톤을 용제로 한 그림 3의 GC에서 나타나듯이 BTA의 화학구조는 단순한데 비해 변압기유는 400~500여 가지의 화학물질로 구성되어 있고 피크도 높아 BTA가 섞였을 때 변압기유의 화학적 변화를 정확하게 분석하여 판단하기 어려웠다.

3-2. 유동대전 특성

연구실에서 자체 설계 및 제작한 유동대전 장치를 이용하여 변압기유의 유량을 제어함으로써 실제 변압기를 모델로 하여 유동되는 변압기유의 유전특성과 유동대전 억제제로써 BTA 첨가에 따른 영향을 연구하였다.

그림 4는 인가전압 750[mV], 온도 25[°C]인 경우 BTA 첨가량 10, 30[ppm]인 시료는 저주파수 영역

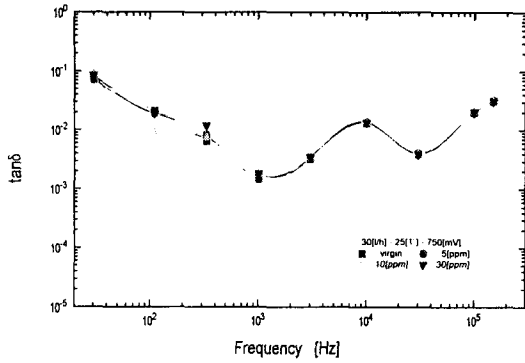


그림 4. 유전특성의 주파수 의존성 (30[l/h], 750[mV], 25[°C])

약 330[Hz] 부근에서 뚜렷한 피크가 나타나며 원시료와 BTA 첨가량 5[ppm]인 시료의 경우는 동일한 주파수 영역에서 약한 피크를 나타냄을 확인할 수 있다. 대전장치로부터 대전되는 대전량이 상당히 증가하여 유전손실에 기여하는 이온의 영향 때문에 손실피크가 낮은 온도에서도 나타나며, BTA 첨가량 5[ppm]인 시료는 BTA 첨가량이 대전 억제 효과를 나타내기에는 다소 미량이어서 원시료와 유사한 유전 특성을 나타내는 것으로 생각된다. 그리고 고주파수 영역에서 주쇄의 기여에 의해 나타나는 피크가 일정함을 볼 수 있다.

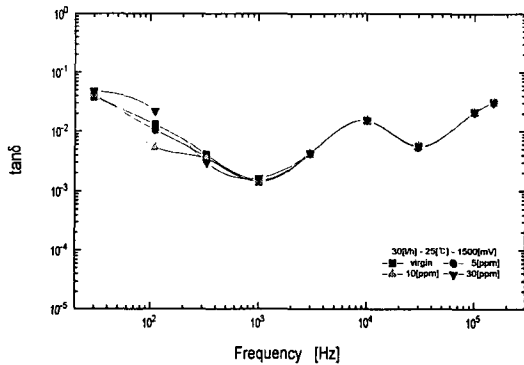


그림 5. 유전특성의 주파수 의존성 (30[l/h], 1500[mV], 25[°C])

동일한 온도 조건에서 인가전압이 1500[mV]로 상승하면 그림 5에서와 같이 인가전압 상승에 따라 저주파수 영역에서는 원시료와 BTA 첨가량 5[ppm]인 시료의 경우 피크가 거의 나타나지 않고 유전손실이 선형적으로 감소됨을 볼 수 있으며 BTA 첨가량 10[ppm]인 시료의 피크는 약 330[Hz] 부근에서, 그리고 BTA 첨가량 30[ppm]인 시료의

피크는 약 100[Hz] 부근에서 나타남을 볼 수 있다. 또한 주쇄의 기여에 의해 나타나는 것으로 생각되는 고주파수 영역의 피크는 인가전압 750[mV]인 경우와 동일하게 나타남을 확인할 수 있다. BTA 첨가량 10[ppm] 시료는 적당한 BTA의 첨가로 유동 대전된 전하의 영향이 적어 유전손실이 낮게 나타나는 것으로 생각되며 BTA 첨가량 30[ppm]인 시료 역시 대전장치로부터 대전된 전하를 억제하기 때문에 인가전압 상승하여도 피크가 나타나는 하지만 확산층 내의 증가된 부극성 이온의 농도에 영향을 받아 피크의 폭이 넓게 나타나며 피크가 나타나는 주파수 영역도 BTA 첨가량 10[ppm]인 시료의 피크보다 낮은 주파수 영역에서 나타나는 것으로 생각된다.

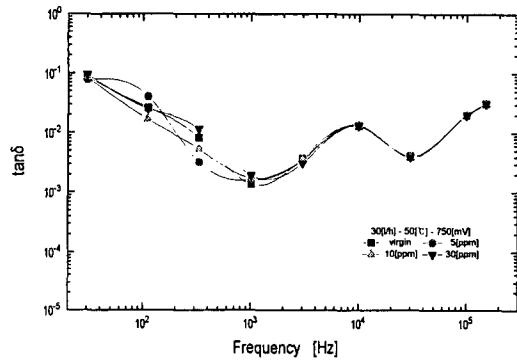


그림 6. 유전특성의 주파수 의존성 (30[l/h], 750[mV], 50[°C])

인가전압 750[mV]에서 온도가 50[°C]로 상승되면 그림 6에서 보는 바와 같이 BTA 첨가량 5[ppm]인 시료만 약 100[Hz] 부근에서 뚜렷한 피크를 나타내며 나머지 시료들은 약한 피크가 나타나거나 선형적으로 감소된다. 그리고 고주파수 영역에서의 손실피크는 동일하게 나타남을 볼 수 있다. 유속과 온도가 상승하면서 시료의 유동성이 향상되어 인가전압 750[mV]에서도 대전전하의 영향을 받아 BTA 첨가량 5[ppm]인 시료의 저주파수 영역의 유전손실 피크가 낮은 주파수에서도 나타나며 BTA 첨가량 10[ppm]인 시료는 피크가 나타나지 않고 선형적으로 감소된다.

그림 7의 온도 50[°C]에서 인가전압 1500[mV]인 경우, 원시료와 BTA 첨가량 5[ppm]인 시료는 저주파수 영역에서 주파수가 증가함에 따라 선형적으로 감소하며 BTA 첨가량 10[ppm], 30[ppm]인 시료는 원시료보다 낮은 유전손실이 나타남을 확인할 수 있다.

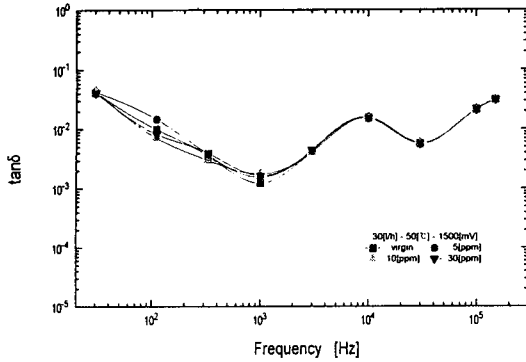


그림 7. 유전특성의 주파수 의존성 (30[l/h], 1500[mV], 50[°C])

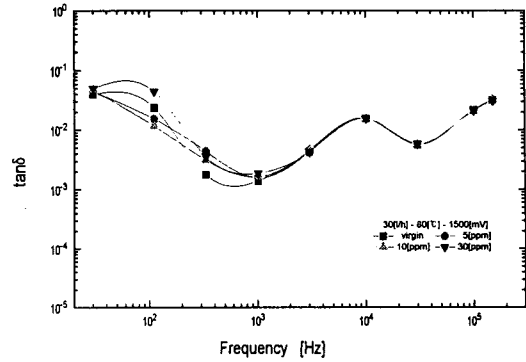


그림 9. 유전특성의 주파수 의존성 (30[l/h], 1500[mV], 80[°C])

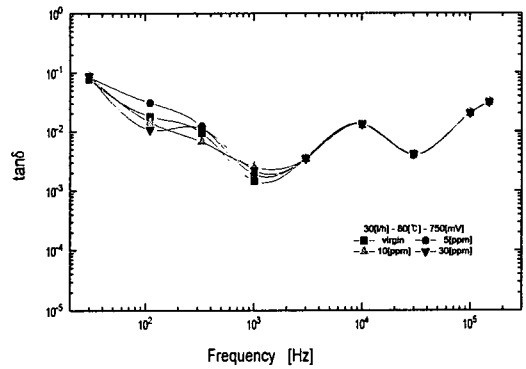


그림 8. 유전특성의 주파수 의존성 (30[l/h], 750[mV], 80[°C])

온도가 80[°C]로 상승하면 인가전압 750[mV]에서는 그림 8에서 보는 것처럼 원시료와 BTA 첨가량 5[ppm]인 시료는 주파수 330[Hz] 부근에서 약한 피크를 나타내며 BTA 첨가량 30[ppm]인 시료는 동일한 주파수 영역에서 뚜렷한 피크가 나타남을 확인할 수 있다. 유속과 온도가 상승함에 따라 대전전하의 영향 뿐만 아니라 시료의 유동성 향상으로 원시료와 BTA 첨가량 5[ppm]인 시료는 약한 피크가 나타나며 BTA 첨가량 30[ppm]인 시료의 경우는 부극성 이온의 농도가 유전손실에 기여하기 때문에 동일한 주파수 영역에서 뚜렷한 피크가 나타나는 것으로 생각된다.

동일한 온도에서 인가전압이 1500[mV]로 상승되면 그림 9에서와 같이 원시료와 BTA 첨가량 30[ppm]인 시료는 100[Hz] 부근에서 피크가 나타나며 피크의 크기는 원시료가 BTA 첨가량 30[ppm]인 시료보다 작게 나타남을 볼 수 있다. 그러나 BTA 첨가량 5[ppm], 10[ppm]인 시료는 저주파수 영역에서의 피크는 나타나지 않으며 주파수 증가에

따라 선형적으로 감소됨을 확인할 수 있다. 또한 주쇄의 기여에 의해 나타나는 것으로 생각되는 고주파수 영역에서의 피크는 인가전압에 무관하게 일정한 주파수 영역에서 나타남을 확인할 수 있다.

4. 결론

저주파수 영역에서 인가전압이 높아짐에 따라 피크의 크기가 작아지며, 인가전압이 높아질수록 BTA 10[ppm]인 시료의 유전특성이 우수하게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 고주파수 영역에서 주쇄의 기여에 의해 나타나는 것으로 생각되는 피크는 BTA 첨가량이나 온도와 주파수 변화에 무관하게 거의 일정하게 나타났다.

참고문헌

- [1] 伊藤正一, 渡辺茂男, 上田 實, “流動帶電した絶縁性液体中の電荷密度と導電率について,” 電氣學會論文誌, Vol. 93-A No. 5 pp. 175-182, 1973
- [2] P. R. Krishnamoorthy et al, “Effect of Benzotriazole and 2, 6 Diteriary Butyl Paracresol on the Accelerated Oxidation of new and Reclaimed Transformer Oils-a Comparative Study,” Proceeding of the 3rd International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, July, pp. 732-735, 1991
- [3] M. Yasuda et al, “Suppression of Static Electrification of Insulating Oil for Large Power Transformers,” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-101, 11 November, pp. 4272-4280, 1982