

## 자동차 점화장치용 절연유의 BTA 함유에 따른 유전특성 Dielectric Characteristics due to BTA in Insulating Liquids for the Ignition Coil of Automobile

신중열, 조돈찬, 조경순, 이수원\*, 홍진웅

Jong-Yeol Shin, Don-Chan Cho, Kyung-Soon Cho, Soo-Won Lee\*, Jin-Woong Hong

광운대학교 전기공학과

Dept. of Electrical Engineering, KwangWoon University

\* : 국립철도전문대학 전기제어과

\* : Dept. of Electrical Control, KOREA Railroad College

### Abstract

Recently, mixture insulating oils is widely used in respect that the physical and the electrical properties is more excellent than mineral oils, such as alkylbenzene oils and silicone oils, and that the cost is lower than alkylbenzene oils or silicone oils.

Also, it is important to research for the the additive BTA(Benzotriazole) as a study for the phenomena of streaming electrification of mineral oils.

So, mixture insulating oils class 7-2, is selected as a specimen in this experiments, and the contents of BTA in specimen are 0.2[ppm], 10[ppm] and 30[ppm], respectively.

Then, the physical and the electrical properties for each specimen is made researches.

### 1. 서론

액체 절연유는 현재 광유, 알킬벤젠유, 실리콘유 등을 각각의 특성에 맞게 제조하므로써 다양한 분야에서 실용화되어 있다. 광유의 경우 유동대전 현상에 대한 새로운 관심이 대두되고 있으며 광유보다 물성 및 열적, 전기적 특성이 우수한 알킬벤젠유, 실리콘유는 가격이 고가라는 측면에서 넓은 범위에서의 이용에 제약을 받고 있다.

이러한 이유로 알킬벤젠유나 실리콘유보다 가격면에서 저가이면서도 물성 및 전기적 특성이 우수한 액체 절연체의 개발에 관심을 돌리기 시작하였으며 몇 년전 합성 절연유로 7종이라는 액체 절연체를 개발하여 현재 실용화하는 단계에 돌입하고 있다.

또한 광유의 유동대전 현상에 대한 연구로써 유동대전 억제 첨가제인 BTA(Benzotriazole)에 관한 연구가 다각적인 방면에서 이루어지고 있다.

따라서 본 실험에서는 합성 절연유 7종 2호에 대한 물성 및 전기적 특성을 연구하였으며, 이와 병행하여 유동대전 억제 첨가제인 BTA 첨가에 따른 영향도 연구하였다.

### 2. 실험 시료 및 실험 방법

#### (1) 실험 시료

실험 시료로는 합성 절연유 7종 2호로 광유 30[%]와 알킬벤젠유 60[%]로 혼합 조성된 것을 선택하였다. 선택된 시료에 유동대전 억제제로 효과적이라고 알려진 BTA를 각각 0.2[ppm], 10[ppm], 30[ppm]을 첨가한 시료를 제작하였다. 시료에 BTA를 첨가한 후, 9시간 동안의 교반 과정을 거쳤으며 실험시료의 구분은 아래 표 1과 같다.

Table 1. The classification of specimen

구분	시료의 양 [ml]	BTA 함유량 [ppm]
#1	1000	0
#2		0.2
#3		10
#4		30

#### (2) 실험방법

각 실험시료의 물성을 분석하기 위하여 광학적인

분석 방법을 이용하였으며 광학적 분석 방법 중, FT-IR(Fourier Transform Infrared Spectroscopy)과  $^1\text{H-NMR}$ ( $^1\text{H}$  - Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)를 이용하였다.

전기적 특성을 실험하기 위해서는 절연성을 평가하기 위한 방법 중, 유전 특성을 조사하였으며 온도 범위는  $20[^\circ\text{C}] \sim 120[^\circ\text{C}]$ , 주파수 범위는  $30[\text{Hz}] \sim 1.5 \times 10^6[\text{Hz}]$ , 인가전압은  $AC\ 300[\text{mV}] \sim 1500[\text{mV}]$ 의 실험 조건에서 각 시료의 유전정점의 주파수 의존성을 연구하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### (1) 물성분석

실험 시료의 FT-IR 분석도를 그림 1에 나타내었다.

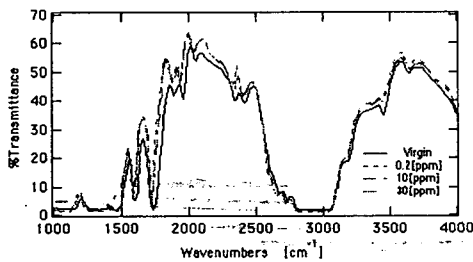


Fig. 1. FT-IR of experimental specimen

합성 절연유 7종 2호 원시료와 BTA를 함유시킨 시료의 차이로는 파수  $3400 \sim 3450[\text{cm}^{-1}]$ 에서의 흡수 피크가 원시료에는 나타나지만 BTA를 함유시킨 시료에서는 아주 약한 흡수 피크가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

OH기의 기여에 의해 나타나는 것으로 생각되는 이 흡수 피크는 BTA가 함유됨으로 인해 고립 전자쌍을 가진 질소원자(N)가 이 OH기와 결합하므로 인해 흡수 피크가 약하게 소멸되는 것으로 생각된다.

#### (2) 유전 특성의 주파수 의존성

인가전압  $500[\text{mV}]$ 에서 온도  $20[^\circ\text{C}]$ ,  $50[^\circ\text{C}]$ ,  $80[^\circ\text{C}]$ ,  $100[^\circ\text{C}]$ 인 조건으로 각 시료들의 유전정점의 주파수 의존성을 그림 2, 그림 3, 그림 4, 그림 5에 각각 나타내었다.

인가전압  $500[\text{mV}]$ , 온도  $20[^\circ\text{C}]$ 인 경우 저주파수 영역에서는 주파수가 높아짐에 따라  $\tan\delta$ 는 감소하는 경향을 나타내며 고주파수 영역에서는 주파수의 기여에 따른 뚜렷한 피크를 제외하면 주파수 증가에 따라 점차 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

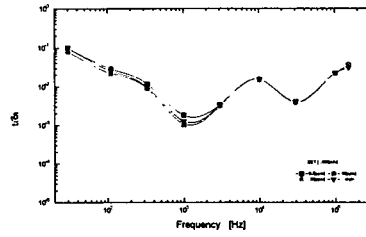


Fig. 2. Frequency dependence of  $\tan\delta$  at  $20[^\circ\text{C}]$ ,  $500[\text{mV}]$

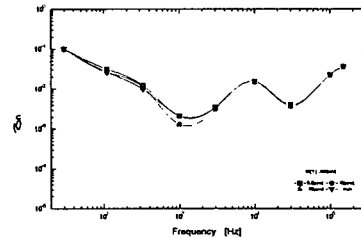


Fig. 3. Frequency dependence of  $\tan\delta$  at  $50[^\circ\text{C}]$ ,  $500[\text{mV}]$

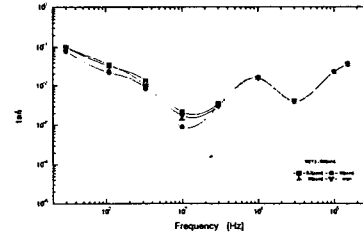


Fig. 4. Frequency dependence of  $\tan\delta$  at  $80[^\circ\text{C}]$ ,  $500[\text{mV}]$

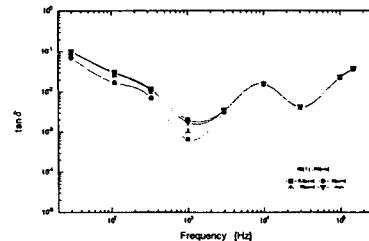


Fig. 5. Frequency dependence of  $\tan\delta$  at  $100[^\circ\text{C}]$ ,  $500[\text{mV}]$

저주파수 영역에서  $\tan\delta$ 가 주파수 증가에 따라 감소되며 고주파수 영역에서는 반대의 경향을 나타내는 것은 알킬벤젠유의 고유 특성에 기인한 것으로

생각된다.

또한, 주파수 100[Hz]~300[Hz]영역에서 볼 수 있는 완만한 경향은 시료내의 이온이나 쌍극자 분극에 기인된 영향으로 생각되며 BTA 함유량이 0.2[ppm]인 시료의 유전정접이 원시료에 비해 크게 나타나는데 이것은 BTA 함유량이 적어 미립자로 존재하는 BTA 입자가 오히려 손실에 기여하기 때문으로 생각된다.

그러나 BTA 함유량이 10[ppm], 30[ppm]인 시료는 함유량이 증가할수록 유전정접은 작아지는 경향을 나타내는데, 이러한 경향은 이온등 캐리어들의 도전성 기여를 억제하는데 충분한 양의 BTA가 함유되므로써 이온이나 도전성 캐리어들의 유전손실 영향이 많이 감소되기 때문에 원시료나 BTA 함유량이 0.2[ppm]인 시료보다 유전정접이 작게 나타나는 것으로 생각된다.

고주파수 영역에서는 광유의 주쇄 기여에 따른 영향으로 생각되는 뚜렷한 피크가  $1 \times 10^4$ [Hz]에서 나타남을 확인할 수 있으며 알킬벤젠유의 경우 주파수 증가에 따라 유전정접은 서서히 증가하는 경향을 나타내므로 주파수 변화에 따른 큰 영향이 나타나지 않는 것으로 생각된다.

동일한 인가전압에서 온도를 50[°C]로 상승하였을 경우, 유전정접의 주파수 의존성을 나타낸 그림 3에서는 온도 20[°C]인 경우와 유사한 경향을 나타내며 저주파수 영역에서 완만한 경향을 나타내던 주파수 영역이 좁아진 것을 확인할 수 있다. 이것은 온도가 높아지면서 시료의 유동성이 영향을 미치게 되고 분극의 영향이 쉽게 소멸되기 때문으로 생각된다.

온도가 80[°C]로 상승된 경우의 유전정접의 주파수 의존성을 나타낸 그림 4에서는 원시료의 경우 온도가 증가됨으로 인해 저주파수 영역에서는 주파수 증가에 따라 유전정접이 감소되는 경향을 나타내는 것으로 보아 광유의 영향은 거의 반영되지 않고 알킬벤젠유의 영향이 주로 나타나는 것으로 생각된다.

또한 BTA 함유량이 10[ppm]인 시료의 유전정접이 저주파수 영역에서는 가장 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 BTA의 용융 온도가 90[°C]~100[°C]라는 점을 고려해 볼 때, 첨가된 BTA가 시료 내에 용융되어 시료 내에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 생각되며 이로 인해 시료내의 이온이나 쌍극자 분극에도 영향을 미쳐 확연히 구분될 정도로 유전정접이 작아지는 것으로 생각된다.

그러나 BTA 함유량이 0.2[ppm]인 시료는 함유량이 너무 미소량이라서 오히려 불순물로서 손실에 기여

하기 때문에 유전정접이 큰 값을 나타내는 것으로 생각되며 BTA 함유량이 30[ppm]인 시료는 함유량이 다소 과다하여 유전정접이 10[ppm]인 시료의 경우보다는 크게 나타나는 것으로 생각된다.

온도가 100[°C]로 상승되면 그림 5에서와 같이 BTA가 용융 온도인 실험온도로 인해 시료내에 용융됨으로써 온도 80[°C]인 경우와 유사한 경향을 나타내며 저주파수 영역에서의 완만한 경향이 오히려 확연하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

그리고, 고주파수 영역에서의 피크는 온도변화나 인가전압 변화에 그다지 영향을 받지 않는 것으로 생각되며 인가전압 변화에 따라 진폭만이 다소 변화될 뿐, 나타나는 주파수도  $1 \times 10^4$ [Hz]영역으로 일정하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

인가전압을 1500[mV]로 상승시켜 인가하였을 때, 온도 20[°C], 50[°C], 80[°C], 100[°C]인 경우의 유전정접의 주파수 의존성을 각각 그림 6, 그림 7, 그림 8, 그림 9에 나타내었다.

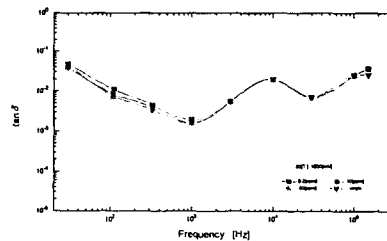


Fig. 6. Frequency dependence of  $\tan \delta$  at 20[°C], 1500[mV]

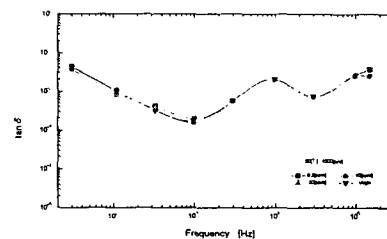


Fig. 7. Frequency dependence of  $\tan \delta$  at 50[°C], 1500[mV]

인가전압이 높아짐에 따라 이온이나 쌍극자 분극에 의한 영향이 나타나는 것으로 생각되는 저주파수 영역에서의 완만한 경향은 거의 나타나지 않는 것으로 보이며 유전정접의 값은 전 주파수 영역에서 Garton

의 이론에 따라 작아지는 것을 확인할 수 있다.

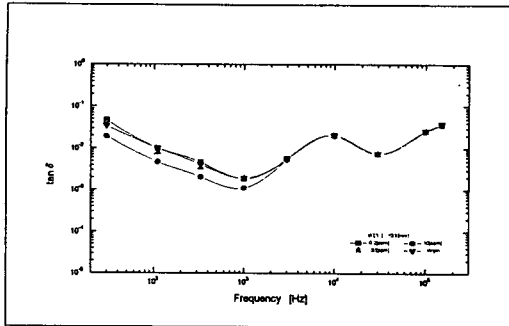


Fig. 8. Frequency dependence of  $\tan\delta$  at 80[°C], 1500[mV]

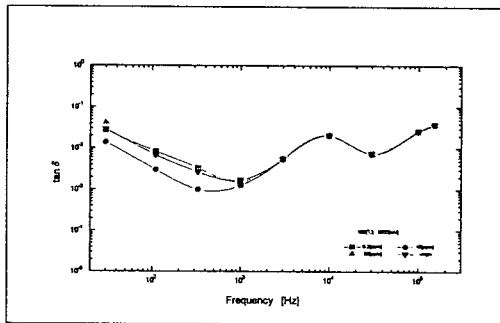


Fig. 9. Frequency dependence of  $\tan\delta$  at 100[°C], 1500[mV]

그러나 고주파수 영역에서의 경향은 인가전압 500[mV]인 경우와 거의 유사하게 나타나며 진폭이 약간 증가된 것을 확인할 수 있다. 특히 온도 80[°C]와 100[°C]에서 BTA 함유량이 10[ppm]인 시료의 저주파수 영역에서의 경향은 시료를 구성하고 있는 광유의 물성을 고려해 볼 때, 유동성 증가로 인해 이온이나 캐리어 등이 도전성에 기여하므로 열적 안정성이 광유에 비해 우수한 알킬벤젠유의 유전특성이 지배적으로 나타나기 때문으로 생각된다.

#### 4. 결론

합성 절연유 7종 2호에 대한 물성 및 전기적 특성을 실험한 결과는 다음과 같다.

##### < 시료의 물성 >

시료 내에 포함된 것으로 보이는 OH기로 나타나는 파수 3400~3450[cm<sup>-1</sup>]의 흡수 피크는 BAT가 함유됨으로 인해 고립 전자쌍을 갖는 질소원자(N)와 반응하여 흡수 피크가 약하게 나타나는 것을 확인하였다.

##### < 유전 특성 >

1) 저전압·저온 영역에서는 시료를 구성하고 있는 광유의 영향이 지배적으로 나타나며 온도가 높아지면 BTA가 용융되어 유전특성이 우수해지는 것으로 확인되었다.

2) BTA 함유량에 대해서는 0.2[ppm]인 경우 함유량이 미소하여 이온이나 캐리어 등에 영향을 미치지 못하고 오히려 불순물로써 작용하는 것으로 생각되며 30[ppm]인 경우는 반대로 함유량이 과다하여 역효과를 초래하는 것으로 생각된다.

10[ppm]인 경우 유전정점의 주파수 의존 특성이 우수한 것으로 확인되었다.

3) 고전압·고온에서는 광유보다 열적 안정성이 우수한 알킬벤젠유의 영향으로 저주파수 영역에서는 주파수 증가에 따라 유전정점은 감소하며 고주파수 영역에서는 주파수의 기여에 의해 나타나는 피크를 제외하면 증가하는 것을 확인하였다.

4) BTA는 유동대전 억제제로써 뿐만 아니라 열화진전 억제에도 효과적이라고 생각되며 적당량의 알킬벤젠유 혼합은 열적 안정성 향상에 기여하는 것으로 생각된다.

본 연구는 1997년도 한국전력공사의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

#### References

1. A.P. Washabaugh, M. Zahn ; Flow Electrification Measurements of Transformer Insulation using a Couette Flow Facility, IEEE Trans. on Diele. and Elec. Ins., Vol.3, No.2, pp. 161-181 (1996)
2. H. Okubo et al. ; Suppression of Static Electrification of Insulating Oil for Large Power Transformers, IEEE Trans. on Power Appa. and Sys., Vol. PAS-101, No.11, pp. 4272-4280 (1982)
3. 강성화, 임기조 외 다수 ; 변압기유의 유동대전 현상에 관한 연구, 전기학회 논문지 39권 6호, pp. 568-576 (1990)
4. 家田 正之 外 3人; “誘電體 現象論”, 電氣學會, pp 242-258 (1985)
5. I.A. Metwally ; Characterization of Static Electrification in Power Transformers, IEEE Trans. Diele. and Elect. Insul. Vol. 3, No. 2, pp. 307-315 (1996)