

합성절연유의 전기전도특성 Electrical Conduction Properties of Synthetic Fluids

조경순, 최봉철, 이종필, 이수원*, 신현택, 홍진웅

Kyung-Soon Cho, Bong-Cheol Choi, Jong-Pil Lee, Soo-Won Lee*, Hyun-Taek Shin, Jin-Woong Hong

Dept. Electrical Engineering, Kwangwoon University

* : Dept. Electric Control, Korea Railroad College

Abstract-A study has been carried out electrical conduction properties of synthetic fluids No. 2 of KS class VII used for insulating and cooling the power device. BTA(Benzotriazole) as the streaming electrification suppressant additive is added to the oil, and the change of physical and electrical properties due to different BTA concentration is investigated. From the result of FTIR spectrum, it is confirmed that the absorption peak in wavenumber 3400-3450[cm⁻¹] is smaller and disappeared by adding BTA to the oil. It is considered that the effective content of BTA is about 10[ppm] from the result of electrical conduction experiment.

1. 서론

합성유인 실리콘유(Silicone oils)나 알킬벤젠유(Alkyl-benzene oils)는 광유에 비하여 전기 절연성이나 여러 가지 물성적 측면에서 고려해 볼 때, 모든 특성이 우수하기는 하나 가격이 고가인 것이 단점이다. 따라서 최근에는 저가의 광유와 고가의 합성유를 일정비율로 혼합하여 결점을 보완하고 우수한 전기적특성을 갖는 합성절연유에 대하여 관심이 높아지고 있어, 광유-알킬벤젠유를 4 : 6으로 혼합한 7종 2호 절연유가 가격면에서도 경쟁력이 우수하여 특히 KS, JIS에서는 최근 대용량변압기와 특수 기기용 절연유로 많이 사용되고 있다. 그러나 절연과 냉각용 재료인 합성 절연유 7종 2호에 대하여 열화에 따른 절연성 저하, 주위의 영향을 받는 액체 절연유로서 불순물의 영향, 첨가제에 따른 영향 등과 같은 물성 및 전기적 특성에 관한 연구는 현재까지 미흡했던 것이 사실이다.

본 논문에서는 합성 절연유 7종 2호에 대하여 유동대전 억제제로 많이 사용되는 BTA(Benzotriazole)를 첨가량 변화에 따라 시료를 제작하고, 유동대전 억제제인 BTA가 물성 및 전기전도에 미치는 영향에 대한 연구를 하였다.

2. 시료의 제작 및 실험방법

2-1. 시료의 제작

본 실험에 사용된 시료는 특고압 변압기의 절연과 냉각을 위한 절연유로 이용되고 있는 합성 절연유 7종

2호로써 광유 1종 2호 40[%]와 알킬벤젠유 2종 2호 60[%]를 혼합한 것을 선택하였으며, 그 기초 물성은 다음 표 1과 같다. 그리고 유동대전 억제제로 사용되고 있는 BTA의 함유량을 각각 0.2[ppm], 10[ppm], 30[ppm]이 되도록 교반시켜 세 종류의 시료를 제작하였다. 시료의 교반 후에 교반 과정에서 발생된 기포에 의한 시료의 물성 시간은 모두 동일하게 9시간으로 설정하였으며, 교반 및 전기적 특성에 미치는 영향을 최소화하기 위해 진공 데시케이터 내에서 10⁻²[Torr]로 2시간 동안 진공탈기 과정을 거친 다음 실험을 하였다.

표 1. 원시료의 물성
Table 1. Physical Properties of Specimen

밀도	15[°C]	0.8775 [g/cm ³]
점도	40 [°C]	11.09 [cSt]
	100 [°C]	2.40 [cSt]
유동점	-38 [°C]	
인화점	156 [°C]	
산가	0.009 [mg KOH/g]	
증발량	0.012 [wt%]	
절연파괴 전압 (2.5[mmφ])	30 [kV]	

2-2. 실험방법

시료의 도전성 변화를 조사하기 위하여 각 시료의 체적고유저항을 측정하였으며 온도 범위 20[°C]~120[°C]에서 DC 100[V], 250[V], 500[V], 1000[V]를 인가하여 각 시료의 체적고유저항을 측정하였다. 전압 인가 방법은 일정온도에서 step 인가법에 따라 전압을 인가하고 5분이 경과한 후 측정하였다.

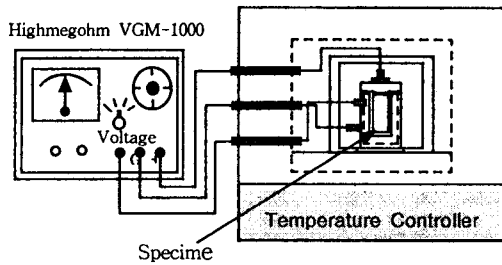


그림 1. 실험장치의 개략도

Fig.1. Schematic diagram of experimental devices

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 물성분석

실험시료의 FTIR 분석도를 그림 2에 나타내었다.

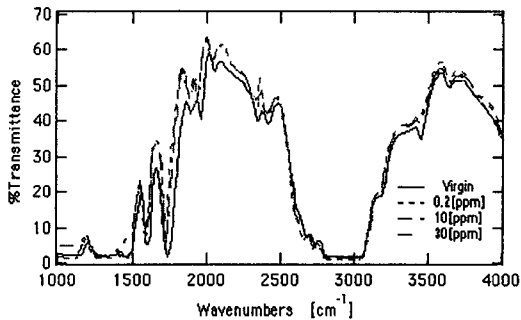


그림 2. 시료의 FTIR 스펙트럼

Fig. 2. FTIR Spectrum of Specimen

합성 절연유 7종 2호 원시료와 BTA를 함유시킨 시료를 비교 검토한 결과 파수 3400~3450[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 인하여 고립 전자쌍을 가진 질소원자(N)가 이 OH기와 결합하므로써 흡수 피크가 약하게 소멸되는 것으로 사료된다.

3-2. 전기전도 특성

제작된 시료에 대한 전기적 특성을 평가하기 위하여 전가전도특성을 측정하였으며 측정된 결과를 기초로 체적고유저항의 온도 의존성을 조사하였다. 인가전압에 따른 체적고유저항의 온도 의존성을 그림 3, 4, 5, 6에 나타내었다.

인가전압이 100[V]에서 원시료의 경우 온도 증가에 따라 전도전류는 점차 증가하는 경향을 확인할 수 있으며 이는 증가된 온도로 인해 공급되는 열에너지가 증가하여 도전성 캐리어들을 활성화시키기 때문에 전도전류가 온도 증가에 따라 점차 증가하는 것으로 생각된다. 또한 전극과의 계면에 형성된 전기 이중층의 영향으로 열전자 방출이 저전계에서도 발생하여 도전성에 기여하는 것으로 생각된다.

BTA가 첨가된 시료의 경우, 미세 입자로 된 첨가물인 점을 고려하면 불순물로 작용하여 이온 생성의 원인을 제공하므로써 도전성에 기여하기 때문에 원시료에 비해 전류가 크게 나타나는 것으로 생각된다. 그러나 10[ppm]이 첨가된 시료의 경우는 전극과의 계면에 형성된 전기 이중층의 영향을 억제하는데 효과적이어서 BTA가 첨가된 시료들 중에서는 가장 우수하게 나타나는 것으로 생각된다. 이에 비하여 30[ppm] 함유된 시료는 BTA 함유량이 과다하여 오히려 반대 극성의 이온을 생성하므로써 전도전류가 크게 나타나며, 0.2[ppm]이 함유된 시료는 전기 이중층의 영향을 억제하는 데는 미소량이어서 오히려 불순물로서의 영향이 크게 나타나기 때문에 전류가 확연히 크게 나타나는 것으로 생각된다.

온도 증가에 따라서는 시료의 유동성이 증가하고 시료 내에 포함된 알킬벤젠류의 영향으로 전도전류의 증가는 둔화되나, 실험온도가 100[°C] 이상이 되면 공급되는 열에너지 증가의 영향이 지배적으로 나타나므로 다시 증가되는 것을 확인할 수 있다.

인가전압이 250[V]로 높아지면 각 시료의 전도전류는 선형적으로 증가되는 경향을 보이며 실험온도가 100[°C] 부근으로 되면 미세 입자로 존재하던 BTA가 용융되면서 10[ppm], 30[ppm] 함유된 시료의 경우 전류가 거의 원시료의 수준과 동일하게 회복되나, 0.2[ppm] 함유된 시료는 BTA가 불순물로서 영향이 지배적으로 나타나기 때문에 BTA가 용융되어도 크게 영향을 미치지 못하고 절연성이 저하된 상태를 유지하는 것으로 생각된다.

인가전압이 500[V]로 상승되면 인가전압 상승에 따라 전극으로부터의 캐리어 주입이 용이해지고 이러한 캐리어 주입은 열에너지 증가에 따른 영향을 받아 선형

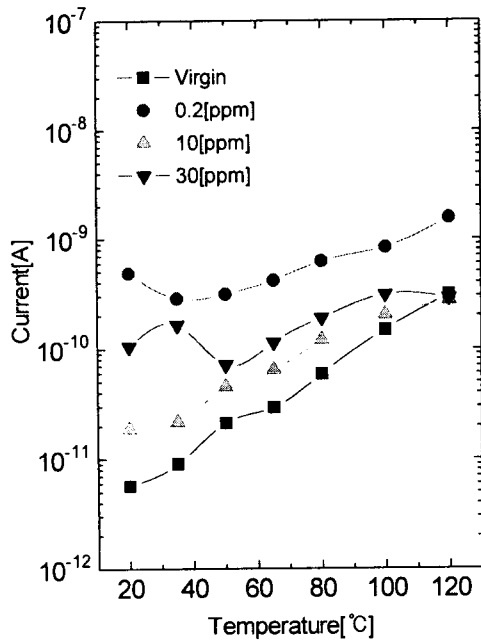


그림 3. 100[V] 인가시 전도전류의 온도의존성
Fig. 3. Temperature dependence of conduction current in 100[V]

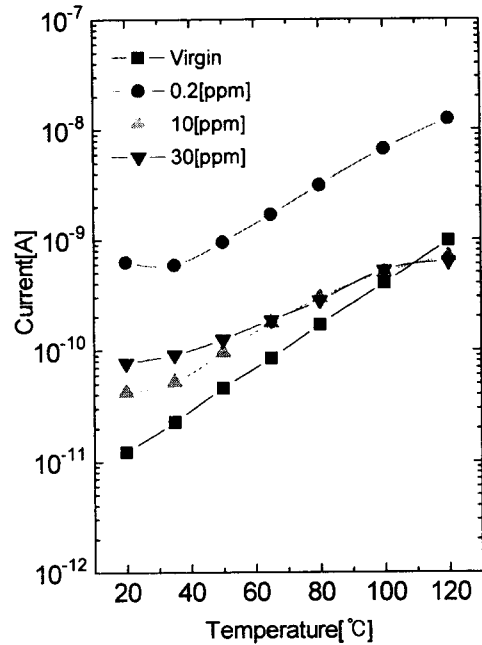


그림 4. 250[V] 인가시 전도전류의 온도의존성
Fig. 4. Temperature dependence of conduction current in 250[V]

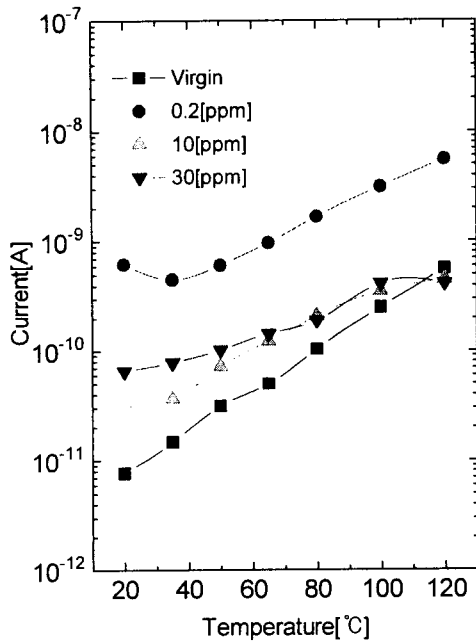


그림 5. 500[V] 인가시 전도전류의 온도의존성
Fig. 5. Temperature dependence of conduction current in 500[V]

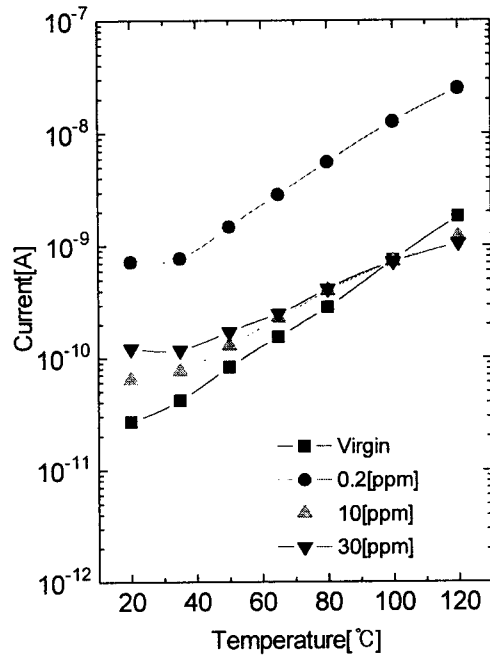


그림 6. 1000[V] 인가시 전도전류의 온도의존성
Fig. 6. Temperature dependence of conduction current in 1000[V]

적으로 증가되는 것을 볼 수 있다. 그러나 BTA가 불순물로서 작용하는 것으로 생각되는 0.2[ppm] 함유된 시료의 경우는 인가전압 변화에 대해 거의 영향을 받지 않고 일정하게 나타나는 것을 볼 수 있으며, BTA가 함유된 시료들은 원시료에 비해 온도 증가에 따른 전류 상승의 폭이 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 BTA가 유동대전 억제제로써의 역할 뿐만 아니라 열화의 진전을 억제하는데도 효과를 나타내는 것으로 생각된다.

인가전압이 1000[V]로 상승되었을 경우는 그림 6과 같이 원시료와 BTA 함유량이 10[ppm], 30[ppm]인 시료간의 차이가 상당히 줄어든 것을 확인할 수 있으며 BTA 함유량이 0.2[ppm]인 시료는 인가전압 500[V]인 경우와 유사하게 나타남을 확인할 수 있다.

한편 Arrhenius의 식 $\sigma = \sigma_0 \exp(-\phi/kT)$ 를 이용 측정된 도전율로부터 $\ln \sigma$ 와 $1/T$ 의 관계에서 기울기를 구하여 도전을 활성화 에너지를 구한 결과 0.138 ~ 0.654 [eV]를 얻었다.

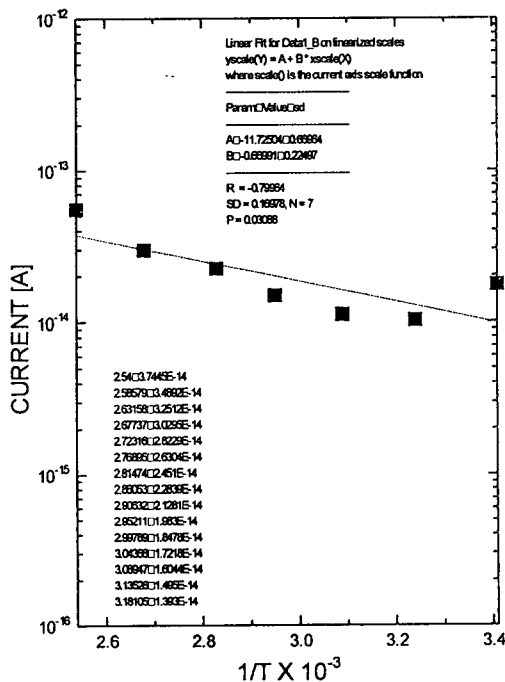


그림 7. 0.2[ppm] 100[V] 시료의 아레니우스 플롯
Fig. 7. Arrhenius plot of 0.2[ppm] in 100[V]

표 2. 시료의 활성화 에너지
Table 2. The activation energy of specimen

Classification	100 [V]	250 [V]	500 [V]	1000 [V]
VIRGIN	0.401 [eV]	0.427 [eV]	0.436 [eV]	0.654 [eV]
0.2 [PPM]	0.138 [eV]	0.247 [eV]	0.325 [eV]	0.380 [eV]
10 [PPM]	0.304 [eV]	0.289 [eV]	0.303 [eV]	0.312 [eV]
30 [PPM]	0.155 [eV]	0.205 [eV]	0.228 [eV]	0.236 [eV]

4. 결 론

1) BTA의 첨가는 전극면과의 전기 이중층 형성에 따른 전하 주입을 억제하기도 하지만 전리에 따른 캐리어 공급원으로써 불순물로 작용하여 원시료에 비해 전도전류가 크게 나타나는 것으로 생각된다.

2) BTA 함유량이 과다할 경우 BTA와 반응하는 것으로 추정되는 정이온과 반대 극성을 갖는 부이온의 농도가 증가하여 도전성에 기여하는 것으로 생각되며 극히 미량이 첨가될 경우 대전 억제제로써 작용하지 못하고 미세 입자 불순물로 작용하여 오히려 도전성 증가에 기여하는 것으로 생각된다.

3) BTA가 함유된 시료들 중에서는 10[ppm] 함유된 시료의 전기전도 특성이 우수하게 나타남을 확인하였다.

4) BTA가 함유된 시료의 전도전류는 온도의 변화에 대해 작은 폭의 감소를 나타내는 것으로 보아 대전 억제제로써의 작용뿐만 아니라 열화 진전을 억제하는데 또한 효과적이라고 생각된다.

Reference

1. M. Ikeuchi, M. Koiwa, Y. Ohashi; "A Compact Electronic Ignition System", Mitsubishi Denki Giho Vol. 70, No.9, pp 57~60 (1996)
2. S.D.Walters, P. A. Howson; "Modelling of high voltage ignition sparks produced by I.C. engine ignition systems", Proceedings of the universities Power Engin. Conf. V 3, pp 716~719 (1996)
3. I.A. Metwally; "Characterization of Static Electrification in Power Transformers", IEEE Trans. Dielect. and Elect. Insul. Vol. 3, No. 2, pp 307~315 (1996)