

합성절연유의 전기적 특성에 미치는 BTA의 영향

논문
11-2-13

The Influence of the BTA on Electrical Properties of Synthetic Fluids.

신종열*, 신현택*, 홍진웅*

(Jong-Yeol Shin, Hyun-Teak Shin, Jin-Woong Hong)

Abstract

Synthetic fluid, class 7 group 2, as an insulating and cooling material is selected as specimen, and it is studied for the physical and electrical properties. Also, Benzotriazole(following as BTA) known as a suppressant of streaming electrification is added to it, and the change of physical and electrical properties by addition of BTA is investigated.

From the spectrum of FT-IR, it is confirmed that the absorption peak in wavenumbers 3400~3450[cm⁻¹] is small or disappears when BTA is added.

AC breakdown strength and volume resistivity of each specimen are investigated. It is considered that the effective content of BTA is about 10[ppm] for the suppression of electrification in this experiment.

Key Word(중요 용어) : Synthetic Fluids(합성절연유), Benzotriazole(BTA), Streaming Electrification(유동대전), Dielectric Strength(절연파괴 강도), Volume Resistivity(체적고유저항)

1. 서 론

광유의 대부분은 나프텐계 원유에서 정제되지만, 나프텐계 원유의 공급 부족으로 최근에는 파라핀계 유에 대한 관심이 높아지고 있으며, 또 각종 무기질계 합성 절연유의 개발과 실용화에 맞추어 이들 절연유의 품질 향상, 가격 저하 등이 이루어지고 있다. 그리고 절연유의 결점을 보완하기 위하여 두 가지 절연유의 장점을 취하는 형태로 각종 절연유를 혼합해서 이용하기도 한다.^{1,2)}

또한, 전기기기의 진보에 따라 절연유는 광유에서 합성유로 변환되어 왔다. PCB, 알킬벤젠, 폴리부텐 등이 1940년대부터 1960년대에 실용화 되었다. 1972년에 PCB의 전기기기에 대한 사용이 금지됨에 따라 다양한 PCB 대체유가 개발되고 있는데 현재까지 알킬디페닐에탄, 알킬나프탄, 실리코유, 에스테르유 등으로 이들은 단독 또는 혼합형태로 사용되고 있다.³⁾

광유-알킬벤젠 합성유는 1978년 JIS-7종 절연유로 지정되어 최근에는 최적 방향족성, 탄화 안정성의 확보 때문에 광유-알킬벤젠 혼합 절연유의 연구가 행해지고 있으며, 알킬벤젠의 특질인 탄화안정성, 부식성, 수소가스 흡수성, 전기적 특성이 광유의 품질 향상에 기여하기 때문에 요구 특성에 맞추어 배합하는 것이 가능하다. 절연유에서 Silicone oils나 Alkylbenzene oils는 광유나 기타 절연유에 비하여 전기 절연성이나 여러 가지 물성적 측면에서 우수하나 가격이 고가이므로, 최근에는 알킬벤젠유와 광유를 일정한 비율로 혼합한 절연유 7종 2호가 자동차용 점화코일의 절연과 냉각을 목적으로 사용되고 있다.^{1,4)} 그러나 혼합 합성 절연유의 열화에 따른 절연성 저하, 액체 절연유로써 불순물의 영향 및 첨가제에 따른 전기적 안전성에 관한 연구는 현재까지 초보단계이다.

본 논문에서는 점화코일용 절연유로 사용되고 있는 합성 절연유 7종 2호에 대하여 대전 억제제로 많이 사용되는 BTA의 첨가량을 변화시켜 시료를 제작하고, 물성 및 전기적 특성으로 절연파괴와 체적고유저항에 대한 실험을 하였으며 유동대전 억제제인 BTA가 전기적 특성에 미치는 영향에 대한 연구를 하였다.^{2),4)~6)}

* : 광운대학교 공대 전기공학과

** : 삼육전문대학 자동차 정비과

(서울시 노원구 월계동 447-1, Fax:02-915-4630

E-mail: ealab@daisy.kwangwoon.ac.kr)

1997년 9월 20일 접수, 1997년 12월 26일 심사완료

2. 사용 시료 및 실험

2-1. 사용 시료⁴⁾

본 실험의 시료는 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 2-1과 같다.

표 2-1. 시료의 물성
Table 2-1. The physical properties of specimen

밀도	0.8775 [g/cm ³]	15 [°C]
점도	11.09 [cSt]	40 [°C]
	2.40 [cSt]	100 [°C]
유동점	-38 [°C]	
인화점	156 [°C]	
증발량	0.012 [wt%]	
절연파괴 전압	30 [kV]	2.5[mmΦ]

그리고 최근 유동대전 억제제로 사용되고 있는 BTA의 화학구조식과 특성을 각각 그림 2-1과 표 2-2에 나타내었다.

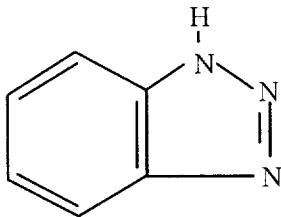


그림 2-1. BTA의 화학구조
Fig. 2-1. Chemical structure of BTA

표 2-2. BTA의 물성
Table 2-2. Physical properties of BTA

Molecular weight	119 [g/mole]	
Melting point	90~95 [°C]	
Solubility	120 [mg/ℓ]	20 [°C]
Vapor pressure	0.04 [mmHg]	30 [°C]
	0.10 [mmHg]	100 [°C]

시료 제작은 합성 절연유 7종 2호 원시료의 광유 혼합량을 기준으로 유동대전 억제제인 BTA 함유량을 각각 0.2[ppm], 10[ppm], 30[ppm]이 되도록 교반시켜 세 종류의 시료를 제작하였다.

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

2-2. 실험방법

1). 물성분석¹⁾

제작된 각 시료의 물성을 연구하기 위하여 상온에서 광학적 분석 방법을 이용하였으며, 광학적 분석 방법으로는 적외선분광(FT-IR ; Fourier Transform Infrared Spectroscopy)은 SHIMADZU IR-435를 이용하여 각 시료의 물성을 분석하였다.

2). 전기적 특성^{2,4)}

(1) 절연파괴

BTA가 첨가된 합성 절연유에 대한 절연파괴 실험으로 교류 절연내력을 측정하기 위하여 3 [kV/sec] 전압 상승율로 50[kV]까지 출력이 가능한 절연내력 시험장치인 내전압 시험기(MUSASI Co. Ltd. IP-5005S)를 이용하였다.

또한 실험에 사용된 전극장치는 직경 12.5[mmΦ]의 구대구 전극을 이용하였고, 전극 간격은 마이크로미터를 이용하여 1[mm]로 조절하였다. 시료의 온도 제어를 위한 히타는 디지털 온도조절계를 이용 측정온도를 실온에서 200[°C]를 유지할 수 있도록 연구실에서 자체 제작한 자동 온도조절장치를 사용하여 실험하였다.

(2) 체적고유저항

전기적 특성중 도전성의 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 Step 인가법에 따라 전압을 인가하고 5분이 경과한 후에 지시된 체적고유저항을 기록하였다.

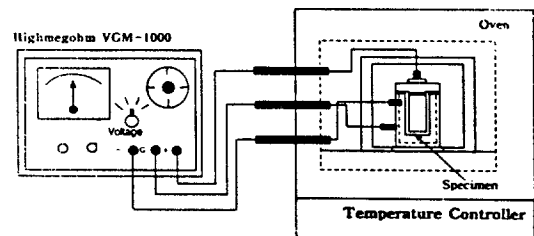


그림 2-2. 실험장치의 블럭선도
Fig. 2-2. Schematic diagram of experimental devices

그림 2-2는 체적고유저항 특성을 측정하기 위한 실험장치의 개략도이다.

3. 실험결과 및 검토

3-1. 시료의 물성

시료의 FT-IR 분석도를 그림 3-1에 나타내었다.

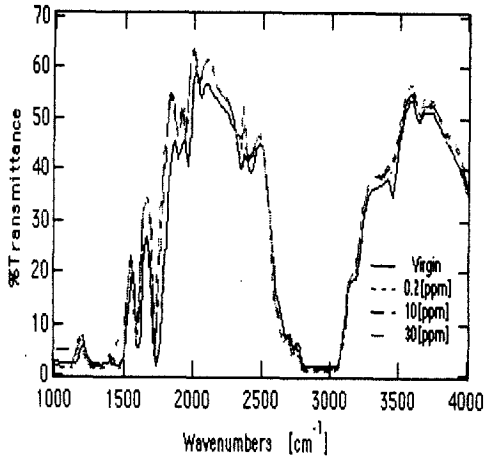


그림 3-1. 시료의 적외선 스펙트라

Fig. 3-1. FT-IR of specimen

합성 절연유 7종 2호 원시료와 BTA를 함유시킨 시료를 비교 검토한 결과 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 인하여 고립 전자쌍을 가진 질소원자(N)가 이 OH기와 결합하므로써 흡수 피크가 약하게 소멸되는 것으로 사료된다.^(6,7)

3-2. 절연파괴 특성

합성 절연유 원시료와 BTA를 0.2[ppm], 10[ppm], 30[ppm]을 첨가한 시료에 대해 전기적 특성중 AC 절연파괴 강도의 온도 의존성을 도시한 것이 그림 3-2이다.

그림에서 원시료의 절연파괴 강도는 80[°C]까지 증가되지만 그러나 BTA가 첨가된 시료의 절연파괴 강도는 원시료보다 첨가량이 0.2, 10, 30[ppm]으로 증가함에 따라 최대 절연파괴값이 나타나는 온도는

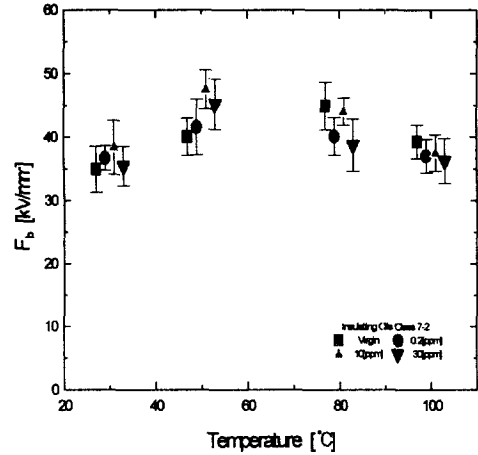


그림 3-2. 절연파괴 강도의 온도의존성

Fig. 3-2. Temperature dependence of dielectric strength

저온측으로 이동됨을 확인할 수 있다. 이것은 원시료의 경우 공기의 용해도 영향을 받는데 일반적으로 80 ~ 90[°C]에서 가장 높은 용해도를 나타내기 때문이며, BTA가 첨가된 시료에서는 첨가제가 불순물로 작용하여 절연파괴 경로를 제공하기 때문으로 사료된다.

그리고 60[°C]이하 저온 영역에서는 BTA가 첨가된 시료의 절연 파괴강도가 원시료 보다 우수하고 특히 10[ppm] 첨가된 시료의 절연특성이 가장 우수하다. 이 같은 현상은 액체 절연체에서 유동성이 절연파괴에 영향을 미치나, 열에 의한 기여보다는 BTA가 첨가된 시료의 경우 캐리어의 이동을 방해하므로 BTA가 첨가된 시료의 절연파괴 전압이 원시료보다 높아짐을 확인할 수 있다.

그러나 온도가 100[°C]로 높아지면 절연파괴 강도는 80[°C]때와 달리 감소하는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 공기의 용해도가 감소함과 동시에 측정 온도가 BTA의 용점보다 높으므로 해리되거나 전극으로부터 전자의 주입이 용이해져 시료내 캐리어의 밀도가 높아져서 전자적 파괴가 발생하므로 BTA가 첨가된 시료의 절연파괴 강도가 원시료보다 낮게 나타난다.⁽⁸⁾

그리고 BTA가 첨가된 시료의 경우 측정온도 범위에서 10[ppm] 시료의 절연파괴특성이 우수하므로 효과적인 유동대전 억제효과와 온도에 대한 안정성이 있음을 확인할 수 있다.

3-3. 체적고유저항 특성

제작된 시료에 대한 전기적 특성을 평가하기 위하여 체적고유저항을 측정하였으며 측정된 결과를 기초로 체적고유저항의 온도 의존성을 조사하였다.

인가전압에 따른 체적고유저항의 온도 의존성을 그림 3-3, 4, 5, 6에 각각 나타내었다.

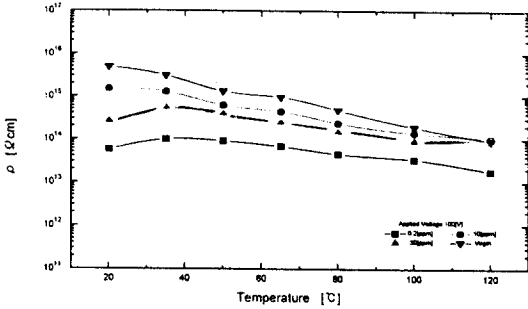


그림 3-3. 체적고유저항의 온도의존성 (100[V])
Fig. 3-3. Temperature dependence of volume resistivity in 100[V]

원시료의 경우 온도 증가에 따라 체적고유저항은 점차 감소하는 경향을 확인할 수 있으며 증가된 온도로 인해 공급되는 열에너지가 증가하여 도전성 캐리어들을 활성화시키기 때문에 체적고유저항이 온도 증가에 따라 점차 감소하는 것으로 생각된다.

그러나 BTA가 첨가된 시료의 경우, 첨가물이 불순물로 작용하여 이온 생성의 원인을 제공하므로써 도전성에 기여하기 때문에 원시료에 비해 체적고유저항이 낮게 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 체적고유저항이 낮게 나타나며, 0.2[ppm]이 함유된 시료는 불순물로서의 영향이 크게 나타나기 때문에 체적고유저항이 확연히 낮게 나타나는 것으로 생각된다.

온도 증가에 따라 시료의 유동성이 증가하고 시료 내에 포함된 알킬벤젠류의 영향으로 체적고유저항의 감소가 둔화되나, 실험온도가 100[°C]이상이 되면 공급되는 열에너지 증가의 영향이 지배적으로 나타나

므로 체적고유저항은 다시 감소되는 것을 확인할 수 있다.

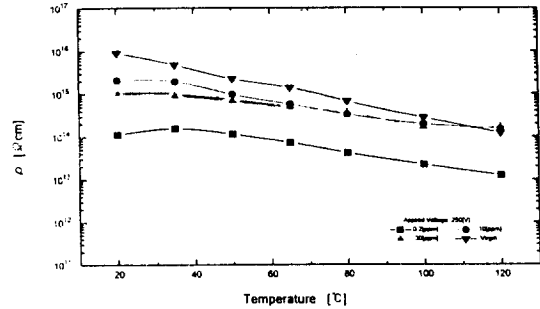


그림 3-4. 체적고유저항의 온도의존성 (250[V])
Fig. 3-4. Temperature dependence of volume resistivity in 250[V]

인가전압이 250[V]로 높아지면 각 시료의 체적고유저항은 선형적으로 감소되는 경향을 보이며 실험온도가 100[°C] 부근으로 되면 미세 입자로 존재하던 BTA가 용융되면서 10[ppm], 30[ppm] 함유된 시료의 경우 체적고유저항이 거의 원시료의 수준과 동일하게 회복되나, 0.2[ppm] 함유된 시료는 BTA가 불순물로서 영향이 지배적으로 나타나기 때문에 BTA가 용융되어도 체적고유저항에는 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 선형적으로 감소되는 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 체적고유저항의 저하 폭이 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 BTA가 유도대전 억제제로써의 역할 뿐만 아니라 열화의 진전을 억제하는데도 효과를 나타내는 것으로 생각된다.⁵⁾

인가전압이 1000[V]로 상승되었을 경우는 그림 3-6과 같이 원시료와 BTA 함유량이 10[ppm], 30[ppm]인 시료간의 체적고유저항 차이가 상당히 줄어들 것을 확인할 수 있으며 BTA 함유량이 0.2[ppm]

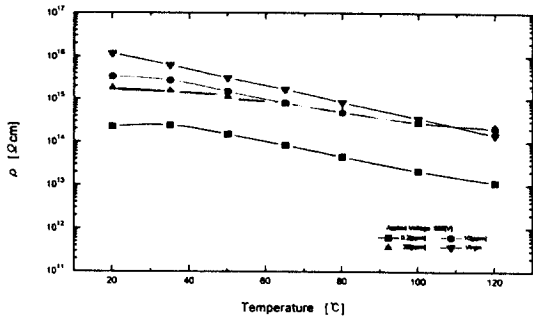


그림 3-5. 체적고유저항의 온도의존성 (500[V])
 Fig. 3-5. Temperature dependence of volume resistivity in 500[V]

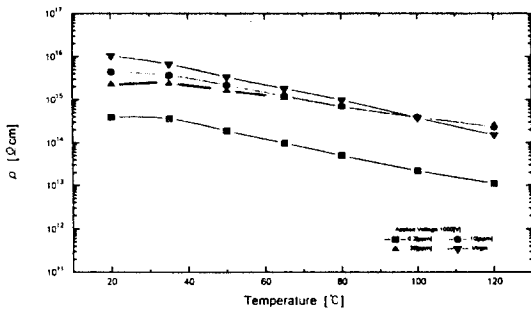


그림 3-6. 체적고유저항의 온도의존성 (1000[V])
 Fig. 3-6. Temperature dependence of volume resistivity in 1000[V]

인 시료는 인가전압 500[V]인 경우와 유사하게 매우 적게 나타남을 확인할 수 있다.

4. 결 론

BTA가 합성 절연유의 전기적특성에 미치는 영향을 조사한 결과

- 1) 시료 내에 포함된 OH기로 나타나는 파수 3400~3450[cm⁻¹]의 흡수 피크는 BTA가 함유됨으로 인해 고립 전자쌍을 갖는 질소원자와 반응 흡수 피크가 약해진다.
- 2) 온도 60[°C] 이하의 저온 영역에서는 BTA 첨가량이 10[ppm]인 시료의 절연파괴 강도가 우수하며, 온도 60[°C] 이상의 고온 영역에서는 원시료 절연파괴강도가 우수함을 확인하였다.

- 3) BTA가 첨가된 시료에서 BTA 첨가량이 10[ppm]인 시료의 절연파괴 강도가 우수하게 나타나므로 대전 억제에 효과적인 첨가량은 10[ppm] 정도로 사료된다.
- 4) BTA가 함유된 시료들 중에서는 10[ppm] 함유된 시료의 체적고유저항 특성이 우수하게 나타남을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 1997년 광운대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- 1) 日本石油學會, 電氣絶緣油ハンドブック, 講談社, pp 3 - 7, pp 175 - 194, 1987.
- 2) 押田勇雄, 液體の電氣物性, 眞書店, pp 257- 299, 1975.
- 3) 家田正之 外 3人, 誘電體 現象論, 電氣學會, pp 242-258, 1985.
- 4) 日本工業規格 : JIS C-2320, 電氣絶緣油, (1993)
- 5) M.Yasuda, K. Goto, "SUPPRESSION OF STATIC ELECTRIFICATION OF INSULATING OIL FOR LARGE POWER TRANSFORMERS", IEEE Trans. on Power and Systems, Vol. PAS-101, No. 11, pp 4272 - 4280, 1982.
- 6) J.K.Nelson, "Dielectric Fluid in Motion", IEEE Electrical Insulation Magazine, 10, 3, pp.16-28, 1994.
- 7) 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.
- 8) 烏山 四男 外 2人, 放電ハンドブック, 電氣學會, pp. 525-569, 1973.
- 9) I.A. Metwally, "Characterization of Static Electrification in Power Transformers", IEEE Trans. Diele. and Elect. Insul. Vol. 3, No. 2, pp. 307-315, 1996.
- 10) T. Miyamoto and M. Tsuchie, "Electrical Conduction in Insulating Oil", Japan. JIEE., 98, 1, pp 17-22, 1978.