

합성절연유의 절연파괴 특성에 미치는 유동대전 억제제의 영향

송병기, 이수원*, 신종열, 신현택, 홍진웅
 광운대학교 공과대학 전기공학과 * : 철도전문대 신호제어과

The Effect of Antistatic Agent for Streaming Electrification on the Breakdown Characteristics of Synthetic Fluids

Byung-Gi Song, Soo-Won Lee*, Jong-Yeol Shin, Hyun-Teak Shin, Jin-Woong Hong
 Kwangwoon University * : Korea Railroad College

ABSTRACT - The electrical breakdown characteristics of the synthetic fluids No. 2 of KS class VII used for insulating and cooling the materials for the ignition coil are studied.

Also, Benzotriazole(BTA) as the streaming electrification suppressant additive is added to the oil, and the change of electrical properties due to different BTA concentration is investigated. To investigate the electrical characteristics, the breakdown strength of each specimen by an experiment for AC breakdown are analyzed. The breakdown strength of specimen by adding BTA is higher than virgin specimen in low e region, but lower than that in high region because of melting BTA. It is considered that the effective content of BTA as charge suppressant additive is about 10[ppm] from the results of AC breakdown.

절연유로 이용되고 있는 합성 절연유 7종 2호로써 광유 1종 2호 40 [%]와 알킬벤젠유 2종 2호 60 [%]를 혼합한 것을 선택하였다. 시료 제작은 합성 절연유 7종 2호 원시료의 광유 혼합량을 기준으로 유동대전 억제제인 BTA (Benzotriazole)의 첨가량을 각각 0.2 [ppm], 10 [ppm], 30 [ppm]이 되도록 교반시켜 세 종류의 시료를 제작하였으며, 제작된 시료의 구분은 아래 표 1과 같다.

표 1. 시료의 구분
 Table 1. The classification of specimen

Classification	Amount [ml]	Concentration of BTA[ppm]
Specimen #1	1000	0
Specimen #2		0.2
Specimen #3		10
Specimen #4		30

1. 서 론

실리콘유(Silicone oils)나 알킬벤젠유(Alkylbenzene oils)는 광유나 기타 절연유에 비하여 전기 절연성이나 여러 가지 물성적 측면에서 고려해 볼 때 우수하기는 하나 가격이 고가라는 점에서 사용 상 제약이 따르므로 최근에는 알킬벤젠유와 광유를 일정한 비율로 혼합한 합성 절연유 7종 2호가 사용되고 있다. 자동차 점화코일용 절연유로 사용되고 있는 합성 절연유 7종 2호에 대하여 대전 억제제로 많이 사용되는 BTA(Benzotriazole)를 첨가량 변화에 따라 시료를 제작하고, 물성 및 전기적 특성으로 절연파괴에 대한 실험을 하였으며 유동대전 억제제인 BTA가 전기적 특성에 미치는 영향을 연구하기 위하여 절연파괴특성을 연구하였다.

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. 실험 방법

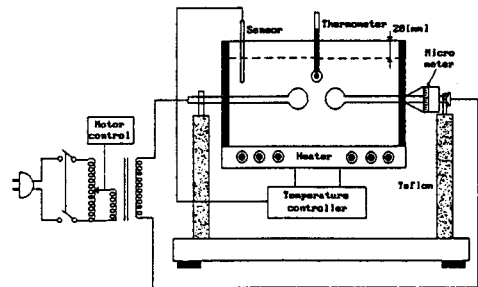


그림 1. 절연파괴 실험장치의 개략도
 Fig. 1. Schematic drawing of experimental devices for electrical breakdown

2. 실험 시료 및 실험

2.1. 실험시료

시료는 자동차용 점화코일의 절연과 냉각을 위한

BTA가 첨가된 합성 절연유에 대한 교류 절연 파괴 실험으로 절연내력을 측정하기 위하여 매초 약 3 [kV] 비율의 전압 상승율을 가진 교류 절연내력 시험장치를 이용하였다. 또한 실험에 사용된 전극은 직경 12.5 [mmφ]의 구대구 전극을 이용하였고, 전극 간격은 1 [mm]로 조절하였다. 그림 1은 절연 파괴 실험을 위한 실험장치의 개략도이다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1. 절연파괴 강도

합성 절연유 7종 2호 원시료와 BTA를 각각 0.2[ppm], 10[ppm], 30[ppm]을 첨가한 시료에 대해 전기적 특성을 평가하기 위한 실험으로 AC 절연 파괴 강도를 측정하였다. 그림 4-3은 합성 절연유 7종 2호 원시료에 대한 절연 파괴 강도의 온도 의존성을 나타낸 그림이다.

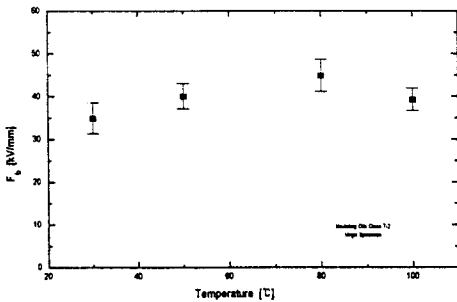


그림 4-3. 원시료에 대한 절연 파괴 강도의 온도 의존성

Fig. 4-3. Temperature dependence of breakdown strength for virgin specimen

원시료에 대한 절연 파괴 강도의 온도 의존성은 그림 4-3에서와 같이 온도 80[°C]까지는 증가하다가 온도 80[°C]를 넘으면 반대로 감소되는 것을 확인할 수 있다. 온도 30[°C]에서는 온도가 낮아 액체 절연체의 점도에 의해 유동성에 기인한 대류현상을 볼 수 없어 전계집중에 따른 캐리어의 증가가 빠르게 진전되어 절연 파괴 경로를 제공하므로써 다소 낮은 절연 파괴 강도를 나타내는 것으로 생각된다.

그러나 온도 50[°C]에서는 온도 상승에 따른 유동성 향상으로 증가된 캐리어가 액체 절연체의 대류현상으로 인해 캐리어의 밀도가 상대적으로 낮아져 전계집중에 따른 캐리어의 증가가 절연 파괴 경로 형성에 기여하지 못하고 방해받을 받아 절연 파괴 강도가 높아진 것으로 생각된다. 또한, 온도 80[°C]에서는 진공탈기된 액체 절연유의 경우 상용 주파수 (60[Hz]) 교류를 인가하면 온도 80[°C]~90[°C]영역에서 최대 절연 파괴 강도를 얻을 수 있다고 보고되어 있으며, 실험결과에서도 이를 확인할 수 있다. 증가된 온도에 따른 열에너지의 공급으로 캐리어가 증가되기는 하지만 액체 절연체의 유동이 더욱 활

발해져 유동에 따른 절연 파괴 기구 진전이 방해받을 받아 증가된 캐리어가 절연 파괴 경로 형성에 기여하지 못하여 절연 파괴 강도가 이 온도 영역에서 최대치를 나타내는 것으로 생각된다. 그러나 온도 100[°C]에서는 온도 증가에 따른 높은 열에너지로 인해 캐리어가 급증하고 이렇게 급증한 캐리어가 절연 파괴 경로를 형성하는데 유동성이 억제 영향을 미치지 못하므로 절연 파괴 강도는 다시 낮아지는 것으로 생각된다. 그림 4-4는 BTA 첨가량 0.2 [ppm]인 시료에 대한 절연 파괴 강도의 온도 의존성을 나타낸 그림이다. 온도 30[°C]에서는 실험온도가 낮아 원시료와 거의 유사한 절연 파괴 강도를 나타내며 BTA의 첨가량도 극히 미량이어서 BTA 첨가에 따른 영향도 거의 나타나지 않는 것으로 보인다. 그러나 온도가 50[°C]로 상승하면 온도 상승에 따른 유동성의 향상이 확연히 나타나고 BTA가 정극성 캐리어들과 반응하므로써 온도 상승으로 증가된 열에너지로 캐리어의 수는 증가하지만, 캐리어의 밀도가 상대적으로 낮아져 절연 파괴 경로 형성에 보다 높은 전계를 요구하게 되므로써 절연 파괴 강도가 높아진 것으로 생각된다. 그러나 BTA의 첨가량이 적어 절연 파괴 강도의 상승에 그다지 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 보이며 유동성 향상에 따른 영향이 지배적으로 나타나기 때문에 원시료의 절연 파괴 강도와 비슷한 결과치를 나타내는 것으로 생각된다.

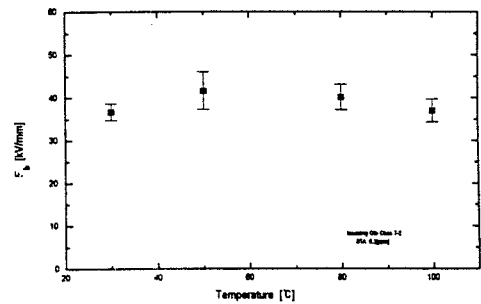


그림 4-4. BTA 첨가량 0.2[ppm]인 시료에 대한 절연 파괴 강도의 온도 의존성

Fig. 4-4. Temperature dependence of breakdown strength for the specimen added 0.2[ppm] BTA

그러나 실험온도가 80[°C] 이상이 되면 BTA의 용융점에 가까운 온도로 인해 BTA가 용융되기 시작하면서 정극성 캐리어들과 반응하지 못하고 오히려 캐리어를 공급하는 불순물로 작용하여 절연 파괴 강도가 원시료에 비해 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 온도 100[°C] 이상이 되면 이미 BTA는 용융되어 대전 억제제로써 작용하지 못하며 열에너지의 증가에 따른 캐리어의 급증이 절연 파괴 경로 형성에 지배적으로 기여하여 절연 파괴 강도는 더 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 4-5는 BTA 첨가량 10[ppm]인 시료에 대한

절연파괴 강도의 온도 의존성을 나타낸 그림이다.

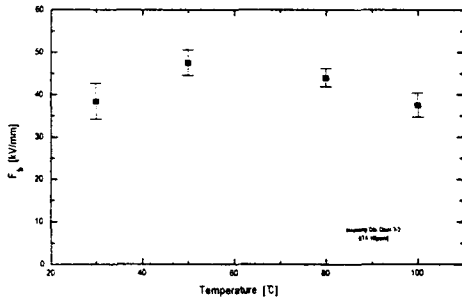


그림 4-5. BTA 첨가량 10[ppm]인 시료에 대한 절연파괴 강도의 온도 의존성

Fig. 4-5. Temperature dependence of breakdown strength for the specimen added 10[ppm] BTA

BTA 첨가량이 10[ppm]으로 증가하면 원시료와 비교하여 열에너지가 캐리어의 증가에 크게 영향을 주지 못하는 50[°C] 이하의 저온 영역에서는 높은 절연파괴 강도를 나타내는 것을 확인할 수 있으나, 50[°C] 이상의 고온 영역에서는 BTA의 일부 용융과 높은 열에너지로 인한 캐리어의 급증으로 절연파괴 강도가 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

온도 30[°C]에서는 원시료와 BTA 첨가량 0.2[ppm]인 시료와 비슷한 절연파괴 강도를 보이며 BTA 첨가에 따른 영향이 뚜렷하게 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다. 온도 50[°C]에서는 역시 유동성 향상이 절연파괴 강도에 영향을 미치며 온도 상승으로 BTA의 반응성이 높아져 확산층 내의 캐리어 농도를 감소시켜 절연파괴 강도가 크게 상승된 것을 확인할 수 있다. 온도 50[°C]에서의 절연파괴 강도를 각 시료별로 비교해 보면 BTA 첨가량이 10[ppm]인 시료가 가장 높게 나타남을 확인할 수 있다. 그러나 측정온도가 80[°C]를 넘으면 높은 열에너지가 캐리어의 급증에 기여하고 상대적으로 BTA는 용융되어 정극성 캐리어와 반응하지 못하여 절연파괴 강도는 다시 원시료 수준으로 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그림 4-6은 BTA 첨가량 30[ppm]인 시료에 대한 절연파괴 강도의 온도 의존성을 나타낸 그림이다. BTA 첨가량이 30[ppm]인 시료 역시 온도 30[°C]에서는 BTA 첨가에 따른 영향이 나타나지 않는 것으로 보이며, 온도 50[°C]에서는 BTA 첨가량이 10[ppm]인 시료에 비해 절연파괴 강도는 오히려 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 BTA를 너무 과다하게 첨가할 경우 정극성 캐리어와 반응하지 못하고 남은 부극성 캐리어의 농도가 높아져 반대 극성의 캐리어가 증가되는 결과를 초래하여 대전 억제에 역효과를 나타내는 것으로 보고 되어 있는데, 이와 같은 원인으로 잉여된 부극성 캐리어가 절연파괴 기구의 진전에 영향을 주어 절연파괴 강도가 낮아지는 것으로 생각된다. 온도가 80[°C]로 증가하면 BTA 용융으로

인해 절연파괴 강도는 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있으며, 온도 100[°C]에서도 다른 시료에 비해 더 낮은 절연파괴 강도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

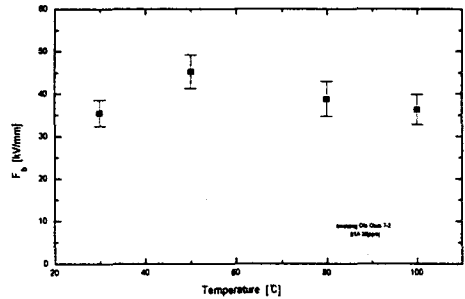


그림 4-6. BTA 첨가량 30[ppm]인 시료에 대한 절연파괴 강도의 온도 의존성

Fig. 4-6. Temperature dependence of breakdown strength for the specimen added 30[ppm] BTA

4. 결 론

BTA가 첨가된 합성 절연유 7종 2호의 전기적 특성을 조사하기 위하여 절연파괴 특성을 연구한 결과 다음과 같다.

온도 50[°C] 이하의 저온 영역에서는 BTA 첨가량이 10[ppm]인 시료의 절연파괴 강도가 우수하게 나타나며, 온도 50[°C] 이상의 고온 영역에서는 BTA 용융으로 인하여 원시료의 절연파괴 강도가 우수하게 나타남을 확인하였다.

BTA 첨가량이 0.2[ppm]인 시료는 첨가량이 극미량이므로 영향이 적으나, 첨가량이 30[ppm]인 시료는 첨가량이 과다하여 부극성 캐리어의 농도를 증가시켜 오히려 절연파괴 강도가 낮아진다.

시료 중에서 BTA 첨가량이 10[ppm]인 시료의 절연파괴 강도가 우수하게 나타남을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] 靜電氣學會技術報告, 靜電氣學會(日本), pp. 9~12 (1990)
- [2] 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)
- [3] M. IKEDA et al; "Breakdown Characteristics of Moving Transformer Oil", IEEE trans. on Power Appa. and Sys., Vol. PAS-100, 2, pp 921~928 (1981)
- [4] M. Ikeda et al ; "Breakdown Characteristics of Moving Transformer Oils", IEEE Trans. on Power Appa. and Sys., Vol. PAS-100, 2, pp. 921 - 928 (1981)