한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집 1997.

BTA가 참가된 변압기유의 체적고유저항특성

Volume Resistivity Characteristics of Transformer Oils Contained BTA

이용우*, 송병기, 김기택, 김석환**, 김왕곤**, 홍진웅
Yung-Woo Lee*, Byung-Gi Song, Dong-Buk Lee, Ki-Teak Lee, Wang-Kon Kim**, Jin-Woong Hong

광운대학교 전기공학과 Dept. of electrical Engineering, Kwangwoon University
* : 충남전문대학 전기과 Dept. of electrical Engineering, Chungnam Junior College
** : 서울산업대학교 전기공학과 Dept. of electrical Engineering, Seoul Nat'l Polytechnic University

Abstract - In order to investigate the volume resistivity on the electrical properties of transformer oils, the Transformer oils contained BTA is prepared, which was classified by the contents of BTA, such as 1[ppm], 10[ppm], 20[ppm], 30[ppm], 50[ppm], respectively.

To measure the physical properties of transformer oils contained BTA, Fourier Transform Infrared Spectroscopy is investigated.

And for the study of electrical properties is made by measuring the volume resistivity of each specimen.

As result of this experiments, it is confirmed that the volume resistivity characteristics of specimen contained BTA 10[ppm] is superior.

1. 서 론

일반적으로 변압기용 절연유(OT)는 액체라는 재료의 특성상 온도가 상승함에 따라 유동이 발생한다. 이때 절연유는 프레스보드나 절연지 그리고 변압기의 코아 등에서 전기 이중층을 형성하며 절연유가 유동하면서 이 전기 이중층은 파괴하여 계면에 형성되어 있던 양이온이 절연유의 흐름에 따라 이동하게 된다.

이와같이 액체 절연유가 유동에 의해 대전전류가 절연유에 흐르는 현상을 유동대전이라 하며 일정한 절연유내에 전하량을 대전도(Changing Tendency)라 한다. 이러한 절연유의 유동대전은 절연성이 우수한 절연체에서 현저하게 나타나는 것으로 알려져 있다.

이러한 액체의 유동으로 인해 발생된 대전전류를 완화시키기 위한 많은 연구가 수행되고 있으며, BTA(Benzotriazole)를 이용한 대전전류 억제방법이 가장 효과적인 것으로 알려져 있다.

그러나 절연유의 성능은 유동대전 특성뿐 아니라 여러가지 전기적 특성에 관한 종합적인 판단을 통하여 결정된다.

본 실험에서는 BTA 첨가제가 변압기유의 전기적 특성에 미치는 영향을 연구하기 위하여 체적고유저항특성을 조사하였다.

2. 시료의 제작 및 물성분석

(1)시료의 제작

표 1. 시료의 구분
Table 1. Classification of the Specimen

구분	시료의 양 : (unit - [ml])	BTA의 첨가량 : (unit - [mg])	함유량 : (unit - [ppm])
#1	2000[ml]	0[mg]	0[ppm]
#2		2[mg]	1[ppm]
#3		20[mg]	10[ppm]
#4		40[mg]	20[ppm]
#5		60[mg]	30[ppm]
#6		100[mg]	50[ppm]

실험에서 사용된 시료는 순수국산으로써 나프탄계

의 순수광유(D사, DNI-4 호)를 사용하였으며 이 절연유에 BTA를 첨가했을 때 나타나는 전기적 특성 변화를 조사하기 위하여 첨가제의 양을 각각 1[ppm], 10[ppm], 20[ppm], 30[ppm], 50[ppm]으로 하여 시료를 제작하였다.

준비된 시료 2000[ml]에 BTA 첨가량 변화에 따른 시료의 구분을 표 1에 나타내었다.

(2) 실험방법

1) 물성분석

광유계 절연유 속에 포함된 탄화수소는 이성체로 구성되어 있어 화학적 구조는 매우 복잡하여 아는 것은 불가능하고 형태만으로 분류하고 있다.

변압기유의 물성을 조사하기 위해 광학적인 분석을 이용하며 본 실험에서는 FTIR을 이용한 결과를 분석하였다.

2) 체적고유저항의 측정

실험에 사용하기 위해 제작된 시료는 기하학적 정전용량이 16[pF]인 액체전극에 주입되는데, 이 과정에서 원하지 않게 발생된 기포가 실험중 시료의 특성에 영향을 주는 또다른 요인으로 작용하는 것을 방지하기 위하여 시료가 주입된 전극을 진공 데시게이터에 넣고 진공펌프를 이용하여 10^{-3}[Torr]정도의 진공도를 유지한 상태에서 2시간동안 방치하였다.

이와 같은 처리과정을 마친 후, 시료가 주입된 액체 전극을 일정한 온도 조건을 유지해 주는 자동 온도조절 장치가 내장된 오븐(ANDO. TO-9B Oven)에 장착하여 실험중 시료에 가해지는 분위기를 조정하였다.

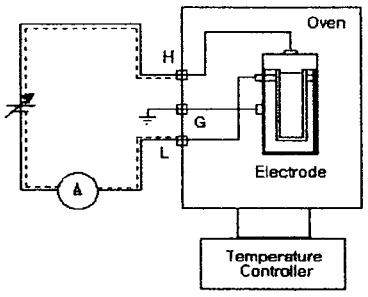

그림 1. 실험장치의 개략도

Fig. 1. Schematic Drawing of Experimental Device

체적고유저항의 측정에는 미소전류계인 VMG-1000 Highmegohm meter를 사용하여 직류전압 100[V], 250[V], 500[V], 1000[V]를 step 인가법에 따라 인가하여 각 시료의 체적 고유저항을 측정하였다.

IEC 등의 국제규정에서는 step 인가법을 이용할 경우 직류전압 인가 1분 후의 체적고유저항을 측정하도록 되어 있으나 본 실험에서는 전압인가 5분 후에 체적 고유저항을 측정하여 기록하였다.

그림 1에 체적 고유저항을 측정하기 위한 실험장치의 개략도를 표시하였다.

3. 실험결과 및 검토

(1) 물성 분석

시료의 물성 분석을 하기 위한 광학적 분석 방법으로 FT-IR을 이용한 시료의 적외선 흡수 spectra를 분석한 결과를 그림 2에 나타내었다.

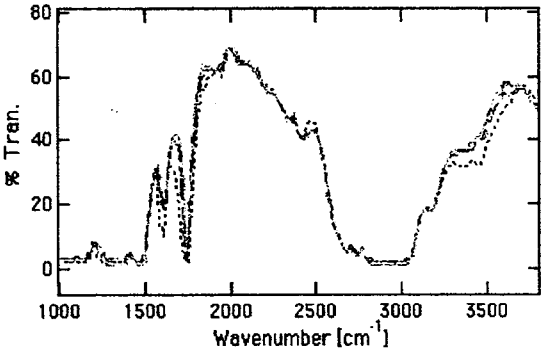

그림 2. 시료의 적외선 스펙트럼

Fig. 2. FTIR Spectrum of the Specimen

변압기의 액체절연유의 BTA 첨가에 따른 FTIR실험 결과를 그림 2에 나타냈었다.

파수 3440~3450[cm^{-1}]에서 나타나는 피크는 원시료의 경우 상당히 큰 값을 나타내지만 BTA가 첨가된 시료의 경우 감소해 있는 것을 볼 수 있다.

이는 -OH기가 BTA의 고립전자쌍을 가진 질소와 결합되면서 점차 그 피크가 감소하는 것이라 생각된다.

(2) 체적고유저항

그림 3은 인가전압 100[V]에서 BTA 첨가량 변화에 따른 체적고유저항의 온도의존성을 나타낸 것이다.

온도 35[℃]이하의 저온영역에서 원시료와 10[ppm]인 시료가 거의 유사한 값을 유지하며 35[℃]이상으로 온도가 증가함에 따라 원시료보다 BTA 첨가량

10[ppm]인 시료의 체적고유저항이 커지면서 온도 70[℃]부근까지 안정된 형태로 나타나고 온도가 70[℃]이상으로 증가하면 선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이처럼 BTA 첨가량 10[ppm]인 시료가 온도가 증가함에 따라 원시료보다 체적고유저항이 크게 나타나는 것은 온도가 증가함에 따라 BTA 첨가량 10[ppm]인 시료가 온도에 대한 안정성이 두드러지면서 시료의 증가된 충전경향을 충분히 억제한 것으로 생각된다. 이것은 적당한 양의 BTA의 첨가는 대전전류 억제만이 아니라 온도에 대한 안정성을 유지하여 주기 때문이다.[1]

하지만 70[℃]이상의 고온영역에서는 안정성을 상실하여 체적고유저항이 급속히 감소함을 확인할 수 있다.

BTA 첨가량 1[ppm]인 시료의 체적고유저항은 원시료보다 낮은 값으로 나타나며 온도가 증가함에 따라 선형적으로 감소함을 확인할 수 있다. 이는 1[ppm]의 BTA 첨가는 변압기유의 안정성과 대전도을 억제하기에는 부족한 양이기 때문에[2] 첨가재로서의 작용보다는 오히려 불순물로써 작용한 것으로 판단된다.

BTA 첨가량 20[ppm]인 시료는 온도 80[℃]까지 온도의 변화에 대해 거의 무관하게 나타나므로 온도에 대한 안정성이 가장 뛰어난 것으로 판단되나, 전체적인 체적고유저항이 원시료의 1/10 정도이다.

BTA 첨가량 30[ppm]이상의 경우, 온도에 대한 안정성은 다소 보이지만 첨가제의 과잉투여로 인한 불순물로써의 작용이 체적고유저항에 더 크게 작용하여 상당히 낮은 값을 나타내는 것이라 생각된다.

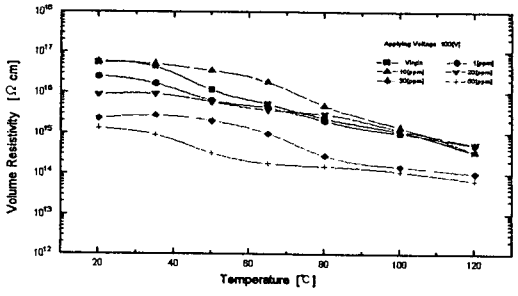

그림 3. 체적 고유저항의 온도 의존성 (100[V])
Fig. 3. Temperature Dependence of Volume Resistivity (100[V])

그림 4는 인가전압 250[V]인 경우, BTA 첨가량 변화에 따른 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 인가전압이 100[V]인 경우와 다소 유사한 경향을 나타내고 있지만 BTA 첨가량 20[ppm]의 경우 인가전압 100[V]인 경우와 같이 35[℃]에서 온도가 상승함에 따라 온도에 대한 안정성과 대전도의 억제가 이루어져 100[℃]영역까지 체적고유저항이 안정하게 나타나며 그 이상의 온도에서는 감소가 나타남을 확인할 수 있다.

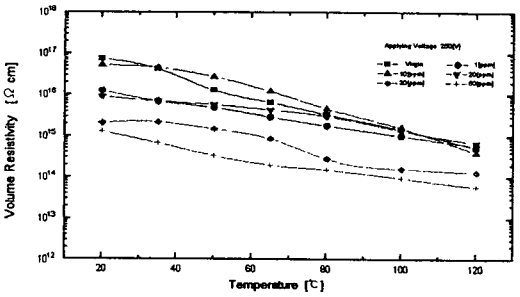

그림 4. 체적 고유저항의 온도 의존성 (250[V])
Fig. 4. Temperature Dependence of Volume Resistivity (250[V])

또한 BTA 첨가량 1[ppm]인 경우 온도 상승에 따라 선형적인 감소가 나타났는데, 이는 온도 상승에 따른 캐리어의 활성화에 기인하는 것으로 생각된다.

BTA 첨가량 20[ppm]의 경우 인가전압 100[V]에서와 유사하게 온도변화에 거의 무관하게 일정한 값을 유지하다가 온도 80[℃]이상에서 다소 선형적으로 감소함을 확인할 수 있다.

BTA 첨가량 30[ppm]이상인 시료는 인가전압 100[V]인 경우과 유사하게 나타남을 확인할 수 있다.

그림 5는 인가전압 500[V]인 경우, BTA 첨가량 변화에 따른 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 원시료의 경우는 100[V], 250[V] 인가시의 측정결과와 큰 차이는 없지만, BTA 첨가량 10[ppm]의 경우 65[℃]이하의 온도에서, BTA 첨가량 20[ppm]인 경우에는 온도 70[℃]까지 온도의 증가와는 거의 무관하게 안정성을 유지하다가 온도 70[℃]이상이 되면서 선형적인 감소가 나타남을 확인할 수 있다.

BTA 첨가량 1[ppm]인 시료는 불순물로써 작용한 BTA의 영향으로 인해 도전성 캐리어의 이동이 증

가하여 체적고유저항이 감소된 것이라 생각된다.

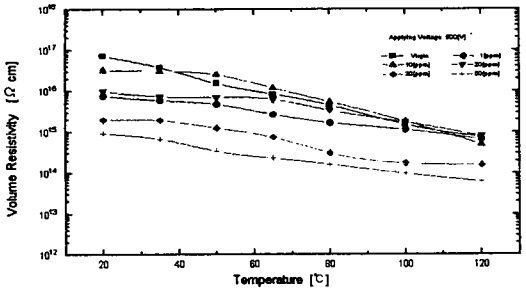

그림 5. 체적 고유저항의 온도 의존성 (500[V])
Fig. 5. Temperature Dependence of Volume Resistivity (500[V])

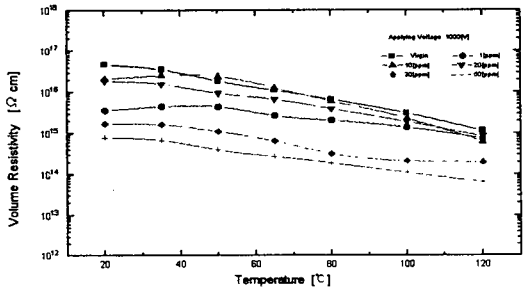

그림 6. 체적 고유저항의 온도 의존성 (1000[V])
Fig. 6. Temperature Dependence of Volume Resistivity (1000[V])

그림 6은 인가전압 1000[V]인 경우, BTA 첨가량에 따른 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. BTA 첨가량 1[ppm]인 시료의 경우 전압증가에 따른 도전성의 증가로 인해 체적고유저항이 감소함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 변압기유의 유동에 의한 대전현상을 감소시키기 위하여 첨가하는 BTA (Benzotriazole)가 체적고유저항 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

실험 결과 BTA의 첨가량 증가에 따라 1[ppm] 첨가시에는 체적고유저항 특성이 원시료보다 낮았으며, 10~20[ppm]을 첨가하였을 경우에는 원시료와 비슷하거나 온도상승에 따라 부분적으로 더 높은 절연저항값을 나타내었다. 30[ppm] 이상을 첨가하였을 경우에는 원시료에 비해 매우 낮은 측정값을 나타내었다.

BTA는 대전전류의 발생을 억제하며 온도에 대한 안정성을 유지하여 준다. 그러나 극소량을 첨가 하였을 경우에는 오히려 불순물로 작용하여 도전율의 상승을 유발시키게 된다.

또한 과다한 첨가는 변압기유의 온도에 대한 안정에는 효과적이지만 전체적인 체적고유 저항값의 하락을 초래하였다.

본 연구는 1997년도 한국전력공사의 연구 지원에 의해 수행 되었음.

Reference

1. M. Tasuda et. al. "Suoression of Static Electrification of Insulating Oil for Large Power Transformers", IEEE Trans. PAS-101, No. 11, pp. 4272 - 4280, 1982
2. A. P. Washabaugh, " Flow Electrification Measurements of Transformer Insulation using a Couette Floe Facility", IEEE Trans. DEI. Vol. 3 No 2, pp. 161 - 181, 1996
3. 家田 正之 外 3人 ; "誘電體 現象論", 電氣學會, pp, 242-258 (1985)
4. A. C. M Willson ; "Insulating Liquids" : Their uses, manufacture and properties, pp 3-85 (1980)
5. M. Ikeda, S. Menju ; Breakdown probability Distribution and V-t Characteristics of Transformer, 1, pp 555-562(1975)