

변압기유의 유전특성에 미치는 저조사량 전자선의 영향 (II) The Effect of the Electron Beam with a Low Dose on the Dielectric Characteristics of Transformer Oils (II)

이 용우*, 조 돈찬, 신 종열, 김 왕곤**, 홍 진웅

Yong-Woo Lee*, Don-Chan Cho, Jong-Yeol Shin, Wang-Kon Kim**, Jin-Woong Hong

광운대학교 전기공학과, * : 충남전문대학교 전기과, ** : 서울산업대학교 전기공학과

Dept. of Electrical Eng., KwangWoon University

* : Dept. of Electrical Eng., ChungNam Junior College

** : Dept. of Electrical Eng., Seoul Nat'l Polytechnic University

Abstract

In this experiment, it is decided to irradiated with a low dose of electron beam. Such that being things, the specimen is produced by the different dose, for example, 0.5[Mrad], 1[Mrad], 2[Mrad] except for original specimen.

From the result of the analysis for the physical properties using FT-IR spectrum, it is confirmed that carbonyl groups of irradiated specimen is increased more than that of non-irradiated specimen. And all of nitric compound are disappeared by irradiating with electron beam.

From the result of the dielectric characteristics, the specimen irradiated with 2[Mrad] is excellent.

1. 서론

변성기중 변압기는 액체 절연체를 사용하고 있기 때문에 액체 절연체에 대한 새로운 연구가 절실히 필요하다고 생각된다. 한편, 최근 들어 고분자 물질의 개질을 위해 전자선 조사에 의한 방법이 활발하게 연구되고 있으며, 이미 난연성 전선의 제조등에서는 실용화되고 있다.

하지만 변압기유의 경우에 큰 조사량을 조사시 분자구조는 가교에 의한 특성 변화보다는 분해에 의한 영향이 더욱 크기 때문에 절연성이 저하됨을 실험을 통해 알 수 있었다.

따라서 본 실험에서는 액체 절연체인 변압기에 대한 실험으로 저조사량 전자선에 의해 조사된 변압기유를 시료로 사용하여 전기적 특성에 미치는 전자선의 영향을 연구하고자 한다.

2. 실험시료 및 실험방법

(1) 시료의 제작

전자선 조사량이 각각 0.5[Mrad], 1[Mrad], 2[Mrad]인 전자선을 조사하여 시료를 제작하였다.

(2) 실험 방법

1) 물성분석

탄화수소로 이루어진 광유계 절연유는 많은 이성체로 구성되어 있고, 그 화학적 구조가 너무나 복잡하여 알 수 없으며 단지 형태만을 가지고 구분하고 있다.

따라서 실험에 사용된 시료의 물성분석을 하기 위해 광학적 분석방법인 FT-IR과 ¹H-NMR을 이용하여 각 시료에 대한 물성분석을 하였다.

2) 유전특성

실험에 사용된 전극은 기하학적 정정용량이 16[pF]인 액체전극을 사용 하였으며, 전극내에 시료를 주입시 발생되는 기포의 영향을 최소화 하기 위하여 전극을 진공 배시게이터 안에 넣고 진공펌프로 10⁻²[Torr]의 내부 진공도를 유지시킨 상태에서 2시간동안 방치하였다.

유전정점은 Video Bridge 2150(Electro scientific Industries Inc.)을 이용하여 주파수를 30[Hz]에서 150[Hz]까지 변화시켰고 인가전압은 300[mV]에서 1500[mV]까지 조절하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 검토

(1) 시료의 물성분석

각 시료에 대한 FT-IR Spectrum에서 원시료와 전자선 조사된 시료와의 차이점으로 파수 1742.2[cm⁻¹]에서의 피크가 전자선 조사량이 증가함에 따라 커지는 것을 확인하였다.

이것은 Carbonyl 기(CO=)의 증가에 기인한 것으로 보이며, 이러한 Carbonyl 기의 증가는 도전성 증가에 기여하는 것으로 생각된다.

또한 파수 2350[cm⁻¹]에서 나타나는 피크는 질소계 화합물에 기인한 것으로 보이며, 이 피크는 전자선 조사된 시료에서는 나타나지 않음을 확인하였다.

일반적으로 나프텐계 절연유에는 질소계 화합물이 극히 미량 첨가되는데, 결합력이 약해 전자선 조사 에너지에 의해 분해되기 때문에 사라지는 것으로 생각된다.

(2) 유전특성의 온도 의존성

낮은 조사량의 전자선 조사에 따른 변압기유의 전기적 특성을 조사하기 위해 시료의 유전정점을 측정하였다.

그림 1에서 인가전압 750[mV], 주파수 330[Hz]인 경우, 원시료는 온도 80[°C]이하에서 온도변화에 무관하며 일정한 특성을 나타내지만, 온도 80[°C] 영역에서 유전정점의 크기가 감소되었다가 온도가 100[°C]로 증가하면 유전정점의 크기가 증가한 후, 온도 120[°C]가 되면 급격히 작아짐을 확인할 수 있다.

조사량 0.5[Mrad]인 시료는 온도 40[°C]이상의 영역에서 시료들중 가장 큰 유전정점의 크기를 나타내며 온도 80[°C]이하에서는 크기가 점점 증가하다가 온도 80[°C]이상에서는 서서히 감소하는 것을 볼 수 있다.

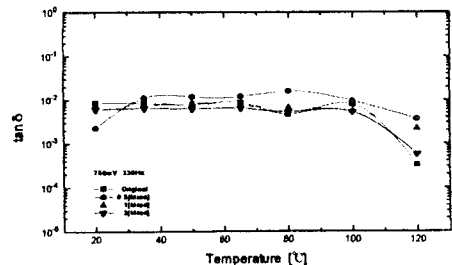


Fig. 1. Temperature dependence of dielectric characteristics in 750[mV], 330[Hz]

조사량 1[Mrad], 2[Mrad]인 시료는 온도 100[°C]까지는 온도 변화에 관계없이 일정한 크기를 유지하며 온도 100[°C]이상에서는 유전정접의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있다.

원시료와 1[Mrad], 2[Mrad]인 시료는 온도에 거의 무관한 이온이나 쌍극자의 기여에 따른 손실을 보이며 온도 100[°C]이상의 영역에서 유전정접의 크기가 작아지는 것은 시료에 유동성 증가에 의해 손실에 기여하는 이온이나 쌍극자등 Carrier의 밀도가 낮아지기 때문으로 생각된다.

조사량 0.5[Mrad]인 시료의 경우는 이온이나 쌍극자 등의 기여에 따른 손실이 다른 시료보다 크게 나타내지만, 온도 80[°C] 이상이 되면 유동성 증가에 따른 영향으로 유전정접의 크기가 작아지는 것으로 생각된다.

같은 인가전압에서 주파수 1[kHz]인 경우 각 시료에 대한 유전특성의 온도 의존성을 그림 2에 나타내었다.

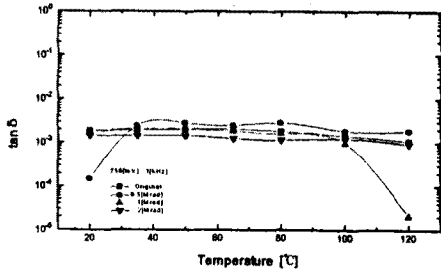


Fig. 2. Temperature dependence of dielectric characteristics in 750[mV], 1[kHz]

주파수 330[Hz]인 경우와 비교하여 유전정접의 크기가 작아진 것을 확인할 수 있으며, 온도 변화에 따른 영향은 미소하게 나타나고, 조사량이 1[Mrad]인 시료는 온도 100[°C] 이상이 되면 유전정접의 크기가 급격히 감소됨을 확인할 수 있다.

이것은 비교적 높은 주파수 영역으로 이동되면서 이온이나 쌍극자 등의 기여에 따른 손실이 줄어드는 것으로 생각되며 조사량 1[Mrad]인 시료가 유동성의 영향이 크게 나타나는 것으로 추정된다.

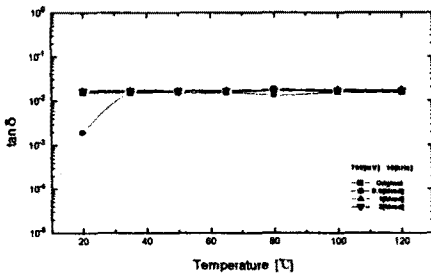


Fig. 3. Temperature dependence of dielectric characteristics in 750[mV], 10[kHz]

그림 3은 동일한 인가전압에서 주파수 10[kHz]인 경우 각 시료에 대한 유전 특성의 온도 의존성을 나타내는데, 이 주파수 영역에서의 유전정접은 주쇄의 기여에 의한 손실로 판단된다. 조사량 변화에 의한 영향도 보이지 않으며 온도 변화에 의한 영향도 거의 없다는 것을 확인할 수 있다.

인가전압이 1500[mV]로 증가한 경우 주파수 330[Hz]일 때 유전특성의 온도 의존성을 그림 4에 나타내었다.

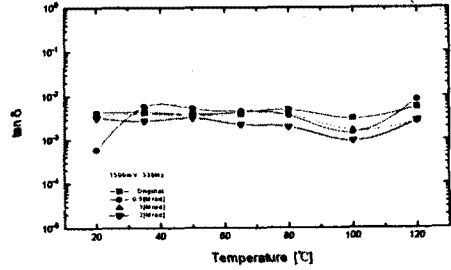


Fig. 4. Temperature dependence of dielectric characteristics in 1500[mV], 330[Hz]

온도 60[°C] 영역 이상이 되면 원시료보다 전자선 조사된 시료의 유전정접의 크기가 작아지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 전자선 조사에 의한 새로운 가교의 발생으로 절연성이 향상되는 것으로 생각된다.

이온이나 쌍극자의 기여에 의한 손실의 크기가 인가전압 750[mV]인 경우와 비교하여 다소 작아진 것은 Garton의 이론에 따라 인가전압의 약 -1.5승배만큼 감소된다는 것으로 이해할 수 있다.

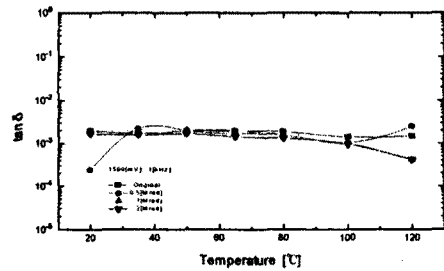


Fig. 5. Temperature dependence of dielectric characteristics in 1500[mV], 1[kHz]

그림 5는 인가전압 1500[mV], 주파수 1[kHz]인 경우 유전특성의 온도 의존성으로 유전정접의 크기가 동일한 인가전압에서 주파수 330[Hz]인 경우와 비교하여 작아진 것을 알 수 있다. 또한 전자선 조사된 시료의 유전정접의 크기가 원시료에 비해 작아지는 온도가 50[°C] 부근으로 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

이것은 온도에 따른 절연내력의 향상으로 판단할 수 있으며, 이온이나 쌍극자의 기여에 의한 손실이 인가전압이 높아지면 서 저주파수 영역으로 이동됨을 알 수 있다.

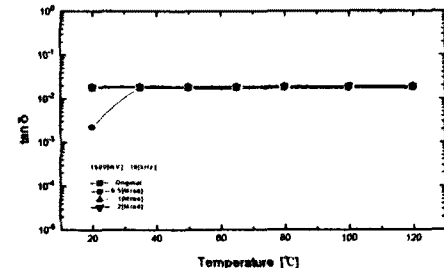


Fig. 6. Temperature dependence of dielectric characteristics in 1500[mV], 10[kHz]

그림 6은 동일한 인가전압에서 주파수 10[kHz]인 경우 유전 특성의 온도 의존성을 나타낸 것으로 인가전압 750[mV]인 경우와 같이 주파수의 기여에 의한 손실로써 온도변화에 무관하고 일정한 것을 확인할 수 있다.

(3) 유전특성의 전압 의존성

국제 규격에 명시된 운전 온도인 80[°C]에서 주파수 330[Hz], 1[Hz], 10[Hz]인 경우 인가전압 변화에 따른 유전특성의 전압 의존성을 각각 그림 7, 그림 8, 그림 9에 나타내었다.

주파수 330[Hz]인 경우 인가전압이 높아질수록 유전정점의 크기는 작아지는데, 이는 쌍극자나 이온의 기여에 따른 손실이 나타나는 주파수 영역이 인가전압이 높아짐에 따라 저주파수 영역으로 이동되기 때문에 이온이나 쌍극자에 의한 손실이 점차 줄어들기 때문으로 생각된다.

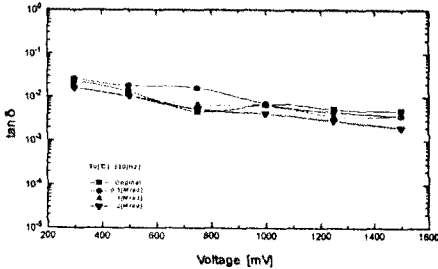


Fig. 7. Voltage dependence of dielectric characteristics at 80[°C], 330[Hz]

주파수 1[kHz]인 경우, 유전정점의 크기가 주파수 330[Hz]인 경우의 유전정점의 값보다 작아진 것을 알 수 있으며, 인가전압이 높아질수록 감소되는 정도는 작아지며 인가전압 1000 [mV] 이상이 되면 일정하게 됨을 확인할 수 있다.

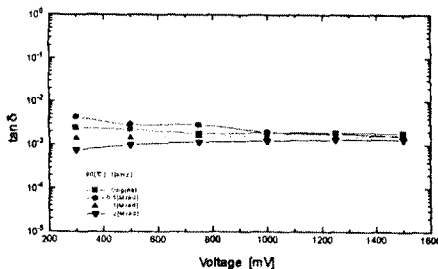


Fig. 8. Voltage dependence of dielectric characteristics at 80[°C], 1[kHz]

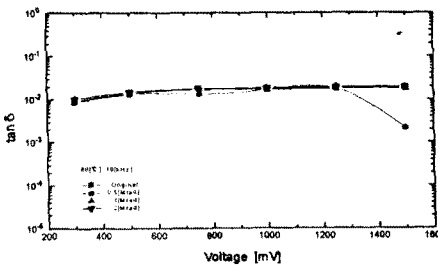


Fig. 9. Voltage dependence of dielectric characteristics at 80[°C], 10[kHz]

그러나 주파수가 10[kHz]로 높아지면 지금까지와는 달리 인가전압이 높아질수록 유전정점의 크기가 조금씩 커지는 것을 볼 수 있다.

인가전압 1500[mV]에서 조사량 0.5[Mrad]인 시료는 새로운 가교가 발생되기는 했으나 완전한 가교에 필요한 에너지의 공급이 이루어지지 않은 것으로 생각되며, 이와 더불어 분해 등의 결합이 발생하여 주파수의 기여에 의한 손실이 분산되어 나타나기 때문에 주파수의 기여로 나타났던 손실이 크게 줄어든 것으로 생각된다.

그러나 원시료, 조사량 1[Mrad], 2[Mrad]인 시료는 새로운 가교 발생에 충분한 에너지가 공급되어 주파수에 의한 손실이 나타나기 때문에 인가전압이 증가함에 따라 Carrier 양이 증가하여 유전정점의 크기가 조금씩 증가하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

액체 절연체 중에서 변압기의 절연과 냉각용 재료로 사용되고 있는 변압기유에 대하여 저조사량 전자선을 조사함으로써 물성 및 전기적 특성의 변화를 연구하였다.

시료의 FT-IR spectrum으로 부터 전자선 조사의 증가에 따라 Carbonyl기가 증가됨을 확인하였다. 또한 변압기유의 극히 미량이 포함되어 있는 질소계 화합물이 전자선 조사량의 증가에 따라 점차 사라지는 것을 확인하였다.

전기적 특성을 조사하기 위한 유전정점의 측정은 온도가 증가함에 따라 시료의 유동성 증가의 영향으로 손실의 크기가 작아지는 것을 확인하였으며, 불완전한 가교로 보이는 조사량 0.5[Mrad]인 시료는 저전압, 저주파수 영역에서 큰 손실의 크기를 나타내었다.

고주파 영역에서는 주파수의 기여에 의한 손실로 생각되며 온도 의존성은 거의 없는 것으로 확인 하였다.

인가전압 변화에 따른 유전특성은 저주파수 영역에서는 인가전압이 증가하면 Garton에 이론에 따라 인가전압의 -1.5승배 만큼 감소하는 것으로 생각된다.

유전특성의 온도 의존성과 전압 의존성을 조사한 결과 조사량 2[Mrad]인 시료의 유전특성이 우수한 것으로 판단된다.

본 연구는 1995년도 한국전력공사의 연구
지원에 의해 수행 되었음.

References

[1] S. Yasufuku, J. Ise and S. Kobayashi ; Radiation-Induced Degradation Phenomena In Electrical Insulation Oils, IEEE Trans. Electr. Insul., EI-13, 1, pp 45-50 (1978)
 [2] R. BARTNIKAS ; Dielectric Loss in Insulating Liquids, IEEE Trans. Electr. Insul., EI-2, 1, pp 33-54 (1967)
 [3] R. M. HAKIM ; Distribution of Relaxation Times in an Insulating Oil, IEEE Trans. Electr. Insul., EI-6, 4, pp 158-164 (1971)
 [4] A Sierota and J. Rungis:Electrical Insulating Oils, Part I: Characterization and Pre- treatment of New Transformer Oils, IEEE. Elec. Insul. Magazine, 11, 1, pp 8-20 (1995)
 [5] 家田 正之 外 3人; "誘電體 現象論", 電氣學會, pp 242-258 (1985)