

## 전자선조사에 따른 변압기유의 주파수의존특성

홍 능표\*, 박 우현\*, 소 병문\*, 김 왕곤\*\*, 홍 진웅\*

\* : 광운대학교 전기공학과

\*\* : 서울 산업대학교 전기공학과

### Frequency dependance of Transformer Oils due to electron beam irradiation

Hong, Nung Pyo\* Park, Woo Hyun\* So, Byeong Moon\*  
Kim, Wang Kon\*\* Hong, Jin Woong\*

\* : Dep. of Electrical Engin. , KwangWoon University

\*\* : Dep. of Electrical Engin. , Nat'l Seoul Polytechnic University

#### Abstract

In order to investigate the electrical properties for transformer oils due to electron beam irradiation, the dielectric properties was made researches by dose of irradiation

To measure the dielectric loss of irradiated specimen, coaxial cylindrical liquid electrode was used, geometric capacitance was confirmed to 16[pF]. Experiments for measuring the dielectric loss were performed at 20~120[°C] in temperature range, 30~1.5×10<sup>5</sup>[Hz] in frequency range and 300~1500[mV] in voltage range and then, the result of experiment for the movement of carrier and the physical constants to contribute dielectric properties of specimen due to electron beam irradiation introduced.

#### 1. 서 론

최근 고도 경제성장속에서 각종 전기기기의 대용량화, 고기능화가 이루어 졌고 이 속에서 액체 유전체는 고분자재료와 더불어 중요한 절연재료로써 많은 활용으로 관심이 높다.

변압기는 송배전 계통의 핵심 전기변성기로서 그 중요성은 말할 나위도 없으며 내부 절연 및 냉각재로 쓰이는 변압기유는 변압기의 신뢰성을 가름하는 중요한 척도가 되고 있으나, 변압기유는 액체로 그것의 온도, 성분, 기체혼입, 불순물 및 주위의 영향 등에 의해 그 전기적 특성이 조금씩 틀려지고 있다.

이에 본 연구에서는 기존에 연구, 보고된 바 없는 전자선을 이용하여 변압기유에 조사해 개질시킴으로써 변압기유의 분자구조 변화인 가교나 분해반응으로 인한 절연유의 열화를 유발시켜서 변압기유의 유전특성을 조사량에 따라 비교 분석하였다. 특히 조사된 시료는 <sup>1</sup>H-NMR을 이용하여 수소의 변화량을 분석하였고, 그리고 유전특성을 측정하였다.

#### 2. 실험

##### 2-1. 조사량

원유는 산지의 지질연대와 유정의 깊이 등에 의해 크게 탄화수소 조성에 따라 파라핀계, 나프렌계, 방향족계로 나누어지고 있는데, 실험에 사용된 변압기유는 나프렌계 원유에서 제조된 것으로 일체 첨가제는 넣지 않았다.

시료는 순수 국산으로 동남석유공업(주) DNI-1 4호로 탄화수소로 조성된 것을 선택하였다. 절연유의 기초 물성은 표 1과 같다.

본 실험에서 사용한 시료는 전자선 가속기를 이용 변압기유를 조사했으며 시료의 조사량은 표 2와 같다.

본 실험에서는  $D=KI/V$ 의 식으로 조사량을 구했다.

따라서 조사시료에 동일선량을 주려면, 전자류가 많은 만큼 피조사물의 반응속도를 크게 할 필요가 있고, 처리량은 이것에

비례해 많아지는 것이며 실제 조사에 있어서는 CTA선량계를 이용해 K값을 미리 구해 놓고 위의 식에 의해 D를 구한다.

즉 인가전류와 속도만을 가지고 조사량을 변화시켰으며 자세한 실험방법은 다음과 같다

Table 1. Physical Properties of Specimen

Transformer Oils	
Specific gravity	0.898
Viscosity [cSt]	40[°C] 10.5 100[°C] 2.5
Pour point	-35[°C]
Flash point	150[°C]
Corrosive sulfur	None
Dielectric strength (2.5[mm])	60 [kV]
Volume resistivity	Over 1x10 <sup>14</sup> [Ωcm]

Table 2. Classification of specimen

시료	인가에너지(E), 전류(I) conveyer speed(V)	왕복 횟수	조사량 [Mrad]
No.1	Original	-	-
No.2	E=1[MeV], I=20[μA], V=5[m/sec]	2	12
No.3	E=1[MeV], I=20[μA], V=5[m/sec]	4	24
No.4	E=1[MeV], I=20[μA], V=5[m/sec]	6	36

##### 2.2 시료제작 및 실험방법

시료제작은 공기중에서 변압기유를 직경 12cm PYREX샤레 5개에 높이가 4mm가 되도록 따낸후 전자선 조사 장치의 윈도우로부터 18cm떨어진 곳의 conveyer에 올려놓고 전자조사를 행했다.

전자선 조사장치의 윈도우부의 대략적인 개요도는 아래 그림 1과 같다.

전자조사된 시료는 열화특성이 유전특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 조사량에 따른 유전정접의 주파수의존성을 실험하였다. 시료는 동축원통형전극을 사용했으며 기하학적 정전용량은 16.0[pF]을 사용하였고, 온도조절은 일정온도를 유지할수 있는 오븐을 사용하였다.

유전정접 측정은 주파수를 30[Hz]에서 150[kHz]까지 변화시키고 또 인가전압은 300[mV]에서 1500[mV]까지 변화시킬 수

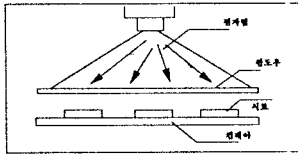


Fig. 1 Outline of Electron beam Irradiation device

있는 기기를 사용 C값과  $\tan \delta$ 를 측정했다. 그리고 전자조사된 시료는 오븐내에서 20[°C] - 120[°C]까지 변화 시켜가면서 온도의존특성도 측정했다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 시료의 물성

광유제 절연유 속에 포함된 탄화수소는 매우 복잡하고 많은 이성체로 이루어져 있으므로 화학구조를 아는 것은 불가능하고 Type으로 분류하고 있다. 사용 절연유(동남석유공업(주) DNI-1 4호)의 형태를 조사하기 위해 NMR Spectrum을 조사하였다. 그림 2는  $^1\text{H-NMR}$ 을 이용한 0 ~ 10[ppm] 사이의 Spectrum이다.

용제는  $\text{CDCl}_3$ 를 사용했으며 7.188[ppm]에서 피크가 나타나는 데 이것은 내부기준이며 Shift  $\delta=0$  이다.

한편 2.235[ppm]에서 피크는 용제를 제외한 최소값으로 이것을 기준으로 하여 H의 수량을 적산하여 그래프 위에 표시하였다.

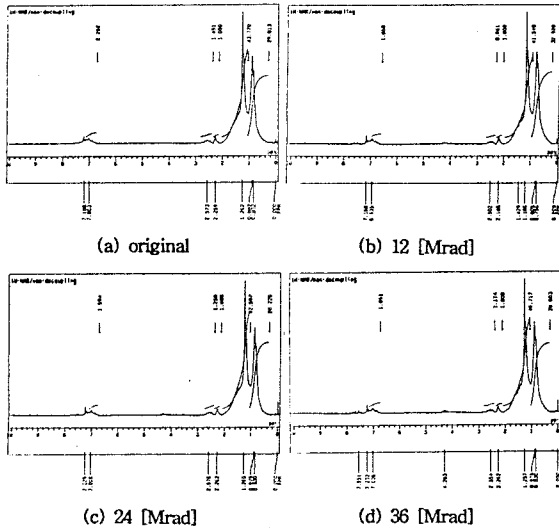


Fig. 2. Nuclear magnetic resonance of specimen due to dose of irradiation

시료의 형태를 구분하기 위해 그림 3의 Flow-Chart를 사용하였는데, 그림 3를 이용한 결과 시료의 구분은 제 1종 절연유임을 확인할 수 있었다.

#### 3.2 조사량에 따른 유전특성

조사된 시료 3가지와 원시료에 대하여 유전특성중 주파수의 큰 특성을 조사하기 위하여 측정온도 20~120[°C], 측정 주파수  $30 \sim 1.5 \times 10^5$ [Hz], 인가전압 300~1500[mV]범위에서 유전경점을 실험하였다.

##### 가) 조사량 변화에 따른 유전특성

인가전압 750[mV]때 65[°C]이하 온도 영역에서는 그림 4, 5와 같이 약100[Hz]에서  $\beta$  피크는 조사량에 따라 약간 변화가 있으나, 주파수 10[kHz]에서  $\alpha$  피크는 거의 일정함을 확인할 수 있다.

그러나, 온도가 80[°C]로 높아지면 그림 6과 같이 조사량 증가에 따라 저주파수 영역의 유전정점의 크기는 적어지지만  $\alpha$  피크 크기는 낮은 온도와 같다. 또한 그림 7에서 온도가 120

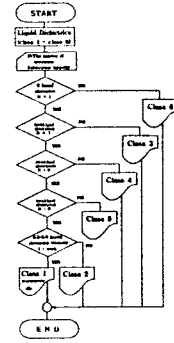


Fig. 3. Classification of liquid Dielectrics by NMR

[°C]로 높아지면 지금까지와는 다른 저주파수에서  $\beta$  피크는 나타나지 않고 일정하게 감소하는 특성과 조사량이 많아지면 유전정점의 크기가 커지는 것을 확인할 수 있다. 측정 온도가 65[°C]이하에서는 유전특성이 거의 일정하나 80[°C]이상이 되면 주파수 1[kHz]에서 원시료와 조사량 12 [Mrad] 조사량이 24,36[Mrad]보다 큰데 이것은 시료가 미조사된 시료보다 약 10배정도 커지는데 이것은 액체 절연체의 특성상에서 측정 온도가 높아짐으로 인하여 점도는 낮아지나 trap원자가 detrapped되거나 이온들이 인가 주파수에 진동되어 캐리어 밀도가 높아지고 또한 전자선 조사로 분자구조가 변해서 도전성이 증가되었기 때문으로 생각된다. 그러나  $\alpha$ 피크는 온도와 조사량변화에 따라 무관하고 일정한데 이것은 NMR의 0.5~2.5ppm에 존재하는 긴쇄 알킬기나 나프텐환의 변화가 없으므로 조사량 변화에 대해서는 안정함을 나타낸다.

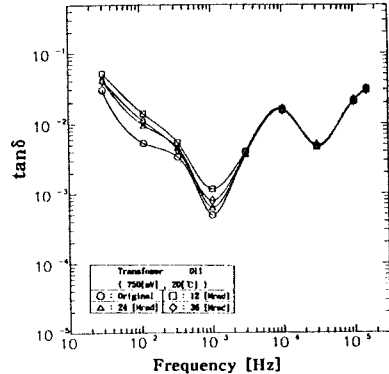


Fig. 4 Frequency dependence of Dielectric characteristics (750[mV], 20[°C])

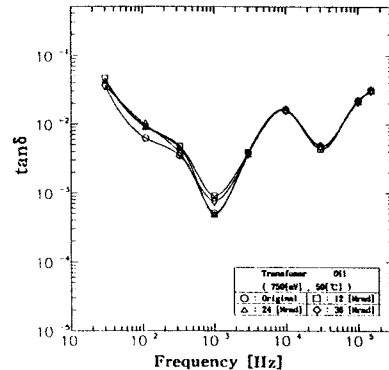


Fig. 5 Frequency dependence of Dielectric characteristics (750[mV], 50[°C])

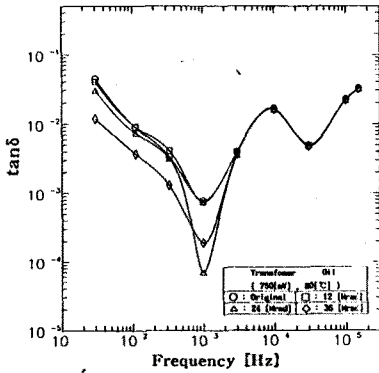


Fig. 6 Frequency dependence of Dielectric characteristics (750[mV], 80[°C])

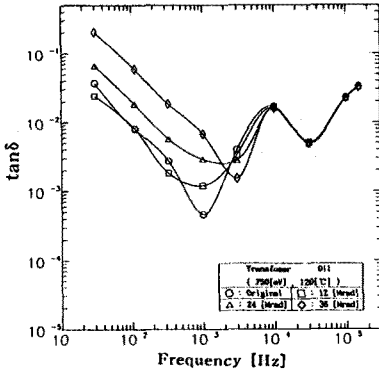


Fig. 7 Frequency dependence of Dielectric characteristics (750[mV], 120[°C])

이같은 현상은 1500[mV] 인가하였을 때도 같은 현상이 나타남을 확인 하였다.

특히 1500[mV] 120[°C]때 유전특성도가 그림8인데 저주파수 영역에서 유전정점을 750[mV]원시로는 작지만 조사된 시료는 커지는 것을 확인할수 있는데 이것은 조사로 인한 시료의 물성변화와 전압의 증가로 도전성이 증가되었기 때문이다.

나) 인가전압에 따른 유전 특성

그림 8은 12[Mrad] 조사된 시료는 20[°C]에서 인가전압을 300[mV] ~ 1500[mV]로 변화시 유전정점의 특성도를 도시한 그림이다. 또한 조사량 24[Mrad]와 36[Mrad]의 시료에 대해서도 같은 조건에서 측정하면, 약 100[Hz]에서  $\beta$  피크와 10[kHz]부근에서  $\alpha$  피크가 나타나는데  $\beta$  피크는 전압이 높아지면 작아지고  $\alpha$  피크는 반대로 전압이 높아지면 작아지는 것을 확인할수 있다.

저주파수 영역의  $\beta$  피크는 인가전압이 상승하면 손실의 피크는 높은 주파수쪽으로 이동하지만,  $\alpha$  피크는 손실 파크의 주파수는 일정하지만 진폭만 감소되는데, 이같은 현상은  $\beta$  피크의 경우 유전정점의 피크의 감소는 Garton의 이론에 의하면 인가전압의 -1.5승에 비례하므로 인가전압이 높아지면 손실의 진폭이 감소한다.

만약 12[Mrad] 조사된 시료의 경우 110[Hz], 300[mV]때  $3 \times 10^{-2}$ 에서 1500[mV]때 약  $7 \times 10^{-3}$ 으로 감소되는데, 이것은 이론 계산에서는 약 0.089배로 적어지는데 실험결과에서는 이보다 약간 더 감소됨을 확인할수 있었다.

그리고  $\alpha$  피크는 인가전압이 높아지면 일정한 주파수 (100[kHz])에서 진폭만 증가되는데, 이것은유전정점의 특성에서 도전성의 증가로 사료된다.

특히 전자선 조사된 시료의 경우는 전자선 조사량의 변화에 따라 물성연구에서 언급된 바와 같이 분자구조에서 수소의 이동이 발생되고 새로운 가교가 발생되므로 시료내 캐리어의 변화가 발생된다. 특히 측정 주파수 300[kHz]의 경우 원시료의

유전특성중 손실의 진폭이 가장 적고 또한 이부분에서 측정전압 300[mV]와 1500[mV]의 손실진폭의 차이는 조사량 증가에 따라 감소됨을 확인할 수 있는데, 이것은 손실에 기여하는 캐리어의 양이 적어짐을 암시하므로, 따라서 조사량의 증가에 따라 가교가 발생되어 도전성이 적어짐을 암시한다.

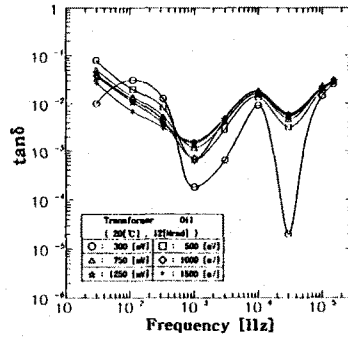


Figure 8 Dielectric characteristics of irradiated specimen (12[Mrad])

4. 결론

변압기유에 전자선 조사량에 따른 유전특성을 연구하기 위하여 물성연구는 <sup>1</sup>H-NMR을 이용 분자구조에서 조사량의 변화에 따른 수소량을 조사하였는데 조사량이 증가되면 수소량은 감소됨을 확인하였다.

그리고 유전특성 조사량 의존성에서  $\beta$  피크는 조사량의 변화와 측정온도에 따라 변화되나  $\alpha$  피크는 거의 일정하다. 또한 20[°C]때 인가전압에 따른 유전특성은  $\beta$  피크의 경우는 인가전압이 높아지면 유전정점의 크기는 감소되고 반대로  $\alpha$  피크는 커지는 것을 확인하였다.

본 연구는 1994년도 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음

참 고 문 헌

1. F. M. Clark ; Insulating materials for Design and Engineering Practice ; New York, John & Wiley, PP 169-180 (1962)
2. S. Yasufuku, J. Ise amd S. Kobayashi ; Radiation-Induced Degradation Phenomena In Electrical Insulation Oils, IEEE Trans. Electr. Insul., EI-13, 1, PP 45-50 (1978)
3. C. Lamarre, J. P. Crine and M. Duval ; Influence of Oxidation on the Electrical Properties of Inhibited Naphthenic and Paraffinic Transformer Oils, IEEE Trans. Electr. Insul., EI-22, 1, PP 57-62 (1987)
4. A. C. M. Willson ; INSULATING LIQUIDS : Their uses, manufacture and properties, PP 3-85 (1980)
5. I. GINSBURGH ; The Static Charge Reducer, J of Colloid and Interface Sci., 32, 3, PP 424-432 (1970)