

변압기유의 전기적인 특성 (II)

이 용우*, 조 단찬**, 신 만섭***, 이 수원****, 홍 진웅**

- * : 충남전문대학 전기과
- ** : 광운대학교 전기공학과
- *** : 서울산업대학교 전기공학과
- **** : 철도전문대학 전기신호과

Electrical Properties of Transformer Oils (II)

LEE, YONG WOO* CHO, DON CHAN** SHIN, MAN SEOB***
LEE, SOO WON**** HONG, JIN WOONG**

- * : Dep. of Electrical Engin., Chung Nam Junior College
- ** : Dep. of Electrical Engin., KwangWoon University
- *** : Dep. of Electrical Engin., Nat'l Seoul Polytechnic University
- **** : Dep. of Electrical and Signal Engin., Nat'l Railroad Junior College

Abstract

In order to investigate the electrical properties for transformer oils, the dielectric properties and volume resistivity were made researches.

To measure the characteristics of dielectric liquid, volume resistivity and dielectric loss, coaxial cylindrical liquid electrode was used, geometric capacitance was confirmed to 16[pF].

Highmegohm meter of VMG-1000 was used for measuring volume resistivity, the applying voltages were DC 100, 250, 500[V] in the temperature range of 20 ~ 100[°C].

Experiments for measuring the dielectric loss were performed at 20~120[°C] in temperature range, 30~1.5×10⁶[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 is introduced.

I 서 론

산업사회와 경제발전으로 전기수요가 급증하므로 송전전압이 초고압화되고 전력계통기는 대형화 되고 있는데 전기설비에서 액체 절연체의 역할은 대단히 중요하다.

특히 송전전압이 밀지않아 765[kV]로 승압 되어지면 변성기기는 고전압·대용량화 되므로 절연에 대한 관심은 더욱 높아진다. 전기절연유는 대형기기의 전기절연 특성과 냉각효율을 높이기 위해 폭넓게 사용되고 있다.

유전(절연)재료의 유전특성은 절연성을 나타내는 하나의 척도인데, 절연유의 유전체 손실의 원인으로는 쌍극자 손실, 이온전도 손실 및 공간전하 손실이 있다.

본실험에서는 전력기기의 냉각과 절연용의 주를 이루고 있는 나프텐계 변압기유를 시료로 선택 물성실험과 인가전압 300~1500[mV], 측정온도 20~120[°C], 측정 주파수 30~1.5×10⁶[Hz] 범위에서 유전특성 및 측정온도 20~120[°C]에서 인가전압 100, 250, 500[V]를 인가하여 채적고유저항을 조사하였다. 이상의 연구결과로부터 유전특성에 미치는 하전입자의 거동에 대하여 보고한다.

II 사용시료 및 실험방법

II-1. 사용시료

실험에 사용된 변압기유는 나프텐계 원유에서 제조된 것으로 일체 첨가제는 넣지 않았다.

시료는 순수 국산으로 동남석유공업(주) DNI-1 4호로 탄화수소로 조성된 것을 선택하였다.

방향족 절연유 속에 포함된 탄화수소는 매우 복잡한 이성체로 구성되어 화학구조를 아는 것은 불가능하고 Type 분류로 표시된다.

II-2. 실험방법

전기절연유의 절연특성의 연구방법은 여러가지가 있는데, 그중 유전계점의 크기와 채적고유저항을 조사하여 절연성을 평가하였다.

유전특성 측정장치는 Video Bridge 2150와 온도조절범위 -70[°C]~200[°C]에서 일정한 온도유저를 할 수 있는 TO-9B Oven을 사용했으며, 그리고 전극은 기하학적 정전용량 16[pF]의 동심원통형을 사용했다.

그리고 시료의 채적저항을 측정하여 시료의 전기 절연성을 평가하는 방법인데, 전기 절연유의 채적 고유저항 측정은 직류전계 250[V/mm]를 인가하고 1분후 전류값을 측정하여 채적 저항을 구하는 방법을 사용한다.

본 실험에서는 VMG-1000 Highmegohm meter를 사용하였으며 전압은 직류 100, 250, 500[V]를 인가하였고 온도는 20[°C]~120[°C] 범위에서 저항을 측정하였다.

III 연구결과 및 검토

III-1. 시료의 물성

방향족 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 1은 ¹H-NMR을 이용 0~10[ppm]사이에서 Spectrum이다.

용제는 CDCl₃를 사용했으며 7.188[ppm]에서 피크가 나타나는데 이것은 내부기준이며 Shift δ=0 이다.

한편 2.295[ppm]에서 피크는 용제를 제외한 최소값으로 이것을 기준으로 하여 H의 수량을 계산하여 그래프 위에 표시하였다.

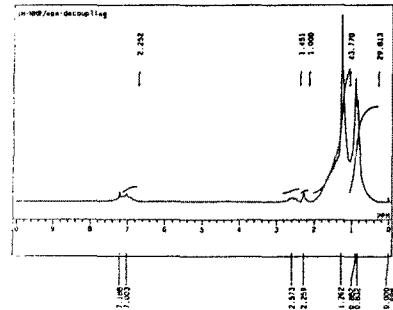


Fig. 1. Nuclear magnetic resonance of specimen

III-2. 유전특성 주파수 의존성

절연유의 유전특성중 주파수의존 특성을 조사하기 위하여 측정온도 20~120[°C], 측정 주파수 30~1.5×10⁶[Hz], 인가전압 300~1500[mV]범위에서 실험하였다.

그림 2는 측정온도 20[°C]에 전압을 300[mV]에서 1500[mV]로 상승에 따른 유전특성의 주파수의존성을 도시한 그림이다. 그리고 그림 3, 4는 같은 조건에서 측정온도 50, 100[°C]에의 유전특성이다. 그림에서 저주파수(10³[Hz] 이하) 영역의 피크를 β 피크라 칭하고 고주파수(10⁶[Hz] 초과) 영역의 피크를 α 피크라 칭한다.

β 피크는 인가전압이 높아지면 적어지면서 피크값은 높은 주파수로 이동한다. 그러나 α 피크는 전압이 높아지면 손실의 크기는 증가되지만 주파수는 일정하다.

그림 2, 3, 4에서 유전정점 크기중 β 피크는 인가전압이 높아지면 1/10배로 작아지면서 피크값은 높은 주파수로 이동한다. 그러나 α 피크는 전압이 높아지면 손실의 크기는 약간 증가되지만 주파수는 일정하다.

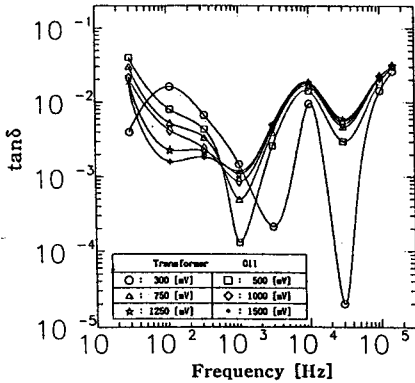


Fig. 2. Frequency dependence due to applying Voltage(20°C)

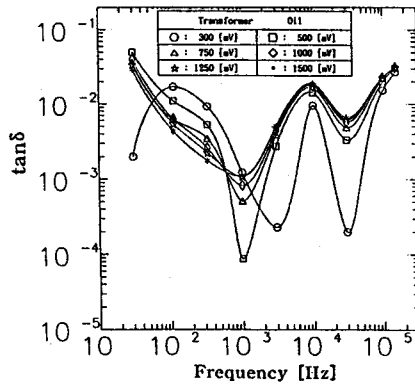


Fig. 3. Frequency dependence due to applying Voltage(50°C)

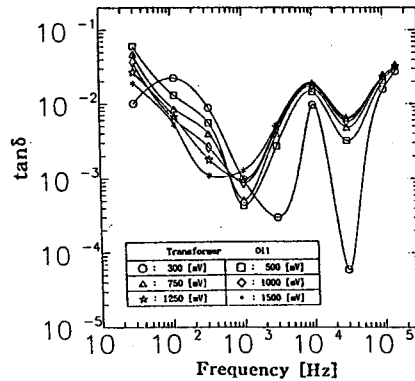


Fig. 4. Frequency dependence due to applying Voltage(100°C)

β 피크에서 전압증가에 따른 유전정점의 감소는 Garton의 이론에서 $\tan\delta$ 는 인가전압에 $-(3/2)$ 승에 비례하여 감소하는 것으로 보고 하였는데 본 실험에서도 β 피크는 이론적으로 1/11배로 감소되는데 실험에서는 1/10배 감소됨을 확인하였으므로 액체의 특성에서 도전성에 의한 유전정점의 감소로 확인되었다.

그리고 α 피크는 β 피크와 반대로 전압증가에 따라 약간 증가되는데 이것은 유전정점의 크기는 액체 절연유의 도전율에 비례하여 커지는데 절연유의 특이한 물질 구조상 내부에 trap된 캐리어나 이온들이 외부에서 전계 에너지가 높아짐에 따라 detrapp되거나 이온들이 진동하여 10^4 [Hz] 주파수대에서 공명흡수되기 때문에 캐리어의 밀도와 양이 많아져서 도전성이 증가되어 $\tan\delta$ 의 크기는 전압증가에 따라 커지는 것을 확인할 수 있다.

한편 측정온도에 따라 β 피크의 최대 온도를 도시하면 그림 6과 같다.

그림에서 알 수 있듯이 같은 온도에서 전압이 높아지면 고주파수 영역으로 이동됨을 확인할 수 있다. 또한 유전특성은 온도가 높아지도록 경향은 같다.

그림 2~4에서 β 피크(저주파수 영역)는 측정 온도증가로 약간 커지는 경향은 있으나, α 피크(고주파수 영역)는 온도의 증가에 무관함을 확인할 수 있다.

이것은 온도가 높아지면 β 피크의 경우는 도전성이 증가되므로 인하여 손실의 진폭은 약간 증가하지만, α 피크의 경우는 전도특성영역의 캐리어 밀도가 포화되는 특성을 나타내므로 피크의 증가가 없는 것으로 사료된다.

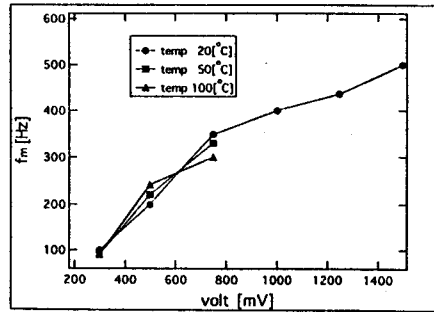


Fig. 5. Maximum temperature of β peak

그림 6, 7, 8은 인가전압 300, 750, 1500[mV]때 측정온도 증가에 따른 유전특성의 주파수 의존성을 도시한 그림들이다.

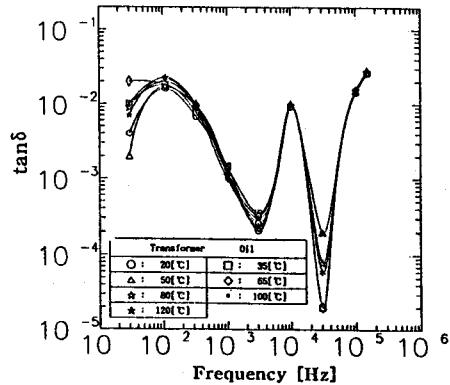


Fig. 6. Frequency dependence due to measurement Temperature(300mV)

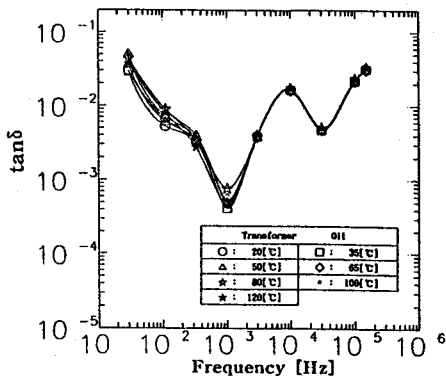


Fig. 7. Frequency dependence due to measurement Temperature(750mV)

인가전압이 300[mV]인 낮은 경우(그림 5)는 두개의 피크가 확실하게 나타나지만 인가전압이 높아지면(그림 6, 7) 저주파수에서 유전정점의 크기가 10^{-3} 에서 10^{-2} 으로 증가되므로 β 피크는 우측(높은 주파수)으로 이동함을 확인할 수 있다. 그러나 α 피크가 나타나는 주파수는 10[kHz]에서 일정하게 나타나지만 손실의 진폭은 전압의 증가에 따라 약간 증가됨을 확인할 수 있다.

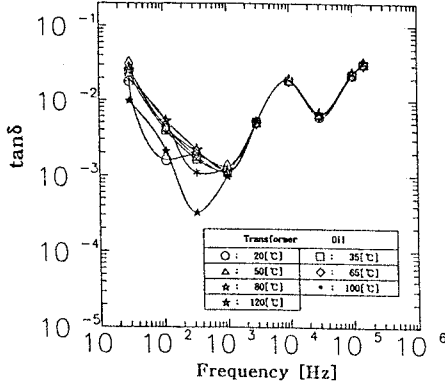


Fig. 8. Frequency dependence due to measurement Temperature(1500[mV])

인가전압이 300[mV]인 낮은 경우(그림 6)는 두개의 피크가 확실하게 나타나지만 인가전압이 500[mV]이상 되면(그림 7, 8) 초저주파수영역에서 유전정점의 크기가 10^{-3} 에서 10^{-2} 으로 증가되므로 β 피크는 우측(높은 주파수)으로 이동함을 확인할 수 있다. 그러나 α 피크가 나타나는 주파수는 10[kHz]에서 일정하게 나타나지만 손실의 진폭은 전압의 증가에 따라 약간 증가된다.

그림 6에서는 전압이 낮으므로 인하여 유전정점은 전압의 영향보다는 저주파수 영역의 β 피크는 쌍극자와 이온의 기여로 최대 손실 피크가 나타난다.

그런데 온도가 높아지면 $\tan\delta$ 의 피크값이 약간 커지는 것은 온도가 상승하면 120[°C]로 높아짐에 따라 도전에 기여하는 이온이나 쌍극자가 쉽게 구속으로부터 해방되기 때문으로 사료된다.

그러나 고주파수 영역에서 나타나는 α 피크는 온도에 무관하고 일정한다. 이것은 전도특성의 캐리어 밀도가 포화되기 때문으로 생각된다.

그러나 전압이 높아지면(그림 7, 8) 경향은 같으나, 초저주파수 영역의 손실값이 커져서 피크가 높은 주파수 영역으로 이동되는데, 이것은 인가전압이 높아지면 캐리어들의 이동이 자유로워져서 전도에 기여하기 때문으로 사료된다.

III-3. 체적 저항

시료의 유동대전동 변압기유의 절연성 평가방법중 체적저항 또는 체적고유저항을 평가하는 방법이 있다. 체적저항의 측정방법은 직류전압을 인가하고 그때 흐르는 전류를 측정하여 저항값을 구하고 저항값으로부터 앞의 실험방법에서 논한 식으로부터 체적저항의 크기를 찾는다. 이때 온도 의존성과 전압 의존성을 조사하기 위해서 일정한 온도에서 전압을 인가한다. 직류전압을 절연유(절연체)에 인가하면 충전전류와 흡수전류가 흐르는데 누설전류를 측정해야 되므로 본실험에서는 전압인가후 약 10분 정도의 일정한 시간이 경과한 후의 값을 취하였다.

그림 9는 직류 인가전압을 100, 250, 500[V]인가시 측정온도 20 ~ 120[°C] 범위에서 체적저항을 도시한 그림이다. 이때 사용한 전극은 가드링이 있는 동심원통형 전극을 사용하였고 전극간 간격은 1.0[mm]정도이다.

그림에서 40[°C]이하 저온영역에서는 인가전압이 100[V]에서 500[V]로 높아져도 일정한 크기를 나타내고 있다.

그러나 측정온도가 높아지면 50[°C]까지는 증가하나, 그 이상 온도영역에서는 급격히 감소하고, 100[°C]이상이 되면 체적 저항은 최저값을 나타내면서 일정한 크기를 나타낸다.

저온(40[°C] 이하) 영역에서 전압이 높아져도 체적저항이 일정한 것은 변압기 절연유의 안정성을 나타내는 것으로 측정온도의 영향을 받지 않는 영역으로 사료된다.

그러나 온도가 높아지면 50[°C]에서 체적저항 값이 최대로 나타난 후 감소하는데, 이것은 변압기유의 물성특성에서 온도의 증가로 시료내의 미결합 부분이 열에너지의 영향으로 결합되거나 또는 절연유의 유동성등이 증가되고 시료내부에 존재하는 가스가 쉽게 외부 방출될 수 있으므로 절연성이 향상되나, 이보다 온도가 더욱 높아지면 유동성은 더욱 좋아지지만 시료내부에 있는

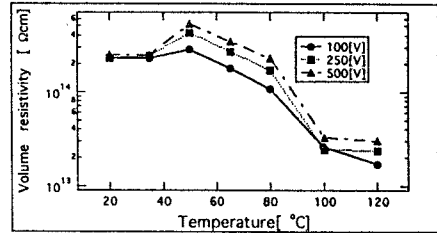


Fig. 9 Volume resistivity versus temperature

쌍극자나 이온 및 액체 trap 된 전자들이 열에너지 및 배향이 용이해지므로 캐리어의 밀도가 커져 도전율이 급격히 상승되고 동시에 전극으로부터 전자주입이 매우 활발해져서 더욱 도전율이 증가되므로 고유저항 값은 적어진다.

그러나 100[°C] 이상이 되면 이들의 모든 현상이 포화되므로 인하여 최저값을 나타내고 포화특성을 나타낸다.

특히, 규정에 의한 체적저항 측정온도 일반적으로 80[°C]에서 이가 전체 250[V/mm]로 되어 있고, 이때 체적저항값은 $5 \times 10^{13} [\Omega \text{cm}]$ 이상이 되어야 한다.

본실험에서 얻은 시료의 측정값은 그림에서 알 수 있듯이 80 [°C] 때 전체 100[V/mm] 때 체적저항 $1 \times 10^{14} [\Omega \text{cm}]$, 250[V/mm] 때 $1.7 \times 10^{14} [\Omega \text{cm}]$, 500[V/mm] 때 $2.2 \times 10^{14} [\Omega \text{cm}]$ 로 모두 규정값 이상임을 확인하였다.

IV. 결 론

변압기용 전기절연유의 유동대전에 미치는 제인자 연구로 변압기유의 전기적특성에 관한 연구로 AC 및 Impulse 절연파괴실험, 유전특성실험, 체적저항실험을 연구한 결과

- 1) ¹H-NMR과 IR 분석을 이용하여 제 1종 광유의 구분을 할 수 있었다.
- 2) 유전특성의 주파수 의존성에서 도전성의 영향으로 α 피크의 유전정점은 전압이 높아지면 일정한 주파수대에서 약간 증가하지만, β 피크는 전압이 높아지면 감소하면서 고주파수 영역으로 이동한다.
- 3) 유전특성에서 유전정점의 크기는 저온 저전압 영역에서는 쌍극자와 이온의 공동 기여로 최대값이 나타나고, 고온 고압영역에서는 전도특성의 캐리어 포화로 일정하다.
- 4) 체적저항의 특성은 저온영역에서는 안정된 열특성으로 체적저항은 전압에 무관하고 일정하며, 온도 50[°C]에서 최대값을 나타낸 후 급격히 감소됨을 확인하였고, 80[°C] 250[V/mm]에서 체적저항은 국제규격에 적합함도 확인하였다.

본 연구는 1994년도 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음

참 고 문 헌

1. A. C. M. Willson ; INSULATING LIQUIDS : Their uses, manufacture and properties, PP 3-85 (1980)
2. R. BARTNIKAS ; Dielectric Loss in Insulating Liquids, IEEE Trans. Electr. Insul., EI-2, 1, PP 33-54 (1967)
3. R. M. HAKIM ; The Properties of an Insulating Oil and Its Fractions at low Temperatures, IEEE Trans. Electr. Insul., EI-10, 4, PP 124-134 (1975)
4. Von Robert Strigel, Heinrich Winkelkemper ; Über elektrische verfahren zur bestimmung der Ölalterung, Electrotech Bd, 86, PP 85-91 (1965)
5. R. M. HAKIM ; Distribution of Relaxation Times in an Insulating Oil, IEEE Trans. Electr. Insul., EI-6, 4, PP 158-164 (1971)