

염분에 따른 변압기유의 유전특성 (I) The Dielectric Characteristics of Transformer Oil due to the Sodium Chloride (I).

조 경순, 송 병기, 이 수원*, 신 종열, 홍 진웅
Kyung Soon CHO, Byung Ki SONG, *Soo Won LEE, Jong Yeol SHIN, Jin Woong HONG

광운대학교 전기공학과
Dept. of Electrical Eng., KwangWoong University

* : 철도전문대학 전기신호과
* : Dept. of Electrical Sign. Nat'l Railroad Junior College

Abstract

In order to investigate the electrical properties for transformer oils which contains a pure sodium chloride, the dielectric properties is made researches.

To measure the dielectric loss of specimen, a coaxial cylindrical liquid electrode is used, and its geometric capacitance is confirmed to 16[pF]. And the dielectric dissipation factor, $\tan\delta$, is measured by using the Video Bridge 2150. The thermal static oven with an automatically static temperature controller is used so as to support specific temperature to the specimen.

This experiments for measuring the dielectric loss is performed at 20~120[°C] in the temperature range, 30~1.5×10⁵[Hz] in the frequency range and 300~1500[mV] in the voltage range.

The result of experiment for the movement of carrier and the physical constants to contribute dielectric properties of specimen with a pure sodium chloride.

1. 서 론

현대 문명사회에서 문명의 진보와 더불어 전기에어지는 수요량이 점차 늘어나면서 에너지원으로써 그 중요성이 한층 고조되고 있다.

전기에너지의 수요량이 증가되면서 이 증가된 수요에 대해 원활한 전력공급을 위해서 송압송전은 필수적인 요소로 대두되기 시작했으며 이미 현재의 전력 송배전 계통으로는 증가된 수요에 대한 공급이 한계에 이르렀다고 평가해도 과언은 아닐 것이다.

이와같이 송압송전을 하게 될 경우, 송압송전에 따라 전 계통의 전력기기 및 변성기기는 거대화 됨과 동시에 고성능화, 고신뢰도를 보장해야 하는 것은 당연한 결과일 것이다.

특히 변성기기에 있어서 변압기는 전력 송배전 계통을 구성하는 핵심적인 요소 중의 하나이며, 변압기의 절연과 냉각에는 액체 절연유가 사용되고 있어 액체 절연유에 대해 관심을 기울일 필요가 있다.

일반적으로 액체 절연유는 수분, 혼입 가스, 불순물등 주위의 영향에 따라 그 특성이 변화된다. 그러므로 순수한 액체 절연체의 특성 연구와 더불어 위에 열거한 불순 혼입물에 의한 영향에 대해서도 연구할 필요가 있다.

따라서 본 실험에서는 액체 절연유 중에서 변압기에 실제로 사용되고 있는 변압기유를 대상으로 순수 염화나트륨을 혼입시켜 절연용 재료의 특성에 미치는 불순물의 영향에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 실험 방법

(1) 시료제작

액체 절연유로써 실험에 사용된 시료는 실제로 변압기에서 사용되고 있는 나프텐계 광유에서 얻어낸 변압기유를 선택하였으며 순수 국산 제품으로 동남 석유 공업(주) DNI-4호를 실험대상으로 하였다. 본래의 변압기유는 아무런 첨가제도 포함되어 있지 않으며 순수하게 탄화수소로 조성된 것을 선택 하였다.

이와같이 준비된 변압기유 1000[ml]에 순도 99.5[%]의 염화나트륨을 각각 3[mg], 6[mg], 9[mg]씩 넣고 마그네틱 교반기를 이용하여 각각 9시간동안 교반시켜 변압기유에 염분이 함유된 것과 같은 효과를 유도하였다.

본실험에서 사용된 시료의 구분은 표 1에 나타난 것과 같다.

표 1. 시료의 구분

Table 1. The classification of the specimen

구분	변압기유의 양 (Unit : [ml])	불순물의 양 (NaCl)	불순물 함유량 (Unit : [ppm])
# 1	1 0 0 0	0 [mg]	0
# 2		3 [mg]	3
# 3		6 [mg]	6
# 4		9 [mg]	9

(2) 실험방법

1) 물성분석

순도 99.5[%]의 순수한 염화나트륨을 교반한 시료에 대해 광학적인 분석 방법으로 FTIR(Fourier Transform Infrared Spectroscopy)을 이용하였다.

광유계 탄화수소는 매우 복잡한 이성체로 구성되어 있어 정확한 화학구조를 아는 것은 불가능하고 단지 형태로만 구분하고 있다.

2) 유전특성

본 실험에서는 실험시료로써 염화나트륨을 교반시켜 얻은 3가지 시료에 대한 전기적 특성을 연구하기 위하여 각 시료에 대해 유전특성을 조사하였다.

각 시료는 액체 절연체의 유전율을 측정할 수 있도록 고안된 기하학적 정전용량이 16[pF]인 액체전극에 넣고, 시료를 액체전극에 주입하는 과정에서 발생하는 기포의 영향을 최소화 하기 위하여 진공 데시게이터 내에 시료를 주입한 전극을 넣고 진공펌프를 이용하여 진공탈기한 상태에서 2시간 동안 방치 하였다.

이 과정을 마친 전극은 설정된 온도 상태를 일정하게 유지해 줄 수 있는 자동 온도조절 장치를 내장한 오븐 내에 장착하였다. 그리고 외부에서 시료로 인가되는 전압과 주파수는 주어진 시료의 정전용량과 유전정점을 측정할 수 있는 Video Bridge 2150을 이용하였다.

실험조건으로 인가전압 범위는 300[mV]~1500[mV], 측정 주파수 범위는 30[Hz]~1.5×10⁵[Hz], 측정 온도 범위는 20[°C]~120[°C]에서 각 시료의 유전특성중 주파수 의존 특성을 연구하였다.

실험장치에 대한 개략도는 그림 2-1과 같다.

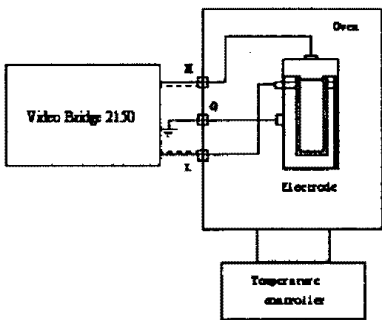


그림 2-1. 실험장치의 개략도

Fig. 2-1. Schematic drawing of experimental device

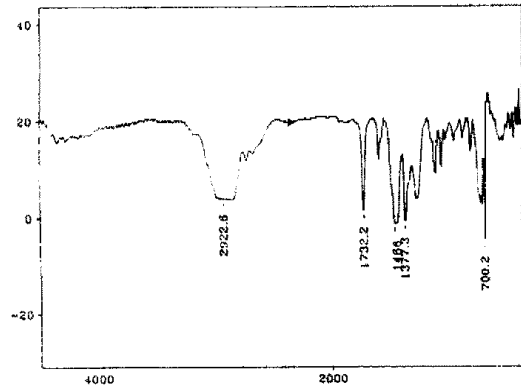
3. 실험결과 및 검토

(1) 물성분석

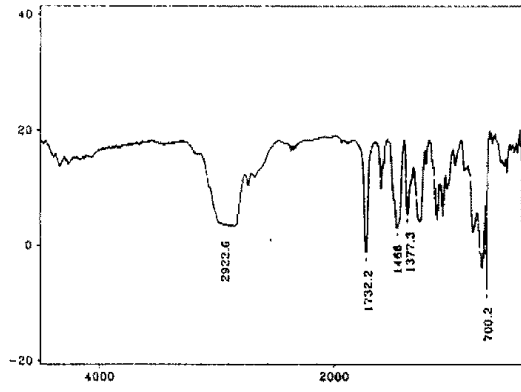
염분이 함유된 변압기유의 물성을 분석하기 위하여 FTIR을 이용하였으며 분석 결과는 그림 3-1과 같다.

시료에 대한 FTIR 분석 결과에서 1732[cm⁻¹] 밴드에서의 피크는 염분 함유량이 증가할수록 점점 커지는 것을 볼 수 있으며, 이와같은 현상은 실험을 마친 시료에 대해서도 같은 결과를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이것은 Carbonyl 기의 증가를 암시하는 것으로 생각된다.

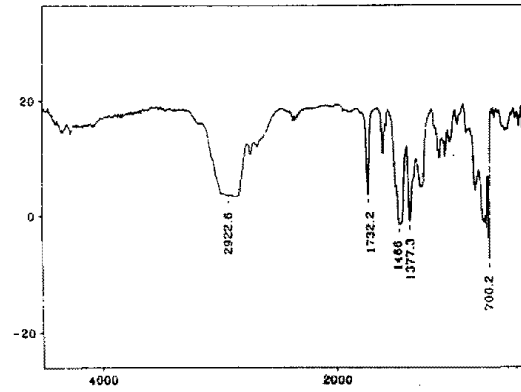
또한 700[cm⁻¹] 밴드에서의 피크는 염분 함유량이 증가할수록 피크의 크기가 점차로 작아지는 것을 확인하였다.



(a) 3 [ppm]



(b) 6 [ppm]



(c) 9 [ppm]

그림 3-1. 각 시료의 적외선 스펙트럼

Fig. 3-1. Infrared spectrum of each specimen

(2) 유전특성의 주파수 의존성

변압기유의 염분에 따른 전기적 특성을 조사하기 위하여 불순물로서 순도 99.5[%]의 순수한 염화나트륨을 교반시킨 변압기유에 대한 전기적 특성실험으로 유전특성실험으로 주파수의존성을 조사하였다.

인가전압 750[mV]인 경우에 온도 20[°C], 50[°C], 80[°C], 120[°C]의 주파수 의존 특성도를 각각 그림 3-2, 3-3, 3-4, 3-5에 나타내었는데, 저주파수 영역의 피크를 β피크라 하고 고주파수 영역의 피크를 α피크라 칭한다.

인가전압 750[mV], 온도 20[°C]의 유전특성의 주파수의존 특성도에서 β피크는 염분함량이 높아질수록 점점 저주파영역으로 이동하는 것을 확인할 수 있으며, 염분이 3[ppm]함유된 변압기유의 경우 약 250[Hz]부근에서 6[ppm]인 경우

200[Hz], 9[ppm]인 경우 250[Hz]부근으로 이동됨을 알 수 있다.

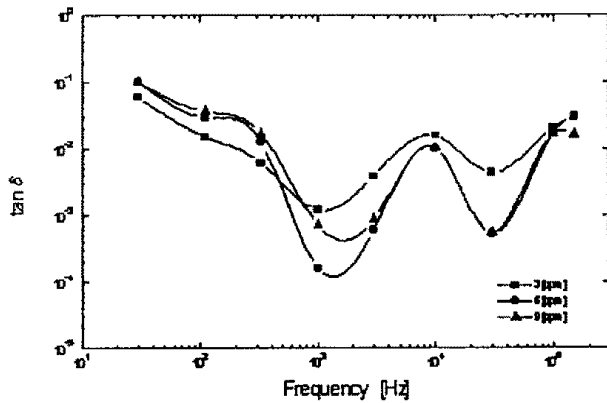


그림 3-2. 유전특성의 주파수의존성(750[mV], 20[°C])
Fig. 3-2. Frequency dependence of dielectric characteristics(750[mV], 20[°C])

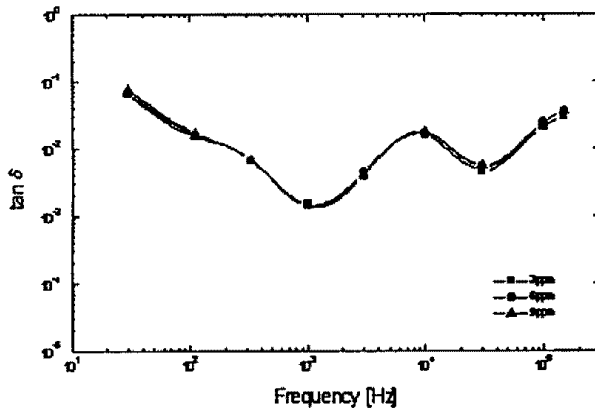


그림 3-3. 유전특성의 주파수의존성(750[mV], 50[°C])
Fig. 3-3. Frequency dependence of dielectric characteristics(750[mV], 50[°C])

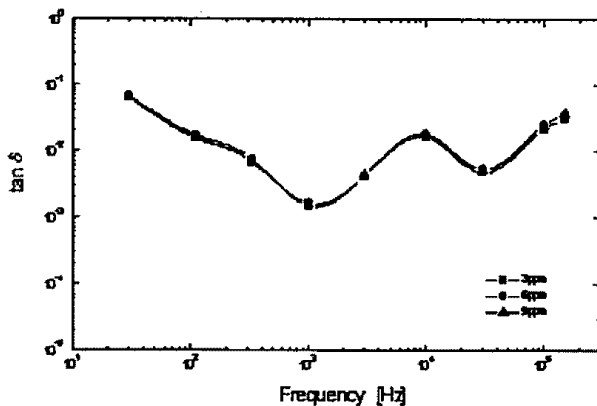


그림 3-4. 유전특성의 주파수의존성(750[mV], 80[°C])
Fig. 3-4. Frequency dependence of dielectric characteristics(750[mV], 80[°C])

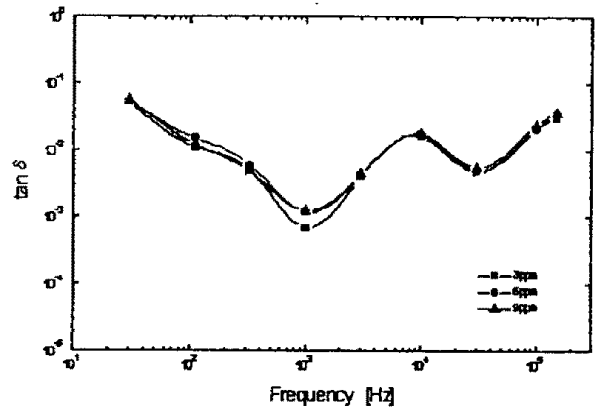


그림 3-5. 유전특성의 주파수의존성(750[mV], 120[°C])
Fig. 3-5. Frequency dependence of dielectric characteristics(750[mV], 120[°C])

이와 같이 β 피크가 저주파 영역으로 이동함과 동시에 유전 정점의 크기는 커지는데 이것은 염분 함유량이 증가할수록 이온에 의한 도전성이 증가하기 때문으로 생각되며, 액체질 연유에서 수분이 함유되는 원인으로는 외부적인 요인에 의해서 흡수되는 경우도 있지만 질연유의 열화에 의해 부분적으로 수분이 발생되기도 하므로 순수한 염화나트륨의 이온성 해리에 의해 도전성이 증가되는 것으로 추정된다.

α 피크의 경우는 일정한 주파수(10[kHz])영역에서 나타내며, 크기는 β 피크와 반대로 염분 함유량이 증가할수록 유전정점의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있다.

이와 같은 현상은 NMR에서 확인된 것과 같이 알킬기나 나프텐 환의 주쇄기여에 의해 주파수 변환에 무관하게 일정한 특성을 보이는 것으로 분석된다. 특히 원시료의 경우 β 피크는 확실하게 나타났지만 염분의 함유량과 전자선 조사 등 열화가 주어지면 초저주파수 영역의 값들이 커지는 것도 확인하였다.

온도가 50[°C]로 증가되면 이온의 도전성으로 보이는 β 피크는 염분 함유량에 관계없이 일정한 주파수 영역, 약 100[Hz]부근에서 나타나며 1[kHz]에서 3[kHz]영역의 유전정점의 크기가 20[°C]에 비해 커진 것을 볼 수 있다.

그러나 α 피크는 1×10^4 [Hz]부근에서 나타나며 염분함량 변화에 무관하고 일정한 특성을 보인다. 이러한 현상은 온도 80[°C]가 되면 더욱 진전되며 β 피크가 나타나는 영역에서 유전정점은 거의 선형적으로 주파수 증가에 따라 감소하며 역시 1[kHz], 3[kHz] 영역의 유전정점은 온도 50[°C]경우와 비교하여 더 커진다.

이것은 온도가 증가되면서 시료의 열화가 진전되면서 생성된 수분에 의해 잔유된 염분의 이온 해리도가 높아져 염분 함량과 관계없이 도전성이 증가하기 때문으로 생각된다.

그러나 α 피크의 경우는 20[°C]와 마찬가지로 1×10^4 [Hz]부근에서 나타나며 유전정점의 크기도 약 2×10^{-2} 로 일정한 것으로 확인할 수 있었다.

온도 120[°C]의 경우에는 특히 주파수 1[kHz]영역의 유전정점 크기가 다시 감소 되지만 그러나 염분 함유량이 높아질수록 유전정점의 크기가 커지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 온도가 120[°C]정도로 되면 액체의 특이성으로 인해 유동성이 증가되므로 염분 함량이 작으면 그만큼 도전성에

기여하는 이온의 밀도가 상대적으로 낮아 전기전도에 기여하지 못하므로 유전정점의 크기는 작아지는 것으로 생각된다. 또한, 주쇄의 기여로 추정되는 α 피크는 앞서 설명한 바와 같이 일정함도 확인할 수 있다.

다음은 같은 조건에 대해서 인가전압이 1500[mV]인 경우의 유전특성의 주파수 의존성을 각각 그림 3-6, 3-7, 3-8, 3-9에 나타내었다.

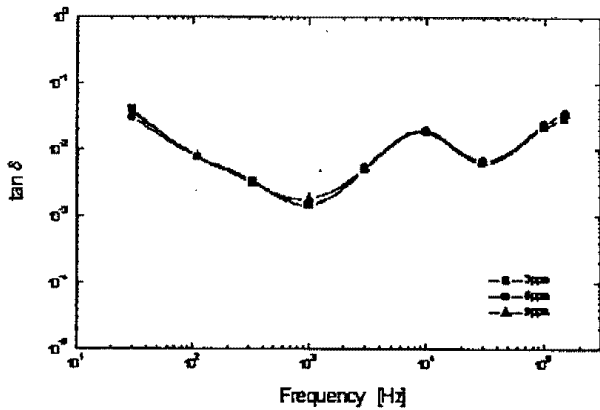


그림 3-6. 유전특성의 주파수 의존성(1500[mV], 20[°C])
Fig. 3-6. Frequency dependence of dielectric characteristics(1500[mV], 20[°C])

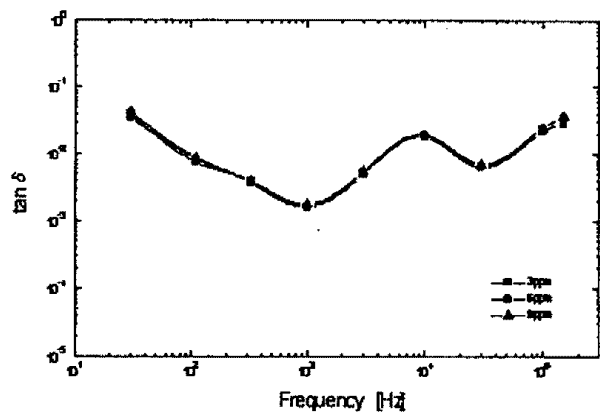


그림 3-7. 유전특성의 주파수 의존성(1500[mV], 50[°C])
Fig. 3-7. Frequency dependence of dielectric characteristics(1500[mV], 50[°C])

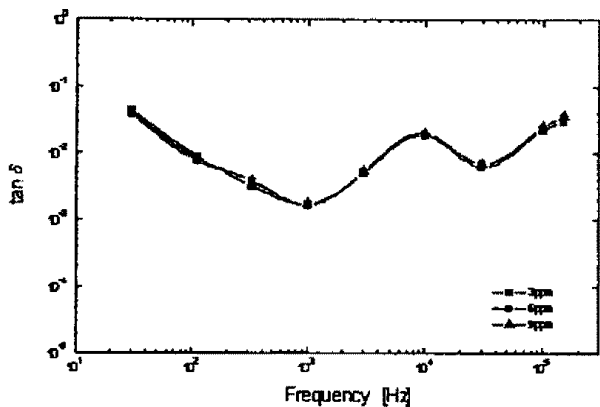


그림 3-8. 유전특성의 주파수 의존성(1500[mV], 80[°C])
Fig. 3-8. Frequency dependence of dielectric characteristics(1500[mV], 80[°C])

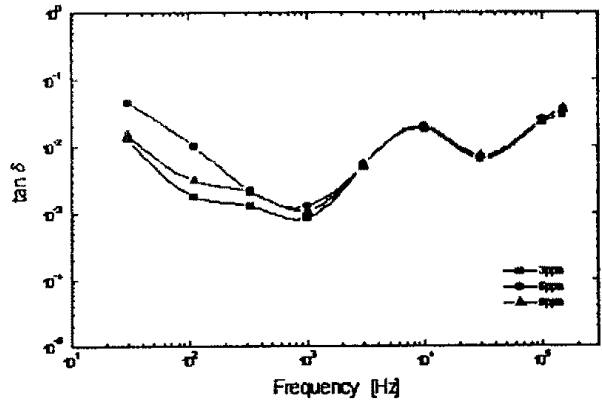


그림 3-9. 유전특성의 주파수 의존성(1500[mV], 120[°C])
Fig. 3-9. Frequency dependence of dielectric characteristics(1500[mV], 120[°C])

인가전압 750[mV]의 경우에서 나타나던 β 피크는 인가전압이 1500[mV]로 증가하면 나타나지 않는 것을 볼수있는데, 이는 인가전압이 증가하므로 인해 도전성이 증가된 것으로 생각된다.

온도 50[°C], 80[°C]의 경우는 인가전압 750[mV]인 경우와 유사한 경향이 나타남을 확인할 수 있다.

온도 120[°C]의 경우 염분함유량의 포화로 인해 6ppm의 경우가 유전정점이 가장 크게 나타나며, 인가전압이 750[mV]에서 1500[mV]로 증가함에 따라 1[kHz]이하의 저주파수 영역에서는 오히려 유전정점이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

이것은 Garton의 이론에 따라 인가전압이 높아지면 인가전압의 약 -1.5승에 비례하여 유전정점의 크기가 감소한다는 것으로 분석되어진다.

또한 인가전압 1500[mV]인 경우에는 주쇄의 기여로 생각되는 α 피크는 인가전압 750[mV]인 경우와 동일하며 일정한 특성을 나타냄을 확인할 수 있다.

4. 결 론

액체 절연체에 미치는 불순물의 영향을 조사하기 위하여 액체 절연체로는 변압기유를 선택하고 불순물로 순수한 염화나트륨을 교반하여 제작한 시료에 대하여 물성분석과 전기적 특성 실험으로 유전특성의 주파수 의존성을 실험한 결과는 다음과 같다.

물성분석의 결과에서 시료의 적외선 흡수 밴드에서 $1732[\text{cm}^{-1}]$ 밴드의 피크는 염분 함유량이 증가할수록 커지며, $700[\text{cm}^{-1}]$ 밴드의 피크는 이와 반대로 염분 함유량이 증가할수록 크기는 작아지는 것을 확인하였다.

시료에 대한 전기적 특성을 연구하기 위한 유전특성 실험에서 저전압·저온 영역에서는 이온에 의한 도전성의 영향으로 β 피크는 염분 함유량이 증가할수록 β 피크가 나타나는 주파수 영역은 저주파수 영역으로 이동됨을 확인하였으며, 온도의 증가에 따라서는 이온에 따른 도전성이 증가하여 유전정점은 커지는 것을 확인하였다.

그러나 주체의 기여로 나타나는 α 피크는 염분 함유량의 변화에 관계없이 무관하며 일정한 특성을 보임을 확인하였다.

인가전압이 높아지면 전압증가에 따라 도전성도 증가하기 때문에 유전정점의 크기도 커지는데, 저전압·저온영역에서 볼 수 있었던 β 피크는 나타나지 않음도 확인할 수 있었다.

그리고 고온영역에서 염분 함유량의 포화가 나타남도 알 수 있었다. 그러나 α 피크는 인가전압이 높아져도 염분 함유량에 무관하고 일정함을 알았다.

이와같은 실험결과를 바탕으로 이온성 불순물은 액체 절연유의 도전성 증가에 기여하므로 절연성능 저하의 원인을 제공하므로 이러한 불순물의 영향을 충분히 제거할 수 있는 새로운 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- [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] 日本工業技術院 ; 赤外分光分析方法通則, JIS K 0117, PP 1-34 (1990)
- [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)
- [6] R. Tamura, Y. Miura et al ; STATIC ELECTIFICATION BY FORCED OIL FLOW IN LARGE TRANSFORMER, IEEE TRANS. on Power Apparatus and Systems, PAS-99, 1, PP 335-343 (1980)

본연구는 1995년도 한국전력공사의 연구 지원에 의해 수행 되었음