

열 열화에 따른 변압기 절연물의 절연특성 분석

Analysis of Insulation Characteristics for Transformer Insulating Materials According to Thermal Degradation

이 민 구* · 심 재 명** · 임 경 범*** · 이 대 동†

(Min-Gu Lee · Jae-Myung Shim · Kyung-Bum Lim · Dae-Dong Lee)

Abstract - In this study shall investigate the influence upon the electrical property of transformer oil due to the heat among accelerated heat degradation experiment for a constant hour in the typical insulation oils of mineral base oil, silicon base oil and vegetable oil. In addition, the electric insulation performance of insulation materials in transformer shall be evaluated through the electric property analysis according to the heat degradation of epoxy insulation material, which has been used for electric facilities such as a molded transformer.

Key Words : Insulation characteristics, Insulating materials, Pole transformer, Thermal degradation

1. 서 론

전력수요가 증가함에 따라 전력용 변압기의 대형화와 더불어 각종 전력기기의 절연 및 냉각에 대한 신뢰도 향상이 절실히 요구되고 있으며 변압기의 고장은 설비의 보수비용 증대와 수용가의 경제적 손실에 막대한 영향을 끼치고 있다[1,2]. 이러한 전력기기의 사고원인의 대부분은 절연재료의 열화에 의한 절연파괴에 기인하고 있으며 이에 대한 예방진단법은 여러 가지가 있으나 그 중 절연재료의 열화현상과 열화정도를 분석하는 방법이 널리 사용되고 있다[3-5]. 그 중 변압기 사고의 대부분은 절연물의 사용년 수의 경과에 의해 장기간에 걸쳐 열화가 진행되어 절연파괴에 의한 성능저하가 발생하고 있으므로 이를 방지하기 위한 변압기의 절연열화 진단법이 요구되고 있다[6].

변압기의 열화요인으로는 열, 수분, 산소, 부분방전 그리고 기계적 응력에 의한 열화 등이며 변압기 열화와 관계되는 재료는 절연지, 절연유 등이다[7]. 절연지는 열과 부분방전에 의해 셀룰로오스가 분해되어 탄화생성물을 발생시키고, 절연유는 열, 수분, 산소 그리고 불순물 등에 따라 그 속성이 변화하며 주로 이러한 영향들은 절연재료의 전기적, 기계적 열화를 수반하게 되어 변압기의 절연 및 냉각용 재료인 변압기유의 신뢰성 확보를 위한 연구가 절실히 요구되고 있다[8-10].

따라서 본 논문에서는 대표적인 변압기의 절연유인 광유, 실리콘유 및 식물성 절연유를 가속열화 실험을 통해 열 열화에 따른 전기적 특성을 분석하고자 한다. 또한 몰드변압기 등의 전기설비에 많이 사용되고 있는 에폭시 절연재료에 대한 열 열화에 따른 전기적 특성분석을 통해 변압기 절연물에 대한 전기적 절연성능을 평가하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 변압기 절연물의 열화메커니즘

일반적으로 주상변압기에서 발생하는 열화메커니즘은 전계, 열, 수분 그리고 산소 등으로 인하여 절연물을 열화시켜 절연지의 탄화와 절연유의 가연성 분해가스·슬러지를 생성시키는 과정으로 진행되며[11] 열화프로세스는 그림 1과 같이 표현된다[12].

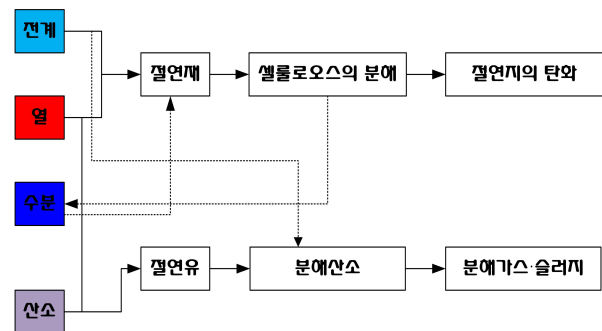


그림 1 변압기 절연물의 열화프로세스

Fig. 1 Degradation process of the transformer insulating materials

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Hanbat National University, Korea.

E-mail: ldd77@hanbat.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Wonkwang University, Korea.

** Dept. of Electrical Engineering, Hanbat National University, Korea.

***Dept. of Fire and Safety Management, Daejeon Institute of Science and Technology, Korea.

Received : September 4, 2016; Accepted : September 28, 2016

이와 같은 열화현상으로 인해 부하 량 변화, 기계적 강도저하, 진동증가, 절연유의 절연저하 등이 발생되어지고 결국 절연파괴 및 냉각기능이 저하하게 되므로 변압기 사고의 원인이 되기도 한다 [13].

2.2 시료제작 및 열처리

열 열화에 따른 절연유의 전기적 특성을 분석하기 위하여 현재 대부분 사용되고 있는 광유, 실리콘유, 식물성 절연유를 실험에 사용하였다. 광유의 경우 원유의 증류를 통해 생산하고 있는데 중질 디젤유(diesel oil)보다도 낮은 온도에서 분리되는 광유계 기유로 생산된다. 따라서 저온 안정성이 낮고 불균일한 분자량 분포를 보이며 물리화학적 물성의 변화 폭이 크다.

또한 실리콘유는 난연성 및 내열성이 우수한 특성을 나타내지만, SiO₂ 생성으로 절연내력이 저하한다. 반면 식물성 절연유는 식물에서 추출한 천연 에스테르(natural ester)에서부터 합성한다. 기본적으로 화공학적 기술을 바탕으로 생산되는 식물성 절연유는 목적에 맞게 설계되어진 반응공정을 통해 생산되는데, 식물성 절연유는 기존 광유와 비교하여 화학적 유연성, 열 안정성 및 생분해성이 우수하다. 표 1은 실험에 사용된 각각의 절연유의 물성 값을 측정하여 상호 비교하여 나타내었다[14,15].

표 1 절연유의 물성
Table 1 Physical properties of insulating oil

Items		Mineral Oil	Silicon Oil	Vegetable Oil
Thermal Conductivity	W/(m·K)	0.124	0.142	0.123
Permittivity	80°C	2.94	2.71	2.2
Volume Resistivity	(80°C) Ω·cm	8.5×10 ¹³	5×10 ¹⁵	4.6×10 ¹⁵
Dielectric Breakdown	(2.5mm) kV	68	63	78
Water Contents	ppm	11	14	21

또한 몰드변압기용 에폭시 절연재료는 고온경화용 주형 수지로 비스페놀 A형(CibaGeigy, CY 205) 수지를 사용하였고 경화재료는 산무수물계(CibaGiegy, HY 905)를 사용하였다. 또한 경화물의 충격강도와 인장강도를 개선시키기 위해서 가소제(CibaGeigy, DY 062)를 첨가하였다.

에폭시 수지와 경화제의 배합은 중량 비 100:100으로 배합하였으며, 경화물의 충격강도와 인장강도 개선을 위한 가소제는 에폭시 중량의 10(wt.%)을 첨가하였다. 열처리 시료는 직경 100mm, 두께 2mm로 일정하게 제작하였다. 시료의 경화 전 충전제가 들어간 에폭시 수지의 점도가 낮은 80°C에서 30분간 블렌드한 후 시료를 제작하였다. 에폭시 수지와 경화제, 가소제를 정밀저울로 정확한 질량을 측정하여 30분간 교반한 후에 진공탈포 하여 미소기포를 제거하였으며 준비된 주형에 주입한 후에 80°C에서 250분, 90°C에서 240분간 미소기포를 제거하였다.

주형에 주입한 후 경화처리는 115°C에서 150분간 1차 경화를 실시하였고 열적 안정도를 유지하기 위해서 140°C에서 320분간 2차 경화를 실시하였다. 경화종료 후에는 시료내부의 열응력을 줄이기 위해 서서히 냉각시켜 최종적으로 열처리 시료를 제작하였다. 열 열화를 위한 절연유 및 몰드변압기용 에폭시 절연재료의 가속열화 실험은 일정한 가스분위기(공기), 일정압력(상압)하에서 처리온도를 100°C로 유지시켰고 처리시간을 1,000시간, 2,000시간, 3,000시간, 4,000시간까지 1,000시간 간격으로 처리하였다.

2.3 측정방법

열 열화에 따른 절연유의 유전특성변화를 측정하기 위해 액체 유전율 측정기기(16452A Liquid Test Fixture, Hewlett Packard)에 절연유를 주입한 후 Impedance Analyzer(4192A, Hewlett Packard)에 연결하여 100(Hz)~13(MHz)에 이르는 주파수 영역에 걸쳐 유전특성을 분석하였다. 몰드변압기용 에폭시 절연재료의 유전특성은 JIS K-6911(열경화성 플라스틱의 일반시험방법) 규정에 의해 원형 마스크를 제작하여 AI을 진공 증착하여 전극을 형성시킨 후 Impedance Analyzer에 연결하여 주파수 변화에 따른 유전특성을 측정하였으며, 표면저항률은 3단자 전극을 형성시킨 뒤, 시료를 향온조(Sample Chamber, Takeda Riken, TR43C)에 설치하고 487 Picoammeter(Keithley)를 이용하여 500V의 직류전압을 인가하여 1분경과 후, 측정된 누설 전류 값으로부터 각각 처리된 시료의 표면 저항률을 측정하였다.

열 열화에 따른 절연내력 실험은 KS C IEC 60156 기준을 적용하여 측정하였다. 시험방법으로 12.5mm 크기의 황동, 구리 또는 스테인리스강과 같은 재료로 만들어진 전극을 사용하고 전극 간 갭 간격을 2.5±0.05mm로 한 셀에 시료를 넣은 후 거품을 제거하기 위하여 5분간 안정화시켰다. 초기전압을 인가한 후 절연 파괴가 일어나기 전까지 2.0±0.2 (kV)의 비율로 전압을 상승시켜 파괴전압을 측정하였다. 1회 측정 후 전압을 재인가 하기 전 2분간 안정화 시간을 부여하여 전·후 시험의 영향을 최소화 하였고 6회 시험을 실시하여 최초 1회 데이터를 제외한 잔여 5회의 평균값을 획득하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 절연유의 유전특성

그림 2~4는 열 열화에 따른 광유, 실리콘유, 식물유의 유전특성을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 3,000시간까지 열처리를 한 경우 비유전율은 열처리 전에 비해 약간 상승을 하였으나 거의 유사한 값을 나타내었다. 하지만 4,000시간까지 열처리를 한 경우 비유전율이 3.05 정도로 열처리 전 2.2 정도일 때보다 크게 상승하였다. 이러한 결과는 일정시간까지는 절연유가 절연특성을 잘 유지하나 장시간 열처리를 할 경우 강한 열로 인해 탄화수소의 혼합물로 이루어져 있는 분자구조가 열적 변화를 일으켜 절연특성을 저하시키게 된다.

절연유는 가열상태에서 구성분자간의 결합이 끊어지는 현상이

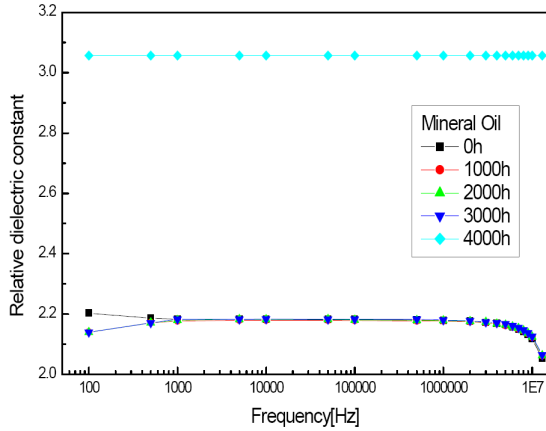


그림 2 열 열화에 따른 광유의 주파수-비유전율
Fig. 2 The frequency-Relative Dielectric Constant of mineral oil according to thermal degradation

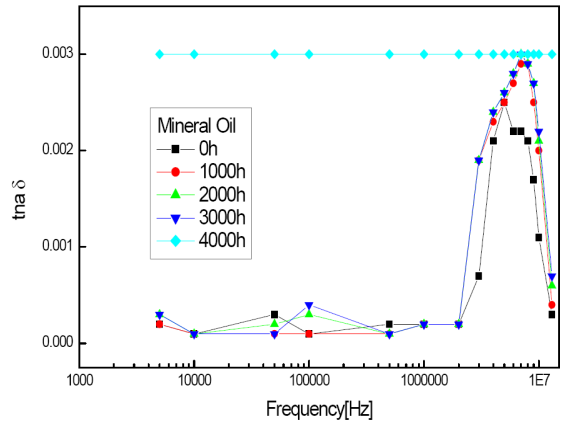


그림 5 열 열화에 따른 광유의 주파수-유전손
Fig. 5 The frequency-dielectric loss of mineral oil according to thermal degradation

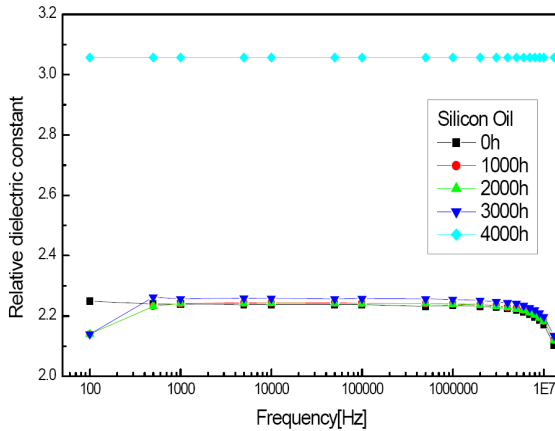


그림 3 열 열화에 따른 실리콘유의 주파수-비유전율
Fig. 3 The frequency-Relative Dielectric Constant of silicon oil according to thermal degradation

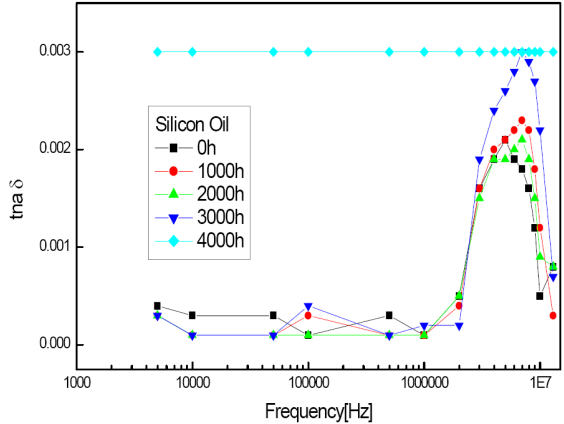


그림 6 열 열화에 따른 실리콘유의 주파수-유전손
Fig. 6 The frequency-dielectric loss of silicon oil according to thermal degradation

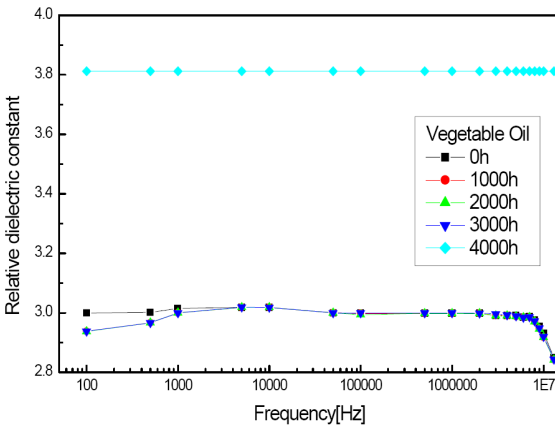


그림 4 열 열화에 따른 식물성유의 주파수-비유전율
Fig. 4 The frequency-relative dielectric constant of vegetable oil according to thermal degradation

진행되는데 이러한 결합의 절단이 열적 열화의 주요요인이 되고 있다. 이러한 절단현상은 유중에 국부과열이 존재하면 열분해에 의한 가스가 발생하는데, 유종의 가연성 가스의 발생속도는 온도 상승에 따라 기하급수적으로 증가하게 되며 이러한 결과 장시간의 열적 열화에서 절연특성에 급격히 감소한 결과를 나타내었다 [16,17].

또한 비유전율은 고주파수 영역에서 감소하는 경향을 보이는데 이는 각종 분극이 겹쳐 나타내기 때문인 것으로, 고주파수 영역에서 나타나는 공간전하 분극에 의한 분산은 분자간의 충돌 또는 주위 분자로부터 받는 속박에 기인하는 완화 형 분산에 의해 고주파수 영역에서 감소하는 경향을 나타내었다[18].

그림 5~7은 열 열화에 따른 광유, 실리콘유, 식물유의 유전손의 특성을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 열 처리시간이 증가할수록 유전손이 증가하였으며 특히 4,000시간까지 열처리를 한 경우에도 유전손이 일정한 값을 유지하였다. 절연유중 수분과 산에 의한 가수분해 스트레스인 코로나에 의해 수소, 일산화탄소,

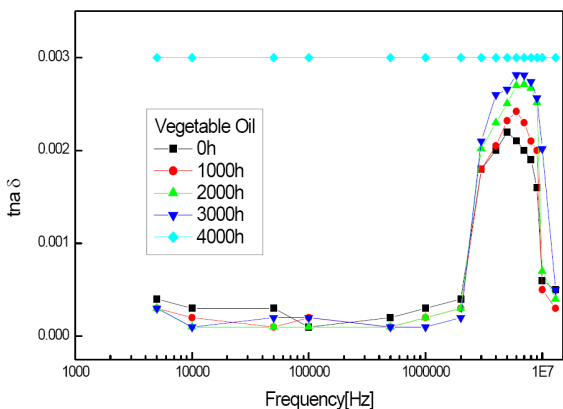


그림 7 열 열화에 따른 식물성유의 주파수-유전손
Fig. 7 The frequency-dielectric loss of vegetable oil according to thermal degradation

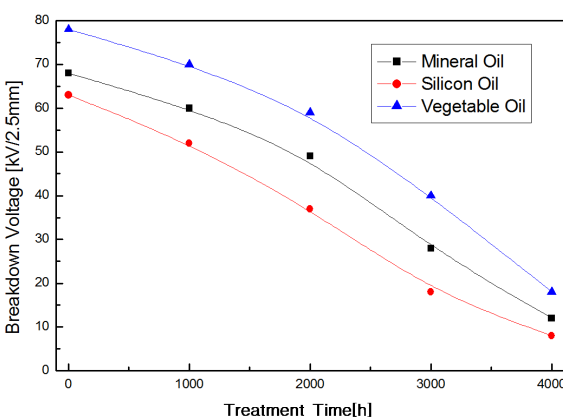


그림 8 열 열화에 따른 절연유의 절연과괴 전압
Fig. 8 The breakdown voltage of insulating oils according to thermal degradation

이산화탄소 등이 발생되며 가수분해로 인해 퓨란, 페놀 등이 발생되며, 열화에 의한 생성된 물질에 의해 특성이 저하되는데 열적 분해과정에서 발생한 부산물이 다시 열분해 과정을 거치면서 열화가 촉진된다. 이러한 결과 열화 시간의 증가에 따라 유전손이 증가한 것으로 판단된다. 또한 고주파 영역에서는 열화에 발생하는 각종 불순물에 의해 절연유의 전기적 특성의 저하로 유전손이 급격히 증가한 것으로 판단된다[15-19].

3.2 절연유의 절연내력특성

그림 8은 열 열화에 따른 광유, 실리콘유, 식물유의 절연내력 특성을 나타내었다. 그림 8과 같이 모든 절연유의 절연과괴 전압을 비교해본 결과 열처리 시간이 증가할수록 절연과괴 전압이 감소하는 특성을 나타내고 있다. 이러한 결과는 기존의 변압기 내의 절연유는 나프탄 계 또는 파라핀계의 광유로서 방향족 탄화수소의 혼합물로 이루어져 있는데 이들 분자들은 산소와 반응하여 불 유용성 알켄 류, CO₂, CO, H₂ 등의 가스 성분과 최종 분해

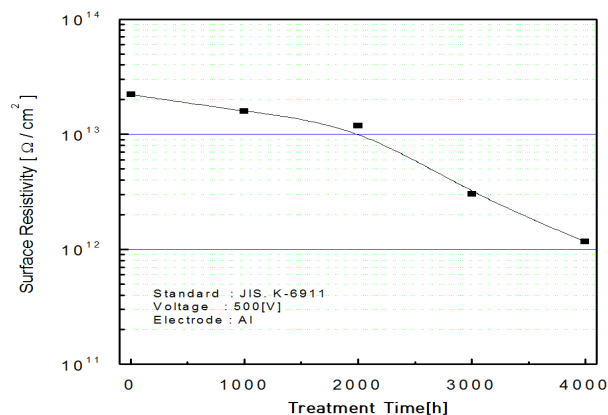


그림 9 열 열화에 따른 에폭시 절연재료의 표면 저항률
Fig. 9 The surface resistivity of epoxy insulating materials according to thermal degradation

생성물인 탄소 등의 슬러지가 생성되어 절연내력의 저하를 일으킨 것으로 판단된다. 측정 결과 광유와 실리콘유보다는 식물성 절연유의 절연과괴 전압이 높게 나타나 식물성 절연유가 광유나 실리콘유에 비해 전기적 특성이 우수한 것으로 판단된다.

3.3 몰드변압기용 에폭시 절연재료의 절연특성

그림 9는 열 열화에 따른 몰드변압기용 에폭시 절연재료의 절연특성을 분석하기 위한 표면저항률을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 열처리 시간의 증가에 따른 2,000시간까지는 표면저항률이 증가하다가 그 이상의 열 처리시간에서는 감소하는 특성이 나타났다. 열처리 전 시료는 표면저항률이 약 2.21×10¹³(Ω/cm²) 정도의 값을 나타내었으나 열처리 2,000시간에서는 약 2.56×10¹³(Ω/cm²) 정도로 증가하였으며 그 이상의 열처리 시간에서는 감소하는 특성을 나타내었다. 이는 일정시간까지는 표면에서 재가교 및 불순물 등의 증발로 인하여 표면활성화가 지연되어 표면저항률이 증가함을 나타낸다. 즉 열 열화로 인해서 표면의 절연특성은 초기보다 증가하였으나, 장시간의 열처리 시간에서는 오히려 분자 간 결합 쇠의 파괴로 표면활성화가 증가되어 표면저항률이 감소하여 표면절연특성이 저하되었음을 의미한다.

그림 10과 11은 열 열화에 따른 몰드변압기용 에폭시 절연재료의 전기적 절연특성을 분석하기 위한 유전특성을 나타내었다. 몰드변압기용 에폭시 수지의 비유전율은 60(Hz)에서 3.75 정도의 값을 나타냈으나 열처리 시간이 증가할수록 비유전율이 다소 증가하는 특성을 나타내었다. 또한 유전손도 열처리 온도가 증가됨에 따라 증가하는 불안정한 특성을 나타내었다. 이는 열처리 시간이 증가하면서 시료 내부로의 열에너지의 축적 등에 의해 경화제나 충전제 등이 불안정한 성분과의 결합을 파괴하고, 크랙의 발생과 온도가 증가함에 따라 에폭시 수지 내에서 분자운동에 변화가 일어나 쌍극자가 배향하기 쉽게 되므로 비유전율이 온도에 비례하여 증가하게 된 것으로 판단된다.

이와 같은 유전특성으로 알 수 있듯이 열 열화에 따른 특성변화는 실 사용되는 몰드변압기의 구리와 에폭시 매트릭스와의 열

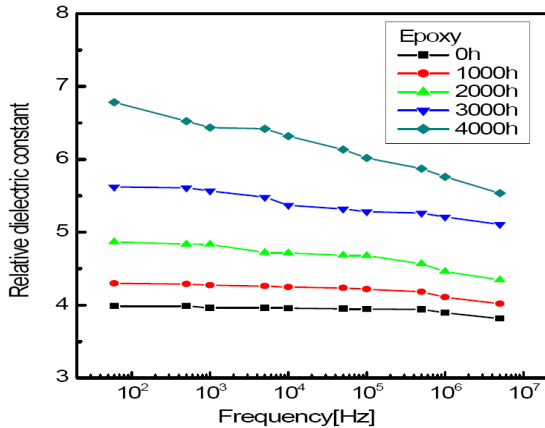


그림 10 열 열화에 따른 에폭시 절연재료의 주파수-비유전율 특성
 Fig. 10 The characteristics of frequency-relative dielectric constant of epoxy insulating materials according to thermal degradation

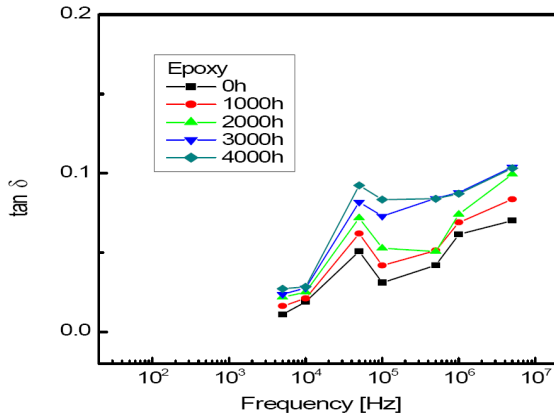


그림 11 열 열화에 따른 에폭시 절연재료의 주파수-유전손 특성
 Fig. 11 The characteristics of frequency-dielectric loss of epoxy insulating materials according to thermal degradation

팽창계수의 차이에 따라 계면 상에 존재하는 미소 보이드 및 장시간의 열에너지의 축적으로 인하여 상대적으로 약하게 결합되어 있는 계면의 분자 쇄가 절단됨으로써 강한 크랙을 발생시켜 절연특성이 상당히 저하됨을 알 수 있다. 즉 열 열화된 시료의 경우, 표면에서는 소수화의 진행으로 절연특성이 향상되고 있으나 시료 내부에서는 열 응축으로 인한 불안정한 유전특성을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 변압기 절연유와 에폭시 절연재료에 대한 열 열화에 따른 유전율 및 절연강도를 측정하였고 그 결과를 분석하였다. 또한 절연유의 유전특성 및 절연내력 실험결과를 이용하여 절연물의 파괴정도를 예측할 수 있는 방안을 모색하였고 에폭시

절연재료의 절연특성 실험을 통해 몰드변압기의 절연상태를 확인하였다.

유압변압기 절연유의 유전특성은 시간이 지날수록 탄화수소 혼합물의 분자구조가 열 열화에 의해 절연특성이 저하되는 것을 확인하였고, 광유보다는 식물성유가 절연지의 비유전율과 비슷한 구조의 분자성분을 가지는 것을 확인하였다. 또한 전계는 절연유보다 절연내력이 더욱 강한 절연지에 더 많이 분포되므로 절연유의 유격을 줄일 수 있기 때문에 변압기 구조를 합리화할 수 있을 것이다.

몰드 변압기에서는 에폭시 절연재료의 전기적 절연 특성변화를 알 수 있는 유전특성이 시간이 지날수록 비유전율과 같이 유전손도 증가함을 확인하였다. 이는 가해지는 온도에 따라 불안정도가 같이 증가하므로 내부 절연과괴 시 절연특성이 급속히 저하되는 것을 확인하였다. 또한, 장시간의 열 열화로 인한 표면의 절연특성의 향상보다는 내부의 열 축적으로 인한 유전특성을 개선해야함을 알 수 있었다. 본 논문은 열 열화에 따른 절연물의 절연특성을 이용하여 변압기의 절연재료 개선 및 품질향상 등에 기여할 것으로 판단된다.

References

- [1] Sri Sundar, Al Bernstorff, Waymon Goch, Don Linson and Lisa Huntsman, "Polymer Insulating Materials and Insulators for High Voltage Outdoor Applications", Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Baltimore, MD USA, pp. 222-228, June 1992
- [2] Dong-Jin Kweon, Young-Kap Chon and Kook-Hee Cho, "Characteristics of the Degradation Detecting Sensor in Accelerated Aging Oil", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 47, No. 2, pp. 247-252, Feb. 1998
- [3] Sun-Ho Choi, Jung-Il Jeong and Chang-Su Huh, "Analysis on the Chemical and Electrical Characteristic of Vegetable oil by Accelerated Aging", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 60, No. 5, pp. 984-989, May 2011
- [4] Sung-Hong Kim, Woo-Sang Lee and Jae-Yong Jeong, "A Study on the Dielectric Degradation Using Partial Discharge System", The Institute of Electronics Engineers of Korea-T, vol. 35, No. 1, pp. 1-6, June 1998
- [5] Jung-Sik An, Sun-Ho Choi, Jeong-Ju Bang, Joong-II Jung and Chang-Su Huh, "Analysis of Accelerated Aging Natural Ester Oil and Mineral Oil in Distributional Transformers", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 60, No. 6, pp. 1163-1168, June 2011
- [6] Sun-Ho Choi and Chang-Su Huh, "Research of Accelerated Aging According to Long-term Stability of

- Vegetable Oil”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 61, No. 8, pp. 1148-1152, Aug. 2012
- [7] Dong-Soon Kwag, “Breakdown Properties for Insulation Design of the Environment-Friendly Pole Transformer using the Vegetable Insulating Oil”, Journal of the Korean Society of Safety, vol. 26, No. 6, pp. 7-12, Dec. 2011
- [8] Hee-Rho Kwak, Young-Woo Nam, Young-Ja Yun, Mi-Ok Namgung and Dong-Zoon Lee, “(A Study on Preventive Diagnosis of the Pole Transformer by Gas Analysis)- Measurement of Aging of Insulating Oil by UV-Visible Spectrophotometric Method-”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 10, No. 5, pp. 94-100, Oct. 1996
- [9] Seung-Min Lee, “Analysis for Insulating Degradation Characteristics with Aging Time for Oil-filled Transformers and/or Correlation between using Linear Regression Method”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 59, No. 4, pp. 693-699, Apr. 2010
- [10] C. Patrick McShane, “Relative Properties of the New Combustion-Resistant Vegetable-Oil-Based Dielectric Coolants for Distribution and Power Transformers”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 37, No. 4, pp. 1132-1139, July/Aug. 2001
- [11] Myeong-Seop Shim, Jung-Sik An, Sun-Ho Choi, Jung-Il Jeong, Tae-Ho Lee and Chang-Su Huh, “Analyses on Electrical-Mechanical Characteristics of Environment-friendly Transformer Insulating Material by Accelerated Thermal Aging”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 59, No. 10, pp. 1832-1838, Oct. 2010
- [12] S. I. Hong and B. C. Kim, “Ultra-High Modulus Aramid Fibres”, The Journal of the Korean Fiber Society, vol. 19, No. 2, pp. 45-58, Apr. 1982
- [13] Myeong-Su Son “A Study on the Electrical Characteristics of Insulating Materials for Transformers”, Yonsei University master's thesis, Feb. 2002
- [14] IEEE, “IEEE Guide for Determination of Maximum Winding Temperature Rise in Liquid-Filled Transformers”, IEEE Std., pp. 1538-2000, 2000
- [15] R. Ghafurian and D. W. Von Dollen, “Options for Reducing Environmental-Related Utility Costs Associated With Dielectric Fluids Employed in Cables and Transformers”, EPRI, TR-111722. 1998
- [16] A. M. Emsley and G. C. Stevens, “Review of chemical indicators of degradation of cellulosic electrical paper insulation in oil-filled transformers”, IEE Proceedings-Science, Measurement and Technology, vol. 141, No. 5, pp. 324-334, Sep. 1994
- [17] Myeong-Seop Shim, “Analyses on Electrical -Chemical characteristics of Environment-friendly Transformer Insulating Material by Accelerated Thermal Aging”, Inha University master's thesis, Feb. 2011
- [18] T. Nakashima, Dielectric Phenomenology, IEEJ, pp. 118-121.
- [19] C. C. Ku and R. Liepins, Electrical properties of polymers, Carl Hanser, pp. 59-101, 1987

저 자 소 개



이 민 구 (Min-Gu Lee)

2007년 한밭대학교 전기공학과 졸업. 2016년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 원광대학교 전기공학과 박사과정.

E-mail : kostarpower@hanmail.net



심 재 명 (Jae-Myung Shim)

1976년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1979년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한밭대학교 전기공학과 교수.

E-mail : jmshim@hanbat.ac.kr



임 경 범 (Kyung-Bum Lim)

1993년 인천대학교 산업안전공학과 졸업. 1999년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 대전과학기술대학교 소방안전관리과 교수

E-mail : kbllim69@naver.com



이 대 동 (Dae-Dong Lee)

2002년 우송대학교 전자공학과 졸업. 2004년 한밭대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한밭대학교 전기공학과 조교

E-mail : ldd77@hanbat.ac.kr