

몰드변압기용 에폭시 수지의 열 열화 특성에 관한 연구

남기동*, 정종일, 허창수
인하대학교 전기공학과

Study on the Thermal Degradation Properties of Epoxy Resin for the Cast Resin Transformer

K. D. Nam*, J. I. Jung, C. S. Huh
Dept. of Electrical Eng. Inha Univ.

Abstract - In this paper, study on the properties of the thermal degraded epoxy resin which is used in cast resin transformer is performed to investigate the problems of the decreasing insulation characteristics and crack in the cast resin transformer. In the test, contact angle, weight loss, surface resistivity and relative dielectric constant are measured. As the results of the above measurements, the epoxy resin has increased to 150°C in the contact angle and surface resistivity but at the above 150°C the values have decreased. The relative dielectric constants have increased in the thermal treated samples with the degradation temperature. Consequently, the insulation properties of the epoxy resin which is used in cast resin transformer have increased by the 150°C but decreased in the above 150°C.

1. 서 론

산업화 및 도시화로 인해서 국부적 전력수요의 급격한 증가는 대용량 전력시설을 요하게 되었고 전력설비의 고압화 및 설비의 소형·경량화가 요구되고 있다. 특히 전력공급에 있어 중요한 역할을 하고 있는 주상용 변압기는 사고 발생시 그 파급 효과가 매우 크게 나타나고 있다. 지금까지 소형 주상용 변압기는 오일을 절연재 및 냉각 매체로 사용하고 있기 때문에 사고 발생시에 2차 재해로 인한 화재 및 폭발의 위험이 내재되어 있고 또한 오일의 노화로 인한 위험성의 증가로 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

이에 반해, 몰드 변압기는 건식 변압기의 특징을 갖추고 있으며, 에폭시수 코일을 몰딩함으로써 외부로부터의 흡습에 의한 절연성능이 억제되고 기계적 충격 및 진동에 강하여 내진성이 높고, 절연유의 열화로 인한 보수가 불필요하고 관리유치가 편리하다. 또한 난연성이 우수하고 에폭시 수지를 사용함으로써 화재사고의 위험이 경감되는 장점을 갖고 있다. 그러나 이러한 몰드변압기는 몰딩후에 권선부 발열에 따른 에폭시 수지의 열화와 열팽창으로 인한 내부 균열 및 절연성의 저하가 문제점으로 대두되고 있으며 이에 대한 연구는 아직도 미흡한 실정

이다. 따라서 본 연구에서는 몰드변압기의 장기 신뢰성 검토와 사고의 위험성 저감을 목적으로 몰드변압기용 에폭시수지의 열 열화에 따른 변화하는 질량변화, 접촉각, 표면저항률, 유전특성에 대해 분석하여 몰드변압기의 장기신뢰성 검토와 기기의 수명을 예측하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험

2.1 시료제작

본 연구에 사용된 시료제작에서, 에폭시 수지는 고온 경화용 주형 수지로 비스페놀-A형(Ciba Geigy: CY 205) 수지를 사용하였고 경화제로는 산수수물계(Ciba Geigy: HY 905)를 사용하였다. 또한 경화물의 충격강도와 인장강도를 개선시키기 위해서 가소제(Ciba Geigy: DY 062)를 첨가하였다.

열 처리를 위한 시료의 제작은 직경 100(mm), 두께 2(mm)로 일정하게 제작하였다.

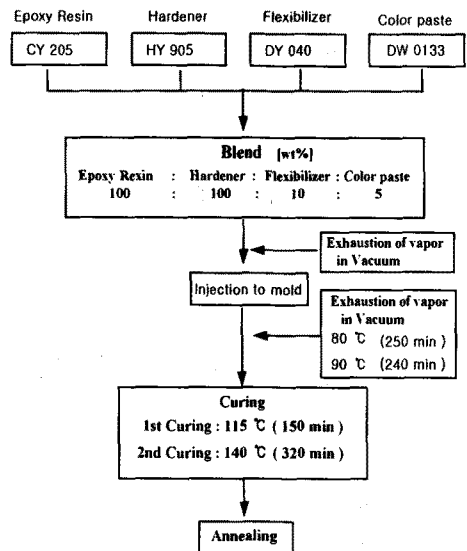


그림 1. 시편 제조공정도
Fig. 1 The diagram of sample manufacture process

경화 처리는 각각의 조성비로 배합된 혼합물을 이용하여 교반장치를 10분간 교반한 후 80℃에서 4시간 10분, 90℃에서 4시간 진공탈포시켜 미소기포를 제거하였으며 90℃에서 미리 예열된 주형에 주입한 후 115℃에서 2시간 30분 1차 경화시켰고, 열적 안정도의 상승을 위하여 140℃에서 5시간 20분간 2차 경화시켰다. 경화시킨 후에는 시료 내부의 열응력을 줄이기 위하여 서냉시켜 제작하였다. 시료 제작 과정은 그림 1에 나타낸다.

2.2 실험 방법

몰드변압기용 에폭시수지의 열화특성을 조사하기 위한 열처리 시간은 30시간으로 일정하게 유지시키고, 처리온도를 각각 100℃, 150℃, 200℃, 250℃로 변화시키면서, 전기로(Electrical Heater)에서 처리한 후 특성변화를 측정하였다.

열화정도에 따른 특성 분석으로 질량변화량(전자저울, Sartorius, 10⁻⁴g)과 접촉각을 측정하였다. 접촉각은 시료표면에 탈이온 증류수 5[μl]를 Sessile Drop 형태로 시료표면에 하적시켜 Contact Angle Meter를 통해 10회 반복측정하여 평균값으로 나타내었다. 또한 열처리에 따른 전기적 특성변화를 측정하기 위하여 JIS, K-6911규정에 의해 원형의 마스크를 제작하여 Al으로 진공증착한 후 3단자 전극을 형성하여 표면저항률과 유전을 측정하였다. 표면저항률은 준비된 시료를 항온조에 설치하고 미소전류계(Picoammeter 487, Keithley, Co)를 이용하여 직류전압 500[V]를 인가하여 30분이 경과된 후 누설전류값을 측정하여 표면저항률을 구하였고, 유전특성은 임피던스 어날라이저(4192A, Hewlett Packard)에 연결하여 60[Hz]~13[MHz]에 이르는 주파수영역에 걸쳐 유전특성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열 열화에 따른 중량 손실비 특성

열 처리에 따른 시료의 질량변화를 그림 2에 나타낸다. 처리온도가 증가함에 따라 선형적인 감소를 보이다가 250℃이상의 처리에서는 급격한 중량손실을 보이고 있다.

이러한 결과는 시료의 표면 및 내부에 존재하는 저분자 물질의 증발로 인하여, 결국 200℃를 기점으로 그 이상에서는 급격한 열화가 진행됨을 나타내고 있다.

질량감소를 보이고 250℃이상의 온도에서는 과도한 열에너지로 인하여 결합체의 절단 및 크랙의 진전으로 급격한 질량 감소를 보이는 것으로 생각된다.

3.2 열 열화에 따른 접촉각 특성

그림 3은 열 처리에 따른 시편의 접촉각 변화를 나타낸다. 처리된 68° 정도를 나타내던 접촉각이 150℃에서는 73°로 증가하였으며 그 이상의 처리 온도에서는 점차 감소하여 250℃처리에서는 62°로 크게 감소하였

다. 이는 150℃까지는 시료 표면의 저분자 극성물질의 증발과 표면에서의 재가교로 인하여 접촉각이 증가하였고 200℃이상의 온도에서는 접촉각이 급격히 감소하였다.

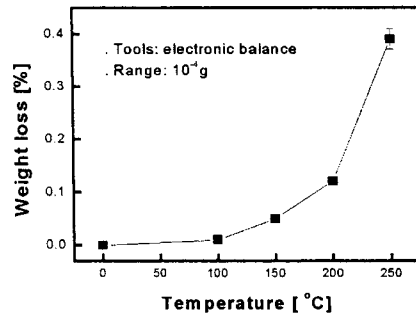


그림 2. 열 열화 온도에 따른 중량손실
Fig. 2 Weight Loss according to the degradation temperature

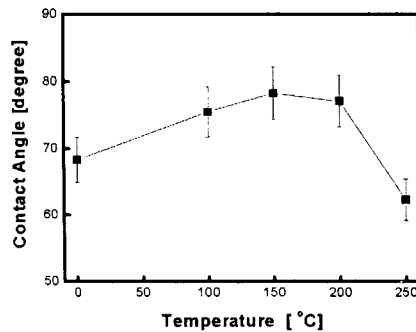


그림 3. 열 열화 온도에 따른 접촉각
Fig. 3 Contact Angles according to the degradation temperature

3.3 열 열화에 따른 표면저항률

열 처리에 따른 시편의 표면저항률을 그림 4에 나타낸다. 표면저항률은 열 처리 온도가 증가함에 따라 150℃까지는 증가하며 그 이상의 온도에서는 감소하는 경향을 보인다. 이러한 현상은 접촉각 측정 결과에서 나타나고 있는 현상과 일치하고 있다.

열 처리전 시료는 표면저항률이 약 $2.175 \times 10^{13} [\Omega/\text{square}]$ 정도의 값을 나타내었으나 열 처리온도를 증가시킨 150℃ 시료에서는 약 $2.98 \times 10^{14} [\Omega/\text{square}]$ 정도로 증가하고 그 이상의 온도에서는 감소한다.

4. 결 론

몰드변압기에서 사용되고 있는 에폭시수지의 열처리에 따른 열화특성을 조사한 결과, 다음의 결론을 얻을 수 있다.

1. 몰드변압기용 에폭시 수지를 열 열화시켰을 때 질량 변화는 200°C까지는 선형적으로 감소를 보이며 그 이상의 온도에서는 급격한 감소를 보인다.
2. 몰드변압기용 에폭시 수지를 열 열화시키면 표면에 강한 소수적 특성을 나타내어 접촉각 및 표면저항률을 증가시킨다.
3. 열 열화에 따른 몰드변압기용 에폭시 수지의 유전특성 변화는 강한 열에너지에 노출됨으로 크랙의 진전과 쌍극자 배향분극에 의해 비유전율이 온도에 비례하여 증가한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김준현, "몰드 변압기", 전기학회지, Vol.32, No.1, pp.19-26, 1983
- [2] Linden W. Pierce, "An Investigation of the Temperature Distribution in Cast-Resin Transformer Windings", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No.2, April, pp. 920-926, 1992
- [3] K. Fukushi, H. Tadasaki, T. Koyama, T. Fujimori, "Development of a Mold Resin for Molded Transformers and Its Mechanical and Insulating Characteristics", Proceedings of the 3rd International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials July 8-12, Tokyo, Japan, pp. 452-455, 1991
- [4] Clayton A. May, "Epoxy Resins Chemistry and Technology", Marcel Dekker, Inc. 1988

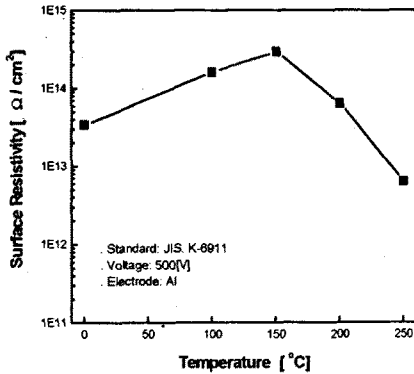


그림 4. 열 열화 온도에 따른 표면저항률
Fig. 4 Surface resistivity according to the thermal degradation temperature

3.4 열 열화에 따른 유전율 특성

열 처리된 시료의 유전특성을 그림 5에 나타낸다. 열 처리전 시료와 비교하여 볼 때, 처리 온도가 증가할수록 비유전율이 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 열처리가 진행되면서 강한 열에너지가 시료 내부에 작용하여 경화제나 충전제 등이 불안정한 성분과의 결합을 파괴하고, 크랙의 발생과 온도가 증가함에 따라 에폭시 수지내에서 분자운동에 변화가 일어나기 시작하여 쌍극자가 배향하기 쉽게 되기 때문에 비유전율이 온도에 비례하여 증가하게 된다.

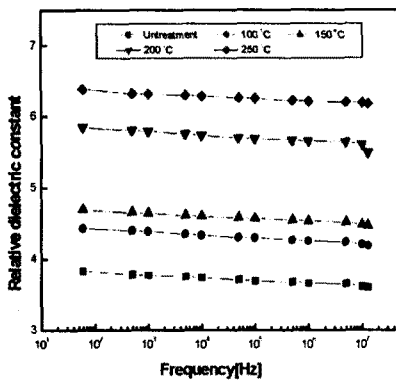


그림 5. 열 열화 온도에 따른 비유전상수
Fig. 5 Relative Dielectric Constant according to the thermal degradation temperature