

에폭시/나노복합재료의 기계적/유전적 특성

박재준*, 안준호¹, 황병준, 이현동, 임경태, 조항석
 중부대학교*, 홍익대학교¹

Dielectric Properties of Epoxy/Layered Nanocomposites

Jae-Jun Park*, Joon Ho Ahn¹, Byung-Joon Hwang, Hyun-Dong Lee, Kyung-Tae Lim, Hang-Suk Cho
 Joongbu Univ. Hognik Univ.¹

Abstract : 나노 기술은 21세기에 들어와 모든 산업에 고루 이용되며 미래를 이끌어 나갈 기술로 평가되고 있다. 고압 회전기용 주절연재료의 개발에서도 에폭시에 나노충진제를 혼합하여 복합재료로 만드는 나노기술이 활용되고 있으며, 이러한 나노기술을 바탕으로 절연성능을 높이고, 열적, 기계적 안정성을 높이는 기술 개발에 관심을 기울이고 있다. 하지만 이러한 성능향상을 위해서는 반드시 에폭시 기지 내에 충진제가 골고루 분산되어야 하며, 에폭시의 점도로 인해 제조 과정에서 발생하는 기포의 생성은 시료의 제조에 큰 영향을 끼치게 된다. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 무충진 시료와 제조과정에서 혼입될 수 있는 불순물, 즉 분산을 위한 유기 용매를 제조과정에서 고의로 혼합하여 이에 따른 기계적/유전적 특성과 영향을 살펴보았다.

Key Words : Dielectric properties, Nanocomposites, Relaxation properties

1. 서론

고압 전동기 및 회전기에 사용되는 주절연재료인 에폭시는 자체만으로는 부서지기 쉬운 특성을 가지고 있어 보통 에폭시 기지에 무기 충진제를 혼합하여 주절연재료로서 많이 사용하고 있다.[1] 하지만 최근 나노기술의 발달로 기존에 사용되고 있던 마이크로 크기의 충진제 보다는 나노 크기의 충진제를 혼합한 주절연재료의 개발이 시도되고 있다.[2,3,4]

하지만 지금까지 연구된 결과를 통해 살펴보면, 대다수의 연구자들이 나노 크기의 충진제를 혼합시키면 뛰어난 절연성능과 기계적 강도, 열안정성을 보이는 것으로 평가하였으나, 몇몇 논문에서는 그와는 다른 반대의 결과를 보여주기도 하였다. 이는 실험과정에서 발생하는 몇 가지 제한 때문으로 생각된다.

고압 회전기에 사용되는 에폭시에 나노 크기의 충진제를 혼합한 나노복합재료는 첫 번째, 고른 분산이 되어야 하며, 두 번째는 점도가 높은 에폭시의 특성 상 나노충진제와 혼합되면서 발생하는 기포의 제거가 중요한 변수가 된다. 하지만 실험과정에서 발생하는 여러 가지 오차는 고른 분산 뿐만 아니라 기포의 문제도 크게 작용하게 된다.

본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 시료 내의 불순물의 영향을 알아보기 위하여 고의로 불순물(유기용매)을 섞어 시간 및 온도에 따라 유기용매의 제거 시간을 달리 하여 불순물의 영향을 살펴보았다. 그리고 DMA를 통해 각 시료별 기계적 강도를 살펴보고, 유전분석기를 통해 유전특성에 대해 살펴보았다.

2. 실험

실험에 사용된 에폭시는 (주)정도이엔피에서 구입한

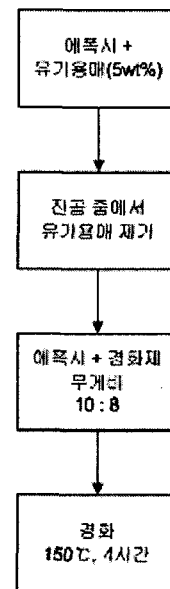


그림 1. 시료 제조 과정.

Bisphenol-A형의 EXR225로 낮은 점도(6000~8500)와 분자량이 182~186인 변성 에폭시 수지를 사용하였고, 산무수물계 경화제를 사용하였다. 그림 1에서처럼 실험은 먼저 에폭시에 충진제의 분산을 위해 사용되는 IPA(Isopropyl Alcohol)를 무게비에 따라 혼합한 후, 진공 중에서 각각 40°C에서 20분, 50°C에서 5분, 60°C에서 5분 동안 유기용매를 제거하였고, 마지막으로 초음파에서 다시 20분간 작업하여 불순물의 제거 정도를 달리한 후, 경화제와 10:8의 비율로 혼합하여 150°C, 4시간동안 경화시켜 시료를 제조하였다. 표1은 유기용매의 제거시간에 따른 시료의 구분을 나타낸 표이다. 표에서 원형의 에폭시 수지에 분산용매로 사용된 IPA를 무게비 5wt% 혼합하였다. 그리고 시료 3번은 메틸렌클로라이드를 혼합하여 IPA의 끓는 점을 낮춰 에폭시 수지에 혼합되어 있는 잔존

표1. 유기용매 제거 시간에 따른 시료의 구분

시료번호	제조 조건
sample 1	원형 에폭시 수지
sample 2	에폭시 수지 + IPA
sample 3	에폭시 수지+IPA+Methylene Chloride 혼합 후 45℃, 20min
sample 4	에폭시 수지+IPA+Methylene Chloride 혼합 후 45℃, 20min.+Ultrasonic 20min.

※ 유기용매를 제거하기 위해서 에폭시+IPA 혼합 후 진공 중에서 모두 40℃-20분, 50℃-5분, 60℃-5분 동안 처리하였다.

IPA와 결합하여 쉽게 방출되도록 제조하였다. 그리고 시료 4번의 경우, 이 모든 방법에 초음파를 이용하여 마지막으로 한 번 더 잔존 유기용매를 처리할 수 있도록 하였다.

시료의 혼합은 믹서(Kotobuki사의 원심분리방식이 채택된 Ultra Apex Mill 분산기)에 넣고 2000 rpm으로 10분간 혼합, 탈포를 진행하였다.

유전특성의 측정을 위해 Solartron SI1260 임피던스 분석기와 Novocontrol Quatro Cryosystem의 저온시스템으로 이루어진 Broadband Dielectric Spectroscopy System을 이용하여 유전율과 유전손실계수를 측정하였다. 측정 주파수 범위는 $10^{-2} \sim 10^6$ Hz이고, 온도 범위는 30~170℃ 범위에서 측정하였다. 또 기계적인 특성을 측정하기 위해서 DMA를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 검토

그림 2은 120Hz일 때, 온도에 따른 유전분산과 유전완화 특성 곡선이다. 고압 회전기의 경우, 120Hz 부근에서 운전 중 발생하는 전자력에 의한 고유특성이 분포되어 권선 공진의 가능성이 가장 높게 나타나는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서도 120Hz에서 시료의 온도변화에 따른 특성을 살펴보았다. 낮은 온도 영역(30~110℃)에서는 큰 차이를 보이지 않다가 130℃에서 급격히 증가하여 150℃에서 피크가 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 그림 5에서 보여준 DMA분석을 통해 나타난 Loss Factor에서도 마찬가지로 150℃에서 피크를 나타내고 있다. 또한 그림 3에서 원형의 에폭시와 메틸렌클로라이드를 혼합한 시료에서는 메틸렌클로라이드가 원형에 비해 Storage Modulus는 차이를 보이지 않으나, 손실피크가 저온 영역으로 이동하는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

지금까지 고압 회전기용 절연재료로 사용되는 에폭시에 대한 불순물의 영향을 각각 유전특성과 기계적 특성을 통해 살펴보았다. 기계적인 특성에서 유전손실의 피크와 기계적인 특성에서의 손실피크가 같은 온도영역에서 일치하는 것을 보이고 있다. 이는 150℃에 이르게 되면 재료의 내부가 변화하여 전기적, 기계적으로 크게 물성의 변화를

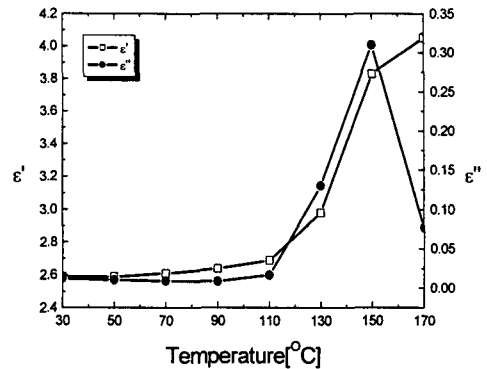


그림 2. 온도변화에 따른 유전분산과 유전완화 특성.

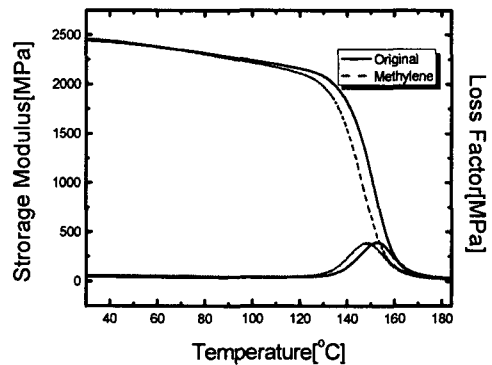


그림 3. 무충진 시료와 메틸렌클로라이드를 혼합한 시료의 온도에 따른 Storage Modulus와 Loss Factor.

일으켜 손실이 크게 나타난다는 것을 보여주었다.

참고 문헌

- [1] 김희동, 김태완, 김정훈, "발전기 고정자 권선에서 사용되는 마이카/에폭시의 열적 분석", 한국전기전자재료학회, 춘계학술대회, pp.330-333, 1997.
- [2] Tokahiro Imai, Yoshihiko Hirano, Hisayuki Hirai, Susumu Kojima, and Toshio Shimizu, "Preparation and Properties of Epoxy-Organically Modified Layered Silicate Nanocomposites", Conf. Record of the 2002 IEEE Inter. Symposium on Electrical Insulation, pp.379-383, 2002.
- [3] T. Tanaka, G. C. Montanari, and R. Mulhaupt, "Polymer Nanocomposites as Dielectrics and Electrical Insulation-perspectives for Processing Technologies, Material Characterization and Future Applications", IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 11, No. 5, pp. 763-784, 2004.
- [4] T. Tanaka et. al. "Emerging Nanocomposite Dielectrics", Electra, No. 226, 2006.