

## Properties of Epoxy Based Nanocomposites and their Application to High Efficiency Electric Materials

이 상 현<sup>†</sup> · 구 경 완\*  
(Sang-Heon Lee · Kyung-Wan Koo)

**Abstract** - Recently, research works for electrical properties on the elastic epoxy have been also progressing to diagnose insulation materials by development of measure technology. The epoxy which specially applied for high voltage instruments have required for the electrical, mechanical and thermal properties. Nanocomposites were made from insulating material epoxy resin using for power transformer as varying amount of addition of SiO<sub>2</sub>, we found the change of physical characteristics of nanocomposites by using SEM and XRD. To investigate the electrical properties according to the amount of addition and temperature, tested insulating breakdown in silicon oil. As the result of insulating breakdown testing, the insulating breakdown strength increased according to change of the amount of addition

**Key Words** : Electrical Property, Insulating Breakdown, Epoxy

### 1. 서 론

전력 수요의 증가와 더불어 전력기기용 절연재료는 다양한 물성과 함께 전력 설비의 대용량화와 콤팩트화가 요구된다. 전력 기기에 사용 되는 재료로는 PE, 에폭시, 마이카, EPDM등이 있다[1-2]. 일반적으로 고전압화가 될수록 높은 내전압 특성이 요구되며, 전력기기의 계면은 절연강도를 낮추는데, 활용 되고 있으며, 콤팩트화를 위하여도 계면간의 상호 작용의 이해도는 필수 요소이다. 고 전압 기기에 있어서 절연재료가 담당하고 있는 역할은 매우 중요하며, 절연 재료의 특성이 전기기기 전체의 설계를 결정하는 중요한 요인이 된다[3-5]. 전기기기에 사용하는 재료 단위체의 물성만으로는 절연재료로서 적용할 수 없을 뿐 아니라 필터(무기 입자) 또는 유리 섬유질과의 복합화에 의한 절연 재료의 고성능화가 필요하다. 최근 나노사이즈의 입자와 폴리머를 복합화한 폴리머 형태의 나노 복합재료가 전력 변성기기 제작에 적용되고 있으며, 첨가물의 나노 입자 형태로 분산 시키는 제어 기술이 나노 복합재료의 실용화를 위하여는 중요시 되고 있다. 나노복합재료에 대한 연구는 층상 점토를 이용한 연구가 가장 많이 발표되고 있다. 1987년 일본 Toyo 나 연구진들에 의해 적절한 방법으로 나일론 단량체를 실리콘이트 층 사이에 삽입시키고, 층간중합을 유도함으로써 층간 거리가 100 [Å] 가까이 증가하는 박리형상이 보고된 이래 이에 대한 연구가 일본, 미국 등 선진국에서 활발히 진행 중이다. 본 논문에서는 에폭시 나노 복합재료에 주목하여 복

합재료의 물리적 전기적 특성을 이해하고, 개폐기, 차단기, 부싱등의 전력 변성기기에 적용하기 위한 기초 연구를 수행하였다. 본 연구의 복합재료로 구성된 전력기기를 개발하기 위해서는 분산체를 제어하는 합성기술이 필수적이지만 전기 물성 해석 기술과 같은 전기기기 기초연구도 필요하므로 본 연구에서 축적된 기술과 경험은 여러 분야에서 응용기술 개발의 기반을 구축 할 수 있다. 본 연구에서 추진하고 있는 나노 복합재료를 응용한 전력기기 적용 기술은 기존의 절연 소재와 비하여 전기적 특성이 우수하고 합성에 용이하며 신뢰성이 높을 것으로 기대되고 실용화될 경우에 그 파급 효과가 매우 클 것으로 기대되므로 이에 대한 연구는 매우 큰 중요성을 가진다.

### 2. 실험방법

에폭시 수지는 단분자 속에 2개 이상의 반응성 에폭시기를 가지는 화합물을 말한다. 페놀(phenol) 2분자와 아세톤(aceton) 단분자와의 축합 반응으로 얻어지는 비스페놀 A 한 분자와 에피클로르하이드린 2분자와의 축합 반응으로 생성되는 비스페놀 A의 디글리시딜에테르를 말하며, 그 분자 구조로부터 반응성이 풍부하며, 경화 수축이 적고, 강인성이 나 고온특성 및 내약품성이 우수하며, 접착성이 높은 성능을 나타낸다. 본 연구에서는 비스페놀 A형 YD-128, 에폭시 수지, HN-2200를 사용 하였고, 경화제로서 Aerosil200과 첨가 물로서는 SiO<sub>2</sub>를 사용하여 복합재료를 합성하였다. 복합재료는 원시료와 SiO<sub>2</sub>를 중량비로 0.2-0.6%까지 혼합 하였다.

에폭시, 경화제, 경화촉진제를 배합 비에 맞게 균일하게 혼합하고 미리 준비한 금형에 주입하여 1차 경화시킨 후 시료중에 남아 있는 공기를 30분간 0.05 Torr에서 탈포 시키고, 준비된 시편 금형에 탈포가 완료된 혼합액을 투입한 후, 기포가

<sup>†</sup> 교신저자, 종신회원 : 선문대학교 공대 전자공학과 교수 · 공박  
E-mail: shlee@sunmoon.ac.kr

\* 정 회 원 : 호서대학교 국방과학기술학과 교수 · 공박  
접수일자 : 2011년 2월 10일  
최종완료 : 2011년 2월 24일

없어 질 때 까지 진공 탈포 과정을 일정시간 동안 수행하였다. 일반적으로 치밀한 경화를 위해서 고온에서 순간적인 경화를 수행하는 것 보다 저온에서 서서히 경화를 진행 시켜야 치밀한 가교가 이루어진다. 또한 혼합액의 미반응 물질들의 완전한 경화를 유도하기 위해서 두 번의 경화과정을 수행하였다. 1차 경화는 경화로에서 130[°C]에서 1시간, 2차 경화는 120 [°C]에서 5시간 동안 경화시켜 시료를 제작하였다. 완성된 복합재료는 절연과피 실험용 시료의 형상으로 크기는 15×15×1.0 [mm<sup>3</sup>]로 하부 전극은 평판, 상부 전극은 구전극을 사용 5곳을 측정하여 평균값을 산정 하였다. 절연 매질로는 실리콘 절연유를 사용 하였으며, 전기적 특성을 위한 시료의 형상은 그림 1과 같다. 또한 SEM과 XRD 측정을 위하여 직경10[mm]×두께1[mm]와 2.0×2.0×1.0 [mm<sup>3</sup>]의 시료를 각각 가공하였다.

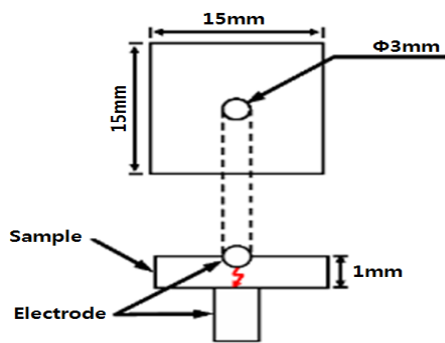


그림 1 전기적 특성 시료의 형상  
Fig. 1 Schematic diagram of the sample and the electrode.

### 3. 결과 및 고찰

에폭시 재료의 결정과 비정질의 고차구조를 조사하기 위해 virgin, 0.2, 0.4, 0.6,[wt%] 시료를 회절각  $\theta=0\sim 80^\circ$ 에서 X-선 회절(X-ray diffraction)을 하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. XRD의 결과로부터 각 시료들의 고차구조의 특징은 시료모두 유사한 특성을 보이며, SiO<sub>2</sub>첨가에 변화는 관측되지 않는다.

그림 3은 Epoxy/SiO<sub>2</sub> 복합재료의 시료의 과단면에 분포하는 입자를 시각적으로 관찰 하기 위해서 FESEM을 이용하여 시료의 단면을 측정 하였다. 매트릭스에 분산된 입자는 계면 접착력을 증진시킴으로서 강인화 효과를 증대하는 결정적인 역할을 한다. 최초 SiO<sub>2</sub>를 첨가 하지 않은 시편에서는 미립자간의 치밀도가 떨어짐이 관찰 되었고, SiO<sub>2</sub>가 0.2 [wt%] 첨가된 시편에서는 첨가되지 않은 시편에 비해 미립자의 크기는 커졌으나 미립자간 치밀도가 높아짐을 알 수 있다. 에폭시 시료에 SiO<sub>2</sub>를 첨가됨에 따라 미립자 간의 간격을 줄여 에폭시의 밀도를 높여 주는 역할을 한 것으로 판단된다. 따라서 시료중에 분산된 SiO<sub>2</sub> 입자는 계면 접착력을 증진시킴으로서 시료를 강화하는 기능을 효율적으로 향상 시키고 있음을 알 수 있다. 그러나 SiO<sub>2</sub>를 0.4[wt%] 첨가한 시료 및 0.6[wt%] 첨가한 시료에서는 시료내에 분산된 미립자들의 뭉쳐짐의 정도가 치밀하지 못함을 볼 수 있다.

성형된 에폭시 시료에 SiO<sub>2</sub>가 첨가 됨에 따라 시료 내부

에서는 미립자 간의 간격을 줄여 에폭시 시료의 밀도를 높여 주는 역할을 한 것으로 판단되었으나 SiO<sub>2</sub>가 0.2[wt%] 첨가된 시편의 표면은 매끈한 반면에 SiO<sub>2</sub>가 0.4[wt%] 첨가된 시료 및 0.6[wt%] 첨가된 시료에서는의 표면 관찰결과 미립자의 크기가 점차 커짐을 관찰 하였다.

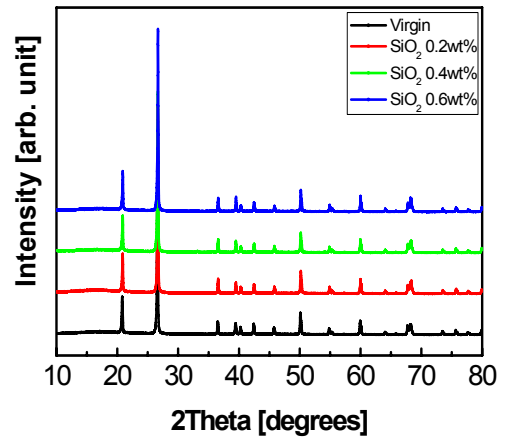
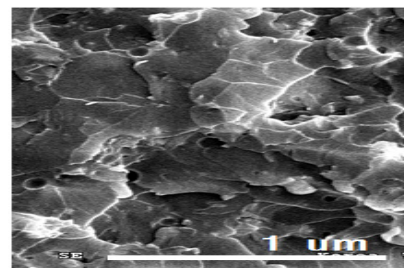
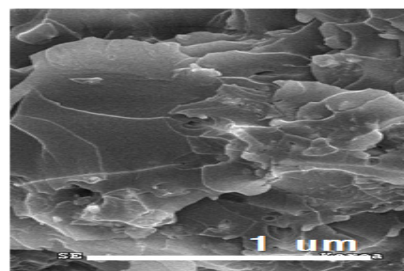


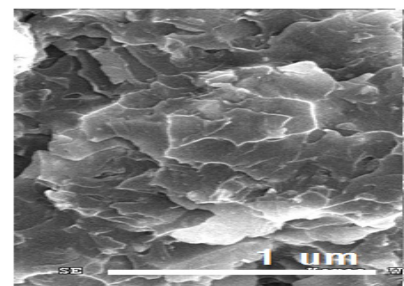
그림 2 SiO<sub>2</sub>를 첨가한 복합재료의 X선 패턴  
Fig. 2 X-ray powder diffraction patterns of SiO<sub>2</sub> added composite specimen.



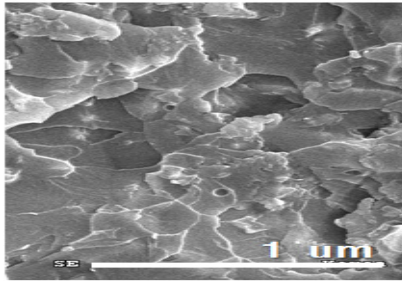
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3 SiO<sub>2</sub>를 첨가한 복합재료의 FESEM

Fig. 3 FESEM images for the fracture surface of (a) unadded, (b) 0.2[wt%], (c) 0.4[wt%] and (d) 0.6[wt%] SiO<sub>2</sub> added composite specimen.

그림 4는 에폭시 시료에 첨가된 SiO<sub>2</sub> 첨가량에 따른 절연 파괴 특성을 나타내었다. SiO<sub>2</sub> 첨가량이 0.2 [wt%] 첨가한 시료에서 절연 파괴 전압이 가장 크게 나타났으며, 첨가량이 증가 할수록 절연 파괴 전압이 감소하였다. 이 원인으로는 에폭시기와 시료에 첨가된 SiO<sub>2</sub>의 화학적 결합으로 인하여 전체적으로 에폭시의 특성이 나타나기 때문이다. SiO<sub>2</sub>가 0.2[wt%] 첨가된 시편에서는 시료내부에 분산된 SiO<sub>2</sub> 입자가 계면 접착력을 증진시킴으로서 시료를 강화하여 절연 파괴 특성이 양호한 것으로 사려 된다. 그러나 SiO<sub>2</sub>의 첨가량이 증가할수록 시료내부의 미립자의 밀도가 감소하여 절연 파괴강도의 저하와 밀접하게 관련되는 것으로 판단된다. 첨가량이 증가함에 따라 0.2 [wt%]에서는 SiO<sub>2</sub>가 다른 시료들에 비하여 에폭시수지 내부에 균일하게 분포를 하고 입자간 간격이 치밀하게 형성되어 입자들 사이에 쿨롱 장벽 효과에 의하여 전자가 SiO<sub>2</sub> 입자에 의하여 산란됨으로서 절연파괴강도가 증가하지만 첨가량이 증가를 하게 되면 SiO<sub>2</sub> 입자가 서로 뭉치고 에폭시 내부에 계면을 증가시켜 절연파괴강도가 감소하는 것으로 사려된다.

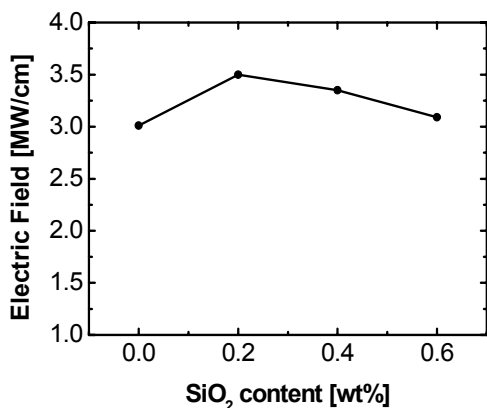


그림 4 SiO<sub>2</sub>를 첨가한 복합재료의 절연 파괴 특성

Fig. 4 Dielectric strength according to SiO<sub>2</sub> added composite specimen.

#### 4. 결 론

SiO<sub>2</sub>의 첨가량에 따른 에폭시 복합재료를 이용하여 소재

의 물성과 절연파괴 특성을 측정하여 전기적 특성을 분석하였다. FESEM을 이용하여 에폭시 소재의 물성을 측정된 결과 SiO<sub>2</sub>가 0.2[wt%] 첨가된 시료에서는 미립자간 치밀도가 높아짐을 알 수 있었으며, 절연 파괴 특성이 양호하게 나타남을 알 수 있다. 그러나 SiO<sub>2</sub>의 첨가량이 증가할수록 시료 내부에 분산된 응집현상으로 뭉치짐의 정도가 치밀하지 못함을 볼 수 있다. 따라서 에폭시 시료의 절연파괴강도가 감소함을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구(나노 복합체를 이용한 고효율 전기소재 설계 기술 개발)는 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No. 00042332)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. Tanaka, Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Trans, 9,5, pp. 704-716 (2002).
- [2] Iain McEwan et al, Polymer, pp.4213-4222 (1999)..
- [3] F.R. Cichocki Jr., Materials letters, pp. 414-418 (2001)
- [4] L.C.Chan, J.K.Gillham, A.J.Kinloch and S.J. Shaw, American Chemical Society, pp. 261 (1984).
- [5] Moser, K.Robert and K.Thomas, Proc. Electrical Insulation Conference and Electrical manufacturing and Coil winding conference, pp.379-385 (1993).

#### 저 자 소 개



#### 이 상 헌 (李 尚 憲)

1989년 일본 TOKAI 대 전자공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전자공학과졸업(공학). 현재 선문대 전자공학과 교수.

Tel : 041-530-2357

E-mail : shlee@sunmoon.ac.kr



#### 구 경 완 (丘 庚 完)

1983년 충남대학교 전자공학과 졸업(학사). 1992년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학).1987년 현대전자 반도체연구소 선임연구원. 1989년 충청전문대학 전자과 조교수. 1994년 영동대학교 전자·정보공학부 부교수. 현재 호서대학교 국방과학기술학과 부교수

Tel : 042-821-7604, 041-540-9541

Fax : 041-540-5693

E-mail : alarmkoo@hoseo.edu