

**에폭시-세라믹 복합재료의 전기적 특성 및 구조분석**  
**A Study on Electrical Properties and Structure Analysis**  
**of Epoxy-Ceramic Composite Materials**

정 지원\*, 홍 경 진, 김 태 성

전남대학교 전기공학과

Ji-Weon Jeong, Kyung-Jin Hong, Tae-Seong Kim  
Dept. of Electrical Eng., Chonnam National University

(ABSTRACT)

Epoxy-Ceramic Composite have good insulating, thermal and mechanical properties, so it is studied actively on this material.

In this thesis, we made a composite material by filling Epoxy Resin with ceramics treated with Sillane Coupling Agent and studied dielectric and insulating characteristics according to treatment density of Sillane Coupling Agent and weight percent of filler.

As a result, loss tangent increase and electrical breakdown voltage decrease according to increasing treatment density of sillane coupling agent because Interface matching between matrix and filler is not good. The best treatment density of sillane coupling agent is 0.5% water solution, in this density the best interface matching is achieved so good dielectric and insulation characteristics are shown. Dielectric and insulation characteristics according to weight percent of filler are best at 25wt.

1. 서론

전기기기의 발달 및 전력계통의 초고압화에 따라 이에 부응하는 재료의 연구가 절실히 필요한 추세에 있다. 특히 전기절연재료는 전기적, 기계적, 열적특성이 우수하고 경소량화, 고성능, 고신뢰성 및 내구성을 갖추어야 한다. 그러나 단일상 재료만으로는 이 같은 요구를 만족시키기 어려우므로 유기질 재료와 무기질 재료를 혼합한 복합재료에 관심이 모아지고 있다. 에폭시-세라믹 복합재료는 절연특성뿐만 아니라 열적, 기계적 특성이 우수하여 이 재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다.

본 논문에서는 에폭시 수지에 충전제로 이산화티탄을 사용하여 에폭시 복합재료를 제작하고 계면결합제의 처리 조건과 충전제 중량비에 따른 전기절연 특성과 유전특성을 연구하고, IR, XRD 측정을 통한 복합재료의 구조분석을 시도하였다.

## 2. 시료의 제작

시편의 제작방법은 에폭시 수지와 경화제를 중량비 100:85로 하였으며 축전제를 3[Wt%] 첨가하였다. 충전제는 혼합하기 전에 계면결합제의 수용액을 침적법으로 처리 후 열풍건조기로 5시간 풍건하였으며, 수용액 농도는 각각 0.5%, 1%, 1.5%, 2%로 하였다. 실란처리한 충전제는 혼합된 수지에 중량비별로 10Wt%, 25Wt%, 40Wt%을 넣어 12종류의 시료를 만들었다. 유전특성 측정용 시료는 80×80×2[mm]크기로 제작하였고 이형제 제거를 위해 시료표면을 연마한 후 초음파 세척을 하여 기밀 용기에 보관하였다. 절연과피특성 실험용 시료는 20×20×20[mm]크기로 하였으며, 침전극의 삽입은 시료의 경화이전인 액상에서 이루어지도록 하였다. 파괴실험용 전극 구성은 침대 평판전극 구성으로 하였고, 전극간의거리는 2[mm]가 되도록 제작하였다. IR용 시료는 두께가 15[um]이내가 되도록 연마하였고, XRD용 시료는 10×10×1.8[mm]크기로 제작하여 측정에 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 유전특성

전체적인 특성을 보면 주파수가 감소함에 따라 유전율은 감소하고 유전손실은 증가함을 보이고 있다. 유전율은 전자분극, 이온분극, 쌍극자분극에 의해 크기가 결정된다. 주파수가 증가함에 따라 분극율이 주파수 변화에 따르지 못하고 감소하므로 유전율이 감소하게 된다. 유전손실과 주파수의 관계에서는 고주파쪽으로 옮겨갈수록 유전손실이 증가함을 볼 수 있는데 이와같은 특성은 유전율이 진동자의 고유진동수에 반비례하므로 주파수 증가와 더불어 감소하고, 유전손율은 유전이상분산이 일어나기 이

전에는 주파수의 증가에 따라 증가하므로 유전손실은 주파수의 증가에 따라 상승한다. 복합재료의 유전특성을 개선하기 위하여 계면 결합제 처리량을 변화시켜 유전특성과의 상관관계를 고찰하였다. 계면결합제는 계면결합제 수용액 농도를 각각 0.5%, 1%, 1.5%, 2%로 하여 필라에 처리한 복합재료의 유전특성을 조사하였는데 유전손실은 수용액 농도가 증가할수록 증가하는 특성을 보였다. 가장 좋은 유전특성은 0.5%수용액 농도에서 얻어졌다. 이것은 0.5%농도에서 양호한 젖음을 얻을 수 있어 결합이 양호하게 되므로 복합재료의 유전특성이 향상된 것으로 볼 수 있다. 충전제 중량비 변화에 따른 주파수와 유전특성과의 관계를 고찰해보면 충전제 중량비가 높아짐에 따라 유전율이 증가함을 볼 수 있다. 그 이유는 에폭시 수지에 충전제를 첨가함에 따라 매트릭스와 필라사이의 계면분극이 형성되어 공간전하가 축적되는 결과로 볼 수 있다. 그리고 충전제 중량비가 증가할수록 복합재료의 유전손실도 높아지는 것으로 나타나고 있다. 이것은 에폭시 수지와 미반응한 충전제가 복합재료로서 완전한 결합을 이루지 못하여 그에 따르는 유전손실이 증가하기 때문으로 생각된다.

### 3.2 전기 절연특성

에폭시계 계면결합제의 수용액 %농도의 인가전압에 따른 복합재료의 교류 절연과피전압 특성은 계면결합제 수용액 농도 0.5%에서 가장 높은 절연과피전압을 얻을 수 있었다. 이 결과는 가장 우수한 유전특성을 얻은 수용액 농도와 일치한다. 에폭시계 계면결합제를 알맞게 처리함으로써 절연과피전압을 향상시킬 수 있는 이유는 계면결합제가 매트릭스와 필라사이에게 교역활을 하여 유기물과 무기물 사이의 결합을 향상시킴으로써 우수한 재료특성을 얻게한

다고 생각된다. 그러므로 유기물과 무기물 사이의 결합이 사라져 향상된 전기 절연과 특성을 얻을 수 있다. 계면결합제의 처리량이 과다할 경우 잉여의 계면결합제가 미반응된 상태로 남아 불량한 계면결합상태를 나타냄에 따라 이상상태가 복합재료에 있어서 결합으로 작용한 것으로 추론할 수 있다. 충전제 중량비의 증가에 따른 교류절연과 특성은 충전제 중량비가 25Wt%일때 가장 높은 절연과 과전압이 얻어졌다. 충전제 중량비가 클때 절연과 과전압이 저하하는 원인으로는 에폭시 수지와 필라사이의 계면상태가 좋지않음에 따라 일어나는 전계 집중에 의한 것으로 생각할 수 있다. 또한 충전제 중량비가 작은 경우에도 절연과 과전압의 강도가 저하함을 알 수 있었는데 그 원인으로서는 이것 역시 충전제 중량비가 작아도 부적당한 계면특성으로 인해 절연과 과전압이 저하한다고 여겨진다.

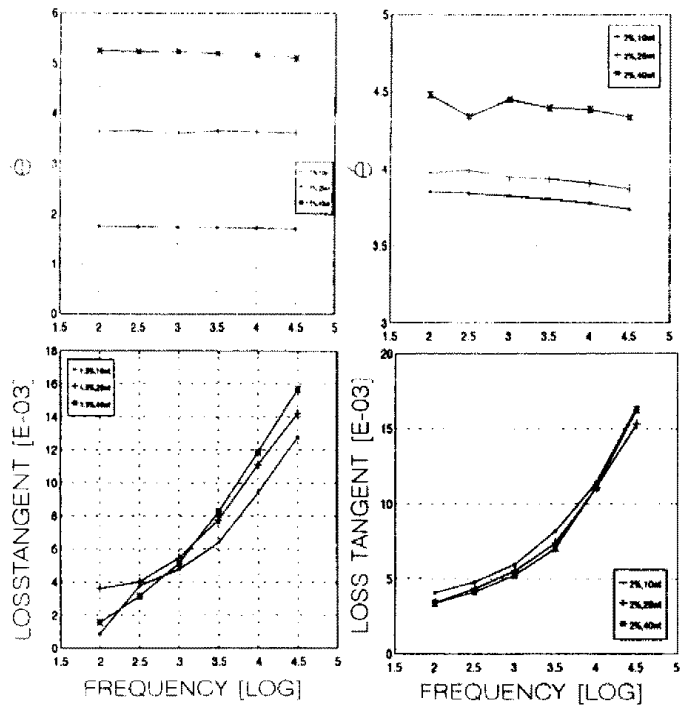
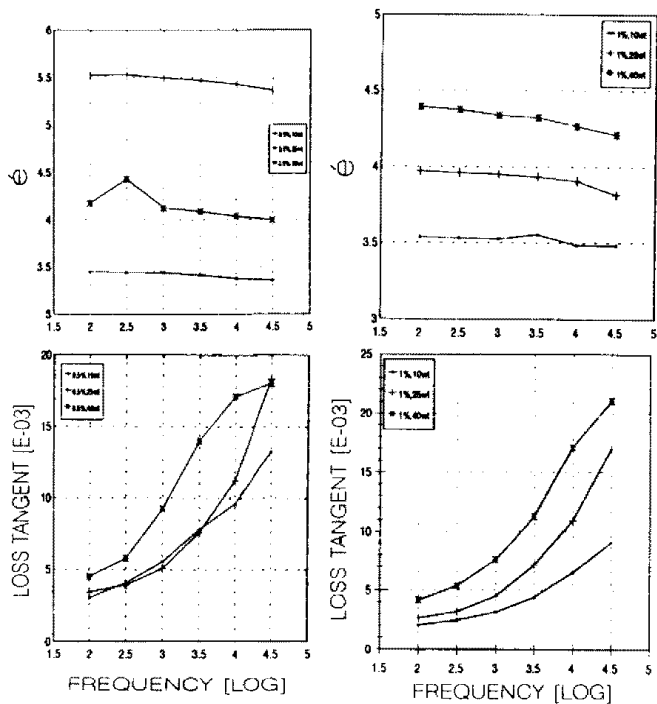


Fig.1  $\epsilon'$  and  $\tan\delta$  versus Frequency of Epoxy-Ceramic Composites

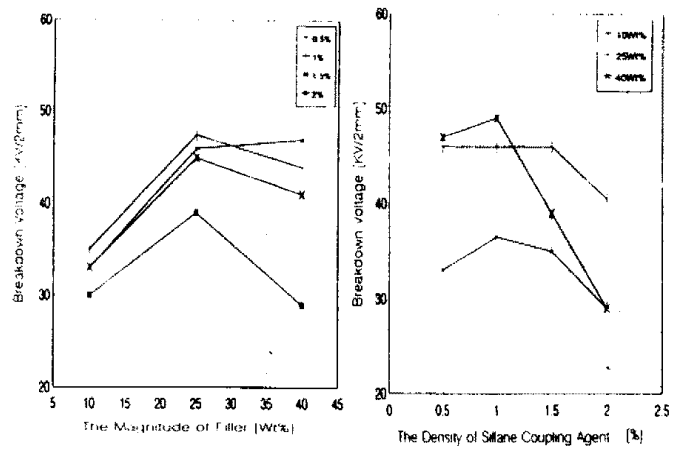


Fig.2 Dielectric Breakdown Strength of Epoxy-Ceramic Composites

### 3.3 복합재료의 구조분석

#### 3.3.1 IR분석

에폭시 복합재료의 제작조건에 따른 구조적인 변형을 규명하기 위해 적외선 스펙트럼을 조사하였다. 관찰된 주요 피크로는 파수 2970[cm<sup>-1</sup>]의 메틸렌, 1755[cm<sup>-1</sup>]의 에스테르, 1500[cm<sup>-1</sup>]의 변성 메틸렌, 1182[cm<sup>-1</sup>]의 안하이드라이드, 915[cm<sup>-1</sup>]의 에폭시 및 831[cm<sup>-1</sup>]

의 하이드록실 아로마틱을 관찰하였으며, 이들의 흡수도는 결합력이 강한 1600[cm-1]의 벤젠 피크의 흡수도로 보정하였다.

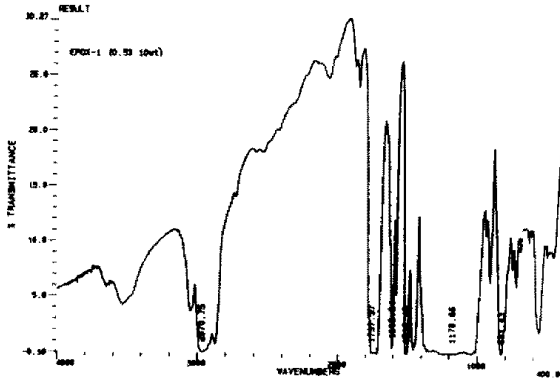


Fig.3 IR spectrum of Epoxy-Ceramic Composites

### 3.3.2 XRD분석

재료의 배향상태, 결정구조는 재료의 물성을 지배하는 중요한 요소이다. 따라서 재료의 제조 조건에 따른 결정의 배향상태 및 결정화도를 XRD분석을 통하여 조사하였다. 에폭시 복합 재료의 X선 회절 피크는 각 2θ가 24.95, 36.65, 37.45, 47.70, 53.55, 54.75, 62.40의 부근에서 나타나는 것을 관찰할 수 있었다.

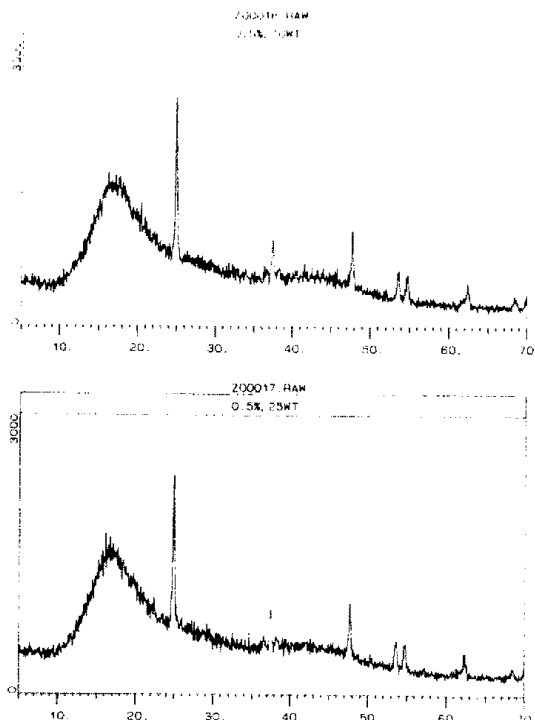


Fig.4 XRD pattern of Epoxy-Ceramic Composites

### 4. 결론

- (1)유전특성은 계면결합제 수용액 농도 0.5%로 처리하였을 때 가장 양호한 특성을 나타냈으며, 주파수의 증가에 따른 유전율 감소와 유전손실의 증가를 확인하였다.
- (2)유전특성에 미치는 충전제의 영향은 중량비가 증가함에 따라 유전율과 유전손실이 함께 증가함을 알 수 있었다.
- (3)절연파괴특성은 계면결합제 수용액 농도 0.5%에서 가장 양호한 특성을 나타냈으며 이것은 유전특성과 일치하는 결과를 나타냄으로써 수용액 농도 0.5%에서 에폭시 수지와 무기물 사이의 결합상태가 좋음을 알 수 있었다.
- (4)절연파괴특성에 있어서 충전제의 영향은 중량비 25Wt%일때 가장 높은 절연파괴 강도를 나타냈으며 충전제 중량비가 작을 때와 클때 불완전한 결합으로 인하여 절연파괴강도의 저하를 나타내었다.

### 5. 참고문헌

1. Myung cheon lee, Nicholas A. Peppas, "Water Transport in Graphite/Epoxy Composites", Journal of Applied Polymer Science, Vol.47, pp.1349-1359, 1993
2. Hachario Sueda, Kwan C. Kao, "Prebreakdown Phenomena in High-Viscosity Dielectric Liquids", IEEE. Trans. Elect. Insul., pp. 221-227, 1982
3. Takashi Nishino, Katsuhiko Nakamae, "Residual Stress in Particulate Epoxy Resin by X-ray Diffraction", Journal of Applied Polymer Science, Vol.45, pp. 1239-1244, 1992