

에폭시/실리카 복합재료의 전하축적 현상
Charge Formation in Epoxy/Silica Composites

남진호*, 이창용, 이미경, 서광석, 강동필**
고려대 재료공학과, 한국전기연구소**

Jin H. Nam*, Chang R. Lee, Mikyung Lee, Kwang S. Suh,
and Dong P. Kang**

Department of Materials Science, Korea University
Korea Electrotechnology Research Institute**

Abstract

Space charge formation in epoxy/silica composites has been investigated by the pulsed electroacoustic (PEA) method. The addition of silica resulted in homocharge formation, which was attributed to the interfacial trapping of injected charge at epoxy/silica interfaces. Homocharge accumulation in epoxy/silica composites increases with increase of voltage and silica content.

1. 서론

지속적인 고전압하에 놓인 절연재료의 내부에는 공간전하가 축적되는 것으로 알려져 있다. 절연재료 내부에 축적된 공간전하는 절연체의 전기적 성질에 많은 영향을 미쳐 절연성능을 저하시키거나 절연과피와 같은 심각한 문제점의 원인이 된다 [1].

변압기 및 변성기, 애자, 부상, 회전기 권선부 절연 등 고전압의 절연 및 부품의 함침, 주형처리를 위한 mold 재료로 쓰이고 있는 에폭시 수지는 전기적, 화학적, 열적 특성이 우수한 것으로 알려져 있다. 절연재료 및 애자용 접착제로 쓰이고 있는 접착제는 금속도체에 직접적으로 접하고 있어서 외부에서 가하는 전압에 노출된 환경에서 사용하게 되므로 에폭시 수지의 전기적 성질에 대한 연구가 여러가지 면에서 이루어지고 있다. 또한, 사용환경 중에 극심한 온도 변화에 대한 수지의 열적 변형을 방지하고 수지의 보강재로서의 역할을 위해 에폭시 수지에 충전제를 혼합하기도 한다. 충전제가 혼합된 에폭시 수지는 단독으로 사용환경에 놓이는 것과는 다른 양상이 보일 것으로 여겨진다.

따라서 본 연구에서는 고전압하에 접착제로 사용되는 에폭시 수지의 전기적 특성 중에서 시료 내부에 형성되는 전하축적이 충전제의 함량에 따라 어떤 영향을 받는 지를 조사하였다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 고온 경화용 에폭시 수지는 국도화학에서 생산된 Diglycidyl ether bisphenol-A type (YD-128)과 Rubber modified epoxy (R-1309) 두 가지를 같이 70/30의 비율로 혼합하여 사용하였다. 본 연구에서 사용된 경화제는 국도화학에서 생산된 Nadic methyl anhydride (NMA)이며, 경화촉진제는 국도화학에서 생산된 Benzyl dimethyl amine (BDMA)를 사용하였고 시료의 배합비 및 경화 조건은 표 1에 나타내었다.

표 1. 에폭시/실리카 복합재료의 배합비 및 경화조건

| 시 편 | | 시 편 1 | 시 편 2 | 시 편 3 | 시 편 4 | |
|------|------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|----|
| 배합비 | 모체수지 | YD-128 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| | | R-1309 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | 충진제(phr) | SiO ₂ | 0 | 20 | 40 | 70 |
| | 경화제(phr) | NMA | 85 | 85 | 85 | 85 |
| | 경화촉진제(phr) | BDMA | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 경화조건 | | 1차 경화 : 60°C 30분 2차 경화 : 170°C 1시간 | | | | |

전하분포 측정용 시편의 제작은 액상의 에폭시 수지와 경화제, 경화촉진제 및 충진제를 평량하여 교반한 후에 60°C에서 30분 동안 기포가 제거되도록 보관한 후에 Carver Laboratory사의 hot press를 이용하여 170°C에서 약 8 kgf/cm²의 압력으로 1시간 동안 경화시켰다. 시편은 두께가 1 mm이고 직경이 90 mm인 판상이고, 전극은 양면의 중심에 직경 40 mm, 두께 3000 Å로 sputtering한 Al 전극을 사용하였다.

에폭시 수지의 전하축적특성은 PEA 장치를 사용하였으며 측정장치의 개요도는 그림 1에 나타내었고 측정원리는 기존에 보고되어진 바와

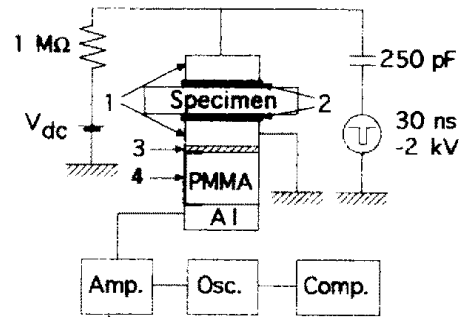


Fig. 1. Schematic diagram of charge distribution measurement system 1 : Al electrode 2: Al sputtered electrode, 3: PVDF film, and 4: Al tape

같다 [2]. 그림에서 시편에 10 kV부터 40 kV까지의 직류 고전압을 10 kV 간격으로 단계적으로 증가시켜 가면서 30 분동안 인가후 시편 내부에 전하가 축적된다. 전압을 제거한 직후, 시편에 폭이 30 nsec이고 크기가 -1 kV인 전기펄스를 가하여 압력파를 발생시키고 이 압력파는 압전소자에서 전기적 신호로 전환되며 amplifier를 통해 100 배 크기로 증폭되어 오실로스코프에서 전압 단위로 측정하게 된다. 이 결과들은 다시 GPIB를 통해 컴퓨터로 전송되고 전류밀도 단위로 보정하였다. 모든 측정은 전압을 30분 동안 가한 후 전압을 제거한 후 시료에 남아 있는 잔류전하의 분포를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

에폭시 수지에 충진제를 넣지 않은 시료에 10 kV부터 40 kV까지 10 kV 간격으로 전압을 가한 후에 전압을 제거하고 전하분포를 살펴본 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림에서 가로축은 음전극과 양전극 사이의 에폭시 수지 내에 형성된 전하축적을 나타내고 있으며 세로축은 시료 내에 축적된 전하밀도를 나타낸다. 충진제를 혼합하지 않은 시료는 크게 두 개의 전하피크를 보여 주는데, 이들은 양쪽 전극에 유도된 전하피

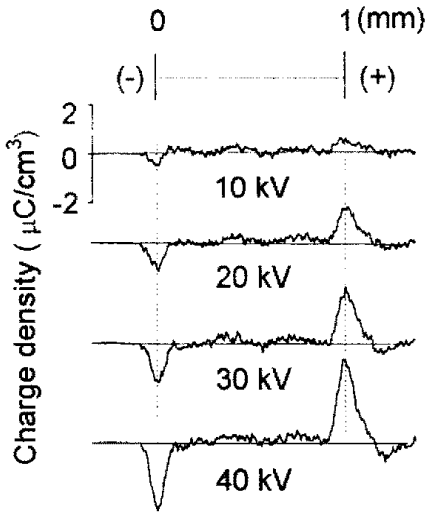


Fig. 2. Space charge profiles of epoxy.

크를 말한다. 시료 내부에는 전하가 형성된 흔적을 보이지 않고 있다. 시료 내부에 전하가 없는 경우 전극에 유도되는 전하도 없으므로 전극에 유도된 전하피크도 매우 작거나 관찰되지 않아야 한다. 그러나 그림 2의 결과는 전극에 유도된 전하피크가 전압이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인다. 따라서 시료 내부에는 전하가 형성되지 않고 있으나 전극과 시료 계면에 전하가 축적되는 것으로 생각할 수 있다. 그러나 이 계면전하는 전극에 형성된 전하와 중첩되어 분리되지 못하고 있는 것으로 생각된다.

그림 3은 충전제를 40 phr 혼합한 시료에 축적된 전하분포를 보여 준다. 먼저 낮은 전압에서는 시료 내부에는 전하가 축적되지 않으며 따라서 전극에 유도된 전하도 없다는 것을 알 수 있다. 전압이 증가함에 따라 음전극쪽에 음전하가 형성되는 양상, 즉 동종전하가 형성되는 모습을 보여 준다. 이 음전하량은 전압이 증가함에 따라 증가하며 음전하의 축적이 시료 내부에 까지 이루어지는 것을 알 수 있다. 그림 4는 음전하량이 시료내부에서 전압을 증가함에 따라 증가하는 거동을 보여준다. 그러나 양전극쪽에는 양전하가 축적된 흔적을 보이지 않는데, 이로 부터 이 시료에서는 음전극을 통한 전자의 주입 및 트

랩이 주된 전하형성기구인 것을 알 수 있다.

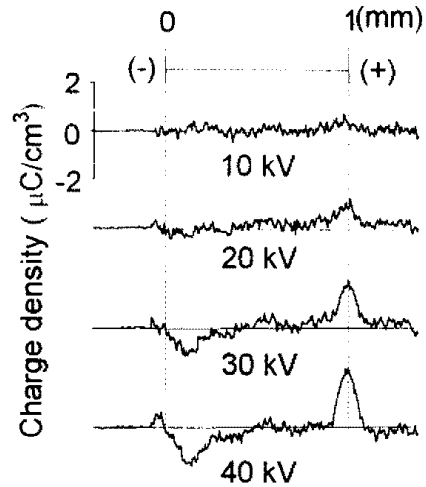


Fig. 3. Spatial charge profiles of epoxy/silica composite (SiO₂ : 40 phr).

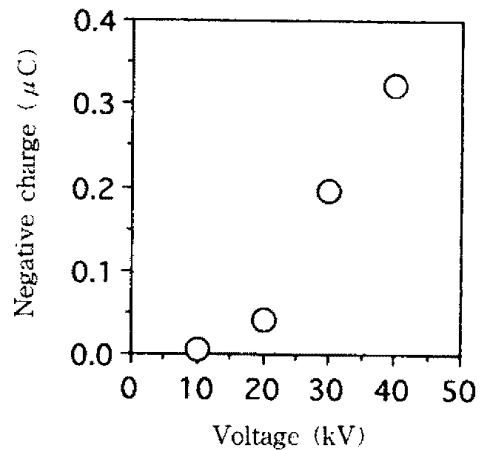


Fig. 4. Charge with voltage in epoxy/silica composite (SiO₂ : 40 phr)

충전제의 양을 0, 20, 40, 70 phr로 변화시켜 가면서 40 kV의 전압을 30 분동안 가한 후 전압을 제거하고 전하분포를 측정한 결과를 그림 5에 나타내었다. 먼저 에폭시에 충전제가 혼합되면 충전제 함량에 관계없이 음전극쪽에 음전하가 형성되는, 즉 동종전하가 형성됨을 알 수 있다. 또한 충전제의 함량이 증가하면 음전극쪽에 형성되는 동종전하량도 증가하는 것으로 관찰되었는데, 이는 그림 6에 나와 있는 충전제 함량에 따른

음전극쪽의 전하량의 관계에서 보다 명확하게 알 수 있다.

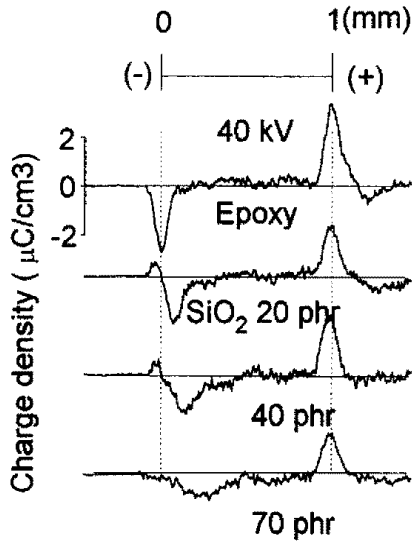


Fig. 5. Space charge profiles at 40 kV with silica content.

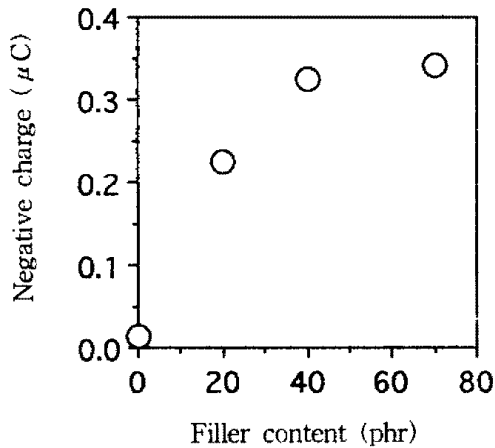


Fig. 6. Charge near the cathode at 40 kV with silica content.

충전제 함량에 따라 음전극 쪽의 전하량이 증가하며 시료 내부까지 전하의 축적이 이루어 지는 것은 에폭시와 충전제 사이의 계면효과로 보여진다 [3]. 에폭시와 충전제사이의 계면이 전극에서 주입된 전하를 가두어두는 트랩 자리로 작용하여 트랩 자리의 증가가 전하축적의 증가를

보여준다. 충전제의 양을 20, 40, 70 phr로 증가시키는 것은 전하가 트랩될 수 있는 계면의 증가가 되므로 축적된 전하량이 증가하게 된다. 전압 증가에 따라서도 같은 양상을 보여준다.

4. 결론

(1) 에폭시/실리카 복합재료는 동종전하를 형성하며 주된 전하형성기구는 전극으로부터의 전자주입이다.

(2) 에폭시와 충전제 계면이 전하의 트랩 자리로 작용하여 충전제 함량과 전압을 증가시킴에 따라 음전하량이 증가하며 음전하의 축적이 시료내부에 까지 이루어 진다.

참고문헌

1. M. Ieda, "Dielectric Breakdown Process of Polymer", *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-15, 206 (1980)
2. Y. Li, M. Yasuda, and T. Takada, *IEEE Trans. Dielectr. Insul.*, 1, 188 (1994)
3. W. Yin, J. Tanaka, and D. H. Damon, *IEEE Trans. Dielectr. Insul.*, 1, 169 (1994)