

Epoxy/Filler 복합재료의 공간전하축적 현상
Space Charge Formation in Epoxy/Filler Composites

남진호*, 이창용, 이미경, 서광석, 강동필**
고려대학교 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 loaded with silica and calcium carbonate has been studied. The epoxy itself showed almost no charge at up to 40 kV/mm. The addition of fillers such as SiO₂ and CaCO₃ resulted in homocharge formation, which was attributed to the interfacial trapping of injected charge at epoxy/filler interfaces. The amount of charge showed a maximum at 20-40 parts per hundred resin above which the charge decreased gradually. This was tentatively attributed to the enhanced interconnection of charge transport path by an increased filler content.

1. 서론

에폭시는 실리카를 혼합하여 그 자체로도 절연물로서 사용될 수 있으나 실리콘고무 애자의 금구류와 지지봉 사이의 접착제로서도 사용된다.

이와 같이 에폭시에 충전제를 사용하면 에폭시의 전기적 특성은 크게 변할 수 있다.

애자의 경우 에폭시몰딩컴파운드 (EMC)로 사용되는 경우에는 표면특성이 중요한 변수가 되기 때문에 에폭시 자체의 물성 중에서도 표면 특성에 연관된 물성이 중요한 물성이 된다. 그러나 금구류와 지지봉간의 접착제로서 사용되는 경우에는 표면특성 보다는 bulk 특성이 더욱 중요한 물성이다. 에폭시가 애자류의 접착제로 사용되는 경우 금구류에 전압이 가해지고 있는 상황이기 때문에 금구류와 지지봉간에 있는 에폭시의 전기적 특성은 중요한 변수로 작용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 고전압하에 접착제로 사용되는 에폭시 수지의 전기적 특성 중에서 전하형성 현상에 미치는 충전제의 영향에 대하여 알아보았다. 본 연구에서 사용된 충전제는 실리카 (SiO₂)와 칼슘카보네이트 (CaCO₃) 이다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 고온 경화용 에폭시 수지는 국도화학에서 생산된 Diglycidyl ether bisphenol A type (YD-128)과 Rubber (CTBN) modified epoxy (R-1309) 두 가지를 70/30의 비율로 혼합하여 사용하였다. 본 연구에서 사용된 경화제는 국도화학에서 생산된 Nadic methyl anhydride (NMA)이며, 경화촉진제도 국도화학에서 생산된 Benzyl dimethyl amine (BDMA)을 사용하였고 시료의 배합비 및 경화조건을 표 1에 나타내었다. 충전제는 SiO₂와 CaCO₃를 사용하였고 그 함량은 SiO₂는 20, 40, 70, 100 phr이다.

표 1. 에폭시/충진제 복합재료의 배합비 및 경화조건

시 편			1	2	3	4	5	6
배 합 비	모체수지	YD-128	70	70	70	70	70	70
		R-1309	30	30	30	30	30	30
	충진제(phr)	SiO ₂	0	20	40	70	100	0
		CaCO ₃						10
	경화제(phr)	NMA	85	85	85	85	85	85
경화촉진제(phr)	BDMA	3	3	3	3	3	3	
경 화 조 건		혼합: 진공 혼합기 경화: 170°C 1시간						

전하분포 측정용 시편의 제작은 액상의 에폭시 수지와 경화제, 경화촉진제 및 충전제를 평량하여 진공혼합기를 통하여 30분간 교반시켰다. 혼합된 시료를 금형에 넣어서 hot press 를 이용하여 170°C에서 약 8kgf/cm²의 압력하에서 1시간 동안 경화시켰다. 경화 초기에는 압력을 중감함에 의해 시료내에 있던 기포제거를 한번 더 실행하였다. 이 시편은 두께가 1 mm이고 직경이 90 mm인 판상이고 전극은 양면의 중심에 직경 18 mm인 반도체 전극을 사용하였다.

에폭시 수지의 전하축적특성은 PEA 장치를 사용하였으며 측정장치의 개요도는 Fig. 1에 나타내었고 측정원리는 기존에 보고되어진 바와 같다 [1]. 그림에서 시편에 10 kV에서 30 kV 까지 직류 고전압을 5 kV 간격으로 단계적으로 증가시켜 가면서 30 분동안 인가한 후 전압을 제거한 상태에서 측정하였다. 측정에 사용된 전기펄스는 폭이 10 ns이고 크기가 2 kV이다.

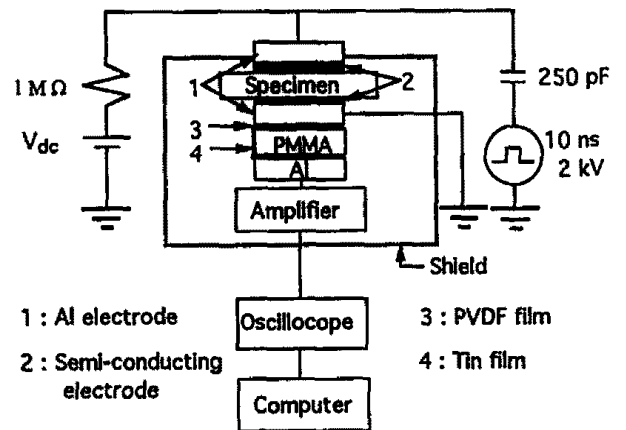


Fig. 1. Schematic diagram of charge distribution measurement system

3. 결과 및 고찰

에폭시 수지에 충전제를 넣지 않은 시료에 10 kV에서 30 kV까지 10 kV 간격으로 전압을

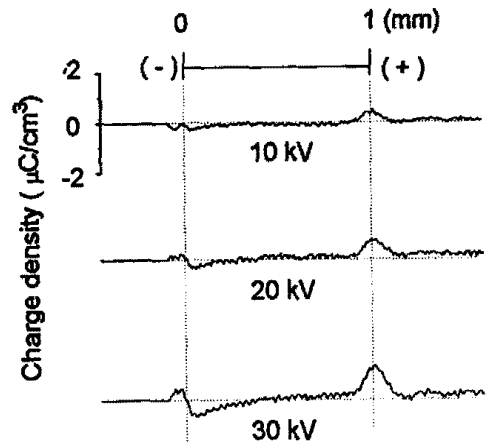


Fig. 2. Space charge profiles of epoxy.

가한 후에 전압을 제거하고 전하분포를 살펴본 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 가로축은 음전극과 양전극 사이의 에폭시 수지를 나타내고 있으며 세로축은 시료내에 축적된 전하밀도를 나타내고 있다. 이것은 크게 두 개의 전하피크를 보여 주는데, 이들은 양쪽 전극에 유도된 전하피크를 말한다. 시료내부에는 전하가 형성된 흔적을 보이지 않고 있다. 이것은 전극과 시료 계면에 전하가 축적된 것으로 생각되며 이 계면전하가 전극에 형성된 전하와 중첩되어 분리되지 못하고 있는 것으로 생각된다 [2].

Fig. 3은 실리카를 40 phr 혼합한 시료에 축적된 전하분포를 나타낸다. 전압이 증가함에 따라 음전극 쪽에 음전하가 형성되는 양상, 즉 동종 전하가 형성되는 모습을 보여준다. 이 음전하는 전압이 증가함에 따라 증가한다. 그러나 양전극 쪽에는 양전하가 축적된 흔적을 보이지 않는데 이로부터 음전극을 통한 전자의 주입 및 트랩이 주된 전하형성기구인 것을 알 수 있다 [3]. Fig. 4는 에폭시에 충전제 SiO₂의 양을 0, 20, 40, 70, 100phr을 첨가한 경우에 시료에 30 kV의 전압을 30 분동안 가한 후 전압을 제거하고 측정된 공간 전하 축적 양상을 나타내주고 있다. Fig. 5는 충전제의 함량이 증가함에 따라 음전극 주위에 축적된 음전하량을 나타내었다. 충전제를 넣은 시료에서 음전극 주위에 축적된 음전하가 증가했음을 알 수 있다. 충전제의 첨가량에 따라서 70phr까지는 축적된 음전하가 상당량 있지만 100phr을 첨가한 시료에서는 축적된 음전하량이 오히려 감소함을 볼 수 있다. 충전제 함량에 따라 음전극 쪽의 전하가 축적되는 양상은 충전제의 증가에 따라 축적된 전하가 시료 내부로 이루어짐을 알 수 있고 100phr인 경우에 축적된 전하량이 감소함을 알 수 있다. 충전제의 첨가량이 적은 경우에 전하가 충전제의 양에 따라 증가하는 양상은 충전제와 에폭시 사이의 계면에 전하가 축적됨으로 볼 수 있다. 즉, 계면이 주입된 전하의 트랩

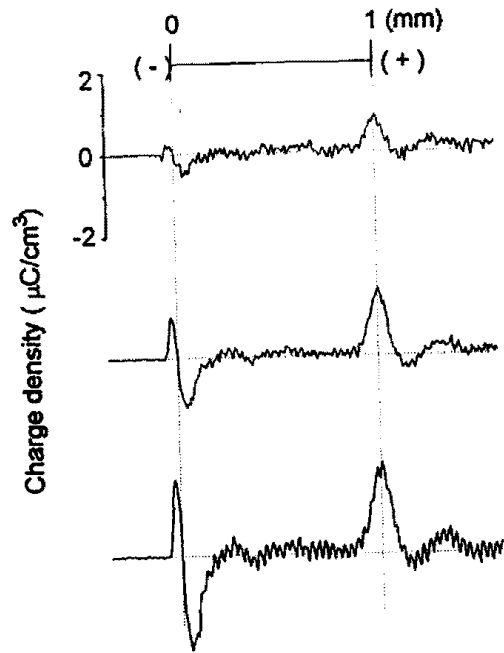


Fig. 3. Charge profiles of epoxy/silica composites (SiO₂ : 40 phr)

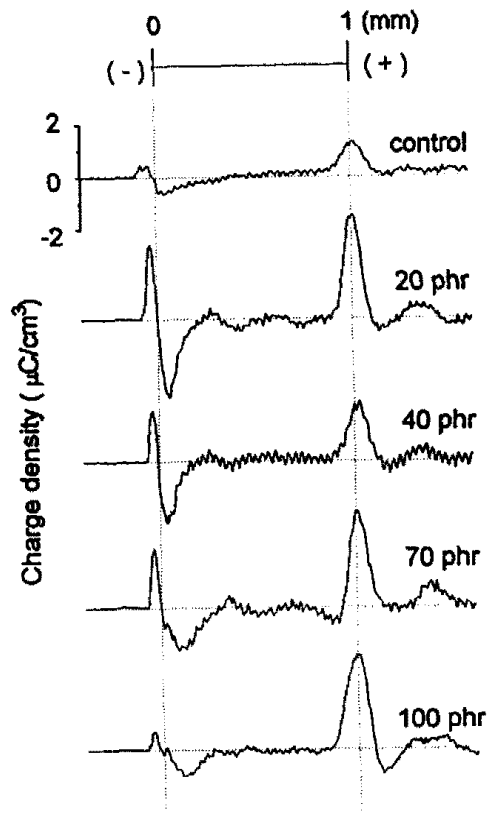


Fig. 4. Charge profiles at 30 kV with silica content

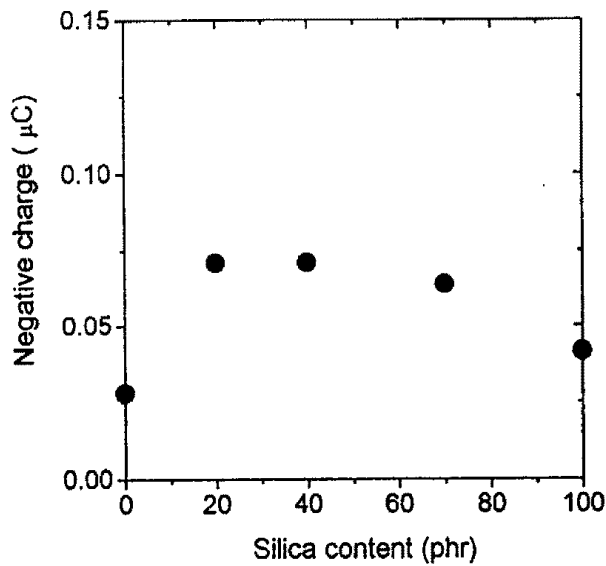


Fig. 5. Charge near the cathode at 30 kV with silica content

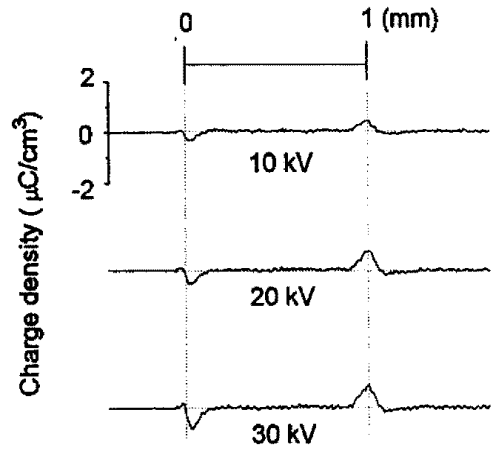


Fig. 6. Charge profiles of epoxy/CaCO₃ composites (CaCO₃ 10 phr)

자리로 작용하여 트랩자리의 증가가 전하축적의 증가를 보여준다. 그러나 충전제의 양이 많아지면 충전제간의 사이가 가까와 지고 이를 통해 전하가 빠져나갈 것으로 생각된다. 이 설명은 추후 실험을 통하여 확인되어야 한다.

Fig. 6는 Epoxy/CaCO₃ (10 phr) 복합재료의 전하분포를 보여 주는데, CaCO₃ 충전제의 경우에도 동종전하가 형성됨을 알 수 있다. 그러나 비록 제한적이기는 하나 CaCO₃에는 실리카보다 훨씬 적은 양의 전하가 형성되는 것으로 보인다. CaCO₃ 함량의 영향은 현재 실험 중에 있으므로 이에 대한 고찰은 추후 다시 하기로 한다.

4. 결론

(1) 에폭시 자체에는 전하축적이 이루어지지 않는 반면 에폭시/실리카 복합재료에는 동종전하가 축적된다. 이는 전극으로부터 주입된 동종전하가 에폭시와 실리카 계면에 축적되었기 때문으로 생각되며 따라서 실리카 계면은 전하트랩장소로 작용한 것으로 생각된다.

(2) 실리카 함량이 높은 경우에는 동종전하량이 감소하는 것으로 관찰되었는데, 이는 실리카가 서로 연결되어 전하이동을 도와 계면전하가 방전시 전극쪽으로 소멸된 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] Y. Li, M. Yasuda, T. Takada, *IEEE Trans. Dielectr. Insul.*, **1**, 188 (1994)
- [2] W. Yin, J. Tanaka and D. H. Damon, *IEEE Trans. Dielectr. Insul.*, 169 (1994)
- [3] 남진호, 이창용, 이덕경, 서광석, 강동필, 한국전기전자재료학회 춘계학술대회, 115-119, (1995)