

전기설비용 Epoxy/SiO₂ 복합재료의 계면처리 효과에 따른 직류 절연파괴 강도의 개선에 관한 연구

A Study on Improvement of DC Breakdown Strength due to Interface Treatment Effect of Epoxy/SiO₂ Compound Material for Electrical installation

金在煥* · 朴昌玉** · 金敬桓* · 金明鎬**

(Jae-Hwan Kim · Chang-Ohk Park · Kyung-Hwan Kim · Myoung-Ho Kim)

요 약

에폭시 수지(bisphenol-A epoxy resins)와 충전제(SiO₂)간의 결합 강도를 증대시키는 실란 계면 결합제(KBM-603)를 충전제에 처리하여 제작된 시편에 직류 전압을 인가하여 이에 대한 절연 파괴 강도의 개선 여부를 비교 검토하였다.

에폭시 100에 대한 충전제 함량 5[wt%], 50[wt%]의 시편에 직류전압을 인가한 경우 절연 파괴 강도가 각각 12.73%, 10.77%씩 개선이 되었다.

따라서 계면 결합제의 농도와 충전제의 함량이 에폭시 수지의 절연 파괴 강도에 미치는 영향에 대해서 연구 검토하였다.

Abstract

In this study as treating to filler silane coupling agent(KBM-603) improving coupling strength between matrix resin(bisphenole-A type epoxy resin) and filler(SiO₂),breakdown strength was investigated on cases applying DC voltage to specimen.

In the case on DC voltage, breakdown strength was improved about 12.73% and 10.77% in specimen of 5[wt%] and 50[wt%] of filler content on 100 of epoxy.

Therefore, it was investigated the effect that concentration of coupling agent and content of filler was influential on breakdown strength of epoxy resin.

*正會員：光云大學校 電氣工學科 教授 · 工博

**正會員：上智專門大學 電氣工學科 專任講師 · 工博

*正會員：暎園大學校 電氣工學科 專任講師 · 工博

**正會員：光云大學校 電氣工學科 博士課程

接受日字：1991年 12月 16日

1. 서 론

복합 재료 제조시에 유기계 에폭시 수지와 무기계 충전제가 접하게 되는 계면에서 팽창 계수 차이에 의해 필연적으로 응력이 발생하며, 또한 이 응력은 복합 재료의 절연성능을 저하시킨다고 보고하고 있다.¹⁾ 이러한 응력을 극복한다면 복합 재료의 강인성 및 절연 파괴 강도를 현저하게 향상시킬 수 있으리라는 점에 주목하였다.

실란 계면 결합제(Silane coupling agent : KBM-603)를 무기물 충전제에 처리하므로써 에폭시 수지와 충전제간의 계면 결합 개선을 통하여 확실적으로 시편내부 결합의 수가 적게 될뿐만 아니라 그 시편내부의 결합 자체의 크기도 적어짐에 따라 충전제와 수지계면의 접촉불량이 파괴의 약점이 되는 것을 적극 배제한 에폭시 시편을 제작하였다.

따라서 본 연구에서는 계면 처리 및 무처리 시편의 두가지 경우에 대하여 직류 전압을 인가하였다. 여기에서 도출된 결과를 비교 검토하였으며, 에폭시 수지의 절연 파괴 강도의 개선에 대하여 연구하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1 계면 처리²⁾

본 실험에서 사용한 계면결합제의 처리 방법은 먼저 희박 용액인 톨루엔과 실란을 혼합한 후 이 혼합된 용액에 충전제(SiO_2)를 넣고 충전제에 용액이 잘 피복되도록 섞었다. 그 후 현탁액(懸濁液)으로 된 상태에서 톨루엔이 휘발되도록 건조하였다. 건조된 충전제가 서로 엉키게 되어 분쇄를 해야 하는데 이때 과도한 압력을 가하게 되면 충전제 자체가 분쇄되므로 이러한 경우를 방지하기 위하여 가능한 한 적은 힘을 가하여 분쇄하였다. 분쇄된 충전제를 에폭시 수지에 중량비로 첨가하는 방법인 습식법을 사용하였다.

이 방법을 계면결합제와 에폭시수지와와의 상용성을 고려해볼때 계면결합제의 작용기구에 적합한

이상적인 방법이라고 할 수 있다.

2.2 예비 실험

전극사이에 존재하는 충전제 입자계면에서 충전제와 에폭시 수지계면의 접촉불량 및 계면에 집중되는 응력³⁾이 파괴의 약점으로 되는 것을 적극 배제하기 위하여 톨루엔 희박용액 100에 대한 계면결합제의 농도를 그림 1과 같이 변화를 주어 충전제 피복을 하였다. 이와 같이 7종류의 농도로 피복된 충전제를 에폭시 수지 100에 대하여 50 [wt%]의 충전 비율로 첨가하여 제작한 시료로 절연파괴강도를 측정해 본 결과는 그림 1과 같다.

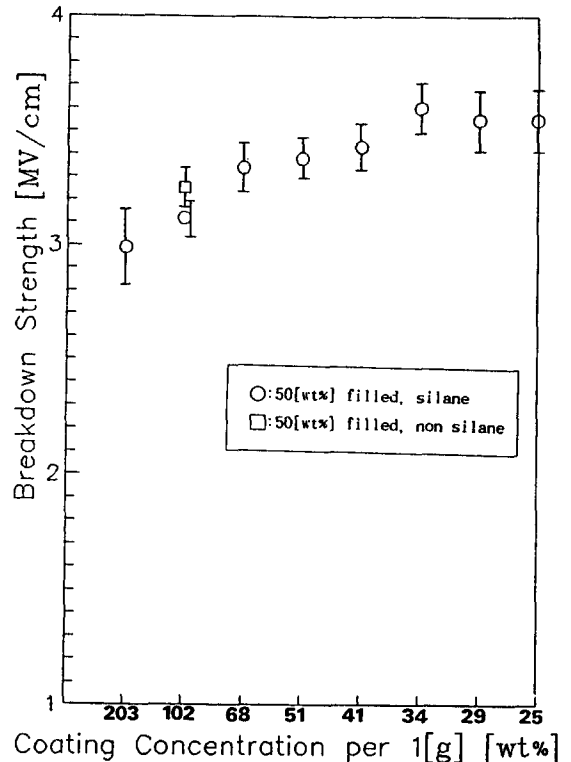


그림 1. 충전제 함량에 대한 계면 결합제 농도 변화에 따른 절연파괴 강도

Fig. 1. Breakdown strength due to change of coupling agent concentration on filler content[DC]

이와 같이 계면결합제의 농도가 1.5[wt%]로 증가함에 따라 절연파괴 강도는 증가하고 있으나 그 이상의 농도에서는 절연파괴강도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상의 원인은 충전제 표면에 부착되는 계면결합제가 1.5[wt%] 정도에서는 단분자층이며 그 이상에서는 다분자 층이 되어 이상수지(異狀樹脂)층⁴⁾을 형성하여 충전제 표면에서 전기적 불순물로 작용하기 때문이라고 사료된다. 그림 1에서와 같이 계면결합제의 농도가 1.5[wt%]에서 최적임을 미루어 판단하고, 충전제를 피복하게 되는 계면결합제의 양을 변화

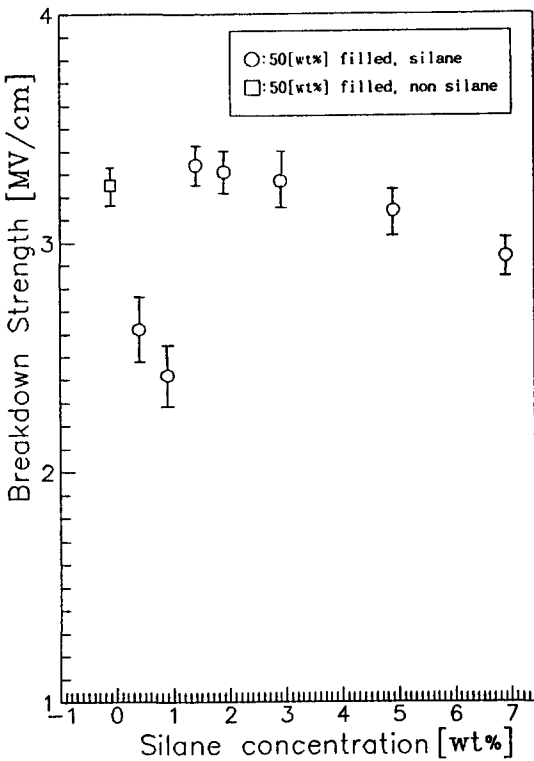


그림 2. 충전제 1[g]에 대한 계면 결합제농도(1.5%)와 희박용액 양의 변화에 따른 절연 파괴 강도

Fig. 2. Breakdown strength due to change of content of aqueous solution and coupling agent concentration on 1[g] of filler content

시키면 계면의 이상수지 층을 억제하여 계면의 접촉이 개선될 수 있으리라 추측하고, 톨루엔 100에 대한 계면결합제 농도 1.5[wt%]의 혼합 용액을 기준으로 하여 이 용액에 피복되는 충전제의 양을 203[wt%], 102[wt%], 68[wt%], 51[wt%], 41[wt%], 34[wt%], 29[wt%], 25[wt%]까지 변화를 주어 충전제에 피복하였다.

그림 2에 나타난 바와 같이 34[wt%]에서 계면결합제를 처리한 시편(이하 계면 처리 시편)의 절연파괴 전압이 처리하지 않은 시편(이하 무처리 시편)보다 약 10.8%가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것을 근거로 본 실험에 대한 시편을 제작하였다.

2.3 시편 제작

본 연구에서 사용한 고온 경화용 에폭시수지는 YD-128(Diglycidlyether-A)이며 경화제로는 방향족 아민 계열의 DDM을 사용하였다.

2.2항에 기초하여 피복된 충전제를 에폭시 중량에 대한 중량비로서 5[wt%], 50[wt%]로 충전하였다. 실란 계면 결합제는 아미노 실란[화학명 : N-N-(β-Aminoethyl)-γ-aminopropyl trimethoxy-silane]계이며 물성은 표 1과 같다. 시편의 형상 및 경화 조건은 전보 1991년 6월 제5권 제2호(5-2-5)를 참조하기 바란다.

표 1. 아미노 실란의 물성

Table. 1. Various properties of Amino silane.

화 학 식	분자량	비중 [25℃]	비동점 [℃]	인화점 [℃]	최소피복 면적 [m ² /g]	주된 적용 수 지
H ₂ NC ₂ H ₄ NHC ₂ H ₄	224.4	1.02	259	128	351	에폭시 페 놀 델라민

3. 실험방법

고전압 실험장치는 Pluse Engineering Co. Ltd 제 AC/DC High voltage-generator이다. 직류전압을

승압속도 1[kV/sec]로 절연파괴가 일어날때까지 승압하였다. 실험은 진공건조기에서 1시간 탈기 처리를 행한 실리콘 유(Silicon oil)를 주워 매질로 하였으며, 절연 파괴 강도 E_{BD} 는, 파괴 전압 V_{BD} 를 전극 간 거리 D 로 나누어 구하였다. 실험시료의 갯수는 동일 조건에서 16~18개이며 파괴 전압은 그 평균치를 취하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 계면 처리 효과에 따른 절연 파괴 특성

그림 3과 그림 4는 충전제 함량(5[wt%], 50 [wt%])의 계면 처리 효과에 따른 직류 절연 파괴 강도에 대한 결과이다.

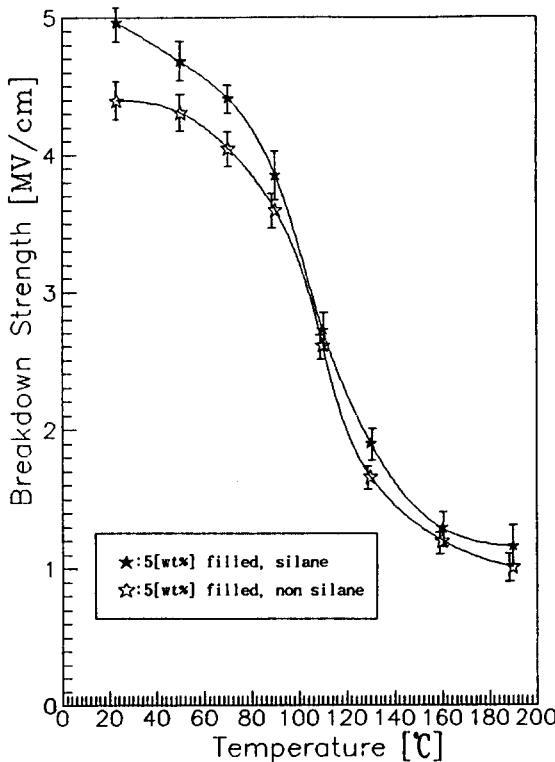
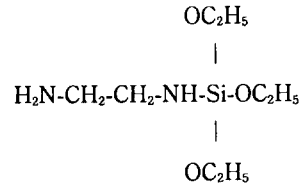


그림 3. 계면 처리 및 무처리 시편(5[Wt%])의 직류 절연 파괴 강도

Fig. 3. DC breakdown strength of non silane and silane treated specimen(5[Wt%])

상온에서, 충전제 함량 5[wt%]에서는 약 12.73%, 충전제 함량 50[wt%]에서는 약 10.77%의 개선이 되었다. 그 원인은 이 계면 결합제의 다음과 같은 기능에서 찾아볼 수 있다.



본 실험에서 사용한 아미노 실란 계면 결합제의 구조식인 위식에서 OC_2H_5 는 Si에 대한 가수성기(hydrolyzable)이며 H_2N 은 유기관능기(organofunctional group)로서 에폭시 수지와 반응하는 부분이

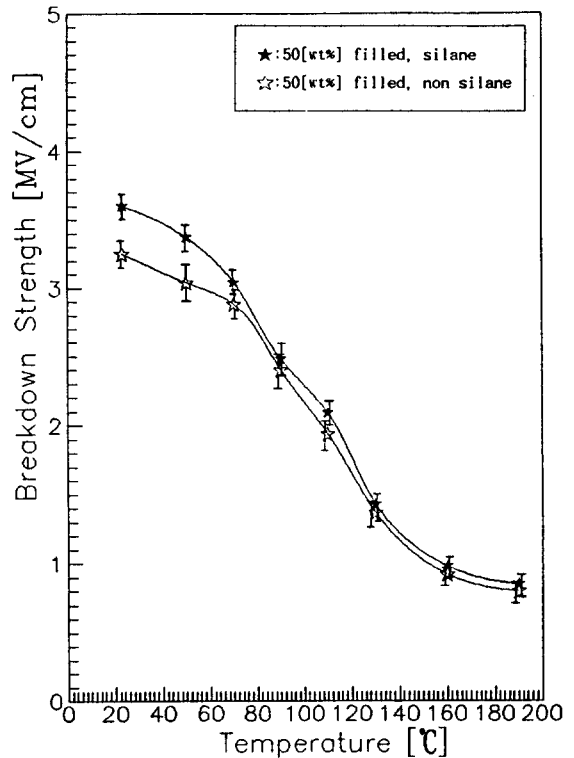


그림 4. 계면 처리 및 무처리 시편(50[Wt%])의 직류 절연 파괴 강도

Fig. 4. DC breakdown strength of non silane and silane treated specimen(50[Wt%])

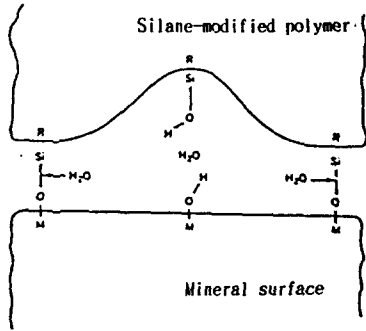


그림 5. 계면 결합제의 기능

Fig. 5. Function of silane coupling agent.

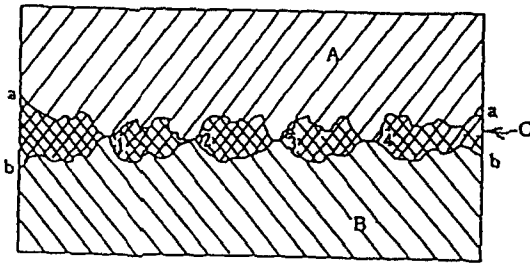


그림 6. 접착부의 설명도

Fig. 6. Model of an adhesive part.

된다.⁵⁾

그림 5의 모델에서와 같이 공기중의 수분 또는 무기질에 달라붙어 있는 수분에 의해 OC₂H₅는 가수 분해하여 실라놀(SiOH)을 형성하여 이 부분이 무기질인 실리카(Silica)와 결합하는 부분이 된다. 그림 6에 도시한것과 같이 두 종류의 물체 A와 B는 외견으로는 표면 aa와 bb에서 접촉되어 있는것 같지만 미시적으로는 표면이凹凸이 있으며 실제로 접착되어 있는 1,2,3,4등의 일부의 면적이다. 이러한 면은 의집력(擬集力)에 의해 접착력이 작용하지만, 접착면적이 작아서 그 힘도 적으며 무기와 유기간의 열 팽창 계수 차이에 의한 스트레스나 어느정도의 외력(外力)이 작용하게 되면 두 물체는 격리된다. 그러나 A와 B사이의 공극에 전술한 것과 같은 계면 결합제를 첨가하게 되면 C(계면 결합제)를 촉매로 하여 A와 B의 강한 결합 즉 접착이 가능하게 되며, 강인성 및 전기적 특성이 개선된다고 생각된다.⁶⁾

5. 결 론

Epoxy/SiO₂ 복합 재료에 실란 계면 결합제를 처리 및 무처리하여 계면 처리 효과에 따른 직류 절연 파괴 특성을 분석 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 절연 파괴 강도에 대한 계면 결합제의 농도 및 충전제를 피복하는 계면 결합제의 양이 존재 하였다.

본 연구에서는 1.5[wt%] (톨루엔 100에 대한 계면 결합제 농도)와 34[wt%] {혼합 용액(톨루엔 100에 대한 계면 결합제 농도 1.5[wt%])}으로 피복되는 충전제의 양이 얻어 졌다.

(2) 직류 전압을 인가한 경우, 충전제 함량 5 [wt%], 50[wt%]에서 계면 결합제를 처리한 시편이 처리하지 않은 시편 보다 절연 파괴강도가 상온에서 각각 12.73%, 10.77%가 개선이 되었다.

Epoxy를 포함하는 전기 절연 설비물에 있어서 앞으로 이러한 결과를 토대로 하여 보다 우수한 절연 파괴 강도와 강인성을 보유함에 따라 고신뢰성 및 장기 수명화가 이루어질 수 있기를 바란다.

참 고 문 헌

- 1) 朴正后 外 2人, "복합재료의 전기적 절연특성과 개발에 관한 연구(I)", 電氣學會 論文誌, 34(8), pp.323-330, 1985.
- 2) 小石奎純 外 2人, 複合材料と界面, 綜合 技術 出版, pp.11-130, 1982.
- 3) 能童文敏 外, "エポキシ樹脂の直流破壊電壓に及ぼす充てん劑の効果", 電氣學會誌 A, 102卷, pp.109-116, 1981.
- 4) 門谷建藏, ガラスおよび樹脂の界面現象 解明と特性 向上, 日立評論, 56(7), pp.615-619, 1974.
- 5) 山谷正明, フィラー 材料の表面處理による機能化, polyfile, pp.26-30, 1987.
- 6) H.Ishida, J.L.Konig, J.Collid Interface Sci., 64, p.555, 1978.