

**충진재 함량 변화에 따른 에폭시 복합재료의 흡수율과 직류 절연파괴강도의 변화**

이덕진\*, 김탁용\*, 신성권\*\*, 김명호\*\*\*, 김경환\*\*\*\*, 김재환\*

\* : 광운대학교 전기공학과      \*\* : 동해대학 정보통신과

\*\*\* : 경원전문대학 건축설비과      \*\*\*\* : 경원대학교 전기전자공학부

**The variation of water absorption rate and DC dielectric breakdown strength of Epoxy composites due to filler content**

D. J. Lee\*, T. Y. Kim\*, S. K. Shin\*\*, M. H. Kim\*\*\*, K. H. Kim\*\*\*\*, J. H. Kim\*

\* : Kwangwoon Univ.    \*\* : Donghae College    \*\*\* : Kyungwon college    \*\*\*\* : Kyungwon Univ.

**Abstract** - In this paper, the variable absorption rates and DC dielectric breakdown strength of epoxy composites were measured at boiling absorption condition in order to observe the influences of moisture in out door use. Also, in order to improve withstand voltage properties at moisture absorption condition, IPN(interpenetrating polymer network) method which had been already reported, was introduced and the influence was investigated.

As a result, it was confirmed that the moisture absorption rate was increased and DC dielectric breakdown strength was degraded with boiling time and filler content increasing. On the other hand, it was confirmed that moisture absorption rate and DC dielectric breakdown strength degrading rate were lowered by the improvement of adhesion strength In IPN specimens.

율의 변화는 전반적인 기계 역학적 특성을 저하시킬 것이며, 이는 절연파괴강도의 저하 또는 내트래킹성, 유전율 등과 같은 절연재료의 기본적 특성에도 변화를 주게 될 것이라 생각된다. 이에 따라 본 연구에서는 충진재 SiO<sub>2</sub>의 함량을 0[phr], 50[phr], 100[phr]로 변화시켜 제작한 Epoxy/SiO<sub>2</sub> 복합재료의 건전시편을 0, 2, 4, 8시간 비등흡수 열화시킨 후 각각의 흡수율을 측정하여 모체수지와 충진재 간 계면의 접착기구의 변화를 고찰하였으며 각각의 시편에 대하여 직류 절연파괴시험을 행하여 흡수열화에 따른 전기적 특성의 변화를 확인하였다. 한편 이러한 특성의 저하를 억제할 목적으로 이전에 보고하였던 상호침입망목(IPN) 수법<sup>(3,4)</sup>을 도입하여 모체수지의 망목구조를 고차화 시킴에 따라 충진재와 모체수지간의 접착강도를 증대시키고자 하였으며 동일한 열화조건하에 그 결과를 비교 검토하였다. 그 결과 무충진 시편에서는 큰 차이점을 볼 수 없었으나 충진시편의 경우 계면에서의 접착강도가 크게 개선되는 것을 확인하였다.

**1. 서 론**

본 연구에서는 실제 사용환경, 특히 옥외용 절연재료로서 적용되는 에폭시 복합재료의 신뢰도를 파악하기 위하여, 두드러진 문제점을 야기하는 열화요인 중 하나인 수분에 의한 변화를 고찰하고자 한다. 옥외용 전력 설비는 환경에 직접 노출되는 빈도가 높아지게 되고, 이 경우 수지 내에 필수적으로 첨가되어야 하는 충진재와 에폭시 수지간의 계면에 수분이 흡착하여 계면의 접착기구가 변화하게 된다. 이와 같은 흡수상태의 차이가 절연층의 인장변형시 그리고 왜곡변형시의 탄성율의 변화를 가져오게 된다.<sup>(1,2)</sup> 실제로 전력기기는 전기적 응력 뿐만 아니라 코일의 전자력에 의한 진동과 같은 기계적 응력에 항상 접해있게 되는데, 흡수에 의한 탄성

**2. 실 험**

**2.1 시편 제작**

본 실험에서는 Diglycidyle Ether of Bisphenol-A (DGEBA)인 YD-128(국도화학)을 사용한 단일 망목구조 시편(E계열)과 DGEBA와 Methacrylic Acid를 상호침입망목 수법으로 가교시킨 시편(EM계열)을 표 1과 같은 조건으로 충진재 함량(0, 50, 100[phr])에 따라 총 6종류의 시편을 제작하였으며, 이에 0, 2, 4, 8시간 동안 비등흡수를 행하였다. 그림 1은 직류절연파괴강도 측정용 시편의 형상이다.

표 1. 시편의 구성 배합비

Table 1. Composite Ratio of Specimens

단위 : [phr]

시 편			E	EM
배 합 비	모 체 수 지	YD - 128	100	-
		YD - 128 + MA	-	100
	경화제	PA	36	8
	충진재	SiO <sub>2</sub>	0, 50, 100	0, 50, 100

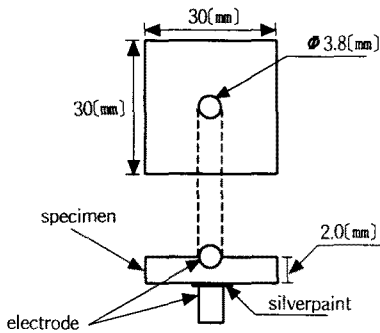


그림 1. 시편의 형상  
Fig. 1. Geometry of Specimen

## 2.2 실험 방법

### 흡수율 측정

45×45×3(mm)의 시편을 제작하여 샌드페이퍼로 표면을 연마하고, 50(°C)의 진공오븐에서 24시간 건조시킨 후 중량을 측정하였다. 이를 0, 2, 4, 8시간 비등흡수시켜 23(°C)의 수중에 침지시켜 탈수한 후 각각의 중량을 측정하여 다음과 같은 식에 의하여 흡수율을 산출하였다.

$$M(t) = \frac{W(t) - W_0}{W_0} \times 100 [\%]$$

여기에서 W(t)는 t시간 비등흡수 열화 후의 중량이며, W<sub>0</sub>은 건조시편의 중량이다.

### 직류절연파괴강도 측정

30×30×2(mm), 전극간 거리 200(μm)의 시편을 제작하여 위와 같은 조건으로 비등시킨 후, 시험온도 23, 90(°C)에서 고전압발생기(Pulse Engineering Co. Ltd.)를 사용하여 직류전압 절연파괴강도를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 비등흡수시간에 따른 흡수율의 변화

그림 1에 각 시편의 비등흡수시간에 따른 흡수율의 변화를 나타내었다. E계열의 시편은 충전재 함량이 증가함에 따라 흡수율이 급격하게 증가하는 모습을 보인 반면 EM계열 시편은 8시간 비등 후에도 2.2[%] 이하의 낮은 값을 보였으며 전반적으로 충전재 함량 의존성은 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 망목구조를 고차화시켜 제작한 EM계열 시편은 모체수지와 충전재 입자간의 접착강도가 강화되어 결과적으로 수분의 진입을 방해한 것이라 생각된다.

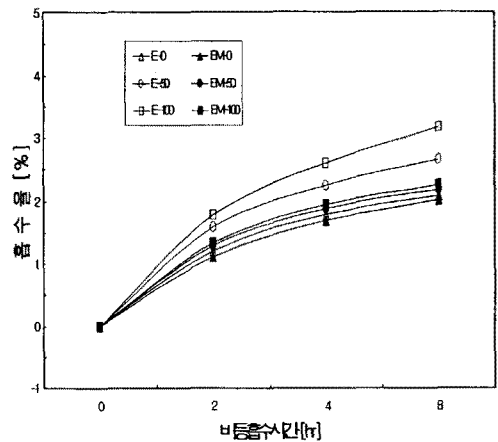


그림 1. 비등흡수시간에 따른 흡수율의 변화

Fig. 2 The variation of water absorption rate of samples due to boiling absorption time

### 3.2 비등흡수시간에 따른 교류 절연파괴강도의 변화

그림 2와 3은 각각 상온과 90(°C)에서 흡수시간에 따른 각 시편의 교류 절연파괴강도 시험결과이다. 흡수시간이 증가함에 따라 EM계열 시편은 E계열 시편에 비해 완만한 파괴강도의 저하를 나타낸다. 그림 2에서 상온영역을 순수한 전자사태파괴만의 영역으로 볼 때 이 온도대역에서는 전자의 이동과 시편내의 고차구조는 깊은 관계가 있다고 생각된다. 전계에 의한 전자의 에너지 이득과 격자 원자와의 충돌로 인한 에너지 손실을 고찰하는 전자사태파괴기구에서는 전계에 의해 가속된 전자가 분자쇄를 구성하는 원자와의 충돌로 인하여 전자의 에너지 손실이 발생하기 때문에 그 파괴전계는 전자의 평균자유행정에 반비례하게 된다.<sup>5)</sup> 모체수지와 충전재 입자간 계면의 수분 흡착에 의한 인장, 왜곡변형에 의해 전자가 가속될 수 있는 공간이 확보되면 파괴

전계는 반대로 낮아지게 되므로 이 때 EM계열 시편의 격자구조에 존재하는 분자쇄의 뒤엎힘은 이러한 가능성을 억제하는 효과를 가진다.

충진재 함량이 증가함에 따라 파괴강도는 낮게 나타났으나, 그림 3에서 흡수시편의 경우 EM-100시편의 파괴강도가 E-0시편보다 높아지게 되는 역전현상을 보인다. 이는 온도영역이 올라감에 따라 열의 개입에 의한 점차적인 분자쇄의 점유체적의 증가와 미반응기로 인한 원자적 공공과 같은 전기적인 약점으로 사태가 진전되어 파괴될 확률이 높아지면서 EM-100시편의 효과적인 열분산과 고차화된 내부구조, 그리고 강화된 접착 강도에 기인한 것으로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 단일망목구조 시편과 상호침입망목구조 시편을 제작하여 0, 2, 4, 8 시간 비등흡수시 흡수율의 변화와 직류절연파괴강도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 흡수율 측정결과로부터, E계열 시편의 경우 충진재 함량이 증가함에 따라 흡수율도 크게 증가하는 경향을 보였으나 EM계열에서는 흡수율의 변화가 상대적으로 나타남을 알 수 있었다.
- 2) 흡수시간이 증가함에 따라 직류 절연파괴강도는 저하되며, 상호침입망목수법으로 제작된 EM계열은 E계열 시편에 비해 완만한 곡선을 나타내었다.

모체수지와 충진재 입자간의 계면에 수분이 흡착하게 되면 계면의 접착기구가 변화하여 전기적 특성의 저하가 일어난다는 사실을 알 수 있었으며 상호침입망목 수법을 도입하여 계면에서의 접착강도를 높게 되면 이러한 열화요인을 효과적으로 억제할 수 있음이 확인되었다.

#### [참 고 문 헌]

1. Yukuo Yosida 外, "シリカ充填エポキシ樹脂の沸騰吸水に伴う樹脂-充填材界面の接着性變化", T. IEE Japan, Vol.117-A, No.11, pp.1127-1132, 1997.
2. Richard A. Pethrick *et al.*, "Dielectric, Mechanical and Structural, and Water Absorption Properties of a Thermoplastic-Modified Epoxy Resin" *Macromolecules*, 29, pp.5208-5214, 1996.
3. H.L.Frisch *et al.*, "Two and Three Component Interpenetrating Polymer Networks", *Polym. Eng. & Sci.*, Mid-June, Vol.25, No.8, pp.488-493, 1985.
4. 金在煥 外 5人, "2,3성분 상호침입망목 에폭시 복합재료의 절연파괴특성에 관한 연구", *韓國電氣電子材料學會誌*, Vol.9, No.4, pp.364-371, 1996.
5. A. Von Hippel, "Electric Breakdown of Solid and Liquid Insulators", *J.Appl.Phys.* Vol.8, pp.815-832, 1937.

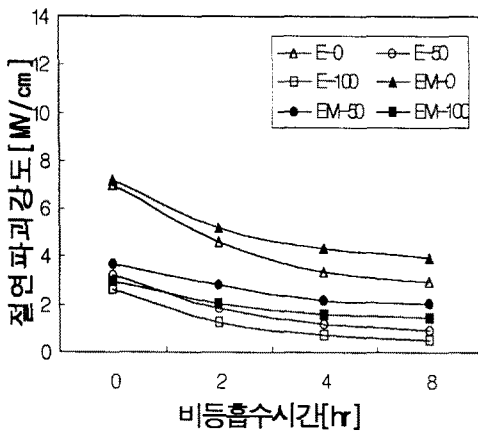


그림 2. 비등흡수시간에 따른 직류전압 절연파괴강도(23(°C))

Fig. 2 DC dielectric breakdown strength of samples due to boiling absorption time (23(°C))

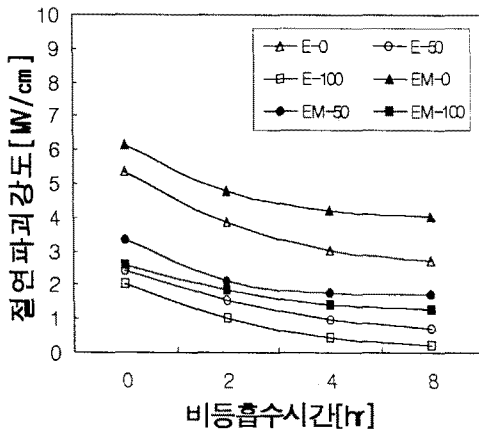


그림 3. 비등흡수시간에 따른 직류전압 절연파괴강도(90(°C))

Fig. 3 DC dielectric breakdown strength of samples due to boiling absorption time (90(°C))