

## 에폭시 복합재료의 내트래킹성에 미치는 산성비의 영향

\*손인환, \*김택용, \*최성민, \*\*김경환, \*김재환  
 \*광운대학교 전기공학과, \*\*경원대학교 전기공학부

### The Influence of acid rain upon Tracking resistance of Epoxy Composite Materials

\*In-Hwan Son, \*Tag-Yong Kim, \*Seong-Min Choi, \*\*Kyung-Hwan Kim, \*Jae-Hwan Kim  
 \*Kwangwoon Univ., \*\*Kyungwon Univ.

**Abstract** - In this study, in order to develop outdoor insulating materials, SIN(simultaneous interpenetrating polymer network) was introduced to Epoxy resin and the environment resistance was investigated. Six kinds of specimen were manufacture by filler( $\text{SiO}_2$ ) content.

SEM was utilized in order to confirm their network structure changes. Also, tracking test, UV test and acid rain test were carried out investigate the environment resistance characteristic.

Therefore it was confirmed that simultaneous interpenetrating polymer network specimens were more excellent than single network structure specimens. But, acid rain almost never changed resistance.

#### 1. 서 론

최근 급속히 증가하는 전력수요로 전력계통의 초고압화가 이루어지고 있으며, 이로 인해 복잡한 배전작업의 증가와 송전전압의 고압화에 따른 설비시설량이 날로 증가함에 따라, 자기재료에 비해 전기 절연성, 경량성, 성형성 등이 우수한 실의용 고분자 절연재료를 혼합시킨 절연재료의 사용이 증가하고 있다.[1-2] 그러나 고분자 절연재료는 자기재료에 비하여 산성비, 자외선, 오존, 고온상황과 같은 천후 열화인자에 의해 화학적인 열화가 쉽게 일어나고, 이러한 화학적인 열화에 의해 방수성이 저하하며, 표면이 오손되거나 쉽고, 드라이밴드아크가 연속적으로 발생하게 된다. 결과적으로, 고분자 절연재료 특유의 표면절연파괴인 트래킹 파괴의 가능성이 생긴다.[2-3] 그러나 이러한 현상은 주로 표면에 걸쳐서 나타나는 사실에 착안하여, 수지 자체의 개질 뿐만 아니라 모체수지에 첨가되는 충진제, 첨가제를 통한 물리적 성질의 개선을 예측할 수 있다.[4]

본 논문에서는, 이에 따라 내트래킹성과 내자외선성 및 내산성비를 개선하기 위하여 고분자의 강인화 방법 중의 하나인 상호침입망목(이하 IPN이라

함)수법을 에폭시 수지에 도입하여 모체수지의 기본골격구조를 강화시켰다. 그리고 상호침입망목수법의 폭넓은 개발을 위하여 충진제 첨가량을 변화시켜 절연파괴강도와 내트래킹성, 내자외선성 및 내산성비를 검토·고찰하였고, 조직양상을 파악하기 위한 수단으로 IPN의 도입으로 인한 미세구조 조직의 변화를 관찰하였다.

#### 2. 시료제작 및 실험방법

##### 2.1 시료제작

본 논문에서는 단일망목구조 시편과 상호침입망목구조 시편을 제작하였다. 축정시편의 형상에 따라 제작한 금형에 각각 주입하여 경화시켰다.

표 1에 시편의 종류를 나타내었다.

표 1 실험에 사용된 시편의 종류

Table 1 The kinds of specimen used

시 편	충진제( $\text{SiO}_2$ ) 함량		
	0[phr]	50[phr]	100[phr]
E series	E-0	E-50	E-100
EM series	EM-0	EM-50	EM-100

##### 2.2 실험방법

###### 2.2.1 망목구조변화에 따른 내부구조관찰

제작된 시편의 망목구조 형태를 관측하기 위하여 시편의 파단면을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope : SEM)을 이용하여 촬영하였다.

###### 2.2.2 트래킹파괴실험

트래킹 파괴실험은 ASTM2303에서 규정한 시험법 및 시험 조건에서 의하여 제작된 트래킹 시험장비로 실시하였다. 이온교환수로 0.1wt%의  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 과 0.02wt%의 비

이온성계면 활성제(TORITON X-100)를 포함한 오손액을 방수전극에서 하부전극으로 누수시켰으며 시료전압으로는 4.5kV의 교류전압을 일정하게 인가했다. 또한, 시험개시에서 트래킹 파괴까지 소요된 시간을 트래킹 파괴시간이라고 정의한다.

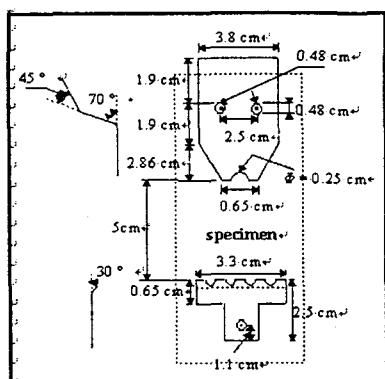


그림 1 트래킹 측정용 시편의 형상과 전극  
Fig. 1 Geometry of tracking specimen and electrodes

### 2.2.3 자외선 조사실험

내자외선성을 측정하기 위하여 시료를  $120 \times 50\text{mm}$ 의 판상으로 제작하여, ASTM G-53시험법에 의하여 제작된 자외선 조사시험장치를 사용했다. 램프로는, 실제 자외선과 스펙트럼이 가까운 Xe램프를 사용하여 13시간 연속 조사하였다.

Xe램프의 스펙트럼이 자외선과 일치한다고 가정하면, 13시간의 조사는 약 2년에 상응하는 시간이다.

### 2.2.4 산성비 실험

표 2. 인공산성비 용액의 성분

Table 2. Ingredient of the solution of artificial acid rain

단위 : g/l

NaCl	0.14
KNO <sub>3</sub>	0.65
CuCl <sub>2</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0.0015
CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.00045
CaCl <sub>2</sub>	0.001
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	1.05

표 2에 표시한 인공산성비용액에 20일 및 70일간 각각의 시편을 침적시켰다. 이 인공산성비용액은 주로, 실제 산성비 성분 중 질소산화물 및 액체의 산성도가 고분자 재료에 미치는 영향을 조사하기 위해 실험실에서 제작한 것이다. 침적은 실온에서

하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시편의 내부구조 변화

그림 2는 E-0시편의 과단면을, 그림 3은 EM-0시편의 과단면을 전자주사현미경으로 촬영 한 결과이다.



그림 2 E-0 시편의 전자현미경 사진

Fig. 2 SEM photograph of E-0 specimen



그림 3 EM-0 시편의 전자현미경 사진

Fig. 3 SEM photograph of EM-0 specimen

#### 3.2 망목구조변화에 따른 내트래킹성

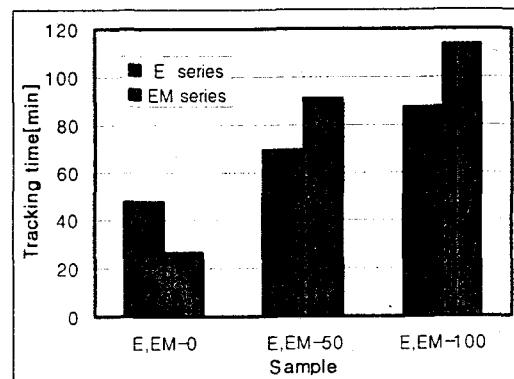


그림 4. 망목구조 변화에 따른 시편의 내트래킹성

Fig. 4. Tracking resistance due to variation of network structure

망목구조 변화에 따른 트래킹 실험 결과를 그림 4에서 나타내었다.

그림 4의 경우 충진제의 함량의 증가에 따라 단일망목구조사시편과 상호침입망목구조사시편의 트래킹 파괴시간이 지연됨을 볼 수 있다. 결국, 상호침입망목구조사의 도입은 모체수지와 계면사이의 접착력을 강화시켜 주므로 트래킹 파괴시간이 단일망목에 비하여 길어짐을 확인할 수 있었다.

### 3.3 망목구조 변화에 따른 내자외선성

표 3 UV조사에 의한 색의 변화

Table 3 Variation of color due to UV irradiation

시편	색차( $\Delta E$ )
E series	E-0
	E-50
EM series	EM-0
	EM-50

에폭시 복합재료를 자외선 조사시킨 시편의 표면색 변화를 표 3에서 나타내었다. 열화기구 중 광열화기구로서의 자외선은 옥외용 절연재료 개발에 있어서 중요한 요구조건으로 제안되어 왔다. 자외선 조사에 의한 열화시험 결과를 색차로 나타내면, 망목별로 E계열시편 > EM계열시편으로 나타났고, 충진제의 첨가 시 색차가 감소함을 확인할 수 있었고, 전체적으로 색차를 비교하면 E-0 > E-50, EM-0 > EM-50과 같은 결과를 확인할 수 있었다.

일반적으로 고분자 재료는 자외선에 의해 그 자동산화반응이 가속되어, 그 화학적 메카니즘이 변화할 수 있는데, 이로 인하여 메틸기내의 C-H결합 등이 절단되어 그 부분에 친수기인 OH, OOH기가 부가될 수 있다. 그 결과 표면의 열화가 가속화 및 색의 변화를 볼 수 있다.[3,5] 결국, 상호침입망목의 도입으로 모체수지간의 결합력을 강화시켜 자외선에 의한 C-H결합의 절단을 억제할 수 있을 것이라고 생각된다.

### 3.4 망목구조 변화에 따른 산성비의 영향

표 4는 산성비 침적에 의한 시편의 저항을 측정한 것이다.

일반적으로 산성비에 의해 재료 표면에 크레이 발생하는 경우는 있지만,<sup>1)</sup> 표 4에서 밝혀진 바와 같이 저항에는 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있었다.

표 4 인공산성비에 의한 저항변화

Table 4 Change of resistance by artificial acid rain

단위 : TΩ

	0일	20일	40일
EM-0	7	7	6.9
EM-50	8	7.9	7.9
EM-100	15	15	15

### 3. 결 론

에폭시 복합재료에 동시상호침입망목 구조를 도입하여, 옥외사용 특성 실험에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 상호침입망목구조의 도입으로 고온상황에서의 절연내력을 개선시켰다.
- 2) 망목구조의 변화에 따라 충진제 효과를 개선시켜 트래킹 파괴특성을 개선시켰다고 생각된다.
- 3) 자외선에 의한 열화에 상호침입망목구조의 도입 및 충진제 첨가는 열화의 가속을 억제시킴을 확인할 수 있었다.
- 4) 인공산성비 침적에 의한 저항변화는 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Sri sundar. et.al., "Polymer Insulating Materials and Insulations for High voltage Outdoor Applications", Proc. of Conf. on Electrical Insulation of IEEE, pp.222-228, 1992
- [2] 吉村 昇外 2人, "有機絶縁材料の耐トラッキング性に及ぼす酸性雨の影響", 日本電氣學會誌 A, 115卷 9号, pp.890-895, 1995.
- [3] 吉村 昇外 2人, "紫外線が室外用高分子絶縁材料の耐トラッキング性に及ぼす影響", 日本電氣學會誌 A, 117卷 3号, pp.289-298, 1997.
- [4] 電氣學會技術報告(II部), "固體絶縁材料の添加剤, 充てん剤 效果", 日本電氣學會, 第342號
- [5] 大澤善次郎 著, "高分子の劣化と安定化", 武藏野クリエイト