

## 비등에 따른 에폭시 복합체의 내트래킹성과 기계적강도에 관한 연구

### A Study on The Tracking Resistance and Mechanical strength of Epoxy Composites due to Boiling Absorption

김경민\* 김탁용\* 이덕진\* 강태오\*\* 홍진웅\* 김재환\*

Kyung-Min Kim\* Tak-yong Kim\* Deok-Jin Lee\* Tae-oh Kang\*\* Jin-Woong Hong\* Jae-Hwan Kim\*

#### Abstract

This paper presents the tracking resistance and mechanical strength due to boiling absorption of epoxy resin. The single network structure specimen(E series) formed of epoxy alone and interpenetrating polymer network(IPN) structure specimen(EM series) which epoxy resin was taken as first network and methacrylic acid resin as second network were manufactured. As adding SiO<sub>2</sub> filler classified by 0[phr], 50[phr] and 100[phr] to those specimens, six kinds of specimens were manufactured and boiled in water during 2, 4, 8, 16, 32 and 64[hours]. As a result, it was confirmed that the tracking breakdown time of E series showed a abrupt decrease with boiling time increasing, but that of EM series was decreasing smoothly. Also, it was verified that the degrading rates of mechanical strength was lowerd according to improvement of adhesion strength in case of EM series.

**Key Words(중요용어) :** Tracking resistance(내트래킹성), Epoxy resin(에폭시 수지), Boiling absorption (비등흡수), IPN(상호침입망목)

#### 1. 서 론<sup>1)</sup>

현재 전력설비용 에폭시 수지, 실리콘 고무, 폴리 에틸렌간은 고분자 복합재료가 널리 이용되고 있으며, 이 중 에폭시 수지는 우수한 절연내력으로 인해 옥내·외용 전력기기의 합침 절연, 선간절연 및 케이블류의 접속부 절연재료로서 폭넓게 연구·적용되어오고 있다.<sup>[1]</sup> 이와 더불어 절연재료의 신뢰도 평가를 위한 많은 방법들이 제시되었고, 이에 따라 그 성능이 평가되었지만 그 대부분은 건전한 절연재료에 편중되는 경향을 보여왔다.<sup>[2,3]</sup>

최근 들어 옥외용 절연에 대해 고분자 절연재료, 특히 에폭시복합재료의 사용이 급격히 증가하고 이러한 설비는 환경에 직접 노출되는 빈도가 높아짐에 따라, 그 성능을 평가하기 위해서는 필수적으로 환

경 열화요인을 고찰해야만 한다.<sup>[4]</sup> 실제 환경 열화에 따른 절연재료의 성능 변화를 파악하기 위해서는 무엇보다 오랜 시간이 소요된다는 단점이 있어 이러한 열화메카니즘의 고찰은 그리 용이하지 않다. 하지만 흡습시험, 산성비, 자외선 조사, 방사선 조사와 같은 가속 열화 시험을 반복 수행하여 재현성을 높이고 실제 사용환경 조건과의 상관성을 높힌다면 신뢰성 있는 열화메카니즘의 구현이 가능하다.<sup>[5]</sup> 본 연구에서는 이러한 열화요인 중 두드러진 영향을 가지는 흡수열화에 대한 메카니즘을 심도있게 고찰하기 위하여 충전제 SiO<sub>2</sub>의 함량을 변화시켜 제작한 에폭시 복합체의 건전시편을 비등흡수 시간에 따라 열화시킨 후 각각의 흡수율을 측정하여 흡습으로 인한 절연체 내부의 충전제와 모체수지간 응력-변형의 관계를 고찰하였으며, 충전제 함량 변화와 망목구조 변화에 따른 내트래킹성의 변화와 기계적특성의 변화를 확인하였다. 한편 고분자 강인화 방법중의 하나

\* 광운대학교 전기공학과

\*\* 대한전선

인 상호침입망목 수법을 도입하여 모체수지의 망목 구조를 고차화 시킴에 따라 충전제와 모체수지간의 접착강도를 증대시키고자 하였으며 동일한 열화조건 하에 그 결과를 비교 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료 제작

본 논문에서는 단일망목구조 시료와 상호침입 망목구조 시료를 제작하였으며, 실험에 사용된 에폭시 수지는 상온에서 액상인 비스페놀 A형 에폭시 수지를 사용하였다.

단일 망목 구조 시료(이하 E 계열 시료라고 표기)의 경우, 모체수지로서 에폭시 수지만을 사용하였으며, 상호침입망목구조시료(이하 EM 계열 시료라고 표기)의 경우, 모체수지로 에폭시 수지와 아크릴수지를 혼합시킨 고분자를 사용하였다.

표 1-1은 시료 배합비 및 경화조건을 나타내고 있다.

표 2-1. 시료의 구성 배합비 및 경화조건  
Table 2-1. Composite ratio and curing condition of specimens

단위 : [phr]

시 편		E	EM	
배	모체 수지	YD - 128	100	-
		YD - 128 + MA	-	100
합	경화제	PA	36	8
비	충진제	SiO <sub>2</sub>	0, 50, 100	0, 50, 100
	중합 개시제	DICUP	-	0.86
		BDMA	0.16	0.11
경 화 시 간 ([°C]/[hr])		1차경화 90°C/2hr + 2차경화 150°C/8hr	1차경화 130°C/3hr + 2차경화 150°C/4hr	

### 2.2 실험 방법

제작된 시료를 샌드페이퍼로 표면을 연마하고, 50 [°C]의 진공오븐에서 24시간 건조시킨 후 중량을 측정하였다. 이를 0, 2, 4, 8, 16, 32, 64시간 비등흡수시켜 23[°C]의 수중에 침적시켜 탈수한 후 각각의 중량을 측정하여 흡수율을 계산하였다.

내트래킹성 시험은 ASTM D-2303에서 규정한 시험법 및 시험조건에 따라 제작된 트래킹 시험장비를 사용하였다. 인가전압은 주파수 60[Hz]인 교류전압 4.5[kV]로 일정하게 인가하고, 표면에 오손액을 0.3 [ml/min]의 유속으로 시편을 20° 기울여 상부전극에서 하부전극으로 유동시키면서 트래킹 파괴에 이르는 시간을 측정하였다. 오손액은 ASTM D-2303에서 규정한 0.1%HN<sub>4</sub>Cl 이온교환수용액(조화화학)에 비이온성 계면활성제(TORITON X-100)(신양화학)를 첨가한 용액을 사용하였다.

기계적 강도 시험은 인장강도와 충격강도를 측정하였다. 인장강도는 Instron 인장 시험기를 사용하여 측정하였고, 분리속도 20[mm/min], 온도 23~130[°C], 습도 38[%]에서 실험하였다. 충격강도의 경우 Y.S.S Tester(Yasuda seiki seisakusho Ltd.)를 사용하여 Izod방식으로 시험하였다. 타격 속도는 3.46[m/sec]로 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 비등흡수시간에 따른 트래킹 파괴시간

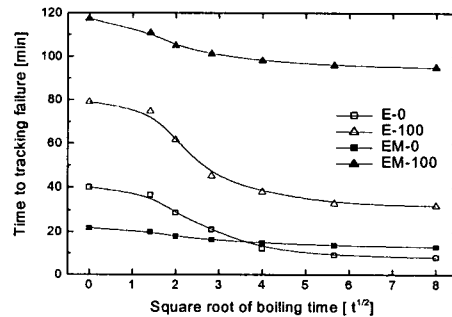


그림 3-1. 자비흡수시간에 따른 트래킹파괴시간의 변화

그림 3-1은 비등흡수시간에 따른 상온에서의 트래킹 파괴시간의 변화를 보여준다. 그 결과로서 무충진 시료의 경우보다 충전시료의 파괴시간이 매우 높음을 알 수 있는데, 이는 충전제의 첨가로 열에 대한 내성이 증가하여 충전제첨가 시료가 무충진 시료에 비하여 트래킹 파괴시간이 증가하였다고 생각한

다. 한편, 열화시키지 않은 E-0 시료의 트래킹 파괴 특성은 EM-0 시료에 비해 더 우수한 것으로 나타났지만 비등흡수시간이 증가함에 따라 점점 낮아지는 경향을 나타내고 있으며, 이러한 경향은 충전시료의 경우에 더욱 두드러지게 나타나고 있다. 트래킹 파괴는 표면에 누수시킨 오손액이 증발하여 표면에 이 물질을 형성함에 따라 전계의 집중을 유발하게 되는데, 비등흡수 열화시간의 증가에 따라 EM계열의 시료의 경우에는 고차화된 내부구조로 인해 상대적으로 흡수율이 낮았던 것과 상관시켜보면 이는 흡수상태에서의 내트래킹성의 감소를 의미하며<sup>[6]</sup>, EM-100 시료는 충전제와의 접촉강도가 증대되어 충전제 첨가시 계면의 발생을 억제함에 따라 수분의 진입을 방해하게 되어 충전제 첨가효과를 극대화시킬 수 있었기 때문이라 생각한다.

그림 3-2와 3-3은 23[°C]과 90[°C]에서 비등흡수시간에 따른 인장강도를 측정된 결과이다. 미흡수시 EM계열은 유연성이 좋은 MA수지와 혼합으로 인해 연성이 증가하여 E계열보다 낮은 값을 보였으며, 모체수지보다 훨씬 더 높은 인장강도를 가진 충전제의 첨가로 인하여 모든 계열의 시료에서 충전시료가 무충진 시료보다 높은 인장강도를 나타내었다. 그러나 비등흡수시간이 증가함에 따라 흡수율이 높은 충전 시료의 인장강도는 무충진 시료에 비해 급격하게 저하되는 경향을 보였다. 특히 E-0과 E-100시료의 인장강도는 비등흡수시간이 증가함에 따라 역전현상이 일어났다. 반면 EM계열의 경우에는 충전시료와 무충진 시료의 인장강도 저하율이 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있었다.

### 3.2 비등흡수시간에 따른 인장강도의 변화

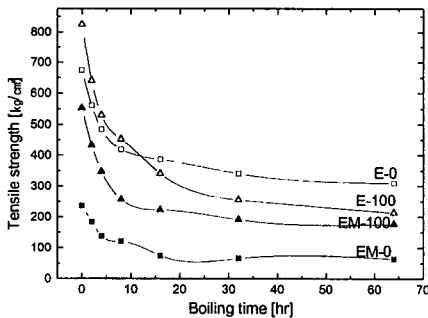


그림 3-2. 비등시간에 따른 시료의 인장강도(23[°C])

### 3.3 비등흡수시간에 따른 충격강도의 변화

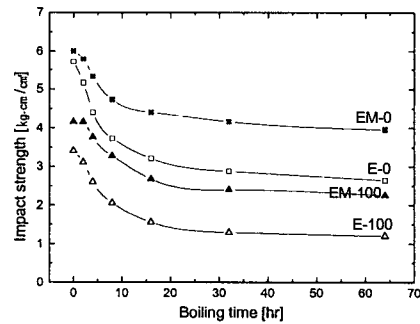


그림 3-4. 비등시간에 따른 시료의 충격강도

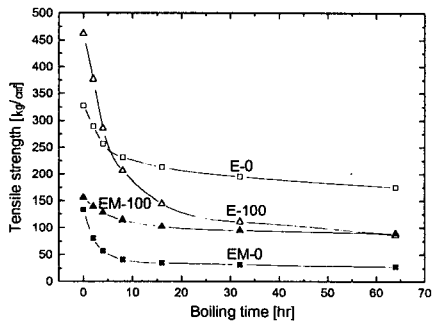


그림 3-3. 비등시간에 따른 시료의 인장강도(90[°C])

그림 3-4는 비등흡수시간에 따른 충격강도의 변화를 나타낸다. EM계열의 충격강도가 가장 높게 나타났는데, 이는 에폭시 수지에 열가소성 수지인 MA수지를 도입함에 따라 매트릭스 수지내에 미세한 분산상을 형성되어 외부의 충격에너지를 흡수하는 역할을 하기 때문이다. 또한 충전제 함량이 증가할수록 충격강도가 감소하는데, 이는 충전제 SiO<sub>2</sub>의 강직성으로 인해 외부의 충격을 흡수하지 못하고 쉽게 파쇄됨에 따라 수지의 충격강도가 떨어진 것으로 생각되며, 비등흡수시간이 증가할수록 EM계열에 비해서 충격강도의 감소율이 작아지는 경향을 나타내었다.

#### 4. 결 론

E계열의 시료와 EM계열의 시료를 제작하여 비등 흡수열화에 의한 내트래킹성의 변화와 기계적강도 특성을 비교 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비등흡수열화시간이 길어짐에 따라 내트래킹성도 저하되었으며, 미열화시료의 경우 E계열 무충진 시료의 트래킹 파괴시간이 EM계열 시료보다 길었으나 약 8시간의 열화 후, 역전되는 현상이 나타났다.
2. 비등흡수 시간에 따른 인장강도의 변화는 충전제의 영향으로 충전시료가 무충진 시료보다 높았으며, E계열의 경우 흡수시간이 증가함에 따라 인장강도가 급격히 떨어지는 경향을 보였으나, EM계열의 경우에는 저하율이 감소하였다.
3. 충격강도의 변화에 있어서는 EM계열이 E계열보다 우수함을 확인할 수 있었으며, 비등시간에 따른 충격강도의 저하율에 있어서도 EM계열이 E계열보다 충격강도의 감소율이 작아짐을 확인하였다.

#### 참고 문헌

- [1]. J. M. Braun et al., "Reliability of GIS EHV Epoxy Insulators", IEEE PES T&D Conference, pp.2149-2152, 1991.
- [2]. T. W. Dakin, "High voltage Insulation Applications" IEEE Trans. of Electr. Insul, Vol. EI-13, No.4, pp.318-326, 1978
- [3]. E. W. Garnish, "Chemistry and Properties of Epoxide Resins", Composites, pp.104-111. 1972.
- [4]. 韓國電氣研究所, "電氣材料綜合研究", 韓國電氣研究所報告書, pp.217-286, 1987.
- [5]. X. M. Chen and B. Ellis, "Coatings and Other Applications of Epoxy Resins - Chemistry and Technology of Epoxy Resins", Blackie Academic & Professional, pp.303-327, 1993.
- [6]. 吉村昇 外 2人, "室外用 エポキシの耐トラッキング性に及ぼす熱老化と吸水およびそれらの重疊効果", 電學論A, 118卷, 11號, pp.1255-1263, 1998.