

## 전압파형에 따른 에폭시 복합재료의 절연파괴특성

김명호 \* . 박창옥 \* \* . 이영상 \* \* \* . 이덕진 \* \* \* . 김재환 \* \* \*  
 \*경원전문대학 건축설비과. \* \*상지전문대학 전기과. \* \* \*광운대학교 전기공학과

### Dielectric Breakdown Characteristics of Epoxy Composites due to Voltage Wave Pattern

M. H. Kim \* . C. O. Park \* \* . Y. S. Lee \* \* \* . D. J. Lee \* \* \* . J. H. Kim \* \* \*  
 \*Kyungwon College. \* \*Sangji College. \* \* \*Kwangwoon Univ.

**Abstract** - In this paper, interpenetrating polymer network method was introduced in order to improve withstand voltage properties of epoxy resin. The single network structure specimen(E series), simultaneous interpenetrating polymer network specimen(EM series) and pseudo interpenetrating polymer network(EMP series) specimen were manufactured. In order to investigate influence upon electrical properties, dc, ac, and impulse voltage dielectric strength were measured .

As a result, it was confirmed that electrical properties of epoxy composites can be superior as IPN introduced to it bring about firm and high density of inner structure.

#### 1. 서 론

전기·전자 기기의 절연 재료로서 에폭시 수지가 폭넓게 개발되어 사용되고 있지만 이러한 에폭시 수지도 부서짐과 고온에서의 절연 파괴 특성이 현저히 저하되는 결점을 가지고 있으며, 또한 충전제가 필수적으로 첨가되어야만 하는 복합 재료계에서 충전제는 기계적 강도만을 강화시키고 충전제 첨가와 동시에 수반되는 계면 발생으로 인하여 전기적 특성의 저하를 초래하였다.<sup>1)</sup> 이에 따라 고분자의 강화 방법 중의 하나인 상호 침입 망목(이하 IPN 이라 함) 수법을 에폭시 수지에 도입하여 모체 수지의 기본 골격 구조를 강화시키고자 하였고 이에 따른 결과는 이전의 연구에서 검증하였다.<sup>2)</sup>

본 논문에서는 충전제를 0[phr] 및 100[phr] 첨가하여 제작된 Epoxy/SiO<sub>2</sub> 복합재료 시편과 Epoxy/ SiO<sub>2</sub> 복합 재료에 IPN 구조를 도입한

시편을 제작하여 직류, 교류 및 임펄스전압을 인가하여 망목구조와 충전제 함량의 변화에 따른 각각의 내전압 특성을 비교 검토하였다.

#### 2. 실 험

##### 2.1 시편 제작

표 1. 시편의 구성 배합비 및 경화조건  
 Table 1. Composite Ratio and Curing Condition of Specimens

단위 : [phr]

시 편		E	EM	EMP		
배 합 비	모 체 수 지	YD - 128	100	-	-	
		YD - 128 + MA	-	100	-	
		YD - 128 + MA + PU	-	-	100	
	경화제	DDM	27	-	-	
		PA	-	8	6.45	
	충진제	SiO <sub>2</sub>	0, 100	0, 100	0, 100	
	중합개시제	경화촉진제	DMP-30	0.5	-	-
		DICUP	-	0.86	0.48	
		BDMA	-	0.11	0.24	
경 화 시 간		90[℃]2[hr] + 150[℃]4[hr]	130[℃]3[hr] + 150[℃]3[hr]			

표 2. 본 실험에 사용된 시편의 종류  
 Table 2. The Kind of Specimen used

시 편	충진제 (SiO <sub>2</sub> )	
	0 [phr]	100 [phr]
E 계열 (단일망목)	E - 0	E - 100
EM 계열 (동시상호침입망목)	EM - 0	EM - 100
EMP 계열 (순상호침입망목)	EMP - 0	EMP - 100

시편제작에 사용된 에폭시 수지는 Diglycidylether of bisphenol-A이며 표 1과 같은 조건으로 제작되었고 충전제 함량별로 표 2와 같이 구분하였다.

## 2.2 실험 방법

직류, 교류 및 임펄스 전압 절연 파괴 강도는 고전압 발생기(Pulse Engineering Co. Ltd.)를 사용하여 측정하였다. 직류전압과 상용 주파수 60 [Hz]의 교류 전압을 승압 속도 500[V/sec]로 절연 파괴가 일어날 때 까지 승압하였다. 또한 임펄스 전압은  $1.2 \times 50[\mu s]$ 의 파형으로 직류 및 교류전압을 기준으로 한 예상전압을 인가하여 실험하였으며 그 값은 surge scope상의 파형을 플라로이드 카메라로 촬영하여 환산하였다. 파괴 전압 측정시 수분 효과를 억제하기 위하여 진공 건조기에서 탈기 처리를 행한 실리콘 유를 주위 매질로 하였으며 온도의존성을 고찰하기위해 상온~190[°C]의 온도범위에서 시편의  $E_{BD}$ 를 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

그림 1, 2 및 3은 망목구조가 변화된 시편의 온도 변화에 따른 직류, 교류 및 임펄스 절연 파괴 강도를 측정한 결과이다.

### 저온영역(상온~100[°C])

상온 영역에서, 직류전압(그림1)에서는  $E_{BD}$ 가  $EM-0 \approx E-0 > EMP-0$ 이며, 교류전압(그림 2)에서는  $E-0 \geq EM-0 > EMP-0$ 이고 임펄스 전압(그림 3)에서는  $EM-0 > E-0 > EMP-0$ 의 불규칙한 현상이 나타난다. 또한 이러한 불규칙한 현상은 파괴 영역의 온도가 증가(100~120[°C])됨에 따라  $EM-0 > E-0 > EMP-0$ 의 단일 현상으로 변화되고 있다.

상온 영역은 순수한 전자사태파괴만의 영역이고 그 사태파괴전계는 전자의 평균자유행정에 반비례하게 된다.<sup>3, 4)</sup>

한편 단일망목구조인 E시편은 격자구조로 형성되어 있으며, 상호침입망목시편인 EM시편은 격자구조에 분자쇄의 뒤얽힘이 존재하게되는데 이 뒤얽힘에 의해 밀집도를 증가시킬수는 있지만 밀집도의 균일한 배치는 인위적으로 조절할 수가 없고<sup>5)</sup>, 또 이러한 뒤얽힘이 자유체적을 발생시킬 가능성도 있다. 이러한 가능성들로 인하여 상호침입망목효과는  $E_{BD}$ 를 증가 또는 감소시킬 수도 있으므로  $EM-0 \approx E-0$ (직류),  $E-0 \geq EM-0$ (교류),  $EM-0 > E-0$ (임펄스)의 불규칙한 현상이 나타난다고 생각된다.

파괴영역의 온도가 증가(100~120[°C])됨에 따라  $EM-0 > E-0 > EMP-0$ 의 단일 현상으로 변화되는 이유는, 열의 개입에 의한 점차적인 분자쇄 점유체적의 증가와 미반응기 등으로 인한 원자적 공공과 같은 전기적인 약점으로 사태가 진전될 때 단일망목 구조체인 E-0시편에는 없는 분자쇄의 뒤얽힘이 상호침입망목 구조체인 EM-0시편에서 이러한 약점들을 보완해주기 때문이라고 생각된다.

모든 전압 파형에서 같은 상호침입망목 시편인 EMP-0시편의  $E_{BD}$ 가 가장 낮은 원인은 각 수치간에 존재하는 상분리와 PU의 모체수지인 polyol의 내열성을 위해 소량 첨가된  $CaCO_3$ 가 발생시킨 계면으로의 전계집중이라고 생각된다.

충진시편의 경우 모든 전압파형에서  $E_{BD}$ 는  $EM-100 > E-100 > EMP-100$ 의 동일한 형태로 나타나고 있다.

### 고온영역(100~190[°C])

직류전압에서의  $E_{BD}$ 는  $EMP-0 > EM-0 > E-0$ 이며, 교류전압에서는  $EM-0 \geq EMP-0 > E-0$ 의 경향을 보여주고 있다. 이 영역은 분자쇄 전체의 마이크로브라운 운동에 의한 자유체적발생에서 기인되는 자유체적파괴와 주울열에 의한 열발생과 격자계 열방산의 불평형으로 발생하는 열파괴 기구가 지배적이라고 생각되는 영역<sup>6)</sup>이며 분자쇄의 뒤얽힘의 차이가 나더라도 그 뒤얽힘이 분자쇄편의 열운동을 억제하는 역할을 할 것이므로, 이러한 파괴영역에서는 상호침입망목시편의 가 높아지게 된다고 생각한다.

저온영역에서  $E_{BD}$ 가 가장 낮던 EMP-0 시편이 고온영역에서 우수해지는 이유는 PU수지내에 첨가된  $CaCO_3$ 로 인한 열전도효과와 우레탄기의 내열효과라고 생각된다.

충진시편의 경우 직류 및 교류전압에서  $E_{BD}$ 는  $EM-100 > EMP-100 > E-100$ , 임펄스전압에서  $EM-100 > E-100 \geq EMP-100$ 의 경향을 가진다. 상호침입망목 시편인 EM-100과 EMP-100 시편에서 분자쇄의 뒤얽힘이 충전제 첨가로 인한 계면의 전기적 약점을 동일하게 보완해주고, 그 충전제의 열전도도가 거의 같다고 가정할 때, EMP-100 시편에는 상분리가 존재하기 때문에 EM-100 시편에 비해  $E_{BD}$ 가 낮게 나타난다고 생각된다.

한편 임펄스 전압에서 EMP-100 시편의  $E_{BD}$ 가 급격하게 저하하는 원인은 단시간 파괴인 임펄스 전압의 특성상 분자쇄의 뒤얽힘과 우레탄기의 내열효과가 적기때문이라고 생각된다.

### 3. 결 론

단일 망목 시편, 동시 상호 침입 망목 시편 및 준 상호 침입 망목 시편을 제작하여 직류, 교류 및 임펄스 절연 파괴 특성에 대한 상호 침입 망목의 영향을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 측정 온도 범위에서, 모든 전압파형에 대해 동시 상호 침입 망목 시편의 절연 파괴 특성이 가장 우수하였다.
2. 직류 및 교류전압인가의 경우, 준상호침입망목 시편은 절연파괴영역이 고온측으로 이동할 수록 단일 망목 시편보다 우수한 절연 파괴 특성을 나타내었다
3. 열의 영향을 가장 적게 받는 임펄스 전압 인가의 경우에는 전 온도 영역에서 준 상호 침입망목시편보다 단일망목시편의 절연파괴특성이 우수함을 확인하였다.

### (참 고 문 헌)

- [1] “固體 絶緣 材料의 添加劑, 充てん劑 效果”, 日本 電氣 學會 技術報告(II部) 第342號, pp.3~21. 64~65, 1989.
- [2] 金名鎬 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, pp364-371, 1996.
- [3] N. Klein *et al*, “Current Runaway in Insulators Affected by Impact Ionization and Drift” J.Appl.Phys., Vol.48, No.12, pp.5217-5226, 1977.
- [4] P. Solomon *et al*, “Current Runaway in Insulators Affected by Impact Ionization and Recombination” J.Appl.Phys., Vol.47, No.10, pp.4364-4372, 1976.
- [5] S. C. Kim, “Interpenetrating Polymer Networks” Polymer, Vol.10, N0.6, pp.584-587, 1986.
- [6] 吉村 昇 外 3人, “알루미나 充てん 에폭시樹脂의 交流 短時間 破壞 特性”, 日本電氣學會 論文誌, A 102卷, 12號, pp.673~677, 1982.

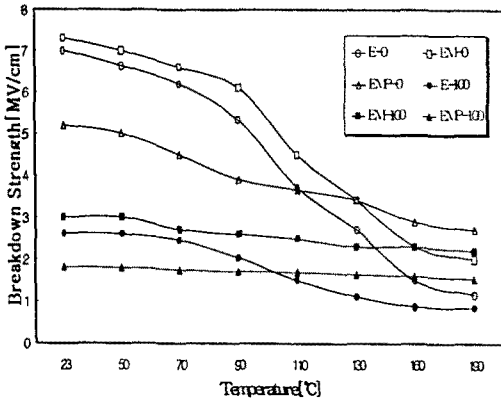


그림 1. 시편의 직류 절연파괴강도  
Fig.1. DC dielectric breakdown strength of samples

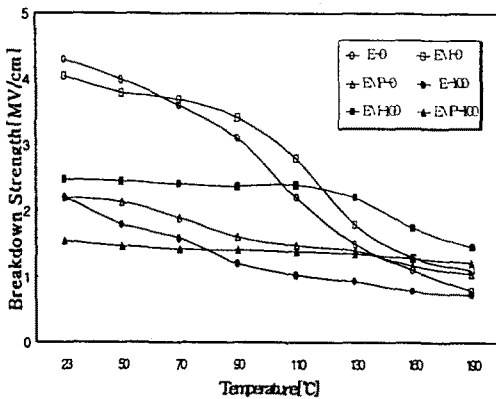


그림 2. 시편의 교류 절연파괴강도  
Fig.2. AC dielectric breakdown strength of samples

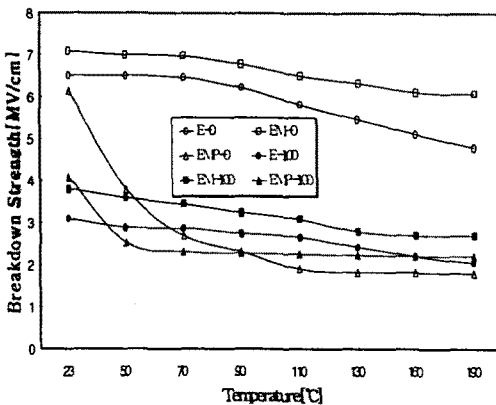


그림 3. 시편의 임펄스 절연파괴강도  
Fig.3 Impulse dielectric breakdown strength of samples