

Epoxy 복합재료의 망목구조 변화에 따른 임펄스 절연파괴 특성

Impulse Dielectric Breakdown Characteristics due to Network Structure Variation of Epoxy Composites

이덕진[○], 김경환[●], 김명호^{***}, 손인환^{*}, 김탁용^{*}, 김재환^{*}

○ : 광운대학교 전기공학과 ● : 경원대학교 전기전자공학부 *** : 경원전문대학 건축설비과

D.J.Lee[○], K. H. Kim[●], M. H. Kim^{***}, I. H. Son^{*}, T. Y. Kim^{*}, J. H. Kim^{*}

* Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.

** School of Electronic & Electrical Eng., Kyungwon Univ.

*** Dept. of Architectural Installation, Kyungwon Junior College

ABSTRACT

A series of interpenetrating polymer networks(IPN) based on Epoxy, MA and PU were synthesized in order to improve withstand voltage properties of Epoxy resin. Dielectric breakdown characteristics are investigated for six types of specimens. As a result, it was found that impulse voltage dielectric breakdown characteristic of SIN specimen was the most excellent. It was also found that SIN specimens were stronger than anything else in scanning electron microscopy. On the other hand, as a result of consideration of dielectric breakdown strength change according to adding filler, it was confirmed that the decrease of dielectric breakdown strength are controlled slightly by IPN method.

1. 서론

에폭시 수지가 절연재료로서 폭넓게 개발·적용 되어오면서, 경제적 잇점과 기계적강도의 증진을 위하여 충전제(filler)의 첨가는 필수 불가결한 요소로 되어있다. 그러나 이러한 충전제의 첨가는 기계적강도를 보완해주는 동시에 모체수지와 의 계면을 발생시키며 결과적으로 절연강도의 저하를 야기하게되었다.

본 논문에서는 이러한 문제점의 해결을 위하여 상호침입망목 수법^{1,2)}을 도입하여 에폭시 복합재료

의 임펄스 절연파괴특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 시편제작

본 실험에서는 diglycidyle ether of bisphenol-A (DGEBA)인 YD-128(국도화학)을 사용하여 단일망목구조 시편과 상호침입망목구조 시편을 표 1과 같은 조건으로 제작하였으며 시편의 종류는 충전제 함량별로 표 2와 같이 구분하였다.

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

단위 : [phr]

시 편		E	EM	EMP	
배 수 지 합 비	모 체 수 지	YD - 128	100	-	-
		YD - 128 + MA	-	100	-
		YD - 128 + MA + PU	-	-	100
	경 화 제	DDM	27	-	-
		PA	-	8	6.45
	충 진 제	SiO ₂	0, 100	0, 100	0, 100
	촉 진 제	DMP-30	0.5	-	-
	중 합 개 시 제	DICUP	-	0.86	0.48
		BDMA	-	0.11	0.24
	경 화 시 간		90[°C]/2[hr] +	130[°C]/3[hr] +	130[°C]/3[hr] +
		150[°C]/4[hr]	150[°C]/3[hr]	150[°C]/3[hr]	

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

시 편	충진제 (SiO ₂)	
	0 [phr]	100 [phr]
E 계열 (단일망목)	E - 0	E - 100
EM 계열 (동시상호침입망목)	EM - 0	EM - 100
EMP 계열 (준상호침입망목)	EMP - 0	EMP - 100

2.2 실험방법

시편의 내부구조 형태를 관측하기 위하여 전자주사현미경(scanning electron microscope, Philips Co. Ltd.)을 사용하여 시편의 파단면을 gold 코팅하여 촬영하였다.

임펄스전압 절연파괴장도 측정시 고전압발생기(Pulse Engineering Co. Ltd.)를 사용하여 임펄스전압을 인가하였고 절연파괴장도(이하 E_{BD})는 surge scope상에 나타난 파형을 폴라로이드 카메라로 촬영, 분석하여 판산하였다. 시험 온도 범위는 상

온~190[°C]이며 각 온도에서 5분간 예열한 후 E_{BD}의 온도의존성을 측정하였다. 사진 1은 시편에 인가된 임펄스전압의 파형이다.

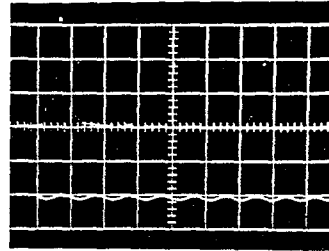


사진 1. 시편에 인가된 임펄스전압의 파형
Photo 1. Waveform of impulse voltage applied specimen

3. 실험결과 및 고찰

3.1 망목구조변화에 따른 조직양상의 변화

사진 2, 3 및 4는 각각 E-100, EM-100 및 EMP-100 시편의 파단면을 전자주사현미경으로 1500배 확대하여 관측한 결과이다. 세 가지 경우 모두 다량의 충진제가 첨가됨에 따라 망목이 절단되어 불연속적인 상을 갖고 있는 것으로 보여지며 이러한 작은 공동(void)의 형성으로 인하여 E_{BD}가 저하된다고 생각된다. 하지만 그 차이를 관찰해 보면, EM-100 > E-100 > EMP-100 시편의 순으로 내부구조가 연속에 가까운 상을 갖고 있고 보다 견고한 구조를 지닌 것을 알 수 있으며, 이 사실은 다음에 서술될 절연파괴특성과 깊은 연관성을 가질 것이다.

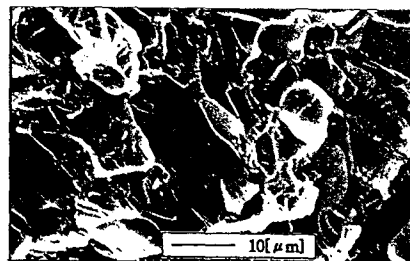


사진 2. E-100 시편의 전자현미경 사진
Photo 2. SEM photograph of E-100 sample

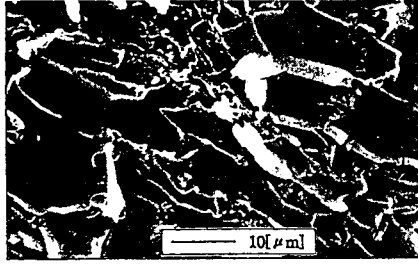


사진 3. EM-100 시편의 전자현미경 사진
Photo 3. SEM photograph of EM-100 sample

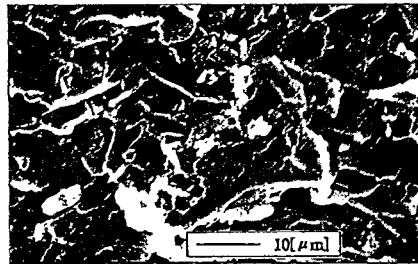


사진 4. EMP-100 시편의 전자현미경 사진
Photo 4. SEM photograph of EMP-100 sample

3.2 망목구조변화에 따른 임펄스 절연파괴특성

그림 1은 망목구조가 변화된 시편의 온도변화에 따른 임펄스전압 절연파괴강도를 측정된 결과이고 그림 2와 3은 각각 상온과 190[°C]에서 EM계열 시편의 두께에 따른 절연파괴강도 측정결과이다.

저온영역(상온~100[°C]) : 측정된 E_{BD} 의 값은 $EM-0 > E-0 > EMP-0$, $EM-100 > E-100 > EMP-100$ 의 경향을 보여준다. $\partial E_{BD} / \partial T \geq 0$ 과 그림 2의 $\partial E_{BD} / \partial d < 0$ 의 결과 및 파괴시간이 2~6[μs]인 것을 고려할 때 이 영역에서 지배적인 절연파괴기구는 전자사태파괴라고 생각한다. 일반적으로 전자사태파괴전계는 전자의 평균자유행정에 역비례하기 때문에 온도가 증가할수록 그 파괴전계는 증가하게되지만 이 영역에서 이러한 현상이 미약한 것을 볼 때 전자의 평균자유행정이 길어지게하는 내부의 결합이 많은 것으로 추측된다. 이 때 상호침입망목구조를 가진 EM 계열 시편은 분자쇄의 뒤얽힘을 통해 이러한 약점들을 보완 즉, 전자의 이동을 방해한다고 추측되며, 결과에서와 같이 가장 높은 파괴강도를 나타내었다. 시편의 두께가 증가할수록 E_{BD} 가 저하되는 원인은 전극말에 존재할 전기

적인 약점이 증가하게 되어 이 약점이 파괴의 기점으로 작용할 가능성이 커지기 때문이라고 생각된다.³⁾ 한편 같은 상호침입망목구조 시편이면서도 EMP계열 시편의 E_{BD} 가 낮게 나타나게 된 가장 큰 원인은 PU 수지와 Epoxy/MA 수지간에 발생한 상분리라고 생각된다.

고온영역(100~190[°C]) : $EM-0 > E-0 > EMP-0$, $EM-100 > E-100 > EMP-100$ 의 경향을 보여준다. $\partial E_{BD} / \partial T \leq 0$ 과 그림 3의 $\partial E_{BD} / \partial d < 0$ 의 결과 및 파괴시간이 2~6[μs]인 것을 고려할 때 가장 가능성있는 절연파괴기구는 자유체적파괴를 거론할 수 있다. 이 영역에서는 자유체적의 열적진동에 의해 공공의 형성과정이 전계방향으로 늘어지기 때문에³⁾ 공공내에서 전자의 가속에 의한 절연파괴가 발생한다고 생각된다. 이 영역에서 EMP-0 및 EMP-100시편의 E_{BD} 가 급격하게 저하된 이유는 전자의 가속도가 매우 큰 임펄스 파형 특성⁵⁾으로 인하여 부드럽고 긴 PU 분자쇄의 국부적 파괴가 발생하기 때문이라고 생각된다. 한편, 이 영역에서 임펄스전압 절연파괴의 주된 경로는 수지의 자유체적보다는 계면이라고 추측되며, 충전제 함량이 증가할수록 자유체적의 발생은 억제되지만 충전제-입자 계면의 화학적, 물리적 불량률의 영향을 받아 E_{BD} 는 낮아진다. 이 사실로 미루어 볼 때 이 영역에서는 분자쇄의 뒤얽힘의 효과가 적은 것으로 판단된다.

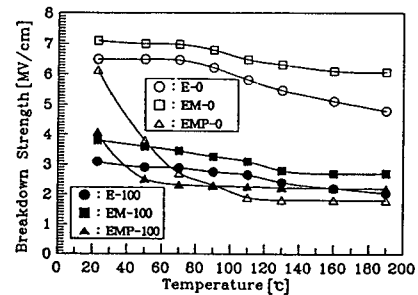


그림 1. 시편의 온도변화에 따른 임펄스전압 절연파괴강도
Fig. 1 Impulse dielectric breakdown strength of samples due to temperature variation

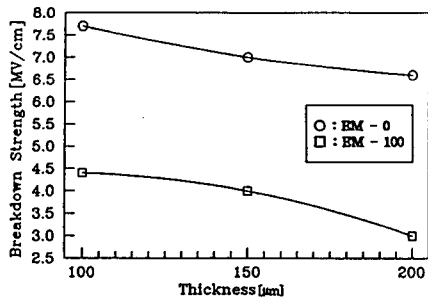


그림 2. 시편의 두께변화에 따른 임펄스 전압 절연파괴강도(상온)

Fig. 2 Impulse dielectric breakdown strength of samples due to thickness variation(room temp.)

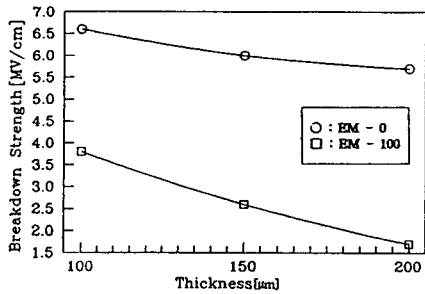


그림 3. 시편의 두께변화에 따른 임펄스 전압 절연파괴강도(190[°C])

Fig. 3 Impulse dielectric breakdown strength of samples due to thickness variation(190[°C])

4. 결론

본 연구에서는 단일망목 시편과 상호침입망목 시편을 제작하여 미세구조 조직변화와 임펄스전압 절연파괴특성에 대하여 고찰하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 전자주사현미경 관측으로부터 상호침입망목구조 시편은 단일망목구조 시편에 비해 연속상을 형성하는 것으로 나타났다.

2. 임펄스 전압 절연파괴 실험 결과 동시상호침입 망목구조 시편의 특성이 가장 우수하였으며 이는 분자쇄의 뒤얽힘을 통해 전자의 이동을 방해하기 때문이라고 추측된다.
3. 준상호침입망목구조시편의 경우 수지간 상분리로 인하여 절연파괴강도가 가장 낮게 나타났다.

참고 문헌

1. 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.
2. 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.
3. 吉村 昇 外 4人, "衝擊電壓による アルミナ 充てん エポキシ 樹脂の 絶縁 破壊 特性", 電學論 A, 101卷, 11號, pp. 25-32, 1981.
4. 紫山恭一 外 2人, "酸無水物 硬化 エポキシ 樹脂의 構造 と 電氣的 性質", Vol.30, No.335, pp.155-159, 1973.
5. 日本 化學會, "複合材料", 東京大學出版會, 化學總說, No.8, pp.12-36, 1975.