

망목구조 변화에 따른 에폭시 복합재료의 유전 특성에 관한 연구

A Study on The Dielectric Characteristics in EPOXY Composites due to Variation of Network Structures

°손인환*, 이덕진*, 심종탁*, 김명호**, 김정환***, 최병옥****, 김재환*
°광운대학교 전기공학과*, 경원전문대 건축설비과**,
경원대학교 전기전자공학부***, 대한전선주식회사****

°I.H.Son*, D.J.Lee*, J.T.Shim*, M.H.Kim**, K.H.Kim***, B.Y.Choi****, J.H.Kim*
°Kwangwoon University*, Kyungwon College**,
Kyungwon University***, TAIHAN ELC.W.CO.****

Abstract

In this paper it is researched a relation between network structures and electrical properties - especially dielectric characteristics with changing of network structure.

It is resulted that the specimens which have single network structures have smaller dielectric loss than SIN specimens but have relatively larger dependency to variation of temperature and frequency.

For that reason firmation of structures is attained by introducing of SIN to insulating materials. therefore it is counted that introduction of multiple structure including SIN is necessary to improve heat proof and electrical properties.

1. 서론

근래의 전기·전자기기의 소형화, 경량화 추세에 수반한 운전 온도의 상승 및 유효 절연 두께의 박막화에 대응하기 위해서는 절연재료

의 온도 특성, 특히 고온에서의 절연성능 향상이 필수적인 과제이며, 또한 전력계통의 초고압화에 따른 송전전압 상승에 대처할 수 있는 절연저항이 높은 절연재료의 개발이 당연한 과제라고 할 수 있다.¹⁾

현재까지 다양·다변한 환경에서 고전계 절연재료로 우수한 전기적 성능 및 기계적 성능을 보유한 에폭시수지가 주류를 이루어 왔으나, 이러한 에폭시수지에 원가 절감, 기계적 강도 및 고분자의 열팽창계수보상 등의 목적으로 첨가되는 충전제로 인하여 복합재료계에 계면 발생 등의 전기적 약점이 발생, 절연성능의 저하를 초래한다는 사실이 이미 보고된 바 있다.²⁾

현재 이러한 단점을 보완하고자 하는 노력이 여러가지로 진행되고 있는데, 본 연구에서는 모체 수지의 기본 골격구조를 강화하여 충전제 첨가효과에 따른 전기적 약점 발생을 억제시켜, 상온 및 고온에서 우수한 절연특성을 얻을 수 있다는 생각으로, 에폭시 수지에 고분자 강인화 방법인 동시상호침입망목 구조(SIN)를 도입하였다.³⁾

본 연구에서는 단일망목구조를 이루고 있는 시편과 동시상호침입망목구조로 이중망목을 구성하고 있는 시편의 유전율을 비교·검토하여,

동시상호침입망목구조의 도입에 따른 에폭시 복합재료의 유전특성을 검토하였다.

2. 시편의 제작 및 실험방법

2-1. 이중망목구조 시편(EM계열) 제작

본 실험에서 제작한 이중망목(동시상호침입망목) 시편의 경우, EPOXY Resin(국도화학)을 제1단망목으로, Methacrylic Acid(이하 MA)(純正化學)를 제2단 망목으로 구성하였다. 그 구성 방법으로는 중합개시제 DICUP를 사용하여 에폭시를 라디칼 중합시키고, 동시에 BDMA를 사용하여 MA를 이온중합 시켰으며 경화제로는 산무수물계 경화제인 Phthalic Anhydride(PA)(東京化學)를 사용하였다.⁴⁾

2-2. 단일망목구조 시편(E계열) 제작

본 실험에 사용한 에폭시수지는 비스페놀 A형 YD-128(국도화학)이며, 경화제로는 방향족 아민계 경화제인 Diaminodiphenylmethane(DDM)(純正化學)을 사용하였으며, 경화촉진제로는 DMP-30(純正化學)을 사용하였다. 표 2-1에 본 실험에 사용된 시편의 종류를 나타내었고, 시편의 구성 배합비 및 경화 조건은 표 2-2에 나타내었다.

2-3. 실험 방법

에폭시 복합재료의 유전 손실은 광대역 유전체손 측정장치(日本 ANDO, TR-10C形)를 사용하여, 주파수 범위 30 [Hz]~ 1 [MHz], 온도범위 30 ~ 160 [°C]사이에서 측정하였으며, 시편의 전극 형상과 측정 장치의 블록선도를 그림 2-1 및 그림 2-2에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 3-1, 3-2 및 3-3, 3-4에 측정 주파수에 따른 시편의 유전손실의 온도의존성 측정 결과를 나타내었다. 그림 3-1은 주파수 50[Hz], 즉, 저주파 영역에서의 상호침입망목 시편(EM계열)과 단일망목 시편(E계열)의 유전손실의 온도의존성을 나타내고 있다. 두계열의 시편은 충전제 함량을 무충진(-0)과 50[wt%]충진(-50)으로 구분 제작하여 실험하였다.

EM-0, E-0 시편의 경우 저온영역에서는 측

쇄와 불순물 등의 영향을 받게 되며, 고온영역에서는 주쇄의 운동에 의한 유전손실 증가 현상이 나타나는 일반 에폭시에서 볼 수 있는 현상을 보이고 있으나, EM-50, E-50 시편, 즉 충전제가 첨가된 경우에있어서는 충전제와 에폭시 수지 사이에 존재하는 계면의 영향으로 온도 상승에 따라 구분된 형태의 특이한 상승곡선을 나타내고 있다.

그리고 모든 계열의 시편이 저온영역에서는 충전된 시편의 유전손실값이 무충진 시편의 유전손실값에 비하여 낮아 반하여 고온영역으로 이동할수록 충전시편의 유전손실값이 높아지는 특성을 보이고 있다. 이는 온도 상승에 따라 저주파영역에서는 기계적 강도의 보강을 위하여 첨가된 충전제의 계면에 의한 계면분극으로 인한 유전손실의 상승⁵⁾이라 생각된다.

그림 3-2는 [3kHz]에서의 시편의 유전손실의 온도의존성을 나타내고 있다. 그림 3-1과 상이한점은 크게 발견할 수 없으나, 충전시편의 경우 온도상승에 따라 상반된 유전손실의 구배를 나타내고 있다. 또한 고온영역에서는 EM-50시편의 유전손실값이 E-50시편의 유전손실값보다 낮게나타나고 있다. 주파수 증가에 따른 에폭시 복합재료의 유전손실 특성이 망목구조변화 즉, 가교밀도증가, 또는 망목의 수 증가에 따라 충전제의 영향으로 인한 유전손실의 특성에 변화를 주고있다고 생각된다. 이는 망목구조 변화가 충전제 첨가시 발생하는 계면의 수를 감소시키거나, 자유체적으로 작용하는 계면의 크기를 감소시킴에 따라 나타나는 현상으로 사료된다. 또한 무충진 시편의 경우는 안정한 온도의존성을 나타내고 있다.

그림 3-3 및 그림 3-4는 각각 30[kHz] 및 300[kHz]의 주파수를 사용하여 시편의 유전손실의 온도의존성을 측정한 결과를 나타내고 있다. 그림에서 나타나는 바와 같이 주파수가 증가함에 따라 모든 시편의 온도의존성은 감소하는 사실을 알 수 있다. 측정주파수가 높아질수록 온도에 거의 무관하게 안정된 유전손실 특성을 갖는다는 것⁶⁾을 확인할 수 있다. 무충진 시편의 경우 두계열 모두 온도 변화에 따라 안정한 유전손실 특성을 보이고 있으나, 충전 시편의 경우는 온도 상승에 변화하는 유전손실 특성이 주파수가 높아짐에 따라 저주파에 나타났던 두 개의 온도 구배 정도가 낮아지고, 또

한 EM-50 시편의 경우는 고주파·고온영역에서 더욱 안정한 유전손실 특성을 나타내고 있다. 즉, 망목구조의 변화에 따라 충전제 효과의 상승을 초래할 수 있다는 점토를 얻을 수 있는 자료로서 도입가능 하리라 생각된다.

본 실험결과에서 무충진 시편의 경우 EM-0 시편의 유전손실값은 단일망목구조 시편인 E-0시편보다 전체적으로 높은 손실값을 나타내고 있다. 이는 이중망목 즉, 상호침입망목을 생성시키기 위하여 첨가되는 중합개시제나 에폭시 수지와는 다른 유전율이나 도전율을 갖는 아크릴 수지를 제2망목으로 사용함에 따라 나타나는 배향분극에 기인한다고 생각된다. 그러나, 반드시 유전율값의 차이만을 가지고 재료의 절연성능을 예상할 수는 없다고 생각된다. 두 고분자의 적절한 함량비에서 에폭시 단독으로는 갖지 못하는 제반특성을 상호침입망목을 도입함에 따라 획득할 수 있다고 생각된다. 또한 충전제가 첨가된 시편의 경우는 전체적으로 주파수가 상승하고 온도가 상승함에 따라 기타 다른 시편의 유전손실의 온도의존성보다 낮은 온도의존성을 갖는다는 결과로부터 에폭시 수지에 첨가되어 여러 가지 특성의 향상을 나타내고 있는 충전제로 인한 절연성능 즉, 전기적인 성능의 저하 정도를 줄일 수 있는 방법으로 상호침입망목 형성이 기대된다.

그림 3-4에서 나타난 바와같이 EM-50 시편의 유전손실 특성은 다른 시편에 비하여 온도 상승에 따라 손실값의 감소를 나타내고 있다. 즉, 고주파·고온영역에서 EM-50 시편의 유전손실값은 낮은 온도의존성을 가지므로 에폭시 복합재료의 망목구조 변화에 의하여 첨가되는 충전제 효과를 높이고, 물리적인 약점을 줄여, 고온 및 고주파 영역에서 보다 안정한 절연 성능을 보유할 수 있는 재료의 개발이 기대된다.

4. 결 론

에폭시만으로 모체수지를 구성한 단일망목 시편과 에폭시와 메타크릴 수지로 모체수지가 형성된 상호 침입 망목 시편으로 구분하여, 각각의 충전제 함량비를 0[wt%], 50[wt%]로 구분하여 시편을 제작하였다.

이들 시편의 유전특성을 측정한 결과, 단일망목시편의 유전손실값이 상호침입망목시편의 손실값보다 낮은 특성을 가지고 있으나, 충전제

첨가에 따라 단일망목 시편의 경우에는 유전손실의 온도의존성이 상호침입망목 시편의 온도의존성에 비하여 높다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 유전손실의 온도의존성은 고주파·고온영역으로 사용환경이 옮겨갈수록 상호침입망목 시편의 경우, 충전제 첨가에 따라 더욱 안정한 특성을 나타내고 있다. 또한 온도 의존성에 있어서도 상호침입망목 시편의 경우가 단일망목 시편에 비해 작아진다는 것을 알 수 있었다.

이와 같이 에폭시 수지에 이중망목 구조를 도입하게 되면 그 전기적 특성이 단일망목 구조에 비해 우수한 전기재료가 개발가능하다고 생각되며, 앞으로의 당면과제는 최적의 충전제 함량비와 유전특성의 정량적 해석을 통하여 고차구조, 즉, 상호침입망목 구조 자체의 분석을 통하여 고내열성 고분자 절연재료의 개발이라 생각한다.

참고문헌

1. 水谷照吉, "高分子 絶縁材料の 高電界 電氣 傳導と 絶縁破壊 研究の 現象と課題", 電學論 A, 112卷, 3號, pp. 167 - 172, 1992
2. 日本電氣學會 技術報告(II部) "固體 絶縁材料の 添加劑, 充てん劑 效果", 日本電氣學會, 342卷, pp. 3 - 21, 1989.
3. H. L. Frisch et al, "Two and Three Component Interpenetrating Ploymer Networks", Ploym. Eng. & Sci, Hid-june, Vol. 25, No. 8, pp. 488 - 493, 1985.
4. 김명호, "Epoxy/MA/PU 복합재료의 상호침입망목구조가 절연파괴특성에 미치는 영향" pp. 55-58, 1994.
5. M. Beyer, "Electrical and dielectrical Behavior of Cast Epoxy Resins", Schering Institute. Hannover University, pp. 7-37, 1991
6. K. Dusek, "Epoxy Resin and Composite IV", Springer-verlag, pp. 12-82, 1986.

Table 2-1 The kinds of specimens

시 편	충진제(SiO ₂) 함량	
	1 (0[wt%])	2 (50[wt%])
EM	EM-0	EM-50
E	E-0	E-50

Table 2-2 Composite ratio and curing condition of specimens

시 편		이중망목(EM계열)	단일망목(E계열)	
배 수 지 합 비	모 체	YD-128	-	100
	수 지	YD-128 + MA	100	-
	경 화 제	DDM	-	27
		PA	8	-
	충진제	SiO ₂	0, 5, 50, 100	0, 5, 50, 100
	경 화 촉진제	DMP-30	-	0.5
	중 합 개시제	DICUP	0.9	-
BDMA		0.11	-	
경 화 시 간		130[°C]/3[hr]+150[°C]/8[hr]+180[°C]/2[hr]	90[°C]/2[hr] + 150[°C]/4[hr]	

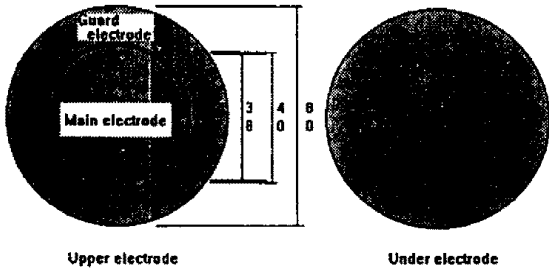


Fig. 2-1 The shape of electrode specimen

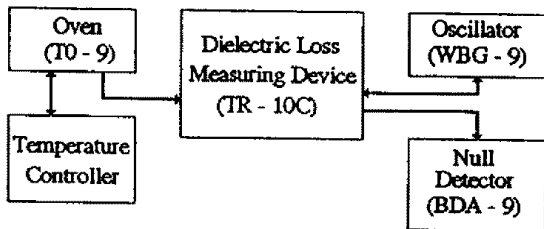


Fig. 2-2 Block diagram of dielectric loss measuring device

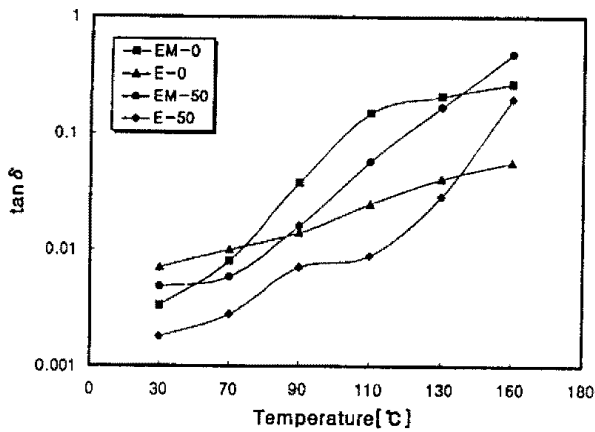


Fig. 3-1 Temperature dependence of dielectric loss of specimens [50Hz]

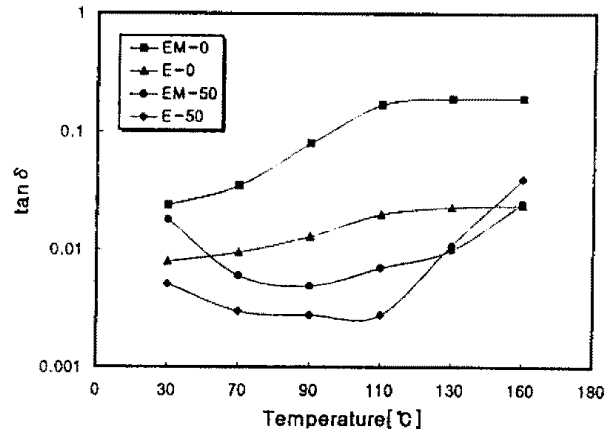


Fig. 3-2 Temperature dependence of dielectric loss of specimens [3kHz]

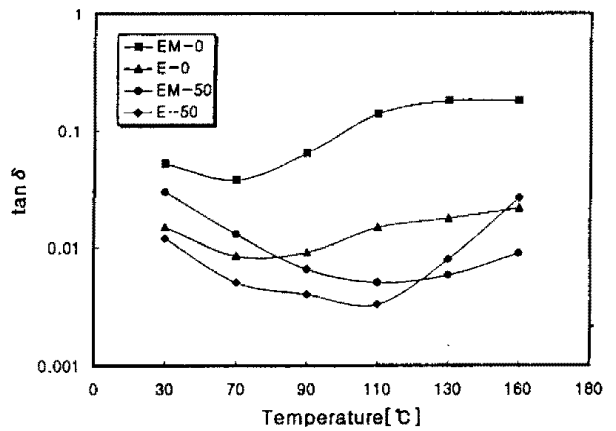


Fig. 3-3 Temperature dependence of dielectric loss of specimens [30kHz]

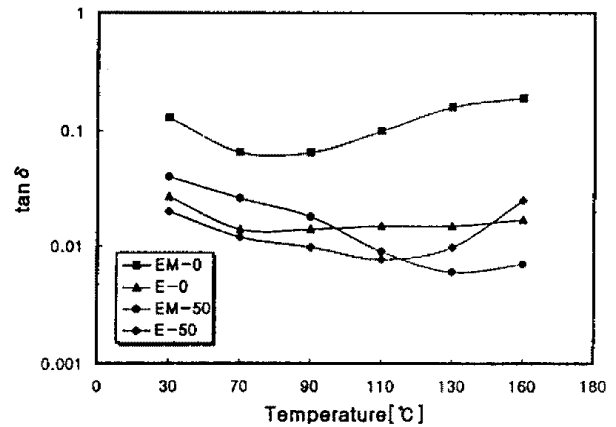


Fig. 3-4 Temperature dependence of dielectric loss of specimens [300kHz]