

망목 구조 변화에 따른 에폭시 수지의 유전 특성에 관한 연구

10-7-2

A Study on the Dielectric Characteristics in Epoxy Resins due to Variation of Network Structures

김재환^{*}, 손인환^{*}, 심종탁^{*}, 김경환^{**}, 김명호^{**}, 최병욱^{***}

(Jae-Hwan Kim, In-Hwan Son, Jong-Tak Shim, Kyung-Hwan Kim, Myung-Ho Kim, Byung-Ok Choi)

Abstract

In this paper, effect of interpenetrating polymer network(IPN) introduction on the dielectric properties, heat proof properties, internal structure and defects of the Epoxy/SiO₂ composite materials, were investigated. we reported a relation between network structures and electrical properties, especially dielectric characteristics with variation of network structures for epoxy composite materials.

According to experimental results, the specimens which have single network structures have lower dielectric constant than interpenetrating polymer network(IPN) specimens, but have relatively larger dependency to variation of temperature and frequency. It was confirmed that change of structures is attained by introducing of IPN to insulating materials.

Therefore it is counted that introduction of multiple structure including IPN is necessary to improve heat proof and electrical properties.

key words(중요용어) : Interpenetrating polymer networks(상호침입망목), Single network(단일망목), Dielectric characteristics(유전 특성), Heat proof properties(내열성)

1. 서 론

근래에 전기·전자 기기의 소형화, 경량화 추세에 수반한 운전 온도의 상승 및 유효절연 두께의 박막화에 대응하기 위해서는 절연재료의 온도 특성, 특히 고온에서의 절연성능 향상이 필수적인 과제이며, 또한 전력기기 내부의 국부적인 전기 집중을 완화시킬 수 있는 비유전율이 낮은 절연재료의 개발이 당연한 과제라고 할 수 있다.¹⁾

현재까지 다양·다변한 환경에서 고전계 절연

재료로 우수한 전기적 성능 및 기계적 성능을 보유한 에폭시 수지가 주류를 이루어 왔으나, 이러한 에폭시 수지에 원가 절감, 기계적 강도 및 고분자의 열팽창계수 보상 등의 목적으로 첨가되는 충전제로 인하여 복합재료계에 계면 발생 등의 전기적 약점이 발생, 전기적 성능의 저하를 초래한다는 사실이 이미 보고된 바 있다.²⁾

이와 같은 단점을 보완하고자 하는 노력이 여러 가지로 진행되고 있는데, 이들 연구중에는 모체 수지의 기본 골격 구조를 강화하여, 충전제 첨가로 인한 전기적 약점 발생을 억제시켜, 상온 및 고온에서 우수한 전기적 성능을 얻을 수 있다는 연구 결과가 보고되었다.³⁾

본 연구에서는 기보고된 바와 같이 에폭시 수지에 고분자 강인화 방법인 상호침입 망목 구조를 도입하여,⁴⁾ 제작된 시편의 유전 특성 및 유리전이온도 측정, 내부 구조 관찰 등의 실험을 통

* : 광운대학교 공대 전기공학과(신기술연구소)

** : 경원전문대학 건축설비과

*** : 경원대학교 전기전자공학부

& : 일진산전

접수일자 : 1998년 10월 6일

심사완료 : 1998년 6월 24일

하여 망목 구조 변화에 따른 에폭시 복합재료의 성능의 변화를 비교·검토하여, 충전제 첨가에 따른 고분자 복합재료의 전기적 성능 저하 보완 수단으로서의 망목구조 개질 수법을 제안하고자 한다.

2. 실험

2.1 시편 제작

본 연구에 사용한 에폭시 수지는 Diglycidylether of bisphenol-A(DGEBA, 국도화학)이며, 단일 망목 시편의 경우 경화제로는 DDM(일본 순정화학), 경화촉진제로는 DMP-30(일본 순정화학)을 사용하였으며, 상호침입망목(Interpenetrating Polymer Network:IPN) 구조의 경우에는 Epoxy resins 을 제 1단 망목으로, Methacrylic acid(일본 순정화학)를 제 2단 망목으로 형성시켰으며, 경화제로는 Phthalic anhydride(PA, 일본 동경화학), 두 성분의 중합개시제로는 Dicumyl peroxide(DICUP)와 N, N-benzylidimethylamine(BDMA, 일본 동경화학)을 사용하여 radical 중합과 ion 중합이 동시에 진행되도록 하였다.⁴⁾

충진제로는 Silicon dioxide(SiO₂, 일본 순정화학)를 사용하였으며, 시편의 구성 배합비 및 경화 조건을 표 1에 나타내었고, 사용된 시편의 종류는 표 2와 같다.

표 1. 시편의 구성 배합비 및 경화조건
Table 1. Composite ratio and curing condition of specimens

시		단위 : [phr]		
편		단일망목	이중망목	
배	모 체	YD - 128	100	-
	수 지	YD - 128 + MA	-	100
합	경화제	DDM	27	-
		PA	-	8
	충진제	SiO ₂	0, 50	0, 50
	촉진제	DMP-30	0.5	-
비	개시제	DICUP	-	0.86
		BDMA	-	0.11
경 화 시 간		90[°C]/2[hr] + 150[°C]/4[hr]	130[°C]/3[hr] + 150[°C]/3[hr]	

* YD-128(diglycidylether of bisphenol-A type epoxy), MA(methacrylic acid), PU(polyurethane), DDM(diamino diphenyl methane), PA(phthalic anhydride), DICUP(dicumyl peroxide), BDMA(n, n-benzylidimethylamine)

표 2. 본 실험에 사용된 시편의 종류
Table 2. The kind of specimens used

시 편	충진제 (SiO ₂)	
	0 [phr]	50 [phr]
E 계열 (단일망목)	E - 1	E - 2
EM 계열 (이중망목)	EM - 1	EM - 2

단일 망목구조 시편의 경화제로 사용된 방향족 아민계 경화제는 에폭시 수지와 혼합 후 겔화점을 지나면서 경화가 진행되며, 경화 후의 열변형 온도가 높아 내열성이 요구되는 경우에 많이 이용되고 있으며, 일반적으로 가장 많이 사용되고 있다.

이중 망목구조 시편의 경우에는, 먼저 에폭시 수지와 메타아크릴레이트를 혼합하여 예비 고분자(prepolymer)를 만들고, 제작된 예비 고분자에 경화제인 무수프탈산을 배합한 후, 라디칼 중합 개시 촉매로 디큐밀퍼옥사이드를, 이온 중합개시 촉매로 벤질디메틸아민을 첨가하여 동시에 두 중합 반응을 진행시켜 동시상호침입 망목구조체를 형성시켰다.

본 실험에 사용된 시편 및 전극 구성을 그림 1에 나타내었다.

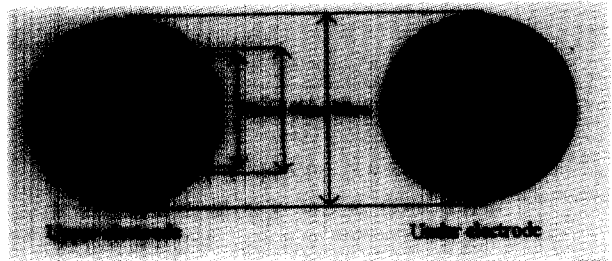


그림 1. 전극과 시편의 형상
Fig. 1. Geometry of electrode and specimen

2.2 실험 방법

망목 구조 변화에 따른 내부 구조 형태를 관찰하기 위해 주사전자현미경(SEM:Scanning Electron Microscope, Philips Co. Ltd)을 사용하였고, 유리전 이온도는 차동열량분석기(DSC:Differential Scanning Calorimeter, Dupont Co. Ltd, 1090B)를 사용하여 측정하였다.

에폭시 복합재료의 유전율 및 유전손실은 광대역 유전체손 측정장치(일본 ANDO, Tr-10C형)를

사용하였으며, 주파수 범위 30 ~ 1[MHz], 온도 범위 30 ~ 160[°C] 사이에서 측정하였다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 예비 고분자 관측

단일 망목구조 시편과 상호침입 망목(IPN) 구조 시편의 성분을 분석한 결과를 각각 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

그림 2는 단일 망목구조인 에폭시 수지의 적외선 흡수 스펙트럼이며, 그림 3은 에폭시 수지를

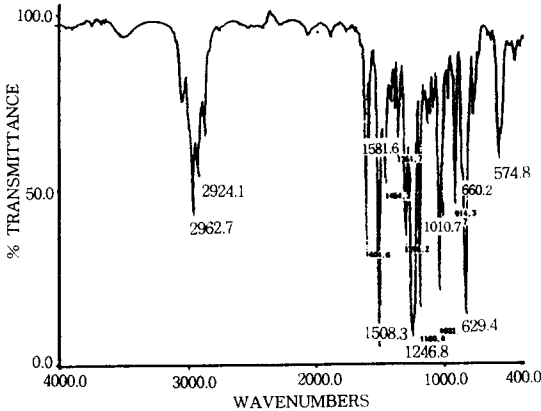


그림 2. 에폭시 수지의 적외선 스펙트럼(액상)
Fig. 2. The IR spectrum of epoxy resin(liquid)

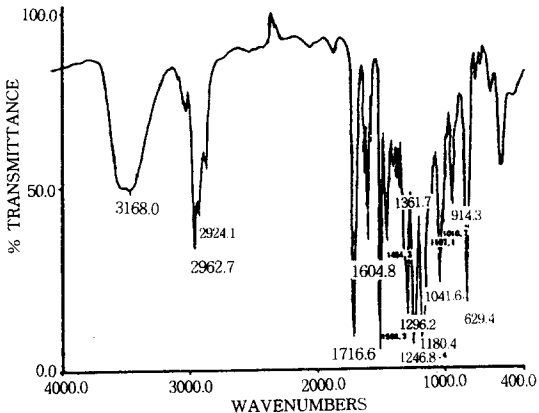


그림 3. IPN 예비고분자의 적외선 스펙트럼(액상)
Fig. 3. The IR spectrum of IPN prepolymer(liquid)

1단 성분으로 메타크릴레이트를 2단 성분으로 혼합한 예비고분자(prepolymer)의 적외선 스펙트럼

입니다.

각 그림에서 914[cm⁻¹] 부근의 흡수는 삼원환의 에폭시기의 존재를 나타내고 있다. 그림 2의 3500[cm⁻¹] 부근의 흡수는 경화제 제 1아민의 존재를 의미하고 있다. 에폭시 망목 구조를 형성하는 에스테르 가교시에 나타나는 1180[cm⁻¹]의 흡수 피크가 미약하며, 1730[cm⁻¹]의 흡수 피크는 전혀 존재하지 않는 것을 볼 때 경화반응 즉, 가교형성은 전혀 진행되지 않고 있다고 생각된다.

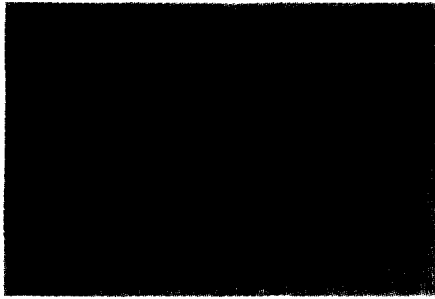
그림 3에서 아크릴의 주성분인 수산기(OH)와 경화제(PA)의 수산기(OH) 2개가 3168[cm⁻¹] 부근에서 겹쳐져 있음을 알 수 있다. 2960[cm⁻¹] 부근의 흡수 피크는 메틸기로서 경화되어도 그 세기는 변화되지 않는다. 1180[cm⁻¹] 부근의 피크 세기가 크고, 더욱이 그림 2에서는 관찰할 수 없는 1720[cm⁻¹] 부근의 흡수 피크가 존재함을 알 수 있다. 이것은 에폭시 수지 분자 속의 수산기 또는 수지 속의 극미량의 수분에 의해 경화제가 경화반응의 예비 단계인 카르복실기(COOH)를 형성하였기 때문이다. 이 카르복실기의 수산기가 삼원환의 에폭시기를 개환 시키는 역할을 한다. 그러므로, 그림 2의 단일 망목구조의 에폭시와는 달리 그림 3의 상호침입 망목구조에서는 예비고분자 상태에서 이미 가교반응의 전 단계가 형성되어 있다고 생각된다. 이러한 상태는 가교밀도에 큰 영향을 미칠 것이라고 생각된다.

3.2 내부 구조 관측

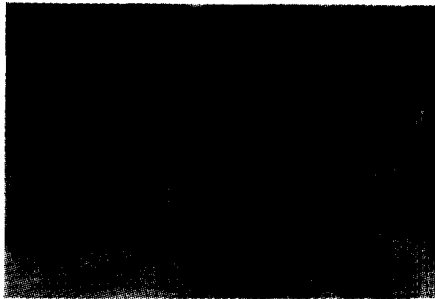
사진 1은 EM-1, EM-2, E-2 시편의 내부 구조를 주사전자현미경으로 관측한 결과이다.

사진 1의 (a), (b)는 상호침입 망목구조가 형성된 에폭시 시편(EM 계열)을 관측한 결과이다. 상호침입 망목구조 즉, 이중 망목구조가 형성됨에 따라 모체수지가 더욱 견고해졌음을 관찰할 수 있다.

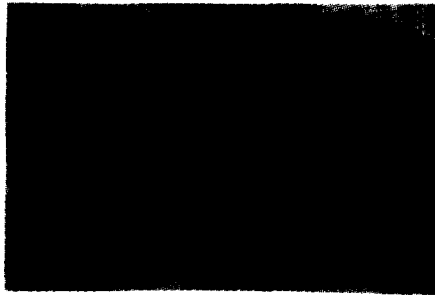
사진 1의 (b), (c)를 비교하여 보면 충전제가 첨가된 IPN 구조체의 내부 결합이 충전제가 첨가된 단일 망목구조의 에폭시 시편의 내부 결합보다 상당히 감소한 형상을 볼 수 있다. 즉, 에폭시 복합재료에 있어서 IPN 구조의 도입으로 인하여 충전제와 모체수지의 경계 사이에서 계면의 발생 및 시편 제작시에 발생하는 내부 결합을 감소된다고 생각한다.



(a) EM-1



(b) EM-2



(c) E-2

사진 1. 시편의 주사전자현미경 사진
Photo. 1. SEM photograph of specimen

3.3 유리전이온도

그림 4에 충전제가 50[wt%] 첨가된 단일망목구조 시편(E-2)과, 상호침입망목구조 시편(EM-2)의 유리전이 온도(이하 T_g)를 나타내었다.

그림 4에 나타난 바와 같이, E-2의 T_g 는 110.1 [°C]이며, EM-2의 T_g 는 139.1[°C]이다. 이와 같이 본 연구에서 제작한 EM-2 시편의 T_g 가 E-2보다 높음을 알 수 있는데, 이는 IPN 구조의 도입이 에폭시 복합재료의 T_g 를 고온으로 이동시키며, 조직 재결정 온도도 고온으로 이동, 결과적으로 내열성의 개선이 이루어진다고 생각된다.

상분리 없이 견고한 구조를 갖는 IPN 구조 시편의 제작을 통하여 T_g 가 가장 높은 에폭시 복합재료의 개발 가능성을 이와 같은 실험 결과를 통하여 확인할 수 있다고 생각한다.³⁾

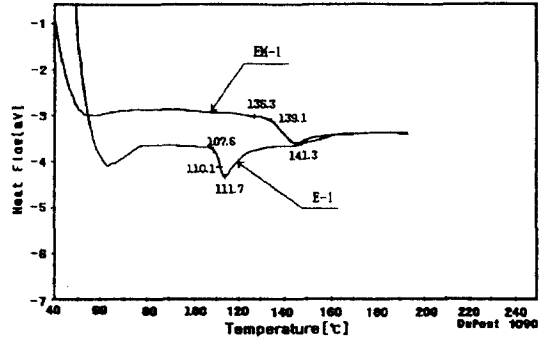


그림 4. 시편의 유리 전이 온도

Fig. 4. glass transition temperature of specimens

3.4 유전 특성

그림 5, 6은 E-1, 그림 7, 8은 E-2 시편의 온도 변화에 따른 유전 특성의 결과를 나타낸다. 그림 5의 E-1 시편에 있어서 유전율은 저온 영역에서는 측재와 불순물의 영향을 받게 되며, 고온 영역에서는 주재의 운동에 의한 영향을 받아 온도가 상승함에 따라 증가하는 현상이 나타나고 있다.⁶⁾ 그림 7의 E-2 시편에 있어서는 충전제 첨가에 의한 극성기 도입 및 표면전하축적에 기인된 고분자 쇄의 다양한 운동에 의한 유전 완화 현상이 나타나고 있다.²⁾

그림 6과 8에서 볼 수 있는 바와 같이 저온, 고주파에서 충전제 함량의 증가에 따른 유전손실값의 상승을 확인할 수 있다. 이는 그림 6의 0 [wt%] 시편에서 그림 8의 50[wt%]로 충전제 함량이 증가함에 따라, Thomas W. Dakin 등에 의하여 보고⁷⁾된 바와 같이 에폭시 복합재료의 제조시 첨가된 경화제나 불순물 및 충전제 첨가에 의한 극성 분자의 측재 운동, 내부 결함 발생 등이 주파수의 영향을 많이 받기 때문이라 생각된다. 또한, E-1 시편의 경우, 측정 주파수가 높아질수록 온도와 무관하게 안정된 유전상수를 갖게 됨을 확인할 수 있다.

충전제가 첨가된 E-2 시편의 경우에는 유전 손실의 온도 의존성을 관찰할 수가 있는데, 충전제 첨가에 따른 계면의 발생에 의한 온도의존성의 심화를 확인할 수 있다.

그림 9, 10은 EM-1, 그림 11, 12는 EM-2의 시편에 대한 온도에 따른 유전 특성을 나타낸다. 그림 9의 EM-1 시편에 있어서는 그림 5의 E-1 시편의 경우와 유사한 형태를 이루고 있으나, E-1 시편에비하여 EM-1 시편의 경우에 있어서 보다 높은 유전율을 볼 수 있다. 특히, 고온 저주

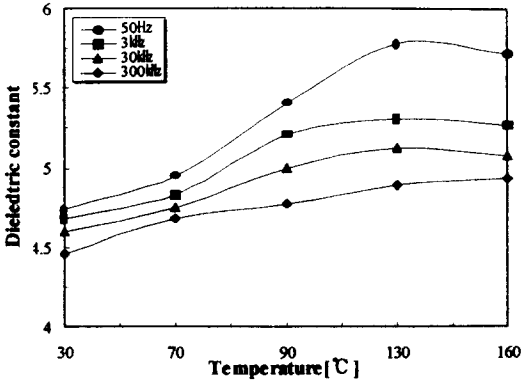


그림 5. E-1 시편의 유전율의 온도의존성
Fig. 5. Temperature dependence of dielectric constant of E-1 specimen

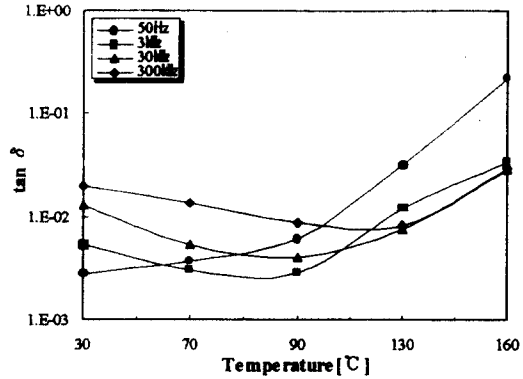


그림 8. E-2 시편의 유전손실의 온도의존성
Fig. 8 Temperature dependence of dielectric loss of E-2 specimen

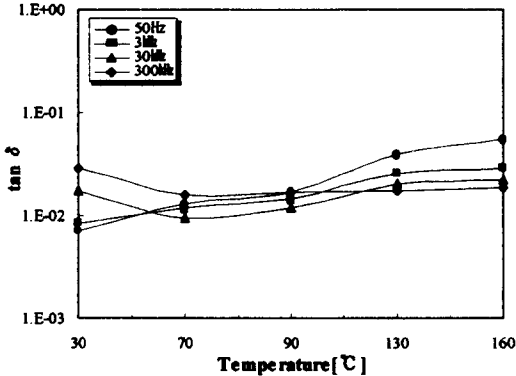


그림 6. E-1 시편의 유전손실의 온도의존성
Fig. 6. Temperature dependence of dielectric loss of E-1 specimen

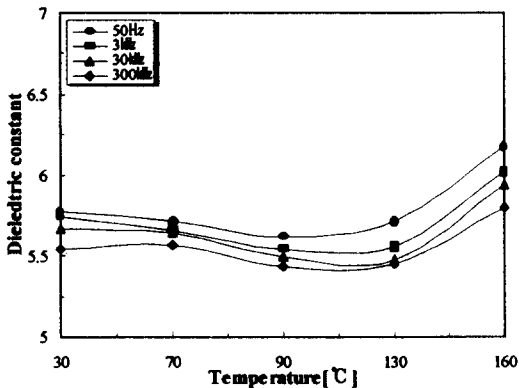


그림 7. E-2 시편의 유전율의 온도의존성
Fig. 7. Temperature dependence of dielectric constant of E-2 specimen

과만을 비교해 볼 때 그 현상을 더욱 뚜렷해진다.

주쇄의 운동에 의한 고온 저주파 피크가 크다는 것은, 단일망목구조 시편보다 상호침입 망목구조 시편의 주쇄의 양이 상대적으로 더욱 많은, 즉, 가교밀도가 높다는 사실을 도출할 수 있다. 또한, 앞서 기술한 단일망목구조 시편과 같이 상호침입 망목구조 시편에서도 충전제 함량이 증가할수록 저온 영역에서의 피크 분리가 뚜렷해지고 있으며, 다만, 그림 11의 EM-2 시편에서의 피크치는 그림 7의 E-2 시편보다 더욱 커지는 이유는 충전제의 영향 외에도 상호침입 망목구조를 형성하기 위하여 첨가된 아크릴의 기여가 더해졌기 때문이라고 생각된다.

그림 7의 E-2 시편의 유전 손실의 온도의존성과 그림 12의 EM-2 시편의 유전 손실의 온도의존성을 비교하여 보면, 고주파 영역을 제외하고는 상호침입망목 구조의 시편이 안정한 온도의존성을 나타낸다는 사실을 확인할 수 있다.

모든 계열의 시편이 저온 영역에서는 충전된 시편의 유전손실값이 무충진 시편의 유전손실값에 비하여 고온 영역으로 이동할수록 높아지는 특성을 나타내고 있다. 이는 온도 상승에 따라 저주파 영역에서는 기계적 강도의 보강을 위하여 첨가된 충전제 계면분극으로 인한 유전손실의 상승^{6,8)}이라 생각된다.

충진제가 첨가되면, 충전제와 수지 사이의 계면과 수지 자체의 비계면이 존재하게 되는데, 이러한 비계면보다 계면에서의 가교밀도가 낮아지게 되어 계면분극이 발생하게 된다. 이러한 계면

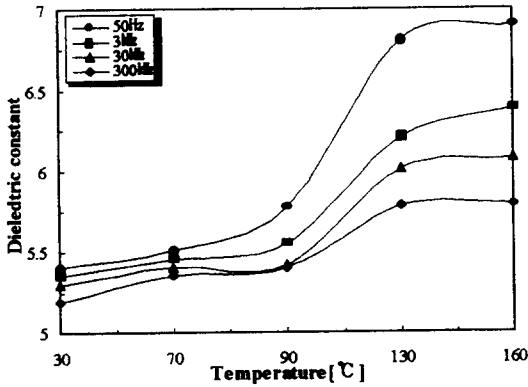


그림 9. EM-1 시편의 유전율의 온도의존성
Fig. 9. Temperature dependence of dielectric constant of EM-1 specimen

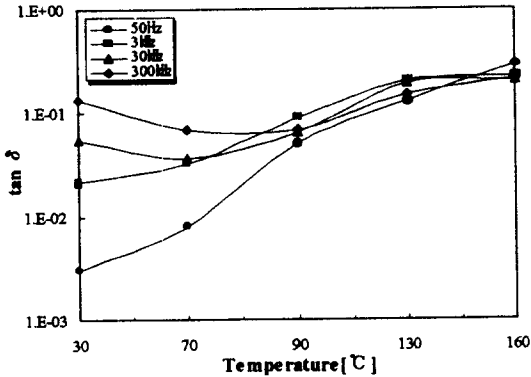


그림 10. EM-1 시편의 유전손실의 온도의존성
Fig. 10. Temperature dependence of dielectric loss of EM-1 specimen

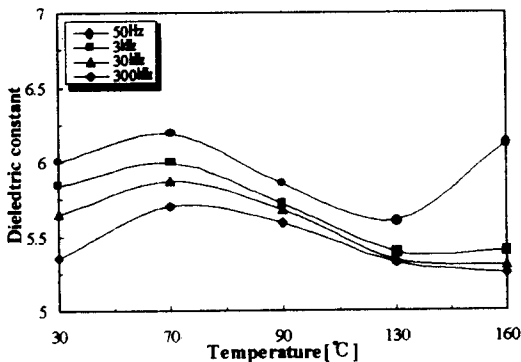


그림 11. EM-2 시편의 유전율의 온도의존성
Fig. 11. Temperature dependence of dielectric constant of EM-2 specimen

에서의 가교밀도는 상호침입 망목구조 수법을 도입하게 되면 단일망목구조를 형성시킬 때보다 증가된다는 사실을 앞서의 연구를 통하여 제시하였다.⁴⁾

그러므로, 50[wt%]로 충전된 상호침입 망목구조(EM-2) 시편의 유전손실의 온도의존성이 동일함량으로 충전된 단일망목구조 시편의 경우보다, 상대적으로 감소된다고 생각된다.

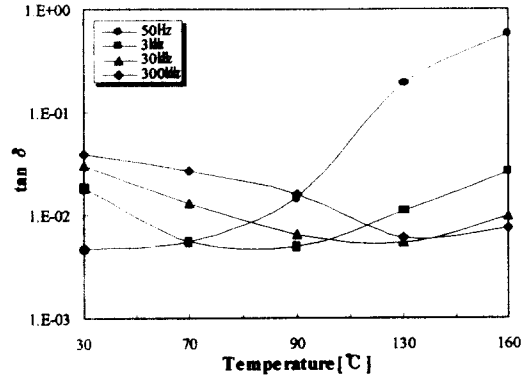


그림 12. EM-2 시편의 유전손실의 온도의존성
Fig. 12. Temperature dependence of dielectric loss of EM-2 specimen

그림 13, 14는 상온에서의 E-1, E-2, EM-1, EM-2 시편에 대한 주파수 변화에 따른 유전특성을 각각 나타낸다.

E-2, EM-2 시편의 경우 고주파수 범위에서 유전손실이 크게 나타나는 것은 충전제 첨가에 손실값의 증가를 나타내는 Debye의 이론식과 잘 일치한다. 또한 EM-1 시편에 있어서 유전 특성의 주파수 의존성이 다른 시편에 비하여 가장 안정한 특성을 나타내고 있다. 이는 망목 구조의 변화를 통하여 절연재료의 사용 주파수를 광대역화시킬 수 있다는 사실을 나타내고 있다. 즉, 주파수 의존성이 작은 절연재료 개발에 본 연구에서 제시한 상호침입망목 수법이 적용 가능하다는 근거를 제시한다고 생각한다.

EM-1 시편에서는 고주파수 영역에서의 유전손실이 저주파수 영역에서보다 높게 나타나고 있는데 반하여 EM-2 시편의 경우에는 충전제 첨가에 의한 영향에 따라 저주파수 영역에서 아크릴 주쇄의 마이크로 브라운 운동이 활발해져 유전손실의 증가를 나타내고 있다.

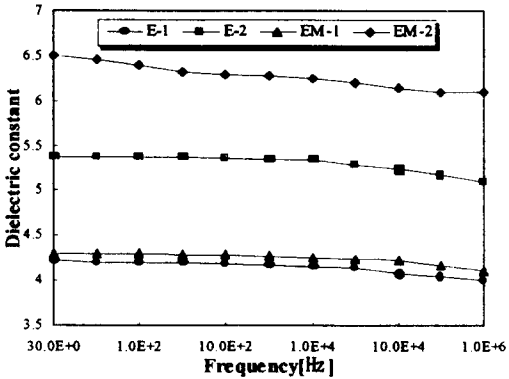


그림 13. E-1,2 시편과 EM-1,2 시편의 유전율의 주파수 의존성

Fig. 13. Frequency dependence of dielectric constant of E-1,2, EM-1,2 specimen

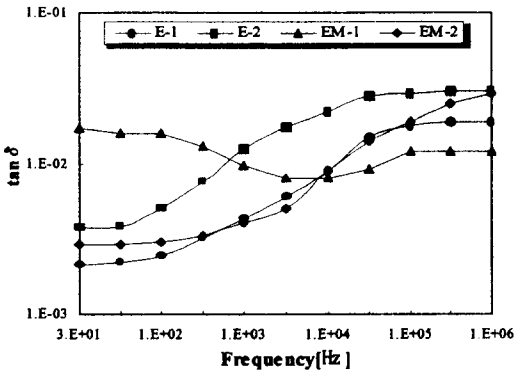


그림 14. E-1,2 시편과 EM-1,2 시편의 유전손실의 주파수 의존성

Fig. 14. Frequency dependence of dielectric loss of E-1,2, EM-1,2 specimen

4. 결론

에폭시 복합재료의 유전 특성에 미치는 망목 구조 변화에 관한 본 연구에서, Epoxy 만으로 모체수지를 구성한 단일망목구조 시편과 Epoxy와 MA로 모체 수지가 형성된 상호침입망목구조 시편으로 구분하여, 시편을 제작하였으며, 이들 시편의 내부 구조의 관측, 유리전이 온도와 유전특성을 측정 한 결과는 다음과 같다.

(1) 주사전자현미경(SEM)을 이용한 내부 구조 및 결합의 관측에서 상호침입 망목(IPN) 구조 도입을 통하여 전기적 약점으로 작용하는 결합이 감소됨을 확인할 수 있었다.

(2) 단일 망목구조 시편의 유리전이 온도는 110 [°C], 상호침입 망목구조 시편의 유리전이 온도는 139[°C]를 갖는다. 이것은 IPN 구조의 도입이 구조의 가교밀도의 증가를 통한 계면 발생수의 감소와 내열성 개선에 기여하는 것으로 생각된다.

(3) 망목 구조 변화에 따른 에폭시 복합재료의 유전 특성은 단일망목 시편의 유전손실값이 상호침입망목 시편의 손실값보다 낮은 특성을 가지고 있으나, 충전제 첨가에 따라 단일망목 시편의 경우에는 온도의존성이 상호침입망목 시편의 온도의존성에 비하여 높다는 것을 확인 할 수 있었다. 즉, 유전손실의 온도의존성은 고주파·고온영역으로 사용환경이 옮겨갈수록 상호침입망목 시편의 경우, 충전제 첨가에 따라 더욱 안정한 특성을 나타내고 있다. 또한, 상호침입 망목구조 시편의 경우가 단일망목 구조 시편에 비해 온도의존성이 낮다.

이와 같이 Epoxy 수지에 이중망목구조를 도입, 즉, 망목구조 변화에 의하여 다양한 유전 특성을 보유하는 재료의 개발이 가능하다고 생각한다. 따라서 사용 환경에 적절한 특성을 보유하는 에폭시 복합재료를 망목 구조의 변화를 통하여 제조 가능하리라 생각한다.

참 고 문 헌

1. 水谷照吉, "高分子 絶縁材料の高電界 電気傳導と絶縁破壊 研究の現象と課題", 電學論 A, 112卷, 3號, pp. 140 - 176, 1992.
2. "固體 絶縁材料の添加劑, 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.
3. H. L. Frisch et al, "Two and Three Component Interpenetrating Polymer Networks", Polym. Eng. & Sci. Hid-june, Vol. 25, No. 8, pp. 488-493, 1985.
4. 김재환, "2,3 성분 상호침입망목 에폭시 복합재료의 절연과피 특성에 관한 연구" 한국전기전자재료학회지, 9권, 4호, PP. 346-371, 1996.
5. K. C. Frisch et al, "Recent Advance in Interpenetrating Polymer Network", Polym. Eng & Sci. Vol. 22, No. 17, 1982.
6. M. Beyer, "ELECTRICAL AND DIELECTRICAL BEHAVIOR OF CAST EPOXY RESINS", Schering Institue. pp. 7 - 37, 1991.
7. Thomas W. Dakin, "Application of Epoxy Resin in Electrical Apparatus", IEEE Trans. Ins. Vol.

9, No. 4, pp. 1214 - 1218, 1974.

8. 小石眞純, "複合 材料と 界面", 總合技術出版, pp. 11~90, 1982.

시사소개

손인환



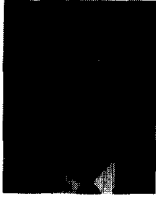
1968년 1월 13일생. 1991년 광운대학교 전기공학과 졸업. 1993년 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 재학중.

김경환



1959년 11월 25일생. 1982년 함양대학교 전기공학과 졸업. 1984년 광운대학교 전기공학과 석사. 1990년 동 대학원 전기공학과 박사. 1994년 1995년 일본 동경공업대학 전자물리공학과 直江研 객원연구원. 1991년 1996년 현재 성원대학교 전기·전자공학부 조교수.

심종탁



1966년 5월 15일생. 1989년 광운대학교 전기공학과 졸업. 1991년 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.

최병옥



1967년 9월 11일생. 1993년 광운대학교 전기공학과 졸업. 1995년 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 일진산전 근무.

김명호



1963년 5월 11일생. 1989년 강원대학교 전기공학과 졸업. 1991년 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1995년 일본동경공업대학 전자물리학과 객원연구원. 1992년-현재 경원전문대학 건축설비과 조교수.

김재환



1934년 9월 10일생. 1958년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1975년 홍익대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1959년-'73년 한국전력(주) 근무. 1964년 불란서 전력공사 초청 도불 기술연수. 1973년-'75년 홍익공업전문대학 전기과 전임강사. 1975년-현재 광운대학교 공과대학장, 전기공학과 교수.