

탄성형 에폭시 유전 특성의 온도 및 주파수 의존성

김석재, 전용식, 강성화*, 박대희**, 임기조
충북대학교, 충청대학*, 원광대학교**

Temperature and frequency dependency of dielectric characteristics of elastic epoxy resin according to elastomer contents

Seok-Jae Kim, Young-Sik Chon, Seong-Hwa Kang*, Dea-Hee Park**, Kee-Joe Lim
Chungbuk National Univ. Chungcheong Univ*. Wonkwang Univ**.

Abstract - In this paper, we investigated electrical property of epoxy resin which includes elastomers to improve electrical and mechanical property, as varied to additive elastomer contents. There are four samples with 5[phr], 10[phr], 15[phr] and 20[phr]. We melt was experimented with changing temperature(-80°C~50°C) and frequency (10Hz, 60Hz, 1kHz, 10kHz)

According to the experimental results, when the additive elastomer contents are increasing, the permittivity and tanδ has very high value in particular at low frequency and high temperature. It also appears that those increasing rates relate to additive elastomer contents. That is to say, even though epoxy resin are improved in mechanical property according to elastomer contents, the elastic epoxy can has bad dielectric characteristics for electrical power application.

1. 서 론

최근 급속히 증가하는 전력수요로 인하여 전력 계통의 초고압화와 고품압화가 이루어짐에 따라 계통의 신뢰성 및 안정성을 확보하기 위해 절연 재료의 개발 및 성능 개선이 요구된다. 따라서 고분자 재료는 물리적, 화학적으로 우수한 특성을 갖고 있을 뿐만 아니라 절연특성과 유전 특성이 뛰어나 널리 사용되어지고 있다[1]. 에폭시 수지의 전기적 특성은 무충전시 비유전율은 3.5~4.0이고 tan δ는 0.002~0.01 정도로 특성이 우수하다[2]. 에폭시 수지는 액상과 고상으로 구분되며, 절연 성능은 에폭시 종류, 경화제, 충전제의 조성비와 온도, 시간, 공정 등의 경화조건에 따라 다양한 특성을 갖으며, 경화 방법 등에도 영향을 받으며, 사용방법을 대별하면 추형품과 합침품(절연지, 유기섬유 등에 에폭시수지를 진공합침 시킨 것)이 있다. 대부분의 대형 절연 부품은 액상의 에폭시 수지가 사용되고 있으며 배전급 CT, PT는 액상 에폭시가 주로 사용되고, 소형 저압용은 고상(분말) 에폭시가 사용되고 있다[3].

반면, 기존 에폭시 전기 절연 재료는 1930년경에 최초로 합성되었으며, 기계적 강도가 우수한 점과 경화시 체적 변화를 일으키지 않으므로 보이드나 갭이 생기지 않는다는 점, 자유로운 형상으로서의 가공이 가능한 점 등 여러 가지 장점이 있지만 경도가 강하여 충격에 약한 문제점을 가지고 있으며, 이러한 문제로 인하여 에폭시 수지 사용의 제약성을 갖는다.

따라서 본 연구에서는 경도가 높아 탄성이 없는 기존의 에폭시 수지의 기계적 특성을 개선하여 전력용으로 적용하기 위하여 개질재로 일레스토머를 첨가한 에폭시 수지를 선정하여 시편을 제작하고, 전력용으로의 적용을 검토하기 위하여 유전을 및 tanδ의 온도 및 주파수 의존성을 검토하였다.

2. 실험

2.1 시편제작

시편은 비스페놀 A형의 에폭시에 개질제를 첨가한 형태로써 주제를 사용하였다. 각각 시편은 5 [phr](시편1), 10[phr](시편2), 15[phr](시편3), 20[phr](시편4)으로 개질제의 비율을 조정하여 만들었다. 시편의 크기는 가로 2.5cm, 세로 2.5cm, 두께 1mm로 하여 제작하였다. 유전을 및 tan δ의 측정 시 온도 범위는 -80°C ~ 50°C로 하고, 주파수는 10Hz, 60Hz, 1kHz, 10kHz로 하여 측정하였다.

2.2 유전을 및 tan δ 측정

비유전율 ε_r을 갖는 유전체가 균일한 전계내에 놓여 있을 경우, 유전체내의 전속밀도 D와 전계의 세기 E[V/m] 사이에는 다음 관계가 있다.

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad [C/m^2] \quad (1)$$

여기서 ε₀=8.854×10⁻¹²[F/m]는 진공의 유전율이며 MKS 단위를 사용했기 때문에 도입된 변환인자이다. 평행평판 콘덴서의 정전용량을 C, 전극면적을 A, 전극간격을 d라고 하면

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{A \cdot \epsilon_0} \quad (2)$$

로 주어진다. 따라서 비유전율은 콘덴서 양전극간에 유전체를 채웠을 때와 이것을 제거했을 때의 정전용량의 비로 정의할 수 있다.

또한, 고체 절연물에 전압을 인가하면 등가회로 모델에서 변극자분극과 공간분극의 저항분과 누설전류의 저항분이 손실로 된다. 이와 같은 교류에 있어서의 손실을 총합하여 유전손이라 하며, 이 때의 특성을 정전용량과 콘덕턴스로 나타낼 수 있으며 복소수로 표시하면전류와 전압사이의 관계는

$$i = (j\omega C + G)v \quad (3)$$

여기서 유전손각(δ)을 얻을 수 있고 이의 정점을 유전 정점 또는 tan δ라 하며 이러한 관계로부터 다음의 관계가 성립된다.

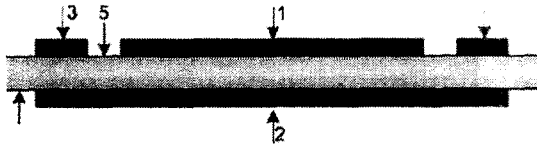
$$\text{유전손} = Gv^2 = \omega C v^2 \tan \delta \quad (4)$$

$$\tan \delta = G/\omega C \quad (5)$$

tan δ은 절연물의 치수와 크기에는 무관한 값이며, 조성이나 내부 상태에 의하여 결정된다. 따라서 재료나 절연구조의 성질을 나타내는 지표로 널리 이용된다. tan δ은 전원의 주파수나 온도에 의존하며 부분방전이 발생할

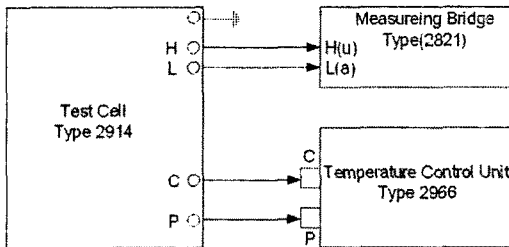
때는 전압에도 의존한다.

본 실험에서는 그림1과 같은 전극으로 구성하여 유전 특성을 측정 하였다. 측정장치의 구성은 그림2와 같고, 측정 시 온도 및 주파수를 변화시킬 수 있다.



1. 고전압 전극 2. 하부전극 3. 보호전극
4. 시편 5. 보호 캡

그림 1. 유전율 측정용 전극



H: High voltage C: Control of heating temperature
L: Low voltage P: Heating power

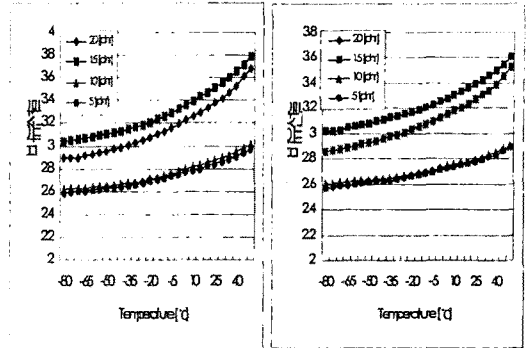
그림 2. 유전율 측정기

3. 결과 및 고찰

3.1 유전율

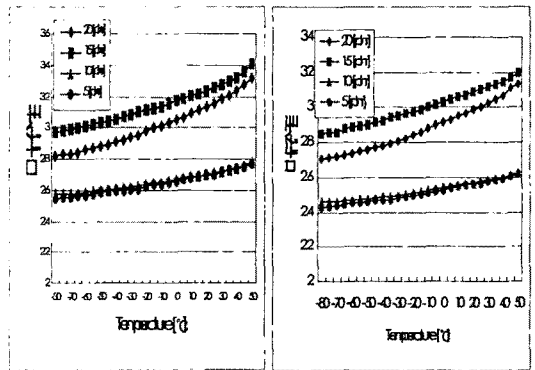
그림 3은 일레스토머 함유량에 따른 주파수별 비유전율 변화 특성이고, 표 1에는 측정온도를 -50°C , 0°C , 50°C 로 하여 측정한 비유전율이다. 일레스토머 함유량이 5[phr], 10[phr]의 경우는 거의 유사한 값을 보이고 있다. 온도 상승에 따른 경우는 비유전율이 완만하게 증가하고, 일레스토머 함유량이 많은 것일수록 급증하였다. 즉 일레스토머 함유량이 20 [phr]인 시편은 0.72 증가하였고, 15 [phr]인 시편은 0.67 증가 하였다. 반면 일레스토머 함유량이 10 [phr]인 경우는 0.37 증가하였고, 5 [phr]인 경우는 0.35 정도의 증가를 나타냈다. 이것은 에폭시 수지에 일레스토머를 첨가함으로써 유전 특성은 나빠졌기 때문에 일레스토머의 첨가량이 증가할수록 온도 변화에 의한 유전율의 값은 더 크게 변동되었다.

주파수의 변동에 따라 온도-유전율의 분포 양상은 유사하고, 낮은 온도에서는 주파수에 따라 유전율은 별 차이가 발생되지 않음이 나타났다. 하지만 온도가 증가함에 따라 유전율의 증가폭이 상대적으로 10kHz보다 10Hz의 낮은 주파수에서 크게 변화하는 것을 확인할 수 있었다.



(a) 주파수: 10 Hz

(b) 주파수: 60 Hz



(c) 주파수: 1 kHz

(d) 주파수: 10kHz

그림 3. 비유전율의 온도의존성

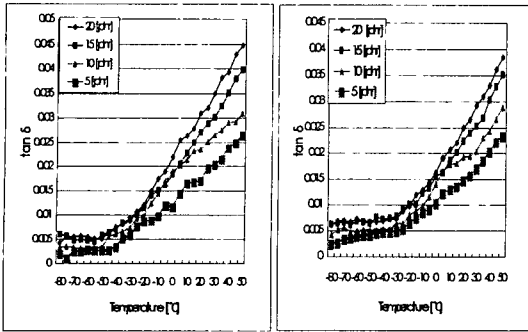
표 1. 비유전율의 주파수 및 온도 의존성

시 료	10Hz			60Hz			1kHz			10kHz		
	-50c	0c	50c	-50c	0c	50c	-50c	0c	50c	-50c	0c	50c
1	2.62	2.75	2.97	2.61	2.71	2.88	2.58	2.66	2.76	2.46	2.52	2.61
2	2.64	2.77	3.01	2.63	2.72	2.90	2.59	2.67	2.78	2.48	2.54	2.62
3	3.11	3.33	3.78	3.08	3.25	3.60	3.03	3.17	3.41	2.90	3.03	3.19
4	2.96	3.19	3.68	2.93	3.12	3.53	2.88	3.05	3.32	2.76	2.91	3.13

- 1: elastomer 5 [phr] 2: elastomer 10 [phr]
3: elastomer 15 [phr] 4: elastomer 20 [phr]

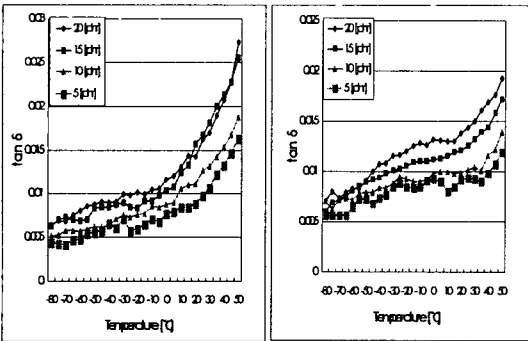
3.2 tan delta

그림 4는 주파수별 일레스토머 함유량에 따른 tan delta의 변화를 나타낸 것이다. 표2는 측정온도를 -50°C , 0°C , 50°C 에서 측정한 tan delta 값이다. 일레스토머 함유량이 증가함에 따라 tan delta는 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 일정 온도까지는 완만하게 증가하였다가 특정 온도 이상일 때 tan delta의 증가율은 탄성 함유량이 많은 것일수록 더 급격히 증가하였다. 특정 온도 이상에서 각 측정 주파수에서 tan delta 값이 급격히 변화하는 경향을 보여 주고 있다. 따라서 낮은 온도에서는 tan delta는 일레스토머 함유량에 따라 큰 차이를 보이지 않았지만, 온도가 증가하면 증가할수록 일레스토머 함유량에 따라 tan delta는 큰 차이를 보이고 있다.



(a) 주파수: 10 Hz

(b) 주파수 : 60 Hz



(c) 주파수: 1 kHz

(d) 주파수 : 10kHz

그림 4. tan δ의 주파수 의존성

표 2. tanδ의 주파수 및 온도 의존성

시료	10Hz			60Hz			1kHz			10kHz		
	-50℃	0℃	50℃	-50℃	0℃	50℃	-50℃	0℃	50℃	-50℃	0℃	50℃
1	0.002	0.012	0.027	0.004	0.011	0.024	0.005	0.007	0.017	0.007	0.009	0.013
2	0.004	0.017	0.031	0.005	0.014	0.030	0.006	0.008	0.019	0.008	0.009	0.014
3	0.005	0.017	0.042	0.007	0.017	0.036	0.008	0.010	0.026	0.010	0.012	0.018
4	0.006	0.021	0.046	0.007	0.018	0.039	0.009	0.011	0.028	0.011	0.013	0.020

3. 결 론

일레스토머를 첨가한 탄성형 에폭시 시편을 제조하여 측정 주파수 및 온도 변화에 따른 유전특성의 변화를 검토하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 일레스토머의 함유량이 증가할수록 단위온도 변화당 유전율의 증가율이 커지는 경향을 보였고, 측정 주파수가 낮은 경우 유전율 값은 커지는 경향을 보였다.
2. 일레스토머의 함유량이 증가할수록 tan δ의 변화 경향은 단위온도 변화당 증가율이 비교적 크게 나타났고, 측정 주파수가 낮은 경우 tan δ 값은 커지는 경향을 보였다.

일레스토머 첨가로 에폭시의 유연성을 증가시켜 기계적 특성은 개선할 수 있으나, 유전율 및 tan δ 등의 유전특성이 증가하여 전력용으로 적용 시 단점으로 작용할 수도 있다. 따라서 일레스토머를 첨가한 탄성형 에폭시를 전력용으로 적용 시에는 적절한 함유량을 선정하기 위한 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전기연구소. "99고분자 절연재료 기술", 1999년 기술교육재료, pp 7 17, 1999.
- [2] 이복희, "고전압대전류공학", pp80 84 1993,
- [3] A. R Blythe. "Electrical properties of Polymer" CAMBRIDGE University press, 1980
- [4] H.Tanida, I.Ishikawa, A. Yoshino, H.Sunazuka and T.Niwa, "Study on characteristics of new engineering plastics for wire and cable insulators", CEIDP, 1991 Annual Report, p374~380, 1991
- [5] P.C.Fithian, S.B.Bether, P.Harboe-Schmidt, "Engineering thermoplastics resins for coil forms and encapsulation", Electrical Electronics Insulation Conference, 1995, and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference. Proceedings, p511~515
- [6] li.y. Unsworth, "Dynamic mechanical behaviours of epoxy insulating composites", Electrical Electronics Insulation Conference and Electrical manufacturing & Coil Winding Conference . Proceedings, p7'11, 1993.