

**전력용 탄성형 에폭시의 유전 및 절연 특성 해석**

김석재, 박성희, 임기조, 이기태\*, 강성화\*\*, 박대희\*\*\*  
 충북대, 국립과학수사연구소\*, 충청대학\*\*, 원광대학교\*\*\*

**Analysis of dielectric and insulation characteristics of elastic epoxy resin according to elastomer contents for power machines**

Seok-Jae Kim, seong-hee Park, Kee-Joe Lim, Ki-Tae Lee\*, Seong-Hwa kang\*\*, Dea-Hee Park\*\*\*  
 Chungbuk National Univ, NISI\*, chungcheong Univ\*\*, Wonkwang Univ\*\*\*.

**Abstract** - In this paper, we investigated dielectric and insulation characteristics of epoxy resin which includes elastomers to improve mechanical property, as varied additive elastomer contents with 5[phr], 10[phr], 15[phr], and 20[phr]. We measured permittivity and tan δ at 1kHz of signal frequency and room temperature. And we also measured BVD(break-down voltage) and volume resistivities. According to the experimental results, it is appeared that when the additive elastomer contents are increasing, permittivity, volume resistivity, BVD and volume resistance are decreasing because elastomer remains inferior to epoxy resin on electrical properties.

**1. 서 론**

산업의 발달과 인류의 행복추구에 의한 복지향상에 따라 전기에너지의 수요는 더욱 더 증가하게 되고, 이러한 전기에너지의 공급 안정화 및 고신뢰성을 위해서 절연재료의 개발 및 성능 개선이 요구되고 있는 추세이다. 전력기기의 절연물 재료로 많이 사용되는 고분자 재료는 물리적, 화학적으로 우수한 특성을 갖고 있을 뿐만 아니라 절연 특성과 유전 특성이 무충전시 비유전율이 3.5~4.0 이고 tan δ는 0.002~0.001 정도로 뛰어나며 조성비(에폭시 종류, 경화제, 충전제), 경화 조건(온도, 시간, 공정)과 금형의 예열 상태 등에 따라 다양한 특성을 얻을 수 있으며, 경화 방법 등에도 여러 가지 특성을 얻을 수 있다. 따라서 이러한 특성 때문에 대형의 절연부품에는 액상의 에폭시 수지가 사용되고 있고 배전급 CT, PT는 액상 에폭시로 주형, 함침 성형을 시키는 공정을 이용하여 옥내에서 광범위하게 적용되며, 소형 저압용은 고상(분말)이 사용되고 있다. 또한 에폭시 수지는 고압용과 초고압용으로 구분되며, 초고압용 GIS의 Spacer와 같은 대형 에폭시 부품은 고온, 진공 하에서 장시간 경화하는 진공 주입식과 배전용 소형 절연 부품에서는 가압공정이 이용되고 있다. 이러한 우수한 물성에도 불구하고 고온 습윤 특성, 고밀도의 가교도 때문에 깨지기 쉬운 특성을 지니고 있어 충격에 파쇄되는 단점을 지니고 있다.

따라서 본 연구에서는 경도가 높아 도체와 에폭시의 상이한 열팽창 계수로 인한 계면의 크랙 발생을 억제하기 위해 기존의 에폭시의 개질제로 일래스토머를 첨가하여 에폭시의 기계적인 특성을 개선함으로써 이러한 단점을 보완하였으며 본 논문은 일래스토머 첨가 비율을 5, 10, 15, 20[phr]로 변화 시켜 각각의 시편에 대한 전기적인 특성을 검토함으로써 전력용 기기의 적용 가능성에 대하여 고찰하였다.

**2. 본 론**

**2.1 시편**

시편은 비스페놀 A형의 에폭시에 개질제를 첨가한 형태로써 주제를 사용하였다. 각각의 시편은 5[phr](시편1), 10[phr](시편2), 15[phr](시편3), 20[phr](시편4)으로 개질제의 비율을 조정하여 만들었다.

표1은 시험에 사용되었던 시료의 탄성함유량 및 주형시의 온도, 시간 등에 대한 조건을 나타내고 있다.

표 1. 시료의 탄성함유량 및 주형시 조건

Elastomer Cont. [phr]	Molding	Cure cond.	Hardness
5	3h/120℃	12h/130℃	92 at 15℃
10	3h/120℃	12h/130℃	90 at 20℃
15	3h/120℃	12h/130℃	88 at 20℃
20	3h/120℃	12h/130℃	85 at 20℃

**2.2 유전율 및 tanδ**

비유전율 εr을 갖는 유전체를 균일한 전계 내에 놓여 있을 경우, 유전체내의 C(정전용량)와 비유전율 사이에는 다음 관계가 있다.

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{A \cdot \epsilon_0} \quad (1)$$

여기서 ε0= 8.854×10-12[F/m]은 진공에서의 유전율이며 A는 전극 면적, d는 전극간격, C는 평판콘덴서의 정전용량이다.

또한 고체 절연물에 전압을 인가하면 등가회로 모델에서 변극자 분극과 공간분극의 저항분과 누설 전류의 저항분 손실로 된다. 이와 같은 교류에 있어서의 손실 총합을 유전손실이라 하며, 이 때의 특성을 정전용량과 콘덕턴스로 나타낼 수 있으며 복수소로 표시하면 전류와 전압사이의 관계는

$$I=(j\omega C+G)v \quad (2)$$

여기서 유전손각(δ)을 얻을 수 있으며 이의 정점을 유전정점 또는 tanδ라 한다. 이것은 절연물의 치수와 크기에는 무관한 값이며, 조성이나 내부 상태에 의하여 결정된다. 따라서 재료나 절연구조의 성질을 나타내는 지표로 널리 이용된다.

본 실험은 impedance analyzer (HP 4194A)를 이용하

여 정전용량C와  $\tan\delta$ 를 측정하였으며, 여기서 비유전율은 시편의 두께와 전극의 면적을 이용하여 정전용량을 계산하여 구할 수 있다.

### 2.2 절연파괴 강도 실험

고전압 절연시험은 전기기기나 전기제품이 사용기간 내내 정상적인 사용전압에 대해서, 그리고 규정된 시간 동안 과전압에 대해서 충분한 절연성능을 유지할 수 있는가를 확인하기 위한 것이다.

본 실험에서는 절연유 내압 시험기(TDS-55)를 사용하였으며, 시료는 그림 2와 같이 표면의 절연파괴를 방지하기 위해 절연유에 잠긴 상태에서 진행하였다. 시편에 고전압을 인가하는 방법은 ASTM Std D149[5]에 명시된 방법 중에서 단계적 파괴시험 방법을 적용하였으며 절연 파괴 전압의 50%까지를 가능한 한 빨리 상승시키며 이후에 단계적으로 상승시켜 절연이 파괴되는 순간의 전압값을 시료의 두께로 나누어 측정하였으며 이와 같은 방법으로 5회 실시하여 평균값으로 나타내었다.

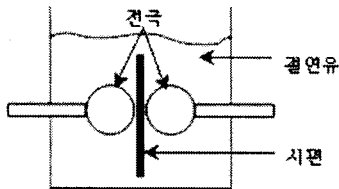


그림 1. 절연파괴시험의 전극배치도

### 2.3 절연저항측정

절연재료는 전기 시스템의 요소를 각각 또는 지면으로 부터 격리시키는데 사용할 뿐만 아니라 부품에 대한 기계적 보호를 하는데 사용된다. 체적저항은 시료나 전극의 크기에 관계없이 물질의 고유한 값이며, 단위 면적을 통해 흐르는 전류(A/mm<sup>2</sup>)에 대한 가해진 전계(V/mm)의 비로 나타낸다. 이것은 각 변의 길이가 1인 정육면체의 서로 마주보는 두 면 사이의 저항을 의미한다.

본 실험은 ASTM D257에 따라 탄성형 에폭시의 체적 저항을 측정하였다. 절연저항 측정용 계측기는 HP사의 저항 측정기 4329A와 판형 시편용 전극 16008A를 사용하였으며 시편을 전처리하기 위하여 시편을 건조로에 넣고 100℃에서 3시간 건조 후 상온에서 30분 방치하였다. 체적 저항을 측정하기 위하여 1kV의 시험전압을 시편에 인가한 다음 2분간 유지한 후에 지시된 저항치를 판독하였다. 시험 정밀도를 위해 5회 실시하여 그 평균값으로 나타내었다.

시험기를 통하는 체적저항(R<sub>v</sub>)으로 식(3)에 대입하여 체적저항률(ρ<sub>v</sub>)을 구한다.

$$\rho_v = \frac{19.6}{t} R_v [\Omega \cdot \text{cm}] \quad (3)$$

여기서 t는 시편의 두께[mm]이다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 유전율 및 tan δ

그림3과 4는 상온에서 주파수(1kHz)에서 측정된 비

유전율과 tan δ이다. 여기서 비유전율은 일레스토머 함유량에 따라 증가하는 양상으로 나타났으며 일레스토머 함유량이 10 [phr], 15 [phr]은 거의 유사한 값으로 나타났다.

또한, tan δ는 일레스토머 함유량에 따라 증가하는 양상으로 나타났고 일레스토머 함유량이 5[phr], 10[phr], 15[phr]은 거의 일정한 값을 나타냈으며 특히 20[phr]은 다른 시편에 비해 0.002정도 높은 값을 갖는 것으로 나타났다.

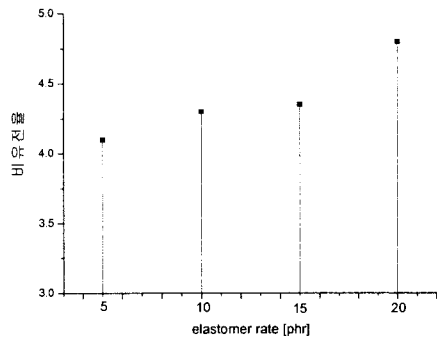


그림 2. 탄성함유량에 따른 비유전율

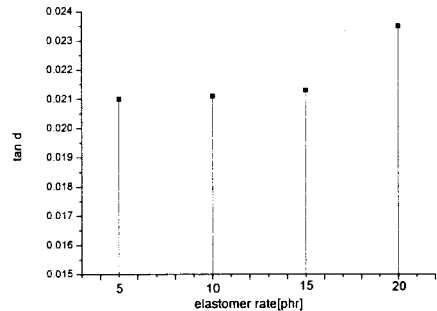


그림 3. 탄성함유량에 따른 tan δ

### 3.2 절연파괴 강도

표 2는 에폭시의 일레스토머 함유량에 따른 각 시편의 절연파괴 강도를 5회 측정하여 그 평균값으로 나타낸 것이다. 일레스토머 함유량이 증가함에 따라 절연파괴 강도는 감소하는 특성이 나타났으며 일레스토머 함유량이 10[phr]과 15[phr]은 거의 비슷한 절연파괴 강도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

표 2. 각 시료의 절연파괴 강도

탄성 함유량 [phr]	절연파괴강도 [kV/mm]
5	23.5
10	22.6
15	22.5
20	20.5

### 3.3 절연저항

표 3은 에폭시의 일레스토머 함유량에 따른 각 시료의 체적저항률을 5회 측정하여 그 평균값으로 나타낸 것이다. 일레스토머 함유량이 증가할수록 체적 저항률은 감소하는 양상으로 나타났으며 일레스토머 함유량이 10[phr]과 15[phr]은 체적 저항률은 감소폭이 다른 것에 비해 적게 나타나는 것으로 추정할 수 있다.

표 3. 각 시료의 체적저항

탄성 함유량 [phr]	체적저항률( $\rho_v$ ) [ $\Omega \cdot \text{mm}$ ] $\times 10^{14}$
5	130.7
10	63.8
15	57.9
20	25.8

### 4. 결 론

Elastomer를 첨가한 에폭시 시편에 대한 유전 및 절연 특성을 검토하여 다음의 결론을 얻었다.

1. Elastomer 함유량에 따라 유전율과  $\tan \delta$ 는 증가하는 경향이 나타났고 특히 elastomer 함유량이 20[phr]은 다른 경우에 비해 각각 비유전율은 0.5,  $\tan \delta$ 는 0.002정도 높아지는 것으로 나타났다. 이것으로 유추해 보면, elastomer의 첨가 정도는 20[phr] 이하가 되어야 할 것으로 사료된다.

2. Elastomer 함유량이 증가함에 따라 절연파괴 강도와 체적저항은 감소하는 양상으로 나타났고 elastomer 함유량이 10[phr], 15 [phr]은 각각 거의 비슷한 값으로 나타났다.

결론적으로, Elastomer 함유함에 따라 에폭시의 기계적 특성을 개선할 수 있으나, 절연성능이 저하되어 전력용으로 적용 시 단점으로 작용될 수도 있다. 따라서 elastomer를 첨가한 탄성형 에폭시를 전력용으로 적용 시에는 적절한 함유량을 선정하기 위한 연구가 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전기연구소. '99고분자 절연재료 기술', 1999년 기술교 육교재, pp 7-17, 1999.
- [2] 이복희, '고전압대전류공학', pp80-84 1993.
- [3] A. FYee and R. A. Pearson, "Toughening Mechanism in elastomer Modified Epoxy Resins" NA-SACR-3718(1983) and NASA-3582(1984)
- [4] L. C. Chan, J. K. Gillham, A. J. Kinloch and S. J. Shaw, "Rubber-Modified Thermoset Resins", American Chemical Society, p 261(1984)
- [5] T. W. Choi and S. C. Yoo, "Electrical and mechanical properties of ceramics", J. Mater. Society. Vol. 15, No. 1, p. 10, 2001.
- [7] Tokoro. T. Thoyama. K. Nagao. M. Kosaki. M. "Evaluation of high-field dielectric properties of polymers with superposition of AC and DC field" Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, 1995 IEEE 5th International Conference on. 10-13 Jul 1995
- [6] A. R. Blythe, "Electrical Properties of Polymer", CAMBRIDGE University Press, (1980)