

전력기기용 탄성형 에폭시의 흡습에 따른 절연 특성

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

Insulation Properties of Epoxy Resin to Elastomer Contents for Power Electrical Machine according to Moisture Absorption

Seok-Jae Kim, Young-Sik Jeon, Seong-Hwa Kang*, Dae-Hee Park**, Kee-Joe Lim
Chungbuk National University, Chungcheong University*, Wonkwang University**.

Abstract

In this paper, we investigated insulation property of epoxy resin which includes elastomers to improve mechanical property, as varied to additive elastomer contents and to moisture absorption. There are four samples with 5[phr], 10[phr], 15[phr] and 20[phr]. we experimented to acquire insulation property(absorption rate, dissolution rate, apparent rate) and electrical property(perittivity, $\tan\delta$, BDV) during respectively the time such as 6[h], 12[h], 18[h], 24[h] for moisture absorption.

According to the experimental results, it is appeared that when the additive elastomer contents are increasing or when specimens remain more moisture, absorption rate, dissolution rate, permittivity and $\tan\delta$ are slightly increasing but apparent rate and BDV(break-Down Voltage) strength are decreasing in particular, elastomer content [20]phr appeared remarkedly the more increase or decrease than others.

Key Word : elastomer epoxy, moisture absorption, insulation property

1. 서론

최근 급속히 증가하는 전력 수요로 인하여 전력 계통의 초고압화와 고용량화가 이루어짐에 따라 계통의 신뢰성 및 안정성을 확보하기 위해 절연 재료의 개발 및 성능 개선이 요구되고 있는 추세이다. 전력기기의 절연물 재료로서 고분자 재료는 불리직, 화학적으로 우수한 특성을 갖고 있을 뿐만 아니라 절연특성과 유전 특성이 뛰어나 널리 사용되어지고 있다[1]. 그중 에폭시 수지는 우수한 전기적 특성뿐만 아니라 기계적 특성도 우수하여 절연재료로서 전력기기 전 분야에 걸쳐 가장 많이 사용되고 있다. 에폭시 수지의 전기적 특성은 무충전시 비유전율은 3.5-4.0이고 $\tan\delta$ 는 0.002-0.01 정도로 우수한 특성을 보이고 있다.[2].

에폭시 수지는 수지 및 경화제의 종류가 다양해 여러 가지 물성을 제공할 수 있으며, 접착력, 기계

적 물성, 내화학성이 좋고 경화 시 수축 변형이 적으며 경화 반응 시 부산물이 생성되지 않는 장점이 있어 고분자 복합 재료의 매트릭스로서 중요하게 사용되어 왔다. 또한 기존의 급속 재료를 대체할 수 있는 고강도의 구조 재료라는 이점 때문에 선진 복합재료의 매트릭스인 에폭시 수지에 관한 연구가 집중되고 있으며, 이러한 우수한 물성에도 불구하고 고온 습윤 특성, 고밀도의 가교도 때문에 깨지기 쉬운 특성을 지니고 있어 충격에 파쇄되는 단점이 있다[3,4].

따라서 본 연구에서는 경도가 높아 도체와 에폭시의 상이한 열팽창 계수로 인한 계면의 크랙 발생을 억제하기 위해 기존의 에폭시의 기계적 특성을 개선하여 전력용으로 적용하기 위하여 개질제로 일레스토머를 첨가한 에폭시를 선정하여 시편을 제작하고 전력용으로 적용하기 위하여 첨가 비율에 따른 재료의 특성과 전기적인 특성을 알아보

았다. 절연재료의 특징은 흡수율(absorption rate), 함수율(dissolution rate), 겉보기 비중(apparent rate)과 전기적인 특성으로는 유전율, $\tan\delta$, 절연파괴 시험 등을 비교 시험을 하였다.

2 실험

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

No	Elastomer Cont [phr]	Moulding time,hr/temp °C	Cure cond time,hr/temp °C	Hardness ASTM D 2240 Durometer
#1	5	3/120	12/130	92 at 15°C
#2	10	3/120	12/130	90 at 20°C
#3	15	3/120	12/130	88 at 20°C
#4	20	3/120	12/130	85 at 20°C

2.2 흡수율, 함수율 및 겉보기 비중 측정

수분이 침투하지 않는 고분자 재료에도 내부에 전계집중 부분이 존재하게 되며 외부의 수분이 확산, 침투되어 전계 집중 부분에 응집 가능성이 있으므로 흡수율 시험은 전기 절연 재료에 요구되는 성능이다

$$\text{흡수율} = \frac{\text{흡수중량} - \text{건조중량}}{\text{건조중량}} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$\text{함수율} = \frac{\text{초기중량} - \text{최종중량}}{\text{초기중량}} \times 100(\%) \quad (2)$$

$$\text{겉보기비중} = \frac{\text{건조중량}}{\text{시험편체적}} \quad (3)$$

시편의 중량 측정을 위해 전자저울 (chyo halance. corp JL-180)을 사용하였으며 시편의 건조를 위해 향온기(Vacuum drying oven 17-VDO-35)를 사용하였다. 그림 1은 흡수 및 함수 시험에 대한 단계를 나타내고 있다.

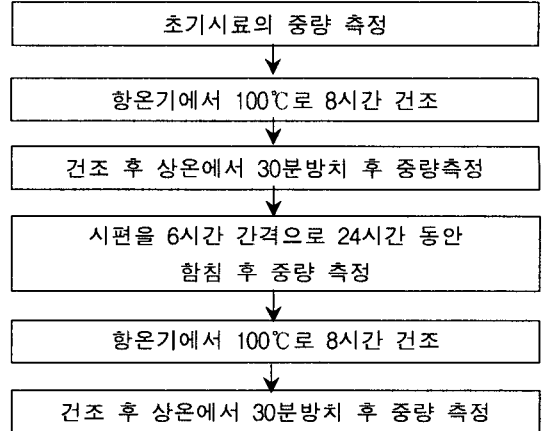


그림 1. 흡수 및 함수 시험단계

2.2 유전율 및 $\tan\delta$ 측정

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

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{A \cdot \epsilon_0} \quad (4)$$

여기서 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ [F/m]은 진공에서의 유전율이며 A는 전극 면적, d는 전극간격, C는 평판 콘덴서의 정전용량이다.

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

$$I = (j\omega C + G)v \quad (5)$$

여기서 유전손각(δ)을 얻을 수 있으며 이의 정점을 유전정점 또는 $\tan\delta$ 라 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 이용하여 정전용량C와 $\tan\delta$ 를 흡수(0,6,12,18,24시간)동안에 측정하였으며 정전용량은 시편의 두께와 전극의 면적을 이용하여 비유전율을 구할 수 있다.

2.4 절연파괴 강도 실험

시험은 절연유 내압 시험기(TDS-55)를 사용하였으며, 시료는 그림2와 같이 표면의 절연파괴를 방지하기 위해 절연유에 잠긴 상태에서 진행하였으며, 절연파괴 강도는 절연이 파괴되는 순간의 전압값을 두께로 나누어 측정하였다.

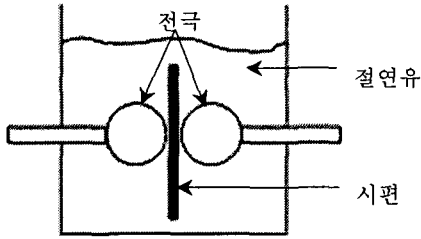


그림 2. 절연파괴시험의 전극배치도

3. 결과 및 고찰

3.1 흡수율 및 함수율

실험 결과는 흡수 증량을 6시간마다 증가하면서 측정하였다. 그림 3에서 흡수율은 시간당 증가하는 비율이 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있고 elastomer 함유량이 증가할 때 흡수율은 증가하였으며 특히 elastomer 20[phr]에서 다른 것에 비해 크게 증가된 것을 알 수 있다. 그림 4에서 함수율은 elastomer 5, 10, 15[phr]는 거의 비슷한 값을 나타냈으며, elastomer 20[phr]은 0.15정도의 큰 값을 나타냈다.

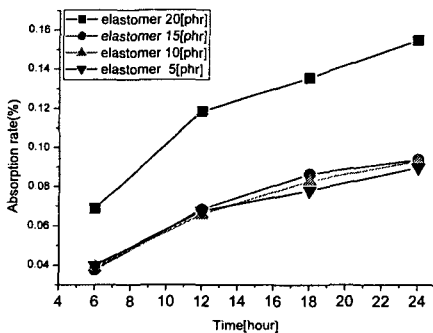


그림 3. 탄성 함유량에 따른 흡수율

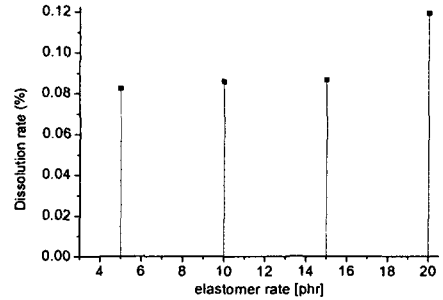


그림 4. 탄성 함유량에 따른 함수율

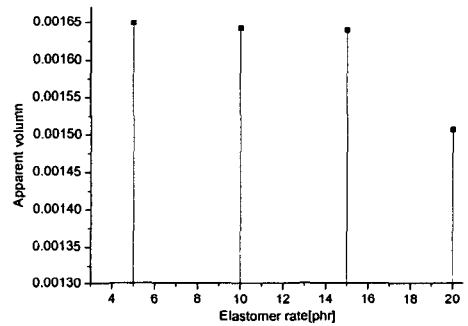


그림 5. 탄성 함유량에 따른 겉보기 비중

그림 5에서 겉보기 비중은 elastomer 5, 10, 15 [phr]에서는 거의 비슷한 값으로 나타났고, elastomer 20[phr]은 0.00013정도로 작은 값을 나타내었다.

3.2 유전율 및 tan δ

유전율은 유전체의 성질을 나타내는 기본상수로서 온도와 주파수에 의해 변한다. 본 실험에서는 상온에서 주파수(1kHz)에서 측정된 값을 그림6에서 볼 수 있다. 여기서 유전율은 elastomer 함유에 따라 증가하며 유전율 0.1~0.5정도의 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 흡수 시간에 따른 증가율은 거의 비슷한 값이 나타나고 있다.

그림 7에서 tanδ은 elastomer 5,10,15[phr]은 거의 비슷한 값을 나타내며 흡수 시간에 따라 미소하게 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 elastomer 20[phr]은 이들보다 0.002~0.004정도 큰 값을 나타내며 증가율 또한 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다.

4.결론

Elastomer를 첨가한 탄성형 에폭시 시편의 흡습 특성에 관한 전기적 특성 및 절연재료 특성을 검토하여 다음의 결론을 얻었다.

1. Elastomer 함유량에 따fms 흡수율과 함수율은 증가하는 경향이 나타났고 겔보기 비중은 감소하는 경향이 나타났다. 특히 elastomer 20[phr]에서 흡수율, 함수율 그리고 겔보기 비중의 증감폭이 커지는 것으로 나타났다. 이것으로 유추해 보면, elastomer의 첨가 정도는 20[phr] 이하가 되어야 할 것으로 사료된다.

2. Elastomer 함유량에 따라 전기적 특성인 유전율과 $\tan \delta$ 는 증가하는 것으로 나타나고 흡수 시간에 따라 약간씩 증가하는 것으로 나왔으며, 절연 파괴 강도도 증가하는 경향으로 나타났다.

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

참고 문헌

- [1] 한국전기연구소. "99고분자 절연재료 기술", 1999년 기술교육자료, 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.
- [6] A. R. Blythe, "Electrical Properties of Polymer", CAMBRIDGE University Press, (1980)

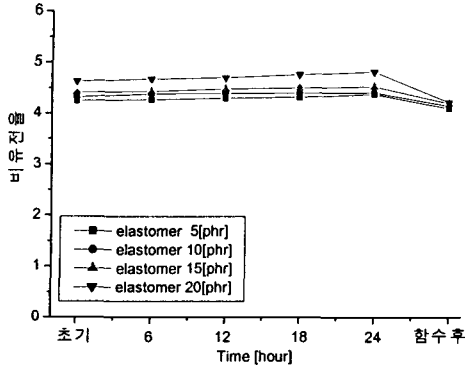


그림 6. 탄성 함유량에 따른 유전율 특성

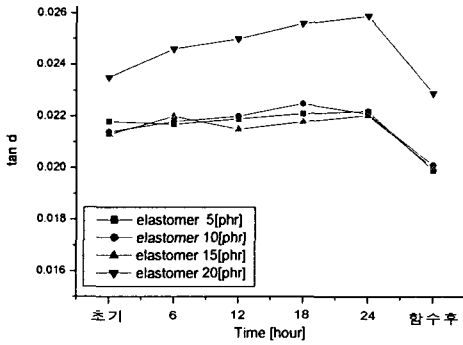


그림 7. 탄성 함유량에 따른 tanδ 특성

3.3 절연파괴 강도

표2.는 초기상태의 시편과 함수 후 시편을 절연 파괴 강도를 비교하기 위해 나타냈다. elastomer 함유량이 증가하면 절연파괴 강도가 감소하고 함수 후의 절연파괴 강도는 증가하는 것을 볼 수 있다. 절연파괴 강도가 증가하는 것은 elastomer 성분이 흡수와 건조로 인하여 적은 양이 물에 용해되었기 때문이다.

표 2. 탄성 함유량에 따른 절연파괴 강도.

elastomer rate [phr]	초기 [kV mm]	함수후 [kV mm]
5	23.5	24.4
10	22.6	24.2
15	22.5	23.9
20	20.5	23.6