

탄성형 에폭시의 전기적 특성평가

박성희, 박재열, 이강원, 강성화, 이관우, 박대희, 임기조
충북대학교, 철도기술연구원, 충청대학, 원광대학교

Electrical Properties of Improved Elastomer Epoxy Resin

S.H. Park, J.Y. Park, K.W. Lee, S.H. Kang, G.W. Lee, D.H. Park and K.J. Lim
Chungbuk National University, KRRI, Chungcheong college, Wonkwang University

Abstract

In this paper we investigated electrical properties for epoxy resin with improved mechanical property, elastomer epoxy. Investigated electrical properties are permittivity, $\tan \delta$ and breakdown voltage strength(BDV). Permittivity and $\tan \delta$ have dependancy on additive quantity in general purpose epoxy resin. In particularly, those have very high values at low frequency and high temperature according to increasing component of elastomer. In case of BDV test, those materials have only a little difference due to increasing elastomer components. But in case of high quantities of elastomer, BDV has a difference. These results are represented that elastomer epoxy resin despite superior mechanical property needs many carefully thought as application electrical insulation.

Key Words : elastomer, epoxy resin, permittivity, $\tan \delta$, BDV

1. 서 론

현재의 전력기기는 고용량화, 대형화되어 가고 있는 추세이며, 절연성능에 대한 안정성도 요구되어 가고 있다. 현재 전력기기의 절연물로서 널리 사용이 되고 있는 고분자 재료인 에폭시는 전기적, 기계적에서 우수한 특성을 가지고 있다[1]. 에폭시 수지는 액상과 고상으로 구분되며, 절연성능은 조성비(에폭시 종류, 경화제, 충전제)와 경화조건(온도, 시간, 공정), 금형의 예열 상태에 의해서 다양한 특성을 얻을 수 있으며, 경화방법 등에도 좌우된다. 대부분 대형의 절연부품은 액상의 에폭시 수지를 이용하고, 배전급 CT, PT는 액상 에폭시로 주형, 합침 성형을 시키는 공정을 이용하여 제작되어 옥내에서 광범위하게 적용되며, 소형 저압용은 고상(분말)을 사용한다. 에폭시 수지는 고압용과 초고압용으로 구분되며, 초고압용 GIS의 Spacer와 같은 대형의 에폭시 부품은 고온, 진공 하에서 장시간 경화하는 진공 주입식과 배전용 소형 절연부품은

가압공정이 이용되고 있으며, 경화 후에도 냉각에 의한 열 수축 및 내부의 보이드의 발생을 억제하기 위한 후공정이 따르고 있다. 뿐만 아니라, 일반적으로 에폭시 수지는 탄성을 지니지 못하는 단점을 지니고 있어서 절연부품으로서 많은 제약이 있어, 이 같은 점을 개선하기 위한 많은 연구도 진행되고 있다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 에폭시에 탄성을 갖게하고 전기적인 특성을 평가하므로써 기존의 에폭시의 특성과 비교 분석하였다. 시험항목으로는 재료의 특성 파악 및 전기적인 성질을 알 수 있는 유전율, 유전손실($\tan\delta$), 절연파괴 시험 등을 하였으며, 유전율 및 유전손실은 주파수 및 온도에 따라 특성을 비교 분석하였다. 또한 탄성제의 함유량에 따른 특성도 비교 분석하였다.

2. 실험

2.1 유전율 및 유전손실의 측정

비유전율 ϵ_r 을 갖는 유전체가 균일한 전계내에 놓여 있을 경우, 유전체내의 전속밀도 D와 전계의

세기 $E[V/m]$ 사이에는 다음 관계가 성립한다.

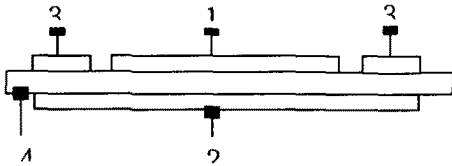
$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E [C/m^2] \quad (1)$$

여기서 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} [F/m]$ 는 진공의 유전율이며 MKS 단위를 사용했기 때문에 도입된 변환인자이다. 비유전율은 재료의 원자구조로 결정되는 것으로 차원은 없으며, 진공에서는 1이 되고 모든 물질에서는 1이상의 값을 갖는다. 평행 평면판 콘덴서의 정전용량을 C , 전극면적을 A , 전극간격을 d 라고 하면

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{A \cdot \epsilon_0}$$

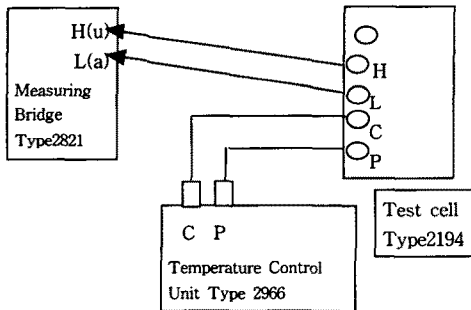
단, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} [F/m]$ (2)

로 주어진다. 그리고 전극간의 공간이 진공인 경우의 정전용량은 $\epsilon_0 A/d$ 가 되며, 따라서 비유전율은 콘덴서의 양전극간에 유전체를 채웠을 때와 이것을 제거했을 때의 정전용량의 비로 정의할 수 있다. 그림 1과 2는 유전율 및 유전손실의 측정에 있어서 시편의 크기 및 전극의 형상에 대해 나타낸 것이다.



- 1. High voltage electrode
- 2. Low voltage electrode
- 3. Guard electrode
- 4. Test object

그림 1. 유전율 및 유전손실 측정용 전극형상



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

그림 2. 유전율 및 유전손실 측정장치

교류전계에서 절연물은 전기에너지가 열에너지로 변환되는 과정에서 나타나는 유전손실을 수반하게 되는데, 절연물에 축적된 전기에너지는 열에너지로 변환되기 때문에 인가된 전계와 전류 사이의 위상각은 90° 이하의 값을 갖는다. $\tan \delta$ 는 절연물의 손실 특성을 규정하는 값으로 교류 송전이 이루어지는 배전용 절연물에 있어서 중요한 값으로 적용된다. 절연물로서 사용하는 경우 선로의 전력손실이 나 절연물의 열화에 영향을 주게 되므로 적절한 유전율과 낮은 유전손실이 요구된다.

유전율 및 유전손실은 $\tan \delta$ meter (Tettex, type 2194)를 사용하였다.

2.2 절연파괴감도시험

전기기구에 사용하는 절연물은 정상상태에서의 통전 능력뿐만 아니라 이상상태에서도 파괴되지 않고 견딜 수 있을 정도로 설계가 되어야 한다. 절연물의 이상으로 인한 절연파괴는 대형 사고 등으로 이어지기 때문에 절연물 각각의 절연내력을 파악하는 것은 절연물의 특성을 파악하는데 있어서 상당히 중요한 시험이라고 할 수 있겠다. 실험시에는 표면방전을 고려하여 절연유에 함침하여 실험을 하였다. 시험장비로는 절연유 내압 시험기 (Model type : TDS 55)를 사용하였다. 실험은 전극간을 절연물에 밀착시켜 실험을 행하되 전압을 서서히 상승시켜 정확한 파괴전압을 얻도록 하였다. 여러 번의 실험을 통하여 그의 평균값을 데이터로 취득하였다. 시험에 사용했던 시료의 크기는 표면방전이 발생하지 않도록 충분히 고려하여 선정을 하였다.

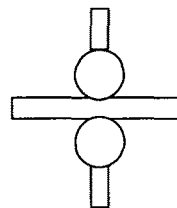


그림 3. 절연파괴시험에 사용된 전극의 형태

2.3 시료

시료는 탄성의 정도에 따라 0, 35, 70, 85의 4가지 경우에 대하여 실험을 하였다. 아래의 표는 시험에 사용되었던 시료의 탄성함유량 및 주형시의 온도, 시간 등에 대한 조건을 나타내고 있는 것이다.

표 1. 시료의 탄성함유량 및 주형시 조건

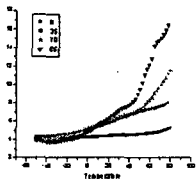
NO	Elastomer Cont, phr	Filler Cont, %	Moulding time,hr/temp, °C	Cure cond. time,hr/temp, °C	Hardness ASTM D 2240 Durometer
#1	0	62	3/120	12/130	94 at 15°C
#2	35	58	3/120	12/130	70 at 15°C
#3	70	60	3/120	12/130	30 at 15°C
#4	85	56	3/120	12/130	10 at 23°C

3. 실험결과

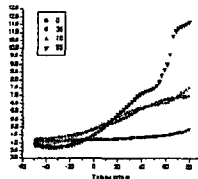
실험결과는 유전율 및 유전손실에 있어서 온도 및 주파수에 대한 의존성에 대해 분석을 하였으며 탄성의 성분 함유량에 따른 특성에 대한 결과도 나타내었다. 또한 절연과피시험은 표면방전이 발생하지 않도록 하여 좀더 정확한 파괴전압을 측정할 수 있도록 하였다.

3.1 유전율

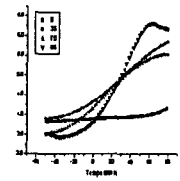
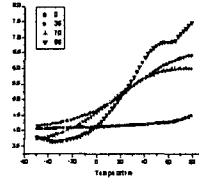
2절의 시험 방법 및 전극의 형태를 취하여 유전율을 측정된 후 주파수 및 온도에 따른 특성을 분석하였다. 온도의 범위는 -50°C에서 80°C의 범위까지 가변을 하여 측정을 하였으며, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 온도가 상승할수록 유전율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 탄성성분이 많이 함유가 될수록 온도상승에 따른 유전율의 상승폭도 상당히 높아지며 그 값 또한 많이 커지는 것을 알 수 있으며, 같은 온도에서 주파수가 증가할수록 유전율이 감소되고 있다. 또한 고주파보다는 저주파에서의 유전율이 더 높게 나타났으며 그에 대한 상승폭도 또한 커지고 있다.



(a) 주파수 : 10Hz



(b) 주파수 : 60Hz



(c) 주파수 : 1kHz (d) 주파수 : 10kHz

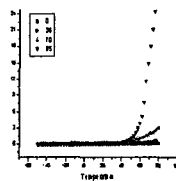
그림 4. 탄성함유량에 따른 유전율의 온도특성

표 2. 탄성함유량에 따른 유전율 특성

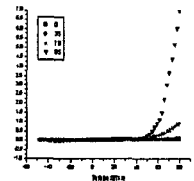
	10Hz			60Hz			1kHz			10kHz		
	-50°C	20°C	50°C	-50°C	20°C	50°C	-50°C	20°C	50°C	-50°C	20°C	50°C
0	4.13	4.37	5.24	4.10	4.26	4.86	4.05	4.15	4.49	3.82	3.91	4.16
35	4.28	5.73	8.04	4.23	5.42	6.98	4.16	5.10	6.40	3.89	4.67	5.83
70	3.92	6.14	11.6	3.85	5.70	7.55	3.75	5.18	5.99	3.51	4.66	5.52
85	3.89	6.30	16.4	3.91	5.83	11.7	3.78	5.08	7.75	3.90	4.52	6.16

3.2 유전손실(tan δ)

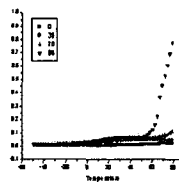
유전손실은 전력손실이나 절연물의 열화와 관련이 있어 중요한 인자이다. 유전손실은 일반적으로 낮은 값이 요구되고 있으며 이 특성값은 절연물의 물성을 결정짓는 중요한 요소이기도 하다.



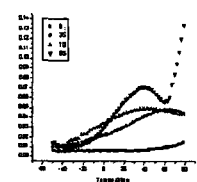
(a) 주파수 : 10Hz



(b) 주파수 : 60Hz



(c) 주파수 : 1kHz



(d) 주파수 : 10kHz

그림 5. 탄성함유량에 따른 tanδ의 온도특성

표 3. 탄성함유량에 따른 유전손실 특성

	10Hz			60Hz			1kHz			10kHz		
	-50℃	20℃	50℃	-50℃	20℃	50℃	-50℃	20℃	50℃	-50℃	20℃	50℃
0	0.004	0.02	0.07	0.003	0.002	0.05	0.004	0.008	0.027	0.006	0.006	0.015
35	0.011	0.05	0.58	0.009	0.041	0.18	0.008	0.033	0.05	0.01	0.03	0.05
70	0.017	0.07	3.04	0.013	0.058	0.94	0.011	0.047	0.114	0.011	0.044	0.044
85	0.019	0.08	27.7	0.018	0.072	6.95	0.016	0.060	0.87	0.019	0.055	0.134

3.3 절연파괴강도

절연파괴강도시험은 절연유내에서 표면방전이 발생하지 않도록 하여 시험을 하였으며 탄성성분의 적당한 함유량까지는 기존의 에폭시와 동일하거나 약간 상회하는 전압을 나타내었다. 하지만 탄성함유량이 80인 경우는 다른 시료에 비하여 다소 높게 나타나고 있다. 표 4의 결과는 각각의 시료 열 개에 대하여 평균한 값이다.

표 4. 탄성성분비에 따른 절연파괴강도

탄성함유량	절연파괴강도(kV/mm)
0	22
35	21.7
70	21.5
85	27

4. 결론

탄성형 에폭시의 특성은 경도가 높은 기존의 에폭시에 탄성성분을 추가하여 기계적 강도를 향상하는데 있다. 물론 탄성형 에폭시가 대체품으로서 응용되기 위해서는 전기적 특성이 기존의 에폭시와 동일하거나 그 이상의 값을 가져야 한다. 본 논문에서는 이런 점을 고려하여 절연물의 전기적 특성평가항목인 유전율, 유전손실, 절연파괴강도시험 등을 통하여 탄성형 에폭시를 평가하였다. 그 결과 탄성성분의 과다한 함유량은 오히려 전기적인 측면에서 좋지 않은 결과를 나타내었으며, 개선의 여지가 있음을 보여주고 있다. 하지만 기계적 특성을 향상시키면서 전기적 특성을 유지할 수 있는 최적의 탄성 성분 함유량을 찾는다면 기존 에폭시의 대체 절연물로서 손색이 없다고 사료된다.

참고문헌

- [1] 한국전기연구소, "99고분자 절연재료 기술", 1999년 기술교육교재, p. 7-17, 1999.
- [2] A. R. Blythe, "Electrical properties of Polymer", CAMBRIDGE University Press, 1980
- [3] Rolli Moser, Robert Kultzow, Thomas Kainmuller "Single Component Epoxy System used for Enhanced Electrical Performance and Application" IEEE Trans on EI, Vol 10, No. 1, p 379 - 385 , 1993
- [4] 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. ICSD'95., Proceedings of the 1995 IEEE 5th International Conference on , 10-13 Jul 1995