

탄성형 에폭시를 사용한 변류기 개발에 관한 연구

이관우, 이경용, 장용우*, 최용성, 박대희

원광대학교 전자통신공학부, EMD*

A Study of CT Development Applied Elastic Epoxy

K. W. Lee, K. Y. Lee, Y. M. Chang, Y. S. Choi, D. H. Park

Abstract - In this paper, we studied a accuracy for CT using elastic epoxy. According to industry development, the quality where also the electric material is various is demanded. Insulation material is widely used because epoxy is superior to electrical and mechanical property. Until now, the possibility where the crack will occur is high because epoxy used to electrical products had high hardness. If thermal expansion is different of two material, contraction of epoxy heavily transformed turns ratio of CT. Elastic epoxy absorbed in expansion and contraction of substance material by temperature. So we could design more exacted CT. We had elastic test of elastic epoxy and made CT using elastic epoxy. At the result, We obtained turns ratio of within 4% superior to existing CT.

2. 시료 및 실험 방법

2.1 시료 및 제품 제작

에폭시 시편과 제품은 비스페놀 A형에 개질제를 첨가한 형태로 제작하였다. 에폭시 시편은 개질제의 비율은 10, 15, 20 phr로 하였다. 개질제와 에폭시를 충분히 반응시킨 상태에서 0.05 torr에서 약 30분 정도 탈포를 하였다. 이 후 예열된 금형에 탈포가 끝난 혼합액을 주입한 후, 기포가 없어질 까지 다시 탈포하였다. 시편은 담벨형으로 제작하였으며, CT는 상대적 비교를 위하여 개질제가 첨가되지 않은 것과 15 phr이 첨가된 CT를 제작하였다. CT의 상용 주파수는 50kV용이며, 정격 전류는 200A용으로 변류비 1/200 비율의 제품을 제작하였다. 그림 1은 탄성형 에폭시 CT의 제품을 보여준다.

1. 서 론

산업이 발달하여 짐에 따라 절연 재료도 점차 그 성능의 다양화가 요구된다. 고분자 재료로서의 에폭시는 기계적 특성과 전기적 특성이 우수하여 전기재료로서 널리 사용되어 지고 있다. 그러나 에폭시는 경도가 매우 높아, 이질 재료와의 접합되는 부분에서는 기계적 선폽창율이 달라, 계면 부분에서 크랙이 발생할 수 있게 된다. 이 크랙은 전기 제품에 치명적인 영향을 미치게 되며, 부분 방전으로 이어져 결국은 절연 파괴를 발생시키게 된다.

만일 에폭시 재료와 접하는 재질이 한 종류 일 경우에는, 에폭시와 세라믹 재료를 혼합하여 선폽창율을 조정할 수 있으나 두가지 이상이 되면, 이 조질이 매우 어렵게 된다. 에폭시에 개질제를 첨가하면, 에폭시는 탄성 특성을 갖게 된다 [1]. 이 탄성 특성은 재질이 서로 다른 계면에서 선폽창율이 서로 달라도, 완충작용을 하게 되어 제품의 내구성을 높이는 역할을 하게 된다 [2, 3]. 그러므로 탄성형 에폭시를 사용하면 서로 다른 세 종류 이상의 재질을 사용하여도 탄성형 에폭시가 에폭시와 금속 사이의 계면에서 발생하는 응력을 쉽게 흡수하여 크랙이 발생하지 않게 된다. 특히 개질제를 첨가한 탄성형 에폭시는 전기적 특성도 고압에 사용하는 에폭시와 동일한 특성을 나타내게 되므로, 적용 범위는 매우 넓다고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 이 관점에서 에폭시와 접하는 부분이 2종류 이상인 CT에 적용하여 보았다. 그 결과, 탄성형 에폭시의 경우는 변류비가 4% 이내로 우수함이 확인되었으나, 일반 에폭시의 경우는 20%가 넘게 뒀을 확인하였다. 그러므로 이질 재료가 많은 고전압용 재료에서 신뢰성을 높이기 위하여 적용이 가능한 것을 확인하였다.

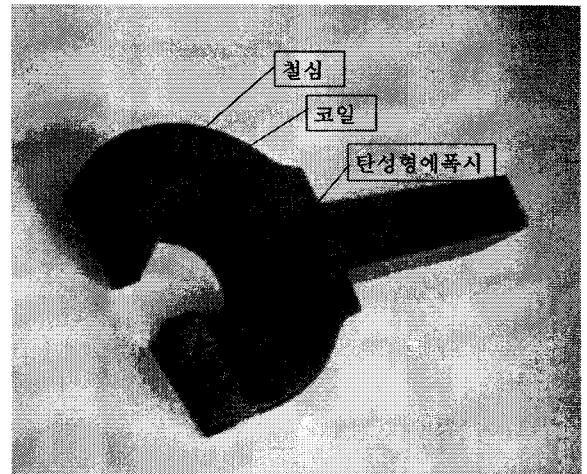


그림 1. 탄성형 에폭시 CT

2.2 실험 방법

2.2.1 흡습 및 탄성 특성

에폭시 시편의 흡습은 진공 드라이 오븐과 water bath 를 사용하였다. 온도는 상온, 50℃, 75℃에서 실시하였으며, 수분 이외의 영향을 적게 하기 위하여 증류수를 사용하였다. 흡습 시간은 25, 94, 169, 187 hr로 하였으며, 흡습율의 측정은 1/10000까지 측정이 가능한 전자저울을 사용하였으며, 탄성 특성은 만능시험기로 하였다. 먼저 만능 시험기로 탄성 특성을 측정 후, 시편의 무게를 측정 하고 드라이 오븐에서 110 ℃에서 24시간 건조 후 시편을 다시 측정하였다.

2.2.2 변류비 측정

변류비 측정은 대전류 시험기를 사용하였다. 대전류 시험기에서 200 A에서 1000 A까지 100A 씩 단계적으로

승압시키면서 후크 메탈을 사용하여 2차 축의 전류를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 탄성 특성

개질제 첨가에 따른 탄성 특성은 그림 2와 같다. 개질제를 첨가하면 개질제 입자가 에폭시 내에 골고루 퍼질 수 있게 되어 있다. 탄성 특성이 나타나는 것은 에폭시 내에 미세 입자가 매트릭스 구조를 나타내게 되어 이것이 외부 충격에 완충 역할을 하게 되어 탄성 특성을 나타내게 된다. 그러므로 개질제가 첨가되면 신율 특성은 증가되고, 인장 특성은 감소된다.

그림 2는 이와 같은 특성을 잘 나타내고 있다. 개질제가 첨가 될수록 기계적 특성은 감소되고 신율 특성은 증가된다. 이 원인은 10여 종류가 있는 것으로 알려져 있는데 그중 크게 세가지가 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 즉 rubber bridge, void에 의한 변형, share band이다. rubber bridge란 개질제의 입자는 내부에서 크랙이 진행될수록, 크랙사이의 개질제 입자는 변형이 일어나고, 변형 후에 개질제 입자가 끊어지게 된다. 이때 개질제 입자가 끊어지는데 에너지가 소모가 되며, 결국 파괴면에 탄성 에너지를 저장하게 되며, 이는 탄성형 에폭시가 파괴시 비가역적으로 분산하게 됨으로 파괴에너지를 낮아지게 된다 [4].

이 현상은 온도가 낮을수록 크게 나타나며, 온도가 상온이상에서는 이 특성이 매우 적은 것으로 나타난다. 다음으로 share band인데, 개질제의 입자와 입자사이가 개질제로 연결되는 형태로 나타난 것이다. 특히 보이드와 연결되어 매트릭스 형태로서 외부 응력을 완화하게 된다. 그러므로 균일하게 개질제가 분포될수록 그 탄성특성이 우수하다고 할 수 있다. 이 특성은 온도가 낮을수록 크게 나타나나 온도가 높아질수록 점차 감소하는 것으로 나타난다. 다음으로 1 μ 전후의 미세 보이드에 의한 변형으로, 이 특성은 보이드가 매트릭스 형태가 되어 보이드가 균일하게 퍼질수록 탄성 특성이 우수하다고 할 수 있다. 고르게 퍼질수록 응력을 분산시키기 때문이다. 이것은 온도가 낮으면 거의 나타나지 않다가 온도가 높아지면 증가되는 것으로 알려져 있다.

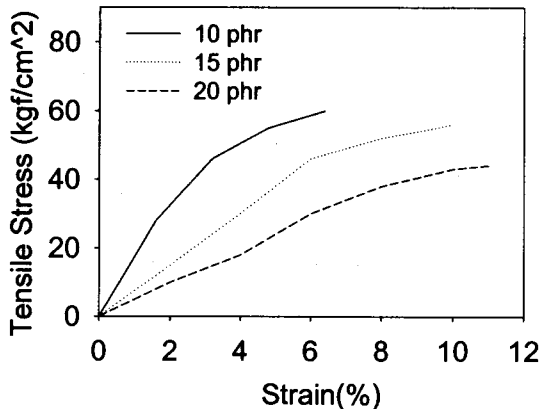


그림 2. 개질제 첨가에 따른 탄성 의존성.

3.2 흡습 특성

다음은 흡습이 탄성특성에 미치는 영향이다. 탄성형 에폭시가 사용되는 것은 GIS 등 지하에 설치되게 되는데, 지하에는 습도가 매우 높은 것으로 알려져 있다. 그러므로 흡습의 영향은 탄성형 에폭시의 특성을 파악하는데 중요한 인자라 할 수 있다 [5]. 흡습이 탄성 특성에

영향을 미치는 것은 온도가 올라갈 경우 발생하는 미세 보이드의 영향으로 판정된다. 즉 중류수에 장시간 있을 경우, 보이드 속으로 수분이 침투하게 된다. 1 μ 전후의 미세 보이드가 탄성특성을 일으키는 주요한 이자인데, 이 변화에 의하여 탄성특성이 변하는 것이다. 그림 3은 이 변화를 나타내고 있다. 즉 시간이 경과될수록 탄성특성은 미세하게 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

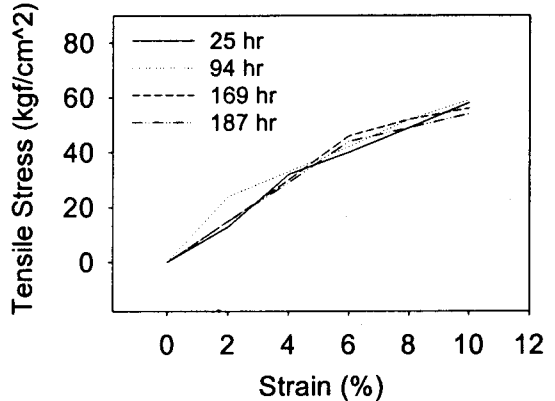


그림 3. 흡습 시간 변화에 따른 탄성특성의 변화.

다음은 온도에 따른 흡습 시간에 따른 흡습량 변화이다. 재료에 포함된 수분 흡습율은 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$M = \frac{W_m - W_d}{W_d} \times 100 \quad \text{----- (1)}$$

여기서

- M : 수분 흡습율 (%)
- W_m : 흡습전의 재료 무게 (g)
- W_d : 흡습후의 재료 무게 (g)

온도가 상승되면 미세 보이드의 양이 증가하게 된다. 이 미세 보이드의 양이 증가됨에 따라 수분은 보이드 내로 침투하게 된다. 특히 온도가 증가되면, 미세 보이드의 양이 늘어나게 되는데, 수분은 미세 보이드에 침투되므로 온도에 따라 수분량은 증가하게 된다.

그림 4는 이와 같이 흡습에 따라 흡습량이 증가되는 특성을 나타내고 있다. 흡습율은 단일 방향이므로 픽스의 법칙에 의하여 시간의 제곱근에 비례하는 것으로 알려져 있다. 그림 4는 시간에 제곱근이 선형적으로 증가되는 것을 나타내고 있다.

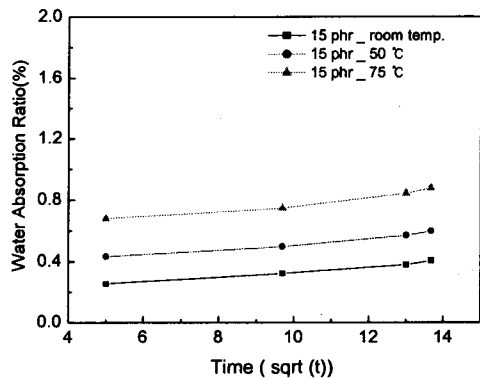


그림 4. 온도 변화에 따른 흡습량 의존성.

다음은 개질제 함량에 따른 흡습량의 변화이다. 그림 5는 개질제 함량에 따른 흡습량의 변화를 나타낸다. 개질제 함량에 따라 흡습량이 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 개질제 성분이 2차적으로 미세 보이드를 더 많이 증가시키기 때문이다. 그림 5에서 개질제의 성분비가 높아짐에 따라 흡습량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

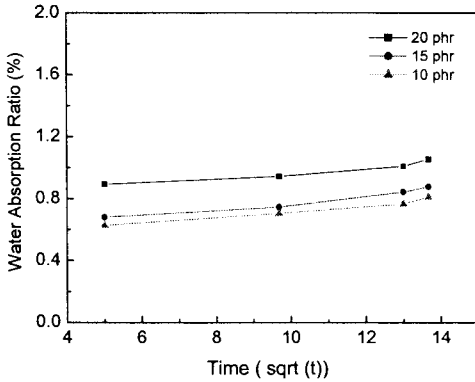


그림 5. 개질제 함량에 따른 흡습량의 변화.

3.3 변류비 특성

위의 실험을 바탕으로 하여 탄성형 에폭시 CT를 제작하였다. CT는 그림 1과 같은 형태로써 첩심에 2차축 코일이 감겨진 형태이다. 첩심과 코일과 에폭시의 열신축율이 다르기 때문에 기존의 방법으로서는 열적 신축 특성을 만족하기 매우 어렵게 된다. 그러나 탄성형 에폭시를 사용하게 되면 선팽창 계수가 달라도, 탄성형 에폭시가 스스로 응력을 흡수하게 되어 변류비의 정확도를 높일 수 있다.

그림 6은 일반 에폭시의 변류비를 나타낸다. 일반 에폭시는 코어 부분과 코일 부분의 선팽창 계수가 다르기 때문에 제품 제작 후에 변류비의 정확도가 매우 떨어짐을 확인할 수 있었다. 특히 전류가 낮은 부분에서 정확도는 더욱 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 전류가 올라갈수록 비례적으로 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 오차율은 20%이상의 정도의 오차가 확인되었다.

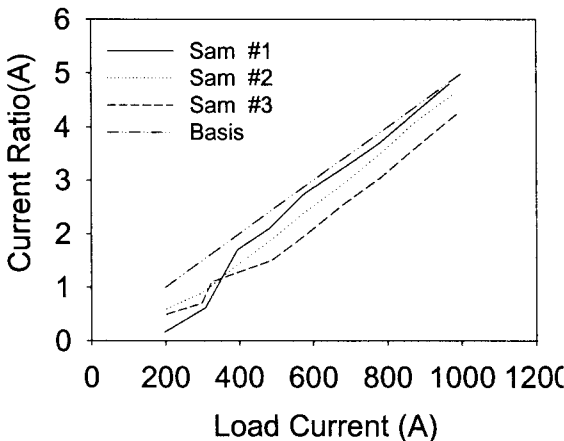


그림 6. 일반에폭시의 변류비 특성.

그림 7은 탄성형 에폭시의 변류비 특성이다. 오차율은 3.5% 이내로 확인되었다. 이는 탄성형 에폭시를 사용할 경우 수축시 응력은 탄성형 에폭시가 흡수하고 있음을 보여준다. 그러므로 일반 CT의 정확도를 높이는 재질로서 탄성형 에폭시를 사용하면 그 사용용도는 매우 증가될 것으로 예상된다.

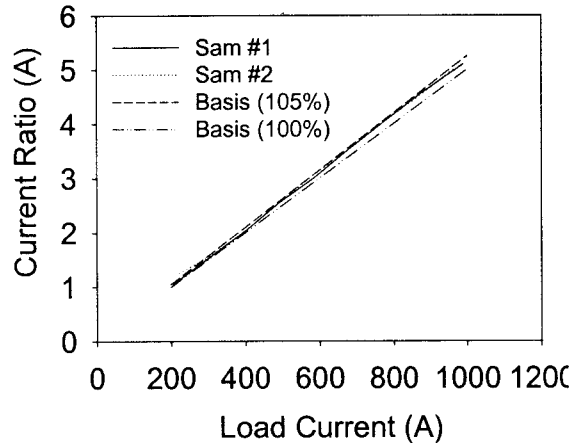


그림 7. 탄성형 에폭시의 변류비 특성.

4. 결 론

탄성형 에폭시의 시편 및 제품 제작하여 실험한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 탄성 특성은 개질제의 첨가에 따라 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 미세 보이드 및 개질제의 응력 분산의 효과이다.
2. 탄성형 에폭시의 흡습량은 시간의 증가에 따라 증가됨을 확인할 수 있었다.
3. 온도가 상승할수록 흡습량은 증가하였는데 이는 미세 보이드의 열적 팽창에 따라 흡습 특성이 증가되었다.
4. 탄성형 에폭시는 그 자체의 탄성 특성으로 인하여 선팽창 계수가 다른 첩심 및 코일이 첨가된 제품인 CT에 사용한 결과 3.5% 이내의 우수한 변류비 특성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 중기지원과제 R-2002-B-253의 지원에 의하여 수행되었음

[참고 문헌]

- [1] J. M. Morancho, J. M. Salla, "Relaxation in partially cured samples of an epoxy resin and of the same resin modified with a carboxyl-terminated rubber", *Polymer*, 40, pp. 2821-2828, 1999.
- [2] J. Du, M. D. Thouless and A. F. Yee. "Development of a process one in rubber-modified epoxy polymers", *International Journal of Fracture* 92, pp. 271-285, 1998.
- [3] D. Ratna, "Phase separation in liquid rubber modified epoxy mixture. Relationship between curing conditions, morphology and ultimate behavior", *Polymer*, 42, pp 4209-4218, 2001.
- [4] Chi-Woo Lee, "Stochastic Reliability Evaluation of Brittle Structures under thermal shocks", *Institute of Advanced Materials*, Vol. No. 9 December, pp 497-511, 1997.
- [5] 김혁, 한길영, 이동기, "수분흡수가 섬유강화 고분자 복합판의 기계적 성질에 미치는 영향", *조선대 생산기술연구지*, Vol. No. 17 No. 1, pp 113-129, 1995.