

## 탄성에폭시의 열적·기계적 특성에 관한 연구

민지영, 이관우, 이경용, 박대희  
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

### Study on the Thermal and Mechanical Properties of Elastic Epoxies

J.Y. Min, K.W. Lee, K.Y. Lee, D.H. Park  
Wonkwang Univ.

#### Abstract

In this paper, it was experimented about thermal and mechanical insulation properties of a elastic epoxy specimen. We made elastic epoxy specimen adding a ratio of 0[phr], 20[phr], 35[phr] and 53[phr] with modifier to existing epoxy. Each specimen was absorbed by 25h, 196h, 361h, 484h with water. In water-absorption state, it was experimented a change of heat flows by temperature of elastic epoxy and changes of thermal expansion coefficient. Also, a hardness-change of each specimen was experimented by change of water-absorption time. In this experiment, DSC (Differential Scanning Calorimetry) and TMA (Thermomechanical Analysis) were used. A temperature range of DSC was changed from  $-0[^\circ\text{C}]$  to  $200[^\circ\text{C}]$ , TMA was changed from  $-0[^\circ\text{C}]$  to  $350[^\circ\text{C}]$ . In addition, we investigated structural analysis of water absorbed specimen using SEM (Scanning electron microscope).

**Key Words** : Elastic Epoxies, Thermal Properties, Dimension

#### 1. 서론

산업화가 진행됨에 따라 점차 다양한 특성이나 성질을 가진 전기 절연 재료가 요구되고 있다. 에폭시는 전기 절연 재료로서 전기적 특성 및 기계적 특성이 우수하여 현재 전기 절연 재료 분야의 중요한 부분을 차지하며, 다양한 전기 설비에 응용되어 사용되고 있다[1]. 기존에 개발된 에폭시 전기 절연 재료는 전기적·기계적 강도가 높으며, 우수한 전기 절연 성능을 가지고 있다[2].

반면, 기존 에폭시 전기 절연 재료는 경도가 강하여 충격에 약한 문제점을 가지고 있으며, 이러한 문제로 인하여 에폭시 전기 절연 재료에 탄성을 갖는 전기 절연 재료로서의 특성이 요구되어 지고 있다.

만일 동일 계열의 전기 절연 재료로서 탄성을

갖는 재료가 개발되면, 보다 많은 수요가 있을 것으로 예상된다.

따라서, 본 논문에서는 탄성을 갖는 에폭시의 전기 절연 재료로서의 응용을 위하여 열적 특성 및 기계적 특성을 연구하였다. 에폭시는 흡수에 따라 그 특성이 변화된다고 알려져[3], 흡수 특성과 병행하여, 에폭시에 탄성 성분이 있는 개질체의 첨가 비율에 따른 열특성을 분석하여 유리전이온도의 비교와, 온도와 흡수시간에 따른 열팽창률 및 경도의 변화를 조사하였고, SEM 분석으로 탄성에폭시의 미세적 구조 변화 특성을 관찰하였다.

#### 2. 실험

##### 2.1 시편제작 및 실험조건

에폭시 시편은 비스페놀A형의 에폭시에 개질제

를 첨가한 형태로서 주제를 제작하였다. 탄성을 위한 개질제의 비율은 0[phr], 20[phr], 35[phr]의 비율로 사용하였다. 탄성예폭시 시료는 개질제와 예폭시를 충분히 반응시킨 상태에서 경화제 및 충전제를 첨가한 후, 0.05[Torr]에서 약 30분간 탈포하였다. 그리고, 1차 경화 및 2차 경화를 실시하였다. 경화를 2차로 나누어서 하는 이유는 1차 경화시 예폭시가 완전히 반응이 일어나지 않기 때문이며, 다시 온도를 변화시켜 경화 반응을 일으킬 경우 잔여 예폭시기가 재반응을 일으키기 때문이다. 그러므로 1,2차 반응시간과 향후 온도에 따른 반응조건도 추후 연구할 필요가 있는 것으로 생각된다. 시료 제작시는 이 조건을 생략하고, 온도조건 및 시간은 1차 경화를 130℃에서 3시간, 2차 경화는 120℃에서 12시간으로 정한 상태에서 시편을 제작하였다. 한편, 예폭시의 DSC (Differential Scanning Calorimeter) 측정에서는 0[℃]~200[℃]에서 TMA (Thermal Metric Analysis) 측정에서는 0[℃]~350[℃] 사이에서 실험하였고, 흡습시간은 25h, 196h, 361h 및 484h로 하여 실험하였다.

## 2.2 실험장치

시료의 열 흐름 (Heat Flow) 특성을 측정하기 위하여 DSC (시차주사열량계)를 사용하였고, 장비는 DSC Q100을 사용하였으며 온도 상승 속도는 10[℃/min]로 하였다. 열팽창 분석을 위해 TMA를 사용하여 흡습시킨 시료들의 팽창률을 측정하였다. 흡습은 수분 이외의 영향을 적게 받기 위하여 증류수를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 DSC실험분석

DSC를 이용하여 탄성 예폭시의 온도에 따른 열 흐름 특성을 실험한 결과, 0[phr] 예폭시에서 그림 1과 같은 유리전이온도 특성을 얻었다. 유리전이 온도는 108[℃]에서 발생하였으며, 이는 고분자 재료의 일반적 특성이다. 일반적으로 예폭시는 분자량이 높을수록 유리전이온도가 높게 나타난다.

또한, 유리전이온도 이후 반응은 완만한 흡열반응을 보여 주었다. 0[phr] 예폭시의 측정 데이터는 탄성형 개질제를 넣은 20[phr] 및 35[phr] 예폭시를 비교하기 위한 기준값으로 중요한 의미를 갖는다.

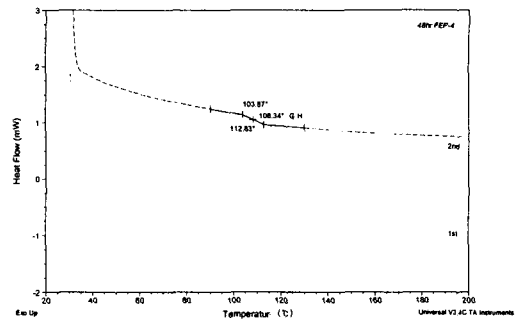


그림 1. 온도에 따른 열흐름의 변화 [0phr]

그림 2는 20[phr] 예폭시의 온도에 따른 열 흐름의 변화를 나타낸다. 0[phr] 예폭시와 동일하게, 전체적으로 흡열반응을 보였으나, 약 35[℃]에서 유리전이온도가 나타나서 탄성형 개질제의 첨가로 인한 유리전이온도가 상당히 저하되는 것을 알 수 있었다. 이 번 실험에서 20[phr]과 35[phr] 예폭시의 유리전이온도는 상온에서 나타나지 않았다.

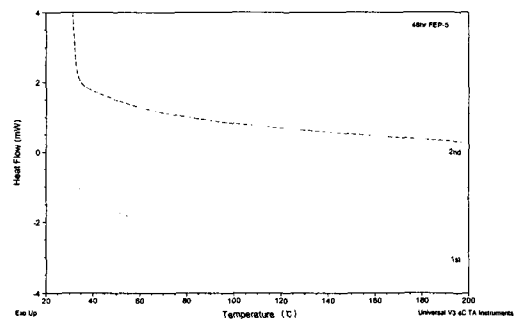


그림 2. 온도에 따른 열 흐름의 변화 [20phr]

### 3.2 TMA실험분석

TMA (열팽창 측정 분석장치)를 사용하여, 각 시료를 25h, 196h, 361h 및 484h 흡습시킨 후, 온도에 따른 열팽창율을 측정하였다. 그림 3은 0[phr] 예폭시에 대하여 TMA 측정하여, 온도에 따른 열팽창의 변화를 시료별로 나타낸 것이다. 361[h] 흡습시킨 시료는 의외로 가장 낮은 열팽창율을 보였고, 484[h] 흡습시킨 시료는 25[h] 및 196[h] 사이 정도의 열팽창율을 나타내어 0[phr] 예폭시의 열팽창은 흡습이 진행되어짐에 따라 감

소한 후, 다시 증가되는 경향을 나타내었다. 일반 에폭시는 유리전이 온도의 시작점에서 선펡창이 감소되면서 변화가 나타나고 있으며, 이는 에폭시의 주 사슬의 운동에 의한 것이다. 이후 안정을 찾게 되면 선펡창은 일정한 비율로 다시 증가된다. 그러나, 361시간 흡습시킨 후의 열팽창율의 변화는 차후에 재 실험을 통해 데이터적 오류인지를 검토할 필요가 있다.

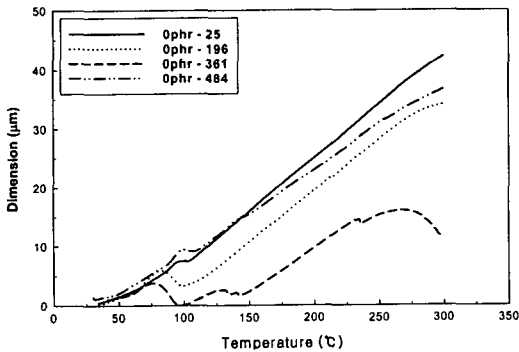


그림 3. 흡습 · 온도의 변화에 따른 열팽창율의 변화 [0phr]

표 1은 유리전이 온도 이전의 선펡창 계수를 비교한 것이다. 선펡창 계수는 196시간을 정점으로 증가후 감소되는 경향을 나타내었다.

표 1. 일반에폭시의 흡습시간에 따른 선펡창 계수

흡습시간	25 hr	196 hr	361 hr	484 hr
선펡창율 $10^{-4} \mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	0.107	0.144	0.126	0.112

그림 4는 20[phr] 개질제가 첨가된 에폭시의 온도에 따른 열팽창율을 나타낸다. 그림 4에서와 같이 484[h] 동안 흡습시킨 시료는 가장 큰  $0.242 \times 10^{-4} [\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}]$ 의 열팽창율을 보이고 있고, 196[h]과 361[h] 흡습시킨 시료는 거의 비슷한 팽창을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 흡습 시간에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 표 2는 탄성형 에폭시의 흡습 시간에 따른 선펡창계수를 나타낸다. 선펡창계수는 흡습 시간에 따라 단순 증가하는 경향을 나타내었다.

그림 5는 35[phr]의 개질제가 첨가된 에폭시의 온도에 따른 열팽창율의 변화를 나타낸 것이다.

20[phr] 에폭시와 마찬가지로 흡습 시간이 증가함에 따라 단순 증가하는 특성을 나타내었다.

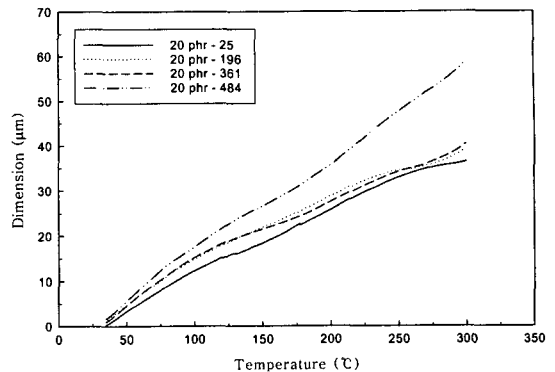


그림 4. 흡습 · 온도 변화에 따른 열팽창율의 변화 [20phr]

표 2. 탄성형에폭시의 흡습시간에 따른 선펡창계수

흡습시간	25 hr	196 hr	361 hr	484 hr
선펡창율 $10^{-4} \mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	0.180	0.206	0.206	0.242

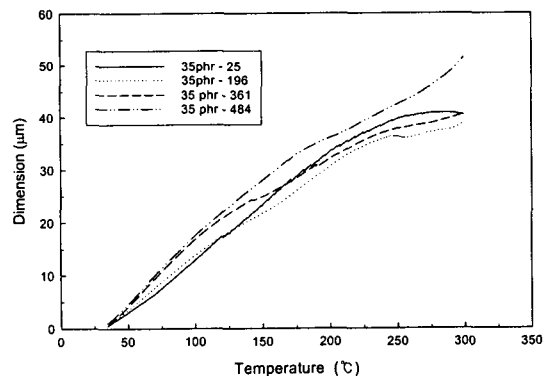


그림 5. 흡습 · 온도 변화에 따른 열팽창율의 변화 [35phr]

그림 6은 0[phr], 20[phr] 및 35[phr] 에폭시 시료에 대하여 196시간 흡습시켰을 때의 열팽창율을 비교하여 열팽창율의 변화를 알아본 것이다. 그림 6에서 0[phr] 에폭시일 때는 낮은 열팽창율을 유지하지만, 개질제를 첨가한 20[phr] 및 35[phr] 에폭시의 열팽창율은 0[phr]과 비교하여 유리전이 온도에서 불균일한 특성을 확인할 수 있었다.

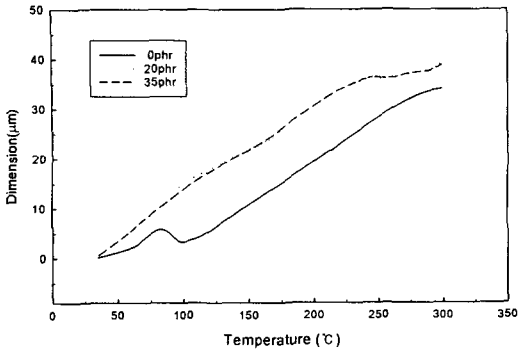


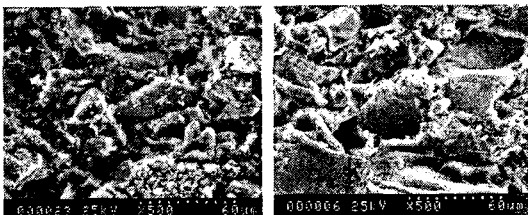
그림 6. 흡습·온도 변화에 따른 시료별 열팽창율의 변화 비교 [196h]

표 3은 개질제 첨가에 따른 선팅창계수의 변화를 나타낸다. 개질제가 첨가된 에폭시는 일반 에폭시와 비교하여 선팅창 계수가 1.5배 정도 증가되었다.

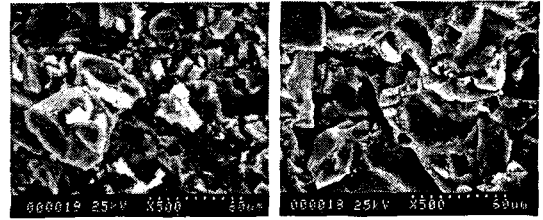
표 3. 개질제첨가에 따른 탄성형 에폭시의 선팅창계수 비교

개질제첨가량	0 phr	20 phr	35 phr
선팅창율 $10^{-4} \mu\text{m}/\text{°C}$	0.149	0.206	0.195

그림 7은 0[phr]과 35[phr] 에폭시의 단면에 대하여, 484h 흡습시킨 후의 SEM을 나타낸다. 흡습 시간에 따라 단면의 미세적 변화는 없었다. 탄성형 에폭시의 경우, 흡습은 미세 보이드로 흡습되는 것으로 알려져 있으나, 미세 보이드에 흡습된 것은 확인되지 않았다. 미세 보이드에 흡습된 수분의 분포를 확인하려면 좀더 많은 연구가 이루어져야 할 것 같다.



흡습전 484hr 흡습후  
(a) 0 phr



흡습전 484hr 흡습후  
(b) 35 phr

그림 7. 484h 흡습후 [0phr] 및 [35phr] 에폭시의 SEM

#### 4. 결론

이상의 탄성형 에폭시의 흡습에 따른 기계적 특성 및 열적 미세적 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 일반 에폭시에서 유리전이온도가 발견되었으나, 탄성형 에폭시에서는 발견되지 않았다.
2. 흡습에 따른 선팅창계수로서 일반 에폭시는 196시간에서 0.144까지 단순 증가한 후 감소되었으나, 탄성형 에폭시는 흡습이 진행됨에 따라 단순 증가하였다.
3. 유리전이 온도 부근에서 일반 에폭시는 선팅창 계수가 대단히 불균일하여지는 것을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 한국전력공사의 중기지원과제 R2002-B-253의 지원에 의하여 수행되었음.

#### 참고 문헌

- [1] 田中政直, “電氣材料”, 機電研究社, pp.53-117, 1992.
- [2] 技術ガイドブック, “モールド製品”, タカオカ化性工業株式會社, pp.5-18, 1985
- [3] 김혁 외, “수분 흡수가 섬유 강화 고분자 복합판의 기계적 성질에 미치는 영향”, 조선대 생산기술연구, Vol.17, No.1, pp.113-129, 1995.