

탄성형 에폭시의 흡습 열화에 따른 열적 및 기계적 특성에 관한 연구

論 文

53C-6-1

A Study on Thermal and Mechanical Properties of Elastic Epoxy with Water Aging

李 琯 雨* · 閔 知 泳** · 韓 基 萬*** · 崔 龍 成*** · 朴 大 熙***

(Kwan-Woo Lee · Ji-Young Min · Key-Man Hahn · Yong-Sung Choi · Dae-Hee Park)

Abstract - In this paper, thermal and mechanical properties of electric epoxy with water aging were discussed. We made elastic epoxy specimen adding a ratio of 0[phr], 20[phr], 35[phr] and 53[phr] with modifier to existing epoxy. We studied mechanical property of elastic resin after absorption in water from 0 to 484 hours. As a result, diffusion factor of elastic epoxy showed $20\sim 21 \times 10^{-4} \text{mm}^2/\text{s}$ and general epoxy showed $9.5 \times 10^{-4} \text{mm}^2/\text{s}$. Elastic property increased linearly according to addition and decreased according to water absorption. Tensile strength was reduced according to addition. It was affected by water absorption of micro-void of elastic epoxy. Hardness inclined to decrease after increasing according to absorbed time. In water-absorption state, it was experimented a change of heat flow by temperature of elastic epoxy and change of thermal expansion coefficient. DSC (Differential Scanning Calorimetry) and TMA (Thermomechanical Analysis) equipments were used to measure Tg. A temperature range of DSC was from $-0[^\circ\text{C}]$ to $200[^\circ\text{C}]$. One of TMA was 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 epoxy, Water absorption, DSC, TMA, Thermal properties

1. 서 론

산업이 발전하여 감에 따라 전력도 점차 증가하여 가고 있다[1]. 그러나, 한정된 자원의 최적의 효과를 얻기 위하여, 전력 설비의 콤팩트화가 진행되고 있다. 이 과정에서 절연 재료의 다양한 특성이 요구된다.

에폭시는 기계적 강도가 우수하고, 전기적 특성이 좋아 전기재료로서 널리 사용되고 있다[2][3]. 그러나, 취성이 약한 것으로 알려져 있다. 그러므로, 취성이 보완된 탄성 특성을 갖는 수지가 개발되면 더 넓은 용도의 절연 재료로 사용이 가능할 것이다.

이러한 관점에서 에폭시의 탄성 특성을 연구하였다. 또한, 한국은 지역이 협소한 가운데 좁은 지역에 대용량을 보내기 위하여 GIS (Gas Insulated Switch gear)가 운영되고 있는데 대부분 지하에서 운영되고 있다[3]. 지하 지역은 습기가 많은 것으로 알려져 있으므로 지하에서 사용을 위한 절연 재료의 흡습 특성은 중요한 항목이라 할 수 있다[4]. 에폭시는 장시간 흡습시킬 경우 기계적 강도가 변하는 것으로 알려져 있다.

따라서, 본 논문에서는 탄성을 갖는 에폭시를 전기재료로서 응용하기 위하여 열적 및 기계적 특성을 연구하였다. 에

폭시는 흡습에 따라 그 특성이 변화된다고 알려져[5-7], 흡습 특성과 병행하여, 에폭시에 탄성 성분이 있는 개질제의 첨가 비율에 따른 열특성을 분석하여 유리전이온도의 비교와, 온도와 흡습시간에 따른 열팽창률 및 경도의 변화를 조사하였고, SEM 분석으로 탄성에폭시의 미세적 구조 변화 특성을 관찰하였다. 또한, 탄성을 갖는 에폭시가 흡습된 상태에서 어떻게 탄성 특성이 변하는지를 연구하였다.

2. 시료 및 실험 방법

2.1 시편 제작

에폭시 시편은 비스페놀 A형의 에폭시에 개질제를 첨가한 형태로써 주제를 제작하였다. 개질제의 비율은 0 [phr], 20 [phr], 35 [phr] 및 53 [phr]의 비율로 하였으며, 개질제와 에폭시를 충분히 반응시킨 상태에서 경화제 및 충전제를 첨가한 후, 0.05 [Torr]에서 약 30분간 탈포하였다. 이후, 예열된 시편 금형에 탈포가 끝난 혼합액을 주입한 후, 기포가 없어질 때까지 다시 진공 탈포하였다.

그리고, 1차 경화 및 2차 경화를 실시하였다. 경화를 2차로 나누어서 하는 이유는 1차 경화할 때, 에폭시기가 완전히 반응이 일어나지 않기 때문이며, 다시 온도를 변화시키어 경화 반응을 일으킬 경우 잔여 에폭시기가 재반응을 일으키는 것으로 알려져 있기 때문이다. 시료 제작시는 동일 조건으로 하기 위하여, 온도 조건 및 시간을 1차 경화는 $130 [^\circ\text{C}]$ 에서 3시간, 2차 경화는 $120 [^\circ\text{C}]$ 에서 12시간으로 정한 상태에서 시편을 제작하였다.

2.2 열적 특성

시료의 열 흐름 (Heat Flow) 특성을 측정하기 위하여

* 正 會 員 : 圓 光 大 學 校 電 子 材 料 工 學 科 博 士 課 程

** 準 會 員 : 圓 光 大 學 校 電 子 材 料 工 學 科 碩 士 課 程

*** 正 會 員 : 圓 光 大 學 校 電 氣 電 子 及 情 報 工 學 科 教 授 · 1 博

接 受 日 字 : 2003 年 12 月 3 日

最 終 完 了 : 2004 年 4 月 14 日

DSC (Differential Scanning Calorimeter, 시차주사열량계)를 사용하였고, 장비는 DSC Q100을 사용하였으며 온도 상승 속도는 10[°C/min]로 하였다. 열팽창 분석을 위해 TMA (Thermal Metric Analysis)를 사용하여 흡습시킨 시료들의 팽창률을 측정하였다. 흡습은 수분 이외의 영향을 적게 받기 위하여 증류수를 사용하였다. 에폭시의 DSC 측정시 0[°C]~200[°C]에서 TMA 측정시에는 0[°C]~350[°C] 사이에서 실험하였고, 흡습시간은 25h, 196h, 361h 및 484h로 하였다.

2.3 흡습 특성

시료는 탄성 특성과 같이 하기 위하여 담벨상으로 만든 다 음 증류수에 넣었다. 온도는 50[°C]로서 흡습시간은 에폭시 재료의 경우 거의 제곱근에 비례하는 것으로 나타났으며, 484시간까지 흡습시키었다. 시편의 무게 증가는 설정된 시간에 따라 비이커에서 꺼낸 후, 표면의 수분을 건조기를 이용하여 제거한 후, 무게를 측정하고 후 영단성 실험을 하였다. 수분의 무게는 천칭을 이용하여 늘어난 양을 측정하였다. 늘어난 비율은 식 (1)에 의하여

$$\text{수분(\%)} = (\text{증가된 무게} - \text{원무게}) / \text{원무게} \times 100 \quad (1)$$

로 계산하였다.

시편은 x축 방향으로만 변한다고 가정할 때, 대부분의 재료에서 온도와 수분 확산 과정은 식 (2)의 Fick's의 방정식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D_x \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) \quad (2)$$

여기서, c는 비열, Dx는 확산도를 나타낸다. 초기 및 경계조건을 $c = c_i, 0 \leq x \leq h, t > 0, c = c_a, x < 0; x > h, t \geq 0$ 로 가정할 경우 해는 식 (3)과 같다.

$$\frac{c - c_i}{c_m - c_i} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{j=0}^{\infty} \sin \frac{(2j+1)\pi x}{h} X \exp \left[- \frac{(2j+1)^2 \pi^2 D_x t}{h^2} \right] \quad (3)$$

식 (3)을 단순화시키면

$$G = \frac{m - m_i}{m_m - m_i} = 1 - \exp \left[- 7.3 \left(\frac{D_x t}{h^2} \right)^{0.75} \right] \quad (4)$$

이 된다. 여기서, m_i 는 습한 환경에 노출되기 전의 시편의 수분 질량이며, m_m 은 시편이 완전히 포화된 환경과 평형을 이룰 때의 수분의 질량이다. 이때 무게 증가율 M은

$$M = \frac{\text{weight of moist material} - \text{weight of dry material}}{\text{weight of dry material}} \times 100 = \frac{W - W_d}{W_d} \times 100$$

이 된다. 여기서, $W = W_d - m$ 이므로 위 식은 식 (5)와 같은 형태로 재구성할 수 있다.

$$M = G (M_m - M_i) + M_i \quad (5)$$

여기서, 흡습확산계수 D는 식 (6)과 같이 얻을 수 있다.

$$D = \pi \left(\frac{h}{4Mm} \right)^2 \left(\frac{M_2 - M_1}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}} \right)^2 \quad (6)$$

2.4 탄성 특성

탄성 특성을 측정하기 위하여 Instrung을 사용하였다. 시편두께는 2[mm]로, 인장 속도는 50[mm/min]으로 하였다.

물체에 외력을 가하면 물체는 변형되는데 외력을 제거하였을 때, 원래의 형상으로 완전히 변형되는 물체를 탄성체라 부른다. 반면, 복원되지 못하는 경우, 이를 소성 변형이라 부른다. 일반적으로 물체에 적은 외력을 가하였을 경우, 변형은 외력에 따라서 증가하며, 외력이 제거되었을 경우, 원형으로 복귀되는 것은 후의 법칙이 성립된다. 그러나, 외력의 크기가 어느 임계값 즉, 항복점 이상일 경우에는 복귀되지 않는다. 복원 특성에 대하여는 추후 연구할 예정이다.

탄성 특성으로부터 강자성체의 B-H 곡선처럼 S-S 이력 곡선을 얻을 수 있다. 이는 전기의 강자성체가 한 방향의 자기 쌍극자모멘트를 가진 구역이 외부의 자기장에 의하여 전환됨으로써 B-H 곡선이 나타나는 것과 같이 강탄성체의 경우에 있어서도 임의의 한 방향으로 배열된 원자를 가진 구역이 외부의 스트레스에 의하여 전환됨으로 S-S 이력 곡선이 나타나게 된다. 그러나, 본 논문에서는 이력곡선을 측정하지는 않고 흡습특성과 흡습된 후의 열화 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 DSC 분석

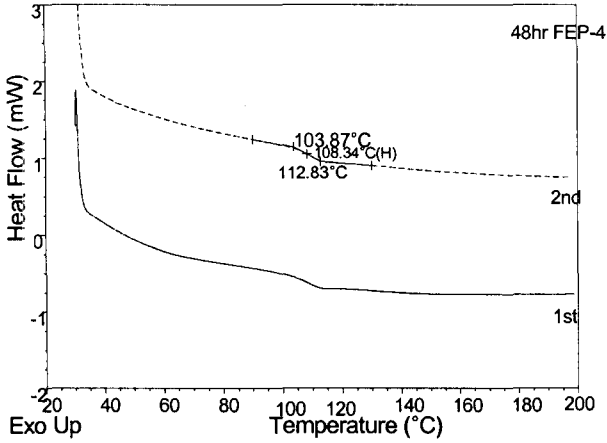
DSC를 이용하여 탄성 에폭시의 온도에 따른 열흐름 특성을 실험한 결과, 0[phr] 에폭시에서 그림 1과 같은 유리전이 온도 특성을 얻었다. 유리전이 온도는 그림 1 (a)와 같이 108[°C]에서 발생하였으며, 이는 고분자 재료의 일반적 특성이다. 1nd는 온도를 가하여준 상태이고 2nd는 냉각시키는 상태이다. 일반적으로 에폭시는 분자량이 높을수록 유리전이 온도가 높게 나타난다. 또한, 유리전이온도 이후 반응은 완만한 흡열반응을 보여 주었다. 0[phr] 에폭시의 측정 데이터는 탄성형 개질제를 넣은 20[phr] 에폭시를 비교하기 위한 기준값으로 중요한 의미를 갖는다.

그림 1 (b)는 20[phr] 에폭시의 온도에 따른 열 흐름의 변화를 나타낸다. 0[phr] 에폭시와 동일하게, 전체적으로 흡열반응을 보였으나, 약 35[°C]에서 유리전이온도가 나타나서 탄성형 개질제의 첨가로 인한 유리전이온도가 상당히 저하되는 것을 알 수 있었다. 이번 실험에서 20[phr] 에폭시의 유리전이온도는 상온에서 나타나지 않았다.

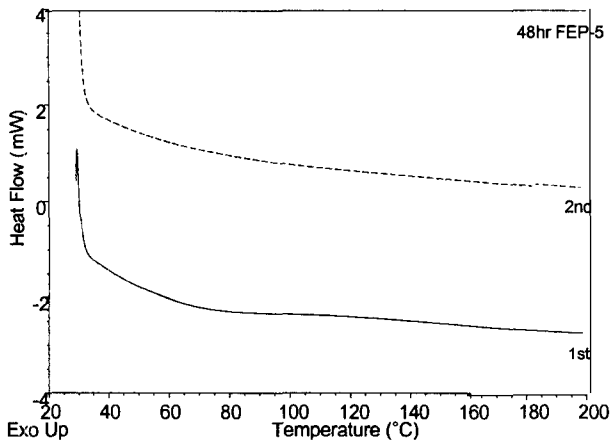
3.2 TMA 분석

TMA (열무게, 열팽창 측정 분석)를 사용하여, 각 시료를 25h, 196h, 361h 및 484h 흡습시킨 후, 온도에 따른 열팽창율을 측정하였다. 그림 2 (a)는 0[phr] 에폭시에 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] 에폭시의 열팽창은 흡습이 진행되어짐에 따라 감소한 후, 다시 증가되는 경향을 나타내었다. 일반 에폭시는 유리전이 온도의 시작점에서 선팽창이 감소되면서 변화가 나타나고 있으며, 이는 에폭시의 주 사슬의 운동에 의한 것이다. 이후 안정을 찾게

되면 선팅창은 일정한 비율로 다시 증가된다. 표 1은 유리전이 온도 이전의 선팅창 계수를 비교한 것이다. 선팅창 계수는 196시간을 정점으로 증가한 후 감소되는 경향을 나타내었다.



(a) 0 [phr]



(b) 20 [phr]

그림 1. 온도에 따른 열흐름의 변화

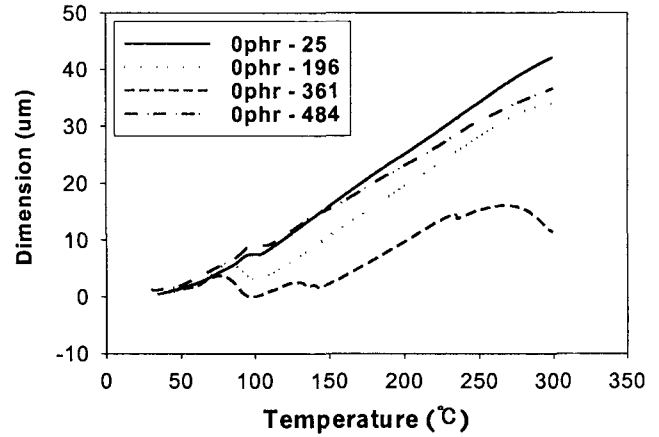
Fig. 1. Change of heat flow by temperature

그림 2 (b)는 20[phr] 개질제가 첨가된 에폭시의 온도에 따른 열팽창율을 나타낸다. 그림 2 (b)에서와 같이 484[h] 동안 흡습시킨 시료는 가장 큰 $0.242 \times 10^{-4} [\mu\text{m}/\text{C}]$ 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 선팅창계수를 나타낸다. 선팅창계수는 흡습 시간에 따라 단순 증가하는 경향을 나타내었다.

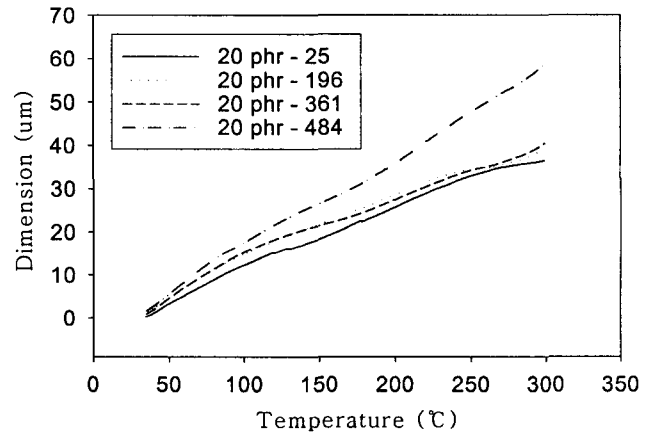
그림 2 (c)는 35[phr]의 개질제가 첨가된 에폭시의 온도에 따른 열팽창율의 변화를 나타낸 것이다. 20[phr] 에폭시와 마찬가지로 흡습 시간이 증가함에 따라 단순 증가하는 특성을 나타내었다.

그림 3은 0[phr], 20[phr] 및 35[phr] 에폭시 시료에 대하여 196시간 흡습시켰을 때의 열팽창율을 비교하여 열팽창률의 변화를 알아본 것이다. 그림 3에서 0[phr] 에폭시일 때는 낮은 열팽창율을 유지하지만, 개질제를 첨가한 20[phr] 및

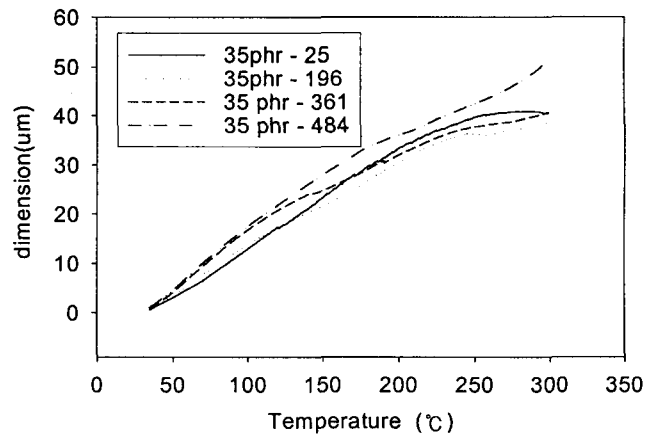
35[phr] 에폭시의 선팅창율은 0[phr]과 비교하여 유리전이 온도가 나타나지 않아 균일한 특성을 확인할 수 있었다. 표 3은 개질제 첨가에 따른 선팅창계수의 변화를 나타낸다. 개질제가 첨가된 에폭시는 일반 에폭시와 비교하여 선팅창 계수가 1.5배 정도 증가되었다.



(a) 0 [phr]



(b) 20 [phr]



(c) 35 [phr]

그림 2. 흡습과 온도에 따른 열팽창 계수의 변화

Fig. 2. Change of thermal expansion coefficient by water absorption and temperature

표 1. 일반 에폭시의 흡습 시간에 따른 선팅창 계수

Table 1. Coefficient of linear expansion by water absorption time of general epoxy

Absorption time	25 hrs	196 hrs	361 hrs	484 hrs
Coefficient of linear expansion ($10^{-4} \mu\text{m}/^\circ\text{C}$)	0.107	0.144	0.126	0.112

표 2. 탄성형 에폭시의 흡습 시간에 따른 선팅창 계수

Table 2. Coefficient of linear expansion by water absorption time of elastic epoxy

Absorption time	25 hrs	196 hrs	361 hrs	484 hrs
Coefficient of linear expansion ($10^{-4} \mu\text{m}/^\circ\text{C}$)	0.180	0.206	0.206	0.242

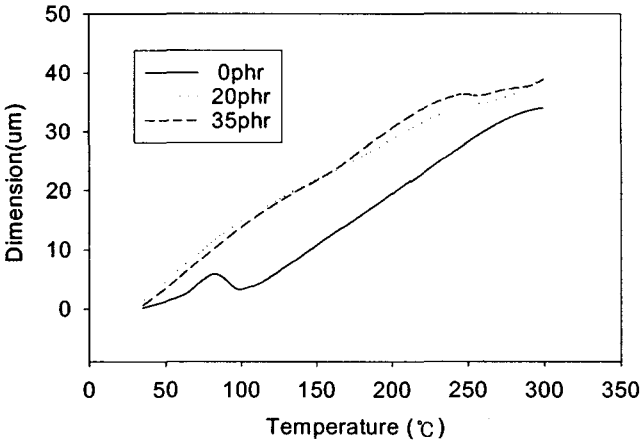


그림 3. 196시간 경과 후 온도와 흡습에 의한 열팽창 계수의 변화

Fig. 3. Change of thermal expansion coefficient according to water absorption and temperature by sample [196h]

표 3. 탄성형 에폭시의 첨가제비율에 의한 선팅창 계수 비교

Table 3. Coefficient of linear expansion of elastic epoxy by modifier addition.

Volume of modifier addition	0 phr	20 phr	35 phr
Coefficient of linear expansion ($10^{-4} \mu\text{m}/^\circ\text{C}$)	0.149	0.206	0.195

3.3 흡습 특성

그림 4는 탄성형 에폭시의 흡습 특성을 나타내고 있다. 흡습 시간은 484시간까지 하였으며, 시간의 \sqrt{t} 에 선형적 증가를 나타내고 있다. 0, 20, 35, 53[phr] 에폭시는 포화특성은 나타나지 않고 흡습율이 계속 증가되고 있다. 개질제가 첨가될수록 흡습율은 높아지며, 흡습확산계수는 식 (6)에 의하여

표 4와 같이 나타내지고 있다. 흡습확산계수가 커지는 것은 개질제의 기포에 의한 원인으로 예상된다.

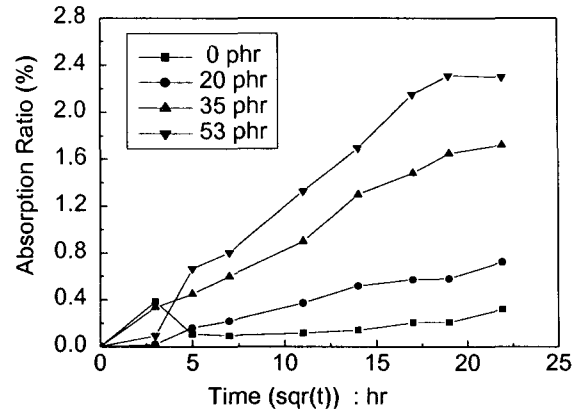


그림 4. 개질제의 첨가에 따른 수분 흡습 특성
Fig. 4. Water absorption property by modifier volume

표 4. 수분 흡습에 의한 확산 계수

Table 4. Diffusion coefficient by water absorption.

Volume of modifier addition	0[phr]	20[phr]	35[phr]	53[phr]
Diffusion coefficient by water absorption ($\text{mm}^2/\text{s} \times 10^{-4}$)	9.54	20.79	21.23	20.31

3.4 탄성 특성

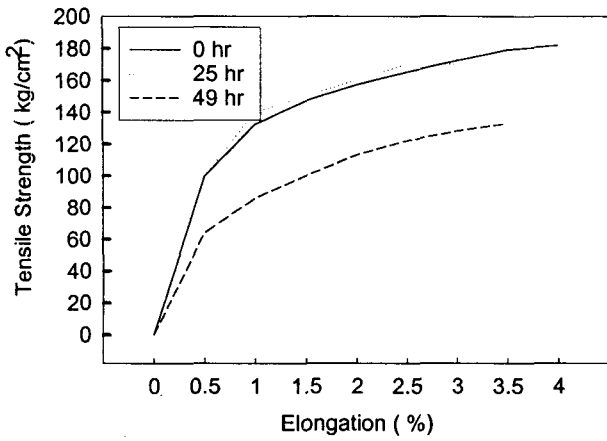
그림 5는 흡습에 따른 탄성 특성을 나타낸다. 그림 5 (a)는 0[phr]에서 신율이 0.5%일 경우, 0 및 25시간 경과후의 인장강도는 100[kgf/cm²] 정도를 나타내고 있으며, 49시간 경과시에는 60[kg/cm²]을 나타내었다. 유리 섬유가 강화된 에폭시의 경우에도 인장 강도 특성이 낮아진 이유는 유리 섬유때문인 것으로 알려져 있다. 그러나, 이 경우에는 유리 섬유가 들어가지 않은 상태에서 인장강도가 낮아 졌는데, 에폭시 고유의 특성인지의 연구가 필요하다.

그림 5 (b)는 20[phr] 에폭시의 흡습후의 탄성특성을 나타낸다. 흡습 시간은 0[phr]에 비하여 121시간이 흐르고 난 후에 그 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 즉, 5일 정도 지난 후, 인장 강도가 포화하였다. 이 경우, 탄성 특성은 시간이 지연된 후에 그 탄성율에 변화가 오는 것이 확인되었다.

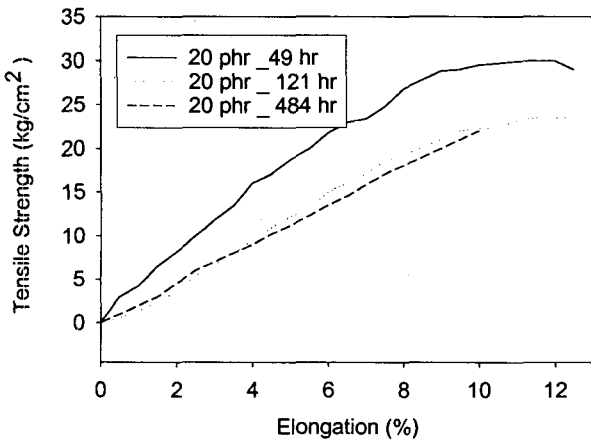
표 5는 흡습 시간에 따른 인장강도의 변화이다. 흡습시간에 따른 인장강도는 점차 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 탄성형 에폭시는 시간이 약 121시간 경과된 후에는 흡습에 의한 인장강도의 변화가 거의 나타나지 않음을 확인할 수 있었다.

탄성형 에폭시가 탄성을 나타내는 원인으로는 크게 세가지로 나뉘는데, 첫 번째는 보이드, 두 번째는 웨어 밴드, 세 번째는 매트릭스 구조이다. 미세 보이드는 보통 1-3[μm] 정도의 미세 형태로서 에폭시의 흡습 및 탄성 특성에 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다. 개질제가 첨가될 수록 미세 보

이드는 더 많이 나타나기 때문에 보이드 자체가 힘을 받을 경우 기포상태에서 힘을 분산시키는 역할을 한다. 흡습 특성 또한 개질제가 첨가될 수록 일반 에폭시에 비하여 미세 보이드가 많기 때문에, 미세 보이드에 의한 흡습이 일정시간 경과 및 진행된 후에 그 영향이 나타난다. 따라서, 그림 5에서 개질제의 첨가가 많을 수록 흡습율이 높은 것은 미세 보이드가 영향을 미치는 것이라 할 수 있다.



(a) 0 [phr]



(b) 20 [phr]

그림 5. 수분 흡습 시간에 따른 탄성 특성

Fig. 5. Elastic characteristics by water absorption time.

그림 6은 흡습시간의 변화에 따른 경도 (쇼아 A)를 시료별로 분석한 결과이다. 초기경도의 정도는 일정한 데이터 값의 흐름을 보여주었고 0[phr], 20[phr] 및 35[phr] 에폭시의 순으로 경도가 크게 나타났다. 개질제가 첨가됨에 따라 이 데이터 값으로 개질제 첨가에 의해서 경도가 작아지는 것을 알 수 있었다.

그림 7은 0[phr]과 35[phr] 에폭시의 단면에 대하여, 484h 흡습시킨 후의 SEM을 나타낸다. 흡습시간에 따라 단면의 미시적 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.

표 5. 흡습시간에 따른 인장강도 특성의 변화

Table 5. Characteristics of tensile strength by time.

hr \ phr	0	20	35	53
0	-	15.53	4.06	3.00
9	-	20.52	3.47	3.05
25	147	17.59	3.52	2.94
49	150	17.87	3.33	2.99
121	100	13.59	2.25	2.34
196	-	12.72	2.47	2.02
289	-	11.33	2.47	2.05
361	-	11.79	2.74	1.89
481	-	10.88	2.67	2.14

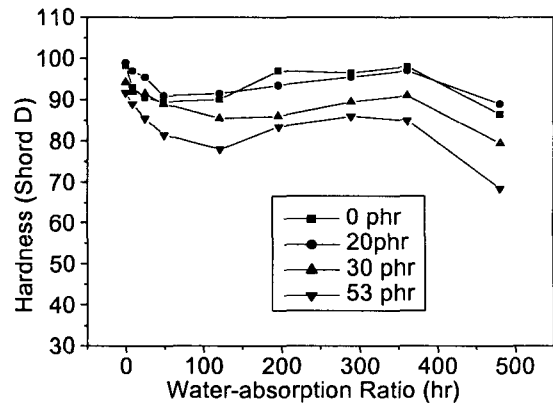
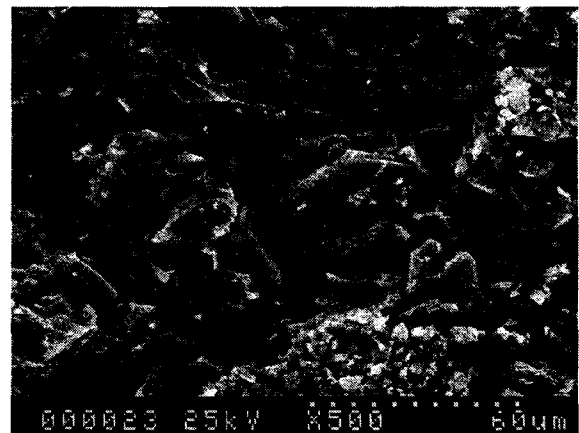
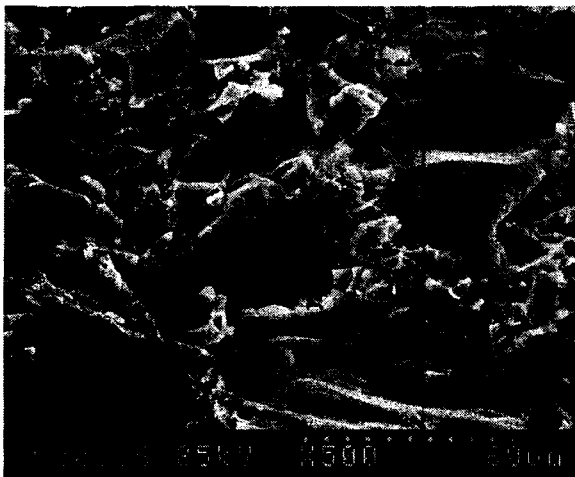


그림 6. 수분흡습 시간의 변화에 따른 경도의 변화율

Fig. 6. Hardness according to change of water absorption time by sample.



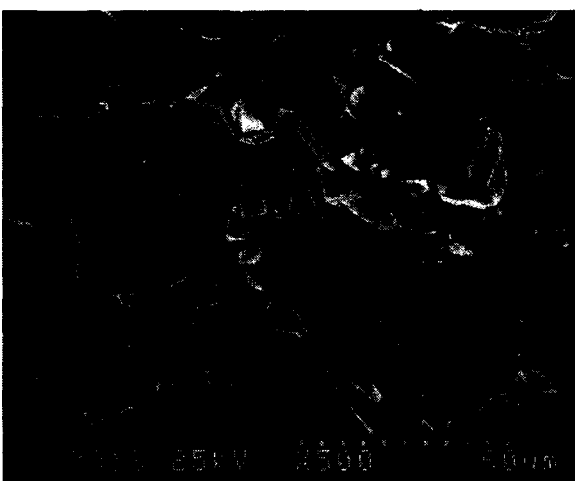
Before water absorption



After 484 hrs water absorption
(a) 0 phr



Before water absorption



After 484 hrs water absorption
(b) 35 phr

그림 7. 수분흡수후의 0 및 35phr에서의 SEM 분석
Fig. 7. SEMs of 0 [phr] and 35 [phr] epoxy after water absorption.

4. 결 론

탄성형 에폭시의 흡수에 따른 기계적 및 열적 미시적 특성을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 일반 에폭시에서 유리전이온도가 발견되었으나, 탄성형 에폭시에서는 발견되지 않았다.
2. 흡수에 따른 선팽창계수로서 일반 에폭시는 196시간에서 0.144까지 단순 증가한 후 감소되었으나, 탄성형 에폭시는 흡수가 진행됨에 따라 단순 증가하였다.
3. 흡습율은 시간에 따라 증가하는 특성을 나타내고 있었으며, 개질제의 함량에 따라 증가하였다.
4. 탄성 특성은 흡습 시간이 지남에 따라 저하되는 것으로 나타났다.
5. 인장 강도는 흡수가 진행될수록 저하된 것으로 나타났다.
6. 쇼아 A방식에 의한 경도는 개질제가 첨가될수록 감소하였다
7. 유리전이 온도 부근에서 일반 에폭시는 선팽창 계수가 대단히 불균일하여지는 것을 확인할 수 있었다.

상기 결과로부터 탄성형 에폭시의 경우는 개질제가 20[phr] 이상이 첨가되면 선팽창 특성 및 탄성 특성은 일반 에폭시보다 우수한 것으로 나타났으며, 일반 에폭시와 마찬가지로 흡습이 되면 그 특성이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 탄성형 에폭시는 유리전이온도가 나타나지 않아 선팽창 계수는 균일하여 금속과 같은 이질재료와 접합시 보다 우수한 접합 특성을 갖게 됨을 확인할 수 있었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] 鶴田 楨二, “電子機能材料”, 高分子學會, 高分子機能 シンポジウム, pp.18-59, 1992.
- [2] 谷口他, “高分子絶縁物の避雷器容器への適用”, 電力中央研究所報告, 研究報告W89024, pp.1-42, 2000.
- [3] 垣内弘 他, “新エポキシ樹脂”, 昭晃堂, pp.15-104, 1985.
- [4] 김혁 외, “수분 흡수가 섬유강화 고분자 복합판이 기계적 성질에 미치는 영향”, 조선대 생산 기술지, Vol.17, No.1, pp.113-129 (1995).
- [5] Iain McEwan et al., “Water absorption in a rubber-modified epoxy resin; carboxy terminator butadiene acrylonitrile cured epoxy resin system”, Polymer, pp.4213-4222 (1999).
- [6] 田中政直, “電氣材料”, 機電研究所, pp.53-117 (1992).
- [7] 技術ガイドブック, “モールド製品”, タカオカ化性工業株式会社, pp.5-18 (1985).

저 자 소 개



이 관 우(李 琯 雨)

1959년 6월 25일생. 1986년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 2002년 원광대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2003년 원광대학교 전자재료공학과 박사과정. 1987년~1994년 LG전선연구소. 1996년~1998년 일진 전선 연구소. 2003~현재 호원대학교 외래 교수
Tel : 063-850-6349, FAX : 063-857-6890
E-mail : ygu0000@naver.com



한 기 만(韓 基 萬)

1944년 3월 16일생 1970년 한양대학교 전기공학 학사. 1989년 동 산업대학원 전기공학과 석사. 1995년 2월 경북대 최고 경영자과정 수료. 1970년~1990년 LG전선 공장장, 1991년~1995년 LG전선 전력 연구소장. 1996년~1999년 LG-VINA 법인장, 1999년~2001년 김천대학 초빙 교수. 2002년~현재 원광대학교 초빙 교수
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890



민 지 영(閔 知 泳)

1975년 1월 30일생. 1999년 호원대학교 전기공학과 졸업. 2002~현재 환경시설관리공사. 2003년~현재 원광대학교 전자재료공학과 석사과정.
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : min5454@wonkwang.ac.kr



박 대 희(朴 大 熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공박). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자및정보공학부 교수.
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : parkdh@wonms.wonkwang.ac.kr



최 용 성(崔 龍 成)

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교 전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공박). 1999년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~2003년 Osaka University Post-Doc.. 2002년~현재 원광대학교 공업기술개발연구소 교수.
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : biochips@wonkwang.ac.kr