

## 엘라스토머 첨가량에 의한 탄성에폭시의 기계 및 전기적 특성

김응권<sup>a</sup>, 윤병돈<sup>a</sup>, 강춘기<sup>a</sup>, 박대희<sup>b</sup>, 송준태<sup>c</sup>, 이관우<sup>†a</sup>  
 세론 E.N.G 연구소<sup>a</sup>, 원광대학교<sup>b</sup>, 성균관대학교<sup>c</sup>

### Electrical and mechanical properties of elastomer epoxy by addition of liquid elastomer

Eung-Kwon Kim<sup>a</sup>, Byeong-Don Yoon<sup>a</sup>, Chun-Gi Kang<sup>a</sup>, Dae-Hee Park<sup>b</sup>, Joon-Tae Song<sup>c</sup>, Kwan-Woo Lee<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Se-ron E.N.G research center, <sup>b</sup>Wonkwang Univ., <sup>c</sup>Sungkyunkwan Uni.

**Abstract :** In this paper, we fabricated elastomer epoxy specimens by added liquid elastomer to improve the mechanical and electrical properties instead of previous high-voltage epoxy materials. As increased additive contents, glass transient temperature (Tg) was continually decreased in DSC (differential scanning calorimetry). Among specimens, 15 phr sample showed the mechanical and electrical properties similar of high-voltage epoxy in modulus, break-down and arc test. From the optimized condition of elastic epoxy, we confirmed a chance of application for high-voltage materials and power electrical instruments.

**Key Words :** Elastic epoxy, Thermo-mechanical analysis, Modulus, Arc test

### 1. 서론

최근 기능성을 부여한 고체 절연 재료는 절연내력 온도와 기계적 응력, 가혹한 화학적, 물리적 조건 및 미래 산업이 필요로 하는 특수한 환경조건에서 구조재 또는 기능재로서의 물성을 가지고 있어야 하고 이들을 활용한 분야는 기계, 자동차, 광, 전기·전자, 건축, 의료, 항공, 환경 산업등 광범위한 산업의 핵심소재로 사용된다. 특히 중전기 분야에서 2005년 교토 의정서에 따른 지구 온난화에 영향을 미치는 유해 가스를 지정하여 정책적으로 규제하고 나서 우리나라의 경우 2010년 이후 단계적으로 검토 및 적용될 친환경적, 기능적 요소를 부여한 초고압 및 특고압용 개폐기들의 관심이 고조되고 있다. 현재 부하전류 및 고장전류에 의한 사고확대 보호 장치로 SF<sub>6</sub> 가스 차단기의 경우 소호매질로 이용하는 SF<sub>6</sub>는 절연능력은 우수하나 친환경 규제에 포함되어 향후 대체 고체 절연재료를 응용한 중전기 개발이 시급하다고 할 수 있다. 따라서 초고압 및 특고압인 경우 새로운 고체 절연재료의 적용 및 기존의 고체 절연재료의 기계적 기능성 개선을 위해 이번 연구에서는 액상 엘라스토머를 첨가하여 시편을 제작하고 기계 및 전기적 특성을 검토하여 최적의 조건을 확보하여 향후 중전기에 응용하고자 한다.

### 2. 실험

비스페놀 A형 에폭시와 상용성을 갖는 액상 엘라스토머를 첨가하여 경화시켰다. 1차 실험에서 엘라스토머는 20 phr 및 35 phr의 넓은 비율로 시편을 각각 제조하였고 2차 시편으로는 좀 더 세분화한 비율로 5~20 phr 시편을 제작하였다. 시편 제조 조건은 충전제와 경화제를 첨가한 후 약 30분간 0.05 Torr에서 탈포를 시키고, 준비된 시편 금형에 탈포가 완료된 에폭시와 엘라스토머의 혼합액을 투입한 후, 기포가 없어질 때까지 다시 진공 탈포 과정을 일정시간 동안 수행한다. 일반적으로 치밀한 경화를 위해

서 고온에서 순간적인 경화를 수행하는 것 보다 저온에서 서서히 경화를 진행시켜야 치밀한 가교가 이루어진다. 또한, 혼합액의 미 반응 물질들의 완전한 경화를 유도하기 위해서 두 번의 경화과정을 거쳤다. 이때 1차 경화는 130℃에서 3시간, 2차 경화는 120℃에서 12시간으로 시편을 제작하였다.

### 3. 결과 및 검토

엘라스토머 비율에 따른 유리전이온도와 열팽창계수를 표 1에 나타내었다. 열팽창계수가 유리전이온도 전에 가장 적게 나타난 것은 35 phr이였으며, 유리전이온도 후에 가장 높게 나타난 것도 35 phr이였다. 그러나 전체적인 열팽창계수의 변화율은 0 phr가 가장 크고, 20 phr가 가장 작은 값을 보였다. 따라서 0 phr의 경우, 재료의 열팽창률이 크기 때문에 외력에 대한 순간적인 충격을 견디지 못하고 파단되는 취성 (brittleness) 특성을 보이게 된다. 이것은 금속과의 계면 특성에서 기계적인 손상을 유발하여 평균수명을 단축시킬 수 있다. 반면, 엘라스토머를 첨가하여 구조적으로 매트릭스를 형성한 20 phr의 경우, 다른 시편에 비해서 내충격성이 상당히 전전이 되었다는 것을 예상할 수 있다. 또한, 실험에서 엘라스토머가 증가할수록 유리전이온도가 감소하여 열팽창률이 다소 증가하는 것을 발견할 수 있었다[1].

표 1. 시편에 따른 열팽창계수와 유리전이온도.

Table 1. Thermal expansion coefficient and Tg values of elastic epoxy specimens.

Elastomer [phr]	Tg [°C]	α [μm/°C]	
		Before Tg	After Tg
0	119	31	104
20	41	30.8	93.6
35	19	28.2	112

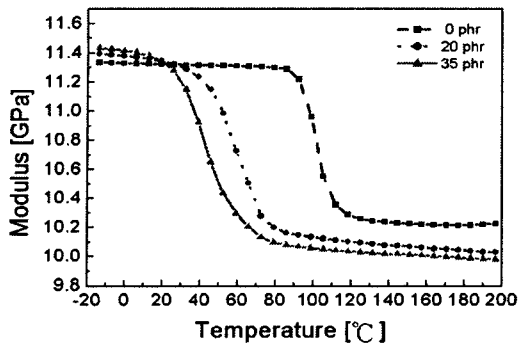


그림 1. 1 Hz에서의 탄성형 에폭시의 모듈러스와 온도 의존성

Fig. 1. Modulus changes dependent on temperature of elastic epoxy specimens at 1 Hz

그림 1은 1 Hz의 주파수에서 -20°C에서 200°C까지 온도를 4 °C/min로 상승시켰을 때 발생하는 각 시편의 탄성계수를 나타낸 것이다. 35 phr가 초기 탄성계수가 가장 높고 0 phr가 가장 낮은 것으로 나타났다. 이것은 에폭시에 첨가한 엘라스토머의 유리전이온도의 영향으로 판단된다. 이러한 이유는 특성상 유리전이온도 이하에서는 탄성도가 우수한 유리상으로 존재하며, 유리전이온도 이상에서는 점성도가 높은 고무상 형태로 존재한다[2]. 따라서 엘라스토머 함량이 가장 많은 35 phr의 경우, 유리전이온도 이하에서는 탄성도가 가장 높은 유리상으로 존재하기 때문에 초기탄성계수가 가장 높은 11.45 GPa로 나타났다. 20 phr의 경우, 35 phr보다 엘라스토머의 함량이 적지만 0 phr인 기존의 에폭시보다 초기 탄성계수가 11.34 GPa로 높게 나타났다. 그러나 초기 탄성계수의 변화는 온도를 상승시킬 때 따라 반전되는 것을 알 수 있다. 이렇게 재료들의 탄성계수가 급격히 감소하는 온도가 상기 설명한 유리전이온도가 발생하는 개시점이다. 전이온도 이상에서는 유리상이 아니라 점성도가 높아 에너지 손실이 높은 고무상으로 존재하기 때문이다[3].

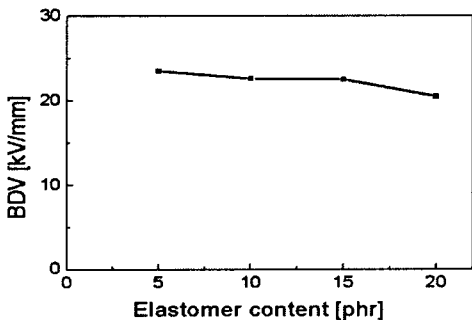


그림 2. 에폭시 절연파괴 강도의 엘라스토머 의존성

Fig. 2. Breakdown Voltage dependent on the elastomer content of elastic epoxy specimens

그림 2는 엘라스토머 함량에 따른 절연파괴 특성을 나타내었다. 엘라스토머의 함량이 증가할수록 절연파괴 전압이 감소로 나타났으며 엘라스토머 함량이 20 phr에서

20 kV/mm를 나타내었다. 이 원인은 엘라스토머 자체로는 절연파괴 강도가 높지 않으나, 에폭시와 엘라스토머의 화학적 결합으로 인하여, 전체적으로 에폭시의 특성이 나타나기 때문이다. 그러나 엘라스토머가 에폭시와 전부 반응한다면, 탄성형 에폭시의 절연파괴 강도는 급격히 저하된다. 이 같은 절연 파괴 강도는 에폭시에 비하여, 약간 낮으며, 탄성을 지님으로서 기계적 강도 저하의 극복이 가능하다.

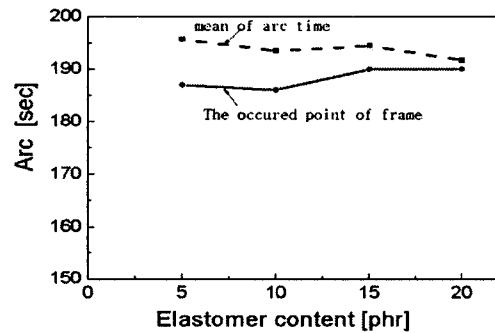


그림 3. 엘라스토머 함량에 따른 내아크 특성

Fig. 3. Arc properties dependent on elastomer content of elastic epoxy specimens

그림 3은 내아크 시험의 4회 평균 아크소멸시간과 불꽃 발생 시점을 나타내었다. 엘라스토머의 함량이 5 phr, 10 phr, 15 phr, 20 phr수지는 오차범위 내에서 190 초로 거의 일정한 값을 나타내었다. 내아크성은 아크에 의하여 전극 간에 도전성 탄화물이 생겨 단락 상태가 되어 아크가 소멸되기까지 걸리는 시간을 평가한다. 위 결과로부터 에폭시들은 대체적으로 비슷한 전기적 특성의 결과를 보이고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 액상 엘라스토머를 이용하여 탄성에폭시의 기계적 전기적 특성을 평가하였다. 유리 전이 온도는 엘라스토머의 증가에 따라 지속적으로 낮아졌으며, 15 phr의 경우 사용 조건이 최적임을 확인할 수 있었다. 절연 파괴 강도는 15 phr은 22.5 kV/mm로서 엘라스토머의 첨가에 따라 기존 에폭시 시편들과 큰 차이를 나타내지 않았고 향후 금속과 절연 몰딩 시 기계 및 전기적 특성을 충족할 부분에 응용성을 확인하였다.

#### 참고 문헌

- [1] S.C. Santucci, S. Corezzi, D. Fioretto, S. Capaccioli, R. Casalini, M. Lucchesi, S. Presto and P.A. Rolla, IEEE Trans., Vol. 8, No. 3, 2001.
- [2] Luiz Meyer, Shesha Jayaram and Edward A. Cherney, IEEE Trans., Vol. 11, No. 4, 2004.
- [3] J.H. Ko, A. Hushur, D.H. Kim, S. Kojima, J.P. Kim, M.S. Jang and Bryan C, Journal of the Korean Physical Society, Vo. 142, No. 94, pp. S1084~S1087, 2003.