

## EVA/Acetylene Black 복합체의 동역학적 점탄성 분석

이경용, 양종석, 최용성, 남종철\*, 성백룡\*, 박동하\*, 박대희  
원광대학교, 대양소재\*

### A Study on the Dynamic Viscoelasticity of EVA/Acetylene Black Composites

Kyoung-Yong Lee, Jong-Seok Yang, Yong-Sung Choi, Jong-Chul Nam\*, Baek-Ryong Sung\*, Dong-Ha Park\*  
and Dae-Hee Park  
Wonkwang University, DaeYang Material Co. LTD\*

**Abstract :** To measure elastic properties of semiconducting materials in power cable, we have investigated modulus of EVA/acetylene black composite showed by changing the content of acetylene black. The specimen was primarily kneaded in material samples of pellet form for 5 minutes on rollers ranging between 70[°C] and 100[°C]. Then this was produced as sheets after pressing for 20 minutes at 180[°C] with a pressure of 200[kg/cm]. The contents of conductive acetylene black were 20, 30 and 40[wt%], respectively. The modulus experiment was measured by DMA 2980. The ranges of measurement temperature were from -50[°C] to 100[°C] and measurement frequency is 1[Hz]. The modulus of specimens was increased according to an increment of acetylene black content. And modulus was rapidly decreased at the glass transition temperature. The tan δ of specimens was decreased according to an increment of acetylene black content.

**Key Words :** Semiconducting Materials, Acetylene Black, Modulus, tan δ

#### 1. 서 론

일반적으로 전력케이블의 반도체층은 전계분포의 균일화를 이루고 산화성이 강한 금속과 고분자의 직접적인 접촉을 방지하는 등 긍정적인 역할을 한다. 그러나 반도체층 재료의 전기적 특성 외에도 중요한 특성은 기계적인 특성이다. 고분자는 자체적으로 고유한 점탄성 특성을 갖는다. 이러한 특성들로 인해 외부의 응력을 흡수 및 완화를 시킬 수 있다 [1-4].

이러한 특성들을 측정하기 위해서는 인장강도 시험기를 사용하지만, 전력케이블 내 반도체층의 사용 환경을 고려해볼 때 열적 분위기에 둘러싸여 있으므로, 온도에 따른 점탄성을 측정하는 것이 바람직하다. 온도에 따른 고분자의 특성을 측정할 때 중요한 현상이 있다. 즉, 고분자의 탄성과 점성이 결정되는 온도인 유리전이온도이다 [1-4].

본 실험에서는 시편들의 온도에 따른 유변학적 거동을 정량적으로 측정하기 위해 동역학적 열분석기 (DMA 2980: Dynamic Mechanical Analysis)를 사용하여 시편들의 점탄성 특성과 유리전이온도를 기점으로 발생하는 시편들의 탄성특성의 변화를 측정하였다.

#### 2. 시료 및 실험 방법

##### 2.1 시편제작

본 논문에서는 EVA(Ethylene Vinyl Acetate, 현대석유화학)를 기본재료로 사용하였는데 이들 재료의 조성비는

표 1과 같다.

표 1. 시편들의 조성

Unit: wt%

종류	EVA	acetylene black	첨가제	가교제	합계
#1	78.2	20	1.3	0.5	100
#2	68.6	30	0.6	0.5	100
#3	58.9	40	0.6	0.5	100

##### 2.2 실험방법

시편들의 저장 탄성률 (storage modulus), 손실 탄성률 (loss modulus) 및 손실 탄젠트 (tan δ)을 측정하기 위해 도입된 장비는 동역학적 열분석기 (DMA 2980: Dynamic Mechanical Analysis)이다. 이 장비는 시편에 진동하는 사인 (sin)형태의 외력을 가했을 때 대응하여 발생하는 물질의 변형을 온도, Frequency의 변화에 따른 시료의 점탄성 및 Damping(에너지손실)을 측정하는 기기이다. 본 실험에서 측정온도 범위는 -50[°C]에서 100[°C]까지이고, 승온속도는 4 [°C/min]이었다. 그리고 시편에 인가된 주파수는 1[Hz]이었다.

#### 3. 결과 및 고찰

##### 3.1 Modulus

그림 1과 2는 -50[°C]에서 80[°C]까지의 온도 범위에서

아세틸렌블랙의 함량과 온도에 따른 저장 탄성률 (storage modulus), 손실 탄성률 (loss modulus) 그리고 에너지 손실 ( $\tan \delta$ )을 나타내고 있다. 본 실험은 고분자 물질이 지니는 특징인 점탄성에 기초를 두고 있다. 점탄성이란 어떤 물질이 점성과 탄성을 동시에 지니고 있다는 의미이며, 외부적인 에너지가 물질에 가해졌을 때 점성에 의해서는 일부의 에너지가 열에너지로 바뀌어 소멸되며 탄성에 의하면 일시적으로 저장되었다가 다시 외부로 유출된다 [5-7].

그림 1에서 알 수 있듯이 저장탄성률과 손실탄성률은 아세틸렌블랙의 함량이 증가함에 따라 증가하고 있다. 온도 상승에 따라 약간의 정체를 보이던 저장 탄성률은 약  $-20[^\circ\text{C}]$  이후부터 급격하게 감소하고 있다. 또한 손실탄성률의 피크도  $-20[^\circ\text{C}]$  부근에서 가장 높게 나타나고 있다. 이 구간은 재료들이 열로써 에너지를 소비하는 구간이다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 유리전이온도 때문이다. 유리전이온도는 재료들이 갖는 고유한 특성 값으로서, 재료들이 유리상에서 고무상으로 전이되는 구간이며 본격적으로 분자운동이 시작되는 곳이기도 하다 [7-10]. 따라서 본 실험에 사용된 시편들의 유리전이온도는 약  $-20[^\circ\text{C}]$ 인 것을 알 수 있다. 이후 시편들은 비슷한 온도에서 저장탄성률의 급격한 감소를 보이다가 약  $40[^\circ\text{C}]$  이후부터 서서히 감소하고 있다. 위 결과로부터 EVA40이 가장 높은 저장 탄성률과 손실탄성률을 나타냈다.

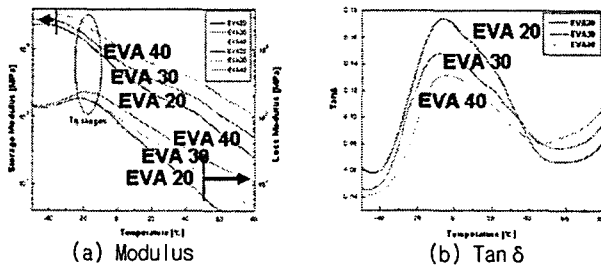


그림 1. 아세틸렌블랙의 함량에 따른 EVA/acetylene black 복합체의 Modulus와  $\tan \delta$

그림 2는 저장탄성률 대 손실탄성률의 비인  $\tan \delta$ 를 아세틸렌블랙의 함량과 온도에 따라 나타내고 있다.  $\tan \delta$ 는 저장 탄성률과 손실탄성률 외에 기계적 댄핑 값을 측정하는데 이용된다. 기계적 댄핑은 재료가 변형되는 동안 열로써 방출되는 에너지에 관련되는 양을 말한다. 점탄성을 갖는 재료에 스트레스 (stress)를 가하면 에너지의 일부는 퍼텐셜 에너지로 저장되고 일부는 열로써 방출되는데, 이와 같이 저장되는 에너지와 방출되는 열에 해당되는 저장 탄성률과 손실탄성률의 값을 통해서  $\tan \delta$  (기계적 댄핑)을 측정하게 된다.

그림 2에서 시편들은 아세틸렌블랙의 함량이 증가함에 따라  $\tan \delta$ 가 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, EVA40이 가장 우수한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 저장 탄성률이 가장 높았던 그림 3의 결과를 입증하

는 것이다. 이로써 온도상승에 따른 시편들의 탄성을 측정에서 EVA40이 손실이 가장 적으므로 열적 및 기계적으로 가장 우수한 특성을 보이고 있다고 하겠다.

#### 4. 결론

저장탄성률과 손실탄성률은 아세틸렌블랙의 함량이 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있었다. 온도 상승에 따라 약간의 정체를 보이던 저장 탄성률은 약  $-30[^\circ\text{C}]$ 에서 급격하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 손실탄성률의 피크도  $-20[^\circ\text{C}]$  부근에서 가장 높게 나타나고 있다. 이 구간은 재료들이 열로써 에너지를 소비하는 구간이었다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 유리전이온도 때문이었다. 위 결과로부터 EVA40이 가장 높은 저장 탄성률과 손실탄성률을 나타냈다.

마지막으로 저장탄성률 대 손실탄성률의 비인  $\tan \delta$ 를 알아보았다. 시편들은 아세틸렌블랙의 함량이 증가함에 따라  $\tan \delta$ 가 감소하는 것을 알 수 있다. 이로써 EVA40이 열적 및 기계적으로 우수한 특성을 보이고 있음을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업(1-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다. 이번 연구를 지원해 주신 분들에게 감사의 말씀을 전해드립니다.

#### [참고 문헌]

- [1] 한재홍, 김상준, 권오형, 강희태, 서광석, "반도전층 내 불순물이 전력케이블의 신뢰도에 미치는 영향", 대한전기학회 논문지, Vol. 46, No. 1, pp. 19-27, 1997.
- [2] 박정호, 윤영섭, 이상렬, 이승기, 이준신, 전자재료 물성 및 소자, 2002, pp. 3-170.
- [3] 김성철 외, 고분자공학1, 희종당, 1994, pp. 2-337.
- [4] Technical Report S-39, "Conductive Carbon Black in Plastics", Cabot Corporation.
- [5] 전용구, 김재경, 함태순, 김진석, "EVA의 Vinyl Acetate 함량변화에 따른 열적-기계적 성질 실험", Polymer(korea), Vol. 15, No. 4, pp. 402-410, 1991.
- [6] A. Marcilla, F. J. Sempere, J. A. Reyes-Labarta, "Differential scanning calorimetry of mixtures of EVA and PE. Kinetic modeling", Polymer, Vol. 45, No. 14, pp. 4977-4985, 2004.
- [7] A. Marcilla, J. A. Reyes-Labarta and F. J. Sempere, "DSC kinetic study of the transitions involved in the thermal treatment of polymers. Methodological considerations", Polymer, Vol. 42, No. 12, pp. 5343-5350, June 2001.