

온도 변화에 따른 EBA/카본블랙 복합체의 점탄성 특성에 관한 연구

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

Study on the viscoelasticity properties of EBA/Carbon Black composites by temperature changes

Jong-Seok Yang, Kyoung-Yong Lee, Yong-Sung Choi, Jong-Chul Nam*, 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 EBA/carbon black composite showed by changing the content of carbon 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 carbon 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 carbon black content. And modulus was rapidly decreased at the glass transition temperature. The $\tan \delta$ of specimens was decreased according to an increment of carbon black content.

Key Words : Semiconducting Materials, Carbon Black, EBA, Modulus, $\tan \delta$

1. 서 론

오늘날 전력사용이 급증하면서 부하가 대용량화 되는 추세에 따라 전기설비의 규모는 점차 대규모화 되고 사회는 점점 고도 정보화 사회로 발전되고 있다. 따라서 설비의 사고 및 정전 사고 등은 높은 전기적 의존을 가진 고도 산업사회에 막대한 경제적 손실 및 장애를 가져다 준다. 한편, 도시환경의 미화 차원에서 지중배전 선로는 점점 증가하고, 특히 전력케이블은 주로 공장 또는 대도시의 도로 주변하에 분포하고 있어서 사고시 복구에 많은 시간이 필요하며 교통 및 산업활동에 막대한 피해를 끼치게 된다[1]. 전력케이블의 도체차폐층과 절연차폐층은 반도체층이라 말하며 올레핀계 고분자에 다량의 전도성 카본블랙, 산화방지제, 활제 및 계면활성제 등의 첨가제를 혼합하여 제조한다. 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[2]. 고분자는 자체적으로 고유한 점탄성 특성을 갖는다. 이러한 특성들로 인해 외부의 응력을 흡수 및 완화를 시킬 수 있다. 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.

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. 시편제작 및 실험방법

본 논문에서는 EBA(Ethylene Buthyl Acrylate, ARKEMA)를 기본재료로 사용하였으며 도전성 카본블랙의 함량을 변수로 하였다. 그 함량은 각각 20, 30, 40[wt%]이었다. 시트는 펠렛형의 시료를 $70 \pm 1[^\circ\text{C}] \sim 100 \pm 1[^\circ\text{C}]$ 의 롤러에서 5분간 1차 혼련을 한 후 180[°C]에서 20분간 200[kg/cm²]의 압력으로 프레싱을 하여 시트상으로 제작하였다. 시편들의 저장탄성률 (storage modulus), 손실탄성률 (loss modulus) 및 손실탄젠트 ($\tan \delta$)을 측정하기 위해 도입된 장비는 동적기계분석기 (DMA 2980: Dynamic Mechanical Analysis)이다.

3. 결과 및 검토

3.1 Modulus

그림 1과 2는 -50[°C]에서 80[°C]까지의 온도 범위에서 카본블랙의 함량과 온도에 따른 저장탄성률 (storage modulus), 손실탄성률 (loss modulus) 그리고 에너지 손실 ($\tan \delta$)을 나타내고 있다. 본 실험은 고분자 물질이 지니는 특징인 점탄성에 기초를 두고 있다. 그림 1은 카본블랙 함량과 온도에 따른 저장 탄성률을 나타내고 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이 저장탄성률과 손실탄성률은 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 증가하고 있다.

온도 상승에 따라 약간의 정체를 보이던 저장 탄성률은

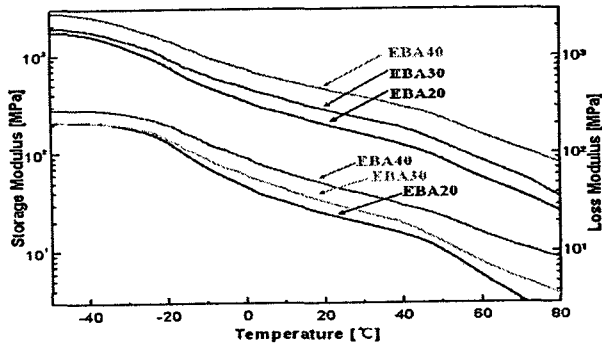


그림 1. 카본블랙의 함량에 따른 EBA/carbon black 복합체의 저장, 손실탄성률

약 -20[°C] 이후부터 급격하게 감소하고 있다. 또한 손실탄성률의 피크도 -20[°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[3~6]. 따라서 본 실험에 사용된 시편들의 유리전이온도는 약 -20[°C]인 것을 알 수 있다. 이후 시편들은 비슷한 온도에서 저장탄성률의 급격한 감소를 보이다가 약 40[°C] 이후부터 서서히 감소하고 있다. 위 결과로부터 EBA40이 가장 높은 저장탄성률과 손실탄성률을 나타냈다.

그림 2는 저장탄성률 대 손실탄성률의 비인 $\tan \delta$ 를 카본블랙의 함량과 온도에 따라 나타내고 있다.

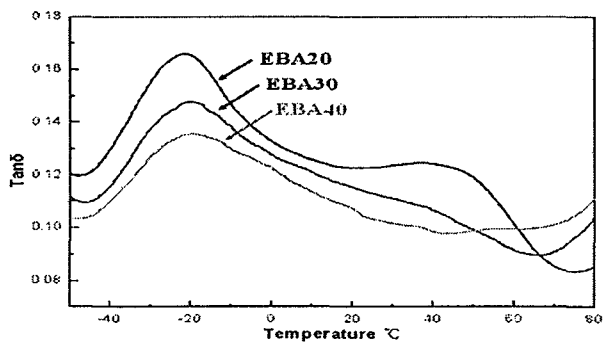


그림 2. 카본블랙의 함량에 따른 EBA/carbon black 복합체의 $\tan \delta$

$\tan \delta$ 는 저장탄성률과 손실탄성률 외에 기계적 댐핑 값을 측정하는데 이용된다. 기계적 댐핑은 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 저장탄성률과 손실탄성률의 값을 통해서 $\tan \delta$ (기계적 댐핑)을 측정하게 된다.

그림 2에서 시편들은 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 $\tan \delta$ 가 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, EBA40이 가장 우

수한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 저장탄성률이 가장 높았던 그림 1의 결과를 입증하는 것이다. 이로써 온도상승에 따른 시편들의 탄성률 측정에서 EBA40이 손실이 가장 적으므로 열적 및 기계적으로 가장 우수한 특성을 보이고 있다고 하겠다.

4. 결론

본 논문에서는 EBA/카본블랙 복합체에서 카본블랙 함량과 온도의 변화에 따른 점탄성 특성을 알아보았다.

1. 저장탄성률과 손실탄성률은 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 증가하였다. 온도 상승에 따라 약간의 정체를 보이던 저장 탄성률은 약 -20[°C]에서 급격하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 손실탄성률의 피크도 -20[°C] 부근에서 가장 높게 나타나고 있다. 이 구간은 재료들이 열로써 에너지를 소비하는 구간이었다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 유리전이온도 때문이었다. 위 결과로부터 EBA40이 가장 높은 저장탄성률과 손실탄성률을 나타냈다.

2. 손실탄젠트 ($\tan \delta$) 측정에서는 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 $\tan \delta$ 가 감소하였다. 이로써 열적 및 기계적으로 EBA40이 우수한 특성을 보였다.

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] C. R. Anil Kumar, S. Deepa, A. K. Mishra and R. Sarathi, "Investigation into the failure of XLPE cables due to electrical treeing: a physico chemical approach", Polymer Testing, Vol. 22, No 3, pp. 313-318, 2003
- [2] 한재홍, 김상준, 권오형, 강희태, 서광석, "반도전층 내 불순물이 전력케이블의 신뢰도에 미치는 영향", 대한전기학회 논문지, Vol. 46, No. 1, pp. 19-27, 1997.
- [3] 전용구, 김재경, 함덕순, 김진석, "EVA의 Vinyl Acetate 함량변화에 따른 열적-기계적 성질 실험", Polymer (korea), Vol. 15, No. 4, pp. 402-410, 1991.
- [4] A. Marcilla, F. J. Sempere and J. A. Reyes-Labarta, "Differential scanning calorimetry of mixtures of EVA and PE. Kinetic modeling", Polymer, Vol. 45, No. 14, pp. 4977-4985, 2004.
- [5] 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.
- [6] 김성철 외, 고분자공학I, 회충당, 1994, pp. 2-337.