

## DMA를 사용한 전력케이블 내 반도체층 재료의 탄성을 및 에너지 손실 측정

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

### Modulus and Fractural Side Measurement of Semiconductive Shield (Materials) in Power Cable Using the DMA

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

**Abstract :** To measure modulus and damping of semiconductive materials in power cable, we have investigated the modulus and damping of semiconductive materials showed by changing the content of carbon black. Then they were produced as sheets after pressing for 20 minutes at 180[°C] with a pressure of 200[kg/cm<sup>2</sup>]. The content of conductive carbon black was the variable, and their contents were 20, 30 and 40[wt%], respectively. The modulus and Tan δ experiments were measured by DMA 2980. Ranges of measurement temperature from -50[°C] to 100[°C] and measurement frequency is 1[Hz]. The modulus of specimens was increased according to a increment of a carbon black content. And modulus was rapidly decreased at the glass transition temperature. The tan δ of specimens was decreased according to a increment of a carbon black content.

**Key Words :** Semiconductive Materials, Carbon Black, Storage Modulus, Tan δ

#### 1. 서 론

지중 송배전용 전력케이블은 절연체 내·외부에 반도체 재료 가 차폐되어 있으며, 이 반도체층은 일반적으로 EVA, EBA, EEA 등의 올레핀계 고분자를 다량의 전도성 카본블랙, 산화방지제, 활제 및 계면활성제 등의 첨가제를 혼합하여 제조한다. 반도체 성 재료의 특성은 첨가하는 카본블랙의 종류와 사용한 고분자의 성질에 따라 크게 좌우된다. 반도체층은 도체로부터 전계완화와 도체와 직접 접촉함으로써 발생하는 문제점들을 완화시키기 위해 사용된다. 따라서 반도체층이 전력케이블 내에서 제 역할을 충분히 발휘하기 위해서는 적정 카본블랙의 함량에 따른 열적 및 기계적 특성이 요구된다. 전력케이블에 사용되는 반도체층을 구성하는 요소중에서 카본블랙은 반도체 재료의 특성인 열적 및 기계적 특성을 좌우하는 가장 중요한 요소이다.

따라서 본 논문에서는 반도체층의 탄성률과 에너지 손실(tan δ)이 재료에 미치는 영향들을 고찰함으로써 전력케이블의 성능향상에 반도체층의 개선이 중요한 역할을 한다는 것을 조사하였다.

#### 2. 시편제작 및 실험방법

##### 2.1 시편제작

본 논문에서는 올레핀계 고분자인 EVA (Ethylene Vinyl Acetate, 현대석유화학), EEA (Ethylene Ethyl Acrylate, Mitsui Dupont), EBA (Ethylene Butyl Acrylate, ARKEMA)를 기본재료로 사용 하였다. 그리고 전도성 카본블랙의 함량을 변수로 하였으며 그 함량은 각각 20, 30, 40[wt%]이었다. 시트는 펠렛형의 시료를 70±1[°C]~100±1[°C]의 롤러에서 5분간 1차 혼련을 한 후 180[°C]에서 20분간 200[kg/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 프

레스를 하여 시트상으로 제작하였다.

##### 2.2 실험장비 및 방법

시편들의 저장 탄성률 (storage modulus)과 에너지 손실 (tan δ)을 측정하기 위해 도입된 장비는 DMA 2980 (Dynamic Mechanical Analysis, 동역학적 열분석기)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, 승온 속도는 4[°C/min]이었다. 그리고 시편에 인가된 주파수는 1[Hz]이었다.

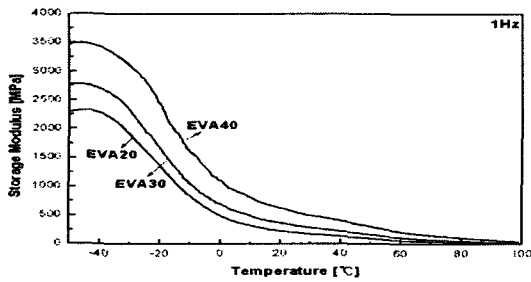
#### 3. 결과 및 검토

그림 1, 2는 -50[°C]에서 100[°C]까지의 온도 범위에서 카본블랙의 함량과 온도에 따른 저장 탄성률 (storage modulus)과 에너지 손실 (tan δ)을 나타낸 것이다.

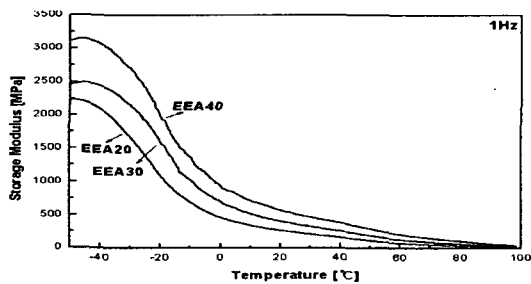
그림 1은 카본블랙 함량과 온도에 따른 저장탄성률을 나타낸 것이다. 저장탄성률은 카본블랙 함량이 증가함에 따라 증가되는 것을 볼 수 있다. 온도 상승에 따라 약간의 정체를 보이던 저장 탄성률은 약 -30[°C] 이후부터 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 구간은 재료들이 열로써 에너지를 소비하는 구간이라고 할 수 있다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 유리전이 온도 때문이다. 유리전이 온도는 재료들이 갖는 고유한 특성 값으로서, 재료들이 유리상에서 고무상으로 전이되는 구간이며 본격적으로 분자운동이 시작되는 곳이기도 하다[1,2]. 대부분의 시편들이 비슷한 온도에서 저장탄성률이 급격하게 감소

를 보이다가 약 40[°C] 이후부터 일정하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 -30[°C]이전에 저장탄성률은 EVA>EEA>EBA 순으로 나타났다. 그러나 -30[°C] 이후부터 저장탄성률은 EEA>EVA>EBA 순으로 역전되는 것을 볼 수 있다. 이것은 EEA가 우수한 열적 특성과 기계적 특성을 만족하고 있음을 나타내는 것이다.

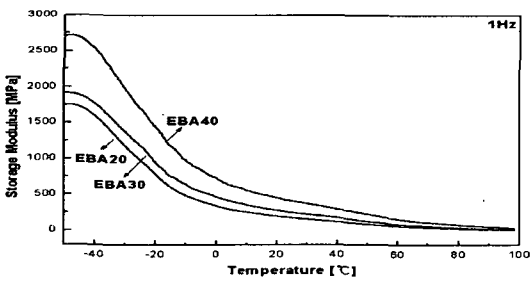
tan δ (기계적 뎀핑)은 재료가 변형되는 동안 열로써 방출되는 에너지에 관련되는 양을 말한다. 점탄성을 갖는 재료에 스트레스 (stress)를 가하면 에너지의 일부는 Potential energy로 저장되고 일부는 열로써 방출되는데, 이와 같이 저장되는 에너지와 방출되는 열에 해당하는 저장 탄성률과 손실탄성률의 값을 통해서 tan δ (기계적 뎀핑)을 측정하게 된다. 그림 2에서 시편들은 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 tan δ가 감소하는



(a) EVA

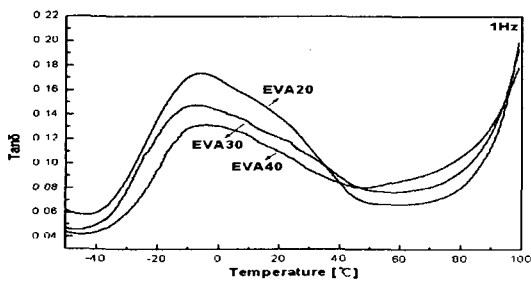


(b) EEA

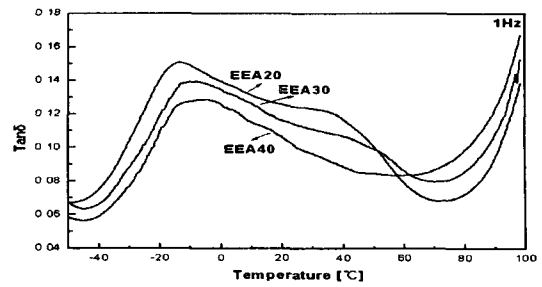


(c) EBA

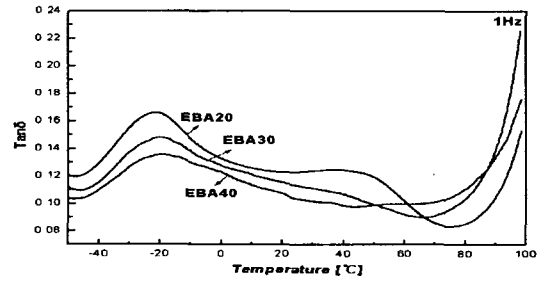
그림1. 카본블랙의 함량에 따른 시편들의 저장 모듈러스



(a) EVA



(b) EEA



(c) EBA

그림2. 카본블랙 함량에 따른 시편들의 tan δ

것을 알 수 있다. 또한 시편들의 피크가 나타나는 곳이 유리전이온도가 발생하는 곳임을 알 수 있다. tan δ의 크기가 EVA>EBA >EEA 순으로 나타나고 있으며 EEA의 tan δ가 가장 낮은 것을 알 수 있다. 이것은 시편들 중에서 EEA가 온도 상승에 따른 에너지 손실률이 가장 적다는 것을 의미한다.

#### 4. 결론

DMA 실험에서 저장탄성률은 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있었다. tan δ 실험에서 시편들은 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 tan δ가 감소하였으며 EEA의 tan δ가 가장 낮은 것을 알 수 있었다. 이것은 시편들 중에서 EEA가 에너지 손실률이 가장 적다는 것을 나타낸다. 위 실험결과로부터 시편들 중 우수한 복합재료는 EEA 수지이었다.

#### 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] 전용구, 김재경, 함덕순, 김진석, "EVA의 Vinyl Acetate 함량변화에 따른 열적-기계적 성질 실험", Polymer(korea), Vol. 15, No. 4, pp. 402-410, 1991.
- [2] 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.