

**EVA/카본블랙 복합체의 유전특성에 관한 연구**

이 경용, 양 종석, 이관우, 최 용성, 박 대희  
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

**A Study on the Dielectric Properties of EVA/Carbon Black Composites**

K. Y. Lee, J. S. Yang, K. W. Lee, Y. S. Choi, and D. H. Park  
Wonkwang University

**Abstract** - To measure electrical properties of semiconducting materials in power cable, we have investigated dielectric properties of EVA 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 that 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 dielectric properties of specimens were measured by dielectric thermal analyzer (CONCEPT 40, NOVOCONTROL). Measuring frequencies were 10, 60, 100, 1000, 10000, 100000, 1000000[Hz] and measuring temperatures were -40, -20, 20, 90[°C]. From above experimental result, permittivity was increased, while tanδ was decreased according to an increment of the content of carbon black.

본 논문에서는 EVA (Ethylene Vinyl Acetate, 현대석유화학)를 기본재료로 사용하였는데 이들 재료의 조성비는 표 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 본 논문에서는 도전성 카본블랙의 함량을 변수로 하였으며 그 함량은 각각 20, 30, 40[wt%]이었다. 시편은 펠렛형의 시료를 70~100[°C]의 롤러에서 5분간 1차혼련을 한 후 180[°C]에서 20분간 200[kg/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 프레스링을 하여 시트상으로 제작하였다.

Table 1. Composition of specimens

종류	Unit: wt%				
	EVA	Carbon 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

**1. 서 론**

최근까지 전력케이블의 전기적 현상 및 특성에 대한 많은 연구는 대부분 절연층에 국한되어 이루어져 왔다. 그러나 본 연구는 전력케이블의 반도체층에 관한 전기적인 분석을 통해 그 중요성을 전달함으로써 반도체층의 역할 및 기능에 대한 새로운 인식을 고취하고자 하였다.

전력케이블의 반도체층은 전계분포의 균일화를 이루고 산화성이 강한 금속과 고분자의 직접적인 접촉을 방지하는 등 긍정적인 역할을 한다. 그러나 기존의 반도체 컵 파운드에는 여러 종류의 불순물이 섞여 있다[1].

이와 같이 불순물들은 반도체층의 전계분포 불균등화, 부분방전, 연면방전, 내부 보이드 및 슈트리 등을 발생시켜, 전력케이블의 전기적 기계적 특성이 불량해져 경년 변화에 대응치 못하고 사고가 자주 발생한다.

따라서 불순물들로 인한 반도체층의 고전계화에 대처하기 위해서는 우선 전기 절연성 및 도전성에 대한 미시적 관점의 물성론적 해석이 필요하다. 이것은 기존 재료의 개선 및 새로운 재료의 개발에 있어 기본 개념을 얻는데 유용한 것으로 재료의 정제, 특히 각종 결합을 제거하는 제조 및 공정의 개발과 장기 수명을 지배하는 각종 절연 열화현상의 해명 시 물성론에 기초한 이론적 해석과 그의 도출이 강하게 요구되는 것이다[1, 2].

따라서 본 논문에서는 반도체층의 주재료인 EVA (Ethylene Vinyl Acetate)와 카본블랙의 변량에 따른 EVA 복합체의 전기적 특성을 파악하고자 복합체에 대한 유전특성을 -50[°C]~100[°C]에서 주파수 범위 10[Hz]~1[Mz]에서 측정하였다.

**2. 시료 및 실험방법**

**2.1 시편 제작**

**2.2 실험 방법**

EVA 복합체의 유전을 및 tanδ는 NOVOCONTROL사의 유전열 분석기 (DETA: dielectric thermal analyzer)를 사용하여 측정하였다.

시편을 원형 전극간에 끼워 시험셀 내에 설치한 후, 셀 내의 온도를 -50[°C]~100[°C]에서 주파수는 스캐닝 방식으로 10[Hz]~1[Mz]에서 측정하였다. 이 측정값 중, 대표 온도인 -40, -20, 20 및 90[°C]에서의 값을 선택하여 플로팅 하였다.

**3. 실험 결과**

그림 1, 2, 3 및 4는 -40, -20, 20 및 90[°C]에서 주파수 변화에 따른 EVA 복합체의 유전율을 나타내고 있다.

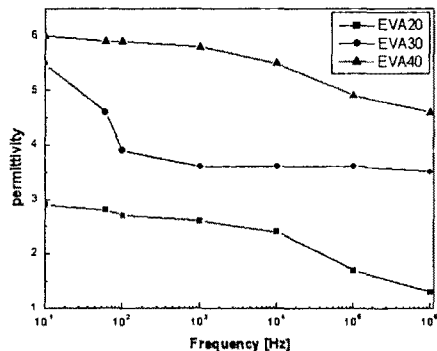


Fig.1 Permittivity of EVA/Carbon Black composites according to variable frequency at -40[°C]

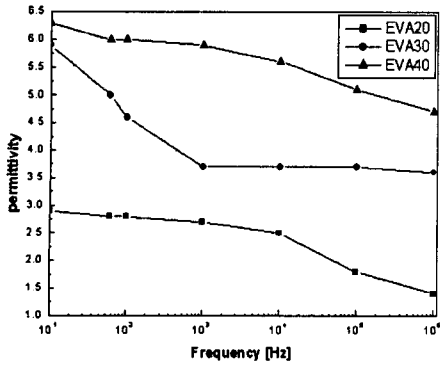


Fig. 2 Permittivity of EVA/Carbon Black composites according to variable frequency at  $-20^{\circ}\text{C}$

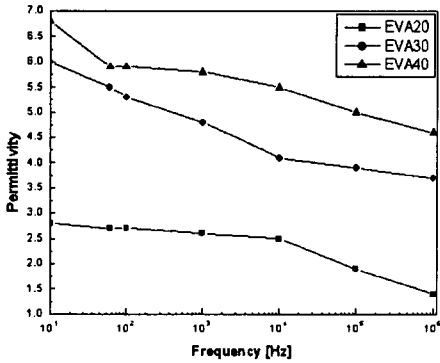


Fig. 3 Permittivity of EVA/Carbon Black composites according to variable frequency at  $20^{\circ}\text{C}$

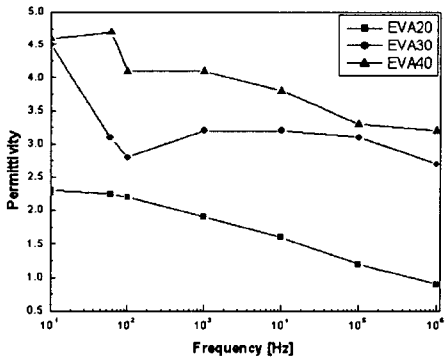


Fig. 4 Permittivity of EVA/Carbon Black composites according to variable frequency at  $90^{\circ}\text{C}$

그림 1, 2, 3 및 4에서 시편들은 고주파수로 갈수록 유전율의 감소가 일어나는 것을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 아래의 설명에서 알 수 있다.

원래 정형파의 다양한 전계는 계속해서 방향과 크기가 변한다. 그리고 그것은 재료내 쌍극자들을 한 방향으로 배열한다. 만약 분자당 순간 유도 쌍극자 모멘트  $p$ 가 순간적으로 전계의 변화를 따를 수 있다면, 그때  $p$ 는

$$p = \alpha_d E \quad (1)$$

그리고 분극도  $\alpha_d$ 는 직류전원에서 그것의 최대값을 갖는다. 그것은 식 (2)와 같다.

$$\alpha_d = \frac{2}{3kT} P_0 \quad (2)$$

전계에서 쌍극자들의 배열을 방해하는 두가지 요소가 있다. 첫째는 열적 동요로, 쌍극자 배향을 흩어지게 한다. 즉, 고체상태에서 격자진동은 쌍극자의 배향을 흩어지게 한다. 둘째, 이웃한 분자를 가지는 분자가 점성인 있는 물질 속에서 그들의 상호작용으로 회전한다. 그것은 특히 고체상태에서 강하고 쌍극자들이 전계의 변화에 즉시 반응하지 못한다는 것을 의미한다[3-6].

만약 전계가 너무 빠르게 변화하면 쌍극자들은 전계를 따라가지 못한다. 결과적으로 배향이 제멋대로 남아있게 된다. 고주파수에서 전계는 쌍극자 모멘트를 유도하지 못하기 때문에  $\alpha_d$ 는 영이다. 저주파수에서는 물론 쌍극자들이 전계를 따라 빠르게 반응하기 때문에  $\alpha_d$ 는 그것의 최대값을 갖는다. 전계의 주파수가 변화할 때,  $\alpha_d$ 가 식 (2)와 같이 그것의 최대값에서 영으로 바뀌는 것은 분명하다. 따라서 그림 1, 2, 3 및 4에서 시편들은 쌍극자 분극에 의해 고주파수로 갈수록 유전율이 서서히 감소함을 알 수 있다. 그리고 시편들은 EVA 복합체의 용융온도  $70^{\circ}\text{C}$  이후부터 유전율이 급격히 감소하는 온도 의존성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 카본블랙의 함량이 증가할 수록 유전율도 함께 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 전계 및 주파수의 변화에 신속히 반응할 수 있는 카본블랙 내 분자들이 증가하였기 때문이라고 사료된다[3-6].

그림 5, 6, 7 및 8은  $-40, -20, 20$  및  $90^{\circ}\text{C}$ 에서 주파수 변화에 따른 EVA 복합체의  $\tan\delta$ 를 나타내고 있다. 시편들은 고주파수로 갈수록  $\tan\delta$ 의 감소가 일어나는 것을 알 수 있다. 또한 카본블랙의 함량이 증가할 수록  $\tan\delta$ 도 함께 감소하는 것을 알 수 있다. 더불어 온도가 상승할 수록 EVA 40은 다른 시편에 비해 유전손실이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 그러나 EVA 20은 온도가 상승함에 따라 멜팅온도  $70^{\circ}\text{C}$  이후 유전손실이 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 주파수의 변화에 쌍극자들의 배열이 느리게 반응하는 것을 알 수 있다[3-6].

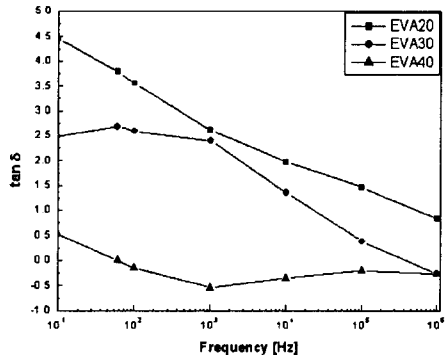


Fig. 5  $\tan\delta$  of EVA/Carbon Black composites according to variable frequency at  $-40^{\circ}\text{C}$

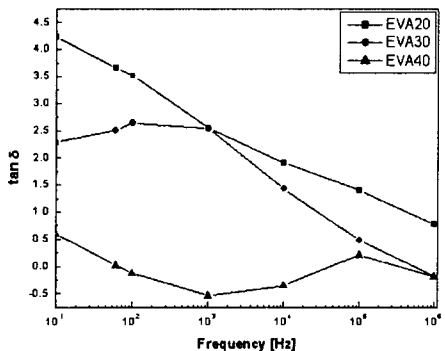


Fig. 6  $\tan\delta$  of EVA/Carbon Black composites according to variable frequency at  $-20^{\circ}\text{C}$

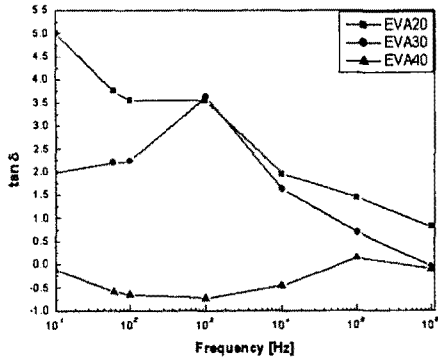


Fig.7 Tan $\delta$  of EVA/Carbon Black composites according to variable frequency at 20[ $^{\circ}$ C]

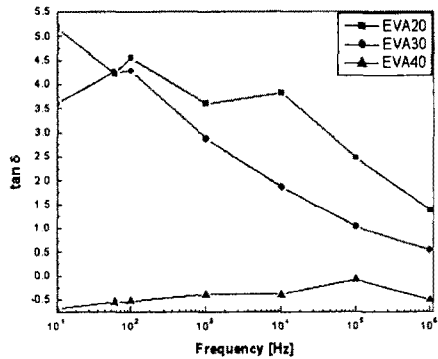


Fig.8 Tan $\delta$  of EVA/Carbon Black composites according to variable frequency at 90[ $^{\circ}$ C]

#### 4. 결 론

지금까지 전력케이블용 반도체층 재료로 사용되는 EVA 복합체의 유전특성을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

EVA 복합체는 쌍극자 분극에 의해 고주파수로 갈수록 유전율이 서서히 감소함을 알 수 있었다. 또한 카본블랙의 함량이 증가할 수록 유전율도 함께 증가하였다. 이것은 전계 및 주파수의 변화에 신속히 반응할 수 있는 카본블랙 내 분자들이 증가하였기 때문이라고 사료되었다. 그리고 시편들은 EVA 복합체의 용융온도 70[ $^{\circ}$ C] 이후부터 유전율이 급격히 감소하는 온도의존성을 나타내었다.

마지막으로 EVA 복합체의 tan $\delta$ 는 고주파수로 갈수록 감소하였다. 또한 카본블랙의 함량이 증가할 수록 tan $\delta$ 도 함께 감소하는 것을 알 수 있었다. 더불어 온도가 상승할 수록 EVA 40은 다른 시편에 비해 유전손실이 거의 발생하지 않았다. 그러나 EVA 20은 온도가 상승함에 따라 뎀핑온도 70[ $^{\circ}$ C] 이후 유전손실이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이것은 주파수의 변화에 쌍극자들의 배열이 느리게 반응하였기 때문이었다.

#### 감사의 글

본 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력 연구센터 육성·지원사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다. 이번 연구를 지원해주신 분들에게 감사의 말씀을 전해보드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 한재홍, 김상준, 권오형, 강희태, 서광석, "반도체층 내 불순물이 전력케이블의 신뢰도에 미치는 영향", 대한전기학회 논문지, Vol. 46, No. 1, pp. 19-27, 1997.
- [2] 전용구, 김제경, 함덕순, 김진석, "EVA의 Vinyl Acetate 함량변화에 따른 열적-기계적 성질 실험", Polymer(korea), Vol. 15, No. 4, pp. 402-410, 1991.
- [3] 박정호, 윤영섭, 이상렬, 이승기, 이준신, 전자재료 물성 및 소자, 2002, pp. 3-170.
- [4] J. Hjerrild, J. Høiboll, M. Henriksen, S. Boggs, "Effect of semicon-dielectric interface on conductivity and electric field distribution", Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, Vol. 9, No. 4, pp. 596-683, Aug. 2002.
- [5] Technical Report S-39, "Conductive Carbon Black in Plastics", Cabot Corporation.
- [6] S. S. Barnji, A. T. Bulinski, R. J. Densley, M. Matsuki, "Degradation mechanism at XLPE/semicon interface subjected to high electrical stress", Electrical Insulation, IEEE Transactions on, Vol. 26, No. 2, pp. 278-284, April 1991.