

# 154[kV]용 반도체층 재료의 체적저항, 비열 및 열전도 측정

論 文

54C-11-1

## Volume Resistivity, Specific Heat and Thermal Conductivity Measurement of Semiconducting Materials for 154[kV]

李慶龍<sup>†</sup> · 梁鍾錫<sup>\*</sup> · 崔龍成<sup>\*\*</sup> · 朴大熙<sup>\*\*\*</sup>

(Kyoung-Yong Lee · Jong-Seok Yang · Yong-Sung Choi · Dae-Hee Park)

**Abstract** - We have investigated volume resistivity and thermal properties showed by changing the content of carbon black which is the component parts of semiconducting shield in underground power transmission cable. Specimens were made of sheet form with the nine of specimens for measurement. Volume resistivity of specimens was measured by volume resistivity meter after 10 minutes in the preheated oven of both  $25 \pm 1 [^{\circ}\text{C}]$  and  $90 \pm 1 [^{\circ}\text{C}]$ . And specific heat ( $C_p$ ) and thermal conductivity were measured by Nano Flash Diffusivity and DSC (Differential Scanning Calorimetry). The measurement temperature ranges of specific heat using the DSC was from  $20 [^{\circ}\text{C}]$  to  $60 [^{\circ}\text{C}]$ , and the heating rate was  $1 [^{\circ}\text{C}/\text{min}]$ . And the measurement temperatures of thermal conductivity using Nano Flash Diffusivity were both  $25 [^{\circ}\text{C}]$  and  $55 [^{\circ}\text{C}]$ . Volume resistivity was high according to an increment of the content of carbon black from these experimental results. And specific heat was decreased, while thermal conductivity was increased by an increment of the content of carbon black. And both specific heat and thermal conductivity were increased by heating rate because volume of materials was expanded according to rise in temperature.

**Key Words** : Semiconductive Materials, Volume Resistivity, Specific Heat, Thermal Conductivity

### 1. 서 론

최근까지 지중 송배전용 전력케이블의 품질개선 및 수명연장을 위한, 전력케이블의 전기적 현상 및 제반 특성에 대한 많은 연구는 대부분 XLPE 절연층에 국한되어 이루어져 왔다. 그러나 본 연구는 전력케이블의 반도체층에 관한 심층적인 분석을 통해 그 중요성을 전달함으로써 반도체층의 역할 및 기능에 대해 알아보려고 하였다.

우선 전력케이블내에 반도체층 재료를 사용하는 궁극적인 목적은 도체와 중성선 사이의 불평등 전계를 완화시키는데 있다. 만약 XLPE내에 보이드나 이물질이 존재하고 전계가 왜곡되면 전계집중 현상을 유발하여 절연파괴를 일으킬 수 있다. 반도체 재료는 이러한 전계왜곡 현상을 완화시켜 평등 전계를 유지할 수 있도록 한다. 사실 이러한 주된 역할을 하는 것은 반도체 재료내의 카본블랙이라고 할 수 있다. 카본블랙은 반도체 재료내에 전도성 네트워크를 형성하여 도체로부터의 고전계를 완만하게 분산시켜 XLPE 절연체를 보호한다. 그러나 전력케이블은 상시 온도  $90 [^{\circ}\text{C}]$ 에서 운용되기 때문에 반도체 재료에 또 다른 효과를 불러올 수 있다.

예를 들어 온도 상승에 따른 반도체 재료들의 저항이 급

속히 변화하는 PTC (positive temperature coefficient)와 NTC (negative temperature coefficient) 현상이나, 아니면 비열과 열전도도의 증가로 인해 XLPE 절연체에 열적인 손상을 줄 수 있는 여지는 충분히 있다.

위의 사례 중, 전력케이블내 환경에서 반도체 재료가 높은 열전도도를 갖는다면 절연체로 급속한 열의 전도와 대류가 이루어질 것이고 또다시 외부로 열을 방출시켜 절연체를 열적 스트레스로부터 보호 할 수 있을 것이다. 이것은 XLPE 절연체의 열전도도가 높아야만 가능한 일이라 생각한다. 그러나  $0.6 [W/mK]$  이하의 낮은 열전도도를 갖는 XLPE 절연체는 위와 같은 상황에 놓이게 된다면, 급속히 전도된 반도체 재료의 열이 XLPE 절연체내에서 체류하는 시간이 길어져서 결국에는 C-H로 이루어진 XLPE 절연체와 극미량의 산소가 화학반응을 하여 XLPE 절연체는 열화 될 것이다. 실제로 XLPE 절연체의 경우 재료의 컴파운드 과정에서 분자 수준의 산소가 존재하기 때문에 이러한 산화반응은 장기간에 걸쳐 이루어지는 경년열화를 유발하게 된다[1, 2].

이와 같이 근본적으로 열전도도가 낮은 XLPE 절연체를 감안한다면 반도체 재료는 그와 비슷한 수준이거나 낮은 열전도도를 가져야 한다고 판단된다. 따라서 카본블랙의 함량과 온도에 따른 체적저항과 비열 그리고 열전도도 측정을 통해, 반도체 재료의 본연의 역할을 유지하면서 우수한 배이스 수지의 선정과 카본블랙의 적정 함량을 결정하고자 하였다.

### 2. 시료 및 실험방법

#### 2.1 시편 제작

본 논문에서는 EVA (Ethylene Vinyl Acetate, 현대석유화

<sup>†</sup> 교신저자, 學生會員 : 圓光大 電氣電子및情報工學部 碩士課程  
E-mail : leeky@wonkwang.ac.kr

<sup>\*</sup> 學生會員 : 圓光大 電氣電子및情報工學部 碩士課程

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 圓光大 電氣電子및情報工學部 教授 · 工博

<sup>\*\*\*</sup> 終身會員 : 圓光大 電氣電子및情報工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2005年 2月 23日

最終完了 : 2005年 9月 28日

학), EEA (Ethylene Ethyl Acrylate, ATOFINA) 및 EBA (Ethylene Butyl Acrylate, Mitsui Dupont)를 기본 재료로 사용하였는데 이들 재료의 조성비는 표 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 본 논문에서는 도전성 카본블랙(아세틸렌 블랙)의 함량을 변수로 하였으며 그 함량은 각각 20, 30, 40[wt%]으로 하였다.

표 1. 시편들의 조성

Table 1. Composition of specimens

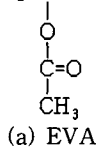
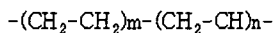
Unit: wt%

종류	EVA	EEA	EBA	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
#4	-	78.2	-	20	1.3	0.5	100
#5	-	68.6	-	30	0.6	0.5	100
#6	-	58.9	-	40	0.6	0.5	100
#7	-	-	78.2	20	1.3	0.5	100
#8	-	-	68.6	30	0.6	0.5	100
#9	-	-	58.9	40	0.6	0.5	100

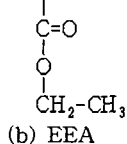
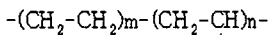
시편들은 펠렛 형태의 시료를 70[°C]~100[°C]의 롤러에서 5분간 1차 혼련한 후 180[°C]에서 20분간 200[kg/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 프레스를 하여 시트상으로 제작하였다. 체적저항 측정을 위한 시편은 두께 1[mm]의 시트로서 폭과 길이는 각각 30[mm]와 64[mm]이다.

그림 1은 본 실험에서 사용된 각각의 베이스 수지의 화학적 구조를 나타낸 것이다. 보는 바와 같이 에틸렌계 고분자 사슬에 VA, EA, BA등의 올레핀계 사슬이 공중합체 되어 있는 구조를 볼 수 있다.

EVA = Poly(Ethylene-CO-Vinyl Acetate)



EEA = Poly(Ethylene-CO-Ethyl Acrylate)



EBA = Poly(Ethylene-CO-Butyl Acrylate)

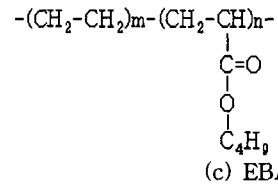


그림 1. 베이스 수지의 화학적 구조

Fig. 1 Chemical structure of base resins

### 2.2 실험 장비 및 방법

카본블랙 함량에 따른 시편들의 체적저항은 그림 3과 같은 실험 환경에서 진행되었다. 그림 2와 같이 시편의 양끝에 전극간 거리가 50[mm]가 되도록 실버 페인트를 발랐다. 이후, 25±1[°C]와 90±1[°C]로 예열된 오븐에 시편을 넣고 10분간 방치한 후 저항을 측정하였다.

비열(Cp)은 μ-Sensor 가 부착된 비열전용 DSC (TA Instrument, DSC 204F1)로 측정하였다. DSC의 측정온도 범위는 20[°C]에서 60[°C]까지이고, 승온속도는 1[°C/min]였다. 열전도도는 Nano Flash Diffusivity (NETZSCH, LFA 447)로 측정하였다. 측정온도는 25[°C]와 55[°C]였다. 열전도도 실험은 반도체 재료들의 멜팅 온도가 60[°C] 전후로 나타나서 55[°C]까지로 하였다. 이 장비는 ASTM E1461 규격에 적합한 장비로서 제논 플래시 (Xenon Flash) 램프를 광원으로 채용한다. 제논 플래시 램프는 시편 아래쪽에 위치하여 구동되고 시편의 위쪽으로 전달되는 열은 상단부에 위치한 적외선 센서 (IR detector)에 의해 측정된다.

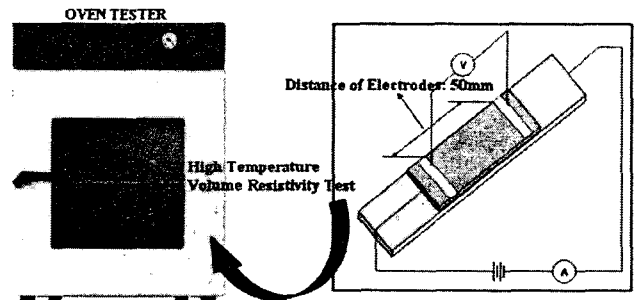


그림 2 체적저항 실험 장치

Fig. 2 Experimental equipment of volume resistivity

## 3. 실험 결과

### 3.1 체적저항

그림 3은 카본블랙의 함량에 따른 반도체 재료의 체적저항을 25[°C]에서 측정된 것이다. 체적저항은 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 15[Ω · cm]~218[Ω · cm]의 범위에서 감소하였다. 즉, 카본블랙 함량의 증가에 따라 입자간 거리가 줄게 되는 구조설 (structure theory)에 의해 전기 전도성이 증가하는 것을 알 수 있다[1, 2].

그림 4는 카본블랙의 함량에 따른 반도체 재료의 체적저항을 90[°C]에서 측정된 것이다. 체적저항은 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 135[Ω · cm]~561[Ω · cm]의 범위에서 감소하였다. 25[°C]에서와 마찬가지로 카본블랙의 함량이

증가함에 따라 체적저항은 감소하지만 25[°C]에 비해 체적저항이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 용융온도 이전에서, 베이스 수지내 온도 상승에 따라 체적팽창이 증가하여 카본블랙 입자간 간격이 늘어나는 PTC (positive temperature coefficient) 현상과 용융온도 이후에 카본블랙이 재배열을 하여 새로운 전도성 네트워크를 형성하는 NTC (negative temperature coefficient) 현상 때문이다.

즉, PTC 현상은 온도의 상승에 따라 용융온도 근처에 오면 베이스 수지내 카본블랙 입자간 이격거리의 증가로 인해 전도성 네트워크가 파괴된다. 이러한 전도성 네트워크 파괴는 전자간의 호핑(hopping)을 방해하므로 체적저항이 증가하게 된다. 반면 NTC 현상은 수지의 결정 용융이 진행됨에 따라 유동성을 가진 카본블랙 입자들이 자유로이 재배열하여 새로운 전도성 네트워크를 형성하게 됨으로써 전자들의 이동통로가 증가하게 되고, 이로 인하여 체적저항 값이 낮아지는 것으로 설명된다. 참고로 본 실험에 사용된 반도체 재료는 용융온도가 63[°C]~73.61[°C]의 범위이다.

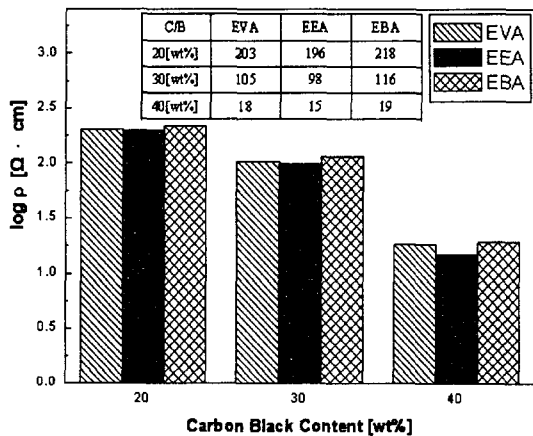


그림 3 카본블랙의 함량에 따른 반도체 재료의 체적저항 (25°C)

Fig. 3 Volume resistivity of semicons by carbon black content (at 25°C)

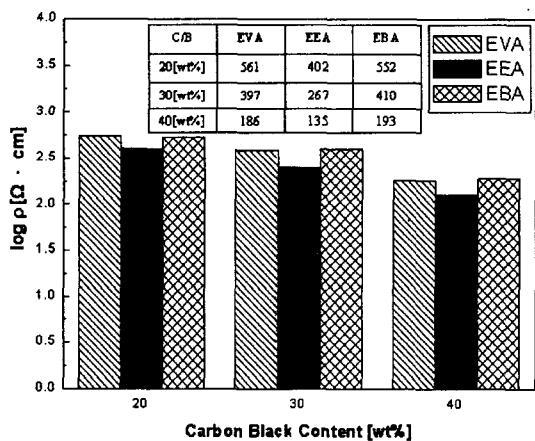


그림 4 카본블랙의 함량에 따른 반도체 재료의 체적저항 (90°C)

Fig. 4 Volume resistivity of semicons by carbon black content (at 90°C)

따라서 반도체 재료들은 이 온도 근처까지는 체적팽창으로 인한 체적저항이 급속히 증가할 것이다. 반면 이 온도 이후부터는 카본블랙의 재배열에 따른 새로운 전도성 네트워크가 형성됨으로써 다소 체적저항이 감소할 것이다[5~7].

사실 그림 3과 4에서는 25[°C]~90[°C] 사이의 체적저항 값이 제시되어 있지 않다. 그래서 참고자료 그림 5를 보면, 용융온도가 150[°C]인 대부분의 시편들은 약 150[°C]까지 체적저항이 급속히 증가하고 있으며, 이후부터는 체적저항이 서서히 감소를 하고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 용융온도 이전까지는 PTC 현상이, 이후부터는 NTC 현상이 가장 두드러진 것을 알 수 있다.

이로써 본 실험에서 사용된 반도체 재료들도 용융온도를 기점으로 하여 25[°C]에서 용융온도 근처까지는 PTC 현상이, 용융온도 이후부터는 NTC 현상이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 위 결과로부터 체적저항은 카본블랙의 함량이 30[wt%]~40[wt%] 구간에서 가장 적게 나타났다. 또한 반도체 재료 중에서 PTC와 NTC의 영향이 가장 적었던 EEA 수지가 우수한 전기 전도성을 보였다.

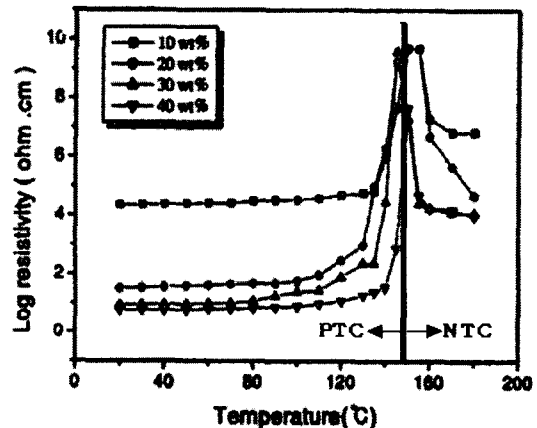


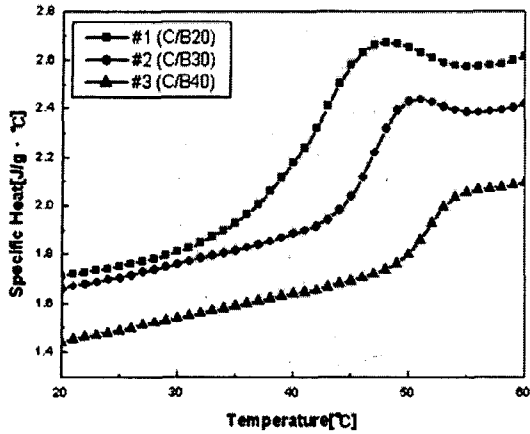
그림 5. 카본블랙의 함량에 따른 CB/HDPE 복합재료의 PTC와 NTC 곡선 [6].

Fig. 5 PTC and NTC properties of CB/HDPE composite by carbon black content [6].

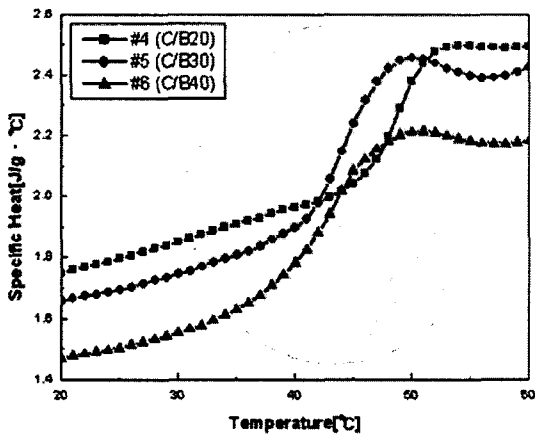
### 3.2 비열과 열전도도

그림 6은 반도체 재료들의 카본블랙 함량과 온도에 따른 비열의 변화를 나타내고 있다. 그림 6에서 알 수 있듯이 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 비열은 감소하고 있다. 그리고 표시된 원형 안에서 온도가 상승함에 따라, 대부분의 반도체 재료들이 약 30[°C] 이후부터 비열이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

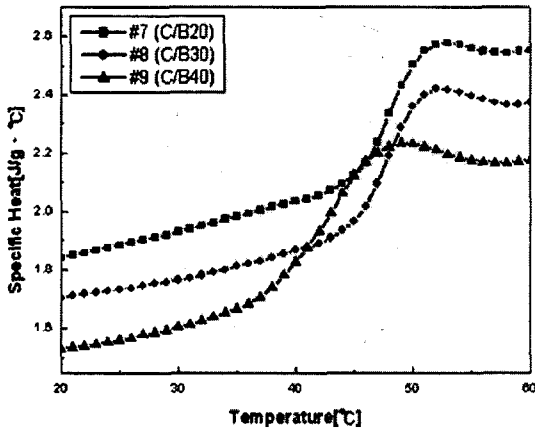
그림 6의 비열 값을 25[°C]와 55[°C]로 나타낸 표 2를 보면 확실히 경향을 알 수 있다. 즉, 25[°C]에서 카본블랙의 함량이 증가할 수록 반도체 재료들의 비열은 1.49[J/g · °C]~1.90[J/g · °C] 범위에서 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 55[°C]에서도 카본블랙의 함량이 증가할 수록 비열은 2.05[J/g · °C]~2.57[J/g · °C] 범위에서 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 온도가 상승함에 따라 반도체 재료들은 비열이 다소 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상들이 나타나는 이유는 크게 두 가지로 설명될 수 있다.



(a) EVA



(b) EEA



(c) EBA

그림 6. 카본블랙의 함량과 온도에 따른 반도체 재료의 비열

Fig. 6 Specific heat of semicons by carbon black content and temperature

첫째, 카본블랙의 함량에 따른 비열의 감소는 반도체 재료의 질량이 증가를 하였기 때문이다. 원래 비열은 질량이 1[g]인 재료의 온도를 1[°C] 높이는데 필요한 열에너지를 말한다. 단위는 [J/g · °C]로 표기된다. 따라서 반도체 재료의 질량이 증가함에 따라 반도체 재료 내부의 온도를 상승시키는데 필

요한 열에너지가 적게 소모된다. 특히, 반도체 재료의 충전재로 사용된 카본블랙의 경우, 그 자체만으로 열적 전도성이 우수하므로 그 함량이 증가함에 따라, 반도체 재료 내부에서 소모되는 열에너지가 감소하는 것은 당연하다고 하겠다[8, 9].

둘째, 온도가 상승함에 따라 대부분의 반도체 재료들은 약 30[°C] 이후부터 비열이 급격히 증가하였다. 설명에 앞서, 본 실험에서 측정된 반도체 재료의 비열은 정압비열을 나타낸 것이다. 즉, 압력을 일정하게 하고 열을 가했을 때 나타나는 열에너지를 말한다. 일정한 압력하에서 재료들은 온도가 상승함에 따라 체적이 팽창한다. 따라서 열의 일부가 체적의 팽창이라는 외부로의 일에 소비된다. 그러므로 온도를 높이기 위해서는 그 만큼의 열을 더 가해야 된다. 그래서 반도체 재료들의 비열이 약 30[°C] 이후부터 급격하게 증가하게 된 것이다[8, 9].

그리고 반도체 재료들은 온도가 상승함에 따라 약 50[°C] 부근에서 비열의 최고점을 나타내고 있다. 이후 반도체 재료들은 약간의 비열 감소를 보이다가, 또 다시 증가하려는 경향을 볼 수 있다. 사실, 이 온도구간은 반도체 재료들의 용융 온도가 나타나는 부분이다. 따라서 이 구간에서는 반도체 재료들의 체적팽창이 또 다시 작용하는 것이 아니라 반도체 재료들이 고체상태에서 액체상태로 변화를 일으키기 위해 열을 흡수하는 영역이다. 더불어 반도체 재료들은 상태 변화를 일으키기 위해 숨은열을 내포하고 있으므로 더 많은 열에너지가 필요하다. 그래서 이 구간에서 비열이 다소 증가하는 경향을 나타내고 있는 것이다.

표 2. 카본블랙의 함량과 온도에 따른 반도체 재료의 비열

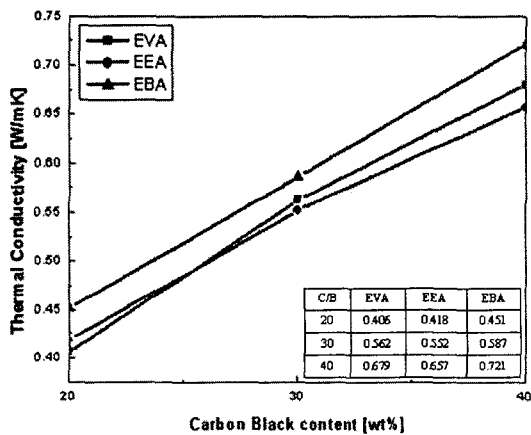
Table 2. Specific heat of semicons by carbon black content and temperature

Specimens	Specific Heat [J/g · °C]	
	25[°C]	55[°C]
#1	1.75051	2.57447
#2	1.70432	2.38927
#3	1.48869	2.05849
#4	1.79656	2.49502
#5	1.69282	2.39703
#6	1.50342	2.18059
#7	1.88374	2.56049
#8	1.73263	2.39790
#9	1.56017	2.17554

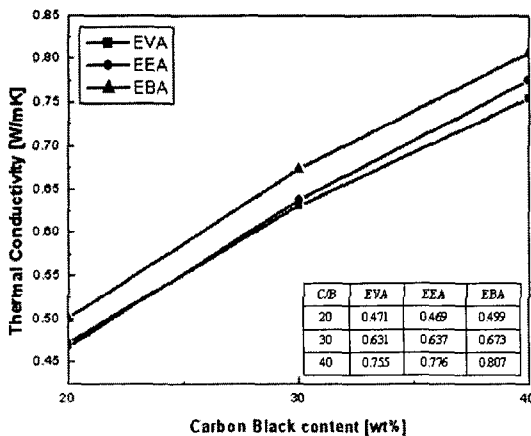
그림 7은 반도체 재료들의 카본블랙 함량과 온도에 따른 열전도도의 변화를 나타내고 있다. 먼저 그림 7에 대한 설명에 앞서, 열전도도는 어떤 물질 내부의 어느 한 지점에서 다른 지점으로 열(=에너지)을 전달하는 정도를 나타낸다. 표 3에서 알 수 있듯이 고분자와 세라믹은 금속에 비해 열전도도가 매우 낮은 것을 알 수 있다. 왜냐하면 금속재료들은 금속 결합을 하여 자유전자를 발생시키기 때문이다. 이러한 자유전자는 전기전도 뿐만 아니라 열전달의 역할도 한다.

표 3. 온도 25[°C]에서 재료들의 일반적인 열전도도 [9].  
Table 3. General thermal conductivity of materials at 25[°C] [9].

Pure metal	Nb	Fe	Zn	W	Al	Cu	Ag
k [W/mK]	52	80	113	178	250	390	420
Ceramics and glasses	Glass borosilicate	Silica-fused (SiO <sub>2</sub> )	S <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Sapphire (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Reryllium (BeO)	Diamond
	k [W/mK]	0.75	1.5	20	30	37	260 ~1000
Polymers	Poly propylene	PVC	Poly carbonate	Nylon 6.6	Teflon	LDPE	HDPE
	k [W/mK]	0.12	0.17	0.22	0.24	0.25	0.3 0.5



(a) 25[°C]



(b) 55[°C]

그림 7. 카본블랙의 함량과 온도에 따른 반도체 재료의 열전도도

Fig. 7 Thermal conductivity of semicons by carbon black content and temperature

이런 경우 자유전자를 특별히 열전자라고 지칭한다. 열전자들은 두개의 열전자가 충돌할 때 활발한 원자의 진동으로부터 에너지를 얻는다. 열전자들의 무질서한 운동이 증가함에 따라 활동적인 열전자들은 에너지를 그 원자의 진동과 충돌에 의해 차가운 쪽으로 전달한다. 즉, 열역학 제 2법칙(=엔트로피 법칙)에 준한다고 하겠다[9].

반면, 비금속은 결정의 내부에 열에너지를 고온에서 저온 영역으로 옮길 자유전자가 없다. 하지만 비금속들은 원자들의 진동에 의해 열전도가 이루어진다. 한 쪽에서 열을 받은 원자가 진동을 하기 시작하면 그 진동에 의해 영향을 받아서 근처의 원자가 진동을 하게 되는 방식으로 열이 전달된다. 이러한 방식을 열진동자라 한다. 참고로 본 실험에 사용된 반도체 재료는 비금속 재료인 고분자와 도전성을 띄는 카본블랙이 혼합된 반도체성 복합재료이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 적절한 베이스 수지와 카본블랙의 함량을 선정하기 위해 카본블랙의 함량과 온도에 따른 반도체 재료의 전기적 및 열적 특성을 측정하였다.

그 결과, 전기적 특성 실험에서 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 여러 시편들의 체적저항은 감소하였다. 이것은 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 입자간 간격이 줄어들어 전기전도성이 향상되었기 때문이었다. 또한, 25[°C]와 90[°C]에서 알아 본 체적저항은 25[°C]에 비해 90[°C]에서 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다. 이것은 온도 상승에 따라 용융온도 이전에서 베이스 수지의 체적 팽창으로 인해 카본블랙 입자간 간격이 늘어남으로써 발생하는 PTC 현상과 용융온도 이후 베이스 수지내에서 카본블랙이 재배열하여 새로운 전도성 네트워크를 형성함으로써 체적저항이 다소 감소하는 NTC 현상 때문이었다. 이 실험에서 PTC와 NTC 현상을 덜 받고, 전기전도성이 우수한 반도체 재료는 EEA수지였다.

그리고 비열 측정에서는 반도체 재료내 카본블랙의 함량에 따른 질량의 증가로 비열은 감소하였다. 또한 온도가 상승함에 따라, 반도체 재료내의 체적 팽창으로 인한 열에너지 소비가 증가하여 대부분의 반도체 재료들은 약 30[°C] 이후부터 비열이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 완만한 감소를 보이던 비열은 50[°C] 이후 또 다시 증가하려는 경향을 보였는데, 이것은 반도체 재료의 상태변화에 필요한 열에너지의 증가 때문이었다.

마지막으로 열전도도 측정에서는 카본블랙의 함량이 증가할 수록, 또는 온도가 상승할 수록 열전도도는 증가하였다. 이것은 반도체 재료내 입자들이 인가된 열에너지를 저장하였다가 어느 임계지점(=재료내 열평형 온도)에 이르면 열에너지를 감당하지 못하고 다른 지점으로 열에너지를 전달하기 때문이었다. 즉, 반도체 재료들은 계속적인 온도의 상승에 따라 열에너지를 저장하고 남은 여분의 열에너지가 다른 지점으로 전달되는 것이다. 또한 우수한 열전도성을 갖는 카본블랙의 증가에 따른 입자간 이격거리의 축소도 열전도도를 상승시키는 역할을 하였다. 이러한 현상들은 반도체 재료의 열전도도를 상승시키므로 절연체로의 급격한 열의 전도와 대류가 이루어진다. 그러므로 서론에서 언급하였듯이 반도체 재료는 열전도도가 절연체와 비슷한 수준이거나 낮아야 한다.

위 결과로부터 반도체 재료내에서 우수한 전기 전도성을 갖는 베이스 수지는 EEA였으며, 카본 블랙 함량의 적정량은 30[wt%]였다. 그리고 열전도도는 EBA가 가장 높았으며 EEA와 EVA는 비슷한 특성을 보였다. 따라서 전기적 특성과 열적 특성을 통틀어 볼 때, 우수한 베이스 수지는 EEA라고 판단하였다.

**감사의 글**

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

**참고 문헌**

- [1] 한재홍, 김상준, 권오형, 강희태, 서광석, "반도체층내 불순물이 전력케이블의 신뢰도에 미치는 영향", 전기학회논문지, Vol.46, No.1, pp. 19~27, 1997
- [2] 한재홍, 송일근, 임장섭, 이동영, "전력케이블용 반도체 재료의 설계기술", 전기전자재료학회논문지, Vol 13, No. 2, pp. 12~17, 2000
- [3] J. Hjerrild, J. Holboll, 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. 596~693, Aug. 2002
- [4] Conductive Carbon Black in Plastics, Technical Report S-39, Cabot Corporation.
- [5] 김재철, 이종훈, 남재도, "HDPE 가교 결합과 계면 접착력에 변화에 따른 PTC 특성 변화", polymer(korea), Vol.27, No.4, pp.275~284, 2003
- [6] 박수진, 송수완, 신재섭, "오존 처리된 카본블랙을 충전한 HDPE 기지 복합재료의 PTC 특성", J. Korean Ind. Chem, Vol.14, No.8, pp. 1086~1091, Dec. 2003
- [7] 박수진, 송수완, 서민강, 이재락, "나노구조 카본블랙/HDPE 복합재료의 전기적 특성: 전자선 조사에 의한 PTC 특성변화", 한국복합재료학회지, Vol.16, No.1, pp.19~25, Feb. 2003
- [8] 김성철 외, "고분자공학", 회중당, 1994, Chapter 1~14
- [9] 박정호, 윤영섭, 이상렬, 이승기, 이준신, "전자재료 물성 및 소자", 2002, Chapter 1, 2
- [10] 이경용, 양종석, 최용성, 박대희, "반도체재료의 불순물 측정 및 물성에 관한 연구", 전기학회논문지, Vol. 53C, No. 9, pp. 455~458, 2004
- [11] K. Steinfeld, W. Kalkner, "Stress induced electrochemical degradation of the inner semicon layer of XLPE-insulated cables and model samples", IEEE Trans. on Elec. Ins., Vol.5, No.5, pp.774~778, 1998
- [12] 전용구, 김재경, 함덕순, 김진석, "EVA의 Vinyl Acetate 함량변화에 따른 열적-기계적 성질 연구", Polymer (korea), Vol.15, No.4, pp.402~410, 1991

**저 자 소 개**



**이 경 용(李慶龍)**

1976년 06월 07일생. 2003년 원광대학교 전기전자및정보공학부 졸업. 현재 원광대학교 대학원 전자재료학과 석사과정.  
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890  
E-mail : leeky@wonkwang.ac.kr



**양 종 석(梁鍾錫)**

1980년 06월 07일생. 2005년 원광대학교 전기전자및정보공학부 졸업. 2005년~현재 원광대학교 공대 전자재료학과 석사과정  
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890  
E-mail : yjs8628@wonkwang.ac.kr



**최 용 성(崔龍成)**

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교 전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공학). 1999년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~2003년 Osaka Univ. Post-Doc.. 2002년~현재 원광대학교 공업기술개발연구소 교수.  
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890  
E-mail : biochips@wonkwang.ac.kr



**박 대 희(朴大熙)**

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공학). 1979년~1991년 LG 전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자및정보공학부 교수.  
Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890  
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr