

# CNT 함량에 따른 전력케이블용 반도체층 재료의 열적 특성

論 · 文

55C-12-5

## Thermal Properties of Semiconducting Materials for Power Cable by Carbon Nanotube Content

梁鍾錫<sup>†</sup> · 李慶龍<sup>\*\*</sup> · 申同訓<sup>\*</sup> · 朴大熙<sup>\*\*\*</sup>

(Jong-Seok Yang · Kyoung-Yong Lee · Dong-Hoon Shin · Dae-Hee Park)

**Abstract** - In this paper, we have investigated thermal properties by changing the content of carbon nanotube, which is component part of semiconductive shield in underground power transmission cable. Heat capacity ( $\Delta H$ ), glass transition temperature ( $T_g$ ) and melting temperature ( $T_m$ ) were measured with the samples of eight, through DSC (Differential Scanning Calorimetry), and the measurement ranges of temperature selected from  $-100[^\circ\text{C}]$  to  $100[^\circ\text{C}]$  with heating temperature selected per  $4[^\circ\text{C}/\text{min}]$ . Also, high temperature, heat degradation initiation temperature, and heat weight loss were measured by TGA (Thermogravimetric Analysis) in the temperature from  $0[^\circ\text{C}]$  to  $700[^\circ\text{C}]$  with rising temperature of  $10[^\circ\text{C}/\text{min}]$ . As a result, the Glass transition temperatures of the sample were showed near  $-20[^\circ\text{C}] \sim 25[^\circ\text{C}]$ , and the heat capacity and melting temperature from the DSC was increased according to increasing the content of carbon nanotube, while, thermal diffusivity was increased according to increasing the content of carbon nanotube. Also, heat degradation initiation temperature from the TGA results was increasing according to increasing the content of carbon nanotube with CNT/EEA. Therefore, heat stabilities of EVA, which contained the weak VA (vinyl acetate), showed the lowest.

**Key Words** : Carbon nanotube, Semiconducting Materials, Heat capacity,  $T_g$ , TGA

### 1. 서 론

재료의 구조와 화학 조성을 나노 단위로 제어할 통해 재료 부품의 집적화, 고기능, 소형화 하려는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구는 나노 과학이라는 학문의 한 분야로 자리 잡고 있다. 재료의 크기가 줄어들어서 나노 크기가 되면 그것의 특성이 변하게 된다. 이러한 변화로 인해 기존 재료와는 현저하게 다른 특성을 나타내게 되며, 이러한 특성을 이용하여 더욱 우수한 특성을 갖는 소재를 개발하고 이것을 활용하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다 [1]. 하지만 지중 송배전용 전력케이블을 비롯한 전기재료 분야에서는 이러한 연구가 전무한 상태이다. 전력케이블은 일반적인 경우 도체를 중심으로 도체차폐층 (Conductor shield), 절연층 (Insulation), 절연차폐층 (Insulation shield), 중성선 (Neutral wire) 및 외피로 이루어져 있다.

각 층은 제 각기 고유의 역할이 있으므로 각 층에 이상 현상이 발생하면 이는 절연층의 절연파괴를 유발하고 더 나아가 전력케이블의 고장으로 이어진다 [2]. 최근까지 지중 송

배전용 전력케이블의 품질개선 및 수명연장을 위한, 전력케이블의 전기적 현상 및 제반 특성에 대한 많은 연구는 대부분 XLPE 절연층에 국한되어 이루어져 왔다. 그러나 본 연구는 전력케이블의 반도체층 재료에 관한 심층적인 분석을 통해 그 중요성을 전달함으로써 반도체층 재료의 역할 및 기능에 대한 새로운 인식을 고취하고자 하였다.

지중송배전 케이블 반도체 재료에는 전도성 카본 블랙이 다량 함유 되어 있다. 구 형태를 갖는 카본블랙은 긴 튜브 형태의 탄소나노튜브 보다 비중이 매우 높다. 이러한 특성을 기반으로 하여, 반도체층 재료 공정에서 반도체성을 갖게 하기 위해 약  $35[\text{wt}\%] \sim 40[\text{wt}\%]$ 의 카본블랙을 첨가하는 제조공정을 고려 해볼 때, 적은 양을 갖고서 충분한 전기적 특성 및 열적 특성을 나타낼 수 있는 탄소나노튜브 (CNT, Carbon nanotube)를 사용하는 것은 매우 의미 있는 연구라고 하겠다. 탄소나노튜브는 Kroto 와 Smally가 탄소의 동소체의 하나인 풀러렌 (Fullerene)을 처음으로 발견한 이후 [3], 1991년 일본 NEC 연구소의 Iijima 박사가 TEM을 이용하여 두 개의 탄소 전극간의 아크에 의해 발생된 탄소 부산물을 관찰하는 과정에서 탄소나노튜브를 발견하였다 [4]. 탄소나노튜브는 탄소 원자들이 육각형 벌집 모양의 원통형 구조로 강한 공유결합을 가지고 있다. 일반적으로  $20[\text{nm}] \sim 80[\text{nm}]$ 의 직경을 지니며 아스펙트비 (길이/직경)가 대략  $100 \sim 1000$ 으로 높은 이방성을 가진다.

본 논문에서는 높은 이방성을 갖는 탄소나노튜브를 베이스 수지인 EEA에 첨가하여 우수한 분산성을 도모하여 반도체층 재료의 본연의 역할을 유지하면서 우수한 열적 특성을

<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 : yjs8628@wonkwang.ac.kr

\* 學生會員 : 圓光大 電氣電子및情報工學部 碩士課程

\*\* 正會員 : 韓國原子力研究所 放射線利用研究部 研究員

\*\*\* 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 : 2006年 10月 19日

最終完了 : 2006年 11月 1日

갖는 반도체층 재료를 선정하고자 하였다. 현재 사용 중인 반도체층 재료와 CNT/EEA 반도체층 재료의 열적 특성인 DSC와 TGA를 측정하여 상호 비교 및 분석하였다.

## 2. 시료 및 실험방법

### 2.1 시편 제작

본 논문에서 사용된 반도체층 재료는 EVA (Ethylene Vinyl Acetate, 삼성중합화학), EEA (Ethylene Ethyl Acrylate, ATOFINA) 및 EBA (Ethylene Butyl Acrylate, Mitsui Dupont)를 기본 재료로 사용하였다. 이들 재료의 조성비는 표 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 본 논문에서 사용된 탄소나노튜브는 MWCNT75 (NanoKarbon Co. Ltd, 직경: 30~60nm, purity>95%)의 함량을 변수로 하였으며 그 함량은 0[wt%]~10[wt%]이었다. 탄소나노튜브는 기상합성법 (Vapor Phase Growth, VG)으로 제조하였다. 기상합성법은 탄소나노튜브를 대량으로 합성하기에 유리한 방법으로 제안되고 있으며, 기판을 사용하지 않고 반응로 안에 반응가스와 촉매금속을 직접 공급하여 기상에서 탄소나노튜브를 합성하는 방법이다.

본 논문에서 사용된 탄소나노튜브는 다층벽 탄소나노튜브 (MWCNT)로써, 대롱형태로 감기는 흑연 층의 두개 이상의 층으로 이루어져 있으며 튜브로 말리는 흑연층이 탄소나노튜브의 길이 축에 평행하지 않고 사선으로 감겨있으면서 마치 종이킴이 계속해서 쌓여서 만들어져 있는 형태를 지니고 있다고 하여 지어진 이름으로 탄소나노튜브의 기본 형태에서 벗어나 있으나 분산성이 높아 복합재료 분야에서 주로 유용한 형태이다.

편의상 CNT/EEA 반도체층 재료 시편은 #1~#5 그리고 현재 반도체층 재료로 사용되고 있는 시편을 A1~A3으로 각각 명명하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 CNT/EEA 반도체층 재료 시편은 탄소나노튜브와 EEA를 80[℃]의 온도에서 24시간 건조시킨 후 펠렛 형태의 시료를 180[℃]로 예열된 내부 혼합기를 사용하여 EEA와 CNT를 1분 간격으로 혼합을 하였다. 그 다음 첨가제 등을 넣고 30초 동안 혼합을 한 후 가교제를 넣고 10분 동안 혼합을 하였다. 시편제조에 사용된 첨가제로는 산화에 의한 수지분해를 방지하기 위해 산화방지제(Polyethylene glycol400) 0.3[wt%], 가교 촉진제(Di-n-butyltin dilaurate, DBTL) 0.2[wt%], 열에 의한 수지의 분해를 방지하거나 자외선에 의한 광산화 반응을 방지하기 위해 열안정제(Zinc Stearate, Zn-St) 0.05[wt%], 난연성을 부여하기 위해 난연제 (수산화마그네슘, Magnesium Hydroxide) 0.05[wt%] 등을 첨가했으며 분자 구조가 선상인 구조를 그물과 같은 망상구조로 변경시킴으로서 기계적 물성 및 화학적 물성을 보강시키기 위해 가교제 (Dicumyl peroxide, DCP)를 0.5[wt%]첨가 하였다. 이렇게 제조된 물질을 프레스로 눌러 sheet 형태로 만든 뒤, 이축 압출기에 넣어 전체적으로 혼합을 하고 Pellet형태로 만들었다. 최종적으로 만들어진 펠렛을 사출기에 넣어 필요한 형태로 시편제작을 실시하였다. 또한 현재 반도체층 재료로 사용되고 있는 시편도 위와 같은 공정으로 시편제작을 실시하였다.

표 1 시편들의 조성

Table 1 Composition of specimens

Unit: wt%

Content	EVA	EEA	EBA	CNT	CB	Additive	Agent	Total
# 1	-	98.9	-	0	-	0.6	0.5	100
# 2	-	97.9	-	1	-	0.6	0.5	100
# 3	-	95.9	-	3	-	0.6	0.5	100
# 4	-	93.9	-	5	-	0.6	0.5	100
# 5	-	88.9	-	10	-	0.6	0.5	100
A 1	53.8	-	-	-	38.7	6.9	0.6	100
A 2	-	-	53.8	-	38.7	6.9	0.6	100
A 3	-	-	57.8	-	37.2	4.5	0.5	100

### 2.2 실험 장비 및 방법

#### 2.2.1 DSC 측정

DSC는 물질의 물리, 화학적인 전이 현상이 발생할 때 흡수하거나 방출하는 열량을 측정하는 기기이다. 이 측정법은 흡열반응과 발열반응을 포함한 물리적 화학적 변화들에 대한 정량, 정성적인 정보를 제공한다. 그러므로 DSC는 무기물질을 뿐만 아니라 유기화합물과 고분자 물질들의 열적 특성 분석에 가장 널리 사용되어온 열분석 기술이다. 이 측정법은 측정시간이 짧고 시편제조가 간단하며, 고체와 액체 등의 모든 재료에 적용이 가능하다. 또한 넓은 측정 온도범위, 시료의 사용량이 mg 단위로 매우 작으며 정량분석이 가능하다는 장점을 가지고 있다. DSC는 측정조건과 분위기 등에 따라 특성이 달리 나타나므로 동일조건을 유지 시키는 게 무엇보다도 중요하다. 예를 들면, 승온 속도에 따라 분해능과 감도가 민감하게 반응하는데, 일반적으로 승온 속도를 느리게 하면 분해능은 향상되지만 감도가 떨어지고, 빠르게 하면 감도는 향상되지만 분해능은 떨어진다. DSC에는 열유속형 DSC (Heat flux DSC)와 전력보상형 DSC (Power Compensation DSC)의 2가지 형식이 있다. 전력보상형 DSC는 시료용과 기준물질용으로 열원이 따로 분리되어 있으며 현재는 거의 사용되지 않고 있다.

시편들의 유리전이온도 (Glass transition temperature, Tg), melting 온도 (Melting temperature, Tm), 열용량 (Heat capacity, ΔH) 및 비열 (Specific heat, Cp)을 측정하기 위해 DSC (Difference Scanning Calorimetry, 시차주사 열량계)인 TA Instrument사의 DSC 2920을 도입하였다.

DSC의 측정온도 범위는 -100[℃]에서 100[℃]까지이고, 승온속도는 4[℃/min]로 하였다.

그림 1에 현재 대부분 사용되고 있는 형식인 열유속형 DSC 셀(Cell)의 간단한 모형을 나타내었다. 열유속형 DSC는 측정시료와 기준시료의 용기가 같은 열원에 의해 가열되고 이때의 온도 차이를 측정하는 것이며 이때 셀의 구성품(시료, 시료용기, 기준시료용기 및 열원등)들 사이에 온도변화가 거의 없다고 가정한다. DSC에서 측정시료와 비활성인 기준시료 사이의 열류(Heat flow) 차이는 시간, 온도, 압력 등이 제어된 환경 하에서 시간과 온도의 함수로서 측정된다. 측정시료와 기준시료 사이의 온도차이는 다음의 식 (1)과 같은 관계에 의해 열류로 변환 할 수 있다.

$$dQ = (T_s - T_r) / R = dT / R \quad (식 1)$$

여기서 dQ는 열용량이고, T<sub>s</sub>는 시료의 온도, T<sub>r</sub>는 기준 물질의 온도, 그리고 R은 셀의 열저항이다. 식 (1)을 근거로 하여 dQ가 Heat sink에서 시료로 흘러 들어간다. 정상상태 (Steady state)에서는 dQ가 일정하며, 시료의 변화가 시작되면 dQ에 비례하여 dQ는 증가 또는 감소하므로 dT와 dQ로부터 시료의 발열량과 흡열량을 구할 수 있다[5]. 시료가 에너지를 방출하면 엔탈피 변화는 Exothermic 이며 에너지를 흡수하면 이 과정을 Endothermic 이라 한다.

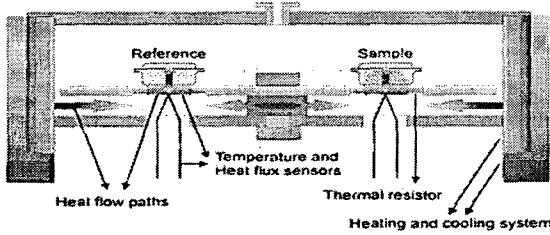


그림 1 열유속 DSC의 구조도  
Fig. 1 Block diagram of heat flux Difference Scanning Calorimetry

2.2.2 TGA 측정

시편들의 열분해 개시온도(IDT), 최대중량 감소시의 온도 (T<sub>max</sub>), 열중량 손실 (weight loss) 등 내열성을 측정하기 위해 도입된 장비는 TA Instrument사의 TGA 2950 이다. TGA(Thermo Gravimetric Analyzer, 열중량 분석기)의 측정 온도 범위는 0[°C]~700[°C]까지이고, 승온속도는 10[°C/min]이었다. TGA 측정 분석 기기의 성능을 좌우하는 가장 중요한 것은 저울부분의 정밀도이다. 저울은 예민한 촉각 부분이 있어서 저울의 평형대를 조금만 기울여도 감지하여 무게의 변화만큼 전기적인 힘을 발생시켜 그 평형대가 본래 대로 돌아오도록 하는 것이다. 이때 필요한 힘을 기록하게 된다. 시료의 감량에 의해 한쪽으로 기울면 램프에서 오는 빛이 덜 가려져서 포토셀(Photo cell)에 많은 양의 빛이 조사되어 신호 전류가 커지게 된다. 이 신호는 코일로 보내져 다시 평형을 이루게 되고 이때 추가로 보내지는 전류는 시료의 무게 변화와 비례하게 되므로 이로부터 무게 변화를 측정한다.

그림 2의 TGA는 온도를 증가시켜 일어나는 시료의 무게 변화를 온도 또는 시간의 함수로 기록하는 방법이다. 온도의 함수에 대하여 무게 또는 무게 백분율을 도시한 것을 TG 곡선 (또는 열분해 곡선)이라 한다. TG 곡선은 정해진 온도범위에서 일어나는 물리적인 변화나 화학적인 반응의 결과에 따른 주어진 화합물이나 물질의 특징을 보여주는데, 열적특성에 의해 발생하는 변화는 보통 분자구조에 의한 것이다. 물리적 또는 화학적인 결합들이 온도가 상승하면서 형성되거나 파괴되기 때문에 시료는 휘발물을 방출하거나 반응물을 생성하게 되어 무게 변화가 일어나는 것이다. 이 TG 곡선을 통하여 먼저 그 시료의 무게가 감소한 온도를 알 수 있다. 이 무게의 감소는 그 물질이 분해되거나 증발 되었음을 의미하므로, 이것을 이용하여 두 가지 다른 물질을 구분할 수 있다. 다음으로는 무게변화가 없는 온도를 측정하여 그 물질의 안정성을 판단할 수 있다. 또 하나 TGA의

중요한 정보는 시료를 주어진 온도까지 가열했을 때 무게 감소를 확인하여, 화합물의 구성성분과 분해 될 때 수반된 반응들을 추측하는 것이다.

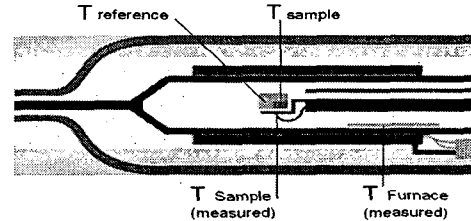
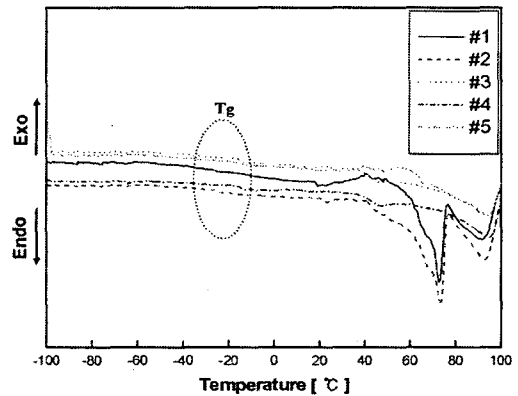


그림 2 열중량 측정을 위한 TGA의 구조도  
Fig. 2 Block diagram of TGA for measurement of thermal weight

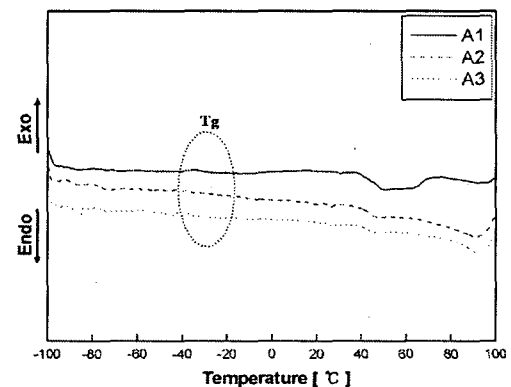
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 DSC 측정

그림 3은 CNT/EEA 반도체층 재료 및 현재 사용 중인 반도체층 재료의 -100[°C]에서 100[°C]까지의 온도 범위에서 탄소나노튜브의 함량에 따른 열용량 (ΔH), 용융온도 (T<sub>m</sub>) 및 유리전이온도 (T<sub>g</sub>)를 나타내고 있다.



(a) CNT/EEA 반도체층 재료



(b) 현재 사용 중인 반도체층 재료

그림 3 탄소나노튜브의 함량과 온도에 따른 시편들의 DSC 특성

Fig. 3 DSC properties of specimens by content and temperature of CNT

재료의 온도가 상승함에 따라 그림 3의 원 부분과 같이 내부적으로 주 사슬들의 분절운동 (마이크로 브라운 운동)이 발생하는 온도 지점이 있다. 이 지점에서의 온도를 유리전이온도 (Glass transition temperature)라고 한다. 이러한 유리전이 현상은 고분자 에서만 관찰되며, 고분자가 온도에 따라 특이한 거동을 보이도록 한다. 이 온도 이하에서 고분자는 유리와 같이 딱딱하고 깨어지기 쉽다. 반면 이 온도 이상에서 고분자는 고무와 같이 연성으로 유연해진다. 참고로 본 실험에서 사용된 고분자들은 유동성이 좋은 비닐고분자이다. 일반적으로 고분자들은 유동성이 좋으면 낮은 유리전이온도를 갖는다[6-8]. 언급하였듯이 유동성이 우수한 비닐고분자들의 유리전이온도는 상온 근처이거나 상온보다 훨씬 아래에서 나타난다.

그림 3 (a)에서 CNT/EEA 반도체층 재료 시편의 유리전이온도는 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 -20.39[°C] ~ -26.50[°C]의 범위에서 나타나고 있다. 그러나 그림 3 (b)에서 현재 사용 중인 반도체층 재료 시편의 유리전이온도는 -28.96[°C] ~ -32.78[°C]의 범위에서 나타나고 있다.

그리고 표 2에서 보는바와 같이 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 시편들의 열용량은 24.35[J/g]~43.14[J/g]범위에서 증가하는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 용융온도는 67.06[°C]~73.83[°C]범위에서 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 현재 사용중인 반도체층 재료의 용융온도는 41.06[°C] ~76.01[°C]범위에서 CNT/EEA 반도체층 재료 보다 훨씬 더 낮은 온도를 나타내고 있다.

표 2 탄소나노튜브의 함량에 따른 시편들의 열용량과 용융 온도

Table 2 Heat capacity and melting temperature of specimens by content of carbon nanotube

Contents	Tg[°C]	Tm[°C]	ΔH[J/g]
#1	-25.85	68.02	24.35
#2	-26.50	67.06	32.95
#3	-22.75	72.53	39.70
#4	-21.37	73.61	43.14
#5	-20.39	73.83	34.64
A1	-32.78	41.06	16.68
A2	-29.32	68.00	21.67
A3	-28.96	76.01	26.49

열용량 역시 16.68[J/g]~26.49[J/g]범위에서 CNT/EEA 반도체층 재료에 비해서 낮은 열용량 값을 나타내고 있다. 위와 같은 결과들에서 탄소나노튜브가 첨가 되었을 때 복합재료의 유리전이온도나 열용량 등이 개선된다는 것은 일반적으로 알려진 사실이다. Cousin과 Smith [9]는 강화재가 고분자 사슬의 움직임을 방해하여 Tg가 고온으로 이동한다

고 보고하였는데, 본 실험에서도 마찬가지로 강화재와 기지 사슬의 분자 간 상호인력이 작용함으로써 고분자 사슬의 움직임을 방해하여 Tg가 고온으로 이동한 것으로 판단된다.

일반적으로 열용량은 재료의 결정화도와 밀접한 관련이 있다. 따라서 열용량이 증가할수록 결정화도도 증가하여 재료의 기계적인 특성이 개선된다. 그리고 만약 용융온도가 감소하면 재료의 가공성이 우수한 장점도 있지만 열에 취약한 특성을 보여 재료의 수명에 악영향을 미쳐 열화에 이르게 된다[10-12].

이와 같은 결과들을 통해 대체적으로 CNT/EEA 반도체층 재료의 열적 안정성이 다른 시편들에 비해 우수함을 알 수 있었다.

### 3.2 TGA 측정

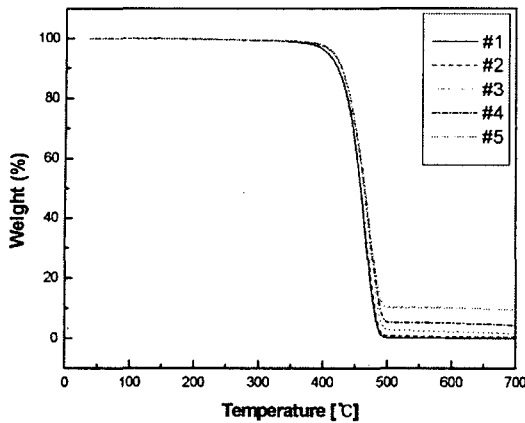
열 중량 분석은 조성의 분석, 공중합물의 분석, 열안정성 등을 측정할 있는 방법으로서, 특히 열분해 개시온도(IDT), 적분 열분해 진행온도(IPDT), 최대 중량 감량시 온도 (Tmax) 그리고 활성화 에너지 (Et) 등의 측정에 매우 유용한 정량 분석 기술이다[13].

그림 4는 0[°C]에서 700[°C]까지의 온도 범위에서 CNT/EEA 반도체층 재료와 현재 사용중인 반도체층 재료의 탄소나노튜브와 카본블랙의 함량에 따른 열분해 개시온도, 최대 중량 감소시 온도, 열 중량 손실 (Weight loss), 그리고 잔류중량 손실 (Weight loss)을 나타내고 있다.

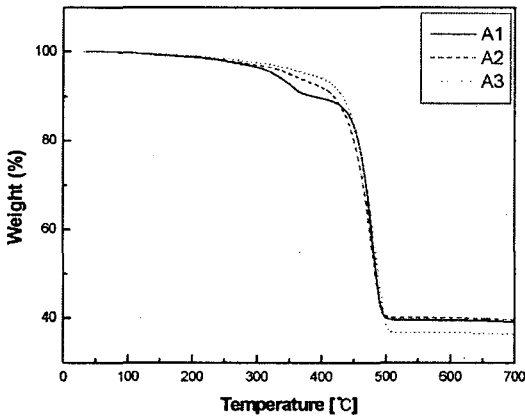
그림 4(a)와 표 3에서 알 수 있듯이 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 열분해 개시온도가 390.5[°C]~402.6[°C]의 범위에서 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 최대 중량 감소시의 온도가 465.3[°C] ~471.8[°C]의 범위에서 증가하는 것을 알 수 있었다. 이것은 탄소나노튜브의 증가에 따른 베이스 수지 내의 가교도가 향상되었기 때문으로 사료된다. 그리고 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 중량 손실율은 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 중량 손실의 감소가 끝나는 지점이 베이스 수지 내에 첨가된 탄소나노튜브 함량과 같은 곳임을 알 수 있었다.

그리고 그림 4 (b)에서 현재 사용중인 반도체층 재료의 열분해 개시 온도의 경우 CNT/EEA 반도체 재료 보다 대체적으로 낮은 285.6[°C]~340.3[°C]범위에서 나타났다. EVA의 경우, 두개의 곡선이 보여 지고 있다. 즉, 285.6[°C] 부근에서 제 1차 중량감소가 나타나고, 이어서 400[°C] 부근에서 제 2차 중량감소가 나타나고 있다. 이러한 현상은 공중합체로 이루어진 EVA의 VA가 열에 취약하여 가장 먼저 중량 감소가 일어나고 이어서 에틸렌 단량체의 중량감소가 일어난다고 사료된다[10-12].

위 결과들을 통해 대체적으로 CNT/EEA 반도체 재료 시편들 중에서 열에 안정적인 특성을 보였으며 탄소나노튜브가 5[wt%] 첨가된 시편의 경우 10[wt%]첨가된 시편과 열분해 개시온도가 0.5[°C], 최대 중량 감소시의 온도가 0.5[°C] 상승했을 뿐 큰 차이가 없었다. 그러므로 탄소나노튜브의 적정 함량은 [5wt%]로 사료된다.



(a) CNT/EEA 반도체층 재료



(b) 현재 사용중인 반도체층 재료

그림 4 탄소나노튜브의 함량에 따른 시편들의 TGA특성  
Fig. 4 TGA properties of specimens by content of carbon nanotube

표 3 탄소나노튜브의 함량에 따른 시편들의 열적특성  
Table 3 Thermal properties of specimens by content of carbon nanotube

시료명	열분해개시온도 (IDT)[°C]	최대중량감소 시의온도 (Tmax)[°C]	중량 손실 (Weight loss)[%]	잔류 중량 (Weight loss)[%]
#1	390.5	464.5	99.63	0.01
#2	392.7	465.3	99.49	0.76
#3	394.3	466.2	97.20	0.99
#4	401.7	471.3	94.76	3.06
#5	402.2	471.8	89.44	8.41
A1	285.6	465.8	60.33	38.5
A2	320.8	466.7	59.89	38.6
A3	340.3	467.6	62.97	35.4

#### 4. 결 론

DSC 실험에서 CNT/EEA 반도체층 재료 시편의 유리전이 온도는 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라  $-20.39[^\circ\text{C}] \sim -26.50[^\circ\text{C}]$ 의 범위에서 증가하였고 현재 사용중인 반도체층 재료 시편의 유리전이온도는  $-28.96[^\circ\text{C}] \sim -32.78[^\circ\text{C}]$ 의 범위에서 나타났다. 그리고 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 시편들의 열용량은  $24.35[\text{J/g}] \sim 43.14[\text{J/g}]$ 범위에서 증가하였고 용융 온도도  $67.06[^\circ\text{C}] \sim 73.83[^\circ\text{C}]$ 범위에서 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 현재 사용중인 반도체층 재료의 용융온도는  $41.06[^\circ\text{C}] \sim 76.01[^\circ\text{C}]$ 범위에서 CNT/EEA 반도체층 재료 보다 훨씬 더 낮은 온도를 나타내고 있다. 현재 사용 중인 반도체층 재료의 열용량 역시  $16.68[\text{J/g}] \sim 26.49[\text{J/g}]$ 범위에서 나타나 CNT/EEA 반도체층 재료에 비해서 낮은 열용량 값을 나타냈다. 이것은 강화재와 기지 사지의 분자 간 상호인력이 작용함으로써 고분자 사슬의 움직임을 방해하여 Tg가 고온으로 이동한 것으로 판단된다.

TGA 실험에서 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 열분해 개시온도가  $390.5[^\circ\text{C}] \sim 402.6[^\circ\text{C}]$ 의 범위에서 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 탄소나노튜브의 증가에 따른 베이스 수지 내의 가교도가 향상되었기 때문으로 사료된다. 또한 중량 손실의 감소가 끝나는 지점이 베이스 수지 내에 첨가된 탄소나노튜브 함량과 같은 곳을 알 수 있다. EVA의 경우,  $285.6[^\circ\text{C}]$  부근에서 제 1차 중량감소가 나타나고, 이어서  $400[^\circ\text{C}]$  부근에서 제 2차 중량감소가 나타났다. 이것은 VA 단량체가 열에 취약하여 가장 먼저 중량감소가 일어나고 이어서 에틸렌 단량체의 중량감소가 일어나기 때문이다. 실험결과 CNT/EEA 반도체층 재료가 시편들 중에서 열에 안정적인 특성을 보였다.

위 두 실험 결과로부터 CNT/EEA 반도체층 재료가 현재 사용 중인 반도체층 재료보다 열적특성이 우수하게 나타났고 탄소나노튜브의 적정 함량은 5[wt%]로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 연구원 (R-2005-7-100)주관으로 수행된 과제임.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김현철, "탄소나노튜브를 첨가한 나노 복합재료의 기계적/물리적 특성 변화 연구" pp. 1-2, 2002
- [2] M. T. Shaw and S. H. Shaw, "Water Treeing in Solid Dielectrics", IEEE Trans. Elec. Ins., Vol. 19, pp. 419-452, 1993.
- [3] H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl and R. E. Smalley, Nature, 318, 162, 1985.
- [4] S. Iijima, "Helical Microtubules of Graphitic Carbon", Nature, Vol. 354, No. 6348, pp. 56-58, 1991.
- [5] 도중광, 이상현, 송현훈, "Temperature Modulated DSC의 원리 및 응용", polymer Science and Technology, Vol. 11, No. 3, pp. 396-404, 2000.

- [6] 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.
- [7] H. S. Katz, J. V. Mileski, Handbook of Fillers for Plastics, Van Nostrand Reinhold Company, Ch. 19, pp. 389-419, 1987.
- [8] 박정호, 윤영섭, 이상렬, 이승기, 이준신, 전자재료 물성 및 소자, 2002, pp. 3-170.
- [9] P. Cousin, and P. Smith, "Dynamic Mechanical Properties of Sulfonated Polystyrene/Alumina Composites", J. Polym. Sci. Polym. Phys., Vol. 32, No. 3, pp. 459-468, 1994.
- [10] 전용구, 김재경, 함덕순, 김진석, "EVA의 Vinyl Acetate 함량변화에 따른 열적-기계적 성질 실험", Polymer (korea), Vol. 15, No. 4, pp. 402-410, 1991.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Park, S. J., Lee, H. Y., Han, M. and Hong, S. K., "Thermal and Mechanical Interfacial Properties of the DGEBA/PMR-15 Blend System," J. Colloid Interface Sci., Vol. 270(2), No. 28, pp. 294, 2004.

## 지 자 소 개



### 양 종 석 (梁 鍾 錫)

1980년 06월 07일생. 2005년 원광대학교 전기 전자 및 정보공학부 졸업. 2006년 현재 원광대학교 대학원 전자재료학과 석사과정.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : yjs8628@wonkwang.ac.kr



### 이 경 용 (李 慶 龍)

1976년 06월 07일생. 2003년 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2005년 원광대학교 대학원 전자재료학과 졸업(석사). 2006년 현재 한국 원자력 연구소 연구원.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : leeky@wonkwang.ac.kr



### 신 동 훈 (申 同 訓)

1981년 02월 25일생. 2006년 원광대학교 전기 전자 및 정보공학부 졸업. 2006년 현재 원광대학교 대학원 전자재료학과 석사과정.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : shin99@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(공학박). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기 전자 및 정보 공학부 교수. 2004~현재 전기융합신기술 연구센터 소장.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr