

## CNT를 함유한 반도체 재료의 기계적 특성 연구

양 훈<sup>1</sup>, 양종석<sup>2</sup>, 국정호<sup>3</sup>, 나창운<sup>3</sup>, 박대희<sup>1</sup>  
 원광대학교<sup>1</sup>, (주)대양소재<sup>2</sup>, 전북대학교<sup>3</sup>

### A Study on the Mechanical Properties of Semiconductive Shield Materials to Contain CNT

Hoon Yang<sup>1</sup>, Jong-Seok Yang<sup>2</sup>, Jeong-Ho Kook<sup>3</sup>, Chang-Woon Nah<sup>3</sup>, Dae-Hee Park<sup>1</sup>  
 Wonkwang University<sup>1</sup>, Daeyang Material Co.,Ltd<sup>2</sup>, Chonbuk University<sup>3</sup>

**Abstract** - In this paper, we investigated mechanical characteristics about thermal properties in semiconductor layer of power cables. Method of specimen making used solution mixing and Tensometer 2000 of Alpha used for measurement of stress and strain. Semiconductor layer made an experiment on separately environmental temperature[25℃] and high temperature[90℃] which running temperature[90℃] of cables exposed. As a result, specimen of applicable DFS(Dual Filler System) could know mechanical superiority that its structural characteristics reinforcement considered thermal characteristics.

#### 1. 서 론

1970년대 후반 국내에 처음으로 도입된 지중배전용 전력케이블은 동심중성선 전력케이블(CNCV)과 수밀형 전력케이블(CNCV-W)이 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 수분침투에 의한 케이블 고장발생으로 동심중성선 전력케이블은 더 이상 적용되지 않을 전망이다. 따라서 향후에는 수밀형 전력케이블과 수트리억제형(TR-XLPE) 전력케이블이 주류를 이루게 될 것이다. 이러한 케이블구조는 도체(conductor), 도체차폐층(conductor shield), 절연층(Insulation), 절연차폐층(Insulation shield), 중성선(neutral wire) 및 외피(jacket)로 구성된다. 각 층은 고유한 역할을 가지고 있으며, 각 층의 재료가 제 기능을 수행하지 못하면 이는 결국 절연층의 절연파괴를 유발하여 전력케이블의 고장을 일으키게 된다[1].

위와 같은 이유로 본 논문에서는 반도체 재료의 본연의 역할을 유지할 수 있도록 우수한 베이스 수지를 선정 하였고, CB(Carbon Black)와 CNT(Carbon Nanotubes)의 함량을 조절하여 적정 함량을 선정하였다. 실험은 케이블의 상시운전 온도를 고려하여 23[℃]와 90[℃]에서의 인장강도와 신장률 특성을 알아보았다.

#### 2. 시료 및 실험 방법

##### 2.1 시편제작

본 논문에서 사용된 반도체층 재료 시편은 EVA(Ethylene Vinyl Acetate, 현대석유화학), EEA(Ethylene Ethyl Acrylate, Dupont-Mitsui Polychemicals. Co. Ltd), EBA(Ethylene Butyl Acrylate, ArKEMA. Co. Ltd), LDPE(Low Density Polyethylene, LG석유화학), LLDPE(Linear Low Density Polyethylene, 현대석유화학), HDPE(High Density Polyethylene, 호남석유화학), CNT(Carbon Nanotubes, Ijin Nanotech. Co. Ltd), 및 CB(Carbon Black, Ijin Nanotech. Co. Ltd)를 기본 재료로 사용하였다.

그림 1에서 보는 바와 같이 본 논문에서는 분산성 향상을 위하여 용액혼합법을 사용하였다. 제조방법은 EEA를 용해시키는 양용매에 첨가하여 EEA용액을 생성한 후, CNT를 양용매에 고르게 분산시켜, 분산용액을 생성하였다. 그 다음 EEA용액과 CNT를 고르게 혼합하여 침전물을 생성시켰다. 침전물을 여과하여 건조한 다음, 침전물에 포함된 용액을 제거하여 시트형태로 압축한 방식이다. 이러한 용액혼합법은 자일렌 용액을 포함하는 양용매에 EEA와 CNT를 별도로 용해 및 분산시킨 후에 다시 혼합함으로써 별도의 첨가제를 사용하는 방식을 생략하여, 높은 분산성으로 CNT를 분산시켜 전력케이블의 반도체 재료로서의 기계적 특성을 만족시킬 수 있는 방법으로 사료되어 제작하였다.

시편의 종류로는 EEA, EVA, EBA, LDPE, LLDPE, HDPE의 베이스 폴리머 6가지에 CNT 10[wt%]를 용액혼합법으로 제조하였으며, 다른 한 종류로는 EEA를 베이스 폴리머로 정하여, CNT

와 CB의 함량을 0:10, 2:8, 5:5, 8:2, 10:0의 5종류로 하여 실험하였다.

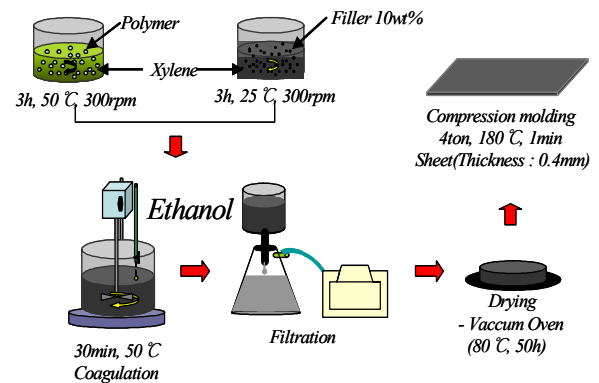


Figure 1. Manufacture of specimens by solution mixing method

##### 2.2.1 열화시험

한전 사양서에 따르면 121±1℃, 168시간이었으나, 본 실험에서는 케이블의 상시운전 온도에 맞춰 90℃에서의 CNT와 CB를 함유한 고분자 물질에 대하여 장시간 평가시험을 하고자 168시간동안 Drying Oven안에서 열화를 시켰다[2].

##### 2.2.1 인장강도 및 신장을 측정

시편들의 인장강도 및 신장을 측정을 위해 Alpha사의 Tensometer 2000 장비를 도입하였다. 측정은 인장강도 실험 규격인 ASTM D638에 의해 측정하였다[3]. 그리고 실험은 3회 측정 후 측정치의 평균값을 나타내었다.

#### 3. 실험 결과 및 고찰

##### 3.1 인장강도 및 신장을 측정

그림 2와 3은 베이스 폴리머에 CNT 함량을 10[wt%]로 제조된 상온[25℃]과 고온[90℃], 168시간동안 열화를 진행하여 얻은 인장강도와 신장율을 나타내고 있다. EEA의 신장율이 가장 좋았으며, HDPE의 특성은 플라스틱에 가까워 거의 변화하지 않았음을 알 수 있다. 다른 폴리머들은 신장율의 변화에만 차이가 확인될 수 있었으며, 인장강도의 변화는 거의 없음을 알 수 있었다.

그림 4와 5는 위 실험에서 선택한 EEA를 베이스 폴리머로 기준하여 CNT와 CB의 혼합비에 따른 상온[25℃]과 고온[90℃]에서의 인장강도와 신장율을 나타내고 있다. CB가 첨가되지 않은 시편을 제외한 모든 시료의 인장강도의 차이는 작음을 알 수 있었다.

본 논문에서 사용된 시편들은 점탄성을 지니며 Stress(강도)와 Strain(신장율)이 함께 작용한다.

그림 4와 5의 시편들은 점탄성을 갖는 고분자로서, 일정 하중에 의해서 지점까지 직선적으로 강도를 발휘하는 Hook의 법칙에 따르는 탄성영역과 이 영역을 벗어난 후 강도와 함께 신장율이 급격하게 증가하는 Newton의 법칙을 따르는 점성영역이 동시에 나타나고 있다.

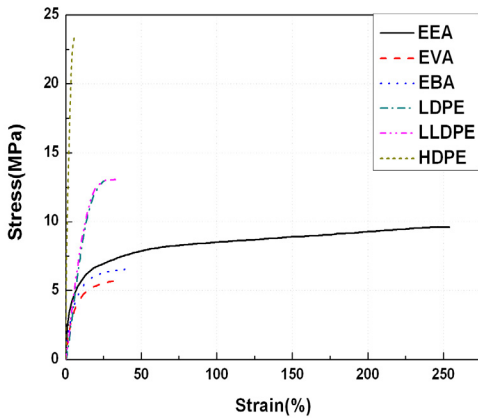


Fig.2 Base Polymer 인장강도-신장율(상온-25°C)

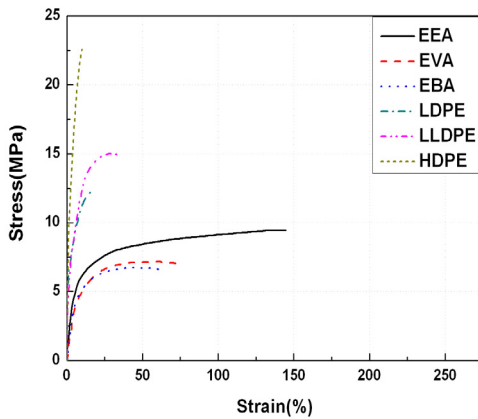


Fig.3 Base Polymer 인장강도-신장율(고온-90°C)

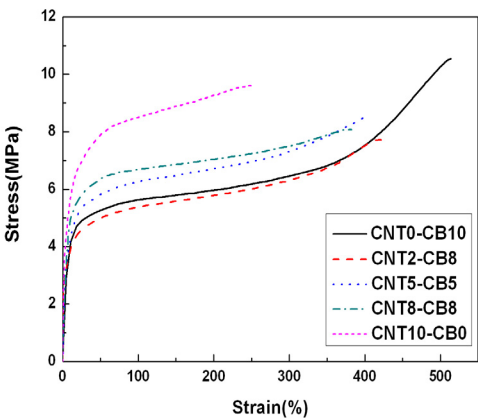


Fig.4 Dual Filler System 인장강도-신장율(상온-25°C)

CNT는 90%이상 탄소로 이루어져 있어, 그 구조가 비슷한 고분자의 분자와 결합을 잘 이룬다. 그래서 재료들은 치밀한 네트워크를 형성할 수 있고, 이로 인해 재료들의 가교도가 향상된다. 사실, 일반적인 고분자들은 밀도가 높게 되면 파단강도는 감소한다. 하지만 본 실험에 사용된 시편들은 충전제인 CNT가 첨가된 복합체 이므로 그 CNT의 함량이 증가할수록 반대의 경향을 보이고 있다. 따라서 CNT의 적정량 선택이 중요함을 시사하는 결과라고 판단된다.

인장강도 실험은 위에서 설명한 파단강도 외에도 항복강도를 측정하

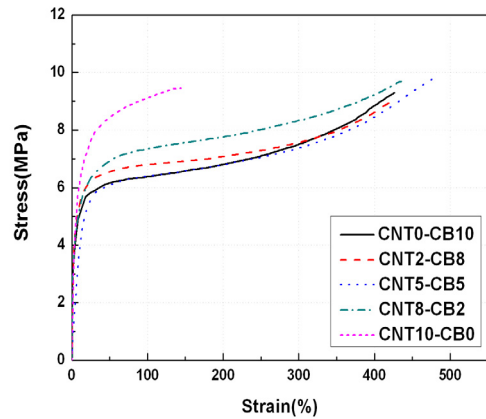


Fig.5 Dual Filler System 인장강도-신장율(고온-90°C)

게 된다. 일반적으로 인장강도 곡선에서 강도와 신장율이 선형적으로 비례하는 초기부분이 있다. 이 영역에서는 Hook의 법칙이 적용되는 탄성 변형에 해당한다. 그리고 곡선이 직선으로부터 벗어나는 점을 비례한계라 하며 이 지점을 지나 신장율이 진행되면 강도의 최대점인 항복점(Yield Point)에 도달하게 된다. 항복점은 인장강도-신장율 곡선에 있어서 최대 응력점이라고 정의 할 수 있다. 또한 이 지점에서의 강도가 항복강도가 되는 것이다.

#### 4. 결론

인장강도와 신장율 측정에서 베이스 폴리머 중에서 EEA의 신장율이 가장 좋게 나타났다. 상온과 고온에서의 인장강도의 차이는 큰 차이가 없었으며, 신장율에서 다소 낮아진 경향을 알 수 있다. EEA를 선정하여, CNT와 CB의 함량을 조절하여 듀얼필러 시스템을 이용 하였을 때 CNT의 함량이 증가함에 따라 인장강도가 증가하였으며, 열화 후에서도 큰 차이가 없는 비슷한 경향을 나타냈다. 상온과 고온에서의 가장 큰 차이를 보인 시료는 CNT:CB=5:5임을 확인했다. CNT와 CB의 함량이 똑 같았을 때 가장 큰 차이를 나오게 한 경향은 CNT와 CB의 비슷한 구조적인 성질로 인해 분자 결합을 잘 이뤄 새로운 네트워크를 형성하여 재료들의 가교밀도가 높아졌음을 실험을 통해 확인하였다.

#### 감사의글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초연구원(R-2005-7-100) 및, 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성, 지원 사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] M. T. Shaw and S. H. shaw, "Water Treeing in Solid Dielectrics", IEEE Trans. Elec. Ins., Vol. 19, pp. 419-452, 1993.
- [2] 한재홍, 송일근, 임장섭, 이동영, "고분자 절연재료와 설계기술(III)", 전기전자재료학회논문집, Vol.13, No. 2, pp. 12-17, 2000.
- [3] Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, Annual Book of ASTM Standards D638, Vol. 08.01, pp.52-64, 1998.