

## 탄소나노튜브 복합체와 XLPE 절연체의 열전도도 특성

양종석, 국정호\*, 박노준, 나창운\*, 박대희  
원광대학교, 전북대학교\*

### Thermal Conductivity Characteristic of Carbon Nanotube Composites and XLPE Insulator

Jong-Seok Yang, Jeong-Ho kook, Noh-Joon Park, Chang-Woon Nah, Dae-Hee Park  
Wonkwang University, Chonbuk National University\*

**Abstract** : To improve the mean-life and the reliability of power cable, we have investigated thermal conductivity of XLPE insulator and semiconducting materials in 154[kV] underground power transmission cable. Specimens were made of sheet form with the nine of specimens for measurement. Thermal conductivity were measured by Nano Flash Diffusivity. thermal conductivity measurement temperature ranges of XLPE insulator were from 20[°C] to 90[°C], and the heating rate was 1[°C/min]. In case of semiconducting materials, the measurement temperature ranges of thermal conductivity were from 20[°C] to 60[°C], and the heating rate was 1[°C/min].

**Key Words** : CNT, XLPE Insulator, Thermal Conductivity, Semiconducting Materials

### 1. 서 론

재료의 구조와 화학 조성을 나노 단위로 제어를 통해 재료 부품의 집적화, 고기능, 소형화 하려는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 재료의 크기가 줄어들어서 나노 크기가 되면 그것의 특성이 변하게 된다. 이러한 변화로 인해서 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. 만약 전력 케이블 내 환경에서 반도체층 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 일이다. 그러나 약 0.4[W/mK] 이하의 낮은 열전도도를 갖는 XLPE 절연체는 위와 같은 상황에 놓이게 된다면, 급속히 전도된 반도체층 재료의 열이 XLPE 절연체내에서 체류하는 시간이 길어져서 결국에는 C-H로 이루어진 XLPE 절연체와 극미량의 산소가 화학반응을 하여 XLPE 절연체는 열화 될 것이다. 본 논문에서는 높은 이방성을 갖는 탄소나노튜브를 베이스 수지인 EEA에 첨가하여 우수한 분산성을 도모하여 반도체층 재료의 본연의 역할을 유지하면서 우수한 열적 특성을 갖는 반도체층 재료를 선정하고자 하였다. 현재 사용중인 반도체층 재료와 CNT/EEA 반도체층 재료 그리고 XLPE 절연체의 열적 특성인 열전도도를 실험하여 상호 비교 및 분석하였다.

### 2. 시료 및 실험 방법

#### 2.1 시편제작

본 논문에서 사용된 XLPE 절연층 재료 시편은 수거된 154[kV] 전력케이블 내의 XLPE 절연체를 적출하여 실험에 알맞은 시트 상으로 가공하였다. 반도체층 재료는 EVA (Ethylene Vinyl Acetate, 삼성중합화학), EEA (Ethylene Ethyl Acrylate, ATOFINA) 및 EBA (Ethylene Butyl Acrylate, Mitsui Dupont)를 기본 재료로 사용하였다. 탄소나노튜브 (Hollow CNT75, (주)나노카본)는 기상합성법

(VG, Vapor Phase Growth)으로 제조 하였다. 시편 제조에 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 종이처럼 계속해서 쌓여서 만들어져 있는 형태를 지니고 있다고 하여 지어진 이름으로 탄소나노튜브의 기본 형태에서 벗어나 있으나 분산성이 높아 복합재료 분야에서 주로 유용한 형태이다. 이들 재료의 조성비는 표 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 CNT/EEA 반도체층 재료 시편은 펠렛형태의 시료를 180°C로 예열된 internal mixer기를 사용하여 EEA와 CNT를 1분 간격으로 mixing을 하였다. 그 다음 첨가제를 넣고 30초 동안 mixing을 한후 가교제를 넣고 10분 동안 mixing을 하였다. 이렇게 제조된 물질을 프레스로 눌러 sheet 형태로 만든 뒤, twin screw extruder에 넣어 전체적으로 mixing 하고 pellet형태로 만든다. 최종적으로 만들어진 펠렛을 사출기에 넣어 필요한 형태로 시편제작을 실시하였다. 또한 현재 사용중인 반도체층 재료의 시편도 위와 같은 공정으로 시편제작을 실시하였다.

표 1. 시편들의 조성 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
# 6	XLPE 절연체							
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

열전도도는 Nano Flash Diffusivity (NETZSCH, LFA 447)로 측정하였다. 레이저 섬광법은 1961년 Parker에 의하여 측정 이론이 제기된 이후 레이저 기술의 발달로 인해 열전도도 측정법으로 사용되고 있다[2]. XLPE 절연체

의 열전도도 측정온도는 25[°C], 55[°C] 및 90[°C]였다. 반도체층 재료의 측정온도는 25[°C]와 55[°C]였다.

### 3. 실험 결과

그림 1은 XLPE 절연체의 온도 변화에 따른 열전도도의 변화를 나타내고 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이 XLPE 절연체의 열전도도는 25[°C]에서 0.223[W/mK], 55[°C]에서 0.267[W/mK] 그리고 90[°C]에서 0.28 [W/mK]를 보이며 증가하고 있다. 이와 같이 XLPE 절연체는 온도가 상승할수록 열전도도가 증가한다는 것을 알 수 있다.

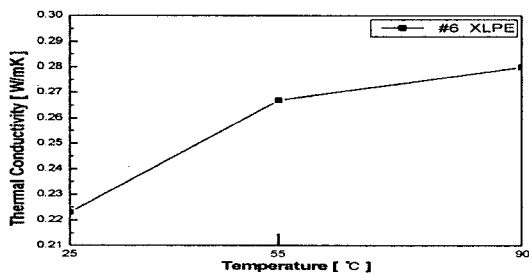
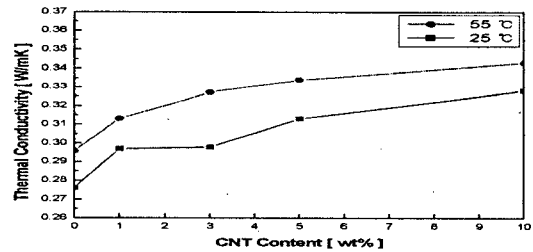


그림 1. 온도에 따른 XLPE 절연체의 열전도도

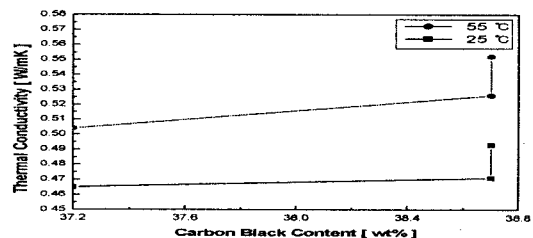
그림 2는 반도체층 재료의 온도에 따른 열전도도의 변화를 나타내고 있다. 그림 2(a)에서 보는 바와 같이 25 [°C]에서 CNT/EEA 반도체층 재료의 열전도도는 0.276[W/mK]~0.328[W/mK]의 범위에서 증가하고 있으며, 55[°C]에서 CNT/EEA 반도체층 재료의 열전도도는 0.296 [W/mK]~0.343[W/mK]의 범위에서 증가하고 있다. 이와 같이 CNT/EEA 반도체층 재료는 온도가 상승 할수록 열전도도가 증가한다는 것을 알 수 있다. 하지만 현재 사용 중인 반도체층 재료의 카본블랙 함량인 37~39[wt%]에 비해 탄소나노튜브 함량 0~10[wt%] 영향으로 CNT/EEA 반도체층 재료의 열전도도가 낮게 나타났다. 또한 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 25[°C]에서 현재 사용 중인 반도체층 재료의 열전도도는 0.465[W/mK]~0.493[W/mK]의 범위에서 증가하고 있으며, 55[°C]에서의 열전도도는 0.504 [W/mK]~0.552[W/mK]의 범위에서 증가하고 있다. 즉 앞서 설명한 CNT/EEA 반도체층 재료의 열전도도 보다 높게 나타남을 알 수 있다. 이러한 경향은 앞서 설명한 XLPE의 열전도도 측정에서와 같이, 반도체층 재료내 입자들은 인가된 열에너지를 저장하였다가 어느 재료내 열평형 온도지점인 임계지점에 이르면 열에너지를 감당하지 못하고 다른 지점으로 열에너지를 전달한다[3]. 따라서 반도체층 재료는 계속적인 온도의 상승에 따라 열평형이 이루어지는 지점까지 열에너지를 저장하고 남은 여분의 열에너지가 다른 지점으로 전달된다. 덧붙여, 우수한 열전도성을 갖는 카본블랙이 첨가됨에 따라 베이스 수지의 원자와 카본블랙 열전자간의 열전동이 증가하게 된다. 따라서 현재 사용 중인 반도체층 재료의 열전도도가 증가하는 것은 당연하다. 위 결과로부터 XLPE 절연체의 열전도도는 CNT/EEA 반도체층 재료의 열전도도와 비슷하게 나타났고 현재 사용 중인 반도체층 재료에 비해 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 열전도도가 낮다는 것은 재료 내에 전달된 열의 전도와 대류가 매우 느리게 진행된다는 것을 의미한다. 이것은 다시 말해 외부로부터의 열에 쉽게 반응을 하지 않는다는 것을 의미한다.

원천적으로 열전도도가 낮은 XLPE 절연체는 열의 전도와 대류가 매우 느리게 진행된다. 본 실험에서 알 수 있듯이 XLPE 절연체 내 외의 반도체층 재료가 높은 열전도

도를 갖는다면 도체와 밀접한 내부반도체의 열전도와 증성선과 밀접한 외부반도체의 열전도가 XLPE 절연체로 빨리 진행 될 것이다. 그러나 낮은 열전도도를 갖는 XLPE 절연체로 전도된 열은 높은 온도와 산화반응에 의한 경년 열화를 발생시켜 절연체의 화학구조를 변화시킬 수 있다. 이와 같이 XLPE 절연체와 반도체층 재료의 불평등한 열전도 특성은 전력케이블의 수명을 단축시킬 수 있다. 따라서 반도체층 재료와 XLPE 절연체간의 열평형을 유지해야 한다. 이것은 절연체인 XLPE 절연체보다 반도체층 재료의 개질을 통해 구현을 해야 한다.



(a) CNT/EEA 반도체층 재료



(b) 현재 사용 중인 반도체층 재료

그림 2. 온도에 따른 반도체층 재료의 열전도도

### 4. 결론

본 논문에서는 온도에 따른 XLPE 절연체와 반도체층 재료의 열적 특성을 측정하기 위해 열전도도를 알아보았다. XLPE 절연체와 CNT/EEA 반도체층 재료는 현재 사용 중인 반도체층 재료보다 낮은 열전도도를 나타내었다. 이것은 열전도도에서 설명된 경년열화와 같은 현상들을 방지 할 수 있다. 따라서 전력케이블용 반도체층 재료는 XLPE 절연체간의 열평형을 유지하는 것이 바람직하며 현재 사용 중인 반도체층 재료보다 CNT/EEA 반도체층 재료가 우수하였다.

### 감사의 글

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

### 참고 문헌

- [1] 김현철, "탄소나노튜브를 첨가한 나노 복합재료의 기계적/물리적 특성 변화 연구" pp. 1-2, 2002
- [2] 김희영, 김평완, 홍순형, 김연철, 예병한, 정발 "레이저 성광법을 이용한 Carbon/Phenolic 및 Silica/Phenolic 내열복합재료의 열전도도 분석", 한국복합재료학회지, Vol. 11, No. 3, pp. 75-83, 1999
- [3] Technical Report S-39, "Conductive Carbon Black in Plastics", Cabot Corporation.