전력케이블용 XLPE절연체/ 나노 반도전층 재료의 열적 특성

양종석, 최성헌*, 박장현**, 성백룡**, 이재형*, 박대희
원광대학교, 군산대학교*, (주)대양소재**

Thermal Properties of XLPE Insulator/ Nano Semiconducting Materials in Power Cable

Jong-Seok Yang, Sung-hun Choi*, Jabg-Hyeon Park**, Baek-Ryong Sung**, Jaehyeung Lee*, Dae-Hee Park
Wonkwang University, Kunsan National University*, DaeYang Material Co. LTD**

Abstract : To improve the mean-life and the reliability of power cable, we have investigated specific heat (Cp). Specific-heat measurement temperature ranges of XLPE insulator were from 20[℃] to 90[℃], and the heating rate was 1[℃/min]. In case of semiconducting materials, the measurement temperature ranges of specific heat were from 20[℃] to 60[℃], and the heating rate was 1[℃/min].From these experimental results, both specific heat were increased by heating rate because volume of materials was expanded according to rise in temperature. We could know that a small amount of CNT has a excellent thermal properties.

1. 서 론

최근 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. 일반적으로 비열이 큰 재료 일수록 똑같은 열을 주어도 쉽게 내부온도가 변하지 않는다. 즉 열적 안정성이 우수하다는 것을 의미 한다.

본 논문에서는 높은 이방성을 갖는 전도성 탄소나노튜브를 베이스 수지인 EEA에 첨가하여 우수한 분산성을 도모하여 반도전층 재료의 본연의 역할을 유지하면서 우수한 열적 특성을 갖는 반도전층 재료를 선정하고자 하였다. 현재 사용중인 반도전층 재료와 CNT/EEA 반도전층 재료 그리고 XLPE절연체의 열적 특성인 비열을 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. 반도전층 재료는 EVA (Ethylene Vinyl Acetate, 삼성종합화학), EEA (Ethylene Ethyl Acrylate, ATOFINA) 및 EBA (Ethylene Buthyl 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 종이컵이 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 1> 시편들의 조성
<Table 1> Composition of specimens

Unit: wt%

Con-tent	EVA	EEA	EBA	CNT	CB	Add-itive	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

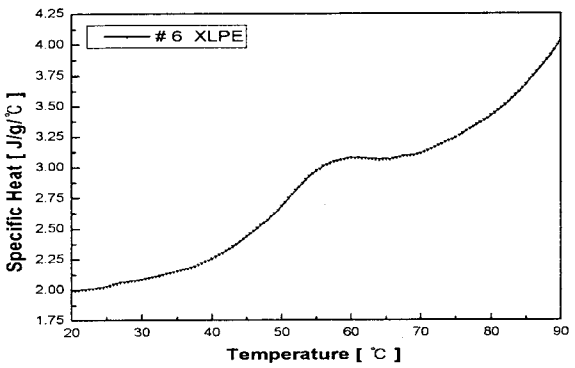
표 1에서 보는 바와 같이 CNT/EEA 반도전층 재료 시편은 펠렛형태의 시료를 180℃로 예열된 Internal mixer기를 사용하여 EEA와 CNT를 1분 간격 으로 mixing을 하였다. 그 다음 첨가제를 넣고 30초 동안 mixing을 한후 가교제를 넣고 10분 동안 mixing을 하였다. 이렇게 제조된 물질을 프레스로 눌러 sheet 형태로 만든 뒤, twin screw extruder에 넣어 전체적으로 mixing 하고 pellet형태로 만든다. 최종적으로 만들어진 펠렛을 사출기에 넣어 필요한 형태로 시편제작을 실시하였다. 또한 현재 사용중인 반도전층 재료의 시편도 위와 같은 공정으로 시편제작을 실시하였다.

2.2 실험 장비 및 방법

비열(Cp)은 μ-Sensor가 부착된 비열전용 DSC인 TA Instrument사의 DSC 204F1으로 측정하였다. XLPE 절연체의 비열 측정온도 범위는 20[℃]에서 90[℃]이고 승온속도는 1[℃/min]였다. 반도전층 재료의 비열 측정온도 범위는 20[℃]에서 60[℃]이고 승온속도는 1[℃/min]였다.

3. 결과 및 고찰

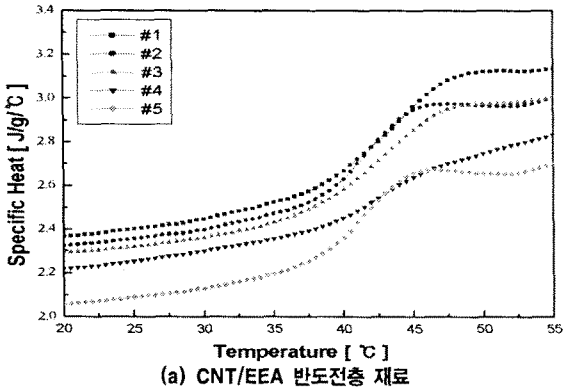
그림 1, 2 그리고 표2는 XLPE 절연체와 반도전층 재료의 온도에 따른 비열 측정 결과를 나타낸 것이다. 비열은 질량이 1[g]인 재료의 온도를 1[℃] 높이는데 필요한 열에너지라고 정의 할 수 있다. 이것은 다시 말해서 재료 내 입자들이 열에너지를 저장한다고 생각할 수 있다 [2,3]. 그러므로 비열 측정에서 XLPE 절연체는 열을 받게 되면 그 열을 모두 재료내의 온도 상승에 사용하지 않는다. 즉, XLPE 절연체내 입자들은 인가된 열에너지를 저장을 하였다가 어느 재료내 열평형 온도지점인 임계지점에 이르면 열에너지를 감당하지 못하고 다른 지점으로 열에너지를 전달한다. 따라서 XLPE는 계속적인 온도의 상승에 따라 열평형이 이루어지는 지점까지 열에너지를 저장하고 남은 여분의 열에너지가 다른 지점으로 전달된다. 그림 1과 표 2에서 보는바와 같이 XLPE 절연체의 비열은 온도가 상승함에 따라 1.993[J/g · ℃]~4.041[J/g · ℃] 범위에서 증가하였다. 즉, 온도가 상승함에 따라 XLPE 절연체는 약 38[℃] 이후부터 비열이 급격히 증가하였다. 설명에 앞서, 본 실험에서 측정된 XLPE의 비열은 정압비열을 나타낸 것이다. 즉, 압력을 일정하게 하고 열을 가했을 때 나타나는 열에너지를 말한다. 일정한 압력에서 재료들은 온도가 상승함에 따라 체적이 팽창을 한다. 따라서 열의 일부가 체적의 팽창이라는 외부로의 일에 소비된다. 그러므로 온도를 높이기 위해서는 그 만큼의 열을 더 가해야 된다. 그래서 XLPE 절연체의 비열이 약 38[℃] 이후부터 급격하게 증가하게 된 것이다. 그리고 XLPE 절연체는 온도가 상승함에 따라 약 58[℃] 부근에서 비열의 최고점을 나타내고 있다. 이후 XLPE 절연체는 약간의 비열 감소를 보이다가, 또 다시 증가하려는 경향을 나타낸다. 이 온도구간은 XLPE 절연체의 유리전이온도가 나타나는 부분이다. 따라서 이 구간에서는 XLPE 절연체의 체적팽창이 또 다시 작용하는 것이 아니라 XLPE 절연체가 유리상에서 고무상으로 변화를 일으키기 위해 열을 흡수하는 영역이다. 더불어 XLPE 절연체는 상태 변화를 일으키기 위해 숨은열을 내포하고 있으므로 더 많은 열에너지가 필요하다. 그래서 이 구간에서 비열이 다소 증가하는 경향을 나타내고 있는 것이다 [4].



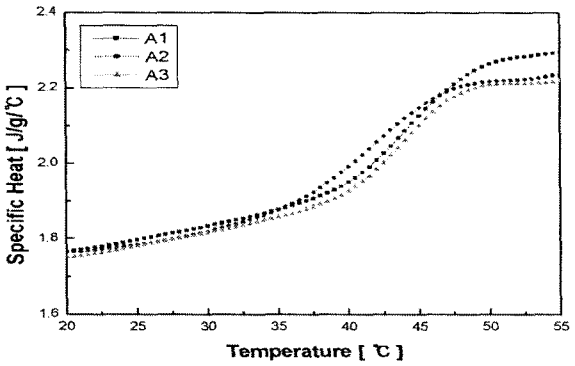
<그림 1> 온도에 따른 XLPE 절연체의 비열
<Fig. 1> Specific heat of XLPE by temperature

그림 2(a)와 표 2에서 CNT/EEA 반도전층 재료의 비열은 온도가 20[℃]에서 55[℃] 상승함에 따라 2.056[J/g · ℃]~3.005[J/g · ℃] 범위에서 증가하

였고 그 수치도 높게 나타난 것을 알 수 있다. 그러나 그림 2(b)와 표 2에서 현재 반도전층 재료로 사용되고 있는 시편의 비열은 1.750[J/g · ℃]~2.294[J/g · ℃] 범위에서 CNT/EEA 반도전층 재료에 비해 그 수치도 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 온도가 상승함에 따라 대부분의 반도전층 재료는 약 28[℃] 이후부터 비열이 급격히 증가하였다. XLPE 절연체의 비열측정에서 설명한 것과 같이 반도전층 재료도 열의 일부가 체적의 팽창이라는 외부로의 일에 소비된다. 그러므로 온도를 높이기 위해서는 그 만큼의 열을 더 가해야 된다. 그래서 반도전층 재료의 비열이 약 28[℃] 이후부터 급격하게 증가하게 된 것이다. 그리고 반도전층 재료는 온도가 상승함에 따라 약 50[℃] 부근에서 비열의 최고점을 나타내고 있다. 이후 반도전층 재료는 약간의 비열 감소를 보이다가, 또 다시 증가하려는 경향을 볼 수 있다. 이 온도구간은 반도전층 재료의 용융 온도가 나타나는 부분이다. 따라서 이 구간에서는 반도전층 재료의 체적팽창이 또 다시 작용하는 것이 아니라 반도전층 재료가 고체상태에서 액체상태로 변화를 일으키기 위해 열을 흡수하는 영역이다. 이와 같이 반도전층 재료는 상태 변화를 일으키기 위해 숨은열을 내포하고 있으므로 더 많은 열에너지가 필요하다. 그래서 이 구간에서 비열이 다소 증가하는 경향을 나타내고 있는 것이다.



(a) CNT/EEA 반도전층 재료



(b)현재 사용중인 반도전층 재료

<그림 2> 온도에 따른 반도전층 재료의 비열

<Fig. 2> Specific heat of semiconducting materials by temperature

<표 2> 온도에 따른 시편의 비열

<Table 2> Specific heat of specimens by temperature

Specimens	Specific Heat [J/g · ℃]		
	25[℃]	55[℃]	90[℃]
#1	2.405	3.138	-
#2	2.358	3.007	-
#3	2.322	3.006	-
#4	2.255	2.832	-
#5	2.092	2.704	-
#6	2.034	2.976	4.049
A1	1.799	2.294	-
A2	1.785	2.238	-
A3	1.782	2.219	-

위 실험으로부터 XLPE 절연체와 CNT/EEA 반도전층 재료의 비열은 현재 사용 중인 반도전층 재료의 비열보다 높게 측정되었다. 서론에서도 언급하였듯이 일반적으로 비열이 큰 재료일 수록 똑같은 열을 주어도 쉽게 내부온도가 변하지 않는다. 즉 비열이 높게 측정된 XLPE 절연체와 CNT/EEA 반도전층 재료의 경우, 현재 사용 중인 반도전층 재료보다 외부로부터의 열에 쉽게 반응을 하지 않는다는 것을 의미 한다.

4. 결 론

본 논문에서는 온도에 따른 XLPE 절연체와 반도전층 재료의 열적 특성을 측정하기 위해 비열을 측정 하였다. 비열 측정에서 XLPE 절연체의 경우, 온도가 상승함에 따라, XLPE 절연체 내의 체적 팽창으로 인한 열에너지 소비가 증가하여 약 38[℃] 이후부터 비열이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 완만한 감소를 보이던 비열은 60[℃] 이후 또 다시 증가하려는 경향을 보였는데, 이것은 XLPE 절연체의 상태변화에 필요한 열에너지의 증가 때문이었다. 반도전층 재료의 경우, 온도가 상승함에 따라, 대부분의 반도전층 재료는 약 28[℃] 이후부터 비열이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 완만한 감소를 보이던 비열은 50[℃] 이후 또 다시 증가하려는 경향을 보였는데, 이것은 반도전층 재료의 상태변화에 필요한 열에너지의 증가 때문이었다. 위 결론으로부터 비열이 가장 높게 나타났던 XLPE 절연체와 CNT/EEA 반도전층 재료는 현재 사용 중인 반도전층 재료보다 외부의 열에 쉽게 반응을 하지 않았으며 열적 안정성이 우수했다.

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] Technical Report S-39, "Conductive Carbon Black in Pla stics", Cabo t Corporation.

[3] 전용구, 김재경, 함덕순, 김진석,"EVA의 Vinyl Acetate 함량변화에 따른 열적-기계적 성질 연구",Polymer(korea), Vol.15, No.4, pp.402~410, 1991.

[4] 김성철 외, "고분자공학I", 희중당, 1994, Chapter 1~10.