CNT/EEA 반도전층 재료와 XLPE 절연체의 열적 특성

論 文
55C-11-2

Specific Heat and Thermal Conductivity Measurement of CNT/EEA Semiconducting Materials and XLPE Insulator

梁 鍾 錫† · 李 慶 龍** · 申 同 訓* · 朴 大 熙***
(Jong-Seok Yang · Kyoung-Yong Lee · Dong-Hoon Shin · Dae-Hee Park)

Abstract - To improve the mean-life and the reliability of power cable, we have investigated specific heat (Cp) and thermal conductivity of XLPE insulator and semiconducting materials in 154[kV] underground power transmission cable. Specimens were made of sheet form with the seven of specimens for measurement. Specific heat (Cp) and thermal conductivity were measured by DSC (Differential Scanning Calorimetry) and Nano Flash Diffusivity. Specific-heat measurement temperature ranges of XLPE insulator were from 20[℃] to 90[℃], and the heating rate was 1[℃/min]. And the measurement temperatures of thermal conductivity were 25[℃], 55[℃] and 90[℃]. In case of semiconducting materials, the measurement temperature ranges of specific heat were from 20[℃] to 60[℃], and the heating rate was 1[℃/min]. And the measurement temperatures of thermal conductivity were 25[℃] and 55[℃]. From these experimental results, both specific heat and thermal conductivity 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.

Key Words : CNT, Semiconducting Materials, XLPE Insulator, Specific Heat, Thermal Conductivity

1. 서 론

재료의 구조와 화학 조성을 나노 단위로 제어를 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 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. 전력케이블은 일반적인 경우 도체를 중심으로 도체차폐층 (conductor shield), 절연층 (insulation), 절연차폐층 (insulation shield), 중성선 (neutral wire) 및 외피로 이루어져 있다. 각 층은 제각기 고유의 역할이 있으므로 각 층에 이상 현상이 발생하면 이는 절연층의 절연파괴를 유발하고 더 나아가 전력케이블의 고장으로 이어진다[2]. 최근까지 지중 송배전용 전력케이블의 품질개선 및 수명연장을 위한, 전력케이블의 전기적 현상 및 제반 특성에 대한 많은 연구는 대부분 XLPE 절연층에 국한되어 이루어져 왔다.

† 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 8月 16日
最終完了 : 2006年 9月 25日

그러나 본 연구는 전력케이블의 반도전층 재료에 관한 심층적인 분석을 통해 그 중요성을 전달함으로써 반도전층 재료의 역할 및 기능에 대한 새로운 인식을 고취하고자 하였다. 본 논문에서는 주로 비열과 열전도도를 다루었다[3,4]. 만약 전력 케이블 내 환경에서 반도전층 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 0.3 ~0.4[W/mK]의 낮은 열전도도를 갖는 XLPE 절연체는 위와 같은 상황에 놓이게 된다면, 급속히 전도된 반도전층 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 컴파운딩 과정에서 분자수준의 산소가 존재하기 때문에 이러한 산화반응은 장기간에 걸쳐 이루어지는 경년열화를 유발하게 된다[3,4]. 이와같이 근본적으로 열전도도가 낮은 XLPE 절연체를 감안한다면 반도전층 재료는 그와 비슷한 수준이거나 낮은 열전도도를 가져야 한다고 판단된다.

지중송배전 케이블 반도전층 재료 에는 전도성 카본 블랙이 다량 함유 되어 있다. 구 형태를 갖는 카본블랙은 긴 튜브 형태의 탄소나노튜브 보다 비중이 매우 높다. 이러한 특성을 기반으로 하여, 반도전층 재료 공정에서 반도전성을 갖게 하기 위해 약 35[wt%]~40[wt%]의 카본블랙을 첨가하는 제조과정을 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 탄소

의 동소체의 하나인 풀러린 (Fullerene)을 처음으로 발견한 이후, 1991년 일본 전기 회사 (NEC) 부설 연구소의 Iijima 박사가 TEM을 이용하여 두 개의 탄소 전극간의 아크에 의해 발생된 탄소 부산물을 관찰하는 과정에서 탄소나노튜브를 발견하였다. 탄소나노튜브는 탄소 원자들이 육각형 벌집 모양의 원통형 구조로 강한 공유결합을 가지고 있다. 일반적으로 20~80nm 직경을 지니며 아스팩트비 (길이/직경)가 대략 100~1000으로 높은 이방성을 가진다.

본 논문에서는 높은 이방성을 갖는 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 비열 및 열전도도로 나누어 실험하여 상호 비교 및 분석하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1 시편 제작

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, 현대석유화학), 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. 기상합성법은 탄소나노튜브를 대량으로 합성하기에 유리한 방법으로 제안되고 있으며, 기판을 사용하지 않고 반응로 안에 반응가스와 촉매금속을 직접 공급하여 기상에서 탄소나노튜브를 합성하는 방법이다. 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 감겨 있으면서 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. 편의상 CNT/EEA 반도전층 재료 시편은 #1~#3, XLPE 절연체 시료를 #4, 그리고 현재 반도전층 재료로 사용되고 있는 시편을 A1~A3으로 각각 명명하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 CNT/EEA 반도전층 재료 시편은 펠렛 형태의 시료를 180℃로 예열된 Internal mixer기를 사용하여 EEA와 CNT를 1분 간격 으로 mixing을 하였다. 그 다음 첨가제 (산화방지제, 가교촉진제, 열안정제, 난연제)등을 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.

표 1 시편들의 조성

Table 1 Composition of specimens Unit: wt%

Contents	EVA	EEA	EBA	CNT	CB	Additive	Agent	Total
# 1	-	95.9	-	3	-	0.6	0.5	100
# 2	-	93.9	-	5	-	0.6	0.5	100
# 3	-	88.9	-	10	-	0.6	0.5	100
# 4	XLPE 절연체 (154kV용)							
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	0.6	100

2.2 실험 장비 및 방법

열전도도는 Nano Flash Diffusivity (NETZSCH, LFA 447)로 측정하였다. XLPE 절연체의 열전도도 측정온도는 25[℃], 55[℃] 및 90[℃]였다. 반도전층 재료의 측정온도는 25[℃]와 55[℃]였다.

XLPE 절연체와 반도전층 재료의 최대 측정온도를 각각 90[℃]와 55[℃]로 정하였다. 이유는 XLPE 절연체의 유리전이온도가 90[℃], 반도전층 재료의 멜팅 온도가 60[℃] 전후로 나타나서 XLPE 절연체는 90[℃], 반도전층 재료는 55[℃]까지 정하였다. 이 장비는 ASTM E1461 규격에 적합한 장비로서 제논플래시 (Xenon Flash) 램프를 광원으로 채용하여 시료 표면에 투사된 광원에 의해 전달되는 열이 반대편으로 전달될 때의 시간을 측정하는 방법으로 열전도도를 측정, 계산하게 된다. 이 때 관계되는 시료의 열저항(Thermal Resistance) 값을 측정하여 매개 변수로 사용한다. 제논 플래시 램프는 시편 아래쪽에 위치하여 구동되고 시편의 위쪽으로 전달되는 열은 상단부에 위치한 적외선 센서 (IR detector)에 의해 측정되었다.

비열(Cp)은 μ-Sensor가 부착된 비열전용 DSC (TA Instrument, DSC 204F1)로 측정하였다. XLPE 절연체의 비열 측정온도 범위는 20[℃]~90[℃]이고 승온속도는 1[℃/min]였다. 반도전층 재료의 비열 측정온도 범위는 20[℃]~60[℃]이고 승온속도는 1[℃/min]였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 열전도도

그림 1은 XLPE 절연체의 온도 변화에 따른 열전도도의 변화를 나타내고 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이 XLPE 절연체의 열전도도는 25[℃]에서 0.223[W/mK], 55[℃]에서 0.267[W/mK] 그리고 90[℃]에서 0.28[W/mK]를 보이며 증가하고 있다. 이와 같이 XLPE 절연체는 온도가 상승할수록 열전도도가 증가한다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 뒤에 설명한 비열을 통해서 해석이 된다. 비열은 질량이 1[g]인 재료의 온도를 1[℃] 높이는데 필요한 열에너지라고 정의할 수 있다. 이것은 다시 말해서 재료 내 입자들이 열에너지를 저장한다고 생각할 수 있다[5~8]. 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 열평

형 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.

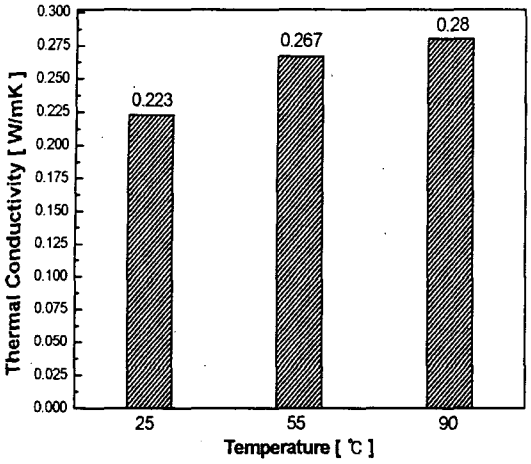
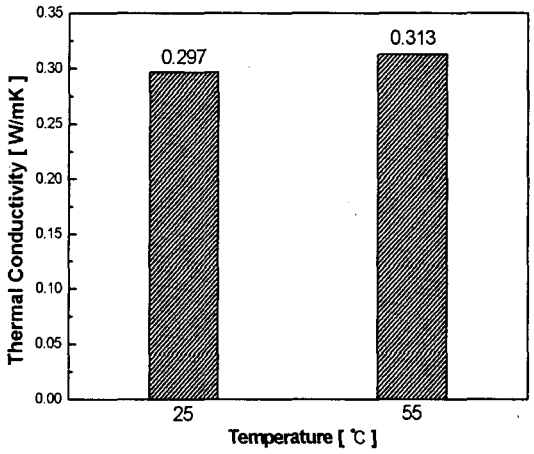
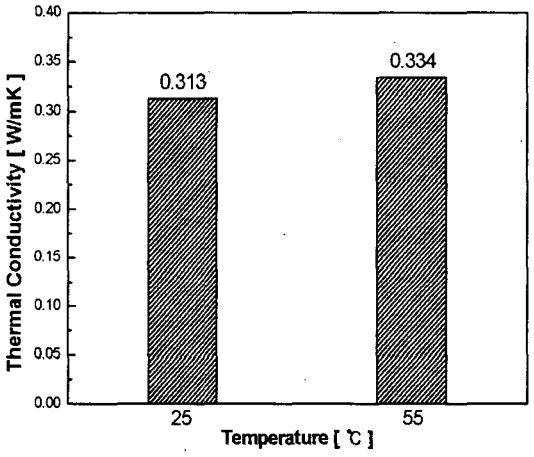


그림 1 온도에 따른 XLPE 절연체의 열전도도
Fig. 1 Thermal conductivity of XLPE by temperature

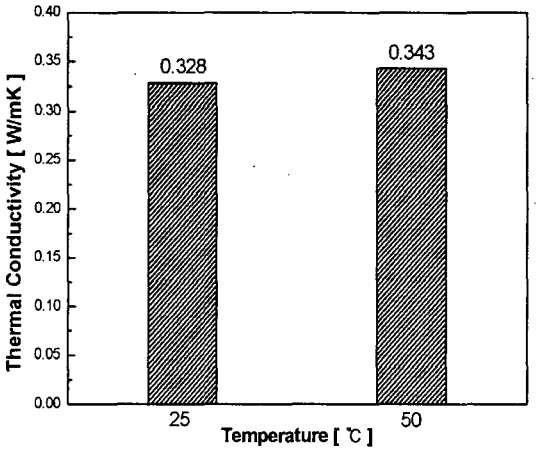
그림 2는 반도전층 재료의 온도에 따른 열전도도의 변화를 나타내고 있다. 그림 2(a)~(c)에서 알 수 있듯이 25[℃]에서 CNT/EEA 반도전층 재료의 열전도도는 0.297[W/mK]~0.328[W/mK]의 범위에서 증가하고 있으며, 55[℃]에서 CNT/EEA 반도전층 재료의 열전도도는 0.313[W/mK]~0.343[W/mK]의 범위에서 증가하고 있다. 이와 같이 CNT/EEA 반도전층 재료는 온도가 상승 할수록 열전도도가 증가한다는 것을 알 수 있다. 하지만 현재 사용 중인 반도전층 재료의 카본블랙 함량인 37[wt%]~39[wt%]에 비해 탄소나노튜브 함량 3[wt%]~10[wt%] 영향으로 CNT/EEA 반도전층 재료의 열전도도가 낮게 나타났다. 또한 그림 2(d)~(f)에서 알 수 있듯이 25[℃]에서 현재 사용 중인 반도전층 재료의 열전도도는 0.465[W/mK]~0.493[W/mK]의 범위에서 증가하고 있으며, 55[℃]에서 현재 사용 중인 반도전층 재료의 열전도도는 0.504[W/mK]~0.552[W/mK]의 범위에서 증가하고 있다. 즉 앞서 설명한 CNT/EEA 반도전층 재료의 열전도도 보다 높게 나타남을 알 수 있다. 이러한 경향은 앞서 설명한 XLPE의 열전도도 측정에서와 같이, 반도전층 재료내 입자들은 인가된 열에너지를 저장을 하였다가 어느 재료내 열평형 온도지점인 임계지점에 이르면 열에너지를 감당하지 못하고 다른 지점으로 열에너지를 전달한다. 따라서 반도전층 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 열진동이 증가하게 된다. 따라서 현재 사용중인 반도전층 재료의 열전도도가 증가하는 것은 당연하다. 위 결과로부터 XLPE 절연체의 열전도도는 CNT/EEA 반도전층 재료의 열전도도와 비슷하게 나타났고 현재 사용중인 반도전층 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. 이러한 경향은 뒤에 설명할 비열 측정에서도 알 수 있었다. 즉, 비열이 가장 높게 나타났던 XLPE 절연체와 CNT/EEA 반도전층 재료는 현재 사용 중인 반도전층 재료보다 외부의 열에 쉽게 반응을 하지 않았다. 이와 같은 결과는 XLPE 절연체와 CNT/EEA 반도전층 재료의 낮은 열전도도를 대변해주는 결과라고 할 수 있다.



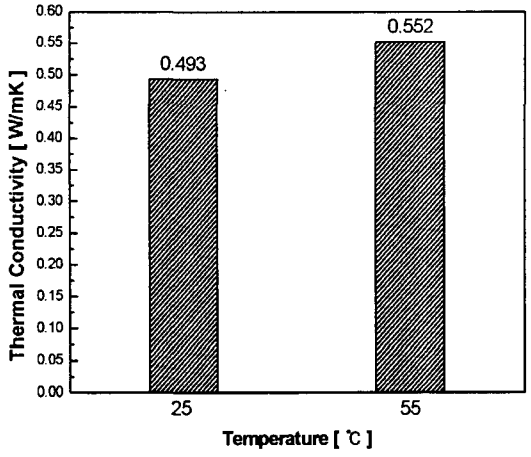
(a) #1 CNT3



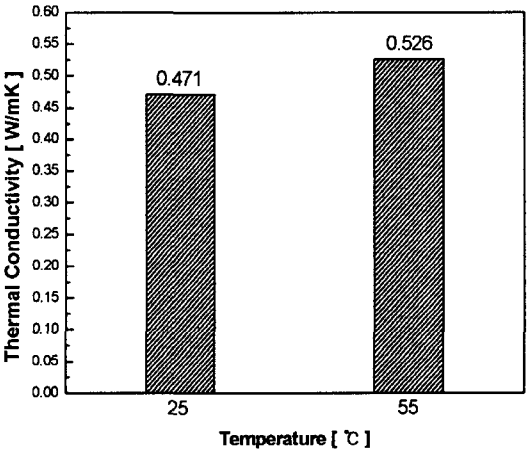
(b) #2 CNT5



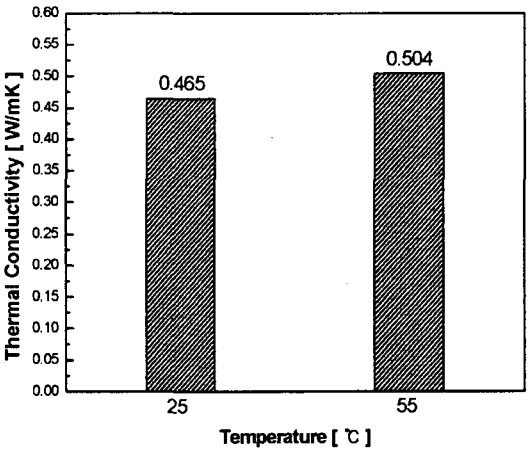
(c) #3 CNT10



(d) A1 CB38.7



(e) A2 CB38.7



(f) A3 CB37.2

그림 2 온도에 따른 반도전 재료의 열전도도

Fig. 2 Thermal conductivity of semiconducting materials by temperature

서론에서 언급하였듯이 원천적으로 열전도도가 낮은 XLPE 절연체는 열의 전도와 대류가 매우 느리게 진행된다. 본 실험에서 알 수 있듯이 XLPE 절연체 내 외의 반도전층 재료가 높은 열전도도를 갖는다면 도체와 밀접한 내부반도전의 열전도와 중성선과 밀접한 외부반도전의 열전도가 XLPE 절연체로 빨리 진행 될 것이다. 그러나 낮은 열전도도를 갖는 XLPE 절연체로 전도된 열은 높은 온도와 산화반응에 의한 경년열화를 발생시켜 절연체의 화학구조를 변화시킬 수 있다. 이와 같이 XLPE 절연체와 반도전층 재료의 불평등한 열전도 특성은 전력케이블의 수명을 단축시킬 수 있다.

따라서 반도전층 재료와 XLPE 절연체간의 열평형을 유지해야한다. 이것은 절연체인 XLPE 절연체보다 반도전층 재료의 개질을 통해 구현을 해야 한다고 판단된다.

3.2 비열

그림 3, 4 그리고 표 2는 XLPE 절연체와 반도전층 재료의 온도에 따른 비열 측정 결과를 나타낸 것이다. 그림 3과 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[9]. 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 상태변화를 일으키기 위해 숨은열을 내포하고 있으므로 더 많은 열에너지가 필요하다. 그래서 이 구간에서 비열이 다소 증가하는 경향을 나타내고 있는 것이다 [3~5, 9].

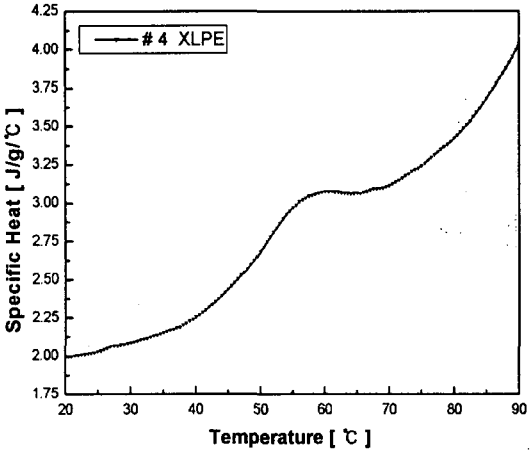
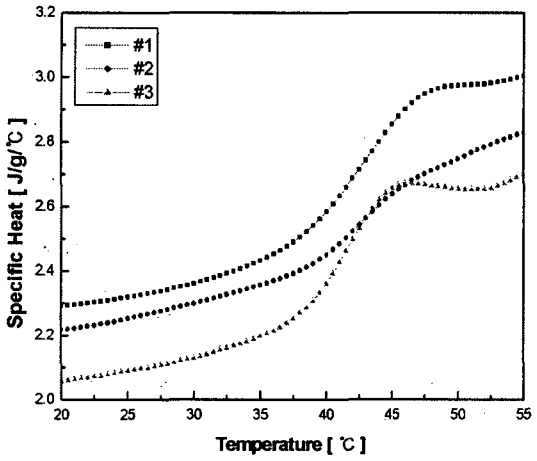


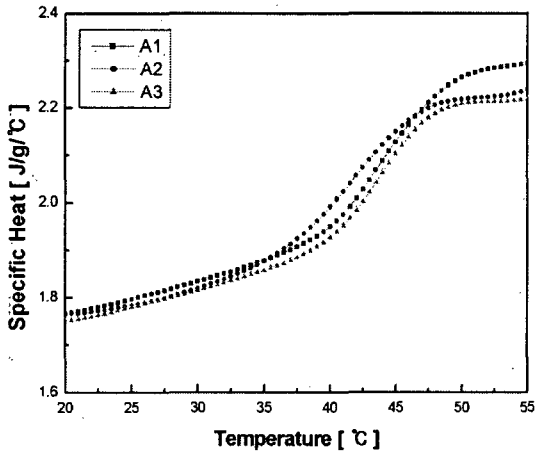
그림 3 온도에 따른 XLPE 절연체의 비열

Fig. 3 Specific heat of XLPE by temperature

그림 4(a)와 표 2에서 CNT/EEA 반도전층 재료의 비열은 온도가 20[℃]에서 55[℃] 상승함에 따라 2.056[J/g · ℃]~3.005[J/g · ℃] 범위에서 증가하였고 그 수치도 높게 나타난 것을 알 수 있다. 그러나 그림 4(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.



(a) CNT/EEA 반도전층 재료



(b) 현재 사용중인 반도전층 재료

그림 4 온도에 따른 반도전층 재료의 비열

Fig. 4 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	2.322	3.006	-
#2	2.255	2.832	-
#3	2.092	2.704	-
#4	2.034	2.976	4.049
A1	1.799	2.294	-
A2	1.785	2.238	-
A3	1.782	2.219	-

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.

위 실험으로부터 XLPE 절연체와 CNT/EEA 반도전층 재료의 비열은 현재 사용중인 반도전층 재료의 비열보다 높게 측정되었다. 일반적으로 비열이 큰 재료일 수록 똑같은 열을 주어도 쉽게 내부온도가 변하지 않는다. 즉 비열이 높게 측정된 XLPE 절연체와 CNT/EEA 반도전층 재료의 경우, 현재 사용중인 반도전층 재료보다 외부로부터의 열에 쉽게 반응하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 앞서 설명된 열전도도 측정에서도 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 온도에 따른 XLPE 절연체와 반도전층 재료의 열적 특성을 측정하기 위해 열전도도와 비열을 알아보았다.

열전도도 측정에서 XLPE 절연체와 반도전층 재료의 경우, 온도가 상승할 수록 열전도도는 증가하였다. 이것은 XLPE 절연체와 반도전층 재료 내 입자들이 인가된 열에너지를 저장을 하였다가 어느 재료내 열평형 온도지점인 임계지점에 이르면 열에너지를 감당하지 못하고 다른 지점으로 열에너지를 전달하기 때문이었다. CNT/EEA 반도전층 재료의 경우, 탄소나노튜브의 적은 첨가량으로 인해 열전도도가 낮게 나타났다. 또한 현재 사용중인 반도전층 재료의 경우, 우수한 열전도성을 갖는 카본블랙의 첨가가 열전도도를 상승시키는 역할을 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 반도전 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 XLPE 절연체와 CNT/EEA 반도전층 재료는 현재 사용중인 반도전층 재료보다 높은 비열과 낮은 열전도도를 나타내었다. 이것은 열전도도에서 설명된 경년열화와 같은 현상들을 방지 할 수 있다. 따라서 전력케이블용 반도전층 재료는 XLPE 절연체간의 열평형을 유지하는 것이 바람직하며 현재 사용중인 반도전층 재료보다 CNT/EEA 반도전층 재료가 우수하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (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 Dieletrics", IEEE Trans. Elec. Ins., Vol. 19. pp. 419-452, 1993.

[3] 한재홍, 김상준, 권오형, 강희태, 서광석, "반도전층내 불순물이 전력케이블의 신뢰도에 미치는 영향", 전기학회논문지, Vol.46, No.1, pp. 19-27, 1997.

[4] 한재홍, 송일근, 임장섭, 이동영,"전력케이블용 반도전 재료의 설계기술", 전기전자재료학회 논문지, Vol 13, No. 2, pp. 12-17, 2000. 2

[5] 박정호, 윤영섭, 이상렬, 이승기, 이준신, "전자재료 물성 및 소자", 2002, Chapter 1, 2.

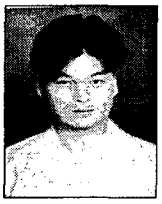
[6] 이경용, 양종석, 최용성, 박대희, "반도전재료의 불순물 측정 및 물성에 관한 연구", 전기학회논문지, Vol. 53C, No. 9, pp. 455-458, 2004.

[7] Technical Report S-39, "Conductive Carbon Black in Pla stics", Cabot Corporation.

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

[9] 김성철 외, "고분자공학I", 희중당, 1994, Chapter 1-14.

저 자 소 개



양 종 석(梁 鍾 錫)

1980년 06월 07일생. 2005년 원광대학교 전기전자 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 전기전자 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(공박). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수. 2004~현재 전기응용신기술 연구센터 소장.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr