

주파수, 온도에 따른 전력케이블용 반도체 재료의 유전율

양 훈, 박대희
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

Permittivity of Semiconductive Shield Materials in Power Cables by Frequency, Temperature

Hoon Yang, Dae-Hee Park
Department of Electrical Electronic and Information Engineering, Wonkwang University

Abstract - This paper researched permittivity of carbon nanotube reinforced semiconductive shield materials for power cable in accordance with carbon nanotube content. Permittivity measured 1[Hz], 1[kHz], 1[Mhz] in frequency range, and range of temperature measured to 100 [°C] from -50[°C]. It is stable to 100[°C] from -50[°C] without different gap. But, in case of CNT:CB=100:0, permittivity decreased by temperature increment. Also, in case of CNT:CB=100:0, it shows highest permittivity. Permittivity of change have little no the power of influence by frequency, but in case of 1[Mhz], CNT:CB=100:0 of specimen decreased more than other frequency. This influence thinks phenomenon of induced electricity dispersion.

일련 용액을 포함하는 양용매에 EEA와 CNT를 별도로 용해 및 분산시킨 후에 다시 혼합함으로써 별도의 첨가제를 사용하는 방식을 생략한다. 불순물의 영향을 최소화하여 첨가제의 비율에 따른 유전율을 조사하고자 본 제조방법을 사용하였다.

1. 서 론

나노 크기의 초미립자 재료는 비표면적이 엄청나게 크기 때문에 입자 크기가 클 때의 물성과는 매우 다른 독특한 특성을 나타낸다[1]. 이러한 나노 크기의 재료적 특성을 접목하여 더욱 우수한 특성을 지닌 복합소재를 개발하고, 이것을 활용하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 지중 송배전용 전력케이블을 비롯한 전기재료분야에서 나노 크기 입자를 활용한 연구는 그리 흔하지 않은 실정이다.

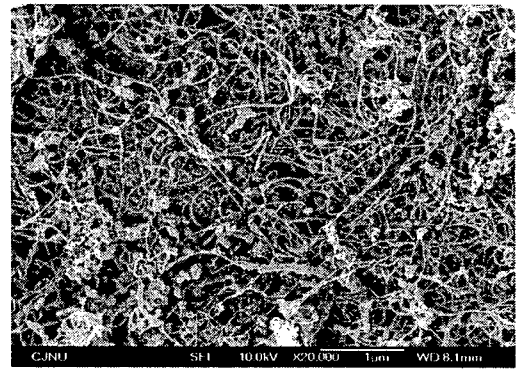


Fig 1. CM-95 제품의 SEM 사진

일반적으로 전력케이블은 도체를 중심으로 도체차폐층(Conductor Shield), 절연층(Insulation), 절연차폐층(Insulation Shield), 중성선(Neutral Wire) 및 외피(Jacket)로 구성된다. 여기서 각 층은 제각기 고유 역할이 있는데, 어느 한 층에 이상 현상이 발생하면 이는 절연층의 절연파괴를 유발하고, 더 나아가 전력케이블의 기능 상실로까지 이어진다[2]. 최근까지 지중 송배전용 전력케이블의 품질개선 및 수명연장을 위한 전력케이블의 전기적 현상 및 제반 특성에 대한 많은 연구는 대부분 XLPE(Cross-linking polyethylene) 절연층에 국한되어 이루어져 왔다.

2.2 BDS분석

전력케이블용 반도체 재료의 유전율을 온도와 주파수에 의한 영향을 분석하기 위하여 Novocontrol GmbH사의 concept 40 모델의 BDS(Broadband Dielectric Spectrometer)를 사용하였다.

그러나 본 연구는 전력케이블의 반도체층 재료에 관한 심층적인 분석을 통해 여러 가지 중요한 물성 변화를 살펴봄으로써 반도체층 재료의 역할 및 기능에 대한 새로운 인식을 고취하고자 하였다.

본 실험에 사용된 BDS는 복소율측정 및 고분자의 경화거동, 열화현상, 분자완화, 전도도, 상변태등의 측정에 사용되며, 고주파재료의 고주파특성 분석 및 전도성고분자 특성파악에 유용한 분석장비이다. 주파수와 온도의 영향을 알아보고자 주파수의 영역은 1[Hz]에서 1[MHz]까지 분석하였으며, 온도 영역은 -50[°C]에서 100[°C]까지 분석하였으며, 승온온도는 4[°C/min]으로 하여, 총 5회 실험한 후 평균값으로 나타내었다.

일반적인 전력케이블의 구성층중의 하나인 반도체층의 복합재료가 적용되기 위해서는 강한 전기장 하에서 절연성을 상실하고 전류가 흐르게 되는 정전하 방전현상(Electrostatic Discharge)을 보일 수 있어야 하며, 또한 전자기파 방해(Electromagnetic Interference)로부터 보호될 수 있어야 한다. 이런 성능을 가지는 복합재료를 제작하기 위해서 지금까지는 전기전도도가 큰 카본블랙(Carbon Black)등이 사용되어 왔다[3,4].

3. 결과 및 고찰

일반적으로 복합재료의 전자기적 물성은 필러의 전기전도도 및 형상에 주로 영향을 받는다. 형상면에서 볼 때 직경에 대한 길이비(aspect ratio)가 크고, 직경이 작을수록 전자파 흡수 및 반사에 효율적이라고 알려져 있다 [5,6].

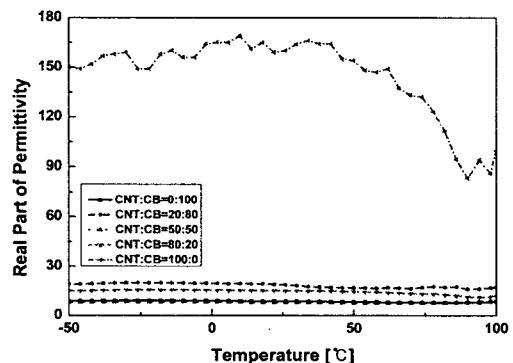


Fig 2. 1[Hz]에서의 온도에 따른 유전율

이러한 재료로 기존 전력케이블에서는 전도성을 부여하기 위하여 30wt% 이상의 구형 카본블랙을 사용하였으나, 본 논문에서는 1991년 Iijima에 의해 발견된 탄소나노튜브로 어떤 필러보다도 기계적, 전자기적 물성이 우수하고, 직경은 수 nm, 직경에 대한 길이비는 거의 1000에 이른다. 따라서 CNT를 첨가제(filler)로 사용할 경우, 기존의 필러보다 뛰어난 전자기파 차폐성을 보일 것으로 예상됨으로서, 기존의 필러인 카본블랙과 탄소나노튜브의 두 개 충전 시스템을 도입하여, 5가지 종류의 시편으로 진행하여 비슷한 두 필러에 대한 상승효과(Interaction)를 기대하였다.

2. 실험

2.1 시편제작

시편제조법으로는 분산성 향상과 별도의 첨가제를 생략하는 용액혼합법을 사용하였으며, 본 실험에 사용된 탄소나노튜브는 Iijin Nanotech사의 CM-95를 사용하였다. CM-95제품의 직경은 10-15[nm]이며 길이는 10-20[μm]이고, 순도 95%이상이다. 그림 1에서는 CM-95제품의 SEM(Scanning Electron Microscope) 사진이다.

그림 2, 3, 4는 -50[°C]에서 100[°C]까지의 1[Hz], 1[kHz], 1[MHz]의 유전율의 변화를 나타낸 그래프이다.

제조방법은 EEA(Ethylene Ethyl Acrylate)를 용해시키는 양용매에 첨가하여 EEA용액을 생성한 후, CNT(Carbon Nanotube)를 양용매에 고르게 분산시켜, 분산용액을 생성하였다. 그 다음 EEA용액과 CNT를 고르게 혼합하여 칩전물을 생성시켰다. 칩전물을 여과하여 건조한 다음, 칩전물에 포함된 용액을 제거하여 시트형태로 압축한 방식이다. 이러한 용액혼합법은 자

온도가 변화함에 따라 커다란 변화는 없었으나, CNT:CB=100:0인 경우의 시편에서는 감소하였다. 유전율 또한, CNT:CB=100:0인 경우의 시편은 다른 시편에 비해 높은 유전율을 가지며, 1[Hz]에서 1[MHz]로 증가하면서 CNT:CB=100:0인 경우의 시편은 낮은 유전율을 나타내었으나, 나머지 4종류의 시편에서는 큰 차이가 없었다.

탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 대체적으로 유전율이 높아짐을 알

수 있으며, CNT:CB=100:0인 경우에는 주파수가 커짐에 따라 감소하는 경향을 알 수 있으며, 나머지의 경우에는 주파수의 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있다.

또한, 온도가 증가함에 따라 CNT:CB=100:0인 경우에만 변화가 있었지만, 나머지의 경우에는 온도의 영향도 거의 없음을 알 수 있다.

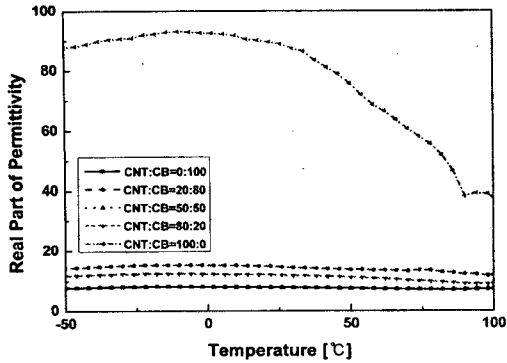


Fig 3. 1[kHz]에서의 온도에 따른 유전율

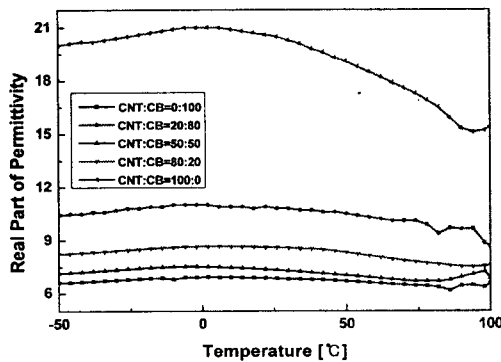


Fig 4. 1[Mhz]에서의 온도에 따른 유전율

주파수의 증가에 따라 감소하는 경우는 절연체 내에서 발생하는 하나의 분극과정이 채 완료되기 전에 전계가 교번됨으로 인한 전형적인 유전분산 현상으로서 분극의 형태는 영구쌍극자군이 전계방향으로 배향함에 의해 발생하는 배향분극과 시료의 불균질성에 기인한 계면분극이 주를 이루고 있다고 간주된다[7].

유전율은 온도, 교류자기장의 주파수에 따라 변하는데 유전율이 큰 물질은 절연내력도 큼을 의미한다. 이러한 의미로 볼 때 CNT:CB=100:0인 경우의 반도체 재료가 가장 절연 내력이 큼을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문은 용액혼합법으로 제조하여, 전력케이블용 반도체 재료의 온도, 주파수에 의한 유전율의 변화를 연구하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

카본블랙이 첨가된 시편에서는 온도에 의한 유전율의 의존성은 적었지만, 카본블랙이 첨가되지 않은 CNT:CB=100:0인 시편의 경우에는 1[Hz]에서는 50[°C], 1[kHz]에서는 40[°C], 1[MHz]에서는 35[°C]부근에서 감소하였다.

주파수가 높아짐에 따라 온도에 대한 유전율의 비는 감소함을 알 수 있었으며, 카본블랙이 첨가되지 않은 CNT:CB=100:0인 시편의 경우에는 다른 시편에 비해 상당히 큰 유전율을 나타내었다.

유전율이 크다는 의미는 절연내력과 상통하기에 케이블용 재료로써 우수성을 확인할 수 있다. 또한, 주파수가 증가함에 간격은 적어졌으며, CNT:CB=100:0인 경우를 제외하고는 큰 영향을 끼치지 않았다.

감사의 글

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

[참고 문헌]

- [1] 신효순, 남시도, 나노기술동향, pp. 13-22, 2005.
- [2] M. T. Shaw, S. H. Shaw, "Water Treeing in Solid Dielectrics", IEEE Trans. Elec. Ins., Vol. 19, pp. 419-452, 1993.
- [3] 오정훈, 오경섭, 김천곤, 홍창선, 이동민, "적층 복합재 판을 이용한 전자 기과 흡수 구조체의 설계", 한국복합재료학회지, Vol. 15, No. 2, pp. 18

-23, 2002

- [4] 이상의, 박기연, 김천곤, 한재홍, "다중벽 탄소나노튜브/에폭시 복합재료의 유전율에 관한 연구", 한국복합재료학회지, Vol. 17, No. 3, pp. 38-44, 2004.
- [5] D. D. L. Chung, "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials", Carbon, Vol. 39, pp. 279-285, 2001.
- [6] Shui X, et al., "Submicron Diameter Nickel Filaments and Their Polymer-Matrix Composites", Journal of Materials Science, Vol. 35, pp. 1773-1785, 2000.
- [7] 정종욱, 정진수, 한운기, "PE 계열 절연체 전기적 특성 평가", 한국전기전자재료학회 논문집, Vol. 20, No. 5, pp. 430-435, 2007.