

EAA에 미치는 CNT/CB Composite 분산 특성

양 훈[†], 박대희
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

Dispersion Property of CNT/CB Composite influenced EEA

Hoon Yang[†], Dae-Hee Park
Department of Electrical Electronic & Information, Wonkwang University

Abstract - Use of the carbon nanotube is superior to general powder state materials of dispersion property. Because its ratio of diameter and length(aspect ratio) is very large, it has been known as a type of ideal nano-reinforcement composite. It used solution mixing method for specimen fabrication. To research dispersion property, we used FE-SEM(Field Emission Scanning Electron Microscope) and AFM(Atomic Force Microscope). As a result, this tendency confirms new conductivity network in which the carbon nanotube between carbon black constitute molecules shows a bond by similar constructive property.

1. 서 론

나노 크기의 초미립자 재료는 비표면적이 엄청나게 크기 때문에 입자 크기가 클 대의 물성과는 매우 다른 독특한 특성을 나타낸다[1]. 이러한 나노 크기의 재료적 특성을 집적하여 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.

최근까지 지중 송배전용 전력케이블의 품질개선 및 수명연장을 위한 전력케이블의 전기적 현상 및 제반 특성에 대한 많은 연구는 대부분 XLPE 절연층에 국한되어 이루어져 왔다[2,3]. 그러나 본 연구는 전력케이블의 반도전층 재료에 관한 심층적인 분석을 통해 여러 가지 중요한 물성 변화를 살펴봄으로써 반도전층 재료의 역할 및 기능에 대한 새로운 인식을 고취하고자 하였다.

지금까지 고분자 자체에 특성을 부여하려는 고분자 합성에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 그 소재의 전기 전도성 향상 및 조절에는 어느 정도 성과를 보여왔다. 그러나 고분자 물질의 활용상 중요한 특성인 대기 중의 안정성과 가공의 용이성 그리고 기타 물리적인 물성 면에서의 취약함뿐만 아니라 대규모 생산에서의 여러 문제점으로 인하여 아직까지는 제품화가 활발히 이뤄지지 않고 있다[4,5]. 따라서 고분자 소재에 여러 가지 특성화 충전제를 첨가하여 복합재료를 제조하는 방법이 대두되었다. 그 중 도전성 카본블랙이 지중송배전용 케이블의 반도전층에 사용되고 있는데, 그 반도전층은 전력케이블의 도전층과 고분자 절연층 사이에 위치하는 전기저항이 약 $10^0-10^2 \Omega \text{cm}$ 인 얇은 고분자 복합소재층으로서 도전성 카본블랙을 30[wt%]이상 다량 함유하고 있다. 그런데 다량의 도전성 카본블랙을 함유하고 있는 반도전층은 도전에서 발생하는 열을 효과적으로 차단하지 못하기 때문에 인접 고분자 절연층으로의 열전달이 쉽게 이뤄져 결국 절연층을 열노화에 노출시켜 전력케이블의 수명단축을 야기할 수 있다. 또한 케이블 가공 시 높은 점도로 인해 가공성이 떨어지는 문제점도 가지고 있다.

본 연구에서는 카본블랙과 직경과 긴 길이에 의한 큰 종횡비(Asspect Ratio)와 비표면적을 가지며, 독특한 구조에서 비롯된 대칭성과 비 대칭성으로 금속성, 반도체성 이외에도 화학적 또는 열적으로 안정하며, 우수한 성질을 가지고 있는 탄소나노튜브를 사용하였다[6]. 매트릭스로 EEA(Ethylene Ethyl Acrylate)를 사용하였으며, 카본블랙과 탄소나노튜브를 충전제로 사용하여, 매트릭스내에 충전제의 내외부 분산정도를 살펴보았다.

2. 본 론

2.1 시편 제조

본 논문에서 사용된 고분자 매트릭스는 EEA(Ethylene Ethyl Acrylate)를 사용하였으며, 전도성 및 특성 부여하기 위한 충전제로 CB(Carbon Black), CNT(Carbon Nanotube, diameter 10-15nm, length 10-20um)를 사용하였다. 아울러 용액 혼합 시 용매로는 Xylene를 사용하였다. 시편의 조성은 두 개의 충전제를 사용하였을 때의 상승효과를 알아보고자 5가지의 종류로 조절하였으며, 표 1에 나타내었다.

표 1. 시편 조성.

Compound	Polymer[wt%]	CNT[wt%]	CB[wt%]
CNT:CB=0:100	90 [EEA]	-	10
CNT:CB=20:80		2	8
CNT:CB=50:50		5	5
CNT:CB=80:20		8	2
CNT:CB=100:0		10	-

2.2 실험 방법

시편들의 표면에 분포하는 탄소나노튜브와 카본블랙의 분산성을 측정하기 위해 도입된 장비는 전계방사 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM)라고 불리는 Hitachi사의 S-4300모델을 도입하였다.

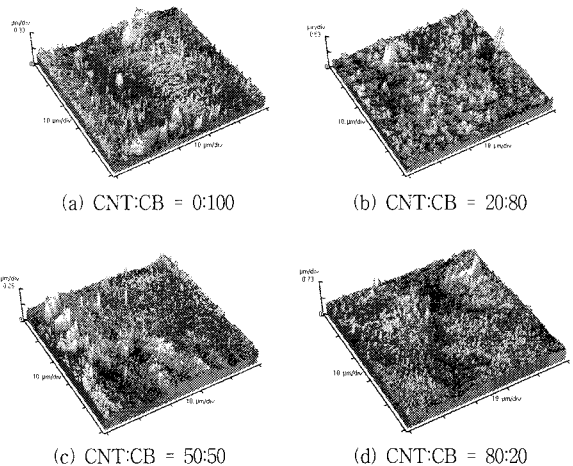
일반적으로 SEM은 전자 빔이 샘플의 표면에 주사하면서 샘플과 상호작용에 의해 발생된 SE(Secondary Electron, 이차전자)를 이용해서 샘플의 표면을 측정하는 장비이다. 전계방사 전자총을 장착한 FE-SEM은 0.6[nm]이하의 고 분해능으로 고화질의 화상을 얻을 수 있기 때문에 형상 관찰에 폭넓게 사용되고 있다. 열전자 검출 방식인 일반 SEM은 시편에 손상을 입힐 우려가 있어서 전계방사형 검출방식인 FE-SEM을 사용하게 되었다[7].

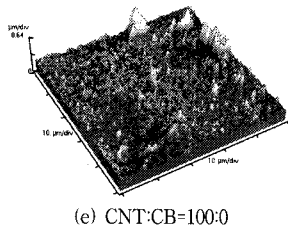
또한, 시편들의 표면 거칠기(Roughness)를 측정하기 위해 도입된 장비는 원자간 힘 현미경(Atomic Force Microscope, AFM)이다.

3. 결과 및 도함

절연층의 내외부에 존재하는 반도전층은 불균일한 전기장의 분포와 등전위의 전기장 분포가 되도록 함으로써 고압 전류가 흐를 때 발생하는 전기장의 집중화를 방지하여 절연층의 열화속도를 느리게 하는 역할을 한다.

그 외에 부분방전 억제, 기계적 강도 보완, 수분 침투 방지 등의 역할이 있다. 이러한 역할을 하는데 필요한 한 가지의 중요한 요소는 도체차폐층과 절연층사이의 계면 평활도이다. 주로 문제가 되는 것이 돌기(Protrusion)이다. 절연체와 내부 반도전층의 계면에 돌기가 존재하는 경우 전계가 집중하여 국부적인 절연파괴를 일으키고 이 미세한 절연파괴가 장시간에 걸쳐 반복적으로 일어나 결국 전력케이블의 기능 상실을 유발하는 역할을 한다. 이러한 돌기의 유무와 분포를 그림 1에 나타내었다.

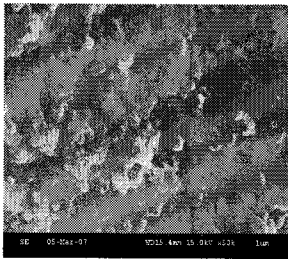




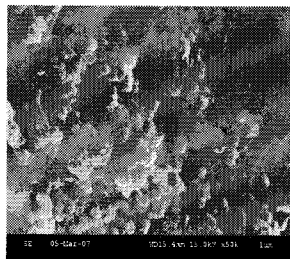
(e) CNT:CB=100:0

그림 1. 탄소나노튜브 함량에 따른 AFM 사진.

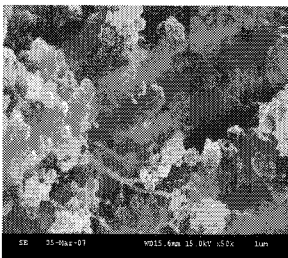
그림 1에서 보이는 바와 같이 탄소나노튜브가 첨가되지 않았을 경우에는 카본블랙만의 분산에 큰 문제가 없었으나, 탄소나노튜브가 첨가됨에 따라 탄소나노튜브와 카본블랙간의 분산이 고르지 않기 때문인 것으로 여겨진다. 그러나 CNT:CB=100:0인 경우에는 예외로 구형구조인 카본블랙과 달리 탄소나노튜브의 모양이 이방형인 긴 튜브형태를 가지기 때문에 분산이 고르게 이뤄지지 못해서 가장 큰 표면 거칠기를 나타냈다고 생각된다.



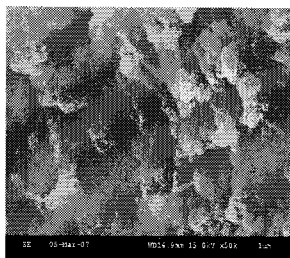
(a) CNT:CB = 0:100



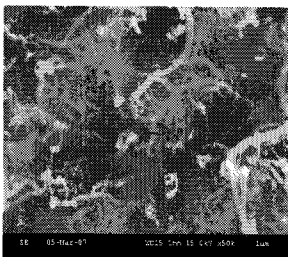
(b) CNT:CB = 20:80



(c) CNT:CB = 50:50



(d) CNT:CB = 80:20



(e) CNT:CB = 100:0

그림 2. 탄소나노튜브 함량에 따른 FE-SEM 사진.

그림 2에서는 EEA 수지에 분포하는 탄소나노튜브와 카본블랙 함량에 따른 탄소나노튜브의 형성과 성장과정 그리고 분산성을 관찰하기 위해서 50,000배에서의 FE-SEM사진을 통해 나타냈다. 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 파단면 위에 드러나는 탄소나노튜브도 많아짐을 알 수 있었고 시편들은 매트릭스 형태를 형성하고 방사적으로 분포하고 이Tdam을 알 수 있다. 이러한 분포형태는 베이스 수지 내 전기전도성 네트워크를 형성할 수 있음을 나타낸다.

또한, 이러한 전도성 네트워크의 영향으로 시편 내 자유전자들이 자유롭게 호핑이 이루어지며 클러스터가 형성됨을 의미한다. 그리고 대체적으로 우수하게 분산되어 보이지만 중앙주변에 탄소나노튜브가 뭉쳐 있음을 알 수 있다.

4. 결론

EEA matrix에 미치는 탄소나노튜브와 카본블랙의 영향을 AFM, FE-SEM을 통하여 아래와 같은 결론을 내렸다.

탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 파단면 위에 드러나는 탄소나노튜브도 많아짐을 알 수 있었고 시편들은 매트릭스 형태를 형성하고 방사적으로 분포하고 있음을 알 수 있다. 이러한 분포형태는 베이스 수지 내 전기전도성 네트워크를 형성할 수 있음을 나타낸다.

또한, 이러한 전도성 네트워크의 영향으로 시편 내 자유전자들이 자유롭게

호핑이 이루어지며 클러스터가 형성됨을 의미한다. 그리고 대체적으로 우수하게 분산되어 보이지만 중앙주변에 탄소나노튜브가 뭉쳐 있음을 알 수 있다.

[참고 문헌]

- [1] 신효순, 남시도, 나노기술동향, pp. 13 - 22, 2005.
- [2] 한재홍, 김상준, 권오형, 강희태, 서광석, "반도전층내 불순물이 전력케이블의 신뢰도에 미치는 영향", 대한전기학회논문지, Vol. 46, No. 1, pp. 19 - 25, 1997.
- [3] 한재홍, 송일근, 임장섭, 이동영, "전력케이블용 반도체재료의 설계기술", 전기전자재료학회논문지, Vol. 13, No. 2, pp. 12 - 17, 2000.
- [4] Burgmayer, P., and Murry, R. W., "An ion gate membrane : Electrochemical control of ion permeability through a membrane with an embedded electrode", Journal of Americal Chemical Society, Vol. 104, pp. 6139 - 6147, 1982.
- [5] Candau F., "Scientific Methods for the Study of Polymer Colloid and Their Application", Kluwer Academic Publishers, pp. 486 - 494, 1988.
- [6] 광정춘, 이내성, "탄소나노튜브의 합성기술 동향 및 전망", 전기전자재료학회논문지, Vol. 20, No. 6, pp. 27 - 32, 2007.
- [7] J. Montesinos, R. S. Gorur, B. Mobasher and D. Kingsbury, "Mechanism of Brittle Fracture in Non-ceramic Insulators", IEEE Trans., Vol. 9, No. 2, pp. 236 - 243, 2002.