

# 다중벽 탄소나노튜브의 인장변형을 통한 전기적 역학적 물성 특성 Electrical and mechanical properties of a Multi-Walled Carbon Nanotubuse during elongation process

\*장훈식<sup>1</sup>, 전상구<sup>1</sup>, 이윤희<sup>1</sup>, 백운봉<sup>1</sup>, 박종서<sup>1</sup>, #남승훈<sup>1</sup>

\*H. S. Jang<sup>1</sup>, .S. K. Joen<sup>1</sup>, Y. H. Lee<sup>1</sup>, U. B. Baek<sup>1</sup>, J. S. Park<sup>1</sup>, #S. H. Nahm(shnahm@kriss.re.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국표준과학연구원 신재생에너지측정센터

Key words : carbon nanotubes, elongation, mechanical properties, electrical properties

## 1. 서론

탄소나노튜브는 우수한 물리적, 화학적 특징으로 인하여 우주항공분야, 복합재료분야, 생명공학분야 등 많은 분야[1-3]에 관심과 연구가 이루어져 왔으며, 탄소나노튜브에 대한 많은 연구와 연구논문이 발표되어왔음에도 불구하고, 아직도 탄소나노튜브의 기계적 물성에 대한 이해는 부족하다고 하겠다. 나노영역의 산업분야에[4-5] 탄소나노튜브가 응용되기 위해서는 탄소나노튜브의 신뢰도평가를 비롯한 기계적 물성에 대한 연구가 더 이루어져야 한다고 판단된다.

본 연구는 전자현미경 내부에서 나노조작기(Nano-manipulator)를 이용하여, 전기방전법으로 성장된 다중벽 탄소나노튜브에 인장변형을 가하며, 변화되는 탄소나노튜브의 역학적 전기적 변화를 통한 그 물리적 특성을 측정 분석하였다.

## 2. 실험 방법

다중벽 탄소나노튜브에 인장변형을 가하면서 역학적 전기적 물성을 측정하기 위해 주사전자현미경(TOPCON, SM-300) 내부에 나노조작기를 설치하고, 텅스텐 팁과 힘 센서를 이용하여 탄소나노튜브의 양쪽 끝을 각각 텅스텐 팁과 힘 센서 또는 텅스텐 팁에 부착을 하고, 나노조작기를 이용하여, 탄소나노튜브에 인장변형을 가하면서, 탄소나노튜브의 역학적 전기적 변화 특성을 실시간으로 측정을 할 수 있도록 하였다. 이 때 탄소나노튜브의 양끝을 텅스텐 팁과 힘 센서의 팁에 부착을 하기 위해 전자현미경의 전자 빔을 이용하여 전자현미경 내부에 존재하고 있는 탄화수소 및 탄소 분자 등을 증착하는 방법을[6] 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

먼저, 탄소나노튜브의 탄성계수를 측정하기 위해 나노조작기에 힘 센서를 부착하여, 탄소나노튜브의 양끝을 잡아 당기면서, 탄소나노튜브의 길이 방향으로 인장변형을 가하면서, 탄소나노튜브의 변형률과 그에 따르는 힘 센서로부터 인장하중을 실시간으로 측정을 하였으며, 그 정보로부터 탄소나노튜브의 strain-stress 그래프를 나타냈다. Strain-stress 그래프는 Fig. 1 과 같이 나타났으며, 이 그래프에서 기울기는 탄소나노튜브의 탄성계수에 해당된다. 그래서, 탄소나노튜브의 탄성계수는 0.97TPa 로 계산되었다.

탄소나노튜브의 인장변형중 전기적 변화 특성을 측정하기 위해 나노조작기에 힘 센서 대신 텅스텐 팁을 교체하고, 탄소나노튜브에 인장하중을 가하는 방법과 동일 하게 탄소나노튜브의 길이 방향으로 인장변형을 가하면서, 실시간으로 변화하는 전기적 신호를 측정하여 그래프로 나타냈다. Fig. 2 는 인장변형중 실시간으로 변화하는 전기저항 값의 변화를 나타내는 그래프이다. Fig. 2 의 그래프와 같이 전기저항 값이 선형적으로 변화하는 구간과 급격히 전기저항 값이 변화하는 구간으로 나누어 볼 수 있는데, 탄소나노튜브이 인장변형중 전기저항 값의 선형적 변화 구간은 탄소나노튜브의 탄성영역으로 판단되어지고, 그 이후 급격

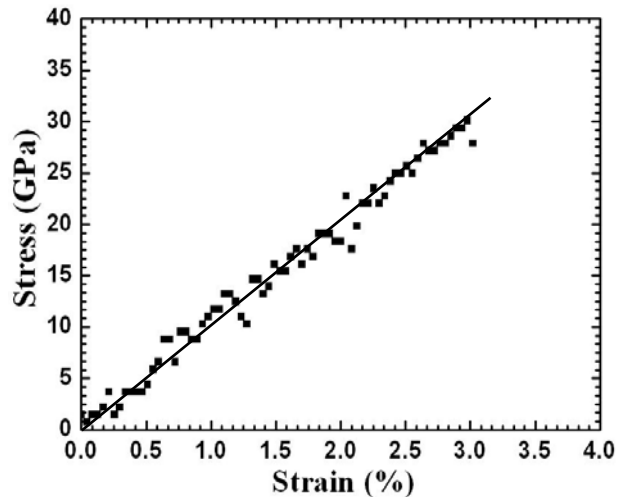


Fig. 1 Strain-stress curve of the carbon nanotubes after tensile test.

한 저항 값의 변화를 주는 구간은 탄소나노튜브가 이장변형중 파괴현상이 일어나는 영역으로 보여지며, 그 이후 전기저항 값은 무한대 값을 보이기 시작하였다. 이 때, 탄소나노튜브는 완전 판단된 상태였다. Fig. 2 그래프를 이용하여, 탄소나노튜브의 인장변형률과 전기전항변화를 관계 그래프를 나타낼 수 있었으며, 그래프는 Fig. 3 과 같다. 이 그래프에서 탄소나노튜브의 인장변형중 변화하는 전기저항 값이 선형적으로 변화하는 구간은 탄소나노튜브의 인장변형률이 평균 3%이내에 해당된 구간으로서, Fig. 1 에 나타낸 strain-stress 그래프와 비교했을 때 탄소나노튜브의 탄성영역 내에서 인장변형중 전기저항 값의 변화는 선형적 변화를 보이는 것으로 확인된다. Fig. 3 그래프에서 기울기는 다중벽 탄소나노튜브의 strain sensitivity 에 해당된다. 결국, 탄소나노튜브의 stain sensitivity 는 ~25 로 계산됐다.

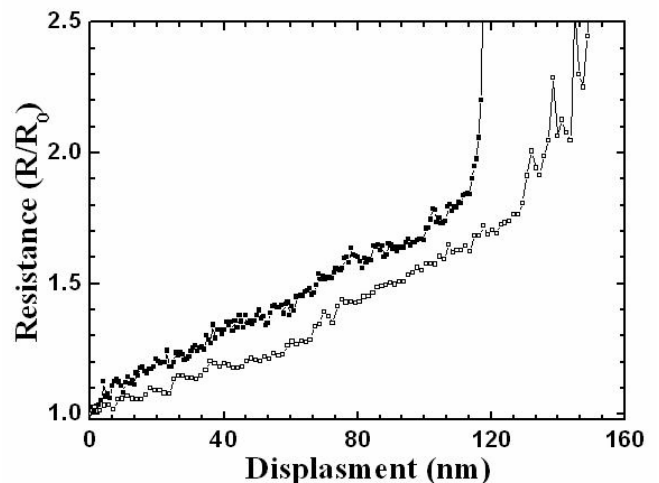


Fig. 2 the electrical resistance with the displacement of the tube during elongating process until the tube fracture.

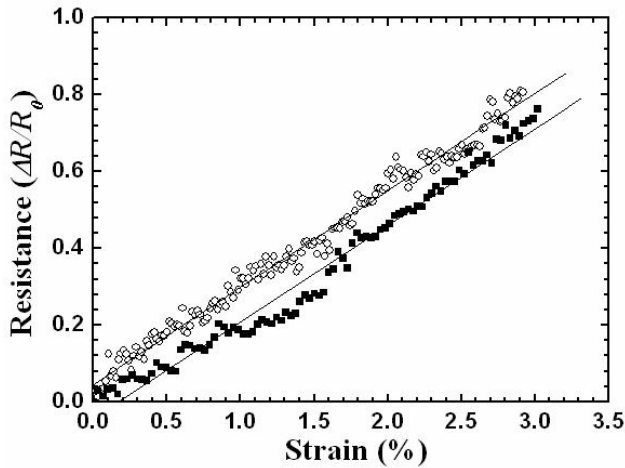


Fig 3 the relationship between the electrical resistance and tube strain.

Fig 2 와 3 에서  $R_0$ 은 초기 저항 값,  $R$ 은 인장변형중 측정된 현재 저항 값 그리고  $\Delta R$ 은  $R-R_0$ 이다

#### 4. 결론

전자현미경내부에서 탄소나노튜브에 인장변형을 가하면서 실시간으로 탄소나노튜브의 역학적 전기적 거동을 측정 하면서 그 특성을 분석을 하였다. 그래서 다중벽 탄소나노튜브의 탄성계수는  $\sim 0.97\text{TPa}$  이였으며, strain sensitivity 는  $\sim 25$  이여다. 이 결과로부터 탄소나노튜브를 이용한 역학소자 등에 이용가능성을 확인하였다.

#### 후기

This research was supported by grant (Grant No. 06K1401-00920) from the Center for Nanoscale Mechatronics & Manufacturing.

#### 참고문헌

1. A.C. Dillon, K.M. Jones, T.A.Bekkedahl, C.H. Kiang, D.S. Bethune, M.J. Heben, "Storage of Hydrogen in Single-Walled Carbon Nanotubes," Nature, 386, 377-379, 1997.
2. P. Chen, X. Wu, J. Lin, K.L. Tan, " High H<sub>2</sub> Uptake by Alkali-Doped Carbon Nanotubes under Ambient Pressure and Moderate Temperatures," Science, 285, 91, 1990.
3. A.Thess, R. Lee, P. Nikolaev, H. Dai, P. Petit, J. Robert, C. Xu, Y.H. Lee, S.G. Kim, A.G. Rinzler, D.T. Colbert, G.E. Seuseria, D. Tomanek, J.E. Fischer, R.E. Smalley, "Electronic Structure of Carbon Nanotubes with Chiral Symmetric," Science, 273, 483, 1996.
4. M.M.J. Treacy, T.W. Ebbesen, J.M. Gibson, "Exceptionally High Young's Modulus Observed for Individual Carbon Nanotubes.," Nature, 381, 678-680, 1996.
5. E. Hernandez, C. Goze, P. Bernier, A. Rubio, "Elastic Properties of Single-Wall Nanotubes," Applied Physica A : Materials Science & Processing, 68, 287-292, 1990.
6. K.S. Kim, S.C. Lim, I.B. Lee, K.H. An, D.J. Bae, S. Choi, J.-E. Yoo, Y.H. Lee, "In Situ Manipulation and Characterizations using Nanomanipulators inside a Field Emission-Scanning Electron Microscope," Rev. Sci. Instrum., 74, 4021-4025, 2003.