

# 인장변형 중인 탄소 나노튜브 전기적 저항 실시간 변화 측정 In-situ measurement of electrical resistance during the elongating of a multi walled carbon nanotube

\*장훈식, 이윤희, 백운봉, 박종서, #남승훈

\*H. S. Jang, Y. H. Lee, U. B. Baek, J. S. Park, #S. H. Nahm(shnahm@kriss.re.kr)

한국표준과학연구원 안전그룹

Key words : carbon nanotube, elongation, electrical resistance

## 1. 서론

1991년 탄소나노튜브가 처음 소개된 이후 [1], 우수한 물리적, 화학적 특성으로 인하여 디스플레이분야 생명공학 분야 우주항공 분야 등 많은 산업분야[2,3]에 응용된다면, 그 파급효과에 대한 기대로 인해 탄소나노튜브에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 많은 연구 결과가 발표되어지고 있지만, 아직까지 탄소 나노튜브에 대한 많은 응용 분야에 있어서 성과는 미비한 상태이며, 아직 탄소나노튜브에 대한 이해도가 그다지 높지 않으며, 더 많은 분야에 있어서 연구의 필요성이 요구 되고 있다. 특히 기계적 물성분야 [4,5] 에서도 탁월한 강도와 기계적 물성을 가졌음에도 불구하고, 탄소 나노튜브를 이용한 여러 가지 응용분야중 기계적, 역학적 소자 등에 적용되기 위해서 더욱 많은 연구와 이해가 필요하다고 여겨진다.

본 연구는 SEM 내부에서 Nano-Manipulator를 이용하여 Arc-discharge 방법으로 제작된 다중벽 탄소나노튜브의 인장변형중 변화하는 저항 값을 실시간으로 측정하여 새로이 탄소나노튜브의 기계적, 물리적 특성을 평가하는 방법을 제시하며, 역학적 기능소자의 응용가능성을 보이고자 하였다.

## 2. 실험방법

탄소나노튜브 인장시험을 위해 TOPCON사의 SM-300 Scanning Electron Microscope (SEM) 내부에 Nano-Manipulator를 설치하였다. 탄소 나노튜브의 양끝을 부착을 하고, 인장시험을 하면서 실시간으로 전기저항을 측정하기 위해 전도체 물질이 필요로 하여 텅스텐(W)-tip을 직접 제작을 하였다. 그리고 제작된 W-tip을 Nano-manipulator에 장착을 하였으며, Nano-manipulator를 이용하여 W-tip을 원활하게 조작을 할 수 있도록 하였고, Computer로 자동으로 제어를 할 수 있게 하였다.

W-tip은 KOH를 이용하여 chemical etching 방법으로 Tip의 반경이 200nm 이하로 제작을 하였다. 또 한 탄소 나노튜브를 W-tip에 부착을 하였을 때 접촉저항을 낮추기 위해 제작한 W-tip 표면에 gold를 스퍼터링 방법으로 약 20nm 정도의 막 두께로 증착을 하였다. 그래서 W-tip과 tip 사이의 전기저항 값이 약 30Ω 이하로 나타났다.

탄소 나노튜브의 인장시험을 위해 nano-manipulator를 이용하여, 먼저 나노튜브의 양끝부분을 W-tip에 부착을 시켰다. 이 때, W-tip에 나노튜브를 부착하기 위해 SEM의 전자 빔을 이용 하였다. 전자 빔을 탄소나노튜브와 W-tip 접점부분에 주사를 하면 SEM 내부 주위에 존재하고 있는 탄소 원자나 탄화수소 분자들이 증착하게 되어 W-tip에 탄소 나노튜브를 부착 하는 것이 가능하게 된다. 이렇게 Fig. 1과 같이 탄소나노튜브와 W-tip을 완전히 접촉 되는 것을 확인하고, Nano-manipulator를 이용하여 탄소나노튜브의 길이방향으로 인장변형을 주었다. 탄소나노튜브에 이장변형을 가하면서 실시간으로 탄소나노튜브의 전기저항을 측정을 하였다.

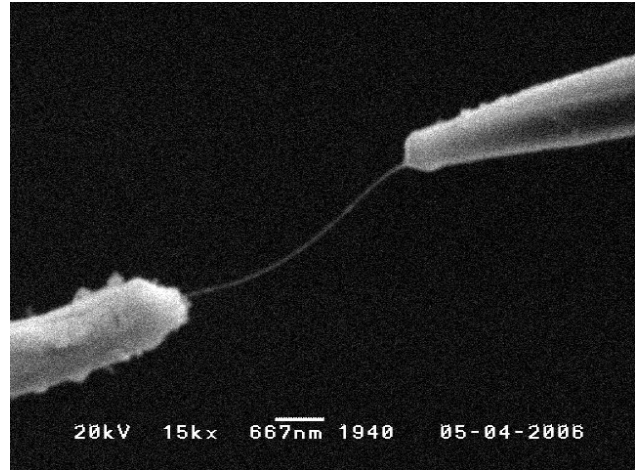


Fig. 1. SEM image of the gripped MWCNT on the W-Tips.

## 3. 결과 및 고찰

탄소 나노튜브 인장실험을 위해 먼저 나노튜브의 양끝부분을 W-tip에 SEM의 전자빔을 주사하여 부착을 하였다. 이 때 주위의 탄소분자나, 탄화수소 분자 등이 증착이 되어 나노튜브와 W-Tip이 서로 접촉되면서 접촉저항이 좋아지는 것을, 실시간으로 나노튜브와 W-tip 사이의 전기저항을 측정하는 방법으로 확인할 수 있었다. Fig. 2은 SEM의 전자빔으로 나노튜브와 W-tip이 접촉되는 정도를 실시간으로 전기저항을 측정하여, 대표적인 측정된 접촉저항 값을 나타내는 그래프이다. Fig. 1에서 화살표는 탄소나노튜브와 W-Tip 사이에 서로 접촉된 후, SEM의 전자빔이 접촉된 부분에 집중적으로 주사하기 시작되는 시점이다. SEM의 전자빔을 계속적으로 주사를 하기 시작하면서, 전기저항 값이 점점 줄어들며, 약 10여분 후 전기저항 값이 안정하게 일정한 값으로 계속 유지하고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이 때 처음 탄소 나노튜브와 W-tip간의 접촉되었을 때 전기저항 값 보다 약 20%정도 다소 떨어진 값으로 유지를 하였다.

그로인하여 실시간으로 저항측정을 하는 방법으로 탄소 나노튜브와 W-tip간의 접촉되는 정도를 쉽게 평가할 수 있었다. 이렇게 완전히 접촉된 후 탄소나노튜브와 W-tip 사이의 전기저항 값은 평균 약110kΩ~180kΩ 정도로 나타났다.

Nano-manipulator를 제어를 하여 탄소나노튜브가 인장변형을 시키면서 전기저항 변화 측정을 하였다. 나노튜브와 W-Tip 사이의 접촉이 완전히 이루어진 것을 측정된 전기저항 값으로 확인을 한 후, 인장변형 시험을 하기전 탄소나노튜브와 W-Tip 사이의 전기저항 값을 약 30분동안 측정을 하였다. 이 그래프는 본문에는 나타내지 않았다. 약 160kΩ 정도로 전기저항 값이 변화 없이 계속 유지를 하였다. 이는 나노튜브와 W-Tip 사이의 접촉이 잘 이루어 졌다는 것을 알 수 있다.

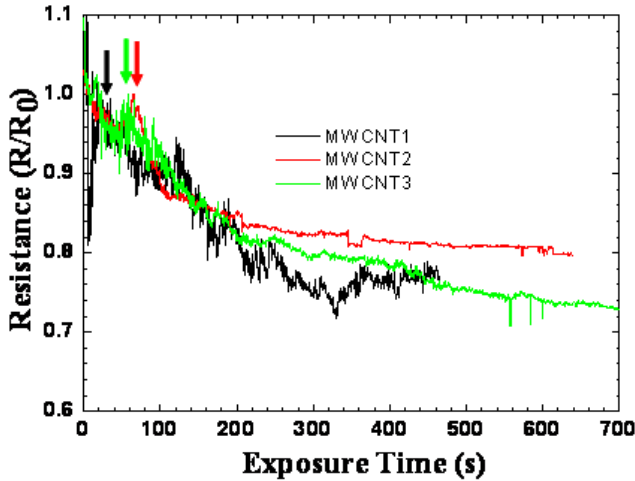


Fig. 2. In-situ measurement of electrical resistance during the electron-beam exposure.

Nano-manipulator를 이용하여 탄소나노튜브의 인장변형을 가하였다가 다시 인장변형 이전의 상태로 다시 회복하였을 때 전기저항 값의 변화를 측정된 그래프를 Fig. 3(a)에 나타냈다. 4회동안 인장변형을 가했다가 나노튜브의 원래 상태로 되돌렸을 때 전기저항 값이 4회 모두 처음 인장변형전의 전기저항 값의 원래 값인 160kΩ으로 완전히 회복하였다. 이는 나노튜브에 인장변형을 가했다가 다시 원래 상태로 되돌렸을 때 전기저항 값이 완전히 회복한 것으로 미루어보아 탄소나노튜브의 탄성영역에 해당한다고 판단된다. 이렇게 4회에 걸쳐서 인장변형 시험 후, 곧바로 다시 탄소나노튜브의 원래 상태에서부터 나노튜브가 완전히 파단될 때까지 인장변형을 가하면서 전기저항 값의 변화를 측정하였다. 이 때 측정된 그래프는 Fig. 3(b)에 나타내고 있다. Fig. 3(a) 나타낸 1-4에 해당하는 부분이 Fig. 3(b)에 화살표로 1-4번 부분에 일치하게 표시를 하였다. 이는 전기저항 값이 선형적인 변화를 주는 영역내에 해당되며, 전기저항 값이 급격히 떨어지기 직전의 부분에서의 탄소나노튜브의 strain을 계산을 하였다. SEM으로 통해 관찰된 나노튜브의 변위를 측정된 값을 이용하여 strain을 계산한 결과 Fig. 3(b)에 표시 했듯이 약 3%로 나타났다. 이는 탄소나노튜브이 탄성영역의 strain 값과 거의 일치하는 값이다. 결국 탄소나노튜브의 탄성영역내에서는 인장변형중에 선형적인 전기저항 값의 변화로 나타나고, 탄성영역을 벗어나게 되면 전기저항 값이 급격히 올라갔으며, 계속해서 점점 탄소나노튜브에 인장변형을 가하게 되면 결국 탄소나노튜브는 파단되고, 그 때의 전기저항 값은 무한대로 나타났다.

4. 결론

SEM 전자빔을 이용하여 W-Tip에 탄소나노튜브를 부착을 하면서, 실시간으로 전기저항을 측정하는 방법으로 W-Tip과 탄소나노튜브 사이의 접촉 정도를 판단 및 평가 할 수 있는 방법을 처음으로 소개하였으며, 탄소나노튜브의 인장변형에 의한 탄소나노튜브의 탄성영역내에서 나노튜브의 변위변화에 따른 전기적 저항 값이 선형적으로 점점 증가하는 것을 확인하였다. 결국, 탄소나노튜브에 인장력을 가하였을 때 변화하는 전기적 저항 값으로 나노튜브에 대한 물성평가 방법을 새로이 제시하였으며, 탄소나노튜브의 역학적 소자의 응용 가능성을 확인하였다.

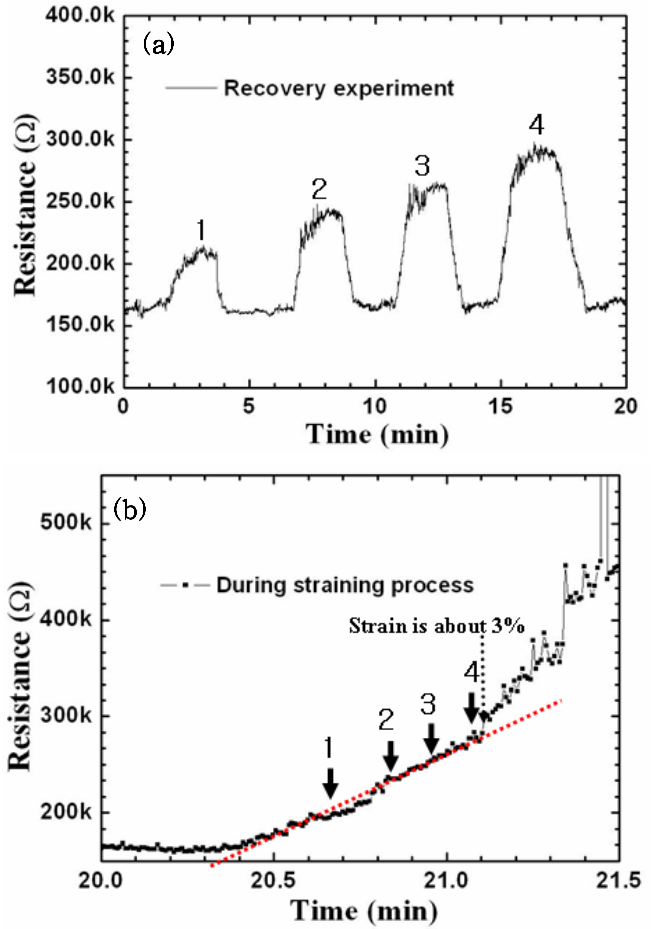


Fig. 3. (a) Recovery experiment of MWCNT and (b) electrical resistance variation of during the straining process of MWCNT.

후기

Authors acknowledge the Ministry of Science and Technology of Korea for financial support through Centre for Nanoscale Mechatronics & Manufacturing.

참고문헌

1. S. Iijima, "Helical Microtubules of Graphitic Carbon," Nature, 354, 56-58, 1991.
2. 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.
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.