

탄소 나노 튜브의 영 계수 측정에 관한 연구

이준석*(한국과학기술원 대학원 기계공학과), 최재성(한국과학기술원 대학원 기계공학과),
강경수(한국과학기술원 대학원 기계공학과), 곽윤근(한국과학기술원 기계공학과),
김수현(한국과학기술원 기계공학과)

A Study on the Measurement of Young's Modulus of Carbon Nano Tube

J.S.Lee(Dept. ME, KAIST), J.S.Choi(Dept. ME, KAIST), K.S.Kang(Dept. ME, KAIST),
Y.K.Kwak(Dept. ME, KAIST), S.H.Kim(Dept. ME, KAIST)

ABSTRACT

In this paper, we propose the method to measure the Young's modulus of carbon nano tube which was manufactured by chemical vapor deposition. We also made the tungsten tip by electrochemical etching process and the carbon nano tube which was detangled through ultra-sonication with isopropyl alcohol was attached to the tungsten tip. This tip which was composed of tungsten tip and carbon nano tube can be used in Young's modulus measurement by applying DC voltage with counter electrode. The attachment process and measurement of the deflection of carbon nano tube was done under optical microscope.

Key Words : Carbon Nano Tube(CNT, 탄소나노튜브), Young's Modulus(영 계수), Tungsten Tip(텅스텐 팁), Electrochemical Etching(전해에칭), Electrostatic Force(정전기력)

1. 서론

1991 년 Iijima 에 의해 처음 탄소나노튜브(Carbon Nano Tube, CNT)가 발견된^[1] 후, CNT 의 화학적 안정성과 뛰어난 기계적, 전기적 성질에 의해 여러 분야에서 다양한 응용이 기대되는 소재이다.

현재까지 CNT 에 대한 많은 연구가 이뤄져 왔으나, 아직까지 CNT 의 물성치에 대한 정확한 값이 알기는 어렵다.^[2,3,4,5] 이는 CNT 의 성장 조건이나 구조에 따라 측정된 물성치의 값이 다르기 때문에 CNT 의 대략적인 특성만 알 수 있을 뿐 일반화된 물성치의 정량값에 대해서는 아직도 많은 연구가 필요하다. 결국, 각각의 경우에 대해 물성치를 측정하게 된다.

최근 CNT 를 활용한 분야 중의 하나로 나노 매니퓰레이션(manipulation) 분야를 들 수 있는데, AFM 용 CNT 팁에 대한 연구 외에도, 나노 트위저(Nano Tweezer)에 대한 연구도 행해지고 있다. 1999 년 처음 나노 트위저의 가능성이 알려진 뒤^[6], 2001 년에는 주사전자현미경을 이용하여 제작된 나노 트

위저가 발표되었다.^[7] 이러한 나노 트위저는 기존의 단일 팁의 단점인 물체를 집거나 전기적인 물성치의 측정에 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 나노 트위저의 선행연구로서 단일 CNT 팁을 제작하였다. 또한 단일 CNT 팁의 나노 트위저로의 사용을 위해 CNT 의 중요한 기계적 성질 중의 하나인 영 계수(Young's modulus)를 측정하는 방법을 제시함으로써 나노 트위저의 개발을 위한 기초연구를 수행하고자 했다.

2. CNT 전처리 및 텅스텐 팁 제작

2.1 CNT 전처리

본 연구에서 사용한 CNT 는 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD)에 의해 만들어진 다중벽 CNT(multi wall carbon nanotube, MWNT)이다. 이 MWNT 는 정제가 되지 않은 상태이기 때문에 CNT 뿐만 아니라 탄소 불순물이 많이 섞여있으며, 튜브들도 서로 엉켜 있는 상태이다. 그렇기 때문에 단일 CNT 팁을 만들려면 먼저 CNT 의 정제과정이

필요하다. CNT 의 정제는 초음파 세척기를 이용하여 장시간 초음파 분해(ultra-sonication)를 함으로써 서로 엉켜진 MWNT 를 분리시킬 수 있다. Fig.1 은 엉켜진 CNT 와 초음파 분해 후 엉킴이 풀어진 CNT 를 보여준다.

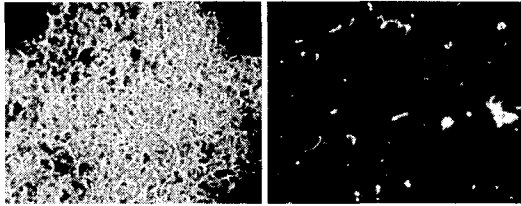


Fig. 1 Images of entangled CNT(left) and detangled CNT(right) after Sonication

2.2 텅스텐 팁 제작

본 연구에서 사용한 텅스텐 팁은 전해액에 의해 제작되었다. 초기 팁의 직경은 500 μm 이고, CNT 가 부착될 끝부분의 반경은 수백 μm 이다. Fig.2 에서 제작된 텅스텐 팁 및 텅스텐 팁을 제작하기 위한 시스템을 보여준다.



Fig. 2 Tungsten Tip(left, scale bar 200 μm) and Electrochemical Etching System(right)

3. 단일 CNT 팁 제작

3.1 CNT 부착 시스템

CNT 부착 작업은 고배율 광학현미경을 통해 실시하였으며, 현미경 시야에는 텅스텐 팁과 CNT 가 붙어 있는 텅스텐 전극이 상대운동을 하도록 각각 3 축의 구동 스테이지를 위치시켰다. 또한 부착 작업 수행 시 정밀 구동이 가능하도록 PZT 를 이용한 스테이지를 사용하였다.

3.2 Carbon Tape Painting

텅스텐 팁에 CNT 를 붙이기 위해서는 van der Waals 인력뿐만 아니라 Carbon Tape 에 접착력이 있어야 한다. 결국, Fig. 3 에 보이는 것과 같이 앞에서 기술한 스테이지 시스템과 광학 현미경을 이용하여 텅스텐 팁에 Carbon Tape 을 바른다.

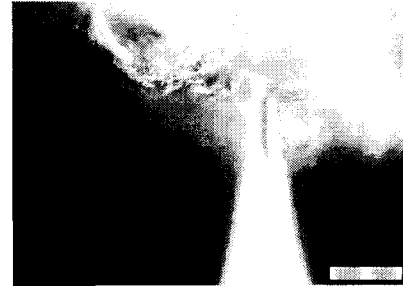


Fig. 3 Carbon Tape Painting in Tungsten Tip (scale bar 20 μm)

3.3 단일 CNT 팁 제작

Carbon Tape 을 묻힌 텅스텐 팁은 van der Waals 인력에 의해서만 부착되어 있는 텅스텐 전극에 비해서 접착력이 더 크다. 그렇기 때문에 텅스텐 팁을 돌출된 CNT 에 접촉시키면 접착력의 차이로 인해 CNT 는 텅스텐 전극에서 텅스텐 팁에 붙게 된다.

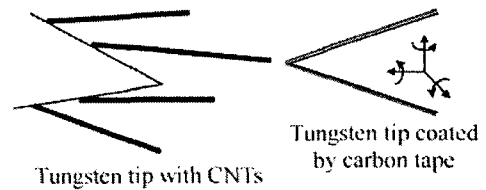


Fig. 4 Schematic Diagram of Attachment Process

Fig. 4 에서 보이는 것과 같이, 먼저 목표가 되는 CNT 를 찾은 후 텅스텐 팁을 접촉시킨다. 접촉시킨 후 일정시간을 경과 시킨 후 텅스텐 팁을 서서히 텅스텐 전극으로부터 분리 시키면 CNT 는 텅스텐 팁에 붙게 된다.

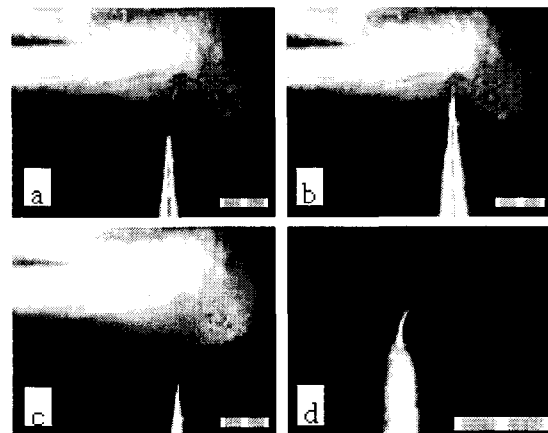


Fig. 5 Manufacturing of Single CNT Tip (a : before attachment, b : during attachment, c : after attachment, d : single CNT tip, scale bar 20 μm)

Fig. 5 는 단일 CNT 팁을 제작한 과정과 제작된 결과를 보여준다.

4. 영 계수 측정 방법

4.1 측정 원리

제작된 단일 CNT 팁과 상대전극(counter electrode)을 이용하여 CNT 의 굽힘을 관찰하고, 이를 이용하여 CNT 의 영 계수를 계산한다. 측정 시스템의 구성은 Fig. 6 과 같으며, 사용된 상대전극은 텅스텐 팁을 이용한 텅스텐 전극을 사용하였다.

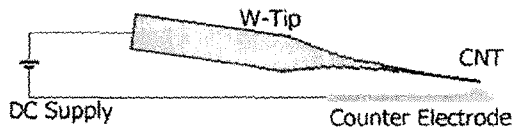


Fig. 6 Measuring Method of the Deflection of CNT

제작된 단일 CNT 팁과 상대전극 간에 전압을 가하면 정전기력이 발생하고, 발생한 정전기력에 의해 CNT 의 굽힘이 발생한다. 이때, CNT 의 굽힘 모멘트가 정전기력과 평형을 이루는 지점에서 CNT 끝단의 위치가 결정된다.

$$\frac{1}{2} C\{y\}V^2 = \frac{\pi ER^3}{4} \int \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right)^2 dx$$

위 식은^[6] 정전기력과 CNT 의 굽힘모멘트 사이의 힘 평형식을 나타내고 있다. 이식에서 $C\{y\}$ 는 상대전극과 CNT 사이의 전기용량을 나타내고, V 는 둘 사이에 인가된 전압을 나타낸다. L 과 R 은 각각 CNT 의 길이와 반경을 나타내고, E 는 본 연구에서 구하고자 하는 영 계수가 된다. 즉, 전압을 인가하고, 그에 따른 CNT 의 굽힘량을 측정하면 위 식으로부터 CNT 의 영 계수를 구할 수 있다.

4.2 실험 결과

실험에서 제작된 단일 CNT 팁을 이용하여 인가된 전압에 대한 CNT 의 굽힘 실험을 하였다. 사용된 CNT 는 MWNT 로 직경이 130 nm 정도이며, Fig. 7 은 제작된 단일 CNT 팁과 상대전극 사이에 전압을 인가했을 때, CNT 의 굽힘 현상을 보여주고 있다. 본 연구에서는 광학현미경을 사용하여 굽힘을 측정하였으나 나노 스케일의 분해능을 갖는 주사전자현미경과 같은 현미경 시스템을 사용할 경우 정확한 굽힘량을 측정할 수 있고, 그로부터 영 계수를 계산할 수 있다.

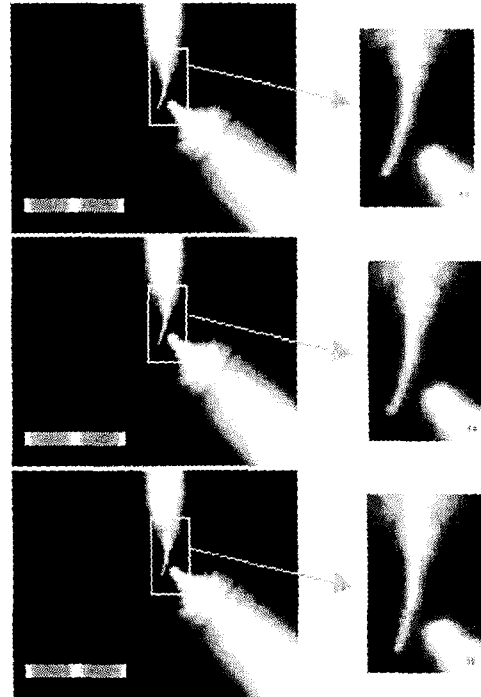


Fig. 7 Results of Bending with Counter-electrode depend on Applied DC Voltage (top : 0v, center : 15v, bottom : 30v, scale bar : 20 μm in large images and 1 μm in small images)

5. 결론

본 연구에서는 나노 매니플레이션에 사용할 수 있는 Nano Tweezer 시스템을 만들기 위한 선행 연구로서 단일 CNT 팁을 제작하였으며, 이를 이용한 CNT 의 영 계수 측정 방법을 제안하였다.

실험은 광학현미경을 이용하여 실시하였으며, CVD 방법으로 성장시킨 CNT 를 전해에칭 방법으로 제작된 텅스텐 팁의 끝단에 부착하여 단일 CNT 팁을 제작하였으며, 상대전극을 이용하여 이 단일 CNT 팁의 굽힘 실험을 하였다. 실험 결과는 광학현미경의 분해능의 한계 때문에 정확한 측정값을 얻을 수는 없었으나, 본 실험을 통해서 가능성을 확인하였다.

향후, 분해능이 뛰어난 주사전자현미경 이용하여 단일 CNT 팁을 제작하고, CNT 의 굽힘량을 측정하여 CNT 의 영 계수에 대한 정밀한 측정을 할 계획이다.

후 기

본 연구는 21 세기 프론티어 연구개발사업인 나노 메카트로닉스 기술개발사업단의 연구비 지원

(M102KN010001-02K1401-01120)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Sumio Iijima, "Helical Microtubules of Graphitic Carbon", *Nature*, Vol. 354, pp. 56 - 58, 1991.
2. M. R. Falvo, "Bending and Buckling of Carbon Nanotubes under Large Strain", *Nature*, Vol. 389, pp. 582 - 584, 1997.
3. Eric W. Wong, "Nanobeam Mechanics: Elasticity, Strength, and Toughness of Nanorods and Nanotubes", *Science*, Vol. 277, pp. 1971 - 1975, 1997.
4. Philippe Poncharal, Z. L. Wang, Daniel Ugarte, Walt A. de Heer, "Electrostatic Deflections and Electromechanical Resonances of Carbon Nanotubes", *Science*, Vol. 283, pp. 1513 - 1516, 1999
5. J. Bernholc, D. Brenner, M. Buongiorno Nardelli, V. Meunier, C. Roland, "Mechanical and Electrical Properties of Nanotubes", *Annual Review of Materials Research*, Vol. 32, pp. 347 - 375, 2002.
6. Philip Kim, Charles M. Lieber, "Nanotube Nanotweezers", *Science*, Vol. 286, pp. 2148 - 2150, 1999.
7. Seiji Akita, Yoshikazu Nakayama, Syotaro Mizooka, Yuichi Takano, Takashi Okawa, Yu Miyatake, Sigenori Yamanaka, Masashi Tsuji, Toshikazu Nosaka, "Nanotweezers consisting of Carbon Nanotubes Operating in an Atomic Force Microscope", *Applied Physics Letters*, Vol. 79, pp. 1691 - 1693, 2001.