

## 잉크젯 프린팅에 의한 단일벽 탄소나노튜브의 패터닝

송진원, 윤여환, 한창수  
한국기계연구원 나노공정장비연구센터

### Patterning of Single-wall Carbon Nanotube using Ink-jet Printing

Jin-Won Song, Yeo-Hwan Yoon, Chang-Soo Han  
Nano-Mechanical Systems Research Center, Korea Institute of Machinery and Materials

**Abstract** - A single-wall carbon nanotube (SWNT) transparent conductive film (TCF) was fabricated using a simple inkjet printing method. The TCF could be selectively patterned by controlling the dot size to diameters as small as 34 $\mu$ m. In this repeatable and scalable process, we achieved 71% film transmittance and a resistance of 900 ohm/sq sheet with an excellent uniformity, about  $\pm$ 5% deviation overall. Inkjet printing of SWNT is substrate friendly and the TCF is printed on a flexible substrate. This method of fabrication using direct printing permits mass production of TCF in a large area process, reducing processing steps and yielding low-cost TCF fabrications on a designated area using simple printing.

#### 1. 서 론

탄소나노튜브(CNT)<sup>[1]</sup>는 우수한 전기, 전자, 물리, 화학적 특성을 갖고 있어서 전자 소자, 전자방출원, 기능성 복합재료, 전계효과 트랜지스터, 가스센서 등 많은 분야에 연구가 이루어 지고 있으며<sup>[2-7]</sup>, 또한 CNT 박막의 투명한 성질을 이용하여 투명 전도성 박막으로 개발하기 위한 연구가 활발히 이루어 지고 있다<sup>[8]</sup>. 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)는 전기 전도성이 다른 금속보다 뛰어나며, 박막형태로 제작하였을 경우 flexible 한 특성을 갖고 있어 ITO의 대체 물질로 많은 연구가 이루어 지고 있다. SWCNT를 박막으로 만드는 방법은 roll-to-roll 법, 진공여과법, dip-coating 법, 스크린 프린팅 법, 스프레이 코팅법 등 여러 가지 방법이 응용되고 있다.<sup>[9-14]</sup> 그러나 이러한 방법들은 CNT 용액을 제조하는 공정이 복잡하고 패터닝이 어렵다는 단점이 있다.

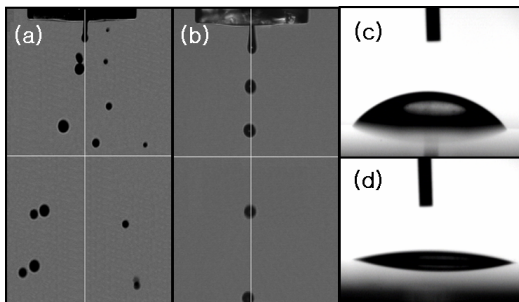
본 연구에서 사용한 잉크젯 프린팅 법은 대면적에 대응이<sup>[15-16]</sup> 가능하며 <50 $\mu$ m의 패터닝이 가능하며, 한 개의 기관에 다양한 투명도, 전도도를 구현할 수 있어 투명 전도성 필름 및 투명 저항 등을 쉽게 제작할 수 있다.

본 연구에서는 잉크젯 프린팅 법에 의하여 SWCNT를 패터닝하고 그 특성을 평가하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 실험

잉크젯 프린팅 법은 액적을 연속적으로 분사하는 연속 시스템과 영상 정보 신호에 따라 액적을 분사하는 on-demand 시스템이 있으며 이를 분출시키는 시스템에는 열을 이용하여 잉크 안에 버블을 발생시킴으로써 액적을 분출하는 시스템, 초음파를 이용하는 시스템, 및 정전기력을 이용한 흡인에 의해 액적을 분출하는 시스템이 있다.



<그림 1> 잉크젯 액적 이미지 (a) 조건 설정 전, (b) 조건 설정 후, (c) 유리 기관에서 SWCNT의 이미지, (d) 친수성 유리 기관에서 SWCNT의 이미지

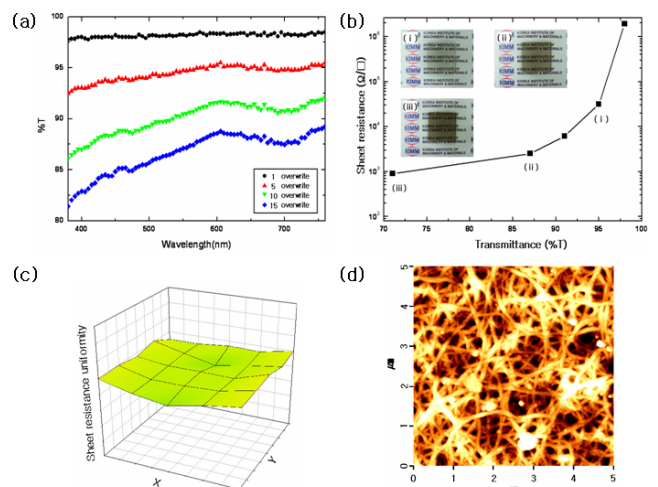
본 연구에서는 압전기 요소를 이용하여 가압에 액적을 분출하는 시스템으로 잉크젯 프린트 헤드는 single fluid printed(microfab)를 사용하였다. 잉크젯 프린팅을 하기 위한 잉크는 SWCNT(iljin, ASP-100F)를 DMF에 분산시켜 SWCNT 용액을 제작하여 사용하였다.

그림 1은 잉크젯 프린팅을 하기 위한 조건 설정 과정을 비교한 그림이다. 나노 잉크를 이용하여 프린팅하기 위해서는 viscosity, jetting speed, particle size, substrate condition, surface tension 등 재료의 변수와, pressure, vacuum, meniscus, voltage 등 기계적 변수가 존재한다. Ag particle등과는 달리 raw SWCNT는 length가 길며 density를 크게 할 경우 원자력간의 힘에 의한 뭉침현상으로 nozzle이 막히게 되며, viscosity를 조절하는 것도 쉽지 않다. 잉크젯 프린터에 잉크를 장착하고 jetting을 하였을 경우 그림 (a)와 같이 satellite가 발생하고 drop되는 위치를 control할 수 없다. 그러나 여러 변수를 조절하면 (b)와 같이 최적의 jetting condition을 유지하게 되며, 이러한 조건에 의해 프린팅을 행하게 된다. 또한 SWCNT를 기관위에 균일하게 분산되며 network를 형성하기 위해서는 기관의 조건도 중요하다.

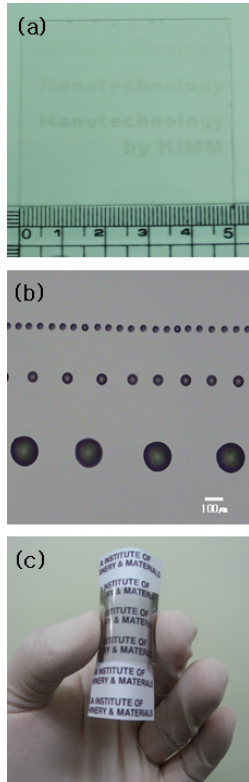
##### 2.2 결과

그림 2는 본 연구에서 잉크젯 프린팅 법으로 제작한 투명 SWCNT 박막의 투명도, 면저항, 균일도를 측정된 결과이다. CNT-잉크의 droplet을 1, 5, 10, 15회 overwrite한 결과 투명도가 각각 98, 95, 91, 87%이었으며 면저항은 1.932x10<sup>6</sup>, 31.66x10<sup>3</sup>, 6.148x10<sup>3</sup>, 2.524x10<sup>3</sup>( $\Omega/\square$ )이었으며, 30회 overwrite하였을 때 71%, 900( $\Omega/\square$ )의 결과를 얻을 수 있었다. 또한 기관의 전체 면적에 프린팅한 경우 균일도는  $\pm$ 4.4-5.6%로 ITO glass( $\pm$ 5%)와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. AFM 이미지를 통하여 프린팅된 SWCNT 박막의 network 형성을 관찰한 결과 SWCNT의 network이 잘 형성 되었으며 박막의 두께는 약 50nm 이었다.

그림 3(a)는 5x5cm 유리기관에 "Nanotechnology", "by KIMM"을 패터닝한 사진으로 각각 5회 10회 15회 overwrite 하였다. 그림 3(b)는 PET 기관에 투명 CNT 박막을 프린팅한 사진이다. 잉크젯 프린팅 법을 이용하여 패터닝할 경우 nozzle의 직경과 액적의 크기에 따라 <50-100 $\mu$ m의 직접 패터닝이 가능하다.



<그림 2> (a) Overwrite 횟수에 따른 투명도, (b) 투명도에 따른 면저항, (c) SWCNT필름의 균일도, (d) AFM 이미지



<그림 3> (a) 유리기판에 프린팅된 “Nanotechnology by KIMM”, (b) 액적의 크기에 따른 점선 프린팅, (c) PET 필름에 프린팅된 플렉시블 CNT 박막

### 3. 결 론

본 연구의 결과는 CNT를 이용한 투명 전도성 박막을 만드는 데 있어서 잉크젯 프린팅 법의 적용 가능성을 확인할 수 있었으며, 이러한 결과는 CNT 박막의 투명한 특성을 이용하여 투명 터치 센서, 터치 스크린, 투명 전극 등 다양한 분야에 응용이 가능할 것으로 여겨진다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 나노메카트로닉스 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Iijima S., Ichihashi, T., Nature, 363, 603, 1993
- [2] Errachid A., Zine N., Samitier J., Bausells, J. Electroanalysis 16, 1843, 2004
- [3] Zhang Y. B., Lau S. P., Huang L., Tanemura M., Appl. Phys. Lett. 86 123115, 2005
- [4] Fyta M. G., Kelires P. C., Appl. Phys. Lett. 86, 191916, 2005
- [5] Mu Y., Liang H., Hu Jinsong., Jiang L., Wan L., J. Phys. Chem. B, 109, 22212, 2005
- [6] Zribi A., Knobloch A., Rao R., Appl. Phys. Lett., 86, 203112, 2005
- [7] Li C., Chou T. W., Appl. Phys. Lett. 84, 121, 2004
- [8] Hu L., Hecht D. S., Gruner G., Nano Lett. 4, 2514, 2004
- [9] Martin C.A., Sandler J.K.W., Windle A.H., Schwarz M.-K., Bauhofer W., Schulte K., Shaffer M.S.P., Polymer, 46, 877, 2005
- [10] Wu Z., Chen Z., Du X., Logan J. M., Sippel J., Nikolou M., Kamaras K., Reynolds J. R., Tanner D. B., Hebard A. F., Rinzler A. G., Science, 305, 1273, 2004
- [11] Saran N., Parikh K., Suh D.S., Munoz E., Kolla H., Manohar S. K., J. Am. Chem. Soc., 126, 4462, 2004
- [12] Song Y. I., Kim G. Y., Choi H. K., Jeong H. J., Kim K. K., Yang C.M., Lim S. C., An K. H., Jung K. T., Lee Y. H., Chem. Vap. Deposition, 12, 375, 2006
- [13] Lee H. J., Moon S. I., Kim J. K., Lee Y. D., Nahm S., Yoo J. E., Han J. H., Lee Y. H., Hwang S. W., Ju B. K., J. Appl. Phys., 98, 016107, 2005
- [14] Bower C., Zhou O., Zhu W., Ramirez A. G., Kochanski G. P., Jin S., Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 593, 215, 2000
- [15] Bharathan J., Yang Y., Appl. Phys. Lett., 72, 2660, 1998
- [16] Sele C. W., Werne T. von, Friend R. H., Sirringhaus H., Adv. Mater., 17, 997, 2005