

## CNT/PVDF 복합막을 이용한 유연소자용 안테나 방사체

김용진<sup>1</sup>, 임영택<sup>2</sup>, 이선우<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 인하공업전문대학 전기정보과

<sup>2</sup> 인하대학교 전기공학과

### Flexible Antenna Radiator Fabricated Using the CNT/PVDF Composite Film

YongJin Kim<sup>1</sup>, Young Taek Lim<sup>2</sup>, and Sunwoo Lee<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Information, Inha Technical College, Incheon 402-752, Korea

<sup>2</sup> School of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received January 8, 2015; Revised January 12, 2015; Accepted January 13, 2015)

**Abstract:** In this paper, we fabricated flexible antenna radiator using the CNT/PVDF (carbon nanotube / polyvinylidene fluoride) composite film. We used polymer film as a matrix material for the flexible devices, and introduced CNTs for adding conductivity into the film resulting in obtaining performances of the antenna radiator. Spray coating method was used to form the CNT/PVDF composite radiator, and pattern formation of the radiator was done by shadow mask during the spray coating process. We investigated the electrical properties of the CNT/PVDF composite films with the CNT concentration, and also estimated the radiator performance. Finally we discuss the feasibility of the CNT/PVDF composite radiator for the flexible antenna.

**Keywords:** Flexible antenna, CNT/PVDF composite film, Spray coating, Radiator performance

### 1. 서론

새로운 무선 통신 서비스의 확대와 무선 통신기기의 개발로 인하여 안테나에 요구되어지는 성능도 다양성을 띠고 있다. 안테나의 기술개발 방향은 다중대역 (multi-band), 방사효율 증대, 안테나 소형화, 그리고 재구성 안테나 등과 같은 안테나의 전기적 성능을 높이는 연구 방향으로 주요 연구가 진행되어 왔다. 최근에 들어 무선통신기기의 디자인에 대한 관심이 높아지며, 투명전극과 같은 새로운 전기적 재료를 이용하여

안테나의 성능과 디자인을 동시에 만족시키는 안테나 개발에 대한 연구가 높아지고 있다 [1-5]. 근래의 디자인 요소의 충족을 위한 안테나의 주요 연구방향 중의 하나는 유연소자를 이용한 안테나 연구이다. 미래 wearable communication device에 안테나를 장착시키기 위해 직물형 안테나 (textile antenna)와 휘어지는 안테나 (flexible antenna)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [6-9].

본 논문에서는 flexible antenna의 개발을 위하여 CNT/PVDF (carbon nanotube / polyvinylidene fluoride) 복합재료를 이용하여 안테나를 제작하였다. 안테나가 유연한 특성을 가지기 위해서 PVDF를 이용하였으며, 기존의 금속재료의 경우, 유연소자로 구현했을 때 발생하는 crack 등과 같은 전기적 절연으로 인하여 발생하는 안테나의 성능 저감을 방지하기 위해서 CNT를 주요 전도물질로 제작하였다.

a. Corresponding author; [swlee@inhac.ac.kr](mailto:swlee@inhac.ac.kr)

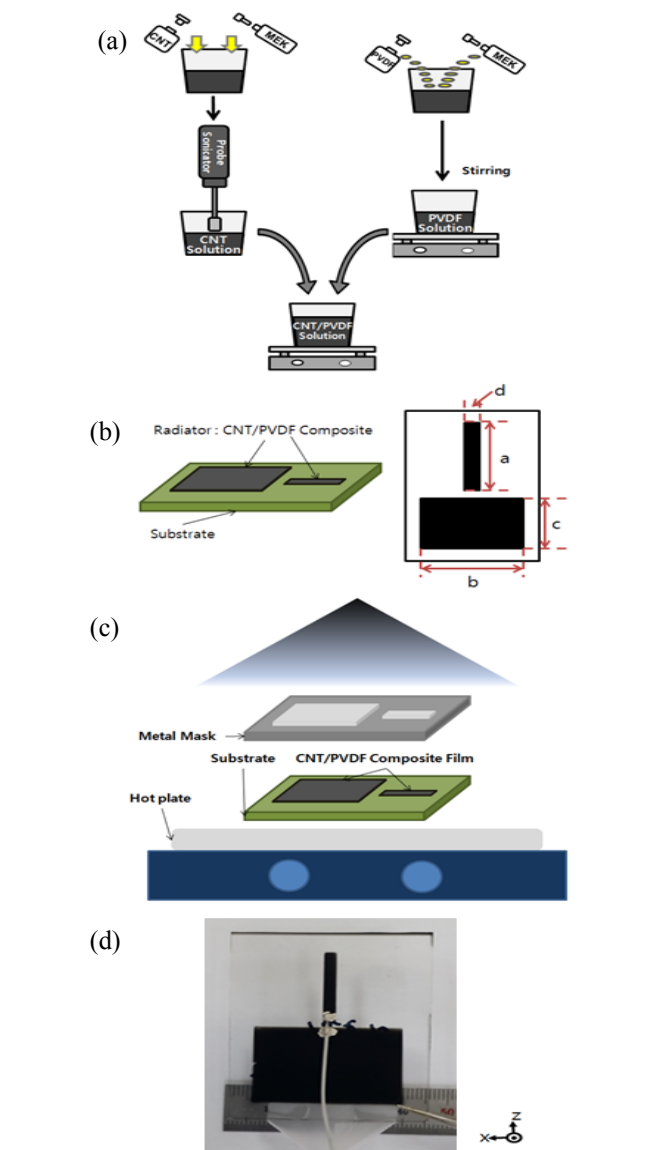
CNT는 나노미터 크기의 직경을 가지고 있는 탄소의 단결정 물질이다. 탄소의 단결정 물질이기 때문에 전자의 이동 중에 발생하는 충돌 현상이 극히 적어 저항이 매우 작은 물질이기 때문에 고분자 물질에 전도성을 부여하는 재료로서 널리 사용되는 물질이다 [10]. 또한 CNT는 내부가 비어있는 상태의 결정 형태를 하고 있어서 단위 부피 당 질량이 매우 작은 특징을 가지고 있어서 고분자 물질과의 복합재료 형성 시에 경량 소재를 제조할 수 있는 장점을 가지고 있다 [11]. 이러한 이유로 CNT는 고분자 재료와 복합재료를 형성하여 고분자가 가지는 유연성, 절연성, 내화학성 등의 특성에 전도성을 부여하여 경량 및 도전성 고분자를 형성하는데 널리 사용되고 있다.

PVDF는 유연소자에 적용 가능한 안테나 방사체 재료로서의 요구조건 중의 하나인 유연함을 제공하기 위한 matrix 물질로서, 우수한 전기적 특성, 내화학성 등의 특징을 가지며, 특히 전도성을 부여하기 위해 사용되는 CNT와의 정합성이 매우 우수한 재료이다 [12]. PVDF에서 압전 특성 및 큰 정전용량을 나타내는  $\beta$ -phase의 PVDF 결정을 형성하는 과정에서 CNT가 핵 형성을 위한 seed 역할을 할 수 있다. 이는  $\beta$ -phase PVDF 결정에서의 TT (trans-trans) 구조와 CNT의 zig-zag 구조가 매우 유사한 lattice parameter를 가지기 때문인 것으로 보고되고 있다 [13]. 분산된 CNT가 PVDF 매트릭스 내부에서 도전성 네트워크를 형성하여 전자의 흐름을 원활히 하는 electrical path 역할을 하기 때문에 절연성 PVDF에 도전성을 부여할 수 있다. 따라서 CNT의 분산을 안정하게 유지하는 것이 CNT/PVDF 복합재료의 물리적인 특성뿐 아니라 전기적인 특성을 결정하는 중요한 인자가 된다.

본 논문에서는 이러한 복합소재를 이용하여 기본적인 모노폴 안테나 구조를 구현하여 안테나의 방사 특성을 확인함으로써, 새로운 CNT/PVDF 복합소재의 안테나 모델을 제시 하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

CNT/PVDF 복합재료를 사용한 유연한 안테나 방사체를 제작하기 위해서 CNT/PVDF 용액을 스프레이 코팅법을 사용하여 필름 형태로 제작하였다. 먼저, 0.15 g의 MWCNT (multi-walled carbon nanotube, CM-150, Hanwha Nanotech Co.)를 100 ml의 MEK



**Fig. 1.** Schematics of (a) CNT/PVDF composite solution fabrication process, (b) structure of the mono-pole antenna radiator, (c) antenna radiator fabrication process using spray coating method, and (d) the fabricated CNT/PVDF composite antenna.

(methyl ethyl ketone) 용매에 넣은 후, Probe sonicator를 이용하여 20 W의 파워로 20분 동안 분산하여 CNT 용액을 제작한다. PVDF (Solef 6010, Solvay Co.) 용액은 10 g의 PVDF를 1,000 ml의 MEK 용매에 넣은 후, 교반기 위에서 80°C의 온도를 가하여 300 rpm의 속도로 6시간 교반하여 제작한다.

이렇게 제작된 두 가지의 용액을 1:1로 혼합하였으며 이것을 다시 교반기 위에서 300 rpm의 속도로 3시간 교반하여 CNT/PVDF 용액을 제작한다. 그림 1(a)에 CNT/PVDF 용액의 제작 과정을 나타낸다.

제작된 CNT/PVDF solution을 스프레이 코팅 방법으로 필름 형태로 제작한다. 스프레이 공정 과정은 2 bar의 압력으로 5분간 분사하여 Glass 기판 위에 분사하였으며 CNT의 분산과 PVDF의 용해를 위해 사용되었던 MEK를 제거하기 위해 핫플레이트의 온도를 120°C로 유지하였다. 그림 1(b)에 CNT/PVDF 안테나 방사체의 구조를 나타낸다. 모노폴 안테나 구조이며, 공진주파수 2.5 GHz를 목표로 설계되었으며, 방사체의 사이즈는  $a = 2$  mm,  $d = 20$  mm이며, ground plane의 사이즈는  $b = 30$  mm,  $c = 20$  mm이다. 그림 1(c)에는 스프레이 코팅법에 의한 안테나 방사체의 제작 과정을 나타낸다. 모노폴 안테나 구조의 방사체를 제작하기 위해 방사체 모양의 금속 마스크를 기판 위에 붙인 후 스프레이 코팅법을 이용하여 제작하였다. 그림 1(d)에는 본 연구에서 제작된 CNT/PVDF 복합소재 안테나의 실물 사진을 나타낸다. CNT/PVDF 복합막에서 CNT의 분산도를 확인하기 위해 SEM (scanning electron microscopy)을 이용하여 CNT/PVDF 복합막에서 CNT의 네트워크 형성을 관찰하였으며, CNT의 함유량에 따른 전기적인 특성의 분석을 위해 I-V 특성을 측정하였다.

본 실험에서 제작된 CNT/PVDF 방사체의 안테나 방사체로서의 성능을 평가하기 위해 입력 임피던스와 방사패턴을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2에 스프레이 코팅법으로 제작된 CNT/PVDF 복합막의 단면을 측정된 SEM 이미지이다. 복합막의 두께는 약 8  $\mu\text{m}$ 이며, 확대한 이미지로부터 CNT/PVDF 복합막의 내부에 CNT가 잘 분산되어 네트워크를 형성하고 있음을 알 수 있다.

그림 3은 CNT/PVDF 복합막에서 CNT의 첨가량의 변화에 따른 전압-전류 특성을 측정한 결과이다. CNT의 첨가량이 증가함에 따라 전류 값이 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 PVDF 매트릭스 사이에 형성되는 CNT의 네트워크에서 CNT와 CNT 사이의 고분자로 만들어지는 마이크로 캐패시터에서 발생하는 터널링 현상으로 설명이 가능하다. CNT의 첨가량이 증가함에

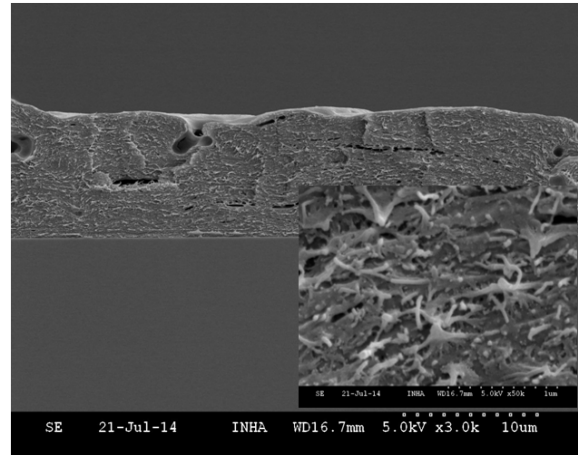


Fig. 2. CNT distribution in the CNT/PVDF composite film.

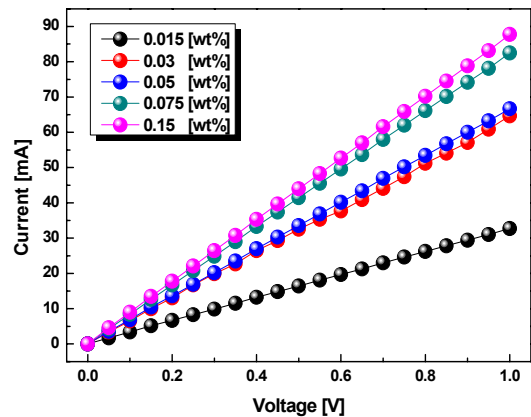


Fig. 3. I-V characteristics of the CNT/PVDF composite films with the CNT concentration.

따라 고분자 절연층의 두께가 감소하여 터널링이 쉽게 발생하여 도전성이 증가하는 것을 알 수 있다 [13].

그림 4에 CNT/PVDF 복합막을 사용하여 제작한 안테나의 입력 임피던스 특성 확인을 위하여 S11 (reflection coefficients)을 측정한 결과를 나타낸다.

CNT 단일 소재로 만든 안테나와 복합소재 안테나의 특성을 비교하기 위해서 CNT 단일 소재와 복합소재로 만들어진 2종류의 안테나가 제작되었다. 측정된 중심 주파수는 2.25 GHz이며, 방사효율은 CNT 단일소재 안테나의 경우, 42.46%이고, 제안된 복합소재 안테나의 경우, 39.14%로 보였다. 측정된 peak gain의 경우, 각각 0.32 dBi, -0.05 dBi를 보였다.

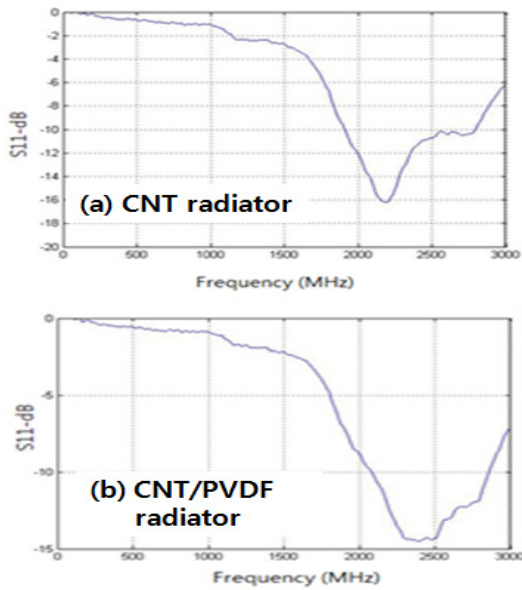


Fig. 4. Input impedance (S11) measured from (a) the CNT film radiator and (b) the CNT/PVDF composite film radiator.

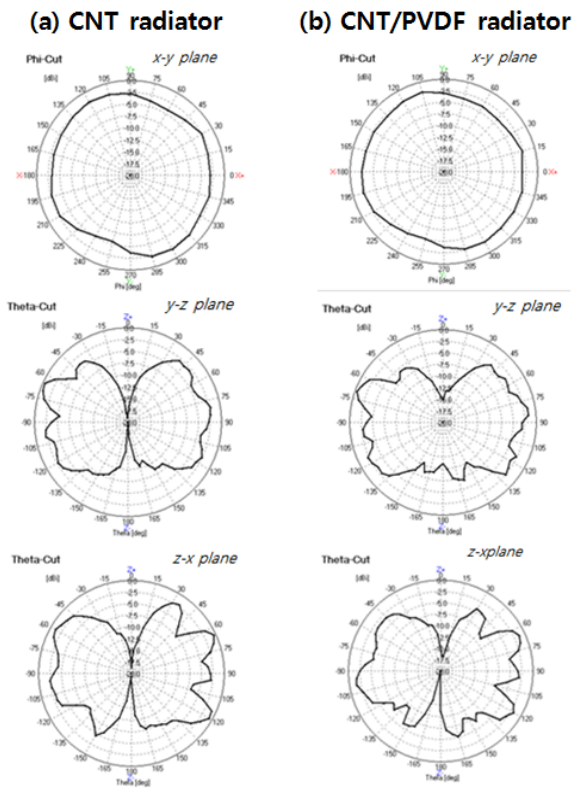


Fig. 5. Measured radiation pattern (a) the CNT film radiator and (b) the CNT/PVDF composite film radiator.

그림 5는 CNT/PVDF 복합막을 사용하여 제작한 안테나에서 측정된 안테나의 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 5에 나타낸 패턴에서 알 수 있듯이, 안테나의 방사특성은 기존의 모노폴 안테나와 동등한 형상의 패턴을 보였다. CNT/PVDF 복합소재의 경우, 약 39% 정도의 방사효율을 보임으로써, 실제 적용 가능한 안테나로서의 기본적인 특성을 가졌으며, glass가 아닌 PCB 기판 또는 유연한 기판 위에 장착되었을 경우 보다 높은 효율을 예상할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 유연소자에 적용 가능한 안테나를 구현하기 위해 고분자 매트릭스인 PVDF에 도전성 첨가물인 CNT를 도입하여 CNT/PVDF 복합막을 이용한 안테나 방사체를 제작하여 특성을 조사함으로써 제작된 CNT/PVDF 안테나 방사체가 유연소자에 적용 가능한지를 평가하였다.

CNT/PVDF 복합막에서 CNT의 첨가량이 증가함에 따라 도전성이 증가하는 것을 확인하였으며, CNT/PVDF 복합막 내부에 CNT가 잘 분산되어 네트워크를 형성하고 있음을 알 수 있었다. 제작된 CNT/PVDF 방사체가 안테나로서의 적용 가능한지를 평가하기 위해 입력 임피던스와 방사패턴을 측정하였다. 입력 임피던스를 위한 S11의 측정 결과 측정된 중심 주파수는 2.25 GHz이며, 방사효율은 39.14%이며, 측정된 peak gain은 0.05 dBi를 나타내었다.

안테나의 방사 특성은 기존의 모노폴 안테나와 동등한 형상의 패턴을 보였다. 이상의 결과를 종합하여 보면, 약 39% 정도의 방사효율을 보임으로써 실제 적용 가능한 안테나로서의 기본적인 특성을 가졌으며, 본 논문에서 기판으로 사용된 유리 기판이 아닌 PCB 기판 혹은 유연한 기판 위에 장착되었을 경우 보다 높은 효율을 예상할 수 있다.

#### 감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임 (No. NRF-2013R1A1A2005943).

## REFERENCES

- [1] M. R. Ahsan, M. T. Islam, and M. H. Ullah, *Microwave and Optical Technology Letters*, **56**, 1540 (2014).
- [2] U. Deepak, T. K. Roshna, C. M. Nijas, and P. Mohanan, *Electronics Letters*, **50**, 62 (2014).
- [3] S. W. Lee and Y. J. Sung, *Microwave and Optical Technology Letters*, **56**, 2888 (2014).
- [4] B. Khalichi, S. Nikmehr, and A. Pourziad, *Progress in Electromagnetics Research*, **142**, 189 (2013).
- [5] Y. K. Park and Y. Sung, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **60**, 3003 (2012).
- [6] B. Mandal and S. K. Parui, *Microwave and Optical Technology Letters*, **57**, 45 (2015).
- [7] S. Yan, P. J. Soh, and G. Vandenbosch, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **62**, 6487 (2014).
- [8] Y. Sun, S. W. Cheung, and T. I. Yuk, *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, **8**, 1363 (2014).
- [9] K. Hettak, A. Petosa, and R. James, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, 328 (2014).
- [10] Z. Zhao, W. Zheng, W. Yu, and B. Long, *Carbon*, **47**, 2112 (2009).
- [11] Z. M. Dang, L. Wang, Y. Yin, Q. Zhang, and Q. Q. Lei, *Adv. Mater.*, **19**, 852 (2007).
- [12] A. J. Lovinger, *Science*, **220**, 1115 (1983).
- [13] G. T. Davis, J. E. McKinney, M. G. Broadhurst, and S. C. Roth, *J. Appl. Phys.*, **49**, 4998 (1978).
- [14] J. H. Han and Y. C. Choi, *Synthetic Metals*, **185**, 45 (2013).