

## 초소형 X-선 튜브용 전계방출형 전자빔원 제작 및 특성 측정

허성환 · 김현진 · 조성오\*  
한국과학기술원 원자력 및 양자공학과\*  
E-mail: socho@kaist.ac.kr

중심어 (keyword) : 초소형 X-선 튜브, 전계방출형, 전자빔원

### 서론

초소형 X-선 튜브는 수 밀리미터 이내의 구경에 소형화된 전자빔 가속관과 X-선 타겟으로 구성되어 있다. 바늘과 유사한 외형으로 인해 최근 암 치료를 위한 근접방사선치료의 방사선원이나 강내 삽입이 가능한 X-선 영상 시스템의 핵심적인 장치로 개발되고 있다. [1,2]

기존의 초소형 X-선 튜브는 전자빔 발생원으로 텅스텐 필라멘트 등을 가열하여 방출된 열전자빔을 사용하였다. 진공 밀봉된 초소형 X-선관의  $10^{-5}$  torr 정도의 진공환경으로 인해, 높은 X-선 발생을 위해 높은 열전자빔 전류를 인출할 시 필라멘트가 쉽게 산화되어 권고 수명이 2.5시간으로 한정되어 있는 것이 단점이다. [1]

이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 낮은 진공도에서도 전자빔 인출이 수월하고 수명이 안정적인 차세대 전자빔원을 보고한다. 탄소나노튜브 전계방출형 전자빔원은 전자 인출에 가열이 필요하지 않을 뿐만 아니라, 어떤 전자빔원 형상에도 코팅되어 고휘도의 전자빔을 발생할 수 있어 초소형화된 X-선 튜브의 전자빔원으로 적용이 기대되고 있다.

### 재료 및 방법

초소형 X-선 튜브는 그림 1과 같이 전자빔 인출계, 가속관, X-선 타겟으로 구성되어 있다. 전자빔 음극에서 인출되는 전자빔은 텅스텐이 코팅된 투과형 X-

선 타겟으로 50 keV 가량 가속, 충돌되어 X-선을 발생한다.

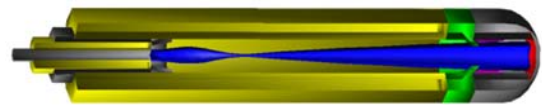


그림 1. 전계방출형 초소형 X-선 튜브 구조도

초소형 X-선 튜브는 강내 삽입이 용이한 가는 막대 형태로, 전자빔 음극의 형상도 이와 유사한 와이어를 사용하였다. 탄소나노튜브는 외경 약 20 nm, 길이 약 1  $\mu\text{m}$ 로 화학증착법으로 성장되었으며, 질산과 황산을 이용한 열수법으로 정제되고, 약 50 nm의 은나노 입자와 약 4 w%로 혼합되어 음극 와이어에 코팅되었다. 이후 200~500°C에서 100°C, 30분 간격으로 가열되어 그림 2 (b), (c)와 같이 제작되었다. [3]

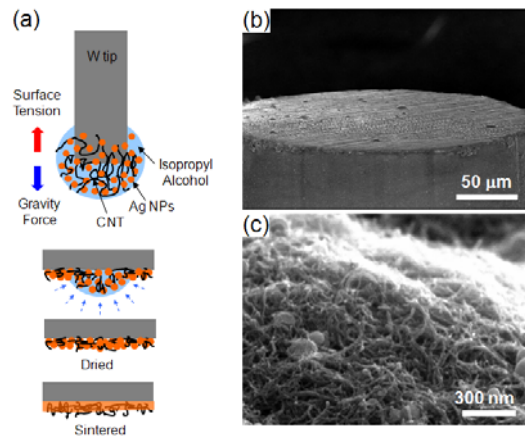


그림 2. 탄소나노튜브 전자빔원 제작과정 및 전자현미경 이미지

## 결과 및 고찰

제작된 탄소나노튜브 전자빔원은 이극관 구조에서 전자빔 인출 특성이 조사되었고, 표 1과 같이 다른 음극형상의 결과와 비교할 수 있다. 제작된 전자빔원은 다른 구조에 비해 좁은 면적에서도 높은 전류를 인출할 수 있을 뿐만 아니라, 은나노입자의 소결로 인해 향상된 탄소나노튜브와 음극 와이어 사이의 접촉력으로 보다 안정된 전류와 높은 수명을 보이고 있다. [4,5,6]

표 1. 텅형 탄소나노튜브 전자빔원 인출 특성 비교

음극형상	인출면적 (cm <sup>2</sup> )	인출전류	진공도 (Pa)	수명
Conical tip[4]	1.6×10 <sup>-6</sup>	26 μA 1.2 kV/250 μm	4×10 <sup>-7</sup>	10 μA, >20 h
Wire[5]	5.9×10 <sup>-4</sup>	7 mA/cm <sup>2</sup> , 6 kV/1 mm	2.6×10 <sup>-4</sup>	2 mA/cm <sup>2</sup> , >15 h
Flat plate[6]	2×10 <sup>-2</sup>	10 mA/cm <sup>2</sup> , 2.2 V/μm	1×10 <sup>-6</sup>	210 μA, >8,000 h
Flat tip	4.9×10 <sup>-4</sup>	465 μA, 6.6 kV/2 mm	1×10 <sup>-3</sup>	100 μA, >40 h

## 결론

초소형 X-선 튜브의 차세대 전자빔원으로 음극 와이어 형상에 탄소나노튜브-은나노 혼합재가 코팅된 전계방출형 전자빔원이 소개되었다. 제작된 전자빔원은 높은 인출 전류에도 안정적인 수명을 보여 주었으며, 차후 외경이 수 밀리미터로 초소형인 전계방출형 X-선 튜브 구현에 용이하게 사용될 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

1. K. Dickmann, C. Fotakis, J.F. Asmus, Lasers in the conservation of artworks, vol. 100 (Springer, Berlin Heidelberg, 2005), pp. 353 - 356.
2. D. Liu, E. Poon, M. Bazalova, B. Reniers, M. Evans, T. Rusch, F. Verhaegen, Phys. Med. Biol. 53, 61 (2008).

3. S. H. Heo, A. Ihsan, S. H. Yoo, G. Ali, S. O. Cho, Nanoscale Res Lett 5 (2010).
4. S.H. Heo, A. Ihsan, S.O. Cho, Appl. Phys. Lett. 90, 183109 (2007).
5. Y.B. Zhang, S.P.L. Huang, M. Tanemura, Appl. Phys. Lett. 86,123115 (2005).
6. Y. Saito, S. Uemura, Carbon 38, 169 (2000).