

# 탄소나노튜브 기반의 초소형 X-선 튜브 및 이를 이용한 근접 암치료장비 개발

원자력 및 양자공학과  
조성오



탄소나노튜브를 이용해 직경 5 mm인 진공밀봉형 초소형 X-선 튜브를 최초로 개발하고, 이를 이용하여 상용화 수준의 X-선 근접 암치료장비를 개발했다. 개발한 암치료장비는 인체 표면에 근접하거나 몸 속으로 삽입해서 피부암, 식도암, 기관지암, 자궁암, 직장암, 췌장암 등 다양한 암을 치료할 수 있다. 이 장비는 대형 선형가속기를 이용한 기존의 방사선 암치료장비보다 정상세포의 손상을 줄이면서 암만을 선택적으로 치료할 수 있고, 가격이 1/20 이하로 저렴하고 크기가 1/10 이하로 작은 장점이 있다. 이로 인해, 지금까지 대형 종합병원에서나 도입이 가능했던 방사선 치료장비가 중소형 병원에까지 보급이 되어, 부작용이 적으면서도 쉽고 값싸게 더 많은 암 환자들을 치료할 수 있는 길이 열릴 것으로 기대한다.

## KAIST'S TOP 10 RESEARCH ACHIEVEMENTS OF 2018



- 암을 치료하는 전통적인 방법에는 수술과 화학요법이 있다. 수술은 장기의 손실이 불가피하며 입원을 요하고 화학요법은 부작용을 유발하는 단점이 있다. 이러한 단점들은 방사선 치료법으로 상당히 극복될 수 있다. 현재의 방사선 치료는 선형가속기로 인체 외부에서 고에너지 방사선을 발생하여 인체내부로 조사함으로써 암을 치료한다. 그런데, 고에너지 방사선이 인체를 통과하면서 암이 아닌 정상세포들을 손상시키는 부작용을 유발한다. 반면 근접 암치료장비는 초소형 X-선 튜브를 몸 안에 삽입하거나 피부 근처에 위치한 암에 근접시켜, 암 주위의 국소적 부위에만 저에너지 방사선을 발생시켜 암을 치료하기 때문에 정상세포의 손상을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 초소형 X-선 튜브 기반의 근접 암치료장비는 미국과 독일에서 개발되어 있다. 그러나, 이러한 초소형 X-선 튜브들은 소형 필라멘트를 가열하는 열전자방출 방식으로 동작하므로 수명이 10시간 이내로 짧고 동작 안정성이 떨어져 실제 암치료에 널리 사용되지 못하고 있다. 따라서, 이러한 단점을 극복하는 새로운 근접 암치료장비가 필요하다.

- 본 연구에서는 탄소나노튜브 (carbon nanotube; CNT)를 이용한 전계방출 방식으로 진공밀봉형 초소형 X-선 튜브를 최초로 개발하였다. 이 방식은, 필라멘트와 달리, 가열이 필요하지 않아 X-선 튜브의 수명을 늘릴 수 있고 소형화가 가능하다. 개발된 초소형 X-선 튜브의 직경은 5 mm이고 길이는 치료 목적에 맞게 조절이 가능하다 (그림 1). 더불어, CNT 기반의 X-선 튜브가 실용화되지 못한 가장 큰 이유였던 고전압 방전으로 인한 CNT의 파괴현상을 극복할 수 있는 새로운 기술을 개발하여, X-선 튜브의 동작안정성을 획기적으로 향상시켰으며 동작 수명을 500

시간 이상으로 증가시켰다. 한편, 초소형 X-선 튜브를 이용하여 암치료를 하기 위해서는 발생하는 X-선의 공간분포를 조절하는 어플리케이터 (applicator)가 필요한데, 피부암, 췌장암, 켈로이드 등을 치료하는 surface applicator와 자궁암, 직장암, 유방암 등을 치료하는 cylindrical applicator를 3D 프린터를 이용하여 환자맞춤형으로 제작하는 기술도 개발하였다. 개발된 초소형 X-선 튜브와 어플리케이터를 이용하여 상용화 수준의 근접 암치료장비를 개발하였다 (그림 2). 전체 시스템과 각 부품 및 구동 소프트웨어 등은 이 장치를 사용할 방사선 종양학과 교수들과 의료기기 인증 전문사의 자문을 받아 실제 병원에서의 사용적합성과 의료기기 인증조건을 만족하도록 개발되었다. 이 장비는 내장된 터치스크린이나 외부 PC로 구동할 수 있고 방사선 치료량을 실시간으로 측정가능하며 방사선 안전성이 확보된 경우에만 동작되도록 설계, 제작되었다. 한편, 개발된 근접 암치료장비를 이용하여 암세포와 동물실험을 수행한 결과, 기존 선형가속기 기반의 방사선 암치료장비와 동등한 치료효과를 보여줌을 확인하였다.

- 기존의 선형가속기를 이용한 방사선 치료장비는 가격이 50억 이상으로 비싸고 넓은 설치공간을 필요로 하기 때문에 종합병원과 같은 대형 병원에서만 보유가 가능하였다. 반면 본 연구에서 개발한 근접 암치료장비는 2~3억대 가격으로 기존 장비보다 20배 이상 저렴하고 소형이어서, 대형병원뿐 아니라 중소형 병원에서도 도입이 가능하다. 또한 앞에서 언급한 것과 같이, 정상세포의 손상을 최소화하면서 암을 치료할 수 있다. 따라서, 더 많은 암환자들이 부작용이 적으면서 쉽고 값싸게 암을 치료 받을 수 있고, 기존 방사선 치료법과는 다른 새로운 암치료기술을 개발 및 발전시키는 데에도 기여할 것이다.

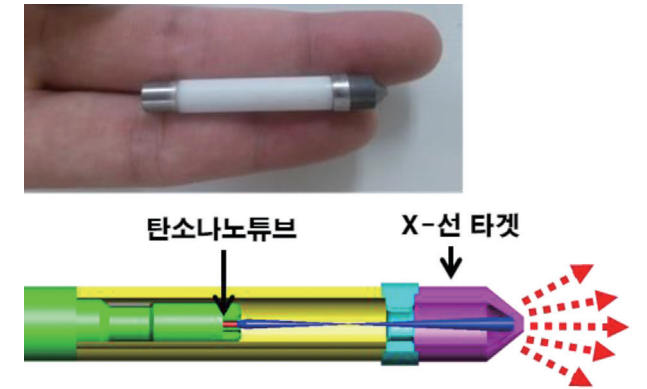


그림 1. 탄소나노튜브를 이용하여 만든 초소형 X-선 튜브



그림 2. 개발한 근접 암치료장비

### 연구성과

[논문] • Hyun Nam Kim, Ju Hyuk, Lee, Han Beom Park, Sung Oh Cho, "Surface applicator of a miniature X-ray tube for superficial electronic brachytherapy of skin cancer, Medical Physics 45, 29-36 (2018)

• Han Beom Park, Hyun Nam Kim, Ju Hyuck Lee, Ik Jae Lee, Sung Oh Cho, "Dosimetric characterization and commissioning of a superficial electronic brachytherapy device for skin cancer treatment", Nuclear Engineering and Technology 50, 937-943 (2018)

[특허] • 조성오, 김현진, 김현남, 박한범, "탄소나노튜브 기반의 X-선 튜브를 이용한 켈로이드 및 피부암 치료용 X-선 근접 치료 시스템", 등록번호: 10-1837593-0000, 등록일: 2018. 3. 6

• 조성오, 김현진, 김현남, 박한범, "탄소나노튜브 기반의 X-선 튜브를 이용한 켈로이드 및 피부암 치료용 X-선 근접 치료 장치에 사용되는 초소형 X-선 튜브시스템", 등록번호: 10-1837599-0000, 등록일: 2018. 3. 6

[언론 보도] • YTN 뉴스보도, TJB 뉴스보도, 대전 CBS 인터뷰보도, 연합뉴스 등 일간지 보도 33회 (2018. 11. 22 ~ 11. 29)

[기술 이전] • 기타 위 장치개발과 관련된 2017년 이전 실적 (2009년 ~ 2017년)

• 논문 9편, 국제특허 2건, 국내특허 11건, 기술이전 1건 (165,000,000원 + 경상료 2% + 기술개발비 50,000,000원)