

## 초소형 X-선 타겟의 최적화

김 현 진 · 허 성 환 · 하 준 목 · 조 성 오

한국과학기술원 원자력 및 양자공학과

E-mail: socho@kaist.ac.kr

중심어 : 초소형 X-선 타겟, 몬테카를로 전산모사(MCNP5)

### 서 론

초소형 X-선 타겟은 기존의 반사형 X-선 타겟과는 달리 투과형 타겟이 사용되어 진다. 투과형 타겟은 제작이 어려워 먼저 X-선 윈도우를 제작한 뒤 이에 타겟 물질을 코팅하는 방법으로 제작되어진다. 투과형 타겟은 기존의 단일 방향의 X-선 발생과 달리 공간적으로 균일한 X-선 발생이 일어난다. 이러한 장점을 이용하여 초소형 X-선 타겟은 근접치료 및 강내형 영상진단용 등 많은 산업분야에 적용 가능하다. 투과형 초소형 X-선 튜브는 현재까지 50 kV, 0.3 mA의 재원으로 개발되었으며, 외경 2 mm, 길이 5 mm의 텅스텐/베릴륨 투과형 X-선 타겟을 이용하여 근접암 치료용 Ir-192동위원소 선원을 대체할 X-선을 발생하고 있다.[1,2,3]

초소형 X-선 타겟의 경우 전자빔의 직경의 10mm미만으로 작고, 다방향으로 균일한 X-선 발생이 필요하기 때문에, 본 연구에서는 반사형보다는 투과형 타겟을 기본 모델로 하여 몬테카를로 전산모사(MCNP5)를 이용하여 X-선 발생을 계산하였다. 초소형 X-선 타겟에서 타겟의 모양(윈도우의 모양), 두께 그리고 종류에 따라 X-선 발생 특성이 많이 다르다.

### 방법

본 연구에서는 전자빔의 직경이 3mm, 전자빔원과

X-선 타겟의 거리 20mm, 투과형 타겟의 두께가 0.5 mm인 원통형, 반구형, 원뿔형, 원뿔대형 그리고 반사형 타겟의 윈도우와 이에 코팅된 얇은 텅스텐 타겟에 입사된 50kV, 1mA의 전자빔에 의해 발생하는 X-선의 공간분포를 몬테카를로 전산모사(MCNP5)를 이용하여 계산하였다. X-선 공간분포는 X-선 타겟의 입의의 한점(타겟의 무게 중심)을 원점으로 정하고, 전자빔의 방향을 0° 하여, 반시계 방향으로 5° 증가하면서 160°까지 X-선 발생량을 몬테카를로 전산모사(MCNP5)이용하여 계산 하였다. 이 계산을 바탕으로 최적화된 X-선 타겟의 모양을 결정한 다음, 타겟의 두께 그리고 타겟 사이각을 몬테카를로 전산모사(MCNP5)를 이용하여 계산하였다. 최적화된 초소형 X-선 타겟에서 작동 시간을 달리하여 타겟의 최고온도 변화를 COMSOL multiphysics를 이용하여 계산하였고, 방향에 따른 X-선 스펙트럼도 함께 계산하였다.

### 결과 및 고찰

본 연구를 통하여 반사형 타겟보다는 투과형 타겟이 그리고 투과형 타겟 중에서 원뿔대형 투과형 타겟이 초소형 X-선 타겟에 가장 적합함을 알 수 있다. 표 1은 최적화된 초소형 X-선 타겟의 제원이다.

X-선 타겟의 제원	
타겟의 형태	원뿔대형
타겟의 두께	1.5 $\mu$ m
타겟 사이각	90°

표 1. 최적화된 초소형 X-선 타겟의 제원

타겟의 모양이 원뿔대형 투과형, 타겟의 두께가 1.5  $\mu$ m, 타겟의 사이각이 90°일 때 초소형 X-선 타겟으로 사용되기에 가장 적합하다.

그림 1은 최적화된 타겟에서 작동 시간에 따른 타겟의 최고온도 변화 그래프이다. 작동이후 60초까지 타겟의 최고온도는 상승을 하다 60초 이후 1100K로 일정하게 유지된다. 강내형 영상진단용으로 사용되는 초소형 X-선 타겟의 작동 시간이 1초 내외여서 작동 후 1초 후의 타겟 최고 온도는 320K가 된다.

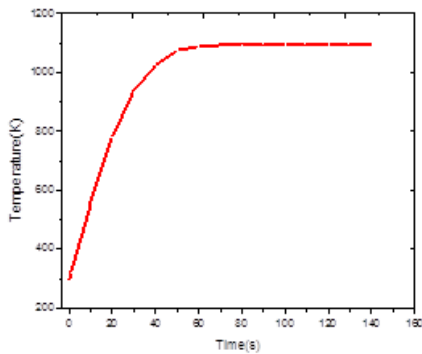


그림 1. 시간에 따른 타겟의 최고온도 변화

## 결론

이상의 연구를 통해서 최적화된 초소형 X-선 타겟의 모양을 알아보았다. 그리고 최적화된 타겟의 여러 특성도 함께 알아보았다. 이 연구를 바탕으로 근접치료 및 강내형 영상진단용 등 많은 산업분야에 적용되기 위해서는 타겟을 포함한 X-선 튜브 제작 뿐 아니라, 진공 접합 기술 등 여러 기술이 필요하므로 앞으로 좀 더 많은 연구가 필요하다.

## 참고 문헌

1. E.J. Hall, *Radiobiology for the Radiologist*, 5th Ed., pp. 124-135, Lippincott, Philadelphia(2000)
2. D.M. Brizel, T.H. Wasserman, M. Henke, V. Strnad, V. Rudat, A. Monnier, F. Eschwege, J. Zhang, L. Russell, W. Oster and R. Sauer, "Phase III randomized trial of amifostine as a radioprotector in head and neck cancer," *J Clin Oncol*, 18(19), 3339-3345(2000)