

Analysis for Orbit Calculation and Focal Spot Size of Electron Beam According to the Shape of Focusing X-ray Tube

Tae-Young Park¹, Purevdorj Khajidmaa¹, Munkhbat Bolormaa¹, Sang-Suk Lee^{1*}
Ki-Seon Kim², Rae-Jun Park²

¹Department of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

²XL Co. Ltd., Wonju 220-120, Korea

A small mobile orthopedic for mobile devices required using high-resolution such as dental, bone density measurement. The equipment is used for making rotating anode X-ray tube to make, the focusing cup was designed by OPERA-3D program. We simulated the X-ray thermal electrons emitted from filament with the trajectory of the focal distribution and focal spot size having a value of about 50 μm on target. Fixed variables include the voltage across the anode and cathode filament of the work function, the temperature, and the parameters included of the focusing tube has the form of a converging tube wall thickness as the width, length and the like. Analysis of the finite element analysis model was used. Many variables depending on the thermionic emission of hot electrons from the target trajectory and the focusing tube will be contributed the real design of X-ray.

회전양극 엑스선관은 엑스선을 발생시키는 진공관으로 크게 Fig. 1(a)과 같이 양극, 음극(필라멘트), 집속관으로 구성되어있다. Fig. 1(b)의 필라멘트에 2000 K ~ 4000 K의 고온을 가해주었을 때 필라멘트에서 열전자가 방출된다. 방출된 전자들은 높은 전압으로 대전된 양극으로 향한다. 전자들이 양극에 도달하여 타겟을 때리면 타겟의 에너지 준위가 낮아지게 되면서 엑스선을 방출한다. 열전자가 타겟을 때려 생기는 초점의 크기에 따라 발생하는 엑스선의 선질과 영상에서의 해상도가 다르게 나타난다. Fig. 1(c)처럼 치과용, 골밀도 측정용, 소형 모바일용, 정형외과 모바일용 등에 적용되는 회전양극 엑스선관은 열전자의 초점이 60 μm ~ 50 μm 이며, 이와 같은 초점을 구현해 내기 위하여 전자빔 궤적 시뮬레이션을 통해 집속관을 설계하였다.

모델-1의 해석 결과에서 Fig. 2(b)의 집속관의 너비가 길수록 초점이 작게 형성되는 것을 발견하여, 모델-2에서는 집속관을 필라멘트를 중심으로 하여 두 부분으로 나누어 설계하였다. 따라서 OPERA-3D를 활용하여 집속관의 형태의 변화에 따른 열전자의 방출 궤적과 타겟에서의 열전자 초점을 비교한 결과, 50 μm 의 초점 크기를 구현하기 위해서는 집속관 폭의 충분한 길이가 필요로 한다, 이는 전자빔의 초점을 미세화 하여 타겟에 충돌할 때 저 에너지영역의 산란 엑스선을 줄이고 해상도 향상에 기여할 것 이다. Fig. 2(a) 또한 모델-1에서와 같이 집속관의 형상을 다르게 하는 변수를 사용하여 최적의 초점을 형성하는 변수를 찾아내도록 설계하였다.

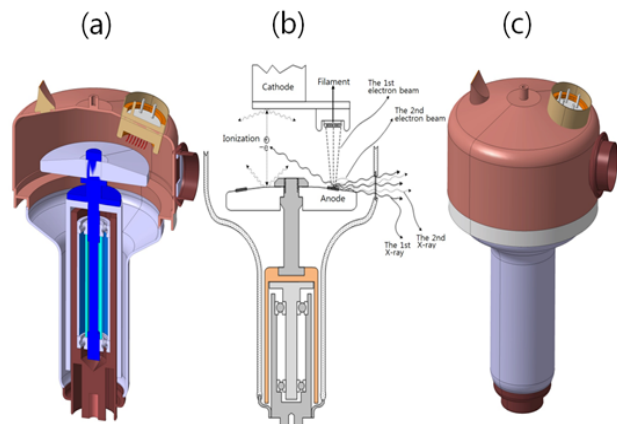


Fig. 1. (a) Internal model of the rotating anode X-ray tube, (b) schematic diagram of X-ray emission models, and (c) rotating anode X-ray tube model of the completed.

Fig. 2(b) 모델-2에서의 해석결과는 Fig. 3의 전자빔 분포 스펙트럼에서 보여주듯이 $65\ \mu\text{m} \sim 45\ \mu\text{m}$ 로 평균 $50\ \mu\text{m}$ 의 초점크기를 가졌으며 모델-1보다 약 $50\ \mu\text{m}$ 의 초점크기를 크게 감소시킬 수 있었다. 본 연구에서는 더 이상적인 열전자 초점을 구현하기 위하여 엑스선관의 집속관을 설계 및 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 프로그램으로는 OPERA-3D/SCALA SW를 사용하였으며 음극과 양극인 텅스텐 타겟에 인가한 전압, 온도, 필라멘트의 일함수 등의 조건을 고정시킨 후 다양한 집속관 형상에 따른 전자빔의 궤적과 타겟에서의 열전자의 초점을 유한요소 해석법을 통하여 분석하였다. 집속관은 Table.1과 같은 제원을 가졌다. 집속관의 모델-1에서는 평균 $100\ \mu\text{m}$ 크기의 열전자 최소 초점이 나타났으며 다양한 변수의 실험으로 집속관 홈의 너비 Fig.3 에서의 width.2가 길수록 초점의 크기가 작게 나타나는 것을 발견하였다. 집속관 모델-2에서는 집속관에서의 width.2 너비를 최대화 하기 위하여 집속관을 필라멘트를 중심으로 두 부분으로 나누었다. 이를 통하여 열전자의 초점은 평균 $50\ \mu\text{m}$ 를 얻을 수 있었으며 모델-1에서의 열전자의 초점보다 약 $50\ \mu\text{m}$ 크기의 초점이 줄어드는 것을 시뮬레이션 결과로 확인 할 수 있었다. 이와 같은 시뮬레이션 결과는 엑스선관의 집속관 설계에 있어서 미세 초점을 구현하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

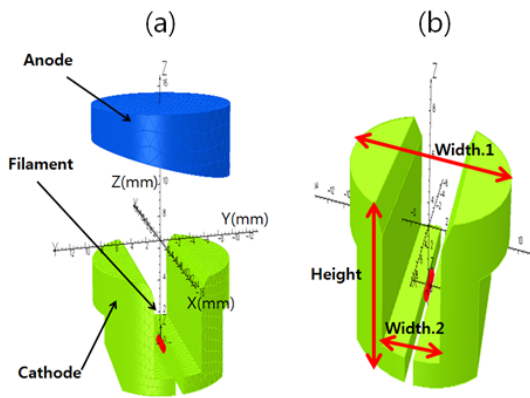


Fig. 2. (a) Shape of focusing cup in Model-2. (b) The variable focusing tube in Model-2.

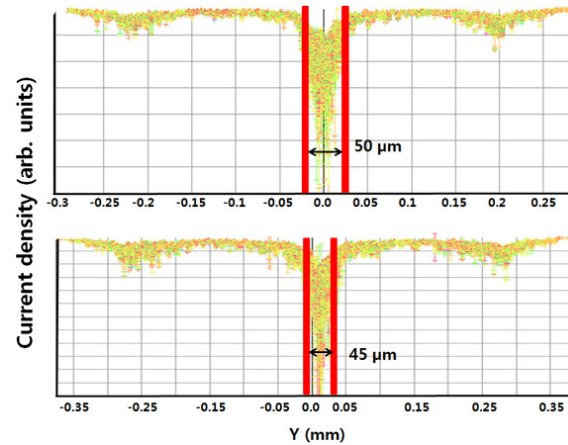


Fig. 3. The current density distribution of thermal electrons for the focusing cup and tube applied by Model-2. The focusing values of electron beams decrease to $50\ \mu\text{m}$ and $45\ \mu\text{m}$.

감사의 글

이 논문은 강원광역경제권선도산업 육성사업 전자의료기기 프로젝트 (제목 : 마이크로포커스 회전양극 엑스선관 개발)와 한국산업단지공단 생산기술사업화 지원사업 (과제명 : 소형 고출력 회전양극 엑스선관)으로 수행된 연구결과 이다.