

X-ray tube의 Anode target 설계에서의 열특성 해석 Thermal Analysis for Anode target design of X-ray tube

*#정일용¹, 유승복²

*#I. Y. Chung¹(magicsrp@hotmail.com)¹, S.M.Yoo²

¹한국생산기술연구원 생산시스템연구그룹, ²한국생산기술연구원 주조기술센터

Key words : X-ray open tube, Anode target, Heat transfer thermal analysis, X-ray CT

1. 서론

CT(Computed Tomography, 전산화 단층촬영)는 X-선의 투과원리를 이용하여 물체에 X-선을 여러 각도에서 투과하여 나오는 영상을 컴퓨터로 재구성하여 피사체의 내부 3차원 구조를 가시화하는 기법이다. 1970년대에 의료용 CT영상장치가 개발된 이후로 인체이외의 지질, 주조물 등의 비파괴 검사 등 그 응용분야가 확대되고 있는 실정이다¹⁾.

비파괴 검사 등에 사용되는 산업용 X-선 CT의 구조는 X-선을 발생시키는 X-선 발생장치, 발생된 X-선을 검출하는 디텍터, 그리고 이러한 장치를 구동하는 구동스캐너 등으로 구성되어 있다.

X-선 발생장치의 구조는 크게 고압의 발생장치와 X-선 튜브 및 이들의 제어장치로 구성된다. X-선 튜브에서는 열전자를 발생시켜 고압 발생장치의 고압으로 정전 가속시켜 일정한 크기의 전자빔을 생성한다. 이를 자기장으로 집속시켜 Anode target에 충돌시켜 X-선을 발생시키는 기능을 수행한다. X-선이 피사체를 투과할 때는 피사체의 두께나 밀도의 차이 등에 따라 각각 다른 투과율을 보이게 되는데 이를 디텍터에서 검출하고 그 영상을 재구성함으로써 내부 단면의 3차원 형상을 추출할 수 있게 된다. X-선 발생장치는 알루미늄 기준으로 대략 150mm 정도 되는 두께의 부품을 검사하기 위해서는 225kV의 소스 용량이 필요하고, 300mm 정도의 두께를 검사하기 위해서는 450kV 정도의 소스 용량이 필요로 한다²⁾.

본 연구에서는 전자빔이 target에 충돌하면서 상당한 열이 발생하는 Anode target 끝단 부위에 대한 열전달해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 Anode target부의 다양한 설계값에 대하여 열전달 해석을 수행하고 설계 매개변수에 대한 열특성을 평가하였다.

2. Anode target의 해석 모델링 및 조건

전자빔이 X-선 튜브의 Anode target에 충돌하여 X-선으로 변환될 때 에너지의 대부분은 열에너지로 변환되며 이것이 Anode target부의 손실을 초래한다. Anode target의 열전달 해석을 위해서 전자빔의 타겟부위에서의 구속조건 및 기하학적 대칭을 고려하여 전체형상의 1/4만 모델링하였다. Target부위의 아래쪽인 base면은 냉각수의 강제순환이 일어나는 면과 인접하므로 일정한 온도(25℃)를 유지한다고 가정하였으며 해석의 단순화를 위해서 주위로의 복사 및 대류 열전달은 일어나지 않고 target부의 전도열전달만을 고려하여 열해석을 수행하였다. Fig.1은 Anode target부위 중 끝단부에 대한 모델링 및 유한요소모델링을 나타낸 것이다. Anode target부의 끝단은 직경 5mm인 로드타입의 텅스텐(0.4t)과 구리(1t)로 구성되어 있고 열전도도는 Table 1과 같다.

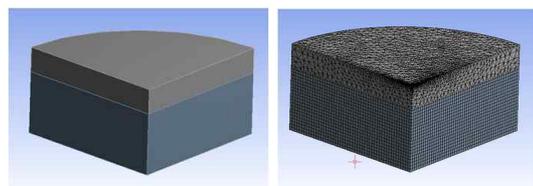


Fig. 1 A quarter section of Anode target end tip: solid modeling and finite element model.

Table 1 Thermal conductivity of Anode target material

Materials	K(thermal conductivity)[W/m-K]
Tungsten[W]	163.3
Diamond	2000
Copper[Cu]	0 °C - 401
	27 °C - 398
	727 °C - 357

3. Anode target의 열특성 해석

Anode target 끝단 부위에서 20W 열량의 전자빔이 직경 10um와 20um의 텅스텐 표면에 조사되는 경우에 대한 기본적인 열해석을 ANSYS프로그램을 이용하여 수행하였다. 열전달 해석 결과 텅스텐 표면에서의 최고 온도는 전자빔 직경 10um인 경우 4,880℃이고, 20um일때는 2,953℃로 나타난다. 텅스텐의 용융점이 3,400℃전후인 것을 감안하면 10um에서는 이미 용융점을 초과하는 상태로 무의미한 값을 알 수 있다. Fig. 2는 열해석의 온도분포 및 중심에서 반경방향으로 온도 프로파일을 보여준다. Fig. 3은 기본해석 조건에서 텅스텐의 두께를 400um에서 10um까지 변화시켰을 때의 최고 온도의 변화를 보여주고 있다. 텅스텐의 두께가 점점 얇아질수록 표면온도는 서서히 감소함을 알 수 있는데 이는 열전도도가 높은 구리 두께 비율이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

앞서 수행한 열전달 기본 해석 모델을 바탕으로 다양한 설계 변수 및 경계조건에 대해서 정상상태의 열전달 해석을 수행하였다. 설계변수로는 텅스텐의 두께가 5um와 10um인 경우와 두께 5um의 다이아몬드 층이 있는 경우와 없는 경우를 각각 고려하였으며 전자빔의 직경이 각각 5um, 10um인 경우와 전자빔의 열량을 각각 10W, 15W, 20W에 대해서 정상상태 열전달 해석을 수행하였다.

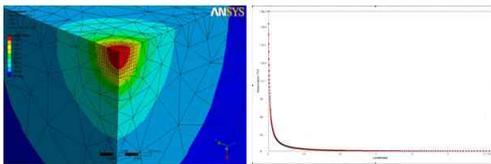


Fig. 2 Temperature distribution for 10um of beam dia. and temperature profile from center to the boundary along radial direction.

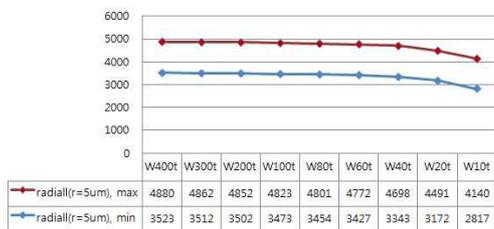


Fig. 3 A Temperature profile node Target end tip (a) Solid modeling and (b) Finite element model.

Table 2 Maximum temperature as steady state thermal analysis on various design parameters.

beam 직경 (um)	텅스텐 W 두께 (um)	Diamond층 [유/무]	20W 부하 [°C]		15W 부하 [°C]		10W 부하 [°C]	
			beam center	beam Boundary	beam center	beam Boundary	beam center	beam Boundary
10	10	layer [0.5mm]	3,708	2,384	2,787	1,794	1,866	1,204
10	5	layer [0.5mm]	2,545	1,518	1,915	1,145	1,285	771
5	10	layer [0.5mm]	7,057	4,926	5,299	3,701	3,541	2,475
5	5	layer [0.5mm]	4,724	3,171	3,549	2,384	2,374	1,598
10	10	-	4,292	2,974	3,224	2,235	2,156	1,497
10	5	-	3,373	2,298	2,533	1,727	1,695	1,158
5	10	-	8,040	6,022	6,034	4,412	4,029	2,948
5	5	-	5,756	4,229	4,320	3,174	2,886	2,122

Table 2는 열전달 해석결과 target부 중심에서의 최고 온도값을 나타낸 것이다. 텅스텐의 용융점 넘어서는 몇몇 조건의 경우를 제외하고 실제로 유효한 값들 중에서 다양한 설계 및 하중조건에서의 온도 경향을 파악할 수 있다.

4. 결론

Anode target의 설계변수의 파라미터 스테디를 통하여 열전달에 영향을 미치는 주요 설계인자를 고려하여 X-선 tube의 설계에 반영할 수 있었다. 또한 다이아몬드층을 존재 여부, 빔직경, 텅스텐 두께 등의 설계파라미터 및 열하중 변화에 대한 열전달 경향을 파악할 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업 (3차원 투과영상 기반 제품 검사 플랫폼 기술개발)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김승근, 이상준 외 3인, "미세 X선 단층촬영 기법의 개발과 적용," 한국가시화정보학회지, 제 8권, 제 2호, 45-50, 2010.
2. 한국생산기술연구원, "3차원 투과 영상 기반 제품 검사 플랫폼 기술개발," 지식경제부 산업원천기술개발사업 연차보고서, 2011.
3. 김호경, "원추형 빔 마이크로 단층촬영기술 및 그 응용," 한국 정밀공학회지, Vol. 22, No. 3, 7-14, 2005.
4. Aamir.Ihsan, Sung Hwan Heo, Sung Oh Cho, "Optimization of X-ray target parameter for a high-brightness microfocus X-ray tube," Nucl. Instr. and Meth. B 264, 371-377, 2007.