

몬테카를로 방법에 기초한 진단용 엑스선 발생장치의 엑스선 스펙트럼 계산

한동현, 이범수*, 강상구*, 안성환*, 김종일*

서해대학교, 전북 군산시 오룡동 서해대길 2번(832-1)

*전북대학교, 전북 전주서 덕진구 백제대로 567

ash1223@naver.com

1. 서론

본 연구에서는 몬테카를로 방법에 기초한 GEANT4 시뮬레이터를 이용하여 진단용 엑스선 발생장치의 엑스선 스펙트럼 계산하였다. GEANT4로 계산된 자료의 유용성 평가는 진단용 엑스선 스펙트럼 계산에 이용되는 IPEM report number 78(이하 IPEM 78) Spectrum processor의 스펙트럼과 SpekCalc 프로그램 결과와 비교하여 저에너지 영역에서의 전자기 물리모델의 GEANT4의 적용 가능성을 확인코자 하였다.

2. 본론

2.1 대상 및 방법

2.1.1. 시뮬레이션 환경의 설정

본 연구의 엑스선 발생장치는 국내에서 의료용으로 이용되는 일본 T사의 엑스선관이다. 타겟의 각도는 12°, 타겟 직경은 74 mm, 고유여과는 75 kV에서 0.9 mmAl이다. 추가로 설치된 부가여과는 1.5 mmAl이며, 총여과값은 75 kV에서 2.4 mmAl이다. 고유여과 물질의 두께 및 밀도는 Table 1과 같다.

Table 1. Material of inherent filtration.

Material	Thickness(mm)	Density(kg/m ³)
Pyrex glass	2.0	2.33
Insulation oil	3.0	0.80
Bakelite	2.5	1.25

음극 필라멘트 위치에서 타겟 방향으로 방출되는 전자빔의 면적은 실제 엑스선관의 초점크기인 1.2 mm로 설정하였다. 초기 전자빔의 에너지는 80, 100, 120, 140 keV로 설정하였으며, 전자빔과 타겟과의 상호작용 결과 발생된 엑스선을 검출하기 위해 초점과 수직방향으로 직경 15 mm 원형의 가상 검출부를 0.5 keV 간격으로 설정하였다. IPEM 78과 SpekCalc의 환경설정은 GEANT4와

동일한 에너지들과 타겟 각도 그리고 총여과를 GEANT4 환경과 동일하게 설정하여 0.5 keV 간격으로 출력하여 각 스펙트럼의 평균에너지를 구해 비교하였다. 이상의 시뮬레이션은 GEANT4.9.4 p01 버전을 기반으로 수행하였다.

2.1.2 IPEM Report No. 78^[1]

IPEM report No. 78 버전은 엑스선 스펙트럼 계산을 위한 반경험적 모델을 기반으로 개인용 컴퓨터를 이용하여 적용할 수 있게 고안된 프로그램이다. 프로그램 명칭은 Spectrum processor이며, 텅스텐(W), 몰리브덴(Mo), 로듐(Rh)의 스펙트럼을 포함하고 있다. 진단용 엑스선 발생장치의 스펙트럼 예측에 광범위하게 이용되고 있다.

2.1.3. SpekCalc 프로그램^[2]

몬테카를로 방법에 기초하여 개발된 SpekCalc 프로그램으로 사용자가 에너지빈 폭의 조정, 저장과 전시, 계산 등을 쉽게 조정할 수 있는 특징이 있다. 사용자가 mm 단위로 선택하여 사용가능하다. SpekCalc의 결과는 진단용 엑스선 스펙트럼 측정 실험결과와도 매우 잘 일치하는 것으로 보고된 바 있다.

2.2 실험결과 및 고찰

초기 전자빔의 운동에너지 60, 80, 100, 120 keV의 조건에서 GEANT4 시뮬레이터로 계산된 엑스선 스펙트럼을 GEANT4, IPEM 78 그리고 SpekCalc의 스펙트럼은 동일한 조건에서 계산된 에너지별 광자수를 광자 1개당 방출확률로 일반화하여 상대 강도(Relative Intensity)를 통해 비교한 결과는 Fig. 1과 같다. 관전압 증가에 따라서 스펙트럼의 면적이 현저히 증가 하였다.

스펙트럼의 형태는 타겟인 텅스텐과 전자의 상호작용으로 발생하는 엑스선은 연속적 분포를 보이는 제동복사에 의한 선량분포와 타겟의 궤도전자와 상호작용으로 57.981, 59.318, 69.101, 67.244 keV 에너지에서 특성엑스선이 발생하여 피크를

형성한다. 따라서 GEANT4로 계산된 80 keV 이상의 스펙트럼에서 나타난 58, 59.5, 67.5, 69 keV 부근의 불연속 피크와 잘 일치하였다.

각 엑스선 스펙트럼의 평균에너지(E_{mean}) 차이는 전자빔의 에너지 60, 80 keV에서는 1 keV 이하, 100, 120 keV에서는 2.5 keV 이하로 나타났다 (Table 2).

Table 2. Mean energies(keV) of photon calculated by simulation tool.

Electron energy	60	80	100	120
GEANT4	35.6	42.1	47.8	52.7
IPEM 78	35.9	43.3	49.8	55.2
SpekCalc	35.8	42.7	48.9	54.2

또한 최대강도를 나타내는 에너지 구간은 60, 80 keV에서는 약 33~38 keV, 100, 120 keV에서는 35~40 keV 범위로 비슷한 경향을 나타냈다. 그러나 80, 100, 120, 140 keV의 전반에 걸쳐 특성엑스선 피크에너지가 $K_{\alpha 1}$ 은 일치하였으나, $K_{\alpha 2}$, $K_{\beta 1}$, $K_{\beta 2}$ 는 1 keV의 오차가 발생하였다. 이는 각 시뮬레이터들에서 에너지 간격을 설정하는데 있어 발생하는 차이이다. 또한 특성엑스선 피크들의 전반적인 강도는 IPEM 78과 SpekCalc의 결과보다 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 MCNP 코드를 이용한 Ay[3] 등의 선행연구들과 같은 결과를 나타냈다. 위와 같은 결과들을 종합하면 GEANT4를 이용한 진단용 엑스선 발생장치에서 방출되는 엑스선 스펙트럼의 계산은 기하학적 구조를 실제에 매우 근접하게 묘사할 수 있고, 그 결과가 진단영역의 엑스선 스펙트럼 계산에 광범위하게 사용되는 IPEM 78 및 최근 개발된 SpekCalc의 결과와 잘 일치하였다. 이에 더해 본 연구의 기하학적 모델링 과정에서 기존의 연구들과는 달리 실제 엑스선관을 입체적으로 구성하였고, 특히 관유리, 절연유 그리고 방사창 등의 고유여과를 단순한 알루미늄 판 형태가 아닌 3D로 모델링하였기 때문에 그 가치는 매우 클 것으로 생각된다.

3. 결론

본 연구는 몬테카를로 방법에 기초한 GEANT4 시뮬레이터를 이용하여 진단용 엑스선발생장치에서 방출되는 엑스선의 스펙트럼을 계산하였다. 진단용 엑스선 스펙트럼 계산에 광범위하게 이용되

는 IPEM 78 및 SpekCalc로 계산한 스펙트럼과 비교한 결과 특성엑스선의 피크 에너지, 평균에너지, 최대강도 에너지범위 등이 잘 일치하여 정확성을 확인하였다. 향후 리플백분율, 타겟 각도 등의 추가적인 연구가 진행된다면 진단영역 에너지에서 전자 및 광자의 에너지 수송과정과 엑스선 스펙트럼 계산 등에 GEANT4는 매우 유용한 도구가 될 것으로 사료된다.

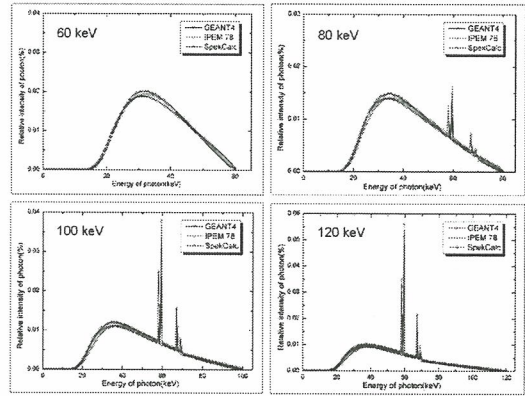


Fig. 1. According to the Electron energy(60~120 MeV), Spectrum of each model(Geant4-IPEM 78-SpekCalc).

4. 참고문헌

[1] Med. Phys., 24(1), 51-70, 1997.
 [2] Med. Phys., 18(5), 934-938, 1991.
 [3] Phys. Mes. Biol. 49(21), 4897-4917, 2004.