진단 X선에 대한 $CaWO_4$ 증감지의 양자효율 연구

박지군, 강상식, 장기원, 이형원*, 남상희*
인제대학교 의용공학과, 인제대학교 의료영상연구소*

The Study on Quantum Efficiency of $CaWO_4$ Screen with Diagnostic X-ray

Ji-Koon Park, Sang-Sik Kang, Gi-Won Jang, Hung-Won Lee*, Sang-Hee Nam*
Department of Biomedical Engineering of Inje University, Medical Imaging Research center of Inje University*

Abstract

Lately, intensifying screen of the $CaWO_4$ is used to medical treatment and diagnosis of the image. In this paper, we investigated transmission fraction and mass attenuation coefficient of CaWO4 screen about diagnostic x-ray of low energy using MCNP 4C code. Experimentally, for 0.9 mm-$CaWO_4$ screen, the absorbable rate of diagnostic x-ray is more than 95%. according to kVp, the experimental value of mass attenuation coefficient is in almost agreement with an corrected estimate value of MCNP and the deviation of experimental values is less than ±7%. Using the MCNP code through this paper, we can make an estimate of signal and design for construction of the CaWO4/a-Se based digital x-ray image detector and make a good use of the foundation data for development of other materials.

Key Words : MCNP 4C, $CaWO_4$, Digital Radiography, Flat-Panel X-ray Detector

1. 서 론

지금까지 다양한 형태의 디지털 방사선 영상 기술이 연구되어져 왔다. a-Se, CdZnTe, HgI_2 등과 같은 반도체를 이용하여 직접 전기적 영상 신호를 획득하는 기술과 CsI(Tl), NaI(Tl), BGO, $CaWO_4$ 등과 같은 광발생층과 이러한 광을 전기적 신호로 변환시키는 광센서를 이용하는 간접변환 기술로 나눌 수 있다. 현재 치과용 진단 영상 및 산업용 비파괴 검사 등에 넓리 이용되고 있는 $CaWO_4$는 X선을 흡수하여 430 nm의 가시광선을 방출시킨다. 이러한 영상정보를 가진 가시광선을 CCD(CMOS) 또는 a-Si TFT 어레이를 이용하여 영상을 획득하게 된다. $CaWO_4$는 밀도가 7.9 g/cm^3 로 높기 때문에 낮은 두께에서 저 에너지 방사선에 대한 높은 저지능(Stopping power)를 가진다. 지금까지 개발된 기존의 a-Se를 이용한 평판형 디지털 X선 영상 검출기와 CsI(Tl)/a-Si 기반의 간접형 영상 검출기는 고전압, 낮은 검출효율 및 제조공정의 어려움 등의 약점을 지니고 있다. 우리는 이러한 문제를 해결하기 위하여 $CaWO_4$, Gd_2O_2S 증감지와 a-Se 광센서를 이용한 Hybrid 형태의 평판 대면적 영상 검출기를 개발하고자 하였다. 본 연구는 CaWO4 증감지가 진단영역의 연속 X선에 대한 광자변환효율을 몬테카를

로 시뮬레이션을 통해 추정하여 CaWO4/a-Se 검출기 개발의 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 방사선과 물질과의 상호작용 및 수송현상을 모사하기 위해 MCNP 4C code를 이용하여 에너지에 대한 질량감약계수를 추정하여 측정값과 비교하였다.

2. 실 험

2.1 질량감약계수 측정

본 실험에서 이용된 CaWO4 증감지의 면적이 $4cm^2$이고 두께가 0.9 mm를 이용하였다. 연속 X선를 조사하기 위해 이용된 X선 발생장치는 Shimatzu 社의 500-125 이였으며, Collimator를 이용하여 조사빔 영역을 조절하였다. 조사조건은 진단 영역의 에너지인 관전압을 60 kVp에서 120 kVp까지 10 kVp씩 증가시키면서 증감지 투과전의 X선 강도(Intensity)와 투과후의 X선 강도를 측정하였다. 실험의 정확도를 높이기 위해 10회씩 반복 측정하여 평균값을 획득하였다. X선의 광도를 측정하기 위해서 사용된 선량계는 Ion chamber 2060(Radical Cooperation 社)였다.

측정된 X선 강도로부터 다음의 수식에 의해 에너지에 따른 질량감약계수를 계산하였다.

$$I = I_0 \exp^{-(\mu/g)x}$$

$$\frac{\mu}{\rho} = -\frac{\ln(I/I_0)}{x}$$

여기서, I는 증감지를 투과한 X선 강도, I_0는 투과전의 X선 강도이며 x는 증감지 두께이다.

2.2 MCNP 시뮬레이션

본 논문에서 개발된 MCNP input file은 진단 영역의 연속 X선 스펙트럼을 방사선 Source로 이용하였으며, 실험에 이용된 증감지와 동일한 CaWO4의 Geometry를 setup하였다. MCNP의 output은 증감지의 표면에 입사한 X선 광자를 추적하여 상호작용을 한 후, 반대쪽 표면을 통과한 광자의 확률를 에너지별로 검출하여 총 투과 에너지를 계산하였다. 그림 1.은 CaWO4의 Geometry를 나타내것이다.

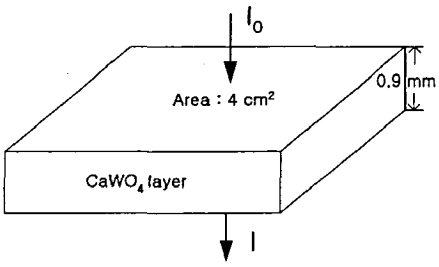

그림 1. $CaWO_4$ 증감지의 기하학적 구조

방사선의 양자효율(Quantum efficiency)는 한 개의 광자가 물질에 입사하였을 때, 선 감약계수가 μ, 물질의 두께를 x라 할때 다음의 수식으로 나타내어진다.

$$Q = 1 - \exp^{-\mu x}$$

X선 source는 관전압 60 kVp부터 120 kVp까지의 에너지 스펙트럼를 가지는 스펙트럼 데이터를 가지고 입사표면에서 Sampling되는 면 Source를 이용하였으며, 50000번의 History를 tracking하여 평균값을 취하였다. MCNP Tally는 증감지를 투과한 광자의 수와 에너지를 획득하기 위해 F8 Tally를 이용하였으며, 획득된 output 데이터를 이용하여 질량감약계수를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2.는 X선 발생장치의 관전압(kVp)에 따라 얻어지는 연속 X선 스펙트럼 분포를 얻은 것이다.

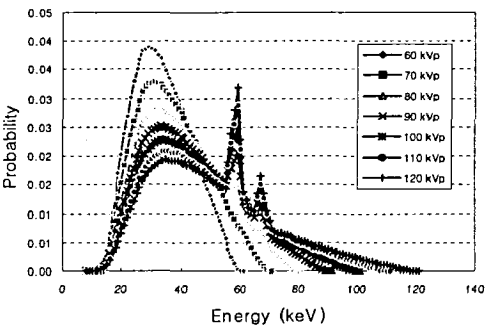

그림 2. MCNP의 관전압(kVp)에 따른 에너지 스펙트럼 분포

이러한 에너지 스펙트럼을 가지는 광자가 $CaWO_4$의 표면에서 샘플링 되어 입사하게 된다. 그림에서 알 수 있듯이, 텅스텐(W) 타켓의 특성 X선인 59 keV와 67 keV에서 피크치가 얻어짐을 관찰할 수 있다.

그림 3.은 관전압(kVp)에 따른 0.9 mm 두께의 $CaWO_4$ 증감지를 투과한 광자의 에너지 스펙트럼을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이, 관전압이 80 kVp에서부터 $CaWO_4$의 특성 X선인 58 keV, 60 keV, 68 keV의 투과 피크치를 확인할 수 있었다.

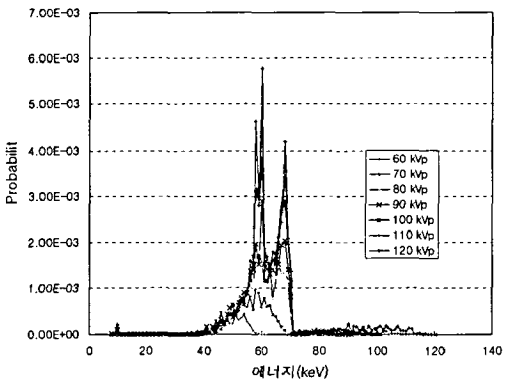

그림 3. MCNP로 얻어진 관전압(kVp)에 따른 0.9 mm 두께의 $CaWO_4$ 증감지를 투과한 에너지 스펙트럼 분포

그림 4.는 관전압(kVp)에 따른 투과도를 나타낸 것이다. 그림과 같이, 관전압이 증가함에 따라 투과율이 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있고, 120 kVp에서 양자효율은 95.4% 였다.

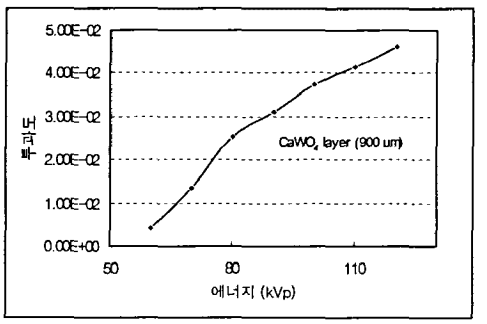

그림 4. 관전압(kVp)에 따른 0.9 mm-$CaWO_4$ 증감지의 투과도

그림 5.는 관전압(kVp)에 따른 0.9 mm 두께의 $CaWO_4$ 증감지에 대한 질량 감약계수 측정값과 MCNP 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 측정값과 7.2의 상수값으로 보정된 MCNP 추정값의 kVp에 따른 감소되는 경향이 거의 일치하였으며, 편차는 ±7% 이내였다.

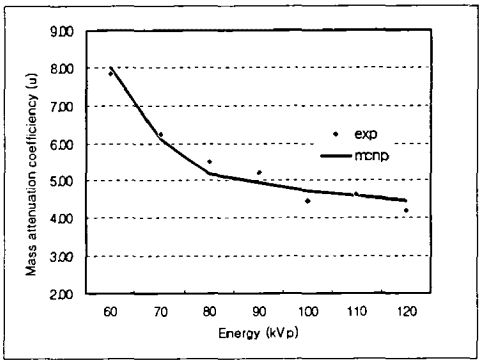

그림 5. 관전압(kVp)에 따른 0.9 mm-$CaWO_4$ 증감지의 질량감약계수

4. 결 론

본 연구는 새로운 구조의 $CaWO_4$/a-Se 구조의 디지털 X선 영상 검출기 개발을 위한 기초 연구로써 MCNP 4C code를 이용하여 $CaWO_4$ 증감지의 진단영역의 X선에 대한 양자효율을 추정하였으며, 실험결과, 0.9 mm 두께의 CaWO4 증감지에 대해 양자효율은 60 kVp에서 99.6%, 120 kVp에서 95.4%였으며, 질량감약계수의 측정값과 보정된 MCNP 추정값과 거의 일치하였으며, 편차는 ±7%이하였다. 본 연구의 결과를 통해 진단 X선에 대한 흡수율을 추정하여 신호발생량을 추정할 수 있으며, 차후 다양한 증감지에 대해 구조 설계 및 X선의 상호작용을 예측하는데 이용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 지원(M1-0104-00-0149)에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

[1] MCNP^{TM}-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4C

[2] M Lachaine and B G Fallone, "Monte Carlo

simulations of x-ray induced recombination in amorphous selenium", J. Phys. 33(2000) 1417-1423

[3] J. H. Hubbell, S. M. Seltzer, Table of X-ray Mass Attenuation Coefficient and Mass Energy-Absorption Coefficients, Nist

[4] Robert E. Johanson, S. O. Kasap, J. Rowlands, B. Polischuk. "Metallic electrical contacts to stabilized amorphous selenium for use in X-ray image detectors", J. Non-Crysta. Solids, Vol. 227-230, pp. 1539, 1998

[5] A. Yu. Leiderman and M. K. Minbaeva. "Mechanism of Rapid Growth of the Direct Current in Semiconductor Diode Structures", Semiconductors, Vol. 30, No. 10, pp. 905, 1996.