

몬테카를로 시뮬레이션을 통한 CsI-Se 검출기의 구조 설계

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

Structure design of CsI-Se Detector using Monte Carlo Simulation

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

Abstract

In recent years, there has been keen interest in developing flat panel detectors for all modalities of radiology, including general radiology, fluoroscopy(angiography and cardiology), electronic portal imaging, and mammography. In this paper, we report the new hybrid x-ray detector consisted of CsI(Tl) photoemission layer and a-Se photoconductor layer to resolve conventional x-ray detector such as the direct detector using a-Se and the indirect detector using CsI(Tl)/a-Si. To design the structure of CsI(Tl)/a-Se detector, the penetrated energy spectrum and absorption fraction was estimated using MCNP 4C code. Experimental results showed that the absorption fraction of 500 μ m-Se film and 150 μ m-CsI(Tl)/a-Se(30 μ m) film is 70% at 70 kVp. The absorption energy is 90% at 350 μ m-CsI(Tl).

Key Words : MCNP 4C, Amorphous selenium, CsI(Tl), Digital X-ray Detector,

1. 서론

최근 연구되고 있는 디지털 평판형 방사선 영상 검출 방식에는 X선 변환층에는 a-Se, CZT, HgI₂ 등의 광도전층을 이용하여 직접 전기전 신호를 획득하는 직접변환방식과 CsI(Tl), CsI(Na) 등의 형광층과 a-Si 포토다이오드를 결합시켜 X선을 빛으로 전환한 후, 다시 전기적 신호로 획득하는 간접변환방식으로 나눌 수 있다. 광도전층으로 널리 이용되고 있는 a-Se은 대면적화의 용이, 낮은 암전류 및 높은 공간해상도를 가지는 장점이 있다. 하지만, 다른 광도전체에 비해 원자번호와 전자-정공쌍 발생 에너지(W)가 낮기 때문에 검출효율을 높이기 위해 500 μ m 이상의 필름 두께와 수 kV이상의 고전압을 인가시

켜야 하는 약점을 지니고 있다. 또한 간접변환방식은 TFT 어레이 각 픽셀에 위치하는 a-Si 포토다이오드 때문에 제조 공정이 어렵고, 낮은 Fill factor에 의한 변환효율이 낮은 약점이 있다.

이러한 직·간접 방식의 약점을 해결하기 위해 우리는 CsI(Tl) 형광층과 a-Se 광도전층으로 구성된 Coplanar 구조의 Hybrid형 X선 영상 검출기를 연구하고 있다. 수백 μ m의 두꺼운 CsI(Tl) layer에서 X선을 빛으로 변환시키고, 이러한 빛을 수십 μ m의 a-Se layer에서 다시 전기적 신호로 변환함으로써 직접 방식의 고전압 및 간접방식의 낮은 변환효율의 문제를 동시에 해결할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 CsI(Tl)/a-Se Coplanar 구조의 X

선 검출기 개발을 위한 기초 연구로써 MCNP 4C Code를 이용하여 CsI(Tl)/a-Se(30 μ m)에서 CsI의 두께에 따른 X선 흡수도를 추정하여 두께에 따른 신호 발생량을 예측하고자 하였다. 또한 a-Se 직접방식과의 진단 영역의 X선 흡수도를 비교함으로써 검출기 제작 및 평가의 기초 자료로 활용하는 게 본 연구의 목적이다.

2. 실험

2.1 MC input file의 개발

본 연구에서 이용된 몬테카를로 시뮬레이션 프로그램은 Los Alamos National Laboratory에서 개발된 Monte Carlo Neutron and Photon Code version 4C(MCNP 4C)를 이용하였다. MCNP code는 Boltzman-Fokker-Plank algorithm를 이용하여 광자와 전자의 수송현상을 모사하는 일반적인 Monte Carlo code이다. MCNP input file은 Cell cards, Surface cards 및 Data cards로 구성된다.

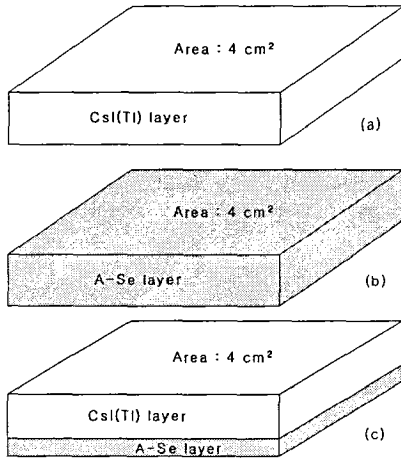


그림 1. Geometry setup of MCNP input (a) CsI(Tl) (b) a-Se (c) CsI(Tl)/a-Se

실험에서 이용된 재료는 a-Se, CsI(Tl)이며 검출기 구조는 a-Se, CsI(Tl) 및 a-Se/CsI(Tl)이다. 이용된 X-ray Source는 진단 X선 발생장치의 관전압 70 kVp, ripple 4% 및 Al 2.5 mm의 Filtration에 의해 생성되는 에너지 스펙트럼 Data를 이용하여 검출기 구조의 상부 표면에서 Sampling하였다. 그림 1.에 본 실험에 이용된 Geometry를 나타내었다.

2.2 MCNP의 tally

강도(Intensity) I_0 인 단일 에너지 광자가 두께가 x , 밀도가 ρ 인 물질층에 입사하여 상호작용을 한 후, 투과되는 강도 I 는 다음과 같은 지수감쇠법칙으로 표현된다.

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

$$\Delta I = I_0 - I$$

여기서, μ/ρ 는 질량감약계수로서 방사선과 물질과의 상호작용 확률을 의미하며, 방사선의 에너지에 의존한다. 진단 영역의 X선은 120 keV 이하의 저 에너지로써 광전효과, 콤프턴 산란이 일어나며 광전효과가 지배적이다.

본 실험에서는 MCNP의 F1 Tally를 이용하여 X선의 한 표면에 입사하는 광자가 반대쪽 표면을 통과할 확률을 추정하였다. 50000개의 Source particle들이 진단 영역의 연속 X선 스펙트럼과 동일한 확률로 샘플링하였다. 또한 이러한 연속 에너지를 가지는 광자의 투과확률을 에너지별로 구분하여 총 흡수에너지를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2.은 X선 발생장치의 관전압이 70 kVp인 조사조건에서 발생하는 에너지 스펙트럼에 대한 스펙트럼과 CsI(Tl) 및 300 μ m-CsI(Tl)/a-Se(30 μ m)에 대한 투과 스펙트럼을 나타낸 것이다.

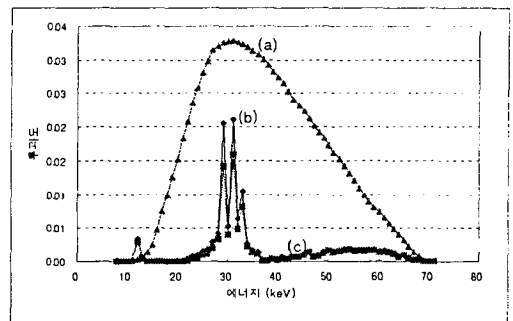


그림 2. 관전압 70 kVp의 에너지 스펙트럼에 대한 투과도 (a) 입사 광자의 투과도 (b) 300 μ m-CsI(Tl)를 투과한 광자 (c) 300 μ m-CsI(Tl)/a-Se (30 μ m)를 투과한 광자

그림에서 알 수 있듯이, 연속 에너지의 X선 광자의 70% 이상이 300 μm 두께의 CsI(Tl)에 흡수되고, 12 keV, 29 keV, 31 keV, 33 keV의 특성 X선을 방출시킨다.

그림 3.은 a-Se 및 CsI(Tl)의 두께에 따른 관전압 70 kVp의 에너지 스펙트럼에 대한 흡수도를 나타낸 것이다. 그림과 같이, a-Se에 비해 CsI(Tl)의 에너지 흡수도가 다소 높음을 알 수 있고, 70%의 에너지를 흡수하기 위해 CsI(Tl)은 약 300 μm 에 비해 a-Se은 약 450 μm 의 두께가 요구되었다.

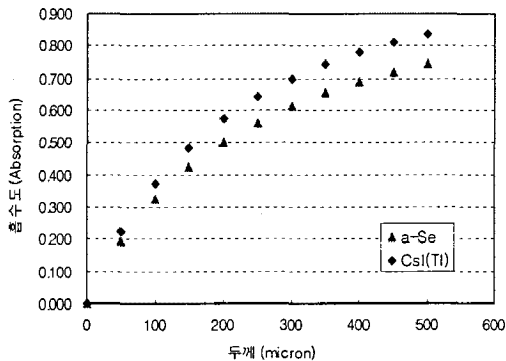


그림 3. a-Se 및 CsI(Tl)의 두께별 에너지 흡수도

표 1.와 그림 4.는 MCNP 4C code를 이용하여 a-Se, CsI(Tl) 및 CsI(Tl)/a-Se(30 μm) 필름에 대한 연속 에너지에 대한 투과율 시뮬레이션 값을 나타낸 것이다. 그림과 같이, a-Se과 CsI(Tl)에 비해 CsI(Tl)/a-Se(30 μm)에 대해서 상대적으로 상당히 낮은 투과도를 나타내었으며, 500 μm 두께의 a-Se에 대해 350 μm 두께의 CsI(Tl)와 150 μm -CsI(Tl)/a-Se(30 μm)에서 거의 동일한 흡수도를 보였다. CsI(Tl)/a-Se(30 μm) 구조의 Hybrid형 X선 검출기에 대해 CsI(Tl)의 두께가 300 μm 에서 거의 90%의 에너지가 흡수됨을 알 수 있었고, a-Se 검출기와의 동일한 에너지 흡수에 대한 두께를 알 수 있었다.

상대적으로 낮은 에너지 흡수도를 가지는 a-Se에 비해 CsI(Tl)은 원자번호가 높기 때문에 낮은 두께에서 X선을 흡수하여 빛광자를 발생시키고 이러한 빛과 CsI(Tl)를 통과한 X선 광자들은 30 μm 두께의 a-Se에서 다시 흡수되어 전자-정공쌍을 생성시켜 높은 유도 전류를 발생시킬 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 CsI(Tl)/a-Se 구조의 X선 검출기 개발을 위해 MCNP code를 통한 CsI(Tl) 및 a-Se의 두께에

따른 에너지 흡수도 및 신호발생량을 추정할 수 있었다.

표 1. 두께에 따른 a-Se, CsI(Tl), CsI(Tl)/a-Se(30 μm)의 에너지 투과율

Thickness(μm)	a-Se	CsI	CsI/a-Se(30 μm)
0	1.000	1.000	0.872
50	0.805	0.776	0.497
100	0.674	0.628	0.341
150	0.576	0.515	0.242
200	0.499	0.426	0.177
250	0.439	0.357	0.131
300	0.388	0.301	0.098
350	0.345	0.256	0.074
400	0.310	0.220	0.056
450	0.280	0.189	0.044
500	0.255	0.163	0.033

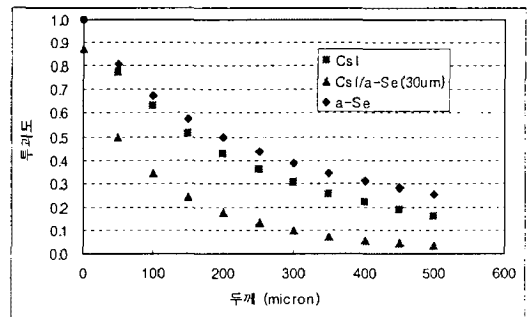


그림 4. a-Se 및 CsI(Tl)/a-Se(30 μm)의 두께별 에너지 투과도

4. 결론

본 연구에서는 MCNP 4C code를 이용하여 다양한 두께의 a-Se, CsI(Tl) 및 CsI(Tl)/a-Se(30 μm) 필름에 대한 진단 영역의 연속 X선에 대한 투과도 및 흡수도를 추정하였다. 실험 결과, 500 μm 두께의 a-Se에 대해 70 kVp의 관전압의 연속 X선에 대해 약 70%의 흡수도를 보였으며, 이에 비해 CsI(Tl)/a-Se(30 μm)에서 같은 흡수도를 가지는 CsI(Tl)의 두께는 약 150 μm 였으며, 350 μm 두께에서 90%이상의 X선을 흡수하였다. 이러한 시뮬레이션 결과를 통해 CsI(Tl)/a-Se 구조의 혼합형 X선 검출기 개발을 위한 두께 설계의 기초자료를 제공할 수 있었고, a-Se를 이용한 직접방식의 검출기와의 성능을 비교할 수 있었다. 또한 개발된 Monte Carlo

input file을 통해 앞으로 광발생층(Photoemission layer)와 광도전층(Photoconductor layer)의 Coplanar 구조의 Hybrid X선 검출기 개발을 위한 물질 연구를 위해 이용하는데, 본 연구의 의의가 있다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] MCNPTM-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4C
- [2] W. Que, and J. A. Rowlands. "X-ray Imaging using Amorphous Selenium : Inherent Spatial Resolution", Med. Phys., Vol. 22, No. 4, pp. 365-373, 1995
- [3] M Lachaine and B G Fallone, "Monte Carlo simulations of x-ray induced recombination in amorphous selenium", J. Phys. 33(2000) 1417-1423
- [4] W.Zhao, J.A.Rowlands. "A large area solid-state detector for radiology using amorphous selenium", SPIE, Phys. Med. Imaging IV 1992, 1651
- [5] J. H. Hubbell, S. M. Seltzer, Table of X-ray Mass Attenuation Coefficient and Mass Energy-Absorption Coefficients, Nist