몬테카를로 시뮬레이션을 통한 다층 구조 엑스선 검출기의 특성 평가

신정욱*, 박지군*, 석대우*, 이채훈*, 김재형**, 남상희**
인제대학교 의용공학과*,인제대학교 의료영상연구소**

Monte-Carlo Simulation on Properties of X-ray Detector with Multi-layer Structure

Jung-Wook Shin*, Ji-Koon Park*, Dea-Woo Seok*, Chae-Hoon Lee ,Jea-Hyung Kim** and Sang-Hee Nam**
Biomedical Engineering of INJE University*, Medical Imaging Research of INJE University**

Abstract

The properties of digital X-ray detectors depend on the absorption extent of X-rays, the generated signal of each X-ray photon and the distribution of the generated signal between pixels. In digital X-ray detector with single layer, signal is generated by X-ray photon captured in photoconductor. In X-ray detector with multi structure that scintillator formed above the top of photoconductor, signal is generated both by X-ray photon captured each in scintillator and photoconductor. X-ray detector with multi structure is generated more signal than single layer detector. In this paper, we simulated absorption fraction of X-ray detector with multi-layer using Monte Carlo program. The results compared with single-layer detector to be formed scinillator or photoconductor.

Key Words : X-ray detector, Monte Carlo Simulation, Multi-layer

1. 서 론

현재, 필름/스크린 방식의 X-선 검출기가 가지는 문제점들을 해결할 수 있는 디지털 X-선 검출기에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 디지털 X-선 검출기는 크게 직접 방식의 검출기와 간접 방식의 검출기로 나누어진다. 직접 방식의 검출기는 낮은 변환 효율로 인한 고전압의 인가라는 문제점을 가지고, 간접 방식의 검출기는 빛의 산란에 의한 해상도의 저하, 낮은 빛 변환 효율의 문제점을 가지게 된다. 직접 방식의 검출기에 사용되는 셀레늄의 경우 X-선에 의한 에너지 변환 효율보다 가시광에 의한 에너지 변환 효율이 더 우수한 것으로 알려져 있다. 특히 형광체 CsI(Na)의 경우 최대 발광 파장이 셀레늄의 흡수 파장 영역과 비슷한 420nm정도이다. 따라서 광도전체인 셀레늄층 위에 CsI(Na)를 형성하여 직, 간접 방식의 X-선 검출기가 가지는 문제점을 해결할 수 있을 것이다. 이에

본 연구에서는 광도전층 위에 형광층을 형성한 다층구조의 디지털 X-선 검출기를 제작하여 디지털 X-선 검출기의 성능을 향상시키는 연구를 수행하였다.

2. 연구 방법

본 연구에 이용된 몬테카를로 시뮬레이션 툴은 고에너지 방사선의 수송현상을 모사하는데 일반적으로 이용되고 있는 Monte Carlo Neutron and Photon Code version 4C(MCNP 4C)를 이용하였다. 시뮬레이션을 위한 검출기의 기하학적인 구조는 그림 1과 같다. 시편은 단일 픽셀로 구성되고, 면적은 4㎠으로 정의하였다. 시뮬레이션에 사용된 CsI(Na)와 셀레늄의 두께를 증가하면서 시뮬레이션를 수행 하였다.

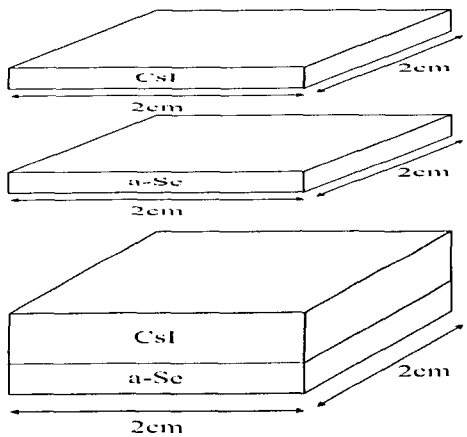


그림 1. MCNP 시뮬레이션에 사용된 시편의 구조

MCNP에서 사용되는 Data card는 여러 가지가 있지만 보통 Mode, Cell and Surface parameters, Source specification, Tally specification, material specification, Problem cutoffs로 구성된다.

Mode는 중성자의 수송정의, 광자들의 수송정의, 전자의 수송정의 및 중성자, 광자, 전자들의 상호작용에 의한 수송을 정의한다. 본 실험에서는 진단영역의 X선 Photon들에 대해 입사한 Photon이 물질과 상호 작용하여 통과한 Photon들의 에너지 스펙트럼을 알기 위해 Mode P를 이용하여 X선 Photon들의 Transport를 정의하였다.

Cell과 Surface parameter card에서는 셀레늄 또는 CsI(Na) 직육면체의 시편은 광자에 대한 Important를 "1"로하여 tracking를 계속하였으며, 시편 외부 빈 공간에서는 광자를 막기 위해 Important를 "0"으로 하였다.

본 연구에서 시뮬레이션에 이용된 ERG는 진단 X-선 발생장치의 텅스텐 재질의 X선 Tube에서 발생되는 연속 X선 광자의 에너지 분포 데이터를 Source information(SI), SP(Source probability)를 이용하여 Source energy의 Histogram를 정의하였다. 본 실험에서 X선 관전압을 60 kVp, 80 kVp을 이용하였으며, Ripple를 13%, 2.5mm Al의 Filtration에 의해 생성되는 에너지 스펙트럼을 Source data로 이용하였다. Source particle의 Sampling은 SUR를 이용하여 셀레늄 및 CsI(Na) 직육면체의 표면에서 X-선 광자들을 출발시켰다. Source particle type를 정의하는 PAR는 광자에 해당하는 PAR 2를 이용하였다.

Tally specification cards는 일반적으로 F1에서 F8의 8종류를 기본으로 사용하여 각각의 정의는 다음과 같다. 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 샘플링 하였다. 또한 이러한 연속 에너지를 가지는 광자의 투과 확률를 에너지별로 구분하여 총 흡수에너지를 계산하였다. 그림 2는 본 연구에서 이용된 MCNP input file의 한 예를 나타내고 있다.

```
1  C csi layer
2  1 0  -1:2:3:-4:5:-6
3  2 1 -4.51 #1
4  C end of cell cards of CsI:Na layer
5
6  C beginning of surfaces for plane
7  1 py -0.0075
8  2 py 0.0075
9  3 pz 1
10 4 pz -1
11 5 px 1
12 6 px -1
13 C end of plane
14
15 mode p
16 IMP:p 0 1
17 SDEF SUR=1 ERG=D1 PAR=2
18 SI1 H .008 .009 .01 .011 .012 .013 .014 .015 .016 .017 .018 .019 .02 .021 .022
19       .023 .024 .025 .026 .027 .028 .029 .03 .031 .032 .033 .034 .035 .036 .037
20       .038 .039 .04 .041 .042 .043 .044 .045 .046 .047 .048 .049 .05 .051
21       .052 .053 .054 .055 .056 .057 .058 .059 .06 .061
22 SP1 0 0 9.99697E-06 2.93939E-05 9.03036E-05 0.000323213 0.000808722 0.002024674
23       0.003829993 0.006941558 0.01078953 0.014072116 0.018011299 0.021484449
24       0.025423578 0.028594194 0.031936421 0.034609309 0.036729128 0.038322627
25       0.039833746 0.040926435 0.040205416 0.039903053 0.039616091 0.038691062
26       0.037732943 0.03661497 0.035360666 0.033922135 0.032422157 0.030963664
27       0.029433146 0.028130438 0.026595519 0.024466706 0.02242091 0.020993211
28       0.019486896 0.017442623 0.015395642 0.014023203 0.012593049 0.011361989
29       0.009670524 0.008127662 0.006571156 0.005133006 0.003874615 0.002497569
30       0.001502253 0.000748609 0.000191965 1.56332E-05 0
31 F1:p 1 2 $ photon nueber across surface 1,2
32 E0    .008 .009 .01 .011 .012 .013 .014 .015 .016 .017 .018 .019 .02 .021 .022
33       .023 .024 .025 .026 .027 .028 .029 .03 .031 .032 .033 .034 .035 .036 .037
34       .038 .039 .04 .041 .042 .043 .044 .045 .046 .047 .048 .049 .05 .051
35       .052 .053 .054 .055 .056 .057 .058 .059 .06 .061
36 M1 55000 0.506 53000 0.484 81000 0.01 $ csi
37 NPS 50000
```

그림 2. 사용된 MCNP code 예.

3. 연구 결과

MCNP 시뮬레이션에 사용된 텅스텐 타켓의 X-선 튜브에서 발생되는 연속 X-선 스펙트럼을 나타낸 그림이 아래 그림 3에 나타나 있다.

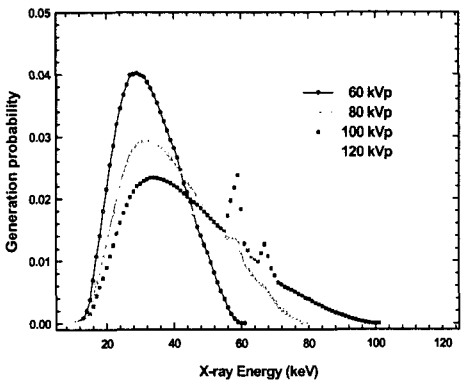


그림 3. 연속 X-선 스펙트럼

아래의 그림 4는 MCNP를 사용하여 CsI(Na)의 두께의 변화에 따른 X-선 에너지 흡수 정도를 시뮬레이션 한 그래프이다. 결과에서도 알 수 있듯이 CsI(Na)의 두께가 300㎛인 경우에 60kVp의 X-선 에너지를 인가하면 약 90%정도의 흡수도를 보이며, 80kVp의 X-선 에너지를 인가한 경우에 약 80%정도의 흡수도를 가졌다.

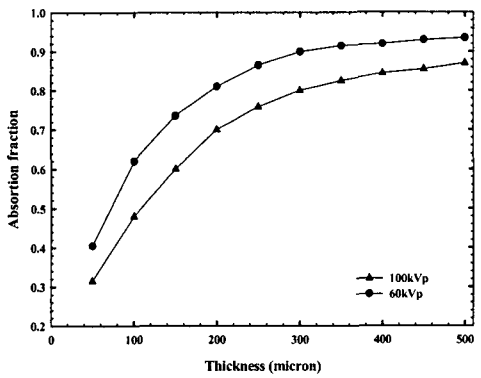


그림 4. CsI(Na) 두께에 따른 X선 에너지 흡수도

아래의 그림 5는 60kVp와 80kVp의 X-선 에너지를 주었을 때 셀레늄의 두께에 따른 흡수도이다.

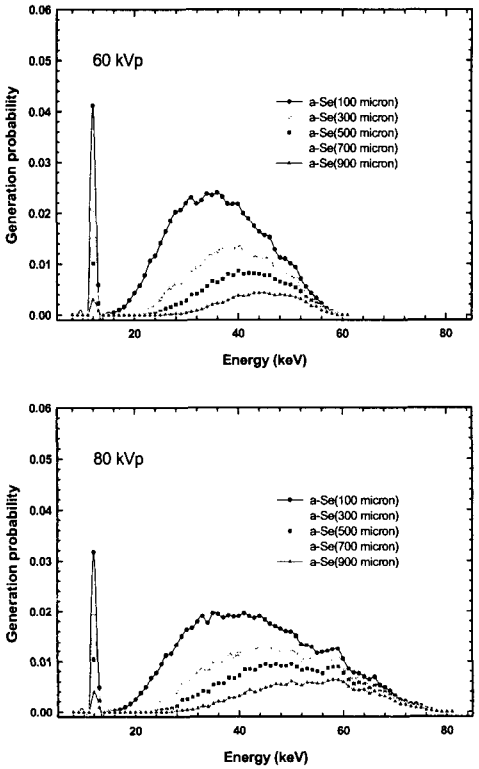
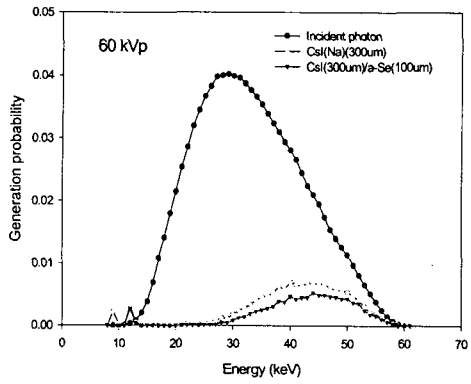
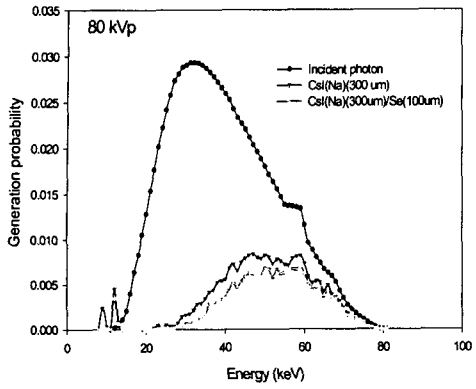


그림 5. 셀레늄의 두께에 따른 X-선 에너지 흡수도

아래의 그림 6은 각각 60 kvp, 80 kVp에서 CsI(Na)의 두께가 300㎛, 셀레늄의 두께가 100㎛인 다층 구조의 X-선 검출기에 대한 각 층에서 흡수율을 시뮬레이션 한 결과이다.



(a)



(b)

그림 6. kVp에 따른 CsI(Na)/Se 다층 구조의 X-선 흡수율 시뮬레이션

그림 4 , 그림 5 그리고 그림 6의 결과로부터 CsI(Na) 형광층과 셀레늄 광도전층으로 구성된 다층구조의 두께를 최적화 할 수 있었다. 먼저 CsI(Na)의 두께는 진단영역인 60에서 80 kVp 의 연속 X선에 대해 300 ㎛ 정도에서 80 % 이상 X선 광자들을 흡수하였으며, 그 이상의 두께에서 거의 포화되었다. 빛의 산란에 의한 영상분해능 고려하였을 때 300 ㎛ 두께로 설계하는 것이 유용할 것으로 사료된다. 또한 CsI:Na 층을 투과한 X선 광자를 흡수하기 위한 셀레늄 층의 두께는 100 ㎛ 이하에서는 거의 흡수되지 않았으며, 발생한 전자들의 수집효율 등을 고려하였을때 100 ㎛ 정도가 적절한 것으로 판단된다.

4. 결 론

우리는 CsI 형광층과 셀레늄 광도전층을 이용한 다층구조형 X선 검출기에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 CsI(Na)의 두께에 따른 X-선 에너지 흡수도를 추정하였으며, 다층 구조의 X-선 검출기의 두께를 최적화 할 수 있다. 60kVp의 X-선 에너지를 인가한 경우 CsI(Na)의 경우 300㎛의 두께에서 흡수도가 약 90% 정도까지 흡수하였으며, 300 ㎛ 두께를 투과한 X선 광자들은 고 에너지 광자들로 셀레늄층에 대한 흡수율은 상대적으로 낮았다. 높은 두께에 의한 전자 트랩현상 및 전기장에 의한 전하수집효율 등을 고려하였을 때, 셀레늄층의 두께를 100㎛ 정도로 다층구조 검출기의 두께를 설계할 수 있었다.

감사의 글

본 연구보고서는 정보통신부의 출연금 등으로 수행한 정보통신선도기반기술개발사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

[1] M. J. Berger, J. H. Hubbel and S. M. Seltzer, XCOM(Photon Cross Sectins Database), National Institute of Standards and Technology

[2] M. Lachaine and B. G. Fallone, "Monte Carlo simulation of x-ray induced recombination in amorphous selenium", J. Phys. D: Appl. Phys. 33, p. 1417-1423, 2000.

[3] M. Hjelm, B. Norlin, and H. -E.Nilsson, "Monte Carlo simulation of the imaging properties of scintillator-coated X-ray pixel detectors", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 509, p. 76-85, 2003.

[4] T. W. Choi, C. S. Lee, and S. C. Yoo, "Electrical and mechanical properties of ceramics", Trans. on EEM, Vol. 15, No. 1, p. 10, 2001.

[5] E. Dubaric, H. -E. Nilsson, and C. Frödh, " Monte Carlo simulation of the response of a pixellated 3D photo-detector in silicon" ,Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 487, p. 136-141, 2002.