

디지털 X-ray imaging을 위한 Hybrid 방식의 다층구조 설계

조성호, 박지군, 이동길, 김대환, 김재형*, 남상희*

인제대학교 의용공학과, 인제대학교 의료영상연구소*

Multi-layer design of Hybrid method for digital X-ray imaging

Sung-Ho Cho, Ji-Koon Park, Dong-Gil Lee, Dae-Hwan Kim, Jae-Hyung Kim*, Sang-Hee Nam*

Department of Biomedical Engineering of Inje University, Medical Imaging 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, electronic portal imaging, and mammography. In this paper, we report the new hybrid x-ray detector consisted of ZnS(Ag) photoemission layer and a-Se photoconductor layer to resolve problem of conventional x-ray detector such as the direct detector and the indirect detector. To design the structure of ZnS(Ag)/a-Se detector, the penetrated energy spectrum and absorption fraction was estimated using MCNP 4C code. Also, we carried out the experiment to demonstrate the result of MCNP 4C code. Experimental results showed that the absorption fraction of $500\mu m$ -ZnS(Ag) film was above 87%, 75% at 60 and 80 kVp. As a results, we can determined the thickness of suitable phosphor and the thickness of photoconductor.

Key Words : Digital X-ray imaging, MCNP 4C, Hybrid, amorphous selenium, ZnS(Ag)

1. 서 론

오늘날 DR(Digital radiography)은 TFT(Thin film transistor)를 골격으로 하는 평판형(Flat panel) 디지털 검출기의 급속한 발전이 이루어지고 있는 실정이다. 이러한 평판형 검출기는 검출방식에 따라 직접방식과 간접방식으로 나누어진다. 이러한 직·간접 방식은 각각 고유의 문제점을 내재하고 있다. 즉, 직접방식에서는 고전장 사용의 문제점이 가장 크게 작용하며 간접방식에서는 빛을 검출하기 위한 PIN 다이오드 제작의 어려움과 이로인한 개구율(Fill Factor)의 감소 등을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 직·간접 방식이 가지는 문제점을 보완하기 위한 방법적 측면으로 직접방식의 장점과 간접방식의 장점을 동시에 혼합하는 방식을 이용하여 기존의 문제점을 해결하기 위한 기초연구로써 그 가능성을 제시하고자 한다. 먼저

본 연구에서는 직·간접 방식을 혼용한 Hybrid 방식으로 직접변환방식에 사용되는 비정질 셀레늄(Amorphous selenium)의 우수한 광 흡수효율 및 원자 단위의 고유 분해능의 장점을 이용한다. 또한 비정질 셀레늄 상층에 빛 변환효율이 높은 형광층을 형성하여 입사 X선에 의해 형광층에서 먼저 가시광선으로 변환시키고 이 가시광선을 하부의 비정질 셀레늄 층에서 흡수하여 발생한 간접방식의 전기적 영상 신호와 인체를 투과해 영상 정보를 지닌 X선 강도분포를 하부의 광도전층인 비정질 셀레늄 층에서 발생한 직접방식의 전기적 영상 신호를 동시에 검출함으로써 기존의 방식보다 우수한 영상 신호를 획득하여 기존의 직·간접방식의 문제점을 해결하고자 한다. 이를 위한 기초연구로서 섬광체층과 광도전층 각각의 흡수율 및 다층구조에서의 흡수율을 Monte Carlo Simulation을 통

하여 평가하고자 하며 이러한 데이터를 증명하기 위한 방법으로 실제 섬광체총을 측정하여 X선 흡수율을 계산하여 비교하여 Hybrid 방식에 적합한 Multi-layer의 구조와 두께를 확립하고자 하는 것이다.

2. 실험

2.1 MCNP Simulation

본 연구에서 사용되는 광도전총과 섬광체총으로는 비정질 셀레늄과 ZnS(Ag)을 사용하였다. 이는 앞선 논문에서 발표하였듯이 비정질 셀레늄 층의 흡수파장특성을 분석하여 흡수 파장대에 일치하는 형광총을 선택하기 위한 연구를 수행한 결과, 비정질 셀레늄 층은 청색 파장역에서 가장 우수한 특성을 나타내었다. 이로써 기존의 청색광을 발광하는 형광체 중 원자번호가 높아 X선 흡수율이 높고 빛 변환효율이 높아 입사 X선에 의한 광발생효율이 높고, 또한 쉽게 제작할 수 있는 형광체를 선택한 결과 450 nm의 청색광을 발광하는 ZnS:Ag 형광체를 선택할 수 있었다.

먼저 비정질 셀레늄과 섬광체총으로서 ZnS(Ag) 흡수율을 평가하기 위하여 Monte Carlo Simulation을 수행하였다. 본 연구에서 이용된 몬테카를로 시뮬레이션 프로그램은 Los Alamos National Laboratory(LANL)에서 개발된 Monte Carlo Neutron and Photon Code version 4C(MCNP 4C)를 이용하였다. Cell을 가장 효율적으로 정의하는 Complement operator를 이용하여 a-Se, ZnS:Ag의 Single cell과 ZnS:Ag/a-Se의 Multi cell로써 input file의 cell card를 정의하였다. 실험에 이용된 a-Se과 ZnS:Ag의 Mass density는 각각 4.51 g/cm^3 , 4.1 g/cm^3 를 이용하였으며, 면적이 4 cm^2 이며 두께를 변화시켜가면서 각 Cell의 Geometry를 정의하였다. Surface cards로서 ZnS:Ag, a-Se 및 ZnS:Ag/a-Se 검출기는 모두 3 차원 직육면체의 Geometry를 가진다. X, Y, Z 축에 대한 각각의 PX, PY, PZ를 이용하여 각각의 단일 또는 다중의 직육면체를 정의하였다.

본 연구에서 시뮬레이션에 이용된 ERG는 진단 X선 발생장치의 텅스텐 재질의 X선 Tube에서 발생되는 연속 X선 광자의 에너지 분포 데이터를 Source information(SI), SP(Source probability)를

이용하여 Source energy의 Histogram를 정의하였다. 또한 본 논문에서 사용한 텅스텐 타겟의 연속 스펙트럼은 Boone JM에 의해 발표된 연속스펙트럼 시뮬레이션 결과를 이용하였다. 본 실험에서 X선 관전압을 60 kVp , 80 kVp 를 이용하였으며, Ripple를 13%, 2.5mm Al의 전체 filtration에 의해 생성되는 에너지 스펙트럼을 Source data로 이용하였다. 아래 그림 1은 MCNP input geometry를 보여준다.

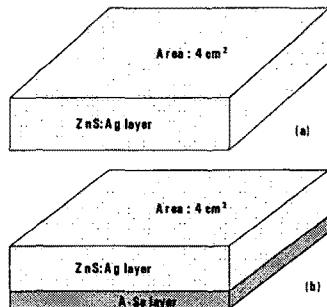


그림 1. MCNP input geometry

(a) ZnS:Ag (b) ZnS:Ag/a-Se

2.2 X선 흡수율 측정

형광총에서 X선 발생량의 흡수정도를 평가하기 위한 목적으로 X선 흡수율 측정을 수행하였다. X선 흡수율 측정은 측정하고자 하는 물질의 두께 및 X선 흡수계수의 함수로써 표현이 가능하다. 흡수율의 측정은 먼저 X선 흡수체가 없는 상태에서의 최초 입사 에너지의 강도를 조사선량(Exposure rate)의 개념으로 측정하고, 그 후 X선 흡수체가 있는 시편에서 물질을 투과한 후의 에너지 강도를 측정하여 그들의 관계에서 Exponential Attenuation Law를 적용시켜 측정시료의 흡수 계수를 산출함으로써 수행할 수 있다.

$$I = I_0 e^{-\mu_{ab} d_{a-Se}}$$

I : 입사에너지 강도, I_0 : 투과후 에너지 강도

μ_{ab} : 흡수계수, d : a-Se 두께

본 논문에서는 상위의 정의로부터 실험적 접근 방향을 설정하였다. 먼저 실험의 조건을 만족하기 위해 좁은 선속(Narrow beam)을 형성시켰으며, X선 발생분포의 재현성을 위해 인버터 X선 장비(Inverter X-ray generator)를 사용하였으며, 선량

계측을 위해 Radical Cooperation 제품인 2060C Ion Chamber를 이용하였다. 또한 좁은 선속을 재현하기 위해 Nuclear Association 35 μm Pin Hole Camera를 이용하였다. MCNP Simulation을 통해 나타난 데이터와의 겹침을 위해 제작된 각 두께의 형광층에 대해 60, 80 kVp의 관전압에서 제작된 형광층 두께 100~500 μm 범위에서 측정하였으며, 매회 25회 조사하여 그 평균값으로써 겹침하였다. 본 실험에서 사용한 X선 발생장치는 인버터 방식으로 조사된 선량의 재현성을 높이고자 하였다. 그림 2는 X선 흡수율 측정을 위한 블럭도를 나타내고 있다.

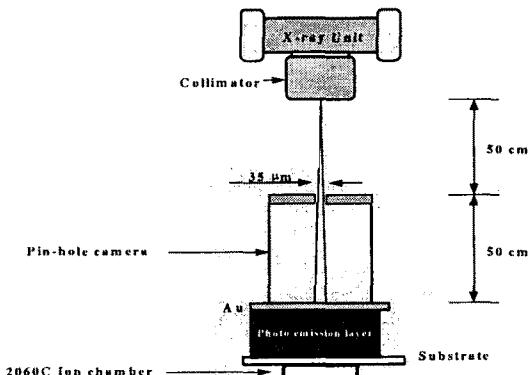


그림 2. 다양한 포스포 두께에 따른 X선 흡수 효율 측정을 위한 블럭다이어그램

3. 결과 및 고찰

3.1 ZnS:Ag 흡수

그림 3은 MCNP Code를 이용하여 ZnS:Ag 형광체의 두께에 대한 X선 에너지별 흡수도를 시뮬레이션 한 그림이다. 본 결과에서 두께 500 μm 이상의 ZnS:Ag 형광체에서 80 kVp 에너지대역에서 75% 이상, 60 kVp 에너지대역에서 87% 이상 X선 흡수율을 나타내고 있다. 그림에서 나타나듯 형광체 두께 500 μm 이상의 영역에서는 형광체 층 두께의 증가에 따른 X선 흡수율이 서서히 완만한 포화상태를 나타내고 있는 것으로 시뮬레이션 되었다. 이는 형광체 층에서의 형광량의 발생은 입사되는 X선 흡수율에 비례하는 것으로 판단할 때, 500 μm 정도 이상의 형광체 층 두께에 있어 두께의 증가에 따른 형광량의 증가 또한 완만한 포화상태로 나타나게 됨을 의미한다.

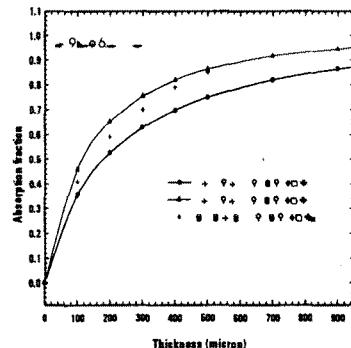


그림 3. ZnS:Ag 두께에 따른 X선 흡수

아래표는 MCNP Simulation을 통한 ZnS:Ag 형광층의 두께에 따른 X선 흡수율의 겹침을 위한 실험 결과를 나타낸 것이다. 이는 기존 문헌에서 보고되는 결과와 비교해 비슷한 결과값을 획득할 수 있었으며, MCNP Simulation 결과값과 유사한 결과값을 획득할 수 있었다. 형광층의 X선 흡수율이 우수하다는 것은 얇은 형광층 두께로써도 X선의 감도를 충분히 높게 할 수 있다는 의미로 해석할 수 있다. MCNP Code를 이용한 시뮬레이션 결과 값이 다소 높은 측정치를 나타내는 이유는 실제 X선 발생장치를 통해 조사된 X선 연속 스펙트럼 분포에서 나타나는 유효에너지와 실제 시뮬레이션에 사용된 스펙트럼에서 나타나는 유효에너지와의 차이와 흡수 효율을 측정에서 공기중 감압과 사용된 이온챔버의 오차 등에 의해 발생한 것으로 분석할 수 있다.

표 1. 60kVp에서 다양한 포스포 두께에 따른 X선 흡수 효율

두께	실험값	Simulation 값
100	41	45
200	59	65
300	70	75
400	79	82
500	85	87

3.2 ZnS:Ag / a-Se 흡수

그림 4는 X선 Tube 에너지 60 kVp에서 500 μm 두께의 ZnS:Ag 형광체와 a-Se 다층구조에서 a-Se의 두께 50, 100, 200, 300 μm 에 대해 형광체 층을 투과한 X선 스펙트럼 분포가 a-Se 층에서 흡수되

는 정도를 평가한 그림이다. 그림에서 나타나듯 100 μm 이상의 a-Se 층 두께에서는 X선의 흡수율에 있어 크게 증가되는 현상이 나타나지 않았다. 또한 그림 5는 X선 Tube 에너지 80 kVp에서 500 μm 두께의 ZnS:Ag 형광체와 a-Se 다층구조에서 a-Se의 두께 50, 100, 200, 300 μm 에 대해 형광체 층을 투과한 X선 스펙트럼 분포가 a-Se 층에서 흡수되는 정도를 시뮬레이션한 결과이다.

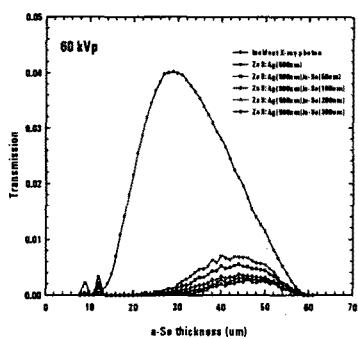


그림 4. 60 Kvp에서 500 μm 의 ZnS:Ag에서 다양한 셀레늄 두께에 따른 X선 흡수 효율 결과

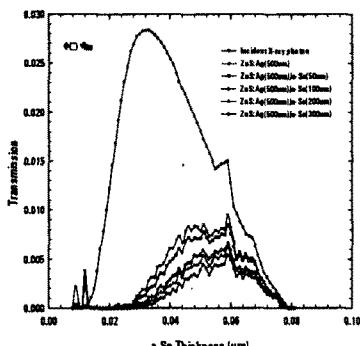


그림 5. 80 Kvp에서 500 μm 의 ZnS:Ag에서 다양한 셀레늄 두께에 따른 X선 흡수 효율 결과

4. 결론

본 연구에서는 MCNP Simulation을 통한 ZnS:Ag 형광층의 두께에 따른 X선 흡수율과 비정질 셀레늄의 흡수율 및 Hybrid 방식의 다층구조에서의 X선 흡수율을 계산하였으며 이를 검증하기 위한 목적으로 제작된 형광층 100~500 μm 두께에 대한 X선 흡수율을 측정하였다. 실험결과, 두께 500 μm

이상의 ZnS:Ag 형광체에서 80 kVp 에너지대역에서 75% 이상, 60 kVp 에너지대역에서 87% 이상 X선 흡수율을 나타내었으며 형광체 두께 500 μm 이상의 영역에서는 형광체 층 두께의 증가에 따른 X선 흡수율이 서서히 완만한 포화상태를 나타내고 있는 것으로 시뮬레이션 되었으며 이는 500 μm 정도 이상의 형광체 층 두께에 있어 두께의 증가에 따른 형광량의 증가 또한 완만한 포화상태로 나타나게 됨을 의미한다. 또한 ZnS:Ag 형광체를 투과한 X선의 경우 100 μm 이상의 a-Se 층 두께에서는 X선의 흡수율에 있어 크게 증가되는 현상이 나타나지 않았다. 이는 Hybrid 방식의 다층구조에서 최적의 효율을 나타내는 구조는 500 μm 의 ZnS:Ag 와 100 μm 의 a-Se을 가지는 다층구조라는 사실을 알 수 있었다. 이는 Hybrid 방식의 검출기 개발을 위한 기초자료로서 충분한 가치가 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [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) p1417-1423
- [4] Thomas SC III, James ED, Robert CM. Christensen's physics of diagnostic radiology.