pISSN : 1976-0620, eISSN : 2384-0633
https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.2.313 "J. Korean Soc. Radiol., Vol. 13, No. 2, April 2019"

Development of Sensitivity-Enhanced Detector using Pixelization of Block Scintillator with 3D Laser Engraving

Seung-Jae Lee,[1,2] Cheol-Ha Baek[3,*]

[1]Department of Radiological Science, Dongseo University
[2]Center for Radiological Environment & Health Science, Dongseo University
[3]Department of Radiological Science, Kangwon National University

Received: October 05, 2018. Revised: March 26, 2019. Accepted: April 30, 2019

ABSTRACT

To improve the sensitivity, a detector using a block scintillator was developed. In the pixelated scintillator, a reflector is located between pixels to move the light generated from the scintillator to the photosensor as much as possible, and sensitivity loss occurs in the reflector portion. In order to improve the sensitivity and to have the characteristics of the pixelated scintillator, the block scintillator was processed into a scintillator in pixel form through three-dimensional laser engraving. The energy spectra and energy resolution of each pixel were measured, and sensitivity analysis of block and pixel scintillator was performed through GATE simulation. The measured global energy resolution was 20.7%, and the sensitivity was 18.5% higher than that of the pixel scintillator. When this detector is applied to imaging devices such as gamma camera and positron emission tomography, it will be possible to shorten the imaging time and reduce the dose of patient by using less radiation source.

Keywords: Block scintillator, sensitivity, three-dimensional laser engraving, pixelated scintillator

Ⅰ. INTRODUCTION

픽셀 형태의 섬광체를 사용하여 구성된 검출기는 섬광체 사이의 반사체 물질에 의한 민감도 손해가 발생한다. 반사체는 픽셀 섬광체에서 방사선을 검출하고, 방사선의 에너지에 비례하여 발생한 빛을 최대한 광센서로 전달하기 위해 사용하므로 필수적인 요소이다. 반사체의 면적에 해당하는 만큼의 민감도 손해가 발생하므로, 이러한 손해를 줄이고 민감도를 향상하기 위해서 블록형 섬광체를 사용하는 검출기를 개발하는 연구가 진행되었다.[1,2] 블록형 섬광체를 사용하는 검출기는 반사체를 사용하지 않으므로 민감도가 픽셀 섬광체를 사용하는 검출기에 비해 향상되나, 방사선과 섬광체가 상호작용한 위치를 검출하기 위해서는 상당한 어려움이 따른다. 이러한 검출기에서 방사선이 측정된 위치는 여러 각도 및 방향에서 방사선이 입사하도록 한 후 섬광체의 빛이 광센서에 측정되는 분포를 통해 그 위치를 추적하는 방식이다. 모든 방향 및 각도에서 입사되는 방사선에 대한 광센서의 신호 분포에 대한 정보가 필요하며, 이러한 정보를 획득하기에는 상당한 어려움이 존재한다. 같은 각도 및 방향에서 방사선이 입사하였더라도, 섬광체에서 검출된 깊이가 서로 다를 경우에는 광센서에서 획득되는 신호의 분포가 다르므로, 이러한 정보 또한 저장되어야 하는 어려움이 있다.[3]

본 연구에서는 블록형 섬광체를 사용하지만, 섬광체 내부에 가상의 픽셀을 형성하여 픽셀 형태의 검출기로 활용할 수 있는 검출기를 개발하였다. 가상의 픽셀을 형성하기 위해 블록형 섬광체의 내부

* Corresponding Author: Cheol-Ha Baek E-mail: baekch@kangwon.ac.kr Tel: +82-33-540-3384
Address: Hwangjo-hil 346, Dogye-eup, Samcheok-si, Kangwon-do, 25949, Republic of Korea

에 3차원의 레이저 각인을 수행하였다. 이러한 검출기는 블록형 섬광체를 사용하므로 민감도가 향상되는 효과를 가져올 수 있으며, 섬광체 내부에 픽셀 형태를 구성하므로 픽셀 섬광체를 사용한 검출기와 같은 특성을 나타낸다. 블록형 섬광체를 사용하여 모든 방향 및 각도에서 입사되는 방사선에 대한 광센서의 신호 분포에 대한 정보를 획득하는 과정이 필요 없으며, 일반적인 픽셀 섬광체를 사용한 검출기처럼 사용할 수 있는 장점이 있다. 블록형 섬광체를 사용하여 레이저 각인을 진행한 후 검출기의 성능 및 특성을 평가하기 위해 실험을 진행하였다.

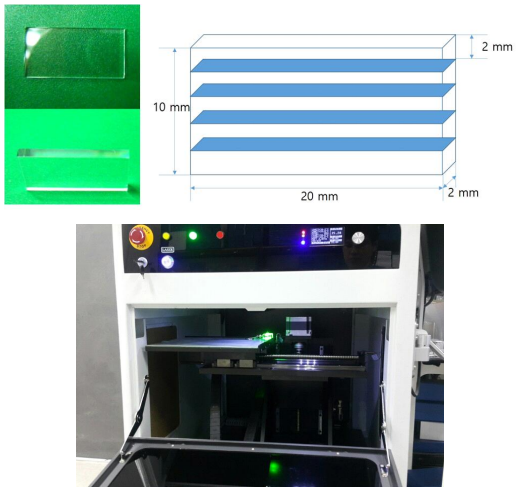


Fig. 1. Schematic of the pixelated scintillator through 3D laser engraving.

Ⅱ. MATERIAL AND METHODS

검출기에 사용한 섬광체는 Epic crystal 사의 LYSO[4]를 사용하였다. LYSO는 420 nm의 최대 발광 파장을 지녔으며, NaI(Tl) 섬광체와 비교하여 75%의 빛을 발생시킨다. 밀도가 높아 PET에서 사용하는 511 keV의 감마선 검출률이 높으며, 투명도가 높아 빛이 광센서로 잘 전달되는 특성을 지녔다. Fig. 1은 레이저 각인 전의 섬광체와 레이저 각인을 위한 위치 및 면적을 나타내며 장비를 이용해 각인하는 모습이다. 파란색으로 표시된 부분은 레이저 각인을 통해 픽셀 형태로 구분하기 위한 면적이다. 블록형 섬광체의 크기는 20 mm × 2 mm × 10 mm 이며, 이를 높이 2 mm 크기로 5개의 픽셀 형태로 나누었다. 레이저로 가공한 섬광체의 성능 및 특성을 평가하기 위해 Hamamatsu사의 위치민감형 광전증배관인 R7546B를 사용하여 방사선과 섬광체의 상호작용으로 발생한 빛의 신호를 획득하였다. R7546B는 총 크기는 30.0 mm × 30.0 mm이며, 유효면적 18.1 mm × 18.1 mm이다. 64채널로 구성되어 있으며, 한 채널의 크기는 2 mm × 2 mm이다.[5]

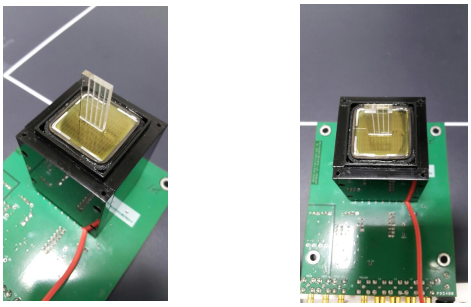


Fig. 2. Engraved scintillator with H7546B PSPMT.

Fig. 2는 3차원으로 레이저 각인된 섬광체와 신호를 측정하기 위한 H7546B 위치민감형 광전증배관을 나타낸다. 블록형 섬광체 내부에 흰색의 면이 형성된 모습을 확인할 수 있다. 레이저를 통해 섬광체 내부에 미세한 흠집을 내고 이러한 부분을 면적으로 구성하여 내부를 픽셀형 섬광체처럼 만들었다. 그리고 내부 흠집 부분은 색이 흰색으로 나타나 반사체로서 역할을 하게 된다. Fig. 3과 같이 H7546B의 중심에 섬광체를 위치시켰으며, Na-22선원을 사용하여 신호를 획득하였다. 획득된 신호는 Vertilon사의 전단증폭기를 통해 신호가 증폭되고, 앵거 회로를 통해 64채널의 신호를 4개의 신호 채널로 감소시켰다. 4개의 신호는 ORTEC 855 dual spec amplifier, ORTEC 533 Dual Sum & Invert, ORTEC 935 Quad CFD, ORTEC 416A인 Gate & Delay로 신호의 전달 및 가공을 거쳐 NI PCI-6132의 DAQ를 통해 신호를 디지털화하여 획득하였다. 획득한 신호를 사용하여 평면 영상으로 재구성하였으며, 내부가 각인된 블록형 섬광체가 픽셀형 섬광체처럼 픽셀 간 서로 분리된 영상으로 획득되었는지 확인하였다.

민감도 비교를 위해 핵의학 영상기기의 시뮬레이션 툴인 GATE[6]를 사용하여, 각 검출기를 모사

한 후 측정된 데이터를 획득하였다. 블록형 섬광체 및 비교 대상으로 반사체를 도포한 섬광체를 모사하였으며, Na-22 선원을 사용하여 민감도를 측정하였다.

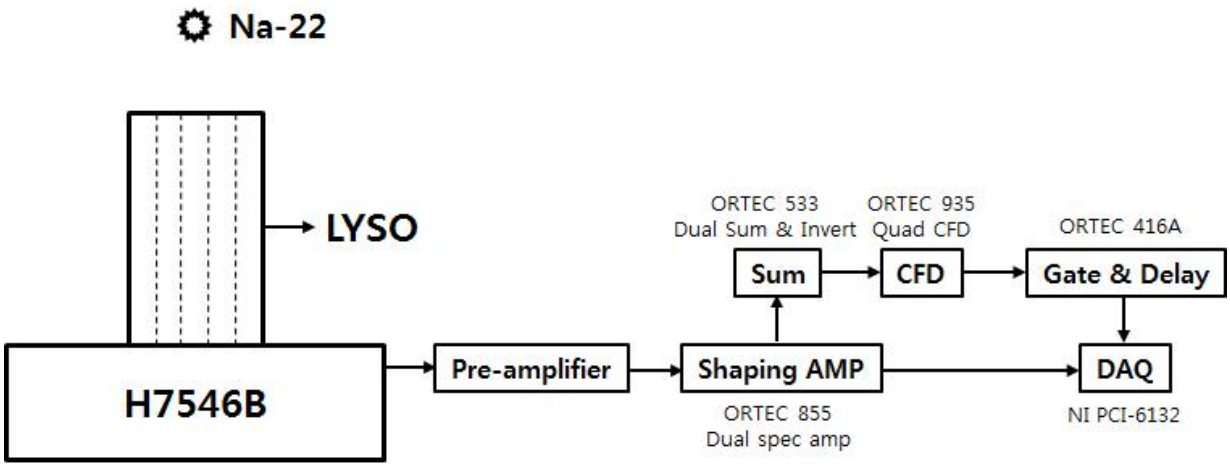
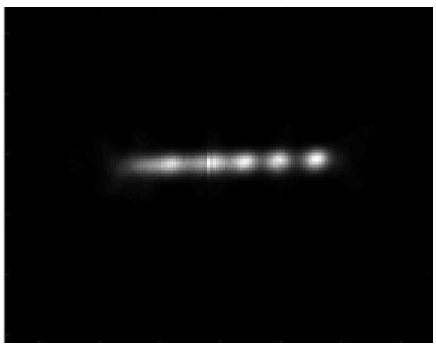


Fig. 3. Schematic of the experimental set-up.

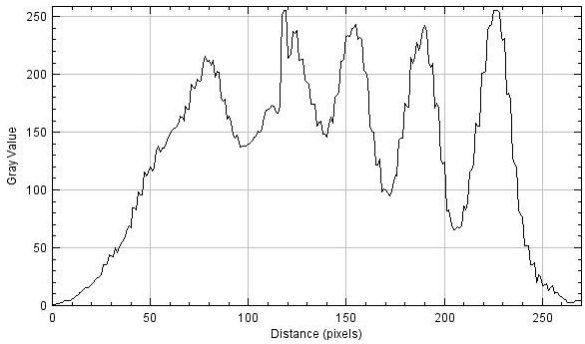
Ⅲ. RESULT

1. 평면 영상

레이저 각인된 섬광체를 사용하여 Na-22선원으로 평면 영상을 획득하였다. 64채널의 신호를 앵거 회로를 통해 4채널로 감소시켰으며, 4개의 신호를 통해 영상으로 구성하였다. Fig. 4에 획득한 평면 영상과 선 프로필을 나타내었다. 블록형 섬광체를 5개의 픽셀 형태로 내부 각인을 통해 분리하였으며, 분리된 모습이 평면 영상에서도 5개의 위치로 표현되었다. 영상의 중심부를 통해 획득한 프로파일을 확인해보면 5개의 피크로 잘 구분되는 것을 확인할 수 있다. 피크와 밸리의 비는 각 픽셀에서 1.55:1, 1.74:1, 2.45:1, 3.71:1, 3.91:1로 나타났다.



(a) Flood Image



(b) Line Profile

Fig. 4. The flood image and the line profile of the block scintillator engraved with five pixels.

2. 에너지 스펙트럼 및 분해능

내부 각인된 섬광체를 사용하여 획득한 신호를 통해 에너지 스펙트럼을 작성하였다. Fig. 5는 전체 픽셀의 통합된 에너지 스펙트럼과 각 픽셀의 에너지 스펙트럼을 나타낸다. 스펙트럼의 세로값은 획득된 광자수이고 가로값은 채널값으로 에너지를 나타낸다. 왼쪽의 위 그래프, 오른쪽 위 그래프 순서대로 전체 에너지 스펙트럼, 첫 번째 픽셀의 스펙트럼의 순서로 나타내었다. Na-22 선원의 511 keV, 1275 keV가 잘 나타남을 확인할 수 있다. 에너지 분해능은 511 keV의 에너지에 해당하는 부분을 가우시안 피팅을 통해 중심값과 표준편차 값을 구하

였으며, 이를 통해 에너지 분해능을 계산하였고, 20.7%로 측정되었다. 각 픽셀의 에너지 스펙트럼은 15.7~22.9%의 범위로 측정되었다.

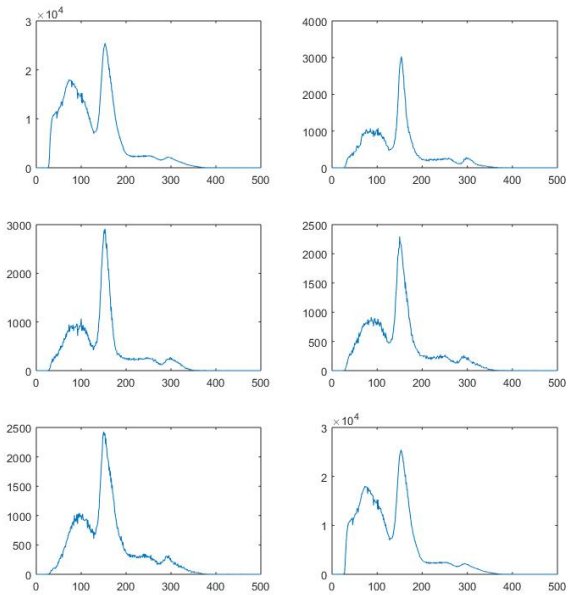


Fig. 5. Energy spectrum of global and each pixel measured to H7546B PSPMT.

3. 민감도

GATE 시뮬레이션을 통해서 블록형 섬광체와 같은한 크기의 픽셀형태로 구성된 섬광체의 민감도를 측정하였다. 블록형 섬광체의 크기는 2 mm × 10 mm × 20 mm이며, 픽셀형 섬광체는 1.9 mm × 1.9 mm × 20 mm의 섬광체가 피치 2.0 mm으로 5 x 1로 구성된 형태이다. 즉, 블록형 섬광체와 동일한 크기로 구성하였으며, 피치를 2.0 mm로 하여 0.1 mm의 반사체를 삽입한 형태로 민감도를 측정하였다. Fig. 6에 GATE 시뮬레이션을 통해 민감도를 측정하는 모습을 나타내었다.Fig. 6에서 위는 블록형 태이고 아래는 픽셀형태의 섬광체이다. 측정된 민감도는 블록형 섬광체와 픽셀형 섬광체의 측정된 값에 상대적인 값으로 나타내었으며, 그 결과 블록형 섬광체에서 18.5% 높게 측정되었다.

Ⅳ. DISCUSSION

블록형 섬광체를 사용하여 레이저로 내부에 가상의 픽셀을 형성한 과정을 진행하여 픽셀 형태의 블록형 섬광체를 제작하였으며, 이를 PSPMT를 사용하여 영상을 획득하였다. 5개의 구역으로 나누어 픽셀을 형성하였으며, 영상에서도 5개의 픽셀 영상으로 나타났다. 2 mm 간격으로 구역을 나누었지만, 실제적으로는

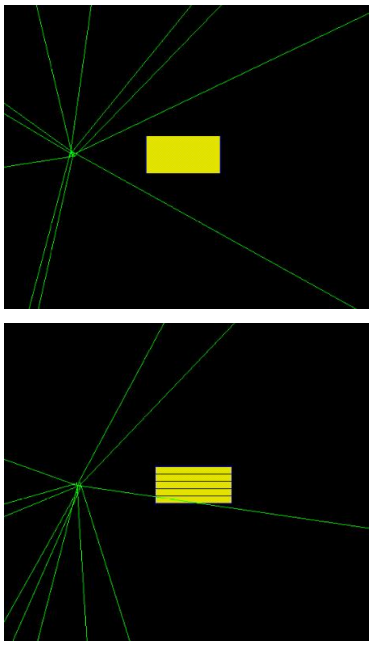


Fig. 6. GATE simulation to compare the sensitivity of the block and pixelated scintillator.

같은 간격으로 제작이 되지 않았으며, 내부의 반사체 역할을 하는 레이저로 각인된 부분이 뚜렷하게 픽셀을 나눌 수 있을 정도로 각인이 되지 않아 영상에서 모든 픽셀이 정확하게 분리되지 않은 결과로 나타났다. 가장 넓은 구역을 지닌 픽셀 부분에서 가장 뚜렷한 형태 및 다른 픽셀들과 확연히 분리된 모습으로 나타났으며, 가장 좁은 부분에서는 옆 픽셀과 피크 대비 밸리 부분에서 상대적으로 작게 나타났다.

이러한 결과는 내부 구역을 정확한 비율로 나누고 발생한 빛이 다른 픽셀로 이동하는 것을 방지하도록 반사체 역할을 명확히 할 수 있도록 각인을 더 뚜렷하게 진행함으로써 해결할 수 있다.

Ⅴ. CONCLUSION

본 연구에서는 민감도를 향상하기 위해서 블록

형 섬광체를 사용하는 검출기 모듈을 개발하였다. 블록형 섬광체를 사용함으로써 감마선과 섬광체의 상호작용의 위치를 찾는 어려움을 해결하기 위해 레이저로 내부 각인을 통해 픽셀 형태의 섬광체로 가공하였다. 레이저로 내부 각인을 함으로써 블록형의 섬광체 특성인 민감도 향상을 이룰 수 있고, 픽셀형 섬광체의 특성인 감마선과 섬광체가 상호작용한 위치의 측정이 편리한 장점을 가지게 된다. 실험을 통해 본 섬광체의 위치표시 능력을 확인하였으며, 5개의 픽셀 구역으로 정확히 표시된 것을 확인할 수 있었다. 영상에서 픽셀별로 구획화가 가능하였으며, 이를 통해 각 픽셀에 해당하는 에너지 스펙트럼과 에너지 분해능을 측정하였다. GATE 시뮬레이션을 통해 민감도를 확인하였으며, 블록형 섬광체에서 동일한 크기로 비교한 픽셀형 섬광체에 비해 18.5% 더 높은 결과를 보였다. 이는 픽셀형 섬광체를 사용할 경우 픽셀간 위치하는 반사체 구역의 크기로 인해 나타난 결과이다. 즉, 블록형 섬광체를 사용함으로써 이러한 반사체 부분의 손실을 줄일 수 있었으며, 이는 민감도의 향상 결과를 가져왔다.

블록형 섬광체의 내부를 레이저 각인을 통해 픽셀 형태로 구역을 나누었지만, 레이저 각인 장비의 각인에 필요한 설정값이 맞지 않아 정확한 구역화를 이루지 못하여 영상에서 더욱 뚜렷한 형태로 나타나지 않은 점이 발생하였다. 이러한 부분은 향후 레이저 각인의 정확도를 높이고 세밀한 과정을 통해 내부의 구역을 더욱 명확하게 구분하는 과정이 필요할 것으로 생각한다.

픽셀형태를 지닌 블록형 섬광체를 사용하여 검출기를 구성할 경우 상당한 민감도의 향상을 이룰 수 있으며, 이를 감마카메라 및 양전자방출단층촬영기기 등의 영상화 기기에 활용할 경우 촬영시간의 단축과 적은 방사선원의 사용으로 환자의 피폭선량 감소에 많은 역할을 할 것이다.

Acknowledgement

This research was supported by the National Foundation of Korea (NRF) grant, funded by the Ministry of Science and ICT (2017R1C1B5018415)

Reference

[1] T. Ling, T. K. Lewellen, and R. S. Miyaoka, "Depth of interaction decoding of a continuous crystal detector module," Physics in Medicine and Biology, Vol. 52, No. 8, pp. 2213-2228, 2007.

[2] J. Joung, R. S. Miyaoka, T. K. Lewellen, "cMiCE: a high resolution animal PET using continuous LSO with a statistics based positioning scheme," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Vol. 489, No. 1, pp. 584-598, 2002.

[3] M. Ito, S. J. Hong, J. S. Lee, "Positron Emission Tomography (PET) Detectors with Depth-of-Interaction (DOI) Capability," Biomedical Engineering Letters, Vol. 1, No. 2, pp. 70-81, 2011.

[4] http://www.epic-crystal.com/shop_reviews/lyso-scintillator/

[5] https://www.hamamatsu.com/jp/en/product/type/H7546B/index.html

[6] http://www.opengatecollaboration.org/

3차원 레이저 각인으로 블록형 섬광체의 픽셀형화를 통한 민감도 향상 검출기 개발

이승재,[1,2] 백철하[3,*]

[1]동서대학교 방사선학과
[2]동서대학교 방사선보건환경연구센터
[3]강원대학교 보건과학대학 방사선학과

요 약

민감도 향상을 위해 블록형 섬광체를 사용한 검출기를 개발하였다. 픽셀형 섬광체는 섬광체에서 발생된 빛을 최대한 광센서로 이동시키기 위해 픽셀 사이에 반사체가 위치하며, 반사체 부분으로 민감도 손실이 발생한다. 민감도를 향상시키고 픽셀형 섬광체의 특징을 가지게 하기 위해 블록형 섬광체를 레이저 각인을 통해 픽셀 형태의 섬광체로 가공하였다. 본 섬광체를 위치민감형 광전증배관과 결합하여 평면 영상을 획득하였고, 각 픽셀별 에너지 스펙트럼과, 에너지 분해능을 측정하였으며, GATE 시뮬레이션을 통해 블록형 섬광체와 픽셀 섬광체의 민감도 분석을 수행하였다. 측정된 전체 에너지 분해능은 20.7%를 보였으며, 민감도는 픽셀 섬광체에 비해 18.5% 높은 결과를 나타내었다. 본 검출기를 감마카메라 및 양전자방출단층촬영기기 등의 영상화 기기에 활용할 경우 높은 민감도 향상을 통해 촬영시간의 단축 및 적은 방사선원 사용으로 환자의 피폭선량 감소를 이룰 수 있을 것이다.

중심단어: 블록형 섬광체, 민감도, 3차원 레이저 각인, 픽셀 섬광체

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	이승재	동서대학교 방사선학과	교수
(교신저자)	백철하	강원대학교 방사선학과	교수