

Development of Radiation Detector with Intensifying Screen

Jeong-Min Seo*

Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: November 04, 2023. Revised: November 20, 2023. Accepted: November 30, 2023.

ABSTRACT

In this study, simple and portable radiation detection system using X-ray intensifying screen, optical sensor and micro-controller unit for education was proposed. The system was simply composed of detection unit consisting of an optical sensor and intensifying screen, micro-controller unit, and was designed to be suitable for portable. Radiation was measured using developed detection system and absorbed dose dosimeter with changing tube voltage from 50 to 100 kVp. The tube current and SDD were fixed on 100 mAs and 100 cm, and dose were measured repeated ten times at each tube voltage. The response and linearity of the detection system were confirmed using the measured values. It was confirmed that the comparison measurement results of the detection system and absorbed dose dosimeter showed a high correlation($r : 0.998, p < .001$). In this results, the feasibility of the detection system with intensifying screen and micro-controller unit based was confirmed, and we considered that the developed detection system could be applied to portable, compact, low cost system for education.

Keywords: Intensifying screen, Optical sensor, Radiation detector

I. INTRODUCTION

의료방사선진단에서 엑스선을 이용한 영상획득 기술은 필름과 증감지를 사용하던 방법에서 많은 변화를 거치며 필름의 현상 또는 영상검출기에 대한 스캔을 필요로 하지 않는 디지털 영상검출 수준 까지 발전하게 되었다. 이에 필름-증감지 시스템을 사용하는 카세트 방식의 영상검출기 사용이 현저 하게 줄어들면서 엑스선 영상의 검출감도를 높여 주는 증감지의 사용을 찾아보기 어렵게 되었다^[1,2]. 필름-증감지 시스템은 엑스선을 흡수한 증감지에서 발생한 빛 광자를 필름에서 포획하여 잠상을 형성 한 후 현상과정을 거쳐 영상을 획득한다^[2]. 이때 섬 광물질을 포함하고 있는 증감지에 엑스선이 조사 되면 엑스선의 강도에 따른 가시광선 과장으로 변 환하여 필름의 감도를 높여주고 신호 대 잡음비 (signal-to-noise ratio;SNR)를 향상시킨다^[3].

방사선은 자연 어디서나 존재하며 생활 속에서 다양하게 사용되고 있으나 여러 교육현장의 방사

선 교육에 대한 인식이 높지 않아 이의 개선을 위 하여 다양한 형식의 방사선 인식향상을 위한 교육 이 필요하다^[4]. 교육대상자들이 방사선 측정의 원 리와 이론을 쉽게 이해하고 이를 응용하여 직접 방 사선검출기를 제작하는 교육이 시행된다면 효과적 인 교육이 이루어 질 수 있을 것이다.

본 연구에서는 엑스선을 빛으로 변환시켜주는 증감지의 특성을 이용해 MCU(Micro Controller Unit)와 광센서를 증감지와 함께 사용하여 제작이 쉬우며 휴대와 이동이 용이하고 교육용으로 활용 이 가능한 소형 방사선검출기를 디자인하고 프로 토타입을 자체 제작하여 유효성을 평가하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 검출기 디자인 및 개발

Fig. 1은 기존에 사용되는 섬광검출기와 본 연구 에서 개발한 검출기의 구성을 보여주고 있다. 기존 섬광검출기는 결정형 섬광체, 광전자 증배관, 신호

* Corresponding Author: Jeong-Min Seo

E-mail: thomas8@cup.ac.kr

Tel: +82-51-510-0581

증폭기, 아날로그-디지털 변환기 등 복잡한 구성이 필요하지만 본 연구에서는 증감지와 광센서를 이용하여 검출부를 간단하게 구성하고 MCU를 이용하여 측정결과를 편리하게 획득할 수 있도록 구성하였다.

본 검출기 개발에 사용한 섬광체로 엑스선 증감지($Gd_2O_2S:Tb$, TO440, Toshiba, Japan)를 사용하였으며 약 560 nm에서 최대발광을 보이고 청록색 계열의 발광색을 나타낸다. 본 연구에서 사용한 광센서는 저렴하고 크기가 작으며 높은 분해능을 가지는 요건을 충족하기 위하여 아두이노 보드와 연결하여 사용할 수 있는 포토레지스터 CDS 센서(D05, 5 mm, 최대전압 DC 150 V, 최대전력 100 mW, 반응속도 rise time 20 ms(decay time 30 ms))를 사용하였다. 광센서는 입력되는 빛의 양에 따라 저항 값이 변화하며 빛의 양이 많아지면 센서의 내부저항이 낮아지고 보드로 입력되는 전압이 높아져 조도의 양을 측정할 수 있다. MCU는 교육용 목적으로 범용으로 사용되고 있는 아두이노-우노R3 보드를 사용하고 광센서와 증감지를 이용하여 검출부를 구성하였다. 검출부는 교육용으로 간편한 제작이 가능하도록 구성하기 위하여 192 mL 종이컵의 내부에 증감지를 전면 부착하고 외부로부터의 빛 유입을 줄이기 위하여 외부표면을 검게 도색하여 광센서를 덮는 형식으로 제작하였으며 내부 중앙에 광센서가 위치하도록 구성하였다. 구성된 검출기는 12V전원을 사용하여 외장형 배터리를 적용하면 휴대용 검출기로 사용할 수 있다. 방사선검출시 LCD 디스플레이를 통하여 광센서의 출력 값을 나타내도록 하였으며 아두이노의 시리얼 통신을 통하여 시리얼 모니터로도 확인할 수 있도록 구성하였다. 이와 같이 구성한 검출기의 프로토타입은 Fig. 2와 같다.

2. 검출기 측정

방사선을 조사하고 측정되는 결과를 확인하여 본 연구에서 개발한 방사선검출기의 방사선 측정에 대한 신호 응답성과 방사선량에 대한 출력신호의 비례성을 평가하였다.

방사선발생장치(REX-650R, Listem, ROK)를 이용

하여 관전류량 100 mAs, SDD 100 cm에서 관전압을 50에서 100 kVp 까지 5 kVp 단위로 엑스선을 조사하였다. 흡수선량계(ThinX Rad, unfors, Sweden)와 본 연구에서 개발한 프로토타입 검출기를 이용하여 조사조건별로 각각 10회 반복 측정하고 결과를 비교하였다.

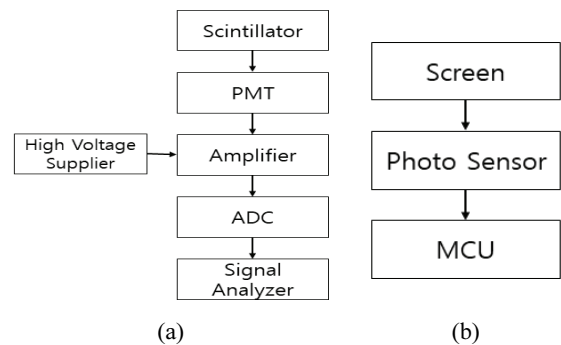


Fig. 1. Block diagram of (a) traditional analog scintillation detector and (b) developed detector with screen.

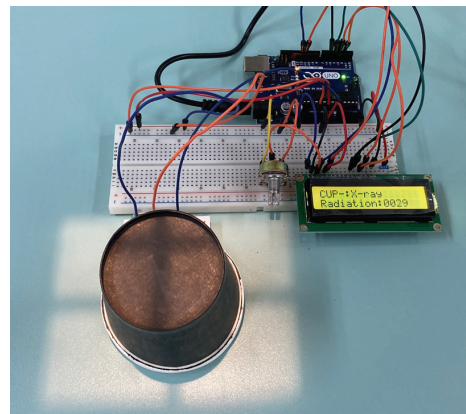


Fig. 2. Prototype of radiation detector with intensifying screen.

III. RESULT

1. 방사선 측정 결과 비교

본 연구에서 개발한 방사선검출기와 흡수선량계의 측정값의 조사조건별 평균선량과 표준편차를 구한 후 정규성 만족여부를 확인하고 Pearson 상관분석을 시행하여 동일한 조사조건에서 측정된 흡수선량과 검출기의 결과 값을 비교하였으며 그 결과는 Table 1과 같다. 관전압의 증가에 따른 흡수선

량의 증가와 본 연구에서 개발한 방사선검출기의 측정결과 사이에 높은 상관성($r: 0.998, p<.001$)을 보이며 Fig. 3에서 유사한 패턴으로 측정값의 변화를 보임을 확인할 수 있다.

Table 1. Correlation between output of photoresistor detector and absorbed dose

Tube voltage	Photoresistor	Absorbed dose	r	p
50	13.1 ± 0.568	3.13 ± 0.032	0.998	<.001
55	16.9 ± 0.568	3.88 ± 0.040		
60	23.0 ± 0.667	4.81 ± 0.017		
65	27.8 ± 0.789	5.35 ± 0.015		
70	23.0 ± 0.667	5.97 ± 0.039		
75	41.2 ± 0.421	7.23 ± 0.019		
80	50.0 ± 0.667	8.82 ± 0.019		
85	56.0 ± 0.817	10.21 ± 0.014		
90	62.1 ± 0.568	10.78 ± 0.013		
95	66.6 ± 1.074	11.31 ± 0.026		
100	72.2 ± 0.632	11.95 ± 0.019		

Tube voltage [kVp]
 Photoresistor : mean ± SD [output]
 Absorbed dose : mean ± SD [mGy]
 r : Pearson's correlation coefficient

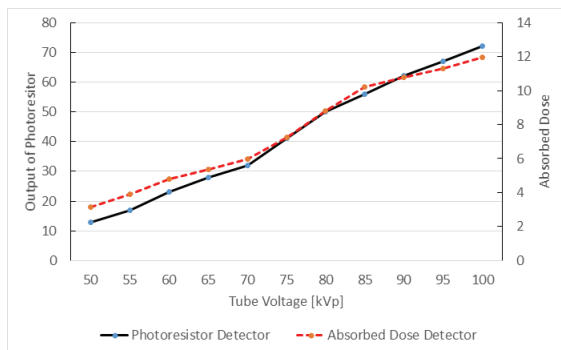


Fig. 3. Results of measuring dose with photoresistor detector and absorbed dose detector.

IV. DISCUSSION

본 연구에서는 의료방사선진단에서 사용하는 엑스선 증감지의 섬광특성을 이용하여 방사선검출기를 개발하였다. 또한 저렴한 재료를 이용하고 제작이 간편하여 중고생 및 대학생을 대상으로 방사선 측정기 제작 교육용으로 활용이 가능한 방사선검출기의 모델을 제시하고 프로토타입을 제작하였다.

개발된 검출기가 방사선의 조사조건에 따라 적절한 값을 출력함으로써 출력신호의 응답특성과 흡수선량에 대한 비례성이 양호함을 확인하였다.

본 연구에서 적용한 엑스선의 에너지 범위는 진단영상검사 영역의 저에너지로서 빌드업이 발생하지 않고 관전류량의 증가 또는 관전압의 증가에서 모두 광자선속이 증가하므로 관전류량이 고정된 상황에서 관전압이 증가하면 흡수선량은 함께 증가하게 된다. 이와 함께 관전압이 높아지면 증감지의 발광강도가 높아져 광센서로부터의 출력 값도 증가하게 된다.

Nam 등의 연구에서는 CsI(Tl) 섬광체와 PIN diode를 이용하여 교육용으로 사용할 수 있는 방사선검출기를 개발하였으나 여러 개의 증폭기와 다중채널분석기를 사용하여 교육용으로 널리 사용하기에는 구성이 다소 복잡하고 재료비의 부담이 있다고 할 수 있다^[5]. Lee 등의 연구에서 섬광체와 GM계수관을 이용하여 모바일 측정시스템을 개발한 사례가 있으며^[6] Kim 등의 연구에서는 아크릴레이트 기반의 플라스틱 섬광체를 제작하고 발광특성을 이용하여 방사선검출기를 제작하였으나^[7] 섬광체를 이용한 검출기의 특성으로 광전자증배관을 부착하여 경량화에 다소 한계가 있었다고 할 수 있다. Noh 등의 연구에서 CdS 반도체와 MCU를 이용하여 휴대용 방사선검출기시스템을 개발한 사례가 있으며^[8] Park 등의 연구에서 CsI(Tl) 섬광체와 MCU를 이용하여 휴대가 가능한 방사선검출기를 개발하였다^[9]. 이처럼 MCU를 사용한 소형 및 경량화를 통하여 휴대 및 이동이 가능한 방사선검출기의 개발이 시도되고 있다. 본 연구에서도 저렴하게 구입이 가능한 아두이노 MCU와 함께 의료영상검사의 디지털화로 인하여 더 이상 사용하지 않는 필름-증감지 시스템의 증감지를 활용한다면 재료준비의 부담이 적고 제작이 간편하여 교육용으로 활용도가 높은 방사선검출기를 제작할 수 있음을 제시하고 있다.

본 연구에서 개발한 검출기에 사용한 증감지는 관전압 의존성이 있어^[10,11] 50 kVp 이상의 관전압에서 양호한 응답특성을 보이며 엑스선 조사조건에서 관전압을 유일한 변수로 적용한 점은 본 연구

의 한계점이라고 할 수 있다. 또한 광센서로부터의 출력 값이 Lux 단위의 조도를 나타내는 것이 아니므로 이에 대한 측정결과의 보정이 필요한 부분도 앞으로 연구를 이어나가야 할 내용으로 사료된다. 향후 연구에서는 아두이노의 시리얼 모니터를 이용하여 방사선이 조사되는 동안의 광센서 출력 값을 집적하여 관전류량의 변화에 대한 선량측정 응답특성도 확인하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSIONS

본 연구과제에서 개발한 검출기는 경량화 및 소형화로 휴대와 이동이 용이하고 양산 시 저가의 제작이 가능하며 방사선 선량의 수준에 대한 별도의 판독과정이 필요 없이 직독이 가능하므로 어디에나 쉽게 적용할 수 있는 장점으로 방사선 관련 분야에 기여할 수 있을 것으로 사료되며 특히 제작이 간단하여 교육용으로의 활용도가 높을 것으로 사료된다.

Reference

- [1] S. C. Bushong, *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection*, 5th Ed. Elsevier, 2017.
- [2] G. S. Shin, J. M. Kim, Y. H. Kim, J. H. Choi, C. K. Kim, "Comparison of Average Glandular Dose in Screen-Film and Digital Mammography Using Breast Tissue-Equivalent Phantom", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 30, No. 1, pp. 13-23, 2007.
- [3] M. Maqbool, *An Introduction to Medical Physics*, Springer, 2017.
- [4] S. T. Park, H. J. Choi, J. T. Kim, K. J. Jung, H. B. Lee, K. C. Yuk, "The Actual Status of Physics Teachers Perception on the Concept of Radiation", *Journal of the Korean Association for Science Education*, Vol. 25, No. 5, pp. 603-609, 2005.
- [5] Y. M. Nam, H. S. Kim, J. H. Ha, J. H. Lee, "Development of Spectroscopy Toolkit for Spectrum Measurement Experiments Using a CsI(Tl)/PIN Diode Detector", *Journal of Radiation Protection*, Vol. 35, No. 2, pp. 77-80, 2010.
- [6] H. Y. Lee, S. J. Han, B. G. Kim, G. J. Lee, S. H. Kim, J. H. Kim, "Development and Evaluation of a Mobile Environmental Radiation Measurement System That Can Switch between Low and High Dose Measurement Sections", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 45, No. 1, pp. 49-55, 2022. <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2022.45.1.49>
- [7] S. H. Kim, J. Il. Lee, "Scintillation Properties of Acrylate Based Plastic Scintillator by Photopolymerization Method", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 39, No. 4, pp. 637-642, 2016. <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2016.39.4.21>
- [8] S. C. Noh, S. I. Kang, B. J. Jung, I. H. Choi, H. H. Kim, C. H. Cho, J. H. Park, J. K. Park, "Development of Liquid Crystal Optic Modulation Based X-ray Dosimeter by Using CdS Sensor", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 5, No. 6, pp. 357-61, 2011. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2011.5.6.357>
- [9] C. W. Park, H. J. Kim, "Development of a Portable Radiation Detector Using a Scintillator", *New Physics: Sae Mulli*, Vol. 68, No. 3, pp. 348-352, 2018. <http://dx.doi.org/10.3938/NPSM.68.348>
- [10] J. Y. Je, "Fluorescence Characteristics of Gd₂O₂S:Tb³⁺ Intensifying Screen According to Increase of Tube Voltage", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 8, No. 5, pp. 261-264, 2014. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2014.8.5.261>
- [11] J. K. Park, S. W. Yang, J. H. Jeon, J. H. Kim, Y. J. Heo, S. S. Kang, K. T. Kim, "Fabrication of Bendable Gd₂O₂S:Tb Intensifying Screen and Evaluation of Fatigue Properties", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 11, No. 7, pp. 611-617, 2017. <https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.7.611>

증감지를 이용한 방사선검출기 개발

서정민*

부산가톨릭대학교 방사선학과

요 약

본 연구에서는 엑스선 증감지와 광센서, 마이크로컨트롤러(MCU)를 이용하여 휴대와 이동이 용이한 교육용 방사선검출기를 제안하였다. 광센서와 증감지로 이루어진 검출부와 마이크로컨트롤러로 간단하게 구성되어 제작이 쉽고 소형화 및 휴대형으로 적합하게 제작되었다. 검출기의 성능 확인을 위해 전압을 50에서 100 kVp까지 변경하며 검출시스템과 흡수선량계를 이용하여 방사선을 측정하였다. 관전류량은 100 mA s, SDD는 100 cm로 고정하였고 각 관전압에서 10회 반복 측정하였다. 측정값을 이용하여 검출기의 응답과 선형성을 확인하였다. 검출기와 흡수선량계의 측정결과 비교에서 높은 상관성($r:0.998$, $p<.001$)을 보임을 확인하였다. 이러한 결과를 통하여 본 연구에서 제안된 증감지와 마이크로컨트롤러 기반의 검출기의 사용가능성을 확인할 수 있었으며, 휴대형 방사선검출시스템이 소형, 저가형, 휴대형 시스템으로 교육용으로 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

중심단어: 증감지, 광센서, 방사선검출기

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	서정민	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수