

# GM Tube 및 NaI(Tl) 검출기를 사용한 Wide-Range 방사선 측정 시스템의 설계 Design of Wide-Range radiation measurement system using GM Tube and NaI(Tl) Detector

라 승 탁\*, 이 주 현\*, 이 승 호\*\*★

Seung-Tak Ra\*, Joo-Hyun Lee\*, Seung-Ho Lee\*\*★

## Abstract

In this paper, we propose a wide-range radiation measurement system using GM Tube and NaI(Tl) detector. The proposed system is designed as a small module optimized to control and count the detector signal of NaI(Tl) Detector and GM Tube. The radiation dose is measured in a wide-range 0.1uSv/h to 10mSv/h in conjunction with two detectors, and two detectors operate simultaneously at 10uSv/h to 100uSv/h, where the measurement interval overlaps. The radiation dose was selected using a wide-range radiation measurement algorithm that controls the on/off function of the detector in the appropriate interval for the overlapped radiation measurable interval. In order to evaluate the performance of the proposed system, it has been confirmed that the measurement uncertainty of each section is measured as  $\pm 7.5\%$  and it operates normally under  $\pm 15\%$  of the international standard.

## 요 약

본 논문에서는 GM Tube 및 NaI(Tl) 검출기를 사용한 Wide-Range 방사선 측정 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 NaI(Tl) 검출기 및 GM Tube의 검출기 신호를 제어, 계수할 수 있게 최적화한 하나의 소형 모듈로 설계한다. 방사선량은 2개의 검출기를 연동하여 Wide-range인 0.1uSv/h~10mSv/h 구간에서 측정되고, 측정구간이 중복되는 지점인 10uSv/h~100uSv/h에서는 2개의 검출기가 동시에 동작한다. 방사선량은 중첩된 방사선 측정 가능 구간에 대해 적절한 구간에서 해당 검출기 기능의 On/Off를 제어하는 Wide-Range 방사선 측정 알고리즘을 이용하여 선택 적용하였다. 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 공인시험기관에서 실험한 결과, 각 구간별로 측정 불확도가  $\pm 7.5\%$ 로 측정되어 국제 표준인  $\pm 15\%$  이하에서 정상동작 됨이 확인되었다.

*Key words* : NaI(Tl) Detector, GM Tube, PoE(Power over Ethernet), PMT(Photo Multiplier Tube), Wide Range

\* Dept. Electronics Engineering, Hanbat National University, 042-821-1423

\*\* Dept. Electronics&Control Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

e-mail: shlee@cad.hanbat.ac.kr, tel: 042-821-1137

※ Acknowledgment

This work was supported by the Human Resource Training Program for Regional Innovation and Creativity through the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea(NRF-2015H1C1A1035818) Manuscript received May. 19, 2017, revised Jun. 27, 2017, accepted Jun. 29, 2017

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

현재 사용되는 저선량 방사선 측정의 경우에는 NaI(Tl) 검출기를 사용하고 중·고선량 측정의 경우에는 GM Tube를 사용한다. 그러나 신호검출을 위해 내장된 장치들이 최적화되지 않아 설계한 하드웨어의 부피가 커지는 단점이 있다[1][2]. 따라서 각 방사선 검출기로부터 신호를 검출하기 위해 구성된 측정신호 데이터 획득부의 소형 일체화 모듈이 필요한 실정이다. 또한, 구조 및 제어 방법이 다른 NaI(Tl) 검출기와 GM Tube 방사선 검출기의 신호 검출회로 일체화 및 최적화 설계가 필요하다[3][4].

본 논문에서는 첫 번째로, NaI(Tl) 검출기 및 GM Tube 2개의 검출기 신호를 제어, 계수할 수 있도록 최적화한 소형 모듈로 설계하는 것을 제안한다. 두 번째로, 2개의 검출기의 중첩된 방사선 측정 가능 구간에 대해 적정한 위치에서 해당 검출기 기능의 On/Off를 제어하는 Wide-Range 방사선 측정 알고리즘을 제안한다[5][6].

## II. 본론

### 1. 소형 모듈화를 위한 전체 시스템 구조

소형 모듈화를 위한 전체적인 시스템의 구조는 그림 1과 같이 NaI(Tl) 검출기, PMT(Photo Multiplier Tube), GM Tube 등의 검출기와 소형 모듈화로 설계되어진 HVG(High Voltage Generator), AFE(Analog Front End), 임베디드 컨트롤 보드로 구성되어 있다.

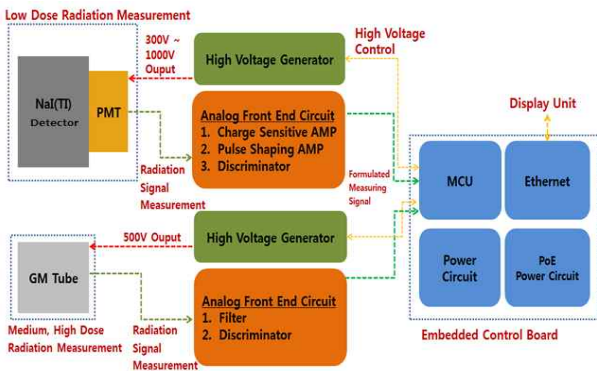


Fig. 1. Overall configuration of wide-range radiation measurement system using GM Tube and NaI(Tl) detector

그림 1. GM Tube 및 NaI(Tl) 검출기를 사용한 Wide-Range 방사선 측정 시스템의 전체 구성도

### 가. NaI(Tl) 검출기 및 PMT

그림 2의 저선량 방사선 측정을 위한 NaI(Tl) 검출기는 고전압(500~900V)을 인가하면 감마선에 반응하는 강한 섬광을 발생시킨다. PMT는 NaI(Tl) 검출기에서 발생한 강한 섬광을 106배 이상 증폭시킨다.



Fig. 2. NaI(Tl) Detector + PMT  
그림 2. NaI(Tl) 검출기 + PMT

### 나. GM Tube

그림 3의 중·고선량 방사선 측정을 위한 GM Tube에 고전압(300~1000V)을 가하면 감마선에 반응하는 펄스가 생성되며, GM Tube 입력 신호는 DC 블로킹 후에 신호를 감쇄시켜 디지털 입력으로 사용한다.



Fig. 3. GM Tube  
그림 3. GM Tube

### 다. 고전압 발생 장치(HVG)

그림 4의 고전압 발생 장치는 0~1500V 고전압을 인가할 수 있도록 하는 가변 고전압 발생장치 모듈이다. 가변고전압장치를 이용하여 고전압(500~900V)을 각 검출기에 인가하면 방사선량에 따른 섬광 및 펄스가 증폭되어 출력되게 된다.



Fig. 4. HVG Board production photo

그림 4. 고전압 발생 장치 보드 제작 사진

**라. AFE(Analog Front End)**

저선량 방사선 측정에는 NaI(Tl) 검출기로부터 신호를 검출하기 위한 CSA(Charge Sensitive AMP), PSA(Pulse Shaping AMP), 판별기를 단일 모듈로 설계하여 방사선량을 측정하게 된다. NaI(Tl) 검출기는 0.1uSv/h~100uSv/h 구간을 측정구간으로 설정하였다. CSA는 검출부로부터 출력된 미세 펄스신호를 증폭하고 미세 펄스신호의 최고점에 비례하며, 폭이 넓은 파형을 획득한다. PSA의 경우, 펄스 신호를 가우시안 모양으로 정형화 한다. 판별기는 정형화된 펄스를 비교기를 사용하여 사용 가능한 펄스 신호를 선택한다.

중·고선량 방사선 측정은 GM Tube로부터 신호 검출을 위한 필터 회로 및 판별기 회로설계를 통해 방사선량을 측정한다. GM Tube는 1uSv/h~10mSv/h 구간을 측정구간으로 설정하였다. 필터는 GM Tube로부터 출력된 큰 신호(약 300V)를 로직레벨에 맞도록 줄여 주고 노이즈의 영향을 받지 않도록 바이어스를 잡아준다. 판별기의 경우, 필터의 출력이 0~VDD까지 풀 스윙하므로 별도의 판별기 회로를 두지 않고 로직 입력으로 사용하게 된다.

그림 5는 AFE 보드 제작 사진을 나타낸다.

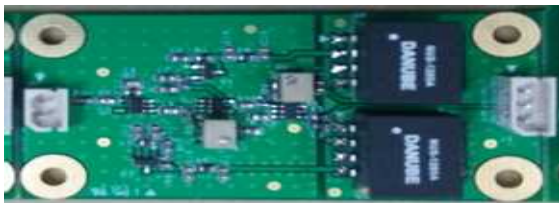


Fig. 5. AFE Board production photo  
그림 5. AFE 보드 제작 사진

**마. 임베디드 컨트롤 보드**

그림 6의 임베디드 컨트롤 보드는 입력된 디지털 펄스를 펄스 카운팅 하여 측정된 방사선의 수를 계수한다.



Fig. 6. Embedded Control Board production photo  
그림 6. 임베디드 컨트롤 보드 제작 사진

**2. Wide-Range 방사선 측정 알고리즘**

방사선량은 NaI(Tl) 검출기와 GM Tube 등 2개의 검출기를 연동하여 Wide-range인 0.1uSv/h~10mSv/h

구간에서 측정된다. 측정구간이 중복되는 지점인 10uSv/h~100uSv/h에서는 각 검출기가 동시에 동작한다.

그림 7과 같이 저선량에서 고선량으로 선량이 이동하는 구간에서는 약 50~70uSv/h 구간을 경계구간으로 잡는다. 다음에 고선량으로 변화시 저선량 측정을 위한 NaI(Tl) 검출기의 동작이 멈추고 중·고선량 측정을 위한 GM Tube의 측정결과를 측정값으로 반영하도록 설계하였다.

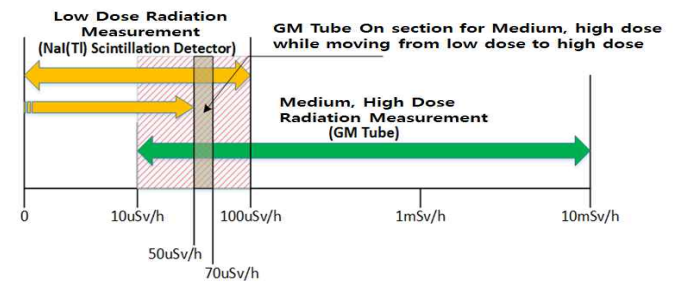


Fig. 7. Algorithm for low dose to high dose movement interval  
그림 7. 저선량에서 고선량 이동 구간에서의 알고리즘

한편, 그림 8과 같이 고선량에서 저선량으로 선량이 이동하는 구간에서는 약 30~50uSv/h 구간을 경계구간으로 잡는다. 다음에 저선량으로 변화시 중·고선량 측정을 위한 GM Tube의 동작이 멈추고, 저선량 측정을 위한 NaI(Tl) 검출기의 측정결과를 측정값으로 반영하도록 설계하였다.

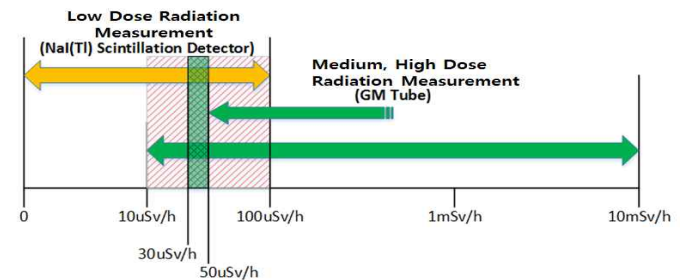


Fig. 8. Algorithm for high dose to low dose movement interval  
그림 8. 고선량에서 저선량 이동 구간에서의 알고리즘

**3. 성능 실험**  
**가. 실험 방법**

본 논문에서 제안한 그림 9의 시스템의 성능을 평가하기 위하여 그림 10과 같이 공인시험기관의 방사선 조사실 실험 환경에서 원통형의 센서 블록 내에서 NaI(Tl)/PMT와 GM Tube 간의 거리를 가까이 배치하여 한 번의 <sup>137</sup>Cs 방사선(기준선량률 25uSv/h~8,000uSv/h <sup>137</sup>Cs) 조사로 2개의 검출

센서가 함께 반응하도록 실험하였다. 매 방사선 조사마다 2개의 검출 센서 한가운데에 방사선원의 중심을 맞추고 2개의 검출 센서가 오차 내 방사선 포락선의 원안에 들어감을 확인한다.



Fig. 9. Full hardware image  
그림 9. 전체 하드웨어 이미지



Fig. 10. Experimental environment of radiation examination room of accredited testing institute  
그림 10. 공인시험기관의 방사선 조사실 실험 환경

**나. 실험 결과**

실험 결과는 표 1과 같이 NaI(Tl)/PMT, GM Tube, NaI(Tl)/PMT+GM Tube 각각에 대하여 ±7.5% 이하의 불확도가 측정되어 국제 표준인 ±15% 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다.

Table 1. Experimental results of the proposed system  
표 1. 제안하는 시스템의 실험 결과

Sensor	Reference Dost Rate (uSv/h)	Sensor Measurement Value (uSv/h)	Apply Results	Measur ement Uncertai nty
NaI(Tl)/PMT (6S6P1.5VDC 2/AH4011) SN : 33	25	25.9	NaI(Tl)	±7.5%
	35	35.1		
	45	44.7		
GM Tube (LND-713) SN : 34	100	100.7	GM Tube	±7.5%
	1000	1004.3		
	8000	7999.8		
NaI(Tl)/PMT + GM Tube SN : 35	25	25.9	NaI(Tl)	±7.5%
	35	35.1	NaI(Tl)	
	45	44.7	NaI(Tl)	
	100	100.7	GM Tube	
	1000	1004.3	GM Tube	
	8000	7999.8	GM Tube	

**III 결론**

본 논문에서는 소형 모듈화를 통한 하드웨어 부피 감소와 Wide-Range 방사선 측정 알고리즘을 이용하여 GM Tube 및 NaI(Tl) 검출기를 사용한 Wide-Range 방사선 측정 시스템을 제안하였다.

제안된 시스템은 최적화한 소형 모듈로 설계되었고, Wide-Range 방사선 측정 알고리즘을 사용하여 2개의 검출기의 중첩된 방사선 측정 가능 구간에 대해 적정한 위치에서 해당 검출기 기능의 On/Off를 제어하였다. 제안된 GM Tube 및 NaI(Tl) 검출기를 사용한 Wide-Range 방사선 측정 시스템의 성능을 평가하기 위하여 공인시험기관에서 실험한 결과, 각 구간별로 측정 불확도가 ±7.5%로 측정되어 국제 표준인 ±15% 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. 향후 실험결과에서의 측정 불확도를 낮출 수 있는 알고리즘 및 보상식에 대한 연구가 필요하다.

**References**

[1] Glenn F. Knoll, *Radiation detection and measurement*, John Wiley & Sons, 2010.  
 [2] S Neumaier, et al., "A new VME-based high voltage power supply for large photomultiplier systems," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol.360, no.3, pp. 593 - 597, 1995.DOI:10.1016/0168-9002(95)00005-4  
 [3] S. M. Brennan, A. M. Mielke, D. C. Torney, A. B. Maccabe, "Radiation detection with distributed sensor networks," *Computer*, Vol.37, no.8, pp. 57-59, 2004.DOI:10.1109/MC.2004.103  
 [4] H. S. Son, et al., "Design of Hybrid Supply Modulator for Reconfigurable Power Amplifiers," *The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no.4, pp. 475-483, Apr. 2012. DOI:10.5515/KJKIEES.2012.23.4.475  
 [5] Lee, Joo-Hyun, and Seung-Ho Lee, "A Study On Radiation Detection Using CMOS Image Sensor," *Journal of IKEEE*, Vol.19, no.2, pp. 193-200, 2015.DOI:10.7471/ikeee.2015.19.2.193  
 [6] Jang, Kyeong-Uk, Joo-Hyun Lee, and Seung-Ho Lee, "A Study On Hardware Design for High Speed High Precision Neutron Measurement," *Journal of IKEEE*, Vol.20, no.1, pp. 61-67, 2016.DOI:10.7471/ikeee.2016.20.1.061