

방사선 검출기용 데이터획득장치로서의 오실로스코프 활용 가능성 평가

Feasibility Study of Data Acquisition System based on Oscilloscope for Radiation Detector

양진규* · 강지훈†
(Jingyu Yang · Jihoon Kang)

Abstract - A data acquisition (DAQ) system based on oscilloscope was developed and evaluated for radiation detector. The dedicated LabVIEW program that perform the oscilloscope control and the data process was developed. Triggered events for each analog channel were acquired and the output signals were subsequently digitized and recorded for offline processing. Radiation pulse generation circuit was developed to evaluate the intrinsic characteristics of DAQ system. Energy linearity and energy resolution performances were assessed by voltage-peak channels and FWHM obtained from Gaussian fit, respectively. Radiation detector consists of LYSO and GAPD array. The 16 output signals were multiplexed by the RCD networks, and they were fed into the custom-made preamplifiers. Voltage-peak channels was linearly changed as a function of input voltage and the estimated coefficient of determination (R^2) was 0.999. No considerable changes in voltage resolution were observed. All 16 crystals were clearly identifiable on the resulting flood image and the mean energy resolution was ~15.1%. This study demonstrated that it is feasible to develop the DAQ system based on oscilloscope and LabVIEW program for radiation detector and the proposed approach offers opportunities to build simple DAQ system in various radiation measurement field.

Key Words : Data acquisition system, Radiation detector, Oscilloscope, LabVIEW

1. 서론

방사선을 이용한 의료기기는 비침습적으로 생체 내부를 진단하여 질병의 발현과 성질을 파악하는 진단분야와 고에너지의 방사선을 조사하여 환자의 고통과 부작용을 최소화한 치료분야에서 주류를 이루는 의료기술로 발전되어 활용되고 있다[1]. 이러한 방사선 의료기기는 방사선원, 방사선 검출기, 전기신호처리장치, 데이터획득장치 및 영상처리장치로 크게 나누어지며, 각 핵심 요소에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 특히, 방사선 검출기의 아날로그 출력신호를 디지털신호로 변환하는 데이터획득장치(Data Acquisition System, DAQ)는 방사선 검출기 개발에 활용되는 필수 계측기기로, 각 분야별 용도에 맞는 DAQ 개발 보드를 실험실에 구축하여 연구를 수행하고 있다. 그러나, 일반적인 상용 DAQ는 낮은 대역폭과 샘플링 속도의 제약으로 인하여 방사선 검출기의 아날로그 출력신호를 손실 없이 획득하는 것이 어렵다. 또한, 고사양의 상용 DAQ 또는 주문 제작형 DAQ는 사용자가 용이하게 변수를 변경하거나 용도에 맞게 최적화하는 것이 어렵고, 장

비의 구축비용이 고가인 단점이 있다.

오실로스코프(Oscilloscope, OSC)는 특정 시간 대역의 전압변화를 관측할 수 있는 계측기기로, 일반적으로 전자회로 관련 연구를 수행하는 실험실에서 쉽게 활용 가능한 장비이다. 특히, 상용 DAQ와 비교하여 대역폭, 샘플링 속도 및 입력 범위가 우수한 장점이 있다. 최근, OSC 제조사는 다양한 프로그래밍 언어에 기반한 OSC 제어용 라이브러리 및 사용자 인터페이스를 지원하고 있어 사용자가 쉽게 제어 변수를 수정하거나 필요한 계측 결과를 추출하는 것이 가능하게 되었다.

본 연구에서는 랩뷰(LabVIEW) 기반 오실로스코프 제어 프로그램을 개발하고 이를 이용한 방사선 검출기용 데이터획득장치를 구현하였고, 방사선 모사 신호와 실제 검출기 출력신호를 이용하여 데이터획득장치 성능을 검증하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 방사선 검출기용 데이터획득장치

2.1.1 오실로스코프(Oscilloscope, OSC)

Wavesurfer 10(Teledyne Lecroy, New York, USA)은 보급형 오실로스코프(Oscilloscope)로 1 GHz 대역폭과 10 GS/s 샘플속도,

† Corresponding Author : Dept. of Biomedical Engineering, Chonnam National University, Korea.
E-mail: jihoon.kang@jnu.ac.kr

* Dept. of Biomedical Engineering, Chonnam National University, Korea.

Received : February 16, 2017; Accepted : November 16, 2017

10 Mpts/Ch 메모리 및 고급연산/측정/디버그용 사용자 인터페이스를 내장하고 있다. 입출력 패널은 GPIB(General Purpose Interface Bus) 포트와 LAN(Local Area Network) 포트를 제공하고, 각각 IEEE 488.2와 Ethernet 데이터 전송방식을 사용하여 장비의 제어와 측정 데이터의 후처리가 가능하다. 방사선 검출기용 데이터획득장치로서 활용하기 위한 Wavesurfer 10의 주요 사양은 표 1에 요약되어있다.

오실로스코프와 PC는 LAN 포트를 통해 물리적으로 연결하였고, NI(National Instrument's)에서 제공하는 LabVIEW 2015 및 NI-VISA 1600 드라이버와 Teledyne Lecroy에서 제공하는 VICP Passport를 설치하여 프로그램 개발 환경을 구축하였다.

표 1 본 연구에서 사용된 오실로스코프(Wavesurfer 10)의 주요 사양

Table 1 Specifications of oscilloscope(Wavesurfer 10) used in this study

항목		사양
Type	종류	오실로스코프
Bandwidth	대역폭	1 GHz
Sample rate	샘플링 속도	10 GS/S
Vertical resolution	수직 분해능	8-Bit
Input channels	입력 채널	4
Input range	입력 범위	±4 mV - ±40 V

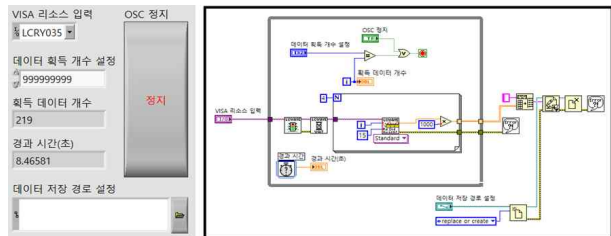


그림 1 랩뷰 기반 4채널 데이터 획득 프로그램의 프론트패널(좌)과 블록 다이어그램(우)

Fig. 1 Front pannel(left) and block diagram(right) of 4-ch data acquisition program based on LabVIEW

2.1.2 오실로스코프 제어 및 데이터 처리를 위한 랩뷰 프로그램 개발

오실로스코프 구동, 데이터 저장 경로 설정, 획득할 데이터 종류 및 개수 설정, 데이터 저장 등을 위한 오실로스코프 제어 프로그램과 트리거된 오실로스코프 입력 신호로부터 파형, 상승 시간, 하강시간, 진폭 등을 획득하는 데이터 처리 프로그램을 개발하였다(그림 1). 방사선 검출기용 데이터획득장치로서의 성능 검증을 위해 아날로그 4채널 입력신호를 획득/처리/분석하는 프로그램을 구현하고, 최종적으로는 유효 신호값을 추출 및 컴퓨터에 저장하여 데이터 후처리를 수행하였다.

2.2 방사선 모사 파형을 이용한 DAQ 성능 검증

2.2.1 방사선 모사 파형 발생 회로

데이터획득장치로서의 기본적인 성능을 검증하기 위해 방사선 모사 파형 발생 회로를 설계하였다(그림 2). 사각파 펄스 신호는 C-R 필터, R-C 필터 및 다이오드로 구성된 회로를 통과하며 방사선 모사 파형이 생성된다. 방사선 검출기에 입사되는 방사선 에너지와 방사선량은, 각각 파형발생기의 진폭과 주파수를 조절하여 생성된다. 이는 방사선 검출기를 구성하는 섬광결정, 광센서, 전치증폭기에서 발생할 수 있는 통계적인 가우시안/랜덤 노이즈를 배제하고 데이터획득장치 자체적인 성능 검증이 가능하였다.

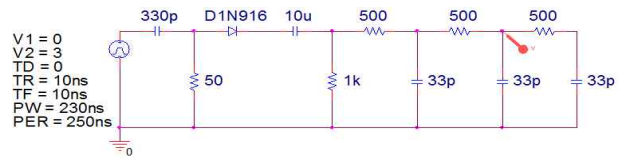


그림 2 방사선 모사파형 출력 회로의 회로 설계도

Fig. 2 Radiation pulse generation circuit diagram

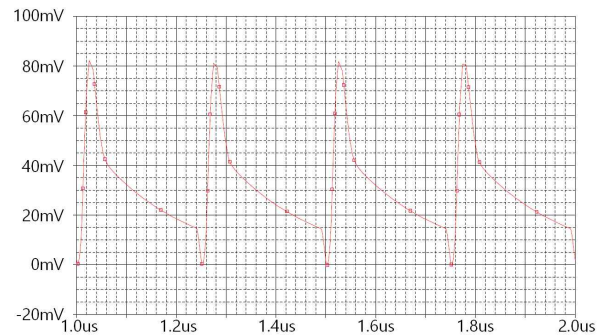


그림 3 OrCAD 시뮬레이션에서 확인한 방사선 모사파형

Fig. 3 Representative output waveform of radiation pulse generation circuit in OrCAD simulation

2.2.2 입력신호 진폭 변화에 따른 에너지 선형성 및 분해능 평가

본 연구에서 활용된 오실로스코프 기반 데이터획득장치는 화면에 캡처된 신호 파형을 8비트의 수직분해능으로 양자화하여 진폭을 추출한다. 따라서 입력되는 신호 파형의 진폭이 증가함에 따라 아날로그-디지털 변환과정에서 양자화되는 최소 전압 크기 도 증가하게 된다. 이는 방사선 검출기에 활용되는 DAQ로서 중요한 성능 요소로 작용할 수 있고, 다양한 입력신호의 범위에 따른 양자화 전압 단위는 표 2에 요약되었다.

실험을 위해 방사선 모사 파형의 진폭을 100 mV부터 2000 mV까지 가변하여 오실로스코프에 입력하였다. 방사선 모사 신호

표 2 다양한 입력신호 범위에 따른 양자화 전압 크기
Table 2 Quantization step size for each different input range in OSC with voltage resolution of 8 bits

오실로스코프 입력신호 범위 (mV)	최소 양자화 전압 크기 (mV)
-40 ~ +40	0.3125
-200 ~ +200	1.5625
-400 ~ +400	3.125
-800 ~ +800	6.25
-2000 ~ +2000	15.625
-4000 ~ +4000	31.25

를 100 mV 간격으로 10k 데이터를 측정하고, 20 step에서 총 200k 파형 데이터를 획득하였다. 각 진폭마다 누적된 데이터는 히스토그램으로 그래프화 하였고, 가우시안 curve-fitting 방법을 이용하여 정점(peak channel)과 반치폭(FWHM, Full Width at Half Maximum)을 계산하였다. 최종적으로, 오실로스코프 입력 신호의 진폭과 계산된 정점의 상관관계를 분석하여 에너지 선형성을 정량화하였다. 또한, 구간별 계산된 반치폭을 분석하여 OSC 입력 신호의 진폭이 에너지 분해능에 미치는 영향성을 평가하였다.

2.3 방사선 검출기를 이용한 DAQ 성능 검증

2.3.1 방사선 검출기 제작

3×3×10 mm³ 픽셀들로 구성된 4×4 array LYSO 섬광결정블록(SinoCeramics, Shanghai, China)과 3×3 mm³픽셀들로 구성된 4×4 array GAPD 광센서(SPMArray4, Cork, Ireland)를 이용하여 방사선 검출기를 제작하였다[2]. LYSO 픽셀들은 GAPD 접합면을 제외한 5면이 반사체로 덮여 있고, LYSO 섬광결정블록은 입사되는 전자와 및 주변광 잡음을 제거하기 위해 알루미늄 호일로 덮여있다. GAPD 픽셀들은 3640개의 마이크로셀들로 구성되어 있고, GAPD 배열형 광센서는 외부로부터 입사면을 보호하기 위해 <500 um 에폭시로 표면 처리되었다. LYSO와 GAPD 접합면에는 광자의 손실을 줄이기 위하여 광학윤활제(optical grease)를 도포하였다.

2.3.2 방사선 검출기와 OSC 기반 데이터획득장치 평가

16개의 GAPD 출력신호를 4개로 줄여 검출위치를 추정할 수 있는 전하분배회로 (Resistive Charge Divider Circuit)를 설계 및 제작하였다(그림 5)[3]. 출력신호의 상승시간을 유지하기 위해 100 ohm, 50 ohm 및 0ohm 등 30개의 낮은 저항들로 구성하였다. 4개의 방사선 전기신호의 아날로그 신호 증폭 및 처리를 위해 AD8000(Analog Device, USA) IC를 이용한 저잡음 반전 전치 증폭기를 설계 및 제작하였다(그림 6). 출력신호의 평균 상승시간은 20 ns, 하강시간은 200 ns, 오프셋은 0-5 mV로 측정되었으며, 증폭률은 1~100 범위로 조절 가능하였다. 증폭된 방사선 검출기

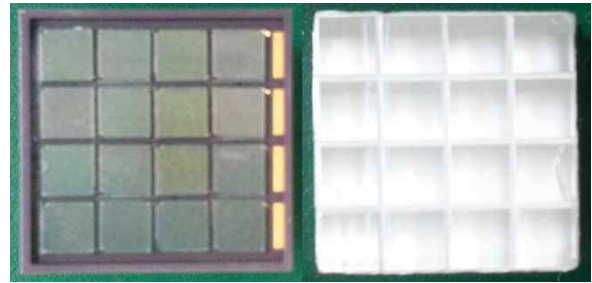


그림 4 본 연구에서 활용된 4×4 array GAPD 광센서(좌)와 4×4 array LYSO 섬광결정블록(우)의 사진

Fig. 4 Images of radiation detector consists of 4×4 array of LYSO scintillation crystal(right) and GAPD sensor (left)

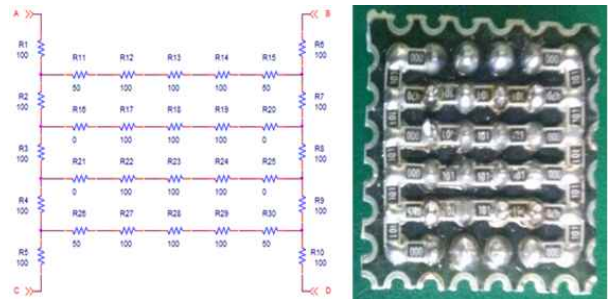


그림 5 RCD회로의 설계도(좌) 및 제작 사진(우)

Fig. 5 Resistive Charge Divider(RCD) diagram (left) and prototype device (right) with a multiplexing ratio of 16:4

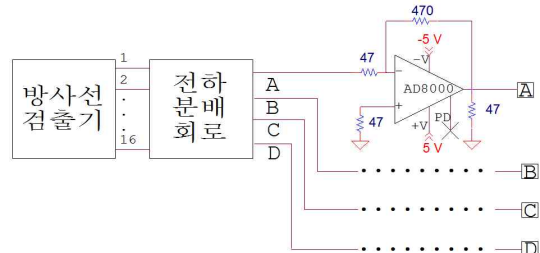


그림 6 저잡음 반전 전치 증폭기 설계도(상) 및 제작 사진(하)

Fig 6 Schematic diagram (top) and prototype device (bottom) of low-noise inverting charge sensitive preamplifier

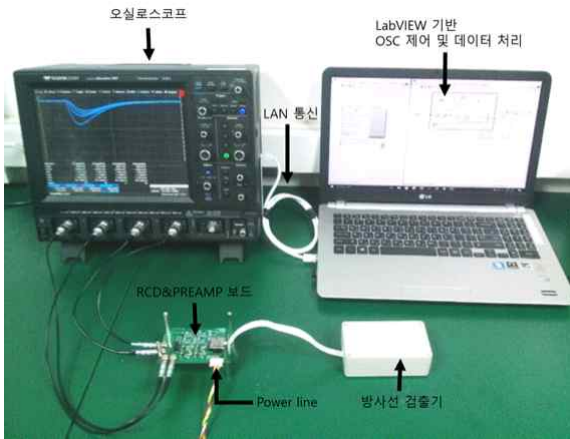


그림 7 방사선 검출기를 이용하여 OSC 기반 데이터획득장치 평가하기 위한 실험 환경

Fig. 7 Experimental setup with radiation detector to examine the data acquisition system based on OSC

출력신호는 OSC에 연결되고, 데이터 처리 프로그램을 이용하여 추출한 유효 데이터가 컴퓨터에 저장된다. 후처리 과정을 통해 4개의 변환된 디지털 데이터는 식 (1)을 통해 방사선의 에너지 신호로 변환되고, 식 (2)와 (3)을 통해 방사선의 위치신호로 변환된다. 최종적으로 획득된 평면영상(flood image)과 각 픽셀 별 에너지스펙트럼(energy spectrum)을 확인함으로써 방사선 검출기 성능평가를 수행하였다.

$$E = A + B + C + D \quad (1)$$

$$X = \frac{A + B}{E} \quad (2)$$

$$Y = \frac{A + C}{E} \quad (3)$$

3. 결 과

3.1 방사선 모사파형을 이용한 DAQ 성능 검증

그림 8은 방사선 모사신호의 진폭을 100 mV 간격으로 변화하며 획득한 누적 전압스펙트럼이다. 그림 9는 획득한 전압스펙트럼에서 진폭 별 정점의 위치와 반치폭을 분석한 결과이다. 진폭이 증가함에 따라 정점의 위치도 선형적으로 증가하였고, 선형회귀분석의 R² 값은 0.999를 가졌다. 또한, 100 mV부터 2000 mV 진폭변화에 의한 반치폭은 2.1~21.3 mV 범위이고, 에너지 분해능은 1~2% 수준으로 측정되었다.

3.2 방사선 검출기를 이용한 DAQ 성능 검증

그림 10은 4×4 배열형 LYSO와 GAPD로 이루어진 방사선 검출기의 1채널에서 획득한 대표적인 아날로그 신호파형(좌)과 에

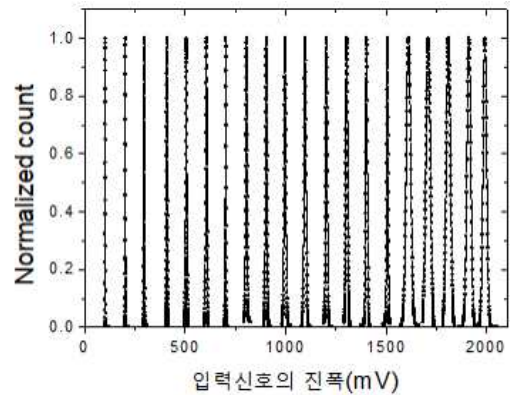


그림 8 방사선 모사 파형을 이용하여 획득한 누적 전압 스펙트럼
Fig. 8 Voltage spectra acquired with radiation pulse generation circuit

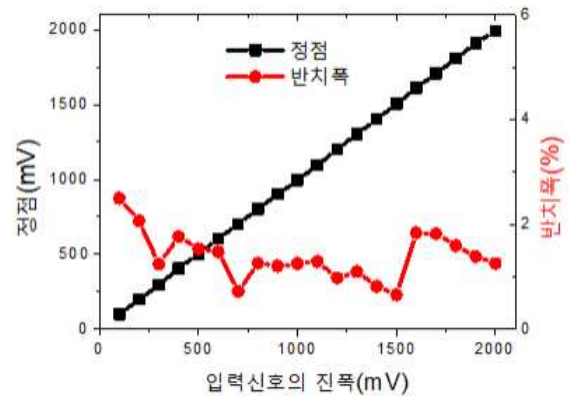


그림 9 입력신호의 진폭에 따른 정점과 반치폭의 변화
Fig. 9 Voltage-peak channel and Full Width at Half Maximum (FWHM) as a function of the amplitude of input signal

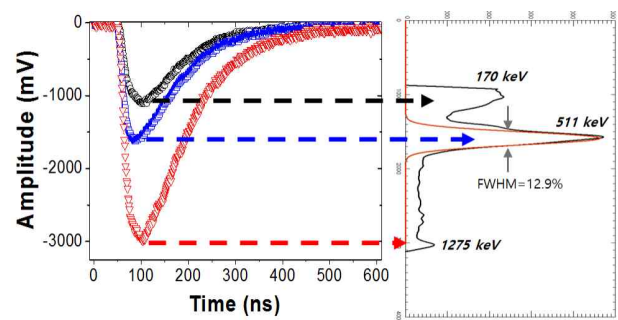


그림 10 방사선 검출기의 1채널에서 획득한 대표적인 아날로그 신호파형(좌)과 에너지 스펙트럼(우)

Fig. 10 Representative input waveform of the DAQ system (left) and corresponded energy spectrum of single channel radiation detector (right)

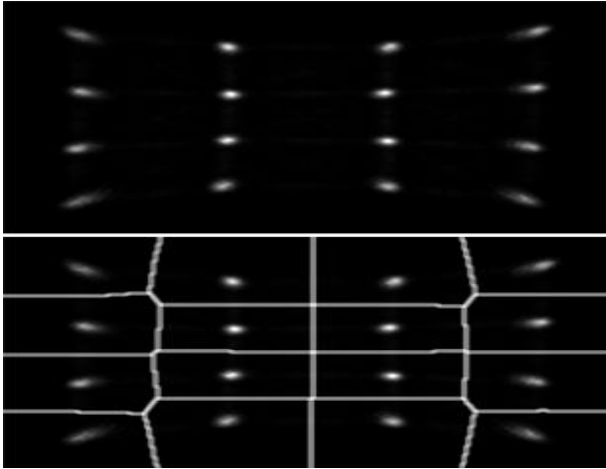


그림 11 4×4 배열형 방사선 검출기의 평면영상(상)과 섬광결정 지도(하)

Fig. 11 Flood image(top) and flood map(bottom) of 4×4 array radiation detector

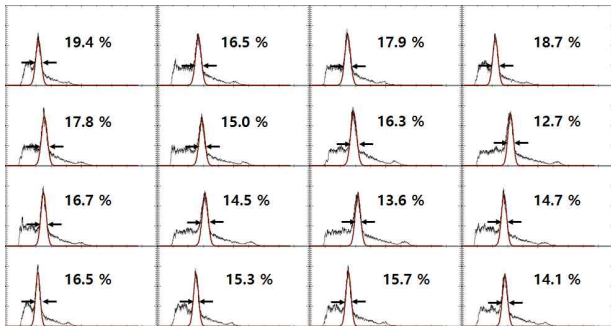


그림 12 4×4 배열형 방사선 검출기의 각 채널 별 에너지 스펙트럼

Fig. 12 Energy spectra that correspond to each crystal position of 4×4 array radiation detector

너지 스펙트럼(우)이다. 511 keV 에너지에 가우시안 피팅을 시도하였고, 에너지 분해능은 약 12.9%를 가졌다(그림 10).

그림 11은 4×4 배열형 방사선 검출기로부터 획득한 평면영상(flood image)과 섬광결정지도(flood map)이다. 최외곽에서 미세한 핀쿠션 왜곡이 발견되었으나, 16개 섬광결정 픽셀들이 명백히 구별되었다. 그림 12는 평면영상에서 추출한 각 픽셀 별 에너지 스펙트럼으로 511 keV 방사선원의 에너지 분해능은 12.7% ~ 19.4% 범위였고, 평균 16.0%였다.

4. 결 론

본 연구에서는 방사선 검출기용 데이터획득장치로서 오실로스코프의 활용 가능성을 평가하였다. 이를 위해 OSC 제어 및 데이

터 처리를 위한 랩뷰 프로그램을 개발하였고, 방사선 모사 파형과 실제 방사선 검출기를 이용한 DAQ 성능 검증을 시도하였다.

방사선 모사 입력 신호의 진폭 변화에 따른 전압스펙트럼분석에서 정점의 위치는 선형적으로 증가하였고, 에너지 분해능은 1~2% 수준으로 측정되었다. 즉, 100 mV부터 2000 mV 진폭변화는 방사선 검출기용 데이터획득장치에 미치는 영향이 미비함을 검증하였다. 또한, 4×4 배열형 방사선 검출기로부터 픽셀들이 명백히 구별되는 획득한 평면영상을 획득하였고, 각 픽셀 별 에너지 분해능은 12.7%~19.4% 범위로 다른 연구들과 비슷한 성능을 검증하였다[2].

본 연구에서 제안한 오실로스코프를 이용한 방사선 검출기용 데이터획득장치는 실험을 통해 만족할 만한 성능을 보여주었다. 따라서, 상용 DAQ나 주문 제작형 DAQ의 추가 구매 없이, 실험실에서 보유한 오실로스코프를 이용하여 고성능의 DAQ 구축 및 활용이 가능함을 시사한다. 또한, OSC 제조사에서 제공하는 라이브러리를 이용하여 랩뷰가 아닌 다른 프로그래밍 언어(C, C++, Python, Matlab 등)를 이용한 데이터획득장치용 프로그램 개발이 가능하다. 특히, 본 연구에 사용된 오실로스코프는 매우 높은 샘플링 속도를 보유하고 있어, 높은 시간분해능을 요구하는 고성능의 TOF-PET 검출기 개발에 용이할 것으로 사료된다. 향후에는 방사선 의료기기 분야에 국한되지 않고, 방사선 검출기를 이용한 개인 피폭 선량계, GM COUNTER, 비파괴 검사장치 분야에도 오실로스코프를 이용한 DAQ의 활용성이 증가할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 신진연구지원사업결과로 수행되었음. (NRF-2015R1C1A1A01051983)

References

- [1] S. J. Ko, H. G. Koo, K. K. Kim, B. S. Kim, S. C. Kim, et al., Introduction to Radiologic Science 2nd edition, Chung Ku, pp. 12~26, 2010.
- [2] J. Kang, Y. Choi, K. J. Hong, W. Hu, J. H. Jung, Y. S. Huh, B-T Kim, "A small animal PET based on GAPDs and charge signal transmission approach for hybrid PET-MR imaging" J. Instrum. 6(8), pp. P08012, August 2011.
- [3] J. Kang, Y. Choi, K. B. Kim, J. H. Jung, W. Hu, Y. H. Chung, "A depth-Encoding PET Detector inserting Glass Plate Between Crystal Layers" IEEE Trans. Nucl. Sci., 61(3), pp. 1059~1065, June 2014.

저 자 소 개



양 진 규(Jingyu Yang)

2017년 2월 전남대학교 의공학과 졸업(공학사) 2017년 3월~현재 전남대학교 대학원 바이오메디컬공학협동과정 석사과정



강 지 훈(Jihoon Kang)

2007년 전남대학교 전기공학과 졸업(공학사). 2009년 성균관대학교 대학원 의과대학 석사졸업(의학석사), 2012년 성균관대학교 대학원 의과대학 박사졸업(의학박사). 2012년 3월~2015년 2월 삼성전자주식회사 의료기기사업부 책임연구원. 2015년 3월~현재 전남대학교 의공학과 조교수

Tel : 061-659-7363

Fax : 061-659-7369

E-mail : jihoon.kang@jnu.ac.kr