
NaI(Tl) Scintillator를 이용한 휴대용 방사선 검출 장치 구현에 대한 연구

이준휘* · 조윤희* · 이윤호* · 임익찬* · 김영길**

Research for realization of platform of portable radiation detector
using NaI(Tl) Scintillator

Jon-hwey Lee* · Yool_hee Joh* · Yoon-ho Lee* · Ik-chan Lim* · Young-kil Kim**

이 논문은 2011~2012년도 한국해양과학기술원 연구비를 지원받았음

요 약

전 세계적으로 해운물류 안전·보안체계가 강화됨에 따라 국가물류보안 체계 구축을 위한 유비쿼터스 기술 기반의 해운물류 안전·보안 핵심기술 개발이 이루어지고 있다. 현재까지의 U-기반 해운물류 안전보안 시스템 개발과 관련하여 X-선을 이용한 3차원 검색장치 즉, 화물검색장치 개발에 대한 핵심기술을 개발해 오고 있고, 추가적으로 감마선을 검출할 수 있는 휴대용 방사선 검출 장치의 개발 필요성이 높아지고 있다.

본 논문에서는 방사선에 의한 인체, 물체 및 공공상의 장해를 미연에 방지하기 위한 고속의 휴대용 방사선 검출 장치 플랫폼 구현에 대한 연구를 제안하고자 한다.

ABSTRACT

Over the world, the development of critical technology for the safety and security of coastal distribution based on ubiquitous computing is being processed to meet the bottom lines of governmental regulations. Currently, 3D detectors using X-rays for freight search technology are being developed concerning U-based shipping security systems. In addition to that, there are increasing needs for developing portable radiation detector to detect gamma rays.

The purpose of the thesis is to suggest the research of high speed portable gamma rays detector platform to prevent disorder caused to humans and public objects.

키워드

방사선, NaI(Tl), 신틸레이터, 해운물류, 감마선

Key word

Radiation, NaI(Tl), Scintillator, coastal distribution, gamma ray

* 준회원 : 아주대학교 전자공학과 석사 과정

접수일자 : 2012. 08. 07

** 종신회원 : 아주대학교 전자공학과 교수 (교신처자, ykkim@ajou.ac.kr)

심사완료일자 : 2012. 09. 15

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.10.2323>

©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

1.1. 연구배경 및 목적

현재까지의 U-기반 해운물류 안전보안 시스템 개발과 관련하여 화물에 대한 100% 검색이 의무화 되고 있다. 이 같은 국제적인 흐름과 추세를 고려할 때 안전, 보안제도가 앞으로 글로벌 메가 트렌드로 정착될 것이라는 판단에 따라 대비책을 마련하는 것이 시급하다. 이에 따라 세계적인 물류보안 강화 동향을 수동적으로 받아들이기 보다는 적극적으로 활용하는 전략이 절실하다는 입장을 피력하였다. 또한 우리나라의 항만 경쟁력 확보와 물류 서비스 고도화를 위해서는 국가 물류보안 전략이 필요하다.

현재 우리나라 물류보안제도의 문제점을 바탕으로 국제적인 동향을 살피고, 이에 따라 현재 운영되는 제도를 어떻게 개선해야 할 것인지를 검토한 후 국가 물류보안 체제 구축 방안을 제시하는데 초점을 두고 있다. [1]

해운 물류 안전보안과 관련하여 방사선 검출 장치의 필요성이 높아지고 있는 실정이다. 특히, 보관, 운반 및 기타 취급 컨테이너 내부에 방사선 물질이 있을 경우 방사선에 의한 인체, 물체 및 공공상의 피해를 입을 수 있는 상황에 놓이게 된다. 이와 관련하여 휴대할 수 있는 방사선 검출 장치에 대한 국가적 수요가 발생되고 있다.

그러나 휴대용 방사선 검색장치는 국제 해운물류의 안전보안을 위해 국가적으로 확보되어야 하는 핵심기술임에도 불구하고 아직까지 연구가 진척되고 있지 않아, 당해 연도에 관련 핵심기술에 대한 연구를 시작하는 것을 계획하고 있다.

본 논문에서는 인체, 물체 등에 영향을 미치는 방사선 핵종의 유무와 위험을 감지할 수 있는 휴대용 방사선 검출센서 NaI(Tl) 신틸레이터를 이용한 고속의 휴대용 방사선 검출장치를 개발 하고자 한다.

1.2. 기대 효과

휴대용 방사선 검출장치의 전체적인 구조와 방사선 검출 센서의 동작원리를 이해하여 이를 토대로 최적화된 휴대용 방사선 검출장치를 구현해 낼 뿐 아니라 유사 과제에 이를 적용할 수 있는 지표가 된다.

또한 적합한 나노 기술을 이용한 센서를 플랫폼에 적용하여 효과적인 검출기 구현이 가능할 것으로 예상된다.

II. 하드웨어 설계

그림 1은 휴대용 방사선 검출장치의 블록도를 나타내고 있다. 휴대용 방사선 검출장치는 크게 신틸레이터가 있는 센서 부분, 센서 신호를 처리하는 아날로그 회로 부분, 그리고 처리된 신호를 통해 스펙트럼 구성 및 핵종을 파악하는 Cortex A8 플랫폼 부분으로 나눌 수 있다.

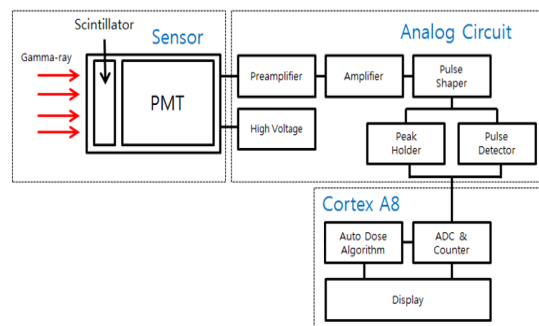


그림 1. 휴대용 방사선 검출장치 블록도
Fig. 1 Block diagram of portable radiation detector

2.1. 센서 부분

센서 부분을 보면 PMT(Photomultiplier Tube)와 신틸레이터로 구성되어 있다.

신틸레이터는 무기 신틸레이터와 유기 신틸레이터가 있다. 무기 신틸레이터로는 NaI(Tl), ZnS(Ag), Cs(Tl), LiI(Tl) 등이 존재한다. 그 중에서도 NaI(Tl)이 감마선에 대하여 검출 효율이 높고, 광전효과가 크기 때문에 널리 사용된다. 유기 신틸레이터로는 안드라신이 대표적이다.

NaI(Tl) 신틸레이터는 방사선이 입사되었을 때, 충돌이 일어나면서 빛을 발생시키는 형광 물질을 말한다. 이 센서는 붕괴시간(250ns)이 비교적 빠르고 광전환 효율이 우수하며, 발생한 섬광 파장(410nm)이 음극이 가장 민감하게 흡수하는 파장(420nm)과 거의 일치하여 γ -ray를 검출하는데 효율이 높아 대표적으로 사용되고 있다. [2]

PMT는 센서에서 나오는 미세한 빛을 전류로 바꿔 증폭시켜 아날로그 신호로 출력시켜주는 역할을 한다.

그림 2는 PMT 동작과정을 설명하고 있다.

Nal(Tl) 신틸레이터에 방사선이 조사되면 섬광물질과 반응하여 형광물질을 방출한다. 이 빛은 PMT의 Photocathode에 유도되고 여기서 빛은 광전자로 바뀌게 된다. 이렇게 방출된 광전자는 PMT 속의 HV(High Voltage)가 인가되어 있는 Dynode에 의하여 순차적으로 증배되고 최종적으로 Anode에 수집되게 된다. 이는 전하 펄스를 형성하게 되고, 출력전류신호를 제공한다. [2]

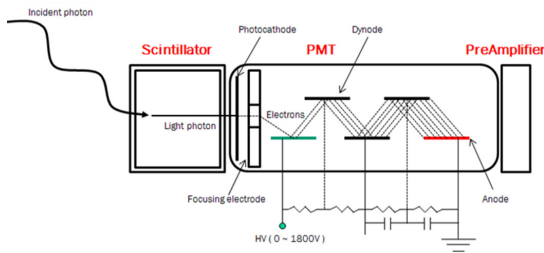


그림 2. PMT 내부 구조 및 동작 과정
Fig. 2 Internal structure of PMT and course of operation

2.2. 아날로그 부분

아날로그 부분은 Preamplifier, Amplifier, Pulse shaper 그리고 Pulse detector 및 Peak holder로 구성되어 있다.

Preamplifier는 PMT의 Anode에 모인 전하 펄스를 작은 커패시터에 축적하고 전압펄스로 변환하여 처리하는 역할을 한다.

증폭된 전압펄스는 음의 펄스로 발생되므로 반전 증폭기를 사용하여 양의 펄스로 변환시켜 준다. [3]

2.2.1. Pulse Shaper

Pulse shaper는 가우시안 형태의 펄스로 바뀌게 되는 것이다. 가우시안 펄스는 Noise filter와 Higher Counting rate 효과를 얻을 수 있다.

이 펄스의 경우 시간의 경과에 따라 펄스가 위, 아래로 변하는 현상이 발생된다. 이 문제를 막기 위한 대안으로 CR-RC회로를 설계하여 시정수τ에 따라 특성을 변경하여 Bipolar 형태로 펄스가 출력되게 한다.

그림 3은 CR과 RC 회로 효과를 나타내고 있다. CR과 RC 값을 변화시켜 시정수τ를 조절할 수 있다. [4]

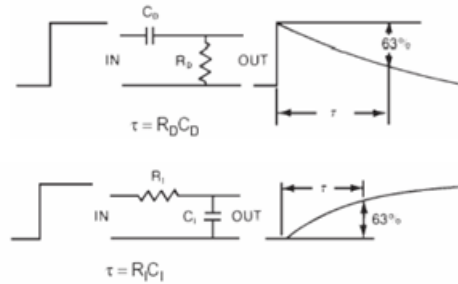


그림 3. CR circuit(위)과 RC Circuit(아래)
Fig. 3 CR circuit(top) and RC circuit (bottom)

2.2.2. Peak Holder

방사선의 핵종을 분석하기 위해서는 펄스의 피크를 찾아야 한다. 이 역할을 하는 것이 바로 Peak holder이다. 커패시터의 충전과 방전 특성을 이용하여 구현한 Holder 회로를 통해 피크를 DC 값으로 유지시켜 준다. 커패시터의 크기에 따라 전체적인 특성이 변하게 된다. 즉, 용량이 커지면 빠른 펄스에서 즉각 반응을 할 수 없을 뿐 아니라, 작은 신호를 검출할 수 없게 된다. 용량이 작아지게 되면 피크에서 Baseline으로 빠르게 떨어지기 때문에 DC를 유지할 수 없게 된다. 피크를 DC로 유지하기 위해서는 적절한 크기의 용량으로 사용해야 한다.

2.2.3. Pulse Detector

Pulse detector는 단어의 의미 그대로 펄스가 발생하였음을 인식하고 알려주는 부분이다.

즉, 펄스가 발생하여 피크가 DC로 유지될 때 Detector에서 Enable 신호를 플랫폼으로 보내주면 이 신호를 기준으로 하여 내부 ADC를 통해 데이터를 읽어오고, Reset을 통해 Holder의 DC값을 0으로 초기화시켜 준다.

그림 4는 구현한 아날로그 회로의 모습이다.

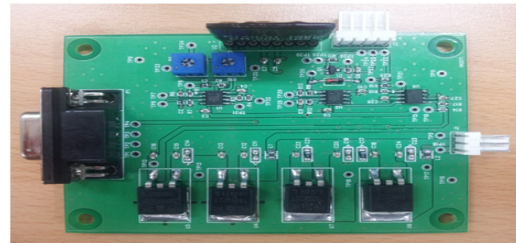


그림 4. 방사선 검출을 위한 아날로그 회로
Fig. 4 Analog circuit for detecting radiation

2.3. Cortex A8 플랫폼 부분

본 논문에서 제안한 Cortex A8 플랫폼을 통해 최종적으로 나온 진압펄스를 ADC를 통해 데이터를 전송받고, 그 이후 Reset신호를 보내 DC값을 초기화 시켜준다.

입력 받은 데이터를 크기별로 계수하여 데이터베이스를 만든다. ADC의 크기를 선량 알고리즘을 통해 에너지로 변환하여 핵종을 알아내고, 계수한 값을 이용하여 핵종의 양을 파악한다.

본 휴대용 방사선 검출장치에서 사용한 ARM Cortex-A8 프로세서는 ARM사의 Application Micro Processor로 최대 1GHz의 우수한 성능과 전력 효율성을 특징으로 300mW 이하의 전력을 소모한다. ARMv7 아키텍처에서 사용할 수 있는 모든 신기술이 구현된 첫 번째 ARM 프로세서이다.

그림 5는 S5PV210을 이용한 Cortex A8 블록도를 나타내고 있다.

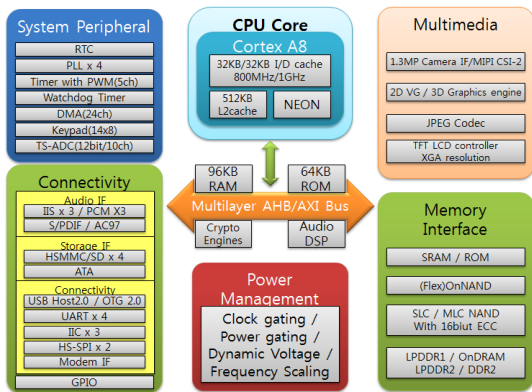


그림 5. S5PV210을 이용한 Cortex A8 블록도
Fig. 5 Block diagram of Cortex A8 using S5PV210

S5PV210은 최적화된 하드웨어 성능을 제공하기 위해 64bit 내부 버스 구조를 가지고 있다. 메모리 시스템으로는 병렬 접근을 위한 Flash 외부 메모리 포트와 High band DRAM을 가지며, DDR2를 지원한다. 멀티미디어 시스템에서는 방사선 검출 에너지 스펙트럼을 나타내기 위한 TFT LCD Display가 가능하도록 컨트롤러가 내장되어 있다. System peripheral은 측정할 수 있는 시간을 계산해주기 위한 Timer with PWM, 데이터를 받기 위한 ADC, 메모리와 메모리 또는 메모리와 주변 장치 간에 데이터 전송을 위한 DMA(Direct Memory

Access)가 있다.

제안한 플랫폼은 안드로이드 OS 기반으로 Gingerbread를 사용하고 있다. 내부 ADC를 사용하기 위한 하드웨어간의 인터페이스를 담당하는 디바이스 드라이버 개발과 핵종을 표현하기 위한 TFT LCD Display도 구현한다.

III. 실험 및 결과

본 실험은 휴대가 가능한 NaI(Tl) 신틸레이터 센서에 방사선 핵종 샘플을 접근시킨다. 이 때 발생한 신호는 아날로그 회로와 Cortex A8 플랫폼을 통해 핵종으로 분석된다. 연구 목적으로 사용되는 방사선 핵종은 인체에 무해할 정도로 약하기 때문에 근접하여 측정해야 정확하게 측정이 가능하다.

그림 6은 Preampifier와 Pulse shaper의 출력을 나타낸 것이다. 센서에서 출력된 전류펄스를 Preampifier를 이용하여 전압 펄스로 변환한 파형이다. 이 파형을 Peak shaper를 통해 가우시안 펄스로 변환하여 두 파형을 비교하였다.

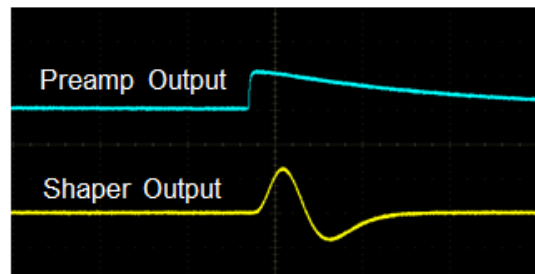


그림 6. Preampifier 와 Pulse Shaper의 출력
Fig. 6 Output of preamplifier and pusle shaper

그림 7은 RC회로의 수에 따른 펄스의 변화에 대해서 나타내고 있다. 시정수를 줄여주면서 RC 회로를 늘려 피크와 시정수를 줄여서 같은 시간에서 많은 피크가 발생하도록 하였다. 본 논문에서는 CR-(RC)² 회로를 이용하였으며, 시정수는 4μs를 사용하였다.

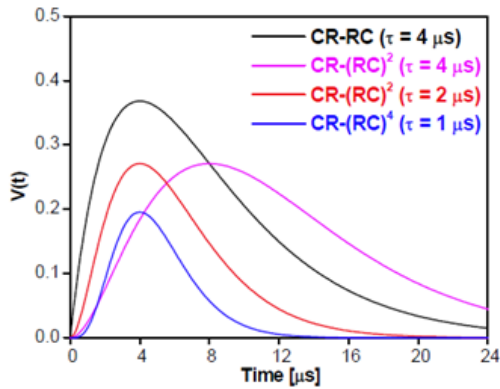


그림 7. CR-(RC)ⁿ 회로를 지난 출력
Fig. 7 Output using CR-(RC)ⁿ circuit

그림 8은 Pulse shaper와 Pulse detector의 출력파형을 나타내고 있다.

Pulse detector는 신호의 발생 여부를 판단할 때 사용된다. 실제 신호에서 펄스 판단기준은 노이즈를 제외한 방사선이 들어왔을 때의 전압 크기를 기준으로 설정한다. Pulse shaper에서 출력된 파형을 비교기를 통해 0.3V 이상에서 High 값이 유지되고 그 이하에서는 Low 값이 유지되게 하는 Pulse detector의 파형을 확인할 수 있다.

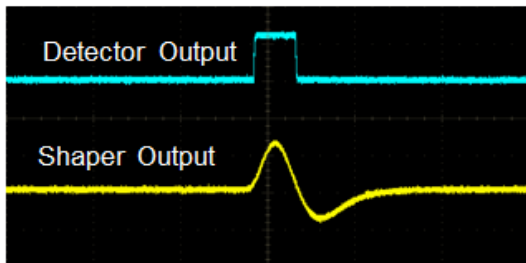


그림 8. Pulse Shaper 와 Pulse Detector의 출력
Fig. 8 Output of pulse shaper and pulse detector

피크의 크기가 방사선 원소에 따라 변하고 빈도수는 세기에 따라 변하기 때문에 정확한 피크의 크기를 얻는 것은 방사선 원소를 검출하는데 있어 굉장히 중요하다고 할 수 있다. Pile-up 현상을 그대로 둔 상태로 분석을 하게 되면 여러 신호가 겹치게 되어 제대로 검출되지 않을 수 있다. 그렇기 때문에 Pile-up rejection 과정이 반드시 필요하다. Pile-up이 생기는 경우 우선 두 펄스를 Shaper

를 통해 분별해 내게 된다. 그리고 첫 번째 펄스가 끝나면 일정 시간동안 다음 펄스를 무시하게 된다. 이때 일정시간의 기준이 되는 것이 Detector의 또 다른 역할이다.

그림 9는 Pulse shaper와 Peak holder의 출력을 보인다.

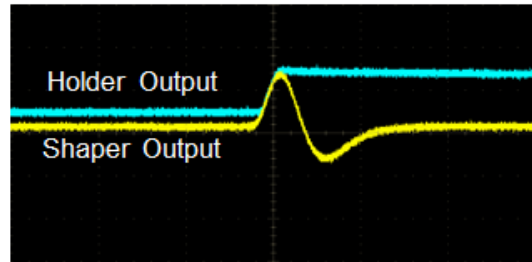


그림 9. Pulse Shaper와 Peak Holder의 출력
Fig. 9 Output of pulse shaper and peak holder

Pulse shaper의 피크 값을 찾아 커패시터를 이용하여 DC값으로 유지 시켜 준다. DC값을 ADC를 통해 읽은 후에는 반드시 전압의 크기를 0으로 초기화하여 다음 펄스를 기다린다. 방사선의 경우 일정한 규칙에 따라 발생되는 것이 아니라 일정 확률로 발생하기 때문에 수시로 펄스의 발생을 확인해야 한다.

DC값을 읽어 크기별로 계수한 후, ADC의 크기에 따라 선량알고리즘을 통해 핵종의 에너지로 변환하고, 계수된 값을 통해 그 핵종의 양을 예측할 수 있게 된다. 이를 통해 방사선 여부를 확인하여 위험을 알려줄 뿐 아니라, 검출된 핵종의 종류와 그 양을 파악할 수 있다.

IV. 결 론

해운 물류 안전보안과 관련하여 화물 검색을 의무화하고 있다. 모든 컨테이너를 이동시켜 검색이 시간적으로 불가능하기 때문에 휴대용 방사선 검출기를 이용하여 빠른 검색을 실시한다. 본 논문에서는 방사선에 의한 공공상의 장애를 미연에 방지하고자 휴대용 방사선 검출 장치 구현을 연구하고 있다.

NaI(Tl) 신틸레이터에서 발생하는 신호를 아날로그 회로를 거친 후 디지털로 변환하고, Cortex A8 플랫폼을 이용한 데이터분석을 통해 에너지 스펙트럼을 얻어 핵종을 파악할 수 있다.

앞으로 나노기술이 적용된 센서를 이용하여 여러 플랫폼에 적용시켜 소형화가 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 한국해양과학기술원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 최제선외4명, 국가 물류보안체제 확립방안 연구, 한국해양수산개발원, 2007
- [2] 최용 외8명, NaI(Tl) 섬광결정과 위치민감형 광전자 증배관을 이용한 소형 감마카메라의 신호 특성 고찰, 대한핵의학회지, 제34권, 제1호, 2000
- [3] 박성한, 방사선 취급 기술, 한국과학기술원 연구처, 1996
- [4] Cortex A8 Reference, <http://www.mvtool.co.kr>

저자소개



이준휘(Jon-Hwey Lee)

2011년 아주대학교 전자공학과
학사
2011년~현재 아주대학교
전자공학 석사과정

※ 관심분야: Embedded system



조윤희(Yool-Hee Joh)

2011년 아주대학교 전자공학과
학사
2011년~현재 아주대학교
전자공학 석사과정

※ 관심분야: RFID Platform, Embedded system



이윤호(Yoon-Ho Lee)

2011년 아주대학교 전자공학과
학사
2011년~현재 아주대학교
전자공학 석사과정

※ 관심분야: Embedded system



임익찬(Ik-Chan Lim)

2011년 대전대학교
정보통신공학과 학사
2011년~현재 아주대학교
전자공학 석사과정

※ 관심분야: Embedded system



김영길(Young-kil Kim)

1978년 고려대학교 전자공학과
학사
1980년 한국과학기술원 석사
1984년 ENST(프랑스) 박사

1984~현재 아주대 전자공학과 교수
※ 관심분야: Embedded System, 초음파 의료기기,
Mobile 의료정보 시스템, RFID Platform