

Scintillator에 온도 보정 알고리즘을 적용한 A9기반의 디지털 휴대용 방사선 검출기 구현

임익찬¹ · 박지오^{2*} · 김영길³

Implementation of A9-Based Digital Portable Radiation Detector with the Algorithm of Temperature Compensation in Scintillator

Ik-Chan Lim¹ · Geo Park^{2*} · Young-kil Kim³

¹Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

^{2*}Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

³Department of Electronic Engineering, Ajou University, Suwon 16499, Korea

요 약

세계적으로 해운물류 안전 보안체계가 강화됨에 따라 국가물류보안 체계 구축을 위한 해운물류 안전·보안 핵심 기술에 관심이 높아지고 있다. 이러한 국제적 정서에 발맞추어, 국내에서도 감마선 핵종 검출을 위한 휴대용 방사선 검출기의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 또한 많은 부품이 국산화 되고 있다. 본 논문에서는 기존의 휴대용 방사선 검출기에 사용되던 Pulse Shaping Board를 대신하여 핵종을 판별하고 Scintillator의 온도 변환 효율을 보정하는 알고리즘을 구현하였다. 이를 통해 검사 성능을 향상시키고 소형화 된 A9기반의 디지털 휴대용 방사선 검출기 구현에 대한 연구를 제안한다.

ABSTRACT

In accordance with the global strengthening of security systems for the safety of the shipping and logistics industry, the development of core technologies within the field has become a key in the establishment of Korea's own national logistics security system. Further in line with these global developments, there is growing attention within Korea to the development of portable radiation detectors capable of detecting gamma ray nuclides. In addition, many parts are becoming localized. In this research, instead of Pulse Shaping Board, which is used in existing portable radiation detectors, we have implemented an Algorithm to discriminate nuclides and correct the temperature conversion efficiency of the scintillator. This paper aims to improve the performance of these devices through the implementation of a temperature conversional algorithm within the scintillator of the A9-based digital portable radiation detector.

키워드 : 신틸레이터, 방사선, 온도, 검출기

Key word : Scintillator, Radiation, Temperature, Detector

Received 26 June 2017, Revised 14 July 2017, Accepted 15 September 2017

* Corresponding Author Geo Park(parkgeo@ajou.ac.kr, Tel: 82-31-219-2378)

Department of Electronic Engineering, Ajou University, 16499, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.10.1981>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© 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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

전 세계적으로 방사선 노출 위험에 대한 경각심이 높아지며 국가물류보안 체계에 대한 방사선 검출 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다.

항만에서 수입 컨테이너 화물을 검색할 때 X선을 활용한 3차원 컨테이너 검색대 형태의 대규모의 검색이 이루어지고, 세부 검색을 위해 휴대용 형태의 방사선 검출기로 2차 검색을 실시한다.

이 중 휴대용 방사선 검출기는 국내에서 연구 개발이 꾸준히 진행 되고 있으며 최근에는 소형화와 검출 성능 향상, 안정성을 높이는 연구들이 이루어지고 있다. 기존의 휴대용 방사선 검출기는 방사선을 인식하기 위한 센서와 신호의 검출을 위한 Pulse Shaping Board, 그리고 검출된 신호를 분석하고 결과를 보여주기 위한 임베디드 플랫폼, 그리고 온도 보정에 사용되는 온도 센서 회로들로 구성되어 있다.

해당 구성은 Pulse Shaping Board로 인해 별도의 전력 소모와 노이즈 발생의 원인이 되며, 온도센서와 주변소자 구성으로 휴대용 측면에서 단점이 존재한다.

본 연구에서는 Scintillator에 온도 보정 알고리즘을 적용하여 검출 성능을 향상시킨 디지털 방식의 휴대용 방사선 검출기 구현에 대한 연구를 진행하였다. 쿼드코어 프로세서인 ARM Cortex-A9의 임베디드 플랫폼을 기반으로 기존에 사용되었던 Pulse Shaping Board를 배제하여 소프트웨어 알고리즘만으로 Pulse의 측정값을 찾고, Scintillator에서 발생하는 온도 변환 효율을 특정 시료들을 이용하여 보정하는 알고리즘을 제안한다.

II. 관련연구

2.1. Scintillator(NaI)

방사선이 Scintillator 안에 입사를 하게 되면 Scintillator와 방사선이 상호작용을 한다. 방사선 에너지를 흡수하여 충만대(Valence band)에 있던 전자가 전도대(Excitation band)로 여기되었다 천이하면서 가시광선을 발생시키게 된다. 붕괴시간이 250ns로 비교적 빠르고 광전환 효율이 우수하며, 감마선을 검출하는데 효율이 높아 가장 많이 쓰인다.

본 연구에서 사용된 NaI는 보편적으로 많이 사용되고 있으며 이것은 감마선에 대한 검출효율이 높고 형광 효율도 비교적 크다.

그림 1을 보면 Scintillator는 온도가 변화하면 방사선 센서의 변환효율이 변화하는 특성을 가지고 있다[1]. 30도일 때 변환효율이 최대이며, 저온영역에서는 1도가 감소할 때마다 변환효율이 0.3%씩 감소하고, 고온영역에서는 1도가 증가할 때마다 변환효율이 0.23%씩 감소한다. 또한, 고에너지 대역에서는 저효율변환, 저에너지 대역에서는 고효율 변환 특성을 가진다[2].

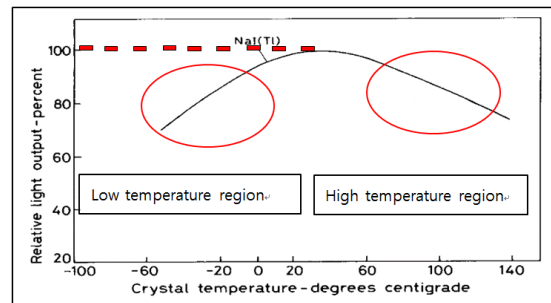


Fig. 1 Efficiency of Transition of Scintillator Based on the Temperature[3]

2.2. PMT

PMT는 Scintillator에서 변환된 빛을 전자로 변환하는 역할을 한다. 내부의 Photocathode를 통해 빛을 전자로 바꾼 후 Dynode와 여러 번 충돌하며 증폭 된다[4]. 발생한 자유전자가 Anode에 수집되어 출력 전류 신호를 제공하게 된다. 이 때, Dynode는 고전압(800~900V)에 연결되어 있다. PMT의 증폭도는 인가되는 전압에 따라 크게 변화한다[5].

전압의 1% 변화에 약 10%의 증폭률이 발생하기 때문에 인가 전압의 안정성이 요구된다.

2.3. PMT Base

PMT Base는 High voltage와 Preamplifier로 구성되어 있다. PMT는 1000V의 고전압으로 동작하며, PMT에서 직접 출력되는 전류신호는 세기가 약하여 분석에 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해 Preamplifier를 통해 신호를 증폭시켜 신호 분석이 용이하도록 만든다. 그림 2는 감마선을 감지하고 신호를 발생시키는 과정을 보여준다.

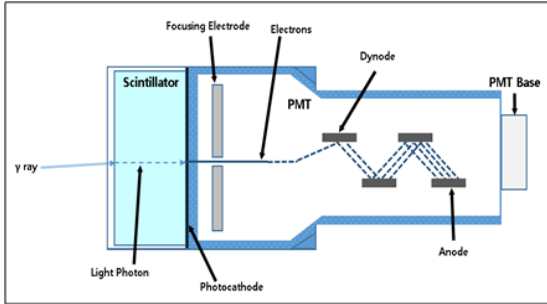


Fig. 2 Radiation Sensor without the Insertion of Light Pipe

2.4. 아날로그 휴대용 방사선 검출기와 온도 보상

아날로그 휴대용 방사선 검출기는 크게 3가지로 구성된다. 방사선을 감지하는 방사선 센서, 신호의 검출과 증폭을 위한 Pulse Shaping Board[6], 신호를 A/D Conversion하여 핵종을 판별하고 사용자에게 디스플레이하는 임베디드 플랫폼으로 구성된다[7]. 이 중, 방사선 센서는 Scintillator, PMT, PMT Base의 구조로 이루어져 있다[8]. PMT의 출력 신호는 음의 신호를 가지고 있다. 이 신호는 1500ns의 펄스폭을 가지고 있으며 측정하는 핵종의 종류에 따라 펄스의 높이가 다르게 나타난다. PMT Base의 출력신호는 펄스 폭이 최대 200us이고, Rise time은 100ns 이하로 매우 빠르다. 신호의 최대 충전값을 인식하기 위하여 PMT Base 뒤에 Pulse Shaping Board를 두어 신호의 변환작업을 한다[9]. Conversion gain은 1eV당 1uV 혹은 6uV이다. 그림 3은 아날로그 휴대용 방사선 검출기 시스템의 사진이다.



Fig. 3 Analog Portable Radiation Detecting System Structure

방사선 센서의 온도에 따른 변환효율의 특징 때문에 에너지 spectrum을 일괄 보정하는 단계가 추가적으로 필요하다. 방사선 센서의 구성요소인 Scintillator는 변

환효율이 100%가 되는 30(상온)를 기준으로 저온영역과 고온영역을 나눈다. 아날로그 휴대용 방사선 검출기의 온도 변화에 따른 변환 효율은 그림 4에 보여진다.

온도 변화가 발생하면, 661KeV에서 최고치를 표현해야 할 Cs-137을 511KeV에서 최고치를 표현하여 Na-22 시료로 오 판단할 수 있다. 또한, 자연방사선과 Cs-137의 저에너지 대역 성분 때문에 100~200KeV 대역에서도 최고치가 표현됨을 확인 할 수 있는데, 이는 Scintillator가 저에너지 대역에서 효율이 높은 특성 때문에 나타나는 현상이다.

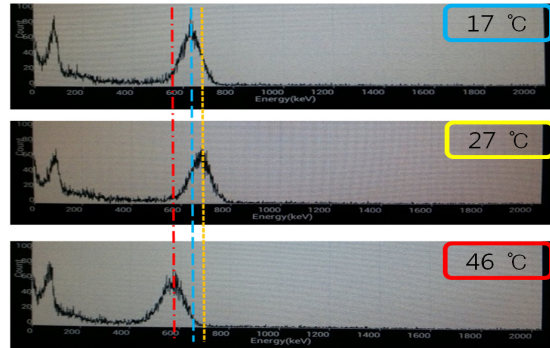


Fig. 4 Changes in Output of Analog Portable Radiation Detecting System without the Application of Temperature-based Correction

그림 5는 측정된 온도에 따라 보정값을 계산하여 소프트웨어에 반영한 그래프이다. 그래프를 일괄적으로 이동시킴으로써 해당 핵종이 정상적인 위치에서 표현 되도록 보정한다.

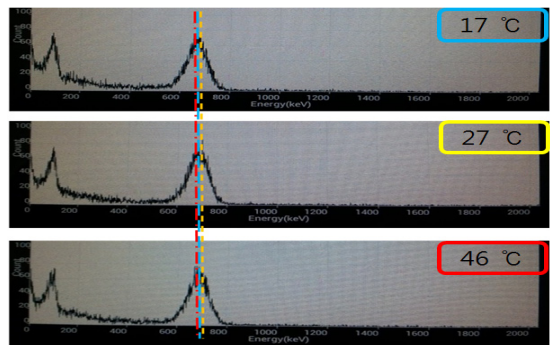


Fig. 5 Changes in Output of Analog Portable Radiation Detecting System with the Application of Temperature-based Correction

보정된 에너지 spectrum은 핵종 판별로 보내지고, 전체 에너지 spectrum 영역에서 핵종 별 영역범위 안의 카운트 수를 합산한다. 합산된 카운트의 수가 일정 수치 이상일 경우 핵종이 검출된것으로 판단하고, 사용자에게 디스플레이 한다.

적용한다. 디스플레이 part는 핵종판별과 디스플레이로 구성된다. 핵종판별은 변환된 에너지 spectrum을 이용해 방사선의 종류와 단일, 멀티 핵종 여부를 판별하고 디스플레이에서 사용자가 핵종 정보와 그래프를 볼 수 있도록 전시한다.

III. 제안하는 온도 보정 알고리즘을 적용한 디지털 휴대용 방사선 검출기

3.1. 디지털 휴대용 방사선 검출기의 구성

디지털 휴대용 방사선 검출기는 아날로그 휴대용 방사선 검출기에서 포함하고 있던 Pulse Shaping Board를 배제하고 방사선 센서의 출력 신호를 임베디드 플랫폼만으로 처리하게 된다[10]. 기존 아날로그 휴대용 방사선 검출기 대비 고속의 측정과 Pulse 검출 알고리즘을 적용하여 정밀하게 샘플링을 수행한다. 그림 6은 기존 아날로그 방식 대비 디지털 방사선 검출기의 시스템 구성 차이를 보여준다.

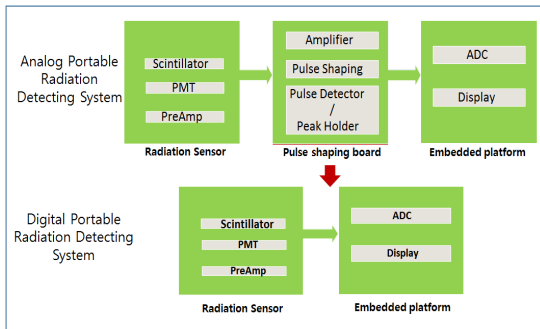


Fig. 6 Structures of Analog Portable Radiation Detecting System and Digital Portable Radiation Detecting System

임베디드 플랫폼 A9의 신호 처리 과정은 그림 7과 같다. 신호 처리 과정은 크게 데이터 part와 디스플레이 part로 나눌 수 있다. 데이터 part는 Pulse 검출부와 에너지 Pairing, 그리고 보정값 적용 단계로 구성된다. Pulse 검출부는 방사선 센서의 신호에서 Pulse 측정값을 찾는다. 에너지 Pairing은 고유 에너지로 표현하기 위한 부분으로써, 입력 받은 Pulse 측정값을 에너지 단위로 변환하여 에너지 spectrum을 만든다. 보정값 적용 단계는 특정 시료를 이용해 구한 보정값을 에너지 spectrum에

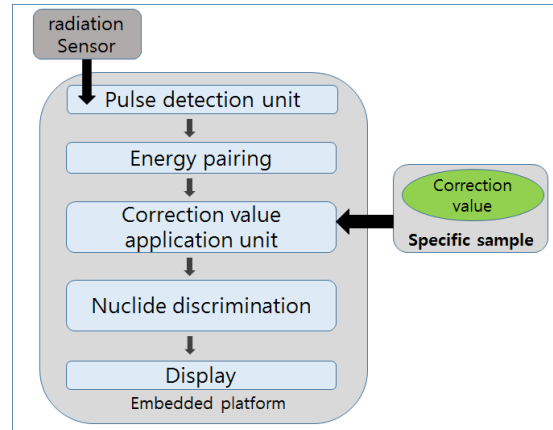


Fig. 7 Signal Processing of Digital Portable Radiation Detecting System

3.2. Pulse 측정값 검출

Pulse 측정값 검출은 디지털 휴대용 방사선 검출기에 서 핵종을 판별하기 위한 과정이다. 기존의 아날로그 휴대용 방사선 검출기는 Pulse Shaping Board를 이용하여 Pulse의 최고값만을 임베디드 플랫폼이 입력 받도록 하였기 때문에 Pulse 측정값을 찾는 과정이 따로 필요 하지 않았다. 하지만 디지털 휴대용 방사선 검출기는 Pulse Shaping Board가 없으므로 별도의 방법으로 Pulse 측정값을 찾아야 한다.

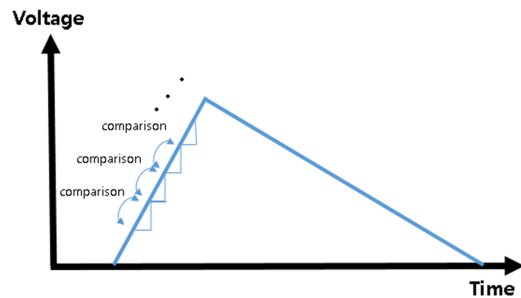


Fig. 8 Principles of Measured Pulse Value Detection Algorithm

Pulse 측정값 검출 방법은 그림 8를 통해 나타내었다. 방사선 센서의 값을 입력 받을 때, 초기값을 저장하고 연속해서 들어오는 새로운 값을 저장된 값과 비교한다. 이 후 새로운 값이 저장된 값 보다 크다면 저장된 값을 새로운 값으로 갱신하여 비교를 반복하고, 새로운 값이 저장된 값 보다 작다면 저장된 값을 Pulse 측정값으로 저장하여 찾고자 하는 Pulse의 측정값을 획득한다.

3.3. 특정 시료를 이용한 온도 보정 알고리즘

그림 9는 디지털 휴대용 방사선 검출기에서 온도 변화에 의해 발생하는 측정값의 차이를 그래프로 보여준다.

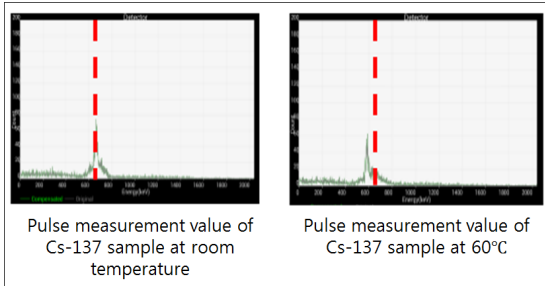


Fig. 9 Errors of Radionuclide Discrimination in Digital Portable Radiation Detecting System

기존 아날로그 휴대용 방사선 측정기에서는 온도 보정을 위해 별도의 온도 센서와 주변회로를 구성하였으나, 디지털 휴대용 방사선 검출기에서는 특정 시료를 활용한 알고리즘의 구현으로 별도의 회로 추가 없이 온도의 변화에 따른 측정값의 변화를 보정한다.

Table. 1 Defined Data Table and Correction Value Expression

Ba-133	270Kev
Na-22	511Kev
Cs-137	661Kev
$\text{Correction Value} = \frac{\text{Specific Sample Energy Spectrum}}{\text{Energy of a Specific Sample Defined in the Defined Data Table}}$	

특정 시료를 이용한 온도 보정 알고리즘은 온도 변화량을 확인할 수 없는 상태에서 Scintillator의 온도 변화

에 대한 출력을 보정하는 방법이다. 최초, 특정 시료를 기반으로 하기 때문에 표 1과 같이 사전에 정의한 Defined Data Table이 필요하다. 이를 이용해 특정 시료에 대한 상온에서의 방사선 에너지를 확인하고 보정값의 계산에 활용하게 된다.

보정식은 일련의 루틴을 통해 보정값을 구한 후 에너지 spectrum을 보정한다. 보정값의 계산에 사용되는 시료의 에너지는 어떤 핵종의 에너지를 적용하여도 무방하며, 본 연구에서는 Cs-137 시료를 활용하여 시험을 진행하였다.

상기의 수식으로 보정값을 구한 뒤, 미지의 핵종을 검출하기 위한 시험 진행에 그 값을 적용하여 온도 변화에 따른 Scintillator의 출력을 보정해주고 핵종을 판별하게 된다. 특정 시료를 이용한 온도 보정 알고리즘은 그림 10을 통해 나타내었다.

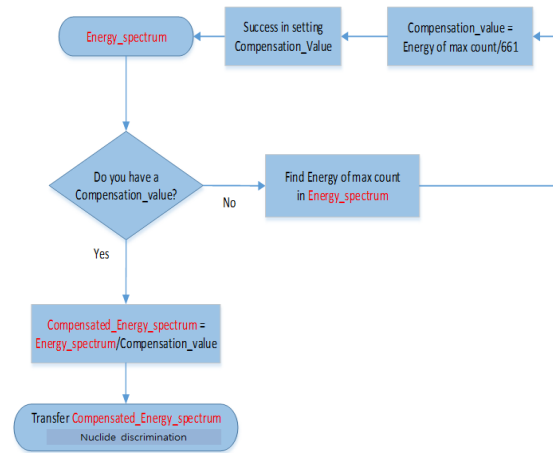


Fig. 10 Algorithm of Measured Pulse Value Correction in Accordance with the Temperature Using Specific Samples

IV. 실험 및 결과

4.1. 실험환경

본 연구의 실험환경은 그림 11과 같다.

안정적인 전원 공급을 위한 파워서플라이, 방사선 시료에서 방출되는 감마선을 검출하기 위한 방사선 센서, 감마선을 방출하는 핵종별 시료, 신호 분석을 위한 A9 기반의 임베디드 플랫폼이 적용되었다.

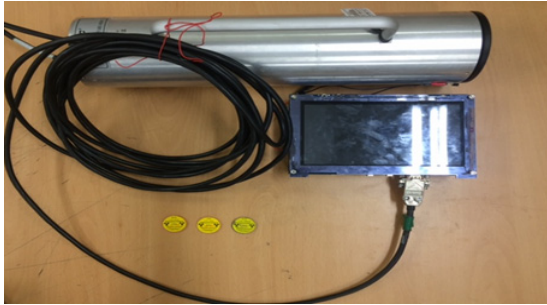


Fig. 11 Study Environment of the Implemented System

방사선 센서는 NaI(Scintillator), 광전자증배관, 전치 증폭기로 구성된 제품을 사용하였다. 휴대용으로 보유 하며 핵종을 판별해야 하므로 이동성과 판별의 정확도를 고려하여 3x3 inch의 크기를 가진 ORTEC사의 Scintillator를 사용하였다. 해당 센서는 High Voltage 회로와 전치증폭기가 포함되어 있기에 신호의 증폭을 위한 별도의 아날로그 회로 없이 적절한 증폭률을 설정하여 디지털 휴대용 방사선 검출기를 구현할 수 있다.

4.2. 온도 보정 전 핵종 측정 결과

실험에는 결과가 명확하게 보일만큼 충분한 세기를 방출하는 감마선 핵종들의 시료를 사용하였다. Ba-133, Na-22, Cs-137 시료를 사용했으며 그림 12, 그림 13, 그림 14는 측정 결과를 그래프로 보여준다.

그래프의 X축은 에너지 대역을 나타내고 Y축은 해당 에너지 대역에서 검출된 Pulse 측정값이 일정 시간 동안 얼마나 발생하였는지(빈도수)를 나타낸다.

시험 결과 각 핵종이 지닌 감마선 에너지의 크기에 따라 에너지 spectrum이 특정 위치에서만 크게 검출되는 것을 확인할 수 있다. 검출된 Pulse 측정값의 빈도수를 판단하여 방사선 핵종의 검출이 가능하다.

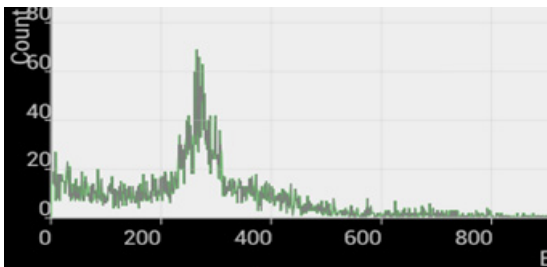


Fig. 12 Results of Ba-133 Measurement

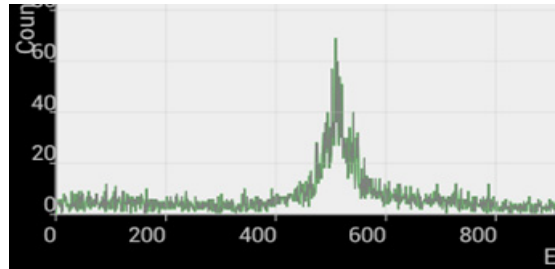


Fig. 13 Results of Na-22 Measurement

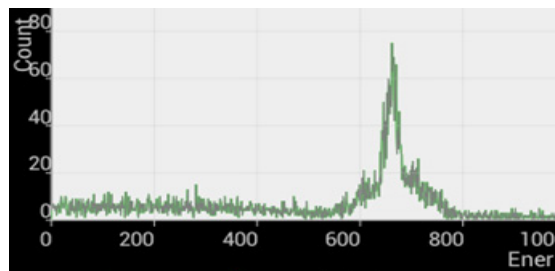


Fig. 14 Results of Cs-137 Measurement

4.3. 특정 시료를 이용한 보정 결과

특정 시료를 이용해 보정값을 설정한 뒤, 시험을 위한 미지의 핵종을 선정하여 측정과 보정을 적용하였으며 실험 결과는 그림 15, 16에 보여준다.

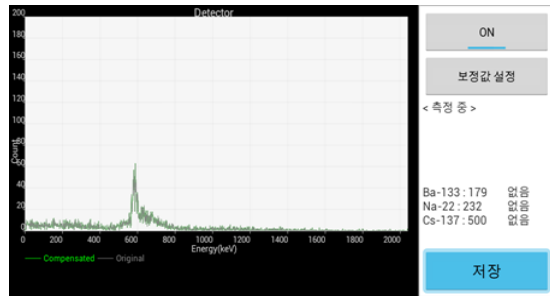


Fig. 15 Selection Stage of the Correction Values

그림 15은 처음 특정 시료를 이용해 보정값을 설정하는 단계이다. 보정값을 구할 때 사용하는 특정 시료는 사용자가 소프트웨어를 통해 선택할 수 있으며 본 실험에서는 Cs-137의 에너지를 기준으로 설정하였다. Cs-137시료를 이용해 측정 했을 때, 약 594KeV에서 나타나고 있다. 해당 단위는 에너지 pairing 단계를 거쳐 표현된 에너지 단위로, 특정 시료를 측정 할 때 얻은 에

너지 spectrum에서 가장 많이 검출된 에너지를 Cs-137의 에너지인 661로 나누어 보정값 0.90을 얻는다. 위와 같은 방법으로 보정값을 설정한 뒤, 사용자가 정보를 알 수 없는 미지의 핵종을 측정하여 앞에서 구한 보정값을 적용한다. 그림 16은 Scintillator 출력의 보정 결과이다. Na-22 핵종을 측정 결과 결과는 약 461Kev에서 최대치를 나타내고 있다. Na-22는 511Kev에서 측정이 되어야 정상이지만 잘못된 측정결과로 인해 정확한 핵종 판단이 이루어지지 않는다. 이를 해결하기 위해 보정값을 적용하면 정상적으로 약 512Kev에서 나타나는 것을 확인할 수 있다.

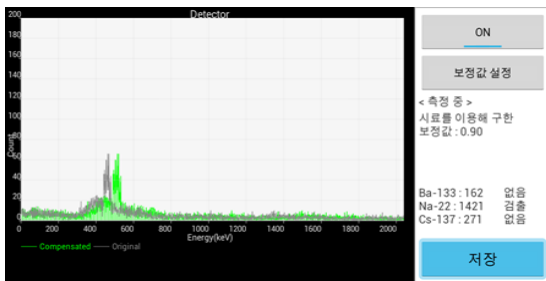


Fig. 16 Application Stage of the Correction Values

그림 17, 18, 19는 저온, 상온, 고온 환경에서 미지의 핵종에 대한 보정값 적용 전/후 측정 결과를 보여준다. 실험은 Cs-137 시료를 적용하여 진행하였다.

그림 17은 저온영역(3℃)에서의 시료 측정 결과이다. 사용자가 정보를 알고 있는 시료를 이용하여 보정값 0.90을 설정한다. 새로 측정된 미지의 핵종에 보정값이 적용되면 온도의 변화로 인해 발생한 Scintillator의 오차를 보정하여 해당 핵종은 약 658KeV에 나타나는 것을 확인할 수 있다.

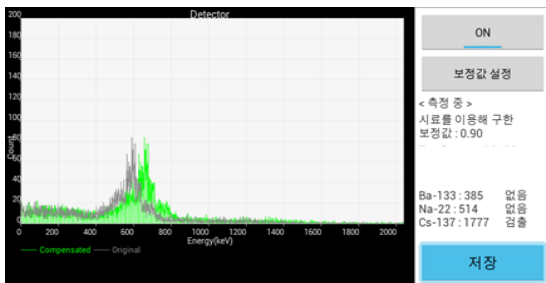


Fig. 17 Results of the Correction in the Low-Temperature Area

그림 18은 상온영역(30℃)에서의 시료 측정 결과이다. 사용자가 정보를 알고 있는 시료를 이용하여 보정값 1.00을 설정한다. 핵종은 정상적으로 약 668KeV에 Pulse 측정값이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

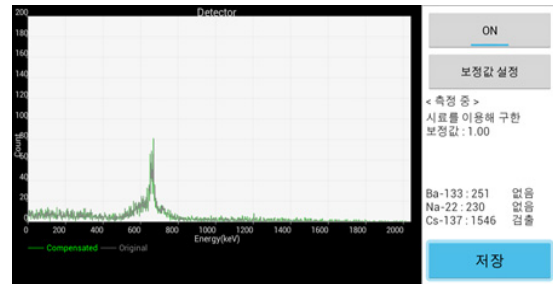


Fig. 18 Results of the Correction at Room Temperature

그림 19는 고온영역(69℃)에서의 시료 측정 결과이다. 사용자가 정보를 알고 있는 시료를 이용하여 보정값 0.91를 설정한다. 새로 측정된 미지의 핵종에 보정값이 적용되면 온도의 변화로 인해 발생한 Scintillator의 오차를 보정하여 해당 핵종은 정상적으로 약 662KeV에 나타나는 것을 확인할 수 있다.

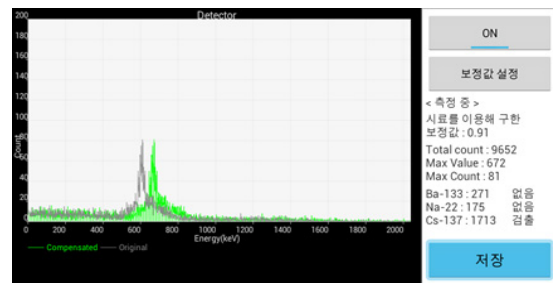


Fig. 19 Results of the Correction at Room Temperature

방사선 센서 정밀도의 영향으로 이론적 에너지의 크기 대비 10Kev 내 오차가 존재하나, 핵종의 판별에는 영향을 끼치지 않는다. 실험 결과 저온, 상온, 고온영역 모두 정상적으로 Pulse 측정값이 보정된 것을 확인할 수 있다.

그림 20은 고온영역(68℃)에서 두 개의 핵종을 측정 한 결과이다. 사용자가 정보를 알고 있는 시료를 이용하여 보정값 0.91을 설정한다. 새로 측정된 미지의 핵종 Ba-133, Cs-137에 보정값이 적용되면 온도 때문에 발생한 Scintillator의 오차를 보정하여 두 핵종은 정상적으

로 약 270KeV와 661KeV에서 나타나는 것을 확인할 수 있다. 실험 결과 두 가지 시료 동시 측정에서도 보정이 정상적으로 이루어진 것을 확인할 수 있다.

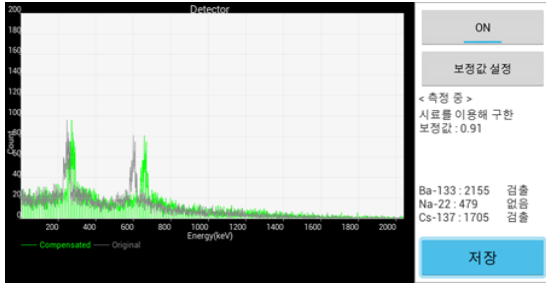


Fig. 20 Results of the Correction in the High-Temperature area Based on the Measurement of the Two Radionuclides

특정 시료를 이용한 보정 알고리즘의 적용 전, 후 비교 결과는 표 2를 통해 정리하였다.

Table. 2 Before and After the Application of the Correction Algorithm

Temp. (°C)	Correction value	Before Applying Algorithm (KeV)	After Applying Algorithm (KeV)
3	0.90	592	658
29	1.00	668	668
69	0.91	602	662

V. 결론

본 연구에서는 기존 아날로그 휴대용 방사선 검출기에서 신호의 감지를 위한 Pulse Shaping Board와 온도 센서를 소프트웨어로 대체하여 Pulse의 측정값을 찾고, Scintillator의 온도 변화 효율을 보정하는 알고리즘을 구현하였다.

기존의 아날로그 휴대용 방사선 검출기는 Pulse Shaping Board와 온도 측정을 위한 회로들로 인해 별도의 전력 공급원이 필요하지만, 디지털 휴대용 방사선 검출기는 소프트웨어로 해당 기능을 대체하였기에 소형화와 제작 비용 절감, 저전력 운용으로 휴대용 관점에서 많은 장점이 존재한다.

현재 방사선 센서에서 사용되는 PMT는 빛을 전기적

인 신호로 변환해주는 역할을 하는데, PMT는 부피가 크고 무게가 많이 나가 휴대용 방사선 검출 시스템의 단점이 된다. 향후 PMT를 Photo diode를 대체하여 적용한다면 이 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. Photo diode는 PMT와 같은 기능을 하는 것으로, 부피가 매우 작고 구동에 사용되는 전압이 약 50v면 충분하기 때문에 PMT의 High Voltage 대비 효율이 높다.

ACKNOWLEDGMENTS

This study is supported by Ajou University in 2017. We acknowledge and appreciate the great support from the faculties and the engineering department of Ajou University.

REFERENCES

- [1] K. T. Han, W. J. Yoo, S. H. Shin, D. Y. Jeon, J. Y. Park, B. G. Park, and B. S. Lee, "Development of Fiber-optic Radiation Sensor Using LYSO Scintillator for Gamma-ray Spectroscopy," *Journal of Sensor Science and Technology*, vol. 21, no. 4, pp.287-292, Apr. 2012.
- [2] J. H. Lee, "Research for realization of platform of portable radiation detector using NaI(Tl) Scintillator," *Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 16, no. 10, pp.2323-2328, Oct. 2012.
- [3] Efficiency of Transition of Scintillator Based on the Temperature. [Internet]. Available: <http://www.lnf.infn.it/esperimenti/gedi/images/Fig04.gif>.
- [4] Efficiency of Transition of Scintillator Based on the Temperature. [Internet]. Available: <http://www.lnf.infn.it/esperimenti/gedi/images/Fig04.gif>.
- [5] Radiation Sensor without the Insertion of Light Pipe. [Internet]. Available: <http://www.ortec-online.com/download/905-Series.pdf>.
- [6] J. Navařik, "Precise Compact System For Ionizing Radiation Detection And Signal Processing With Advanced Components Integration And Electronic Control," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 55, no. 4, Sep. 2015.
- [7] T. K. Kwon, "Research of Detection performance

enhancement from portable radiation detection platform based on Cortex-A9,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.18, no.6, pp.1488-1493, Jun. 2014.

[8] Conversion gain. [Internet]. Available: <http://www.ortec-online.com/download/296.pdf>.

[9] J. G. Seo, “An implementation of portable gamma ray detection platform using Cortex-A8,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 4, pp.1028-1033, Apr. 2013.

[10] Dalvic virtual machine. [Internet]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Dalvik_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dalvik_(software)).



임익찬(Ik-Chan Lim)

2013년 아주대학교 전자공학과 석사
2017년 아주대학교 의용공학과 박사과정
2013년 ~ 현재 LIG넥스원 유도무기기술연구소 선임연구원
※관심분야 : 임베디드 시스템, 실시간 운영체제, 시스템 프로그래밍



박지오(Geo Park)

2016년 아주대학교 전자공학과 학사
2016년 ~ 현재 아주대학교 전자공학과 석사과정
※관심분야 : 임베디드 시스템, 어레이 검출 시스템



김영길(Young-Kil Kim)

1978년 고려대학교 전자공학과 학사
1980년 한국과학기술원 석사
1984년 ENST(프랑스)박사
1984년 ~ 현재 아주대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : 임베디드 시스템, 초음파 의료기기, Mobile 의료정보 시스템, RFID Platform