

# A Study on the Improvement of Gamma Ray Energy Spectrum Resolution through Electrical Noise Reduction of High Purity Ge Detector

Samyol Lee

Department of Radiological Science, Dongseo University  
Center for Radiological Environment & Health Science, Dongseo University

Received: December 24, 2020. Revised: December 30, 2020. Accepted: December 31, 2020.

## ABSTRACT

In the gamma-ray energy spectrum study, nuclide analysis through energy analysis is very important. High-purity Ge detectors, which are commonly used for gamma-ray energy measurements, are commonly used because of their high energy resolution and relatively high detection efficiency. However, in order to maintain a high energy resolution, the semiconductor detector has a problem in that it is difficult to maintain the original performance if the noise generated from the surrounding environment is not effectively blocked, and the effect of the expensive device is not achieved. Therefore, in this study, ground loop isolator (NEXT-001HDGL) was used to remove the electrical noise generated from the detector. In order to test the effect of improving energy resolution, HPGe detection device newly installed in the proton accelerator KOMAC was used. In the case of gamma-ray energy 2614 keV, the energy resolution was improved from  $(0.16 \pm 0.02) \%$  to  $(0.11 \pm 0.01) \%$ , and in the case of gamma-ray energy 662 keV of  $^{137}\text{Cs}$  isotope, the energy resolution was improved from  $(0.72 \pm 0.07) \%$  to  $(0.27 \pm 0.03) \%$ . This result is considered to be very useful for the gamma ray spectrum study using the HPGe detection equipment of KOMAC(Korea Multi-Purpose Accelerator Complex).

Keywords: Energy Resolution, Electric noise, HPGe detector, Gamma-ray, Energy spectrum

## I. INTRODUCTION

전기적인 장치를 사용하여 정밀한 측정값을 구해야 하는 실험에서 전기 잡음 문제는 실험 결과의 정확도를 떨어뜨리는 결정적인 역할을 한다<sup>[1]</sup>. 특히 환경방사선 측정의 핵종분석에 사용되는 검출기로 감마선 에너지를 정확하게 측정하는데 사용되고 있는 HPGe검출기는 장치의 특성상 전기적 잡음에 매우 민감하게 작용하며 그 측정결과는 전기적 잡음의 정도에 따라서 매우 달라지는 양상을 보여주고 있다<sup>[2]</sup>. 특히 양성자와 중성자 핵반응을 통해서 발생하는 다양한 감마선들은 비슷한 에너지들이 많고 시간에 따라서 붕괴되는 방사선의 에너지 크기와 방사능의 세기가 달라서 정확한 에너지

동정을 하는 것이 매우 중요하다<sup>[3]</sup>. Fig. 1은 KOMAC (Korea Multi-Purpose Accelerator Complex)의 100 MeV 양성자를 이용하여  $^{nat}\text{W}(p,xn)$  양성자핵반응을 통하여 발생한 감마선에너지 스펙트럼의 측정 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 유사한 에너지의 방사선들이 다수 측정되었고 이 방사선들은 하나의 핵종에서 발생하는 것이 아니라 다양한 핵종에서 발생하는 감마선들이 같이 측정되므로 발생하는 현상이다. 따라서 특정 핵종에서 발생하는 정확한 감마선을 알기 위해서는 검출기의 분해능이 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 에너지 분해능이 우수한 측정 시스템을 활용하는 것이 절실히 요구되는 상황이다. 그러나 전기적 잡음은 이런 방사선 측정 장치의 에너지 분해능에 대한 능력을 현저히 저하시키는 원인이 된다.

\* Corresponding Author: Samyol Lee

E-mail: samuel@gdsu.dongseo.ac.kr

Tel: +82-51-320-2728

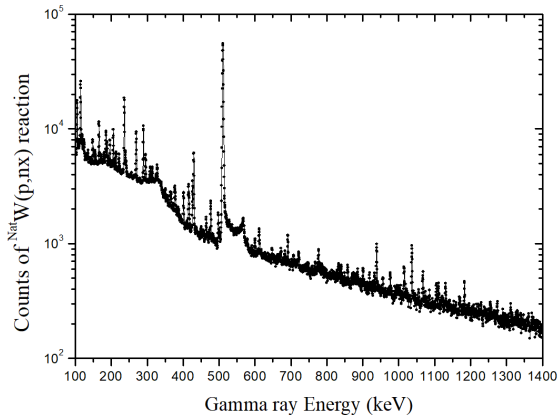


Fig.1. Measurement result of gamma ray energy spectrum generated through  $^{203}\text{Tl}(p,nx)$  proton nuclear reaction using 100 MeV protons of KOMAC (Korea Multi-Purpose Accelerator Complex)

또한 이런 전기적인 잡음은 방사선의 에너지 따라서 에너지 분해능에 어떻게 영향을 미치는지 잘 알려져 있지 않아 전기적 잡음이 에너지 분해능에 미치는 영향을 정확히 파악되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 일반적으로 고주파 전기 잡음을 줄이는데 사용되는 NEXT-001HDGL 상용 필터를 사용하여 양성자 가속기 센터 설치되어 있는 HPGe(High Purity Germanium)검출기의 전기적 잡음을 줄임으로써 감마선 에너지 스펙트럼의 변화를 관찰하고 방사선의 에너지에 따라서 전기적 잡음이 에너지 분해능에 미치는 효과를 정량적으로 분석하였다

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 전기적 잡음을 줄이기 위한 NEXT-001HDGL (Isolator & Balun)의 특성 및 원리

본 연구에서는 시판되는 NEXT-001HDGL (Ground Loop Isolator)을 이용하여 소자에서 발생하는 전기적 잡음을 줄이는데 사용하였다. Fig. 2와 Table 1은 본 연구에서는 전기 신호의 노이즈를 줄이기 위해 사용된 그라운드 루프 아이솔레이터를 보여줍니다. 이 장치는 CCTV, 오디오 등 다양한 전자 기기의 전압 차가 다른 두 기기의 주파수 왜곡 제거 또는 주파수 안정화를 목적으로 사용되는 모듈이다.

일반적으로 전기적 잡음은 두개의 장비 사이에 전위차가 있는 경우 발생하는 AC 기저 주파수에 의해서 발생하는 전기적 잡음(60 Hz)과 고주파 전기적 잡음의 원인이 된다. 이런 현상을 그라운드루프(Ground Loop)라고 하며 일부는 단일 지점 접지를 사용하여 배선하는 방법과 저주파 차폐 케이블을 사용하는 방법에 의해서 일정부분 제거가 되기도 한다. 그러나 장치들에서의 누전되는 차이가 있을 경우 완전히 소거되지 못하는 단점이 있다. 경우에 따라서는 또 다른 전기적 노이즈를 유발하기도 한다. 또 다른 방법은 절연 변압기, 절연체 또는 발룬(Balun)을 사용하여 직접 연결을 피하는 것이다. 이 경우 주파수 대역폭에도 영향을 미친다. Balun은 균형(Balance)과 불균형(Unbalance)의 첫 글자 뒤에 만들어진 단어로 평형 신호를 불평형 신호로 변환하는 회로이다. 이 경우 신호전파를 순방향으로만 흐르게 하고 역방향으로는 흐르지 못하게 하여 전기적인 잡음을 낮출 수 있게 된다<sup>[4]</sup>.



Fig. 2. In this study, a ground loop isolator (NEXT-001HDGL) was used to reduce the electrical noise generated by the HPGe detector.

Table 1. Specifications of the ground loop isolator (NEXT-001HDGL) parameters in the present measurement

Insertion Loss	0.5 dB
Response Frequency	20 Hz ~ 10 MHz (0 ~ 3 dB)
Resistance	75 Ohm
Insulation Voltage	600 VDC(Min)
Insulation Resistance	100m Ohm
Overvoltage protection	12 Vrms
material	ABS black
Size(mm)	73.3 x 28 x 21 with 18 cm x2 cable
Weight(g)	70

## 2. 감마선 측정용을 위한 HPGe 감마선 측정 시스템

전자기파의 일종인 감마선은 여기상태의 준안정 상태의 핵으로부터 안정한 핵종으로 붕괴되는 과정에서 발생된다. 본 연구에서는 이러한 감마선 측정에 매우 우수한 성능을 가지고 있는 CANBERRA 회사의 HPGe(High Purity Germanium) 검출기 시스템을 이용하여 감마선을 측정하였다. 감마선 측정 시스템과 그 특징을 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다. 이 시스템은 두께 10 cm의 납을 이용하여 자연방사선의 영향을 줄였고, 검출기 주위에는 하전입자에 의한 제동복사 효과를 줄이기 위하여 0.5 cm 두께의 구리로 차폐를 하였다. 본 감마선 측정시스템의 에너지 교정을 위하여 표준선원(<sup>137</sup>Cs, <sup>22</sup>Na, <sup>60</sup>Co)들을 사용하여 에너지교정을 시행하였다.



Fig. 3. Gamm-ray measurement spectrometer system (HPGe detector) of gamma-ray from the gamma ray sample.

일반적으로 HPGe 검출기의 경우 충분한 전기적인 잡음을 줄이기 위하여 액체질소를 이용하여 영하 196도씨의 온도로 냉각을 하여 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 본 검출시스템은 Cryo-Plus (CP5-plus)제품으로 전기적으로 검출기의 Cryostat를 냉각시키는 장치를 부착한 장치로서 액체질소의 교환을 할 필요가 없어 장기간 측정에 매우 유리한 제품이다. 그러나 전기적인 잡음이 기존의 제품보다 증가하는 경향이 있다. ADC(Analog Digital Convertor)로는 CANBERRA 사의 DSA-LX를 사용하였으며 8192 Ch을 사용하여 측정하였다<sup>[5]</sup>.

본 연구에서는 감마선 측정시스템에 NEXT-001 HDGL 장치를 부착하여 감마선 에너지 스펙트럼의 해상도를 얼마나 향상시킬 수 있는지를 결정하기 위한 실험이 수행되었습니다. 이 결과를 통하여 전

기적인 잡음이 전체적인 감마선에너지 스펙트럼에 어떤 형태로 영향을 미치는지를 확인하다.

Table 2. Specifications of the HPGe detector system

Unit	Characteristic
Size (mm dia × mm)	62.00 × 41.20
Applied voltage (Volt)	+4,900
Energy resolution (keV)	1.8 at 1.333 MeV
Relative efficiency (%)	30
Thickness of lead (cm)	10

## 3. HPGe 감마선에너지 스펙트럼의 에너지 분해능

일반 섬광검출기와 마찬가지로 반도체검출기의 경우에도 입사되는 감마선의 에너지에 비례하여 정공-전자를 만들어낸다. 즉 에너지가 클수록 만들어지는 정공-전자의 수는 많아지고 통계적으로 정확도가 높아진다. 즉 식 (1)에서 보는 것처럼 생성되는 정공-전자 수(전하의 수: Q)에 따라서 검출기에서 발생하는 신호의 전압(V)이 결정된다.

이때 C는 검출기내부의 커패시턴스이다.

$$Q = C \times V \quad (1)$$

즉 높은 에너지의 감마선은 많은 통계적으로 정확한 전압을 만들어 내기 때문에 에너지 분해능은 일반적으로 에너지가 높을수록 좋아지는 경향(절대수치는 감소)을 보이게 된다. 따라서 검출기 시스템의 에너지 분해능은 식 (2)를 사용하여 단일 피크의 최대 강도 (FWHM: Full Width Half Maximum)의 1/2이 되는 강도의 에너지 폭으로 에너지 분해능(R)은 아래와 같이 정의 될 수 있다<sup>[6]</sup>.

$$R = \frac{FWHM(\Delta E)}{E_0} \times 100\% = \frac{FWHM(\Delta Ch)}{Ch_0} \times 100\% \quad (2)$$

여기에 E<sub>0</sub>와 Ch<sub>0</sub>는 임의의 단일 에너지와 그 Channel 수이다.

### III. DATA ANALYSIS

#### 1. 감마선 스펙트럼의 분석

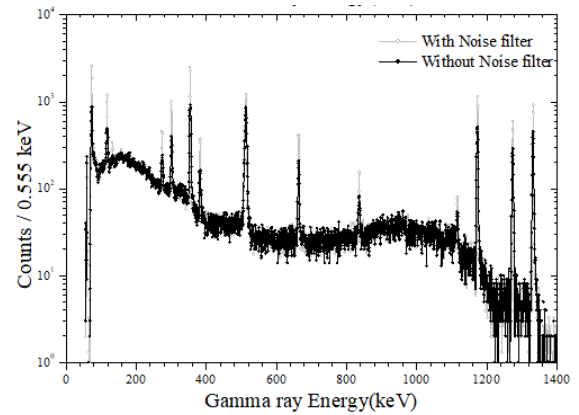
##### 1.1 감마선에너지 스펙트럼

일반적으로 핵반응으로부터 얻어지는 감마선의 에너지는 최대 10 MeV를 초과하는 경우도 있으나 양성자핵반응에서 얻어지는 감마선에너지는 수 MeV의 감마선을 발생시킨다. 따라서 본 연구에서는 자연방사선의 최고에너지로 알려져 있는  $^{208}\text{Tl}$ 에서 발생하는 2615 keV,  $^{214}\text{Bi}$ 에서 발생하는 5개의 방사선과  $^{40}\text{K}$ 에서 발생하는 1460 keV 에너지의 방사선에 대하여 조사하였으며, 표준선원으로 널리 사용되고 있는  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{22}\text{Na}$  및  $^{137}\text{Cs}$  동위원소를 사용하여 총 12개의 주요 감마선에 대하여 분석을 시도하였다.

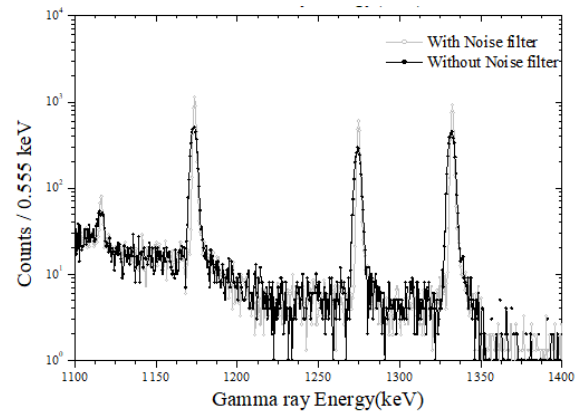
각각의 감마선측정 스펙트럼을 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 본 연구에 사용된 각각의 감마선에 대한 에너지와 방출된 동위원소 및 에너지에 해당하는 channel 번호를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. List of gamma-ray energy and peak channel number

Gamma-ray Energy (keV)	Isotopes	Channel Number
511.0	$^{22}\text{Na}$	916
609.3	$^{214}\text{Bi}$	1093
662.0	$^{137}\text{Cs}$	1189
1120.3	$^{214}\text{Bi}$	2009
1174.0	$^{60}\text{Co}$	2107
1274.0	$^{22}\text{Na}$	2289
1333.0	$^{60}\text{Co}$	2393
1460.0	$^{40}\text{K}$	2619
1763.7	$^{214}\text{Bi}$	3163
2204.2	$^{214}\text{Bi}$	3950
2447.9	$^{214}\text{Bi}$	4388
2614.5	$^{208}\text{Tl}$	4686



(a) Gamma-ray energy spectrum from the gamma ray standard sources.(Measurement time: 600 sec)



(b) Gamma rays generated by  $^{60}\text{Co}$  and  $^{22}\text{Na}$  are indicated. It can be seen that the shape of the peak is remarkably different with and without a filter for removing electrical noise.

Fig. 4. Gamma ray energy spectrum with and without a filter for removing electrical noise is shown.

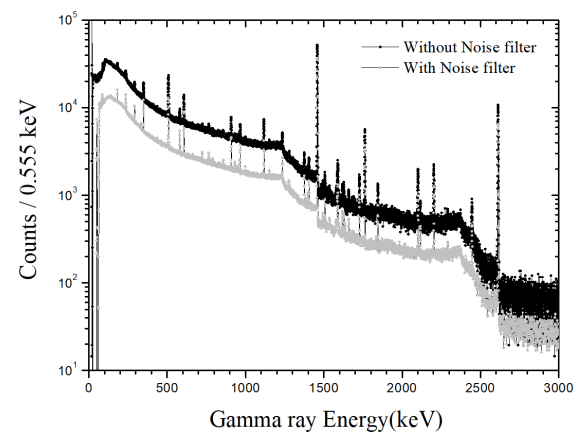


Fig. 5. Background gamma ray energy spectrum with and without a filter for removing electrical noise is shown.(Measurement time: 24 hours)

### 1.2 에너지 분해능의 계산

검출기의 에너지 분해능은 식 (2)에 따라 임의의 감마선 에너지에 대한 FWHM의 비값에 의해서 결정된다. NEXT-001 HDGL 장치 부착 여부에 따른

스펙트럼의 에너지 분해능의 변화를 Table 4와 Fig. 6에 나타내었다. 감마선 에너지가 증가함에 따라서 에너지 분해능의 절대값이 감소함을 알 수 있었고 이것은 감마선에너지가 증가함에 따라서 에너지 분해능이 좋아지고 있다는 것을 나타낸다<sup>[7]</sup>.

Table 4. List of Parameters obtained from the measurement spectrum to obtain the gamma-ray energy resolution

Isotopes	Gamma-ray Energy (keV)	Without Noise Filter		With Noise Filter		Difference (%)	
		FWHM(Ch)	Energy Resolution (%)	FWHM (Ch)	Energy Resolution (%)		
1	<sup>22</sup> Na	511.0	27.9	1.25 ± 0.12	6.4	0.69 ± 0.07	0.55 ± 0.14
2	<sup>214</sup> Pb	609.3	28.3	1.07 ± 0.11	5.2	0.47 ± 0.05	0.59 ± 0.12
3	<sup>137</sup> Cs	662.0	8.6	0.72 ± 0.07	3.2	0.27 ± 0.03	0.45 ± 0.08
4	<sup>214</sup> Pb	1120.3	24.8	0.51 ± 0.05	5.5	0.27 ± 0.03	0.23 ± 0.06
5	<sup>60</sup> Co	1174.0	8.0	0.38 ± 0.04	3.4	0.16 ± 0.02	0.22 ± 0.04
6	<sup>22</sup> Na	1274.0	7.7	0.34 ± 0.03	3.4	0.15 ± 0.02	0.19 ± 0.04
7	<sup>60</sup> Co	1333.0	8.3	0.35 ± 0.03	3.6	0.15 ± 0.02	0.20 ± 0.04
8	<sup>40</sup> K	1460.0	16.0	0.25 ± 0.03	3.9	0.15 ± 0.02	0.10 ± 0.03
9	<sup>214</sup> Pb	1763.7	17.6	0.23 ± 0.02	4.5	0.14 ± 0.01	0.09 ± 0.03
10	<sup>214</sup> Pb	2204.2	20.5	0.21 ± 0.02	5.4	0.14 ± 0.01	0.08 ± 0.03
11	<sup>214</sup> Pb	2447.9	23.6	0.22 ± 0.02	6.4	0.15 ± 0.01	0.07 ± 0.03
12	<sup>208</sup> Tl	2614.5	18.8	0.16 ± 0.02	5.4	0.11 ± 0.01	0.05 ± 0.02

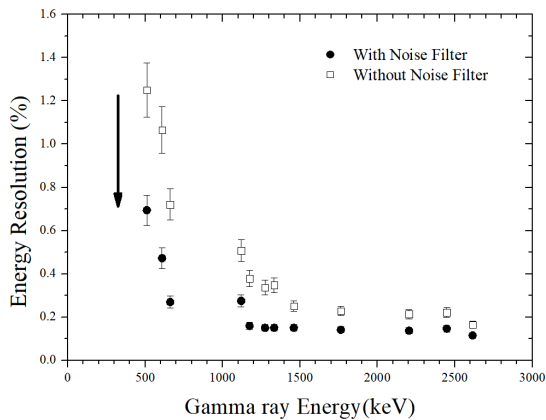


Fig. 6. The difference in energy resolution according to the presence or absence of a filter is shown for gamma ray energy. It can be seen that the energy resolution when the filter is used shows a significant difference as the energy decreases.

Fig. 6에서 보는바와 같이 NEXT-001 HDGL 장치

를 사용하지 않았을 때는 전체적으로 1500 keV를 기준으로 그 이상의 에너지 영역에 대해서는 분해능이 0.16 ~ 0.25 %를 중심으로 분포하고 있는 반면에 그 이하의 에너지 영역에 대해서는 급격하게 증가하여 최대 1.25 % 까지 증가됨을 알 수 있다. NEXT-001 HDGL 장치를 사용하였을 때는 1500 keV를 기준으로 그 이상의 에너지 영역에 대해서는 분해능이 0.11 ~ 0.15 %를 중심으로 분포하고 있는 반면에 그 이하의 에너지 영역에 대해서는 급격하게 증가하여 최대 0.69 % 까지 증가됨을 알 수 있다. 특히 NEXT-001 HDGL 장치를 사용하지 않았을 때에는 그 증가 경향이 더 크게 나타남을 알 수 있다. 이것으로 전기적 잡음의 영향이 낮은 감마선 에너지의 경우 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 이런 현상은 NEXT-001 HDGL 장치 사용의 유무에 관계없이 나타나는 현상으로 보여 진다. 그러나 그 감마선에너지 분해능의 절대값은 낮은 에

너지 영역으로 갈수록 NEXT-001 HDGL 장치의 효과가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

#### IV. RESULT

본 연구의 결과 전기적 잡음이 감마선 측정 장비의 에너지 분해능에 영향을 크게 미친다는 것을 확인하였다. 특히 낮은 에너지 일수록 그 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 감마선의 에너지 분해능의 차이를 필터가 있을 때와 없을 때에 따라서 나타내었다. 그 결과를 Table 4와 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 낮은 에너지 영역으로 갈수록 필터의 사용의 유무에 따른 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 그 경향은 전형적인 지수 감소형태의 경향을 보였으며 함수 fitting 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 또한, 낮은 에너지 영역에서의 감마선 에너지 분해능의 차이에 따른 오차의 크기도 증가하였다. 이것은 낮은 에너지 영역으로 갈수록 하나의 감마선 에너지를 표현하는데 필요한 Channel의 수가 감소하여 Channel변화에 대한 오차가 증가하였음을 나타낸다.

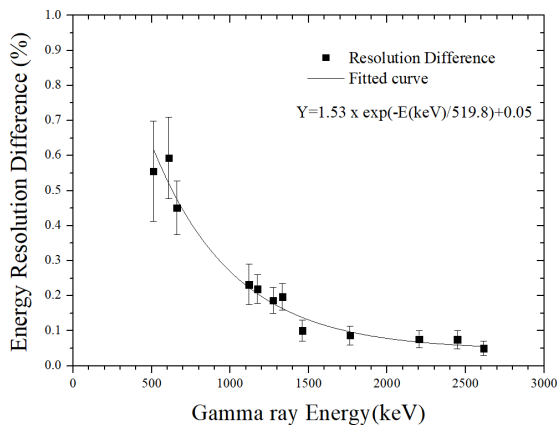


Fig. 7. The difference in the energy resolution of gamma rays was shown with and without a filter.

#### V. CONCLUSION

본 연구는 감마선에너지의 정확한 측정에 사용되는 HPGe검출기의 전기적인 잡음을 줄이는데 있어서 에너지가 어떻게 영향을 미치는지에 대한 연구를 하였다. 결과적으로 전기적 잡음이 입사되는 방사선의 에너지에 따라서 감마선 측정 장비의 에

너지 분해능에 영향을 크게 미친다는 것을 확인하였다. 특히 낮은 에너지 영역에 대해서 그 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 일반적인 높은 원자번호를 가지는 물질들과의 핵반응에서 나타나는 낮은 에너지의 감마선들을 측정하는데 있어서 본 연구의 결과는 매우 중요한 기여를 할 것으로 생각되어진다<sup>[3]</sup>.

#### Acknowledgement

이 논문은 2020년도 동서대학교 'Dongseo Cluster Project' 지원에 의하여 이루어진 것임 (DSU-20200002). 이 연구를 위하여 연구 장비를 제공해 주신 한국원자력연구원 양성자가속기와 관련된 분들에게 감사를 표합니다.

#### Reference

- [1] V. Radeka, "Low-noise Techniques in Detectors," *Annals of Review Nuclear Part*, Vol. 33, pp. 217-77, 1988.
- [2] O. Jakovļevs, V. Malgin, J. Vība, "Modal analysis of HPGe detector assembly in gamma-ray spectrometers," *Journals of Vibroengineering*, Vol. 16, pp. 61-66, 2017. <https://doi.org/10.21595/vp.2017.19205>
- [3] Samyol Lee, "Analysis of Proton Nuclear Reaction-Generated Nuclides for Different Proton Energy," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 13, No. 5, pp. 819-824, 2019. <https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.5.819>
- [4] Longyue Qu, Rui Zhang, Hyeongdong Kim, "Decoupling between ground radiation antennas with ground-coupled loop-type isolator for WLAN applications," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Vol. 10, No. 5, pp. 546-552, 2016. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2015.0562>
- [5] Steve Jan, Pierre Sarrat, Fabrice Bouchet, Eric Cantrel, Bénédicte Arab-Chapelet, Cédric Rivier, "Characterizations of high-activity solid deposit samples from fission products tanks," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 322, pp. 1675-1682, 2019.
- [6] M. Moszyńska, J. Zalipskaa, M. Balcerzyka, M. Kapustaa, W. Mengeshab, J. D. Valentineb, "Intrinsic

energy resolution of NaI(Tl), "Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vol. 484, No. 1-3, pp. 259-269, 2002.

[https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(01\)01964-7](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(01)01964-7)

- [7] M. Gascon, L. Schnorrenberger, B. Pietras, H. Alvarez-Pol, D. Cortina-Gil, P. D'iaz Fernandez, I. Duran, J. Glorius, D. Gonzalez, D. Perez-Loureiro, N. Pietrall D. Savranc, K. Sonnabende, "Characterization of a CsI(Tl) array coupled to avalanche photodiodes for the Barrel of the CALIFA calorimeter at the NEPTUN tagged gamma beam facility," *Journal of Instrumentation*, Vol. 8, P10004, 2013.  
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/8/10/P10004>

# 고순도 Ge 검출기의 전기적 노이즈 감소를 통한 감마선 에너지 스펙트럼의 분해능 향상에 관한 연구

이삼열

동서대학교 방사선학과

## 요 약

감마선 에너지 스펙트럼 연구에서 에너지 분석을 통한 핵종 분석은 매우 중요하다. 감마선 에너지 측정에 일반적으로 사용되는 고순도 Ge 검출기는 높은 에너지 분해능과 상대적으로 높은 검출 효율 때문에 일반적으로 사용된다. 그러나 반도체 검출기는 높은 에너지 분해능을 유지하기 위해 주변 환경에서 발생하는 노이즈를 효과적으로 차단하지 않으면 원래의 성능을 유지하기 어렵고 고가의 장치의 효과를 얻지 못하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 검출기에서 발생하는 전기적 노이즈를 제거하기 위해 접지 루프 아이솔레이터 (NEXT-001HDGL)를 사용했다. 에너지 분해능 향상 효과를 테스트하기 위해 양성자 가속기 KOMAC에 새로 설치된 HPGe 검출 장치를 사용했다. 감마선 에너지 2614 keV의 경우 에너지 분해능이  $(0.16 \pm 0.02)$  %에서  $(0.11 \pm 0.01)$  %로 개선되었고, 감마선 에너지 662 keV의 경우 에너지 분해능이  $(0.72 \pm 0.07)$  %에서  $0.27 \pm 0.03$  %로 향상되었다. 이 결과는 KOMAC (Korea Multi-Purpose Accelerator Complex)의 HPGe 검출 장비를 이용한 감마선 스펙트럼 연구에 매우 유용한 것으로 판단된다.

중심단어: 에너지 분해능, 전기 노이즈, HPGe 검출기, 감마선, 에너지 스펙트럼

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	이삼열	동서대학교 방사선학과	교수