

# Coincidence Summing Corrections in HPGe Gamma Ray Spectrometry in Marinelli-beakers with Efficiency

Eun-Sung Jang,<sup>1</sup> Hyo-Yeong Lee<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiation Oncology Kosin University Gospel Hospital

<sup>2</sup>Department of Radiological Science, Dongeui University

Received: July 18, 2018. Revised: October 25, 2018. Accepted: October 31, 2018

## ABSTRACT

Coincidence summing correction effects are known to be greater as the efficiency of the detector increases and as the distance between the source and the detector increases. A point source(<sup>60</sup>Co) was used to vary the distance in the direction of the detector's center axis and in the radial direction to obtain the P/T ratio for Coincidence summing correction calibration. In this study, values for coincidence summing corrected calibration of the values in the central and radial directions were applied to the mixed volume source(450 ml CRM source) to compare the overall peak efficiency change according to P/T with Geant4. In addition, the efficiency obtained from the mapping method is applied to the seaweed, a marine sample, and the compatibility of the P/T ratio with the detector and sample very dose together. The efficiency corrected to 1,836 keV was applied to the energy zone affected by the efficiency of 500 keV and the relative error of the measured and corrected values was well matched by the 3.2 % peak efficiency correction. As with 450 mL CRM source, the larger the volume, the lower the P/T ratio was by  $\pm 5$  %. This is due to the increased scattering of gamma-rays emitted as the source becomes farther away from the detector, and this change in P/T has been confirmed to affect the Coincidence summing corrected peak efficiency.

Keywords: Geant4 , HPGe, coincidence summing , efficiency

## I. INTRODUCTION

검출기에 2개 이상의 감마선이 분해시간 이내에 검출되게 되면, 각각의 감마선 신호가 분리되지 않는다. 감마선 방출 핵종의 방사능 계산은 각각의 감마선이 분리된 신호로 검출된다는 것을 가정하고 있기 때문에 방사능 계산에 동시 합성된 신호의 크기가 고려되어야 한다. 이와 같은 동시합성 효과는 검출기의 효율이 향상할 때 그리고 선원과 검출기 사이의 거리가 가까울수록 크게 나타나는 것으로 알려져 있다.<sup>[1-3]</sup>

또한 방출 (<sup>60</sup>Co과 <sup>88</sup>Y)하는 감마선은 전 에너지가 흡수되더라도 다른 감마선과의 동시합성 효과

로 인해 전 에너지 흡수피크에서 제외될 수 있어 동시합성효과가 없는 경우에 예상되는 피크효율보다 낮은 피크 효율을 나타내게 된다.<sup>[4]</sup> 특히 이 효과는 여러 개의 들뜬 에너지 준위를 갖는 핵종의 방사능을 측정할 때 문제가 되며, 선원과 검출기 사이의 거리가 짧을 때 그리고 검출 효율이 큰 검출기에서 그 효과가 크다.<sup>[5]</sup> 특히 감마선의 다중 산란 흡수가 많은 고효율 HPGe 검출기 스펙트럼에서 현저하게 나타난다. 1,000 keV 이상의 감마선에 대한 피크 효율 교정용 선원에서 연속적으로 감마선을 방출하는 <sup>60</sup>Co과 <sup>88</sup>Y를 포함하고 있다. 이들 핵종으로부터 방출되는 감마선의 피크 효율에는 동시합성 효과에 의해 10% 이상의 계통적 오차가 포

\* Corresponding Author: Lee Hyo Yeong

E-mail: lhy250@deu.ac.kr

Tel: +82-51-890-2679 <sup>557</sup>

Address: Dong-eui University of Busan, 176 Eomgwang-ro, Busan-jingu, 614-714, Republic of Korea

함될 수 있다.<sup>[3,6-7]</sup>

동시합성 되는 감마선의 피크 효율에 영향을 미치는 동시합성 효과의 크기는 동시합성에 참여하는 감마선의 피크 효율과 전체 효율 그리고 각 감마선의 방출률과 관계된다. 피크효율과 전체효율은 검출기에 따라 그리고 선원과 검출기 사이의 배치 등에 따라 다르기 때문에 두 효율의 비인 Peak to Total 비 (P/T)를 측정하여 사용하게 된다.

본 연구에서는 점 선원(<sup>60</sup>Co)을 사용하여 검출기 중심축방향 및 방사상 방향에서 거리에 따른 변화를 주어 P/T 비를 구하여 동시합성 보정을 하였다. 동시합성 보정한 값들을 혼합부피선원(450 mL CRM source)에 적용하여 P/T에 따른 전체 피크효율 변화를 비교하여 Geant4값들과 비교하였다. 그리고 환경 시료 중 해양 시료의 미역에 적용하여 P/T비의 적합성을 평가하고자 한다.

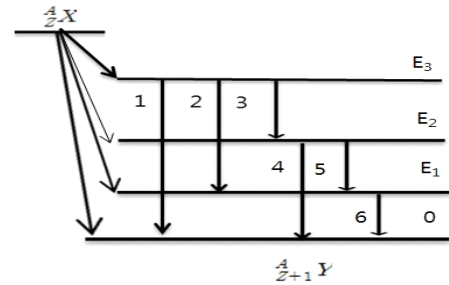
## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 축차붕괴 및 동시합성 보정 원리

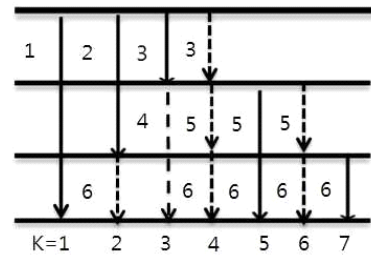
감마선들의 동시합성은 여러 개의 핵에너지 준위를 갖는 핵종에서 축차적으로 감마선을 방출하는 경우나, 양전자 방출에 의한 베타 붕괴에서 감마선을 방출하는 경우에 발생한다. Fig. 1의 (a)는 베타 붕괴하는 핵종  ${}^A_ZX$ 의 핵에너지 준위를 나타낸 것이다.  ${}^A_ZX$  핵종은 E1, E2, E3의 여기 핵 준위를 가지고 있다. 이 경우에 방출되는 감마선들의 동시 합성될 감마선들은 (b)에 나타냈다. 따라서 동시합성에 의한 피크 크기의 변화는 Fig. 1의 (b) 붕괴로부터 유도될 수 있다. Fig. 1와 같이 3과 4는 cascade로 방출되고 3이 검출기 내에서 전 에너지가 흡수됨과 동시에 4가 상호작용을 할 때, 3에 해당하는 피크의 계수율이 기여해서 생긴 신호보다 더 큰 신호가 된다. 즉, 3의 피크 계수율이 감소하는 효과가 발생한다. 또한, 6, 5가 4과 같은 준위로 cascade 하는 경우 6, 5가 모두 전 에너지를 검출기 내에서 잃어버리면 4의 피크에 해당하는 계수율에 기여를 한다. 즉 4의 피크 계수율이 증가하는 효과가 발생한다.

### 2. 동시합성효과 보정방법

방사성핵종들은 한번 붕괴 시에 2개 이상의 감마선을 방출하는 경우도 있다. 2개 이상의 감마선이 동시 검출되어 스펙트럼에서 하나의 피크로 나타나게 된다.



(a) nuclear energy levels of beta-decay nuclides



(b) summing of the gamma ray

Fig. 1. Cascade coincidence summing among the gamma ray emitted by beta decay of  ${}^A_ZX$

이러한 감마선들은 검출기의 분해시간 이내에서 동시에 방출되었기 때문에 마치 1개의 감마선이 들어온 것처럼 보이고 pluse의 파고는 합쳐진 형태가 된다. 우연히 pluse가 중첩되는 것과는 다른 것이며, 낮은 계수율에서도 뚜렷하게 나타나는 것이다. 특히, 교정선원으로 많이 사용하는 <sup>60</sup>Co와 <sup>88</sup>Y의 경우에 많이 일어나며, 동시합성의 영향은 어떤 측정 대상 선원 또는 시료의 방사능을 과대 또는 과소평가 할 수 있기 때문에 매우 주의해야 한다.<sup>[8]</sup> 측정치와 계산치 효율의 비, 동시 합성 보정 인자는 식 (1)과 같다.

$$\frac{N_1}{N_1'} = (1 - \epsilon_2, T) = (1 - \frac{\epsilon_2}{(P/T)^2}) \quad (1)$$

$N_1$  : Summing이 일어났을 때 감마선 1의 계수율  
 $N_1'$  : Summing이 일어나지 않았을 때 1의 계수율  
 $\epsilon_2, T$  : 감마선 2의 전효율  
 $(P/T)^2$  : 감마선 2의 peak to total ratio

$$\epsilon_i(E) = \frac{\epsilon_p(E)}{P_T(E)} \quad (2)$$

피크 대 전체 비  $P_T$ 는 최대 에너지 피크 수와 총 스펙트럼의 이벤트수로 정의 된다.

$$P_T = \frac{\int \epsilon_p(E, Y, z) P_T(E, Y, z) r dr dz}{\int \epsilon_p(E, Y, z) r dr dz} \quad (3)$$

$\epsilon_p(E, r, z)$ 는 전체에너지 피크 효율이다.

$P_{T(E, r, z)}$ 는 피크 대 전체 비율이고,  $r, z$ 는 점선원의 위치 좌표이다.

감마선 에너지에서  $P/T$  비를 구하기 위해 점 선원  $^{60}\text{Co}$ , 혼합 부피 선원 ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) 450 ml Marinelli beaker 사용하였다. 동시합성 효과에 영향을 받는 2개 핵종( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{88}\text{Y}$ )을 포함해서 효율을 보정하였다.

### 3. Geant4 of Monte Carlo Simulation

Geant4는 C++ 각각의 기능별로 코드를 구현하여 각각의 필요한 기능만을 이용할 수 있게 했고, 필요한 다른 기능을 추가할 수 있는 확장성을 가질 수 있게 되었다. 구현된 기능들은 Monte Carlo Simulation을 위한 구조체를 관리하는 기하 및 물질, 물체와 입자의 상호작용, 입자의 축절, 수치화 및 상호작용한 점의 관리, 사건과 경로의 관리, 시각화 및 사용자 인터페이스로 입자 물리학의 Monte Carlo Simulation을 위해 필요한 대부분 기능을 구현했다.<sup>[10,11]</sup> 물리적인 계산은 대부분의 물리 모델을 이용할 수 있도록 만들어졌으며, Fig. 2에서 검출기 구조는 크리스털의 길이, 직경 및 깊이 등 다양한 기하학적 구성요소들을 적용하여 나타내었다. 또한 제조사에서 제공한 데이터 값들을 Simulation에 적용하였다<sup>[12-13,21]</sup>.

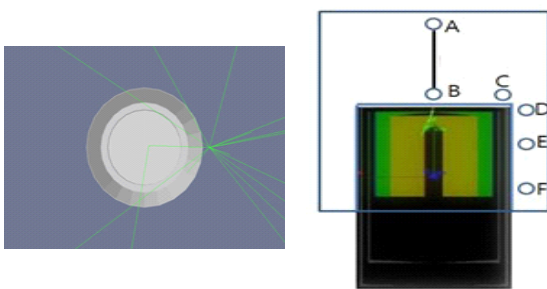


Fig. 2. The source-detector geometry. The origin of (x, y, z) coordinate system. Left is the top of view and Right is Front of the HPGe.

### 4. P/T비 및 효율계산

점선원의 경우, 전체피크효율/피크 비율을 사용하는 경우, 감마선 에너지 E에서 효율성을 계산할 수 있다.

### 5. HPGe 검출기 및 측정

Fig. 3은 감마선 실험 및 Simulation에 사용한 검출기는 EG&G ORTEC사의 동축형 p-type HPGe 검출기로, 1,332 keV 감마선에 대하여 1.73 keV의 FWHM, 30 %의 상대 효율, Peak-to-Compton Ratio 58:1을 가진다.

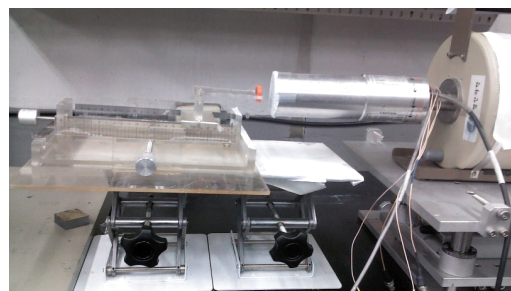


Fig. 3. Experimental HPGe Gamma-ray Set-Up.

점 선원  $^{60}\text{Co}$ 를 사용하여 교정하였다. Fig. 3에서 검출기 중심축 window end-cap 거리별에 따른  $P/T$  비를 구하기 위해 0.5 cm (B)부터 15 cm (A)점에 점 선원 ( $^{60}\text{Co}$ )을 두고 측정하였다. 검출기 주변에서  $P/T$ 비를 구하기 위해 방사상 방향(B, C, D, E, F) 모양으로 측정하여 맵핑하였다. 또한 혼합핵종표준선원 450 ml

Marinelli beaker 사용하여 Geant4 값과 비교하였다. 보정한 효율 값들을 적용하여 환경시료 중 미역에 측정하였다.

### III. RESULTS and DISCUSSION

Fig.4는 효율에 따른 측정값의 비를 표준혼합선원 중 보정 전과 후 값의 차이를 나타낸 것이다. 차이는 효율에 의한 편차와 동시합성효과에 의한 편차이다.  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{88}\text{Y}$ 의 동시합성에 의한 효과로 측정되는 계수율이 낮아져 피크 효율이 교정되었다. 따라서 동시합성 효과  $^{241}\text{Am}(59.54 \text{ keV})$  1.016%,  $^{137}\text{Cs}(661.66 \text{ keV})$  0.906%,  $^{60}\text{Co}(1,173 \text{ keV})$  1.2%,  $^{88}\text{Y}(1,836 \text{ keV})$  0.989%로 동시합성효과의 영향을 받는다.

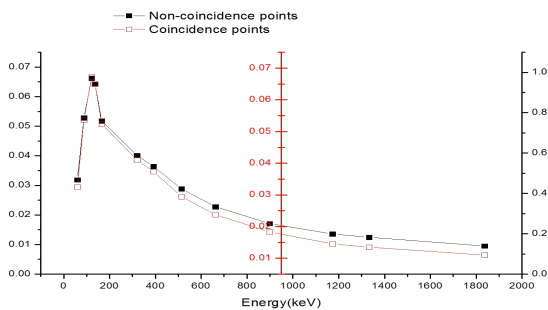


Fig. 4. 450 CRM source efficiencies for mixed gamma-ray source compared non coincidence with coincidence correction

측정치와 계산치 효율의 비, 즉 1,173 keV 동시합성보정인자는 다음과 같다<sup>[12-14]</sup>.

$$C_{1173} = \frac{\epsilon_{1,173}(\text{fitted})}{\epsilon_{1,173}(\text{measured})} = \frac{3.04\%}{2.53\%} = 1.2 \quad (5)$$

또한  $^{60}\text{Co}(1,173, 1,332 \text{ keV})$ ,  $^{88}\text{Y}(898, 1,836 \text{ keV})$ 의 측정값과 보정 값과의 차이인 동시합성효과를 나타내었다. 보정한 그래프 fitting 식에 맞춰 보정된 피크 효율을 적용한 측정값과 Geant4 값의 차이를 Fig. 5에 나타내었다. 500 keV 이상의 효율의 영향을 받는 에너지 영역에 1,836 keV로 보정한 효율을 적용한 결과 측정값과 보정 값의 상대오차는 3.2% 피크 효율이 보정되어 잘 일치하였다.

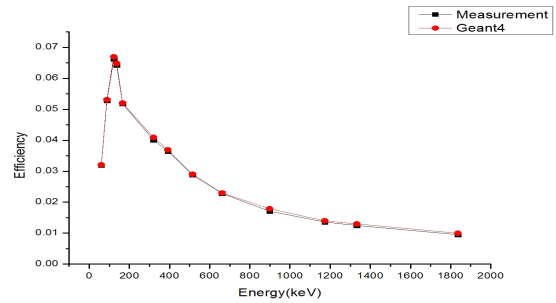


Fig. 5. Corrected efficiencies as a function of gamma ray energy for 450 mL CRM source geometry compared measured with Geant4.

또한, 점 선원  $^{60}\text{Co}(1,173 \text{ keV})$ 을 거리변화에 따른 측정값의 P/T 비는 보정하여 나타내었다.

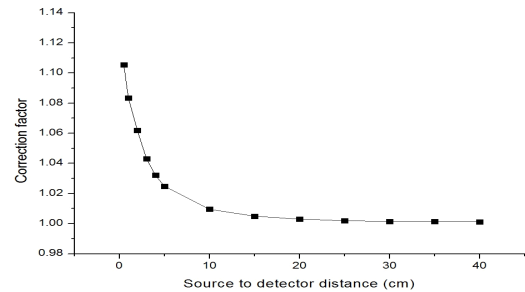


Fig. 6. Total gamma-ray coincidence summing factor for a point source  $^{60}\text{Co}(1,173 \text{ keV})$  at various distance.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 P/T 비는 검출기 축 중심으로부터 거리에 따라 선형적으로 약간 감소하고 있다. 전체적으로 3% 이내에서 잘 일치함을 확인하였다. 이처럼 P/T 비에서의 변화는 식(1)에 따라 동시합성 보정 피크 효율에 1% 미만의 영향을 주게 된다, 따라서 검출기 중심 및 방사상 방향에 놓여있는 교정용 선원( $^{60}\text{Co}$ , 450 ml CRM source)의 경우 P/T 비는 항상 일정한 것으로 볼 수 있다.

그러므로 동시합성에 의한 효과로 측정되는 Y축의 증가, 감소 여부에 따라 계수율이 낮거나 높아져 피크 효율이 과소, 과대평가됨을 확인하였다. 450 ml CRM source처럼 부피가 커질수록 P/T 비는  $\pm 5\%$  까지 감소하였다. 이것은 검출기로부터 선원이 멀어짐에 따라 방출된 감마선의 산란이 많아지기 때문이며, 이처럼 P/T 변화는 동시합성보정 피

크 효율에 영향을 줌을 확인하였다<sup>[15-17]</sup>.

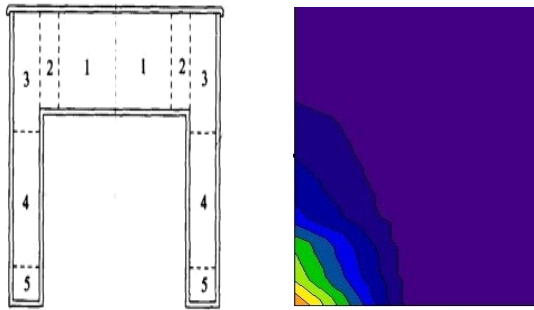


Fig. 7. Effect of solid angle on true coincidence summing effects.

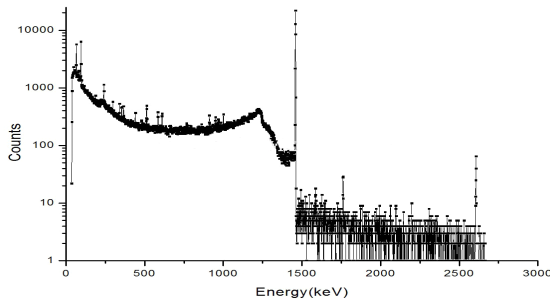


Fig. 8. The gamma-ray energy spectra of a sea mustard sample.

그러므로 Fig. 7의 1, 2, 3, 4, 5처럼 맵핑함으로써 어떤 시료를 사용하더라도 효율을 구할 수 있음을 확인하였다. 또한 Fig. 8에는 맵핑에서 구한 효율 값들을 환경시료인 미역에 적용하였다<sup>[19-20]</sup>. 효율 값들은 측정치 3% 이내에서 잘 일치함을 확인하였다. 따라서 각각의 점선원에 대한 효율을 구하면 다양한 실린더 비이커 뿐만 아니라 마리넬리 비이커 시료에 적용할 수 있다. 그러므로 다양한 환경 시료의 효율에 적용하여 구할 수 있다<sup>[22]</sup>. 또한, 다양한 검출기 크기에 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

#### IV. CONCLUSION

동시합성 효과를 위해 표준혼합부피 선원 450 ml CRM Source의 P/T 비로부터  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{88}\text{Y}$ 로 방출되는 감마선의 효율에 대해 편차를 보정하였다. 또한  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{88}\text{Y}$ 의 동시합성효과 때문에 500 keV 이상의

에너지 영역에서 효율 문제 해결을 위해 보정할 수 있다<sup>[11,13]</sup>. HPGe 검출기 마다 효율이 다르기 때문에 앞에서 보정한 방법을 이용하면 간단하고 쉽게 보정할 수 있음을 확인하였다.<sup>[12-15]</sup> 또한 혼합부피 선원에서 구한 효율을 적용하여 부피가 다양한 환경시료에 적용할 수 있음을 확인하였다<sup>[16,18,21-22]</sup>. 따라서 연구자에 의한 실험에 드는 시간을 절약할 수 있으며, Monte Carlo simulation으로도 적용할 수 있음을 확인하였다.

#### Reference

- [1] Keyser, Ronald M, Ronald M., Susan E. Haywood, and Daniel L. Upp, "Performance of the True Coincidence Correction Method in Gamma Vision," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 245, No. 4, pp. 185-188, 2000.
- [2] McFarland, R. C. "Coincidence Summing Considerations When Using Marinelli-Beaker Geometries in Germanium Gamma-Ray Spectrometry," *Radioactivity and Radiochemistry*, Vol. 2, No. 3, pp. 72-74, 1991.
- [3] De Felice, Pierino, et al. "Fast Procedures for coincidence summing correction in Gamma-Ray Spectrometry," *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 52, No. 3, pp. 745-752, 2000.
- [4] Blaauw, Menno, Sjoerd J. Gelsema. "Cascade summing in gamma-ray spectrometry in marinelli-beaker geometries: the third efficiency curve," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol. 505, No. 1-2, pp. 311-315, 2003.
- [5] Garcia-Torano, Eduardo, Milagros Pozuelo, and Francesc Salvat, "Monte Carlo calculations of coincidence summing corrections for volume sources in gamma-ray spectrometry with Ge detectors," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol. 554, No. 3, pp. 577-583, 2005.
- [6] Garcia-Talavera, M., et al. "Coincidence summing corrections for the natural decay series in gamma-ray spectrometry." *Applied Radiation and Isotopes* Vol.

- 54, No. 5, pp. 769-776, 2001.
- [7] S. H. Kim, "Evaluation of The Cascade Summing effect for HPGe Detector by Using The Cross Analysis Sample," *Journal of Radiation Protection and Research*. Vol. 30, No. 2, pp. 103-112, 2005.
- [8] M. S. Lee, "Study on the cascade summing correction for high efficiency HPGe detector," *Journal of Radiation Protection and Research*. Vol. 30, No. 3, pp. 107-112, 2005.
- [9] Giubrone, G., et al. "Calculation of Coincidence Summing Correction Factors for an HPGe detector using GEANT4," *Journal of environmental radioactivity*, Vol. 158-159, pp. 114-118, 2016.
- [10] M. Lee, T. S. Park, J. K. Woo, "Coincidence summing effects in gamma ray spectrometry using a Marinelli beaker," *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 66, No. 6-7, pp. 799-803. 2008.
- [11] M. C. Lepy. "Total efficiency calibration for coincidence summing corrections," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, Vol. 579, No. 1, pp 284-287, 2007.
- [12] C. C. Conti, I. C .P. Salinas, H. Zylberberg, "A detailed procedure to simulate an HPGe detector with MCNP5," *Progress in Nuclear Energy*, Vol, 66, pp. 35-40, 2013.
- [13] C. S. Chaudhury, A. Goswami, et al., "Full energy peak efficiency calibration of HPGe detector for point and extended sources using Monte Carlo code," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 287, No. 3, pp. 701-708, 2010.
- [14] E. Tomarchio, "Coincidence summing correction equations in gamma-ray spectrometry with p-type HPGe detectors," *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 80, No. 3, pp. 318-323, 2011.
- [15] G. Haase, D. Tait, A. Wiechen, "Monte Carlo simulation of several gamma-emitting source and detector arrangements for determining corrections of self-attenuation and coincidence summation in gamma-spectrometry," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, Vol. A239, No. 3, pp. 483-492, 1993.
- [16] M. Decombaz, J. J. Gostely, J. P. Lawdermann, "Coincidence summing corrections for extended sources in gamma-ray spectrometry using Monte Carlo simulation," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, Vol. A312, No. 1-2, pp. 152-159, 1992.
- [17] R. G. Helmer, R. J. Cek, "Calculation of coincidence summing corrections for a specific small soil sample geometry," *Radioactivity Radiochemistry*, Vol. 8, No. 1, pp. 18-29, 1997.
- [18] B. S. Zoran Milosevic, "Coincidence summing correction for point and volume <sup>152</sup>Eu sources," *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.107, pp 138-144, 2016.
- [19] Laslo J. Nadder, Dragana J. Jordanov, Molos D. Davidovic, "A new matrix method for calculating coincidence summing effects for gamma spectroscopy," *Nuclear Instruments and Method in Physics Research*, Vol. 662, No. 1, pp 21-25, 2012.
- [20] Yosimune Ogata, Hiroshi Miyahara, Ishigure Nobuhito, Masashi Ishihara., "Development of the modified sum-peak method and its application," *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 109, pp. 354-357, 2015.
- [21] M. J. Safari, H. A. Heidari, "Method for developing HPGe detector model in Monte Carlo simulation codes," *Radiation Measurements*, Vol. 88, 2016.
- [22] Y. D. Qingbin, W. Z. Ma, "HPGe detector application on monitoring environmental samples around the accelerator," *IPAC*, 2016.

# 효율을 적용한 마리넬리 비이커에서 HPGe 감마선 분광분석법의 동시합성보정

장은성,<sup>1</sup> 이효영<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>고신대학교 복음병원 방사선종양학과

<sup>2</sup>동의대학교 방사선학과

## 요 약

동시 합성 보정 효과는 검출기의 효율이 향상할 때 그리고 선원과 검출기 사이의 거리가 가까울수록 크게 나타나는 것으로 알려져 있다. 점 선원(<sup>60</sup>Co)을 사용하여 검출기 중심축 방향 및 방사상 방향에서 거리에 따른 변화를 주어 P/T 비를 구하여 동시합성 보정을 하였다. 따라서 본 연구에서는 중심축 및 방사상 방향에서 동시합성 보정한 값들을 혼합부피선원(450 mL CRM source)에 적용하여 P/T에 따른 전체 피크 효율 변화를 Geant4과 비교하였다. 또한 검출기와 시료가 아주 밀착된 상태에서 맵핑법에서 구한 효율을 환경시료 중에서 해양 시료인 미역에 적용하여 P/T 비의 적합성을 평가하고자 한다. 500 keV 이상의 효율의 영향을 받는 에너지 영역에 1,836 keV로 보정한 효율을 적용한 결과 측정값과 보정값의 상대오차는 3.2 % peak 효율이 보정되어 잘 일치하였다. 450 mL CRM source처럼 부피가 커질수록 P/T 비는 ± 5%까지 감소하였다. 이것은 검출기로부터 선원이 멀어짐에 따라 방출된 감마선의 산란이 많아지기 때문이며, 이처럼 P/T 변화는 동시합성 보정 피크 효율에 영향을 줄을 확인하였다.

중심단어: Geant4 시뮬레이션, 고순도 게르마늄 검출기, 동시합성보정, 효율

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	장은성	고신대학교 복음병원 방사선종양학과	주임
(교신)	이효영	동의대학교 방사선학과	교수