

환경시료의 방사능 측정에서 HPGe 검출기의 전에너지 피크효율 곡선에 관한 고찰

장은성[†] · 백성민¹

부산대학교 핵물리 및 방사선기술연구소, ¹고신대학교 복음병원 핵의학과

A Study on Full-energy Peak Efficiency Curve of HPGe Detector in Radioactivity Measurement of Environmental Samples

Eun-Sung Jang[†] and Seong-min Baek¹

Pusan National University Nuclear Physics and Radiation Technology Research Center 609-735

¹*Dept. Nuclear Kosin university Gospel Hospital*

Received January 12, 2011/Accepted January 24, 2011

Standard radioactive sources that are used in determining the efficiency of detectors used single nuclide standard radioactive sources that are composed of single gamma nuclides containing total energy area (60-1863 keV), including environmental soil samples for environmental monitoring with a purpose of controlling radioactive. By measuring standard radioactive sources of diverse geometric shape of measuring containers (cylindrical Marinelli type: 40, 450 and 1000 ml) calculated full-energy peak efficiency of HPGe detectors, and compared this with full-energy peak efficiency of environmental sample soil. Spectrum was ready to measure gamma energy up to 3 MeV in 8192 (16384) channels with measuring time 20000 seconds. The detectors used in the experiments was from coaxial HPGe detectors of EG&G ORTEC. For 1332.5keV of gamma rays in ⁶⁰Co, the energy resolving power is 1.8keV, relative efficiency 30%, and peak/Compton ratio 51/1. Furthermore, when apply to environmental samples, for high energy area (>1000 keV), it was within allowable error range of 4%, and the efficiency curves showed having uncertainties less than 4% within energy 60-1863keV. In addition to this, it was proven that it is effective in standard radioactive sources that are used in environmental monitoring around nuclear facilities. Thus it is considered that this might be highly effective in analyzing wide range of gamma spectrum including routine environmental sample measurement or in monitoring in case of emergency situation etc.

Key words: HPGe detectors, full-energy peak efficiency, environmental samples, mixed standard radioactive source

1. 서 론

최근에 새로 개발되어 널리 사용되는 HPGe 감마선 스펙트럼 분석기는 탁월한 에너지 분해능으로 인해 실험핵물리학에서 필수불가결한 기본측정기구중의 하나가 되었다, 그러나 사용하는 검출기의 효율에 대한 지식이 없으면 감마선 스펙트럼의 정량적인 분석은 이루어질 수가 없다. 검출기의 효율은 원칙적으로 계산에 의해서

도 구할 수 있지만 HPGe 검출기의 경우에는 기하학적 형태가 완벽하게 동일한 기기로 제작하는 것일 불가능하므로 각 기기의 특성이나 효율을 일관되게 결정할 수 없다. 따라서 HPGe 검출기는 통일된 기기의 효율이나 특성을 가지고 있는 것이 아니라 각각의 기기마다 효율이나 특성이 조금씩 다르므로 사용자는 자신의 검출기의 효율과 특성을 직접 실험으로 측정된 자료를 이용하여 파악할 수밖에 없다.

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-51-510-1789, Fax: 82-51-583-9586, E-mail: silver9661@pusan.ac.kr

그러므로 방사능 측정시 가장 중요한 것은 검출기의 전에너지(Full energy Peak Efficiency) 피크효율을 정확히 결정하는 것이다. 검출기 효율결정에 이용되고 있는 표준선원은 측정하고자 하는 전체 에너지 영역을 포함하는 단일 감마선 방출핵종들로 이루어진 다중핵종 표준선원이나¹⁾, 몇가지 감마선을 방출하는 단일핵종 표준선원이다²⁻⁴⁾. 이들 표준선원의 방사능은 불감시간 보정과 펄스중첩 및 우연동시계수에 기인하는 오차를 줄이기 위하여 대략 계수율이 초당 2000인 것을 선택한다. 따라서 오래전부터 많은 연구자들은 몬테칼로 시뮬레이션이나 한정된 수의 밀도가 다른 표준시료를 이용하여 자체흡수보정 값을 구한 후 이를 외삽해서 밀도 차이에 대한 효율을 보정하였다. 현재 감마방사능 분석에 사용하는 방법은 밀도 1.0 g/cm³인 고체상태의 표준시료를 이용하여 측정한 전에너지 피크효율값을 다양한 밀도를 갖는 환경시료에 그대로 적용하고 있다. 따라서 표준시료와 측정시료의 밀도 차이로 자체흡수가 다르고 그 효과는 고 에너지보다 저 에너지에 크게 나타난다.

그러므로 본 실험에서는 다중핵종 표준선원과 더불어 방사능 제어 작업을 위한 환경 모니터링에 사용되는 환경 샘플 종류 중 전처리 과정을 거친 토양시료를 사용하여 전에너지 피크효율곡선의 측정치와 실측치를 비교 분석하였다.

2. 대상 및 방법

2.1. 시료의 전처리

즉 채취한 토양은 스텐바트에 펼쳐 그늘진 곳에서 풍건한다. 풍건하면서 나무뿌리나 불순물 등과 같은 이물질 제거한다. 건조중에 덩어리가 된 부분은 잘게 부수고, 건조 후 2 mm 체를 이용하여 위에서 제거하지 못한 2 mm 이상의 이물질 제거한다. 체로 거른 시료의 무게를 재고 측정용 요기인 마리넬리 비이커에 충전한 다음 측정시료의 무게를 재고 측정한다. 또한 전처리의 목적은 원시료가 갖고 있는 방사성핵종의 손실 없이, 균질하게 농축하여 원시료의 부피를 줄이는 것이다. 그 때문에 액체시료에서는 증발농축, 고체시료와 생체시료는 건조, 분쇄 등의 방법을 사용하여 시료를 조제한다.

2.2. 실험에 의한 전에너지 피크효율 결정

HPGe 검출기를 이용하여 원통형(40 ml), Marinelli

형(450 및 1000 ml) 표준선원 및 채취해 온 시료(토양)를 일련의 전처리 과정. 거쳐서 고순도 게르마늄 검출기(HPGe)를 사용하여 분석하였으며, 전에너지 피크 효율(full energy peak efficiency)곡선에 관한 측정치와 실측치를 비교 분석하였다. 스펙트럼은 8192(16384) 채널로 최대 3 MeV 정도까지의 감마선 에너지를 측정할 수 있도록 하였고, 측정시간은 80000초로 하였다. 실험에 사용한 검출기는 EG&G ORTEC 사의 동축형 HPGe 검출기이다.⁴⁻⁵⁾ ⁶⁰Co의 1332.5 keV 감마선에 대하여 에너지 분해능은 1.8 keV, 상대효율은 30% 그리고 Peak/Compton ratio:51/1이다. 측정이 끝난 스펙트럼은 분석용 프로그램인 GammaVision(EG ORTEC Co.)을 이용하여 분석하였으며 검출기와 측정용기의 기하학적 배치는 Fig. 1과 같다.

2.3. 혼합핵종 표준선원 및 토양시료의 전에너지 피크효율곡선 비교

HPGe 검출기의 전에너지 피크효율곡선을 결정하기 위한 표준선원과 검출기의 배치도를 나타내었다(Fig. 1). 원통형 표준선원은 검출기 끝단(end cap)에 바로 올려놓았으며, Marinelli형은 측정용기 지지대 위에 올려 놓아 검출기 끝단으로부터 일정한 거리만큼 떨어져 있다(Fig. 2). 먼저 세 가지의 측정용기인 40 mL 원통형(40 CB), 450 mL 역우물형(450 MB) 및 1000 mL 비이커(1000 MB)를 HPGe 검출기로 혼합핵종 표준선원 및 토양시료(450 ml)를 80000초까지 측정하여 실측치와 계산치를 비교 하였다. 또한 상용 표준선원으로 많이 사용되고 있는 다중핵종 감마선 표준선원은 Table 1에 나타내었다. 전에너지 영역에 걸쳐 다양한 감마선을 포함할 뿐만 아니라 효율곡선의 knee 영역에 대해

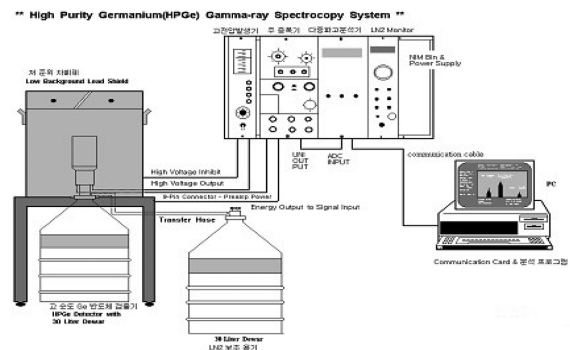


Fig. 1. High Purity Germanium (HPGe) Gamma-ray Spectroscopy System.

Table 1. Nuclear data of a commercial source

핵종	반감기(d)	감마선 에너지(kev)
Am-241	158003 ± 219	59.54
Cd-109	461.4 ± 1.2	88.03
C0-57	271.80 ± 0.05	122.06, 136.47
Ce-139	137.641 ± 0.020	165.86
Cr-51	27.703 ± 0.003	320.08
Sn-113	115.09 ± 0.03	391.70
Sr-85	64.850 ± 0.007	514.00
Cs-137	10964 ± 3	661.66
C0-60	1925.2 ± 0.4	1173.23, 1332.49
Y-88	106.626 ± 0.021	898.04, 1836.05

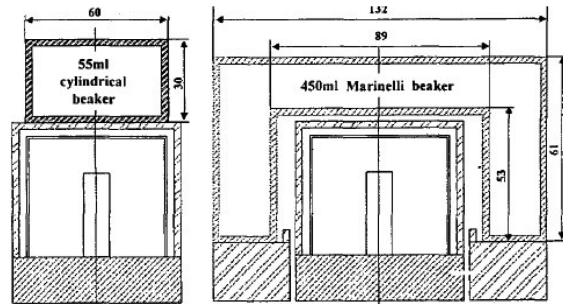


Fig. 2. Experimental and calculating geometry of cylindrical and Marinelli beakers.

서도 3개의 감마선을 포함하고 있으며, 반감기도 Cr-51과 Sr-85 일을 제외하고는 100일 이상으로 충분히 길다.

3. 결과 및 고찰

방사능 분석에서 가장 우선 시 되어야 할 것이 혼합 표준선원을 이용하여 HPGe 검출기의 정확한 효율곡선을 결정하는 것이다.¹⁰⁾ 혼합핵종 표준선원 및 환경시료인 토양을 이용하여 방사능 측정에서 주로 이용되고 있는 세 가지 측정용기(40 CB, 450 MB, 및 1000 MB)에 대한 전에너지 피크효율(full energy peak efficiency, FEPE) 곡선에 관한 측정치와 실측치를 비교 분석하였다. Fig. 3-6는 HPGe 검출기의 전에너지 피크효율을 상용의 표준선원을 이용하여 측정한 결과를 비교한 것이다. Fig. 3는 원통형 비커에 대한 효율을 비교한 것이고, Fig. 4는 450 mL Marinelli 비커, 그리고 5는 1000 mL Marinelli 비커 및 Fig. 6은 원통형과 Marinelli 비커 전체 비교 및 Fig. 7은 표준선원과 환경시료인 토양을 450 mL Marinelli 측정용기에 대한

Table 2. Comparison between measured and calculated efficiency for the 40 ml cylindrical type beaker

Energy (Kev)	Calculated Efficiency	Measured Efficiency	Measured Error (%)
59.54	0.006476	0.006484	4.16
88.03	0.11234	0.11055	4.87
122.06	0.11747	0.11779	4.21
136.47	0.11352	0.11914	4.26
165.86	0.10316	0.0986	4.1
320.08	0.06439	0.0638	4.54
391.7	0.05486	0.05484	5.02
514	0.0439	0.04593	5.2
661.66	0.03527	0.03616	4.1
898.04	0.02659	0.02486	4.02
1173.24	0.02057	0.02076	4
1332.49	0.01825	0.01883	4
1836.05	0.01404	0.0139	4.01

Table 3. Comparison between measured and calculated efficiency for the 450 ml Marinelli type beaker

Energy (Kev)	Calculated Efficiency	Measured Efficiency	Measured Error (%)
59.54	0.03205	0.03214	4.16
88.03	0.06051	0.05943	4.87
122.06	0.0677	0.06757	4.33
136.47	0.06668	0.06919	4.26
165.86	0.06222	0.06117	4.1
320.08	0.04055	0.03885	4.78
391.7	0.03483	0.03515	5.16
514	0.02828	0.03011	5.78
661.66	0.02321	0.02386	4.1
898.04	0.01811	0.01695	4.02
1173.24	0.01444	0.01458	4
1332.49	0.01293	0.01327	4
1836.05	0.00985	0.00977	4.02

Table 4. Comparison between measured and calculated efficiency for the 1000 ml Marinelli type beaker

Energy (Kev)	Calculated Efficiency	Measured Efficiency	Measured Error (%)
59.54	0.02146	0.02146	4.16
88.03	0.04046	0.04037	4.87
122.06	0.04595	0.04572	4.24
136.47	0.04554	0.04663	4.18
165.86	0.043	0.0423	4.1
320.08	0.02899	0.02841	4.83
391.7	0.02508	0.02524	5.08
514	0.02053	0.02144	5.78
661.66	0.01695	0.0173	4.1
898.04	0.01332	0.01256	4.02
1173.24	0.01069	0.01083	4
1332.49	0.00961	0.00985	4
1836.05	0.00741	0.00735	4.02

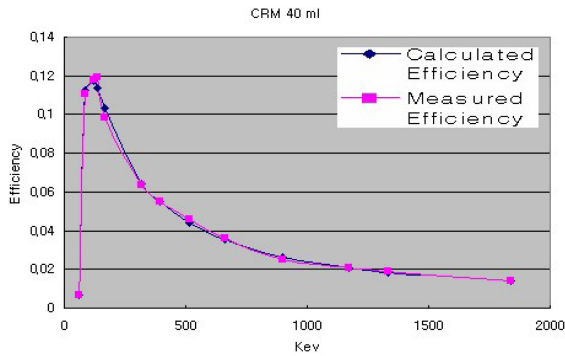


Fig. 3. Comparison of efficiency between the commonly used Calculated and Measured in the 40 ml cylindrical beaker.

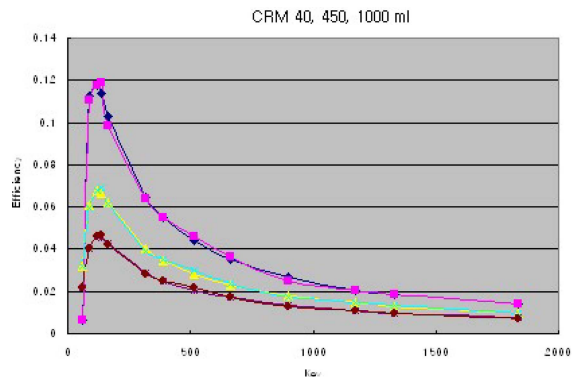


Fig. 6. The measured data(40, 450, 1000 ml) are shown in red, yellow, blue and the calculated efficiency is in the black line.

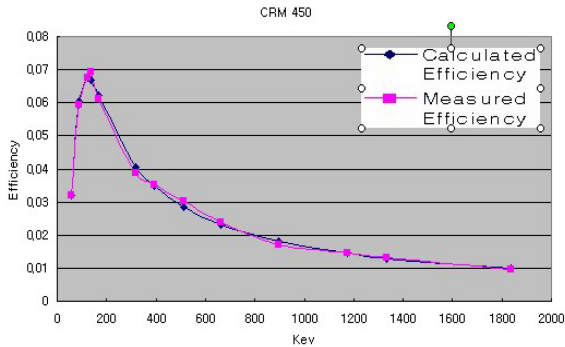


Fig. 4. Comparison of efficiency between the commonly used Calculated and Measured in the 450 ml Marinelli beaker.

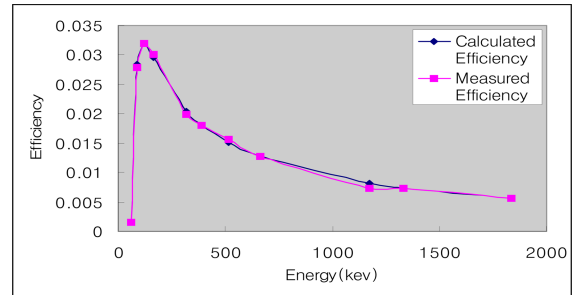


Fig. 7. Comparison of efficiency between the commonly used Calculated and Measured in the 450 ml soil.

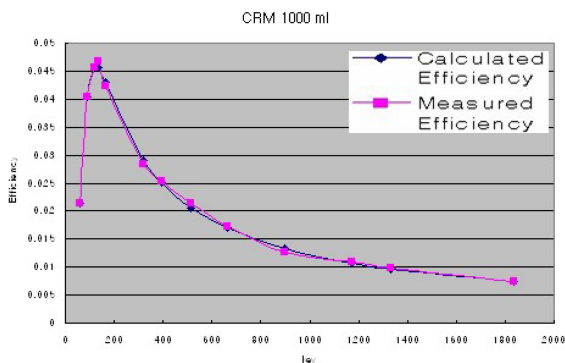


Fig. 5. Comparison of efficiency between the commonly used Calculated and Measured in the 1000 ml Marinelli beaker.

효율을 나타낸 것인데, 열린 점들은 사용의 표준선원을 이용하여 얻은 효율을 나타낸 것이며, 실선은 열린점들을 다항식 짜맞춤(fitting)한 값이다. 전에너지 영역에 대해서도 시료량이 증가할수록 효율은 감소하는 것을

볼 수가 있다.

40 ml 원통형 측정용기에 대해서는 전에너지 영역에 대하여 측정값과 계산값이 4% 이내로 잘 일치하며, 450 ml 및 1000 ml Marinelli 측정용기는 1000 keV 이하의 에너지 영역에 대해서도 측정값과 계산값이 4% 이내로 잘 일치하고 1000 keV 이상에서도 잘 5% 이내로 일치하였다.

4. 결 론

환경시료인 토양과 상용의 다중핵종 감마선 표준선원 또한 환경시료에 적용할 경우, 높은 에너지 영역(1000 keV) 이상에 대해서는 4% 이내의 오차로 잘 일치하였으며, 효율성곡선은 에너지 범위 60-1863 keV 범위 내에서 4% 미만의 불확실성을 가지는 것으로 확인되었다. 이와 더불어 핵 시설 주변의 환경모니터링에 사용되는 표준선원에 대해 효과적인 것임이 입증되었다. 그러므로 일상적인 환경 샘플의 측정 또는 비상 상

황 하의 감시 목적등을 포함한 광범위한 감마선 스펙트럼 분석에 대단히 효과적인 것으로 사료된다.⁹⁾

감사의 글

첨단융합신물질물리 특성화사업단의 지원과 한국기초과학지원연구원 부산센터의 원소함량 분석 지원에 대하여 감사드립니다.

참고문헌

1. N. Navi, Nucl. Instr. Meth, 116, 457, **1974**.
2. R.J. Gehrke, R.G. Helmer, and R.C. Greenwood, Nucl. Instr. Meth, 147, 405, **1977**.
3. R.C. Greenwood, R.G. Helmer, and R.J. Gehrke, Nucl. Instr. Meth, 159, 465, **1979**.
4. EG&G ORTEC, "Modular Pulse-Processing Electronicx and Semiconductor Radiation Detector", Oak Ridge, **1998**.
5. ANS/IEEE std. 325-1986, "IEEE Standard Test Procedures for Germanium Gamma-Ray Detectors", IEEE, **1986**.
6. K. Debertin and R. Jianping, "Measurement of the activity of radioactive samples in Marinelli beakes." Nucl. Instr. Meth, A 278, pp. 541~549, **1989**.
7. P. Dryak, P. Kovar, L. Plchova and J. Suran, "Corrections for the Marinelli geometry", J. Radiational Nucl. Chem, Letters 135(4), pp. 281~292, **1989**.
8. C.E Moss and J.R. Streetman, "Comparison of calculated and measured response fuctions for germanium detectros," Nucl. Instr. Meth, A299, pp. 98~101, **1990**.
9. Samat, S.B., Oi, Y., Taki., M., Manabe, I., Yoshida, M., Minami, K. **1995**. Characteristics of prepared gamma-ray calibration sources for radioactivity measurement of environmwntal and radiation control samples JAERI-Tech 95-010, Japan Atomic Energy Research Institute.
10. M.I. Abbs, "HPGe detector photopeak efficiency calculation including self-absorption and coincidence corrections for Marinelli beaker sources using compact analytical expressions", Appl. Radiat, Isot, 54, pp. 761~768, **2001**.
11. T. Boshkova and L. Minev, "Corrections for self-attenuation in gamma-ray spectrometry of bulk samples", Appl. Radiat. Isot. 54, pp. 777~783, **2001**.
12. K.M. Wainio and G.F. Knoll, "Calculated gamma ray response characteristics of semiconductor detectors", Nucl. Instr. Meth, 44, pp. 213~223, **1996**.