

Soil Samples in ^{134}Cs of the 604, 795 keV Spectrum Analysis

Eunsung Jang

Pusan National University Nuclear Physics and Radiation Technology Research Center

토양시료 속 ^{134}Cs 의 604, 795 keV 에너지 스펙트럼 분석

장은성

부산대학교 핵과학연구소

Abstract

^{134}Cs radioactive concentration among soil samples is difficult to classify due to the background impact on crust originated natural radioactive nuclide, and overlapping and interfering between peaks. The ways to identify true peaks in gamma-ray spectroscopy are as follows to reduce statistical fluctuation by smoothing based on the fact that the shapes of peak are mostly Gaussian, to inspect the levels of width and height of peaks, to add functions on low-energy trailing phenomena, or 4) to check the peaks after modifying Gaussian function itself. Therefore, it is considered that information and knowledge for spectrum analysis are necessary.

Key Words : Energy spectrum, Peak separate, Gamma-ray Spectrometry

요약

토양 시료 중에 극미량의 ^{134}Cs 방사능 농도는 지각 기원자연방사성 핵종들에 의한 background의 영향 및 피크간의 중첩 및 간섭으로 구분하기가 어렵다. 감마선 분광학에서 참 피크의 식별은 피크의 모양이 대체로 Gaussian임을 고려하여 smoothing에 의해 통계적 요동을 감소시켜 보거나 피크의 폭이나 숏아오름의 정도를 검사하거나, 저에너지 tailing 현상에 대한 함수를 추가하거나 Gaussian 함수자체를 변형시켜 확인 할 수 있었다. 그러므로 스펙트럼 분석에 대한 정보와 지식이 필요할 것으로 사료된다.

중심단어 : 에너지 스펙트럼, 피크분리, 감마선 분광분석.

I. INTRODUCTION

세습동위원소는 핵분열 생성 시, 그 생성비 및 방출비가 다른 기타 인공핵종들에 비해 높아 환경방사선 감시에 주요한 목적핵종으로 여겨지고 있다. 토양시료 내에 수많은 자연방사성핵종(우라늄 계열, 토륨계열, 악티늄 계열, 우주선기원핵종, 지각기원핵종)들 때문에

혹시 존재할 수도 있는 극미량의 인공방사성핵종들은 검출 할 수 없다는 것이다. 환경방사능 시료에 대한 측정에서 background보다 방사능 농도가 충분히 높을 경우 문제가 없지만 background 농도와 유사한 중복되는 구역이 발생하여 실제 스펙트럼을 구분하는데 어려움이 발생한다. 즉, 토양 시료 중에 극미량의 ^{134}Cs 방사능 농도는 지각 기원자연방사성 핵종들에 의한 background의 영향 및 피크간의 중첩 및 간섭으로 구

분하기가 어렵다^[16]. 그러므로 본 연구에서는 ^{134}Cs 토양표준시료에서 9개의 피크 중에서 붕괴율이 80% 이상인 604, 795 keV에서 스펙트럼의 피크 탐색, 중첩 피크의 분리, 분석에 필요한 피크 피팅방법, 불필요한 피크 제거에 관한 방법을 제시하고자 한다.

II. MEASUREMENT METHOD

2.1. 에너지 및 효율 교정용 스펙트럼

^{134}Cs 표준토양 선원을 사용하여 스펙트럼의 분석을 위해 구체적으로 에너지, 분해능, 효율 등의 교정, 피크 탐색 한계 설정, 중첩 피크 분리등 교정에 필요한 선원의 정보를 Table 1에 나타내었다. 스펙트럼에는 여러 정보들이 있으며, 특히 스펙트럼에 나타나는 피크들의 종류와 피크효율, 분해능, 피크의 모양 등이 있다 [1],[2].

Table 1. ^{134}Cs Gamma Emissions.

Energy(keV)	Photons per 100 disint.
475.368	0.01496
563.247	0.08402
569.331	0.15512
604.721	0.9821
795.864	0.8573
801.953	0.08720
1038.614	0.009930
1167.968	0.01793
1365.198	0.03022

2.2. ^{134}Cs 에너지 스펙트럼 측정

분석하고자 하는 에너지 스펙트럼 및 피크분리 위해 전 에너지 피크들의 순 면적이 100,000 Counts 이상이 되도록 측정하였다. Gamma Vision 5.0 프로그램으로 분석하였다^{[3],[4]}. ^{134}Cs 토양표준시료의 전 에너지 스펙트럼은 Fig. 1과 같다.

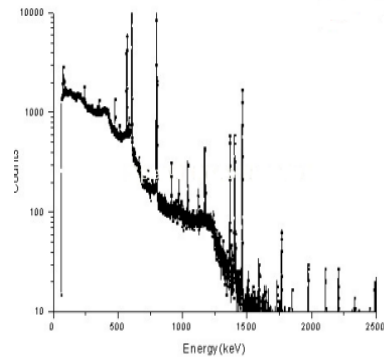
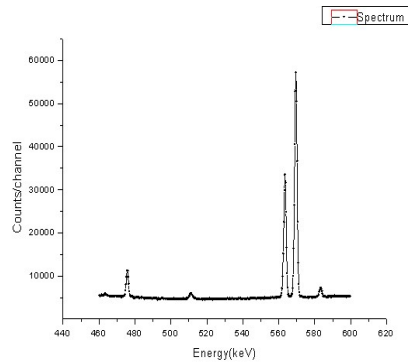
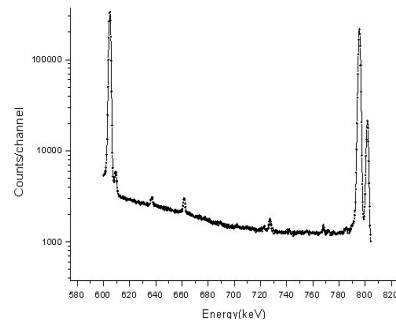


Fig. 1. ^{134}Cs gamma spectrum full energy peak.

Fig1에서 보는 바와 같이 ^{134}Cs 에서 방출되는 감마선의 전 에너지 흡수 피크 외에도 Background 감마선인 ^{40}K 로부터 방출되는 1460 keV, ^{208}Tl 로부터 방출되는 2614 keV 감마선 피크들도 보인다. ^{134}Cs 에서 나타나는 피크들을 자세히 보기 위해 2부분으로 스펙트럼을 연속으로 나열하였다(Fig. 2).



(a) 470 ~610 keV peak spectrum



(b) 600 ~810 keV peak spectrum

Fig. 2. The deterioration of a ^{134}Cs gamma spectrum : (a),(b).

2.3 피크 분리 및 피크모양

전 에너지 스펙트럼 피크는 \sqrt{E} 에 비례하는 편차를 갖는 가우스 함수에, 계단식 Background 위에 놓여진 저 에너지 쪽에 작은 가우스 함수가 더해진 형태로 나타난다^{[5]-[7]}. 피크에서 피크의 좌, 우측의 Background 계수는 각각의 채널에 대해 선형적이기 때문에 2차 함수로 fitting 하여 피크 끝단에서 얻어진 값들을 Background 기준 값으로 하였다(Fig.3).

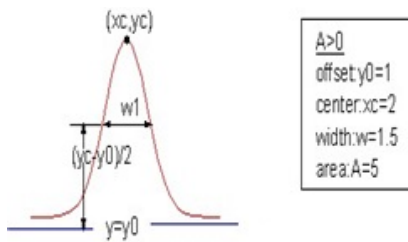


Fig. 3. Energy Resolution.

피크의 중심은 분리된 피크에서 채널들의 계수치를 증가한 평균값이며, 면적은 분리한 피크들의 총합이다. 동일한 방법으로 주요 피크(604,795 keV)들도 분리하였다(Fig. 4).

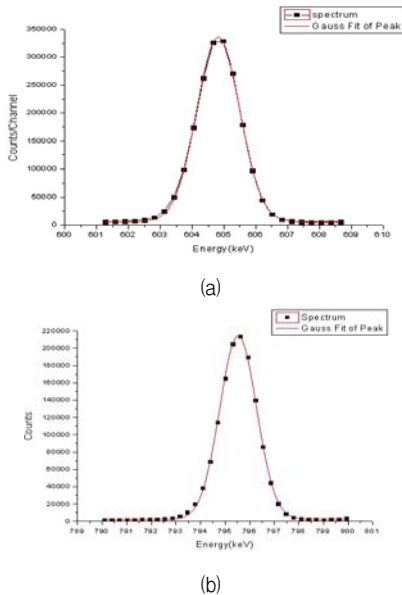


Fig. 4. 604, 795 keV energy Gaussian peak : (a), (b).

2.4 Background 피크 및 불필요한 피크 제거

Background 피크를 제거하기 위해서는 측정된 피크에 대해 실제 피크와 거짓 피크의 판별 기준이 필요하다^{[8]-[14]}. 스펙트럼의 통계적 변동과 알려지지 않은 스펙트럼을 제거하는 방식으로 fitting시 피크처럼 보이는 부분의 데이터는 제거한 후 fitting하였다.

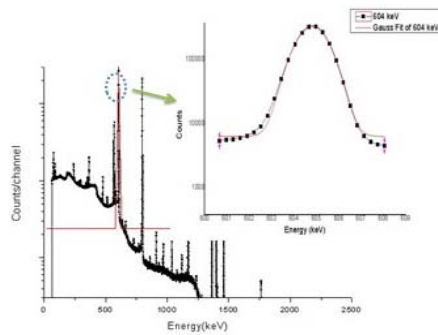


Fig. 5. ¹³⁴Cs gamma spectrum with 604 keV peak separate.

III. RESULT

¹³⁴Cs 스펙트럼의 전 에너지 피크는 일반적으로 가우스 함수 형태를 띠고 있으며, 피크의 저 에너지 쪽에 검출기의 불순물 준위에 의한 일부 전하의 포획으로 작은 tail이 존재한다^[16]. Fig. 1에서 2차함수로 Fitting 값을 Table 2에 나타냈다.

Table 2. Comparison ¹³⁴Cs full energy spectrum peak with separate 604 keV peak

Model	Gauss	
Equation	$y = y_0 + \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{-2\frac{(x-x_c)^2}{w^2}}$	
	Value	Standard Error
Y0	2376.15877	68.97476
Xc	604.81906	0.00918
W	1.37279	0.01836
A	571250.18604	6619.04343
Sigma	0.68638	
FWHM	1.61633	
Height	332019.19796	

또한 604, 795 keV를 1 keV간격으로 601~610 keV, 791 ~ 800 keV까지 피크를 분리하여 계단형 Background와 가우스 함수 등으로 fitting 한 결과를 Fig.6에 보였다. 그림에서 이어진 선은 데이터를 2차 함수로 fitting한 추세선이며, 측정값이 2차함수에 잘 맞는다. 즉, 스펙트럼의 계수들은 가우스 형태로 분포하고 있음을 알 수 있다. 측정된 계수에서 가우스 함수와 Background 합과의 관계를 Fig6에 보였다. Fig6에서 604, 795 keV 피크영역에서 피크를 주 Gaussian 함수와 계단형 Background로 하였을 때 fitting값과 측정치 사이의 차이를 나타낸다.

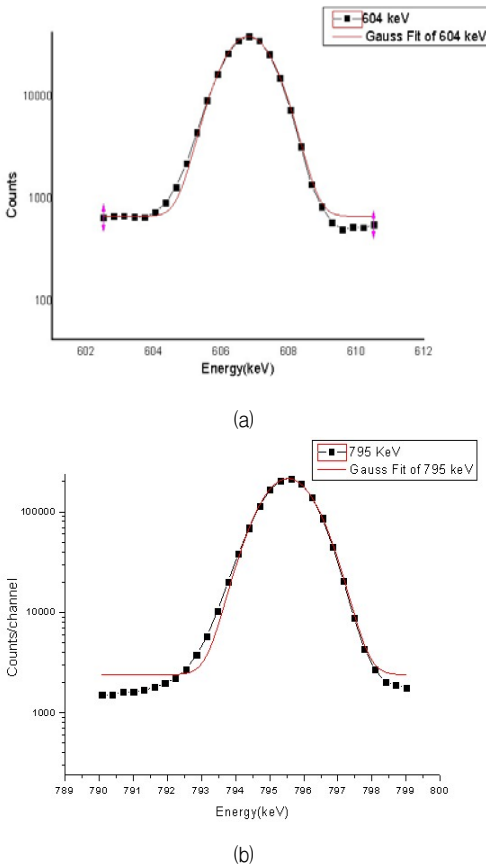


Fig. 6. 604, 795 keV energy peak separation with Background difference : (a),(b).

그 차이는 각 채널에서 측정된 피크와 계산된 피크가 거의 일치함을 알 수 있다. 또한 결과 값들은 표에 나타내었다. 표에서 계수의 크기나 에너지 영역에 관

계없이 계수들의 표준편차와 통계적 변동은 최소 0.3%에서 최대 1.2% 이내에서 일치하고 있음을 확인 할 수 있다(Table 3-4). 스펙트럼의 분포는 에너지와 상관 없이 가우스 함수 형태의 분포를 갖는다.

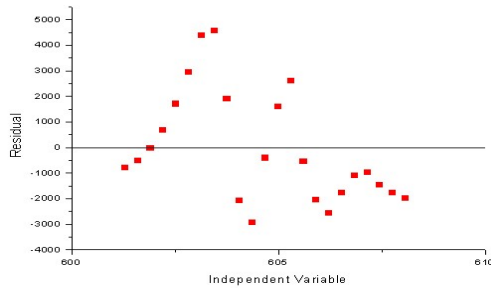
Table 3. 604 keV Input data Parameters

Model	Gauss	
Equation	$y = y_0 + \frac{A}{\sqrt{w/\pi/2}} e^{-2\frac{(x-x_c)^2}{w^2}}$	
	Value	Standard Error
	Y0	6218.76772
	Xc	604.81933
	W	1.34979
	A	557213.83813
	Sigma	0.6749
	FWHM	1.58926
	Height	329377.98785

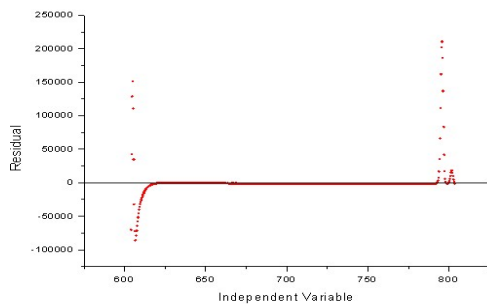
Table 4. 795 keV Input data Parameters

Model	Gauss	
Equation	$y = y_0 + \frac{A}{\sqrt{w/\pi/2}} e^{-2\frac{(x-x_c)^2}{w^2}}$	
	Value	Standard Error
	Y0	2398.42921
	Xc	795.53192
	W	1.49765
	A	398044.97192
	Sigma	0.74882
	FWHM	1.76335
	Height	212061.7895

Fig. 7 (a)는 에너지가 604 keV 실제 스펙트럼에서 fitting한 값을 뺀 결과를 보여준다. 피크가 없는 부분에서 Residual은 채널에서 계수의 통계적 변동 0.03- 0.05 이내에 있음을 알 수 있다.



(a) 604 keV Residual vs. Independent Plot



(b) Residual vs. Independent Plot

Fig. 7. The ^{134}Cs gamma spectrum with select features:
(a),(b) Measured spectrum peak and statistical variability
difference (600~800 keV).

IV. CONCLUSION

방사선 계측시스템은 자연방사선 환경 속에서 운용되므로 필연적으로 background의 영향을 받는다. 그런데 시료의 방사능이 극히 미미할 때는 그 탐색하고자 하는 피크와 background를 구분하기 어려워진다^[15]. 그러므로 감마선 분광학에서 참 피크의 식별은 피크의 모양이 대체로 Gaussian임을 고려하여 smoothing에 의해 통계적 요동을 감소시켜 보거나 피크의 폭이나 슛아오름의 정도를 검사하거나, 저에너지 tailing 현상에 대한 함수를 추가하거나 Gaussian 함수자체를 변형시켜 확인 할 수 있었다^[16]. 또한 상용프로그램사용과 함께 피크분석에 대한 지식이 필요할 것으로 사료된다.

Reference

[1] Moseong Lee, SangYeon Lee, Gyeongwon Suh, The study of

method of development for simulated HPGe spectrum peak the korean Association for Radiation Protection Conference.

- [2] Gyeongwon Suh, Moseong Lee Development of Spectrum for peak search condition setting Symposium of fall on Radiation Protection and Radioactive Waste, p 258 (2004)
- [3] ORTEC. Gamma Vision 5.0 Operational Manual.
- [4] EG&G ORTEC, 'Modular Pulse-Processing Electronics and Semiconductor Radiation Detectors', Oak Ridge, (1988).
- [5] Development of Simulation Spectrum for program evaluation of the HPGe detector spectrum analysis, p52-53(2005).
- [6] Jongwan Son, Myeongseok Shin, Hejeong Lee, Gyoens Jeong, Minsu Jeong, Sangnyeon Kim, A Development of GUI Full-Energy Absorption Peak Analysis Program for Educational Purpose, 2009
- [7] Gilmore G and Hemingway JD. Practical Gamma-Ray Spectrometry. John Wiley & Sons 1955:167
- [8] Robison DC. A computer program for the determination of accurate gamma-ray line intensities from germanium spectra. Nucl. Instr. and Meth. 1970;78:120-124.
- [9] Phillips QW and Marlow KW. Automatic analysis of gamma-ray spectra from germanium detectors. Nucl. Inst. and Meth. 1976;137:525-536.
- [10] Routti JT and Prussin SG. Photopeak method for the computer analysis of gamma-ray spectra from semiconductor detectors. Nucl. Instr. and Meth. 1969;72:125-142.
- [11] Dojo M. A shape function of photopeaks for gamma-ray spectrum analysis with Ge(Li) detectors. Nucl. Instr. and Meth. 1974;115:425-429.
- [12] Glenn F. Knoll, Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, Inc., USA, 3rd Edition, 2000.
- [13] Knolls Atomic Power Laboratory, Nuclides and Isotopes: Chart of the Nuclides. Lockheed Martin, USA < 16th Edition, 2002.
- [14] P.W. Nicholson, Nuclear Electronics (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1974). This book is an extensive treatise on the electronics associated with high-resolution detectors. Detailed descriptions are given of detector preamplifiers, puls shaping, rate-related losses, pulse-height analysis and spectral resolution.
- [15] H. L. Beck, W. J. Cobdon and W. M. Lowder, "Spectrometric techniques for measuring environmental gamma radiation, HASL-150 (1964).
- [16] Eunsung Jang. Limits to measurement ^{134}Cs in soil samples, (2014).