

내부표준법을 이용한 감마선 분광분석시스템 검출효율 교정방법 연구

이정학 · 이경범 · 박태순 · 이종만 · 이상한 · 오피제 · 이민기 · 김은주*

한국표준과학연구원 전북대학교*

E-mail: jhlee77m@gmail.com

중심어 (keyword) : 내부표준법, 감마선분광분석, 효율교정, 방사능측정, 환경시료

서론

HPGe 검출기의 에너지와 효율교정에는 일반적으로 외부표준방법이 사용된다. 이 방법은 분석하려고 하는 시료와 동일한 밀도, 기하학적 구조 및 화학적 구성을 갖는 인증표준물질을 사용한다. 검출기 효율결정에 인증표준물질을 사용하는 외부표준방법과 달리, 측정시료만으로 효율교정을 수행할 수 있는 방법이 내부표준방법이다. 내부표준방법의 편리성과 광범위한 현장 적용성에도 불구하고 아직 그 방법의 유효성에 대한 연구가 이루어지고 있지 않다. 본 연구는 내부표준방법에 의한 검출효율 교정절차와 결과를 제시하였다. 또한 내부표준방법으로 얻은 효율값과 외부표준방법으로 구한 효율값을 비교분석하여 내부표준방법의 유효성을 확보하였다. 외부표준법으로 계산한 검출효율과 내부표준법으로 계산한 검출효율은 2% 범위 내에서 일치하였다. 이 사실은 내부표준방법이 외부표준방법의 적용이 어려운 상황에서 유효성 있게 사용할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

재료 및 방법

내부표준법에 의해 검출기의 검출효율을 교정하기 위해서는 다음의 두 가지 조건이 충족되어야 한다. 첫번째는 측정시료의 ^{238}U 혹은 ^{232}Th 붕괴계열에 대해 방사평형상태에 있어야 한다. 즉 측정시료의 같은 계열의 핵종의 방사능은 동일해야 한다. 두번째는 검출기의 검출효율은 300 keV 이상에서 에너지에 대한 효율의 log-log 척도의 일차식으로 근사 가능해야 한

다. 즉 0.3 ~ 2 MeV 영역에서 에너지에 대한 효율의 관계식은 아래 식으로 기술될 수 있다. [1]

$$\ln \epsilon = \ln a + m \ln \frac{E}{E_0} \quad (1)$$

여기서 ϵ 은 검출효율이고 a , m 는 실험적인 매개변수, E 는 에너지(keV)고 E_0 는 1 keV 이다.

이 두가지 조건이 충족된 후 내부표준방법을 이용한 효율교정을 위해서 먼저 감마선 분광분석시스템으로 측정시료의 ^{238}U , ^{232}Th 붕괴계열의 딸핵종 감마선 에너지별 계수율을 구한다. 방사평형상태를 이룬 같은 계열의 핵종의 방사능은 동일하므로, 위에서 구한 계수율과 감마선 방출율을 이용하여 감마선 에너지별 상대적효율을 구한다. 상대적효율은 KCl 시료를 측정하여 얻은 ^{40}K 의 1460.8 keV 에서의 계수율과 방사능농도(1.64×10^4 Bq/kg)로 구한 검출효율과 동일한 에너지에서 상대적효율과의 비를(factor)를 구하여 다른 감마선에너지에 그 비율(factor)를 곱하여 상대적효율을 절대효율로 변환한다. 측정시료(IAEA-385)를 90 cm³ 알루미늄 용기에 담아 밀봉하여 30 일 정도가 경과한 후 용기를 랩으로 감싸 저준위 HPGe 검출기 [2]의 표면에 측정시료를 놓고 측정하였다. 환경시료 특성상 방사능농도가 낮으므로 긴 측정시간이 요구되며 측정시간은 585,048 초이다. 순도가 99.5% KCl 을 오븐에 100도에서 24 시간을 가열하여 습기를 제거한 후 파우더 형태로 만들어 환경시료와 동일한 용기에 담아 밀봉한 후 113,284 초 측정하였다. 또한 시료가 없는 상태에서 백그라운드(BKG) 측정이 반드시 필요하며, 511,814초 측정하였다.

표1. 측정시료의 ^{238}U , ^{232}Th 계열 딸핵종의 감마선 에너지, 방출율, 계수, 백그라운드 상대적효율.

Nuclide	Energy (keV)	Emission Ratio	Soil sample		BKG		ln(Energy)	ln(Rel. Effi.)
			Counts	Uncertainty	Counts	Uncertainty		
^{228}Ac	463.2	0.044	3829	152	0	0	6.138	-1.906
^{212}Bi	727.4	0.067	5615	125	175	56	6.589	-1.979
^{228}Ac	795.0	0.043	2949	115	0	0	6.678	-2.144
^{228}Ac	911.3	0.258	18910	173	511	60	6.815	-2.109
^{214}Bi	609.4	0.455	30255	213	7245	111	6.412	-2.504
^{214}Bi	1120.3	0.149	6537	132	1498	64	7.021	-2.894
^{214}Bi	1238.3	0.058	2436	134	624	55	7.122	-2.980
^{214}Bi	1764.6	0.153	6590	100	1573	57	7.476	-2.927

결과 및 고찰

표1.는 측정시료에 존재하는 ^{238}U , ^{232}Th 계열 딸핵종의 감마선 에너지, 방출율 그리고 측정된 계수를 나타내었다. 에너지에 대한 상대적효율의 log-log 척도 1차 피팅을 하여, ^{232}Th 계열의 기울기는 -0.3342 , y 절편은 0.1702 그리고 ^{238}U 계열의 기울기는 -0.4492 , y 절편은 0.3783 을 구했다.

위에서 구한 log-log 척도의 1차식으로 1460.82 keV 에서 상대적효율을 구할수 있다. 상대적효율은 비(factor)를 이용하여 효율로 변환된다. 비는 동일한 에너지에서 검출효율을 상대적효율로 나눈값이다. 비(factor)를 구하기 위해 먼저, KCl 시료에서 측정된 ^{40}K 의 1460.8 keV 에서 검출효율을 구해야 한다. 검출효율은 0.0323 이다. ^{232}Th 과 ^{238}U log-log 척도식으로 1460.8 keV 에서 ^{232}Th 계열의 상대적효율 0.104 Bq/Kg 과 ^{238}U 계열의 상대적효율 0.055 Bq/Kg 를 얻었다. 각각의 상대적효율을 ^{40}K 의 1460.8 keV 에서 검출효율로 나눈 비(factor)는 0.311 과 0.584 이다. 이 비를

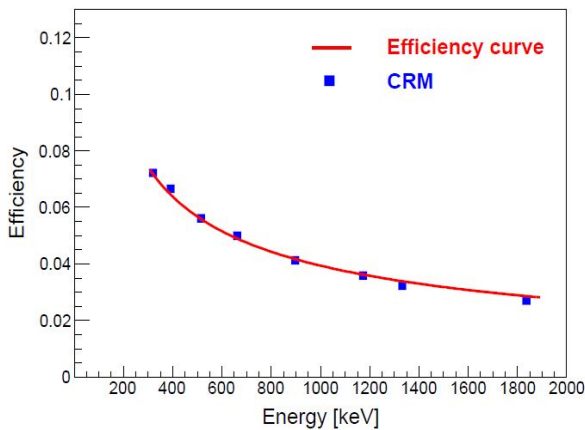


그림1. 내부표준법을 사용하여 구한 효율곡선과 인증표준물질(CRM)으로 계산한 효율

상대효율에 곱하여 구한 효율값을 식(1)으로 피팅하여 매개 변수 $a = 1.484$, $m = -0.525$ 을 얻었다. 매개 변수 a , m 으로 에너지에 대한 효율곡선을 구했으며, 그림1.은 내부표준법으로 구한 효율곡선과 인증표준물질을 사용하여 구한 효율을 나타냈다. 내부표준법으로 얻은 효율은 외부표준법의 구한 효율과 2% 범위내에서 일치함을 보였다.

결론

내부표준법으로 HPGe 검출기의 효율곡선을 구했다. 일반적인 외부표준법과 비교하여 검출효율면에서 큰 차이를 보이지 않았으나, 불확도 면에서 다소 높게 나타남을 알수 있었다. 방사평형 조건으로 ^{232}Th 과 ^{238}U 계열 log-log 척도의 1차식의 기울기가 다소 차이를 보이고 있으나, 이에 대해서는 지속적인 연구가 있어야 할것이다. 내부표준방법은 효율교정 절차가 단순하며 외부표준법과 효율 차이 측면에서 2% 내에서 일치했다. KCl 시료와 환경시료를 사용하여 검출기 효율교정 방법은 편리성과 현장 적용성에 의해 환경방사능 측정시 표준물질을 사용하기 곤란한 경우 감마선 분광분석시스템의 효율교정 방법으로 사용될 것이다.

참고 문헌

- [1] Gordana Pantelic, Gamma spectrometry calibrations with natural radioactive materials, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 369 (1996).
- [2] K.B. Lee, Development of a low-level background gamma-ray spectrometer by KRIS, Applied Radiation and Isotopes Volume 66, Issues 6-7, (2008)