

KINAC의 HRGS IAEA 숙련도 시험 평가 결과

서하나*, 윤종호, 안길훈

한국원자력통제기술원, 대전광역시 유성구 유성대로 1534

*hana@kinac.re.kr

1. 서론

국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)는 핵활동을 검증하는 하나의 수단으로 환경시료를 활용하고 있다. 환경시료에서 원자력 관련 시설의 미신고 핵활동을 예측할 정도로 미량의 방사성동위원소를 검출하기 위해서는 분석자의 숙련도가 매우 중요하다. 본 원은 환경시료를 분석하기 위해 구축한 고분해능감마분광분석장비(High Resolution Gamma Spectroscopy, HRGS)의 분석 숙련도를 정량화하기 위해 IAEA가 매년 개최하는 숙련도 시험에 참가하고 있다.

본 논문은 해당 시험의 결과와 이를 토대로 한 향후 개선 방안을 도출하여 기술하였다.

2. 재료 및 방법

본 원의 HRGS는 N형 HPGe(Gamma-X, ORTEC)으로 60%의 상대효율을 가지며, 반치폭은 5.9 keV에서 1.1 eV, 1.33 MeV에서 2.3 keV다. 엔드캡은 탄소섬유(carbon fiber)로 제작하였다. 검출기로부터의 신호는 디지털MCA (DSPEC-Plus, ORTEC)로 계측하였다. 적용하는 모든 신호처리 회로와 컴퓨터는 절연트랜스를 통해 전원을 공급하여, 전원으로부터의 노이즈를 최소화하였다. 축적된 데이터는 분석 프로그램인 Gamma Vision을 대신하여 자체적인 툴로 분석하였다.

효율을 계산하기 위하여 한국표준과학연구원의 인증 표준선원 14PB500KINAC1 50 ml을 U-8 용기에 담아 활용하였다. 해당 표준선원에 포함된 대부분의 핵종은 인공 방사성핵종으로, ^{235}U 와 같은 자연 방사성핵종은 포함되지 않는다. 이를 보완하기 위하여 미국국가표준기술연구소의 인증 표준물질 SRM 4350B를 사용하였다. 해당 시료는 우라늄 동위원소를 포함하고 있으나, 인증서에 정량값이 표시되지 않아 한국기초과학지원연구원에 의뢰하여 그 값을 인증받아 효율 교정에 활용하였다.

수령한 토양 및 해조류 시료는 모두 분쇄된 형태였으므로, 습분을 증발시키기 위해 105°C에서

24시간 건조하여 표준선원과 동일한 기하학적 구조를 가지도록 준비하였다. 또한 토양 내 존재할 것으로 예상되는 ^{226}Ra 핵종이 자핵종들과 방사평형을 이룰 수 있도록 21 일 간 밀봉한 상태를 유지한 뒤, 각각 40 만초를 계측하였다

3. 결과

3.1 방사능

핵종의 비방사능 A 아래와 같이 산출하였다[1].

$$A = \frac{N}{\epsilon t_s m \gamma K_1 K_2 K_3} \quad (1)$$

A: 핵종의 비방사능 [Bq/kg]

N: 시료 스펙트럼의 순피크 영역 면적 [cts]

ϵ : 전에너지 피크의 효율

t_s : 시료 스펙트럼 측정 시간(live time) [s]

m: 시료의 질량 [kg]

γ : 해당 에너지에서의 감마선 방출 확률

이 때, K_1 , K_2 , K_3 은 각각 아래와 같이 시료의 채취 시점부터 측정시작 시점까지 핵종의 붕괴 정도, 측정시간 동안의 핵종의 붕괴 정도, Random summing 효과에 의한 펄스 손실을 보정하는 인자다. 산출한 비방사능은 Table 1, 2에 나타내었다.

$$K_1 = \exp\left(-\frac{\ln 2 \Delta t}{T_{1/2}}\right) \quad (2)$$

$$K_2 = \frac{T_{1/2}}{\ln 2 t_r} \left[1 - \exp\left(-\frac{\ln 2 t_r}{T_{1/2}}\right)\right] \quad (3)$$

$$K_3 = \exp(-2R\tau) \quad (4)$$

Δt : 시료 채취 시점에서 측정시작까지 소요 시간[s]

$T_{1/2}$: 해당 핵종의 반감기 [s]

t_r : 측정 시간(real time) [s]

R: 평균 계수율

τ : 분해시간

이 결과에 따르면, 해조류와 토양 모두 ^{40}K , ^{208}Tl , ^{212}Pb 의 자연 방사성핵종과 ^{137}Cs 를 포함하고 있다. 해조류는 토양과 달리 ^{134}Cs 를 포함하고 있으며, ^{40}K 를 제외한 자연 방사성핵종의 비방사능은 토양에 비하여 낮다. 토양은 ^{214}Bi , ^{226}Ra , ^{235}U 를 포함하고 있다.

3.2 불확도 및 최소검출 방사능

합성표준불확도는 아래의 수식과 같이 포함인자 k를 1로 산출하여 Table 1, 2에 나타내었다. Table 1에서 해조류 내의 방사성핵종의 계수율이 낮아 비방사능의 불확도는 토양에 비하여 높은 추이를 보인다.

$$\frac{\sigma_A}{A} = \sqrt{\frac{\sigma_N^2}{N^2} + \frac{\sigma_\epsilon^2}{\epsilon^2} + \frac{\sigma_{K_1}^2}{K_1^2} + \frac{\sigma_{K_2}^2}{K_2^2} + \frac{\sigma_{K_3}^2}{K_3^2}} \quad (5)$$

B가 배경방사능 피크 면적일 때, 최소검출 방사능(Minimum Detectable Activity, MDA)는 아래의 수식과 같이 각각 산출하여 Table 1, 2에 나타내었다[2].

$$MDA = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{B}}{t_B \epsilon \gamma m} \quad (6)$$

Table 1. Results of the Sample(Seaweed)

Nuclide	Specific Activity [Bq/kg]	Uncert. [%]	MDA [Bq/kg]
^{40}K	1811.919	3.79	15.1178
^{134}Cs	5.533	5.23	0.0054
^{137}Cs	20.824	2.81	0.0060
^{208}Tl	0.732	11.54	0.3101
^{212}Pb	2.024	12.06	0.3681
^{214}PB	2.496	12.27	0.5114

Table 2. Results of the Sample(Soil)

Nuclide	Specific Activity [Bq/kg]	Uncert. [%]	MDA [Bq/kg]
^{40}K	407.20	3.84	12.5005
^{137}Cs	16.81	2.82	0.0050
^{208}Tl	5.03	9.09	0.2548
^{212}Pb	13.15	10.20	0.3004
^{214}PB	25.35	9.78	0.4185
^{214}Bi	25.28	9.64	0.5195
^{226}Ra	23.80	3.72	3.2098
^{235}U	1.05	4.45	0.1644

4. 결론

본 원은 해당 분석 결과를 IAEA에 송부하였으며, 불확도 범위 내에서 결과가 합치하였다. IAEA의 결과에 따라 본 원은 토양 및 해조류에서 우라늄을 비롯한 자연방사성동위원소를 분석하기 위한 숙련도를 확보하였음을 나타낸다. 다만 향후, 불확도를 낮추기 위해 장비 교정값의 보정이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- [1] C.Dovlete, P.P.Povinec., "Quantification of uncertainty in gamma-spectrometric analysis of environmental samples", IAEA TECDOC-1401 103-126 (2004).
- [2] 이명호, 조영현, 최근식, 이창우, 신현상, 환경시료 중 Pu 측정에서 최소검출방사능 농도 산출에 대한 연구, Analytical Science and Technology Vol. 14, No.1, 64-71 (2001).