

감마분광분석기를 이용한 환경방사능 분석시 측정불확도 평가

이완로, 박지연, 정근호, 조영현, 강문자, 김희령, 최근식, 이창우
 한국원자력연구소 원자력환경연구부, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

petor@kaeri.re.kr

측정결과의 품질, 다시 말해서 그 신뢰도를 나타내는 어떤 정량적인 값을 측정결과와 함께 나타내야 하는데 1993년 이전까지는 여러 가지 용어들이 사용되어 왔다. 다양한 용어 및 개념을 사용함으로써 야기된 문제들을 해결하기 위해서 국제 표준화기구 (ISO: International Organization for Standardization)는 1993년 여러 국제기구(BIPM, IEC, IFCC, IUPAC, IUPAP 및 OIML)와 더불어 측정불확도표현 지침서(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement:GUM)를 발행했으며, 이 지침서에 의해서 측정불확도를 구하고 표현하는 방식이 전 세계적으로 많은 분야에 점진적으로 적용되어 왔다. 본 논문에는 감마분광분석기를 이용한 환경 방사능 분석시 측정불확도를 평가하였다. 환경방사능 분석시 측정불확도를 평가하기 위해서 먼저 측정모델링을 세우고 이를 통해서 상대합성불확도를 구하고, 마지막으로 유효자유도를 통한 포함인자(k) 값을 구하고 이를 통해서 확장불확도를 구한다. 감마분광분석기를 이용한 환경방사능 분석시 측정모델링은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$A = \frac{N}{\epsilon \times \gamma \times t_s \times m \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5} \quad \text{식. 1}$$

여기서 N : 실 피이크 면적, ϵ : photopeak에서의 효율, t_s : 시료 측정시간, m : 측정된 시료의 무게, γ : 피이크 에너지의 감마선이 방출될 확률, K : 각종 보정인자.

식. 1을 이용하여 상대합성 불확도를 구하는 식은 아래와 같이 표현된다.

$$\frac{\mu_c(A)}{A} = \sqrt{\left(\frac{\mu(N)}{N}\right)^2 + \left(\frac{\mu(\epsilon)}{\epsilon}\right)^2 + \left(\frac{\mu(\gamma)}{\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\mu(m)}{m}\right)^2 + \sum_{i=1}^5 \left(\frac{\mu(K_i)}{K_i}\right)^2} \quad \text{식. 2}$$

식 .2를 보면 불확도에 영향을 주는 인자는 다음과 같다. 먼저 시료전처리에 의한 불확도, $\frac{\mu(m)}{m}$, 피크면적을 구할 때 생기는 통계적 불확도, $\frac{\mu(N)}{N}$, 효율을 구하기 위한 불확도, $\frac{\mu(\epsilon)}{\epsilon}$, 핵 자료 데이터틀 이용한 방출에 대한 불확도, $\left(\frac{\mu(\gamma)}{\gamma}\right)$, 붕괴보정에 의한 불확도, $\sum_{i=1}^5 \left(\frac{\mu(K_i)}{K_i}\right)$.

포함인자 k의 값을 구하기 위해서 합성불확도의 유효자유도를 추정하여야 한다. 이 값을 구해야 합성불확도에 k값을 곱한 확장불확도를 구할 수 있게 된다. 유효자유도는 합성불확도 $u_c(A)$ 가 측정량 A의 표준편차를 얼마나 잘 추정하는가를 나타내는 것으로서 합성불확도의 불확도 척도라고 할 수 있다. 보통 유효자유도가 충분히(30이상) 크면 정규분포를 따른다고 가정하고 95 % 신뢰구간에서 k=2의 값을 주로 사용한다. 실제로 감마분광분석기를 이용한 환경방사능 분석시 유효자유도는 30을 넘기 때문에 포함인자 k의 값을 2로 사용해도 무방하다. 유효자유도는 Welch-Satterthwaite공식을 이용하여 추정할 수 있다.

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(A)}{\sum \frac{[u(x_i)]^4}{v_i}}, \quad \text{식. 3}$$

여기서 v_i 는 $u(x_i)$ 의 자유도로서 A형 평가 및 B형 평가에 따라서 각각 다르게 구할 수 있다. 또한 확장불확도는 합성불확도에 포함인자 값을 곱하여 구할 수 있다.

$$U = u_c(A) \times k \quad \text{식. 4}$$

시료량 200 g의 러시아 산 차가버섯의 방사능 농도를 분석한 실제 예제를 통해서 불확도를 산출했다. 용기는 450 ml 마리넬리 비이커를 이용했으며, 감마분광분석기를 이용하여 측정하였다. Cs-137 핵종의 평균 방사능은 80.5 Bq/kg이고 상대불확도는 식. 2와 식. 3을 이용하여 구하였다. 표. 1에서는 상대불확도 및 유효자유도 값을 요약하였다.

표. 1 불확도 및 유효자유도

불확도 요인	표현식	상대불확도(%)	유효자유도
샘플전처리	$\frac{\mu(m)}{m}$	0.0015	9
샘플 실패크	$\frac{\mu(N)}{N}$	3.2	∞
효율교정	$\frac{\mu(\epsilon)}{\epsilon}$	1.4	11
붕괴보정	$\sum_{i=1}^5 \left(\frac{\mu(K_i)}{K_i} \right)$	2.0	∞
핵자료데이터	$\frac{\mu(\gamma)}{\gamma}$	0.24	∞
전체	$\frac{\mu_c(A)}{A}$	4.03	755 (정규분포)
95 %신뢰구간			k=2

식. 4와 표. 1을 이용하여 구한 확장불확도(U)는 6.52 Bq/kg 이다. 측정된 시료의 방사능은 평균이 80.5 Bq/kg 이며 불확도가 6.52 Bq/kg (신뢰도 95%, k=2)이다. 본 논문에서는 측정불확도 표현지침에 따라서 감마분광분석기를 이용한 환경방사능 분석시 확장불확도를 평가하였다. 평가 결과에 의하면 측정중에 생기는 불확도, 붕괴보정 및 효율교정에 의한 인자가 가장 컸다. 반면에 샘플전처리와 각 핵종의 붕괴확률에 의한 불확도는 크게 영향이 없었다. 본 논문에서는 기기의 효율보정, 무게측정 및 부피측정, 밀도보정, 자체흡수 및 방출불확도 등 모든 요소를 포함하는 불확도를 국제 공인 방법인 GUM에 근거하여 방사능분석에 맞게 적용하였다. 따라서 본 논문에서 언급한 방법을 이용하여 불확도를 표현하면, 서로 다른 국가에서 이루어지는 측정결과를 쉽게 비교할 수 있고 평가할 수 있고, 측정결과의 상호인정이 가능하다. 이로 인해서 제 3국에서 별도의 검사 없이 측정결과를 인정할 것이며 따라서 경제적, 시간적 이득이 생길 수 있을 것이다.