

HPGe 감마분광시스템을 이용한 우라늄 방사능 분석 기술

이완로, 박지연, 최상도, 김희령, 정근호, 조영현, 강문자, 최근식, 이창우, 정형욱*, 박상애*

*식품의약품안전청, 서울특별시 은평구 진흥로 231번지

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

petor@kaeri.re.kr

저준위 환경시료, 원자력관련시설 주변 시료 및 핵활동 환경흔적시료의 우라늄 방사능 분석은 주로 Alpha spectrometry, ICP-MS, neutron activation analysis 등의 방법이 주로 이용되고 있다. 위에서 설명한 방법은 저준위 극미량 시료의 정확한 분석에 매우 유용한 방법이나, 측정시간 및 비용, 고가의 장비와 고도의 분석기술이 필요하여 매우 제한적이다. 특히 시료를 직접 분석하지 못하고, 파괴하여 추출하는 복잡한 전처리 단계가 필요하다.

본 연구에서는 시료를 파괴하지 않고 특별한 전처리 단계가 필요없는 우라늄 방사능 분석 기술을 소개하고 분석결과를 Alpha spectrometry 방법의 결과와 비교검증 하였다. HPGe 감마분광시스템을 이용한 우라늄 방사능 분석 기술은 몇몇 연구자들이 시도하였으나, 시료의 특성에 따라서 적용방식이 상이했다. N-type HPGe 감마분광시스템을 기반으로 하여 시료의 특성에 관계없이 분석할 수 있는 기술을 개발하였다. N-type HPGe 감마분광시스템을 이용하여 우라늄 방사능 농도를 분석하기 위해서는 우라늄의 일반적인 붕괴 특성을 정확히 알아야하며, 그림 1에서는 ^{238}U 및 ^{232}Th 붕괴과정을 일부보여주고 있다. 그림에서 보면 다양한 붕괴과정을 통해서 많은 종류의 감마에너지가 방출된다.

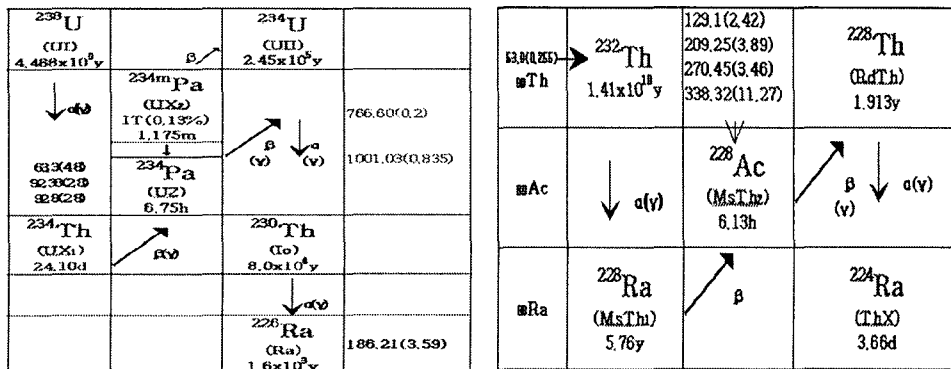


그림. 1 ^{238}U 및 ^{232}Th 붕괴과정 개략도(일부)

먼저 감마분광분석기를 이용하여 ^{235}U 방사능 구하기 위해서는 185.7 keV의 에너지를 측정하는 것이 가장 좋다. 그런데 그림. 1에서 보듯이 ^{226}Ra 에서 나오는 186.21 keV의 에너지와 겹쳐서 과대평가 된다. 따라서 ^{235}U 는 다음과 같은 방법을 이용하여 구할 수 있다.

$$C(186) = C[^{235}\text{U}, 185.7] + C[^{226}\text{Ra}, 186] \quad (1)$$

$$A(^{226}\text{Ra}) = A(^{214}\text{Pb}, 295.2) \quad (2)$$

식(2)를 변경하면, 다음과 같다.

$$\frac{C(^{226}\text{Ra}, 186.21)}{\epsilon(186.21) \times P_r(186.21)} = A(^{214}\text{Pb}, 295.2) \quad (3)$$

$$C(^{226}\text{Ra}, 186.21) = A(^{214}\text{Pb}, 295.2) \times \epsilon(186.21) \times P_r(186.21)$$

식 (3)을 식 (1)에 대입하여 정리하면, 다음과 같다.

$$C(^{235}\text{U}, 185.7) = C(186) - A(^{214}\text{Pb}, 295.2) \times \epsilon(186.21) \times P_r(186.21) \quad (4)$$

$$A(^{235}\text{U}) = \frac{C(^{235}\text{U})}{\epsilon(185.7) \times P_r(185.7)} \quad (5)$$

여기서, $C(^{235}\text{U}, 185.7)$ 의 의미는 185.7 keV에서 ^{235}U 의 순 계측값(단위 #/sec)이다. 또 $\epsilon(186.21)$, $P_r(186.21)$ 는 각각 효율 및 방출률을 의미한다. 시료를 3주 이상 방사평형 시키면 ^{226}Ra 과 ^{214}Pb 의 방사능은 같기 때문에 식 (2)의 가정은 타당하다.

^{238}U 의 경우 구하는 여러 방법이 있으며, 약간 복잡하다. 먼저 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 에서 나오는 1001.03 keV를 이용해서 구할 수 있다. 이 경우는 방출률이 너무 낮아서 ^{238}U 의 농축되었던 시료의 분석은 가능하나, 일반 환경시료에는 적용하기 힘들다. 따라서 ^{234}Th 에서 방출되는 63.3 keV, 92.8 keV를 이용하여 분석이 가능하다. 그림. 1에서 보면 63.3 keV의 경우도 ^{232}Th 에서 방출되는 63.9 keV와 겹쳐지기 때문에 ^{235}U 구하는 방법과 같이 평가된 부분을 차감해야 한다.

$$C(63) = C(^{234}\text{Th}, 63.3) + C(^{232}\text{Th}, 63.9) \quad (6)$$

$$C(^{232}\text{Th}, 63.9) = A(^{228}\text{Ac}, 332.32) \times \epsilon(63.9) \times P_r(63.9) \quad (7)$$

여기서, 방사능 ^{232}Th 과 ^{228}Ac 는 같다.

식 (7)을 식 (6)에 대입하여 정리하면,

$$C(^{234}\text{Th}, 63.3) = C(63) - A(^{228}\text{Ac}, 332.32) \times \epsilon(63.9) \times P_r(63.9) \quad (8)$$

$$A(^{234}\text{Th}) = \frac{C(^{234}\text{Th}, 63.3)}{P_r(63.3) \times \epsilon(63.3)} = A(^{238}\text{U}) \quad (9)$$

92.8 keV를 이용하여 구하는 방법은 위와 거의 비슷하며 식(10), (11)로 표현할 수 있다.

$$C[93] = 1.014x + x + 0.9862 \times 0.014 \times A(^{235}\text{U}, 185.81) \times \epsilon(^{237}\text{Th}, 93.93) \times P_r(93.93) \quad (10)$$

여기서, $P_r(93.93) = 0.014$, $\epsilon(92.38) \cong \epsilon(92.8)$, $C(^{234}\text{Th}, 92.8) = x$ 표현하였다.

$$A(^{234}\text{Th}) = \frac{C(^{234}\text{Th}, 92.8)}{P_r(92.8) \times \epsilon(92.8)} = A(^{238}\text{U}) \quad (11)$$

N-type HPGe 감마분광분석기는 두 에너지를 모두 측정 가능하기 때문에 두 에너지를 이용하여 ^{238}U 을 구하고 비교 분석할 수 있는데, 일반 P-type의 경우는 63.3 keV를 이용한 ^{238}U 분석이 어렵기 때문에 신뢰도에서 떨어진다. 본 논문에서 제시한 방법으로 일반 환경 시료의 우라늄 방사능 분석 결과와 Alpha spectrometry 결과를 표 1에서 비교 분석하였다. 표 1에 나타냈듯이 두 결과가 비슷함을 알 수 있었다.

표. 1 일반 환경시료의 우라늄 방사능 결과 비교

	U-238 (Bq/kg)	U-235 (Bq/kg)
HPGe(N-type)	22.5± 1.79	1.0± 0.06
Alpha spectrometer	17.8± 0.79	1.3± 0.22

따라서 본 논문에서 제시한 방법이 타당함을 알 수 있었고, 이 방법을 이용하여 쉽게 일반 환경시료 및 방사평형이 이루어지지 않은 농축 핵활동 흔적 시료의 분석이 가능할 것이다. 따라서 경제적으로 신속 분석이 필요한 곳에서 본 논문에서 제시된 방법이 다양하게 이용될 수 있을 것이다.