

# CT 방법을 이용한 질량감쇠계수 결정 및 자체감쇠 보정

이정빈<sup>1</sup>, 이준호<sup>1</sup>, 변종인<sup>2\*</sup>, 윤주용<sup>2</sup>

<sup>1</sup>과학기술연합대학원대학교, 대전광역시 유성구 가정로 217

<sup>2</sup>한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 62

\*k975bjj@kins.re.kr

## 1. 서론

일반적인 감마선분광분석에서는 효율교정용 표준 선원을 이용하여 검출기의 에너지에 따른 교정을 수행한다. 그러나 분석하고자 하는 시료의 화학적 구성과 밀도가 교정용 선원과 다를 경우, 자체감쇠 효과로 인해 방사능분석결과에 영향을 미쳐 분석결과가 과소 또는 과대평가 될 수 있다. 자체감쇠 보정은 효율과 분석대상 시료 및 효율교정선원의 선 감쇠계수를 이용하여 이루어지는데, 그 중 선감쇠 계수( $\mu_l$ )는 자체감쇠효과에 영향을 주는 인자로서 일반적으로 콜리메이터를 이용하거나 화학분석을 통해 얻은 시료의 구성원소비에 대한 정보를 이용하여 실험적으로 결정할 수 있다. 그러나, 일반적인 실험실 조건 혹은 미지선원일 경우, 위와 같은 방법의 감쇠계수의 산출과정에서 시간 및 경제적 효율성이 저하될 수 있다. 이에 본 연구에서는 일반적인 환경방사능 분석 실험실에서 활용 할 수 있는 CT (Calibration Transmission) 방법[1]을 이용하여 구성성분을 알지 못하는 시료의 에너지에 따른 질량감쇠계수( $\mu_m$ )를 산출하고, 자체감쇠효과 보정을 수행하였다. 본 방법의 타당성 검증을 위해 산출된 보정인자를 방사능 농도 분석에 적용하여 시료의 기준 방사능 농도 값과 비교·분석하였다.

## 2. 본론

### 2.1 재료 및 방법

관심시료의  $\mu_m$ 을 산출하기 위해 CT 방법을 이용하였다. 이를 위해 AC (Activated Charcoal), H<sub>2</sub>O, MnO<sub>2</sub>, NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 및 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 관심 시료에 대한 측정시스템 교정용 기준시료로서 이용하였으며, 적용성 평가를 위한 방사능분석 대상 시료는 IAEA RM (Reference Material)을 이용하여 수행하였다.  $\mu_m$  산출을 위한 시료는 직경 60 mm의 원통형 아크릴 용기에 20 mm 두께로 충전

하였으며, 실제 방사능 농도 분석용 시료는 동일 시료를 30 mm의 두께로 충전하였다. CT 방법을 이용한 질량감쇠계수 산출에 사용된 점선원은 교정 과정을 간소화하기 위해, 관심 에너지영역을 포함 하는 37 kBq의 <sup>241</sup>Am, <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs, <sup>152</sup>Eu 및 <sup>210</sup>Pb의 점선원(Point-like disk source)을 이용하였다. 감마선측정을 위해 상대효율 30%의 HPGe (High Purity Germanium) 검출기를 이용하였으며, 축차 우연동시합산효과를 무시하기 위한 검출기 설정 및 측정시간과  $\mu_m$ 의 산출은 참고문헌 [1]에서 제시된 절차에 따라 수행하였다. 도출된 질량감쇠계수를 아래의 식(1)에 적용하여 방사능농도 산출시 보정을 위한 자체감쇠계수 산출에 이용하였다[2].

$$I(\mu) = \int_0^R \int_0^t \frac{\exp(-\mu(E)z_a)}{z^2} dx dr \quad (1)$$

위 식에서  $R$ ,  $t$ 는 각각 원통형 시료의 직경과 높이,  $z_a$ 는 샘플 하단 부 부터 시료 내  $r$ 만큼 떨어진 지점까지의 거리,  $z$ 는 계측기로부터 시료 내  $r$ 만큼 떨어진 지점까지의 거리이며,  $\mu(E)$ 는 해당 에너지의 선감쇠계수를 의미한다. 환경시료에 대한 본 방법의 타당성을 검증하기 위해 인공 및 자연 방사성 핵종을 포함하는 IAEA RM인 IAEA-360, IAEA-455 및 IAEA-447 토양시료를 정량분석하고 참고 방사능 값과 비교·평가하였다. 또한, 밀도차이에 따른 자체감쇠보정인자 비교를 위해 효율 교정용 표준선원보다 작은 밀도를 갖는 건초 및 분유 시료에 대하여 자체감쇠보정인자를 산출하였다.

### 2.2 결과 및 고찰

Fig. 1은 CT 방법을 위한 측정시스템 교정결과를 보여주며,  $\mu_m$ 은 본 선형회귀분석을 통해 아래와 같이 산출될 수 있다.

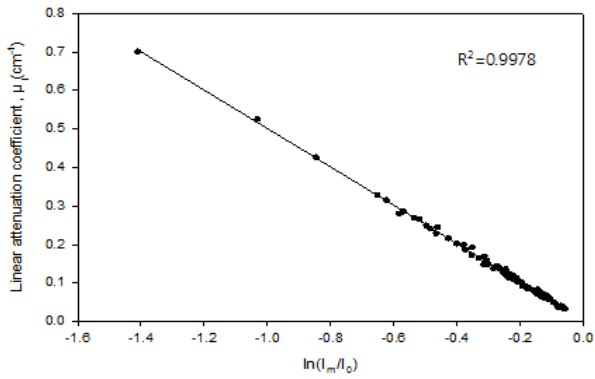


Fig. 1. The linear attenuation coefficients versus the ratio  $\ln(I_m/I_0)$ .

$$\mu_m(E) = (a + b \ln(R(E))) / \rho \quad (2)$$

이때,  $a$ ,  $b$ 는 각각 0.0025385, 0.49839로 결정되었으며,  $R(E)$ 는 에너지에 대한 시료 유·무에 따른 감마선 투과비,  $\rho$ 는 밀도를 나타낸다. 식 (2)를 통해 반실험적으로 얻은 각 IAEA RM에 대한, 감마선에너지에 따른  $\mu_m$ 는 Fig. 2와 같다.

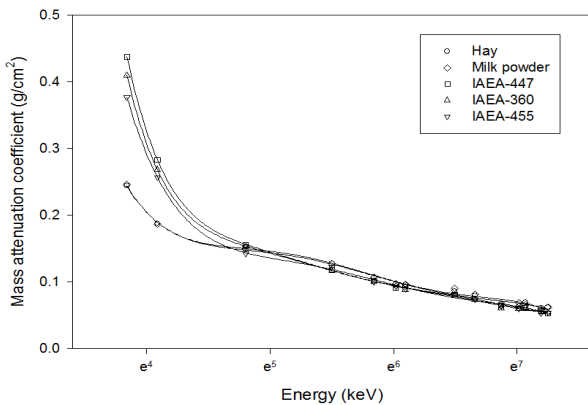


Fig. 2. The mass attenuation coefficients versus the Energy (keV).

Fig. 3은 IAEA RM의 에너지에 따른 자체감쇠보정인자 산출 결과를 보여주며, 비교적 밀도가 1보다 작은 건초(Hay)나 분유(Milk Powder)의 경우 에너지가 증가함에 따라 자체감쇠보정인자가 작아지는 경향을 보이는 반면, 밀도가 1보다 작은 IAEA-455를 포함하여 IAEA-447 및 IAEA-360 토양 시료는 이와 상반된 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한, Fig에서 보이는 것과 같이 대체로 효율교정용 표준선원에 비해 측정시료의 밀도가 작은 경우 자체감쇠 보정인자의 역수가 작으며, 반면 밀도가 교정선원 보다 큰 경우 반대의 경향을 보이지만,

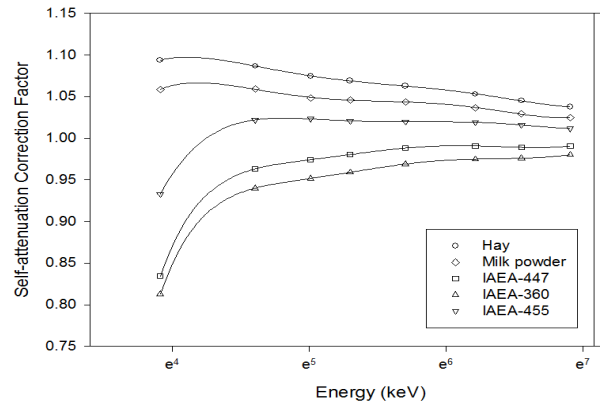


Fig. 3. Correction Factors of the samples in energy ranges from 50 keV to 1500 keV.

IAEA-455( $\rho=0.89 \text{ g/cm}^3$ )와 같이 약 200 keV 미만의 에너지에 대해서는 IAEA-360( $\rho=1.43 \text{ g/cm}^3$ ) 및 IAEA-447( $\rho=1.22 \text{ g/cm}^3$ )과 같은 토양이라 하더라도 밀도에 따른 경향을 보이지 않은 것을 확인할 수 있다. 각 IAEA RM 중 Ac-228, Cs-137, K-40, Ra-226(Bi-214, Pb-212), Tl-208, 및 U-238(Th-234)에 대하여 자체감쇠보정을 통해 정량분석 한 결과 평균 5% 이내에서 기준방사능과 일치함을 보였다.

### 3. 결론

본 연구에서는 CT 방법을 이용하여 효율교정용 표준선원과 구성성분 및 밀도가 다른 IAEA RM의  $\mu_m$ 를 산출하고 자체감쇠효과 보정을 통해 방사능 농도 정량분석을 수행하였으며, 본 방법의 타당성을 검증하였다. 시료의 구성성분 및 밀도에 보다 큰 자체감쇠효과를 가질 수 있는 저에너지 감마선방출핵종에 대한 감마선분광분석에 유용하게 활용될 수 있으며, 미지시료의 방사능 농도를 구함에 있어 보다 최적화된 분석방법으로 활용될 수 있을 것이다.

### 4. 참고문헌

- [1] J.I. Byun and J.Y. Yun. "A calibration transmission method to determine the gamma-ray linear attenuation coefficient without a collimator", Applied Radiation and Isotopes, Volume 102, August 2015, Pages 70-73 (2015).
- [2] Debertin K, Helmer RG, "Gamma- and X-ray spectrometry with semiconductor detectors. North- Holland Publ, Amsterdam" (1988).