

# 감마선방출 폐기물시료의 비파괴 방사능준위 선별

변종인\*, 함돈식, 윤용기, 윤주용

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 62

\*k975bji@kins.re.kr

## 1. 서론

감마선을 방출하는 폐기물에 대하여 방사성폐기물 여부를 판단하기 위해서는 기준치 미만의 방사능 농도를 평가할 수 있는 방법을 이용하여 방사능 분석을 수행해야 하며, 일반적인 감마선 방출 시료에 대한 방사능 농도 정량분석을 위해서는 대표성 있는 시료를 채취 및 분쇄하여 균질한 시료로 만들어야 한다. 그러나 견고한 고체 시료의 경우 분쇄과정에서 비교적 오랜 시간이 소요될 수 있다. 그러므로 시간 및 경제적 효율을 높일 수 있는 방사능 준위선별방법이 요구될 수 있다. 본 연구는 시료의 분쇄과정을 거치지 않고 방사능준위를 보다 용이하고 신속하게 판단할 수 있는 비파괴 감마선분광분석법을 수립하기 위해 수행되었다.

## 2. 이론적 배경

방사능준위 선별 과정에서 정확한 방사능 농도 및 불확도를 산출하기 어려운 경우, 방사능분석은 분석 결과의 불확도를 충분히 고려한 보수적인 평가가 수행되어야 한다. 그러나 보다 정확한 분석을 통해 방사성폐기물량을 줄이기 위해서는 폐기물의 특성에 따라 적합한 수준의 보수적인 평가가 요구될 수 있다.

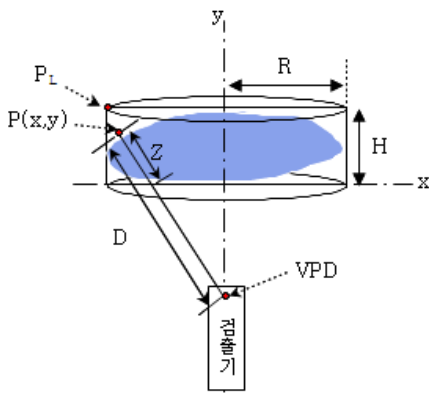


Fig. 1. Geometric modeling for a conservative assessment of radioactive materials.

Fig. 1은 보수적인 방사능농도 분석을 위한 가상의 기하구조를 모델링하기 위한 개념도를 보여주며, 보다 준위선별 방식을 간소화시키기 위해 VPD (Virtual point detector) 개념을 적용하였다[1]. 보

수적인 평가를 위해서는 실제 선원의 기하구조 및 방사성핵종의 분포에 대한 정확한 효율 보다 측정 효율이 낮을 수 있는 원통형( $\epsilon_C$ ), 국부면형( $\epsilon_S$ ) 및 국부점형( $\epsilon_P$ ) 모델에 대한 효율을 가정할 수 있으며 다음과 같이 수학적 모델링을 유도할 수 있다.

$$\epsilon_C \approx \epsilon_{Ref} D_{Ref}^2 \int_0^H \int_0^R \frac{\text{EXP}(-\mu_l Z(x,y))}{RHD(x,y)^2} dx dy, \quad (1)$$

$$\epsilon_S \approx \epsilon_{Ref} D_{Ref}^2 \int_0^R \frac{\text{EXP}(-\mu_l Z(x,H))}{RD(x,H)^2} dx, \quad (2)$$

$$\epsilon_P \approx \epsilon_{Ref} D_{Ref}^2 \frac{\text{EXP}(-\mu_l Z(R,H))}{D(R,H)^2}. \quad (3)$$

보수적으로 가정된 효율의 크기는  $\epsilon_C$ ,  $\epsilon_S$ ,  $\epsilon_P$ 의 순서로 작아지므로 국부점형(Fig. 1의 P<sub>1</sub>)을 가정할 경우가 가장 보수적인 방법으로서 어떠한 오염범위를 가정하더라도 과소평가를 배제할 수 있다. 본 방법은 고분해능 반도체 검출기, 섬광검출기, 선량계 등에 적용할 수 있으며, 측정기의 분해능, 효율 및 물리적 특성에 따라 동일한 시료에 대하여 일반 및 방사성폐기물 구분에 대한 정밀도 및 검출한치가 다를 수 있다.

### 1) 관심대상핵종의 전에너지광전피이크 이용

HPGe(High Purity Germanium), NaI(Tl) 및 LaBr<sub>3</sub>와 같은 검출기를 이용할 수 있으며, 전에너지광전피이크를 이용하므로 지나치게 보수적인 평가를 피하고 보다 실제방사능에 근접한 수준의 보수적인 평가를 수행할 수 있다. 보수적 모델에 대한 효율교정은 시뮬레이션, 표준선원을 이용한 교정 또는 반실험식을 이용하여 결정할 수 있다.

### 2) 선량률 이용

선량측정이 가능한 검출기를 이용할 수 있으며, 총선량률을 이용하기 때문에 측정은 용이하나 시료 중 분석대상 선원 이외의 핵종에 의한 선량률이 증가될 수 있으므로 전에너지광전피이크를 이용하는 방법 보다 보수적으로 평가될 수 있다.

## 3. 적용성 평가

본 방법의 타당성을 증명하기 위해 <sup>137</sup>Cs에 의해 오염된 아스팔트콘크리트(이하 "아스콘"이라 함) 시료를 타원형과 사각형을 각각 5 개씩 크기별로

(0.34-35.52) kg의 질량 범위에서 채취하였다. 채취된 시료는 상대효율 30%의 HPGe, 2"×2" NaI(Tl) 및 FH40G 선량계를 이용하여 시료표면으로부터 100 mm 거리에서 각 시료의 양면에 대하여 측정하였으며, 원통형, 국부면형 및 국부점형의 보수적 모델을 적용하여 방사능분석을 수행하였다. 또한, 각 시료의 참고방사능을 결정하기 위해 분쇄한 후 HPGe 검출기를 이용하여  $^{137}\text{Cs}$  방사능을 정량 분석하였으며, 준위선별을 위한 비파괴분석결과와 비교하였다.

#### 4. 결과 및 토의

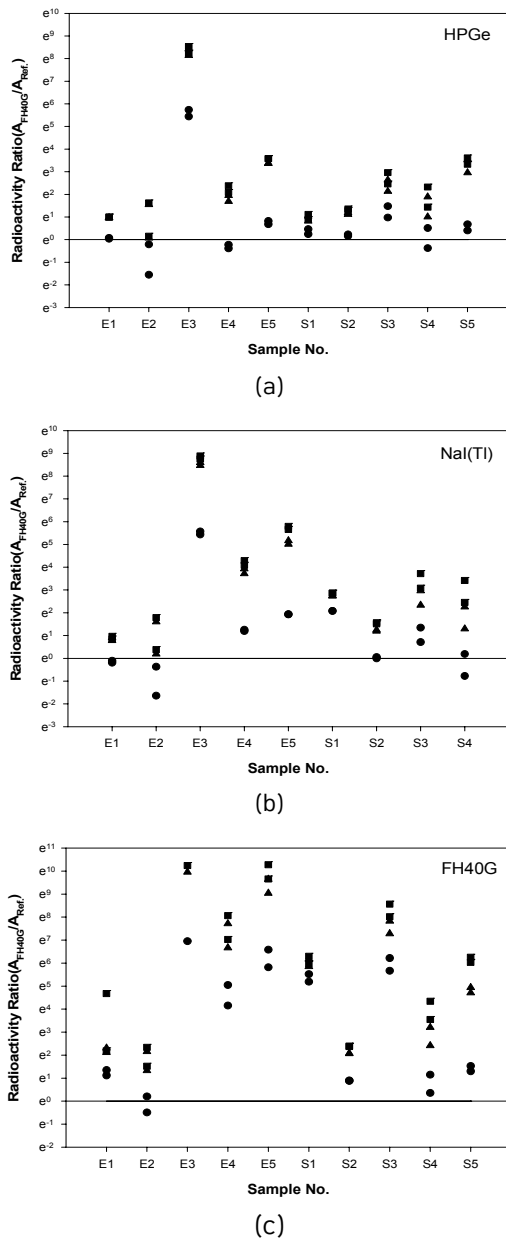


Fig. 2. Ratio of destructive and conservative analysis results using an HPGe detector(a), a NaI detector(b), and a FH40G dosimeter for elliptical (E1-E5) and quadrangular (S1-S5) types of samples (●:Cylinder, ▲:Localized surface, ■:Localized point).

Fig. 4-6에서 보여주는 것과 같이, 원통형 모델에 대해서는 참고 방사능농도에 비하여 일부시료에서 과소평가 되므로 아스콘 중  $^{137}\text{Cs}$ 이 균질하게 분포하고 있지 않은 것으로 평가할 수 있다. 또한, 국부면형 모델에 대해서는 전체적으로 참고 방사능농도에 비하여 과대평가되었으며, 국부점형 모델은 국부면형 모델과 비슷한 경향을 보이거나 일부시료에 대해서는 비교적 크게 과대평가되는 것을 확인할 수 있다. FH40G 선량계의 경우 검출효율이 비교적 낮아 측정 카운트에 대한 통계적 요동이 크기 때문에 불확도가 HPGe 또는 NaI(Tl)에 비하여 높게 평가되었다. 또한 전에너지광전피크만을 분석하는 것이 아닌 총선량률을 이용하므로 HPGe 또는 NaI(Tl)에 비하여 더 큰 과대평가결과를 보였다.

#### 5. 결론

폐기물에 대한 방사성물질 여부 판단을 위한 비파괴 방사능준위선별 방법으로서 세 가지 모델(원통형, 국부면형 및 국부점형)을 가정하였으며 고분해능의 반도체 검출기, 섬광검출기 및 선량측정기를 이용하여 다양한 크기를 갖는 10개의 폐아스콘 시료를 이용하여 본 방법론을 평가하였다. 그 결과 원통형 모델에 대해서는 특정 검출기 및 시료에 대하여 과소평가를 보이므로 시료의 기하구조 또는 방사성핵종의 분포 정보가 명확하지 않은 시료에 대해서는 적절하지 않을 수 있는 것으로 평가되었다. 그러나, 국부면형 및 국부점형의 모델을 적용하였을 때 세 종류의 측정기에 대하여 모두 과대평가되었기 때문에 보수적 평가방법으로서 타당한 모델로 볼 수 있다. 보다 신속하고 낮은 검출하한치 및 정확한 분석은 고효율 검출기 및 통계적 요동이 작은 선량계의 사용과 백그라운드 감마선을 줄일 수 있는 차폐시설을 이용하여 수행될 수 있다. 본 방법은 신속한 방사능준위 선별법으로서 시간 및 경제적 효율성을 높이기 위해 적용될 수 있을 것이다.

#### 6. 참고문헌

[1] Debertain K, Helmer RG, "Gamma- and X-ray spectrometry with semiconductor detectors. North- Holland Publ, Amsterdam" (1988).