

# 현장방사능분석을 위한 NaI(Tl) 및 LaBr<sub>3</sub>(Ce) 검출기의 적용성 평가

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

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

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

\*k975bji@kins.re.kr

## 1. 서론

HPGe(High Purity Germanium) 검출기는 분해능이 우수하여 현장감마선분광분석에 널리 사용되어 왔다. 그러나, 극저온 냉각상태 유지를 위해 액화 질소 및 전기적 냉각 장치가 부대장비로서 함께 운용해야 하기 때문에 신속한 이동 및 설치가 용이하지 않을 수 있다. 이에 대한 방안으로서 섬광검출기가 활용될 수 있으며, 반도체 검출기와 달리 사용 중 냉각이 필요하지 않아 운반 및 설치가 용이한 장점이 있다. 대표적으로 NaI(Tl)와 LaBr<sub>3</sub>(Ce) 검출기가 사용되어지고 있다[1]. NaI(Tl)은 다른 검출기에 비해 가격이 저렴하고 유지 및 운영이 편하지만 조해성이 있어 온도에 민감하며 분해능이 낮은 이유로 핵종을 판별하는데 제한이 있다. 반면, LaBr<sub>3</sub>(Ce)은 NaI(Tl)보다 온도 의존성이 작으며 분해능이 상대적으로 높은 장점이 있으나 검출기 내부의 자체 방사능으로 사용시 고려해야하는 단점이 있다. 이러한 섬광 검출기들은 주로 환경 중 또는 비상 시에 선량을 측정 목적으로 활용되어 왔으며, 더 나아가 비상시 현장에서의 방사능 농도 분석을 위한 적용성 연구가 필요할 수 있다. 본 연구에서는 NaI(Tl) 및 LaBr<sub>3</sub>(Ce) 검출기를 이용하여 현장감마분광분석을 통해 토양 중 방사능 농도를 분석하였다. 본 발표에서는 각 검출기에 대해 핵종의 방사능 농도 분석을 위한 시스템 교정 결과를 제시하고 시료 채취 후 실험실 분석 결과와 비교 평가하여 환경 중 NaI(Tl) 및 LaBr<sub>3</sub>(Ce) 검출기의 적용성에 대해 논의된다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 계측 시스템

현장감마분광분석을 위해, 3"Φ x 3" NaI(Tl) 및 2"Φ x 2" LaBr<sub>3</sub>(Ce) 검출기가 이용되었으며 비교 스펙트럼을 얻기 위해 상대효율 30%의 이동형 HPGe 검출기를 이용하였다. 또한, 시스템 교정 및 현장 방사능분석 방법의 신뢰성을 평가하기 위한

실험실 분석에서는 상대효율 30%의 HPGe 반도체 검출기가 이용되었다.

### 2.2 현장감마분광분석 계측 시스템 교정

현장감마분광분석에서 얻어진 스펙트럼을 방사능 농도로 산출하기 위해 Beck(1972)이 제시한 교정 방법을 이용하였으며, 방사능산출 인자는 아래와 같이 산출된다[2].

$$N_f/A = (N_f/N_0)(N_0/\varnothing)(\varnothing/A) \quad (1)$$

계측기 교정을 위해 370 kBq의 Co-70, Ba-133, Cs-137, Mn-85, Na-22, Co-60, Eu-152 및 Ra-226 교정 선원을 이용하였다.  $N_f/N_0$ 는 각도보정인자로서 검출기와 선원의 기하구조에 의존하며, 각각의 검출기 대칭 축에서 교정선원을 1 m 간격을 유지한 채 15도 각도로 검출기를 회전시켜 측정하였다.  $N_0/\varnothing$ 는 응답함수로서 각도보정인자와 마찬가지로 검출기의 크기에 의존하며, 각 검출기 표면에서 1 m 떨어진 지점에 교정선원을 위치하여 각도의존성을 평가하였다.  $\varnothing/A$ 는 토양 중 핵종 농도 당 검출기 위치에서의 총 플럭스로서 이론적으로 계산하여 적용하였다. LaBr<sub>3</sub>(Ce) 검출기의 경우, 검출기 고유의 자체 백그라운드를 고려하기 위해 150 mm 두께의 저준위 납 차폐체 내에서 백그라운드 측정을 통해 스펙트럼을 얻었으며 현장에서 얻은 LaBr<sub>3</sub>(Ce) 스펙트럼에서 검출기 자체 백그라운드 제거를 위해 적용하였다.

### 2.3 측정 장소 및 시료 채취

현장감마분광분석은 강원도 일대에서 수행되었으며 각 검출기마다 3,600 초씩 측정하였다. 또한 참고 방사능 산출을 위해, 현장측정 지점을 중심으로 5 m 및 8 m 거리에서 각각 4개씩 100 mm 깊이로 총 9개의 시료를 채취하였다. 또한 토양의 수직 분포를 평가하기 위해 측정 지점에서 0~50, 50~100, 100~200 및 200~300 mm 단위로 깊이별 토양을 채취하였다. 채취된 토양은 실험실로 이동

후 건조 및 분쇄의 전처리를 거치고, Ra-226 분석을 위해 방사평형을 고려하여 21일이 경과한 시점에서 측정 및 감마선분광분석을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

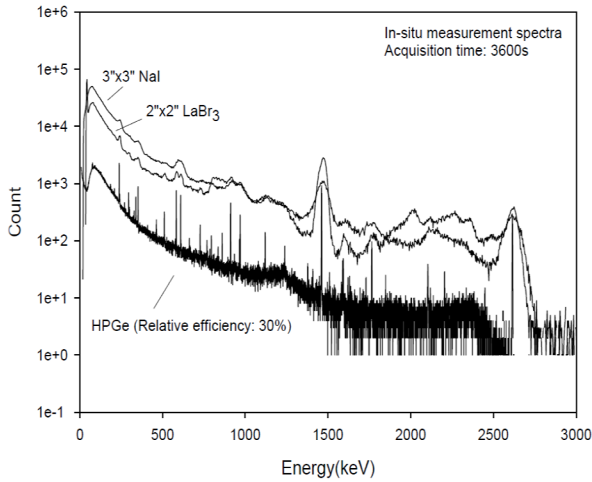


Fig. 1. NaI(Tl), LaBr<sub>3</sub>(Ce) and HPGe spectrum.

Fig. 1은 2"φ x 2" LaBr<sub>3</sub>(Ce), 3"φ x 3" NaI(Tl) 섬광검출기 및 HPGe 반도체검출기를 이용하여 지표면으로부터 1 m 높이에서 얻어진 스펙트럼을 보여주며, NaI는 HPGe보다 낮은 분해능으로 피크들이 중첩되는 것을 볼 수 있다. 반면, LaBr<sub>3</sub>는 NaI 보다 분해능이 우수하여 TI-208 (583 keV)와 Bi-214 (609 keV)의 피이크 분리가 가능한 것을 볼 수 있다. 그러나, 검출기 내부의 La-138 (γ선, 788, 1436 keV) 및 Ac-227 (α선, 1800~2500 keV)로 인한 자체 백그라운드 때문에 비교적 피이크 분리가 용이하지 않을 수 있다. 이와 같은 섬광검출기의 특징으로 인해, 현장 방사능분석을 위한 피이크 활용에 한계가 있을 수 있다.

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 NaI 검출기는 K-40과 TI-208 (2614 keV) 분석이 용이할 수 있으며, TI-208의 2614 keV의 피이크를 이용하여 Bi-214의 609.3 keV 피이크를 산술적으로 도출할 수 있다. LaBr<sub>3</sub>의 경우 TI-208의 583 keV와 Bi-214의 609.3 keV의 중첩 피이크를 분리하여 방사능을 산출할 수 있으며, K-40 피이크에 대해서는 La-138의 자체백그라운드 피이크로 인해 저준위 납차폐체를 이용하여 측정된 백그라운드와 현장감마핵종 스펙트럼의 채널 대 채널 계수를 빼거나, 피이크 순 카운트 소거를 통해 계수를 산출할 수 있다.

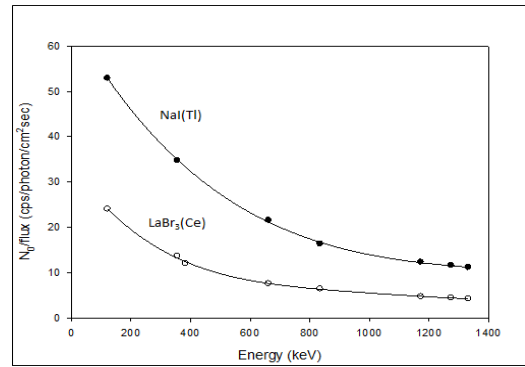


Fig. 2. Response function( $N_0/\phi$ ) of NaI(Tl) and LaBr<sub>3</sub>(Ce).

Fig. 2는 각 섬광검출기의 에너지에 따른  $N_0/\phi$  산출결과를 보여주며, 이론적 및 반실험식을 통해 산출된  $N_f/N_0$  및  $N_f/N_0$ 를 고려하여 U, Th-series 및 K-40에 대한 현장방사능도 평가결과 계수표준불확도가 현저히 낮은 일부 핵종을 제외하고는 10% 이내에서 시료채취·분석에 의한 실험실 분석결과와 일치함을 보였다.

### 4. 결론

본 연구에서는 현장감마분광분석을 위해 NaI(Tl) 및 LaBr<sub>3</sub>(Ce) 검출기를 이용하여 환경 중 감마선 방출핵종의 방사능도 산출에 대한 적용성을 평가하였다. 방사능산출 인자의 결정에서는 자체백그라운드보다 작은 NaI(Tl)이 용이하였으며, 자연방사능핵종에 대한 피이크 선별 및 방사능 산출은 자체백그라운드는 높지만 비교적 분해능이 우수한 LaBr<sub>3</sub> 검출기가 유용함을 볼 수 있었다. 두 섬광검출기는 분해능 또는 자체 백그라운드 부분에 있어서 장단점을 보였으며, 휴대 및 측정이 용이한 장점과 함께 계측목적에 따라 허용오차 범위내에서 현장 방사능분석을 위해 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 5. 참고문헌

- [1] G.H Knoll. Radiation detection and measurements. New York: John Wiley & Sons Inc; (2010).
- [2] Beck. H.L.et al, "In situ Ge(Li) and NaI(Tl) gamma-ray spectrometry", New York: U.S. Department of Energy, Environmental Measurements Laboratory; HASL-258; (1972).