

## 감마선을 이용한 우라늄 농축도 분석시 차폐체 영향 평가 분석

박세환, 엄성호, 신희성, 김호동, 박준식, 김용균\*

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

\*한양대학교, 서울시 성동구 왕십리로 222

[ex-spark@kacri.re.kr](mailto:ex-spark@kacri.re.kr)

### 1. 서론

시료의 동위원소 비를 구하고자 할 경우 널리 쓰이고 있는 방법은 감마선 에너지 스펙트럼 분석법이다. 우라늄이나 플루토늄 비를 구할 경우 HPGe 검출기를 이용하여 감마선 에너지 스펙트럼을 측정하고 이를 분석하는 프로그램으로 FRAM (Fixed energy Response function Analysis with Multiple efficiencies)이나, MGA (Multi-Group Analysis)가 쓰이고 있다. 이 경우 감마선 측정 조건에 따라서 분석 오차가 달라진다고 알려져 있다. HPGe 검출기는 검출기 동작을 위하여 냉각 장치를 필요로 하며, 이러한 단점을 극복하기 위하여 에너지 분해능이 비교적 높은 CZT (Cadmium Zinc Telluride) 검출기나 LaBr<sub>3</sub> 검출기를 이용한 감마선 에너지 측정 및 핵물질 분석이 이루어지고 있다.

PRIDE (PyRoprocess Integrated inactive DEMonstration facility)에서 파이로 공정에 대하여 NU를 대상으로 한 연구를 계획하고 있다. 이러한 농축도가 낮은 우라늄에 대하여 동위원소비를 결정할 경우, 측정 조건에 따른 오차 분석이 필요하다. 특히, 측정 대상 물질이 차폐체로 둘러싸인 경우 차폐체에 의한 감마선 분석 오차를 평가할 필요가 있다. 본 연구에서는 농축도가 낮은 우라늄 시료 (NU, LEU)를 대상으로 HPGe 검출기를 이용하여 대상 시료가 차폐체에 둘러싸인 경우 측정 시간, 측정 장치 구조 등을 변화시키면서 우라늄 농축도 측정 변화를 분석하였다. 또한 CZT, LaBr<sub>3</sub> 검출기를 이용하여 감마선 에너지 스펙트럼을 측정하고, 차폐체의 두께에 따른 농축도 측정 오차에 대한 연구를 수행하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험

천연 우라늄 시료 (NU) 3 kg에서 발생하는 감마선을 HPGe 검출기를 이용하여 측정하였다. 검출기에서 발생한 신호는 Spectroscopic Amplifier, MCA를 거쳐서 PC에 저장하였다. 측정 시간을

20 분, 40 분, 1 시간으로 변화시키면서 측정을 수행하였다. 또한 시료와 검출기 사이에 차폐체를 두고 에너지 스펙트럼의 변화를 측정하였다. 차폐체의 두께는 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm로 변화하였다. 검출기 주변에 흡수체에 있는 경우 감마선 분석 오차 변화를 얻기 위하여 흡수체가 없는 경우, 중성자 계수기 (INVS; Inventory Sample Neutron Coincidence counter)내에 감마선 검출기가 있는 경우, 감마선 검출기 주변에 납 차폐체가 있는 경우 에너지 스펙트럼을 측정하였다. 검출기 주변을 차폐체가 있는 경우 낮은 에너지 영역의 백그라운드가 낮아지며, 특히 U-235에서 발생하는 186 keV 영역의 백그라운드가 낮아짐이 관측되었다.

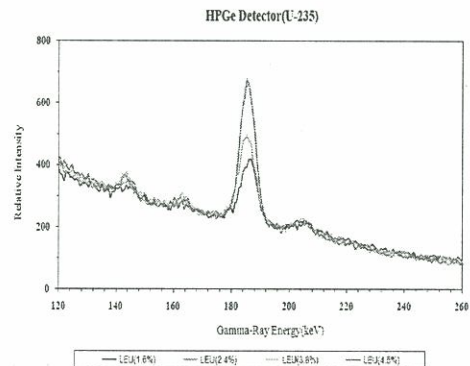


Fig. 1. CZT 검출기로 측정된 우라늄 스펙트럼상에서 농축도에 따른 186 keV 감마선 변화

측정된 감마선 에너지 스펙트럼은 FRAM 4.2를 이용하여 분석하였다. SUS 5 mm 이내에서 1시간 천연 우라늄 에너지 스펙트럼을 측정하고 농축도를 분석한 경우 3% 미만의 분석 오차를 보였으며, 알려진 우라늄 농축도에 대하여 5% 미만의 차이를 보였다. 또한 검출기 주변을 차폐체를 둔 경우 오차가 감소하는 경향을 보임을 확인할 수 있었다.

CZT 검출기를 이용하여 LEU 시료에 대하여 감마

선 에너지 스펙트럼을 측정하였다. CZT 검출기를 이용하여 동일한 천연 우라늄 시료를 대상으로 감마선 에너지 스펙트럼을 측정하였다. 시료와 검출기 사이에 SUS 차폐체가 위치한 경우 차폐체에 의한 분석 오차에 대하여 연구하였다. 이 경우 차폐체에 의한 186 keV 감마선 감쇄가 발생하며, 이로 인한 분석 오차 발생을 관측할 수 있었다.

### 3. 결론

핵물질의 동위원소비를 구할 수 있는 방법으로 널리 쓰이는 것은 감마선 스펙트럼 분석이다. 이 경우 분석 대상 시료가 일정한 용기가 담긴 경우 용기에 의한 차폐 효과로 인한 분석 오차에 연구가 필요하다. 본 연구에서는 HPGe 검출기, CZT 검출기를 이용하여 다양한 차폐체가 있는 경우 차폐체에 의한 우라늄 농축도 분석 오차에 대한 데이터를 얻었다. 5 mm 이하의 SUS 차폐체가 우라늄 시료를 감싼 경우 5 % 미만의 오차가 관측되었다. 또한 측정 시간, 검출기 주변 차폐체를 변화하여 분석 오차를 줄일 수 있는 결과를 얻었다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 원자력 연구 개발 사업 및 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(과제번호 : 2009T100100650)의 일환으로 수행되었습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] Duc T. Vo, Gamma-ray Isotopic Measurements with FRAM LA-UR-06-5545.
- [2] PC/FRAM Manual LA-UR-03-1623.
- [3] 엄성호의 5인, "사용후핵연료 및 우라늄 시료에 대한 감마측정을 하여 FRAM 코드에 적용하기 위한 시험", 한국방사성폐기물학회, 춘계학술발표회 논문요약집, pp.438-439, 2009.
- [4] Duc T. Vo. Gamma-Spectrometry and Neutron Measurements for Safeguards, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 276, No,3(2008) 693-698.