

우라늄 동위원소 질량비 결정을 위한 FRAM 분석

박세환, 엄성호, 안성규, 임해인, 신희성, 김호동
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
ex-spark@kaeri.re.kr

1. 서론

감마선 분광분석을 이용하여 우라늄 동위원소비를 구하고자 할 경우 우라늄 동위원소에서 발생하는 감마선 에너지가 50 keV에서 1 MeV 까지 넓은 영역에 걸쳐 있기 때문에 에너지에 변화에 따른 검출 효율을 보정해 주어야 한다. FRAM (Fixed-energy Response-function Analysis with Multiple efficiencies)은 우라늄에서 발생하는 감마선 측정을 이용하여 별도의 검출기 효율 보정 없이 우라늄 동위원소비 결정이 가능하다. 본 논문에서는 HPGe 검출기로 우라늄에서 발생하는 감마선을 측정하고 다양한 변수 변환을 포함한 FRAM을 이용한 우라늄 동위원소비 분석에 대하여 소개한다.

2. 실험 및 분석

가. 우라늄 감마선 스펙트럼 측정

HPGe 감마선 검출기를 이용하여 우라늄에서 발생하는 감마선 에너지 스펙트럼을 측정하였다. HPGe 검출기 (ORTEC Model GEM-30185-P)는 원통형으로 동작을 위하여 3800 V의 고전압을 인가하며 검출 효율은 30 %이다. 검출기에서 발생한 신호는 preamplifier, shaping amplifier를 거쳐서 MCA (Multi Channel Analyzer)에서 아날로그 신호로 바꾼 후 PC에 저장되게 된다. 측정이 이루어지는 동안 1332 keV 감마선에 대하여 2.1 %의 에너지 분해능을 유지하였다. 이는 통상적으로 알려진 HPGe 검출기의 에너지 분해능과 비교하여 약간 큰 값이다. 측정에 이용된 시료는 NU(Natural Uranium) 1 kg, 2 kg 과 농축도를 달리하는 우라늄 선원 (0.31, 0.71, 1.94, 2.95, 4.46 %)이다. 우라늄 측정은 30 분과 1 시간으로 나누어 이루어 졌다. U-235에서 발생하는 143.8, 185.7 keV 영역의 에너지 peak을 확인할 수 있었으며, U-238에서 발생하는 1001 keV의 높은 에너지 peak을 측정 에너지 스펙트럼 상에서 구분하였다. 우라늄 표준 선원 감마선 측정을 통하여 우라늄 농축도가 커질수록 동일한 시간동안 측정된 에너지 스펙트럼을 비교한 결과 U-235에서 발생하는 185.7 keV 에너지 peak의 크기가 커짐을 확인할 수 있었다.

나. FRAM 분석

FRAM은 LANL (Los Alamos National Laboratory)에서 개발한 감마선 에너지 스펙트럼을 측정하고 이를 이용하여 감마선을 발생하는 동위원소의 비를 구할 수 있는 프로그램이다. 일반적으로 FRAM을 이용하여 우라늄과 플루토늄 동위원소비를 구할 수 있으며, 에너지 분해능이 뛰어난 HPGe 검출기나 CdTe 검출기를 이용하여 측정된 에너지 스펙트럼 분석에 이용된다 [1,2]. FRAM은 일반적으로 동위원소비를 구하고자 하는 시료 측정 후 표준선원을 이용하여 에너지에 따른 검출효율 보정이나, 채널-에너지 보정을 수행해야 하는 별도의 측정 필요 없이 한 번의 측정으로 시료에 포함된 우라늄이나 플루토늄의 비를 구할 수 있는 장점이 있다.

우라늄 측정 에너지 peak 중에서 크기가 큰 peak들을 이용하여 에너지, 검출 효율, peak 모양 등에 대한 보정을 수행하도록 FRAM 변수를 변화시켰다 [3]. 검출 효율 계산은 물리적 모델을 이용하였다. FRAM 계산 결과 얻어진 검출 효율이 우라늄 동위원소의 경우 계산 결과와 물리적 모델이 잘 일치함을 보였다. 또한 FRAM 결과로 얻어진 감마선 peak의 모양이 측정된 감마선 peak의 모양을 잘 설명함을 볼 수 있었다. NU 1 kg과 2 kg 측정으로부터 얻은 스펙트럼 분석을 통하여 U-235의 비가 각각 0.66 %, 0.77 %를 얻었다. 이는 NU에서 알려진 U-235 비인 0.71 %와 비교하여 근접하는 결과이다. 보다 정확한 분석값을 얻기 위하여 HPGe 검출기 및 검출 회로에 대한 보정을 통하여 에너지 분해능을 1332 keV에 대하여 1.8 %로 향상시킨 후 추가적인 실험 및 FRAM 분석을 수행하였다.

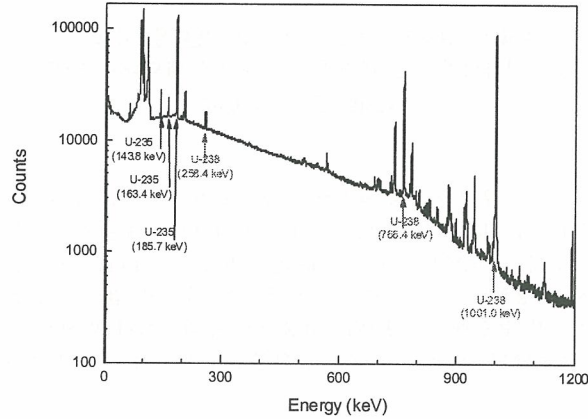


그림 1. HPGe 검출기를 이용하여 측정된 우라늄 감마선 에너지 스펙트럼

3. 결론

FRAM 분석은 감마선 분광 분석을 통하여 우라늄 및 플루토늄 동위원소비를 정밀하게 구할 수 있는 분석법이다. 본 연구에서는 우라늄 사료를 이용한 감마선 에너지 스펙트럼 측정 및 측정 자료를 이용한 FRAM 분석을 시도하였다. 검출기 동작 조건, 측정 시간, 데이터 처리에 따른 분석 결과 변화에 대한 결과를 얻었다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과는 핵물질 계량 기술 발전에 기여할 것을 기대한다.

Acknowledgment

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technology of the Korea. We thank to Dr. Duc T. Vo at Los Alamos National Laboratory for his advices on suggestion to acquire improved spectra from spent fuels. .

참고문헌

1. T. Sampson, G.W. Butler, D.T. Vo, T. Wenz, S. Myers: The use of FRAM with a portable, HPGe-based nuclide identifier to measure the isotopic composition of plutonium and uranium, <http://www.ortec-online.com>
2. D.T. Vo, P.A. Russo (2002): PC/FRAM plutonium isotopic analysis of CdTe gamma-ray spectra, Nucl. Instr. Meth A 486, 813.
3. Personal contact to D.V. Vo at Los Alamos National Laboratory