

## PRIDE 통합 NDA 감마선 측정부의 우라늄 농축도 분석 정밀도 측정

박세원, 엄성호, 신희성, 김호동, 박준서, 김용균\*,  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111  
 \*한양대학교, 서울시 성동구 왕십리로 222  
[cs-spark@kacri.re.kr](mailto:cs-spark@kacri.re.kr)

### 1. 서론

한국원자력연구원에서는 파이로일판공정을 구현할 수 있는 시설로써 PRIDE (PyRoProcess Integrated inactive DEMonstration facility)를 건설하고 있다. PRIDE 시설에서는 NU(Natural Uranium), 및 DU(Depleted Uranium)를 대상으로 파이로 공정이 이루어 질 예정이다. 시설의 핵물질 계량을 위하여 통합 NDA 장비가 제작되고 있다. 통합 NDA 장비는 시료 총 무게를 측정할 수 있는 저울, 시료의  $^{238}\text{U}$  양을 계량할 수 있는 중성자 측정 장치, 시료의 우라늄 농축도를 결정하여  $^{235}\text{U}$  양을 계량할 수 있는 감마선 측정 장치로 구성된다.

우라늄 시료에서 발생하는 감마선 에너지 스펙트럼을 측정하여 시료의 우라늄 농축도를 결정할 수 있다. PRIDE 시설에서 계량이 필요한 우라늄 시료는 용기에 담겨져 있으므로, 감마선이 용기를 투과하는 동안 감쇄가 이루어지며, 정확한 농축도 결정을 위하여 이에 대한 보정이 필요하다.

본 연구에서는 HPGe, NaI(Tl), CZT 검출기를 이용하여 우라늄 감마선 에너지 스펙트럼을 측정하고 측정된 에너지 스펙트럼을 이용하여 우라늄 농축도를 결정하였다. 또한 우라늄 시료와 검출기 사이에 차폐체를 두고, 우라늄 감마선 스펙트럼을 분석하고 우라늄 농축도를 분석하며, 차폐체에 의한 우라늄 농축도 측정시 오차에 대한 자료를 얻었다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험

3가지 감마선 검출기를 이용하여 우라늄에서 발생하는 감마선 에너지 스펙트럼을 측정하였다. 측정에 이용된 감마선 검출기로는 크기 3" × 3" 인 HPGe 검출기, 동일한 크기의 NaI(Tl) 검출기, 크기 1 cm × 1 cm × 1cm 의 CZT 검출기가 이용되었다. HPGe 검출기에 대한 고전압 인가 및

신호처리는 ORTEC사의 DSPEC Pro를 이용하여 이루어졌다. NaI(Tl) 검출기와 CZT 검출기에 대한 신호처리 및 고전압 인가는 Spectroscopic Amplifier, HV supplier, MCA를 통하여 이루어졌다.

HPGe 검출기를 이용한 감마선 측정시, pellet 형태의 NU 500 kg, 농축도를 달리하는 pellet 형태의 LEU 시료 4종 (순수 무게 : ~ 300 g)에 대하여 측정 조건을 달리하며 감마선 에너지 스펙트럼을 얻었다. 측정 시간을 10분, 1시간으로 변화하며 감마선 스펙트럼을 측정하였고, 우라늄 시료와 감마선 검출기 사이의 차폐체를 0mm, 2mm, 4mm, 6mm, 8mm, 10mm로 변화하며 측정을 진행하였다. 또한 감마선 검출기 주변에 납차폐체를 둔 경우와 납차폐체를 두지 않은 경우에 대하여 측정을 수행하였다. 동일한 측정을 반복하여 측정에 의한 오차를 예상하였다.



Fig. 1. 우라늄 시료 농축도 측정을 위한 HPGe 감마선 검출 시스템.

측정된 감마선 스펙트럼을 이용한 우라늄 농축도 분석에는 PC/FRAM(Fixed energy Response function Analysis with Multiple efficiencies)을 이용하였다. PC/FRAM을 이용할 경우 우라늄 시

료와 검출기 사이의 차폐체에 의한 감마선 감쇄를 자동적으로 보정해 줄 수 있는 기능이 있다. 표준 농축도 우라늄 선원을 이용하여 농축도-감마선 측정수 (186 keV 감마선) 사이의 관계를 보정하고 이를 이용하여 우라늄 시료의 농축도를 결정하였다. 이 때 시료의 크기에 의한 영향을 없애기 위해기 위하여 시료와 검출기 사이에는 콜리메이터를 두었다. 시료는 NU 및 4종의 LEU를 이용하였으며, 시료와 검출기 사이에 차폐체를 앞의 실험과 동일하게 2 ~ 10 mm 까지 변화시키면서 측정을 진행하였다. 우라늄에서 발생한 감마선이 차폐체를 통과하면서 물질과 반응하여 감마선 감쇄를 보상하기 위하여 미국 NIST (National Institute of Standards and Technology)에서 제공하는 X-COM:Photon Cross Section Databases를 이용하였다.

동일한 실험을 CZT 검출기와 NaI(Tl) 검출기를 이용하여 진행하였다. 동일한 시료를 이용하였으며, 검출기와 시료 사이의 차폐체의 두께를 변화시켰다. 각 측정에서 얻은 농축도는 NU 시료의 경우에는 알려진 농축도와 LEU 시료의 경우에는 화학 분석으로 얻은 농축도와 비교하여 분석의 정확도를 비교하였다.

### 3. 결론

우라늄 농축도 결정시 PC/FRAM을 이용하여 분석을 진행하면 검출기와 시료 사이의 차폐체에 의한 영향을 거의 무시할 수 있음을 확인할 수 있었다. 검출기 주변에 차폐체를 두면 백그라운드를 줄여주어서 분석의 정확도를 높일 수 있었다. 농축도 분석의 정확도에 측정 시간이 매우 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 에너지 분해능이 다른 검출기를 이용하여 감마선 스펙트럼을 측정하고  $^{235}\text{U}$ 에서 발생하는 감마선을 이용하여 농축도를 분석한 경우 에너지 분해능에 따른 농축도 분석의 정확도가 영향을 받음을 알 수 있었다. 우라늄 핵물질 측정시 컴프톤 백그라운드의 영향을 최소화하기 위하여 BGO 컴프턴 측정용 검출기를 HPGe 검출기 주변에 두고 동시 계수 시스템을 구성하고 측정 장치 조건 최적화를 진행 중이다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 원자력 연구 개발 사업 및 2009년

도 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] Duc T. Vo. Gamma-Spectrometry and Neutron Measurements for Safeguards, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 276, No.3 (2008) 693-698.