

FRAM 코드에 적용하기 위한 우라늄 선원 농축도 분석 및 통합 NDA 감마선 측정 모듈 시작품 제작

엄성호, 박세환, 안성규, 송대용, 신희성, 김호동
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
eom@kaeri.re.kr

1. 서론

본 연구에서는 미국 로스알라모스 국립 연구소(LANL)가 개발한 핵물질 정량분석용 감마분광 프로그램인 FRAM 코드에 적용하기 위한 측정시험을 수행하였다. FRAM은 에너지 분해능이 높은 검출기로 측정된 감마선 스펙트럼을 이용하여 대상 물질의 플루토늄(Pu)이나 우라늄(U) 동위원소 비를 분석하는 코드로서[1~2], 핵물질의 분포나 측정이 이루어지는 실험장치의 기하학적 구조에 무관하게 비를 얻을 수 있다. 일반적으로 감마선 스펙트럼을 이용하여 대상 시료에 들어 있는 동위원소의 비를 구하기 위해서는 에너지 및 측정효율에 대한 보정을 해야 한다. 이러한 보정을 위해서는 표준선원을 사용하거나 Monte Carlo 코드를 이용해야 한다. FRAM은 이러한 추가적인 보정 없이 U, Pu 측정 스펙트럼만 측정하면 자동적으로 보정이 이루어진다. 즉, U, Pu이 포함된 시료의 에너지 스펙트럼을 측정하면 추가적인 보정 없이 U, Pu 동위원소의 비를 구할 수 있다[3~4]. 따라서 FRAM 코드 적용성 평가를 위한 우라늄 선원을 사용하여 감마선 에너지 스펙트럼 측정 및 U-235 농축도 분석을 위해 기본적인 예비 실험을 수행하였다. 측정용 장비로는 FRAM에서 주로 쓰이는 감마선 검출기로는 고순도 게르마늄(HPGe)을 들 수 있다. 이외에 LaBr₃, NaI(Tl) 및 CZT(CdZnTe) 감마선 검출기를 사용하여 분해능 및 농축도를 비교 분석하였다. 그리고 PRIDE 핵물질 계량 관리용으로 감마 및 중성자 신호를 동시에 측정할 수 있는 통합 비파괴분석(NDA) 측정 모듈 시작품 제작을 하였다.

2. 실험 및 결과

본 측정실험에서는 우라늄 LEU(소결체) 농축도(U-235)가 화학분석 공표값 1.69, 2.42, 3.80, 4.47%인 시료와 실험에 사용한 장비는 높은 에너지 영역의 여러 입사 감마선을 검출하기 위한 Coaxial

Type의 고순도 게르마늄(HPGe) 검출기의 예 LaBr₃, NaI, CZT 감마선 검출기와 검출기에서 발생한 신호는 전치증폭기, 증폭기를 거쳐서 감마선 스펙트럼을 분석 처리하고 저장하기 위한 다중과 고분석기(MCA:Multi-Channel Analyzer)에서 디지털 신호로 바꾼 후 저장 PC 등으로 구성된다[그림 1]. 본 실험은 능동형 중성자 계수기 개발 실험실에 설치되어 각각의 감마선 검출기에 대한 표준선원을 이용하여 감마선 스펙트럼을 얻었으며[그림 2], 분해능을 비교 분석한 결과 각각의 에너지에서 HPGe 검출기 분해능이 가장 좋은 것을 알 수 있었다[표 1]. 스펙트럼상에는 U-235에서 발생하는 185.7 keV 감마선과 U-238에서 발생하는 776.4 keV, 1001 keV 감마선이 측정되었다.

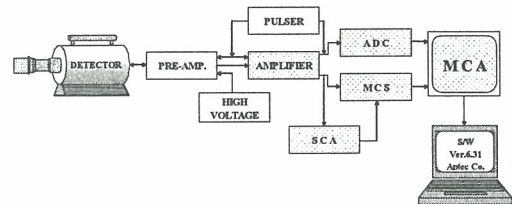


Fig. 1. Gamma-ray spectrum measurement system

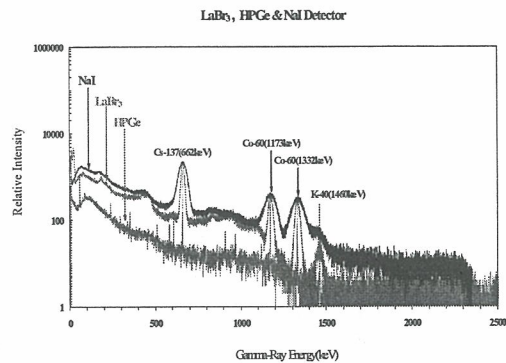


Fig. 2. Energy resolution comparison for HPGe LaBr₃ and NaI gamma-ray detector

LaBr₃ 검출기를 이용하여 얻은 감마선 스펙트

럼에서 에너지 186 keV의 U-235 농축도에 따른 우라늄 시료에 대한 스펙트럼을 측정하였으며[그림 3], 이외에 HPGe, NaI 감마선 검출기에 대한 농

Table 1. Measured energy resolution comparison for gamma-ray detectors

Energy, keV	FWHM, % (keV)		
	HPGe	LaBr ₃	NaI
Cs-137, 662keV	0.2 (1.4)	2.8 (18.5)	6.8 (45.1)
Co-60, 1332keV	0.1 (1.6)	1.9 (25.9)	5.9 (78.8)

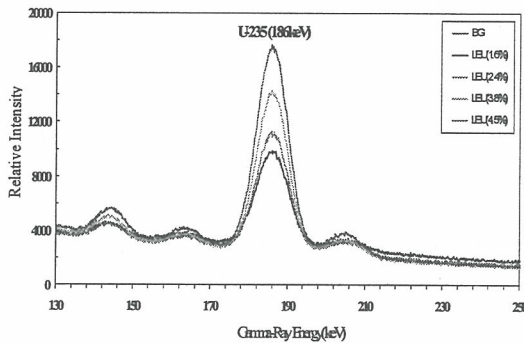


Fig. 3. LaBr₃ spectrum 1.6 % ~4.5 % enriched uranium

Table 2. Uranium enrichment results for the three-detector systems

U235 Enrichment, %	HPGe		LaBr ₃		NaI	
	Net Count Rate	Error	Net Count Rate	Error	Net Count Rate	Error
1.69	85.78	± 0.48	118.43	± 0.55	87.42	± 1.46
2.42	146.66	± 0.36	148.84	± 0.36	132.20	± 1.01
3.80	210.47	± 0.28	199.68	± 0.35	183.15	± 0.80
4.47	230.10	± 0.26	232.46	± 0.30	217.44	± 0.69

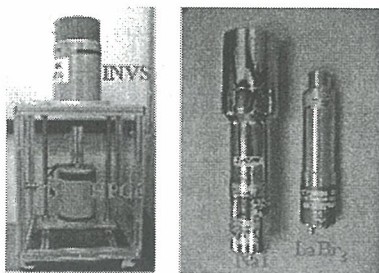


Fig. 4. Prototype of gamma measurement system for unified NDA

축도에 따라 비교분석 결과표를 나타내었다[표 2]. 그리고 PRIDE 핵물질 계량 관리용으로 통합 NDA 장비 감마선 분석 통합기술 구축과 FRAM 을 기반으로 감마 및 중성자 신호를 동시에 측정 할 수 있는 통합 HPGe, LaBr₃, NaI, CZT 감마선 검출기와 INVS 중성자 검출기 모듈 시작품이 제작되었다[그림 4].

3. 결론

KAERI와 LANL간 FRAM 프로그램관련 공동 연구 일환으로 FRAM은 플루토늄과 우라늄 분석을 위하여 감마선 측정법이 적용될 수 있는 분석 방식으로 우라늄 시료 LEU(소결체)에 대한 농축도 감마측정 분석을 위해 기본적인 예비실험을 수행하였다. 스펙트럼상에는 에너지 분해능이 낮아서 낮은 에너지 영역의 peak은 정확히 구분되지 않았다. 따라서 감마선 에너지 스펙트럼 측정을 위하여 다양한 고분해능 감마선 검출기를 대상으로 적용을 확대할 예정이다. 그리고 PRIDE 핵물질 계량 관리용 중성자-감마 측정 통합 기술 개발을 위하여 통합 NDA 감마선 검출기 및 중성자 검출기 모듈 시작품이 제작된 장비를 사용하여 실험이 진행될 예정이다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력증장기과제의 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] 엄성호외 5인, "사용후핵연료 및 우라늄 시료에 대한 감마측정을 하여 FRAM 코드에 적용하기 위한 시험", 한국방사성폐기물학회, 춘계 학술발표회 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.