사용후핵연료 및 우라늄 시료에 대한 감마측정을 하여 FRAM 코드에 적용하기 위한 시험

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

1. 서론

본 연구에서는 한국원자력연구원과 로스알라모스연구소(LANL)간 공동연구의 일환으로 LANL가 개발한 핵물질 정량분석용 감마분광 프로그램인 FRAM(Fixed-energy Response-function Analysis Mutiple efficiency) 코드에 적용하기 위한 측정시험을 수행하였다. FRAM은 에너지 분해능이 높은 검출기로 측정한 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 부가적인 보정 없이 U, Pu 측정 스펙트럼만 측정하면 자동적으로 보정이 이루어진다. 즉, U, Pu이 포함된 시료의 에너지 스펙트럼을 측정하면 부가적인 보정없이 U, Pu 동위원소의 비를 구할 수 있다. 이는 U, Pu 붕괴 시 발생하는 감마선, X-선 에너지에 대한 다양한 분지비(branching ratio) 정보를 사전에 정확히 알고 있기 때문이다. 단, 프로그램의 정확한 사용을 위해서 사용자가 다양한 parameter set을 입력해야 하며, parameter를 잘못 입력할 경우 잘못된 분석을 얻을 가능성이 있다. 이를 최소화하기 위하여 parameter를 바꿀 수 없는 방식으로 운영하기도 한다. 즉, 정확한 데이터를 얻기 위해서는 사용자의 숙련이 필요하다.

2. 실험방법 및 결과

본 실험에서는 사용후핵연료 내 동위원소 분석에서의 FRAM 코드 적용성 평가를 위한 예비실험을 수행하였다. 실험에 사용한 장비는 넓은 에너지영역의 여러 입사 감마선을 검출하기 위한 고순도 게르마늄검출기(HPGe) 및 감마선 스펙트럼을 분석 처리하고 저장하기 위한 다중파고분석기(MCA:Multi-Channel Analyzer) 등으로 구성된다. 한국원자력연구원 조사후시험시설 핫셀에 설치된 HPGe 감마 검출기(Coaxial Type)를 이용하여 사용후핵연료 시료에 대한 감마선 스펙트럼을 획득하고([그림 1]), 피크분석을 하였다. 분석에 활용하려는 피크 에너지 영역은 1 ~ 1.5 MeV 이지만, 핵연료 측정 결과 스펙트럼에서는 관심 피크의 분석이 불가능하였다. 특별히 사용후핵연료 내 포함된 Pu과 Cm의 비를 구하기 위한 대표 피크를 얻기 위해, 산란 감마선의 영향을 줄이기 위한 다양한 시준기(collimators) 및 흡수체(absorbers) 구조에 변화를 주고, 측정시간을 증가시켜 스펙트럼을 획득 할 예정이다. 그리고 U-235 농축도에 따른 우라늄 시료에 대한 스펙트럼을 측정하였으며([그림 2]), 이는 FRAM에 적용이 가능하였다.

3. 결론

KAERI와 LANL간 FRAM 프로그램관련 공동연구 일환으로 사용후핵연료 및 우라늄 시료에 대한 감마측정을 수행하여 FRAM의 적용성 검토를 위한 기초자료를 생성하였다. 적용이 가능한 NU(UO_2 분말)에 대해서 획득한 스펙트럼으로 농축도 분석 결과(0.73 ~ 0.74 wt %)를 얻었다. 사용후핵연료에 대한 감마측정 실습은 핵분열생성물의 존재로 저에너지(low energy) 대의 background가 높아져 우라늄과 플루토늄의 감마 피크를 구별할 수 없었다. 향후 실험조건(시준기 및 흡수체를 통한 저에너지 산란선 저감 등)을 바꿔가며 다양한 종류의 시료두께와 연소도를 갖는 사용후핵연료 시료를 대상으로 많은 실험을 수행하고, LANL 간에 데이터 공유 및 분석을 통하여 고에너지(2 ~ 5 MeV) 영역에서 Pu/Cm ratio 분석에 활용할 피크에 대한 연구를 지속하여 측정한계(Cm/Pu)를 개선할 예정이다.

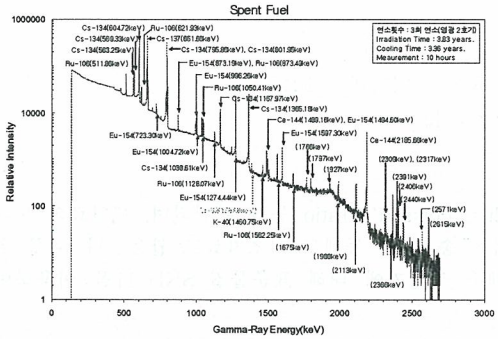

그림 1. 사용후핵연료 시료에 대한 감마측정 스펙트럼.

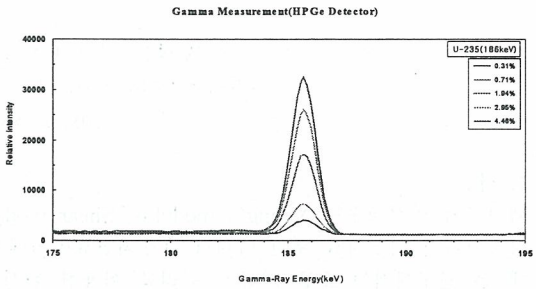

그림 2. U-235 농축도에 따른 우라늄 시료에 대한 감마측정 스펙트럼.

사 사

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

[1] Duc T. Vo, Gamma-ray Isotopic Measurements with FRAM LA-UR-06-5545

[2] PC/FRAM Manual LA-UR-03-1623.