

## 사용후핵연료 집합체에 대한 내·외부의 연소도 측정

엄성호, 박세환, 안성규, 임혜인, 손영준, 권인찬, 주준식, 신희성, 김호동  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
[eom@kaeri.re.kr](mailto:eom@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

조사후시험시설의 수조(pool)에 저장된 사용후핵연료 집합체의 연소도는 핵연료의 연소상태를 추정하는 가장 기본적인 인자이며, 특히 사용후핵연료에 내재한 핵종들의 성분비를 추정할 때 필수적인 인자이다 [1]. 이러한 이유 때문에 사용후핵연료의 연소도 측정에 대해 많은 연구가 있으며, 크게 비파괴적인 방법과 파괴적인 방법으로 나눌 수 있다. 본 실험은 감마선 분광분석 실험을 비파괴적인 방법으로 연소분포 [2~3], 방사성 핵종의 종류 및 특성을 파악하고 또 집합체내의 분포된 감마선 스펙트럼을 분석하기 위하여 측정 방법에 있어서, 장치의 차이에 따른 측정방법의 종류 및 이들의 장단점을 파악하여 측정법을 수행하였다.

### 2. 실험 및 결과

본 측정실험을 수행한 집합체는 주로 고리 1호기의 사용후핵연료인 14 x 14 타입 집합체이다. 이러한 집합체에 대한 감마선 분광분석 외부 측정시, 측정방법으로는 면측정법(side measurement method)으로 핵연료 집합체의 4 면에 대한 특성을 서로 비교할 수 있는 장점을 가지고 있으나 시험에 소요되는 시간이 길어지는 단점이 있다. 이 측정방법은 핵분열생성물의 분포를 확인하는 장치로서 고순도 게르마늄(HPGe) 검출기와 같은 적합한 다중과도 분석기(multi-channel analyzer)를 사용하여 우선적으로 감마스캐닝을 수행하였다. 이 감마스캐닝으로부터 측정대상 집합체가 갖는 대략적인 연소도분포, 방사능 세기등을 평가하고 측정점등을 결정 짓는다. 집합체 외부 4 면에 대한 측정 결과 [그림 1]에 제시한 바와 같이 집합체의 그리드에 해당하는 부분은 Co-60으로 인하여 총 계수율은 높으며 감마선 분광분석 측정시의 측정 위치로는 선택될 수 없다. 감마스캐닝을 행한 후 핵연료 집합체의 전체 길이중 감마선 분광분석 측정 위치로 한 면에 대하여 보통 7 ~ 10 지점을 정한 후 측정면의 각 지점에 대한

감마스펙트럼을 일정시간 동안 수집하여 이 스펙트럼으로부터 필요한 핵종의 에너지가 갖는 감마선 세기를 구하였다. 그리고 집합체에 대한 감마 및 중성자 내부 측정시, 측정방법으로는 집합체의 제어봉 가이드 튜브에 감마선 검출기(ion chamber)와 중성자 검출기(fission chamber)를 각각 삽입하여 측방향으로 스캐닝하므로서 중성자 선속분포의 측정결과와 감마 세기의 연소도분포 결과 그리고 C15 집합체의 B12 핵연료봉에 대한 감마스캐닝 결과를 [그림 2]에 제시하여 비교하였다. 전체적인 경향이 유사한 것을 알 수 있으며, 또한 집합체내 가이드 튜브 위치에 따라 또는 핵연료봉이 한 위치에 집중적으로 제거된 부분에서 연소도 차이가 났으며, 몇 개의 지지격자(grid)가 위치한 지점에서는 다른 지점보다 상대적으로 핵연료 연소도가 낮아 선속밀도는 주위보다 낮게

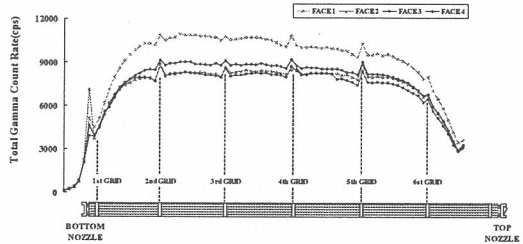


Fig. 1. Gamma-ray Scanning of Spent Fuel Assembly 14 by 14 (Outside Measurement Method).

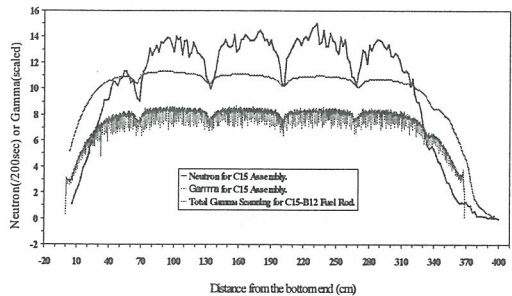


Fig. 2. A Comparison of Neutron and Gamma Counts for Assembly 14 by 14 (Inside Measurement Method).

나타난 것을 알 수 있었다. 따라서 조사후시험시설의 수조에 장전된 핵연료 집합체에 대한 감마선 분광분석 시험 및 기술개발을 하기 위하여 지금까지 조사 분석한 감마선분광분석법에 의한 조사후 핵연료 집합체의 연소도측정 평가를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

### 3. 결론

첫째, 핵연료 집합체에 대한 감마선 분광분석에 있어서, 각 스펙트럼을 수집하는데 소요되는 시간이 길고 스펙트럼의 수 및 스펙트럼상에 나타나는 에너지 피크의 수가 상당히 많으므로 이들을 신속하게 처리 보관하기 위해서는 측정 및 분석이 자동화되어야 한다. 그러므로 당 시설 및 장치에 적합한 프로그램의 개발등 시스템 자동화에 대한 연구가 수행되어야 한다.

둘째, 감마선 분광분석의 결과분석에 있어서, 외부 측정시, 핵연료 체의 강한 차폐효과로 인하여 집합체의 가장자리에 있는 연료봉들에 대해서만 실질적인 해석이 가능하다는 것을 알았으며, 한 집합체의 4 면으로부터 얻은 결과들로부터 내부에 있는 연료봉들에 대해 해석할 수 있는 방법을 모색하였다.

셋째, 감마선 분광분석을 수행한 집합체에 대한 보다 정확한 분석을 위해서는 이 집합체를 해체한 후 취출한 연료봉 또는 시편등을 대상으로 수행하는 파괴 및 비파괴 시험의 결과 그리고 화학 분석법에 의한 결과등과 함께 분석을 하여야 한다. 그러므로 이런 파괴 및 비파괴 방법등에 의한 결과들을 종합적으로 분석할 수 있는 능력을 배양하여야 한다.

넷째, 감마 및 중성자 스캐닝을 이용한 연소도 측정의 가능성을 확인하였다. 앞으로 다양한 사용후 핵연료봉을 대상으로 많은 실험을 수행하여 측정데이터의 경향을 파악하고 이를 근거로 측정기술을 개선할 나갈 계획이며 궁극적으로 감마 및 중성자 스캐닝에 의한 연소도 측정기술의 기술적 안전성을 입증할 계획이다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력증장기과제의 일환으로 수행되었습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] Y. G. Lee, J. S. Jun, Gamma-Ray Spectrometric Determination of Burnup Distribution and Cooling Time of Spent PWR Fuel Assemblies, Journal of Korean Nuclear Society, Vol. 17, No. 1, 1985.
- [2] 엄성호의 6인, “조사핵연료에 대한 집합체의 연소도측정”, 한국방사성폐기물학회, 춘계학술발표회 논문요약집, pp.208-209, 2006.
- [3] 신희성의 5인, “지수실험장치의 구성 및 성능시험”, pp.49-52, KAERI/TR-2199. 2002.