

## 감마선 선량 측정을 이용한 사용후핵연료 집합체 연소도 분포 도출 연구

박세환, 신희성, 엄성호, 임혜인

한국원자력연구원, 305-353 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

[ex-spark@kaeri.re.kr](mailto:ex-spark@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

사용후핵연료 연소도는 핵물질 안전 조치 및 핵연료의 이송, 저장시 반드시 필요한 핵임계안전성 측면에서 정확한 결정을 필요로 하고 있다. 특히 핵연료 집합체 축방향의 연소도 분포는 고연소도 핵연료의 경우 (> 30 GWd/tU) 핵임계 안정성 측면에서 고려되어야 한다. 본 연구에서는 핵연료 집합체의 제어봉 (control rod) 내에 이온 챔버를 삽입하여 선량 분포를 측정하고 이를 이용하여 집합체의 평균 연소도를 도출 방안에 대하여 연구하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 감마선 측정

감마선 측정을 이용한 집합체 내 축방향 선량 분포는 이온 챔버를 이용하여 측정되었다. 제어봉 내에 한쪽 끝이 밀봉된 검출봉을 삽입하고 그 내부에 이온 챔버를 삽입한 후 이온 챔버의 위치를 이동시키면서 측정하였다. 측정 대상은 한국원자력연구원 내 조사후연구시설에 보관 중인 고리 1 호기에서 3 주기 연소된 OFA 집합체 (C15)를 대상으로 진행되었으며, 총 16개의 제어봉에 대하여 데이터를 획득하였다. 그림 1은 측정이 진행된 사용후핵연료 집합체를 나타내며, 자세한 실험 장치 및 측정 결과는 추후 발표할 예정이다.

#### 2.2 연소도 분포 도출 연구

사용후핵연료의 연소도 분포를 결정하기 위하여 쓰이는 방식은 collimator를 장착한 감마선 측정을 수행하여 감마선 분포를 도출하고, 연소도 절대값은 화학분석으로 결정한다. 본 연구에서는 감마선 측정을 위하여 지름 12.83 mm 내 제어봉에 이온 챔버를 삽입하였으며, 이 경우 측정시 collimator를 두기가 불가능하다. 따라서 집합체 내의 에너지 감소가 허락되는 범위내에서 사용후핵연료 연료봉의 여러 영역에서 발생하는 감마선이 동시에 이온 챔버 측정치에 영향을 미치게

된다. 따라서 연소도 분포 결정을 위하여 추가 보정을 필요로 한다.

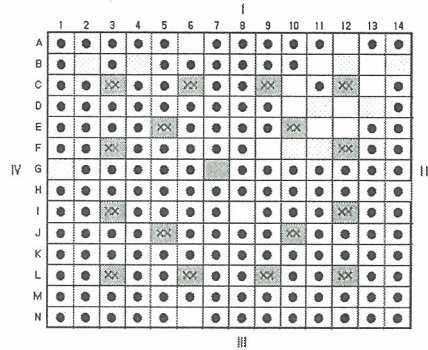


Fig. 1. Schematics of the Spent Fuel Assembly. The gamma dose profile of the assembly was measured with the ion chamber. xx marks means the measuring position, and closed circles means the spent fuel rods.

사용후핵연료에 남아 있는 대표적인 감마선 방출 핵종은 Cs-137으로, 연소도와 감마선 선량 사이에 선형적 관계가 있다고 알려져 있다. 이 경우 특정 위치 감마선 선량  $\gamma_i$ 와 연소도  $B_i$  사이에는

$$\gamma_i = \sum_j \epsilon_{(i-j)} B_{(i-j)} \dots\dots\dots (1)$$

의 관계가 유지된다. 여기서,  $\epsilon_{(i-j)}$  는 각 지점에서 일어나는 발생한 감마선 방출량과 감마선이 이온 챔버 측정 위치에 도달하여 측정되는 검출 효율을 나타낸다. 이 때 근사 계산으로 연소도  $B_{(i-j)}$ 사이의 관계는 집합체에서 추출한 연료봉 대하여 측정된 감마선 스캔 분포값을 대입하였다. 특정 제어봉의 감마선 측정 위치에 대하여 주위를 둘러싸고 있는 핵연료봉은 1차적으로 가까운 영역, 2차적으로 가까운 영역, 3차적으로 가까운 영역 등으로 구분이 가능하다. 즉, 1차 영역에는 8개의 핵연료봉이 2차 영역에는 16개의 핵연료봉이 위치한다.

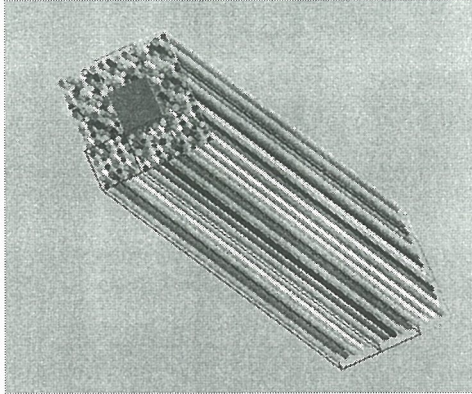


Fig. 2. Geometrical Description of the Spent Fuel Assembly simulated with MCNPX.

각 영역의 대표적 위치의 연료봉에 대하여 연소도와 검출기가 위치한 지점의 감마선 선량 간의 상관관계를 MCNP와 ORIGEN을 이용하여 구하였다. 즉, 연료봉은 화학 분석시 감마선 스캔을 이용하여 얻은 연소도 분포 ( $B$ )를 가지고 있다고 가정할 경우 연료봉 길이 방향으로 각 위치에서 측정되는 감마선 선량값 ( $\gamma$ )을 구하였다. 집합체 길이 방향에 대하여 각 지점에서 측정된 감마선 선량값에  $B/\gamma$ 값을 곱하여 집합체 전체의 연소도 분포를 도출하였다. 이 때 각 영역의 연료봉이 측정 선량에 미치는 영향은 공표된 연료봉의 연소도를 이용하여 도출하였다.

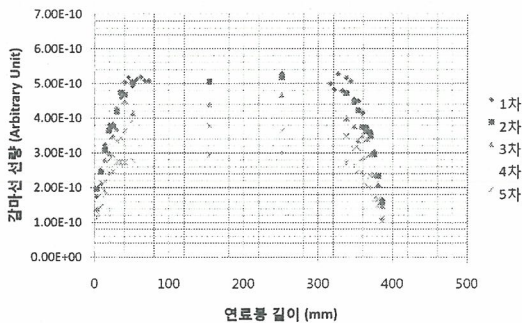


Fig. 3. Dose variation along the assembly axis, which was obtained from ORIGEN and MCNPX simulation.

### 3. 결론

사용후핵연료의 축방향 연소도 분포는 핵물질 안전 조치 및 핵임계 안전성 측면에서 정확한 측정이 필요하다. 본 연구에서는 집합체 제어봉에

감마선 측정용 이온 챔버를 삽입하여 그 분포를 측정 후, 이를 이용하여 연소도 분포 도출을 위한 알고리즘을 개발하였다. 또한 연소도 분포 도출을 위하여 ORIGEN, MCNPX를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구 결과는 핵물질 안전 조치 및 핵물질 관리 기술 발전에 기여할 것이 기대된다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력중장기연구개발사업 및 지식경제부 방사성폐기물관리기술사업의 지원으로 이루어졌습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] H. Toubon, C. Riffard, M. Batifol, S. Pelletier, Burn-up Credit Applications for UO2 and MOX Fuel Assemblies in AREVA/COGEMA, International Conference on Nuclear Criticality Safety, 2003.
- [2] International Atomic Energy Agency, Implementation of Burnup Credit in Spent Fuel Management Systems, IAEA-TECDOC-1013, 1997.