

## 사용후핵연료 집합체 외면 연소도 분포 측정 연구

박세환, 엄성호, 오중명, 박준식, 신희성, 김호동  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045  
 ex-spark@kaeri.re.kr

### 1. 서론

사용후핵연료 연소도 분포는 핵임계 안전성 평가 및 파이로 공정 안전조치 측면에서 중요성을 가진다. 사용후핵연료 저장이나 이동시 보다 조밀하게 사용후핵연료를 위치하여 경제성을 높이기 위해서는 축방향 연소도 분포에 대한 고려가 필요하다. 또한, 파이로 공정시 사용후핵연료 집합체에 포함된 플루토늄의 양을 보다 정확하게 계량하기 위해서는 연소도 분포를 측정할 필요가 있다. 본 연구에서는 사용후핵연료 집합체 전체의 평균 연소도 분포를 결정하기 위하여 감마 및 중성자 측정 검출기를 집합체 외부에 설치하고, 집합체 축방향으로 검출기를 이동하며 감마 분포를 측정하였다. 이를 이용하여 축방향 연소도 분포를 도출하고, 그 결과를 사용후핵연료 내부 연소도 분포 측정 결과 및 연료봉 감마 스캔 데이터, 노심추적계산을 통한 연소도 분포 결과와 비교하였다. 또한, 개발된 연소도 분포 측정 장치 기술을 이용하여 원자력 발전소 집합체를 대상으로 한 실험계획에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 측정 장치 제작 및 설치

집합체 외부 측정 장치는 검출함, 검출함지지 장치, 검출함 이동 장치, 신호 수집 및 처리 장치로 구성된다. 검출함은 폭 236 mm, 높이 250 mm, 길이 543 mm의 직사각형 스테인레스 함으로, 검출함 내부에 감마 선량 측정을 위한 이온함, 중성자 측정을 위한 핵분열함, 감마선 스펙트럼 측정을 위한 CZT 검출기를 장착한다. 중성자 에너지에 따른 입사 중성자 수를 구분하여 측정하기 위하여 0.01 mm의 Gd 포일로 주변을 씌 핵분열함과 주변에 중성자 흡수 포일을 장착하지 않은 핵분열함을 장착하도록 설계하였다. 이온함은 납 슬릿 내에 위치하여 위치에 따른 감마선 선량 분포를 측정할 수 있도록 하였다. CZT 검출기 앞에는 길이 30 cm, 폭 1 mm의 납 콜리메이

터와 길이 7 cm, 지름 1 mm의 텅스텐 콜리메이터를 두어서 집합체로부터 발생하는 감마선 스펙트럼을 측정하도록 하였다. 검출함지지 장치는 실험이 이루어지는 한국원자력 조사후시험시설 사용후핵연료 저장수조(9402)에 검출함 지지가 가능하도록 설계/제작되었다. PLC (Program Logic Controller)를 이용하여 원하는 위치로 검출함의 이동이 가능하도록 하였다. 신호 수집 및 처리는 CZT 검출기와 핵분열함의 경우 검출기에서 발생하는 신호는 전치 증폭기, 파형 증폭기를 거쳐서 MCA (Multi Channel Analyzer)에서 저장되어 일정한 채널의 신호수를 검출기 위치에 따라 얻을 수 있도록 하였다. 이온함에서 발생하는 전류 신호는 증폭되어 선량으로 변환되고 역시 이를 검출함 위치에 따라 저장 가능하도록 하였다.

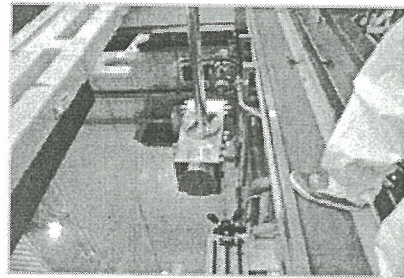


Fig. 1. 한국원자력연구원 조사후시험시설에 설치된 연소도 분포 측정 장치.

#### 2.2 감마선 집합체 축방향 분포 측정

검출함을 집합체 축방향으로 이동시키면서 검출함 위치에 따른 감마 선량 변화를 측정하였다. 측정 집합체는 C-15, G-23 집합체에 대한 측정이 이루어졌다. 집합체와 검출함을 최대한 밀착시킨 상태에서 측정이 진행되었다. 그림 1은 G-23 집합체에 대한 집합체 4면의 감마 선량 분포를 나타낸다. 집합체 내의 봉에 따라 연소도가 다르며, 분석을 위하여 연료봉을 불균일하게 제거하여 각면의 선량 크기는 차이가 난다. 그러나, 선량 분포를 상대적으로 모양만을 비교한 경우 분포의 모양은 거의 일치함을 알 수 있었다.

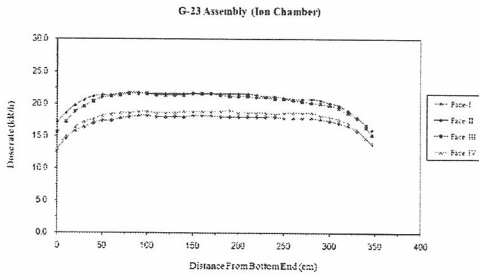


Fig. 2. 집합체 외부에서 측정된 감마 선량 분포.

### 2.3 연소도 분포 결과 비교

집합체 외부 감마선 선량 측정을 통하여 얻은 연소도 분포와 집합체 내부에 이온함을 삽입하여 얻은 연소도 분포, 노심 추적 계산을 통하여 얻은 연소도 분포 결과를 비교하였다. 집합체 외부 측정을 통하여 얻은 연소도 분포와 집합체 내부 측정을 통하여 얻은 연소도 분포 사이에는 5% 미만, 집합체 내부 감마 선량 측정을 통하여 얻은 연소도 분포와 집합체 외부 감마 선량 측정을 통하여 얻은 분포 차이는 3% 미만의 차이를 보임을 확인할 수 있었다.

### 3. 결론

집합체 연소도 분포는 핵임계 안전성 평가 및 파이로 시설의 안전조치를 위한 플루토늄 계량 정밀도 향상을 위하여 정확하게 결정될 필요가 있다. 본 연구에서는 집합체 외부에서 연소도 분포를 측정하고, 그 결과를 이 외 방식으로 측정된 연소도 분포와 비교하였다. 이러한 연구 성과를 바탕으로 원자력 발전소에 있는 집합체를 대상으로 한 실험을 위한 장비를 설계 중이다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 원자력 연구 개발 사업 및 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(과제 번호 : 2009T100100650)의 일환으로 수행되었습니다. 또한 학술진흥재단 기초연구과제 지원 사업 일반 연구자 지원 사업에서 일부 연구자 지원 사업(MOEHRD, Basic Research Promotion Fund, KRF-2008-313-D01255)를 지원받아 진행되었다.

### 5. 참고문헌

- [1] H. Toubon, C. Riffard, M. Batifol, S. Pelletier, Burn-up Credit Applications for UO<sub>2</sub> 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.