

집합체 내부 감마선/중성자 측정을 통한 연소도 분포 도출

박세환, 엄성호, 신희성, 김호동

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

ex-spark@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 집합체 연소도는 정확한 측정을 필요로 한다. 사용후핵연료는 연소에 의하여 핵분열 물질이 줄어들게 된다. 따라서, 사용후핵연료의 이동, 저장시 핵입계 안전성 측면에서 사용후핵연료의 연소도를 고려하면 보다 조밀한 사용후핵연료 설치가 가능하다. 현재 사용후핵연료 연소도에 대한 고려는 평균 연소도만을 포함하고 있다. 그러나, 최근 고연소 핵연료의 경우 평균 연소도만으로는 충분하지 못하며, 연료봉 축방향의 연소도 분포를 고려해야 한다고 알려져 있다. 또한 평균 연소도만을 고려한 경우와 연소도 분포를 고려한 경우를 비교할 경우 사용후핵연료 포함된 U-235,와 Pu의 양에 차이가 발생한다. 따라서 보다 정확한 핵물질 계량을 위하여 연소도 분포 고려를 필요로 한다. 본 연구에서는 집합체 내부에 감마선과 중성자 검출기를 삽입하여 축방향으로 이동시키면서 감마선 선량 및 중성자 분포를 측정하였으며, 측정된 분포를 이용하여 연소도 분포를 도출하였다. 도출된 연소도 분포는 Depletion 코드로 계산된 연소도 분포와 연료봉 감마선 스캔으로 얻은 연소도 분포와 비교하였다.

2. 실험 및 결과

본 실험에서는 사용후핵연료 집합체 내부 제어봉에 감마선 검출기 (이온 챔버)와 중성자 검출기 (Fission 챔버)를 삽입하여 측정하였다. 사용후핵연료는 한국원자력연구원 조사후시험시설에 있는 C-15 집합체를 이용하여 측정이 진행되었다. C15 집합체는 고리 1호기에서 연소된 집합체로서 평균연소도는 32,000 MWD/MTU 이며, 82년 배출되었다. 집합체가 수중에 보관되어 있기 때문에 집합체 제어봉에 검출봉을 삽입하고, 검출봉 내에 이온 챔버 혹은 Fission chamber를 삽입하였다. 검출봉을 축방향으로 이동시키면서 감마선 선량 및 중성자 선속 변화를 측정하였다. 이온 챔버에서 발생한 신호는 길이 15 m의 신호선을 지나서

전자회로에 의하여 증폭되어 선량으로 변환 되기 되었다. Fission chamber에서 측정된 신호는 길이 11 m의 신호선을 지나서 전치 증폭기에 의하여 일차 신호증폭이 되며, 증폭기 (shaping amplifier)에 의하여 신호 모양 및 증폭이 이루어졌다. 증폭기에서 나온 신호는 MCA (Multi Channel Analyzer)에 의하여 디지털 신호로 바뀌어 저장되었다. 각각의 집합체 높이에 대하여 중성자 선속은 Fission chamber 에너지 스펙트럼 상에서 일정 채널 이상의 count수를 합하여 구하였다.

집합체의 그리드 부분은 연소가 되지 않아 선량이 감소하는 부분이 측정되었다. 또한 중성자는 감마선에 비하여 핵연료 집합체 내에서 투과율이 높기 때문에 축방향 중성자 선속 분포가 축방향 감마선 선속 분포에 비하여 퍼져 있음을 알 수 있었다. 따라서 연소도 분포 결정을 위하여 감마선 분포 측정이 보다 정확한 분포를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

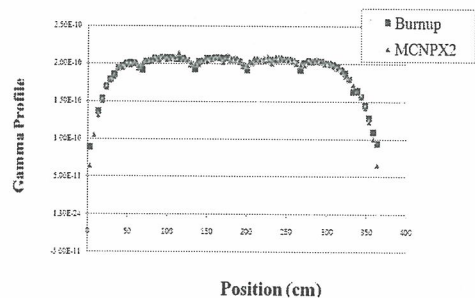


Fig. 1. Burnup profile and the gamma-ray dose profile, which is obtained from MCNPX simulation

측정된 감마선 선량 및 중성자 선속 분포로부터 연소도 분포를 도출하기 위하여 MCNP 시뮬레이션을 수행하였다. 일단, MCNP 시뮬레이션은 전체 집합체에 대하여 수행되었다. 측정 지점에서 거리를 달리하는 연료봉에 대하여 연료봉이 일정한 연소도 분포를 가질 경우 측정 지점에서 얻을 수 있는 감마선 선량을 계산하였다.

연소도에 의하여 발생하는 감마선을 ORIGEN 을 이용하여 구하였다. 냉각기간이 오래된 집합체 의 경우 ~ 90 %의 감마선이 Cs-137에서 발생하는 감마선이므로 660 keV 의 측정되는 선량 분포 변화를 계산하였다. MCNPX 시뮬레이션 결과 계산된 선량의 크기는 검출기 위치에서 연료봉이 멀어질수록 감소하지만, 선량 분포의 모양은 동일 함을 알 수 있었다. 따라서, MCNPX를 이용하여 하나의 연료봉이 연소도 분포를 가질 경우 측정 되는 감마선 선량 분포를 구하였다. 중성자 분포 에 대하여 동일한 계산을 수행하였다.

구한 연소도 분포를 연료봉 감마선 스캔 데이 터, 발전소 제공 연소도 분포 데이터와 비교하였 다. 본 연구를 통하여 얻은 연소도 분포는 5 % 오차 범위내에서 연료봉 감마선 스캔 연소도 분 포 데이터 일치함을 알 수 있었다.

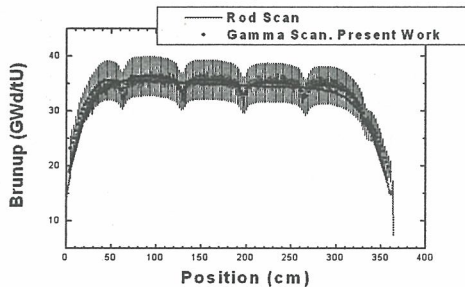


Fig. 2. Burnup profiles from present work, gamma scan for fuel rod, and the calculated one with depletion code

3. 결론

핵연료 집합체 제어봉에 감마선과 중성자 검출 기를 삽입하여 이동시키면서 선량 및 선속 분포 를 측정하였다. MCNPX계산을 통하여 측정된 결 과를 연소도 분포로 변환하였다. 얻어진 연소도 분포는 연료봉 감마선 스캔을 통하여 얻은 결과 와 오차 범위에서 일치함을 보였다. 집합체 외면 에서 연소도 분포를 측정할 수 있는 장치 개발을 진행하고 있다.

4. 감사의 글

This work has been carried out under the nuclear R&D program of the Ministry of Education, Science and Technology (MEST) of Korea.

5. 참고문헌

- [1] A. Lebrun et al., "Nondestructive assay of nuclear low-enriched uranium spent fuels for burnup credit application", Nuclear Technology 135 (2001) 216.