

PWR 사용후핵연료 집합체 방사선 방출특성 평가

문주현, 박찬희

동국대학교, 경상북도 경주시 석장동 707

jhmoon86@dongguk.ac.kr

1. 서론

사용후핵연료는 핵반응에 의해 생성된 막대한 방사성물질들을 포함하고 있다. 이 방사성물질들은 인간과 환경에 치명적 영향을 미칠 수 있으므로, 사용후핵연료는 최종 처분이 될 때까지 안전하고 엄격하게 관리되어야 한다. 사용후핵연료를 안전하게 관리하기 위해서는 사용후핵연료 특성, 특히 방사선 방출 특성을 잘 알고 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 Monte Carlo 법을 적용하여 웨스팅하우스형 PWR 사용후핵연료 집합체의 방사선 방출 특성을 분석하였다. 이 사용후핵연료 집합체의 수평 및 수직 축 방향에 대한 중성자 및 감마선량 분포를 계산하고, 두 선량의 비(比)를 도출하였다.

2. 본론

가. 평가 개요

고리 3, 4호기의 17×17 집합체를 평가대상으로 선정하였다. 이 집합체는 248개의 핵연료봉, 16개의 가연성 흡수핵연료봉, 25개의 가이드 튜브로 구성되어 있다. 방사선원량 평가를 위해 SCALE 5.1 코드 패키지에 있는 ORIGEN-ARP 코드[1]를 사용하고, 방사선량 평가를 위하여 MCNPX 코드[2]를 사용하였다.

나. 방사선원 평가

방사선원 평가를 위해, 연소도는 48,000 MWD/MTU, 평균 출력은 38.54 MW/MTU, 냉각시간은 9 days로 가정하였다. 방사선원으로 중성자 선원과 감마 선원을 고려하였다. 중성자 선원은 (α,n) 반응, 자발 핵분열 중성자, 지발중성자를 고려하여 평가하였으며, 광자 선원은 가벼운 원소, 악티나이드, 핵분열 생성물 등을 고려하여 평가하였다. ORIGEN-ARP를 이용하여 계산한 중성자 선원과 감마 선원은 그림 1과 그림 2와 같다.

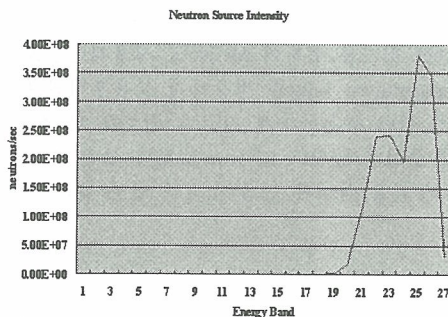


그림 1. 중성자선원

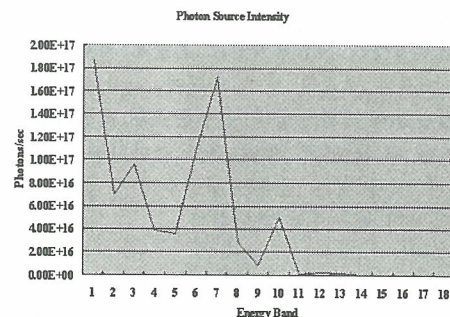


그림 2. 감마선원

다. 방사선량 평가

본 연구에서는 반복되는 구조를 가진 핵연료 집합체 구성을 위해서 MCNPX에서 사용되는 Universe & fill card를 사용하여 그림 3과 같은 기하 구조를 구성하였다. 또한 중성자 및 광자선의 선량 평가를 위하여 그림 3의 Tally 1부터 Tally 6까지 6개의 위치에 검출기가 있는 것으로 가정하였다. 중성자와 감마선량을 평가하기 위하여 F4(flux averaged over a cell) tally와 Segmentation tally를 사용하였다. Segmentation tally는 수직방향의 선량분포를 계산하기 위해 사용한 것이다. 이 Tally를 사용하여, 수직

방향 선량분포를 계산하는 기본 개념을 그림 4에 나타내었다. 다음으로 핵연료 집합체의 수평 방향 선량 평가를 위하여, 그림 5와 같이, 그림 3의 우측 상단에 표시된 Tally 1부터 Tally 6과 같이 각기 다른 위치를 지정하였다. 방사선량 계산을 위한 선량환산인자는 ICRP-74[3]을 적용하였다.

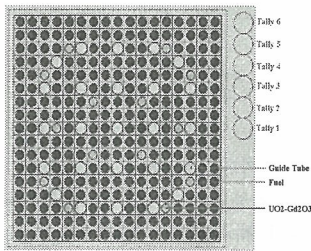


그림 3. Monte Carlo 계산을 위한 기학적 구조

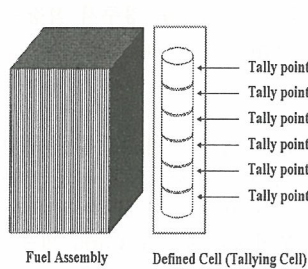


그림 4. Segmentation tally

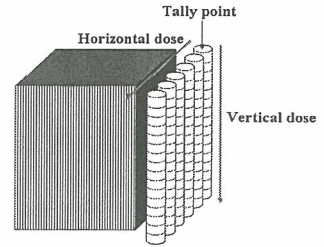


그림 5. 수평 방향 Tally

앞서 설명한 바와 같이 수평 방향으로 6개의 지점 및 각 지점의 수직 방향에 대한 중성자 및 감마선량을 (rem/h)을 평가하여 그림 6과 그림 7에 제시하였다.

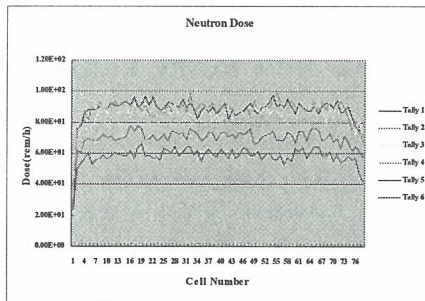


그림 6. 중성자선량

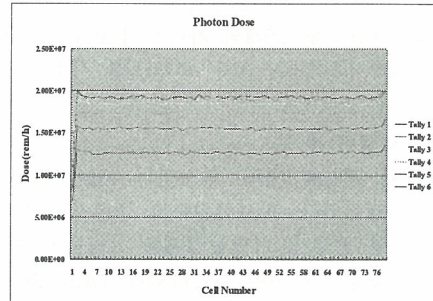


그림 7. 감마선량

3. 결론

본 연구에서는 사용후핵연료 집합체 외곽에서의 방사선량 평가를 위하여 MCNPX 시뮬레이션을 수행하였다. 6개의 원통형 셀에 대하여, 각각 F4 tally와 Segmentation tally를 적용하여 사용후핵연료 집합체 수평방향과 수직방향의 선량분포를 계산하였다. 검출기 셀이 위치한 6개 지점의 중성자 및 감마선량을 평가한 결과, 평균 10^5 배 정도 감마선량($\sim 10^7$ rem/h)이 중성자 선량($\sim 10^2$ rem/h)보다 높은 것으로 평가되었다. 이와 같은 결과는 물질내의 중성자와 광자선의 투과율 차이와 집합체 내의 입자 초기 선속(방사선원) 차이 때문으로 판단된다.

참고문헌

1. Gauld, I.C. et al., 2006. ORIGEN-ARP: Automatic Rapid Processing for Spent Fuel Depletion, Decay, and Source Term Analysis, Oak Ridge National Laboratory report ORNL/TM-2005/39.
2. Pelowitz, D.B., ed., 2005. MCNPX User's Manual version 2.5.0, Los Alamos National Laboratory report, LA-CP-0369.
3. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1996. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, ICRP Publication 74, London UK, Elsevier.

사사

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다. (과제번호:2009-0067277)