

사용후핵연료 축방향 연소도 분포의 그룹화에 따른 핵종량 변화분석

임혜인, 서지선, 엄성호, 박세환, 신희성, 김호동
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 대덕대로 1045
hvein_lim@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료의 수용용기를 설계하거나 저장, 이동할 경우에는 핵임계 안전성을 반드시 고려해야 한다. 이 경우, 핵임계 안전의 보수성을 확보하기 위해 사용후핵연료를 신택연료로 가정하고 핵임계 안전성 분석을 수행하는 것이 일반적이다. 하지만 사용후핵연료의 핵종량등을 정확히 파악하여 연소도 효과(burnup credit) 적용방법을 활용한다면 사용후핵연료의 저장 및 수송 용량을 30% 이상 증대 시킬 수 있다. 이는 사용후핵연료의 연소도에 근간을 두고 산출되기 때문에 연소도의 정확한 측정은 Burnup Credit의 핵심과제이다. 그러나 30,000 MWD/tU 이상의 연소도에서는 집합체 평균 연소도 값을 기준으로 계산한 핵임계도 값이 축방향 연소도 분포를 고려한 핵임계도 값보다 낮기 때문에 핵임계도 관점에서 보수성을 확보할 수 없다(End Effect). 따라서 사용후핵연료 집합체의 축방향 연소도 분포를 정확히 측정해야 보다 효율적으로 Burnup Credit을 활용할 수 있으며, 따라서 사용후핵연료 집합체의 축방향 연소도 분포 측정이 필요하다. 이런 목적으로 KAERI에서는 ‘사용후핵연료 연소도 효과적용을 위한 연소도분포 측정기술 개발 과제’를 수행하고 있다.

사용후핵연료 집합체의 축방향 연소도 분포 측정을 위해서는 집합체의 축방향 위치별 연소도와 핵종 분포와의 관계를 명확히 해야한다. 따라서 본 연구에서는 ORIGEN 코드를 활용하여 축방향 연소도 분포를 그룹화하여 그룹의 수에 따라 핵임계도값에 크게 영향을 미치는 U-235와 Pu-239의 핵종량의 변화를 관찰하였다.

2. 본론

- K23-B16 연료봉 그룹화 및 ORIGEN을 통한 연소계산

핵연료봉을 길이방향으로 각각 3, 8, 18, 24 등분 한 후 각각의 연소도와 연소이력을 바탕으로 ORIGEN 계산을 수행하였다.[1,2] 처음 3 등분을 한 그룹은 연소도를 고려하지 않고 연료봉 길이 데이터를 기준으로 나누었다. 다음으로 8, 18, 24 개로 등분한 그룹들은 처음 3 등분한 데이터를 바탕으로 Cs-137의 축방향 감마 측정 데이터로 얻은 연소도를 참고하여 구분하였다.[3] 특히 양 쪽 끝부분은 End Effect를 유발하는 점을 고려하여 연소도의 기울기가 급하게 변한 부분을 추가등분 하는 방법으로 핵연료 봉을 나누었다.

본 연구의 대상 핵연료인 울진 2호기의 K23B16연료봉은 17X17 집합체, 4.2wt%의 농축도, 44,410MWD/tU의 연소도의 특성을 가지고 있으며, 연소 이력인 연소일 1316일, 냉각기간 1730일을 기준으로 연소계산을 수행하였다. 핵연료 연소주기 중간의 decay기간은 고려하지 않았다.

- 데이터 분석

그룹별로 ORIGEN 계산을 진행한 후에, 결과 데이터를 분석하였다. ORIGEN 연소계산을 통해 얻을 수 있는 정보는 light elements, Actinides, fission products이며, 본 연구는 Actinide 원소인 U-235와 Pu-239를 분석데이터로 사용하였다. 길이별로 균등하게 등분한 것이 아니므로 각각의 결과 데이터는 핵연료봉의 전체 축 방향 길이의 비율로 보정해 주었다. 각 부분을 보정한 후 그룹별로 U-235, Pu-239의 무게를 합하여 3, 8, 18, 24개의 부분으로 구분한 그룹의 결과 데이터들을 서로 비교해 보았다. 그림 1은 U-235의 무게를 그룹별로 나타낸 그래프이고, 마찬가지로 그림2 역시 Pu-239의 무게를 그룹별로 나타내었다.

연소계산을 통해 얻은 U-235, Pu-239의 무게로 분석한 결과, 두 핵종 모두 세 그룹으로 나눈 경우보다 그룹의 개수를 증가시킬수록 수렴하는 경향을 보였다.

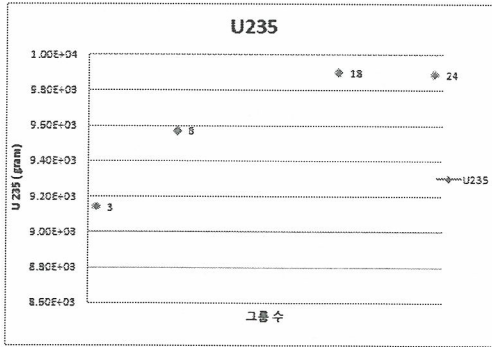


그림1. 그룹 개수 별 U235의 gram 값

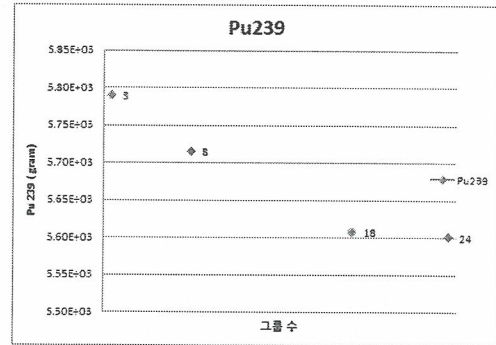


그림2. 그룹 개수 별 Pu239의 gram 값

3. 결론

현재 KAERI에서 수행하고 있는 사용후핵연료 연소도 분포 측정과제의 일환으로 본 연구를 수행하였다. ORIGEN 계산결과를 바탕으로 사용후핵연료의 축방향 연소도의 그룹화에 따른 U-235, Pu-239의 변화량 분석을 통하여 그룹수의 증가에 따라 수렴하는 경향을 확인하였다. 또한, 앞으로 보다 다양한 그룹화 분석을 통해 그룹 수에 따른 핵종량의 수렴경향을 파악할 계획이다. 또한 U-235, Pu-239 뿐 아니라 다른 Actinide계 원소들이나 Cs-134, Cm-244등의 핵종들의 결과도 함께 비교하며 사용후핵연료의 연소도 분포 측정과제에 기여해 나갈 계획이다.

4. 참고문헌

- [1] I.C. Gauld, O.W. Hermann, "ORIGEN-S: scale system module to calculate fuel depletion, actinide transmutation, fission product buildup and decay, and associated radiation source terms" (2005).
- [2] I.C. Gauld, S.M. Bowman "ORIGEN-ARP: automatic rapid processing for spent fuel depletion, decay, and source term analysis" (2005).
- [3] H.S. Shin, S.G. Ro, K.S. Seo, and S.W. Park "Non-destructive Burnup Determination of PWR Spent Fuel Using Activity Ratio Cs-134/Cs-137," ISRSM (2001).