

국내 BUC적용 타당성 평가를 위한 사용후핵연료 타입별 핵임계 특성 분석

김태만, 윤정현, 박주완

한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 1045

tmkim@krmc.or.kr

1. 서론

세계적으로 사용후핵연료 관리 기술개발에 있어 연소도이득효과(Burnup Credit)의 적용은 저장 시설과 수송시스템의 핵임계 여유도 확보로 인한 설계 및 운용 비용감소를 목적으로 많은 국가에서 활발히 기술개발중이다. 특히 BUC를 적용한 수송용기의 설계를 위해서는 일반적인 핵설계와는 다르게 장전대상 사용후핵연료의 설계특성 및 운전이력을 바탕으로 임계해석을 수행하여야 한다. 본 연구에서는 국내 BUC적용의 타당성평가를 위한 수송용기의 평가대상 핵연료의 핵임계특성 분석을 통하여 주요 고려사항을 도출하고자 한다.

2. 본론

2.1 BUC적용 평가대상연료 선정

BUC 적용 평가대상연료를 선정하기 위해 국내 16기의 경수로형 원전에서 발생된 사용후핵연료의 설계특성, 연소이력 및 연소계산 기초자료인 원전 운전이력을 바탕으로 한다.[1][2][3]

일반적으로 사용후핵연료 수송·저장용기 설계에 있어, 장전대상 핵연료 타입 선정에 따른 핵반응도 변화 및 선정된 핵연료의 Active Fuel Length는 중요한 설계변수가 된다. 국내 16기의 경수로형 원전에서 발생된 사용후핵연료는 총 3가지 (14×14, 16×16, 17×17) 타입이 존재하며, Active Fuel Length를 기준으로 크게 WH Type(L=365.8 cm)과 CE Type(L=381.0cm) 연료로 구분된다. 따라서 설계기준연료 타입 선정에 목적으로 다음의 가정을 설정하여 농축도별 핵임계도 평가를 수행하였으며, 평가결과를 그림 제시하였다.

가. 타입별 분석에서 핵임계도가 비교적 높은 WH 17 Type에 대한 평가만 수행

나. 사용후핵연료의 냉각기간은 10년 적용

다. 최대핵반응도를 유도하기 위해, 신연료/ 단일 무한배열/ 침수조건을 고려하여 모델링

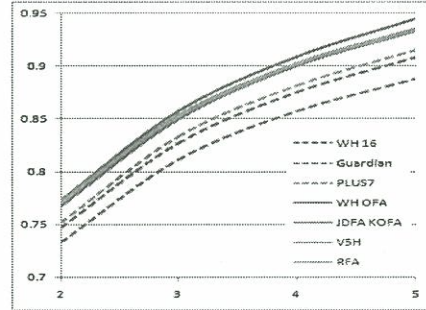


Fig. 1. Criticalities of Nuclear Fuel(Fresh)

WH 17 Type의 PWR 연료의 경우 16 Type에 비하여 펠렛의 단면적이 작고, 우라늄 양이 적은 WH OFA가 전 우라늄 농축도 구간에 걸쳐 최대 핵반응도를 보이는 것으로 나타났다. 이는 신연료에 대한 핵임계도는 핵분열성물질 U-235의 면적 밀도에 비례함을 알 수 있다. 본 핵반응 경향성은 신연료를 기준으로 도출된 것으로, 상대적으로 우라늄 양이 많은 RFA의 경우 연소 후 U-238의 중성자흡수반응에 따른 PU-239의 생성증가로 인해 신연료일 때의 최대핵반응도를 갖는 WH OFA보다 연소 후 핵반응도는 클 것으로 예측된다. 따라서 추후 평가모델 설계기준연료 선정에 사용될 17 Type 대상연료를 WH OFA과 RFA로 한정하였다.

2.2 평가모델 설계기준연료 선정

평가대상연료 중 설계기준연료를 선정하기 위하여 SCALE 5.1 전산코드의 SAS2H 모듈을 사용하여 평가대상연료별 노심운전이력에 대한 핵반응단면적 라이브러리 생성한 후 SCALE 5.1 전산코드의 ORIGEN-S 모듈을 실행하여 농축도 2w/o ~ 5w/o 구간과 연소도 30 ~ 60 GWD/MTU 구간 및 냉각기간 10년 구간에 대해 노심내 연소된 사용후핵연료의 선원항을 산출하였다. 이와 같이 계산된 핵종 데이터를 기초로 참고문헌[4]에 따라, 부반응도를 유도하는 Fission Product를 제외한 양반응도를 유도하는 9개의 주요Actinide 핵종(^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu ,

^{241}Am , ^{16}O 에 대한 연소도-농축도-냉각기간별 질량분율을 산출하였다.

설계기준연료 선정을 위한 임계해석은 몬테카를로법을 적용하여 복잡한 3차원 기하학적 구조에 대해서도 실제경우와 유사한 유효증배계수 계산을 가능하게 하는 KENO V.a 코드와 경수로 시스템에 적합한 ENDF/B-V 기반의 44군 라이브러리를 선택하여 수행하였다. 또한 해석결과의 수렴성을 확보하기 위해, 최소 1,000주기(주기당 최소 4,000개 생성)를 적용하였다.[5][6][7]

일반적으로 핵연료집합체는 표준 규격의 피복관 직경을 갖는 핵연료봉과 연소도 제어물질이 포함된 구조물로 구성되어 있으나, 보수성을 확보하고자 다음과 같은 가정조건을 반영하여 평가대상연료별 가상 핵연료집합체를 대상으로 연소도 임계해석을 수행하였으며, 그 결과를 그림에 제시하였다.

가. 핵연료집합체의 안내관에 존재하는 연소도 제어봉 및 핵연료집합체의 지지격자는 무시한다. 안내관,계측관 내부 영역 및 핵연료봉의 펠렛-피복관 사이의 간극이 물로 충수됨

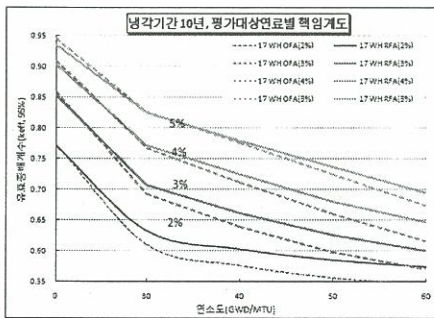


Fig. 2. Criticalities of Spent Fuel

3. 결론

임계해석 결과 농축도-연소도-냉각기간에 걸쳐 WH 17 Type RFA 연료가 최대 핵반응도를 갖는 것으로 평가되었다. 사용후핵연료의 연소이력을 활용하여 BUC적용 용기의 설계기준연료를 선정할 때 RFA가 대부분의 구간에서 최대 핵반응도를 나타내지만, 고농축-저연소도 구간에서는 OFA가 다소 높게 나타났으며(신연료 경향과 유사), 향후 실적용을 위한 정량적인 핵임계평가에서는 본 사항에 대한 반영이 검토되어야 한다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 방폐물관리기술개발 중장기기획과제의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 한국수력원자력(주), “고리 1, 2, 3/4호기 최종 안전성분석보고서”
- [2] 한국수력원자력, “영광 1/2, 3/4, 5/6호기 최종 안전성분석보고서”
- [3] 한국수력원자력, “울진 1/2, 3/4, 5/6호기 최종 안전성분석보고서”
- [4] Computational Benchmark for Estimation of Reactivity Margin from FPs and Minor Actinides in PWR BUC, NUREG/CR-6747, 2000
- [5] SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, ORNL/TM-2005/39, 1.2006.
- [6] KENO-Va: An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping, L. M. Petrie and N. F. Landers, ORNL/TM-2005/39, Version 5, Sect. F11, 2005.
- [7] Experience with the SCALE Criticality Safety Cross-Section Libraries, NUREG/CR-6686, Oak Ridge National Laboratory, 2000.