

사용후핵연료 수송·저장 겸용 캐스크 모델 OASIS-32D 임계해석

안효철*, 김용일, 안준기, 배창준, 송인호, 이규천
 한국전력기술(주), 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
 *hcahn@kepco-enc.com

1. 서론

경수로형 사용후핵연료 수송·저장 겸용 캐스크 모델 OASIS-32D에 대한 임계안전 평가를 수행하였다. OASIS-32D는 한국전력기술(주)에서 개발 중인 PWR 사용후핵연료 캐스크 모델로 OASIS는 Optimized And Safe Interim Storage System의 머리글자이며, 32 다발의 PWR 사용후핵연료를 수송·저장할 수 있는 대용량 겸용 (Dual) 캐스크이다. OASIS-32D 캐스크는 사용후핵연료 장전용량을 최대화하기 위해 연소도고려 (Burnup Credit; BUC) 임계안전해석을 적용하였다.

2. 본론

2.1 규제요건

임계안전은 캐스크 전체의 무게 및 장전 용량 설정에 가장 큰 제한을 주는 요소이다. 임계안전해석 시 핵연료의 연소에 따른 반응도 감소를 허용하는 BUC를 적용하는 경우 신연료를 가정한 해석의 과도한 보수성을 배제한 최적설계가 가능하다. 미국 USNRC는 PWR 사용후핵연료 수송·저장 캐스크의 임계안전해석 시 연소도고려에 대한 상세한 규제 권고사항을 담은 Interim Staff Guidance - 8 (ISG-8 (Rev.3))[1]를 2012년 9월에 제시하였으며 그 주요 권고사항 Table 1과 같다.

Table 1. Recommendations in ISG-8 (Rev.3)

1. 적용제한
핵연료: PWR - UO ₂ 핵연료
최대 핵연료집합체 평균연소도: 60 GWD/MTU
노심연소 후 냉각기간: 1~40 years
최대 핵연료 농축도: 5.0 wt% U-235
2. 연소도고려 시 핵연료내 구성핵종에 대한 제한
액티나이드만 고려 시 핵종: U-234, U-235, U-238, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242, Am-241

추가 액티나이드 및 핵분열생성물 핵종:

Mo-95, Tc-99, Ru-101, Rh-103, Ag-109, Cs-133, Sm-147, Sm-149, Sm-150, Sm-151, Sm-152, Nd-143, Nd-145, Eu-151, Eu-153, Gd-155, U-236, Am-243, Np-237

3. 사용후핵연료 구성성분 평가를 위한 연소계산, 유효증배계수 계산은 대상 설계 및 운전 조건 특성을 반영
4. 핵종 계산을 위한 연소계산 전산코드 검증
5. 유효증배계수 계산을 위한 전산코드 검증
6. 장전곡선 (Loading curve) 생성 및 연소도 검증

2.2 임계해석

캐스크 모델 설정을 위해 캐니스터 내 핵연료저장셀 간격, 중성자흡수재 치수 및 조성을 결정하기 위한 임계안전 평가를 수행하였다.

가정한 캐스크 모델에 대한 유효증배계수 계산은 SCALE6.1 코드패키지[2]의 CSAS5 모듈을 이용하였으며, 적용된 핵단면적 자료는 ENDF/B-VII 핵자료에 근거한 V7-238 핵자료집으로 이는 ISG-8 (Rev.3)에서 권고하고 있는 유효증배계수 계산 방법론의 하나이다.

임계안전해석 시 핵연료는 초기농축도 2.0wt%의 연소되지 않은 ACE7 핵연료로 가정하였는데, 이는 해당 핵연료가 추후 연소도를 고려해 캐스크에 장전될 핵연료의 반응도 특성을 대표할 수 있다는 공학적 판단에 근거한다. 유효증배계수 계산이 수행된 OASIS-32D 캐스크의 간략한 형상은 Fig. 1과 같다.

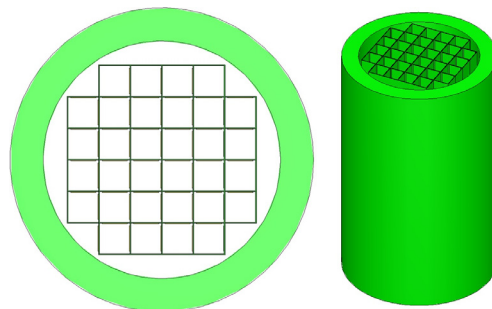


Fig. 1. Schematic configuration of OASIS-32D cask model.

2.3 OASIS-32D 캐스크 임계해석 결과

OASIS-32D 캐스크의 사용후핵연료 장전 바스켓의 형상, 치수, 재질을 결정하기 위한 임계안전해석의 목표 유효증배계수는 0.93으로 설정하였다. 이 값은 추후 고려되어야 하는 바이어스 및 불확실도, 추가 설계 여유도를 고려하여 최종 평가된 유효증배계수가 임계안전 제한치인 0.95를 초과하지 않도록 공학적 판단에 의해 설정한 값이다.

임계안전 요건을 만족하는 설계인자를 결정하기 위하여 각 설계인자의 다양한 조합에 대한 해석과 경향 분석을 수행하였다. 이와 같은 평가를 통해 OASIS-32D 캐스크의 사용후핵연료 장전 바스켓의 설계인자를 Table 2와 같이 설정하였으며, 이때 평가된 유효증배계수는 0.93083 이다.

Table 2. OASIS-32D Fuel basket design data

	재질	SS304
핵연료	두께 (cm)	0.8
저장셀	내부 치수 (cm)	23.0
	셀 간격 (cm)	23.8

	재질	MAXUS (B ₄ C+AL 혼합물)
중성자	두께 (cm)	0.35
흡수재	너비 (cm)	19.0
	B-10 면밀도 (g B-10/cm ²)	0.0392

3. 결론

ISG-8 (Rev.3) 권고사항을 기반으로 한 임계안전 해석을 수행하여 국내 원전 캐스크 취급 크레인 하중 제한치내에서 PWR 사용후핵연료 32 다발 장전 이 가능한 대용량 OASIS-32D 캐스크 모델을 개발하였다. 개발된 OASIS-32D 캐스크 모델의 최적화를 위한 구조, 열, 차폐, 임계안전 해석이 계속 진행되고 있다. OASIS-32D 캐스크에 대한 최적화 모델이 확정되면 연소계산 및 임계해석과 방법론 검증, 사용후핵연료 장전곡선 생성 등 ISG-8 (Rev.3)의 모든 권고사항을 반영한 임계해석을 수행할 예정이다.

4. 참고문헌

[1] Interim Staff Guidance - 8 (Rev.3), "Burnup

Credit in the Criticality Safety Analyses of PWR Spent Fuel in Transportation and Storage Casks," Division of Spent Fuel Storage and Transportation (USNRC), Sep. 2012.

[2] "SCALE: A Comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design," ORNL/TM-2005/39, Version 6.1, Oak Ridge National Laboratory, June 2011.