

경수로 사용후핵연료 금속운반용기 장전가능연료의 특성평가

도호석^{1*}, 김태만¹, 조천형¹, 고재훈²

¹한국원자력환경공단 기술연구소, 대전광역시 유성구 가정로 168

²(주)코네스코퍼레이션, 대전광역시 유성구 유성대로 798

*ehghtjr@korad.or.kr

1. 서론

사용후핵연료 운반용기는 정상조건 및 사고조건에서 방사선적 안전성을 확보하여야 하며, 안전성 확보를 위해 각 용기별 기술기준에 부합하도록 설계되었다. 사용후핵연료 운반용기 설계 시, 일반적으로 장전대상연료들의 특성(연소도, 농축도 및 냉각기간이 반영된 선원향 등)을 분석하여 가장 보수적인 기준연료를 채택하여 이를 대상으로 방사선 차폐해석, 책임계 및 격납해석을 수행한다. 방사선 차폐해석에 적용된 측면에서 설정한 운반용기의 설계기준연료의 사양은 다음과 같다[1].

- 초기 농축도 : 4.5w%
- 최종 노심 방출연소도 : 45,000 MWD/MTU
- 최소 냉각기간 : 10 년

운반용기에 장전되는 사용후핵연료의 사양은 상기와 같은 설계기준연료로 한정되지 않고, 국내원전에서 발생한 사용후핵연료의 초기 농축도와 노심 방출 연소도 범위를 최소냉각기간 조건과 연계하여 반복적인 방사선 차폐평가를 통해 결정된다.

본 논문은 사용후핵연료 운반용기의 정상운반조건에 대하여 장전 가능한 연료집합체의 사양을 결정하기 위한 일련의 방사선원향 평가 및 차폐평가를 포괄적으로 기술하였다.

2. 본론

2.1 차폐해석을 위한 연료집합체 범위선정

사용후핵연료 운반용기를 대상으로 장전 가능한 연료의 농축도 및 연소도에 따른 최소냉각기간을 결정하기 위해, 다음과 같은 조건하에서 장전 가능한 사용후핵연료의 최소냉각기간을 결정하였다.

- 농축도 : 0.5 wt% 구간
- 연소도 : 2,000~3,000 MWD/MTU 구간
- 최소 냉각기간 : 10 년 초과분

2.2 방사선원향

사용후핵연료의 방사선원향은 유효핵연료에서 방출되는 감마선 및 중성자와 원자로 운전기간 중 핵연료집합체 구조재의 방사화로 인해 생성된 Co-60 방사성동위원소에서 방출되는 감마선으로 구성되며, 사용후핵연료 운반용기 운반조건 방사선 차폐해석에서 요구되는 입력자료를 확보하기 위하여 장전대상연료에 대한 방사선원향 평가를 SCALE 5.1 전산코드의 SAS2H/ORIGEN-S 모듈을 사용하여 반응단면적 라이브러리를 생성한 후 핵연료집합체의 연소도와 냉각기간을 반영하여 평가하였다.

2.3 방사선 차폐평가

운반용기에 대한 선량을 제한치는 정상운반조건 및 운반사고조건으로 구분되지만 본 평가에서는 기술기준에 가장 지배적인 정상운반조건에서의 운반용기 표면 2 m 이격지점 선량을 제한치에 대한 부합성을 기준으로 평가하였다. 국내의 기준에 따르면 정상운반조건에서 운반용기 표면 2 m 이격지점에서의 선량을 제한치는 0.1 mSv/hr를 초과하지 않아야 한다[2][3].

차폐해석은 통계적 방법인 몬테카를로법을 사용하여 복잡한 3차원의 기하학적 구조에 대해서도 실제상황과 매우 유사한 방사선 수송해석을 가능하게 하는 MCNP5 전산코드를 사용하였다. 사용후핵연료 운반용기 운반조건 방사선 차폐해석에 적용한 운반용기 모델링 구성은 다음과 같은 가정사항을 적용하였다.

- 충격완충체 내부 완충역할의 Red Wood 판재 사이의 강재(steel) 제외
- 운반용기 및 충격완충체 주위에는 대기산란 방사선에 의한 영향을 반영하기 위하여 반경 10 m의 공기층 고려

MCNP5 전산코드의 2차원 Plotter를 이용하여 작성한 정상운반조건 운반용기 모델링에 대한 수직

단면도는 Fig. 1과 같으며, 차폐해석에 필요한 조성 및 선속-선량률 환산인자는 ICRP-74의 자료를 사용하였다[4].

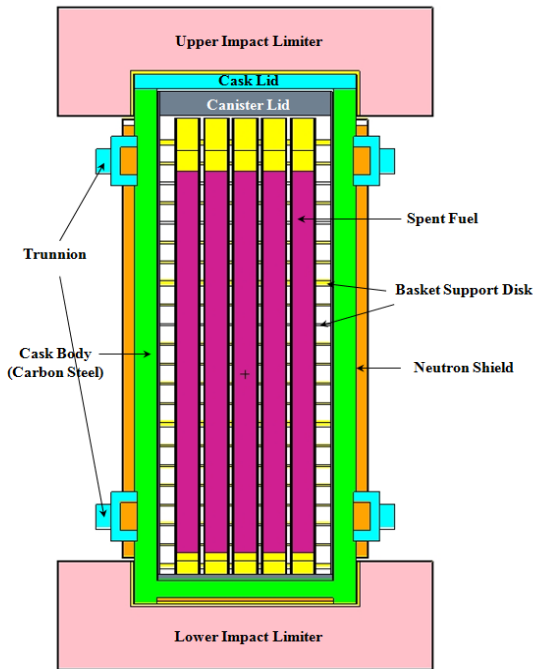


Fig. 1. Vertical section modeling of the metal transportation cask.

3. 결론

설계기준연료외의 사용후핵연료 운반용기에 장전 가능한 사용후핵연료의 사양 결정은 초기 농축도, 연소도 및 필수 냉각기간의 다양한 조합에 대한 일련의 계산을 수행한 후 중성자 및 감마선 방출률과 구조재의 방사화에 의한 방출 감마선을 평가하여 결정하였다.

장전 가능한 사용후핵연료의 특성 분석은 2.0 ~ 4.5wt%의 농축도 구간, 33,000 ~ 45,000 MWD/MTU의 연소도 구간 및 다양한 냉각기간 등을 고려하여 평가하였으며, 운반용기에 장전 가능한 사용후핵연료의 사양은 반복적인 차폐평가를 통해 결정되었다. 평가지점에서의 결과에 대한 상대오차는 10% 이내임이 확인되었으며, 주요지점에서는 5% 이내로 나타났다.

최대연소도 및 초기 농축도별 최소 냉각기간의 조합으로 결정된 운반용기에 장전 가능한 사용후핵연료의 사양은 Table 1에 나타내었으며, 이를 만족하는 사용후핵연료는 운반용기로 장전 및 운반이

가능하다. 이러한 평가결과를 토대로 운반용기와 연계된 시스템인 금속/콘크리트 저장용기에 장전이 가능한 것으로 나타났다.

Table 1. Characteristics of fuel assembly of possible loading in metal transportation cask

		[최소냉각기간 : yr]					
연소도	농축도	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
		33,000	10	-	-	-	-
35,000	12	10	-	-	-	-	
38,000	-	13	10	-	-	-	
40,000	-	15	12	10	-	-	
43,000	-	-	15	13	10	-	
45,000	-	-	18	15	12	10	

4. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20141710201731)

5. 참고문헌

- [1] 한국원자력환경공단, 사용후핵연료 수송/저장 시스템 상용화 기술개발(2단계) 최종보고서, KORAD/TM-2014-01, 2014.
- [2] 원자력안전위원회규칙 제4호, "방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙".
- [3] 원자력안전위원회고시 제2014-50호, "방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정".
- [4] Conversion Coefficients for the Use in Radiological Protection against External Radiation, Annals of the ICRP Publication 74, 1996.