

PWR 사용후핵연료 수송용기 개념모델의 차폐 안전성 평가

김형진, 김아름, 이대기, 이경구, 고재훈*
 한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 1045
 *(주)코네스코퍼레이션, 대전광역시 유성구 장대동 341-4
 arkim@krmc.or.kr

1. 서론

국내 원전에서 발생한 PWR 사용후핵연료는 현재 습식저장하고 있으며, 2016년 포화될 것으로 예상된다[1]. 아직 국가적인 사용후핵연료 관리 정책이 정해지지 않았지만, 향후 처리, 처분을 위해서는 사용후핵연료의 이송이 불가피하다. 국내에서는 90년대 초부터 소내수송을 목적으로 KSC-4, KN-12, KN-18 등을 개발하여 인허가를 취득하였다[2]. 하지만 핵심 설계기술은 외국에 의존하고 있으며, 인허가를 취득한 수송용기들은 저장중인 사용후핵연료에 대한 전체적인 분석을 반영하지 못하였다. 이에 본 연구에서 향후 사용후핵연료 국가 정책에 대비하여, 국내 실정을 고려한 사용후핵연료 수송용기를 모델링하고 차폐평가를 수행하였다.

2. 본론

2.1 차폐설계 기술기준

사용후핵연료 수송용기에 대한 방사선적 안전성 평가시 적용되는 국내 기술기준은 교육과학기술부령 제24호, “방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙” 과 교육과학기술부고시 제2009-37호, “방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정” 에 나타나 있다.

또한, 국외 기준으로 IAEA Safety Standard Series, No. TS-R-1, 10CFR71을 기준으로 삼고 있다. 이러한 기준들을 바탕으로 차폐해석을 만족하는 기술기준을 아래 Table 1.과 같이 정리할 수 있다.

Table 1. The regulation of cask for shielding.

	평가위치	기술기준
정상운반조건	수송용기 표면	2mSv/hr
	수송용기 표면 2m 이격지점	0.1mSv/hr
가상사고조건	수송용기 표면 1m 이격지점	10mSv/hr

2.2 차폐 안전성 평가

2.2.1 평가방법

사용후핵연료 수송용기의 방사선 차폐 안전성 평가에서는 대표적인 몬테칼로 방법의 전산코드인 MCNP5 코드를 이용하여 분석을 수행하였다. 핵종에 대한 반응단면적 라이브러리는 연속 에너지에 대한 ENDF/B-VI 라이브러리를 기반으로 사용하였다.

2.2.2 가정사항

사용후핵연료 수송용기의 방사선 차폐해석에 적용한 가정사항은 다음과 같다.

- ① 보수적인 가상의 핵연료집합체 적용
 - 유효핵연료영역의 가로×세로 길이는 WH 17 RFA 핵연료의 사양을 적용(WH형 : 21.4cm, CE형 : 20.8cm)하고 높이는 상대적으로 길이가 긴 CE Type 핵연료의 사양(WH형 : 365.8cm, CE형 : 381.0cm)을 적용
 - 상하부 구조체의 길이 및 불순물(Co-59)의 함량은 WH형 연료에 비해 상대적으로 길이가 길고 함량이 많은 CE형 연료의 제원을 적용
- ② 유효 핵연료 영역 : UO₂ 연료봉과 피폭관으로 구성

2.2.3 계산모델

사용후핵연료 수송용기 내부의 캐니스터는 21 다발 연료집합체 적재용량이며 제원이 상이한 연료집합체를 포함하기 위하여 가정사항에서 기술한바와 같이 CE형 연료의 높이와 WH형 연료의 가로×폭을 선택하여 모델링하였다.

사용후핵연료 수송용기는 정상운반조건하에서 구조적 건전성이 유지되며, 사용후핵연료를 포함한 캐니스터 및 용기본체, 중성자 차폐체, 레진의 피 및 충격완충체가 반영된 사항을 모델링하였고, Fig. 1에 나타냈다.

가상사고조건인 경우 앞서 가정한 바와 같이 교과부 고시의 규정에 의한 입증시험 이후 충격완충체 및 중성자 차폐체(레진) 모두가 파괴, 소실된 상황을 반영하여 모델링하였으며, Fig. 2에 제시하였다.

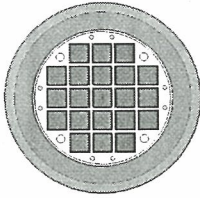


Fig. 1. The horizontal plane of normal condition.

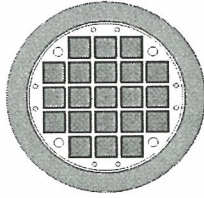


Fig. 2. The horizontal plane of accident condition.

결과값은 FMESH tally를 통해 측정지점에 가상의 구역을 설정하여 해당 영역에 대한 평균선속(flux)을 측정 후, 선속-선량률 환산인자(flux to dose conversion factor)를 입력함으로써 출력 파일에 선량률이 표시되도록 하였다. 이러한 환산인자는 ICRP-74의 자료를 사용하였다.

2.3 차폐 안전성 평가결과

2.3.1 정상운반 조건

사용후핵연료 수송용기는, 정상조건에서 용기표면에서 방사선량률이 2 mSv/hr 미만이어야 하며 용기표면 2m 이격지점에서의 선량률은 0.1 mSv/hr 미만을 만족해야 한다. 차폐평가 결과 수송용기 외부의 각 측정 위치에서 표면선량률과 2m 이격 선량률은 Table 2와 같다.

Table 2. Dose rate of normal condition.

(단위 : mSv/h)

위 치	표면선량률	2m 이격 선량률
충격완충체 상부	0.0018	0.0008
용기측면	0.5548	0.0822
충격완충체 하부	0.0523	0.0037
기술기준	2.0	0.1

2.3.2 가상사고 조건

가상사고조건은 충격완충체를 장착하여 수송과정에서 차폐특성에 영향을 미칠 수 있는 여러 형태의 사고, 즉 낙하 및 화재사고 등이 연속해서 발생한 상황을 의미한다. 보수적 관점에서 사고 이후 충격완충체 및 중성자 차폐체(레진) 모두가 파괴, 소실되어 수송용기의 차폐가 용기 몸체와 용기뚜껑만으로 이루어지는 것으로 가정하였으며, 사용후핵연료 수송용기는 가상사고 조건에서 용기표면으로부터 1m 지점에서의 선량이 10mSv/hr 미만이 되어야 한다. 가상사고시 선량률은 아래

Table 3과 같다.

Table 3. Dose rate of accident condition.

(단위 : mSv/h)

위 치	전체 선량
운반용기 상부	0.1595
용기측면	2.6556
운반용기 하부	1.1785
기술 기준	10.0

3. 결론

국내 임시저장중인 45,000MWD/MTU 이하의 전체 PWR 사용후핵연료를 수용하기 위한 21달 수송용기에 대한 방사선 안전성 차폐해석을 수행하였다. 정상운반조건 및 가상사고조건에서의 방사선량률은 기술기준에서 요구하는 값 이하로 만족하였으며, 해석시 사용한 가정사항 및 해석결과와의 여유를 고려하면 본 수송용기는 방사선적 안전성이 확보되었다고 판단된다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 방폐물관리기술개발 중장기기획과제의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 한국원자력연구원, 일본의 사용후핵연료 중간저장시설 기준체계, KAERI/TR-4131/2010, 2010.
- [2] 서기석, 사용후핵연료 저장 및 운반기술 개발 현황, 원자력산업 pp. 38-44, 2006.