

PWR 장기건식저장용기의 열적 안전성 분석

지준석, 차정훈, 윤범수, 이현우, 김상녕, 최경우*
 경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천 1동
 *한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 34
joon74@khu.ac.kr

1978년 고리 1호기를 시작으로 2008년 현재 국내에는 20기의 원전이 운영 중에 있다. 각 발전소가 가지고 있는 사용후핵연료 임시저장시설의 용량은 2016년에 포화상태에 이를 것으로 예상하고 있다. 이에 사용후핵연료 중간저장 시설의 도입이 필요한 실정이다. 그러나 건식저장 기술은 다른 분야의 선진기술과 마찬가지로 대부분 대외비로 취급되거나 특허에 의해 보호되어 있어 기본 매뉴얼 등을 제외한 기술개발 자료들의 습득이 어려운 실정이다. 현재 한국원자력안전기술원에서는 이와 같은 사용후핵연료 장기저장 시설에 대한 열적 안전성 해석 방법론을 개발하기 위한 연구를 수행 중에 있으며, 세계적으로 사용화 되어 있는 여러 가지 사용후핵연료 장기 건식저장시설을 검토한 결과 형태를 지상형태, 지하형태, 동굴형태 3가지로 제안하였다[1].

이러한 건식 저장시설 연구개발의 중점은 최대 허용 피복재 온도이며, 본 연구에서는 시설에 응용될 장기 건식저장용기의 열적 안전성을 분석하는데 초점을 맞추었다. 일반적으로 PWR 사용후핵연료 장기건식저장용기의 내부에는 그림 1과 같이 사각 격자 구조물이 있고 그 안에 PWR 사용후핵연료를 저장하는 형태를 가지고 있다. 또한 저장용기 내부에는 방사선 차폐를 위한 다양한 요소를 갖추고 있다. 본 연구에서는 24개의 표 1과 같은 PWR 기준 사용후핵연료를 저장할 수 있는 저장용기를 대상으로 저장용기의 외부 표면온도 변화에 따라 내부 사용후핵연료 피복재의 온도의 변화를 분석하였다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 저장용기 해석모델이다. 저장용기의 1/4을 모델링 하였으며, 내부에는 헬륨 가스가 2기압으로 채워져 있으며 저장용기 내부 격자 지지물과 용기의 재질은 Stainless Steel로 가정하였다.

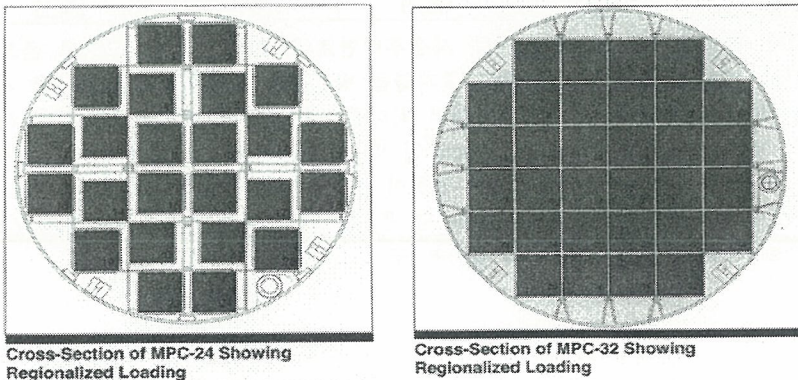


그림 1. 미국 Holtec International MPC 횡단면(수송, 저장겸용)

표 1. 기준사용후핵연료 제원

단면적	21.4×21.4 cm ²
길이	453 cm
냉각기간	10년
붕괴열량	700 W
방출연소도	55GWD/MtU
초기농축도	4.5 wt.%

표 2. 장기건식저장 용기의 상세제원

저장용기	높이	493 cm
	직경	174 cm
	재질	Stainless Steel
	열용량	16.8 kW (24 PWR)

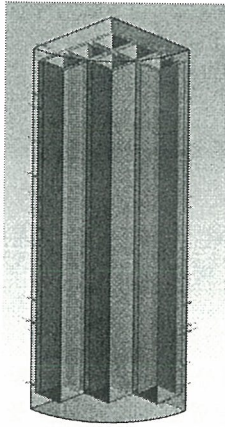


그림 2. 저장용기 내부 해석 모델

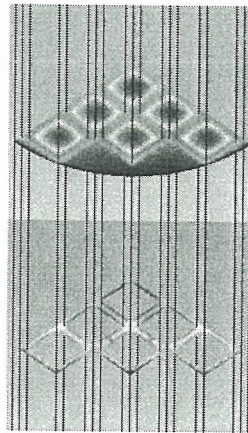


그림 3. 저장용기 내부 온도 분포

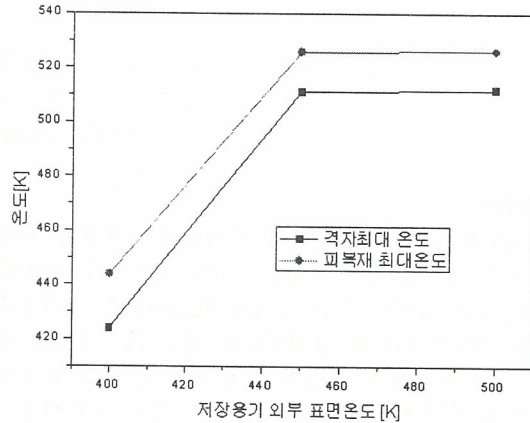


그림 4. 저장용기 외부 표면온도에 대한 피복재 최대 온도 그래프

외부 온도 500 K, 450 K, 400 K에 대한 내부 사용후핵연료 피복재의 온도변화는 그림 4와 같다. NUREG-1567에 따르면 각 10년간 냉각된 사용후핵연료의 초기 장전시 피복재 온도 한계치는 613.15 K 이다[2]. 10년간 냉각되어 700W의 붕괴열을 방출하는 사용후핵연료 24개를 저장하는 용기의 최대표면온도를 500 K 로 유지할 때, 피복재의 최대온도는 526 K 이므로, 사용후핵연료 피복재의 온도 한계에 큰 여유도를 가진다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 사용후핵연료의 각 채널의 헬륨 가스의 대류나, 중성자 흡수판과 같은 다양한 방사선 차폐체를 고려하지 않았으나, 이와 같은 현상은 오히려 열적 측면에서 유리 할 것으로 예상된다. 향후, 내부 열량 변화에 대한 민감도를 추가적으로 분석하고 그 결과를 실험이나 타 연구 결과로 검증하여 사용후핵연료 건식저장시설 설계 및 인허가를 위한 기초 참조 자료로 활용될 수 있을 거라 기대된다.

참고문헌

- [1] 김상녕, 차정훈, 정현철, 유미, "HLW 장기건식저장에 따른 열적 안전성 해석기법 개발", KINS/HR-852, 한국원자력안전기술원(2008).
- [2] 조동건, "심지층 처분시스템 설계를 위한 기준 사용후핵연료 선정 및 선원항 평가", KAERI/TR-3084/2005, 기술보고서, 한국원자력연구원(2005).
- [3] U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Standard Review Plan for Dry Storage Facilities", NUREG-1567, 2000.