

지상형태 사용후핵연료 장기건식저장시설의 냉각유로 민감도 분석

윤범수, 차정훈, 지준석, 이현우, 김상녕, 최경우*

경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천 1동

*한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 34

chamanse@nate.com

2008년 현재 국내에는 20기의 원전이 운영 중이며, 2016년에는 각 원자력발전소 부지의 사용후 핵연료 임시저장시설이 포화상태에 이를 것으로 예상하고 있다. 이에 사용후핵연료 중간저장 시설 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 3가지로 제안하였다. 3가지 제안된 장기건식저장시설 모델은 지상형태, 지하형태, 동굴형태이며, 본 연구에서는 지상형태 장기건식저장시설 모델의 적정 유로면적과 유로면적에 대한 열적 민감도를 분석하였다. 지상형태 장기건식저장시설은 자연대류를 이용한 피동형 냉각시스템을 기반으로 하고 있으며, 그림 [1]과 같이 지상에 설치되기 때문에 일사량과 대기온도에 영향을 받게 된다. 지상형태 장기건식저장시설은 내부 용기와 외부 Over-pack으로 이루어져 있다[1]. 본 연구에서는 지상형태 건식저장시설의 냉각유로에 따른 열적 민감도를 분석하고 적정 냉각유로를 계산하였다. 본 연구에서 사용된 지상형태 사용후핵연료 장기건식저장 시설은 미국에서 상용화 되어 사용되고 있는 Holtec International의 HI-STORM 100 모델과 PWR 사용후핵연료 24개를 저장할 수 있는 24-MPC (Multi Purpose Canister)를 기초로 하였다.

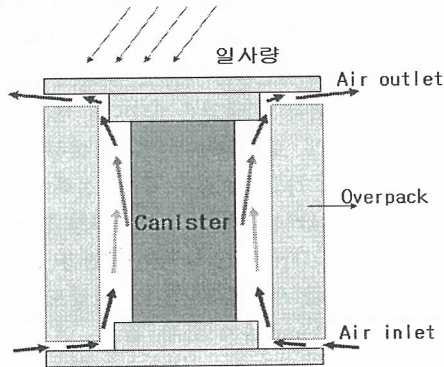


그림 1. 지상형태 건식저장시설 Model

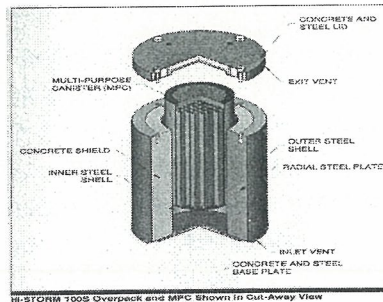


그림 2. 미국 Holtec International HI-STORM & MPC

표 1. 지상형태 장기건식저장 시설의 상세제원

| | | | |
|-------------------|------|-----------------|--------|
| 시설 (Over-Pack) | 높이 | 587 cm | |
| | 직경 | 외부 | 337 cm |
| | | 내부 | 187 cm |
| | 재질 | 콘크리트 | |
| 내부 용기 | 높이 | 483.5 cm | |
| | 직경 | 174 cm | |
| | 재질 | Stainless Steel | |
| | 열용량 | 16.8 kW | |
| | 냉각유로 | 공기입·출구 4개씩 | |

표 2. 기준사용후핵연료 제한

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

표 1은 본 연구에서 사용된 지상형태 건식저장시설의 상세 제원이다. 표 2는 기준 사용후핵연료에 대한 상세 제원이다[2]. 시설에 있는 공기 출입구의 면적을 5cm(Height)×20cm(Width)부터 5cm×60cm까지 10cm단위별로 5개 경우에 대한 내부 용기의 표면온도를 ANSYS 10.0 CFX 코드를 이용하여 계산하였다. 그림 3은 본 연구에서 사용된 지상형태 사용후핵연료 건식저장시설의 해석모델이며, 그림 4는 유로면적에 따른 최대 용기 표면온도의 변화를 나타내고 있다.

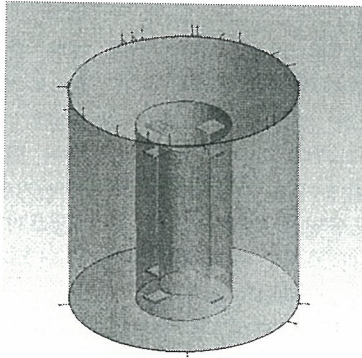


그림 3. 해석모델

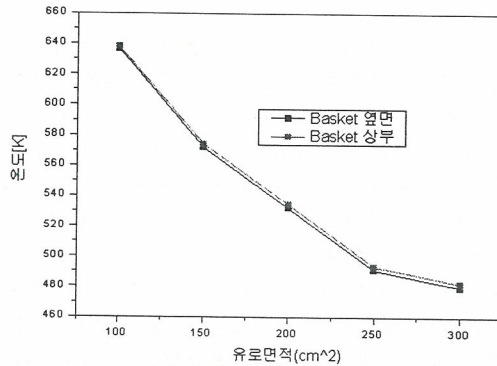


그림 4. 유로면적에 대한 용기표면온도 변화

표 3. Case별 계산 결과

| Case | 용기 표면 최대 온도 [K] | | 콘크리트 온도[K] | |
|------|-----------------|-------|------------|-------|
| | 측면 | 상부면 | 최대 | 평균 |
| 5×20 | 636.7 | 638.3 | 425.9 | 325.9 |
| 5×30 | 571.8 | 574.0 | 395.6 | 326.1 |
| 5×40 | 532.1 | 534.3 | 381.2 | 325.4 |
| 5×50 | 491.1 | 493.3 | 382.6 | 324.3 |
| 5×60 | 479.6 | 482.0 | 368.3 | 322.3 |

NUREG-1567에 따르면 각 10년간 냉각된 사용후핵연료의 초기 장전시 피복재 온도 한계치는 613.15 K 이다[3]. 10년간 냉각되어 700W의 붕괴열을 방출하는 사용후핵연료 24개를 저장하는 용기의 최대표면온도가 500.45 K 일 때, 피복재의 최대온도는 526 K 이므로 [4] 위와 같은 형태의 건식저장시설의 냉각유로의 면적은 이미 250cm²일 때 NUREG-1567에서 제시하는 기준온도에 충분한 여유도를 가지고 있고, 표 3에서 볼 수 있듯이 콘크리트의 온도를 100 °C 이하로 해주기 위해서 300 cm²까지 확장해야 함을 알 수 있다. 향후, 본 연구 결과는 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 선원량 평가", KAERI/TR-3084/2005, 기술보고서, 한국원자력연구원(2005).
- [3] U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Standard Review Plan for Dry Storage Facilities", NUREG-1567, 2000.
- [4] 지준석, 차정훈, 윤범수, 이현우, 김상녕, 최경우, "PWR 사용후핵연료 장기건식 저장용기 열해석", 추계 한국방사성폐기물학회, 2008.