

## 지상형태 장기건식저장 시설의 사고 열해석

지준석, 차정훈, 이현우, 최경우\*, 김상녕  
 경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지  
 \*한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19  
 snkim@khu.ac.kr

### 1. 서론

현재 국내 원자력발전소의 사용후핵연료 임시저장 시설의 저장용량은 2016년 포화될 것으로 예측되고 있으며, 최종 처분장이 만들어지기까지 추가적으로 발생하는 사용후핵연료 및 고준위폐기물을 장기간 저장할 수 있는 중간저장시설의 개발이 필요하다. 이러한 장기건식저장 시설을 개발하는 과정에서 열해석 분야는 인허가 및 사업시행에 있어 중요한 평가기준으로 작용한다. 본 연구에서는 지상형태 장기건식저장 시설에 대한 각종 사고시 열해석을 수행하였다.

### 2. 건식저장 시설 모델링 및 사고해석

지상형태 장기건식저장시설은 고준위폐기물 장기건식저장을 위한 지상 시설로, 자연대류에 의한 냉각 시스템을 이용하고 폐기물을 포장한 Canister의 외벽은 외부공기와 온도차로 인한 공기부력을 이용한 냉각이 이루어지며 방사선 차폐를 위한 Overpack이 설치되어 있다. 지상 공간에 설치되기 때문에 일사량 및 대기온도에 영향을 받는다.(그림 1)

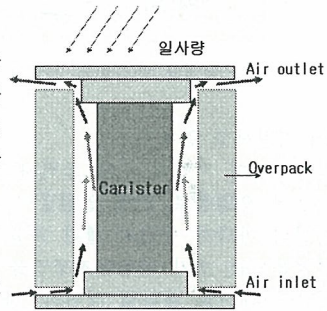


그림 1. 지상 건식저장시설 Model

#### 2.1 지상 건식저장 시설 모델링

지상 건식저장 시설은 미국 Holtec International HI-STORM & MPC 를 기초로 하여 모델링 하였다. 위와 같은 상업화된 시설을 바탕으로 한 것은, 열해석을 제외한 방사선 차폐, 구조해석 등 본 연구에서 수행되지 않은 부분에 대한 불확실성을 보완하고자 함이다.

#### 2.2 경계조건

지상형태 장기건식 저장시설은 주변공기는 40℃, 일사량은 수평 및 수직면에 400 W/m<sup>2</sup>으로 가정하였다. 일사량은 각 원전지역의 최근 5년간 자료를 바탕으로 가장 높았던 일사량을 보수적으로 적용시켰다. 초기온도 계산을 위해 시설모델에 대하여 용기가 40℃라고 가정하고 16일간 저장용기 표면 최대온도를 계산한 결과 대략 10일 이후부터는 저장용기의 표면온도는 거의 변화가 없었다.

#### 2.3 화재사고

지상시설의 화재사고에 대하여 24시간 동안 용기표면 최대온도의 변화를 계산하였다. 화재사고 시 지상시설의 Over-pack 표면 온도는 화재로 인하여 801.7℃[IAEA Art. 728(a)]로 고정되어 있다고 가정하였다. 그림 2는 화재사고시 저장용기 표면 최대온도의 변화를 보여주고 있다. 계산 결과 24-PWR 용기의 경우 11시간이 지난 후 사고제한 온도를 초과하였으며 32-PWR 용기의 경우 8시간 이후 사고제한 온도를 초과하였다. 두 용기의 경우 내부열원의 차이에도 불구하고 비슷한 온도 변화를 보여주고 있는 것이 특징이다.

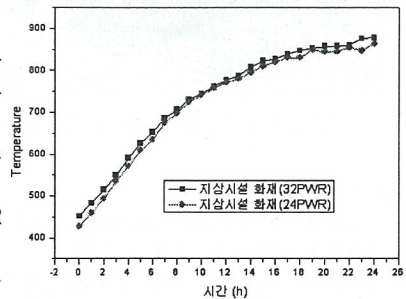


그림 2. 화재사고시 지상시설 저장용기 표면온도의 변화

#### 2.4 공기 유로 막힘 사고해석

공기유로 출입구 2쌍이 막혔다고 가정하고 20일 동안의 저장용기 표면 최대온도를 계산하였다. 그림 3은 공기유로 반막힘 사고해석 모델로 40℃의 대기에 시설이 노출되어 있으며, 일사량을 받고 있다고 가정하였다. 약 7일 이후부터 24-PWR 및 32-PWR 용기의 표면온도가 시간에 따라 거의 변화가 없다.

약 20일 후 24-PWR의 용기 표면 최대온도는 185 °C 이하로 유로 박 막힘에도 불구하고 정상운전 조건 제한온도 이하로 유지되었다. 32-PWR 용기 표면 최대온도는 215 °C 이하로 유지되었으며 이는 사고제한 온도 이하이고 정상운전 온도와 거의 비슷하게 유지되었다.

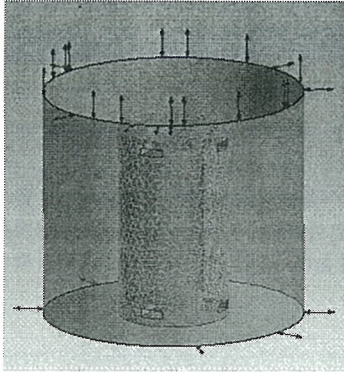


그림 3. 지상시설 공기유로 반막힘 사고해석 모델

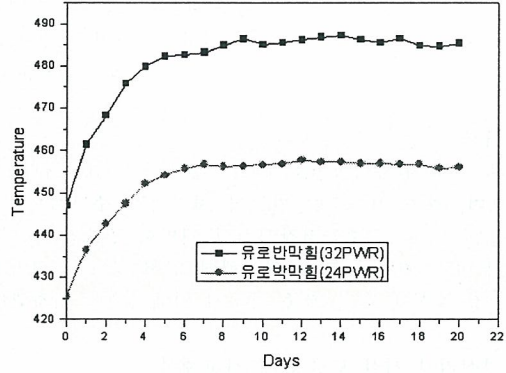


그림 4. 지상시설 공기유로 반막힘 사고해석 결과

### 2.5 지진사고 열해석

지상시설이 지진에 의해 쓰러져 그림 5와 같이 되었다고 가정하였다. 또한 쓰러진 지상시설의 측면 일부분이 오염물로 인해 열전달이 되지 않음을 가정하였다. 해석모델의 경계조건을 보면 그림 5와 같이 시설의 바닥과 윗면의 빨간 화살표 부분은 대칭조건이며, 일사량과 40°C 대기 중에 노출되어있다. 초기 설정온도는 초기 정상운전조건을 적용하였다. 그림 6은 30일간 저장용기의 표면 최대온도를 계산한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 계산 결과 약 300 시간 이후부터 두 개의 용기 모두 시간에 따라 온도변화가 거의 없으며, 30일 동안 24-PWR 용기 표면 최대온도는 241 °C 이하, 32-PWR 용기 표면 최대온도는 281 °C 이하로 유지되고 있었다. 두 용기 모두 제한온도 이하로 유지되고 있음을 볼 수 있었다.

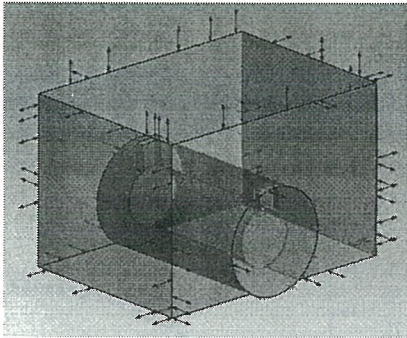


그림 5. 지상시설의 지진사고 해석모델

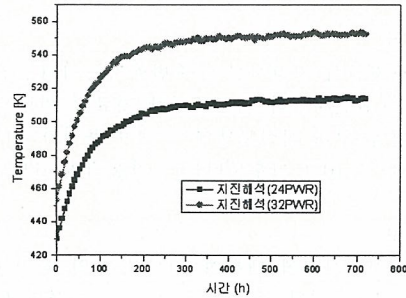


그림 6. 지진사고 시 지상시설 용기 표면온도의 변화

### 3. 결론

지상시설의 화재사고시 32-PWR의 경우 8시간 이후 사고제한 온도를 초과하는 취약함을 보였으나 이는 방재시설의 확충으로 충분히 제어 가능하다고 판단된다. 공기 유로막힘 사고와 지진사고시 보수적 해석 방법임에도 불구하고 두 경우 모두 제한온도에 대해 상당한 여유를 보였다. 향후 본 연구를 통해 생산된 코드 계산 결과 및 열해석 방법론을 바탕으로, 국내 HLW 장기건식저장 시설에 적용할 수 있는 열해석 방법론을 좀 더 구체적으로 완성시키고 이에 따른 안전심사지침을 개발하고자 한다.