

지하형태 장기건식저장 시설의 화재 및 공기유로 막힘 사고 열해석

지준석, 차정훈, 최경우*, 김상녕

경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지

*한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19

Corresponding author : snkim@khu.ac.kr

1. 서론

현재 국 내외에 건설된 다양한 건식저장시설은 열적 특성 측면에서 3가지로 크게 나눌 수 있다.[1] 그 중에서 지상에 건설되는 건식 콘크리트 CASK 방식의 시설은 세계적으로 가장 많은 수가 건설되어 활용 되고 있다. 지하형태 시설은 Dry well 방식으로써, 건식 콘크리트 CASK 형태의 시설을 지하에 설치하는 방식이다. 지하형태의 건식저장시설은 상부 덮개만 지상에 노출된 방식으로 지상시설 보다 일사량에 대한 열적 부하가 적으며, 외부로부터의 위협(비행기 충돌, 미사일 어택 등등)에 더 유리하다는 조건을 가지고 있다. 또한 지하시설이 설치되는 지하 암반의 온도는 지상보다 온도변화가 적으며, 여름철 지상의 공기온도 보다 더 낮은 온도를 유지하는 특성을 가지고 있어서 열적 측면에서 건식저장시설에 유리한 조건을 제시한다. 본 연구에서는 이러한 지하형태 건식저장시설이 24개와 32개의 경수로형 사용후 핵연료를 저장하는 용기를 포함하고 있을 때 가장 높은 붕괴열량에서의 화재조건, 유로 반 막힘 조건등과 같은 사고조건에 대한 예비계산을 수행하여 시간에 따른 저장용기 최대 표면온도를 분석하였다. 또한 표면온도에 대한 사용후핵연료 피복재 온도를 분석하여[3] 사고조건에서의 시설의 열적 여유도를 분석하였다. 또한 이를 지상형태 건식저장시설의 예비계산 결과[4]와 비교하여 지하형태 저장시설이 가지는 열적 여유도를 비교하였다.

2. 본론

지하형태 건식저장시설의 과도상태 열해석을 수행하기 위한 초기온도 분석은 이전연구에서 수행되었으며 그 결과 용기벽면의 초기온도 보다는 붕괴열량에 의해 최대 용기벽면온도가 변화하는 것을 볼 수 있었다[3]. 이에 본 연구에서는 24개 PWR 사용후핵연료(SNF)과 32개 PWR SNF에 대한 붕괴열량을 반영하였다.

2.1 지하건식저장시설의 모델 및 경계조건

지하건식저장시설의 외부 공기온도는 40℃ 이며 상부 덮개에는 400W/m²의 일사량을 적용하였다. 화재조건은 화재로 인해 상부덮개의 온도가 801.7℃로 온도가 Fixed되었다고 가정하였으며 24시간 동안의 건식저장용기의 최대 표면온도를 계산하였다. 유로 반 막힘 조건에서는 상부의 4개 공기 유로 중 마주 보고 있는 유로가 1개씩 막혀 총 4개중 2개의 유로가 유실되어 공기가 흐르지 못한다고 가정하고, 30일간의 온도를 관찰하였다.

2.2 화재사고

화재조건에서도 저장용기의 온도는 저장시설의 화재조건 계산결과(그림 1) 보다 더 완만하게 상승하는 것을 볼 수 있으며 계산결과를 보면 24시간이 지난 후에도 24-PWR 용기의 용기 표면 최대온도는 약 261℃로 아직 정상운전 한계온도를 넘어서지 않고 있으며, 32-PWR 용기의 표면 최대온도는 약 283℃로 정상운전 한계온도보다는 높지만 사고 한계온도 보다 아래로 유지 되고 있음을 볼 수 있다.

2.3 공기유로 반막힘

그림 2 공기유로 반막힘 해석 모델이고 그림 3은 공기유로 반 막힘 조건에서의 지상시설과 지하시설의 결과 그래프이다. 그래프의 온도 영역을 보면 지상시설의 유로 반 막힘 해석 결과에서 용기 최대 표면 온도가 낮아 보이지만 이는 초기 온도 설정이 서로 상이한 것에 대한 영향이며, 시간에 따른

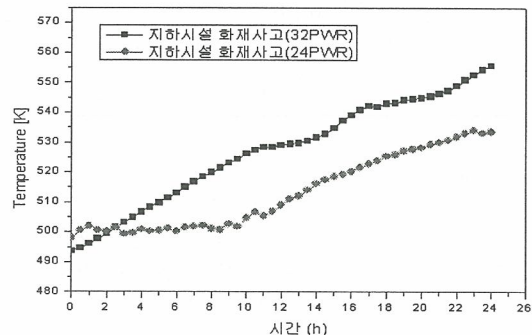


그림 1. 지하시설 화재사고 열해석 결과

온도 기울기를 보면 지하시설의 결과 그래프가 더 완만한 것을 볼 수 있다. 계산 결과 30일이 경과하여도 24-PWR 용기 표면 최대온도는 291°C로 정상운전 한계온도 이하로 정상운전 상태로 유지되고 있었으며, 32-PWR 용기 표면 최대온도는 346°C로 사고한계 온도 이하로 유지되고 있음을 알 수 있다. 또한 약 20일 이후부터 용기 최대온도 변화가 미미한 것으로 보아 시간이 충분히 경과하면 암반의 냉각효과로 인해 용기표면의 최대 온도가 더욱 내려 갈 것으로 예상된다.

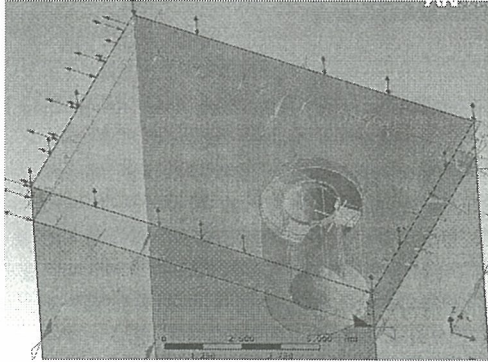


그림 2. 지하시설 공기유로 반 막힘 해석 모델

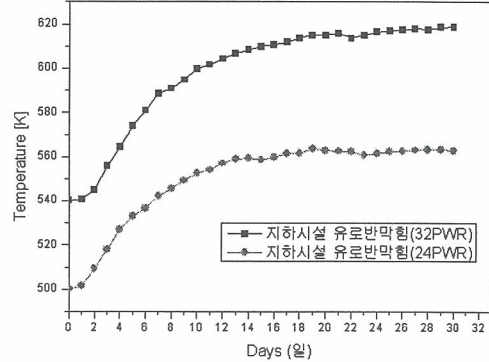


그림 3. 지하유로반막힘 결과

3. 결론

현재 국내의 적으로 가장 많이 건설된 시설은 지상형태의 콘크리트 CASK방식의 사용후핵연료 건식 저장시설이다. 본 연구에서는 지상형태 건식저장 시설과 지하형태의 건식저장 시설을 사고 조건에서 비교 분석하였다. 두 시설의 초기온도 분석을 위해서는 지상시설의 경우 정상상태 열해석 방법을 사용하는게 적합하며 지하시설의 경우 과도상태 열해석 방법을 통해 초기온도 값을 결정하는 것이 적합하다. 이는 지하시설의 경우 암반의 영향으로 정상상태 열해석을 수행할 경우 온도가 시간에 따라 Peak 값을 가지기 때문이다. 화재사고 조건 열해석 결과를 비교하면 지상시설이 화재사고에 대해 지하시설보다 더 취약함을 알 수 있다. 두 시설 모두 유로가 막히는 사고에 대해서는 어느 정도 여유가 있음을 볼 수 있었다.

표 1. 각 장기건식저장 시설 별 해석조건 및 결과

시설	해석목표	방법	해석조건	해석결과	
				24 PWR 정상 : 293°C, 사고 : 494°C	32 PWR 정상 : 191°C, 사고 : 440°C
지상	화재사고 (1일)	TA	F, Q_{max}, E_T	11시간 이후 사고제한온도 초과	8시간 이후 사고제한 온도 초과
	유로막힘 (20일)	TA	$E_T, Q_{max}, 1/2A, S$	용기 표면온도 185°C 이하로 유지	용기 표면온도 215°C 이하로 유지
지하	화재사고 (1일)	TA	F, Q_{max}, E_T	24시간 경과 용기표면온도 261°C	24시간 경과 용기표면 온도 283°C
	유로막힘 (30일)	TA	$E_T, Q_{max}, 1/2A, S$	용기 표면온도 291°C 이하 유지	용기 표면온도 346°C 이하 유지

4. 참고문헌

- [1] 김상녕, 차정훈, 정현철, 유미, "HLW 장기건식저장에 따른 열적 안전성 해석기법 개발", KINS/HR-852, 한국원자력안전기술원(2008)
- [2] 김상녕, 차정훈, 윤범수, 이현우, 윤희주, "HLW 장기건식저장에 따른 열적 안전성 해석기법 개발", KINS/HR-905, 한국원자력안전기술원(2009)
- [3] 차정훈, 김상녕, 최 경우, "지하형태 사용후 핵연료 장기건식저장시설의 내부 저장요기 초기온도분석", 2009 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회(2009)
- [4] 지준석, 차정훈, 이현우, 최경우, 김상녕, "지상형태 장기건식저장 시설의 사고 열해석", 2009 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회(2009)