

폐수지 운반용기의 화재사고조건에 대한 열전달 특성평가

이주찬, 남경오, 방경식, 최우석, 강희영, 서기석
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 sjclee@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력발전소에서 발생하는 폐수지는 전 세계적으로 시멘트로 고화처리하거나 건조시킨 후 고건전성용기에 보관하고 있으며, 국내 원전의 경우 폐수지를 방사선 조사된 고강도의 XLPE 고건전성용기에 용기 내에 탈수 건조 처리한 후 각 발전소의 폐기물 저장고까지 이송하여 저장 관리하고 있다. 발전소의 폐기물 처리시설로부터 폐기물 저장고까지 폐수지를 안전하게 이송하기 위한 운반용기를 개발 중이며, 폐수지는 중저준위 폐기물로 분류되지만 방사능량과 방사선량률이 비교적 높아서 주로 B형 운반물로 분류된다. 따라서 운반용기는 국내외의 관련법규에 따라 정상 운반 및 화재사고조건에 대한 열적 건전성이 유지되어야 한다. 폐수지 운반용기는 운반 내용물의 붕괴열을 무시할 수 있으므로 화재사고 시 외부로부터 유입되는 열을 적절히 차단하여 차폐체/밀봉재의 열적 건전성이 유지되어야 한다.

폐수지 운반용기의 본체는 그림 1과 같이 200 mm 두께의 탄소강, 뚜껑은 200 mm 두께의 스테인레스강으로 구성되며, 운반용기 상하부에는 나무로 된 충격완충체를 장착하였다. 충격완충체 재질은 나무를 사용할 예정이며, 낙하사고 또는 화재사고조건에서 충격흡수 및 단열재 역할을 담당한다. 운반용기 본체와 뚜껑의 체결부위에 단차를 주어 방사선차폐 및 구조적 건전성 측면을 고려하였다. 완충체를 제외한 운반용기의 치수는 직경이 1,740 mm, 높이가 1,760 mm이며, 운반용기의 총 중량은 약 23톤이다. 폐수지 운반용기의 운반물로는 발전소에서 발생하는 고건전성용기(HIC) 뿐만 아니라 200리터 드럼 3개 또는 320리터 드럼 1개의 운반을 고려하고 있다.

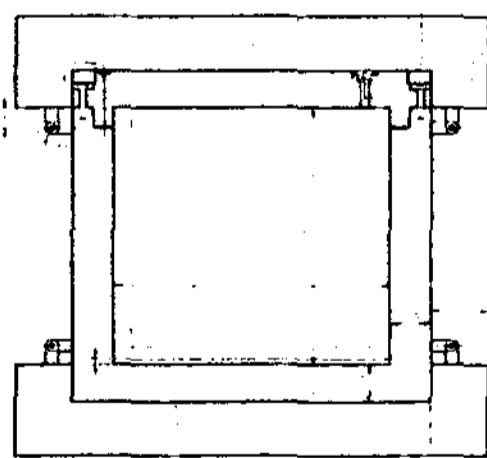


그림 1. 폐수지 운반용기 개념도.

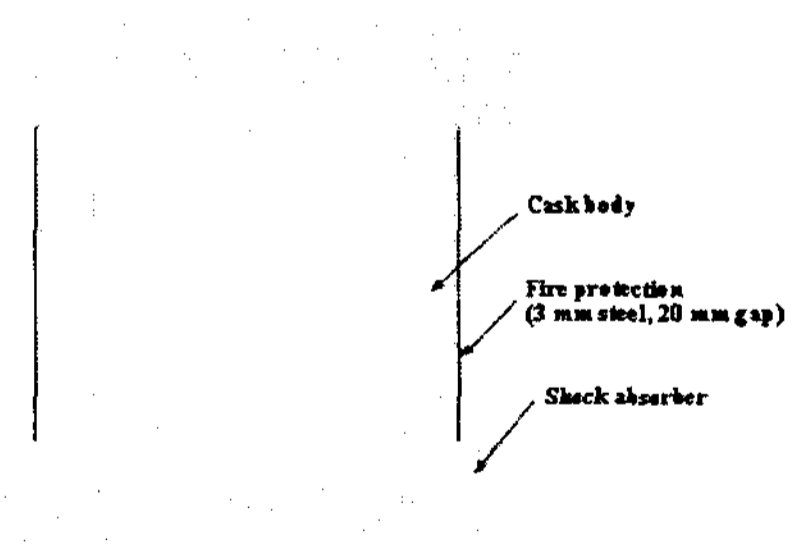
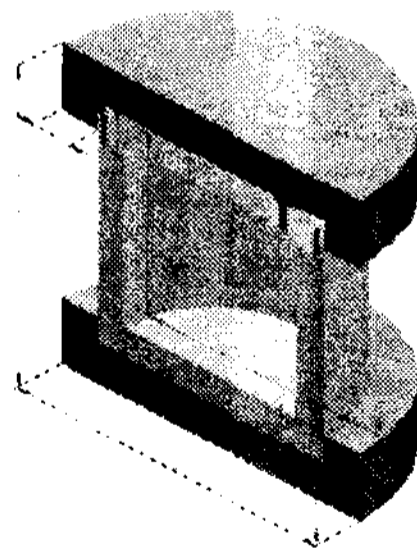


그림 2. 운반용기 열해석 모델.

2. 해석조건 및 방법

폐수지 운반용기의 열해석을 위한 전산 프로그램은 범용 열유동해석 코드인 FLUENT 코드를 사용하였다. 열해석 모델은 그림 2와 같이 2차원 축대칭 모델을 사용하였으며, 해석조건은 법규에서 규정하는 화재사고조건을 적용하였다. 화재해석을 위한 초기조건은 38 °C 대기온도에서 최대 태양열이 유입되는 조건이며, 열해석에서는 운반용기의 모든 부위의 온도가 50 °C인 것으로 가정하였다. 해석모델에서 폐수지에서 발생하는 붕괴열은 없는 것으로 가정하였으며, 외부 화염으로부터 용기 표면으로의 복사와 용기 본체를 통한 열전도, 내부 공간의 공기에 의한 대류 및 복사를

통한 운반용기 내부로의 열전달을 고려하였다. 운반용기의 측면으로는 단열재가 없는 경우와 그림 2와 같이 fire protection으로 20 mm의 air gap을 고려한 경우에 대한 해석을 수행하였다.

3. 해석결과 및 평가

표 1은 화재사고조건에서 과도시간에 따른 운반용기의 viton O-ring과 폐수지의 온도 계산 결과를 보여주고 있다. 단열재로 20 mm 두께의 air gap을 고려한 경우 O-ring의 최대온도는 76 °C, 폐수지의 최대온도는 75 °C로 계산되었다. 또한, 단열재를 고려하지 않은 경우 viton O-ring 및 폐수지의 최대온도는 각각 163 °C, 173 °C까지 상승하였지만 각각의 허용온도보다는 낮게 나타났다. 일반 레진의 분해온도는 약 300 °C로 알려져 있으며, 폐수지의 허용온도 300 °C의 타당성에 대한 검토가 필요하다. 본 연구를 통하여 폐수지 운반용기는 별도의 단열재를 없이도 열적 건전성이 유지될 것으로 판단되며, 본 연구결과는 운반용기의 설계 및 인허가를 위한 기본 자료로 활용될 예정이다.

표 1. 화재사고조건에서 운반용기 주요 부위 온도

| Analysis model | Location | Calculated temperature (°C) | | | | | | | |
|--------------------|-------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | Transient time (minutes) | | | | | | | Max. |
| | | 0 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | |
| 20 mm air gap | O-Ring | 50 | 69 | 75 | 75 | 76 | 76 | 75 | 76 |
| | Spent resin | 50 | 57 | 64 | 68 | 71 | 74 | 75 | 75 |
| No fire protection | O-Ring | 50 | 149 | 163 | 160 | 156 | 153 | 151 | 163 |
| | Spent resin | 50 | 104 | 140 | 160 | 167 | 171 | 173 | 173 |

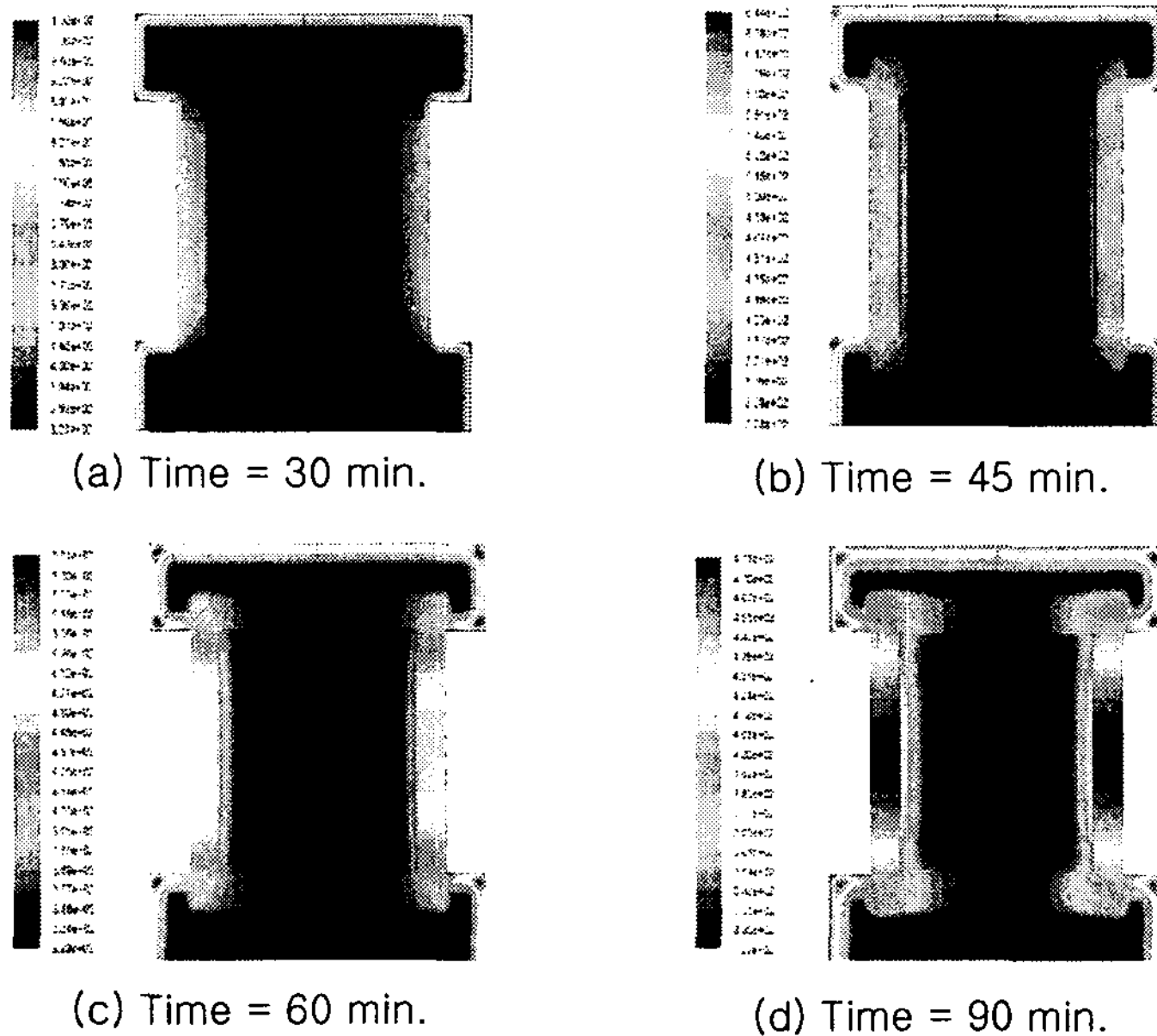


그림 3. 운반용기의 화재사고조건 온도분포 (단위 : K).