

## B(U)형 방사성폐기물 운반용기의 열전달해석 평가

이주찬, 방경식, 최우석, 강희영, 서기석  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
[sjcleee@kaeri.re.kr](mailto:sjcleee@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

본 연구에서는 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물을 운반할 수 있는 B(U)형 운반용기의 열전달해석을 수행하였다. 본 논문에서 기술하는 운반용기는 폐수지를 포함한 각종 방사성폐기물을 운반할 수 있으며, 운반물의 최대 방사능량은 폐수지를 기준으로 850 Ci 이다. 이와 같은 운반물의 방사능 크기는 운반용기 관련 법규에서 규정하고 있는 방사능 제한 값인 A<sub>2</sub> 값보다 크므로, 운반용기는 B(U)형 운반물로 구분된다. 운반용기는 폐수지를 담은 고전전성용기 뿐만 아니라 발전소에서 발생하는 폐필터 및 농축폐액, 320리터 및 200리터 폐기물 드럼도 운반할 수 있도록 설계하였다.

운반용기는 그림 1과 같이 원통형 형상으로 차폐용기인 운반용기 본체와 상하부의 완충체로 구성된다. 용기 본체는 200 mm 두께의 탄소강, 뚜껑은 200 mm 두께의 스테인리스강으로 구성되며, 용기 본체와 뚜껑의 체결부위에 단차를 주어 방사선차폐 및 구조적 건전성 측면을 고려하였다. 용기의 상하부에는 스테인리스강 케이싱 내부에 비치우드를 채워 넣은 충격완충체가 설치된다. 완충체는 낙하사고조건에서 충격흡수 및 화재사고조건에서 단열 기능을 하며, 용기의 측면방향에 대한 별도의 단열재를 고려하지 않았다. 충격완충체를 제외한 운반용기의 치수는 직경이 1,740 mm, 높이가 1,760 mm이며, 완충체를 포함한 용기 치수는 직경이 2,300 mm, 높이가 2,360 mm이다. 운반용기의 중량은 완충체가 약 2.5톤, 용기 본체가 17.4톤이며, 운반내용물을 포함할 경우 총 중량은 약 22.5톤이다.

### 2. 열전달해석 조건 및 방법

B(U)형 운반용기는 국내·외 운반용기 관련 법규[1, 2]에서 규정하고 있는 정상운반 및 운반사고조건에서 안전성이 유지되어야 한다. 즉, 정상운반조건에서는 운반용기 내부의 운반물로부터 방출되는 붕괴열(decay heat)을 외부로 적절하게 방출시켜야 하며, 운반사고조건인 800 °C 화재조건에서는 외부 화염으로부터 유입되는 열을 적절히 차단하여 설계압력 유지 및 밀봉재, 차폐재 등 주요 부품의 허용온도를 초과하지 않아야 한다. 열전달해석에서는 운반내용물 중 발열량이 가장 큰 폐수지를 고려하였다. 폐수지로부터 발생하는 발열량은 ORIGEN-2 코드를 이용하여 계산된 4.5 W를 고려하였다. 정상운반조건은 38 °C의 고온조건과 -40 °C의 저온조건으로 구분되며, 고온조건에서는 최대 일사량을 적용하며, 저온조건에서는 일사량이 없는 조건이다. 일사량은 곡면에 해당하는 운반용기 측면에서는 400 W/m<sup>2</sup>, 수직평면에 해당하는 운반용기 상부표면에서는 800 W/m<sup>2</sup>를 고려하였다. 운반사고조건은 주변온도 38 °C의 정상조건 하에서 800 °C 화재가 30분 동안 진행된 후 자연 냉각조건이다. 정상운반조건 및 운반사고조건에서 운반용기 내부에서 발생하는 최대 붕괴열을 고려하였다. 열해석을 위한 전산 프로그램은 범용 열 유동해석 코드인 FLUENT 코드를 사용하였다.

### 3. 열전달해석 결과 및 평가

정상운반 및 운반사고조건에 대한 열안전성 평가 결과를 표 1에 요약하여 나타내었다. 정상조건은 주변온도 -40 및 38 °C에서 일사량이 있는 경우와 없는 경우이며, 일사량을 고려하지 않은 경우 운반용기 내부의 운반 내용물의 온도만 약 1-2 °C 정도 상승하였을 뿐 용기 본체를 포함한 대부분의 온도가 주변온도와 같게 나타났다. 최대 일사량을 고려한 경우 운반용기의 표면온도는

운반법규에서 규정하고 있는 허용 표면온도 85 °C보다 낮은 60 °C로 나타났다. 고온조건에서 운반용기의 본체를 포함한 모든 부위의 온도가 60 °C 이내로 계산되었으며, 따라서 운반용기는 주변 온도 38 °C의 정상조건에서 열적 건전성이 충분히 유지될 것으로 판단된다. 정상조건에서의 운반용기 내부압력은 대기압의 1.1배인 1.10 bar(절대압력)으로 계산되었으며, 내부압력을 보수적으로 가정하여 100 kPa(계기압)으로 설정하였다. 이 압력은 교육과학기술부고시 2008-69호에 명시된 최대 정상운전압력 700 kPa(계기압) 이내이므로 압력조건에 대한 기준을 충분히 만족한다.

운반사고조건은 고온조건하에서 800 °C 화재가 30분 동안 진행된 후 자연냉각 조건을 적용하였다. 즉, 고온조건에서 정상상태의 온도를 구한 후에 화재사고조건에 시간의 변화에 따른 과도상태에 대한 해석을 수행하였다. 그림 2는 화재 후 0.5, 1.0, 2.0, 3.0시간이 경과하였을 때 온도분포를 보여준다. 표 1은 열해석 결과이며, 30분 화재사고조건에서 운반용기 본체의 온도는 최대 298 °C, 뚜껑의 온도는 최대 137 °C로 계산되었다. 운반용기 본체에 비하여 뚜껑의 온도가 상대적으로 낮게 나타났으며, 이것은 운반용기 상부에 장착된 충격완충체가 단열 기능을 함으로써 나타난 결과이다. 폐수지의 최대온도는 108 °C까지 상승하지만 일반 레진의 분해 온도가 220 ~ 450 °C 정도로 알려져 있으므로 물리적, 화학적인 반응은 일어나지 않을 것이다. 운반용기의 격납경계를 이루는 O-ring의 온도는 화재가 진행된 후 1.0시간에서 최대 148 °C까지 상승하지만 Viton O-ring의 허용 온도가 250 °C이므로 운반용기의 격납 건전성이 충분히 유지될 것이다. 이상의 결과로 보아 B(U)형 방사성폐기물 운반용기는 화재사고조건에서도 열적 건전성이 충분히 유지될 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] 교육과학기술부 고시 제 2008-69호, "방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정", 2008.
- [2] IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1, "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material", 2005.

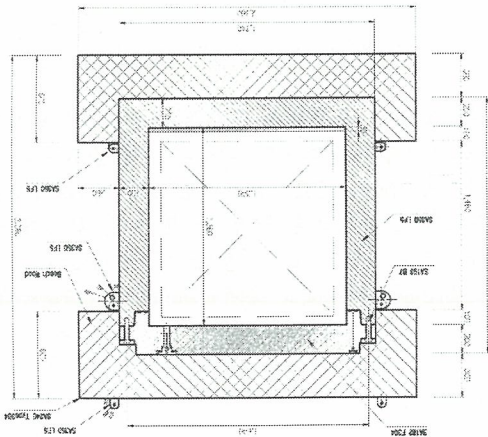


그림 1. 운반용기 단면도.

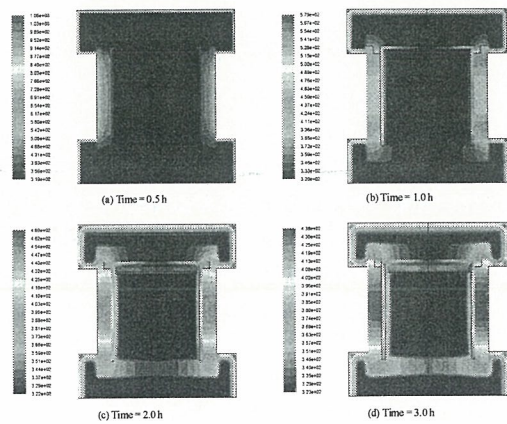


그림 2. 화재사고조건 온도분포.

표 1. 정상운반 및 운반사고조건에 대한 열해석 결과

Item	Calculated values		Allowable values
	Normal condition	Accident condition	
Spent resin temperature	-38 ~ 52 °C	108 °C	220 °C
O-ring seal temperature	-40 ~ 50 °C	148 °C	-40 ~ 250 °C
Cask body temperature	-40 ~ 52 °C	298 °C	-
Cask lid temperature	-40 ~ 51 °C	137 °C	-
Cask surface temperature	-40 ~ 60 °C	790 °C	85 °C (normal)
Maximum pressure	100 kPa	200 kPa	700 kPa (normal)