

## KN-18 사용후핵연료 운반용기에 대한 안전성 입증

정성환, 김민철, 맹성준

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전시 유성구 장동 25-1

shchung@khnp.co.kr

### 1. 서론

원전의 사용후핵연료 임시저장용량을 확보하기 위하여 각 부지에서 소내운반이 이루어지고 있는데, 현재는 WH형 사용후핵연료의 운반만 가능한 KN-12 운반용기를 이용하므로 CE형 사용후핵연료의 운반을 위한 새로운 KN-18 운반용기를 개발하였다. KN-18 운반용기는 CE형 PWR 사용후핵연료를 18다발까지 운반할 수 있으며, 원자력법, IAEA SSS No.TS-R-1 및 미국 10 CFR 71에 따른 기술기준을 만족하도록 설계되었다. 운반용기는 정상운반 및 운반사고조건에서 격납, 방사선 차폐, 구조, 핵임계 제어 및 무동력 열 제거능력에 대하여 건전성을 유지하는 하는 것으로 평가되었다. 운반용기에 장전하여 운반이 가능한 설계기준연료는 최대 초기농축도 5w/o, 최대평균연소도 60GWD/MTU 및 최소냉각기간 9년인 CE형 16x16 사용후핵연료를 대상으로 하였다. KN-18 운반용기는 정부로부터 원자력법에 따라 소내운반은 물론 국외운반까지 가능한 B(U)F형으로 설계승인에 대한 인허가를 획득하였다.

### 2. 운반용기 개요

운반용기는 용기본체, 2개의 용기뚜껑, 전열판을 가진 중성자차폐체, 연료바스켓 및 트리니온으로 구성된다(Fig. 1 및 Fig. 2 참조).

내부의 방사성물질에 대한 기밀건전성은 단조강 하부판과 용접된 두꺼운 벽을 가진 원통형의 단조강 격납용기로 이루어진 본체 및 이중의 탄성체 O-링과 볼트로 체결되는 스테인리스강 뚜껑에 유지된다. 본체, 뚜껑 및 본체 주위와 상하부의 수직계열 중성자차폐체는 선량률제한치를 만족시킨다. 중성자차폐층의 내부에는 효과적인 열전달을 위한 전열핀이 부착된다. 연료집합체 18다발을 장전하여 고정·지지하는 스테인리스강의 바스켓은 보론을 함유한 알루미늄재질의 중성자흡수재가 부착되어 핵임계 건전성을 유지한다. 수직 및 수평 상태에서 운반용기의 인양과 회전을 용이하게 하기 위하여 상하부에 트리니온이 부착된다. 운반 직전 상하부에 충격완충체를 설치하여 운반도중의 사고로 인한 충격하중을 흡수하여 운반용기의 건전성을 유지한다. 운

반용기는 결속장치 위에 수평상태로 체결되어 전용차량으로 운반되며, 기후변화 및 작업자의 안전을 위하여 운반용기의 주위에 보호막을 씌운다.

운반용기의 직경은 2.35m, 길이는 5.16m이며, 연료와 물을 채운 상태의 취급중량은 104톤이며, 충격완충체를 포함한 운반중량은 126톤이다.

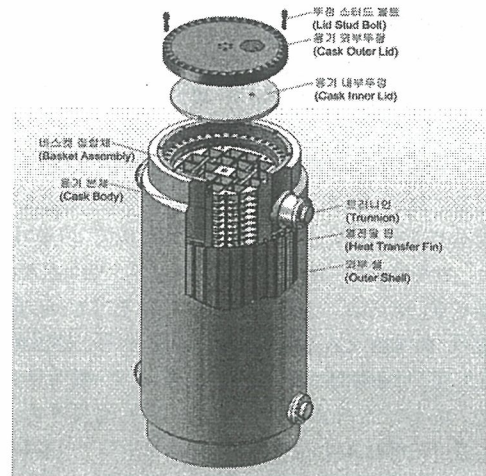


Fig. 1. Overview of KN-18 cask

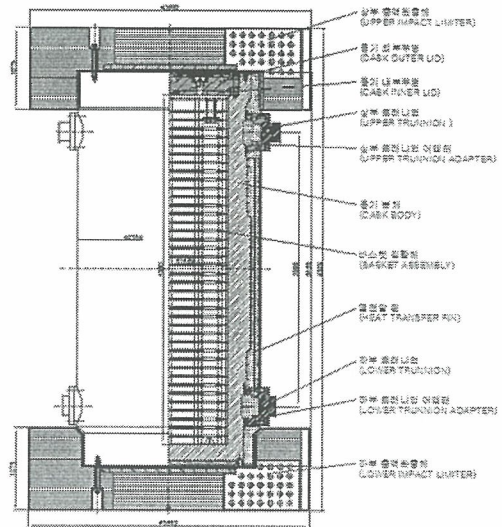


Fig. 2. Section view of KN-18 cask

### 3. 운영특성

운반용기는 18다발의 CE형 PWR 사용후핵연료 집합체를 장전한 후 내부를 진공진조시켜 불활성 기체를 충전하는 건식조건 및 진조시간 단축으로 운반일정을 단축시키고자 내부에 물을 채우는 습식조건으로 운반할 수 있다.

운반 가능한 설계기준연료에 대한 사양은 다음과 같다 :

- 연료종류 : CE형 16x16 핵연료집합체  
(Standard, Guardian, PLUS 7)
- 최대초기 U-235 농축도 : 5.0w/o
- 최대평균연소도 : 60GWD/MTU
- 최소냉각기간 : 9년
- 손상연료 제외.

### 4. 안전성 평가

운반용기에 대한 안전성은 원자력법, IAEA 안전운반규정 및 미국의 운반규정에 따른 일반요건, 정상운반조건 및 운반사고조건에 대한 기술기준을 만족하도록 평가되었다. 핵임계, 방사선차폐, 열전달 및 구조 건전성에 대한 각 평가는 규제기관이 인정한 LS-DYNA3D, MCNP 등 전산해석 코드를 이용하였으며, 열전달 및 구조 해석에 대한 해석의 신뢰도를 제고하고 보다 실제적인 조건을 구현하고자 2종류의 축소모델을 이용하여 운반사고조건에서 건전성을 입증하였다.

설계기준연료 18다발을 연료바스켓에 장전하고 용기의 내부에 물이 채워진 경우에 대하여 불확도와 계산오차를 고려한 유효중배계수( $k_{eff}$ )는 정상운반조건에서 0.9335, 운반사고조건에서 0.937로 허용치인 0.95미만이 되어 미입계를 유지하는 것으로 평가되었다.

정상운반조건에서 감마선 및 중성자에 의한 선량률은 용기표면에서 0.913mSv/h, 2m 이격지점에서 0.073mSv/h로, 각각 허용선량률 2mSv/h 및 0.1mSv/h 이하가 되어 법적기준을 만족하였다.

사용후연료집합체당 최대붕괴열 1.06kW, 운반용기 전체 열하중 19.1kW과 주변온도 38°C와 일사량을 받는 조건에 대하여 피복관의 최대온도는 정상운반 시 371°C로 나타나 허용치인 399°C 이하이며, 운반용기 표면의 최대온도는 68°C로 허용치인 85°C 이하이었다. 또한, 탄성체인 O-링의 온도는 정상운반에서 118°C, 운반사고 시 130°C로 안전운전허용치인 250°C 이하로 나타나 격납경계에 대한 건전성을 확인할 수 있었다.

정상운반조건에서 운반용기 내부의 최대압력은 건식운반은 178kPa, 습식운반은 563kPa로 기준치인 700kPa 이하이었다.

용기내부의 방사성물질 누설에 대하여 기밀 건전성을 유지하기 위한 허용누설률을 ANSI N14.5의 기술기준에 따라 계산한 결과, 정상운반조건에서  $1.32 \times 10^{-4}$  ref.cc/sec(공기),  $2.4 \times 10^{-4}$  cc/sec(헬륨)으로 나타났다.

운반용기의 격납경계를 포함한 본체 구조물과 구성품에 대한 구조평가는 ASME BPVC Sec.III Div.3 및 US Reg. Guide 7.6의 응력평가방법을 적용하였으며, 정상운반 및 운반사고조건에 대하여 구조적 건전성을 유지하는 것으로 평가되었다.

또한, 용기의 반경방향 크기는 실물과 동일하고 길이만 1/8로 축소시킨 slice 모델을 이용하여 열환경 및 800°C 화재시험을 수행하여 열적 건전성을 입증하였으며, 용기의 전체체원을 일괄적으로 1/3로 선형 축소시킨 시험모델을 이용하여 9m 자유낙하, 1m 파열 및 200m 침수 및 누설시험을 수행하여 구조적 건전성을 입증하였다.

### 5. 결론

KN-18 사용후핵연료 운반용기는 CE형 PWR 사용후핵연료를 18다발까지 장전하여 운반할 수 있도록 설계되었으며, 국내의 운반관련 규정의 기술기준에 따라 내부 방사성물질의 격납, 방사선차폐, 구조적 성능, 핵임계 제어 및 무동력 열 제거 능력에 대하여 안전성을 입증하였다. 운반용기는 정부로부터 원자력법에 따라 소내운반은 물론 국외운반까지 가능한 B(U)F형으로 설계승인에 대한 인허가를 획득하였다. KN-18 운반용기는 향후 원전부지의 사용후핵연료 임시저장용량을 확보하기 위한 소내운반에 적용될 예정이며, 소내운반에 대한 안전성을 확보하는데 기여할 것으로 기대한다.

### 6. 참고문헌

- [1] 원자력법령 : 원자력법, 시행령, 시행규칙, 방사선규칙, 교육과학기술부 고시 제2009-37호.
- [2] IAEA Safety Standards Series No.TS-R-1, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material(2009 Edition).
- [3] US NRC 10 CFR Part 71, Packaging and Transportation of Radioactive Material.
- [4] ASME BPVC Sec.III, Div.3, Containments for Transportation and Storage of SNF and HLW.