

사용후핵연료 금속전환체 저장용기 설계 및 안전성 평가

이주찬, 김동학, 방경식, 신희성, 서기석, 김호동

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

sjclée@kaeri.re.kr

사용후핵연료 차세대종합공정 실증시험 단계에서 20 kg의 사용후핵연료 5 batch에 대한 금속전환체 실증시험을 수행할 계획이며, 본 연구에서는 실증시험 시 발생하는 금속전환체를 안전하게 저장할 수 있는 저장용기의 설계 및 안전성 평가를 수행하였다. 실증시험 공정에서는 연소도 35,500 MWd/tU, 냉각기간이 약 18년인 고리 1호기의 G23 PWR 핵연료집합체를 사용할 예정이나, 금속전환체의 저장 안전성 평가에서는 기준 핵연료는 보수적으로 가정하여 연소도 43,000 MWd/tU, 냉각기간 10년인 PWR 사용후핵연료를 고려하였다. 실증시험 공정에서 1 batch 당 1개의 금속전환체가 발생하는 것으로 가정하여 금속전환체의 중량은 20 kg, 치수는 직경 160 mm, 높이 70 mm로 설정하였다. 금속전환체 임시저장 캐니스터의 치수는 그림 1과 같이 외경을 186 mm, 높이를 105 mm로 설정하여 1개의 캐니스터에 1개의 금속전환체를 장전할 수 있도록 하였다. 금속전환체 저장용기는 5개의 금속전환체 저장캐니스터를 저장할 수 있도록 설계하였으며, 감마선 차폐체로 100 mm의 납을, 중성자 차폐체로 76 mm의 PE를, 구조재로는 10 mm 두께의 스테인리스강을 사용하였다.

금속전환체 저장용기에 대한 방사선차폐, 열전달 및 구조안전성 평가를 수행하였다. 차폐해석 결과 저장용기의 표면에서의 방사선량률이 0.78 mSv/h로 나타나 운반조건에서 허용 표면선량률인 2 mSv/h보다 낮게 나타났다. 또한, 저장시설로부터 100 m 떨어진 관리구역 외부에서의 방사선량률이 2.2E-4 mSv/h로 계산되어 허용치인 2.85E-5 mSv/h(0.25 mSv/y)보다 훨씬 낮으므로 방사선 차폐 측면에서 안전성이 충분히 유지되었다.

열전달해석은 정상운전 및 화재사고 조건을 적용하였으며, 정상조건은 보수적으로 가정하여 대기온도 38 °C에서 최대 태양열이 유입되는 조건을 적용하였고 화재사고조건은 800 °C 화재가 30 분 동안 진행된 후 자연냉각 조건을 적용하였다. 금속전환체 5개에서 발생하는 총 붕괴열은 42.7 W로 하였고, 용기 표면에 유입되는 태양열 유속은 400 W/m²을 고려하였다. 그림 2는 정상 및 화재사고조건에 대한 온도분포 나타내며, 금속전환체의 최대온도는 정상조건에서 91 °C로 계산되어 허용온도인 150 °C보다 낮았고, 사고조건에서도 최대 146 °C로 허용온도로 설정된 200 °C보다 낮게 나타났다. 또한, 납 차폐체의 최대온도는 정상조건에서 74 °C, 화재사고조건에서 193 °C로 계산되어 납의 용융온도인 327 °C보다 낮으므로 저장용기의 열적 건전성이 충분히 유지될 것으로 판단된다.

구조안전성 평가는 캐니스터 및 저장용기의 낙하사고 조건에 대한 해석을 수행하였다. 캐니스터를 75 cm 높이에서 저장용기 내부로 자유낙하 시킨 조건에 대한 구조해석을 수행하였으며, 해석 결과 캐니스터의 최대응력이 244.4 MPa로 계산되어 허용응력인 331 MPa(2.4Sm) 이내로 나타났다. 저장용기 전체가 수평방향으로 30, 40, 50 및 60 cm의 높이로 자유낙하조건에 대한 해석을 수

행하였으며, 최대응력은 저장용기의 상부와 하부의 충격부에서 278.9, 289.4, 300.5, 306.3 MPa로 모든 경우에 대하여 허용응력 331 MPa 이내로 계산되어 낙하사고 조건에서 저장용기의 구조적 건전성이 입증되었다. 이상의 결과로 보아 금속전환체 저장용기는 방사선차폐, 열전달 및 낙하조건에 대한 구조안전성 측면에서 건전성이 입증되는 것으로 나타났다.

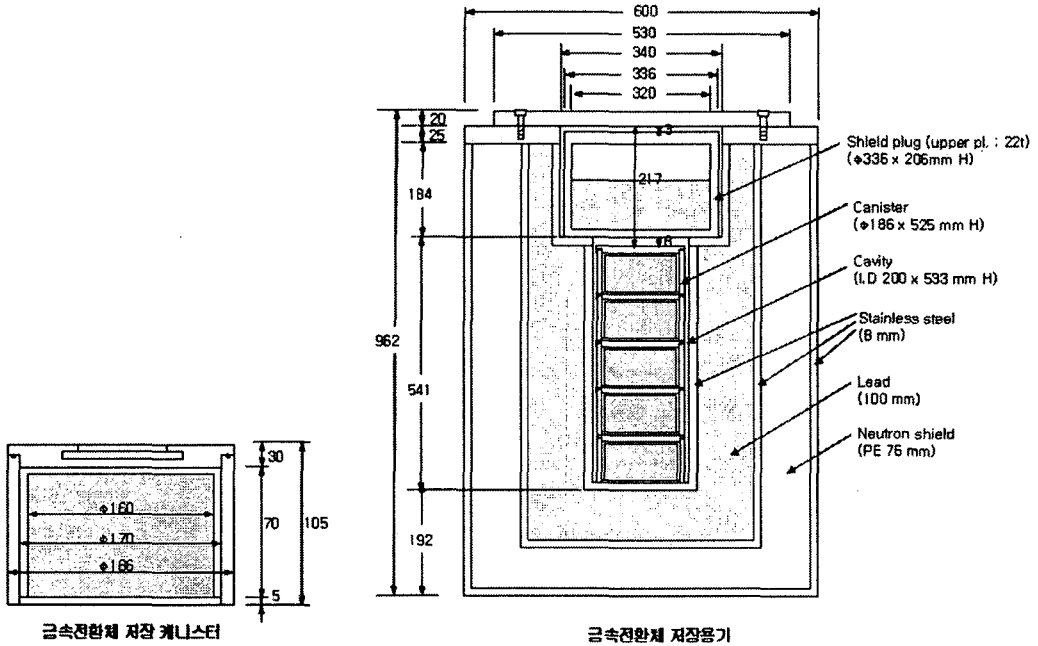


그림 1. 금속전환체 저장 캐니스터 및 저장용기 개념도.

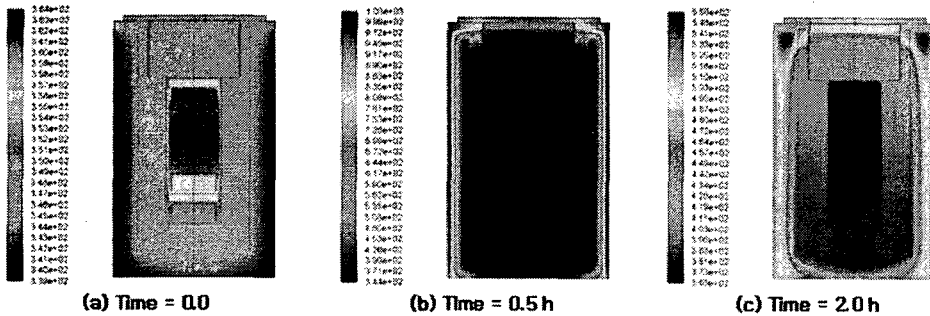


그림 2. 금속전환체 저장용기의 정상 및 화재사고조건 온도분포.