

사용후핵연료 금속전환체 저장용기의 열전달해석 평가

이주찬, 방경식, 신희성, 서기석, 김호동

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150

원자력연구소에서는 PWR 사용후핵연료를 건식 개질함으로써 관리 부피를 줄이고 안전상에 문제를 일으키는 고방사성 핵종인 세슘과 스트론튬 등을 선택적으로 제거하여 방사능 및 냉각부하를 줄일 수 있는 사용후핵연료 차세대관리 공정개발에 대한 연구를 수행하고 있다. 이는 세라믹 형태의 PWR 핵연료를 금속으로 전환시켜 관리하는 방법으로 금속전환체는 PWR 사용후핵연료와 비교하여 체적, 방사능 및 발열량을 약 1/4로 줄일 수 있는 이점이 있다. 본 연구에서는 범용 열유동해석 코드인 FLUENT를 이용하여 사용후핵연료 금속전환체 저장용기의 열전달해석을 수행하였다. 사용후핵연료 저장방식은 크게 건식 및 습식 저장방식으로 구분되며, 최근에는 안전성 측면에서 이점이 있는 건식 저장방식이 널리 이용되고 있다. 특히, 금속전환체는 산화성이 강하고 물 또는 수증기와 반응하면 수소 또는 수소화물이 생성되어 반드시 건식 저장방식이 적용되어야 한다. 금속전환체 저장용기는 내부에 불활성 기체를 채우는 건식 냉각방식이며, 저장용량은 28 다발의 PWR 사용후핵연료 집합체에 상당하는 금속전환체를 저장할 수 있다. 금속전환체의 단위저장 캐니스터의 용량은 PWR 핵연료집합체 1개에 해당되며, 열전달 효율을 증대시키기 위하여 육각형 형태의 알루미늄 재질을 사용하였다. 단위저장 캐니스터는 핵연료 바스켓에 장전되며, 7개의 바스켓을 4단으로 적재하여 1개의 저장용기에 총 28개의 단위저장 캐니스터를 저장할 수 있도록 하였다. 열전달해석을 위한 해석조건은 정상, 비정상 및 화재사고조건을 고려하였다. 정상운전조건은 저장용기가 주변온도 27 °C 및 10 CFR 71에서 규정하는 태양열 조건에 노출되는 조건이며, 비정상조건은 주변온도 38 °C를 적용하였다. 화재사고조건은 10 CFR 71에서 규정하는 800 °C의 화재조건에서 저장용기가 30분 동안 노출된 후 자연냉각되는 조건이다. PWR 사용후핵연료를 금속전환할 경우 붕괴열이 약 1/4로 감소되어 28개의 금속전환체로부터 방출되는 붕괴열은 5.04 kW를 고려하였다. 저장용기 표면으로부터 외부 대기로의 자연대류 및 복사열전달을 고려하였으며, 저장용기 본체를 통한 열전도를 고려하였다. 저장용기의 열전달에서 가장 중요하게 고려할 사항은 장기 저장시에 금속전환체 연료봉의 온도제한이며, 금속연료는 고온에서 발화 가능성이 있으므로 PWR 사용후핵연료에 비하여 연료봉 허용온도가 낮은 특성을 갖는다. 금속연료의 일종인 Magnox 연료를 기준으로 금속전환체의 저장 허용온도를 설정하였으며, 정상운전조건에서 150 °C, 비정상 및 사고조건에서 200 °C로 설정하였다. 열해석 결과 정상조건에서 연료봉의 최고온도는 139 °C로 계산되어 허용치인 150 °C보다 낮게 나타났다. 비정상 환경온도는 38 °C로 정상온도에 비하여 11 °C 높으며, 저장용기 및 연료봉의 온도도 정상조건에 비하여 약 10 °C 정도 높게 나타났다. 화재사고조건에서 연료봉의 최고온도는 168 °C로 허용온도로 설정된 200 °C보다 낮게 나타났다. 따라서 열적 건전성 측면에서 저장용기의 안전성이 충분히 유지될 것으로 판단된다.