

## Experimental Evaluation for Passive Heat Removal System of the Dry Storage Cask

### 건식 저장용기 피동 열 제거시스템의 실험적 평가

방경식, 이주찬\*, 서기석\*, 정기정\*, 조천형\*\*, 최병일\*\*, 이홍영\*\*

\*한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150

\*\*한국수력원자력(주), 대전광역시 유성구 덕진동 150

대부분의 원자력발전소는 습식 저장 풀에 사용후연료를 저장하고 있지만, 많은 저장 풀들이 그들의 용량을 채우고 있는 형편이다. 그러나 불행히도 지금까지 사용후연료 중간저장시설의 확보가 계속 지연되고 있기 때문에, 원자력발전소의 가동을 중지하지 않기 위해서는 사용후연료를 저장하기 위한 충분한 용량을 찾는 것이 필수적이며, 건식 저장용기는 중간저장문제를 해결할 수 있는 하나의 해결책이 될 수 있다.

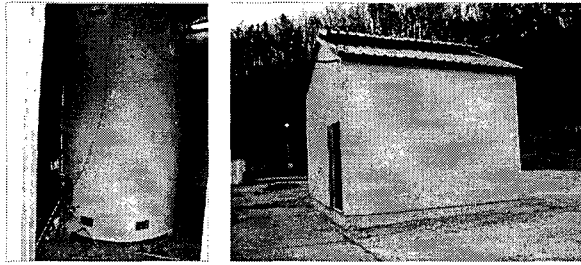
사용후연료를 저장하기 위한 건식 저장용기는 국내 실정에 적합한 최적 건식저장방식으로 선정된 콘크리트 저장용기이다. 콘크리트 저장용기는 사용후연료를 장전하는 캐니스터와 over-pack으로 구성된다. Over-pack은 외경 3,550 mm, 높이 5,885 mm를 가진 원통형 셀 구조물로서 내·외부의 탄소강 셀 사이에 차폐체인 콘크리트가 채워지며, 총 중량은 약 135 톤이다. 콘크리트 저장용기는 연소도 55,000 MWD/MTU, 냉각기간 7년인 PWR 사용후연료 집합체 24다발을 저장할 수 있으며, PWR 사용후연료 집합체 24다발로부터 발생하는 총 붕괴열은 25.2 kW이다.

콘크리트 저장용기에는 PWR 사용후연료 집합체로부터 발생하는 붕괴열을 외부 환경으로 적절히 방출하기 위한 피동 열 제거 시스템을 설계하였다. 피동 열 제거는 콘크리트 저장용기 하부에 설치된 공기 흡입구 8개와 상부의 공기 출구 8개에 의해 발생하게 된다.

본 논문에서는 건식 저장용기의 열 제거특성을 평가하기 위해 1/2 축소모델을 사용한 실험적 접근을 수행하였다. 그림 1은 열 제거실험을 수행하기 위한 모델 및 실험동안 외부 환경의 온도변화에 따른 영향을 감소시키고, 기후변화로부터 보호하기 위해 설치한 외부 건물을 보여주고 있으며, 그림 2는 열 제거실험 모델의 단면도를 보여주고 있다.

사용후연료를 모사하기 위한 전기히터는 캐니스터 내부의 바스켓에 설치되었으며, 히터 하나당 열 유량은 약 189 watt로 24개의 전기히터로부터의 총 열 유량은 약 4.5 kW이다. 전기히터의 power line 및 온도측정을 위한 열전대는 캐니스터 뚜껑의 24개 홀을 통하여 빠져나와 다시 over-pack 뚜껑의 3개의 홀을 통하여 컨트롤러 및 온도측정 장치에 연결되었다.

열 제거실험에서 모델의 온도를 측정하기 위해 0°, 90° 및 135° 방향의 3개의 단면으로 79개의 열전대를 설치하였으며, 주변온도 측정을 위해 26개의 열전대를 설치하였다. 또한 유속을 측정하기 위해 0°, 90° 및 135° 방향의 공기 흡입구에 열선 타입의 유속계 3개를 출구에 프로펠러 타입의 유속계 3개를 설치하였으며, 압력변화를 측정하기 위해 0° 방향의 공기 흡입구 및 출구에 압력 게이지 한 개씩을 설치하였다.



(a) 모델 (b) 외부 건물

그림 1. 모델 및 외부건물.

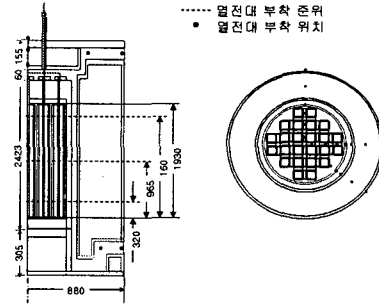


그림 2. 모델의 단면도.

건식 저장용기의 열 제거 특성을 평가하기 위한 실험은 법규에서 규정하고 있는 조건들 중 정상조건과 공기 흡입구의 50%를 봉쇄하는 비정상조건에 대해 수행되었다[1-2]. 그림 3은 정상조건에서 측정된 모델의 온도분포로서 135° 방향의 온도가 가장 높게 측정되었다. 공기 흡입구에서의 온도는 0°, 90°, 135° 모두 21 °C로 측정되었으며, 출구에서의 온도는 0°, 90° 및 135° 각각 70 °C, 65 °C 및 63 °C로 측정되었다. 따라서 피동 열 제거시스템의 성능이 잘 유지됨을 알 수 있었다. 공기 흡입구 및 출구에서의 온도차는 0° 방향이 50 °C로 가장 크게 났으며, 135° 방향이 42 °C로 가장 적었다. 이와 반대로 공기 흡입구 및 출구에서의 유속의 차는 그림 4와 같이 0° 방향이 0.16 m/s로 가장 적었으며, 135° 방향이 0.32 m/s로 가장 컸다. 이 결과로부터 0° 방향에서는 0.0075 m<sup>3</sup>/s의 공기가 유입되어 0.0096 m<sup>3</sup>/s의 공기가 빠져 나가지만, 135° 방향에서는 0.0055 m<sup>3</sup>/s의 공기가 유입되어 0.0096 m<sup>3</sup>/s의 공기가 빠져나감을 알 수 있다. 이것은 0° 방향보다 135° 방향의 온도가 높게 나타남을 말해주는 것으로서 캐니스터 내부의 바스켓이 135° 방향으로 접촉되었을 가능성이 있는 것으로 판단된다. 공기 흡입구의 50%를 봉쇄한 비정상조건의 실험결과를 보면 그림 5와 같이 편류가 건식 저장용기의 온도 상승에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

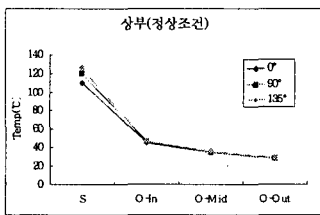


그림 3. 정상조건에서의 온도분포.

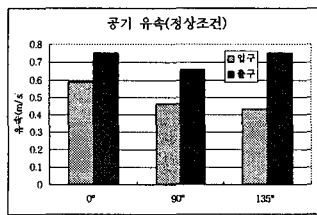


그림 4. 정상조건에서의 공기유속.

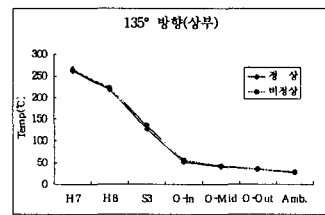


그림 5. 정상/비정상 온도.

[참고문헌]

- [1] IAEA Safety Series No.116, Design of Spent Fuel Storage Fuel Storage Facilities, 1994.
- [2] NUREG-1536, Standard Review Plan for Dry Cask Storage Systems, 1997.

감사의 글

본 연구는 한국수력원자력(주)으로부터 수탁사업의 일환으로 수행되었음.