

## 밀봉용기 내부의 부수로 핵연료집합체 열해석 모델 검토

차정훈, 한순규, 김성진, 황대현, 김상녕\*, 최경우\*\*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

\*경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천 1동

\*\*한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 34

[chajh@kaeri.re.kr](mailto:chajh@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

국내의 원자력발전소 운전경력은 2011년 현재 30년에 다다르고 있으며, 현재 국내 원자력발전소에서 발생하는 사용후핵연료는 대부분 발전소 내부의 임시저장조에 습식 저장되어 있다. 사용후핵연료를 최종처분하기 위한 처분장 건설은 오랜 기간이 필요할 것으로 예상되며 발전소 내부의 임시저장용량은 가까운 기간 내에 포화될 것으로 예상된다. 이에 국내에는 최종처분까지 사용후핵연료를 장기간 중간저장하기 위해 건식저장 방식이 활용될 것으로 예상된다. 건식저장 방식은 사용후핵연료를 불활성 기체로 충전된 저장용기 내에 저장하는 방식으로 이미 여러 나라에서 건설/운영되고 있으며 그 효용성이 입증된 기술이다. 이러한 장기건식저장 기술은 다른 분야의 선진기술과 마찬가지로 대부분 대외비로 취급되거나 특허에 보호되어 있어 향후 건식저장 기술의 국산화가 이루어지지 않을 경우 기존 외국계 회사의 시장지배로 인한 국부의 유출은 막대할 것으로 예상된다. 사용후핵연료 장기건식 기술의 개발과정에서 열해석 분야는 인허가 및 사업시행에 있어 중요한 평가기준으로 작용한다. 장기건식 시스템의 열해석은 범용 CFD 코드가 이용되고 있으며 국외 인허가에서는 핵연료집합체를 균질하게 가정하는 열해석 방법론이 광범위하게 사용되고 있다. 본 연구에서는 균질모델과 부수로 모델을 이용한 열해석 방법론의 차이점을 비교하고 검토하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 열해석 방법론 비교

균질모델 열해석 방법론은 사용후핵연료 집합체를 균질하다고 가정한 모델을 사용후하는 방법으로 Wooten-Epstein[1], MIT 방법론[2]을 이용하여 유효열전도도를 구하여 핵연료 집합체 피복

관의 온도를 예측하는 방법이다. 이러한 방법은 현재 인허가에서 광범위하게 사용되고 있다. 균질모델의 장점은 해석 모델을 충분히 단순화 시켜 핵연료집합체의 피복관 온도를 용이하게 예측할 수 있다는 것이다. 반면 핵연료 집합체의 복잡한 형상을 균질 모델로 예측하고 있기 때문에 모델 자체의 불확실성을 가지고 있다. 부수로 모델은 핵연료 집합체를 봉 단위로 모델링 하므로써 모델의 불확실성을 낮추고 있으나 이를 CFD로 모사하기 위해서는 하드웨어적인 비용을 크게 요구하게 된다.

#### 2.2 CFD 열해석 수행

본 연구에서는 핵연료 집합체 1개가 밀봉된 용기에 저장되어 있다고 가정하고 집합체를 균질모델과 부수로 모델을 ANSYS-CFX 12.1 코드로 계산한 후 계산결과의 보수성과 열적 특성의 차이점을 비교하였다. 핵연료 집합체는 현재 APR-1400 에서 사용되는 16×16 핵연료 모델을 기준으로 하였다. 용기 내부는 헬륨 gas가 2기압으로 채워져 있으며 집합체의 총 열량은 938.8 W로 가정하였다[3]. 계산결과 균질모델의 피복재온도가 봉대봉 모델의 피복재 최대온도보다 보수적이었다. 그림 1은 균질모델과 부수로 모델의 중앙 단면 온도 분포를 보여주고 있다. 균질모델에 비해 부수로 모델은 중앙의 온도가 주변 집합체 봉들에 비해 낮은걸 볼 수 있는데 이는 부수로 모델과 같은 경우 안내관에 의해 열원의 밀집도가 균질모델보다 떨어지기 때문으로 분석된다. 그림 2는 두 모델의 수평단면의 온도분포로 안내관의 위치를 확인할 수 있다. 또한 수평 온도분포가 균질모델에 비해 부수로의 모델은 균일한 것을 확인할 수 있었다.

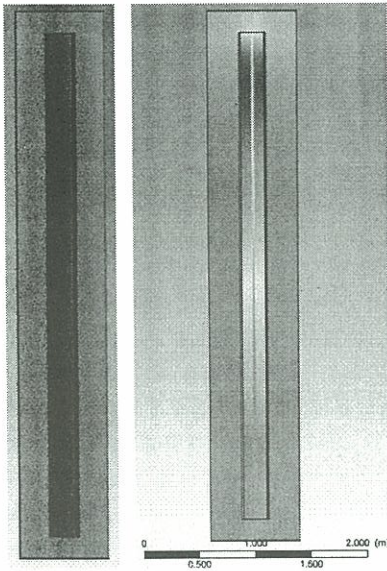


Fig. 1. Axial temperature distribution

으로 낮추고 있음을 보여주고 있다. 따라서 보다 정확한 부수로 모델을 통한 열해석은 저장밀집도 향상에 기여할 것으로 예상된다.

#### 4. 참고문헌

- [1] R.O. Wooten and H.M. Epstein, Heat transfer from a parallel rod fuel element in a shipping container, Unpublished report, Battelle Memorial Institute, 1963.
- [2] R.D. Manteufel and N.E. Todreas, Effective thermal conductivity and edge conductance model for a spent fuel assembly, Nuclear Technol., Vol. 105, pp421-440, 1994.
- [3] 김상녕, 차정훈, 사용후핵연료 장기건식저장에 따른 열적 안전성 해석 기법개발, KINS/HR-852, KINS, 2008.

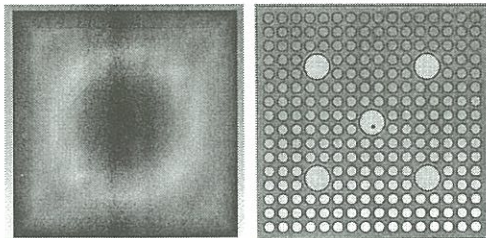


Fig. 2. Temperature distribution of cross-sections

#### 3. 결론

본 연구에서는 건식저장 용기 내부의 CFD 열해석을 수행하기 위해 이용되는 균질 모델의 보수성을 검토하고 균질 모델과 부수로 모델이 보여주는 열적 차이점을 비교하고자 하였다. 가상의 밀봉된 공간에 저장된 핵연료집합체의 온도분포를 균질 모델과 부수로 모델로 계산을 한 결과 균질 모델의 계산결과가 보수적인 것으로 나타났으며 이는 균질모델에서 대류에 의한 영향이 부수로 모델보다 적용되지 않기 때문인 것으로 파악된다. 따라서 기존에 저장 또는 수송 용기의 인허가에서 광범위하게 사용되고 있는 균질모델은 핵연료 집합체 피복재의 온도를 부수로 모델보다 보수적으로 예측할 것으로 예상된다. 부수로 모델의 경우 균질모델에서 크게 고려하지 않는 대류에 의한 효과가 핵연료 집합체의 온도를 효과적