

## 건식저장 용기내 PWR 사용후핵연료 열전달 해석

인왕기, 신창환, 양용식, 전태현, 송근우, 최종원  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
[wkin@kaeri.re.kr](mailto:wkin@kaeri.re.kr)

### 1. 개요

가압경수로(PWR) 사용후핵연료는 일반적으로 수조에 임시저장후 재처리 또는 영구처분 된다. 그러나 국내의 경우 사용후핵연료 처리방식이 아직 결정되지 않아 각 원자력발전소별 임시저장 시설이 조만간 포화될 것으로 전망되고 있다. 따라서 사용후핵연료 중간저장의 방안으로 건식저장 방식의 필요성이 제기되고 있다. 건식저장 방식은 사용후 핵연료집합체를 용기에 넣어 보관하는 것을 의미하며 용기내의 유체는 공기 또는 헬륨을 사용한다.

건식저장용 용기내의 사용후핵연료는 영구처분 또는 재처리가 완료 될 때까지 안전하게 보관되어야 한다. 특히 붕괴열(Decay heat)에 의해 사용후핵연료 피복관 온도가 제한치 이하로 유지되도록 적절한 냉각이 필요하다. 핵연료에서 발생한 열은 저장용기내 유체(공기, 헬륨 등)의 자연순환 대류열전달 및 복사/전도 열전달에 의해 궁극적으로 저장용기 외부로 방출된다. 따라서 건식저장 용기내 사용후핵연료의 피복관 온도를 정확하게 예측하기 위해서는 상세 열전달 해석이 필수적이다. 핵연료집합체 부수로 해석 방법을 이용하여 예측한 피복관 온도는 측정치와 20-30 °C 이내로 일치하는 것을 선행연구[1]에서 보인 바 있다. 그러나 부수로 해석방법은 복잡한 저장용기 형상에 대한 열전달 해석이 어려우며 상세한 유동장 해석이 불가능하다. 더욱이 보다 정확한 피복관 온도를 예측하기 위해서는 형상 및 열전달 현상을 보다 정확하게 모델링할 수 있는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 방법의 적용이 필요하다.

본 연구에서는 CFD 해석방법의 적용성을 조사하기 위해 건식 저장용기내의 단일 핵연료집합체에서의 열전달 및 유동 특성을 분석하였다. 즉 범용 CFD 코드를 이용하여 저장용기내 유동분포, 유체온도 및 핵연료 온도를 예측하였다.

### 2. CFD 해석 방법

CFD 시험해석을 위해 원통형 용기내부에 저장한 PWR 사용후 15x15 핵연료집합체 시험장치(그림 1)를 모델링하였다. 핵연료 봉 외경과 봉 간격은 각 10.7mm 와 14.3mm 이며 봉 길이는 3658mm 이다. 핵연료집합체는 204개의 연료봉과 1개의 계측기 안내관 및 20개의 제어봉 안내관으로 구성되어 있다.

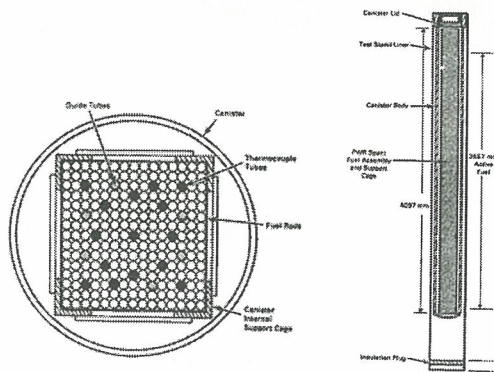


그림 1. 단일 사용후 핵연료집합체의 건식저장 시험장치

시험장치의 대칭성을 이용하여 핵연료집합체의 1/8과 저장용기를 CFD 해석영역으로 설정하였다(그림 2). CFD 모델은 저장용기 내부 유동영역뿐만 아니라 연료봉의 소결체와 피복관을 포함하고 있다. 본 CFD 해석에 사용한 전산격자 노드 수는 약 5백만 개이다. 시험 집합체의 붕괴열은 1.17 kW이고 측정된 핵연료집합체 축방향의 출력분포는 불균일하지만 본 CFD 계산에서는 균일한 것으로 가정하였다. 반경 방향 붕괴 열 출력분포는 측정자료가 없으므로 균일한 것으로 가정하였다. 저장용기내의 유체는 공기이며 저장용기 내벽의 온도를 일정한 값(120 °C)으로 설정하고 자연대류(층류) 복합열전달 해석을 수행하였으며 본 예비 CFD 해석에서는 복사열전달을 포함시키지 않았다.

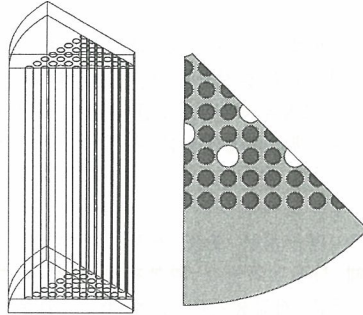


그림 2. 건식저장 사용후 핵연료집합체 열전달해석 CFD 모델

### 3. CFD 해석 결과

CFD 방법으로 예측한 건식저장 용기 내부 사용후핵연료의 온도 및 유동속도 분포 예비결과는 그림 3과 같다. 핵연료집합체 내부의 유체(공기)는 연료봉에 의해 가열되므로 용기 위쪽으로 흐르지만 용기 내벽에 인접한 영역에서는 아래쪽으로 공기유동이 발생하는 것을 알 수 있다. 핵연료 피복관의 온도는 집합체 중앙으로 갈수록 높아지며 외곽에서는 상대적으로 낮게 나타났다. 한편, 연료봉 축방향의 온도는 위쪽으로 갈수록 높는데 이는 축방향으로 균일분포의 붕괴열을 가정하였고 공기온도가 높기 때문이다.

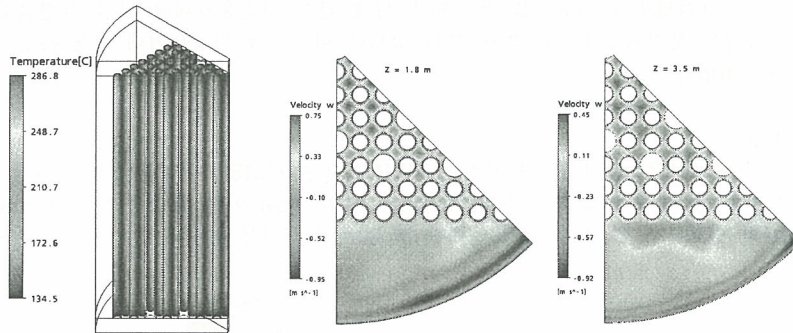


그림 3. 건식저장 용기 내부 핵연료 온도 및 유동속도 분포

### 4. 요약

CFD 방법을 이용하여 건식저장 용기내 사용후핵연료 열전달 해석을 수행한 결과 연료봉의 붕괴열에 의한 내부 유체의 자연대류 현상과 상세 핵연료 온도분포를 예측할 수 있음을 확인하였다. 향후에는 다양한 시험조건에서 복사열전달을 포함한 정밀한 CFD 계산을 수행하여 피복관 온도분포의 예측치를 실험결과와 비교할 예정이다.

### 5. 참고문헌

- [1] N. J. Lombardo et al., COBRA-SFS: A Thermal-Hydraulic Analysis Computer Code, Vol. III, Validation Assessments, PNL, December 1986.