

# 점성유동계수 계산을 위한 핵연료집합체 단순화 모델 평가

유승환\*, 방경식, 이주찬, 최우석

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*shyu80@kaeri.re.kr

## 1. 서론

사용후핵연료 집합체는 구조가 복잡하기 때문에 집합체가 여러 다발 장입하는 수송/저장용기 해석 시 모델을 단순화하여 해석을 수행한다. 가장 일반적으로 사용되는 단순화 모델은 다공성 모델이며, 이 모델을 적용하기 위해서 사용후핵연료 한 다발을 포함한 바스켓 내부를 상세 모델링하여 다공성 모델 계수(viscous resistance coefficient, permeability)가 필요하다. 사용후핵연료 한 다발 상세 모델링 시, 다수의 격자가 필요하며 이를 해석하기 위해서는 고성능 워크스테이션이 필요하다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 계산 속도를 증가시킬 수 있는 모델화 단순화 기법이 요구된다.

본 연구에서는 핵연료집합체 한 다발을 포함하고 있는 바스켓 내부의 유동을 수치해석을 통하여 계산하였으며, 유동 특성을 분석하였다. 같은 형상이 반복되기 때문에 부분 반복 모델인 5 sections model과 1 section model을 해석하여 단순화 모델의 타당성을 검증한다.

## 2. 본론

### 2.1 PLUS-7 사용후핵연료집합체 단순화 모델링

핵연료집합체는 상하단 고정체를 제외하면, 핵연료 집합체에 지지격자가 반복적으로 배치되어 있다. 바스켓 내부에서 유동저항을 평가하면, 내부 유체가 지나갈 수 있는 영역의 크기에 반비례하여 유동저항이 증가할 것이다. 전체 유동저항의 크기를 고려하면 상단 고정체와 하단 고정체는 높이가 집합체와 지지격자에 비해 상대적으로 작기 때문에 전체 유동저항 크기에 영향이 미비하다고 가정하고, 유동저항을 평가할 때에는 상하단 고정체를 고려하지 않았다. Fig. 1과 같이 부분모델이 다섯 번 반복되는 5 sections 모델과, 반복되는 형상 1개만 있는 1 section과 전체 모델을 해석하였다. 같은 조건에서 해석을 수행하고, 점성유동저항계수를 비교하였다. 점성유동저항 계수는 가장 보수적인 값인 압력강하량 계산방법을 적용하였다.

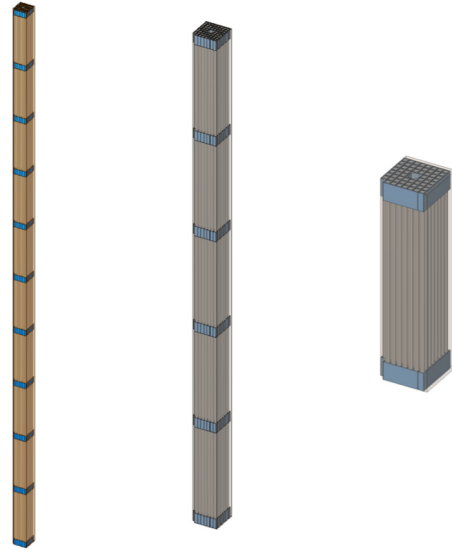


Fig. 1. Isometric view of 10 sections, 5 sections and 1 section model.

### 2.2 단순화 모델 해석 결과

계산 결과는 Table 1과 같다. 유동 입구(하단 면)으로부터 유동이 발달하면서 발생하는 큰 유동저항이 모델의 길이가 짧아질수록 전체 압력강하량에서 차지하는 비중이 커지게 되고, 점성저항계수가 증가하는 경향을 보인다. 보수적인 점성저항계수값을 집합체 해석에 적용하면, 전체적인 온도가 높게 계산될 것이다. 최근 사용후핵연료의 피복관 건전성을 위한 정확한 온도 분포를 요구하는 실정이며, 또한 수송저장용기의 용량을 늘리기 위해서는 보수성을 가진 유동저항계수는 활용성이 떨어진다. 따라서 보다 정확한 계산을 위해서 단순화 모델의 다른 해석 방법이 요구된다.

Table 1. Comparison of viscous resistance parameter at 10, 5, 1 section model

Method	10 sections	5 sections	1 section
Viscous resistance parameter	$5.34 \times 10^5$	$5.54 \times 10^5$	$6.92 \times 10^5$

### 2.3 주기조건을 고려한 단순화 모델

같은 형상에 반복되기 때문에 단지 형상만 축소하여 계산하면, 점성저항계수는 보수성을 나타낸다. 보수성이 생기는 원인인 입구영역에서의 유동의 발달영향을 최소화할 수 있다면, 보다 정확한 점성저항계수를 계산할 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 집합체의 입구와 출구를 주기 조건을 선택하였다. 주기 조건이라는 것은 출구 영역에서 나온 유동을 다시 입구 영역에서 유속조건으로 활용하여 계속적으로 반복하여 유동을 완전 발달시키는 계산 방법이다. 1 section 모델을 기준으로 계산을 하였고, 반복되는 특징을 고려하여 입출구의 지지격자 높이는 기존 40 mm에서 20 mm로 축소하였다. 기존 10 sections model의 결과와 비교하였고, 결과는 Table 2와 같다. 전단응력으로 계산 한 결과는 약 7% 정도 작게 계산되지만, 압력강하로 계산된 값은 거의 유사하다. 주기조건을 이용한 1 section 모델은 해석 모델의 영역이 1/10으로 감소하기 때문에 해석 시간 거의 상당히 줄어들지만, 그 결과는 10 sections model과 거의 유사하다. 이러한 방법을 적용하면, 다양한 집합체에 대한 점성저항계수를 효율적으로 계산이 가능할 것으로 판단된다. 결과는 다음 Table와 같다.

Table 2. Viscous resistance parameter calculations

Method	Wall shear stress		Pressure drop	
	10 sections	1 section periodic	10 sections	1 section periodic
Viscous resistance parameter	$5.17 \times 10^5$	$4.82 \times 10^5$	$5.34 \times 10^5$	$5.29 \times 10^5$

### 3. 결론

핵연료집합체 한 다발을 포함하고 있는 바스켓 내부의 유동을 수치해석을 통하여 계산하였으며, 유동 특성을 분석하였다. 입구 영역에서 유동이 발달함에 따라 유동저항이 상대적으로 크게 발생하였지만, 입구 영역의 길이가 집합체의 길이보다 아주 작기 때문에 전체적인 압력강하에 미치는 영향은 미미하게 나타났다.

같은 형상이 반복되기 때문에 부분 반복 모델인 5 sections model과 1 section model을 해석하여 다공성 모델 계수 값을 비교한 결과, 전체 모델의 값 보다 크게 나타났다. 보다 정확한 결과를 얻기 위해 주기조건을 고려하였고, 그 결과 1

section model의 값이 전체 모델의 값과 거의 유사하였다. 결국, 주기조건을 이용하면, 반복되는 형상의 핵연료 집합체의 다공성 모델 계수를 효율적으로 계산이 가능하다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 산업통산자원부(MOTIE)가 주관하는 방사성폐기물기술개발 사업의 지원으로 수행됨 (20147102173B).

### 5. 참고문헌

- [1] Ansys, Ansys 15.0 User guide(2015).
- [2] E. R. Lindgren and S.G. Durbin, "Laminar hydraulic analysis of a commercial pressurized water reactor fuel assembly", NUREG /CR-7144(2013).