

사용후 연료봉의 케니스터내에서의 열전달 메커니즘

김현민, 노희진, 이주찬*

KAIST, 대전시 유성구 대학로 291

*한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로989번길 111

jeannette@kaist.edu

1. 서론

본 연구는 사용후 연료봉에서 열전달 메커니즘을 설명한다. 사용후 연료에는 산화우라늄에서 붕괴열이 발생한다. 이 열은 cladding으로 전달된다. cladding의 재료는 zircaloy이다. 각각의 연료봉에서 발생하는 열전달 메커니즘을 규명하고 나서 하나의 연료봉 다발에 대한 유효열전도도를 계산한다. 유효열전도도는 균질한 물체로 가정했을 경우, 이에 등가적인 고체의 열전도도상수를 의미한다. 일반적으로 온도가 증가하면 열부사량이 증가하므로 유효열전도도는 온도가 증가할수록 증가하는 경향이 있다. 이를 이용하는 이유는 열전달 특성을 쉽게 계산하여 Peak Cladding Temperature를 쉽게 구할 수 있기 때문이다. 이러한 유효열전도도를 21개의 연료봉다발을 밀봉하는 케니스터에 적용하여서 케니스터에 대한 열전달 해석을 하는 데 그 목적이 있다. 본 연구에서는 이를 위하여 우선에 하나의 연료봉 다발을 포함하는 단일 캐스크에 대한 열전달 해석을 수행하였다.

2. 본론

2.1 단일 연료봉에 대한 열전달 해석

산화우라늄과 cladding사이에는 간극이 있다. 이 간극에는 제논, 크립톤, 헬륨이 존재한다. Fig. 1은 cladding과 간극을 모사하는 mesh를 보여준다. 이 간극은 열전달에 대한 저항영역이 된다.

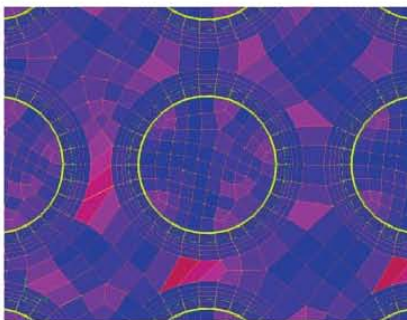


Fig. 1. Mesh of fuel, gap and cladding.

2.2 연료봉에 대한 열전달 결과

전도, 대류, 복사의 복합적인 열전달 해석을 수행하였다. Fig. 2는 3x3 array의 경우의 온도분포이다.

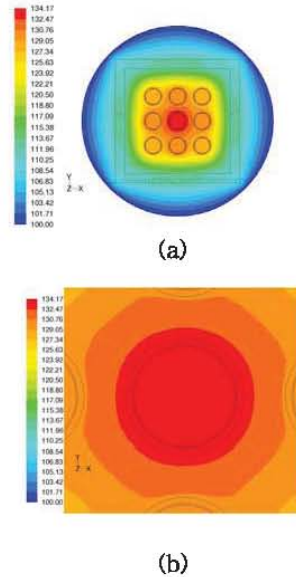


Fig. 2. Temperature on fuel, gap and cladding.

Fig. 3은 UO₂표면, cladding의 내면, cladding의 외면에 대한 온도이다. Fig. 4(a)는 연료봉의 반경 방향으로의 온도이다. 간극영역에서 급격한 온도 변화가 있다. 이것은 열저항을 의미한다. Fig 4(b)는 연료봉의 길이방향으로의 온도분포이다. 양끝단으로 갈수록 온도구배가 증가하는 것은 양끝단에서 열전도가 많이 발생하기 때문이다.

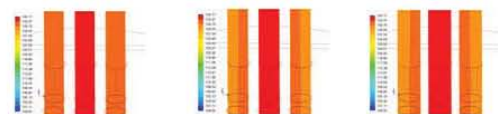


Fig. 3. Temperatures on fuel and cladding.

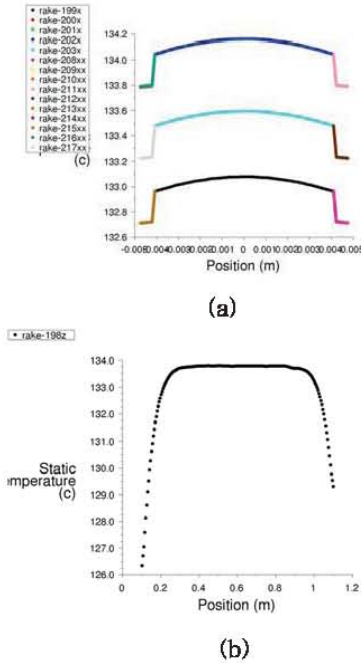


Fig. 4. Temperature profile of one fuel rod (a) in radial (b) in axial direction.

2.3 16x16 단일 캐스크에 대한 열전달 결과

PLUS7 연료봉으로 구성된 단일 캐스크에 대한 열전달 해석을 수행하였다. Fig. 5는 연료봉과 바스켓 및 디스크의 온도분포이다. 1/4에 대한 계산을 수행하였고, 그 중심부에서 온도가 가장 높다는 것을 보여준다. Fig. 6(a)는 cladding 표면에서 온도를 연료봉의 배열에 따라 바깥방향으로의 온도를 보여준다. 바스켓 전체에 대한 온도구배를 나타낸다. 또, 축방향으로 위치가 증가할수록 온도구배가 증가함을 보여준다. Fig. 6(b)는 연료봉의 입구와 출구부분에서 온도의 분포를 보여준다. 입구와 출구의 온도 차이는 많다. 이 온도 차이는 결국 기체의 밀도를 변화시켜 유동의 원인이 된다.

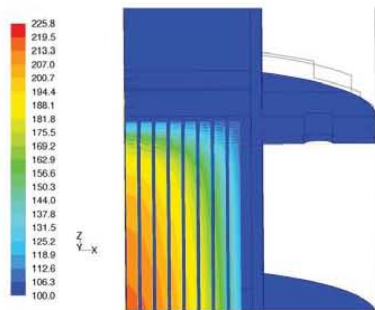


Fig. 5. Temperature in 16x16 fuel assembly.

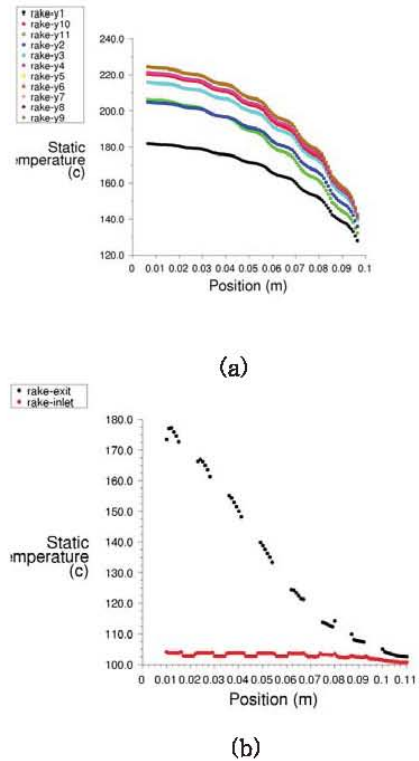


Fig. 6. Temperature profile of a fuel assembly (a) in radial (b) on inlet and exit.

3. 결론

단일 연료봉, 단일 캐스크에 대한 열전달을 수행하여 단일 연료봉다발에 대한 유효열전도도를 구할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이렇게 구한 유효열전도도는 캐니스터의 열전달 계산에서 PCT를 간편하게 구하는데 이용된다.

4. 참고문헌

- [1] Manteufel, R.D. and Todreas, N.E., Analytic formulae for the effective conductivity of a square or hexagonal array of parallel tubes, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 37, pp. 647-657, 1994.
- [2] Manteufel, R.D. and Todreas, N.E., Effective thermal conductivity and edge conductance model for a spent fuel assembly, Nuclear Technology, Vol. 105, pp. 421-440, 1994.