

콘크리트 캐스크에서 방사성 검토를 위한 열유동 해석

김현민, 노희권, 방경석*

KAIST, 대전시 유성구 대학로 291

*한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길111

jeannette@kaist.edu

1. 서론

본 연구는 사용후 핵연료의 건식저장의 한 방법인 콘크리트 캐스크에 대한 열유동해석에 관한 것이다. 사용후 연료봉을 캐니스터에 밀봉하여 콘크리트 캐스크의 내부에 수직으로 설치한다. 캐니스터에서 발생하는 붕괴열은 콘크리트 캐스크의 입구와 출구를 통한 공기의 자연대류에 의해서 제거된다. 본 연구를 통해서 이러한 방식의 안전성을 열유동해석 관점에서 보여주는 것이 그 목적이다. 캐니스터에서 발생하는 붕괴열은 자연대류에 의해서 공기밀도가 감소하여 콘크리트 캐스크 출구로 배출된다. 이러한 열유체역학적인 검증은 CFD를 통해서 수행하였다. 또 1/2 스케일의 실험제작을 위하여 상사해석을 수행하였다. 상사해석에서는 주요변수가 캐니스터 표면의 최고온도이다. 1/2 스케일에서 캐니스터 표면의 최고온도를 동일하게 유지하기 위한 붕괴열의 비율을 계산하는 것이 이 연구의 최종목적이다.

2. 해석방법

2.1 콘크리트 캐스크의 구조

캐니스터는 금속으로 밀봉되어 있다. 21다발의 연료봉이 캐니스터에 저장된다. 각 연료봉 다발은 800 W의 열을 발생시킨다. 1개의 캐니스터에서는 총 16800 W의 열을 발생시킨다. Fig. 1에서와 같이 콘크리트 캐스크에는 상하부 각각에 출입구가 4개씩 있으며 각각의 유동단면적은 동일하다. 이는 유동이 비압축성유체임을 의미한다. 콘크리트 캐스크 하부의 입구영역에는 16개의 support channel이 균일한 각도로 배열되어있다. 이 support channel은 입구에서 유입된 공기가 캐니스터의 밀변으로 균일하게 분포시키는 역할을 한다. 그리고 캐니스터의 옆면에는 같은 간격으로 16개의 vertical channel이 콘크리트 캐스크의 내부 스틸 쉘면에 균일한 간격으로 접촉해서 설치되어있다. vertical channel의 표면과 캐니스터의 표면에는 약간의 간격이 있다.

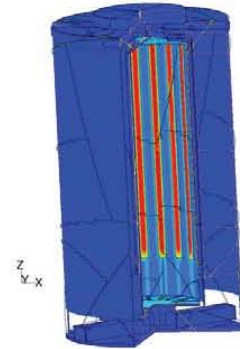


Fig. 1 Concrete cask cross section.

2.2 CFD해석방법

CFD계산은 Fluent 6 및 Fluent 14를 사용하였다. 계산격자를 형성하기 위해서는 Gambit 2.4를 사용하였다. 캐스크의 구조상 1/4을 계산하였다. 격자수는 300만개 이며, 단위 체적의 갯수는 900개이다. 유동특성상 자연대류에 의한 저속이라 비압축성 유체에 적합한 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다. 난류모델은 k-e모델을 사용하였다. 열전달을 위해서는 전도,대류,열복사를 결합하여 계산하였다. 열복사 모델로서는 radiosity method를 이용하는 surface to surface method를 사용하였다. 특히, 3차원의 복잡한 구조에 적합한 hemicube method를 사용하여 view factor 데이터를 계산하였다. 이때 캐니스터 표면의 방사율은 0.8로 하였다.

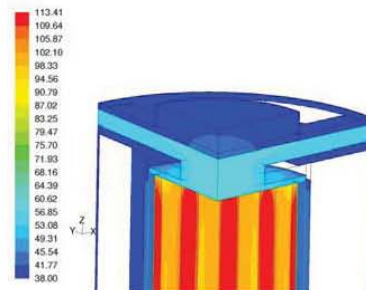


Fig. 2. Temperature on canister and exit flow region.

2.3 온도분포 계산 결과

온도분포는 Fig. 2에서 보여준다. 특이한 사항으로는 캐니스터에 수직으로 설치된 16개의 vertical channel은 비록 캐니스터에 접촉하지 않았지만, 이 간격에서는 유속이 느려서 공기의 유동이 충분한 열을 제거하지 못해서 온도가 상승한다. 하지만, 캐니스터의 표면과 vertical channel의 표면 사이에 열복사에 의한 열교환이 이루어지므로 온도상승을 막을 수 있다. 여기에는 vertical channel의 방사율이 중요하며 0.8을 사용하였다.

2.4 속도분포 계산 결과

입출구에서 속도분포는 Fig. 3에서 보여준다. 입구영역은 비교적 균일한 유동장을 보여준다. 속도분포를 유동단면적에 대하여 적분하면 질량유량을 구할 수 있다. 이 경우 0.25 kg/sec 이다.

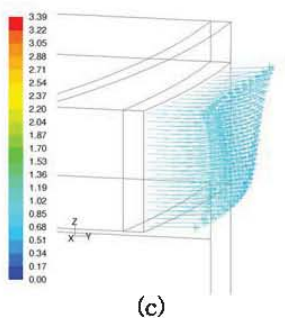
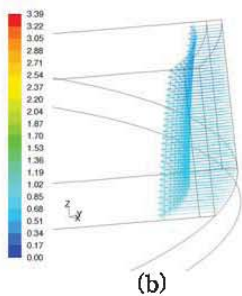
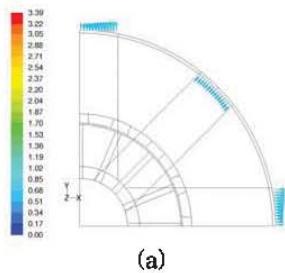


Fig. 3. Velocity vector (a) on inlet and exit (b) on inlet (c) on exit

캐니스터의 밑면에서는 입구에서 유입된 공기가 support channel의 사이를 통해서 Fig. 4(a)와 같이 외부로 흘러서 캐니스터 측면으로 유동한다. 또 캐니스터의 상부면에서는 유동이 안쪽으로 몰려서 Fig.4 (b)와 같이 출구로 유동한다.

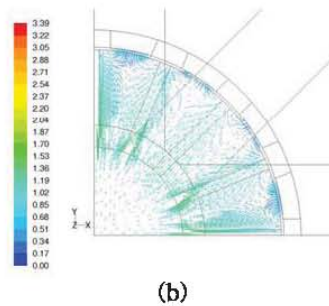
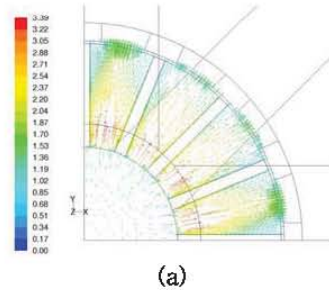


Fig. 4. Velocity vector (a) on canister bottom (b) on canister top.

2.5 높이가 1/2 스케일에 대한 계산 방법론

상사계산을 하기 위해서는 캐니스터의 표면의 최고온도를 기준값으로 정한다. 그 변수는 캐니스터에서 발생하는 붕괴열이 된다.

3. 결론

사용후 연료의 저장시설인 콘크리트 캐스크에 대한 열유동의 CFD해석을 통하여, 콘크리트 캐스크에 대한 성능과 효율을 알 수 있으며, 1/2 스케일에 대한 상사계산도 가능함을 알 수 있다.

4. 참고문헌

- [1] Wataru, M., Takeda, H., Shirai, K., Saegusa, T., Nuclear Engineering and Design, Vol. 238, pp. 1213-1219, 2008
- [2] Takeda, H., Wataru, M., Shirai, K., Saegusa, T., Nuclear Engineering and Design, Vol. 238, pp. 1196-1205, 2008