ACPF 아르곤 셀 Seal Pot 유동해석

이지선*, 박병석, 조일제, 김기호
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*hijisun84@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 차세대관리공정실증시설 (ACPF, Advanced spent fuel Conditioning Process Facility)의 핫셀(hot cell)은 공기 셀(Air cell)로만 구성 되어 있었는데, 개조 공사를 통해 공기 셀의 일부를 격리시켜 아르곤 셀(Argon cell)이 추가 되었다. 아르곤 셀에서 전해환원 공정이 수행될 예정이다. 공기 셀은 -27mmAq ~ -37mmAq 범위로 부압 운전되며, 아르곤 셀 또한 같은 범위로 운전된다. 아르곤 셀의 압력은 PLC 프로그램에 의해서 제어되는데, 만약 제어계통에 문제가 발생할 경우 아르곤 셀은 부압으로 운전되지 않을 수 도 있다. 따라서 아르곤 셀이 항상 부압운전 될 수 있도록 씰 팟(Seal Pot)을 설치하였다. 씰 팟 내부에는 일반적으로 물이나 오일을 하부에 채워 상부의 공기층과 분리시키게 되는데, 이로 인해 두 층 사이에는 기밀이 유지된다. ACPF 아르곤 셀은 산소 및 수분이 거의 없는 상태로 운전되어야하기 때문에 씰 팟 내부에는 물대신 오일이 채워진다. 아르곤 셀에서 씰 팟 내부 오일 층 아래까지 관이 설치되며, 공기 층 상부에서도 공기 셀로 관이 설치된다. 오일 층 아래의 관의 높이가 압력 조절 설정 값이 된다. 즉, 오일 층 아래 관 높이가 25mm 라면 아르곤 셀의 압력이 공기 셀의 압력보다 25mmAq 이상 높게 될 때 아르곤 셀의 아르곤 가스가 공기 셀로 배출되어 아르곤 셀의 압력이 부압을 유지하게 된다. 어떤 원인으로 아르곤 셀의 압력이 급격히 상승하는 비상 상태가 발생하였다고 가정할 때, 씰 팟 설정 압력 이상에서 오일 층에 기포가 발생하게 되는데, 유속이 세게 되면 오일이 따라 올라가 공기 셀로 배출 될 수 도 있다. 따라서, 오일 층 아래에 잠기는 관의 형상에 따른 씰 팟 내부의 유속을 분석하여 최적의 형상을 도출할 필요가 있다. 본 연구에서는 이를 위해 전산유체해석(CFD) 소프트웨어인 SolidWorks의 Flow Simulation 을 이용하여 유동흐름 및 유속을 분석하였으며 아래에 이를 소개한다.

2. 본론

2.1 해석 모델

본 논문에서는 씰 팟의 유동해석을 위해 Fig. 1과 같이 오일에 잠기는 부분에 대해 6가지 형상(모델)을 선정하였다. Case 01은 직관 형상, Case 02는 깔때기 형상, Case 03은 깔때기 표면에 홀을 낸 형상, Case 04는 Case 03 형상에 깔때기 하단을 막아놓은 형상, Case 05는 Case 02 형상에 하단을 막고 하단에 홀을 낸 형상, Case 06은 Case 03과 Case 05를 합친 형상이다.

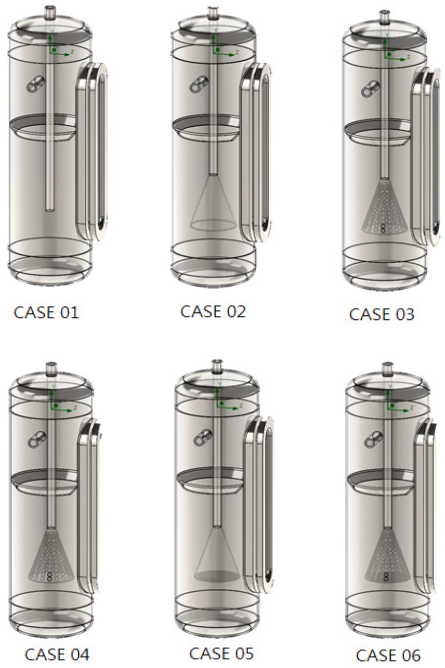


Fig. 1. Analysis Models for Seal Pot.

2.2 해석범위 및 경계 조건

위 해석 모델에 따른 유동 흐름과 유속 분포를 분석하기 위해 Flow Simulation에 다음과 같은 경계 조건을 부여하였다. 유동 형태(Flow Type)로는 층류(Laminar)와 난류(Turbulent), 유동은 내부 유동, Wall은 단열로 하였으며 인입관의 압력은 대기압 대비 -10 mmAq, 배출관의 압력은 대기압 대비 -35 mmAq로 설정하였다. 유동체는 아르곤 가스만으로 하였다. 본 씰 팟은 3상(아르곤, 오일, 공기)으로 구성되기 때문에 3상 유동 해석을 수행하는

것이 바람직하나 Flow Simulation의 한계로 인해 단상(One Phase) 해석만을 수행하였다. 그렇지만, 유동 및 유속의 경향을 분석하는데 있어서는 어느 정도 신뢰할 수 있다고 판단된다.

Fig. 2. Boundary Conditions for Seal Pot.

2.3 해석결과 (유동)

Fig. 3은 6가지 해석 모델에 대한 유동해석 결과로서 유동흐름을 보여준다.

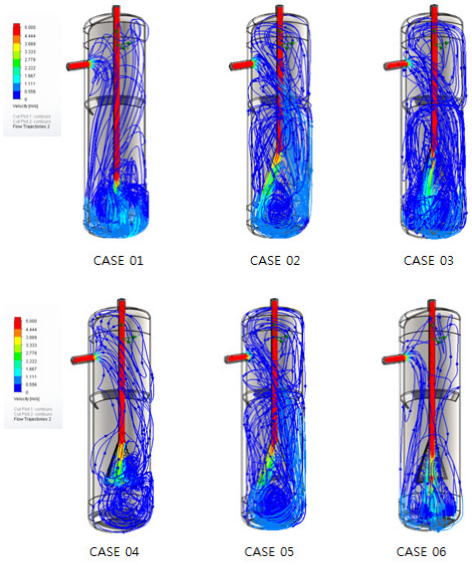
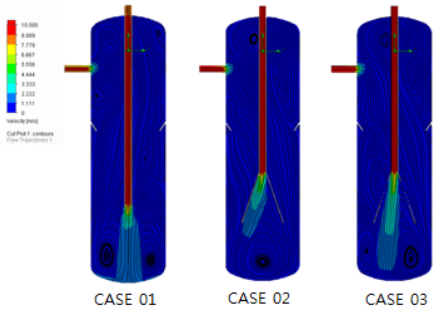


Fig. 3. Flow Trajectories for Seal Pot Models.

2.4 해석결과 (유속분포)

Fig. 4는 6가지 해석 모델에 대한 유동해석 결과로서 유속 분포를 보여준다.



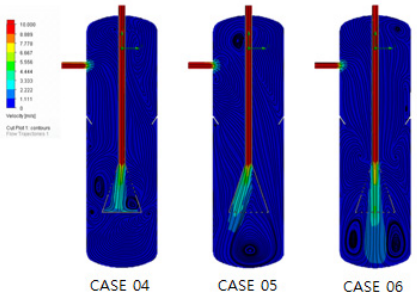


Fig. 4. Velocity Contour for Seal Pot Models.

Fig. 5는 6가지 해석 모델에 대한 평균 유속을 보여주는데, Case 02가 가장 빠른 유속을 Case 04가 가장 느린 유속을 보여 주었다.

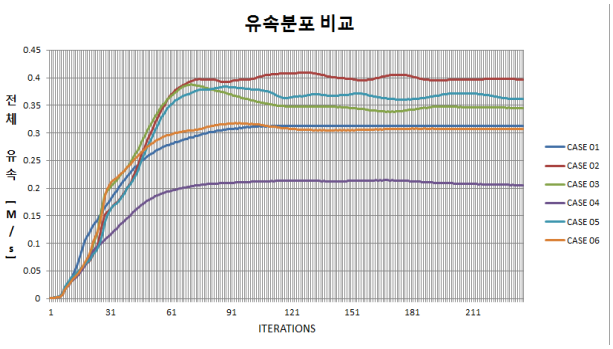


Fig. 5. Average Velocity for Seal Pot Models.

3. 결론

Case 03, 04, 06은 깔때기 형상 표면에 홀이 있기 때문에 오일의 잠기는 높이로 압력 설정 값을 쉽게 알 수 없다. 따라서 해석 결과를 참고만 하고 선정 대상에서는 배제하였으며, Case 01, 02, 05만을 선정 대상 모델로 고려하였다. 해석 결과, 유속이 빠르지 않고, 모델 별로 큰 차이가 없기 때문에 Case 05를 최종 모델로 선정하였다. 이의 모델을 제작하여 ACPF 핫셀에 설치하였다.

4. 감사의 글

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

5. 참고문헌

[1] 박병석, 이종광, 유승남, 김기호, 조일제, "ACPF 핫셀 아르곤 컴파트먼트 시스템 구축", 한국방사성폐기물학회 2014 추계학술발표회 논문요약집, 127-128, 10.15~17, 2014.