원격 유지보수를 고려한 ACPF 아르곤 셀 계통 헤파필터 시스템 설계 및 평가

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

1. 서론

ACPF(Advanced spent fuel Conditioning Process Facility) 아르곤 셀은 기존 공기 셀의 일부를 격리시켜 구축되었다. 아르곤 셀은 아르곤 가스가 순환되는 구조이며, 아르곤 셀의 압력 변동에 따라 아르곤 가스를 보충하기도 하고, 배출하기도 한다. 아르곤 가스 순환 및 배출 시에는 방사성 물질이 배출될 수 있기 때문에 헤파 필터(HEPA Filter)를 거치게 된다. 본 논문은 헤파 필터를 원격으로 용이하게 교체 가능하게 설계한 헤파필터 시스템 및 이의 교체 시험 평가 내용을 기술한다.

2. 본론

2.1 ACPF 아르곤 셀 필터 계통 개요

Fig. 1은 ACPF아르곤 셀 시스템의 개략도를 보여준다. Fig에서 보는 바와 같이 아르곤 셀 좌측에 공기 셀이 있다. 셀 뒤 쪽으로 격리실(Isolation Room)이 있으며, 여기에 정제기(Purifier)가 놓여 있다. 정제기와 아르곤 셀 사이는 순환 배관으로 연결되고, 공기 셀에 헤파 필터가 놓여 있다. 공기 셀과 아르곤 셀 사이의 물질이송 시스템(Material Transfer System, MTS) 진공 시 배출되는 가스는 공기 셀에 놓인 헤파 필터를 거쳐 정제기를 통과한 후 공기 셀로 들어온다. 아르곤 셀과 공기 셀의 차압이 최대 설정압력 보다 높으면 씰팟(Seal Pot)을 통해 아르곤 가스가 공기 셀로 배출된다.

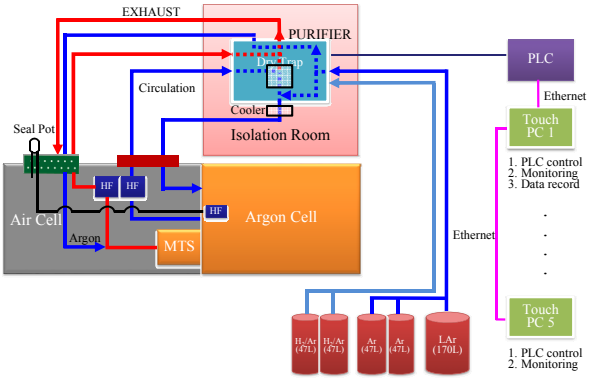


Fig. 1. Layout of Argon Cell System.

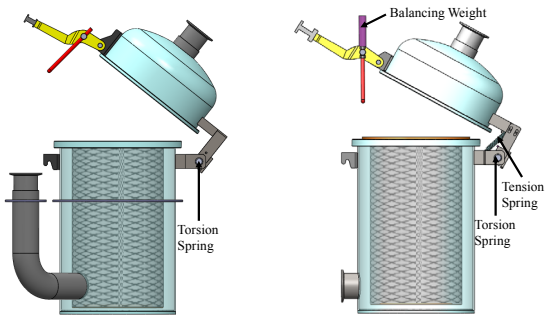
2.2 아르곤 가스 순환 및 물질 이송시스템 HEPA Filter System 설계

아르곤 순환 및 MTS 필터는 한국원자력연구원 조사재 시험시설에 사용하고 있는 중공 원기둥 형태의 필터를 적용하였으며, 필터의 사양은 Table 1과 같다. 필터의 높이는 380 mm, 상부 프레임 외경은 245 mm, 필터부 외경은 216 mm 이며, 0.3 μm의 입자까지 포집 한다.

Table 1. Specification of HEPA Filter

Efficiency	99.97%
Flow rate	300 m^3/h
Pressure drop	25 mmAq (clean)

Fig. 2는 헤파 필터의 교체를 용이하도록 설계한 기밀형 헤파필터 시스템의 3D 모델을 보여준다.



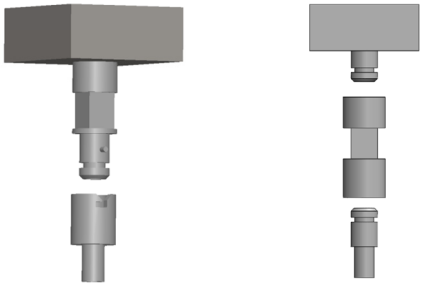
(a) first model (b) second model

Fig. 2. 3D Model of HEPA Filter System.

필터는 케이스 내부에 놓이며, 케이스 뚜껑의 입구 배관에 유연 배관이 연결된다. 뚜껑의 힌지 부분에는 토션 및 인장 스프링을 연결하여 열고 닫을 때 충격이 발생하지 않는 구조로 하였다. 헤파 필터 케이스의 뚜껑을 열고 닫을 때 원격 조작기로 용이하게 작업할 수 있도록 뚜껑과 케이스를 결합시키는 핸들부의 U 자형 고리 상부에 무게 균형추(Balancing Weight)를 매달았다. 케이스와 뚜껑 사이의 기밀은 O-ring 으로 유지하게 하였다.

2.3 Seal Pot HEPA Filter System 설계

Seal pot은 격리실 옆에 설치된다. 씰팟의 입력 배관은 아르곤 셀로 연결되고, 출력 배관은 공기 셀로 연결된다. 아르곤 셀이 공기 셀 압력 보다 높으면(20 mmAq) 씰팟을 통해 아르곤 가스가 공기 셀로 배출된다. 공기 셀로부터 아르곤 셀 측면을 관통하여 돌출된 배관 말단부에 헤파필터 시스템을 설치하여 방사성 물질이 씰팟으로 유입되지 않도록 한다. 필터는 직육면체 형상으로 설계하였으며, 높이는 30 mm, 폭은 각각 70 mm이고, 0.3μm의 입자까지 포집 한다. Fig. 3은 헤파 필터의 교체를 용이하도록 설계한 기밀형 헤파필터 시스템의 3D 모델을 보여준다. 모듈 사이의 기밀은 O-ring으로 유지한다.



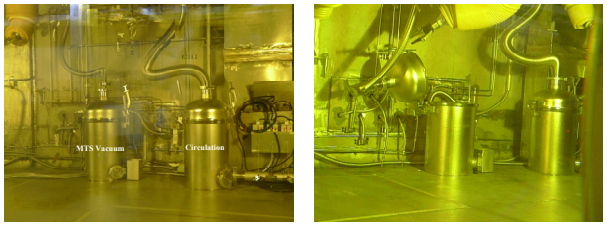
(a) first model (b) second model

Fig. 3. 3D Model of Filter System for Seal Pot.

2.4 HEPA Filter System 유지보수성 평가

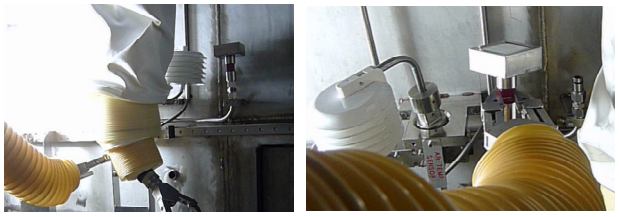
아르곤 가스 순환 및 MTS 헤파 필터를 교체하기 위해서는 헤파필터 시스템 뚜겅을 원격 조작기로 열고 헤파 필터를 꺼낸 후 새로운 것을 삽입 하고 뚜껑을 닫는다. 필터 케이스 상부의 뚜껑에 경첩을 갖는 바 형태의 클램프(clamp)가 부착되어 있는데 클램프 끝단을 위로 향하게 조작하면 바에 부착된 자유롭게 회전하는 U 자형 잠금 고리에 의해서 체결되고, 아래로 향하게 조작하면 열린다. 설계한 첫 번째 모델을 제작하여 Fig. 4에서 보는 바와 같이 시험한 결과, 필터 케이스 상부의 뚜껑을 위로 들어 올리는 경우, U 자형 고리가 자중에 의해 항상 수직으로 되기 때문에 또 하나의 조작기가 필요하게 되었다. 또한, 뚜껑을 -90도 이상으로 세우면 뒤로 넘어지는 충격도 발생하였다. 따라서, U 자형 고리 상부에 무게 균형추를 매달아 원격 조작기 1개로 작업이 가능하도록 하였고, 인장 스프링도 추가하여 충격이 발생하지 않도록 하였다.

씰팟의 필터는 2개의 모듈(필터부, 하부 고정부)과 3개의 모듈(필터부, 조작기 취급부, 하부 고정부)로 제작하여 Fig. 5에서 보는 바와 같이 교체 시험을 수행하였다. 2개의 모듈로 구성된 첫 번째 모델은 필터와 조작기 파지부를 일체로 구성하였으며, 가이드 핀과 회전 체결 기능을 갖도록 하였다. 원격 조작기로 교체 시험 결과, 상부 모듈과 하부 모듈을 가이드 핀을 기준으로 정렬시키는데 다소 불편하였다. 3개의 모듈로 구성된 두 번째 모델은 가이드 핀을 제거하였기 때문에 작업이 좀 더 용이하였다. 또한, 3개의 모듈로 구성된 필터 시스템은 조작기 파지부의 재활용이 가능하기 때문에 폐기물량을 줄이는 효과도 발생 하였다.



(a) Close (b) Open

Fig. 4. HEPA Filter System of Cir. & MTS.



(a) Close (b) Open

Fig. 5. HEPA Filter System of Seal Pot.

3. 결론

소규모 전해환원 공정을 수행하기 위해 ACPF 아르곤 셀 시스템을 구축하였다. 아르곤 순환 및 배출시 방사성 물질이 배출되지 않도록 기밀형 헤파 필터 시스템을 구축하였으며, 필터 교체시험 및 개선을 통해서 원격 조작의 용이성을 확보하였다.

4. 감사의 글

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

5. 참고문헌

[1] 박병석 외, “ACPF 아르곤 셀 시스템 구축”, KAERI/TR-6242/2015, 한국원자력연구원, 2015.