

PRIDE시설 아르곤 정제장치 설계 및 설치 방안

홍동희, 조일제, 유길성, 정원명, 이은표, 문성인, 이원경, 구정희.

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150

ndhhong@kaeri.re.kr

1. 서론

파이로 종합시험시설(PRIDE)의 아르곤셀에서 수행하는 공정은 특성상 불활성(아르곤) 분위기에서 수행하여야 하며, 방사성물질의 외부 확산을 방지하기 위하여 셀은 항상 일정한 부압을 유지하여야 한다.

셀의 일정한 압력유지를 위하여 우선적으로 고려하여야 할 사항은 셀 내부에서 발생하는 열량을 제거하여 부피 팽창에 의한 압력의 증가나 감소를 방지하여야 하며, 아르곤셀에 연결된 차폐창, 전선이나 배관의 연결구 등을 통하여 유입되는 외부공기를 차단하여야 한다. 아르곤셀에 외부공기가 유입 될 경우에 산소량이 증가하여 셀 내부의 아르곤가스 순도가 떨어지게 된다.

아르곤가스의 오염도를 관리하는 방법으로 아르곤가스를 공급라인을 통하여 지속적으로 공급하고 배출구를 통하여 배출하면서 셀 내부의 오염도를 유지할 수도 있다. 이렇게 할 경우 아르곤가스 소모에 따른 비용이 과다 할 뿐만 아니라 방사성 물질이 외부에 누출 되는 문제점이 발생할 수도 있다. 따라서 아르곤가스의 경제적인 활용과 방사성물질의 효율적인 관리 측면에서 고려할 수 있는 방안이 아르곤가스를 순환하고 정제하여 사용하는 방식이다.

본 연구에서는 파이로 종합시험시설의 아르곤가스를 효율적이고 경제적으로 관리하기 위하여, 아르곤가스를 순환하고 정제하여 셀의 오염도를 일정하게 유지하는 정제장치 설치 방안에 대하여 기술 하였다.

2. 본론

2.1 정제장치 설계 요건

정제장치를 설치하는 아르곤셀은 체적이 약 1200 m³(가로 40.3 m, 세로 4.8 m, 높이 6.4 m)이며, 운전시의 셀 내부의 압력은 -10 ~ -200 mmAq, 셀 구조물의 설계압력은 +75 ~ -300 mmAq, 셀 내부 온도는 25 ~ 40 °C이다.

파이로 종합시험시설에서 정제장치의 설계를

위하여 고려한 설계 요건은 다음과 같다.

- 아르곤셀의 공기 유입률(Leak Rate)은 셀 체적의 0.02 %/day 로 한다.
- 아르곤셀에 아르곤을 최초로 Purging 할 때에, 정제장치를 가동하여 2일 이내에 셀 내부 아르곤 가스 순도(Impurity level)가 산소 50 ppm, 수분 농도 50 ppm 이하가 되어야 한다.
- 그러나 최종적으로 아르곤셀 운전은 산소 15 ppm, 수분 40 ppm 이하로 유지 하여야 한다.

2.2 아르곤 정제원리

아르곤가스의 정제 및 순환을 위한 정제장치의 원리는 흡착과 촉매반응을 이용하고 있다.

아르곤셀 내에 존재하는 O₂ 불순물은 Pd-촉매탑 안에서 유량이 조절되어 공급되는 H₂와 반응하여 H₂O로 변환되며 이는 흡착Tower에서 제거된다. Dual로 구성된 흡착Tower는 정제(Purify)와 재생(Regeneration)을 반복하면서 지속적으로 고순도 아르곤가스를 공급한다.

정제된 Ar Gas는 내부로 순환하여 사용되며 반복 및 교체주기는 PLC로 프로그램 되어져 장치 상부에 부착되어 있다.

장치는 정제용 Towers, Pneumatic Valves, Manual Valves, Sensor 와 Control Part로 구성되며 PLC에 의해 전 자동으로 동작한다.

2.3 정제장치 구성

셀에 아르곤을 초기 충전 할 경우에는 잔류 불순물(Air+Moisture)이 200 ppm 정도가 될 때까지 아르곤저장 탱크에서 고순도 아르곤을 지속적으로 공급하고, 셀의 아르곤 오염도가 200 ppm 이하가 되면 정제장치를 가동 한다.

이때 제염계수(Decontamination Factor)가 99 %인 200 m³/h의 정화기를 사용할 경우의 정제 소요시간은 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{0.99 \times Q}{V_R} \times C$$

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{0.99 \times Q}{V_R} \times C$$

$$t = -\frac{V_R}{0.99 \times Q} \times \ln \frac{C}{C_0} \text{-----(1)}$$

여기서, Q = 정화유량

V_R = Ar Cell의 체적(1,200 m³)

C = 정화후의 Ar Cell의 오염도(55 ppm)

C₀ = 초기 충전시 Ar Cell의 오염도(200 ppm)

식 (1)을 이용하여 200 m³/h의 정화기를 사용할 경우 정화 소요 시간을 계산하면 7시간50분이 걸린다.

이때의 정화유량에 따른 배관 크기는

$$Q = A \times V \text{에서 } Q = \frac{\pi \times d^2}{4} \times V \text{-----(2)}$$

에서 유효직경을 계산하면 65 mm(2-1/2 ") 이다. 이러한 결과를 바탕으로 구성된 정제장치 Mechanism은 그림 1과 같으며 이를 바탕으로 제작한 장치는 그림 2와 같다.

제작되는 장치는 캐비넷 형태로 크기는 가로 2 m X 세로 1.2 m X 높이 2.8 m로 원하는 위치에 설치 할 수 있다.

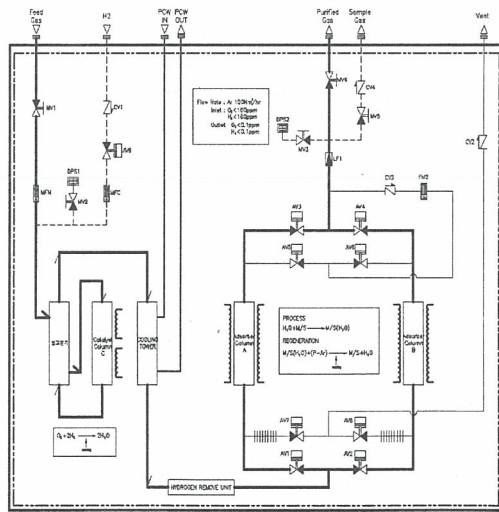


Fig. 1. Purification Mechanism

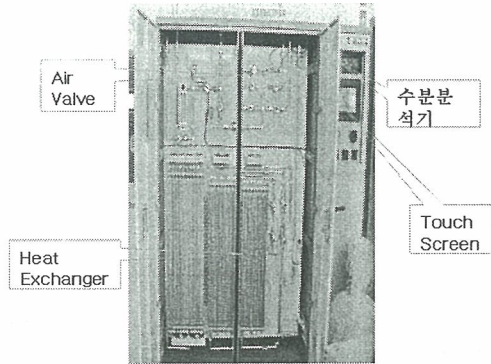


Fig. 2. Argon Purifier

3. 결론

본 과제에서 수행하는 아르곤셀 정제장치는 국내 최초의 불활성분위기 셀에서 오염된 아르곤 가스를 순환하여 재사용하는 장치이다.

아르곤을 정제하여 사용할 경우 아르곤가스 소모에 따른 비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 아르곤의 방출에 따른 방사성 물질의 외부 누출을 사전에 예방 할 수 있는 장점이 있다.

향후 파이로 종합시험시설 시설을 구축하고 정제장치 및 아르곤시스템에 관련되는 장치를 설치하여 시운전을 완료 한 후에, 운영에 관련되는 추가적인 연구를 수행하여 많은 데이터가 확보되면 국내의 불활성 분위기에서 셀에서 수행하는 공정 시스템에 매우 유용하게 활용될 것으로 예상된다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 원자력연구개발 중.장기 기금으로 수행되었음

5. 참고문헌

[1] ANL-7959 Hot Fuel Examination Facility /North Facility Safety Report, February 1975, Argonne National Laboratory pp 42-53
 [2] The EBR-II Fuel Cycle Story, Charles E. Stevenson, American Nuclear Society pp16-25