

ACPF Argon Cell 구축을 위한 검증목업 시스템 설계

박병석, 이종광, 유승남, 김기호, 조일제

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

nbspark@kaeri.re.kr

1. 서론

ACPF (Advanced spent fuel Conditioning Process Facility)는 사용후핵연료를 고온 용융염에서 금속전환하여 사용후핵연료의 부피, 발열량 및 방사선 세기를 1/4 이하로 감축할 수 있는 기술을 실증하기 위한 시설이다. ACPF는 2005년에 공기 분위기 핫셀로 구축되었으며, 천연 우라늄을 사용한 inactive test가 수행되었다. 시험 결과, 효율적인 전해환원 공정의 실증을 위해서는 전해환원 공정이 놓이는 구역을 공기 분위기가 아닌 불활성 분위기 환경으로 조성하여야 할 필요성이 대두되어 현재 ACPF의 개조 설계가 진행 중에 있다. 본 논문에서는 ACPF 아르곤 셀을 구축하는데 있어서 설계 및 제작 오차를 줄이기 위한 성능 검증용 목업(mock-up) 시스템의 설계에 대해 소개한다.

2. 본론

2.1 ACPF 아르곤 셀 구축 개요

그림 1은 기존 ACPF의 단면도를 보여주며, 그림 2는 개조되는 ACPF의 단면도를 보여준다. 기존 ACPF는 1개의 차폐된 윈도우(window)를 갖는 유지보수 셀(Maintenance Cell)과 4개의 차폐된 윈도우를 갖는 공정 셀(Process Cell) 및 격리실(Isolation Room)로 구성되어 있다. 각각의 윈도우 좌/우에는 1조씩의 원격 조작기(Master-Slave Manipulator, MSM)가 벽을 관통하여 설치되어 있다. 셀에는 1톤 취급 용량의 천정 크레인(overhead crane)과 이의 우편에 유지보수 셀을 격리시키는 게이트 크레인(gate crane)이 같은 레일 상에 있다. 개조 되는 ACPF에는 공정 셀 우측의 첫 번째 윈도우와 두 번째 윈도우 사이를 경계로 하여 첫 번째 윈도우 영역에 아르곤 셀이 구축된다. 아르곤 셀의 전면과 후면은 기존 셀의 SUS 라이너(Liner)를 활용하며, 좌측과 상부는 새롭게 SUS로 막는다. 셀 내 크레인 레일 지지 돌출부 하부 까지만 막아 게이트 크레인을 아르곤

셀 상부로 보낼 수 있게 하여 천정 크레인의 작업 범위를 최대로 하였다. 아르곤 정제(purification) 시스템은 격리실에 놓이며, 아르곤 가스 및 혼합 가스 공급 탱크는 운전지역에 놓인다. 아르곤 셀 제어 시스템은 2중화 하여 격리실 밖 격리실 운전지역 및 셀 운전지역에 놓인다. 아르곤 셀은 다음과 같은 조건으로 제어된다.

- 산소(O₂) 및 수분(H₂O) : 1 ppm 이하
- 내부 온도 : 40℃ 이하
- Air cell 과의 압력차 : -5 ~ +5 mmAq

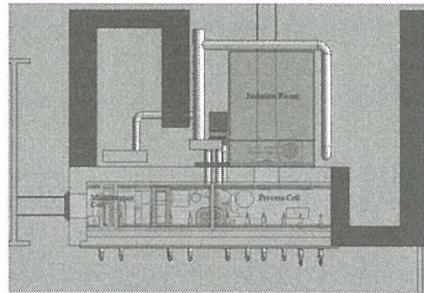


Fig. 1. Cross section view of the ACPF.

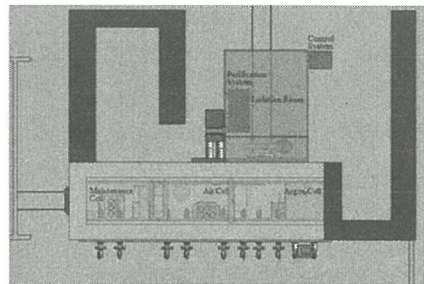


Fig. 2. Cross section view of the ACPF remodeling.

2.2 검증목업 시스템 개요

그림 3에서 보는 바와 같이 사용후핵연료 우라늄산화물의 소규모(1kg/batch) 금속전환을 위한 전해환원 반응의 적합한 분위기 조성 및 원격작업을 위해 1개의 투시 윈도우 및 2조의 MSM을 구비한 가스 기밀형 argon cell, 2조의 MSM을 구비한 개방된 air cell, 아르곤 정제 시스템(purification system) 및 제어 시스템(control

system)으로 구성된다. 개방된 air cell을 제외하고는 개조된 ACPF와 동일한 환경으로서 argon purification system, argon cell control system, 셀 장치 (ante-chamber, crane, utility 등), 셀 장치를 이용한 물질 취급 및 셀간 물질 이송, 실증용 전해환원장치의 원격 취급 및 유지보수 성능 검증 등을 수행할 예정이다.

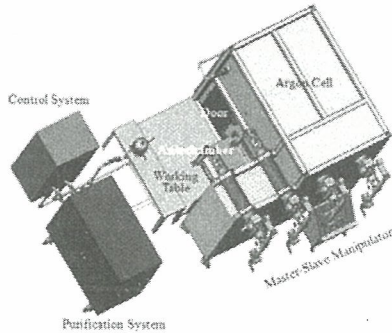


Fig. 3. Bird's eye view of the mock-up system.

2.3 검증목업 시스템 설계

2.3.1 아르곤 셀 (Argon Cell)

아르곤 셀 내부의 크기는 L1,800 x D2,000 x H2,700(working table 면 기준)이며, 셀 내부 working table의 높이는 바닥에서 400 mm이다. Working table 위에는 기밀이 유지되는 electrical feedthrough 설치되고, 내부 전면 벽 좌측에는 원격 유지보수가 가능한 400W 전등이 설치된다. 상부에는 원격 유지보수가 가능한 150 kgf 취급용량의 천정이동 크레인이 설치되고, 셀 전면에는 polycarbonate 재질의 투시창이 설치된다. 셀 밖 전면에는 polycarbonate 재질의 투시창, MSM wall tube 및 MSM 2조를 장착한 MSM 구조물이 일체형으로 부착되며, wall tube는 아르곤 셀로부터 분리 접속이 가능하도록 하였다. 아르곤 셀 내부 working table의 재질은 6mm 두께의 SUS이며, 나머지는 3 mm 두께의 SUS 이다.

2.3.2 공기 셀 (Air Cell)

Air cell은 크게 2개의 working table과 MSM 이 장착된 MSM 구조물로 구성된다(분리형). 공기 셀은 개방된 형태이며, working table은 2단으로서 아르곤 셀과 이웃한 1단 부는 아르곤 셀의 working table 높이(400 mm)와 동일하며, 2단 부는 900 mm 의 높이를 갖는다.

2.3.3 정제 시스템 (Purification System)

아르곤 셀 내 산소 및 수분 농도를 1 ppm 이하로 제거하기 위한 장치이다. 정제 시스템은 송풍기 (blower)를 사용하여 강제적으로 아르곤 가스를 순환시키며, dry trap에서 CuO가 산소를 molecular sieve 가 수분을 제거한다. Dry trap 2개를 설치하여 dry trap 재생(regeneration) 시에도 계속해서 정제가 이루어질 수 있도록 하였다. 재생 시에는 oil-free 진공 펌프가 사용되며, 혼합 가스인 H₂Ar 가 사용된다.

2.3.4 Ante-chamber System

공기 셀과 아르곤 셀 간에 L600xD600xH600 크기의 물품 까지도 반입/반출이 가능한 직육면체 형태의 ante-chamber를 구비하였다. 최대 이송 증량물은 60kgf 이며, 모든 조작은 MSM을 이용하여 원격으로 수행된다. 아르곤 셀 내로의 물품 반입시에는 진공 펌프가 사용된다.

2.3.5 제어 시스템 (Control System)

아르곤 셀의 정제/재생/온도/압력 제어, 모니터링 및 데이터 저장을 위해 LG PLC 및 Pro-face 의 touch-screen PC를 사용하였다.

3. 결론

ACPF 아르곤 셀을 구축하는데 있어서 설계 및 제작 오차를 줄이기 위해 목업(Mock-up) 시스템을 설계하였다. 12월에 목업 제작을 완료하여 정제 시스템, 제어 시스템, 셀 장치, 셀간 물질 이송 시스템 및 실증용 전해환원장치의 원격 취급/유지보수 등에 대한 성능 검증을 수행할 예정이다. 성능 검증 후 최종적인 결과물은 2013년 6월에 완공 예정인 ACPF Argon Cell 의 구축 자료로 직접 활용할 예정이다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

5. 참고문헌

- [1] AGS-G001 : Guideline for Gloveboxes, Third Edition, American Glovebox Society, 2007.