

ACPF 핫셀 개조 및 원격시스템 성능시험

이종광*, 박병석, 유승남, 김성현, 정운목, 김기호, 조일제
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*leejk@kaeri.re.kr

1. 서론

소규모 (1 kg/batch) 사용후핵연료 우라늄산화물을 고온 용융염상에서 전기화학적 방법을 통해 금속 형태의 원료로 전환하는 전해환원공정을 실증하기 위해, 공기분위기 ACPF 핫셀을 개조하는 작업이 수행되었다[1]. 개선 핵심은 공기셀 내부에 불활 성분위기의 소형 아르곤 셀을 설치하는 것이었으며, 이를 위해 아르곤 공급시스템, 정제시스템, 냉각시스템 및 이의 제어시스템을 개발하였다. 또한 크레인, 트랜스퍼락, 라이트 등의 셀 장치를 원격운전이 용이하면서 유지보수가 가능하도록 개발하였고, 작업성 향상을 위해 원격조작기의 교체 등 전반적인 핫셀 개보수작업을 수행하였다. 본 논문에서는 ACPF 핫셀 개조 및 원격시스템에 대한 성능시험 현황을 정리하였다.

2. ACPF 핫셀 개조 및 원격시스템 성능시험

2.1 아르곤셀 구축 및 공기셀 개선

ACPF는 실험실 규모 파이로 기술을 실증하기 위해 2005년도 구축된 공기분위기 핫셀 시설로, 슬라이딩 도어 및 게이트 크레인으로 분리되는 공정셀과 유지보수셀로 구성된다. 현재까지 모의핵연료와 감손우라늄을 사용한 몇 차례의 배치 운전을 수행하였다. 비록 650°C의 고온 용융염에서 운전되는 공정장치에는 아르곤 퍼징 시스템을 갖추고 있었지만, 이들이 공기셀에 설치되어 있었기 때문에 산소와 수분에 의한 심각한 부식이 문제가 되었다.

2012년에 공정 효율을 높이고 부식을 방지하기 위해 공기셀 내부에 아르곤셀을 신축하여 복합셀로 개조하는 작업이 시작되었다. 이동 설치가 불가능한 차폐 리어 도어 옆에 내부 크기가 1.7 x 2 x 2.7 m인 아르곤셀을 구축하였다. 아르곤셀 전면에는 납 차폐창 하나가 설치되어 있고, 창 좌우에 설치된 원격조작기는 작업성과 유지보수성 향상을 위해 분리형으로 교체하였다.

Fig. 1은 개조된 공기셀과 신축된 아르곤 셀 내부 모습을 나타낸다. 기존 건축물을 활용하여 기밀의 셀을 구성하는 것이었기 때문에 최대한 오차를 줄이기

위해 설계단계에서 레이저 측정에 기반한 역설계 기법을 적용하였다. 또한 3D 가상 목업을 구축하고 이곳에 개조 장치와 개발 장치를 임포트하여 장치 배치 및 설계 검증 작업을 수행하였다. 동시에 실규모 검증목업을 구축하여 아르곤 셀 계통, 공정장치, 원격장치 등의 성능과 원격작업성을 핫셀 설치 이전에 충분히 검증하였다.

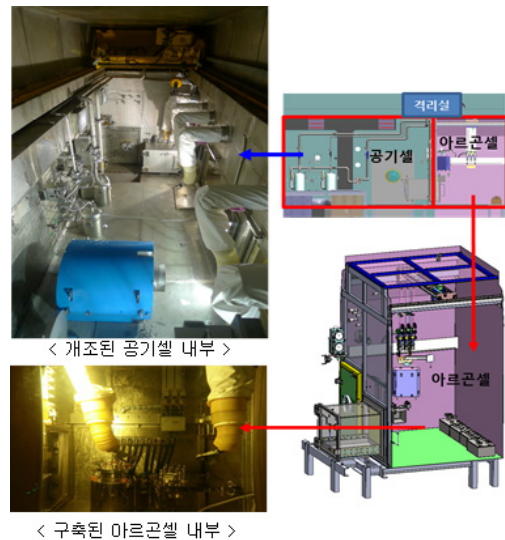


Fig. 1. The renovated ACPF hot cell. The argon cell was constructed inside the atmospheric hot cell.

2.2 원격시스템 개발 및 성능 개선

개조된 핫셀에 적합한 시스템의 수요가 발생되어, 아르곤 셀 원격운전 크레인, 아르곤 셀과 공기셀 간 양방향 입출력을 위한 트랜스퍼락, 원격 취급이 가능한 비상 도어 등의 셀 장치를 새롭게 개발하였다. 또한 셀 라이트, 내방사선 카메라, 온도센서 등의 원격 유지보수성을 개선하였으며, 원격조작기의 작업성과 인셀 크레인의 성능을 개선하였다.

아르곤 셀 내부에서 공정 운전과 유지보수 모듈의 취급을 위한 크레인이 필수적이었지만, 협소한 설치 공간과 유지보수 수단의 부재라는 심각한 제약조건 하에서 운용 가능한 상업용 크레인은 존재하지 않았다. 이에 따라 Fig. 2와 같이 크레인 시스템의 기구부와 구동부를 분리하고 동력전달 샤프트를 통해 원격거리에서 연결하는 새로운 메커니즘을 고안하여 크레인 개발에 적용하였다. 아르곤 셀 전면 운전구역

에는 작업성 향상을 위해 터치 팬던트와 카메라 모니터를 설치하여 작업창과 함께 카메라 영상 정보도 같이 활용할 수 있도록 하였다.

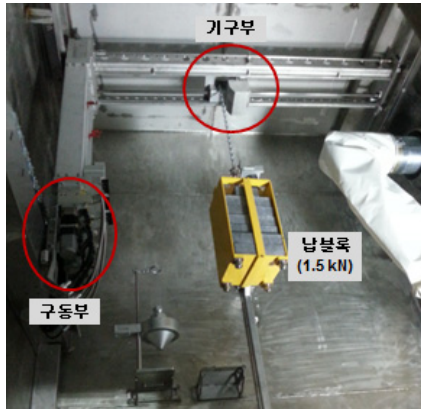


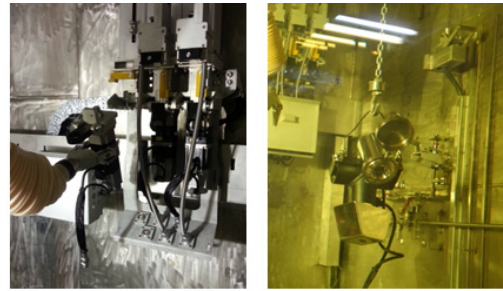
Fig. 2. Crane system installed in the argon cell of the ACPF.

2.3 원격운전 및 유지보수성 평가

핫셀 시설, 계통 및 장치들에 대한 원격취급성 평가시험을 수행하였다. 아르곤 셀의 경우 원격운전 크레인의 구동부와 센서부 모듈, 온도센서, 셀라이트의 전구 모듈과 커넥터, 슬레이브 조작기 및 그리퍼와 죠, 내방사선 카메라 등에 대해 고장을 가정하여 원격으로 교체하는 시험을 성공적으로 수행하였다. 또한 트랜스퍼락 물질이송, 비상도어 활용 반출입, 크레인 원격운전, 카메라 및 차폐창 닦기 등의 작업을 원격으로 수행하고 관련절차들을 정리하여 향후 운영시 지침으로 활용 가능하도록 하였다. 공기셀의 경우 슬레이브 암, 내방사선 카메라, 각종 필터류, 셀 라이트, 커넥터 등 유틸리티, 온도센서, 물질이송장치, 빠디락 도어 등에 대한 원격운전과 유지보수 성능 시험을 수행하였다.

이러한 원격운전 및 유지보수성 평가시험을 통해 다양한 성능 개선 요건들이 도출되었고, 성능을 개선하고 이를 실증하는 과정에서 귀중한 원격 운전 및 유지보수 경험을 확보하였다. 원격작업의 성공률을 높이기 위한 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 정렬 표시 적절성
- 가이드 구조의 적절성
- 취급 장치를 고려한 모듈 설계
- 원격조작기의 바람직한 힘 전달 방향
- 전체 작업을 고려한 바람직한 MSM 초기 자세
- 카메라 활용을 통한 작업성 향상



(a) crane module (b) camera



(c) slave manipulator: separation and introduction into the Ar cell

Fig. 3. Remote maintenance tests for cell equipment.

3. 결론

본 논문에서는 사용후핵연료를 이용한 실험실 규모 전해환원공정 실증에 적합하도록 핫셀을 개조하고 다양한 핫셀 장치들에 대한 성능시험을 수행한 내용을 다루었다. 현재 아르곤 셀은 공정장치, 셀 장치 및 유틸리티 전반에 대한 원격운전 및 유지보수 성능시험을 마치고 상시 가동 상태로 진입하였고, 염용용 및 전해환원 기초 시험들이 진행되고 있다. 금년도에는 핫셀 개조와 관련된 원격운전 및 유지보수 절차를 확립하여 사용후핵연료를 이용한 전해환원공정 운전을 위한 제반 준비를 완료할 계획이다.

4. 감사의 글

이 논문은 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로부터 지원받았습니다.

5. 참고문헌

[1] S.N. Yu, J.K. Lee, B.S. Park, I.J. Cho, and K. Kim, "Hot Cell Renovation in the Spent Fuel Conditioning Process Facility at the Korea Atomic Energy Research Institute", Nuclear Engineering and Technology, 44, 776-790 (2015).