파이로 공정장치의 원격취급성 분석 및 검증시험

김성현, 유승남, 김기호, 조일제
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
hyun@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성 물질을 취급하는 원자력 시설에서는 작업자의 방사선 피폭을 방지하기 위해서, 작업자와 격리된 셀에 방사성 물질을 취급하도록 되어 있다. 셀 안에 설치된 모든 공정장치들은 원격으로 운전 및 유지보수 작업을 수행한다. 기계식 원격조작기, BDSM(Bridge-transported Dual arm Servo Manipulator), 크레인 등과 같은 원격 취급 장비를 이용하여 모든 작업은 원격으로 수행한다.

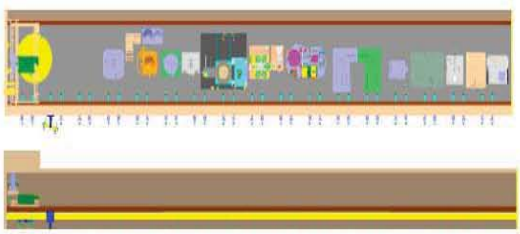
셀 내에 설치되는 모든 공정장치들은 원격작업이 이루어 질 수 있도록 설계/제작되어야 한다. 설계단계에서부터 디지털 목업을 이용한 원격 접근성 검증을 장치 제작 전에 수행함으로써 제작 후에 발생할 수 있는 문제점을 개선할 수 있다. 개선된 장치들은 검증목업에 설치되고, 모든 작업에 대한 절차대로 검증작업을 수행하여 수정사항을 개선하고 시설 내에 장치들이 설치되는 절차로 수행된다.

본 연구에서는 파이로 공정에서의 전해환원공정을 대상으로 가상 목업에 장치들을 배치하고, 장치를 제작하기 전에 조작이 필요한 지점에 대한 원격 취급 장비의 원격 접근성 분석하고 공정장치의 배치 위치를 선정하였다. 다음 단계로 원격취급성 검증목업에서 제작된 공정장치를 설치하고, 실제 운전 및 유지보수 절차와 동일하게 시험을 수행하였다. 공학규모 파이로 공정장치의 원격 운전성과 유지보수성을 분석 및 평가를 통하여 공정장치의 배치 및 공정장치에 대한 원격작업의 가능성을 점검하고자 하였다.

2. 본론

2.1 PRIDE 시설

파이로 공정기술을 구현하기 위해 공학규모의 파이로 공정을 일괄공정으로 실험하기 위한 파이로 종합시험시설(PRIDE : PyRoprocess Integrated DEmonstration Facility)을 건설 중에 있다. 파이로 공정은 고온에서 전기화학적인 방법으로 사용후 핵연료 속의 각종 핵물질을 분리 및 정제하는 기술이다. 이 공정은 전해환원, 전해정련, 전해제련 및 염 폐기물의 주요 공정으로 구성되어 있다. 아르곤 분위기의 파이로 종합시험시설 안에는 4개의 공정 중에서 14종의 공정장치가 설치될 예정이다. 파이로 종합시험시설은 파이로 프로세스의 일관공정을 실증위한 단일 셀로 구성된 아르곤 분위기의 목업 시설이다. 파이로 종합시험시설은 크레인, 17조의 기계식 원격조작기 및 천정이동형 양팔형 서보조작기가 설치될 예정이다. 그림 1은 파이로 종합시험시설에 설치될 공정장치 및 원격 취급 장비가 배치된 디지털 목업의 도면이다.



2.2 PRIDE 디지털 목업에서의 원격접근성 분석

2.2.1 디지털 목업 구축

디지털 목업에 사용된 공정장치나 원격 취급 장비는 3차원 CAD의 형상 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 이용한 데이터 구조를 갖는 모델을 생성하였다. 이 형상데이터는 실측 크기의 모델이며, 구성된 모델들은 회전과 이동에 관한 기구학적인 특성 및 동작의 범위라는 속성을 부여하여 동작하는 장치의 모델을 완성하였다. 완성된 모델은 PRIDE 가상 시뮬레이터를 사용하여 원격 접근성 분석을 수행한다.

2.2.2 원격 취급 장비의 작업영역 및 배치 분석

파이로 공정에 사용될 기계식 원격조작기는 셀의 크기와 설치될 공정장치가 작업영역 안에 있는가가 기계식 원격조작기의 규격을 결정하는 주요 요건이 된다. 작업높이(operating height)에 따라 셀 내의 작업가능 요건을 만족하기 때문에 셀 바닥까지 도달하는 조건으로 기계식 원격조작기

를 선정하였다. 기계식 원격조작기의 작업영역에 따라 설치될 공정장치의 높이 및 설치 위치가 선택될 수 있다. 가상 환경의 목업에 기계식 원격조작기의 작업영역을 표시하고 가상의 공정장치를 기계식 원격조작기의 작업영역 안으로 위치할 수 있도록 위치를 조정하여 배치하였다. 전해환원공정에 사용되는 장치들의 높이는 1.8 m 이상이기 때문에 장치를 셀 앞쪽에서 1.5 m이 떨어진 위치에 설치하였다.

2.2.3 공정장치의 원격 접근성 분석

PRIDE 목업에서 수행되는 첫 번째 공정은 전해환원공정이다. 전해환원공정에 사용되는 장치는 전해환원장치와 cathode processor 장치이다. 원격 접근성에 대한 분석은 장치의 운전 절차 및 유지보수 절차에 대한 시나리오에 따라 접근 지점을 선정하였다. 원격 취급장비의 원격접근성은 가상의 원격 조작기를 동작시켜 접근 지점에 대한 작업영역, 접근경로를 통해 접근성 및 충돌 가능성을 분석하였다. 또한, 작업자의 시야로 작업지점에 원격 취급장비로 접근이 가능한지를 분석하였다. 원격 취급장비로 작업지점에 접근이 불가능한 지점이 발생될 경우 장치의 접근성 개선을 위한 방안을 도출하였고 개선된 장치설계에 반영토록 하였다.

2.3. 원격취급성 검증목업의 검증시험

2.3.1 원격취급성 검증목업 구축

공학규모 파이로 공정장치를 PRIDE 시설에 설치하기 전에 공정장치의 원격 취급성을 미리 시험, 평가 및 검증함으로써 설계 및 제작 완성도를 높이기 위한 공정장치 원격 취급성 검증목업을 그림 3과 같이 구축하였다. 단위 공정장치에 대한 검증 평가가 가능하도록 실제 PRIDE 시설의 길이인 40 m를 1/8로 축소하고, 나머지 모든 제원은 PRIDE의 실측 규모와 동일하도록 하였다. PRIDE 시설에 설치될 동일 원격 취급 시스템인 기계식 원격 조작기(2식), 개량 천정이동 양팔 서보조작기(1식), 크레인(2 톤), 시각 창[1.0m x 0.8m (LxH)]외에 목업의 편리성을 위해 모니터링 창[1식, 3.4m x 0.8m (LxH)]을 시각 창과 90도 방향에 설치하였다.

2.3.2 원격취급성 시험

검증 목업에 장치를 설치하고 원격 운전성과 유지보수성 측면에서 공정장치 제작품의 원격성을 시험 평가를 수행하였다. 시험평가 대상 공정 및 세부 공정장치의 제작품은 전해환원공정의 전해환원장치, 회전장치, cathode process 장치를 대상으로 원격 운전/유지보수성 시험 평가를 수행하였다. 공정의 운전 및 유지보수 절차서에 따라 실제와 동일한 작업을 수행하였다. 작업자의 작업성 개선을 포함한 평가된 원격취급성 시험 결과는 장치가 파이로 종합시험시설에 설치되기 전에 장치 수정에 활용될 예정이다.

Fig. 2. Remote Handling Evaluation Mockup.

3. 결론

파이로 종합시험시설에 사용될 장치들을 3차원 모델링을 하여 가상공간의 PRIDE 디지털 목업을 구축하였다. 가상 원격 취급장비를 이용하여 공정장치들의 원격 작업지점에 대한 원격 접근성을 검토하여 개선점을 도출하였다. 개선점은 설계에 반영되고 장치 목업이 제작되었다. 원격 취급 검증목업에 장치를 설치하고 실제 운전 및 유지보수 작업을 수행하였고, 검증 목업에서 시험 결과는 개선된 공정장치의 제작에 반영토록 하였다. 파이로 종합시험시설에 공정장치는 설치되고 원활한 원격 운전 및 유지보수 작업이 수행될 것으로 기대된다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.