

파이로 단위 공정장치의 원격성 검증

김성현, 유승남, 김기호, 조일제

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

hyun@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성 물질을 취급하는 원자력 시설은 방사선에 의해 작업자가 피폭되지 않도록, 격리된 시설 안에서 방사성 물질을 취급할 수 있게 설계하여 건설한다. 한국원자력연구원에서는 고온에서 전기화학적인 방법으로 사용후핵연료 속의 각종 핵물질을 분리 및 정제하는 파이로 프로세스 기술을 개발하고 있으며, 이 기술을 구현하기 위해 공학 규모로 일괄공정을 실행하기 위한 파이로 종합시험시설(PRIDE : PyRoprocess Integrated DEMonstration Facility)을 2012년에 건설하였다. 파이로 프로세스는 고온에서 전기화학적인 방법으로 사용후핵연료 속의 각종 핵물질을 분리 및 정제하는 기술이다. 이 공정은 전해환원, 전해정련, 전해제련 및 염 폐기물의 주요 공정으로 구성되어 있다. 파이로 종합시험시설에서 현재 개발된 공정을 구현하기 위해 사용후핵연료 대신에 방사성 물질인 UO_2 를 전처리하여 U_3O_8 을 사용하는 원자력시설이며, 작업자와 공정장치간에 격리된 시설이다. 따라서, 모든 작업은 원격으로 이루어진다.

파이로 공정의 장치들은 원격으로 작업이 이루어지기 때문에 파이로 종합시험시설에서의 원격취급 장비로서 기계식 원격조작기, BDSM (Bridge-transported Dual arm Servo Manipulator) 및 크레인 등을 사용한다. 셀 내에 설치되는 모든 공정장치들은 원격취급 장비를 이용하여 원격작업이 이루어짐으로, 장치들은 원격취급이 용이하도록 설계단계에서부터 원격개념을 적용하여 설계/제작되어야 한다. 설계단계에서 원격개념을 적용한 장치들을 제작되어도 실제 장치가 설치된 위치와 원격 취급 장비들의 위치 및 적용에 따라서 장치들을 원격으로 운전 및 유지보수를 수행할 수 없다.

본 연구에서는 설계단계에서 공정장치의 원격 접근성 검증을 수행하고 제작품의 원격 취급성 검증의 절차로 공정장치의 원격성 검증을 수행하였다. 설계 단계에서의 검증 작업은 3차원으로 설계된 공정장치를 가상 목업에 장치들을 배치하고, 장치의 조작이 필요한 지점에 대한 원격 취급 장

비의 원격 접근성 분석하였다. 또한 공정장치의 위치에 따라 원격 취급 장비의 접근성이 달라짐에 따라 최대한의 접근성을 갖는 위치를 선정하였다. 다음 단계로 실제 장치의 원격 취급성 검증을 위해 검증목업을 구축하였다. 제작된 공정장치를 검증목업에 설치하고, 실제 운전 및 유지보수 절차를 수립하여 검증시험을 수행하였다. 상기 절차에 따른 원격성 검증작업을 통한 분석 및 평가 작업으로 확인된 사항을 공정장치에 수정/제작할 수 있는 자료를 생산하였다. 파이로 종합시험시설에 설치되는 공정장치가 원격 운전 및 유지보수가 원활한 작업을 수행할 수 있도록, 분석 및 평가 자료는 장치의 수정/제작에 활용하고자 하였다.

2. 본론

2.1 PRIDE 시설

파이로 종합시험시설은 파이로 프로세스의 일괄공정을 실증위한 단일 셀로 구성된 아르곤 분위기의 목업시설이다. 파이로 공정은 고온에서 전기화학적인 방법으로 사용후핵연료 속의 각종 핵물질을 분리 및 정제하는 기술로서 전해환원, 전해정련, 전해제련 및 염 폐기물의 주요 공정으로 구성되어 있다. 아르곤 분위기의 파이로 종합시험시설 안에는 4개의 공정 중에서 14종의 주요 공정장치가 설치되었다. 파이로 종합시험시설에 설치될 원격 급장비들은 크레인, 17조의 기계식 원격조작기 및 천정이동형 양팔형 서보조작기가 설치되었다.

2.2 디지털 목업을 이용한 원격접근성 분석

2.2.1 디지털 목업 구축

디지털 목업에 사용되는 공정장치나 원격 취급 장비들은 솔리드웍스 3차원 CAD 틀을 이용하여 모델을 생성하였다. 이 모델을 이용한 원격접근성 분석을 위하여 프라이드 가상 시뮬레이터를 그림 1과 같이 구축하였고, 모델데이터는 시뮬레이터에 사용하기 위한 형상 데이터로 전환하여 시뮬레이

터의 입력 데이터로 사용하였다. 모든 장치들은 실측 크기의 모델이며, 장치 중에 회전과 이동에 관한 기구학적인 특성 및 동작이 있는 모델은 속성을 부여하여 동작할 수 있도록 구성하였다. 프라이드 가상 시뮬레이터는 원격 접근성을 분석하기 위해 외부 입력장치(haptic, joystick, 3D mouse)를 이용하여 원격 취급 장비의 동작을 시뮬레이션으로 구현하였다.

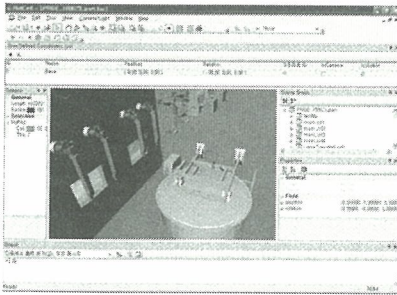


Fig. 1. PRIDE simulator.

2.2.2 공정장치의 원격 접근성 검증 및 배치 분석
 기계식 원격 조작기는 셀 바닥까지 도달하는 조건으로 Wallishmiller 사의 A110을 선정하였다. 원격조작기의 작업영역을 이용하여 공정장치의 작업지점에 대한 원격 접근성 및 원격조작기와 공정장치 간의 간섭을 고려하여 디지털 목업에서 공정장치를 이동하며 설치할 위치를 결정하였다. 또한, 장치의 조작성에 따라 작업창에 앞에서 거리간격은 달라 질 수 있으며, 장치의 후면 및 상부 작업지점에 대한 BDSM의 접근성을 종합검토하여 최적의 위치를 결정하였다. 결정된 위치에서 공정장치의 작업지점에 대한 접근성 및 원격 개념의 설계를 검토하여 수정사항을 도출하였다.

2.3. 검증목업에서의 원격 취급성 검증시험

2.3.1 원격 취급성 검증목업 구축

단위 공정장치의 원격 취급성을 미리 시험, 평가 및 검증이 가능한 파이로 종합시험시설의 길이인 40 m을 1/8로 축소한 원격 취급성 검증목업을 구축하였다. 검증 목업은 기계식 원격 조작기(2식), 개량 천정이동 양팔 서보조작기(1식), 크레인(2 톤), 시각 창 및 모니터링 창으로 구성된다.

2.3.2 공정장치의 원격 취급성 시험

검증목업에 원격 취급성 시험은 원격운전과 원

격 유지보수에 관한 시험 평가를 수행하였다. 공정장치의 운전 및 유지보수 절차서에 따라 실제 작업을 수행하였다. 장치의 배치는 디지털 목업에서 도출한 위치에 그림 2와 같이 장치를 배치하고, 작업자의 시야, 원격 조작기나 BDSM으로 작업지점에 대한 접근성 및 원격으로 조작성 장치 부품의 원격 취급성에 대한 시험 평가를 수행하였다. 원격 취급성을 미리 시험, 평가 및 검증함에 따라 하여 공정장치의 개선사항을 도출하여 파이로 종합시험시설에 설치될 공정장치의 설계 및 제작 완성도를 높였다.



Fig. 2. Remote Handling Evaluation Mockup.

3. 결론

파이로 공정장치들은 설계단계에서 원격접근성 검증을 위해 시설에 설치될 공정장치와 원격 취급장비 및 시설에 대한 3차원 모델링을 하여 가상공간을 갖는 PRIDE 디지털 목업을 구축하였다. 가상의 원격 취급장비를 이용하여 작업지점에 대한 원격 접근성을 검토하였고, 최적의 배치위치를 선정하였다. 또한 공정장치의 원격 개념 적용여부를 판단하여 개선점을 도출하였다. 개선점은 설계에 반영되고 장치 목업이 제작되었다. 원격 취급성 검증목업에 제작된 장치를 설치하고 공정장치에 대한 운전 및 유지보수 절차를 수립하고 검증 작업을 수행하였다. 검증목업에서 시험 결과의 개선사항을 반영한 공정장치는 파이로 종합시험시설에 설치되었다. 하나의 장치를 원격 취급성 검증목업에서 검증작업을 수행함에 따라, 공정장치 간의 연계 작업은 파이로 종합시험시설에서 원격성 검증작업이 수행될 예정이다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.