

PRIDE 양팔서보조작기용 천정 이동장치의 구조해석

이효직, 박병석, 이종광, 이지선, 김기호, 김호동
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
hvojik@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원에서는 파이로프로세싱(Pyroprocess) 기술을 종합적으로 평가하기 위한 목업(Mock-up) 시설인 이른바 PRIDE(PyRoprocess Inactive DEmonstration facility)를 건설할 예정이다. 이 시설은 파이로프로세스의 주요 핵심공정을 아르곤(Ar) 분위기에서 운전하게 되며, 공정장치의 원격운전 및 유지보수에 17 조의 기계식 벽면부착형 조작기(MSM)와 1 조의 천정 이동 양팔서보조작기가 사용된다. 천정 이동 양팔서보조작기는 천정 이동장치에 매달려 PRIDE 내에서 x, y, z 방향 및 회전 자유도를 갖게 됨으로써 기계식 벽면 부착형 조작기가 접근할 수 없는 사각지역에 접근하여 원격 운전 및 유지보수를 할 수 있는 필수적인 장비이다. PRIDE는 기존의 변환시설을 리모델링하여 건설하는 것으로 많은 제약조건을 갖고 있으며, 이에 따라 설치되는 원격 장비들의 설계도 제한받게 된다. 특히 천정 이동장치는 위쪽의 인셀 크레인(in-cell crane)과 아래쪽에 부착될 양팔 슬레이브 서보조작기의 공정장치 상부 작업을 용이하기 위해 최소 스트로크 2,000 mm를 확보하도록 설계[1]해야하므로 많은 어려움이 따른다. 또한 설계된 천정 이동장치의 구조적 신뢰성을 확보하기 위해 구조해석에 의한 설계사양의 검증이 필요하다. 본 연구에서는 상기 설계된 천정 이동장치의 구조해석을 수행하여 구조적 신뢰성에 문제가 없는지를 살펴보았다.

2. 천정 이동장치의 구조해석

가. 구조해석 범위

천정 이동장치의 설계범위는 크게 슬레이브 양팔서보조작기의 천정 이동장치부와 마스터 양팔서보조작기의 벽 이동장치부위로 나뉜다. 본 연구에서는 구조적 신뢰성이 크게 요구되는 슬레이브 양팔서보조작기의 천정 이동장치부(그림 1)를 구조해석의 대상으로 하였다. 천정 이동장치부는 다시 트롤리부, 거더부, 텔레스코픽 튜브셋부, 조작기회전인터페이스부로 나뉠 수 있다. 천정 이동장치의 전 범위를 한번에 구조해석하는 것은 상당한 어려움을 수반하며, 동시에 메쉬생성(mesh generation) 단계에서 오류를 수반할 가능성이 많아 모듈별로 구조해석을 수행하였다.

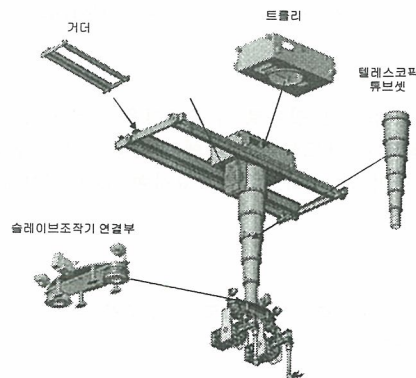


그림 1. 천정 이동장치부의 주요 모듈

나. 구조해석 절차

구조해석은 SolidWorks 모델을 이용하여 3D 모델을 생성한 후, ABAQUS에서 이를 읽어들이어 메쉬를 생성하고 경계조건 및 하중조건을 부여하여 수행하였다. 메쉬 생성시 적용한 요소는 가급적 육면체 요소(C3D8R)를 사용하였고, 부득이 한 경우 사면체 요소(C3D4)를 사용하였다.

다. 구조해석결과

텔레스코픽튜브셋 구조해석시 사용한 하중조건은 조작기연결부에 슬레이브 조작기가 매달리는 경우와 다른 공구가 매달리는 경우를 고려하여 한쪽 연결부에는 최대 390 kgf의 하중을 다른 한쪽에는 160 kgf의 하중을 가정하였다. 결과를 그림 2에 나타내었으며, Von Mises 최대응력이 항복응력의 0.1 배정도로 6 번 튜브의 측면에 발생하여 충분한 구조적 강성을 갖고 있음을 알 수 있었다. 거더 및 트롤리는 따로 구조해석을 수행하지 않고, 트롤 리가 거더 레일위에 접촉하여 있는 것으로 구속조건을 부여하고 트롤 리 박스 하단에 텔레스코픽 튜브셋이하의 무게를 하중조건으로 부가하여 해석하였다. 최대응력은 트롤 리 박스 하단면에 약 88 MPa 정도 발생(그림 3)하여 트롤리 박스 내부에 약간의 구조적 보강이 필요함을 알 수 있었다. 조작기 연결부는 리브 덮개 부위에 약 40 MPa 정도의 응력이 발생(그림 4)하는 것으로 분석되었고 충분한 구조적 강성을 갖는 것을 알 수 있었다. 천정이동장치가 올려질 PRIDE의 수평 및 수직보 또한 충분한 구조적 강성을 갖는 것으로 분석되었다.



그림 2. 텔레스코픽 튜브셋의 구조해석 결과

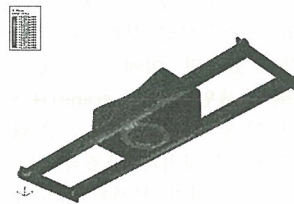


그림 3. 트롤리 및 거더부의 구조해석 결과

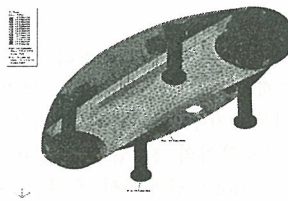


그림 4. 조작기 연결부의 구조해석 결과

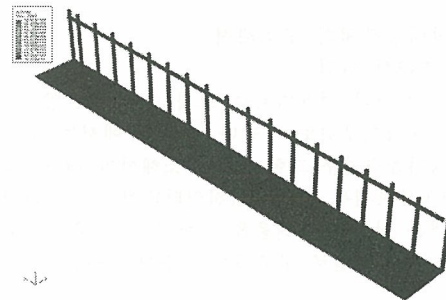


그림 5. PRIDE 수평, 수직보의 구조해석 결과

3. 결과 및 고찰

상기 설계된 천정이동장치에 대한 검증의 절차로 구조해석을 수행하여, 일부 구조적 보강이 필요한 부분을 찾아내어 최종설계에 반영하였고 강도설계 측면에서 충분한 안전율을 확보하였다. 현재 설계 완료된 천정이동장치는 금년 말까지 참여기업에서 제작 완료하여 양팔 서보조작기와의 조립 후 동작 테스트를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 윤광호, 이효직, 이종광, 박병석, 김기호, “텔레스코픽 구조를 갖는 천정이송장치 설계” 춘계방사성폐기물학회, June 18-19, 경주, 2009.