

ACP 실증시설 개폐형 워킹테이블의 안전성 평가

권기환, 구정희, 이은표, 정원명, 유길성, 정기정

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

한국원자력연구소에서 건설중인 차세대관리종합공정(ACP) 실증시설은 지하에 건설되는 핫셀이기 때문에 일반 핫셀과는 달리 루프도어(roof door)가 없다. 따라서 모든 물품의 반출입에는 리어도어(rear door)를 이용할 수밖에 없다. 따라서 ACP 실증시설에서는 리어도어의 앞 부분의 워킹테이블을 개폐가 가능한 구조로 설계하여 물품을 반출입할 때에는 워킹 테이블의 일부분을 개방하고, 평상시에는 일반 워킹테이블과 마찬가지로 여러 가지 공정장치 또는 물품을 적재 또는 보관할 수 있도록 설계하여 핫셀 공간의 효율성을 높였다. 핫셀의 설계에 있어서 이러한 효율성과 아울러 중요한 것은 구조적인 안전성이기 때문에 워킹테이블의 실제 운전시의 안전성에 대하여 실증시설의 운전 중에 발생 가능한 최대 하중조건을 고려하여 정적인 구저안전성 평가와 동적인 평가를 함께 수행하여 안전성을 유지함을 입증하였다.

개폐형 워킹테이블은 길이 980 mm, 폭 966 mm이나, 폭을 이등분하여 두 개로 나뉘어 지기 때문에 길이 980 mm, 폭이 483 mm이며, 하단에는 75 x 40 mm의 C형강을 부착하여 테이블의 굽힘강성(bending stiffness)을 높이도록 하였다. 핫셀 내부에서 중량물을 운반할 수 있는 핫셀 크레인 용량이 1톤으로 최대 취급용량이 1톤이지만 핫셀 내 공정장치 등의 최대 자중이 200 kg 이하인 점을 고려하여 개폐형 워킹 테이블 위에 올려놓을 수 있는 물체의 최대중량을 500 kg으로 고려하였다.

개폐형 워킹 테이블에 대한 안전성 평가는 정적해석과 동적해석의 두 가지로 평가하였는데, 정적해석에서는 범용 구조해석코드인 ABAQUS와 LS-DYNA 코드를 함께 사용하여 해석을 수행하고 그 결과를 비교하였다. 동적해석에서는 동적해석 능력이 뛰어난 LS-DYNA 코드를 사용하였으며, 물체가 크레인의 하역시의 운전 속도인 1~3.5 m/min의 속도로 워킹 테이블에 안착하는 경우에 대하여 충돌-접촉 문제로 가정하여 평가하였다. Fig. 1과 2는 ACP 실증시설 개폐형 워킹테이블의 동적해석모델과 해석결과로 얻은 변위분포를 나타내고 있다. 워킹테이블은 150 mm x 75 mm의 C형강 위에 안착되는데, 정적해석과 동적해석 모두 수직방향의 경계조건은 워킹 테이블의 양 끝단의 C형강에 안착되는 부분의 수직방향 변위를 구속하는 것으로 하였다.

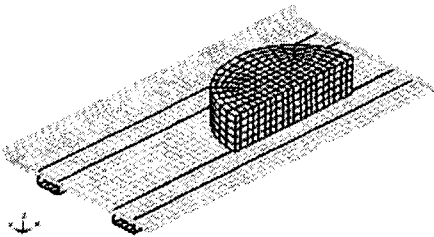


Fig. 1. 개폐형 워킹테이블의 해석모델

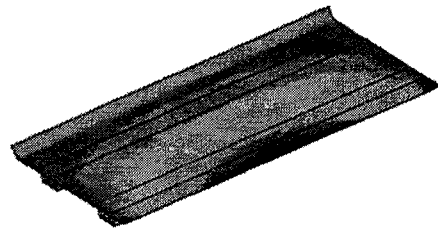


Fig. 2. 개폐형 워킹테이블의 변위분포

정적해석 모델은 워킹 테이블과 하단에 부착된 C형강을 1,855개의 절점과 1,856개의 셸요소(shell element)로 모델링한 후 워킹 테이블의 중앙부에 400 mm x 400 mm의 정사각형부에 500 kg의 자중과 등가의 압력하중으로 하중이 작용하는 것으로 가정하였다. 정적해석에서는 워킹 테이블의 자중을 무시한 경우와 자중을 고려한 두 가지 경우에 대하여 해석을 수행하였는데 해석결과 거의 차이가 없었으며, 자중을 고려한 경우에서 수직방향의 최대변위는 0.61 mm이고, 최대응력은 34 MPa로 구조적으로 충분히 안전함을 확인할 수 있었다.

동적해석 모델은 Fig. 1과 같이 하단에 C형강을 부착한 워킹 테이블과 테이블 상단에 안착되는 원통형 물체를 3,781개의 절점과 1,856개의 셸요소(shell element) 및 1,500개의 솔리드요소(solid element)로 모델링한 후, 이 500 kg의 자중을 갖는 원통형 물체가 0.1 m/s의 속도로 워킹테이블에 안착되는 것으로 가정하였다. 동적해석결과 수직방향의 최대변위는 1.45 mm이고, 최대응력은 81 MPa로 정적해석의 경우보다 변위나 응력이 약 두 배 정도로 증가했으나 매우 작은 값으로서 구조적으로 충분히 안전함을 확인할 수 있었다.

동적해석에서 제시한 최대 변위와 응력은 충돌속도를 실제 크레인의 인양 속도인 0.06 m/s의 약 17배의 속도로 충돌시 발생하는 최대값을 나타낸 것이며, 시간이 경과함에 따라 점차 정적해석시의 값에 가까워지므로 충돌속도를 실제 물체의 안착속도로 가정할 경우 정적해석결과에 가까운 값을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 정적해석 및 동적해석을 이용한 구조해석을 통하여 ACP 핫셀의 개폐형 워킹테이블이 최대 500 kg의 중량을 갖는 물체의 안착시에도 구조적으로 충분한 안전성을 가짐을 확인할 수 있었다.