

## 동적 해석을 통한 ACP 실증 핫셀내 개폐형 워킹테이블의 구조적 안전성 평가

권기찬, 구정희, 이은표, 정원명, 유길성, 이원경, 조일제, 국동하  
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

[kiechankwon@kaeri.re.kr](mailto:kiechankwon@kaeri.re.kr)

차세대관리 종합공정(ACP) 핫셀에서 리어도어와 만나는 부분에 설치될 워킹테이블(working table)은 개폐가 가능한 구조로 설계되었다. 물품을 반출입할 때에는 워킹테이블의 일부분을 개방하여 물체를 반입할 수 있도록 하고, 평상시에는 덮어두어 일반 워킹테이블과 마찬가지로 여러 가지 공정장치 또는 물품을 보관하거나 크레인을 통해 적재할 수 있도록 하여 핫셀 공간의 효율성을 높였다. 다른 부분의 워킹테이블은 지지하는 프레임에 용접 고정되어 있으나, 개폐형 워킹테이블은 가장자리만 프레임에 걸쳐 있어서 이 부분의 구조적 안전성 평가가 반드시 필요하다. 본 논문에서는 핫셀 운전중 공정 물품들을 개폐형 워킹테이블에 떨어뜨리는 가상사고 상황을 가정하고, 이때의 워킹테이블의 구조적 안전성을 동적 유한요소 해석을 통해 평가한다.

워킹테이블은 스테인레스강인 STS304 재료로 설계되었으나, 워킹테이블의 개폐를 위해 중앙 상부의 일부는 STS340 재료를 사용하였으며, 여기에 전자석을 올려 놓고 핫셀 내부의 크레인으로 인양하여 워킹테이블을 들어올릴 수 있도록 하였다. 워킹테이블은 핫셀 바닥면에서 900 mm 높이에 설치되며, 길이 982 mm, 폭 930 mm, 두께 6 mm이다. 그러나 폭을 이등분하여 두 개로 나누어지기 때문에 각각은 길이 982 mm, 폭 465 mm이다. 그리고 하단에는 75×40 mm의 C형강을 두 개씩 부착하여 워킹테이블의 굽힘강성(bending stiffness)을 높이도록 하였으며, 리어도어와 만나는 부분은 반경 70 mm의 굴곡이 있도록 설계하였다. Fig. 1은 개폐형 워킹테이블에 물품이 적재된 모습과 워킹테이블의 개폐를 위해 인양되는 모습의 개략도를 보여준다.

워킹테이블의 안전성 평가를 위해 워킹테이블에 공정 물품들을 떨어뜨리는 사고 상황을 충돌-접촉 문제로 정의하고 범용 유한요소해석 코드인 LS-DYNA를 이용해 동적 해석을 수행하였다. 구조적 대칭성을 고려하여 개폐형 워킹테이블의 두 부분중 리어도어와 만나는 부분만을 해석하였으며, 이 부분의 유한요소해석 모델은 Fig. 2와 같다. C형강을 포함한 워킹테이블은 3차원 쉘요소로 모델링하였으며, 낙하하는 물품은 직경 400 mm의 반원통형으로 가정하고 솔리드요소로 모델링하였다. 공정 장치 등의 최대 자중이 200 kg 이하이므로, 보수적 평가를 위해 해석에서는 500 kg

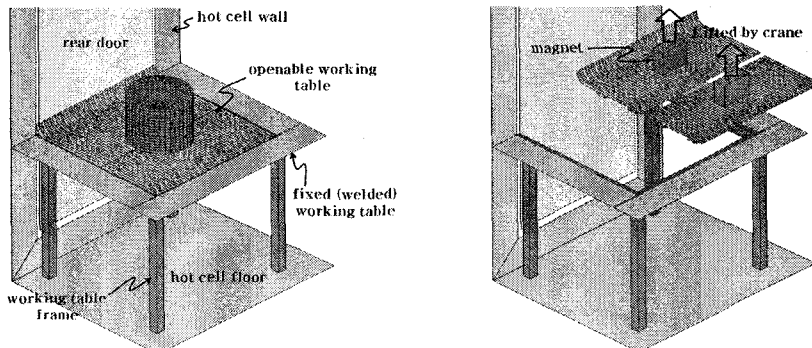


Fig. 1 Schematic drawing of openable working table

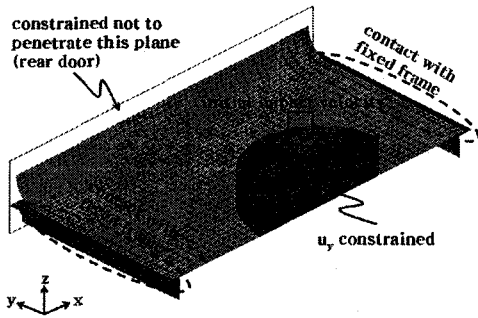


Fig. 2. Finite element model

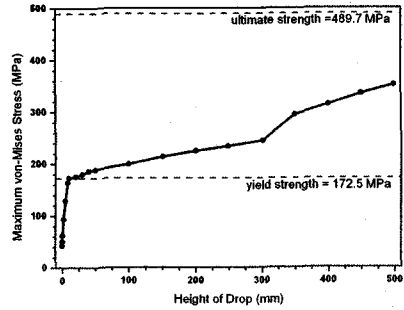


Fig. 3. Maximum von-Mises stress with height of drop

의 물체가 낙하하는 것으로 가정하고 반원통형 물체의 질량을 250 kg으로 설정하였다. 대칭면에는 대칭 경계조건을 적용하고, 워킹테이블을 지지하는 아래쪽 프레임과 워킹테이블과 만나는 리어도어 부분은 접촉 조건을 가정하여 처리하였다.

낙하 높이를 500 mm 까지 증가시켜 보았으며, 이때의 최대 von-Mises 응력의 변화 추이는 Fig. 3과 같다. 가상사고 조건의 경우 본 논문에서는 재료의 항복으로 인한 소성 변형 발생 여부, 소성 변형이 일어났다면 재료의 파손 및 구조의 붕괴 여부를 안전성 평가의 판단 기준으로 한다. 사고의 경우 최소한 재료의 파손이나 구조의 붕괴에 대한 안전성은 확보하여야 한다. Fig. 3을 보면 낙하 높이가 10 mm일때 발생한 최대 응력이 항복응력에 도달하게 되며, 이때의 충돌 속도는 0.44 m/s이다. 따라서 10 mm 높이 이하에서 낙하하는 경우 워킹테이블은 탄성 변형만을 하게 되어 구조적으로 안전하다 할 수 있다. 핫셀 크레인을 사용해 물품을 워킹테이블에 정상적으로 하역하는 경우, 하역 속도가 0.02 m/s이므로 정상 운전의 경우는 충분한 안전성을 확보하고 있음을 또한 알 수 있다. 물체가 10 mm 이상의 높이에서 떨어지는 경우 소성 변형이 발생하게 되며, Fig. 4는 낙하 높이가 500 mm일때의 변형 형상과 응력 분포를 각각 보여준다. 이때의 최대 처짐량은 43 mm이며, 워킹테이블이 붕괴되지 않고 프레임에 의한 지지가 유지되고 있음을 변형 형상을 통해 볼 수 있다. 최대 응력은 워킹테이블 아래쪽의 C형강에서 발생하며, 최대 응력값은 351.8 MPa로써 극한강도인 489.7 MPa 보다 낮은 값으로 재료의 파손이 일어나지 않는다.

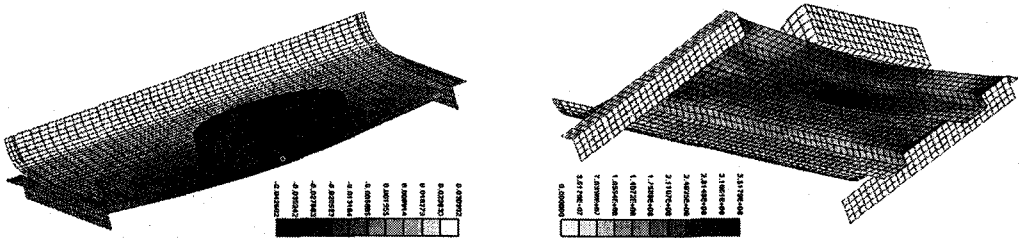


Fig. 4. Deflection and von-Mises stress contour