

## ACP 실증시설 반출입 작업 안전성 평가를 위한 구조 해석

권기찬, 구정희, 정원명, 이원경, 조일제, 국동학, 유길성, 윤지섭

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

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

한국원자력연구소의 차세대관리 종합공정(ACP) 실증시설은 지하에 건설된 핫셀로 천장 차폐문(roof door)이 존재하지 않으며, 모든 물품의 반출입은 후면 차폐문(rear door)를 통해 이루어져야 한다. 따라서 반출입 작업시 공간 활용성과 작업 가능성을 고려해 후면 차폐문 전면부에는 래치트(ratchet) 방식으로 상하 이동이 가능한 선반이 부착되어 있다. 또한 후면 차폐문과 닿는 핫셀 내부 작업대(working table)의 일부는 개폐가 가능한 구조로 제작되었으며, 이 부분의 구조적 안전성은 유한요소해석을 통해 이미 입증된 바 있다. 본 연구에서는 ACP 실증시설 운전시 공정 물품 및 폐기물의 반출입 작업에 빈번히 사용되는 공정셀 후면 차폐문 및 여기에 부착된 선반의 구조적 안전성을 동적 유한요소해석을 통해 평가한다.

구조적 안전성 평가를 위한 유한요소 해석 모델은 Fig. 1과 같으며, 실제 해석에서는 대칭성을 고려하여 1/2 모델만을 사용하였다. ACP 실증시설 공정셀 후면 차폐문은 높이 2,050 mm, 폭 1,100 mm, 두께가 1,000 mm이며, 자체 중량은 13.5톤이다. 후면부에는 중량 2.48톤인 Padirac 접속장치가 결속되어 있다. 이 부분들은 솔리드요소(solid element)로 모델링하였다. 후면 차폐문 전면부에는 STS304로 제작된 선반이 부착되어 있으며, 선반의 치수는 폭 880 mm, 길이 870 mm, 두께 50 mm이다. 선반의 아랫부분은 굽힘강성을 보강하기 위해 림(rib) 형태로 빔(beam)이 용접되어 있다. 선반 부분은 쉘요소(shell element)로 모델링하고, 탄소성 구성방정식을 사용하였다. 후면 차폐문의 선반을 이용해 반출입되는 물품은 중량이 800 kg인 원통형 물체로 가정하고, 운전 상황을 고려해 이 물체가 초기속도를 가지고 선반에 충돌하는 문제를 해석하였다. 원통형 물체는 솔리드요소로 모델링하고 질량이 800 kg이 되도록 밀도 값을 주었다. 후면 차폐문, Padirac 접속장치, 반출입 물체의 탄성계수는 충분히 큰 값을 주어 강체처럼 거동하도록 하였다. 반출입 물품의 선반 안착은 핫셀 내부의 크레인과 외부의 지브크레인(jib-crane)을 통해 이루어진다.

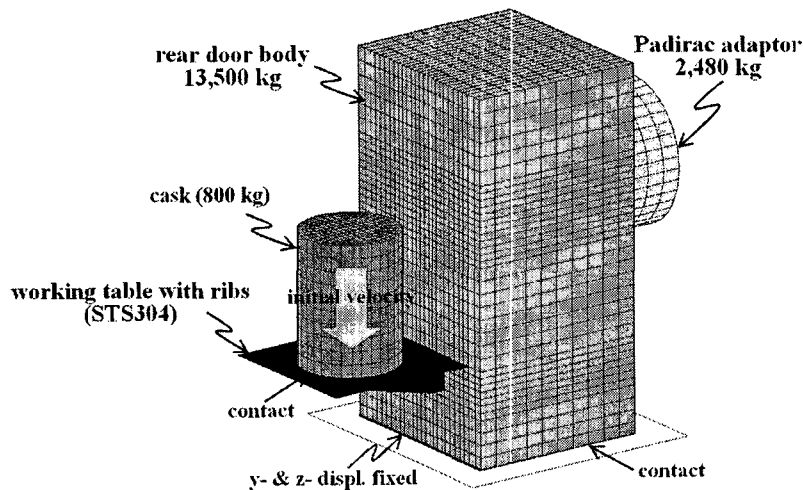


Fig. 1 Finite element model

이중 하역 속도가 큰 지브크레인의 속도 0.2 m/s를 반출입 물품의 초기 충돌속도로 사용하였다. 또한 사고 상황을 고려해 물품이 10 cm 높이에서 선반에 낙하하는 경우도 해석하였다. 본 연구에서는 해석의 신뢰성을 검증하기 위해 동일한 문제에 대해 외연적(explicit) 기법에 기반한 LS-DYNA와 내연적(implicit) 기법에 기반한 ANSYS를 사용해 해석을 수행하고 결과를 비교하였다.

Fig. 2는 10 cm 낙하의 경우에 대해 선반부분의 von-Mises 응력의 분포를 보여준다. 이 분포는 최대응력 발생시점에 대한 것이다. 최대응력은 길이 방향의 보강 립의 아랫부분에 발생함을 볼 수 있다. Fig. 3은 최대 수직변위 발생 시점에 대한 수직변위 분포를 보여주고 있다. 최대 수직변위는 선반중심 끝단에서 발생한다. Fig. 2와 Fig. 3에서 알 수 있듯이, 응력과 수직변위에 대해 LS-DYNA와 ANSYS 결과가 거의 동일한 분포 형상을 보여주고 있다. Table 1은 크레인 안착과 10 cm 낙하의 경우에 대해 응력 및 변형의 최대값을 수록하였다. 정상운전 상황인 크레인 안착의 경우 최대응력은 재료의 항복강도인 172.5 MPa보다 작아 구조적으로 안전하다고 평가할 수 있다. 응력의 경우 ANSYS 결과가 LS-DYNA 보다 8% 정도 큰 값을 주었으며, 선반 끝단의 최대 수직변위는 LS-DYNA가 15% 정도 큰 결과를 주었다. 사고 상황인 10 cm 낙하의 경우 선반에 소성 변형이 발생하게 된다. 그러나 최대응력인 극한강도(ultimate strength)인 489.7 MPa 보다 작아 선반의 파단은 일어나지 않음을 알 수 있다. 여기서도 ANSYS가 LS-DYNA 보다 큰 응력값을 보여주고 있으며, 보강 립에서는 3% 선반의 평판부에서는 15% 정도 크게 계산되었다. 선반의 수직변위에 대해서는 LS-DYNA가 3% 정도 큰 결과를 주었다. 모든 경우에 대해 후면 차폐문의 변위는  $10^{-4}$  mm 이하로 거의 발생하지 않는 수준이었으며, 따라서 운전중 후면 차폐문의 전도와 같은 사고의 가능성은 없는 것으로 평가된다.

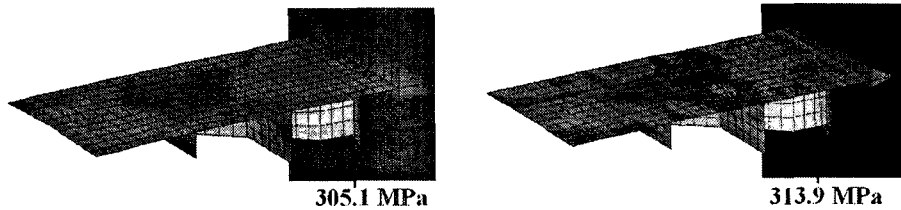


Fig. 2 Stress contours from LS-DYANA (left) and ANSYS (right)

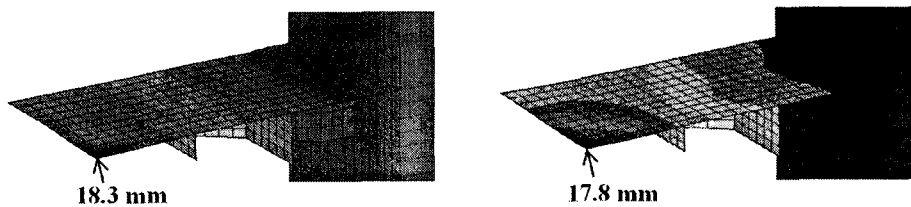


Fig. 3 Deflection contours from LS-DYANA (left) and ANSYS (right)

Table 1 Maximum stress and deflection results of dynamic analysis

Analysis case	Code	Stress at rib	Stress at plate	deflection at plate
Crane unloading	LS-DYNA	141.5 MPa	80.6 MPa	2.3 mm
	ANSYS	152.8 MPa	87.1 MPa	2.7 mm
10 cm drop	LS-DYNA	305.1 MPa	190.5 MPa	18.3 mm
	ANSYS	313.9 MPa	224.3 MPa	17.8 mm