

ACP 실증시설 폐기물 운반 장치 설계 및 구조적 안전성 평가

권기찬, 구정희, 이은표, 정원명, 이원경, 조일재, 국동학, 유길성, 윤지섭

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150-1

kiechankwon@kaeri.re.kr

한국원자력연구원의 차세대관리 종합공정 실증시설(ACPF)에는 상부 공간의 제약으로 인해 천장 차폐문(roof door)이 설치되어 있지 않다. 따라서 핫셀에서 발생하는 폐기물의 반출은 후면 차폐문(rear door)을 통해 이루어져야 한다. 이를 위해 반출작업시 구조 및 차폐 안전성, 핫셀 작업의 원격조작성 및 편의성 등을 고려해 Fig. 1과 같이 ACPF 폐기물 운반장치를 설계, 제작하였다. 본 장치는 폐기물 바스켓을 수용하는 용기와 이를 장착하고 이동할 수 운반장치로 구성된다. 용기의 내경은 420 mm, 내부 깊이는 580 mm이며 원주방향과 바닥부분에 두께 20 mm의 납차폐체를 두었다. 용기의 뚜껑은 핫셀 내에서는 수직으로 인양하여 개폐하고, 운반장치에 장착된 상태에서는 수평으로 개폐할 수 있는 방식으로 설계하였다. 핫셀내로 반입된 용기는 핫셀 크레인으로 뚜껑을 열고 폐기물 바스켓을 담게 된다. 이후 용기의 뚜껑을 닫고 후면 차폐문을 통해 용기를 반출하면서 서비스구역의 지브크레인(jib crane)을 사용해 용기를 운반장치에 안착시킨다. 운반장치의 상부는 기존의 교체폐기물 운반시스템과 접속이 가능하도록 설계되었다. 따라서 접속된 상태에서 용기의 뚜껑을 수평으로 열고, 내부의 폐기물 바스켓을 교체폐기물 운반시스템 내부로 이송하게 된다. 이때의 차폐 안전성을 위해 운반장치의 상부에 두께 50 mm의 납차폐체를 추가적으로 설치하였다. Fig. 1은 용기의 인양모습과 용기의 운반장치 장착 후 뚜껑을 수평으로 개폐하는 모습을 보여준다.

폐기물 운반과 같은 ACPF 핫셀 반출입 작업시 공간 활용성과 작업 가능성을 고려해 후면 차폐문 전면부에는 래치트(ratchet) 방식으로 상하 이동이 가능한 선반이 부착되어 있고, 후면 차폐문과 닿는 핫셀 내부 작업대(working table)의 일부는 인양이 가능한 구조로 제작되었다. 작업시 여기에 폐기물 용기가 놓여지기 때문에 이들의 구조적 안전성에 대한 검증이 필요하다. 따라서 후면 차폐문 및 여기에 부착된 선반과 핫셀 내부 인양가능 작업대의 구조적 안전성을 동적 유한요소해석을 통해 평가하였다.

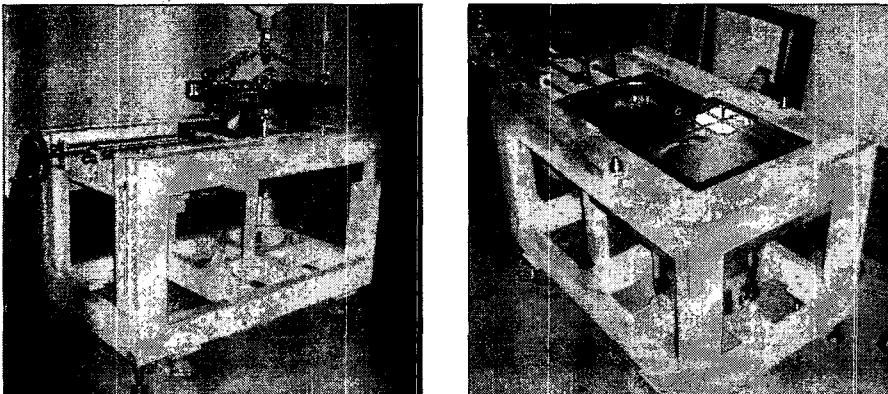


Fig. 1 ACPF waste transport equipment

구조적 안전성 평가를 위한 후면 차폐문과 작업대의 유한요소해석 모델은 Fig. 2와 같다. 후면 차폐문 선반과 작업대에 용기가 하역되는 상황을 충돌-접촉 문제로 정의하고 범용 유한요소해석 코드인 LS-DYNA를 이용해 동적해석을 수행하였다. 폐기물 운반용기는 원통형 물체로 모델링하고 운전 상황을 고려해 이 물체가 초기속도를 가지고 충돌하는 문제를 해석하였다. 용기의 자중이 560 kg이므로 보수적 평가를 위해 해석에서는 800 kg으로 가정하였다. 또한 초기 충돌속도는 용기가 10 cm 높이에서 낙하하는 속도를 주었으며, 이는 핫셀 크레인과 서비스구역의 지브크레인의 하역속도보다 큰 값으로 보수적 조건에 해당한다. Fig. 3은 후면 차폐문 선반에서 발생하는 최대 응력과 변형을 보여준다. 작업시 가장 심각한 사고 상황으로 후면 차폐문의 전도를 예상할 수 있는데, 후면 차폐문의 변위는 10^{-4} mm 이하로 거의 발생하지 않았다. 또한 선반에서는 재료의 극한강도(ultimate strength)인 489.7 MPa 보다 작은 응력이 발생하여 파손이 발생하지 않음을 알 수 있다. Fig. 4는 작업대에서 발생하는 최대 응력과 변형을 보여주고 있으며, 역시 최대 응력이 극한강도보다 작다. 실제 작업 상황인 크레인으로 하역하는 경우의 충돌속도를 가하면, 두 경우 모두 소성변형이 발생하지 않고 구조적 건전성을 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.

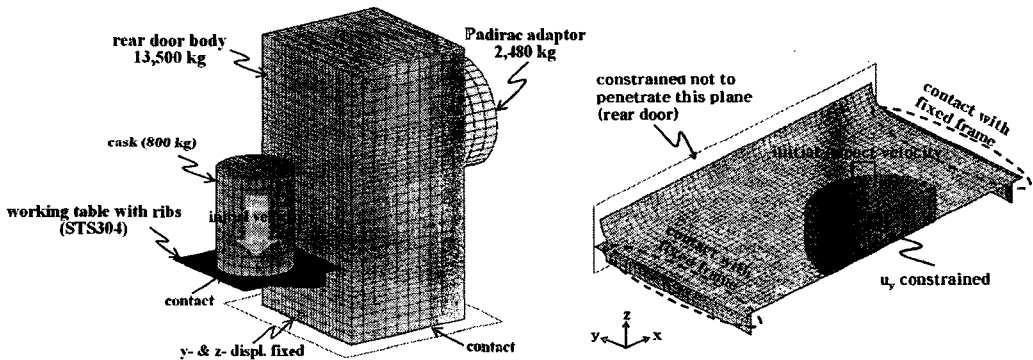


Fig. 2 Finite element model of rear door(left) and working table(right)

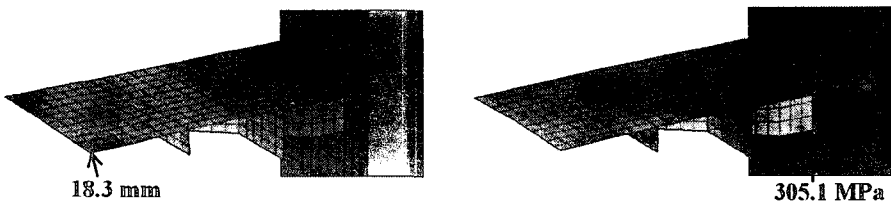


Fig. 3 Deflection(left) and von-Mises stress(right) contours of rear door table

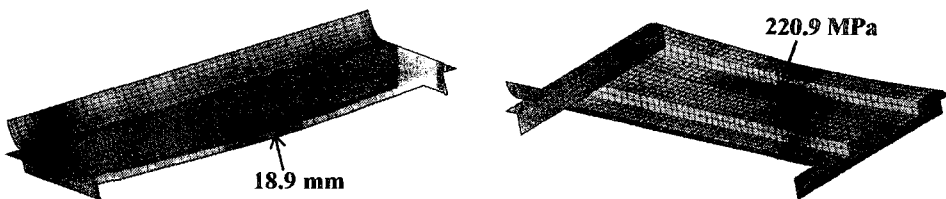


Fig. 4 Deflection(left) and von-Mises stress(right) contours of working table