

ACP 실증시설 후면 차폐문의 동적 안전성 평가

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

kicchankwon@kaeri.re.kr

본 논문에서는 차세대관리 종합공정(ACP) 실증을 위한 핫셀의 후면 차폐문(rear door)에 대한 구조적 안전성을 유한요소 해석을 통해 평가하였다. 기존의 핫셀 후면 차폐문 설계에서 구조 해석을 통한 안전성 평가를 수행한 문헌이 없으며, 본 논문에서는 후면 차폐문 운전의 여러 상황을 고려하여 이에 대한 구체적인 하중조건 및 평가기준을 설정하고, 이를 기준으로 동적 해석을 수행하여 안전성 평가를 수행하였다. 안전성평가는 유지보수셀의 후면 차폐문을 기준으로 하였으며, 동적 해석을 위해 구조 해석 코드 LS-DYNA를 사용하였다. 차폐문이 닫히면서 벽면의 차폐문틀(door frame)과 결속되는 상황을 충돌-접촉 문제로 가정하고 동적 해석을 수행하여 후면 차폐문과 차폐문틀의 구조적 안전성을 평가하였다. 또한 충돌시 차폐문틀의 반력에 의해 후면 차폐문이 전도될 가능성 및 개폐를 위해 후면 차폐문이 이동하다가 갑작스럽게 정지할 경우 관성에 의한 전도 가능성에 대해서도 안정성이 유지되는지를 평가하였다.

후면 차폐문의 구조적 안전성 평가를 위한 유한요소 해석 모델은 Fig. 1과 같으며, 실제 해석에서는 대칭성을 고려하여 1/2 모델만을 사용하였다. 차폐문이 닫히면서 차폐문틀과 결속되는 상황을 실제 후면 차폐문의 구동속도인 0.033 m/s로 충돌하는 경우와 보수적 평가를 위해 이보다 6배 빠른 0.2 m/s로 충돌하는 경우를 해석하여 비교하였다. 해석 결과들로부터 얻어진 차폐문틀의 변위 및 응력, 차폐문의 응력의 최대값들과 그리고 차폐문틀의 최대 반력을 Table 1에 수록하였다. 여기서 응력은 von-Mises 응력을 의미한다. 모든 경우에 대해 차폐문틀의 최대 변위는 1 mm 미만으로 변위가 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 충돌속도를 0.2 m/s로 가정한 경우를 실제 운전속도인 0.033 m/s로 충돌하는 경우와 비교할 때 변위, 응력, 반력 등이 6배 증가함을 볼 수 있으며, 따라서 이들 값들은 충돌속도에 비례함을 알 수 있다. 차폐문과 차폐문틀에서 발생하는 최대 응력값은 각각 84.3 MPa와 10.2 MPa로서 철재의 항복응력과 비교할 때 33 %와 4 % 정도로 탄성 변형만을 하게 되며 또한 구조적으로 안전하다. 이런 평가는 실제 운전속도보다 6배 빠른 경우

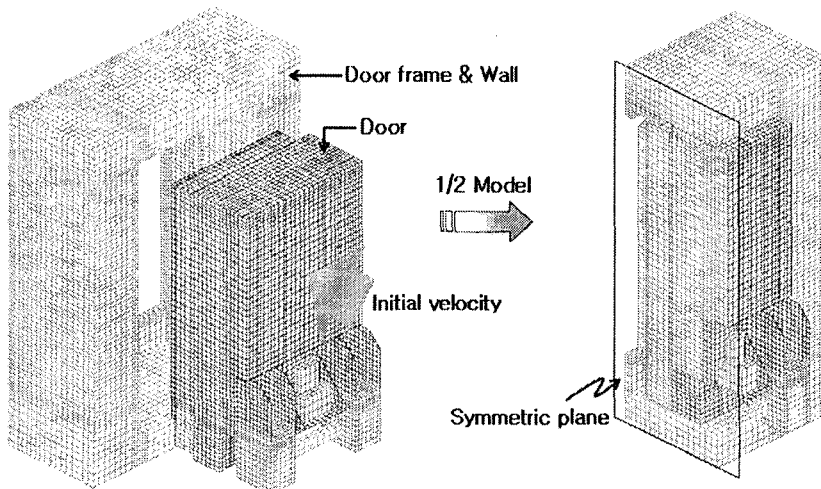


Fig. 1 Finite element model

Table 1 Finite element results of dynamic analysis

Impact velocity	Displ. at door frame	Stress at door frame	Stress at door	Reaction force
0.033 m/s	0.02 mm	1.7 MPa	13.7 MPa	14.9 kN
0.2 m/s	0.11 mm	10.2 MPa	84.3 MPa	90.9 kN

Table 2 The maximum gap length between the bottom edge of the inclined rear door and ground floor

Initial velocity	Source of rear door inclination		
	Reaction force of door frame	Sudden stop during forward motion	Sudden stop during backward motion
0.033 m/s	0.1 mm	0.2 mm	0.1 mm
0.2 m/s	2.7 mm	5.2 mm	3.0 mm

를 기준으로 한 보수적 평가이며, 실제 운전속도로 충돌하는 경우 차폐문과 차폐문틀에서의 최대 응력값들은 각각 항복응력의 6 %와 1 % 수준으로 구조적 변형이 거의 없다.

차폐문과 차폐문틀 충돌시 반력에 의한 차폐문의 전도 가능성을 해석하였다. 이를 해석하기 위해 차폐문의 밑부분과 콘크리트 바닥면을 접촉 조건으로 처리하였고, 충돌후 차폐문 뒷 바퀴 끝부분을 전도에 대한 회전축으로 가정하고 이부분의 절점들이 후진하지 못하도록 제한조건을 주었다. 해석을 수행하면 회전 모멘트에 의해 차폐문이 기울어지면서 앞 바퀴 끝부분이 들려서 콘크리트 바닥면과 떨어지게 된다. 이 틈의 최대 크기는 반력이 클수록 증가하며, 반력이 어떤 임계값보다 커져서 차폐문의 질량 중심이 뒷 바퀴의 끝부분을 넘어가게 되면 자중에 의한 모멘트가 반대로 작용하게 되고 차폐문은 계속 기울어져 전도된다. Table 2의 두번째 열은 두 가지 충돌속도 조건에 대해 차폐문 밑면이 콘크리트 바닥면에서 떨어지는 최대 높이를 보여준다. 보수적 조건인 0.2 m/s로 충돌하는 경우 차폐문 밑면이 바닥에서 2.7 mm 들리며, 이는 차폐문이 최대 0.17° 기울어지는 것에 해당한다. 이후 차폐문은 다시 제자리로 복귀하며, 회전 각도의 크기가 미미한 수준이므로 충돌에 의한 차폐문의 전도 가능성은 없다고 할 수 있다. 개폐를 위해 후면 차폐문 이동시 취급 부주의 또는 사고에 의해 차폐문이 갑자기 정지하는 일이 발생할 수 있다. 이때의 전도 가능성도 비슷한 방식으로 해석하였다. 접촉이 발생하게 되면 관성에 의한 회전 모멘트에 의해 진행 방향 반대쪽 차폐문 밑면이 바닥에서 떨어지게 된다. 이 틈의 최대 높이를 Table 2에 수록하였으며, 세번째 열은 차폐문이 전진하다가 정지하는 경우이고 네번째 열은 후진하다가 정지하는 경우이다. 이동속도가 0.2 m/s인 경우를 기준으로 살펴보면, 전진의 경우 바닥에서 떨어지는 최대 높이가 5.2 mm로서 차폐문이 앞으로 최대 0.32° 기울어졌다가 제자리로 돌아온다. 후진의 경우 차폐문 밑면과 콘크리트 바닥면의 최대 간격은 3.0 mm이며, 이때 차폐문은 뒤쪽으로 0.18° 기울어진다. 양 방향 모두 갑작스런 정지로 인한 차폐문의 기울어짐이 전도가 일어날 임계 각도보다 현저히 작으므로, 본 후면 차폐문은 전도에 대한 구조적 안정성을 충분히 확보하고 있다.