

길이와 폭의 비가 작고 중량이 큰 A형 운반용기 경사낙하해석

김동학, 이대기, 이승호

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1번지

prfrog72@yahoo.co.kr

1. 서론

원자력발전소에서 발생한 폐수지를 고화하여 저장 및 처분하기 위한 고건전성용기는 소내의 폐기물처리시설에서 폐수지를 적재한 후에 임시저장고로 운반되어졌다가 향후 경주의 방폐물처분장에서 영구 처분될 것이다. 고건전성용기를 운반하기 위한 A형 운반용기는 관련법규에 따라서 안전성이 입증되어야 한다. A형 운반용기의 안전성 평가에서 자유낙하조건은 중요한 조건으로 운반용기가 자유낙하 하여도 안전함을 입증하여야 한다. 운반용기의 중량에 따라서 0.3~1.2 m의 높이에서 파손이 가장 큰 방향으로 자유낙하 하는 조건에 대하여 안전성을 입증하여야 한다.

고려되어야 할 낙하방향은 바닥수직방향, 뚜껑수직방향, 수평방향, 바닥무게중심방향, 뚜껑무게중심방향, 바닥경사방향, 뚜껑경사방향으로 7가지이다. 수직방향은 운반용기가 세워져 있는 방향으로 바닥이 충격되는 경우를 바닥수직방향, 뚜껑이 충격되는 경우를 뚜껑수직방향이라 하였다. 수평방향은 옆으로 누워있는 방향을, 무게중심낙하방향은 무게중심과 모서리가 중력방향과 일치하는 방향이다. 경사방향은 운반용기가 바닥에 1차로 충격된 이후에 회전하면서 2차로 회전과 함께 중력에 의한 속도로 큰 충격이 운반용기에 발생하는 방향이다. 경사방향은 2차 충격을 고려하여야 하는 조건으로 길이와 폭의 비가 커서 1차 충돌 이후에 회전력이 큰 경우에 주로 고려된다. 본 연구에서는 고건전성용기를 소내에서 운반하기 위한 A형 운반용기와 같이 길이와 폭의 비가 작지만 중량이 큰 경우의 바닥경사낙하해석을 수행하였다.

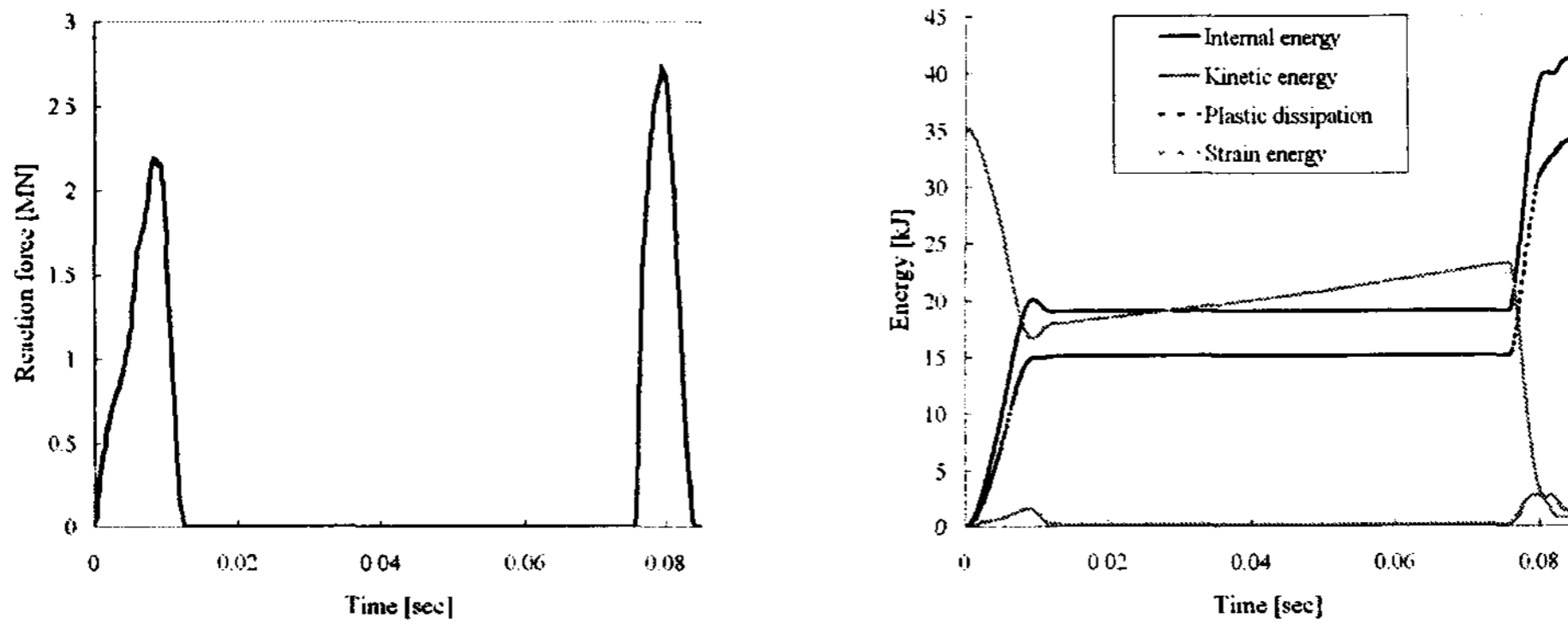
2. 고건전성용기용 A형 운반용기 바닥경사낙하해석

운반용기의 낙하해석을 수행하기 위하여 대칭성을 고려한 1/2 모델링 하였다. 볼트는 고려하지 않았으며 플랜지가 고정되어 있다고 가정하였다. 해석은 ABAQUS/Explicit를 사용하여 수행하였다. 사용된 요소의 종류는 3차원 요소인 C3D8R(8-node linear brick, reduced integration with hourglass control)이다. 요소의 개수는 18,724개이며 절점의 수는 30,431개이다. 각 부재간 사이는 마찰이 없는 접촉조건(Contact constraint)으로 가정하였다. 정상운반조건에 대한 자유낙하시험 조건을 적용하기 위하여 9.8 m/sec에 해당하는 중력가속도를 적용하였으며 0.6 m의 낙하높이에 해당하는 초기속도 3.43 m/sec를 모델의 초기조건으로 입력하였다. 대칭면은 대칭경계조건을 부여하였으며 강체는 고정시켰다.

그림 1은 바닥경사낙하조건에서의 반력 및 에너지 선도를 나타낸다. 1차 충돌에서의 반력은 8.7 msec에서 발생한 2.2 MN이며 2차 충돌에서는 1차 충돌보다 큰 2.75 MN로 약 79.4 msec에서 발생하였다. 초기 운동에너지는 35.13 kJ로 운반용기 중량의 절반인 5,969 kg의 0.6 m에 해당하는 위치에너지와 동일하다. 1차 충돌에 의하여 16.63 kJ까지 감소하다가 반발되면서 점점 증가하여 23.24 kJ이 된다. 운반용기가 1차 충돌이후에 회전하면서 운반용기의 무게중심이 아래로 이동하는 위치에너지 변화만큼 증가할 것이며 이러한 크기는 6.61 kJ로 총 운동에너지는 41.73 kJ이다. 1차 충돌에 의하여 20.08 kJ의 내부에너지가 발생하는데 이 중에 15.09 kJ의 소성변형에너지가 발생되어서 초기 운동에너지의 42.95%가 소성변형에 의하여 손실된다. 2차 충돌에서는 41.33 kJ의 내부에너지가 발생하는데 이 중에 34.12 kJ의 소성변형에너지가 발생된다. 운반용기의 총 운동에너지의 81.76%가 1차 및 2차 충돌에 의한 소성변형에 의한 손실이 된다. 변형에너지는 1차 및 2차 충돌시에 약간 발생한다. 1차 충돌에 의한 소성변형량은 15.09 kJ이며 2차 충돌에 의한 소성변형량은 19.03 kJ이다. 즉, 2차 충돌에 의한 소성변형량이 더 크다. 이러한 1차 충돌 및 2차 충돌에서 발생한 소성변형률의 비는 반발에서의 최대값의 비와 거의 같다.

그림 2는 바닥경사낙하조건에서의 격납경계인 내부 셸과 플랜지 부분의 최대 Tresca 응력이

발생되는 시간에서의 응력분포도와 최대 Tresca 응력이 발생하는 원안의 절점에서의 응력 선도를 보여준다. 1차 충돌에서는 바닥 코너에서 큰 응력이 발생된다. 1차 충돌이 발생한 이후에 회전에 의하여 2차 충돌에 의하여 뚜껑 플랜지 부분인 P3의 위치에서 큰 응력이 발생한다. 2차 충돌이 일어난 이후에 운반내용물인 고건전성용기가 운반용기에 가하는 충격에 의하여 P2의 위치에서도 큰 응력이 발생된다. 바닥코너에 발생하는 최대 Tresca 응력은 320.07 MPa로 1차 충돌이 발생되고 있는 7 msec에서 발생되며 뚜껑 플랜지 부에서 발생하는 최대 Tresca 응력은 370.28 MPa로 2차 충돌이 발생되고 있는 80.2 msec에서 발생된다. 운반내용물이 운반용기에 가하는 부분에서 발생하는 최대 Tresca 응력은 319.45 MPa로 83.00 msec에서 발생된다. P3에서 최대 응력이 나타나는 83 msec는 2차 충돌에서의 최대 반력의 2.75 MN의 14.9%에 해당하는 0.41 MN의 반력이 나타나는 시간으로 2차 충돌이후에 반발되는 도중에 운반용기는 상승하고 운반내용물은 계속적인 하강을 하면서 나타난다. 전체 운반용기의 격납경계에서 발생하는 최대 Tresca 응력은 370.92 MPa로 인장강도 1,034 MPa에 비하여 적은 값으로 격납부분의 파손이 발생되지 않아서 바닥경사 낙하조건에서 운반내용물의 분산 및 유실이 없이 안전하다.



(a) 반력 선도 (b) 에너지 선도

Fig. 1. 바닥경사낙하해석에서의 반력 및 에너지 선도

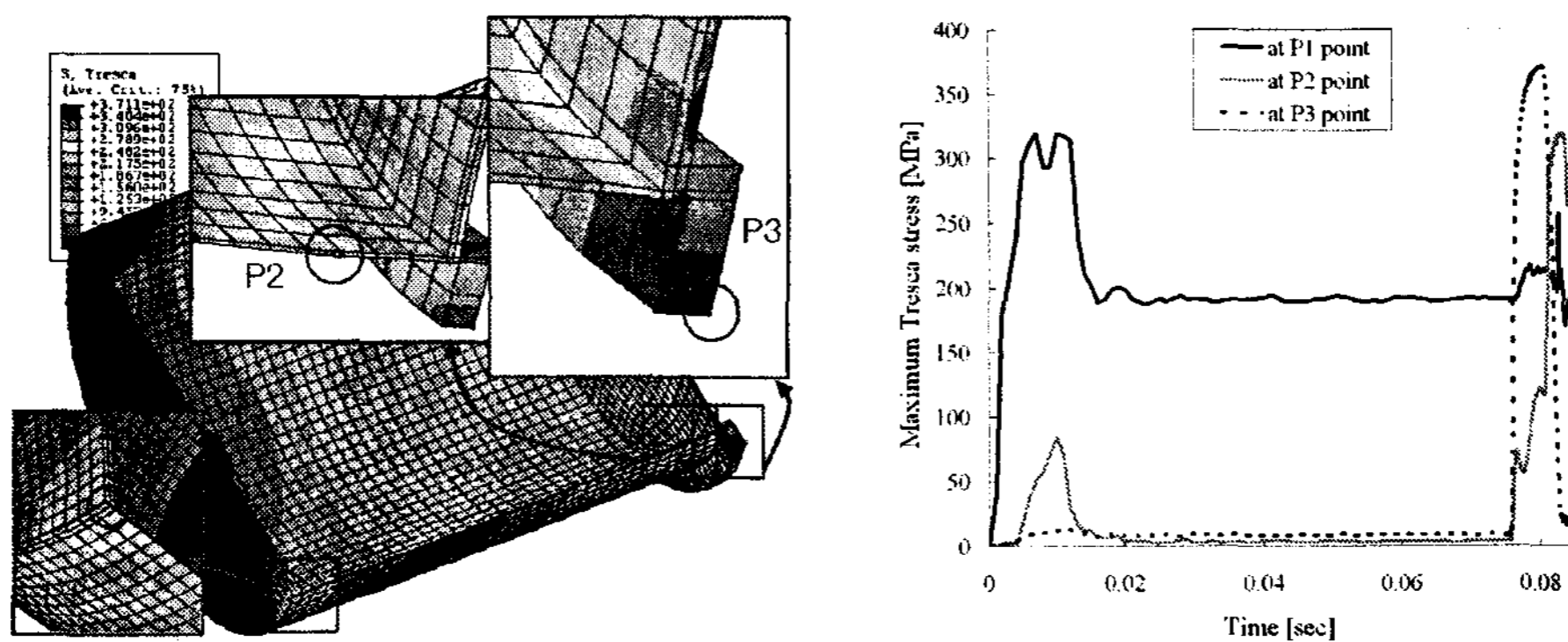


Fig. 2. 바닥경사낙하해석에서 격납경계의 최대 Tresca 응력이 발생하는 시간에서의 응력분포도 및 최대 응력이 나타나는 위치에서의 응력선도

3. 결론

길이와 폭의 비가 작아서 회전력이 작지만 중량이 큰 A형 운반용기의 경우, 경사낙하조건은 낮은 초기 낙하높이에 비하여 2차 충돌이 일어나는 위치의 낙하높이가 상대적으로 커서 2차 충돌에서 1차 충돌 시에 비하여 큰 충격력이 발생된다. 그러므로 길이와 폭의 비가 작지만 중량이 큰 A형 운반용기는 경사낙하조건은 중요한 평가조건이 된다.