

방사성물질 드럼 적재를 위한 IP형 운반용기의 예비구조평가

서기석*, 김동학*, 정기정*, 이경호**, 윤정현**, 정성환**, 김성환**

*한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

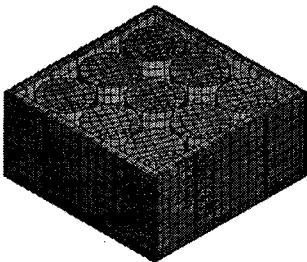
**원자력환경기술원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

본 연구에서는 방사성폐기물 드럼운반에 따른 안전성을 확보하기 위하여 운반법규에 정한 기술 기준 및 요건을 만족하는 방사성폐기물 운반용기 개념을 설정하고 IP형 운반용기 구조 설계 및 해석의 예비평가를 통하여 국내 고유의 방사성폐기물 운반용기 개발을 위한 토대 마련하고자 한다.

국내 IP형 운반용기의 구조설계요건은 IAEA 및 국내 과기부 법규에서 규정된 기술기준에 따라 설정하였다. IP형 운반용기는 적재하는 운반물에 따라 저준위비방사능물질 및 표면오염물체에 대한 기준을 토대로 하여 IP-1형, IP-2형 및 IP-3형으로 구분하고 있다. 방사능물질 운반물은 과학기술부 방사선안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙(과학기술부령 제30호)에 따라 방사능 제한 값을 갖고 있다. 또한 IP형 운반용기의 기술기준은 방사성물질 포장 및 운반에 관한 규정(과학기술부고시 제 2001-23호)에 운반용기의 일반기준 및 IP형 운반용기의 기술기준을 각각 따라야 한다.

운반용기 일반기준은 구조설계 및 해석 측면에서 중요한 항목은 밀봉에 대한 가속도 및 진동 문제, 주변온도 및 압력, 인양장치와 결속장치 설계에 대한 것이다. IP-1형 운반용기의 기술기준은 외부의 최소 길이는 10 cm 이상이어야 하며 방사성내용물의 최대수량에 대한 제한치(3 m 지점에서 시간당 10 mSv)를 만족하여야 한다. IP-2형 운반용기의 기술기준은 IP-1형 운반용기의 기준에 적합하며, 정상운반조건에서의 낙하시험 및 적층시험요건을 만족하여야 한다. IP-3형 운반용기의 기술기준은 IP-1형 운반용기의 기준에 적합하고 A형 운반용기의 기술기준 및 시험요건을 만족하여야 한다. IP-2 및 3형 운반용기의 시험요건에 따른 평가기준은 방사성내용물의 유실 또는 분산이 없으며 외부표면에서 방사선량률이 20% 이상 증가할 수 있는 차폐손실이 없어야 한다. IP형 운반용기의 구조평가 측면에서 최대 하중을 가하는 낙하시험요건에 대해 기술하였다. 방사성물질 드럼을 적재하는 그림 1은 IP형 운반용기의 낙하해석 모델과 설계요건을 나타내고 있다.

ABAQUS 전산해석의 모델은 육면체 요소인 C3D8R을 적용하였고, 요소 6,327개와 절점 9,671개로 분할시켰다. IP-2-b형 운반용기의 설계중량이 17,313 kg 이므로 기술기준에 따라 낙하 높이 0.3 m이므로 하중은 속도 2,425 mm/sec를 적용하였고, 중력가속도 9,810 mm/sec²을 고려하였다.



IP형 운반용기 설계요건	
1. 드럼 적재량	9
2. 운반용기 외부 크기	
- 길이 [mm]	2,160
- 높이 [mm]	1,160
- 폭 [mm]	2,160
3. 운반용기 차폐두께 [mm]	100
4. 드럼	
- 직경 [mm]	720
- 높이 [mm]	900
- 중량 [kg]	450

Fig. 1 IP형 운반용기 낙하해석 모델 및 설계요건

육면체의 전산해석 모델은 크게 세 부분으로 나누었으며, 운반용기 본체에 해당하는 상자 형태 부분과 뚜껑 부분, 그리고 드럼 부분으로 구분된다. 각 세부분은 서로 접촉면을 갖도록 하였다. 특히 운반용기 본체의 상단 부분과 뚜껑 부분은 상호 접촉면과 함께 변위결속(tied-constrain)을 적용하

였다. 향후 상세설계 부분에서 뚜껑 부분을 체결하는 볼트 혹은 그 밖의 고정 장치의 체결강도는 변위결속 부분의 응력으로 평가할 예정이다. 변위결속 부분은 뚜껑의 각 코너들로 모델링 하였다. 본래 볼트 체결 위치 혹은 뚜껑 체결 위치에서 변위 결속을 하도록 각 변에 다섯 개씩 4개 부분에 총 16개를 고려하였다.

수직낙하의 최대 응력을 가진 요소는 그림 2(a)와 같이 상부면의 모서리 부분이며 최대응력 239 MPa으로 계산되었다. 차폐철판의 두께변화는 그림 2(b)와 같이 표면과 내부에서의 변형량의 차이로 계산하여 최대 0.13mm의 두께변화를 보여준다. 구조적 밀봉상태를 확인하기 위해 뚜껑과 용기 본체 사이 간격차이를 평가하였다. 뚜껑부위 최대변형량과 본체상부의 뚜껑접촉면 변형량의 차이가 그림 2(c)와 같이 0.6 mm가 발생함을 알 수 있다.

수평낙하의 최대 응력을 가진 요소는 그림 3(a)와 같이 뚜껑 상부면이며 최대응력 259 MPa으로 계산되었다. 차폐철판의 두께변화는 그림 3(b)와 같이 최대 0.19mm의 두께변화를 보여준다. 뚜껑과 용기본체 사이 최대 간격차이를 평가하였다. 뚜껑면 최대변형량은 그림 3(c)와 같이 0.67 mm가 발생함을 알 수 있다.

수직과 수평낙하에서 계산응력은 파단응력 525.1 MPa보다 작아서 볼트의 파단이 일어나지 않고 방사성폐기물의 유실 가능성이 없으며, 차폐 두께도 2%이하의 변형만 발생하였고 뚜껑의 변형간격도 1 mm이하 이므로 차폐손실은 구조적 관점에서 없다고 판단된다.

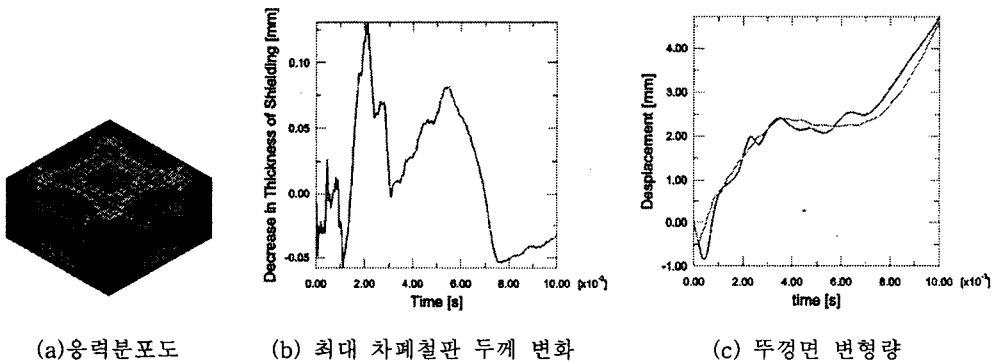


Fig 2. IP형 운반용기의 수직낙하 해석평가

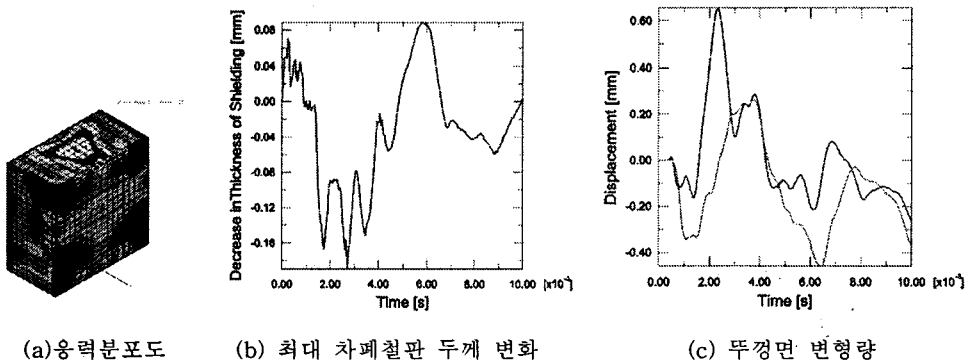


Fig 3. IP형 운반용기의 수평낙하 해석평가