

## IP-2형 방사성폐기물 운반용기의 적층조건에서의 구조 안전성 평가

남경오, 정성환, 최종락, 이주찬, 서기석

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

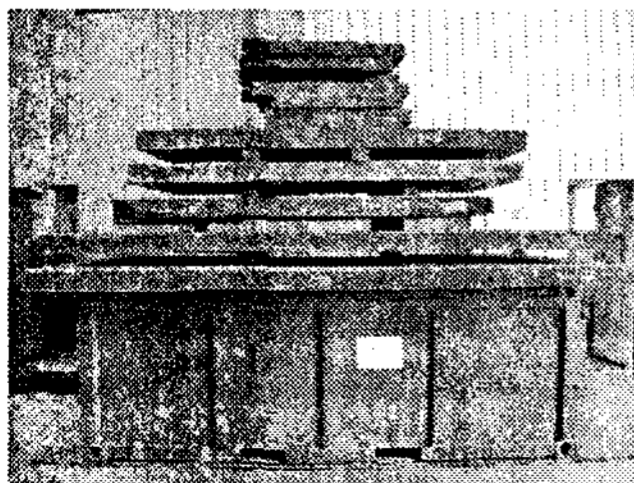
[namko@kaeri.re.kr](mailto:namko@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

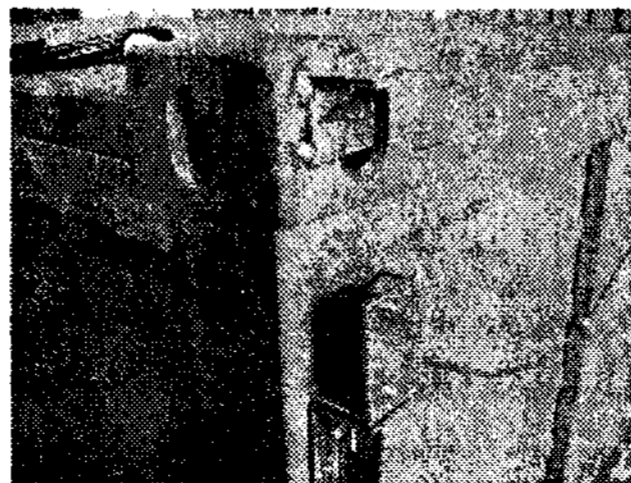
IP-2형 방사성폐기물 운반용기는 원자력발전소의 폐기물 임시저장시설에서 방사성폐기물 처분 시설까지 육로 및 해상운송을 통해 폐기물이 담긴 드럼을 운반하기 위한 용기이다. IP-2형 운반용기는 200 또는 320리터 드럼을 2×4의 배열로 8개까지 적재할 수 있는 용량을 지니며, 차폐 및 운반용기로서의 기능을 가진다. 구조는 크게 본체, 내부지지구조물, 뚜껑 및 체결용 볼트로 구성된다. 본체는 직육면체 형상으로 사각각관으로 제작되었으며, 8개의 모서리에는 인양 및 결속을 위해 모서리쇠가 설치되었다. 내부지지구조물은 각 드럼과 본체와의 간격을 유지하여 충돌로 인한 손상을 방지할 수 있는 기능을 가진다. IP-2형 운반용기의 해상운송에서는 육로운송과 달리 선박에 대량으로 적재하기 위해 다단으로 적재하게 되는데, 본 운반용기의 적층조건은 6단 적재로 운반용기 총중량의 5배 하중이 용기의 상부에 작용하는 조건에서 구조 안전성이 평가되어야 한다. 본 연구에서는 IP-2형 운반용기의 적층조건에서의 구조 안정성 평가를 위해 용기에 5배 하중이 되는 중량을 적용하여 수직 압축력이 작용하도록 하고 각 기둥의 수직 변형량을 측정하였다. 또한 적층시험 전후로 외형치수검사, 육안검사 그리고 차폐체 초음파 두께검사를 수행하였다. 적층시험은 24시간동안 수행되었다. 전산해석은 ABAQUS/Standard를 이용한 정적해석을 수행하였다.

### 2. 시험 및 해석결과

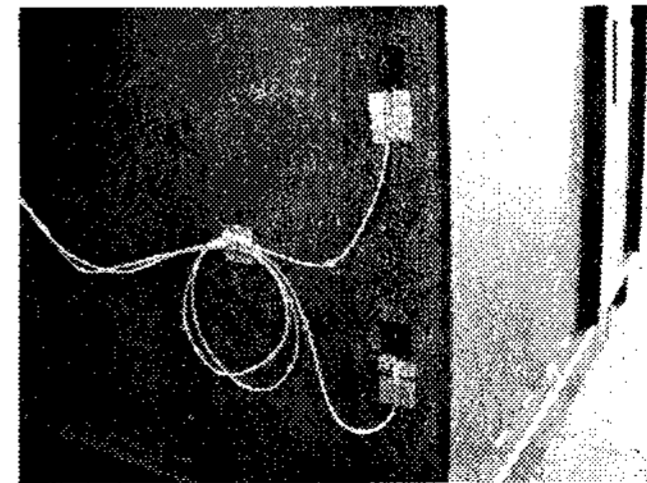
해상운송의 적층은 6단 적재조건으로 드럼을 포함한 용기의 총중량 6.5톤의 5배 하중인 32.5톤의 중량물을 용기의 상부에 적재하여 24시간동안 용기의 변형량을 관찰하면서 320리터 드럼 용기의 적층시험을 수행하였다. 중량물은 실제 용기를 사용하지 않고 시험장소의 높이제한과 취급의 용이성을 고려하여 동일한 중량의 후판(thick plate)을 이용하였다.(Fig 1. (a)참조) 변형량 측정은 중량이 작용하는 기둥에 변위를 측정할 수 있는 레이저 변위센서를 부착하여 직접 변형량을 측정하였다.(Fig 1. (b)참조) 레이저 변위센서는 키엔스 LK-G150 모델을 이용하였다. 또한 반대편 기둥에는 스트레인 게이지를 상하부에 부착하여 변형률을 측정하였다.(Fig 1. (c)참조)



(a) stack of the container



(b) installed laser displacement sensor



(c) installed strain gauge

Fig 1. Stack test of the IP-2 radioactive waste transfer container

레이저 변위센서를 이용한 변위 및 스트레인 게이지를 이용한 변형률을 24시간 동안 측정하였

다. 시험결과 레이저 변위센서를 이용한 변위는 중량물을 적재한 후 기둥에서 약 0.141 mm 압축된 결과를 보였다. 또한 스트레인 게이지를 이용한 변형률 측정에서는 약 0.143 mm 압축된 결과를 얻을 수 있었다. 중량물이 적재된 후 24시간이 경과되는 동안 변위 및 변형률은 큰 변화를 보이지 않았다. 24시간 경과 후 중량물을 재하(unloading)했을 경우 변위 및 변형률은 다시 초기상태가 되었다. 이는 적재시험 중 중량물에 의한 소성변형이 거의 없었음을 보여주는 것이다. 적재시험 후 육안검사를 통해 용기의 외형 및 내부검사를 수행한 결과에서도 특별한 손상부위나 변형된 부위를 발견할 수 없었다. 또한 볼트의 풀림토크검사, 외형치수검사 및 차폐체 초음파 두께검사에서도 큰 변화는 없었다. 결과적으로 적층시험을 통해 6단 적재조건에서 용기의 구조적 안전성이 확보되었음을 확인할 수 있었다. 시험결과를 토대로 ABAQUS/Standard를 이용해 적층시험에 대한 정적해석을 수행하였다. 용기 하부의 모서리쇠를 구속하고 상부 모서리쇠에 32.5톤에 대한 분포하중을 적용하였다. 해석결과에서 대부분의 응력발생은 모서리쇠와 기둥에 집중되어 있었으며 그 외의 부재, 판재, 볼트 그리고 뚜껑에는 거의 응력이 발생하지 않았다. 기둥의 전체변형량은 0.084 mm 압축된 결과를 보였다. 재료의 물성, 사각단면의 기둥 단면적 그리고 모서리쇠에 작용하는 분포하중을 고려할 경우 수치적 계산에서는 약 0.125 mm 압축 변형된 결과를 보였다. 앞서 기술한 적층시험, 유한요소해석 그리고 수치계산 등의 결과는 해상운송 컨테이너 기술기준 중에서 적층에 의한 좌굴로 연구변형이 3 mm를 넘지 말아야한다는 기준을 모두 만족시켰다. 특히 적층시험에서 영구변형은 하중 재하 후에 거의 나타나지 않았다. 또한 차폐능 손실이 20%를 넘을 수 없는 기술기준도 만족하고 있음을 차폐두께검사를 통해 입증할 수 있었다. 내부검사에서도 드럼의 손상이나 뚜껑열림 현상은 발생하지 않았다.

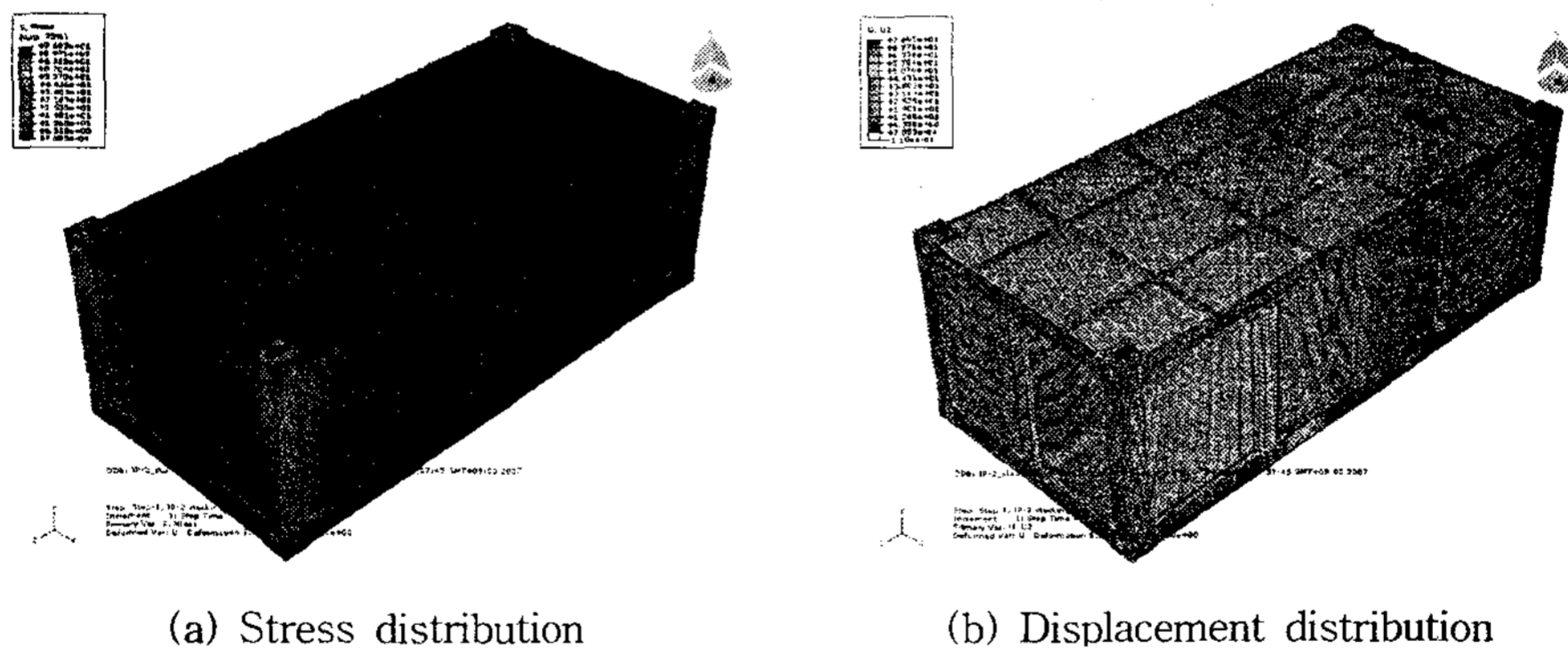


Fig 2. Results of the ABAQUS/Standard analysis

### 3. 결론

IP-2형 방사성폐기물 운반용기의 육상운송은 개별운송방식으로 이루어지지만 해상운송의 경우 많은 용기를 적재해야 하는 공간적 제약성을 고려할 경우 적재조건에서 용기의 구조적 안전성을 평가하는 것은 매우 중요하다. 특히 장시간 운송으로 인한 용기의 피로변형을 고려할 경우 수치적 해석을 통한 검증보다는 실증시험을 통한 검증을 통해 구조적 안전성을 평가해야할 필요성이 있다. 본 연구에서는 용기의 24시간 적층시험을 수행하여 6단 적재에서의 용기 변형량을 측정하였고 결과적으로 기둥부에서 0.14 mm 정도의 변형이 발생했음을 확인하였다. 이는 해상운송 컨테이너 기술기준을 만족하는 결과로 전산해석과 수치해석을 통해서도 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 또한 차폐능 손실로 시험전후 초음파측정을 통해 기술기준을 만족함을 확인하였다.