

## 누적효과를 고려한 사용후핵연료 수송사고 시험모델 평가

김형진, 윤정현, 최우석\*, 서기석\*

한국방사성폐기물관리공단, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

\*한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

[hikim@krmc.or.kr](mailto:hikim@krmc.or.kr)

### 1. 서론

사용후핵연료 수송용기 관련 국내법규는 가상사고조건하에서 용기의 안전성 확보를 요구한다. 가상사고조건에는 Fig. 1. 과 같이 낙하, 파열, 화재, 침수가 있으며, 원칙적으로 연속적으로 수행되어야 한다.

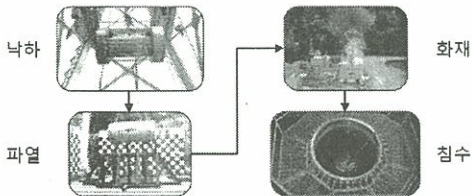


Fig. 1. Hypothetical accident conditions

국내에서는 축소모델 및 슬라이스 모델을 각각 사용하여 낙하/화재시험을 수행하였다. 즉 별도의 모델을 사용함으로써 각각의 시험결과가 누적되는 시험은 수행하지 않았으며, 해석 또한 각각을 독립적으로 수행하였다. 이는 해석기법상 각 단계간의 결과값 전달이 용이하지 않은 이유 때문이었다.

본 연구에서는 누적효과를 반영한 시험을 통해 실제 용기의 손상 경향 및 원형시험모델의 시험시 고려사항을 알아보고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 예비시험모델 설계 및 시험조건 선정

##### 2.1.1 시험모델 설계

누적효과를 잘 모사하기 위하여 일반운반용기(충격완충제, 차폐재등을 갖추고 있는 용기)가 아닌 원통형 쉘 구조물을 선정하였다. 이러한 조건에 의하여 제작된 시험모델의 형상은 Fig. 2. 와 같다.



Fig. 2. Test model

##### 2.1.2 시험조건 선정

사고조건 of 연속적인 시험 수행 시 누적되는 효과를 평가하기 위하여 2가지의 시험조건을 선정하였다. 첫 번째는 시험모델을 이용하여 파열시험만을 수행하였고, 두 번째는 낙하시험 이후 파열시험을 순차적으로 수행하였다. 낙하시험은 수직낙하 시험이며, 파열시험은 수평낙하시험으로 선정하였다.

##### 2.1.3 시험결과

Fig. 3. 은 낙하시험 이후 변형된 용기의 형상을 나타낸다. 우측은 수직낙하시험 없이 수평파열시험만을 수행한 경우이며, 좌측은 수직낙하시험 이후 수평파열시험을 연속적으로 수행한 경우이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 누적효과를 반영한 시험의 경우 수직낙하시험에서 발생한 소성 변형

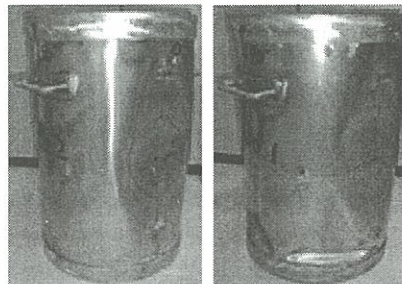


Fig. 3. Deformation after drop test

이 파열시험 이후에도 남아 있음을 알 수 있다.

또한 변형이 넓게 분포되어 있음을 볼 수 있다. 이는 수직낙하시험 이후 용기에 잔류응력이 남아 있어 추가적인 충격에 대하여 변형이 더 크게 진행되는 것으로 판단된다.

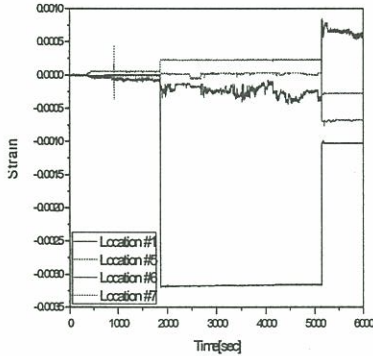


Fig. 4. Strain rate applied to sequential test

Fig. 4. 은 낙하시험 후 파열시험을 연속적으로 수행했을 때 시험 전체 시간구간에 대한 변형을 이력이다. 약 1800초 부근에서 낙하시험, 5200초 부근에서 파열시험이 각각 수행되었으며, 시험 수행에 따라 소성변형률이 다른 값으로 변화함을 알 수 있다.

시험결과를 통해 이전단계에서 누적된 손상을 고려하면 용기는 더 큰 손상을 입는다. 그러나 충격을 받는 지점에 따라 낙하와 파열에 의해 발생한 응력의 방향이 달라 최종응력이 감소되는 경우도 발생함을 알 수 있다.

## 2.2 본시험모델 설계

### 2.2.1 시험모델 설계

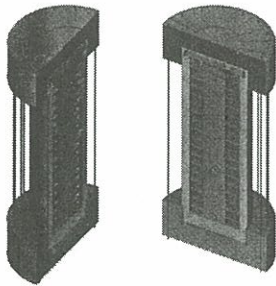


Fig. 5. Analysis model(1/3 scale model)

본 시험모델의 전산해석 모델링은 Fig. 5.와 같다. 예비시험모델과 달리 충격완충재, 캐니스터, 캐스크로

이루어져 있으며, 완충재 재질은 발사우드를 사용하였다. 수송/저장 겸용 금속용기이며, 사용된 주요재질을 다음과 같다.

- 캐니스터(Canister) : A240 Type 304
- 캐스크(Cask) : A516 Gr. 70
- 내부 충격 완충재질 : Balsa wood

### 2.2.2 시험조건 및 시험결과

시험조건은 수평낙하시험 후 수평파열시험을 연속적으로 수행하는 것으로 선정하였으며, 시험 전체 시간구간에 대한 변형을 이력은 Fig. 6.과 같다.

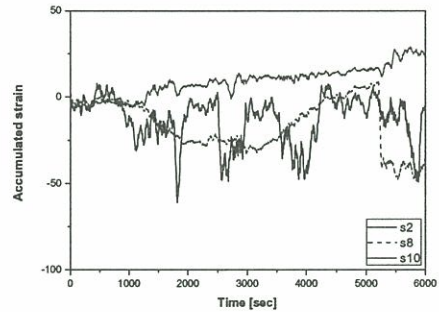


Fig. 6. Strain rate applied to sequential test(cask body)

수평낙하시험은 1200초, 수평파열시험은 5200초에서 수행되었다. 예비시험의 결과와 비교해 보면 충격완충재가 잘 설계된 수송용기에서 누적되는 손상은 크지 않다고 판단된다. 그러나 충격완충재 방향으로 낙하 이후 수직파열시험을 수행하는 경우는 누적손상이 최대가 되므로, 누적효과를 고려해 볼 수 있을 것이다.

## 3. 결론

누적효과를 고려한 사용후핵연료 수송용기 평가체계 구축을 위한 예비시험 및 본시험을 수행하였다. 연속된 낙하 시험의 유형에 따라 누적되는 손상은 크지 않을 수 있지만, 용기에 최대 손상을 주는 누적시험과 저장용기에 대해서 발생하는 사고조건에 대한 누적효과는 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 4. 참고문헌

- [1] KRMC, "사용후핵연료 수송/저장 핵심 설계 기술 개발 1단계 평가보고서", 2011.