

가상사고조건에서의 연속적인 측면하중하에서의 금속검용용기의 누적효과 평가 해석

최우석, 이상훈, 서기석, 김형진*, 윤정현*

한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 1045

*한국방사성폐기물관리공단, 대전 유성구 대덕대로 1045

wschoi@kaeri.re.kr

1. 서론

IAEA regulation 및 국내법규는 방사성물질의 운반용기에 대한 가상사고조건을 규정하고 이러한 사고조건에서의 안전성 유지를 보장할 것을 요구한다. 이러한 가상사고조건에는 낙하, 파열, 화재, 침수 등이 포함되는데 이러한 각각의 사고조건은 원칙적으로 연속적으로 수행되어야 한다. 이러한 연속적 사고조건하에서의 누적손상과 관련된 연구는 오래전부터 수행되었으나 국내에서는 낙하해석과 열해석시 서로 다른 모델을 사용하고, 낙하와 파열 사이에도 누적손상을 고려하는 해석은 수행하지 않는 상태였다. 이는 이전 단계의 해석의 결과값을 그 다음 해석의 초기값으로 입력해야 하는 해석기법상의 어려움에 기인한다. 본 논문에서는 이에 대한 초기연구로서 9 m 낙하해석 이후 운반용기의 최종상태를 반영하여 파열해석을 수행하는 해석기법을 개발한 내용에 대하여 기술하고자 한다.

2. 수송사고 누적조건 전산시물레이션

2.1 해석모델

금속 수송저장 검용용기는 캐니스터(Canister)와 캐스크(Cask)와 충격완충재로 이루어져 있다. 상부 충격 완충체(Upper Impact Limiter)와 하부 충격 완충체(Upper impact limiter)로 나누어져 있으며, 충격완충체질은 발사우드를 사용하였다. 운반사고조건에 대한 응력평가를 위해서 캐니스터, 캐스크 볼트, Dummy Weight와 Blade는 탄성해석을 했으며 캐스크, 외부 드럼 케이스, 완충체인 발사우드 및 Tie rod는 탄소성 해석을 수행하였다. 금속수송 저장검용 용기 전산모델은 644,269개의 절점으로 이루어진 544,379개의 요소로 구성되어 있으며 요소는 C3D8 타입이다. 각각의 해석시 중력가속도 9.81 m/s^2 를 설정하였으며 9 m에서 낙하하는 낙하속도 13.288 m/s 를 초기 속도로

설정하였다. 응력평가를 위해서 캐니스터에 대하여 응력선형화를 수행하여 결과를 얻었다.

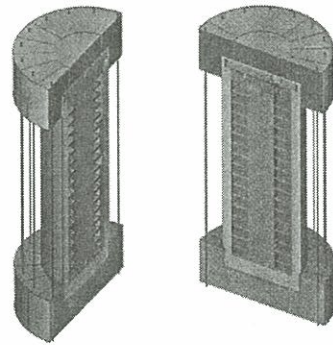


Fig. 1. 전산해석모델

2.2 수평낙하 후 수평파열의 연속해석

누적손상을 고려하기 위한 연속해석을 위해 3가지 steps을 설정하여 해석을 진행하였다. 첫 번째는 수평낙하해석, 두 번째는 수평낙하해석 이후 수평파열해석을 위한 자세로 전환하는 과정, 세 번째는 수평파열해석이다. 수평낙하해석은 0.0 sec부터 0.02 sec까지 0.02 sec 동안 진행되고, 수평파열해석은 1.025 sec부터 1.075 sec까지 0.05 sec 동안 진행된다. 0.02 sec부터 1.025sec까지는 수평낙하해석 이후 수평파열해석의 초기 자세로 위치변화를 하는 구간이며 편의상 1.005 sec의 시간간격을 두었다. 연속해석은 ABAQUS/Explicit 6.10.2를 사용하여 진행하였다. 이 가운데 두 번째 과정은 사용자가 FORTRAN을 사용하여 프로그램을 코딩하고 ABAQUS에 연동하는 방식을 사용하였다. 아래의 그림은 연속해석 진행 가운데 변형률 값을 수평낙하해석과 수평파열해석 부분으로 나누어 그린 그림이다. 수평낙하해석 뒷부분의 평행선과 수평파열해석 앞부분의 평행선은 수평낙하해석의 최종값이 수평파열해석의 초기값으로 대입되었음을 나타낸다. 연속 수행된 파열해석의 변형률값은 이전 절의 개별 파열해석에서의

변형률값과 차이가 있음을 알 수 있고, 이는 연속 해석시 먼저 수행된 낙하해석의 효과가 누적되었기 때문에 용기의 반응이 다른 것으로 판단된다.

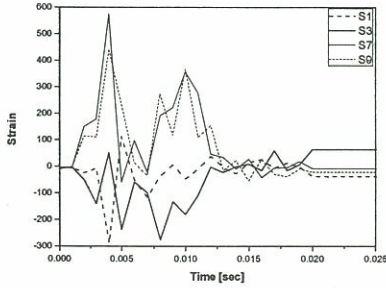


Fig. 2. 수평낙하해석시 변형률 시간이력

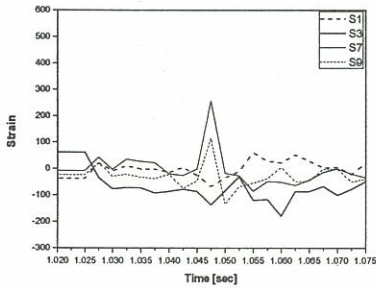


Fig. 3. 수평파열해석시 변형률 시간이력

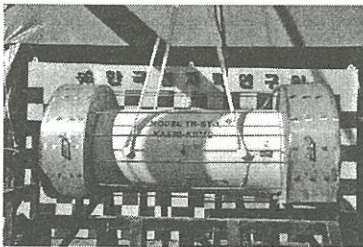


Fig. 4. 수평낙하후 검용용기의 변형형상

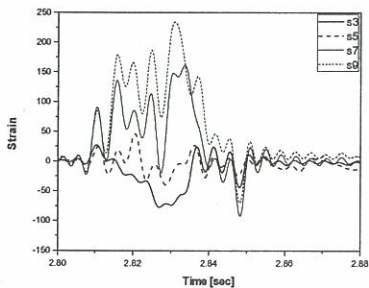


Fig. 5. 수평낙하시험시 변형률 시간이력

2.3 시험 결과와의 비교

연속사고조건에 대한 해석과의 비료를 위해 9 m 수평낙하시험 및 1 m 수평파열시험을 연속적으로 수행하였다. 수평낙하후의 용기는 Fig. 4와 같이 상하부 충격완충체가 변형하며 충격에너지를 흡수하였다. 센서부착위치에서의 변형률 시간이력의 일부를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 해석에서의 변형률 시간이력이 필터링 이전 데이터임을 감안하면 그 크기나 형상이 시험과 유사함을 알 수 있다.

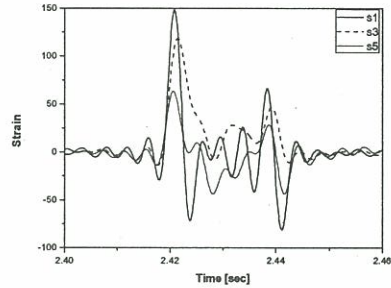


Fig. 6. 수평파열시험시 변형률 시간이력

3. 결론

낙하해석과 파열해석이 연속적으로 수행될 때의 누적손상을 고려하기 위한 해석 방법론을 정립하였다. 수송저장 검용용기에 대하여 누적손상을 고려하는 연속해석을 수행하였으며, 시험모델을 제작하여 동일한 조건하에서의 변형률을 비교하여 해석방법론의 유효성을 보였다. 선택된 연속사고 조건인 경우에 대해 잘 설계된 충격완충체가 있는 수송용기의 경우 누적손상의 크기가 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 연속사고조건에 조합에 따라 누적손상이 클 경우가 존재할 수 있으며, 충격완충체가 손상되는 수직낙하 후 수직파열의 경우는 이후 수행되는 화재해석에 누적손상이 어떤 영향을 미칠지 평가해야 한다. 또한 충격완충체가 없는 저장용기의 경우에는 누적손상의 영향을 판단해야 할 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

- [1] Tsu-te Wu, et al, "Dynamic Analysis of Hanford Unirradiated Fuel Package Subjected to Sequential Lateral Loads in Hypothetical Accident Conditions", PVP 2008-61564.
- [2] J. M. Jordan, "Finite Element Analysis of Bulk Tritium Shipping Package", INMM.