

사용후핵연료 수송·저장 시스템 중대사고 평가 방안

김형진, 윤정현, 이상훈*, 최우석*, 방경식*, 이주찬*
 한국방사성폐기물관리공단, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 *한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
hikim@krmc.or.kr

1. 서론

국의 사용후핵연료 저장 시스템 설계분야에 있어서 911 테러 이후 설계 의 중대사고(차량, 선박 및 비행기 충돌, 화재, 강진 등)의 영향에 대해 대중의 관심이 높아졌으며, 안전여유도 확보 측면에서도 요구가 강화되고 있는 상황이다. 시스템 설계사들은 원형모델의 설계 의 중대사고 시험을 통하여 시스템의 성능을 입증하고 있으며, 관련 연구기관에서는 효과적인 전산해석법을 개발하고 있다. 미국, 독일은 항공기 고속충돌 해석을 수행했지만 보안상의 이유로 평가방법 및 해석기법의 자세한 사항을 공개하지 않고 있다.

사용후핵연료 수송용기의 법적 요건에 해당하는 사고조건은 원칙적으로 연속적으로 수행되어야 한다. 국내에서는 낙하/화재 시험 모델을 이용하여 순차적인 시험을 하지는 않았으며, 해석 또한 각각을 독립적으로 수행하였다.

이에 본 연구에서는 중대사고(고속충돌, 과도화재)와 수송사고 누적효과에 대한 기술 현황 및 평가 방안 및 초기조건의 일부를 제의해 본다.

2. 본론

2.1 항공기충돌 현황 및 시뮬레이션 방안분석

2.1.1 항공기 고속충돌 평가현황

미국은 9.11 사건 이후 NEI 주관으로 건식저장 용기, 수송용기 등의 안전성 평가를 수행하였으며, 충돌하더라도 격납시스템의 손상은 없는 것으로 결론을 내리고 있다.

독일은 9.11 사건을 전후로 고려하는 비행기의 기종이 달라졌다. 자국내 모든 중간저장시설에 대하여 군용기가 아닌 대형 민항기의 충돌을 고려한 안전성평가를 실시하였다. 지붕의 트러스에 의한 직격을 고려하였고, 이 경우에도 용기의 건전성은 유지된다고 평가하였다.

2.1.2 충돌에 의한 구조손상 평가방법

구조손상의 평가는 국부손상(local damage)과 전반손상(global damage)으로 분류하고 각각 별도로 평가하는 것이 일반적이지만, 최근에는 이 둘을 동시에 수행하는 해석기법이 개발 중이다.

국부손상의 평가는 실험을 통해 얻어진 경험식이 주로 사용되어 왔으며, 경험식에 스케일링 인자를 곱하여 활용한다. 전반손상의 평가법에는 timehistory analysis method와 energy balance method가 있다.

2.1.3 고속충돌 평가절차

구조손상만을 고려한 항공기충돌 안전성 평가의 절차는 Fig. 1.과 같으며, 항공기 기종의 모델링에서 전반손상 평가까지는 사용하는 기법에 따라 여러 가지 선택을 할 수 있다.

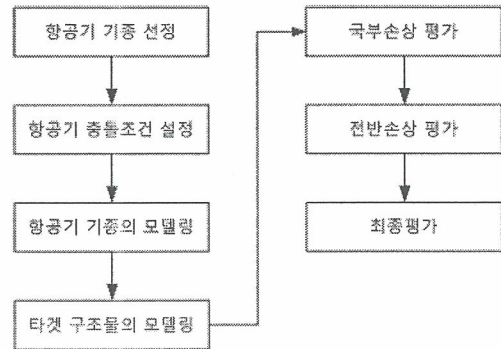


Fig. 1. Anaysis procedure

2.2 과도화재 현황 및 시뮬레이션 방안분석

과도화재에 관한 연구는 미국 볼티모어에서 발생한 터널화재의 전산 시뮬레이션을 통하여 터널 내부의 화염온도와 화재시간을 예측하고 열적 건전성을 평가한 사례가 유일하다. 주로 FDS(미국 NIST 개발)와 FLUENT를 사용하여 평가하며, Fig. 2. 는 NIST에서 모델링한 터널화재 모델링의 예시이다.

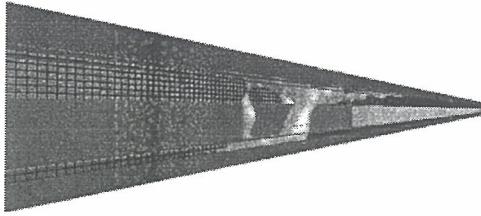


Fig. 2. Tunnel fire model by NIST

2.2.1 고려사항 및 전산시물레이션 방안

화재 시물레이션에 있어서 공간을 정확히 구현하는 것은 매우 중요하다. 즉 모델링한 각 영역은 실제 공간의 길이와 폭, 높이를 구현하여야 한다. 이외에도 공기 입출구 설정의 정확도, 가연물의 종류 및 양, 연소부분의 면적등이 중요한 고려사항이라 할 수 있다.

연소해석을 포함한 화재 시물레이션은 불확실한 많은 변수를 가지고 있으므로, FDS를 사용한 연소해석에 대한 신뢰성을 충분히 확보하기 어려운 단점이 있다. 터널화재에 대한 연구를 수행하고 있는 철도기술연구원의 경우에도 연소해석은 거의 수행하고 있지 않은 상황이다. 따라서 화재성장 곡선을 이용한 화재강도를 이용하여 수립한 방안에 대한 검증은 수행할 예정이다.

2.2.2 과도시간에 대한 열물성 자료 구축

수송/저장 용기에 사용되는 충격완충재, 단열재, 중성자차폐체는 800℃ 이상 고온의 열을 받을 경우 탄화되므로, 해석적으로 열 거동을 파악하는 것이 어렵다. 이에 과도시간에 대한 열 시험을 수행하였다.

2.3 수송사고 누적조건 시물레이션 기법 개발

국내에서는 현재까지 축소모델을 이용한 낙하 시험, slice 모델을 이용한 화재시험을 수행하였으며, 각각의 시험 영향이 누적되도록 순차적인 시험을 하지 않은 상태였다. 해석기법상 각 단계간의 결과값 전달이 용이하지 않은 이유로 해석에 있어서도 독립적으로 모사하고 있다.

2.3.1 누적효과를 고려한 해석절차 방안

연속적인 가상사고조건은 Fig. 3.과 같으며, 각 단계별 누적효과를 고려하기 위해서 소프트웨어에서 제공하는 해석기법을 사용할 것이다.

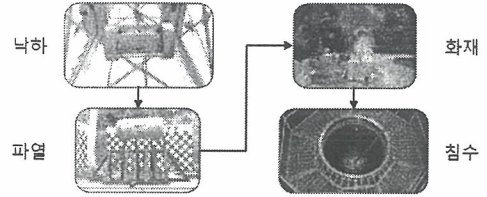


Fig. 3. Hypothetical accident conditions

낙하 및 파열조건에 의해 변형된 형상을 고려하여 열해석을 수행할 수 있지만, 해석의 주관점이 다르기 때문에 큰 의미는 없으므로, 구조와 열해석은 따로 수행하여 응력 합산을 하는 것으로 하였다.

3. 결론

중대사고 및 수송사고 누적효과와 평가 방안을 수립하기 위하여 국외, 소프트웨어 기술현황 파악을 하였으며, 이를 통하여 다음과 같이 항공기 고속충돌/과도화재 전산시물레이션을 위한 초기조건을 수립하였다.

고속충돌의 경우 충돌속도 150m/s, 항공기 기종 B747, 충돌각도는 충돌면에 수직한 것으로 설정하였으며, 엔진에 의한 타격을 받는 것으로 하였다.

과도화재는 인화성 물질을 실은 화물트럭 1대를 기준으로 하여 화재강도 40MW를 설정하였으며, 이를 바탕으로 화재성장 속도 및 연소시간을 설정하였다.

수립한 방안의 평가기술을 확립하기 위하여 각 분야에 적합한 시험모델을 제작하고, 시험을 통해 전산시물레이션과 시험 결과를 비교 평가할 예정이다.

4. 참고문헌

[1] US DOE, DOE-STD-3014-2006, "Accident analysis for aircraft crash into hazardous facilities", 2006.
 [2] NIST, NISTIR 6902, "Numerical Simulation of the Howard Street Tunnel Fire, Baltimore, Maryland", 2002.
 [3] NEI, "Deterring terrorism : Aircraft crash impact analysis demonstrate nuclear power plants's structural strength", 2002.