

단순화 안전성평가 프로그램 기술 현황 및 개발 방향

김형진, 성기열, 신태명*

한국방사성폐기물관리공단, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*한국교통대학교, 충청북도 충주시 대학로 50

hikim@krmc.or.kr

1. 서론

사용후핵연료 운반/저장 시스템은 상세설계 과정에서 복잡한 절차에 의하여 구조적 설계 및 해석을 필요로 한다. 따라서 많은 시간과 인력이 소요되며, 이를 위한 다양한 전산 프로그램도 존재한다. 그러므로 효율적인 구조적 설계 및 개발을 위하여 상세해석 전체를 수행하지 않고 설계 및 해석 방법의 타당성이나 안전성을 검토하기 위한 프로그램이 필요하다. 국외에서는 이러한 프로그램을 개발하여 활용한 사례가 있지만, 국내는 사례가 없는 상황이다. 이에 사용후핵연료 운반/저장 시스템 설계 시 가장 많은 시간을 필요로 하는 구조설계 분야의 안전성평가를 효율적으로 단순화 할 수 있는 프로그램을 개발하고자 한다. 본 연구에서는 해당 프로그램의 국내 외 현황 및 개발방향에 대하여 알아보하고자 한다.

또한, LLNL은 사용후핵연료 저장용기의 안전성평가 결과를 검토하기 위한 프로그램도 개발하였다. 개발한 프로그램은 CASKS (Computer Analysis of Storage Casks)이며, 저장용기와 운반용기가 유사하다는 점을 활용하여 기 개발된 SCANS 프로그램을 바탕으로 개발되었다[2].

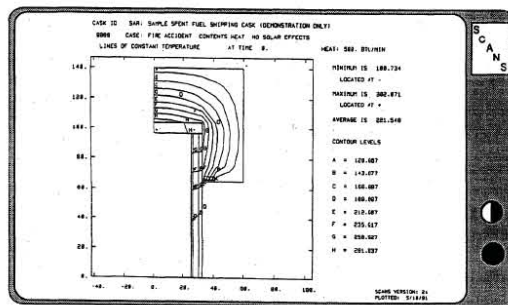


Fig. 1. Plot of Thermal contours (SCANS).

2. 본론

2.1 단순화 안전성평가 프로그램 기술 현황

2.1.1 국내 기술 현황

사용후핵연료 소내 운반용기 개발 시 단순모델에 대하여 충격하중 등을 부분적으로 계산하는 프로그램을 작성한 바 있다. 또한 운반용기 1차원 모델에 대한 이론적인 정해(exact solution)를 도출하여 수송용기의 열전달 거동을 평가하기 위한 프로그램을 활용한 적이 있다. 하지만 체계적인 프로그램 개발을 수행한 사례는 없다.

2.1.2 국외 기술 현황

미국 LLNL(Lawrence Livermore Nat. Lab.)은 사용후핵연료 운반용기의 안전성평가 결과를 검토하는데 활용하기 위하여, NRC 주관 하에 SCANS (Shipping Cask Analysis System) 프로그램을 개발하였다. 해당 프로그램은 운반용기의 정상, 비정상 및 가상사고 조건에서 충격, 열 및 압력 하중을 계산하여 구조적 건전성을 입증하는 프로그램이다[1].

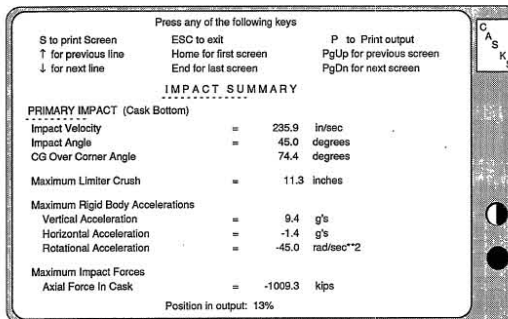


Fig. 2. Impact summary(CASKS).

LLNL과 더불어 ORNL(Oak Ridge Nat. Lab.)에서도 사용후핵연료 운반용기의 설계제원 최적화에 활용하기 위하여 1차원 시간천이 열전달 해석이 가능한 SCOPE(Shipping Cask Optimization and Parametric)를 개발한 사례가 있다.

일본의 경우에는 전력중앙연구소(CRIEPI)에서 운반/저장용기 구성품들에 대하여 충격거동을 분석하고 구조적 건전성을 평가하기 위한 여러 종류의 간이해석프로그램을 개발하여 활용하고 있다. 운반용

기 낙하해석에 활용하기 위하여 CRUSH 프로그램을 개발하였으며, CRUSH를 개선시킨 CRUSH1과 CRUSH2도 개발 완료한 상태이다[3]. CRUSH2는 용기 본체의 최대가속도와 충격흡수체의 최대변형 등을 평가할 수 있는 프로그램으로, 일축변위법(UDM)을 활용하여 개발되었다.

2.1.3 단순화 프로그램의 적합성

단순화 프로그램의 적합성을 확인하기 위하여 일본에서는 1/4 축소모델의 실험결과, DYNA3D의 상세해석결과, 단순화 프로그램의 결과를 비교하였으며, 결과는 Table 1, Table 2와 같다. 수직, 경사, 수평낙하 3가지 경우에 대해서 비교를 수행하였으며, 단순화 컴퓨터 프로그램은 실험결과뿐 아니라 상세해석 프로그램의 결과와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

Table 1. Comparison between CRUSH2 and DYNA3D(acceleration).

낙하형태	가속도(G)		
	실험치	단순화 해석결과 CRUSH2	상세해석 DYNA3D
수직	200	208	271
경사	106	136	145
수평	180	219	240

Table 2. Comparison between CRUSH2 and DYNA3D(deformation).

낙하형태	변형량(mm)		
	실험치	단순화 해석결과 CRUSH2	상세해석 DYNA3D
수직	51	50	50
경사	127	146	118
수평	61	74	57

2.2 프로그램의 개발 방향

국내의 기술현황을 반영하여 단순화 프로그램은 일축변위법을 적용한 1차원 또는 대칭성을 고려한 2차원 해석이 가능하도록 할 것이다. 프로그램의 해석결과인 최대응력과 가속도 및 충격흡수체의 최대

변위를 통하여 상세해석의 객관성을 평가하는데 활용 할 것이다.

2.2.1 프로그램의 구성

해석 전반을 제어하는 주프로그램과 계산 및 그래프 출력을 담당하는 보조프로그램으로 구성한다. 주 프로그램에서는 입출력 및 해석실행을 제어하고, 보조프로그램은 해석 및 그래프 출력을 담당한다.

2.2.2 프로그램의 입출력 자료

입력자료는 실시하려는 해석을 기술하는데 필요한 자료와, 낙하자세/용기형상/용기중량/결과출력 방법 등과 같은 해석형태를 정의할 수 있는 자료를 입력 받을 수 있도록 한다.

출력자료는 지정된 시간 단위에 대한 변위, 하중, 에너지 및 가속도 등을 출력할 수 있도록 하며, 또한 결과의 효율적인 활용을 위하여 변수 상호간의 관계를 나타낼 수 있도록 하는 기능을 둔다.

3. 결론

사용후핵연료 운반/저장 시스템 설계 시 효율적인 구조설계 분야의 안전성평가 및 개념설계 단계에서의 최적설계를 위하여 단순화된 구조해석 프로그램의 체계적인 개발이 필요하다고 판단된다. 또한 단순화 프로그램의 적합성 및 효율성은 해외 개발 사례에서 확인할 수 있다. 현재 프로그램 개발 방향을 수립하였으며, 향후 이를 토대로 용기의 낙하형태별 단순화 평가모델을 정립하려 한다.

4. 참고문헌

[1] NRC, "SCANS (Shipping Cask ANalysis System) A Microcomputer-Based Analysis System for Shipping Cask Design Review", NUREG/CR-4554, Vol.1, Rev. 2(1998).

[2] NRC, "CASKS (Computer Analysis of Storage CasKS) A Microcomputer-Based Analysis System for Storage Cask Design Review", NUREG/CR-62422(1995).

[3] Ikushima, T., "CRUSH1: A Simplified Computer Program for Impact Analysis of Radioactive Material Transport Casks", JAERI-Data/code 96-025(1996).