

3 차원 접촉모델을 사용한 자유입상식 건식저장용기 지진응답해석

구경희, 이재한, 서기석

한국원자력연구소

정성환

한국수력원자력(주) 환경기술연구원

염성호

충남대학교, 기계공학과 대학원

1. 서 론

자유입상식 건식저장용기는 지진시 미끄럼 거동과 회전거동을 포함하여 원형실린더형인 기하학적 형상으로 인해 팽이와 같은 Top spinning 거동을 하는 매우 복잡한 지진응답을 나타낸다[Shirai]. 또한 회전 지진응답시 저장용기의 하부바닥면과 지면간의 접촉 충돌거동은 전체적인 저장용기의 지진응답을 매우 비선형적인 Chaos 적인 거동을 야기시킨다. 이러한 복잡한 자유입상식 저장용기에 대한 비선형 거동의 예측을 위해 일반적으로 2 차원 단순모델을 많이 사용하지만 Top spinning 거동과 같은 복잡한 거동은 예측할 수 없다. 본 연구에서는 현재 개발중인 국내 자유입상식 저장용기에 대한 지진설계/해석기술을 확보하기 위해 ABAQUS/Explicit 에서 제공하는 3 차원 접촉모델을 사용한 자유입상 저장용기의 비선형 지진응답 해석방법 및 절차를 마련하자 한다. 이를 위해 해석방법 및 절차의 정확성을 간접적으로 검증할 수 있는 방안으로 일본전력중앙연구소(CRIEPI)에서 수행한 지진시험모델에 대한 수치해석을 수행하고 시험결과와 비교, 평가하였다. 그리고 현재 설계, 제작된 국내 지진시험모델(1/8 축소규모)에 대한 지진응답해석을 수행하여 여러 가지 미끄럼조건과 입력지진하중의 크기에 대한 지진응답 민감도 해석을 수행하였다.

2. 본 론

본 연구에서 수행한 해석모델은 일본 CRIEPI 에서 지진응답시험에 사용한 강화콘크리트형 저장용기에 대한 1/3 축소시험모형이며 총 무게는 14.02 톤이다. 캐스크 본체(무게 8.17 톤)의 높이는 1.921m, 외경 1.313m, 내경 0.95m, 그리고 캐스크 하부지지물의 높이는 0.3m 이다.

시험에 사용된 입력지진하중은 JMA Kobe 이며 본 연구에서도 동일한 지진하중을 사용하여 해석을 수행하였다. 지진해석모델을 위하여 다소

복잡한 시험체를 외경 1.3m, 높이 1.901m 의 3 차원 원통구조물 형상으로 단순화하였다. 접촉모델에 사용된 알고리즘은 Penalty function 접근법을 사용하였으며 수평미끄럼짐 거동은 Kinetic-static exponential decay 방법을 사용하였고 이때 동마찰계수는 0.7 정마찰계수는 0.65 그리고 Decay index 는 10 을 사용하였다. 수직접촉거동은 Hard contact 방법을 사용하였으며 수평, 수직거동모두 3% 감쇄를 가정하였다. 그리고 직접적분법에 사용된 시간간격은 ABAQUS/Explicit 에서 제공하는 Auto Time Step 옵션을 사용하였다.

해석은 입력가속도의 크기를 변화시켜 0.4g, 0.6g, 1.0g 에 대해 각각 수행하였다. 입력지진하중에 대한 최대 회전각응답 해석결과는 Fig.1 과 같으며 CRIEPI 의 시험결과와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

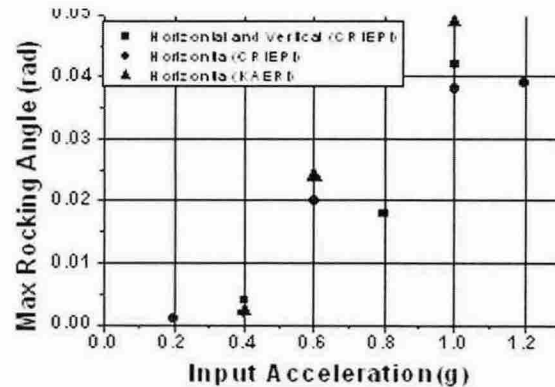


Fig.1 Rocking Angle of CRIEPI Model

1.0g 지진하중에 대한 미끄럼 변위와 회전각에 대한 시간이력 지진응답파형을 비교해 보면 Fig.2 와 같이 회전각 응답파형은 시험결과와 매우 유사한 결과를 나타내고 있으며 미끄럼 변위는 다소 응답파형이 다르게 나타나지만 지진이 끝나는 시점인 10초경부터 5mm정도 밀린 잔류변위가 발생하는 거동은 같게 나타났다.

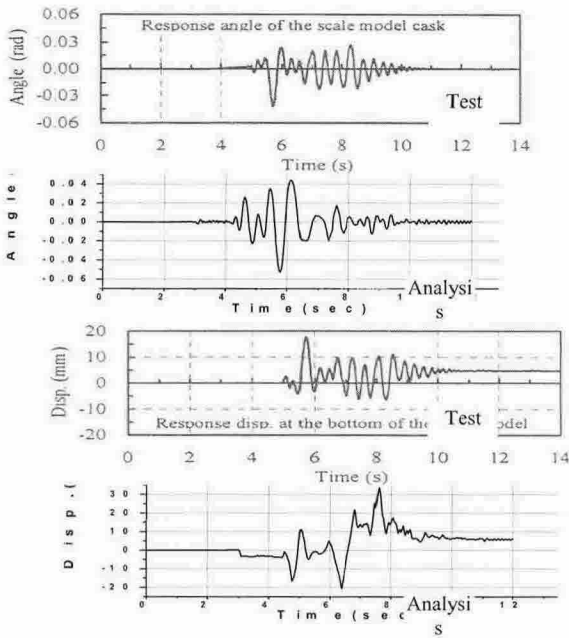


Fig.2 Comparison of Analysis and Test

앞의 CRIEPI 시험모델에 적용한 해석방법 및 절차를 사용하여 현재 수행중인 국내의 자유입상식 건식저장용기 1/8 축소시험모델에 대한 지진응답 해석을 수행하였다.

해석에 사용된 입력지진하중은 보유하고있는 1축진동대 시험설비의 용량 등을 고려하여 시험에 적합한 El-centro 지진을 사용하였다. Fig.3은 입력지진의 크기 및 미끄럼 마찰계수의 크기변화에 따른 민감도 해석결과를 나타낸 것이다.

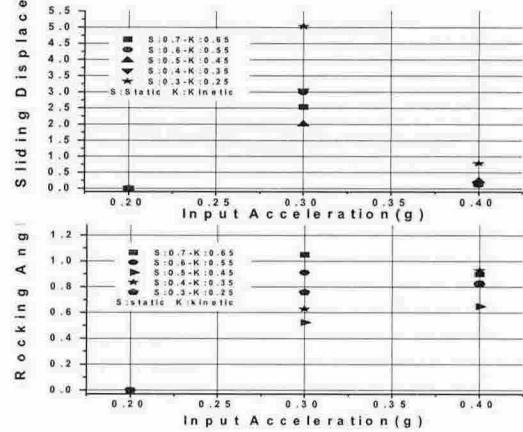


Fig.3 Analysis Results for KAERI Model

3. 결론

본 연구에서 수행한 연구결과를 토대로 자유입상식 저장용기에 대한 지진응답해석 방법 및 절차에 대한 기본적인 기술이 마련되었다고 판단되며 향후 검증시험 등을 통해 지진응답해석 방법론을 완성하고 현재 개발중인 저장용기의 지진 설계해석에 적용할 예정이다.

참고문헌

[1] K. Shirai, K. Hirata, T. Saegusa, "Experimental Studies of Free-Standing Spent Fuel Storage cask Subjected to Strong Earthquakes," 17th SMiRT, 2003.