

사용후핵연료 저장용기의 캐니스터 장착사고에 대한 구조평가

서기석, 김동학, 신동필, 박성원 nksseo@kaeri.re.kr

한국원자력연구소

최병일, 이흥영

한국수력원자력(주) 환경기술연구원

1. 서론

사용후핵연료 저장용기의 관련 규정에 명시된 구조평가는 정상 운전조건, 자연재해 및 가상 사고에서 구조적 건전성 여부를 확인하여야 한다. 정상 운전조건은 사하중, 압력하중, 취급하중, 열응력하중에 대한 응력 평가하게 되어있다. 사고조건 평가 항목은 관통 조건에 대한 구조해석, 폭발 및 홍수 조건에 대한 구조해석, 낙하 및 전복 조건에 대한 구조 해석 평가 등이 필요하다.[1] 사용후핵연료 저장용기의 캐니스터에 대한 낙하해석은 NUREG-1536에 제시된 캐니스터의 취급중 낙하 가능조건에 대한 구조평가를 요구하고 있다.[2] 사고조건에서 인위적 사고발생 가능성이 있는 이송용기로부터 저장용기로 캐니스터가 낙하하는 경우를 고려하여야 한다.

2. 캐니스터 장착 시 낙하사고해석

사용후핵연료 저장용기에 대해 캐니스터가 장착순간에 그림 1 과 같이 발생 가능한 사고라고 할 수 있다.

저장용기 본체에 대한 캐니스터 장착 시 낙하해석의 모델링은 본체 두께를 제외한 모든 부분과 저장용기 바닥 면에 폴리우레탄 완충체를 설치된 형태로 되어 있다. 저장용기 본체 부분, 캐니스터와 완충체 부분이 추가되어 복잡한 구조로 되어 있다.

적용된 요소의 종류는 바스켓 부분만 쉘 요소로 S4R 을 적용하였고, 나머지 부분은 8 절점의 3 차원 C3D8R 요소를 사용하였다. 그림 2 와 같이 요소의 개수는 15010 개, 절점의 개수는 22254 개가 되어 있다. 저장용기 본체에 대한 기본설계에서 154.5 톤이지만 1/2 모델에 대한 중량은 74.069 톤으로 실제보다 작게 적용되었다. 별도로 적용된 폴리우레탄 폼의 기계적 특성치는 밀도 $4.804E-10 \text{ ton/mm}^3$, 탄성계수 260.61 MPa, 프와송비 0.15, 항복응력 11.143 MPa(소성 변형율=0), 극한강도 22.03 MPa(소성 변형율=0.43) 각각을 적용하였다. 해석의 종류는 캐니스터 부분에 대해 탄소성을 적용하였다.

하중조건으로 전체 모델 중에서 캐니스터, 바스켓 및 핵연료는 초기 속도 10093 mm/s 로 주어졌다.

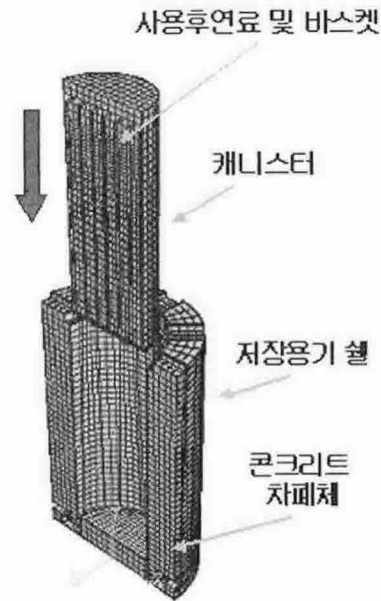


Fig. 1 사용후 핵연료 저장용기의 캐니스터 장착 사고

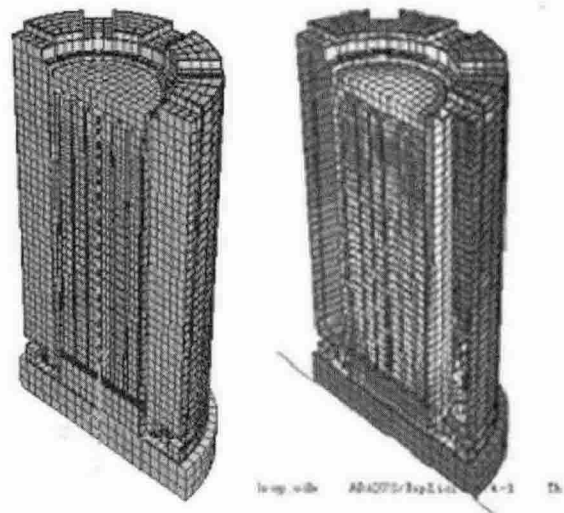


Fig. 2 캐니스터 낙하 전후의 응력분포도

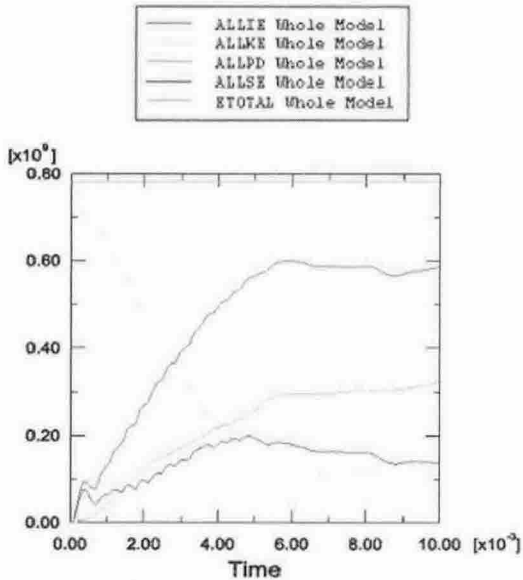


Fig. 3 캐니스터 수직낙하의 에너지 선도

속도의 크기는 저장용기 본체의 상부 면과 저장용기 내부의 바닥 면 사이의 높이 차이에 대한 자유낙하 속도로 계산되었다. 전체 에너지의 크기는 그림 3 과 같이 7.806E8 mJ 로 평가되었다. 전체 해석 시간은 폴리우레탄 폼의 소성 변형을 고려하여 10 ms 로 증가시켰다.

3. 결과 및 토의

응력 계산은 Von Mises 기준으로 평가하였으며 바스켓 부분은 시간 7.7 ms 에서 최대 213.8 MPa, 그림 4 와 같이 캐니스터 부분은 시간 0.4

ms 에서 최대 214.47 MPa, 외부 쉘 구조물은 10 ms 에서 300 MPa 로 각각 계산되었다. 외부 쉘 및 반력의 결과로 볼 때, 계속 상승하고 있으므로 해석 구간을 더 증대 시킬 필요가 있다. 최대 응력 기준으로 볼 때 항복응력인 206.84 MPa 보다 다소 크게 나타나고 있으나, 파단 강도인 562.6 MPa 보다 53 % 정도 작으므로 안전성을 갖고 있는 것으로 판단된다.

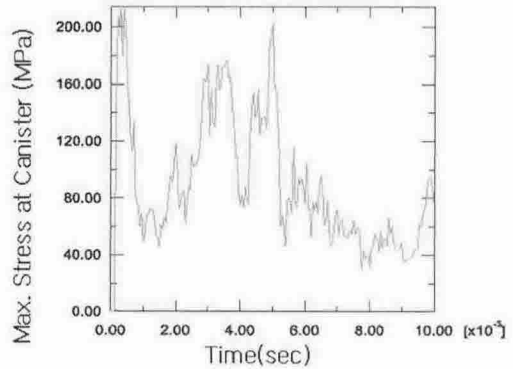


Fig. 4 캐니스터 낙하충격시 응력변화

참고문헌

- [1] ANS, Design Criteria for an Independent Spent Fuel Storage Installation (Dry Storage Type), American National Standard, ANSI/ANS-57.9, 1984
- [2] NUREG-1536, Standard Review Plan for Dry Storage Systems, U.S Nuclear Regulatory Commission, 1997